# ECTI-CARD 2016

## การประชุมวิชาการ งานวิจัย และพัฒนาเชิงประยุกต์ครั้งที่ 8

การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีอย่างชาญฉลาดเพื่อตอบสนองภาคอุตสาหกรรมสมัยใหม่อย่างยั่งยืน

วันที่ 27-29 กรกฎาคม พ.ศ.2559

ณ โรงแรมหัวหินแกรนด์ โฮเทล แอนด์รีสอร์ท

อำเภอหัวหิน จังหวัดประจวบคีรีขันธ์

**จัดโดย**

**สมาคมวิชาการไฟฟ้า อิเล็กทรอนิกส์ โทรคมนาคมและสารสนเทศ**

**มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล พระนคร**

**สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ**

# สารอธิการบดี

## มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนครตั้งปณิธานที่จะมุ่งมั่นความเป็นผู้นำการจัดการศึกษาด้านวิชาชีพด้วยความรู้ทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีเชิงบูรณาการ พัฒนากำลังคนให้มีคุณภาพ คู่คุณธรรม สู่มาตรฐานสากล ด้วยการคิดอย่างสร้างสรรค์และทำอย่างมืออาชีพ และมีเป้าหมายที่จะก้าวไปสู่ความเป็นมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีแห่งโลกอาชีพ ดังวิสัยทัศน์ “มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีชั้นนำด้านการผลิตบัณฑิตมืออาชีพ”

ตั้งแต่สถาปนามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร เมื่อ พ.ศ.2548 เป็นต้นมา มหาวิทยาลัยฯได้วางรากฐานการพัฒนาบุคลากร โดยส่งเสริมให้อาจารย์ นักวิจัย บุคลากรสายวิชาการ เจ้าหน้าที่และนักศึกษาทุกสาขาวิชาชีพได้ทำงานวิจัย และสิ่งประดิษฐ์ส่งเข้าร่วมงานประชุมวิชาการทั้งระดับชาติและนานาชาติมาอย่างต่อเนื่อง ทำให้มีการแลกเปลี่ยนเรียนรู้ การพัฒนาและขยายเครือข่ายผู้เชี่ยวชาญในแต่ละสาขาอาชีพอย่างมากมาย โดยมุ่งเน้นในการให้ร่วมมือกับภาคเอกชน ภาคอุตสาหกรรมด้านต่างๆ ในหลายรูปแบบเพื่อออกแบบหลักสูตรการเรียนการสอนให้ตรงตามความต้องการของตลาดแรงงานในปัจจุบัน โดยพัฒนาหลักสูตรให้มีความทันสมัย เพื่อให้ก้าวทันต่อความเจริญก้าวหน้าของเทคโนโลยีของโลกที่พัฒนาไปอย่างรวดเร็วและต่อเนื่อง

นับเป็นโอกาสที่ดีในปีนี้มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ได้มีโอกาสร่วมมือกับและสถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ สมาคมวิชาการไฟฟ้า อิเล็กทรอนิกส์ คอมพิวเตอร์ โทรคมนาคมและสารสนเทศ (ECTI) ร่วมกันจัดการประชุมวิชาการงานวิจัยและพัฒนาเชิงประยุกต์ หรือ ECTI-CARD 2016 ซึ่งในปีนี้จัดขึ้นเป็นครั้งที่ 8 ภายใต้หัวข้อ “การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีอย่างชาญฉลาดเพื่อตอบสนองภาคอุตสาหกรรมสมัยใหม่อย่างยั่งยืน” ณ โรงแรมหัวหินแกรนด์ โฮเทล แอนด์ พลาซ่า จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ ระหว่างวันที่ 27-29 กรกฎาคม พ.ศ.2559 ดังนั้นจึงเป็นโอกาสที่ดีที่ทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนความรู้ นวัตกรรม และงานวิจัยเชิงประยุกต์ระหว่างนักวิจัย อาจารย์ นักศึกษาในสถาบันการศึกษาชั้นนำทั่วประเทศกับภาคอุตสาหกรรมสมัยใหม่ ซึ่งจะก่อให้เกิดองค์ความรู้และนวัตกรรมใหม่ๆที่สามารถนำไปสู่การพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมของประเทศไทยได้

ในนามของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ขอขอบคุณกรรมการในทุกหน่วยงานที่เกี่ยวข้องทุกท่านที่ทุ่มเทกำลังกายกำลังใจเพื่อให้การประชุมวิชาการงานวิจัยและพัฒนาเชิงประยุกต์ หรือ ECTI-CARD 2016 สามารถดำเนินการไปได้ตามวัตถุประสงค์ และสุดท้ายขออวยพรให้การประชุมวิชาการครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีบรรลุผลสำเร็จดังเจตนารมณ์ที่มุ่งหวังไว้ทุกประการ และมีนวัตกรรมงานวิจัยเชิงประยุกต์ที่มีประโยชน์นำไปสู่การพัฒนาความเจริญก้าวหน้าทางวิชาการ การพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมของประเทศไทยได้อย่างต่อเนื่องสืบไป

รองศาสตราจารย์ สุภัทรา โกไศยกานนท์

**อธิการบดีมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร**

# นายกสมาคม

**สมาคม ECTI**

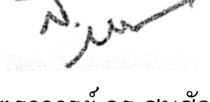
สมาคมวิชาการไฟฟ้า อิเล็กทรอนิกส์ คอมพิวเตอร์ โทรคมนาคม และสารสนเทศ (Electrical Engineering/ Electronics, Computer, Telecommunications, and Information Technology Association) ซึ่งเรียกย่อๆว่า ECTI Association หรือ สมาคมอีซีทีไอ จัดตั้งขึ้นโดยมีจุดประสงค์เพื่อส่งเสริมความก้าวหน้าด้านวิชาการในประเทศไทยในสาขาวิชาวิศวกรรมศาสตร์ และเทคโนโลยีด้านไฟฟ้า อิเล็กทรอนิกส์ คอมพิวเตอร์ โทรคมนาคมและสารสนเทศ และเป็นแหล่งรวมข้อมูลความรู้ของงานประชุมวิชาการต่างๆ ที่จัดขึ้นภายในประเทศให้สามารถค้นหาข้อมูลบทความในสาขาที่เกี่ยวข้องได้อย่างสะดวก และสามารถนำไปใช้ในการวิจัยต่อๆ ไปได้ โดยสมาคมฯได้จดทะเบียนเมื่อวันที่ 26 กรกฎาคม 2545 ในการจัดตั้งสมาคมฯ นั้น ตั้งใจว่าจะพยายามให้คล้ายกับ IEEE หรือ IEICE (ของประเทศญี่ปุ่น). กิจกรรมหลักๆจะมี การออกวารสารวิชาการ (ซึ่งมีสองฉบับ คือECTI Transactions on Electrical Engineering, Electronics and Communications, ECTI-EEC และ ECTI Transactions on Computers and Information Technology, ECTI-CIT) โดยตีพิมพ์บทความวิจัย และบทความประเมินเป็นภาษาอังกฤษ ดำเนินการจัดประชุมวิชาการระดับชาติ และระดับนานาชาติ การอบรมทางวิชาการ และการจัดบรรยายพิเศษ เป็นต้น

ตลอดระยะเวลา 15 ปีที่ผ่านมา สมาคมอีซีทีไอ ได้ดำเนินการจัดประชุมทางวิชาการทั้งในระดับ นานาชาติและระดับชาติ มาอย่างสม่ำเสมอ การประชุมทางวิชาการของสมาคมฯเองในระดับนานาชาตินั้น ชื่อ ECTI-CON จัดขึ้นครั้งแรก เมื่อปี พ.ศ. 2547 ส่วน ECTI-CARD เป็นการประชุมระดับชาติ ได้จัดขึ้นครั้งแรกเมื่อปี พ.ศ. 2552 ในแต่ละครั้งของการประชุม สถานที่จัดก็จะหมุนเวียนไปตามจังหวัดต่าง ๆ ทุกภูมิภาคของประเทศ

ECTI-CARD เป็นการประชุมทางวิชาการที่เน้นการวิจัยและพัฒนาเชิงประยุกต์ ในด้านต่าง ๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในด้านเกษตรกรรม อุตสาหกรรม และการศึกษา อันส่งผลโดยตรงต่อการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมของประเทศไทย โดยผลงานที่นำเสนอจะได้รับการคัดกรองจากผู้ทรงคุณวุฒิอย่างเข้มข้น นอกจากนี้คณะกรรมการจัดการประชุมยังได้คัดเลือกบทความรับเชิญที่น่าสนใจอีกจำนวนหนึ่งมานำเสนอในการประชุมอีกด้วย การประชุม ครั้งที่ 8 หรือ ECTI-CARD 2016 เป็นการจัดร่วมกัน ระหว่างสมาคมฯ กับคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร และสถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ โดยกำหนดให้จัดขึ้นระหว่างวันที่ 27-29 กรกฎาคม 2559 ณ โรงแรม หัวหิน แกรนด์ โฮเทล แอนด์ พลาซ่า จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ ภายใต้หัวเรื่อง "การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีอย่างชาญฉลาดเพื่อตอบสนองภาคอุตสาหกรรมสมัยใหม่อย่างยั่งยืน" ซึ่งเป็นที่แน่นอนว่าระดับของเทคโนโลยีในปีปัจจุบันนั้นได้ก้าวหน้าไปมาก เมื่อเทียบกับปีก่อนเก่า การใช้เทคโนโลยีอย่างเหมาะสมนั้นจึงเป็นเรื่องจำเป็นสำหรับประเทศไทย ซึ่งก็เป็นหนึ่งสมาชิกใน ประชาคมเศรษฐกิจอาเซียน (เออีซี)

ในฐานะนายกสมาคมอีซีทีไอ จึงหวังเป็นอย่างยิ่งว่า ผู้เข้าร่วมประชุมจะได้รับประโยชน์อย่างสูงสุด และสามารถนำความรู้ไปพัฒนาต่อยอดงานวิจัยและพัฒนาได้เป็นอย่างดี ตลอดจนได้พบปะนักวิชาการ นักวิจัยและพัฒนา สามารถสร้างเครือข่ายการทำงานในอนาคตได้ อันจะส่งผลต่อการพัฒนาประเทศในภาพรวมต่อไป

ท้ายที่สุด สมาคมฯ ขอขอบพระคุณอย่างสูงแก่ผู้บริหารของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ผู้บริหารของสถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ คณะกรรมการจัดงานทุกฝ่าย ผู้ทรงคุณวุฒิ คณาจารย์ เจ้าหน้าที่ และนักศึกษาที่มีส่วนร่วมทุกท่าน ในการจัดการประชุมวิชาการครั้งนี้



รองศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ ชุมช่วย

**นายกสมาคม ECTI**

# Conference Organizer

# คณะกรรมการอำนวยการประชุมวิชาการ ECTI-CARD 2016

| | | |
|---|---|---|
| รองศาสตราจารย์สุภัทรา | โกไศยกานนท์ | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร |
| รองศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ | ชุมช่วย | สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง |
| ศาสตราจารย์ ดร.ประยุทธ | อัครเอกฒาลิน | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ |
| ศาสตราจารย์ ดร.โกสินทร์ | จำนงไทย | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี |
| ศาสตราจารย์ ดร.ประภาส | จงสถิตวัฒนา | จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย |
| ดร.ประยูร | เชี่ยววัฒนา | สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ |
| ผู้ช่วยศาสตราจารย์วิโรจน์ | ฤทธิ์ทอง | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร |

# คณะกรรมการดำเนินการประชุมวิชาการ ECTI-CARD 2016

| | | |
|---|---|---|
| ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐพงศ์ | พันธุนะ | ประธานกรรมการ |
| ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปฏิภาณ | ถิ่นพระบาท | กรรมการ |
| ผู้ช่วยศาสตราจารย์กมลทิพย์ | วัฒกีกำธร | กรรมการ |
| ผู้ช่วยศาสตราจารย์สมเกียรติ | ทองแก้ว | กรรมการ |
| ผู้ช่วยศาสตราจารย์สิทธิศักดิ์ | วรดิษฐ์ | กรรมการ |
| ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นัฐโชติ | รักไทยเจริญชีพ | กรรมการ |
| ผู้ช่วยศาสตราจารย์มนัส | บุญเทียรทอง | กรรมการ |
| ผู้ช่วยศาสตราจารย์พูนศรี | วรรณการ | กรรมการ |
| ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สาคร | วุฒิพัฒนพันธุ์ | กรรมการ |
| ผู้ช่วยศาสตราจารย์จตุรงค์ | จตุรเชิดชัยสกุล | กรรมการ |
| ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พนา | ดุสิตากร | กรรมการ |
| ผู้ช่วยศาสตราจารย์โกศล | นิธิโสภา | กรรมการ |
| ผู้ช่วยศาสตราจารย์กิจจา | ลักษณ์อำนวยพร | กรรมการ |
| ผู้ช่วยศาสตราจารย์ทง | ลานธารทอง | กรรมการ |
| ผู้ช่วยศาสตราจารย์อรุณ | ชลังสุทธิ์ | กรรมการ |
| ผู้ช่วยศาสตราจารย์ศุภวุฒิ | เนตรโพธิ์แก้ว | กรรมการ |
| ผู้ช่วยศาสตราจารย์พิชญ | ดาราพงษ์ | กรรมการ |
| เรืออากาศตรี ดร.พลกฤษณ์ | จริยตันติเวทย์ | กรรมการ |

# คณะกรรมการดำเนินการประชุมวิชาการ ECTI-CARD 2016 (ต่อ)

| | | |
|---|---|---|
| อาจารย์ ดร.สุรเชษฐ | เดชฟุ้ง | กรรมการ |
| อาจารย์ ดร.วรินทร์ | สุดคนึง | กรรมการ |
| อาจารย์ ดร.ฉัตรแก้ว | จริยตันติเวทย์ | กรรมการ |
| อาจารย์ ดร.พสิษฐ์ | สุวรรณภิงคาร | กรรมการ |
| อาจารย์ เลอพงษ์ | พิศนุย | กรรมการ |
| อาจารย์ กมลพรรณ | จารุวาระกูล | กรรมการ |
| อาจารย์ กร | พวงนาค | กรรมการ |
| อาจารย์ คชพงศ์ | สุมานนท์ | กรรมการ |
| อาจารย์ ธนะกิจ | วัฒกีกำธร | กรรมการ |
| อาจารย์ นพกฤศณ์ | คำน้อย | กรรมการ |
| อาจารย์ นิลมิต | นิลาศ | กรรมการ |
| อาจารย์ พิพัฒน์พล | ลาภอมรภิญโญ | กรรมการ |
| อาจารย์ มนต์ชัย | นรเศรษฐ์สิงห์ | กรรมการ |
| อาจารย์ วณพันธ์ | วัยวุฒิ | กรรมการ |
| อาจารย์ วัลภา | ภุมมะระ | กรรมการ |
| อาจารย์ สุรสิทธิ์ | ประกอบกิจ | กรรมการ |
| อาจารย์ อดิศักดิ์ | วิริยกรรม | กรรมการ |
| อาจารย์ อรรถพล | ช่วยค้ำชู | กรรมการ |
| อาจารย์ อัญชลี | มโนสืบ | กรรมการ |
| อาจารย์ อานนท์ | สิงห์เสถียร | กรรมการ |
| รต.ชลิต | คุ้มทวี | กรรมการ |
| ดร.ชัยวัฒน์ | เจษฎาจินต์ | กรรมการ |
| ดร.กนกวรรณ | นนทพจน์ | กรรมการ |
| ดร.ศริญญา | ปะสะกวี | กรรมการ |
| ดร.ชัชวาล | คุรุภากรณ์ | กรรมการ |
| ดร.มณฑล | หอมกลิ่นเทียน | กรรมการ |
| ดร.ปิยพัฒน์ | พูลทอง | กรรมการ |

# คณะกรรมการดำเนินการประชุมวิชาการ ECTI-CARD 2016 (ต่อ)

| | | |
|---|---|---|
| ดร.ทยาทิพย์ | ทองตัน | กรรมการ |
| นางเนตรนพิศ | คุ้มทุกทิศ | กรรมการ |
| นส.จุฑารัตน์ | ทานะรมณ์ | กรรมการ |
| นายกองศักดิ์ | ทองบุญ | กรรมการ |
| นายอดิเทพ | จ่างอ่อน | กรรมการ |
| นางเยาวเรศ | พิมสุทธิ์ | กรรมการ |
| นส.พัชรินทร์ | มูลมิรัตน์ | กรรมการ |
| นายเทพบดินทร์ | บริรักศ์อราวินท์ | กรรมการ |
| นายสุรเชษฐ | เพิ่มฉลาด | กรรมการ |
| นายสิทธิศักดิ์ | พิมสุทธิ์ | กรรมการ |
| นายดนัย | ภัทรกิจกุล | กรรมการ |
| อาจารย์ มัณฑนา | เตี๋ยวงษ์สุวรรณ์ | กรรมการและเลขานุการ |

# รายนามผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาบทความ

| | | |
|---|---|---|
| Dr.Weerawat | Khawsuk | Chulachomklao Royal Military Academy |
| Dr.Uthane | Supatti | Kasetsart Uniiversity Si Racha Cumpus |
| Assoc.Prof.Ekachai | Phaisangittisagul | Kasetsart University |
| Dr.Parichat | Sermwuthisarn | Kasetsart University |
| Assoc.Prof.Anan | Phonphoem | Kasetsart University |
| Dr.Winai | Jaikla | King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang |
| Assoc.Prof.Dr.Naruemon | Wattanapongsakorn | King Mongkut's University of Tecgnology Thonburi |
| Assist.Prof.Dr.Gridaphat | Siharee | King Mongkut's University of Tecgnology Thonburi |
| Dr.Roongrojana | Songprakorp | King Mongkut's University of Tecgnology Thonburi |
| Assoc.Prof.Gridaphat | Sriharee | King Mongkut's University of Technology North Bangkok |
| Assoc.Prof.Titipong | Lertwiriyaprapa | King Mongkut's University of Technology North Bangkok |
| Dr.Luepol | Pipanmaekaporn | King Mongkut's University of Technology North Bangkok |
| Dr.Tanapat | AnusasAmornkul | King Mongkut's University of Technology North Bangkok |
| Dr.Vitawat | Sittakul | King Mongkut's University of Technology North Bangkok |
| Dr.Chatchai | Khunboa | Kon Kean University |
| Dr.Nararat | Ruangchaijatupon | Kon Kean University |
| Dr.Bancha | Luadang | National Electronics and Computer Technology Center |
| Dr.Chalermpol | Charnsripinyo | National Electronics and Computer Technology Center |
| Dr.Chaiwat | Jassadajin | National Institute of Metrology Thailand |
| Dr.Chatchaval | Kurupakorn | National Institute of Metrology Thailand |
| Dr.Sarinya | Pasakawee | National Institute of Metrology Thailand |
| Dr.Piyaphat | Phoonthong | National Institute of Metrology Thailand |
| Dr.Thayathip | Thongtan | National Institute of Metrology Thailand |
| Mrs.Natenapit | Khumthukthit | National Institute of Metrology Thailand |
| Mr.Thepbodin | BarirakArawin | National Institute of Metrology Thailand |
| Assoc.Prof.Seumsak | Douangsyla | National University of Laos |
| Assoc.Prof.Sinchai | Kamolphiwong | Prince of Songkhla University |

# รายนามผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาบทความ

| | | |
|---|---|---|
| Assist.Prof.Nikom | Suvonvorn | Prince of Songkhla University |
| Assist.Prof.sakuna | Charoenpanyasak | Prince of Songkhla University |
| Dr.Nopporn | Patcharaprakiti | Rajamangala University of Technology Lanna Chiang Rai |
| Dr.Suwan | Janin | Rajamangala University of Technology Lanna Lampang |
| Dr.Jukkrit | Kluabwang | Rajamangala University of Technology Lanna Tak |
| Asst.Prof.DrSubongkoj | Topaiboul | Rajamangala University of Technology Lanna, Chiang Mai |
| Assist.Prof.Teerayoot | Boonnak | Rajamangala University of Technology Lanna, Chiang Mai |
| Dr.Pollakrit | ToonKum | Rajamangala University of Technology Lanna, Chiang Mai |
| Mr.Phichit | Thananchai | Rajamangala University of Technology Lanna, Chiang Mai |
| Assist.Prof.Dr.Nattapong | Phanthuna | Rajamangala University of Technology Phra Nakhon |
| Dr.Pasist | Suwanapingkarl | Rajamangala University of Technology Phra Nakhon |
| Mr.Korn | Poungnak | Rajamangala University of Technology Phra Nakhon |
| Mr.Arnon | Singhasathein | Rajamangala University of Technology Phra Nakhon |
| Mr.Thanakit | Wattakeekamthorn | Rajamangala University of Technology Phra Nakhon |
| Ms.Anchalee | Manosuab | Rajamangala University of Technology Phra Nakhon |
| Ms.Manthana | Tiawongsuwan | Rajamangala University of Technology Phra Nakhon |
| Assist.Prof.Chaiwat | Sakul | Rajamangala University of Technology Srivijaya |
| Assist.Prof.Pituk | Bunnoon | Rajamangala University of Technology Srivijaya |
| yutthana | Kanthaphayao | Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi |
| Sirichai | Dangeam | Rajamangala University of Technology Thanyaburi |
| Assist.Prof.Nathabhat | Phankong | Rajamangala University of Technology Thanyaburi |
| Assist.Prof.Boonyang | Plangklang | Rajamangala University of Technology Thanyaburi |
| Assist.Prof.Dr.DuangArthit | Srimoon | Rangsit University |
| Dr.Sopon | Phumeechanya | Silpakorn University |
| Asst.Prof.DrSommart | Khamkleang | Songkhla Rajabhat University |
| Assoc.Prof.Suranan | Noimanee | Srinakharinwirot University |
| Dr.Kampol | Woradit | Srinakharinwirot University |

# รายนามผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาบทความ

| | | |
|---|---|---|
| Assoc.Prof.Suranan | Noimanee | Srinakharinwirot University |
| Assoc.Prof.Dr.Peerapong | Uthansakul | Suranaree University of Technology |
| Assist.Prof.Dr.Rangsan | Tongta | Suranaree University of Technology |
| Assist.Prof.Dr.Monthippa | Uthansakul | Suranaree University of Technology |
| Assoc.Prof.Dr.Chanchai | Thongsopa | Suranaree University of Technology |
| Dr.Paramate | Horkaew | Suranaree University of Technology |
| Assoc.Prof.Dr.Rangsan | Wongsan | Suranaree University of Technology |
| Assist.Prof.Dr.Kongpol | Areerak | Suranaree University of Technology |
| Assist.Prof.Dr.Kongpan | Areerak | Suranaree University of Technology |
| Dr.Jitimon | Angskun | Suranaree University of Technology |
| Assist.Prof.Dr.Pornsiri | Jongkol | Suranaree University of Technology |
| Dr.Sudarat | Khwanon | Suranaree University of Technology |
| Assist.Prof.Chawasak | Rakpenthai | University of Phayao |
| Dr.Thunyawat | Limpiti | Walailak University |
| Dr.Ajalawit | Chantaveerod | Walailak University |
| Dr.Jirarat | Sitthiworachart | Walailak University |
| Dr.Jidtima | Sunkhamani | Walailak University |

# สรุปจำนวนบทความที่ส่งเข้าร่วมการประชุมวิชาการ ECTI-CARD2016

| | | |
|---|---|---|
| **จำนวนบทความที่ส่งเข้าร่วมฯมีทั้งสิ้น** | **207** | **บทความ** |
| ผ่านการพิจารณา | 191 | บทความ |
| นำเสนอแบบบรรยาย | 175 | บทความ |
| นำเสนอแบบโปสเตอร์ | 16 | บทความ |
| ไม่ผ่านการพิจารณา | 16 | บทความ |

# สรุปจำนวนบทความที่ผ่านการพิจารณา

| | | |
|---|---|---|
| กลุ่มที่ 1 : เกษตรกรรม อุตสาหกรรมเกษตร | 13 | บทความ |
| กลุ่มที่ 2 : เทคโนโลยีชีวภาพ การแพทย์ วิทยาศาสตร์กายภาพ วิทยาศาสตร์การกีฬา | 9 | บทความ |
| กลุ่มที่ 3 : การประหยัดพลังงาน การจัดการพลังงานบ้านอัตโนมัติ | 14 | บทความ |
| กลุ่มที่ 4 : การเรียนการสอนทางไกล การศึกษาบันเทิงคอมพิวเตอร์แอนิเมชัน | 12 | บทความ |
| กลุ่มที่ 5 : การกู้ภัย ระบบเตือนภัย และพยากรณ์ | 7 | บทความ |
| กลุ่มที่ 6 : การสื่อสาร การสนับสนุนผู้ใช้ตามบ้านเครือข่ายสังคม เครือข่ายไร้สาย | 45 | บทความ |
| กลุ่มที่ 7 : การขนส่ง การควบคุมจราจร การจัดการอุตสาหกรรม | 5 | บทความ |
| กลุ่มที่ 8 : ธุรกิจการธนาคาร การท่องเที่ยว และการโรงแรม | 2 | บทความ |
| กลุ่มที่ 9 : ระบบความปลอดภัย การควบคุมการเข้าถึงการยืนยันตัวตนฯ | 21 | บทความ |
| กลุ่มที่ 10 : มาตรวิทยา การวัดและควบคุม | 14 | บทความ |
| กลุ่มที่ 11 : หัวข้ออื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง | 49 | บทความ |
| **รวม** | **191** | **บทความ** |

# สรุปจำนวนบทความที่ผ่านการพิจารณาแยกตามหน่วยงาน

| | | |
|---|---|---|
| Bangkok University | 3 | บทความ |
| Chiangrai Rajabhat University | 7 | บทความ |
| Chulalongkorn University | 1 | บทความ |
| Dhurakij Pundit University | 6 | บทความ |
| Expressway Authority of Thailand | 2 | บทความ |
| Kasembundit University | 1 | บทความ |
| Kasetsart University | 9 | บทความ |
| Khon Kaen University | 3 | บทความ |
| King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang | 14 | บทความ |
| King Mongkut's University of Technology North Bangkok | 10 | บทความ |
| Maejo University | 1 | บทความ |
| Mahanakorn University of technology | 4 | บทความ |
| Mahidol University | 3 | บทความ |
| Nakhon Phanom University | 1 | บทความ |
| Nakhon Si Thammarat Rajabhat University | 3 | บทความ |
| Naresuan University | 2 | บทความ |
| National Institute of Metrology Thailand | 10 | บทความ |
| NECTEC | 1 | บทความ |
| North-Chiang Mai University | 1 | บทความ |
| Phetchaburi Rajabhat University | 2 | บทความ |
| Phranakhon Rajabhat University | 1 | บทความ |
| Prince of Songkla University | 9 | บทความ |
| Rajabhat Maha Sarakham University | 1 | บทความ |
| Rajamangala university of Technology Isan | 7 | บทความ |
| Rajamangala University of Technology Lanna | 11 | บทความ |
| Rajamangala University of Technology Phra Nakhon | 21 | บทความ |
| Rajamangala University of Technology Rattanakosin | 1 | บทความ |
| Rajamangala University of Technology Srivijaya | 8 | บทความ |

# สรุปจำนวนบทความที่ผ่านการพิจารณาแยกตามหน่วยงาน (ต่อ)

| | | |
|---|---|---|
| Rajamangala University of Technology Thanyaburi | 17 | บทความ |
| Ramkhamhaeng University | 1 | บทความ |
| Rangsit University | 7 | บทความ |
| Siam University | 2 | บทความ |
| Silpakorn | 1 | บทความ |
| Songkhla Rajabhat University | 2 | บทความ |
| Sripatum University | 2 | บทความ |
| Sukhothai Thammathirat Open University | 1 | บทความ |
| Suranaree University of Technology | 1 | บทความ |
| thaksin | 1 | บทความ |
| Thammasat University | 1 | บทความ |
| Thepsatri Rajabhat University | 3 | บทความ |
| Udon Thani Rajabhat University | 8 | บทความ |
| Walailak University | 1 | บทความ |
| **รวม** | **191** | **บทความ** |

กำหนดการประชุมวิชาการงานวิจัยและพัฒนาเชิงประยุกต์ ครั้งที่ ๘ หรือ ECTI-CARD 2016

"การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีอย่างชาญฉลาดเพื่อตอบสนองภาคอุตสาหกรรมสมัยใหม่อย่างยั่งยืน"

| วันพุธที่ 27 กรกฎาคม พ.ศ.2559 | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 8:00-8:45 น. | ลงทะเบียนเข้าร่วมงาน ECTI-CARD 2016 | | | |
| ห้องสัมมนา | หัวหินบอลรูม1 | เขาตะเกียบ | บ่อแก้ว | เขาเต่า |
| 8:45-10:15 | Medical Application | Programming & Robot | Wireless Network | Antenna Tech#1 |
| Session1 | ID 1029 1051 1106 1196 1207 | ID 1031 1125 1144 1154 1182 | ID 1044 1086 1116 1167 1193 | ID 1158 1165 1192 1213 1214 |
| ประธาน | ผศ.ดร.ประมุข อุณหเลขกะ | ผศ.วิเชษฐ ทิพย์ประเสริฐ | ผศ.ดร.ชัยวัฒน์ สากุล | ดร.กนกวรรณ นนทพจน์ |
| สังกัด | (RMUTSB) | (RMUTL เชียงราย) | (RMUTSV) | (มว.) |
| รองประธาน | ดร.ชัยวัฒน์ เจษฎาจินต์ | อาจารย์ชลิดา อุดมรักษาสกุล | ดร.ศริญญา ปะสะวี | ดร.ชัชวาล คูรุภากรณ์ |
| 10.15-10.30 น. | พักรับประทานอาหารว่าง | | | |
| ห้องสัมมนา | บอลรูม1 | เขาตะเกียบ | บ่อแก้ว | เขาเต่า |
| 10:30-12:00 น. | Sensor Technology | Animation & Robot | DSP & Application | Antenna Tech#2 |
| Session2 | ID 1066 1156 1177 1184 1185 1191 | ID 1046 1083 1084 1085 1089 1208 | ID 1057 1064 1076 1180 1199 | ID 1020 1021 1075 1077 1092 1170 |
| ประธาน | อาจารย์สัญญา อุทธโยธา | อาจารย์ชลากร อุดมรักษาสกุล | ดร.สุรเชษฐ เดชฟุ้ง | รศ.ดร.กฤษณ์ชนม์ ภูมิกิตติพิชญ์ |
| สังกัด | (RMUTL) | (RMUTSV) | (RMUTP) | (RMUTT) |
| รองประธาน | อาจารย์สุรสิทธิ์ ประกอบกิจ | อาจารย์ชลิดา อุดมรักษาสกุล | ดร.ศริญญา ปะสะวี | ดร.ชัชวาล คูรุภากรณ์ |
| พักรับประทานอาหารกลางวัน | | | | |

| วันพุธที่ 27 กรกฎาคม พ.ศ.2559 | | | | |
|---|---|---|---|---|
| ห้องสัมมนา | บอลรูม1 | เขาตะเกียบ | บ่อแก้ว | เขาเต่า |
| 13:00-14:30 น. | Control Systems | Energy Management#1 | Image Processing | Web Application |
| Session3 | ID 1006 1007 1014 1023 1147 1205 | ID 1041 1068 1120 1148 1171 1181 | ID 1096 1114 1121 1123 1149 1211 | ID 1062 1063 1073 1198 1206 1243 |
| ประธาน | ผศ.ดร.บุญยัง ปลั่งกลาง | รศ.ดร.ยุทธนา ขำสุวรรณ์ | อาจารย์นเรศ ขวัญทอง | ดร.สาธิต โอวาทชัยพงศ์ |
| สังกัด | (RMUTT) | (CMU) | (RMUTSV) | (KMUTNB) |
| รองประธาน | ดร.มณฑล หอมกลิ่นเทียน | ดร.ปิยพัฒน์ พูลทอง | อาจารย์สิทธิชัย เด่นตรี | ดร.บัญชา เหลือแดง |
| 14:30-14:45 น. | พักรับประทานอาหารว่าง 15 นาที | | | |
| ห้องสัมมนา | บอลรูม1 | เขาตะเกียบ | บ่อแก้ว | เขาเต่า |
| 14:45-16:15 น. | Non-Destructive Inspection & Analysis | Energy Management#2 | Special DSI | Monitoring System |
| Session4 | ID 1002 1049 1122 1152 1153 1215 | ID 1055 1107 1129 1137 1142 1157 | ID 1237, 1238, 1241 | ID 1004 1026 1027 1072 1126 1132 |
| ประธาน | ดร.พสิษฐ์ สุวรรณภิงคาร | ดร.ชัยวัฒน์ เจษฎาจินต์ | ผศ.ดร.เกริก ภิรมย์โสภา | อาจารย์วิโรจน์ พิราจเนนชัย |
| สังกัด | (RMUTP) | (มว.) | (CU) | (RMUTT) |
| รองประธาน | ดร.มณฑล หอมกลิ่นเทียน | ดร.ปิยพัฒน์ พูลทอง | ดร.ฉัตรแก้ว จริยตันติเวทย์ | ดร.บัญชา เหลือแดง |
| 16:15-18:00 น. | Free Discussion | | | |
| 18:00-20:00 น. | งานเลี้ยงต้อนรับ Welcome Party | | | |

| วันพฤหัสบดีที่ 28 กรกฎาคม พ.ศ.2559 | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 7:30-8:00 น. | ลงทะเบียนเข้าร่วมงาน ECTI-CARD 2016 | | | |
| 8:00-9.00 น. | พิธีเปิด ECTI-CARD 2016 ณ ห้องแกรนด์บอลลูม โดย รศ.สุภัทรา โกศัยกานนท์ อธิการบดีมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร | | | |
| 9.00-10.00 น. | บรรยายพิเศษ (Keynote Speaker) : คุณอัจฉรา เจริญสุข (รองผู้อำนวยการสถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ) | | | |
| 10.00-10.10 น. | พักรับประทานอาหารว่าง 10 นาที | | | |
| 10.10-11.10 น. | บรรยายพิเศษ (Keynote Speaker) : ดร.ศักดา พรรณไวย (ผู้แทนผู้ว่าการการทางพิเศษแห่งประเทศไทย) | | | |
| 11.10-12.10 น. | บรรยายพิเศษ (Keynote Speaker) : ผศ.ดร.ยศชนัน วงศ์สวัสดิ์ (Dept. of Biomedical Engineering, Mahidol University) | | | |
| 12:10-13:00 น. | พักรับประทานอาหารกลางวัน | | | |
| ห้องสัมมนา | ห้องหัวหิน ชั้น 2 | เขาตะเกียบ | บ่อแก้ว | เขาเต่า |
| 13:00-14:30 น. | WORKSHOP | Technology Applications#1 | Intelligent Computing System#1 | Wireless Communication |
| Session5 | - บรรยายหัวข้อ "ความสำคัญของมาตร | ID 1052 1069 1101 1130 1150 1169 | ID 1079 1155 1218 1227 1230 | ID 1038 1100 1102 1117 1159 1195 |
| ประธาน | วิทยา กับการวิจัย" โดย รต.ชลิต คุ้มทวี | อาจารย์เกรียงไกร เหลืองอำพล | ผศ.ดร.วุฒิชัย สง่างาม | รศ.ดร.อนันต์ ผลเพิ่ม |
| สังกัด | - บริการสอบเทียบ DMM ฟรีพร้อมใบ | (RMUTP) | (RMUTI) | (KU) |
| รองประธาน | รายงานผลการสอบเทียบแก่ | ดร.ทยาทิพย์ ทองตัน | อาจารย์พิพัฒน์พล ลาภอมรภิญโญ | อาจารย์ธนะกิจ วัฒกีกำธร |
| 14:30-14:45 น. | - Resolution < 5.5 digits | พักรับประทานอาหารว่าง 15 นาที | | |
| ห้องสัมมนา | - Volt Ohm Amps Function | เขาตะเกียบ | บ่อแก้ว | เขาเต่า |
| 14:45-16:15 น. | - Calibration Report | Technology Applications#2 | Intelligent Computing System#2 | Communication Technology |
| Session6 | - Measuretronix Seminar & Workshop | ID 1025 1028 1065 1124 1161 1212 | ID 1010 1067 1151 1189 1228 1229 | ID 1018 1043 1099 1112 1115 1136 |
| ประธาน | - Poster presentation | ผศ.ดร.กฤษดา ยิ่งขยัน | ผศ.ดร.สาคร วุฒิพัฒนพันธุ์ | รศ.ดร.อภิรักษ์ จันทร์สร้าง |
| สังกัด | - มอบรางวัล Poster | (RMUTL) | (RMUTP) | (KU) |
| รองประธาน | | ดร.ทยาทิพย์ ทองตัน | อาจารย์พิพัฒน์พล ลาภอมรภิญโญ | อาจารย์ธนะกิจ วัฒกีกำธร |
| 16:15-18:00 น. | Free Discussion | | | |
| 18:00-22:00 น. | งานเลี้ยงรับรอง (Banquet) การประกาศผลรางวัลบทความดีเด่น | | | |

| วันศุกร์ที่ 29 กรกฎาคม พ.ศ.2559 | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 8:00-8:45 น. | ลงทะเบียนเข้าร่วมงาน ECTI-CARD 2016 | | | |
| ห้องสัมมนา | บอลลูม1 | เขาตะเกียบ | บ่อแก้ว | เขาเต่า |
| 8:45-10:15 น. | Metrology & Automation | Signal Conditioning | Automatic Systems for Agriculture | Information Technology & App |
| Session7 | ID 1094 1109 1138 1222 1225 1226 | ID 1013 1074 1131 1146 1188 1217 | ID 1034 1098 1163 1175 1194 1219 | ID 1022 1033 1054 1103 1104 1183 |
| ประธาน | ผศ.ดร.อุเทน คำน่าน | ผศ.สมเกียรติ ทองแก้ว | ผศ.ดร.ยุทธนา กันทะพะเยา | ดร.วรินทร์ สุดคนึง |
| สังกัด | (RMUTL) | (RMUTP) | (RMUTSB) | (RMUTP) |
| รองประธาน | ผศ.พูนศรี วรรณการ | อาจารย์ปิยะภัทร พ่วงศรี | อาจารย์อานนท์ สิงห์เสถียร | อาจารย์คชพงศ์ สุมานนท์ |
| 10.15-10.30 น. | พักรับประทานอาหารว่าง | | | |
| ห้องสัมมนา | บอลลูม1 | เขาตะเกียบ | บ่อแก้ว | เขาเต่า |
| 10:30-12:00 น. | Metrology & Control | Measurement & Circuit | Information Management | Motor & Induction Machine |
| Session8 | ID 1093 1095 1110 1113 1204 1247 | ID 1053 1087 1134 1141 1223 1224 | ID 1050 1080 1119 1143 1178 1190 | ID 1009 1082 1088 1216 1220 1221 |
| ประธาน | ดร.วิทวัส สิฏฐกุล | ผศ.ดร.นัฐโชติ รักไทยเจริญชีพ | รศ.ดร.กีรติ ชยะกุลคีรี | ผศ.วิภาวัลย์ นาคทรัพย์ |
| สังกัด | (KMUTNB) | (RMUTP) | (SPU) | (ม.สยาม) |
| รองประธาน | ผศ.พูนศรี วรรณการ | อาจารย์ปิยะภัทร พ่วงศรี | อาจารย์อานนท์ สิงห์เสถียร | อาจารย์คชพงศ์ สุมานนท์ |
| 12:00-13:00 น. | พักรับประทานอาหารกลางวัน | | | |
| 13:00-16:00 น. | Free Discussion | | | |
| 16:00-17:00 น. | ประชุมคณะกรรมการดำเนินงาน / ปิดงาน | | | |

# สารบัญ

| วันพุธที่ 27 กรกฎาคม พ.ศ.2559 | | SESSION 1 |
|---|---|---|
| **Medical Application**<br>**ห้อง บอลรูม1 ชั้น 2**<br>**ประธาน :** ผศ.ดร.ประมุข อุณหเลขกะ | | |
| 8:45 - 10:15 น. | | |
| **ID** | เรื่อง / ผู้แต่ง | หน้า |
| 1029 | **เครื่องอุ่นเลือดสำหรับการให้เลือดผู้ป่วยในห้องผ่าตัด**<br>เสนอ สะอาด, รุ่งลาวัลย์ ชูสวัสดิ์, ดรุณี ชายทอง | 1 |
| 1051 | **กล่องเปล่งเสียงฝึกสอนเด็กประถมวัยผู้บกพร่องทางการเห็นโดยใช้คีย์บอร์ดมาตรฐาน**<br>ยุพดี หัตถสิน, กฤติน ทิพย์สน, นุกูล ชูศรี, ทองคำ สมเพราะ | 5 |
| 1106 | **ระบบบันทึกและวิเคราะห์ผลการทดสอบสมรรถภาพทางกาย**<br>ธันยวุฒิ อักขระสมชีพ, อนันต์ ผลเพิ่ม, ชัยพร ใจแก้ว, อภิรักษ์ จันทร์สร้าง, ณัฐิกา เพ็งลี, นาทรพี ผลใหญ่, วิชาญ มะวิญธร | 9 |
| 1196 | **เครื่องวัดความดันโลหิตแบบไม่รุกล้ำโดยใช้วิธีออสซิลโลเมตริก**<br>ทัศวรรณ พุทธสกุล, กมลรัตน์ ปัตถานัง, มนัส สังวรศิลป์ | 13 |
| 1207 | **การออกแบบระบบควบคุมรถเข็นขึ้นบันไดอัตโนมัติโดยใช้ระบบสมองกลฝังตัว**<br>จักรี ศรีนนท์ฉัตร, จักรกฤษ อ่อนชื่นจิตร, วิเชียร อูปแก้ว | 17 |
| | พักรับประทานอาหารว่าง 10.15-10.30 น. | |

**วันพุธที่ 27 กรกฎาคม พ.ศ.2559** | **SESSION 2**

# Sensor Technology

**ห้อง บอลรูม1 ชั้น 2**

**ประธาน :** อาจารย์สัญญา อุทธโยธา

10:30 - 12:00 น.



| ID | เรื่อง / ผู้แต่ง | หน้า |
|---|---|---|
| **1066** | **ระบบควบคุมฟังก์ชัน Pitch Bend และ Vibrato ด้วยเซ็นเซอร์สัมผัสสำหรับเครื่องดนตรีคีย์บอร์ดชนิดลิ่มเปียโน**<br>นัทธพงศ์ วัฒนศิริ, นพสิทธิ์ อริยพสิษฐ์, สุรพันธุ์ เอื้อไพบูลย์, กสิน วิเชียรชม | 21 |
| **1156** | **ระบบตรวจสอบจำนวนสินค้าในเครื่องจำหน่ายสินค้าชนิดกระป๋องแบบอัตโนมัติผ่านอุปกรณ์เชื่อมต่ออินเตอร์เน็ต**<br>ธนาวุฒิ ธนวาณิชย์ , วรวุฒิ ทาคำมา, เสกสรรค์ วินยางค์กูล , อธิคม ศิริ, กมล บุญล้อม | 25 |
| **1177** | **การรู้จำพยัญชนะไทยสำหรับการติดต่อกับผู้ใช้ด้วยปากกาเสมือนโดยการประมวลผลภาพดิจิทัล**<br>จีราภา ทิพกรณ์, รัฐภูมิ วรานุสาสน์, สุรเดช จิตประไพกุลศาล, พนมขวัญ ริยะมงคล | 29 |
| **1184** | **การหาช่วงการทำงานที่เหมาะสมของแมกนีโตสตริคทีฟทรานสดิวเซอร์สำหรับการลดคราบตะกรันในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน**<br>ณัฏฐากร พุกสีแสง, วรวุฒิ บุญเป็ง, ศุภวัฒน์ คชประดิษฐ์, ดร. ธนเสฏฐ์ ทศดีกรพัฒน์,<br>รศ.ดร. ชาญชัย ทองโสภา | 33 |
| **1185** | **พัฒนาอุปกรณ์ช่วยเหลือผู้พิการทางสายตาโดยเทคนิคการตรวจจับความลึกจากแสงอินฟราเรดด้วยกล้องคิเนค**<br>สัญญา อุทธโยธา, พิชิต ทนันชัย, จักรี ตั้งตัว, ธีระยุทธ กุสม, ศิริพร จันทะวงค์ | 37 |
| **1191** | **คุณลักษณะเด่นสำหรับจำแนกท่าทางกิจกรรมตามปกติ**<br>ปฏิมากร จันทร์พริ้ม, ธีรพงษ์ ฉิมเพชร, ชลัช สัตยารักษ์, พรชัย พฤกษ์ภัทรานนต์ | 41 |
| | พักรับประทานอาหารกลางวัน 12:00 – 13:00 น. | |

| **วันพุธที่ 27 กรกฎาคม พ.ศ.2559** | | **SESSION 3** |
|---|---|---|
| **Control Systems**<br>**ห้อง บอลรูม1 ชั้น 2**<br>**ประธาน :** ผศ.ดร.บุญยัง ปลั่งกลาง | | |
| 13:00-14:30 น. | | |
| **ID** | เรื่อง / ผู้แต่ง | หน้า |
| **1006** | **การประเมินผลแบบจำลองเปรียบเทียบกับค่าจริงของจากแสงธรรมชาติ พื้นที่จังหวัดมหาสารคาม ประเทศไทย**<br>เนติวุฒิ บุรี, จักรกฤษณ์ จันทรศิริ, สิงห์ทอง พัฒนเศรษฐานนท์ | 45 |
| **1007** | **ระบบควบคุมแรงดันไฟฟ้าสำหรับกังหันน้ำผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์**<br>กีรดิษ สายพัทลุง, ธาตรี มามี, อรรถการ จันทร์ศศิธร, อุสาห์ บุญบำรุง | 49 |
| **1014** | **การศึกษาผลกระทบต่อประสิทธิภาพของระบบเทอร์โมอิเล็กทริกที่มีพลังงานความร้อนเหลือใช้จากระบบรางรวมรังสีอาทิตย์เป็นต้นกำลัง**<br>ศักดิ์ชัย เทพเอียด, อจลวิชญ์ ฉันทวีโรจน์, ธัญวัฒน์ ลิมปิติ | 53 |
| **1023** | **การจำลองกังหันลมในเวลาจริงด้วยโปรแกรมแลปวิว**<br>พงษ์ศิลป แก้วรัตนศรีโพธิ์, ชัชวาลย์ เยรบุตร | 57 |
| **1147** | **ระบบควบคุมการเคลื่อนไหวของหุ่นยนต์ด้วยวิธีควบคุมตำแหน่งโดยใช้โพเทนชิโอมิเตอร์**<br>กมล บุญล้อม, นันธชัย เต๋จาติ๊บ, อธิคม ศิริ, ธนาวุฒิ ธนวาณิชย์ | 61 |
| **1205** | **การออกแบบและสร้างระบบแฮปติกส์เพื่อควบคุมแขนกล**<br>ยุทธนา ปิติธีรภาพ, นันทชัย ทองแป้น, ชุตินันท์ เสาเงิน | 65 |
| | พักรับประทานอาหารว่าง 14:30-14:45 น. | |

**วันพุธที่ 27 กรกฎาคม พ.ศ.2559** **SESSION 4**

# Non-Destructive Inspection & Analysis

**ห้อง บอลรูม1 ชั้น 2**

**ประธาน :** ดร.พสิษฐ์ สุวรรณภิงคาร

14:45-16:15 น.



| ID | เรื่อง / ผู้แต่ง | หน้า |
|---|---|---|
| **1002** | **การวิเคราะห์ความผิดพร่องของขดลวดสเตเตอร์ลัดวงจรในมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส**<br>ภานี น้อยยิ่ง | 69 |
| **1049** | **การตรวจหาตำแหน่งสายโทรศัพท์ขาดด้วยหลักการวิเคราะห์ค่าความจุไฟฟ้า**<br>วิทยา ศรีกุล, ธรรมกร ครองไตรภพ, ประจวบ อินระวงศ์ | 73 |
| **1122** | **การทดสอบน้ำมันฉนวนหม้อแปลงไฟฟ้ากำลังเปรียบเทียบระหว่างกระบวนการตามมาตรฐาน IEC 60156**<br>วิเชษฐ ทิพย์ประเสริฐ, อรรถชัย อะทะถ้ำ, ปฏิทิน ประทีปสุวรรณ | 77 |
| **1152** | **Optical properties of Electrochromic smart material by $WO_3$**<br>สัญญา คูณขาว, อภิชฎา ทองรักษ์ | 81 |
| **1153** | **การวิเคราะห์ผลของระยะห่างระหว่างเสาบนเสาโมโนโพลสำหรับระบบส่งย่อย 115 กิโลโวลต์ ในระบบจำหน่ายไฟฟ้ากำลัง**<br>นคร อัมระนันท์, สมพร สิริสำราญนุกุล, อรรถ พยอมหอม | 85 |
| **1215** | **การวิเคราะห์ของการป้องกันฟ้าผ่าภายนอกอาคาร โดยเสาล่อฟ้าแบบแท่งแฟรงคลิน ด้วยวิธีทรงกลมกลิ้ง**<br>สมมาตร เลิศวนิชย์ทิพย์, สมพร สิริสำราญนุกุล | 89 |

| **วันพุธที่ 27 กรกฎาคม พ.ศ.2559** | | **SESSION 1** |
|---|---|---|
| **Programming & Robot**<br>**ห้อง เขาตะเกียบ ชั้น 1**<br>**ประธาน :** ผศ.วิเชษฐ ทิพย์ประเสริฐ | | |
| 8:45 - 10:15 น. | | |
| **ID** | เรื่อง / ผู้แต่ง | หน้า |
| **1031** | **โปรแกรมจำลองเครื่องดนตรีไทยบนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์**<br>นเรศ ขวัญทอง, ภูมินทร์ อินทร์แป้น, ศุภวัฒน์ อินทร์เกิด | 93 |
| **1125** | **เกมคำเชิญชวนแห่งโชคชะตา**<br>พิศณุ ชัยจิตวณิชกุล, ประสงค์ เกษแก้ว, วุฒิพงศ์ แสงทะมาตย์ | 97 |
| **1144** | **การวิจัยและพัฒนา นวัตกรรมของเล่นพื้นบ้านอัจฉริยะ เพื่อสร้างความรู้ด้วยตนเองเกี่ยวกับพลวัตรของระบบ**<br>เที่ยง เหมียดไธสง, ศิวาพร เหมียดไธสง, สราวุฒิ เชาวสกู | 101 |
| **1154** | **ระบบสนับสนุนการตัดสินใจการจัดกลุ่มนักเรียนศึกษาต่อแบบอัตโนมัติด้วยวิธีเคมีน**<br>ปิยสุดา ตันเลิศ, สุทธิกานต์ บ่อจักรพันธ์ | 105 |
| **1182** | **การนำสื่อคอมพิวเตอร์ช่วยสอนเรื่องพื้นฐานคอมพิวเตอร์เบื้องต้นมาใช้เป็นสื่อเสริมในการเรียนการสอน**<br>ศิวพร ถาวรวงศา | 109 |
| | พักรับประทานอาหารว่าง 10.15-10.30 น. | |

**วันพุธที่ 27 กรกฎาคม พ.ศ.2559** **SESSION 2**

# Animation & Robot

**ห้อง เขาตะเกียบ ชั้น 1**

**ประธาน :** อาจารย์ชลากร อุดมรักษาสกุล

10:30 - 12:00 น.



| ID | เรื่อง / ผู้แต่ง | หน้า |
|---|---|---|
| **1046** | **การพัฒนาสื่อแอนิเมชัน 2 มิติ สำหรับนักศึกษาสาขาวิชาพืชศาสตร์: เรื่องการเพาะปลูกยางพาราและการผลิตยางแผ่นดิบ**<br>สุมนา ปาธะรัตน์, ศวรรณรัศม์ อภัยพงค์, ศิรินันทร์ นาพอ | 113 |
| **1083** | **การสร้างพัฒนาหุ่นยนต์ไดมอนด์ เพื่อใช้ประชาสัมพันธ์มหาวิทยาลัยกรุงเทพ และคณะวิศวกรรมศาสตร์**<br>เกรียงไกร ทัศนวิภาส, ฐิติพร ขันทอง, พงศ์พัฒน์ เวชการ | 117 |
| **1084** | **การสร้างและพัฒนาแอพพลิเคชันเพื่อควบคุมและแสดงผลหุ่นยนต์ไดมอนด์ เพื่อใช้ประชาสัมพันธ์มหาวิทยาลัยกรุงเทพ และคณะวิศวกรรมศาสตร์**<br>เกรียงไกร ทัศนวิภาส, วรากร เสาะก่าน, อุมาพร มัทธุรศ, พรเพชร มาลัยนาค | 121 |
| **1085** | **แอนิเมชันกับโลกคณิตศาสตร์**<br>พรศิลป์ บัวงาม | 125 |
| **1089** | **การพัฒนาสื่อการ์ตูนแอนิเมชั่น วิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1**<br>ศิริพันธ์ เทพมาก | 129 |
| **1208** | **การออกแบบและพัฒนามือหุ่นยนต์โดยใช้ระบบควบคุมผ่านเซนเซอร์วัดความโค้ง**<br>จักรกฤษ อ่อนชื่นจิตร, วิเชียร อูปแก้ว, จักรี ศรีนนท์ฉัตร | 133 |
| | พักรับประทานอาหารกลางวัน 12:00 – 13:00 น. | |

**วันพุธที่ 27 กรกฎาคม พ.ศ.2559** **SESSION 3**

# Energy Management#1

**ห้อง เขาตะเกียบ ชั้น 1**

**ประธาน :** รศ.ดร.ยุทธนา ขำสุวรรณ์

13:00-14:30 น.

| ID | เรื่อง / ผู้แต่ง | หน้า |
|---|---|---|
| **1041** | **อุปกรณ์ควบคุมเครื่องใช้ไฟฟ้าด้วยเสียง ผ่านโปรแกรมบนเครื่องมือสื่อสารแอนดรอยด์**<br>สุรเชษฐ์ โทวราภา, ชโยดม ชื่นกมล, อภิสิทธิ์ อุคำ, คณิน อินธิสาร, ศศิชา สมบัตินิมิตร, สิระ สิรปวเรศ, สุฐิติ เทียนทอง, พนมพร รอดคำดี | 137 |
| **1068** | **อุปกรณ์ควบคุมการทำงานอุปกรณ์ไฟฟ้าจากระยะไกล**<br>ณัฐพงศ์ พันธุนะ, สมเกียรติ ทองแก้ว, ธนพล นพางค์แก้วเก้า, นรากร พุทธเรืองศรี, ธนบดี ทานาค | 141 |
| **1120** | **การพัฒนาและออกแบบวงจรวัดพลังงานไฟฟ้าโดยใช้ 32MX460F512L ร่วมกับ CS5490**<br>วิษณุ บุญเปลี่ยน, สรายุทธ์ แย้มประยูร, จักรี ศรีนนท์ฉัตร | 145 |
| **1148** | **การประยุกต์ซิกบีเพื่อรับส่งข้อมูลไร้สายสำหรับดิจิตอลกิโลวัตต์ฮาวมิเตอร์**<br>วุฒิชัย สง่างาม, ประจวบ อินระวงศ์, วัชระ ตุ่นกระโทก, ศักดิ์ชัย แผ่นกระโทก | 149 |
| **1171** | **ระบบไฟอัจฉริยะบนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์**<br>ปณวรรต คงธนกุลบวร, คณิศร จี้กระโทก, จิรายุทธ สอนสุภาพ, ลลิตา ชัยมงคล | 153 |
| **1181** | **ระบบรายงานปริมาณการใช้กระแสไฟฟ้าและปริมาณการใช้น้ำภายในอพาร์ทเม้นท์**<br>จีรวัฒน์ เตวิน, นวคุณ พอใจ, สุกฤษฎิ์ ไชยติ๊บ, อนุสรณ์ ใจแก้ว, อธิคม ศิริ, ธนาวุฒิ ธนวาณิชย์, กมล บุญล้อม | 157 |
| | พักรับประทานอาหารว่าง 14:30-14:45 น. | |

**วันพุธที่ 27 กรกฎาคม พ.ศ.2559** **SESSION 4**

# Energy Management#2

**ห้อง เขาตะเกียบ ชั้น 1**

**ประธาน :** ดร.ชัยวัฒน์ เจษฎาจินต์

14:45-16:15 น.



| ID | เรื่อง / ผู้แต่ง | หน้า |
|---|---|---|
| **1055** | **การประเมินประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟสขณะมีโหลดที่สภาวะทำงานโดยการวิเคราะห์ถดถอยค่ากำลังงานกลจากสัดส่วนค่ากระแสและค่าไถล**<br>วีระ สุทธิสิงห์, กีรติ ชยะกุลคีรี | 161 |
| **1107** | **การประจุแบตเตอรี่ตะกั่วกรดที่มีพัลส์ลบสำหรับระบบพลังงานแสงอาทิตย์**<br>อุดม เครือเทพ, สันติภาพ โคตทะเล | 165 |
| **1129** | **การพัฒนาอัลกอริทึมควบคุมการใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับระบบจัดการพลังงาน**<br>ประกาศิต ศรีประไหม, วาทิต เบญจพลกุล | 169 |
| **1137** | **ชุดสาธิตการควบคุมความเร็วมอเตอร์กระแสตรงด้วยขั้นตอนวิธีฟัซซี่ลอจิกโดยใช้โปรแกรมแลปวิว**<br>ชนม์รัตน์ ตติยะวรนันท์ | 173 |
| **1142** | **การเพิ่มระดับความเร็วในช่วงเริ่มขับเคลื่อนของรถไฟฟ้า**<br>ปิยะเทพ ประยูรคง, ธีรวงศ์ สุเมธพันธุ์, พุทธาวุฒิ ลีกุลธร, ชิติสรรค์ วิชิโต | 177 |
| **1157** | **ศักยภาพในการลดค่าความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยมาตรการตอบสนองด้านโหลดในภาคอุตสาหกรรม**<br>นาตยา คล้ายเรือง, รัชฎาพร คำภู | 181 |

**วันพุธที่ 27 กรกฎาคม พ.ศ.2559** **SESSION 1**

# Wireless Network

**ห้อง บ่อแก้ว ชั้น 1**

**ประธาน :** ผศ.ดร.ชัยวัฒน์ สากุล

8:45 - 10:15 น.



| ID | เรื่อง / ผู้แต่ง | หน้า |
|---|---|---|
| **1044** | **การออกแบบและพัฒนาระบบตรวจสอบคุณภาพโอเพนซอร์ซอฟต์แวร์สำหรับสื่อสารเสียงผ่านอินเทอร์เน็ตแบบเรียลไทม์**<br>ปิยวัจน์ ค้าสบาย, พรพิมล ชิวะกิจ, มยุรา เผ่าบ้านฝาง | 185 |
| **1086** | **การออกแบบความมั่นคงการสื่อสารเสียงผ่านอินเทอร์เน็ตโพรโทคอล**<br>ปิยวัจน์ ค้าสบาย, ฤกษ์ชาย หงษ์ขาว, วิวัฒนชัย อินทะนู | 189 |
| **1116** | **ระบบตรวจสอบการเชื่อมต่ออินเตอร์เน็ตของกล้องวงจรปิด และแจ้งเตือนผ่านระบบสังคมออนไลน์**<br>ณัฐธัช เลิศจำรัสพงศ์, ธัชชัย เอ้งฉ้วน | 193 |
| **1167** | **ชุดควบคุมระบบแสงสว่าง ระบบปรับอากาศและระบบรักษาความปลอดภัย**<br>ณัฐพงษ์ เชื้อเมืองพาน, อานนท์ ไชยธิมา, กฤษดา ยิ่งขยัน, ปุณยสิริ บุญเป็ง | 197 |
| **1193** | **การประยุกต์ใช้ TACACS+ เพื่อการรักษาความปลอดภัยระบบเครือข่ายภายในมหาวิทยาลัยนครพนม**<br>วชิรนันท์ ปุ้ม, ณรงค์ศักดิ์ สุขมา | 203 |
| | พักรับประทานอาหารว่าง 10.15-10.30 น. | |

**วันพุธที่ 27 กรกฎาคม พ.ศ.2559** **SESSION 2**

# DSP & Application

**ห้อง บ่อแก้ว ชั้น 1**

**ประธาน : ดร.สุรเชษฐ เดชฟุ้ง**

10:30 - 12:00 น.


| ID | เรื่อง / ผู้แต่ง | หน้า |
|---|---|---|
| **1057** | **โปรแกรมตรวจจับการงีบหลับโดยวิธีประมวลผลภาพ**<br>อาภากร แพ่งสภา, ดวงอาทิตย์ ศรีมูล | 207 |
| **1064** | **เครื่องกระตุ้นทักษะและพัฒนากล้ามเนื้อส่วนขาสำหรับผู้พิการออทิสติก**<br>ศราวุฑ คงลำพันธ์, ชลพรรษ บทมาตร, สัพพัญญู ศรีสารคาม | 211 |
| **1076** | **ระบบการเข้ารหัสข้อความสำหรับรหัสคิวอาร์**<br>ณภัทร ยิ้มจันทร์, โสรยา สิงสาโร, ผุสดี มุหะหมัด, ลัดดา ปรีชาวีรกุล | 215 |
| **1180** | **การออกแบบและประยุกต์ใช้เซ็นเซอร์สัมผัสแบบเมตริกสำหรับการตรวจจับตำแหน่งวัตถุบนพื้น**<br>ศราวุธ ขุนประเสริฐ, สมศักดิ์ มิตะถา, สมรักษ์ เพชรชาตรี, ศวัสกร ไชยสุนทร | 219 |
| **1199** | **การเปรียบเทียบคุณลักษณะการเดินและการวิ่งของแต่ละบุคคล**<br>กัญญาภัค ศรีสุข, ฆอยรอน อีซอ, รุสดี ดอเล๊าะ, ปภังกร ศรีสุข | 223 |
| | พักรับประทานอาหารกลางวัน 12:00 – 13:00 น. | |

| **วันพุธที่ 27 กรกฎาคม พ.ศ.2559** | | **SESSION 3** |
|---|---|---|
| **Image Processing**<br>**ห้อง บ่อแก้ว ชั้น 1**<br>**ประธาน :** อาจารย์นเรศ ขวัญทอง | | |
| 13:00-14:30 น. | | |
| **ID** | เรื่อง / ผู้แต่ง | หน้า |
| **1096** | **การปรับปรุงคุณภาพของภาพด้วยการแบ่งส่วนของภาพ วิธีวอเตอร์เฉด และปรับเรียบฮิสโตแกรม**<br>สุริยา ไชยวงค์, ณัฐพงศ์ พันธุนะ | 227 |
| **1114** | **การปรับปรุงความคมชัดของภาพด้วยการปรับเท่าฮีสโตแกรมด้วยการแปลงเว็ปเลตสองมิติ**<br>ไตรรงค์ ใจดี, ณัฐพงศ์ พันธุนะ | 231 |
| **1121** | **การหลอมภาพให้มีความคมชัดสูงแบบพีซีเอด้วยเทคนิคการแปลงเวฟเล็ต**<br>พัชยา คีรินทร์, ณัฐพงศ์ พันธุนะ | 235 |
| **1123** | **เทคนิคการปรับปรุงภาพถ่ายจากกล้องดิจิตอลด้วยวิธีการปรับปรุงฮีสโตแกรมแบบหลากหลายเว้าโค้ง**<br>คลรวี วุ่นแม่สอด, ณัฐพงศ์ พันธุนะ | 239 |
| **1149** | **การปรับปรุงวิธีการกรองสัญญาณรบกวนแบบสลับสองด้านสำหรับภาพโดยใช้ค่ากลางพารามิเตอร์**<br>เกรียงไกร เหลืองอำพล, วัลภา ภุมมะระ, วรพจน์ พัฒนวิจิตร | 243 |
| **1211** | **การใช้ท่าทางควบคุมอากาศยานปีกหมุนไร้คนขับแบบสี่ใบพัดด้วยเทคนิคการประมวลผลภาพ**<br>รัฐภูมิ วรานุสาสน์, สิทธิศักดิ์ ทิโน, ศราวุธ เทียนคำ | 247 |
| | พักรับประทานอาหารว่าง 14:30-14:45 น. | |

**วันพุธที่ 27 กรกฎาคม พ.ศ.2559** **SESSION 4**

# Special Session (DSI)

**ห้อง บ่อแก้ว ชั้น 1**

**ประธาน :** ผศ.ดร.เกริก ภิรมย์โสภา

14:45-16:15 น.


| ID | เรื่อง / ผู้แต่ง | หน้า |
|---|---|---|
| 1237 | **การสกัดเสียงจากการเคลื่อนไหวของวัตถุในวิดีโอเงียบ**<br>ภัทราวุธ คุณวิภูษิต, อมร มิสรา, กฤษฎิ์ เจริญสาธิต, ธนัสนี เพียรตระกูล | 251 |
| 1238 | **การออกแบบและพัฒนาระบบระบุตัวตนจากลายมือเขียน**<br>ธนพงศ์ สุทิน, สิตางศุ์ สายดาราสมุทร, ธนัสนี เพียรตระกูล | 255 |
| 1241 | **การวิเคราะห์ข้อมูลทางด้านนิติวิทยาศาสตร์บนสื่อสังคมออนไลน์ โดยใช้เทคนิค NLP และ Naïve Bayes**<br>ศศิประภา บานศิลป์, มหศักดิ์ เกตุฉ่ำ | 259 |

**วันพุธที่ 27 กรกฎาคม พ.ศ.2559** **SESSION 1**

# Antenna Tech#1

**ห้อง เขาเต่า ชั้น 1**

**ประธาน :** ดร.กนกวรรณ นนทพจน์

8:45 - 10:15 น.


| ID | เรื่อง / ผู้แต่ง | หน้า |
|---|---|---|
| **1158** | **สายอากาศไมโครสตริปแบบสิบเหลี่ยมสำหรับความถี่ 2.4 GHz และการประยุกต์ใช้งานความถี่แถบกว้าง**<br>ฉัตรชัย โชคชัย, ณัฐพงษ์ ดวงฤทธิ์ | 263 |
| **1165** | **เทคนิคการขยายแบนด์วิดท์สายอากาศไมโครสตริปรูปคล้ายยากิในย่านความถี่ 2.45 GHz**<br>ธนะกิจ วัฒกีกำธร, กมลทิพย์ วัฒกีกำธร, นพกฤศณ์ คำน้อย, จักรพันธุ์ ภู่ระหงษ์ | 267 |
| **1192** | **สายอากาศไมโครสตริปเฟสอาร์เรย์แบบปรับเลือกลำคลื่นสำหรับระบบสื่อสารไร้สาย**<br>ชวลิต รักเหลือ, ไพฑูรย์ รักเหลือ | 271 |
| **1213** | **วงจรเรียงกระแสแบบทวีแรงดันความถี่ 5.8 GHz สำหรับระบบเก็บเกี่ยวพลังงานไฟฟ้าจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า**<br>วรายุทธ สามัคคี, กิตติศักดิ์ แพบัว, ฐิติพงษ์ เลิศวิริยะประภา | 275 |
| **1214** | **สายอากาศทวนกำลังไฟฟ้าสำหรับเครื่องอ่านอาร์เอฟไอดีย่านความถี่สูง**<br>พินิจนัย สิทธิไทย, ฐิติพงษ์ เลิศวิริยะประภา, กิตติศักดิ์ แพบัว | 279 |
| | พักรับประทานอาหารว่าง 10.15-10.30 น. | |

**วันพุธที่ 27 กรกฎาคม พ.ศ.2559** **SESSION 2**

# Antenna Tech#2

**ห้อง เขาเต่า ชั้น 1**

**ประธาน :** รศ.ดร.กฤษณ์ชนม์ ภูมิกิตติพิชญ์

10:30 - 12:00 น.

| ID | เรื่อง / ผู้แต่ง | หน้า |
|---|---|---|
| **1020** | **สายอากาศวงแหวนสี่เหลี่ยมป้อนสัญญาณด้วยโมโนโพลแผ่นบาง**<br>ชานนท์ ปรางขำ, ดวงอาทิตย์ ศรีมูล | 285 |
| **1021** | **สายอากาศไดโพลบนแผ่นวงจรพิมพ์แถบความถี่กว้าง**<br>กัญญ์พิชญา ตั้งสกุลเดิม, ดวงอาทิตย์ ศรีมูล | 289 |
| **1075** | **การออกแบบสายอากาศไดโพลล็อกพิริออดิกสำหรับประยุกต์ใช้งานในระบบ WLAN/HSPA/LTE/UWB**<br>ขวัญหทัย โพธิ์แจ้ง, ไพฑูรย์ รักเหลือ | 293 |
| **1077** | **สายอากาศโมโนโพลทรงกลมแถบความถี่กว้างยิ่งกับเทคนิคการเจาะช่องกากบาท**<br>ปกรณ์เกียรติ์ เศวตเมธิกุล, ทวีศักดิ์ สุขเจริญทรัพย์, ชลดา ปานสง, ภัทรวรรณ ชุ่มสายันต์, อนุวัฒน์ แสนทวีสุข, คัมภีร์ รุ่งกลิ่น | 297 |
| **1092** | **การออกแบบและสร้างสายอากาศตัวสะท้อนพาราโบลอยด์**<br>นพพล ปามูล, สุธาสินี นาวี, นิพนธ์ เลิศมโนกุล, ระพินทร์ ขัดปิก | 301 |
| **1170** | **การศึกษาการปรับโครงสร้างสายอากาศแบบโมโนโพลรูปปลั๊กไฟสำหรับการสื่อสารแบบไร้สาย**<br>อำนวย เรืองวารี, สาริน จันระมาด, วัชรพล นาคทอง, ปิยดนัย บุญไมตรี | 305 |
| | พักรับประทานอาหารกลางวัน 12:00 – 13:00 น. | |

**วันพุธที่ 27 กรกฎาคม พ.ศ.2559** — **SESSION 3**

# Web Application

**ห้อง เขาเต่า ชั้น 1**

**ประธาน :** ดร.สาธิต โอวาทชัยพงศ์

13:00-14:30 น.



| ID | เรื่อง / ผู้แต่ง | หน้า |
|---|---|---|
| **1062** | **ระบบสารสนเทศสำหรับเช็คชื่อนักศึกษาเข้าร่วมกิจกรรมด้วย RFID/NFC บนโทรศัพท์แอนดรอยด์: กรณีศึกษาโครงการบัณฑิตเกียรตินิยม**<br>เนื่องวงศ์ ทวยเจริญ, ศิริรัตน์ สายคุณากร, เกษราภรณ์ บุญยืน | 309 |
| **1063** | **ระบบสนับสนุนการออกใบอนุญาตใช้รถขนส่งนอกเส้นทาง กรณีศึกษาสำนักงานขนส่งจังหวัดตรัง**<br>ณัฐธยาน์ จงทอง, อนันท์ ชกสุริวงศ์ | 313 |
| **1073** | **เว็บแอพพลิเคชั่นสนับสนุนระบบประกันคุณภาพการศึกษา**<br>มธุรส กัปโก, สุรัชนันท์ ไกรเดช, วิบูลย์ พร้อมพานิชย์ | 317 |
| **1198** | **ระบบสั่งอาหารแบบมีบริการส่งถึงที่ ผ่านแอปพลิเคชั่นบนสมาร์ทโฟนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์**<br>นุชนาถ สัตย์วินิจ, ศักดินนท์ เปี้ยกาศ | 321 |
| **1206** | **โปรแกรมประยุกต์จำลองการติดตั้งล้อแม็กซ์**<br>นุชนาถ สัตย์วินิจ, สุรศักดิ์ ศิริรัตน์ | 325 |
| **1243** | **แบบจำลองทางวิศวกรรมของดาวเทียมคิวบ์แซทและการปรับปรุงประสิทธิภาพการบริโภคกำลังงานโดยการใช้รหัสคอนโวลูชันแบบปรับอัตรารหัสได้**<br>ชนาธิป ฤกษ์สุขรุ่งเรือง, ศรวัฒน์ ชิวปรีชา | 329 |
| | พักรับประทานอาหารว่าง 14:30-14:45 น. | |

**วันพุธที่ 27 กรกฎาคม พ.ศ.2559** **SESSION 4**

# Monitoring System

**ห้อง เขาเต่า ชั้น 1**

**ประธาน :** อาจารย์วิโรจน์ พิราจเนนชัย

14:45-16:15 น.



| ID | เรื่อง / ผู้แต่ง | หน้า |
|---|---|---|
| **1004** | **ระบบเฝ้าระวังห้องศูนย์ข้อมูลคอมพิวเตอร์**<br>วีระยุทธ คุณรัตนสิริ | 333 |
| **1026** | **การพยากรณ์ปริมาณการใช้น้ำประปารายเดือนในภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบนของประเทศไทยโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม**<br>กริช สมกันธา, วิไลพร กุลตังวัฒนา | 337 |
| **1027** | **การจำลองระบบควบคุมรถไฟและอาณัติสัญญาณ**<br>พุธิตา สมุทรรัตน์, สมสิน ทองไกรรัตน์, ธนวิชญ์ อนุวงศ์พินิจ, อลงกรณ์ วิจิตรธนสาร, วันวิสา ชัชวงษ์ | 343 |
| **1072** | **การวัดประสิทธิภาพการประมวลผลข้อมูลสถานีอุตุนิยมวิทยาด้วย Hadoop-Hive**<br>ธีรยุทธ์ แก้วจักวัติ, อาดีสน เกษา, กฤษณ์วรา รัตนโอภาส, สุรีรัตน์ แก้วคีรี | 347 |
| **1126** | **ระบบแจ้งเตือนเหตุก่อการร้ายในพื้นที่ 3 จังหวัดชายแดนภาคใต้โดยใช้พิกัดทางภูมิศาสตร์**<br>ณัฐวุฒิ ใจบาน , อธิคม ศิริ, กมล บุญล้อม, ธนาวุฒิ ธนวาณิชย์, เสกสรรค์ วินยางค์กูล | 351 |
| **1132** | **ชุดจำลองตรวจจับความผิดพร่องแบบไลน์กับไลน์ในระบบสายส่ง 3 เฟส**<br>คมพัชญ์ ชื่นด้วงจิรสิริ, เฉลิมชาติ เรืองเถาะ, คณบดี ศรีสมบูรณ์, นัฐโชติ รักไทยเจริญชีพ | 355 |

**วันพฤหัสบดีที่ 28 กรกฎาคม พ.ศ.2559** **SESSION 5**

# Technology Applications#1

**ห้อง เขาตะเกียบ ชั้น 1**

**ประธาน :** อาจารย์เกรียงไกร เหลืองอำพล

13:00-14:30 น.



| ID | เรื่อง / ผู้แต่ง | หน้า |
|---|---|---|
| **1052** | **เครื่องตรวจสอบธนบัตรเปล่งเสียงได้สำหรับโรงเรียนสอนคนตาบอดภาคเหนือ ในพระบรมราชินูปถัมภ์ จังหวัดเชียงใหม่**<br>ยุพดี หัตถสิน, วัชรินทร์ ปรีดี, สามารถ อินซ้อน | 359 |
| **1069** | **เครื่องไล่กระรอกด้วยคลื่นความถี่อัลตร้าโซนิค**<br>ณัฐพงศ์ พันธุนะ, สมเกียรติ ทองแก้ว, ภวินท์ ลำพูน, นุตร สายพันธุ์กุล, ณัฐพล พึ่งพูลผล | 363 |
| **1101** | **ระบบสารสนเทศข้อมูลพันธุ์ไม้**<br>มโนเธียร อยู่ยรรยง, นนท์ เขียวหวาน, มานพ ผู้พัฒน์, ศวิตา อยู่ประเสริฐ, ปรีชา การะเกตุ, อนันต์ ผลเพิ่ม, ชัยพร ใจแก้ว, อภิรักษ์ จันทร์สร้าง | 367 |
| **1130** | **เครื่องแจกรหัสอินเทอร์เน็ตโดยใช้บัตรประชาชน**<br>อธิคม ศิริ, ธันยกานต์ รุ่งสว่าง, สุเทพ อาจอ, กฤษณะ ปันจา, ธนาวุฒิ ธนวาณิชย์, กมล บุญล้อม, อนุสรณ์ ใจแก้ว | 371 |
| **1150** | **นวัตกรรมอัจฉริยะเพื่อการท่องเที่ยวเชิงสร้างสรรค์ลุ่มแม่น้ำเพชรบุรีตอนบน**<br>ศิวาพร เหมียดไธสง, เที่ยง เหมียดไธสง, สราวุฒิ เชาวสกู | 375 |
| **1169** | **ระบบควบคุมห้องเรียนอัตโนมัติ**<br>อภิวัฒน์ สุวรรณประไพ, ธีระวุฒิ พื้นเกาะ, สนั่น จันทร์พรม, สุภัทรา เกิดเมฆ | 379 |
| | พักรับประทานอาหารว่าง 14:30-14:45 น. | |

| **วันพฤหัสบดีที่ 28 กรกฎาคม พ.ศ.2559** | | **SESSION 6** |
|---|---|---|
| **Technology Applications#2**<br>**ห้อง เขาตะเกียบ ชั้น 1**<br>**ประธาน :** ผศ.ดร.กฤษดา ยิ่งขยัน | | |
| 14:45-16:15 น. | | |
| **ID** | เรื่อง / ผู้แต่ง | หน้า |
| **1028** | **เครื่องแสดงสถานะแบตเตอรี่แบบไร้สายและการประจุไฟฟ้าแบบอัตโนมัติ**<br>เสนอ สะอาด, ดรุณี ชายทอง | 383 |
| **1065** | **รถเข็นคนพิการควบคุมด้วยศีรษะ**<br>มณเฑียร งามแก้ว, วิชัย ชัยบุตร, ศราวุฑ คงลำพันธ์ | 387 |
| **1124** | **แอพพลิเคชันระบบจัดการคิวรักษา กรณีศึกษาโรงพยาบาลสงขลานครินทร์**<br>ณัฐริกา ลิขิตจรรยารักษ์, จารุณี ดวงสุวรรณ | 391 |
| **1161** | **ผลกระทบของมวลเนื้อเยื่อเฉลี่ยและความถี่จากโทรศัพท์เคลื่อนที่ต่อศีรษะมนุษย์**<br>ปิยะภัทร พ่วงศรี, นนชณัต ฉัตรภูติ, อภิบาล พฤกษานุบาล, อานนท์ สิงห์เสถียร | 395 |
| **1212** | **วินิจฉัยโรคจากการสังเกตอุจจาระ**<br>อานนท์ จันทรัตน์, ศิริรัตน์ วณิชโยบล | 399 |

**วันพฤหัสบดีที่ 28 กรกฎาคม พ.ศ.2559** — **SESSION 5**

# Intelligent Computing System#1

**ห้อง บ่อแก้ว ชั้น 1**

**ประธาน :** ผศ.ดร.วุฒิชัย สง่างาม

13:00-14:30 น.


| ID | เรื่อง / ผู้แต่ง | หน้า |
|---|---|---|
| **1079** | **ระบบสร้างข้อสอบชาญฉลาดอัตโนมัติออนไลน์โดยขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม**<br>วิไลพร กุลตังวัฒนา, Dang Ngoc Chuong, ศราวุฒิ พิมพากุล, กริช สมกันธา,ไพศาล ดาแร่ | 403 |
| **1155** | **การจัดการความรู้ภูมิปัญญาท้องถิ่น หัตถกรรมกะลามะพร้าว ตำบลชัยบุรี จังหวัดพัทลุง**<br>ศวรรณรัศม์ อภัยพงค์, ศิรินันทร์ นาพอ, ภูมินทร์ อินทร์แป้น, สุมนา ปาธะรัตน์ | 409 |
| **1218** | **การพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ สำหรับการศึกษาวงจรไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์พื้นฐาน โดยใช้ GUI-MATLAB®**<br>คณาวุฒิ อินทบุต, ฐิติพร หนูแก้ว, ศิวดล นวลนภดล | 415 |
| **1227** | **โปรแกรมช่วยสืบค้นและเปรียบเทียบราคาอุปกรณ์คอมพิวเตอร์**<br>มัณฑนา เตี๋ยวงษ์สุวรรณ์, กร พวงนาค, สิทธิศักดิ์ วรดิษฐ์, สุภัทรา สถิตย์พรม | 419 |
| **1230** | **ลายน้ำดิจิตอลเพื่อป้องกันการปลอมแปลงภาพเอกสารโดยการปรับระยะห่างระหว่างจุดกึ่งกลางของตัวอักษร**<br>ปัณฑิตา อินทะเสม, เกษมสุข เสพศิริสุข | 423 |
| | พักรับประทานอาหารว่าง 14:30-14:45 น. | |

**วันพฤหัสบดีที่ 28 กรกฎาคม พ.ศ.2559** **SESSION 6**

# Intelligent Computing System#2

**ห้อง บ่อแก้ว ชั้น 1**

**ประธาน :** ผศ.ดร.สาคร วุฒิพัฒนพันธุ์

14:45-16:15 น.


| ID | เรื่อง / ผู้แต่ง | หน้า |
|---|---|---|
| **1010** | **การระบุตำแหน่งที่จอดรถผ่านการประมวลผลภาพ**<br>สมหมาย บัวแย้มแสง | 427 |
| **1067** | **ระบบมอนิเตอร์สถานะที่จอดรถยนต์โดยใช้อาดูโน/แอนดรอยด์**<br>ธนะพงศ์ นพวงศ์ ณ อยุธยา, ไพฑูรย์ รักเหลือ | 431 |
| **1151** | **การตรวจสอบรถยนต์อัตโนมัติสำหรับที่จอดรถ โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม**<br>วุฒิชัย ปวงมณี | 435 |
| **1189** | **การพัฒนาระบบสมองกลฝังตัวสำหรับการตรวจวัดปริมาณแอลกอฮอล์และแจ้งเตือนสภาวะการหลับชั่วขณะของผู้ขับรถยนต์**<br>ลิขิต เพ็งจันทร์ดี, รัฐศิลป์ รานอกภานุวัชร์ | 439 |
| **1228** | **การประยุกต์ใช้ระบบบริหารจัดการเครือข่ายร่วมกับระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ เพื่อตรวจติดตามอุปกรณ์บนทางพิเศษ**<br>อุทัย วังชัยศรี, เสาวนี ศรีสุวรรณ, ศศิพงศ์ จินดาลัทธ, เทพฤทธิ์ รัตนปัญญากร, ศักดิ์ดา พรรณไวย | 443 |
| **1229** | **ระบบให้ข้อมูลสภาพจราจรบนทางพิเศษบริเวณจุดพักรถ**<br>อุดมโชค สุริยะจรัสแสง, วุฒิชัย เกษรปทุมานันท์, อุทัย วังชัยศรี, เทพฤทธิ์ รัตนปัญญากร, ศักดิ์ดา พรรณไวย | 449 |

**วันพฤหัสบดีที่ 28 กรกฎาคม พ.ศ.2559** **SESSION 5**

# Wireless Communication

**ห้อง เขาเต่า ชั้น 1**

**ประธาน :** รศ.ดร.อนันต์ ผลเพิ่ม

13:00-14:30 น.


| ID | เรื่อง / ผู้แต่ง | หน้า |
|---|---|---|
| **1038** | **การเพิ่มฟังก์ชันการใช้งานของอุปกรณ์เราเตอร์ไร้สายที่ใช้ OpenWrt**<br>คณิตกร ขันเชื้อ, เรวัต ศิริโภคาภิรมย์ | 455 |
| **1100** | **ระบบเครือข่ายไร้สายโดยใช้โดรนอัตโนมัติ**<br>ปริญญา เปียพนม, อภิรักษ์ จันทร์สร้าง, ชัยพร ใจแก้ว, ไชยวัฒน์ กล่ำพล, อนันต์ ผลเพิ่ม | 459 |
| **1102** | **ระบบตรวจวัดพลังงานไฟฟ้าผ่านเครือข่าย IPv6 แบบไร้สาย**<br>สุโรตม์ วงศ์ไพบูลย์, อนันต์ ผลเพิ่ม, อภิรักษ์ จันทร์สร้าง, ชัยพร ใจแก้ว | 463 |
| **1117** | **การศึกษาแนวทางการปรับปรุงระบบเครือข่ายไร้สายโดยใช้หลักการบริหารโครงการ กรณีศึกษา ศูนย์แพทยศาสตรศึกษาชั้นคลินิก โรงพยาบาลหาดใหญ่**<br>ยศธร ใจสว่าง, ธัชชัย เอ้งฉ้วน | 467 |
| **1159** | **ระบบรักษาความปลอดภัยเครือข่ายไร้สายโดยใช้ฮันนี่พ็อต**<br>บุญฤทธิ์ คุ้มเขต, ไพฑูรย์ รักเหลือ | 471 |
| **1195** | **ระบบควบคุมทิศทางสายอากาศแบบอัตโนมัติ โดยใช้เทคนิคเปรียบเทียบตำแหน่งจีพีเอส**<br>ภูมิพงษ์ ดวงตั้ง, กัลยรัตน์ สมจักร, สุวนันท์ สุยะต๊ะ, ธวัชชัย สุเขื่อน, อธิคม ศิริ, ธนาวุฒิ ธนวาณิชย์, กมล บุญล้อม | 475 |
| | พักรับประทานอาหารว่าง 14:30-14:45 น. | |

**วันพฤหัสบดีที่ 28 กรกฎาคม พ.ศ.2559** **SESSION 6**

# Communication Technology

**ห้อง เขาเต่า ชั้น 1**

**ประธาน :** รศ.ดร.อภิรักษ์ จันทร์สร้าง

14:45-16:15 น.


| ID | เรื่อง / ผู้แต่ง | หน้า |
|---|---|---|
| **1018** | **ระบบโปรแกรมปลูกข้าวโดยการเฝ้าระวังระดับน้ำในแปลงนาด้วยเครือข่ายเครื่องตรวจวัดไร้สาย**<br>เจตสรรค์ ขันสิงหา, ดวงอาทิตย์ ศรีมูล | 479 |
| **1043** | **การรวมกลุ่มลิ้งค์ของวายฟาย สำหรับ IEEE 802.11n**<br>นิสิต ภูครองตา, ไพฑูรย์ รักเหลือ | 485 |
| **1099** | **เครื่องรบกวนสัญญาณโทรศัพท์เคลื่อนที่ ย่านความถี่ 850 MHz โดยใช้โปรแกรม MATLAB Simulink ร่วมกับ บอร์ด Arduino**<br>ภูเบต แสงมะฮะหมัด, บุญฤทธิ์ คุ้มเขต, วิโรจน์ พิราจเนนชัย | 487 |
| **1112** | **การออกแบบตัวสะท้อนพื้นผิวเลือกความถี่ผ่านใช้การเจาะช่องด้วยเทคนิคอินเตอร์ดิจิตอลสำหรับระบบ LTE**<br>รณชัย ฮูเจี่ย, พงศธร ชมทอง, ประยุทธ อัครเอกฒาลิน | 491 |
| **1115** | **การประยุกต์ไอพีพีบีเอกซ์โดยใช้บอร์ดราสเบอร์รี่พายเพื่อสนับสนุนการให้บริการธุรกิจของ CAT2Call Plus**<br>ภราดร ศรีอาวุธ, วฤษาย์ ร่มสายหยุด | 495 |
| **1136** | **การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของโพรโทคอลการเข้าถึงหลายทางที่ไวต่อการยับยั้งในระบบสื่อสารแบบแพ็กเกต**<br>สุชาดา สิทธิ์จงสถาพร, อภิชฎา ทองรักษ์ | 499 |

**วันศุกร์ที่ 29 กรกฎาคม พ.ศ.2559** **SESSION 7**

# Metrology & Automation

**ห้อง บอลรูม1 ชั้น 2**

**ประธาน :** ผศ.ดร.อุเทน คำน่าน

8:45 - 10:15 น.



| ID | เรื่อง / ผู้แต่ง | หน้า |
|---|---|---|
| **1094** | **การศึกษาความคลาดเคลื่อนของการวัดค่าความต้านทานที่เกิดจากความต้านทานสาย**<br>กิตติชัย กิตตวราภรณ์, ณัฐพงศ์ พันธุนะ, ชัยวัฒน์ เจษฎาจินต์ | 503 |
| **1109** | **เครื่องทดสอบอุปกรณ์ป้องกันกระแสเกิน**<br>อุดม เครือเทพ, สันติภาพ โคตทะเล | 507 |
| **1138** | **ชุดสาธิตการควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์กระแสตรงโดยใช้โปรแกรมแลปวิวที่มีขั้นตอนวิธีควบคุมแบบพีไอ**<br>ชนม์รัตน์ ตติยะวรนันท์ | 511 |
| **1222** | **ผลกระทบของความถูกต้องของเครื่องวัดความต้านทานขดลวดหม้อแปลงต่อการผลิตหม้อแปลงไฟฟ้า**<br>ชัยวัฒน์ เจษฎาจินต์, เนตรนพิศ คุ้มทุกทิศ | 515 |
| **1225** | **การยืนยันค่าความถูกต้องการสอบเทียบฟังก์ชันตัวอ่านอุณหภูมิของเครื่องแหล่งจ่ายมาตรฐานโดยใช้เทอร์โมคัปเปิ้ลชนิดเจ และ ชนิดเค เปรียบเทียบกับจุดน้ำแข็ง**<br>กองศักดิ์ ทองบุญ, จุฑารัตน์ ทานะรมณ์, อดิเทพ จ่างอ่อน | 519 |
| **1226** | **การวัดความต้านทานสูงด้วยวิธีการโวลท์แอมป์แบบอัตโนมัติ**<br>เนตรนพิศ คุ้มทุกทิศ, ชัยวัฒน์ เจษฎาจินต์ | 523 |
| | พักรับประทานอาหารว่าง 10:15 - 10:30 น. | |

**วันศุกร์ที่ 29 กรกฎาคม พ.ศ.2559** **SESSION 8**

# Metrology & Control

**ห้อง บอลรูม1 ชั้น 2**

**ประธาน :** ดร.วิทวัส สิฏฐกุล

10:30 – 12:00 น.



| ID | เรื่อง / ผู้แต่ง | หน้า |
|---|---|---|
| **1093** | **Dual Mixer Time Difference สาหรับการสอบเทียบแหล่งจ่ายความถี่ที่มีความเสถียรสูง**<br>ปิยพัฒน์ พูลทอง, เทพบดินทร์ บริรักษ์อราวินท์ | 527 |
| **1095** | **การสอบเทียบเทอร์โมคัปเปิลที่จุดกำเนิดอุณหภูมิมาตรฐานยูเทคติคโคบอลต์-คาร์บอน**<br>อ้อยใจ อ่องหร่าย | 531 |
| **1110** | **การพัฒนาชุดวัด Laser power ที่มีความถูกต้องสูง เพื่อศึกษาระดับของ Laser pointer ที่จำหน่ายในประเทศไทย**<br>กนกวรรณ นนทพจน์, ณรัฐ รุจิรัตน์ | 535 |
| **1113** | **การสอบเทียบมาตรรังสียูวีเอ โดยการเทียบกับมาตรรังสีเชิงสเปกตรัมมาตรฐานของ มว.**<br>พลวัฒน์ จำปาเรือง, ชยุตม์ เจริญกิจ, โรจนา ลี้เจริญ | 539 |
| **1204** | **เครื่องตรวจสอบชิ้นงานอัตโนมัติโดยใช้ตัวตรวจจับชนิดใยแก้วนำแสงและกล้อง USB ราคาถูก**<br>ศิริพงษ์ วงษ์การ | 543 |
| **1247** | **การศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ยานยนต์ไฟฟ้าในประเทศไทย กรณีศึกษาพื้นที่ธัญบุรี**<br>กฤษณ์ชนม์ ภูมิกิตติพิชญ์, พิมพ์นภัส เอี่ยมสมบูรณ์, สุมนมาลย์ เนียมหลาง, สมหมาย ผิวสอาด | 547 |

| **วันศุกร์ที่ 29 กรกฎาคม พ.ศ.2559** | | **SESSION 7** |
|---|---|---|
| **Signal Conditioning**<br>**ห้อง เขาตะเกียบ ชั้น 1**<br>**ประธาน :** ผศ.สมเกียรติ ทองแก้ว | | |
| 8:45 - 10:15 น. | | |
| **ID** | เรื่อง / ผู้แต่ง | หน้า |
| **1013** | **วงจรขยายเสียงคลาสดีทำงานตลอดย่านความถี่เสียงอย่างง่าย**<br>สุเทพ ทัพธวัช | 551 |
| **1074** | **ระบบยืนยันตัวตนแบบ 2 ขั้นตอนอย่างปลอดภัยสำหรับใช้งานทั่วไป**<br>ประภาส ผ่องสนาม, อรอนงค์ แซจิว | 555 |
| **1131** | **การทดสอบความเป็นไปได้ของการเพิ่มความจุของรหัสภาพคิวอาร์โค้ดโดยใช้ระดับเทา 4 ระดับ**<br>วาทิตา พันธุมะโน, เสาวลักษณ์ วรรธนาภา | 559 |
| **1146** | **การประยุกต์ใช้ตัวกรองตัดสัญญาณรบกวนชนิดปรับค่าได้เองเพื่อตรวจจับกระแสฮาร์มอนิกสำหรับตัวกรองแบบแอคทีฟ**<br>ชาญชัย พฤกษ์พาดี, สาคร วุฒิพัฒนพันธุ์, นัฐโชติ รักไทยเจริญชีพ | 563 |
| **1188** | **วงจรกำเนิดสัญญาณไซน์ควอเดรเจอร์โหมดกระแสโดยใช้ DO-CDTA เพียงตัวเดียว**<br>จรินทร์ศักดิ์ แซ่เตียว, ศักดิ์สิทธิ์ สุ่มมาตย์, ภัสส์กุญช์ ฐิติมหัทธนกุศล | 567 |
| **1217** | **โครงข่ายแบ่งความถี่แบบอินเฟสที่มีตัวปรับอัตราสโลปสำหรับระบบเสียง 2.1**<br>พีรชัย ฐิติไชโย, คลชัย สุขเจริญผล, บุณย์ชนะ ภู่ระหงษ์, วันวิสา ชัชวงษ์ | 571 |
| | พักรับประทานอาหารว่าง 10:15 - 10:30 น. | |

| วันศุกร์ที่ 29 กรกฎาคม พ.ศ.2559 | | **SESSION 8** |
|---|---|---|

# Measurements & Circuit

**ห้อง เขาตะเกียบ ชั้น 1**

**ประธาน :** ผศ.ดร.นัฐโชติ รักไทยเจริญชีพ

10:30 – 12:00 น.



| ID | เรื่อง / ผู้แต่ง | หน้า |
|---|---|---|
| **1053** | **วงจรกรองความถี่สูงผ่านโดยใช้ยูนิฟอร์มดิสทริบิวต์อาร์ซีแบบหลายชั้น**<br>ธนะพงศ์ นพวงศ์ ณ อยุธยา, วิโรจน์ พิราจเนนชัย | 575 |
| **1087** | **ลดต้นทุนการผลิตของอุตสาหกรรมอาหารแช่แข็งด้วยองค์ความรู้ด้านมาตรวิทยาอุณหภูมิ**<br>นฤดม นวลขาว | 579 |
| **1134** | **การออกแบบตัวกรองความถี่แถบผ่านแบบอินเตอร์ดิจิทัลแฮร์พินและการกำจัดแถบความถี่แคบ**<br>สุปัญญา สิงห์กรณ์, กัญญวิทย์ กลิ่นบำรุง, สมศักดิ์ อรรคทิมากูล | 583 |
| **1141** | **การออกแบบวงจรกรองผ่านแถบความถี่ในท่อนำคลื่นโดยใช้การต่อเรียงวงจรช่องแคบแบบหลายตัวสำหรับการศึกษาด้านวิศวกรรมไมโครเวฟ**<br>พิชิต อ้วนไตร, ณัฐพงษ์ อินทรวิเศษ, วาริณี วีระสินธุ์, สมศักดิ์ อรรคทิมากูล | 587 |
| **1223** | **การสอบเทียบดิจิตอลมัลติมิเตอร์ 6 ½ หลัก ด้วยวิธีการวัดแทนที่ โดยใช้ดิจิตอลมัลติมิเตอร์ 8 ½ หลักเปรียบเทียบกับวิธีการวัดโดยตรง**<br>จุฑารัตน์ ทานะรมณ์, กองศักดิ์ ทองบุญ, อดิเทพ จ่างอ่อน | 591 |
| **1224** | **การศึกษาผลกระทบจากความร้อนของตัวต้านทานวัดกระแส 10, 20 และ 50 แอมแปร์และการนำไปใช้งานของตัวต้านทานวัดกระแสในการสอบเทียบฟังก์ชันกระแสไฟฟ้ากระแสสลับของเครื่องแหล่งจ่ายมาตรฐาน**<br>อดิเทพ จ่างอ่อน, จุฑารัตน์ ทานะรมณ์, กองศักดิ์ ทองบุญ | 595 |

| **วันศุกร์ที่ 29 กรกฎาคม พ.ศ.2559** | | **SESSION 7** |
|---|---|---|
| **Automatic Systems for Agriculture**<br>**ห้อง บ่อแก้ว ชั้น 1**<br>**ประธาน :** ผศ.ดร.ยุทธนา กันทะพะเยา | | |
| 8:45 - 10:15 น. | | |
| **ID** | เรื่อง / ผู้แต่ง | หน้า |
| **1034** | **การใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อการปลูกเห็ดระบบอัจฉริยะ**<br>นิมิตร หงษ์ยิ้ม, สมศักดิ์ มิตะถา, ศวัสกร ไชยสุนทร | 599 |
| **1098** | **ระบบการให้น้ำ ปุ๋ย และสารเคมี แบบอัตโนมัติโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ กรณีศึกษาการปลูกสตรอเบอรี่**<br>เสกสรรค์ วินยางค์กูล, ธเนศ คณะดี, เสกสรร วงค์สม, กมล บุญล้อม, ธนาวุฒิ ธนวาณิชย์, อธิคม ศิริ | 603 |
| **1163** | **เครื่องตรวจสอบคุณภาพของไข่ไก่ โดยใช้หลักการค่าฮอร์ยูนิต**<br>กรณิการ์ มูลโพธิ์, ณัฐพงศ์ แพน้อย | 607 |
| **1175** | **การพัฒนาเครื่องผสมอาหารสัตว์แบบเลือกสูตรโปรแกรมทำงานได้**<br>กุลสมทรัพย์ เย็นฉ่ำชลิต, พิชิต อ้วนไตร, พัชรีพรรณ สมวงษ์, โชติวุฒิ ประสพสุข | 611 |
| **1194** | **การให้น้ำและปุ๋ยทางสายเทปน้ำหยดในแปลงข้าวโพดหวาน**<br>อลงกต กองมณี, พัชรี ยางยืน, เสกสรร สงจันทึก, ธงชัย มณีชูเกตุ | 615 |
| **1219** | **การประยุกต์ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์สำหรับตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์**<br>สถาพร สิทธิวงค์, ชัยยพล ธงชัยสุรัชต์กูล | 619 |
| | พักรับประทานอาหารว่าง 10:15 - 10:30 น. | |

**วันศุกร์ที่ 29 กรกฎาคม พ.ศ.2559** **SESSION 8**

# Information Management

**ห้อง บ่อแก้ว ชั้น 1**

**ประธาน :** รศ.ดร.กีรติ ชยะกุลคีรี

10:30 – 12:00 น.


| ID | เรื่อง / ผู้แต่ง | หน้า |
|---|---|---|
| **1050** | **ระบบสารสนเทศบนเว็บและระบบลงทะเบียนเข้างานผ่าน NFC สำหรับงานประชุมวิชาการ**<br>เนื่องวงศ์ ทวยเจริญ, จารุวัฒน์ จันทรเกษ | 623 |
| **1080** | **โปรแกรมตรวจแบบสอบถาม**<br>วัลภา ภุมมะระ | 627 |
| **1119** | **ระบบการประชุมภาพผ่านเครือข่ายคอมพิวเตอร์**<br>อัญชลี พานิชเจริญ, ณัฐวุฒิ พานิชเจริญ | 631 |
| **1143** | **การพัฒนาฐานข้อมูลดาวเทียมโดยใช้โปรแกรม LabVIEW**<br>ทินวัฒน์ จังจริง, ไพฑูรย์ รักเหลือ | 635 |
| **1178** | **เครื่องมือสนับสนุนการฝึกเขียนพยัญชนะไทยสำหรับเด็กเล็ก**<br>นัสริน ไชยบัญดิษฐ์, นิวรรณ วัฒนกิจรุ่งโรจน์ | 639 |
| **1190** | **ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์สำหรับติดตามนักศึกษาต่างชาติ**<br>อัชอารีย์ บิลละเตะ, พัชรา รัตนคช, ศิริรัตน์ วณิชโยบล | 643 |

**วันศุกร์ที่ 29 กรกฎาคม พ.ศ.2559** **SESSION 7**

# Information Technology & Application

**ห้อง เขาเต่า ชั้น 1**

**ประธาน :** ดร.วรินทร์ สุดคนึง

8:45 - 10:15 น.


| ID | เรื่อง / ผู้แต่ง | หน้า |
|---|---|---|
| **1022** | **ระบบศูนย์ข้อมูลแบบพร้อมใช้งานสูงโดยใช้เทคโนโลยีเฟลโอเวอร์คลัสเตอร์ กรณีศึกษามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร**<br>นิวัตร จารุวาระกูล, เชาวลิต สมบูรณ์พัฒนากิจ, เชวงศักดิ์ คงเกิด | 649 |
| **1033** | **ระบบบันทึกบริการถ่ายทอดการสื่อสาร**<br>อนุวัตร์ สมบุญ, พรพิมล รามัญอุดม, บุญชัย งามวงศ์วัฒนา | 653 |
| **1054** | **สังคมติวเตอร์ออนไลน์บนแอนดรอยด์**<br>เนื่องวงศ์ ทวยเจริญ, พีรพล โพธิ์ทัย, พิเชฐ จีรีรัตนชาติ | 657 |
| **1103** | **ระบบเก็บรวบรวมข้อมูลอุทกแบบกึ่งอัตโนมัติผ่านสมาร์ทโฟน**<br>ดนัย วิไลเอก, อภิรักษ์ จันทร์สร้าง, อนันต์ ผลเพิ่ม, สุรพันธ์ อินแก้ว, ชัยพร ใจแก้ว | 661 |
| **1104** | **ระบบการเชื่อมต่ออุปกรณ์ไอโอทีสำหรับระบบการเกษตร**<br>ญาณกร ธัญญางค์, ชัยพร ใจแก้ว, อภิรักษ์ จันทร์สร้าง, อนันต์ ผลเพิ่ม | 667 |
| **1183** | **การบริหารจัดการเครือข่ายด้วยเทคโนโลยี VLAN กรณีศึกษา บ้านพักบุคลากร มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา**<br>กฤษณ์วรา รัตนโอภาส, สรายุทธ กูลเกื้อ, อำนาจ ทองขาว, ญาณพัฒน์ ชูชื่น | 673 |
| | พักรับประทานอาหารว่าง 10:15 - 10:30 น. | |

**วันศุกร์ที่ 29 กรกฎาคม พ.ศ.2559** **SESSION 8**

# Motor & Induction Machine

**ห้อง เขาเต่า ชั้น 1**

**ประธาน :** ผศ.วิภาวัลย์ นาคทรัพย์

10:30 – 12:00 น.


| ID | เรื่อง / ผู้แต่ง | หน้า |
|---|---|---|
| **1009** | **การควบคุมความเร็วรอบของอินดักชันมอเตอร์ด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์**<br>ไวยพจน์ ศุภบวรเสถียร, วิภาวัลย์ นาคทรัพย์ | 677 |
| **1082** | **การสร้างมอเตอร์สวิตช์รีลักแตนซ์ชนิด 3 เฟส 12/8**<br>สาคร วุฒิพัฒนพันธุ์, นครินทร์ นุชศิริ, ศิวกร บุราคร, สิทธิชัย ภู่เสือ | 681 |
| **1088** | **แบบจำลองสำหรับประมาณค่าแรงบิดของมอเตอร์ชนิดสวิทช์รีลัคแตนซ์**<br>ไพโรจน์ ทองประศรี | 685 |
| **1216** | **ผลกระทบของฮาร์โมนิกส์ต่อสนามแม่เหล็กหมุนในเครื่องจักรกลไฟฟ้าแบบชนิดเหนี่ยวนำ**<br>ณัฐพงศ์ พันธุนะ, กันตินันท์ รื่นสัมฤทธิ์, ศุภโชค จินดาพล, อานนท์ สิงห์เสถียร, มนัส บุญเทียรทอง, พสิษฐ์ สุวรรณภิงคาร | 689 |
| **1220** | **การวิเคราะห์โลกัสกำลังเชิงซ้อนของเครื่องจักรกลไฟฟ้าแบบซิงโครนัส**<br>ณัฐพงศ์ พันธุนะ, ชนันรัตน์ วีระเพ็ชร์, วงศธร สุขสมสังข์, อานนท์ สิงห์เสถียร, พูนศรี วรรณการ, สาคร วุฒิพัฒนพันธุ์ | 693 |
| **1221** | **การวิเคราะห์สนามแม่เหล็กหมุนในเครื่องจักรกลไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำชนิด 3 เฟส ในสภาวะอยู่ตัว**<br>ณัฐพงศ์ พันธุนะ, ศุภโชค จินดาพล, กันตินันท์ รื่นสัมฤทธิ์, อานนท์ สิงห์เสถียร, พูนศรี วรรณการ | 697 |

| วันพฤหัสบดีที่ 28 กรกฎาคม พ.ศ.2559 | | Poster |
|---|---|---|
| **Poster Session**<br>**ห้อง หัวหิน ชั้น 2**<br>**ประธาน :** เรืออากาศตรี ชลิต คุ้มทวี | | |
| 13:00 – 17:00 น. | | |
| **ID** | เรื่อง / ผู้แต่ง | หน้า |
| 1005 | **ประสิทธิภาพการลดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ด้วยสาหร่ายขนาดเล็ก**<br>ครรชิต เงินคำคง, แสงเทียน ดวงจันทร์, เจษฎาภรณ์ จิติธรรม, ลดาวัลย์ วัฒนะจีระ, นันท์นภัส มโนนันท์, บัญจรัตน์ โจลานันท์ | 701 |
| 1024 | **แบบจำลองการปลดล็อคกลอนไฟฟ้าด้วยการตรวจจับและประมวลผลภาพคิวอาร์โค้ด**<br>นุชนาฏ หาไม้ตรี, ณัฐกิตติ์ พูลเอี่ยม, นนทรัฐ บำรุงเกียรติ | 705 |
| 1032 | **สมาร์ทแคน:ไม้เท้านำทางอัตโนมัติสำหรับผู้พิการทางสายตา**<br>พชร วีระภักดี, รณกร ขาเพชร, วชิราวุธ ธรรมวิเศษ, อุรฉัตร โคแก้ว | 707 |
| 1059 | **การตรวจความสุกของทุเรียนจากสมบัติทางไฟฟ้าที่ขั้วก้านทุเรียนด้วยโพรบแบบขนาน**<br>มนตรี ไชยชาญยุทธ์, พลศาสตร์ เลิศประเสริฐ | 709 |
| 1060 | **ระบบตรวจวัดคุณภาพน้ำทะเลชายฝั่ง**<br>มนตรี ไชยชาญยุทธ์, พลศาสตร์ เลิศประเสริฐ | 715 |
| 1061 | **อุปกรณ์วัดคลื่นไฟฟ้าหัวใจประมวลผลด้วยโปรแกรม LabVIEW**<br>สิทธิชัย จีนะวงษ์, สุจิตรา จีนะวงษ์, ดนัย ชาติมนตรี, วิชัย แก้วรากมุข | 721 |
| 1071 | **เครื่องสลายก๊าซพิษ จากกระบวนการอบและเคลือบปกหนังสือ โดยการประยุกต์ใช้พลังงานโคโรนา แบบสนามไฟฟ้าความเครียดสูง**<br>ศิศีโรตม์ เกตุแก้ว | 724 |
| 1135 | **ระบบตรวจสอบและจัดการพื้นที่ว่างในลานจอดรถ**<br>ณัฐกานต์ พุทธรักษ์, จีรสุดา โกษียาภรณ์, ธันวา สุวรรณรัตน์, บุณณ์ณฤตกรณ์ ภู่วิจิตรสุทิน | 728 |
| 1140 | **อุปกรณ์รดน้ำต้นไม้อัตโนมัติโดยใช้เซ็นเซอร์วัดความชื้นในดิน**<br>ชีวัน บุญธรรม, มัลลิกา พุ่มพวง, เสฎฐวิทย์ เกิดผล | 730 |
| 1162 | **ระบบแจ้งเตือนการโจรกรรมและระบุตำแหน่งรถจักรยานยนต์**<br>ปราโมทย์ วาดเขียน, จีรสุดา โกษียาภรณ์, ธนัท เมษพันธุ์, ธนาศักดิ์ ชมจุรัย | 732 |

| วันพฤหัสบดีที่ 28 กรกฎาคม พ.ศ.2559 | | Poster |
|---|---|---|
| **Poster Session**<br>**ห้อง หัวหิน ชั้น 2**<br>**ประธาน :** เรืออากาศตรี ชลิต คุ้มทวี | | |
| 13:00 – 17:00 น. | | |
| **ID** | เรื่อง / ผู้แต่ง | หน้า |
| 1173 | **ระบบรู้จำและเก็บข้อมูลป้ายทะเบียนอัตโนมัติ**<br>สิปนนท์ มุทาวัน, อริสรา หนูวัฒนา, พรชัย เปลี่ยมทรัพย์ | 734 |
| 1179 | **ระบบบริหารจัดการ คลินิกเทคนิคการแพทย์ กรณีศึกษา คลินิกชัยภูมิแลบ**<br>ณัฏฐณิชา โพธิ์สว่าง, ศิริรัตน์ สิทธิหาโคตร, มัลลิกา วัฒนะ, อุรฉัตร โคแก้ว, วชิราวุธ ธรรมวิเศษ | 736 |
| 1201 | **ระบบจัดการฟาร์มสุกร กรณีศึกษา ฟาร์มครูเสริฐ**<br>กานต์ชนก ขินสูงเนิน, มัลลิกา วัฒนะ, วชิราวุธ ธรรมวิเศษ, อุรฉัตร โคแก้ว | 738 |
| 1203 | **ระบบการพยากรณ์และตรวจจับความผิดปกติของการใช้ไฟฟ้าในเขตเทศบาลนครอุดรธานี**<br>ปัจจัย พวงสุวรรณ, วิษณุ ตลับเงิน, คณพศ จูลนันท์ | 741 |
| 1246 | **สายอากาศแพตช์พาราซิติกโพลาไรซ์วงกลมแบนด์กว้างป้อนสัญญาณเดี่ยวร่วมกับแผ่นพับ สำหรับประยุกต์ใช้งานอาร์เอฟไอดียูเอชเอฟสากล**<br>สิทธิชัย เด่นตรี, บัญชา เหลือแดง, ลักขณา บรรณวัฒน์, ชูวงค์ พงศ์เจริญพาณิชย์ | 745 |

**บทความวิจัย**

การประชุมวิชาการ งานวิจัยและพัฒนาเชิงประยุกต์ ครั้งที่ 8

*8th ECTI-CARD 2016, Hua Hin, Thailand*

# เครื่องอุ่นเลือดสำหรับการให้เลือดผู้ป่วยในห้องผ่าตัด

# Blood infusion warmer for patient blood transfusion in operation room

**เสนอ สะอาด* รุ่งลาวัลย์ ชูสวัสดิ์ และ ดรุณี ชายทอง**

[1]สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

1 ถ.ราชดำเนินนอก ต.บ่อยาง อ.เมือง จ.สงขลา 90000 โทรศัพท์: 0-7431-7162 E-mail: s_saner@hotmail.com

## บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการออกแบบสร้างเครื่องอุ่นเลือดสำหรับการให้เลือดผู้ป่วยในห้องผ่าตัด เพื่อเพิ่มอุณหภูมิของเลือดก่อนให้ผู้ป่วยในห้องผ่าตัดให้มีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นใกล้เคียงกับอุณหภูมิของร่างกาย เพื่อป้องกันการเกิดภาวะอุณหภูมิกายต่ำ (Hypothermia) ในขณะผ่าตัด เครื่องอุ่นเลือดฯ ถูกออกแบบให้มีชุดทำความร้อน 2 ชุด คือ (1) ชุดทำความร้อนที่ถุงเลือด และ (2) ชุดทำความร้อนที่สายให้เลือด ซึ่งใช้ขดลวดทำความร้อนในการเพิ่มอุณหภูมิและมีเซนเซอร์ทำหน้าที่ในการตรวจจับอุณหภูมิ ควบคุมการทำงานด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ มีโหมดการทำงาน 2 โหมด คือ โหมดอัตโนมัติและโหมดกำหนดการใช้งานโดยผู้ใช้ ผลการทดสอบการทำงานพบว่า สามารถเพิ่มอุณหภูมิของเลือดก่อนให้ผู้ป่วยได้ประมาณ 20 ถึง 30 องศาเซลเซียส โดยเฉลี่ยอุณหภูมิเลือดจะเพิ่มขึ้นประมาณ 1.5 องศาเซลเซียสต่อนาที (ที่อัตราการไหล 22 มิลลิลิตรต่อนาที)

คำสำคัญ: เครื่องอุ่นเลือด ภาวะอุณหภูมิกายต่ำ ไมโครคอนโทรลเลอร์ ขดลวดทำความร้อน

## Abstract

This article presents the design of blood infusion warmer for patient blood transfusion in operation room. It uses to increase temperature of blood before operation to be similar to body temperature and prevent low temperature (Hypothermia) during operation. It is designed to have two sets of heater; 1) blood bag set heater and 2) cable kit heater which uses the heating coil to increase temperature and have sensor to detect temperature. The blood warmer for patient blood transfusion in operation room controls the operation with microcontrollers. It is divided into two modes; 1) automatic mode and 2) manual mode. The experimental result showed that it could increase blood temperature before transfusion to patients around 20 to 30 degrees Celsius. The average temperature raised approximately 1.5 degrees Celsius per minute (the flow rate at 22 ml per minute).

Keywords: blood warmer, hypothermia, microcontroller, heater coil

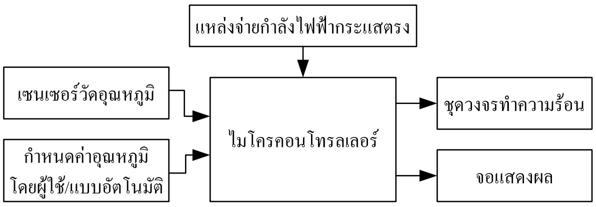
## 1. บทนำ

ในปัจจุบันประเทศไทยมี อัตราการเกิดอุบัติเหตุ อยู่ในระดับที่น่าวิตก ซึ่งในการเกิดอุบัติเหตุผู้บาดเจ็บจะมีการสูญเสียเลือดจากอุบัติเหตุ และในการผ่าตัด ปกติในร่างกายของมนุษย์จะมีเลือดเป็นองค์ประกอบอยู่ 7-8 เปอร์เซ็นต์ หากมีการสูญเสียเลือดหรือเลือดไหลออกจากร่างกายไปมากกว่าหนึ่งในสามส่วน ก็อาจมีอันตรายถึงชีวิตได้ [1]

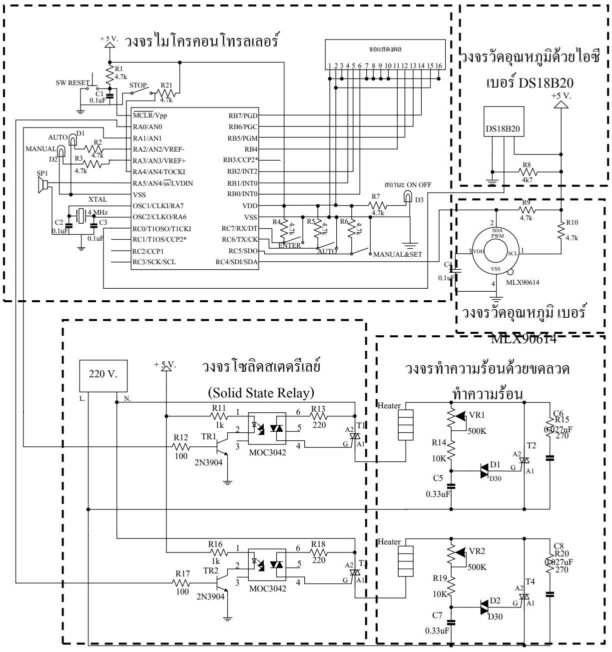
ในการผ่าตัดผู้ป่วยในแต่ละครั้ง ต้องมีการให้เลือดทดแทนเลือดที่สูญเสียไป การให้เลือดทนแทนในปริมาณที่มากกว่าปริมาณเลือดทั้งหมดในร่างกายของผู้ป่วยภายในระยะเวลา 2-3 ชั่วโมง อาจทำให้เกิดภาวะแทรกซ้อนอันได้แก่ ภาวะอุณหภูมิกายต่ำ (Hypothermia) ทำให้เกิดความดันโลหิตต่ำ กล้ามเนื้อขดเกร็งและเกิดอาการช็อกได้ เนื่องจากเลือดที่นำมาให้ทดแทนมีการเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิประมาณ 4 องศาเซลเซียส การให้เลือดจึงควรเพิ่มอุณหภูมิเลือดให้มีค่าใกล้เคียงกับอุณหภูมิของร่างกาย (37 องศาเซลเซียส) ดังนั้น จึงจำเป็นอย่างยิ่งต้องมีการควบคุมอุณหภูมิของเลือดก่อนให้ผู้ป่วย [2] จึงได้มีการประดิษฐ์เครื่องอุ่นเลือดและสารละลายเพื่อใช้ในการป้องกันภาวะอุณหภูมิกายต่ำในผู้ป่วยขณะผ่าตัด [3] โดยผู้ช่วยศาสตราจารย์ทันตแพทย์สุรพงษ์ วงศ์วัชรานนท์ เครื่องดังกล่าวสามารถอุ่นเลือดและน้ำเกลือในอุณหภูมิที่ต้องการได้ อย่างไรก็ตาม มีการใช้ระบบควบคุมอุณหภูมิที่ใช้ในงานอุตสาหกรรมซึ่งมีขนาดใหญ่และราคาสูง เครื่องอุ่นเลือด Barkey รุ่นS-line [4] นำเข้าจากประเทศเยอรมันเพื่อใช้อุ่นสายให้เลือดและน้ำเกลือ ซึ่งมีใช้อยู่ในโรงพยาบาลสงขลานครินทร์ สามารถปรับอุณหภูมิให้อยู่ที่ประมาณ 39 องศาเซลเซียส ค่าความผิดพลาดไม่เกิน 2 องศาเซลเซียส อย่างไรก็ตาม เครื่องดังกล่าวไม่สามารถปรับตั้งค่าอุณหภูมิได้และมีราคาค่อนข้างสูง และเครื่อง Blood and Infusion Warmer Nuova/05 [5] สามารถตั้งค่าการทำงานได้ตั้งแต่ 37–41 องศาเซลเซียส ค่าความผิดพลาดไม่เกิน 0.5 องศาเซลเซียส แต่อย่างไรก็ตามการใช้งานค่อนข้างยุ่งยาก เพราะต้องนำสายให้เลือดพันรอบแกนที่ให้ความร้อนและมีราคาสูง

จากปัญหาดังกล่าวคณะผู้จัดทำจึงได้ทำการออกแบบเครื่องอุ่นเลือดสำหรับให้เลือดผู้ป่วยในห้องผ่าตัด เพื่อทำหน้าที่ปรับค่าอุณหภูมิของเลือดให้มีค่าที่เหมาะสมก่อนการให้เลือดทดแทนแก่ผู้ป่วย เพื่อลดการเกิดภาวะอุณหภูมิกายต่ำและเกิดการช็อก โดยใช้เทคนิคการถ่ายเท

ความร้อนจากวงจรทำความร้อนไปยังถุงเลือดและสายให้เลือด มีตัวเซ็นเซอร์เพื่อตรวจวัดของอุณหภูมิและแสดงค่าอุณหภูมิของเลือดก่อนให้ผู้ป่วยผ่านทางจอแสดงผลควบคุมการทำงานโดยไมโครคอนโทรลเลอร์




**รูปที่ 1** บล็อกไดอะแกรมการทำงานของการทำงานของเครื่องอุ่นเลือดสำหรับการให้เลือดผู้ป่วยในห้องผ่าตัด




**รูปที่ 2** วงจรเครื่องอุ่นเลือดสำหรับการให้เลือดฯ ควบคุมการทำงานด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์

## 2. การออกแบบเครื่องอุ่นเลือดสำหรับการให้เลือดผู้ป่วยในห้องผ่าตัด

เครื่องอุ่นเลือดสำหรับการให้เลือดผู้ป่วยในห้องผ่าตัด แสดงดังในรูปที่ 1 ถูกออกแบบให้ทำหน้าที่ในการเพิ่มอุณหภูมิเลือดหรือของเหลวให้มีค่าอุณหภูมิสูงขึ้นโดยอัตโนมัติ หรือกำหนดโดยผู้ใช้ มีเซนเซอร์วัดค่าอุณหภูมิเลือดตลอดเวลา ควบคุมทำงานด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ มีระบบหยุดการทำงานโดยอัตโนมัติหากอุณหภูมิที่วัดได้สูงกว่าที่กำหนด สามารถอธิบายการทำงานได้ดังนี้

(1) เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ ทำหน้าที่ในวัดอุณหภูมิโดยใช้เซนเซอร์ MLX90614 ถูกติดตั้งในถุงให้เลือดและเซนเซอร์ DS18B20 ถูกติดตั้งในสายให้เลือด ทั้งสองชุดจะส่งค่าอุณหภูมิที่วัดได้ไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อประมวลผลต่อไป

(2) ชุดวงจรทำความร้อน ทำหน้าที่ในการเพิ่มอุณหภูมิของเลือดในถุงเลือดและในสายให้เลือด โดยจะใช้ขดลวดและแผ่นทำความร้อนเป็นตัวเพิ่มอุณหภูมิ ให้มีค่าตามอุณหภูมิของเครื่องอุ่นเลือดที่กำหนด

(3) ไมโครคอนโทรลเลอร์ ทำหน้าที่เป็นตัวประมวลผลหลัก โดยจะรับค่าอินพุตจากวงจรเซนเซอร์วัดอุณหภูมิ แล้วทำการประมวลผลตามโปรแกรมที่ออกแบบไว้ เพื่อควบคุมการทำงานของวงจรทำความร้อน ถูกออกแบบให้ทำงาน 2 โหมด คือ แบบอัตโนมัติ (Auto) และแบบกำหนดโดยผู้ใช้ (Manual) โดยในโหมดการทำงานอัตโนมัติจะถูกกำหนดค่าอุณหภูมิไว้ที่ 37 องศาเซลเซียส และในโหมดกำหนดโดยผู้ใช้สามารถกำหนดค่าอุณหภูมิในช่วง 25-40 องศาเซลเซียส นอกจากนั้นยังมีระบบแจ้งเตือนหากอุณหภูมิเลือดที่วัดได้มีค่าสูงกว่า 30 องศาเซลเซียส

(4) จอแสดงผล ทำหน้าที่แสดงการทำงานของระบบ เช่น ค่าอุณหภูมิของชุดอุ่นเลือดในถุงเลือด ชุดอุ่นเลือดในสายให้เลือด เป็นต้น

จากหลักการทำงานของเครื่องอุ่นเลือดถูกนำมาออกแบบเป็นวงจรควบคุมการทำงานดังแสดงในรูปที่ 2 โดยมีไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC ทำหน้าที่เป็นหัวใจสำคัญของระบบ โดยการรับค่าอุณหภูมิที่ได้จากตัวเซนเซอร์ในถุงเลือดและในสายให้เลือด เพื่อควบคุมชุดทำความร้อนให้มีความเหมาะสมทั้งสองตำแหน่ง ซึ่งในการออกแบบจะเห็นได้กำหนดให้มีการให้ความร้อนในการอุ่นเลือดสองตำแหน่งดังแสดงในรูปที่ 3

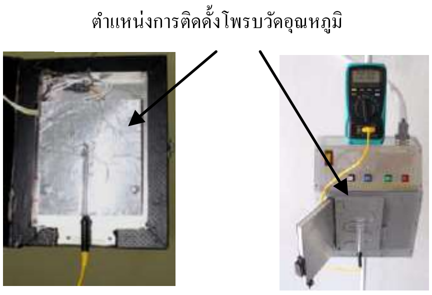
**รูปที่ 3** การติดตั้งชุดทำความร้อนของเครื่องอุ่นเลือดฯ
(ก) ชุดให้ความร้อนในถุงเลือด (ข) ชุดทำความร้อนในสายให้เลือด

**รูปที่ 4** เครื่องอุ่นเลือดสำหรับการให้เลือดผู้ป่วยในห้องผ่าตัดที่นำเสนอ

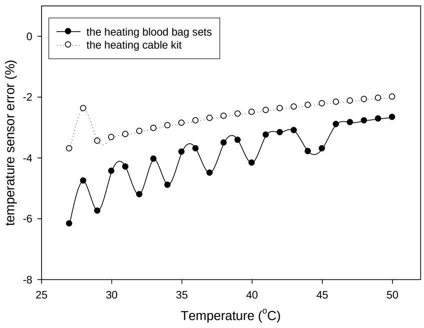
## 3. ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

เครื่องอุ่นเลือดสำหรับการให้เลือดผู้ป่วยในห้องผ่าตัดที่นำเสนอดังแสดงในรูปที่ 4 ถูกนำมาทดสอบเพื่อหาประสิทธิภาพการทำงาน โดยการทดสอบการทำงานของเซนเซอร์วัดอุณหภูมิที่ชุดให้ความร้อนในถุงเลือดและชุดสายให้เลือด การวัดค่าอุณหภูมิจะมีการติดตั้งชุดวัดอุณหภูมิในตำแหน่งต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 5 โดยทำการวัดค่าอุณหภูมิที่ได้จากเครื่องอุ่นเลือดเปรียบเทียบกับมิเตอร์วัดอุณหภูมิมาตรฐาน ในช่วงอุณหภูมิระหว่าง 27-50 องศาเซลเซียส โดยจะทำการทดลองเป็นจำนวน 3 ซ้ำ ผลการทดสอบการทำงานพบว่าชุดให้ความร้อนในถุงเลือด มีค่าความผิดพลาดสูงสุด 6 เปอร์เซ็นต์ และชุดสายให้เลือดค่าความผิดพลาดสูง 3.5 เปอร์เซ็นต์ ดังแสดงในรูปที่ 6 การทดสอบการทำงานของเครื่องอุ่นเลือดดังแสดงในรูปที่ 7 เป็นการทดสอบการทำงานโดยทำการวัดค่าอุณหภูมิของน้ำที่มีอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ในปริมาณ 350 มิลลิลิตร เท่ากับปริมาณของเลือดที่ใช้กับผู้ป่วย แล้วตั้งค่าอุณหภูมิของเครื่องอุ่นเลือดฯ ไว้ที่ 32, 37, 40, 45, และ 50 องศาเซลเซียส ตามลำดับ แล้วทำการอุ่นน้ำในถุงเลือดเป็นเวลา 5 นาที ก่อนทำการปล่อยให้น้ำไหลออกจากถุง ทำการวัดค่าอุณหภูมิของน้ำทุก 2 นาที ผลการทดสอบการทำงานพบว่าอุณหภูมิของน้ำจะมีค่าค่อยๆ เพิ่มขึ้น การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิน้ำจะมีการเพิ่มขึ้นในลักษณะเป็นเชิงเส้น ดังแสดงในรูปที่ 8 โดยสามารถเพิ่มอุณหภูมิของน้ำจาก 4 องศาเซลเซียส ให้มีอุณหภูมิสูงขึ้นประมาณ 20 – 39 องศาเซลเซียส โดยเฉลี่ยอุณหภูมิของน้ำจะเพิ่มขึ้นประมาณ 2.19 องศาเซลเซียสต่อนาที ที่อัตราการไหลของน้ำ 21.86 มิลลิลิตรต่อนาที

รูปที่ 9 แสดงการทดสอบการทำงานของเครื่องอุ่นเลือดฯ ทดสอบด้วยถุงเลือดที่มีอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส โดยตั้งค่าอุณหภูมิของเครื่องอุ่นเลือดไว้ที่ 45 องศาเซลเซียส ผลการทดสอบการทำงานพบว่าเลือดจะมีอุณหภูมิค่อยๆ เพิ่มขึ้นเช่นเดียวกับน้ำแต่จะมีอัตราการเพิ่มอุณหภูมิที่น้อยกว่า โดยเฉลี่ยอุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นประมาณ 1.5 องศาเซลเซียสต่อนาที ที่อัตราการไหล 21.86 มิลลิลิตรต่อนาที ดังแสดงในรูปที่ 10 จากผลการทดสอบจะเห็นได้ว่าค่าอุณหภูมิของเลือดที่เพิ่มขึ้นจะขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง เช่น อัตราการไหลของเลือด การชดเชยอุณหภูมิของวงจรทำความร้อนและ ระยะเวลาในการอุ่นถุงเลือดก่อนการให้เลือด

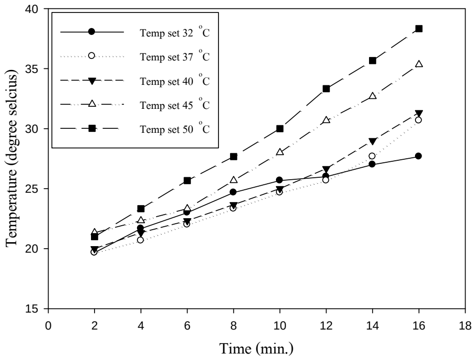



**รูปที่ 5** การทดสอบการทำงานของตัวเซนเซอร์วัดอุณหภูมิในชุดให้ความร้อนในถุงเลือดและชุดสายให้เลือด



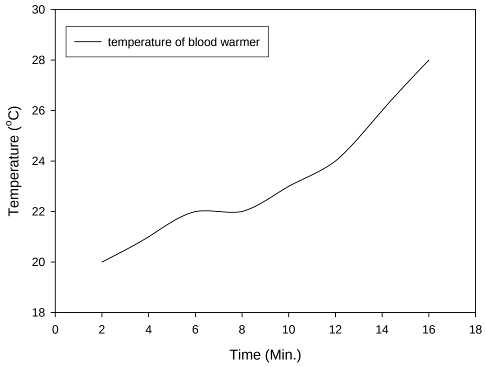

**รูปที่ 6** การเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิที่อ่านได้จากเซนเซอร์วัดอุณหภูมิกับมิเตอร์ในชุดให้ความร้อนในถุงเลือดและชุดสายให้เลือด

**รูปที่ 7** การทดสอบการทำงานของเครื่องอุ่นเลือดฯ ด้วยอุ่นน้ำเมื่อกำหนดการทำงานที่อุณหภูมิต่างๆ




**รูปที่ 8** กราฟความสัมพันธ์ของอุณหภูมิน้ำเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้นกับระยะเวลาเมื่อกำหนดการทำงานของเครื่องอุ่นเลือดที่ค่าอุณหภูมิต่างๆ

**รูปที่ 9** การทดสอบการทำงานของเครื่องอุ่นเลือดฯ เมื่อกำหนดการทำงานของเครื่องที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส




**รูปที่ 10** ความสมันพันธ์ของอุณหภูมิเลือดที่เพิ่มขึ้นเปรียบเทียบกับระยะเวลาเมื่อกำหนดการทำงานที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส

## 4. สรุป

เครื่องอุ่นเลือดสำหรับการให้เลือดผู้ป่วยในห้องผ่าตัดที่ได้ออกแบบ มีประสิทธิภาพในการเพิ่มอุณหภูมิของเลือดได้อย่างถูกต้องแม่นยำ โดยใช้เทคนิคการอุ่นเลือดทั้งในบริเวณถุงเลือดและสายให้เลือด โดยสามารถเพิ่มอุณหภูมิของเลือดได้สูงสุดถึง 30 องศาเซลเซียส มีอัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิที่ 1.5 องศาเซลเซียสต่อนาที ที่อัตราการไหล 21.86 มิลลิลิตรต่อนาที เครื่องมีค่าสูญเสียพลังงานไฟฟ้า 38 วัตต์ จึงเหมาะที่จะนำมาใช้สำหรับใช้งานสำหรับการให้เลือดผู้ป่วย เพื่อป้องกันการเกิดภาวะอุณหภูมิกายต่ำ (Hypothermia) ในขณะผ่าตัด เพื่อลดการนำเข้าสินค้าจากต่างประเทศต่อไป

## 5. กิตติกรรมประกาศ

ผลงานนี้ได้รับการสนับสนุนจากคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย และขอขอบคุณนักศึกษาสาขาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ทุกท่าน ตลอดจนโรงพยาบาลหาดใหญ่และโรงพยาบาลสงขลานครินทร์

## เอกสารอ้างอิง

[1] วิน เชยชมศรี, “โลหิตวิทยา”, *วารสารอิเล็กทรอนิกส์ สำนักหอสมุด มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์*, 2547. หน้า 1-21.

[2] ศักดา ดาดวง, “37 °C สุขภาพดี”, *ศูนย์หนังสือ ส.ส.ท.*, กรุงเทพมหานคร, 2553.

[3] สุรพงษ์ วงศ์วัชรานนท์, “การประดิษฐ์เครื่องอุ่นเลือดและสารละลายเพื่อใช้ในการป้องกันภาวะอุณหภูมิกายต่ำในผู้ป่วยขณะผ่าตัด”, คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ สงขลา, 2548.

[4] Barkey GmbH & Co. KG.(2009) *The BarkeyS-line.* [online] ได้จาก: http://www.barkey.de/en/medical-technology/infusion-warming/s-line.html.

[5] Nuova GmBs. .(2012, Jun 05) *Blood and Infusion Warmer Nuova/05.* [online] ได้จาก: http://www.nuova.de/en/blood_ _infusion_warmer_nuova05.php.

**เสนอ สะอาด** จบการศึกษาระดับปริญญาตรีและปริญญาโท จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง สาขาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ ปี พ.ศ. 2542 และ 2548 ตามลำดับ ปัจจุบันดำรงตำแหน่งผู้ช่วยศาสตราจารย์ประจำหลักสูตรสาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย ทำงานวิจัยด้านการออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์ ด้านกระประยุกต์ใช้วงจรอิเล็กทรอนิกส์ และด้านพลังงานทางเลือก

# กล่องเปล่งเสียงฝึกสอนเด็กประถมวัยผู้บกพร่องทางการเห็นโดยใช้คีย์บอร์ดมาตรฐาน

# A Voice-Able Trainer Box Using the Standard Keyboard for Elementary Visually Impaired Children

**ยุพดี หัตถสิน[1], กฤติน ทิพย์สน[2], นุกูล ชูศรี[3] และ ทองคำ สมเพราะ[4]**
[1,2,3]สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงใหม่
128 ถนนห้วยแก้ว ตำบลช้างเผือก อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ 50300 [1]โทรศัพท์ 085-1647683
[1]E-mail: UHT@rmutl.ac.th [2]E-mail: kittin_thipson@hotmail.com [3]E-mail: chusri_00@hotmail.com

## บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ทำการออกแบบและผลิตอุปกรณ์ต้นแบบของกล่องเปล่งเสียงฝึกสอนเด็กประถมวัยด้วยคีย์บอร์ดมาตรฐานสำหรับบุคคลที่มีความบกพร่องทางการมองเห็น ซึ่งเป็นสื่อการเรียนรู้เกี่ยวกับการฝึกทักษะในการพิมพ์แป้นคีย์บอร์ด มีการใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุมการประมวลผล โดยการเขียนโปรแกรมให้ควบคุมการถอดรหัสจากแป้นพิมพ์โดยจะทำการถอดรหัสแอสกี้ จากการกดคีย์บอร์ดแต่ละครั้ง แล้วนำมาทำการตรวจสอบค่าที่รับมาจากถอดรหัสแอสกี้ เพื่อทำการประมวลผลและสอบตรวจความถูกต้องของข้อมูลที่รับมาจากอินพุต และทำการส่งสัญญาณไปเทียบกับรหัสเสียงที่เก็บอยู่ในโมดูลเอ็มพีสาม จากนั้นจึงส่งผลลัพธ์ไปขยายเสียง แล้วแปลงสัญญาณไฟฟ้าให้เป็นสัญญาณเสียงพูดออกลำโพง ซึ่งสามารถเปล่งเสียงพูดได้ 2 ภาษาคือ ภาษาไทย และภาษาอังกฤษ ตามลำดับ ผลลัพธ์การทดสอบมาจาก 2 ส่วน คือ ผลการประเมินจากผู้มีสายตาปกติ 35 คน จากนักเรียนที่มีความบกพร่องทางการมองเห็น 10 คน ทั้งนี้ผลที่ได้ด้านการออกแบบอยู่ที่ 87.95% สำหรับผู้มีสายตาปกติและ 91.07% สำหรับนักเรียนที่มีความบกพร่องทางการมองเห็น ส่วนด้านความแม่นยำอยู่ที่ 88.00% และ 88.00% ส่วนด้านความสะดวกในการใช้งานอยู่ที่ 83.00% และ 89.50% ส่วนด้านความเหมาะสมของราคาอยู่ที่ 78.57% และ 85.00% ตามลำดับ

คำสำคัญ: ผู้บกพร่องทางการมองเห็น, โรงเรียนสอนคนตาบอด, กล่องเปล่งเสียงฝึกสอน

## Abstract

This research presents the design and manufacture prototype of the voice coaches elementary-aged children with standard keyboard for people with impaired vision. The media learned about the practice of typing keyboard. This prototype version based microcontroller. The act of decoding processing to decode the ASCII keyboard by pressing the keyboard but once. Then it checks the value derived from the processing and decoding ASCII to check the accuracy of the information received from the Input and output to the audio code stored in the mp3 modules. And then send the output to the amplifier. Then converting electrical signals into voice signals through the speakers. The speech has two languages of Thai and English. The test results from the second part is the result of normal vision 30 people from students with disabilities for 10 people, the results are as follows. Design is at 87.95% and 91.07% for those with normal sight for students with visual impairment. The accuracy is at 88.00% and 88.00% of its ease of use are at 83.00% and 89.50% of the appropriateness of the price of 78.57% and 85.00% respectively.

Keywords: The visually impaired, The blind school, A Voice-Able Trainer Box

## 1. บทนำ

คีย์บอร์ดสำหรับผู้มีสายตกปกตินั้นหาได้ง่ายทั่วโลก ในขณะที่คีย์บอร์ดสำหรับผู้บกพร่องทางการเห็นหรือผู้พิการทางสายตานั้นมีอยู่จำกัด มันเป็นความจริงที่ผู้บกพร่องทางการเห็นมีความจำเป็นที่ต้องสื่อสารผ่านโลกอักษร ผ่านคีย์บอร์ด และผ่านการเรียนรู้กฎเกณฑ์ต่างๆ เพื่อที่จะดำรงชีวิตอย่างช่วยตนเองได้และไม่เป็นภาระให้สังคม กรณีการใช้คีย์บอร์ดของคนตาบอดเพื่อให้เริ่มฝึกใช้คอมพิวเตอร์เบื้องต้นได้นั้น สิ่งที่สำคัญที่สุดก็คือ การที่จะต้องรู้ให้ได้ก่อนว่าปุ่มต่างๆ บนคีย์บอร์ด ส่วนที่เป็นตัวอักษร ส่วนที่ควบคุมเคอร์เซอร์ ปุ่มฟังก์ชั่นต่างๆ และกลุ่มตัวเลขเป็นอย่างไร ดังนั้นจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่คนตาบอดจะต้องศึกษาการใช้คีย์บอร์ด หรือเรียกง่ายๆ ก็คือการเรียนพิมพ์สัมผัสนั่นเอง

จากการที่ได้ไปศึกษาที่โรงเรียนสอนคนตาบอดภาคเหนือในพระบรมราชินูปถัมภ์ จังหวัดเชียงใหม่ ทำให้ทีมผู้วิจัยได้มีแนวคิดด้านการออกแบบกล่องเปล่งเสียงฝึกสอนเด็กประถมวัยด้วยคีย์บอร์ดมาตรฐานสำหรับคนตาบอดขึ้น โดยเน้นที่ความสะดวกสบายและพกพาง่าย พร้อมกับยังมีเกมส์เพื่อเป็นการผ่อนคลายและช่วยฝึกทักษะทางด้านการฟังและการคิดสำหรับคนพิการ โดยเฉพาะอย่างเป็นการสนับด้านการ

เรียนการสอนให้กับนักเรียนตาบอดที่พร้อมที่จะพัฒนาตนเองได้ทุกโอกาสให้เป็นกาลังของชาติสืบไป

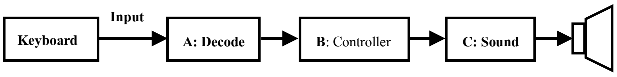
## 2. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยได้มุ่งเน้นการอำนวยความสะดวกช่วยให้คนตาบอดใช้งานคอมพิวเตอร์เบื้องต้น[1] ในการฝึกทักษะการพิมพ์ตัวอักษรและตัวเลขต่าง ๆ โดยที่จะมีเสียงเป็นตัวแสดงผลออกมาให้ทราบถึงตัวอักษรและตัวเลขที่พิมพ์ เช่น การใช้คีย์บอร์ดหรือเรียนพิมพ์สัมผัส[2] โปรแกรม TBTW ช่วยแปลอักษรเบรลล์[3] การพัฒนาอุปกรณ์ให้สามารถแสดงผลออกมาเป็นอักษรเบรลล์ที่ต่อออกมาจากเครื่องคอมพิวเตอร์อีกที[4] และการส่งข้อมูลนั้นจะใช้โปรแกรมของคอมพิวเตอร์เข้ามาช่วยในการควบคุมโดยไม่ต้องใช้กระดาษในการอ่านข้อมูล[5] และเครื่องแต่ละชนิดนั้นยังออกแบบรูปของแป้นให้เหมาะสมกับความสามารถในการเข้าถึงของผู้พิการทางแต่ละบุคคล[6] และมีการพัฒนาด้านการสัมผัสแบบสมาร์ทโฟนทำให้ยากต่อการใช้งานมากขึ้น[7] โดยโปรแกรมต่างๆ และเครื่องมือเหล่านี้จึงเป็นที่ต้องการของผู้พิการทางสายตาอยากมากในการใช้ชีวิตในปัจจุบัน แต่งานวิจัยที่กล่าวมา ก็ยังไม่ได้สร้างเพื่อสนับสนุนการเรียนรู้ของเด็กประถมวัยผู้บกพร่องทางการมองเห็น

## 3. การดำเนินงานวิจัย

### 3.1 การออกแบบกรอบความคิด

การออกแบบกรอบความคิดได้ตระหนักถึงประโยชน์ของการพัฒนาสื่อเพื่อการเรียนรู้สำหรับผู้บกพร่องทางการเห็นหรือผู้พิการทางสายตา โดยเป้าหมายแรกอยู่ที่นักเรียนชั้นประถมของโรงเรียนสอนคนตาบอดภาคเหนือในพระบรมราชินูปถัมภ์ เพื่อให้พวกเขาสามารถเรียนรู้การใช้คีย์บอร์ดมาตรฐานได้ โดยเมื่อผู้บกพร่องทางการเห็นได้กดปุ่มใดๆบนคีย์บอร์ดก็จะมีเสียงบรรยายถึงรายละเอียดของตัวอักษรที่กดไปนั้น มาเป็นตัวควบคุม ซึ่งกรอบความคิดสามารถแสดงเป็นบล็อกไดอะแกรมได้ดังรูปที่ 1 โดยการทำงานของแต่ละบล็อกสามารถบรรยายได้ดังนี้




**รูปที่ 1** รอบความคิดของโครงงาน

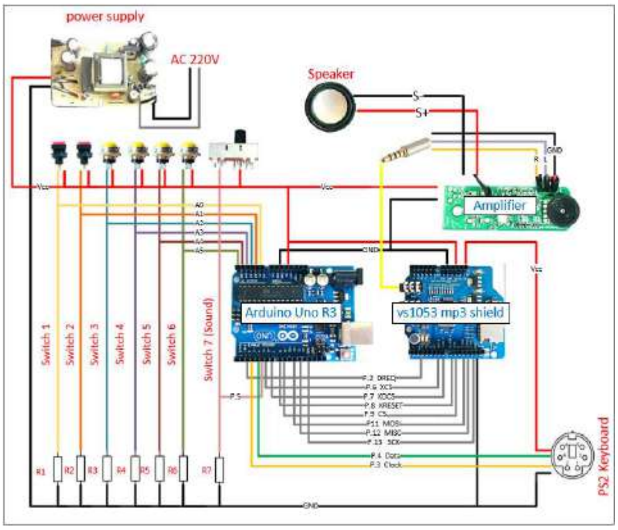
**บล็อก A:** คือบล็อกแทนการถอดรหัส (Decode) จากแป้นพิมพ์ โดยจะทำการถอดรหัส ASCII จากการกดคีย์บอร์ดแต่ละครั้ง

**บล็อก B:** คือบล็อกแสดงแทนการประมวลผล (Controller) โดยจะทำการตรวจสอบค่าที่รับมาจากภาค Decode เพื่อทำการประมวลผลและตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลที่รับมาจาก Input และทำการส่งสัญญาณไปยังภาคเสียง

**บล็อก C:** คือบล็อกแสดงแทนการทำงานของภาคเสียง (Sound) จะทำหน้าที่ในการรับสัญญาณที่ส่งออกมาจากภาค Controller ให้เป็นสัญญาณ เสียงและยังเป็นที่ให้เก็บเสียงต่างๆ

### 3.2 การออกแบบส่วนประกอบด้านฮาร์ดแวร์

จากกรอบความคิด เมื่อนำมาโยงความสัมพันธ์กันกับส่วนฮาร์ดแวร์ที่เป็นไปได้เพื่อช่วยการออกแบบวงจรระบบ ทำให้สามารถนำอุปกรณ์ต่างๆ มารวมเข้าด้วยกันเพื่อให้ทำงานได้ตามเป้าหมาย โดยลักษณะการต่อวงจรของอุปกรณ์ในระบบที่นำเสนอนี้ สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2 จากนั้นมีการนำอุปกรณ์แต่ละชิ้นมาทดสอบการทำงาน แล้วมีการใช้งานเบิร์นโปรแกรมลงไอซี Arduino ซึ่งเป็น Microcontroller เพื่อทำการทดสอบการรับค่า ASCII จากคีย์บอร์ดแสดงได้ดังรูปที่ 3.ก) ส่วนรูปที่ 3.ข) เป็นการนำอุปกรณ์ต่างๆ ประกอบลงในกล่องเปล่งเสียงฝึกสอน หลังจากทดสอบแต่ละอุปกรณ์ให้สามารถทำงานสัมพันธ์กันได้ครบสมบูรณ์

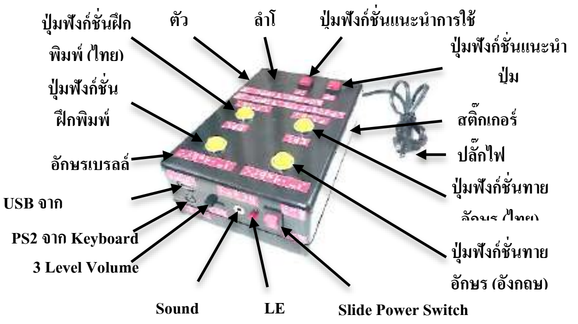



**รูปที่ 2** ลักษณะการต่ออุปกรณ์ของวงจรระบบที่นำเสนอ

ก) การเบิร์นโปรแกรมลงไอซี ข) นำอุปกรณ์ประกอบลงกล่อง

**รูปที่ 3** การเบิร์นการโปรแกรมลงไอซีและการบรรจุอุปกรณ์ลงกล่อง

เมื่อทำการประกอบกล่องเปล่งเสียงฝึกสอนเสร็จสมบูรณ์ พร้อมออกแบบป้ายติดอักษรเบรลล์บอกฟังก์ชันการใช้งานบนตัวกล่อง แล้วสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4 โดยรูปที่ 5 เป็นระบบองค์รวมพร้อมคีย์บอร์ดครบทั้งหมดเมื่อพร้อมใช้งาน

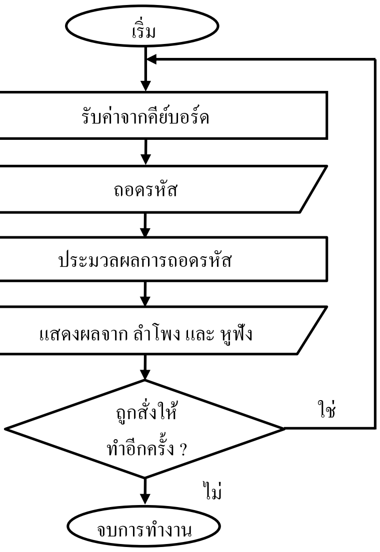



**รูปที่ 4** ฟังก์ชันใช้งานบนกล่องเปล่งเสียงฝึกสอนที่นำเสนอ

## 3.3 การออกแบบส่วนประกอบด้านซอฟต์แวร์

การออกแบบทางซอฟต์แวร์สำหรับระบบของกล่องเปล่งเสียงฝึกสอนมีลักษณะดังรูปที่ 6 ซึ่งเป็นแผนผังทำงานที่เขียนโปรแกรมควบคุมด้วยภาษาซี โดยเมื่อทำการเปิดเครื่องใช้งานแล้ว และเมื่อกดแป้นพิมพ์ในแต่ละครั้ง กล่องเปล่งเสียงจะรับค่าจากคีย์บอร์ดจากการกดครั้งนั้นๆ แล้วทำการถอดรหัสแอสกี้ประจำตำแหน่งของปุ่มกดนั้นๆ ออกมา จากนั้นทำการประมวลผลการถอดรหัสเพื่อตรวจสอบว่าในแต่ละครั้งที่ทำการกดแป้นพิมพ์นั้น ผู้ใช้งานกดตัวอักษรใดบนคีย์บอร์ด จากนั้นจึงแสดงผลเสียงพูดออกมาจากลำโพง หากผู้ใช้ทำการกดแป้นพิมพ์ในครั้งต่อๆ ระบบก็จะทำแบบเดิม แต่หากผู้ใช้ไม่ต้องการที่จะใช้งานต่อ ผู้ใช้ก็สามารถกดปิดเครื่องเพื่อจบการทำงานได้

**รูปที่ 5** เมื่อต่อคีย์บอร์ดพร้อมใช้งานระบบ




**รูปที่ 6** แผนผังการทำงานระบบของกล่องเปล่งเสียงฝึกสอน

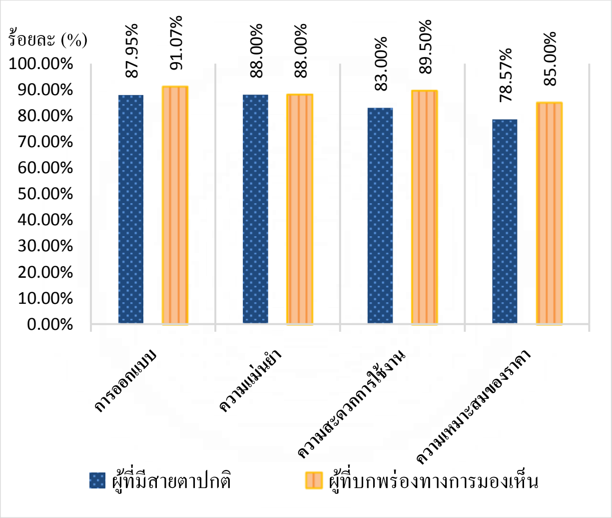
ก) ผู้มีสายตาปกติ ข) ผู้ที่บกพร่องทางการมองเห็น

**รูปที่ 7** บรรยากาศระหว่างการทดสอบจาก 2 กลุ่มผู้ทดสอบ

## 4. ผลการทดลอง

ส่วนของการทดลองกล่องเปล่งเสียงฝึกสอนเด็กประถมวัยด้วยคีย์บอร์ดมาตรฐาน ต้องอาศัยการทดสอบเกี่ยวกับวิธีการใช้งาน คุณสมบัติและขีดจำกัดของกล่องเปล่งเสียงฝึกสอน เพื่อเป็นข้อมูลเบื้องต้นสำหรับผู้ที่สนใจจะนำไปศึกษา เพื่อสร้างใช้งานและปรับปรุงในเชิงอุตสาหกรรมหรือนำไปพัฒนาให้มีคุณสมบัติให้ดียิ่งขึ้นต่อไป โดยงานวิจัยนี้ได้แบ่งผู้ทดสอบเป็น 2 กลุ่มคือ 1) ทดสอบกับผู้ที่มีสายตาปกติ และ 2) ทดสอบกับผู้บกพร่องทางการมองเห็น กรณีผู้บกพร่องทางการเห็นเมื่อทำการทดสอบการกดแป้นพิมพ์คีย์บอร์ดนี้ ได้มาจากความต้องการของผู้สอนที่แนะนำการพิมพ์ที่ผู้บกพร่องทางการมองเห็นฝึก

พิมพ์ในชั้นเรียน โดยบรรยากาศระหว่างทำการทดสอบของทั้งสองกลุ่ม ผู้ทดสอบแสดงได้ดังรูปที่ 7 ซึ่งรูปที่ 7.ก) เป็นผู้ทดสอบจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงใหม่ จำนวน 35 คน และรูปที่ 7.ข) เป็นผู้ทดสอบที่มีความบกพร่องทางการมองเห็นจากโรงเรียนสอนคนตาบอดภาคเหนือในพระบรมราชินูปถัมภ์ จังหวัดเชียงใหม่ จำนวน 10 คน




**รูปที่ 8** ผลการประเมินโดยภาพรวมของผู้ทดสอบทั้งสองกลุ่ม

การทดสอบได้มาจากการถาม 4 มิติของแบบประเมินคือ ด้านการออกแบบ, ด้านความแม่นยำ, ด้านความสะดวกการใช้งาน, และด้านความเหมาะสมของราคา เมื่อทำการทดลองใช้งานและประเมินเสร็จ จึงมีนำผลการประเมินจากการทดสอบทั้ง 2 กลุ่มบุคคลนั้นมากรอกคะแนนและประมวลผลหาค่าเฉลี่ย ค่าทางสถิติพร้อมทั้งทำเป็นผลลัพธ์ร้อยละ แล้วนำมาเปรียบเทียบกันระหว่างผลประเมินจากกลุ่มผู้ประเมินทั้ง 2 กลุ่ม สามารถแสดงผลเป็นแผนภูมิแท่งได้ดังในรูปที่ 8 ผลเปรียบเทียบแสดงให้เห็นว่า ทุกๆ มิติการประเมินของผู้ที่มีสายตาปกติจะให้คะแนนน้อยกว่า เนื่องมาจากพวกเขาสามารถรับรู้ได้จากระบบประสาททั้ง 6 ทำให้มีมุมมองหรือโลกทัศน์ที่กว้างกว่า ในขณะที่ผู้บกพร่องทางการเห็นจะให้คะแนนประเมินสูงกว่า เนื่องเพราะพวกเขารู้สึกมีความตื่นเต้นในการรับรู้โลกใหม่ด้านอักษรผ่านสื่อการเรียนรู้ใหม่ด้วยเสียงตอบสนองปุ่มกดและเป็นที่ชื่นชอบอันไม่เคยลองเล่นและสัมผัสมาก่อน อันส่งผลให้สนับสนุนการเรียนรู้กฎต่างๆในการมีชีวิตอยู่ในสังคมได้ด้วยความสามารถของตัวเขาเอง

## 5. บทสรุป

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอการออกแบบและผลิตอุปกรณ์ต้นแบบของกล่องเปล่งเสียงฝึกสอนเด็กประถมวัยด้วยคีย์บอร์ดมาตรฐานสำหรับบุคคลที่มีความบกพร่องทางการมองเห็น อันเป็นสื่อการเรียนรู้เกี่ยวกับการฝึกทักษะในการพิมพ์แป้นคีย์บอร์ด ซึ่งสามารถเปล่งเสียงพูดได้ 2 ภาษาคือ ภาษาไทย และภาษาอังกฤษ การทดสอบมี 4 มิติของ ด้านการออกแบบ ด้านความแม่นยำ ด้านความสะดวกในการใช้งาน และด้านความเหมาะสมของราคาผลลัพธ์การทดสอบมาจากกลุ่มคน 2 กลุ่ม โดยกลุ่มผู้มีสายตาปกติได้ให้เกณฑ์คะแนนระดับดี ส่วนนักเรียนที่มีความบกพร่องทางการมองเห็นให้เกณฑ์คะแนนระดับดีมาก ซึ่งทำให้ได้สนับสนุนโอกาสทางการเรียนรู้ให้แก่เด็กประถมวัยในการฝึกทักษะในระบบประสาทส่วนที่ยังมีเหลืออยู่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

## 6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณอาจารย์ศิริพร วงศ์รุจิไพโรจน์ และคณะ จาก โรงเรียนสอนคนตาบอดภาคเหนือ ในพระบรมราชินูปถัมภ์ จังหวัดเชียงใหม่ ที่ได้ให้คำแนะนำและข้อคิดต่างๆ ขอขอบคุณทุนวิจัยในโครงการ HRS2015 ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนาเชียงใหม่ ที่ให้การสนับสนุนทุนวิจัย

## เอกสารอ้างอิง

[1] จตุพล หนูท่าทอง. คนตาบอดใช้คอมพิวเตอร์ได้ยังไง. [ระบบออนไลน์] [อ้างเมื่อ 23 เมษายน 2549] จาก http://psatansat.exteen.com/20060423/entry/page/1

[2] ภัทรวิทย์ กิจเจตนี, มนตรี ตั้งประยูรเลิศ และ สมโภชน์ อรัญพันธ์. เครื่องจดจำช่วยคนตาบอดไทยในการจดบันทึก. คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล. [ระบบออนไลน์] [อ้างเมื่อ 8 มกราคม 2556] จาก http://www.mahidol.ac.th/th/reward/2556/note_memo

[3] ณภัทร เฉลิมชุติปภา. 2553. โปรแกรม TBTW. บทความจากหนังสือ. เทคโนโลยีเพื่อผู้พิการ. วิทยาลัยราชสุดา มหาวิทยาลัยมหิดล.

[4] ณภัทร เฉลิมชุติปภา. 2553. Braille Display. บทความจากหนังสือ. เทคโนโลยีเพื่อผู้พิการ. วิทยาลัยราชสุดา มหาวิทยาลัยมหิดล.

[5] วัฒนา วิชา, บัญชา ทองขาว และ ยศพัฒน์ เกริกกิตติวิทย์. 2553. คีย์บอร์ดและส่วนแสดงผลด้วยรหัสอักษรเบรลล์. สาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์) คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม

[6] ASTV ผู้จัดการ. ญี่ปุ่นโชว์คีย์บอร์ดใหม่เพื่อคนตาบอด. [ระบบออนไลน์] [อ้างเมื่อ 1 มีนาคม 2559] จาก http://www.manager.co.th/Cyberbiz/ViewNews.aspx? News ID=9490000150838

[7] อติวงศ์ สุชาโต. 2557. เทคโนโลยีเสียงพูดในเทคโนโลยีเพื่อช่วย เหลือและการเข้าถึงข้อมลโดยผู้ใช้ที่มีความบกพร่องทางร่างกาย. บทความจากหนังสือ. ตามรอยพระมหาการุณยดิริย์

**บทความวิจัย**

การประชุมวิชาการ งานวิจัยและพัฒนาเชิงประยุกต์ ครั้งที่ 8

*8th ECTI-CARD 2016, Hua Hin, Thailand*

# ระบบบันทึกและวิเคราะห์ผลการทดสอบสมรรถภาพทางกาย

# Data Collection and Analysis System for Measuring Physical Fitness

**ธันยวุฒิ อักขระสมชีพ[1], อนันต์ ผลเพิ่ม[1], ชัยพร ใจแก้ว[1], อภิรักษ์ จันทร์สร้าง*[1], ณัฐิกา เพ็งลี[2], นาทรพี ผลใหญ่[2], วิชาญ มะวิญธร[2]**

[1]ห้องปฏิบัติการวิจัยเครือข่ายไร้สาย ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

[2]ภาควิชาพลศึกษา คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

E-mail: thanyavuth@outlook.com, anan.p@ku.ac.th, chaiporn.j@ku.ac.th, aphirak.j@ku.ac.th*,

fedunkp@ku.ac.th, fedunppy@ku.ac.th, feduwcm@ku.ac.th

## บทคัดย่อ

การทดสอบสมรรถภาพทางกายในปัจจุบันจะบันทึกผลการทดสอบลงกระดาษแล้วนำไปกรอกเข้าสู่ระบบคอมพิวเตอร์ในภายหลัง เป็นสาเหตุของความล่าช้าในการประเมินผลการทดสอบ จากปัญหาข้างต้นนำมาสู่การเสนอระบบสำหรับบันทึกและวิเคราะห์ผลการทดสอบสมรรถภาพทางกาย เพื่อลดเวลาในการรวบรวมข้อมูลผู้เข้าทดสอบโดยการบันทึกผลการทดสอบเข้าสู่ระบบคอมพิวเตอร์ในทันที และเป็นการลดความซ้ำซ้อนของการบันทึกผล ส่งผลให้ลดโอกาสในการบันทึกผลทดสอบผิดพลาด นอกจากนี้ยังวิเคราะห์ผลการทดสอบให้ผู้ทดสอบทราบผลวิเคราะห์ได้ทันที และผู้จัดการทดสอบยังทราบผลการวิเคราะห์สมรรถภาพในภาพรวมของกลุ่มผู้เข้าทดสอบอีกด้วย ซึ่งผลตอบรับจากการนำไปใช้งานจริงในวิชาพลศึกษา ผู้เข้าร่วมการทดสอบ ทุกคนพอใจในระบบใหม่มากกว่าการบันทึกผลลงกระดาษแบบเดิม

คำสำคัญ: สมรรถภาพทางกาย, ทดสอบสมรรถภาพ, โปรแกรมประยุกต์

## Abstract

Nowadays, physical fitness measurements are recorded with paper and are later on entered into a computer. This causes is a significant delay during the evaluation process. Data Collection and Analysis System for Measuring Physical Fitness has been developed to solve the problem. It shortens data collection time by recording results directly into a server and reduces mistakes in the input data by getting rid of redundant recording process. In addition, the system immediately displays analysis to individual examinees and overall analysis to the examiners. Feedback from a real deployment shows that most of users are more satisfied with the new system than with the old system.

Keywords: physical fitness, measuring fitness, mobile application

## 1. บทนำ

การทดสอบสมรรถภาพทางกายของบุคคลจะแบ่งเป็นจุดต่างๆ ในการบันทึกผลการทดสอบผู้เข้าทดสอบจำเป็นต้องถือกระดาษสำหรับบันทึกผลการทดสอบในแต่ละจุด ซึ่งเป็นการไม่สะดวกแก่ผู้เข้าทดสอบ และเจ้าหน้าที่จะต้องนำข้อมูลผลการทดสอบของผู้เข้าทดสอบทุกคนบันทึกเข้าสู่ระบบคอมพิวเตอร์อีกครั้ง ซึ่งอาจเกิดปัญหาในการอ่านข้อความลายมือที่บันทึกผลการทดสอบไม่ออกหรืออ่านผิดพลาดได้ รวมถึงการไม่สามารถวิเคราะห์ผลการทดสอบได้ในทันที ห้องปฏิบัติการวิจัยเครือข่ายไร้สายจึงพัฒนา*ระบบรวบรวมข้อมูลการวัดประเมินสมรรถภาพทางกาย*[1] ขึ้นเพื่อแก้ไขปัญหาข้างต้น แต่ระบบดังกล่าวยังไม่สามารถวิเคราะห์ผลการทดสอบ ทำให้ผู้เข้าทดสอบต้องนำผลกลับไปตีความเอง ผู้จัดการทดสอบไม่สามารถประเมินผลทดสอบของผู้เข้าทดสอบโดยรวมได้ จึงนำมาสู่การพัฒนาต่อยอดเป็น*ระบบบันทึกและวิเคราะห์ผลการทดสอบสมรรถภาพทางกาย* โดยระบบใหม่นี้พัฒนาความสามารถวิเคราะห์ผลลัพธ์ออกมาให้ผู้เข้าทดสอบทราบผลได้ทันทีหลังจากบันทึกผลการทดสอบเข้าสู่ระบบสำเร็จ และผู้จัดการทดสอบสามารถทราบผลการวิเคราะห์สมรรถภาพของผู้เข้าทดสอบได้ว่าโดยรวมมีสมรรถภาพอยู่ในระดับใดได้อีกด้วย

## 2. งานและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

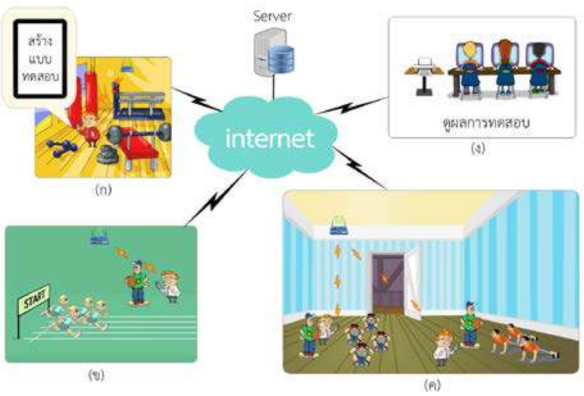
การบันทึกข้อมูลผลการทดสอบจะบันทึกผ่านโปรแกรมประยุกต์บนสมาร์ตโฟนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์[2] เพื่อเป็นการนำข้อมูลเข้าสู่ระบบคอมพิวเตอร์โดยตรง โดยส่งข้อมูลไปยังเซิร์ฟเวอร์ด้วยเทคโนโลยีการสื่อสารทางเครือข่ายคอมพิวเตอร์แบบไร้สายมาตราฐาน IEEE 802.11 [3] หรือเทคโนโลยีการเชื่อมต่อในระบบเซลลูลาร์[4] แบบ 3G, LTE ซึ่งสามารถส่งสัญญาณได้เป็นบริเวณกว้างขวาง ระยะสัญญาณไกล และรองรับการเชื่อมต่อกับสมาร์ตโฟนทั่วไป ผู้จัดการทดสอบทำการสร้างแบบทดสอบและกำหนดจุดทดสอบรวมถึงเกณฑ์ทดสอบผ่านทางเว็บไซต์ และผู้เข้าทดสอบดูผลทดสอบผ่านทางเว็บไซต์

## 3 รายละเอียดการพัฒนา

การพัฒนาระบบจะพัฒนาส่วนติดต่อผู้ใช้งานในรูปแบบของโปรแกรมประยุกต์บนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ เว็บไซต์ และฐานข้อมูลของระบบ

### 3.1 ภาพรวมของระบบ

ภาพรวมของระบบบันทึกและวิเคราะห์ผลการทดสอบสมรรถภาพทางกายแสดงดังรูปที่ 1




**รูปที่ 1** ภาพรวมของระบบ

ผู้จัดการทดสอบจะสร้างแบบทดสอบผ่านทางเว็บไซต์โดยกำหนดรูปแบบจุดทดสอบ เกณฑ์การทดสอบ และสามารถลงทะเบียนให้ผู้เข้าร่วมทดสอบล่วงหน้า หรืออนุญาตให้ผู้เข้าทดสอบลงทะเบียนด้วยตัวเองทางเว็บไซต์ดังรูปที่ 2 เมื่อแบบทดสอบถูกสร้างเรียบร้อยแล้ว เจ้าหน้าที่บันทึกคะแนนที่แต่ละจุดทดสอบจะใช้โปรแกรมประยุกต์ที่ติดตั้งบนสมาร์ตโฟนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์สำหรับบันทึกผลคะแนนทดสอบ

เมื่อเริ่มต้นใช้งานโปรแกรมประยุกต์จะต้องทำการระบุรหัสแบบทดสอบที่สร้างขึ้นมาเพื่อเข้าสู่แบบทดสอบนั้น และเลือกจุดทดสอบที่ตนเองยืนประจำการอยู่ เมื่อมีผู้เข้าทดสอบมาทดสอบที่จุดทดสอบ เจ้าหน้าที่บันทึกคะแนนก็จะทำการกรอกหมายเลขผู้เข้าทดสอบกับคะแนนที่ทดสอบได้ลงในโปรแกรมประยุกต์ ดังรูปที่ 3

จากนั้นคะแนนจะถูกส่งจากโปรแกรมประยุกต์ไปบันทึกลงฐานข้อมูลที่เซิร์ฟเวอร์ หากสมาร์ตโฟนไม่สามารถเชื่อมต่ออินเตอร์เน็ต คะแนนของผู้เข้าทดสอบจะถูกเก็บสำรองในฐานข้อมูลของสมาร์ตโฟนชั่วคราว เมื่อสมาร์ตโฟนสามารถเชื่อมต่ออินเตอร์เน็ตได้อีกครั้ง ระบบจะส่งคะแนนที่สำรองไว้ไปยังเซิร์ฟเวอร์ เมื่อข้อมูลถูกบันทึกลงในฐานข้อมูลที่เซิร์ฟเวอร์เรียบร้อยแล้ว ผู้เข้าทดสอบหรือผู้จัดการทดสอบสามารถดูผลคะแนนที่เพิ่งบันทึกไปนั้นผ่านทางเว็บไซต์ได้ทันที

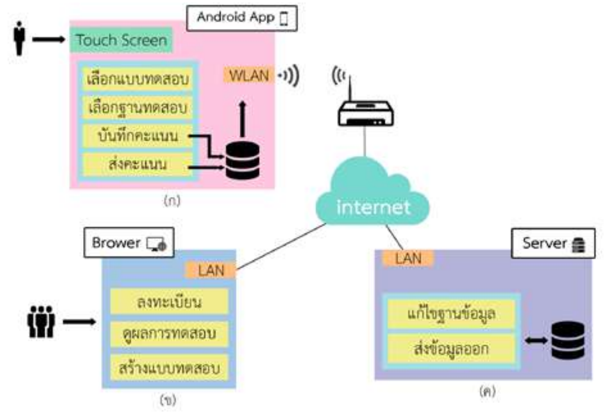
หากเจ้าหน้าที่บันทึกคะแนนให้ผู้เข้าทดสอบผิดพลาด ผู้เข้าทดสอบสามารถตรวจสอบและแจ้งได้ในทันที ให้เจ้าหน้าที่ทำการบันทึกคะแนนที่ถูกต้องเข้าสู่ระบบใหม่ ระบบจะยึดผลตามคะแนนครั้งล่าสุดที่บันทึกลงในฐานข้อมูลมาใช้ในการแสดงผลคะแนนของผู้เข้าทดสอบ

**รูปที่ 2** ส่วนติดต่อผู้ใช้ทางเว็บไซต์

**รูปที่ 3** ส่วนติดต่อผู้ใช้ทางโปรแกรมประยุกต์

### 3.2 การออกแบบและพัฒนาระบบ

การพัฒนาระบบแบ่งออกเป็น 3 ส่วนหลัก คือ 1) โปรแกรมประยุกต์บนสมาร์ตโฟน 2) เว็บไซต์ 3) ส่วนประมวลผลที่เซิร์ฟเวอร์ องค์ประกอบของระบบแสดงดังรูปที่ 4




**รูปที่ 4** องค์ประกอบของระบบ

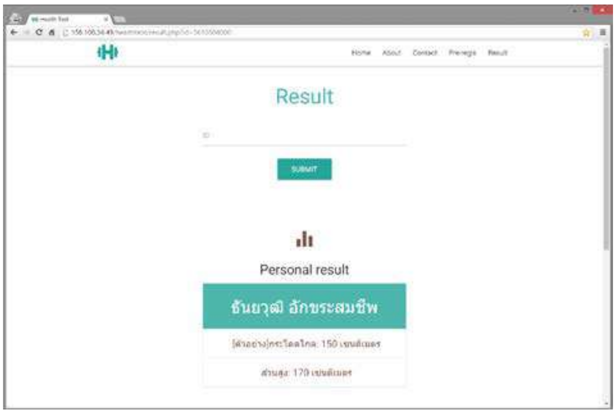
3.2.1 โปรแกรมประยุกต์บนสมาร์ตโฟน

โปรแกรมประยุกต์บนสมาร์ตโฟนที่พัฒนาขึ้นทำงานภายใต้ระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ แบ่งการทำงานเป็น 3 ส่วนหลัก คือ 1) ส่วนยืนยันตัวตนเข้าสู่แบบทดสอบ 2) ส่วนเลือกจุดทดสอบสำหรับบันทึกคะแนน และ 3) ส่วนบันทึกคะแนน โดยมีส่วนติดต่อผู้ใช้แสดงดังรูปที่ 3 โปรแกรมประยุกต์จะรับข้อมูลการทดสอบ และส่งข้อมูลคะแนนไปยังเซิร์ฟเวอร์ด้วยเทคโนโลยีการสื่อสารทางเครือข่ายคอมพิวเตอร์แบบไร้สายมาตราฐาน IEEE 802.11 หรือ 3G หรือ LTE

3.2.2 เว็บไซต์

แบ่งออกเป็น 2 หน้าจอ คือ 1) หน้าจอสำหรับผู้เข้าทดสอบใช้งาน และ 2) หน้าจอสำหรับผู้จัดการทดสอบใช้งาน การพัฒนาเว็บไซต์ใช้ภาษา HTML และ PHP ร่วมกันเป็นหลัก และพัฒนาให้รองรับการใช้งานบนสมาร์ตโฟนได้อย่างสะดวกคือส่วนติดต่อผู้ใช้จะปรับเปลี่ยนไปตามขนาดหน้าจอที่เปิดใช้งาน

หน้าจอสำหรับผู้เข้าทดสอบนั้นสามารถลงทะเบียนเข้าร่วมการทดสอบและดูผลการทดสอบ ดังแสดงในรูปที่ 5




**รูปที่ 5** ส่วนติดต่อผู้ใช้ทางเว็บไซต์สำหรับดูผลการทดสอบ

หน้าจอสำหรับผู้จัดการทดสอบจะสามารถสร้างแบบทดสอบใหม่ สร้างจุดการทดสอบใหม่ กำหนดเกณฑ์ในการทดสอบของแต่ละจุดทดสอบ และลงทะเบียนให้ผู้เข้าร่วมทดสอบล่วงหน้าได้ โดยเกณฑ์ทดสอบจะแบ่งเกณฑ์ตามอายุและเพศของผู้เข้าทดสอบ

3.2.3 ส่วนประมวลผลที่เซิร์ฟเวอร์

เป็นส่วนประสานการเชื่อมต่อระหว่างโปรแกรมประยุกต์กับฐานข้อมูลในเซิร์ฟเวอร์ คือเมื่อโปรแกรมประยุกต์มีการร้องขอข้อมูลรายละเอียดต่างๆของแบบทดสอบ ส่วนนี้จะเป็นส่วนเรียกข้อมูลจากฐานข้อมูลออกมาแล้วทำการส่งกลับไปให้โปรแกรมประยุกต์ หรือเมื่อโปรแกรมประยุกต์ทำการส่งคะแนนของผู้เข้าทดสอบมาที่ส่วนนี้ ส่วนนี้จะเป็นส่วนที่นำข้อมูลคะแนนที่ได้รับมาบันทึกเข้าสู่ฐานข้อมูล โดยฐานข้อมูลถูกออกแบบให้สอดคล้องกับบรรทัดฐานของบอยส์และคอดด์ [5] เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาการขัดแย้งกันเองของข้อมูลในฐานข้อมูล

## 4. การทดสอบการใช้งาน

ทดสอบระบบในส่วนของฟังก์ชั่นการทำงาน และความถูกต้องของข้อมูล ในการใช้งานการลงทะเบียนและการดูคะแนนจากเว็บไซต์ และประสิทธิภาพในการใช้งานโปรแกรมประยุกต์ของผู้ใช้

### 4.1 สภาพแวดล้อมในการทดสอบ

4.1.1 ทดสอบความถูกต้องของโปรแกรมประยุกต์ในอุปกรณ์

ทำการทดลองติดตั้งโปรแกรมประยุกต์ลงในสมาร์ตโฟนและแท็บเล็ตระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์รุ่นต่างๆ เพื่อทดสอบการบันทึกคะแนนเข้าสู่ฐานข้อมูลที่เซิร์ฟเวอร์ และทดสอบการใช้งานเว็บไซต์โดยให้ผู้เข้าทดสอบลงทะเบียนและดูผลการทดสอบ

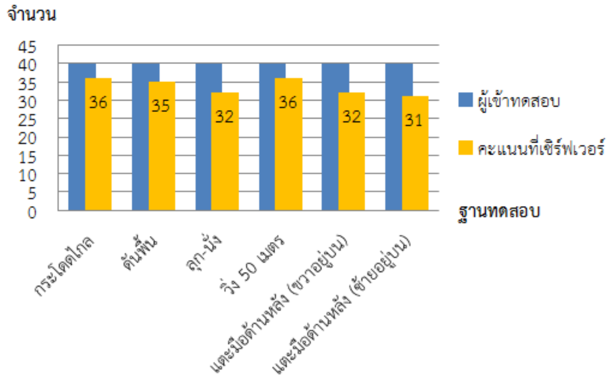
4.1.2 ทดสอบประสิทธิภาพในการใช้งานจริง

ทำการทดสอบกับนิสิตภาควิชาพลศึกษา ในรายวิชาพลศึกษา โดยมีผู้เข้าทดสอบ 40 คน อาสาสมัครจากนิสิตพลศึกษาเพื่อเป็นผู้บันทึกผลการทดสอบ 6 คน และอาจารย์ประจำวิชาพลศึกษาเป็นผู้ออกแบบการทดสอบ 2 คน เริ่มต้นผู้ออกแบบจะสร้างจุดทดสอบและแบบทดสอบขึ้นมา จากนั้นแบ่งผู้เข้าทดสอบออกเป็น 6 กลุ่ม เพื่อเวียนเข้าทดสอบตามจุดทดสอบที่ผู้ออกแบบการทดสอบสร้างไว้ 6 จุด คือ ลุก-นั่ง(ครั้ง) กระโดดไกล(เซนติเมตร), แตะมือด้านหลัง(ขวาอยู่บน), แตะมือด้านหลัง(ซ้ายอยู่บน), ดันพื้น(ครั้ง), วิ่ง 50 เมตร(วินาที) ดังแสดงในรูปที่ 6

**รูปที่ 6** บรรยากาศการทดสอบใช้งานระบบ

4.2 ผลการทดสอบและการวิจารณ์ผล

จากการทดสอบพบว่าระบบที่พัฒนาขึ้น ส่วนเว็บไซต์สามารถสร้างแบบทดสอบ และรองรับการลงทะเบียนของผู้เข้าทดสอบได้สำเร็จทุกคน ส่วนโปรแกรมประยุกต์สามารถส่งคะแนนผู้เข้าทดสอบไปบันทึกยังฐานข้อมูลที่เซิร์ฟเวอร์ได้ แต่มีคะแนนการทดสอบบางส่วนสูญหายดังแสดงในรูปที่ 7 ซึ่งเกิดจากผู้เข้าทดสอบทำคะแนนได้สูงกว่าหรือต่ำกว่าเกณฑ์ปกติ 1.5 เท่าขึ้นไป ผลสัมภาษณ์ผู้ออกแบบการทดสอบ ผู้เข้าร่วมทดสอบ และผู้บันทึกคะแนนรวม 42 คน เกี่ยวกับความถูกต้องของผลทดสอบ ความง่ายในการใช้งาน ความเร็วในการทดสอบสมรรถภาพด้วยระบบใหม่ ให้ผลเอกฉันท์ในความพอใจและยินดีเปลี่ยนมาใช้งานระบบใหม่เพราะมีความสะดวกและรวดเร็วกว่าระบบเดิม




**รูปที่ 7** จำนวนคะแนนที่ถูกบันทึกลงในฐานข้อมูลที่เซิร์ฟเวอร์

## 5. บทสรุป

ระบบบันทึกและวิเคราะห์ผลการทดสอบสมรรถภาพทางกายสามารถใช้ในการทดสอบสมรรถภาพทางกายได้จริง และแนวทางในการพัฒนาต่อสามารถพัฒนาจุดบกพร่องในส่วนที่มีการบันทึกคะแนนลงในฐานข้อมูลสูญหาย โดยกำหนดให้ระบบรองรับการบันทึกคะแนนที่ผิดปกติได้ แต่ทำการแจ้งเตือนว่าคะแนนมีความผิดปกติแทน

## 6. กิตติกรรมประกาศ

โครงงานนี้ได้รับการอนุเคราะห์ไลบรารีในการพัฒนาโครงงานจากบริษัทสแควร์ (Square, Inc) และคุณสิทธิพล พรรณวิไล และได้รับความช่วยเหลือในการทดสอบระบบจากภาควิชาพลศึกษา

## เอกสารอ้างอิง

[1] คณิน วรางคณานุกูล, อนันต์ ผลเพิ่ม, ชัยพร ใจแก้ว, อภิรักษ์ จันทร์สร้าง*, ณัฐิกา เพ็งลี, นาทรพี ผลใหญ่, วิชาญ มะวิญธร, "ระบบรวบรวมข้อมูลการวัดประเมินสมรรถภาพทางกาย (Data Collection System for Measuring Physical Fitness Test)", In 7th ECTI Conference on Application Research and Development (ECTI-CARD 2015), Trang, Thailand, July 8-10, 2015, หน้า 67-70.

[2] แอนดรอยด์ (ระบบปฏิบัติการ) [ออนไลน์]. สืบค้นจาก: https://th.wikipedia.org/wiki/แอนดรอยด์_(ระบบปฏิบัติการ) (วันที่สืบค้น 6 ธันวาคม 2558).

[3] IEEE_802.11 [ออนไลน์]. สืบค้นจาก: https://th.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.11 (วันที่สืบค้น 20 พฤศจิกายน 2558).

[4] เซลลูลาร์ (cellular) [ออนไลน์]. สืบค้นจาก: http://aernlove13.blogspot.com/2012/07/cellular.html (วันที่สืบค้น 12 มีนาคม 2559).

[5] ระบบฐานข้อมูลเชิงสัมพันธ์[ออนไลน์]. สืบค้นจาก: http://www.sut.ac.th/ist/Courses/204204/Lecture/204204_47_05.pdf (วันที่สืบค้น 6 ธันวาคม 2558).

### ประวัติผู้เขียนบทความ

**นายธันยวุฒิ อักขระสมชีพ**

**รศ.ดร.อนันต์ ผลเพิ่ม**

**ผศ.ดร.ชัยพร ใจแก้ว**

**ผศ.ดร.อภิรักษ์ จันทร์สร้าง**

**ดร.ณัฐิกา เพ็งลี**

**ดร.นาทรพี ผลใหญ่**

**นายวิชาญ มะวิญธร**

# เครื่องวัดความดันโลหิตแบบไม่รุกล้ำโดยใช้วิธีออสซิลโลเมตริก

## Noninvasive Blood Pressure Instrument Using Oscillometric Method

**ทัศวรรณ พุทธสกุล, กมลรัตน์ ปัตถานัง และ มนัส สังวรศิลป์**
สาขาวิศวกรรมชีวการแพทย์ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรังสิต
โทรศัพท์: 081-0410589 E-mail: tasawan.p@rsu.ac.th

## บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้พัฒนาสร้างเครื่องวัดความดันโลหิตแบบอัตโนมัติ โดยใช้หลักการวัดความดันโลหิตแบบไม่รุกล้ำด้วยหลักการออสซิลโลเมตริก ซึ่งในการประมวลผลค่าความดันโลหิตนั้นจะถูกประมวลผลโดยไมโครคอนโทรลเลอร์ STM32F4Discovery และแสดงผลบนคอมพิวเตอร์ ซึ่งการคำนวณค่าความดันโลหิตนั้นจะใช้อัตราส่วนที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับค่าความดันเฉลี่ย ซึ่งทำให้มีค่าความดันโลหิตมีความถูกต้องมากขึ้น จากผลการทดสอบการวัดค่าความดันโลหิตโดยเครื่องสอบเทียบความเที่ยงตรงเครื่องวัดความดันโลหิตแบบไม่รุกล้ำยี่ห้อ Fluke รุ่น Cufflink และเครื่องที่ขายตามท้องตลาด OMRON พบว่าเครื่องที่ได้ทำการออกแบบมีค่าที่ถูกต้องและแม่นยำใกล้เคียงกับเครื่องมาตรฐาน

คำสำคัญ: ความดันโลหิต, หลักการออสซิลโลเมตริก

## Abstract

This paper aims to develop a construction of noninvasive automated blood pressure monitors using oscillometric. In processing the blood pressure that is being processed by a microcontroller. STM32F4Discovery and displayed on a computer. The blood pressure values are calculated using a ratio that varies depending on the mean pressure. This causes the blood pressure is more accurate. The results of test to measure blood pressure by calibrating precision measuring blood pressure noninvasive Brand Fluke Model Cufflink and that the market OMRON found that the machine was designed with the correct and accurate similar to standards.

Keywords: Blood pressure, Oscillometric method

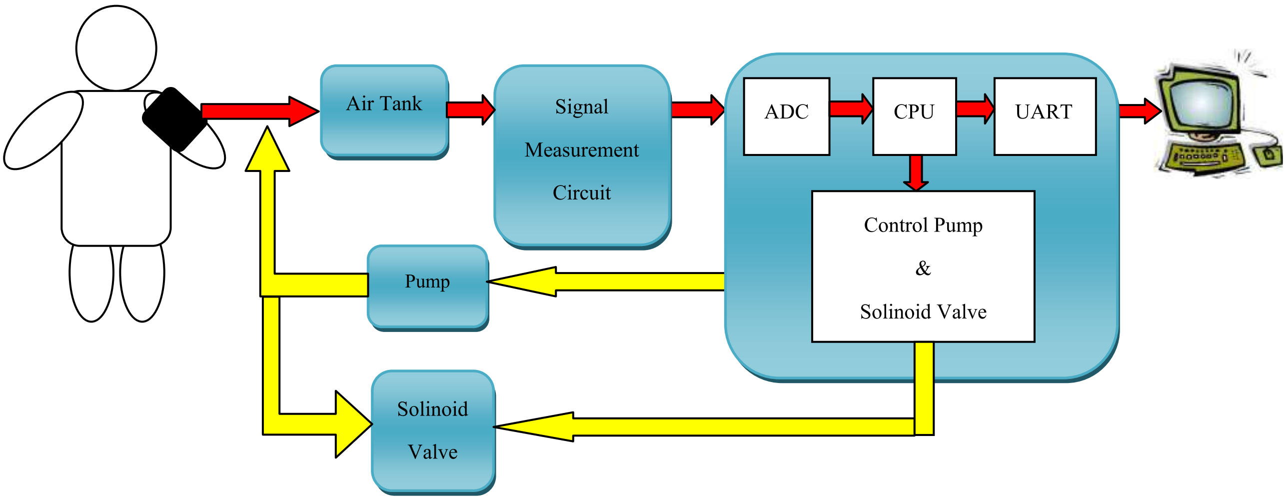
## 1. บทนำ

โรคความดันโลหิตสูง หรือแพทย์บางท่านเรียกว่า ภาวะความดันโลหิตสูง (Hypertension หรือ High blood pressure) เป็นโรคพบได้บ่อยมากอีกโรคหนึ่งในผู้ใหญ่ พบได้สูงถึง ประมาณ 25-30% ของประชากรโลกที่เป็นผู้ใหญ่ทั้งหมด โดยพบในผู้ชายบ่อยกว่าในผู้หญิง และพบได้สูงขึ้นในผู้สูงอายุ ในบางประเทศ โรคความดันโลหิตสูง คือ ภาวะมีความดันโลหิต วัดได้สูงตั้งแต่ 140/90 mmHg ขึ้นไป ทั้งนี้ความดันโลหิตปกติ คือ 90-119/60-79 mmHg ลักษณะของโรคความดันโลหิตสูงคือ เป็นโรคที่มักไม่มีอาการ และจากการที่เป็นโรคเรื้อรังที่รุนแรงถ้าไม่สามารถควบคุมโรคได้ แต่มักไม่มีอาการ แพทย์บางท่านจึงเรียกโรคความดันโลหิตสูงว่า “เพชฌฆาตเงียบ (Silent killer)” ทั้งนี้ส่วนใหญ่ของอาการจากโรคความดันโลหิตสูง เป็นอาการจากผลข้างเคียง เช่น จากโรคหัวใจ และจากโรคหลอดเลือดในสมอง หรือ เป็นอาการจากโรคที่เป็นปัจจัยเสี่ยง เช่น อาการจากโรคเบาหวาน หรือ จากโรคอ้วน

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ออกแบบและสร้างเครื่องวัดความดันโลหิต โดยอาศัยหลักการวัดแบบไม่รุกล้ำด้วยวิธีการวัดแบบออสซิลโลเมตริก ซึ่งการคำนวณค่าความดันโลหิตนั้นจะใช้อัตราส่วนที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับค่าความดันเฉลี่ย ซึ่งทำให้มีค่าความดันโลหิตมีความถูกต้องมากขึ้น

## 2. วิธีการดำเนินงานวิจัย

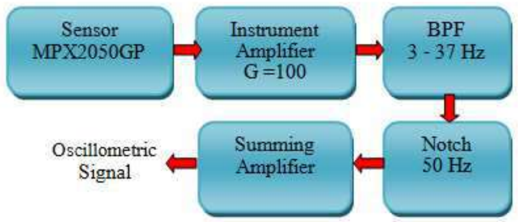
ในงานวิจัยนี้ได้ออกแบบและสร้างเครื่องวัดความดันโลหิตแบบอัตโนมัติ โดยใช้หลักการวัดด้วยหลักการออสซิลโลเมตริก ซึ่งในการวัดความดันนั้นจะพันคัฟไว้ที่แขน จากนั้นจะปั๊มลมเข้าไปยังคัฟประมาณ 200 mmHg เมื่อถึงความดันที่กำหนดปั๊มจะหยุดทำงาน และโซลินอยด์วาวล์จะปล่อยลมออก ในขณะที่ปล่อยลมออกนั้นจะมีเซนเซอร์วัดความดันตรวจจับความดันที่ได้ จากนั้นจะผ่านวงจรปรับปรุงสัญญาณและถูกส่งไปยังภาคประมวลผลเพื่อคำนวณค่าความดันซิสโทลิกหรือความดันค่าบน และค่าความดันไดแอสโทลิกหรือความดันค่าล่างเพื่อแสดงผลบนคอมพิวเตอร์ต่อไป ดังรูปที่ 1




**รูปที่ 1** แผนภาพการทำงานเครื่องวัดความดันโลหิตแบบอัตโนมัติ

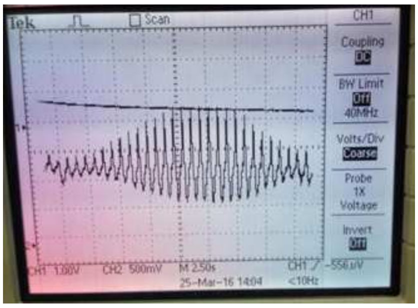
## 2.1 การวัดความดันโลหิต

ในการวัดความดันโลหิตจะใช้เซนเซอร์วัดความดัน MPX2050GP ซึ่งสามารถวัดความดันได้ในช่วง 0 - 50 kPa ซึ่งตำแหน่งของเซนเซอร์นั้นจะเชื่อมต่อกับถังพักลม โดยถังพักลมนั้นจะทำให้ในขณะตรวจจับความดันภายในคัฟนั้นมีความถูกต้องมากขึ้น จากนั้นจะผ่านวงจรขยายอินสตรูเมนท์ซึ่งมีอัตราขยาย 100 เท่า วงจรกรองความถี่แบบแถบความถี่ผ่าน 3 - 37 Hz เพื่อกรองความถี่ในช่วงออสซิลโลเมตริก วงจรกรองความถี่แบบแถบความถี่หยุดผ่าน 50 Hz และวงจรรวมสัญญาณเพื่อยกระดับสัญญาณให้สามารถประมวลผลด้วยไมโครคอนโทรเลอร์ STM32F4Discovery ได้ ดังรูปที่ 2




**รูปที่ 2** วงจรวัดความดันโลหิต

รูปที่ 3 แสดงสัญญาณความดันโลหิต ซึ่งสัญญาณเส้นที่ 1 เป็นสัญญาณความดันภายในคัฟ และสัญญาณเส้นที่ 2 เป็นสัญญาณออสซิลโลเมตริกที่ได้จากวงจรวัดความดันโลหิต จากนั้นเมื่อได้สัญญาณทั้งสองแล้ว จะนำสัญญาณที่ได้ส่งไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อคำนวณค่าความดันซิสโทลิก และไดแอสโทลิก ต่อไป



**รูปที่ 3** สัญญาณความดันโลหิต

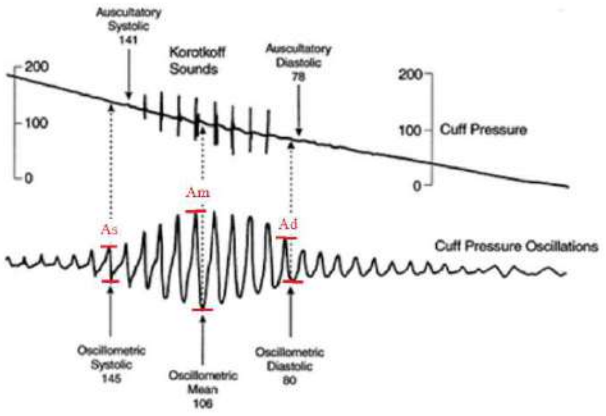
## 2.2 การคำนวณค่าความดันโลหิต

ในการคำนวณค่าความดันโลหิตนั้นจะใช้หลักการออสซิลโลเมตริก ซึ่งจะเริ่มจากการตรวจจับพีคของสัญญาณออสซิลโลเมตริก (peak to peak) จากนั้นจะหาแอมปลิจูดของความดันเฉลี่ย (Am) ซึ่งความดันเฉลี่ยจะมีแอมปลิจูดสูงที่สุด และนำค่าที่ได้มาคำนวณหาค่าแอมปลิจูดของความดันซิสโทลิก (As) และไดแอสโทลิก (Ad) โดยหาค่าจากอัตราส่วนดังสมการ

$$\text{Ratio of Systolic} = Am/As \quad (1)$$

$$\text{Ratio of Diastolic} = Am/Ad \quad (2)$$

ซึ่งค่าของอัตราส่วนนี้จะขึ้นอยู่กับค่าของความดันเฉลี่ยที่ตรวจจับได้ดังตารางที่ 1 และ 2 เมื่อคำนวณหาค่าแอมปลิจูดได้แล้ว จากนั้นก็นำค่าที่ได้ไปเทียบกับสัญญาณภายในคัฟว่า Am และ Ad นั้นมีความดันเท่าไร ดังแสดงในรูปที่ 4




**รูปที่ 4** หลักการวัดความดับแบบออสซิลโลเมตริก

http://www.spacelabshealthcare.com/wp-content/uploads/2015/06/850-0490-00-Rev-A-MAP-ABP-Case-Study-1.pdf

ตารางที่ 1 ค่าอัตราส่วนสำหรับความดันซิสโทลิก

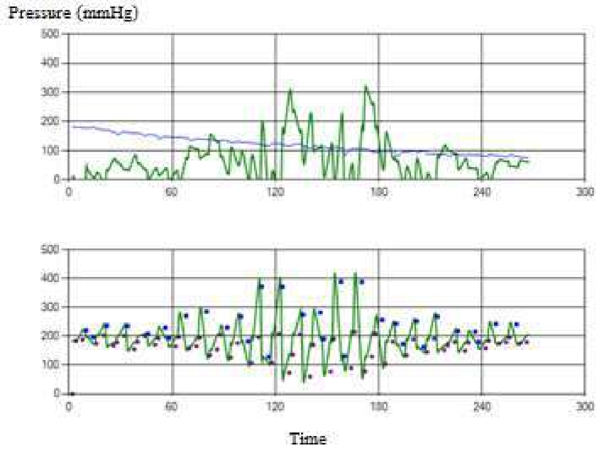
| ค่าความดันเฉลี่ย | ค่าอัตราส่วน |
|---|---|
| ความดันเฉลี่ย > 200 mmHg | 0.5 |
| ความดันเฉลี่ย > 150 mmHg | 0.29 |
| ความดันเฉลี่ย > 135 mmHg | 0.45 |
| ความดันเฉลี่ย > 120 mmHg | 0.52 |
| ความดันเฉลี่ย > 110 mmHg | 0.57 |
| ความดันเฉลี่ย > 70 mmHg | 0.58 |
| ความดันเฉลี่ยอื่นๆ | 0.64 |

ตารางที่ 2 ค่าอัตราส่วนสำหรับความดันไดแอสโทลิก

| ค่าความดันเฉลี่ย | ค่าอัตราส่วน |
|---|---|
| ความดันเฉลี่ย > 180 mmHg | 0.75 |
| ความดันเฉลี่ย > 140 mmHg | 0.82 |
| ความดันเฉลี่ย > 120 mmHg | 0.85 |
| ความดันเฉลี่ย > 60 mmHg | 0.78 |
| ความดันเฉลี่ย > 50 mmHg | 0.60 |
| ความดันเฉลี่ยอื่นๆ | 0.50 |

ตารางที่ 1 และ 2 แสดงค่าอัตราส่วนของความดันซิสโทลิกและความดันไดแอสโทลิก ซึ่งอ้างอิงจากค่าอัตราส่วนของเครื่องมาตรฐาน [1]

รูปที่ 5 แสดงผลสัญญาณความดัน และวิธีการหาค่า Peak to Peak ของสัญญาณออสซิลโลเมตริก โดยการตรวจจับพีคยอดด้านบวกและพีคยอดด้านลบของสัญญาณออสซิลเมตริก จากนั้นนำมาลบกันจะได้เป็นสัญญาณ peak to peak และจากนั้นตรวจจับค่า Am, As และ Ad เพื่อหาค่าความดัน เมื่อหาค่าความดันแล้วจะนำค่าความดันโลหิตที่ได้ส่งไปยังคอมพิวเตอร์เพื่อแสดงผล ซึ่งการออกแบบส่วนแสดงผลจะใช้โปรแกรม Visual Basic 10



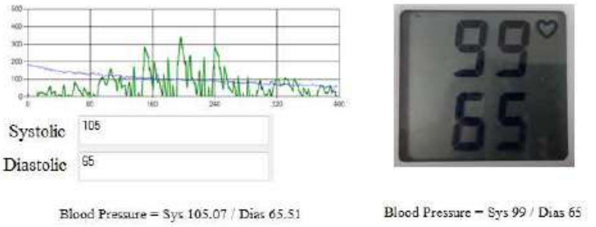

**รูปที่ 5** สัญญาณความดันโลหิต และการหาค่า Peak to Peak

## 3. ผลการวิจัย

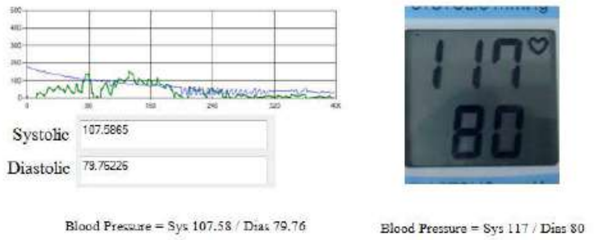
ตารางที่ 3 ผลการทดสอบค่าความดันโลหิตโดยเปรียบเทียบกับเครื่องสอบเทียบ Fluke รุ่น Cufflink และเครื่อง OMRON

| **เครื่องสอบเทียบ Fluke รุ่น Cufflink** | **เครื่อง OMRON (mmHg)** | **ค่าความดันโลหิตวัดได้จากงานวิจัย (mmHg)** | | |
|---|---|---|---|---|
| | | **ครั้งที่1** | **ครั้งที่2** | **ครั้งที่3** |
| **80/50** | **79/51** | 78/51 | 79/50 | 78/51 |
| **100/65** | **98/66** | 99/63 | 101/64 | 98/62 |
| **120/80** | **117/80** | 122/77 | 116/79 | 116/80 |

จากตารางที่ 3 แสดงผลการทดสอบค่าความดันโลหิตโดยเปรียบเทียบกับเครื่องสอบเทียบ Fluke รุ่น Cufflink และเครื่อง OMRON ซึ่งจากผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าค่าของความดันโลหิตของงานวิจัยนี้มีค่าใกล้เคียงกับค่าความดันโลหิตที่วัดได้จากเครื่องมาตรฐาน และเครื่องที่ขายตามท้องตลาด




ก)




ข)

**รูปที่ 6** ผลการทดสอบกับผู้ทดสอบโดยเปรียบเทียบกับเครื่อง OMRON ก) ผู้ทดสอบคนที่ 1 ข) ผู้ทดสอบคนที่ 2

จากรูปที่ 6 แสดงผลการทดสอบกับผู้ทดลองโดยเปรียบเทียบกับเครื่อง OMRON ซึ่งจากผลการทดสอบมีค่าความดันโลหิตที่ใกล้เคียงกัน และค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นนั้นอาจเกิดจากการปล่อยลมออกจากคัฟด้วยโซลินอยด์วาวล์นั้นมีความเร็วที่ไม่เท่ากัน รวมถึงถังพักลมที่ใช้ในงานวิจัยมีขนาดเล็ก

## 4. สรุป

งานวิจัยนี้จึงได้ออกแบบและสร้างเครื่องวัดความดันโลหิตโดยอาศัยหลักการวัดแบบไม่รุกล้ำด้วยวิธีการวัดแบบออสซิลโลเมตริก ซึ่งการคำนวณค่าความดันโลหิตนั้นจะใช้อัตราส่วนที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับค่าความดันเฉลี่ย ซึ่งจากผลการทดสอบด้วยเครื่องสอบเทียบ Fluke รุ่น Cufflink และเครื่องวัดความดันโลหิต OMRON มีค่าความดันโลหิตที่ใกล้เคียงกัน

## 5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสาขาวิศวกรรมชีวการแพทย์ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรังสิต ที่ให้ความสนับสนุน

## เอกสารอ้างอิง

[1] JCTB Moraes, M Cerulli, PS Ng, “Development of New Oscillometric Blood Pressure Measurement System,” Computer in Cardiology, pp. 467-470, 1999.

[2] Wun-Jin Li, Youn-Long Luo, Yao-Shun Chang and Yuan-Hsiang Lin, “A Wireless Blood Pressure Monitoring System for Personal Health Management,”32nd Annual International Conference of IEEE EMBS. Buenos Alres, Argentina, pp 2196-2199, August 2010.

[3] http://www.spacelabshealthcare.com/wp-content/uploads/2015/06/850-0490-00-Rev-A-MAP-ABP-Case-Study-1.pdf

**มนัส สังวรศิลป์** อาจารย์ประจำ และที่ปรึกษา สาขาวิศวกรรมชีวการแพทย์ มหาวิทยลัยรังสิต งานวิจัย การประมวลผลสัญญาณ และการประมวลผลภาพทางการแพทย์

**ทัศวรรณ พุทธสกุล** อาจารย์ประจำ สาขาวิศวกรรมชีวการแพทย์ มหาวิทยลัยรังสิต งานวิจัย การประมวลผลสัญญาณ และการประมวลผลภาพทางการแพทย์

**กมลรัตน์ ปัตถานัง** นักศึกษาสาขาวิศวกรรมชีวการแพทย์ มหาวิทยาลัยรังสิต งานวิจัย การประมวลผลสัญญาณ และการประมวลผลภาพทางการแพทย์

**บทความวิจัย**
การประชุมวิชาการ งานวิจัยและพัฒนาเชิงประยุกต์ ครั้งที่ 8
*8th ECTI-CARD 2016, Hua Hin, Thailand*

# การออกแบบระบบควบคุมรถเข็นขึ้นบันอัตโนมัติโดยใช้ระบบสมองกลฝังตัว

# Designing Control System for Climbing Stair Automatic Wheelchair Using Embedded System

**จักรี ศรีนนท์ฉัตร[*1] จักรกฤษ อ่อนชื่นจิตร[2] และ วิเชียร อูปแก้ว[3]**
[1,2,3]ห้องปฏิบัติการและวิจัยทางด้านการประมวลผลสัญญาณ
ภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
39 หมู่ 1 ถนนรังสิต-นครนายก ตำบลคลองหก อำเภอธัญบุรี ปทุมธานี 12110 โทรศัพท์ 02-549-4600 E-mail: jakkree_s@rmutt.ac.th

## บทคัดย่อ

ในปัจจุบันการวิจัยและพัฒนานวัตกรรมเพื่อบุคคลพิการหรือผู้สูงอายุได้รับความสนใจและดำเนินการอย่างแพร่หลายในหลายๆ รูปแบบ รถเข็นอัติโนมัติก็เป็นนวัตกรรมอีกชิ้นหนึ่งที่มีนักวิจัยสนใจและต้องการจะพัฒนาให้ดีขึ้น บทความนี้นำเสนอการออกแบบระบบควบคุมรถเข็นขึ้นบันไดอัติโนมัติโดยใช้ระบบสมองกลฝังตัว โดยได้ออกแบบซอฟต์แวร์ฝังตัวหรือเฟิร์มแวร์ร่วมกับระบบสมองกลที่มี PIC16F877 เป็นตัวควบคุม stepping motor เพื่อไปขับเคลื่อนล้อตีนตะขาบและล้อรถเข็น จากผลการทดลองพบว่าระบบสมองกลฝังตัวสามารถควบคุมรถเข็นได้ สามารถเคลื่อนที่ไปในทิศทางเดินหน้า ถอยหลัง เลี้ยวซ้าย และเลี้ยวขวา รถเข็นยังสามารถเคลื่อนที่ขึ้นบันไดได้ โดยที่บันไดมีความสูงไม่เกิน 12 cm และความกว้างของขั้นบันไดต้องมีขนาดอย่างน้อย 20 cm สามารถรองรับน้ำหนักของผู้ใช้ได้ไม่เกิน 75 kg

คำสำคัญ: ระบบควบคุม, รถเข็นอัตโนมัติ, ระบบสมองกลฝังตัว

## Abstract

The research and development of innovation for disable people and elder people is recently interested and widely applied in many area. The automatic wheelchair, which is one of the most popular innovation, still requests to improve. This article presents the designing control system for climbing stair automatic wheelchair using embedded system. The firmware is designed to use with the PIC16F877 to control the stepping motors. Those motors are used to drive all the wheel loaders. The experiment results show that the embedded system can control the automatic wheelchair to the forward, reward, turn left and turn right direction. The automatic wheel chair also can climbing stair in the condition of 12 cm height and 20 cm width in each step. The maximum weight, which the automatic wheelchair can accept, is 75 kg.

Keywords: control system, automic wheel chair, embedded system

## 1. บทนำ

การศึกษาและพัฒนานวัตกรรมเพื่อบุคคลพิการหรือผู้สูงอายุนั้นเป็นที่สนใจในเวลาปัจจุบัน ทั้งนี้เนื่องจากสังคมในปัจจุบันได้มุ่งเน้นและให้ความสำคัญแก่บุคคลพิการเพื่อให้บุคคลพิการเหล่านี้มีชีวิตความเป็นอยู่ที่สมบูรณ์มากที่สุด สามารถพึ่งพาตนเอง สามารถประกอบอาชีพเลี้ยงตนได้ [1-7] บทความนี้มุ่งเน้นที่จะศึกษาและพัฒนานวัตกรรมเพื่อบุคคลพิการ (ประเภทพิการทางขา แต่ร่างกายด้านบนใช้ได้ปกติ) โดยผู้วิจัยได้มุ่งเน้นไปที่รถเข็น เนื่องจากรถเข็นได้ถูกนำมาใช้งานมากมายสำหรับผู้สูงอายุและบุคคลพิการ บทความนี้จะนำเสนอการออกแบบระบบควบคุมรถเข็นอัตโนมัติโดยใช้สมองกลฝังตัว ทั้งนี้งานวิจัยของการใช้รถเข็นกับบุคคลพิการหรือผู้สูงอายุจึงมีการพัฒนาเกิดขึ้นดังในงานวิจัยที่ [8] เป็นงานวิจัยเกี่ยวกับการออกแบบและพัฒนาด้านการขับเคลื่อนรถเข็นเดี่ยวโดยใช้การควบคุมรูปแบบภายใน โดยการศึกษาได้มุ่งเน้นไปที่การออกแบบและการทดสอบเพื่อให้ความช่วยเหลือสำหรับรถเข็นมาตรฐาน วัตถุประสงค์คือการแก้ปัญหาของรถเข็นคนพิการด้านการขับเคลื่อน โดยใช้การควบคุมรูปแบบภายในแบบ IMC ทั้งนี้วิธีการควบคุมโดยการออกแบบ IMC มีการจำกัด คุณสมบัติของตัวควบคุม LQ ถูกนำมาใช้กับรถเข็นคนพิการด้านเดียวขับเคลื่อนเพื่อเสถียรภาพ ในงานวิจัยที่ [9] นำเสนอการพัฒนารถเข็น 4WD รอบทิศทาง เพื่อเพิ่มความคล่องตัวของรถเข็นธรรมดาและได้รับการพัฒนาเพื่อเสริมสร้างความสามารถในการปีนของล้อหลัง โดยมีวัตถุประสงค์หลักคือการหลีกเลี่ยงการตกของรถเข็นคนพิการและ เพิ่มรอบทิศทางการเคลื่อนไหว ในงานวิจัยที่ [10] เป็นการพัฒนารถเข็นคนพิการด้วยระบบขับเคลื่อนที่ใช้การวิเคราะห์และวิธีการควบคุมล้อโดยใช้ระบบ 2DOF ซึ่งได้รับการออกแบบและติดตั้งอยู่บนรถเข็น ในการทดลองที่เคลื่อนไหว 2DOF สามารถควบคุมการเคลื่อนไหวและการหมุนของล้อได้อย่างอิสระ ในงานวิจัยที่ [11] เป็นการนำเสนอวิธีการออกแบบรถเข็นคนพิการที่ได้ศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับรถเข็นห้าล้อกับการเพิ่มกลไกไดรฟ์ที่ใช้งานล้อเดียว โดยมีการวิเคราะห์วิธีการของขั้นตอนการใช้ล้อไดรฟ์ โดยผู้ใช้

สามารถปีนมันได้อย่างปลอดภัยและลดความเสี่ยงในการตก แล้วยังช่วยการถ่ายโอนแรงฉุดได้อย่างมีประสิทธิภาพอีกด้วย ในงานวิจัย [12] เป็นการสร้างแบบจำลองพัฒนากลไกการปีนบันไดด้วยเก้าอี้รถเข็นในขั้นตอนเดียว เป็นการพัฒนาข้อบกพร่องของสิ่งแวดล้อมที่เกี่ยวกับความสูง ที่ไม่ต้องพึ่งพาอุปกรณ์อื่น เพราะมันจะมีความสามารถทำงานด้วยตัวเองในการเดินหน้าหรือขึ้นลงบันได ในงานบทความนี้ได้นำข้อดีข้อเด่นของงานวิจัยข้างต้นมาพัฒนาเพื่อออกแบบและจัดทำต้นแบบรถเข็นของบุคคลพิการหรือผู้สูงอายุให้สามารถขึ้นบันได หรือพื้นต่างระดับได้โดยอัติโนมัติโดยอาศัยการควบคุมด้วยระบบสมองกลฝังตัวและการขับเคลื่อนแบบล้อตีนตะขาบ

## 2. ทฤษฎี

### 2.1 ระบบสมองกลฝังตัว

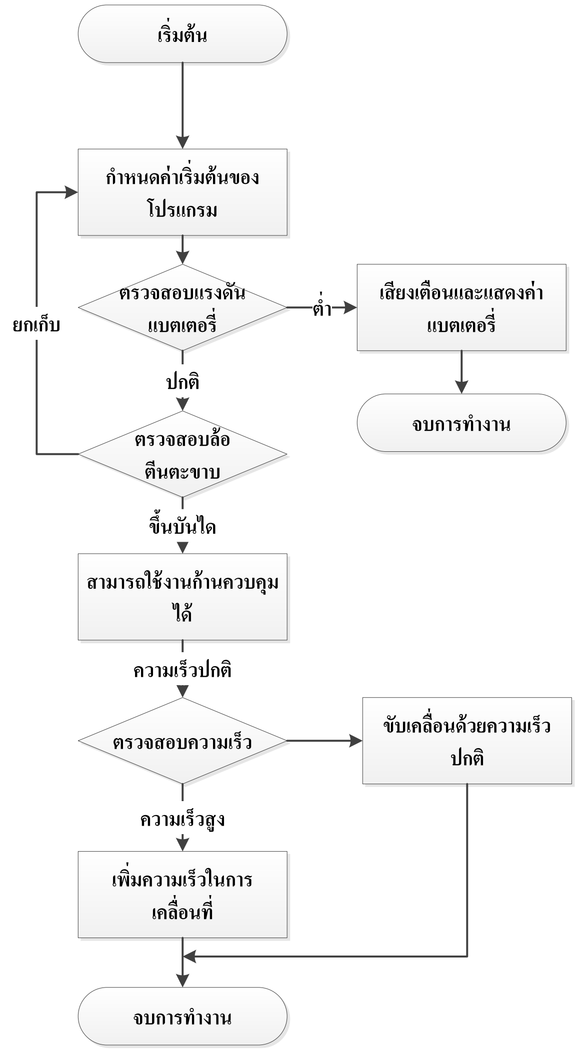
ระบบสมองกลฝังตัว มีส่วนประกอบที่สำคัญดังนี้คือ 1) ส่วนประมวลผลซึ่งก็คือไมโครคอนโทรลเลอร์ (microcontroller) เป็นส่วนที่มีหน่วยประมวลผลและหน่วยความจำซึ่งเป็นส่วนสำคัญที่สุดของระบบ ประกอบด้วย MPU หน่วยความจำรอมและแรม (ROM, RAM) อินพุตเอาต์พุตพื้นฐาน (basic I/O) ของ MPU เป็นส่วนที่จะกำหนดความเร็วในการประมวลผลและกำหนดความสามารถของระบบ ในงานวิจัยนี้จะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877 เป็นตัวควบคุม stepping motor

2)อินพุตพื้นฐาน เป็นส่วนรับข้อ มูลและสัญญาณต่างๆ ของไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยจะส่งข้อมูลเหล่านี้ในรูปของข้อมูลดิจิทัลให้กับ MPU เพื่อนำไปประมวลผลต่อ โดยทั่วไปเรียกว่า อินพุตพอร์ต โดยทั่วไประยะเวลาที่ MPU อ่านข้อมูลจากข้อมูลจากอินพุตพอร์ตจะสั้นมาก ในกรณีที่มีสัญญาณต่างๆ ที่จะต้องผ่านอินพุตพอร์ตจำนวนมากจะต้องมีสวิตช์ระหว่างการอ่านอินพุตพอร์ตแต่ละช่องสัญญาณ ซึ่งการปรับจังหวะเวลาให้เข้ากับจังหวะการทำงานของ MPU รวมทั้งการสวิตซ์ระหว่างช่องสัญญาณต่างๆ จะเป็นคุณสมบัติพื้นฐานของอินพุตพอร์ต สำหรับเซนเซอร์เป็นอุปกรณ์ที่แปลงการเปลี่ยนแปลงเชิงกายภาพให้เป็นการเปลี่ยนแปลงเชิงสัญญาณไฟฟ้าอย่างไรก็ตาม ข้อมูลที่ส่งออกมาจากเซนเซอร์อาจเป็นค่าความเปลี่ยนแปลงของความต้านทาน หรือเป็นการเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้าในระดับอ่อนๆ ซึ่งอินพุตพื้นฐานของไมโครคอมพิวเตอร์ไม่สามารถที่จะรับข้อมูลในลักษณะนี้ได้ จึงจำเป็นต้องมีอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่แปลงสัญญาณจากรูปแบบของสัญญาณออกของเซนเซอร์ให้เป็นสัญญาณที่ส่วนอินพุตของไมโครคอนโทรลเลอร์ สามารถรับได้ วงจรไฟฟ้าที่ทำหน้าที่นี้เรียกว่าวงจรอินเทอร์เฟส (interfacing circuit)

3) ซอฟต์แวร์ฝังตัวหรือเฟิร์มแวร์ (Firmware) ซึ่งเป็นองค์ประกอบที่ควบคุมการทำงานของทั้งระบบ เฟิร์มแวร์ถูกออกแบบให้ทำงานจำเพาะหน้าที่ โดยเฟิร์มแวร์จะทำหน้าที่ควบคุมการเชื่อมต่อกับฮาร์ดแวร์ต่างๆ เช่น เซ็นเซอร์และมอเตอร์

## 3. วิธีการทดลอง

จากหลักการข้างต้นการออกแบบระบบควบคุมรถเข็นขึ้นบันไดอัติโนมัติโดยใช้ระบบสมองกลฝังตัวสามารถแสดงดังในรูปที่ 1

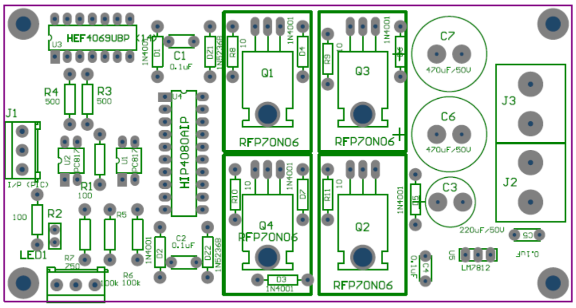



รูปที่ 1 แผนผังการทำงานของต้นแบบรถเข็นขึ้นบันได

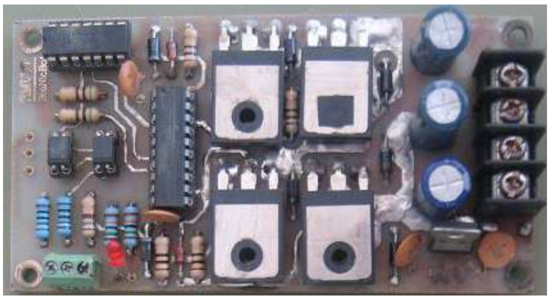
จากรูปที่ 1 แสดงโปรแกรมการทำงานของต้นแบบรถเข็นขึ้นบันได ซึ่งโดยจะเริ่มจากการเก็บค่าเริ่มต้นของโปรแกรม แล้วทำการตรวจสอบค่าแรงดันของแบตเตอรี่ว่าเพียงพอสำหรับให้งานหรือไม่ ถ้าแบตเตอรี่ต่ำก็จะสั่งให้หยุดการทำงาน แต่ถ้าแบตเตอรี่มีแรงดันที่เหมาะสมหรือปกติ ก็มีการตรวจสอบสถานะของล้อตีนตะขาบว่าอยู่ในสถานะใด ถ้าอยู่ในสถานะยกเก็บ โปรแกรมก็จะสั่งให้มีการหยุดการใช้

งานล้อตีนตะขาบ แต่ถ้าอยู่ในสถานะปกติ จะสามารถใช้งานล้อตีนตะขาบได้

ในงานวิจัยนี้ได้ควบคุมความเร็วของมอเตอร์กระแสตรงด้วยวิธีการมอดูเลชั่นทางความกว้างของพัลส์ (Pulse dulation) โดยการปรับเปลี่ยนที่สัดส่วนและความกว้างของสัญญาณพัลส์ โดยความถี่ของสัญญาณพัลส์จะไม่มีการเปลี่ยนแปลง หรือเป็นการเปลี่ยนแปลงที่ค่าของดิวตี้ไซเคิล (Duty cycle) ซึ่งค่าของดิวตี้ไซเคิล คือช่วงความกว้างของพัลส์ที่มีสถานะลอจิกสูง โดยคิดสัดส่วนเป็นเปอร์เซ็นต์จากความกว้างของพัลส์ทั้งหมด นอกจากการควบคุมมอเตอร์แล้วในงานวิจัยนี้ได้ออกแบบวงจรขับกระแสเพื่อขับมอเตอร์ดังแสดงในรูปที่ 3 – 5 ทั้งนี้การควบคุมกระแสเพื่อขับมอเตอร์ก็จะต้องมีความสัมพันธ์กับระบบควบคุมของระบบสมองกลฝังตัว




รูปที่ 3 วงจรขับมอเตอร์ PCB top overlay



รูปที่ 4 วงจรขับมอเตอร์

รูปที่ 5 กล่องควบคุมที่ประกอบวงจรส่วนต่างๆ เข้าด้วยกัน

## 4. ผลการทดลอง

การทดสอบวงจรควบคุมมอเตอร์ ซึ่งทำการทดสอบโดยการป้อน Pulse dulation จากไมโครคอนโทรลเลอร์ให้กับวงจรควบคุมมอเตอร์ แล้วทำการวัดแรงดันที่ออกทางด้านเอาท์พุตหรือที่ขั้วสำหรับต่อมอเตอร์ สามารถแสดงดังในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลการทดสอบวงจรขับมอเตอร์ เมื่อแบตเตอรี่เท่ากับ 24.93 V

| ค่าของดิวตี้ไซเคิล (Duty cycle) | แรงดันที่วัดได้จากชุดคอนโทรล (V) | ความถี่ที่วัดได้ชุดคอนโทรล (Hz) | แรงดันที่วัดได้จากวงจรขับมอเตอร์ (V) |
|---|---|---|---|
| 10% | 0.487 | 167 | 2.25 |
| 30% | 1.494 | 167 | 7.53 |
| 50% | 2.49 | 167 | 12.48 |
| 90% | 4.485 | 167 | 22.36 |
| 100% | 4.98 | 167 | 24.85 |

รูปที่ 4.3 การทดสอบขึ้นบันไดที่น้ำหนัก 75 kg

## 5. สรุปผลการทดลอง

บทความนี้นำเสนอการออกแบบการออกแบบระบบควบคุมรถเข็นขึ้นบันไดอัตโนมัติโดยใช้ระบบสมองกลฝังตัว สามารถควบคุมรถเข็นได้โดยผ่านก้านควบคุม สามารถเคลื่อนที่ไปในทิศทางเดินหน้า ถอยหลัง เลี้ยวซ้าย และเลี้ยวขวา รถเข็นยังสามารถเคลื่อนที่ขึ้นบันไดได้ 3 ขั้น โดยที่บันไดมีความสูงไม่เกิน 12 cm และความกว้างของขั้นบันไดต้องมีขนาดอย่างน้อย 20 cm โดยที่ความชันของบันไดต้องมีมุมไม่เกิน 40 องศา และรองรับน้ำหนักของผู้ใช้ได้ไม่เกิน 75 kg

## 4. กิตติกรรมประกาศ

ทีมผู้วิจัยขอขอบคุณห้องปฏิบัติการและวิจัยทางด้านการประมวลสัญญาณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรีที่สนับสนุนเครื่องมือในการทดสอบและขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) สำหรับการสนับสนุนทุนวิจัย (NRPM:2558A16502577 project code:113125)

## เอกสารอ้างอิง

[1] H. Seki, T. Sugimoto and S. Tadakuma, "Straight and circular road driving control of power assisted wheelchairbased on balanced assisted torque," 31st Annual Conference of IEEE Industrial Electronics Society, 2005, pp. 1 -6.

[2] B. Panomruttanarug and P. Chotikunnan, "Self-balancing iBOT-like wheelchair based on type-1 and interval type-2 fuzzy control," 11th International Conference on Electrical Electronics Computer Telecommunication and Information Technology Engineering, 2014, pp. 1-6.

[3] S. Ahmad and M. O. Tokhi, "Forward and backward motion control of wheelchair on two wheels," 3rd IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications, 2008, pp. 461 – 466.

[4] T. Kawamura and T. Murakami, "Vibration suppression for uprising control of two-wheel driven wheelchair," 37th Annual Conference on IEEE Industrial Electronics, 2011, [[.3323 – 3328.

[5] R. A. Cooper, M. L. Boninger, D. M. Spaeth, D. Ding, S. Guo, A. M. Koontz, S. G. Fitzgerald, R. Cooper, A. Kelleher and D. M. Collins"Engineering Better Wheelchairs to Enhance Community Participation," IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering, 2006, pp. 438 -455.

[6] D. G. Kamper, T. C. Adams, S. I. Reger, M. Parnianpour, K. Barin and M. Linden, "A low-cost, portable system for the assessment of the postural response of wheelchair users to perturbations," IEEE Transactions on Rehabilitation Engineering, 1999, pp.435-442.

[7] R. Suzuki, M. Tani and N. Kobayashi., " Design and development of single side driven wheelchairs by using internal model control," IEEE Transactions on Control Applications, Vol.1 , 2002, pp. 355 – 360.

[8] M. Wada, " Development of a 4WD Omnidirectional Wheelchair," IEEE Transactions on SICE Annual Conference, 2008, pp. 1767 – 1771.

[9] Y. Munakata, A. Tanaka and M. Wada., " A Five-wheel Wheelchair with an Active-caster Drive System," IEEE Transactions on Rehabilitation Robotics (ICORR), 2013, pp. 1- 6.

[10] Y. Munakata and M. Wada., " Modeling and Analysis of Static Wheelie of a Five-wheeled Wheelchair for Climbing over a Step," IEEE Transactions on Advanced Intelligent Mechatronics (AIM), 2014, pp. 1006 - 1011.

[11] M. J. Lawn and T. Ishimatsu., " Modeling of a stair-climbing wheelchair mechanism with high single-step capability," IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering, 2003, pp. 323 - 332.

[12] A. Blankespoor and R. Roemer "Experimental verification of the dynamic model for a quarter size self-balancing wheelchair," Proceedings of the American Control Conference, 2004, pp. 488 – 492

# ระบบควบคุมฟังก์ชัน Pitch Bend และ Vibrato ด้วยเซ็นเซอร์สัมผัสสำหรับเครื่องดนตรีคีย์บอร์ดชนิดลิ่มเปียโน

# Pitch Bend and Vibrato Control System for Piano-Style Keyboard by Using a Touch Sensor

**นัทธพงศ์ วัฒนศิริ, นพสิทธิ์ อริยพสิษฐ์, สุรพันธุ์ เอื้อไพบูลย์ และ กสิน วิเชียรชม**
**ภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง**
**โทรศัพท์: 095-7614073 E-mail: jazzpiano1004@gmail.com**

## บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอระบบควบคุมฟังก์ชั่น Pitch bend และ Vibrato สำหรับเครื่องดนตรีอิเล็กทรอนิกส์คีย์บอร์ดชนิดลิ่มเปียโน (Piano-style Electronic Keyboard) โดยใช้งานผ่านการสัมผัสของนิ้วบนแผ่นเซ็นเซอร์ตรวจจับการสัมผัสชนิดวัดความจุไฟฟ้า (Capacitive Touch Sensor) ซึ่งถูกติดตั้งบนลิ่มของคีย์บอร์ด นักดนตรีสามารถเล่นฟังก์ชั่นบนระบบที่นำเสนอในลักษณะเดียวกับการเล่นบนเครื่องดนตรีสาย (String Instrument) เซ็นเซอร์ของระบบที่นำเสนอทำหน้าที่ตรวจจับลักษณะการรูดนิ้วบนลิ่มคีย์ตามเงื่อนไขที่กำหนดของระบบเพื่อนำมาใช้ตัดสินการทำงานระหว่าง Pitch bend หรือ Vibrato และส่งชุดคำสั่ง MIDI ไปยังคีย์บอร์ดที่ถูกติดตั้งเพื่อสั่งการฟังก์ชั่นที่ถูกเรียกใช้ ระบบที่นำเสนอประกอบด้วยเซ็นเซอร์สำหรับคีย์ขาว (White key) จำนวน 14 คีย์ ความยาว 2 Octave สมรรถนะของระบบที่นำเสนอถูกนำไปเปรียบเทียบกับระบบดั้งเดิมที่ใช้ล้อคันโยก (Pitch Wheel) ควบคุมฟังก์ชั่น โดยเปรียบเทียบจากกราฟการเปลี่ยนแปลงระดับโน้ตระหว่างการเล่นโน้ตทดสอบฟังก์ชั่นด้วยระบบทั้งสอง พบว่าระบบที่นำเสนอใช้เวลาสำหรับเปลี่ยนระดับโน้ต 1 semitone โดยเฉลี่ยเท่ากับ 0.276 วินาที ซึ่งช้ากว่าระบบดั้งเดิมที่มีค่าเท่ากับ 0.138 วินาทีแต่อย่างไรก็ตาม ระบบที่นำเสนอนั้นสามารถใช้งานฟังก์ชั่นได้ดีสำหรับการเล่นดนตรีทั่วไป

คำสำคัญ: เซ็นเซอร์ตรวจจับการสัมผัสชนิดวัดความจุไฟฟ้า, อินเตอร์เฟสทางด้านดนตรี

## Abstract

This paper presents the pitch bend and vibrato function control system for piano-style keyboard by using the finger touch on keypad. Each keypad is installed with capacitive touch sensors which are used to measure the position of the finger touch. This proposed control technique is used in the same way as in the string instruments. The finger movement is used to decide which function will be activated, and send the MIDI control message to the keyboard. The proposed system consists 14 touch sensors only for white-key (2 octave length). The performance of proposed system is compared to the benchmark system which it uses pitch wheel as the controller, by matching the pitch contour of both systems from the result of the playing with test notes. Result shows that the proposed system has the transition time for pitch change within 1 semitone about 0.276 second, compared to the benchmark system has 0.138 second. Although it is slower, the proposed system can be used for the typical music applications.

Keywords: Capacitive touch sensing, Musical interface

## 1. บทนำ

คีย์บอร์ดนั้นนิยมถูกนำมาใช้สำหรับการแสดงดนตรีสดของแนวดนตรีต่างๆ ซึ่งบ่อยครั้งถูกใช้สำหรับสังเคราะห์เสียงของเครื่องดนตรีอื่นๆ อาทิเช่น เครื่องสาย (String Instrument) เครื่องเป่าลม (Wind Instrument) หรือเสียงสังเคราะห์อื่นๆ เป็นต้น อย่างไรก็ตามนั้น คีย์บอร์ดไม่สามารถผลิตเสียงที่คุณสมบัติใกล้เคียงกับการเล่นด้วยเครื่องดนตรีจริง ตัวอย่างเช่น เสียงที่เกิดจากเทคนิคการเล่น Vibrato และ Pitch bend ในเครื่องสาย เป็นต้น เนื่องจากคีย์บอร์ดไม่สามารถควบคุมระดับโน้ต (Pitch) ที่กำลังถูกเล่นอยู่ได้ การเพิ่มล้อคันโยก (Wheel) จอยสติ๊ก (Joystick) สำหรับควบคุมฟังก์ชั่นต่างๆไว้ที่ด้านข้างของตัวเครื่องดนตรีแบบดั้งเดิมดังรูปที่ 1 เป็นทางเลือกหนึ่งเพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าว แต่ก็ยังเกิดข้อเสียที่นักดนตรีต้องใช้มือหนึ่งข้างควบคุมล้อคันโยก ทำให้จำกัดเทคนิคการเล่นโน้ตที่ใช้สองมือพร้อมกับใช้งานฟังก์ชั่น Pitch bend และ Vibrato ไปด้วย และให้ความรู้สึกไม่เป็นธรรมชาติระหว่างการใช้งาน

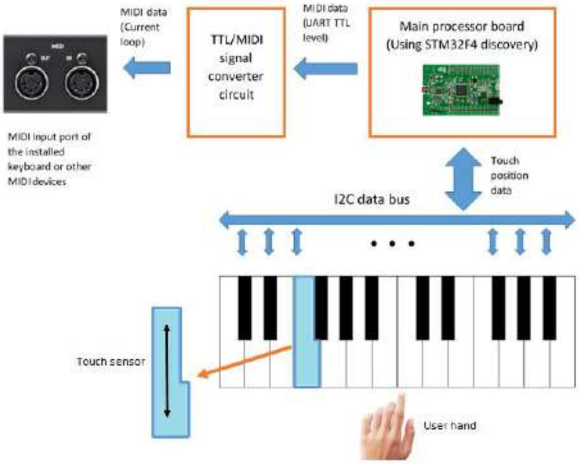
บทความนี้จึงนำเสนอระบบการควบคุมระดับเสียงโน้ตผ่านการสัมผัสลิ่มคีย์บอร์ดโดยตรง ซึ่งการควบคุม Pitch bend และ Vibrato ด้วยวิธีนี้จะให้ความรู้สึกเดียวกับการเล่นเครื่องดนตรีประเภทเครื่องสายที่นิยมกัน เช่น กีต้าร์ ไวโอลิน เป็นต้น ซึ่งให้ความรู้สึกเป็นธรรมชาติในการควบคุมและง่ายมากกว่าแบบดั้งเดิม ทำให้ลดระยะเวลาการฝึกฝนใช้งานตัวควบคุมและรองรับให้นักดนตรีสามารถเล่น Baseline กับ Melody ด้วยสองมือพร้อมกันขณะใช้งานฟังก์ชั่น เป็นการเพิ่มเทคนิคการเล่นคีย์บอร์ดทำให้เพิ่มความหลากหลายในการสร้างสรรค์งานดนตรี

(ก)

(ข)

**รูปที่ 1** (ก) ล้อคันโยกบนคีย์บอร์ด, (ข) การใช้ Pitch wheel ระหว่างเล่น

## 2. การทำงานของระบบที่นำเสนอ



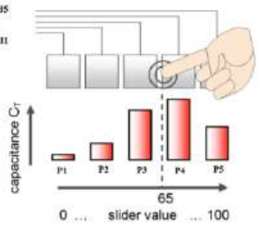

**รูปที่ 2** Block diagram โดยรวมของระบบที่นำเสนอ

ฟังก์ชั่น Pitch bend และ Vibrato ของระบบที่นำเสนอนั้นถูกควบคุมผ่านการรูดนิ้วบนแผ่นเซ็นเซอร์ตรวจจับสัมผัสที่ถูกติดตั้งบนลิ่มคีย์บอร์ดเพื่อวัดตำแหน่งการสัมผัสตามแนวตั้ง (Y-Axis) ของลิ่มคีย์ดังรูปที่ 2 เซ็นเซอร์ของแต่ละคีย์จะส่งข้อมูลที่ระบุตำแหน่งการสัมผัสไปยังบอร์ดประมวลหลัก (Main Processor Board) ผ่านบัส I2C เพื่อใช้ระบุลักษณะการรูดและจะส่งชุดคำสั่ง MIDI ที่สอดคล้องการรูดดังกล่าวเพื่อเปิดการใช้งานฟังก์ชั่น Pitch bend หรือ Vibrato ผ่านการสื่อสารแบบ UART ระดับ TTL ไปยังวงจร TTL/MIDI Signal Converter เพื่อแปลงสัญญาณให้สามารถเชื่อมต่อกับพอร์ต MIDI ของคีย์บอร์ดที่ถูกติดตั้งได้

## 3. การออกแบบ

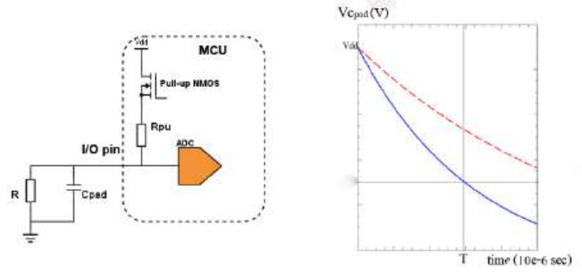
### 3.1 แผ่นเซ็นเซอร์ตรวจจับการสัมผัส

เซ็นเซอร์ถูกออกแบบบนพื้นฐานของเซ็นเซอร์ตรวจจับการสัมผัสด้วยเทคนิคการวัดความจุไฟฟ้า (Capacitive Touch Sensor) แบบ Self-capacitance บริเวณรับการสัมผัสนั้นเป็นลักษณะแบบแถบสไลเดอร์ (Slider Strip) ที่ประกอบด้วยขั้วสัมผัสขนาดย่อย (Pad) เรียงต่อกัน การระบุตำแหน่งการสัมผัสทำได้โดยตรวจจับการเปลี่ยนแปลงค่าความจุไฟฟ้าแฝงระหว่างแผ่นขั้วสัมผัสกับแผ่นกราวด์วงจร (Ground Plane) ของทุกๆขั้วสัมผัสซึ่งค่าความจุไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นเมื่อมีการสัมผัส หลักการระบุตำแหน่งการสัมผัสของแถบสไลเดอร์อธิบายได้ดังรูปที่ 3




**รูปที่ 3** หลักการระบุตำแหน่งของแถบสไลเดอร์

การวัดการเปลี่ยนแปลงค่าความจุไฟฟ้านั้นจะใช้เทคนิค RC Charge and Discharge Method [1] โดยใช้ไมโครคอนโทรเลอร์ควบคุมการทำงานของวงจรที่ใช้ดังรูปที่ 4(ก) เริ่มจากชาร์จวงจร RC ผ่าน I/O ของไมโครคอนโทรเลอร์จนเต็มแล้วปล่อยให้คายประจุจนถึงช่วงระยะเวลาหนึ่ง หากมีการสัมผัส กราฟการคายประจุของวงจร RC ก็จะเปลี่ยนไปดังรูปที่ 4(ข) แล้วใช้ไมโครคอนโทรเลอร์ระบุการเปลี่ยนแปลง



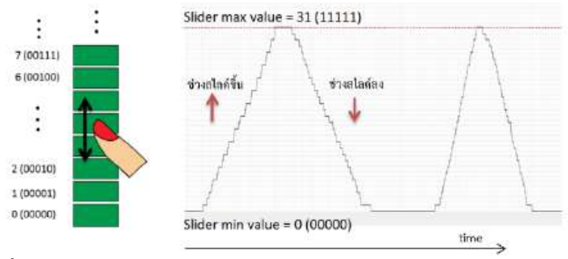

(ก) (ข)

**รูปที่ 4** (ก) วงจรวัดการเปลี่ยนแปลงค่าความจุไฟฟ้า, (ข) กราฟการคายประจุของวงจร RC กรณีมีการสัมผัส (แดง) กับไม่มีการสัมผัส (น้ำเงิน)

ตัวกรองความถี่ต่ำชนิด IIR (IIR low-pass Filter) ถูกนำมาใช้เพื่อกำจัดผลจากการเหนี่ยวนำสัญญาณรบกวน 50 Hz ของร่างกายเมื่อสัมผัสเซ็นเซอร์ [1] ฟังก์ชั่นถ่ายโอนของตัวกรองแสดงดังสมการที่ (1)

การตัดสินการสัมผัสบนขั้วสัมผัสจะใช้เทคนิคการตัดช่วงขีดเริ่ม (Threshold Method) ของค่าที่ได้จาก IIR Low-pass Filter ของขั้วสัมผัสทุกจุดในแถบสไลเดอร์และทำการ Interpolation ระหว่าง Pad ที่อยู่ติดกันเพื่อเพิ่มความละเอียดและหาจุดสัมผัสโดยเฉลี่ยเนื่องจากอาจมีการสัมผัสบนขั้วสัมผัสพร้อมกันหลายๆจุด จากนั้นเข้ารหัส Unary Code เพื่อสร้างข้อมูลที่ใช้อ้างอิงตำแหน่งการสัมผัสบนลิ่มคีย์ในลักษณะของสไลเดอร์ฟังก์ชั่นดังรูปที่ 5 เซ็นเซอร์ที่นำเสนอทำจาก PCB แบบ 2 ชั้นวัสดุชนิด FR-4 หนา 1.6 มม. มีแถบสไลเดอร์ที่ประกอบด้วยขั้วสัมผัสจำนวน 16 แผ่น ความละเอียดของการระบุตำแหน่งการสัมผัสคือ 32 ระดับและมีการเพิ่มวงจรมัลติเพล็กเซอร์ในวงจรรูปที่ 4(ก) เพื่อเพิ่มช่องทางการวัดขั้วสัมผัสจำนวนมากๆ อัตราเร็วของการสุ่มวัดตำแหน่งนิ้วคือ 100 fps

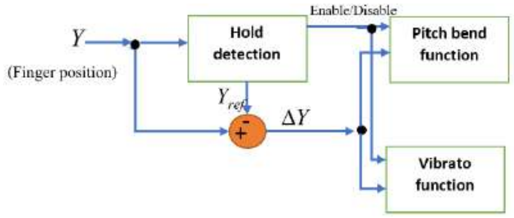
$$H(z) = \frac{1}{1-0.875z^{-1}} \quad (1)$$




**รูปที่ 5** การเข้ารหัสค่าตำแหน่งของการสัมผัสในลักษณะของฟังก์ชั่นสไลเดอร์ด้วย Unary Code

## 3.2 การสร้างชุดคำสั่ง MIDI ด้วยบอร์ดประมวลผลหลัก

บอร์ดประมวลผลหลักนั้นทำหน้าที่สร้างชุดคำสั่ง MIDI สำหรับควบคุมฟังก์ชั่น ซึ่งจะใช้ค่าตำแหน่งการสัมผัสบนเซ็นเซอร์ในแนวตั้ง ( $Y$ ) จากเซ็นเซอร์แต่ละคีย์ผ่านที่รับผ่านทางบัส I2C เพื่อตัดสินการทำงานระหว่าง Pitch bend หรือ Vibrato โดยใช้หลักการดังรูปที่ 6



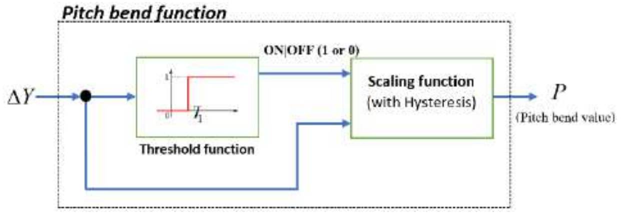

**รูปที่ 6** หลักการตัดสินการเลือกใช้งานฟังก์ชั่น Pitch bend หรือ Vibrato

*1) Hold detection*

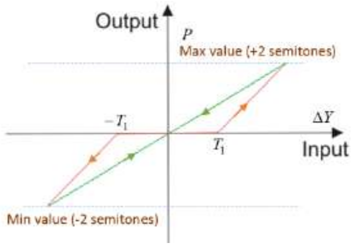
หากมีการแตะค้างนานมากกว่าระยะเวลาขีดเริ่มซึ่งตั้งไว้ที่ 100 msec จะยอมให้บล็อกฟังก์ชั่นอื่นๆทำงานได้ (Enable) และบันทึกตำแหน่งที่แตะค้าง $Y_{ref}$ เพื่อคำนวณค่าระยะผลต่าง $\Delta Y$ สำหรับใช้งานในส่วนอื่นๆ โดยที่ $Y_{ref}$ จะบันทึกใหม่ทุกครั้งเมื่อมีการแตะคีย์ครั้งใหม่

*2) Pitch bend function*

ฟังก์ชั่น Pitch bend จะทำงานเมื่อมีการรูดนิ้วออกจากตำแหน่ง $Y_{ref}$ เกินระยะขีดเริ่ม $T_1$ ( $|\Delta Y| \geq T_1$ ) จากนั้นจะสร้างชุดคำสั่ง Pitch bend ที่ระดับของการเบนโน้ต $P$ (ตั้งไว้สูงสุด 2 semitones) ที่สอดคล้องกับค่า $\Delta Y$ ตามความสัมพันธ์ดังรูปที่ 7 ซึ่งจะเปลี่ยนความชันกราฟให้ตัดจุดกำเนิดเมื่อมีการรูดขึ้น-ลงสวนทางจากทิศทางเริ่มต้น เพื่อใช้แก้ปัญหาความไม่ต่อเนื่องของค่า $P$ จากการใช้เทคนิค Threshold




(ก)

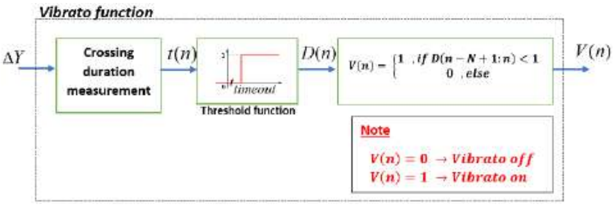



(ข)

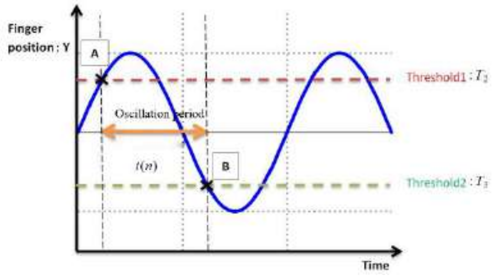
**รูปที่ 7** (ก) โครงสร้างของฟังก์ชั่นตัดสินการทำงาน Pitch bend, (ข) ความสัมพันธ์ระหว่างอินพุตกับเอาต์พุตของ Scaling Function

*3) Vibrato function*

ฟังก์ชั่น Vibrato จะทำงานเมื่อมีการรูดนิ้วแบบกวัดแกว่ง (Oscillation Motion) ตามเงื่อนไขที่กำหนดโดยใช้หลัก Double-threshold Detection สำหรับการตรวจจับการกวัดแกว่ง โดยเงื่อนไขคือ ช่วงเวลาที่ใช้ในการรูดผ่านตำแหน่งขีดเริ่ม $T_2$ และ $T_3$ (ผ่านจุด A และ B) เป็นครั้งแรกของแต่ละรอบการกวัดแกว่งต้องไม่น้อยกว่าเวลาที่กำหนด $t_{timeout}$ แสดงภาพประกอบดังรูปที่ 8 และจะต้องผ่านเงื่อนไขนี้เป็นจำนวน $N$ รอบการกวัดแกว่งเพื่อป้องกันการทำงานโดยมิได้ตั้งใจ พารามิเตอร์ต่างๆ $T_1$, $T_2$, $T_3$, $t_{timeout}$, $N$ นั้นถูกเลือกตามความเหมาะสมกับการใช้งาน Pitch bend และ Vibrato โดยใช้ $t_{timeout}$ = 400 ms และ $N$ = 2




(ก)



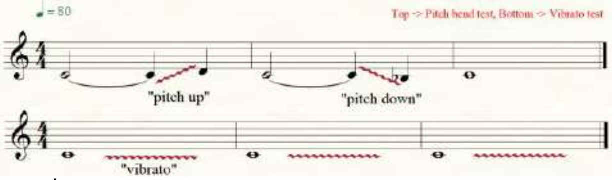

(ข)

**รูปที่ 8** (ก) โครงสร้างของฟังก์ชั่นตัดสินการทำงาน Vibrato, (ข) ภาพประกอบหลักการตรวจจับการกวัดแกว่งของตำแหน่งนิ้ว

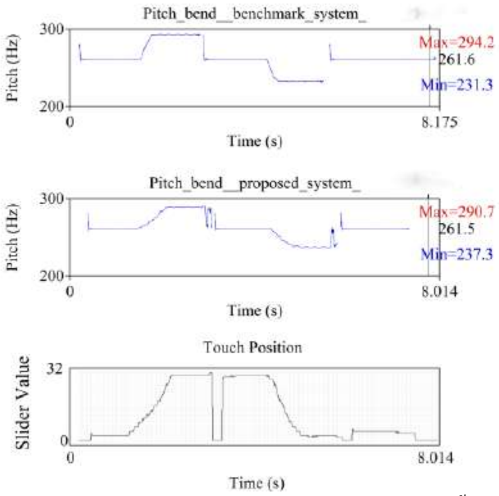
## 4. ผลการทำงานของระบบ

สมรรถนะของระบบที่นำเสนอนั้น จะใช้การเปรียบเทียบความเหมือนของลักษณะการเปลี่ยนแปลงของระดับโน้ต (Pitch Level) จากการเล่นโน้ตทดสอบดังรูปที่ 9 ด้วยระบบที่นำเสนอและระบบดั้งเดิม พร้อมแสดงกราฟลักษณะการรูดนิ้วตามแกน Y ประกอบดังรูปที่ 10, 11 โดยซอฟแวร์ *"Praat"* [2] ถูกนำมาใช้สำหรับการวิเคราะห์เสียงจากการทดสอบ พารามิเตอร์ที่ถูกเลือกสำหรับใช้เปรียบเทียบสมรรถนะระหว่างระบบทั้งสองคือ ช่วงเวลาที่ใช้สำหรับเปลี่ยนระดับโน้ต 1 semitone (sec) โดยเฉลี่ยจากช่วงขาขึ้นและลงของโน้ตจากการทดลอง Pitch bend ดังรูปที่ 11 ซึ่งจำเป็นต้องแปลงหน่วยของผลต่างความถี่ของโน้ตจาก $f_1$ (Hz) เป็น $f_2$ (Hz) ให้เป็นผลต่างตำแหน่งโน้ต $\Delta n$ (semitone) ด้วยสมการที่ 2 เพื่อทำให้ข้อมูลที่ได้สามารถใช้อธิบายในทุกๆตำแหน่งโน้ตได้ [3]

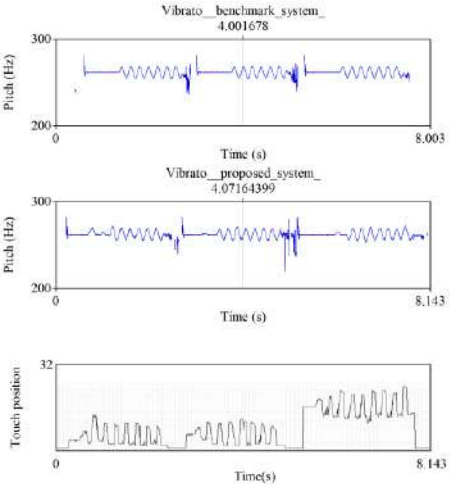
$$\Delta n = 12\log_2\left(\frac{f_1}{f_2}\right) \tag{2}$$




**รูปที่ 9** โน้ตทดสอบฟังก์ชั่น Pitch bend (บน) และ Vibrato (ล่าง)

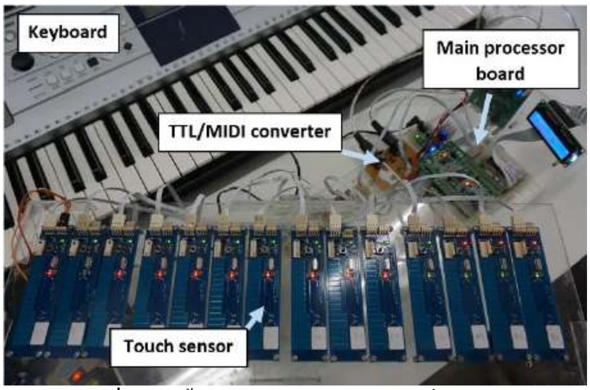



**รูปที่ 10** ความถี่โน้ตจากการทดสอบ Pitch bend ด้วยระบบดั้งเดิม (บน), ระบบที่นำเสนอ (กลาง) และ กราฟตำแหน่งนิ้วตามแกน Y บนเซ็นเซอร์ของคีย์โน้ต C4 (ล่าง)




**รูปที่ 11** ความถี่โน้ตจากการทดสอบ Vibrato ด้วยระบบดั้งเดิม (บน), ระบบที่นำเสนอ (กลาง) และ กราฟตำแหน่งนิ้วตามแกน Y บนเซ็นเซอร์ของคีย์โน้ต C4 (ล่าง)

จากผลการทดสอบพบว่า ฟังก์ชั่น Pitch bend ของระบบดั้งเดิมและระบบที่นำเสนอ ใช้เวลาสำหรับเปลี่ยนระดับโน้ต 1 semitone โดยเฉลี่ยเท่ากับ 0.138 วินาที และ 0.276 วินาที ตามลำดับ ฟังก์ชั่น Vibrato ของระบบที่นำเสนอให้ลักษณะการเปลี่ยนความถี่โน้ตได้ใกล้เคียงกับระบบดั้งเดิม โดยรวมแล้วระบบที่นำเสนอสามารถใช้ทดแทนสำหรับการเล่นทั่วไปได้




**รูปที่ 12** ชิ้นงานสำหรับทดสอบระบบที่นำเสนอ

## 5. บทสรุป

ระบบควบคุมฟังก์ชั่น Pitch bend และ Vibrato สำหรับเครื่องดนตรีอิเล็กทรอนิกส์คีย์บอร์ดที่นำเสนอนั้น สามารถใช้แทนระบบดั้งเดิมที่ใช้ล้อคันโยกสำหรับการเล่นคีย์บอร์ดด้วยเทคนิคทั่วๆไปได้และยังให้ความรู้สึกเป็นธรรมชาติมากกว่าระบบดั้งเดิม และระบบที่นำเสนอนี้รองรับการควบคุม Pitch bend และ Vibrato ของแต่ละโน้ตแบบอิสระต่อกันได้หากมีการเพิ่มเทคนิค MIDI Channel Multiplexing ซึ่งไม่อยู่ในขอบเขตของบทความนี้ ทำให้สามารถเล่น Baseline กับ Melody ด้วยมือสองข้างพร้อมกันได้อย่างอิสระซึ่งทำไม่ได้ในระบบดั้งเดิม สมรรถนะด้านความเร็วการเปลี่ยนแปลงระดับโน้ตในฟังก์ชั่น Pitch bend ยังคงช้ากว่าแบบระบบดั้งเดิม โดยช่วงเวลาสำหรับเปลี่ยนระดับโน้ต 1 semitone โดยเฉลี่ยของระบบดั้งเดิมและระบบที่นำเสนออยู่ที่ 0.138 วินาที และ 0.276 วินาทีตามลำดับ ระบบยังไม่สามารถติดตั้งบนลิ่มคีย์บอร์ดได้จริง เนื่องจากเซ็นเซอร์ยังมีขนาดใหญ่กว่าขนาดของลิ่มคีย์ ซึ่งสามารถแก้ไขได้ในอนาคตโดยใช้แผ่นวงจรแบบ 4 ชั้นเพื่อลดขนาดของวงจร

## เอกสารอ้างอิง

[1] Vincent Chan and Steve Underwood, “MSP430 Capacitive Single-Touch Sensor Design Guide,” Texas Instruments, 2008.

[2] Paul Boersma and David Weenink. “Praat : doing phonetics by computer,” Internet : http://www.fon.hum.uva.nl/praat

[3] Guy D. Moore, *The Physics and Psychophysics of Music: Lecture 16*, “Intervals, Scales, and Tunings”, TU Darmstadt, 2006.

[4] Oscar Camacho and Eduardo Viramontes, “Designing Touch Sensing Electrodes,” Freescale Semiconductor, 2011.

[5] The MIDI Manufacturers Association, Document Version 4.2, “MIDI 1.0 Detailed Specification,” Los Angeles, CA, 1995.

# ระบบตรวจสอบจำนวนสินค้าในเครื่องจำหน่ายสินค้าชนิดกระป๋อง แบบอัตโนมัติผ่านอุปกรณ์เชื่อมต่ออินเตอร์เน็ต

# A System Availability in automated Canned vending machines Through Internet of Ting (IOT)

**ธนาวุฒิ ธนวาณิชย์ , วรวุฒิ ทาค วมา, เสกสรรค์ วินยางค์กูล , อธิคม ศิริ และ กมล บุญล้อม**
ศูนย์ความเชี่ยวชาญทางคลื่นไมโครเวฟและเทคโนโลยีหุ่นยนต์ ส านักวิชาคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย 80 หมู่ 9 ถนน พหลโยธิน อ. เมือง จ.เชียงราย 57100 โทรศัพท์: 053-776395 ต่อ 111 E-mail: kamol_boon@yahoo.com

## บทคัดย่อ

ปัจจุบันระบบการจำหน่ายสินค้าแบบอัตโนมัติได้เข้ามาทดแทนในรูปแบบการจำหน่ายสินค้าแบบดั้งเดิมที่ต้องอาศัยคนขายในการจำหน่ายสินค้า โดยส่วนใหญ่การจำหน่ายสินค้าแบบอัตโนมัติมักจะมีการจำหน่ายสินค้าในรูปแบบสินค้าชนิดกระป๋อง และปัญหาของตู้จำหน่ายสินค้ากระป๋องแบบอัตโนมัตินั้นส่วนใหญ่คือไม่มีระบบการจัดการตรวจสอบจำนวนสินค้าที่อยู่ในเครื่องจำหน่ายสินค้าแบบอัตโนมัติ ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้คิดค้นวิธีการจัดการตรวจสอบจำนวนสินค้าในเครื่องจำหน่ายสินค้าแบบอัตโนมัติโดยอาศัยเซนเซอร์ต่อร่วมกับไมโครคอนโทรลเลอร์ที่เชื่อมต่อผ่านอินเตอร์เน็ต(Node MCU) ทำการอ่านค่าจำนวนสินค้าที่อยู่ในเครื่องจำหน่ายสินค้าและทำการส่งข้อมูลเข้าส่งไปยังระบบฐานข้อมูลและแสดงจำนวนสินค้าผ่านเว็บแอพพลิเคชั่น จากผลการทดลองหาประสิทธิภาพการทำงานของระบบสามารถหาค่าเฉลี่ยความเร็วของเวลาในการส่งข้อมูลไปยังระบบฐานข้อมูลได้ โดยใช้เวลาทั้งหมด 2.216 วินาที และมีความถูกต้องแม่นยำในการอ่านจำนวนสินค้าในเครื่องจำหน่ายสินค้าอัตโนมัติอยู่ที่ประมาณ 94.5 เปอเซ็นต์สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการตรวจสอบสินค้าผ่านระบบอินเตอร์เน็ตได้ในอนาคต

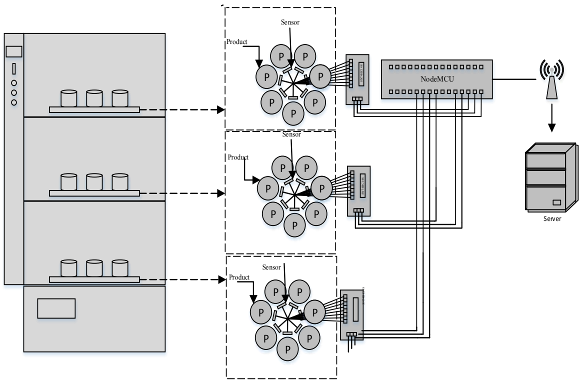
คำสำคัญ : อุปกรณ์เชื่อมต่ออินเตอร์เน็ต (Node MCU) ,ระบบฐานข้อมูล ,เครื่องจำหน่ายสินค้าอัตโนมัติ

## Abstract

Currently, the Internet is a very important means of communication to communicate fast and easily accessible than in the past, the researchers took advantage of the Internet to assist in the inspection of goods. in vending machines selling soft drinks, cans of devices connected to the Internet. Which can display Web applications on the App suicide. Using sensors to detect its kind within the vending, soft drink cans. When the sensor detects motion, it sends the voltage through the process. Converting voltages into digital signals. When the digital signal will be sent to a device connected to the Internet (Node MCU) then the device's Internet connection (Node MCU) will process the hair is then sent to a database and can show that web applications implemented applications. the

The results for the average speed of time to send the data to the database and the used time about 2.216 seconds.The accuracy of reading items in the vending machine operator about 94.5 percentage and can be applied to monitor products through the internet in the future.

Keywords: device, Internet connection (Node MCU), a database system, Automatic vending machine




**รูปที่** 1 ระบบตรวจนับจำนวนสินค้า

## 1. บทนำ

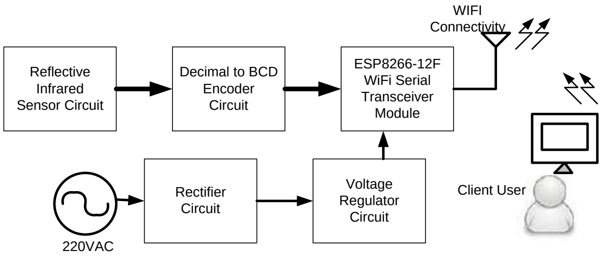
จากปัญหาการนับปริมาณคงเหลือของจำนวนสินค้าของเครื่องจำหน่ายสินค้า เมื่อเครื่องจำหน่ายสินค้าจำหน่ายสินค้าให้แก่ผู้มาใช้บริการต้องใช้แรงงานคนเพื่อทำการตรวจนับปริมาณสินค้าคงเหลือของเครื่องจำหน่ายสินค้า กรณีที่จำนวนของเครื่องจำหน่ายสินค้ามีปริมาณมากการตรวจนับจำนวนสินค้าต้องใช้เวลาและแรงงานคนในการตรวจ

นับจำนวนมาก โดยนำเทคโนโลยีของเครือข่ายอินเตอร์เน็ตเข้ามาเพื่อช่วยในการตรวจนับจำนวนสินค้า

ดังนั้นผู้วิจัยจึงเกิดแนวคิดระบบการตรวจนับจำนวนของสินค้าของเครื่องจำหน่ายสินซึ่งระบบนี้สามารถลดระยะเวลาและแรงงานคนในการตรวจนับจำนวนสินค้า โดยการตรวจนับจำนวนปริมาณคงเหลือของสินค้าผ่านเครือข่ายอินเตอร์เน็ตเพื่อความรวดเร็วและง่ายต่อการเข้าถึง และสามมารถนำไปประยุกต์ใช้งานด้านอื่นๆ ต่อไป

## 2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

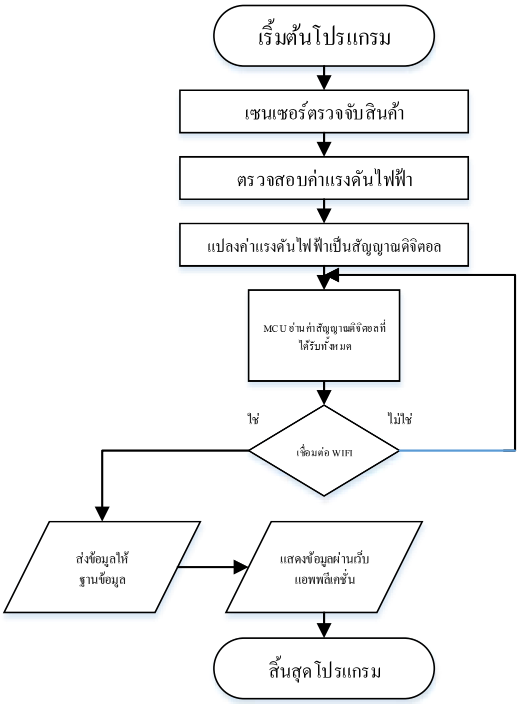
จากรูปที่ 1 แสดงไดอะแกรมของระบบตรวจนับสินค้าในเครื่องจำหน่ายสินค้าชนิดกระป๋องแบบอัติโนมัติ รูปที่ 2 แสดงไดอะแกรมของวงจรและการทำงานของระบบ โดยหลักการทำงานของระบบจะประกอบไปด้วยเครื่องจำหน่ายสินค้าชนิดกระป๋องแบบอัตโนมัติ เซ็นเซอร์อินฟาเรดชนิดสะท้อนกลับที่ทำการติดตั้งอยู่กับตำแหน่งสินค้าในเครื่องจำหน่ายสินค้าชนิดกระป๋องแบบอัตโนมัติ หน่วยประมวลผลกลางโดยมีไมโครคอนโทรลเลอร์เชื่อมต่ออินเตอร์เน็ต (Node MCU) และโปรแกรมเวปแอพพลิเคชั่นสำหรับแสดงจำนวนสินค้าในเครื่องจำหน่ายสินค้าชนิดกระป๋องแบบอัตโนมัติ หลักการทำงานเริ่มจากเมื่อทำการเดินเครื่องจำหน่ายสินค้าชนิดกระป๋องแบบอัติโนมัติเซ็นเซอร์แบบอินฟาเรดจะถูกติดตั้งอยู่กับที่วางสินค้าในแต่ละชั้นตามจำนวนของสินค้าที่มีอยู่ในเครื่องสถานะของเซ็นเซอร์ตรวจสอบจำนวนสินค้าจะมีสถานะลอจิค 1 เมื่อสินค้ายังไม่ถูกจำหน่ายและจะมีสถานะลอจิก 0 เมื่อสินค้าในชั้นนั้นมีการจำหน่าย โดยเครื่องจำหน่ายสินค้าชนิดกระป๋องแบบอัติโนมัติที่ผู้วิจัยได้สร้างขึ้นจะประกอบไปด้วยชั้นวางสินค้าจำนวน 3 ชั้นโดยแต่ละชั้นจะสามารถวางสินค้าได้จำนวน 7 ชิ้น เซ็นเซอร์อินฟาเรดที่ทำการวัดนั้นจะต่อร่วมกับวงจรเข้ารหัสแบบดิจิตอลผ่านไอซีเบอร์ SN74HC148 ทำการเข้ารหัสโดยจะแสดงสถานะของจำนวนสินค้าในแต่ละชั้นเป็นรหัสดิจิตอลตั้งแต่ $000_2$-$111_2$ ยกตัวอย่างเมื่อจำนวนสินค้าในชั้นจำหน่ายสินค้ามีจำนวนครบจะแสดงรหัส $111_2$ และเมื่อจำนวนสินค้าในชั้นถูกจำหน่ายหมดจะแสดงรหัส $000_2$ เป็นต้น จากนั้นเมื่อมีการจำหน่ายสินค้าระบบจะทำการอ่านจำนวนสินค้าโดยมีไมโครคอนโทรเลอร์ที่เชื่อมต่อผ่านอินเตอร์เน็ต(Node MCU) ESP8266 ทำการอ่านค้ารหัสดิจิตอลจากเซ็นเซอร์อินฟาเรดและทำการแปลงรหัสเป็นเลขฐานสิบซึ่งจะแทนด้วยจำนวนของสินค้าในแต่ละชั้นและจะทำการอ่านจำนวนสินค้าในทุกชั้นจากนั้นไมโครคอนโทรเลอร์ที่เชื่อมต่อผ่านอินเตอร์เน็ต(Node MCU)จะส่งข้อมูลผ่านเวปแอพพลิเคชั่นซึ่งอยู่ในตัวของไมโครคอนโทรเลอร์ที่เชื่อมต่อผ่านอินเตอร์เน็ต(Node MCU) แบบเวปเซิฟเว่อร์(Web Server) ทำให้ผู้ใช้สามารถเข้าไปดูจำนวนสินค้าที่อยู่ในเครื่องจำหน่ายสินค้าชนิดกระป๋องแบบอัตโนมัติได้โดยผ่านระบบเครือข่ายอินเตอร์เน็ต




รูปที่ 2 ไดอะแกรมวงจรของระบบตรวจนับจำนวนสินค้าในเครื่องจำหน่ายสินค้าแบบอัตโนมัติ

## 3. หลักการทำงาน

จากรูปที่ 3 แสดงแผนผังการทำงานของโปรแกรมไมโครคอนโทรลเลอร์เชื่อมต่ออินเตอร์เน็ต (Node MCU) ESP8266 เมื่อเริ่มการทำงานของเครื่องจำหน่ายสินค้าชนิดกระป๋องแบบอัตโนมัติ




**รูปที่ 3** แผนผังการทำงานของโปรแกรมไมโครคอนโทรลเลอร์เชื่อมต่ออินเตอร์เน็ต (Node MCU) ESP8266

โปรแกรมจะเริ่มทำการอ่านค่าจำนวนสินค้าผ่านเซนเซอร์จะทำหน้าที่ตรวจสอบสินค้าในชั้นวางสินค้าโดยการอ่านค่าจำนวนสินค้านั้นจะมีการวนเพื่อทำการอ่านค่าทุก 100มิลลิวินาทีและโปรแกรมไมโครคอนโทรลเลอร์เชื่อมต่ออินเตอร์เน็ต (Node MCU)จะแปลงข้อมูลที่ได้จากเซ็นเซอร์เป็นจำนวนสินค้าและส่งข้อมูลจำนวนสินค้าไปยังระบบฐานข้อมูลและโปรแกรมไมโครคอนโทรลเลอร์เชื่อมต่ออินเตอร์เน็ต (Node MCU)จะนำข้อมูลจำนวนสินค้าแสดงบนเวปแอพพลิเคชั่นดังแสดงในรูปที่ 4

**รูปที่ 4** โปรแกรมบนเวปแอพพลิเคชั่นบนไมโครคอนโทรลเลอร์เชื่อมต่ออินเตอร์เน็ต (Node MCU)

**รูปที่ 5** เครื่องจำหน่ายสินค้าชนิดกระป๋องแบบอัตโนมัติบนไมโครคอนโทรลเลอร์เชื่อมต่ออินเตอร์เน็ต (Node MCU)

## 4. ผลการทดลอง

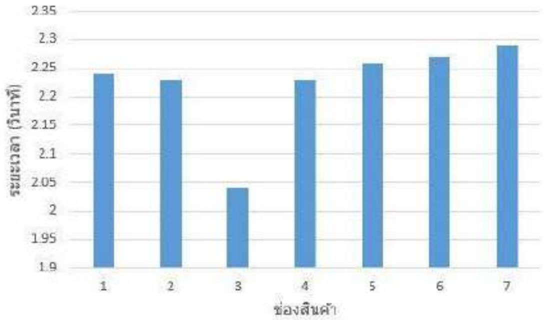
จากผลการทดลองการทำงานระบบตรวจสอบจำนวนสินค้าโดยสามารถตรวจสอบผ่านเว็บแอพพลีเคชั่นและทำการหาค่าเฉลี่ยของเวลาในการอ่านค่าจำนวนสินค้าบนเวปแอพพลิเคชั่นได้จากสมการที่ 1 โดยในชั้นที่ 1 มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 2.222 วินาที ชั่นที่ 2 มีค่าเฉลี่ย 2.208 ชั้นที่ 3 มีค่าเฉลี่ย 2.218 ดังรูปที่ 6-8

$$\overline{X} = \frac{\sum x}{n} \quad [1]$$

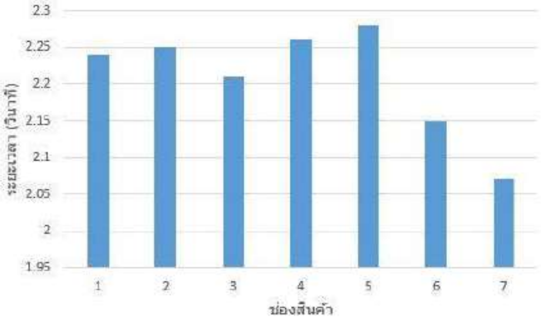
เมื่อ $\overline{X}$ (เอ็กซ์บาร์) คือ ค่าเฉลี่ยเลขคณิต

$\sum X$ คือ ผลบวกของข้อมูลทุกค่า

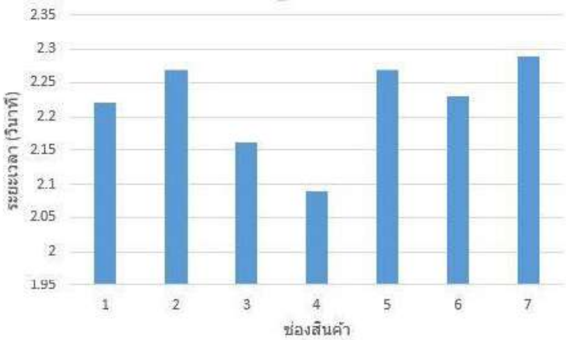
$n$ คือ จำนวนข้อมูลทั้งหมด




**รูปที่ 6** กราฟแสดงค่าเฉลี่ยการทำงานของระบบชั้นที่ 1(10 รอบ)

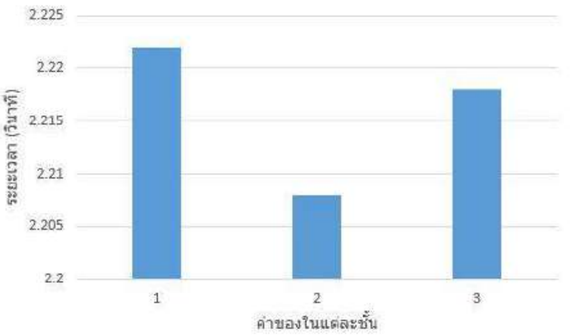



**รูปที่ 7** กราฟแสดงค่าเฉลี่ยการทำงานของระบบชั้นที่ 2(10 รอบ)

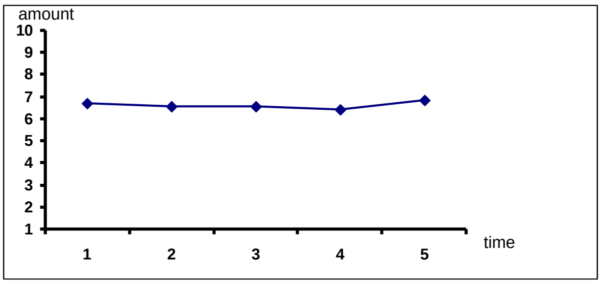



**รูปที่ 8** กราฟแสดงค่าเฉลี่ยการทำงานของระบบชั้นที่ 3(10 รอบ)

จากรูปที่ 8 จะเห็นได้ว่าค่าเฉลี่ยเวลาในการทำงานของระบบยังมีข้อผิดพลาดในการทำงาน สังเกตจากช่องสินค้าที่ 4 ที่ทำงานเร็วกว่าช่องสินค้าอื่นๆ




**รูปที่ 9** กราฟแสดงค่าเฉลี่ยของค่าความคลาดเคลื่อนของเวลาในการส่งข้อมูลไปยังเว็บแอพพลีเคชั่น ในแต่ละชั้น




**รูปที่ 10** กราฟแสดงค่าเฉลี่ยของค่าความถูกต้องของการอ่านจำนวนสินค้าในระบบตรวจนับจำนวนสินค้าของเครื่องจำหน่ายสินค้าแบบอัตโนมัติ

## 5. สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองการอ่านจำนวนสินค้าในระบบตรวจนับจำนวนสินค้าของเครื่องจำหน่ายสินค้าแบบอัตโนมัติพบว่ามีค่าความคลาดเคลื่อนของเวลาในการส่งข้อมูลไปยังเว็บแอพพลีเคชั่น โดยมีค่าเฉลี่ยค่าความคลาดเคลื่อนของเวลาในการส่งข้อมูลของชั้นที่ 1 เท่ากับ 2.222 วินาที ค่าความคลาดเคลื่อนของเวลาในการส่งข้อมูลในชั้นที่ 2 เท่ากับ 2.208 และค่าความคลาดเคลื่อนของเวลาในการส่งข้อมูลในชั้นที่ 3 เท่ากับ 2.218 และมีค่าความแม่นยำในการอ่านจำนวนสินค้าของเครื่องจำหน่ายสินค้าแบบอัตโนมัติเฉลี่ยคิดเป็นร้อยละ 94.5 ซึ่งสามารถนำวิธีการและเทคนิคนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับงานตรวจนับจำนวนสินค้าชนิดอื่นต่อไปได้ในอนาคต

## เอกสารอ้างอิง

[1] ArduinoAll :: อาดูโนทุกอย่างคือ ArduinoAll ขาย Arduino ทุกอย่าง. 2558. สอน วิธี ใช้งาน Arduino วัดอุณหภูมิและความชื้น ด้วยเซนเซอร์ DHT22 / DTH21 / DHT11 ใช้ได้ภายใน 3 นาที. สืบค้นจาก http://www.arduinoall.com/article. สืบค้นเมื่อ 7 มีนาคม 2559

[2] ดร.มหศักดิ์ เกตุฉ่ำ. Internet of Things คือ. สืบค้นจาก https://www.google.co.th/webhp?sourceid= chrome. สืบค้นเมื่อ 7 มีนาคม 2559.

[3] Palangsantikul PJ.C Programming for AVR Microcontroller and WinAVR(CCompiler).Bangkok:Appsofttech;2006.

[4] Rizzoni, G., & Hartley, T. T. (2000). Principles and applications of Electrical engineering (Vol. 3). New York: McGraw Hill.

[5] มงคล พรหมเทศ, ณรงค์ชัย กล่อมสุนทร. ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์เบื้องต้น. กรุงเทพ ฯ : เอมพันธ์, 2546.

**บทความวิจัย**

การประชุมวิชาการ งานวิจัยและพัฒนาเชิงประยุกต์ ครั้งที่ 8

*8th ECTI-CARD 2016, Hua Hin, Thailand*

# การรู้จำพยัญชนะไทยสำหรับการติดต่อกับผู้ใช้ด้วยปากกาเสมือนโดยการประมวลผลภาพดิจิทัล

# Thai Characters Recognition for a Virtual Pen User Interface Using Digital Image Processing

**จีราภา ทิพกรณ์ รัฐภูมิ วรานุสาสน์ สุรเดช จิตประไพกุลศาล และ พนมขวัญ ริยะมงคล**

สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ ภาควิชาไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

99 หมู่ที่ 9 ต.ท่าโพธิ์ อ.เมือง จ.พิษณุโลก 65000 โทรศัพท์ 05596437

e-mail: jeerapat58@email.nu.ac.th, rattapoomw@nu.ac.th, suradet@nu.ac.th, panomkhawnr@nu.ac.th

## บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการประยุกต์เทคนิคการประมวลผลภาพดิจิทัลเข้ากับเทคนิคการเรียนรู้ของเครื่องจักรในการพัฒนาขั้นตอนวิธีสำหรับการรู้จำแบบอัตโนมัติสำหรับการเขียนพยัญชนะไทยทั้ง 44 ตัวด้วยปากกาเสมือนกลางอากาศ โดยที่ปากกาเสมือน คือปากกาอิเล็คทรอนิกส์ที่ใช้แสงอินฟราเรดแทนการใช้หมึกและทำการรับภาพผ่านกล้องอินฟราเรด จากนั้นใช้เทคนิคการสร้างภาพไบนารีและการหาพื้นที่ที่ติดกันเพื่อคำนวณหาตำแหน่งจุดศูนย์กลางของภาพแสงปากกาแล้วเรียงกันเป็นลำดับตำแหน่งเพื่อใช้ในการคำนวณคุณลักษณะในการรู้จำ จากนั้นแบ่งส่วนของลำดับตำแหน่งที่ได้ออกเป็นส่วนย่อย โดยในแต่ละส่วนย่อยจะถูกนำมาคำนวณหาขนาดและทิศทางของเวกเตอร์ ในขั้นตอนสุดท้ายใช้อัลกอริทึมแรนดอมฟอเรสต์ในการรู้จำและจำแนกการเขียนพยัญชนะไทย จากผลการทดลองการแบ่งส่วนย่อยออกเป็น 10 15 20 25 และ 30 ส่วน พบว่า การแบ่งส่วนย่อยออกเป็น 15 ส่วนให้ค่าความถูกต้องมากที่สุดเฉลี่ยที่ร้อยละ 82.73

คำสำคัญ: การประมวลผลภาพดิจิทัล, การเรียนรู้ของเครื่องจักร, การรู้จำพยัญชนะไทย

## Abstract

This study has applied digital image processing and machine learning techniques to develop an algorithm for recognizing 44 Thai alphabet characters written with a virtual pen. The virtual pen is an electronic pen which a user can use the pen writing gestures in the air. The pen uses infrared light and an infrared camera instead of pen and paper. The infrared camera will capture a stream of images as input to the proposed algorithm. The algorithm first determines the positions of the pen's tip and stores the position sequence to be used in the subsequent computations of the classifier's features. Then the position sequence is divided sub-sequences. Each sub-sequence is used to compute its length and its orientation. These measurements of length and orientations are used as the features for the Random Forest classifier in order to recognize a Thai character from the writing gestures. The experimental results with 10, 15, 20, 25 and 30 sub-sequences divisions showed that the 15 sub-sequences division gave the best accuracy of the algorithm at 82.73%.

Keyword: Digital image processing, Machine learning, Thai character recognition

## 1. บทนำ

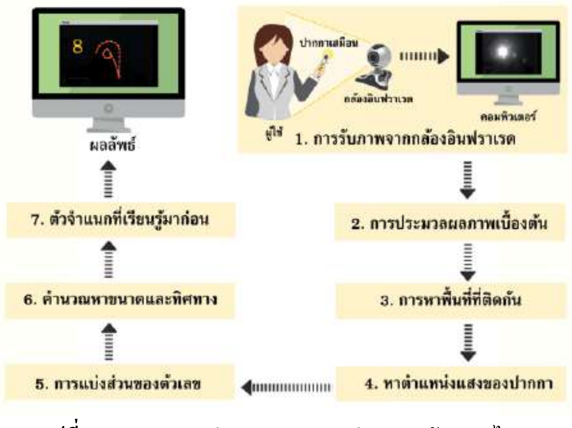
การติดต่อผู้ใช้แบบธรรมชาติ (natural user interface) เป็นเทคโนโลยีการโต้ตอบระหว่างมนุษย์และคอมพิวเตอร์ที่กำลังเป็นที่นิยมในยุคปัจจุบัน เช่น ระบบหน้าจอสัมผัส (touchscreen) ระบบการสั่งงานด้วยเสียง (voice activated commands) การใช้ท่าทางมือ (hand gesture user interface) และการเขียนด้วยปากกา (pen-based computing) ซึ่งระบบดังกล่าวมีการนำไปประยุกต์ใช้กับงานในหลากหลายด้านดังที่พบเห็นได้ในปัจจุบัน เช่น การสั่งงานอุปกรณ์พกพาด้วยเสียง การควบคุมการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ด้วยท่าทางมือ รวมทั้งการควบคุมอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้าน เป็นต้น ซึ่ง Ioannis [1] ได้นำเสนอขั้นตอนวิธีการตรวจจับปลายนิ้วมือ และ Liu และคณะ [2] ได้นำเสนอขั้นตอนวิธีตรวจจับท่าทางมือ สำหรับการจำแนกการเขียนพยัญชนะภาษาอังกฤษและใช้เทคนิคฮิดเด็นมาคอฟโมเดล (Hidden Markov Model: HMM) ในการจำแนกพยัญชนะเช่นเดียวกัน สำหรับงานวิจัยของคนไทยคือกฤตศิลป์และนิคม [3] ได้นำเสนอขั้นตอนวิธีในการตรวจจับท่าทางมือสำหรับการจำแนกการเขียนพยัญชนะไทย 12 พยัญชนะ โดยแบ่งกลุ่มพยัญชนะไทยเป็น 12 กลุ่ม อ้างอิงจากลักษณะการเขียนที่คล้ายคลึงกัน และใช้เทคนิค HMM สำหรับการจำแนก

ในบทความนี้ผู้วิจัยได้นำเสนอการพัฒนาขั้นตอนวิธีการรู้จำพยัญชนะไทยทั้ง 44 ตัว ด้วยท่าทางการเขียนด้วยปากกาเสมือน (virtual pen) กลางอากาศ ซึ่งขั้นตอนวิธีที่นำเสนอจะทำการประมวลผลและ

วิเคราะห์ว่าผู้ใช้กำลังเขียนพยัญชนะไทยตัวใดอยู่ ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานกับอุปกรณ์อื่นๆ ต่อไปได้ เช่น การสั่งงานสมาร์ททีวีด้วยการใช้รีโมทคอนโทรลเขียนท่าทางกลางอากาศ ในการเปลี่ยนช่องสัญญาณ การลดเสียง หรือแม้กระทั่งการท่องเว็บไซต์โดยการเขียนชื่อเว็บไซต์ด้วยรีโมทคอนโทรล เป็นต้น

## 2. ขั้นตอนและวิธีการ

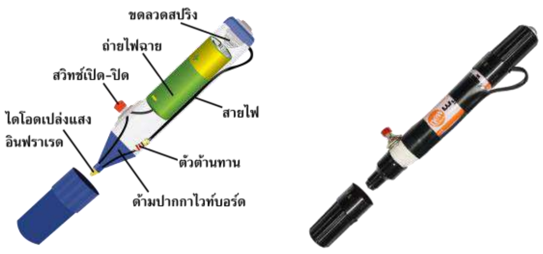
ระบบการรู้จำการเรียนพยัญชนะไทย 44 ตัว ในขั้นตอนแรก ผู้ใช้ถือปากกาเสมือนแล้วทำท่าทางการเขียนพยัญชนะไทยกลางอากาศที่หน้ากล้องอินฟราเรด กล้องอินฟราเรดจะทำการรับภาพและส่งเข้าเครื่องคอมพิวเตอร์นำไปประมวลผลภาพเบื้องต้นเพื่อปรับปรุงภาพให้ดีขึ้นและมีความเหมาะสมต่อการนำไปประมวลผลขั้นต่อไป จากนั้นนำภาพที่ได้ไปทำการหาพื้นที่ที่ติดกันเพื่อแยกส่วนของแสงไฟอินฟราเรดออกจากส่วนของพื้นหลัง แล้วทำการคำนวณหาจุดศูนย์กลางของแสงไฟอินฟราเรดในทุกภาพของวีดิโอ และเก็บบันทึกจุดศูนย์กลางทุกจุดตลอดการเขียนพยัญชนะทั้งหมดเรียงเป็นลำดับของตำแหน่ง จากนั้นทำการแบ่งลำดับของตำแหน่งออกเป็นส่วนย่อย ซึ่งแต่ละส่วนย่อยจะประกอบไปด้วยตำแหน่งเริ่มต้นและตำแหน่งสิ้นสุด นำตำแหน่งทั้งสองไปคำนวณหาขนาดและทิศทางของเวกเตอร์ และนำข้อมูลขนาดและทิศทางที่ได้ทั้งหมดไปสร้างเป็นโมเดลของตัวจำแนกเพื่อใช้ในการจำแนกพยัญชนะไทยด้วยอัลกอริทึมแรนดอมฟอเรสต์ ดังแสดงในรูปที่ 1




**รูปที่ 1** ภาพรวมการทำงานของระบบจำแนกพยัญชนะไทย

### 2.1 ปากกาเสมือนและการรับภาพผ่านกล้องอินฟราเรด

ผู้วิจัยได้ทำการออกแบบและสร้างปากกาเสมือน โดยที่ส่วนปลายของปากกาจะเป็นไดโอดเปล่งแสงอินฟราเรด สามารถควบคุมการเปิด-ปิดแสงไฟด้วยการกดสวิตช์ ดังแสดงในรูปที่ 2 ก) และ รูปที่ 2 ข) และเมื่อผู้ใช้นำปากกาเสมือนทำการเขียนพยัญชนะไทยกลางอากาศ กล้องอินฟราเรดจะทำการรับภาพแสงอินฟราเรดและนำไปประมวลผลต่อไป โดยภาพที่ได้จากกล้องอินฟราเรดนั้นจะสามารถมองเห็นได้เฉพาะแสงไฟอินฟราเรดเท่านั้น ทำให้การแยกส่วนของแสงไฟอินฟราเรดกับภาพพื้นหลังสามารถทำได้ง่ายยิ่งขึ้น

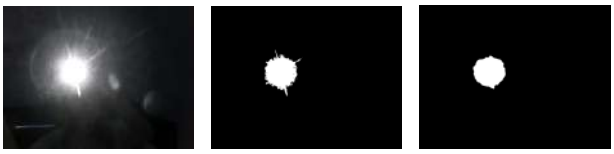



(ก) (ข)

**รูปที่ 2** (ก) แบบจำลองปากกาเสมือนที่ออกแบบไว้
(ข) ปากกาเสมือนตัวต้นแบบที่ใช้ในการทดลอง

### 2.2 การประมวลผลภาพเบื้องต้น

ในขั้นตอนนี้จะเป็นขั้นตอนของการปรับปรุงภาพเบื้องต้นเพื่อให้ได้ภาพที่เหมาะสมสำหรับนำไปประมวลผลในขั้นตอนต่อไป โดยเริ่มต้นจากการแปลงภาพที่รับเข้ามาผ่านกล้องอินฟราเรด หรือภาพต้นฉบับ ดังแสดงในรูปที่ 3 (ก) ให้เป็นภาพระดับเทาเนื่องจากระบบไม่ได้ใช้คุณสมบัติด้านสีในการวิเคราะห์ ต่อมาทำการแปลงภาพให้เป็นภาพไบนารีด้วยวิธีการทำเทรชโฮลด์ (thresholding) ดังแสดงผลลัพธ์ในรูปที่ 3 (ข) ซึ่งในบางครั้งจะมีสัญญาณรบกวนเกิดขึ้น ดังนั้นจึงต้องทำการลดสัญญาณรบกวนโดยการใช้การกระทำด้วยวิธีมอร์โฟโลจิคัล (morphological operations) และการใช้ตัวกรองแบบมัธยฐาน (median filter) ตามลำดับ ดังแสดงผลลัพธ์ในรูปที่ 3 (ค)



(ก) (ข) (ค)

**รูปที่ 3** (ก) ภาพต้นฉบับ (ข) การแปลงเป็นภาพไบนารี
(ค) ปรับปรุงภาพด้วยวิธีมอร์โฟโลจิคัล และตัวกรองแบบมัธยฐาน

### 2.3 การหาพื้นที่ติดกันและการหาตำแหน่ง

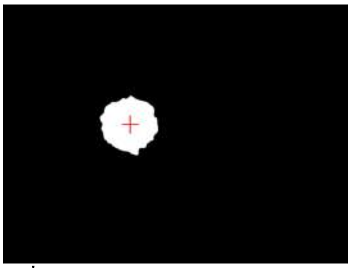
การหาพื้นที่ที่ติดกัน (connected component labeling) คือ การหาส่วนของแสงอินฟราเรดในภาพไบนารีซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จากขั้นตอนนี้จะได้บริเวณ (region) ของไฟอินฟราเรดที่ผู้วิจัยสนใจ เมื่อได้บริเวณของอินฟราเรดแล้ว ต่อมาคือการหาตำแหน่งจุดศูนย์กลางของแสงอินฟราเรด ดังแสดงรูปที่ 4 เพื่อใช้เป็นข้อมูลหลักในการคำนวณสำหรับจำแนก

พยัญชนะไทย การคำนวณจุดศูนย์กลาง ( $X_c$ , $Y_c$ ) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (1) และ (2)

$$X_c = \frac{\sum_{i=0}^{N} X_i}{N} \quad (1)$$

$$Y_c = \frac{\sum_{i=0}^{N} Y_i}{N} \quad (2)$$

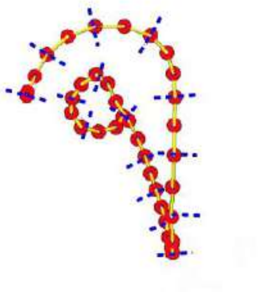
เมื่อ ($X_i$, $Y_i$) คือค่าตำแหน่งของจุดภาพแต่ละจุดในบริเวณที่สนใจ และ $N$ คือจำนวนจุดภาพทั้งหมดในบริเวณที่สนใจ จากนั้นจะทำการเก็บข้อมูลตำแหน่งจุดศูนย์กลางทั้งหมดในทุกเฟรมภาพต่อกันเป็นลำดับของตำแหน่งปากกา (sequence of pen positions) จนกว่าจะสิ้นสุดการเขียนของผู้ใช้



**รูปที่ 4** จุดศูนย์กลางของแสงไฟอินฟราเรด

## 2.4 การแบ่งส่วนของพยัญชนะ

เมื่อได้บันทึกตำแหน่งจุดศูนย์กลางของทุกเฟรมภาพลงเป็นลำดับของตำแหน่งปากกาแล้ว ต่อมาลำดับดังกล่าวจะถูกแบ่งส่วนออกเป็นส่วนย่อยดังแสดงในรูปที่ 5 ที่เป็นการแบ่งส่วนย่อยออกเป็น 15 ส่วน เมื่อจุดวงกลมสีแดงในรูปคือตำแหน่งของจุดศูนย์กลางบริเวณที่เป็นปลายปากกาในแต่ละเฟรมภาพ และเส้นประสีน้ำเงินคือตำแหน่งที่แบ่งออกเป็นส่วนย่อย ซึ่งในการแบ่งส่วนย่อยนั้น ในแต่ละส่วนจะมีตำแหน่งเริ่มต้นและตำแหน่งสิ้นสุด ซึ่งเมื่อเสร็จสิ้นการแบ่งส่วนย่อยแล้วจะได้ลำดับของตำแหน่งเริ่มต้นและตำแหน่งสิ้นสุดสำหรับใช้ในการคำนวณหาขนาดและทิศทางในขั้นตอนต่อไป



**รูปที่ 5** การแบ่งส่วนย่อยของลำดับของตำแหน่งปากกา

## 2.5 การคำนวณหาขนาดและทิศทาง

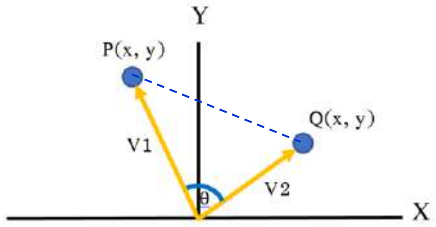
การคำนวณหาขนาดของแต่ละส่วนย่อย คือ การคำนวณระยะทางจากตำแหน่งเริ่มต้นไปยังตำแหน่งสิ้นสุดของแต่ละส่วน ดังรูปที่ 6 ซึ่งสามารถคำนวณได้จาก การหาระยะทางแบบยุคลิด (Euclidean distance) ซึ่งเป็นการหาระยะทางระหว่างจุดสองจุดในระบบพิกัดคาร์ทีเซียน ดังสมการที่ (3)

$$\text{Distance }(p, q) = \sqrt{(p_x - q_x)^2 + (p_y - q_y)^2} \quad (3)$$

จากสมการที่ (3)

$p_x$ และ $p_y$ คือ ตำแหน่ง x และ y ของจุดเริ่มต้นของแต่ละส่วน

$q_x$ และ $q_y$ คือ ตำแหน่ง x และ y ของจุดสิ้นสุดของแต่ละส่วน




**รูปที่ 6** การหาระยะทางแบบยุคลิดระหว่างจุดสองจุด

การหาทิศทางของแต่ละส่วน คือการหามุมที่เกิดจาก 2 เวกเตอร์ที่จุดกำเนิด ดังรูปที่ 6 ที่ลากจากจุดกำเนิดไปยังตำแหน่งเริ่มต้นและตำแหน่งสิ้นสุดของแต่ละส่วน โดยสามารถคำนวณได้จากสมการของการคูณเวกเตอร์แบบดอทโพรดักต์ ดังสมการที่ (6) ซึ่งจะต้องคำนวณหาขนาดของเวกเตอร์ทั้งสองจากสมการที่ (4) และ (5) ก่อน เมื่อได้ค่าตัวแปรมาครบแล้ว จึงจะสามารถคำนวณหามุมของสองเวกเตอร์ที่จุดกำเนิดได้ ดังสมการที่ (7)

$$|V1| = \sqrt{(p_x)^2 + (p_y)^2} \quad (4)$$

$$|V2| = \sqrt{(q_x)^2 + (q_y)^2} \quad (5)$$

$$V1 \times V2 = |V1| \times |V2| \times cos\theta, 0 \le \theta \le \pi \quad (6)$$

$$\theta = acos\left(\frac{V1 \times V2}{|V1| \times |V2|}\right) \quad (7)$$

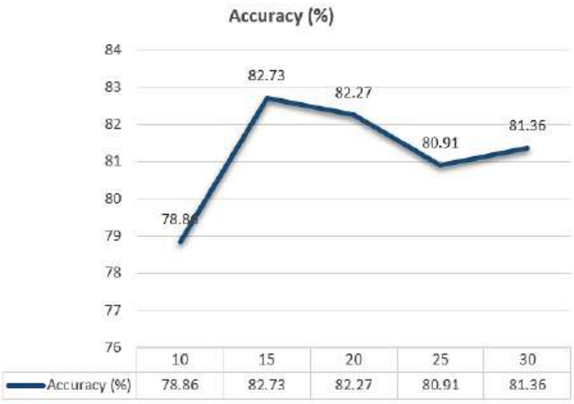
## 2.6 การจำแนกด้วยตัวจำแนกที่เรียนรู้มาก่อน

ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้ทำการจำแนกพยัญชนะไทย 44 ตัว โดยใช้อัลกอริทึมแรนดอมฟอเรสต์ [4] เป็นตัวจำแนก โดยมีการสกัด

คุณลักษณะขนาดและทิศทางของแต่ละส่วนเพื่อใช้เป็นข้อมูลสำหรับการจำแนก อัลกอริทึมแรนดอมฟอเรสทำการจำแนกข้อมูลโดยทำการสุ่มคุณลักษณะและข้อมูลตัวอย่างเพื่อสร้างเป็นโมเดลที่มีความหลากหลายด้วยเทคนิคต้นไม้ตัดสินใจ (decision tree) และจำแนกข้อมูลใหม่ด้วยโมเดลที่ถูกสร้างขึ้น

## 3. วิธีการทดลองและผลการทดลอง

ผู้วิจัยได้พัฒนาซอฟต์แวร์ด้วยไลบรารี่โอเพ่นซีวี (OpenCV) [5] และทำการเก็บข้อมูลวีดิโอการเขียนพยัญชนะไทย 10 วีดิโอต่อ 1 พยัญชนะ รวมทั้งหมด 440 วิดิโอและได้ทำการทดลองโดยการแบ่งส่วนย่อยออกเป็น 10 15 20 25 และ 30 ส่วน ซึ่งผลการทดลองโดยใช้อัลกอริทึมแรนดอมฟอเรสในการจำแนกแสดงดังรูปที่ 8




**รูปที่ 8** กราฟผลการทดลอง

จากรูปที่ 8 สรุปได้ว่า ขั้นตอนวิธีที่นำเสนอนี้สามารถจำแนกพยัญชนะไทยทั้ง 44 ตัว ได้ถูกต้องมากที่สุดเมื่อแบ่งส่วนของพยัญชนะออกเป็น 15 ส่วน คิดเป็นร้อยละ 82.73 และค่าความถูกต้องมีค่าน้อยที่สุด คือ เมื่อแบ่งส่วนของพยัญชนะออกเป็น 10 ส่วน คิดเป็นร้อยละ 78.86 จึงสรุปได้ว่า การแบ่งส่วนของพยัญชนะมีผลต่อความถูกต้องของการจำแนกพยัญชนะ ซึ่งถ้าแบ่งส่วนน้อยเกินไปหรือละเอียดเกินไป ก็ส่งผลให้ประสิทธิภาพของระบบลดลงได้

## 4. อภิปรายผลการศึกษา

จากผลการทดลองสรุปได้ว่า การแบ่งส่วนการเขียนพยัญชะ ที่มากขึ้น จะส่งผลให้ความถูกต้องของโปรแกรมเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย เนื่องจากเป็นการเพิ่มความละเอียดของการเขียนพยัญชนะ ซึ่งจะสามารถจำแนกพยัญชนะที่มีลักษณะการเขียนที่คล้ายคลึงกันได้ ยกตัวอย่างเช่น ถฎภ ขชซ ทฑ ฎฏ ดต พฟ ผฝ เป็นต้น และในอนาคตสามารถนำขั้นตอนวิธีนี้ไปพัฒนาต่อยอดสำหรับการรู้จำคำศัพท์ได้ สามารถประมวลผลได้ว่า ผู้ใช้เขียนคำว่าอะไร หรือประโยคอะไร เพื่อให้ระบบมีความฉลาดมากยิ่งขึ้น และสามารถนำไปประยุกต์ต่อให้สามารถใช้งานร่วมกับอุปกรณ์ต่างๆ ในอนาคตได้

## เอกสารอ้างอิง

[1] L. Ioannis, "Gesture recognition for alphabet characters from fingertip motion trajectory using LRB Hidden Markov Models," UG Internship Report, July 2014.

[2] N. Liu, "Evaluation of HMM training algorithms for letter hand gesture recognition," Proceedings of the 3rd IEEE International Symposium on Signal Processing and Information Technology 2003 (ISSPIT 2003), pp.648 – 651.

[3] K. Silanon and N. Suvonvorn, "Thai alphabet recognition from hand motion trajectory using HMM," In Proceedings of International Conference on Signal Acquisition and Processing (ICSAP 2011), pp.189-193.

[4] A. Liaw and M. Wiener, "Classification and Regression by randomForest," R News 2(3), 2002, pp. 18-22.

[5] G. Bradski, “The OpenCV Library,” Dr. Dobb’s J. Softw. Tools, 2000.

**จีราภา ทิพกรณ์**
นิสิตระดับปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร งานวิจัยที่สนใจ : Digital image processing

**รัฐภูมิ วรานุสาสน์**
อาจารย์ประจำภาควิชาภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
งานวิจัยที่สนใจ : Computer Vision, HCI

**สุรเดช จิตประไพกุลศาล**
อาจารย์ประจำภาควิชาภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
งานวิจัยที่สนใจ : Software Engineering

**พนมขวัญ ริยะมงคล**
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
งานวิจัยที่สนใจ : Digital image processing

**บทความวิจัย**
การประชุมวิชาการ งานวิจัยและพัฒนาเชิงประยุกต์ ครั้งที่ 8
*8th ECTI-CARD 2016, Hua Hin, Thailand*

# การหาช่วงการทำงานที่เหมาะสมของแมกนีโตสตริคทีฟทรานสดิวเซอร์สำหรับการลดคราบตะกรันในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

# Optimization of Magnetostrictive Transducers for Slag Stain Reducing in Heat Exchangers

ณัฏฐากร พุกสีแสง[1], วรวุฒิ บุญเป็ง[1], ศุภวัฒน์ คชประดิษฐ์[1],ดร. ธนเสฏฐ์ ทศดีกรพัฒน์[1]
และ รศ.ดร. ชาญชัย ทองโสภา[1]

[1]สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
111 ถนนมหาวิทยาลัย ตำบลสุรนารี อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา 30000 โทรศัพท์ 0-4422-3000

## บทคัดย่อ

เนื่องจากว่าในอุตสาหกรรมทั้งขนาดใหญ่และขนาดเล็กที่มีการใช้งานเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเป็นส่วนหนึ่งของกระบวนการบางอย่างในอุตสาหกรรมนั้นๆ ก็มักจะประสบปัญหาหนึ่งอยู่เสมอก็คือปัญหาการเกิดคราบตะกรันในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ซึ่งเป็นปัญหาที่ทำให้กระบวนแลกเปลี่ยนความร้อนนั้นด้อยประสิทธิภาพลง จึงส่งผลให้เกิดการสูญเสียทางค่าใช้จ่ายเพิ่มเติมที่จะต้องมีการหยุดระบบเพื่อทำการกำจัดคราบตะกรันให้หมดไป

งานวิจัยนี้จึงได้ทำการหาช่วงการทำงานที่เหมาะสมของแมกนีโตสตริคทีฟทรานสดิวเซอร์ เพื่อที่จะนำไปประยุกต์ใช้ในการช่วยลดคราบตะกรันในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนในอุตสาหกรรม

คำสำคัญ: คราบตะกรัน,เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน,แมกนีโตสตริคทีฟทรานสดิวเซอร์

## Abstract

Because of that, in the industry, both large and small used heat exchanger as part of some processes in a particular industry. It is always one problem often apparent that is the problem of slag stain in heat exchangers. This is a problem that the heat exchange process is less effective. As a result, the loss of the additional costs that will have to be stopped system to remove the slag stain.

This research, therefore, find the appropriate operating range of magnetostrictive transducers in order to be applied to reduce the slag stain of the heat exchanger industry.

Keywords: Slag stain, Heat exchangers, Magnetostrictive transducers

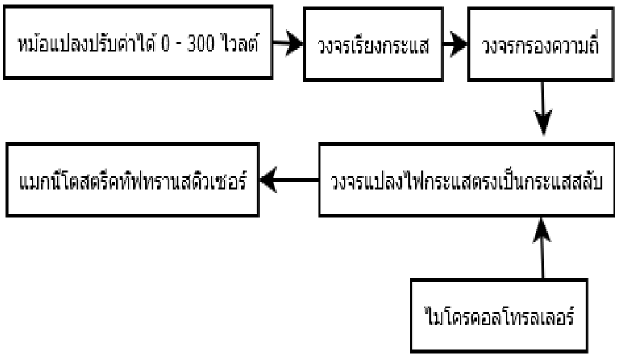
## 1. บทนำ

แมกนีโตสตริคทีฟทรานสดิวเซอร์เป็นอุปกรณ์ที่ถูกสร้างขึ้นมาเพื่อใชในการสร้างคลื่นกลที่มีความถี่สูง [1-4] ซึ่งจะมีความต่างจากเพียโซอิเล็กทริคทรานสดิวเซอร์ ที่สามารถสร้างคลื่นกลได้เหมือนกัน แต่แมกนีโตสตริคทีฟทรานสดิวเซอร์จะมีแรงกระทำที่สูงกว่าเพียโซอิเล็กทริคทรานสดิวเซอร์ เพราะฉะนั้นเพียโซอิเล็กทริคทรานสดิวเซอร์จึงเหมาะแก่การนำไปสร้างคลื่นกลได้ตัวกลางจำพวกน้ำหรืออากาศ แต่แมกนีโตสตริคทีฟทรานสดิวเซอร์จะเหมาะแก่การนำไปสร้างคลื่นกลในตัวกลางประเภทของแข็งจำพวกโลหะมากกว่า และเนื่องจากว่าในอุตสาหกรรมทั้งขนาดใหญ่และขนาดเล็กที่มีการใช้งานเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน มักจะประสบปัญหาหนึ่งอยู่เสมอก็คือปัญหาการเกิดคราบตะกรันในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ซึ่งเป็นปัญหาที่ทำให้กระบวนแลกเปลี่ยนความร้อนนั้นด้อยประสิทธิภาพลง ผู้วิจัยนี้จึงได้ทำการสร้างวงจรขับแมกนีโตสตริคทีฟทรานสดิวเซอร์ และทำการทดลองหาช่วงทำงานที่เหมาะสมของแมกนีโตสตริคทีฟทรานสดิวเซอร์ เพื่อที่จะนำไปประยุกต์ใช้ในการช่วยลดคราบตะกรันในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนในอุตสาหกรรม

## 2. วิธีดำเนินการ

### 2.1 การออกแบบวงจรขับ

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการออกแบบวงจรสำหรับใช้ในการขับแมกนีโตสตริคทีฟทรานสดิวเซอร์ให้สามารถทำงานได้โดยวงจรทั้งหมดในระบบนั้นแสดงดังบล็อกไดอะแกรมรูปที่ 1



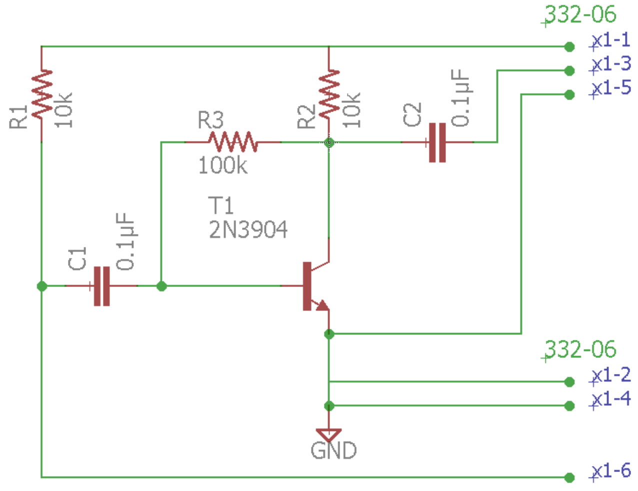

**รูปที่ 1** บล็อกไดอะแกรมของวงจรขับแมกนีโตสตริคทีฟทรานสดิวเซอร์

จากบล็อกไดอะแกรมในรูปที่ 1 จะเริ่มจากด้านอินพุตซึ่งจะใช้ไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์ต่อเข้ากับหม้อแปลงปรับค่าได้ตั้งแต่ 0 ถึง 300 โวลต์ จากนั้นก็ส่งผ่านไปยังภาคของวงจรเรียงกระแสและวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านและก็ส่งผ่านไปยังภาคของวงจรกำลังสูงที่จะทำการแปลงไฟฟ้ากระแสตรงไปเป็นไฟฟ้ากระแสสลับซึ่งถูกควบคุมความถี่ด้วยไมโครคอลโทรลเลอร์ให้อยู่ในช่วงความถี่ตามการทดลองต่อไป จากภาคของวงจรแปลงไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับก็ส่งต่อไปขับแมกนีโตสตริคทีฟทรานสดิวเซอร์ดังรูปที่ 2

**รูปที่ 2** แมกนีโตสตริคทีฟทรานสดิวเซอร์

## 2.2 การออกแบบวงจรสำหรับวัดค่า

ผู้วิจัยได้ทำการออกแบบวงจรสำหรับวัดค่าสัญญาณแอมพลิจูดของคลื่นกลที่ออกมาจากแมกนีโตสตริคทีฟทรานสดิวเซอร์ที่ส่งผ่านออกมากับตัวถังเหล็กดังรูปที่ 3 และได้ทำการติดตั้งตัววัดค่าสัญญาณแอมพลิจูดไว้กับตัวถังเหล็กดังกล่าวในระยะที่คงที่เพื่อให้การวัดค่านั้นออกมาได้สมบูรณ์ที่สุดโดยไม่ผิดเพี้ยน จากรูปที่ 3 X1-1 ต่อเข้ากับไฟเลี้ยง 5 โวลต์ X1-2 ต่อเข้ากับกราวด์ X1-3 ต่อเข้ากับออสซิลโลสโคป X1-4 ต่อเข้ากับกราวด์ของออสซิลโลสโคป X1-5 และ X1-6 ต่อเข้ากับแผ่นเพียโซอิเล็กทริคทรานสดิวเซอร์




**รูปที่ 3** วงจรวัดค่าสัญญาณแอมพลิจูดของคลื่นกล

## 2.3 ผลการทดลอง

ในการทดลองนี้ผู้วิจัยได้ทำการบันทึกค่าพารามิเตอร์หลักๆ บางค่าเพื่อใช้ในการหาช่วงของการทำงานที่เหมาะสมของแมกนีโตสตริคทีฟทรานสดิวเซอร์ เพื่อที่จะนำไปประยุกต์ใช้ในการช่วยลดคราบตะกรันในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนในอุตสาหกรรม โดยค่าพารามิเตอร์ที่ได้ทำการบันทึกนั้นมีดังนี้ F1 คือความถี่ที่ 1 Duty1 คือค่า Duty cycle ของความถี่ที่ 1 และ F2 คือความถี่ที่ 2 Duty2 คือค่า Duty cycle ของความถี่ที่ 2 โดยได้ทำการมอดดูเลทความถี่ที่ 1 และ 2 เข้าด้วยกัน ซึ่งในการทดลองนี้ได้ทำการกำหนดค่า Duty1 เท่ากับ 45% แบบคงที่ พร้อมกับทำการแปรผันค่าพารามิเตอร์ F1, F2 และ Duty2 เพื่อหาช่วงของการทำงานที่เหมาะสมและทำการบันทึกค่าแอมพลิจูดของสัญญาณดังตารางที่ 1 ถึงตารางที่ 3

โดยได้ทดลองใช้แท่งเหล็กที่มีคราบตะกรันติดอยู่ ทำการจุ่มลงในน้ำ เพื่อทำการทดสอบการลดคราบตะกรัน จะเห็นได้ว่าความถี่ F1 เท่ากับ 12 kHz, ความถี่ F2 เท่ากับ 10 Hz และค่า Duty2 เท่ากับ 5% ดังรูปที่ 4 มีการหลุดของคราบตะกรันเกิดขึ้นอย่างเห็นได้ชัดเจนตรงบริเวณวงกลมสีแดง ส่วนที่ความถี่อื่นๆ จะมีการหลุดของตะกรันน้อย หรือไม่มีการหลุดของตะกรันออกจากแท่งเหล็ก

**ตารางที่ 1** F2 เท่ากับ 5 Hz

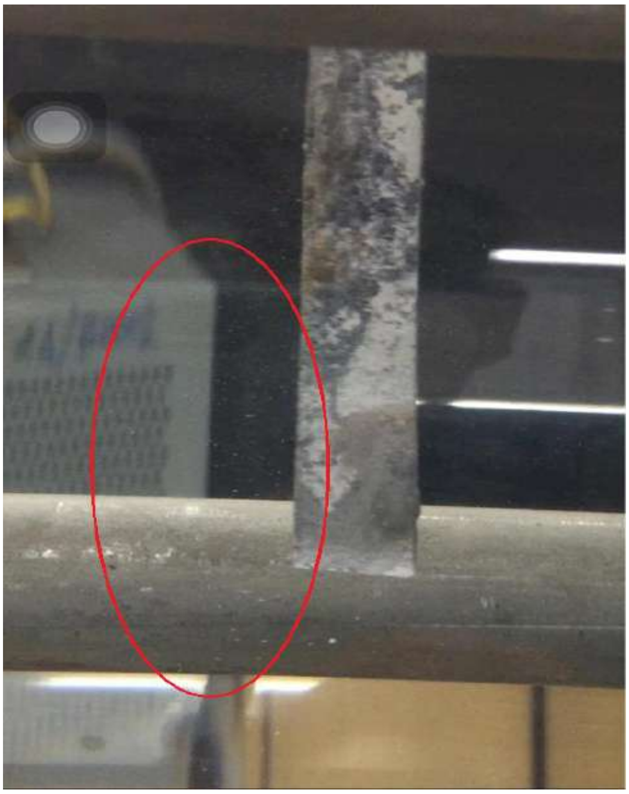
| F1/ Duty2 | 5% | 10% | 15% |
|---|---|---|---|
| 8kHz | 8.41 | 7.45 | 5.13 |
| 12kHz | 5.17 | 4.66 | 4.91 |
| 16kHz | 5.05 | 4.08 | 3.85 |
| 20kHz | 4.73 | 4.85 | 4.46 |

**ตารางที่ 2** F2 เท่ากับ 10 Hz

| F1/ Duty2 | 5% | 10% | 15% |
|---|---|---|---|
| 8kHz | 7.36 | 7.20 | 6.05 |
| 12kHz | 22.2 | 4.43 | 4.95 |
| 16kHz | 6.15 | 3.93 | 3.93 |
| 20kHz | 6.27 | 5.30 | 4.22 |

**ตารางที่ 3** F2 เท่ากับ 20 Hz

| F1/ Duty2 | 5% | 10% | 15% |
|---|---|---|---|
| 8kHz | 8.56 | 7.88 | 5.01 |
| 12kHz | 14.0 | 5.00 | 5.43 |
| 16kHz | 5.50 | 4.78 | 4.63 |
| 20kHz | 6.05 | 4.70 | 4.47 |



**รูปที่ 4** ความถี่ F1 เท่ากับ 12 kHz, ความถี่ F2 เท่ากับ 10 Hz และค่า Duty2 เท่ากับ 5%

## 3. สรุป

จากผลการทดลองที่ได้จึงสรุปได้ว่าค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของแมกนีโตสตริคทีฟทรานสดิวเซอร์ เพื่อที่จะนำไปประยุกต์ใช้ในการช่วยลดคราบตะกรันในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนในอุตสาหกรรม จะมีค่าเป็นความถี่ F1 เท่ากับ 12 kHz ซึ่งมีความถี่ F2 เท่ากับ 10 Hz และค่า Duty2 เท่ากับ 5% เพราะมีแอมพลิจูดสูงสุดเท่ากับ 22.2 ซึ่งสูงที่สุดในตารางการทดลอง และเมื่อทำการทดลองการลดคราบตะกรันในแท่งเหล็ก ยังพบว่ามีการหลุดของคราบตะกรันอย่างเห็นได้ชัดเจน

## 4. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีที่ให้การสนับสนุนอุปกรณ์และเครื่องมือสำหรับใช้ในการทำงานจนบรรลุผลและประสบความสำเร็จในการทดลองครั้งนี้

## เอกสารอ้างอิง

[1] Marcelo J. Dapino, Ralph C. Smith, and Alison B. Flatau, “Structural Magnetic Strain Model for Magnetostrictive Transducers”, IEEE TRANSACTIONS ON MAGNETICS, VOL. 36, NO. 3, MAY 2000.

[2] Mohammad Reza Karafi, Mojtaba Ghodsi, and Yousef Hojjat, “Development of Magnetostrictive Resonant Torsional Vibrator”, IEEE TRANSACTIONS ON MAGNETICS, VOL. 51, NO. 9, SEPTEMBER 2015.

[3] Masahiro Sato, Minoru Tahara and Iwata Sakagami, “Short Pulse Ultrasonic Generation with a Bar Type Magnetostrictive Transducer with Saturated Magnetization”, IEEE ULTRASONICS SYMPOSIUM, 1131, 2002.

[4] Meng Yanan, Fu Li, “Application and Development Research on Giant Magnetostrictive Apparatus”, 2nd International Conference on Mechanical and Electronics Engineering, ICMEE 2010.

นายณัฏฐากร พุกสีแสง
การศึกษาปริญญาตรี วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปัจจุบันศึกษาในระดับปริญญาโท วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโฟตอนนิกส์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
งานวิจัยที่สนใจ เช่น การออกแบบวงจรขับแมกนีโตสตริกทีฟทรานสดิวเซอร์

นายวรวุฒิ บุญเป็ง
การศึกษาปริญญาตรี วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปัจจุบันศึกษาในระดับปริญญาโทและปริญญาเอก วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโฟตอนนิกส์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี งานวิจัยที่สนใจ เช่น การออกแบบระบบตรวจสอบการตายของไก่ในฟาร์มขนาดใหญ่

นายศุภวัฒน์ คชประดิษฐ์
การศึกษาปริญญาตรี วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปัจจุบันศึกษาในระดับปริญญาโทและปริญญาเอก วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโฟตอนนิกส์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี งานวิจัยที่สนใจ เช่น การออกแบบวงจรความถี่วิทยุและสายอากาศ

ดร.ธนเสฏฐ์ ทศดีกรพัฒน์
การศึกษาปริญญาตรี วิศวกรรมโทรคมนาคม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ระดับปริญญาโทและปริญญาเอก วิศวกรรมโทรคมนาคม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์ประจำสาขาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ สำนักวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ RF circuit design, Active antenna, Microwave heating application, Induction heating, Antenna, Ultra wideband technology

รองศาสตราจารย์ ดร. ชาญชัย ทองโสภา
การศึกษา การศึกษาปริญญาตรี เกียรตินิยมอันดับ 1 วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังระดับปริญญาโท วิศวกรรมโทรคมนาคม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ระดับปริญญาเอก วิศวกรรมโทรคมนาคม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ตำแหน่งปัจจุบัน หัวหน้าสาขาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์สำนักวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ RF and Microwave circuit design, Active antenna, Heating application, Network Design
หัวหน้าโครงการวิจัย Design Systems Air Traffic control, Design transmitters VHF-UHF (AM) 25W (on 24 Hour), Design Transmitters HF (AM) 1KW (on 24 Hour), Developing the wideband antenna for 2.4 GHz WLAN, Design Network Systems ฯลฯ

**บทความวิจัย**
การประชุมวิชาการ งานวิจัยและพัฒนาเชิงประยุกต์ ครั้งที่ 8
*8th ECTI-CARD 2016, Hua Hin, Thailand*

# พัฒนาอุปกรณ์ช่วยเหลือผู้พิการทางสายตาโดยเทคนิคการตรวจจับความลึกจากแสงอินฟราเรดด้วยกล้องคิเนค

**สัญญา อุทธโยธา[1] พิชิต ทนันชัย[2] จักรี ตั้งตัว[3] ธีระยุทธ กุสม[4] และศิริพร จันทะวงค์[5]**
วิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
128 ถนนห้วยแก้ว ตำบลช้างเผือก อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ 50300 โทรศัพท์ 053-92-1444 ต่อ 2132
E-mail: [1]sanya@rmutl.ac.th, [2]pichit@rmutl.ac.th.com, [3]jackree123@hotmail.com, [4]teerayoot.ku1994@gmail.com, [5]yui.siriporn.ja@gmail.com

## บทคัดย่อ

โครงการวิจัยนี้วัตถุประสงค์เพื่อออกแบบระบบต้นแบบสำหรับให้ผู้พิการทางสายตาสามารถช่วยเหลือตัวเองได้ โดยวิธีการประยุกต์กล้องคิเนค(Kinect) [2-3] ตรวจจับวัตถุและประมวลผลด้วยคอมพิวเตอร์ ซึ่งระบบจะคำนวณระยะห่างระหว่างตัวรับรู้ความลึก (depth sensor)กับวัตถุ โดยการตรวจสอบด้วยแสงอินฟราเรด( Infrared) ซ้ำหลายๆ รอบทำให้สามารถระบุระยะห่างที่แน่นอนได้โดยไม่ต้องคำนึงถึงสภาพแสงสว่าง แจ้งเตือนให้ผู้ใช้งานด้วยเสียงผ่านทางหูฟัง จากการทดสอบ ระบบมีค่าความถูกต้องเฉลี่ย 72% สามารถตรวจจับวัตถุที่มีขนาดเล็กสุด 7x 23 เซนติเมตร ตรวจจับสิ่งกีดขวางแล้วแจ้งเตือนในระยะระหว่าง 1.50-2.00 เมตร

คำสำคัญ: กล้องคิเนค, อินฟราเรด, ผู้พิการทางสายตา

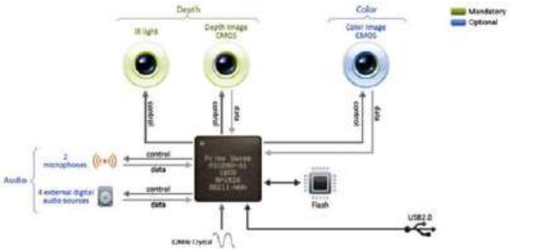
## Abstract

This project aims to design a prototype system for blind people can help themselves. Applications from Kinect camera [2-3] detection and processing from a computer. The system calculates the distance between objects and the depth sensor. By detecting infrared light repeated several times and it possible to identify the correct distance without the uses of light. Then alert users with sounds through headphones. From experiment The system has an average accuracy of 72%, Minimum size to detected the objects with 7x23cm ,Obstacle detection and alert in the between 1.50 to 2.00 meters.

Keywords: Kinect, Infrared, blind people

## 1. บทนำ

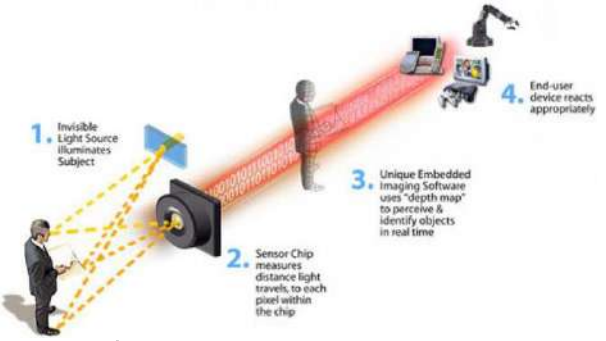
กล้อง คิเนค(Kinect) ถูกสร้างขึ้นตามสถาปัตยกรรมที่นำเสนอโดยบริษัท Prime Sense[2-3] ซึ่งผู้เป็นผู้นำในด้าน Natural User Interface (NUI) รูปที่ 1




**รูปที่ 1** สถาปัตยกรรมกล้อง Kinect [1]

โดยกล้องคิเนคเป็นอุปกรณ์รับรู้การเคลื่อนไหวที่ใช้การทำงานผสมผสานกันระหว่างฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ ฟังก์ชันหลักของ กล้องคิเนค มีสองฟังก์ชันคือ สร้างภาพเคลื่อนไหวสามมิติของวัตถุในมุมมองที่กำหนด และแยกแยะมนุษย์ออกจากวัตถุเหล่านั้นได้[4-5] ในปัจจุบันกล้องคิเนค มีความละเอียดของภาพอยู่ที่ 640x480 pixel และสามารถทำงานได้ที่ 30 frames ต่อวินาที สำหรับ Hardware ของกล้องคิเนคสามารถแบ่งออกเป็น 3 ส่วนประกอบสำคัญ ได้แก่ Color VGA video camera เป็นกล้องถ่ายภาพเคลื่อนไหวซึ่งช่วยในการจดจำใบหน้า (Face-Recognition) และการตรวจจับลักษณะเด่นอื่นๆ โดยใช้ความสามารถในการตรวจจับองค์ประกอบของสีทั้งสามสีอันได้แก่สีแดงสี เขียว และสีน้ำเงิน

Depth sensor [2-3] ประกอบด้วยการทำงานร่วมกันของต้นกำเนิดแสงอินฟราเรด (Infrared Projector) และตัวรับรู้แบบ monochrome CMOS (Complementary Metal-Oxide Semiconductor) ซึ่งทำหน้าที่รับแสงอินฟราเรดที่ถูกสะท้อนกลับมาจากวัตถุ จากนั้นทำการวัดเวลาในการเดินทาง (Time of Flight) ระยะเวลาที่แสงอินฟราเรดใช้ในการเดินทางไปกลับก็จะสามารถคำนวณระยะห่างระหว่างตัวรับรู้ความลึกกับวัตถุได้ โดยการทำงานด้วยความเร็วแสงหลายๆ รอบทำให้สามารถระบุระยะห่างที่แน่นอนได้โดยไม่ต้องคำนึงถึงสภาพแสงสว่าง




**รูปที่ 2** การทำงานของตัวรับรู้ความลึกใน Kinect [1]

กล้องคิเนคจะใช้ระบบพิกัดสามมิติในการทำงาน ค่าของตัวเลขที่ใช้ในการอธิบายตำแหน่งของจุดบนระนาบ[6] โดยใช้วิธีการกำหนดอย่างเป็นระบบด้วยการกำหนดค่าตัวเลขชุดอันดับสามตัว แทนตำแหน่งของแต่ละจุดบนระนาบ ชุดอันดับหนึ่งชุดจะสื่อถึงตำแหน่งเพียงหนึ่งตำแหน่ง เท่านั้น เช่น จุด P เป็นจุดใดๆที่อยู่ระหว่างแกน X, Y และ Z โดยเมื่อทำการระบุตำแหน่ง P จะได้ค่าตัวเลขออกมาหนึ่งชุดเป็นค่า (X, Y, Z)

การแปลงทางเรขาคณิต (Geometric Transformation) ในงานวิจัยนี้ศึกษาเฉพาะการย้าย (Translation) และการหมุน (Rotation)ในระบบพิกัดสามมิติโดยนำมาประยุกต์ใช้กรณีที่การติดตั้งกล้องไม่ได้อยู่ในตำแหน่งระนาบเดียวกันกับพื้น รวมถึงการเคลื่อนย้ายกล้องไปจากตำแหน่งเดิมที่ได้มีการตั้งค่าไว้ ดังนั้นจะต้องมีการย้ายและการหมุนเพื่อให้ได้ตำ2แหน่ง X, Y และ Z ที่ถูกต้องและรวดเร็วในการค้นหาทิศทาง

การย้าย (Translation) หมายถึง การเคลื่อนตำ2แหน่งของวัตถุในทุกๆจุดเป็นระยะทางที่เท่ากัน และเคลื่อนไปในทิศทางเดียวกัน โดยการย้ายในระบบพิกัดสามมิติสามารถนำเสนอในรูปแบบสมการได้ดังนี้

$$P'_x = P_x + d_x \quad (2.1)$$

$$P'_y = P_y + d_y \quad (2.2)$$

$$P'_z = P_z + d_z \quad (2.3)$$

เมื่อ P คือ จุดใด ๆ ในระบบพิกัดสามมิติ
d คือ ระยะการเคลื่อนในแต่ละแกน
P’ คือ จุดใหม่ที่เกิดจากการเคลื่อนตำแหน่ง

การหมุน (Rotation) หมายถึง การเคลื่อนตำแหน่งทุก ๆ จุดของวัตถุรอบจุดตรึง โดยการหมุนในระบบพิกัดสามมิติจะพิจารณาถึงแกนที่จะใช้ในการหมุน ได้แก่ การหมุนในแกน X แกน Y หรือแกน Z โดยเขียนเป็นเมตริกซ์การหมุนได้ดังสมการที่ 2.4-2.6

$$R_X(a_x) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(a_x) & -\sin(a_x) \\ 0 & \sin(a_x) & \cos(a_x) \end{bmatrix} \quad (2.4)$$

$$R_y(a_y) = \begin{bmatrix} \cos(a_y) & 0 & \sin(a_y) \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin(a_y) & 0 & \cos(a_y) \end{bmatrix} \quad (2.5)$$

$$R_z(a_z) = \begin{bmatrix} \cos(a_z) & -\sin(a_z) & 0 \\ \sin(a_z) & \cos(a_z) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.6)$$

เมื่อ $R_X(a_x)$ คือ เมตริกซ์การหมุนรอบแกน X ด้วยมุม $a_x$
$R_y(a_y)$ คือ เมตริกซ์การหมุนรอบแกน Y ด้วยมุม $a_y$
$R_z(a_z)$คือ เมตริกซ์การหมุนรอบแกน Z ด้วยมุม $a_z$

## 2. การออกแบบระบบ

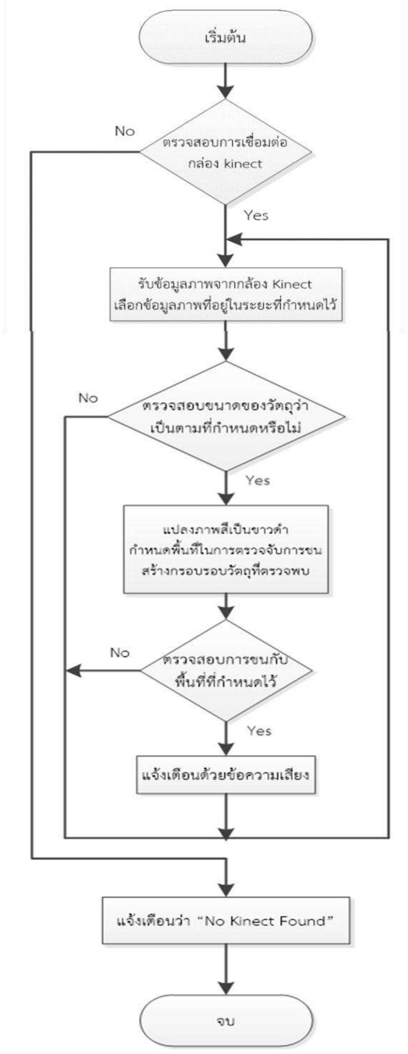
### 2.1 ส่วนประกอบทางด้านHardware

รูปที่ 3 สามารถอธิบายส่วนประกอบทางด้านฮาร์ดแวร์ซึ่งประกอบด้วยกล้องคิเนค ใช้เป็นตัวตรวจจับวัตถุและรับภาพ ส่งเข้าคอมพิวเตอร์ซึ่งจะทำหน้าที่ประมวลผลภาพ อุปกรณ์ใส่หูฟัง (headphone)ทำหน้าที่ส่งเสียงเป็นภาษาไทยเตือนผู้พิการทางสายตา

**รูปที่ 3** ระบบฮาร์ดแวร์

### 2.2 การออกแบบทางด้านSoftware

การทำงานจะเริ่มจาก เมื่อตรวจสอบว่ามีการต่อกล้องคิเนคแล้ว ระบบจะเรียกใช้งานเซ็นเซอร์วัดความลึก, วิดีโอของกล้องคิเนค โดยกำหนดขนาดหน้าจอ 640x480Fps30 จากนั้นนำค่าที่ได้จากกล้อง มาเก็บไว้ในตัวแปล และทำการตรวจเช็คขนาดของวัตถุ มีขนาดตามที่กำหนดหรือไม่ จากนั้นระบบจะทำภาพสีที่ได้เป็นภาพขาวดำ และกำหนดพื้นที่ในการตรวจสอบโดยวาดเส้น คำนวณความกว้าง, ความยาว, ความสูง, จุดศูนย์กลาง และพิกัดทั้งหมดของ วัตถุ และเมื่อมีวัตถุมาอยู่ในพื้นที่ที่กำหนดจะแสดงการแจ้งเตือน

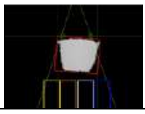



**รูปที่ 4** การทำงานของระบบ

## 3. ผลการทดสอบ

### 3.1 ทดสอบการตรวจจับขนาดของวัตถุจากกล้องคิเนค

**ตารางที่ 1** ขนาดของวัตถุที่ตรวจจับ

| ขนาด | ภาพปกติ | Depth sensor | หมายเหตุ |
|---|---|---|---|
| 7x23cm | | | กระป๋องสี Yes |
| 20x20cm | | | ลูกบอล Yes |
| 55x42cm | |  | ตะกร้า Yes |

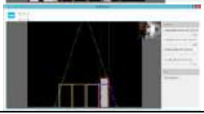
การทดสอบหาขนาดและรูปทรงที่กล้องสามารถตรวจจับได้ประกอบด้วยรูปทรงกระบอก ทรงกลม และ ทรงสี่เหลี่ยม ที่มีขนาดแตกต่างกัน ได้ตามตาราง โดยขนาดเล็กที่สุดที่ตรวจจับได้เท่ากับ7x23เซนติเมตร ซึ่งเป็นกระป๋องสี ซึ่งสามารถตรวจจับได้ในระยะที่ปลอดภัย

### 3.2 ทดสอบการตอบสนองเมื่อจับวัตถุในระยะทางที่แตกต่างกัน

การทดสอบการจับวัตถุในระยะทางที่แตกต่างกันด้วยการแบ่งระยะในการทดสอบ ตั้งแต่ 0.03 ,0.06 ,0.09 ,1.50 เมตร และ 2.0 เมตร ตามลำดับ ซึ่งจากการทดลอง ระยะที่ดีที่สุดจะเป็น 1.50 ถึง 2.0เมตรที่ระบบสามารถตรวจจับและแจ้งเตือนได้

**รูปที่ 5** การแบ่งระยะในการทดสอบ

**ตารางที่ 2** หาระยะที่ดีที่สุด

| ระยะ | Depth sensor | ผลลัพธ์ |
|---|---|---|
| 0.30-2.0m | | No |
| 0.9-2.0m | | No |
| 1.5-2.0m |  | Yes |

### 3.3 ทดสอบการหลบหลีกวัตถุ

**รูปที่ 6** การทดสอบการเดิน

การทดสอบหาค่าความถูกต้องของการเดินและไม่ชนวัตถุ จากการทดสอบจากผู้ทดสอบ 10 คน ใช้ผ้าติดตาให้สนิทและไม่ให้เห็นห้องทดสอบก่อนเดิน สวมใส่ชุดกล้องตามรูปที่ 6 ได้ผลของความถูกต้องตั้งแต่ 60% ถึง 100 % (รูปที่ 7) หาค่าเฉลี่ยความถูกต้องเท่ากับ 72%

**รูปที่ 7** เปอร์เซ็นต์ความถูกต้องจากการทดสอบ

## 4. สรุป

สรุปผลการทดสอบการใช้กล้องคิเนคในการช่วยหลบหลีกสิ่งกีดขวางให้แก่ผู้พิการทางสายตาสามารถหลบหลีกสิ่งกีดขวางได้ โดยมีค่าความถูกต้องเฉลี่ย 72% การทดสอบการตรวจจับวัตถุ สามารถตรวจจับวัตถุที่มีขนาดเล็กสุด 7x 23 เซนติเมตร ตรวจจับสิ่งกีดขวางแล้วแจ้งเตือนในระยะระหว่าง 1.50-2.00 เมตร และสามารถบอกทางให้เลี้ยวซ้ายและเลี้ยวขวา แจ้งเตือนเป็นภาษาไทยได้

เอกสารอ้างอิง

[1] How Motion Detection Works in Xbox Kinect. [Online],Available:. http://www.wired.com/2010/11/tonights-release-xbox-kinect-how-does-it-work/all/1[2014]

[2] Microsoft, Kinect for Xbox 360 - Xbox.com [Online], Available : http://www.xbox.com/en-/kinect [2014]

[3] Microsoft, “Kinect Develop Overview | Kinect for Windows” Online], Available : http://www.microsoft.com/en-us/kinectforwindows/develop/overview.aspx [2014].

[4] Riyad A. El-Iaithy, Jidong Huang, Michael Yeh, “Study on the Use of Microsoft Kinect for Robotics Applications” California State University, Fullerton,2012

[5] เทคโนโลยีการพัฒนาหุ่นยนต์อัตโนมัติสำหรับช่วยเหลือคนชราภายในบ้าน, 2555, คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตร-ศาสตร์, นครปฐม( สืบค้นเมื่อ 24 มิถุนายน 2557)

[6] ยุทธนา บุราณรมย์ และคณะ, ต้นแบบห้องนอนอัจฉริยะสำหรับผู้สูงอายุโดยการใช้กล้อง Kinect ตรวจจับการเคลื่อนไหว,เทคโนโลยีสารสนเทศ.มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, กรุงเทพมหานคร,2556

**สัญญา อุทธโยธา**[1] E-mail :sanya@rmutl.ac.th
วิศวกรรมคอมพิวเตอร์
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา

**พิชิต ทนันชัย**[2] E-mail :pichit@rmutl.ac.th
วิศวกรรมคอมพิวเตอร์
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา

**จักรี ตั้งตัว**
E-mail : jackree123@hotmail.com
วิศวกรรมคอมพิวเตอร์
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราช-มงคลล้านนา

**ธีระยุทธ กุสม**
E-mail : teerayoot.ku1994@gmail.com
วิศวกรรมคอมพิวเตอร์
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราช-มงคลล้านนา

**ศิริพร จันทะวงค์**
E-mail : yui.siriporn.ja@gmail.com
วิศวกรรมคอมพิวเตอร์
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราช-มงคลล้านนา

**บทความวิจัย**

การประชุมวิชาการ งานวิจัยและพัฒนาเชิงประยุกต์ ครั้งที่ 8

*8th ECTI-CARD 2016, Hua Hin, Thailand*

# คุณลักษณะเด่นสำหรับจำแนกท่าทางกิจกรรมตามปกติ

# Features for Activity of Daily Living Classification

**ปฏิมากร จันทร์พริ้ม[1] ธีรพงษ์ ฉิมเพชร[1] ชลัช สัตยารักษ์[1] และ พรชัย พฤกษ์ภัทรานนต์[2]**

[1]สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

เลขที่ 1 ถ.ราชดำเนินนอก ต.บ่อยาง อ.เมือง จ.สงขลา 90000 E-mail: patimakorn.j@hyac.in.th

[2]สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา 90112

## บทคัดย่อ

บทความนี้เป็นการศึกษาเบื้องต้นเกี่ยวกับคุณลักษณะเด่นสำหรับจำแนกท่าทางกิจกรรมตามปกติโดยใช้เซนเซอร์ความเร่ง ADXL321 ที่ประยุกต์ให้เป็น 3 แกนจำนวน 2 ชุดติดที่ลำตัวและต้นขาของผู้ทดสอบ ให้ผู้ทดสอบแสดงท่าทางจำนวน 6 ท่าทางได้แก่ ก้มเก็บของ นอน-นั่ง นั่ง-นอน นั่ง-ยืน ยืน-นั่ง และเดินทางราบโดยให้ทำซ้ำท่าละ 4 ครั้ง ทำการศึกษาคุณลักษณะเด่นจากเซนเซอร์ทั้ง 2 ตำแหน่งจำนวน 10 ค่า ได้แก่ แนวโน้มการเพิ่ม/ลดความเร่งเมื่อเทียบกับค่าเริ่มต้นของแต่ละแกนแต่ละตำแหน่งรวม 6 ค่า และค่าสูดสุดหรือต่ำสุดของความเร่งลัพธ์ที่แต่ละตำแหน่งอีก 4 ค่า ผลการทดสอบ พบว่า ใช้คุณลักษณะเด่นทั้ง 10 ค่าร่วมกันจะสามารถจำแนกท่าทางกิจกรรมตามปกติทั้ง 6 ท่าทางได้ทั้งหมด

คำสำคัญ: คุณลักษณะเด่น, การจำแนก, การรู้จำ, กิจกรรมตามปกติ

## Abstract

This article describes a preliminary study of features for Activity of Daily Living (ADL) classification. Two sets of ADXL 321, applied to a tri-axial accelerometer, were mounted on the trunk and thigh of a subject. The subject performed 6 scenarios of ADL, including bend down, lie-sit, sit-lie, sit-stand, stand-sit, and walking. Each scenario was repeated 4 times. Ten acceleration features from 2 positions were experimented. Results showed that there were 6 increasing/decreasing trends of resultant accelerations of each axis/position. Moreover, 4 minimum/maximum resultant accelerations at each position are observed. All scenarios of ADL could be classified by using all 10 features together.

Keywords: feature, classification, recognition, Activity of Daily Living

## 1. บทนำ

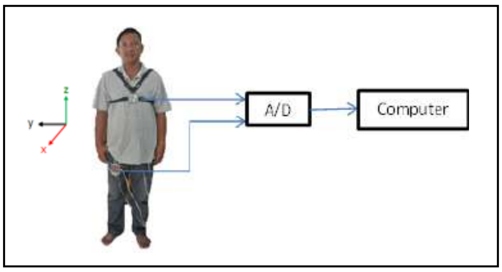
การประเมินการเปลี่ยนแปลงทางร่างกายที่เกิดขึ้นจากกิจกรรมตามปกติในชีวิตประจำวันเป็นสิ่งจำเป็นอย่างหนึ่งสำหรับบุคคลที่ต้องการประเมินกิจกรรมที่ทำในแต่ละวัน ความถี่ของกิจกรรมแต่ละอย่างที่เกิดขึ้นเป็นปัจจัยหนึ่งที่สามารถแสดงสภาวะสุขภาพได้ อีกทั้งประวัติกิจกรรมตามปกติยังเป็นข้อมูลที่เป็นประโยชน์ต่อการวินิจฉัยโรค การให้คำแนะนำ และการวางแนวทางการรักษาของแพทย์ได้ ข้อมูลเหล่านี้มีประโยชน์อย่างชัดเจนสำหรับผู้ที่เพิ่งได้รับการผ่าตัด กล่าวคือ การเพิ่มขึ้นของกิจกรรมหลังการผ่าตัดสามารถชี้วัดการฟื้นฟูหลังการผ่าตัดได้

งานวิจัยเกี่ยวกับการรู้จำ การจำแนกหรือตรวจจับท่าทางโดยใช้เซนเซอร์ พบว่า Jantaraprim[1] ได้ศึกษาการตรวจจับท่าล้มโดยใช้ Discrete Wavelet Transform ร่วมกับ Autoregressive Model อย่างไรก็ตามงานวิจัยนี้ศึกษาเพียงการจำแนกท่าล้มออกจากท่าทางกิจกรรมตามปกติ แต่ไม่ได้ตรวจจับว่าแต่ละกิจกรรมตามปกติเป็นท่าอะไร Atallah[2] ศึกษาตำแหน่งติดตั้งเซนเซนเพื่อตรวจจับท่าทาง โดยศึกษาความเร่งที่ตำแหน่ง อก แขน ข้อมือ เอว เข่า ข้อเท้า และหู กับกลุ่มผู้ทดสอบที่แสดงท่าทางกิจกรรมตามปกติที่ระดับความเร็วช้า ปานกลาง และเร็ว โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งของเซนเซนเซอร์ที่เหมาะสมกับกลุ่มผู้ทดสอบ อย่างไรก็ตาม ด้วยคุณลักษณะเด่นที่เสนอจำเป็นต้องใช้เซนเซอร์ติดหลายตำแหน่ง ซึ่งเป็นอุปสรรคต่อผู้ใช้งานที่ไม่ชอบติดเซนเซอร์จำนวนมากตามร่างกาย Chih-Yen Chiang [3] ศึกษาการระบุปริมาณการออกกำลังกายฟื้นฟูที่บ้านเพื่อเฝ้าระวังความกระปรี้กระเปร่าของร่างกายผู้สูงอายุ งานวิจัยนี้ศึกษาเพียงท่าทางออกกำลังกายที่ประกอบการยืนและนั่งเท่านั้น Kurita[4] ศึกษาวิธีการตรวจจับกิจกรรมบนพื้นฐานเทคนิค Electrostatic Induction ต่อมาเขา [5] ได้ศึกษาวิธีการประเมินกิจกรรมของร่างกายโดยใช้เซนเซอร์ไร้สายแบบพกพา งานวิจัยเหล่านี้ [4],[5] ศึกษาเพียงท่าเดินเท่านั้น

บทความนี้จึงศึกษาคุณลักษณะเด่นสำหรับการจำแนกท่าทางทางกิจกรรมตามปกติโดยใช้เซนเซอร์ความเร่งติดไว้บนร่างกาย 2 ตำแหน่ง คือ บริเวณลำตัว (ระหว่างอกกับเอว) และต้นขา เพื่อพิจารณาค่าความเร่งที่แต่ละตำแหน่งว่าสอดคล้องกับแต่ละท่าทางอย่างไร เพื่อให้สามารถจำแนกแต่ละกิจกรรมได้

## 2. อุปกรณ์และวิธีการ

รูปที่ 1 แสดงแผนภาพของระบบตรวจจับท่าทางกิจกรรมตามปกติ ประกอบด้วยเซนเซอร์ความเร่ง ADXL321 2 ตัวตั้งฉากกัน 2 ชุด ชุดที่ 1 ติดที่ลำตัว (ระหว่างอกกับเอว) ชุดที่ 2 ติดที่ต้นขา แรงดันเอาต์พุตที่ได้จากเซนเซอร์ จะผ่านการ์ด A/D ของ NI USB-6009 เพื่อแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิตอล แล้วประมวลผลต่อบนเครื่องคอมพิวเตอร์ สัญญาณแรงดันที่ได้จะถูกสุ่มด้วย sampling frequency ที่ 1 kHz แล้วผ่าน 2nd order Butterworth low pass filter ที่ cut off frequency เท่ากับ 20 Hz สัญญาณแรงดันเอาต์พุตจากแต่ละแกนของเซนเซอร์ จะถูก calibrate แล้วนำไปหาความเร่งลัพธ์จากทั้งสามแกน ตามสมการที่ 1




**รูปที่ 1** แผนภาพของระบบ

$$A = \sqrt{(a_x)^2 + (a_y)^2 + (a_z)^2} \quad (1)$$

เมื่อ $A$ คือ ค่าความเร่งลัพธ์ของทั้งสามแกน (g) $a_x, a_y,$ และ $a_z$ คือ ค่าความเร่งในแนวแกน x, y และ z (g) ตามลำดับ

คุณลักษณะเด่นที่ใช้จำแนกสัญญาณแต่ละท่าทางมี 10 คุณลักษณะ (val1 – val10) คุณลักษณะเด่นที่ val1 – val6 คำนวณจากค่าความแตกต่างของความเร่งเมื่อเริ่มต้นและสิ้นสุดของแกน y, x, และ z ทั้งที่ตำแหน่งลำตัวและต้นขา ตามเงื่อนไขต่อไปนี้

กำหนดให้

$A_{end}$ ค่าความเร่งที่ตำแหน่งสิ้นสุด

$A_{str}$ ค่าความเร่งที่ตำแหน่งเริ่มต้น

สำหรับแต่ละแกน แต่ละตำแหน่ง

ถ้า $A_{end} - A_{str} > 0.5$ แล้ว ให้ $val = 1$

แทนแนวโน้มความเร่งสูงขึ้นเมื่อเทียบกับค่าเริ่มต้น

ถ้า $A_{str} - A_{end} > 0.5$ แล้ว ให้ $val = -1$

แทนแนวโน้มความเร่งลดลงเมื่อเทียบกับค่าเริ่มต้น

มิฉะนั้น ให้ $val = 0$

แทนความเร่งคงที่เมื่อเทียบกับค่าเริ่มต้น

กำหนดให้ c แทนตำแหน่งลำตัว, t แทนตำแหน่งต้นขา และ val_axe_position แทนคุณลักษณะแนวโน้มการเพิ่ม/ลดความเร่งเมื่อเทียบกับค่าเริ่มต้นของแต่ละแกนแต่ละตำแหน่ง จะได้คุณลักษณะเด่นที่ 1 - 6 เป็น val_y_c, val_x_c, val_z_c, val_y_t, val_x_t และ val_z_t แทนคุณลักษณะแนวโน้มการเพิ่ม/ลดความเร่งเมื่อเทียบกับค่าเริ่มต้นของแกน y ที่ลำตัว, แกน x ที่ลำตัว, แกน z ที่ลำตัว, แกน y ที่ต้นขา, แกน x ที่ต้นขา และแกน z ที่ต้นขา ตามลำดับ ส่วนคุณลักษณะเด่นที่ 7 – 10 เกี่ยวข้องกับค่าสูงสุดหรือต่ำสุดของความเร่งลัพธ์ที่แต่ละตำแหน่ง โดยที่ val7 – val10 เป็น max(A_c), min(A_c), max(A_t) และ min(A_t) แทนค่าสูงสุดของความเร่งลัพธ์ที่ลำตัว ค่าต่ำสุดของความเร่งลัพธ์ที่ลำตัว ค่าสูงสุดของความเร่งลัพธ์ที่ต้นขา และค่าต่ำสุดของความเร่งลัพธ์ที่ต้นขา ตามลำดับ

## 3. การทดลอง

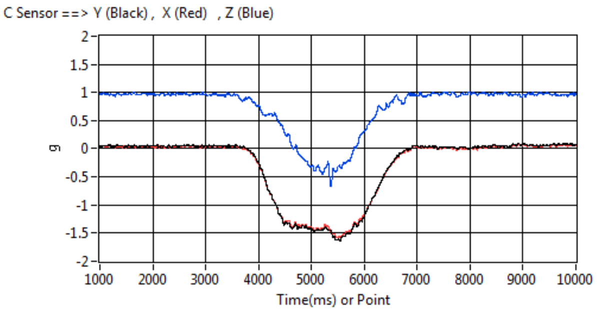
การศึกษาเบื้องต้นนี้ได้ทำการทดลองกับอาสาสมัครเพศชาย 1 คน โดยให้ทำการเปลี่ยนท่าทางกิจกรรมตามปกติ 6 ท่าทาง ได้แก่ ก้มเก็บของ (BD: Bend down) แล้วกลับมายืนท่าเดิม นอน-นั่ง (LS: Lie-Sit) นั่ง-นอน (SL: Sit-lie) นั่ง-ยืน (ST: Sit-stand) ยืน-นั่ง (TS: Stand-sit) และเดินทางราบ (WA: Walking) เป็นระยะทาง 2 เมตร ดังตัวอย่างการแสดงบางท่าทางในรูปที่ 2 ทั้งนี้จะให้ทำซ้ำท่าทางละ 4 ครั้ง ทำให้ได้ข้อมูลของกิจกรรมตามปกติทั้งหมด 24 ข้อมูล

**รูปที่ 2** ตัวอย่างท่าทางกิจกรรมตามปกติ

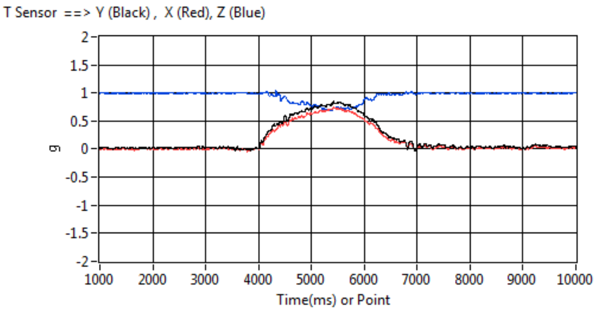
## 4. ผลการทดลอง

รูปที่ 3 แสดงตัวอย่างสัญญาณความเร่ง 3 แกนที่ตำแหน่งลำตัว (a) และต้นขา (b) สำหรับท่าก้มเก็บของ โดยเริ่มจากยืน ก้มเก็บของแล้วกลับมายืนท่าเดิม สัญญาณความเร่งในแกน x, y และ z แสดงด้วยสีแดง ดำ และน้ำเงิน ตามลำดับ รูปที่ 4 แสดงสัญญาณความเร่งลัพธ์จากทั้ง 3 แกน ของท่าก้มเก็บของที่สอดคล้องกันกับรูปที่ 3 กราฟแท่งแสดงค่าคุณลักษณะเด่นทั้ง 10 ค่าของแต่ละท่าทางทั้ง 4 ครั้ง แสดงในรูปที่ 5 เมื่อ

1 – 10 ในแกนนอน แทน val1 – val10 ตามลำดับ ▦ แทนครั้งที่ 1 ▨ แทนครั้งที่ 2 ■ แทนครั้งที่ 3 และ ▧ แทนครั้งที่ 4

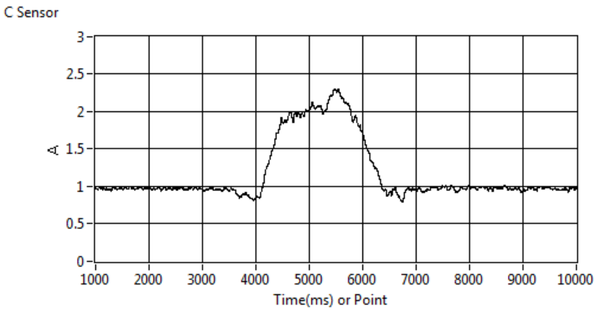



a) ลำตัว

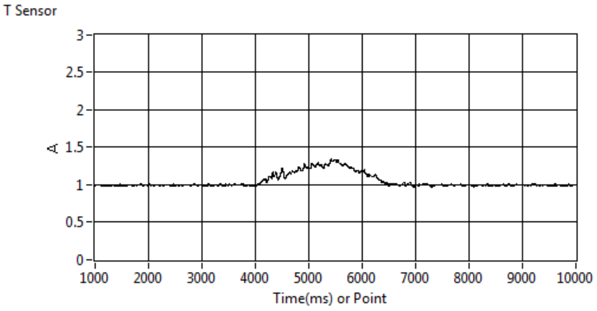



b) ต้นขา

**รูปที่ 3** สัญญาณความเร่ง 3 แกน

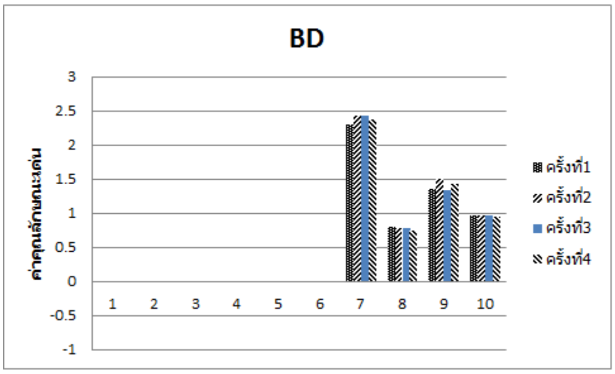



a) ลำตัว

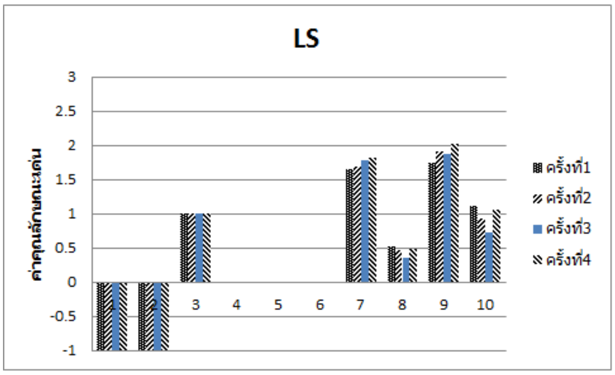



b) ต้นขา

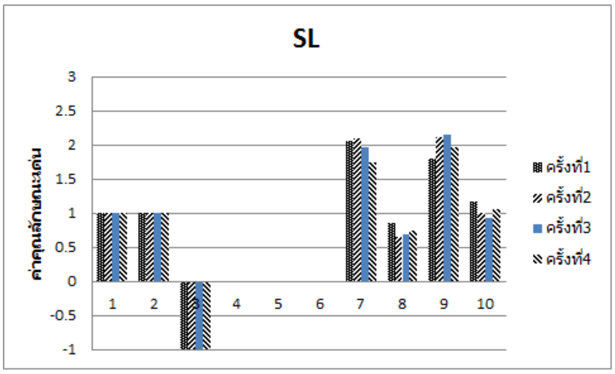
**รูปที่ 4** สัญญาณความเร่งลัพธ์



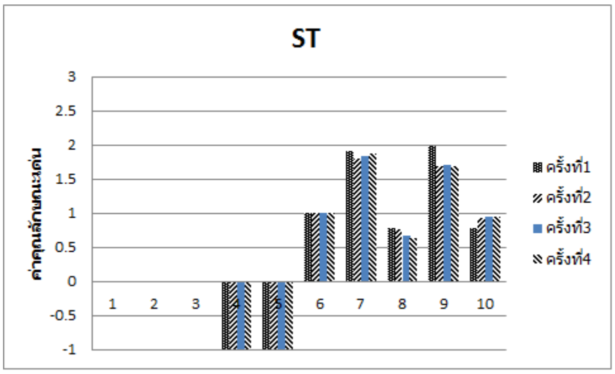

a)



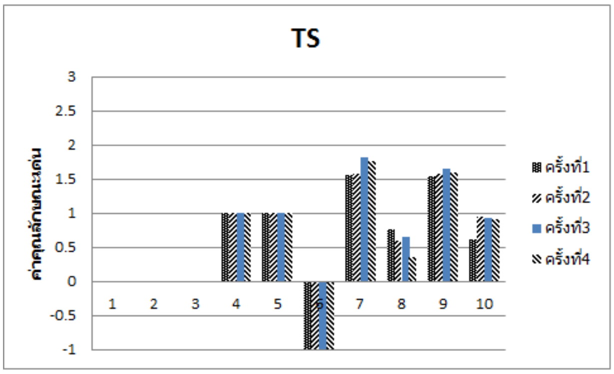

b)



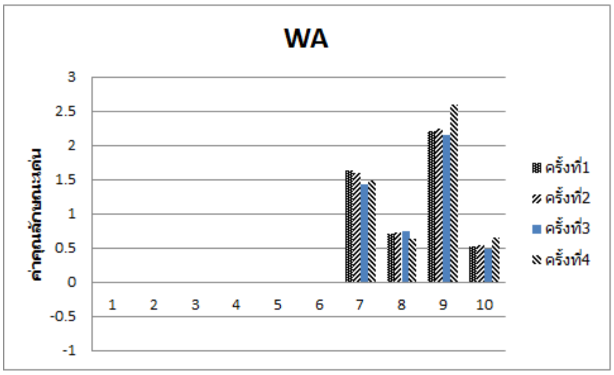

c)




d)




e)




f)

**รูปที่ 5** ค่าคุณลักษณะเด่นทั้ง 10 ค่าของแต่ละท่าทาง

| | |
|---|---|
| a) ก้มเก็บของ (BD) | b) นอน-นั่ง (LS) |
| c) นั่ง-นอน (SL) | d) นั่ง-ยืน (ST) |
| e) ยืน-นั่ง (TS) | f) เดินทางราบ (WA) |

## 5. วิเคราะห์และสรุปผล

จากรูปที่ 5 จะสังเกตเห็นว่าคุณลักษณะเด่นสำหรับแต่ละท่าทางที่ได้จากการทดลองทั้ง 4 ครั้งมีค่าเท่ากับหรือใกล้เคียงกันทุกครั้ง แนวโน้มการเพิ่ม/ลดความเร่งเมื่อเทียบกับค่าเริ่มต้นของแต่ละแกนสำหรับลำตัว (val1 – 3) หรือสำหรับต้นขา (val4 - 6) เพียงอย่างเดียว ไม่สามารถใช้เป็นคุณลักษณะเด่นสำหรับจำแนกท่าทางทั้ง 6 ท่าได้ เนื่องจากไม่สามารถให้กราฟที่แตกต่างกันได้ทั้งหมด แนวโน้มการเพิ่ม/ลดความเร่งเมื่อเทียบกับค่าเริ่มต้นของแต่ละแกนสำหรับลำตัวและต้นขา (val1 - 6) ให้กราฟแตกต่างกันอย่างสิ้นเชิงสำหรับทุกท่าทางยกเว้นท่า BD กับ WA ดังนั้นสามารถใช้เป็นคุณลักษณะเด่นที่จำแนกทุกท่าทางยกเว้นท่า BD กับ WA อย่างไรก็ตาม ท่า BD กับ WA สามารถแยกออกจากกันได้ด้วย val7 -10 ซึ่งเป็นค่าสูงสุดหรือต่ำสุดของความเร่งลัพธ์ที่แต่ละตำแหน่ง เมื่อใช้คุณลักษณะเด่นทั้ง 10 ค่าร่วมกัน (val1 – 10) จะให้กราฟที่มีความแตกต่างกันอย่างชัดเจนในทุกท่าทาง บ่งบอกว่าสามารถใช้คุณลักษณะเด่นทั้ง 10 ค่าร่วมกันเพื่อจำแนกหรือรู้จำได้ทั้ง 6 ท่าทาง อย่างไรก็ตาม งานวิจัยนี้ยังคงเป็นการศึกษาเบื้องต้น ควรเพิ่มจำนวนผู้ทดสอบให้มากขึ้น หลากหลายเพศ และหลากหลายอายุเพื่อยืนยันผลการทดลอง และคุณลักษณะเด่นที่เหมาะสมสำหรับผู้ทดสอบทุกเพศและวัย

## 6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัยที่สนับสนุนงานวิจัยการรู้จำท่าทางกิจกรรมตามปกติของผู้สูงอายุ และศูนย์วิจัยเฉพาะทางวิศวกรรมฟื้นฟู (NECTEC-PSU center of excellence for rehabilitation engineering) ที่สนับสนุนอุปกรณ์การทดลองสำหรับการศึกษาเบื้องต้น

## เอกสารอ้างอิง

[1] Jantaraprim, P., Phukpattaranont, P., Limsakul, C.,Wongkittisuksa, B, "ผลการศึกษาเบื้องต้นของการตรวจจับการล้มโดยใช้ Discrete Wavelet Transform ร่วมกับ Autoregressive Model", in NECTEC Technical Journal. 9(21), 2009, pp. 239 - 247.

[2] Atallah L., Lo B., King R., and Guang-Zhong Y., "Sensor Placement for Activity Detection Using Wearable Accelerometers," International Conference on Body Sensor Networks (BSN), pp. 24 – 29, 2010.

[3] Chih-Yen Chiang, Yu-Chieh Lee, Chia-Juei Hsieh, and Chia-Tai Chan, "Quantification of Home Rehabilitation Exercise for the Elder's Physical Fitness Monitoring," 5th International Conference on Bioinformatics and Biomedical Engineering, (iCBBE), pp. 1 - 4, 2011.

[4] Kurita K., "Novel measurement method for physical activity based on electrostatic induction technique," International Conference on Instrumentation, Communications, Information Technology, and Biomedical Engineering (ICICI-BME), pp. 29 – 34, 2011.

[5] Kurita, K., "Physical activity estimation method by using wireless portable sensor," IEEE Sensors, pp. 1 – 4, 2012.

# การประเมินผลแบบจำลองเปรียบเทียบกับค่าจริงของจากแสงธรรมชาติ พื้นที่จังหวัดมหาสารคาม ประเทศไทย

# The Evaluation for Sky Luminance Model Compared to the Actual Measurement Maha Sarakham ,Thailand

**เนติวุฒิ บุรี[1] จักรกฤษณ์ จันทรศิริ [1] และ สิงห์ทอง พัฒนเศรษฐานนท์ [2]**

[1]สาขาเทคโนโลยีไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม

80 ถ.นครสวรรค์ ต.ตลาด อ.เมือง จ.มหาสารคาม โทรศัพท์: 081-6620680 E-mail: jakkit3363@hotmail.com

[2]ภาควิชาวิศวกรรมอิเลคทรอนิกส์และโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ต.คลองหก อ.ธัญบุรี จ.ปทุมธานี 12110 โทรศัพท์: 086-8508299 E-mail: singthong.p@msu.ac.th

## บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอผลของการประเมินความถูกต้องค่าความสว่างจากแบบจำลองและค่าวัดจริง จากผลการทดสอบพบว่า ในกรณีหน้าต่างหันหน้าไปทางทิศเหนือ มุมมอง 45 องศา ที่อัตราส่วนท้องฟ้า 0.30-0.40 พบว่าในกรณีของตำแหน่งของการวัดที่อยู่ห่างจากหน้าต่าง 1 เมตร ตั้งแต่เวลา 07.00-09.15 น.มีค่าความผิดพลาดอยู่ระหว่างร้อยละ 2.89 ถึง 23.78 จากนั้นค่าความผิดพลาดจะมีค่าเพิ่มขึ้นจนถึงเวลา 17.00 น. การที่ผลจากแบบจำลองและการวัดจริงมีค่าต่างกันเช่นนั้นเนื่องจากสภาพท้องฟ้าจริงอาจจะมีการแปรเปลี่ยนสภาพ ทำให้ช่วงค่าอัตราส่วนของท้องฟ้าเปลี่ยนแปลงไปด้วย เป็นผลให้ค่าจากการวัดและการคำนวณแตกต่างกัน จึงเป็นข้อจำกัดของแบบจำลองที่ต้องคำนวณด้วยแบบจำลองให้ตรงกับสภาพท้องฟ้าจริงในขณะนั้น

คำสำคัญ: แบบจำลอง,ความสว่าง,ท้องฟ้า

## Abstract

The purpose of this research is to presents the evaluation in the case of sky modeling and and the actual measurement. The results showed that, on north direction at a 45-degree, 0.30 to 0.40 sky ratio measuring 1 meter away from the window, from 7:00 to 9:15 pm. The error is 2.89% to 23.78%, and increased until 17.00. The results from the sky model and the actual measurement values are different. The sky ratio is effected to the calculation.

Keywords: modeling, luminance,all sky

## 1. บทนำ

ความรู้เกี่ยวกับความสว่างของแสงธรรมชาติ เป็นสิ่งที่จำเป็นที่ใช้ประกอบในการคำนวณเพื่อติดตั้งระบบไฟฟ้าแสงสว่างภายในอาคาร จากงานวิจัยระบบไฟฟ้าที่ใช้สำหรับแสงสว่างจะมีค่า 20-30 % ของการใช้ไฟฟ้ารวมของอาคาร การนำแสงธรรมชาติมาใช้ในอาคารจึงมีผลต่อการอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้าในอาคาร นอกจากนี้ยังช่วยลดภาระการทำความเย็น ของระบบปรับอากาศของอาคารด้วย

จากงานวิจัยในปี 2557 เป็นงานวิจัยที่ได้นำเสนอเสนอการผลประเมินการทดสอบการการใช้แสงธรรมชาติเข้าด้านข้างของห้องร่วมกับแสงประดิษฐ์ภายในอาคาร เพื่อวิเคราะห์ถึงศักยภาพในการนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ภายในอาคาร สำหรับพื้นที่บริเวณเส้นศูนย์สูตรทดลองในพื้นที่บริเวณศูนย์กลางของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ จังหวัดมหาสารคาม ประเทศไทย (ละติจูด $16^{o}14'$ เหนือ และลองติจูด $103^{o}15'$ ตะวันออก) เพื่อการลดการใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับแสงสว่างภายในอาคาร และในปี 2558 ได้นำแบบจำลองที่ได้มาเปรียบเทียบกับฟังก์ชั่นตามมาตรฐาน เพื่อยืนยันถึงความสอดคล้องกับของแบบจำลองที่พัฒนากับฟังก์ชั่นตามมาตรฐาน

เมื่อแบบจำลองมีความสอดคล้องกับฟังก์ชั่นตามมาตรฐาน ในการนำเสนอครั้งนี้จึงเป็นการทดสอบความถูกต้องของแบบจำลอง โดยประเมินผลการทดสอบค่าที่ได้จริงจากการวัดค่าแสงธรรมชาติ และเปรียบเทียบผลการวัดกับการคำนวณจากแบบจำลอง

## 2. สภาพท้องฟ้าจังหวัดมหาสารคาม

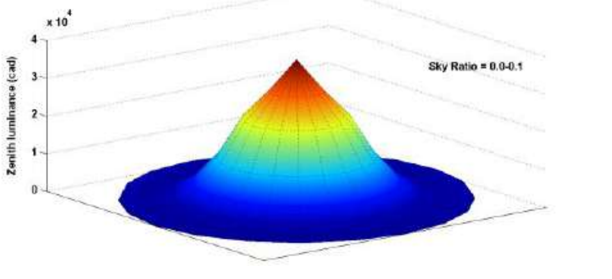
การแบ่งสภาพท้องฟ้าตามข้อกำหนดของ CIE จะแบ่งระดับของสภาพท้องฟ้าจากการพิจารณา ค่าอัตราส่วนของรังสีกระจาย

ของท้องฟ้าต่อรังสีรวมที่ส่องลงถึงพื้นผิวโลก ซึ่งค่าดัชนีนี้เรียกว่า อัตราส่วนท้องฟ้า (Sky Ratio; SR) มีค่าระหว่าง 0.0 ถึง 1.0 ดังสมการ (1) การแบ่งสภาพของท้องฟ้าตามมาตรฐานของ CIE และความถี่สะสมของสภาพท้องฟ้าตามอัตราส่วนของท้องฟ้า ณ สถานีวัดปริมาณรังสีอาทิตย์ มหาสารคาม แสดงดังตารางที่ 2

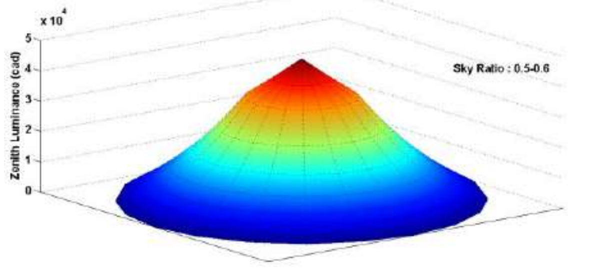
$$SR = Eed / Eeg \qquad (1)$$

เมื่อ *Eed* คือ รังสีกระจาย ; *Eeg* คือ รังสีรวม

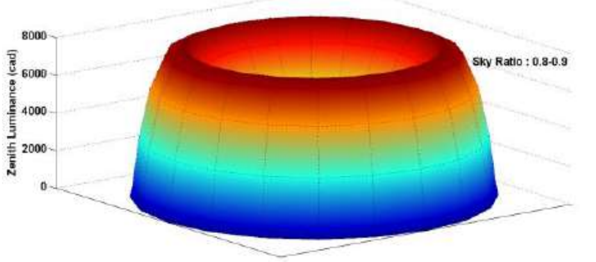
จากข้อมูลที่ได้จากการบันทึกของสถานีวัดปริมาณรังสีอาทิตย์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ระหว่างวันที่ 1 มกราคม-วันที่ 31 ธันวาคม พ.ศ. 2556 ปรากฏลักษณะท้องฟ้าตามค่าความสว่าง ณ จุดยอดฟ้า แสดงได้ดังรูปที่ 1-3




**รูปที่ 1** ความสว่าง ณ จุดยอดฟ้า จังหวัดมหาสารคาม (0.0<SR≤0.1)




**รูปที่ 2** ความสว่าง ณ จุดยอดฟ้า จังหวัดมหาสารคาม (0.5<SR≤0.6)




**รูปที่ 3** ความสว่าง ณ จุดยอดฟ้า จังหวัดมหาสารคาม (0.8<SR≤0.9)

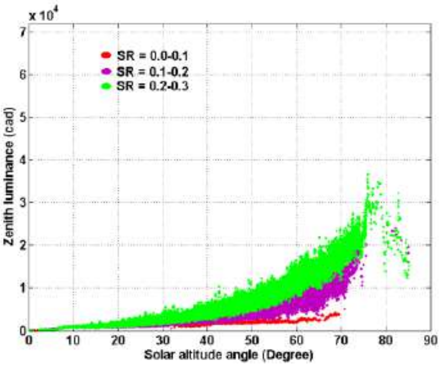
## 3.การสร้างแบบจำลองของความส่องสว่างแสงจากท้องฟ้า

ในการวิจัยที่ผ่านมา ใช้การหาสมการของความส่องสว่างแสงจากท้องฟ้า จากค่าคงที่ให้เป็นฟังก์ชันของดัชนีการแบ่งท้องฟ้า โดยรูปแบบสมการของค่าคงที่ ที่เป็นฟังก์ชันของดัชนีการแบ่งสภาพท้องฟ้า มีรูปสมการที่เขียนได้ในรูปของสมการพหุนามตามสมการ (2)

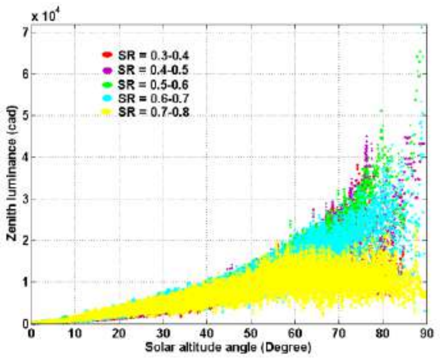
$$L_z(s) = a_0 + a_1 s + \cdots + a_{n-1} s^{n-1} + a_n s^n \qquad (2)$$

เมื่อ $L_z(s)$ คือสมการพหุนามของความสว่าง ณ จุดยอดฟ้า(แคนเดลลา)
$s$ คือ มุมเงยดวงอาทิตย์ (องศา)
$a_0, a_1, \ldots, a_{n-1}, a_n$ คือ ลำดับสัมประสิทธิ์ของสมการพหุนาม

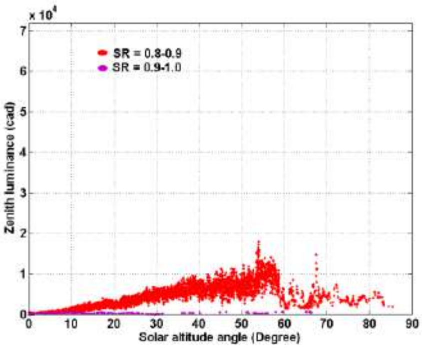
ในการพิจารณาแบบจำลองที่สร้างขึ้นมีความสอดคล้องกับมาตรฐานงานวิจัยที่ได้เคยมีการนำเสนอ พิจารณาตามมาตรฐานของท้องฟ้าและคุณลักษณะของแสงธรรมชาติของ Kittle และคณะ ใช้สัดส่วนของความสว่าง ณ จุดยอดฟ้า แสงกระจาย และมุมเงยดวงอาทิตย์ เป็นมาตรฐานในการแบ่งสภาพของท้องฟ้า พิจารณาแบ่งสภาพท้องฟ้าออกเป็น 10 ส่วนตามค่าของอัตราส่วนท้องฟ้าระหว่าง 0.00-1.00 ดังรูปที่ 4-6




**รูปที่ 4** ค่าความส่องสว่าง ณ จุดยอดฟ้า แบ่งตามอัตราส่วนท้องฟ้า กรณีฟ้าใส (0.0<SR≤0.3)



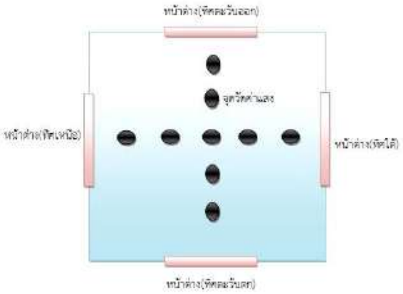

**รูปที่ 5** ค่าความส่องสว่าง ณ จุดยอดฟ้า แบ่งตามอัตราส่วนท้องฟ้า กรณีฟ้าเมฆบางส่วน (0.3<SR≤0.8)



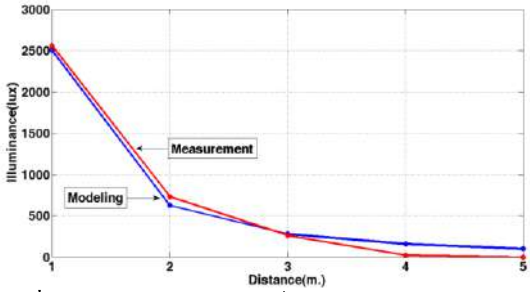

**รูปที่ 6** ค่าความส่องสว่าง ณ จุดยอดฟ้า แบ่งตามอัตราส่วนท้องฟ้า กรณีฟ้าครึ้ม (0.8<SR≤1.0)

## 6.ผลการเปรียบเทียบค่าความสว่างจากแบบจำลองกับค่าจริงของจากแสงธรรมชาติ

จากผลการทดสอบการคำนวณค่าความสว่างจากแบบจำลอง ทำการทดสอบในวันที่ 4 กุมภาพันธ์ 2559 กำหนดให้ห้องมีขนาดกว้าง 6 เมตรxยาว 6 เมตร มีหน้าต่างเปิดขนาดกว้าง 1 เมตรxยาว 1 เมตร ติดตั้งอยู่ทั้ง 4 ทิศ คือทิศเหนือ ทิศใต้ ทิศตะวันออก และทิศตะวันตก ที่ช่องเปิด 100% ของพื้นที่หน้าต่าง ดังรูปที่ 7 ภายใต้สภาพท้องฟ้าที่อัตราส่วนท้องฟ้า 0.30-0.40 มุมการมอง 45 องศา เปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการวัดจริง ณ ตำแหน่งและเวลาเดียวกัน ที่ระยะห่างจากหน้าต่าง 1 เมตร กรณีหน้าต่างหันไปทางทิศเหนือ ทิศใต้ ทิศตะวันออก และทิศตะวันตก จะได้ค่าดังรูปที่ 8-11 ค่าความผิดพลาดแสดงได้ดังตารางที่ 1-4 ตามลำดับ



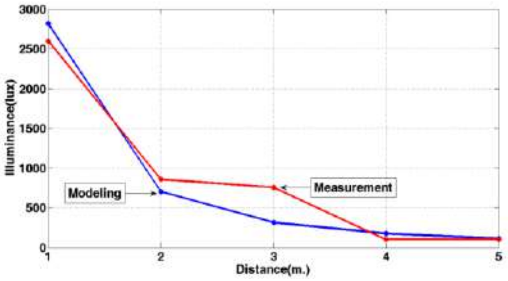
**รูปที่ 7** จุดวัดแสงในห้องทดสอบ




**รูปที่ 8** ค่าจริงกับแบบจำลอง วันที่ 4 กุมภาพันธ์ 2559 ทิศเหนือ

ตารางที่ 1 ความผิดพลาด วันที่ 4 กุมภาพันธ์ 2559 กรณีทิศเหนือ

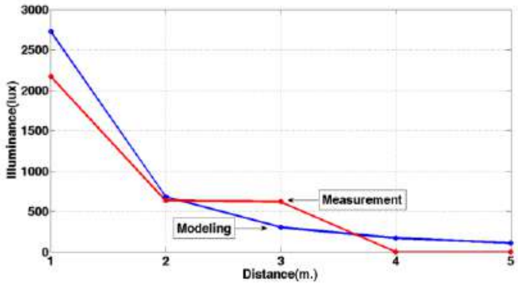
| ระยะ(เมตร) | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|---|---|---|---|---|
| % ความผิดพลาด | 2.19 | 14.71 | 6.19 | - | - |




**รูปที่ 9** ค่าจริงกับแบบจำลอง วันที่ 4 กุมภาพันธ์ 2559 ทิศตะวันออก

ตารางที่ 2 ความผิดพลาด วันที่ 4 กุมภาพันธ์ 2559 กรณีทิศตะวันออก

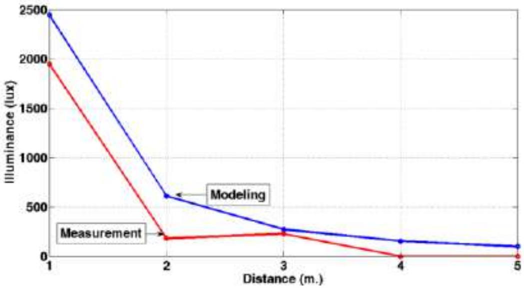
| ระยะ(เมตร) | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|---|---|---|---|---|
| % ความผิดพลาด | 8.37 | 17.90 | - | - | - |




**รูปที่** 10 ค่าจริงกับแบบจำลอง วันที่ 4 กุมภาพันธ์ 2559 ทิศใต้

ตารางที่ 3 ความผิดพลาด วันที่ 4 กุมภาพันธ์ 2559 กรณีทิศใต้

| ระยะ(เมตร) | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|---|---|---|---|---|
| % ความผิดพลาด | 25.68 | 7.54 | - | - | - |




**รูปที่** 11 ค่าจริงกับแบบจำลอง วันที่ 4 กุมภาพันธ์ 2559 ทิศตะวันตก

ตารางที่ 4 ความผิดพลาด วันที่ 4 กุมภาพันธ์ 2559 กรณีทิศตะวันตก

| ระยะ(เมตร) | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|---|---|---|---|---|
| % ความผิดพลาด | 25.44 | - | 19.21 | - | - |

## 6.สรุป

ผลประเมินความถูกต้องค่าความสว่างจากแบบจำลองและค่าวัดจริง จากผลการทดสอบการคำนวณค่าความสว่างจากแบบจำลองในกรณีหน้าต่างหันหน้าไปทางทิศเหนือ มุมมอง 45 องศา ที่อัตราส่วนท้องฟ้า 0.30-0.40 สำหรับการวัดที่ตำแหน่งต่างๆ กันพบว่าในกรณีของตำแหน่งของการวัดที่อยู่ห่างจากหน้าต่าง 1 เมตร ตั้งแต่เวลา 07.00-09.15 น.มีค่าความผิดพลาดอยู่ระหว่างร้อยละ 2.89 ถึง 23.78 จากนั้นค่าความผิดพลาดจะมีค่าเพิ่มขึ้นจนถึงเวลา 17.00 น. การที่ผลจากแบบจำลองและการวัดจริงมีค่าต่างกันเช่นนั้น เนื่องจากสภาพท้องฟ้าจริงอาจจะมีการแปรเปลี่ยนสภาพ ทำให้ช่วงค่าอัตราส่วนของท้องฟ้าเปลี่ยนแปลงไปด้วย เป็นผลให้ค่าจากการวัดและการคำนวณแตกต่างกัน จึงเป็นข้อจำกัดของแบบจำลองที่ต้องคำนวณด้วยแบบจำลองให้ตรงกับสภาพท้องฟ้าจริงในขณะนั้น

## 7. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณห้องปฏิบัติการอิเลคทรอนิกส์กำลังและรังสีอาทิตย์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม และสำนักวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม ที่อนุเคราะห์เครื่องมือและข้อมูล รวมถึงสนับสนุนทุนในงานวิจัย

## เอกสารอ้างอิง

[1] Li DHW and Lam JC., "Measurement of solar radiation and illuminance on vertical surfaces and daylighting applications," *Renewable Energy* Volume 20, 2000. pp. 389-404

[2] Hopkinson, R. G., P. Pethebridge and J. Longmore., "Daylight and Sunlight in Tropical Regions. London," *Heinemann,* 1966. pp. 516-528.

[3] Chirarattananon S and Limmechokchai B., "Daylighting potential in Thailand",*Energy Sources 1996;* Volume 18, 1996. pp. 875-880.

[4] Kittle R, Darula S and Perez R. "A set of standard skies, characterizing daylight conditions for computer and energy conscious design," American–Slovak grant project US–SK 92 052, 1998.

[5] จักรกฤษณ์ จันทรศิริ และสิงห์ทอง พัฒนเศรษฐานนท์,"แบบจำลองความสว่าง ณ จุดยอดฟ้า สำหรับทุกสภาพท้องฟ้า พื้นที่จังหวัดมหาสารคาม ประเทศไทย" ECTI-CARD Proceedings 2014, Chiang Mai, Thailand ,P171-174

[6] จักรกฤษณ์ จันทรศิริ และสิงห์ทอง พัฒนเศรษฐานนท์,"ความแม่นยำของแบบจำลองแสงสว่างจากท้องฟ้าเพื่อการประยุกต์ใช้งานแสงธรรมชาติร่วมกับแสงประดิษฐ์ พื้นที่จังหวัดมหาสารคาม ประเทศไทย" ECTI-CARD Proceedings 2015, Trung, Thailand ,P144-147

**นายเนติวุฒิ บุรี** สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีสาขาวิศวกรรมอิเลคทรอนิกส์ จากมหาวิทยาลัยภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และปริญญาโทสาขาวิศวกรรมไฟฟ้า จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ปัจจุบันปฏิบัติงานในตำแหน่งอาจารย์ประจำสาขาเทคโนโลยีไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม มีความสนใจงานวิจัยด้านอิเลคทรอนิกส์กำลัง

**ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. จักรกฤษณ์ จันทรศิริ** สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีสาขาวิศวกรรมไฟฟ้าและปริญญาโทสาขาวิศวกรรมการวัดคุม จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปี พ.ศ. 2556 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาเอกสาขาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ จากมหาวิทยาลัยมหาสารคาม ปัจจุบันปฏิบัติงานในตำแหน่งผู้ช่วยศาสตราจารย์ประจำสาขาเทคโนโลยีไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม มีความสนใจงานวิจัยด้านพลังงานทดแทน พลังงานแสงอาทิตย์

**รองศาสตราจารย์ ดร. สิงห์ทอง พัฒนเศรษฐานนท์** สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีสาขาวิศวกรรมอิเลคทรอนิกส์ และปริญญาโทสาขาวิศวกรรมไฟฟ้า จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาเอกสาขาเทคโนโลยีพลังงาน จากมหาวิทยาลัยมหาสารคาม ปัจจุบันปฏิบัติงานในตำแหน่งรองศาสตราจารย์ประจำสาขาวิศวกรรมอิเลคทรอนิกส์และโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ปทุมธานี มีความสนใจและเชี่ยวชาญด้านพลังงานทดแทน พลังงานแสงอาทิตย์ อิเลคทรอนิกส์กำลัง

**บทความวิจัย**

การประชุมวิชาการ งานวิจัยและพัฒนาเชิงประยุกต์ ครั้งที่ 8

*8th ECTI-CARD 2016, Hua Hin, Thailand*

# ระบบควบคุมแรงดันไฟฟ้าสำหรับกังหันน้ำผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์

# Voltage Control System for Pico Hydro Turbine by Microcontroller

**กีรดิษ สายพัทลุง[1], ธาตรี มามี[2], อรรถการ จันทร์ศศิธร[2], อุสาห์ บุญบำรุง[2]**

[1]สาขาวิชาเทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร

9 ถนนแจ้งวัฒนะ แขวงอนุสาวรีย์ เขตบางเขน กรุงเทพฯ 10220 โทรศัพท์ 02-544-8456 E-mail: keeradit@pnru.ac.th

[2]ห้องปฏิบัติการวิจัยบูรณาการระบบพลังงานสะอาด สถาบันพัฒนาและฝึกอบรมโรงงานต้นแบบ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

49 ซอยเทียนทะเล 25 ถนนบางขุนเทียน-ชายทะเล แขวงท่าข้าม เขตบางขุนเทียน กรุงเทพฯ 10150

โทรศัพท์ 02-470-8627, โทรสาร 02-427-9062 E-mail thatree.mamee@gmail.com

## บทคัดย่อ

บทความนำเสนอระบบควบคุมแรงดันไฟฟ้าสำหรับกังหันน้ำผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยใช้เทคนิคการตัดมุมเฟส เพื่อจัดการกำลังไฟฟ้า ด้วยวิธีการเพิ่มหรือลดมุมเฟส ที่ใช้ในการตัดลูกคลื่นของไฟฟ้า โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC18F252 ในการประมวลผลและตรวจวัดระดับแรงดันไฟฟ้า ด้วยหลักการแบ่งแรงดัน, โหมด A/D ในการตรวจจับลูกคลื่นไฟฟ้าผ่านวงจร Crossing Zero และใช้ทรานซิสเตอร์ชนิดไอจีบีที ในการขับโหลดความต้านทานถ่ายเทผ่านทางดัมมี่โหลด ผลการทดสอบระบบควบคุมแรงดันไฟฟ้าสำหรับกังหันน้ำผลิตไฟฟ้าขนาดเล็ก (300 วัตต์) ด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ สามารถรักษาระดับแรงดันไฟฟ้าและความถี่ของระบบให้คงที่ที่ 220 โวลต์, 50 เฮิร์ตได้ถูกต้อง แม่นยำ ทำให้ความน่าเชื่อถือในการใช้งานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากพลังงานน้ำมากขึ้น อีกทั้งยังสามารถลดความเสียหายของเครื่องใช้ไฟฟ้า เนื่องจากแรงดันไฟฟ้าเกินในระบบได้เป็นอย่างดี

คำสำคัญ: กังหันน้ำผลิตไฟฟ้า, เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำ, ระบบควบคุมแรงดันไฟฟ้า, โหลดความต้านทานถ่ายเท

## Abstract

This paper provides the voltage control system for pico hydro turbine by microcontroller, which applied the phase angle control method for power management by increasing or decreasing the phase angle that was used for cutting the wave of power. By using the PIC18F252 microcontroller to process and monitor voltage levels with the voltage divider, A/D mode detected the electric wave circuit through the Crossing Zero Transistors and IGBTs to drive the load impedance flow through the dummy load. The test result of voltage control system for pico hydro turbine (300 watt) by microcontroller that was maintained the voltage and frequency of the system to stabilize at 220 volts, 50 Hz which were accuracy and reliability in the used of electricity generated from more hydropower. Also, they were reduced the damage to the electrical appliances because of the excess voltage in the system.

Keywords: Pico-Hydro Power, Induction Generator, Electrical Control System, Dummy Load

## 1. บทนำ

กังหันน้ำผลิตไฟฟ้าขนาดเล็ก ปัจจุบันสามารถผลิตกระแสไฟฟ้าคิดเป็นราคาต่อหน่วยได้ต่ำมาก [1] เมื่อเทียบกับพลังงานทดแทนตัวอื่นๆ ดังนั้นการส่งเสริมให้ชุมชนขนาดเล็กที่มีศักยภาพด้านพลังงานน้ำ ให้สามารถใช้พลังงานไฟฟ้าจากกังหันน้ำผลิตไฟฟ้าได้ นอกจากจะเป็นการใช้พลังงานหมุนเวียนที่ไร้มลพิษแล้ว ยังเป็นการส่งเสริมการรักษาแหล่งน้ำและป่าไม้ ทำให้เกิดการพัฒนาที่ยั่งยืนทั้งทางด้านสิ่งแวดล้อม เศรษฐกิจและสังคม

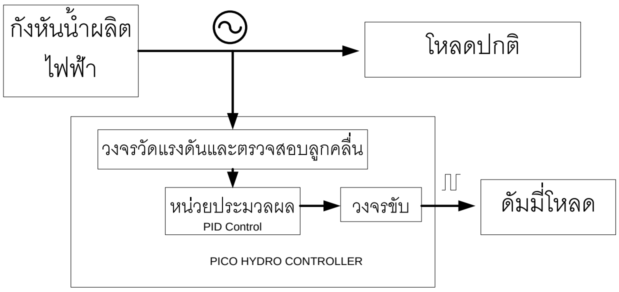
อุปสรรคของการใช้กังหันน้ำผลิตไฟฟ้า ส่วนหนึ่งที่สำคัญคือความไม่เสถียรภาพทางไฟฟ้าจากชุดกังหันน้ำผลิตไฟฟ้า ตัวอย่างเช่น แรงดัน ความถี่ ที่มักผลิตได้ค่าสูงเกินไปหรือไม่คงที่ ซึ่งเป็นผลทำให้เครื่องใช้ไฟฟ้าไม่สามารถใช้งานได้และอาจเสียความเสียหายต่ออุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าชนิดนั้นๆ ได้ โดยเฉพาะอุปกรณ์ไฟฟ้าประเภทหลอดไฟฟ้าจะมีอายุที่สั้นลง เนื่องจากความถี่และแรงดันไฟฟ้าของระบบไม่เป็นไปตามมาตรฐานของผู้ผลิตอุปกรณ์ เครื่องใช้ไฟฟ้าดังกล่าว [2] ดังนั้นเสถียรภาพทางไฟฟ้าของชุดกังหันน้ำผลิตไฟฟ้า จึงจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องพัฒนาให้ชุดกังหันน้ำผลิตไฟฟ้าสามารถใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ในปัจจุบันระบบควบคุมอัตโนมัติและการพัฒนาด้านอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ได้รับการพัฒนาอย่างรวดเร็ว และกว้างขวาง ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้นำเสนอระบบควบคุมแรงดันไฟฟ้าสำหรับกังหันน้ำผลิต

ไฟฟ้าขนาดเล็กด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งระบบจะทำการควบคุมแรงดันไฟฟ้าด้วยการอาศัยหลักการถ่ายเทภาระโหลด โดยทำการแบ่งกำลังไฟฟ้าที่เป็นกำลังไฟฟ้าเกินส่งผ่านไปยังดัมมี่โหลดเพื่อถ่ายเทภาระโหลดออกจากระบบ ทำให้สามารถระดับแรงดันไฟฟ้าและความถี่ของระบบให้คงที่ที่ 220 โวลต์ 50 เฮิร์ตได้ถูกต้อง แม่นยำ และยังสามารถลดความหายเสียหายที่อาจจะเกิดขึ้นกับอุปกรณ์ เครื่องใช้ไฟฟ้าได้อีกด้วย

## 2. การควบคุมแรงดันไฟฟ้าในเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำ

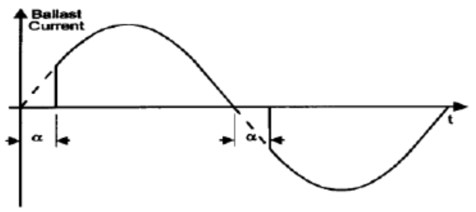
เทคนิคการควบคุมแรงดันไฟฟ้ามีอยู่หลายรูปแบบ แต่รูปแบบที่จะนำมาใช้ในงานวิจัยนี้คือเทคนิคการควบคุมแรงดันไฟฟ้าแบบมีการเปลี่ยนแปลงภาระทางไฟฟ้า (Variable load systems) จะทำให้แรงดันไฟฟ้าในระบบเกิดการเพิ่มขึ้นหรือลดลงตามภาระทางไฟฟ้า เทคนิคนี้จะเป็นเทคนิคที่อาศัยการรักษาระดับกำลังไฟฟ้าให้คงที่ โดยมีการแบ่งการกำลังไฟฟ้าออกเป็นสองส่วนคือ ส่วนการใช้ไฟฟ้าหลัก (Main Load) และส่วนดัมมี่ภาระทางไฟฟ้า (Dummy Load) ดังรูปที่ 1 เพื่อรักษาระดับแรงดันไฟฟ้าของส่วนหลักให้คงที่ ดังนั้นหากมีเกิดการเปลี่ยนแปลงภาระทางไฟฟ้าของส่วนการใช้ไฟฟ้าหลัก (Main Load) ระบบก็จะทำการปรับกำลังไฟฟ้าในส่วนดัมมี่โหลด ให้เพิ่มขึ้นหรือลดลงเพื่อรักษาระดับกำลังไฟฟ้าในส่วนการใช้ไฟฟ้าหลัก (Main Load) ให้คงที่




**รูปที่ 1** การควบคุมแรงดันไฟฟ้าแบบมีการเปลี่ยนแปลงของภาระโหลด

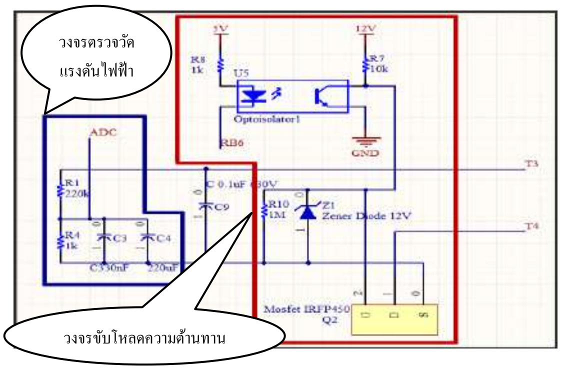
## 3.การออกแบบและจำลองการทำงานของระบบควบคุมกังหันน้ำผลิตไฟฟ้า

ระบบควบคุมแรงดันไฟฟ้าใช้เทคนิคการควบคุมแบบการตัดมุมเฟส (Phase angle control) ซึ่งเป็นการนำอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลัง เช่น ไตรแอกหรือไทริสเตอร์ สำหรับเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการตัดมุมเฟสที่มุม $\alpha$ ซึ่งสามารถปรับมุมได้ตั้งแต่ 0-180 องศา ดังแสดงในรูปที่ 2 การเพิ่มมุมเฟสจะทำให้กำลังไฟฟ้าลดลง และการลดมุมเฟสจะทำให้กำลังไฟฟ้าเพิ่มขึ้น [3]

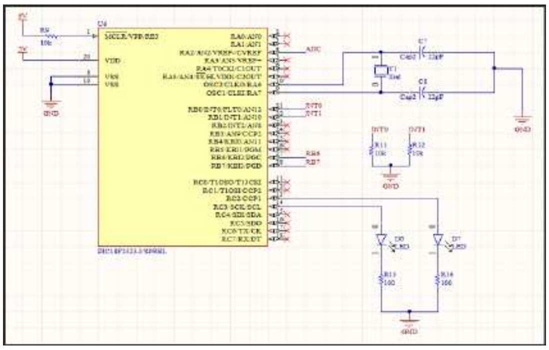



**รูปที่ 2** รูปคลื่นกระแสและมุม $\alpha$ ที่ใช้ในการควบคุมกำลังไฟฟ้า

การออกแบบวงจรควบคุมจะใช้เทคนิคการควบคุมแรงดันไฟฟ้า แบบมีการเปลี่ยนแปลงภาระทางไฟฟ้า (Variable load systems) และใช้เทคนิคการตัดมุมเฟส (Phase angle control) [4] ในการควบคุมดัมมี่โหลด ซึ่งในการออกแบบ วงจรที่สำคัญของบอร์ดควบคุมจะประกอบไปด้วย วงจรตรวจวัดแรงดันไฟฟ้า และวงจรขับโหลดความต้านทานดังรูปที่ 3




**รูปที่ 3** วงจรตรวจวัดแรงดันไฟฟ้า และวงจรขับโหลดความต้านทาน



**รูปที่ 4** วงจรควบคุม PIC18F252

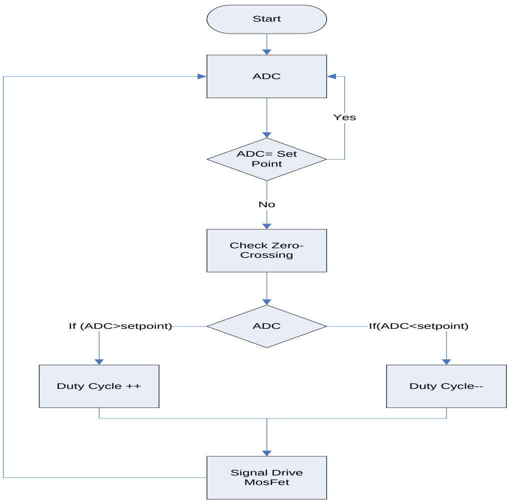
จากรูปที่ 4 เป็นหน่วยประมวลผลหลักของวงจร ซึ่งในงานวิจัยนี้ใช้เป็น PIC18F252 เนื่องจากเป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ค่อนข้างพัฒนาง่าย และหาซื้อได้ง่าย

บอร์ดควบคุมที่พัฒนาขึ้น ประกอบไปด้วยวงจรที่ใช้ในการตรวจจับแรงดันไฟฟ้า เพื่อการตรวจสอบแรงดันที่มีความรวดเร็ว วงจรตรวจสอบการตัดแกนศูนย์ของรูปคลื่นไฟฟ้าเพื่อหาความถี่ แล้วนำแรงดันไฟฟ้าและความถี่ของลูกคลื่น มาใช้ในการประมวลผลและทำการกำหนด Duty Cycle ให้วงจรขับทำการแบ่งกำลังไฟฟ้า เพื่อทำการลดแรงดันไฟฟ้าให้เหมาะสมกับการใช้งานโหลดหลักที่ 220 โวลต์ 50 เฮิร์ต ดังรูปที่ 5

**รูปที่ 5** ชุดควบคุมแรงดันไฟฟ้าต้นแบบสำหรับกังหันน้ำผลิตไฟฟ้าขนาดเล็ก (300 วัตต์)

การประมวลผลจะมีการอ่านค่า Analog to digital เพื่อเปรียบเทียบระดับค่าแรงดันกับค่าอ้างอิง (Set point) หากระดับแรงดันไม่เป็นไปตามค่าที่อ้างอิงไว้จะทำการเช็ค Zero-Crossing และทำการกำหนดค่า Duty Cycle เป็นขนาดสัญญาณที่จะทำการไดร์วงจรขับดัมมี่ภาระทางไฟฟ้า โดยจะทำการเช็คว่าแรงดันในระบบมีค่ามากกว่าหรือน้อยกว่าค่าอ้างอิงที่ตั้งไว้ จากนั้นจะทำการขยาย หรือลดขนาด Duty Cycle ของสัญญาณ เพื่อปรับขนาดของแรงดันในระบบให้มีค่าอยู่ในช่วงระดับแรงดันอ้างอิงที่ตั้งไว้ และเมื่อประกอบชุดควบคุมกับต้นแบบกังหันน้ำผลิตไฟฟ้าขนาดเล็ก 300 วัตต์ ดังรูปที่ 6 ส่วนรูปที่ 7 เป็นผังงานลำดับขั้นตอนการทำงานของระบบควบคุม

**รูปที่ 6** ต้นแบบกังหันน้ำผลิตไฟฟ้าขนาดเล็ก 300 วัตต์

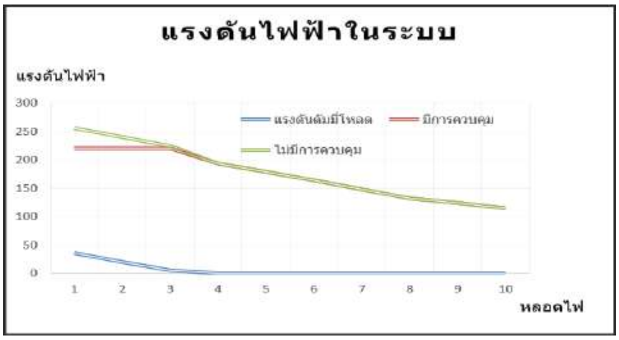



**รูปที่ 7** ผังงานลำดับขั้นตอนการทำงานของระบบควบคุม

**4. ผลการทดสอบชุดควบคุมแรงดันไฟฟ้าสำหรับกังหันน้ำขนาดเล็ก**

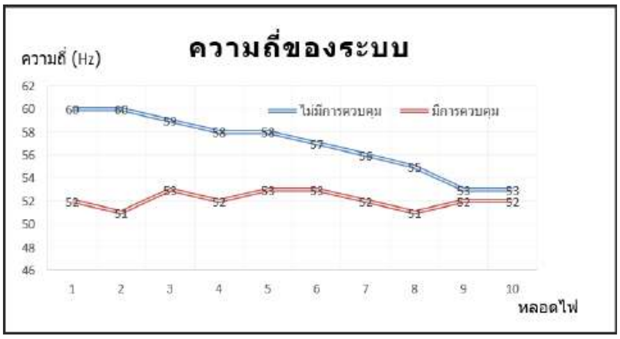
การทดสอบลักษณะการทำงานของชุดควบคุมกังหันน้ำโดยเปรียบเทียบค่าแรงดันไฟฟ้า และความถี่ระหว่างมีการใช้งานกังหันน้ำผลิตไฟฟ้าโดยไม่มีการควบคุมแรงดันด้วยชุดควบคุม และการใช้งานกังหันน้ำผลิตไฟฟ้าโดยมีการควบคุมแรงดันไฟฟ้าด้วยชุดควบคุม

การเปรียบเทียบแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมภาระทางไฟฟ้า และแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมดัมมี่ ระหว่างไม่มีการควบคุมแรงดันด้วยชุดควบคุม และมีการควบคุมแรงดันด้วยชุดควบคุม แสดงให้เห็นว่าหากไม่มีการมีการควบคุมแรงดันด้วยชุดควบคุม หากมีการเปิดจำนวนหลอดไฟจำนวนน้อยหลอด แรงดันไฟฟ้าจะมีค่าที่สูง จึงจำเป็นต้องมีการเปิดหลอดไฟฟ้าเพิ่มเพื่อทำให้แรงดันลดระดับลง แต่หากมีการควบคุมแรงดันด้วยชุดควบคุม กำลังไฟฟ้าจะถูกแบ่งไปใช้งานที่ดัมมี่โหลด ทำให้ระดับแรงดันที่ตกคร่อมภาระโหลด มีค่าค่อนข้างคงที่อยู่ในช่วงแรงดันอ้างอิงที่ต้องการคือ 220 โวลต์ ดังรูปที่ 8




**รูปที่ 8** เปรียบเทียบแรงดันไฟฟ้าระหว่างมีการควบคุม(With ELC), ไม่มีการควบคุม(Without ELC) และแรงดันของดัมมี่โหลด

อีกทั้งชุดควบคุมยังสามารถรักษาระดับความถี่ของระบบได้ของระบบที่ 50 เฮิร์ตได้อีกด้วย ดังรูปที่ 9




**รูปที่ 9** เปรียบเทียบความถี่ระหว่างมีการควบคุมและไม่มีการควบคุม

### 5. สรุป

จากผลการทดสอบการควบคุมแรงดันโดยวิธีการใช้ดัมมี่โหลดด้วยเทคนิคการตัดมุมเฟสนั้น สามารถรักษาระดับแรงดันไฟฟ้าและความถี่ที่ตกคร่อมภาระโหลดได้ที่ 220 โวลต์ 50 เฮิร์ต ได้อย่างถูกต้องแม่นยำ อีกทั้งวงจรที่ใช้ควบคุมสามารถทำการขยายขนาดของกำลังไฟฟ้าในการควบคุมได้อีกด้วย เพียงเปลี่ยนวงจรขับและเพิ่มขนาดกำลังไฟฟ้าของดัมมี่ให้มากขึ้น ชุดความคุมก็จะสามารถควบคุมแรงดันไฟฟ้าและความถี่ที่เกิดจากการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานน้ำที่ใหญ่ขึ้นได้ แต่การใช้เทคนิคในการควบคุมแบบการตัดมุมเฟส (Phase angle control) การถ่ายเทกำลังไฟฟ้าไปที่ดัมมี่โหลดแบบตัดมุมเฟสจะทำให้คลื่นไฟฟ้าที่ได้เกิดการบิดเบี้ยว อาจส่งผลให้เกิดปัญหาที่ทำให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเกิดความร้อนขึ้น ดังนั้นการเลือกใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่มีขนาดกำลังไฟฟ้ามากกว่ากำลังไฟฟ้าที่จะผลิตเล็กน้อยเพื่อลดความร้อนที่จะเกิดขึ้นได้

### 6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้เกิดจากความร่วมมือระหว่างศูนย์เรียนรู้ไฟฟ้าชนบท สถานบันพัฒนาและฝึกอบรมโรงงานต้นแบบ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี วิทยาเขตบางขุนเทียน กับสาขาวิชาเทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร

### เอกสารอ้างอิง

[1]. อุสาห์ บุญบำรุง และคณะ (2550). “รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ โครงการพลังน้ำกับภูมิปัญญาท้องถิ่น กรณีศึกษาหมู่บ้านคีรีวง”, เสนอต่อสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ

[2] อุสาห์ บุญบำรุง และคณะ (2552). พลังน้ำกับภูมิปัญญาท้องถิ่นคีรีวง, การประชุมวิชาการ เครือข่ายการวิจัยสถาบันอุดมศึกษา ครั้งที่ 3 เรื่อง “เศรษฐกิจฐานความรู้กู้วิกฤตชาติ”, เมษายน 2552

[3] Nigel Smith (2001). Motors as generators for micro-hydro power.

[4] K. Subramanian*, K. K. Ray*, K. Hari Prasad, Nand Gopal.E, Nimisha Gupta, Nirupama.V, Pragyajha and Meenakshi Sinha (2010). State Of The Art of Electronic Load Controller of Self-Excited Asynchronous Generator Used In Mini / Micro Hydro Power Generation. ACEEE International Journal on Control System and Instrumentation, Vol. 1, No.1

### คณะผู้วิจัย

กีรดิษ สายพัทลุง อาจารย์ประจำสาขาเทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร งานวิจัยที่สนใจ ระบบควบคุมอัตโนมัติ, การออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์, ระบบสมองกลฝังตัว และระบบพลังงานทดแทน

ธาตรี มามี นักวิจัยห้องปฏิบัติการวิจัยบูรณาการระบบพลังงานสะอาด สถานบันพัฒนาและฝึกอบรมโรงงานต้นแบบ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี วิทยาเขตบางขุนเทียน งานวิจัยที่สนใจ ระบบควบคุมอัตโนมัติ, ระบบสมองกลฝังตัว Artificial Neural Network และระบบพลังงานทดแทน

อรรถการ จันทร์ศศิธร นักวิจัยห้องปฏิบัติการวิจัยบูรณาการระบบพลังงานสะอาด สถานบันพัฒนาและฝึกอบรมโรงงานต้นแบบ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี วิทยาเขตบางขุนเทียน งานวิจัยที่สนใจ Pico-Hydro Power และระบบพลังงานทดแทน

อุสาห์ บุญบำรุง หัวหน้านักวิจัยห้องปฏิบัติการวิจัยบูรณาการระบบพลังงานสะอาด สถานบันพัฒนาและฝึกอบรมโรงงานต้นแบบ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี วิทยาเขตบางขุนเทียน งานวิจัยที่สนใจ Hybrid Power System Simulation and Optimization, Microgrids

# การศึกษาผลกระทบต่อประสิทธิภาพของระบบเทอร์โมอิเล็กทริกที่มีพลังงานความร้อนเหลือใช้จากระบบรางรวมรังสีอาทิตย์เป็นต้นกำลัง

# Study of Effects to Thermoelectric Modules Harvesting Waste Heat from Solar Trough Generator

**ศักดิ์ชัย เทพเอียด อจลวิชญ์ ฉันทวีโรจน์ และ ธัญวัฒน์ ลิมปิติ**

หลักสูตรวิศวกรรมไฟฟ้า สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์และทรัพยากร มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์
222 ตำบลไทยบุรี อำเภอท่าศาลา จังหวัดนครศรีธรรมราช 80160 E-mail: Ajalawit.chan@gmail.com, Thunyawat.li@wu.ac.th

## บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการศึกษาและทดสอบ ปัจจัยที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการใช้ระบบเทอร์โมอิเล็กทริก (TEG) ที่อาศัยพลังงานความร้อนเหลือใช้จากระบบรางรวมรังสีอาทิตย์เป็นต้นกำลัง โดยแบ่งเป็น 3 ประเด็น คือ ความแปรปรวนของการใช้อุณหภูมิของรางรวมแสงอาทิตย์ที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา การระบายความร้อนของอุณหภูมิที่ผิวด้านเย็นของ TEG และรูปแบบการต่อวงจรของ TEG พบว่า ความเสื่อมถอยของการผลิตกระแสไฟฟ้าด้วย TEG ที่มีการระบายความร้อนของผิวด้านเย็นด้วยครีบร่วมกับพัดลม มีค่าใกล้เคียงกับการใช้ครีบร่วมกับน้ำ ซึ่งสามารถผลิตกำลังไฟฟ้า 0.1 แอมแปร์ ภายใต้อุณหภูมิความร้อนของผิวด้านร้อน 90 องศาเซลเซียส และพบว่าการระบายความร้อนด้วยครีบร่วมกับน้ำสามารถใช้งานร่วมกับเทอร์โมอิเล็กทริกที่มีการต่อวงจรแบบผสม S4-P2 ให้กำลังไฟฟ้ามากกว่า P4-S2

**คำสำคัญ:** เทอร์โมอิเล็กทริก ระบบรางรวมรังสีอาทิตย์ ความร้อนเหลือใช้

## Abstract

This work presents the study and experiments of the factors that affect the performance of thermoelectric modules (TEG) harvesting waste heat from solar trough generator. The effects are divided into three parts: the temperature variation depending on time of solar trough, the heat extraction of low temperature side of TEG, and the configuration of TEG. The results show that the deteriorate of current generation of TEG exploiting heat sinks combined with fans in the heat extractor are equal to those using heat sinks combined with water. The power provided by both methods is 0.1 A in the condition which the high temperature side of thermoelectric modules is 90 $^{O}$C. Moreover, the configuration S4-P2 of thermoelectric circuit provides power better than the P4-S2 configuration.

**Keywords:** Thermoelectric, Solar trough, Waste heat

## 1. บทนำ

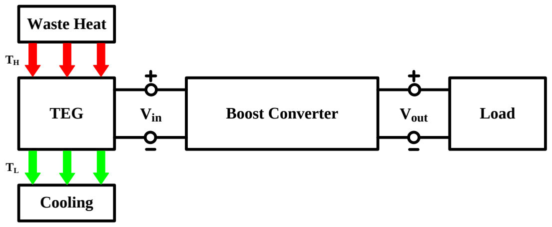
ด้วยความต้องการใช้พลังงานของมนุษย์ที่เพิ่มขึ้นในขณะที่แหล่งพลังงานหลักจากเชื้อเพลิงฟอสซิลกำลังจะหมดลง จึงจำเป็นต้องเร่งการพัฒนาเทคโนโลยีพลังงานหมุนเวียนมาใช้ทดแทนเพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้า เทอร์โมอิเล็กทริกเป็นเทคโนโลยีหนึ่งที่อยู่ในกระแสของการพัฒนา เนื่องจากเป็นอุปกรณ์ที่สามารถแปลงพลังงานความร้อนเป็นพลังงานไฟฟ้าได้โดยตรง ในปัจจุบันมีแนวทางในการวิจัยแบ่งเป็น 2 แนวทาง คือ การเพิ่มกำลังการผลิตกระแสไฟฟ้าโดยการกระตุ้นให้ผิวของเทอร์โม-อิเล็กทริกเกิดความแตกต่างของอุณหภูมิมากที่สุด [1-3] และการประยุกต์ใช้เทอร์โมอิเล็กทริกในการดักจับพลังงานความร้อนเหลือใช้ในภาคอุตสาหกรรม [4-5]

พลังงานความร้อนเหลือใช้ในภาคอุตสาหกรรมสามารถแบ่งตามค่าอุณหภูมิได้เป็น 3 ช่วง [6] คือ ช่วงอุณหภูมิต่ำ (น้อยกว่า 100°C) มักใช้ในการอบแห้งอาหารและผ้า และการชำระล้าง ช่วงอุณหภูมิปานกลาง (100-400°C) และช่วงอุณหภูมิสูง (มากกว่า 400°C) งานวิจัยนี้มุ่งสนใจพลังงานความร้อนช่วงอุณหภูมิต่ำ โดยต้นกำเนิดของพลังงานความร้อน คือ ระบบรางพาราโบลิกรวมรังสีอาทิตย์ขนาดเล็ก ซึ่งมีพื้นที่รับแสงขนาด $6 \times 1.2$ ตารางเมตร สามารถผลิตพลังงานความร้อนอยู่ในช่วง 60 - 110°C โดยมีการแปรปรวนตามรังสีตกกระทบจากดวงอาทิตย์ในบริเวณพื้นที่ภาคใต้ ซึ่งมักเกิดปัญหาความไม่ต่อเนื่องและความเสื่อมถอยของการผลิตกระแสไฟฟ้าของเทอร์โมอิเล็กทริก เนื่องจากผลต่างของอุณหภูมิระหว่างผิวด้านร้อนและผิวด้านเย็นมีค่าไม่สูงมากพอ [2]

บทความนี้จึงมุ่งเน้นการศึกษาผลกระทบต่อประสิทธิภาพของระบบเทอร์โมอิเล็กทริกภายใต้การกระตุ้นด้วยพลังงานความร้อนเหลือใช้ช่วงอุณหภูมิต่ำที่ได้จากระบบรางรวมรังสีอาทิตย์ ที่มักเกิดความแปรปรวนตามเวลา โดยนำวิธีการพัฒนาระบบเทอร์โมอิเล็กทริกที่มีการเชื่อมต่อระบบเทอร์โมอิเล็กทริกแบบผสม [3] และรูปแบบการระบายความร้อนของผิวด้านเย็น [1-4] มาทำการทดสอบเพื่อระบุความสามารถและความเสื่อมถอยของการผลิตกระแสไฟฟ้าในเชิงเวลา

## 2. ระบบการผลิตกระแสไฟฟ้าโดยใช้ TEG

ระบบการผลิตพลังงานไฟฟ้าโดยใช้ TEG สำหรับการดักจับพลังงานความร้อนเหลือใช้ สามารถแบ่งกระบวนการทำงานออกเป็น 3 ส่วนดังรูปที่ 1 คือ (1) การควบคุมผลต่างของอุณหภูมิบนผิวของ TEG (2) รูปแบบการเชื่อมต่อ TEG เพื่อเพิ่มกำลังไฟฟ้า และ (3) การขยายระดับแรงดันไฟฟ้า




**รูปที่ 1** กระบวนการทำงานของระบบ TEG

### 2.1 การควบคุมผลต่างของอุณหภูมิบนผิวของ TEG

ความสามารถในการผลิตกระแสไฟฟ้าของ TEG จะขึ้นอยู่กับผลต่างของอุณหภูมิบนผิวทั้งสองด้าน ซึ่งสามารถบรรยายคุณสมบัติทางไฟฟ้าด้วยสมการ

$$I = \alpha \Delta T / (R + R_L) \qquad (1)$$

เมื่อ $I$ คือ กระแสไฟฟ้า $\alpha$ คือ สัมประสิทธิ์ซีเบ็ค (Seebeck) $\Delta T$ คือ ผลต่างระหว่างอุณหภูมิด้านร้อนและอุณหภูมิด้านเย็น (K) $R$ คือ ความต้านทานไฟฟ้าของ TEG และ $R_L$ คือ ความต้านทานโหลดไฟฟ้า เช่น โมดูล TEC1-12708 โดยผู้ผลิตบริษัท Hebei I.T. (Shanghai) มีขนาด $40 \times 40 \times 3.5\ mm^3$ และมีค่า $R$ เท่ากับ 1.8 โอห์ม ซึ่งถูกนำมาทดสอบโดยงานวิจัย [1] สามารถผลิตกำลังไฟฟ้าได้ 0.57 วัตต์ ภายใต้การกระตุ้นที่มีผลต่างของอุณหภูมิ 122°C

### 2.2 รูปแบบการเชื่อมต่อ TEG เพื่อเพิ่มกำลังไฟฟ้า

รูปแบบการเชื่อมต่อ TEG ถูกเสนอขึ้น เพื่อตอบสนองความต้องการใช้กำลังไฟฟ้าที่สูงขึ้น เช่น งานวิจัย [4] เสนอวิธีการเพิ่มประสิทธิภาพของระบบการดักจับความร้อนภายใต้ผลต่างอุณหภูมิเพียง 40°C โดยการเชื่อม TEG โมดูล CP1-12726 แบบอนุกรมจำนวน 4 โมดูล ซึ่งสามารถผลิตกำลังไฟฟ้าได้ถึง 1 วัตต์ และงานวิจัย [2] พบว่าการเชื่อมต่อแบบอนุกรมและแบบขนานจะเพิ่มเสถียรภาพของ TEG และยังพบอีกว่า การเชื่อมต่อแบบอนุกรมจะทำให้มีการเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้าน้อยกว่าเมื่อเทียบกับการเชื่อมต่อแบบขนาน ในบทความนี้จะใช้แนวทางการออกแบบการเชื่อมต่อ TEG แบบผสมให้รองรับการดักจับพลังความร้อนเหลือใช้ระดับต่ำจากระบบรางรวมรังสีอาทิตย์ ซึ่งอยู่ในช่วง 60 – 90°C โดยมีการแปรปรวนตามอัตราการไหลของน้ำในระบบลำเลียงและปริมาณความเข้มของรังสีอาทิตย์ในแต่ละช่วงเวลา

### 2.3 การขยายระดับแรงดันไฟฟ้า

วงจรขยายระดับแรงดันไฟฟ้าทำหน้าที่เพิ่มเสถียรภาพของระบบ TEG โดยการทำให้แรงดันไฟฟ้าคงที่ภายใต้ความแปรปรวนของพลังงานความร้อนต้นกำลังของ TEG เช่น ไอซี TL 494 ถูกนำมาใช้เพื่อสร้างวงจรอัดประจุแบตเตอรี่ขนาด 12 โวลต์ [3] และวงจรสำเร็จรูป MAX 761CPA สำหรับการจ่ายพลังงานให้กับหลอด LED ขนาด 12 โวลต์ [4] เป็นต้น ด้วยประสิทธิภาพของวงจรขยายระดับแรงดันในปัจจุบัน บทความนี้จึงเลือกใช้วงจรเพิ่มระดับแรงดันเป็นไอซีสำเร็จรูป LM 2577

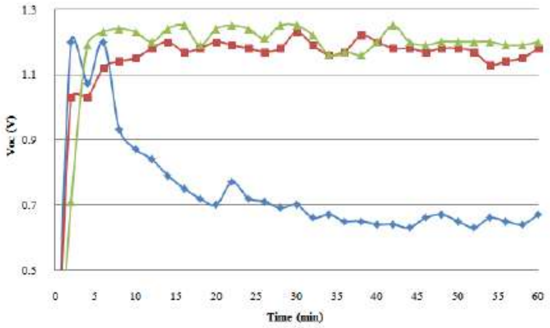
## 3. การศึกษาและวิเคราะห์ประสิทธิภาพ

ด้วยผลการศึกษาที่ผ่านมาเกี่ยวกับประสิทธิภาพของระบบ TEG ที่ช่วงอุณหภูมิต่ำมีน้อยและยากต่อการออกแบบให้เหมาะสมกับการใช้ระบบรางรวมรังสีอาทิตย์เป็นต้นกำลัง บทความนี้จึงทำการทดสอบเพื่อระบุขีดความสามารถที่หวังได้ในการผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วย TEG ภายใต้การกระตุ้นผิวด้านร้อนด้วยพลังงานความร้อนในช่วงอุณหภูมิ 60 – 90°C โดยแบ่งการทดสอบออกเป็น 2 ส่วน คือ การทดสอบวิธีการระบายความร้อนบนผิวด้านเย็นและการทดสอบรูปแบบการเชื่อมต่อวงจร TEG

### 3.1 วิธีการระบายความร้อนผิวด้านเย็นของ TEG

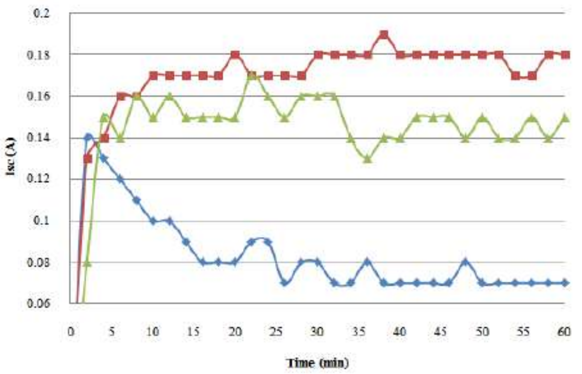
การระบายความร้อนบนผิวด้านเย็นที่นิยมใช้มีด้วยกัน 3 วิธี คือ การใช้ครีบระบายความร้อน การใช้ครีบระบายความร้อนร่วมกับพัดลม 12 โวลต์ และการใช้ครีบระบายความร้อนร่วมกับน้ำนิ่ง รูปแบบเหล่านี้จะถูกนำมาทดสอบกับระบบ TEG จำนวน 1 โมดูล โดยกระตุ้นผิวด้านร้อนให้อยู่ในช่วง 60 – 70°C ซึ่งเป็นพลังงานความร้อนที่เหลือใช้จากระบบรางรวมรังสีแสงอาทิตย์ที่มีอัตราการไหลของตัวสะสมความร้อนประมาณ 0.5 ลิตรต่อนาที ซึ่งจะทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแต่ละวิธี ด้วยการวัดแรงดันไฟฟ้า $V_{oc}$ และกระแสไฟฟ้า $i_{sc}$ ในเชิงเวลา

ผลการทดสอบดังแสดงในรูปที่ 2 และ 3 แสดงให้เห็นว่า รูปแบบการระบายความร้อนด้วยครีบเพียงลำพัง จะทำให้แรงดันไฟฟ้า $V_{oc}$ และ




**รูปที่ 2** ความเสื่อมถอยของแรงดันไฟฟ้า $V_{oc}$ จาก TEG ด้วยรูปแบบการระบายความร้อนที่แตกต่างกัน (◆ ครีบ ■ ครีบร่วมกับพัดลม และ ▲ ครีบร่วมกับน้ำ)

กระแสไฟฟ้า $i_{sc}$ มีค่าลดลงอย่างรวดเร็วหลังจากเวลาผ่านไป 10 นาที ซึ่งทำให้เกิดอัตราการเสื่อมถอยสูงมาก แต่รูปแบบที่มีการใช้ครีบระบายความร้อนร่วมกับน้ำมีอัตราการเสื่อมถอยใกล้เคียงกับรูปแบบที่มีการใช้ครีบระบายความร้อนร่วมกับพัดลม ดังนั้น บทความนี้จึงเลือกใช้รูปแบบการระบายความร้อนด้วยครีบร่วมกับน้ำ เพราะไม่จำเป็นต้องใช้พลังงานไฟฟ้าในการระบายความร้อนให้กับผิวด้านเย็นของ TEG



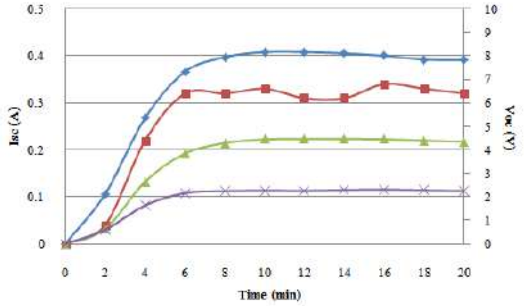

**รูปที่ 3** ความเสื่อมถอยของกระแสไฟฟ้า $i_{sc}$ จาก TEG ด้วยรูปแบบการระบายความร้อนที่แตกต่างกัน (◆ ครีบ ■ ครีบร่วมกับพัดลม และ ▲ ครีบร่วมกับน้ำ)

### 3.2 รูปแบบการเชื่อมต่อ TEG

งานวิจัย [3] ซึ่งได้เสนอรูปแบบการเชื่อมต่อ TEG ด้วยวงจรผสมเพื่อเพิ่มกำลังผลิตกระแสไฟฟ้าในการอัดประจุแบตเตอรี่ โดยกระตุ้นผิวด้านร้อนด้วยอุณหภูมิ 90°C และใช้รูปแบบการระบายความร้อนด้วยครีบร่วมกับพัดลม ซึ่งได้กำลังไฟฟ้า 4.05 วัตต์ แต่ระบบ TEG ยังคงต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าจ่ายให้แก่พัดลม บทความนี้ได้ประยุกต์การเชื่อมต่อ TEG แบบผสมมาให้ร่วมกับวิธีการระบายความร้อนด้วยครีบร่วมกับน้ำ

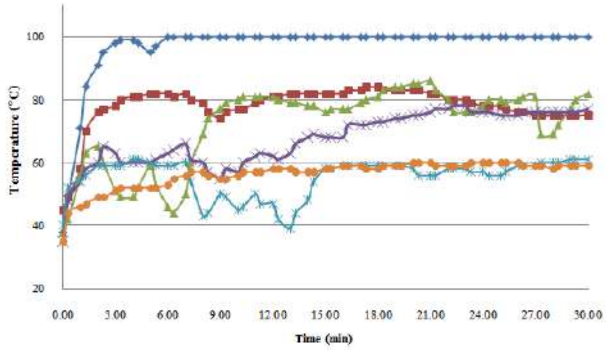
รูปแบบที่เป็นไปได้ในการเชื่อม TEG แบบผสมเพื่อรองรับการอัดประจุแบตเตอรี่ขนาด 5 โวลต์ มีด้วยกัน 2 รูปแบบ คือ รูปแบบ S4-P2 ซึ่งเป็นการเชื่อมต่อของชุดวงจร TEG จำนวน 2 ชุดมาขนานกัน โดยที่แต่ละชุดเชื่อมต่อกันแบบอนุกรมจำนวน 4 โมดูล อีกรูปแบบคือ P4-S2 ซึ่งเป็นการเชื่อมต่อของชุดวงจร TEG จำนวน 2 ชุดมาอนุกรมกัน โดยที่แต่ละชุดเชื่อมต่อกันแบบขนานจำนวน 4 โมดูล โดยกระตุ้นผิวด้านร้อนให้มีลักษณะเดียวกับการทดสอบรูปแบบการระบายความร้อนผิวด้านเย็นของ TEG ซึ่งจะทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแต่ละรูปแบบ โดยทำการวัดแรงดันไฟฟ้า $V_{oc}$ และกระแสไฟฟ้า $i_{sc}$ ในเชิงเวลา

ผลการทดสอบดังแสดงในรูปที่ 4 แสดงให้เห็นว่า รูปแบบการเชื่อมต่อ TEG แบบ S4-P2 จะได้แรงดันไฟฟ้า $V_{oc}$ เพิ่มขึ้นเป็น 3.5 เท่าและกระแสไฟฟ้า $i_{sc}$ เพิ่มขึ้นเป็น 2.8 เท่าของ TEG จำนวน 1 โมดูล ในขณะที่รูปแบบ P4-S2 จะได้แรงดันไฟฟ้า $V_{oc}$ เพิ่มขึ้นเป็น 1.8 เท่า แต่กระแสไฟฟ้า $i_{sc}$ ลดลงเป็น 2.1 เท่าของ TEG จำนวน 1 โมดูล ดังนั้น รูปแบบ S4-P2 จะมีประสิทธิภาพสูงกว่ารูปแบบ P4-S2 เนื่องจากการเชื่อมด้วยวงจรขนานจะเกิดผลกระทบจากพลังงานความร้อนบริเวณผิวด้านร้อนของแต่ละโมดูลที่แตกต่างกันมากกว่าการเชื่อมต่อแบบอนุกรม




**รูปที่ 4** ขีดความสามารถที่หวังได้ในการผลิตไฟฟ้าจาก TEG ที่มีการเชื่อมต่อแบบผสม โดยที่ $V_{oc}$ ของวงจร S4-P2 (▲) และวงจร P4-S2 (✕) และ $i_{sc}$ ของวงจร S4-P2 (◆) และวงจร P4-S2 (■)

**รูปที่ 5** ระบบรางรวมรังสีอาทิตย์

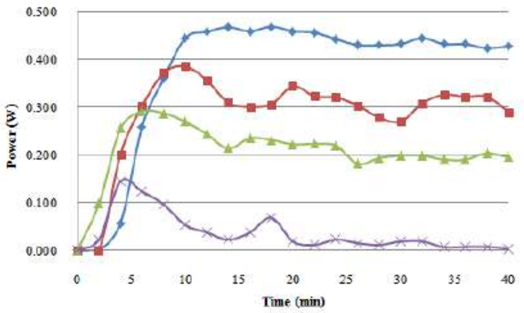



**รูปที่ 6** อุณหภูมิของพลังงานความร้อนที่ผลิตได้จากระบบรางรวมรังสีอาทิตย์ ณ อัตราการไหลของน้ำที่แตกแตกกัน 0.3 (◆) 0.5 (■) 0.8 (▲) 1.0 (✕) 1.3 (✱) 2.0 (●) *L*/min

### 4. การทดสอบระบบดักจับพลังงานความร้อนเหลือใช้จากรางรวมรังสีอาทิตย์

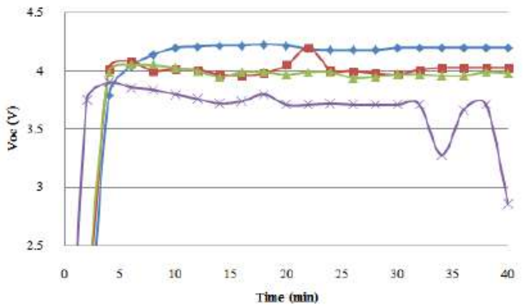
ระบบดักจับพลังงานความร้อนเหลือใช้จากรางรวมรังสีอาทิตย์ ถูกออกแบบขึ้น ซึ่งประกอบด้วย 3 ส่วน คือ ส่วนแรก เป็นการกระตุ้นผิวด้านร้อนของ TEG โดยใช้พลังงานความร้อนเหลือใช้จากระบบรางรวมรังสีอาทิตย์ ซึ่งมีขนาดรับรังสีอาทิตย์ขนาด 1.2 x 6 ตารางเมตร แสดงในรูปที่ 5 และให้ผลผลิตพลังงานความร้อนที่มีอุณหภูมิในช่วง 60 – 100°C

ดังแสดงในรูปที่ 6 ส่วนที่สอง เป็นการระบายความร้อนจากผิวด้านเย็นของ TEG ซึ่งใช้รูปแบบการระบายความร้อนด้วยครีบร่วมกับน้ำ และส่วนที่สาม เป็นการเชื่อมต่อวงจร TEG ซึ่งใช้รูปแบบ S4-P2 ระบบนี้จะถูกทดสอบโดยการจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้แก่โหลด ซึ่งเป็นการอัดประจุแก่แบตเตอรี่ขนาด 5V ความจุ 30Ah



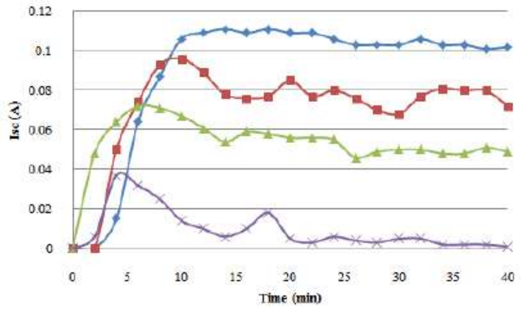

**รูปที่ 7** กำลังไฟฟ้าจากการอัดประจุแบตเตอรี่ ณ อุณหภูมิต่างๆ

( $90^oC, 0.3L/min$ ◆ $80^oC, 0.5L/min$ ■ $70^oC, 1.0L/min$ ▲ $60^oC, 1.3L/min$ ✕ )




**รูปที่ 8** แรงดันไฟฟ้าจากการอัดประจุแบตเตอรี่ ณ อุณหภูมิต่างๆ

( $90^oC, 0.3L/min$ ◆ $80^oC, 0.5L/min$ ■ $70^oC, 1.0L/min$ ▲ $60^oC, 1.3L/min$ ✕ )




**รูปที่ 9** กระแสไฟฟ้าจากการอัดประจุแบตเตอรี่ ณ อุณหภูมิต่างๆ

( $90^oC, 0.3L/min$ ◆ $80^oC, 0.5L/min$ ■ $70^oC, 1.0L/min$ ▲ $60^oC, 1.3L/min$ ✕ )

ผลการทดสอบเพื่อระบุขีดความสามารถในการผลิตกระแสไฟฟ้าภายใต้พลังงานความร้อนเหลือใช้จากระบบรางรวมแสงอาทิตย์ ณ อุณหภูมิใด ๆ ในแต่ละช่วงเวลา โดยการใช้ปรับอัตราการไหลของน้ำในระบบรางรวมรังสีอาทิตย์ให้พลังงานความร้อนในช่วง 60 70 80 และ 90°C ตามลำดับ พบว่า สามารถผลิตกำลังไฟฟ้าได้ดังแสดงในรูปที่ 7 ซึ่งได้ขนาดสูงสุด 0.45 วัตต์ อัตราการไหลของน้ำร้อน 0.3 ลิตรต่อนาทีและอุณหภูมิของน้ำร้อนเท่ากับ 90°C และพบว่าอัตราการไหลของน้ำร้อน 1.3 ลิตรต่อนาทีและอุณหภูมิของน้ำร้อนเท่ากับ 60°C จะไม่สามารถอัดประจุแบตเตอรี่ได้

## 5. สรุปผล

ผลการศึกษาและทดสอบเพื่อหาผลกระทบต่อประสิทธิภาพของระบบ TEG ที่มีการกระตุ้นบนผิวด้านร้อนด้วยพลังงานความร้อนเหลือใช้ในช่วงอุณหภูมิต่ำจากระบบรางรวมรังสีอาทิตย์ และการใช้วิธีการระบายความร้อนด้วยครีบร่วมกับน้ำ โดยการทดสอบให้อัดประจุแบตเตอรี่ขนาด 5 โวลต์ พบว่า การเชื่อมต่อของ TEG ด้วยวงจรผสมแบบ S4-P2 สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าต่อเนื่อง 0.1 แอมแปร์ ณ อุณหภูมิของพลังงานความร้อนที่ผลิตได้จากรางรวมรังสีอาทิตย์ เท่ากับ 90°C ซึ่งเกิดความเสื่อมถอยในการผลิตกระแสไฟฟ้าต่ำ แต่จะเกิดความเสื่อมถอยสูงเมื่ออุณหภูมิของผิวด้านร้อนของ TEG มีค่าต่ำกว่า 60°C และยังพบว่า แต่ละโมดูลของระบบ TEG มีประสิทธิภาพแตกต่างกันเนื่องจากอุณหภูมิของผิวด้านร้อนของแต่ละโมดูลได้รับความร้อนที่ไม่สม่ำเสมอ โดยอุณหภูมิของพลังงานความร้อนจะลดลงตามระยะความยาวของท่อลำเลียงน้ำร้อนและขึ้นอยู่กับอัตราการไหลของน้ำภายในระบบรางรวมรังสีอาทิตย์

## เอกสารอ้างอิง

[1] เจริญพร เลิศสถิตธนกร และคณะ, “การศึกษาเชิงทดลองเครื่องผลิตไฟฟ้าจากตะเกียงเทอร์โมอิเล็กทริก”, วิศวสารลาดกระบัง , ปีที่ 20 , ฉบับที่ 3, หน้า 37 – 41, กันยายน 2546

[2] ณัฐ จันท์ครบ และคณะ, “ขีดความสามารถที่หวังได้ในการผลิตกำลังไฟฟ้าจากการต่อเพิ่มจำนวนโมดูลเทอร์โมอิเล็กตริก”, การประชุมวิชาการทางเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 29, 23 – 25 พฤษภาคม 2550

[3] นพพร พัชรประกิติ และคณะ, “ระบบอัดประจุแบตเตอรี่ด้วยพลังงานเทอร์โมอิเล็กทริก”, การประชุมวิชาการด้านพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ ครั้งที่ 1, กรุงเทพ, 31 สิงหาคม 2550

[4] ชัยพล เพ่งพิศ และคณะ, “เซลล์กำเนิดพลังงานไฟฟ้าจากความร้อนที่เหลือใช้ ที่ได้จากกับดักไอน้ำโดยใช้เทอร์โมอิเล็กทริก”, การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 13, เชียงใหม่, 4 – 5 เมษายน 2555

[5] Jihad G. Haidar and Jamil I. Ghojell, “Waste Heat Recovery from the Exhaust OfLow-Power Diesel Engine Using Thermoelectric Generators.” IEEE Proceedings of 20th International Conference on Thermoelectrics, 2001, pp.413-417.

[6] จารุวัฒน์ เจริญจิต, “ศักยภาพเชิงอุณหภูมิของการผลิตน้ำร้อนด้วยรังสีอาทิตย์ ในภาคอุตสาหกรรม”, วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา ปีที่ 17, ฉบับที่ 2 , หน้า 174 – 181, กรกฎาคม-ธันวาคม 2555

**บทความวิจัย**

การประชุมวิชาการ งานวิจัยและพัฒนาเชิงประยุกต์ ครั้งที่ 8

*8th ECTI-CARD 2016, Hua Hin, Thailand*

# การจำลองกังหันลมในเวลาจริงด้วยโปรแกรมแลปวิว

# Real time Simulation of Wind Turbine Using LabVIEW

**พงษ์ศิลป แก้วรัตนศรีโพธิ์ และ ชัชวาลย์ เยรบุตร**

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล

999 ถ.พุทธมณฑล สาย 4 ต. ศาลายา อ.พุทธมณฑล จ.นครปฐม 73170โทรศัพท์ 02-889-2138 E-mail: phongsin.k@gmail.com

## บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอการจำลองกังหันลมในเวลาจริงด้วยโปรแกรมแลปวิว โดยมีตัวแปรความเร็วลมจากเครื่องมือวัดความเร็วลมผ่านการ์ดแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตัลเชื่อมโยงกับคอมพิวเตอร์ เพื่อคำนวณหาสัมประสิทธิ์กำลัง หลังจากนั้นก็คำนวณหากำลังและแรงบิดทางกลเพื่อนำไปใช้ขับโหลด การปรับค่าแรงบิดโหลดและแสดงผลตัวแปรต่างๆด้วยส่วนติดต่อผู้ใช้กราฟิก(Graphic User Interface) ทำให้สามารถศึกษาและเข้าใจพลวัตรของกังหันได้เป็นอย่างดี ผลการจำลองแสดงการทำงานสอดคล้องกับคุณลักษณะของกังหันลมได้ถูกต้อง ซึ่งสามารถนำโปรแกรมดังกล่าวไปใช้เพื่อการศึกษาและงานวิจัยด้านพลังงานทดแทนได้เป็นอย่างดี

คำสำคัญ: กังหันลมจำลอง, คุณลักษณะกังหันลม, แลปวิว

## Abstract

This paper presents simulation of wind turbine in real time using the LabVIEW. The wind speed is obtained from an anemometer. It is converted to appropriate digital format by a data acquisition card, that is interfaced to a PC. Available power and torque are calculated in real time. The power coefficient Cp is repeatedly calculated in term of a tip speed ratio. The load can be adjusted via graphic user interface, that makes it easy to understand dynamic of a wind turbine. Simulation results show the operation of a wind turbine, that corresponds with its theoretical characteristics. The developed simulation is well suitable for education lab and renewable energy research.

Keywords: Wind turbine simulation, Characteristic of wind turbine, LabVIEW

## 1. บทนำ

ประเทศไทยมีความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าเพิ่มขึ้นในแต่ละปี เราใช้แก๊สธรรมชาติ ถ่านหิน น้ำมันเป็นเชื้อเพลิงสำหรับผลิตไฟฟ้า ทำให้เชื้อเพลิงเหล่านี้มีปริมาณลดลง และหมดในอนาคตอันใกล้นี้ จึงได้มีการผลิตไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานทดแทนที่สะอาด ไม่ก่อมลพิษ และยั่งยืนกว่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตจากเชื้อเพลิง เช่นพลังงานลม พลังงานแสงอาทิตย์ เป็นต้น สำหรับห้องปฏิบัติการที่ต้องการสร้างกังหันลม เพื่อการศึกษาคุณลักษณะกังหันลม จะมีราคาแพงและใช้พื้นที่มากในการติดตั้งกังหันลม และจะต้องมีความเร็วลมที่เพียงพอสำหรับการดำเนินงานของกังหันลม และเกิดความยากลำบากที่จะไปศึกษากังหันลมของจริงในสถานที่จริง เพื่อแก้ปัญหาเหล่านี้ด้วยการจำลองกังหันลมโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์เลียนแบบคุณลักษณะกังหันลมจริง

งานวิจัยกังหันลมจำลองที่ผ่านมา[1]-[5]จะนำมอเตอร์ไฟตรงแทนกังหันลมต่อกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์และมีคำสั่งผ่านชุดขับเคลื่อนมอเตอร์ให้ทำงานตามคุณลักษณะกังหันลม โดยป้อนค่าความเร็วลม แต่[1],[4]มีการเปลี่ยนแปลงโหลดที่ต่อกับเครื่องกำเนิด ใน[5]เป็นการจำลองในคอมพิวเตอร์ ส่วนงานวิจัยนี้จะออกแบบการจำลองกังหันลมให้สามารถปรับแรงบิดโหลดได้เพื่อสะดวกต่อการศึกษาคุณลักษณะกังหันลม

## 2. คุณลักษณะของกังหันลม

กำลังทางกลของกังหันลมแสดงดังสมการที่ 1

$$P_{WT} = \frac{1}{2} A_{blade} \delta w^3 C_p(\beta, \lambda) \quad (1)$$

เมื่อ $A_{blade}$ คือพื้นที่กวาดใบของกังหันลม = $\pi r^2 (m^2)$

$\delta$ คือความหนาแน่นของอากาศ (=1.225 kg/m$^3$)

$w$ คือความเร็วลม (m/s)

$C_p(\beta,\lambda)$คือค่าสัมประสิทธิ์กำลังของกังหันลมซึ่งอยู่ในฟังก์ชั่นของค่ามุมพิช($\beta$ )และค่าอัตราความเร็วเสริม (Tip Speed Ratio (TSR), $\lambda = \frac{\omega r}{w}$) ดังแสดงไว้ในสมการที่ 2 และ 3

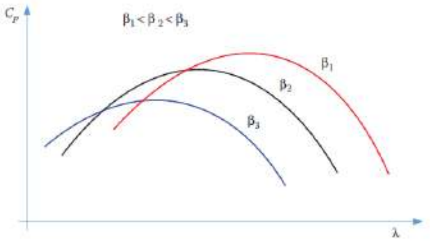
$$C_p\,(\beta,\lambda) \;= 0.5176\left(\frac{116}{\lambda_i} - 0.4\beta - 5\right)e^{-\frac{21}{\lambda_i}} + 0.0068\lambda \qquad (2)$$

$$\frac{1}{\lambda_i} = \frac{1}{\lambda + 0.08\beta} - \frac{0.035}{\beta^3 + 1} \qquad (3)$$

เมื่อ $\omega$ คือความเร็วรอบเชิงมุม(rad/s).

$r$ คือรัศมีของใบกังหันลม(m).

โดยความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์กำลังของกันหันลมกับค่าอัตราความเร็วเสริม(TSR) แสดงในรูปที่ 1




รูปที่ 1 กราฟคุณลักษณะ$C_p(\beta,\lambda)$

ซึ่งคำนวณค่าแรงบิดของกังหันลมได้ดังสมการที่ 4 และความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงเฉื่อย แรงเสียดทานจากความหนืด ความเร็วรอบ และแรงบิดแสดงได้ดังสมการที่ 5

$$T_{WT} = \frac{P_{WT}}{\omega} = \frac{1}{2\lambda}\pi r^3 \delta w^2 C_p(\beta,\lambda) \qquad (4)$$

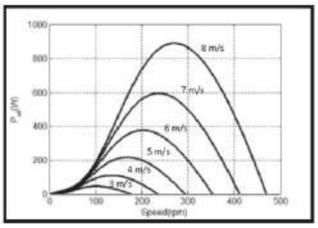
$$J\frac{d\omega}{dt} + B\omega = T_{WT} - T_L \qquad (5)$$

เมื่อ $J$ คือMoment of inertia (kgm$^2$)

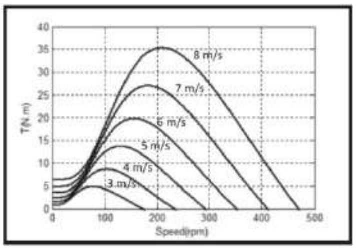
$B$ คือViscous friction coefficient (Nms)

$T_L$ คือแรงบิดโหลด (Nm)

โดยความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังของกังหันลมกับค่าความเร็วรอบที่ความเร็วลมต่างกันแสดงในรูปที่ 2 และความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงบิดของกันหันลมกับค่าความเร็วรอบที่ความเร็วลมต่างกันแสดงในรูปที่ 3



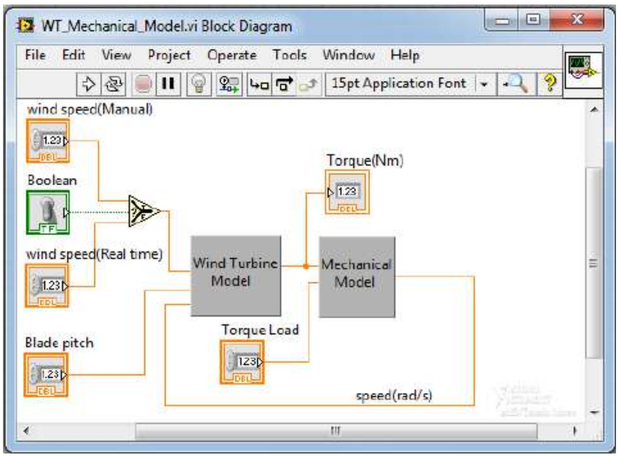

รูปที่ 2 กราฟคุณลักษณะกำลังของกังหันลม




รูปที่ 3 กราฟคุณลักษณะแรงบิดของกังหันลม

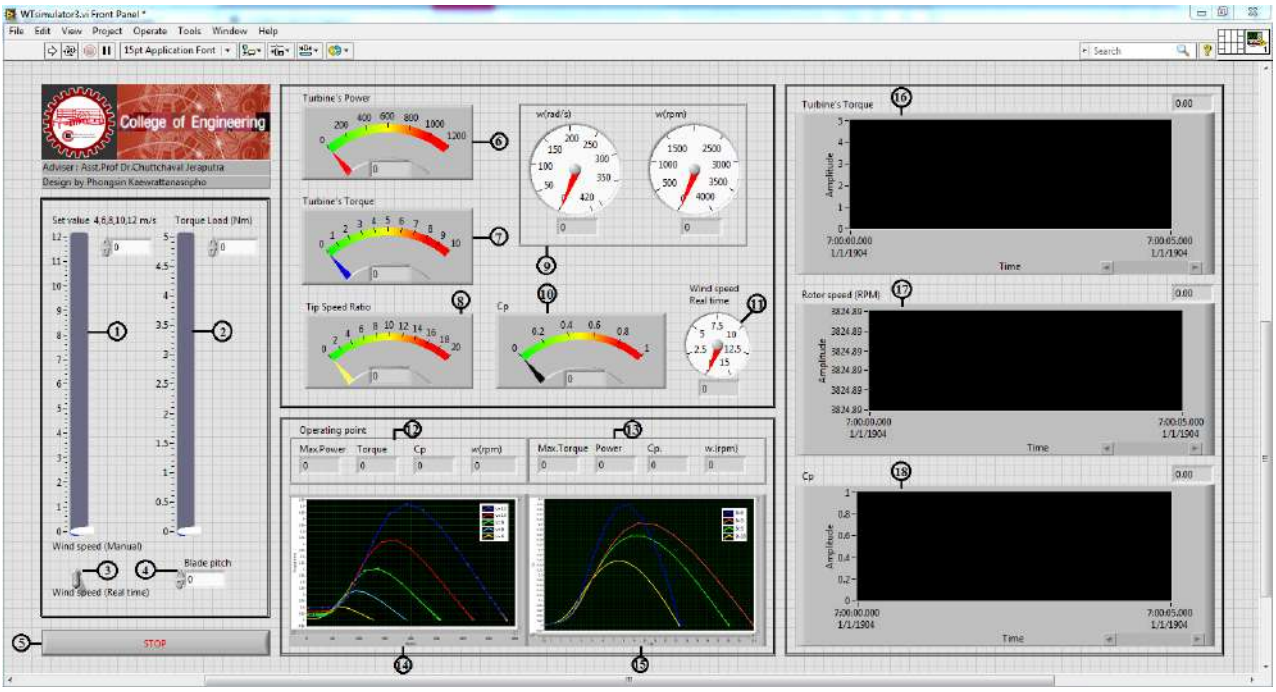
## 3. การจำลองกังหันลม

จากการศึกษาคุณลักษณะของกังหันลมและวิธีการใช้งานโปรแกรมแลปวิว จึงดำเนินการออกแบบและเขียนโปรแกรมแสดงดังรูปที่ 4 และ 5 โดยกังหันลมมีขนาดรัศมีของใบ 0.8 m, กำลังพิกัด 1 kW, ความเร็วลมพิกัด 12 m/s, ความเร็วลมตัดเข้า 4 m/s, ความเร็วลมตัดออก 25 m/s อัตราทดรอบ1:2 และ Moment of inertia 0.15 kgm$^2$



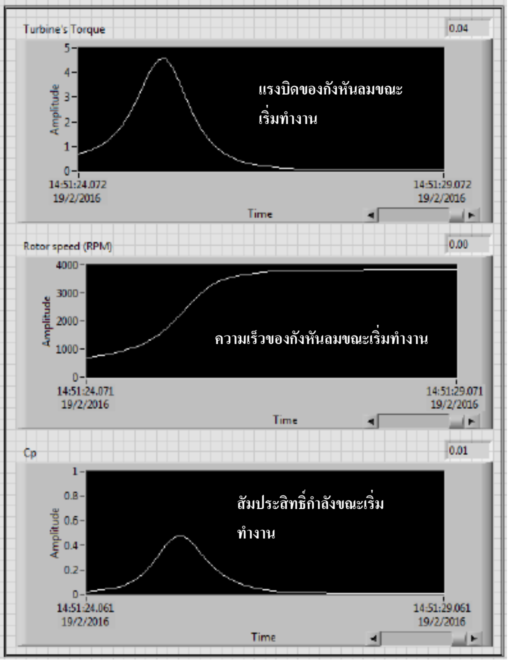

รูปที่ 4 โปรแกรมของกังหันลมจำลอง

เมื่อมีความเร็วลม12 m/s และยังไม่ปรับแรงบิดโหลด($T_L$)และสตาร์ทโปรแกรมได้ผลการจำลองขณะเริ่มทำงาน เป็นคุณลักษณะแรงบิดความเร็วรอบ และสัมประสิทธิ์กำลังดังรูปที่ 6 เมื่อมีความเร็วลม12, 10, 8, และ6 m/s ตามลำดับและปรับค่าแรงบิดโหลดโหลดที่ค่าต่างๆ ได้ผลการจำลองคุณลักษณะกำลังของกังหันลมที่เปลี่ยนแปลงตามความเร็วรอบ ดังรูปที่ 7, ได้คุณลักษณะแรงบิดของกังหันลมที่เปลี่ยนแปลงตามความเร็วรอบ ดังรูปที่ 8 และได้ค่าสัมประสิทธิ์กำลังของกังหันลมกับค่าอัตราความเร็วเสริม(TSR) ที่มุมพิช 0, 3, 5 และ10 องศา ดังรูปที่ 9

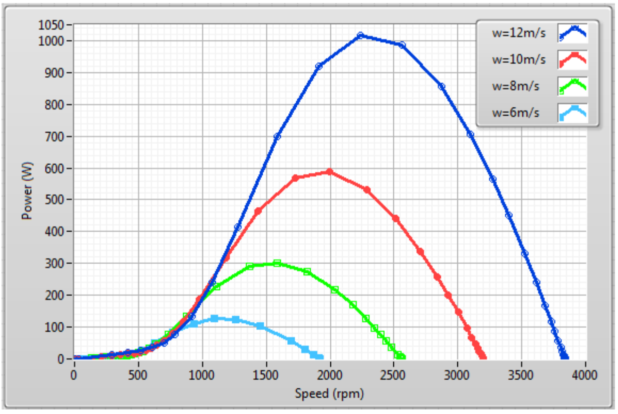



รูปที่ 5 หน้าปัทม์ของกังหันลมจำลอง

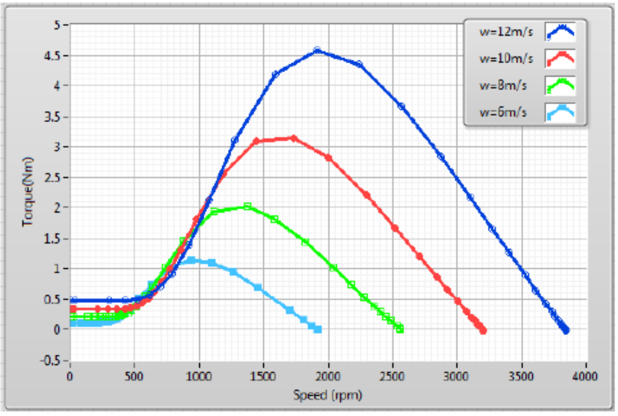
หมายเลข 1 สำหรับปรับค่าความเร็วลม
หมายเลข 2 สำหรับปรับแรงบิดโหลด
หมายเลข 3 สำหรับเลือกใช้ความเร็วลมแบบเวลาจริง หรือจากการปรับความเร็วลมในหมายเลข1
หมายเลข 4 สำหรับใส่ค่ามุมพิช
หมายเลข 5 ปุ่มหยุดการทำงาน
หมายเลข 6 สำหรับแสดงค่ากำลังของกังหันลม
หมายเลข 7 สำหรับแสดงค่าแรงบิดของกังหันลม
หมายเลข 8 สำหรับแสดงค่าอัตราความเร็วเสริม(TSR)
หมายเลข 9 สำหรับแสดงค่าความเร็วรอบซึ่งแสดงเป็น rpm และ rad/s
หมายเลข 10 สำหรับแสดงค่าสัมประสิทธิ์กำลังของกังหันลม
หมายเลข 11 สำหรับแสดงค่าความเร็วลมแบบเวลาจริง
หมายเลข 12 สำหรับแสดงค่าแรงบิด สัมประสิทธิ์กำลัง และความเร็วรอบขณะที่กำลังเต็มพิกัด
หมายเลข 13 สำหรับแสดงค่ากำลัง สัมประสิทธิ์กำลัง และความเร็วรอบขณะที่แรงบิดเต็มพิกัด
หมายเลข 14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดกับความเร็วรอบของกังหันลม เมื่อความเร็วลมเปลี่ยนแปลง
หมายเลข 15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์กำลัง กับอัตราความเร็วเสริม(TSR) เมื่อมุมพิชเปลี่ยนแปลง
หมายเลข 16 สำหรับแสดงรูปคลื่นสัญญาณแรงบิดของกังหันลม
หมายเลข 17 สำหรับแสดงรูปคลื่นสัญญาณความเร็วรอบของกังหันลม
หมายเลข 18 สำหรับแสดงรูปคลื่นสัญญาณสัมประสิทธิ์กำลัง



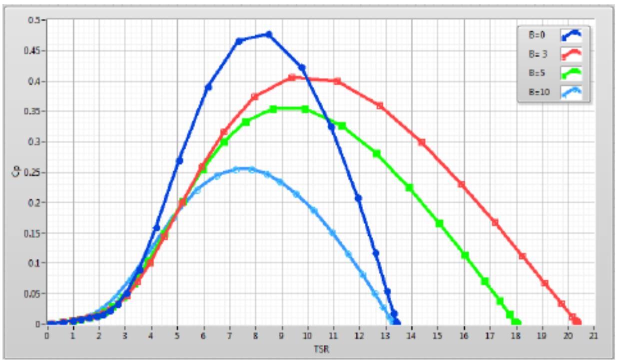

รูปที่ 6 แรงบิด ความเร็วรอบ และสัมประสิทธิ์กำลังเมื่อโปรแกรมเริ่มทำงาน




รูปที่ 7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังของกังหันลมกับความเร็วรอบ




รูปที่ 8 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดของกังหันลมกับความเร็วรอบ




รูปที่ 9 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์กำลังของกังหันลมกับ Tip Speed Ratio

## 4. สรุป

คุณลักษณะของกังหันลมคือความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังของกังหันลมกับความเร็วรอบ ความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงบิดของกังหันลมกับความเร็วรอบ ที่ความเร็วลมต่างๆ และความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์กำลังของกังหันลมกับอัตราความเร็วเสริม(TSR)ซึ่งผลการจำลองสามารถแสดงการทำงานที่สอดคล้องกับคุณลักษณะของกังหันลมจริงได้ถูกต้องซึ่งสามารถนำโปรแกรมดังกล่าวไปใช้เพื่อการศึกษาได้เป็นอย่างดี

## เอกสารอ้างอิง

[1] N. C. Sahoo,1 A. S. Satpathy, N. K. Kishore, and B. Venkatesh, " D.c. motor-based wind turbine emulator using LabVIEW for wind energy conversion system laboratory setup," IJEEE, Volume 50, Number 2, pp. 111-126, 2013.

[2] T. Hardy and W. Jewell, " Emulation of a 1.5 MW wind turbine with a d.c. motor," in *Proc. IEEE Power & Energy Society General Meeting*, Detroit, Michigan, USA, pp. 1–8, 2011.

[3] M. Monfareda, H. M. Kojabadi, and H. Rastegar, "Static and dynamic wind turbine simulator using a converter controlled d.c. motor," *Renewable Energy*, pp. 906–913, 2008.

[4] Phlearn Jansuya," Fixed-pitch angle wind turbine simulator using four quadrant direct current drive systems ," Master's thesis, Chiangmai University, Apr. 2013.

[5] โกศล ชัยเจริญอุดมรุ่ง, กิตติวงศ์ สุธรรมโน, กองพัน อารีรักษ์, และ กองพล อารีรักษ์," เครื่องจำลองกังหันลมด้วยมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง," EECON, pp. 401-404, 2014.

[6] Mohamed A. El-Sharkawi, "Wind energy," CRC Press Taylor & Francis Group, 2014.

พงษ์ศิลป แก้วรัตนศรีโพธิ์ ได้รับปริญญาตรีครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้าจากสถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน ปริญญาโทครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต สาขาไฟฟ้า จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ มีความสนใจงานเกี่ยวกับพลังงาน เครื่องกลไฟฟ้า.

**บทความวิจัย**

การประชุมวิชาการ งานวิจัยและพัฒนาเชิงประยุกต์ ครั้งที่ 8

*8th ECTI-CARD 2016, Hua Hin, Thailand*

# ระบบควบคุมการเคลื่อนไหวของหุ่นยนต์ด้วยวิธีควบคุมตำแหน่งโดยใช้โพเทนชิโอมิเตอร์

# A Robot Motion Control System with Carbon Composition Potentiometers

**กมล บุญล้อม, นันธชัย เต๋จาติ๊บ, อธิคม ศิริ และ ธนาวุฒิ ธนวาณิชย์**

**ศูนย์ความเชี่ยวชาญทางคลื่นไมโครเวฟและเทคโนโลยีหุ่นยนต์ สำนักวิชาคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย**

**80 หมู่ 9 ถนน พหลโยธิน อ. เมือง จ.เชียงราย 57100 โทรศัพท์: 053-776395 ต่อ 111 E-mail: kamol_boon@yahoo.com**, pureyakong@hotmail.com

## บทคัดย่อ

ระบบควบคุมการเคลื่อนไหวของหุ่นยนต์ด้วยวิธีควบคุมตำแหน่งโดยใช้โพเทนชิโอมิเตอร์ ปัจจุบันถูกนำมาประยุกต์ในระบบควบคุมในโรงงานอุตสาหกรรม เช่นการหามุมการเคลื่อนไหวของมอเตอร์ หรือการตรวจวัดกระแสไฟฟ้าให้เป็นแรงดัน เบื้องต้นงานวิจัยนี้ได้ใช้เทคนิคโพเทนชิโอมิเตอร์ เพื่อประมาณค่ามุมการเคลื่อนไหวของแขนมนุษย์เพื่อควบคุมแขนกลหุ่นยนต์ โดยใช้เทคนิคความเร็วเชิงมุมด้วยวิธีการนำเสนอพบว่าการเคลื่อนไหวในแต่ละข้อต่อของแขนมนุษย์มีจุดหมุนในมุมที่ต่างกันสามารถควบคุมให้หุ่นยนต์ทำท่าทางตามมนุษย์ได้และยังสามารถเคลื่อนไหวในมุมที่ 0 ถึง 180 องศา มีค่าความคลาดเคลื่อนของระบบโดยกำหนดจุดที่ 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 และ 8 ตามลำดับ มีค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของค่ามุมส่วนแขนควบคุมที่มีผลต่อการเคลื่อนไหวสำหรับมุมแขนหุ่นยนต์อยู่ที่ 0.58, 0.74, 0.38, 2.05, 1.83, 1.17, 0.81 และ 0.86 องศา

คำสำคัญ : โพเทนชิโอมิเตอร์, ควบคุมการเคลื่อนไหว

## Abstract

In this work, a control system of robot movement with the potentiometer technique is proposed. Currently, this technique is often applied to a control system in the manufactory. This technique also helps to determine the degree of rotation and measure the voltage level. Basically, we used the potentiometer to estimate the rotation degrees of human arm for controlling a robotic arm, using the angular velocity. The experimental results show that the movement of each node in the robotic arm can control the rotation from 0 to 180 degrees The accuracy of the system by the 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 and 8 respectively, with standard error of the angle of the control arm that affects movement for the robot arm is. at 0.58, 0.74, 0.38, 2.05, 1.83, 1.17, 0.81 and 0.86 degrees.

**Keywords**: composition potentiometers, motion control

## 1. บทนำ

ความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีหุ่นยนต์มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องหุ่นยนต์ในแต่ละประเภทจะมีหน้าที่การทำงานในด้านต่าง ๆตามการควบคุมโดยตรงของมนุษย์ การควบคุมระบบต่าง ๆ ในการควบคุมการทำงานระหว่างมนุษย์และและหุ่นยนต์ ซึ่งงานวิจัยระบบควบคุมการเคลื่อนไหวของหุ่นยนต์ด้วยวิธีควบคุมตำแหน่งโดยใช้โพเทนชิโอมิเตอร์ มุ่งเน้นที่จะพัฒนาหุ่นยนต์ที่สามารถเคลื่อนไหวเสมือนมนุษย์ และสามารถควบคุมการเคลื่อนไหวในพื้นที่ระยะไกล ระบบการควบคุมการทำงานจากการควบคุมหุ่นยนต์ด้วย Joystick มาเป็นการควบคุมด้วยชุดควบคุมการตรวจจับการเคลื่อนไหวของแขนมนุษย์โดยมีเซนเซอร์โพเทนชิโอมิเตอร์ที่ทำหน้าที่ตรวจจับการเคลื่อนไหวของแขนมนุษย์ เพื่อให้ง่ายต่อการบังคับการเคลื่อนไหวของแขนหุ่นยนต์ การควบคุมหุ่นยนต์ต้องมีความแม่นยำในการเคลื่อนไหว เพื่อให้หุ่นยนต์มีความสามารถในการทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ และยังสามารถประยุกต์ในงานที่หุ่นยนต์สามารถทำงานแทนมนุษย์ในพื้นที่มีความเสี่ยงสูง หรือสถานที่ไม่เอื้ออำนวยต่อการปฏิบัติงานของมนุษย์

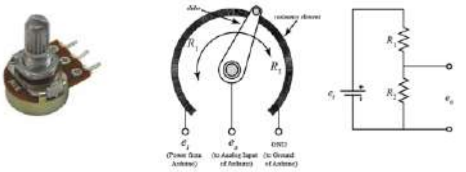
ดังนั้นบทความนี้ผู้วิจัยจึงได้นำเสนอเรื่องการควบคุมการเคลื่อนไหวของหุ่นยนต์ด้วยวิธีควบคุมตำแหน่งการเคลื่อนไหวโดยใช้โพเทนชิโอมิเตอร์ ซึ่งมีความสามารถในการตรวจจับการเคลื่อนไหวของมนุษย์ เพื่อควบคุมการทำงานของหุ่นยนต์ให้มีประสิทธิภาพเคลื่อนไหวในตำแหน่งที่แม่นยำและทำให้หุ่นยนต์มีการเคลื่อนไหวตามมนุษย์ได้

## 2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 โพเทนชิโอมิเตอร์ (Potentiometer)

ทรานสดิวเซอร์วัดตำแหน่งและระยะทางชนิดเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทาน โดยอาศัยหลักการแปลงแรงดันให้อยู่ในรูปของค่าความต้านทานไฟฟ้า นิยมใช้ในอุตสาหกรรม มีโครงสร้างที่ง่ายประกอบด้วยตัวต้านทานและหน้าสัมผัส (หรือเรียกว่า "ไวเปอร์ (wiper)") ที่สามารถเลื่อนไปมาบนตัวต้านทานได้ โดยหน้าสัมผัสสามารถเคลื่อนที่ในแนวเชิงเส้น เชิงมุม หรือทั้งสองรูปแบบซึ่งมีลักษณะ

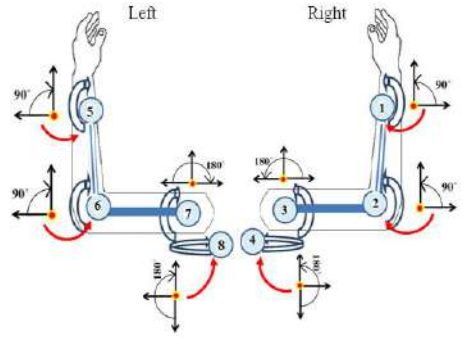
การเคลื่อนที่เป็นวงซ้อนหรือเกลียว ค่าความต้านทานของขดลวดที่พันบนแกนจะเพิ่มขึ้นตามความยาวของแกน โดยค่าความต้านทานเพิ่มขึ้นตามระยะการเคลื่อนที่ของของหน้าสัมผัสกับขดลวด



**รูปที่ 1** โครงสร้างของโพเทนชิโอมิเตอร์

## 2.2 ทฤษฎีควบคุมการเคลื่อนไหว

ลักษณะการเคลื่อนไหวแขนควบคุมประกอบด้วยโพเทนชิโอมิเตอร์ 8 จุด และมีมุมองศาตามข้อต่อของแขนมนุษย์ จุดที่ 1 ข้อมือขวา จุดที่ 2 ข้อศอกขวา จุดที่ 3 ไหล่ขวา จุดที่ 4 หัวไหล่ด้านหลังขวา จุดที่ 5 ข้อมือซ้าย จุดที่ 6 ข้อศอกซ้าย จุดที่ 7 ไหล่ซ้าย จุดที่ 8 หัวไหล่ด้านหลังซ้าย



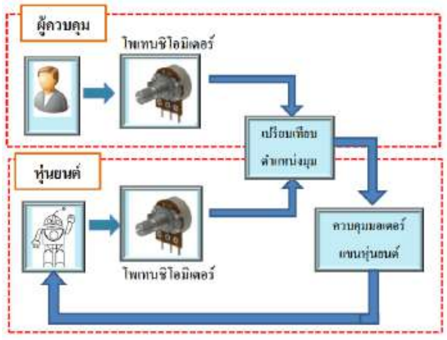

**รูปที่ 2** มุมการเคลื่อนไหวของข้อต่อและ จุดหมุนของข้อต่อ

จุดที่ 1 แขนกลหุ่นยนต์สามารถเคลื่อนไหวในมุม 90 องศา จุดที่ 2 สามารถเคลื่อนไหวในมุม 90 องศา จุดที่ 3 สามารถเคลื่อนไหวในมุม 180 องศา จุดที่ 4 สามารถเคลื่อนไหวในมุม 180 องศา จุดที่ 5 สามารถเคลื่อนไหวในมุม 90 องศา จุดที่ สามารถเคลื่อนไหวในมุม 90 องศา จุดที่ 7 สามารถเคลื่อนไหวในมุม 180 องศา และจุดที่ 8 สามารถเคลื่อนไหวในมุม 180 องศา

## 3. วิธีการดำเนินงาน

### 3.1 การทำงานของระบบ

ระบบการทำงานแบ่งออกเป็นสองส่วน สำหรับส่วนที่หนึ่งควบคุมเป็นส่วนที่ติดต่อกับผู้ใช้และทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของหุ่นยนต์ ในส่วนควบคุมประกอบด้วยแขนควบคุมทำหน้าที่ตรวจจับองศาการเคลื่อนไหวของแขนมนุษย์โดยมีโพเทนชิโอมิเตอร์ และส่วนที่สองคือส่วนหุ่นยนต์แขนกลเป็นส่วนที่รับคำสั่งการทำงานมาจากส่วนควบคุม โดยที่ตัวหุ่นยนต์ประกอบด้วยโพเทนชิโอมิเตอร์จำนวน 8 จุด จุดที่ 1 ข้อมือขวา จุดที่ 2 ข้อศอกขวา จุดที่ 3 ไหล่ขวา จุดที่ 4 หัวไหล่ด้านหลังขวา จุดที่ 5 ข้อมือซ้าย จุดที่ 6 ข้อศอกซ้าย จุดที่ 7 ไหล่ซ้าย จุดที่ 8 หัวไหล่ด้านหลังซ้าย โดยทั้งสองส่วนการทำงาน จะทำการเปรียบเทียบค่ามุมเพื่อทำการควบคุมการทำงานการเคลื่อนไหวของหุ่นยนต์




**รูปที่ 3** ระบบประมวลผลคำสั่งการทำงานผู้ควบคุมและหุ่นยนต์

**ตารางที่ 1** ขนาดความเร็วรอบมอเตอร์ควบคุมแขนหุ่นยนต์

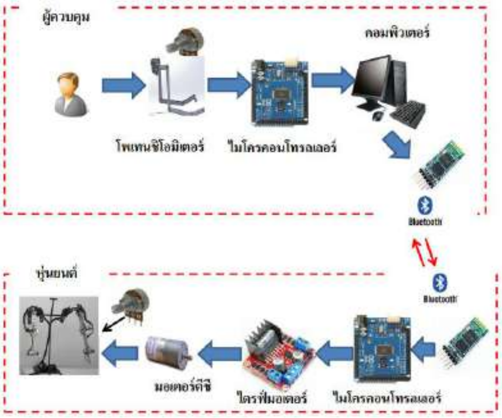
| จุดเคลื่อนไหว | ความเร็วรอบ/วินาที (rpm) | กำลังไฟฟ้า (โวลต์) | มุม (องศา) |
|---|---|---|---|
| 1, 5 | 100 | 12 | 90 |
| 2, 6 | 100 | 12 | 90 |
| 3, 7 | 110 | 12 | 180 |
| 4, 8 | 110 | 12 | 180 |

ตารางแสดงตำแหน่งจุดเคลื่อนไหวมอเตอร์ 8 จุด และขนาดความเร็วมอเตอร์จุดที่ 1, 2, 5 และ 6 มีความเร็ว 100 รอบ/วินาที จุดที่ 3, 4, 7 และ 8 มีความเร็ว 100 รอบ /วินาที กำลังไฟฟ้ากระแสตรงของระบบ 12 โวลต์

### 3.2 การเชื่อมโยงอุปกรณ์

วิธีการเชื่อมโยงอุปกรณ์ควบคุมหุ่นยนต์มีสองส่วน ส่วนที่หนึ่งคือแขนควบคุม ประกอบด้วยโพเทนชิโอมิเตอร์ 8 ตัวเพื่อทำหน้าที่ในการวัดมุม 8 มุม ค่ามุมที่ได้เป็นสัญญาณแอนะล็อกจะถูกแปลงโดยบอร์ดอาดูโน่ให้เป็นสัญญาณดิจิทัลแล้วทำการส่งค่ามุมไปยังคอมพิวเตอร์ และทำการส่งไปยังส่วนควบคุมหุ่นยนต์ผ่านโมดูลบลูทูธ

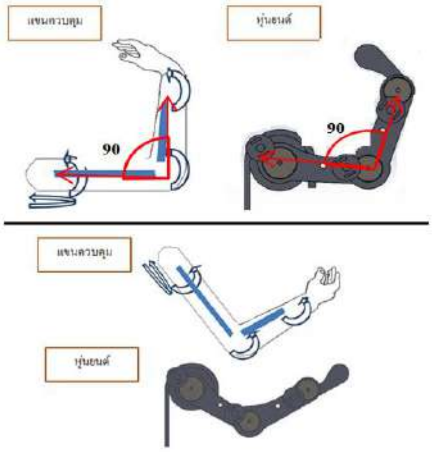
ส่วนที่สองการควบคุมหุ่นยนต์ทำหน้าที่เคลื่อนไหวไปยังตำแหน่งองศาที่ได้รับจากส่วนแขนควบคุม




**รูปที่ 4** การเชื่อมโยงอุปกรณ์ควบคุมของระบบ

### 3.3 วิธีการทดลอง

การทดสอบประสิทธิภาพความแม่นยำในการเคลื่อนไหวของระบบควบคุมการเคลื่อนไหวของหุ่นยนต์ด้วยวิธีควบคุมตำแหน่งโดยใช้โพเทนชิโอมิเตอร์ ทำการทดสอบด้วยการเปรียบเทียบมุมในขณะทำงาน โดยการเปรียบเทียบค่ามุมที่ได้จากแขนควบคุมกับค่ามุมที่ได้จากหุ่นยนต์แขนกล ทำการวัดมุมที่ข้อต่อแต่ละจุด และทำการวัดค่ามุมครั้งละ 10 องศา โดยวัดที่มุม 0, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 110, 120, 130, 140, 150, 160, 170 และ 180 องศา โดยจุดข้อต่อที่ 1, 2, 5 และ 6 มีมุม 0 - 90 องศา และจุดข้อต่อที่ 3, 4, 7 และ 8 มีมุม 0 -180 องศา ด้วยวิธีการวัดมุมข้างต้น ผู้ทดสอบทำการวัดค่ามุมแต่ละจุดจำนวน 10 รอบ แล้วหาค่าเฉลี่ย




**รูปที่ 5** การเปรียบเทียบการเคลื่อนไหวแขนควบคุม และหุ่นยนต์แขนกล

ระบบควบคุมการเคลื่อนไหวของหุ่นยนต์ด้วยวิธีควบคุมตำแหน่งโดยใช้โพเทนชิโอมิเตอร์ วิธีการทดลองการประกอบชุดแขนควบคุมเข้ากับผู้ทดลอง เพื่อควบคุมให้หุ่นยนต์มีการเคลื่อนไหวตามมนุษย์ และให้จุดหมุนข้อต่อแขนกลหุ่นยนต์มีการเคลื่อนไหวเพื่อทำการวัดมุมองศาโดยอุปกรณ์วัดมุม ทำการทดลองสองส่วน ส่วนที่หนึ่ง แขนควบคุม คือส่วนควบคุมการเคลื่อนไหว เป็นส่วนทำหน้าที่ตรวจจับมุมการเคลื่อนไหว โดยทีเซ็นเซอร์โพเทนชิโอมิเตอร์ ประกอบทั้งหมด 8 จุด ทำการส่งตำแหน่งมุมการเคลื่อนไหว ส่วนที่สองคือส่วน หุ่นยนต์ คือส่วนการควบคุมการสั่งงานให้กับมอเตอร์ทำงานโดยควบคุมตำแหน่งมุมในการหมุนด้วยเซนเซอร์โพเทนชิโอมิเตอร์จำนวน 8 จุด

**รูปที่ 6** การทดลองการประกอบชุดแขนควบคุมเข้ากับผู้ทดลอง

จากผลการทดลองหาค่าเปอร์เซ็นต์มุมคลาดเคลื่อน การทดลองโดยสมการที่ (1) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของค่า x ที่มีผลต่อการเคลื่อนไหว y แต่ละตัวในสมการถดถอย (2)

$$\text{Relative error} = \left|\frac{\bar{X}}{n1}\right| \quad (1)$$

Relative error คือ ค่าความคลาดเคลื่อนขององศาการทดลอง

$$\text{Error} = \sqrt{\frac{1}{(n-2)}\left[\sum(y-\bar{y})^2 - \frac{[\Sigma(x-\bar{x})(y-\bar{y})]^2}{\Sigma(y-\bar{y})^2}\right]} \quad (2)$$

n คือ จำนวนมุมการทดลอง

x คือ มุมองศาการทดลอง

y คือ มุมองศาที่ได้จากการทดลอง

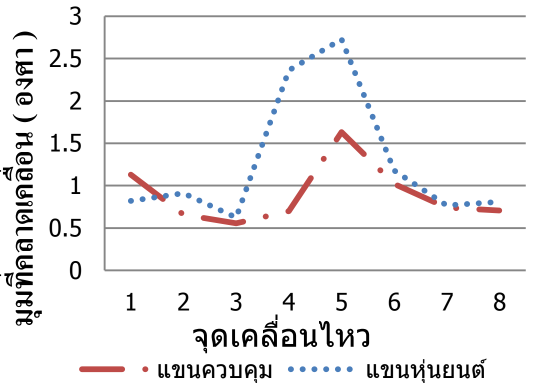
$\bar{X}$ คือ ค่าเฉลี่ยมุมมุมองศาการทดลอง

$\bar{y}$ คือ ค่าเฉลี่ยมุมองศาที่ได้จากการทดลอง

## 4. ผลการทดลอง

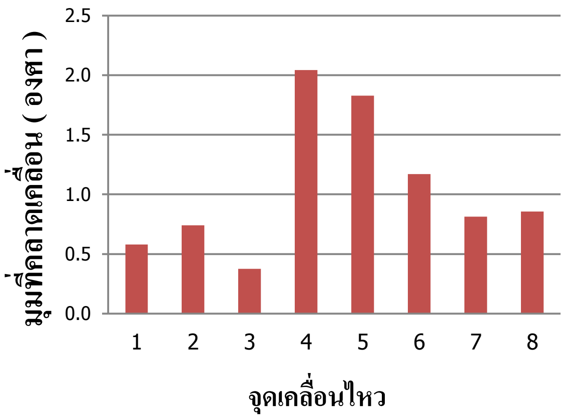
การทดลองกำหนดมุมการเคลื่อนไหวมุม 0 ถึง 180 องศา โดยทำการแบ่งในช่วงระยะของมุม 10 องศา และได้ทำการทดลองหนึ่งมุมต่อการทดลอง 10 ครั้ง ได้ทำการทดลองจุดเคลื่อนไหวทั้งหมด 8 จุดแต่ละจุดคือจุดข้อต่อของแขนหุ่นยนต์ ได้กราฟความคลาดเคลื่อนมาตรฐานจากสมการที่ (1) โดยทำการทดลองในส่วนที่หนึ่ง คือส่วนแขนควบคุม การตรวจจับการเคลื่อนไหวของมุมโพเทนชิโอมิเตอร์ ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของค่ามุมการทดลองที่มีผลต่อการเคลื่อนไหวสำหรับมุมของแขนควบคุมแต่ละจุดในสมการถดถอย

ส่วนที่สอง คือส่วนแขนหุ่นยนต์ ด้วยวิธีการการตรวจจับการเคลื่อนไหวของมุมโพเทนชิโอมิเตอร์ในการเคลื่อนไหวของมอเตอร์แต่ละจุด กำหนดความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของค่ามุมการทดลองที่มีผลต่อการเคลื่อนไหวสำหรับมุมของแขนหุ่นยนต์ แต่ละจุดในการถดถอย




**รูปที่ 7** กราฟความคลาดเคลื่อนส่วนแขนควบคุม และแขนกลหุ่นยนต์

จากการทดลองของมอเตอร์ที่จุดหมุนทั้งหมดแปดจุด หาค่าเฉลี่ยมุมทดลองการเคลื่อนไหวส่วนแขนควบคุม และค่าเฉลี่ยมุมทดลองการเคลื่อนไหวแขนกลหุ่นยนต์ จะได้กราฟเปรียบเทียบจากผลการทดลองทำการหาค่า Error ความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของค่ามุมของส่วนแขนควบคุมที่มีผลต่อการเคลื่อนไหวสำหรับมุมแขนหุ่นยนต์แต่ละมุมในสมการถดถอย ของส่วนการควบคุมการทำงานทั้งระบบ จะเห็นได้จากกราฟเปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนของระบบ ความคลาดเคลื่อนคิดเป็นองศาการหมุนของมอเตอร์เริ่มจาก 0 องศาถึง 180 องศา




**รูปที่ 8** แผนภูมิเปรียบเทียบมุมของแขนควบคุมและมุมแขนกลหุ่นยนต์

## 5. สรุป

ระบบควบคุมการเคลื่อนไหวของหุ่นยนต์ด้วยวิธีควบคุมตำแหน่งโดยใช้โพเทนชิโอมิเตอร์ พบว่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของค่ามุมของส่วนแขนควบคุมที่มีผลต่อการเคลื่อนไหวสำหรับมุมแขนหุ่นยนต์ จุดที่ 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 และ 8 ตามลำดับ คลาดเคลื่อน 0.58, 0.74, 0.38, 2.05, 1.83, 1.17, 0.81 และ 0.86 องศา ซึ่งแสดงให้เห็นว่าระบบดังกล่าวที่ผู้พัฒนาได้จัดทำขึ้นมานั้นสามารถช่วยในการควบคุมความเคลื่อนไหวของหุ่นยนต์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ และสามารถควบคุมการทำงานให้หุ่นยนต์มีการเคลื่อนไหวเสมือนมนุษย์ได้อย่างแม่นยำ

## เอกสารอ้างอิง

[1] John WM. Potentiometer. AAOS Atlas of Orthoses and Assistive Devices Third Edition. Mosby Elsevier. 1998.

[2] Dollar AM, Herr H. Lower Extremity Exoskeletons and Active Orthoses: Challenges and State-of-the-Art. Robotics, IEEE Transactions on. 2008;24(1):144-58.

[3] K. Craig And F. Stolfi, “Teaching Control System Design Through Mechatronics: Academic And Industrial Perspectives” International Journal Of Mechatronics, Vol.12, No.2, March 2002.

[4] พันธ์ศักดิ์ พุฒิมานิตพงศ์. 2533. อิเล็กทรอนิกส์ในงานอุตสาหกรรม. กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดยูเคชั่น.

[5] วริทธิ์ อึ้งภากรณ์. 2545. ระบบควบคุมเชิงเส้น. กรุงเทพฯ : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย – ญี่ปุ่น).

[6] วิศรุต ศรีรัตนะ. 2550. เซนเซอร์และทรานสดิวเซอร์ในงานอุตสาหกรรม. กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดยูเคชั่น.

# การออกแบบและสร้างระบบแฮปติกส์เพื่อควบคุมแขนกล

# The Design and Construction of System to Haptic Control of the Robot Arm

**ยุทธนา ปิติธีรภาพ[1] นันทชัย ทองแป้น[1] และ ชุตินันท์ เสาเงิน[1]**
[1]สาขาวิชาวิศวกรรมชีวการแพทย์ มหาวิทยาลัยรังสิต
52/347 เมืองเอก ตำบลหลักหก อำเภอเมือง ปทุมธานี 12000 โทรศัพท์ 02-997-2200-30 ต่อ 1452 E-mail: yutpiti.piak@gmail.com

## บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ในการการศึกษาออกแบบและสร้างระบบแฮปติกส์เพื่อควบคุมแขนกล โดยใช้เซอร์โวมอเตอร์ในการควบคุมการเคลื่อนไหว ผลการจัดทำโครงงานสามารถออกแบบและสร้างระบบควบคุมป้อนกลับแบบสัมผัสเพื่อควบคุมแขนกล ที่ประกอบด้วยส่วนสำคัญ 3 ส่วน คือ 1) ภาคตรวจจับสัญญาณ ประกอบด้วยเซอร์โวมอเตอร์ และ ตัวตรวจจับกระแสไฟฟ้า 2) ภาคประมวลผลสัญญาณใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ โปรแกรม Simulink และ 3) แขนกลที่ออกแบบด้วยโปรแกรม Cartia และสร้างโดยเครื่องพิมพ์ 3 มิติ ผลการทดสอบการทำงานพบว่า โครงงานนี้สามารถควบคุมการเคลื่อนไหวของอุปกรณ์มาสเตอร์และอุปกรณ์สเลฟโดยมีแรงป้อนกลับ ให้สามารถทำงานตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัย

คำสำคัญ: ระบบแฮปติกส์, เซอร์โวมอเตอร์, ตัวตรวจจับกระแสไฟฟ้า, เครื่องพิมพ์ 3 มิติ

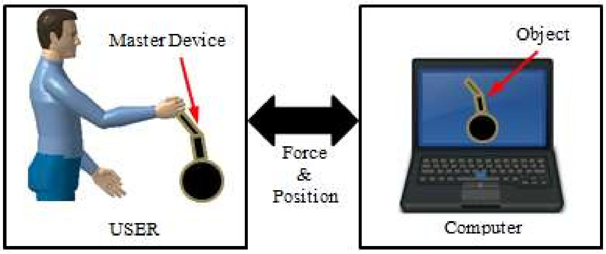
## Abstract

The objective of this project was to study on the design and construction of the haptic feedback control system for robotic arm. This project has adopted servo motor to control movement of robotic arm. The designed and constructed of the project composed of 3 main parts : 1) The signal detection consists of a control unit with servomotor and current sensors 2) the signal processing part using Simulink program and microcontroller with C-language program, 3) robot arms designed with Catia program and 3-D printer. The results of functional testing of the project showed that this system can control the movement of the robotic arms and the force feedback to the master device complying with the objectives of the research.

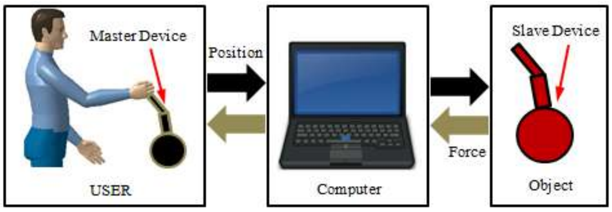
Keywords: Haptic Control, servomotor, current sensors, 3D Printer

## 1. บทนำ

ระบบแฮปติกส์เป็นระบบที่ใช้เทคโนโลยีการป้อนกลับเพื่อให้รู้สึกถึงการสัมผัส โดยใช้หลักการของแรง การสั่นและการเคลื่อนไหวของพื้นผิวสัมผัสโดยจะทำการติดต่อระหว่างกันเป็นไปในสองทิศทางเสมอ ปัจจุบันเทคโนโลยีทางด้านนี้ได้ถูกพัฒนา และเข้ามามีบทบาทสำคัญ เพื่อตอบสนองความต้องการในด้านการใช้งานในอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น อุตสาหกรรมเกม เครื่องใช้ไฟฟ้า และในด้านการแพทย์ เช่น ระบบฟื้นฟูสมรรถภาพ การผ่าตัดทางไกล เป็นต้น โดยเฉพาะทางการแพทย์มีงานวิจัยหลายๆชิ้นที่มีการพัฒนาหุ่นยนต์ผ่าตัด หรือหุ่นยนต์ที่ทำหน้าที่ตรวจคนไข้ในระยะไกล[1] โดยออกแบบแขนและมือของหุ่นยนต์ให้มีลักษณะคล้ายมนุษย์ใช้ระบบแฮปติกส์ทำให้ผู้ควบคุมสามารถรู้ความรู้สึกสัมผัสที่ปลายนิ้วทั้ง5 เพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในกรณีที่แพทย์ต้องตรวจคลำหาสิ่งผิดปกติของผู้ป่วยที่อยู่ห่างไกลจากโรงพยาบาล ทำให้แพทย์รับรู้ถึงการสัมผัสเสมือนจริง ระบบแฮปติกส์โดยทั่วไปจะมีการใช้งานอยู่ 2 ลักษณะคือ การประยุกต์แฮปติกส์สำหรับงานด้านคอมพิวเตอร์กราฟิกหรือเทคโนโลยีเสมือนจริง (Virtual Reality) ดังรูปที่ 1 และการประยุกต์ แฮปติกส์สาหรับการทำงานในระยะไกล (Tele Operation) ดังรูป 2 ซึ่งการประยุกต์ใช้งานระบบแฮปติกส์ทั้งสองลักษณะนี้สามารถพบได้ในงานด้านต่างๆ เช่น การบันเทิง การศึกษาวิจัย การทหารและทางการแพทย์




**รูปที่ 1** ระบบแฮปติกส์สาหรับสำหรับงานด้านคอมพิวเตอร์กราฟิก

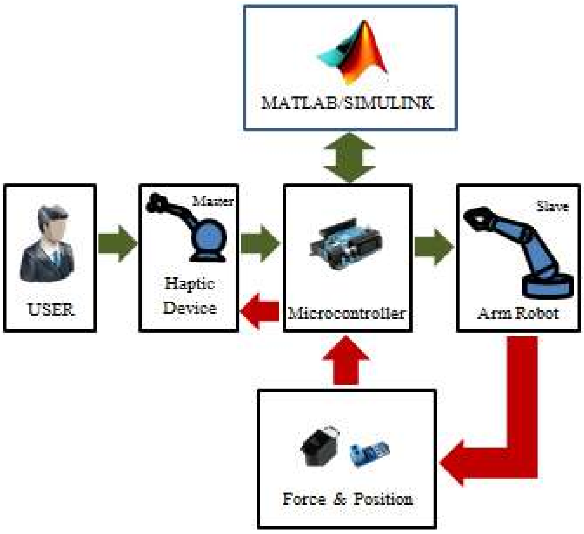



**รูปที่ 2** ระบบแฮปติกส์สาหรับการทำงานในระยะไกล

การประยุกต์ใช้ระบบแฮปติกส์สาหรับการทำงานในระยะไกลในทางการแพทย์จะใช้กับการผ่าตัดภายในขนาดเล็กทำให้ศัลยแพทย์ทำการผ่าตัดโดยควบคุมอุปกรณ์แฮปติกส์ด้านมาสเตอร์และให้อุปกรณ์แฮปติกส์ด้านสเลฟทำงานแทนซึ่งต้องการเปิดแผลในการผ่าตัดขนาดเล็กกว่าการผ่าตัดโดยตรง (Open Surgery) ดังนั้นจึงเป็นการลดค่าใช้จ่ายและระยะเวลาในการพักฟื้นของผู้ป่วยหลังการผ่าตัด อย่างไรก็ตามในการพัฒนาระบบแฮปติกส์อินเตอร์เฟสเพื่อการใช้งานนั้นยังคงต้องการการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะอย่างยิ่งการแก้ปัญหาเสถียรภาพที่เกิดจากความไม่แน่นอนของระบบด้วยสาเหตุต่างๆ ดังนี้ เช่น ความไม่มีคุณสมบัติแบบ Passive ของสิ่งแวดล้อม ความไม่แน่นอนที่เกิดจากคุณสมบัติ ความไม่เป็นเชิงเส้น (Non-Linear) ของโครงสร้างหุ่นยนต์มาสเตอร์และหุ่นยนต์สเลฟ ความไม่แน่นอนที่เกิดจากการประวิงเวลา (Time Delay) ของการส่งสัญญาณควบคุมที่เชื่อมต่อระหว่างหุ่นยนต์มาสเตอร์และหุ่นยนต์สเลฟ ความไม่แน่นอนที่เกิดจากการนำไปใช้งานกับระบบเวลาไม่ต่อเนื่อง ซึ่งความไม่แน่นอนต่างๆเหล่านี้ทำให้ระบบมีสมรรถนะต่ำและอาจขาดเสถียรภาพได้ ส่วนมากในงานวิจัยจะอยู่ในช่วงที่กำลังพัฒนายังไม่สามารถนำมาใช้งานได้จริงอีกทั้งในประเทศไทยมีการวิจัยในส่วนนี้น้อยมากทั้งๆที่เป็นระบบที่มีความสำคัญทั้งทางด้านการแพทย์,อุตสาหกรรมและอื่นๆ เนื้อหาของบทความนี้จะกล่าวถึงการออกแบบและสร้างระบบแฮปติกส์อย่างง่ายเพื่อเป็นเครื่องต้นแบบที่จะนำไปศึกษาและพัฒนาต่อในอนาคตโดยมีส่วนประกอบหลัก 2 ส่วนคือ ตัวมาสเตอร์ หรืออุปกรณ์แฮปติกส์(Haptic Devic) และส่วนของ Slave หรือส่วนที่ถูกควบคุม โดยตัวมาสเตอร์คอยควบคุมส่งสัญญาณไปยังแขนกลที่มีการขับเคลื่อนด้วยเซอร์โวมอเตอร์เพื่อใช้สำหรับหยิบจับสิ่งของและมีแรงป้อนกลับไปสู่อุปกรณ์มาสเตอร์ถ้าแรงป้อนกลับมีขนาดมากกว่าจุดเทรสโฮด์ (Threshold) ที่กำหนดก็จะทำการล็อกตำแหน่งที่อุปกรณ์มาสเตอร์สร้างความรู้สึกด้านการสัมผัสให้กับผู้ใช้งานรู้ถึงสภาวะของอุปกรณ์สเลฟว่ารับโหลดมากเกินไป

## 2. การออกแบบระบบ

จากรูปที่ 3 หลักการออกแบบและสร้างระบบแฮปติกส์ควบคุมแขนกล ส่วนแรกในภาคอินพุตจะเป็นในส่วนของอุปกรณ์มาสเตอร์ เป็นการตรวจจับตำแหน่งของเซอร์โวมอเตอร์ โดยการเปลี่ยนแปลงของค่าความต้านทานที่อยู่ภายในเซอร์โวมอเตอร์ จะได้สัญญาณเอาต์พุตเป็นค่าแรงดันไฟฟ้า แล้วจากนั้นจะเข้าสู่ภาคประมวลผลสัญญาณซึ่งใช้บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ ArduinoMega 2560 แปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิตอลและทำการประมวลผลร่วมกันกับโปรแกรม Simulink ข้อมูลที่ถูกประมวลผลจะถูกส่งกลับมาที่ไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อควบคุมตำแหน่งของเซอร์โวมอเตอร์ที่อุปกรณ์สเลฟและมีตัวตรวจจับกระแสไฟฟ้าคอยตรวจจับกระแสไฟฟ้าของเซอร์โวมอเตอร์ในอุปกรณ์สเลฟ สัญญาณที่ตรวจจับได้จะถูกส่งกลับเข้าสู่ภาคประมวลผลถ้าแรงป้อนกลับมีขนาดมากกว่าจุดเทรสที่ตั้งค่าไว้จะส่งสัญญาณไปยังอุปกรณ์มาสเตอร์เพื่อหยุดการทำงานของเซอร์โวมอเตอร์และทำการล็อกตำแหน่งให้รู้ถึงแรงป้อนกลับ



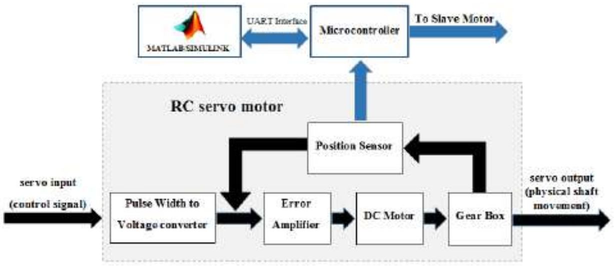

**รูปที่ 3** บล็อกไดอะแกรมแสดงหลักการออกแบบและสร้างระบบแฮปติกส์ควบคุมแขนกล

## 3. การออกแบบและสร้างอุปกรณ์มาสเตอร์และอุปกรณ์สเลฟ

### 3.1 อุปกรณ์มาสเตอร์

อุปกรณ์มาสเตอร์จะเป็นตัวควบคุมการเคลื่อนไหวของอุปกรณ์สเลฟกล่าว คือเมื่ออุปกรณ์มาสเตอร์เคลื่อนที่ไปที่ตำแหน่งใดๆอุปกรณ์สเลฟก็จะเคลื่อนที่ตามตำแหน่งของอุปกรณ์มาสเตอร์ ดังนั้นที่อุปกรณ์มาสเตอร์จะต้องมีตัวตรวจจับตำแหน่งในการเคลื่อนที่แล้วส่งค่าตำแหน่งที่ได้ไปควบคุมอุปกรณ์สเลฟโดยผ่านไมโครคอนโทรลเลอร์ เราสามารถแบ่งการออกแบบและสร้างอุปกรณ์มาสเตอร์เป็น 2 ส่วนได้แก่ ส่วนที่ใช้ตรวจจับตำแหน่ง และส่วนที่เราทำการออกแบบสร้าง

ส่วนที่ใช้ตรวจจับตำแหน่งของอุปกรณ์มาสเตอร์จากรูปที่ 4 แสดงบล็อกไดอะแกรมการทำงานของเซอร์โวมอเตอร์ภายในจะมีตัวตรวจจับตำแหน่งเพื่อนำใช้การควบคุมแบบป้อนกลับ เป็นตัวเซ็นเซอร์




**รูปที่ 4** บล็อกไดอะแกรมการทำงานของอุปกรณ์มาสเตอร์และการตรวจจับตำแหน่ง

วัดค่ามุมมอเตอร์ที่กำลังหมุน และส่งสัญญาณป้อนกลับมาให้วงจรควบคุมเปรียบเทียบกับค่าอินพุตเพื่อควบคุมให้ได้ตำแหน่งที่ต้องการอย่างถูกต้องแม่นยำ ตัวตรวจจับตำแหน่งเป็นสัญญาณอนาล็อกถูกส่งเข้าไมโครคอนโทรลเลอร์ A/D 10 บิต แปลงเป็นค่ามุมไปควบคุมตำแหน่งของมอเตอร์ที่อุปกรณ์สเลฟซึ่งหาค่าแยกชัด (Resulution)ได้ดังนี้

ระดับเลขดิจิตอลฐานสิบ $= 2^n$ (n คือ จำนวนบิต) (1)

$= 2^{10} = 1024$

หาค่าความแยกชัด $= \frac{5V}{1024} = 0.0048$ V

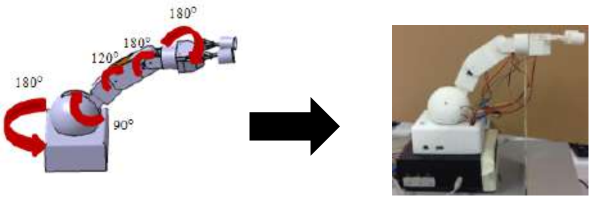
ค่าความละเอียดในการตรวจจับมุมจะได้

$= \frac{180}{5V} \times 4.8mV = 0.17$ องศา

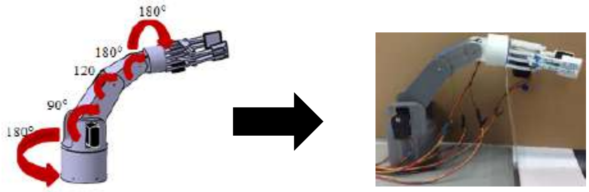
การออกแบบชิ้นส่วนต่างๆ ของอุปกรณ์มาสเตอร์ ใช้โปรแกรม CATIA V5R18 ซึ่งมีทั้งหมด 25 ชิ้นประกอบกันเป็นอุปกรณ์มาสเตอร์มีไว้เพื่อควบคุมอุปกรณ์สเลฟ และสร้างโดยใช้เครื่องพิมพ์ 3 มิติ ใช้วัสดุในการพิมพ์เป็นพลาสติกชนิด PLA ขนาด 1.75 มิลลิเมตร ซึ่งมีคุณสมบัติแข็งแรง หาซื้อง่าย ราคาถูกและสามารถใช้งานได้ดี จากรูปที่ 5 อุปกรณ์มาสเตอร์ที่เราออกแบบและสร้าง

### 3.1 อุปกรณ์สเลฟ

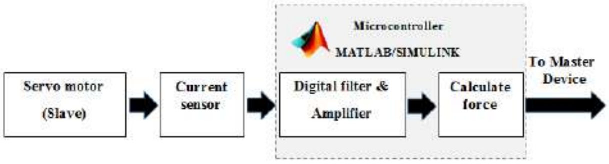
ลักษณะของอุปกรณ์สเลฟ คือหุ่นยนต์แขนกลแบบ 5 แกน ประกอบด้วยแกนแบบ linear 3แกน และแกนแบบ Articulated Type 2 แกน รวมเป็น 5 แกน เพื่อให้ทำงานที่ต้องการความซับซ้อน และมีความยืดหยุ่นจึงเน้นการออกแบบให้มีลักษณะคล้ายกับสีระแขนของมนุษย์คือ หัวไหล่ ข้อศอก ข้อมือ และใช้หยิบสิ่งของออกแบบให้มีลักษณะเป็นกริปเปอร์ ดังรูปที่ 6 ใช้เซอร์โวมอเตอร์ 7 ตัว เป็นตัวขับเคลื่อนดังรูปที่6 ใช้เซ็นเซอร์กระแสไฟฟ้า ACS712 ตรวจจับการใช้งานของมอเตอร์ใช้หลักการของ Hall effect ในการวัดกระแสให้แรงดันเอาต์พุต แบบเชิงเส้นมีช่วงการวัดกระแส $\pm5$A output sensitivity เท่ากับ 185 mV/A เอาต์พุตที่ได้มีสัญญาณรบกวนค่อนข้างมากจึงต้องทำการกรองสัญญาณและขยายสัญญาณเพิ่ม ดังบล็อกไดอะแกรมรูปที่ 7 สัญญาณที่ได้จะถูกคำนวนและแปลงเป็นหน่วยแรงถ้าเกินระดับที่กำหนดตัวสเลฟจะส่งสัญญาณไปล็อกตำแหน่งของมาสเตอร์ไม่ให้ทำงาน




**รูปที่ 5** อุปกรณ์มาสเตอร์ที่ออกแบบด้วยโปรแกรม CATIA และสร้างโดยใช้เครื่องพิมพ์ 3 มิติ



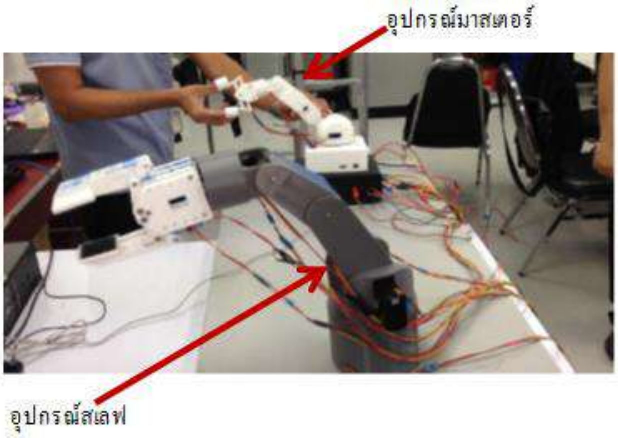

**รูปที่ 6** อุปกรณ์สเลฟที่ออกแบบด้วยโปรแกรม CATIA และสร้างโดยใช้เครื่องพิมพ์ 3 มิติ




รูปที่ 7 การทำงานของอุปกรณ์สเลฟ

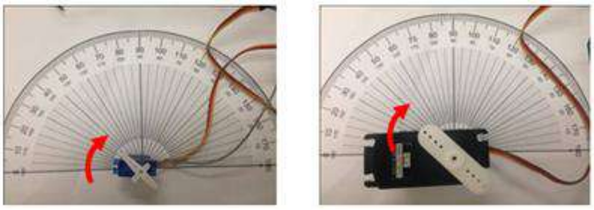
### 4. ผลการทดลอง

รูปที่ 8 คืออุปกรณ์ต้นแบบที่เราออกแบบและสร้างซึ่งมีผลการทดทดลองดังนี้

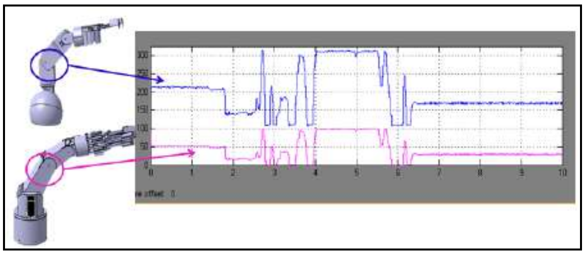



**รูปที่ 8** อุปกรณ์ต้นแบบของระบบแฮปติกส์ควบคุมแขนกล

รูปที่ 9 ก คือการทดสอบการควบคุมตำแหน่งของเซอร์โวเตอร์ที่ตัวมาสเตอร์และสเลฟ รูป ข ใช้โปรแกรม Simulink แสดงค่ามุมของอุปกรณ์มาสเตอร์เทียบกับข้อมูลที่อ่านได้จากตัวตรวจจับตำแหน่งง. จะเห็นว่าลักษณะกราฟของทั้งสองเหมือนกันซึ่งทำให้เราสามารถควบคุมตำแหน่งได้อย่างถูกต้องแม่นยำ



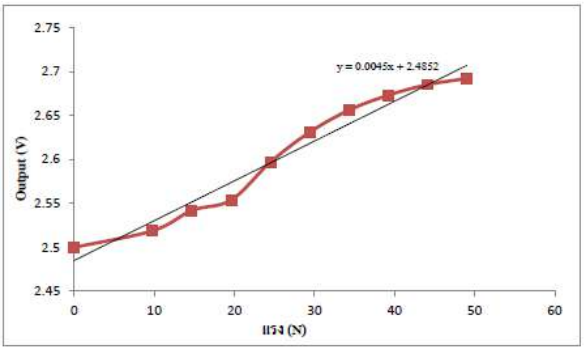
(ก)



(ข)

**รูปที่ 9** ผลทดสอบการการตรวจจับตำแหน่งของอุปกรณ์มาสเตอร์เปรียบเทียบกับอุปกรณ์สเลฟที่ตำแหน่งต่างๆ

ทดสอบวัดค่าแรงดันไฟฟ้าที่เอาต์พุตของโมดูลวัดกระแสไฟฟ้าเทียบกับแรงที่ได้จากตาชั่งสปริง เพื่อหาความสัมพันธ์ของแรงที่เซอร์โวมอเตอร์กระทำกับวัตถุกับแรงดันไฟฟ้า แสดงกราฟรูปที่ 10




**รูปที่ 10** กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับแรงดันเอาท์พุตของโมดูลวัดกระแสไฟฟ้า

## 5. สรุป

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบของระบบควบคุมป้อนกลับแบบสัมผัสเพื่อควบคุมแขนกลเพื่อให้ทำงานตามการเคลื่อนไหวของผู้ใช้งาน และสามารถเขียนโปรแกรมโปรแกรมควบคุมการทางานของอุปกรณ์มาสเตอร์และอุปกรณ์สเลฟได้โดยสั่งการด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งผลการวิจัยสามารถออกแบบและสร้างระบบควบคุมป้อนกลับแบบสัมผัสเพื่อควบคุมแขนกล สามารถควบคุมอุปกรณ์สเลฟโดยใช้อุปกรณ์มาสเตอร์ที่ออกแบบและมีแรงป้อนกลับไปยังอุปกรณ์มาสเตอร์ เพื่อทำการล็อกตำแหน่งเมื่อค่าแรงป้อนกลับเกินกว่าจุดที่กำหนด อย่างไรก็ตามมอเตอร์ที่ใช้ที่ตัวหุ่นยนต์หรืออุปกรณ์สเลฟมีอาการสั่นในการพัฒนาขั้นต่อไปอาจจะต้องเลือกใช้มอเตอร์ที่มีคุณภาพดีขึ้นซึ่งจะต้องมีค่าใช้จ่ายเพิ่มมากขึ้นด้วย

## เอกสารอ้างอิง

[1] Haruhisa Kawasaki, Yasuhiko Doi, Shinya Koide, Takahiro Endo, and Tetsuya Mouri. Hand Haptic Interface Incorporating 1D Finger Pad. Proceedings of IEEE International Conference. P1869-1874

[2] S. Scott, "Optimal feedback control and the neural basis of volitional motor control," Nature Rev. Neurosci., vol. 5, no. 7, pp. 532–546, 2004.

[3] V. Gupta. "Working and analysis of the H - bridge motor driver circuit designed for wheeled mobile robots." in Proc. Advanced Computer Control (ICACC), 2010 2nd International Conference, pp. 441 – 444, ISBN: 978-1-4244-5845-5, 27-29 March 2010

[4] Talasaz, A., Patel, R.V., Naish, M.D.: Haptics-Enabled Teleoperation for Robot-assistedTumor Localization. In: IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp.534--5345. IEEE Press, New York (2010).

ยุทธนา ปิติธีรภาพ ปริญญาโท อิเล็กทรอนิกส์ชีวการแพทย์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อาจารย์ประจำ สาขาวิชาวิศวกรรมชีวการแพทย์ มหาวิทยาลัยรังสิต

รศ.นันทชัย ทองแป้น วท.บ.(ฟิสิกส์) (เกียรตินิยมอันดับ 2) มหาวิทยาลัยสงขลานครินทรวิโรฒ วศ.ม. (นิวเคลียร์เทคโนโลยี) จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย หัวหน้าภาควิชาฟิสิกส์ และ หัวหน้าสาขาวิชาวิศวกรรมชีวการแพทย์ มหาวิทยาลัยรังสิต

ชุตินันท์ เสาเงิน
วิศวกรรมชีวการแพทย์ มหาวิทยาลัยรังสิต

**บทความวิจัย**

การประชุมวิชาการ งานวิจัยและพัฒนาเชิงประยุกต์ ครั้งที่ 8

*8th ECTI-CARD 2016, Hua Hin, Thailand*

# การวิเคราะห์ความผิดพร่องของขดลวดสเตเตอร์ลัดวงจรในมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3เฟส

# Analysis of Stator Coils Short Circuit Electric Motor Failure in Three Phase Induction Motors

**ภานี น้อยยิ่ง**

ภาควิชาครุศาสตร์ไฟฟ้า คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

1518 ถนนประชาราษฎร์ 1 แขวงวงศ์สว่าง เขตบางซื่อ กรุงเทพฯ 10800 E-mail: drpanee@gmail.com

## บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการเปรียบเทียบการทำงานของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟสในสภาวะปกติเทียบกับสภาวะที่เกิดความผิดพร่องของมอเตอร์ ในกรณีต่าง ๆ เช่น กรณีไม่มีโหลด, และกรณีมีโหลดที่ 25, 50, 75 และ 100 เปอร์เซ็นต์ โดยคุณลักษณะทางฮาร์มอนิกส์ของความผิดพร่องที่เกิดขึ้นในสเตเตอร์ ได้มาจากการนำข้อมูลของระดับแรงดันที่วัดได้ในแต่ละเฟสไปวิเคราะห์หาสเปกตรัมของกระแสที่ได้จากมอเตอร์ด้วยวิธีการแปลงฟูริเยร์แบบเร็ว (Fast Fourier Transform : FFT) ผลการวิจัยพบว่าสามารถตรวจจับความผิดพร่องของขดลวดสเตเตอร์ลัดวงจรในมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟสได้ โดยการวิเคราะห์จากค่าความต่างของกระแสในแต่ละเฟส ที่มีความแตกต่างกันเปรียบเทียบกับในสภาวะปกติ ซึ่งพบว่ากระแสไฟฟ้าของในกรณีที่ขดลวดสเตเตอร์ลัดวงจร จะมีค่ามากกว่าในสภาวะปกติ ซึ่งทำให้ประสิทธิภาพการทำงานของมอเตอร์ลดลง

คำสำคัญ: ความผิดพร่องของมอเตอร์ไฟฟ้า, การแปลงฟูริเยร์แบบเร็ว

## Abstract

This article is represents to compare the operation of three-phase induction motors in normal conditions with the motor failure. In that case, if there is no load, and if there is a load of 25, 50, 75, and 100 percent. The characteristics of motor failure harmonic is occur in the stator of motor. The voltage data that measure from each phase of motor is to transform by Fast Fourier Transform: FFT. The results show that system can be detect the stator coils short circuit Electric Motor Failure in Three Phase Induction Motors. An analysis of the different current on each phase compared to normal state. Which found that the power of the State in the event of a short circuit coils. There will be greater than in a normal condition, which causes the motor's performance decreased.

Keywords: Electric Motor Failure, Fast Fourier Transforms

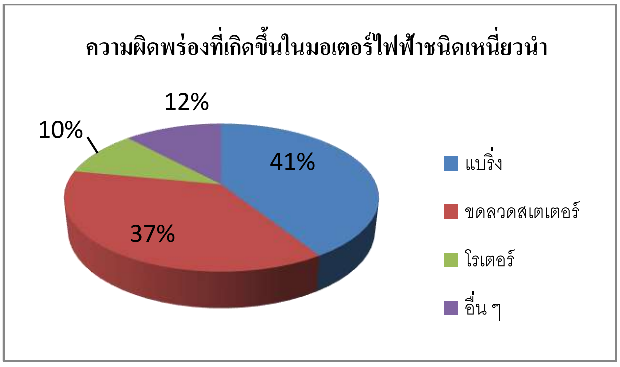
## 1. บทนำ

มอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส มีการใช้งานแพร่หลายในอุตสาหกรรม เนื่องจากมีความเชื่อถือสูง แต่มักพบปัญหาที่เกิดขึ้นบ่อยได้ ได้แก่ 1. ความผิดพร่องของสเตเตอร์ 2. ความผิดพร่องของโรเตอร์ 3. ความผิดพร่องของรองลื่น ซึ่งหากผู้ใช้งานไม่ทราบถึงสภาพความเสียหายที่เกิดขึ้นล่วงหน้า จะส่งผลทำให้เสียเวลาและค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้นในอนาคต ซึ่งความเสียหายของมอเตอร์มีสาเหตุมาจากการทำงานเกินกำลังที่กำหนด เช่น การทำงานเกินกำลังของมอเตอร์เป็นเวลานาน ๆ , การทำงานเกินกว่าพิกัดกำลังที่ระบุไว้ , การปรับเปลี่ยนกำลังของมอเตอร์อย่างกระทันหัน และการสั่นสะเทือน ซึ่งความผิดพร่องที่เกิดขึ้นสามารถตรวจสอบได้โดยใช้แรงดันและกระแสสเตเตอร์มาทำการวิเคราะห์สัญญาณกระแสมอเตอร์ (Motor Current Signature Analysis : MCSA) โดยนำสัญญาณกระแสของมอเตอร์ มาวิเคราะห์สเปกตรัม ด้วยวิธีการแปลงฟูริเยร์แบบเร็ว (Fast Fourier Transform : FFT) แล้วนำความถี่มูลฐานและความถี่ข้างเคียง ของแอมพลิจูดของสัญญาณสเปกตรัมกระแสมอเตอร์ มาเปรียบเทียบกัน

งานวิจัยนี้ทำการวิเคราะห์หาความผิดพร่องของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟสที่เกิดขึ้นจากความผิดพร่องของสเตเตอร์ โดยทำการเปรียบเทียบค่ากระแสของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส ในสภาวะปกติแบบไม่มีโหลด และกรณีมีโหลด 25, 50, 75 และ 100 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ เพื่อเปรียบเทียบอัตราส่วนของแอมพลิจูดของกระแสในกรณีที่มอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟสทำงานปกติและไม่ปกติ

## 2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

โดยทั่วไปแล้วความผิดพร่องที่เกิดขึ้นในมอเตอร์ไฟฟ้าส่วนใหญ่เกิดขึ้นในแบริ่ง หรือขดลวดสเตเตอร์ โดยถ้าโฟกัสไปยังมอเตอร์แบบอะซิงโครนัสที่มีโรเตอร์แบบกรงกระรอก (Squirrel Cage Rotor) จะเกิดความผิดพร่อง [1] ดังนี้

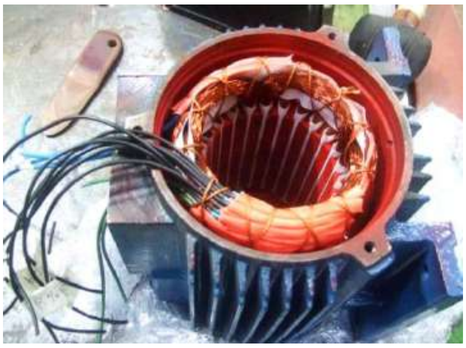



**รูปที่ 1** ความผิดพร่องที่เกิดขึ้นในมอเตอร์ไฟฟ้าชนิดเหนี่ยวนำ

จากรูปที่ 1 จะเห็นว่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นได้บ่อยที่สุด คือ ความผิดพร่องที่เกิดขึ้นกับขดลวดสเตเตอร์ ซึ่งมากถึง 37% ของการผิดพลาดที่เกิดขึ้นทั้งหมด ซึ่งในบทความ [2-5] ได้กล่าวเพิ่มเติมเกี่ยวกับความผิดพร่องที่เกิดขึ้นมากที่สุดในมอเตอร์ไฟฟ้าชนิดเหนี่ยวนำ ได้แก่

- ความผิดพร่องของตัวนำโรเตอร์แตกหัก
- ความผิดพร่องของขดลวดสเตเตอร์ลัดวงจร
- ความผิดพร่องของรองลื่น

ซึ่งความผิดพร่องของขดลวดสเตเตอร์ลัดวงจร พบว่าเกิดขึ้นมากที่สุดในมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำแบบ 3 เฟส อันเกิดจากความเค้นที่กระทำกับขดลวดสเตเตอร์ในแบบต่าง ๆ [3] หรืออาจเกิดขึ้นจากการใช้งานมอเตอร์กับงานที่ไม่เหมาะสม หรือการระบายความร้อนของมอเตอร์ที่ขึ้นจากการออกแบบมอเตอร์ [1] ในการทดลองผู้วิจัยได้ทำการดัดแปลงขดลวดสเตเตอร์เพื่อให้เกิดการลัดวงจร โดยนำขดลวดสเตเตอร์ไปพันใหม่ และทำการแทปปลายขดลวดออกมาเพื่อให้สามารถเปลี่ยนแปลงจำนวนรอบของการลัดวงจรได้ แสดงดังรูปที่ 2



**รูปที่ 2** ขดลวดสเตเตอร์ที่ดัดแปลงให้เกิดขดลวดสเตเตอร์ลัดวงจร

## การแปลงฟูริเยร์แบบเร็ว

การแปลงฟูริเยร์แบบเร็วเทคนิคที่ลดเวลาในการแปลง Discrete Fourier Transform ให้ลดลง เนื่องจากการแปลงแบบ DFT จะใช้เวลามาก กรณีที่มีจำนวนข้อมูลมากขึ้น ซึ่งการแปลงการแปลงฟูริเยร์แบบเร็ว มีรูปแบบสมการดังนี้

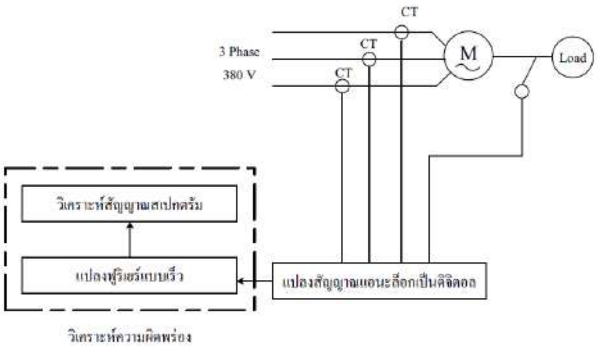
$$Y(k)=\sum_{j=1}^{n} X(j)W_n^{(j-1)(k-1)} \qquad (1)$$

โดยที่ X และ Y มีความยาวเท่ากับ n

$W_n = e^{(-2\pi i)/n}$ เป็นรากที่ n ของ 1 ตัวหลัก

## 3. ขั้นตอนการทดลอง

การตรวจจับกระแสที่จ่ายให้กับมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส ในแต่ละเฟสจะใช้ตัวตรวจจับกระแสแบบ Hall current effect sensor โดยสัญญาณเอาต์พุตที่ได้จากตัวตรวจจับกระแสจะถูกส่งต่อไปยังวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิตอล เพื่อตัดสัญญาณรบกวนต่างๆ ออกจากนั้นนำสัญญาณดิจิตอล ที่ได้มาคำนวณหาสเปกตรัมกระแสของมอเตอร์ด้วยวิธีการแปลงฟูริเยร์แบบเร็ว หลังจากที่ได้สเปกตรัมกระแสมอเตอร์แล้วทำการวิเคราะห์สเปกตรัมดังกล่าว โดยเปรียบเทียบกับค่าของความถี่และแอมพลิจูดที่ได้จากการคำนวณว่าเกิดความผิดพร่องเกิดขึ้น ดังรูปที่ 3

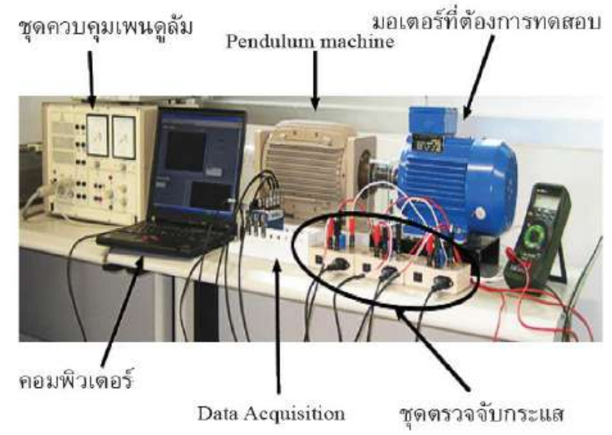



**รูปที่ 3** ไดอะแกรมการวิเคราะห์ความผิดพร่องของขดลวดสเตเตอร์ลัดวงจรในมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส

## 4. ผลการทดลอง

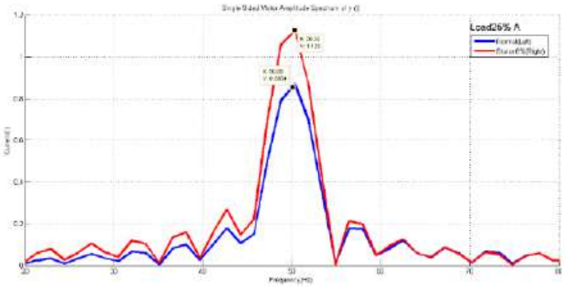
ในการทดลองการตรวจจับความผิดพร่องของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส เครื่องมือและอุปกรณ์ประกอบด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับการวิเคราะห์ความผิดพร่องของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส สำหรับตัวตรวจจับกระแสมอเตอร์ใช้ Hall-Effect Current Sensor รุ่น LEM HY5-P และทำการตรวจจับความเร็วรอบด้วย Tachogenerator ที่ให้แรงดันเอาต์พุต 1V/1000 rpm โดยสัญญาณกระแสและความเร็วรอบของมอเตอร์จะต่อกับการ์ดรับสัญญาณ รุ่น NI 9215 ซึ่งมีคุณสมบัติในการรับสัญญาณอินพุต ± 10 โวลต์ ความละเอียด 16 บิต โดยกำหนดจำนวนข้อมูลที่ 25000 ข้อมูล อัตราการสุ่มสัญญาณ 6,250 เฮิรตซ์ จากนั้น

นำมอเตอร์เหนี่ยวนำที่ดัดแปลง มาต่อเข้ากับชุดเพนดูลั่ม (Pendulum) แสดงในรูปที่ 4

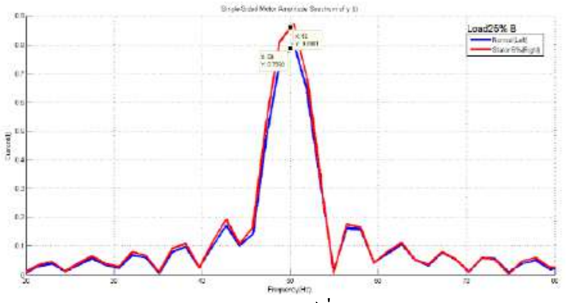



**รูปที่ 4** ชุดทดลองในการการทดสอบมอเตอร์

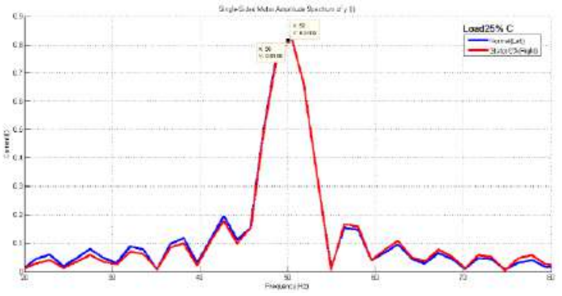
จากผลการทดลองประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำแบบ 3 เฟส โดยดูจากสเปคตรัมกระแสสเตเตอร์เปรียบเทียบมอเตอร์ 3 เฟส กรณีไม่มีโหลด และกรณีใส่โหลด 25, 50, 75 และ 100 เปอร์เซ็นต์ โดยแยกเป็นอาการปกติ กับกรณีขดลวดสเตเตอร์ลัดวงจร แสดงดังรูปที่ 5




(ก) มอเตอร์ที่เฟส A




(ข) มอเตอร์ที่เฟส B




(ค) มอเตอร์ที่เฟส C

**รูปที่ 5** สเปคตรัมเปรียบเทียบกระแสสเตเตอร์ กรณี Loadtest25%

จากรูปที่ 5 แกนนอนเป็นแกนความถี่ มีหน่วยเป็น เฮิรตซ์ แกนตั้งเป็นค่ากระแสสเตเตอร์มีหน่วยเป็นแอมป์ โดยที่เส้นสีแดง แสดงกระแสสเตเตอร์ในสภาวะปกติ ส่วนสีน้ำเงินแสดงกระแสสเตเตอร์ที่มีการลัดวงจร 6% ของเฟส A, B และ C ตามลำดับ

**ตารางที่ 1** ข้อมูลเปรียบเทียบกรณีปกติ และกรณีขดลวดสเตเตอร์ลัดวงจร 6% ของผลต่าง โดยทดสอบแบบไม่โหลด

| การทดสอบ | | Normal | Fault | %Error | Difference |
|---|---|---|---|---|---|
| **ไม่มีโหลด** | P1 | 0.8302 | 1.1290 | 35.99 | 44.54 |
| | P2 | 0.7615 | 0.8917 | 17.10 | |
| | P3 | 0.7741 | 0.7144 | 7.71 | |
| **โหลด 25%** | P1 | 0.8529 | 1.1100 | 30.14 | 34.64 |
| | P2 | 0.7890 | 0.8600 | 9.00 | |
| | P3 | 0.8156 | 0.8104 | 0.64 | |
| **โหลด 50%** | P1 | 1.0290 | 1.2170 | 18.27 | 18.27 |
| | P2 | 0.9607 | 0.9300 | 3.20 | |
| | P3 | 0.9987 | 0.9467 | 5.21 | |
| **โหลด 75%** | P1 | 1.3350 | 1.4110 | 5.69 | 5.69 |
| | P2 | 1.2610 | 1.0920 | 13.40 | |
| | P3 | 1.3150 | 1.1550 | 12.17 | |
| **โหลด 100%** | P1 | 1.6470 | 1.6690 | 1.34 | 1.34 |
| | P2 | 1.5530 | 1.3380 | 13.84 | |
| | P3 | 1.6180 | 1.4330 | 11.43 | |

จากตารางที่ 1 พบว่าการทดสอบสภาวะไม่มีโหลด มีลักษณะอาการเสียที่แตกต่างจากอาการปกติ ประมาณ 44.54% แต่กรณีใส่โหลดที่ 100% พบว่าค่ากระแสสเตเตอร์มีค่าใกล้เคียงกับกรณีปกติ คือ ประมาณ 1.34%

**ตารางที่ 2** สรุปผลการการวิเคราะห์ความผิดพร่องของขดลวดสเตเตอร์ลัดวงจรในมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส กรณี 12%

| การทดสอบ | | Normal | Fault | %Error | Difference |
|---|---|---|---|---|---|
| **ไม่มีโหลด** | P1 | 0.8301 | 1.325 | -59.62 | 74.52 |
| | P2 | 0.7615 | 0.9884 | -29.80 | |
| | P3 | 0.7741 | 0.6964 | 10.04 | |
| **โหลด 25%** | P1 | 0.8532 | 1.336 | -56.59 | 84.88 |
| | P2 | 0.7892 | 0.9467 | -19.96 | |
| | P3 | 0.8285 | 0.7647 | 7.70 | |
| **โหลด 50%** | P1 | 1.029 | 1.41 | -37.03 | 37.03 |
| | P2 | 0.9607 | 0.9551 | 0.58 | |
| | P3 | 1.021 | 0.7026 | 31.19 | |
| **โหลด 75%** | P1 | 1.335 | 1.508 | -12.96 | 12.96 |
| | P2 | 1.26 | 0.9998 | 20.65 | |
| | P3 | 1.316 | 1.001 | 23.94 | |
| **โหลด 100%** | P1 | 1.646 | 1.666 | -1.22 | 1.22 |
| | P2 | 1.553 | 1.09 | 29.81 | |
| | P3 | 1.618 | 1.178 | 27.19 | |

จากตารางที่ 2 พบว่าที่การทดสอบกรณีใส่โหลด 25% พบว่ามีลักษณะอาการ เสีย ที่แตกต่างจากอาการปกติประมาณ 84.88% แต่กรณีใส่โหลดที่ 100% พบว่าค่ากระแสสเตเตอร์มีค่าใกล้เคียงกับกรณีปกติ คือประมาณ 1.22%

## 4. สรุปผล

การวิเคราะห์ความผิดพร่องของขดลวดสเตเตอร์ลัดวงจรในมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส กรณี 6% พบว่าความผิดพร่องของขดลวดสเตเตอร์ลัดวงจรเปรียบเทียบอาการปกติ กระแสสเตเตอร์แต่ละเฟส (Phase A, Phase B , Phase C) ของมอเตอร์ 3 เฟส สภาวะที่ไม่มีโหลด (No Load) ที่ความถี่ 50 Hz จะมีค่ากระแสสเตเตอร์มากกว่าอาการปกติ ที่ Phase A และ Phase B ประมาณ 0.299 A และ0.1297 A ซึ่งคิดเป็นค่าความผิดพลาดเท่ากับ 44.54 % และในการวิเคราะห์ความผิดพร่องของขดลวดสเตเตอร์ลัดวงจรในมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส กรณี 12% พบว่ากระแสสเตเตอร์แต่ละเฟส (Phase A, Phase B , Phase C) ของมอเตอร์ ในสภาวะที่ใส่โหลด 25% ที่ความถี่ 50 Hz พบว่ามีค่ามากกว่าอาการปกติ ที่ Phase A และ Phase B ประมาณ 0.4828 A และ 0.1575 A ซึ่งคิดเป็นค่าความผิดพลาดเท่ากับ 84.88% จากการทดสอบข้างต้นสรุปได้ว่าในการทดสอบเพื่อหาความผิดพร่องของขดลวดสเตเตอร์ลัดวงจรในมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส ต้องทำการทดสอบมอเตอร์โดยไม่มีโหลดหรือมีโหลด 25% ถึงสามารถวิเคราะห์ความผิดพร่องของมอเตอร์ของขดลวดสเตเตอร์ลัดวงจรได้ดีที่สุด

## 5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณภาควิชาครุศาสตร์ไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ที่ให้การสนับสนุนเครื่องมือและอุปกรณ์ในการทดสอบมาใน ณ ที่นี้

## เอกสารอ้างอิง

[1] W. T. Thomson and M. Fenger, "Current signature analysis to detect induction motor faults," *Industry Applications Magazine, IEEE,* vol. 7, pp. 26-34, 2001.

[2] "Report of Large Motor Reliability Survey of Industrial and Commercial Installations, Part I," *Industry Applications, IEEE Transactions on,* vol. IA-21, pp. 853-864, 1985.

[3] A. H. Bonnett and G. C. Soukup, "Cause and analysis of stator and rotor failures in 3-phase squirrel cage induction motors," in *Pulp and Paper Industry Technical Conference, 1991., Conference Record of 1991 Annual*, 1991, pp. 22-42.

[4] O. V. Thorsen and M. Dalva, "Condition monitoring methods, failure identification and analysis for high voltage motors in petrochemical industry," in *Electrical Machines and Drives, 1997 Eighth International Conference on (Conf. Publ. No. 444)*, 1997, pp. 109-113.

[5] เอกมล บุญยะผลานันท์ และ มีชัย โลหะการ, "ผลกระทบของวินโดว์ฟังก์ชันในการตรวจจับความผิดพร่องมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส," วารสารวิชาการพระจอมเกล้า พระนครเหนือ, ปีที่ 25 ฉบับที่ 1, หน้า 21-32, 2558.

**ภานี น้อยยิ่ง** สำเร็จการศึกษา Ph.D. (Electrical Engineering) จาก University of Lorraine, France ปัจจุบันเป็นอาจารย์ประจำ ภาควิชา ครุศาสตร์ไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ มีความสนใจทางด้านความผิดพร่องของมอเตอร์ไฟฟ้า, การประมวลผลสัญญาณชีวการแพทย์, แบบจำลองเซลล์เชื้อเพลิง

**บทความวิจัย**

การประชุมวิชาการ งานวิจัยและพัฒนาเชิงประยุกต์ ครั้งที่ 8

*8th ECTI-CARD 2016, Hua Hin, Thailand*

# การตรวจหาตำแหน่งสายโทรศัพท์ขาดด้วยหลักการวิเคราะห์ค่าความจุไฟฟ้า

# Detection of Broken Telephone Cable Location based on Capacitance Analysis

**วิทยา ศรีกุล[1] ธรรมกร ครองไตรภพ[2] ประจวบ อินระวงศ์[3]**

[1]สาขาวิศวกรรมวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

744 สุรนารายณ์ ตำบลในเมือง อำเภอเมือง นครราชสีมา โทรศัพท์: 044-272545 E-mail: witaya@rmuti.ac.th

[2]สาขาวิศวกรรมวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

744 สุรนารายณ์ ตำบลในเมือง อำเภอเมือง นครราชสีมา โทรศัพท์: 044-272545 E-mail: thammakorn@rmuti.ac.th

[3]สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

744 สุรนารายณ์ ตำบลในเมือง อำเภอเมือง นครราชสีมา โทรศัพท์: 044-271312-3 E-mail: prajuab@rmuti.ac.th

## บทคัดย่อ

บทความนี้กล่าวถึงการพัฒนา ออกแบบ และสร้างเครื่องมือเพื่อตรวจหาตำแหน่งสายโทรศัพท์ขาด เพื่อแก้ปัญหาสายสัญญาณโทรศัพท์ขาดหาย ซึ่งยากในการตรวจหาตำแหน่งที่แน่นอน การออกแบบโดยใช้คุณสมบัติความจุไฟฟ้าของสายเป็นตัวกำหนดตำแหน่งของการขาดของสายโทรศัพท์ การทดลองเพื่อหาตำแหน่งที่สายขาด โดยใช้สายโทรศัพท์ที่มีความยาวขนาดต่าง ดังนี้ 10 เมตร 20 เมตร 30 เมตร 40 เมตร และ 50 เมตร จากการทดลอง ได้ผลความแม่นยำ คิดเป็นร้อยละ 99.79 และ ความเที่ยงตรงร้อยละ 95

คำสำคัญ: ค่าความจุ, ไมโครคอนโทรลเลอร์, เครื่องวัดสายโทรศัพท์

## Abstract

This paper discusses the development, design and build tool to detect a location of a broken telephone cable. The aim of this tool is to solve the problem of lost signals in telephone line which difficult to detect the exact location. The design used properties of telephone line capacitance to locate the broken position of telephone lines. The experiments used many lengths of telephone lines, a length of 10 meters, 20 meters, 30 meters, 40 meters and 50 meters. From the test result, it showed the precision of 99.79 percent and accuracies of 95 percent.

Keywords: Capacitance, Microcontrollers, Telephone cable tester.

## 1. บทนำ

สายโทรศัพท์มีการใช้งานอย่างแพร่หลายทุกภูมิภาค ถึงแม้ว่าปัจจุบันมีเทคโนโลยีไร้สาย แต่ยังมีความจำเป็นในการใช้สายโทรศัพท์ในการติดต่อสื่อสารแบบถาวร เนื่องจากระบบไร้สายมีการเปลี่ยนแปลงเลขหมายได้ง่ายและบางช่วงเวลามีการขัดข้องของระบบสื่อสารไร้สาย ดังนั้นสายโทรศัพท์ยังคงมีความจำเป็นในการใช้งาน โดยประโยชน์ในปัจจุบันที่ยังมีการใช้งานอยู่ก็อย่างเช่น โทรสาร อินเตอร์เน็ตความเร็วสูง ADSL และสายโทรศัพท์ยังเป็นระบบเครือข่ายพื้นฐานที่มีพื้นที่ครอบคลุมการใช้งานทั่วถึง ดังนั้นถ้าระบบสื่อสารที่ถาวรเกิดปัญหาย่อมต้องการการตรวจเช็ค และซ่อมโดยเร็วเพื่อไม่ให้เกิดปัญหาในวงกว้าง

ในปัญหาที่มักพบเจอบ่อยครั้งที่เกิดขึ้นกับสายโทรศัพท์คือ สายโทรศัพท์ขาดในสายเป็นผลทำให้ระบบเกิดการเสียหายโดยในการที่จะตรวจเช็คหาตำแหน่งขาดของสายมีเครื่องมือตรวจสอบแต่มีราคาสูง ดังนั้น ในบทความนี้ได้นำหลักการจากคุณสมบัติของสายโทรศัพท์มาใช้ในการค้นหาตำแหน่งที่มีปัญหากล่าวคือ ค่าความจุต่อของคู่สายโดยอาศัยหลักการวัดค่าความจุ (คาปาซิแตนซ์) ของสายโดยมีค่าแปรผันตรงกับความยาวของสายไฟฟ้า การที่สายในรูปแบบคู่ขนานแบบโทรศัพท์มีการขาดในจะทำให้คุณสมบัติความจุไฟฟ้าสิ้นสุดในตำแหน่งที่สายขาดดังนั้นจึงทำให้สามารถคำนวณตำแหน่งที่สายโทรศัพท์ขาดในขึ้นได้

ในสายโทรศัพท์มีคุณสมบัติพื้นฐานสามประการคือความต้านทาน ความเหนี่ยวนำ และความจุ ของสายโทรศัพท์ บทความนี้นำค่าความจุของสายโทรศัพท์มาเพื่อวิเคราะห์หาตำแหน่งสายขาดโดยการคำนวณหาค่าความจุของสาย และ เทียบกับความยาวของสาย มีไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นเครื่องมือช่วยในการหาค่าความจุและแปลความหมายที่อ่านค่าได้เป็นค่าความยาวของสายโทรศัพท์ที่มีความเสียหายอันเกิดมาจากสายขาดใน และ เครื่องมือที่ได้ออกแบบสามารถหาค่าความยาวของสายโทรศัพท์ปกติได้

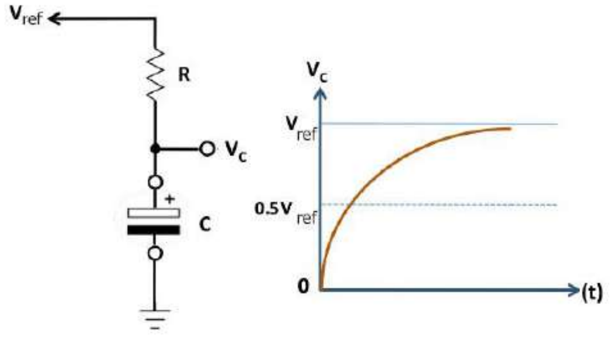
## 2. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การตรวจสอบหาตำแหน่งสายโทรศัพท์ขาดในนั้นเป็นการยากที่จะทำการตรวจสอบ ในกระบวนการที่นิยมนำมาใช้มากที่สุดโดยไม่ใช้เครื่องมือก็จะเป็นการใช้หลัก พิชิต และ เอาชนะ Divide and Conquer

กล่าวคือแบ่งตัดเคเบิลทีละครึ่งและเช็คสายขาดโดยมิเตอร์ ทำได้กรณีที่สายถูกรื้อถอนออกจากระบบ แต่กรณีที่ยังติดตั้งอยู่กับระบบจำเป็นต้องใช้เครื่องมือในการตรวจสอบโดยได้มีงานวิจัยที่มีความเกี่ยวข้องกับการตรวจสอบสายเคเบิลโดยอาศัยหลักการวิเคราะห์ความต้านทานที่แปลเปลี่ยนกับความยาวของสาย [1] ซึ่งวิธีการนี้ใช้ในการตรวจเช็คหาตำแหน่งที่สายเคเบิลเกิดการลัดวงจรโดยวิธีการดังกล่าวจะใช้กฎของโอห์มเป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์แต่ไม่สามารถหาตำแหน่งสายขาดในได้ นอกจากวิธีดังกล่าวแล้วยังได้มีงานวิจัยที่เกี่ยวของที่ใช้วิธีการที่มีความแตกต่างในการหาตำแหน่งสายขาด และ ลัดวงจร โดยอาศัยหลักการการสะท้อนของคลื่น [2] และได้เปรียบเทียบวิธีการโดยในการทดลองแบ่งออกเป็นสองวิธีการคือโดเมนเวลา กับ โดเมนความถี่ โดยในการทดลองเป็นการใช้แบบจำลองซึ่งโมเดลทางคณิตศาสตร์มีพารามิเตอร์บางประเภทที่มีกระบวนการได้มาซึ่งคำตอบซับซ้อนไม่เหมาะกับการนำมาใช้งานในทางปฏิบัติ และ มีบทความวิชาการที่เกี่ยวข้องได้กล่าวถึงวิธีการหาตำแหน่งที่สายนำสัญญาณมีปัญหา [3]โดยใช้หลักการทางไฟฟ้าโดยใช้กฎของโอห์ม และ หาค่าโดยใช้เคอร์ชอฟฟ์ในการแก้ปัญหาส่วนการทดสอบเป็นผลลัพธ์ที่ได้จากการจำลองการทำงานโปรแกรมดังกล่าว

## 3. วิธีดำเนินงาน

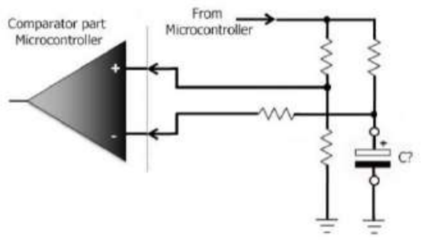
นำคุณสมบัติของสายส่งที่มีคุณสมบัติทางไฟฟ้าประกอบด้วยตัวต้านทาน ตัวเหนี่ยวนำ และ ตัวเก็บประจุ [4] โดยสายโทรศัพท์ก็มีคุณสมบัติเหมือนกับสายส่งต่างๆ เช่นกันซึ่งมีค่าความจุแปรผันตามระยะทางของสายดังนั้นหากต้องการทราบตำแหน่งที่สายขาดภายในโดยคำนวณค่าความจุโดยมีวิธีการหาค่าแสดงดังภาพที่ 1




รูปที่ 1 วงจร RC time constant

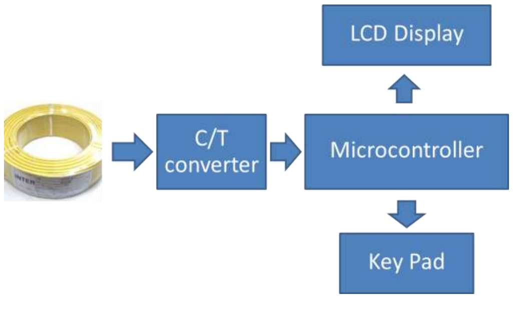
จากภาพวงจรเป็นวงจรแบ่งแรงดันซึ่งสามารถนำมาหาค่าการสะสมพลังงานของตัวเก็บประจุ [5] ได้ดังสมการที่ (1) และ เพื่อให้เกิดความแม่นยำในการคำนวณผลที่วัดได้ ในงานวิจัยนี้จะใช้แหล่งจ่ายแรงดันคงที่ที่มาจากแบตเตอรี่เนื่องจากสามารถจ่ายแรงดัน $V_{ref}$ คงที่และไม่มีผลที่เกิดจากแรงดันกระเพื่อมจากภาคจ่ายไฟที่เป็นแบบเรียงกระแสหลังจากนั้นนำผลแรงดันที่เกิดขึ้นไปคำนวณหาค่าโดยใช้วงจรเปรียบเทียบแรงดันดังแสดงในรูปที่ 2

$$Vc = V_{ref}(1 - e^{-t/RC}) \qquad (1)$$




รูปที่ 2 วงจรเปรียบเทียบหาค่าความจุของสาย

โดยหลักการทำงานของวงจรจะมีการโปรแกรมแรงดันที่เป็นแรงดันอ้างอิงจากไมโครคอนโทรลเลอร์ ส่งไปยังจุดตรวจเช็คสายส่งและเครื่องวัดจะนำค่าที่ได้จากการอ่านค่าแรงดันตกคร่อมสายหรือค่าความจุไฟฟ้าเสมือนในสาย ที่เกิดจากการเก็บประจุของสายนำสัญญาณเข้าสู่การเปรียบเทียบกับแรงดันอ้างอิงและเมื่อค่าเทียบแล้วเท่ากับค่าที่ตั้งกำหนดก็จะส่งสัญญาณออกจากวงจรเปรียบเทียบเพื่อหยุดการนับเวลาใน C/T converter และนำค่าที่ได้ไปคำนวณระยะทาง โดยมีแผนผังภาพรวมทั้งระบบดังแสดงในรูปที่ 3

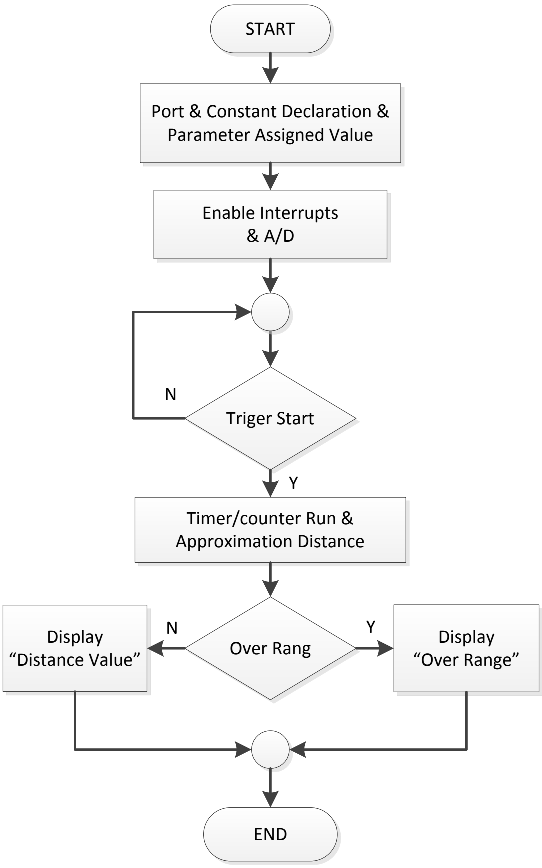



รูปที่ 3 ผังระบบงานเครื่องวัดสายโทรศัพท์

นำหลักการที่นำมาใช้ออกแบบโปรแกรมควบคุมการทำงานไมโครคอนโทรลเลอร์โดยมีการกำหนด การใช้งานวงจรเปรียบเทียบแรงดันที่มีอยู่ในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ซึ่งรับค่ามาจากการเชื่อมต่อกับสายโทรศัพท์ และสั่งให้ไมโครคอนโทรลเลอร์กระตุ้นโดยการส่งแรงดันไปยังสายโทรศัพท์ และทำการอ่านค่าความจุของสายโทรศัพท์ เก็บค่าที่

ได้นำมาประมวลผลเพื่อหาระยะทางที่สิ้นสุดปลายสาย หรือตำแหน่งที่สายมีปัญหาโดยมีผังงานดังรูปที่ 4

การออกแบบการทดลองในวิจัยทำโดยการแบ่งสายโทรศัพท์เป็น 5 กลุ่มความยาว เริ่มจากความยาว 10 20 30 40 และ 50 เมตร ทดสอบเครื่องมือเพื่อหาความแม่นยำโดยการวัดสายโทรศัพท์ในแต่ละชุด ชุดละ 50 ครั้ง และคำนวณหาค่าความแม่นยำในการวัดโดยหน่วยวัดที่ใช้งานคือหน่วยเมตร โดยแสดงวิธีการวัด ดังรูปที่ 5




รูปที่ 4 ผังการทำงานโปรแกรมควบคุม

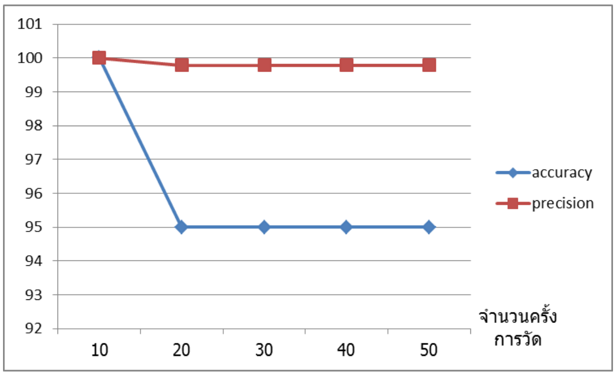
รูปที่ 5 การตรวจวัดทดสอบโดยเครื่องวัดสายโทรศัพท์

## 4. ผลการทดลอง

ในการทดลองได้เปลี่ยนความยาวของสายโทรศัพท์ทั้งหมด 5 ขนาดความยาว จากค่าน้อยสุดไปค่ามากสุด ทดลองทำการวัดทั้งหมด 250 ครั้ง ได้ผลของความเที่ยงตรง ดังแสดงในตารางที่ 1 ซึ่งจากผลการทดลองที่ได้ ในการวัดค่าความยาวสายทั้งหมดนั้นมีการแสดงค่าผิดพลาดทั้งหมด 10 ครั้งโดยผลที่ได้คิดเป็นค่าความเที่ยงตรง ร้อยละ 99.79 มีความผิดพลาดร้อยละ 5 แสดงผลในรูปแบบกราฟดังแสดงในรูปที่ 6 ในทางทฤษฎีเครื่องวัดดังกล่าวสามารถวัดได้ความยาวสายสูงสุดตามการคำนวณ ได้ที่ความยาว 14,284 เมตร สำหรับเครื่องมือแสดงค่าการวัดสูงสุดเพียง 9,999 เมตร แต่ สายโทรศัพท์ที่มีในท้องตลาด มีความยาวเพียง 100 เมตร จึงมีความเพียงพอกับการใช้งาน

ตารางที่ 1 ผลการวัดและค่าความเที่ยงตรง

| ความยาวสาย | ความเที่ยงตรง(%) | วัดผิดพลาด (ครั้ง) |
|---|---|---|
| 10 เมตร | 100 | 0 |
| 20 เมตร | 95 | 2 |
| 30 เมตร | 95 | 2 |
| 40 เมตร | 95 | 3 |
| 50 เมตร | 95 | 3 |




รูปที่ 6 กราฟความเที่ยงตรงและความแม่นยำของเครื่องมือวัด

## 5. สรุป

การทดสอบระบบวัดระยะสายขาดในสายโทรศัพท์ ของระบบที่ออกแบบ สามารถตรวจสอบได้ผลความเที่ยงตรงสูง และ ง่ายต่อการนำไปใช้งาน เป็นผลมาจากการออกแบบวิธีการวัดที่ไม่ซับซ้อน และ

จากการทดลองได้แสดงให้เห็นว่าเครื่องมือดังกล่าวสามารถประมาณตำแหน่งที่สายโทรศัพท์ขาดใน ได้โดยมีความเที่ยงตรงสูงถึงร้อยละ 95 จากผลการทดลองสังเกตได้ว่า ระบบมีแม่นยำสูงร้อยละ 99.79 ในช่วงความยาวสายไม่เกิน 10 เมตร และเมื่อความยาวเพิ่มขึ้นค่าความแม่นยำลดลง ซึ่งสันนิฐานว่าสาเหตุอาจเกิดจาก การหาพารามิเตอร์ต่างๆซึ่งเป็นคุณสมบัติของสายส่งที่สามารถนำมาประกอบการวิเคราะห์ แต่อย่างไรก็ดีนั้น ผลที่ปรากฏอยู่ในพิสัยที่ความผิดพลาดต่ำในการนำไปใช้งานจริงในทางปฏิบัติโดยเครื่องมีความสามารถวัดสายที่มีความยาวทั่วไปไม่เกิน 100 เมตร ในท้องตลาด

**เอกสารอ้างอิง**

[1] Dhivya Dharani.A, and Sowmya.T, " Development of a Prototype Underground Cable Fault Detector," International Journal of Electrical, Electronics and Computer Systems (IJEECS), vol. 2, pp. 17-21, 2014.

[2] Qinghai Shi, Troeltzsch U, Kanoun O., " Detection and localization of cable faults by time and frequency domain measurements," Conf. Systems and Signals and Devices, 7th International conference, pp. 1-6, Amman. 2010.

[3] M. Kezunovic, B. Perunieic ,"Automated transmission line fault analysis using synchronized sampling at two ends," IEEE Transactions on Power Systems, vol 11, pp. 441 – 447, 1996

[4] H. Meng, S. Chen,Y. L. Guan, C. L. Law, P. L. So, E. Gunawan and T. T. Lie, "Modeling of Transfer Characteristics for the Broadband Power Line Communication Channel ," IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 19, No. 3, pp. 1057-1064, 2004.

[5] R-B (2012 March 25). Making a digital capacitance meter using microcontroller (1st ed.) [Online]. Available: http://www. embedded-lab.com

วิทยา ศรีกุล การศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิชาครุศาสตร์อุตสาหกรรม ไฟฟ้า – สื่อสารสถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตภาคพายัพ ปี 2538 ปัจจุบันเป็น อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ และสถาปัตย - กรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน นครราชสีมา งานวิจัยที่สนใจ Image Processing, Computer Vision, Microprocessor

ธรรมกร ครองไตรภพ การศึกษาระดับปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรม คอมพิวเตอร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปี 2550 ปัจจุบันเป็นอาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน นครราชสีมา งานวิจัยที่สนใจ Microcontroller, Artificial Intelligence

ดร.ประจวบ อินระวงค์ การศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า จากสถาบันเทคโนโลยี - ราชมงคล นครราชสีมา ปี 2537
การศึกษา ระดับปริญญาโทสาขาวิชาวิศวกรรม - ไฟฟ้า จากมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ปี 2544 การศึกษาระดับปริญญาเอก PhD in Electrical and Electronic Engineering, The University of Nottingham, UK, 2012 ปัจจุบันเป็นอาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน นครราชสีมา งานวิจัยที่สนใจ Computer Vision, AI in electrical power system, Image Processing

**บทความวิจัย**
การประชุมวิชาการ งานวิจัยและพัฒนาเชิงประยุกต์ ครั้งที่ 8
*8th ECTI-CARD 2016, Hua Hin, Thailand*

# การทดสอบน้ำมันฉนวนหม้อแปลงไฟฟ้ากำลังเปรียบเทียบระหว่างกระบวนการตามมาตรฐาน IEC 60156 กับ ASTM D3487

# COMPARISONS DIELECTRIC STRENGTH OF TRANSFORMER OIL TESTER ACCORDIY TO IEC 60156 and ASTM 3487 Standard

**วิเชษฐ ทิพย์ประเสริฐ* อรรถชัย อะทะถ้ำ และ ปฏิทิน ประทีปสุวรรณ**
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงราย
99 หมู่ 10 ต.ทรายขาว อ.พาน จ.เชียงราย 57120 โทรศัพท์ 088-233-1677 E-mail: t_wichet@hotmail.co.th

## บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอผลการการทดสอบน้ำมันฉนวนหม้อแปลงไฟฟ้ากำลังซึ่งเปรียบเทียบระหว่างกระบวนการตามมาตรฐาน IEC 60156 กับ ASTM D3487 วิเคราะห์หาค่าแฟกเตอร์ สนามไฟฟ้าของอิเล็กโตรดแบบครึ่งทรงกลม ที่ระยะแกป 2.5 มิลลิเมตร ที่ความถี่ 50 เฮิรตซ์ ซึ่งน้ำมันฉนวนหม้อแปลงไฟฟ้ากำลังเป็นอุปกรณ์เพื่อระบายความร้อน ดับอาร์คทางไฟฟ้าได้ อีกทั้งใช้ในการออกแบบและสร้างอุปกรณ์การทดสอบอย่างแพร่หลาย ในการทดสอบการเกิดเบรกดาวน์ของมาตรฐาน IEC 60156 สูงสุดอยู่ที่ 42.4 กิโลโวลต์ ส่วนมาตรฐาน ASTM D877 สูงสุดอยู่ที่ 41.5 กิโลโวลต์ ค่าแฟกเตอร์ สนามไฟฟ้าของอิเล็กโทรดแบบทรงกลมบางส่วนมีค่าอยู่ในช่วง 0.955

คำสำคัญ: ฉนวนเหลว, อิเล็กโตรดแรงสูง,เบรกดาวน์

## Abstract

This paper to present the results of oil dielectric strength test that compare the difference between standard IEC 60156 and ASTM 3487. The analysis of the electric factor of the spherical electrode, the gap was set at 2.5 mm. with the frequency of 50 Hz. The transformer oil is a heat extractor that not only strike electrical fire but also used to design and build the test equipment extensively. To test the standard breakdown IEC 60156, the highest scale was set at 42.4 kV. Moreover, the highest standard ASTM D877 was set at 41.5 kV and the factor of the spherical electrode ranged at 0.955.

Keywords: Liquid Insulation, High Voltage Electrode, Breakdown

## 1. บทนำ

น้ำมันหม้อแปลงเป็นฉนวนเหลวที่เป็นทั้งฉนวน หลักและเป็นตัวกลางในการถ่ายเทความร้อนในหม้อแปลง ไฟฟ้ากำลัง รวมถึงใช้ในด้านการเรียนการสอนและการวิจัย[1] มีคุณสมบัติพื้นฐานที่สำคัญคือคุณสมบัติทางไฟฟ้า และคุณสมบัติทางการระบายความร้อน[2] คุณสมบัติทางไฟฟ้าของน้ำมันหม้อแปลงที่สำคัญมีดังนี้ มีค่าความคงทนต่อความเครียดสนามไฟฟ้าเบรกดาวน์ประมาณ 25 กิโลโวลต์ต่อมิลลิเมตร ที่ความถี่ 50 เฮิรตซ์ [3] สามารถ แทรกซึมในช่องว่างต่าง ๆ ของอุปกรณ์เพื่อระบายความ ร้อนได้ดีไม่ติดไฟง่าย ดับอาร์คทางไฟฟ้าได้ และมีความสามารถ ในการคืนตัวเป็นฉนวนได้อีกครั้งหลังจากเกิดการเบรกดาวน์ อีกทั้งใช้ในการออกแบบสร้างอุปกรณ์การทดสอบและงานวิจัยทางด้านวิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูงอย่างแพร่หลาย ในการตรวจสอบความเป็นฉนวนของน้ำมันหม้อแปลงมีอยู่หลากหลายวิธีด้วยกัน แล้วยังมีพัฒนาหม้อแปลงที่ดีและมีประสิทธิภาพมากขึ้นทุกปี แต่ทุกอย่างจะต้องมีการอ้างอิงตามมาตรฐานที่ได้กำหนดไว้ ในส่วนของโครงงานนี้เราได้นำมาตรฐาน IEC 60156 เปรียบเทียบกับ ASTM 3487 ซึ่งมาตรฐานเหล่านี้ส่วนใหญ่จะบ่งบอกถึงคุณสมบัติของความหนืดความคงทนต่อแรงดันไฟฟ้าและคุณสมบัติของการต้านทานการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันคล้ายๆกัน ดั่งนั้นทางคณะผู้จัดทำจึงได้จัดทำงานวิจัยเกี่ยวกับการทดสอบน้ำมันฉนวนหม้อแปลงไฟฟ้ากำลังเปรียบเทียบระหว่างกระบวนการตามมาตรฐาน IEC 60156 กับ ASTM D3487

## 2. วัสดุและอุปกรณ์

### 2.1 ขั้วอิเล็กโตรด[4]

ขั้วอิเล็กโตรดกลึงขึ้นรูปจากทองเหลือง ในส่วน ของเกลียวสำหรับจับยึดขั้วอิเล็กโตรดเข้ากับชุดปรับ ระยะแกป เป็นเกลียวขนาดมิลลิเมตร เพื่อความละเอียด ของการปรับระยะแกป อิเล็กโตรดตามมาตรฐาน IEC 60156 แบบ Partial Spherical ในดังรูปที่ 1

รูปที่ 1 อิเล็กโตรดแบบ Partial Spherical

### 2.2 น้ำมันหม้อแปลง

น้ำมันหม้อแปลงเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้มาจากการกลั่นปิโตเลียมที่ประกอบด้วย ไฮโดรคาร์บอนหลายชนิด สามารถจำแนกตามโครงสร้างโมเลกุลได้ 3 ประเภท คือ พาราฟินิก(Parafinic), แนฟทีนิก(Napthenic), และอโรมาติก(Aromatic) โดยพาราฟินิกและแนฟทีนิกเป็นประเภทที่ทีเสถียรภาพเนื่องจากเป็นไฮโดรคาร์บอนไม่อิ่มตัว[5]

และในการใช้งานจริงจะพยายามให้อัตราส่วนของอโรมาติกน้อยสุดเพราะเป็นสาเหตุสำคัญของการเสียสภาพทางไฟฟ้าของน้ำมันหม้อแปลง โดยส่วนใหญ่นิยมให้มีอัตราส่วนแนฟทีนิกมากเพราะจะไม่เกิดขี้ผึ้ง ซึ่งมีผลทำน้ำมันหม้อแปลงมีความหนืดสูงขึ้นที่อุณหภูมิต่ำทำให้มีปัญหาเรื่องระบายความร้อน[6] ทั้งนี้ลักษณะสมบัติที่ต้องการของน้ำมันหม้อแปลงสำหรับการฉนวนอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูงจะกำหนดด้วยคุณสมบัติทางฟิสิกส์, เคมีและไฟฟ้า ซึ่งใช้ให้เหมาะสมกับวัตถุประสงค์การใช้

## 3. วิธีการทดสอบ

### 3.1 ระเบียบวิธีการทดสอบ

ระเบียบวิธีการการทดสอบหาแรงดันไฟฟ้าเบรกดาวน์ ฉนวนน้ำมันหม้อแปลง อ้างอิงตามมาตรฐาน IEC 60156 กำหนด โดยมีหัวข้อการทดสอบและวิเคราะห์ผล การทดสอบ ดังนี้

- ทดสอบหาค่าความคงทนต่อแรงดันไฟฟ้าเบรกดาวน์ของฉนวนเหลวตามมาตรฐาน

- เปรียบเทียบแรงดันไฟฟ้าเบรกดาวน์ในฉนวน น้ำมันหม้อแปลง ของอิเล็กโตรดตามมาตรฐาน ที่ระยะแกประหว่าง อิเล็กโตรด 2.5 มิลลิเมตร

วิเคราะห์ค่าแฟกเตอร์สนามไฟฟ้าของอิเล็กโทรด แบบ Partial Spherical จากแรงดันไฟฟ้าเบรกดาวน์ของฉนวนน้ำมันหม้อแปลง ระยะแกป และค่าความเครียดสนามไฟฟ้าสูงสุดจากการวิเคราะห์ที่ระยะแกปเท่ากัน แต่ค่าแรงดัน เบรกดาวน์และค่าความเครียดสนามไฟฟ้าสูงสุดจะไม่เท่ากัน ซึ่งรูปลักษณะอิเล็กโตรดที่ใช้ในการทดสอบ ซึ่งจะสามารถคำนวณหาค่าแฟกเตอร์สนามไฟฟ้าของ อิเล็กโตรดที่ใช้ในการทดสอบได้จากสมการที่ (1)[7]

$$\eta^* = \frac{U_b}{d \times E_{b\max}} \tag{1}$$

### 3.2 มาตรฐานการทดสอบ

#### 3.2.1 มาตรฐาน IEC 60156[8]

ในมาตรฐานได้กำหนดแรงดันแบรกดาวน์ของฉนวนไฟฟ้าชนิดฉนวนเหลวที่ความถี่กำลัง (Power frequency) ในการทดสอบโดยการจ่ายสนามไฟฟ้ากระแสสลับเพิ่มขึ้นด้วยอัตราคงที่จนเกิดการเบรกดาวน์

เงื่อนไขการทดลอง ในการทดสอบอุณหภูมิของเหลวทดสอบและอากาศภายนอกจะต้องไม่ต่างกันเกิน 5 องศาเซลเซียส ซึ่งอุณหภูมิของเหลวที่ทดสอบจะต้องอยู่ระหว่าง 20 องศาเซลเซียส ± 5 องศาเซลเซียส

กระบวนการทดสอบ การเติมน้ำมันต้องค่อยๆ เติมลงอย่างช้า ๆ โดยการดูดน้ำมันลงในอุปกรณ์ทดสอบด้านฝาบนเพื่อหลีกเลี่ยงไม่ให้เกิดฟองอากาศ

#### 3.2.2 มาตรฐาน ASTM D 3487[9]

มาตรฐานการทดสอบฉนวนน้ำมันหม้อแปลงมีหลายมาตรฐาน เช่น IEC และ ASTM เป็นต้น ในที่นี้ กล่าวถึงเฉพาะการทดสอบน้ำมันหม้อแปลงเชิงการค้าอ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM เป็นหลัก จากมาตรฐาน ASTM D3487-08 ได้แบ่งหัวข้อการทดสอบฉนวนน้ำมันหม้อแปลงออกเป็น 3หัวข้อหลัก ได้แก่

-การทดสอบคุณสมบัติทางฟิสิกส์,

-การทดสอบคุณสมบัติทางไฟฟ้า

-การทดสอบคุณสมบัติทางเคมี

ในมาตรฐานยังได้กำหนดเกณฑ์ดัชนีชี้วัดค่าของผลการทดสอบที่ยอมรับได้ของแต่ละหัวข้อการทดสอบไว้ด้วย

### 3.3 ข้อมูลน้ำมันหม้อแปลง

น้ำมันหม้อแปลงที่ได้นำมาทำการทดสอบในครั้งนี้จะแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ น้ำมันหม้อแปลงที่ยังไม่ผ่านการใช้งาน และ น้ำมันหม้อแปลงที่ผ่านการใช้งานมาแล้ว ซึ่ง มีทั้งหมด 3 ชนิดดังนี้

3.3.1 หม้อแปลงขนาด 100 kVA ระยะเวลาใช้งาน 4 ปี การจ่ายโหลด 69.51 kVA ข้อมูลตามตารางที่ 1 สาเหตุที่ปลดเนื่องจาก ถูกฟ้าผ่า

3.3.2 หม้อแปลงขนาด 250 kVAระยะเวลาใช้งาน 5 ปี การจ่ายโหลด 165.94 kVA ข้อมูลตามตารางที่ 2 สาเหตุที่ปลดเนื่องจาก ถูกฟ้าผ่า

3.3.3 หม้อแปลงขนาด 100 kVAระยะเวลาใช้งาน 3 ปี การจ่ายโหลด 73.76 kVA ข้อมูลตามตารางที่ 3 สาเหตุที่ปลดเนื่องจาก ไฟไหม้หม้อแปลง

**ตารางที่ 1** ข้อมูลหม้อแปลงขนาด 100 kVA ระยะเวลาใช้งาน 4 ปี การจ่ายโหลด 69.51 kVA

| | |
|---|---|
| THREE PHASE | ACCORDING TO IEC 60076 |
| FREQUENCY 50 Hz. | TYPE OF COOLING ONAN |
| RATE kVA 100 | VECTOR GROUP Dyn 11 |
| H.V. VOLT. 22000 | LV.VOLT. 400/230 |
| H.V.AMP. 6.56 | LV.AMP. 360.85 |
| %IMPED.AT 75 °C | AMBIENT TEMP. 40 °C |
| TEMP.RISE: WINDING 65 K | TOP OIL 60 K |
| OIL 260 ℓ. | TOTAL WT. 1165 kg. |
| | DATE 2003 |

**ตารางที่ 2** ข้อมูลหม้อแปลงขนาด 250 kVAระยะเวลาใช้งาน 5 ปี การจ่ายโหลด 165.94 kVA

| | |
|---|---|
| THREE PHASE | ACCORDING TO IEC 60076 |
| FREQUENCY 50 Hz. | TYPE OF COOLING ONAN |
| RATE kVA 100 | VECTOR GROUP Dyn 11 |
| H.V. VOLT. 22000 | LV.VOLT. 400/230 |
| H.V.AMP. 6.56 | LV.AMP. 360.85 |
| %IMPED.AT 75 °C | AMBIENT TEMP. 40 °C |
| TEMP.RISE: WINDING 65 K | TOP OIL 60 K |
| OIL 260 ℓ. | TOTAL WT. 1165 kg. |
| | DATE 2003 |

### 4. ผลการทดลอง

ข้อมูลหม้อแปลงกำลังที่นำน้ำมันหม้อแปลงมาใช้ในการทดสอบและผลการทดสอบมาตรฐาน IEC 60156 ที่ระยะแกป 2.5 mm อิเล็กโทรดแบบครึ่งทรงกลมการวัดแรงดันกระแสสลับ ที่สภาวะความชื้นสมบูรณ์ที่ 17 g/m$^3$ และ ASTM D877 ที่ระยะแกป 2.5 mm อิเล็กโทรดแบบครึ่งทรงกลมการวัดแรงดันกระแสสลับ ที่สภาวะความชื้นสมบูรณ์ที่ 20 g/m$^3$

**ตารางที่ 3** ข้อมูล หม้อแปลงขนาด 100 kVAระยะเวลาใช้งาน 3 ปี การจ่ายโหลด 73.76 kVA

| | |
|---|---|
| THREE PHASE | ACCORDING TO IEC 60076 |
| FREQUENCY 50 Hz. | TYPE OF COOLING ONAN |
| RATE kVA 100 | VECTOR GROUP Dyn 11 |
| H.V. VOLT. 22000 | LV.VOLT. 400/230 |
| H.V.AMP. 2.62 | LV.AMP. 144.34 |
| %IMPED.AT 75 °C | AMBIENT TEMP. 40 °C |
| TEMP.RISE: WINDING 65 K | TOP OIL 60 K |
| OIL 165 l. | TOTAL WT. 605 kg |
| | DATE 2012 |

**ตารางที่ 4** การเกิดเบรกดาวน์น้ำมันหม้อแปลงตามมาตรฐาน IEC 60156

| ประเภท | แรงดันที่อ่านได้จากโวลท์เตจดิไวเดอร์ (kV) | | | | | ค่าเฉลี่ย |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | |
| น้ำมันใหม่ | 42.1 | 43.4 | 41.3 | 42.3 | 43.1 | 42.4 |
| ชนิด 1 | 24.5 | 23.3 | 21.8 | 23.7 | 25.2 | 23.7 |
| ชนิด 2 | 32.3 | 31.7 | 32.8 | 33.0 | 31.2 | 32.2 |
| ชนิด 3 | 18.3 | 19.1 | 18.5 | 18.7 | 18.4 | 18.6 |

**ตารางที่ 5** การเกิดเบรกดาวน์น้ำมันหม้อแปลงตามมาตรฐาน ASTM D877

| ประเภท | แรงดันที่อ่านได้จากโวลท์เตจดิไวเดอร์ (kV) | | | | | ค่าเฉลี่ย |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | |
| น้ำมันใหม่ | 41.2 | 41.5 | 42.1 | 41.7 | 41.3 | 41.5 |
| ชนิด 1 | 23.7 | 22.6 | 22.5 | 23.2 | 22.4 | 22.8 |
| ชนิด 2 | 34.5 | 33.2 | 34.6 | 34.2 | 33.7 | 34 |
| ชนิด 3 | 18.9 | 19.2 | 18.1 | 18.7 | 18.5 | 18.6 |

จากผลการทดสอบแสดงในรูปที่ 2 เป็นการเปรียบเทียบค่าความเครียดสนามไฟฟ้าของมาตรฐาน IEC 60156 กับ มาตรฐาน ASTM D877 ซึ่งผลที่ออกมามีค่าใกล้เคียงกัน แต่ล่ะมาตรฐานเพื่อให้ทราบถึงแฟกเตอร์หรือรูปลักษณะอิเล็กโทรดที่ใช้ในการทดสอบ ซึ่งจะสามารถคำนวณหาค่าแฟกเตอร์สนามไฟฟ้าของอิเล็กโทรดที่ใช้ในการทดสอบได้ เพื่อที่จะได้ทราบถึงค่าความคงทนของ ฉนวนทางไฟฟ้าของฉนวนน้ำมันหม้อแปลงที่ใช้ในการทดสอบ

**ตารางที่ 6** ค่าความเครียดสนามไฟฟ้าสูงสุดขณะเบรกดาวน์ (kV) ที่ระยะแกป 2.5 mm

| มาตรฐานที่ใช้ในการทดสอบ | ค่าความเครียดสนามไฟฟ้าสูงสุดขณะเบรกดาวน์ (kV) | | | |
|---|---|---|---|---|
| | น้ำมันใหม่ | ชนิดที่ 1 | ชนิดที่ 2 | ชนิดที่ 3 |
| IEC 60156 | 7.10 | 3.97 | 5.49 | 3.12 |
| ASTM D877 | 6.97 | 3.83 | 5.71 | 3.13 |

**รูปที่ 2** เทียบค่าความเครียดสนามไฟฟ้าสูงสุดขณะเบรกดาวน์ระหว่างมาตรฐาน IEC 60156 กับ ASTM D877

**4.1 วิเคราะห์ผลการทดลอง**

จากผลการทดสอบหาค่าแรงดันเบรกดาวน์และ การหาค่าความเครียดสนามไฟฟ้าสูงสุด โดยใช้ อิเล็กโตรดแบบ Partial Spherical ที่ระยะแกป 2.5 มิลลิเมตร ทำการทดสอบ ในห้องปฏิบัติการที่มีการควบคุมอุณหภูมิด้วยเครื่องปรับอากาศ ซึ่งจะพบว่าในการทดสอบของมาตรฐาน IEC 60156 ที่สภาวะ บรรยากาศเดียวกัน ดังนี้ อุณหภูมิ 24 องศาเซลเซียส ความดันบรรยากาศ 737 มิลลิเมตรปรอท ความชื้นสัมพัทธ์ 55 เปอร์เซ็นต์ ความชื้นสัมบูรณ์ 17 $g/m^3$ และของมาตรฐาน ASTM D877 ที่สภาวะ บรรยากาศเดียวกัน ดังนี้ อุณหภูมิ 26 องศาเซลเซียส ความดันบรรยากาศ 738 มิลลิเมตรปรอท ความชื้นสัมพัทธ์ 50 เปอร์เซ็นต์ ความชื้นสัมบูรณ์ 20 $g/m^3$

จากผลการการทดสอบหาค่าแรงดันไฟฟ้าเบรกดาวน์ ของมาตรฐานIEC 60156 ดังตารางที่ 3 และ มาตรฐาน ASTM D87 2 ผลการคำนวณหาค่าความเครียดสนามไฟฟ้าสูงสุดที่ผิวอิเล็กโทรด แบบ Partial Spherical และจาก (1) จะสามารถแสดงผลการคำนวณ หาค่าแฟกเตอร์สนามไฟฟ้าของอิเล็กโทรด ได้ และการเปรียบเทียบค่าความเครียดสนามไฟฟ้าสูงสุดขณะเบรกดาวน์ระหว่างมาตรฐาน IEC 60156 กับ ASTM D877 ดังรูปที่ 2

และจากผลการคำนวณจะพบว่า ความคงทนของ การฉนวนทางไฟฟ้าของฉนวนน้ำมันหม้อแปลงที่ใช้ ในการทดสอบที่ระยะแกป 2.5 มิลลิเมตรตามมาตรฐานกำหนด ซึ่ง น้ำมันฉนวนที่นำมาทดสอบพบว่า น้ำมันฉนวนชนิดที่ 3 มีค่าประมาณ 18.6 กิโลโวลต์ ซึ่งมีค่าต่ำกว่ามาตรฐาน เนื่องจากเป็นน้ำมันหม้อแปลง ที่ผ่านการใช้งานมาแล้วระยะหนึ่ง โดยฉนวนน้ำมัน หม้อแปลงตามมาตรฐานจะสามารถมีความคงทนของฉนวนทางไฟฟ้าได้ประมาณ 25 กิโลโวลต์ต่อมิลลิเมตร

## 5. สรุป

การทดสอบหาค่าแรงดันไฟฟ้าเบรกดาวน์ ในฉนวนน้ำมันหม้อแปลง ตามระเบียบวิธีที่มาตรฐาน กำหนด โดยทดสอบเปรียบเทียบระหว่างอิเล็กโตรด ที่ระยะแกป 2.5 มิลลิเมตรโดยใช้ชุดควบคุมอัตราการเพิ่มแรงดันจาก แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับปรับค่าได้ ที่ระยะแกปเท่ากัน ค่าเฉลี่ยแรงดันไฟฟ้าเบรกดาวน์ของฉนวน น้ำมันหม้อแปลงมีลักษณะของ สนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอสูง ตลอดช่วงระยะแกป อันเป็นผลมาจากรูป ลักษณะของอิเล็กโตรด โดยฉนวน น้ำมันหม้อแปลงที่ใช้ในการทดสอบนี้ เป็นฉนวนที่ ผ่านการใช้งานมาแล้วและมีความชื้นสูงซึ่งจะทำให้มี ค่าแรงดันไฟฟ้าเบรกดาวน์ที่ต่ำกว่าที่มาตรฐานค่าแฟกเตอร์สนามไฟฟ้าของอิเล็กโตรดสามารถนำไปใช้วิเคราะห์หาค่าความคงทนต่อความเครียดสนามไฟฟ้าเบรกดาวน์ของฉนวน น้ำมันหม้อแปลง หรือค่าความคงทนต่อความเครียดสนามไฟฟ้าเบรกดาวน์ของ ฉนวนน้ำมันหม้อแปลงในสนามไฟฟ้าแบบไม่สม่ำเสมอสูง หรือภายใต้อิเล็กโตรดรูปทรงอื่น ๆ สำหรับการออกแบบ วัสดุฉนวนโดยใช้ฉนวนน้ำมันหม้อแปลงได้อย่างเหมาะสม ต่อไปในอนาคต

## เอกสารอ้างอิง

[1] G. Chen and M. H. Zuber, “Pre- breakdown Characteristics of Contaminated Power Transformer Oil,” Electrical Insulation Magazine, IEEE Publication Date: Jan.-Feb. 2005, vol. 21, Issue: 1, pp.11- 19, 2007.

[2] A. S. Gill, “The Design of Transformer Oil,” 2000 IEEE International Symposium on Electrical Insulation, Anaheim, CA USA, April 2-5, 2000,

[3] International Electro Technical Commission, Insulating liquids – Determination of the Breakdown Voltage at Power Frequency – Test Method, IEC std. 60156, 2nd edition, 1995 – 07.

[6] Amanpreel Singh Gill, 2000, “The Design of Transformer oil”, IEEE conf. Elect. Ins, April, pp. 247-250

[8] IEC Pub. 60156, 1995, Insulating Liquids-Determination of the Breakdown Voltage at Power Frequency-Test Method, Thai Industrial Standards Institute, Ministry of Industry

[9]ASTM D 3487-08, 2008, Standard Specification for Mineral Insulating Oil Used in Electrical Apparatus.

# Optical properties of Electrochromic smart material by $WO_3$

**สัญญา คูณขาว [1]และ อภิชฎา ทองรักษ์ [2]**
[1]สาขาวิศวกรรมไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ประยุกต์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม
2410/2 ถ.พหลโยธิน เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900 โทรศัพท์: 02-579-1111 E-mail: sanya.kh@spu.ac.th
[2] สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
1381 ถนนพิบูลสงคราม แขวงบางซื่อ เขตบางซื่อ กรุงเทพฯ 10800 โทรศัพท์ 02-836-3000 ต่อ 4160 E-mail: Aphichata.t@rmutp.ac.th

## บทคัดย่อ

บทความวิจัยนี้นำเสนอกระบวนสร้างวัสดุอัจฉริยะอิเล็กโทรโครมิคที่เป็นแบบฟิล์มบางด้วยการระเหยเป็นไอของสารทังสเตนออกไซด์ในสภาวะสูญญากาศ ด้วยการใช้แรงดันไฟฟ้าในการควบคุมการเกิดปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้าเป็นการปรับความเข้มสีด้วยการให้แรงดันตรงและไบอัสย้อนกลับกับสารอิเล็กโทรโครมิกที่เคลือบอยู่บนกระจกโปร่งแสง การทดสอบด้วยสัญญาณที่เปลี่ยนแปลงกับคาบเวลาเพื่อเป็นการยืนยันผลการทดสอบด้วยแรงดันกระแสตรงในการเกิดสีและการจางของสี ซึ่งในที่นี้จากการทดสอบพบว่าการให้แรงดันไบอัสที่เป็นสัญญากระแสสลับที่ระดับแรงดัน 3Vp-p ความถี่ 10Hz และ 100Hz พบว่าการตอบสนองของสัญญามีการเปลี่ยนสถานะที่ต่ำ จึงเหมาะต่อการพัฒนาใช้เป็นกระจกที่สามารถปรับความเข้มของสีเพื่อใช้ในการควบคุมการผ่านของความเข้มแสงจากดวงอาทิตย์ และการใช้เป็นจอแสดงผลหรืออุปกรณ์การกรองของแสงได้

คำสำคัญ: อัจฉริยะอิเล็กโทรโครมิค, ทังสเตนออกไซด์, การระเหย

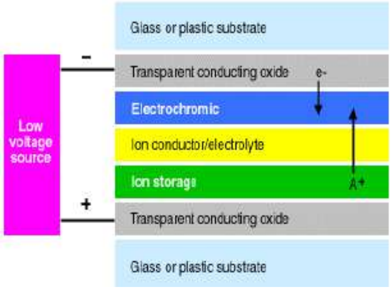
## Abstract

This paper presents the procedure to create smart materials electrochromic with a thin-film evaporation of tungsten oxide material under vacuum. By applying a voltage to control the electrochemical reaction to adjust the color intensity with a forward and reverse bias voltage with electrochromic material coating on the glass transparency. The test signal by changing the period of time to confirm the result with DC voltage in the coloring and bleaching of color. In this test showed that the bias voltage is the AC at 10Hz and 100Hz frequency voltage 3Vp-p found that the response of the agreement, a transition to low. It is suitable for the development of a mirror can adjust the intensity of the colors to be used to control the passage of light from the sun. And a display device or filtered light.

Keywords: , electrochromic tungsten oxide, evaporation

## 1. บทนำ

ในปัจจุบันนี้วัสดุอิเล็กโทรโครมิค(Electrochromic material) เป็นวัสดุที่มีความสามารถในการเปลี่ยนสี และการให้แสงผ่าน จากสนามไฟฟ้า ซึ่งมีความสามารถตอบสนอง ต่อการปรับแสง ซึ่งเป็นสมบัติของวัสดุอัจฉริยะ “Smart material” ในการปรับความเข้มสี และการสะท้อนคลื่นพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ซึ่งทำให้ลดอัตราการขยายตัวทางความร้อนได้ดี [1 ] โดยมีสารอิเล็กโทรไลท์ ทั้งที่เป็นแบบของแข็งและแบบที่เป็นของเหลวที่มีความหนืดสูง สามารถเป็นตัวนำและตัวจ่ายเพื่อให้ประจุอิออนเคลื่อนที่เข้าไปหรือออกจากชั้นสารดังแสดงในรูปที่1. ที่เกิดปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมีให้เปล่งสี หรือสีจางหายไป ดังนั้นสารอิเล็กโทรไลท์ที่มีความเข้มข้นที่เหมาะสมกับการแลกเปลี่ยนประจุอิออนในกระบวนการทางไฟฟ้าเคมีทั้งออกซิเดชั่น(Oxidation)และรีดักชั่น(Reduction)เป็นสิ่งที่สำคัญทั้งการดูดกลืนแสงและการส่งผ่านของแสง




**รูปที่1.** โครงสร้างของชั้นสารเคมีอิเล็กโทรโครมิคที่เคลือบลงบนกระจกที่เคลือบขั้วโลหะโปร่งแสงเป็นการเรียงตัวซ้อนทับกันตามแนวตั้ง

จากการได้รับแรงดันไบอัสตรงและแรงดันไบอัสย้อนกลับให้กับสารประกอบทังสเตนออกไซด์ลงบนกระจกที่มีขั้วไฟฟ้าโปร่งแสงที่เป็นวัสดุอัจฉริยะอิเล็กโทรโครมิคจำเป็นต้องศึกษาคุณสมบัติพื้นฐานทางไฟฟ้า โดยมีช่วงเวลา (Delay time) และความเร็วของการเปลี่ยนสถานะความเข้มสี (Switching time) [2 ] ที่จำเป็นต่อปฏิกิริยาเคมีในการแทนที่ของประจุอิออนจากสมการรีด็อกซ์สามารถแสดงได้ดังนี้

$$WO_3 + xM^+ + xe^- \leftrightarrow M_xWO_3$$

ซึ่งประกอบด้วย $M^+ = H^+, Li^+, Na^+$ หรือ $K^+$ และ อิออนลบ ($e^-$) เข้าไปแทนที่อิเล็กตรอน โดยในแต่ละธาตุของสารเคมีที่เป็นอินเล็กโทรโคมิคกับสารอิเล็กโทรไลท์ที่เป็นชั้นของสารละลายเพื่อการแลกเปลี่ยนอิเล็กตรอนกับประจุอิออนของธาตุที่ขั้วโลหะโปร่งแสงที่เคลือบอยู่บนกระจก หรือชั้นของเนื้อวัสดุอิเล็กโทรโครมิคที่เคลือบอยู่ ณ ที่นี้เมื่อหยุดการให้แรงดันไบอัส พบว่าวัสดุอัจฉริยะจะยังคงสภาพของสีไว้ได้เป็นเวลานาน

## 2. การเคลือบฟิล์มบางทังสเตนออกไซด์ $WO_3$

### 2.1 การเตรียมแผ่นกระจก ITO

การเตรียมกระจกเพื่อการเคลือบฟิล์มของทังสเตนออกไซด์จะใช้กระจกที่มีการเคลือบโลหะออกไซด์โปร่งแสงของสารประกอบอินเดียมทินออกไซด์เรียกว่ากระจก (ITO Glass) ด้วยการตัดแผ่นกระจก ITO ออกให้มีขนาด $3.33 \times 2.5\, cm^2$ ทำความสะอาดชิ้นกระจกด้วย acetone และน้ำยาเช็ดกระจก Isopropyl Alcohol จากนั้นทำให้แห้ง ดังแสดงในรูปที่ 2 ภายหลังจากการตัดกระจก ITO แล้วให้ทำความสะอาดอีกครั้งแล้ววัดค่าความต้านทานของกระจกโดยด้านที่เคลือบสาร ITO มีความต้านทานประมาณ 22-25 โอห์ม ส่วนด้านที่เป็นกระจกจะมีความต้านทานสูงมาก

(ก) (ข)

**รูปที่2.** การทดสอบกระจกด้านที่เป็นกระจก(ก )และเคลือบสาร ITO(ข)

### 2.2 การเคลือบทังสเตนออกไซด์ ($WO_3$) บนแผ่นกระจก ITO

ทำความสะอาดภายในภาชนะเครื่องเคลือบสุญญากาศ และทำการติดตั้งส่วนของไส้ทังสเตนที่มีความต้านทาน 2 โอห์ม ที่เป็นแบบหลุมเพื่อใส่สารประกอบทังสเตนออกไซด์ปริมาณ 0.1 กรัม ในหลุมของไส้ความร้อนทังสเตน และจัดวางแผ่นตะแกรงโลหะที่ตัดเป็นช่องสำหรับวางกระจก ITO ให้ห่างจากไส้ทังสเตนประมาณ 4 cm จากนั้นปิดฝาครอบกระจกด้านบน ทำการดูดอากาศและสารประกอบที่เจือปนอยู่ภายในออกจนความดันภายในลดต่ำลงที่ 0.4 Pa จากนั้นให้เริ่มปรับแรงดันที่อุปกรณ์ควบคุมกระแสที่ให้กับไส้ความร้อนทังสเตนที่ระดับกระแส 150 แอมป์ ต่อจากนั้นให้ปิดวาล์วที่ต่อเชื่อมกับปั๊มสุญญากาศ เมื่อกระแสที่เพิ่มสูงถึง 150 แอมป์ จะทำให้สารประกอบทังสเตนออกไซด์เกิดการระเหย ในระยะแรกให้รอประมาณ 30 วินาที จากนั้นให้เปิด shutter ที่กั้นระหว่างแผ่นกระจกกับไส้ความร้อนไอระเหยก็จะระเหยขึ้นไปติดยังส่วนของกระจก ITO โดยในขั้นตอนนี้ต้องรักษาระดับกระแสให้คงที่ที่ 150 A จนกระทั่งสารประกอบทังสเตนออกไซด์ได้ระเหยจนหมด จึงค่อยๆลดระดับกระแสลงอย่างช้าจนเป็นศูนย์แอมป์ ดังแสดงในรูปที่ 3

**รูปที่3.** อุปกรณ์การควบคุมกระแส และระบบสุญญากาศการ(ก) และการระเหยผงทังเสตนออกไซด์เป็นไอจับที่กระจก ITO(ข)

จากนั้นนำไปอบภายใต้บรรยากาศก๊าซไนโตรเจน ในปริมาณ 0.5 ลิตรต่อนาที ทิ้งไว้ประมาณ 10 นาทีจึงเริ่มทำการอบ (ปล่อยก๊าซไนโตรเจนตลอดเวลาที่อบ)ที่อุณหภูมิ100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ต่อจากนั้นเพิ่มอุณหภูมิเป็น 150 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 ชั่วโมง หลังจากนั้นค่อยๆลดอุณหภูมิลง 50 องศาเซลเซียส ทุกๆ 1 ชั่วโมงจนเข้าสู่อุณหภูมิปกติ เพื่อเพิ่มการยึดเกาะของฟิล์มบาง

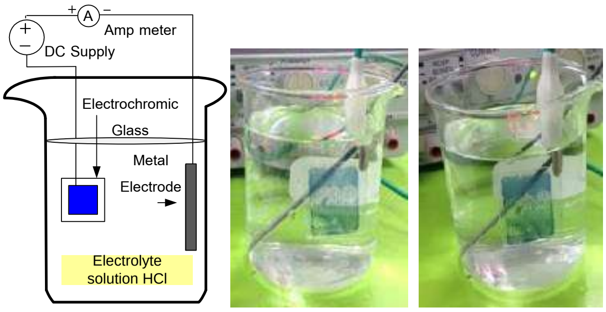
## 3. การทดสอบสมบัติทางไฟฟ้า

การเคลือบฟิล์มบางของสารโลหะออกไซด์ที่เป็นอิเล็กโทรโครมิค ซึ่งมีประจุอิออนบวกเพื่อใช้ในการแลกเปลี่ยนอิเล็กตรอน และสารอิเล็กโทรไลท์ที่ใช้ในการนำประจุอิออนที่เป็นสารละลายของเหลว เมื่อตัวเซลล์ของกระจกอิเล็กโทรโครมิคได้รับการจ่ายแรงดันจะทำให้ประจุอิออน และอิเล็กตรอน ($e^-$ )นั้นถูกฉีดเข้าไปยังสารประกอบโลหะออกไซด์ที่เป็นส่วนของชั้นอิเล็กโทรโครมิค เช่นทังสเตนออกไซด์ ก็จะเปลี่ยนความเข้มสีในชั้นของอิเล็กโทรโครมิคที่เคลือบบนกระจกที่ชั้นนำไฟฟ้าโปร่งแสงด้วยแรงดันไบอัสตรงและย้อนกลับ

#### 3.1การทดสอบสมบัติทางไฟฟ้ากระแสตรง

สมบัติทางไฟฟ้าด้านกระแสตรงเป็นการศึกษากระบวนการของการเกิดปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้ากับชิ้นงานที่ทำการสร้างส่วนของชั้นอิเล็ก

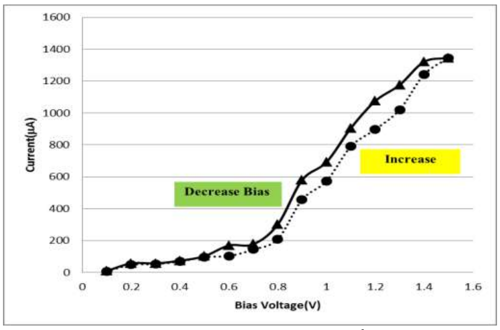
โทรโครมิคที่มีความต้านทาน 2-6k$\Omega$+เมื่อได้รับการให้แรงดันไบอัสตรงและย้อนกลับซึ่งเป็นการควบคุมการกระตุ้นของการฉีด และการแยกของอิเล็กตรอนและอิออนโลหะเข้าสู่ชั้นของออกไซด์ของทังสเตนออกไซด์ด้วยสารละลายอิเล็กโทรไลติกของ HCl ที่ความเข้มข้น 0.1M,0.01M และ 0.001M ด้วยการปรับแรงดัน จาก 0 ถึง 1.5 โวลต์




(ก) (ข) (ค)

**รูปที่4.** (ก)ชุดการทดลองการตอบสนองแรงดันกระแสตรง (ข) การเปลี่ยนสีที่แรงดัน 0.5 Vและ(ค)ที่แรงดัน 0.8V

การทดลองการไบอัสแรงดันกระแสตรงและไบอัสย้อนกลับด้วยขั้วโลหะเพื่อสังเกตการเปลี่ยนแปลงของกระจก โดยการจ่ายแรงดันจาก DC Supply ให้ขั้ว + ต่อเข้าที่ขั้วโลหะ ขั้ว - ต่อกระจกอิเล็กโทรโครมิค นำกระจกและขั้วโลหะจุ่มในสารละลายอิเล็กโทรไลท์ ของกรด" ไฮโดรคลอลิค HCl ดังแสดงในรูปที่ 4 และทำการปรับแรงดัน จาก 0 ถึง 1.5 โวลต์ และลดแรงดันไบอัสจาก1.5โวลต์ ถึง 0 โวลต์ สังเกตการเปลี่ยนแปลงของกระจกและกระแสที่ไหลผ่าน

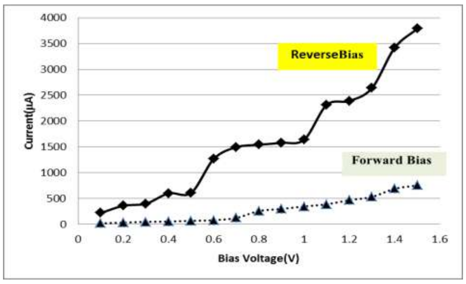



**รูปที่ 5.** ความสัมพันธ์ของกระแสกับแรงดันขณะที่เพิ่มแรงดันไบอัส และลดแรงดันไบอัส

เมื่อกระจกอิเล็กโทรโครมิคได้รับแรงดัน จะเริ่มเปลี่ยนแปลงทางกายภาพเปลี่ยนสีเป็นสีฟ้า ดังแสดงดังรูปที่ 4 (ข)-(ค) เนื่องจาก ประจุที่เก็บอยู่ที่ชั้นเก็บประจุถูกผลักให้เข้าไปในชั้นอิเล็กโตรไลท์และนำพาไปรวมตัวกับสารที่จะเกิดปฏิกิริยา ที่มีการแลกเปลี่ยนอิเล็กตรอนของปฏิกิริยารีดอกซ์ที่อยู่ในชั้นอิเล็กโทรโครมิค เกิดการดูดกลืนแสงหรือสะท้อนแสง ทำให้ฟิล์มชั้นนี้เปลี่ยนสีเป็นสีเข้มขึ้น และจะมีสีฟ้าเข้มมากขึ้นเมื่อจ่ายแรงดันเพิ่มขึ้น แต่เมื่อลดแรงดันลงสีของกระจกก็ยังอยู่เหมือนเดิมกับที่จ่ายแรงดันเพิ่มขึ้น เนื่องจากสารอิเล็กโทรโครมิคนั้นมีความสามารถในการจำของประจุอิออนที่เกิดการเปลี่ยนสียังคงสภาพเดิมโดยไม่ได้ถูกนำออกจากชั้นสะสมประจุอิออนซึ่งเปรียบเสมือนการอัดประจุของแบตเตอร์รี่ ซึ่งหมายถึงปฏิกิริยารีดอกซ์ทำให้เกิดกลุ่มของโมเลกุลของสาร $M_xWO_3$ (blue) ที่ได้จากอิออน $M^+$ คือ $H^+$ ที่เป็นผลของ Hysteresis ของสภาพการจำระหว่างประจุอิออนและอิเล็กตรอน[3]ดังแสดงในรูปที่ 5

## 3.2 การทดสอบสมบัติทางไฟฟ้าทางด้านไบอัสตรงและไบอัสย้อนกลับ

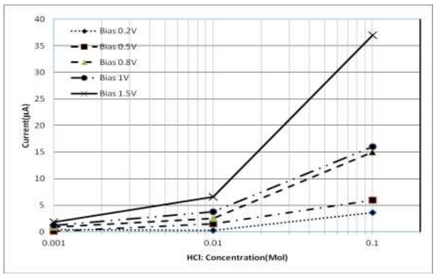
การทดสอบด้วยแรงดันไบอัสตรงและไบอัสย้อนกลับจะใช้วงจรเดียวดังรูปที่4(ก) โดยที่แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง(DC Supply)0-1.5 โวลต์ โดยการให้ขั้ว + ต่อที่กระจก และขั้ว - ต่อที่ขั้วโลหะ จากนั้นทำการสลับขั้วแหล่งจ่ายไฟฟ้า บันทึกค่ากระแส และสังเกตการเปลี่ยนแปลงของสีที่กระจกเคลือบสารทังเสตนออกไซด์



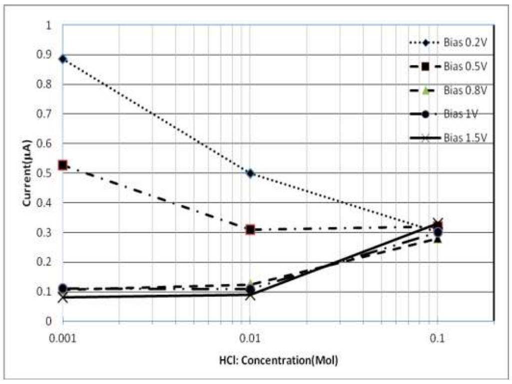

**รูปที่6.** ความสัมพันธ์ของกระแสกับแรงดันขณะให้แรงดันไบอัสตรงกับและแรงดันไบอัสย้อนกลับที่ขั้วคาโทดของแผ่นกระจกอิเล็กโทรโครมิค

## 3.3 ผลกระทบความเข้มข้นของสารละลายอิล็กโทรไลท์ HCl ในโมล่าที่ต่างกันที่แรงดันไบอัสกระแสตรงและย้อนกลับ

การควบคุมความเข้มข้นสารละลายอิเล็กโทไลท์นี้ต้องการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสีที่ระดับแรงดันไบอัสต่างๆโดยใช้สารละลาย HCl ขนาดความเข้มข้น 0.1 โมล, 0.01 โมล และ 0.001 โมล กับชุดการทดลองตามรูปที่4(ก) ทดลองการเพิ่มแรงดัน 0-1.5 โวลต์ บันทึกค่ากระแส และสังเกตการทดลอง และทำการสลับขั้วแหล่งจ่ายไฟฟ้า




รูปที่7.ความสัมพันธ์ของกระแสและความเข้มข้นของสารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่ระดับแรงดันไบอัสต่างๆขณะให้แรงดันไบอัสตรง

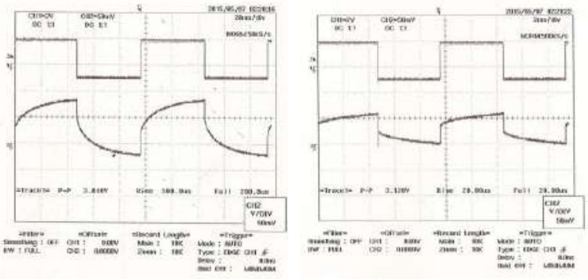



**รูปที่8.** ความสัมพันธ์ของกระแสและความเข้มข้นของสารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่ระดับแรงดันไบอัสต่างๆขณะให้แรงดันไบอัสย้อนกลับ

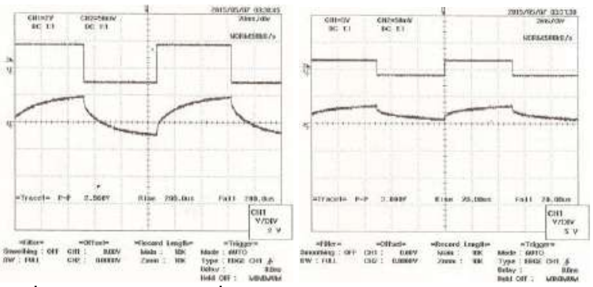
จากการทดสอบพบว่าที่ความเข้มข้นสารละลายอิเล็กโทรไลท์ 0.1 โมล นั้นมีความเข้มข้นมากสุดเมื่อจ่ายแรงดันให้กับวงจร สีของกระจกจะมีความเข้มมากขึ้น จะเปลี่ยนจากสีขุ่นเป็นสีฟ้าและมีความเข้มมากขึ้นเมื่อเพิ่มแรงดัน และเมื่อทำการสลับขั้นแหล่งจ่ายไฟ กระจกจากสีที่เข้มอยู่จะเริ่มกลับมาเป็นสีขุ่นดังเดิมเนื่องจากประจุที่อยู่ในชั้นนี้ก็จะถูกผลักกลับไปเก็บไว้ที่ชั้นฟิล์มเก็บประจุเหมือนเดิมซึ่งจะเป็นการลดความเข้มของสีที่ชั้นของ Electrochromic ดังแสดงดังรูปที่ 7-8

### 3.4 การตอบสนองของสัญญาณกระแสสลับ (Frequency Response)

การทดสอบสัญญาณกระแสไฟฟ้าสลับเป็นการให้แรงดันไบอัสตรงและย้อนกลับสลับกันที่ความถี่ต่ำๆ เพื่อเป็นการยืนยันผลการทดลองทางด้านกระแสตรง ด้วยการกำหนดแผ่นกระจกที่เคลือบสารอิเล็โทรโครมิค สองแผ่นโดยเป็นแผ่นคาโทดและแอโนด ซึ่งการตอบสนองของกระจกอิเล็กโทรโครมิคต่อสัญญาณกระแสสลับในสารละลาย HCl (ไฮโดรคลอริก) ที่ความเข้มข้นขนาด 0.2 5แสดงตามรูปที่ 9 และ 1โมล ดังแสดงตามรูปที่ 10 ที่แรงดันอินพุท 3Vpp ความถี่ 10 Hz, 100 Hz และ 200 Hz ตามลำดับ



รูปที่9 สัญญาณเอาท์พุทที่สารละลาย HCl ความเข้มข้น 0.25โมลระหว่างกระจกอิเล็กโทรโครมิค กับ ขั้วโลหะความถี่ 10 Hz **และ100Hz**



รูปที่10 สัญญาณเอาท์พุทที่สารละลาย HCl ความเข้มข้น 1.0โมล ระหว่างกระจกอิเล็กโทรโครมิค กับ ขั้วโลหะความถี่ 10 Hz **และ100Hz**

ผลของสัญญาณกระแสสลับนั้นเป็นการให้แรงดันไบอัสตรงและย้อนกลับ ระหว่างกระจกอิเล็กโทรโครมิคกับขั้วโลหะทังสเตนในสารละลาย HCl ที่ความเข้มข้น 0.25โมลและ 1.0 โมล ความถี่10Hz และ 100Hzพบว่าสัญญาณเอาท์พุทมีการเปลี่ยนแปลงแบบเอ็กซ์โพแนนเชียล นั่นคือขณะทีเกิดปฏิกิริยารีดอกซ์ประจุมีการถ่ายเทเช่นเดียวกับการอัดประจุและคายประจุไฟฟ้าแล้วสีของกระจกจะค่อยๆเปลี่ยนสีเข้มขึ้น และจางลงโดยมีการตอบสนองที่ความถี่ต่ำได้ดีกว่าที่ความถี่สูงเนื่องจาก switching time ที่ต่ำ

## 4. สรุป

ฟิล์มบางทังสเตนออกไซด์ที่สร้างขึ้นเมื่อทำการทดสอบทางไฟฟ้ากับสารละลายอิเล็กทรอไลท์พบว่ามีความสามารถในการเปลี่ยนเป็นสีน้ำเงินเมื่อให้แรงดันไบอัสตรง และเมื่อให้แรงดันไบอัสย้อนกลับก็จะเป็นทำให้เกิดการเปลี่ยนของสีจางลง อีกทั้งไม่จ่ายแรงดันไบอัสพบว่าสภาพของสีไม่มีการเปลี่ยนแปลงจากสภาพการจำของสี การทดสอบด้วยสัญญาณกระแสสลับเป็นการควบคุมการเปลี่ยนจังหวะของการเกิดสีและการจางของสีที่ความถี่ต่ำได้ดี

## เอกสารอ้างอิง

[1] Wienold, J. 2003 “Switchable façade technology,”. Building integration – Final report. Report number: swift-wp3-ise-jw-030616, Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems, Heidenhofstr. 2,D-79110 .

[2] U. Fischer, T. Häusler, H. Rogaß, M. Rottmann, A. Kraft, K.- H. Heckner.2003: “Heat Transport and Thermal Expansion of Electrochromic Glazing systems with Voltage Controlled Transmission due to Solar Irradiation,” Fifteenth Symposium on Thermophysical **Properties**, June 22-27. Volume 25, Issue 4, 1299-1307.

[3] สัญญา คูณขาว “สมบัติวัสดุอัจฉริยะอิเล็คทรโครมิคของฟิล์มบางทังสเตนออกไซด์”วารสารศรีปทุมปริทัศน์,ฉบับวิทยาศาสตร์ที่4 ,2555หน้า14-28.

**ผศ.ดร.สัญญา คูณขาว** ปัจจุบันทำงานภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ประยุกต์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ ม.ศรีปทุม สนใจในงานวิจัยสิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำและ อิเล็กทรอนิกส์ประยุกต์

# การวิเคราะห์ผลของระยะห่างระหว่างเสาบนเสาโมโนโพลสำหรับระบบส่งย่อย 115 กิโลโวลต์ ในระบบจำหน่ายไฟฟ้ากำลัง

# Effect of Span Length on 115 kV Monopole Subtransmission Line in Power Distribution System

**นคร อัมระนันท์ [1] สมพร สิริสำราญนุกุล [1] และ อรรถ พยอมหอม[2]**

[1]ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

1518 ถ. พิบูลสงคราม เขต บางซื่อ กรุงเทพมหานคร 10800 โทรศัพท์ 091-003-5891 E-mail: au.nakron@gmail.com, spss@kuutnb.ac.th

[2]กองวิศวกรรมไฟฟ้า ฝ่ายวางแผนระบบไฟฟ้า การไฟฟ้านครหลวง

เขตคลองเตย กรุงเทพมหานคร 10110 โทรศัพท์ : 02-348-5629 E-mail: attp@mea.or.th

## บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการวิเคราะห์ผลของระห่างระหว่างเสาไฟฟ้าต่ออัตราการเกิดวาบไฟตามผิวย้อนกลับ กรณีเกิดฟ้าผ่าที่หัวเสาในระบบจำหน่าย 115 กิโลโวลต์ บนเสาเหล็กหรือเสาโมโนโพล ในรูปแบบการจัดเรียงของเฟสอยู่ในแนวดิ่ง โดยใช้โปรแกรม Alternative Transient Program-Electromagnetic Transient Program (ATP-EMTP) สำหรับรูปคลื่นกระแสฟ้าผ่า 10/350 ไมโครวินาที พบว่า ระยะห่างระหว่างเสา 40, 80, 100 และ 160 เมตร ที่มีความต้านทานพัลส์เดียวกัน เมื่อระยะห่างระหว่างเสาห่างมากขึ้น จะทำให้ค่ากระแสฟ้าผ่าวิกฤตน้อยลง ส่งผลให้มีอัตราการเกิดวาบไฟตามผิวย้อนกลับมีค่ามากขึ้น

คำสำคัญ: กระแสไฟฟ้าวิกฤต, อัตราการเกิดวาบไฟตามผิวย้อนกลับ, ค่าความต้านอิมพัลส์

## Abstract

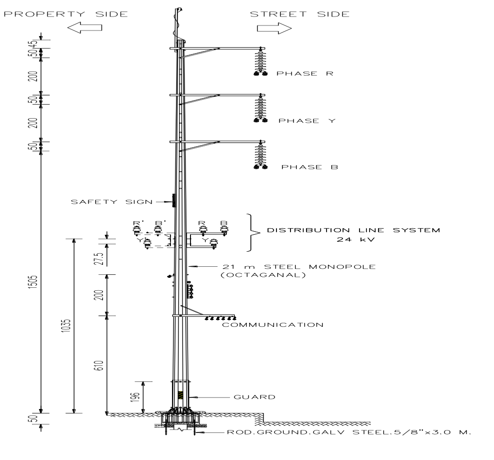
This paper presents the analysis of the span length pole with Back flashover rate (BFOR) for lightning strike directly to the top of the monopole of overhead ground wire in a 115 kV distribution system. The analysis is carried out using Alternative Transient Program Electromagnetic Transient Program (ATP-EMTP). With the waveform of lightning 10/350 microsecond, we found that for the distance between the pole at 40, 80, 100, 120 m at the same of impulse resistance point, the more distance between the poles, the less lightning critical current, causing the higher Back Flashover rate.

Keywords: Critical Current, Back Flashover Rate, Impulse Resistance

## 1. บทนำ

การเกิดฟ้าผ่าเป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ โดยเริ่มจากการรวมตัวของก้อนเมฆฟ้าผ่า ที่มีทั้งประจุบวกและลบ เมื่อสะสมประจุมากขึ้นก็ทำให้ศักย์ไฟฟ้าระหว่างก้อนเมฆกับพื้นดินที่เพิ่มมากขึ้น จนถึงจุดสูงสุด จนทำให้เกิดการถ่ายเทประจุไฟฟ้าปริมาณมหาศาลระหว่างก้อนเมฆกับพื้นดิน

ในปัจจุบันประเทศไทยมีระบบจำหน่าย 115 กิโลโวลต์ มีการใช้งานอยู่ในหลายพื้นที่ จึงทำให้ต้องระมัดระวังในการออกแบบระบบจำหน่ายให้มีความน่าเชื่อถือ และมีความผิดพลาดให้น้อยที่สุด เพราะการเกิดฟ้าผ่าเป็นเรื่องที่เกิดตามธรรมชาติที่ไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้ จะส่งผลกระทบกับระบบจำหน่าย ทำให้ระบบจำหน่ายล้มเหลว และเกิดความเสียหายเป็นบริเวณกว้างทั้งต่อมนุษย์และสิ่งมีชีวิตอื่นๆ จึงทำให้ต้องออกแบบเสาไฟฟ้าให้มีประสิทธิภาพต่อการทนต่อกระแสฟ้าผ่าที่เกิดขึ้น โดยบทความนี้จะนำเสนอรูปแบบเสาโมโนโพล (เสาเหล็ก) เพื่อหาค่ากระแสฟ้าผ่าที่เกิดขึ้นดังรูปที่ 1




รูปที่ 1 แบบโครงสร้างของโมโนโพล ที่ระบบ 115 กิโลโวลต์

เมื่อเกิดเหตุการณ์ฟ้าผ่าที่หัวเสาของระบบจำหน่าย จะทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำเกิดขึ้น ทำให้ค่ากระแสฟ้าผ่าวิกฤต ส่งผลให้เกิดความเสียหายเนื่องจากอัตราการเกิดวาบไฟตามผิวย้อนกลับ โดยใช้โปรแกรม Alternative Transient Program-Electromagnetic Transient Program (ATP-EMTP) ในการวิเคราะห์หาค่ากระแสฟ้าผ่าวิกฤต เพื่อนำไปคำนวณหาอัตราการเกิดวาบไฟตามผิวไฟย้อนกลับ เมื่อเกิดฟ้าผ่าที่หัวเสาของระบบจำหน่าย 115 กิโลโวลต์ โดยกำหนดรูปคลื่นกระแสฟ้าผ่า 10/350 ไมโครวินาที ในลักษณะเสาโมโนโพล ที่มีการจัดเรียงของเฟสอยู่ในแนวดิ่ง

## 2. ลักษณะการเกิดฟ้าผ่า

ลักษณะการเกิดฟ้าผ่าสามารถแบ่งออกเป็น 3 ลักษณะ โดยจะขึ้นอยู่กับแต่ละพื้นที่การเกิดฟ้าผ่า [1-2]

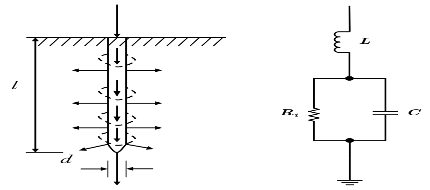
1. ฟ้าผ่าโดยตรงไปที่สายจำหน่าย เมื่อแรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้นที่ฉนวนมีค่ามากกว่าแรงดันไฟฟ้าวิกฤต (Critical Flashover Voltage หรือ CFO) ที่จะเกิดการวาบไฟตามผิวฉนวน โดยในกรณีนี้เกิดจากการป้องกันที่ล้มเหลว หรือเรียกได้ว่า การวาบไฟตามผิวฉนวนเนื่องจากการป้องกันที่ล้มเหลว

2. ฟ้าผ่าโดยตรงไปที่สายดิน และทำให้เกิดการเหนี่ยวนำในสายเฟส (Overhead Ground Wire หรือ OHGW) เป็นการผ่าลงสายดิน จะทำให้มีคลื่นเคลื่อนที่จากหัวเสาผ่านเส้นตัวนำในเสาลงสู่พื้นดิน โดยคลื่นกระแสฟ้าผ่าจะมองโครงสร้างเสาเป็นเสิร์จอิมพีแดนซ์ค่าหนึ่ง และถ้าหลักดินมีค่าความต้านทานรากสายดินสูงกว่าเสิร์จอิมพีแดนซ์ของเสา จะทำให้เกิดคลื่นสะท้อนกลับเป็นทางบวก เพราะความต้านทานหลักดินสูง และเมื่อเกิดคลื่นสะท้อนกลับเป็นทางลบได้หากมีค่าต่ำกว่าเสิร์จอิมพีแดนซ์ของเสา จะมีการรวมกันของคลื่นสะท้อนมารวมกันทำให้โครงสร้างเสามีแรงดันสูงขึ้นมากกว่าค่า CFO เกิดวาบไฟตามผิวเรียกว่าวาบไฟตามผิวย้อนกลับ (Back Flash Over)

3. ฟ้าผ่าไปยังจุดบริเวณใกล้เคียงระบบจำหน่าย หรือบนพื้นดินในกรณีนี้จะทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำขึ้นที่สายเฟส โดยที่หากค่าแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำนี้มีค่าเกินกว่าแรงดันไฟฟ้าวิกฤตที่จะเกิดวาบไฟตามผิวของฉนวน การวาบไฟตามผิวก็จะเกิดขึ้นที่ฉนวน แรงดันไฟฟ้าเกินจากกรณีนี้สามารถพบเกิดได้บ่อยกว่า 2 ลักษณะ ที่กล่าวไว้ข้างต้น

### 2.1 ค่าอิมพีแดนซ์ของแท่งหลักดิน

เสาไฟฟ้าของระบบส่ง มีการปักแท่งหลักดินของเสาไว้ในส่วนฐานเสา โดยวงจรสมมูลของแท่งหลักดินของเสาไฟฟ้า ซึ่งมีองค์ประกอบ คือ ค่าความต้านทาน ค่าความเก็บประจุ และค่าความเหนี่ยวนำของแท่งหลักดิน ดังรูปที่ 2 สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 1, 2, 3 และ 4 [3-4]




รูปที่ 2 วงจรสมมูลของแท่งหลักดินเมื่อมีกระแสฟ้าผ่าไหลผ่าน [3]

$$R_0 = \frac{\rho}{2\pi l}\left(\ln\frac{8l}{d} - 1\right) \quad (1)$$

$$R_i = \alpha R_0 \quad (2)$$

$$C = \frac{\varepsilon_r l}{18\ln\left(\frac{4l}{d}\right)} \times 10^{-9} \quad (3)$$

$$L = 2l.\ln\left(\frac{4l}{d}\right) \times 10^{-7} \quad (4)$$

| | | | |
|---|---|---|---|
| เมื่อ | $R_i$ | คือ | ความต้านทานดินอิมพัลส์ (โอห์ม) |
| | $R_o$ | คือ | ความต้านทานดินที่ความถี่กำลัง (โอห์ม) |
| | $\alpha$ | คือ | สัมประสิทธิ์อิมพัลส์ของความต้านทานดิน |
| | C | คือ | คาปาซิแตนซ์ของรากสายดิน (ฟารัด) |
| | L | คือ | อินดักแตนซ์ของรากสายดิน (เฮนรี่) |
| | l | คือ | ความยาวของแท่งหลักดิน (เมตร) |
| | d | คือ | เส้นผ่านศูนย์กลางของแท่งหลักดิน (เมตร) |
| | $\varepsilon_r$ | คือ | Relative Permittivity ของดิน ( $\varepsilon_r$ =10) |

### 2.2 ค่าความถี่สำหรับจำลองสาย

สายส่งถูกจำลองด้วยแบบแปรผันกับความถี่ ในแต่ละช่วงความยาวสายสามารถหาได้จากสมการที่ 5 [2]

$$f = \frac{3\times 10^8}{4l_{line}} \quad (5)$$

| | | | |
|---|---|---|---|
| เมื่อ | f | คือ | ความถี่สำหรับการจำลองสาย (เฮิรตซ์) |
| | $l_{line}$ | คือ | ความยาวสาย (เมตร) |

### 2.3 อัตราการเกิดวาบไฟตามผิวย้อนกลับ

เมื่อเกิดฟ้าผ่าลงสายดินที่หัวเสาไฟฟ้า กระแสฟ้าผ่าจะกระจายลงสู่ดิน และจะไหลไปตามสายล่อฟ้าไปยังบริเวณเสาข้างเคียง ในลักษณะของคลื่น และเกิดการสะท้อนกลับ ซึ่งทำให้เกิดการหักล้าง หรือเสริมกันกับแรงดันอิมพัลส์ที่เกิดขึ้นบนยอดเสา ทำให้เกิดแรงดันในสายดิน และเกิด

เหนี่ยวนำในสายเฟส จะมีค่าประมาณ 20-30 % ของแรงดันเกินในสายดิน ทำให้มีแรงดันคร่อมฉนวนลูกถ้วยเกิดขึ้น โดยแรงดันคร่อมฉนวนขึ้นอยู่กับแรงดันเกินในสายดิน ซึ่งมีผลมาจากเสิร์จอิมพีแดนซ์ของสายดิน เสิร์จอิมพีแดนซ์ของเสา และค่ากระแสฟ้าผ่า

ถ้าแรงดันเกินในสายดินและแรงดันเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นในสายเฟสมีค่าแตกต่างกันมากกว่าค่า CFO ของฉนวนลูกถ้วยจะทำให้เกิดวาบไฟตามผิวย้อนกลับ (Back Flashover) ของฉนวนลูกถ้วยและอาจเป็นสาเหตุทำให้เกิดไฟฟ้าดับต่อมา ซึ่งในทางปฏิบัติแรงดันเกินที่เกิดขึ้นมีผลมาจากความต้านทานดิน และระยะห่างระหว่างเสาด้วยสำหรับสมการที่ใช้คำนวณหาค่าอัตราการเกิดวาบไฟตามผิวย้อนกลับ (Back Flashover Rate : BFOR) ได้จากสมการที่ 6, 7 และ 8 [5-6]

$$BFOR = P(I \geq I_c) \times N_l \qquad (6)$$

$$N_l = N_g\left(\frac{28h^{0.6}+b}{10}\right) \qquad (7)$$

$$N_g = 0.0133T_d^{1.25} \qquad (8)$$

เมื่อ BFOR คือ อัตราการเกิดวาบไฟตามผิวย้อนกลับ (ครั้ง/100 วงจร-กม./ปี)

$P(I \geq I_c)$ คือ ความน่าจะเป็นสะสมที่กระแสฟ้าผ่า I สูงกว่าหรือเท่ากับกระแสวิกฤต (%)

$h$ คือ ความสูงเฉลี่ยของสายดินป้องกัน (เมตร)

$N_l$ คือ จำนวนครั้งที่ฟ้าผ่าจะผ่าลงสายดินป้องกัน (ครั้ง/100 วงจร-กม./ปี)

$b$ คือ ระยะห่างระหว่างสายดิน (เมตร)

$T_d$ คือ จำนวนวันพายุฟ้าคะนองต่อปี (วัน/ปี)

$N_g$ คือ ความหนาแน่นของจำนวนลำฟ้าผ่าลงสู่ดิน (flashes/$km^2$/yr)

ความน่าจะเป็นที่กระแสฟ้าผ่าสูงกว่า หรือเท่ากับกระแสค่ายอด โดยข้อมูลเหล่านี้ค่าที่ได้เป็นไปตามพื้นที่และวิธีการตรวจวัด แต่สามารถแสดงในรูปสมการของขนาดกระแสฟ้าผ่า โดยสามารถคำนวณความน่าจะเป็นจากสมการที่ 9 [6]

$$P(I) = \frac{1}{\left(1+\left(\frac{I}{M}\right)^B\right)} \qquad (9)$$

เมื่อ $P(I)$ คือ ความน่าจะเป็นที่กระแสฟ้าผ่าสูงกว่า หรือเท่ากับกระแสค่ายอด (%)

$I$ คือ กระแสฟ้าผ่าค่ายอด

$M$ คือ กระแสฟ้าผ่าค่ามัธยฐานเท่ากับ 34.4 kA

$B$ คือ ค่าคงที่สำหรับประเทศไทยเท่ากับ 2.5

## 3. กรณีศึกษา

ในการวิเคราะห์พิจารณาหาค่ากระแสวิกฤตฟ้าผ่า สำหรับนำไปหาอัตราการเกิดวาบไฟตามผิวย้อนกลับ ที่เป็นสาเหตุทำให้เกิดความเสียหายของระบบจำหน่าย 115 กิโลโวลต์ โดยจะทำการศึกษากรณีเกิดฟ้าผ่าที่หัวเสาในรูปแบบเสาโมโนโพล ที่ระบบจำหน่าย 115 กิโลโวลต์ ที่มีระยะห่างระหว่างเสา 40, 80, 120 และ 160 เมตร และมีความทานต้านอิมพัลส์ที่ต่างกัน 5, 10, 25, 50, 75, 100 และ 125 โอห์ม โดยกำหนดรูปคลื่นกระแสฟ้าผ่า 10/350 ไมโครวินาที มีผลการศึกษาดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ค่ากระแสฟ้าผ่าวิกฤตที่แรงดันหัวเสา ของรูปคลื่น 10/350 ไมโครวินาที

| $R_i$ | ค่ากระแสฟ้าผ่าวิกฤต (กิโลแอมแปร์) | | | |
|---|---|---|---|---|
| (Ω) | 40m | 80m | 120m | 160m |
| 5 | 214.50 | 166.20 | 148.00 | 136.50 |
| 10 | 159.00 | 115.50 | 99.50 | 90.80 |
| 25 | 113.50 | 72.7 | 59.50 | 52.50 |
| 50 | 99.40 | 56.10 | 43.15 | 36.65 |
| 75 | 96.80 | 51.10 | 37.55 | 30.90 |
| 100 | 96.10 | 49.20 | 34.95 | 28.05 |
| 125 | 95.90 | 48.40 | 33.65 | 26.45 |

จากผลการศึกษาในตารางที่ 1 เมื่อเกิดฟ้าผ่าที่หัวเสาของรูปคลื่นกระแสฟ้าผ่า 10/350 ไมโครวินาที พบว่าระยะห่างระหว่างเสามีค่าความคงทนของฉนวนลูกถ้วย ในขณะที่เกิดกระแสผ่าฟ้าวิกฤตของค่าความต้านทานอิมพัลส์ต่างกันออกไป ซึ่งระยะห่างระหว่างเสาที่ 40 เมตร มีค่าความคงทนของฉนวนลูกถ้วยสามารถทนกระแสผ่าฟ้าวิกฤตอยู่ที่ 95.90 ถึง 214.50 กิโลแอมแปร์ และที่ระยะห่างระหว่างเสา 80 เมตร มีความคงทนของฉนวนลูกถ้วยต่อกระแสฟ้าผ่าวิกฤตอยู่ที่ 48.40 ถึง 166.20 กิโลแอมแปร์ ระยะห่างที่ 120 เมตร มีความคงทนของฉนวนลูกถ้วยต่อกระแสฟ้าผ่าวิกฤตอยู่ที่ 33.60 ถึง 148.00 กิโลแอมแปร์ และระยะห่าง 160 เมตร ฉนวนลูกถ้วยสามารถทนต่อกระแสฟ้าผ่าวิกฤตอยู่ที่ 26.45 ถึง 136.50 กิโลแอมแปร์ เมื่อทราบค่าของกระแสฟ้าผ่าวิกฤตของแต่ละกรณี นำไปคำนวณหาอัตราการเกิดวาบไฟตามผิวย้อนกลับได้ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 อัตราการเกิดวาบไฟตามผิวย้อนกลับ กรณีเวลาหน้าคลื่น 10/350 ไมโครวินาที

| $R_i$ (Ω) | อัตราการเกิดวาบไฟตามผิวย้อนกลับ (ครั้ง/100 วงจร-กม./ปี) | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 40m | 80m | 120m | 160m |
| 5 | 1.00 | 1.88 | 2.49 | 3.04 |
| 10 | 2.09 | 4.54 | 6.45 | 7.98 |
| 25 | 4.73 | 13.11 | 19.91 | 25.34 |
| 50 | 6.47 | 22.35 | 35.57 | 45.24 |
| 75 | 6.88 | 26.63 | 43.77 | 55.68 |
| 100 | 7.00 | 28.51 | 48.15 | 61.39 |
| 125 | 7.03 | 29.35 | 50.48 | 64.71 |

ค่าที่ได้จากตารางที่ 1 สามารถนำมาคำนวณหาอัตราการเกิดวาบไฟตามผิวย้อนกลับที่ระยะห่างระหว่างเสาในตารางที่ 2 พบว่าที่ระยะห่างระหว่างเสา 40 เมตร มีอัตราเกิดวาบไฟตามผิวย้อนกลับอยู่ที่ 1 ถึง 7.03 ครั้ง/100 วงจร-กม./ปี และที่ระยะห่างเสา 80 เมตร มีอัตราการเกิดวาบไฟตามผิวย้อนกลับอยู่ที่ 1.88 ถึง 29.35 ครั้ง/100 วงจร-กม./ปี ที่ระยะห่างเสา 120 เมตร มีอัตราการเกิดวาบไฟตามผิวย้อนกลับอยู่ที่ 2.49 ถึง 50.48 ครั้ง/100 วงจร-กม./ปี และที่ระยะห่างระหว่างเสา 160 เมตร มีอัตราการเกิดวาบไฟตามผิวย้อนกลับอยู่ที่ 3.04 ถึง 64.71 ครั้ง/100 วงจร-กม./ปี ซึ่งจะพบว่าเมื่อระยะห่างเสามีค่ามากขึ้นจะทำให้ค่าของอัตราการเกิดวาบไฟตามผิวย้อนกลับมีค่ามากขึ้น เนื่องจากระยะทางที่มากขึ้น จะทำให้คลื่นสะท้อนใช้เวลาเดินทางมาหักล้างนานกว่า

## 4. สรุป

จากผลการศึกษา พบว่าเมื่อเกิดฟ้าผ่าหัวเสาที่ระยะห่างระหว่างเสาที่มีความต้านทานอิมพัลส์เท่ากัน ที่ระยะห่างระหว่างเสา 40, 80, 120, 160 เมตร เมื่อเทียบกับความต้านทานอิมพัลส์ 5 โอห์ม ระยะห่างระหว่างเสา 40 เมตร มีค่ากระแสฟ้าผ่าวิกฤตได้ถึง 214.5 กิโลแอมแปร์ ก่อนที่จะเกิดอัตราการวาบไฟตามผิวย้อนกลับ และในทางกลับกันเมื่อเกิดฟ้าผ่าที่หัวเสาเทียบกับค่าความต้านทานอิมพัลส์ที่ 5, 10, 25, 50, 75 ,100 และ 125 โอห์ม ที่ระยะห่างระหว่างเสา พบว่าค่าความต้านทานอิมพัลส์ที่ 5 โอห์ม มีค่ากระแสวิกฤตฟ้าผ่าได้มากที่สุด

เมื่อทราบค่ากระแสวิกฤตฟ้าผ่าของแต่ละกรณี นำมาคำนวณหาค่าอัตราการเกิดวาบไฟตามผิวย้อนกลับ ซึ่งพบว่าที่ระยะห่างระหว่างเสา 40 เมตร มีอัตราการเกิดวาบไฟตามผิวย้อนกลับน้อยที่สุดอยู่ที่ 1 ครั้ง/100 วงจร-กม./ปี และที่ค่าความต้านทานอิมพัลส์ที่ 5 โอห์ม เมื่อเทียบกับค่าความต้านทานที่ค่าต่างๆ พบว่าเป็นค่าที่ทำให้เกิดอัตราการเกิดวาบไฟตามผิวย้อนกลับน้อยที่สุด ซึ่งระยะห่างระหว่างเสามีผลต่อกระแสฟ้าผ่าวิกฤต เมื่อเกิดการฟ้าผ่าบริเวณหัวเสาที่ระยะห่างของเสาและค่าความต้านทานอิมพัลส์ที่มากขึ้น จะส่งผลให้ความคงทนของฉนวนต่อค่ากระแสฟ้าผ่าวิกฤตมีค่าน้อยลง จึงทำให้มีการเกิดอัตราการวาบไฟตามผิวย้อนกลับที่มากขึ้น แต่สามารถเพิ่มความทนของฉนวนต่อกระแสไฟผ่าวิกฤต ได้โดยการเพิ่มจำนวนของแท่งหลักดินหรือลดค่าความต้านอิมพัลส์ให้ต่ำลง

## เอกสารอ้างอิง

[1] A. Phayomhom, and S. Sirisumrannukul, “Computation of Total Flashover Rate in MEA’s Overhead Transmission Circuit due to Shielding Failure.” GMSARN International Journal 4, pp. 121-130, 2010.

[2] R. Alberto and et al., “Non Uniform Line Tower Model for Lightning Transient Studies,” (In Proceedings of Power System Transients, pages. 1-7, June, 2001.)

[3] C. Wattanasakpubal, “Improve Lightning Performance 115 kV Transmission Line’s PEA by External Ground,” (Master thesis, King Mongkut’s University of Technology North Bangkok, Thailand. (in Thai), 2003.)

[4] H. Jinliang, and et al. “Impulse Characteristics of Grounding Systems of Transmissionline Tower in The Regions with High Soil Resistivity,” In Proceedings of Power System Technology, Beijing, China 1998

[5] A. Phayomhom; S. Sirisumrannukul; T. Kasirawat; A. Puttarach, "Economic assessment of lightning performance improvement of 69 kV subtransmission line in MEA's power distribution system," Electrical Engineering Congress (iEECON), 2014

[6] J. T. Whitehead, and et al. "Estimation lightning performance of transmission lines II - updates to analytical models," IEEE Working Group Report, IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 8, no. 3, July, 1254-1267, 1993

## ประวัติผู้เขียน

นคร อัมระนันท์ ปัจจุบันศึกษาในระดับปริญญาโทภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

**บทความวิจัย**

การประชุมวิชาการ งานวิจัยและพัฒนาเชิงประยุกต์ ครั้งที่ 8

*8th ECTI-CARD 2016, Hua Hin, Thailand*

# การวิเคราะห์ของการป้องกันฟ้าผ่าภายนอกอาคาร โดยเสาล่อฟ้าแบบแท่งแฟรงคลิน ด้วยวิธีทรงกลมกลิ้ง

# Analysis of Effective External of Lightning Protection Using The Rolling Sphere Method of Franklin's Rod

สมมาตร เลิศวนิชย์ทิพย์ และสมพร สิริสำราญนุกุล

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

1518 ถ.ประชาราษฎร์ 1 แขวงวงศ์สว่าง เขตบางซื่อ กรุงเทพมหานคร 10800

E-Mail: lp.sommart@gmail.com

## บทคัดย่อ

บทความฉบับนี้กล่าวถึงการป้องกันฟ้าผ่าภายนอกอาคารของเสาล่อฟ้าแบบแท่งแฟลงคลินด้วยวิธีทรงกลมกลิ้ง เนื่องจากการติดตั้งเสาล่อฟ้าแบบแท่งแฟลงคลินเป็นวิธีการที่มีความน่าเชื่อถือในการป้องกันฟ้าผ่า และได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้งานทางด้านวิศวกรรมไฟฟ้ามาอย่างต่อเนื่องนับตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน โดยวิธีการป้องกันฟ้าผ่าแบบเสาแท่งแฟลงคลินมักถูกใช้งานร่วมกับเทคนิคการวิเคราะห์ป้องกันฟ้าผ่าด้วยวิธีทรงกลมกลิ้ง เนื่องจากมีความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกันโดยตรงกับพารามิเตอร์ดังต่อไปนี้คือ ความสูงของเสาแท่งแฟลงคลิน ขนาดของกระแสฟ้าผ่า และระยะรัศมีฟ้าผ่า ตามลำดับ ซึ่งวิธีทรงกลมกลิ้งดังกล่าวเป็นเทคนิคการป้องกันฟ้าผ่าที่วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยให้การยอมรับ ดังนั้นบทความฉบับนี้จะทำการวิเคราะห์และศึกษาถึงการป้องกันฟ้าผ่า ที่มีผลต่อความสูงของเสาแท่งแฟลงคลิน ตลอดจนมีผลต่อระยะรัศมีฟ้าผ่าของวิธีทรงกลมกลิ้งตามลำดับ โดยจะแสดงผลประสิทธิภาพของการป้องกันฟ้าผ่าในรูปของพื้นที่ปลอดภัย ตลอดจนแสดงความสัมพันธ์ดังกล่าวในรูปของเรขาคณิตวิเคราะห์และโมเดลทางคณิตศาสตร์ เพื่อให้เป็นประโยชน์สำหรับการนำไปประยุกต์ใช้งานได้จริงในทางวิศวกรรมต่อไป

**คำสำคัญ:** ย่านป้องกันฟ้าผ่า, แท่งแฟลงคลิน, วิธีทรงกลมกลิ้ง

## Abstract

This paper mentions about the External lightning protection using The Rolling Sphere Method of Franklin's Rod. External lightning protection is a mathematical relationship directly related to the Rolling Sphere parameters, It below the height of Franklin's Rod and radius of, respectively. Therefore, this article will analyze and study of lightning protection. Affecting the height of Franklin's Rod. It affects to the lightning radius and rolling spherical respectively. It shows the performance of a lightning protection in a protection area. The show such a relationship in terms of geometry and mathematical models. In order to be useful for practical applications in engineering

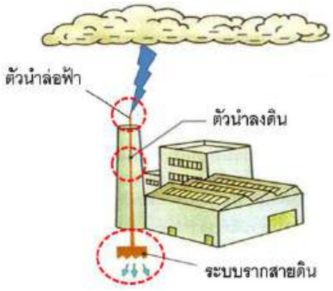
**Keywords:** lightning protection

## 1. บทนำ

ฟ้าผ่าคือปรากฏการณ์ทางธรรมชาติที่เป็นการถ่ายเทประจุระหว่างก้อนเมฆกับพื้นดิน ซึ่งฟ้าผ่าสามารถสร้างผลกระทบที่เป็นอันตรายต่อชีวิต ทรัพย์สิน สิ่งปลูกสร้าง ตลอดจนวัตถุที่มีความสูงจากระดับพื้นดินตามลำดับ โดยจากรูปที่ 1 แสดงให้เห็นถึงตัวอย่างของอันตรายจากปรากฏการณ์ฟ้าผ่าคือ กรณีหอไอเฟลในประเทศฝรั่งเศสที่มีความสูงประมาณ 300 เมตร ได้รับผลกระทบจากฟ้าผ่า เป็นต้น

รูปที่ 1 ไอเฟลในประเทศฝรั่งเศสถูกฟ้าผ่า

ด้วยพระราชบัญญัติการควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522 ได้มีการกำหนดนิยามของคำว่า อาคารสูง คือ อาคารที่มีระดับความสูงตั้งแต่ 23 เมตรขึ้นไป และอาคารสูงดังกล่าวจะต้องมีระบบป้องกันอันตรายจากฟ้าผ่าภายนอก ซึ่งประกอบด้วยองค์ประกอบสำคัญ 3 ส่วนคือ ตัวนำล่อฟ้า (Air Terminal) ตัวนำลงดิน (Down Conductor) และระบบรากสายดิน (Earth Electrode) ตามลำดับ โดยตัวอย่างระบบป้องกันฟ้าผ่าสามารถให้เห็นได้ดังรูปที่ 2

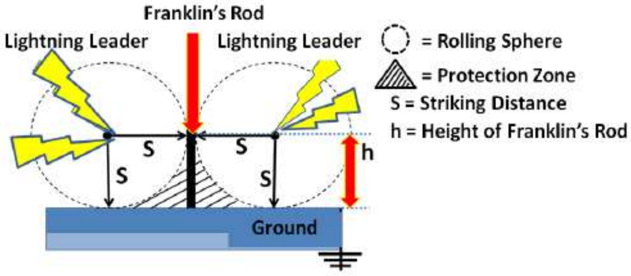


รูปที่ 2 ตัวอย่างระบบป้องกันฟ้าผ่า

จากรูปที่ 2 แสดงให้เห็นว่า ตัวนำล่อฟ้าเป็นอุปกรณ์ที่ถูกติดตั้งอยู่ด้านบนสุดของระบบป้องกันฟ้าผ่า ดังนั้นตัวนำล่อฟ้าจึงจะได้รับปริมาณกระแสฟ้าผ่าเป็นอันดับแรกเมื่อมีปรากฏการณ์ฟ้าผ่าเกิดขึ้น ซึ่งอุปกรณ์ที่ถูกเลือกนำมาใช้ประยุกต์ใช้งานเป็นตัวนำล่อฟ้า คือแท่งโลหะที่สามารถนำกระแสไฟฟ้า และมักจะถูกเรียกว่าในทางเทคนิคว่า แท่งแฟรงคลิน (Franklin's Rod) ดังแสดงให้เห็นดังรูปที่ 3

รูปที่ 3 ตัวอย่างแท่งแฟรงคลินที่มีการใช้งานในทางวิศวกรรม

สำหรับในทางปฏิบัติเสาแท่งแฟรงคลินในระบบป้องกันฟ้าผ่า จะทำหน้าที่เป็นตัวนำล่อฟ้าและเป็นทั้งตัวนำล่อฟ้าและตัวนำลงดิน ตลอดจนสามารถใช้งานร่วมกับเทคนิคการวิเคราะห์ย่านป้องกันฟ้าผ่า (Protection Zone) ด้วยวิธีทรงกลมกลิ้ง (Rolling Sphere) ดังแสดงให้เห็นในรูปที่ 4 โดยวิธีทรงกลมกลิ้ง เป็นเทคนิคการวิเคราะห์ย่านป้องกันฟ้าผ่าที่วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยให้การยอมรับ



รูปที่ 4 ตัวอย่างแท่งแฟรงคลินที่มีการใช้งานในทางวิศวกรรม

จากรูปที่ 4 สามารถอธิบายได้ว่า เมื่อหัวนำฟ้าผ่า (Lightning Leader) วิ่งเข้าหาตัวนำล่อฟ้าที่เป็นเสาแท่งแฟรงคลินซึ่งมีความสูงจากพื้นดิน (h, Height of Franklin's Rod) จนกระทั่งมาถึงในระยะกระโดดหรือระยะฟ้าผ่า (S, Striking Distance) หัวนำฟ้าผ่าดังกล่าวจะมีโอกาสกระโดดเข้าหายอดเสาของแท่งแฟรงคลินหรืออาจกระโดดเข้าหาพื้นดิน (Ground) ก็ได้ ซึ่งระยะฟ้าผ่าจะสามารถแทนได้ด้วยระยะรัศมีของทรงกลม ดังนั้นภาพวงกลมเส้นประในรูปที่ 4 จึงเป็นทรงกลมกลิ้งของระยะฟ้าผ่าตามลำดับ นอกจากนี้พื้นที่ในส่วนที่แรเงา ซึ่งขนาบข้างกับเสาแท่งแฟรงคลินจะเป็นย่านป้องกันฟ้าผ่าหรือพื้นที่ปลอดภัยจากฟ้าผ่า โดยย่านดังกล่าวจะนำมาถูกวิเคราะห์และพิจารณาในการออกแบบการป้องกันฟ้าผ่าภายนอกอาคาร จึงเป็นที่มาและความสำคัญของบทความฉบับนี้ที่จะวิเคราะห์การป้องกันฟ้าผ่าของเสาแท่งแฟรงคลิน ที่มีผลต่อความสูงของเสาแท่งแฟรงคลิน ตลอดจนแสดงความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ที่จะเป็นประโยชน์ในงานทางด้านวิศวกรรมต่อไป

## 2. ระยะรัศมีของทรงกลมกลิ้งและกระแสฟ้าผ่า

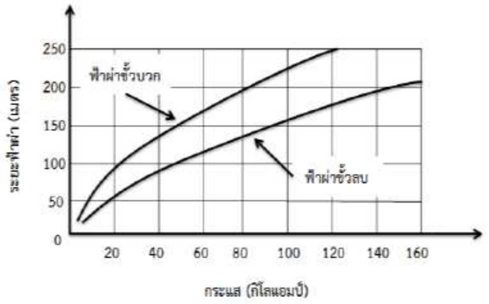
ดังที่กล่าวไปแล้วว่าระยะรัศมีทรงกลมกลิ้งคือระยะการกระโดดของหัวนำฟ้าผ่าหรือระยะฟ้าผ่า ซึ่งระยะดังกล่าวมีความสัมพันธ์โดยตรงกับขนาดของกระแสฟ้าผ่า ทั้งขนาดกระแสฟ้าผ่าขั้วลบและขั้วบวก ดังแสดงให้เห็นความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ในสมการที่ (1) และ (2) ตามลำดับ [1] โดยความสัมพันธ์ดังกล่าวสามารถแสดงให้เห็นในรูปของกราฟได้ดังรูปที่ 5

$$S_{-} = \hat{I}_{-} + 15(1 - e^{-(0.15 \bullet \hat{I}_{-})}) \tag{1}$$

$$S_{+} = \hat{I}_{+} + 20(1 - e^{-(0.15 \bullet \hat{I}_{+})}) \tag{2}$$

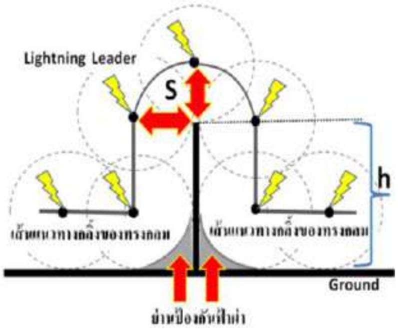
เมื่อ $S_{-}$ คือระยะฟ้าผ่าขั้วลบ, $S_{+}$ คือระยะฟ้าผ่าขั้วบวก

$\hat{I}_{-}$ คือ ค่ายอดกระแสฟ้าผ่าขั้วลบ, $\hat{I}_{+}$ คือค่ายอดกระแสฟ้าผ่าขั้วบวก



รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะฟ้าผ่าและกระแสฟ้าผ่าทั้งสองขั้ว

จากรูปที่ 5 แสดงให้เห็นว่ากระแสฟ้าผ่าขั้วลบมีขนาดน้อยกว่ากระแสฟ้าผ่าขั้วบวก ดังนั้นระยะฟ้าผ่าของกระแสฟ้าผ่าขั้วลบจึงมีค่าน้อยกว่าระยะฟ้าผ่าของกระแสขั้วบวกตามไปด้วย อย่างไรก็ตามจากข้อมูลในงานวิจัยได้มีการบันทึกเป็นสถิติไว้ว่าจำนวนฟ้าผ่า 80-85% เป็นกระแสฟ้าผ่าขั้วลบ [2] โดยระยะฟ้าผ่าเป็นพารามิเตอร์สำคัญที่ใช้ในการวิเคราะห์เส้นแนวทางกลิ้งของทรงกลม ซึ่งเป็นแนวทางที่หัวนำฟ้าผ่ามีโอกาสจะวิ่งเข้าหา ตลอดจนสามารถใช้วิเคราะห์ย่านการป้องกันฟ้าผ่าตามลำดับ ดังแสดงให้เห็นในรูปที่ 6

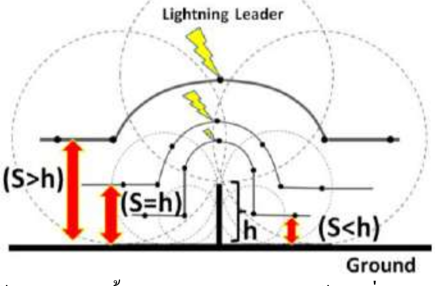



รูปที่ 6 การวิเคราะห์ย่านการป้องกันฟ้าผ่าและเส้นแนวทางกลิ้งทรงกลม

แต่อย่างไรก็ตาม ระยะฟ้าผ่าและกระแสฟ้าผ่าเป็นพารามิเตอร์ที่ไม่สามารถควบคุมได้ในทางปฏิบัติ ดังนั้นการวิเคราะห์ย่านป้องกันฟ้าผ่าจึงให้ความสำคัญกับระยะความสูงของเสาแท่งแฟรงคลินเป็นพารามิเตอร์หลักในการออกแบบป้องกันฟ้าผ่าภายนอกอาคาร

## 3. กรณีศึกษาย่านป้องกันฟ้าผ่าที่มีผลต่อความสูงของเสาล่อฟ้า

เมื่อฟ้าผ่าเกิดขึ้นที่เสาล่อฟ้าแบบแท่งแฟรงคลิน ขนาดของระยะฟ้าผ่ามีโอกาสจะเกิดได้สองกรณีดังนี้คือ กรณีแรกที่ระยะฟ้าผ่ามีขนาดน้อยกว่าหรือเท่ากับระยะความสูงของเสาแท่งแฟรงคลิน ($S \leq h$) และในกรณีที่สองระยะฟ้าผ่ามีขนาดมากกว่าระยะความสูงของเสาแท่งแฟรงคลิน ($S > h$) ตามลำดับ โดยสามารถแสดงเส้นแนวทางกลิ้งของทรงกลมให้เห็นได้ดังรูปที่ 7

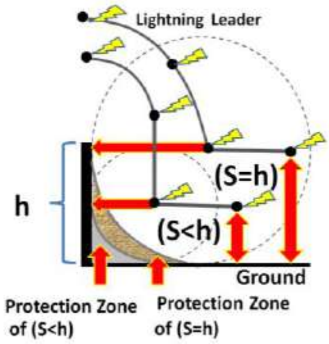



รูปที่ 7 เส้นแนวทางกลิ้งของทรงกลมของระยะฟ้าผ่าที่มีโอกาสเกิดขึ้น

จากรูปที่ 7 แสดงให้เห็นว่า เมื่อระยะฟ้าผ่ามีขนาดเพิ่มขึ้นจะมีผลเส้นแนวทางกลิ้งของทรงกลมมีขนาดที่สูงขึ้นจากพื้นดินตามลำดับ ซึ่งหมายถึงว่าในกรณีที่แท่งแฟรงคลินมีความสูงอยู่ภายเส้นแนวทางดังกล่าว ก็จะมีโอกาศที่จะได้รับผลกระทบของฟ้าผ่าได้เสมอ อย่างไรก็ตามจะสามารถใช้ประโยชน์จากเส้นแนวทางกลิ้งของทรงกลมดังกล่าว ในการพิจารณาพื้นที่การป้องกันฟ้าผ่าได้เป็นกรณีต่างๆ ดังต่อไปนี้คือ

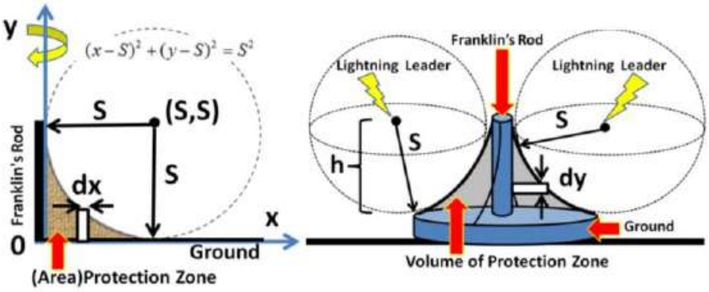
### 3.1 กรณีที่ $S \leq h$

ในกรณีที่ระยะฟ้าผ่ามีค่าไม่เกินความสูงของเสาแท่งแฟรงคลิน ($S \leq h$) จะสามารถแสดงความสัมพันธ์ได้ดังรูปที่ 8 กล่าวคือเมื่อหัวนำฟ้าผ่าเคลื่อนตัวลงมา ก็จะเกิดการกระโดดของหัวนำฟ้าผ่าหรือระยะฟ้าผ่า โดยหัวนำฟ้าผ่าดังกล่าวจะสามารถกระโดดเข้าหาที่บริเวณเสาหรือบริเวณพื้นดินก็ได้ ดังแสดงให้เห็นในรูปที่ 8 ตามลำดับ ซึ่งในบริเวณที่ไม่สัมผัสกับระยะฟ้าผ่าหรือบริเวณที่ไม่สัมผัสกับรัศมีทรงกลมกลิ้ง จะถูกเรียกว่าย่านการป้องกันฟ้าผ่า โดยย่านการป้องกันฟ้าผ่าจะมีขนาดลดลงตามขนาดของระยะฟ้าผ่า




รูปที่ 8 รูปแบบของย่านการป้องกันฟ้าผ่าในกรณี ($S \leq h$)

นอกจากนี้เมื่อพิจารณาถึงประสิทธิภาพของย่านป้องกันฟ้าผ่าของเสาแท่งแฟรงคลิน จะพิจารณาในรูปของพื้นที่และปริมาตรย่านป้องกันฟ้าผ่า ในกรณีที่ระยะฟ้าผ่ามีค่าไม่เกินความสูงของเสา ($S \leq h$) สามารถแสดงให้เห็นดังรูปที่ 9 ตลอดจนสมการที่ (3) และ (4) ตามลำดับ




รูปที่ 9 การวิเคราะห์ย่านการป้องกันฟ้าผ่าในกรณี $S \leq h$

$$Area = \int_0^S ((\sqrt{S^2-(x-S)^2}) + S)dx \qquad (3)$$

$$Volume = \int_0^S \pi((\sqrt{S^2-(y-S)^2}) + S)^2 dy \quad \text{......(4)}$$

จากสมการที่ (3) และ (4) เมื่อนำมาคำนวณด้วยระเบียบวิธีเชิงเลข (Numerical Method) จะสามารถประมาณค่าได้ดังสมการที่ (5) และ (6)

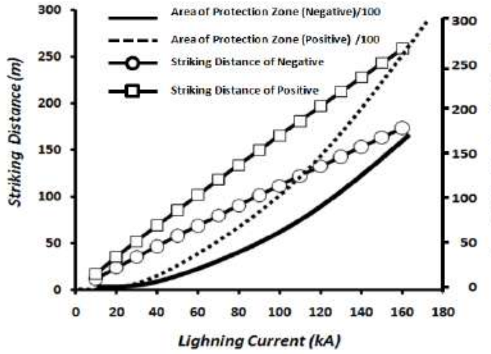
$$Area \approx (0.4292) \bullet S^2 \qquad (5)$$

$$Volume \approx$$

$$\pi\left(-\frac{s^2\sqrt{x(2s-x)}\tan^{-1}\left(\frac{\sqrt{x}\sqrt{2s-x}}{x-2s}\right)}{\sqrt{x}\sqrt{2s-x}} + \frac{\sqrt{x(2s-x)}\left(\frac{x^{3/2}}{2}-\frac{s\sqrt{x}}{2}\right)}{\sqrt{x}} + s\,x\right)\Bigg|_0^S \qquad (6)$$

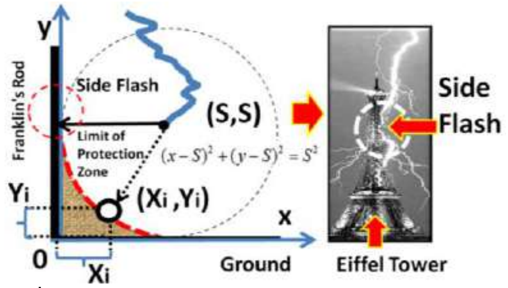
เมื่อ $Area$ = พื้นที่ย่านป้องกันฟ้าผ่า ($m^2$), $S$ = ระยะฟ้าผ่า (m)
$Volume$ = ปริมาตรย่านป้องกันฟ้าผ่า ($m^3$)

จากสมการที่ (3) (4) (5) และ (6) แสดงให้เห็นว่าพื้นที่ย่านป้องกันฟ้าผ่าจะแปรผันตรงกับขนาดยกกำลังสองของระยะฟ้าผ่า ซึ่งจากความสัมพันธ์ของสมการที่ (1) และ (2) ดังที่กล่าวมาแล้ว เมื่อนำมาแทนค่าลงในสมการที่ (5) จะสามารถแสดงผลลัพธ์จากการประมวลผลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปได้ดังรูปที่ 10




รูปที่ 10 ความสัมพันธ์ของระยะฟ้าผ่า กระแสฟ้าผ่าขั้วลบ กระแสฟ้าผ่าขั้วบวก และพื้นที่ป้องกันฟ้าผ่าของเสาแท่งแฟรงคลิน

นอกจากนี้ในกรณีที่พิจารณาถึงขอบเขตของย่านการป้องกันฟ้าผ่าในแนวระดับและแนวดิ่ง (Limit of Protection Zone $(x_i, y_i)$) จะสามารถแสดงให้เห็นดังรูปที่ 11 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ดังสมการที่ (7) และ (8) ตามลำดับ โดยขนาดความสูงของเสาแท่งแฟรงคลินที่ติดตั้ง ควรจะมีขนาดความสูงไม่เกิน 60 เมตร (ตามมาตรฐาน IEC 62305)




รูปที่ 11 ขอบเขตของย่านการป้องกันฟ้าผ่า ในกรณี $S \le h$

$$(x-S)^2+(y-S)^2=S^2 \quad (7)$$

$$x_i=(\sqrt{S^2-(y_i-S)^2})+S \quad (8)$$

เมื่อกำหนดให้

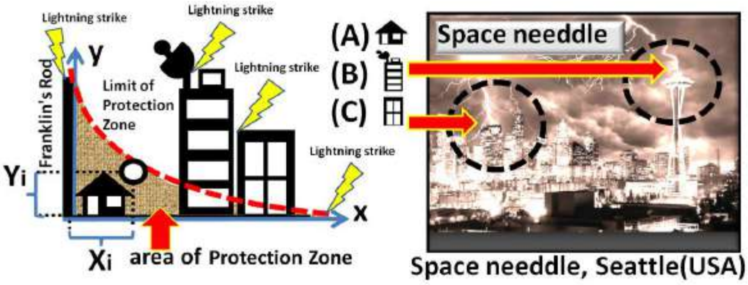
$x_i$ = ระยะห่างในแนวระดับจากเสาแท่งแฟรงคลิน(m)

$y_i$= ระยะความสูงใดๆในแนวดิ่งของเสาแท่งแฟรงคลิน(m)

จากความสัมพันธ์ของสมการที่ (7) และ (8) แสดงให้เห็นว่าระยะห่างในแนวระดับจากเสาแท่งแฟรงคลิน ซึ่งเป็นขอบเขตของย่านป้องกันฟ้าผ่าจะแปรผันตรงกับความสูงของเสาแท่งแฟรงคลิน แต่อย่างไรก็ตาม ถ้ากระแสฟ้าผ่ามีค่าต่ำจะมีผลทำให้รัศมีทรงกลมมีค่าต่ำตามไปด้วย (ในทางปฏิบัติมีกระแสฟ้าผ่าขั้วลบมีค่าต่ำสุดที่เป็นไปได้คือ 3kA) ดังนั้นแม้จะติดตั้งเสาแท่งแฟรงคลินสำหรับล่อฟ้าให้มีความสูงมากๆ แต่ถ้ารัศมีทรงกลมมีค่าต่ำ ก็จะมีผลให้พื้นที่ป้องกันฟ้าผ่ามีค่าต่ำเช่นกัน ซึ่งกรณีดังกล่าวจะทำให้เกิด ฟ้าผ่าด้านข้าง (Side Flash) เนื่องจากฟ้าผ่าในตำแหน่งด้านข้างเสาแท่งแฟรงคลิน แต่สำหรับกรณีนี้มีโอกาสเกิดขึ้นเพียง 2-3 เปอร์เซ็นต์ เท่านั้น [3] โดยจากกรณีฟ้าผ่าข้างดังกล่าว สามารถใช้อธิบายในกรณีด้านข้างของหอไอเฟลได้รับผลกระทบจากการถูกฟ้าผ่า ดังแสดงให้เห็นในรูปที่ 11

### 3.2 กรณีที่ $S > h$

สำหรับกรณีนี้ การกระโดดของหัวนำฟ้าผ่าจะสามารถเข้าหาที่บริเวณยอดเสาหรือบริเวณพื้นดินเท่านั้น โดยสามารถแสดงการประยุกต์เป็นกรณีศึกษาได้ดังรูปที่ 12 กล่าวคือ สิ่งปลูกสร้างชนิด (A) จะถูกป้องกันจากฟ้าผ่าด้วยเสาแท่งแฟรงคลิน ถ้าขนาดระยะฟ้าผ่ามีมากกว่าความสูงของเสาแท่งแฟรงคลินตามลำดับ นอกจากนี้ในกรณีที่มีสิ่งปลูกสร้างเช่น ตึกสูง (B) หรือ (C) ซึ่งมีความสูงขนาดหลายสิบเมตรรายล้อมสิ่งปลูกสร้างชนิด (A) ก็สามารถพิจารณาให้อาคารสูงดังกล่าวเป็นแท่งแฟรงคลินสำหรับป้องกันฟ้าผ่าให้สิ่งปลูกสร้างชนิด (A) ได้ทันที เช่นกรณีตัวอย่างการเกิดฟ้าผ่าอาคารสูง Space needle รัฐซีแอตเทิล สหรัฐอเมริกา แต่อย่างไรก็ตามจะต้องคำนึงถึงระยะห่างสิ่งปลูกสร้างที่จะทำการป้องกันฟ้าผ่าด้วย




รูปที่ 12 การป้องกันฟ้าผ่า ในกรณี $S > h$

## 4. สรุปผล

การติดตั้งระบบป้องกันฟ้าผ่า จะต้องคำถึงกระแสฟ้าผ่า ระยะฟ้าผ่า และความสูงของเสาแท่งแฟรงคลินล่อฟ้า ตามลำดับ โดยค่าพารามิเตอร์ต่างๆของกระแสฟ้าผ่า มีความซับซ้อนและมีรายละเอียดที่มาก ซึ่งสามารถทำความเข้าใจเพิ่มเติมได้จากมาตรฐานป้องกันฟ้าผ่าของ วสท. หรือมาตรฐานในระดับนานาชาติ

## 5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณอาจารย์อานนท์ สิงเสถียร อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มทร.พระนคร ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการให้คำปรึกษาที่เป็นประโยชน์ต่อบทความฉบับบนี้

## 6.เอกสารอ้างอิง

[1] ดร.สำรวย สังข์สะอาด "วิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูง”

[2] Surbir Ray "An Introduction to High Voltage Engineering" Prentice Hall of India Private Limited.

[3] คณะกรรมการสาขาวิศวกรรมไฟฟ้า “มาตรฐานการป้องกันฟ้าผ่าสำหรับสิ่งปลูกสร้าง เล่ม 1-4” วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย (วสท.)

**บทความวิจัย**

การประชุมวิชาการ งานวิจัยและพัฒนาเชิงประยุกต์ ครั้งที่ 8

*8th ECTI-CARD 2016, Hua Hin, Thailand*

# โปรแกรมจำลองเครื่องดนตรีไทยบนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์

## The Simulation of Thai Musical based on Android Operating System

**นเรศ ขวัญทอง[1] ภูมินทร์ อินทร์แป้น[2] และ ศุภวัฒน์ อินทร์เกิด[3]**

[1,2]สาขาวิชาวิศวกรรมสารสนเทศและการสื่อสาร โครงการจัดตั้งคณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

179 หมู่ที่ 3 ตำบลไม้ฝาด อำเภอสิเกา จังหวัดตรัง โทรศัพท์ 087-2757499 E-mail: naras.k@rmutsv.ac.th[1], puminpan@hotmail.com[2]

[3]สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ โครงการจัดตั้งคณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

179 หมู่ที่ 3 ตำบลไม้ฝาด อำเภอสิเกา จังหวัดตรัง โทรศัพท์ 086-9486219 E-mail: supawat.i@rmutsv.ac.th

## บทคัดย่อ

บทความนี้กล่าวเกี่ยวกับการออกแบบโปรแกรมจำลองเครื่องดนตรีไทย ประกอบไปด้วย ระนาดเอก ระนาดทุ้ม ฆ้องวง โหม่ง ฉิ่ง โทน-รำมะนา ภายในโปรแกรมผู้ใช้สามารถเล่นเครื่องดนตรีไทยได้เสมือนเล่นกับเครื่องดนตรีจริง อีกทั้งยังมีประวัติของดนตรีไทย และตัวอย่างโน้ตเพลงไทยให้ได้ศึกษา สามารถบันทึกเพลงที่เล่นเพื่อฟังย้อนหลังได้ โปรแกรมพัฒนาโดย Adobe Flash CS6 และใช้งานบนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ จากการอัพโหลดลงใน Play Store ระยะเวลา 1 ปี มีผู้สนใจดาวน์โหลดมากกว่า 10,000 คน ผู้เข้ามาประเมินการใช้งาน 799 คน ได้คะแนน 4.3 จากคะแนนเต็ม 5.0 และวัดผลความพึงพอใจจากผู้เคยเล่นดนตรีไทยจำนวน 50 คน พบว่าได้คะแนน 4.11 จากคะแนนเต็ม 5.00

คำสำคัญ: แอนดรอยด์, ดนตรีไทย, Adobe Flash CS6

## Abstract

This paper describes about the design of The simulation of Thai musical. The design comprise of Alto Xylophone, Alto Bamboo Xylophone, Cycle Gong, Mong, Cymbal, Tone – Rummana. The users can play Thai musical like the real instruments, Learning history of Thai musical, Learning example of Thai song notes and record the music for rerun again. The program developed by Adobe Flash CS6 based on Android operating system. After upload program to Play Store 1 year ago. More than 10,000 downloader. The rating point is 4.3 point from 5.0 point by 799 visitor rating. The satisfaction of 50 persons who ever played Thai musical instruments is 4.11 point from 5.0 point.

Keywords: Android Operating System, Thai Musical Instruments, Adobe Flash CS6.

## 1. บทนำ

ดนตรีไทย เป็นสิ่งที่มีขึ้นพร้อมกับคนไทย ถือได้ว่าเป็นเครื่องมือสำหรับวัดความรุ่งเรืองของชาติไทยอย่างหนึ่ง ซึ่งเป็นชาติที่มีอารยธรรมอันสูงส่ง เพราะมีดนตรีและศิลปะที่เจริญถึงขั้นเป็นแบบฉบับสามารถดำรงอยู่ในสังคมจนถึงปัจจุบันได้ ด้วยกระบวนการการถ่ายทอดจากรุ่นหนึ่งไปสู่อีกรุ่นหนึ่ง [1]

ในสังคมยุคปัจจุบันเป็นยุคของสังคมออนไลน์ สิ่งที่อยู่รอบตัวก็มีการเปลี่ยนแปลงไปเป็นระดับสากล ทำให้วัฒนธรรมไทยอย่างดนตรีไทย มีการให้ความสำคัญน้อยลง บุคคลส่วนใหญ่ยังขาดความรู้ความเข้าใจในเรื่องดนตรีไทย และเครื่องดนตรีไทยในปัจจุบันมีต้นทุนในการผลิตการซื้อขายที่สูงขึ้น ทำให้ผู้ที่สนใจแต่ขาดทุนทรัพย์ไม่สามารถซื้อเครื่องดนตรีมาเล่นได้

การพัฒนาสื่อเสมือนจริง (Virtual Reality) โปรแกรมในลักษณะนี้ จะช่วยในเรื่องของการพัฒนาการเรียนรู้อีกทั้งเป็นการสร้างจินตนาการ ทำให้เกิดประสบการณ์สามารถพัฒนาศักยภาพความสามารถของผู้ใช้ได้ด้านการปฏิบัติเสมือนจริง [2] ผู้วิจัยจึงเล็งเห็นถึงการศึกษาและเรียนรู้เครื่องดนตรีไทยของผู้ใช้ให้ได้ประโยชน์ที่สูงสุดจากการได้ทดลองเล่นโปรแกรมจำลองบนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์

ณัชชา กอศรีสกุล (2558) ได้ทำงานวิจัย การพัฒนาแอพพลิเคชันสื่อการเรียนรู้ภาษาเกาหลีสำหรับผู้เริ่มต้น บนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ [3] โดยเป็นการสร้างโปรแกรมช่วยในการเรียนรู้ภาษาเกาหลี พัฒนาโปรแกรมใช้ Adobe Flash CS6 ร่วมกับภาษา Action Script 3.0 ช่วยในการออกแบบ

นัทรียา สงใย (2558) ได้ทำงานวิจัย การพัฒนาสื่อการเรียนรู้เรื่องการจราจรทางบกบนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ [4] พัฒนาโปรแกรมใช้ Adobe Flash CS6 ร่วมกับภาษา Action Script 3.0 มีจุดประสงค์ เป็นสื่อการเรียนรู้การจราจรทางบกให้แก่ผู้ที่สนใจ และมีผลการประเมินความพึงพอใจในระดับดีมากที่สุด

สุภาณี ศรีอุทธา (2558) ได้ทำวิจัย การพัฒนาเกมแอพพลิเคชั่นเพื่อการเรียนรู้บนแท็บเล็ต เรื่อง ฮาร์ดแวร์คอมพิวเตอร์

สำหรับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 [5] พัฒนาโปรแกรมใช้ Adobe Flash CC มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาโปรแกรมสำหรับสนับสนุนการเรียนรู้ ฮาร์ดแวร์คอมพิวเตอร์ และส่งเสริมให้ผู้ใช้ได้เรียนรู้ในรูปของเกม ช่วยให้เพิ่มความน่าสนใจให้แก่การใช้โปรแกรม

โปรแกรมจำลองเครื่องดนตรีไทย มีประวัติความเป็นมาของเครื่องดนตรีให้ผู้ใช้ได้ทำการศึกษาก่อนเล่น ภายในโปรแกรมเลือกเล่นเครื่องดนตรีไทยได้ 6 ชนิด คือ ระนาดเอก ระนาดทุ้ม ฆ้องวง โหม่ง ฉิ่ง และโทน-รำมะนา สามารถเลือกอัดเสียงในขณะที่ผู้ใช้เล่นดนตรีได้ และกลับมาฟังเสียงที่อัดไว้ ทำให้ผู้ใช้ได้สนุกและเพลิดเพลินกับการได้ฟังเพลงที่ตนเองได้เล่น

ผู้วิจัยจึงพัฒนาโปรแกรมจำลองเครื่องดนตรีไทยบนระบบปฏิบัติการ Android โดยใช้โปรแกรม Adobe Flash CS6 ในการออกแบบโปรแกรม สร้างเครื่องดนตรี และโปรแกรม Adobe Photoshop เพื่อตกแต่งรูปภาพที่ใช้ในโปรแกรม ในบทความนี้ รายละเอียดของโปรแกรมที่ใช้พัฒนาจะกล่าวในหัวข้อที่ 2 การออกแบบและพัฒนาระบบจะกล่าวในหัวข้อที่ 3 ผลการทดลองของโปรแกรมจะกล่าวในหัวข้อที่ 4 และสรุปผลการทดลองจะกล่าวในหัวข้อที่ 5

## 2. โปรแกรมที่ใช้พัฒนา

### 2.1 ระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ (Android OS)

เป็นระบบปฏิบัติการสำหรับอุปกรณ์สื่อสารอัจฉริยะแบบพกพา (Smartphone) ถูกพัฒนาโดยใช้ kernel ของระบบปฏิบัติการลินุกส์ (Linux) มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างแพลตฟอร์ม (Platform) ภายในอุปกรณ์สื่อสารแบบพกพา เป็นระบบปฏิบัติการแบบโอเพ่นซอร์ส(Open Source) พัฒนาโดยภาษาจาวา (Java) โปรแกรมที่ใช้ในการพัฒนาในปัจจุบันมีหลากหลาย อาทิเช่น Android Studio, App Inventor เป็นต้น แต่ในงานวิจัยนี้ใช้โปรแกรม Adobe Flash CS6 ในการพัฒนาซึ่งเป็นอีกเครื่องมือที่น่าสนใจโดยเฉพาะงานที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบโปรแกรมที่เน้นความสวยงาม ไม่มีความซับซ้อนของการเขียนโปรแกรมมาก [6]

### 2.2 โปรแกรม Adobe Flash CS6

เป็นโปรแกรมที่มีความสามารถหลากหลาย นิยมใช้ในงานการสร้างภาพเคลื่อนไหวแบบ 2 มิติ (2D Animation) หรือสร้างเป็นโปรแกรมสำหรับใช้ในงานต่างๆ มีภาษา Action Script 3.0 และ Java Script เข้ามาช่วยในการพัฒนาโปรแกรม และยังทำการรันโปรแกรมบนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ โดยใช้เทคโนโลยี Adobe AIR (Adobe Integrated Runtime) นั่นคือ เทคโนโลยีการทำ Runtime Environment บนระบบปฏิบัติการ ทำให้สามารถนำโปรแกรมที่สร้างโดย Adobe สามารถทำงานบนระบบปฏิบัติการได้ทุกรูปแบบ โดยไม่ต้องแก้ไขปรับปรุงให้รองรับกับแต่ละระบบปฏิบัติการ ซึ่งรวมไปถึงระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ด้วย [7]

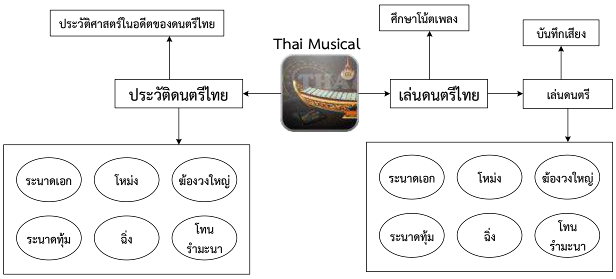
### 2.3 โปรแกรม Play Store

เป็นโปรแกรมที่เปรียบเสมือนคลังโปรแกรม ที่เก็บโปรแกรมทุกประเภทที่ใช้บนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ ผู้ใช้สามารถดาวน์โหลดและค้นหาได้จากชื่อของโปรแกรม หรือเลือกดูรายการของโปรแกรมในแต่ละกลุ่มที่จัดแบ่งไว้ ซึ่งนักพัฒนาโปรแกรมสามารถอัพโหลดไฟล์โปรแกรม ลงใน Play Store เพื่อให้ผู้ใช้ค้นหาและดาวน์โหลดมาใช้งาน

โปรแกรม Play Store ได้ทำข้อมูลเชิงสถิติเกี่ยวกับจำนวนผู้ดาวน์โหลด และการให้คะแนนความพึงพอใจ โดยแบ่งออกเป็น 5 ระดับ อีกทั้งยังสามารถเขียนข้อเสนอแนะให้แก่นักพัฒนา เพื่อใช้ประกอบการพัฒนาโปรแกรมต่อไปในอนาคต ผู้วิจัยได้ใช้ช่องทางนี้เป็นหนึ่งวิธีการในการวัดผลและรับข้อเสนอแนะจากผู้ทดลองใช้งานโปรแกรม

## 3. การออกแบบและพัฒนาระบบ

การออกแบบและพัฒนาโปรแกรมผู้วิจัยได้มุ่งเน้นถึงประโยชน์ที่ได้รับของผู้ใช้โปรแกรมให้ได้รับประโยชน์สูงสุด สามารถได้ทั้งความรู้ประวัติศาสตร์ของดนตรีไทย และความสนุกเพลิดเพลิน ผู้วิจัยได้ออกแบบโครงสร้างการทำงานของโปรแกรม ดังแสดงรูปที่ 1




รูปที่ 1 แผนผังโครงสร้างการทำงานของโปรแกรม

จากรูปที่ 1 การออกแบบโครงสร้างการทำงานของโปรแกรม ผู้วิจัยได้ออกแบบการทำงานแบ่งออกเป็น 2 ส่วนหลัก คือ ประวัติของดนตรีไทย และการเล่นดนตรีไทย

ในส่วนของประวัติดนตรีไทยประกอบไปด้วย ประวัติศาสตร์ในอดีตของดนตรีไทยซึ่งจะกล่าวถึงแหล่งกำเนิดที่มาของดนตรีไทยและประวัติของดนตรีไทยแต่ละประเภท ที่มีให้เล่นในโปรแกรม คือ ระนาดเอก ระนาดทุ้ม ฆ้องวง โหม่ง ฉิ่ง และโทน-รำมะนา

ในส่วนของการเล่นดนตรีไทยจะมี 2 ส่วนย่อย คือ การศึกษาโน้ตเพลง โดยจะมีตัวอย่างเพลงไทยให้ฟังและมีตัวโน้ต ให้ได้ศึกษาเพื่อนำมาทดลองเล่นตาม อีกส่วนนั่นคือ การเล่นดนตรี โปรแกรมจะมีการจำลองเครื่องดนตรีให้ได้เล่นเสมือนได้เล่นของจริง สามารถเลือกเล่นเครื่องดนตรีได้ 6 แบบ ดังที่กล่าวไว้ข้างต้น ในขณะเล่นหากต้องการบันทึกเสียงการเล่นก็สามารถบันทึกและนำกลับมาฟังซ้ำได้ เป็นการเพิ่มความสนุกสนานและเพลิดเพลินให้แก่การเล่นอีกด้วย

## 4. ผลการทดลอง

การทดลองการทำงานของโปรแกรมจะแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน คือ การทดสอบการทำงานของโปรแกรม วัดผลการใช้ด้วยการอัพโหลดลง Play Store และวัดผลการใช้งานด้วยแบบสอบถามจากผู้ที่เคยเล่นดนตรีไทย ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

### 4.1 การทดสอบการทำงานของโปรแกรม

จาการทดสอบการทำงานของโปรแกรม จำเป็นต้องติดตั้งโปรแกรม Adobe AIR ก่อนใช้งานโปรแกรมที่ได้ทำการพัฒนา เนื่องจากการพัฒนาโปรแกรมได้ใช้ Adobe Flash CS6 ซึ่งจะต้องใช้เทคโนโลยี Runtime Environment โดยสามารถดาวน์โหลดได้จากโปรแกรม Play Store

หลังจากติดตั้งโปรแกรม Adobe AIR ผู้วิจัยได้ทดลองติดตั้งโปรแกรมจำลองเครื่องดนตรีไทยที่ได้พัฒนา สามารถทำงานได้ตรงตามที่ได้ออกแบบไว้ ดังแสดงรูปที่ 2 ถึงรูปที่ 4

รูปที่ 2 หน้าหลักของโปรแกรม

รูปที่ 3 เลือกเล่นเครื่องดนตรีไทย

รูปที่ 4 ตัวอย่างเครื่องเล่นจำลองระนาดเอก

จากรูปที่ 2 ถึงรูปที่ 4 แสดงการทดลองการทำงานของโปรแกรมโดยสามารถใช้งานโปรแกรมในส่วนต่างๆ ได้ตรงตามที่ออกแบบซึ่งประกอบไปด้วย ส่วนของหน้าหลัก ประวัติดนตรีไทย การศึกษาตัวอย่างโน้ตเพลง การเลือกเล่นดนตรีไทยซึ่งสามารถเลือกเล่นได้ทั้ง 6 แบบ คือ ระนาดเอก ระนาดทุ้ม ฆ้องวง โหม่ง ฉิ่ง และโทน-รำมะนา

### 4.2 วัดผลการใช้ด้วยการอัพโหลดลง Play Store

หลังจากทำการออกแบบ พัฒนา และทดสอบการใช้งานของโปรแกรมจำลองเครื่องดนตรีไทย ผู้วิจัยได้วัดผลการใช้งานด้วยวิธีการอัพโหลดโปรแกรมลงใน Play Store ซึ่งเป็นเสมือนคลังของโปรแกรมของระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ เพื่อทดสอบความพึงพอใจและรับข้อเสนอแนะ เป็นระยะเวลา 1 ปี ผลการทดลองพบว่า มีผู้สนใจดาวน์โหลดโปรแกรมใช้งานมากกว่า 10,000 คน ได้คะแนนความพึงพอใจ 4.3 จากคะแนนเต็ม 5.0 จากผู้ให้คะแนนทั้งหมด 799 คน ดังแสดงในรูปที่ 5

รูปที่ 5 ผลการวัดผลความพึงพอใจด้วย Play Store

### 4.3 วัดผลการใช้ด้วยแบบสอบถามผู้ที่เคยเล่นดนตรีไทย

จากการวัดผลความพึงพอใจการใช้งานโปรแกรมจากผู้ที่เคยเล่นดนตรีไทย จำนวน 50 คน ได้ผลการวัดผลแสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลการประเมินความพึงพอใจของผู้ที่เคยเล่นดนตรีไทย

| หัวข้อประเมิน | คะแนน |
|---|---|
| 1. ความสวยงาม | 4.14 |
| 2. ความสะดวกในการใช้งาน | 4.00 |
| 3. ความถูกต้องของเสียงที่เล่น | 4.05 |
| 4. ความสนุกสนาน | 4.14 |
| 5. ประโยชน์ที่ได้รับ | 4.19 |
| 6. ประสิทธิภาพโดยรวม | 4.14 |
| **เฉลี่ย** | **4.11** |

จากตารางที่ 1 ผลการประเมินความพึงพอใจของผู้ที่เคยเล่นดนตรีไทย จำนวน 50 คน พบว่า จากคะแนนเต็ม 5.00 ความสวยงามได้คะแนน 4.14 ความสะดวกในการใช้งานได้คะแนน 4.00 ความถูกต้องของเสียงที่เล่นได้คะแนน 4.05 ความสนุกสนานได้คะแนน 4.14 ประโยชน์ที่ได้รับได้คะแนน 4.19 ประสิทธิภาพโดยรวมได้คะแนน 4.14 และคะแนนเฉลี่ยทั้งหมดของผู้ที่เคยได้เล่นดนตรีไทยได้คะแนนเท่ากับ 4.11

## 5. สรุปผลการทดลอง

ผลของการออกแบบและพัฒนาโปรแกรม สรุปได้ว่าสามารถใช้โปรแกรม Adobe Flash CS6 ร่วมกับภาษา Action Script 3.0 ในการออกแบบและพัฒนาโปรแกรมจำลองเครื่องดนตรีไทยบนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ได้ เหมาะสมที่จะใช้เป็นสื่อในการเรียนรู้และทดลองเล่นดนตรีไทยแบบเสมือนจริง ผลการวัดผลความพึงพอใจโดยโปรแกรม Play Store ระยะเวลา 1 ปี มีผู้สนใจดาวน์โหลดมากกว่า 10,000 คน ผู้ใช้สนใจให้คะแนน 799 คน ได้คะแนน 4.3 จากคะแนนเต็ม 5.0 และวัดผลจากแบบสอบถามผู้ที่เคยเล่นดนตรีไทยจำนวน 50 คน พบว่าได้คะแนนเฉลี่ย 4.11 จากคะแนนเต็ม 5.00

## 6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ ธีระวัฒน์ สุทธินนท์ และ หยาดฝน ไกรเทพ ผู้ร่วมวิจัยออกแบบและพัฒนาระบบ จนเสร็จสมบูรณ์

ขอขอบคุณโครงการจัดตั้งคณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย ที่อำนวยสถานที่และเปิดโอกาสให้ทำงานวิจัยจนสำเร็จ

## เอกสารอ้างอิง

[1] อุทัย ศาสตรา. “**การศึกษากระบวนการถ่ายทอดการบรรเลงระนาดเอกของครูประสิทธิ์ ถาวร ศิลปินแห่งชาติ**”, วิทยานิพนธ์ปริญญาครุศาสตรมหาบัณฑิต. สาขาวิชาดนตรีศึกษาบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2553.

[2] นวรัตน์ แซ่โค้ว , “**การสร้างบทเรียนมัลติมีเดียปฏิสัมพันธ์ในรูปแบบความเสมือนจริงการแนะนำอุปกรณ์คอมพิวเตอร์สำหรับเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลผ่านเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ต**”, รายงานการวิจัย มหาวิทยาลันศรีประทุม. 2551.

[3] ณัชชา กอศรีสกุล และ จามรกุล เหล่าเกียรติกุล, “**การพัฒนาแอพพลิเคชันสื่อการเรียนรู้ภาษาเกาหลีสาหรับผู้เริ่มต้นบนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์**” การประชุมวิชาการระดับปริญญาตรีด้านคอมพิวเตอร์ภูมิภาคอาเซียน 2015 ($AUC^2$ 2015). มหาวิทยาลัยราชภัฏราชนครินทร์. 2558.

[4] นัทรียา สงใย และ วงกต ศรีอุไร , “**การพัฒนาสื่อการเรียนรู้เรื่องการจราจรทางบกบนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์**”, The Tenth National Conference on Computing and Information Technology (NCCIT2014), 413-118 , พฤษภาคม 2557

[5] สุภาณี ศรีอุทธา และ สวียา สุรมณี, “**การพัฒนาเกมแอพพลิเคชั่นเพื่อการเรียนรู้บนแท็บเล็ต เรื่อง ฮาร์ดแวร์คอมพิวเตอร์ สำหรับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4**”, การประชุมวิชาการระดับชาติการจัดการเทคโนโลยีและนวัตกรรมครั้งที่ 1. พฤษภาคม 2558

[6] พร้อมเลิศ หล่อวิจิตร, “**คู่มือเขียนแอพ Android ด้วย Android Studio**”, กรุงเทพ : โปรวิชั่น , 2558.

[7] Barbara M. Waxer, “**Adobe Flash Professional CS6 Illustrated**”, USA : Course Technology , 2013.

## ประวัติผู้เขียนบทความ

นายนเรศ ขวัญทอง
อาจารย์สาขาวิชา วิศวกรรมสารสนเทศและการสื่อสาร
โครงการจัดตั้งคณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี
งานวิจัยที่สนใจ : Embedded System,
Wireless Sensor Network, Mobile Application

นายภูมินทร์ อินทร์แป้น
อาจารย์สาขาวิชา วิศวกรรมสารสนเทศและการสื่อสาร
โครงการจัดตั้งคณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี
งานวิจัยที่สนใจ : Computer Network,
Computer Operating System, Mobile Application

นายศุภวัฒน์ อินทร์เกิด
อาจารย์สาขาวิชา เทคโนโลยีสารสนเทศ
โครงการจัดตั้งคณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี
งานวิจัยที่สนใจ : Database System, Mobile Application

# เกมคำเชิญชวนแห่งโชคชะตา

# Invitation to The King

**พิศณุ ชัยจิตวณิชกุล[1] ประสงค์ เกษแก้ว[2] และ วุฒิพงศ์ แสงทะมาตย์[3]**
[123]สาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
64 ถนนทหาร ตำบลหมากแข้ง อำเภอเมือง จังหวัดอุดรธานี 41000
E-mail: pitsanuc@gmail.com[1], oatxmenza@gmail.com[2] และwuttipong237@gmail.com[3]

## บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นนำเสนอเทคนิค 2 เทคนิค คือ ตัวจัดการ NPC(Non Player Character) หรือ NPC Manager และตัวค้นหาข้อมูล (Object Viewer) เพื่อนำมาใช้ในพัฒนาเกมคอมพิวเตอร์ 3 มิติ โดยตัวจัดการ NPC นี้จะช่วยให้ผู้พัฒนาลดระยะเวลา และความซับซ้อนในการสร้าง NPC ลง อีกทั้งในงานวิจัยนี้ได้พัฒนาตัวค้นหาข้อมูล (Object Viewer) เพื่อช่วยให้ผู้พัฒนาสามารถค้นหาข้อมูลจากคลาสที่ผู้พัฒนาสร้างขึ้นเอง (Custom Class) ได้สะดวก และรวดเร็วมากยิ่งขึ้น และเพื่อเป็นการทดสอบจึงได้นำ 2 เทคนิค ที่กล่าวมาแล้วข้างต้นไปใช้พัฒนาเกมคำเชิญชวนแห่งโชคชะตา (Invitation to the king) ซึ่งเนื้อหาของเกมเป็นแนวผจญภัยเก็บสิ่งของ ทำภารกิจ และรวบรวมตัวอักษรให้ครบ 26 ตัว (A-Z) เพื่อที่จะชนะเกม โดยใช้เวลาในการพัฒนาเกมลดลง

คำสำคัญ: เกมผจญภัย, เกมทำภารกิจ, ตัวจัดการ NPC, ตัวค้นหาข้อมูล

## Abstract

This research focus is twofold: a technique to make NPC(Non Player Character) called NPC Manage and Object Viewer for 3D computer games development. The NPC Manager uses Unity Editor, which is special features of the Unity Engine, which will allow developers to reduce time and complexity of creating NPC. Object Viewer uses to help developers search the object from the custom class easily. and more This research has led two techniques mentioned above to develop a game called Invitation to the king, the content of the game's adventure, keeping missions and collect all the 26 letters(A-Z). In order to win the game. The result is reduce time to develop game.

Keywords: Serialization, Deserialization, Adventure, NPC Manager, Object Viewer

## 1. บทนำ

ปัจจุบันเกมได้เข้ามามีบทบาทต่อสังคม และเยาวชนไทยมากขึ้น อีกทั้งรูปแบบเกมเน้นเรื่องการต่อสู้เอาชนะ โดยเกมสามารถเป็นเครื่องมือที่ช่วยพัฒนาระบบวิธีการคิดวิเคราะห์ สร้างจินตนาการ หรือแม้กระทั่งขัดเกลาจิตใจของผู้เล่น เกมคำเชิญชวนแห่งโชคชะตาเป็นเกมแนวผจญภัย[1] เล่นบนคอมพิวเตอร์ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อนำเสนอรูปแบบเกมที่มีความแปลกใหม่ และความสนุกสนานเพลิดเพลิน เพื่อให้เหมาะสมกับผู้เล่นทุกเพศทุกวัย การพัฒนาเกมคำเชิญชวนแห่งโชคชะตาได้เลือกใช้โปรแกรม Unity Engine[2] ในการพัฒนา พร้อมทั้งใช้เทคนิคการ Serialization และ Deserialization ในการบันทึกเกม(เซฟเกม) และเทคนิค Collision Detection เพื่อตรวจสอบระยะในการสนทนากับ NPC รวมไปถึงการปรับปรุงคุณภาพของวัตถุ 3 มิติ[3]

การพัฒนาเกมต้องใช้ระยะเวลาในการพัฒนานานพอสมควร ดังนั้นการคิดค้นเทคนิค หรือวิธีการต่างๆ มาช่วยลดระยะเวลาในการพัฒนาเกมลง จะช่วยให้ผู้พัฒนาสามารถสร้างเกม โดยใช้ระยะเวลาสั้นลง แต่ได้เกมที่มีคุณสมบัติตามที่วางไว้ ในงานวิจัยนี้ได้นำเสนอเทคนิค 2 เทคนิคในการลดระยะเวลาในการพัฒนาเกมลง คือ ตัวจัดการ NPC เพื่อช่วยให้สร้าง NPC ได้สะดวก และรวดเร็วมากยิ่งขึ้น และตัวค้นหาข้อมูลเพื่อใช้ในการค้นหาข้อมูลจากคลาสที่ผู้พัฒนาสร้างขึ้นเองได้ง่ายยิ่งขึ้น

## 2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 Collision Detection

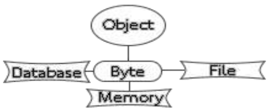
การตรวจสอบการชน[4] คือวิธีการตรวจสอบวัตถุทุกชิ้นว่ามีโอกาสเกิดการชนกันหรือชนกันแล้วหรือไม่ หลักการทางคณิตศาสตร์ใช้เป็นเพื่อสร้างความเสมือนจริงให้กับโปรแกรมหรือเกม โดยสิ่งที่ต้องคำนึงถึงในเรื่องในทฤษฎีของการตรวจสอบการชนมี 2 ประเภทคือ

2.1.1 Performance เป็นการคำนึงถึงประสิทธิภาพและความต่อเนื่องของเกม ซึ่งเงื่อนไขนี้จะมุ่งเน้นในเรื่องของการตรวจสอบการชน ที่สามารถทำงานได้อย่างรวดเร็ว

2.1.2 Reality เป็นการคำนึงถึงความสมจริงในการคำนวณตามความถูกต้องของข้อมูลภายในเกม วิธีนี้จะไม่คำนึงถึงความเร็วในการใช้งานแต่จะเน้นที่ความถูกต้องตามหลักการคำนวณของระบบซึ่งเหมาะกับงานที่ต้องการความสมจริงมาก หรือเกมที่เน้นความสมจริงเป็นหลัก

### 2.2 Serialization and Deserialization

วิธีการ Serialization and Deserialization [5] เป็นการนำเอา object หรือ object graph (object ที่มีการอ้างอิงซึ่งกันและกัน) ที่อยู่ในหน่วยความจำมายุบแล้วเก็บมันไว้ใน stream ที่อยู่ในรูปแบบของ byte เราสามารถนำ byte เหล่านี้ที่อยู่ใน stream มาเขียนเป็นไฟล์ xml เพื่อเก็บข้อมูลเกี่ยวกับ object ลงไปในไฟล์ ส่วนการ Deserialization จะเป็นขั้นตอนกลับกัน ของ Serialization คือ จะนำข้อมูลที่อยู่ใน stream มาสร้าง object หรือ object graph ขึ้นมาในหน่วยความจำใหม่ แสดงดังรูปที่ 1




**รูปที่ 1** ภาพรวมการทำงาน Serialization

### 2.3 Unity Engine

เป็นเครื่องมือช่วยสร้างเกม 3 มิติ และ 2 มิติมีความสามารถในการวาง Object 3 มิติ หรือ Game Object มี API (Application Programming Interface) ซึ่งรวบรวมคุณสมบัติทางด้านฟิสิกส์และฟังก์ชันต่างๆ ที่ใช้ในการพัฒนาเกมโดยการเขียนสคริปต์ควบคุมการทำงาน ภาษาที่ใช้ในการเขียนสคริปต์ จะมีอยู่ 2 ภาษา คือ C# เขียนภาษาเชิงวัตถุ และ JavaScript ในการควบคุมการทำงานส่วนประกอบต่างๆ นอกจากนี้ Unity สามารถสร้างเกมแบบ Cross-Platform ได้ไม่ว่าจะเป็นระบบเดสท็อป เกมคอลโซล รวมถึงระบบปฏิบัติการบนมือถือ นอกจากนี้ยังสามารถส่งออกเป็น Web Player (รวมทั้ง Facebook ), Adobe Flash ได้อีกด้วย

### 2.4 Blender

โปรแกรมเบลนเดอร์[6] สำหรับงานคอมพิวเตอร์กราฟิก 3 มิติ สามารถใช้สร้างโมเดลสามมิติ, คลี่ UV , ทำพื้นผิว (Texture), จัดการการเคลื่อนไหวแบบใช้กระดูก, จำลองการไหลของน้ำ, จำลองผิวหนัง, คอมพิวเตอร์แอนิเมชัน, เร็นเดอร์, พาทิเคิล, การจำลองด้วยคอมพิวเตอร์อื่นๆ, การตัดต่อและตกแต่งวีดีทัศน์และภาพผ่านระบบคอมโพสิต, และยังใช้สร้างแอปพลิเคชันแบบสามมิติได้อีกด้วย

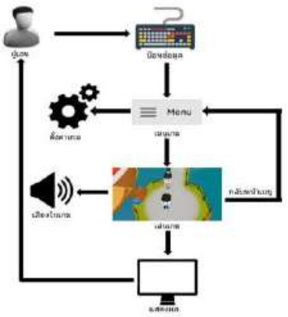
### 2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การพัฒนาเกม Escape the Lost Island[7] ในส่วนของเนื้อเรื่อง ผู้เล่นจะเป็นผู้ช่วยเหลือแพของคนที่ติดเกาะไปหาเรือให้ได้อย่างปลอดภัย ด้วยการใช้ลมในการนำแพหลบอุปสรรคที่มาขัดขวาง หากผู้เล่นสามารถผ่านในแต่ละด่านได้จะได้รับความสามารถพิเศษ เช่น ความแรงในการพัด เกมนี้ได้ใช้หลักการตรวจสอบการชนวิธีการตรวจสอบวัตถุทุกชิ้นว่ามีเกิดการชนกันหรือไม่ งานวิจัยนี้ได้ให้ความรู้เกี่ยวกับหลักการการตรวจสอบการชนของวัตถุ และหลักการนำคณิตศาสตร์มาประยุกต์ใช้เพื่อความเสมือนจริงของเกม และการคำนึงถึงประสิทธิภาพและความต่อเนื่องของเกม ซึ่งเงื่อนไขนี้จะมุ่ง เน้นในเรื่องของการตรวจสอบการชน โดยที่ไม่ใช้ทรัพยากรของเครื่องมากเกินไป เพื่อให้โปรแกรมหรือเกมสามารถทำงานได้อย่างรวดเร็วขึ้น

## 3. รายละเอียดการพัฒนา

เกมคำเชิญชวนแห่งโชคชะตาเป็นเกมแนวผจญภัย 3 มิติโดยใช้มุมมองบุคคลที่ 3 ผู้เล่นสามารถมองเห็นตัวละครทั้งตัวได้จากด้านหลัง ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

### 3.1 แนวคิดการออกแบบ




**รูปที่ 2** ภาพรวมระบบ

### 3.2 การออกแบบตัวจัดการ NPC (NPC Manager)

เนื่องจากในเกมมี NPC อยู่หลายตัว การที่จะจัดการเขียนสคริปต์ให้ NPC แต่ละตัวนั้นมีความยุ่งยากอย่างมาก แทนที่จะสร้างสคริปต์เดียวแล้วนำไปใช้กับ NPC ทุกๆ ตัว นั้นจึงเป็นที่มาของการพัฒนาตัวจัดการ NPC เพื่อเพิ่มความสะดวกสบายในการสร้าง NPC โดยแบ่งการทำงานเป็น

3.2.1 สร้างสคริปต์เพื่อใช้ในการแก้ไขรายละเอียดของ NPC โดยใช้คุณสมบัติของ Unity ที่เรียกว่า Unity Editor โดยแบ่งการทำงานออกแบ่งส่วนย่อยๆ ได้แก่

3.2.1.1 NPC Manager Window เป็นสคริปต์ในการจัดข้อมูลเบื้องต้นของ NPC อาทิเช่น ชื่อ บทสนทนา ตัวอักษร เป็นต้น

3.2.1.2 Dialogue Window เป็นสคริปต์ใช้จัดการบทสนทนาของ NPC ร่วมทั้งภารกิจที่จะให้กับผู้เล่น

3.2.1.3 Quest Database Editor เป็นสคริปต์ที่ใช้สร้างรายละเอียดของภารกิจเพื่อสร้างภารกิจที่ให้ผู้เล่นได้

3.2.2 สร้างสคริปต์เพื่อนำข้อมูลจากข้อที่ 3.2.1 มาใช้ เรียกว่า NPC Controller สคริปต์นี้จะนำข้อมูลที่ได้มาจัดการ โดยวิธีการต่างๆ เพื่อสร้างเป็น NPC โดยการสร้าง NPC 1 ตัวจะทำการสร้างไฟล์ที่มีนามสกุล .asset ออกมา โดยสามารถนำไฟล์ที่สร้างขึ้นมาไปใส่ในฉาก (scene) อื่นได้

### 3.3 การออกแบบตัวค้นหาข้อมูลจากคลาสที่สร้างขึ้นเอง (Object Viewer)

เนื่องจากข้อมูลที่เก็บอยู่ในเกมนั้นมีมากมาย เพื่อให้ง่ายต่อการนำข้อมูลเหล่านั้นมาใช้จึงจำเป็นต้องพัฒนาตัวค้นหาข้อมูล ขึ้นมา ถึงแม้ว่าใน Unity มีตัวค้นหาข้อมูลให้อยู่แล้ว แต่ยังขาดคุณสมบัติในการสนับสนุนคลาสที่สร้างขึ้นเอง ฉะนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้พัฒนาตัวค้นหาข้อมูลจากคลาสที่สร้างขึ้นเองเพื่อสร้างตัวค้นหาข้อมูลที่สนับสนุนคลาสของตัวเองโดยมีหลักการทำงานคล้ายๆ กับตัวค้นหาของ Unity

## 4. ผลการดำเนินงาน

### 4.1 ผลการพัฒนาระบบ

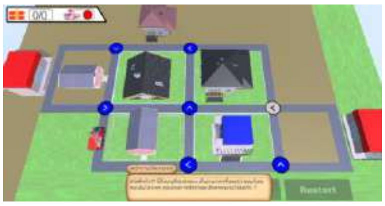
การพัฒนาระบบเกมคำเชิญชวนแห่งโชคชะตาได้ผลลัพธ์ดังต่อไปนี้ การแสดงการทำงานของหน้าจอหลัก ที่ผู้เล่นสามารถเลือกเริ่มเกมใหม่หรือโหลดเกมเดิมมาเล่น และสามารถตั้งค่าเกมก่อนเล่นได้ เช่น การตั้งค่าเสียงพื้นหลัง เสียงเอฟเฟ็ค เป็นต้น แสดงดังรูปที่ 3

**รูปที่ 3** หน้าจอหลัก

การแสดงการทำงานของหน้าจอขณะเล่นเกม ผู้เล่นสามารถควบคุมตัวละคร เดินหน้า ถอยหลัง เลี้ยวซ้าย เลี้ยวขวา แสดงดังรูปที่ 4

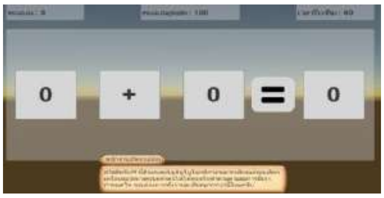
**รูปที่ 4** หน้าจอเริ่มเล่นเกม

เกมย่อยขับรถส่งของ ผู้เล่นต้องนำรถบรรทุกไปส่งของให้บ้านต่างๆ ตามที่เกมกำหนดเมื่อส่งครบแล้วต้องนำรถไปจอดในตำแหน่งที่เกมกำหนดโดยผู้เล่นต้องเลือกเส้นทางการเดินรถด้วยตัวเอง แสดงดังรูปที่ 5



**รูปที่ 5** เกมย่อยขับรถส่งของ

เกมย่อยคณิตคิดเร็ว ผู้เล่นต้องเลือกเครื่องหมายให้ถูกต้องตามสมการที่เกมกำหนดมาให้ แสดงดังรูปที่ 6

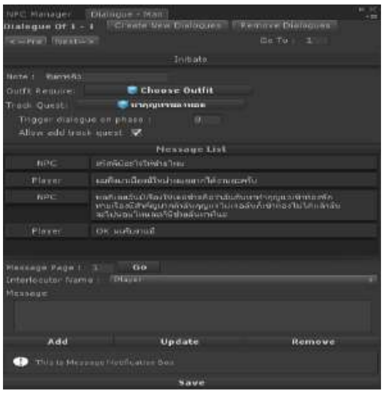



**รูปที่ 6** เกมย่อยคณิตคิดเร็ว

หน้าต่างที่ใช้กำหนดคุณลักษณะของ NPC โดยที่หัวข้อ Profile คือ รายละเอียดของ NPC ส่วนหัวข้อ Manager Dialog คือ เหตุการณ์ที่จะเกิดขึ้นของข้อความต่างๆ ในตัว NPC แสดงดังรูปที่ 7

**รูปที่ 7** หน้าต่าง NPC Manager

หน้าต่างจัดการข้อความแต่ละเหตุการณ์ของ NPC ใช้ในการสร้างบทสนทนาให้กับ NPC แสดงดังรูปที่ 8



**รูปที่ 8** หน้าต่าง Dialogue Window

หน้าต่างจัดการรายละเอียดภารกิจที่กำหนดให้กับ NPCแสดงดังรูปที่ 9

**รูปที่ 9** หน้าต่าง Quest Database Editor

ผลลัพธ์ที่ได้จากการใช้ตัวจัดการ NPC สร้าง NPC ชื่อ Palov แสดงดังรูปที่ 10

**รูปที่ 10** การสนทนากับ Palov

หน้าต่างที่แสดงรายการของข้อมูลสิ่งของที่ถูกเก็บอยู่ในเกมจากคลาส Item แสดงดังรูปที่ 11 โดยผู้พัฒนาสามารถค้นหาข้อมูลที่เก็บอยู่ในคลาสที่สร้างขึ้นเองได้อย่างรวดเร็ว

**รูปที่ 11** หน้าต่าง Object Viewer

## 5. สรุปผลและข้อเสนอแนะ

จากการทดสอบใช้ตัวจัดการ NPC และ ตัวค้นหาข้อมูลในการพัฒนาเกมคำเชิญชวนแห่งโชคชะตา ปรากฏว่าใช้ระยะเวลาในการพัฒนาลดลงถึง 2 เท่า ซึ่งเป็นผลมาจากการใช้ตัวจัดการ NPC ในการสร้าง แก้ไข และจัดการข้อมูลต่างๆ ของ NPC โดยที่ไม่ต้องเขียนสคริปต์ใหม่ รวมถึงตัวค้นหาข้อมูลจากคลาสที่สร้างขึ้นเอง ช่วยในการอำนวยความสะดวกในการเลือกวัตถุต่างๆ ที่มีอยู่ในเกมได้รวดเร็วมากยิ่งขึ้น แต่จะเห็นได้ว่าตัวจัดการ NPC ยังไม่ครอบคลุมถึงเหตุการณ์ต่างๆ ที่มีความซับซ้อน และถูกออกแบบมาให้ใช้ได้เฉพาะเกมนี้เท่านั้น เพราะฉะนั้นในโอกาสต่อไปจะมีการพัฒนาตัวจัดการให้ครอบคลุมถึงเหตุการณ์และรองรับความซับซ้อนต่างๆ ที่อาจจะเกิดขึ้น พร้อมทั้งสามารถนำตัวจัดการ NPC ไปใช้ต่อในงานวิจัยอื่นๆต่อไป

## 6. เอกสารอ้างอิง

[1] เกมผจญภัย. (2556). ค้นเมื่อ 10 กันยายน 2558 , จาก https://th.wikipedia.org/wiki/เกมผจญภัย

[2] Michelle Menard. (2012). Game Development with Unity. Boston:Course Technology

[3] J. Jie, K. Yang and S. Haihui, "Research on the 3D Game Scene Optimization of Mobile Phone Based on the Unity 3D Engine," *Computational and Information Sciences (ICCIS), 2011 International Conference on*, Chengdu, China, 2011, pp. 875-877. doi: 10.1109/ICCIS.2011.317

[4] Q. Huiyan and Z. Wei, "Fast Collision Detection Algorithm Based on Parallel Ant," *Virtual Reality and Visualization (ICVRV), 2013 International Conference on*, Xi'an, 2013, pp. 261-264. doi: 10.1109/ICVRV.2013.50

[5] Microsoft. (2015). Serialization(C# and Visual Basic) .ค้นเมื่อ 5 มีนาคม 2558 ,จาก https://msdn.microsoft.com/en-us/library/ms233843.aspx

[6] ธนชาต ประยูรนาค, จักกริช พฤษการ. (2556). อุทยานไดโนเสาร์. ค้นเมื่อ 16 กันยายน 2558, จาก http://cpe.eng.kps.ku.ac.th/db_cpeproj/paperShowFile.php?id_pro=45

[7] ชาลี ปิ่นคล้าย. (2554). Game Escape The Lost Island. ค้นเมื่อ 15 กันยายน 2558 จาก http://my.sosius.com/aeproject/dpu/วิชา_โครงงาน1/ชาลี_ปิ่นคล้าย/documents/topic_proposal__of_escap_the_lost_island.doc?ref=3151627-1

**บทความวิจัย**
การประชุมวิชาการ งานวิจัยและพัฒนาเชิงประยุกต์ ครั้งที่ 8
*8th ECTI-CARD 2016, Hua Hin, Thailand*

# การวิจัยและพัฒนา นวัตกรรมของเล่นพื้นบ้านอัจฉริยะ เพื่อสร้างความรู้ด้วยตนเองเกี่ยวกับพลวัตของระบบ

## Research and Development of Innovation Folk Toy Smart for Constructing Seft- Directed Knowledge about System Dynamics.

**เที่ยง เหมียดไธสง[1] ศิวาพร เหมียดไธสง[2] และ สราวุฒิ เชาวสกู[3]**
[1,3] โปรแกรมวิชาเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์อิเล็กทรอนิกส์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี
38 มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี อำเภอเมือง จังหวัดเพชรบุรี E-mail: thiangone@hotmail.com
[2]โปรแกรมวิชาคอมพิวเตอร์ประยุกต์ คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี
38 มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี อำเภอเมือง จังหวัดเพชรบุรี E-mail: siwa.m@hotmail.com

**บทคัดย่อ**

บทความนี้เป็นการนำเสนอการนำของเล่นโบราณที่กำลังจะสูญหายไปจากสังคมไทย มาใช้ในการเรียนรู้พลวัตของระบบ ซึ่งพลวัตของระบบต่างๆมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา แต่มนุษย์เข้าใจเรื่องนี้น้อย การจะทำความเข้าใจมักจะเป็นแนวคิดและวิธีการของต่างประเทศ งานวิจัยนี้จึงได้พัฒนาของเล่นโดยใส่เทคโนโลยีให้กับของเล่น ทำให้ของเล่นโบราณในที่นี้คือเครื่องบินเป็นของเล่นที่สามารถทำความเข้าใจพลวัตของระบบได้ สำหรับพลวัตที่แฝงอยู่ เมื่อทดสอบกับผู้ใช้งานพบว่าสามารถเรียนรู้พลวัตของระบบ ความเปลี่ยนแปลงต่างๆ ในระบบของเครื่องบินได้ นอกจากนั้นผู้ใช้งานสามารถเรียนรู้และเข้าใจระบบการเอียงของเครื่องบินในแนวแกนต่างๆได้

คำสำคัญ: นวัตกรรม , อัจฉริยะ, พลวัตของระบบ

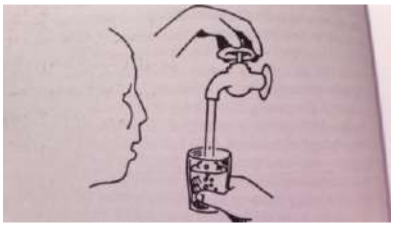
**Abstract**

This article presents and introduction of flok toys which that are lost form thai social for use learning the system dynamics. The system dynamics is changing all the time but few people understand this. The people understand the concept often method and idea foreign. This research has developed flok toy which enter technology in toys made in this toy can understand the system dynamics. The underlying system dynamics when test users found that learner understand the system dynamics of the system changes in the plane. In addition, users can learn and understand the inclination of the axis of the plane.

Keywords: innovation, smart , system dynamics

**1. บทนำ**

ปัจจุบันโลกที่มีการแข่งขันกันสูง กระแสของสังคมโลกที่เป็นพลวัตเป็นสิ่งที่สำคัญที่เด็กจะต้องเรียนรู้และเข้าใจ เด็กสามารถเรียนรู้และเข้าใจปริมาณ ตัวเลขและการนับ ปัจจุบันโลกที่มีการแข่งขันกันสูง กระแสของสังคมโลกที่เป็นพลวัตเป็นสิ่งที่สำคัญที่เด็กจะต้องเรียนรู้และเข้าใจ เด็กสามารถเรียนรู้และเข้าใจปริมาณ ตัวเลข การนับ เข้าใจปริมาณน้ำในแก้วว่า น้ำมีปริมาณมากหรือน้อยในแก้ว เด็กในระดับอนุบาลและประถมศึกษาสามารถเข้าใจและเรียนรู้ปริมาณน้ำในแก้วได้ไม่ยาก อย่างไรก็ตามเด็กเรียนรู้และเข้าใจเกี่ยวกับระบบได้ยากเมื่อเขาเหล่านั้นเปิดน้ำจากก๊อกใส่แก้วดังรูปที่ 1 การเปิดน้ำจากก๊อกใส่แก้วเป็นระบบหนึ่งซึ่งเด็กหรือแม้แต่ผู้ใหญ่ก็เข้าใจยาก เด็กไม่สามารถเข้าใจระบบการเปิดน้ำ ซึ่งในความเป็นจริงระบบของสิ่งต่าง ๆ มีการเปลี่ยนแปลงและมีความเป็นพลวัตอย่างเป็นระบบเหมือนการเปิดน้ำจากก๊อก จากรูปที่ 1 พบว่าจะมีตัวแปรถึง 5 ตัวแปรที่อธิบายโครงสร้างของระบบพลวัตนี้ ได้แก่ 1) ระดับน้ำที่เราต้องการ 2) ระดับน้ำปัจจุบันในแก้ว 3) ช่องว่างระหว่างระดับน้ำปัจจุบันและระดับที่ต้องการ 4) ตำแหน่งการหมุนก๊อกน้ำ และ 5) อัตราน้ำไหล จะเห็นว่าสิ่งเหล่านี้มีความยากบราสำหรับเด็กหรือแม้แต่ผู้ใหญ่ที่จะเข้าใจ [1]



**รูปที่ 1** แสดงการเปิดน้ำจากก๊อกใส่แก้วซึ่งเข้าใจระบบได้ยาก
ที่มา: Senge, 1990

มีคนจำนวนน้อยที่เข้าใจความจริงที่ว่าระบบมีอยู่ในทุกๆที่ การกระทำสิ่งต่าง ๆ ไม่ได้กระทำอยู่เดี่ยว ๆ สิ่งต่าง ๆ หรือการกระทำต่างๆมีความเกี่ยวข้องกับสิ่งอื่น ๆ รอบ ๆ ตัว พลวัตของระบบมีอิทธิพลต่อการกระทำของคนเราในทุก ๆ สิ่ง ซึ่งที่ผ่านมาผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่ามนุษย์มีความเข้าใจน้อยเกี่ยวกับระบบซึ่งมีความซับซ้อนและเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา[2]

ความพยามที่ผ่านมาในการทำความเข้าใจและศึกษาพลวัตของระบบ Norbert Weiner (1948) ได้นำเสนอเครื่องมือในการเข้าถึงและทำความเข้าใจเกี่ยวกับพลวัตของระบบบ[3] โดยใช้หลักการทางคณิตศาสตร์ที่เรียกว่า สมการดิฟเฟอเรนเชียล (differential) จากวิธีการศึกษาและทำความเข้าใจแนวคิดพลวัตของระบบ 2 วิธีการ โดยวิธีแรกแนวคิดของ Norbert Weiner ใช้ สมการดิฟเฟอเรนเชียล (differential) เป็นวิธีการที่ยากมากสำหรับเด็กๆเพราะเป็นคณิตศาสตร์ระดับสูง วิธีที่ 2 เป็นการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์จำลองความเป็นพลวัตของระบบในการอธิบายความเป็นพลวัตของระบบ ทำให้สามารถเข้าใจเรียนรู้พลวัตของระบบได้ แต่ยังเป็นเรื่องยากสำหรับเด็ก เนื่องจากเป็นการเขียนโปรแกรมจำลองการทำงานพลวัตรของระบบเด็กจะต้องทราบเกี่ยวกับหลักไวยากรณ์ของภาษานั้น ๆ งานวิจัยนี้ได้นำเสนอ การเรียนรู้พลวัตของระบบแนวทางใหม่ เป็นการเรียนรู้สิ่งใหม่ด้วยวิธีการใหม่ ด้วยการสร้างนวัตกรรมของเล่นพื้นบ้านอัจฉริยะ ซึ่งปัจจุบันของเล่นพื้นบ้านไทยกำลังจะสูญหายไปจากสังคมไทย เพราะสังคมมีการเปลี่ยนแปลงจากสังคมชนบทเป็นสังคมเมือง เด็กไทยหันไปเล่นเกมส์ เล่นอินเตอร์เน็ต ติดโทรศัพท์มือถือ ทำให้ของเล่นพื้นบ้านไทยบางอย่างเกือบสูญหายไป

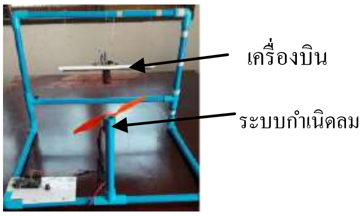
## 2. งานและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

พลวัตของระบบจะหมายถึง คุณลักษณะ(chraracteristic) และพฤติกรรม(behavior) ที่แสดงออกมาของระบบใดระบบหนึ่ง โดยคุณลักษณะ (chraracteristic) ประกอบด้วย 1) การตระหนักถึงปัญหา ที่มีลักษณะเป็นพลวัต โดยพิจารณา 2 ปัจจัยคือ 1.1 ตัวแปรปัญหานั้นต้องเปลี่ยนแปลงตามเงื่อนไขของเวลา 1.2. ตัวแปรนั้นต้องเน้นความสำคัญเกี่ยวกับระบบป้อนกลับ (feedback) 2) พฤติกรรมจะพิจารณาการแสดงออกของพฤติกรรม โดยใช้เครื่องที่ทำความเข้าใจด้วยการเขียนด้วยมือและคอมพิวเตอร์ได้แก่ Casual Loop Diagram , Stock and Flow Diagram , Feedback แลโปรแกรมจำลองพลวัตของระบบ ส่วนการจำลองสถานการณ์จะใช้กราฟในการแสดงได้แก่ Exponential Growth , Exponential Decay , Goal –Seeking , S-Shaped, Oscillation [4 ]

## 3.รายละเอียดการพัฒนา

### 3.1 ภาพรวมของระบบ

ระบบประกอบไปด้วย 2 ส่วนคือ ระบบกำเนิดกระแสลม และระบบตรวจจับพฤติกรรมของเครื่องบิน ระบบกำเนิดลมจะใช้ชุด speed control และมอเตอร์เครื่องบินบังคับวิทยุ โดยมีการควบคุมความเร็วด้วยบอร์ด arduino ที่สามารถปรับความเร็วของกระแสลมได้ สำหรับระบบตรวจจับพฤติกรรมระบบเครื่องบิน จะใช้บอร์ด arduino และตัวตรวจจับ MPU 6050 เพื่อตรวจจับการเอียงในแนวแกนต่างๆ ระบบแสดงดังรูปที่ 2




**รูปที่ 2** ภาพรวมของระบบ

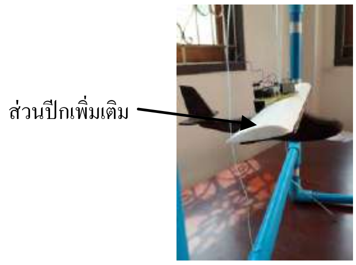
### 3.2 การออกแบบและพัฒนาระบบ

### 3.2.1 การออกแบบโครงสร้าง

การออกแบบของเล่นโบราณเพื่อจะสร้างความรู้ด้วยตนเองเกี่ยวกับ พลวัตของระบบงานวิจัยนี้จะสร้างของเล่นเป็นรูปเครื่องบิน โดยจะใช้ไม้ตาลที่หาได้ในท้องถิ่นในการออกแบบสร้างเป็นรูปเครื่องบิน แสดงดังรูปที่ 3

**รูปที่ 3** ของเล่นเครื่องบินทำจากไม้ตาล

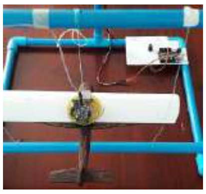
ส่วนการออกแบบแรงยกที่ปีกจะใช้เครื่องพิมพ์ 3 มิติในการพิมพ์ในส่วนของปีกเพิ่มขึ้นแล้วนำไปติดไว้ที่ปีกด้านบนแสดงดังรูปที่ 4




**รูปที่ 4** ปีกเครื่องบินที่ทำเพิ่ม

### 3.2.2 การออกแบบฮาร์ดแวร์

การออกแบบฮาร์ดแวร์จะออกแบบ 2 ส่วนคือ ระบบกำเนิดกระแสลม จะใช้บอร์ด arduino ในการควบคุมการหมุนของมอเตอร์ สำหรับบนตัวเครื่องบินจะติดตั้งบอร์ด arduino ที่มีบอร์ด MCU6050 ติดตั้งอยู่ ซึ่งบอร์ดนี้จะใช้ในการวิเคราะห์พลวัตของปีกเครื่องบินในสภาวะที่เครื่องบินกำลังยกตัวขึ้น โดยสามารถทราบค่า การเอียงในแนวแกนต่างๆได้ดังรูปที่ 5

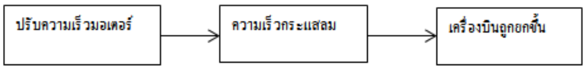


**รูปที่ 5** ฮาร์ดแวร์ของระบบ

## 4. การทดสอบการใช้งาน

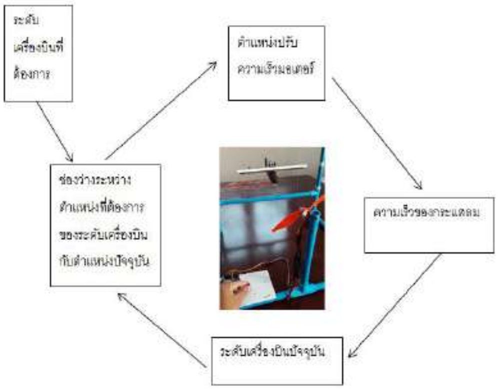
### 4.1 กรณีศึกษา ของเล่นเครื่องบิน

โดยทั่วไปแล้วเครื่องบินจะบินได้มีปัจจัยโดยทั่วไปแล้วมี 4 แรงที่ทำให้เครื่องบินสามารถบินได้ คือ แรงยก แรงโน้มถ่วง แรงขับดัน และแรงต้าน ในการทดลองเราจะสนใจความเป็นพลวัตของเครื่องบินในขณะที่เราใช้กระแสลมผ่านไปที่ปีก ซึ่งทำให้เครื่องบินเกิดแรงยก ปกติเราจะมองตัวแปรต่างๆในลักษณะเป็นเส้นตรง แสดงดังรูปที่ 6




**รูปที่ 6** การมองระบบแบบเส้นตรง

จากรูปที่ 6 จะพบว่าการมองของเราไม่มีความสัมพันธ์กันเป็นวงกลม ซึ่งในธรรมชาติระบบมีการเปลี่ยนแปลงต่อเนื่องตลอดเวลา




**รูปที่ 7** การมองระบบแบบวงกลม

จากรูปที่ 7 การมองระบบจะต่างออกไป ในการมองระบบของแรงที่จะยกเครื่องบินขึ้นถ้าเรามองระบบแบบวงกลมเราจะสามารถวิเคราะห์ความเป็นพลวัตของระบบได้ ถึง 5 ตัวแปร เริ่มต้นจาก การปรับความเร็วของมอเตอร์(สาเหตุ) จะมีอิทธิพลทำให้กระแสลมมีความเร็วเพิ่มขึ้น(ผลลัพธ์) ความเร็วของกระแสลม(สาเหตุ) จะมีอิทธิพลต่อระดับเครื่องบิน(ผลลัพธ์)ในปัจจุบัน ระดับเครื่องบินปัจจุบัน(สาเหตุ) มีอิทธิพลต่อ ช่องว่างระหว่างตำแหน่งปัจจุบันกับตำแหน่งที่ต้องการ (ผลลัพธ์) ช่องว่างระหว่างตำแหน่งปัจจุบันกับตำแหน่งที่ต้องการ(สาเหตุ) มีอิทธิพลต่อตำแหน่งการปรับความเร็วมอเตอร์ (ผลลัพธ์) และระดับเครื่องบินที่ต้องการ (สาเหตุ) มีอิทธิพลต่อ ช่องว่างระหว่างตำแหน่งปัจจุบันกับตำแหน่งที่ต้องการ(ผลลัพธ์) วงจรการทำงานจะวนต่อเนื่องจนงานสำเร็จ

### 4.2 ผลการทดสอบกับผู้ใช้งาน

จากระบบที่เรามองเป็นวงกลมสามารถที่จะเข้าใจพลวัตของระบบที่อธิบายโดยทั่วไปว่า ในระบบพลวัต ระบบป้อนกลับ(feedback)มีความสำคัญต่อระบบทุกระบบ จากรูปที่ 7 สามารถมองเห็นกระบวนการป้อนกลับของระบบจากจุดเริ่มต้น ตำแหน่งความเร็วมอเตอร์ ไปสู่ ความเร็วของกระแสลม ไปสู่ ระดับเครื่องบินปัจจุบัน ซึ่งเป็นการป้อนกลับของระบบนี้ ส่วนกระบวนการของระบบเริ่มต้นจาก ระดับเครื่องบินปัจจุบันไปสู่ ช่องว่างระหว่างตำแหน่งปัจจุบันกับตำแหน่งที่ต้องการ ไปสู่ ตำแหน่งการปรับความเร็วของมอเตอร์โดย ระดับเครื่องบินที่ต้องการคือเป้าหมาย

จากการทดสอบกับผู้ใช้งานเป็นเด็กนักเรียนมัธยมศึกษาตอนต้น พบว่า สามารถอธิบายพลวัตของระบบได้ นอกจากนั้นผู้ใช้งานยังสามารถเข้าใจการเอียงในแนวแกนต่างๆขณะทำการทดสอบโดยอ่านค่าการเอียงจากระบบผ่านหน้าจอคอมพิวเตอร์

## 5. บทสรุป

การวิจัยและพัฒนา นวัตกรรมของเล่นพื้นบ้านอัจฉริยะ เพื่อสร้างความรู้ด้วยตนเองเกี่ยวกับพลวัตของระบบ เป็นการนำเสนอวิธีการในการนำของเล่นโบราณที่กำลังจะสูญหายไปจากสังคมไทย มาใช้ประโยชน์อีกครั้งเพื่อการอนุรักษ์ภูมิปัญญาไทย โดยได้ออกแบบของเล่นเป็นรูปเครื่องบิน ทำจากไม้ตาลซึ่งหาได้ในท้องถิ่นจังหวัดเพชรบุรี โดยได้เพิ่มความเป็นอัจฉริยะให้กับของเล่นเพื่อศึกษาความเป็นพลวัตของระบบได้แก่ ระบบป้อน ระบบการเอียงของเครื่องบิน เทคโนโลยีที่ใช้จะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ arduino เป็นหลัก ผลการวิจัยพบว่า ผู้ใช้งานสามารถศึกษาและเรียนรู้ระบบพลวัตได้นอกจากนั้นยังเข้าใจการเอียงในแนวแกนต่างๆด้วย

## 6. แนวทางพัฒนาต่อ

ระบบนี้ยังไม่สมบูรณ์ในการศึกษาความเป็นพลวัตของระบบกับการควบคุมการบินของเครื่องบินซึ่งได้แก่ แกนการหมุน Roll , Pitch และ Yaw ในอนาคตจะพัฒนาให้สามารถศึกษาแกนการหมุนกับพลวัตของทั้ง 3 แกน ว่ามีการเปลี่ยนแปลงเป็นพลวัตอย่างไร แสดงพฤติกรรมด้วยกราฟ

## 7.กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ และมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรีที่ให้ทุนสนับสนุน โปรแกรมวิชาเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์อิเล็กทรอนิกส์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี ที่เอื้อเฟื้อห้องปฏิบัติการ

## เอกสารอ้างอิง

[1] Senge,P(1992). **The Fifth Discipline the Art and Practice of the Learning Organization.** Sydney: Random House.

[2] Zukerman, O. (2004). **System Block: Learning about Systems Concepts through Hands-on Modeling and Simulation**. M.S. Thesis, Massachusetts Institute of Technology.

[3] Wiener N. (1948). **Cybernetics or Control and Communication In the Animal and the Machine.**MIT Press, Cambridge, MA.

[4] Analytical VersusSimulated Solutions http://www.systemdynamics.org/DL-IntroSysDyn/start.htm สืบค้น 20 ธันวาคม พ.ศ. 2558.

เที่ยง เหมียดไธสง สำเร็จการศึกษาหลักสูตรศิลปศาสตรดุษฎีบัณฑิต สาขาอาชีวศึกษา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ปัจจุบันดำรงตำแหน่งประธานสาขาวิชาเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์อิเล็กทรอนิกส์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรีงานวิจัยที่สนใจ หุ่นยนต์เพื่อการศึกษา เกษตรอัจฉริยะ

ศิวาพร เหมียดไธสง สำเร็จการศึกษาหลักสูตรครุศาสตรอุตสาหกรรมมหาบัณฑิต สาขาคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ปัจจุบันดำรงตำแหน่งประธานสาขาวิชาคอมพิวเตอร์ประยุกต์ คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี งานวิจัยที่สนใจ เครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย เกษตรอัจฉริยะ

สราวุฒิ เชาวสกู สำเร็จการศึกษาหลักสูตรครุศาสตรอุตสาหกรรมมหาบัณฑิต สาขาคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ปัจจุบันอาจารย์สาขาวิชาเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์อิเล็กทรอนิกส์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี งานวิจัยที่สนใจ หุ่นยนต์ ระบบอัตโนมัติ เกษตรอัจฉริยะ

# ระบบสนับสนุนการตัดสินใจการจัดกลุ่มนักเรียนศึกษาต่อแบบอัตโนมัติด้วยวิธีเคมีน

# Automated Decision Support System of Grouping Students Admission by k-means clustering

**ปิยสุดา ตันเลิศ[1] และ สุทธิกานต์ บ่อจักรพันธ์[2]**
[1,2]สาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
64 ถนนทหาร ตำบลหมากแข้ง อำเภอเมือง อุดรธานี 41000 โทรศัพท์ 042-211040-59 ต่อ 1205
E-mail: piyasuda@udru.ac.th and sutthikarn@udru.ac.th

## บทคัดย่อ

*งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาระบบสนับสนุนการตัดสินใจการจัดกลุ่มนักเรียนศึกษาต่อแบบอัตโนมัติด้วยวิธีเคมีน(K-means Clustering) กรณีศึกษาโรงเรียนบ้านดุงวิทยา ระบบประกอบด้วยส่วนของการรับสมัครและจัดการข้อมูลการสอบเข้าศึกษาต่อ การจัดกลุ่มห้องเรียนแบบอัตโนมัติ โดยนำคะแนนวิชาที่ใช้สอบมาจัดกลุ่ม ได้แก่ วิชาคณิตศาสตร์ วิชาภาษาไทย วิชาสังคมศึกษา วิชาภาษาอังกฤษ วิชาวิทยาศาสตร์ มี 2 ระดับ คือ ระดับมัธยมศึกษาปีที่ 1 และ ระดับมัธยมศึกษาปีที่ 4 กำหนดกลุ่มของแต่ละระดับตามจำนวนห้องเรียน ผลการศึกษาพบว่า ในการแบ่งกลุ่ม จากข้อมูลผู้สอบได้ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 จำนวน 500 คน แบ่งออกเป็น 10 กลุ่ม แต่ละกลุ่มได้ค่าเฉลี่ยตามลำดับดังนี้ 55.83, 53.79, 54.37, 57.47, 50.74, 56.16, 54, 56.66, 58.20, 56.66 และในระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 แผนการเรียนที่ 1 แบ่งเป็น 4 กลุ่ม แต่ละกลุ่มมีค่าเฉลี่ยแต่ละกลุ่มคือ 56.96, 59.78, 61.17, 54.64 แผนการเรียนที่ 2 แบ่งเป็น 2 กลุ่ม แต่ละกลุ่มมีค่าเฉลี่ย 52.02, 52.49 แผนการเรียนที่ 3 แบ่งเป็น 2 กลุ่ม แต่ละกลุ่มมีค่าเฉลี่ย 51.77, 56.22 และแผนการเรียนที่ 4 แบ่งเป็น 2 กลุ่ม แต่ละกลุ่มมีค่าเฉลี่ยตามลำดับดังนี้ 59.54, 50.91 และประเมินความพึงพอใจต่อการใช้ระบบพบว่าอยู่ในระดับดี สามารถนำไปจัดกลุ่มแบบอัตโนมัติของการสอบเข้าศึกษาต่อของโรงเรียนได้*

คำสำคัญ: การแบ่งกลุ่ม, เคมีน, สนับสนุนการตัดสินใจ,อัตโนมัติ

## Abstract

This research aims to develop a decision support system for the students to study an automated method K-means Clustering. Case studyis Ban Dung Wittaya School. The system consists of the recruitment and management of the study. Grouping classroom unattended by the use of the subjects using the group to include mathematics, Thai ,social studies English and Science. This system has two levels: Grade 1 and Grade 4 determined by the level of the classroom. The study found that The group found that Data from the test stick 500 Grade 1 was divided into 10 groups, each group has an average respectively 55.83, 53.79, 54.37, 57.47, 50.74, 56.16, 54, 56.66, 58.20, 56.66, and in the class grade 4 student plans at first divided into four groups, each group has an average respectively 56.96, 59.78, 61.17, 54.64 plan 2 is divided into two groups on average respectively 52.02, 52.49 plan 3. divided into two groups, each group has an average respectively 51.77, 56.22 and a lesson plan 4 into two groups on average respectively 59.54, 50.91 and satisfaction evaluation system.

Keywords: Clustering, K-means, Decision Support, Automated

## 1. บทนำ

ปัจจุบันเป็นยุคของเทคโนโลยีที่มีการติดต่อสื่อสารในลักษณะของสื่อออนไลน์ เพื่อเป็นประโยชน์ต่อการรับสมัครเข้าศึกษาต่อจึงพัฒนาระบบสมัครเรียนออนไลน์ขึ้น เนื่องจากในทุกปีโรงเรียนขนาดใหญ่ต้องมีการรับนักเรียนเข้าเรียนต่อในระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 และชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ซึ่งในทุกปีนักเรียนมาสมัครเป็นจำนวนมาก เพื่ออำนวยความสะดวกแก่ผู้ที่เข้ามาสมัคร จึงมีแนวคิดในการพัฒนาระบบเพื่อแก้ไขปัญหาที่มีอยู่ปัจจุบัน โดยได้มีการรับสมัครผ่านเว็บไซต์ที่พัฒนาขึ้น รวมทั้งการจัดกลุ่มนักเรียนตามห้องเรียนด้วยเทคนิคเคมีน (K-means Clustering) เป็นขั้นตอนวิธีการจัดกลุ่มโดยวิธีแบ่งกั้น (Partitioning) ระเบียนข้อมูลถูกแบ่งกั้นเป็นกลุ่มที่ไม่มีสมาชิกร่วมกันเลย โดยใช้การกั้นระหว่างกลุ่มด้วยระยะทาง วิธีการแบ่งกั้นนั้น กำหนดให้ข้อมูล n ระเบียน แบ่งเป็น K กลุ่มที่ไม่มีสมาชิกร่วมกัน[1] ซึ่งนำมาใช้ในการจัดกลุ่มห้องเรียนให้นักนักเรียนที่สอบติดในแต่ละระดับชั้น โดยใช้ข้อมูลคะแนนแต่ละวิชามาเป็นข้อมูลหลักในการแบ่งกลุ่ม

ผู้ใช้สามารถทำการสมัครผ่านเว็บไซต์และติดตามรายละเอียดการสมัครต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นระเบียบกำหนดการสมัคร การเตรียมเอกสาร

การเตรียมหลักฐานประกอบการสมัครและเข้าสอบ และส่วนที่สำคัญผู้ใช้สามารถดูประกาศผลการสอบจากระบบได้ทันที

## 2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การจัดกลุ่ม (Clustering Method) การจัดกลุ่มข้อมูล คือการรวมกลุ่มของข้อมูลที่มีลักษณะเหมือนกัน รูปแบบและแนวโน้มที่เหมือนกัน โดยเริ่มจากการหาตัวแทนของกลุ่มจากนั้น ทำการเปรียบเทียบข้อมูลกับตัวแทนของแต่วิธี[1] โดยข้อมูลแต่ละกลุ่มจะถูกเรียกว่า คลัสเตอร์ (Cluster) การวิเคราะห์หรือจำแนกกลุ่มข้อมูลนั้นสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท ได้แก่ วิธีการแบบลำดับชั้น (Hierarchical algorithms) และ วิธีการแบบไม่เป็นลำดับชั้น (Non-hierarchical algorithms) (Jain et al., 1999) ) [6]

2.2 การจัดกลุ่มแบบ K-means Clustering Analysis

K-means คือ อัลกอริทึมเทคนิคการเรียนรู้โดยไม่มีผู้สอนที่ง่ายที่สุด (Unsupervised learning technique) ซึ่งมีเป้าหมายเพื่อการจำแนกกลุ่มข้อมูลที่มีคุณลักษณะคล้ายกันให้อยู่ในกลุ่มเดียวกัน [4] เพราะเป็นการแก้ปัญหาการจัดกลุ่มที่รู้จักกันทั่วไป โดยอัลกอริทึม K-Means จะตัดแบ่ง (Partition) วัตถุออกเป็น K กลุ่ม โดยแทนแต่ละกลุ่มด้วยค่าเฉลี่ยของกลุ่มซึ่งใช้เป็นจุดศูนย์กลาง (centroid) ของกลุ่มในการวัดระยะห่างของข้อมูลในกลุ่มเดียวกัน ในขั้นแรกของการจัดกลุ่มโดยการหาค่าเฉลี่ยแบบเคย์ต้องกำหนดจำนวนกลุ่ม (K) ที่ต้องการ และกำหนดจุดศูนย์กลางเริ่มต้นจำนวน K จุด สิ่งสำคัญในการกำหนดจุดศูนย์กลางเริ่มต้นของแต่ละกลุ่มควรจะถูกกำหนดด้วยวิธีที่เหมาะสม เพราะตำแหน่งจุดศูนย์กลางเริ่มต้นที่แตกต่างกันทำให้ได้ผลลัพธ์สุดท้ายแตกต่างกัน ดังนั้นในทางที่ดีควรจะกำหนดจุดศูนย์กลางนี้ให้ห่างจากจุดศูนย์กลางอื่นๆ ขั้นตอนต่อไปคือสร้างกลุ่มข้อมูลและความสัมพันธ์กับจุดศูนย์กลางที่ใกล้มากที่สุด โดยแต่ละจุดจะถูกกำหนดไปยังจุดศูนย์กลางที่ใกล้เคียงที่สุดจนครบหมดทุกจุด และคำนวณจุดศูนย์กลางใหม่ โดยการหาค่าเฉลี่ยทุกวัตถุที่อยู่ในกลุ่ม หากจุดศูนย์กลางในแต่ละกลุ่มถูกเปลี่ยนตำแหน่ง จะได้จุดมีความสัมพันธ์กับกลุ่มใหม่และใกล้กับจุดศูนย์กลางใหม่ ทำซ้ำแบบนี้ไปเรื่อย ๆ จะสังเกตเห็นว่าผลลัพธ์จากการทำซ้ำแบบนี้ทำให้จุดศูนย์กลางเปลี่ยนตำแหน่งทุกรอบ จนกระทั่งจุดศูนย์กลางจำนวน K จุด ไม่มีการเปลี่ยนแปลงจึงจะสิ้นสุดกระบวนการ [5]

2.3 ขั้นตอนการวิเคราะห์ของวิธี K-Means

การวิเคราะห์จำแนกกลุ่มด้วยเทคนิควิธี K-Means Clustering สามารถสรุป ขั้นตอนของการวิเคราะห์ได้ 4 ขั้นตอนดังนี้[1]

**ขั้นที่ 1** จัดกลุ่มข้อมูลเป็น k กลุ่ม ซึ่งมีการแบ่งได้หลายวิธีดังนี้แบ่งอย่างสุ่มและ แบ่งด้วยผู้ศึกษาเอง

**ขั้นที่ 2** คำนวณหาจุดกึ่งกลางกลุ่มของแต่ละกลุ่ม เช่น จุดกลางกลุ่มของกลุ่มที่ C คือ $x_c$

**ขั้นที่ 3** มีวิธีการพิจารณา 2 แบบ โดยจะคำนวณ.

**แบบที่ 1** คำนวณหาระยะห่างจากแต่ละหน่วยไปยังจุดกลางกลุ่มของทุกกลุ่มและจะพิจารณาย้ายหน่วยไปยังกลุ่มที่มีระยะห่างต่ำสุด

**แบบที่ 2** คำนวณระยะห่างกำลังสองของแต่ละหน่วยไปยังจุดกลางกลุ่มที่หน่วยนั้นอยู่ โดยให้ ESSZ (Error Sum Square) เท่ากับระยะห่างกำลังสองของแต่ละหน่วยไปยังจุดกลางกลุ่ม

$$ESS = \sum_{i=1}^{n}\left(x_i - \bar{x}_{C_{(i)}}\right)'\left(x_i - \bar{x}_{C_{(i)}}\right) \qquad (1)$$

โดยที่ $C_{(i)}$ หมายถึง กลุ่มของหน่วยที่ i

ESS = ผลบวกของระยะห่างจากแต่ละหน่วยในกลุ่มไปยังจุดกลางกลุ่มรวมทุกกลุ่ม กลุ่มใดที่มีค่า ESS ต่ำ แสดงว่าหน่วยที่อยู่ในกลุ่มนั้นมีความคล้ายคลึงกัน

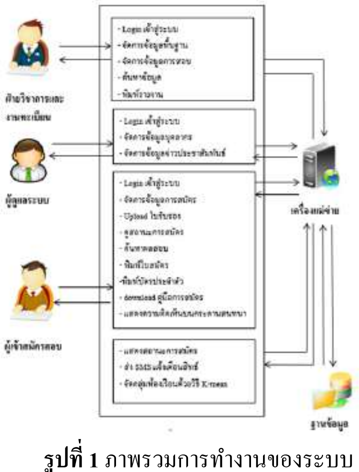
**ขั้นที่ 4** การพิจารณาย้ายกลุ่ม จะใช้เกณฑ์การย้ายตามค่าที่คำนวณได้ในขั้นที่ 3

**แบบที่ 1** จะทำการย้ายหน่วยที่ i ไปยังกลุ่มที่ทำให้ระยะห่างจากหน่วยที่ i ไปยังจุดกลางกลุ่มมีค่าต่ำสุด

**แบบที่ 2** จะทำการย้ายหน่วยที่ i ไปยังกลุ่มที่ทำให้ค่า ESS มีค่าต่ำสุดถ้าขั้นที่ 4 ไม่มีการย้ายกลุ่มอีกแล้ว แสดงว่ากลุ่มที่แบ่งได้นั้นเหมาะสมแล้ว แต่ถ้าในนั้นที่ 4 มีการย้ายกลุ่ม กลุ่มที่มาหน่วยย้ายเข้าหรือย้ายออกจะต้องทำการคำนวณหาจุดกลางกลุ่มใหม่นั่นคือต้องกลับไปทำขั้นที่ 2

## 3. วิธีการดำเนินการ

การดำเนินงานในระบบแสดงภาพรวมระบบดังรูปที่ 1



**รูปที่ 1** ภาพรวมการทำงานของระบบ

3.1 ศึกษาปัญหาและความต้องการของผู้ใช้ที่มีต่อระบบ ทำการศึกษาอัลกอลิทึมเคมีนที่ใช้ในการจัดกลุ่มข้อมูล ทำการศึกษาข้อมูลที่ต้องการนำมาใช้ในการพัฒนาเว็บด้วยภาษา PHP และข้อมูลจำนวนวิชาที่ใช้ในการสอบเพื่อเป็นเกณฑ์คะแนนในการจัดกลุ่มข้อมูล มีวิชาดังนี้ วิชาภาษาไทย วิชาภาษาอังกฤษ วิชาวิทยาศาสตร์ วิชาคณิตศาสตร์ และวิชาสังคมศึกษา กำหนดเกณฑ์ในการจัดกลุ่ม

3.2 ทำการกำหนดกลุ่มให้แก่ผู้ที่สอบติดโดยมี 2 ระดับ ระดับมัธยมศึกษาปีที่ 1 และ ระดับมัธยมศึกษาปีที่ 4 ให้เป็น K กลุ่มตามจำนวนห้องเรียน ในการจัดกลุ่มเคมีนจะมีการหาระยะห่างระหว่างกลุ่มของคะแนนสอบแต่ละคนกับจำนวนกลุ่ม การหาระยะห่างระหว่างข้อมูลจากจุดศูนย์กลางของแต่ละ cluster ทั้งหมด ด้วยสมการยูคลีเดียน [2] และจากการคำนวณที่ได้ข้อมูลจะถูกบันทึกไว้ในฐานข้อมูล

ทำการคำนวณหาค่ากลางกลุ่ม (Centroid) จากสูตร

$$Centroid(x_n) = \frac{x_{1(i)_1} + x_{1(i)_2} + .. + x_{1(i)_n}}{n} \qquad (2)$$

$X_n$ = คะแนนวิชาที่สอบ โดยประกอบด้วย 5 วิชา ได้แก่ ภาษาไทย ($X_1$), ภาษาอังกฤษ ($X_2$), วิทยาศาสตร์ ($X_3$), คณิตศาสตร์ ($X_4$), สังคมศึกษา ($X_5$)

$i_n$ = แทนตำแหน่งคนที่เท่าไหร่

$n$ = แทนจำนวนคนในแต่ละกลุ่ม

ทำการคำนวณระยะห่างระหว่างกลุ่ม (Distance) จากสูตร

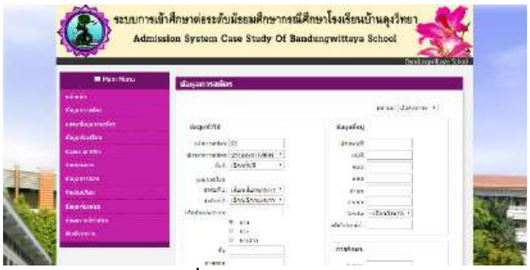
$$\text{Distance} = \sqrt{(x_1 - x_2)^2} \qquad (3)$$

## 4. ผลการดำเนินงาน

**4.1 ผลการพัฒนาระบบ** การพัฒนาระบบเข้าศึกษาต่อระดับมัธยมศึกษา: กรณีศึกษาโรงเรียนบ้านดุงวิทยา ได้ผลลัพธ์ดังนี้

**รูปที่ 2** หน้าจอหลัก

จากรูปที่ 2 แสดงการทำงานของหน้าจอหลัก เพื่อให้นักเรียนหรือผู้ทั่วไป ได้สามารถดูรายระเอียดและข้อมูลการสมัคร

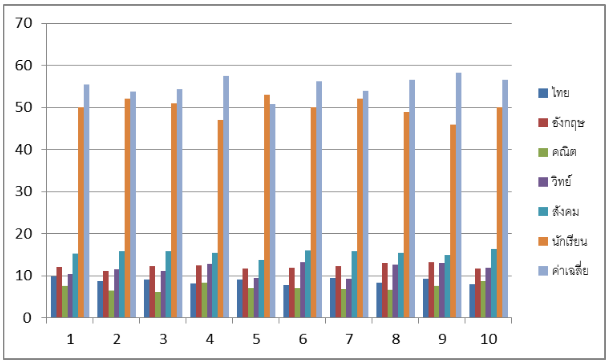



**รูปที่ 3** หน้าจอการสมัคร

จากรูปที่ 3 แสดงการทำงานของฟอร์มการสมัคร โดยที่ผู้สมัครต้องทำการกรอกแบบฟอร์มการสมัครผ่านเว็บไซต์ แล้วกดยืนการจากนั้นผู้สมัครจะได้รับข้อมูล username และ password เพื่อเป็นข้อมูลยืนยันสิทธิ์การใช้งานในระบบ จากนั้นผู้สมัครสามารถเข้าใช้งานในส่วนของการ ดูผลสอบหรือเข้าแก้ไขข้อมูลส่วนตัวได้จากการยืนยัน username และ password นั้น

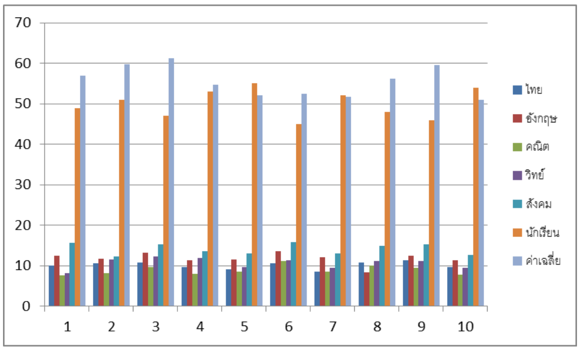
**รูปที่ 4** หน้าจอข้อมูลการจัดห้องเรียน

จากรูปที่ 4 ผลจากการทำงานของการจัดห้องเรียน ซึ่งขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนการทำงานในส่วนของ K-Mean Clustering เป็นการนำเอาคะแนนสอบของแต่ละวิชามาเป็นปัจจัยหลักที่นำไปเข้าสูตรสมการของส่วนการจัดกลุ่มแล้วแสดงผลลัพธ์ดังรูปที่ 5




**รูปที่ 5** กลุ่มห้องเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1

จากรูปที่ 5 สรุปจากการจัดกลุ่มห้องเรียนของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 แบ่งเป็น 5 วิชา มีผู้สอบจำนวน 500 คน แบ่งออกเป็น 10 กลุ่มได้คะแนนเฉลี่ยแต่ละกลุ่มตามลำดับดังนี้ 55.83, 53.79, 54.37, 57.47, 50.74, 56.16, 54, 56.66, 58.20, 56.66




**รูปที่ 6** กลุ่มห้องเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4

สรุปจากการจัดกลุ่มห้องเรียนของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 แบ่งเป็น 5 วิชา มีผู้สอบจำนวน 400 คน โดยมีการแบ่งกลุ่มออกตามแผนการเรียน ซึ่งอยู่ทั้งหมด 4 แผนการเรียน แต่ละแผนการเรียนมีการแบ่งกลุ่มดังนี้ ดังนี้ แผนการเรียนที่ 1 แบ่งเป็น 4 กลุ่ม จำนวน 200 คนมีค่าเฉลี่ย คือ 56.96, 59.78, 61.17, 54.64 แผนการเรียนที่ 2 แบ่งเป็น 2 กลุ่ม จำนวน 100 คน ค่าเฉลี่ย 52.02, 52.49 แผนการเรียนที่ 3 แบ่งเป็น 2 กลุ่ม จำนวน 100 คน มีค่าเฉลี่ย 51.77, 56.22 มีค่าเฉลี่ย 51.77, 56.22 แผนการเรียนที่ 4 แบ่งเป็น 2 กลุ่ม จำนวน 100 คน มีค่าเฉลี่ยตามลำดับดังนี้ 59.54, 50.91

### 4.2 ความพึงพอใจของผู้ใช้

ผลการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้ที่มีต่อระบบในการใช้งานระบบเข้าศึกษาต่อระดับมัธยมศึกษากรณีศึกษา:โรงเรียนบ้านดุงวิทยา โดยใช้เทคนิคการจัดกลุ่มด้วยอัลกิริทึมเคมีน การประเมินความพึงพอใจโดยผู้ใช้จำนวน 15 คน พบว่าระบบสามารถทำงานได้ตามต้องการแบ่งกลุ่มตามคะแนนวิชาที่สอบได้อย่างอัตโนมัติ มีความพึงพอใจในระดับดี

## 5. สรุปผลและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้เสนอการพัฒนาเว็บไซต์ระบบเข้าศึกษาระดับมัธยมศึกษา กรณีศึกษา: โรงเรียนบ้านดุงวิทยา ซึ่งได้นำเอาเทคนิคการจัดกลุ่มด้วย K- means มาทำการจัดกลุ่มห้องเรียนให้แก่ผู้ที่สอบเข้าเรียนต่อได้ จากการทำงานพบว่าระบบสามารถทำงานได้ตามความต้องการของผู้ใช้งาน โดยนักเรียนสามารถทำการสมัครสอบและตรวจสอบข้อมูลการสอบผ่านระบบได้ ส่วนฝ่ายวิชาการสามารถจัดการข้อมูลพื้นฐานเกี่ยวกับการสมัคร จัดห้องสอบ จัดกลุ่มห้องเรียน และออกรายงานประเภทต่างๆจากระบบได้ ซึ่งได้ทำการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้ที่มีต่อระบบที่พัฒนาขึ้น ความพึงพอใจอยู่ในระดับดี ลดขั้นตอนการแบ่งกลุ่มโดยใช้คนจัดกลุ่มได้เป็นอย่างดี วิจัยนี้จึงเป็นประโยชน์ต่อผู้ใช้งานระบบ และสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

## 6. เอกสารอ้างอิง

[1] กัลยา วานิชย์บัญชา. (2552).การวิเคราะห์ข้อมูลหลายตัวแปร. กรุงเทพมหานคร: ภาควิชาสถิติคณะพาณิชยศาสตร์และการบัญชี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.พิมพ์ครั้งที่ 4.

[2] วรางคณา กลิ่นสุคนธ์, เกียรติศักดิ์ โยชะนัง และคณะ. (2555). ระบบแนะนำผลิตภัณฑ์ เครื่องสำอางด้วยเทคนิคตัวกรองเชิงร่วมมือร่วมกับเคมีน. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

[3] สมโภชน์ ศรีสมุทร. (2550). การวิเคราะห์การจัดกลุ่มโรงเรียนตามมาตรฐานการศึกษาเพื่อการประเมินคุณภาพภายนอก:ระดับการศึกษาขั้นพื้นฐานขอโรงเรียนในสามจังหวัดชายแดนภาคใต้. วิทยานิพนธ์ปริญญาศึกษาศาตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการวัดผลและวิจัยการศึกษามหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

[4] วีระยุทธ พิมพาภรณ์, พยุง มีสัจ (2557). การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการจัดกลุ่มข้อมูล โดย วิธีการเลือกลักษณะสำคัญแบบพลวัต เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของอัลกอริทึมการจัดกลุ่มบนปริภูมิย่อย. ครั้งที่พิมพ์ 2. คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพร จอมเกล้าพระนครเหนือ.

[5] Data mining techniques.เทคนิคการจัดกลุ่มแบบ K-means (2556). ค้นเมื่อ27,ตุลาคม,2558,จาก http://dataminingtechniques.blogspot.com/2012/09/k-means-k-means-clustering.html

[6] J. Han, M. Kamber and J. Pei. Data Mining: Concepts and Techniques: Concepts and Techniques. Elsevier, 2011.

# การนำสื่อคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่องพื้นฐานคอมพิวเตอร์เบื้องต้น มาใช้เป็นสื่อเสริมในการเรียนการสอน

# Using Computer Assisted Instruction on Computer Basic used as supplement to learn.

**ศิวพร ถาวรวงศา**
[1]สาขาวิชาคอมพิวเตอร์ธุรกิจ คณะวิทยาการจัดการ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช
1 ม.4 ต.ท่างิ้ว อ.เมือง จ.นครศรีธรรมราช 80280 โทรศัพท์ 075-392040 E-mail: siwaporn.nstru@gmail.com

## บทคัดย่อ

งานวิจัยครั้งนี้เป็นการนำสื่อคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่องพื้นฐานคอมพิวเตอร์เบื้องต้น มาใช้เป็นสื่อเสริมในการเรียนการสอน ในรายวิชาระบบสารสนเทศเพื่อการจัดการ ของนักศึกษาสาขาวิชาคอมพิวเตอร์ธุรกิจ คณะวิทยาการจัดการ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) พัฒนาสื่อคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่องพื้นฐานคอมพิวเตอร์เบื้องต้น 2) เปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนก่อนเรียนและหลังเรียนด้วยสื่อคอมพิวเตอร์ช่วยสอน 3) ศึกษาความพึงพอใจของผู้เรียนที่มีต่อสื่อคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ประกอบด้วย 1) สื่อคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่องพื้นฐานคอมพิวเตอร์เบื้องต้น 2) แบบประเมินคุณภาพของสื่อคอมพิวเตอร์ช่วยสอน แบ่งออกเป็น 2 ด้าน คือ ด้านเนื้อหา และด้านมัลติมีเดีย 3) แบบทดสอบก่อนเรียนและหลังเรียน 4) แบบสอบถามความพึงพอใจของผู้เรียนที่มีต่อสื่อคอมพิวเตอร์ช่วยสอน โดยใช้กลุ่มตัวอย่างจำนวน 30 คน ที่ลงทะเบียนในรายวิชานี้ ผลการวิจัยพบว่าสื่อคอมพิวเตอร์ช่วยสอนมีประสิทธิภาพได้ตามเกณฑ์มาตรฐานของเมกุยแกนส์ โดยค่าที่คำนวณได้มีค่าเท่ากับ 1.60 ผลการประเมินคุณภาพของสื่อด้านเนื้อหา จากผู้เชี่ยวชาญอยู่ในเกณฑ์ดี ($\bar{X}$= 4.46, S.D. = 0.53) และคุณภาพของสื่อด้านมัลติมีเดีย จากผู้เชี่ยวชาญอยู่ในเกณฑ์ดี ($\bar{X}$= 4.17, S.D. = 0.60) ผู้เรียนมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 และผลการวัดความพึงพอใจของผู้เรียนที่มีต่อการเรียนด้วยสื่อคอมพิวเตอร์ช่วยสอน พบว่าผู้เรียนมีความพึงพอใจอยู่ในเกณฑ์ดี ($\bar{X}$= 4.30, S.D. = 0.71) สรุปได้ว่าสื่อคอมพิวเตอร์ช่วยสอนที่ผู้วิจัยพัฒนาสามารถนำไปใช้ในการเรียนรู้ด้วยตนเองได้อย่างมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ: สื่อคอมพิวเตอร์ช่วยสอน, พื้นฐานคอมพิวเตอร์เบื้องต้น

## Abstract

This research is the computer assisted instruction on Computer Basic used as supplement to learn in courses Management Information System used to student in Business Computer, Faculty of Management Science, Nakhon Si Thammarat Rajabhat University. And aim to 1) develop computer assisted instruction on Computer Basic 2) compare the result of pre-test and post-test 3) study satisfaction of students with computer assisted instruction. The research tools used to 1) the computer assisted instruction on Computer Basic. 2) the evaluation form is divide into two field; content and multimedia 3) the pre-test and the post-test 4) the satisfaction of students with computer assisted instruction. Using a sample for this study were 30 students. The result of this research have revealed that computer assisted instruction on Computer Basic has effective was 1.60 according to Meguigans's standard. The result of this quality in the content is good level ($\bar{X}$= 4.46, S.D. = 0.53) and this quality in the multimedia is good level ($\bar{X}$= 4.17, S.D. = 0.60). The students have achievement of post-test higher than pre-test at the level 0.05. And the result the satisfaction of students with computer assisted instruction is good level ($\bar{X}$= 4.30, S.D. = 0.71). In conclusion, computer assisted instruction on Computer Basic can be used for self-leaning effectively.

Keywords: Computer Assisted Instruction, Computer Basic

## 1. บทนำ

ด้วยเทคโนโลยีสารสนเทศที่ได้เข้ามามีบทบาทต่อการศึกษาในระดับอุดมศึกษา ทำให้สังคมในยุคปัจจุบันเป็นสังคมแห่งข้อมูลข่าวสาร ข้อมูลและองค์ความรู้ต่างๆ ได้ขยายตัวออกไปอย่างกว้างขวาง ส่งผลให้ผู้เรียนสามารถรับส่งข้อมูลข่าวสารรูปแบบต่างๆ ถึงกันได้ด้วย

ความสะดวกและรวดเร็ว ปัจจุบันจึงได้มีการพัฒนาการเรียนการสอนที่มีรูปแบบการเรียนการสอนที่อิสระมากขึ้น โดยผู้เรียนไม่จำเป็นต้องเข้ามาเรียนในห้องเรียน ทำให้ผู้เรียนสามารถเรียนรู้ได้ด้วยตนเองโดยไม่จำกัดเวลา และสถานที่ อีกทั้งยังเน้นผู้เรียนเป็นศูนย์กลางอีกด้วย

ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้นำสื่อคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่องพื้นฐานคอมพิวเตอร์เบื้องต้น ที่มีการรวบรวมข้อมูลรูปแบบต่างๆเข้าไว้ด้วยกันมาใช้เป็นสื่อเสริมในการเรียนการสอน โดยมีการทำเป็นบทเรียน แบบทดสอบก่อนเรียน และแบบทดสอบหลังเรียน เพื่อแก้ปัญหาในการเรียนรู้และทำให้ผลสัมฤทธิ์ของผู้เรียนพัฒนาขึ้น อีกทั้งยังเป็นเครื่องมือประกอบการจัดกิจกรรมการเรียนการสอนซึ่งผู้เรียนสามารถเรียนรู้ได้ด้วยตนเอง

## 2. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ขวัญชนก บัวทรัพย์ [1] วิจัยเรื่องการพัฒนาบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่องการใช้โปรแกรมการพิมพ์ สำหรับนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 3 โรงเรียนเทศบาล 2 วัดเสนหา (สมัครพลผดุง) ผลการศึกษาพบว่าผลการพัฒนาบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนจากการประเมินคุณภาพมีประสิทธิภาพเป็นไปตามเกณฑ์ เท่ากับ 83.00/88.83 ซึ่งเกณฑ์ที่ตั้งไว้คือ 80/80 ผลการเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 และความพึงพอใจของผู้เรียนที่มีต่อบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.24 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.43 โดยแปลผลอยู่ในระดับมาก

จันทนา ปัญญาวราภรณ์ [2] วิจัยเรื่องบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่องการวิเคราะห์สัญญาณโดยใช้อนุกรมฟูริเยร์ ขั้นตอนการการวิจัยมีดังนี้คือ 1) ทำข้อสอบปรนัยก่อนเรียน จำนวน 10 ข้อ 2) ศึกษาบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนทางเว็บไซต์ 3) ทำข้อสอบปรนัยหลังเรียน จำนวน 10 ข้อ จากการทดสอบพบว่าผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน

ณัฐภณ สุเมธอธิคม [3] วิจัยเรื่องการพัฒนาสื่อคอมพิวเตอร์มัลติมีเดียบนเครือข่ายอินเทอร์เน็ต วิชาการจัดแสงเพื่องานออกอากาศระดับชั้นปริญญาตรี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ผลการวิจัยพบว่าได้สื่อคอมพิวเตอร์ที่มีคุณภาพด้านเนื้อหาอยู่ในระดับดีมาก มีคุณภาพด้านมัลติมีเดียอยู่ในระดับดีมาก และมีประสิทธิภาพของสื่ออยู่ในระดับ 94.80/96.60 ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนดไว้ 90/90

## 3. วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 ออกแบบและพัฒนาสื่อคอมพิวเตอร์ช่วยสอน ซึ่งมีเนื้อหา 3 เรื่อง คือ ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับคอมพิวเตอร์ องค์ประกอบของคอมพิวเตอร์ และการทำงานของคอมพิวเตอร์

**รูปที่ 1** เมนูสื่อคอมพิวเตอร์ช่วยสอน

**รูปที่ 2** เนื้อหาเรื่องความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับคอมพิวเตอร์

**รูปที่ 3** เนื้อหาเรื่ององค์ประกอบของคอมพิวเตอร์

**รูปที่ 4** เนื้อหาเรื่องการทำงานของคอมพิวเตอร์

**รูปที่ 6** แบบทดสอบก่อนเรียนเรื่ององค์ประกอบของคอมพิวเตอร์

3.2 สร้างแบบประเมินคุณภาพของสื่อ โดยแบ่งออกเป็น 2 ด้าน คือ ด้านเนื้อหาและด้านมัลติมีเดีย แล้วนำสื่อคอมพิวเตอร์ที่สร้างเสร็จแล้วให้ผู้เชี่ยวชาญด้านเนื้อหาและด้านมัลติมีเดีย จำนวน 3 ท่าน ประเมินคุณภาพ

3.3 สร้างข้อสอบ เป็นแบบถูกผิด จำนวน 30 ข้อ แบ่งออกเป็น 3 เรื่อง เรื่องละ 10 ข้อ โดยแบบทดสอบก่อนเรียนและแบบทดสอบหลังเรียน จะเป็นข้อสอบชุดเดียวกัน

**รูปที่ 5** แบบทดสอบก่อนเรียนเรื่องความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับคอมพิวเตอร์

**รูปที่ 7** แบบทดสอบก่อนเรียนเรื่องการทำงานของคอมพิวเตอร์

3.4 ดำเนินการทดสอบวัดผลการเรียนรู้ โดยให้ผู้เรียนทำแบบทดสอบก่อนเรียน

3.5 ให้ผู้เรียนเข้าไปเรียนสื่อคอมพิวเตอร์ช่วยสอน

3.6 ให้ผู้เรียนทำแบบทดสอบหลังเรียน ซึ่งข้อสอบจะเป็นข้อสอบชุดเดียวกันกับแบบทดสอบก่อนเรียน

3.7 ให้ผู้เรียนทำแบบประเมินความพึงพอใจของผู้เรียนที่มีต่อการเรียนด้วยสื่อคอมพิวเตอร์ช่วยสอน

3.8 ผู้วิจัยเก็บรวบรวมข้อมูลทั้งหมดไปวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

## 4. ผลการวิจัย

### 4.1 ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพสื่อคอมพิวเตอร์ช่วยสอนที่พัฒนาขึ้น

จากการนำสื่อคอมพิวเตอร์ช่วยสอนไปทดลองใช้กับกลุ่มตัวอย่าง แล้วจึงนำผลที่ได้มาวิเคราะห์หาประสิทธิภาพของบทเรียน โดยใช้สูตรของเมกุยแกนส์ ค่าที่คำนวณได้มีค่าเท่ากับ 1.60 ซึ่งมีค่ามากกว่า 1.00 สรุปได้ว่าสื่อคอมพิวเตอร์ช่วยสอนมีประสิทธิภาพได้ตามเกณฑ์มาตรฐานของเมกุยแกนส์

### 4.2 ผลการประเมินคุณภาพของสื่อด้านเนื้อหา และด้านมัลติมีเดีย

ผลการประเมินคุณภาพของสื่อด้านเนื้อหา และด้านมัลติมีเดียจากผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 3 ท่าน พบว่าคุณภาพของสื่อด้านเนื้อหาอยู่ในเกณฑ์ดี ($\bar{X}$= 4.46, S.D. = 0.53) และคุณภาพของสื่อด้านมัลติมีเดียอยู่ในเกณฑ์ดี ($\bar{X}$= 4.17, S.D. = 0.60)

### 4.3 ผลการเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนด้วยสื่อคอมพิวเตอร์ช่วยสอน

จากการเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของกลุ่มตัวอย่างก่อนเรียนและหลังเรียนโดยใช้สื่อคอมพิวเตอร์ช่วยสอน พบว่าคะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนก่อนเรียนด้วยสื่อคอมพิวเตอร์ช่วยสอน มีค่า $\bar{X}$= 16.83, S.D. = 2.77 และคะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียนด้วยสื่อคอมพิวเตอร์ช่วยสอน มีค่า $\bar{X}$= 26.90, S.D. = 1.86 แสดงให้เห็นว่าหลังการเรียนด้วยสื่อคอมพิวเตอร์ช่วยสอน ผู้เรียนมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

### 4.4 ผลการประเมินความพึงพอใจของผู้เรียนที่มีต่อการเรียนด้วยสื่อคอมพิวเตอร์ช่วยสอน

ผลการวัดความพึงพอใจของผู้เรียนที่มีต่อการเรียนด้วยสื่อคอมพิวเตอร์ช่วยสอน พบว่าผู้เรียนมีความพึงพอใจอยู่ในเกณฑ์ดี ($\bar{X}$= 4.30, SD=0.71)

## เอกสารอ้างอิง

[1] ขวัญชนก บัวทรัพย์, “การพัฒนาบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนเรื่องการใช้โปรแกรมการพิมพ์ สำหรับนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 3 โรงเรียนเทศบาล 2 วัดเสนหา (สมัครพลผดุง)” Verdian E-Journal, ฉบับภาษาไทย สาขามนุษยศาสตร์ สังคมศาสตร์ และศิลปะ, ปีที่ 8, ฉบับที่ 1, มกราคม-เมษายน 2558. หน้า 153-167.

[2] จันทนา ปัญญาวราภรณ์, “บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่องการวิเคราะห์สัญญาณโดยใช้อนุกรมฟูริเยร์” บทความสิ่งประดิษฐ์และนวัตกรรม การประชุมวิชาการ งานวิจัยและพัฒนาเชิงประยุกต์ ครั้งที่ 7, หน้า 730-733, 2558.

[3] ณัฐภณ สุเมธอธิคม, “การพัฒนาสื่อคอมพิวเตอร์มัลติมีเดียบนเครือข่ายอินเตอร์เน็ต วิชา การจัดแสงเพื่องานออกอากาศ ระดับชั้นปริญญาตรี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร” วารสารวิชาการและวิจัย มทร.พระนคร ฉบับพิเศษ การประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 5. หน้า 58-66.

**ประวัติผู้เขียนบทความ**
**ชื่อ-สกุล** : นางสาวศิวพร ถาวรวงศา
**วุฒิการศึกษา** : ปริญญาโท
**สาขาวิชา** : การจัดการเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์
**ตำแหน่งหน้าที่** : อาจารย์
**สถานที่ทำงาน** : สาขาคอมพิวเตอร์ธุรกิจ คณะวิทยาการจัดการ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช
**งานวิจัยที่สนใจ** : คอมพิวเตอร์ช่วยสอน

# การพัฒนาสื่อแอนิเมชัน 2 มิติ สำหรับนักศึกษาสาขาวิชาพืชศาสตร์: เรื่องการเพาะปลูกยางพาราและการผลิตยางแผ่นดิบ

# The Development of 2D Animation for Students of Plant Science: The Story of Para Rubber Planting and Raw Rubber Sheet Production.

**สุมนา ปาธะรัตน์[1] ศวรรณรัศม์ อภัยพงค์[2] และ ศิรินันทร์ นาพอ[3]**

[123]สาขาเทคโนโลยี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการประมง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัยวิทยา เขตตรัง

179 หมู่ 3 ตำบลไม้ฝาด อำเภอสิเกา จังหวัดตรัง 92150 โทรศัพท์ 0-7520-4051-5 E-mail: sumana.p@rmutsv.ac.th

## บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาสื่อแอนิเมชัน 2 มิติ สำหรับนักศึกษาสาขาวิชาพืชศาสตร์: เรื่องการเพาะปลูกยางพาราและการผลิตยางแผ่นดิบ กลุ่มตัวอย่างในการวิจัยในครั้งนี้ เป็นนักศึกษาสาขาวิชาพืชศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย วิทยาเขตทุ่งใหญ่ จำนวน 20 คน ได้มาจากการสุ่มแบบเฉพาะเจาะจง เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยในครั้งนี้ คือ สื่อแอนิเมชัน 2 มิติ แบบประเมินคุณภาพด้านเนื้อหาและด้านสื่อเทคโนโลยีการศึกษา ข้อสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน แบบประเมินความพึงพอใจของกลุ่มตัวอย่างที่มีต่อสื่อ จากการวิจัยพบว่า การประเมินคุณภาพของบทเรียนโดยผู้เชี่ยวชาญด้านเนื้อหา อยู่ในเกณฑ์คุณภาพดีมาก (ค่าเฉลี่ย = 4.51 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน = 0.12) คุณภาพด้านเทคโนโลยีทางการศึกษา อยู่ในเกณฑ์คุณภาพดีมาก (ค่าเฉลี่ย = 4.62 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน = 0.14) กลุ่มตัวอย่างมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนสูงขึ้นที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 กลุ่มตัวอย่างมีระดับความพึงพอใจต่อสื่อ อยู่ในระดับมาก (ค่าเฉลี่ย = 4.14 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน = 0.56) สรุปได้ว่า การพัฒนาสื่อแอนิเมชัน 2 มิติ สำหรับนักศึกษาสาขาวิชาพืชศาสตร์: เรื่องการเพาะปลูกยางพาราและการผลิตยางแผ่นดิบที่สร้างขึ้นทำให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้ได้ด้วยตนเอง

คำสำคัญ: แอนิเมชัน, สื่อมัลติมีเดีย, 2มิติ

## Abstract

This research aims to develop 2D animation for Students of Plant Science: The Story of Para Rubber Planting and Raw Rubber Sheet Production. The sample in this research is the students of Plant Science, Rajamangala University of Technology Srivijaya Thung Yai Campus 20 people derived from Purposive sampling. The tools used in this research are 2D Animation, Quality test in Content and technology education, satisfaction with 2D animation. Research indicated that 2D animation. Evaluation by experts of content were at very high (average value = 4.51, Standard Deviation = 0.12) and media professional were at very high (average value = 4.62, Standard Deviation = 0.14). The sample had academic achievement was at higher level of statistically significance at .05 level. The satisfaction of samples with 2D animation were at a high level (average value = 4.14, Standard Deviation = 0.56). In conclusion that 2D animation for Students of Plant Science: The Story of Para Rubber Planting and Raw Rubber Sheet Production made the students learning by themselves.

Keywords: Animation, Multimedia, 2D

## 1. บทนำ

การวิจัยนี้มุ่งเน้นการวิจัยเพื่อพัฒนาคุณภาพการศึกษา ระบบการเรียนรู้ด้วยตนเอง ปัจจุบันสื่อสารสนเทศมีหลากหลายรูปแบบ มีประโยชน์อย่างมากสำหรับการถ่ายทอดองค์ความรู้ต่างๆ และเป็นประโยชน์ทางด้านการบันเทิง ซึ่งสื่อที่ใช้สำหรับการเรียนรู้ที่มีอยู่หลากหลายรูปแบบนั้น สามารถนำมาสร้างหรือประยุกต์ใช้เพื่อถ่ายทอดองค์ความรู้ต่างๆ ทางวิชาการได้ เช่น สื่อการ์ตูนแอนิเมชัน 2 มิติซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่สามารถจำลองวัตถุและ กระบวนการทำงานที่มีความซับซ้อนให้เข้าใจได้ง่ายขึ้นโดยการเสนอในรูปแบบสื่อการ์ตูนให้มีความหลากหลายของความคิดสร้างสรรค์ผลงาน โดยนำมาใช้ในการศึกษาของเนื้อหาที่ยากต่อการนำเสนอ จะทำให้ผู้เรียนได้เข้าใจถึงเนื้อหาที่มีลักษณะเป็นนามธรรมให้เห็นเป็นรูปธรรมได้เป็นอย่างดี

จากข้อมูลดังกล่าวข้างต้นผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการใช้สื่อแอนิเมชัน 2 มิติ มาพัฒนาสื่อบทเรียนเพื่อเสริมสร้างความเข้าใจให้กับนักศึกษาสาขาวิชาพืชศาสตร์: เรื่องการเพาะปลูกยางพาราและการผลิตยางแผ่นดิบ เพื่อสื่อความหมายขั้นตอนของกระบวนการปลูกและแปรรูปยางพาราให้มีความเข้าใจง่าย มีแรงดึงดูดและความน่าสนใจ ต่อการเรียนรู้ โดยผู้วิจัยจะนำสื่อดังกล่าวไปถ่ายทอดให้กับนักศึกษาในสาขาวิชาพืชศาสตร์เพื่อหาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนรู้ หาคุณภาพของสื่อ และความพึงพอใจของผู้เรียนที่มีต่อสื่อ

## 2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 ความรู้เกี่ยวกับยางพารา

ปัจจุบันการปลูกยางพาราในประเทศไทยได้ขยายออกไปในทุกภาค แต่จากข้อมูลของสถาบัน วิจัยยาง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ พบว่า ผลผลิตยางโดยเฉลี่ยที่ได้จากแต่ละภาคแตกต่างกัน ทั้งนี้เพราะการให้ผลผลิตของต้นยาง ไม่ว่าผลผลิตน้ำยางและหรือเนื้อไม้ ขึ้นอยู่กับปัจจัย 3 ประการ คือ พันธุ์ยาง ความเหมาะสมของพื้นที่ และการจัดการสวนยาง ดังนั้น ในการปลูกสร้างสวนยางนอกจากพิจารณาเลือกพันธุ์ยางและการจัดการสวนยางที่ถูกต้องแล้ว ยังต้องพิจารณาความเหมาะสมของพื้นที่สำหรับปลูกยาง โดยมีปัจจัยทางดินและปัจจัยทางภูมิอากาศ ต้นยางที่ปลูกในพื้นที่ไม่เหมาะสม จะมีผลทำให้เจริญเติบโตช้า ไม่ต้านทานโรคและผลผลิตต่ำและยังอาจมีผลกระทบตามมาจากภัยธรรมชาติได้อีกด้วย ดังนั้น ในการตัดสินใจปลูกยางพารา เกษตรกรควรพิจารณาตามหลักเกณฑ์สำหรับการปลูกยางพาราให้เหมาะสม เช่น การเลือกพื้นที่ปลูกพันธุ์ยางที่เหมาะสมกับพื้นที่และการจัดการสวนยางที่ถูกต้อง เพื่อช่วยให้ต้นยางสมบูรณ์ แข็งแรง สามารถทนต่อภาวะที่เกิดขึ้นจากความแห้งแล้งและภัยธรรมชาติอื่นๆได้ [1]

### 2.2 สื่อการสอน

อัจฉรา ธนะมัย [2] ให้ความหมายบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน ว่าเป็นสื่อการเรียนการสอนทางคอมพิวเตอร์รูปแบบหนึ่ง ซึ่งใช้ความสามารถของคอมพิวเตอร์ในการนำเสนอสื่อประสม เช่น ข้อความ ภาพนิ่ง กราฟิก แผนภูมิ กราฟ ภาพเคลื่อนไว วีดิทัศน์และเสียง เพื่อถ่ายทอดเนื้อหาบทเรียนในลักษณะที่ใกล้เคียงกับการสอนในห้องเรียนมากที่สุด

ถนอมพร (ตันติพัฒน์) เลาหจรัสแสง [3] ให้ความหมายของคอมพิวเตอร์ช่วยสอนว่า คอมพิวเตอร์ช่วยสอน (CAI) หมายถึง สื่อการสอนคอมพิวเตอร์รูปแบบหนึ่ง ซึ่งใช้ความสามารถของคอมพิวเตอร์ในการนำเสนอสื่อผสม อันได้แก่ ข้อความ ภาพนิ่ง กราฟิก แผนภูมิ ภาพเคลื่อนไหว วีดิทัศน์ และเสียงเพื่อถ่ายทอดเนื้อหาบทเรียน หรือองค์ความรู้ในลักษณะที่ใกล้เคียงกับการสอนจริงในห้องเรียนมากที่สุด โดยที่คอมพิวเตอร์ช่วยสอนจะได้รับการถ่ายทอดในลักษณะที่แตกต่างกันออกไป ทั้งนี้ต้องขึ้นอยู่กับธรรมชาติ และโครงสร้างของเนื้อหา

### 2.3 โปรแกรม Adobe Flash Professional CS6

เป็นโปรแกรมสำหรับสร้างภาพกราฟิก ภาพเคลื่อนไหว และมัลติมีเดียบนเว็บที่สามารถนำมาใช้สร้างงานได้หลากหลายรูปแบบ อาทิ ภาพเคลื่อนไหว ตัวอักษร ภาพ และโลโก้กราฟิก พร้อมเสียงและเทคนิคพิเศษ ประกอบ เช่น ภาพหลักของหน้าเว็บ แบนเนอร์ โฆษณา การนำเสนอข้อมูลในรูปแบบของสไลด์โชว์ เกมส์และโปรแกรมที่โต้ตอบกับผู้ใช้ ไปจนถึงฟอร์มที่ให้ผู้ใช้กรอกข้อมูลและส่งข้อมูลที่กรอกไปที่เครื่องเซิร์ฟเวอร์เพื่อนำไปประมวลผลและบันทึกไว้ได้ นอกจากนี้โปรแกรม Adobe Flash Professional CS6 ยังมีเครื่องมือที่อำนวยความสะดวกในการสร้างภาพเคลื่อนไหวและงานมัลติมีเดียได้เป็นอย่างดี และมีภาษาสำหรับใช้ควบคุมการทำงานของชิ้นงานได้ นอกจากนี้งานที่สร้างโดยโปรแกรม Adobe Flash Professional CS6 จะได้ไฟล์ชิ้นงานที่มีขนาดเล็กทำให้สามารถนำมาเผยแร่บนอินเตอร์เน็ตได้เป็นอย่างดี [4]

### 2.4 การตรวจสอบคุณภาพด้านมัลติมีเดีย

เป็นการตรวจสอบคุณภาพด้านมัลติมีเดียของบทเรียนที่สร้างเสร็จแล้ว โดยให้ผู้เชี่ยวชาญด้านมัลติมีเดียเป็นผู้ตรวจสอบ ซึ่งอาจจะตรวจสอบสื่อต่างๆ เช่น สีของอักษร และสีพื้นหลังว่ามีความเหมาะสมหรือไม่ คุณภาพของเสียงดีหรือไม่ ภาพที่นำมาใช้มีความชัดเจน และมีขนาดภาพที่เหมาะสมหรือไม่ การออกแบบหน้าจอ รวมทั้งการเชื่อมโยงของกรอบการสอนในแต่ละกรอบภายหลังจากตรวจสอบคุณภาพเรียบร้อยแล้ว นำมาปรับปรุงให้สมบูรณ์ก็จะได้บทเรียนที่พร้อมจะนำไปทดลองหาประสิทธิภาพต่อไป

### 2.5 การหาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

ภัทรา นิคมานนท์ [5] ได้ให้ความหมายไว้ว่า แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ หมายถึง แบบทดสอบที่ใช้วัดความรู้ความสามารถ ทักษะเกี่ยวกับด้านวิชาการที่ได้เรียนรู้ในอดีตว่ารับรู้ได้มากน้อยเพียงใด โดยทั่วไปแล้วมักใช้วัดหลังทำกิจกรรมเสร็จเรียบร้อยแล้ว เพื่อประเมินกาเรียนการสอนว่าได้ผลเพียงใด

### 2.6 การสร้างแบบวัดความพึงพอใจ

พวงรัตน์ ทวีรัตน์ [6] ได้กล่าวถึง แบบวัดความพึงพอใจตามวิธีของลิเคิร์ท ไว้ดังนี้

ตั้งจุดมุ่งหมายของการศึกษาว่าต้องการวัดความพึงพอใจของใครที่มีต่อสิ่งใดโดยให้ความหมายของการวัดความพึงพอใจต่อสิ่งที่จะศึกษานั้นให้ชัดเจน เพื่อให้ทราบว่าสิ่งที่เป็นประเด็นหรือเรื่องที่จะสร้างแบบวัดนั้นประกอบด้วยคุณลักษณะใดบ้าง โดยพิจารณาในเรื่องของความครบถ้วนของคุณลักษณะของสิ่งที่ศึกษาและความเหมาะสมของภาษาที่ใช้ ตลอดจนลักษณะการตอบข้อความที่สร้าง ว่าสอดคล้องกันหรือไม่เพียงไรพิจารณาว่าควรจะให้ตอบว่า “เห็นด้วยอย่างยิ่ง, เห็นด้วย, เฉยๆ, ไม่เห็นด้วย, ไม่เห็นด้วยอย่างยิ่ง” หรือ“ชอบมากที่สุด, ชอบมาก, ปานกลาง, ชอบน้อย, ชอบน้อยที่สุด” เป็นต้น การกำหนดการให้คะแนนการตอบของแต่ละตัวเลือก โดยทั่วไปที่นิยมใช้ คือ กำหนดคะแนนเป็น 5 4 3 2 1 หรือ 4 3 2 1 0 สำหรับข้อความทางบวก และ 1 2 3 4 5 หรือ 0 1 2 3 4 สำหรับข้อความทางลบ ซึ่งเป็นวิธีที่สะดวกมากในการปฏิบัติ

### 2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ศุภพักตร์ จารุเศรณี (2552) [7] ได้ศึกษาประสิทธิผลของสื่อภาพยนตร์แอนิเมชันต่อการรับรู้และความพึงพอใจของนักเรียน

ประถมศึกษาช่วงชั้นที่ 1 ผลจากการศึกษาพบว่า ผลประเมินจากกลุ่มเป้าหมายส่วนใหญ่มีการรับรู้ในเนื้อหาที่ต้องการนำเสนออยู่ในเกณฑ์ที่ดี และมีความพึงพอใจต่อสื่ออยู่ในระดับที่มีความพึงพอใจมาก ซึ่งหมายถึงสื่อมีประสิทธิผลต่อการรับรู้และความพึงพอใจของกลุ่มเป้าหมาย

เฉลิมชัย ตาระกา [8] ได้พัฒนาบทเรียนคอมพิวเตอร์บนเครือข่ายแบบปรับเปลี่ยนเนื้อหาโดยสำเสนอในรูปแบบการ์ตูน 2 มิติ วิชาคณิตศาสตร์คอมพิวเตอร์ ผลการวิจัยพบว่าบทเรียนดังกล่าวมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของผู้เรียนหลังเรียน ค่าเฉลี่ย 64.05 สูงกว่าก่อนเรียน ค่าเฉลี่ย 29.52 ด้วยบทเรียน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ผู้เรียนมีความพึงพอใจต่อการเรียนด้วยบทเรียนอยู่ในระดับมาก ค่าเฉลี่ย 3.62 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.82 ประสิทธิผลทางการเรียนของผู้เรียน หลังเรียนบทเรียนสูงขึ้นโดยเฉลี่ย 43.16% ส่งกว่าเกณฑ์ที่ตั้งไว้ 10 % ซึ่งจากการวิจัยสรุปได้ว่าบทเรียนสามารถนำไปใช้งานในการเรียนการสอนได้

## 3. วิธีการดำเนินงาน

### 3.1 ศึกษาและรวบรวมเนื้อหา

คณะผู้วิจัยได้ศึกษาเนื้อหาเกี่ยวกับการเพาะปลูกยางพาราและการผลิตยางแผ่นดิบโดยมีเนื้อหาที่นำมาทำเป็นบทเรียน ดังนี้

1) การเลือกพื้นที่ การเตรียมพื้นที่
2) วัสดุปลูก วิธีการปลูก
3) การบำรุงรักษา การใช้ปุ๋ยในส่วนยาง
4) โรคของยางพารา
5) การปฏิบัติระยะต้นยางให้ผลผลิต
6) การแปรรูปผลผลิต

### 3.2 เขียนบทดำเนินเรื่อง

เมื่อได้เนื้อหาครบถ้วน ได้นำเนื้อหามาออกแบบการนำเสนอให้ออกมาในรูปแบบที่มีความเข้าใจง่ายโดยการเขียนลง Story board (บทดำเนินเรื่อง) เพื่อให้เห็นเป็นขั้นตอน

### 3.3 สร้างชิ้นงาน

ดำเนินการสร้างชิ้นงานโดยใช้โปรแกรม Flash CS6 ตัดต่อด้วยโปรแกรม Adobe Premiere Pro CS6 ตัดต่อเสียงบรรยายและเสียงบรรเลงโดยโปรแกรม Adobe Audition CS6 โดยออกมาเป็นชิ้นงานดังนี้

**รูปที่ 1** หน้าหลัก

**รูปที่ 2** หน่วยที่ 1

**รูปที่ 3** หน่วยที่ 2

**รูปที่ 4** หน่วยที่ 3

**รูปที่ 5** หน่วยที่ 4

**รูปที่ 6** หน่วยที่ 5

**รูปที่ 7** หน่วยที่ 6

### 3.4 ทำการทดลอง

นำสื่อที่ผ่านการประเมินจากผู้เชี่ยวชาญ ทางด้านเนื้อหาและด้านสื่อเทคโนโลยีสารสนเทศทางการศึกษา ไปทดสอบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนรู้ และความพึงพอใจกับนักศึกษาสาขาพืชศาสตร์

## 4. ผลการทดลอง

การประเมินคุณภาพของสื่อแอนิเมชัน 2 มิติ โดยผู้เชี่ยวชาญด้านเนื้อหาจำนวน 1 ท่าน และผู้เชี่ยวชาญด้านสื่อเทคโนโลยีจำนวน 2 ท่าน ผลการประเมินคุณภาพดังแสดงไว้ในตารางที่ 4.1

**ตารางที่ 4.1** สรุปผลการประเมินคุณภาพของสื่อแอนิเมชัน 2 มิติ จากผู้เชี่ยวชาญด้านเนื้อหา และผู้เชี่ยวชาญด้านสื่อเทคโนโลยีการศึกษา

| หัวข้อการประเมิน | $\bar{X}$ | S.D | ระดับคุณภาพ |
|---|---|---|---|
| ผู้เชี่ยวชาญด้านเนื้อหา | 4.51 | 0.12 | คุณภาพดีมาก |
| ผู้เชี่ยวชาญด้านสื่อเทคโนโลยีทางการศึกษา | 4.62 | 0.14 | คุณภาพดีมาก |

ผลการประเมินความพึงพอใจโดย นักศึกษาสาขาวิชาพืชศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย วิทยาเขตทุ่งใหญ่ จำนวน 20 คน ดังแสดงในตารางที่ 4.2

**ตารางที่ 4.2** สรุปผลการประเมินความพึงพอใจที่มีต่อสื่อแอนิเมชัน 2 มิติ โดย นักศึกษาสาขาวิชาพืชศาสตร์

| หัวข้อการประเมิน | $\bar{X}$ | S.D | ระดับความพึงพอใจ |
|---|---|---|---|
| การนำเข้าสู่บทเรียน | 4.08 | 0.58 | พึงพอใจมาก |
| รูปแบบการนำเสนอ | 4.18 | 0.66 | พึงพอใจมาก |
| การเสริมความเข้าใจ | 4.25 | 0.49 | พึงพอใจมาก |
| การประเมินคุณค่าบทเรียน | 4.07 | 0.52 | พึงพอใจมาก |
| **รวมทุกด้าน** | **4.14** | **0.56** | **พึงพอใจมาก** |

**ตารางที่ 4.3** ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของผู้เรียน

| ผลการทดสอบ | n | $\bar{X}$ | S.D | $\sum D$ | $\sum D^2$ | t |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Pre-test | 20 | 6.60 | 1.67 | 227 | 2667 | 23.25 |
| Post-test | 20 | 17.95 | 1.57 | | | |

มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 (df = 19 ; $t_{ตาราง}$ = 2.0930)

จากตาราง 4.3 แสดงว่าผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของผู้เรียนที่เรียนจากสื่อแอนิเมชัน 2 มิติ สำหรับนักศึกษาสาขาวิชาพืชศาสตร์: เรื่องการเพาะปลูกยางพาราและการผลิตยางแผ่นดิบ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 จึงสรุปได้ว่าผู้เรียนมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน

## 5. ผลการสร้างการพัฒนาสื่อแอนิเมชัน 2 มิติ สำหรับนักศึกษาสาขาวิชาพืชศาสตร์: เรื่องการเพาะปลูกยางพาราและการผลิตยางแผ่นดิบ

### 5.1 คุณภาพด้านเนื้อหา

คุณภาพด้านเนื้อหาโดยประเมินจากผู้เชี่ยวชาญด้านเนื้อหา ผลที่ได้คือ มีค่าเฉลี่ยรวม เท่ากับ 4.51 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 0.12 เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับเกณฑ์ที่กำหนดพบว่าอยู่ในเกณฑ์เครื่องมือที่มีคุณภาพด้านเนื้อหาดีมาก

### 5.2 คุณภาพด้านสื่อเทคโนโลยีทางการศึกษา

คุณภาพด้านสื่อเทคโนโลยีทางการศึกษา โดยประเมินจากผู้เชี่ยวชาญด้านสื่อเทคโนโลยีทางการศึกษา ผลที่ได้คือ การประเมินคุณภาพทางด้านสื่อเทคโนโลยีทางการศึกษา มีค่าเฉลี่ยรวม เท่ากับ 4.62 ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 0.14 เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับเกณฑ์ที่กำหนดไว้พบว่าอยู่ในเกณฑ์คุณภาพที่ดีมาก

### 5.3 ผลจากการหาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของกลุ่มตัวอย่าง

คะแนนที่ได้จากก่อนเรียนและหลังเรียน พบว่า กลุ่มตัวอย่างที่เรียนผ่านสื่อแอนิเมชัน 2 มิติ สำหรับนักศึกษาสาขาวิชาพืชศาสตร์: เรื่องการเพาะปลูกยางพาราและการผลิตยางแผ่นดิบ มีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

### 5.4 ผลจากการประเมินความพึงพอใจ

จากกลุ่มตัวอย่างเมื่อใช้สื่อแอนิเมชัน 2 มิติ สำหรับนักศึกษาสาขาวิชาพืชศาสตร์: เรื่องการเพาะปลูกยางพาราและการผลิตยางแผ่นดิบ ผลที่ได้คือ ค่าความพึงพอใจ มีค่าเฉลี่ยรวมเท่ากับ 4.14 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเฉลี่ยเท่ากับ 0.56 เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับเกณฑ์ที่ได้กำหนดไว้ พบว่าผู้เรียนเกิดความพึงพอใจมาก

## เอกสารอ้างอิง

[1] สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2559, **การปลูกยางพารา** [Online], Available: http://fieldtrip.ipst.ac.th. [2 กุมภาพันธ์ 2559].

[2] อัจฉรา ธนะมัย, 2540, **คอมพิวเตอร์ช่วยสอน**, เอกสารประกอบการเรียนการสอนวิชาคอมพิวเตอร์เพื่อการศึกษา, ภาควิชาเทคโนโลยีการศึกษา คณะศึกษาศาสตร์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, หน้า 1.

[3] ถนอมพร (ตันพิพัฒน์) เลาจรัสแสง, 2541, **คอมพิวเตอร์ช่วยสอน**, กมลโปรดักชัน จำกัด, กรุงเทพมหานคร, หน้า 7-10.

[4] พันจันทร์ ธนวัฒนเสถียร, 2556, **Flash CS6 ฉบับสมบูรณ์**, บริษัท รีไววา จำกัด, กรุงเทพ, 448 น.

[5] ภัทรา นิคมานนท์, มปป, **การประเมินผลและการสร้างแบบสอบถาม**, สำนักพิมพ์อักษราพิพัฒน์, หน้า 51-147

[6] พวงรัตน์ ทวีรัตน์, 2540, **วิธีวิจัยทางพฤติกรรมศาสตร์และสังคมศาสตร์, พิมพ์ครั้งที่ 7 (ฉบับปรับปรุงล่าสุด)**, ศูนย์หนังสือจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพ, หน้า 65, 124, 136, 163, 171

[7] ศุภพักตร์ จารุเศรณี, 2552, **การสร้างภาพยนตร์แอนิเมชันเพื่อส่งเสริมพฤติกรรมการออมแก่เยาชน**, วิทยานิพนธ์ศิลปศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

[8] เฉลิมชัย ตาระกา, 2551, **การพัฒนาบทเรียนคอมพิวเตอร์ บนเครือข่ายแบบปรับเปลี่ยนเนื้อหา โดยนำเสนอในรูปแบบการ์ตูน 2 มิติ วิชาคณิตศาสตร์คอมพิวเตอร์**, หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ สำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา /เฉลิมชัย ตาระกา, กรุงเทพฯ, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

อาจารย์สุมนา ปาระรัตน์ สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาโท สาขาวิชาครุศาสตร์เทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรีปัจจุบันเป็นอาจารย์ประจำสาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย วิทยาเขตตรัง

อาจารย์ศวรรณรัศม์ อภัยพงศ์ สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาโท สาขาวิชาการจัดการเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ปัจจุบันเป็นอาจารย์ประจำสาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย วิทยาเขตตรัง

อาจารย์ศิรินันทร์ นาพอ สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาโท สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ปัจจุบันเป็นอาจารย์ประจำสาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย วิทยาเขตตรัง

**บทความวิจัย**

การประชุมวิชาการ งานวิจัยและพัฒนาเชิงประยุกต์ ครั้งที่ 8

*8th ECTI-CARD 2016, Hua Hin, Thailand*

# การสร้างพัฒนาหุ่นยนต์ไดมอนด์ เพื่อใช้ประชาสัมพันธ์มหาวิทยาลัยกรุงเทพ และคณะวิศวกรรมศาสตร์

# "DIAMOND" ROBOT CREATION FOR PUBLIC RELATION OF SHOOLD OF ENGINEERING, BANGKOK UNIVERSITY

**เกรียงไกร ทัศนวิภาส[1] ฐิติพรขันทอง [2] และ พงศ์พัฒน์ เวชการ[3]**

[1]สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยกรุงเทพ

9/1 ม.5 ถนนพหลโยธิน ต.คลองหนึ่ง อ.คลองหลวง ปทุมธานี 12120 โทรศัพท์ 02-902-0299 ต่อ 2620

E-mail: [1]kriangkrai.t@bu.ac.th

[2,3] สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยกรุงเทพ

9/1 ม.5 ถนนพหลโยธิน ต.คลองหนึ่ง อ.คลองหลวง ปทุมธานี 12120 โทรศัพท์ 02-902-0299 ต่อ 2620

E-mail: [2]thitiporn.khan@bumail.net, [3]phongphat.wetc@bumail.net

## บทคัดย่อ

บทความนี้กล่าวถึงการสร้างและพัฒนาหุ่นยนต์ประชาสัมพันธ์โดยมีหน้าที่ในการสร้างจุดสนใจและดึงดูดผู้ที่พบเห็นและสร้างความบันเทิงให้กับการควบคุมหุ่นยนต์ซึ่งจะเป็นการพัฒนาในรูปแบบของการควบคุมหุ่นยนต์ โดยผู้ควบคุมหุ่นยนต์จะมีปฏิสัมพันธ์ร่วมกับหุ่นยนต์เพื่อเพิ่มความน่าสนใจและสร้างความบันเทิงให้กับผู้สั่งงานควบคุมหุ่นยนต์ โดยจะใช้งานกล้องตรวจจับ 3 มิติ ในการตรวจจับการเคลื่อนไหวอย่างง่ายของแขนและนิ้วมือของผู้ควบคุมหุ่นยนต์ เพื่อใช้สั่งงานควบคุมแขนและนิ้วมือของหุ่นยนต์ให้เคลื่อนไหวเลียนแบบตามการเคลื่อนไหวของผู้ควบคุมหุ่นยนต์ และมีการติดตั้งอุปกรณ์วัดระยะทางด้วยเลเซอร์เพื่อสร้างความปลอดภัยให้แก่หุ่นยนต์และความแม่นยำในการตรวจจับท่าทางซึ่งโดยจะมีการใช้งานภาษา C# ในการพัฒนาภายใต้โปรแกรม Unity 4 และโปรแกรม Visual Studio C# 2015

คำสำคัญ: ภาษา C#, Unity 4, โปรแกรมสั่งงานควบคุมหุ่นยนต์

## Abstract

This article is about robot development for public relation. The aim is to attract the people and make robot controlling entertaining. The robot controller will interact with robot by using 3D camera to detect body movement of the controller and robot will imitate that movement. The laser encoder is equipped to create robot safety and provide detection accuracy by using C# under Unity 4 and Visual Studio C# 2015

Keywords: C# language, Unity 4 ,Program Control robot

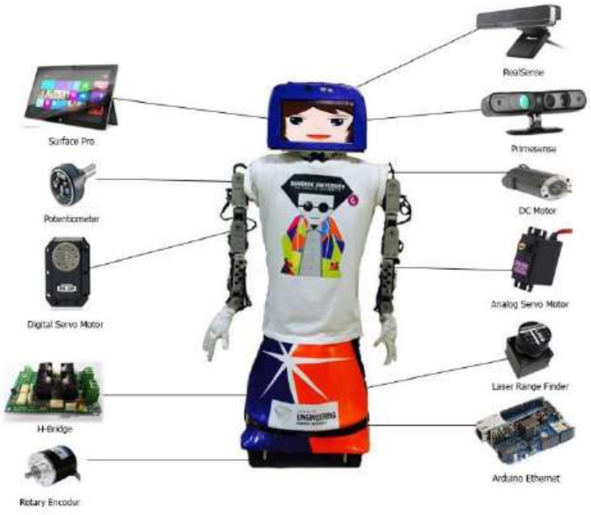
## 1. บทนำ

หุ่นยนต์ประชาสัมพันธ์คือ หุ่นยนต์ที่ทำหน้าที่ในการต้อนรับหรือนำเสนอสิ่งต่างๆตามเป้าหมาย โดยวัตถุประสงค์ในการสร้างนอกจากจะสามารถแสดงท่าทางได้แล้วยังสามารถตอบโต้กับมนุษย์ได้อีกด้วย เช่น การตอบคำถามด้วยเสียงการเลียนแบบท่าทางแบบอัตโนมัติ ซึ่งทางผู้พัฒนาอยากให้หุ่นยนต์มีลักษณะใกล้เคียงกับมนุษย์มากที่สุดแต่ยังคงมีความเป็นหุ่นยนต์อยู่และ ต้องสามารถแสดงท่าทางต่าง ๆ ให้ใกล้เคียงกับมนุษย์มากที่สุด ซึ่งในการที่จะทำให้หุ่นยนต์สามารถเคลื่อนไหวได้ใกล้เคียงกับมนุษย์นั้นจะต้องอาศัยการเคลื่อนไหวในรูปแบบของการเคลื่อนไหวองศาอิสระ (DOF : Degrees of Freedom) ที่มากใกล้เคียงกับการเคลื่อนไหวของมนุษย์ เพื่อเป็นการสร้างจุดสนใจในการประชาสัมพันธ์ และ สามารถเลียบแบบท่าทางมนุษย์ได้ใกล้เคียงความเป็นจริงที่สุด

## 2. โครงสร้างของหุ่นยนต์

โครงสร้างของหุ่นยนต์มีการใช้งานอะลูมิเนียมเป็นโครงสร้างหลักเพื่อให้หุ่นยนต์มีน้ำหนักเบาและไม่เกิดสนิม จะมีแค่บางส่วนของหุ่นยนต์เท่านั้นที่ใช้งานสแตนเลส โครงสร้างทั้งหมดของหุ่นยนต์มีน้ำหนักตัวรวมประมาณ 70 กิโลกรัม และมีส่วนสูงรวม 135 เซนติเมตร ในส่วนของการควบคุมการเคลื่อนไหวของหุ่นยนต์มีการใช้งานเซอร์โวมอเตอร์ และมอเตอร์กระแสตรงที่ต่อใช้งานร่วมกับบอร์ดขับมอเตอร์กระแสตรงแบบ H-Bridge และใช้งานเซนเซอร์โพเทนชิโอมิเตอร์ ในการวัดค่าการหมุนของมอเตอร์และส่งข้อมูลไปยังบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ยี่ห้อ Arduino Ethernet[1] เพื่อควบคุมการหมุนของมอเตอร์กระแสตรง โดยที่บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์แต่ละบอร์ดจะติดต่อสื่อสารและรับคำสั่งควบคุมจากคอมพิวเตอร์ Surface Pro[2] ผ่านทางซ็อกเก็ต TCP/IP ซึ่งจะส่งผลให้บอร์ดแต่ละบอร์ดทำงานแยกออกจากกันอย่างอิสระ ในส่วนของการควบคุมการเคลื่อนไหวในตำแหน่งที่ต้องการความแม่นยำสูง จะมีการใช้งานเซอร์โวมอเตอร์อยู่ด้วยกัน 2 ประเภท คือ อนาล็อกเซอร์โว

มอเตอร์ และดิจิตอลเซอร์โวมอเตอร์ยี่ห้อ Dynamixel[3] โดยในส่วนของเซอร์โวมอเตอร์ประเภทอนาล็อกเซอร์โวมอเตอร์ จะมีการเชื่อมต่อใช้งานร่วมกับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์โดยตรง และมีการรับคำสั่งควบคุมการทำงานเช่นเดียวกับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ควบคุมมอเตอร์กระแสตรง ส่วนของดิจิตอลเซอร์โวมอเตอร์มีการต่อใช้งานโดยตรงกับคอมพิวเตอร์ เพื่อรับคำสั่งควบคุมการทำงาน ซึ่งในตำแหน่งส่วนหัวหุ่นยนต์มีการใช้งานคอมพิวเตอร์ ทำหน้าที่เป็นส่วนแสดงใบหน้าที่เป็นแอนิเมชันและใช้ประมวลผลการทำงานทั้งหมดของหุ่นยนต์ ส่วนตำแหน่งคอหุ่นยนต์สามารถเคลื่อนไหวด้วยองศาอิสระจำนวน 2 จุด เนื่องจากตำแหน่งคอต้องรับโหลดในการทำงานสูงและต้องการความแม่นยำมากในการควบคุม จึงใช้มอเตอร์ประเภทดิจิตอลเซอร์โวมอเตอร์เป็นตัวควบคุมการเคลื่อนไหว ส่งผลให้ตำแหน่งหัวของหุ่นยนต์สามารถหมุนและพยักหน้าได้ ส่วนตำแหน่งท่อนแขนของหุ่นยนต์ 1 ข้างสามารถเคลื่อนไหวด้วยองศาอิสระจำนวน 6 จุด ซึ่งท่อนแขนของหุ่นยนต์ทั้ง 2 ข้างออกแบบมาให้มีความสมมาตรกัน มอเตอร์ที่ใช้งานจึงใช้แบบเดียวกันและมีจำนวนเท่ากันทั้ง 2 ข้าง รูปแบบการเคลื่อนไหวของท่อนแขนจะมีการเคลื่อนไหวที่ซับซ้อนและต้องการความแม่นยำในการควบคุมสูงรวมถึงจะต้องรับโหลดในการทำงานที่สูง ดิจิตอลเซอร์โวมอเตอร์ จึงเหมาะสมที่จะนำไปใช้สำหรับควบคุมการเคลื่อนไหวในส่วนข้อต่อต่าง ๆ ของท่อนแขนซึ่งจะมีเฉพาะตำแหน่งของหัวไหล่เท่านั้นที่ใช้งานมอเตอร์กระแสตรงเพียงจุดเดียว เพราะดิจิตอลเซอร์โวมอเตอร์รุ่นปกติมีแรงบิดไม่สูงมากพอที่จะรองรับโหลดในตำแหน่งนี้ได้ ส่วนในตำแหน่งมือของหุ่นยนต์ใน 1 ข้างสามารถเคลื่อนไหวด้วยองศาอิสระจำนวน 5 จุด โดยที่ได้ออกแบบให้มือทั้ง 2 ข้าง มีความสมมาตรกันจึงใช้งานมอเตอร์ด้วยจำนวนเท่ากันและแบบเดียวกันทั้ง 2 ข้าง มอเตอร์แต่ละตัวในส่วนมือมีหน้าที่ควบคุมการเคลื่อนไหวของนิ้วมือทั้ง 5 นิ้ว ซึ่งในตำแหน่งนี้จำเป็นต้องใช้งานมอเตอร์ที่มีขนาดเล็กและไม่ต้องการความแม่นยำมาก อนาล็อกเซอร์โวมอเตอร์จึงเหมาะสมกับการทำหน้าที่ควบคุมการเคลื่อนไหวในตำแหน่งนี้ มือของหุ่นยนต์ทั้ง 2 ข้าง สามารถหยิบจับหรือยกของที่มีน้ำหนักเบา ๆ ได้ ในส่วนหลังของหุ่นยนต์สามารถเคลื่อนไหวด้วยองศาอิสระจำนวน 1 จุด ซึ่งใช้งานมอเตอร์กระแสตรงในการทำหน้าที่ควบคุมการก้มเงยหลังของหุ่นยนต์ เนื่องจากในตำแหน่งนี้มอเตอร์ต้องรับโหลดในการทำงานสูงแต่ไม่ต้องการความแม่นยำในการควบคุมมากนัก นอกจากนี้ในส่วนของฐานหุ่นยนต์ที่ใช้ทำหน้าที่ในการขับเคลื่อน ซึ่งเป็นตำแหน่งที่ใช้วางแบตเตอรี่และวงจรควบคุมทั้งหมด จะมีการออกแบบให้สามารถเคลื่อนที่ด้วยองศาอิสระจำนวน 2 จุด ในตำแหน่งนี้ได้เลือกใช้งานมอเตอร์กระแสตรง เนื่องจากเป็นส่วนที่ต้องรับน้ำหนักหุ่นยนต์ทั้งตัวจึงมีการรับโหลดในการทำงานสูง โดยมีการต่อใช้งานร่วมกับเซนเซอร์โรตารี่เอ็นโคดเดอร์ 2 ตัว เพื่อช่วยในการวัดระยะทางของล้อทั้งคู่ว่ามีความเร็วและระยะทางเท่าไร และยังมีล้อช่วยปรับการทรงตัวอีก 2 ล้อที่เป็นอิสระต่อกัน โดยเป็นล้อที่ไม่ได้ใช้งานมอเตอร์ในการควบคุม ซึ่งทำให้ตัวฐานสามารถทรงตัวอยู่ได้ในสภาพพื้นผิวที่หลากหลายแต่ต้องไม่เป็นพื้นที่ที่ต่างระดับมากนัก ซึ่งหุ่นยนต์สามารถวิ่งด้วยความเร็ว 0.3 เมตรต่อวินาที โดยที่โครงสร้างของหุ่นยนต์ในส่วนหัวและลำตัว ได้มีการออกแบบสกินมาครอบโครงสร้างภายในไว้เพื่อป้องกันอันตรายและช่วยให้หุ่นยนต์มีรูปร่างสวยงามคล้ายมนุษย์ โดยสกินที่ออกแบบให้กับหุ่นยนต์สามารถรองรับการถอดและสวมใส่เสื้อผ้าได้ดังรูปที่ 1




รูปที่ 1 หุ่นยนต์ประชาสัมพันธ์

### 3. อุปกรณ์ตรวจจับ(Sensor)

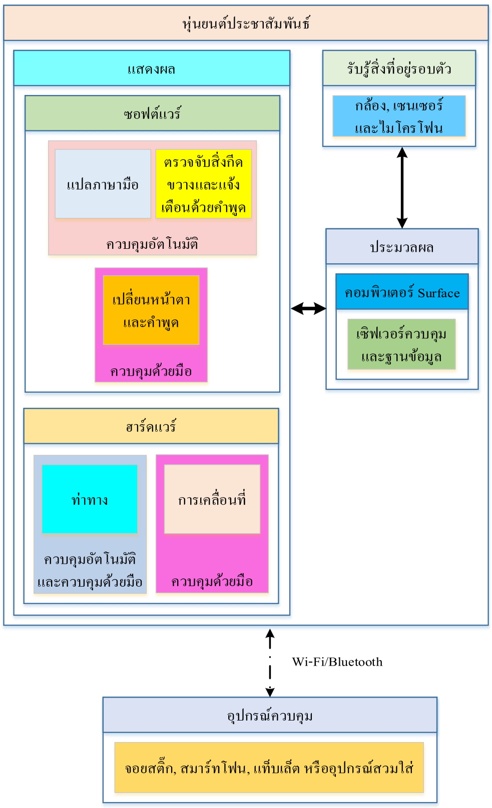
หุ่นยนต์จะสามารถรับรู้และตอบสนองสิ่งที่อยู่รอบตัวได้จะต้องมีการใช้งานอุปกรณ์เซนเซอร์ เข้ามาติดตั้งให้กับหุ่นยนต์เพื่อเพิ่มความสามารถในการรับรู้ให้กับหุ่นยนต์ โดยได้ทำการติดตั้งอุปกรณ์ประเภทเซนเซอร์ทั้งหมด 3 ประเภท คือ กล้อง, เลเซอร์วัดระยะทาง และไมโครโฟน โดยกล้องที่นำมาติดตั้งให้กับหุ่นยนต์คือ กล้องตรวจจับ 3 มิติ จำนวน 2 ตัว โดยกล้องตัวที่ 1 จะใช้งานกล้อง Prime sense[4] ทำหน้าที่ในการตรวจจับแขนของผู้ควบคุมหุ่นยนต์ ซึ่งคุณสมบัติเด่นของกล้องตรวจจับ 3 มิติตัวนี้ คือมีการใช้ระยะในการตรวจจับแขนที่ใกล้กว่ากล้องตรวจจับ 3 มิติของบริษัทอื่น ๆ ซึ่งทำให้ผู้ควบคุมหุ่นยนต์ไม่จำเป็นต้องออกไปยืนไกลจากตัวกล้องมากนัก ส่วนกล้องตัวที่ 2 จะใช้งานกล้อง RealSense[5] ซึ่งกล้องตัวนี้ จะทำหน้าที่ในการตรวจจับนิ้วมือของผู้ควบคุมหุ่นยนต์ โดยที่ตัวกล้องได้ถูกออกแบบมาให้มีคุณสมบัติเด่นในเรื่องของการตรวจจับการเคลื่อนไหวที่มีความซับซ้อนโดยเฉพาะในส่วนของนิ้วมือ จึงได้ติดตั้งกล้องตรวจจับ 3 มิติตัวนี้ เพื่อตรวจจับนิ้วมือโดยเฉพาะ ต่อไปในส่วนของอุปกรณ์วัดระยะทางด้วยเลเซอร์ (Laser Range Finder ) ยี่ห้อ Hokuyo[6] เป็นเทคโนโลยีการวัดระยะจากอุปกรณ์ถึงวัตถุด้วยการปล่อยลำแสงเลเซอร์ขนาดเรียวเล็กออกไปเป็น

จังหวะสั้น ๆ และวัดพลังงานที่วัตถุสะท้อนกลับมา ด้วยระยะสแกนในรูปแบบของแนวระนาบ มีความละเอียดในการสแกนค่อนข้างสูง ซึ่งนำข้อดีตรงนี้ของอุปกรณ์มาใช้ในการตรวจจับสิ่งกีดขวางเพื่อเพิ่มความปลอดภัยให้กับหุ่นยนต์อีกทั้งยังนำไปพัฒนาต่อยอดในการช่วยจับระยะการยืนของผู้ควบคุมหุ่นยนต์ หรือผู้ที่ต้องการปฏิสัมพันธ์กับหุ่นยนต์ เพื่อกำหนดตำแหน่งระยะการยืนที่แน่นอน เพื่อให้กล้องตรวจจับ 3 มิติ ทั้ง 2 ตัว สามารถตรวจจับผู้ควบคุมหุ่นยนต์ได้ด้วยระยะที่เหมาะสม และในส่วนของไมโครโฟนจะใช้ทำหน้าที่ในการรับคำสั่งเสียง ซึ่งการได้ระยะที่เหมาะสมนั้นจะส่งผลให้การทำท่าทำเลียบแบบผู้ทดลองมีความแม่นยำมากขึ้น

## 4. การพัฒนาโปรแกรมควบคุมหุ่นยนต์

การพัฒนาโปรแกรมควบคุมหุ่นยนต์ได้ออกแบบ และแบ่งการควบคุมออกเป็น 2 โหมด คือ โหมดควบคุมด้วยมือ และโหมดควบคุมอัตโนมัติ โดยโหมดควบคุมด้วยมือ จะเป็นลักษณะการกดสั่งงานผ่านอุปกรณ์ โดยใช้งานอุปกรณ์ เช่น จอยสติ๊กแบบไร้สายและอุปกรณ์ที่ใช้งานระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ เช่น โทรศัพท์เคลื่อนที่, แท็บเล็ต หรืออุปกรณ์สวมใส่ โดยที่อุปกรณ์ทุกตัวจะส่งคำสั่งควบคุมผ่านทางสัญญาณการเชื่อมต่อไร้สายได้ 2 ช่องทาง คือ ไวไฟ และบลูทูธ โดยสามารถสั่งงานควบคุมหุ่นยนต์ให้ทำตามคำสั่งที่ได้โปรแกรมไว้ เช่น สวัสดี, โบกมือลา, จับมือ หรือการแสดงสัญลักษณ์การสื่อสารด้วยนิ้วมือ เป็นต้น โดยท่าทางที่หุ่นยนต์แสดงจะมีเสียงคำพูดที่ใช้ประกอบกับท่าทางนั้น ๆ ด้วย และยังสามารถสั่งงานเปลี่ยนหน้าตาของหุ่นยนต์ที่แสดงในหน้าจอคอมพิวเตอร์ ให้เปลี่ยนหน้าตาพร้อมกับคำพูดที่เปลี่ยนแปลงไปตามรูปแบบของหน้าได้ เพื่อให้หุ่นยนต์สามารถเข้ากับงานที่ต้องใช้ประชาสัมพันธ์ตามที่เจ้าของงานกำหนด ส่วนโหมดควบคุมอัตโนมัติ จะเป็นโหมดที่หุ่นยนต์สามารถทำงานตามคำสั่งที่ได้โปรแกรมไว้ได้เองโดยอัตโนมัติตามข้อมูลที่ได้รับจากเซนเซอร์ โดยในโหมดนี้หุ่นยนต์จะมีความสามารถในการเลียนแบบท่าทางการเคลื่อนไหวของแขนและนิ้วมืออย่างง่าย ๆ ของผู้ควบคุมหุ่นยนต์รวมถึงสามารถทำความเข้าใจภาษามือ

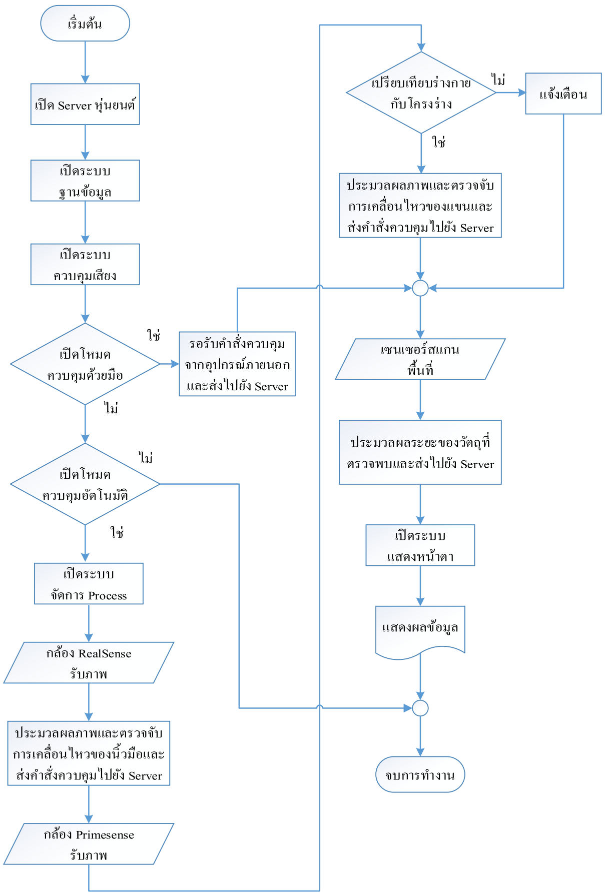
และตอบโต้ด้วยคำพูดหรือท่าทางตามที่ได้โปรแกรมไว้อีกด้วย นอกจากนี้ยังสามารถรับคำสั่งด้วยเสียงและแสดงท่าทางหรือคำพูดตอบโต้กับมนุษย์ และยังสามารถส่งเสียงแจ้งเตือนได้เองอัตโนมัติ ในกรณีที่มีสิ่งกีดขวาง เข้ามาตัดหน้าขณะที่หุ่นยนต์กำลังเคลื่อนที่ เพื่อป้องกันอันตราย โดยที่โปรแกรมในแต่ละส่วนจะติดต่อสื่อสารกันผ่านทางซ็อกเก็ต TCP/IP ซึ่งในแต่ละส่วนจะแยกกันทำงานอย่างอิสระโดยมีแผนผังการทำงานของโปรแกรมดังรูปที่ 2




รูปที่ 2 ภาพรวมการทางานของหุ่นยนต์ประชาสัมพันธ์

ส่วนโปรแกรมที่ใช้ในการพัฒนาส่วนควบคุมหุ่นยนต์ จะแบ่งออกเป็น 2 โปรแกรม คือ Unity 4[7] และโปรแกรม Visual Studio C# 2015[8] โดยที่โปรแกรม Unity 4 จะใช้ภาษา C# ในการออกแบบและพัฒนาระบบประมวลภาพที่ใช้งานร่วมกับกล้อง Primesense เนื่องจากกล้องตัวนี้ใช้ทำหน้าที่ในการตรวจจับการเคลื่อนไหวแขนและควบคุมมอเตอร์ ซึ่งส่วนต่อประสานโปรแกรมประยุกต์ (API : Application programming interface) ของกล้องไม่มีฟังก์ชันในการแปลงตำแหน่งการเคลื่อนที่ตามแนวแกน X, Y และ Z ไปเป็นองศาการหมุนของมอเตอร์จึงเลือกใช้งานโปรแกรม Unity 4 เข้ามาช่วยในการแปลงตำแหน่งการเคลื่อนที่ตามแนวแกน X, Y และ Z ไปเป็นองศาการหมุน เนื่องจากโปรแกรม Unity 4 เป็นเครื่องมือที่ใช้พัฒนาเกม (Game engine) จึงมีความสามารถในการใช้คำนวณทางคณิตศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่ของวัตถุได้ง่าย ส่วนโปรแกรม Visual Studio C# 2015 ใช้ในการออกแบบและพัฒนาระบบดังนี้ ระบบเซิฟเวอร์ควบคุมทั้งหมดของหุ่นยนต์, ระบบฐานข้อมูล, ระบบควบคุมเสียง, ระบบแสดงใบหน้าแอนิเมชัน, ระบบตรวจจับสิ่งกีดขวางและแจ้งเตือนด้วยเลเซอร์วัดระยะทาง และระบบประมวลภาพสำหรับการใช้งานกับกล้อง RealSense เนื่องจากกล้อง RealSense ใช้ทำหน้าที่ตรวจจับนิ้วมือ ซึ่งไม่มีความจำเป็นต้องใช้งานฟังก์ชันในการแปลงตำแหน่งการเคลื่อนที่ตามแนวแกน X, Y และ Z ไปเป็นองศาการหมุนของมอเตอร์ โดยโปรแกรมในแต่ละ

ระบบจะติดต่อสื่อสารข้อมูลกันแบบซ็อกเก็ต TCP/IP ซึ่งมีระบบการทำงานเซิฟเวอร์ของหุ่นยนต์เป็นศูนย์กลางของระบบ ที่ใช้ในการรับข้อมูลและส่งคำสั่งไปยังระบบต่าง ๆ ภายในตัวหุ่นยนต์ โดยมีแผนผังการทำงานของแต่ละระบบดังรูปที่ 3




รูปที่ 3 แผนผังการทำงานของโปรแกรมควบคุมหุ่นยนต์

## 5.สรุป

การสร้างพัฒนาหุ่นยนต์เพื่อใช้ประชาสัมพันธ์นั้นจุดเด่นแรกของหุ่นยนต์ตัวนี้คือมีการเคลื่อนไหวในรูปแบบขององศาอิสระเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งทำให้หุ่นยนต์สามารถเคลื่อนไหวได้ละเอียดมีความใกล้เคียงกับมนุษย์มากขึ้น มีระบบรับรู้สิ่งรอบตัว โดยใช้งานอุปกรณ์เซนเซอร์ซึ่งอุปกรณ์เซนเซอร์จะทำหน้าที่เปรียบเสมือนดวงตา ใบหน้า สัมผัสของมนุษย์ ให้กับหุ่นยนต์ทำให้หุ่นยนต์มีความสมจริงมากยิ่งขึ้น สามารถควบคุมให้หุ่นยนต์ปรับเปลี่ยนเสียงพูดและหน้าตาได้ตามความต้องการในส่วนของโปรแกรมควบคุมหุ่นยนต์ หุ่นยนต์สามารถตอบโต้กับผู้ควบคุมได้โดยการรับคำสั่งในโหมดอัตโนมัติ หรือ โหมดควบคุมด้วยมือผ่านอุปกรณ์ ดังรูปที่ 4 มีการใช้กล้อง3มิติในการช่วยจับท่าทางระหว่างหุ่นยนต์และผู้ควบคุมอีกด้วย ในส่วนของความปลอดภัยสำหรับหุ่นยนต์ได้มีการสร้างสกินเพื่อปกป้องโครงสร้างภายในหุ่นยนต์ และโปรแกรมตรวจจับสิ่งกีดขวางเพื่อแจ้งเตือนผู้ควบคุมหากมีสิ่งกีดขวางเข้ามาใกล้หุ่นยนต์ภายในระยะที่กำหนด เพื่อเพิ่มความปลอดภัยและความแม่นยำในการใช้งานซึ่งถือเป็นสิ่งที่ต้องคำนึงเพราะบุคคลที่มาทำการปฏิสัมพันธ์กับหุ่นยนต์นั้นมีหลายช่วงอายุ จึงต้องคำนึงเรื่องความปลอดภัยและความแม่นยำเป็นอันดับต้นๆ แต่ทั้งนี้ทั้งนั้นก็อาจจะมีข้อผิดพลาดที่ไม่คาดคิดที่เกิดจากความบกพร่องสะสมของอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ทำให้ต้องมีการมีเสียงแจ้งเตือนเมื่อเกิดข้อผิดพลาดในการวัดระยะนับเป็นการเพิ่มความปลอดภัยให้กับหุ่นยนต์ประชาสัมพันธ์อีกขั้นนึง

รูปที่ 4 ท่าทางของหุ่นยนต์

## เอกสารอ้างอิง

[1]Arduino.(2016).Arduino Ethernet[Online].Available https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardEthernet

[2] Microsoft.(2016)Surface Pro [Online].Available https://www.microsoft.com/surface/th-th/support

[3] ROBOTIC e-Manual. (2010). DYNAMIXEL SYSTEM [Online]. Available: http://support.robotis.com/en/

[4 PrimeSense,version1.0,PrimeSense Co.,

[5]intel.(2016).Realsense[Online].Available http://www.intel.com/content/www/us/en/architecture-and-technology/realsense-overview.html

[6]HOKUYO AUTOMATIC.(2009).Urg04lxug01[Online].Available https://www.hokuyo-aut.jp/02sensor/07scanner/urg_04lx_ug01.html

[7]Unity Technologies.(2015).Unity[Online].Available http://docs.unity3d.com/Manual/index.html

[8]Microsoft.(2016).Visual Studio[Online].Available https://www.visualstudio.com/en-us/downloads/download-visual-studio-vs.aspx

**บทความวิจัย**
การประชุมวิชาการ งานวิจัยและพัฒนาเชิงประยุกต์ ครั้งที่ 8
*8th ECTI-CARD 2016, Hua Hin, Thailand*

# การสร้างและพัฒนาแอพพลิเคชันเพื่อควบคุมและแสดงผลหุ่นยนต์ไดมอนด์ เพื่อใช้ประชาสัมพันธ์ มหาวิทยาลัยกรุงเทพ และคณะวิศวกรรมศาสตร์

# APPLICATION DESIGN AND DEVELOPMENT FOR CONTROLLING "DIAMON" ROBOT FOR PUBLIC RELATION OF SCHOOL OF ENGINEERING, BANGKOK UNIVERSITY

**เกรียงไกร ทัศนวิภาส[1]วรากร เสาะก่าน[2] อุมาพร มัทธุรศ [3] และ พรเพชร มาลัยนาค[4]**
[1]สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ [2,3,4]สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยกรุงเทพ
9/1 ม.5 ถนนพหลโยธิน ต.คลองหนึ่ง อ.คลองหลวง ปทุมธานี 12120 โทรศัพท์ 02-902-0299 ต่อ 2620
E-mail: [1]kriangkrai.t@bu.ac.th, [2]warakorn.sohk@bumail.net, [3]umaporn.matt@bumail.net, [4]pornpech.mala@bumail.net

## บทคัดย่อ

บทความนี้กล่าวเกี่ยวกับการพัฒนาแอพพลิเคชันเพื่อควบคุมและแสดงผลหุ่นยนต์ไดมอนด์ เพื่อใช้ประชาสัมพันธ์มหาวิทยาลัยกรุงเทพ และคณะวิศวกรรมศาสตร์ โดยอุปกรณ์ที่รองรับการสั่งงานหุ่นยนต์สามารถใช้ได้ทั้ง สมาร์ทโฟน, แท็บเล็ต และนาฬิกาแอนดรอยด์แวร์ เพื่อให้สั่งงานหุ่นยนต์ได้สะดวก โดยสามารถเชื่อมต่อเพื่อควบคุมผ่านทางไวไฟ หรือบลูทูธ แอพพลิเคชั่นที่ได้พัฒนาขึ้นมานั้นยังมีการรองรับการเพิ่มความง่ายในการควบคุมหุ่นยนต์หลายๆตัวโดยมีการเข้ารหัสเพื่อควบคุมหุ่นยนต์ผ่านทาง รหัสคิวอาร์ ,เอ็นเอฟซี หรือ การป้อนค่าไอพีที่หุ่นยนต์แต่ละตัวที่การเชื่อมต่ออยู่ นอกจากนั้นยังได้พัฒนาแอพพลิเคชันให้รองรับทั้งการสั่งงานด้วยการกดปุ่มและการสั่งงานด้วยเสียงเพื่อให้สะดวกและทันสมัยตอบสนองความต้องการของผู้ใช้ และสามารถเปลี่ยนภาษาภายในแอพให้รองรับการทำงานได้หลายภาษา กล่าวคือ ไทย,อังกฤษ และจีน เป็นต้นเพื่อรองรับบุคคลชาวต่างชาติที่ต้องการทดลองควบคุมหุ่นยนต์ โดยจะใช้ภาษาจาวาในการพัฒนาภายใต้โปรแกรมแอนดรอยด์สตูดิโอ(Android Studio) [1][6]

**คำสำคัญ: ภาษาจาวา[5], แอนดรอยด์สตูดิโอ, การควบคุมหุ่นยนต์**

## Abstract

This article is about application development for controlling "Diamond" robot for public relation of School of engineering, Bangkok University. The devices that support this application are smartphone, tablet, and Android wear. We use Wi-Fi and Bluetooth for the connection. The application is developed to be able to control several robots at the same time by using QR code, NFC, or enter IP to each Robot. Apart from general press button command, this application also provide voice control function for easier control and end user convenience. Foreigners will also be able to test this robot control because many languages are stored in this application such as Thai, English, and Chinese. This application is developed by using Java languages under Android Studio.

**Keywords: Java language, Android Studio, application for control robot**

## 1. บทนำ

ในการพัฒนาแอพพลิเคชันเพื่อควบคุมและแสดงผลหุ่นยนต์ไดมอนด์นั้น ผู้พัฒนาได้นำโปรแกรมแอนดรอยด์สตูดิโอมาใช้พัฒนาเพื่อให้สะดวก และง่ายกับผู้พัฒนาแอพพลิเคชัน และระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์[2][3][4]ยังเป็นระบบปฏิบัติการแบบเปิดเผยที่เปิดโอกาสให้นักพัฒนาแอพพลิเคชันเข้าไปมีส่วนร่วมในการพัฒนาแอพพลิเคชันได้หลากหลายรูปแบบ

ดังนั้นจึงมีแนวคิดที่จะพัฒนาแอพพลิเคชันควบคุมหุ่นยนต์ไดมอนด์ให้รองรับการสั่งงานด้วยเสียง และการสั่งงานผ่านนาฬิกาแอนดรอยด์แวร์ โดยแอพพลิเคชันจะเชื่อมต่อหุ่นยนต์ไดมอนด์กับสมาร์ทโฟนผ่านทางการเชื่อมต่อไวไฟ(WiFi) และบูลทูธ(Bluetooth) จะส่งข้อมูลผ่านโปรโตคอล TCP/IP, รหัสคิวอาร์โค้ด(QR Code) และเอ็นเอฟซี(NFC) โดยสมาร์ทโฟนหรือแท็บเล็ตหรือแอนดรอยด์แวร์จะทำหน้าที่เป็นไคลแอนต์(Client) เพื่อเชื่อมต่อไปยังคอมพิวเตอร์ภายในตัวหุ่นยนต์ซึ่งทำหน้าที่เป็นเซิร์ฟเวอร์(Server) ของหุ่นยนต์ไดมอนด์ โดยหุ่นยนต์ไดมอนด์จะมีลักษณะดังรูปที่ 1.1

**รูปที่ 1.1** หน้าตาของหุ่นยนต์ไดมอนด์

## 2. อุปกรณ์ควบคุมหุ่นยนต์ไดมอนด์

ในปัจุบันได้มีเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายผ่านเครื่องมือสื่อสารแบบพกพา(Wireless communication through portable devices) ได้แก่ สมาร์ทโฟน และ แท็บเล็ต มีพัฒนาการอย่างรวดเร็วและได้รับความนิยมมากทำให้ผู้ใช้สามารถทำการสื่อสารไร้สายที่มีคุณสมบัติโดดเด่นไม่ว่าจะเป็นการใช้งานกล้องเพื่อสแกนรหัสคิวอาร์โค้ด และการแตะเอ็นเอฟซี ที่ทำให้ผู้ใช้สามารถส่งข้อมูลผ่านการเชื่อมต่อแบบไร้สายได้หลากหลายช่องทางเพื่อรองรับ สมาร์ทโฟนหรือ แท็บเลต ที่ไม่มีเทคโนโลยีบางอย่างภายในตัวเครื่องกล่าวคือ ในบางเครื่องอาจจะไม่มีเอ็นเอฟซี แต่มีกล้องก็จะสามารถใช้รหัวคิวอาร์ในการเชื่อมต่อเพื่อควบคุมหุ่นยนต์ได้สะดวกและรวดเร็วขึ้น แต่ถึงแม้ว่าสมาร์ทโฟน และแท็บเล็ตจะเก่ามากจนไม่มีกล้องหรือระบบเอ็นเอฟซีก็ตาม ก็ได้มีการพัฒนาแอพพลิเคชันให้สามารถป้านค่าไอพีเพื่อทำการควบคุมหุ่นยนต์ตัวนั้นๆได้เพียงแค่เชื่อต่อโครงข่ายได้เท่านั้น โดยสามารถยกตัวอย่างอุปกรณ์ที่ใช้ในการพัฒนาได้ดังรูปที่ 2.1

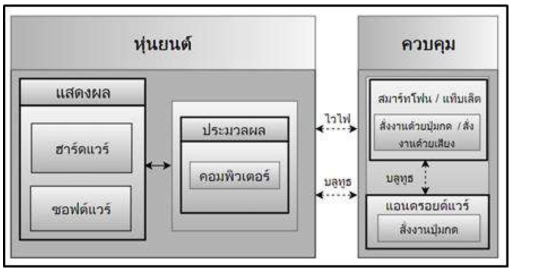
**รูปที่ 2.1** สมาร์ทโฟนและแท็บเล็ตที่ใช้ในการพัฒนา

ในส่วนของนาฬิกาแอนดรอยด์แวร์[5] ผู้พัฒนาแอพพลิเคชันควบคุมหุ่นยนต์ไดมอนด์ ได้นำเอานาฬิกาแอนดรอยด์แวร์เข้ามาพัฒนาแอพพลิเคชันควบคุมหุ่นยนต์ไดมอนด์ เพราะเล็งเห็นว่านาฬิกา แอนดรอยด์แวร์เป็นเทคโนโลยีที่มีการพัฒนาขึ้นมาใหม่โดยบริษัทกูเกิล จึงเป็นที่สนใจของผู้พัฒนาแอพพลิเคชันในเมืองไทย ทำให้ผู้พัฒนา แอพพลิเคชันควบคุมหุ่นยนต์ไดมอนด์ ศึกษาพัฒนา เพื่อให้เป็นกรณีศึกษาของผู้ที่สนใจในนาฬิกาแอนดรอยด์แวร์ เพราะด้วยคุณสมบัติของแอนดรอยด์แวร์ คือ เป็นการเสริมการทำงานกับสมาร์ทโฟนให้มีประสิทธิภาพและสะดวกสบายกับผู้ใช้งาน โดยผู้ใช้สามารถรับส่งข้อมูลผ่านนาฬิกาได้ทันที การใช้งานนาฬิกาแอนดรอยด์แวร์ควบคุมหุ่นยนต์ไดมอนด์นั้นจะใช้นาฬิกาของผู้ผลิต LG รุ่น G Watch Urbane นาฬิกา แอนดรอยด์แวร์จะมีลักษณะดังรูปที่ 2.2

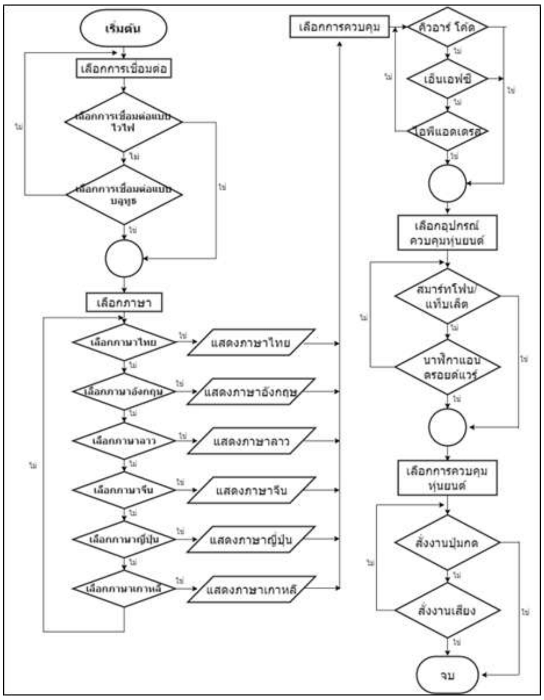
**รูปที่ 2.2** นาฬิกาแอนดรอยด์แวร์

## 3. การออกแบบแอพพลิเคชันควบคุมหุ่นยนต์

แอพพลิเคชันควบคุมหุ่นยนต์ไดมอนด์นั้น ได้ทำกาออกแบบให้มีการทำงานที่เข้าใจง่ายแก่ผู้ใช้งาน ซึ่งการทำงานของแอพพลิเคชันควบคุมหุ่นยนต์ไดมอนด์นั้น จะมีลักษณะการทำงานดังรูปแสดงภาพรวมการทำงานของ แอพพลิเคชันควบคุมหุ่นยนต์ไดมอนด์ได้ดังรูปที่ 3.1 และแสดงขั้นตอนการทำงานได้ดังแผนภูมิการทำงาน(Flow Chart) รูปที่ 3.2 กล่าวคือทางแอพพลิเคชั่นที่ได้มีการออกแบบนั้นจะมีการรองรับภาษาในการทำงาน 6 ภาษา และสามารถเลือกชนิดของการเชื่อมต่อได้ 3 รูปแบบ คือ รหัสคิวอาร์,เอ็นเอฟซี และ การป้อนรหัสไอพี




**รูปที่ 3.1** แผนภูมิการทำงานของแอพพลิเคชันควบคุมหุ่นยนต์ไดมอนด์



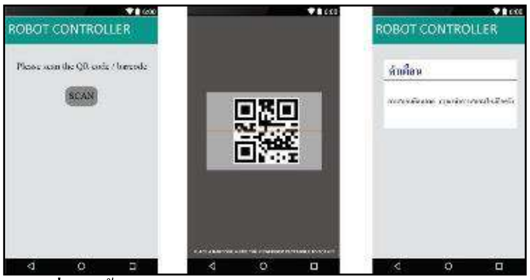

**รูปที่ 3.2** ภาพรวมการทำงานของแอพพลิเคชันควบคุมหุ่นยนต์ไดมอนด์

ในการออกแบบแอพพลิเคชันควบคุมหุ่นยนต์ไดมอนด์ได้มีการเชื่อมต่อแบ่งออกเป็น 2 แบบ ก็คือแบบไวไฟ และบลูทูธ เพื่อใช้เชื่อมต่อระหว่างแอพพลิเคชันกับหุ่นยนต์ไดมอนด์ ถ้าหากแอพพลิเคชันไม่มีการเชื่อมต่อก็จะมีการแจ้งเตือนขึ้นมาให้ทราบ เพื่อให้ทำการเชื่อมต่อก่อนเสมอ โดยจะมีลักษณะการเชื่อมต่อหุ่นยนต์ไดมอนด์แบบไวไฟ และการเชื่อมต่อหุ่นยนต์ไดมอนด์แบบบลูทูธดังรูปที่3.3

**รูปที่ 3.3** เชื่อมต่อหุ่นยนต์ไดมอนด์แบบไวไฟและแบบบลูทูธ

### 3.1 รหัสคิวอาร์

เป็นโค้ด 2 มิติ ที่สมาร์ทโฟนรุ่นใหม่ๆสามารถใช้กล้อง สแกนอ่าน และเก็บไว้เป็นข้อมูลตัวอักษรเราจึงสามารถนำคิวอาร์โค้ดมาประยุกต์ใช้ได้หลากหลายรูปแบบปัจจุบันรหัสคิวอาร์ถูกนำไปใช้ในหลายๆ ด้านเนื่องจากใช้งานง่าย ประโยชน์ของรหัสคิวอาร์ที่ได้นำมาพัฒนาในส่วนของแอพพลิเคชันนั้นเพื่อที่ทำให้ผู้ใช้งานมีความสะดวกรวดเร็วมากขึ้น ซึ่งโดยปกติแล้วข้อมูลที่ผู้พัฒนาใช้นั้นจะจดจำค่อนข้างยากเพราะต้องการพัฒนาแอพพลิเคชั่นเพื่อใช้ในการควบคุมหุ่นยนต์หลายตัว ทำให้ไม่สะดวกในการจดจำเลขไอพีในการเชื่อมตอหุ่นยนต์แต่ละตัว แต่เมื่อนำรหัสคิวอาร์มาช่วยในการเข้าใช้งานเพียงยกสมาร์ทโฟนขึ้นมาสแกนรหัสคิวอาร์แล้ว ถ้าพบรหัสคิวอาร์ถูกต้อง สมาร์ทโฟนจะส่งข้อมูลที่อยู่ในรหัสคิวอาร์นั้นไปยังหน้าที่กำหนดไว้โดยอัตโนมัติ รหัสคิวอาร์จึงเป็นช่องทางหนึ่งที่สะดวกและรวดเร็วไม่ยุ่งยากในกรณีที่ผู้ใช้มีหุ่นยนต์จำนวนมาก โดยวิธีการใช้คือนำรหัสคิวอาร์ที่ได้ทำการสร้างขึ้นไปติดไว้บนหุ่นยนต์แต่ละตัว และถ้าต้องการจะเข้าไปควบคุมหุ่นตัวใดก็ให้ทำการเปิดแอพพลิเคชั่นเลือกการเข้าถึงแบบรหัสคิวอาร์ โดยการทำงานของแอพพลิเคชันจะมีลักษณะการทำงานสแกนรหัสคิวอาร์โค้ดแบบผิดพลาดดังรูปที่3.4 ถ้าหากสแกนรหัสคิวอาร์โค้ดที่ไม่ตรงกับหุ่นยนต์ตัวนั้นๆก็จะไม่สามารถใช้งานได้ และการสแกนรหัสคิวอาร์โค้ดแบบถูกต้องดังรูปที่3.5

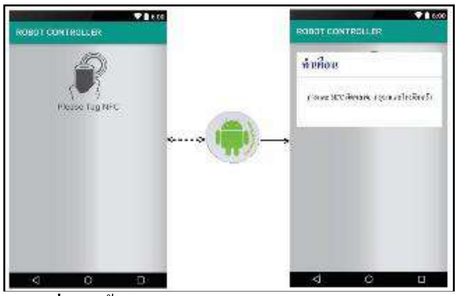



**รูปที่ 3.4** ขั้นตอนการสแกนรหัสคิวอาร์โค้ดแบบผิดพลาด

**รูปที่ 3.5** ขั้นตอนการสแกนรหัสคิวอาร์โค้ดแบบถูกต้อง

### 3.2 เอ็นเอฟซี

เทคโนโลยีเอ็นเอฟซีนอกจากจะมีไว้สำหรับแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างอุปกรณ์ที่รองรับแล้ว ยังพัฒนาให้สามารถอำนวยความสะดวกด้านอื่นๆด้วย เช่นการนำมาใช้งานเข้าควบคุมหุ่นยนต์ไดมอนด์ หลักการทำงานก็เพียงแค่นำสมาร์ทโฟนหรืออุปกรณ์พกพาที่รองรับมาแตะเข้าที่เครื่องอ่านเอ็นเอฟซี [4] ซึ่งลักษณะการทำงานจะคล้ายๆกับบลูทูธมากเพียงแต่ไม่ต้องทำการหาอุปกรณ์ทั้งสองก่อนการใช้งาน แต่แค่แตะกันก็เป็นอันเชื่อมต่อข้อมูลหากันเป็นที่เรียบร้อย จะมีลักษณะการทำงานแตะเอ็นเอฟซีแบบผิดพลาดดังรูปที่3.6 และการแตะเอ็นเอฟซีแบบถูกต้องดังรูปที่3.7 อีกทั้งนี้เอ็นเอฟซียังสามารถนำไปใช้งานอย่างอื่นอีกมากมายถ้านำมาต่อยอด ก็สามารถที่จะต่อยอดให้เอ็นเอฟซีนี้สามารถใช้งานเช่นเวลาออกจากโรงหนัง ก็เอามือถือแตะที่เครื่องเพื่อตอบแบบสอบถาม จะดูตัวอย่างหนังที่กำลังจะเข้าโรงก็ได้ หรือถ้าไปคอนเสิร์ต ก็หาตำแหน่งที่นั่งของคุณได้จากมือถือทันทีที่เดินผ่านประตูหรือ ถ้าขึ้นรถเมล์พอแตะสมาร์ทโฟนจ่ายค่าตั๋วรถเมล์ ก็จะเปิดแอพพลิเคชันให้คุณทราบตำแหน่งเส้นทางของรถ และสามารถเตือนเมื่อใกล้ถึงจุดหมายได้อีกด้วย




**รูปที่ 3.6** ขั้นตอนการแตะเอ็นเอฟซีแบบผิดพลาด

**รูปที่ 3.7** ขั้นตอนการแตะเอ็นเอฟซีแบบถูกต้อง

### 3.3 ไอพีแอดเดรส

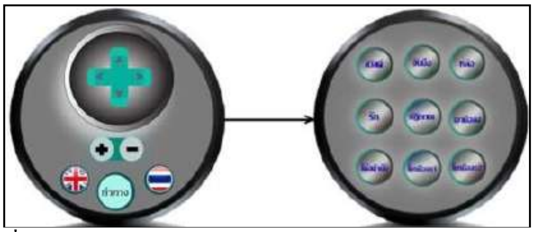
คือหมายเลขไอพีที่ต้องกำหนดประจำเครื่องให้กับเครื่องคอมพิวเตอร์ทุกเครื่อง โดยมีข้อแม้ว่าหมายเลข ไอพีแอดเดรส ที่จะกำหนดให้กับคอมพิวเตอร์ทุกเครื่อง หรืออุปกรณ์ต่างๆจะต้องไม่ซ้ำกัน แอพพลิเคชันควบคุมหุ่นยนต์ไดมอนด์ที่มีการกรอกหมายเลขไอพีแอดเดรสเนื่องจากถ้าอุปกรณ์ที่ใช้นั้นไม่รองรับทั้งเอ็นเอฟซีและไม่มีกล้องก็จะต้องทพการกรอกหมายเลขไอพีที่มีการกำหนดไว้ในหุ่นยนต์แต่ละตัว และเมื่อกรอก ถูกตัวต้องทำการกรอกรหัสผู้ใช้และรหัสผ่านอีกครั้งโดยถ้ารหัสผ่านการตรวจสอบก็จะเข้าสู่หน้าควบคุมหุ่นยนต์ซึ่งมีลักษณะดังรูปที่3.8

**รูปที่ 3.8** การทำงานควบคุมหุ่นยนต์และการสั่งงานด้วยเสียง

แอพพลิเคชันมีการออกแบบให้มีการรองรับการสั่งงานด้วยเสียงโดยมีการการนำไลบรารี่การรู้จำเสียง(Speech Recognition) มาใช้งาน การรู้จำเสียงนั้น คือ โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่นำคำพูดของผู้ใช้งานมาแปลงเป็นข้อความตัวอักษรเพื่อนำข้อความนั้นมาใช้งาน จะเป็นการใช้ไลบรารี่ของ Google Speech ซึ่งไลบรารี่ Google Speech ต้องการอุปกรณ์ที่มีระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์เวอร์ชั่น 4.1 ขึ้นไป จะทำการรับข้อมูลจากผู้ใช้งาน และส่งข้อมูลที่ไปยังคอมพิวเตอร์ที่ทำงานเป็นเซิฟเวอร์ หลังจากนั้นจะมีการประมวลผลและแสดงผลออกมาเป็นคำพูด หรือท่าทางต่างๆที่ได้ตั้งค่าในโปรแกรม ซึ่งมีการกำหนดคำสั่งเสียงที่สามารถสั่งงานได้ดังนี้ เดินหน้า, ถอยหลัง, เลี้ยวซ้าย, เลี้ยวขวา มีการกำหนดให้สามารถเพิ่มความเร็ว, ลดความเร็ว, และมีท่าทาง เช่น สวัสดี, จับมือ, โบกมือลา1, โบกมือลา2, หล่อ, รัก, โค้งคำนับ, ปฏิญาณ และเอามือลง นอกจากนี้ได้มีการพัฒนาให้แอพพลิเคชันมีการรองรับขนาดหน้าจอทุกขนาดดังรูปที่ 3.9 และสามารถเปลี่ยนหน้าตาหุ่นยนต์ที่หน้าจอส่วนศรีษะของหุ่นยนต์ให้เปลี่ยนลักษณะโครงสร้างเป็น ผู้ชาย,ผู้หญิง หรือตัวการ์ตูนที่ได้มีการออกแบบไว้เป็นต้น

**รูปที่ 3.9** หน้าต่างแอพลิเคชันควบคุมหุ่นยนต์ในขนาดหน้าจอต่างๆ

สมาร์ทโฟนยังสามารถใช้งานร่วมกับนาฬิกาแอนดรอยด์แวร์ได้อีกด้วย ในส่วนของการออกแบบแอพพลิเคชันควบคุมหุ่นยนต์บนนาฬิกาแอนดรอยด์แวร์ได้ออกแบบให้มีหน้าต่างควบคุมแยกออกมาเป็น 2 หน้าต่าง คือ หน้าควบคุมทิศทาง และหน้าควบคุมท่าทางของหุ่นยนต์ โดยจะมีลักษณะการออกแบบหน้าแอพพลิเคชันแอนดรอยแวร์ให้มีการควบคุมหุ่นยนต์ไดมอนด์ได้ 4 ทิศทาง ดังนี้ เดินหน้า, ถอยหลัง, เลี้ยวซ้าย, เลี้ยวขวา มีการกำหนดให้สามารถเพิ่มความเร็ว, ลดความเร็ว, การเปลี่ยนภาษาของหุ่นยนต์ไดมอนด์ที่รองรับภาษาไทย และภาษาอังกฤษ มีการออกแบบให้ควบคุมท่าทางของหุ่นยนต์ไดมอนด์โดยที่เมื่อกดปุ่มท่าทางแล้วจะเข้าสู่หน้าควบคุมท่าทาง เช่น สวัสดี, จับมือ, โบกมือลา1, โบกมือลา2, หล่อ, รัก, โค้งคำนับ, ปฏิญาณ และเอามือลง โดยจะมีหน้าต่างการออกแบบแอพพลิเคชันแอนดรอยด์แวร์ดังรูปที่3.10



**รูปที่ 3.10** หน้าต่างออกแบบแอพพลิเคชันควบคุมหุ่นยนต์บนนาฬิกา

## 6. สรุป

การพัฒนาแอพพลิเคชันควบคุมหุ่นยนต์ไดมอนด์นั้นเป็นการพัฒนาแอพพลิเคชันเพื่อสามารถควบคุมหุ่นยนต์ไดมอนด์ และหุ่นยนต์ตัวอื่นๆได้ง่ายขึ้นโดยมีการนำเทคนิคต่างๆ มาช่วยในเรื่องการเข้าใช้งานและมีความสะดวกขึ้นในการต้องการจะควบคุมหุ่นยนต์หลายๆตัว โดยใช้อุปกรณ์ควบคุมด้วยสมาร์ทโฟนเพียง 1 เครื่อง ซึ่งการใช้เทคนิคต่างๆไม่ว่าจะเป็นรหัสคิวอาร์,เอ็นเอฟซี เป็นการลดขั้นตอนการเข้าถึงซึ่งทำให้สามารถใช้งานง่ายกว่าการป้อนไอพีและรหัสผ่านโดยตรงและลดขั้นตอนการเข้าถึงหน้าตาแอพพลิเคชันในการควบคุมหุ่นยนต์และยังมีการเพิ่มช่องทางการเชื่อมต่อเพื่อให้หุ่นยนต์ที่มีการเชื่อมต่อแบบบลูทูธหรือไวไฟก็สามารถใช้แอพพลิเคชันที่ได้มีการพัฒนาขึ้นได้ทั้งคู่ นอกจากนี้ยังมีการเพิ่มลูกเล่นเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงภาษาทั้งหน้าแต่แอพพลิเคชั่นและเสียงที่ได้แสดงออกมาเพื่อตอบรับการเปิดประชาคมอาเซียน และการนำนาฬิกาแอนดรอยด์แวร์ มาเพิ่มลูกเล่นการทำงานให้สามารถควบคุมฟังก์ชั่นพื้นฐานได้ที่ข้อมูลโดยไม่ต้องหยิบโ?รศัพท์ขึ้นมาทำการควบคุม และยังสามารถสั่งงานด้วยเสียงได้เพื่อให้หุ่นยนต์มีการตอบโต้ได้ใกล้เคียงกับการปฏิสัมพันธ์กับมนุษย์

## <u>เอกสารอ้างอิง</u>

[1] พร้อมเลิศ หล่อวิจิตร. (2558). คู่มือเขียนแอพ Android : Android Studio. กรุงเทพ. โปรวิชัน

[2] ดร.จักรชัย โสอินทร์, พงษ์ศธร จันทร์ยอย และ ณัฐณิชา วีระมงคลเลิศ. (2555). Android Development. นนทบุรี. ไอดีซี

[3] ศุภชัย สมพานิช. (2557). Professional Android Programming. นนทบุรี.ไอดีซี

[4] ไพบูลย์ สวัสดิ์ปัญญาโชติ. (2556). รวมโค้ด Android App:ฉบับอัพเดตล่าสุด. NFC. กรุงเทพ. ทรู ดิจิตอล คอนเท้นท์ แอนด์ มีเดีย.

[5] ผศ.สุดา เธียรมนตรี. (2556). คู่มือเรียนเขียนโปรแกรมจาวา:ฉบับสมบูรณ์.จาวา.นนทบุรี.ไอดีซี

[6] Google Inc. (2015). Android [Online]. Available: https://developer.android.com/develop/index.html

[7] Google Inc. (2015). Android wear [Online]. Available: https://developer.android.com/training/building-wearables.html

[8] Google Inc. (2015). Android Studio [Online]. Available: https://developer.android.com/sdk/index.html

**บทความวิจัย**
การประชุมวิชาการ งานวิจัยและพัฒนาเชิงประยุกต์ ครั้งที่ 8
*8th ECTI-CARD 2016, Hua Hin, Thailand*

# แอนิเมชันกับโลกคณิตศาสตร์

# Animation to the World of Mathematics

**พรศิลป์ บัวงาม**[1]

[1]สาขาวิชาคอมพิวเตอร์ธุรกิจ คณะวิทยาการจัดการ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช
1 หมู่ 4 ตำบลท่างิ้ว อำเภอเมือง จังหวัดนครศรีธรรมราช 80280 โทรศัพท์ 091-8262827 E-mail: pornsin.b@gmail.com

## บทคัดย่อ

บทความนี้กล่าวถึง สื่อการเรียนการสอนรายวิชาคณิตศาสตร์เบื้องต้น ระดับชั้นประถมศึกษาปีที่ 1 โดยแอนิเมชันที่ครอบคลุมเนื้อหาของรายวิชาคณิตศาสตร์เบื้องต้น เรื่องการนับเลข 1-10 การบวกเลข การลบเลข การนับเลข 11-20 และการบวกและลบเลขที่มีตัวตั้งไม่เกิน 20 รวมไปจนถึงแบบทดสอบก่อนเรียนและหลังเรียน เพื่อวัดประสิทธิภาพของแอนิเมชันและประสิทธิผลของผู้เรียน ซึ่งงานวิจัยนี้พัฒนาด้วยโปรแกรม Adobe Captivate 6.0 พัฒนาในรูปของแอนิเมชันโดยเน้นสีสันสดใสเพื่อดึงดูดความสนใจจากนักเรียน โดยเก็บข้อมูลจากนักเรียนจำนวน 89 คน และครูผู้สอน จำนวน 6 คน ซึ่งมีระดับคะแนนการวิเคราะห์ ดังนี้ 1] สื่อแอนิเมชันทำให้นักเรียนมีคะแนนการทดสอบหลังการใช้สื่อแอนิเมชันเพิ่มขึ้นคิดเป็นร้อยละ 43.60 2] ผลความพึงพอใจจากครูผู้สอนส่วนใหญ่มีความพึงพอใจใกล้เคียงกันคืออยู่ในระดับดีมาก 3] ผลความพึงพอใจการใช้งานสื่อแอนิเมชันในการเรียนรู้เนื้อหาทางคณิตศาสตร์จากนักเรียนส่วนใหญ่มีความพึงพอใจใกล้เคียงกันคืออยู่ในระดับดีมาก

**คำสำคัญ:** สื่อการเรียนการสอน คณิตศาสตร์เบื้องต้น แอนิเมชัน

## Abstract

This article discusses learning basic mathematics for and applied animation for elementary 1 comprehensive basic mathematics such as counting No. 1-10, positive numbers, negative numbers, counting No. 11-20, addition and subtraction are set to 20. Use the method test by using pretest and posttest of performance. Development animations with adobe captivate 6.0. Respond information feedback from student 89 person and teacher 6 people. Analysis result 1] 43.60 percent posttest more than pretest 2] teacher are satisfaction levels is a very good 3] students are satisfaction levels is a very good.

**Keywords:** Teaching Materials, Animations, Mathematics

## 1. บทนำ

คณิตศาสตร์เป็นวิชาที่ช่วยพัฒนาการทางด้านการคิด ฝึกการใช้เหตุและผล เพื่อประกอบการตัดสินใจส่งผลให้เกิดกระบวนการคิดและปฏิบัติอย่างถูกต้องและแม่นยำ ซึ่งเป็นการเรียนรู้พื้นฐานในการคำนวณตัวเลขและเป็นพื้นฐานสำหรับการใช้คำนวณต่างๆ ในชีวิตประจำวัน ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะให้นักเรียนเรียนรู้ด้านการคำนวณ โดยมีเนื้อหาตรงตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 ซึ่งนักเรียนในระดับชั้นประถมศึกษาปีที่ 1 ส่วนใหญ่ยังไม่สามารถบวก ลบตัวเลขได้ เพราะมีปัจจัยหลายๆ อย่างที่ทำให้นักเรียนไม่เข้าใจบทเรียน ไม่สนใจในวิชาคณิตศาสตร์และเกิดความเบื่อหน่ายในการเรียน ส่งผลให้พัฒนาการของเด็กทางด้านการคำนวณช้ากว่าปกติ

ปัจจุบันคอมพิวเตอร์เข้ามามีบทบาทในการศึกษาเรียนรู้ อำนวยความสะดวกแก่นักเรียนและมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง รวมถึงหน่วยงาน องค์กร ล้วนแล้วแต่นำเทคโนโลยีเข้ามาช่วยในการทำงานแทบทั้งสิ้น ดังนั้นเพื่อกระตุ้นให้นักเรียนเกิดความสนใจในการเรียนมากขึ้น การนำแอนิเมชันมาใช้ในการเรียนการสอนนับว่ามีบทบาทสำคัญในการส่งเสริมพัฒนาการเรียนรู้ของนักเรียน ดังนั้นผู้วิจัยจึงเกิดแนวคิดที่จะพัฒนาสื่อการเรียนการสอนสำหรับวิชาคณิตศาสตร์เบื้องต้นขึ้น โดยใช้โปรแกรม Adobe Captivate 6.0 สำหรับพัฒนาและสร้างสื่อการเรียนการสอนในรูปแบบแอนิเมชัน โดยสื่อชุดนี้มีเนื้อหา ประกอบด้วย 1] แบบทดสอบก่อนเรียน 2] การนับเลข 1-10 3] การบวกเลข 4] การลบเลข 5] การนับเลข 11-20 6] การบวกและลบเลขที่มีตัวตั้งไม่เกิน 20 7] แบบทดสอบหลังเรียน

## 2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 ทฤษฎีพัฒนาการทางสติปัญญาของเพียเจต์

พัฒนาการทางด้านความคิดของเด็ก มีขั้นตอนหรือกระบวนการอย่างไร ทฤษฎีของเพียเจต์ (อ้อมเดือน สดมณี และฐาศุกร์ จันประเสริฐ, 17) ตั้งอยู่บนรากฐานของทั้งองค์ประกอบที่เป็นพันธุกรรมและสิ่งแวดล้อม การเรียนรู้ของเด็กเป็นไปตามพัฒนาการทางสติปัญญา ซึ่งจะมีพัฒนาการไปตามวัยต่าง ๆ เป็นลำดับขั้น

พัฒนาการทางสติปัญญาของบุคคลเป็นไปตามวัยต่าง ๆ เป็นลำดับขั้น ดังนี้

1. ขั้นประสาทรับรู้และการเคลื่อนไหว (Sensori-Motor Stage) เริ่มตั้งแต่แรกเกิดจนถึง 2 ปี พฤติกรรมของเด็กในวัยนี้ขึ้นอยู่กับการเคลื่อนไหวเป็นส่วนใหญ่
2. ขั้นก่อนปฏิบัติการคิด (Preoperational Stage) เริ่มตั้งแต่อายุ 2-7 ปี
3. ขั้นปฏิบัติการคิดด้านรูปธรรม (Concrete Operation Stage) เริ่มจากอายุ 7-11 ปี พัฒนาการทางด้านสติปัญญาและความคิดสามารถสร้างกฎเกณฑ์และตั้งเกณฑ์ในการแบ่งสิ่งแวดล้อมออกเป็นหมวดหมู่ได้
4. ขั้นปฏิบัติการคิดด้วยนามธรรม (Formal Operational Stage) เริ่มจากอายุ 11-15 ปี ในขั้นนี้พัฒนาการทางสติปัญญาและความคิดเป็นขั้นสุดยอด คือจะเริ่มคิดแบบผู้ใหญ่ ความคิดแบบเด็กจะสิ้นสุดลง เด็กจะสามารถที่จะคิดหาเหตุผลนอกเหนือไปจากข้อมูลที่มีอยู่

**2.2 ทฤษฎีโครงสร้างความรู้ (Schema Theory)**

ทฤษฎีสกีมา (สุนันทา มั่นเศรษฐวิทย์, 5)เป็นทฤษฎีที่มุ่งการเชื่อมโยงระหว่างความรู้เดิม กับความรู้ใหม่ที่ได้จากการเรียนในชั้น ความรู้เดิมหมายถึง ประสบการณ์ที่นักเรียนได้รับจากทางบ้าน ชุมชน รวมทั้งจากการเรียนในโรงเรียน ประสบการณ์ที่เก็บสะสมไว้ล้วนเป็นความรู้ทั้งสิ้น เพื่อนำไปใช้เป็นสื่อการอ่านจะเป็นความรู้ใหม่

**2.3 เนื้อหาวิชาคณิตศาสตร์เบื้องต้น**

เนื้อหาตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 วิชาคณิตศาสตร์เบื้องต้น ระดับประถมศึกษาปีที่ 1 (กระทรวงศึกษาธิการ, 2551)

1) หน่วยการเรียนรู้ที่ 1 การนับจำนวนตั้งแต่ 1-10
2) หน่วยการเรียนรู้ที่ 2 การบวกเลขจำนวนสองจำนวนที่มีผลไม่เกิน 9
3) หน่วยการเรียนรู้ที่ 3 การลบจำนวนสองจำนวนที่มีตัวตั้งไม่เกิน 9
4) หน่วยการเรียนรู้ที่ 4 การนับจำนวนตั้งแต่ 11-20
5) หน่วยการเรียนรู้ที่ 5 การบวกและการลบจำนวนที่มีผลลัพธ์และตัวตั้งไม่เกิน 20

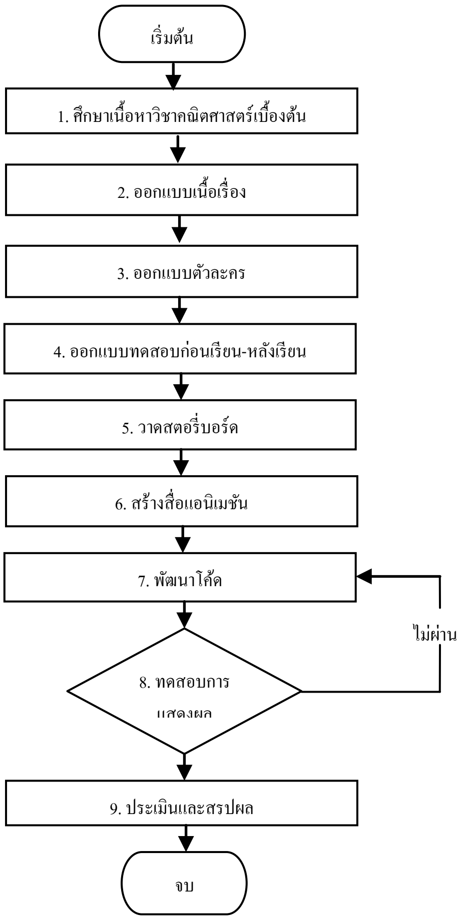
**2.4 โปรแกรม Adobe Captivate 6.0**

เป็นโปรแกรม (บัณฑิต พฤฒเศรณี, 2551) ซึ่งพัฒนาขึ้นเพื่อสนับสนุนการสร้าง Movie ในรูปแบบสื่อเรียนรู้หรือสื่อการนำเสนอแบบแอนิเมชัน เช่น การนำเสนอผลงานการจับหน้าจอเพื่อสร้างสื่อการเรียนรู้ การสร้างสื่อจากข้อมูลต่างๆ การสร้างแบบทดสอบ รวมไปถึงการตัดต่อวีดีโอเพื่อใช้สำหรับงานนำเสนอ

## 3. รายละเอียดการพัฒนาสื่อการเรียนรู้

**3.1 การออกแบบสื่อการเรียนรู้**

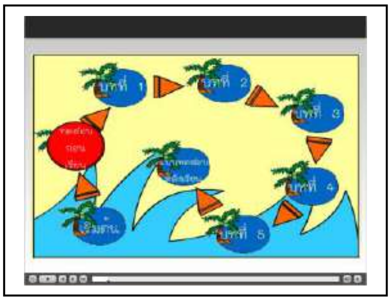
ขั้นตอนการพัฒนาแอนิเมชันเริ่มต้นจากการศึกษาเนื้อหารายวิชาคณิตศาสตร์เบื้องต้น สำหรับนักเรียนระดับชั้นประถมศึกษาปีที่ 1 และออกแบบเนื้อเรื่อง ออกแบบตัวละครเพื่อดึงดูด สร้างความน่าสนใจให้กับสื่อแอนิเมชันและครอบคลุมเนื้อหา เมื่อออกแบบเนื้อเรื่องและวาดสตอรี่บอร์ดเพื่อวางโครงร่างของแอนิเมชัน แล้วจึงพัฒนาออกเป็นแอนิเมชันและทดสอบผลการใช้งานของแอนิเมชัน ซึ่งมีขั้นตอนการพัฒนาแอนิเมชันดังแสดงในรูปที่ 1




**รูปที่ 1** กระบวนการไหลของแอนิเมชัน

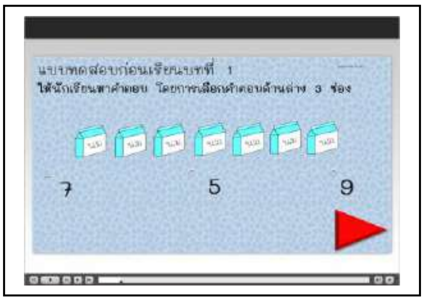
**3.2 ภาพรวมของระบบ**

แอนิเมชันประกอบด้วยเนื้อหา จำนวน 5 บทของรายวิชาคณิตศาสตร์เบื้องต้น เมื่อนักเรียนเปิดแอนิเมชันขึ้นมาจะมีเมนูหลัก ซึ่งเป็นการบังคับเรียนโดยให้ทำแบบทดสอบก่อนเรียนให้เสร็จก่อนจึงเข้าสู่บทที่ 1, 2, 3, 4 และ 5 ตามลำดับ เมื่อเรียนครบทั้ง 5 บท ดังแสดงในรูปที่ 2 – 4 จึงสามารถทำแบบทำแบบทดสอบหลังเรียนเพื่อวัดระดับความรู้อีกครั้ง แล้วทำการเปรียบเทียบผล



**รูปที่ 2** เมนูหลัก

3.2.1 แบบทดสอบก่อนเรียน มีจำนวน 10 ข้อ ทำก่อนเข้าสู่บทเรียน ดังรูปที่ 3

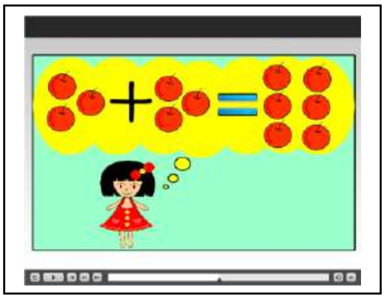



**รูปที่ 3** แบบทดสอบก่อนเรียน

3.2.2 หน่วยการเรียนรู้ที่ 1 การนับจำนวนตั้งแต่ 1-10

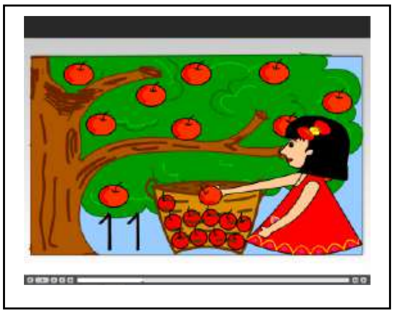
**รูปที่ 4** การนับจำนวนตัวเลข

3.2.3 นักเรียนสามารถบวกตัวเลข ลบตัวเลขไปพร้อมกับแอนิเมชัน โดยตัวละครจะนับเลขพร้อมกับพูดออกมาเป็นเสียงตามจำนวนที่นับ ดังรูปที่ 5 – 8



**รูปที่ 5** การบวกเลขมีจำนวนไม่เกิน 9

**รูปที่ 6** การลบเลขมีจำนวนไม่เกิน 9




**รูปที่ 7** การนับจำนวนตั้งแต่ 11-20

**รูปที่ 8** การบวกและการลบจำนวนที่มีผลลัพธ์และตัวตั้งไม่เกิน 20

**3.3 ข้อจำกัดของระบบ**

3.3.1 เครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการแสดงสื่อแอนิเมชันต้องติดตั้งโปรแกรม Adobe flash player

3.3.2 เนื้อหาสื่อแอนิเมชันยังไม่ครอบคลุมหน่วยการเรียนรู้ทั้งหมดในรายวิชาคณิตศาสตร์ระดับชั้นประถมศึกษาปีที่ 1

## 4. ผลการวิจัยและความพึงพอใจของผู้ใช้สื่อแอนิเมชัน

ผู้วิจัยได้นำสื่อแอนิเมชันสอนเกี่ยวกับ การนับจำนวนตั้งแต่ 1-10 การบวกเลขจำนวนสองจำนวนที่มีผลไม่เกิน 9 การลบจำนวนสองจำนวนที่มีตัวตั้งไม่เกิน 9 การนับจำนวนตั้งแต่ 11-20 และ การบวกและการลบจำนวนที่มีผลลัพธ์และตัวตั้งไม่เกิน 20 ให้นักเรียนระดับชั้นประถมศึกษาปีที่ 1 จำนวน 89 คน 6 โรงเรียน ครูผู้สอน จำนวน 6 คนได้ทดสอบการใช้งานโดยวัดจากการเปรียบเทียบระดับคะแนนแบบทดสอบก่อนเรียน-แบบทดสอบหลังเรียน ดังตารางที่ 1 วัดความพึงพอใจของครูผู้สอน ดังตารางที่ 2 และความพึงพอใจของนักเรียน ดังตารางที่ 3 โดยมี 5 ระดับ ดังนี้ มากที่สุด (5) มาก (4) ปานกลาง (3) น้อย (2) และน้อยที่สุด (1)

**ตารางที่ 1** สรุปคะแนนทดสอบก่อนเรียน – หลังเรียน

| ประเภทแบบทดสอบ | คะแนนเฉลี่ย |
|---|---|
| คะแนนทดสอบก่อนเรียน | 3.08 |
| คะแนนทดสอบหลังเรียน | 7.44 |
| **คะแนนเพิ่มขึ้น** | 4.36 |
| **คะแนนเพิ่มขึ้นคิดเป็นร้อยละ** | 43.60 |

**ตารางที่ 2** ผลการประเมินความพึงพอใจ (ครูผู้สอน)

| ประเภทความพึงพอใจ | ค่าเฉลี่ย | SD |
|---|---|---|
| ด้านเนื้อหาของสื่อ | 4.67 | 0.52 |
| ด้านประโยชน์ของสื่อ | 4.83 | 0.41 |
| ด้านสื่อการเรียนการสอน | 4.83 | 0.41 |
| ด้านพัฒนาการเรียนของผู้เรียน | 4.67 | 0.52 |
| ด้านเจตคติต่อสื่อ | 4.50 | 0.55 |
| **คะแนนเฉลี่ยรวม** | 4.70 | 0.48 |

**ตารางที่ 3** ผลการประเมินความพอใจการใช้งาน (นักเรียน)

| ประเภทความพึงพอใจ | ค่าเฉลี่ย | SD |
|---|---|---|
| ความสนุก | 4.66 | 0.52 |
| สีสัน | 4.89 | 0.32 |
| ตัวละคร | 4.69 | 0.49 |
| ฉาก | 4.74 | 0.44 |
| การใช้งาน | 4.67 | 0.49 |
| ภาพรวม | 4.82 | 0.39 |
| **คะแนนเฉลี่ยรวม** | **4.75** | **0.44** |

## 5. สรุป

การพัฒนาสื่อแอนิเมชันสอนเกี่ยวกับคณิตศาสตร์ระดับชั้นประถมศึกษาปีที่ 1 พบว่าสื่อแอนิเมชันทำให้นักเรียนมีคะแนนการทดสอบหลังการใช้สื่อแอนิเมชันเพิ่มขึ้นคิดเป็นร้อยละ 43.60 ส่วนผลความพึงพอใจจากครูผู้สอนมีค่าระหว่าง 0.41 ถึง 0.55 มีการแสดงการกระจายน้อยจึงสรุปได้ว่าครูผู้สอนส่วนใหญ่มีความพึงพอใจใกล้เคียงกันคืออยู่ในระดับดีมาก และผลความพึงพอใจการใช้งานสื่อแอนิเมชันในการเรียนรู้เนื้อหาทางคณิตศาสตร์จากนักเรียนมีค่าระหว่าง 0.32 ถึง 0.52 มีการกระจายน้อยจึงสรุปได้ว่านักเรียนส่วนใหญ่มีความพึงพอใจใกล้เคียงกันคืออยู่ในระดับดีมาก

## 6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณคุณครูและนักเรียนโรงเรียนในจังหวัดนครศรีธรรมราชที่ให้ความร่วมมือในการจัดทำงานวิจัยนี้

## 7. เอกสารอ้างอิง

กระทรวงศึกษาธิการ. (2551). *หลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551*. กรุงเทพฯ: กระทรวงศึกษาธิการ.

บัณฑิต พฤฒเศรณี. (2551). *คู่มือ Adobe Captivate 6.0*. กรุงเทพฯ: โปรวิชั่น.

สุนันทา มั่นเศรษฐวิทย์. (5). การพัฒนาทักษะการอ่านและการเขียนโดยใช้วิธีอ่านเขียนเรื่องของตนเอง. *วารสารศึกษาศาสตร์*, 3.

อ้อมเดือน สดมณี และฐาศุกร์ จันประเสริฐ. (17). การพัฒนาคุณธรรมจริยธรรม : จากแนวคิดสู่แนวทางการปฏิบัติ. *วารสารพฤติกรรมศาสตร์*, 22.

## 8. ประวัติผู้เขียนบทความ

นางสาวพรศิลป์ บัวงาม
สถานที่ทำงาน หลักสูตรบริหารธุรกิจบัณฑิต สาขาวิชาคอมพิวเตอร์ธุรกิจ คณะวิทยาการจัดการ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช
ตำแหน่ง อาจารย์
งานวิจัยที่สนใจ แอนิเมชัน GIS และ Data Mining

**บทความวิจัย**

การประชุมวิชาการ งานวิจัยและพัฒนาเชิงประยุกต์ ครั้งที่ 8

*8th ECTI-CARD 2016, Hua Hin, Thailand*

# การพัฒนาสื่อการ์ตูนแอนิเมชั่น วิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1

# A Development of Animation Cartoon Media on Information Techology For Mathayomsuksa 1 Students.

**ศิริพันธ์ เทพมาก**[1]

[1]สาขาวิชาคอมพิวเตอร์ธุรกิจ คณะวิทยาการจัดการ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช

1 หมู่ 4 ตำบล ท่างิ้ว อำเภอเมือง จังหวัด นครศรีธรรมราช 80280 E-mail: duan791@gmail.com

## บทคัดย่อ

งานวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาสื่อการ์ตูนแอนิเมชั่น วิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 โดยมีเนื้อหา 4 เรื่อง คือ 1) คอมพิวเตอร์ในชีวิตประจำวัน 2) การทำงานของเครื่องคอมพิวเตอร์ 3) การจัดการสารสนเทศ 4) เทคโนโลยีสารสนเทศ โดยนำเสนอผ่านการ์ตูนแอนิเมชั่น ผลการทดสอบจากผู้เรียน จำนวน 23 คน พบว่าผู้เรียนมีความพึงพอใจต่อสื่อการ์ตูนแอนิเมชั่น วิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ ภาพรวมอยู่ในระดับดีมาก มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.52

คำสำคัญ: การ์ตูน, แอนิเมชั่น

## Abstract

The purposes of this research were to develop cartoon animation on information technology for Mathayomsuksa 1 including computer on daily basic, computer processing, information management, information technology presented by cartoon animation. The test result from 23 students found that the students' satisfaction toward the cartoon animation on information technology was at the highest level ($\bar{x} = 4.52$ )

Keywords: Cartoon, Animation

## 1. บทนำ

เนื่องจากการเรียนการสอนในชั้นเรียนปกติเพียงอย่างเดียวอาจทำให้ผู้เรียนขาดความสนใจและขาดความคิดสร้างสรรค์ จึงมีการใช้สื่อในการเสริมสร้างประสบการณ์ที่ได้รับ นอกเหนือจากในชั้ นเรียน เพื่อช่วยเพิ่มทักษะทางด้านต่างๆ และดึงดูดความสนใจได้มากยิ่งขึ้น โดยเฉพาะสื่อการ์ตูนแอนิเมชั่น (Cartoon Animation) การ์ตูนถือเป็นสื่อประเภทหนึ่งที่ได้รับความนิยมจากผู้รับสารทุกเพศทุกวัยโดยเฉพาะจากผู้รับสารที่เป็นเด็กและเยาวชน ไม่ว่าจะเป็นการ์ตูนแอนิเมชั่น (Cartoon Animation) ที่ฉายทางโทรทัศน์หรือหนังสือการ์ตูน ด้วยเหตุผลที่มีเนื้อหาสนุกสนาน คลายเครียด เข้าใจง่าย รวมถึงมี ภาพประกอบที่สวยงาม [1]

ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการพัฒนาสื่อการ์ตูนแอนิเมชั่น เพื่อให้นักเรียนเข้าใจ เห็นภาพชัดเจน และเป็นการสนับสนุนการเรียนการสอนให้มีประสิทธิภาพและประสิทธิผลมากยิ่งขึ้น

## 2. ที่มาและแรงจูงใจของปัญหา

วิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาชั้นปีที่ 1 โรงเรียนชะอวดวิทยาคาร จังหวัดนครศรีธรรมราช ซึ่งทางโรงเรียนเปิดให้เป็นวิชาเลือกเสรี เพื่อให้นักเรียนที่มีความสนใจทางด้านเทคโนโลยีสารสนเทศ เข้ามาเรียน ซึ่งเนื้อหาในรายวิชานี้ค่อนข้างเยอะและยากในการจดจำสำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 และด้วยทางโรงเรียนที่ยังมีการเรียนการสอนแบบเดิม คือใช้หนังสือ และกระดานเป็นสื่อกลางในการเรียนการสอน ทำให้การเรียนการสอนนั้นยังไม่มีความน่าสนใจ ส่งผลให้เด็กเกิดอาการง่วงนอน และไม่กระตือรือร้นในการเรียน ทำให้ผู้วิจัยมีแนวคิดในการพัฒนาสื่อการ์ตูนแอนิเมชั่น วิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 ซึ่งการ์ตูนที่สร้างขึ้นมาจะมีเนื้อหา 4 เรื่อง คือ 1) คอมพิวเตอร์ในชีวิตประจำวัน 2) การทำงานของเครื่องคอมพิวเตอร์ 3) การจัดการสารสนเทศ 4) เทคโนโลยีสารสนเทศ ซึ่งเนื้อหาในแต่ละเรื่องจะมีเรื่องราวที่แตกต่างกันออกไปเพื่อดึงดูดให้นักเรียนสนใจในการเรียนการสอนให้มากขึ้น ซึ่งส่งผลให้นักเรียนมีโอกาสเรียนรู้ได้อย่างหลากหลายรูปแบบและเรียนรู้ได้ด้วยตนเอง เข้าใจเนื้อหาที่เรียนได้ดียิ่งขึ้น

## 3. งานและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

**แอนิเมชั่น (Animation)** หมายถึง "การสร้างภาพเคลื่อนไหว" ด้วยการนำภาพนิ่งมาเรียงลำดับกัน และแสดงผลอย่างต่อเนื่อง ทำให้ดวงตาเห็นภาพที่มีการเคลื่อนไหวในลักษณะภาพติดตา (Persistence of Vision) เมื่อตามนุษย์มองเห็นภาพที่ฉาย อย่างต่อเนื่อง เรตินาระรักษาภาพนี้ไว้ในระยะสั้นๆ ประมาณ 1/3 วินาที หากมีภาพอื่นแทรกเข้ามาในระยะเวลาดังกล่าว สมองของมนุษย์จะเชื่อมโยงภาพทั้งสองเข้าด้วยกันทำให้เห็นเป็นภาพเคลื่อนไหวที่มีความต่อเนื่องกัน แม้ว่า

แอนิเมชั่นจะใช้หลักการเดียว กับวิดิโอ แต่แอนิเมชั่นสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับงานต่างๆได้มากมาย เช่นงานภาพยนตร์ งานโทรทัศน์ งานพัฒนาเกมส์ งานสถาปัตย์ งานก่อสร้าง งานด้านวิทยาศาสตร์ หรืองานพัฒนาเว็บไซต์ เป็นต้น [2]

**ชนิดของแอนิเมชั่น** [3]

1. Drawn Animation คือแอนิเมชั่นที่เกิดจากการวาดภาพหลายๆ พันภาพ แต่การฉายภาพเหล่านั้นผ่านกล้องอาจใช้เวลาไม่กี่นาที ข้อดีของการทำแอนิเมชั่นชนิดนี้คือ มีความเป็นศิลปะ สวยงาม น่าดูชม แต่ข้อเสีย คือ ต้องใช้เวลาในการผลิตมาก ต้องใช้แอนิเมเตอร์จำนวนมากและต้นทุนก็สูงตามไปด้วย

2. Stop Motion หรือเรียกว่า Model Animation เป็นการถ่ายภาพแต่ละขณะของหุ่นจำลองที่ค่อยๆขยับ อาจจะเป็นของเล่น หรืออาจจะสร้างตัวละครจาก Plasticine วัสดุที่คล้ายกับดินน้ำมันโดยโมเดลที่สร้างขึ้นมาสามารถใช้ได้อีกหลายครั้งและยังสามารถผลิตได้หลายตัว ทำให้สามารถถ่ายทำได้หลายฉากในเวลาเดียวกัน แต่การทำ Stop Motmotion นั้นต้องอาศัยเวลาและความทุ่มเทมาก เช่น การผลิตภาพยนตร์เรื่อง James and the Giant Peach สามารถผลิตได้ 10 วินาทีต่อวันเท่านั้น วิธีนี้เป็นงานที่ต้องอาศัยความอดทนมาก

3. Computer Animation ปัจจุบันมีซอฟท์ที่สามารถช่วยให้การทำแอนิเมชั่นง่ายขึ้น เช่น โปรแกรม Maya, Macromedia และ 3D Studio Max เป็นต้น วิธีนี้เป็นวิธีที่ประหยัดเวลาการผลิตและประหยัดต้นทุนเป็นอย่างมาก เช่น ภาพยนตร์เรื่องToy Story ใช้แอนิเมเตอร์เพียง 110 คน เท่านั้น

## 4. รายละเอียดการพัฒนา

### 4.1 ขั้นตอนการดำเนินการ

1. ศึกษาเนื้อหาบทเรียนวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1
2. ปรึกษาผู้เชี่ยวชาญ
3. ออกแบบการ์ตูนแอนิเมชั่น และเขียนแบบร่าง (Story Board)
4. สร้างแบบร่าง ของการ์ตูนแอนิเมชั่น ซึ่งได้มีการจัดลำดับเนื้อหามีทั้งหมด 4 เรื่อง คือ 1) คอมพิวเตอร์ในชีวิตประจำวัน 2) การทำงานของเครื่องคอมพิวเตอร์ 3) การจัดการสารสนเทศ 4) เทคโนโลยีสารสนเทศ
5. นำการ์ตูนแอนิเมชั่นที่เขียนเป็นแบบร่าง นำเสนอต่อผู้เชี่ยวชาญเพื่อพิจารณาความเหมาะสมในการนำเสนอ และนำแบบร่างไปแก้ไขตามคำแนะนำ
6. พัฒนาการ์ตูนแอนิเมชั่นโดยใช้โปรแกรม Adobe Flash [4]
7. ทดสอบการใช้งานกับกลุ่มเป้าหมายเพื่อปรับปรุงให้มีความสมบูรณ์มากขึ้น
8. ประเมินและสรุปผล

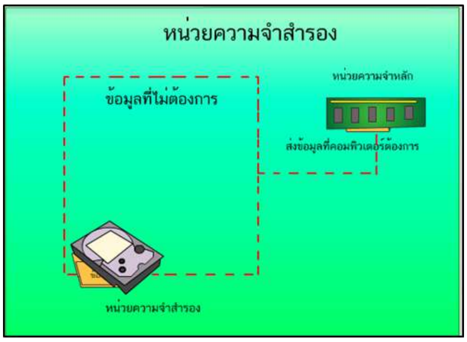
### 4.2 ภาพรวมของระบบ

การ์ตูนแอนิเมชั่นประกอบไปด้วย 2 ส่วนด้วยกันคือ

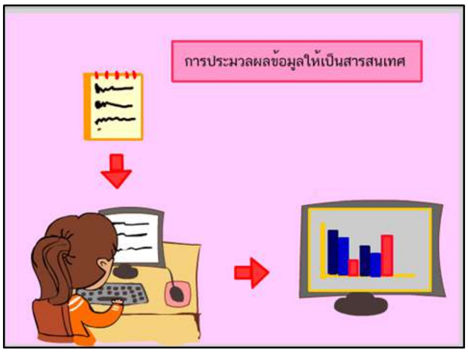
4.2.1 เนื้อหา ทั้งหมด 4 เรื่องคือ 1) คอมพิวเตอร์ในชีวิตประจำวัน 2) การทำงานของเครื่องคอมพิวเตอร์ 3)การจัดการสารสนเทศ 4) เทคโนโลยีสารสนเทศ ซึ่งแต่ละเรื่องจะมีวิธีการเล่าเรื่องราวที่แตกต่างกันออกไปเพื่อกระตุ้นให้ผู้เรียนเกิดความสนใจดังรูปที่ 1-5

4.2.2 เกมส์จับคู่ เพื่อให้ผู้เรียนมีความผ่อนคลายในการเรียน ผู้จัดทำจึงได้พัฒนาเกมส์ขึ้นมา ซึ่งเป็นเกมส์จับคู่ โดยให้ผู้เรียนคลิกเปิดภาพเพื่อทำการจับคู่ให้ถูกต้อง ดังรูปที่ 6

**รูปที่ 1** เนื้อเรื่องบทคอมพิวเตอร์ในชีวิตประจำวัน

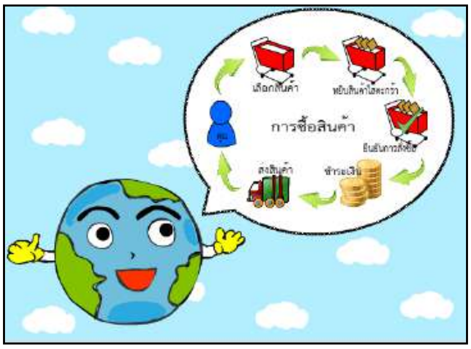



**รูปที่ 2** เนื้อเรื่องบทการทำงานของคอมพิวเตอร์

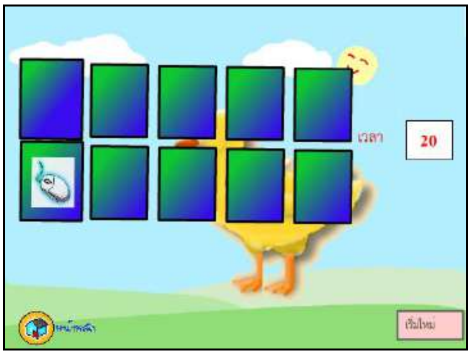



**รูปที่ 3** เนื้อเรื่องบทการจัดการสารสนเทศ

**รูปที่ 4** เนื้อเรื่องบทเทคโนโลยีสารสนเทศ




**รูปที่ 5** เนื้อเรื่องบทเทคโนโลยีสารสนเทศ




**รูปที่ 6** เกมส์จับคู่

## 5. การทดสอบการใช้งาน

สื่อการ์ตูนแอนิเมชั่นวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ ได้ถูกทดสอบการใช้งานโดยนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 โรงเรียนชะอวดวิทยาคาร จ. นครศรีธรรมราช ในรายวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ ซึ่งเป็นวิชาเลือกเสรี จำนวน 23 คน หลังจากนั้นให้นักเรียนทำแบบประเมินผ่านแบบสอบถาม

### 5.1 ผลการประเมินความพึงพอใจต่อการใช้งาน

เป็นการประเมินความพึงพอใจของนักเรียนที่มีต่อการเรียนโดยใช้บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน โดยมีระดับคะแนนดังต่อไปนี้ มากที่สุด (5), มาก (4), ปานกลาง (3), น้อย (2), และน้อยที่สุด (1) ตามหลัก Likert Scaling [5]

**ตารางที่ 1 ผลการประเมินความพึงพอด้านการ์ตูนแอนมิชั่น**

| **รายการประเมิน** | $\bar{x}$ | **S.D.** |
|---|---|---|
| 1. การออกแบบตัวละคร | 4.61 | 0.52 |
| 2. การออกแบบฉาก | 4.57 | 0.60 |
| 3. ขนาดของภาพและสีที่ใช้ | 4.52 | 0.53 |
| 4. การใช้ภาพเคลื่อนไหวและเสียงภาคก์ประกอบ | 4.34 | 0.48 |
| 5. ความเหมาะสมของเวลาที่ใช้ในการนำเสนอ | 4.40 | 0.49 |
| 6. การนำการ์ตูนไปใช้ในชีวิตประจำวัน | 4.72 | 0.72 |
| 7. การนำเสนอ ดึงดูดความสนใจ | 4.32 | 0.47 |
| 8. นักเรียนรู้สึกสนุกกับการเรียน | 4.65 | 0.59 |
| **รวมเฉลี่ย** | **4.52** | **0.55** |

## 6. บทสรุป

การ์ตูนแอนิเมชั่นวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 มีเนื้อเรื่องทั้งหมด 4 เรื่อง คือ 1) คอมพิวเตอร์ในชีวิตประจำวัน 2) การทำงานของเครื่องคอมพิวเตอร์ 3) การจัดการสารสนเทศ 4) เทคโนโลยีสารสนเทศ เนื้อหานำเสนอด้วยการ์ตูนแอนิเมชั่น กลุ่มเป้าหมายคือ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 โรงเรียนชะอวดวิทยาคาร จังหวัดนครศรีธรรมราช โดยผลการทดสอบพบว่า ค่าเฉลี่ยความถึงพอใจอยู่ในระดับดีมาก โดยนักเรียนมีความพึงพอใจในเรื่องการการนำการ์ตูนไปใช้ในชีวิตประจำวันมากที่สุด

### 6.1 แนวทางการพัฒนาต่อ

การวิจัยครั้งนี้มุ่งเน้นเพื่อพัฒนาเป็นสื่อการ์ตูนแอนิเมชั่น และศึกษาความพึงพอใจของผู้เรียนต่อสื่อการ์ตูนแอนิเมชั่น วิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ ซึ่งในการพัฒนาในครั้งนี้ ยังไม่มีการทำแบบทดสอบก่อนเรียน – หลังเรียน ดังนั้น งานวิจัยครั้งต่อไป ผู้วิจัยจะพัฒนาเพิ่มเติมในส่วนของแบบทดสอบก่อนเรียน – หลังเรียน จากนั้นทำการเปรียบเทียบหาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน และหาประสิทธิภาพของบทเรียน รวมถึงการพัฒนาบทเรียนให้สามารถดูผ่านสมาร์ทโฟนได้

## เอกสารอ้างอิง

[1] บุศรินทร์ เอี่ยมธนากุล. “**การพัฒนาสื่อการเรียนประเภทภาพยนตร์การ์ตูน 2 มิติ เรื่องธรรมะ DESIGN ตอนไม้เท้ายอดกตัญญู**”. มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา, 2554.

[2] ทวีศักดิ์ กาจนสุวรรณ. **เทคโนโลยีมัลติมีเดีย (Multimedia technology).** กรุงเทพฯ: เคทีพี คอมพ์ แอนด์ คอนซัลท์ม, 2552.

[3] ชนิดของแอนิเมชั่น. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://www.kanlayanee.ac.th/animation/web/animation.htm . สืบค้น 4 มีนาคม พ.ศ. 2559

[4] Kirkpatrick, Glenn and Peaty, Kevin. 2002. **Flash cartoon animation: Learn from the pros**. Birmingham, UK: Friends of ED.

[5] Rob Johns. LIKERT ITEMS AND SCALS. [Online]. Available: http://surveynet.ac.uk/sqb/datacollection/likertfactsheet.pdf.

[6] เพชรไพรินทร์ ศรีละบุตร. “การสร้างเกมคอมพิวเตอร์เพื่อการเรียนการสอน เรื่อง ส่วนประกอบของคอมพิวเตอร์ สาหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 โรงเรียนอุบลรัตนราชกัญญาราชวิทยาลัย”. **วารสารวิจัยออนไลน์นวัตกรรมการศึกษา** ปีที่ 1, ฉบับที่ 2 (พฤษภาคม – ตุลาคม 2556). หน้า 36-43

[7] ศิริกัลยา อุดมรัตน์. “การพัฒนาบทเรียนคอมพิวเตอร์มัลติมีเดีย เรื่อง อุปกรณ์เทคโนโลยีสารสนเทศ และการทางานของคอมพิวเตอร์ สาหรับนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 4”. **วารสารวิจัยออนไลน์นวัตกรรมการศึกษา** ปีที่ 1, ฉบับที่ 2 (พฤษภาคม – ตุลาคม 2556). หน้า 60-69

ศิริพันธ์ เทพมาก สำเร็จการศึกษาจากหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลสารสนเทศ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ปัจจุบันดำรงตำแหน่งอาจารย์ประจำหลักสูตรบริหารธุรกิจบัณฑิต สาขาวิชาคอมพิวเตอร์ธุรกิจ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช งานวิจัยที่สนใจ ดาต้าไมนิ่ง ระบบสนับสนุนการตัดสินใจ

**บทความวิจัย**

การประชุมวิชาการ งานวิจัยและพัฒนาเชิงประยุกต์ ครั้งที่ 8

*8th ECTI-CARD 2016, Hua Hin, Thailand*

# การออกแบบและพัฒนามือหุ่นยนต์โดยใช้ระบบควบคุมผ่านเซนเซอร์วัดความโค้ง

# Designing and Developing Robot Hand via Flex Sensor Controller System

**จักรกฤษ อ่อนชื่นจิตร[1] วิเชียร อูปแก้ว[2] และ จักรี ศรีนนท์ฉัตร[*3]**

[1,2,3]ห้องปฏิบัติการและวิจัยทางด้านการประมวลผลสัญญาณ

ภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

39 หมู่ 1 ถนนรังสิต-นครนายก ตำบลคลองหก อำเภอธัญบุรี ปทุมธานี 12110 โทรศัพท์ 02-549-4600 E-mail: jakkree_s@rmutt.ac.th

## บทคัดย่อ

ในปัจจุบันงานวิจัยทางด้านการออกแบบมือหุ่นยนต์สำหรับเทคโนโลยีทางการแพทย์และอุตสาหกรรมปิโตรเคมีเป็นที่น่าสนใจสำหรับการนำมาใช้งานแทนที่มนุษย์ บทความนี้นำเสนอการออกแบบและพัฒนามือหุ่นยนต์โดยใช้ระบบควบคุมผ่านเซนเซอร์วัดความโค้ง ในการทดสอบได้ออกแบบมือหุ่นยนต์ และถุงมือควบคุม servo motor ผ่านเซนเซอร์วัดความโค้ง จากผลการทดสอบพบว่าการควบคุมมือหุ่นยนต์สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพและสามารถหยิบจับวัตถุที่มีขนาดและน้ำหนักที่ต่างกันได้ ดังนั้นการออกแบบมือหุ่นยนต์ข้างต้นสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับเทคโนโลยีทางการแพทย์และอุตสาหกรรมปิโตรเคมีต่อไป

คำสำคัญ: มือหุ่นยนต์, ระบบควบคุม, แฟลกเซนเซอร์

## Abstract

Research of robot hand for surgery technology and petrochemical industrial is recently interested to replace the human work. This article presents a designing and developing robot hand using the controller via flex sensors. The robot hand and glove controller are designed and tested to control servo motor via flex sensor. The experiment results show that the robot hand provides the good efficiency and can pick up the many objects in different weight and size. Therefore the designing of robot hand can apply to the surgery technology and petrochemical industrial.

Keywords: robot hand, control system, flex sensor

## 1. บทนำ

ในยุคปัจจุบันได้มีการพัฒนาเทคโนโลยีทางด้านหุ่นยนต์ขึ้นอย่างหลากหลายเพื่อใช้ในงานด้านต่างๆ โดยเฉพาะเทคโนโลยีทางการแพทย์และอุตสาหกรรมปิโตรเคมี ทั้งนี้อุตสาหกรรมดังกล่าวมุ่งเน้นที่จะพัฒนาแขนกลหรือมือหุ่นยนต์เพื่อใช้ทดแทนมนุษย์ ในการออกแบบมือหุ่นยนต์สำหรับเทคโนโลยีทางการแพทย์และอุตสาหกรรมปิโตรเคมีนั้นได้มีการพัฒนาโดยงานวิจัยของ [1] ได้นำเสนอการออกแบบและพัฒนามือหุ่นยนต์โดยอาศัยการควบคุมแบบมีสายและได้ออกแบบให้มือหุ่นยนต์มีลักษณะคล้ายมือของมนุษย์แต่เนื่องจากการทำงานของระบบมีความยุ่งยากในการประมวลผลและมีข้อจำกัดในการส่งข้อมูลระยะไกลมันจึงไม่สะดวกในการประยุกต์ใช้กับงานเสี่ยงภัยหรือการหยิบสารเคมีต่างๆ ในงานวิจัยของ [2] ได้นำเสนอการออกแบบมือหุ่นยนต์ให้ติดกับมือของมนุษย์เพื่อช่วยในเรื่องของกายภาพบำบัด งานวิจัยนี้มีข้อดีคือมือหุ่นยนต์ถูกออกแบบให้มีความสามารถใกล้เคียงกับโครงสร้างของมือมนุษย์มากแต่มีข้อจำกัดของการเคลื่อนไหวที่จะต้องอาศัยแรงจากมือมนุษย์ช่วย ในงานวิจัยของ [3] ได้นำเสนอมือหุ่นยนต์ที่ใช้เทคนิค multi-manipulation สำหรับทางการแพทย์ซึ่งมือหุ่นยนต์ดังกล่าวสามารถทำงานได้ดีกับการหยิบจับที่มีน้ำหนักเบา ทั้งนี้ระบบยังคงติดอยู่กับระบบการ wire สาย ซึ่งจะยุ่งยากในการเคลื่อนย้าย ในงานวิจัยของ [4] ได้นำเสนอมือหุ่นยนต์ที่สามารถบังคับผ่านกล้องโดยใช้เทคนิค multiple joint reference ซึ่งผลการวิจัยพบว่าสามารถทำงานได้ดีแต่มีข้อจำกัดที่ต้องอาศัย computer ทั้งสองฝ่ายคือฝ่ายส่งข้อมูลและรับข้อมูล จากงานวิจัยข้างต้นนี้ผู้วิจัยได้เล็งเห็นทั้งข้อดี ข้อเด่นและข้อจำกัดที่สามารถนำมาปรับปรุง วิจัยและพัฒนาขึ้นโดยผู้วิจัยจะออกแบบมือหุ่นยนต์ให้สามารถหยิบของที่มีน้ำหนักมากได้และควบคุมผ่านระบบไร้สายโดยใช้ระบบสมองกลฝังตัว ไม่ต้องใช้คอมพิวเตอร์ซึ่งจะเป็นการประหยัดทรัพยากร และสามารถต่อยอดเป็นนวัตกรรมได้โดยงาน อีกทั้งมือหุ่นยนต์นี้จะติดกล้องเพื่อสามารถมองเห็นการทำงานจากระยะไกลได้ ในส่วนของการควบคุมมือหุ่นยนต์นั้นผู้วิจัยจะออกแบบถุงมือเสมือนจริงเพื่อใช้ในการบังคับหุ่นยนต์ โดยถุงมือเสมือนจริงได้ได้มีงานวิจัยที่เกิดขึ้นบ้างแล้วแต่ไม่มากนัก เช่น ในงานวิจัย [5] ได้นำเสนอถุงมือเสมือนจริงควบคุมมือหุ่นยนต์โดยใช้เทคนิค Dual Petri Net ซึ่งจากผลการวิจัยพบว่าสามารถทำงานได้ดีแต่ผลการตอบสนองต่อการสั่งการ

ค่อนข้างช้า เนื่องจากระบบต้องรอการประมวลผล ในงานวิจัย [6] ได้นำเสนอการควบคุมมือหุ่นยนต์โดยใช้เทคนิค Supervisory Control ซึ่งผลการวิจัยพบว่าการทำงานสามารถทำได้ต้องใช้การลงทุนทางด้านทรัพยากรที่สูง รวมถึงระบบยังคงตอบสนองต่อการสั่งการที่ช้าเนื่องจากผู้วิจัยยังคงใช้คอมพิวเตอร์เข้ามาช่วยสั่งการ ดังนั้นบทความนี้ได้ศึกษาและพัฒนาการออกแบบมือหุ่นยนต์โดยใช้ระบบควบคุมผ่าน เซนเซอร์วัดความโค้ง ซึ่งมีผลการตอบสนองต่อคำสั่ง การเคลื่อนไหวและการโค้งงอของนิ้วได้ดีกว่า

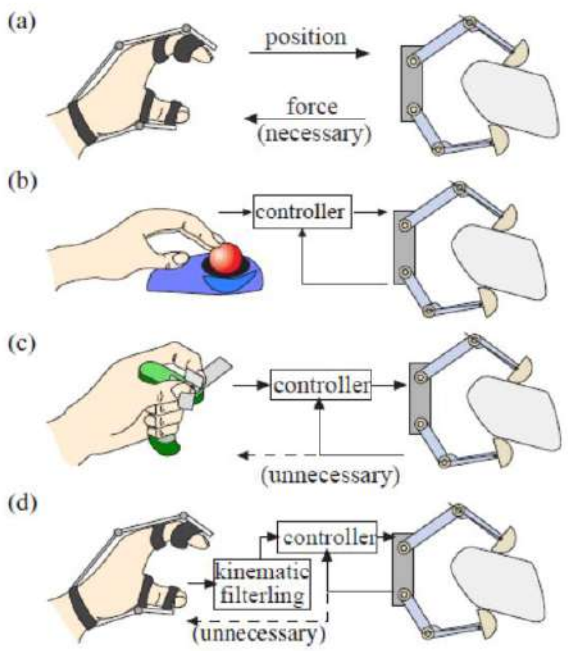
## 2. ทฤษฎี

### 2.1 เซนเซอร์วัดความโค้ง

เซนเซอร์วัดความโค้งเป็นเซนเซอร์ที่มีการเปลี่ยนแปลงทางด้านความต้านทานโดยขึ้นอยู่กับปริมาณของการโค้งงอบนเซนเซอร์ ยิ่งโค้ง ค่าความต้านทานยิ่งมาก ทั้งนี้ เซนเซอร์วัดความโค้งจะมีโลหะแผ่นบางอยู่ด้านหน้าโดยมีความยาวที่แตกต่างกันทั้งนี้ขึ้นอยู่กับค่าความต้านทาน ในงานวิจัยนี้จะใช้ เซนเซอร์วัดความโค้งในการวัดความโค้งงอของนิ้วมือ โดยจะใช้งานควบคุมร่วมกับถุงมือ

### 2.2 หลักการของการใช้มือหุ่นยนต์

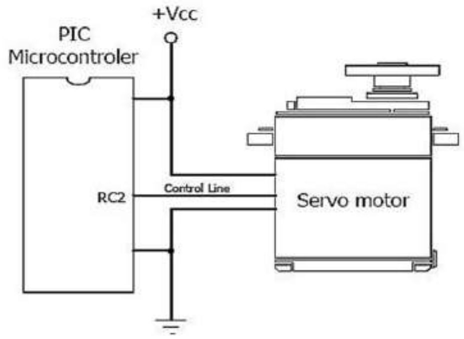
จากรูปที่ 1 แสดงถึงหลักการใช้มือหุ่นยนต์ในสภาวะการใช้งานที่แตกต่างกันรวมถึงการออกแบบระบบควบคุมที่แตกต่างกันด้วย ซึ่งสามารถสังเกตเห็นได้ว่าตัวแปรต่างๆมีผลต่อการออกแบบมือหุ่นยนต์และระบบควบคุมหุ่นยนต์โดยตรง ดังนั้นโครงการวิจัยนี้มุ่งเน้นในการศึกษา ออกแบบ และพัฒนามือหุ่นยนต์และระบบควบคุมด้วยถุงมือเสมือนจริงสำหรับเทคโนโลยีทางการแพทย์และอุตสาหกรรมปิโตรเคมี โดยมีการออกแบบให้นิ้วทั้ง 5 นิ้วให้ทำงานแยกอิสระต่อกัน มีข้อต่อ 3 ข้อต่อเสมือนนิ้วจริง และใช้เซนเซอร์วัดความโค้งซึ่งเป็นเซนเซอร์ที่ความต้านทานเปลี่ยนไปตามความโค้งของตัวเซนเซอร์ โดยเราจะใช้เซนเซอร์วัดความโค้งนี้เป็นตัววัดการโค้งงอของนิ้ว เมื่อนิ้วของเรางอเซนเซอร์นี้จะมีการเปลี่ยนค่าความต้านทานจากค่าหนึ่งไปยังอีกค่าหนึ่ง และจะทำการแปลงค่าจากอนาล็อกที่ได้ไปเป็นดิจิตอลโดยใช้ระบบสมองกลฝังตัว จากนั้นสัญญาณที่ได้จะถูกส่งออกโดยผ่านระบบส่งข้อมูลเข้าไปยังระบบสมองกลฝังตัวเพื่อนำไปควบคุมเซอร์โวมอเตอร์ โดยที่เซอร์โวมอเตอร์จะเป็นตัวควบคุมนิ้วแต่ละนิ้วต่อไป




รูปที่ 1 หลักการของการใช้มือหุ่นยนต์ [1]

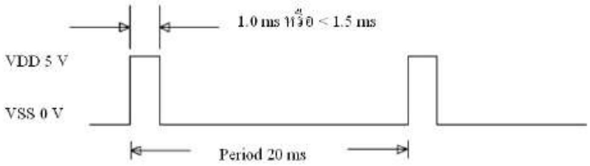
### 2.3 Servo Motor

การควบคุมเซอร์โวมอเตอร์ด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ ในปัจจุบันมีด้วยกันอยู่หลายแบบในงานวิจัยนี้จะใช้การควบคุมเซอร์โวมอเตอร์ด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC



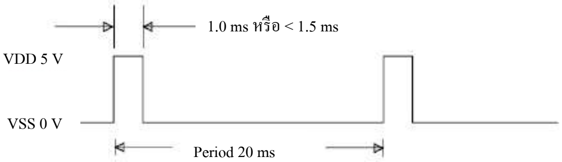

รูปที่ 2 การต่อใช้ของเซอร์โวมอเตอร์กับโครคอนโทรลเลอร์ [2]

วิธีการควบคุมให้มอเตอร์หมุนการควบคุมให้มอเตอร์หมุนทางด้านซ้ายจะต้องป้อนสัญญาณพัลส์ที่มีขนาดความกว้างพัลส์ 1 ms หรือ ให้น้อยกว่า 1.5 ms โดยจะป้อนสัญญาณพัลส์นี้ทุกๆ 20 ms (หรือในช่วงประมาณ 20 ms) ดังรูปที่ 3




รูปที่ 3 การป้อนสัญญาณพัลส์ให้มอเตอร์หมุนทางด้านซ้าย [2]

การควบคุมให้มอเตอร์หมุนทางด้านขวาจะต้องป้อนสัญญาณพัลส์ที่มีขนาดความกว้างพัลส์ 2 ms หรือมีขนาดความกว้างของพัลส์ไม่ต่ำกว่า 1.5 ms และจะป้อนสัญญาณพัลส์นี้ทุกๆ 20 ms (หรือในช่วงประมาณ 20 ms - 30 ms ) เช่นกัน ดังรูปที่ 4

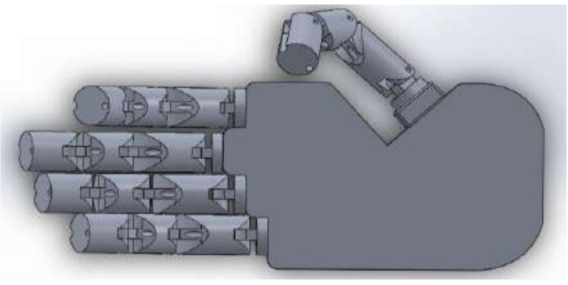



รูปที่ 4 การป้อนสัญญาณพัลส์ให้มอเตอร์หมุนทางด้านขวา [2]

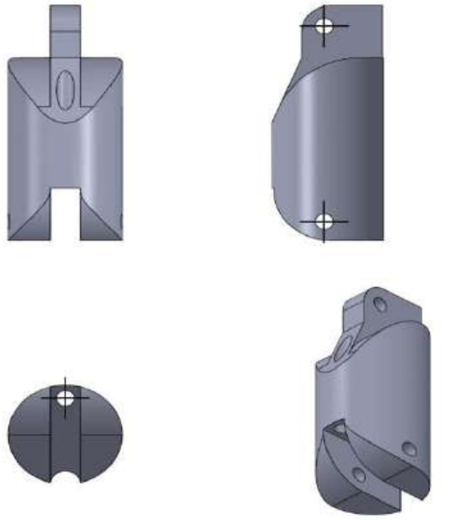
## 3. การทดลอง

### 3.1 การออกแบบมือหุ่นยนต์

จากลักษณะการทำงานของมือหุ่นยนต์ข้างต้น นำมาออกแบบโครงสร้างของมือหุ่นยนต์ได้ โดยใช้อะลูมิเนียมตันขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 19 mm.ในการทำมือหุ่นยนต์ จะใช้สลิงเป็นเอ็นในแต่ละข้อโดยในการออกแบบแต่ละนิ้วจะออกแบบทั้งหมด 3 ข้อพร้อมกับตัวยึดนิ้วกับฝ่ามือและนิ้วโป้งจะทำเหมือนนิ้วอื่นแต่จะติดเยื้องติดให้เฉียงกับฝ่ามือและจะใช้สปริงติดไว้ดึงแต่ละข้อเพื่อให้มือหุ่นยนต์ที่เราออกแบบไว้คงสภาวะเดิมได้ ในการดึงเอ็น (ลวดสลิง) จะใช้เซอร์โวมอเตอร์เป็นตัวดึงลวดสลิงจะใช้ทั้งหมด 5 ตัว แยกอิสระต่อกันโดยจะออกแบบข้อนิ้วมือแต่ละนิ้วได้ดังรูปที่ 5 - 7



รูปที่ 5 ลักษณะของมือหุ่นยนต์ที่ออกแบบไว้

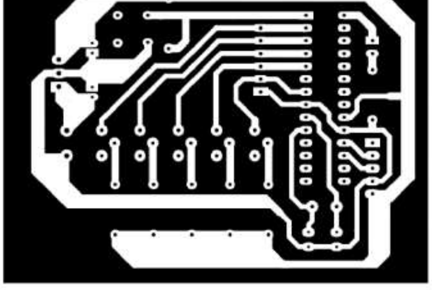


รูปที่ 6 ลักษณะข้อนิ้วมือข้อที่หนึ่ง มีขนาด 4.5 cm.

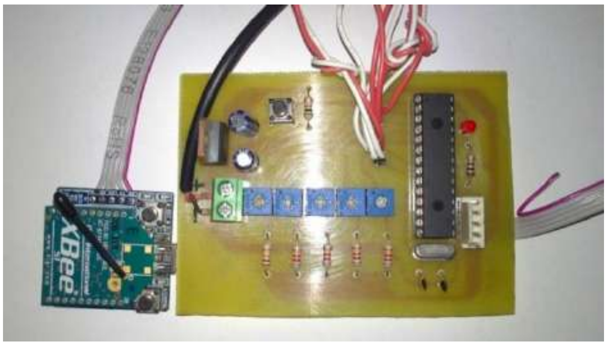
รูปที่ 7 มือที่ติดลวดสลิงและสปริงเรียบร้อยแล้ว

### 3.3.2 วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ด้านเซนเซอร์วัดความโค้ง

วงจรไมโครคอนโทรเลอร์สำหรับควบคุมเซนเซอร์วัดความโค้งสามารถออกแบบได้ดังรูป 8



รูปที่ 8 บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ด้านเซนเซอร์วัดความโค้ง



รูปที่ 9 บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ด้านเซนเซอร์วัดความโค้งที่ลงอุปกรณ์เรียบร้อยแล้ว

รูปที่ 10 ติดเซนเซอร์ของข้อนิ้วทั้ง 5 นิ้ว

## 4. ผลการทดลอง

ตารางที่ 1 การทดสอบวัดค่าแรงดันที่ตกคร่อมเซนเซอร์วัดความโค้งที่ตำแหน่งนิ้วชี้ ขนาด 4.5 นิ้ว

| องศาความโค้ง(องศา) | จำนวนครั้งที่วัด (โวลต์) | | | |
|---|---|---|---|---|
| | ครั้งที่ 1 | ครั้งที่ 2 | ครั้งที่ 3 | ค่าเฉลี่ย |
| 0 | 2.64 | 2.74 | 2.72 | 2.70 |
| 45 | 2.92 | 2.81 | 2.94 | 2.89 |
| 90 | 3.66 | 3.73 | 3.45 | 3.61 |

ตารางที่ 2 การทดสอบวัดค่าแรงดันที่ตกคร่อมเซนเซอร์วัดความโค้งที่ตำแหน่งนิ้วกลาง ขนาด 4.5 นิ้ว

| องศาความโค้ง(องศา) | จำนวนครั้งที่วัด (โวลต์) | | | |
|---|---|---|---|---|
| | ครั้งที่ 1 | ครั้งที่ 2 | ครั้งที่ 3 | ค่าเฉลี่ย |
| 0 | 2.57 | 2.59 | 2.63 | 2.59 |
| 45 | 2.88 | 2.69 | 2.92 | 2.83 |
| 90 | 3.68 | 3.45 | 3.57 | 3.57 |

## 5. สรุปผลการทดลอง

บทความนี้ได้ศึกษาและพัฒนาการออกแบบมือหุ่นยนต์โดยใช้ระบบควบคุมผ่านเซนเซอร์วัดความโค้ง ในการทดสอบไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นตัวควบคุมการทำงาน ซึ่งถือว่ามีประสิทธิภาพและมีความสามารถในการทำงานสูง ตัวเซนเซอร์เป็นอินพุตส่งแรงดันไปให้ไมโครคอนโทรลเลอร์สั่งงานไปยังมือหุ่นยนต์ทำงานซึ่งในแต่ละนิ้วจะให้การตอบสนองในค่าระดับแรงดันที่แตกต่างกันทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความโค้งงอ อีกทั้งมือหุ่นยนต์ดังกล่าวสามารถหยิบวัตถุได้หลากหลายชนิดที่มีขนดและน้ำหนักต่างกันโดยการควบคุมผ่านเซนเซอร์วัดความโค้ง

## 4. กิตติกรรมประกาศ

ทีมผู้วิจัยขอขอบคุณห้องปฏิบัติการและวิจัยทางด้านการประมวลสัญญาณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรีที่สนับสนุนเครื่องมือในการทดสอบและขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) สำหรับการสนับสนุนทุนวิจัย (NRMS:2558A16502546 project code:112994)

## เอกสารอ้างอิง

[1] P. Seetharamaiah, "Design and Development of Robot Hand System," Journal of Computer Science 7 (6): 2011, pp. 909-916.

[2] Y. Fu, Q. Zhang, F. Zhang and Z. Gan, "Design and Development of a Hand Rehabilitation Robot for Patient-cooperative Therapy Following Stroke," Proceedings of the IEEE International Conference on Mechatronics and Automation, 2011, pp. 112 117

[3] H. Luo, "Multi-manipulation with a Metamorphic Instrumental Hand for Robot-assisted Minimally Invasive Surgery," Proceedings of the IEEEICME International Conference on Complex Medical Engineering, 2011, pp. 363 -368.

[4] F. Kobayashi and K. Kitabayashi, "Multiple Joints Reference for Robot Finger Control in Robot Hand Teleoperation," IEEE/SICE International Symposium on System Integration (SII), 2012, pp. 577 – 582

[5] S. Mascaro and H. Harry Asada, "Hand-in-Glove Human-Machine Interface and Interactive Control: Task Process Modeling Using; Dual Petri Nets," Proceedings of the IEEE international Conference on Robotics, 1998, pp. 1289 – 1295.

[6] R. Ozawa_1, N. Ueda, "Supervisory Control of a Multi-Fingered Robotic Hand System with Data Glove." Proceedings of the IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, 2007, pp. 1606 - 1611

# อุปกรณ์ควบคุมเครื่องใช้ไฟฟ้าด้วยเสียง ผ่านโปรแกรมบนเครื่องมือสื่อสารแอนดรอยด์

## Electrical Appliances Control Device via Android Application

**สุรเชษฐ์ โทวราภา[1] , ชโยดม ชื่นกมล[2] , อภิสิทธิ์ อุคำ[3] , คณิน อินธิสาร[4] , ศศิชา สมบัตินิมิตร[5]**
**สิระ สิรปวเรศ[6] , สุฐิติ เทียนทอง[7] , พนมพร รอดคำดี[8]**
[1,2,3,4,5,6,7,8]สาขาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยกรุงเทพ
9/1 ถ.พหลโยธิน ต.คลองหนึ่ง อ.คลองหลวง จ.ปทุมธานี 12120 โทรศัพท์: 02-9020299 ต่อ 2620
E-mail: [1]surachad.t@bu.ac.th [2]chayodom.chue@bumail.net [3]abhisit.ukha@bumail.net [4]kanin.inti@bumail.net
[5]sasicha.somb@bumail.net [6]sira.sira@bumail.net [7]sutiti.thia@bumail.net [8]phanomporn.rodk@bumail.net

## บทคัดย่อ

งานวิจัย “อุปกรณ์ควบคุมเครื่องใช้ไฟฟ้าด้วยเสียง ผ่านโปรแกรมบนเครื่องมือสื่อสารแอนดรอยด์” มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและสร้างอุปกรณ์สำหรับควบคุมการเปิด – ปิดเครื่องใช้ไฟฟ้าผ่านการสั่งการด้วยเสียง ผ่านอุปกรณ์เครื่องมือสื่อสาร โปรแกรมนั้นถูกสร้างขึ้นมาเพื่อทำหน้าที่รับคำสั่งเสียงจากผู้ใช้งาน ด้วยการส่งผ่านข้อมูลเสียงที่รับเข้าด้วยการติดต่อผ่านทางช่องทางเชื่อมต่อกับเว็บไซต์ (API: Application Programming Interface) กับ Google ชื่อ WebSpeechAPI ซึ่งจะประมวลผลเสียงที่ได้และส่งผ่านกลับมาในรูปแบบข้อความ (Speech to Text) จากนั้น โปรแกรมที่ถูกพัฒนาขึ้นจะรับช่วงต่อเพื่อทำการส่งต่อไปยัง ระบบฐานข้อมูลที่เครื่องแม่ข่ายขนาดเล็กภายในบ้าน และส่งต่อไปยังตัวอุปกรณ์ที่ติดตั้งอยู่กับเครื่องใช้ไฟฟ้า ซึ่งอุปกรณ์ดังกล่าวจะใช้ NodeMCU ในการรับคำสั่งจากแม่ข่ายขนาดเล็ก ผ่านสัญญาณ Wi-Fi (IEE802.11n) ที่ความถี่ 2.4 Ghz. และสามารถสั่งงานควบคุมเครื่องใช้ไฟฟ้าในบ้านได้ งานวิจัยนี้ ทีมผู้วิจัยนำ Raspberry Pi 2 Model B มาพัฒนาต่อยอดเป็นเครื่องแม่ข่ายขนาดเล็ก สำหรับเก็บข้อมูลผู้ใช้งาน ข้อมูลอุปกรณ์ สถานะของอุปกรณ์ และข้อมูลวัน เวลาในการเปิด – ปิดอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้า ซึ่งสามารถนำมาเรียกดูในภายหลัง โดยผลการควบคุมมีความถูกต้อง 80.83 % จากอุปกรณ์ที่ควบคุมทั้งหมด 6 ชนิดที่แตกต่างกัน และมีความเร็วในการตอบสนองเฉลี่ยอยู่ที่ 3.12 วินาที

คำสำคัญ: เสียง, กูเกิ้ล, โหนดเอ็มซียู, ราสเบอร์รี่พาย, รีเลย์, ฐานข้อมูล

## Abstract

The Research "Electrical Appliances Control Device via Android Application" aims to design and build a device for controlling the on – off state of appliances via speech recognition on the Android Application. This application that using WebSpeechAPI is provided by Google. It is a speech to text service and return the text that application need to control the device. The text of user’s speech will send the state to a mini server for forwarding it to the equipment that installed on the appliance. The device used NodeMCU which commanded by the mini server via IEEE802.11n at 2.4 GHz. to operated appliances through relay switch module. On this research we developed Raspberry Pi 2 Model B to be a mini server for storage users, the device information, states of the device, and the time of states change to keep data logger. The accuracy of this system is 80.83% which six difference electrical appliances. The response time to active command in average is 3.12 second.

Keywords: Speech, Google, NodeMCU, Raspberry pi, Relay, MySQL

## 1. บทนำ

ตั้งแต่อดีตจนกระทั่งก้าวเข้าสู่ยุคโลกาภิวัฒน์สิ่ง ต่าง ๆ รอบตัวถูกคิดค้นและประดิษฐ์ขึ้นมาภายใต้เงื่อนไขที่สามารถตอบสนองต่อความสะดวกสบายของมนุษย์เป็นหลัก เป็นสังคมที่ระบบคอมพิวเตอร์มีบทบาทมากที่สุด ส่งผลให้เทคโนโลยีที่กลายมาเป็นส่วนหนึ่งในชีวิตประจำวันของมนุษย์ถูกคิดค้น พัฒนา และเพิ่มศักยภาพที่สามารถตอบสนองต่อการใช้ชีวิตให้ได้รับความสะดวกสบาย รวดเร็ว ปลอดภัยทั้งในด้านของความบันเทิง การแพทย์ และเพื่อการศึกษาอย่างเกิดประโยชน์มากที่สุดทั้งสิ่งที่เป็นรูปธรรมและนามธรรม อาทิ โทรทัศน์ วิทยุ คอมพิวเตอร์ การติดต่อสื่อสารกันผ่านจดหมายอิเล็กทรอนิกส์ (E-Mail) การทำธุรกรรมการเงินบนโลกออนไลน์ ระบบการเรียนการสอนแบบ e-learning เป็นต้น

จากตัวอย่างของเทคโนโลยีข้างต้น มีบางกรณีที่ยังถูกจำกัดวงการใช้งานเพียงเพื่อคนบางกลุ่มเท่านั้น จึงเป็นที่มาของการระดมความคิดที่ต้องการสร้างสรรค์ ต่อยอดองค์ความรู้เดิม และพัฒนาศักยภาพ

ของเทคโนโลยีที่เป็นสิ่งเล็ก ๆ แต่จะสามารถครอบคลุมไปยังผู้ใช้ทุกเพศทุกวัย โดยคำนึงถึงประโยชน์ ความสะดวก ความปลอดภัย และการใช้งานที่ง่าย จึงส่งผลให้เกิดเป็นงานวิจัย “อุปกรณ์ควบคุมการเปิด-ปิดเครื่องใช้ไฟฟ้าด้วยเสียง ผ่านโปรแกรมบนเครื่องมือสื่อสารแอนดรอยด์ ” ขึ้นมา เพื่ออำนวยความสะดวกแก่บุคคลในสังคมทุกเพศ ทุกวัย อีกทั้งง่ายต่อการใช้งาน ระบบไฟฟ้าภายในบ้านที่พักอาศัยจะถูกควบคุมและสั่งการได้ด้วยเสียงผ่านโปรแกรมบนเครื่องมือสื่อสารแอนดรอยด์ไม่เพียงแต่อำนวยความสะดวกแก่บรรดาผู้ใช้ หรือเด็กเท่านั้น โดยยังรวมไปถึงผู้พิการ-ทุพพลภาพก็สามารถใช้ชีวิตได้ง่ายและสะดวกขึ้นกว่าเดิม กล่าวได้ว่าโครงงาน "อุปกรณ์ควบคุมเครื่องใช้ไฟฟ้าด้วยเสียง ผ่านโปรแกรมบนเครื่องมือสื่อสารแอนดรอยด์" ในครั้งนี้สามารถตอบโจทย์ความสะดวกสบาย ความรวดเร็ว และความทันสมัยให้แก่ผู้คนในสังคมได้มากยิ่งขึ้น

## 2. Speech Recognition

[1] Speech Recognition คือระบบรู้จำเสียง เป็นระบบที่สามารถระบุคำพูดของแต่ละบุคคลให้เป็นข้อความที่คอมพิวเตอร์สามารถเข้าใจได้ โดยสามารถแจกแจงคำพูดต่างๆ ที่มนุษย์สามารถพูดใส่ไมโครโฟน โทรศัพท์หรืออุปกรณ์อื่น ๆ ซึ่งถูกพัฒนามาเรื่อยจากอดีตจนถึงปัจจุบันโดยสามารถเข้าใจคำศัพท์ทุกคำอย่างถูกต้องเกือบ 100% ซึ่งตัวแปรที่มีผลต่อการรู้จำคำหรือข้อความเหล่านี้มาจาก ความดังของเสียงและลักษณะการออกเสียงของผู้พูด โดยระบบจะรับฟังเสียงพูดและตัดสินใจคำศัพท์นั้นออกมา

ในปัจจุบันระบบรู้จำเสียงสามารถแสดงผลและส่งข้อความกลับหาผู้ใช้ในลักษณะของเสียงเป็นข้อความ (Speech to text) ซึ่งอยู่ในระบบของเว็บให้ใช้งานมากมาย เช่น WebSpeechAPI ของบริษัท Google[2] ซึ่งมีความถูกต้องสูงมากในภาษาอังกฤษ และมีส่วนของผู้พัฒนาให้สามารถนำมาใช้งานต่อยอดได้

## 3. Internet of Things

ในปัจจุบันระบบเครือข่ายอินเตอร์เน็ตได้ก้าวหน้าไปอย่างรวดเร็ว ซึ่งแนวโน้มในอนาคตอินเตอร์เน็ตจะเข้าไปอยู่ในทุกสิ่งทุกอย่างที่สามารถใช้งานในชีวิตประจำวันเราได้ โดยขณะนี้มีให้เห็นในอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าหลายอย่างเช่น เครื่องปรับอากาศ ตู้เย็น หลอดไฟ เป็นต้น ส่งผลให้การตลาดปัจจุบันมุ่งเน้นไปทางความสามารถในการควบคุมอุปกรณ์ต่าง ๆ ผ่านทางเครือข่ายมากขึ้น

G. Zhang et al., 2014 [3] ได้พัฒนาระบบการใช้งานอุปกรณ์ไฟฟ้าผ่านการควบคุมด้วยอุปกรณ์เครือข่าย (IoT) ประกอบไปด้วยโมดูลสภาพแวดล้อม โมดูลการปิด-เปิดไฟฟ้า โมดูลการควบคุมเครื่องปรับอากาศ ฯลฯ โดยโมดูลแต่ละชนิดจะส่งข้อมูลเข้าสู่คอมพิวเตอร์กลาง เพื่อจะวิเคราะห์การใช้ไฟฟ้า โดยจะเก็บข้อมูลที่ได้จากเซนเซอร์ เพื่อนำผลมาคำนวณและวิเคราะห์อย่างชาญฉลาด เพื่อควบคุมอุปกรณ์ให้สามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้า ตามลักษณะสภาพแวดล้อม อีกทั้งระบบยังสามารถควบคุมผ่านอินเตอร์เฟซ เบราว์เซอร์หรือดาวน์โหลดซอฟแวร์ซึ่งสามารถตรวจสอบสถานะ และควบคุมอุปกรณ์ได้ในระยะทางไกล ระบบนี้ยังควบคุมการใช้ไฟฟ้าของตนเองเพื่อคงสถานนะการทำงานให้ประหยัดพลังงานอีกด้วย

Marco Casini [4] ได้ประยุกต์ใช้งานอุปกรณ์ IoT เพื่อสร้างระบบการลดใช้พลังงานและเพิ่มความสะดวกสบายภายในอาคาร โดยแยกส่วนเป็นส่วนการแสดงสถานะของสภาพแวดล้อมในอาคารแบบทันเวลา (Real Time) เพื่อนำข้อมูลมาคำนวณและวิเคราะห์ส่วนการแสดงสถานะและการควบคุมอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าได้ทั้งแบบควบคุมด้วยตนเองและแบบอัตโนมัติ ส่วนควบคุมเครื่องปรับอากาศและไฟฟ้าภายในอาคารอ้างอิงจากอุปกรณ์ตรวจวัดต่าง ๆ ที่ติดตั้งในอาคารเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานดีที่สุด

ปัจจุบันประเทศไทยมีกลุ่มบริษัท True [5] ได้สร้างผลิตภัณฑ์ในการใช้งานอุปกรณ์ควบคุมเครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้านในตลาดเชิงพานิช ควบคู่ไปกับบริการอื่นของบริษัท

## 4.1 การทำงานของส่วนควบคุมและโปรแกรมแอนดรอยด์

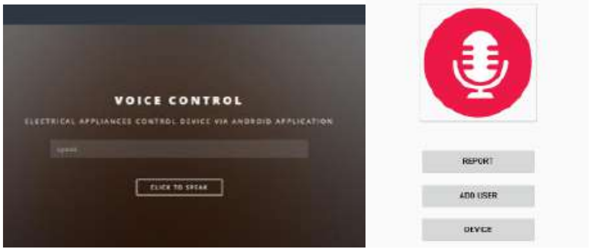
## 4.1 การออกแบบระบบ

การออกแบบระบบงานวิจัย “อุปกรณ์ควบคุมเครื่องใช้ไฟฟ้าด้วยเสียง ผ่านโปรแกรมบนเครื่องมือสื่อสารแอนดรอยด์” ทางทีมผู้วิจัยได้ทำการเลือกอุปกรณ์มาใช้งานดังนี้ Raspberry Pi 2 Model B เชื่อมต่อกับ Router สำหรับการทำงานเป็นเครือข่ายขนาดเล็ก, และ NodeMCU สำหรับการรับคำสั่งเพื่อควบคุมเครื่องใช้ไฟฟ้า , Relay Switch Module สำหรับการสั่งงานเครื่องใช้ไฟฟ้า และเลือกใช้ WebSpeechAPI ของ Google ซึ่งมีประสิทธิภาพ และความถูกต้องสูง สำหรับการประมวลค่าเสียง และเปลี่ยนเสียงเป็นตัวอักษร อีกทั้งยังได้พัฒนาตัวอุปกรณ์ซึ่งต้องนำไปติดตั้งกับเครื่องใช้ไฟฟ้า โดยภายในอุปกรณ์ดังกล่าวประกอบไปด้วย NodeMCU , Relay Switch Module , ฟิวส์ , ระบบจ่ายพลังงาน และเต้ารับ ดังรูปที่ 1.

**รูปที่ 1.** ภายในอุปกรณ์ต้นแบบซึ่งต้องนำไปติดตั้งกับเครื่องใช้ไฟฟ้า

ในการออกแบบอุปกรณ์เพื่อความปลอดภัยของเครื่องใช้ไฟฟ้าแล้ว จึงได้มีการเพิ่มเติมส่วนตัดระบบหากเมื่อมีการลัดวงจรของไฟฟ้าที่สามารถเกิดขึ้นได้ ทำให้มีการเพิ่มฟิวส์เพื่อเพิ่มความปลอดภัยทั้งชีวิตและทรัพย์สิน

ในส่วนของการพัฒนาโปรแกรมควบคุมผ่านอุปกรณ์สื่อสารด้วยอุปกรณ์แอนดรอยด์ จะเป็นลักษณะของการเรียกใช้งานเว็บไซต์ โดยพัฒนาด้วยโปรแกรม Android Studio. โดยมุ่งเน้นไปที่ระบบปฏิบัติการ Android 5.0 ขึ้นไป ซึ่งมีหน้าตาดังรูปที่ 2. โดยสามารถสั่งการทำงานได้ 2 รูปแบบ คือ การสั่งการทำงานผ่านเว็บเบราว์เซอร์ รูปที่ 2(ก) และโปรแกรมบนแอนดรอยด์ รูปที่ 2(ข)




(ก). (ข).

**รูปที่ 2.** หน้าต่างการสั่งเครื่องใช้ไฟฟ้าด้วยเสียง

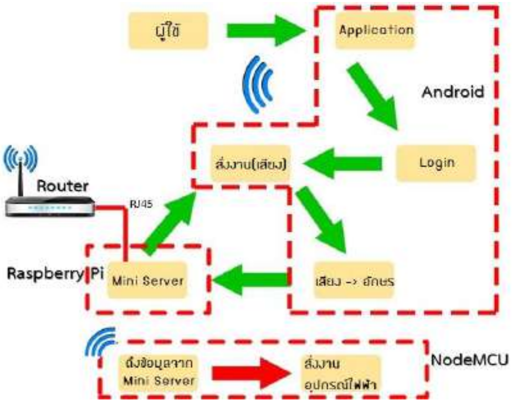
โปรแกรมที่ถูกพัฒนานี้จะมีระบบรักษาความปลอดภัย ดังปรากฏในรูปที่ 3. โดยการยืนยันตัวตนด้วยชื่อผู้ใช้และรหัสผ่าน อีกทั้งยังเข้ารหัสข้อมูลรหัสผ่านด้วย MD5 เพื่อป้องกันการเข้าควบคุมอุปกรณ์ภายในบ้านจากผู้ไม่ประสงค์ดี และเพื่อเป็นการป้องกันข้อมูลภายในบ้านจากบุคคลภายนอกอีกด้วย แต่หากไม่สามารถระบุหรือจำรหัสผ่านไม่ได้ ระบบจะมีฟังก์ชั่นในการยืนยันผู้ใช้ผ่านทาง Email อีกทางหนึ่ง

(ก). (ข).

**รูปที่ 3.** หน้าต่างการยืนยันตัวตนเพื่อเข้าควบคุมอุปกรณ์ภายในบ้าน

## 4.2 การทำงานของอุปกรณ์

การทำงานของระบบ จะทำงานโดย ผู้ใช้งานจะต้องทำการ login ผ่านโปรแกรมบนเครื่องมือสื่อสารแอนดรอยด์ จากนั้นภายในโปรแกรม จะเข้าสู่หน้า Control เมื่อผู้ใช้งานต้องการป้อนคำสั่ง จะต้องทำการกดปุ่มเพื่อพูดหนึ่งครั้ง แล้วพูดคำสั่งเสียงเข้าสู่ระบบ โดยการป้อนคำสั่งจะอยู่ในลักษณะ “พูดชื่ออุปกรณ์ + สถานะ(On/Off)” จากนั้น จะส่งคำสั่งเสียงให้ WebSpeechAPI ทำการแปลงคำสั่งเสียงที่ได้รับเป็นตัวอักษรและนำส่งไปไว้บนเครื่องแม่ข่ายขนาดเล็ก โดยส่งผ่านโปรโตคอล http ด้วยฟังก์ชั่น get จากนั้นส่วนควบคุม NodeMCU ที่เป็นอุปกรณ์ติดตั้งอยู่กับเครื่องใช้ไฟฟ้าจะร้องขอคำสั่งด้วย http ผ่านทางสัญญาณ Wi-Fi เพื่อไปสั่งการ Relay Switch Module ให้เปิดหรือปิดเครื่องใช้ไฟฟ้านั้น ๆ ตามคำสั่งที่ได้รับ ดังแผนผังการทำงานรูปที่ 4.




**รูปที่ 4.** แผนผังการทำงานของอุปกรณ์ควบคุมเครื่องใช้ไฟฟ้าด้วยเสียงผ่านโปรแกรมบนเครื่องมือสื่อสารแอนดรอยด์

## 5. ผลการทดลอง

จากการทดสอบอุปกรณ์สำหรับนำไปติดตั้งกับเครื่องใช้ไฟฟ้าจำนวน 6 ตัว โดยการทดลองป้อนคำสั่งให้อุปกรณ์โดยการสั่งงานเปิดและปิดเครื่องอุปกรณ์ เป็นจำนวน 20 รอบ/อุปกรณ์ ซึ่งมีผลลัพธ์การทำงาน เป็นไปตามตารางที่ 1.

**ตารางที่ 1.** ผลการทดลองความถูกต้องของคำสั่งควบคุมอุปกรณ์

| อุปกรณ์ | ทำงานถูกต้อง (ครั้ง) | | ทำงานผิดพลาด (ครั้ง) | |
|---|---|---|---|---|
| | เปิด | ปิด | เปิด | ปิด |
| อุปกรณ์ที่ 1 | 20 | 20 | 0 | 0 |
| อุปกรณ์ที่ 2 | 19 | 12 | 1 | 8 |
| อุปกรณ์ที่ 3 | 15 | 13 | 5 | 7 |
| อุปกรณ์ที่ 4 | 20 | 18 | 0 | 2 |
| อุปกรณ์ที่ 5 | 17 | 16 | 3 | 4 |
| อุปกรณ์ที่ 6 | 20 | 18 | 0 | 2 |

**ตารางที่ 2.** ผลของเวลาในการตอบสนองต่อชุดคำสั่งต่างๆ

| ครั้งที่ | เวลาตอบสนอง (วินาที) | | ครั้งที่ | เวลาตอบสนอง (วินาที) | |
|---|---|---|---|---|---|
| | เปิด | ปิด | | เปิด | ปิด |
| **1** | 3.82 | 3.65 | **6** | 3.06 | 2.13 |
| **2** | 3.11 | 4.02 | **7** | 2.97 | 3.55 |
| **3** | 2.83 | 4.04 | **8** | 3.97 | 2.43 |
| **4** | 2.89 | 2.36 | **9** | 2.44 | 3.87 |
| **5** | 3.31 | 2.12 | **10** | 3.68 | 2.32 |

ผลการทดลองมีความสามารถสั่งการเปิด – ปิดเครื่องใช้ไฟฟ้าได้ถูกต้องเฉลี่ยที่ 80.83 % แต่ยังมีความผิดพลาดที่ไม่สามารถสั่งการเปิด – ปิดเครื่องใช้ไฟฟ้า 19.17 % ซึ่งประกอบไปด้วยสาเหตุ สำเนียงการพูดและคำพูด 14.17 % การขาดการเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์กับเครือข่าย 5% และมีค่าตอบสนองทางเวลาโดยเริ่มนับเวลาตั้งแต่สิ้นสุดคำสั่งพูดจนถึงเครื่องใช้ไฟฟ้าทำงานได้อย่างถูกต้องตามคำสั่งอยู่ที่ประมาณ 3.12 วินาที

จากการทดลองดังกล่าวพบว่ากว่า 80 % อุปกรณ์สามารถทำงานได้อย่างถูกต้อง ในส่วนของการที่ไม่สามารถสั่งการได้นั้นเกิดมาจากตัวผู้ใช้เองซึ่งมีสำเนียงในการออกเสียงที่แตกต่างกัน ทำให้คำสั่งเสียงที่ได้รับการแปลงเป็นตัวอักษรนั้นไม่ตรงตามคำสั่งที่ผู้ใช้ต้องการ ทำให้จำเป็นจะต้องมีการดำเนินการใหม่ซ้ำอีกครั้ง และยังพบว่ามีการขาดการเชื่อมต่อของสัญญาณ Wi-Fi กับตัวอุปกรณ์ ซึ่งในกรณีดังกล่าวนี้อาจมีได้หลายสาเหตุด้วยกัน เช่น Router รับ Client มากเกินไปจึงทำให้อุปกรณ์บางตัวขาดการเชื่อมต่อ ในระหว่างการขาดการเชื่อมต่อกับเครือข่ายระบบจะสามารถกลับเข้าสู่เครือข่ายได้เอง

ในส่วนความปลอดภัยของการเข้าควบคุมการทำงานของระบบนั้นจำเป็นจะต้องระบุตัวตนด้วยชื่อผู้ใช้และรหัสผ่านจึงจะสามารถเข้าใช้งานระบบได้ ซึ่งสามารถกรองการเข้าใช้งานจากบุคคลภายนอกได้

## 6. สรุป

ระบบการทำงานของอุปกรณ์ควบคุมเครื่องใช้ไฟฟ้าด้วยเสียงผ่านโปรแกรมบนเครื่องมือสื่อสารแอนดรอยด์เป็นไปด้วยดี โดยมีความถูกต้องสำหรับการทำงานอยู่ที่ประมาณ 80.83% โดยมีความเร็วในการตอบสนองที่ต่ำมากโดยประมาน 3 วินาที ขึ้นอยู่กับความเร็วอินเตอร์เน็ตและความกว้างของช่องข้อมูลในเครือข่ายที่เชื่อมต่อไปยังเครื่องแม่ข่ายขนาดเล็ก อีกทั้งยังสามารถควบคุมเครื่องใช้ไฟฟ้าได้หลากหลาย ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อไปเพื่อนำไปพัฒนาต่อยอดสำหรับธุรกิจในอนาคต

ทิศทางการพัฒนาต่อในอนาคต จะพัฒนาในด้านการใช้พลังงาน และความรวดเร็วในการใช้งานให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น ลดข้อผิดพลาดในด้านต่าง ๆ เพิ่มการควบคุมอุปกรณ์ down light พร้อมทั้งพัฒนาให้สามารถใช้งานได้สะดวกสบายมากขึ้น เพื่อเป็นส่วนหนึ่งในการใช้ชีวิตประจำวัน

## เอกสารอ้างอิง

[1] D. Yu and L. Deng, “Automatic Speech Recognition: A Deep Learning Approach (Signal and Communication Technology)”, *Springer*, 2015 Edition.

[2] Web Speech API. (2014, December 10). Google, INC., [Cited 2014 Dec 10], Available from : https://www.google.com/intl/en/chrome/demos/speech.html

[3] G. Zhang, X. Wu, C. Li, L. Tao, X. Ji, H. Zhao, Y. Cui, "Building electrical equipment Internet of Things with applications to energy saving," in *Mechatronics and Control (ICMC), 2014 International Conference* , pp.1022-1026, 3-5 July 2014

[4] M. Casini, “Internet of things for Energy efficiency of buildings,” in *International Scientific Journal Architecture and Engineering*, vol 2, 2014

[5] Truesmart.com “True Smart Life Smart City,” True Corporation Public Company Limited ,[Cited 2015 Oct 25], Available from: http://www.truesmart.com/

**สุรเชษฐ์ โทวราภา** อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยกรุงเทพ
**การศึกษา**: วศ.ม. ไฟฟ้า มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
วศ.บ. คอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยกรุงเทพ

**ชโยดม ชื่นกมล** นักศึกษาคณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยกรุงเทพ
**การศึกษา**: มัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนวัดปากน้ำวิทยาคม

**อภิสิทธิ์ อุคำ** นักศึกษาคณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยกรุงเทพ
**การศึกษา**: มัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนคำสร้อยพิทยาสรรค์

**คณิน อินธิสาร** นักศึกษาคณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยกรุงเทพ
**การศึกษา**: มัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนร้อยเอ็ดวิทยาลัย

**ศศิชา สมบัตินิมิตร** นักศึกษาคณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยกรุงเทพ
**การศึกษา:** มัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนอรุณประดิษฐ

**สิระ สิรปวเรศ** นักศึกษาคณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยกรุงเทพ
**การศึกษา**: มัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนสารสิทธิ์พิทยาลัย

**สุฐิติ เทียนทอง** นักศึกษาคณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยกรุงเทพ
**การศึกษา**: มัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนปิยชาติพัฒนา

**พนมพร รอดคำดี** นักศึกษาคณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยกรุงเทพ
**การศึกษา**: มัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนศรีสงครามวิทยา

# อุปกรณ์ควบคุมทำงานการควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าจากระยะไกล

# Wireless Remote Control for Electric Device

**ณัฐพงศ์ พันธุนะ สมเกียรติ ทองแก้ว ธนพล นพางค์แก้วเก้า นรากร พุทธเรืองศรี และธนบดี ทานาค**
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
1381 ถนนพิบูลสงคราม แขวงวงศ์สว่าง เขตบางซื่อ กรุงเทพฯ 10800 โทรศัพท์ 02-836-3000 ต่อ 4150
Email: nattapong.p@rmutp.ac.th

## บทคัดย่อ

งานวิจัยฉบับนี้ มีวัตถุประสงค์ เพื่อสร้างอุปกรณ์การทำงานการควบคุมอุปกรณ์ระยะไกลเพื่อความสะดวก และลดบุคลากรในการดูแลและควบคุมเครื่องจักรต่างๆ โดยจะแสดงผลให้ทราบถึงสถานะการทำงานหรือหากเกิดความผิดพร่องของตัวอุปกรณ์หรือเครื่องจักรนั้นๆได้ชุดจำลอง การทำงานควบคุมอุปกรณ์ระยะไกลมีการทำงานโดยเมื่อเราสั่งการ การทำงานของเครื่องจักรผ่านทางคอมพิวเตอร์โดยใช้โปรแกรม Visual basic แล้วจะส่งสัญญาณเป็นสัญญาณ Wireless ไปยังชุดรับสัญญาณ เพื่อให้ เครื่องจักรทำงานตามการสั่งการ ซึ่งตัวรับสัญญาณนี้ จะทำการส่งข้อมูลกลับไปยังชุดส่งสัญญาณซึ่งจะเปลี่ยนมารับสัญญาณแทนแล้วจะแสดงผลให้เห็นทางจอคอมพิวเตอร์ ไม่ว่าจะเป็นสถานะการทำงานของเครื่องจักร หรือหากเกิดความผิดพร่องต่อเครื่องจักร โดยจะมีตัว Sensor คอยตรวจจับอยู่ตลอดเวลาผลที่ได้จากการทดลองชุดจำลองการทำงานการควบคุมอุปกรณ์ระยะไกล จะสามารถสั่งการและส่งสัญญาณไปยังชุดรับสัญญาณแล้วแสดงผลให้ทราบทางจอคอมพิวเตอร์ได้ โดยจะสั่งในระยะ ขั้นต่ำที่ 20 เมตร ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

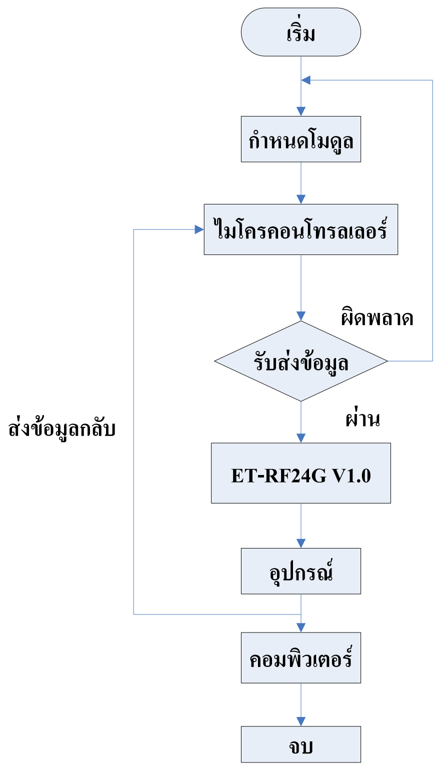
## Abstract

This project aims to create a simulation remote control device in order to facilitate the work and decrease the workers for maintaining and operating the machines. The output will show the work status and defects of the machines or devices. The simulation remote control device was worked by inputting the machine operation commands into the computer which used Visual basic program. Then, the wireless signal was sent to the receiver to operate the machine. This receiver sent the data back to the sender that became to be the receiver, and then the output showed on the monitor. There was a sensor to detect the work status and the defects of the machines or devices all the time. The testing result showed that this device could effectively command and send the signal to the receiver, and show the output on the screen in 20 meters.

## 1. บทนำ

ในปัจจุบันนับว่าการใช้คอมพิวเตอร์มีบทบาทมากในการทำงานในแต่ละวันของมนุษย์เราและสำหรับในโรงงานอุตสาหกรรมคอมพิวเตอร์เองก็มีบทบาทมากทั้งในด้านการติดต่อสื่อสาร การดูแลระบบต่างๆในโรงงานอุตสาหกรรมล้วนแล้วแต่ใช้คอมพิวเตอร์แทบทั้งสิ้น เพราะคอมพิวเตอร์สามารถตอบสนองความต้องการในการทำงานด้านต่างๆได้อย่างเต็มที่ และยังสามารถใช้ควบคุมโปรแกรมเพื่อสั่งการทำงานต่างๆได้อีกด้วย

## 2.หลักการการทำงาน

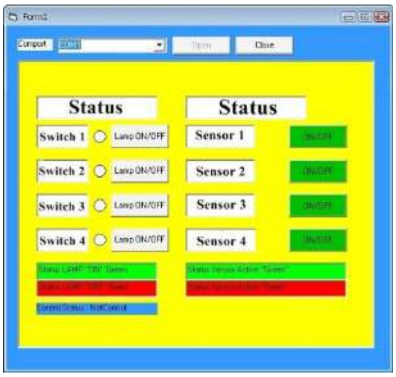



**รูปที่ 1** แผนผังการทำงานของการควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้า

จากแผนผังในรูปที่ 1 สามารถบอกได้ว่าการควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าโดยใช้การควบคุมและแสดงผลผ่านทางหน้าจอคอมพิวเตอร์ โดยใช้โปรแกรม Visual Basic เป็นโปรแกรมควบคุมและสั่งการซึ่งจะทำให้สามารถมองเห็นการทำงานทั้งระบบได้ภายในจุดเดียว เนื่องจากจะมีการส่งสถานการณ์ทำงานในแต่ละจุดกลับมาแสดงผลที่บนหน้าจอคอมพิวเตอร์โดยผ่าน Serial Port และยังควบคุมการทำงานโดยผ่านไมโครคอนโทรลเลอร์และไม่จำเป็นต้องเปิดคอมพิวเตอร์ตลอดเวลา เนื่องจากโปรแกรมการควบคุมจะถูกส่งผ่านไปที่ไมโครคอนโทรลเลอร์ซึ่งสามารถทำงานตามโปรแกรมที่ป้อนจนกว่าจะมีการเปลี่ยนแปลงที่คอมพิวเตอร์ และแก้ไขปัญหาเรื่องของการส่งสัญญาณแบบมีสายสัญญาณซึ่งอาจมีความยุ่งยากในการส่งสัญญาณ เนื่องจากมีภาระทางด้านสายส่งสัญญาณและการแก้ไขการทำงานสามารถแก้ไขระบบโดย Software ซึ่งสะดวกรวดเร็วและสามารถกำหนดรูปแบบการทำงานได้ง่ายและมีความหลากหลายกว่า อีกทั้งยังประหยัดค่าใช้จ่ายมากขึ้นกว่าการส่งสัญญาณแบบมีสายส่งสัญญาณ

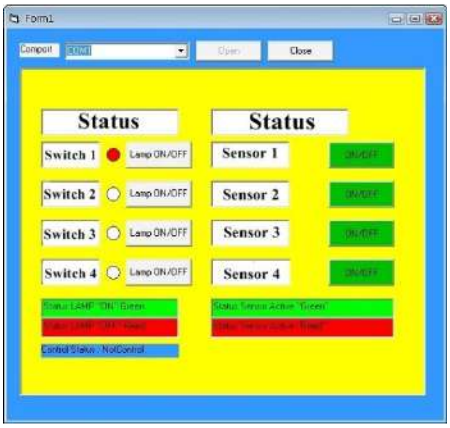
## 2.การออกแบบในส่วนของโปรแกรมคอมพิวเตอร์

ในส่วนของการออกแบบหน้าจอสำหรับควบคุมการทำงานผ่านคอมพิวเตอร์นั้น จะใช้โปรแกรม Visual Basic 6 เป็นตัวสั่งงานและแสดงผลกลับมาที่หน้าจอคอมพิวเตอร์ โดยจะออกแบบหน้าจอ ดังรูปที่ 2




**รูปที่ 2** หน้าจอสำหรับควบคุมการทำงานของอุปกรณ์

โดยหลักการออกแบบจะแบ่งการทำงานเป็นส่วนๆ ส่วนแรกคือส่วนสำหรับเลือกการเชื่อมต่อระหว่างบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์กับเครื่อง PC โดยในการออกแบบจะมีปุ่ม สำหรับสั่งให้มีการเชื่อมต่อและปุ่ม สำหรับยุติการเชื่อมต่อส่วนที่สองเป็นส่วนของ Switch Control โดยจะแบ่งการควบคุมการทำงานของบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ แยกเป็นแต่ละตัว โดยจะมีตำแหน่งของปุ่มเรียงตามลำดับตามแนวตั้ง คือ Switch 1 Switch 2 Switch 3 และ Switch 4 จะเป็นการเลือก เปิด ปิด สวิตช์ของอุปกรณ์แต่ละตัว รูปที่ 3 จะแสดงตัวอย่างการทำงานบนหน้าจอเมื่อทำการสั่งให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ทำงาน

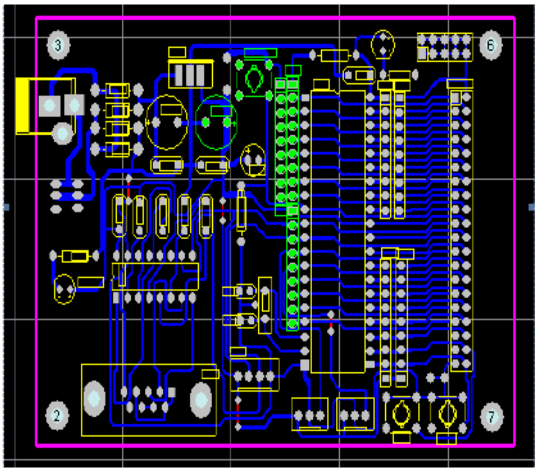



**รูปที่ 3** การทดสอบการทำงาน

จากรูปที่ 3 จะเป็นตัวอย่างในการแสดงของการควบคุมการทำงานของบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยในที่นี้เลือกใช้ Comport ในการเชื่อมต่อ (สำหรับ PC) จากรูปแสดงการเปิดการควบคุมที่ Switch ของบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยเมื่อเลือกการทำงานที่หน้าจอคอมพิวเตอร์เพื่อเลือกอุปกรณ์ที่ต้องการควบคุมหลังจากนั้นกดปุ่มบนหน้าจอก็จะแสดงดังรูปที่ 3

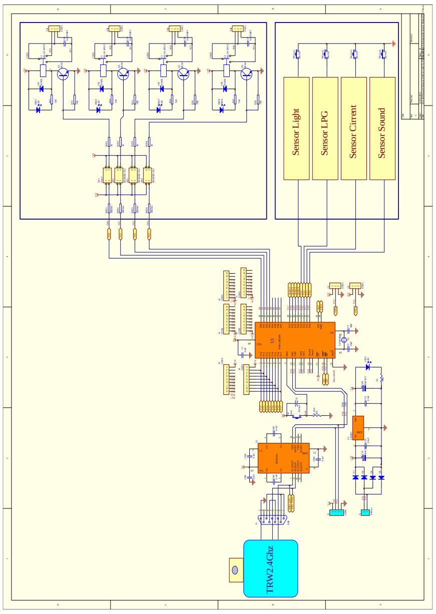
## 3. การออกแบบในส่วนของอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์

การออกแบบบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ ในส่วนของอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ ประกอบด้วย อุปกรณ์ติดต่อข้อมูลระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์และคอมพิวเตอร์ ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่เลือกใช้เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-1 ดังรูป 4



**รูปที่ 4** การออกแบบวงจรบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์

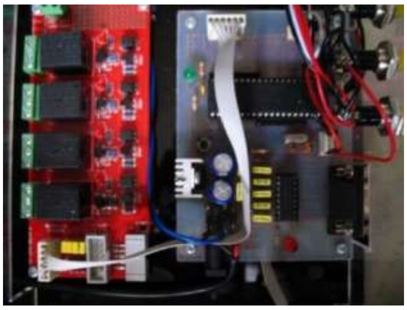
การออกแบบชุดจำลองการควบคุมอุปกรณ์แบบไร้สาย การออกแบบชุดจำลองการควบคุมอุปกรณ์แบบไร้สายนั้นเมื่อนำมาต่อเข้าไมโครคอนโทรลเลอร์และชุดส่งสัญญาณแบบไร้สายนั้นจะเป็นดังรูปที่ 5




**รูปที่ 5** การออกแบบชุดจำลองการควบคุมอุปกรณ์แบบไร้สาย

## 4. ผลการทดลอง

การทดสอบการทำงานของโปรแกรมควบคุมกับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยการทดสอบนี้จะต่อบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์เข้ากับเครื่อง PC แล้วทดลองส่งข้อมูลการควบคุมมายังบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์โดยผ่าน Serial Port ของเครื่องคอมพิวเตอร์มายังSerial Port ของบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยการทดสอบจะทำการต่ออุปกรณ์ดังรูปที่ 6

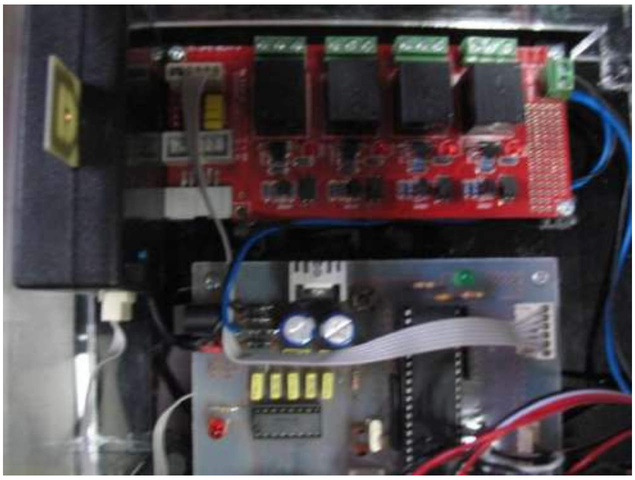


**รูปที่ 6** การต่ออุปกรณ์สำหรับการทดสอบ

การทดสอบการส่งสัญญาณระหว่างระบบควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์การทดสอบนี้ต้องการที่จะรับส่งข้อมูลระหว่างเครื่อง PC และบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยจะใช้การส่งสัญญาณไร้สายจากเครื่อง PC มายังบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ แล้วทำการควบคุมโดยใช้โปรแกรมบนหน้าจอคอมพิวเตอร์สั่งการควบคุมการทำงานของบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยการทดสอบจะต่ออุปกรณ์
ดังรูปที่ 7

**รูปที่ 7** อุปกรณ์ส่งสัญญาณควบคุม

ในการทดสอบจะใช้ชุดควบคุมสวิตช์ทั้งหมด 4 ชุด และเซ็นเซอร์ทั้ง 4 ชุดเพื่อทดสอบการส่งสัญญาณระหว่างคอมพิวเตอร์และคอนโทรลเลอร์ โดยมีการจำลองการทำงานดังรูปที่ 8



**รูปที่ 8** การต่ออุปกรณ์สำหรับการทดสอบ

### 4.1 ผลการทดลอง

การทดสอบการทำงานของอุปกรณ์ควบคุม จะทดสอบโดยติดตั้งอยู่ห่างจากอุปกรณ์ควบคุมที่ระยะประมาณ 20 เมตร จำนวน 5 ครั้ง พบว่าสามารถทำงานได้อย่างสมบรูณ์โดยไม่มีข้อผิดพลาดตลอดช่วงการทดสอบ ดังตารางที่ 1

**ตารางที่ 1** การทดสอบการทำงานที่ระยะ 20 เมตร

| **การทดสอบการทำงานระยะ 20 m** | | | | |
|---|---|---|---|---|
| อุปกรณ์ | จำนวนครั้งในการทดสอบ | ผลการรับส่งสัญญาณ | | ประสิทธิภาพในการรับส่งสัญญาณ |
| | | ปกติ | ผิดพลาด | |
| LAMP1 | 5 ครั้ง | ● | ○ | 100% |
| LAMP2 | 5 ครั้ง | ● | ○ | 100% |
| LAMP3 | 5 ครั้ง | ● | ○ | 100% |
| LAMP4 | 5 ครั้ง | ● | ○ | 100% |
| SENSOR1 | 5 ครั้ง | ● | ○ | 100% |
| SENSOR2 | 5 ครั้ง | ● | ○ | 100% |
| SENSOR3 | 5 ครั้ง | ● | ○ | 100% |
| SENSOR4 | 5 ครั้ง | ● | ○ | 100% |

## 5. สรุป

จากการทดสอบ ส่งสัญญาณจากคอมพิวเตอร์โดยใช้โปรแกรม visual basic สั่งการไปยังชุดรับคำสั่งที่เป็นชุด sensor ต่างๆ ตามระยะ เพื่อทดสอบประสิทธิภาพในการส่งและรับสัญญาณ การทดสอบส่งผลให้สามารถควบคุมการสั่งเปิดปิดอุปกรณ์ได้ดร และ เมื่อสั่งให้อุปกรณ์มีสถานการณ์ทำงานจะแสดงสถานให้ทราบตลอดการทำงาน

## 6. กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำวิจัยฉบับนี้ คณะผู้จัดทำขอกราบขอบคุณคณะอาจารย์คณะวิศวกรรมศาสตร์สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า นาย สุทธพงษ์ สุวรรณวงศ์ นาย วรพงษ์ สถิตย์วงศ์ นางสาว นารินทร์ ศรีรักษา โดยเฉพาะท่าน ดร.พนา ดุสิตากร ซึ่งกรุณาให้คำปรึกษาและคำแนะนำในการแก้ไขปรับปรุงโครงงานจนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดีและรวมถึงเพื่อนๆที่ให้กำลังใจและช่วยกันแก้ปัญหาตลอดมา

## 7. เอกสารอ้างอิง

[1] เครก, จอห์นคลาร์ก.**การเขียนโปรแกรมบนวินโดวส์ด้วย Microsoft Visual Basic 6.0 ภาคปฏิบัติ.** กรุงเทพฯ: ซีเอ็ดยูเคชั่น,2542. 864 หน้า ( ชัลวาลศุภเกษม, ผู้แปล )

[2] ณัฐวุฒิ สุขเจริญนุกูล.**คู่มือการใช้ Microsoft Visual C++.**- - กรุงเทพฯ: ซีเอ็ดยูเคซีเอ็ดยูเคชั่น, 2539. 680 หน้า

[3] เดชฤทธิ์ มณีธรรม. **คัมภีร์ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS – 51.**- - กรุงเทพฯ: เคทีพีแอนด์คอนซัลท์, 2548. 296 หน้า

[4] ดอนสัน ปงผาบ. **การเขียนโปรแกรมภาษาซีในกานควบคุม.** - - กรุงเทพฯ: สมาคมส่งเสริม เทคโนโลยี( ไทย-ญี่ปุ่น ), 2543. 288 หน้า

[5] ดอนสัน ปงผาบ. **ไมโครคอนโทรลเลอร์และการประยุกต์ใช้งาน1.** กรุงเทพฯ: ส.ส.ท, 2549. 248 หน้า

[6] ธัชพงษ์ นิลอุบล. **ไมโครคอนโทรลเลอร์เล่ม 1.** - - กรุงเทพฯ: เอ็มแอนด์อี, 2541. 194 หน้า

[7] ธีรวัฒน์ ประกอบผล. **การประยุกต์ใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์.** กรุงเทพฯ: ส.ส.ท, 2544. พิมพ์ครั้งที่ 5.

[8] ธีวัฒน์ ประกอบผล. **การพัฒนาไมโครคอนโทรลเลอร์ด้วยภาษาซี.** - - กรุงเทพฯ: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี ( ไทย- ญี่ปุ่น ), 2545. 196 หน้า

[9] นิรุต อำนวยศิลป์.**โปรแกรม Visual C++ 6.0.** กรุงเทพฯ: ซัคเซสมีเดีย, 2545.

# การพัฒนาและออกแบบวงจรวัดพลังงานไฟฟ้าโดยใช้ 32MX460F512L ร่วมกับ CS5490

# Development and Design Energy Meter Circuit Using 32MX460F512L with CS5490

**วิษณุ บุญเปลี่ยน[1], สรายุทธ์ แย้มประยูร[2] และ จักรี ศรีนนท์ฉัตร [3*]**
[1,2,3]สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ห้องปฏิบัติการวิจัยทางด้านการประมวลผลสัญญาณ 39 ม.1 ต.คลองหก อ.ธัญบุรี จ.ปทุมธานี 12120
E-mail: vishnu_rav@hotmail.com[1], sarayut_yae@epro.co.th[2] และ jakkree.s@en.rmutt.ac.th[3*]

## บทคัดย่อ

บทความฉบับนี้นำเสนอการพัฒนาและออกแบบวงจรวัดพลังงานไฟฟ้า เพื่อเป็นแนวทางไปสู่การติดตั้งในเครือข่ายไฟฟ้าอัจฉริยะ โดยวงจรวัดพลังงานไฟฟ้าสามารถบันทึกข้อมูลค่าแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า กำลังไฟฟ้าจริง และหน่วยไฟฟ้ารวมที่ใช้ไปลงในหน่วยความจำ SD Card ในการออกแบบบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 32 เบอร์ 32MX460F512L ถูกนำมาใช้ร่วมกับไอซีวัดพลังงานเบอร์ CS5490 เพื่อนำข้อมูลการใช้พลังงานมาวิเคราะห์ถึงพฤติกรรมการบริโภคพลังงานของผู้ใช้ไฟฟ้าและลดส่วนที่ใช้ไฟฟ้าสิ้นเปลืองได้ ผลจากการทดลองพบว่า วงจรวัดพลังงานไฟฟ้าสามารถวัดปริมาณทางไฟฟ้าและบันทึกผลได้โดยการต่อโหลดแบบหลากหลาย วงจรนี้แสดงค่าการใช้พลังงานได้สัมพันธ์กับโหลดที่ต่อในแต่ละช่วงเวลา และสามารถนำไปประยุกต์ติดตั้งในเครือข่ายไฟฟ้าอัจฉริยะได้จริง

คำสำคัญ: สมาร์ทมิเตอร์, เครื่องมือวัดพลังงานไฟฟ้า, ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 32

## Abstract

This paper presents the development and design energy meter circuit for exploiting in smart grid system. This circuit can record the energy consumption parameter such as voltage, current, power and total energy into SD card. To design this circuit, the PIC 32 microcontroller board is used with the CS5490 energy measurement IC for analyzing the energy data consumption and saving energy cost. The experiment results show that this circuit can measure and record energy parameter with connecting various load. This circuit provides the energy data consumption relate to the using load in each time. It also can apply to the real smart grid system.

Keywords: smart meter, energy measurement, microcontroller PIC32

## 1. บทนำ

สมาร์ทกริด (Smart grid) หรือโครงข่ายไฟฟ้าอัจฉริยะ เป็นการบูรณาวิทยาการทางด้านระบบไฟฟ้า โดยใช้เทคโนโลยีสารสนเทศมาบริหารจัดการพลังงาน ควบคุมการผลิต ส่ง และจ่ายพลังงานไฟฟ้า สามารถรองรับการเชื่อมต่อระบบไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานทางเลือกที่กระจายอยู่ทั่วไป ซึ่งเทคโนโลยีนี้จะมีเสถียรภาพมากขึ้นเมื่อทำงานร่วมกับสมาร์ทมิเตอร์ (Smart meter) หรือมิเตอร์อัจฉริยะ ซึ่งกำลังเป็นที่สนใจอย่างมาก เนื่องจากสามารถรองรับการเชื่อมต่อกลับไปยังผู้ให้บริการสาธารณูปโภคได้ และผู้ใช้ไฟฟ้าเองสามารถรู้ปริมาณการใช้ไฟฟ้า หรือเรียกดูปริมาณการใช้ไฟฟ้าย้อนหลัง เพื่อผู้ใช้ไฟฟ้าสามารถตรวจสอบได้ว่าอุปกรณ์ใดมีการใช้ไฟฟ้ามากเกินไป แล้วทำการปรับปรุงปริมาณการใช้ไฟฟ้าเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด ซึ่งจะช่วยให้ผู้ใช้ไฟฟ้าสามารถลดค่าใช้จ่ายลงได้ นักวิจัยจำนวนมากจึงสนใจพัฒนาเครื่องมือวัดพลังงานเพื่อประยุกต์ใช้เป็นสมาร์ทมิเตอร์ที่มีประสิทธิภาพมากขึ้นเช่น ในงานวิจัย [1] เป็นการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของระบบ ZigBee บนพื้นฐานของ HAS ซึ่งเป็นงานวิจัยที่ใช้ควบคุมจากระยะไกล และสามารถใช้ตรวจสอบโหลดของเครื่องใช้ไฟฟ้าเพื่อประเมินการใช้พลังงานโดยรวมโดยใช้การวัดพลังงานจาก IC CS5490 ซึ่งให้ค่าที่แม่นยำ และนำค่าที่ได้มาวิเคราะห์ตัวชี้วัดประสิทธิภาพที่ต่างกันต่อไป ในงานวิจัยที่[2] เป็นงานวิจัยที่มุ่งเน้นการบริหารจัดการภายในบ้านใช้สมาร์ทมิเตอร์ เป็นตัวช่วยตรวจสอบโดยประยุกต์ใช้กับการควบคุมแหล่งจ่ายไฟโดยตรงกับ SMPT ซึ่งจะทำงานเป็นตัวให้ข้อมูลสำคัญๆของเครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้าน อย่างไรก็ตาม SMPT ยังไม่สามารถระบุตำแหน่งได้ดีที่สุด ในงานวิจัยที่ [3] ได้พัฒนาการตรวจสอบและระบุการใช้สมาร์ทมิเตอร์ใน AMI ตามลำดับการอ่านสมาร์ทเมตร ที่ปลอดภัยโดยใช้น้ำหนักเบา สังเกตได้จากผลการจำลองโครงสร้างสามารถระบุการใช้งานได้ถูกต้องและมีความแม่นยำแต่ยังมีข้อผิดพลาดอยู่บ้างซึ่งจะนำไปปรับปรุงแก้ไขในอนาคต

บทความฉบับนี้นำเสนอวงจรวัดพลังงานไฟฟ้าที่สามารถบันทึกปริมาณไฟฟ้าต่างๆ ได้ เช่น ค่าแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า กำลังไฟฟ้า และหน่วยไฟฟ้ารวม ที่ใช้โดยไอซีวัดพลังงาน CS5490 ซึ่งให้ค่าแม่นยำ ใช้แรงดันไฟต่ำ ส่งข้อมูลผ่านระบบ RS232 ต่อใช้งานกับหน่วยประมวลผลได้หลากหลายและใช้สายสัญญาณในการส่งข้อมูลน้อย โดยต่อร่วมกับหน่วยประมวลผลไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC32 ซึ่งเป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ 32 บิต ที่มีการประมวลผลรวดเร็วเมื่อเทียบกับไมโครคอนโทรลเลอร์ทั่วไป ทำให้สามารถประยุกต์เพื่อพัฒนาเป็นสมาร์ทมิเตอร์แบบตรวจสอบปริมาณการใช้ไฟฟ้าได้ตามเวลาจริง (Real time)

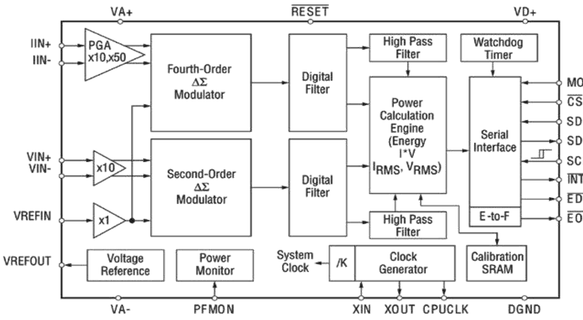
## 2. ทฤษฎี

### 2.1 มิเตอร์อัจฉริยะ

มิเตอร์อัจฉริยะ ทำหน้าที่อ่านค่าพลังงาน ประมวลผลและแสดงข้อมูลการใช้พลังงานแก่ผู้ใช้ไฟฟ้ามิเตอร์อัจฉริยะแบ่งตามลักษณะการต่อใช้ได้ 2 แบบ คือ มิเตอร์แบบวัดพลังงานรวมที่จุดเดียว และมิเตอร์แบบวัดพลังงานหลายจุด โดยแต่ละแบบมีข้อดีข้อเสียแตกต่างกัน แต่การพัฒนามิเตอร์แบบวัดพลังงานรวมที่จุดเดียวมีความยากกว่า หากต้องการระบุว่าช่วงเวลา อุปกรณ์ไฟฟ้าใดทำงาน เพราะต้องวิเคราะห์จากปริมาณการใช้ไฟฟ้ารวม ส่วนการติดต่อสื่อสารของมิเตอร์อัจฉริยะกับผู้ใช้ไฟฟ้าโดยทั่วไปจะใช้ PLC หรือ GSM/GPRS หรือ Zigbee เป็นต้น ทำให้ผู้ใช้ไฟฟ้าสามารถดูการใช้ไฟฟ้าย้อนหลังหรือตามเวลาจริงได้

### 2.2 ไอซีวัดพลังงาน

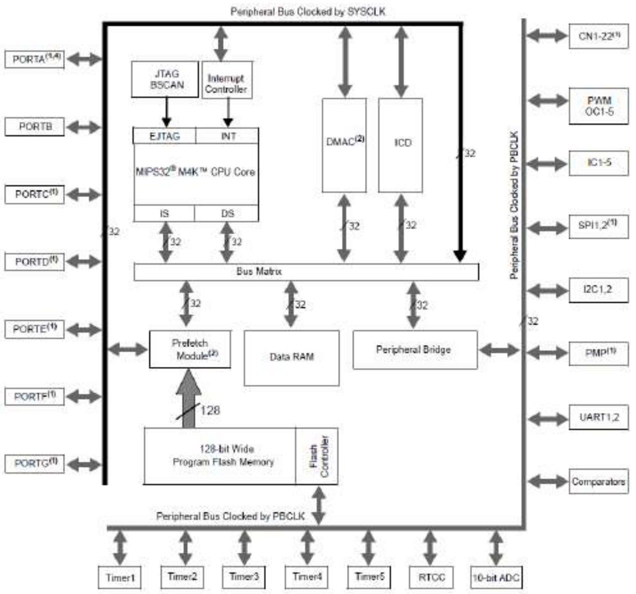
เป็นไอซีที่ออกแบบสำหรับการตรวจวัดปริมาณการใช้ไฟฟ้า ซึ่งวงจรภายในประกอบไปด้วยตัวแปลงอนาล็อกเป็นดิจิตอล (ADC) โดยทั่วไปจะสามารถอ่านค่า กำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟ กำลังไฟฟ้าปรากฏ ค่าแรงดันและกระแส RMS ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า ความถี่สายกำลัง เป็นต้น โดยผู้พัฒนาสามารถเลือกใช้ตามความเหมาะสม ทั้งวิธีการอินเตอร์เฟสไปยังหน่วยประมวลผล, ค่าความผิดพลาด, การกินกระแสไฟ และงบประมาณ เป็นต้น โดยบทความนี้ ใช้ไอซีวัดพลังงาน CS5490 มีความผิดพลาด 0.1% โดยส่งข้อมูลผ่านอินเตอร์เฟสแบบ UART ใช้แหล่งจ่ายไฟ 3.3 โวลต์ และต้นทุนไม่สูง เหมาะกับการออกแบบเพื่อพัฒนาเป็นมิเตอร์อัจฉริยะ




**รูปที่ 1** โครงสร้างภายในของ CS 5490

### 2.3 ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC32

ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC32 เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์จากบริษัท Microchip Technology Inc. ซึ่ง PIC32 เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ 32 บิต มีความเร็วสูงสุดในหน่วยประมวลผลไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยในบทความนี้ใช้หน่วยประมวลผลเบอร์ 32MX460F512L เนื่องจากมีความเร็วในการประมวลผลสูง เหมาะแก่การพัฒนาวงจรวัดพลังงานเป็นมิเตอร์อัจฉริยะที่สามารถตรวจสอบปริมาณการใช้ไฟฟ้าได้ตามเวลาจริง (Real time)

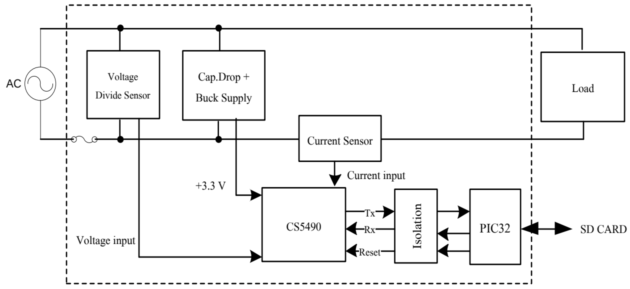



**รูปที่ 2** โครงสร้างภายในของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC32

## 3. การออกแบบ

### 3.1 การออกแบบฮาร์ดแวร์

ในบทความนี้ใช้ไอซี CS5490 เป็นเครื่องมือใช้วัดพลังงานไฟฟ้า และประมวลผลด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC32 เบอร์ 32MX460F512L และบันทึกค่าการใช้ไฟฟ้าลง SD Card เพื่อนำข้อมูลมาวิเคราะห์ ซึ่งออกแบบฮาร์ดแวร์ดังรูปที่ 3 โดยสามารถแบ่งการออกแบบได้เป็น 6 ส่วน ดังนี้




**รูปที่ 3** การออกแบบ

- Power supply: ทำหน้าที่แปลงสัญญาณไฟกระแสสลับ 220Vac เป็นสัญญาณไฟกระแสตรง และรักษาระดับคงเหลือ 3.3Vdc เพื่อใช้เป็นแหล่งจ่ายไฟให้กับไอซีวัดพลังงาน CS5490

- Voltage divide sensor: เป็นวงจรส่วนที่ใช้วัดค่าแรงดันไฟฟ้าจากโหลด โดยการแบ่งแรงดัน โดยเอาท์พุทของวงจรส่วนนี้คือ VIN+ และ VIN- ต่อเข้าไปยังไอซีวัดพลังงาน

- Current sensor: เป็นวงจรส่วนที่ใช้วัดค่ากระแสไฟฟ้าจากโหลด CT โดยเอาท์พุทของวงจรส่วนนี้คือ IIN+ และ IIN- ต่อเข้าไปยังไอซีวัดพลังงาน

- Energy measurement IC: ไอซีที่ใช้คือ CS5490 โดยส่งข้อมูลการใช้พลังงานผ่าน UART สื่อสารข้อมูลผ่านขา Tx และ Rx ไปยังหน่วยประมวลผลไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC32 ผ่านวงจรเชื่อมต่อ Isolation

- PIC32 Microcontroller: ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้ เบอร์ 32MX460F512L ซึ่งมีความเร็วสูงสุดในหน่วยประมวลผลไมโครคอนโทรลเลอร์ และใช้พลังงานต่ำ เพราะที่จะพัฒนามิเตอร์อัจฉริยะแบบต้องการเห็นการใช้พลังงานไฟฟ้าได้ตามเวลาจริง โดยทำการโปรแกรมข้อมูลและดีบักผ่านโปรแกรม Maplab

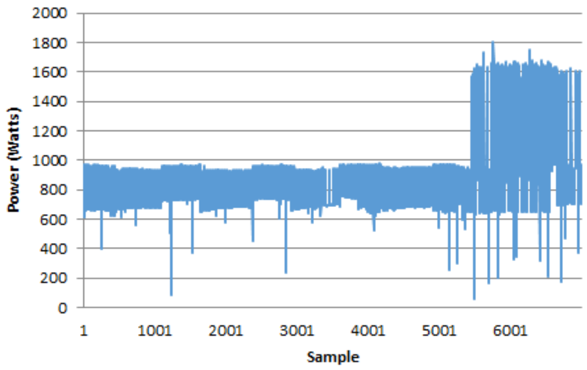
- Isolation: เป็นวงจรส่วนเชื่อมต่อระหว่าง ไอซีวัดพลังงาน CS5490 และหน่วยประมวลผลไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC32 โดยออกแบบส่งสัญญาณผ่านออปโต้คัปเปลอร์ เพื่อป้องกันสัญญาณรบกวน

### 3.2 การออกแบบซอร์ฟแวร์

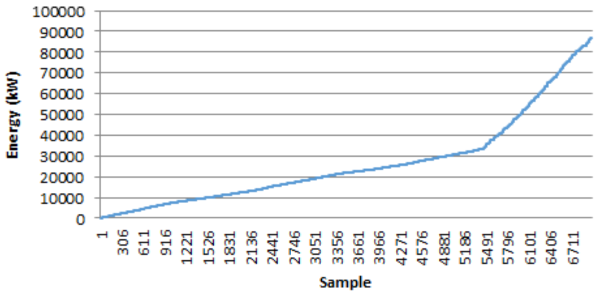
การออกแบบซอร์ฟแวร์เป็นการออกแบบโปรแกรมสำหรับหน่วยประมวลผล โดยเริ่มต้นจากทำการเช็คสถานะ ว่า SD card และอุปกรณ์สำหรับการบันทึกข้อมูลนั้นถูกติดตั้งอยู่บนบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC32 ซึ่งหาก SD card ทำการติดตั้งอยู่โปรแกรมจะรับค่าจากไอซีวัดพลังงาน CS5490 แล้วทำการบันทึกปริมาณทางไฟฟ้าต่างๆ ลงใน SD card ซึ่งสามารถส่งค่าข้อมูลไปแสดงเป็นตารางใน Microsoft office excel โดยทดลองทำการบันทึกค่าปริมาณทางไฟฟ้าทุก 10 วินาที ซึ่งความถี่ในการบันทึกสามารถปรับเปลี่ยนได้ตามความเหมาะสมในการประยุกต์ใช้งานจริง

## 4. ผลการทดลอง

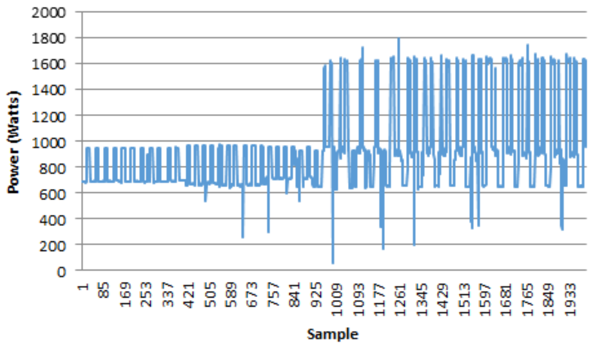
ขั้นตอนการทดลองวัดการใช้พลังงานจากไอซี CS5490 ผ่านหน่วยประมวลผล PIC32 โดยโหลดเป็นเครื่องปรับอากาศจำนวน 2 ตัว โดยช่วงแรกของการทดลอง ทำการเปิดแอร์ 1 ตัว ส่วนช่วงที่สองทำการเปิดแอร์ 2 ตัวพร้อมกัน จากนั้น นำผลการใช้พลังงานที่ถูกบันทึกลงใน SD Card มาวิเคราะห์ผล แสดงดังรูปที่ 4




(a)




(b)




(c)

**รูปที่ 4** ผลการวัดพลังงาน

(a) ค่ากำลังไฟฟ้าจริงโหลดหลากหลายประเภท

(b) ค่าพลังงานไฟฟ้ารวมจากโหลดหลากหลายประเภท

(c) Raw energy data and information extraction

ผลการทดลองแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ปริมาณกำลังไฟฟ้าที่ใช้ดังรูปที่ 4 (a) และ (b) สังเกตได้ว่า กราฟในช่วงแรกที่เปิดเครื่องปรับอากาศหนึ่งตัว ลักษณะกำลังวัตต์จะขึ้นลงสลับกันไปเป็นลักษณะของพัลส์ เนื่องจากการทำงานของเครื่องปรับอากาศจะมีการทำงานเป็นช่วงๆ ตามการทำงานเป็นช่วงๆ ของคอนแดนเซอร์ จากนั้นเมื่อเปิดเครื่องปรับอากาศตัวที่สอง เมื่อคอนแดนเซอร์ของเครื่องปรับอากาศทั้งสองทำงานพร้อมกัน กำลังวัตต์สูงสุดที่วัดได้มีค่าสูงขึ้นไปอีก และต่ำลงมากเมื่อคอนแดนเซอร์หยุดทำงานพร้อมกัน

เมื่อพิจารณาผลการทดลองรูปที่ 4 (c) เป็นกำลังไฟฟ้ารวม จะเห็นได้ว่า เมื่อเปิดเครื่องปรับอากาศเครื่องแรก ผลกำลังไฟฟ้ารวมเป็นลักษณะเชิงเส้น จากนั้นเมื่อเปิดเครื่องปรับอากาศเครื่องที่สอง ผลกำลังไฟฟ้ารวมเป็นเชิงเส้นที่มีความชันมากขึ้น

## 5. สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้นำเสนอวงจรวัดพลังงานไฟฟ้า เพื่อพัฒนาเป็นมิเตอร์อัจฉริยะสำหรับติดตั้งในเครือข่ายอัจฉริยะในอนาคต โดยวงจรวัดพลังงานไฟฟ้าสามารถบันทึก และแสดงค่าประมาณทางไฟฟ้า โดยใช้ไอซีวัดพลังงาน CS5490 ต่อกับหน่วยประมวลผล PIC32 เบอร์ 32MX460F512L ซึ่งเป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ 32 บิต โดยการส่งข้อมูลระหว่างไอซีวัดพลังงานกับหน่วยประมวลผลด้วย UART

ผลการทดลองจากการต่อโหลดด้วยเครื่องปรับอากาศ แล้วดูผลการวัดปริมาณไฟฟ้าทั้งส่วนของกำลังวัตต์ และกำลังไฟฟ้ารวม กราฟที่ได้มีความสัมพันธ์กับโหลดที่ต่อใช้ จึงสามารถนำวงจรวัดพลังงานนี้สามารถประยุกต์ใช้ในมิเตอร์อัจฉริยะได้

## 4. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณนักวิจัยและห้องปฏิบัติการวิจัยทางด้านการประมวลผลสัญญาณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่ให้ความช่วยเหลือและร่วมมือในการทดสอบวงจรวัดพลังงานไฟฟ้า

## เอกสารอ้างอิง

[1] Jaypal Baviskar, Afshan Mullay, Manish Upadhyez, Jeet Desaix and Aniket Bhovad, “Performance analysis of ZigBee based real time Home Automation system,” International Conference on Communication, Information & Computing Technology (ICCICT), pp. 1-6, January 2015.

[2] Yun Sang Cho, T.Yamazaki and Minsoo Hahn, “Determining location of appliances from multi-hop tree structures of power strip type smart meters,” IEEE Transactions on Consumer Electronics,Vol.55, pp. 2314 - 2322, November 2009.

[3] Zubair A. Baig, Abdurraoof Al Amoudy and Khaled Salah, “Detection of compromised smart meters in the Advanced Metering Infrastructure,” IEEE Transactions on GCC Conference and Exhibition (GCCCE), pp. 1 - 6, February 2015.

[4] Vijay Kumar and Muzzammil Hussain, “Secure communication for advance metering infrastructure in smart grid,” IEEE Transactions on India Conference (INDICON), pp. 1 - 6, December 2014.

[5] Gouri R. Barai, Sridhar Krishnan and Bala Venkatesh “Smart metering and functionalities of smart meters in smart grid - a review,” IEEE Transactions on Electrical Power and Energy Conference (EPEC), pp. 138 - 145, October 2015.

[6] Teerapat Pensuk, Nopparat Kitkongkhajon, Narut Pisanthanakitti and Narudon Tatiyawatanachai, “Utility Smart meter for Modern Resident,” Electrical. Engineering. Conference (EECON-32), pp. 239-242, 2009.

[7] Ming Dong, Paulo Meira, and Wilsun Xu,“ An Event Window Based Load Monitoring Technique for Smart Meters,” IEEE Transactions on Smart Grid,Vol.3, pp. 787 - 796, June 2016.

**บทความวิจัย**
การประชุมวิชาการ งานวิจัยและพัฒนาเชิงประยุกต์ ครั้งที่ 8
*8th ECTI-CARD 2016, Hua Hin, Thailand*

# การประยุกต์ซิกบีเพื่อรับส่งข้อมูลไร้สายสำหรับดิจิตอลกิโลวัตต์ฮาวมิเตอร์

# Application of Zigbee to Digital Kilowatt Hour Meter Wireless Data Transmission

**วุฒิชัย สง่างาม ประจวบ อินระวงศ์ วัชระ ตุ่นกระโทก และ ศักดิ์ชัย แผ่นกระโทก**
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
744 ถนนสุรนารายณ์ ตำบลในเมือง อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา 30000 E-mail: wutichai@rmuti.ac.th

## บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอ การสื่อสารข้อมูลแบบไร้สายโดยประยุกต์ใช้งานซิกบี (Zigbee) สำหรับดิจิตอลกิโลวัตต์ฮาวมิเตอร์หลายๆ ตัว เพื่อส่งข้อมูลไปเก็บที่เครื่องคอมพิวเตอร์ โดยมีองค์ประกอบของการทำงานคือ ส่วนแรกเป็นส่วนของอุปกรณ์วัดพลังงานไฟฟ้าด้วยระบบดิจิตอลที่มีการแสดงผลแบบหลอด 7 ส่วน ส่วนที่สองเป็นส่วนของโมดูลซิกบีที่จะทำหน้าที่สื่อสารข้อมูลแบบไร้สายผ่านคลื่นวิทยุย่านความถี่ 2.4 กิกะเฮิร์ทซ์ พร้อมด้วยส่วนวงจรขยายการเชื่อมต่อแบบมัลติเพล็กซ์เซอร์สำหรับกรณีที่ต้องการเชื่อมต่อกับดิจิตอลกิโลวัตต์ฮาวมิเตอร์หลายๆ ตัวที่อยู่ในบริเวณเดียวกัน โดยใช้โมดูลซิกบีในการรับส่งข้อมูลเพียงตัวเดียว และส่วนสุดท้ายเป็นโปรแกรม เพื่อใช้ควบคุมการทำงานของระบบ รวมไปถึงการคำนวณค่าพลังงานไฟฟ้า และแสดงกราฟพลังงานไฟฟ้าในแต่ละเดือน

จากผลการทดสอบการสื่อสารข้อมูล โดยใช้โมดูลซิกบีจำนวนหนึ่งตัวสามารถติดต่อสื่อสารกับดิจิตอลกิโลวัตต์ฮาวมิเตอร์ได้สูงสุด 16 ตัวต่อจุด พร้อมทั้งกำหนดรูปแบบและระยะทาง ในการทดสอบจำนวน 3 รูปแบบ คือ ในที่โล่ง ที่ระยะทาง 60 เมตร ผ่านผนังปูนที่มีความหนา 10 เซนติเมตร ที่ระยะทาง 25 เมตร และผ่านผนังกระจกที่มีความหนา 1 เซนติเมตร ที่ระยะทาง 8 เมตร ผลคือสามารถทำการสื่อสารได้ทั้งหมด

คำสำคัญ : การสื่อสารข้อมูลแบบไร้สาย โมดูลซิกบี

## Abstract

This paper proposes wireless data communication for Digital Kilowatts Hour Meters. Zigbee Modules were used for transferring data from Digital Kilowatts Hour Meters to computer. The system consists of three parts. First part is a power Digital Kilowatts Hour Meters with 7 Segment displayed (Model Tronics T 10A). The second part, the Zigbee Module was used for communicating data wirelessly via a radio frequency of 2.4 GHz. An extension multiplexer was used in order to link nearby Kilowatts Hour Meters together by using only single Zigbee Module. The last part, Visual Studio 2010 program had developed to control operations of the whole system, including, calculation of electric bill, record data in Access and Text files and plot a graph of electricity in each month.

The test results showed that single Zigbee Module can be connected up to 16 digital Kilowatts Hour Meters through extension multiplexer and can display information within the developed program. Distances of wireless communications between Zigbee Module and computer in the open area is 60 meters, through concrete wall with a thickness of 10 centimeter is 25 meters and glass wall with a thickness of 1 centimeter is 8 meters.

Keywords: wireless data communication , Zigbee

## 1. บทนำ

ระบบการรับส่งสัญญาณแบบไร้สาย คือระบบการสื่อสารข้อมูลโดยอาศัยการส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ย่านความถี่วิทยุ (RF) ในการรับและส่งข้อมูลระหว่างอุปกรณ์ โดยปราศจากความต้องการของการเดินสายสัญญาณ ทำให้เกิดการเคลื่อนย้ายอุปกรณ์การทำงานได้สะดวก

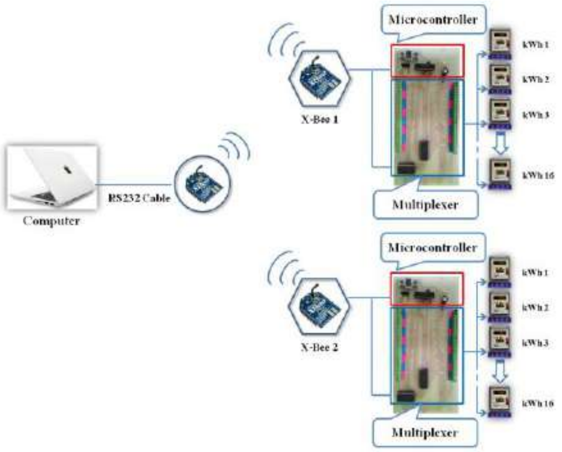
ในทางด้านวิศวกรรมไฟฟ้าได้นำระบบการรับส่งสัญญาณแบบไร้สาย มาช่วยเก็บข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้า จากดิจิตอลกิโลวัตต์ฮาวมิเตอร์ (Digital kilowatt-hour meter) ตามสถานที่ต่างๆ โดยใช้อุปกรณ์รับส่งข้อมูลแบบไร้สายชุดแรก เป็นตัวรับข้อมูลจากดิจิตอลกิโลวัตต์ฮาวมิเตอร์ แล้วส่งข้อมูลผ่านคลื่นความถี่ไปยังอุปกรณ์รับส่งข้อมูลแบบไร้สายอีกชุดหนึ่งที่ต่ออยู่กับคอมพิวเตอร์เพื่อทำการเก็บค่าเหล่านั้น ทำให้ง่าย สะดวก และรวดเร็ว

## 2. โมดูลซิกบี (ZigBee Module)

ซิกบีเป็นอุปกรณ์การสื่อสารไร้สายประเภทหนึ่งที่มีการกำหนดมาตรฐานโดย ซิกบีอลิอานซ์ (Zigbee Alliance) โดยจะอ้างอิงตามมาตรฐาน IEEE 802.15.4 ซึ่งเป็นมาตราฐานการทำงานของระบบ

เครือข่ายไร้สาย โดยข้อดีของตัวซิกบีนั้นจะใช้พลังงานน้อย อุปกรณ์มีขนาดเล็ก ในปัจจุบันนิยมนำเอาซิกบี มาใช้ในระบบเครือข่ายไวเรสเซนเซอร์เนตเวิร์ค (Wireless Sensor Network) เนื่องจากใช้พลังงานน้อย ทำให้เอื้อประโยชน์ต่อพื้นที่ทำงานได้อย่างสะดวก ไม่ต้องกังวลเรื่องพลังงาน ทำให้ใช้งานได้เป็นระยะเวลานาน ๆ เหมาะอย่างยิ่งสำหรับระบบตรวจจับ หรือระบบตรวจวัดต่าง ๆที่ต้องเฝ้าดูค่าการเปลี่ยนแปลงของระบบที่ใช้ระยะเวลาต่อเนื่อง

ซิกบีเป็นอุปกรณ์ที่มีไมโครคอนโทรเลอร์ และอาร์เอฟไอซี (RFIC) อยู่ภายใน ทำหน้าที่เป็นทั้งอุปกรณ์รับ-ส่งสัญญาณ (Transceiver device) แบบกึ่งสองทิศทาง (Half Duplex) ในการใช้งานตัวซิกบีมีการกำหนดย่านความถี่ใช้งานตามมาตรฐานไว้ 3 ย่านความถี่คือ ย่าน 2.4 กิกะเฮิร็ท ย่าน 915 เมกะเฮิร็ท และย่าน 868 เมกะเฮิร็ท โดยแต่ละย่านจะมีช่องสัญญาณ 16 ช่อง 10 ช่อง และ 1 ช่อง ตามลำดับ ส่วน อัตรารับส่งข้อมูลจะอยู่ที่ 250 กิโลบิตต่อวินาที 40 กิโลบิตต่อวินาที และ 20 กิโลบิตต่อวินาที ตามลำดับ




รูปที่ 1 แสดงการทำงานของระบบ

## 3. ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน

ในการออกแบบเบื้องต้นได้ทำการออกแบบการติดต่อสื่อสารระหว่างตัวคอมพิวเตอร์กับซิกบีแม่ข่าย และการสื่อสารระหว่างตัวซิกบีลูกข่ายกับตัวคอนโทรลเลอร์ ดังรายละเอียดต่อไปนี้

### 3.1 การสื่อสารระหว่างคอมพิวเตอร์กับซิกบีแม่ข่าย

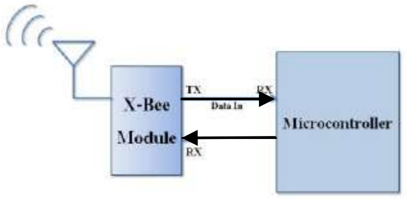
ในส่วนของคอมพิวเตอร์ที่ทำหน้าที่รับข้อมูล เมื่อเริ่มทำงานตัวโปรแกรมจะส่งชุดคำสั่งไปยังซิกบีแม่ข่ายที่ต่อร่วมกับคอมพิวเตอร์ผ่านทางสายสัญญาณ RS232 โดยชุดรหัสคำสั่งที่ส่งออกไปจะมีหมายเลขรหัสประจำตัวของซิกบีลูกข่ายประกอบอยู่ด้วย หมายเลขรหัสดังกล่าวจะเป็นการระบุกลุ่มของมิเตอร์ที่ต้องการส่งค่าพลังงานที่วัดได้กลับมา

เมื่อซิกบีลูกข่ายส่งข้อมูลกลับมายังซิกบีแม่ข่าย ซิกบีแม่ข่ายก็จะทำการเปิดช่องทางการสื่อสารกับคอมพิวเตอร์ผ่านทางพอร์ทอนุกรม เพื่อทำการส่งค่าข้อมูลที่ได้จากตัวดิจิตอลกิโลวัตต์ฮาวมิเตอร์ไปยังคอมพิวเตอร์ โดยจะมีโปรแกรมจัดเก็บข้อมูลและแสดงผลอีกที่หนึ่ง

### 3.2 การทำงานของซิกบีลูกข่ายกับดิจิตอลกิโลวัตต์ฮาวมิเตอร์

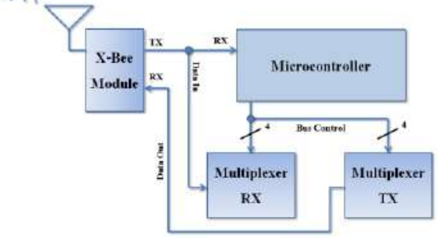
ในการทำงานของของซิกบีลูกข่ายนั้นจะต้องมีไมโครคอนเลอร์เข้ามาเกี่ยวข้องเพื่อทำหน้าที่กำหนดช่องทางในการสื่อสารกับตัวดิจิตอลกิโลวัตต์ฮาวมิเตอร์ ให้ได้จำนวนหลายๆตัว

การสื่อสารข้อมูลระหว่างซิกบีลูกข่ายและไมโครคอนโทรลเลอร์ มีการเชื่อมต่อกันแบบอนุกรมยูอาร์ท (UART) โดยใช้ขาสำหรับส่งสัญญาณร้องขอไปให้อุปกรณ์ปลายทางส่งข้อมูลกลับมา โดยขา RX ที่ตัวซิกบีลูกข่ายจะรับสัญญาณจากขา TX ของไมโครคอนโทรล เลอร์ ในขณะเดียวกันที่ขา RX ของไมโครคอนโทรลเลอร์ก็จะคอยรับสัญญาณจากขา TX ของซิกบีลูกข่ายเช่นกัน ดังแสดงได้ดังรูปที่ 2




รูปที่ 2 แสดงรูปแบบของการสื่อสารข้อมูลระหว่างซิกบีและไมโครคอนโทรลเลอร์

การสื่อสารข้อมูลระหว่างวงจรขยายแบบมัลติเพล็กซ์เซอร์กับซิกบีลูกข่าย จะใช้การสื่อสารแบบอนุกรมยูอาร์ทเช่นกัน ขาสำหรับส่งสัญญาณร้องขอจากขา TX ของซิกบีต่อให้กับขา RX ของวงจรขยายมัลติเพล็กซ์เซอร์ และสัญญาณที่ได้จากอุปกรณ์ปลายทางส่งข้อมูลกลับมาที่วงจรขยายมัลติเพล็กซ์เซอร์ ที่ขา TX โดยจะส่งสัญญาณมายังขา RX ของซิกบี

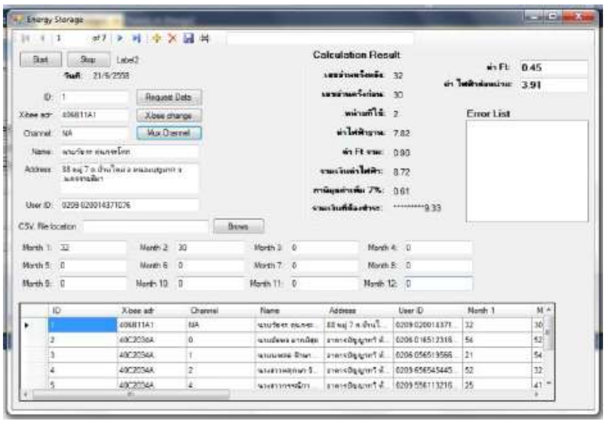



รูปที่ 3 แสดงรูปแบบของการสื่อสารภายในบอร์ดมัลติเพล็กซ์เซอร์

การสื่อสารข้อมูลระหว่างวงจรขยายามัลติเพล็กซ์เซอร์กับไมโครคอนโทรลเลอร์ ใช้การเชื่อมต่อกันโดยใช้การสื่อสารแบบขนานผ่านดาต้าบัส (Data Bus) ไมโครคอนโทรลเลอร์จะส่งสัญญาณลอจิกขนาด 4 บิตให้กับวงจรขยายมัลติเพล็กซ์เซอร์ทั้ง 2 ตัว เพื่อให้ตอบสนองการเลือกช่องสัญญาณการรับส่งข้อมูล ดังรูปที่ 3

**3.3 การออกแบบโปรแกรมการทำงานของระบบ**

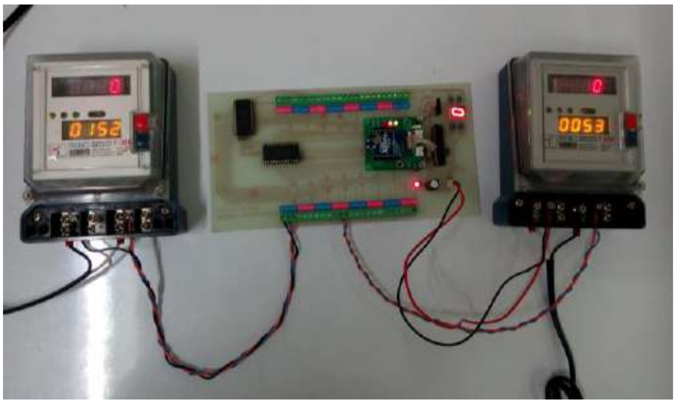
ในการออกแบบตัวโปรแกรมใช้งานจะพัฒนาขึ้นมาจากโปรแกรม Microsoft Visual Studio 2010 โดยต้องการที่เก็บค่าต่างๆลงในฐานข้อมูล คือ ค่ารหัสไอดีของตัวซิกบี แอดเดรสของตัวซิกบี จำนวนช่องสัญญาณ ค่าเอฟที (Ft) ฐานข้อมูลของผู้ใช้ตัวดิจิตอลกิโลวัตต์ฮาวมิเตอร์ และค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าจากดิจิตอลกิโลวัตต์ฮาวมิเตอร์ ดังแสดงดังรูปที่ 4




รูปที่ 4 หน้าต่างโปรแกรมแสดงผลการเก็บค่าพลังงานไฟฟ้า

**4. ผลการทดสอบ**

ในขั้นตอนของการทดสอบการส่งข้อมูลจะมีการทดสอบอยู่ 3 รูปแบบคือ ในที่โล่ง มีสิ่งกีดขวางคือผนังปูน และผนังกระจก โดยทั้ง 3 รูปแบบจะต้องต่อดิจิตอลกิโลวัตต์ฮาวมิเตอร์ จำนวน 16 ตัว ร่วมกับวงจรขยายการรับข้อมูลแบบมัลติเพล็กซ์เซอร์ เพื่อให้ได้ข้อมูลการใช้พลังงานจากดิจิตอลกิโลวัตต์ฮาวมิเตอร์มาเก็บไว้ที่ตัวคอมพิวเตอร์ ดังรูปที่ 4 และในขณะที่ทำการทดสอบได้ทำการวัดอุณหภูมิที่ตัวซิกบี ดังแสดงในตารางที่ 1



รูปที่ 4 การเชื่อมต่อมิเตอร์เข้ากับบอร์ด มัลติเพล็กซ์เซอร์

ตารางที่ 1 แสดงระยะทางในการทดสอบ การสื่อสารของโมดูลซิกบี

| ลำดับ | สภาพพื้นที่ | ระยะทางสูงสุด (เมตร) | อุณหภูมิขณะทดสอบ (°C) |
|---|---|---|---|
| 1 | ในที่โล่ง | 60 | 37.5 |
| 2 | ผนังปูน หนา 10 ซม. | 25 | 35.5 |
| 3 | ผนังกระจก หนา 1 ซม. | 8 | 43.5 |

**5. สรุปผลการทดสอบ**

การใช้งานโมดูลซิกบีหนึ่งตัวสามารถต่อร่วมกับดิจิตอลกิโลวัตต์ฮาวมิเตอร์ได้สูงสุด 16 ตัว ต่อหนึ่งจุด โดยต้องต่อวงจรขยายมัลติเพล็กซ์เซอร์ร่วมด้วย และระยะทางในการสื่อสารข้อมูลแบบไร้สายในที่โล่งมีระยะทางสูงสุดคือ 60 เมตร ผ่านผนังปูนที่มีความหนา 10 เซนติเมตร มีระยะทางทางสูงสุดคือ 25 เมตร และผ่านผนังกระจกที่มีความหนา 1 เซนติเมตรมีระยะทางสูงสุด คือ 8 เมตร

ส่วนการเก็บข้อมูลค่าพลังงานไฟฟ้ามีหน่วยเป็น กิโลวัตต์ต่อชั่วโมง ข้อมูลที่ได้สามารถนำไปใช้ในการคิดค่าไฟฟ้าที่ใช้ไปต่อเดือน โดยจะแสดงเป็นใบแจ้งค่าไฟฟ้า พร้อมด้วยทั้งแสดงกราฟการใช้พลังงาน 12 เดือนย้อนหลัง ซึ่งจะทำให้ทราบถึงพฤติกรรมการใช้พลังงานไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้าอีกทางหนึ่ง

## เอกสารอ้างอิง

[1] รศ. ธีรวัฒน์ ประกอบผล, "คู่มือการเขียนแอพพลิเคชันด้วย Visual Basic 2008". กรุงเทพฯ : ซิมพลิฟาย, 2553.

[2] ภาณุวัฒน์ โพธิ์วัน. (2556). ซิกบีไวเลสเซนเซอร์เนตเวิร์ค Zigbee Wireless Sensor Network. สืบค้นจาก http://www.msit.mut.ac.th/newweb/phpfile/Thesis/Thesis_2556.pdf วันที่ 15 กุมภาพันธ์ 2558

[3] อุปกรณ์รวมส่งสัญญาณ สืบค้นจาก https://th.wikipedia.org/wiki วันที่ 18 มีนาคม 2558

[4] ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง สืบค้นจาก ttp://www.ce.kmitl.ac.th/download.php วันที่ 19 มีนาคม 2558

วัชระ ตุ่นกระโทก
กำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสานนครราชสีมา

ศักดิ์ชัย แผ่นกระโทก
กำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสานนครราชสีมา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์วุฒิชัย สง่างาม สนใจงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการประยุกต์ใช้ชิพ FPGA การประมวลภาพ และการแก้ปัญหาด้วยวิธีปัญญาประดิษฐ์

ดร.ประจวบ อินระวงค์ สนใจงานวิจัยที่การประมวลผลภาพ ไมโครคอนโทรเลอร์ การแก้ปัญหาด้วยวิธีปัญญาประดิษฐ์

# ระบบไฟอัจฉริยะบนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์

## Intelligent Light System for Android Operating System

**ปณวรรต คงธนกุลบวร[1] , คณิศร จึ๋กระโทก[2] , จิรายุทธ สอนสุภาพ[3] และ ลลิตา ชัยมงคล[4]**
[1,2,3,4] สาขาวิทยาการคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
64 ถนนทหาร ตำบลหมากแข้ง อำเภอเมือง จังหวัดอุดรธานี 41000 โทรศัพท์: 042-211040 – 59 ต่อ 1205
E-mail: [1]panawat.kh@365.udru.ac.th, [2]kanisorn_jee@hotmail.com , [3]jirayut_sonsuphap@hotmail.com , [4]miwlalita@hotmail.com

## บทคัดย่อ

โครงการนี้จัดทำขึ้นเพื่อสร้างระบบไฟอัจฉริยะบนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ร่วมกับไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งทำงานโดยผ่านแอพพลิเคชั่นบนสมาร์ทโฟนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ ส่งคำสั่งควบคุมไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ผ่านเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย เพื่อให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุมการเปิด – ปิด อุปกรณ์ไฟฟ้าที่ต้องการ

โครงการวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์หลัก คือ 1.) ศึกษาและพัฒนาแอพพลิเคชั่นแอนดรอยด์บนสมาร์ทโฟน 2.) ประยุกต์ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อเป็นชุดควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้า และ 3.) ศึกษาและใช้งานเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย เพื่อเป็นตัวกลางในการรับส่ง ข้อมูลระหว่างสมาร์ทโฟน และชุดควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้า จากการทดลองใช้งานระบบผู้ใช้สามารถสั่งงานอุปกรณ์ทำการเปิดปิดไฟฟ้าได้ ระบบยังสามารถรายงานสถานะการใช้งานของอุปกรณ์ในเวลานั้นและแสดงประวัติการใช้งานของอุปกรณ์ไฟฟ้า โดยเก็บบันทึกข้อมูลระยะเวลาการทำงานและกำลังวัตต์ของอุปกรณ์แต่ละชิ้น เพื่อนำมาคำนวณปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าของแต่ละอุปกรณ์ และรายงานผลนั้นแก่ผู้ใช้งาน นอกจากนี้ยังมีรายงานสรุป ข้อมูลรายวันรายเดือน และยังสามารถเลือกระยะเวลาที่ต้องการให้ระบบสรุปข้อมูลได้

**คำสำคัญ**: ระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์,ไมโครคอนโทรลเลอร์,สมาร์ทโฟน

## Abstract

This project is created to manufacture the intelligent light system for android operating system with micro controller. The system is ran through application on android smartphone. The smartphone is sent the control orders to micro controller in wireless ran. The micro controller is controlled the on-off switch of electrical equipment.

The purposes of this research were to; 1) study and develop application for android smart phone. 2) apply and use micro controller controlling the electrical equipment 3) study and use wireless lan for sending and receiving data between smartphone and the electrical equipment.

The result of the research is found that the system users could switch on-off the electrical equipment. Timely, the system could report the equipment's status and the using records. It keeps and record the data in the part of work periods and wattages in each equipment. It takes the data to calculate the power consumption of the equipment and report the data to the users. Moreover, the system could summarize the data in daily, monthly and could select the period of data summarizing.
Keywords: android operating system, microcontroller, smart phone

## 1. บทนำ

ปัจจุบันการใช้งานอุปกรณ์ไฟฟ้าของบ้านหลังหนึ่งต้องเดินทางไปหลายตำแหน่งเพื่อเปิดปิดไฟฟ้า และการตรวจสอบสถานะการใช้งานเพื่อไม่ให้หลงลืมเปิดอุปกรณ์ไฟฟ้าทิ้งไว้โดยไม่ได้ใช้ อันจะเป็นการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าโดยเปล่าประโยชน์ ทั้งยังอาจก่อให้เกิดเหตุเพลิงหม้ โดยเฉพาะหากเป็นบ้านเรือนที่พักอาศัยหรือโรงงานอุตสาหกรรมที่มีพื้นที่ขนาดใหญ่ยิ่งจะเห็นได้อย่างชัดเจน ปัจจุบันนี้ในชีวิตประจำวัน เทคโนโลยีสมาร์ทโฟน มีการพัฒนาไปอย่างมากและมีส่วนเกี่ยวข้องกับชีวิตประจำวันของมนุษย์มากขึ้น ซึ่งในอุปกรณ์สมาร์ทโฟนมีระบบปฏิบัติการที่เรียกว่า ระบบปฏิบัติการแอนดรอย์โดยเป็นระบบปฏิบัติการแบบเปิดเผยรหัส คือกลุ่มซอฟต์แวร์ ที่เปิดเผยรหัสของโปรแกรมทำให้สามารถดัดแปลง ได้ทั้งหมด จึงเป็นการให้สิทธิเสรีแก่ผู้นำไปใช้เพื่อพัฒนาซอฟต์แวร์ ทำให้โปรแกรมมีประสิทธิภาพสูง ซึ่งทำให้ประหยัดค่าใช้จ่าย นอกจากนี้ตัวอุปกรณ์ ที่รองรับระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ ก็มีให้เลือกหลายยี่ห้อจึงทำให้มีทางเลือกมากขึ้น[1][2]

จึงทำให้ผู้พัฒนามองเห็นช่องทางที่จะประหยัดเวลาและลดการสูญเสียพลังงานได้โดยใช้สมาร์ทโฟนที่ทำงานด้วยระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ในการควบคุมสั่งงานและตรวจสอบการทำงานของอุปกรณ์

ผ่านแอพพลิเคชั่น โดยใช้ระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ ร่วมกับไมโครคอนโทรลเลอร์และการพัฒนาโปรแกรมเพื่อควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้าภายในบ้าน หรืออาคารให้สามารถเปิดปิด และแสดงสถานะการทำงานของอุปกรณ์ เพื่ออำนวยความสะดวกในการใช้งานในชีวิตประจำวันและลดต้นทุนการผลิต [3]

## 2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 ระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์

แอนดรอยด์ เป็นระบบปฏิบัติการสำหรับอุปกรณ์พกพาเช่น โทรศัพท์มือถือ เริ่มพัฒนาโดย บริษัทแอนดรอยด์ (Android Inc.) จากนั้นบริษัทแอนดรอยด์ถูกซื้อโดยกูเกิล และนำแอนดรอยด์ไป พัฒนาต่อภายหลังถูกพัฒนาในนามของ Open Handset Alliance ระบบปฏิบัติแอนดรอยด์แบบเปิดเผยแหล่งที่มาซึ่ง กูเกิลได้เปิดให้นักพัฒนาสามารถแก้ไขโค้ดต่างๆ ด้วยภาษาจาวา และควบคุมอุปกรณ์ผ่านทางชุด Java libraries ที่กูเกิลพัฒนาขึ้น [3]

### 2.3 Arduino Microcontroller

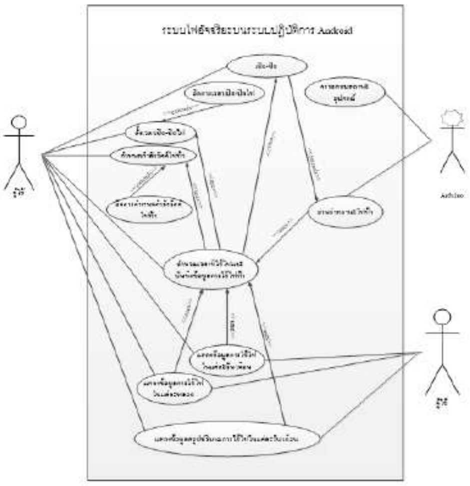
Arduino เป็นแพลตฟอร์มเปิดแหล่งที่มาใช้สำหรับการสร้างโครงการอิเล็กทรอนิกส์ Arduino ประกอบด้วยทั้งแผงวงจรโปรแกรมทางกายภาพ และส่วนของซอฟแวร์หรือ IDE (Integrated Development Environment) ที่ทำงานบนเครื่องคอมพิวเตอร์ ใช้ในการเขียนและอัพโหลดรหัสคอมพิวเตอร์ แพลตฟอร์ม Arduinoเป็นที่นิยมสำหรับผู้เริ่มต้นด้วยการอำนวยความสะดวกแก่ผู้ใช้งานแผงวงจรของ Arduinoไม่จำเป็นต้องแยกชิ้นของฮาร์ดแวร์เพื่อที่จะโหลดรหัสใหม่ ผู้ใช้สามารถใช้สาย USB อัพโหลดได้ทันที นอกจากนี้ยังใช้ภาษา C++ ทำให้ง่ายต่อการเรียนรู้ในการเขียนโปรแกรม [4]

### 2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าผ่านสมาร์ทโฟนมีการใช้งานอย่างแพร่หลายเนื่องจากได้อำนวยนวยความสะดวกแก่ผู้ใช้งานและยังง่ายต่อพัฒนาระบบ ทรงรัฐ เมฆฉิม และ จอมณรงค์ วาที ได้สร้างชุดควบคุมการเปิดปิดอุปกรณ์ไฟฟ้า ผ่านเครือข่าย อินเทอร์เน็ตโดยใช้ Wi-Fi Module และไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุม[1] ซึ่งรวมทั้งเข้าถึงอุปกรณ์ผ่านอินเทอร์เน็ตด้วยเว็บแอพพลิเคชั่น[7] นอกจากนี้การควบคุมสั่งการเปิดไฟฟ้าผ่านเครือข่าย Bluetooth ก็เป็นอีกวิธีการหนึ่งที่ถูกนำมาใช้งานด้วย

## 3. รายละเอียดการพัฒนาระบบ

### 3.1 แนวคิดการออกแบบ



**รูปที่ 1** Use Case Diagram

จากรูปที่ 1 คือ ภาพรวมขอบเขตของระบบงาน จะพิจารณาถึงรูปแบบการใช้ระบบงานที่สามารถเกิดขึ้นได้โดยอธิบายเป็นลำดับของเหตุการณ์ เช่น ระบบไฟอัจฉริยะบนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ สามารถใช้งานระบบนั้นได้อย่างไร

### 3.2 ภาพรวมการทำงานของระบบ

**รูปที่ 2** การทำงานของระบบ

ภาพที่ 2 คือ ภาพรวมการทำงาน มีขั้นตอนดังนี้

1) ผู้ใช้สั่งเปิด-ปิดไฟ ผ่านแอพลิเคชั่น

2) ผลการสั่งงานจะถูกส่งไปยังตัว Arduino Ethernet Shield ส่งคำสั่งเปิด-ปิดไปยัง Arduino UNO R3 และส่งคำสั่งเปิด-ปิดไปยัง Relay 4 channel เพื่อสั่งปิด/เปิดหลอดไฟ

3) ระบบส่งผลการทำงานมายังแอพลิเคชั่นให้ผู้ใช้ดูผลการทำงานและสามารถสั่งงานได้ ดังนี้

3.1) ควบคุมการเปิด-ปิดไฟ

3.2) การจัดการตั้งเวลาปิดเปิดไฟแต่หลอด

3.3) กำหนดกำลังวัตต์ของไฟแต่ละหลอด

3.4) ดูรายงานข้อมูลการใช้ไฟแต่ละหลอด

## 4. การพัฒนาและทดสอบแอพพลิเคชันต้นแบบ

ผลการพัฒนาระบบนั้นประกอบไปด้วย ส่วนติดต่อผู้ใช้สำหรับ ควบคุมการเปิด-ปิดไฟ, การจัดการตั้งเวลาปิดเปิด, กำหนดกำลังวัตต์ของอุปกรณ์ , การตรวจสอบการเชื่อมต่ออุปกรณ์,การอ่านค่าสถานะไฟฟ้าของอุปกรณ์,การคำนวณเวลาที่ใช้ไฟและบันทึกข้อมูลการใช้ไฟฟ้า ดังรูปตัวอย่างของแอพพลิเคชั่นต้นแบบ ต่อไปนี้

**รูปที่ 3** หน้าจอเข้าใช้งานและหน้าจอหลัก

**รูปที่ 4** รายงานสรุปปริมาณการใช้ไฟฟ้ารายวัน รายเดือน

## 5. บทสรุป

เมื่อได้นำโปรแกรมระบบปิด-เปิดไฟอัจฉริยะบนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ที่ได้พัฒนานี้ไปทดสอบกับกลุ่มผู้ใช้งานทั่วไปและนักศึกษาผู้ทำการทดลอง เพื่อประเมินประสิทธิภาพของระบบว่ามีความตรงตามความต้องการและพึ่งพอใจในระบบงานในระดับใดของกลุ่มผู้ใช้งานระบบ และผลการประเมินประสิทธิภาพของระบบปิด-เปิดไฟอัจฉริยะบนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ในแต่ละด้าน แสดงค่าเฉลี่ย $\bar{x}$ และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D)

ตารางที่ 1 ความพึงพอใจด้านการตรงตามความต้องการของผู้ใช้ระบบ (Functional Requirement Test)

| หัวข้อในการประเมิน | X | SD | แปลผล | ลำดับ |
|---|---|---|---|---|
| 1. ความสามารถของระบบในด้านการจัดการเปิดปิดไฟ | 3.67 | 0.58 | มาก | 4 |
| 2. ความสามารถของระบบในด้านการจัดการกำหนดกำลังวัตต์ | 4.00 | 0.00 | มาก | 3 |
| 3. ความสามารถของระบบในด้านการจัดการตั้งเวลาเปิดปิดไฟ | 3.00 | 0.00 | ปานกลาง | 5 |
| 4. ความสามารถของระบบในด้านการจัดการแสดงสถานะการทำงานของไฟ | 4.33 | 0.58 | มาก | 2 |
| 5. ความสามารถของระบบในด้านการจัดการประมวลผลการทำงานของหลอดไฟแต่ละหลอด | 3.67 | 0.58 | มาก | 4 |
| 6. ความสามารถของระบบในด้านการจัดการเก็บข้อมูล | 4.33 | 0.58 | มาก | 2 |
| 7. ความสามารถของระบบในด้านการจัดการรายงานสรุปยอด | 4.67 | 0.58 | มากที่สุด | 1 |
| ภาพรวม | 3.95 | 0.28 | มาก | |

จาก ตารางที่.1 สรุปได้ว่า ความพึงพอใจด้านการตรงตามความต้องการของผู้ใช้ระบบภาพรวมอยู่ในระดับมาก (x = 3.95, SD = 0.28) โดยความพึงพอใจสูงสุด 3 อันดับแรกได้แก่ ความสามารถของระบบในด้านการจัดการรายงานสรุปยอด (x = 4.67, SD = 0.58), อันดับที่ 2 มี 2 หัวข้อได้แก่ 2. ความสามารถของระบบในด้านการจัดการแสดงสถานะการทำงานของไฟ และความสามารถของระบบในด้านการจัดการเก็บข้อมูล (x = 4.33, SD = 0.58) อันดับที่ 3 ได้แก่ ความสามารถของระบบในด้านการจัดการกำหนดกำลังวัตต์ (x = 4.00, SD = 0.00)

โดยผลการประเมินขอบเขตการใช้งานของระบบตามขอบเขตที่มีทั้งหมดโดยได้ทำการสุ่มเลือกกลุ่มใช้งานทั่วไปที่มีความเกี่ยวข้องกับการใช้งานไฟฟ้าหรือใช้งานอุปกรณ์ต่างๆที่มีสวิตต์เปิดปิดได้และบุคคลสูงอายุที่เคลื่อนไหวร่างกายไม่สะดวกจำนวนทั้งหมด 50 คนเป็นผู้ทดลองใช้งานระบบ

ตารางที่ 2 ความพึงพอใจด้านการทำงานได้ตามฟังก์ชันงานของระบบ (Function Test)

| หัวข้อในการประเมิน | X | SD | แปลผล | ลำดับ |
|---|---|---|---|---|
| 1. ความถูกต้องในการเปิดปิดไฟ | 4.33 | 0.58 | มาก | 2 |
| 2. ความถูกต้องในการแสดงสถานะไฟในแต่ละหลอด | 4.67 | 0.58 | มากที่สุด | 1 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 3. ความถูกต้องในการตั้งเวลาเปิดปิดไฟ | 4.33 | 0.58 | มาก | 2 |
| 4. ความถูกต้องในการกำหนดกำลังวัตต์ที่ใช้ | 3.67 | 0.58 | มาก | 4 |
| 5. ความถูกต้องในการแสดงสถานะการทำงานของอุปกรณ์ | 4.67 | 0.58 | มากที่สุด | 1 |
| 6. ความถูกต้องของผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลในโปรแกรม | 4.33 | 0.58 | มาก | 2 |
| 7. ความถูกต้องของการผลลัพธ์ในรูปแบบรายงาน | 4.33 | 0.58 | มาก | 2 |
| 8. ความรวดเร็วในการประมวลผลของระบบ | 4.00 | 0.00 | มาก | 3 |
| 9. ความน่าเชื่อถือได้ของระบบ | 4.33 | 0.58 | มาก | 2 |
| 10. ความครอบคลุมของโปรแกรมที่พัฒนากับระบบงานจริง | 4.33 | 0.58 | มาก | 2 |
| 11. การป้องกันข้อผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้น | 3.00 | 0.00 | ปานกลาง | 5 |
| ภาพรวม | 4.18 | 0.23 | มาก | |

จากตารางที่ 2 สรุปได้ว่า ความพึงพอใจด้านการทำงานได้ตามฟังก์ชันงานของระบบอยู่ในระดับมาก (x = 4.18, SD = 0.23) โดยความพึงพอใจสูงสุดอันดับแรกมี 2 หัวข้อ ได้แก่ ความถูกต้องในการแสดงสถานะไฟในแต่ละหลอด และความถูกต้องในการแสดงสถานะการทำงานของอุปกรณ์ (x = 4.67, SD = 0.58)

ตารางที่ 3 ความพึงพอใจด้านความง่ายต่อการใช้งานระบบ (Usability Test)

| หัวข้อในการประเมิน | X | SD | แปลผล | ลำดับ |
|---|---|---|---|---|
| 1. ความง่ายต่อการใช้งานของระบบ | 4.33 | 0.58 | มาก | 2 |
| 2. ความเหมาะสมในการเลือกใช้ชนิดตัวอักษรบนจอภาพ | 4.00 | 1.00 | มาก | 3 |
| 3. ความเหมาะสมในการเลือกใช้ขนาดของตัวอักษรบนจอภาพ | 4.67 | 0.58 | มากที่สุด | 1 |
| 4. ความเหมาะสมในการใช้สีของตัวอักษรและรูปภาพ | 4.33 | 0.58 | มาก | 2 |
| 5. ความเหมาะสมในการใช้ข้อความเพื่ออธิบายสื่อความหมาย | 3.67 | 0.58 | มาก | 4 |
| 6. ความเหมาะสมในการใช้สัญลักษณ์หรือรูปภาพในการสื่อความหมาย | 3.67 | 0.58 | มาก | 4 |
| 7. ความเป็นมาตรฐานเดียวกันในการออกแบบหน้าจอภาพ | 4.00 | 0.00 | มาก | 3 |
| 8. ความเหมาะสมในการปฏิสัมพันธ์โต้ตอบกับผู้ใช้ | 4.00 | 1.00 | มาก | 3 |
| 9. ความเหมาะสมในการวางตำแหน่งของส่วนประกอบบนจอภาพ | 4.00 | 0.00 | มาก | 3 |
| 10. คำศัพท์ที่ใช้ผู้ใช้มีความคุ้นเคยและสามารถปฏิบัติตามได้โดยง่าย | 3.33 | 0.58 | ปานกลาง | 5 |
| 11. การกำหนดรหัสIP และPostในการตรวจสอบผู้เข้าใช้ระบบ | 3.67 | 0.58 | มาก | 4 |
| ภาพรวม | 3.97 | 0.32 | ระดับมาก | |

จากตารางที่ 3 สรุปได้ว่า ความพึงพอใจด้านความง่ายต่อการใช้งานระบบอยู่ในระดับมาก (x = 3.97, SD = 0.32) โดยความพึงพอใจสูงสุดอันดับแรก ได้แก่ ความเหมาะสมในการเลือกใช้ขนาดของตัวอักษรบนจอภาพ (x = 4.67, SD = 0.58)

ผลจากการทดลองใช้งานระบบ ผู้ใช้สามารถสั่งงานอุปกรณ์ที่ต่อเข้ากับระบบให้ทำการเปิดปิดได้โดยไม่ต้องเข้าใกล้อุปกรณ์ ระบบยังสามารถรายงานสถานะการใช้งานของอุปกรณ์ในเวลานั้นและประวัติการใช้ของอุปกรณ์ไฟฟ้า โดยเก็บบันทึกข้อมูลระยะเวลาการทำงานและกำลังวัตต์ของอุปกรณ์ไฟฟ้าแต่ละชิ้น เพื่อนำมาคำนวณปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าของแต่ละอุปกรณ์ และรายงานผลนั้นแก่ผู้ใช้งาน โดยรายงานปริมาณการใช้ไฟฟ้ารวมถึงระยะเวลาที่อุปกรณ์ทำงาน และจากข้อมูลนี้จะนำไปใช้พัฒนาความสามารถของระบบให้สั่งการเปิดปิดอุปกรณ์อัตโนมัติได้โดยไม่มีผู้สั่งงาน ในงานวิจัยลำดับต่อไป

## 6. เอกสารอ้างอิง

[1] Arduino IDE.,จาก http://www.arduitronics.com/article/arduino -ide-กับการเริ่มต้นครั้งแรก,ค้นเมื่อ 20 สิงหาคม 2558

[2] Arduino IDE ในการเขียน Arduino UNO,จาก http://www.arduitronics.com/article/เริ่มต้นใช้งาน-arduino-บอร์ด-ตอนที่-3-โปรแกรมแรกของฉัน.ค้นเมื่อ 20 สิงหาคม 2558

[3] ทรงรัฐ เมฆฉิมและจอมณรงค์วาที. Android-Based Controller. โครงงานวิจัย. มหาวิทยาลัยขอนแก่น. (2556).

[4] ปรีชา สมสอน โสวัตร์บุญยศ และ ประสิทธิ์นครราช การควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าผ่านบลูทูธด้วยโทรศัพท์เคลื่อนที่ . โครงงานวิจัย. สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

[5] ระบบปฏิการแอนดรอย. ,จาก https://beerkung.wordpress.com/ระบบปฏิบัติการรุ่นล่าสุด/ระบบปฏิบัติการ-android/ .ค้นเมื่อ 20 สิงหาคม 2558

[6] สายใจ การะศรี และสุกัญญา นามบัญฑิตย์. ระบบควบคุมบ้านผ่านแอนดรอยด์. โครงงานวิจัย. มหาวิทยาลัยขอนแก่น. (2555)

[7] ระบบควบคุมเครื่องใช้ไฟฟ้าผ่านแอนดรอยด์และเว็บแอพพลิเคชัน.โครงงานวิจัย. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน(2558)

# ระบบรายงานปริมาณการใช้กระแสไฟฟ้าและปริมาณการใช้น้ำภายในอพาร์ทเม้นท์

# (The Monitoring Consumption of Electricity and Water System in Apartment.)

**จีรวัฒน์ เตวิน[1] , นวคุณ พอใจ [2] , สุกฤษฎิ์ ไชยติ๊บ [3] , อนุสรณ์ ใจแก้ว [4], อธิคม ศิริ [5] , ธนาวุฒิ ธนวาณิชย์ [6] และ กมล บุญล้อม [7]**

สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ สำนักวิชาคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย

80 หมู่ 9 ถนนพหลโยธิน ตำบลบ้านดู่ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงราย 57100 โทรศัพท์ 053-776395 E-mail: jeerawattawin@gmail.com

## บทคัดย่อ

การบริหารจัดการอพาร์ทเม้นท์จำเป็นต้องมีการจดบันทึกค่าน้ำ ค่าไฟฟ้าของแต่ละห้อง ซึ่งต้องใช้บุคลากรในการจดบันทึก อาจทำให้เกิดการผิดพลาดของข้อมูล เกิดความล่าช้า จากปัญหาดังกล่าว จึงมีแนวคิดในการพัฒนาระบบที่จะช่วยในการบันทึกข้อมูลการใช้น้ำและไฟฟ้าของห้องพัก เมื่อต้องการทราบปริมาณการใช้น้ำและปริมาณการใช้ไฟฟ้าของแต่ละห้องสามารถตรวจสอบได้ผ่านเว็บแอพพลิเคชั่น ระบบจะทำการวัดปริมาณการใช้น้ำโดยใช้เซนเซอร์วัดอัตราการไหลของน้ำ วัดปริมาณการใช้ไฟฟ้าโดยใช้เซนเซอร์วัดกระแสไฟฟ้า และส่งข้อมูลไปยังระบบฐานข้อมูลของเครื่องแม่ข่าย จากการทดลองหาความแม่นยำในการวัดปริมาณการใช้น้ำและปริมาณการใช้ไฟฟ้าพบว่า ส่วนของน้ำมีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย 0.58 % และมีค่าความถูกต้อง 99.42 % ส่วนของไฟฟ้ามีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย 1.22 % และมีค่าความถูกต้อง 98.78 % การหาความเร็วในการจดบันทึกค่าน้ำของผู้ดูแลหอพักมีค่าเฉลี่ยรวมเท่ากับ 60.365 วินาทีและอุปกรณ์วัดอัตราการไหลของน้ำอ่านค่าได้มีค่าเฉลี่ยรวมเท่ากับ 0.76 วินาที ความเร็วในการทำงานของผู้ดูแลหอพักในการจดบันทึกค่าไฟฟ้ามีค่าเฉลี่ยรวมเท่ากับ 60.412 วินาทีและอุปกรณ์วัดกำลังไฟฟ้าอ่านค่าได้มีค่าเฉลี่ยรวมเท่ากับ 0.75 วินาที แสดงให้เห็นว่าการวัดปริมาณการใช้น้ำและปริมาณการใช้ไฟฟ้าของระบบที่ผู้พัฒนาได้จัดทำขึ้นมีประสิทธิภาพในการใช้งานได้จริง

คำสำคัญ: อพาร์ทเม้นท์, เซนเซอร์วัดอัตราการไหลของน้ำ, เซนเซอร์วัดกระแสไฟฟ้าแบบฮอลล์

## Abstract

Management of the apartment is required to record water bills electricity of each room, which required personnel to take notes, may cause data errors Delays. Of such problems the concept to develop a system that will help to save water and electricity in each room.to see the required the consumption of water and electricity usage of each room can be monitored via the Web. The system will measure the amount of water used by a sensor measuring the flow rate of the water. Measure electricity consumption used by electric current sensor. And recording data onto the database. The experimental find accurately measure water usage and electricity consumption was found. Part of the error averaging 0.58 % and an accuracy of 99.42 % of the error averaging 1.22 % and 98.78 % Finding speed of record water bills of dormitory administrator an average total of 60.365 second. And measure the flow rate of the water, read a total average 0.76 second. Speed up the work of dormitory administrator electricity bills recorded a total average of 60.412 second. And measuring device electric power to an average total of 0.75 second. Accuracy shows. Measuring water consumption and electricity consumption of the developer was prepared. Effective in actually works.

Keywords: Apartment, Flow Sensor, Hall Effect Sensor

## 1. บทนำ

ที่อยู่อาศัยเป็นหนึ่งในปัจจัยสี่ ที่จำเป็นในการดำรงชีวิตของมนุษย์นอกเหนือจากอาหาร เครื่องนุ่งห่ม และยารักษาโรค ซึ่งที่อยู่อาศัยของมนุษย์จะมีความแตกต่างกันไปตาม สภาพสังคม เศรษฐกิจสภาพความเป็นอยู่ ในปัจจุบันสภาพสังคมและเศรษฐกิจของประเทศไทยที่เปลี่ยนแปลงไป ประชาชนต้องใช้เวลาในการประกอบอาชีพของตนเองมากขึ้น การก่อสร้างที่อยู่อาศัยด้วยตนเองกระทำได้ไม่สะดวกจึงได้เกิดธุรกิจด้านที่อยู่อาศัยขึ้นที่เรียกว่าอพาร์ทเม้นท์

ในธุรกิจอพาร์ทเม้นท์หรือหอพักต้องมีส่วนในการบริหารจัดการและสาธารณูปโภค ซึ่งการบริหารจัดการต้องมีการจดบันทึกค่าน้ำค่าไฟฟ้า ของแต่ละห้องเพื่อคำนวณในแต่ละเดือน ซึ่งจะต้องใช้แรงงานคนและเวลา

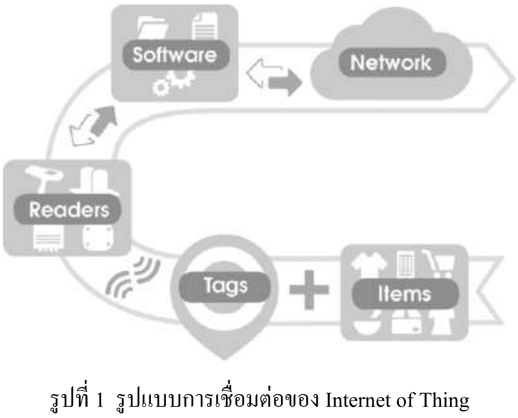
จากปัญหาดังกล่าวผู้วิจัยจึงมีแนวคิดใช้เทคโนโลยีการประยุกต์ใช้งานสำหรับสื่อสารระหว่างสรรพสิ่ง (Internet of Thing) ในการทำระบบรายงานปริมาณการใช้กระแสไฟฟ้าและปริมาณการใช้น้ำภายในอพาร์ทเม้นท์ โดยระบบจะทำการส่งค่าน้ำ ค่าไฟฟ้า ของแต่ละห้องเก็บไว้ในฐานข้อมูล ซึ่งสามารถตรวจสอบข้อมูลค่าน้ำ ค่าไฟฟ้าของแต่ละเดือนได้สะดวกและรวดเร็วมากยิ่งขึ้น

โดยโครงการนี้ ใช้เซนเซอร์วัดอัตราการไหลของน้ำเพื่ออ่านค่าน้ำและใช้เซนเซอร์วัดกระแสไฟฟ้าแบบฮอลล์ (Hall Effect Sensor) เพื่ออ่านค่าไฟฟ้า นำข้อมูลที่อ่านได้เก็บไว้ในฐานข้อมูลที่สร้างไว้ในเครื่อง แม่ข่าย ผู้ดูแลอพาร์ทเม้นท์สามารถดูข้อมูลค่าน้ำ ค่าไฟฟ้าของแต่ละห้องได้ เจ้าของห้องพักสามารถดูข้อมูลค่าน้ำ ค่าไฟฟ้าของห้องตนเองผ่านเว็บแอพพลิเคชั่น

## 2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ระบบรายงานปริมาณการใช้กระแสไฟฟ้าและปริมาณการใช้น้ำภายในอพาร์ทเม้นท์ มีทฤษฎีและเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องดังนี้

2.1 Internet of Thing เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตที่ทำให้อุปกรณ์และเครื่องมือต่างๆ สามารถเชื่อมต่อกันได้ผ่านช่องทางการสื่อสารอินเทอร์เน็ตทั้งแบบใช้สายและไร้สาย โดยอุปกรณ์ และเครื่องมือต่างๆ มีวิธีการระบุตัวตน สามารถรับรู้บริบทของสภาพแวดล้อมได้ และมีปฏิสัมพันธ์โต้ตอบและทำงานร่วมกัน ซึ่งจะนำไปสู่นวัตกรรมและบริการใหม่ๆ อีกมากมาย ดังรูปที่ 1




รูปที่ 1 รูปแบบการเชื่อมต่อของ Internet of Thing

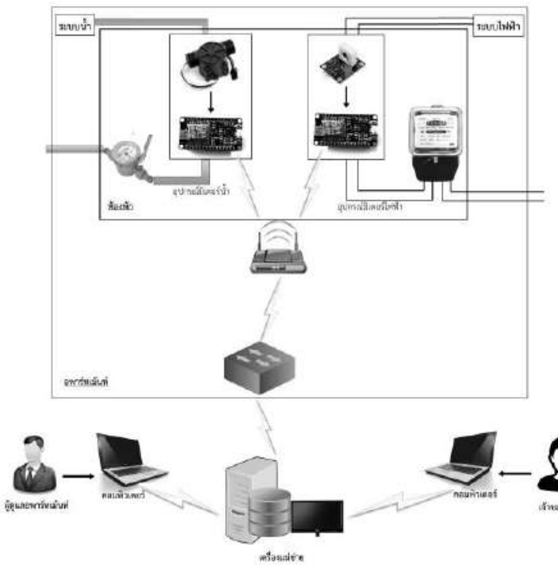
2.2 Flow Sensor คือ อุปกรณ์ที่ใช้สำหรับตรวจจับการไหลของของเหลวในท่อ มีทั้งของเหลวไหลวงจรเปิด ของเหลวหยุดไหลวงจรปิด (NC) และทำงานกลับกันของเหลวไหลวงจรปิด ของเหลวหยุดไหลวงจรเปิด (NO) โดยนำสัญญาณที่ได้จากการปิดหรือเปิดวงจร ไปควบคุมอุปกรณ์อื่นๆ

2.3 Hall Effect Sensor สามารถวัดค่ากระแสโดยการวัดคล้องสายของกระแสที่ไหล และให้เอาท์พุตออกมาเป็นแรงดันhall ส่วนใหญ่จะใช้เป็น Instrument สำหรับความแม่นยำสูง สามารถวัดสัญญาณที่มี DC และ Harmonics ปะปนมากได้หรือกระแสมีความซับซ้อนของสัญญาณปะปนสูง

## 3. วิธีการดำเนินการ

### 3.1 ระบบการทำงาน

ระบบรายงานปริมาณการใช้กระแสไฟฟ้าและปริมาณการใช้น้ำภายในอพาร์ทเม้นท์ มีอุปกรณ์วัดอัตราการไหลของน้ำและอุปกรณ์วัดกระแสไฟฟ้าแต่ละห้อง ทำการส่งค่าผ่านเครือข่ายและเก็บข้อมูลในระบบฐานข้อมูลของเครื่องแม่ข่ายซึ่งสามารถตรวจสอบปริมาณการใช้น้ำและไฟฟ้าได้ผ่านเว็บแอพพลิเคชั่น ส่วนของการใช้งานระบบมีอยู่ 2 ส่วน 1) ผู้ดูแลอพาร์ทเม้นท์จะสามารถดูข้อมูลค่าน้ำ ค่าไฟฟ้าของแต่ละห้องได้ 2) เจ้าของห้องพักจะสามารถดูข้อมูลค่าน้ำและค่าไฟฟ้าของห้องพักตนเอง ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 ไดอะแกรมระบบรายงานปริมาณการใช้กระแสไฟฟ้าและปริมาณการใช้น้ำภายในอพาร์ทเม้นท์

### 3.2 วิธีการทดลอง

การทดลองของระบบรายงานปริมาณการใช้กระแสไฟฟ้าและปริมาณการใช้น้ำภายในอพาร์ทเม้นท์ มีอยู่ 4 ส่วน

ส่วนที่ 1 การทดลองเพื่อหาความแม่นยำของการอ่านค่าเซนเซอร์วัดอัตราการไหลของน้ำเทียบกับปริมาณน้ำที่แตกต่างกันและมิเตอร์น้ำ โดยทำการทดลองกับน้ำ 30 ลิตรจำนวน 10 ครั้ง, น้ำ 40 ลิตรจำนวน 10 ครั้ง และน้ำ 50 ลิตรจำนวน 10 ครั้ง บันทึกค่าปริมาณน้ำ

ที่เซนเซอร์วัดอัตราการไหลของน้ำวัดค่าได้ เพื่อหาค่าความคลาดเคลื่อนของค่าที่อ่านได้

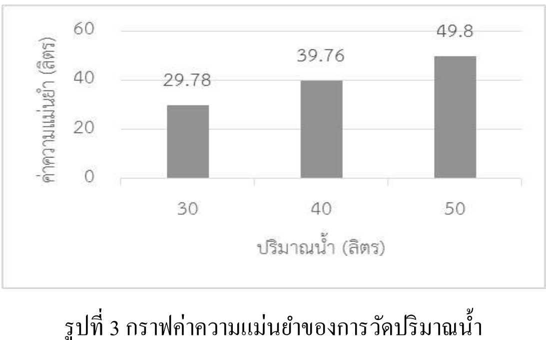
ส่วนที่ 2 การทดลองเพื่อหาความแม่นยำของการอ่านค่าเซนเซอร์วัดกระแสไฟฟ้าเทียบกับมิเตอร์ไฟฟ้า โดยทำการทดลองใช้ไฟฟ้า 1000 วัตต์จำนวน 10 ครั้ง, 3000 วัตต์จำนวน 10 ครั้ง, 5000 วัตต์จำนวน 10 ครั้ง บันทึกค่ากำลังไฟฟ้าที่เซนเซอร์วัดกระแสไฟฟ้าวัดค่าได้เพื่อหาค่าความคลาดเคลื่อนของค่าที่อ่านได้

ส่วนที่ 3 การทดลองเพื่อหาประสิทธิภาพและความเร็วในการทำงานของผู้ดูแลหอพักและอุปกรณ์วัดอัตราการไหลของน้ำ โดยทำการทดลองให้ผู้ดูแลหอพักเดินจดแบบปกติเทียบกับอุปกรณ์วัดอัตราการไหลของน้ำ ทำการทดลอง 10 ห้องจำนวน 10 ครั้ง บันทึกเวลาที่ใช้ในการทำงานเพื่อหาค่าเฉลี่ยของเวลาและความเร็วที่ใช้ในการทำงาน

ส่วนที่ 4 การทดลองเพื่อหาประสิทธิภาพและความเร็วในการทำงานของผู้ดูแลหอพักและอุปกรณ์วัดกระแสไฟฟ้า โดยทำการทดลองให้ผู้ดูแลหอพักเดินจดแบบปกติเทียบกับอุปกรณ์วัดกระแสไฟฟ้า ทำการทดลอง 10 ห้องจำนวน 10 ครั้ง บันทึกเวลาที่ใช้ในการทำงานเพื่อหาค่าเฉลี่ยของเวลาและความเร็วที่ใช้ในการทำงาน

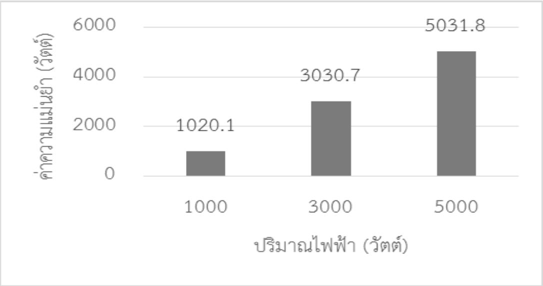
## 4. ผลการทดลอง

การทดลองที่ 1 การทดลองหาค่าความแม่นยำของการวัดปริมาณน้ำ โดยใช้น้ำในปริมาณที่แตกต่างกันผ่านเซนเซอร์วัดอัตราการไหลของน้ำพบว่าปริมาณน้ำที่ไหลผ่านเซนเซอร์วัดอัตราการไหลของน้ำและค่าที่อ่านได้จากมิเตอร์น้ำได้ผล คือ ปริมาณน้ำ 30 ลิตร ทำการทดลองจำนวน 10 ครั้ง ได้ค่าเฉลี่ย 29.78 ลิตร, ปริมาณน้ำ 40 ลิตร ทำการทดลองจำนวน 10 ครั้ง ได้ค่าเฉลี่ย 39.76 ลิตร และปริมาณน้ำ 50 ลิตร ทำการทดลองจำนวน 10 ครั้ง ได้ค่าเฉลี่ย 49.8 ลิตร ดังรูปที่ 3




รูปที่ 3 กราฟค่าความแม่นยำของการวัดปริมาณน้ำ

การทดลองที่ 2 การหาค่าความแม่นยำของกำลังไฟฟ้าโดยใช้เครื่องใช้ไฟฟ้าที่มีกำลังวัตต์แตกต่างกันผ่านเซนเซอร์วัดกระแสไฟฟ้าพบว่ากำลังไฟฟ้าที่ไหลผ่านเซนเซอร์วัดกระแสไฟฟ้าและค่าที่อ่านได้จากมิเตอร์ไฟฟ้าได้ผล คือ กำลังไฟฟ้า 1000 วัตต์ทำการทดลองจำนวน 10 ครั้ง ได้ค่าเฉลี่ย 1020.1 วัตต์, กำลังไฟฟ้า 3000 วัตต์ทำการทดลองจำนวน 10 ครั้ง ได้ค่าเฉลี่ย 3030.7 วัตต์และกำลังไฟฟ้า 5000 วัตต์ทำการทดลองจำนวน 10 ครั้ง ได้ค่าเฉลี่ย 5031.8 วัตต์ดังรูปที่ 4

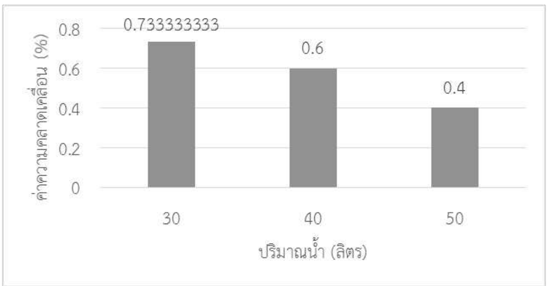



รูปที่ 4 กราฟค่าความแม่นยำของการวัดกำลังไฟฟ้า

จากการวิเคราะห์การหาเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของการหาค่าความแม่นยำของการวัดปริมาณน้ำและกำลังไฟฟ้าโดยสูตร

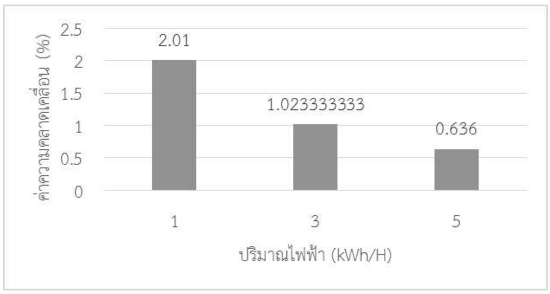
$$\frac{\left|\,(\text{ค่าที่ทดลองได้} - \text{ค่าที่แท้จริง}) \times 100\,\right|}{\text{ค่าที่แท้จริง}} \qquad (1)$$

จะได้ค่าความคลาดเคลื่อนของการวัดปริมาณน้ำ คือน้ำปริมาณ 30 ลิตร ได้ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย 0.73 %, น้ำปริมาณ 40 ลิตร ได้ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย 0.6 % และน้ำปริมาณ 50 ลิตรได้ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย 0.4 % จากกราฟแสดงให้เห็นว่าเมื่อใช้น้ำในปริมาณที่มากขึ้นจะมีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยลง ดังรูปที่ 5



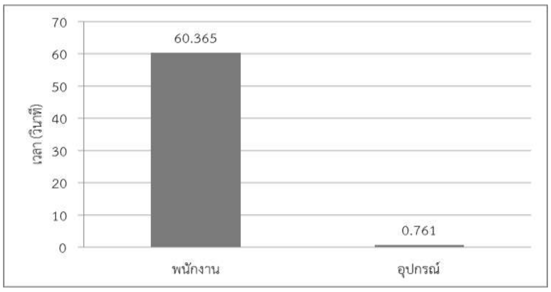

รูปที่ 5 กราฟค่าความคลาดเคลื่อนของการวัดปริมาณน้ำ

จากสูตรการหาค่าความคลาดเคลื่อนของการวัดกำลังไฟฟ้าได้ค่าความคลาดเคลื่อนคือ กำลังไฟฟ้า 1 kWh/H ได้ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย 2.01 %, กำลังไฟฟ้า 3 kWh/H ได้ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย 1.02 % และกำลังไฟฟ้า 5 kWh/H ได้ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย 0.64 % จากกราฟแสดงให้เห็นว่าเมื่อใช้กำลังไฟฟ้ามากขึ้นจะมีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยลง ดังรูปที่ 6



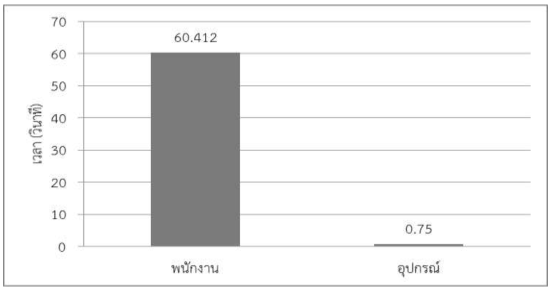

รูปที่ 6 กราฟค่าความคลาดเคลื่อนของการวัดกำลังไฟฟ้า

การทดลองที่ 3 การทดลองเพื่อหาประสิทธิภาพและความเร็วในการทำงานของผู้ดูแลหอพักและอุปกรณ์วัดอัตราการไหลของน้ำ พบว่าระยะเวลาในการทำงานของผู้ดูแลหอพักใช้เวลาในการทำงานโดยมีค่าเฉลี่ยรวมอยู่ที่ 60.365 วินาที อุปกรณ์วัดอัตราการไหลของน้ำใช้เวลาในการทำงานโดยมีค่าเฉลี่ยรวมอยู่ที่ 0.76 วินาที ดังรูปที่ 7




รูปที่ 7 กราฟแสดงค่าเฉลี่ยเวลาในการอ่านค่าของอุปกรณ์วัดอัตราการไหลของน้ำ

การทดลองที่ 4 การทดลองเพื่อหาประสิทธิภาพและความเร็วในการทำงานของผู้ดูแลหอพักและอุปกรณ์วัดกระแสไฟฟ้า พบว่าระยะเวลาในการทำงานของผู้ดูแลหอพักใช้เวลาในการทำงานโดยมีค่าเฉลี่ยรวมอยู่ที่ 60.412 วินาที อุปกรณ์วัดกระแสไฟฟ้าใช้เวลาในการทำงานโดยมีค่าเฉลี่ยรวมอยู่ที่ 0.75 วินาที ดังรูปที่ 8




รูปที่ 8 กราฟแสดงค่าเฉลี่ยเวลาในการอ่านค่าของอุปกรณ์วัดกระแสไฟฟ้า

## 5. สรุปและอภิปรายผลการทดลอง

ระบบรายงานปริมาณการใช้กระแสไฟฟ้าและปริมาณการใช้น้ำภายในอพาร์ทเม้นท์ มีค่าความถูกต้องในการตรวจวัดปริมาณน้ำเท่ากับ 99.42 % ค่าความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 0.58 % และมีค่าความถูกต้องในการตรวจวัดกำลังไฟฟ้าเท่ากับ 98.78 % ค่าความความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 1.22 % การหาประสิทธิภาพและความเร็วในการจดบันทึกค่าน้ำของผู้ดูแลหอพักมีค่าเฉลี่ยรวมเท่ากับ 60.365 วินาทีและอุปกรณ์วัดอัตราการไหลของน้ำอ่านค่าได้มีค่าเฉลี่ยรวมเท่ากับ 0.76 วินาที ประสิทธิภาพและความเร็วในการทำงานของผู้ดูแลหอพักในการจดบันทึกค่าไฟฟ้ามีค่าเฉลี่ยรวมเท่ากับ 60.412 วินาทีและอุปกรณ์วัดกำลังไฟฟ้าอ่านค่าได้มีค่าเฉลี่ยรวมเท่ากับ 0.75 วินาที จากผลการทดลองสรุปได้ว่าระบบรายงานปริมาณการใช้กระแสไฟฟ้าและปริมาณการใช้น้ำภายในอพาร์ทเม้นท์ สามารถช่วยในการบริหารจัดการการบันทึกค่าน้ำค่าไฟฟ้าของห้องพักทำให้ลดเวลาในการจดบันทึกและมีความสะดวกมากยิ่งขึ้น

## 6. เอกสารอ้างอิง

[1] John Greenough and Jonathan Camhi. 2016. The Internet of Things (IoT). สืบค้นจาก: http://www.businessinsider.com/ iot-trends-will-shape-the-way-we-interact-2016-1. 24 มีนาคม 2559

[2] บริษัท คอมโพแม็ก จำกัด. Flow Meter. สืบค้นจาก: http://www.compomax.co.th/application/วันนี้เราจะพามาดู-flowmeter. 24 มีนาคม 2559

[3] Blogger. Hall_Encoder_Sensor. สืบค้นจาก : http://hallencoder sensorbme3.blogspot.com/2011/07/hall-sensor.html. 24 มีนาคม 2559

[4] มหาวิทยาลัยบูรพา วิทยาเขตจันทบุรี. ความคลาดเคลื่อนและการวิเคราะห์เชิงสถิติ. สืบค้นจาก : http://webcache.googleusercontent .com/search?q=cache:G0rY6G8pGLwJ:www.chanthaburi.buu.ac .th/~physics/documents/การวัด เลขนัยสำคัญ ความคลาดเคลื่อนและการวิเคราะห์เชิงสถิติ.pdf. 24 มีนาคม 2559

บทความวิจัย
การประชุมวิชาการ งานวิจัยและพัฒนาเชิงประยุกต์ ครั้งที่ 8
*8th ECTI-CARD 2016, Hua Hin, Thailand*

# การประเมินประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟสขณะมีโหลดที่สภาวะทำงาน โดยการวิเคราะห์ถดถอยค่ากำลังงานกลจากสัดส่วนค่ากระแสและค่าไถล

# On-Service Three-Phase Induction Motor Efficiency Estimation Using Power Output Regression Analysis From Current and Slip Ratios

วีระ สุทธิสิงห์ และ กีรติ ชยะกุลคีรี
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม
2410/2 ถนนพหลโยธิน แขวงเสนานิคม เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900 โทรศัพท์ 02-579-1111 ต่อ 2147 E-mail: keerati.ch@spu.ac.th

## บทคัดย่อ

บทความวิจัยนี้นำเสนอผลลัพธ์การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของค่ากระแสและค่าไถลของมอเตอร์ในการประมาณค่ากำลังงานกลด้วยการวิเคราะห์ถดถอยทางสถิติเพื่อใช้ในการประเมินประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำแบบ 3 เฟส ที่สภาวะทำงานโดยไม่ต้องปลดโหลด ซึ่งจะเป็นประโยชน์ในการวิเคราะห์มาตรการอนุรักษ์พลังงานที่เกี่ยวข้องกับประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำได้โดยไม่ต้องยกมอเตอร์ไปทดสอบในห้องปฏิบัติการ ทั้งนี้ในการศึกษาวิจัยได้ใช้ข้อมูลการทดสอบมอเตอร์จำนวน 9 ตัว จากนั้นทำการวิเคราะห์ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนของกระแสที่มอเตอร์ใช้กับกระแสพิกัดที่มีต่อค่ากำลังงานกลที่มอเตอร์จ่ายออก และความเร็วรอบที่มอเตอร์ใช้กับความเร็วรอบพิกัดที่มีต่อค่ากำลังงานกลที่มอเตอร์จ่ายออก โดยวิธีการที่นำเสนอได้เปรียบเทียบความแม่นยำกับวิธีดั้งเดิมในการประเมินประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำแบบ 3 เฟสที่สภาวะทำงาน โดยใช้การอ้างอิงกับผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการ ซึ่งพบว่าวิธีการที่นำเสนอนี้ให้ผลลัพธ์ในการประเมินประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำแบบ 3 เฟส ได้โดยมีความคลาดเคลื่อนน้อยกว่าวิธีการแบบดั้งเดิม และใช้การคำนวณที่ไม่ซับซ้อน โดยยังคงใช้ตัวแปรในการวิเคราะห์พื้นฐานที่ไม่จำเป็นต้องหยุดเดินเครื่องมอเตอร์

คำสำคัญ: มอเตอร์เหนี่ยวนำแบบ 3 เฟส ประสิทธิภาพ วิธีกระแส วิธีค่าไถล การวิเคราะห์ถดถอย

## Abstract

This research paper presents the relation analysis of current and slip to induction motor power output using regression for three-phase induction motor efficiency estimation, without interrupting the motor operation. The method is benefit to the energy conservation program related to the motor efficiency analysis, due to the efficiency of motor can be estimated without transporting motor to the laboratory. In this research, the test laboratory test result of **nine** motors is used as reference. The relation between current and power output and between slip and power output had been investigated. The accuracy of the proposed method was compared to the conventional on-service three-phase induction motor efficiency estimations. The results shown that the proposed method provides the lower error in three-phase induction motor efficiency estimation than those of estimated by conventional methods, without interrupting motor operation.

Keywords: Three-phase induction motor, efficiency, current method, slip method, regression

## 1. บทนำ

ในปัจจุบันนี้ โรงงานอุตสาหกรรมและอาคารขนาดใหญ่ได้มีจำนวนมากขึ้นทั้งใหม่และเก่าต่างได้มีการนำเอามอเตอร์เหนี่ยวนำมาใช้งานในหลากหลายรูปแบบ ดังนั้นการประเมินประสิทธิภาพของมอเตอร์จึงสำคัญมาก เนื่องจากเป็นตัวต้นกำลังโดยแปลงพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกลเพื่อขับโหลดต่างๆ อย่างไรก็ตาม เมื่อติดตั้งมอเตอร์ไปแล้ว การตรวจสอบตรวจวัดจึงมีความยุ่งยากมาก ต้องมีการถอดมอเตอร์ออกมาเพื่อวัดซึ่งโดยมากไม่สามารถที่จะทำได้เนื่องจากโรงงานอุตสาหกรรมต้องเดินเครื่องการผลิตตลอดเวลา ในปัจจุบันยังไม่ได้มีการศึกษาข้อมูลผลประหยัดจากการปรับปรุงประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำที่ชัดเจน อย่างไรก็ตามมาตรการในการเพิ่มประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำเป็นมาตรการที่สามารถช่วยประหยัดพลังงานได้สูง และภาครัฐได้ให้ความสำคัญและสนับสนุนซึ่งหากสามารถประเมินประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำแบบ 3 เฟสที่หน้างานจริงโดยใช้เครื่องมือวัดพื้นฐาน ก็จะเป็นประโยชน์ในการจัดทำมาตรการอนุรักษ์พลังงานที่เกี่ยวข้องกับมอเตอร์ให้มีความชัดเจน ทั้งนี้หากต้องการตรวจ

วิเคราะห์ประสิทธิภาพของมอเตอร์ให้มีความแม่นยำสูงจะต้องทำการทดสอบในห้องปฏิบัติการ [1-2] ซึ่งจะมีความยุ่งยากมากในการเคลื่อนย้ายมอเตอร์ไปทดสอบ ส่วนการทดสอบมอเตอร์ที่สภาวะการทำงานที่หน้างานได้มีวิธีการที่ใช้หลายรูปแบบ [3-9] ซึ่งจะมีความสะดวกและความแม่นยำที่แตกต่างกันในแต่ละวิธี ทั้งนี้วิธีการที่มีความสะดวกมากจะมีความคลาดเคลื่อนที่ค่อนข้างสูง ส่วนวิธีการที่มีความแม่นยำที่สูงขึ้นจะมีความยุ่งยากและซับซ้อนในการตรวจวิเคราะห์ที่มากขึ้น

งานวิจัยนี้จึงได้เสนอวิธีการประเมินประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำที่สภาวะการทำงานจริง โดยใช้ความสัมพันธ์ของกระแสและไถลที่มีต่อกำลังไฟฟ้าขาออกของมอเตอร์ในการประเมินประสิทธิภาพของมอเตอร์ที่สภาวะการทำงานจริง ทั้งนี้ในการวิจัยได้ศึกษาวิธีการหาค่าประสิทธิภาพมอเตอร์ด้วยวิธีค่ากระแสและวิธีค่าไถลและศึกษาความสัมพันธ์ของกระแสและค่าไถลกับกำลังไฟฟ้าขาออกของมอเตอร์ที่ประกอบด้วยมอเตอร์ขนาด 1.5 kW 11 kW 30 kW ที่เป็นมอเตอร์ใหม่ มอเตอร์เก่า และมอเตอร์ที่ผ่านการพันขดลวด รวมจำนวน 9 ตัว นำมาวิเคราะห์ความสัมพันธ์โดยใช้การวิเคราะห์ถดถอยทางสถิติระหว่างกำลังไฟฟ้าขาออกและสัดส่วนกระแสของมอเตอร์กับกระแสพิกัด และระหว่างกำลังไฟฟ้าขาออกและสัดส่วนของค่าไถลกับค่าไถลที่พิกัด

ทั้งนี้ บทความนี้ได้รวบรวมและแสดงแนวทางการประเมินประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำแบบ 3 เฟสไว้ในหัวข้อที่ 2 และได้นำเสนอวิธีการประเมินประสิทธิภาพจากการวิเคราะห์ถดถอยไว้ในหัวข้อที่ 3 โดยผลการทดสอบและการวิเคราะห์ด้วยวิธีการที่นำเสนอได้แสดงไว้ในหัวข้อที่ 4 ตามด้วยการสรุปผลการศึกษาวิจัยไว้ในหัวข้อที่ 5

## 2. การประเมินประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำแบบ 3 เฟส

***ในปัจจุบัน วิธีการประเมินประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำที่ใช้ในทางปฏิบัติและที่มีผู้เสนอไว้ประกอบด้วย วิธีการวัดแรงบิดที่เพลา (Shaft Power Output) วิธีการตามแผ่นป้าย (Name Plat) วิธีการค่าไถล (Slip Method) วิธีการค่ากระแส (Current Method) วิธีการวงจรสมมูล (Equivalent Circuit Method) วิธีการแยกความสูญเสีย วิธีการแรงบิดที่ช่องอากาศ (Air gap torque) [3-9]***

***วิธีการวัดแรงบิดที่เพลา***

***การหาค่าประสิทธิภาพด้วยวิธีการวัดแรงบิดที่เพลานี้เป็นวิธีที่มีความถูกต้องและแม่นยำที่สุด [1-2] เพราะได้ค่ากำลังงานที่เพลาจากการวัดโดยตรงและการหาประสิทธิภาพวิธีนี้จำเป็นต้องวัดความเร็วรอบมาด้วย วิธีนี้จะต้องทำการทดสอบในห้องปฏิบัติการเนื่องจากต้องใช้เครื่องทดสอบที่สามารถปรับค่าและวัดแรงบิด รวมทั้งความเร็วรอบของมอเตอร์ได้***

***วิธีการใช้ค่าตามแผ่นป้าย***

***วิธีการประเมินประสิทธิภาพด้วยวิธีข้อมูลจากแผ่นป้ายนี้เป็นวิธีที่ง่ายที่สุดสะดวกที่สุดจะใช้ค่าที่ทางผู้ผลิตได้กำหนดมาในแผ่นป้ายเพื่อหาประสิทธิภาพของมอเตอร์ได้ [5] แต่วิธีนี้จะมีความคลาดเคลื่อนสูงในกรณีที่มอเตอร์ไม่ได้ทำงานตามพิกัด มอเตอร์ที่ใช้งานมาเป็นเวลานานและมอเตอร์ที่ถูกพันขดลวดใหม่***

***วิธีการค่าไถล***

***วิธีการประเมินประสิทธิภาพจากค่าไถลของมอเตอร์ จะเป็นการเปรียบเทียบสัดส่วนกำลังงานขาออกของมอเตอร์จากค่าไถลที่สามารถคำนวณได้จากความเร็วรอบที่ตรวจวัด เทียบกับค่าไถลในขณะที่มอเตอร์ทำงานที่พิกัด [3-4] ซึ่งวิธีนี้จะสามารถประเมินประสิทธิภาพของมอเตอร์จากการวัดความเร็วรอบได้โดยไม่ต้องหยุดเดินเครื่องมอเตอร์ แต่จะมีความคลาดเคลื่อนที่ค่อนข้างสูง***

***วิธีการหาค่ากระแส***

***วิธีการประเมินประสิทธิภาพจากค่ากระแสของมอเตอร์ จะเป็นวิธีการประเมินกำลังงานขาออกของมอเตอร์โดยใช้หลักว่ากำลังงานขาออกของมอเตอร์จะแปรผันตรงกับค่าของกระแสที่มอเตอร์ใช้ [3-4] ซึ่งวิธีการนี้จะมีค่าคาดเคลื่อนสูงเช่นกัน***

***วิธีการวงจรสมมูล***

***วิธีการวงจรสมมูลสามารถหาค่าจากการทดสอบ คือ การทดสอบแบบไม่มีโหลด การทดสอบแบบยึดโรเตอร์ หรืออาจใช้การหาค่าตัวแปรในวงจรสมมูลจากการวิเคราะห์ทางปัญญาประดิษฐ์ได้ [5-8] ซึ่งในการทดสอบที่หน้างานนั้นจะไม่มีความสะดวก ส่วนวิธีการทางปัญญาประดิษฐ์จะใช้การคำนวณที่ซับซ้อนและต้องใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการคำนวณ***

***วิธีการแรงบิดที่ช่องอากาศ***

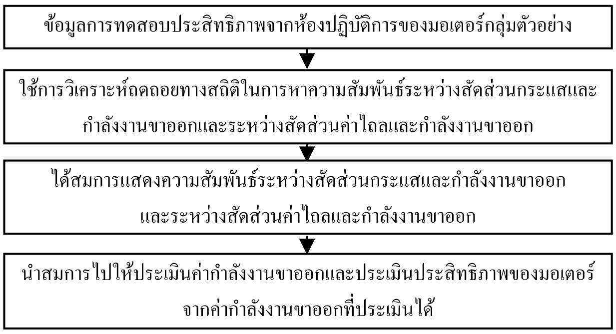
***วิธีการนี้อาศัยการตรวจวัดค่าแรงดันและกระแสเป็นช่วงเวลารวมถึงจำเป็นต้องทราบค่าความต้านทานของขดลวดสเตเตอร์ แล้วจึงนำมาคำนวณหาค่าแรงบิดที่ช่องว่างอากาศ [9] ซึ่งจะต้องใช้เครื่องบันทึกค่าทางไฟฟ้าแบบต่อเนื่องและต้องทำการวัดค่าความต้านทานของขดลวดสเตเตอร์ซึ่งทำให้ต้องทำการหยุดเดินเครื่องมอเตอร์***

***จากวิธีการที่กล่าวมาแล้วนั้น ในโครงการวิจัยนี้จึงได้เสนอการศึกษาวิธีการประเมินประสิทธิภาพของมอเตอร์ที่สภาวะทำงานโดยไม่จำเป็นต้องหยุดเดินเครื่องมอเตอร์จากความสัมพันธ์ของกำลังงานขาออกกับกระแสที่มอเตอร์ใช้และความสัมพันธ์ของกำลังงานขาออกกับค่าไถลของมอเตอร์***

## 3. วิธีการประเมินประสิทธิภาพจากการวิเคราะห์ถดถอย

ในการวิเคราะห์ถดถอยเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนกระแสและกำลังงานขาออก และระหว่างสัดส่วนค่าไถลและกำลังงานขา

ออกของมอเตอร์จะใช้ข้อมูลผลการทดสอบเป็นกลุ่มตัวอย่างทางสถิติ ซึ่งจะสามารถแสดงวิธีการวิเคราะห์ได้ดังรูปที่ 1




รูปที่ 1 ขั้นตอนการหาความสัมพันธ์สำหรับวิธีการประเมินประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำด้วยการวิเคราะห์ถดถอย

ทั้งนี้สมการที่ใช้ในการศึกษาวิจัยนี้จะใช้สมการความสัมพันธ์แบบเชิงเส้น ที่อยู่ในรูปของ

$$\frac{P_{out}}{P_{rated}} = A_I \frac{I}{I_{rated}} + B_I \qquad (1)$$

และ

$$\frac{P_{out}}{P_{rated}} = A_S \frac{S}{S_{rated}} + B_S \qquad (2)$$

โดยที่

$P_{out}$ คือค่ากำลังงานขาออกของมอเตอร์ (W)
$P_{rated}$ คือค่ากำลังงานพิกัดของมอเตอร์ (W)
$I$ คือค่ากระแสที่มอเตอร์ใช้ (A)
$I_{rated}$ คือค่ากระแสพิกัดมอเตอร์ใช้ (A)
$S$ คือค่าไถลของมอเตอร์
$S_{rated}$ คือค่าไถลของมอเตอร์ที่พิกัด
$A_I, B_I, A_S, B_S$ คือค่าตัวแปรที่ได้จากการวิเคราะห์ถดถอยทางสถิติ

จากนั้นสามารถประเมินประสิทธิภาพของมอเตอร์ได้จากสมการ

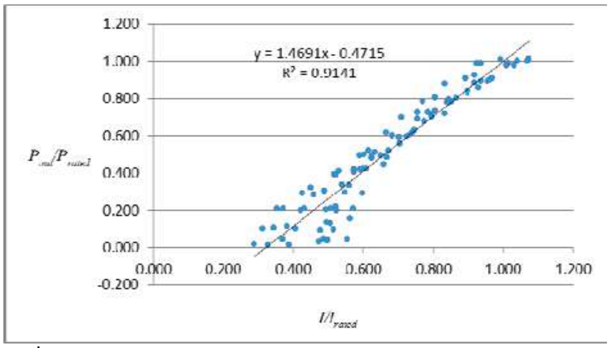
$$\%Eff = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100 \qquad (3)$$

โดยที่

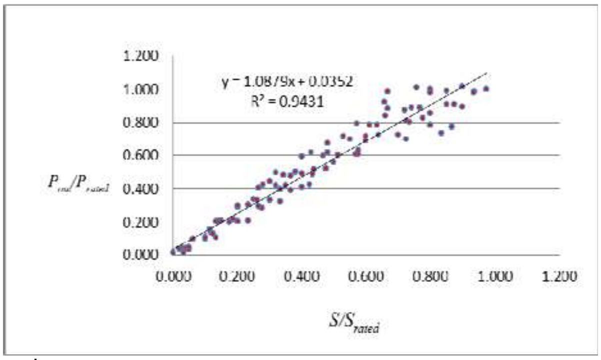
$\%Eff$ คือค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์ (%)
$P_{in}$ คือค่ากำลังงานไฟฟ้าที่จ่ายให้แก่มอเตอร์ (kW)

## 4. ผลการทดสอบและวิเคราะห์ความสัมพันธ์

จากผลการทดสอบมอเตอร์จำนวน 9 ตัว ประกอบด้วยมอเตอร์ขนาด 1.5 kW 11 kW และ 30 kW ที่เป็นมอเตอร์ใหม่ มอเตอร์ที่มีอายุการใช้งานมามากกว่า 5 ปี และมอเตอร์ที่ผ่านการซ่อมบำรุงโดยพันขดลวดใหม่ โดยมีการทดสอบที่สภาวะทำงาน 10 ตำแหน่งคือที่การจ่ายโหลด 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60%, 70%, 80%, 90%, และ 100% [4] ซึ่งนำผลการทดสอบมาหาความสัมพันธ์ของมอเตอร์แต่ละขนาดได้ดังรูปที่ 2 และ 3



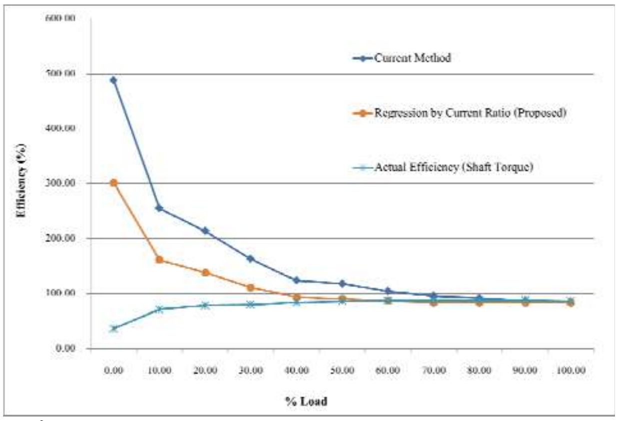

รูปที่ 2 ความสัมพันธ์และผลการวิเคราะห์ถดถอยระหว่างสัดส่วนกระแสและกำลังงานขาออกของมอเตอร์



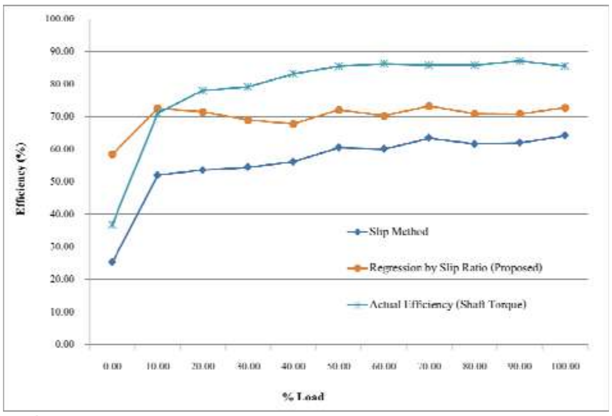

รูปที่ 3 ความสัมพันธ์และผลการวิเคราะห์ถดถอยระหว่างสัดส่วนค่าไถลและกำลังงานขาออกของมอเตอร์

จากรูปที่ 2 และ 3 จะเห็นได้ว่าความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนกระแสและกำลังงานขาออกของมอเตอร์จะมีความคลาดเคลื่อนสูงในกรณีที่มอเตอร์ทำงานต่ำกว่าพิกัดมาก ส่วนความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนค่าไถลและกำลังงานขาออกของมอเตอร์จะมีความคลาดเคลื่อนสูงในกรณีที่มอเตอร์ทำงานที่ใกล้พิกัด อย่างไรก็ตาม ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of Determination: $\mathbf{R}^2$) ของทั้ง 2 วิธีมีค่าที่สูงถึง 0.9141 และ 0.9431 ซึ่งมากพอที่จะใช้ในการประเมินค่ากำลังงานขาออกของมอเตอร์จากการวิเคราะห์ถดถอยทั้ง 2 วิธี

ทั้งนี้เมื่อนำผลการวิเคราะห์ถดถอยที่ได้ไปประเมินโดยใช้กรณีศึกษามอเตอร์ขนาด 1.5 kW ที่เป็นมอเตอร์ใหม่ สามารถแสดงผลการประเมินประสิทธิภาพด้วยวิธีการค่ากระแสเปรียบเทียบกับวิธีประเมินประสิทธิภาพจากการวิเคราะห์ถดถอยค่ากำลังงานขาออกจากค่าสัดส่วนกระแส (ตามสมการในรูปที่ 2) ได้ดังรูปที่ 4 และ สามารถแสดงผลการประเมินประสิทธิภาพด้วยวิธีการค่าไถลเปรียบเทียบกับวิธีประเมินประสิทธิภาพจากการวิเคราะห์ถดถอยค่ากำลังงานขาออกจากค่าสัดส่วนค่าไถล (ตามสมการในรูปที่ 3) ได้ดังรูปที่ 5




รูปที่ 4 การประเมินประสิทธิภาพด้วยวิธีการวิเคราะห์ถดถอยค่ากำลังงานขาออกจากค่าสัดส่วนกระแสของมอเตอร์ใหม่ขนาด 1.5 kW




รูปที่ 5 การประเมินประสิทธิภาพด้วยวิเคราะห์ถดถอยค่ากำลังงานขาออกจากค่าสัดส่วนค่าไถลของมอเตอร์ใหม่ขนาด 1.5 kW

จากผลการศึกษาพบว่าการวิเคราะห์ถดถอยค่ากำลังงานขาออกจากความสัมพันธ์กับสัดส่วนกระแสให้ผลลัพธ์ในการคำนวณใกล้เคียงความจริงกว่าวิธีการกระแสแบบดั้งเดิม ในขณะเดียวกันการวิเคราะห์ถดถอยค่ากำลังงานขาออกจากความสัมพันธ์กับสัดส่วนค่าไถลให้ผลลัพธ์ในการคำนวณใกล้เคียงความจริงกว่าวิธีการค่าไถลแบบดั้งเดิม

ทั้งนี้ พบว่าวิธีการที่วิเคราะห์จากค่าไถลจะให้ผลลัพธ์ที่ใกล้ความเป็นจริงกว่าการวิเคราะห์จากกระแสในกรณีที่มอเตอร์ทำงานที่ต่ำกว่าพิกัดมากคือต่ำกว่า 50% ของพิกัด ซึ่งในการใช้งานวิธีการวิเคราะห์ถดถอยสามารถเลือกใช้ว่าจะใช้ตัวแปรค่าสัดส่วนกระแสหรือสัดส่วนค่าไถลได้จากเงื่อนไขการทำงานของมอเตอร์ดังกล่าวได้

## 5. สรุป

การศึกษาวิจัยนี้ได้ทำการทดสอบวิธีการวิเคราะห์ถดถอยในการหาความสัมพันธ์ระหว่างกำลังงานขาออกกับค่าสัดส่วนกระแสและกำลังงานขาออกกับสัดส่วนค่าไถล เพื่อนำมาใช้ในการประเมินประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำแบบ 3 เฟส ในขณะทำงาน ซึ่งพบว่ามีความแม่นยำกว่าวิธีการค่ากระแสและวิธีการค่าไถลแบบดั้งเดิม ซึ่งจะเป็นแนวทางที่สามารถต่อยอดศึกษาเพิ่มเติมให้เกิดการพัฒนาเพื่อนำไปใช้ในการประเมินประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำแบบ 3 เฟส โดยไม่ต้องหยุดเดินเครื่องมอเตอร์ได้สะดวกและมีความแม่นยำที่ยอมรับได้

## 6. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณข้อมูลการทดสอบมอเตอร์จากโครงการวิจัย รหัส RDG57D0004 ของชุดโครงการร่วมสนับสนุนทุนวิจัย กฟผ.-สกว.

## เอกสารอ้างอิง

[1] IEEE Standard Test Procedure for Polyphase Induction Motors and Generators, IEEE Standard 112-2004, Nov. 2004.

[2] International Standard, Rotating Electrical Machines, IEC60034, 1999.

[3] U.S. Department of Energy, “Determining Electric Motor Load and Efficiency,” Motor Challenge, DOE/GO-10097-517.

[4] วีระ สุทธิสิงห์ กีรติ ชยะกุลคีรี วิชชากร เฮงศรีธวัช และ เพชร นันทิวัฒนา “การศึกษาประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟสขณะมีโหลดที่หน้างานโดยการใช้เครื่องมือวัดพื้นฐาน” การประชุมวิชาการระดับชาติ มหาวิทยาลัยศรีปทุม ครั้งที่ 10 (SPUCON-2015), 22 ธันวาคม 2558.

[5] J. S. Hsu, J. D. Kueck, M. Olszewski, D. A. Casada, P. J. Otaduy, and L. M. Tolbert, "Comparison of Induction Motor Field Efficiency Evaluation Methods," IEEE Transactions on Industry Appli., vol. 34, issue:1, pp. 117-125, Jan./Feb. 1998.

[6] Bin Lu, Student Member, Thomas G. Habetler, and Ronald G. Harley, “A Survey of Efficiency-Estimation Methods for In-Service Induction Motors,” IEEE Trans. Industry Application, VOL. 42, NO. 4, JULY/AUGUST, pp. 924-932, 2006.

[7] S. Jangjit and P. Laohachai, “Parameter Estimation of Three-Phase Induction Motor by Using Generic Algorithm,” Journal of Electrical Engineering & Technology, vol. 4, no. 3, pp. 360-364, 2009.

[8] C. Picardi and N. Rogano, “Parameter Identification of Induction Motor Based on Particle Swarm Optimization,” in Proc. IEEE Power Electronic, Electrical Drives, Automation and Motion, SPEEDAM International Symposium, May, 2006, pp. 968–973.

[9] J. S. Hsu, and B. P. Scoggins, “Field Test of Motor Efficiency and Load Changes Through Air-gap Torque,” IEEE Trans. Energy Conv., vol. 10, no. 3, pp. 471-477, Sept. 1995.

# การประจุแบตเตอรี่ตะกั่วกรดที่มีพัลส์ลบสำหรับระบบพลังงานแสงอาทิตย์

## Lead-Acid Battery Burp Charge for Photovoltaic System

อุดม เครือเทพ และสันติภาพ โคตทะเล
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนาตาก ต.ไม้งาม อ.เมือง จ.ตาก 63000 Email: Santipab@Yahoo.com

### บทคัดย่อ

*บทความนี้ นำเสนอการประจุแบตเตอรี่ตะกั่วกรดที่มีพัลส์ลบจากระบบพลังงานแสงอาทิตย์ผ่านคอนเวอร์เตอร์แบบฟลายแบ็คด้วยหลักการเกาะจุดกำลังสูงสุดแบบสังเกตุและรบกวน ใช้ตัวประมวลผลสัญญาณดิจิตอลสร้างสัญญาณควบคุมแบบพีดับบลิวเอ็มให้กับวงจรกำลัง ผลการทดสอบการทำงานของเครื่องต้นแบบกับระบบพลังงานแสงอาทิตย์ขนาด 480 วัตต์ 48 โวลต์ พบว่าแบตเตอรี่ตะกั่วกรดมีการประจุที่สูงกว่าการประจุแบบแรงดันคงที่ที่ไม่มีการเกาะจุดกำลังสูงสุดประมาณ 11 เปอร์เซ็นต์ และมีอุณหภูมิต่ำกว่าประมาณ 2 องศาเซนเซียส*

***คำสำคัญ :*** การประจุแบตเตอรี่ที่มีพัลส์ลบ คอนเวอร์เตอร์แบบฟลายแบ็ค การเกาะจุดกำลังสูงสุดแบบสังเกตุและรบกวน

### Abstract

*This paper presents a lead-acid battery burp charge from the photovoltaic system through a flyback converter, with the maximum power transfer (MPPT), perturb and observe (P&O) algorithm. Using digital signal processer to create the PWM control signals to the power circuit. The results of testing of prototype systems with the 480 watts 48 volts photovoltaic system found that lead-acid batteries are fully charged higher than a constant voltage charger (without MPPT) are up about 11 percent and the temperature less than about 2 C° .*

***Keywords:*** Burp Charge, Flyback converter, P&O MPPT

### 1. บทนำ

ระบบกำเนิดไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ได้ถูกพัฒนาใช้งานอย่างแพร่หลายทั้งในภาคอุตสาหกรรมการผลิต และในบ้านพักอาศัย รวมทั้งในพื้นที่ทุรกันดารที่ไม่มีระบบจำหน่ายไฟฟ้า แบตเตอรี่แบบตะกั่วกรดเป็นอุปกรณ์เก็บพลังงานสำหรับระบบพลังงานแสงอาทิตย์โดยเฉพาะในระบบชนิดอิสระ แบตเตอรี่ชนิดนี้จะมีความน่าเชื่อถือในการทำงานสูง และมีต้นทุนที่ต่ำกว่าแบตเตอรี่ชนิดอื่น การประจุพลังงานโดยส่วนใหญ่จะใช้หลักการประจุแบบพัลส์เพื่อให้แบตเตอรี่สามารถเก็บพลังงานได้สูง แต่อย่างไรก็ดีในกระบวนการประจุจะเกิดความร้อนที่ค่อนข้างสูง และเกิดการสะสมซัลเฟตที่แผ่นธาตุ จึงได้มีการวิจัยเกี่ยวกับการประจุพลังงานแบบพัลส์ที่มีพัลส์ลบแคบๆ ช่วยในการคายประจุอยู่ในวงรอบของการประจุที่จะส่งผลให้แบตเตอรี่เก็บสะสมพลังงานได้มากขึ้น ช่วยลดอุณหภูมิระหว่างการประจุลง ทำให้สามารถยืดอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ให้นานขึ้น ในงานวิจัยนี้จึงมีความสนใจที่จะทำการสร้างและทดสอบการประจุพลังงานแบบพัลส์ที่มีพัลส์ลบให้กับแบตเตอรี่แบบตะกั่วกรดที่รับพลังงานจากระบบพลังงานแสงอาทิตย์ ใช้ตัวประมวลผลสัญญาณดิจิตอลเบอร์ ADMCF326BR สร้างสัญญาณควบคุมการทำงานของภาคกำลัง รวมทั้งมีการนำระบบการเกาะจุดพลังงานสูงสุดที่ใช้หลักการสังเกตุและรบกวนร่วมอยู่ในระบบ เครื่องต้นแบบจะถูกทำการทดสอบกับระบบพลังงานแสงอาทิตย์ขนาดเล็ก โดยมีเป้าหมายเพื่อการพัฒนาระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ในถิ่นทุรกันดารที่ไม่มีไฟฟ้าใช้

### 2. ระบบการประจุพลังงานแบตเตอรี่ตะกั่วกรดที่มีพัลส์ลบ

การประจุและคายประจุของแบตเตอรี่แบบตะกั่วกรด [1] จะมีกระบวนการทางเคมีตามสมการที่ 1 และสมการที่ 2 ตามลำดับ ระหว่างกระบวนการประจุจะเกิดซัลเฟตขึ้นที่แผ่นธาตุ ส่วนการคายประจุจะเกิดการสลายของซัลเฟต

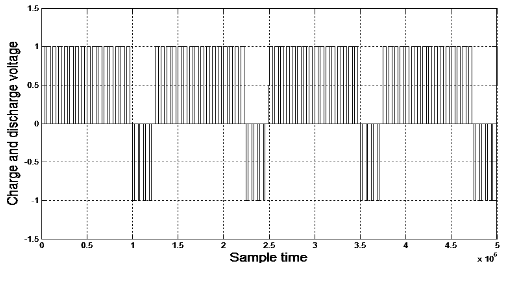
Positive: $P_bSO_4 + 2H_2O \Leftrightarrow P_bO_2 + HSO_4^- + 3H^+ + 2e^-$

Negative: $P_bSO_4 + H^+ + 2e^- \Leftrightarrow P_b + HSO_4^-$ (1)

Positive: $P_bO_2 + 4H^+ + 2e^- \Leftrightarrow P_b^{2+} + 2H_2O$

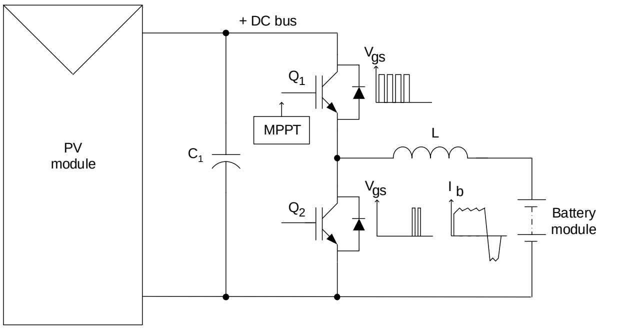
Negative: $P_b \Leftrightarrow P_b^{2+} + 2e^-$ (2)

การคายประจุระหว่างคาบของการประจุดังรูปที่ 1 แผ่นธาตุของแบตเตอรี่จะมีพื้นผิวในการเก็บประจุสูงขึ้นจากการลดลงซัลเฟต ช่วยลดอุณหภูมิของแบตเตอรี่ซึ่งจะมีผลมากในกรณีของการประจุแบบเร็ว นอกจากนี้ยังสามารถช่วยยืดอายุการใช้งานของแบตเตอรี่

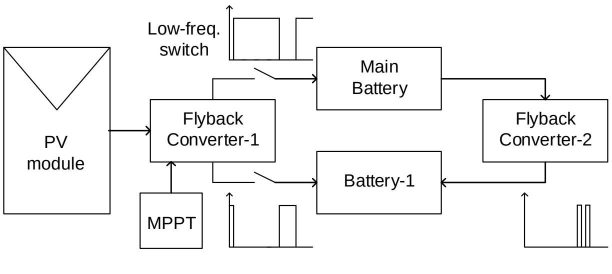



**รูปที่ 1** แรงดันไฟฟ้าของการประจุที่มีพัลส์ลบ

โดยทั่วไปการประจุแบตเตอรี่แบบพัลส์ (Pulse charge) จะใช้หลักการแรงดันคงที่ และกระแสคงที่ (CC/CV) [2] โดยทำการควบคุมแรงดันหรือกระแสไฟฟ้าที่บัสไฟฟ้ากระแสตรงด้วยการปรับค่าความกว้างของพัลส์ ส่วนการประจุแบบที่มีพัลส์ลบนี้ถ้าใช้คอนเวอร์เตอร์แบบทบทอนดังรูปที่ 2 จะพบว่าไม่สามารถตอบสนองให้เกิดกำลังไฟฟ้าสูงสุดได้ในช่วงเวลาของการคายประจุจึงจำเป็นต้องมีบัสไฟฟ้ากระแสตรงช่วยโดยการใช้ตัวเก็บประจุช่วยเก็บพลังงานในไซเคิลของการคายประจุ อีกทั้งในการตรวจจับแรงดัน หรือกระแสจะเกิดความผิดพลาดจากผลของตัวเก็บประจุ ในบทความนี้จะนำเสนอการประจุแบตเตอรี่ตะกั่วกรดจากระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ผ่านคอนเวอร์เตอร์แบบฟลายแบ็ค โดยแบ่งแบตเตอรี่เป็น 2 ชุด เพื่อให้มีการส่งผ่านกำลังงานจากแผงโซลาร์เซลล์ตลอดเวลาซึ่งจะทำให้เกิดการส่งผ่านกำลังงานสูงสุดได้ และทำการคายประจุในช่วงพัลส์ลบจากแบตเตอรี่หลักผ่านคอนเวอร์เตอร์ให้กับแบตเตอรี่ชุดที่ 1 แสดงเป็นแผนผังบล็อกได้ดังรูปที่ 3

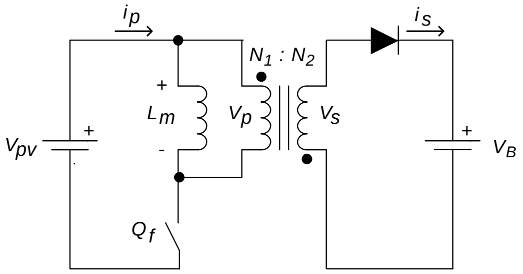



**รูปที่ 2** ระบบการประจุพลังงานที่ใช้คอนเวอร์เตอร์แบบทบทอน




**รูปที่ 3** แผนผังบล็อกของการประจุพลังงานแบตเตอรี่ที่นำเสนอ

แบตเตอรี่หลักจะถูกประจุด้วยพัลส์บวกจากระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ผ่านคอนเวอร์เตอร์แบบฟลายแบ็คที่ชุดที่ 1 ซึ่งทำงานที่ค่าความถี่สูง โดยมีอุปกรณ์สวิตซ์ที่ทำงานที่ค่าความถี่ต่ำๆ และในช่วงของพัลส์ลบที่แบตเตอรี่หลักทำการคายประจุผ่านคอนเวอร์เตอร์แบบฟลายแบ็คที่ชุดที่ 2 อุปกรณ์สวิตซ์อีกชุดหนึ่งจะทำต่อวงจรการประจุพลังงานผ่านคอนเวอร์เตอร์แบบฟลายแบ็คที่ชุดที่ 1 ให้แบตเตอรี่ชุดที่ 1 ร่วมกันเพื่อให้ได้ค่าพลังงานสูงสุดจากระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ โดยแบตเตอรี่หลักจะมีค่าพิกัดกำลังไฟฟ้าสูงกว่าแบตเตอรี่ชุดที่ 1 ในการวิเคราะห์คอนเวอร์เตอร์แบบฟลายแบ็คร่วมกับโมเดลของระบบพลังงานแสงอาทิตย์ภายใต้การส่งผ่านกำลังสูงสุด [3] จะมีวงจรอย่างง่ายดังรูปที่ 4




**รูปที่ 4** วงจรอย่างง่ายของการประจุด้วยคอนเวอร์เตอร์แบบฟลายแบ็ค

จากรูปที่ 4 ที่แสดงวงจรอย่างง่ายของการประจุแบตเตอรี่จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ผ่านคอนเวอร์เตอร์แบบฟลายแบ็ค เมื่อทำการละทิ้งความต้านทานภายในของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และแบตเตอรี่ ถ้า $i_p$ คือกระแสจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ $i_s$ คือกระแสประจุแบตเตอรี่ กระแสสูงสุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ จะมีค่าดังสมการที่ 3

$$\hat{i}_p = \frac{V_{pv}}{L_m} t_{on} \qquad (3)$$

กระแสเฉลี่ยจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะมีค่าดังสมการที่ 4

$$I_p = \frac{V_{pv} d^2}{2 L_m f_s} \qquad (4)$$

เมื่อ $d$ คือ ค่าดิวตี้ไซเคิล
$L_m$ คือ ค่าตัวเหนี่ยวนำที่เกิดจากการกระตุ้นของหม้อแปลง
$f_s$ คือ ความถี่ของการสวิตช์

ถ้าทำการพิจารณาถึงค่าประสิทธิภาพ ($\eta$) ความสัมพันธ์ของกำลังไฟฟ้าเอาท์พุตจากคอนเวอร์เตอร์ที่ทำการประจุแบตเตอรี่ และกำลังไฟฟ้าอินพุตจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ จะมีค่าดังสมการที่ 5

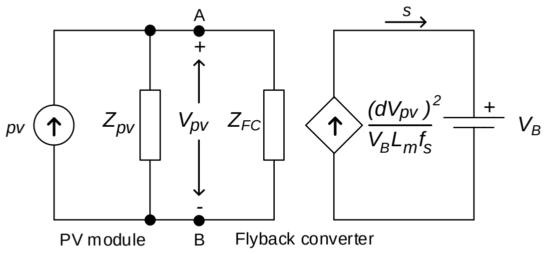
$$\eta V_{pv} I_p = I_s V_B \qquad (5)$$

กระแสประจุ และกำลังไฟฟ้าเอาท์พุต จะมีค่าดังสมการที่ 6 และสมการที่ 7 ตามลำดับ

$$I_s = \frac{\eta (V_{pv} d)^2}{V_B L_m f_s} \qquad (6)$$

$$P_o = \frac{\eta (V_{pv} d)^2}{L_m f_s} \qquad (7)$$

ดังนั้นจึงเขียนเป็นโมเดลของการประจุแบตเตอรี่จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ผ่านคอนเวอร์เตอร์แบบฟลายแบ็คได้ดังรูปที่ 5




**รูปที่ 5** โมเดลของการประจุด้วยคอนเวอร์เตอร์แบบฟลายแบ็ค

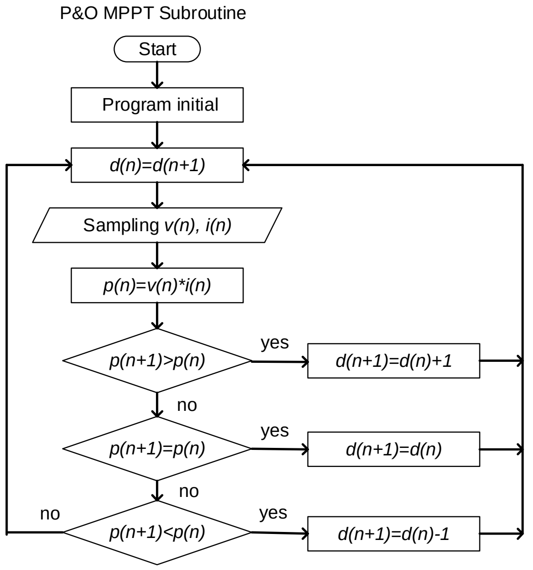
เมื่อ

$$Z_{FC} = j2\pi f_s L_m \quad (8)$$

$$Z_{pv} = \frac{1}{j2\pi f_s C_{pv}} \quad (9)$$

## 3. การเกาะจุดกำลังสูงสุดแบบสังเกตุและรบกวน

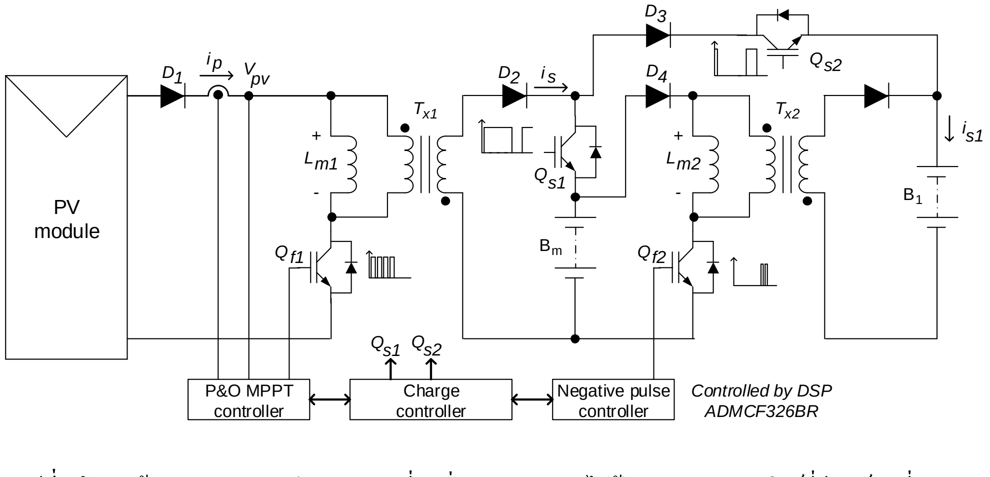
การเกาะจุดกำลังสูงสุดแบบสังเกตและรบกวน [4] จะอาศัยการเปรียบเทียบค่ากำลังไฟฟ้าที่ได้จากการคำนวณในรอบปัจจุบัน กับในรอบที่ผ่านมา ถ้าในรอบปัจุบันมีค่ามากกว่าจะทำการเพิ่มค่าดิวตี้ไซเคิล ถ้าในรอบปัจุบันมีค่าเท่ากับในรอบที่ผ่านมาจะคงค่าดิวตี้ไซเคิล และถ้าในรอบปัจุบันมีค่าน้อยกว่าจะทำการลดค่าดิวตี้ไซเคิล ของอุปกรณ์สวิตช์ ที่ควบคุมการทำงานของคอนเวอร์เตอร์ โดยมีลำดับของการทำงานดังโฟลว์ชาร์ตในรูปที่ 6




**รูปที่ 6** โฟลวชาร์ตการเกาะจุดกำลังสูงสุดแบบสังเกตุและรบกวน

## 4. การออกแบบระบบการประจุแบตเตอรี่

การประจุแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรดด้วยระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ผ่านคอนเวอร์เตอร์แบบฟลายแบ็คที่นำเสนอจะมีโครงสร้างดังรูปที่ 7 โดยใช้ตัวประมวลผลสัญญาณดิจิตอลสร้างสัญญาณควบคุมแบบพีดับบลิวเอ็มให้กับอุปกรณ์สวิตช์ $Q_1$ ของคอนเวอร์เตอร์ที่ค่าความถี่ 5 $kH_Z$ ใช้หลักการเกาะจุดกำลังสูงสุดแบบสังเกตุและรบกวนที่คำนวณค่ากำลังไฟฟ้าจากการตรวจจับแรงดันและกระแสไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยอุปกรณ์สวิตช์ $Q_{s1}$ และ $Q_{s2}$ จะถูกควบคุมจากการสร้างรูปแบบการประจุ (Charge pattern) ที่ค่าความถี่ 50 $H_Z$




**รูปที่ 7** โครงสร้างของระบบการประจุแบตเตอรี่ตะกั่วกรดจากระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีพัลส์ลบที่นำเสนอ

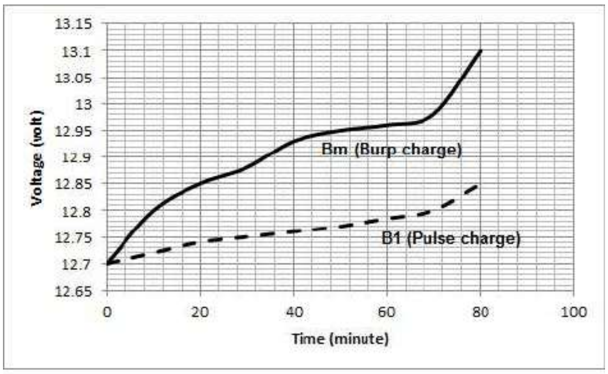
ระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ใช้จะมีขนาด 480 W ที่ค่าแรงดันบัส 12 โวลต์ แบตเตอรี่หลักจะมีพิกัด 4x130AH 12 V แบตเตอรี่รองจะมีพิกัด 4x24AH 12 V อุปกรณ์สวิตช์กำลังใช้ IGBT เบอร์ IRPH40KD อัตราส่วนหม้อแปลงมีค่า 1:1 ไดโอดเป็นชนิดที่สามารถหยุดนำกระแสอย่างรวดเร็วเบอร์ FR40 ตัวประมวลสัญญาณดิจิตอลใช้เบอร์ ADMCF326BR ส่วนตรวจจับกระแสและแรงดันใช้ไอซีเบอร์ HCPL788J ที่สามารถแยกภาคอินพุตและเอ้าท์พุตออกจากกัน การแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นดิจิตอลใช้ไอซีเบอร์ MAX196

## 5. การทดสอบการทำงาน

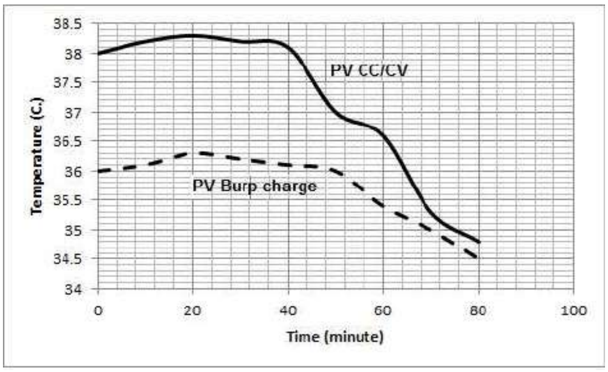
การทดสอบการทำงานของเครื่องต้นแบบกับระบบพลังแสงอาทิตย์แบบอิสระขนาด 480 W ณ โรงเรียนตำรวจตระเวนชายแดนบ้านกามาผาโด้ อ.ท่าสองยาง จ.ตาก ในช่วงเดือนธันวาคม 2558 ที่มีค่าความเข้มพลังงานประมาณ 600 W/m$^2$ มีผลการทดสอบ ดังตารางที่ 1 และมีแรงดัน และอุณหภูมิของแบตเตอรี่ ดังรูปที่ 8 และ รูปที่ 9 ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นว่ามีแรงดันที่สูงกว่าประมาณ 0.4 V และแผงมีอุณหภูมิต่ำกว่าประมาณ 2 องศาเซนเซียสในช่วงการเริ่มประจุพลังงาน

**ตารางที่ 1** ผลการทดสอบการประจุแบตเตอรี่จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์

| Charge status | | Peak charging current (A) | Average charging current (A) | Charging time (min.) | Net charge stored (AH) |
|---|---|---|---|---|---|
| Burp charge to Bm | BP | | 4.1 | 80 | 5.47 |
| | PBP | 6.3 | 5.2 | | 6.67 |
| | NBP | 6.8 | 1.1 | | -1.47 |
| CV charge to B1 | From PV | 6.4 | 1.3 | | 1.73 |
| | From Bm | 5.5 | 1.1 | | 1.47 |




**รูปที่ 8** แรงดันที่ขั้วแบตเตอรี่ขณะทำการประจุ




**รูปที่ 9** อุณหภูมิที่แบตเตอรี่ขณะทำการประจุ

## 6. สรุป

การประจุแบตเตอรี่ตะกั่วกรดแบบมีพัลส์ลบของระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ผ่านคอนเวอร์เตอร์แบบฟลายแบ็ค ที่มีการเกาะจุดกำลังสูงสุดแบบสังเกตุและรบกวน โดยใช้แบตเตอรี่ 2 ชุด จากการทดสอบพบว่าช่วยให้มีการเก็บสะสมพลังงานได้สูงกว่าการประจุแบบกระแสหรือแรงดันคงที่ และช่วยลดอุณหภูมิของแบตเตอรี่ จึงมีความเป็นไปได้ว่าแบตเตอรี่จะมีอายุการใช้งานที่ยาวนานขึ้น แต่อย่างไรก็ดีระบบที่นำเสนอนี้อาจมีต้นทุนของแบตเตอรี่ที่สูงขึ้น ในอนาคตการใช้งานระบบพลังงานแสงอาทิตย์ในพื้นที่ทุรกันดารอาจนำแบตเตอรี่ของชาวบ้านมาร่วมประจุเป็นแบตเตอรี่รองได้

## เอกสารอ้างอิง

[1] Z.M.Zhou and A.H.Ji, “The Repair and Recycling of L.A. Battery”, Beijing and Posts Telecom Press, 2010.

[2] B.Y.Chen and Y.S.Lai, “New Digital-controlled Technique for Battery Charger with Constant Current and Voltage Control without Current Feedback”, IEEE Trans.Ind.Electron,vol.59, No.3, pp.1545-1553, 2012.

[3] H.I.Hsieh, C.Y.Tsai and G.C.Hsies, “Photovoltaic Burp Charge System on Energy-Saving Configuration by Smart Charge Management”, IEEE Transaction on Power Electronics, Vol.29, No.4, pp.1777-1790, 2014.

[4] N.Femia; G.Petrone; G.Spagnuolo; M.Vitelli, “Optimizing duty-cycle perturbation of P&O MPPT technique”, Power Electronics Specialists Conference, Vol.3, pp.1939-1944, 2004.

## ประวัติผู้เขียนบทความ

อุดม เครือเทพ สำเร็จการศึกษาปริญญาตรีและปริญญาโทสาขาวิศวกรรมไฟฟ้าจาก รม. และ มช. ตามลำดับ มีความสนใจการป้องกันระบบไฟฟ้า การแปลงผันกำลังงาน และพลังงานทดแทน

สันติภาพ โคตทะเล สำเร็จการศึกษาปริญญาตรีและปริญญาโทสาขาวิศวกรรมไฟฟ้าจาก สจพ. และ สจล. ตามลำดับ มีความสนใจการแปลงผันกำลังงาน ระบบควบคุม และพลังงานทดแทน

**บทความวิจัย**
การประชุมวิชาการ งานวิจัยและพัฒนาเชิงประยุกต์ ครั้งที่ ๘
*8th ECTI-CARD 2016, Hua Hin, Thailand*

# การพัฒนาอัลกอริทึมควบคุมการใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับระบบจัดการพลังงาน

# Development of An Algorithm to Control Energy Consumption for Energy Management System (EMS)

**ประกาศิต ศรีประไหม และ วาทิต เบญจพลกุล**
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
prakasit-s@hotmail.com,watit.b@chula.ac.th

## บทคัดย่อ

บทความนี้เสนอการพัฒนาอัลกอริทึมเพื่อควบคุมการใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับระบบจัดการพลังงาน ภายในระบบได้สร้างอัลกอริทึมเพื่อจำลองควบคุมการใช้พลังงานไฟฟ้า โดยจะใช้ข้อมูลค่าพลังงานจาก บริษัทไทยโซล่าร์ เอ็นเนอร์ยี่ จำกัด (มหาชน) โดยใช้ค่าพลังงานจากอุปกรณ์ไฟฟ้าจริงในแต่ละช่วงเวลา เพื่อใช้ทดสอบอัลกอริทึมที่คิดขึ้นมาผ่านอุปกรณ์ Programmable Logic Controller (PLC) S7-1200 และใช้โปรแกรม NetBeans สร้างในส่วน Webpage เพื่อแสดงผล ผลที่ได้รับจากการควบคุมด้วยอัลกอริทึม คือ การควบคุมการใช้ไฟฟ้าในช่วงพีคได้รวมถึงการใช้พลังงานที่น้อยลง และมีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้น ประโยชน์ที่ได้รับจากบทความนี้ คือ การนำอัลกอริทึมมาประยุกต์ใช้ในการประหยัดพลังงานในโรงงานอุตสาหกรรมได้สร้างการรับรู้ และความเข้าใจเกี่ยวกับการจัดการพลังงานรวมถึงแนวทางในการแก้ไขด้วยวิธีนี้ให้แก่บุคคลทั่วไปได้รับรู้ และสร้างความเข้าใจถึงขั้นตอนการทำงานของอัลกอริทึมเพื่อเป็นแนวทางสำหรับนำไปพัฒนาต่อยอดสู่ระบบจัดการพลังงานภายในโรงงานอุตสาหกรรมอย่างเต็มรูปแบบในอนาคต

คำสำคัญ: ระบบจัดการพลังงาน, อัลกอริทึม, ช่วงพีค

## Abstract

This study proposes an algorithm development to control energy consumption for Energy Management System (EMS). This algorithm has been developed to control energy usage. Actual energy consumption data for each period in the day obtained from Thai Solar Energy Public Company Limited, was used to test the algorithm ability via Programmable Logic Controller (PLC). Moreover, NetBeans program was used to create the display screen. The result of using algorithm to control energy consumption is that electricity usage during peak time is decreased. This study will help the public raise awareness and understand about energy management, including the solution by using this algorithm and how it works. This will help improve and develop capabilities in industry's energy management system.

Keywords: energy management system, algorithm, period peak

## 1. บทนำ

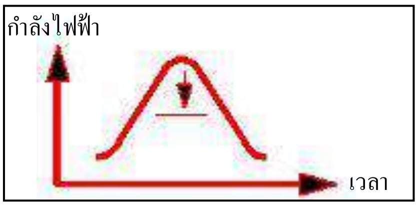
พลังงานเป็นสิ่งจำเป็นต่อสิ่งมีชีวิต ซึ่งในปัจจุบันประเทศไทยกำลังประสบปัญหาด้านพลังงานเป็นอย่างมาก เนื่องจากประเทศไทยตั้งอยู่ในเขตร้อนทำให้มีความความต้องการพลังงานไฟฟ้าสำหรับเครื่องปรับอากาศจากภาคครัวเรือนเพิ่มมากขึ้นและตามปริมาณการขยายตัวของอุตสาหกรรม รัฐบาลซึ่งเป็นฝ่ายบริหารมีหน้าที่ดูแล และวางแผนการใช้พลังงานของชาติ จึงมีนโยบายส่งเสริมให้มีการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ และเกิดประโยชน์สูงสุด ถึงแม้ว่ารัฐบาลพยายามที่จะมีการรณรงค์ การสร้างจิตสำนึกในการใช้พลังงานให้เกิดขึ้นกับคนในประเทศ รวมถึงการหาวิธีนำพลังงานทดแทนต่างๆ มาใช้งานแทนพร้อมกับหาวิธีนำเอาทรัพยากรที่มีอยู่ มาใช้เพื่อเพิ่มกำลังในการผลิตพลังงานไฟฟ้าให้เพียงพอต่อความต้องการ อย่างไรก็ตามความต้องการในการใช้พลังงานไฟฟ้ามีความต้องการเพิ่มสูงขึ้นทุกปี จากรายงานสถิติพลังงานของประเทศไทย [1] ปี 2558 พบว่าสาขาที่มีสัดส่วนการใช้พลังงานสูงสุดคิดเป็นร้อยละ 44 ของการใช้ไฟฟ้าทั้งประเทศ คือ ภาคอุตสาหกรรม และจากปริมาณการใช้ไฟฟ้ามีมากกว่าปริมาณการผลิต ระบบจัดการพลังงานและการปรับเปลี่ยนพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าจึงเป็นอีกแนวทางหนึ่งที่จะช่วยในการประหยัดพลังงานในโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งการนำอัลกอริทึมที่คิดค้นขึ้นมา เพื่อจำลองการลดพลังงานจะเป็นแนวทางสำหรับนำไปพัฒนาต่อยอดสู่ระบบจัดการพลังงานภายในโรงงานอุตสาหกรรมอย่างเต็มรูปแบบต่อไปในอนาคต

## 2. ทฤษฎีข้อมูลและอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 ทฤษฎีพื้นฐาน

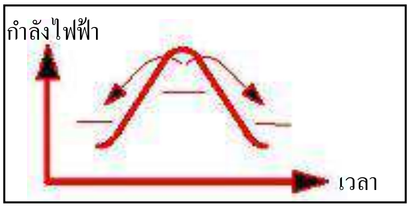
2.1.1 Energy Conservation & Efficiency คือวิธีการปรับเปลี่ยนอุปกรณ์ไฟฟ้าให้มีประสิทธิภาพ เช่น ใช้หลอดไฟฟลูออเรสเซนต์แทนหลอดไฟปกติ เป็นต้น หรืออาจจะปรับเปลี่ยนพฤติกรรมการใช้งานว่าควรใช้งานอย่างไรให้ประหยัด เช่น การปรับอุณหภูมิเครื่องปรับอากาศให้ทำงานที่ 26° C (หรือ 27° C) แทนที่จะเปิด 24 ° C เพื่อให้คอมเพรสเซอร์ของเครื่องปรับอากาศทำงานน้อยลงประหยัดพลังงานมากขึ้น [2]

2.1.2 Peak Clipping (รูปที่1) วิธีการนี้จะทำให้ความต้องการไฟฟ้าในช่วงพีคลดลง (Reduction of Peak Load) โดยวิธีการทั่วไป คือ การควบคุมเวลา และปริมาณการใช้ไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้าโดยตรง โดยควบคุมที่อุปกรณ์ เช่น ในช่วงพีคให้ปิดเครื่องปรับอากาศ หรือหลอดไฟที่ไม่จำเป็น [3]




**รูปที่ 1** Peak Clipping

2.1.3 Load Shifting (รูปที่2) วิธีการนี้จะเลื่อนการใช้ไฟฟ้าจากช่วงพีคไปสู่ช่วงอื่นๆ (Off - Peak) ซึ่งจะทำให้กราฟโหลดเตี้ย และเรียบขึ้น โดยการเลื่อน อาจเลื่อนเวลาการใช้ไฟฟ้าโดยผู้ใช้เอง เช่น เครื่องมือบางชนิดที่ไม่มีความสำคัญมากก็หยุดหรือเลื่อนไปเปิดเวลาอื่นที่ไม่ใช่ช่วงพีค




**รูปที่ 2** Load shifting

### 2.2 อัตราค่าไฟ

บริษัทไทยโซล่าร์เอ็นเนอร์ยี่ จำกัด (มหาชน) เป็นบริษัทผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานความร้อนขนาด 5 MW จัดอยู่ในกิจการขนาดกลาง ใช้แรงดันไฟฟ้าขนาด 22 kV
รับไฟจากการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (กฟภ.) ซึ่งมีอัตราค่าไฟดังต่อไปนี้

2.2.1 อัตราตามช่วงเวลาของการใช้ (Time of Use Tariff: TOU Tariff) [4]

| | ค่าความต้องการพลังไฟฟ้า (บาท/กิโลวัตต์) | ค่าพลังงานไฟฟ้า (บาท/หน่วย) | | ค่าบริการ (บาท/เดือน) |
|---|---|---|---|---|
| | Peak | Peak | Off Peak | |
| แรงดันตั้งแต่ 69 กิโลโวลท์ขึ้นไป | 74.14 | 3.6917 | 2.2507 | 312.24 |
| แรงดัน 22 – 33 กิโลโวลท์ | 132.93 | 3.7731 | 2.2695 | 312.24 |
| แรงดันต่ำกว่า 22 กิโลโวลท์ | 210.00 | 3.9189 | 2.3027 | 312.24 |

**รูปที่ 3** อัตราตามช่วงเวลาของการใช้ TOU ของ กฟภ.

ค่าไฟตามอัตราช่วงเวลาของการใช้ของ กฟภ. ในรูปที่ 3 โดยที่ช่วง Off - Peak คือ เวลา 22.00 - 09.00 น. วันจันทร์ – วันศุกร์ และ ช่วง On Peak คือ เวลา 09.00 - 22.00 น. วันจันทร์ – วันศุกร์

### 2.3 Programmable Logic Controller (PLC)

บทความนี้นำ Programmable Logic Controller (PLC) S7-1200 มาใช้เนื่องจากเป็นอุปกรณ์ที่มี Webserver ในตัวจึงทำให้ไม่ต้องซื้ออุปกรณ์ หรือโปรแกรมอื่นเสริม ซึ่งสามารถรองรับภาษาพื้นฐานที่ใช้สร้างส่วนแสดงผลทาง Webpage ได้ และยังมีหน่วยความจำ มีพอร์ตอินพุต/พอร์ตเอาต์พุต (I/O Port) รองรับระบบแอนะล็อก และมีขั้วต่ออินเทอร์เน็ตสำหรับเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์ [5]

## 3. ขั้นตอนการออกแบบ และพัฒนาระบบ

3.1 ศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการทำงานวิจัย ยกตัวอย่างเช่น เรื่องการดำเนินการด้านพลังงานไฟฟ้าของไทยด้าน Demand - Side Management เรื่องการเขียน Flow Chart เป็นต้น

3.2 เก็บข้อมูลที่จำเป็นสำหรับการพัฒนาอัลกอริทึมเพื่อควบคุมการใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับระบบจัดการพลังงาน การเก็บข้อมูลใช้วิธีสำรวจ สอบถาม และวัดด้วยเครื่องมือ โดยข้อมูลดังกล่าวประกอบไปด้วย

3.2.1 การใช้พลังงาน และกำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์ไฟฟ้าในบริษัทไทยโซล่าร์เอ็นเนอร์ยี่ จำกัด (มหาชน)

3.2.2 ข้อมูลพฤติกรรมการใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าว่าเปิด - ปิดในช่วงเวลาใด

3.2.3 ข้อมูลกราฟโหลดของอาคาร Work Shop บริษัทไทยโซล่าร์เอ็นเนอร์ยี่ จำกัด (มหาชน) ในช่วงเวลา 5 วัน

3.3 ออกแบบอัลกอริทึม เพื่อควบคุมการใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับระบบจัดการพลังงาน

3.4 การเขียนโปรแกรมจากอัลกอริทึมเขียนโดยใช้ภาษา Ladder เขียนในโปรแกรม TIA Portal และใช้ โปรแกรม NetBeans IDE เขียนส่วนของการแสดงผลใน Webpage เพื่อแสดงกราฟโหลดในแต่ละวัน และคิดค่าไฟในช่วงหนึ่งเดือน (ช่วงหนึ่งเดือนมาจากการสมมติว่าพฤติกรรมในการใช้ไฟช่วงเวลาหนึ่งสัปดาห์เท่ากัน โดยหนึ่งสัปดาห์หมายถึงเวลา 5 วัน จากวันจันทร์ - วันศุกร์ นำค่าที่ได้นี้มาคูณสี่ โดยคิดจากหนึ่งเดือนมี 4 สัปดาห์)

3.5 ทดสอบโปรแกรมจำลองกราฟโหลดของ บริษัทไทย โซล่าร์เอ็นเนอร์ยี่ จำกัด (มหาชน) ที่ผ่านการควบคุมโดยอัลกอริทึม นำไปเปรียบเทียบกับกราฟโหลดที่ได้จากการวัด

3.6 สรุปบทความการพัฒนาอัลกอริทึมควบคุมการใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับระบบจัดการพลังงาน

## 4. การทดสอบ

ผลของการเก็บข้อมูล คือ ข้อมูลกำลังไฟฟ้าซึ่งเก็บทุกๆ 15 นาที โดยเก็บในระยะเวลา 08.00 – 17.00 น. เป็นระยะเวลา 5 วัน และในช่วงเวลาระหว่างวัน จดบันทึกพฤติกรรมการใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าที่สนใจในการปรับเปลี่ยนช่วงเวลาการใช้ ตัวอย่าง เช่น การวัดในวันจันทร์ (รูปที่ 4)

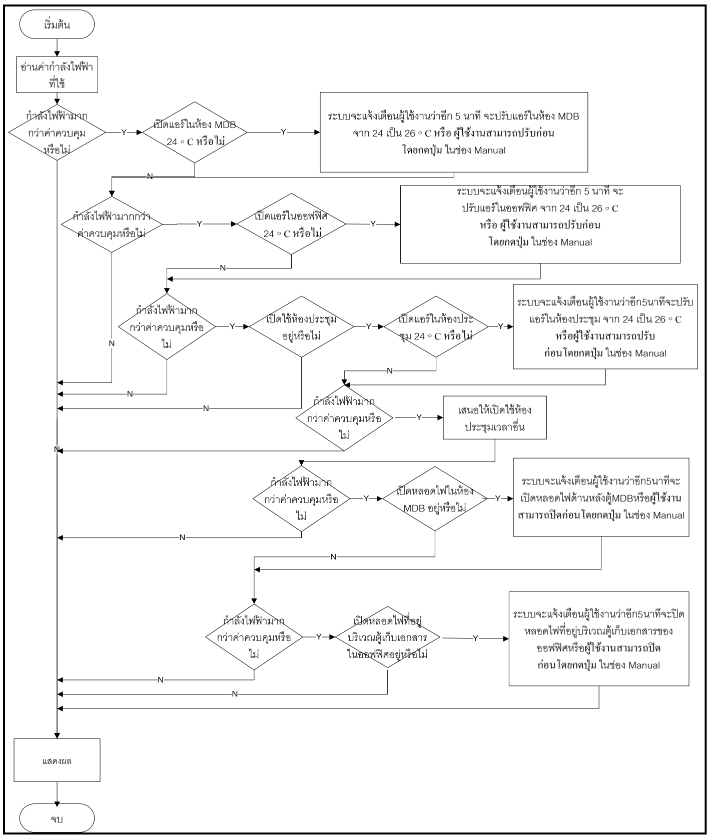
- เครื่องปรับอากาศในห้อง MDB เปิดเวลา 08.00 – 12.00 น. และ 13.00 – 17.00 น. โดยตั้งอุณหภูมิไว้ที่ 24 ˚ C
- เครื่องปรับอากาศในออฟฟิศ เปิดเวลา 08.00 – 12.00 น. และ 13.00 – 17.00 น. โดยตั้งอุณหภูมิไว้ที่ 24 ˚C
- เครื่องปรับอากาศในห้องประชุม (เปิดเครื่องปรับอากาศเฉพาะตอนที่มีประชุม)
- หลอดไฟห้อง MDB (ด้านหลังตู้ MDB) เปิด 08.00-17.00 น.
- หลอดไฟในออฟฟิศ (ตู้เก็บเอกสาร) เปิดเวลา 08.00-12.00 น. และ 13.00 – 17.00 น.

**รูปที่ 4** กราฟโหลดของวันจันทร์ โดยเฉลี่ยทุกๆ 15 นาที

การออกแบบอัลกอริทึม กระทำโดยการกำหนดอุปกรณ์ที่ต้องการเปลี่ยนพฤติกรรมการใช้ไฟ จากการวิเคราะห์มีอุปกรณ์ ดังนี้

- เครื่องปรับอากาศในห้อง MDB
- เครื่องปรับอากาศในห้องสำนักงาน
- เครื่องปรับอากาศในห้องประชุม
- หลอดไฟในห้อง MDB
- หลอดไฟในออฟฟิศ

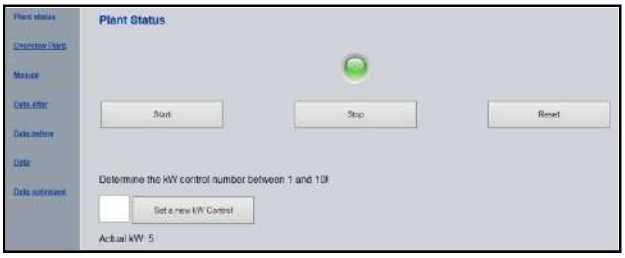
สามารถเขียนอัลกอริทึมออกมาเป็น Flow Chart โดยใช้อัลกอริทึมนี้ตรวจสอบระบบทุกๆ 15 นาที (รูปที่5)



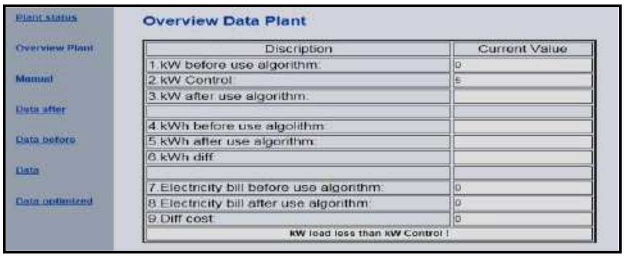

รูปที่ 5 อัลกอริทึมควบคุมการใช้พลังงานไฟฟ้า

การเขียนโปรแกรมจากอัลกอริทึมเขียนโดยใช้ภาษา Ladder ด้วยโปรแกรม TIA Portal โดยกำหนดให้ค่าควบคุมกำลังไฟฟ้าอยู่ที่ 5 kW ซึ่งผู้ใช้สามารถปรับค่า kW ได้ตามที่โปรแกรมได้กำหนดไว้ คือ 1 – 10 kW ดังตัวอย่างในรูปที่ 6 และในส่วนของการแสดงผลทาง Webpage เขียนโดยใช้ภาษา Java ด้วยโปรแกรม NetBeans IDE ผลลัพธ์ของการใส่พฤติกรรมการใช้อุปกรณ์ไฟฟ้า และการใช้พลังงานไฟฟ้าของวันจันทร์ลงในโปรแกรมดังตัวอย่างในรูปที่ 4 ซึ่งผู้ใช้สามารถแก้ไขค่า kW

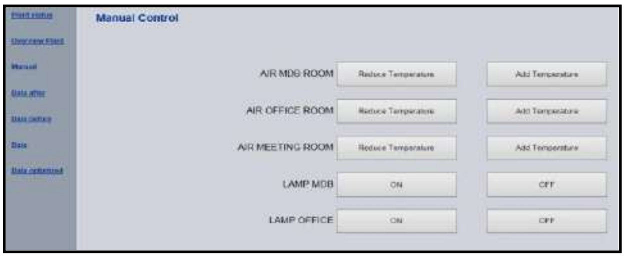
ควบคุมได้ทาง Webpage และสามารถควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้า เช่น เครื่องปรับอากาศได้ทาง Webpage ดังตัวอย่างในรูปที่ 8 รวมถึง Webpage ยังสามารถบันทึกค่าเป็นไฟล์ Excel ดังตัวอย่างในรูปที่ 9 เพื่อให้ผู้ใช้สามารถนำค่าเก็บไว้เป็นข้อมูล และให้คำแนะนำการใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าควรจะเปิด – ปิด หรือเลื่อนการใช้อุปกรณ์ไปช่วงเวลาใด ดังตัวอย่างในรูปที่ 7



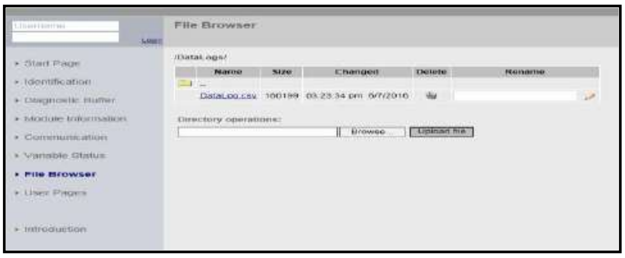

**รูปที่ 6** ส่วนแสดงผล Plant Status



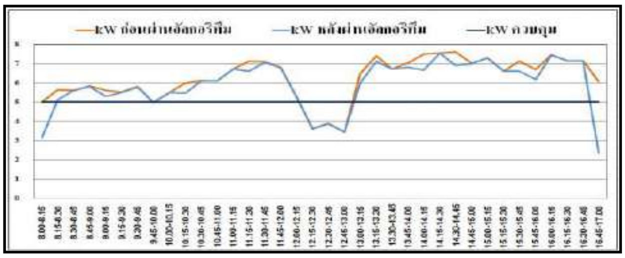

**รูปที่ 7** ส่วนแสดงผลข้อมูลทางไฟฟ้าและคำแนะนำ




**รูปที่ 8** ส่วนแสดงผลส่วน Manual




**รูปที่ 9** ส่วนแสดงผลค่า Excel




**รูปที่ 10** กราฟเปรียบเทียบค่า kW ของวันจันทร์

จะเห็นได้จากรูปที่ 10 ว่าหากนำโปรแกรมนี้มาควบคุมการใช้พลังงานจะจะช่วยลดปริมาณการใช้ไฟฟ้าได้ 3.63 หน่วยใน 1 วัน

## 5. สรุป

ระบบที่พัฒนาสามารถควบคุมการใช้พลังงานไฟฟ้าด้วยอัลกอริทึมโดยกำหนดให้ค่าควบคุมอยู่ที่ 5 kW พบว่าระบบสามารถช่วยลดปริมาณการใช้ไฟฟ้าได้ 76.23 หน่วยใน 1 เดือน ประโยชน์ที่ได้จากบทความนี้ คือ การแสดงถึงแนวทางที่จะช่วยประหยัดพลังงาน เพื่อลดภาระในการผลิตไฟฟ้าของชาติ และแสดงให้เห็นว่าการกระทำดังกล่าวยังช่วยให้ผู้ใช้ระบบควบคุมได้ผลประโยชน์คือ จ่ายค่าไฟน้อยลง โดยบทความนี้สามารถทำได้จริงโดยติดตั้งอุปกรณ์เพิ่มเติม

## เอกสารอ้างอิง

[1] สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: http://www.eppo.go.th/info/cd-2015/pdf/info5.pdf สืบค้นวันที่ 15 มกราคม พ.ศ. 2559.

[2] มานพ แจ่มกระจ่าง ศึกษาทางเลือกการตั้งอุณหภูมิเครื่องปรับอากาศที่เหมาะสมเพื่อปรับพลังงาน วารสารศึกษาศาสตร์ ปีที่ 18 ฉบับที่ 1 เดือนมิถุนายน 2549 – ตุลาคม 2549 หน้า 75

[3] Demand-Side Management. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก: http://www.dsm.egat.co.th/index.php?option=com_content&view=article&id=26&Itemid=165 สืบค้นวันที่ 5 เมษายน 2558.

[4] อัตราค่าไฟฟ้า.[ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก: https://www.pea.co.th/Documents/Rate2012.pdf สืบค้นวันที่ 7 สิงหาคม 2558.

[5] Siemens S7-1200 webserver. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก: https://www.dmcinfo.com/latest-thinking/blog/id/8567/siemens-s7-1200-web-server-tutorial--from-getting-started-to-html5-user-defined-pages สืบค้นวันที่ 1 กุมภาพันธ์ 2558.

**บทความวิจัย**
การประชุมวิชาการ งานวิจัยและพัฒนาเชิงประยุกต์ ครั้งที่ 8
*8th ECTI-CARD 2016, Hua Hin, Thailand*

# ชุดสาธิตการควบคุมความเร็วมอเตอร์กระแสตรงด้วยขั้นตอนวิธีฟัซซี่ลอจิกโดยใช้โปรแกรมแลปวิว

# Demonstration Set of DC Motor Speed Control by Fuzzy Logic Algorithm using LabVIEW

**ชนม์รัตน์ ตติยะวรนันท์**
ภาควิชาวิศวกรรมระบบวัดคุมและเมคคาทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร
140 ถนนเชื่อมสัมพันธ์ แขวงกระทุ่มราย เขตหนองจอก กรุงเทพมหานคร โทรศัพท์: 02-9883655 E-mail: chonrat@mut.ac.th

## บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการประยุกต์ใช้ขั้นตอนวิธีควบคุมฟัซซี่ลอจิกสำหรับชุดสาธิตการควบคุมความเร็วมอเตอร์กระแสตรงเพื่อใช้ในห้องปฏิบัติการวิชาระบบควบคุม โดยใช้โปรแกรมแลปวิวบนคอมพิวเตอร์เพื่อควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ที่มีขั้นตอนวิธีควบคุมฟัซซี่ลอจิก โดยการวัดความเร็วรอบมอเตอร์ใช้ทาโคเจเนอเรเตอร์เป็นเซนเซอร์ ซึ่งมีหน้าต่างแผงหน้าปัดของโปรแกรมแลปวิวสามารถแสดงสัญญาณค่าอินพุตความเร็วกับสัญญาณเอาต์พุตความเร็วของมอเตอร์กระแสตรงได้

ผลทดสอบมีเวลาเข้าสู่สภาวะคงตัวไม่เกิน 1 วินาทีเมื่ออินพุตความเร็วมีค่าเท่ากับ 1600 รอบต่อนาทีและผลตอบสนองการพุ่งเกินไม่เกิน 12.5%

คำสำคัญ: การควบคุมความเร็วมอเตอร์, ขั้นตอนวิธีฟัซซี่ลอจิก, โปรแกรมแลปวิว

## Abstract

This paper presents an application of fuzzy logic control algorithm for demonstration set of DC motor speed control used in the control systems laboratory. The computer is used for controlling speed of DC motor and a LabVIEW program is used to implement a fuzzy logic control algorithm. The sensor, a DC tachogenerator is used for measuring the motor speed. The front panel window of LabVIEW program is used to display the signal of speed input and the signal of speed output of DC motor.

The experimental results, the settling time less than a second of speed input is 1600 rpm and the overshoot response less than 12.5%.

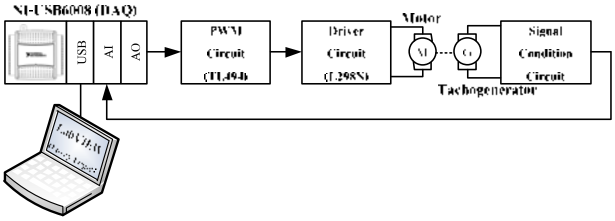
Keywords: motor speed control, fuzzy logic algorithm, LabVIEW

## 1. บทนำ

ปัจจุบันภาคอุตสาหกรรมกลุ่มผู้ผลิตเครื่องใช้ไฟฟ้ามีการใช้ขั้นตอนวิธีฟัซซี่ลอจิกสำหรับควบคุมเครื่องใช้ไฟฟ้าออกสู่ตลาดมากขึ้น เนื่องจากขั้นตอนวิธีฟัซซี่ลอจิกเป็นการควบคุมแนวใหม่ที่ผู้พัฒนาโปรแกรมไม่ต้องใช้วิธีการควบคุมที่มีการคำนวณที่ยุ่งยากซับซ้อน และขั้นตอนวิธีฟัซซี่ลอจิกยังเป็นการควบคุมที่ใช้ข้อมูลเชิงภาษามนุษย์ทำให้เข้าใจง่ายกว่า เพื่อเป็นการเพิ่มทักษะของผู้เรียนรู้การควบคุมระบบด้วยขั้นตอนวิธีฟัซซี่ลอจิกจึงนำเสนอชุดสาธิตการควบคุมความเร็วมอเตอร์กระแสตรงด้วยขั้นตอนวิธีควบคุมฟัซซี่ลอจิกนี้

## 2. โครงสร้างระบบที่นำเสนอ

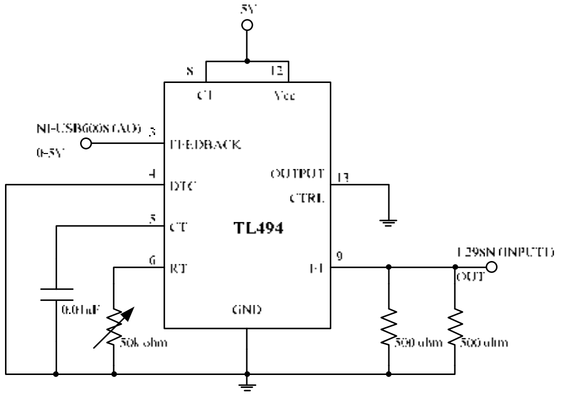
โครงสร้างระบบประกอบด้วยโปรแกรมแลปวิวที่มีขั้นตอนวิธีฟัซซี่ลอจิกควบคุมความเร็วของมอเตอร์กระแสตรงโดยใช้มอดูล DAQ (NI-USB6008) [1] ช่องสัญญาณเอาต์พุตแอนะล็อก (AO: analog output) ไปยังวงจรสร้างสัญญาณพีดับบลิวเอ็ม (PWM circuit) เพื่อไปควบคุมการทำงานของวงจรขับ (driver circuit) เพื่อขับมอเตอร์กระแสตรงที่มีแกนมอเตอร์เชื่อมต่อกับแกนทาโคเจนเนอเรเตอร์ ซึ่งทาโคเจนเนอเรเตอร์ทำหน้าที่แปลงพลังงานกลเป็นพลังงานไฟฟ้าผ่านวงจรปรับแต่งสัญญาณ (signal condition circuit) เพื่อให้แรงดันไฟฟ้าเหมาะสมกับมอดูลอินพุตแอนะล็อก (AI: analog input) ที่ต้องการแรงดันไฟฟ้าไม่เกิน 10 โวลต์เพื่อให้คอมพิวเตอร์ประมวลผลดังรูปที่ 1




**รูปที่ 1** โครงสร้างของระบบควบคุมความเร็วมอเตอร์กระแสตรง

## 2.1 วงจรสร้างสัญญาณพีดับบลิวเอ็ม

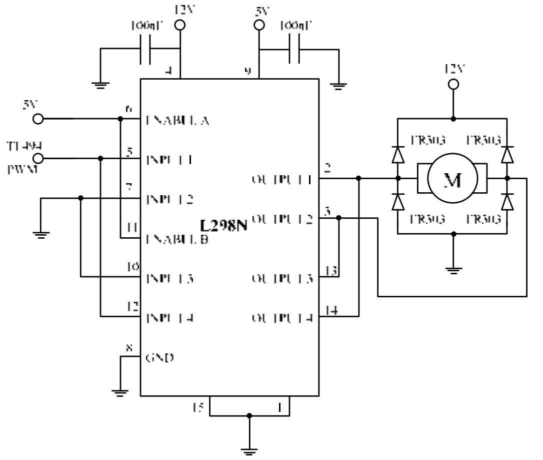
การออกแบบวงจรสร้างสัญญาณพีดับบลิวเอ็ม (PWM: pulse width modulation) โดยเลือกใช้ไอซี TL494 รับสัญญาณไฟฟ้าขนาด 0 ถึง 5 โวลต์จากช่องสัญญาณเอาต์พุตแอนะล็อกที่ขา 3 ซึ่งสามารถปรับความถี่ของสัญญาณที่ขา 5 กับขา 6 ได้สัญญาณพีดับบลิวเอ็มตั้งแต่ 100% ถึง 0% ที่ขา 9 เพื่อไปความคุมวงจรขับดังรูปที่ 2




**รูปที่ 2** วงจรสร้างสัญญาณพีดับบลิวเอ็ม

## 2.2 วงจรขับมอเตอร์กระแสตรง

การออกแบบวงจรขับมอเตอร์กระแสตรงเลือกใช้ไอซี L298N ที่สามารถให้แรงดันไฟฟ้าสูงสุดมีขนาด 46 โวลต์และขับมอเตอร์ที่ต้องการกระแสได้สูงสุดขนาด 4 แอมป์เมื่อใช้ช่องสัญญาณเอาต์พุต 2 คู่ โดยขา 5 กับขา 12 รับสัญญาณอินพุตแบบพีดับบลิวเอ็ม และขาคู่ 2 กับ 3 ร่วมกับขาคู่ 13 กับ 14 ใช้ขับมอเตอร์กระแสตรงที่มีไดโอด FR303 ต่อกับวงจรเพื่อป้องกันกระแสไหลย้อนกลับดังรูปที่ 3




**รูปที่ 3** วงจรขับมอเตอร์กระแสตรง

## 3. การออกแบบขั้นตอนวิธีควบคุมฟัซซี่ลอจิก

การออกแบบขั้นตอนวิธีควบคุมฟัซซี่ [2-4] ในส่วนการแปลงค่าอินพุตทั่วไปเป็นค่าฟัซซี่หรือเรียกว่า “fuzzification” โดยการออกแบบฟังก์ชั่นความเป็นสมาชิก (membership function) โดยออกแบบอินพุตของฟัซซี่ลอจิกจำนวน 2 ตัวแปรได้แก่ตัวแปรแรกคือค่าผิดพลาด (*e*: error) คำนวณได้จากผลต่างระหว่างอินพุตของความเร็วรอบกับเอาต์พุตของความเร็วรอบ ซึ่งตัวแปรที่ 2 คือค่าความเปลี่ยนแปลงของความผิดพลาด (*ce*: change of error) คำนวณได้จากผลต่างระหว่างค่าผิดพลาดปัจจุบันกับค่าผิดพลาดอดีต โดยทั้งสองตัวแปรอินพุตมีขนาดต่ำสุดถึงสูงสุดตั้งแต่ -3200 ถึง 3200 รอบต่อนาทีดังรูปที่ 4 และการออกแบบฟังก์ชั่นความเป็นสมาชิกของตัวแปรเอาต์พุตคือตัวแปรปรับแต่งกระบวนการ (*MV*: manipulated variable) มีขนาดสูงสุดถึงต่ำสุดตั้งแต่ 25 ถึง -25 แสดงดังรูปที่ 5 ซึ่งสามารถหาค่าฟังก์ชั่นความเป็นสมาชิกของตัวแปรทั้งหมดโดยใช้ฟังก์ชั่นความเป็นสมาชิกสามเหลียม ($f(x;a,b,c)$: triangular membership function) ดังสมการที่ 1 เมื่อ $x$ คือจำนวนจริงในฟังก์ชั่นสามเหลี่ยม $a$ คือจุดเริ่มหักมุมสามเหลี่ยม $b$ คือจุดหักมุมของยอดสามเหลี่ยมและ $c$ คือจุดปลายหักมุมสามเหลี่ยม

การออกแบบขั้นตอนวิธีควบคุมฟัซซี่ในส่วนการรวมค่าฟัซซี่จากส่วนข้อสมมุติฐาน (combining) โดยเลือกใช้ตัวดำเนินการคือ “และ/and” เพื่อการออกแบบกฎ ซึ่งกฎที่ออกแบบต้องมีความเป็นจริงและมีความสัมพันธ์ระหว่างอินพุตกับเอาต์พุตของระบบตามตารางที่ 1

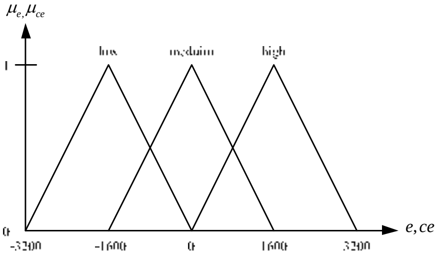
การออกแบบขั้นตอนวิธีควบคุมฟัซซี่ในส่วนการทำค่าฟัซซี่เป็นค่าเอาต์พุตทั่วไปหรือเรียกว่า “defuzzification” โดยการรวมผลของการอนุมาน (inference) จากกฎใช้รูปแบบแมมดานิ (Mamdani) ด้วยวิธีเฉลี่ยถ่วงน้ำหนัก (*w*: weighted average method) เมื่อค่า $\mu(z_i)$ คือค่าเอาต์พุตฟัซซี่ในเซตฟัซซี่ตำแหน่งที่ $i$ ค่า $z_i$ คือจำนวนจริงภายใต้กราฟฟัซซี่ตำแหน่งที่ $i$ ค่า $N$ คือจำนวนจุดที่ต้องการถ่วงน้ำหนัก $i$ คือตัวชี้ตำแหน่งดังสมการที่ 2

$$f(x;a,b,c)=\begin{cases} 0, & x \le a \\ x-a/b-a, & a < x \le b \\ c-x/c-b, & b < x \le c \\ 0, & c < x \end{cases} \tag{1}$$

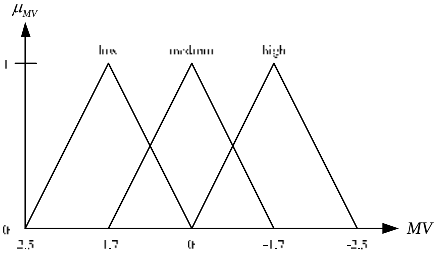
$$w=\frac{\sum_{i=1}^{N}\mu(z_i)\cdot z_i}{\sum_{i=1}^{N}\mu(z_i)} \tag{2}$$

### 3.1 การออกแบบขั้นตอนวิธีฟัซซี่ลอจิกด้วยโปรแกรมแลปวิว

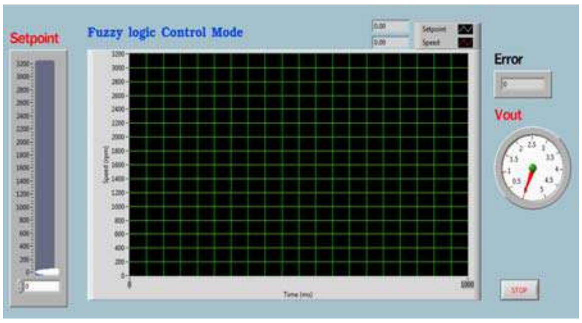
การออกแบบโปรแกรมแลปวิว [2, 5] แบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ส่วนที่ 1 คือการออกแบบหน้าต่าง front panel ของโปรแกรมแลปวิวประกอบด้วยอุปกรณ์รับค่าเป้าหมาย (Setpoint) อุปกรณ์แสดงผลตอบสนองแบบกราฟ อุปกรณ์เกจวัดแรงดันไฟฟ้า (Vout) อุปกรณ์แสดงตัวเลขค่าผิดพลาด (Error) และปุ่มหยุด (STOP) สำหรับหยุดการควบคุมระบบดังรูปที่ 6 ส่วนที่ 2 คือการออกแบบหน้าต่าง block diagram ของโปรแกรมแลปวิวประกอบด้วยบล็อกไดอะแกรม DAQ Assistant2 ทำหน้าที่อินพุตแอนะล็อก (analog input) โดยรับค่าแรงดันไฟฟ้าจากเซนเซอร์คือทาโคเจนเนอเรเตอร์เป็นตัวแปร *PV* ซึ่งตัวแปร *SV* เป็นการรับค่าเป้าหมายจากส่วนคำสั่ง front panel ของโปรแกรมแลปวิวให้กับบล็อกไดอะแกรมสูตรที่เขียนคำสั่งขั้นตอนวิธีควบคุมฟัซซี่ลอจิกตามหัวข้อที่ 3 การออกแบบขั้นตอนวิธีควบคุมฟัซซี่ลอจิกเพื่อประมวลผลหาค่าตัวแปร *Vout* เป็นแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตเพื่อส่งออกไปยังบล็อกไดอะแกรม DAQ Assistant ทำหน้าที่เอาต์พุตแอนะล็อก (analog output) ไปยังวงจรสร้างสัญญาณพีดับบลิวเอ็มดังรูปที่ 7




**รูปที่ 4** ฟังก์ชั่นความเป็นสมาชิกของตัวแปรอินพุต




**รูปที่ 5** ฟังก์ชั่นความเป็นสมาชิกของตัวแปรเอาต์พุต




**รูปที่ 6** การออกแบบหน้าต่าง front panel สำหรับขั้นตอนวิธีฟัซซี่ลอจิก

ตารางที่ 1 กฎของฟัซซี่ลอจิกที่ใช้ในการควบคุมระบบ

| กฎที่ | กฎความสัมพันธ์ระหว่างอินพุตกับเอาต์พุต |
|---|---|
| 1 | If *e* is low and *ce* is low then *MV* is low |
| 2 | If *e* is medium and *ce* is low then *MV* is low |
| 3 | If *e* is high and *ce* is low then *MV* is medium |
| 4 | If *e* is low and *ce* is medium then *MV* is medium |
| 5 | If *e* is medium and *ce* is medium then *MV* is medium |
| 6 | If *e* is high and *ce* is medium then *MV* is medium |
| 7 | If *e* is low and *ce* is high then *MV* is medium |
| 8 | If *e* is medium and *ce* is high then *MV* is high |
| 9 | If *e* is high and *ce* is high then *MV* is high |

## 4. ผลการทดสอบ

การทดสอบโดยการใส่โหลดในระบบด้วยวิธีใส่ลูกตุ้มน้ำหนัก 2 กิโลกรัมบนแกนเชื่อมต่อระหว่างแกนมอเตอร์กระแสตรงกับแกนทาโคเจนเนอเรเตอร์เมื่อปรับแต่งค่าเป้าหมายที่ 500, 1600, 2500 รอบต่อนาทีตามลำดับ ซึ่งกรณีกำหนดค่าเป้าหมายที่ 500 รอบต่อนาทีได้ผลการทดสอบมีเวลาเข้าสู่สภาวะคงตัวไม่เกิน 1 วินาทีและมีเปอร์เซ็นต์การพุ่งเกินไม่เกิน 80% ดังรูปที่ 8 กรณีกำหนดค่าเป้าหมายที่ 1600 รอบต่อนาทีได้ผลการทดสอบมีเวลาเข้าสู่สภาวะคงตัวไม่เกิน 1 วินาทีและมีเปอร์เซ็นต์การพุ่งเกินไม่เกิน 12.5% ดังรูปที่ 9 กรณีกำหนดค่าเป้าหมายที่ 2500 รอบต่อนาทีได้ผลการทดสอบมีเวลาเข้าสู่สภาวะคงตัวไม่เกิน 2 วินาทีและไม่มีเปอร์เซ็นต์การพุ่งเกินแต่มีค่าผิดพลาดประมาณ 1000 รอบต่อนาทีดังรูปที่ 10

## 5. สรุป

ชุดสาธิตการควบคุมมอเตอร์กระแสตรงนี้เหมาะสำหรับผู้ที่ต้องการเรียนรู้การประยุกต์ใช้ขั้นตอนวิธีฟัซซี่ลอจิกสำหรับงานควบคุมความเร็ว โดยสามารถศึกษาผลตอบสนองของระบบด้วยการปรับแต่งค่าเป้าหมายที่หน้าต่าง front panel ของโปรแกรมแลปวิวได้อย่างง่าย

## 6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณนายอนุชา ไชยวังเทพ ที่ช่วยประกอบอุปกรณ์และเก็บผลทดสอบสำหรับชุดสาธิตนี้ด้วยขั้นตอนวิธีฟัซซี่ลอจิก

## เอกสารอ้างอิง

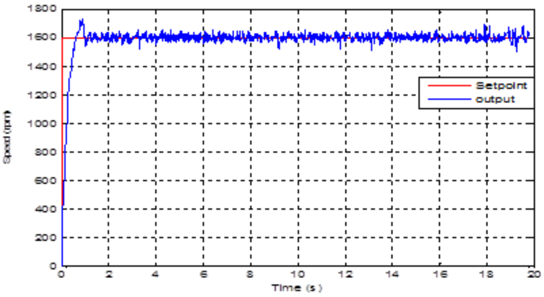
[1] *NI USB-6008/6009 User's Guide*, Nation Instruments, 2015.

[2] Salim *et al.*, "Speed Control of DC Motor using Fuzzy Logic based on LabVIEW," *International Journal of Scientific and Research Publications*, vol. 3, Issue 6, pp. 1-5, Jun. 2013.

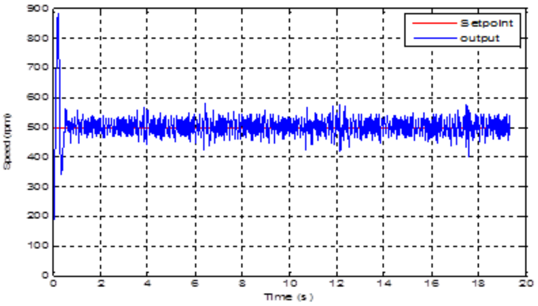
[3] C. Tatiyaworanun and M. Aorpimai, "An Application of Fuzzy Logic to Improve the Position Accuracy From Low Cost GPS Receiver", in *ITC-CSCC 2006 Conf.*, July 2006, vol. 2, pp. 273-276.

[4] *MATLAB. Fuzzy Logic Toolbox User's Guide*, The MathWorks Inc., 2016.

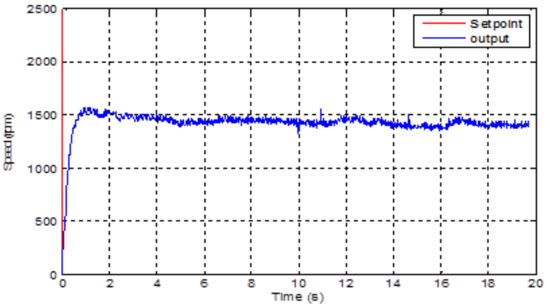
[5] Nation Instruments. (2015, August). *LabVIEW* [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/LabVIEW



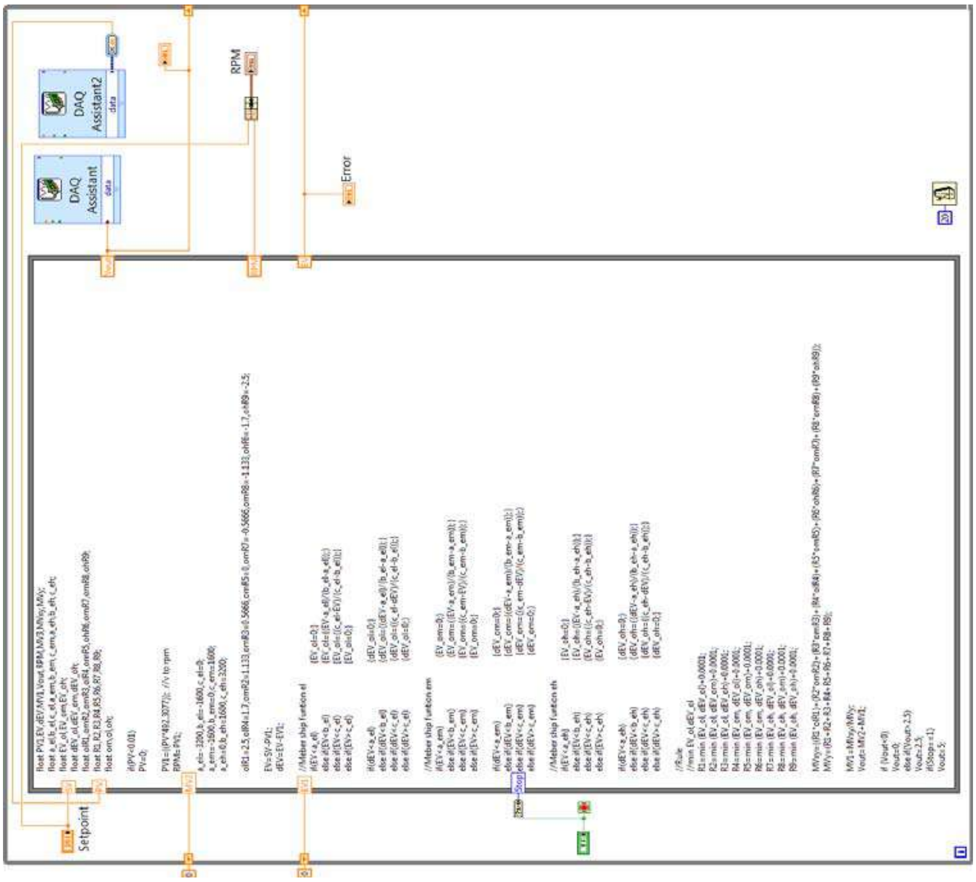

**รูปที่ 9** ผลการทดสอบเมื่อกำหนดค่าเป้าหมาย 1600 รอบต่อนาที




**รูปที่ 8** ผลการทดสอบเมื่อกำหนดค่าเป้าหมาย 500 รอบต่อนาที




**รูปที่ 10** ผลการทดสอบเมื่อกำหนดค่าเป้าหมาย 2500 รอบต่อนาที




**รูปที่ 7** การออกแบบหน้าต่าง block diagram สำหรับขั้นตอนวิธีควบคุมฟัซซี่ลอจิก

**บทความวิจัย**

การประชุมวิชาการ งานวิจัยและพัฒนาเชิงประยุกต์ ครั้งที่ 8

*8th ECTI-CARD 2016, Hua Hin, Thailand*

# การเพิ่มระดับความเร็วในช่วงเริ่มขับเคลื่อนของรถไฟฟ้ า

## Increasing Speed at the Beginning of Electric Vehicles' Propel Process

ปิยะเทพ ประยูรคง[1], ธีรวงศ์ สุเมธพันธุ์[2] พุทธาวุฒิ ลีกุลธร[3,*] และ ชิติสรรค์ วิชิโต[4]

[1-4] สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

[3]Corresponding Author: พุทธาวุฒิ ลีกุลธร 744 ถ.สุรนารายณ์ อ.เมือง จ.นครราชสีมา 30000 044-233000 ต่อ 3134 Cropw@hotmail.co.th

## บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ ได้จัดทำขึ้นเพื่อหาผลตอบสนองของการบริโภคพลังงานต่อการออกตัวของรถไฟฟ้า ของสาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน นครราชสีมา ซึ่งพบว่ามีการใช้พลังงานไฟฟ้าในช่วงของการออกตัว มากกว่าพลังงานที่ใช้ในระดับความเร็วที่ต้องการ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้เสนอวิธีการเพิ่มระดับความเร็วเข้าสู่ความเร็วที่ต้องการอย่างช้า โดยการทดลองเพิ่มระดับความเร็วเข้าสู่เป้าหมาย ด้วยรูปแบบเชิงเส้น และรูปแบบฟังก์ชันการแจกแจงสะสม ซึ่งเป็นรูปแบบที่ดีที่สุดในการทดลอง ผลลัพธ์ที่ได้ทำให้ใช้พลังงานไฟฟ้าลดลงโดยเฉลี่ยร้อยละ 10.454 ในกรอบเวลาการทดลอง 25 วินาทีหลังการออกตัว ส่งผลทำให้ประสิทธิภาพการใช้พลังงานของรถไฟฟ้าดีขึ้นโดยไม่ต้องปรับเปลี่ยนพฤติกรรมของผู้ขับขี่

คำสำคัญ: การใช้พลังงาน, รถไฟฟ้า, เริ่มต้นการขับเคลื่อน

## Abstract

This research was conducted to find out the response of the energy consumption of the propelling speed of electric-powered vehicle, the field of computer engineering Rajamangala University of Technology Isan, Nakhon Ratchasima. It is found that the power consumption during propelling speed was spending more energy in the desired speed. This research thus proposed the way to increase the speed to the desired speed slowly. It was done by trying to increase the propelling speed toward the goal in the form of linear and cumulative distribution function, which were the best form in the experiment. The results make energy consumption fell by an average of 10.454 in the trial time 25 seconds after launching. This affected the efficiency of energy consumption of the vehicle without having to modify the behavior of motorists.

Keywords: energy consumption, electric-powered vehicle, propelling speed

## 1. บทนำ

ณ ปัจจุบันมีงานวิจัยเกี่ยวกับยานพาหนะที่ใช้พลังงานไฟฟ้ามากขึ้น ทั้งนี้เพื่อทดแทนการใช้พลังงานเชื้อเพลิงที่ปล่อยไอเสียออกมาซึ่งทำให้เกิดมลพิษในอากาศจนทำให้เกิดสภาวะโลกร้อนดังเช่นปัจจุบัน โดยหนึ่งในกลุ่มงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับรถไฟฟ้า เป็นงานวิจัยที่มุ่งเน้นการพัฒนาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้า ที่มีการพัฒนาวงจรควบคุมแบบต่าง ๆ เพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการขับเคลื่อนรถไฟฟ้าให้ดีขึ้น ดังเช่นงานวิจัย "รถพลังไฟฟ้าขับเคลื่อนด้วยตัวควบคุมแบบชอปเปอร์" [1] ซึ่งได้นำหลักการชอปเปอร์มาควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง เนื่องจากมีประสิทธิภาพสูงมีน้ำหนักเบาขนาดเล็ก และตอบสนองได้รวดเร็ว และยังสามารถคืนพลังงานกลับได้ และนอกจากนี้ยังมีกลุ่มงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับมอเตอร์ไฟฟ้า เช่น "การศึกษาการควบคุมแรงบิดของมอเตอร์เหนี่ยวนำหนึ่งเฟสโดยใช้ ตัวเก็บประจุอิเล็กทรอนิกส์และการควบคุมแรงดันเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพ" [2] ซึ่งจะแก้ปัญหาการออกตัวของมอเตอร์ที่มักจะมีภาระทางกลสูง นอกจากนี้ในการใช้ตัวเก็บประจุกระแสตรงเพียงตัวเดียวที่สามารถปรับค่าการควบคุมแรงบิดให้เหมาะสมกับภาระทางกลที่เปลี่ยนไป

จากงานวิจัยที่ผ่านมาเป็นการพัฒนาชุดควบคุม และศึกษาแรงบิดของมอเตอร์ไฟฟ้า เป็นงานวิจัยที่สามารถนำมาพัฒนารถไฟฟ้าให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นได้ แต่ในการใช้งานรถไฟฟ้าจะพบว่าการควบคุมมอเตอร์มีการทำงานที่ไม่ได้เป็นไปตามรูปแบบเหมือนในอุดมคติ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับพฤติกรรมของผู้ใช้งานหรือผู้ขับขี่รถไฟฟ้า โดยเฉพาะในช่วงของการเริ่มขับเคลื่อนจะมีอัตราเร่งที่ไม่เท่ากัน ซึ่งอัตราเร่งมีผลต่อแรงบิดของมอเตอร์ไฟฟ้า และมีผลต่อการบริโภคพลังงานของมอเตอร์ ดังนั้นงานวิจัยชิ้นนี้จึงได้มีวัตถุประสงค์เพื่อทำการศึกษา พฤติกรรมการบริโภคพลังงานในช่วงของการเริ่มต้นขับเคลื่อนรถไฟฟ้า และค้นหาวิธีการปรับปรุงประสิทธิภาพการควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้า เพื่อลดการใช้พลังงานโดยไม่ต้องปรับเปลี่ยนพฤติกรรมของผู้ใช้งานหรือผู้ขับขี่รถไฟฟ้า

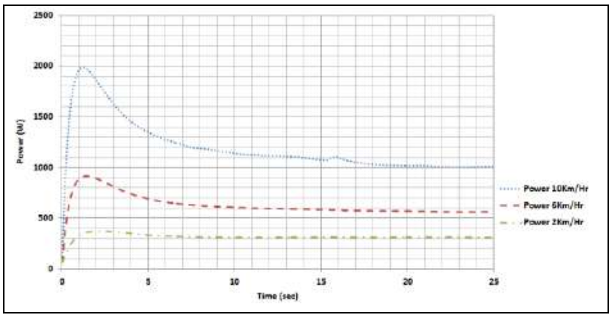
## 2. การบริโภคพลังงานของรถไฟฟ้าในช่วงเริ่มต้นขับเคลื่อน

ในการศึกษาการบริโภคพลังงานรถไฟฟ้าในช่วงเริ่มต้นขับเคลื่อน ได้ทำการทดลองการโดยใช้รถไฟฟ้าดังแสดงในรูปที่ 1 ซึ่งเป็นรถไฟฟ้าของสาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน นครราชสีมา ซึ่งโครงสร้างรถไฟฟ้าเป็นการนำส่วนประกอบของรถไฟฟ้าขนาดเล็กมาดัดแปลงใหม่ โดยใช้ชุดขับเคลื่อนที่ได้จากเพลาของมอเตอร์ขนาด 4.5KW ที่แรงดัน 45V ส่งไปยังชุดเฟืองโดยตรง ซึ่งสามารถขับเคลื่อนได้ด้วยความเร็วไม่เกิน 40Km/Hr โดยใช้แบตเตอรี่ขนาด 12V 75Ah จำนวน 4 ลูกเป็นตัวจ่ายแรงดันไฟให้กับมอเตอร์ ผ่านการความคุมความเร็วของมอเตอร์ด้วยเทคนิคการทำ Pulse Width Modulation หรือ PWM น้ำหนักของรถไฟฟ้าที่ใช้ในการทดลองประมาณ 428Kg รวมน้ำหนักผู้ขับขี่ทดลอง การตรวจวัดการใช้พลังงานของรถไฟฟ้าจะวัดค่ากระแสไฟฟ้า โดยใช้ไอซีเบอร์ ACS754SCB-200 ในการตรวจวัดค่ากระแสไฟฟ้า ส่วนการตรวจวัดความเร็ว ใช้การตรวจจับตำแหน่งวงรอบของล้อด้วยวิธีการวัดค่าความเข้มของเส้นแรงแม่เหล็กจากแม่เหล็กที่ติดตั้งไว้โดยใช้ไอซีเบอร์ A3144 และในส่วนของการวัดค่าแรงดันไฟฟ้า ใช้บอร์ด NI MyRIO ของบริษัท National Instruments ตรวจวัดค่าแรงดันไฟฟ้าพร้อมควบคุมการทำงานและการแสดงผล โดยใช้โปรแกรม LabVIEW ในการจัดการการทดลอง

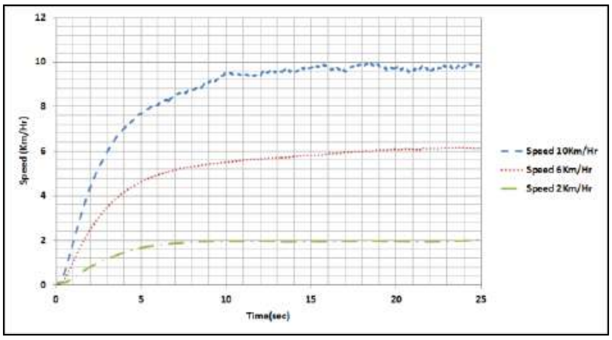
การทดลองเพื่อวัดค่าพลังงานที่ใช้ไป และความเร็วของการเคลื่อนที่ภายใน 25 วินาทีบนถนนพื้นผิวเรียบมีระยะทาง 200m โดยเริ่มต้นจากรถหยุดนิ่งไปจนถึงความเร็วเป้าหมายที่กำหนด คือ 2, 6 และ 10Km/Hr ผลการวัดค่าพลังงานแสดงในรูปที่ 2 และค่าความเร็วแสดงผลดังรูปที่ 3

**รูปที่ 1** รถไฟฟ้าสาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน นครราชสีมา

จากการทดลองจะพบว่าในช่วงเริ่มต้นการเคลื่อนที่ของรถไฟฟ้า มีการใช้พลังงานสูงกว่าพลังงานที่ใช้ในความเร็วเป้าหมายเพราะเนื่องจากช่วงของการเริ่มต้นการเคลื่อนที่ รถไฟฟ้าจะมีความต้องการแรงบิดของมอเตอร์ที่สูง โดยเฉพาะถ้าต้องการความเร็วเป้าหมายที่สูง ยิ่งต้องการแรงบิดของมอเตอร์ และพลังงานในช่วงเริ่มต้นการเคลื่อนที่สูงเช่นกัน




**รูปที่ 2** ค่าพลังงานในสภาวะการทำงานปกติ

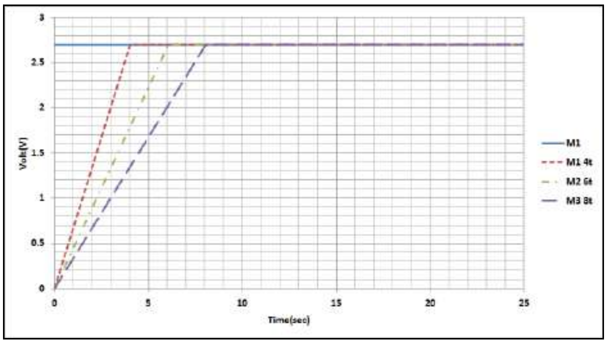



**รูปที่ 3** ค่าความเร็วในสภาวะการทำงานปกติ

## 3. การเพิ่มระดับความเร็วรูปแบบเส้นตรง

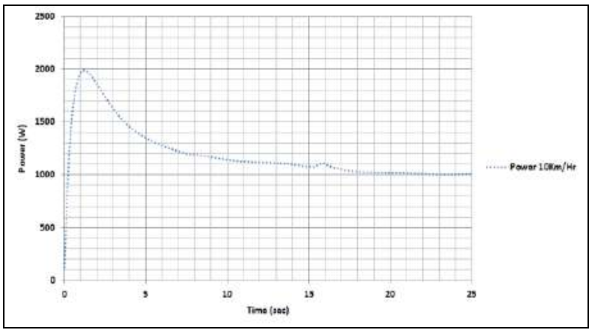
จากการทดลองขั้นต้นจะพบว่าในช่วงเริ่มต้นขับเคลื่อนรถไฟฟ้าเป็นการเพิ่มระดับความเร็วเข้าสู่ความเร็วเป้าหมายอย่างรวดเร็ว ซึ่งจะทำเกิดความต้องการแรงบิดของมอเตอร์และพลังงานที่สูง ดังนั้นเพื่อปรับการใช้พลังงานในช่วงเริ่มต้นขับเคลื่อนรถไฟฟ้า การทดลองนี้จึงใช้วิธีการเพิ่มระดับความเร็วเข้าสู่ความเร็วเป้าหมายโดยใช้สมการเส้นตรงดังสมการที่ (1) ในการเพิ่มระดับความเร็วตามความชันต่าง ๆ สามระดับดังรูปที่ 4 ซึ่งใช้วิธีการความคุมความเร็วด้วยแรงดันไฟฟ้าผ่านทางวงจร PWM เพื่อควบคุมการจ่ายพลังงานให้กับมอเตอร์ โดยมีความเร็วเป้าหมายในการทดลองที่ 10Km/Hr ผลการทดลองที่ได้จะนำมาเปรียบเทียบกับการใช้พลังงานในช่วงเริ่มต้นขับเคลื่อนในรูปที่ 5 และการเพิ่มระดับความเร็วจนถึง 10Km/Hr ในรูปที่ 6 ในสภาวะการทำงานปกติ

$$y = mt \qquad (1)$$

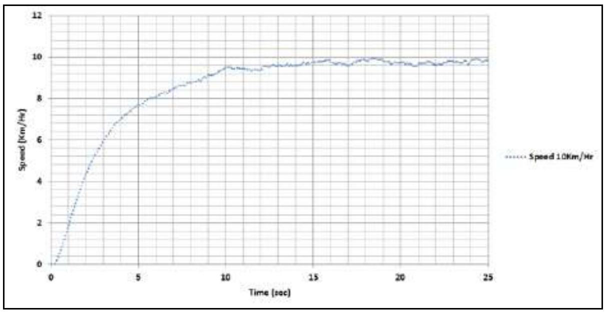



**รูปที่ 4** แรงดันควบคุมความเร็วผ่านทางวงจร PWM เข้าสู่ความเร็วเป้าหมายโดยใช้สมการเส้นตรงความชันสามระดับ

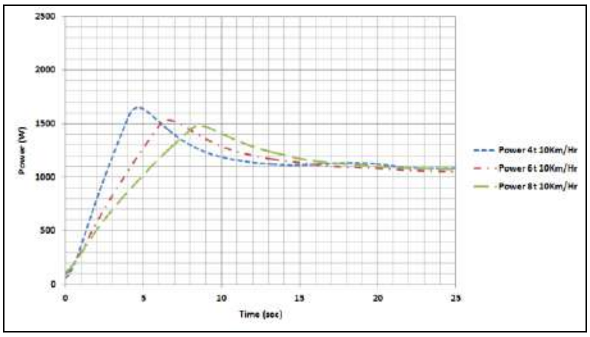
ผลการทดลองพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการเพิ่มระดับความเร็วตามความชันสามระดับในรูปที่ 7 พบว่าในช่วง 5 วินาทีแรกมีการใช้พลังงานที่ลดลงอย่างชัดเจน แต่ผลการเพิ่มระดับความเร็วจนถึง 10Km/Hr ในรูปที่ 8 พบว่ามีการใช้ระยะเวลาเข้าสู่ความเร็วที่ต้องการมากขึ้นกว่าเดิม และพลังงานที่ใช้ในช่วงเริ่มต้นขับเคลื่อนรถไฟฟ้า จะมีค่าสูงกว่าพลังงานที่ใช้ในความเร็วที่ต้องการ ไปอีกระยะหนึ่ง เนื่องจากรถไฟฟ้าสูญเสียแรงเฉื่อยในระหว่างการออกตัว



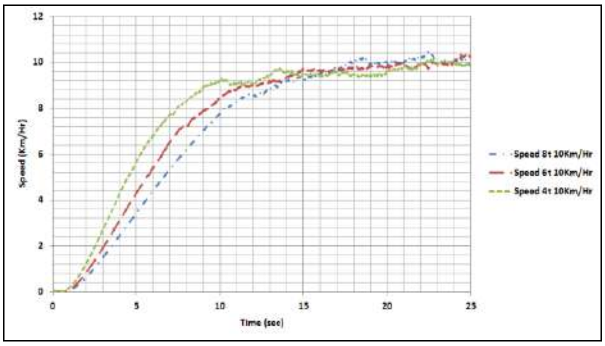

**รูปที่ 5** ค่าพลังงานในสภาวะการทำงานปกติที่ความเร็ว 10Km/Hr




**รูปที่ 6** ค่าความเร็วในสภาวะการทำงานปกติที่ความเร็ว 10Km/Hr



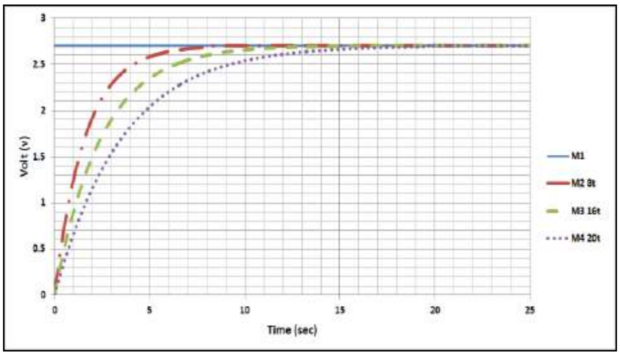

**รูปที่ 7** ค่าพลังงานในการปรับตามรูปแบบเส้นตรง




**รูปที่ 8** ค่าความเร็วในการปรับตามรูปแบบเส้นตรง

## 4. การเพิ่มระดับความเร็วรูปแบบฟังก์ชันการแจกแจงสะสม

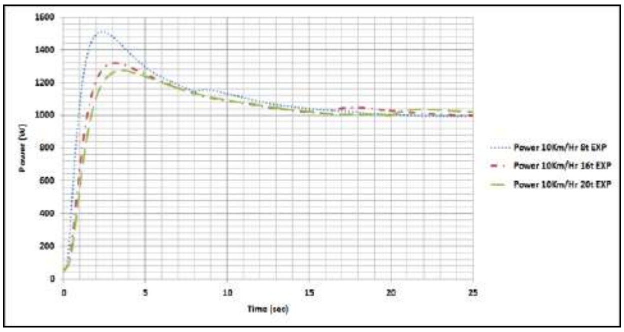
รูปแบบฟังก์ชันการแจกแจงสะสม (Cumulative Distribution Function) เป็นการเพิ่มระดับความเร็วในรูปแบบธรรมชาติของเอกซ์โพเนนเชียลดังสมการที่ (2) ในการทดลองจะใช้ค่าแรงดันควบคุมความเร็วผ่านทางวงจร PWM เข้าสู่ความเร็วเป้าหมายในรูปแบบฟังก์ชันการแจกแจงสะสมด้วยการกระจายในสามระดับแสดงในรูปที่ 9



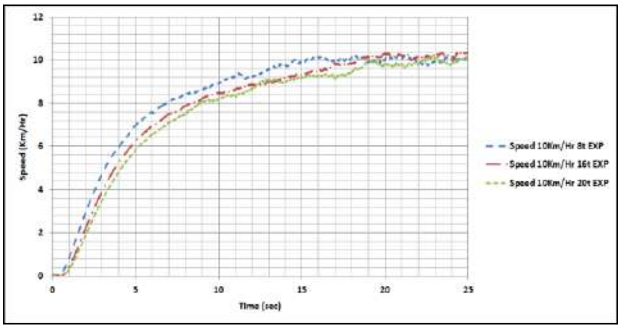

**รูปที่ 9** การควบคุมพลังงานตามรูปแบบฟังก์ชันการแจกแจงสะสม

$$y = (1 - e^{-at}) \quad (2)$$

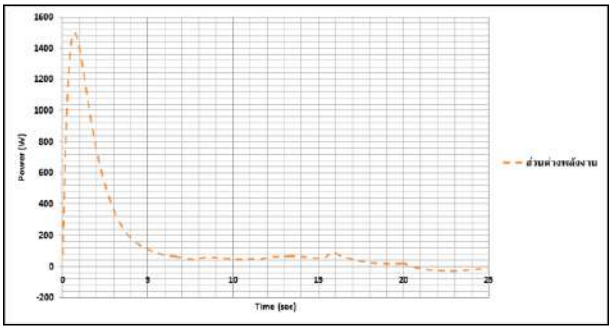
ผลการทดลองพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการเพิ่มระดับความเร็วตามการกระจายสามระดับในรูปที่ 10 และความเร็วในรูปที่ 11 มีลักษณะการใช้พลังงานคล้ายคลึงกับการเพิ่มระดับความเร็วแบบปกติ ซึ่งสามารถรักษาแรงเฉื่อยในระหว่างการออกตัว ทำให้เวลาที่ใช้ในการเพิ่มระดับความเร็วสู่ความเร็วเป้าหมายน้อยลงกว่ารูปแบบสมการเส้นตรง




**รูปที่ 10** ค่าพลังงานในการปรับตามรูปแบบฟังก์ชันการแจกแจงสะสม




**รูปที่ 11** ค่าความเร็วในการปรับตามรูปแบบฟังก์ชันการแจกแจงสะสม




**รูปที่ 12** ส่วนต่างพลังงานเมื่อปรับตามรูปแบบฟังก์ชันการแจกแจงสะสม

## 5. สรุป

จากผลการทดลองในการวิจัยนี้จะพบว่า การปรับเพิ่มระดับความเร็วในรูปแบบฟังก์ชันการแจกแจงสะสมด้วยค่าการกระจายเท่ากับ 20 มีความเหมาะสมกับรถไฟฟ้าของสาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน นครราชสีมา มากที่สุด ถึงแม้ผลการทดลองนี้จะทำให้สูญเสียอัตราเร่งจากรูปแบบการเพิ่มระดับความเร็วปกติ แต่ทำให้มีการใช้พลังงานลดลงตามภาพส่วนต่างพลังงานดังแสดงในรูปที่ 12 และเมื่อเปรียบเทียบโดยคิดจากค่าการประหยัดพลังงานโดยเฉลี่ยดังตารางที่ 1 อยู่ที่ร้อยละ 10.454 จากการใช้พลังงานปกติในช่วงเวลา 25 วินาทีหลังเริ่มต้นการขับเคลื่อนรถไฟฟ้า ซึ่งมีค่าการประหยัดพลังงานสูงกว่าการปรับเพิ่มระดับความเร็วในรูปแบบอื่น

ตารางที่ 1 ค่าการประหยัดพลังงานโดยเฉลี่ยในช่วงเวลา 25 วินาที

| การปรับเพิ่มระดับความเร็ว | ค่าการประหยัดพลังงาน (%) |
|---|---|
| สมการเส้นตรง m = 4 | 1.900 |
| สมการเส้นตรง m = 6 | 4.220 |
| สมการเส้นตรง m = 8 | 4.711 |
| ฟังก์ชันการแจกแจงสะสม a = 8 | 6.938 |
| ฟังก์ชันการแจกแจงสะสม a = 16 | 9.638 |
| ฟังก์ชันการแจกแจงสะสม a = 20 | 10.454 |

ทั้งนี้ผลการทดลองที่ได้จะสามารถนำไปพัฒนาเป็นอุปกรณ์เพื่อควบคุมการเพิ่มระดับความเร็วแทนการปรับเปลี่ยนพฤติกรรมของผู้ขับขี่รถไฟฟ้า อีกทั้งยังสามารถยืดระยะเวลาใช้พลังงานของรถไฟฟ้าต่อการประจุแบตเตอรี่หนึ่งครั้งได้มากขึ้น รวมไปถึงการรักษาอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ เนื่องจากการลดความต้องการพลังงานที่สูงในชั่วขณะในช่วงเวลาการเพิ่มอัตราเร่งอย่างทันทีทันใด

## เอกสารอ้างอิง

[1] พูนศรี วรรณการ และ พนา ดุสิตากร "รถพลังงานไฟฟ้าขับเคลื่อนด้วยตัวควบคุมแบบชอปเปอร์" สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

[2] นภดล ยมแก้ว และ วิจิตร กิณเรศ "การศึกษาการควบคุมแรงบิดของมอเตอร์เหนี่ยวนำหนึ่งเฟสโดยใช้ ตัวเก็บประจุอิเล็กทรอนิกส์และการควบคุมแรงดันเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพ" สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

**บทความวิจัย**
การประชุมวิชาการ งานวิจัยและพัฒนาเชิงประยุกต์ ครั้งที่ 8
*8th ECTI-CARD 2016, Hua Hin, Thailand*

# ศักยภาพในการลดค่าความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยมาตรการตอบสนองด้านโหลดในภาคอุตสาหกรรม

# The Potential of Peak Demand Reduction by Demand Response Measures in Industry Sector

**นาตยา คล้ายเรือง[1] และ รัชฎาพร คำภู [1]**
[1]ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ศรีราชา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา
199 หมู่ 6 ถนนสุขุมวิท ตำบลทุ่งสุขลา อำเภอศรีราชา จังหวัดชลบุรี 20230 โทรศัพท์ 038-354580 ต่อ 2831 E-mail: nattaya@eng.src.ku.ac.th

## บทคัดย่อ

บทความนี้เป็นการประเมินศักยภาพในการลดค่าพลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยมาตรการตอบสนองด้านโหลด(demand response) ในช่วงเวลาวิกฤตของผู้ใช้ไฟภาคอุตสาหกรรมประเภทโลหะขั้นมูลฐาน(เหล็ก) และ แร่อโลหะ(ซีเมนต์โม่หิน) ซึ่งเป็นโรงงานประเภทที่มีการใช้ค่าพลังไฟฟ้าสูงสุดค่อนข้างสูง เพื่อภาครัฐได้นำผลการประเมินไปใช้เป็นแนวทางในการกำหนดนโยบายในการส่งเสริมภาคอุตสาหกรรมให้ดำเนินการลดค่าพลังไฟฟ้าสูงสุด และเพื่อนำไปวางแผนการบริหารการใช้ไฟฟ้าของประเทศ จากผลการวิเคราะห์พบว่ากลุ่มอุตสาหกรรมประเภทโลหะขั้นมูลฐาน(เหล็ก) และ แร่อโลหะ(ซีเมนต์โม่หิน) สามารถลดค่าพลังไฟฟ้าสูงสุดของประเทศในช่วงเวลาวิกฤตได้เท่ากับ 154.4 MW และ 95.7 MW ตามลำดับ

คำสำคัญ: การตอบสนองด้านโหลด, พลังไฟฟ้าสูงสุด, ภาคอุตสาหกรรม

## Abstract

This article describes the potential evaluation of peak demand reduction by using demand response measures in critical time. This case study used survey data of the industry sector customer. That is metal (iron and steel) industry and non-metal element (cement limestone mill) type. This two types industry used peak demand more high. The useful of this study will use for planning and management electricity of Thailand. As the result shown that metal (iron and steel) industry and non-metal element (cement limestone mill) type could reduce peak demand of Thailand's in critical time were 154.4 MW and 95.7 MW respectively.

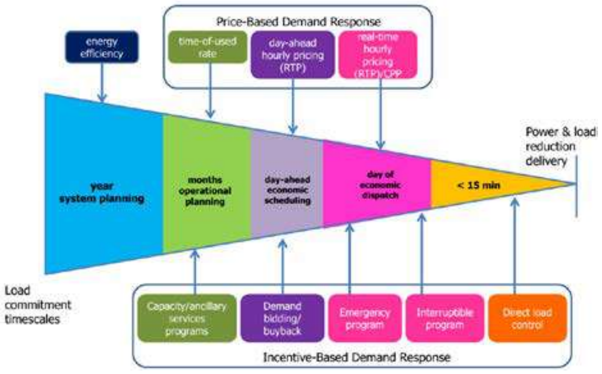
Keywords: demand response, peak demand, industry sector.

## 1. บทนำ

ความต้องการการใช้ไฟฟ้าของประเทศต่างๆ ทั่วโลกมีแนวโน้มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง เป็นผลมาจากความเติบโตทางเศรษฐกิจรวมถึงสภาพอากาศที่เปลี่ยนแปลงมีอุณหภูมิสูงขึ้น ในบางครั้งเมื่อมีความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้ามากเกินความสามารถในการจ่าย ทำให้เกิดการตัดออกจากระบบของโรงไฟฟ้า เป็นผลให้เกิดไฟฟ้าดับเป็นบริเวณกว้าง เหตุการณ์ดังกล่าวเรียกว่า blackout ซึ่งทำให้ผู้ใช้ไฟฟ้ามีผลกระทบเป็นจำนวนมาก และทำให้เกิดความเสียหายในเชิงธุรกิจอย่างมหาศาล ดังนั้นรัฐบาล และหน่วยงานที่เกี่ยวข้องจึงจำเป็นต้องเพิ่มกำลังการผลิตเพื่อให้เพียงพอต่อความต้องการ แต่เนื่องจากการก่อสร้างโรงไฟฟ้าใหม่ต้องใช้เงินทุนในการก่อสร้างจำนวนมาก อีกทั้งพบว่าระยะเวลาการใช้ไฟฟ้าในช่วงสูงวิกฤติ (Critical Peak) มีสัดส่วนเพียงเล็กน้อยเท่านั้นเมื่อเทียบกับเวลาในหนึ่งปี ดังนั้นจึงไม่คุ้มค่าในทางเศรษฐกิจในการก่อสร้างโรงไฟฟ้าสำหรับจ่ายให้ช่วงดังกล่าว วิธีการ Demand Response ได้ถูกนำมาใช้แก้ปัญหาดังกล่าวเพื่อตัดลดความต้องการบางส่วนของลูกค้า ซึ่งมีผลต่อราคาและความเชื่อถือได้ในระบบไฟฟ้าโดยรวม

ปัจจุบันการเพิ่มแหล่งผลิตพลังงานใหม่นั้น อาจจะดำเนินการด้วยความยากลำบาก เนื่องจากด้วยเหตุผลหลายประการ ประการแรกคือ การก่อสร้างโรงไฟฟ้าต้องใช้เงินลงทุนสูงและระยะการก่อสร้างที่ยาวนาน เช่นโรงไฟฟ้าพลังถ่านหิน ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างสูง และต้องใช้ระยะเวลาก่อสร้างนาน 30 ถึง 36 เดือน ดังนั้นความเสี่ยงในการก่อสร้างที่ใช้เวลานานเกินไป ทำให้เกิดความยุ่งยากในการบริหารการเงินสำหรับโครงการขนาดใหญ่ที่มีการลงทุนสูง เหตุผลประการที่สองคือ ความกังวลด้านสิ่งแวดล้อม ปัจจุบันมีความตระหนักต่อภาวะโลกร้อนและมลพิษที่เป็นภัยคุกคามต่อสิ่งแวดล้อม ทำให้การตัดสินใจในโครงการก่อสร้างโรงไฟฟ้าพลังงานที่ใช้ฟอสซิลเป็นเชื้อเพลิงเกิดได้ยากขึ้น จะเห็นได้ว่ารัฐบาลของหลายประเทศมีกฎหมายและมาตรการในการส่งเสริมการสร้างโรงไฟฟ้าจากพลังงานใหม่ที่ใช้เชื้อเพลิงที่สะอาดเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมากขึ้น เหตุผลอีกประการคือความเสี่ยงต่อการคัดค้าน เนื่องจากการลุงทุนก่อสร้างโรงไฟฟ้าใหม่ อาจมีปัจจัยหรือผลกระทบหลายประการ ทั้งทางด้านเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อม ดังนั้นต้องใช้เวลาในการศึกษาความเป็นไปได้ และศึกษาผลกระทบของโครงการ ทำให้การตัดสินใจในการลงทุนจึงอาจมีความล่าช้า สุดท้าย ราคาเชื้อเพลิงที่สูงขึ้นและผันผวน ทำให้ผู้ผลิตไฟฟ้าต้อง

กระจายความเสี่ยง โดยการผลิตไฟฟ้าจากเชื้อเพลิงหลายรูปแบบ เพื่อให้รักษาการจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้มีประสิทธิภาพมากที่สุด เนื่องจากสภาพอากาศในโลกเกิดการเปลี่ยนแปลง โดยมีสภาพอากาศที่ร้อนขึ้นทำให้มีการขยายตัวของการใช้งานเครื่องปรับอากาศเพิ่มมากขึ้นด้วย ดังนั้นในวันที่อากาศร้อนมากในช่วงฤดูร้อนการใช้พลังงานไฟฟ้ามีค่าสูงเพิ่มขึ้นหลายเท่าจากวันธรรมดา ทำให้ต้องเดินเครื่องผลิตกระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้นอีกหลายโรงเพื่อจ่าย และให้มีพลังงานไฟฟ้าสำรองที่เพียงพอ การผลิตไฟฟ้าในช่วงที่อากาศร้อนนี้ อาจต้องใช้ค่าใช้จ่ายสูงมาก เพราะค่าไฟต่อหน่วยที่ต้องผลิตเพิ่มมีค่ามากกว่าการผลิตไฟฟ้าฐาน




**รูปที่ 1** บทบาทของมาตรการตอบสนองด้านโหลด(Demand Response)

เมื่อนำค่าการใช้พลังไฟฟ้าสูงสุดของประเทศที่เกิดขึ้นในแต่ละชั่วโมงมาเขียน Load duration curve พบว่ามีเพียงไม่กี่ชั่วโมงเท่านั้นที่มีการใช้ค่าพลังไฟฟ้าสูงมากๆ และในช่วงเวลาวิกฤตหรือช่วงที่ประเทศมีการใช้พลังไฟฟ้าสูงซึ่งมักเกิดขึ้นในช่วงเวลา 13.00-16.00 น. ของวันทำงานในช่วงฤดูร้อน(กุมภาพันธ์-พฤษภาคม) ดังนั้นหากผู้ใช้ไฟสามารถปรับพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าในช่วงเวลาวิกฤตที่เกิดค่าสูงๆขึ้นนี้ได้ ก็ไม่จำเป็นต้องสร้างโรงไฟฟ้าเพื่อรองรับความต้องการหรือจ่ายไฟฟ้าในช่วงเวลาสั้นๆที่เกิดค่าพลังไฟฟ้าสูงนี้ ซึ่งไม่คุ้มค่าในแง่ของการลงทุน แผนงานหรือมาตรการ Demand response สามารถแบ่งออกเป็นสองประเภทใหญ่ๆ คือ

1. แผนงานที่ใช้แรงจูงใจเป็นหลัก (Incentive-Based Programs, IBP) ลูกค้าที่เข้าร่วมโครงการจะได้รับเงินตอบแทน อาจจะเป็นรูปแบบของส่วนลดค่าไฟฟ้า ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ แบบควบคุมโดยตรง (Direct control) การไฟฟ้าจะสามารถปิดเครื่องใช้ไฟฟ้าของผู้เข้าร่วมจากระยะไกลโดยแจ้งให้ทราบในระยะสั้น และแบบหยุดหรือตัดออกบางส่วนได้ (Interruptible/Curtail able Program) แผนงานนี้มีลักษณะเช่นเดียวกับการควบคุมโหลดโดยตรง คือลูกค้าที่เข้าร่วมในการหยุดหรือตัดออกบางส่วนจะได้รับค่าตอบแทน หรือส่วนลดในการเข้าร่วม แต่หากผู้เข้าร่วมรายใดไม่ตอบสนองจะได้รับบทลงโทษ

2. แผนงานใช้ราคาเป็นหลัก (Price-Based Programs, PBP) แผนงานแบบนี้เป็นการกำหนดราคาแบบไดนามิกส์ ซึ่งราคาไม่เท่ากันตลอด จะขึ้นหรือลงตามค่าใช้จ่ายตามเวลาจริงของการไฟฟ้า จุดประสงค์ของแผนงานนี้คือต้องการเส้นโค้งความต้องการ (Demand curve) เรียบที่สุด โดยกำหนดราคาสูงในช่วงเวลาที่ความต้องการใช้ไฟฟ้าสูง (Peak period) และราคาต่ำในช่วงเวลาความต้องการใช้ไฟฟ้าต่ำ (Off-peak period) เช่นอัตราค่าไฟฟ้าแบบ Time of use หรือ TOU เป็นต้น

บทความนี้ได้ทำการศึกษาพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟในกลุ่มอุตสาหกรรมประเภทโลหะขั้นมูลฐาน(เหล็ก) และกลุ่มแร่อโลหะ (ซีเมนต์ไม่หิน) ซึ่งเป็น 2 กลุ่มอุตสาหกรรมที่มีการใช้ค่า Peak demand สูงที่สุด เพื่อนำผลการวิเคราะห์ไปหาแนวทางหรือมาตรการในการลดค่าความต้องการไฟฟ้าสูงสุดของผู้ใช้ไฟในกลุ่มอุตสาหกรรม โดยการสำรวจและติดตั้งเครื่องมือเพื่อตรวจวัดค่าทางไฟฟ้าของโรงงานตัวอย่างในกลุ่มโลหะขั้นมูลฐาน(เหล็ก) จำนวน 4 โรงงาน และกลุ่มแร่อโลหะ (ซีเมนต์ไม่หิน) จำนวน 3 โรงงาน เพื่อหาแนวทางหรือมาตรการที่เหมาะสมให้กับโรงงานในการลดความต้องการไฟฟ้าสูงสุด โดยพิจารณาแยกเป็น 2 แนวทางหลักๆ คือมาตรการการเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำรองเพื่อจ่ายโหลดภายในโรงงาน และมาตรการการปรับกระบวนการผลิต ผลที่ได้นำไปใช้เป็นแนวทางในการประเมินศักยภาพในการลดค่าพลังไฟฟ้าสูงสุดของกลุ่มอุตสาหกรรมอื่นๆ ต่อไป ทำให้สามารถควบคุมการใช้ไฟฟ้าในช่วงเวลาที่มีการใช้ไฟฟ้าสูงสุดของประเทศได้ด้วยมาตรการ Demand response ทั้งนี้เพื่อให้การผลิตไฟฟ้าเพียงพอและมีต้นทุนต่ำลง เพื่อนำไปวางแผนการบริหารการใช้ไฟฟ้า และเพื่อใช้เป็นส่วนหนึ่งในการกำหนดแผนพัฒนากำลังการผลิตไฟฟ้าของประเทศต่อไป

**รูปที่ 2** เครื่องมือวัดการใช้ไฟฟ้า

## 2. วิธีการเก็บข้อมูล

ข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์ศักยภาพประกอบด้วย ข้อมูลอุปกรณ์ไฟฟ้าเป้าหมายทั้งหมดที่มีศักยภาพในการดำเนินมาตรการ ข้อมูล

การใช้งานเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำรอง พิกัด สมรรถนะ ข้อมูลกระบวนการขั้นตอนการผลิต ระยะเวลา ปริมาณการผลิตในแต่ละช่วงเวลา มาตรการในการลดการใช้ไฟฟ้าที่โรงงานเคยดำเนินการในอดีต กราฟค่าพลังไฟฟ้ารวมของโรงงาน กราฟของโหลดในระบบต่างๆ หรือส่วนต่างๆ ของโรงงานที่สามารถดำเนินมาตรการลดค่าพลังไฟฟ้าในช่วงเวลาวิกฤตได้ โดยในส่วนของการบันทึกค่าพลังไฟฟ้าจะใช้ Elite Logger รุ่น ElitePro ในการบันทึกข้อมูลการใช้ไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟ ซึ่งเครื่องมือดังกล่าวประกอบด้วย 3 ส่วน คือ 1) Recording power meter 2) Voltage clip 3) Current Transformer (CT) ดังแสดงในรูปที่ 2

## 3. การวิเคราะห์ศักยภาพ

การวิเคราะห์หาศักยภาพของโรงงานตัวอย่างในการลดค่าพลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยมาตรการ Demand response เป็นศักยภาพที่เกิดจากความคิดเห็นของโรงงาน ที่สามารถดำเนินการได้เมื่อภาครัฐร้องขอโดยไม่เกิดผลกระทบกับธุรกิจมากนัก ทั้งในด้านปริมาณและคุณภาพสินค้า พิจารณาแยกตามมาตรการที่ใช้ดำเนินการลดค่าพลังไฟฟ้าสูงสุด สำหรับมาตรการที่มีผลต่อการลดค่าพลังไฟฟ้าสูงสุดในโรงงานอุตสาหกรรมแยกเป็น 2 แนวทางหลักๆคือ

1) การเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเพื่อจ่ายโหลดภายในโรงงานและการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเข้ากับระบบของการไฟฟ้า

2) การปรับกระบวนการผลิต อาจเป็นการลดปริมาณการผลิตหรือการหยุดผลิตในช่วงเวลาวิกฤต โดยหยุดเครื่องจักรบางส่วน

ส่วนมาตรการอื่นๆ เช่นระบบแสงสว่างหรือระบบปรับอากาศในสำนักงาน เป็นมาตรการที่มีผลน้อยมากในการลดค่าพลังไฟฟ้าสูงสุดสำหรับภาคอุตสาหกรรม และในการวิเคราะห์หาศักยภาพในการลดค่าพลังไฟฟ้าของโรงงานอุตสาหกรรมพิจารณาเทียบกับเส้นฐาน (Base line) ซึ่งหาจาก Load profile เฉลี่ยของวันทำงาน (10 วัน) ก่อนดำเนินมาตรการ สำหรับประเมินหาค่าพลังไฟฟ้าเฉลี่ยที่โรงงานสามารถลดลงได้ในช่วงเวลาที่เข้าร่วมโครงการ Demand Response สำหรับประเมินค่าตอบแทน หรือเงินสนับสนุนที่จะได้จากภาครัฐในกรณีเข้าร่วมโครงการ และโรงงานสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการพิจารณาเรื่องความคุ้มทุนได้

จากเอกสารรายงานของ บ. Brattle group ชื่อเรื่อง An Assessment of PGE's Demand Response Potential ปี 2013 และจาก BERKELEY NATIONAL LABORATORY ชื่อเรื่อง Estimating Demand Response Market Potential among Large Commercial and Industrial Customers: A Scoping Study ปี 2007 สามารถนำมาสรุปเป็นแนวทางในการหาศักยภาพของมาตรการ Demand response ในการลดค่าพลังไฟฟ้าสูงสุดในภาพรวมของกลุ่มอุตสาหกรรมจากศักยภาพรายโรงงานที่ได้ ดังนี้

$$\text{Potential of Demand Response} = TD \times PP \times RD \quad (1)$$

โดยที่

TD คือ Total Demand of Customer ความต้องการการใช้พลังไฟฟ้ารวม

PP คือ Program Participate Rates หมายถึง อัตราการเข้าร่วมโครงการของผู้ใช้ไฟแต่ละรายในกลุ่มที่พิจารณา

RD คือ Reduction Demand per Participate หมายถึง อัตราการลดการใช้พลังไฟฟ้าต่อหนึ่งโรงงาน หรือกลุ่มโรงงาน

## 4. ผลการสำรวจข้อมูล

ข้อมูลด้านไฟฟ้าของโรงงานตัวอย่างที่ได้จากแบบสำรวจ เช่น ค่าพลังไฟฟ้าสูงสุดของปีที่แต่ละโรงงานใช้ ขนาดพิกัดหม้อแปลง และขนาดพิกัดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำรองของแต่ละโรงงาน เพื่อเป็นข้อมูลเบื้องต้นในการวิเคราะห์หาศักยภาพในการลดค่าพลังไฟฟ้าสูงสุดของโรงงาน แสดงในตารางที่ 1

**ตารางที่ 1** ข้อมูลด้านไฟฟ้าของโรงงานตัวอย่าง

| ประเภทโรงงาน | จำนวน | Peak demand รวม [kW] | Standby Gen [kW] | หม้อแปลง [kVA] |
|---|---|---|---|---|
| เหล็ก | 4 | 202,040 | 4,780 | 467,200 |
| ซีเมนต์ โม่หิน | 3 | 92,644 | 14,433 | 191,000 |

**รูปที่ 3** รูปแบบการใช้ไฟฟ้าเฉลี่ยในวันทำงานของโรงงานตัวอย่างจากการตรวจวัด

จากข้อมูลการใช้ไฟฟ้าตลอดทั้งปี 2558 พบว่าโรงงานแร่อโลหะ(ซีเมนต์ โม่หิน) ทั้ง 3 โรงงานมีค่า peak demand เฉลี่ยต่อโรงงานเท่ากับ 30.9 MW ในขณะที่โรงงานประเภทโลหะขั้นมูลฐาน(เหล็ก) ทั้ง 4 โรงงานมีการใช้ peak demand เฉลี่ยต่อโรงงานสูงถึง 50.5 MW และจากการสำรวจพบว่า สัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าเพื่อการผลิตมีค่าเฉลี่ยเกินกว่าร้อยละ 60 หากรวมระบบทำความเย็นและ ระบบอัดอากาศ เป็นส่วน

หนึ่งของการผลิตด้วย ก็จะมีการใช้พลังงานในส่วนของกระบวนการผลิตเกินกว่าร้อยละ 80 โดยที่สัดส่วนของพิกัดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำรองในกลุ่มโรงงานแร่อโลหะ(ซีเมนต์โม่หิน) มีปริมาณสูงกว่าโรงงานประเภทโลหะขั้นมูลฐาน(เหล็ก) ค่อนข้างมาก

## 5. ผลการวิเคราะห์ศักยภาพของโรงงานตัวอย่าง

### 5.1 โรงงานประเภทโลหะขั้นมูลฐาน (เหล็ก)

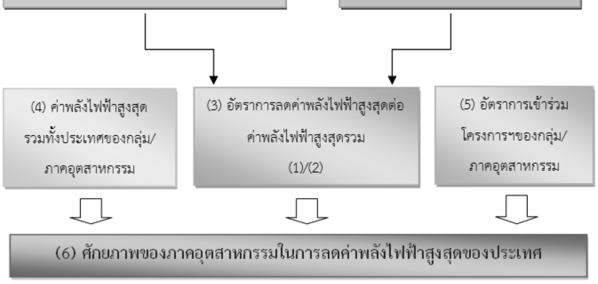
โรงงานประเภทนี้เป็นโรงงานที่ผลิต เหล็กลวดรีดร้อน เหล็กแท่ง เหล็กเส้นเสริมคอนกรีต และเหล็กแผ่นอาบสังกะสี เป็นต้น ผลการสำรวจพบว่าโรงงานประเภทโลหะขั้นมูลฐาน (เหล็ก) มีศักยภาพในการเข้าร่วมโครงการ Demand response ในเวลาที่วิกฤตภาครัฐร้องขอ เพื่อลดค่าพลังไฟฟ้าสูงสุด รวมทั้ง 4 โรงงาน ได้ทั้งสิ้น 18,986.7 kW แบ่งเป็นศักยภาพจากการเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำรองเท่ากับ 2,775 kW และจากการปรับกระบวนการผลิตเท่ากับ 16,211 kW

### 5.2 โรงงานประเภทแร่อโลหะ (ซีเมนต์ โม่หิน)

โรงงานประเภทนี้เป็นโรงงานที่ ผลิตปูนซีเมนต์ กระเบื้องปูพื้น และปูผนัง เป็นต้น ผลการสำรวจพบว่าโรงงานประเภทแร่อโลหะ (ซีเมนต์ โม่หิน) มีศักยภาพในการเข้าร่วมโครงการ Demand response ในเวลาวิกฤตที่ภาครัฐร้องขอ เพื่อลดค่าพลังไฟฟ้าสูงสุด รวมทั้ง 3 โรงงาน ได้ทั้งสิ้น 4,436 kW แบ่งเป็นศักยภาพจากการเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำรองเท่ากับ 2,214 kW และจากการปรับกระบวนการผลิตเท่ากับ 2,222 kW

## 6. ผลการวิเคราะห์ศักยภาพกลุ่มอุตสาหกรรม

การหาศักยภาพของกลุ่มอุตสาหกรรมในการลดค่าพลังไฟฟ้าสูงสุดของประเทศ หาได้จากข้อมูลต่างๆที่ได้จากการสำรวจโรงงานอุตสาหกรรมทั้ง โรงงาน มีแนวทางการวิเคราะห์ดังแผนภาพที่แสดงในรูปที่ 4




**รูปที่ 4** ขั้นตอนการวิเคราะห์หาศักยภาพของกลุ่มอุตสาหกรรมในการลดค่าพลังไฟฟ้าสูงสุดของประเทศ

จากศักยภาพของกลุ่มโรงงานตัวอย่างสามารถนำมาประเมินศักยภาพของโรงงานอุตสาหกรรมประเภทโลหะขั้นมูลฐาน (เหล็ก) และแร่อโลหะ (ซีเมนต์ โม่หิน) ทั้งประเทศได้ ซึ่งเป็นโรงงานควบคุมอยู่ทั้งสิ้น 203 และ 140 โรงงาน ตามลำดับ หากทุกโรงงานให้ความร่วมมือในการดำเนินการลดค่าพลังไฟฟ้าสงสุดในช่วงที่ภาครัฐต้องการตามมาตรการ Demand response โรงงานอุตสาหกรรมประเภทโลหะขั้นมูลฐาน (เหล็ก) จะสามารถช่วยลด peak ของประเทศได้ 154.4 MW คิดเป็นร้อยละ 8 ของ peak demand รวมที่อุตสาหกรรมประเภทนี้ใช้ และแร่อโลหะ (ซีเมนต์ โม่หิน) จะสามารถช่วยลด peak ลงได้ 95.7 MW หรือร้อยละ 5 ของ peak demand รวมที่อุตสาหกรรมประเภทนี้ใช้

## 7. สรุป

โรงงานประเภทโลหะมูลฐาน (เหล็ก) และโรงงานประเภทแรอโลหะ (ซีเมนต์ โม่หิน) เป็นโรงงานที่มีความสามารถในการเข้าร่วมโครงการได้สูง และค่า Peak demand ต่อโรงงานก็มีค่าสูงมากเมื่อเปรียบเทียบกับโรงงานประเภทอื่นๆ ดังนั้นหากได้รับความร่วมมือจากอุตสาหกรรมประเภทนี้ก็จะช่วยลด Peak demand ของประเทศได้ค่อนข้างมาก โดยไม่ต้องมีจำนวนโรงงานร่วมโครงการมากนัก ประกอบกับโรงงานประเภทนี้มักมีแผนการผลิตเพื่อควบคุม Peak demand อยู่แล้ว ดังนั้นหากเข้าร่วมโครงการ Demand response ก็สามารถดำเนินการได้ทันที

## 8. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ที่สนับสนุนทุนในการวิจัย และขอขอบคุณกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค การไฟฟ้านครหลวง และโรงงานตัวอย่างทั้ง 7 โรงงาน สำหรับข้อมูลประกอบการทำวิจัย

## เอกสารอ้างอิง

[1] Jeff Osborne. 2007. A Primer on Demand Response. **Thomas Weisel Partners LLC**.

[2] Ahmad Faruqui and Ryan Hledik. 2011. Bringing Demand-Side Management to the Kingdom of Saudi Arabia Final report. The Brattle Group: 59-69.

[3] Charles Goldman, Nicole Hopper, and Ranjit Bharvirkar. 2007. Estimating Demand Response Market Potential among Large Commercial and Industrial Customers: A Scoping Study. Berkeley National Laboratory.

**บทความวิจัย**

การประชุมวิชาการ งานวิจัยและพัฒนาเชิงประยุกต์ ครั้งที่ 8

*8th ECTI-CARD 2016, Hua Hin, Thailand*

# การออกแบบและพัฒนาระบบตรวจสอบคุณภาพโอเพนซอร์ซซอฟต์แวร์สำหรับสื่อสารเสียงผ่านอินเทอร์เน็ตแบบเรียลไทม์

# Design and Development of Real-time Monitoring Open Source VoIP Quality Systems

**ปิยวัจน์ ค้าสบาย* พรพิมล ชิวะกิจ และ มยุรา เผ่าบ้านฝาง**

E-mail: piyawad.ka@365.udru.ac.th, orangechiwakit@gmail.com, m.mayura1993@gmail.com

สาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี

เลขที่ 64 ถนนทหาร ตำบลหมากแข้ง อำเภอเมือง จังหวัดอุดรธานี 41000

## บทคัดย่อ

โพรโทคอลสื่อสารเสียงผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ตถูกออกแบบสำหรับวีโอไอพี ได้มีการพัฒนาชุดซอฟต์แวร์ที่รองรับการทำงานของโพรโทคอลดังกล่าว ทั้งซอฟต์แวร์เชิงพาณิชย์และโอเพนซอร์ซ เช่น แอสเทอร์ริกนาว ทริกซ์บ็อก อีลาสติก และบลูบ็อก อย่างไรก็ตาม โอเพนซอร์ซดังกล่าวยังไม่สามารถประเมินคุณภาพเสียงได้ ทั้งนี้การสื่อสารดังกล่าวอาศัยแบนด์วิดท์ที่เหมาะสม ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงออกแบบและพัฒนาระบบตรวจสอบคุณภาพเสียงให้กับโอเพนซอร์ซซอฟต์แวร์สำหรับการสื่อสารเสียงผ่านอินเทอร์เน็ตแบบเรียลไทม์ พร้อมทั้งพัฒนาโปรแกรมต้นแบบ และแสดงให้เห็นถึงประสิทธิผล

คำสำคัญ: ระบบการสื่อสารเสียงผ่านอินเทอร์เน็ตโพรโทคอล, แอสเทอร์ริกนาว, ทริกซ์บ็อก, บลูบ็อก

## Abstract

Voice protocols communication over the internet were designed for Voice over Internet Protocol (VoIP) technology. Both commercial software and open source software have been developed for VoIP such as Asterisk Now, Trixbox and Bluebox. However, some drawback of open source software are quality evaluation that have not been implemented. In general, VoIP needs a certain amount of bandwidth. So, we propose in this paper a design and development of open source VoIP quality evaluation system. In addition, we have developed an application to demonstrate the efficiency of the proposed techniques.

Keywords: VoIP, Asterisk Now, Trixbox, Bluebox

## 1. บทนำ

ปัจจุบันอินเทอร์เน็ตเข้ามามีบทบาทสำคัญต่อการดำเนินกิจกรรมต่างๆ ในชีวิตประจำวันมากขึ้น เป็นทั้งเครื่องมือที่ช่วยทำให้เราสามารถติดต่อสื่อสารกับบุคคลอื่นได้ อินเทอร์เน็ตจึงถูกพัฒนาศักยภาพหรือความสามารถให้รองรับการสื่อสารข้อมูลประเภทต่างๆ หลากหลายประเภท โดยเฉพาะอย่างยิ่งข้อมูลประเภทมัลติมีเดีย มีการออกแบบมาตรฐานที่ใช้ในการสื่อสารเครือข่ายอินเทอร์เน็ตเพื่อรองรับการสื่อสารประเภทดังกล่าว

ระบบการสื่อสารเสียงผ่านอินเทอร์เน็ตโพรโทคอล เป็นทางเลือกหนึ่งที่นำมาใช้กับหน่วยงานที่มีเครือข่ายอินเทอร์เน็ตอยู่แล้ว เช่น หน่วยงานธุรกิจขนาดย่อม หรือผู้ให้บริการอินเทอร์เน็ตต่างๆ ระบบการสื่อสารเสียงผ่านอินเทอร์เน็ตโพรโทคอล ถูกนำมาใช้เพื่อช่วยลดค่าใช้จ่ายให้กับองค์กรเมื่อเทียบกับการสื่อสารโทรศัพท์แบบเดิม ระบบการสื่อสารอินเทอร์เน็ตมีทั้งเชิงพาณิชย์และโอเพนซอร์ซซอฟต์แวร์ โดยจะนำระบบมาใช้กับองค์กร ขึ้นอยู่ที่ศักยภาพขององค์กรว่าจะเลือกใช้แบบซอฟต์แวร์เชิงพาณิชย์ หรือซอฟต์แวร์ทางเลือกเช่นโอเพนซอร์ซซอฟต์แวร์ ซึ่งซอฟต์แวร์เชิงพาณิชย์มีค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูง โอเพนซอร์ซซอฟต์แวร์เป็นทางเลือกให้กับองค์กรธุรกิจขนาดย่อมที่มีต้นทุนต่ำ และมีชุดซอฟต์แวร์ที่นิยมและถูกนำมาใช้งานมากมาย เช่น Asterisk Now [1] , Trixbox [2], Bluebox [3]

การติดตั้งและใช้งานโอเพนซอร์ซซอฟต์แวร์ต้องอาศัยผู้ที่เชี่ยวชาญทางด้านนั้น และจากการศึกษาพบว่าโอเพนซอร์ซซอฟต์แวร์ยังขาดในเรื่องของการประเมินคุณภาพการสื่อสารเสียง ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดที่จะพัฒนาการประเมินคุณภาพของเสียงแบบเรียลไทม์ให้กับโอเพนซอร์ซซอฟต์แวร์

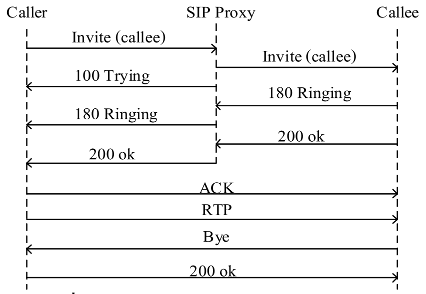
## 2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 Voice over Internet Protocol (VoIP)

VoIP [4] เป็นเทคโนโลยีสื่อสารเสียงผ่านระบบเครือข่ายอินเทอร์เน็ต ที่ถูกนำมาแทนที่โทรศัพท์แบบเดิมเพราะว่าในองค์กรต่างๆ มีเครือข่ายอินเทอร์เน็ตเป็นของตัวเองอยู่แล้ว ดังนั้นจึงช่วยให้ประหยัดค่าใช้จ่าย ไม่ต้องติดตั้งเครือข่ายโทรศัพท์แยก ก็สามารถใช้โทรศัพท์ผ่าน VoIP แทน โดยมีโพรโทคอลที่เกี่ยวข้องดังนี้

2.1.1 Session Initiation Protocol (SIP) [5]

SIP เป็นโพรโทคอลที่ถูกพัฒนาโดย Internet Engineering Task Force (IETF RFC 3550) เพื่อใช้สำหรับควบคุมการเริ่มต้นเชื่อมต่อและการยกเลิกการเชื่อมต่อของการสื่อสาร มีการทำงานลักษณะเดียวกับ HTTP อยู่ใน Application layer มีรูปแบบการ Request และ Response โดยทำงานร่วมกับ Session Description Protocol (SDP) เพื่อใช้ระบุมีเดียที่จะสื่อสาร [6] มีการสื่อสารระหว่าง Client กับ SIP Proxy ดังรูปที่ 1




**รูปที่ 1** ตัวอย่างการทำงานของ SIP Protocol

จากรูปที่ 1 เป็นตัวอย่างการทำงานของ SIP โดยมีการสื่อสารจาก Caller ไป Callee โดย Caller ส่งข้อความ INVITE ไปยัง SIP Proxy จากนั้น SIP Proxy จะทำการตอบรับโดยส่ง 100 Trying กลับไปที่ Caller เพื่อให้ทราบว่ากำลังพยายามติดต่อเครื่องของ Callee อยู่ จากนั้น SIP Proxy ส่งข้อความ INVITE ไปยังเครื่องของ Callee เพื่อชวนให้ร่วมสนทนากับ Caller เมื่อ Callee ได้รับ ก็จะตอบรับด้วย 180 Ringing เพื่อบอกให้ SIP Proxy ทราบว่ากำลังรอการติดต่อจาก Caller และ SIP Proxy ส่ง 180 Ringing ให้ Caller ทราบอีกที จากนั้น Callee ทำการส่ง 200 OK มายัง SIP Proxy เพื่อให้ทราบว่าการติดต่อสำเร็จและ SIP Proxy ส่ง 200 OK กลับไปยัง Caller เพื่อให้ทราบอีกที จากนั้นเริ่มต้นการสนทนาระหว่าง Caller กับ Callee เมื่อต้องการวางสายฝั่งใดฝั่งหนึ่งทำการส่ง BYE เพื่อสิ้นสุดการสนทนา

2.1.2 Real Time Transport Protocol (RTP) [7]

RTP เป็นโพรโทคอลที่ใช้ในการสื่อสารมัลติมีเดีย ผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต ซึ่งถูกใช้อย่างแพร่หลายในระบบการสื่อสารและความบันเทิงที่เกี่ยวกับการถ่ายทอดผ่านสื่อ เช่น โทรศัพท์ผ่านโพรโทคอลอินเทอร์เน็ต การประชุมวิดีโอ (Video Conference) หรืออื่นๆ โดยมี RTP Packet Format รายละเอียดเพิ่มเติม [4] ทำงานร่วมกับ Real Time Transport Control Protocol (RTCP) ใช้สำหรับการรายงานผลเกี่ยวกับคุณภาพการบริการ (Quality of Service : QoS) ของ RTP ประกอบด้วยจำนวนแพ็กเกจที่สูญหาย (Packet loss) , delay และ jitter ดังรูปที่ 3 โดยงานวิจัยนี้ได้พัฒนาโปรแกรมเพื่อวิเคราะห์ผลที่ได้จาก RTCP ที่แสดงถึงคุณภาพ RTP เพื่อนำไปสู่การหาคุณภาพของเสียง โดยมีตัวอย่าง Packet format ดังรูปที่ 2

| | RC | Type | Length |
|---|---|---|---|
| SSRC of packet sender | | | |
| SSRC of first source | | | |
| Fraction lost | Cumulative number of packets lost | | |
| Interarrival jitter | | | |
| Last SR | | | |
| Delay since last SR | | | |

**รูปที่ 2** RTCP Packet

2.1.3 การประเมินคุณภาพเสียงสื่อสารผ่านอินเทอร์เน็ต

วิธีการประเมินคุณภาพการสื่อสารเสียงผ่านอินเทอร์เน็ตนั้นจะแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ การวัดเชิงจิตวิสัย เป็นการประเมินคุณภาพเสียงที่ใช้คนเป็นผู้ประเมิน และ E-Model [8] ถูกออกแบบโดย International Telecommunications Union (ITU-T) เพื่อเป็นมาตรฐานตาม Recommendation G.107 เป็นแบบจำลองหรือเครื่องมือในการประเมินคุณภาพเสียง ซึ่งผลการคำนวณของการคำนวณแสดงอยู่ในรูป R-factor (R-value) โดยได้จากการคำนวณผลลัพธ์ปัจจัยสภาพแวดล้อมต่างๆ ที่มีผลต่อคุณภาพเครือข่าย ได้แก่ Delay, Packet loss และ Jitter ซึ่งมีวิธีการคำนวณหา R-factor จะกล่าวต่อไปในหัวข้อที่ 3

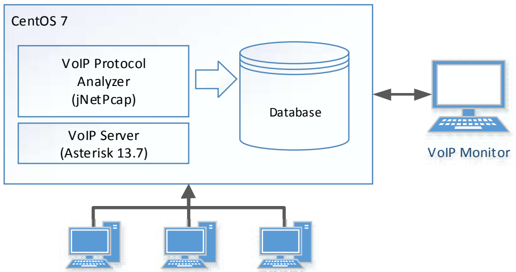
### 2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในงานวิจัย [9] ความจุระบบการใช้งานโทรศัพท์ผ่านอินเทอร์เน็ตบนโครงข่ายไร้สายแบบเมชประเภทกริด เพื่อศึกษาวิธีการประเมินคุณภาพเสียงโดยการใช้ ค่า R-Factor แล้วนำค่าที่ได้มาเปรียบเทียบกับค่า MOS พร้อมทั้งยังบอกถึงความหมายที่เกี่ยวข้องกับค่า Delay , Packet loss และ Jitter ซึ่งจะนำมาใช้ในการประเมินคุณภาพของ VoIP ในงานวิจัย [10] การศึกษาเปรียบเทียบคุณภาพเสียง VoIP ระหว่าง LINE และ Facebook ด้วยการประเมินจากผู้ร่วมทดสอบจำนวน 96 คน ซึ่งจะใช้ผู้ทดสอบให้โทรศัพท์พูดคุยกัน ให้ผู้ทดสอบระบุคะแนนคุณภาพเสียงที่ได้ยิน จากนั้นนำผลรวมมาหา ซึ่งค่าเรียกว่า Mean Opinion Score (MOS) พบว่า คุณภาพเสียงที่ได้จากแอพพลิเคชั่น LINE ดีกว่าคุณภาพเสียงที่ได้จาก Facebook ไม่ว่าเชื่อมต่อผ่านเครือข่ายแบบ LAN หรือ WLAN นอกจากนี้ยังพบว่าทั้ง LINE และ Facebook ที่เชื่อมต่อผ่านเครือข่ายแบบ LAN ต่างก็ให้คุณภาพเสียงดีกว่าการเชื่อมต่อผ่านเครือข่ายแบบ WLAN ซึ่งผลที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้ สามารถนำไปใช้เป็น

ข้อเสนอแนะให้ผู้ใช้เลือกใช้เครือข่ายและบริการ VoIP ที่เหมาะสมเพื่อให้ได้คุณภาพเสียงที่ดีที่สุด อย่างไรก็ตามงานวิจัยข้างต้นเป็นวิธีการประเมินโดยผู้ใช้ซึ่งไม่สามารถวัดคุณภาพเสียงได้ทันที หรือตามสภาวะของเครือข่ายในขณะนั้น ในงานวิจัย [11, 12] ได้ประเมินปัญหาด้านความมั่นคงของชุดซอฟต์แวร์โอเพนซอร์ซสำหรับโทรศัพท์ผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต เพื่อศึกษาการประเมินปัญหาความมั่นคง และคุณภาพการสื่อสารระหว่าง ISANBox และ FreeSWITCH พบว่าการจำกัด Bandwidth มีผลต่อคุณภาพเสียง ทำการทดสอบโดยใช้ Commview เพื่อประเมินคุณภาพตาม E-model อย่างไรก็ตามซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการประเมินดังกล่าวเป็นซอฟต์แวร์เชิงพาณิชย์ที่มีค่าใช้จ่ายสูง [13]

## 3. แนวคิดการออกแบบ

การสื่อสารโทรศัพท์บนเครือข่ายอินเทอร์เน็ตเป็นการสื่อสารเสียงลักษณะข้อมูลแบบ Real time ซึ่งเครือข่ายต้องมี Bandwidth ที่เหมาะสม ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ออกแบบและพัฒนาระบบตรวจสอบคุณภาพเสียงแบบเรียลไทม์ โดยพัฒนาโปรแกรมวิเคราะห์โพรโทคอลที่เกี่ยวข้อง (VoIP protocol analyzer) ได้แก่ SIP/SDP, RTP/RTCP ติดตั้งที่เครื่อง VoIP Server เพื่อนำไปประเมินคุณภาพเสียงโดยใช้วิธีการประเมินคุณภาพตามมาตรฐาน E-Model โดยผลที่ได้จะแสดงในรูป R value หรือ R-factor




รูปที่ 3 ภาพรวมระบบ

สภาพแวดล้อมต่างๆ ที่มีผลต่อคุณภาพเครือข่าย ได้แก่ Delay, Packet loss และ Jitter ซึ่งมีวิธีการคำนวณหา R-factor ดังสมการที่ (1)

$$R = R_0 - I_s - I_d - I_{ef-eff} + A \quad (1)$$

โดยที่ $R_0$ = อัตราส่วนระหว่างสัญญาณต่อเสียงรบกวน

$I_s$= ค่าความบกพร่องทั้งหมดที่เกิดขึ้นมากหรือน้อยที่เกิดขึ้นพร้อมกันกับสัญญาณเสียง

$I_d$ = ค่าความบกพร่องที่เกิดจากความล้าช้า (Delay)

$I_{ef-eff}$ = ค่าการสูญเสีย Packet (Packet Loss) ที่มีผลขึ้นอยู่กับความบกพร่องของอุปกรณ์

$A$ = ค่าปัจจัยความได้เปรียบการเข้าถึงการเชื่อมต่อของอุปกรณ์

เนื่องจากพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องในการคำนวณ ความล่าช้าทั้งหมดเกี่ยวข้องกับความบกพร่องของอุปกรณ์ที่ใช้ในการสื่อสาร ซึ่งเป็นค่าที่คำนวณได้หรือค่าที่ประเมินได้ยากหรือซับซ้อน ดังนั้น ITU-T G.109 จึงกำหนดค่าคงที่ $R_0 - I_s + A$ ให้เป็นดังสมการ (2)

$$R = 93.2 - I_d - I_{ef-eff} \quad (2)$$

โดยที่

$$I_d = \begin{cases} 0 : Ta \le 100ms \\ I_{dd} : Ta > 100\,ms \end{cases} \quad (3)$$

$$I_{dd} = 25 \times \left\{ (1 + x^6) - 3\left(1 + \left[\frac{x}{3}\right]^6\right)^{\frac{1}{6}} + 2 \right\} \quad (4)$$

$$X = \frac{log\left(\frac{Ta}{100}\right)}{log2} \quad (5)$$

$$I_{ef-eff} = I_e + \left\{(95 - I_e) \times \frac{Ppl}{Ppl + Bpl}\right\} \quad (6)$$

โดยที่

$Ppl$ = ค่าความน่าจะเป็นที่จะเกิดการสูญเสียของ Packet

$Ta$ = ค่าความล่าช้าทางเดียวระหว่างผู้ส่งถึงผู้รับ (one-way delay)

$Ie$ = ค่าความบกพร่องของอุปกรณ์ (Equipment Impairment Factor)

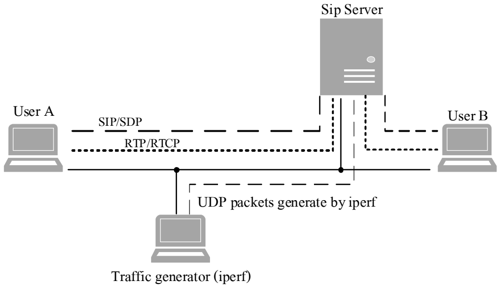
## 4. การพัฒนาและทดสอบโปรแกรมต้นแบบ

การพัฒนาโปรแกรมต้นแบบจากการออกแบบโดยใช้ ภาษา Java และ library jnetpcap-1.4 [14] เพื่อจัดการด้านเครือข่าย ตัวอย่างการคำนวณ R-factor ที่ได้พัฒนาดังรูปที่ 4 โดยที่ $Ie$ และ $Bpl$ ได้จากค่าที่เกี่ยวข้องกับ Codec ของ RTP จากทดลองงานวิจัยนี้เลือกใช้ G.711 ซึ่งมี $Bpl = 4.3, Ie = 0$ ดังแสดงใน [6] ส่วน $Ppl$ และ $Ta$ ได้มาจากการวิเคราะห์ RTCP โดยที่ $I_{dd}$ มีค่าเป็น 0 เมื่อ $Ta \le 100ms$ และคำนวณ $I_{dd}$ ดังสัมการที่ (4) เมื่อ $Ta > 100ms$

```
double ief = le + (95-le)*(ppl/(ppl+bpl));
double r_factor = (93.2-idd)-ief;
```

**รูปที่** 4 ตัวอย่างโค้ดโปรแกรมในการคำนวณ R-factor

### 4.1 สภาพแวดล้อมในการทดสอบ




**รูปที่** 5 สภาพแวดล้อมในการทดสอบ

จากรูปที่ 5 สภาพแวดล้อมการจำลองเครือข่ายทดสอบ (Test-bed) เครื่อง VoIP Server ระบบปฏิบัติการ CentOS 7, PC Intel Core i7 1.9 GHz, RAM 4 GB, 10/100 Mbps NIC ติดตั้ง Asterisk 13.7 เพื่อให้บริการ VoIP และ iperf เพื่อรับ Packet จำลอง สำหรับเครื่องลูกข่ายทั้ง 2 เครื่อง

ร่วมถึงเครื่องจำลอง Traffic ระบบปฏิบัติการ PC Windows 8, Intel Core i7 2.6 GHz, RAM 4 GB, 10/100 Mbps NIC ติดตั้ง X-lite [15] เพื่อทำหน้าที่เป็นโปรแกรมโทรศัพท์ (Softphone) และ iperf สำหรับสร้าง Packet จำลอง โดยแบ่งเป็น สภาพแวดล้อมเครือข่ายปกติ (100 Mbps) และจำลอง Bandwidth เพื่อทดสอบความคับคั่งของเครือข่ายที่ 20, 40, 60, 80 และ 90 Mbps การสื่อสาร VoIP ระหว่าง User A และ User B ที่มีการเข้ารหัส (Codec) เสียงส่งผ่าน VoIP Server แบบ G.711 เก็บผลการทดลองในแต่ละกรณี 100 ครั้ง ทำการประมาณค่าในระดับความเชื่อมั่นที่ 95% (95% Confidence Interval)

**ตารางที่ 1** ผลการทดลองวิเคราะห์คุณภาพเสียง

| bandwidth generates by iperf (Mbps) | Network Traffic Measurement | | | VoIP Quality Measurement | |
|---|---|---|---|---|---|
| | Packet loss (%) | Delay (ms) | Jitter | R-factor | MOS [8] |
| **90** | 0.5 ± 0.02 | 186.8 ± 24.8 | 122.9 ± 11.9 | 75 ± 0.4 | 3.6 |
| **80** | 0.2 ± 0.02 | 147.6 ± 15.2 | 116.9 ± 7.8 | 78 ± 0.6 | 3.6 |
| **60** | 0.2 ±0.01 | 146.4 ± 12 | 114.6 ± 8.8 | 80.4 ± 0.5 | 4.03 |
| **40** | 0.2 ± 0.02 | 135.1 ± 10.1 | 112.5 ± 7.7 | 81.4 ± 0.7 | 4.03 |
| **20** | 0.15 ± 0.02 | 80.5 ± 8.2 | 90.4 ± 5 | 86.6 ± 0.7 | 4.03 |
| **X** | 0.0 ± 0 | 3.7 ± 1.3 | 11.5 ± 1.4 | 93 ± 0.04 | 4.34 |

ผลการทดลองในส่วนโปรแกรมวิเคราะห์ VoIP สามารถวิเคราะห์โพรโทคอล SIP/SDP, RTP/RTCP ได้อย่างมีประสิทธิผล ซึ่งได้ผลสอดคล้องกับ Wireshark [16] การทดลองวิเคราะห์คุณภาพเสียงโดยใช้ผล QoS ที่ได้จาก RTCP มาคำนวณ ได้ผลดังตารางที่ 1 พบว่าในสภาวะปกติ โปรแกรมสามารถวิเคราะห์ R-factor ได้ 93 ± 0.04 ซึ่งค่า MOS 4.34 อยู่ในเกณฑ์น่าพึงพอใจมาก (Very satisfied) ผลการทดสอบความคับคั่งของเครือข่ายที่ 20, 40, 60 Mbps พบว่า MOS 4.03 อยู่ในเกณฑ์พึงพอใจ และผลการทดสอบความคับคั่งของเครือข่ายที่ 80 และ 90 Mbps พบว่า MOS 3.6 อยู่ในเกณฑ์ผู้ใช้บางคนไม่พึงพอใจ

## 5. สรุป

เทคโนโลยี VoIP ถูกนำมาใช้งานในเชิงพาณิชย์ และได้มีโอเพนซอร์ซซอฟต์แวร์ที่รองรับเทคโนโลยีดังกล่าว แต่ยังไม่สามารถประเมินคุณภาพเสียงได้ มีซอฟต์แวร์เชิงพาณิชย์ที่ใช้สำหรับประเมินคุณภาพเสียงแต่มีค่าใช้จ่ายสูง ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงพัฒนาซอฟต์แวร์ประเมินคุณภาพเสียง โดยวิเคราะห์โพรโทคอลสื่อสารที่แสดงถึงคุณภาพของเครือข่าย เพื่อนำมาคำนวณประเมินคุณภาพเสียงในรูปแบบความพึงพอใจของผู้ใช้ตาม E-model ผลการทดสอบโปรแกรมพบว่าทำงานได้อย่างมีประสิทธิผลดังผลการทดลองในข้างต้น

## เอกสารอ้างอิง

[1] asterisk.org. (24 Feb 2016). *AsteriskNOW IP PBX.* Available: http://www.asterisk.org/

[2] fonality.com. (20 Feb 2016). Available: http://www.fonality.com/trixbox

[3] 2600hz.org. (24 Feb 2016). *BLUE.BOX.* Available: http://www.2600hz.org

[4] B. Goode, "Voice over Internet Protocol (VoIP)," *Proceedings of the IEEE,* vol. 90, September 2002.

[5] J. Rosenberg, H. Schulzrinne, G. Camarillo, A. Johnston, J. Peterson, R. Spark*, et al.*, "SIP: Session Initiation Protocol," June 2002.

[6] ITU-T Recommendation G.113, "Transmission impairments due to speech processing," 2007.

[7] H. Schulzrinne, S. Casner, R. Frederick, and V. Jacobson, "RTP: A Transport Protocol for Real-Time Applications," July 2003.

[8] ITU-T Recommendation G.107, "The E-model, a computational model for use in transmission planning," 2005.

[9] สาโรจน์ ยิ่งศักดิ์มงคล และธนัญ จารุวิทยโกวิท, "ความจุระบบการใช้งานโทรศัพท์ผ่านอินเทอร์เน็ตบนโครงข่ายไร้สายแบบเมชประเภทกริด," มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์ กรุงเทพฯ, 2554.

[10] เขมิกา มูสิกพันธ์ และเทอดพงษ์ แดงสี, "การศึกษาเปรียบเทียบคุณภาพเสียงวีโอไอพีระหว่างแอพพลิเคชั่นไลน์กับ เฟสบุ๊คด้วยการประเมินเชิงจิตวิสัย," มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ กรุงเทพฯ, 2557.

[11] คธาวุฒิ จันบัวลา และสมนึก พ่วงพรพิทักษ์, "การประเมินสภาพปัญหาด้านความมั่นคงของชุดซอฟต์แวร์วีโอไอพีแบบโอเพนซอร์ซ," *The Journal of KMUTNB,* 2556.

[12] ประดิษฐ์ วงศ์สกุล และสมนึก พ่วงพรพิทักษ์, "การเสริมสร้างความมั่นคงและประเมินคุณภาพการให้บริกาของไอสานบ๊อกด็อทเอฟ," *J Sci Technol MSU,* 2014.

[13] amos.com. (26 Jan 2016). *CommView.* Available: http://www.tamos.com/products/commview

[14] Syl Technologies. (1 Mar 2016). *jNetPcap*. Available: http://jnetpcap.com

[15] counterpath.com. (20 Feb 2016). Available: http://www.counterpath.com/x-lite

[16] wireshark.org. (24 Feb 2016). *WireShark*. Available: http://www.wireshark.org

**บทความวิจัย**
การประชุมวิชาการ งานวิจัยและพัฒนาเชิงประยุกต์ ครั้งที่ 8
*8th ECTI-CARD 2016, Hua Hin, Thailand*

# การออกแบบความมั่นคงการสื่อสารเสียงผ่านอินเทอร์เน็ตโพรโทคอล
# Security design for Voice over Internet Protocol (VoIP) Systems

**ปิยวัจน์ ค้าสบาย* ฤกษ์ชาย หงษ์ขาวและ วิวัฒนชัย อินทะนู**
E-mail: piyawadcs@gmail.com, Rerkchai.h@gmail.com, mickzaz145@gmail.com
สาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
64 ถนนทหาร ตำบลหมากแข้ง อำเภอเมืองอุดรธานี จังหวัดอุดรธานี 41000

## บทคัดย่อ

การสื่อสารเสียงผ่านอินเทอร์เน็ตโพรโทคอล (Voice over Internet Protocol : VoIP) สามารถถูกดักฟังการสนทนาที่เกิดขึ้นหรือถูกดักจับกุญแจที่ใช้สำหรับเข้ารหัสเสียงในการสื่อสารได้ ทำให้ไม่มีความมั่นคงในการใช้งาน จากงานวิจัยและโอเพนซอร์ซซอฟต์แวร์ที่ผ่านมาได้มีการนำเสนอแนวคิดและวิธีการแก้ปัญหาหลายแนวทาง แต่ยังมีข้อบกพร่อง เช่น กระบวนการแลกเปลี่ยนกุญแจที่ใช้เข้ารหัสยังไม่ดีพอ หรือ การนำไปใช้งานได้ยาก งานวิจัยนี้จึงได้นำเสนอการออกแบบในการสร้างความมั่นคงสำหรับการสื่อสารเสียงผ่านอินเทอร์เน็ตโพรโทคอล (VoIP) โดยเฉพาะการออกแบบการสร้างและวิธีแลกเปลี่ยนกุญแจที่ใช้เข้ารหัสเสียงที่มีความมั่นคงและเหมาะสมกับการใช้งาน

คำสำคัญ: : การเข้าและถอดรหัสข้อมูลเสียง, วิธีการแลกเปลี่ยนกุญแจ

## Abstract

Voice over Internet Protocol (VoIP) can be eavesdropped by man-in-the-middle attack. SRTP has been designed for protecting against voice stream eavesdropping. The key management protocol is needed to provide SRTP. Several previous studies have proposed solutions, but all of them have still some drawback. So, the purpose of this paper is a method to enhance key management protocol for SRTP to be secure. In addition, we have developed an application to demonstrate the efficiency of the proposed method.

Keywords: VoIP, SRTP, key management protocol

## 1. บทนำ

ในการสื่อสารผ่านเครือข่ายใดๆ ข้อมูลที่สื่อสารนั้นสามารถถูกดักจับเพื่ออ่านข้อมูลได้ โดยการถูกแทรกกลางการสื่อสาร MITM [1] (Man in The middle Attack) ซึ่งเป็นวิธีการที่ถูกนำมาใช้สำหรับดักจับข้อมูลที่สื่อสารผ่านเครือข่าย ดังนั้นการสื่อสารเสียงที่ผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ตก็สามารถถูกดักฟังได้ ซึ่งมีซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการดักจับข้อมูลหรือทำการแทรกกลางการสื่อสารจำนวนมาก เช่น Wireshark[2], Ettercap NG[3], Cain & Abel[4], Kali Linux[5] ถ้าหากไม่มีกระบวนการเข้ารหัสเสียงที่ใช้สื่อสารแล้ว ก็จะสามารถถูกดักฟังการสนทนาได้อย่างง่ายดาย หรือในกรณีที่มีการเข้ารหัสเสียงแล้วก็ยังมีความเสี่ยงในการถูกดักฟังการสนทนา ถ้ามีวิธีการจัดการและแลกเปลี่ยนกุญแจที่ไม่มีความมั่นคงในการใช้งาน ทำให้ถูกดักจับกุญแจที่ใช้เข้าและถอดรหัสเสียงได้

งานวิจัยและโอเพนซอร์ซซอฟต์แวร์ที่เสนอการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้น เช่น Asterisk Now [6], SwitchVox [7], TrixboxPro [8] เป็นต้น แต่จากการศึกษาพบว่ายังมีข้อบกพร่องหรือยังไม่เหมาะสมกับการนำไปใช้งาน ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้เสนอแนวคิดและวิธีการเพื่อสร้างความมั่นคงสำหรับการสื่อสารเสียงผ่านอินเทอร์เน็ตโพรโทคอล โดยการออกแบบวิธีการสร้างและแลกเปลี่ยนกุญแจในการเข้ารหัสโพรโทคอล RTP[2] ที่ใช้สื่อสารเสียงระหว่างต้นทางและปลายทางที่มีความมั่นคงและเหมาะสมในการใช้งานจริง ซึ่งพัฒนาเป็นแอพลิเคชันแบบ Client-Server

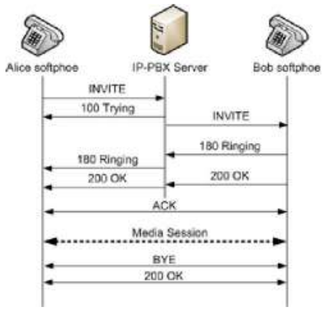
ส่วนที่ 2 จะกล่าวถึงทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องได้แก่ การสื่อสารเสียงผ่านอินเทอร์เน็ตโพรโทคอล (VoIP) [9] ปัญหาการถูกดักฟังการสนทนา และแนวทางแก้ปัญหาที่นำเสนอก่อนหน้านี้ ส่วนที่ 3 กล่าวถึงแนวทางการออกแบบแก้ไขปัญหาที่นำเสนอใหม่ และส่วนที่ 4 การพัฒนาโปรแกรมที่ได้ทำการออกแบบและทดสอบการใช้งาน

## 2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 การสื่อสารเสียงผ่านอินเทอร์เน็ตโพรโทคอล (VoIP)

มีโพรโทคอลที่เกี่ยวข้องแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ โพรโทคอลในการรับส่งและควบคุมสัญญาณ คือ SIP [10] (Session Initiation Protocol : RFC 3261) และโพรโทคอลใช้ส่งสัญญาณเสียง คือ RTP [11] (Real-time Transport Protocol : RFC 3550) โดยมี SIP-Server ทำหน้าที่รับส่งสัญญาณการเชื่อมต่อระหว่างต้นทางและปลายทางเพื่อ

สร้างเส้นทางการสื่อสารเสียง จากนั้นจึงทำการสื่อสารเสียงในลำดับต่อไป ดังรูปที่ 1

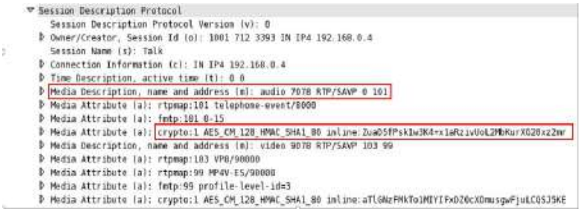



รูปที่ 1 การทำงานเบื้องต้นของโพรโตคอล SIP

SIP โพรโทคอลจะทำงานร่วมกับโพรโทคอล SDP [12] (Session Description Protocol : RFC 5466) ซึ่งใช้สร้างคำอธิบายหรือกำหนดข้อตกลงประเภทมัลติมีเดียที่ใช้ในการสื่อสาร คล้ายคลึงกับ HTTP ซึ่งอยู่ในรูปของข้อความที่สามารถอ่านได้ ปัญหาที่เกิดขึ้นในการสื่อสารเสียงผ่านอินเทอร์เน็ตโพรโทคอลคือการถูกดังจับ Packet ที่รับส่งข้อมูลเสียงใน RTP ซึ่งไม่มีการเข้ารหัสทำให้สามารถฟังการสนทนาได้

## 2.2 วิธีแก้ปัญหาในปัจจุบัน

2.2.1 SRTP[13] (Secure Real-time Transport Protocol : RFC 3711) เกิดจากการนำโพรโทคอล RTP มาเข้าและถอดรหัสในส่วน RTP Payload โดยใช้กุญแจ 2 ชนิด คือ Session Key และ Master Key แต่พบว่ากระบวนการนี้ยังสามารถถูกดักฟังการสื่อสารได้ โดยการส่งกุญแจที่ใช้เข้ารหัส RTP ยังไม่มีความมั่นคงเนื่องจากการใช้กระบวนการ SDES [12] (Session Description Protocol Security Descriptions : RFC 4568) โดยการส่งกุญแจนั้นจะทำการแทรกไปกับโพรโทคอล SDP ซึ่งเป็นข้อความที่สามารถอ่านได้ไม่มีการเข้ารหัส เมื่อถูกแทรกกลางการสื่อสารจึงสามารถถูกดักจับเอา packet ของโพรโทคอล SDP แล้วอ่านค่ากุญแจนั้นมาใช้ในการถอดรหัสเสียงเพื่อฟังการสนทนาได้ ดังรูปที่ 2



```
▼ Session Description Protocol
    Session Description Protocol Version (v): 0
  ▷ Owner/Creator, Session Id (o): 1001 712 3393 IN IP4 192.168.0.4
    Session Name (s): Talk
  ▷ Connection Information (c): IN IP4 192.168.0.4
  ▷ Time Description, active time (t): 0 0
  ▷ Media Description, name and address (m): audio 7078 RTP/SAVP 0 101
  ▷ Media Attribute (a): rtpmap:101 telephone-event/8000
  ▷ Media Attribute (a): fmtp:101 0-15
  ▷ Media Attribute (a): crypto:1 AES_CM_128_HMAC_SHA1_80 inline:ZuaD5fPsk1w3K4+x1aRzivUoL2MbKurXG20x22mr
  ▷ Media Description, name and address (m): video 9078 RTP/SAVP 103 99
  ▷ Media Attribute (a): rtpmap:103 VP8/90000
  ▷ Media Attribute (a): rtpmap:99 MP4V-ES/90000
  ▷ Media Attribute (a): fmtp:99 profile-level-id=3
  ▷ Media Attribute (a): crypto:1 AES_CM_128_HMAC_SHA1_80 inline:aTlGNzFMkTo1MIYIFxDZ0cXDmusgwFjuLCQSJSKE
```

**รูปที่ 2** การแทรกกุญแจในโพรโทคอล SDP

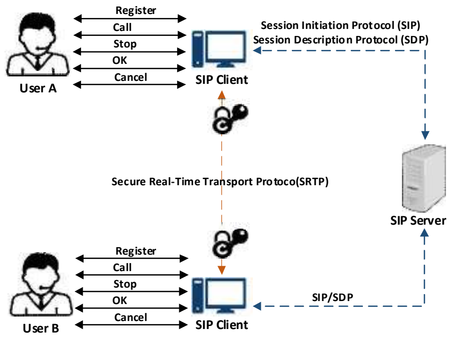
2.2.2 งานวิจัย [14] ทำการทดสอบและประเมินความมั่นคงของโอเพนซอร์ซซอฟต์แวร์สำหรับระบบ VoIP ที่มีการใช้งานในปัจจุบัน ได้แก่ Trixbox, Elastix, AsteriskNow, Ezy IP-PBX และ ISANBox.A พบว่าโอเพนซอร์ซซอฟต์แวร์ดังกล่าว ยังมีปัญหาเรื่องความมั่นคงในการสื่อสารเสียงสามารถถูกจู่โจมโดยสมบูรณ์

2.2.3 งานวิจัย [15] นำเสนอกระบวนการแลกเปลี่ยนกุญแจโดยการใช้ User Agent Client 's password ร่วมกับกระบวนการ HMAC (Hash Message Authentication) แล้วจึงส่งไปกับโพรโทคอล SIP/SDP พบว่าสามารถป้องกันการถูกดักจับกุญแจได้ แต่ความมั่นคงในการใช้งานนั้นจะขึ้นอยู่กับการที่ผู้ใช้ตั้งรหัสผ่านที่มีความเหมาะสมเพียงพอ เช่น การใช้รหัสผ่านที่มีตัวอักษรพิมพ์เล็ก พิมพ์ใหญ่ ตัวเลข และสัญลักษณ์พิเศษร่วมกัน

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้นำเสนอกระบวนการแบบใหม่สำหรับการจัดการและแลกเปลี่ยนกุญแจสำหรับเข้าและถอดรหัสโพรโทคอล SRTP ระหว่างต้นทางและปลายทาง โดยการจำกัดให้ผู้ใช้ไม่ต้องทำการตั้งรหัสผ่านหรือสร้างกุญแจสำหรับใช้เข้าและถอดรหัสเอง เพื่อป้องกันจุดอ่อนจากการที่ผู้ใช้ตั้งรหัสที่ไม่มีความแข็งแกร่งเพียงพอสำหรับใช้งานโดยการใช้ Configuration File เข้ามาเกี่ยวข้องในการใช้งาน

## 3. รายละเอียดการพัฒนา

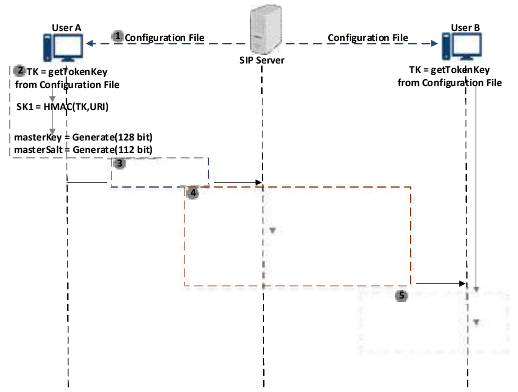
### 3.1 แนวคิดการออกแบบ




**รูปที่ 3** ภาพรวมระบบ

จากรูปที่ 3ในภาพรวมของการออกแบบระบบนั้นจะประกอบด้วยซอฟต์แวร์ 2 ส่วน คือ เครื่อง SIP-Server และเครื่อง SIP-Client ซึ่งในการทำงานนั้น สามารถใช้งานได้ตามมาตรฐานโพรโทคอล SIP และ SRTP

## 3.2 การออกแบบด้านความมั่นคง




**รูปที่ 4** การออกแบบการจัดการแลกเปลี่ยนกุญแจ

จากรูปที่ 4 ขั้นตอนในการจัดการแลกเปลี่ยนกุญแจนั้นเริ่มจาก

1. User A และ User B ทำการลงทะเบียนเพื่อขอใช้งานกับผู้ดูแลระบบโดยจะได้รับ Configuration File เพื่อนำมาใช้กับซอฟต์แวร์

2. ในขั้นตอนการโทรนั้น User A นำค่าของ TokenKey มาผ่านกระบวนการ HMAC ร่วมกับ URI จะได้ค่า SK1 จากนั้นสร้าง masterKey และ masterSalt โดยการสุ่มค่า masterKey มีขนาด 128 บิต และ masterSalt มีขนาด 112 บิต masterKey และ masterSalt จะทำการสร้างใหม่ทุกครั้งที่ทำการโทร

3. เข้ารหัส masterKey และ masterSalt ด้วยค่า SK1 แล้วจึงส่งค่า cipher ของ masterKey และ masterSalt ที่ได้ไปยัง SIP-Server

4. SIP-Server ค้นหา TokenKey ของ User A และ User B จาก Configuration File แล้วนำมาผ่านกระบวนการ HMAC จะได้ค่า SK1 และ SK2 แล้วถอดรหัส cipher ของ masterKey และ masterSalt ที่ได้รับจาก User A ด้วย SK1 และเข้ารหัสค่า masterKey และ masterSalt ที่ถอดรหัสได้ ด้วย SK2 แล้วจึงส่งต่อไปยัง User B

5. User B นำค่า TokenKey มาผ่านกระบวนการ HMAC ร่วมกับ URI จะได้ค่า SK2 แล้วนำค่า SK2 มาถอดรหัส ซึ่งจะได้ว่า User B และ User A จะมีกุญแจ masterKey และ masterSalt ที่ตรงกัน เพื่อนำไปใช้ในการเข้าและถอดรหัสเสียงในลำดับต่อไป

```
1000,PassW@2d,1^2bb*13BghzRW!kL34=qw
1001,k3yWo2D*,e2@d#Fmn*17xSlk^A3Ad43
..
User N, ..., ...
```

**รูปที่ 5** Configuration File

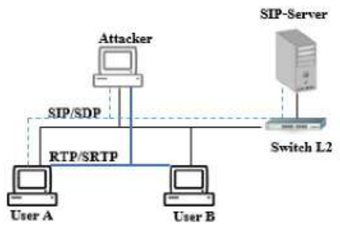
จากรูปที่ 5 ข้อมูลใน Configuration File ของ SIP Server นั้นจะประกอบไปด้วยข้อมูล Username, Password, และ TokenKey ของ SIP Client ที่ลงทะเบียนทั้งหมด ส่วน Configuration File ของ Client จะประกอบด้วยข้อมูลคล้ายกับ Configuration File ของ Server แต่มีเฉพาะข้อมูลของตนเองเท่านั้น

## 4. การพัฒนาและทดสอบโปรแกรมต้นแบบ

งานวิจัยนี้ได้พัฒนาซอฟต์แวร์จากการออกแบบในส่วนที่ 3 โดยใช้ภาษาจาวา (JDK 1.8) เพื่อให้รองรับกับทุกระบบปฏิบัติการ แบ่งการพัฒนาเป็น 2 ส่วน คือ ซอฟต์แวร์ SIP-Client และ SIP-Server ตัวอย่างซอฟต์แวร์ SIP-Client ดังรูปที่ 6

**รูปที่ 6** ซอฟต์แวร์ SIP-Client

## 4.1 สภาพแวดล้อมในการทดสอบ




**รูปที่ 7** สภาพแวดล้อมในการทดสอบ

จากรูปที่ 7 ทดสอบการทำงานโดยใช้งานบนระบบปฏิบัติการ Windows 7 เครื่องที่ทดสอบใช้ CPU core i5 2.4 GHz Ram 4 GB และเชื่อมต่อเครือข่ายในวงแลนเดียวกันทั้ง User A, User B และ SIP Server รวมถึงเครื่องของ Attacker ที่ทดสอบทำการดักอ่านข้อมูลในเครือข่าย โดยทำการทดลองจู่โจมดังนี้

4.1.1 ทดลองดักฟังเสียงสนทนาระหว่าง SIP-Client โดยดักจับ Packet โพรโทคอล RTP ที่สื่อสารบนเครือข่าย โดยใช้ Kali Linux

4.1.2 ทดลองดักจับ Packet โพรโทคอล SIP/SDP เพื่อค้นหากุญแจที่ใช้เข้ารหัสเสียงสนทนา และทดลองถอดรหัสเสียงเพื่อฟังการสนทนาที่เกิดขึ้น

### 4.2 ผลการทดสอบและวิจารณ์ผล

4.2.1 Attacker ทดลองดักฟังการสนทนาโดยใช้ Kali Linux ทำการแทรกกลางการสื่อสารเพื่อดักจับ Packet โพรโทคอล RTP ที่สื่อสารระหว่างเครื่อง User A และ User B พบว่าเมื่อไม่มีการเข้ารหัสโพรโทคอล RTP ทำให้ Attacker สามารถฟังการสนทนาที่เกิดขึ้นได้ แต่เมื่อมีการเข้ารหัสโพรโทคอล RTP แล้วทดสอบดักจับ Packet ที่สื่อสารเสียงระหว่างเครื่อง User A และ User B พบว่า Attacker ไม่สามารถดักฟังการสนทนาที่เกิดขึ้นได้

4.2.2 Attacker ทดลองดักจับ Packet โพรโทคอล SIP/SDP ที่ใช้ในการระบุกุญแจสำหรับใช้เข้าและถอดรหัสโพรโทคอล SRTP พบว่าโดยการแลกเปลี่ยนกุญแจด้วยวิธีการ SDES นั้นสามารถดักจับและอ่านค่ากุญแจที่ส่งระหว่าง User A และ User B และสามารถนำไปถอดรหัสเพื่อฟังเสียงการสนทนาที่เกิดขึ้นได้ แต่เมื่อทดลองใช้กระบวนการสำหรับการสร้างและแลกเปลี่ยนกุญแจที่ได้มีการออกแบบไว้ในส่วนที่ 3 พบว่าเมื่อ Attacker ดักจับค่ากุญแจที่ใช้ในการเข้าและถอดรหัสโพรโทคอล SRTP ได้แล้ว ไม่สามารถนำไปใช้ถอดรหัสเพื่อฟังการสื่อสารเสียงที่เกิดขึ้นระหว่าง User A และ User B ได้ เนื่องจากการใช้ค่า TokenKey จาก Configuration File ในการเข้าและถอดรหัสค่า masterKey, masterSalt ก่อนส่งไปยัง SIP-Server ก่อนที่ SIP-Server จะทำการถอดรหัส แล้วจึงนำ masterKey, masterSalt มาเข้ารหัสด้วย TokenKey ของ User B ก่อนที่จะส่งต่อไปยัง User B

## 5. บทสรุป

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอวิธีการ และพัฒนาซอฟต์แวร์ในการแก้ปัญหาการถูกดักฟังการสนทนาบนระบบ VoIP โดยใช้วิธีการแบบใหม่ที่ได้มีการออกแบบไว้ โดยซอฟต์แวร์ที่พัฒนาขึ้นนั้นสามารถนำไปใช้งานได้จริง สามารถป้องกันการถูกดักฟังการสนทนาได้ นอกจากนี้ยังเป็นซอฟต์แวร์ที่ไม่มีค่าใช้จ่ายในการใช้งาน และอาจนำไปประยุกต์ใช้กับโอเพนซอร์ซซอฟต์แวร์ที่มีให้เลือกใช้ในตลาดได้ เช่น Freeswitch, AsteriskNow, Easy IP-PBX, Trixbox เป็นต้น และสามารถนำไปใช้ได้กับทุกระบบปฏิบัติการ

## เอกสารอ้างอิง

[1] N. DuPaul. (23 August). *Man in the Middle (MITM) Attack.* Available: http://www.veracode.com/security/man-middle-attack

[2] wireshark.org. (20 August). *Wireshark · Go Deep.* Available: https://www.wireshark.org/

[3] E. Project. (20 August). *Ettercap*. Available: https://ettercap.github.io/ettercap/

[4] oxid.it. (23 August). *Cain & Abel*. Available: http://www.oxid.it/cain.html

[5] kali.org. (20 August). *Kali Linux*. Available: https://www.kali.org/

[6] elastix.org. (25 August). *Elastix*. Available: http://www.elastix.org/

[7] digium.com. (26 August). *Switchvox*. Available: https://www.digium.com/products/business-phone-systems

[8] fonality.com. (26 August ). *Trixbox*. Available: http://www.fonality.com/trixbox

[9] R. VALDES and D. ROOS. (2001, 24 August). *How VoIP Works*. Available: http://computer.howstuffworks.com/ip-telephony.htm

[10] J. Rosenberg, H. Schulzrinne, G. Camarillo, A. Johnston, J. Peterson, R. Sparks, *et al.*, "SIP: Session Initiation Protocol," ed, June 2002.

[11] H. Schulzrinne, S. Casner, R. Frederick, and V. Jacobson, "RTP: A Transport Protocol for Real-Time Applications," ed, July 2003.

[12] F. Andreasen, M. Baugher, and D. Wing, " Session Description Protocol (SDP) Security Descriptions for Media Streams," ed, July 2006.

[13] M. Baugher, D. McGrew, M. Naslund, E. Carrara, and K. Norrman, "The Secure Real-time Transport Protocol (SRTP)," ed, March 2004.

[14] คธาวุฒิ จันบัวลา และ สมนึก พ่วงพรพิทักษ์, "การประเมินสภาพปัญหาด้านความมั่นคงของชุดซอฟต์แวร์วีโอไอพีแบบโอเพนซอร์ซ," *The Journal of KMUTNB,* 2556.

[15] S. Puangpronpitag, P. Kasabai, and D. Pansa, "An Enhancement of the SDP Security Description (SDES) for Key Protection," in *2012 9th International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology* Phetchaburi, Thailand, 2012.

**บทความวิจัย**

การประชุมวิชาการ งานวิจัยและพัฒนาเชิงประยุกต์ ครั้งที่ 8

*8th ECTI-CARD 2016, Hua Hin, Thailand*

# ระบบตรวจสอบการเชื่อมต่ออินเตอร์เน็ตของกล้องวงจรปิด และแจ้งเตือนผ่านระบบสังคมออนไลน์

# The Monitoring System of CCTV Connection to Internet And Alert with Social Network

**ณัฐธัช เลิศจำรัสพงศ์[1] และ ธัชชัย เอ้งฉ้วน [2]**

[1]หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

15 ถ.กาญจนวณิชย์ อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา 90110 โทรศัพท์ 0-7428-2000 โทรสาร 0-7455-8941

[2]อาจารย์คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

15 ถ.กาญจนวณิชย์ อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา 90110 โทรศัพท์ 0-7428-2000 โทรสาร 0-7455-8941

## บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการพัฒนาระบบตรวจสอบการเชื่อมต่ออินเตอร์เน็ตของกล้องวงจรปิด และแจ้งเตือนผ่านระบบสังคมออนไลน์ โดยผู้ดูแลระบบใช้แอพพลิเคชันที่พัฒนาบนระบบปฏิบัติการ iOS เพื่อดูสถานะการทำงานของเครื่องบันทึกวงจรปิดที่อยู่ในระบบ ซึ่งจะประมวลผลผ่าน Server โดย Server จะใช้โปรโตคอล ICMP และโปรโตคอล HTTP สำหรับตรวจสอบสถานะการเชื่อมต่ออินเตอร์เน็ตของเครื่องบันทึกวงจรปิด (DVR) และใช้วิธีการอ่าน Email ที่แจ้งข้อผิดพลาดการทำงานของฮาร์ดดิสก์ จากเครื่องบันทึกวงจรปิด เพื่อประเมินผลและแจ้งเตือนไปยังผู้ใช้งาน นอกจากนี้ผู้วิจัยได้เลือกใช้ Facebook Messenger เป็นสื่อสังคมออนไลน์สำหรับส่งข้อความแจ้งเตือนไปยังผู้ใช้งานหากระบบทำงานผิดพลาด จากผลการประเมินพบว่ากลุ่มตัวอย่าง มีความพึงพอใจต่อประสิทธิภาพการทำงานของระบบได้รับการยอมรับว่ามีความสามารถในการใช้งาน และมีประสิทธิภาพตรงความต้องการ อยู่ในระดับดีมาก

คำสำคัญ: เครื่องบันทึกวงจรปิด, ระบบแจ้งเตือนวงจรปิด, เชื่อมต่ออินเตอร์เน็ตของเครื่องบันทึกวงจรปิด, แจ้งเตือนฮาร์ดดิสก์

## Abstract

Researcher has developed system that monitors the internet connection of the DVR, and would alert the user through social media of connection issues. This system administrator has used the application on the iOS platform operated by server which will use the ICMP and HTTP protocols in order to monitor the status of the internet connection of the DVR machine. If there is a problem about internet connection, the alert function will be operated through the Facebook Messenger, sending message to inform the user. Results from the customer feedback assessment show that the test group was satisfied in the system, and that is functions properly in accordance with expectations.

Keywords: CCTV, DVR, Alert, Facebook Messenger, Protocol

## 1. บทนำ

เทคโนโลยีด้านกล้องวงจรปิดได้รับความนิยมมากขึ้นจากประชาชน หรือหน่วยงานภาครัฐ ในด้านการดูแลความปลอดภัยในชีวิตและทรัพย์สิน จากสถิติการจับกุมคดีประทุษร้ายต่อทรัพย์ (คดีลักทรัพย์) ของจังหวัดสงขลา จากสำนักงานสถิติแห่งชาติ [1] พบว่า ปี พ.ศ. 2555 ผู้ถูกจับกุมมีจำนวน 611 ราย ปี พ.ศ. 2556 ผู้ถูกจับกุมมีจำนวน 663 ราย และปี พ.ศ. 2557 ผู้ถูกจับกุมมีจำนวน 796 ราย จะเห็นได้ว่าปี พ.ศ. 2557 ได้มีการจับกุมเพิ่มจากปีก่อนหน้าถึง 20.5% ทำให้การนำเทคโนโลยีด้านกล้องวงจรปิดเข้ามาใช้สำหรับการเฝ้าระวังเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่จะช่วยลดปัญหาที่อาจจะเกิดขึ้น และสร้างความมั่นใจให้กับประชาชน

ผู้วิจัยประกอบธุรกิจเกี่ยวกับกล้องวงจรปิดในจังหวัดสงขลา ได้ทำการวิเคราะห์กลุ่มลูกค้าได้ว่า ผู้ใช้งานส่วนใหญ่ยังคงติดตั้งกล้องวงจรปิดแบบอนาล็อก (Analog) และนิยมดูภาพจากกล้องวงจรปิดแบบ Real-Time ผ่านระบบอินเตอร์เน็ตไร้สายด้วยสมาร์ทโฟน (Smart Phone) หรือแท็บเล็ต (Tablet) แต่ในบางครั้งอาจเกิดปัญหา ทำให้ไม่สามารถดูภาพแบบ Real-Time ได้ เนื่องจากหลากหลายสาเหตุ เช่น ไฟฟ้าดับ หรือ Router ค้างเพราะเปิดติดต่อกันเป็นเวลานาน เป็นต้น ซึ่งปัญหาเหล่านี้ผู้ใช้งานจะทราบได้ก็ต่อเมื่อเปิดโปรแกรมเพื่อจะดูภาพกล้องวงจรปิดเท่านั้น แต่อาจจะสายเกินไปที่จะแก้ปัญหา ซึ่งทำให้อาจจะสูญเสียทรัพย์สิน หรือเกิดอันตรายถึงแก่ชีวิตได้

ทำให้ผู้วิจัยมีความต้องการที่จะศึกษา ค้นคว้า และพัฒนาเกี่ยวกับระบบตรวจสอบการเชื่อมต่ออินเตอร์เน็ตของกล้องวงจรปิดและ

แจ้งเตือนผ่านระบบสังคมออนไลน์ โดยหากระบบพบว่าเกิดความผิดพลาดในการเชื่อมต่อระหว่างเครื่องบันทึกวงจรปิดกับระบบอินเตอร์เน็ต หรือพบข้อผิดพลาดของฮาร์ดดิสก์ ระบบจะทำการแจ้งเตือนผู้ใช้งานผ่านระบบสังคมออนไลน์ ทำให้ผู้ใช้งานสามารถรับทราบถึงปัญหา และสามารถป้องกันความสูญเสียที่อาจจะเกิดขึ้นได้ทันท่วงที ซึ่งสาเหตุที่ผู้วิจัยทำการศึกษา ค้นคว้า และพัฒนาระบบนี้ เพื่อลดข้อบกพร่องของระบบ อีกทั้งยังเป็นการเพิ่มศักยภาพในการให้บริการแก่ผู้ใช้บริการอีกด้วย

## 2. ระเบียบวิธีวิจัย

### 2.1 ศึกษาปัญหาและรวบรวมข้อมูล

จากการศึกษาปัญหาที่เกิดขึ้นกับผู้ใช้บริการดูภาพจากกล้องวงจรปิดแบบ Real-Time พบว่าบางครั้ง ผู้ใช้บริการไม่ได้อยู่ดูภาพตลอดเวลา และจะรู้ว่าเกิดปัญหาขึ้นกับระบบก็ต่อเมื่อ เปิดโปรแกรมเพื่อดูภาพแล้วเท่านั้น ซึ่งอาจจะเป็นเวลานานเกินไปกว่าที่จะรับรู้ปัญหา จนไม่สามารถแก้ไขปัญหาได้ทัน ผู้วิจัยจึงทำการศึกษาถึงระบบของกล้องวงจรปิดและการดูภาพจากกล้องวงจรปิดแบบ Real-Time เพื่อค้นหาถึงวิธีการตรวจสอบข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้นกับระบบ และสามารถนำส่งข้อผิดพลาดนี้ ไปถึงผู้ใช้งานได้อย่างทันทีทันใด เพื่อช่วยลดปัญหาที่อาจจะเกิดขึ้นจากการที่ผู้ใช้งานไม่สามารถดูภาพจากกล้องวงจรปิดได้

### 2.2 การวิเคราะห์ระบบ

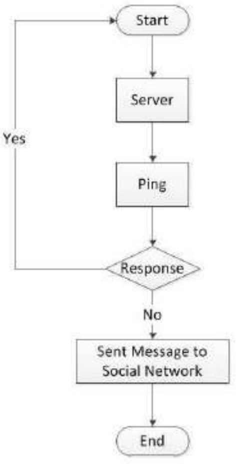
2.2.1 จากการศึกษาระบบของกล้องวงจรปิดและการดูภาพจากกล้องวงจรปิดแบบ Real-Time

ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการนำคุณสมบัติของเครื่องบันทึก (DVR) และเทคโนโลยีต่างๆ เช่น โปรโตคอล ICMP เป็นต้น มาใช้เพื่อตรวจสอบสถานะการออนไลน์ของเครื่องบันทึก และส่งข้อความแจ้งเตือนไปยังผู้ใช้งาน โดยผู้วิจัยได้มีการแบ่งส่วนผู้เกี่ยวข้องกับระบบออกเป็น 2 กลุ่ม ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ความต้องการของระบบ

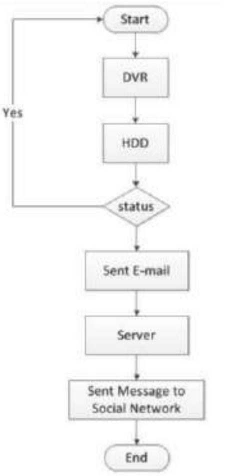
| กลุ่มผู้ใช้ | ความต้องการ |
|---|---|
| 1.ผู้ดูแลระบบ | -เพิ่ม ลบ แก้ไข ดูข้อมูลฟังก์ชั่นการทำงานของระบบ<br>-เพิ่ม ลบ แก้ไข ดูข้อมูลของผู้ใช้งาน |
| 2.ผู้ใช้งาน | -รับข้อความแจ้งเตือนจากระบบสังคมออนไลน์ |

2.2.2 ผู้วิจัยได้ทำการออกแบบกิจกรรมของผู้ใช้งาน (Activity Diagram) สามารถแสดงการทำงานของระบบด้วยแบบจำลองแผนภาพบริบท ดังในรูปที่ 1 และรูปที่ 2




**รูปที่ 1** แผนภาพบริบทของระบบตรวจสอบการเชื่อมต่ออินเตอร์เน็ต

จากรูปที่ 1 การทำงานของระบบตรวจสอบการเชื่อมต่ออินเตอร์เน็ต โดย Server จะใช้คำสั่ง Ping ในการตรวจสอบการเชื่อมต่อกับเครือข่ายไปที่ DDNS และ Port ของเครื่องบันทึกของผู้ใช้งานนั้นๆ หาก Server ได้รับข้อความตอบกลับมาจากเครื่องบันทึกก็แสดงว่าการเชื่อมต่อเครือข่ายอินเตอร์เน็ตยังเป็นปกติ แต่หากไม่มีการตอบกลับแสดงว่าเครื่องบันทึกของผู้ใช้งานนั้นๆ ไม่ได้เชื่อมต่อกับระบบอินเตอร์เน็ต




**รูปที่ 2** แผนภาพบริบทของระบบตรวจสอบการทำงานของฮาร์ดดิสก์

จากรูปที่ 2 กระบวนการทำงานของระบบตรวจสอบการทำงานของฮาร์ดดิสก์ หากเครื่องบันทึกพบว่าฮาร์ดดิสก์เกิดความผิดปกติในการทำงาน เครื่องบันทึกจะส่งอีเมล์ไปให้ผู้ดูแลระบบ และทาง Server จะทำการอ่านอีเมล์ วิเคราะห์ปัญหาที่เกิดขึ้น หลังจากนั้น Server จะส่งข้อความแจ้งเตือนไปยังผู้ใช้งานผ่านสังคมออนไลน์ได้ทันที

### 2.3 ออกแบบระบบ

ผู้วิจัยได้ออกแบบระบบไว้ดังนี้ จะใช้ Server เป็นตัวกลางในการสื่อสารระหว่าง ฐานข้อมูล (Databases) แอพพลิเคชันสำหรับมือถือ (Mobile Application) เครื่องบันทึกวงจรปิด (DVR) อีเมล์ (Email) และการส่งข้อความด้วย Facebook Messenger ดังรูปที่ 3

**รูปที่ 3** แผนภาพเครื่องมือที่ใช้ในการพัฒนาระบบ

### 2.4 พัฒนาระบบ

การพัฒนาระบบตรวจสอบการเชื่อมต่ออินเตอร์เน็ตของกล้องวงจรปิดและแจ้งเตือนผ่านระบบสังคมออนไลน์ ผู้วิจัยได้แบ่งออกเป็น 2 ส่วนหลัก ดังนี้

2.4.1 การพัฒนา Server

ในส่วนของ Server ใช้ภาษา JavaScript ในการพัฒนาและใช้เทคโนโลยีของ Node.js ซึ่ง Node.js จะทำงานแบบ event-driven ทำให้รองรับการเชื่อมต่อได้หลายๆ Connections โดยสามารถอธิบายตามลำดับขั้นตอนได้ 5 ขั้นตอนดังนี้

1.พัฒนา Server ให้เชื่อมต่อกับฐานข้อมูลได้

2.พัฒนา Server ให้สามารถตรวจสอบความผิดปกติของเครื่องบันทึกได้

3.พัฒนา Server ให้สามารถอัพเดทฐานข้อมูลได้

4.พัฒนา Server ให้สามารถค้นหา วิเคราะห์เครื่องบันทึกที่ทำงานผิดพลาดจาก Email ที่ได้รับได้

5.พัฒนา Server ให้สามารถส่งข้อความแจ้งเตือนของการทำงานที่ผิดพลาดผ่าน Facebook Messenger ได้

2.4.2 การพัฒนา Mobile Application

ส่วนของ Mobile Application พัฒนาบนระบบปฏิบัติการ iOS โดยใช้โปรแกรม Xcode เป็นเครื่องมือสำหรับการพัฒนา ซึ่งพัฒนาด้วยภาษา Objective-C โดยโปรแกรมที่พัฒนาสามารถอธิบายตามลำดับขั้นตอนได้ 6 ขั้นตอนดังนี้

1.พัฒนา Mobile Application ให้สามารถมีสิทธิเข้าถึงบัญชีผู้ใช้ Facebook ของผู้ดูแลระบบได้

2.พัฒนา Mobile Application เพื่อตรวจสอบว่าผู้ดูแลระบบเป็นผู้ดูแลระบบของ Facebook Page ใดบ้าง

3.พัฒนา Mobile Application ให้สามารถเพิ่มเครื่องบันทึกหรือดูการเปลี่ยนแปลงสถานะของเครื่องบันทึกแต่ละเครื่องได้

4.พัฒนา Mobile Application ในส่วนของหน้าแสดงรายละเอียดเครื่องบันทึก ให้สามารถเลือกผู้ได้รับแจ้งเตือนได้

5.พัฒนา Mobile Application ให้เลือก Facebook ของผู้ใช้งานเพื่อแจ้งเตือนเมื่อระบบทำงานผิดพลาดได้

6. แอพพลิเคชันสามารถแสดงชื่อผู้ส่งและผู้รับ Email และวิธีการตั้งค่าต่างๆของโปรโตคอล SMTP เพื่อนำไปกรอกที่เครื่องบันทึกของผู้ที่ใช้งานได้อย่างถูกต้อง

### 2.5 การประเมินประสิทธิภาพของระบบ

ผู้วิจัยได้ใช้แบบประเมินความพึงพอใจทั้ง 2 ด้าน ได้แก่ ประเมินความพึงพอใจด้านการทำงานได้ตามฟังก์ชั่นของระบบ (Function Test) และประเมินความพึงพอใจด้านความง่ายต่อการใช้งานระบบ (Usability Test) ทั้งนี้แบบประเมินนี้ ประยุกต์มาจากแบบประเมินความพึงพอใจจากงานวิจัยของชลทิศ โพธิประภา [2] มีเกณฑ์ในการแปลความหมายจากการวิเคราะห์แบบประเมินประสิทธิภาพของระบบไว้ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 เกณฑ์การให้คะแนนประเมิน

| ระดับเกณฑ์การให้คะแนน | | ความหมาย |
|---|---|---|
| เชิงคุณภาพ | เชิงปริมาณ | |
| ดีมาก | 4.50 - 5.00 | ระบบแจ้งเตือนมีประสิทธิภาพการทำงานในระดับดีมาก |
| ดี | 3.50 - 4.49 | ระบบแจ้งเตือนมีประสิทธิภาพการทำงานในระดับดี |
| พอใช้ | 2.50 - 3.49 | ระบบแจ้งเตือนมีประสิทธิภาพการทำงานในระดับพอใช้ |
| ปรับปรุง | 1.50 - 2.49 | ระบบแจ้งเตือนมีประสิทธิภาพการทำงานในระดับปรับปรุง |
| ไม่เหมาะสม | 1.00 - 1.49 | ระบบแจ้งเตือนมีประสิทธิภาพการทำงานในระดับไม่เหมาะสม |

### 2.6 ผลการวิจัย

ระบบที่พัฒนาขึ้นสามารถทำการแจ้งเตือนไปยังผู้ใช้งานหากพบความผิดพลาดต่างๆ ที่เกิดขึ้นกับระบบ โดยแยกประเภทการแจ้งเตือนได้ดังนี้

2.6.1 เครื่องบันทึกวงจรปิดไม่ได้เชื่อมต่อกับระบบอินเตอร์เน็ต หากระบบพบว่า เครื่องบันทึกวงจรปิดที่ได้ทำการลงทะเบียนไว้ ไม่ได้เชื่อมต่อกับระบบอินเตอร์เน็ต ระบบจะส่งข้อความไปยังผู้ใช้งาน

2.6.2 ฮาร์ดดิสก์เสีย หรือทำงานผิดพลาด หากระบบพบว่า ฮาร์ดดิสก์ ที่ใช้งานร่วมกับเครื่องบันทึกวงจรปิดเสียหรือทำงานผิดพลาด ระบบจะส่งข้อความไปยังผู้ใช้งาน

2.6.3 กรอกชื่อผู้ใช้งานหรือรหัสผ่านผิด หากระบบพบว่า ผู้ใช้งานกรอกชื่อผู้ใช้งานหรือรหัสผ่านของเครื่องบันทึกวงจรปิดผิด ระบบจะแจ้งเตือนให้ผู้ใช้งานทราบ เพื่อป้องกันบุคคลที่ไม่ได้รับอนุญาตพยายามเข้าสู่ระบบ

2.6.4 การบันทึกผิดพลาดที่ช่องสัญญาณต่างๆ หากระบบพบว่าเครื่องบันทึกวงจรปิดเกิดภาพสัญญาณภาพหาย หรือข้อผิดพลาดในการบันทึก ระบบจะแจ้งเตือนให้ผู้ใช้งานทราบว่า เกิดปัญหาขึ้นกับช่องสัญญาณภาพช่องใด

### 2.7 อภิปรายผลการวิจัย

การประเมินความพึงพอใจด้านการทำงานได้ตามฟังก์ชันของระบบ (Function Test) พบว่าระบบมีความถูกต้องของข้อความที่ได้รับจากการประมวลผลของเซิร์ฟเวอร์ ความถูกต้องของผู้ใช้งานที่ได้รับข้อความ ความรวดเร็วในการประมวลผลของระบบ ความน่าเชื่อถือได้ของระบบ สามารถป้องกันปัญหาที่จะเกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็ว และความถูกต้องของการแจ้งเตือนของระบบในภาพรวม มีประสิทธิภาพอยู่ในระดับดีมาก

การประเมินความพึงพอใจด้านความง่ายต่อการใช้งานระบบ (Usability Test) พบว่าระบบมีความง่ายในการติดตั้ง ความง่ายในการใช้งานระบบ ความเหมาะสมในการใช้ข้อความเพื่ออธิบาย สื่อความหมาย และความเหมาะสมในการใช้สีอักษร และขนาดตัวอักษร มีประสิทธิภาพอยู่ในระดับดีมาก

## 3. สรุปผลการวิจัย

ผลจากการวิจัยพบว่าจากเดิมกว่าผู้ใช้งานจะรู้ว่าระบบเกิดความผิดพลาด ไม่ว่าจะเป็นการเชื่อมต่ออินเตอร์เน็ตของเครื่องบันทึกวงจรปิด หรือการทำงานของฮาร์ดดิสก์ ก็ต่อเมื่อผู้ใช้งานต้องการดูกล้องวงจรปิดผ่านระบบอินเตอร์เน็ต หรือต้องการดูภาพย้อนหลัง แต่ไม่สามารถทำงานได้ตามปรกติ โดยผู้ใช้งานไม่สามารถรับรู้ปัญหาที่เกิดได้แบบทันที ซึ่งทำให้ขาดประสิทธิภาพในการใช้งาน ทำให้ผู้วิจัยจึงนำระบบสารสนเทศและนำปัญหามาพัฒนาระบบในรูปแบบของแอพพลิเคชันบนระบบปฏิบัติการ iOS เชื่อมต่อกับเซิร์ฟเวอร์เพื่อให้ผู้ดูแลระบบสามารถรับรู้สถานะของเครื่องบันทึกวงจรปิดของผู้ใช้งานได้ ทำให้ผู้ดูแลระบบสามารถแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นได้อย่างทันท่วงที และลดระยะเวลา ค่าใช้จ่าย ในการตรวจสอบการทำงานของอุปกรณ์ที่เกิดความผิดพลาด เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดในการให้บริการกับผู้ใช้งานเครื่องบันทึกวงจรปิดได้

## 4. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ อาจารย์ธีชชัย เอ้งฉ้วน ที่กรุณาสละเวลา ให้คำปรึกษา และข้อเสนอแนะ รวมทั้งแนวทางในการแก้ไขปัญหาต่าง ๆ ตลอดจนตรวจทานสารนิพนธ์ให้แก่ผู้จัดทำมาโดยตลอด จนสารนิพนธ์นี้สำเร็จได้อย่างสมบูรณ์

ขอขอบคุณบิดา และมารดาของข้าพเจ้า และเพื่อนๆที่คอยเป็นกำลังใจ คอยให้การสนับสนุนในทุก ๆ ด้านเสมอมา หากมีข้อผิดพลาดประการใดผู้วิจัยขอรับไว้แต่เพียงผู้เดียว

## เอกสารอ้างอิง

[1] **คดีอาญาที่สำคัญ**. สืบค้นเมื่อ 24 พฤศจิกายน 2558, จาก http://service.nso.go.th/nso/web/statseries/statseries13.html.

[2] ชลธิศ โพธิประภา. (2549). **ระบบการจัดการใช้งานเครือข่ายไร้สาย กรณีศึกษา: มหาวิทยาลัยราชภัฏหมู่บ้านจอมบึง**. สารนิพนธ์ วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. กรุงเทพมหานคร : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

**ประวัติผู้เขียนบทความ**
ชื่อ-สกุล: ณัฐิธัช เลิศจำรัสพงศ์
วุฒิการศึกษา: วศ.บ.(วิศวกรรมคอมพิวเตอร์)
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ปีการศึกษา 2553
ตำแหน่งและสถานที่ทำงาน:
ผู้บริหารฝ่ายการตลาด บริษัท ดี-เอ็กซเซลเลนท์ จำกัด
ที่อยู่: 171 ซ.23 ถ.นิพัทธ์สงเคราะห์1 ต.หาดใหญ่ อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา
การตีพิมพ์เผยแพร่ผลงาน:
ณัฐิธัช เลิศจำรัสพงศ์ และดร.วัชรวลี ตั้งคุปตานนท์. 2556. **การพัฒนาระบบแจ้งเตือนพฤติกรรมการขับขี่รถยนต์ของเยาวชน**. การประชุมวิชาการระดับชาติ มหาวิทยาลัยศรีปทุม ครั้งที่ 8 ประจำปีการศึกษา 2556 "ผลงานวิจัยและนวัตกรรมสู่การพัฒนาที่ยั่งยืน", 24 ธันวาคม 2556

**บทความวิจัย**

การประชุมวิชาการ งานวิจัยและพัฒนาเชิงประยุกต์ ครั้งที่ 8

*8th ECTI-CARD 2016, Hua Hin, Thailand*

# ชุดควบคุมระบบแสงสว่าง ระบบปรับอากาศและระบบรักษาความปลอดภัย

# Lighting, Air Conditioning and Security Control System

**ณัฐพงษ์ เชื้อเมืองพาน อานนท์ ไชยธิมา กฤษดา ยิ่งขยัน และปุณยสิริ บุญเป็ง [1]**

[1]สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงใหม่

128 ถนนห้วยแก้ว ตำบลช้างเผือก อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ 50300 โทรศัพท์ 05-392-1444 ต่อ 2110

E-mail: chuan.natcha@gmail.com, tok_chaithima@hotmail.com, krisdacm@hotmail.com and punyasiri@hotmail.com

## บทคัดย่อ

โครงการนี้นำเสนอการออกแบบและสร้างชุดควบคุมการประหยัดพลังงานสำหรับระบบแสงสว่างและระบบปรับอากาศร่วมกับการรักษาความปลอดภัยภายในห้องเรียนหรือห้องปฏิบัติการ ด้วยการประยุกต์ใช้อุปกรณ์ที่ควบคุมและส่งค่าสถานะลอจิกด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์เชื่อมต่อกันผ่านระบบเครือข่ายท้องถิ่นแบบไร้สาย และได้มีการนำแพลทฟอร์มเน็ตพายมาใช้งานสำหรับการเชื่อมต่อผ่านอินเทอร์เน็ตไปยังส่วนควบคุมบนเว็บไซต์ ซึ่งโครงการนี้ได้ทดลองติดตั้งที่ห้องปฏิบัติการคอมพิวเตอร์ อาคารอิเล็กทรอนิกส์ 2 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงใหม่ สามารถสั่งงานเพื่อปิดหลอดไฟและเครื่องปรับอากาศในขณะที่ไม่มีบุคคลอยู่ภายในห้องอย่างอัตโนมัติเพื่อประหยัดพลังงานได้ ในขณะที่ห้องปิดล็อกแล้วสามารถเฝ้าระวังผู้บุกรุกและแจ้งเตือนไปยังโทรศัพท์เคลื่อนที่ของผู้ดูแลห้องเมื่อพบผู้บุกรุกได้ และสามารถควบคุมการเปิดและการปิดผ่านอินเทอร์เน็ตได้ตลอดเวลา

คำสำคัญ: ประหยัดพลังงาน, รักษาความปลอดภัย, ควบคุมผ่านอินเทอร์เน็ต

## Abstract

This project proposed design and implementation of power saving for lighting and air conditioning systems with security control. Microcontrollers are applied to control and transmit each logic which communicated on wireless LAN network. The NETPIE platform was implemented for communicating with website throughout the internet. This project has been installed in the computer laboratory room at electronic building 2 of Rajamagala University of Technology Lanna Chiang Mai. It's able to saving power automatically when nobody is in the room. When detected a thief in the room, the system will send a notification message via sms to administrator's mobile phone and able to turn on and turn off lighting and air conditioning via the internet at any time.

Keywords: power saving, security system, internet of things, mqtt, netpie platform

## 1. บทนำ

ในปัจจุบันมีการให้ความสำคัญต่อการประหยัดพลังงานไฟฟ้าโดยเฉพาะในหน่วยงานสาธารณะทั้งหน่วยงานราชการและเอกชน ซึ่งถูกละเลยเรื่องการประหยัดพลังงาน ส่งผลต่อค่าไฟฟ้าโดยรวมขององค์กรที่เพิ่มขึ้นโดยเปล่าประโยชน์ กลุ่มผู้จัดทำจึงมีแนวคิดในการออกแบบชุดประหยัดพลังงานและได้ผนวกความสามารถเพิ่มเติมในด้านความปลอดภัยและความสะดวกสบายสำหรับผู้ใช้งาน โดยการออกแบบและสร้างชุดควบคุมระบบแสงสว่าง ระบบปรับอากาศและระบบรักษาความปลอดภัยสำหรับติดตั้งภายในห้องเรียน ห้องปฏิบัติการหรือห้องทำงานที่ตอบโจทย์การประหยัดพลังงานไฟฟ้า มีความสามารถในการเฝ้าระวังการบุกรุกในขณะปิดล็อกแล้วและสามารถควบคุมการเปิดและการปิดการใช้งานทางเว็บไซต์ผ่านอินเทอร์เน็ตได้ตลอดเวลา

## 2. การออกแบบและผลการทดสอบ

ชุดควบคุมระบบแสงสว่าง ระบบปรับอากาศและระบบรักษาความปลอดภัยถูกออกแบบโดยใช้บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino รุ่น ATMega2560 ทำงานร่วมกับไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ ESP8266 เชื่อมต่อแบบผสมผสานระหว่างแบบมีสายกับแบบไร้สาย ผ่านระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์ โดยใช้โปรโตคอล MQTT (Message Queue Telemetry Transport) สำหรับสื่อสารระหว่างกันภายใน และใช้ชุดคำสั่ง NETPIE ซึ่งพัฒนาโดยศูนย์คอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (NECTEC) สำหรับสื่อสารระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์กับเว็บไซต์ผ่านอินเทอร์เน็ต ใช้โมดูล SIM900 เพื่อส่งข้อความผ่านระบบ

โทรศัพท์เคลื่อนที่และใช้ตัวตรวจจับความเคลื่อนไหวสำหรับการตรวจสอบบุคคลภายในห้อง

**2.1 หลักการทำงานโดยรวม**

แบ่งหลักการทำงานโดยรวมออกเป็น 2 ภาคส่วน คือ ภาคสื่อสารภายในและภาคสื่อสารภายนอก

2.1.1 ภาคสื่อสารภายใน

ภาคสื่อสารภายในประกอบด้วยชุดควบคุมเชื่อมต่อกันผ่านระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์แบบไร้สายมาตรฐาน WIFI ด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ ESP8266 รุ่น 12E โดยอาศัยโปรโตคอล MQTT ในการสื่อสารข้อมูลผ่านอุปกรณ์ Wireless Router ที่ติดตั้งโปรแกรมให้รองรับบริการแม่ข่ายของโปรโตคอล MQTT ดังนี้

1. ชุดควบคุมและแสดงสถานะการเปิดใช้งานเครื่องปรับอากาศ 1 เครื่อง โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP8266 จำนวน 1 ตัว

2. ชุดควบคุมและแสดงสถานะการเปิดใช้งานหลอดไฟแสงสว่าง 3 ชุด โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP8266 จำนวน 1 ตัว

3. ชุดแสดงสถานะการตรวจจับความเคลื่อนไหว 3 จุด โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP8266 จำนวน 3 ตัว

4. ชุดส่งผ่านข้อมูล โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP8266 จำนวน 1 ตัว

โดยชุดควบคุมและแสดงสถานะทั้งหมดทำหน้าที่ส่งข้อมูลสถานะไปที่ชุดส่งผ่านข้อมูลและรับข้อมูลคำสั่งจากชุดส่งผ่านข้อมูลเพื่อควบคุมการเปิดและปิดเครื่องปรับอากาศและหลอดไฟ และชุดส่งผ่านข้อมูลทำหน้าที่สื่อสารข้อมูลสถานะและข้อมูลคำสั่งกับชุดประมวลผลหลักในภาคสื่อสารภายนอกผ่านพอร์ตอนุกรม ตามแผนผังการทำงานในรูปที่ 1

**รูปที่ 1** แผนผังการทำงานของภาคสื่อสารภายใน

2.1.2 ภาคสื่อสารภายนอก

ภาคสื่อสารภายนอกประกอบด้วย

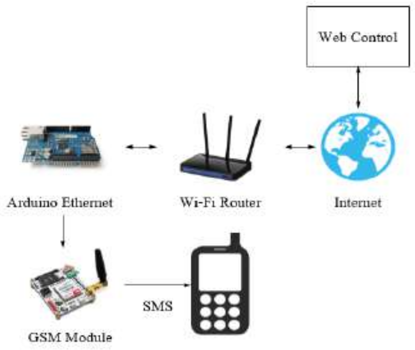
1. ชุดประมวลผลหลัก โดยใช้บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ ATMega2560 1 ตัว

2. ชุดเชื่อมต่อระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ โดยใช้บอร์ด GSM Module

3. ชุดเชื่อมต่อระบบอินเทอร์เน็ต โดยใช้บอร์ด Ethernet Module

โดยชุดประมวลผลหลักทำหน้าที่รับข้อมูลสถานะจากชุดส่งผ่านข้อมูลในภาคสื่อสารภายในเพื่อประมวลผลตามเงื่อนไขที่ออกแบบและส่งข้อมูลคำสั่งกลับไปที่ชุดส่งผ่านข้อมูลผ่านพอร์ตอนุกรมเพื่อควบคุมอุปกรณ์ปลายทาง สำหรับชุดเชื่อมต่อระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ทำหน้าที่เชื่อมต่อกับโครงข่ายของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่เพื่อส่งข้อความ (SMS) ในกรณีที่ระบบตรวจพบผู้บุกรุก

และชุดเชื่อมต่อระบบอินเทอร์เน็ตทำหน้าที่เชื่อมต่อเพื่อส่งข้อมูลสถานะและรับข้อมูลคำสั่งจากเว็บไซต์ โดยอาศัยชุดคำสั่ง NETPIE เป็นช่องทางในการสื่อสารข้อมูลระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์กับเว็บไซต์ ตามแผนผังการทำงานในรูปที่ 2

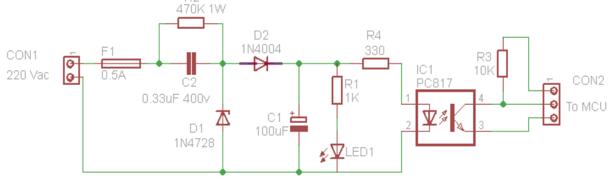



**รูปที่ 2** แผนผังการทำงานของภาคสื่อสารภายนอก

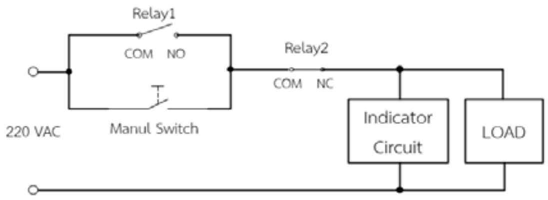
**2.2 วงจรและการทำงานส่วนย่อย**

2.2.1 ชุดควบคุมและแสดงสถานะ

ชุดควบคุมและแสดงสถานะทำหน้าที่ส่งข้อมูลสถานะและรับข้อมูลคำสั่งเพื่อควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้า ซึ่งถูกติดตั้งควบคู่กับอุปกรณ์ไฟฟ้านั้น โดยมีไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP8266 ถูกเขียนคำสั่งเพื่อควบคุมการทำงานเชื่อมต่อกับวงจรแสดงสถานะการเปิดใช้งานดังรูปที่ 3 และวงจรควบคุมการเปิดใช้งานดังรูปที่ 4 ประกอบด้วยชุดควบคุมและแสดงสถานะการเปิดใช้งานเครื่องปรับอากาศ ชุดควบคุมและแสดงสถานะการเปิดใช้งานหลอดไฟและชุดแสดงสถานะการตรวจจับความเคลื่อนไหว โดยชุดควบคุมฯเหล่านี้มีหลักการทำงานที่คล้ายคลึงกัน แต่มีการต่อร่วมกับวงจรที่แตกต่างกันตามชนิดอุปกรณ์และความเหมาะสม



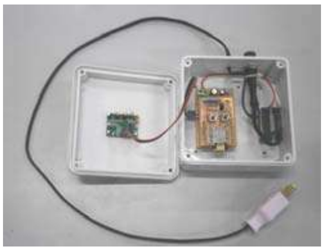

**รูปที่ 3** วงจรแสดงสถานะการเปิดใช้งาน




**รูปที่ 4** วงจรควบคุมการเปิดใช้งาน

การทำงานของชุดควบคุมและแสดงสถานะเริ่มต้นด้วยการเชื่อมต่อไปยังอุปกรณ์เครือข่ายไร้สายและเชื่อมต่อเข้ากับแม่ข่ายของโปรโตคอล MQTT หลักจากนั้นจะเข้าสู่การทำงานแบบวงรอบโดยทำการอ่านค่าสถานะจากวงจรแสดงสถานะการเปิดใช้งานและส่งไปยังชุดส่งผ่านข้อมูล โดยกระทำการทุกๆ 1 วินาที และในตอนท้ายของทุกวงรอบจะทำการตรวจสอบและรักษาการเชื่อมต่อกับแม่ข่ายของโปรโตคอล MQTT โดยระหว่างนั้นหากมีข้อมูลคำสั่งถูกส่งมาจากชุดส่งผ่านข้อมูล ชุดควบคุมฯจะรับข้อมูลคำสั่งแล้วนำไปประมวลผลเพื่อสั่งงานวงจรควบคุมการเปิดใช้งาน ซึ่งประกอบด้วยรีเลย์ 2 ตัว คือรีเลย์ควบคุมใช้ขาแบบปกติเปิด (Normally Opened) ต่อขนานกับสวิทซ์เพื่อสามารถสั่งงานโดยผู้ใช้ได้ รีเลย์ประหยัดพลังงานใช้ขาแบบปกติปิด (Normally Closed) ต่ออนุกรมกับสวิทซ์เพื่อสามารถควบคุมเพื่อประหยัดพลังงานได้

ส่วนชุดแสดงสถานการณ์ตรวจจับความเคลื่อนไหวในรูปที่ 5 ใช้ตัวตรวจจับความเคลื่อนไหวรุ่น HC-SR501



**รูปที่ 5** ชุดแสดงสถานะการตรวจจับความเคลื่อนไหว

**รูปที่ 6** ชุดควบคุมและแสดงสถานะเครื่องปรับอากาศ

2.2.2 ชุดส่งผ่านข้อมูล

ชุดส่งผ่านข้อมูลถูกติดตั้งในกล่องควบคุมหลักดังรูปที่ 7 ทำหน้าที่เป็นตัวกลางในการรวบรวมข้อมูลสถานะที่เชื่อมต่อโดยชุดควบคุมและแสดงสถานะต่างๆเพื่อส่งผ่านไปยังชุดประมวลผลหลักและรับข้อมูลคำสั่งจากชุดประมวลผลหลักส่งกลับผ่านไปยังชุดควบคุมปลายทาง โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP8266 เชื่อมต่อกับชุดควบคุมและแสดงสถานะผ่านระบบเครือข่ายไร้สายด้วยโปรโตคอล MQTT และเชื่อมต่อกับชุดประมวลผลหลักผ่านพอร์ตอนุกรม

การทำงานของชุดส่งผ่านข้อมูลเริ่มต้นด้วยการเชื่อมต่อไปยังอุปกรณ์เครือข่ายไร้สายและเชื่อมต่อเข้ากับแม่ข่ายของโปรโตคอล MQTT แล้วรอรับข้อมูลจากชุดควบคุมและแสดงสถานะเพื่อเก็บข้อมูลสถานะล่าสุดไว้ในหน่วยความจำ แล้วทำการส่งข้อมูลสถานะทั้งหมดพร้อมสร้างรหัสตรวจสอบความถูกต้องส่งไปยังชุดประมวลผลหลักผ่านพอร์ตอนุกรม โดยกระทำทุกๆ 2 วินาที หลักจากนั้นจะตรวจสอบการรับข้อมูลของพอร์ตอนุกรมที่ถูกส่งมาจากชุดประมวลผลหลัก โดยทำการแยกส่วนของข้อมูลคำสั่งและรหัสตรวจสอบความถูกต้องออกจากกัน จากนั้นจะนำข้อมูลคำสั่งเข้ากระบวนการเทียบรหัสตรวจสอบความถูกต้อง หากไม่ตรงกันระบบจะทำการปฏิเสธข้อมูล แต่หากตรงกันระบบจะดำเนินการแปลความหมายและส่งไปยังอุปกรณ์ปลายทาง และในตอนท้ายของทุกวงรอบระบบจะทำการตรวจสอบและรักษาการเชื่อมต่อกับแม่ข่ายของโปรโตคอล MQTT

2.2.3 ชุดประมวลผลหลัก

ชุดประมวลผลหลักถูกติดตั้งในกล่องควบคุมหลักดังรูปที่ 7 ทำหน้าที่รับข้อมูลจากชุดควบคุมที่ส่งผ่านโดยชุดส่งผ่านข้อมูลมาประมวลผลเพื่อควบคุมและสั่งงานชุดควบคุมฯ การส่งข้อความผ่านระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่และการสื่อสารเพื่อควบคุมและแสดงผลผ่านเว็บไซต์ มีโหมดการทำงานแบ่งออกเป็น 2 โหมดได้แก่ โหมดประหยัดพลังงานและโหลดรักษาความปลอดภัย โดยการสวิทซ์ควบคุมการเลือกใช้งานโหมด

การทำงานของโหมดประหยัดพลังงานเริ่มต้นด้วยการเฝ้าติดตามสถานะการตรวจจับความเคลื่อนไหว เมื่อระบบไม่พบการเคลื่อนไหวติดต่อกันเป็นเวลาตามที่ตั้งค่าไว้ ระบบจะทำการสั่งปิดเครื่องปรับอากาศและหลอดไฟทั้งหมด โดยควบคุมไปยังรีเลย์ประหยัดพลังงานให้ทำงาน หลักจากนั้นหากมีบุคคลกลับเข้ามาในห้อง ระบบจะพบความเคลื่อนไหวและสั่งงานยกเลิกการปิดเครื่องปรับอากาศและหลอดไฟทั้งหมด

การทำงานของโหมดรักษาความปลอดภัยเริ่มต้นด้วยการเฝ้าติดตามสถานะการตรวจจับความเคลื่อนไหวในขณะที่ปิดล็อกห้องเรียบร้อยแล้ว หากพบความเคลื่อนไหวระบบจะทำการสั่งงานชุดเชื่อมต่อระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ให้ทำการส่งข้อความ (SMS) แจ้งเตือนไปยัง

ผู้ดูแลห้องในทันทีและสั่งเปิดหลอดไฟแสงสว่างทั้งหมด เพื่อให้ผู้บุกรุกเกรงกลัวและหนีออกจากพื้นที่ เมื่อระบบไม่พบความเคลื่อนไหวแล้วจะส่งข้อความแจ้งเตือนอีกครั้งแล้วทำการปิดหลอดไฟแสงสว่างและกลับเข้าสู่สภาวะเฝ้าติดตาม

**รูปที่ 7** กล่องควบคุมหลัก

2.2.4 การควบคุมผ่านเว็บไซต์

ชุดควบคุมฯเชื่อมต่อกับเว็บไซต์ด้วยแพลทฟอร์มเน็ตพาย ซึ่งเป็นตัวกลางในการสื่อสารข้อมูลคำสั่งระหว่างไมโครคอนโทรเลอร์และเว็บไซต์ควบคุม โดยทางเว็บไซต์ได้ใช้ภาษาจาวาสคริปต์ (Javascript) เพื่อเขียนคำสั่งควบคุมการแสดงสถานะและประมวลผลคำสั่งจากการสั่งงานโดยผู้ใช้งาน เว็บไซต์ควบคุมดังรูปที่ 8

**รูปที่ 8** เว็บไซต์ควบคุม

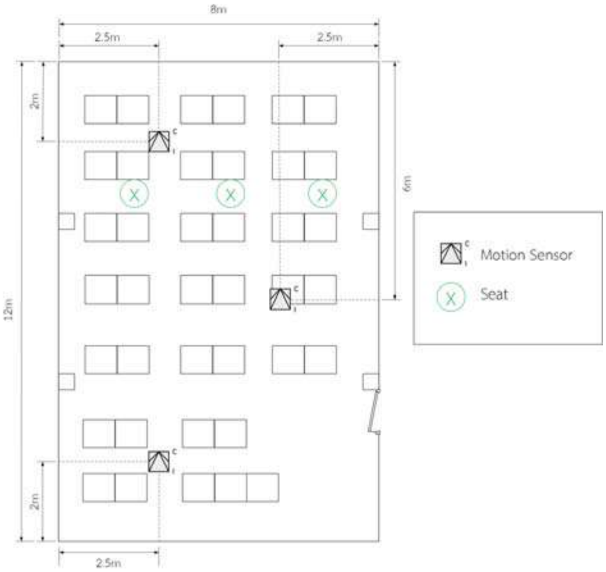
**2.3 ผลการทดสอบ**

การทดสอบได้แบ่งตามการทำงานของระบบ คือ ส่วนการทำงานแบบอัตโนมัติและส่วนการควบคุมจากผู้ใช้งาน

2.3.1 ส่วนการทำงานอัตโนมัติ

ส่วนการทำงานอัตโนมัติได้แบ่งการทดสอบออกเป็น 2 โหมด คือ โหมดประหยัดพลังงานและโหมดรักษาความปลอดภัย

โหมดประหยัดพลังงานทดสอบโดยการจำลองเป็นผู้ใช้งานในห้องเรียนนั่งตามอิริยาบถปกติ ซึ่งใช้ผู้ใช้งานจำนวนที่แตกต่างและตำแหน่งในการนั่งที่หลากหลายตามตัวอย่างรูปที่ 9 แล้วบันทึกผลการทดสอบตามสภาวะการทำงานต่างๆของระบบจำนวน 5 ครั้ง ได้ผลการทดสอบโดยเฉลี่ยตามตารางที่ 1 โดยตั้งค่าเวลาสำหรับการไม่พบผู้ใช้งานติดต่อกันเป็น 60 วินาที และค่าเวลาในการพบผู้บุกรุกติดต่อกันเป็น 10 วินาที ทั้งนี้ค่าเวลาสามารถปรับได้ตามความเหมาะสมในการใช้งานจริง

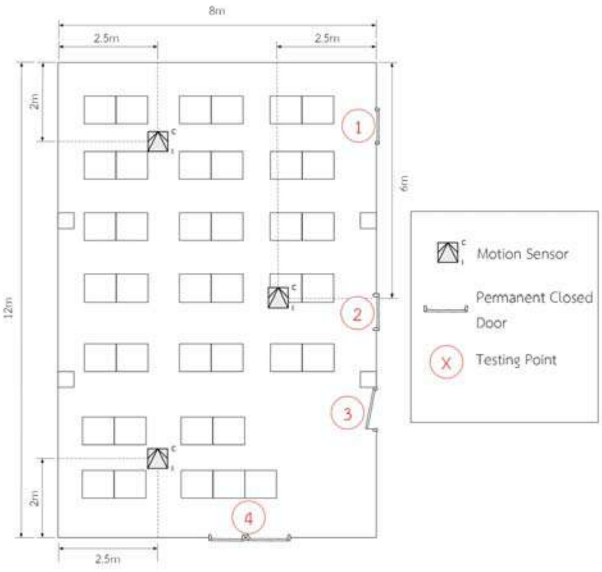



**รูปที่ 9** ตัวอย่างของตำแหน่งการทดสอบโหมดประหยัดพลังงาน

ตารางที่ 1 ผลการทดสอบในโหมดประหยัดพลังงานโดยเฉลี่ย 5 ครั้ง

| **สภาวะการทำงาน** | | | **จำนวนผู้ทดสอบ (คน)** | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | **1** | **3** | **6** | **10** |
| สภาวะเฝ้าติดตาม | เมื่อผู้ใช้งานอยู่ในห้อง | เปอร์เซ็นต์ความถูกต้องในการทำงาน | 80 % | 100 % | 100 % | 100 % |
| | เมื่อผู้ใช้งานออกจากห้องแล้ว | เปอร์เซ็นต์ความถูกต้องในการทำงาน | 100 % | 100 % | 100 % | 100 % |
| | | ระยะเวลาในการทำงาน (วินาที) | 72 | 75 | 72 | 72 |
| สภาวะกำลังประหยัดพลังงาน | เมื่อผู้ใช้งานอยู่นอกห้อง | เปอร์เซ็นต์ความถูกต้องในการทำงาน | 100 % | 100 % | 100 % | 100 % |
| | เมื่อผู้ใช้งานกลับเข้าภายในห้อง | เปอร์เซ็นต์ความถูกต้องในการทำงาน | 100 % | 100 % | 100 % | 100 % |
| | | ระยะเวลาในการทำงาน (วินาที) | 12 | 11 | 12 | 12 |

โหมดรักษาความปลอดภัยทดสอบโดยการจำลองเป็นผู้บุกรุกเข้าตามจุดเสี่ยงที่สามารถงัดแงะเข้ามายังภายในห้องได้ รวม 4 จุดตามรูปที่ 10 แล้วบันทึกผลการทดสอบตามสภาวะการทำงานต่างๆของระบบจำนวน 5 ครั้งได้ผลการทดสอบโดยเฉลี่ยตามตารางที่ 2 โดยตั้งค่าเวลาสำหรับการพบผู้บุกรุกติดต่อกันเป็น 10 วินาที และค่าเวลาในการไม่พบผู้บุกรุกติดต่อกันเป็น 10 วินาที ทั้งนี้ค่าเวลาสามารถปรับได้ตามความเหมาะสมในการใช้งานจริง




**รูปที่ 10** ตำแหน่งที่ทำการทดสอบโหมดรักษาความปลอดภัย

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบในโหมดรักษาความปลอดภัยโดยเฉลี่ย 5 ครั้ง

| **สภาวะการทำงาน** | | | **ตำแหน่งที่** | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | **1** | **2** | **3** | **4** |
| สภาวะเฝ้าติดตาม | เมื่อผู้บุกรุกยังไม่เข้าภายในห้อง | เปอร์เซ็นต์ความถูกต้องในการทำงาน | 100 % | 100 % | 100 % | 100 % |
| | เมื่อผู้บุกรุกเข้าภายในห้องแล้ว | เปอร์เซ็นต์ความถูกต้องในการทำงาน | 20 % | 100 % | 100 % | 100 % |
| | | ระยะเวลาในการทำงาน (วินาที) | 70 | 15 | 13 | 14 |
| สภาวะพบผู้บุกรุก | เมื่อผู้บุกรุกยังอยู่ในห้อง | เปอร์เซ็นต์ความถูกต้องในการทำงาน | 100 % | 100 % | 100 % | 100 % |
| | เมื่อผู้บุกรุกออกจากห้องแล้ว | เปอร์เซ็นต์ความถูกต้องในการทำงาน | 100 % | 100 % | 100 % | 100 % |
| | เมื่อผู้บุกรุกออกจากห้องแล้ว | ระยะเวลาในการทำงาน (วินาที) | 20 | 21 | 21 | 23 |

2.3.2 ส่วนการควบคุมจากผู้ใช้งาน

ส่วนการควบคุมจากผู้ใช้งานทดสอบโดยการสั่งงานผ่านเว็บไซต์ควบคุมในทุกสภาวะการทำงานของระบบ แล้วบันทึกผลการทดสอบตามตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบในส่วนควบคุมจากเว็บไซต์

| สภาวะการทำงาน | | สถานะการสั่งงานของอุปกรณ์ | | | | คำสั่งจากผู้ใช้ | ผลการทำงาน | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | สวิตช์ภายนอก | รีเลย์ควบคุม (NO) | รีเลย์ประหยัดพลังงาน (NC) | สถานะของอุปกรณ์ | | เครื่องปรับอากาศ | หลอดไฟ |
| โหมดประหยัดพลังงาน | สภาวะเฝ้าติดตาม | 0 | 0 | 0 | ปิด | เปิด | ✓ | ✓ |
| | | 0 | 0 | 1 | ปิด | เปิด | ✓ | ✓ |
| | | 0 | 1 | 0 | เปิด | ปิด | ✓ | ✓ |
| | | 0 | 1 | 1 | ปิด | เปิด | ✓ | ✓ |
| | | 1 | 0 | 0 | เปิด | ปิด | ✓ | ✓ |
| | | 1 | 0 | 1 | ปิด | เปิด | ✓ | ✓ |
| | | 1 | 1 | 0 | เปิด | ปิด | ✓ | ✓ |
| | | 1 | 1 | 1 | ปิด | เปิด | ✓ | ✓ |
| | สภาวะกำลังประหยัดพลังงาน | 0 | 0 | 0 | ปิด | เปิด | ✓ | ✓ |
| | | 0 | 0 | 1 | ปิด | เปิด | ✓ | ✓ |
| | | 0 | 1 | 0 | เปิด | ปิด | ✓ | ✓ |
| | | 0 | 1 | 1 | ปิด | เปิด | ✓ | ✓ |
| | | 1 | 0 | 0 | เปิด | ปิด | ✓ | ✓ |
| | | 1 | 0 | 1 | ปิด | เปิด | ✓ | ✓ |
| | | 1 | 1 | 0 | เปิด | ปิด | ✓ | ✓ |
| | | 1 | 1 | 1 | ปิด | เปิด | ✓ | ✓ |
| โหมดรักษาความปลอดภัย | สภาวะเฝ้าติดตาม | 0 | 0 | 0 | ปิด | เปิด | ✓ | ✓ |
| | | 0 | 1 | 0 | เปิด | ปิด | ✓ | ✓ |
| | สภาวะพบผู้บุกรุก | 0 | 0 | 0 | ปิด | เปิด | ✓ | ✓ |
| | | 0 | 1 | 0 | เปิด | ปิด | ✓ | ✓ |

**หมายเหตุ** จากตารางที่ 3 ค่า ‘0’ หมายถึง การปิดใช้งานและค่า ‘1’ หมายถึง การเปิดใช้งาน

## 3. สรุป

จากผลการทดสอบชุดควบคุมระบบแสงสว่าง ระบบปรับอากาศและระบบรักษาความปลอดภัยสามารถให้การทำงานได้ตรงตามเงื่อนไขที่ออกแบบไว้ โดยในภายส่วนการทำงานอัตโนมัติถูกกำหนดโดยการทำงานของตัวตรวจจับความเคลื่อนไหวรุ่น HC-SR501 มีระยะการตรวจจับสูงสุดประมาณ 6 เมตร ซึ่งผลการทดสอบติดตั้ง 3 จุดกระจายทั่วห้องทดสอบที่มีพื้นที่ 96 ตารางเมตร พบว่ามีจุดบอดที่ไม่สามารถตรวจจับความเคลื่อนไหวได้ส่วนหนึ่ง แต่จากผลการทดสอบนั้นแสดงให้เห็นว่าเพียงพอต่อการใช้งานโดยทั่วไป ในส่วนการควบคุมจากผู้ใช้งานระบบสามารถทำงานได้ตามคำสั่งของผู้ใช้งานผ่านเว็บไซต์โดยสามารถเปิดและปิดเครื่องปรับอากาศและหลอดไฟได้ในทุกสภาวะการทำงานของระบบและอุปกรณ์ไฟฟ้านั้น สำหรับโครงการนี้ได้มีการประยุกต์ใช้การงานไมโครคอนโทรลเลอร์หลายตัวทำงานร่วมกันเป็นระบบเดียวกัน การใช้งานแพลทฟอร์ม NETPIE ที่พัฒนาโดยศูนย์คอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (NECTEC) การใช้งานโปรโตคอล MQTT โดยทั้งหมดล้วนเป็นเทคโนโลยีที่ได้รับความนิยมและกำลังกลายเป็นแนวโน้มสำหรับเทคโนโลยีในอนาคต ซึ่งเป็นการนำเสนอแนวคิดและการออกแบบระบบที่สามารถเป็นแบบอย่างและพัฒนาต่อยอดเพื่อตอบสนองยุคแห่งเทคโนโลยีสมัยใหม่ที่ยั่งยืน

## เอกสารอ้างอิง

[1] Wikipedia. (2016, Mar 5). *MQTT* [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/MQTT
[2] OpenWrt. (2016, Mar 5). *TP-Link TL-WR841ND* [Online]. Available: https://wikidevi.com/wiki/TP-LINK_TLWR841ND
[3] Netpie. (2016, Mar 5). *Microgear-html5* [Online]. Available: https://github.com/netpieio/microgear-html5

**ผศ.ดร.กฤษดา ยิ่งขยัน**
อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์
สนใจการประยุกต์ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในงานอุตสาหกรรม

**ดร.ปุณยสิริ บุญเป็ง**
อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์
สนใจการประยุกต์ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในงานอุตสาหกรรม

**ณัฐพงษ์ เชื้อเมืองพาน**
นักศึกษาสาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์
สนใจการประยุกต์ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในงานอุตสาหกรรม

**อานนท์ ไชยธิมา**
นักศึกษาสาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์
สนใจการประยุกต์ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในงานอุตสาหกรรม

# การประยุกต์ใช้ TACACS+ เพื่อการรักษาความปลอดภัยระบบเครือข่ายภายในมหาวิทยาลัยนครพนม

# Application of TACACS+ to enhance network security system in Nakhon Phanom University

**วชิรนันท์ ปุ๊ม[1] และ ณรงค์ศักดิ์ สุขมา[2]**

**[1]คณะวิทยาการจัดการและเทคโนโลยีสารสนเทศ สาขาวิชาคอมพิวเตอร์ธุรกิจ มหาวิทยาลัยนครพนม**
**167 ม.8 บ.เนินสะอาด ต.นาราชควาย อ.เมือง จ.นครพนม 48000 โทร. 042-587-288-9 E-mail:wachiranun@npu.ac.th**
**[2]คณะวิทยาการและเทคโนโลยีสารสนเทศ สาขาวิชาวิศวกรรมเครือข่ายและความมั่นคงปลอดภัยสารสนเทศ**
**มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร แขวงกระทุ่มราย เขตหนองจอก กรุงเทพ 10530 E-mail : narongsak.sukma@outlook.com**

## บทคัดย่อ

บทความนี้กล่าวเกี่ยวกับการนำระบบ TACACS+ ที่มีความสามารถในด้าน Authentication หรือการตรวจสอบ Authorization หรือการอนุมัติ และ Accounting and Auditing หรือ การตรวจสอบข้อมูลผู้ใช้งาน มาติดตั้งใช้งานในระบบเครือข่ายของมหาวิทยาลัยนครพนม เพื่อให้อุปกรณ์ที่ติดตั้งในระบบเครือข่ายของมหาวิทยาลัยมีระบบการรักษาความปลอดภัยที่มากขึ้น เริ่มตั้งแต่มีการกำหนดสิทธิผู้ใช้งานที่สามารถเข้าถึงอุปกรณ์ กำหนดคำสั่งที่อนุญาตให้ใช้งานได้อย่างปลอดภัยบนอุปกรณ์ รวมไปถึงมีการบันทึกทุกคำสั่งและการเปลี่ยนแปลงทั้งหมดของอุปกรณ์เครือข่ายทั้งหมด โดยงานวิจัยนี้สามารถนำไปเป็นแนวทางการในการปรับปรุงรวมถึงวางมาตรฐานระบบรักษาความปลอดภัยทั้งแบบป้องกัน และเพื่อรองรับการติดตามเหตุการณ์ของระบบเครือข่ายได้เป็นอย่างดี

คำสำคัญ: การตรวจสอบ,การอนุมัติ,การตรวจสอบข้อมูล ,ระบบเครือข่าย

## Abstract

This paper describes a way to enhance network security in Nakhon Phanom university by added TACACS+ services. TACACS has the AAA feature of Authentication, Authorization Accounting and Auditing that can control and manage rule or policies' network security. Also can keep all command line each network device that included all configuration was changed. By this research has provided guideline for readiness network security both of preventive and reactive in standard for protection of state secrets, meanwhile AAA security management could provide safer account, more traceable log, and less time-consuming operation and audit that can apply on operation as well.

Keywords: Authentication, Authorization, Auditing, Network security, TACACS

## 1. บทนำ

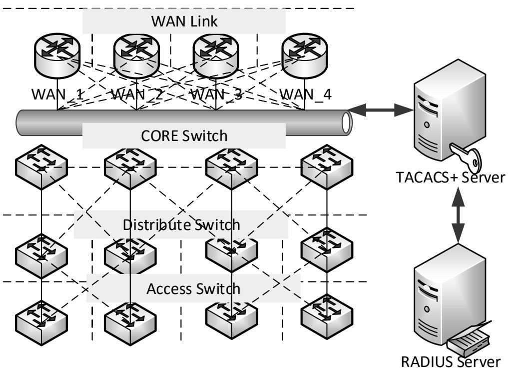
เพื่อให้มั่นใจและรับประกันได้ว่าข้อมูลและบริการทางด้านเทคโนโลยีสารสนเทศที่ทำงานอยู่ในหน่วยงานสามารถให้บริการได้อย่างปกติ รวมถึงปลอดภัยจากการบุกรุกจากผู้ไม่ประสงค์ดี รวมถึงป้องกันข้อผิดผลาดอันสามารถเกิดได้จากการความผิดผลาดของบุคคลาการภายในหน่วยงานเอง จึงต้องมีหน่วยงานที่มารับผิดชอบโดยเฉพาะในด้านเทคโนโลยีสารสนเทศ แต่อย่างไรก็ตามบุคคลกรในทีมดังกล่าวนี้ก็ต้องอาศัยความสามารถของเทคโนโลยีด้วยกันมาตรวจสอบและควบคุมเพื่อให้มั่นใจได้ว่าระบบที่ได้รับมอบหมายให้บริหารจัดการนั้นมีความปลอดภัย รวมถึงสามารถตรวจสอบข้อผิดปกติได้อย่างรวดเร็วหากระบบโดนโจมตีในรูปแบบต่างๆ[1] ซึ่งระบบเครือข่ายที่เกิดจากการเชื่อมต่อของอุปกรณ์ทางเครือข่าย เช่น switching ,router นั้น นับว่าเป็นพื้นฐานของทุกระบบสารสนเทศก็ว่าได้ที่จะทำการเชื่อมต่อระบบต่างๆเข้าด้วยกัน การเปลี่ยนแปลงใดๆที่เกิดขึ้นบนอุปกรณ์เหล่านี้สามมารถส่งผลกระทบทั้งทางตรงและทางอ้อมสู่บริการต่างๆในระบบ ซึ่งโดยพื้นฐานของผู้ดูแลระบบเครือข่ายจะสนใจในส่วนของการใช้งานได้ของระบบหรือ Network Availability [2] เป็นหลัก หากแต่ว่าในด้านความปลอดภัยเครือข่าย หรือ Network security จะให้ความสำคัญเป็นลำดับรองลงมา ซึ่งในทางตรงกันข้ามการที่ระบบเครือข่ายมีการออกแบบระบบรักษาความปลอดภัย Network security ตั้งแต่ต้น รวมถึงมีการตรวจสอบอยู่สม่ำเสมอจะทำให้ระบบมี Network Availability ที่ดีมากกว่าการตามแก้ไขเมื่อระบบเครือข่ายมีปัญหาเกิดขึ้นแล้ว

ดังนั้นทางผู้วิจัยจึงได้ค้นคว้าศึกษาหาระบบที่จะมาช่วยงานในด้านบริหารจัดการระบบรักษาความปลอดภัยของระบบเครือข่ายเพื่อช่วยงานผู้ดูแลระบบ รวมถึงยังสามารถติดตามการเปลี่ยนแปลงแก้ไขต่างๆย้อนหลังได้ทั้งหมด ซึ่งพบว่าระบบที่ชื่อว่า TACACS+ สามารถตอบโจทย์ความต้องการทั้งหมดได้ อีกทั้งยังเป็นมาตรฐานที่ได้รับการยอบรับโดยทั่วไปอีกด้วย [3]

## 2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

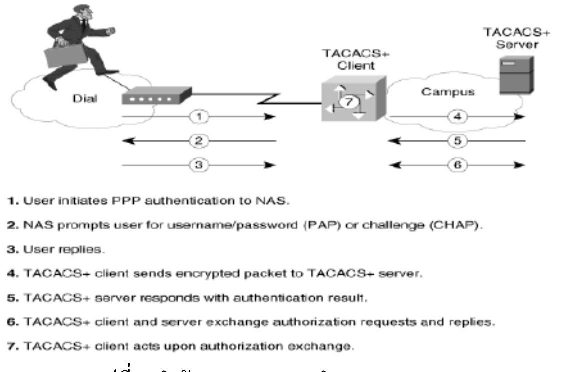
### 2.1 โครงสร้างระบบเครือข่าย และการปรับปรุงระบบ

ระบบเครือข่ายเดิมไม่มีระบบตรวจสอบและกำหนดสิทธิ์การเข้าถึงอุปกรณ์ทางเครือข่ายไว้ตั้งแต่ต้น จึงทำให้ทีมงานผู้ดูแลระบบพบปัญหาในระบบเครือข่ายอันเกิดจากความผิดปกติของอุปกรณ์ที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าการติดตั้งในอุปกรณ์ไปโดยไม่ทราบว่าเกิดขึ้นเมื่อไรรวมถึงไม่ทราบว่าใครเข้าไปแก้ไขเนื่องจากมีการกำหนดค่ารหัสผ่านในระดับพื้นฐานที่เหมือนกันในทุกอุปกรณ์ โดยที่สำคัญไม่ทราบว่าเกิดจากคำสั่งอะไรที่ทำให้ระบบเครือข่ายมีปัญหาจึงส่งผลต่อความยากและใช้เวลานานในการแก้ไขปัญหาซึ่งระบบเครือข่ายเดิมออกแบบมาเพื่อ Network Availability แต่ไม่มีระบบที่จะมาทำหน้าที่ตรวจสอบสิทธิการเข้าถึงอุปกรณ์ คำสั่งที่อนุญาตให้ใช้งานได้ ทางทีมวิจัยจึงออกแบบให้มีระบบ TACACS+ ตามรูปที่ 1




รูปที่ 1 ระบบเครือข่ายเดิมที่เพิ่ม TACACS+

งานวิจัยนี้ทำการเพิ่มระบบ TACACS เข้าไปในระบบเพื่อทำหน้าที่ Authentication หรือการตรวจสอบ Authorization หรือการอนุมัติ และ Accounting and Auditing หรือ การตรวจสอบข้อมูลผู้ใช้งานโดยทำงานร่วมกับ Radius server เพื่อให้สามารถใช้ฐานข้อมูลผู้ใช้งานปัจจุบันของอาจารย์ รวมถึงนักศึกษาของมหาวิทยาลัยฯ ได้อย่างสะดวกและปลอดภัย




รูปที่ 2 ลำดับกระบวนการทำงานของ TACACS+ [4]

### 2.2 การทำงานของโปรโตคอล TACACS+

การทำงานของโปรโตคอล TACACS+ เป็นโปรโตคอลที่ได้รับการปรับปรุงล่าสุดจาก TACACS ที่เดิมทำงานด้วยการสื่อสารแบบ UDP ซึ่งพัฒนาโดย BBN เพื่อทำให้กับ MILNET เท่านั้น ต่อมาทาง CISCO ได้นำมาพัฒนาต่อยอดโดยยังคงอยู่บนพื้นฐานเดิมของ TACACS จะพบว่าในปัจจุบันมีทั้ง XTACACS ,TACACS และ TACACS+ โดยสามารถอธิบายได้ดังนี้

- TACACS รวมในส่วนของกระบวนการ authentication และ authorization เข้าด้วยกัน
- XTACACS จะแยกการทำงานในแต่ละส่วนของกระบวนการ authentication, authorization, และ accounting ออกจากกัน
- TACACS+ ทำงานเหมือน XTACACS แต่จะมีการเพิ่มในส่วนของกระบวนการควบคุมความถูกต้องของ attribute control และ accounting

โดยที่สำคัญคือ TACACS+ ใช้โปรโตคอล TCP ทดแทนเดิมที่ TACACS ใช้ UDP เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและความถูกต้องของการสื่อสาร โดยระบบ TACAS และ TACACS+ นี้ได้ลงทะเบียนหมายเลขพอร์ตสำหรับใช้งานไว้กับ หน่วยงานสากล RFC แล้วทั้ง TCP และ UDP ที่พอร์ตหมายเลข 49 TCP/UDP

| Keyword | Decimal | Description |
|---|---|---|
| TACACS | 49/tcp | Login Host Protocal (TACACS) |
| TACACS | 49/udp | Login Host Protocal (TACACS) |

ตารางที่ 1 หมายเลขพอร์ต TACACS

### 2.3 กระบวนการทำงานของ TACACS+

**2.3.1 กระบวนการ Authentication** มี 3 กระบวนการคือ 1. START 2. CONTINUE 3. REPLY โดยกระบวนการ Authentication จะเริ่มจากที่อุปกรณ์ส่งคำร้อง START ไปที่ TACACS+ server ซึ่งในคำร้องขอนั้นจะประกอบไปด้วย ชื่อผู้ใช้งาน และข้อมูลสำหรับพิสูจน์ตัวตน ต่อมาเมื่อ TACACS+ server ได้รับการร้องขอแล้วจะทำการตอบกลับมาด้วยกระบวนการที่ชื่อว่า REPLY ซึ่งทั้งสองกระบวนนี้จะเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องจนกว่าจะถูกต้อง TACACS+ จึงจะส่งการตอบกลับเพื่อเข้าสู่กระบวนการ CONTINUE ต่อไป

**2.3.2 กระบวนการ Authorization** เมื่อผ่านกระบวนการ Authentication มาแล้วอุปกรณ์จะเริ่มส่งคำร้องขอมาที่ TACACS+ server เพื่อขอตรวจสอบชื่อผู้ใช้งาน เมื่อคำร้องร้องชื่อผู้ใช้งานและรหัสผ่านได้รับการอนุมัติแล้ว ระบบ TACACS+ จะส่ง REQUEST กลับไปที่

อุปกรณ์ที่ร้องขอตรวจสอบสิทธ์เพื่อให้เริ่มกระบวนตรวจสอบ Accounting ของผู้ใช้งานต่อไป

**2.3.3 กระบวนการ Accounting** เป็นกระบวนที่สามต่อจาก authentication และ authorization เป็นกนะบวนการที่เริ่มบันทึกการทำงานต่างๆของผู้ใช้งาน โดยกระบวนนี้มีวัตถุประสงค์อยู่ 2 อย่างคือ 1. เพื่อการจัดการบริการค่าใช้จ่ายหากตามชื่อผู้ใช้งาน 2. เพื่อเป็นเครื่องมือที่ใช้ในการตรวจสอบทางระบบการรักษาความปลอดภัย [4]

## 2.4 รายการซอฟต์แวร์

รายการซอฟต์แวร์แสดงในตารางที่ 1 ทางนักวิจัยเลือกใช้ซอฟต์แวร์โอเพนซอร์ส คือซอฟต์แวร์ที่เผยแพร่ด้วยสัญญาอนุญาต (license) ที่ประกันสิทธิในการศึกษา เผยแพร่ แก้ไข และใช้งานซอฟต์แวร์ได้อย่างอิสระ [5]

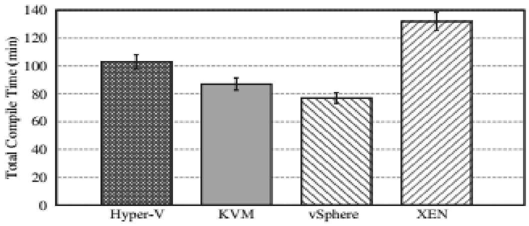
| Server | OS /License type | Software |
|---|---|---|
| TACACS+ | UBUNTU 14.04 /GPLv2 | TACACS+ daemon v 4.0.4.2 |
| RADIUS | UBUNTU 14.04 /GPLv2 | FreeRADIUS 2.2.9 /GPLv2 |

ตารางที่ 2 รายการซอฟต์แวร์

## 3. การทดลอง

## 3.1 การออกแบบการทดลอง

การทดลองนี้กระทำในสภาพแวดล้อมเครือข่ายจำลองโดยการเลือกเลือกใช้ hypervisors สร้างเครื่องแม่ข่ายจำลอง 2 เครื่องเพื่อสร้างเครื่อง TACACS+ และเครื่อง RADIUS server ด้วย vSphere ESXi 6.0 โดยเลือกจากการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของ Total compile workloads ที่ใช้เวลาน้อยที่สุด[6]




รูปที่ 3 Total compile workloads ที่ใช้เวลาน้อยที่สุด[6]

## 3.2 ติดตั้งระบบ

เริ่มจากการจัดทำกลุ่มผู้ใช้งานและสิทธิ์ให้เหมาะสมสำหรับใช้งานของแต่ละกลุ่ม ตลอดจนกำหนดค่าที่สำคัญต่างๆที่ต้องการควบคุม

**3.2.1 ติดตั้งโปรแกรมTACACS+** บนเครื่องแม่ข่าย [7]

```
#sudo apt-get install tacacs+
```

**3.2.2 แก้ไขไฟล์ tac_plus.config** เพื่อระบุค่าต่างๆที่จำเป็นในการทำงานของ TACACS+

```
accounting file = /var/log/tac_plus.acct
default authentication = file /etc/passwd
```

**3.2.3 สร้างชื่อกลุ่มและสมาชิก** ที่อนุญาตให้สามารถเข้าถึงอุปกรณ์ได้ตามที่ได้ออกแบบไว้

| Item | Value |
|---|---|
| Password Length | >10 |
| Pasword complexity | Enable |
| Lock threshold | 5 failed |
| Unlock rigth | Security admin |
| Audit items | Successful and Failed |

| | System Admin | Security Admin | Security Auditor |
|---|---|---|---|
| System configuration | YES | NO | NO |
| enable/disable config | NO | YES | NO |
| Security configuration | NO | YES | NO |
| Account configuration | NO | YES | NO |
| Check syslog | NO | YES | NO |

ตารางที่ 3 ชื่อกลุ่มและสมาชิกที่อนุญาตให้สามารถเข้าถึงอุปกรณ์ [8]

**3.2.4 แก้ไขค่า configuration** บนอุปกรณ์ router และ Switching เพื่อเปิดใช้งานการตรวจสอบ และการอนุมัติ รวมถึงให้ส่งบันทึกคำสั่งทั้งหมดมาที่ TACACS+ server

- ตัวอย่างคำสั่งที่ใช้บนอุปกรณ์ Router

```
username XXXX  privilege 0 secret YYYYY
enable secret ZZZZZ
aaa new-model
aaa authentication login default group tacacs+ local
aaa authorization config-commands
aaa authorization exec default group tacacs+ local
aaa authorization commands 15 default group tacacs+ local
tacacs-server host 192.168.XX.XX
tacacs-server key IPBALANCE
tacacs-server directed-request
ip tacacs source-interface VLAN xxx
```

## 3.3 ความสามารถในการตรวจสอบสิทธิ์ และการบันทึกคำสั่ง

**3.3.1 ทดลองTelnet** เข้าอุปกรณ์เพื่อทดสอบการทำงานของระบบTACACS+ โดยใช้ชื่อผู้งานและรหัสที่อยู่บน Radius server พบว่าใช้งานได้ตามที่ได้ออกแบบไว้อย่างถูกต้อง

```
test@tacacs:~$ telnet 192.168.xx.xx
Trying 192.168.xx.xx
Connected to 192.168.xx.xx
Escape character is '^]'.
User Access Verification
Username: test
Password:
R1>en
Password:
R1#
```

**3.3.2 ตรวจสอบบันทึก authentication** บน TACACS+ server พบว่ามีการบันทึกอย่างถูกต้อง

```
root@tacacs:~$ tail -f /var/log/tac_plus.log
Mon Mar 28 18:56:00 2016 [1422]: session.peerip is 192.168.xx.xx
Mon Mar 28 18:56:00 2016 [1580]: connect from 192.168.xx.xx [192.168.xx.xx]
Mon Mar 28 18:56:09 2016 [1580]: cfg_acl_check(network_admin, 192.168.xx.xx)
Mon Mar 28 18:56:09 2016 [1580]: ip 192.168.xx.xx matched permit regex .* of acl filter network_admin
Mon Mar 28 18:56:09 2016 [1580]: host ACLs for user 'test' permit
Mon Mar 28 18:56:09 2016 [1580]: login query for 'test' tty2 from 192.168.xx.xx accepted
Mon Mar 28 18:56:11 2016 [1422]: session.peerip is 192.168.xx.xx
```

**3.3.3 ตรวจสอบบันทึก Command log** บน TACACS+ server พบว่ามีการบันทึกอย่างถูกต้อง

```
root@tacacs:/home/routingloop# tail -f /var/log/tac_plus/tac_plus.ac
Mar 28 18:41:55   192.168.xx.xx   test   tty2   192.168
Mar 28 18:50:33   192.168.xx.xx   test   tty2   192.168
Mar 28 18:53:36   192.168.xx.xx   test   tty2   192.168
Mar 28 18:56:11   192.168.xx.xx   test   tty2   192.168
Mar 28 19:01:05   192.168.xx.xx   test   tty2   192.168
Mar 28 19:01:08   192.168.xx.xx   test   tty2   192.168
Mar 28 19:01:11   192.168.xx.xx   test   tty2   192.168
Mar 28 19:08:07   192.168.xx.xx   test   tty2   192.168
```

## 4. สรุป

จากการทดลองพบว่าอุปกรณ์ทุกตัวในงานวิจัยสามารถใช้งานระบบ TACACS+ ที่ติดตั้งเพิ่มเข้าไปในระบบได้อย่างถูกต้อง ส่งผลให้ทีมงานผู้ดูแลระบบมีระบบที่สามารถป้องกันความผิดพลาดจากการเข้าถึงอุปกรณ์โดยไม่ได้รับอนุญาต อีกทั้งยังเพิ่มความสามารถในการตรวจสอบประวัติย้อนหลังของการเข้าถึงอุปกรณ์และทุกคำสั่งที่มีการใช้งานบนระบบเครือข่ายได้ทั้งหมด ดังนั้นทางทีมงานผู้วิจัยแนะนำเป็นอย่างยิ่งให้ทุกระบบเครือข่ายควรติดตั้งระบบ TACACS หรือ TACACS+ เพื่อทำให้ระบบเครือข่ายมีความปลอดภัยและมั่นคงมากยิ่งขึ้น

ในอนาคตต้องการศึกษาผลกระทบจากปัจจัยเกี่ยวข้องด้านประสิทธิภาพเช่น ความเร็วของระบบเครือข่าย ชนิดของหน่วยประมวลผล ขนาดหน่วยความจำ ชนิดของหน่วยเก็บข้อมูล รวมถึงความเร็วในการเขียนอ่านข้อมูลด้วย เพื่อให้ครอบคลุมความต้องการของผู้ดูแลระบบต่อไป

## เอกสารอ้างอิง

[1] G. A. Marin, “Network security basics,” IEEE Security and Privacy, vol. 3, no. 6. pp. 68–72, 2005.

[2] K. Iniewski, C. McCrosky, and D. Minoli, Network Infrastructure and Architecture: Designing High-Availability Networks. 2007.

[3] E. Conrad, “Chapter 2 Domain 2: Access Control,” in Eleventh Hour CISSP, 2011, pp. 19–37.

[4] Cisco Systems Inc., “Designing Network Security,” 1999. [Online]. Available:http://wwwin.cisco.com/cpress/cc/td/cpress/internl/dns/ch02.htm.

[5] NECTEC, “โครงการโอเพนซอร์ส.” [Online]. Available: http://www.nectec.or.th/rd/rd-opensource-th.html.

[6] J. Hwang, S. Zeng, and T. Wood, “A component-based performance comparison of four hypervisors,” Integr. Netw. Manag. …, pp. 269–276, 2013.

[7] www.ipBalance.com, “How to install free TACACS+ on Ubuntu,” 2009.[Online].Available: http://www.ipbalance.com/security/tacacs/149-tacacs-plus-installation.html.

[8] Y. Lv and B. Du, “Application of AAA security management in classified network,” in Proceedings of the IEEE International Conference on Software Engineering and Service Sciences, ICSESS, 2013, pp. 660–663.

**วชิรนันท์ ปุ้ม สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาโทวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (เทคโนโลยีสารสนเทศ)วท.ม.(เทคโนโลยีสารสนเทศ) มหาวิทยาลัยขอนแก่น**
งานวิจัยที่สนใจ : Computer Network , Web services , Big data

**ณรงค์ศักดิ์ สุขมา นักศึกษาปริญญาโทวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครือข่ายและความมั่นคงปลอดภัยสารสนเทศ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร**
งานวิจัยที่สนใจ : Computer Network , Security , Big data , IoT , Cloud

# โปรแกรมตรวจจับการงีบหลับโดยวิธีประมวลผลภาพ

# A Snooze Detection Program Using Image Processing Method

**อาภากรแพ่งสภา[1] และดวงอาทิตย์ ศรีมูล[2]**
[1]นักศึกษาปริญญาโท หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิตสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ วิทยาลัยวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรังสิต
52/347ถนนพหลโยธิน ตำบลหลักหก อำเภอเมือง จังหวัดปทุมธานี 12000โทรศัพท์ 02-997-2200 ต่อ3272 E-mail: a.pangsabha@gmail.com
[2] อาจารย์ประจำ หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิตสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ วิทยาลัยวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรังสิต
52/347ถนนพหลโยธิน ตำบลหลักหก อำเภอเมือง จังหวัดปทุมธานี 12000โทรศัพท์ 02-997-2200 ต่อ3272 E-mail: duang-arthit@rsu.ac.th

## บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอโปรแกรมตรวจจับการงีบหลับโดยวิธีประมวลผลภาพเริ่มจากใช้กล้องดิจิทัลจับภาพผู้ทดสอบบริเวณใบหน้าเพื่อแปลงเป็นข้อมูลภาพดิจิทัล แล้วนำมาประมวลผลตามหลักการประมวลผลภาพเพื่อค้นหาดวงตา แล้วนำเข้าสู่ขบวนการวิเคราะห์ลักษณะการหลับ นั่นคือ เมื่อเจอดวงตาแสดงว่าไม่หลับ แต่เมื่อไม่เจอดวงตาแสดงว่าเริ่มมีการหลับ และถ้าตรวจจับต่อเนื่องไปแล้ว พบว่ายังหลับอยู่ ก็จะทำการแจ้งเตือนผู้ที่กำลังหลับอยู่นั้นให้ทราบจนกว่าจะลืมตา งานวิจัยนี้ได้ใช้โปรแกรมภาษา Visual Studio C++ 2013ในการพัฒนาทั้งหน้าต่างแสดงผลติดต่อกับผู้ใช้และอัลกอริทึมการประมวลผลภาพจากการทดสอบโปรแกรมที่ได้พัฒนาขึ้นพบว่า สามารถตรวจจับดวงตาเพื่อบ่งบอกการหลับได้ อย่างไรก็ตาม บางครั้งอาจเกิดความผิดพลาดในการตรวจจับบ้าง เช่น เกิดจากความสว่างของแสงที่ไม่เพียงพอหรือเกิดจากใบหน้าที่เอียงทำมุมกับกล้อง เป็นต้น

คำสำคัญ: การงีบหลับ, อุบัติเหตุ, การตรวจจับดวงตา, การประมวลผลภาพ, วิชวล สตูดิโอC++ 2013

## Abstract

This paper proposes a snooze detection program using image processing method. At first, the digital camera is used to capture the face of the testerfor translating to the digital image data, and then process it with the image processing method to detect the eyes that is occurring. Next, the image will be analyzed to consider the snooze characteristics, i. e. when the eyes are found, the program will indicate that the tester is waking up while the eyes are not found, the program will indicate that the tester is starting snooze. If the snooze is continuous for a time, alarm signaling will start alarm to the tester to stop snoozing until open the eyes. This work use Visual Studio C++ 2013to develop the program both user interface and image processing algorithm. From testing the developed program, it can detect the eyes and indicate the snooze as designed. However, there are some errors to detect the eyes such as the brightness is not enough or the angle between the face and the camera is not appropriate.

Keywords: snooze, accident, eye detection, image processing, visual studio C++ 2013

## 1.บทนำ

ปัจจุบันมีอุบัติเหตุจากการขับขี่รถยนต์เป็นจำนวนมาก ส่วนหนึ่งเกิดจากความง่วงนอนและเผลอหลับไปของผู้ขับรถเอง หากจะกล่าวถึงอุปกรณ์หรือเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับการแก้ปัญหาการหลับขณะขับขี่รถนั้นยังมีจำนวนอยู่น้อย ดังนั้น การมีเทคโนโลยีเพื่อช่วยในการตรวจจับการหลับและแจ้งเตือนผู้ขับขี่รถให้ทราบขณะขับขี่ อาจช่วยลดจำนวนอุบัติเหตุที่เกิดขึ้นได้ ทำให้ไม่ต้องสูญเสียทรัพยากรบุคคลและทรัพย์สินต่าง ๆ มากมาย

ความง่วงมีผลต่อสมรรถภาพในการขับรถ ทำให้ประสาทสัมผัสทุกอย่างช้าลง การรับรู้ช้าลง การตัดสินใจผิดพลาด การสั่งการของสมองไปยังกล้ามเนื้อช้าลง เมื่ออยู่ในสภาวะคับขันจึงอาจเหยียบเบรกได้ช้ากว่าปกติ หรือหักรถหลบหลีกได้ช้ากว่าปกติ และถ้าหากเกิดการหลับขึ้น คนขับจะไม่สามารถควบคุมการขับรถได้เลย เช่น เมื่อขับรถไปทางตรงผู้ขับนั้นจะขับรถเร็วขึ้นจนไปชนคันที่อยู่ข้างหน้าโดยไม่รู้ตัว กรณีรถติดไฟแดง คนขับที่ง่วงจะชนท้ายรถคันที่อยู่ด้านหน้า หรือในบางกรณีอาจขับรถตกถนน เป็นต้น การที่จะตรวจว่าผู้ขับง่วงผิดปกตินั้น เป็นเรื่องที่กระทำได้ค่อนข้างยาก ต้องอาศัยการทดสอบในห้องปฏิบัติการนอนหลับ หรือจะต้องใช้เครื่องมือเฉพาะที่ใช้วัดคุณภาพการหลับเท่านั้น ซึ่งไม่สะดวกในการนำมาใช้งานกับผู้ที่กำลังขับขี่รถอยู่

โปรแกรมตรวจจับการงีบหลับของผู้ขับรถโดยวิธีประมวลผลภาพ เป็นการใช้ข้อมูลภาพดิจิทัลจากกล้องดิจิทัลมาทำการประมวลผลภาพ โดยจะสุ่มเลือกภาพครั้งละ 1 เฟรมจากเฟรมภาพเคลื่อนไหวออกมาประมวลผลอย่างสม่ำเสมอและต่อเนื่อง ด้วยการตรวจจับและติดตามดวงตา เมื่อเจอดวงตาแสดงว่าไม่หลับ แต่เมื่อไม่เจอดวงตาแสดงว่าเริ่มมีการหลับ และถ้าตรวจจับต่อเนื่องไปแล้วถ้ายังพบว่าหลับอยู่ ก็จะทำการแจ้งเตือนผู้ที่กำลังหลับอยู่นั้นด้วยเสียงให้ทราบ และเพิ่มความดังของเสียงเตือนให้มากขึ้นตามลำดับ จนกว่าจะลืมตา

## 2. งานและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

การตรวจจับลักษณะทางกายภาพภายนอกโดยใช้การรับภาพจากกล้องนั้นเป็นวิธีการหนึ่งที่ถูกนำมาใช้ในการตรวจจับลักษณะของผู้คนข้อดีของการใช้กล้องตรวจจับคือ ไม่มีส่วนที่ไปสัมผัสกับร่างกายผู้ทดสอบอันจะก่อให้เกิดการรบกวนวิธีการตรวจจับการงีบหลับนี้ จะนำภาพจากกล้องดิจิทัลมาทำการประมวลผลด้วยวิธีการทางการประมวลผลภาพเพื่อให้ภาพนั้นอยู่ในลักษณะที่สามารถนำมาวิเคราะห์ได้ จากนั้นทำการวิเคราะห์หาผลลัพธ์จากภาพนั้น และเนื่องจากว่าการรับภาพนั้นจะต้องเป็นภาพที่รับมาจากเวลาจริงการประมวลผลภาพจะต้องใช้ความรวดเร็วในการประมวลผลเพื่อให้ทันต่อเหตุการณ์ที่มีการเปลี่ยนแปลงไปตามเวลานั้นจึงต้องให้ความสนใจขบวนการในการรับภาพและขั้นตอนการประมวลผลภาพให้สอดคล้องกับเหตุการณ์มากที่สุดขั้นตอนการรับภาพและการประมวลผลจะต้องใช้เวลาสั้นที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้เพื่อให้ทันต่อเหตุการณ์ที่มีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา

เทคนิควิธีที่ใช้ในการติดตามรูปใบหน้าเพื่อค้นหาตำแหน่งดวงตาเป็นขั้นตอนหลักที่สำคัญในงานนี้ การติดตามรูปใบหน้าแบบตามเวลาจริงด้วยการจับภาพจากกล้องดิจิทัลนั้น สัญญาณภาพที่จับได้จะเป็นภาพระดับเทา256 ระดับ เพื่อนำมาหาความแตกต่างของสีผิวบุคคลกับพื้นหลังอื่น ๆ ของภาพเพื่อกำหนดเส้นขอบเขตของใบหน้าและทำการหารูปทรงของดวงตาที่ปรากฏอยู่บนใบหน้า

การประมวลผลภาพนั้นจะเริ่มตั้งแต่การรับข้อมูลภาพจากกล้องดิจิทัลแล้วทำการเก็บข้อมูลจุดภาพ(Pixel)เป็นข้อมูลประเภทเมตทริกซ์ 1 มิติเป็นลำดับ ( Sequence) โดยเก็บข้อมูลที่เป็นพื้นผิวหลัง (Background) ใบหน้า (Foreground)และตำแหน่ง(Position)ทั้งหมดที่เกิดขึ้น เมื่อมีบุคคลเข้ามาในกล้องซึ่งจะเป็นการหาค่าความแตกต่างระหว่างจุดภาพ (Pixel) แต่ละจุดบนรูปภาพเมื่อเทียบกับภาพอ้างอิง

หลังจากนั้นจะทำการหาสีของผิวหน้าโดยการสร้างรูปแบบสีผิวหน้าจากกราฟแสดงค่าสถิติความถี่ (Histogram) ของระดับสีเทาซึ่งจะนำมาเปรียบเทียบกับรูปภาพเพื่อแยกส่วนที่เป็นเส้นขอบผิวหน้าและส่วนที่เป็นพื้นหลัง การค้นหาตำแหน่งของดวงตาที่ปรากฏอยู่บนใบหน้าจะใช้วิธี PCA (Principle component analysis) [1] ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อค้นหาลักษณะของดวงตาที่ปรากฏบนใบหน้าจากภาพที่นำมาเป็นฐานข้อมูล โดยจะนำมาหาค่าสมการตามรูปแบบของ Karhunen- Loève transformation (KLT) [2] การติดตามตำแหน่งของดวงตาจะใช้วิธี Luminance-adapted block matching เพื่อเปรียบเทียบหาความคล้ายคลึงระหว่างรูปภาพที่รับเข้ามากับรูปภาพที่มีอยู่ในฐานข้อมูลซึ่งเป็นการหาค่าความแตกต่างแบบน้อยที่สุด

หลักการวิเคราะห์หาการงีบหลับของผู้ขับขี่ จะกำหนดว่าการหลับตาคือการงีบหลับของผู้ขับขี่ กล้องจะจับภาพใบหน้าของผู้ขับขี่คำนวณหาความแตกต่างของข้อมูล Pixel ทำการวิเคราะห์หาลักษณะความแตกต่างของข้อมูลโดยใช้วิธี Laplace Operator เพื่อหาเส้นขอบบนใบหน้าและทำการแยกส่วนที่เป็นบริเวณใบหน้าและพื้นหลัง ค้นหารูปทรงที่เป็นดวงตาและนัยน์ตาบนใบหน้าและเก็บตำแหน่งไว้ โดยจะปรากฏเป็นจุดภาพสีดำในบริเวณที่เป็นดวงตา โดยส่วนที่เป็นดวงตาจะมีลักษณะพิเศษคือ จะประกอบด้วยส่วนของจุดภาพที่มีความสว่างซึ่งเป็นส่วนของตาขาวและส่วนของจุดภาพสีเข้มซึ่งเป็นส่วนของตาดำปรากฏอยู่ใช้ลักษณะของการค้นหากลุ่มจุดภาพสีดำที่มีพื้นที่ติดกันบนใบหน้า โดยถ้าค้นพบดวงตาแสดงว่าผู้ขับขี่ยังลืมตาอยู่ แต่ถ้าภาพที่ได้ไม่มีกลุ่มจุดสีดำแสดงว่าผู้ขับขี่เกิดการหลับ

รูปที่ 1แสดงขั้นตอนการใช้งานโปรแกรมตรวจจับการงีบหลับ จากขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม เริ่มต้นจากสร้างตัวแปร Count ขึ้นมา แล้วกำหนดค่าเริ่มต้นให้มีค่าเท่ากับ 0 โดยตัวแปร Count จะทำหน้าที่ควบคุมระยะเวลาของการแจ้งเตือนให้เป็นไปตามช่วงที่กำหนดไว้หลังจากที่การหลับได้เริ่มขึ้น ดังรูปที่ 2นั่นคือ

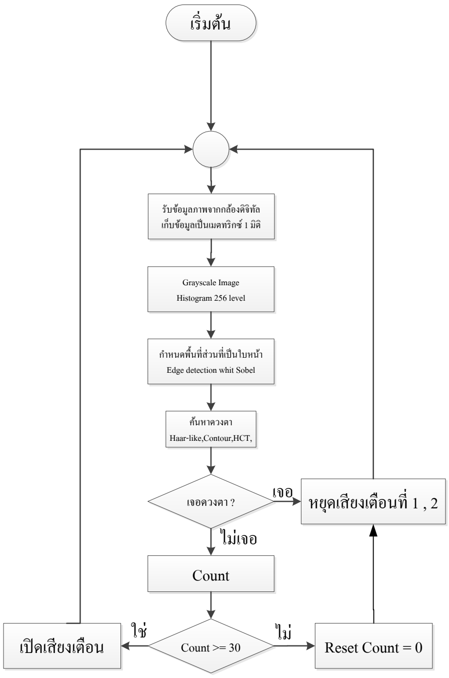
ช่วงมิลลิวินาทีที่ 0 – 30 เป็นช่วงของการเฝ้าระวัง หลังจากที่การหลับได้เริ่มขึ้น

ช่วงมิลลิวินาทีที่ 30 < xx เป็นช่วงของการส่งเสียงเตือนหลังจากที่มีการหลับต่อเนื่องมาและทำการเตือนจนกว่าผู้ใช้จะลืมตา

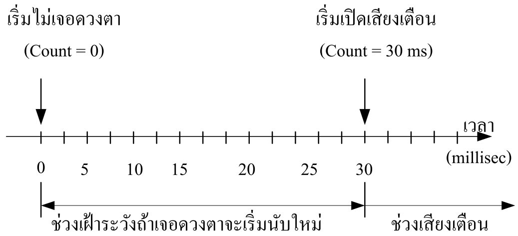
โดยจากการทดสอบการประมวลผลแต่ละรอบตั้งแต่ ขั้นตอนการรับข้อมูลภาพจากกล้องไปจนถึงการค้นหาดวงตา พบว่าจะใช้เวลาน้อยกว่า 1วินาที(ประมาณ0.2154 มิลลิวินาที) ค่าของตัวแปร Count ขึ้น 1 หน่วยจะเป็นมิลิวินาที โดยเริ่มจับเวลาตั้งแต่การค้นหาบุคคลในกล้องทำการแยกใบหน้าออกจากพื้นหลังและทำการค้นหาดวงตาเพื่อติดตามดวงตาในเวลาจริงมีความรวดเร็วจึงทำการประมวลผลแค่ขอบเขตดวงตาเท่านั้น โดยในการส่งเสียงจะสร้างเงื่อนไขให้การค้นหานัยน์ตาไม่เจอเป็นเวลา 30 มิลลิวินาที และจำเป็นต้องเจอโครงหน้าเพื่อให้โปรแกรมทราบว่ามีบุคคลอยู่ในกล้อง สามารถกำหนดช่วงระยะเวลาได้ดังรูปที่ 2 โดยช่วง 30 มิลลิวินาทีแรก จากเมื่อเริ่มหลับตา โปรแกรมก็จะเริ่มนับและถือเป็นช่วงของการเฝ้าระวังถ้าลืมตาตอนนี้จะเริ่มที่ 0 ใหม่ทันทีจากนั้นในช่วงอีก 30 มิลลิวินาทีถัดมา ถ้ายังหลับตาอยู่ (โปรแกรมไม่เจอนัยน์ตาแต่เจอใบหน้า) จะถือว่าผู้ขับถี่หลับตานานพอสมควรแล้ว โปรแกรมก็จะเริ่มส่งเสียงเตือนออกมา เป็นเสียงจนกว่าโปรแกรมจะตรวจพบดวงตาระบบเสียงจึงจะหยุดทำงานและทำงานค้นหาดวงตาใหม่อีกครั้ง

โดยโปรแกรมจะเป็นระบบออโตเมติค คือเปิดใช้งานโปรแกรมก็จะเข้าสู่ขั้นตอนการประมวลผลภาพ ประกอบด้วย“รับข้อมูลภาพจากกล้องดิจิทัล” ต่อด้วยขั้นตอน “การแปลงภาพเป็นระดับเทา 256 ระดับ” จากนั้นเมื่อเจอพื้นที่บริเวณที่เป็นเส้นขอบของใบหน้าแล้วโปรแกรมก็จะกำหนดพื้นที่ที่เจอใบหน้าตามขั้นตอน “กำหนดพื้นที่ส่วนที่เป็นใบหน้า”เพื่อแบ่งขอบเขตการประมวลผล หลังจากเจอบริเวณที่เป็น

ใบหน้าโปรแกรมจะทำการค้นหาพื้นที่ที่เป็นกลุ่มจุดภาพที่เป็นดวงตา โปรแกรมจะค้นหาดวงตาในขั้นตอน "ค้นหาดวงตา" ใช้เวลาประมาณ 0.2154 มิลิวินาที ดังที่ได้กล่าวไปแล้ว




รูปที่ 1 ขั้นตอนการใช้งานโปรแกรม




รูปที่2 ระยะเวลาการแจ้งเตือน

หลังจากผ่านขั้นตอน "ค้นหาดวงตา" ตามเงื่อนไขแล้วจะได้คำตอบ 2 สถานะคือ "เจอ" กับ "ไม่เจอ" ถ้า "เจอ" โปรแกรมจะวนกลับไปรับข้อมูลภาพจากกล้องดิจิทัล โดยจะทำการค้นหาในขอบเขตที่กำหนดคือที่ดวงตา เมื่อ "เจอ" จะทำการหยุดเสียงเตือน และกำหนดค่า Count ให้เป็น 0 และโปรแกรมจะตรวจค้นหาการหลับต่อไป

- กรณีที่ยังไม่เคยหลับ หรืออยู่ในช่วงมิลิวินาทีที่ 0 – 30 โปรแกรมก็จะกำหนดตัวแปร Count ให้เท่ากับ 0 เสมือนเป็นการเริ่มต้นใหม่ถ้า Count มีค่าระหว่าง 1 – 29 นอกจากนี้ ในบางครั้งพบว่าภาพที่จับมาได้เป็นจังหวะที่ตรงกับการกระพริบตาแม้โปรแกรมจะอ่านค่าว่าหลับตาแต่เมื่อลืมตาโปรแกรมจะตรวจหาการหลับตาต่อไป

จากรูปที่ 1 ณ เวลาจริง "ค้นหาดวงตา" จะมีเงื่อนไขว่าจำเป็นต้องหลับตาติดต่อกัน 30 มิลลิวินาที จากนั้นก็จะถูกตรวจสอบว่ามีค่าอยู่ 0 <= 30 หรือไม่ ถ้า "ใช่" จะส่งเสียงเตือน จึงส่งเสียงเตือน ออกมาแล้วกลับไปเริ่มรับข้อมูลภาพจากกล้องดิจิทัลใหม่ ถ้า "ไม่ใช่" จะส่งเสียงเตือนต่อไป จนกว่าโปรแกรมจะค้นหาดวงตาของผู้ใช้งานเจอ โปรแกรมถึงจะทำการหยุดเสียงเตือนและเริ่มค้นหาและติดตามดวงตาใหม่ การทำงานของโปรแกรมจะดำเนินการเช่นนี้ไปจนกว่าผู้ใช้จะหยุดการทำงานของโปรแกรม

## 3.ผลการทดสอบ

งานวิจัยนี้ได้ใช้ภาษา Visual Studio C++ 2013ในการพัฒนาทั้งหน้าต่างแสดงผลติดต่อกับผู้ใช้และอัลกอริทึมการประมวลผลภาพต่าง ๆ ทั้งหมด โดยหน้าต่างแสดงผลติดต่อกับผู้ใช้แสดงดังรูปที่ 3(ก)โดยให้ผู้ใช้สามารถใช้งานโปรแกรมได้โดยง่าย โดยกดเปิดโปรแกรมก็จะทำการค้นหาและติดตามดวงตาของผู้ใช้งานได้เลย โดยเมื่อผู้ใช้ต้องการเลิกใช้งานเพียงแค่กดปิดโปรแกรม เพื่อหยุดการทำงาน แสดงตัวอย่างหน้าต่างโปรแกรมที่กำลังใช้งานอยู่ จากรูปโปรแกรมสามารถค้นเจอดวงตาของผู้ทดสอบได้ทั้งสองข้างพร้อมกัน

(ก) (ข)

รูปที่ 3 (ก) หน้าต่างแสดงผลติดต่อกับผู้ใช้ (ข) หน้าต่างของโปรแกรมที่กำลังทำงานอยู่

สำหรับการทดสอบโปรแกรมได้แบ่งการทดสอบออกเป็น 2 การทดสอบ ที่ประกอบด้วย1) การทดสอบความถูกต้องการทำงานของโปรแกรม2) การทดสอบความถูกต้องของการจับภาพขณะลืมตาโดยได้เซตการทดลองดังนี้

- สถานที่ทดสอบเป็นภายในห้องพัก ทำให้พื้นหลังของภาพที่จะทำการทดสอบเป็นสีของผนังห้อง ซึ่งจะเป็นสีขาวหรือเทา และผู้ทดสอบได้เปิดไฟแสงสว่างภายในห้องให้มีความสว่างพอสมควร

- ได้จัดวางกล้องดิจิทัลที่ต่อพ่วงกับคอมพิวเตอร์ให้จับภาพห่างจากผู้ทดสอบเป็นระยะ 1 เมตร โดยหลอดไฟส่องสว่างเป็นหลอดฟูออเรสเซนท์ 60 วัตต์ ตำแหน่งอยู่บนเพดาน เยื้องมาด้านหน้าของผู้ทดสอบเล็กน้อย

- ผู้ทดสอบสวมเสื้อเชิ๊ตสีฟ้าอ่อน เพื่อให้สีของเสื้อแตกต่างจากสีพื้นหลังที่เป็นสีขาวและแตกต่างจากสีผิวใบหน้า

การทดสอบความถูกต้องการทำงานของโปรแกรม คือการทดสอบการทำงานและความต่อเนื่องของโปรแกรมถูกต้องตามที่ได้เขียนโปรแกรมไว้หรือไม่โดยในการทดสอบแต่ละครั้งจะเริ่มจาก เปิดโปรแกรม แล้วให้ผู้ทดสอบทำการลืมตาสักพักพักหนึ่ง หลังจากนั้น จึงให้หลับตาลง เมื่อเริ่มหลับตาโปรแกรมก็จะเริ่มจับเวลาพร้อมกัน โดยการหลับตาจะใช้เวลาประมาณ 30 มิลลิวินาที เพื่อให้ครอบคลุมช่วงการเฝ้าระวัง และการส่งเสียงเตือน ผลที่ได้เป็นดังตารางที่ 1

จากตารางที่ 1 แสดงผลการทดสอบความถูกต้องการทำงานและความต่อเนื่องของโปรแกรม โดยได้แบ่งการทดสอบออกเป็น 3 ครั้ง เพื่อหาความแม่นยำ จากตาราง ในแถวของ “มิลลิวินาทีที่” ก่อนจับเวลาจะแทนเป็น 0 และเมื่อเริ่มจับเวลาจะแทนด้วย “เริ่ม” เป็นการเริ่มหลับตาจากที่กำลังลืมตาอยู่ จากนั้นโปรแกรมก็จะเริ่มนับไปเรื่อย ๆ ขณะที่แถวของ “การปฏิบัติจริง” คือ การลืมตาหรือหลับตาจริงของผู้ทดสอบ ส่วนแถวของ “ผลจากโปรแกรม” คือ การแสดงผลของโปรแกรม ว่าถูกต้องหรือไม่จากผลลัพธ์ที่ได้ พบว่า โปรแกรมมีความถูกต้อง นั่นคือ ในช่วงที่มีการหลับตา โปรแกรมแสดงผลว่า “หลับตา (-)” ติดต่อกันเป็นช่วงเวลามิลลิวินาที

ตารางที่ 1 ผลการทดสอบความถูกต้องของโปรแกรมขณะหลับตา กำหนดให้ (O) แทนการลืมตา และ (-) แทนการหลับตา

| มิลลิวินาที | 0 | 0 | เริ่ม | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 | 12 | 14 | 16 | 18 | 20 | 22 | 24 | 26 | 28 | 30 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ทดสอบครั้งที่ 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ปฏิบัติจริง | O | O | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| ผลจาก โปรแกรม | O | O | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| ทดสอบครั้งที่ 2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ปฏิบัติจริง | O | O | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| ผลจาก โปรแกรม | O | O | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| ทดสอบครั้งที่ 3 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ปฏิบัติจริง | O | O | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| ผลจาก โปรแกรม | O | O | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |

การทดสอบความถูกต้องของการจับภาพขณะลืมตา คือการทดสอบความถูกต้องและความต่อเนื่องของโปรแกรม เนื่องจากโปรแกรมต้องค้นหาดวงตาจำกัดขอบเขตที่สนใจและติดตามตำแหน่งดวงตา ณ เวลาจริง คือเมื่อกระพริบโปรแกรมจะตรวจพบว่าหลับตาแต่จะไม่ส่งผลกับเสียงเตือนเพราะการกระพริบตามีช่วงเวลาไม่เกิน 30 มิลลิวินาที โดยในการทดสอบแต่ละครั้งจะเริ่มจาก เปิดโปรแกรม แล้วให้ผู้ทดสอบทำการลืมตาตลอดเวลา ซึ่งโดยปกติผู้ทดสอบจะต้องมีการกระพริบตาบ้าง หลังจากนั้น จึงเริ่มการจับเวลา เป็นเวลาทั้งหมด 30 มิลลิวินาที ผลที่ได้เป็นดังตารางที่ 2

**ตารางที่ 2** ผลการทดสอบความถูกต้องของการจับภาพขณะลืมตา กำหนดให้ (O) แทนการลืมตา และ (-) แทนการหลับตา

| มิลลิวินาที | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 | 12 | 14 | 16 | 18 | 20 | 22 | 24 | 26 | 28 | 30 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ครั้งที่ 1 | O | O | O | O | O | O | O | O | O | O | O | O | O | O | O |
| ครั้งที่ 2 | O | O | O | O | O | O | - | O | O | O | O | O | O | O | O |
| ครั้งที่ 3 | O | O | - | O | O | O | O | O | O | O | O | O | O | O | O |

ตารางที่ 2 คือผลการทดสอบความถูกต้องของการจับภาพขณะลืมตา โดยได้แบ่งการทดสอบออกเป็น 3 ครั้ง เพื่อหาความแม่นยำจากผลที่ได้พบว่า โปรแกรมสามารถตรวจจับการกระพริบตาได้ โดยในการทดสอบครั้งที่ 2 สามารถตรวจเจอ ณ มิลลิวินาทีที่ 14 จำนวน 1 ครั้ง ส่วนครั้งที่ 3 สามารถตรวจเจอ ณ มิลลิวินาทีที่ 6 ได้อีกจำนวน 1 ครั้งเช่นกัน

## 4. สรุป

บทความนี้ได้นำเสนอโปรแกรมการตรวจจับการงีบหลับโดยใช้กล้องดิจิทัลจับภาพผู้ขับขี่รถยนต์เพื่อแปลงเป็นข้อมูลภาพดิจิทัล แล้วนำมาประมวลผลตามหลักการประมวลผลภาพเพื่อค้นหาดวงตา แล้วนำเข้าสู่ขบวนการวิเคราะห์ลักษณะการหลับ นั่นคือ เมื่อเจอดวงตาแสดงว่าไม่หลับ แต่เมื่อไม่เจอดวงตาแสดงว่าเริ่มมีการหลับ และถ้าตรวจจับต่อเนื่องไปแล้ว พบว่ายังหลับอยู่ ก็จะทำการแจ้งเตือนแก่ผู้ที่กำลังขับรถอยู่นั้นให้ทราบทันทีจนกว่าจะลืมตา โครงงานนี้ได้ใช้โปรแกรมภาษา Visual Studio C++ 2013และ Open CV ในการพัฒนาและอัลกอริทึมการประมวลผลภาพจากการทดสอบโปรแกรมที่ได้พัฒนาขึ้นพบว่า สามารถตรวจจับดวงตาเพื่อบ่งบอกการหลับได้ อย่างไรก็ตาม บางครั้งอาจเกิดความผิดพลาดในการตรวจจับบ้าง เช่น เกิดจากความสว่างของแสงที่ไม่เพียงพอหรือเกิดจากใบหน้าที่เอียงทำมุมกับกล้อง

## เอกสารอ้างอิง

[1] Jain, A. K.,Fundamental of digital image processing, Prentice-Hall, 1989.

[2] Smith, L. I., “A tutorial on Principal Components Analysis. Studen Tutorials”, www.cs.otago.ac.nz/cosc453/student_tutorials /principal_components.pdf, 2002.

อาภากร แพ่งสภา เกิดเมื่อ 12 กันยายน 2526 จบการศึกษาระดับปริญญาตรี วท.บ วิทยาการคอมพิวเตอร์ จากมหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม งานวิจัยที่สนใจคือการประมวลผลภาพ

ดวงอาทิตย์ ศรีมูล เกิดที่เชียงรายเมื่อ 15 สิงหาคม 2516 จบการศึกษาปริญญาตรีจากมจธ. ปริญญาโทและเอกจากสจล. ปีการศึกษา 2539, 2544 และ 2548 ตามลำดับ ปัจจุบันเป็นอาจารย์ประจำ ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยรังสิต งานวิจัยที่สนใจคือ เทคโนโลยีสายอากาศ ไมโครเวฟ อาร์เอฟไอดี โครงข่ายโทรคมนาคมสัญญาณและระบบ

**บทความวิจัย**

การประชุมวิชาการ งานวิจัยและพัฒนาเชิงประยุกต์ ครั้งที่ 8

*8th ECTI-CARD 2016, Hua Hin, Thailand*

# เครื่องกระตุ้นทักษะและพัฒนากล้ามเนื้อส่วนขาสำหรับผู้พิการออทิสติก

# A Stimulation of Legs Muscle Development Machine for Autistic People

ศราวุฑ คงลำพันธ์ , ชลพรรษ บทมาตร และสัพพัญญู ศรีสารคาม

สาขาครุศาสตร์อุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

วิทยาเขตขอนแก่น อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น 40000

Saravut Konglamphan[1] , Chonlapat Botmatr[2] and Sappanyoo Srisarakham[3]

Faculty of Technical Education, Rajamangala University of Technology Isan, Khon Kaen Compus 40000

E-mail: saravut.ko@rmuti.ac.th[1] mcsuper082@gmail.com[2] omam_yamahateam@hotmail.com[3]

## บทคัดย่อ

โครงการนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างเครื่องกระตุ้นทักษะและพัฒนากล้ามเนื้อส่วนขาสำหรับผู้พิการออทิสติก

เครื่องกระตุ้นทักษะและพัฒนากล้ามเนื้อส่วนขาสำหรับผู้พิการออทิสติก ประกอบไปด้วย ไมโครคอนโทรลเลอร์ สวิตซ์ความดัน กลุ่มหลอดแอลอีดี และชุดโมดูลเอ็มพี 3 โดยเครื่องที่สร้างขึ้นใช้เพื่อกระตุ้นในประสาทสัมผัสทั้ง 3 ได้แก่ การใช้อวัยวะส่วนขา การได้ยินเสียง และด้านการมองเห็น จะช่วยให้ผู้พิการออทิสติกได้เกิดการเรียนรู้อีกรูปแบบหนึ่ง

ผลจากแบบประเมินความสามารถในการใช้เครื่องกระตุ้นทักษะและพัฒนากล้ามเนื้อส่วนขาสำหรับผู้พิการออทิสติก โดยใช้กับเด็กผู้พิการออทิสติกจำนวน 20 คน ก่อนการใช้เครื่องด้านพฤติกรรม ด้านการสั่งงานอวัยวะส่วนขา ด้านทักษะในการใช้ชีวิตประจำวันอยู่ในระดับเกณฑ์น้อย และหลังการใช้เครื่องแล้วอยู่ในเกณฑ์ระดับมาก

## Abstract

This project aims to build a stimulation of legs muscle development machine for autistic people. This machine contains of the microcontroller, pressure switches, LEDs and MP3 module. Three main parts of sensation that are leg muscles, auditory system and visual system will be trained by this machine. To verify the effectiveness, the machine has been applied for twenty autistic children by using legs training part in diary. The assessment result shows that before the children used this machine, they had a lower skill than after using. Therefore, the autistic children have a skill developed by using this machine.

Keywords: Autistic , Stimulation of legs

## 1. บทนำ

โรคออทิสติก เป็นความผิดปกติของพัฒนาการเด็กรูปแบบหนึ่ง มีลักษณะเฉพาะตัวโดยเด็กไม่สามารถพัฒนาทักษะทางสังคมและการสื่อความหมายได้เหมาะสมตามวัยมีลักษณะพฤติกรรม กิจกรรม และความสนใจ เป็นแบบซ้ำๆ จำกัดเฉพาะบางเรื่องและไม่ยืดหยุ่น ปัญหาดังกล่าวเป็นตั้งแต่เล็กส่งผลให้เกิดข้อจำกัดในการดำรงชีวิต [1] ในการบำบัดเด็กออทิสติกนักกิจกรรมบำบัดใช้กรอบการรักษาที่เรียกว่า Sensory Integration (S.I.)เนื่องจากว่าเด็กออทิสติกมีพฤติกรรมไม่พึงประสงค์แสดงออกให้เห็นหลายรูปแบบทั้งพฤติกรรม ดูของหมุน เล่นของหมุน โยกตัว ส่ายศีรษะ ชอบดม เลียของ เดินเขย่ง ตบมือ กระโดด เล่นมือ ไวต่อเสียงหรือแสงบางอย่าง หรือชอบเสียง [11] ชอบแสงบางอย่าง [6]เลือกรับประทานอาหารพฤติกรรมต่างๆเหล่านี้ บอกได้ถึงภาวะความบกพร่องของการรับและแปลผลข้อมูลความรู้สึก [4] โดยในเด็กแต่ละคนจะมีลักษณะที่ไวต่อการรับความรู้สึกแต่ละประเภทไม่เท่ากัน ดังนั้นเด็กแต่ละคนจึงมีความผิดปกติที่แตกต่างกันออกไป [2]

ปัจจุบันได้มีการรักษาผู้ป่วยออทิสติกหลากหลายวิธี ซึ่งแต่ละวิธีก็รักษาตามอาการที่บกพร่องก็แตกต่างไปในแต่ละบุคคล นักศึกษาชั้นปีที่ 4 คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี [3] ได้ร่วมกันสร้างเกมเสริมสร้างพัฒนาการการเรียนรู้เด็กออทิสติกขึ้นเพื่อเสริมสร้างการเรียนรู้ของเด็กออทิสติกที่มีศักยภาพสูงและปานกลางอายุระหว่าง 3-10 ปีโดยแบ่งการเรียนรู้ออกเป็น 3 หมวดคือ หมวดที่เกี่ยวกับชีวิตประจำวัน หมวดสังคม และหมวดร่างกาย

อีกงานวิจัยของนายธงชัย ลาน้ำเที่ยง และนายฉัตรชัย มาวรรณา [6] นักศึกษาชั้นปีที่ 5 คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น ได้สร้างเครื่องกระตุ้นระบบประสาทแบบมือสัมผัสสำหรับผู้พิการออทิสติก โดยได้นำเซ็นเซอร์อินฟาเรดมาใช้ในการตรวจจับการเคลื่อนที่ของอวัยวะที่มาสัมผัส โดยเซ็นเซอร์อินฟาเรดแต่ละตำแหน่งจะมีพื้นผิวสัมผัสที่

แตกต่างกันออกไป เพื่อให้บุคคลออทิสติกได้สัมผัสในแต่ละตำแหน่ง พร้อมกับมีแสงและเสียงมากระตุ้นทักษะ บุคคลออทิสติกจะได้ฝึกใช้กล้ามเนื้อในส่วนของแขนในการสัมผัสไปตามตำแหน่งต่างๆ แทนการสัมผัสจอทัชสกรีนหรือคีย์บอร์ด เมาส์เป็นการฝึกกล้ามเนื้อ

ทั้งนี้ผู้จัดทำโครงการได้เล็งเห็นความสำคัญในการฝึกทักษะในส่วนขาเพื่อให้บุคคลออทิสติกได้มีพัฒนาการที่สมบูรณ์มากขึ้น

## 2. หลักการทำงานของวงจร

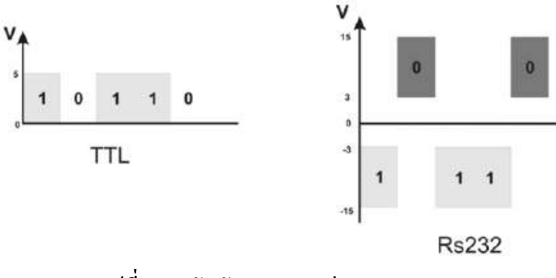
### 2.1 พื้นฐานภาษาซี

พื้นฐานโปรแกรมภาษา C (Introduction to C Programming) [7] พื้นฐานเกี่ยวกับคอมพิวเตอร์กันซักนิด ก่อนที่จะเริ่มเรียนรู้ภาษา C กัน หน่วยสำคัญที่สุดของคอมพิวเตอร์ คือ หน่วยประมวลผลหรือที่เรียกกันว่า CPU โดยปกติ CPU จะมีภาษาของตัวเองที่เรียกว่าภาษาเครื่อง (Machine Language) ซึ่งจะเป็นภาษาที่ประกอบไปด้วยเลขฐานสองมากมาย ดังนั้นการที่จะเขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานของคอมพิวเตอร์ โดยใช้ภาษาเครื่องโดยตรงนั้นจึงทำได้ยาก จึงได้มีการพัฒนาตัวแปรภาษาเครื่องที่เรียกว่า โปรแกรมภาษาระดับสูงขึ้นมา หรือที่เรียกว่า High Level Languages โดยภาษาในระดับสูงเหล่านี้ จะมีลักษณะรูปแบบการเขียน (Syntax) ที่ทำให้เข้าใจได้ง่ายต่อการสื่อสารกับผู้พัฒนา และถูกออกแบบมาให้ง่ายต่อการใช้งาน

### 2.2 การสื่อสารผ่านพอร์ตอนุกรม

พอร์ตอนุกรม [8] เป็นพอร์ตสำหรับต่อกับอุปกรณ์อินพุตและเอาต์พุต โดยส่วนใหญ่เราจะใช้ สำหรับต่อกับเมาส์ในกรณีที่คอมพิวเตอร์เครื่องนั้นไม่มีพอร์ต PS/2 หรือเป็น เคสแบบ AT นอกจากนั้นเรายังใช้สำหรับเป็นช่องทางการติดต่อโมเด็มด้วย ในคอมพิวเตอร์หนึ่งเครื่องจะมีพอร์ตอนุกรมให้อยู่สองพอร์ต เรียกว่าพอร์ต คอม 1 และพอร์ตคอม 2 นอกจากนั้นอาจจะมีฮาร์ดแวร์บางตัว

2.2.1 มาตรฐานการเชื่อมต่อข้อมูลแบบ Serial ใช้เพื่อเพิ่มระยะทางในการส่งข้อมูล แบบ Serial ให้สามารถส่งได้ระยะทางที่มากขึ้น โดยมีการเปลี่ยนระดับแรงดัน ของ Logic จากเดิมที่จะอยู่ในช่วง 0-5 V หรือ 0-3.3 V เป็นช่วง -15 ถึง 15 V โดยมีรายละเอียดดังนี้

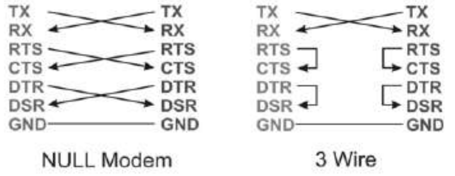



**รูปที่ 1** ระดับสัญญาณระหว่างTTLและRS232

Logic 0 ของ RS232 จะอยู่ในช่วง 3 ถึง 15V

Logic 1 ของ RS232 จะอยู่ในช่วง -3 ถึง -15V

2.2.2 การเชื่อมต่ออุปกรณ์อุปกรณ์ภายนอกเข้ากับคอมพิวเตอร์ด้วยสาย DB9




**รูปที่ 2** การเชื่อมต่ออุปกรณ์

### 2.3 หลักการทำงานของอาร์ดูโน

อาร์ดูโน อูโน่ อาร์สาม [5] เป็น Microcontroller board ที่ใช้ ATmega328 (datasheet) เป็น MCU หลักซึ่งตัวนี้จะมีขา Digital 14 ขา อินพุต/เอาต์พุต (สามารถทำเป็น PWM ได้ถึง 6 ขา) และมีขา Analog อินพุตได้อีก 6 ขา, รันที่ความถี่ 16 MHz มี USB Connector และ Power Jack DC ซึ่ง Concept ของ Arduino Board นี้ทำมาเพื่อความสะดวกง่ายในการเชื่อมต่อเข้ากับคอมพิวเตอร์ สามารถต่อ USB เข้ากับช่องคอมพอร์ตก็สามารถ Run โปรแกรมที่ Board

**รูปที่ 3** ตำแหน่งขาใช้งานของไมโครคอนโทรลเลอร์ ATmega328

บอร์ดอาร์ดูโน รุ่น Arduino328 [9] เป็นบอร์ดไมโครคอนโทรเลอร์ในตระกูล AVR เบอร์ Atmega328P ของ Atmel ซึ่งเป็นไมโครคอนโทรเลอร์ 8 bit

### 2.4 หลักการทำงานของสวิตซ์ความดัน

วาล์วสวิตซ์ความดัน (Pressure Switch) จะใช้ในงานที่ต้องการควบคุมความดัน ตามต้องการเช่นอุปกรณ์ที่ทำงานด้วยลมหรือน้ำมันได้แก่ เครื่องมืองานช่างเชื่อม เครื่องมืองานกล ระบบการหล่อลื่นที่ใช้ความดันสูงและมอเตอร์ขับปั๊มน้ำการทำงานของสวิตซ์ความดันจะใช้หลักการของไดอะเฟรมควบคุมการทำงานของสวิตซ์เช่นถ้ามีความดันสูงเกินกว่าที่ตั้งไว้สวิตซ์จะตัดวงจรหรือถ้าความดันต่ำสวิตซ์ ก็จะต่อวงจร

### 2.5 กิจกรรมบำบัดผู้พิการ (Occupational Therapy)

เป็นการประยุกต์ กิจวัตร [12] หรือกิจกรรม มาใช้ในการตรวจประเมิน วินิจฉัย ส่งเสริม ดูแลรักษา และฟื้นฟูสมรรถภาพ ให้สามารถกลับไปดำรงชีวิตในสังคมได้ ช่วยเสริมสร้างสมาธิ ทักษะการคิด พัฒนากล้ามเนื้อมัดเล็ก และการทำงานประสานกันของกล้ามเนื้อ ผ่านกิจกรรมการเรียนรู้นักกิจกรรมบำบัด (Occupational Therapist) [14] จะเป็นผู้ที่ประยุกต์ใช้กิจกรรมต่างๆ มาช่วยในการบำบัดเด็ก ตามสภาพปัญหาของแต่ละคน

1. การสอนและฝึกให้เด็กสามารถทำกิจวัตรประจำวันได้ด้วยตนเองในด้านต่างๆ เช่น การทานอาหาร การใส่เสื้อผ้า เป็นต้น

2. กิจกรรมเพื่อเพิ่มความสามารถในการควบคุมตนเองในเด็กที่มีพฤติกรรมไม่อยู่นิ่ง ก้าวร้าว ไม่สบตา

3. กิจกรรมกระตุ้นการดูด การเคี้ยว และการกลืน

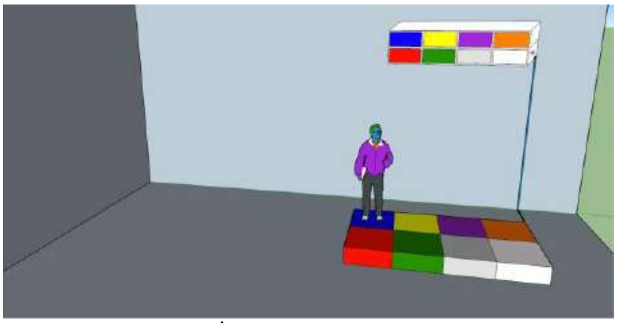
4. กิจกรรมเตรียมความพร้อมของทักษะต่างๆ ที่เป็นพื้นฐานทางการศึกษา เช่น ฝึกทักษะการเขียน ฝึกทักษะการอ่าน เป็นต้น เพื่อส่งเสริมการรับรู้และเรียนรู้

5. กิจกรรมฝึกทักษะการเคลื่อนไหว กระตุ้นการชันคอ การคลาน การเดิน [13]

## 3. ผลการดำเนินงาน

เมื่อทำการออกแบบและสร้างเครื่องกระตุ้นระบบประสาทส่วนขาสัมผัสสำหรับผู้พิการออทิสติก เรียบร้อยในลำดับต่อไปเป็นขั้นตอนการทดสอบใช้งานและหาประสิทธิภาพ

### 3.1 แบบจำลองการใช้งาน



**รูปที่ 4** แบบจำลองการใช้งาน

โดยจะมีอยู่ 2 ส่วน คือ เบาะสีสัน ทำหน้าที่รับค่าต่างๆ จากการกดสวิตซ์ความดันภายในเบาะ และกล่องไฟทำหน้าที่แสดงผลพร้อมเสียงเพลงเอ็มพี3 ตามแต่ละตำแหน่งนั้นๆ เช่น กดสีน้ำเงิน ไฟติดสีน้ำเงินมีเสียงลิง เป็นต้น

### 3.2 ผลการประเมินก่อนและหลังใช้เครื่อง

ตารางที่ 1 ผลรวมของแบบประเมินความสามารถในการใช้ เครื่องกระตุ้นระบบประสาทส่วนขาสัมผัสสำหรับผู้พิการออทิสติก จำนวน 20 คน (ก่อนการใช้เครื่อง)

| ที่ | รายการที่ประเมิน | ค่าเฉลี่ย | เกณฑ์การประเมิน |
|---|---|---|---|
| 1 | **ด้านพฤติกรรม** | | |
| | การเดินไปตำแหน่งที่ต้องการ | 2.2 | น้อย |
| | เตะลูกฟุตบอล | 2 | น้อย |
| | หมุนตัว | 2.1 | น้อย |
| 2 | **ด้านการสั่งงานขาและเท้า** | | |
| | การยืนและนั่ง | 2.2 | น้อย |
| | การย่อตัว | 2.4 | น้อย |
| | การย่ำเท้า | 2.1 | น้อย |
| 3 | **ด้านทักษะในการใช้ชีวิตประจำวัน** | | |
| | การเดิน | 2.5 | น้อย |
| | การวิ่ง | 2.4 | น้อย |
| | การนั่ง | 2.1 | น้อย |
| | **เฉลี่ยรวมทุกด้าน** | **2.222** | **น้อย** |

ตารางที่ 2 ผลรวมของแบบประเมินความสามารถในการใช้ เครื่องกระตุ้นระบบประสาทส่วนขาสัมผัสสำหรับผู้พิการออทิสติก จำนวน 20 คน (หลังการใช้เครื่อง)

| ที่ | รายการที่ประเมิน | ค่าเฉลี่ย | เกณฑ์การประเมิน |
|---|---|---|---|
| 1 | **ด้านพฤติกรรม** | | |
| | การเดินไปตำแหน่งที่ต้องการ | 4.4 | มาก |
| | เตะลูกฟุตบอล | 3.8 | มาก |
| | หมุนตัว | 4.2 | มาก |
| 2 | **ด้านการสั่งงานมือและนิ้ว** | | |
| | การยืนและนั่ง | 4.5 | มาก |
| | การย่อตัว | 4.2 | มาก |
| | การย่ำเท้า | 4.1 | มาก |
| 3 | **ด้านทักษะในการใช้ชีวิตประจำวัน** | | |
| | การเดิน | 4 | มาก |
| | การวิ่ง | 4.2 | มาก |
| | การนั่ง | 4.4 | มาก |
| | **เฉลี่ยรวมทุกด้าน** | **4.2** | **มาก** |

ผลการประเมินผลจาก ตารางที่ 1 กับตารางที่ 2 สังเกตได้ว่าพฤติกรรมในแต่ละด้านของการทดสอบก่อนใช้เครื่องและหลังจากใช้เครื่องมีความแตกต่างกัน จากเกณฑ์การประเมินและมีพัฒนาการดีขึ้น

## 4. สรุป

บทความนี้ได้นำเสนอ เครื่องกระตุ้นทักษะและพัฒนากล้ามเนื้อส่วนขาสำหรับผู้พิการออทิสติก โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูลAVR โดยใช้ IC Atmega328 เป็นตัวประมวลผล รับ-ส่งข้อมูลโดยรับ-ส่งข้อมูลผ่านพอร์ตอนุกรมRS232 เป็นตัวรับ-ส่งข้อมูลจะใช้ขา Tx และ Rx ในการรับส่งข้อมูลถึงกัน ผลการทดลองกับผู้พิการออทิสติก

จำนวน20คน หลังจากใช้เครื่องแล้วผลการประเมินในแต่ละด้านมีพัฒนาการดีขึ้น

## 5.ขอบคุณศูนย์บริการออทิสติก จังหวัดขอนแก่น

ตั้งอยู่ เลขที่ 107/10 หมู่ 12 ต.ในเมือง อ.เมือง ขอนแก่น 40000 โทรศัพท์ 043-238-070

## เอกสารอ้างอิง

[1] จริยา จุฑาภิสิทธิ์ และจุฑามาส วรโชติกำจร, 2554.กลุ่มอาการออทิซึม. (ออนไลน์). แหล่งที่มา : http://haamor.com/th. 8 สิงหาคม 2558.

[2] มาร์ค คอปปิ้น. 2557. Look At Me แอปสำหรับฝึกพัฒนาการเพื่อเด็กออทิสติกโดยเฉพาะ. (ออนไลน์). แหล่งที่มา : http://www.dailytech.in.th/look-at-me/ 29 ธันวาคม 2558.

[3] นายธงชัย ลาน้ำเที่ยง และนายฉัตรชัย มาวรรณา, 2558 เครื่องกระตุ้นระบบประสาทแบบมือสัมผัสสำหรับผู้พิการออทิสติก 15 กันยายน 2558.

[4] ทวีศักดิ์ สิริรัตน์เรขา. การบำบัดทางเลือก ในเด็กพิเศษ.(ออนไลน์). แหล่งที่มา: http://www.happyhomeclinic.com/ 11 กันยายน 2557.

[5] ชัยวัฒน์ ลิ้มพรจิตรวิไล. 2557 ทดลองและใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ ATmega128 ด้วยโปรแกรมภาษา C กับซอฟต์แวร์ Wiring. (ออนไลน์). แหล่งที่มา: http://www.chulabook.com/ 11 สิงหาคม 2558.

[6] เอกชัย มะการ. 2558 เรียนรู้ เข้าใจ ใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AVR ด้วย Arduino. (ออนไลน์). แหล่งที่มา: http://www.ett.co.th/product2009/BOOKS/cArduino.html/ 15กันยายน 2557.

[7] ชาญวิทย์ พรนภดล. 2545. Autism and the Pervasive Developmental Disorders. (ออนไลน์). แหล่งที่มา: http://haamor.com/th. 5 สิงหาคม 2558.

[8] ศมิทธิ์ เอมสมบัติ. 2553. การใช้งานพอร์ตอนุกรมRS232. (ออนไลน์). แหล่งที่มา: http://www.thaieasyelec.com/article-wiki/basic-electronics/uart-ttl-rs232-max232-max3232.html. 21 กันยายน 2558.

[9] ประภาส สุวรรณเพชร. 2557. ทำบูตโหลดเดอร์. (ออนไลน์). แหล่งที่มา: http://praphas.com/. 13 ตุลาคม 2558.

[10] อดิศักดิ์ ชัยนาวงศ์. 2543. การติดต่อสื่อสารผ่านพอร์ตอนุกรม. (ออนไลน์). แหล่งที่มา: http://www.adisak51.com/page06_1.html. 13 กันยายน 2558.

[11] นอร์ดอฟฟ์. 2557. ดนตรีบำบัดกับเด็กออทิสติก. (ออนไลน์). แหล่งที่มา: http://www.janthayanond.com/. 11 กันยายน 2558.

[12] วีศักดิ์ สิริรัตน์เรขา. 2548.ออทิสติกกับความสามารถพิเศษ. กรุงเทพฯ (ออนไลน์). แหล่งที่มา: http://www.happyhomeclinic.com/au02-autism.htm. 2 สิงหาคม 2558.

[13] พญ. นันทกรณ์ เอื้อสุนทรวัฒนา. 2554. หรือว่าลูกเราเป็น…ออทิสติก. (ออนไลน์). แหล่งที่มา: http://www.aiglemag.com/home. 15 พฤษภาคม 2558.

[14] พญ.สุพาพรรณวดี ฟู่เจริญ. 2553. จะทราบได้อย่างไรว่าลูกเราเป็นออทิสติก. (ออนไลน์). แหล่งที่มา: https://www.bumrungrad.com/healthspot/august-2014/how-to-know-if-your-child-is-autistic. 2 สิงหาคม 2556.

**บทความวิจัย**

การประชุมวิชาการ งานวิจัยและพัฒนาเชิงประยุกต์ ครั้งที่ 8

*8th ECTI-CARD 2016, Hua Hin, Thailand*

# ระบบการเข้ารหัสข้อความสำหรับรหัสคิวอาร์

# Character-based Encryption System for Quick Response Code

**ณภัทร ยิ้มจันทร์[1] โสรยา สิงสาโร[2] ผุสดี มุหะหมัด[2] และ ลัดดา ปรีชาวีรกุล [1]**

[1]ภาควิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ตู้ปณ. 3 คอหงส์ อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา 90110 E-mail: nn.yimjan@gmail.com, ladda.p@psu.ac.th

[2]หน่วยเครื่องมือกลาง คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา 90110 E-mail: {soraya.si , phutsadee.m}@psu.ac.th

## บทคัดย่อ

ข้อมูลเป็นหนึ่งในปัจจัยหลักในการดำเนินธุรกิจ การมีข้อมูลทำให้มีข้อได้เปรียบสำหรับการวางแผนงาน และการรักษาความปลอดภัยของข้อมูลนั้นก็จำเป็นเช่นกัน ข้อมูลถูกนำเสนอในหลากหลายรูปแบบ เพื่อสะดวกต่อการใช้งาน หนึ่งในรูปแบบนั้นคือ รหัสคิวอาร์ โดยรหัสคิวอาร์สามารถอ่านได้ผ่านทางกล้องของอุปกรณ์สื่อสารเคลื่อนที่ หรือ อุปกรณ์สำหรับอ่านรหัสคิวอาร์ อย่างไรก็ตาม ข้อมูลในรหัสคิวอาร์ไม่สามารถอ่านได้ด้วยตาเปล่า ซึ่งทำให้ผู้ไม่หวังดีสามารถแก้ไขดัดแปลงเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ในทางไม่ดี เช่น การ phishing URL ที่มีการทำธุรกรรมทางการเงิน เพื่อหลอกเอาข้อมูลส่วนตัวของผู้ใช้ ดังนั้นบทความวิจัยนี้จึงเสนอ ขั้นตอนวิธีการเข้ารหัสข้อความก่อนจะทำการสร้างรหัสคิวอาร์ โดยมีกรณีศึกษาคือการเพิ่มความปลอดภัยให้กับระบบจัดการสารสนเทศห้องปฏิบัติการ (QR-LIMS) ของหน่วยเครื่องมือกลาง คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ โดยทำการเก็บผลการวิเคราะห์ตัวอย่างไว้ในรหัสคิวอาร์ และทำการแจกจ่ายให้ผู้ที่ขอใช้บริการทดสอบตัวอย่าง จากการศึกษา พบว่ารหัสคิวอาร์ที่ถูกเข้ารหัสนั้นมีความปลอดภัยในการใช้งานมากกว่ารหัสคิวอาร์ที่ไม่ถูกเข้ารหัส

**คำสำคัญ:** ความปลอดภัย, บาร์โค้ด, รหัสคิวอาร์, อุปกรณ์สื่อสารเคลื่อนที่

## Abstract

Information is one of the main factors in the business. The advantage of having data for planning and information security is needed as well. Information is presented in various formats, a QR code is one of the themes. QR code can be read via the camera of a mobile device or any other device supported them. However, the message in the QR code can be modified. Therefore, this paper proposes algorithm to encrypt the message before creating the QR code. The QR-LIMS of Central Equipment Division, Faculty of Science, Prince of Songkla University is applied to be our case study to increase the security. Stores the results of the sample analysis in the QR code and reports to the customers who request a test sample. The study result shows that the QR code is encrypted secured more than the QR code is not encrypted.

**Keywords:** bar code, mobile device, QR Code, Security

## 1. บทนำ

รหัสคิวอาร์เป็นหนึ่งในรูปแบบการนำเสนอข้อมูลระหว่างผู้รับและผู้ส่งสารในรูปแบบบาร์โค้ดสองมิติเพื่อให้เกิดความถูกต้องแม่นยำในการรับส่งข้อมูลและลดขนาดพื้นที่ในแสดง เช่นที่อยู่ของเว็บไซต์ (URL) แต่การใช้รหัสคิวอาร์นั้นมนุษย์ไม่สามารถอ่านด้วยตาเปล่าได้ อาจมีผู้ไม่หวังอาศัยช่องโหว่นี้ในการแก้ไขดัดแปลงรหัสคิวอาร์เพื่อนำผู้ใช้ไปเข้าสู่เว็บไซต์ที่ถูกสร้างมาเพื่อการหลอกลวง โดยในปีค.ศ. 2012, Narayanan ได้นำเสนอเกี่ยวกับปัญหาที่เกิดขึ้นจากการใช้งานรหัสคิวอาร์และนำเสนอวิธีการใช้งานในชีวิตประจำวันได้อย่างปลอดภัย [1] ต่อมา Krombholz และคณะ ได้สรุปงานวิจัยเกี่ยวกับความปลอดภัยในการใช้งานรหัสคิวอาร์ [2] ซึ่งกล่าวถึงภาพรวมของความปลอดภัยในการใช้งานรหัสคิวอาร์ รูปแบบการโจมตีที่เกิดขึ้นโดยการแก้ไขข้อมูลที่อยู่ในรหัสคิวอาร์ และการออกแบบรหัสคิวอาร์เพื่อการใช้งานอย่างปลอดภัย นอกจากนี้ Bani-Hani และคณะ ได้เสนอการสร้างระบบเพื่อความปลอดภัยของรหัสคิวอาร์ [3] โดยการเข้ารหัสข้อความก่อนที่จะทำการสร้างรหัสคิวอาร์ด้วยวิธีการเข้ารหัสแบบกุญแจสมมาตรอีกทั้งยังทำการตรวจสอบความน่าเชื่อถือของข้อความเพื่อป้องกันภัยคุกคาม เช่น ฟิชชิง (Phishing) ฟาร์มมิ่ง (Pharming) และคำสั่งที่สามารถสั่งให้อุปกรณ์ทำงาน สำหรับงานวิจัยที่เกี่ยวกับความปลอดภัยของการส่งข้อมูล Sen และคณะ ได้เสนอกล่าวถึงการส่งข้อมูลระหว่างผู้ใช้งานอุปกรณ์สื่อสารเคลื่อนที่ [4] โดยจะทำการเข้ารหัสข้อความด้วยวิธีการแบบกุญแจสมมาตร ซึ่งผู้ใช้สามารถเลือกอัลกอริทึม AES หรือ RC4 และใส่กุญแจได้ด้วยตนเองด้วยแล้วทำการสร้างเป็นรหัสคิวอาร์เพื่อส่งให้ผู้ใช้อีกคน ส่วนผู้ใช้ที่ได้รับรหัสคิวอาร์เมื่อต้องการถอดรหัสข้อความต้องใส่กุญแจด้วยตัวเอง

นอกจากนี้ รหัสคิวอาร์ยังได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้อย่างแพร่หลายดังจะเห็นได้จากการประยุกต์ใช้รหัสคิวอาร์กับระบบการจัดการสารสนเทศ

ห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์[5] คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ ซึ่งเป็นระบบที่เก็บ URL ของระบบไว้ในรหัสคิวอาร์และทำการแจกจ่ายให้ผู้เกี่ยวข้องกับการทดสอบตัวอย่างเพื่อลดความผิดพลาดจากการกรอก URL เพื่อเข้าใช้งานระบบ

จากงานวิจัยที่กล่าวมาข้างต้นพบว่าได้มีการประยุกต์ใช้งานรหัสคิวอาร์และการวิจัยเพื่อความปลอดภัย อย่างไรก็ตามยังไม่มีการประยุกต์ใช้การเข้ารหัสแบบกุญแจสมมาตรและถอดรหัสข้อความโดยผู้ใช้ไม่มีส่วนเกี่ยวข้องกับการจดจำกุญแจเพื่อเข้าหรือถอดรหัสผ่านอุปกรณ์สื่อสารเคลื่อนที่ ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงนำเสนอ ระบบเข้ารหัสข้อความชนิดตัวอักษรสำหรับรหัสคิวอาร์ (Character-based Encryption System for Quick Response Code หรือ CES4QR)

## 2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 รหัสคิวอาร์

รหัสคิวอาร์ หรือ QR Code (Quick Responsible Code) คือบาร์โค้ดสองมิติ สามารถอ่านข้อมูลที่ถูกบรรจุอยู่ด้วยอุปกรณ์ที่รองรับเช่นอุปกรณ์สื่อสารเคลื่อนที่ ที่ติดตั้งโปรแกรมอ่านรหัสคิวอาร์ รหัสคิวอาร์สามารถบรรจุข้อมูล ตัวอักษร (Alphanumeric) ไบนารี (Binary) และ คันจิ (Kanji)ได้มีการนำรหัสคิวอาร์มาทำการเก็บข้อมูล URL ซึ่งเป็นข้อมูลชนิดตัวอักษรชนิดหนึ่งเพื่อลดความผิดพลาดในการกรอก URLโดยผู้ใช้และช่วยลดเวลาในการพิมพ์ รหัสคิวอาร์สามารถอ่านข้อมูลได้แม้มีบางส่วนเสียหาย โดยมีโครงสร้างดังภาพ Finder pattern ทำหน้าที่ระบุตำแหน่งและพิกัดเพื่อถอดรหัส ส่วนสีเทา Format information คือส่วนเก็บข้อมูลสำหรับตรวจสอบและแก้ไขข้อผิดพลาดของข้อมูล ส่วนที่เหลือคือ Encode data ส่วนสำหรับเก็บข้อมูล

รูปที่ 1 โครงสร้างรหัสคิวอาร์

### 2.2 วิทยาการเข้ารหัสลับ (Cryptography)

วิทยาการการเข้ารหัสลับ คือศาสตร์ที่ว่าด้วยการอำพรางข้อมูลโดยการเข้ารหัสเพื่อไม่ให้ผู้อื่นสามารถอ่านได้โดยง่ายโดยการดำเนินการเข้าและถอดรหัสนั้น จำเป็นต้องมีกุญแจ (Key) ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือการเข้ารหัสด้วยวิธีการแบบกุญแจสมมาตร โดยใช้กุญแจเพียงดอกเดียวในการเข้าและถอดรหัสข้อความตัวอย่างขั้นตอนวิธี เช่น AES DES RC4 และBlowfish และการเข้ารหัสด้วยวิธีแบบกุญแจอสมมาตร เป็นการใช้กุญแจสองดอกในการเข้าและถอดรหัสข้อความตัวอย่างขั้นตอนวิธี เช่น RSA DSA และECDH

สำหรับขั้นตอนการเข้ารหัสแบบ AES จะทำการเข้ารหัสข้อความเป็นบล็อค ขนาดบล็อคละ 128 บิต ใช้กุญแจขนาด 128 192 และ 256 บิตในการเข้ารหัสและถอดรหัสข้อความโดยมีการทำงานวนซ้ำขึ้นอยู่กับขนาดของกุญแจที่ใช้ในการเข้าและถอดรหัส [6]

ส่วนการเข้ารหัสด้วยกุญแจแบบอสมมาตรที่ใช้กันอย่างแพร่หลายคือ RSA ซึ่งพัฒนาโดย Ron Rivest Adi Shamir และ Leonard Adleman โดยเป็นการเข้ารหัสที่ใช้ความรู้ทางคณิตศาสตร์มอดุลาร์เข้ามาเกี่ยวข้อง โดยกุญแจจะถูกสุ่มขึ้นมาด้วยจำนวนเฉพาะขนาดที่ใหญ่มากซึ่งถูกแบ่งเป็นสองชุด: กุญแจส่วนตัว (Private Key) และกุญแจสาธารณะ (Public Key) แล้วทำการเข้ารหัสโดยใช้กุญแจส่วนตัวหรือกุญแจสาธารณะ [7]

## 3. ระบบการเข้ารหัสและถอดรหัสข้อความสำหรับรหัสคิวอาร์

### 3.1 ระบบ CES4QR

ในการออกแบบโมดูลการเข้ารหัสและถอดรหัสข้อความสำหรับรหัสคิวอาร์ จะคำนึงถึง ความปลอดภัยและความถูกต้องสมบูรณ์ของข้อมูลเป็นหลัก ซึ่งในที่นี้ ข้อมูลที่ถูกเข้ารหัสแล้วเมื่อถูกถอดรหัสก็จะได้ข้อมูลที่มีความสมบูรณ์ดังเดิม ระบบ CES4QR มีการทำงานหลัก 2 ส่วน คือ ***GenQR*** และ ***ScanQR*** ดังรูปที่ 2 และอธิบายการทำงานได้ดังนี้

***GenQR*** คือขั้นตอนการสร้างรหัสคิวอาร์โดยการเข้ารหัสข้อความ (plaintext) ด้วยวิธีการแบบกุญแจสมมาตรด้วยอัลกอริทึม AES ด้วยกุญแจขนาด 128 บิต ก่อนจะทำการสร้างรหัสคิวอาร์ กระบวนการในการสร้างรหัสคิวอาร์ดังรูปที่ 3 และขั้นตอนการทำงานอธิบายได้ดังนี้

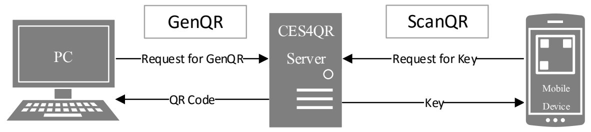
1) ผู้ใช้ส่งข้อความต้นฉบับไปยังเซิร์ฟเวอร์เพื่อสร้างรหัสคิวอาร์
2) เซิร์ฟเวอร์ทำการสร้างกุญแจ (AES Key) สำหรับการเข้ารหัส
3) เซิร์ฟเวอร์ทำการเก็บกุญแจไว้ในฐานข้อมูล
4) เซิร์ฟเวอร์ทำการเข้ารหัสข้อความด้วยอัลกอริทึม AES
5) เซิร์ฟเวอร์ทำการสร้างรหัสคิวอาร์ด้วยข้อความที่ถูกเข้ารหัส
6) เซิร์ฟเวอร์ส่งรหัสคิวอาร์ที่สร้างให้แก่ผู้ใช้

***ScanQR*** คือขั้นตอนการอ่านรหัสคิวอาร์โดยการอ่านรหัสคิวอาร์แล้วทำการถอดรหัสเพื่อให้ได้ข้อความด้วยวิธีการแบบกุญแจสมมาตรด้วยอัลกอริทึม AES ด้วยกุญแจขนาด 128 บิต กระบวนการในการอ่านรหัสคิวอาร์ ดังรูปที่ 4 และขั้นตอนการทำงานอธิบายได้ดังนี้

1) ผู้ใช้ทำการติดตั้งโปรแกรม CES4QR Reader
2) ผู้ใช้ทำการสแกนรหัสคิวอาร์แล้วโดยใช้อุปกรณ์สื่อสารเคลื่อนที่และอุปกรณ์สื่อสารเคลื่อนที่จะทำการส่งข้อความของรหัสคิวอาร์(QR-Message)ไปยังเซิร์ฟเวอร์เพื่อร้องขอกุญแจ

3) เซิร์ฟเวอร์ทำการดึงกุญแจมาจากฐานข้อมูล
4) เซิร์ฟเวอร์เข้ารหัสกุญแจ(AES Key) ด้วยอัลกอริทึม RSA โดยใช้กุญแจส่วนตัว
5) เซิร์ฟเวอร์ส่งกุญแจที่ถูกเข้ารหัสไปยังอุปกรณ์สื่อสารเคลื่อนที่
6) อุปกรณ์สื่อสารเคลื่อนที่ทำการถอดรหัสกุญแจด้วยอัลกอริทึม RSA โดยใช้กุญแจสาธารณะของเซิร์ฟเวอร์

อุปกรณ์สื่อสารเคลื่อนที่นำกุญแจที่ได้มาทำการถอดรหัสข้อความของรหัสคิวอาร์ข้อความต้นฉบับด้วยอัลกอริทึม AES เพื่อให้ได้มาซึ่งข้อความต้นฉบับ




รูปที่ 2 ระบบหลักของ CES4QR

## 4. การพัฒนาระบบ

### 4.1 สภาพแวดล้อมการพัฒนาและทดสอบระบบ

ระบบ CES4QR พัฒนาขึ้นด้วยภาษาจาวา โดยรับส่งข้อมูลผ่าน socket การสร้างและอ่านรหัสคิวอาร์ใช้ไลบรารีของ com.google.zxing ส่วนการเข้ารหัสข้อมูลใช้ไลบรารีของ javax.crypto โดยมีขั้นตอนวิธีในการสร้างและอ่านรหัสคิวอาร์ดังรูปที่ 5 และ 6 ตามลำดับ

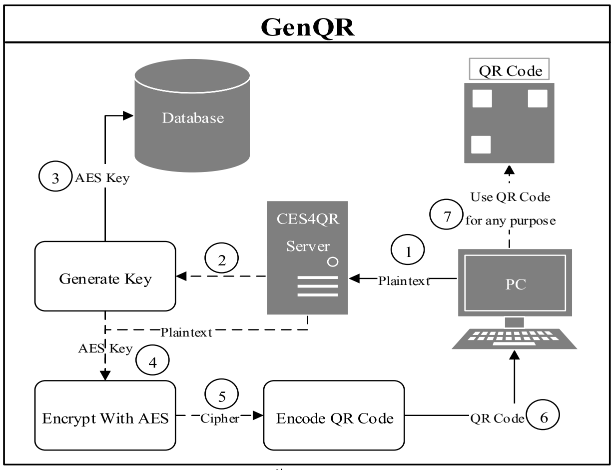
### 4.2 ตัวอย่างการทำงานของระบบ CES4QR

การใช้ระบบ CES4QR ได้ทำการทดสอบกับ ระบบจัดการสารสนเทศห้องปฏิบัติการหน่วยเครื่องมือกลาง คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ โดยนำข้อมูลผลการวิเคราะห์ตัวอย่างทำการเข้ารหัสแล้วสร้างเป็นรหัสคิวอาร์เพื่อส่งให้ลูกค้าผู้ร้องขอการวิเคราะห์ผลโดยมีขั้นตอนการทำงานดังนี้

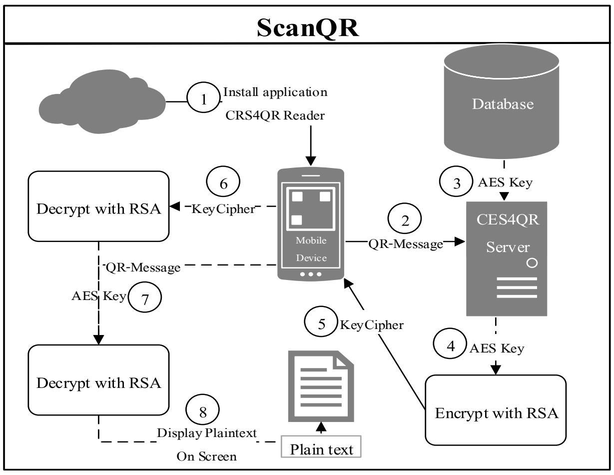
**1)ขั้นตอนการสร้างรหัสคิวอาร์** เมื่อเจ้าหน้าที่ทำการบันทึกผลการทดลองลงในฐานข้อมูลแล้ว ระบบจะนำข้อมูลผลการทดสอบมาทำการเข้ารหัสแล้วบันทึกไว้ในฐานข้อมูล โดยมีตัวอย่างข้อมูลดังตารางที่ 1 ในการเข้ารหัสข้อความต้นฉบับโดยใช้กุญแจที่สุ่มขึ้น ดังตารางที่ 1.ก

**2)ขั้นตอนการส่งอีเมล์** ได้ทำการเข้ารหัสข้อความต้นฉบับแล้วระบบจะทำการนำข้อความไซเฟอร์มาทำการสร้างรหัสคิวอาร์ ผลลัพธ์ดังตารางที่ 1.ข แล้วส่งอีเมลล์ไปยังผู้ขอรับบริการวิเคราะห์ตัวอย่างรับทราบ

**3)ขั้นตอนการถอดรหัส** เมื่อผู้ใช้ทำการใช้อุปกรณ์สื่อสารเคลื่อนที่สแกนรหัสคิวอาร์ผ่านโปรแกรม CES4QR Reader (QR-LIMS version) โปรแกรมจะร้องขอกุญแจจากเซิร์ฟเวอร์เพื่อทำการถอดรหัสข้อความผลลัพธ์ดังตารางที่ 1.ค




รูปที่ 3 ขั้นตอน GenQR




รูปที่ 4 ขั้นตอน ScanQR

```
Algorithm createQR(plain_text, key_lenght)
1:  key = GenerateKey(key_lenght)
2:  cipher_text = EncryptAES(plain_text, key)
3:  StoreCipherAndKey(cipher_text, key)  //store to database
4:  qr_message = CreateQRMessage(cipher_text)
5:  qr_code = Encode(qr_message)
```

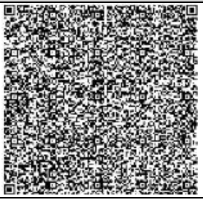
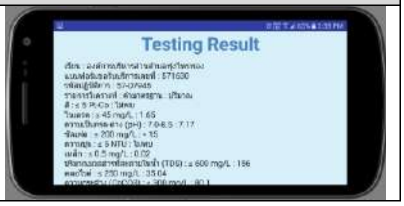
รูปที่ 5 ขั้นตอนวิธีการสร้างรหัสคิวอาร์

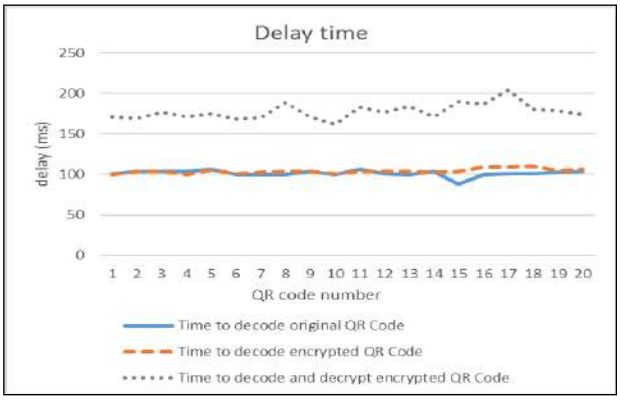
```
Algorithm scanQR (qr_code, user_id)
1: CheckUserAndQR(user_id, qr_code)
2: qr_message = Decode(qr_code)
3: cipher_text = getCipher(qr_message)
4: key = DecryptRSA(getKey(CES4QR_Server), public_key)
5: plain_text = DecryptAES(cipher_text, key)
```

รูปที่ 6 ขั้นตอนวิธีการอ่านรหัสคิวอาร์

ตารางที่ 1 ตัวอย่างข้อมูล

| ก.ข้อความต้นฉบับ |
|---|
| เรียน : บริษัท กรีนรีเวอร์พาเนล (ประเทศไทย) จำกัด<br>แบบฟอร์มขอรับบริการเลขที่ : 530001<br>รหัสปฏิบัติการ : 53-0001<br>รายการวิเคราะห์ : ค่ามาตรฐาน : ปริมาณ<br>สี : ≤ 5 Pt-Co : 1<br>ซัลเฟต : ≤ 200 mg/L : 1<br>ความเป็นกรด-ด่าง (pH) : 7.0-8.5 : 1<br>เหล็ก : ≤ 0.5 mg/L : 1<br>ความขุ่น : ≤ 5 NTU : 1<br>คลอไรด์ : ≤ 250 mg/L : 1<br>ปริมาณมวลสารที่ละลายในน้ำ (TDS) : ≤ 600 mg/L : 1<br>สารพิษอื่นๆ เช่น สารหนู สารตะกั่ว : ต้องไม่มี : 1<br>ความกระด้าง (CaCO3) : ≤ 300 mg/L : 1<br>ไนเตรต : ≤ 45 mg/L : 1 |

| ข.รหัสคิวอาร์ QR Code | ค.ผลลัพธ์การอ่านรหัสคิวอาร์ฝั่งผู้ใช้บริการ |
|---|---|
|  |  |




รูปที่ 7 ระยะเวลาการแปลรหัสคิวอาร์

## 5. ผลการศึกษาและบทสรุป

จากการศึกษาระบบการเข้ารหัสข้อความสำหรับรหัสคิวอาร์ โดยสุ่มตัวอย่างข้อมูล 20 ชุดทำการทดลองชุดละ 5 ครั้ง พบว่าเวลาที่ใช้ในการแปลรหัสคิวอาร์ซึ่งข้อมูลไม่ถูกเข้ารหัสและรหัสคิวอาร์ซึ่งข้อมูลได้ถูกเข้ารหัสนั้นไม่แตกต่าง แต่การอ่านรหัสคิวอาร์ซึ่งข้อมูลถูกเข้ารหัสนั้นใช้เวลามากขึ้นประมาณ 75% เมื่อเทียบกับการอ่านรหัสคิวอาร์ซึ่งข้อมูลไม่ถูกเข้ารหัส เวลาที่เพิ่มขึ้นคือเวลาที่ใช้ในการถอดรหัสข้อความดังรูปที่ 7 อย่างไรก็ตาม เนื่องจากข้อมูลที่ใช้ในการทดสอบเป็นข้อมูลเฉพาะสำหรับผู้ขอรับบริการวิเคราะห์ตัวอย่างเท่านั้นไม่สามารถเผยแพร่ให้ผู้ไม่มีส่วนเกี่ยวข้อง เมื่อต้องแลกกับการที่ข้อมูลไม่ถูกคัดแปลงเห็นได้ว่าความปลอดภัยของข้อมูลสำคัญกว่าดังนั้นการที่ใช้เวลาอ่านรหัสคิวอาร์เพิ่มขึ้นเพื่อแลกกับความปลอดภัยของข้อมูลถือได้ว่าเหมาะสม การประยุกต์ใช้กับระบบ QR-LIMS สามารถป้องกันการถูกปลอมแปลงรหัสคิวอาร์ได้ดี

## เอกสารอ้างอิง

[1] Sankara Narayanan: “QR Code and Security Solution”; International Journal of Computer Science and Telecommunications Volume 3, Issue 7, pp.69-72, July 2012.

[2] Katharina Krombholz, Peter Frühwirt, Peter Kieseberg, Ioannis Kapsalis, Markus Huber, Edgar Weippl: "QR Code Security: A Survey of Attacks and Challenges for Usable Security"; Lecture Notes in Computer Science, pp. 79-90, 2014.

[3] Raed Bani-Hani, Yarub Wahsheh, Mohammad Al-Sarhan: “Secure QR Code System”; 10th International Conference on Innovations in Information Technology (IIT'14), At Al-Ain, UAE, November 2014.

[4] Abhijit Sen, Yourdon Jou: "Secure Data Transmission Technique for iPhone using Quick Response Code”; MI-BEST-2015. Vol. 1, pp. 53-62, 2015.

[5] ชีวิน ชนะวรรโณ, เนาวัล ศิริพัธนะ, ผุสดี มุหะหมัด และลัดดา ปรีชาวีรกุล: “การประยุกต์ใช้ QR code กับระบบการจัดการสารสนเทศห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์”; ECTI-CARD Proceedings เชียงใหม่ ประเทศไทย ,2014.

[6] “Advance Encryption Standard”; Federal Information Processing Standards Publication 197, November 2001.

[7] Ronald Rivest, Adi Shamir, Len Adleman: “A Method for Obtaining Digital Signatures and Public-Key Cryptosystems”; MIT Laboratory for Computer Science Communications of the ACM, February 1978.

นาย ณภัทร ยิ้มจันทร์
นักศึกษา ปริญญาตรี ภาควิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์
คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
งานวิจัยที่สนใจเกี่ยวกับ Information Security

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ลัดดา ปรีชาวีรกุล
อาจารย์ประจำภาควิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์
คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
งานวิจัยที่สนใจเกี่ยวกับ Information Security

**บทความวิจัย**

การประชุมวิชาการ งานวิจัยและพัฒนาเชิงประยุกต์ ครั้งที่ 8

*8th ECTI-CARD 2016, Hua Hin, Thailand*

# การออกแบบและประยุกต์ใช้เซ็นเซอร์สัมผัสแบบเมตริกสำหรับการตรวจจับตำแหน่งวัตถุบนพื้น

# The design and application of matrix tactile sensor for detect the position of objects on the ground

**ศราวุธ ขุนประเสริฐ[1] สมศักดิ์ มิตะถา[1] สมรักษ์ เพชรชาตรี[2] และ ศวัสกร ไชยสุนทร[3]**

[1]ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

1 ซอยฉลองกรุง1 ถนนฉลองกรุง เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

[2]ฝ่ายวิจัยและพัฒนา สำนักงานใหญ่ บริษัท กสท โทรคมนาคม จำกัด (มหาชน)

99 ถนนแจ้งวัฒนะ แขวงทุ่งสองห้อง เขตหลักสี่ กรุงเทพฯ 10210

[3]สาขาวิชาเทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง

แขวงหัวหมาก เขตบางกะปิ กรุงเทพมหานคร 10240, E-mail: sawatsakorn_c@hotmail.com

## บทคัดย่อ

บทความนี้เกี่ยวกับการออกแบบและประยุกต์ใช้งานเซ็นเซอร์สัมผัสแบบเมตริกเพื่อใช้ในการตรวจจับตำแหน่งของวัตถุบนพื้น ซึ่งสามารถนำไปใช้ในงานหลายด้าน เช่น การตรวจจับความเคลื่อนไหวในพื้นที่หวงห้ามสำหรับงานด้านการรักษาความปลอดภัย การนำไปใช้แจ้งเตือนผู้สูงอายุหกล้มในอาคารสูงสำหรับงานด้านสุขภาพ การนำไปใช้ตรวจสอบความถูกต้องในการวางเท้าของนักกีฬาเทควันโด้สำหรับงานด้านกีฬา เป็นต้น โดยในปัจจุบันเทคโนโลยีที่ใช้ในการตรวจจับตำแหน่งของวัตถุบนพื้นได้มีการพัฒนาไปอย่างมาก ซึ่งงานวิจัยชิ้นนี้ได้ทำการออกแบบและประยุกต์ใช้เซ็นเซอร์สัมผัสมาใช้เป็นอุปกรณ์ตรวจจับ โดยสามารถขยายการติดตั้งได้ตามพื้นที่จริงและมีความละเอียดของส่วนรับสัมผัสอยู่ที่ 400 จุดต่อตารางเมตรซึ่งละเอียดเพียงพอในการตรวจจับตำแหน่งรวมไปถึงรูปทรงของพื้นผิววัตถุที่มาสัมผัสอุปกรณ์ได้

คำสำคัญ: เซ็นเซอร์สัมผัส, การตรวจจับตำแหน่ง

## Abstract

This article is about the design and application of metrics tactile sensors for detect the position of objects on the ground which can be used in many applications such as movement detect in restricted areas for security. Notify falls in elderly high-buildings for health. Check The athlete's stride of Taekwondo sport. The current technology used to detect the location of objects on the ground has improved so much. This research has designed and applied a detector using tactile sensor that can extend according actual space. The resolution of the exposure is 400 points per square meter which has sufficient resolution to detect the position and shape of the surface.

Keywords: Tactile Sensor, Position Detection

## 1. บทนำ

เทคโนโลยีในการตรวจจับตำแหน่งของวัตถุบนพื้นได้มีการพัฒนามาเป็นอย่างมาก[13][14] โดยมีเป้าหมายในการพัฒนาเทคนิควิธีการวัด เครื่องมือ เซ็นเซอร์ใหม่ๆเพื่อให้มีความแม่นยำและความละเอียดในการตรวจจับมากยิ่งขึ้น อีกทั้งยังมีความต้องการในการใช้ค่าที่ได้จากการตรวจจับไปประมวลผลทางด้านอื่นด้วย[3] เช่น การจำแนกแยกประเภทวัตถุที่มาสัมผัส การหามุมของแรงที่มากระทำ การหาน้ำหนักของและมวลของวัตถุ การประมวลผลภาพจากข้อมูลเซ็นเซอร์ เป็นต้น

งานวิจัยนี้จึงได้มีการพัฒนาการตรวจจับตำแหน่งของวัตถุบนพื้นด้วยเครือข่ายเซ็นเซอร์สัมผัส โดยใช้โฟมนำไฟฟ้าในการสร้างสัญญาณการตรวจวัดซึ่งง่ายต่อการพัฒนาและติดตั้ง อีกทั้งมีความละเอียดของส่วนรับสัมผัสอยู่ที่ 400 จุดต่อตารางเมตรซึ่งเพียงพอในการแยกความแตกต่างของวัตถุที่มาสัมผัส การสื่อสารจะใช้การสื่อสารแบบอนุกรม RS-485 ซึ่งทำให้สามารถขยายการติดตั้งอุปกรณ์ไปตามพื้นผิวจริงได้ ในส่วนของต้นทุนในการผลิตจะถูกกว่าเมื่อเทียบกับประเภทอื่นที่ความละเอียดเท่ากัน[11]

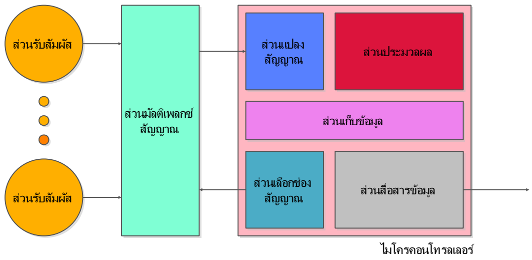
## 2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 เซ็นเซอร์สัมผัส

เซ็นเซอร์สัมผัสหรือแทคไทด์เซ็นเซอร์[1][9] คือ เซ็นเซอร์ที่ใช้ในการตรวจจับการสัมผัสนิยมใช้เป็นผิวหนังเทียมของหุ่นยนต์ ส่วนใหญ่มักจะนำมาใช้ประกอบกับการควบคุมวัตถุ เช่น การยกและการจับวัตถุที่มีพื้นผิวแตกต่างกัน การตรวจหาตำแหน่งและการเคลื่อนที่ของวัตถุที่สัมผัส เป็นต้น นอกจากนี้ยังสามารถประยุกต์ใช้งานได้หลากหลายขึ้นอยู่กับลักษณะงานและชนิดของอุปกรณ์ที่นำมาใช้ทำเซ็นเซอร์ โดยสามารถจำแนกได้เป็นหลายประเภทตามเทคนิคในการสร้างสัญญาณ

สำหรับการตรวจวัด เช่น เพียโซอิเล็คทรอนิค แสตนเกต อุณหภูมิ อัลตราโซนิค สนามแม่เหล็กไฟฟ้า คาปาซิทีฟ รีซิสทีป แสง เป็นต้น

[1] งานวิจัยที่เกี่ยวกับการพัฒนาเซ็นเซอร์สัมผัสมักมีอยู่ 3 ส่วน ส่วนแรกจะเป็นการพัฒนาตัวเซ็นเซอร์ให้ตอบสนองอย่างรวดเร็วต่อแรงที่กระทำจากภายนอกซึ่งจะเป็นการนำวัสดุที่คุณสมบัติทางกายภาพที่เหมาะสมมาใช้ทำตัวเซ็นเซอร์ ส่วนที่สองจะเป็นการพัฒนาเทคนิคหรือวิธีในการทำให้เซ็นเซอร์มีสัญญาณสำหรับการตรวจวัดที่เสถียร สามารถทำซ้ำเซ็นเซอร์และขยายได้ตามพื้นผิวที่จะติดตั้ง อีกทั้งต้องมีบริเวณไร้การตอบสนองต่ำเมื่อเทียบกับพื้นที่ทั้งหมด [8] ส่วนที่สามจะเป็นการพัฒนาเซ็นเซอร์ให้มีความคงทน ติดตั้งและบำรุงรักษาได้ง่าย

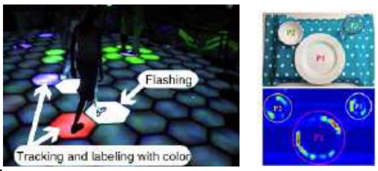



รูปที่ 1 : ส่วนการทำงานต่างๆของเซ็นเซอร์สัมผัส

รูปที่ 1 แสดงส่วนประกอบพื้นฐานของเซ็นเซอร์สัมผัส [1]ประกอบไปด้วยส่วนรับการสัมผัสทำหน้าที่ในการสร้างสัญญาณเมื่อมีวัตถุมาสัมผัสโดยสัญญาณจะเป็นอนาล็อกหรือดิจิตอลจะขึ้นอยู่กับวัสดุอุปกรณ์ที่เลือกใช้ในการทำตัวเซ็นเซอร์ ส่วนมัลติเพลกซ์สัญญาณจะทำหน้าที่ในการแสกนสัญญาณของส่วนรับสัมผัสเข้าไปแปลงสัญญาณที่ไมโครคอนโทรลเลอร์ซึ่งจะแปลงเป็นเป็นข้อมูลดิจิตอลเก็บไว้ที่ส่วนเก็บข้อมูล ส่วนสื่อสารจะทำการส่งข้อมูลไปยังอุปกรณ์เป้าหมาย เช่น คอมพิวเตอร์ประมวลผล เป็นต้น

## 2.2 การตรวจจับตำแหน่งของวัตถุ

เทคโนโลยีที่ใช้สำหรับการตรวจจับตำแหน่งของวัตถุได้พัฒนาไปอย่างมาก เช่น การระบุตำแหน่งบนพื้นผิวโลกด้วยจีพีเอส การตรวจจับตำแหน่งและการเคลื่อนที่ของมนุษย์ด้วยการประมวลผลภาพ การตรวจจับตำแหน่งของวัตถุด้วยการประมวลผลคลื่นสัญญาณอาร์เอฟไอดี[12] เป็นต้น โดยงานวิจัยนี้จะมุ่งเน้นไปที่การตรวจจับตำแหน่งของวัตถุบนพื้น

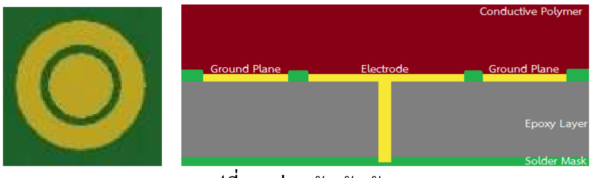



รูปที่ 2 : ตัวอย่างการตรวจจับตำแหน่งของวัตถุบนพื้น

ในปัจจุบันได้มีการวิธีการที่หลากหลายในการพัฒนาอุปกรณ์ให้สามารถตรวจจับตำแหน่งของวัตถุได้แม่นยำพร้อมทั้งมีการเพิ่มความละเอียดและการตอบสนองที่รวดเร็วของอุปกรณ์เพื่อนำไปประมวลผลด้านอื่นด้วย เช่น การหาทิศทางการเคลื่อนที่ของวัตถุดังรูปที่ 2(ซ้าย)[5] การคัดแยกและหาโครงร่างวัตถุที่มาสัมผัสกับอุปกรณ์จากลักษณะสัญญาณต่างๆดังรูปที่ 2(ขวา)[13] เป็นต้น ซึ่งสามารถนำไปต่อยอดพัฒนาเป็นแอพพลิเคชันอื่นได้อย่างมากมาย

## 3. การดำเนินการเพื่อการตรวจจับตำแหน่งของวัตถุ

### 3.1 การออกแบบบอร์ดเซ็นเซอร์สัมผัส




รูปที่ 3 : ส่วนรับสัมผัส

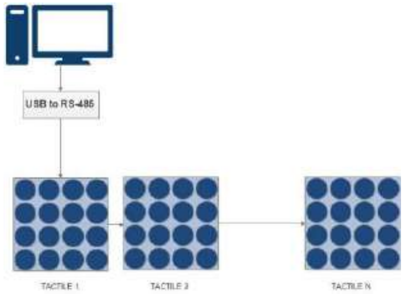
ส่วนรับสัมผัสจะออกแบบให้เป็นวงกลม[7] โดยอิเล็กโทรดมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 เซนติเมตรดังรูปที่ 3(ซ้าย) ล้อมรอบไปด้วยกราวเพลน ในส่วนของชั้นวัสดุต่างๆจะแสดงดังรูปที่ 3(ขวา)

รูปที่ 4 : บอร์ดเซ็นเซอร์สัมผัส

จากรูปที่ 1 จะทำการออกแบบบอร์ดเซ็นเซอร์สัมผัสโดยกำหนดขนาดของบอร์ดที่ 20x20 ตารางเซนติเมตร ความหนาของบอร์ด 2 มิลลิเมตร ประกอบไปด้วยส่วนตรวจจับการสัมผัส 16 เรียงกันเมตริกขนาด 4x4 ดังรูปที่ 4(ซ้าย)

ในส่วนมัลติเพลกซ์สัญญาณจะใช้แบบอนาล็อก 16:1 ส่วนการสื่อสารจะใช้การสื่อสารแบบอนุกรม RS-485 ซึ่งสนับสนุนโปรโตคอลมาตรฐานเช่น ModbusRTU, Feildbus Network เป็นต้นโดยไมโครคอนโทรลเลอร์และวงจรอิเล็คทรอนิคต่างๆจะอยู่ด้านหลังของบอร์ดและทำการทากาวเพื่อประกบแผ่นโฟมนำไฟฟ้าหนา 1 เซนติเมตรที่ด้านหน้าของบอร์ดดังรูปที่ 4(ขวา)

### 3.2 การติดตั้งและการทำงานของระบบ




รูปที่ 5 : ภาพรวมระบบ

การติดตั้งบอร์ดเซ็นเซอร์สัมผัสเพื่อใช้ในการตรวจจับตำแหน่งของวัตถุจะต้องมีการวางโครงเหล็กที่พื้นเพื่อป้องกันการเสียหายของวงจรอิเล็กทรอนิคด้านล่างของบอร์ด จากนั้นทำการติดตั้งสายสำหรับจ่ายไฟและสายสัญญาณ RS-485 เป็นอนุกรมไปจนสิ้นสุดที่บอร์ดสุดท้ายดังรูปที่ 5

บอร์ดบอร์ดเซ็นเซอร์สัมผัสแต่ละบอร์ดจะมีเลขไอดีที่ไม่ซ้ำกันเพื่อใช้กำหนดตำแหน่งบนพื้น โดยเมื่อเริ่มการทำงานบอร์ดเซ็นเซอร์สัมผัสจะทำการวนแสกนข้อมูลจากส่วนตรวจจับการสัมผัสมาเก็บไว้ภายในส่วนเก็บข้อมูลของไมโครคอนโทรลเลอร์ เมื่อผู้ใช้ต้องการข้อมูลจะต้องการส่งคำสั่งจากคอมพิวเตอร์มาข้อข้อมูลผ่านการสื่อสาร RS-485 เพื่อไปทำการประมวลผลโดยค่าที่อ่านได้จากเซ็นเซอร์จะมีขนาด 256 ระดับในการแบ่งแยกความแตกต่างของสัญญาณ

## 4. การทดลอง

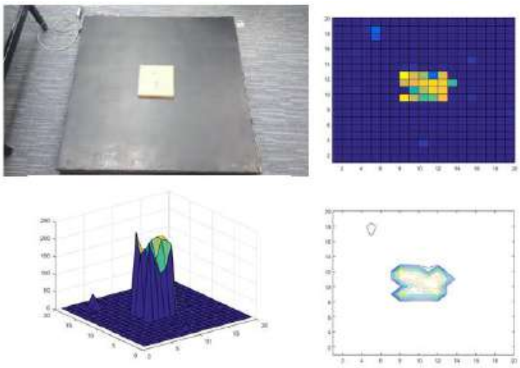
### 4.1 การตั้งค่าการทดลอง

ในส่วนการติดตตั้งอุปกรณ์สำหรับทดลองจะให้บอร์ดเซ็นเซอร์สัมผัสจำนวน 25 บอร์ดมาเชื่อมต่อกันให้มีขนาดพื้นที่ 1 ตารางเมตรและทำการเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์โดยสื่อสารแบบ RS-485 ดังรูปที่ 5

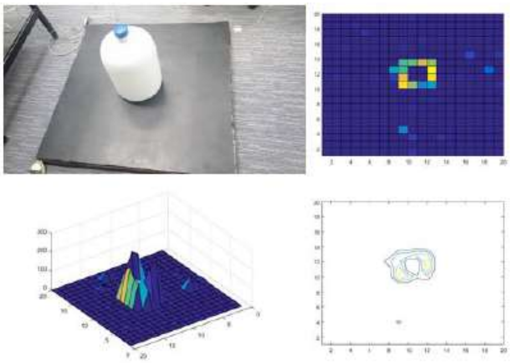
การทดลองแรกจะทำโดยการนำวัตถุรูปทรงต่างกันมาวางบนบนอุปกรณ์ ส่วนการทดลองสองจะให้มนุษย์ทำการยืนและคุกเข่าบนอุปกรณ์ จากนั้นจะวัดค่าจากเซ็นเซอร์เพื่อหาความแตกต่างโดยมีสมมติฐานว่าข้อมูลจากเซ็นเซอร์ที่อ่านมีความละเอียดเพียงพอในการนำมาใช้แยกความแตกต่างของวัตถุที่มีหน้าสัมผัสต่างกันและแสดงให้เห็นถึงรูปทรงของพื้นผิววัตถุที่มาสัมผัสอุปกรณ์ได้

### 4.2 ผลการทดลอง

### 4.2.1 ทดลองโดยใช้วัตถุที่รูปทรงต่างกัน

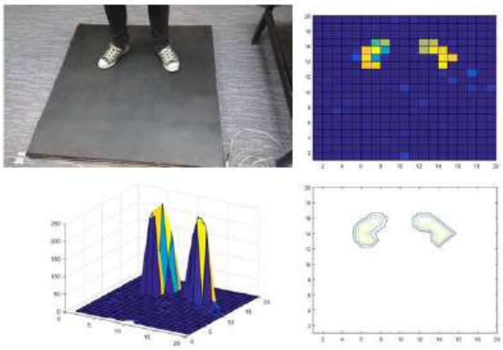


รูปที่ 6 : ทดลองตรวจจับโดยใช้วัตถุสี่เหลี่ยมหนาด 20x20 เซนติเมตร

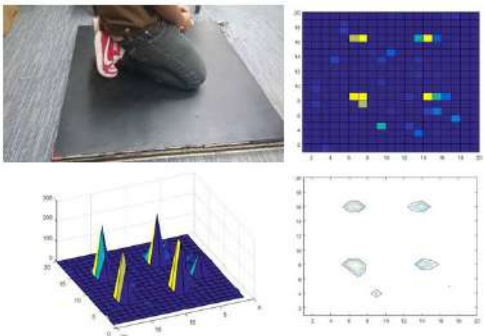


รูปที่ 7 : ทดลองตรวจจับโดยใช้วัตถุที่มีหน้าสัมผัสกลมเส้นผ่าศูนย์กลางขนาด 20 เซนติเมตร

### 4.2.2 ทดลองโดยให้มนุษย์ยืนและนั่งคุกเข่า



รูปที่ 8 : ทดลองตรวจจับโดยการยืน



รูปที่ 9 : ทดลองตรวจจับโดยการคุกเข่า

## 5. สรุป

จากการออกแบบและประยุกต์ใช้เซ็นเซอร์สัมผัสในการตรวจจับตำแหน่งของวัตถุโดยใช้โฟมนำไฟฟ้าในการสร้างสัญญาณการตรวจวัดซึ่งมุ่งหวังว่าอุปกรณ์ที่ได้ทำการออกแบบสามารถเชื่อมต่อเพื่อขยายพื้นที่ในการตรวจจับ พร้อมทั้งมีความละเอียดที่เพียงพอในการระบุตำแหน่งและลักษณะรูปทรงของวัตถุที่สัมผัสกับอุปกรณ์ โดยผลการวิจัยในครั้งนี้โดยการทดลองจับตำแหน่งและรูปทรงโดยใช้วัตถุที่รูปทรงต่างกันสามารถแสดงตำแหน่งและลักษณะรูปทรงของวัตถุที่สัมผัสกับอุปกรณ์ที่แตกต่างกันได้ อีกทั้งยังสามารถระบุตำแหน่งของมนุษย์และแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างของท่าทางที่ต่างกันระหว่างการยืนกับคุกเข่าบนอุปกรณ์ได้ และการใช้การสื่อสารแบบอนุกรมแบบ RS-485 จะช่วยให้สามารถเชื่อมต่อเพื่อขยายพื้นที่ในการตรวจจับได้ ทั้งนี้แสดงให้เห็นว่าเซ็นเซอร์สัมผัสสามารถนำมาใช้ในการการตรวจจับตำแหน่งของวัตถุ โดยมีความละเอียดเพียงพอในการตรวจจับและจำแนกรูปทรงวัตถุที่มาสัมผัสอย่างคร่าวๆ ได้ ซึ่งในอนาคตต้องพัฒนาให้มีความละเอียดมากขึ้นและทดลองหาวัสดุที่จะนำมาใช้ทำส่วนรับสัมผัสให้หลากหลาย รวมไปถึงการประมวลผลข้อมูลที่ได้จากเซ็นเซอร์เพื่อใช้งานในด้านอื่นๆ

## เอกสารอ้างอิง

[1] Somrak Phetchartee . (2014). Tactile Sensors for Force Control and Contact Recognition. Deutschland: Lambert.

[2] K. Weiss and Heinz Wörn, “Resistive Tactile Sensor Matrices using Inter-Electrode Sampling,” IECON 2005, Nov. 2005, pp. 1949-954.

[3] G. Cannata and M. Maggiali, “Processing of Tactile/Force Measurements for a Fully Embedded Sensor,” IEEE International Conference on Multisensor Fusion and Integration for Intelligent Systems, Sep. 2006, pp. 160-166.

[4] T.V. Papakostas, “TACTILE SENSOR: STRETCHING THE LIMITS,” Intelligent Environments, 2007. IE 07. 3rd IET International Conference, 2007, pp. 472-476.

[5] T. Delbruck, A. M. Whatley, R. Douglas, K. Eng, Klaus Hepp and P. F.M.J. Verschure, “A tactile luminous floor for an interactive autonomous space,” Robotics and Autonomous Systems 55, 2007, pp. 433-443.

[6] M. Maggiali, G. Cannata, P. Maiolino, G. Metta, M. Randazzo and G. Sandini, “Embedded Distributed Capacitive Tactile Sensor,” Mechatronics 2008, June 23 25, University of Limerick, Ireland.

[7] J. Castellanos-Ramos, R. Navas-Gonza´lez, H.Macicior, T. Sikora, E. Ochoteco and F. Vidal-Verdu´, “Tactile sensors based on conductive polymers,” Microsyst Technol, 2010, pp. 765-776.

[8] J. A. Sa´nchez-Dura´n, O. Oballe-Peinado, J. Castellanos-Ramos and and F. Vidal-Verdu´, “Hysteresis correction of tactile sensor response with a generalized Prandtl–Ishlinskii model,” Microsyst Technol, 2012, pp. 1127-1138.

[9] P. Silva Girao, P. Miguel Pinto Ramos, O. Postolache and J. Miguel Dias Pereira, “Tactile sensors for robotic applications,” Measurement 46, 2013, pp. 1257-1271.

[10] P. Maiolino, M. Maggiali, G. Cannata, G. Metta and L. Natale, “A Flexible and Robust Large Scale Capacitive Tactile System for Robots,” IEEE SENSORS JOURNAL, VOL. 13, NO. 10, OCTOBER 2013, pp. 3910-3917.

[11] Y. Kaddoura, J. King and A. (Sumi) Hetal, “Cost-Precision Tradeoffs in Unencumbered Floor-base Indoor Location Tracking,” From Smart Home to Smart Care, 2005, pp. 75-82.

[12] T. Kampke, B. Kluge, E. Prassler and M. Strobel, “Robot Position Estimation on RFID-Tagged Smart Floor,” Field and Service Robotics STAR 42, 2008, pp. 201-211.

[13] J. Cheng, M. Sundholm, B. Zhou, M. Hirsch and P. Lukowicz, “Smart-surface: Large scale textile pressure sensors arrays for activity recognition,” Pervasive and Mobile Computing, 2016.

[14] G. Fenf, Y. Yang, X. Guo and G. Wang, “A Smart Fiber Floor for Indoor Target Localization,” IEEE Pervasive Computing (Volume: 14, Issue: 2), 2015, pp. 52-59

# การเปรียบเทียบคุณลักษณะการเดินและการวิ่งของแต่ละบุคคล

# A Comparison of Leg distance between of Running and Walking

**กัญญาภัค ศรีสุข[1] ฆอยรอน อีซอ[2] รุสดี ดอเล๊าะ[2] และ ปภังกร ศรีสุข**
[1]สาขาวิศวกรรม โครงการจัดตั้งคณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัยวิทยาเขตตรัง
179 หมู่ 3 ตำบลไม้ฝาด อำเภอสิเกา จังหวัดตรัง 92150 E-mail: kanyaphak.s@rmutsv.ac.th
[2]สาขาเทคโนโลยี โครงการจัดตั้งคณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัยวิทยาเขตตรัง
179 หมู่ 3 ตำบลไม้ฝาด อำเภอสิเกา จังหวัดตรัง 92150

## บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการเปรียบเทียบการตรวจสอบลักษณะการเดินและการวิ่งของแต่ละบุคคล ลำดับแรกนำลักษณะเด่นคือระยะการก้าวเท้าที่ได้จากภาพเงามนุษย์ที่ได้จากการคำนวณมาขยายเข้าสู่อนุกรมฟูริเยร์ เพื่อที่จะลดความเบี่ยงเบนของลักษณะการก้าวเท้าของการเดินและการวิ่ง จากนั้นข้อมูลที่ได้รับจากการคำนวณถูกนำมาใช้ในการตรวจสอบลักษณะการเดินของแต่ละบุคคล ซึ่งในงานวิจัยฉบับนี้ได้ทำการทดสอบคุณสมบัติการเดินและการวิ่ง โดยใช้ชุดข้อมูลที่สร้างขึ้น ประกอบด้วยข้อมูลของนักศึกษามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย วิทยาเขตตรัง จำนวน 50 คน การเดินและการวิ่งเหล่านี้ได้ถูกบันทึกเป็นไฟล์วีดีโอในมุม 90° ผลที่ได้แสดงเป็นเปอร์เซ็นค่าความผิดพลาดและความถูกต้องซึ่งมีค่าเท่ากับ 5.43% และ 94.57% ตามลำดับ

คำสำคัญ: ลักษณะท่าทางการเดิน, ลักษณะท่าทางการวิ่ง, การเปรียบเทียบ

## Abstract

This paper presents a comparison of leg distance between of running and walking. First, leg distance feature are calculated from the human silhouette image. Then they are expanded into Fourier series to reduce the fluctuation of human running and walking. The Fourier coefficients of the leg distance of running and walking are used as the individual feature for identification. The experiments were performed on a set of data generated by the retention of students, Rajamangala University of Technology Srivijaya, Trang Campus, which contain running and walking data from 50 persons. Walking and running are saved as video files in 90° results were expressed as percentage of the errors and the accuracy of which is equal to 5.43% and 94.57% respectively.

Keywords: running, walking, comparison

## 1. บทนำ

ไบโอเมตริก (Biometric) เป็นเทคโนโลยีชีวมาตรที่มีการผสมผสานเทคโนโลยีระหว่างเทคโนโลยีทางด้านชีวภาพทางการแพทย์กับเทคโนโลยีทางคอมพิวเตอร์เข้าด้วยกัน โดยตรวจวัดคุณลักษณะทางกายภาพ (Physical Characteristics) และลักษณะทางพฤติกรรม (Behaviors Characteristics) ที่เป็นลักษณะเฉพาะของแต่ละบุคคลนำมาใช้ในการระบุตัวบุคคลนั้นๆ แล้วนำสิ่งเหล่านั้นมาเปรียบเทียบกับคุณลักษณะที่ได้มีการบันทึกไว้ในฐานข้อมูลก่อนหน้านี้ เพื่อใช้แยกแยะบุคคลนั้นจากบุคคลอื่นๆ จากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมาได้มีการนำเสนอวิธีการตรวจสอบลักษณะการเดินไว้หลายวิธีด้วยกันดังที่ได้มีการนำเสนอไว้ในรายงานฉบับที่ [1], [2], [3], [4] จากวิธีการดังกล่าวผู้วิจัยได้เล็งเห็นและนำลักษณะของการเดิน (Human Walking) และการวิ่ง (Human Running) ซึ่งเป็นคุณลักษณะทางพฤติกรรมของเทคโนโลยีชีวมาตรในการหาคุณลักษณะเด่นจากการเดินและการวิ่งของแต่ละบุคคลมาใช้ในการวิเคราะห์หาความแตกต่างระหว่างทั้งสองพฤติกรรม

วิธีการที่นำเสนอนี้ได้นำภาพที่ได้รับจากไฟล์วีดีโอมาใช้ดึงคุณลักษณะเด่นในการตรวจสอบลักษณะการเดินและการวิ่ง โดยพิจารณาถึงลักษณะเด่นของการเดินและการวิ่งของแต่ละบุคคลนั้นสามารถแสดงได้ด้วยระบบการตรวจสอบลักษณะการเดินและการวิ่ง ลำดับแรกนำลักษณะเด่นคือระยะการก้าวเท้า ซึ่งคำนวณจากภาพเงามนุษย์ ทำการกำหนดมาตรฐานของช่วงเวลาที่ใช้ในการเดินและการวิ่งของแต่ละบุคคลโดยใช้ Piecewise-linear functions และนำข้อมูลที่ได้จากการคำนวณมาขยายเข้าสู่อนุกรมฟูริเยร์เพื่อที่จะลดความเบี่ยงเบนของลักษณะการก้าวเท้าของการเดินและการวิ่ง จากนั้นข้อมูลที่ได้รับจากการคำนวณถูกนำมาใช้ในการตรวจสอบลักษณะการเดินของแต่ละบุคคล งานวิจัยฉบับนี้ใช้ชุดฐานข้อมูลที่สร้างขึ้น ประกอบด้วยชุดข้อมูลการเดินของนักศึกษาจำนวน 50 คน ซึ่งแต่ละคนมีการเดินแบบปกติ 6 รอบ และวิ่งแบบปกติ 6 รอบ การเดินและการวิ่งเหล่านี้ได้ถูกบันทึกเป็นไฟล์วีดีโอในมุม 90° ซึ่งเป็นการเดินและการวิ่งผ่านกล้องวีดีโอมาใช้สำหรับทดสอบดังที่ได้นำเสนอในงานวิจัยฉบับนี้

## 2. กระบวนการเตรียมข้อมูล

ผู้วิจัยตั้งสมมติฐานว่าคุณลักษณะเด่นของการตรวจสอบลักษณะการเดินและการวิ่งสามารถจำแนกได้จากภาพเงามนุษย์ [5] ซึ่งได้รับมาจากไฟล์วิดิโอ กระบวนการกร่อนภาพและกระบวนการขยายภาพได้ถูกนำมาใช้เพื่อกำจัดสิ่งรบกวนบนภาพเงามนุษย์ มีกระบวนการดังนี้

### 2.1 กระบวนการกร่อนภาพ

การลดขอบของวัตถุภายในภาพให้มีขนาดที่บางลงใช้ในการกำจัดสิ่งรบกวนของภาพเงามนุษย์ในส่วนของเงาใต้เท้า และจุดสีที่เกิดขึ้นในภาพซึ่งไม่ใช่องค์ประกอบของภาพเงา แสดงดังรูปที่ 1 และสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (1)

$$E = A \Theta B = \{x, y \mid B_{x,y} \subseteq A\} \quad (1)$$

โดยที่ $A$ คือภาพต้นฉบับ $E$ คือผลลัพธ์ของภาพเงาหลังทำกระบวนการกร่อนภาพ และ $B$ คือองค์ประกอบของโครงสร้าง

### 2.2 กระบวนการขยายภาพ

การเพิ่มขอบของวัตถุในภาพ แสดงดังรูปที่ 1 และสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2)

$$D = E \oplus B = \{x, y \mid B_{x,y} \cap E \neq \varnothing\} \quad (2)$$

โดยที่ $D$ คือผลลัพธ์ของภาพเงาหลังทำกระบวนการขยายภาพ $E$ คือภาพเงาหลังจากการทำกระบวนการกร่อนภาพ และ $B$ คือองค์ประกอบของโครงสร้างแบบ Disk

(ก) (ข) (ค)

**รูปที่ 1** (ก) ภาพต้นฉบับ (ข) ภาพต้นฉบับหลังทำกระบวนการกร่อนภาพ (ค) ภาพหลังทำกระบวนการกร่อนภาพแลกระบวนการขยายภาพ

### 2.3 กระบวนการแปลงภาพโดยใช้หลักการโครงกระดูก

หลักการนี้ได้ถูกนำมาใช้หลังจากการทำกระบวนการกร่อนภาพและกระบวนการขยายภาพถูกนำมาใช้สำหรับการสร้างโครงสร้างหลักของภาพ เพื่อให้ง่ายต่อการกำหนดจุดของปลายเท้าและจุดของส้นเท้า ดังรูปที่ 2 และคำนวณได้จากสมการที่ (3)

$$S(D) = \bigcup_{k=0}^{K}((D \Theta kB) - (D \Theta kB) \circ B) \quad (3)$$

โดยที่ $S(D)$ คือภาพเงาหลังจากผ่านกระบวนการแปลงภาพด้วยด้วยหลักการโครงกระดูก $D$ คือภาพหลังจากผ่านกระบวนการกร่อนภาพและกระบวนการขยายภาพ $B$ คือองค์ประกอบของโครงสร้าง $K$ คือค่ามากที่สุดของการกร่อนภาพก่อนที่จะทำการกร่อนภาพแล้วมีค่าเป็นเซตว่าง และ $\circ$ คือกระบวนการเปิดเป็นการใช้กระบวนกร่อนภาพแล้วตามด้วยกระบวนการขยายภาพ

(ก) (ข)

**รูปที่ 2** (ก) ภาพต้นฉบับ (ข) ภาพหลังจากทำกระบวนการแปลงภาพโดยใช้หลักการโครงกระดูก

## 3. การดึงคุณลักษณะเด่น

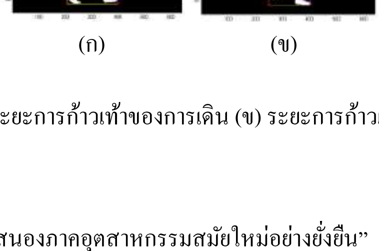
การกำหนดสัดส่วนเฉพาะส่วนของร่างกายเพื่อที่จะทำการหาคุณลักษณะเด่นที่เป็นเอกลักษณ์เฉพาะตัวนั้น ร่างกายของมนุษย์ช่วงล่าง (Lower limb : รยางค์ล่าง) เป็นส่วนที่ผู้วิจัยได้เลือกมาใช้ในประมวลผลเพื่อหาคุณลักษณะเด่นคือ ระยะของการก้าวเท้า

### 3.1 ระยะการก้าวเท้า

ระยะการก้าวเท้านั้นเป็นการคำนวณจากจุดปลายเท้าด้านหน้า x ไปยังจุดส้นเท้าด้านหลัง y ดังรูปที่ 3 และระยะการก้าวเท้าสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ (4)

$$f_i(t) = \sqrt{((x_{max leg} - x_{min leg})^2 + (y_{max leg} - y_{min leg})^2)} \quad (4)$$

โดยที่ $x_{min\ leg}$ คือจุดของปลายเท้าด้านหน้าในแนวแกน $x$
$y_{min\ leg}$ คือจุดของปลายเท้าด้านหน้าในแนวแกน $y$
$x_{max\ leg}$ คือจุดของส้นเท้าด้านหลังในแนวแกน $x$
$y_{max\ leg}$ คือจุดของส้นเท้าด้านหลังในแนวแกน $y$



(ก) (ข)

**รูปที่ 3** (ก) ระยะการก้าวเท้าของการเดิน (ข) ระยะการก้าวเท้าของการวิ่ง

### 3.2 กำหนดมาตรฐานจำนวนช่วงเวลา

เพื่อที่จะทำให้ข้อมูลที่แสดงคุณลักษณะเฉพาะของลักษณะการเดินและการวิ่งให้มีช่วงเวลาที่ใช้ในการเดินและการวิ่งที่เป็นมาตรฐานเดียวกัน (Normalization of duration time) ซึ่งเป็นการลดค่าความเบี่ยงเบนที่เกิดจากจำนวนของช่วงเวลาและเพื่อที่จะกำหนดมาตรฐานของช่วงเวลาที่ใช้ในการเดินและการวิ่งของแต่ละบุคคลจึงใช้สมการ Piecewise-linear functions (PLFs) ของการเดินและการวิ่ง $f_i(t_n)$ สมการ Piecewise-linear functions กำหนดได้ดังสมการที่ (5)

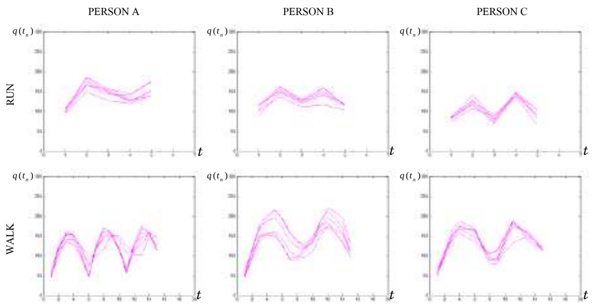
$$q(t) = \sum_{n=0}^{N} q(t_n)\phi_n(t),\ (t \in T), \quad (5)$$
$$(q = f_i(t_n)),$$

จาก $\phi_n(t)$ สามารถกำหนดเงื่อนไขที่แสดงได้ดังสมการที่ (6)

$$\phi_n(t) = \begin{cases} \dfrac{t - t_{(n-1)}}{t_n - t_{(n-1)}}, & t \in [t_{(n-1)}, t_n] \\ \dfrac{t_{(n+1)} - t}{t_{(n+1)} - t_n}, & t \in [t_n, t_{(n+1)}] \\ 0, & t \notin [t_{(n-1)}, t_{(n+1)}] \end{cases}, . \quad (6)$$

โดยที่ $q(t_n)$ คือคุณลักษณะเด่นของการเดินและการวิ่งของแต่ละบุคคล ณ เวลาที่ $T = T_n$, $\phi_n(t)$ คือค่าเงื่อนไขทางเวลา $T$ คือช่วงเวลาที่ใช้ในการเดินและการวิ่ง $q(t)$ คือคุณลักษณะเด่นของการเดิน การวิ่ง หลังการกำหนดมาตรฐานของช่วงเวลาใหม่

สมการที่ (5) ถูกนำมาใช้ในการกำหนดมาตรฐานของช่วงเวลาในขณะที่ $T = T_n$ ซึ่ง $T_n$ สามารถกำหนดได้จากการวิ่งและการเดินของบุคคลที่นำมาใช้เป็นข้อมูลอ้างอิง ดังรูปที่ 4




**รูปที่ 4** กำหนดคุณลักษณะเด่นของคุณลักษณะของการวิ่งและการเดินให้อยู่ในมาตรฐานเดียวกัน

### 3.3 การกระจายคุณลักษณะเฉพาะของลักษณะการเดินและการวิ่งลงในอนุกรมฟูริเยร์

หลังจากข้อมูลคุณลักษณะเด่นผ่านกระบวนการกำหนดมาตรฐานของช่วงเวลา เพื่อเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของการตรวจสอบเพื่อที่จะลดค่าความเบี่ยงเบนและดึงคุณลักษณะเด่นของการเดินและการวิ่งคือ ระยะของการก้าวเท้า ผู้วิจัยได้นำแต่ละคุณลักษณะเด่นดังกล่าวมากระจายลงสู่อนุกรมฟูริเยร์ (Fourier series) ซึ่งแสดงดังสมการที่ (7)

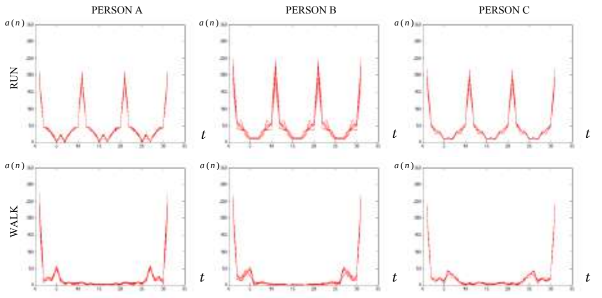
$$\hat{f}_r(t) = \frac{a_r(0)}{2} + \sum_{n=1}^{N}\left[a_r(n)\cos(n\omega_o t)\right], \quad (7)$$

ดังนั้นจากสมการ การที่จะคำนวณหาคุณลักษณะเด่นโดยการหาค่าสัมประสิทธิ์ของอนุกรมฟูริเยร์ (Fourier coefficients) ของฟังก์ชันสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ (8)

$$a_r(n) = \frac{4}{T}\int_0^{T/2} f_r(t)\cos(n\omega_o t)dt \quad (8)$$

โดย $a_r(n)$ คือค่าสัมประสิทธิ์ฟูริเยร์ $N$ คือจำนวนของค่าสัมประสิทธิ์ฟูริเยร์ $(\omega_o = 2\pi / T)$, $(r = f_i(t_n))$, $(n = 0,1,2,\ldots,N)$

ค่าสัมประสิทธิ์ฟูริเยร์ $a_r(n)$ ของคุณลักษณะเด่นระยะการก้าวเท้าของทั้งการวิ่งและการเดิน จากค่าของคุณลักษณะเด่นจะเห็นได้ว่าค่าสัมประสิทธิ์ฟูริเยร์ที่คำนวณได้จากบุคคลเดียวกันมีความคล้ายคลึงกันและมีความแตกต่างกันเมื่อเปรียบเทียบกับบุคคลอื่นในแต่ละส่วนของการเดินและการวิ่ง ตามลำดับ ดังรูปที่ 5




**รูปที่ 5** ค่าสัมประสิทธิ์ฟูริเยร์ของคุณลักษณะเด่นการก้าวเท้าของการวิ่งและการเดิน

### 4. การตรวจสอบท่าทางการเดิน

ขั้นตอนนี้ค่าสัมประสิทธิ์ฟูริเยร์ของคุณลักษณะเด่นที่ได้รับในขั้นตอนที่ผ่านมาถูกนำมาใช้ในการตรวจสอบคุณลักษณะการเดินของแต่ละบุคคล โดยมีขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 กำหนดเวกเตอร์ที่แสดงคุณลักษณะเด่นดังนี้

$$\mathbf{h}_1' = [h_1(0), h_1(1), \ldots, h_1(M)], \quad (9)$$

$$\mathbf{h}_2' = [h_2(0), h_2(1), \ldots, h_2(M)], \quad (10)$$

ขั้นตอนที่ 2 รวมเวกเตอร์ที่แสดงคุณลักษณะเด่นดังที่กล่าวไว้ในขั้นตอนที่ 1 ดังนี้

$$\mathrm{h}' = [\mathrm{h}_1' \;\; \mathrm{h}_2' \,], \quad (11)$$

ขั้นตอนที่ 3 ตรวจสอบลักษณะการเดินและการวิ่ง

$$\text{ผลการตรวจสอบเป็นจริงเมื่อ } \left\| \mathbf{h}^{(ref)} - \mathbf{h} \right\| < \eta, \quad (12)$$

นอกนั้นจะพิจารณาว่าเป็นตัวปลอม

โดยที่ $\left\| \cdot \right\|$ คือค่าระยะทางแบบยูคลิด (Euclidean Norm)

$\mathbf{h}^{(ref)}$ คือค่าสัมประสิทธิ์ฟูริเยร์อ้างอิง

$\mathbf{h}$ คือค่าสัมประสิทธิ์ฟูริเยร์ที่นำมาทดสอบ

$\eta$ คือค่าขีดแบ่ง (Threshold value) ซึ่งพิจารณาได้จากการเดินและการวิ่งอ้างอิงของแต่ละบุคคล

## 5. ผลการทดลอง

ในงานวิจัยฉบับนี้ ชุดฐานข้อมูลการเดินและการวิ่งที่นำมาใช้เป็นชุดฐานข้อมูลที่สร้างขึ้น โดยเป็นข้อมูลการเดินและวิ่งของนักศึกษามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย วิทยาเขตตรัง จำนวน 50 คน ตั้งเดินในมุม 90° มีลักษณะการเดินและวิ่งผ่านกล้องแบบปกติ จำนวนการเดินทั้งหมด 6 รอบ และการวิ่ง 6 รอบ จากการทดลองผู้วิจัยได้เลือก 1 รอบของการเดินและวิ่งปกติเป็นแบบอ้างอิงของแต่ละคน ซึ่งผลการทดลองแสดงถึงค่าความผิดพลาดและค่าความถูกต้องที่คำนวณได้จากการเปรียบเทียบระหว่างการเดินและการวิ่งดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ค่าความผิดพลาดและค่าความถูกต้องเมื่อทำการเปรียบเทียบระหว่างการวิ่งและการเดิน

| Error Rate (%) | Accuracy Rate (%) |
|---|---|
| 5.43 | 94.57 |

จากตารางที่ 1 แสดงถึงค่าความผิดพลาดและค่าความถูกต้องที่คำนวณได้จากการเปรียบเทียบระหว่างการเดินและการวิ่งของแต่ละบุคคลว่ามีความแตกต่างกันในเชิงเส้นข้อมูลซึ่งมีค่าความผิดพลาดในการเปรียบเทียบความแตกต่างเท่ากับ 5.43% และมีค่าความถูกต้องเท่ากับ 94.57%

## 6. สรุป

ผู้วิจัยได้นำเสนอการเปรียบเทียบลักษณะการเดินและการวิ่งของแต่ละบุคคล ใช้ข้อมูลลักษณะการเดินและการวิ่งของบุคคล 50 คน ข้อมูลการเดินและการวิ่งของแต่ละคนถูกเก็บรวบรวมโดยกล้องเว็บแคม ซึ่งตั้งในตำแหน่งมุม 90° ลักษณะการเดินและการวิ่งของแต่ละบุคคลนั้นมีเอกลักษณ์ที่เป็นคุณสมบัติเฉพาะตัว ไม่ว่าจะเป็นจังหวะการก้าวเท้า ระยะของการก้าวเท้า ซึ่งเป็นคุณลักษณะที่ผู้วิจัยนำมาใช้ในการหาคุณลักษณะเด่น ทั้งนี้คุณลักษณะเด่นดังกล่าวได้ผ่านกระบวนการเตรียมข้อมูลเพื่อให้ข้อมูลอยู่ในมาตรฐานเดียวกัน ผู้วิจัยได้ทำการกำหนดมาตรฐานของช่วงเวลาที่ใช้ในการเดินและการวิ่งของแต่ละบุคคลโดยใช้ Piecewise-linear functions และนำการประมาณค่าสัมประสิทธิ์ฟูริเยร์มาใช้เพื่อเป็นการลดความเบี่ยงเบนของข้อมูล ดึงคุณลักษณะเด่นของข้อมูลจึงทำให้สามารถเห็นได้ชัดว่า การเดินกับการวิ่งมีความแตกต่างกัน จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าวิธีนี้เป็นการตรวจสอบความแตกต่างของลักษณะการเดินและการวิ่งอีกวิธีการหนึ่ง

## เอกสารอ้างอิง

[1] N.V. Boulgouris, D. Hatzinakos, and K.N. Plataniotis, "Gait Recognition: A challenging signal processing technology for biometric identification," IEEE Signal Processing Magazine, Vol. 22, pp.78-90, Dec 2005.

[2] S. Sarkar, P.J. Phillips, Z. Liu, and I.R. Vega, "The HumanID Gait Challenge Problem: Data sets, Performance, and Analysis," IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 32, pp.162-177, Fab 2005.

[3] R. Drills, R. Continti, M. Bluestein, "Body Segment Parameters; A survey of Measurement Techniques", Artificial Limbs, Vol 8, Num 1, pp. 44-66, 1964.

[4] JM. Lien, J. Keyser, and NM. Amato, "Simultaneous Shape Decomposition and skeletonization," In ACM Symposium on Solid and Physical Modeling, 2006, pp.219-228.

[5] BENICHOU, F., AND ELBER, G. Output sensitive extraction of silhouettes from polygonal geometry. In Pacific Graphics'99 Seoul, Korea, October 1999.

**บทความวิจัย**

การประชุมวิชาการ งานวิจัยและพัฒนาเชิงประยุกต์ ครั้งที่ 8

*8th ECTI-CARD 2016, Hua Hin, Thailand*

# การปรับปรุงคุณภาพของภาพด้วยการแบ่งส่วนของภาพ วิธีวอเตอร์เฉดและปรับเรียบฮิสโตแกรม

# Improved Watershed Image Segmentation Algorithm with Histogram Enhancements

**สุริยา ไชยวงค์ และ ณัฐพงศ์ พันธุนะ**

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

1381 ถ.ประชาราษฎร์ สาย1 แขวงวงศ์สว่าง เขตบางซื่อ กรุงเทพฯ 10800 Email: ch53suriya@gmail.com

## บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงคุณภาพของภาพดิจิตอล ด้วยการแบ่งส่วนของภาพด้วยวิธีวอเตอร์เฉด และการปรับเรียบฮิสโตแกรม เพื่อที่จะพยายามรักษาค่าเฉลี่ยความสว่างผิดพลาดต่ำสุด (Absolute Mean Brightness Error หรือ AMBE) ให้ยังคงมีความสว่างใกล้เคียงกับภาพต้นฉบับและปรับปรุงให้ภาพมีความคมชัด ประกอบด้วยวิธีการของการแปลงวอเตอร์เฉด (Watershed Image Segmentation) โดยแบ่งแยกขอบเขตพื้นที่ของภาพสร้างเส้นวอเตอร์เฉด (Watershed line) จากนั้นปรับเรียบฮิสโตแกรม (Histogram Enhancements) ใช้วิธีแบ่งฮิสโตแกรมออกเป็นสองส่วน (Brightness preserving bi-histogram equalization หรือ BBHE) โดยผลลัพธ์ที่ได้ พบว่าค่าเฉลี่ยความสว่างผิดพลาดมีค่าต่ำสุดและให้รายละเอียดของภาพที่คมชัดยิ่งขึ้น เป็นวิธีการที่ยังคงรักษาค่าระดับความสว่างของภาพ ให้ใกล้เคียงกับภาพต้นฉบับได้ดีอีกวิธีการหนึ่ง ซึ่งสามารถนำวิธีการไปประยุกต์ใช้ในงานด้านการแพทย์ ในด้านอุตสาหกรรม และงานวิจัยด้านอื่นๆที่เกี่ยวข้อง

คำสำคัญ: ฮีสโตแกรม, ค่าเฉลี่ยความสว่างผิดพลาด, การปรับเรียบ,การแบ่งส่วนภาพ, วิธีวอเตอร์เฉด

## Abstract

This research aims to improve the quality of digital images by image segmentation (the method of water shade) and smoothing the histogram. In order to maintain average brightness value with the lowest error (Absolute Mean Brightness Error or AMBE), there are still close to the brightness of the original image and the image adjustment sharpness. Contains the methods of Watershed Image Segmentation dividing boundary area of the image created by the Water shade line and then adjusted the histogram using the split method (Histogram Enhancements) histogram into two parts (Brightness preserving bi-histogram equalization or BBHE) By the results, It is found that the average brightness value with minimum error and provide details of the sharper image. As a means of maintaining the brightness level of the image as close to the original image was another way. This can be applied in the medical, industry and other relevant research.

Keywords: Histogram, Absolute Mean Brightness Error, Equalization, Image Segmentation, Watershed

## 1. บทนำ

ภาพถ่ายจากดาวเทียม สถานที่ สิ่งของ และเหตุการณ์สำคัญต่างๆ เป็นสิ่งที่บ่งบอกถึงคุณลักษณะเฉพาะของข้อมูลของภาพนั้นๆเพื่อนำมาใช้เป็นหลักฐาน ในการเปรียบเทียบหรืออ้างอิงกับเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นจริง การถ่ายภาพด้วยกล้องดิจิตอล การสแกนภาพผ่านเครื่องสแกนหรือ การที่ต้องปรับปรุงเปลี่ยนแปลงคุณภาพเพื่อต้องการรายละเอียดที่ชัดเจนยิ่งขึ้น ของภาพดิจิตอล สิ่งที่ต้องพบเห็นอยู่เป็นประจำคือ ฮิสโตแกรม เพียงแต่ปรับเลื่อนเครื่องหมายหรือขีดต่างๆ บนซอฟแวร์จน สังเกตว่าภาพ ที่ตนเองเห็นบนจอนั้นมีการเปลี่ยนแปลงไปดังที่ตนต้องการถือว่าได้ภาพที่ดีแล้ว แต่แท้จริงคุณภาพของภาพถ่ายที่ได้มายังไม่มีคุณภาพดีพอ อาจจะมีความเข้มของแสงมากเกินไป หรือแสงน้อยเกินไป ที่ให้ภาพที่ได้เกิดค่าความสว่างผิดพลาดและเกิดค่าเออเร่อที่สูง ไม่ใกล้เคียงกับภาพต้นฉบับ จึงต้องมีการปรับปรุงคุณภาพของภาพถ่ายด้วยวิธีการ แบ่งฮิสโตแกรม โดยมีวิธีการและเทคนิคมากมายในแบ่งฮิสโตแกรมและปรับปรุงคุณภาพของภาพ

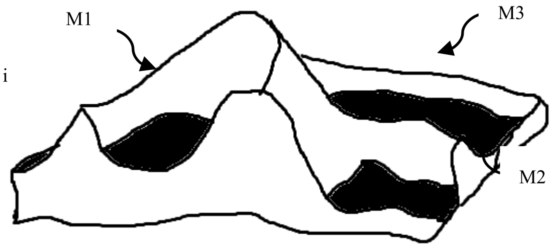
ดังนั้นในงานวิจัยนี้ จะทำการเอาข้อมูลภาพดิจิตอลมาปรับปรุงความคมชัดของภาพถ่ายให้มีความคมชัดมากขึ้น และยังคงรักษาระดับความสว่างของภาพ ให้ใกล้เคียงกับภาพต้นฉบับมากที่สุด ด้วยวิธีการแบ่งส่วนของภาพโดยใช้หลักการแปลงวอเตอร์เฉด และใช้เทคนิคการปรับเรียบฮิสโตแกรมบนโปรแกรมแมทแลป โปรแกรมแมทแลปเป็นโปรแกรมทางวิศวกรรมศาสตร์ที่สามารถคำนวณและวิเคราะห์ผลทางคณิตศาสตร์ แจกแจงความถี่ กราฟิก มาทำการเขียนโปรแกรมแบ่งส่วนของภาพโดยใช้หลักการแปลงวอเตอร์เฉด และปรับเรียบฮิสโตแกรมที่เกิดจากภาพถ่าย และทำการเปรียบเทียบ ปรับปรุงคุณภาพของภาพถ่าย

## 2.ทฤษฎีการปรับปรุงคุณภาพของภาพ

### 2.1 การแยกส่วนในภาพด้วยวิธีวอเตอร์เฉด (Watershed Image Segmentation)

หลักการแปลงวอเตอร์เฉดกำหนดให้ว่าวัตถุซึ่งมีภาพลักษณะคล้ายแผนภูมิประเทศดังแสดงในรูปที่ 2.1

i




**รูปที่ 1** ภาพตัวอย่างแผนภูมิประเทศ

โดยนำวัตถุนี้ไปเจาะรูเล็กๆในบริเวณ M1 M2 และ M3 โดยรูที่เจาะนั้นต้องทะลุถึงด้านล่างสุดของวัตถุ จากนั้นจึงนำเอาวัตถุที่ได้เจาะรูแล้ววางลงไปในบ่อน้ำ จากนั้นวัตถุค่อยๆจมลงด้วยความเร็วคงที่ น้ำในบ่อก็จะไหลผ่านเข้ามาในรูที่เจาะไว้ โดยไหลเข้าบริเวณพื้นที่ๆต่ำที่สุด M2 ก่อน เมื่อระดับน้ำถึงระดับ I จะมีน้ำจากพื้นที่ M1 M2 M3 ล้นข้ามถึงกัน ซึ่งต้องหลีกเลี่ยง โดยวิธีการสร้างเขื่อนมากั้นน้ำไม่ให้ล้นถึงกัน ขบวนการทำให้จมจะยังดำเนินต่อไปเรื่อยๆ ผลสุดท้ายของขบวนการที่เกิดขึ้นคือ จะสามารถแยกพื้นที่ออกได้เป็นสามส่วนโดยมีเขื่อนเป็นตัวแบ่งแยกขอบเขตของพื้นที่ ซึ่งจะเรียกเส้นแบ่งเขตที่สร้างจากเขื่อนว่าเส้นวอเตอร์เฉด (Watershed Line)

#### 2.1.1 หลักการทำให้วัตถุจมน้ำ

กำหนดให้ $I$ เป็นภาพระดับสีเทา $p$ คือตำแหน่งจุดภาพ $h$ คือระดับสีเทา ให้ $T_h(I)$ คือตำแหน่งเซตของตำแหน่งในจุดภาพที่มีค่าระดับสีเทาน้อยกว่าหรือเท่ากับ $h$ จะได้

$$T_h(I)=\{p|I(p)\le h\} \quad (1)$$

เมื่อกำหนดให้ $C(M)$ คือบริเวณพื้นที่ลุ่มน้ำ ซึ่งมีความสูงเป็น M กำหนดให้ $C_h(M)$ เป็นซับเซตพื้นที่ลุ่มน้ำ

$$C_h(M)=\{p\in C(M)|I(p)\le h\}=C(M)\cap T_h(I) \quad (2)$$

กำหนดให้ $P$ เป็นจำนวนรูปแบบเส้นทางที่เกิดขึ้นจากการเชื่อมต่อจุด $Q_1$ และจุด $Q_2$ ในพื้นที่ $A$

$$d_A(Q_1\,Q_2)=\min\{l(P)\}$$

เมื่อเซต $A$ มีเซตย่อยอยู่ $k$ เซตคือ $B_1, B_2, \ldots, B_k$ กำหนดให้ $iz_A(B_i)$ คือบริเวณที่มีอิทธิพลของจีออเดซิก (Geodesic influence zone) กระบวนการทำให้จมเริ่มพิจารณาที่ระดับค่าสีเทาที่ต่ำที่สุดก่อนคือ $h_{\min}$ เมื่อวิเคราะห์และพิจารณาที่ $h_{\min}$ เรียบร้อยแล้วก็จะพิจารณาระดับสีเทาที่ $h_{\min}+1$ เป็นลำดับต่อไปกระบวนการวิเคราะห์ พิจารณาจะดำเนินการต่อไปเรื่อยๆจนถึง $h_{\max}$ ซึ่งเป็นค่าระดับสีเท่าที่สูงที่สุด หลังจากนั้นกำหนดให้เซต $X_{h_{\min}}$ คือจุดภาพใน $I$ คือ

$$X_{h_{\min}}=T_{h_{\min}}(I) \quad (3)$$

เมื่อพิจารณาที่ระดับความสูง $h_{\min}+1$ และกำหนดให้ $Y=T_{h_{\min}+1}(I)$ เป็นรูปแบบของเซต $Y$ ที่เกิดขึ้นที่ระดับความสูงต่างระดับนี้ เมื่อกำหนดให้ $X_{h_{\min}+1}$ คือเซตของพื้นที่ระดับต่ำที่ความถี่สูง $h_{\min}+1$ จะได้ว่า

$$X_{h_{\min}+1}=y_1\cup C_{h_{\min}+1}(x_1)\cup C_{h_{\min}+1}(x_2)\cup C_{h_{\min}+1}(x_3) \quad (4)$$

$$X_{h_{\min}+1}=y_1\cup iz_{y_3}(x_1)\cup iz_{y_3}(x_2)\cup iz_{y_3}(x_3) \quad (5)$$

หรือ

$$X_{h_{\min}+1}=y_1\cup IZ_y(X_{h_{\min}}) \quad (6)$$

จะได้ว่าที่ระดับความสูง $h_{\min}+1$ จะประกอบไปด้วยเซตอยู่ 2 ส่วนด้วยกันคือเซต $X_{h_{\min}+1}$ และเซต $Y$ ที่คอมพลีเมนต์กับเซต $X_{h_{\min}+1}$ โดยกำหนดให้เซตส่วนที่สองนี้มีระดับสีเทาเท่ากับ $X_{h_{\min}+2}$ เพื่อที่จะนำเซตส่วนนี้ไปพิจารณาที่ระดับความสูงถัดไป ลักษณะการวิเคราะห์และพิจารณาเป็นเช่นเดียวกันกับการพิจารณาเซต $Y$ เมื่อทำการวิเคราะห์ระดับความสูงของภาพไปจนถึงระดับความสูงเท่ากับ $h_{\max}$ ซึ่งจะเป็นลำดับสุดท้ายของการวิเคราะห์ และพิจารณาโดยที่ระดับความสูงนี้จะประกอบไปด้วยเซต $X_{h_{\max}}$ และ $I$ ที่คอมพลีเมนต์กับ เซต $X_{h_{\max}}$ นี้ก็จะเป็นเซตของเส้นวอเตอร์เฉด หลังจากนั้นก็ทำการปรับเรียบฮิสโตแกรมที่ได้ตามเทคนิค BBHE ต่อไป

**2.2 วิธีการแบ่งฮีสโตแกรมออกเป็น 2 ส่วน (Bi-Histogram Equalization, BBHE)**

วิธีการ BBHE เริ่มด้วยการแบ่งฮีสโตแกรมภาพต้นฉบับออกเป็นสองส่วนหรือเรียกว่าสองภาพย่อยโดยอาศัยค่าเฉลี่ยความสว่างของภาต้นฉบับเป็นเกณฑ์ในการแบ่ง $X_m$ เป็นค่าเฉลี่ยความสว่างของภาพต้นฉบับ $X$ โดยที่ $X_m \in \{X_0, X_1, ......, X_{L-1}\}$ ทำการแบ่งฮีสโตแกรมของภาพออกเป็นสองฮีสโตแกรมย่อยคือ $\mathbf{X}_L$ และ $\mathbf{X}_U$

$$X = X_L \cup X_U \quad (7)$$

เมื่อ

$$\mathbf{X}_L = \{X(i,j) | X(i,j) \le X_m, \forall X(i,j) \in \mathbf{X}\} \quad (8)$$

$$\mathbf{X}_U = \{X(i,j) | X(i,j) > X_m, \forall X(i,j) \in \mathbf{X}\} \quad (9)$$

กำหนดฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นสำหรับภาพย่อยทั้งสอง

$$p_L(X_k) = \frac{n_L^k}{n_L} \text{ เมื่อ } k = 0, 1, ......, m \quad (10)$$

และ

$$p_U(X_k) = \frac{n_U^k}{n_U} \text{ เมื่อ } k = m+1, m+2, ......, L-1 \quad (11)$$

โดยที่ $n_L^k$ และ $n_U^k$ แทนจำนวนจุดภาพของระดับสีเทา $X_k$ ในภาพย่อยของ $\mathbf{X}_L$ และ $\mathbf{X}_U$ ตามลำดับส่วน $n_L$ และ $n_U$ จะแทนจำนวนจุดภาพทั้งหมดของแต่ละภาพย่อย $\mathbf{X}_L$ และ $\mathbf{X}_U$ เมื่อ $n_L = \sum_{k=0}^{m} n_L^k$ และ $n_U = \sum_{k=m+1}^{L-1} n_U^k$ ซึ่งจำนวนจุดภาพทั้งหมดคือ $n = n_L + n_U$

กำหนดPDFของภาพย่อยทั้งสอง

$$c_L(x) = \sum_{j=0}^{m} p_L(X_j) \quad (12)$$

$$c_U(x) = \sum_{j=m+1}^{L-1} p_U(X_j) \quad (13)$$

ในทำนองเดียวกันกับการปรับเท่าฮีสโตแกรมทีเดียวทั้งภาพ จะถูกนำมาใช้เป็นฟังก์ชันในการแปลงภาพ ดังนั้นภาพย่อยทั้งสองหลังการแปลงจะให้ค่าระดับสีเทาใหม่เป็น

$$f_L(x) = X_0 + (X_m - X_0)c_L(x) \quad (14)$$

$$f_U(x) = X_{m+1} + (X_{L-1} - X_{m+1})c_U(x) \quad (15)$$

การปรับเท่าฮีสโตแกรมของแต่ละภาพย่อยจะแยกกันทำอย่างอิสระ จากนั้นนำผลลัพธ์ของฮีสโตแกรมที่ถูกปรับเท่าของแต่ละภาพย่อยรวมกลับเข้าด้วยกัน จะได้ภาพเอาต์พุต $Y$ จากกระบวนการ BBHE คือ

$$\mathbf{Y} = \{Y(i,j)\} \quad (16)$$

$$Y = f_L(\mathbf{X}_L) \cup f_U(\mathbf{X}_U) \quad (17)$$

เมื่อ

$$f_L(\mathbf{X}_L) = \{f_L(X(i,j)) | \forall X(i,j) \in \mathbf{X}_L\} \quad (18)$$

และ

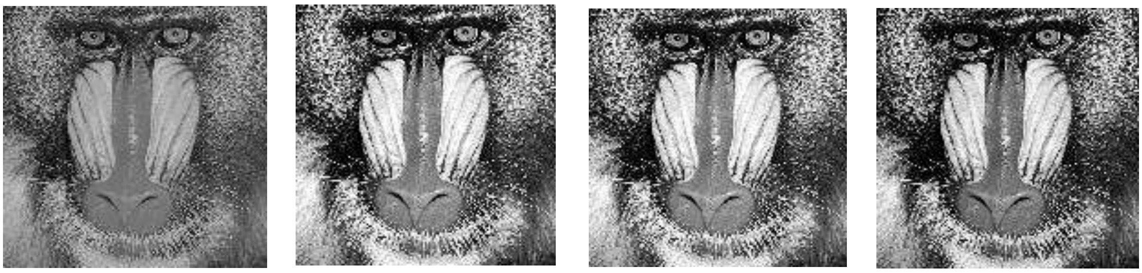
$$f_U(\mathbf{X}_U) = \{f_U(X(i,j)) | \forall X(i,j) \in \mathbf{X}_U\} \quad (19)$$

## 3. สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองนำภาพตัวอย่างจำนวน 5 ภาพ คือ Airplane1, Airplane2, Baboon, F16 และ girl มาทำการทดสอบด้วยวิธีต่างๆ 3 วิธี ตามตารางที่ 1 พบว่าวิธีการ GHE ซึ่งเป็นวิธีการปรับเรียบฮีสโตแกรมแบบทั้งภาพ สามารถปรับปรุงภาพให้มีคอนแทรสต์สูง และค่าเฉลี่ยความสว่างผิดพลาด (AMBE) สูงสุดด้วยเช่นกัน แต่วิธีที่ทำให้ AMBE ต่ำสุด คือ BBHE โดยจากภาพที่นำมาทดสอบทั้ง 5 ภาพ จะเป็นไปในทิศทางเดียวกันทั้งหมด และยังมีวิธีที่ยังคงรักษาระดับค่าความสว่างผิดพลาดให้ใกล้เคียงกับต้นฉบับมากที่สุดคือ การใช้หลักการวอเตอร์เฉดทำการแยกส่วนภาพและทำการ BBHE ทำให้ค่าเฉลี่ยความสว่างผิดพลาดที่ได้มีค่าต่ำสุด เนื่องมาจากการแบ่งภาพออกเป็นส่วนๆและแบ่งฮีสโตแกรมออกเป็นสองส่วน แล้วทำการปรับเรียบอย่างอิสระจากกันจะให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุด

**ตารางที่ 1** ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความสว่างผิดพลาด

| | ค่าเฉลี่ยความสว่างผิดพลาด (AMBE) | | |
|---|---|---|---|
| | GHE | BBHE | Watershed& BBHE |
| Airplane1 | 98.817 | 3.07618 | 3.0002 |
| Airplane2 | 63.881 | 5.185 | 5.0132 |
| Baboon | 14.842 | 0.20838 | 0.0014 |
| F16 | 35.215 | 6.47762 | 6.2421 |
| girl | 14.45 | 2.70451 | 2.3251 |



( a ) ( b ) ( c ) ( d )

**รูปที่ 2** Baboon ภาพผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลอง

(a) ภาพต้นฉบับและภาพฮิสโตแกรม (b) GHE (Matlab) (c) BBHE (d) Watershed&BBHE

( a ) ( b ) ( c ) ( d )

**รูปที่ 3** grilG ภาพผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลอง

(a) ภาพต้นฉบับและภาพฮิสโตแกรม (b) GHE (Matlab) (c) BBHE (d) Watershed&BBHE

## เอกสารอ้างอิง

[1] J.Z. Wang, J. Li, "Unsupervised multiresolution segmentation for images with low depth of field," IEEE Trans. Pattern Analysis and MachineIntelligence, Vol. 23, no. 1, pp. 85-90, 2001.

[2] M.R. Rezaee, "A multiresolution image segmentation technique based onpyramidal segmentation and fuzzy clustering," IEEE Trans. ImageProcess, Vol. 9, no. 7, pp. 1238-1248, 2000..

[3] I.S. Jacobs and C.P. Bean, "Fine particles, thin films and exchange anisotropy," in Magnetism, vol. III, G.T. Ra do and H. Suhl, Eds. New York: Academic, 1963, pp. 271-350.

[4] R. Nicole, "Title of paper with only first word capitalized," J. Name Stand. Abbrev., in press.

[5] Y. Yorozu, M. Hirano, K. Oka, and Y. Tagawa, "Electron spectroscopy studies on magneto-optical media and plastic substrate interface," IEEE Transl. J. Magn. Japan, vol. 2, pp. 740-741, August 1987 [Digests 9th Annual Conf. Magnetics Japan, p. 301, 1982].

**บทความวิจัย**
การประชุมวิชาการ งานวิจัยและพัฒนาเชิงประยุกต์ ครั้งที่ 8
*8th ECTI-CARD 2016, Hua Hin, Thailand*

# การปรับปรุงความคมชัดของภาพด้วยการปรับเท่าฮีสโตแกรมด้วยการแปลงเว็ปเลตสองมิติ
# Contrast Image Enhancement Using Histogram Equalization with 2-D Wavelet

**ไตรรงค์ ใจดี ณัฐพงศ์ พันธุนะ**
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
1381 ถ.ประชาราษฎร์ สาย1 แขวงวงศ์สว่าง เขตบางซื่อ กรุงเทพฯ โทรศัพท์ 02-836-3000 ต่อ 4150 E-mail: nattapong.p@rmutp.ac.th

## บทคัดย่อ
การตีความหมายจากภาพถ่ายที่ใช้ในทางทหารในปัจจุบันมีความจำเป็นอย่างมาก เนื่องจากต้องการปรับใช้ในระบบสอดแนมของทางกองทัพ หากข้อมูลภาพที่ไม่มีความคมชัด จะทำให้ทางกองทัพไม่สามารถแยกแยะหรือจำแนก จำนวนหรือที่ตั้งของศัตรูได้ ทำให้รูปแบบในการทำสงครามไม่มีประสิทธิภาพเท่าที่ควร งานวิจัยนี้จึงได้เล็งเห็นความสำคัญในวิธีการแก้ไขปัญหาของความไม่ชัดเจนในรายละเอียดของภาพ ด้วยการปรับปรุงคุณภาพของข้อมูลภาพ โดยการปรับความคมชัดและปรับเท่าฮีสโตแกรมอย่างเหมาะสม ด้วยวิธีการแปลงผ่านเว็บเลตสองมิติ โดยสามารถแยกสัญญาณข้อมูลภาพจากภาพต้นฉบับได้เป็น 4 แบนด์ย่อย จากนั้น ทำการปรับเท่าฮีสโตแกรมจากข้อมูลภาพในแบนที่ 1 เท่านั้น โดยให้แบ่งฮีสโตแกรมเป็นส่วนๆ ตามค่ากลางของฟังก์ชันความหนาแน่นสะสมบนเนื้อภาพระดับที่ 1 (Approximation Band) จากนั้นทำการปรับเท่าฮีสโตแกรมอย่างอิสระซึ่งกันและกัน ภาพผลลัพธ์ที่ได้ที่เกิดจากการรวมภาพโดยใช้การแปลงเวพเล็ตสองมิติผกผัน ผลการประเมินภาพพบว่าวิธีที่นำเสนอสามารถรักษาค่าเฉลี่ยความสว่างของภาพผลลัพธ์มีค่าต่ำลงมาก และยังคงรักษารายละเอียดของภาพผลลัพธ์ได้อย่างครบถ้วน

**คำสำคัญ:** การปรับเท่าฮีสโตแกรม, การแปลงเวฟเล็ต, ค่าเฉลี่ยความผิดพลาดสัมบูรณ์

## Abstract
The interpretation of the photographs used in the military today is greatly needed due to the deployment of surveillance systems in the military. But if we have information that there is no clarity in the army will not be able to identify /classify or unknown a number of enemies then lead into a war are not effective. This research recognizes that this topic is importance to find solution to solve the problem of the unclear picture information. By improve the quality of the image data by adjusting the contrast using equalized histogram. By using the two-dimensional discrete wavelet Transform technique by compost to four sub band, then equalized histogram for the approximation band by divided as cumulative density. The resulting histogram will be decomposed by inverse discrete wavelet transform. The assessment of image result, this solution has low the absolute mean brightness error and image display more contrast by still keep the image information by completely.

Keywords: Histogram Equalization, Discrete wavelet transform, Absolute mean brightness error

## 1. บทนำ
เมื่อพิจารณาภาพถ่ายที่ใช้ในทางทหาร ความคมชัดเพื่อจำแนกรายละเอียดของภาพจึงมีความสำคัญอย่างมาก เทคนิคในการปรับความคมชัดของภาพนั้นมีหลายวิธี การปรับเท่าฮีสโตแกรมก็เป็นอีกเทคนิคหนึ่งที่ซึ่งเป็นวิธีการปรับเท่าฮีสโตแกรมต้นฉบับ โดยภาพผลลัพธ์ที่ได้จะส่งผลให้ภาพมีความคมชัดมากขึ้นกว่าภาพต้นฉบับ ดังนั้นเทคนิคในการเพิ่มความคมชัดจึงเป็นหัวข้อสำคัญที่น่าศึกษา อย่างไรก็ตามภาพผลลัพธ์ที่ได้ต้องยังรักษาค่าความผิดพลาดสัมบูรณ์ของภาพผลลัพธ์ให้ดีด้วยเช่นกัน ในปัจจุบันนี้เทคนิคในการปรับเท่าฮีสโตแกรมของภาพต้นฉบับได้มีการพัฒนา ซึ่งสามารถจำแนกเทคนิคต่างๆได้เป็น 4 เทคนิคดังตารางที่ 1

จากตารางที่ 1 เทคนิคในการปรับเท่าฮีสโตแกรมของภาพต้นฉบับเป็นเทคนิคที่สนใจวิธีในการปรับเท่าฮีสโตแกรมเท่านั้น ซึ่งสามารถเพิ่มความคมชัดของภาพมากขึ้นกว่าภาพต้นฉบับได้ ดังนั้นในงานวิจัยฉบับนี้จะนำวิธีการแปลงเวฟเลตเข้ามาใช้ โดยจะนำสับแบน LL มาปรับเท่าฮีสโตแกรมแยกอิสระจากกัน โดยการคำนวณหาตำแหน่งที่เหมาะสมจากค่าฟังก์ชันความหนาแน่นสะสม 0.25 , 0.5 , 0.75 และ 1 แล้วจึงทำการ

แปลงเวฟเลตผกผันโดยนำ LL ที่ผ่านการปรับเท่าฮีสโตแกรมดังกล่าวแทนที่ตำแหน่งสับแบน LL เดิม แล้วจึงทำการประเมินผลภาพ

งานวิจัยฉบับนี้มีวัตถุประสงค์ในการเพิ่มความคมชัดของภาพโดยพิจารณาการรักษาข้อมูลต่างๆภายในภาพ ซึ่งใช้การประเมินผลภาพด้วยพิจารณาค่าความสว่างผิดพลาดสัมบูรณ์ค่าอัตราส่วนของสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนสูงสุด ระหว่างภาพต้นฉบับและภาพผลลัพธ์

**ตารางที่ 1** เทคนิคต่างๆสำหรับการปรับเท่าฮีสโตแกรม

| เทคนิคการปรับเท่าฮีสโตแกรม | คำอธิบาย |
|---|---|
| HE | การปรับเท่าฮีสโตแกรมโดยกระจายความสว่างภาพประมาณให้เท่าเทียมกัน |
| BBHE | การปรับเท่าฮีสโตแกรมโดยแบ่งออกเป็น 2 ส่วนเท่าๆกัน โดยอิสระกัน |
| WBHE | การปรับเท่าฮีสโตแกรมโดยใช้ตัวถ่วงน้ำหนักเป็นกำหนดตำแหน่งการแบ่ง |
| MMHE | การปรับเท่าฮีสโตแกรมโดยแบ่งออกเป็นหลายๆส่วน อิสระกัน |

## 2. ผลงานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 หลักการปรับเท่าฮีสโตแกรม [1]

กำหนดให้ค่า X = $\{X(i,j)\}$ แสดงว่า ค่าที่กำหนดประกอบด้วยL ระดับสีเทาแยกเป็นค่า $\{X_0, X_1, \ldots X_{L-1}\}$ ที่ $X(i,j)$ แสดงให้เห็นถึงความเข้มของภาพในสถานที่เชิงพื้นที่ $(i,j)$ และค่า $X(i,j) \in \{X_0, X_1, \ldots X_{L-1}\}$ .ให้ฟังก์ชั่นความหนาแน่นของความน่าจะเป็นค่า $p(X_k)$ ถูกกำหนดให้เป็นสมการดังนี้

$$p(X_k) = \frac{n_k}{N} \quad (1)$$

สำหรับค่า k = 0, 1, …, L – 1, เมื่อค่าnkแสดงจำนวนครั้ง ที่ระดับค่า Xkปรากฏว่า ได้ค่าข้อมูลนำเข้าสู่ค่า Xและค่า $N$ เป็นจำนวนรวมตัวอย่าง ผลลัพธ์ข้อมูลนำเข้า แสดงค่า $p(X_k)$ เป็นค่าเชื่อมโยงกับฮิสโตแกรม ในการนำผลลัพธ์จากภาพที่ได้เสนอเป็นจำนวนพิกเซลล์ เป็นค่าเฉพาะความหนาแน่น แสดงเป็นค่า $X_k$ . สามารถเขียนสมการเพื่อคำนวณค่าความหนาแน่นสะสม (Cumulative Density Function: CDF)จากสมการที่ 2 และ 3ตามลำดับ

$$c_L(x) = \sum_{j=0}^{m} {}^{t}_{v}\, p_L(X_j) \quad (2)$$

$$c_U(x) = \sum_{j=m+1}^{L-1} p_U(X_j) \quad (3)$$

การปรับเท่าฮีสโตแกรมจะถูกการปรับเท่าอย่างอิสระซึ่งกันและกัน ดังอธิบายได้จากสมการที่ 4, 5,6และ 7 ตามลำดับ

$$\mathbf{Y} = \{Y(i,j)\} \quad (4)$$

$$\mathbf{Y} = f_L(X_L) \cup f_U(X_U) \quad (5)$$

$$f_L(X_L) = \{f_L(X(i,j)) | \forall X(i,j) \in X_L\} \quad (6)$$

$$f_U(X_U) = \{f_U(X(i,j)) | \forall X(i,j) \in X_U\} \quad (7)$$

### 2.2 กระบวนการแปลงเวฟเล็ต

เปรียบเหมือนการแตกสัญญาณโดยข้อมูลที่ได้จากการแปลงเวฟเล็ตจะถูกแบ่งออกเป็น 4 สับแบนด์ย่อย

LL: คือ ได้จากการผ่านตัวกรองความถี่ต่ำ 2ครั้ง รายละเอียดของข้อมูลภาพส่วนใหญ่จะอยู่บริเวณนี้

LH: คือ ได้จากการผ่านตัวกรองความถี่ต่ำในแนวตั้งแล้วนำผลที่ได้ไปผ่านตัวกรองความถี่สูงในแนวนอนส่วนนี้จะทำการเก็บข้อมูลในแนวตั้ง เรียกว่าส่วนของขอบภาพแนวตั้ง

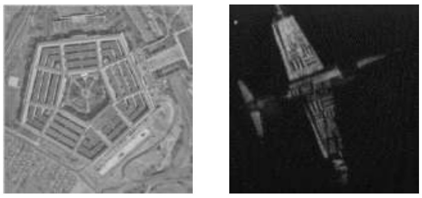
HL: คือ ได้จากการผ่านตัวกรองความถี่สูงในแนวตั้งแล้วนำผลไปผ่านตัวกรองความถี่ต่ำในแนวนอส่วนนี้จะทำการเก็บข้อมูลในแนวนอนแนวตั้ง เรียกว่าส่วนของขอบภาพแนวนอน

HH: คือได้จากการผ่านตัวกรองความถี่สูงสองครั้งในส่วนนี้จะเก็บข้อมูลในแนวทแยงมุม และส่วนนี้จะมีความสำคัญน้อยสุด เรียกว่าส่วนของสัญญาณรบกวน

## 3. กระบวนการปรับปรุงความคมชัดของภาพ

### 3.1 รับค่าภาพอินพุท

ภาพที่ใช้ศึกษาในงานวิจัยนี้ ได้แก่ Pentagon , U2 ,Airport , Man ตามลำดับ



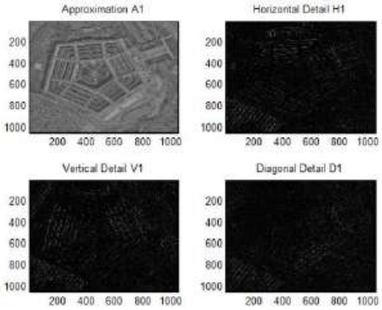
รูปที่ 1 ภาพต้นฉบับ

รูปที่ 1 ภาพต้นฉบับ (ต่อ)

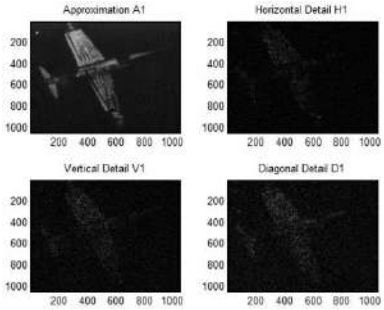
จากรูปที่ 1 ภาพต้นฉบับที่ใช้ทดสอบเป็นภาพมาตรฐาน เป็นภาพที่มีใช้แพร่หลายสำหรับงานประเภท Image Processing

## 3.2 การแปลงเวฟเล็ต (DWT: Discrete Wavelet Transform)

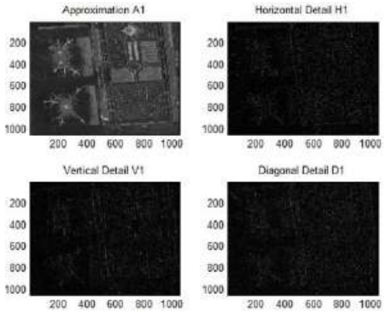
ผลที่ได้จากการแปลง จะได้ 4 สับแบนด์ย่อย ได้แก่ LL, LH, HL และ HH ดังแสดงในรูปที่ 2



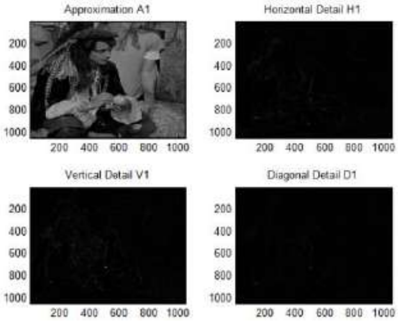

ก.สับแบนด์ย่อยของภาพ Pentagon




ข.สับแบนด์ย่อยของภาพ U2




ค.สับแบนด์ย่อยของภาพ Airport




ง.สับแบนด์ย่อยของภาพ MAN

รูปที่ 2 สี่สับแบนด์จากการแปลงเวฟเล็ตแบบเต็มหน่วย

## 3.3 การปรับเท่าฮีสโตแกรมที่ สับแบนด์ LL แบบอิสระกัน

โดยพิจารณาที่ค่าฟังก์ชันความหนาแน่นสะสมเป็น 0.25 , 0.5 , 0.75 และ 1 ฮีสโตแกรมหลังจากการปรับปรุงดังรูปที่ 3

จากสับแบนด์ LL จะแบ่งส่วนฮีสโตแกรมออกเป็น 4 กลุ่ม นั้นคือ $X_{T1}$, $X_{T2}$, $X_{T3}$ และ $X_{T4}$ และจะได้ค่า $\overline{X_1}$ , $\overline{X_2}$ , $\overline{X_3}$ และ $\overline{X_4}$ ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยของแต่ละกลุ่ม จะได้

$$\overline{X_T} = \frac{\overline{X_1}N_1 + \overline{X_2}N_2 + \overline{X_3}N_3 + \overline{X_4}N_4}{N_1 + N_2 + N_3 + N_4} \tag{8}$$

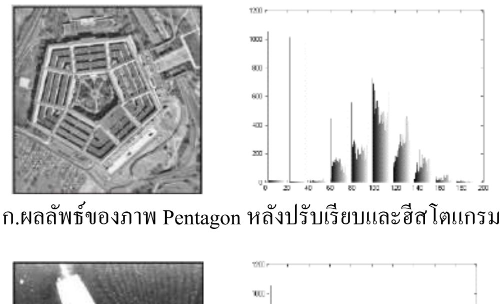
จะได้ว่า

$$\sum_{i=0}^{N_1} figi + \sum_{i=N_1+1}^{N_2} figi + \sum_{i=N_2+1}^{N_3} figi + \sum_{i=N_3+1}^{N_T} figi = N_T\,\overline{X}_{original} \tag{9}$$

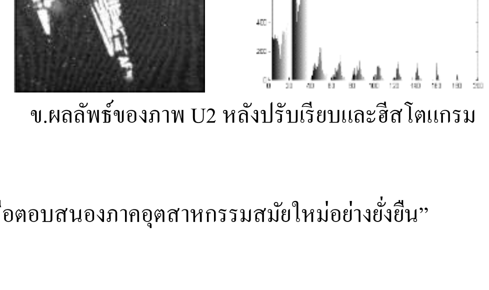
ต้องการแบ่ง Histogram ออกเป็น 4 กลุ่ม จะได้

$$\sum_{i=0}^{N_1} figi = \sum_{i=N_1+1}^{N_2} figi = \sum_{i=N_2+1}^{N_3} figi = \sum_{i=N_3+1}^{N_T} figi = \frac{1}{4} N_T\,\overline{X}_{original} \tag{10}$$

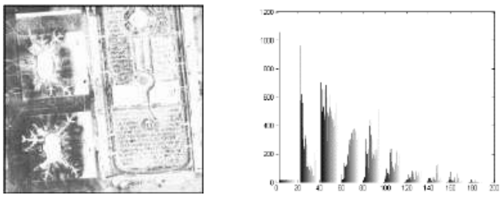
และนำกลุ่มของฮีสโตแกรมที่แบ่งแล้วมาทำการปรับเรียบอย่างอิสระจากกัน ดังสมการที่ (1)-(7)



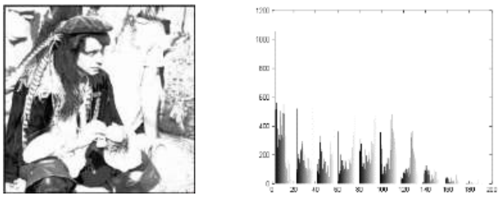
ก.ผลลัพธ์ของภาพ Pentagon หลังปรับเรียบและฮีสโตแกรม



ข.ผลลัพธ์ของภาพ U2 หลังปรับเรียบและฮีสโตแกรม



ค.ผลลัพธ์ของภาพ Airport หลังปรับเรียบและฮีสโตแกรม

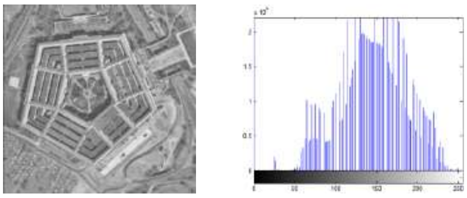


ง.ผลลัพธ์ของภาพ MAN หลังปรับเรียบและฮีสโตแกรม

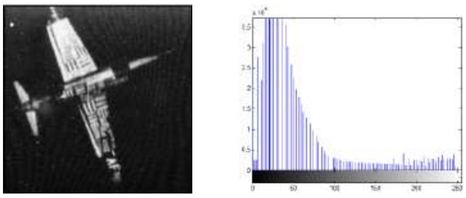
รูปที่ 3 ภาพต้นฉบับและฮีสโตแกรมของสับแบนด์ LL หลังปรับปรุง

### 3.4 การแปลงเวฟเลตผกผัน

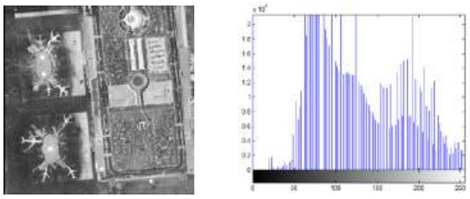
แปลงกลับเวฟเล็ตแบบเต็มหน่วย (Inverse Discrete Wavelet Transform) เพื่อการสร้างสัญญาณขึ้นมาใหม่จากองค์ประกอบย่อยของซับแบนด์ต่างๆ จะได้ภาพผลลัพธ์ดังภาพที่ 4



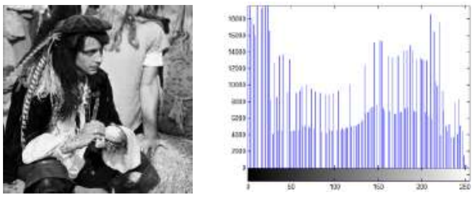
ก.ภาพผลลัพธ์ของ Pentagon หลังทำ IDWT และฮีสโตแกรม



ข.ภาพผลลัพธ์ของ U2 หลังทำ IDWT และฮีสโตแกรม



ค.ภาพผลลัพธ์ของ Airport หลังทำ IDWT และฮีสโตแกรม



ง.ภาพผลลัพธ์ของ Man หลังทำ IDWT และฮีสโตแกรม

รูปที่ 4 ภาพผลลัพธ์

**ตารางที่ 2** ความสว่างผิดพลาดสัมบูรณ์เฉลี่ยเปรียบเทียบ (AMBE) และอัตราส่วนของสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนสูงสุด(PSNR)

| | **AMBE** | | | | **TEN** | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | GHE | BBHE | WBHE | DWHE | ภาพต้นฉบับ | ภาพผลลัพธ์ |
| Pentagon | 96.7 | 3.67 | 13.56 | 0.747 | 102.417 | 105.945 |
| U2 | 98.817 | 41.471 | 25.861 | 5.846 | 69.546 | 63.312 |
| Airport | 63.4 | 0.88 | 2.34 | 0.9646 | 69.546 | 71.452 |
| Man | 99.5 | 16.8 | 29.23 | 4.771 | 69.454 | 73.782 |

## 3. ผลและการวิเคราะห์ผล

ผลการศึกษาพบว่าการปรับปรุงคุณภาพโดยการปรับเท่าฮีสโตแกรมที่แบนด์ LL หลังจากผ่านการทำเวฟเล็ตโดยการปรับเท่าฮีสโตแกรมแบ่งเป็นสี่ส่วนที่ความหนาแน่นสะสมของข้อมูล ตำแหน่ง CDF 0,0.25,0.5,0.75 ผลลัพธ์ภาพที่ได้พบว่าภาพมีความคมชัดสูง ซึ่งหลังจากที่ได้คำนวณหาค่าเฉลี่ยความผิดพลาดสัมบูรณ์ ( AMBE) และค่าอัตราส่วนของสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนสูงสุด (PSNR) ระหว่างภาพต้นฉบับและภาพผลลัพธ์ พบว่าค่าเฉลี่ยความผิดพลาดสัมบูรณ์มีค่าต่ำและความคมชัดของภาพดีกว่าภาพต้นฉบับ

## 4. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ที่เอื้อเฟื้อโปรแกรม MATLAB R2015A License Number : 1078818 Academic License

## เอกสารอ้างอิง

[1] Soon-Der Chen, “Contrast Enhancement using Recursive Mean-Separate Histogram Equalization for Scalable Brightness Preservation”, IEEE Transactions on Consumer Electronics, November, 2003.

[2] Soon-Der Chen, “Minimum Mean Brightness Error Bi-Histogram Equalization in Contrast Enhancement”, IEEE Transactions on Consumer Electronics, November, 2003.

[3] Yeong-Taeg kim, “Contrast Enhancement Using Brightness Preserving Bi-Histogram Equalization”, IEEE Transactions on Consumer Electronics, February, 1997

**บทความวิจัย**

การประชุมวิชาการ งานวิจัยและพัฒนาเชิงประยุกต์ ครั้งที่ 8

*8th ECTI-CARD 2016, Hua Hin, Thailand*

# การหลอมภาพให้มีความคมชัดสูงแบบพีซีเอด้วยเทคนิคการแปลงเวฟเล็ต

# High Resolution Sharpening in Wavelet Base Image Fusion on PCA Transform Technique

**พัชยา คีรินทร์[1] และ ณัฐพงศ์ พันธุนะ[2]**

[1,2]สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

1381 ถ.ประชาราษฎร์ สาย1 แขวงวงศ์สว่าง เขตบางซื่อ กรุงเทพฯ โทรศัพท์02-836-3000 ต่อ 4150

E-mail: pk_patchaya@hotmail.co.th , nattapong.p@rmutp.ac.th

## บทคัดย่อ

ปัจจุบันการหาขอบภาพถือได้ว่ามีความสำคัญในกระบวนการประมวลผลภาพทางดิจิตอล เพราะเนื่องจากในงานด้านการประมวลผลภาพในบางสาขาจำเป็นต้องอาศัยลายเส้นหรือขอบภาพที่มีความสมบูรณ์ของรายละเอียดของภาพในภาพถ่ายนั้นๆ เนื่องจากำรวินิจฉัยโรคบางโรคต้องอาศัยความถูกต้องแม่นยำจากภาพ อีกทั้งยังจำเป็นต่องานด้านวิศวกรรม โดยส่วนใหญ่จะนิยมนำไปใช้ในการคำนวณที่แตกต่างกันออกไป เช่น คำนวณเพื่อหาพื้นที่ระหว่างจุดจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งมาประยุกต์ใช้เพื่อเลือกค่าสัมประสิทธิ์ที่จะใช้ในการผสมเป็นขอบภาพใหม่ที่มีความชัดเจนของขอบภาพที่มากขึ้นและในงานวิจัยนี้จะนำขอบภาพที่ได้จากการผสมขอบภาพใหม่นำไปเปรียบเทียบคุณภาพของขอบภาพที่ได้จากทฤษฎีการแปลงเว็บเลต (Wavelet Transform) เพื่อแสดงให้เห็นว่าวิธีการผสมขอบภาพใหม่นั้นสามารถให้ความคมชัดของขอบภาพที่ดีกว่า

ผลการประเมินภาพพบว่าวิธีที่นำเสนอสามารถเพิ่มความคมชัดของภาพ และยังคงรักษาข้อมูลต่าง ๆ ภายในภาพผลลัพธ์ได้อย่างครบถ้วน

คำสำคัญ: พีซีเอ,การแปลงเวฟเล็ต, ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน, สหสัมพันธ์, อัตราส่วนของสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนสูงสุด

## Abstract

Currently, the edge image is regarded as important in the process of digital image processing. Because in the field of image processing in certain fields require lines or the edges of a complete description of the image in the photo itself. The statements diagnose certain diseases requires accurate picture. It is also essential to engineering. Most commonly used to calculate the difference, like testicle to calculate the area between the point-to -point.Applied to select the coefficients to be used in combination with a new edge image clarity of the picture more. In this research will be trimming the edge blending images to compare the quality of the image obtained by the theoretical conversion web Paulette (Wavelet Transform) to demonstrate how to mix the new image it can provide the sharpness of the image , the better.

The assessment found that the proposed method can increase the contrast of the image. And maintaining data within the output video in its entirety.

Keywords: Principal components analysis, discrete wavelet transform, Standard deviation, Correlation, PSNR

## 1. บทนำ

เมื่อพิจารณาภาพดิจิตอลทั่วไป ภาพยังไม่ชัดเจนซึ่งมีผลต่อการอธิบายและการตีความของภาพได้ เช่นภาพถ่ายทางดาวเทียม ความคมชัดเพื่อจำแนกรายละเอียดของภาพจึงมีความสำคัญอย่างมาก เทคนิคในการปรับความคมชัดของภาพนั้นมีหลายวิธีที่ถูกนำไปใช้ประโยชน์สำหรับภาพถ่ายเพิ่มความคมชัดให้ภาพถ่ายทางดาวเทียมได้แก่เทคนิคดังต่อไปนี้[1]

1.1 **IHS Transform**ความเข้มขององค์ประกอบจะถูกแทนที่ด้วยภาพที่มีรายละเอียดสูง ซึ่งสีที่ได้ของภาพผลลัพธ์อาจจะเพี้ยนและไม่เป็นที่พอใจมากนัก สมการที่ใช้แปลง ดังนี้

$$\begin{bmatrix} I \\ v_1 \\ v_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{3}} & \frac{1}{\sqrt{3}} & \frac{1}{\sqrt{3}} \\ -\frac{1}{\sqrt{6}} & -\frac{1}{\sqrt{6}} & -\frac{2}{\sqrt{6}} \\ \frac{1}{\sqrt{2}} & -\frac{1}{\sqrt{2}} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \qquad (1)$$

$$I = \frac{R+G+B}{\sqrt{3}} \qquad (2)$$

$$H = \tan^{-1}\left(\frac{v_1}{v_2}\right) \quad (3)$$

$$S = \sqrt{(v_1)^2 + (v_2)^2} \quad (4)$$

1.2 **Bovey Transform** ภาพข้อมูลดาวเทียมทีมีระดับความแตกต่างของความคมชัดสูงนั้น มีประโยชน์ต่อการตรวจสอบ ติดตามการเปลี่ยนแปลงเทคนิคนี้อาศัยหลักการของระดับความแตกต่างของความคมชัดมาช่วยทำให้ภาพข้อมูลดาวเทียมในระบบหลายช่วงคลื่นนั้นมีความคมชัด หรือมีรายละเอียดเชิงพื้นที่เพิ่มมากขึ้น โดยในวิธีการนี้ภาพข้อมูลในระบบหลายช่วงคลื่นได้ถูกนอร์แมลไลซ์ และค่าดิจิตอลนัมเบอร์ในแต่ละช่วงคลื่นในระบบหลายช่วงคลื่นที่ได้จากการผสานข้อมูลนั้น ได้มาจากการคูณค่าดิจิตอลนัมเบอร์ของช่วงคลื่นที่ถูกนอร์แมลไลซ์ด้วยค่าดิจิตอลนัมเบอร์ของภาพข้อมูลในระบบขาวดำแม้ว่าเทคนิคนี้จะช่วยให้ภาพมีความคมชัด สามารถมองเห็นขอบเขตของวัตถุต่างๆ ได้ชัดเจน จนสามารถแยกแยะได้ แต่กลับมีผลกระทบต่อคุณลักษณะเชิงคลื่นของภาพข้อมูลดาวเทียมอย่างมาก ดังนั้นการทำความคมชัดของภาพด้วยวิธีนี้นั้นจึงไม่เหมาะในการนำไปประยุกต์ใช้ต่อในการจำแนกประเภทข้อมูลแบบเนื่องจากค่าของข้อมูลในแต่ละพิกเซลจะถูกเปลี่ยนแปลงไปอย่างมาก

1.3**พีซีเอ** (PCA: Principal Components Analysis)การวิเคราะห์อยู่บนพื้นฐานความแปรปรวน โดยองค์ประกอบแรกจะมีรายละเอียดมากที่สุด โดยทั่วไปแล้วผลของ PCA จะให้ผลลัพธ์ดีกว่าผลจาก HIS

1.4 **การแปลงเวฟเล็ต** (Wavelet Transform) อยู่บนพื้นฐานเรื่องของความถี่ เพิ่มความถี่สูงจาก PAN ไปสู่ความถี่ต่ำโดยปราศจากการเปลี่ยนสี

การปรับปรุงภาพโดยผ่านขบวนการทางเวฟเล็ตแยกสัญญาณและการปรับปรุงจากภาพ Panchromaticเป็นอีกเทคนิคหนึ่ง โดยภาพผลลัพธ์ที่ได้จะส่งผลให้ภาพมีความคมชัดมากขึ้นกว่าภาพต้นฉบับ ดังนั้นเทคนิคในการเพิ่มความคมชัดจึงเป็นหัวข้อสำคัญที่น่าศึกษา อย่างไรก็ตามภาพผลลัพธ์ที่ได้ต้องยังรักษาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานและสหสัมพันธ์ของภาพต้นฉบับและภาพผลลัพธ์ให้ใกล้เคียงด้วยเช่นกัน

## 2. ทฤษฎีพื้นฐานที่เกี่ยวข้อง

### 2.1กระบวนการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (PCA:Principal Component Analysis)

กระบวนการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักเป็นหนึ่งในเทคนิคการวิเคราะห์ข้อมูลหลายตัวแปรโดยไม่มีการแบ่งกลุ่มตัวแปรว่าตัวแปรใดเป็นตัวแปรตามและตัวแปรอิสระ สนใจเพียงต้องการหาความสัมพันธ์ของตัวแปรต่างๆเหล่านั้นโดยจะสร้างตัวแปรใหม่ขึ้นด้วยความแปรผันหรือความแปรปรวนของตัวแปรเดิมจึงนิยมใช้การวิเคราะห์ด้วยเทคนิคนี้เพื่อลดขนาดเมตริกซ์ของตัวแปรให้เล็กลงหรือใช้หาความสัมพันธ์ของข้อมูล องค์ประกอบหลักข้อแรกคือที่ นำไปเป็นทิศทางที่มีค่าความแปรปรวนแปรปรวนสูงสุด องค์ประกอบหลักที่สองเป็นข้อจำกัด ที่จะอยู่ในสเปซตั้งฉากแรก ส่วนนี้ชี้ทิศทางของความแปรปรวนสูงสุดภายในสเปซนี้ องค์ประกอบหลักข้อที่สามถูกนำตัวไปในทิศทางที่มีความแปรปรวนสูงสุดในสเปซตั้งฉากกับสองคนแรก PCA ไม่ได้มีชุดเวกเตอร์พื้นฐานแน่นอน อาธิเช่น FFT, DCT และเวฟเทท เป็นต้น เวกเตอร์พื้นฐานขึ้นอยู่ชุดของข้อมูล PCA ยังเป็นการแปลงเชิงเส้นซึ่งง่ายในการนำไปใช้งานในการวิเคราะห์ข้อมูลที่มีจำนวนมาก PCA ถูกนำมาใช้กันอย่างแพร่หลายในการบีบอัดข้อมูลและการจับคู่รูปแบบโดยการแสดงข้อมูลที่จะเน้นความเหมือนและความแตกต่าง โดยมไม่สูญเสียข้อมูลมาก

### 2.2กระบวนการแปลงเวฟเล็ต

เปรียบเหมือนการแตกสัญญาณโดยข้อมูลที่ได้จากการแปลงเวฟเล็ตจะถูกแบ่งออกเป็น 4 สับแบนด์ย่อยๆ

LL:คือ ได้จากการผ่านตัวกรองความถี่ต่ำ 2ครั้ง รายละเอียดของข้อมูลภาพส่วนใหญ่จะอยู่บริเวณนี้

LH: คือ ได้จากการผ่านตัวกรองความถี่ต่ำในแนวตั้งแล้วนำผลที่ได้ไปผ่านตัวกรองความถี่สูงในแนวนอนส่วนนี้จะทำการเก็บข้อมูลในแนวตั้ง เรียกว่าส่วนของขอบภาพแนวตั้ง

HL: คือ ได้จากการผ่านตัวกรองความถี่สูงในแนวตั้งแล้วนำผลไปผ่านตัวกรองความถี่ต่ำในแนวนอส่วนนี้จะทำการเก็บข้อมูลในแนวนอนแนวตั้ง เรียกว่าส่วนของขอบภาพแนวนอน

HH: คือได้จากการผ่านตัวกรองความถี่สูงสองครั้งในส่วนนี้จะเก็บข้อมูลในแนวทแยงมุม และส่วนนี้จะมีความสำคัญน้อยสุด เรียกว่าส่วนของสัญญาณรบกวน

## 3. เครื่องมือและวิธีการวิจัย

### 3.1ภาพต้นฉบับ Panchromatic

ภาพที่ใช้ในการศึกษากับงานวิจัยนี้เป็นภาพถ่ายดาวเทียมชื่อ PAN.tiff ที่มีความละเอียดสูง และมีข้อมูลที่อยู่ในภาพมาก โดยภาพนี้มีขนาด 2449 x 613 พิกเซล

รูปที่ 1 ภาพต้นฉบับ Panchromatic ขนาด 2449x613 พิกเซล

รูปที่ 2 ภาพต้นฉบับ R ขนาด 613x154 พิกเซล

รูปที่ 3 ภาพต้นฉบับ G ขนาด 613x154 พิกเซล

รูปที่ 4 ภาพต้นฉบับ B ขนาด 613x154 พิกเซล

### 3.2ขั้นตอนการวิเคราะห์ PCAอัลกอริทึม

จากข้อมูลภาพ ซึ่งเป็นเมตริกซ์มีขนาด M x N ขั้นตอนในการทำ PCA ดังนี้

1. จัดข้อมูลลงใน คอลัมน์ เมทริกซ์ กำหนดใหม่เป็น เมทริกซ์Z ซึ่งมีขนาดเมตริกซ์ 2 x n

2.คำนวณ ค่าเฉลี่ยของแต่ละคอลัมน์กำหนดให้เป็น M

3.ลบค่าเฉลี่ยเวกเตอร์ M กับแต่ละคอลัมน์เป็น เมทริกซ์Z ผลลัพธ์กำหนดให้เป็นเมทริกซ์X ซึ่งมีขนาด 2 x n เป็นต้น

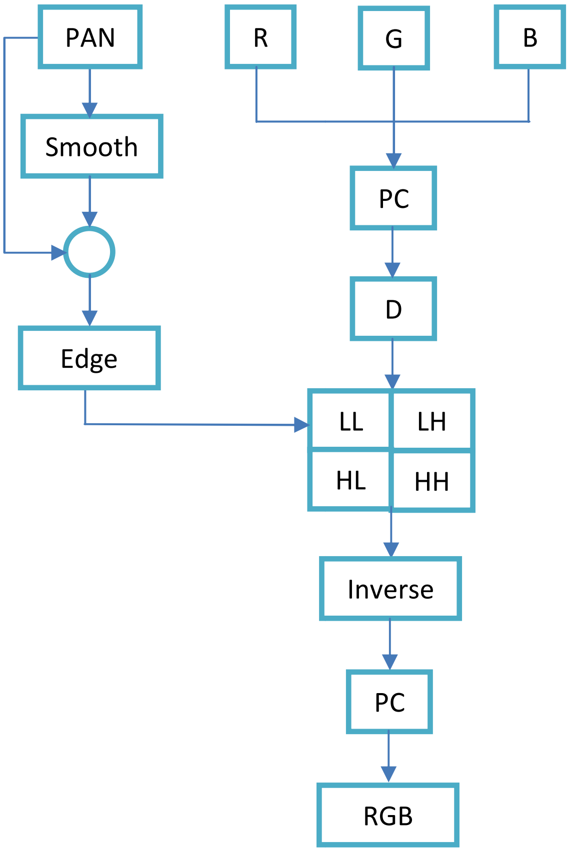
4.หาค่าความแปรปรวนเมตริกซ์ C

5.คำนวณหาค่า Eigenvectors V และ Eigenvalue D ของ C แล้วจัดเรียงข้อมูล Eigenvalue น้อยสุดของ V และ D ซึ่งเป็นเมตริกซ์ขนาด 2 x 2

6.พิจารณา คอลัมน์แรกของ V ซึ่งสอดคล้องกับ ค่า Eigenvalue ขนาดใหญ่สุด เพื่อการคำนวณเป็น P1 และ P2 ดังนี้

$$P_1 = \frac{V(1)}{\Sigma V} \text{ และ } \qquad P_2 = \frac{V(2)}{\Sigma V} \quad (5)$$

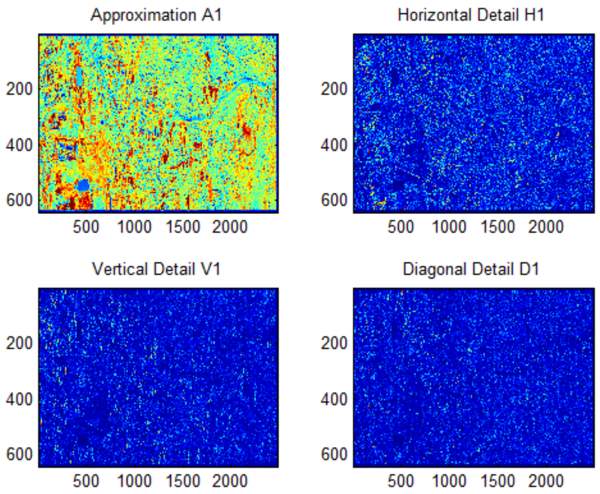
### 3.3 เทคนิคการหลอมภาพด้วยวิธีที่นำเสนอ




รูปที่ 5 ขั้นตอนการหลอมภาพด้วยวิธี PCA ร่วมกับการแปลงเวฟเล็ต

จากแผนภูมิรูปที่ 5 เป็นการนำเสนอวิธีการหลอมภาพให้มีความคมชัดสูงด้วยวิธีพีซีเอร่วมกับการแปลงเวฟเล็ต ด้วยการนำเอาภาพ Panchromatic ต้นฉบับที่มีความละเอียดสูง มาผ่านขบวนการสมูทแล้วหาขอบภาพ ในขณะเดียวกันนำภาพ Multispectral ที่มีรายละเอียดของภาพและความยาวช่วงคลื่นสูงมาเข้าขบวนการ PCA และนำอัลกอริทึมแปลงเวฟเล็ต แล้วนำขอบภาพที่ได้จากการทำสมูทดึงเข้ามาแทนในข้อมูลเฉพาะในสับแบนด์LL และแปลงเวฟเล็ตกลับจะได้ภาพผลลัพธ์ที่มีรายละเอียดและความคมชัดที่สูงขึ้น

### 3.4การแปลงเวฟเล็ต(DWT: Discrete Wavelet Transform)




รูปที่ 6ภาพการแปลงเวฟเล็ต

### 3.5ผลลัพธ์

นำ PAN ที่ผ่านการทำ Smooth Edge แล้ว แทนที่ในแบนด์LL ของผลการแปลงเวฟเล็ตในข้อ 3.3 แล้ว ทำการแปลงเวฟเลตผกผัน แล้ว แปลงกลับเป็น RGB

ภาพต้นฉบับ ภาพผลลัพธ์

รูปที่ 7เปรียบเทียบภาพต้นฉบับกับภาพผลลัพธ์

**ตารางที่ 1**ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ,สหสัมพันธ์ของภาพต้นฉบับและภาพผลลัพธ์และอัตราส่วนของสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนสูงสุด(PSNR)

| **ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน** | | **PSNR** | **Correlation ระหว่างภาพต้นฉบับกับภาพผลลัพธ์** |
|---|---|---|---|
| ภาพต้นฉบับ | ภาพผลลัพธ์ | | |
| 0.0761 | 0.0780 | 67.7815 | 0.9495 |

### 4.ผลลัพธ์และการวิเคราะห์

ผลการศึกษาพบว่าการปรับปรุงคุณภาพความคมชัดของภาพโดยด้วยวิธีการแบบพีซีเอด้วยเทคนิคการแปลงเวฟเล็ต โดยที่มีนำภาพ PAN มาแทนที่แบนด์LLในเวฟเล็ตผลลัพธ์ภาพที่ได้พบว่าภาพมีความคมชัดสูงซึ่งหลังจากที่ได้คำนวณเปรียบเทียบค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานและสหสัมพันธ์ของภาพ ต้นฉบับกับภาพผลลัพธ์ พบว่าค่าใกล้เคียงกันมากและค่าอัตราส่วนของสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนสูงสุด(PSNR)ระหว่างภาพต้นฉบับและภาพผลลัพธ์พบว่าค่าความคมชัดของภาพดีกว่าภาพต้นฉบับ โดยยังคงรักษารายละเอียดของภาพได้ดีมาก

### เอกสารอ้างอิง

[1] VeeraraghavanVijayaraj, "Quality Analysis of Pansharpened Images", Submitted to the Faculty of Mississippi State University in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Master of Science in Electrical Engineering in the Department of Electrical & Computer Engineering

[2] Russ, J. C. (1994). The image processing handbook. 2nd Edition, *IEEE Press*.

[3] Conzalez, R. C. and WinTZ, P. (1987). Digital image processing. 2nd Edition, Addison-Wesley Pub., Massachusetts.

[4] Sid-Ahmed, M. A. (1995). Image processing : Theory, algorithm & architectures. McGraw-Hill, New York.

[5] Wongsritong, K., Kittayaruasiriwat, K., Cheevasuvit, F., Dejhan, K., and Somboonkaeaw, A. (1998).Contrast enhancement using multipeak histogram equalization with brightness preserving. *IEEE Asia-Pacific Conf. Circuit and System,* :455-458.

[6] Kim, Y-T. (1997). Contrast Enhance Using Brightness Preserving Bi-Histogram Equalization. *IEEE Trans. Consumer Electronics., 43(1)*:1-8.

[7] Chen, S.-D, Ramli, A. R. (2003). Minimum Mean Brightness Error Bi-Histogram Equalization in Contrast Enhancement. *IEEE Trans. Consumer Electronics., 49(4)*:1310-1318.

**บทความวิจัย**

การประชุมวิชาการ งานวิจัยและพัฒนาเชิงประยุกต์ ครั้งที่ 8

*8th ECTI-CARD 2016, Hua Hin, Thailand*

# เทคนิคการปรับปรุงภาพถ่ายจากกล้องดิจิตอลด้วยวิธีการปรับปรุงฮีสโตแกรมแบบหลากหลายเว้าโค้ง

# Digital Image Improvement by Shape Histogram Equalization Technique

**ดลรวี วุ่นแม่สอด [1] ณัฐพงศ์ พันธุนะ [2]**

[1,2]สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

1381 ถ.ประชาราษฎร์สาย1 แขวงวงศ์สว่าง เขตบางซื่อ กรุงเทพมหานคร โทรศัพท์: 02-836-3000 ต่อ 4150, 4151

E-mail: [1]dolrawe.w@gmail.com, [2]nattapong.p@rmutp.ac.th

## บทคัดย่อ

ปัจจุบันการแข่งขันในเรื่องของความละเอียดและความคมชัดของภาพถ่ายจากกล้องดิจิตอลเป็นไปอย่างกว้างขวาง ยิ่งภาพถ่ายที่มีความละเอียดสูงจะสามารถเก็บรายละเอียดของภาพได้มากขึ้น ซึ่งทำให้ขนาดของภาพถ่ายที่ได้นั้นมีขนาดความจุของข้อมูลที่สูงมากขึ้นด้วย จนเป็นสาเหตุให้ต้องปรับปรุงหรือเปลี่ยนอุปกรณ์สื่ออิเล็กทรอนิกส์ให้ทันสมัยอยู่ตลอดเวลา ทำให้อุปกรณ์ตัวเก่าล้าสมัยไปในที่สุด ในงานวิจัยนี้จะพัฒนาและประยุกต์วิธีการปรับปรุงภาพถ่ายดิจิตอลให้มีความคมชัดสูงขึ้น แต่ได้พยายามรักษาค่าเฉลี่ยความผิดพลาดของภาพผลลัพธ์ต่ำสุด ด้วยการปรับปรุงฮีสโตแกรมแบบหลากหลายเว้าโค้ง โดยจะแบ่งฮีสโตแกรมของภาพต้นฉบับออกเป็น n ส่วนตามจุดเว้าหงายของฮีสโตแกรมต้นฉบับ จะได้ส่วนของฮีสโตแกรมเท่ากับ n+1 ส่วน และปรับเรียบฮีสโตแกรมอย่างอิสระจากกัน ผลลัพธ์ที่ได้พบว่าค่า Tennengrade หรือ ความคมชัดของภาพจะสูงขึ้นกว่าภาพต้นฉบับ แต่ยังคงรักษาความสว่างผิดพลาด (AMBE) ไว้ได้

คำสำคัญ: การปรับเท่าฮีสโตแกรม, ภาพดิจิตอล, เว้าโค้ง , ค่าเฉลี่ยความผิดพลาดสัมบูรณ์

## Abstract

Currently competition in terms of resolution and contrast of photos from digital cameras are widely mentioned. The higher resolution the photos contain, the more details the picture has. This fact enables the more details of pictures which also hold much more capacity of data. This also causes the electronic devices to be updated all the time to cope with those problems. Therefore, the conventional devices are obsolete. This research has been developed and applied to improve digital photos with high contrast. The researcher has solved the problems by keeping the average error of the lowest results and improving heat histogram of various curves. The heat will break the histogram of the original image into n part by the concave side of the heat histogram. The part of this histogram is equal to n+1 and then smooth each other heap histogram independently. The result showed that the Tennengrade or contrast of the image is higher than the original one. However, it can retain brightness errors (AMBE) as well.

Keywords: Histogram Equalization, Digital Image, Shape, Absolute mean brightness error

## 1. บทนำ

ปัญหาในเรื่องของภาพที่นำมาใช้งานคือความไม่ชัดเจนของภาพที่มีความแตกต่างของระดับสีเทาในภาพต่ำ หรือมีสัญญาณรบกวนในภาพสูงอาจจะทำให้การตีความหมายของภาพผิดเพี้ยนไป ดังนั้นการปรับปรุงภาพด้วยวิธีปรับปรุง Histogram เป็นวิธีที่ใช้กันอย่างแพร่หลายและถูกนำมาประยุกต์ในงานวิจัยฉบับนี้ เทคนิคในการปรับเท่าฮีสโตแกรมของภาพต้นฉบับเป็นเทคนิคที่ถูกสนใจ ซึ่งสามารถเพิ่มความคมชัดของภาพมากขึ้นกว่าภาพต้นฉบับได้ โดยในงานวิจัยฉบับนี้จะนำวิธีการปรับเท่าฮีสโตแกรม ณ ตำแหน่งการเกิดพีคของฮีสโตแกรม โดยแบ่งเป็น 3 กรณี ได้แก่ ณ ตำแหน่งการเกิดพีคสูง, ณ ตำแหน่งการเกิดพีคต่ำ และ ณ ตำแหน่งการเกิดพีคสูง-ต่ำ

งานวิจัยฉบับนี้มีวัตถุประสงค์ในการเพิ่มความคมชัดของภาพ โดยพิจารณาการรักษาข้อมูลต่างๆภายในภาพ ซึ่งใช้การประเมินผลภาพด้วยพิจารณาค่าความสว่างผิดพลาดสัมบูรณ์และค่าอัตราส่วนของสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนสูงสุด ระหว่างภาพต้นฉบับและภาพผลลัพธ์

## 2. ผลงานวิจัยและงานเขียนอื่นๆที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 หลักการปรับเท่าฮีสโตแกรม [1]

กำหนดให้ค่า X $= \{X(i,j)\}$ แสดงว่า ค่าที่กำหนดประกอบด้วยL ระดับสีเทาแยกเป็นค่า $\{X_0, X_1, ... X_{L-1}\}$ ที่ $X(i,j)$ แสดงให้เห็นถึงความเข้มของภาพในสถานที่เชิงพื้นที่ $(i,j)$

และค่า $X(i, j) \in \{X_0, X_1, \ldots X_{L-1}\}$.ให้ฟังก์ชั่นความหนาแน่นของความน่าจะเป็นค่า $p(X_k)$ถูกกำหนดให้เป็นสูตรดังนี้

$$p(X_k) = \frac{n_k}{N} \tag{1}$$

สำหรับค่า k = 0, 1, ..., L – 1, เมื่อค่าnkแสดงจำนวนครั้ง ที่ระดับค่า Xk ปรากฏว่า ได้ค่าข้อมูลนำเข้าสู่ค่า Xและค่า $N$ เป็นจำนวนรวมตัวอย่าง ผลลัพธ์ข้อมูลนำเข้า แสดงค่า $p(X_k)$เป็นค่าเชื่อมโยงกับฮิสโตแกรม ในการนำผลลัพธ์จากภาพที่ได้เสนอเป็นจำนวนพิกเซลล์ เป็นค่าเฉพาะความหนาแน่น แสดงเป็นค่า $X_k$. สามารถเขียนสมการเพื่อคำนวณค่าความหนาแน่นสะสม (Cumulative Density Function: CDF)จากสมการที่ 2 และ 3ตามลำดับ

$$c_L(x) = \sum_{j=0}^{m} {}^{t}_{v}\, p_L(X_j)$$

$$c_U(x) = \sum_{j=m+1}^{L-1} p_U(X_j) \tag{2}$$

การปรับเท่าฮิสโตแกรมจะถูกการปรับเท่าอย่างอิสระซึ่งกันและกัน ดังอธิบายได้จากสมการที่ 4, 5,6และ 7 ตามลำดับ

$$\mathbf{Y} = \{Y(i, j)\} \tag{4}$$

$$\mathbf{Y} = f_L(X_L) \cup f_U(X_U) \tag{5}$$

$$f_L(X_L) = \{f_L(X(i, j)) | \forall X(i, j) \in X_L\} \tag{6}$$

$$f_U(X_U) = \{f_U(X(i, j)) | \forall X(i, j) \in X_U\} \tag{7}$$

## 2.2 ขั้นตอนการตรวจจับหาตำแหน่งพีคของฮีสโตแกรม

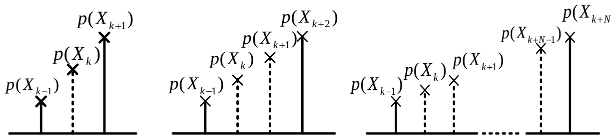
การแบ่งพีคฮีสโตแกรมไม่สามารถกระทำได้โดยง่ายเนื่องจากค่าความน่าจะเป็นในการเกิดจุดภาพของแต่ละค่าระดับสีเทาจะมีการแกว่งขึ้นลงไปมาอย่างไม่แน่นอนและค่าความน่าจะเป็นของบางระดับค่าระดับสีเทาอาจไม่มีค่าข้อมูลเลยดังนั้นต้องปรับปรุงฮีสโตแกรมก่อนเพื่อทำให้เห็นรูปร่างฮีสโตแกรมโดยมีลำดับขั้นตอนในการปรับปรุงฮีสโตแกรม

1. การสอดแทรกความน่าจะเป็นแบบเชิงเส้น (Linear Interpolation Probability Density)

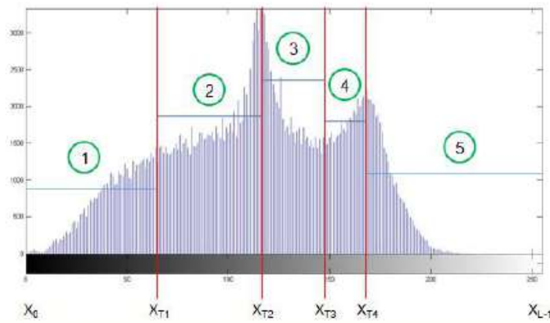
2. การหาค่าเฉลี่ยความน่าจะเป็นของค่าความสว่างหรือระดับสีเทาที่ใกล้เคียงกัน

3. การเปลี่ยนเครื่องหมายความแตกต่างระหว่างค่าความน่าจะเป็นของสองระดับสีเทาที่อยู่ใกล้เคียงกัน

4. การหาตำแหน่งค่าระดับสีเทาที่แบ่งพีคฮีสโตแกรมหรือเทรชโฮล (Threshold)




รูปที่ 1 การสอดแทรกแท่งกราฟฮีสโตแกรมที่ขาดหายไป



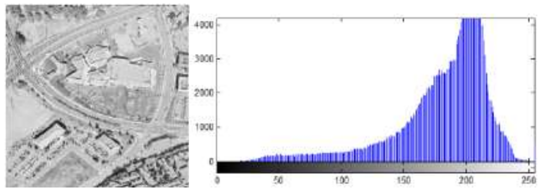

รูปที่ 2 การแบ่งฮีสโตแกรม ณ ตำแหน่งพีคสูง

จากนั้นกลุ่มฮีสโตแกรมย่อยจะถูกทำการปรับเท่าฮีสโตแกรมแยกกันอย่างอิสระดังนั้นถ้าภาพต้นฉบับเดิม $X$ จะถูกแบ่งออกเป็นภาพย่อยจะแต่ละพีคมีจำนวนจุดภาพเป็น ค่าความน่าจะเป็นหรือ PDFของระดับสีเทาในแต่ละพีค

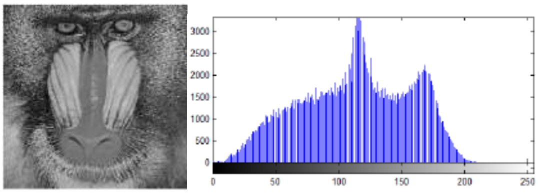
## 3. กระบวนการปรับเท่าฮีสโตแกรม ณ ตำแหน่งพีคต่างๆ

### 3.1 ภาพต้นฉบับที่ใช้ศึกษา

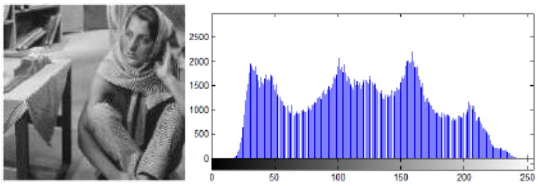
ภาพที่ใช้ศึกษาได้แก่ Aerial, Baboon , Barbara, Boat, Couple, F16, Fingerprint, Hill, House, Lena, Man, Peppers, Splash, Tank, Cameraman, Clock, Girl, Jelly Beans และ Airplane2



a.ภาพ Aerial.png และฮีสโตแกรมต้นฉบับ



b.ภาพ Baboon.png และฮีสโตแกรมต้นฉบับ

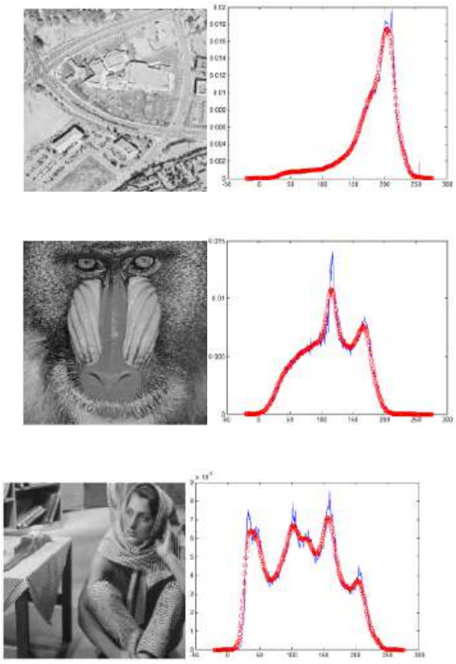


c.ภาพ Barbara.png และฮีสโตแกรมต้นฉบับ

รูปที่ 3 ภาพต้นฉบับและฮีสโตแกรมที่สอดคล้อง

## 3.2 การตรวจจับหาตำแหน่งพีคของฮีสโตแกรม

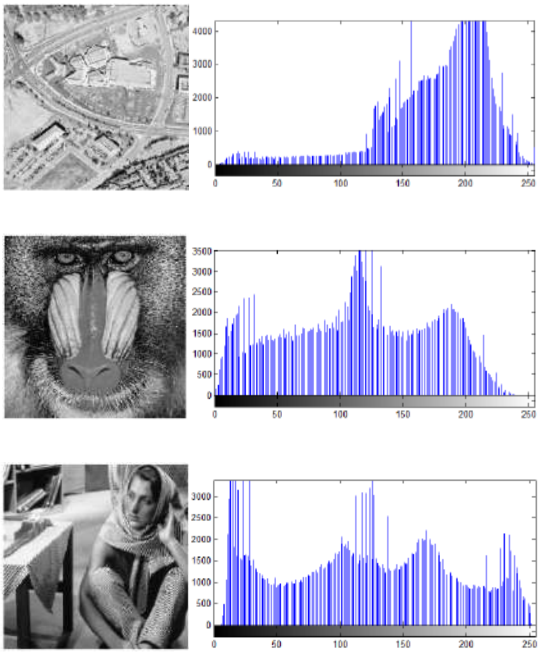
การพิจารณาตำแหน่งการเกิดจุดพีคฮีสโตแกรมได้ผ่านการทำ Filter เพื่อได้เห็นตำแหน่งการเกิดจุดพีคแท้จริง ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 4 ฮีสโตแกรมหลังจากผ่านการทำ Filter ในการพิจารณาจุดพีค

## 4.1 ปรับเท่าฮีสโตแกรมที่ ณ ตำแหน่งการเกิดพีคสูง-ต่ำ

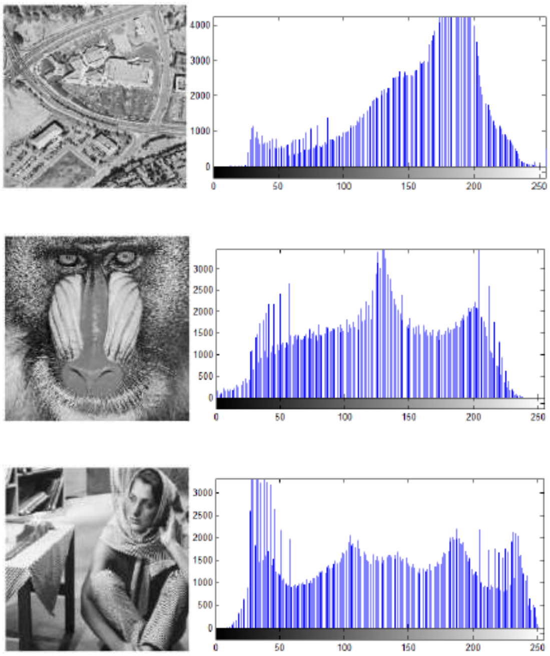
โดยตำแหน่งการปรับเท่าฮีสโต ณ ตำแหน่งการเกิดพีคสูง-ต่ำ ได้ภาพผลลัพธ์ ดังรูปที่ 3



รูปที่ 5 การปรับเท่าฮีสโตแกรม ณ ตำแหน่งสูง-ต่ำ

## 4.2 ปรับเท่าฮีสโตแกรมที่ ณ ตำแหน่งการเกิดพีคสูง

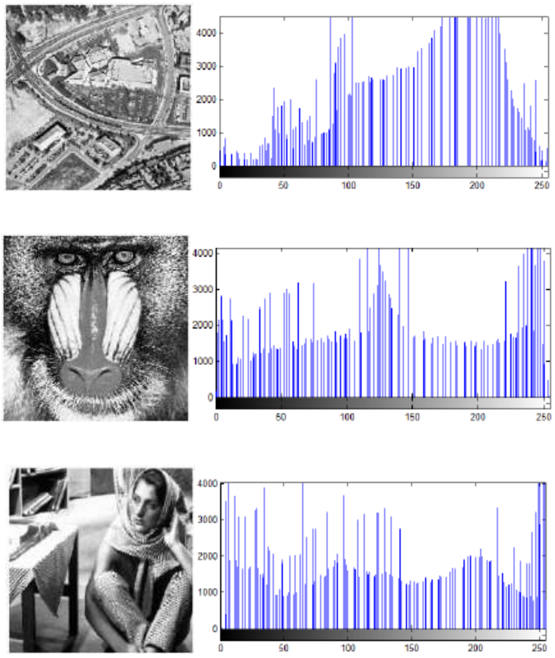
โดยตำแหน่งการปรับเท่าฮีสโต ณ ตำแหน่งการเกิดพีคสูงได้ จะได้ภาพผลลัพธ์ดังภาพที่ 4



รูปที่ 6 การปรับเท่าฮีสโตแกรม ณ ตำแหน่งสูง

### 4.3 ปรับเท่าฮีสโตแกรมที่ ณ ตำแหน่งการเกิดพีคต่ำ

โดยตำแหน่งการปรับเท่าฮีสโต ณ ตำแหน่งการเกิดพีคสูงได้จะได้ภาพผลลัพธ์ดังภาพที่ 4



รูปที่ 7 การปรับเท่าฮีสโตแกรม ณ ตำแหน่งต่ำ

ตารางที่ 2 ความสว่างผิดพลาดสัมบูรณ์เฉลี่ยเปรียบเทียบ (AMBE) และอัตราส่วนของสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนสูงสุด(PSNR)

| ภาพ | AMBE | | | PSNR | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | พีคสูง-ต่ำ | พีคสูง | พีคต่ำ | พีคสูง-ต่ำ | พีคสูง | พีคต่ำ |
| Aerial | 4.484 | 12.222 | 20.508 | 77.391 | 66.627 | 63.189 |
| Baboon | 4.5 | 8.32 | 17.367 | 74.823 | 70.916 | 64.132 |
| Barbara | 1.062 | 4.965 | 9.340 | 73.053 | 70.926 | 66.657 |
| Boat | 0.832 | 1.21 | 5.321 | 72.851 | 70.371 | 67.098 |
| Couple | 0.935 | 1.328 | 10.448 | 70.457 | 68.762 | 65.085 |
| F16 | 4.583 | 6.520 | 13.168 | 78.020 | 67.324 | 64.756 |
| Fingerprint | 0.322 | 0.582 | 3.658 | 74.373 | 73.707 | 67.137 |
| Hill | 2.569 | 5.936 | 6.251 | 72.031 | 69.739 | 64.557 |
| House | 0.5 | 2.643 | 9.132 | 74.765 | 71.954 | 66.59 |
| Lena | 0.813 | 3.086 | 15.693 | 71.603 | 69.491 | 64.408 |
| Man | 2.813 | 3.7 | 13.405 | 72.723 | 70.806 | 65.297 |
| Peppers | 0.02 | 1.231 | 8.902 | 73.887 | 69.308 | 66.243 |
| Splash | 3.605 | 9.6 | 12.593 | 74.431 | 68.980 | 65.738 |
| Tank | 0.823 | 1.4 | 7.162 | 71.796 | 74.775 | 64.8901 |
| House | 0.7469 | 1.238 | 4.090 | 71.768 | 72.013 | 66.423 |
| Cameraman | 1.364 | 1.509 | 11.925 | 72.963 | 73.773 | 68.740 |
| Clock | 1.732 | 3.466 | 14.756 | 71.325 | 64.936 | 61.141 |
| Girl | 0.739 | 1.289 | 20.999 | 71.685 | 75.303 | 65.429 |
| Jelly Beans | 0.593 | 5.464 | 14.168 | 80.322 | 68.376 | 66.438 |
| Airplane2 | 0.017 | 1.438 | 12.679 | 69.773 | 64.513 | 61.855 |

## 5. ผลและการวิเคราะห์ผล

ผลการศึกษาพบว่าการปรับปรุงคุณภาพโดยการปรับเท่าฮีสโตแกรม ณ ตำแหน่ง การเกิดพีคได้แก่ พีคสูง-ต่ำ ,พีคต่ำและพีคสูง ผลลัพธ์ภาพที่ได้พบว่าภาพมีความคมชัดสูง ซึ่งหลังจากที่ได้คำนวณหาค่าเฉลี่ยความผิดพลาดสัมบูรณ์ ( AMBE) และค่าอัตราส่วนของสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนสูงสุด (PSNR) ระหว่างภาพต้นฉบับและภาพผลลัพธ์พบว่าค่าเฉลี่ยความผิดพลาดสัมบูรณ์มีค่าต่ำและความคมชัดของภาพดีกว่าภาพต้นฉบับ ซึ่งเมื่อเทียบผลจาก 3 ตำแหน่งในการปรับเท่าฮีสโตแกรมพบว่า ณ ตำแหน่งพีคสูง-ต่ำ ให้ผลลัพธ์ดีที่สุด

## 4. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

## เอกสารอ้างอิง

[1] K.Wongsritong, K. Kittiyaruasiriwat, F. Cheevasuvit, K.Dejhan and A. Somboonkaew, “Contrast enhancement using multipeak histogram equalization with brightness preserving , ” IEEE Asia-Pacific Conf. on Circuit and Systems,Nov. 1998, pp. 455-458.

[2] S.D. Chen and A. Ramli, “Minimum mean brightness Error bi-histogram equalization in contrast enhancement,” IEEE Trans. on Consumer Electronics, vol. 49, no. 4,pp. 1310-1318, Nov. 2003.

[3] N. Sengee and H.K. Choi, “Brightness preserving weight clustering histogram equalization ,” IEEE Trans. on Consumer Electronics, vol. 54, no. 4, pp. 1752-1758, Aug. 2008.

**บทความวิจัย**

การประชุมวิชาการ งานวิจัยและพัฒนาเชิงประยุกต์ ครั้งที่ 8

*8th ECTI-CARD 2016, Hua Hin, Thailand*

# การปรับปรุงวิธีการกรองสัญญาณรบกวนแบบสลับสองด้านสำหรับภาพโดยใช้ค่ากลางพารามิเตอร์

# Modified Switching Bilateral Filter for Image Reconstruction by Mean Parameter

**เกรียงไกร เหลืองอำพล[1], วัลภา ภุมมะระ[2] และ วรพจน์ พัฒนวิจิตร [3]**

[1,2] สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

1381 ถนนพิบูลสงคราม แขวงบางซื่อ เขตบางซื่อ กรุงเทพฯ 10800 โทรศัพท์ 02-586-0808 E-mail: kriengkri.l@rmutp.ac.th[1], wanlapha.p@rmutp.ac.th[2]

[3]สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์และเครือข่าย มหาวิทยาลัยอัสสัมชัญ

88 ถนนบางนา-ตราด ตำบลบางเสาธง อำเภอบางเสาธง สมุทรปราการ 10540 โทรศัพท์ 02-723-2222 E-mail: patanavijit@yahoo.com

## บทคัดย่อ

ในบทความนี้เราจะตรวจสอบประสิทธิภาพของการกรองแบบสลับสองด้าน (SBF) เมื่อได้รับอิทธิพลจากสองพารามิเตอร์คือ ค่าความแปรปรวนเชิงพิสัย ($\sigma_R$) และค่าความแปรปรวนเชิงพื้นที่ ($\sigma_S$) ซึ่งเป็น 2 ปัจจัยที่สำคัญที่มีผลต่อการเพิ่ม/ลดประสิทธิภาพการทำงานของตัวกรอง SBF และสามารถใช้กรองสัญญาณรบกวนแบบเกาส์เซียนและแบบอิมพัลส์ได้ในเวลาเดียวกัน จากนั้นเราจะตรวจสอบอิทธิพลของสองพารามิเตอร์ในช่วง 1-100 และประเมินผลการกรองสัญญาณรบกวนสำหรับภาพทั้ง 5 ชนิดภายใต้สัญญาณรบกวนอิมพัลส์ ผลการจำลองแสดงให้เห็นว่าค่าที่ดีที่สุดของ $\sigma_R$ และ $\sigma_S$ ขึ้นอยู่กับชนิดของภาพ ดังนั้นเราจึงนำเสนอค่ากลางที่ดีที่สุดของ $\sigma_R$ และ $\sigma_S$ ที่ใช้กับภาพทุกชนิด

**คำสำคัญ:** ตัวกรองแบบสลับสองด้าน, การกรองแบบไม่เป็นเชิงเส้น, ความแปรปรวนเชิงพิสัย, ความแปรปรวนเชิงพื้นที่

## Abstract

In this paper, we investigate the performance of switching bilateral filter (SBF) influenced by two parameters — radiometric variance ($\sigma_R$) and spatial variance ($\sigma_S$). For SBF, $\sigma_R$ and $\sigma_S$ are the two most important factors that affect increasing/decreasing the performance of SBF. The SBF can be used to filter Gaussian noise and impulse noise. Then, we investigate the influence of two parameters by varying their values from 1 to 100 and evaluate the performance of the denoising for seven types of image under impulse noise environment. The simulation results show that the optimal values of $\sigma_R$ and $\sigma_S$ are depend on image type. Therefore, we propose the proportional of $\sigma_R$ and $\sigma_S$ that can be applied for all image type.

**Keywords:** switching bilateral filter, non-linear filter, range parameter, spatial parameter.

## 1. บทนำ

ปัจจุบันการสื่อสารโดยใช้ข้อมูลดิจิตอลมีการเติบโตเป็นอย่างมาก โดยเฉพาะการใช้ข้อมูลภาพ (image) ในการประยุกต์ใช้ข้อมูลนี้ มีความจำเป็นที่ต้องการคุณภาพของข้อมูลสูงมากโดยเฉพาะข้อมูลภาพ เช่นในระบบการรักษาพยาบาล ระบบรักษาความปลอดภัย เป็นต้น สิ่งที่ทำให้คุณภาพของข้อมูลต่ำลงคือ การมีสัญญาณรบกวน (noise) เพิ่มเข้าไปในข้อมูล [1] สัญญาณรบกวนที่รู้จักกันดี สามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ สัญญาณรบกวนแบบเชิงเส้น (linear noise) เช่นสัญญาณรบกวนแบบเกาส์เซียน (Gaussian noise) และสัญญาณรบกวนแบบไม่เป็นเชิงเส้น (non-linear noise) เช่น สัญญาณรบกวนแบบอิมพัลส์ (impulse noise) การกำจัดสัญญาณรบกวนออกจากข้อมูลภาพโดยใช้ตัวกรอง (filter) เป็นหนึ่งในเทคนิคที่ใช้ในการประมวลผลสัญญาณ [1] การใช้ตัวกรองนั้นมี 2 วัตถุประสงค์หลักคือ การแยกสัญญาณรบกวนและการกู้คืนสัญญาณที่ถูกรบกวนในกลับเป็นสัญญาณที่ถูกต้อง

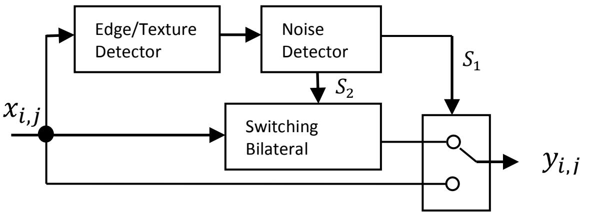
เทคนิคการกรองสัญญาณรบกวนโดยทั่วไปแบ่งตามชนิดของสัญญาณรบกวน คือการกรองแบบเชิงเส้น (linear filter) เช่นการกรองแบบเกาส์เซียน (Gaussian filter) [2] ซึ่งสามารถปรับผิวของภาพให้เรียบแต่ภาพที่ได้หลังจากการปรับเรียบผิวภาพจะมีความพร่ามัวที่ขอบ(edge) ของวัตถุ และการกรองอีกประเภทคือ การกรองแบบไม่เป็นเชิงเส้น (non-linear filter) เช่น การกรองโดยใช้ค่ามัธยฐาน (median filter) [3] ซึ่งให้ประสิทธิภาพสูงในการกำจัดสัญญาณรบกวนแบบอิมพัลส์ แต่ให้ประสิทธิภาพต่ำในการกำจัดสัญญาณรบกวนแบบเกาส์เซียน

การกรองแบบสองด้าน (bilateral filter) เป็นการกรองแบบไม่เป็นเชิงเส้น[4] ซึ่งเป็นการนำการกรองแบบพิสัย (range filter) และการกรองแบบโดเมนเชิงพื้นที่ (spatial domain filter) มารวมกันโดยสามารถปรับเรียบพื้นผิวของภาพและยังคงรักษาขอบภาพไว้ได้ ซึ่งเหมาะสมกับสัญญาณรบกวนแบบเกาส์เซียน แต่ให้ประสิทธิภาพต่ำกับการกำจัดสัญญาณรบกวนแบบอิมพัลส์ ต่อมาได้มีการนำเสนอเทคนิคการกรองแบบสลับสองด้าน (switching bilateral filter : SBF) [5] ซึ่งสามารถกรองสัญญาณรบกวนทั้งสองแบบได้ โดยใช้ค่าเรียงเวกเตอร์เฉลี่ย (sorted

quadrant median vector : SQMV) [5]ในการตรวจสอบจุด (pixel) ที่เป็นสัญญาณรบกวนและเลือกชนิดของสัญญาณรบกวนอีกด้วย โดยอ้างอิงกับค่ามัธยฐานอ้างอิง (reference median) [5] เพื่อที่จะหาค่ามัธยฐานอ้างอิงที่เหมาะสม จากคุณสมบัติของขอบและพื้นผิวในบริเวณที่ประมวลผล แม้ว่า SBF จะมีประสิทธิภาพมากในการกรองสัญญาณรบกวนหลายชนิดได้ แต่ประสิทธิภาพก็ขึ้นอยู่กับการปรับค่าพารามิเตอร์ 2 ตัวหลักจากหลายตัวแปร คือค่าความแปรปรวนเชิงพิสัย (range variance) และ ค่าความแปรปรวนเชิงพื้นที่ (spatial variance) เป็นสำคัญ ดังนั้นในการวิจัยนี้จะเน้นการคำนวณหาค่ากลางของพารามิเตอร์ทั้ง 2 เพื่อที่จะสามารถใช้ได้กับภาพทุกชนิด โดยแบ่งตามระดับค่าของการรบกวน

## 2. การกรองแบบสลับสองด้าน

การกรองแบบสลับสองด้าน (SBF) [5] สามารถใช้กรองสัญญาณรบกวนแบบเกาส์เซียน และสัญญาณรบกวนแบบอิมพัลส์ได้ โดยการประมาณค่าพิกเซล ในแต่ละจุดในภาพว่าเป็นสัญญาณรบกวนหรือไม่ และเลือกวิธีการกรองให้เหมาะสมกับชนิดของสัญญาณรบกวน คุณสมบัติหลักของ SBF คือการรักษาขอบภาพ และการปรับรายละเอียดของภาพ รูปที่ 1 แสดงบล็อกไดอะแกรมของ SBF เมื่อ $x_{i,j}$ และ $y_{i,j}$ คือตำแหน่งพิกเซลของภาพที่เสียหายและผลจากการกรอง ตามลำดับ $S_1$ และ $S_2$ เป็นตัวควบคุมสัญญาณ




รูปที่ 1 บล็อกไดอะแกรมของการกรองแบบสลับสองด้าน

ผลจากการกรองแบบสลับสองด้านสามารถอธิบายได้ดังนี้

$$y_{i,j} = \frac{\sum_{s=-N}^{N}\sum_{t=-N}^{N} W_G(s,t)\, W_{SR}(s,t)\, x_{i+s,j+t}}{\sum_{s=-N}^{N}\sum_{t=-N}^{N} W_G(s,t)\, W_{SR}(s,t)} \quad (1)$$

$$W_G(s,t) = \exp\ -\frac{(i-s)^2 + (j-t)^2}{2\sigma_S^2} \quad (2)$$

$$W_{SR}(s,t) = \exp\ -\frac{(I - x_{i+s,j+t})^2}{2\sigma_R^2} \quad (3)$$

เมื่อ $N$ คือขนาดของบริเวณที่ประมวลผล, $I = RM$ สำหรับสัญญาณรบกวนแบบอิมพัลส์ ($S_1 = 1$ และ $S_2 = 1$), $I = x_{i,j}$ สำหรับสัญญาณรบกวนแบบเกาส์เซียน ($S_1 = 1$ และ $S_2 = 0$) และ $RM$ คือค่ามัธยฐานอ้างอิง

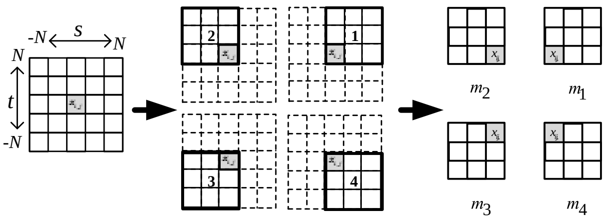
### 2.1 ค่าเรียงเวกเตอร์เฉลี่ย

ค่าเรียงเวกเตอร์เฉลี่ย (sorted quadrant median vector : *SQMV*) ใช้สำหรับการตรวจจับสัญญาณรบกวน โดยจะพิจารณาค่าความแตกต่างระหว่างค่าพิกเซลกับค่ามัธยฐาน ในบริเวณที่ประมวลผล (*W*) เพื่อดำเนินการกรอง SQMV จะแบ่งบริเวณที่ประมวลผล (2*N*+1)x(2*N*+1) ออกเป็น 4 ส่วนย่อย ขนาด (*N*+1)x(*N*+1) โดยมีพิกเซล $x_{i,j}$ เป็นจุดศูนย์กลางของบริเวณที่ประมวลผลในตำแหน่ง (*i, j*) ของภาพ ชุดขององค์ประกอบในบริเวณที่ประมวลผลอธิบายได้ดังนี้

$$W = \left\{ x_{i+s,j+t};\ -N \le s \le N, -N \le t \le N \right\} \quad (4)$$

ค่าพิกเซลใน 4 ส่วนย่อยขนาด $(N+1)\times(N+1)$ จะถูกกำหนดโดย

$$\begin{aligned} w_1 &= \left\{ x_{i+s,j+t};\ 0 \le s \le N, 0 \le t \le N \right\} \\ w_2 &= \left\{ x_{i+s,j+t};\ -N \le s \le 0, 0 \le t \le N \right\} \\ w_3 &= \left\{ x_{i+s,j+t};\ -N \le s \le 0, -N \le t \le 0 \right\} \\ w_4 &= \left\{ x_{i+s,j+t};\ 0 \le s \le N, -N \le t \le 0 \right\} \end{aligned} \quad (5)$$




(a) (b) (c)

รูปที่ 2 (a) บริเวณประมวลผลขนาด 5x5. (b) 4 ส่วนย่อย และ (c) ค่ามัธยฐานของแต่ละส่วนย่อย

เมื่อกำหนดให้ *N*=2 ในรูปที่ 2 แสดงบริเวณประมวลผลขนาด 5x5 ซึ่งถูกแบ่งออกเป็น 4 ส่วนย่อยขนาด 3x3 และค่ามัธยฐานในแต่ละบล็อกสามารถอธิบายได้ดังนี้

$$m_k = \text{median}\ \{w_k\},\quad k = 1 \text{ to } 4 \quad (6)$$

เมื่อ $m_1, m_2, m_3$ และ $m_4$ คือค่ามัธยมฐานเรียงจาก บนขวา, บนซ้าย, ล่างซ้าย และล่างขวาตามลำดับ ซึ่งค่าเหล่านี้ ($m_k$) จะนำมาเรียงลำดับจากค่าน้อยไปมากและกำหนดให้เป็นค่า SQMV ดังสมการที่ 7

$$SQMV = [SQM1, SQM2, SQM3, SQM4] \quad (7)$$

### 2.2 ค่ามัธยฐานอ้างอิง

โดยค่ามัธยมฐานอ้างอิง (*RM*) คำนวณมาจากค่าเรียงเวกเตอร์เฉลี่ย( $SQM1$, $SQM2$, $SQM3$ and $SQM4$ ) อธิบายได้ดังสมการที่ 8

$$RM = \begin{cases} (SQM3 + SQM2)/2, & SQMD_C \le P \\ SQM3, & SQMD_C \ge P \wedge avg \in (SQM3, SQM4) \\ SQM2, & SQMD_C \ge P \wedge avg \in (SQM1, SQM2) \end{cases} \quad (8)$$

เมื่อกำหนดให้ $SQMD_C = SQM3 - SQM2$ (9)

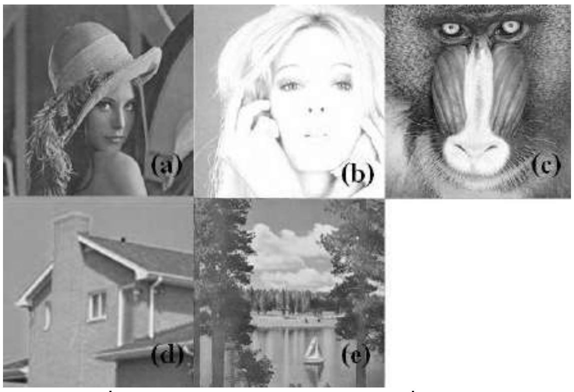
และ $avg = (SQM1 + SQM2 + SQM3 + SQM4)/4$ (10)

เราจะกำหนดให้ $P = 40$ ซึ่งเป็นค่าที่เหมาะสมที่สุด

ดังที่กล่าวมาข้างต้น SBF มีพารามิเตอร์ที่ใช้ในการกำหนดเกณฑ์ในการประมวลผลหลายตัว แต่ตัวพารามิเตอร์ที่มีผลโดยตรงในการกรองสัญญาณรบกวนคือ ค่าความแปรปรวนเชิงพิสัย (range variance: $\sigma_R$) ในฟังก์ชันของ $W_{SR}(s,t)$ และ ค่าความแปรปรวนเชิงพื้นที่ (spatial variance : $\sigma_S$) ในฟังก์ชันของ $W_G(s,t)$ โดยทั้งหมดจะถูกตั้งค่าในฟังก์ชันของ $x_{i,j}$ เมื่อ $x_{i,j}$ เป็นตำแหน่งของสัญญาณที่ถูกกรอง ดังนั้นการตั้งค่าของพารามิเตอร์ $\sigma_R$ และ $\sigma_S$ เป็นปัจจัยที่สำคัญมากในการกรองเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพที่สูงสุดของ SBF

## 3. วิธีการดำเนินการวิจัย

ในส่วนนี้เราทดสอบหาประสิทธิภาพ SBF โดยทดสอบกับชนิดของภาพที่แตกต่างกัน ประกอบด้วย Lena(256x256), Girl (Tiffany) (256x256), Baboon(256x256), House(128x128) และ Sailboat(256x256) แสดงในรูปที่ 3 ตามลำดับ ภาพเหล่านี้ได้ทำการเพิ่มสัญญาณรบกวนแบบอิมพัลส์ขนาด 10%, 20%, 30%, 40% และ 50% ทำการตั้งพารามิเตอร์เชิงพิสัย ($\sigma_R$) และเชิงพื้นที่($\sigma_S$) เพื่อตรวจสอบหาประสิทธิภาพสูงสุดของตัวกรอง SBF และทำการจำลองโดย Matlab




รูปที่ 3 ภาพต้นฉบับมาตรฐาน 5 ชนิดที่ใช้ทดสอบ (a)Lena, (b)Girl(Tiffany), (c)Baboon, (d)House และ (e)Sailboat.

### 3.1 การวัดประสิทธิภาพ

การวัดประสิทธิภาพในการกรองสัญญาณรบกวนสามารถใช้ค่าอัตราส่วนของสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนสูงสุด (PSNR: Peak signal-to-noise)[7] ในการวัดสัญญาณรบกวนในภาพที่ได้จากการกรอง ซึ่งเป็นวิธีที่นิยมเป็นอย่างแพร่หลาย ค่า PSNR สามารถหาได้ดังสมการ

$$PSNR(\bar{x}) = 10\log \frac{I_{MAX}^{2}}{\frac{1}{mn}\sum_{i=0}^{m}\sum_{j=1}^{n}(x_{(i,j)} - \bar{x}(i,j))^2} \quad (11)$$

เมื่อ $m$ คือจำนวนคอลัมน์, $n$ คือจำนวนแถว, $x_{(i,j)}$ คือบริเวณที่ไม่มีสัญญาณรบกวน, $\bar{x}(i,j)$ คือบริเวณที่ได้จากการกรอง, $i$ คือตำแหน่งทางคอลัมน์, $j$ คือตำแหน่งทางแถว และ $\mathbf{I}_{MAX}$ คือค่าระดับความเข้มสูงสุดมีค่าเท่ากับ 255 ที่ระดับความเข้มเทา

### 3.2 ผลกระทบต่อประสิทธิภาพของ SBF โดยค่าความแปรปรวนเชิงพิสัย และ ค่าความแปรปรวนเชิงพื้นที่

ในการศึกษาผลกระทบของค่าความแปรปรวนเชิงพิสัย ($\sigma_R$) โดยจะตั้งค่าความแปรปรวนเชิงพื้นที่ ($\sigma_S$) [6] เท่ากับ 3 และปรับค่า$\sigma_R$ ในช่วง 1-100 ในระหว่างการจำลองประมวลผลการกรองเพื่อให้ได้ค่า PSNR สูงสุดของระดับสัญญาณรบกวนทั้ง 5 ระดับ โดยทดสอบภาพทั้ง 5 ชนิดประกอบด้วย Lena, Girl (Tiffany), Baboon, House และ Sailboat ที่ระดับของสัญญาณรบกวนแบบอิมพัลส์ขนาด 10%, 20%, 30%, 40% และ 50% เพื่อให้แน่ใจว่า ถ้าค่าความแปรปรวนเชิงพื้นที่ ($\sigma_S$) เท่ากับ 3 ผลการกรองแบบสลับสองด้าน (SBF) จะให้ค่า PSNR สูงสุด ในส่วนนี้เราจะตรวจสอบผลการกรอง SBF โดยปรับค่า$\sigma_S$ ในช่วง 1-100 โดยตั้งค่า$\sigma_R$ เท่ากับ 40 ในการกรอง SBF [6] ของระดับสัญญาณรบกวนแบบอิมพัลส์ทั้ง 5 ระดับ โดยทดสอบกับภาพทั้ง 5 ชนิดและบันทึกผลที่ได้ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ค่า$\sigma_R$และ$\sigma_S$ ที่ดีที่สุดของภาพทั้ง 5 ชนิดและสัญญาณรบกวนทั้ง 5 ระดับ

| ภาพ \ ρ | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 |
|---|---|---|---|---|---|
| | $\sigma_R,\sigma_S$ | $\sigma_R,\sigma_S$ | $\sigma_R,\sigma_S$ | $\sigma_R,\sigma_S$ | $\sigma_R,\sigma_S$ |
| Lena | 44, 98 | 38, 76 | 36, 100 | 32, 80 | 28, 98 |
| Baboon | 78, 96 | 48, 100 | 36, 82 | 32, 98 | 30, 100 |
| Girl | 100, 98 | 100, 96 | 100, 98 | 100, 100 | 100, 84 |
| House | 46, 98 | 46, 46 | 40, 100 | 34, 68 | 34, 48 |
| Sailboat | 92, 58 | 44, 80 | 36, 78 | 32, 64 | 30, 94 |
| **Mean** | **72, 90** | **55, 80** | **50, 92** | **46, 82** | **45, 85** |

ตารางที่ 1 แสดงค่า$\sigma_R$และ$\sigma_S$ ที่ดีที่สุดในการกรอง เพื่อจะได้ค่า PSNR สูงสุดในแต่ละชนิดภาพภายใต้สัญญาณรบกวนทั้ง 5 ระดับ และค่า PSNR สูงสุดจากการกรองโดยใช้ค่า$\sigma_R$และ$\sigma_S$ ที่ดีที่สุดดังแสดงในตารางที่ 2 จากผลที่แสดงวิเคราะห์ได้ว่า ภาพที่มีโครงสร้างชัดเจนเช่น Lena, Girl และ House การกรองด้วย SBF จะได้ PSNR สูงมาก ในทางกลับกัน ภาพที่มีโครงสร้างไม่ชัดเจน เช่น Baboon จะได้ค่า PSNR ต่ำกว่า เราสามารถสรุปได้ว่า เมื่อระดับของสัญญาณรบกวนมีค่าต่ำ ควรกำหนด $\sigma_R$ ให้มีค่าสูง ในทางกลับกันถ้ามีสัญญาณรบกวนมากควรกำหนดค่า$\sigma_R$

ให้ต่ำลง นอกจากนี้เราพบว่า ค่าพารามิเตอร์ที่ดีที่สุดของแต่ละชนิดภาพในการกรองเพื่อที่จะได้ประสิทธิภาพสูงสุดนั้น ไม่สามารถระบุเป็นค่าตายตัวได้ เราจึงนำเสนอค่ากลางของพารามิเตอร์ $\sigma_R$ และ $\sigma_S$ ที่สามารถคงประสิทธิภาพที่สูงมากของการกรอง SBF ของทุกชนิดภาพ ได้ ค่ากลางของพารามิเตอร์ $\sigma_R$ และ $\sigma_S$ แสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 2 PSNR ของภาพทั้ง 5 ชนิดโดยค่า $\sigma_R$ และ $\sigma_S$ ที่เหมาะสม

| ภาพ \ ρ | **10** | **20** | **30** | **40** | **50** |
|---|---|---|---|---|---|
| Lena | 36.1343 | 33.6399 | 30.8163 | 26.6109 | 21.4950 |
| Baboon | 28.9995 | 26.6791 | 24.4161 | 21.7049 | 17.9186 |
| Girl | 33.9370 | 30.5726 | 27.3605 | 21.5358 | 16.2972 |
| House | 33.1457 | 30.8500 | 27.5378 | 23.7874 | 19.3811 |
| Sailboat | 30.8873 | 28.8773 | 26.5467 | 23.3740 | 18.9019 |

ตารางที่ 3 แสดงค่า PSNR ของภาพทั้งหมด เมื่อใช้ค่ากลางของ $\sigma_R$ และ $\sigma_S$ ที่นำเสนอ ผลการจำลองแสดงให้เห็นว่าค่าพารามิเตอร์ที่นำเสนอสามารถให้ค่า PSNR ที่สูงมากใกล้เคียงกับการใช้ค่าพารามิเตอร์ที่ดีที่สุดของแต่ละชนิดภาพ ดังนั้นเราจึงสามารถสรุปได้ว่า ค่ากลางของ $\sigma_R$ และ $\sigma_S$ ที่นำเสนอสามารถนำไปใช้กรองสัญญาณรบกวนของภาพทุกชนิด ตามระดับของสัญญาณรบกวน

ตารางที่ 3 PSNR ของภาพทั้ง 5 ชนิดโดยค่ากลางของ $\sigma_R$ และ $\sigma_S$

| ภาพ \ ρ | **10** | **20** | **30** | **40** | **50** |
|---|---|---|---|---|---|
| Lena | 36.0224 | 32.5608 | 29.9348 | 25.9254 | 21.0220 |
| Baboon | 28.9989 | 26.6687 | 24.3676 | 21.6417 | 17.8654 |
| Girl | 33.7939 | 30.3964 | 27.1690 | 21.3659 | 16.1013 |
| House | 33.2219 | 30.8459 | 27.5085 | 23.7481 | 19.3462 |
| Sailboat | 30.8822 | 28.8415 | 26.4785 | 23.3084 | 18.8436 |

## 4. สรุป

ในบทความนี้ เราเริ่มจากการหาค่าพารามิเตอร์ที่ดีที่สุดของค่าความแปรปรวนเชิงพิสัย ($\sigma_R$) และค่าความแปรปรวนเชิงพื้นที่ ($\sigma_S$) สำหรับภาพทั้ง 5 ชนิดภายใต้สัญญาณรบกวนแบบอิมพัลส์ทั้ง 5 ระดับ ผลการจำลองแสดงให้เห็นว่าค่าค่าพารามิเตอร์ที่ดีที่สุดของ $\sigma_R$ และ $\sigma_S$ ไม่สามารถตั้งเป็นค่าคงที่ได้ เพราะค่าเหล่านี้มีความแตกต่างกันตามรายละเอียดของภาพแต่ละชนิด และเป็นเรื่องยากในทางปฏิบัติ ดังนั้นเราจึงได้นำเสนอค่ากลางที่ดีที่สุดของ $\sigma_R$ และ $\sigma_S$ ภายใต้ระดับของสัญญาณรบกวนและการหาประสิทธิภาพของ SBF เพื่อจะได้ค่า PSNR สูงสำหรับภาพทุกชนิด

## เอกสารอ้างอิง

[1] A.K. Jain, Fundamentals of Digital Image Processing. Upper Saddle River, NJ: Prentice-Hall, 1989, Information and System Sciences Series.

[2] P.F. JOHANNES, D'HAEYER. Gaussian filtering of images: a regularization approach[J]. Signal Processing,1989,18:169-181.

[3] H. Lin and A.N. Willson Jr., "Median filters with adaptive length" IEEE Trans. Circuits Syst., Vol.35, no6, pp.675-690, Jun. 1988.

[4] C. Tomasi and R. Manduchi, "Bilateral filtering for gray and color images," in Proc. Int. Conf. Comput. Vis., 1998, pp. 839–846.

[5] Lin, C.H., Tsai, J.S. and Chiu, C.T. " Switching Bilateral Filter With a Texture/Noise Detector for Universal Noise Removal" IEEE Trans. Image Process., Vol. 19, No. 9, pp. 2307-2320, 2010

[6] S. Ramesh. "An efficient approach for removal of universal noise using adaptive based switching bilateral filter", IEEE Trans.2012 , ICAES-2012.,pp. 462-467, 2012.

[7] Ng, P.E. and Ma, K.K. "A switching median filter with boundary discriminative noise detection for extremely corrupted images", IEEE Trans. Image Process., Vol. 15, No. 6, pp. 1506-1516, 2006.

**เกรียงไกร เหลืองอำพล** สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล และ ปริญญาโท สาขาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาเอกสาขาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ งานวิจัยที่สนใจคือ Digital Signal Processing

**วัลภา ภุมมะระ** สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีสาขาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาโท สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ งานวิจัยที่สนใจคือ Digital Image Processing

**วรพจน์ พัฒนวิจิตร** สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี ระดับปริญญาโท และระดับปริญญาเอก สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า (โทรคมนาคม) จากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย งานวิจัยที่สนใจคือ Digital Signal Processing, Compressive Sensing, Enhancement, Fusion, Denoising, Inverse Problems, Motion Estimation and Registration.

**บทความวิจัย**

การประชุมวิชาการ งานวิจัยและพัฒนาเชิงประยุกต์ ครั้งที่ 8

*8th ECTI-CARD 2016, Hua Hin, Thailand*

# การใช้ท่าทางควบคุมอากาศยานปีกหมุนไร้คนขับแบบสี่ใบพัดด้วยเทคนิคการประมวลผลภาพ

## Gesture-Based Quadcopter Control Using Image Processing Techniques

**รัฐภูมิ วรานุสาสน์ สิทธิศักดิ์ ทิโน และ ศราวุธ เทียนคำ**

สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ ภาควิชาไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

99 หมู่ที่ 9 ต.ท่าโพธิ์ อ.เมือง จ.พิษณุโลก 65000 โทรศัพท์ 0559-6437

e-mail: rattapoomw@nu.ac.th, sitthisakt54@email.nu.ac.th, sarawutht54@email.nu.ac.th

## บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีการประมวลผลภาพดิจิทัลเพื่อพัฒนาขั้นตอนวิธีการควบคุมอากาศยานปีกหมุนไร้คนขับแบบสี่ใบพัดด้วยท่าทางการเคลื่อนไหวของร่างกาย กล้องที่ติดอยู่กับอากาศยานปีกหมุนจะทำหน้าที่รับภาพท่าทางการเคลื่อนไหวของผู้ใช้และส่งภาพให้กับคอมพิวเตอร์ผ่านสัญญาณเครือข่ายไร้สาย คอมพิวเตอร์จะทำการประมวลผลภาพโดยใช้เทคนิคตัวจำแนกแบบฮาร์แคสเคสเพื่อตรวจจับร่างกายท่อนบนของผู้ใช้ ทำการกำจัดสัญญาณรบกวนส่วนเกินในภาพที่ไม่ต้องการออกและแปลงภาพเป็นภาพไบนารี จากนั้นหากลุ่มพื้นที่ที่ติดกันเพื่อจะใช้ในการคำนวณหาตำแหน่งของใบหน้าและมือ คำสั่งควบคุมจะถูกแปลความจากตำแหน่งของมือทั้งสองข้างเทียบกับตำแหน่งใบหน้า สุดท้ายคอมพิวเตอร์ส่งคำสั่งควบคุมกลับไปยังอากาศยานเพื่อให้เคลื่อนที่ตามคำสั่งผ่านระบบเครือข่ายไร้สายไวไฟ ระบบนี้สามารถควบคุมอากาศยานปีกหมุนได้ 7 ลักษณะ คือ การบินอยู่กับที่ การบินขึ้นแนวดิ่ง การบินลงแนวดิ่ง การบินไปทางซ้าย การบินไปทางขวา การบินไปด้านหน้า และการบินไปด้านหลัง ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าระยะที่สามารถใช้งานได้ถูกต้องที่สุดคือระยะห่างของผู้ใช้จากอากาศยาน 1.5 ถึง 3 เมตร

คำสำคัญ: การรู้จำท่าทาง, การประมวลผลภาพ, อากาศยานปีกหมุนแบบสี่ใบพัด

## Abstract

This paper presents an application of digital image processing techniques in developing methods for controlling quadcopter drone using users' gestures. The onboard camera acquires the user's gestures image and the onboard microcontroller transmits the image to a computer via a wireless network. The computer processes the image using Haar cascade classifiers to detect upper torso of the user. Then the noise in the image is suppressed and the image is binarized. Connected components are labeled to be used as regions for the user's hands and face. Commands for controlling the quadcopter are derived from the relative positions of the hands and the face. The computer sends the recognized commands back to the quadcopter via the Wi-Fi wireless network. This system provides 7 different commands; hovering, flying upward, flying downward, flying left, flying right, flying forward, and flying backward. The experimental results showed that the distance between the user and the drone which gave the best accuracy was 1.5 to 3 m.

Keywords: Gesture recognition, image processing, quadcopter

## 1. บทนำ

อากาศยานปีกหมุนไร้คนขับแบบสี่ใบพัด (quadcopter) หรือโดรน (drone) กำลังได้รับความนิยมและถูกนำมาใช้ประโยชน์ด้านต่างๆ เช่น การถ่ายภาพมุมสูง การสำรวจพื้นที่ และการใช้เพื่อความบันเทิง เป็นต้น วิธีการควบคุมอากาศยานปีกหมุนแบบสี่ใบพัดในปัจจุบันนั้นมักใช้การควบคุมโดยรีโมทคอนโทรล หรือควบคุมผ่านสมาร์ทโฟน ซึ่งการควบคุมด้วยอุปกรณ์ดังกล่าวขาดความเป็นธรรมชาติในการควบคุม ผู้ควบคุมจำเป็นต้องถืออุปกรณ์ควบคุมไว้ตลอดเวลา ผู้วิจัยจึงพัฒนาขั้นตอนวิธีสำหรับการควบคุมอากาศยานปีกหมุนไร้คนขับแบบสี่ใบพัดโดยใช้เทคโนโลยีการเชื่อมต่อกับผู้ใช้งานแบบเป็นธรรมชาติ (natural user interface) แบบหนึ่งคือการรู้จำท่าทาง (gesture recognition) จากภาพวิดีโอของผู้ใช้มาใช้ควบคุมอากาศยานปีกหมุน โดยมีหลักการทำงานคือกล้องที่ติดอยู่กับอากาศยานปีกหมุนจะทำหน้าที่รับภาพท่าทางการเคลื่อนไหวของร่างกาย จากนั้นภาพที่ได้จะถูกส่งไปที่เครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลเพื่อทำการประมวลผลภาพ (image processing) เพื่อรู้จำท่าทาง เมื่อประมวลผลภาพเสร็จจะได้คำสั่งซึ่งเป็นคำสั่งที่ใช้ในการควบคุมการเคลื่อนที่ของอากาศยานปีกหมุนซึ่งจะแตกต่างกันไปตามลักษณะท่าทางของผู้ใช้ ในอนาคตขั้นตอนวิธีและแนวคิดของงานวิจัยนี้อาจนำไปต่อยอดสร้างเป็นอุปกรณ์ที่ใช้เพิ่มความสะดวกสบายในชีวิตประจำวันของ

มนุษย์ เช่น หุ่นยนต์เอนกประสงค์ภายในบ้านที่สามารถสั่งงานด้วยเสียงหรือท่าทางการเคลื่อนไหวของร่างกาย เป็นต้น

มีงานวิจัยหลายงานที่ศึกษาเกี่ยวกับเทคโนโลยีการโต้ตอบระหว่างมนุษย์และหุ่นยนต์ [1] พบว่าผู้ใช้รู้สึกใช้งานได้สะดวกเมื่อใช้การโต้ตอบที่หลากหลายและเป็นธรรมชาติ เช่น ในงานที่ศึกษาการตอบโต้ระหว่างผู้ใช้และหุ่นยนต์สุนัข [2] พบว่าผู้ใช้ใช้อุปกรณ์ควบคุมด้วยวีรีโมต (Wii remote controller) ได้สะดวกกว่าการใช้คีย์แพด สำหรับการโต้ตอบระหว่างมนุษย์และอากาศยานปีกหมุนแบบไร้คนขับหรือโดรนนั้น มีการประยุกต์ไปใช้ในหลายงาน เช่น การถ่ายภาพยนตร์ [3] และเป็นผู้ช่วยในการวิ่งออกกำลังกาย [4] แต่การโต้ตอบระหว่างมนุษยและโดรนนั้นมีข้อจำกัดที่แตกต่างจากหุ่นยนต์บนพื้นตรงที่โดรนนั้นสามารถบินได้อย่างอิสระไม่จำกัดอยู่ที่การเคลื่อนที่บนพื้น และผู้ใช้มีข้อจำกัดในการสัมผัสตัวโดรนโดยตรงเนื่องจากอันตรายจากใบพัดของโดรน ดังนั้นการโต้ตอบระหว่างมนุษย์และโดรนนั้นจึงต้องใช้เทคนิคที่แตกต่างจากหุ่นยนต์ทั่วไป เช่น การใช้ท่าทางของใบหน้าและตำแหน่งมือ [5] หรือท่าทางของร่างกายท่อนบน [6] เป็นต้น

## 2. ขั้นตอนและวิธีการ

เมื่อกล้องที่ติดตั้งอยู่บนอากาศยานปีกหมุนไร้คนขับแบบสี่ใบพัดหรือโดรนรับภาพมาแล้วจะส่งภาพที่ได้ในแต่ละเฟรมผ่านเครือข่ายไร้สายไปยังคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล ในคอมพิวเตอร์ระบบจะทำการตรวจสอบว่าตรวจจับพบภาพร่างกายท่อนบนของผู้ใช้หรือไม่ ถ้าตรวจจับพบจะทำการตรวจจับสีของผิวของผู้ใช้ และเมื่อพบบริเวณที่คาดว่าเป็นหน้า และมือของผู้ใช้ ระบบจะใช้ตำแหน่งดังกล่าวในการวิเคราะห์ว่าผู้ใช้ทำท่าทางใด ถ้ามีลักษณะตรงตามเงื่อนไขของการใช้คำสั่งควบคุมแบบใด คำสั่งควบคุมนั้นก็จะถูกส่งกลับไปควบคุมโดรนผ่านทางเครือข่ายไร้สายเพื่อบังคับให้โดรนนั้นเคลื่อนไหวตามคำสั่งที่ผู้ใช้สั่ง รูปที่ 1 แสดงภาพรวมของการทำงานของระบบที่นำเสนอ

**รูปที่ 1** ภาพรวมของระบบที่นำเสนอ

### 2.1 การเชื่อมต่อและการรับภาพ

ขั้นตอนแรกต้องมีการเชื่อมต่อระหว่างโดรนและเครื่องคอมพิวเตอร์ผ่านระบบเครือข่ายไร้สายไวไฟแบบเฉพาะกิจ (ad-hoc Wi-Fi network) เพื่อใช้ในการรับ-ส่งข้อมูลระหว่างโดรนและคอมพิวเตอร์ จากนั้นกล้องที่ติดตั้งที่ด้านหน้าของโดรนจะส่งภาพที่ได้กลับไปที่คอมพิวเตอร์เพื่อให้คอมพิวเตอร์ประมวลผลต่อไป โดรนที่ใช้ในงานวิจัยนี้คือ Parrot AR Drone 2.0 [7] ซึ่งใช้การสื่อสารไร้สายแบบไวไฟความถี่ 2.4 กิกะเฮิรตซ์ในมาตรฐาน IEEE 802.11

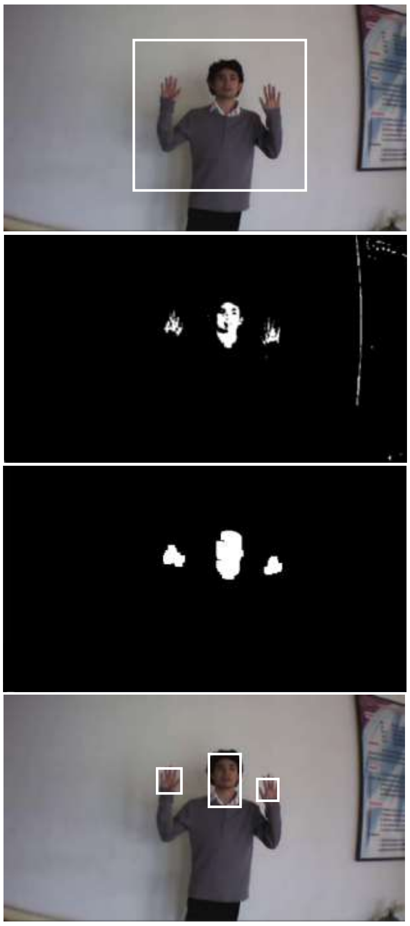
### 2.2 การตรวจจับภาพผู้ใช้

เมื่อคอมพิวเตอร์ได้รับภาพที่ส่งผ่านเครือข่ายไร้สายมาจากอากาศยานแล้ว ระบบจะทำการตรวจจับร่างกายท่อนบนของผู้ใช้ โดยใช้เทคนิคการตัวจำแนกแบบฮาร์แคสเคด (Haar cascade classifier) ซึ่งวิธีนี้เป็นที่นิยมในการตรวจจับวัตถุต่างๆ เช่น ใบหน้า ดวงตา เป็นต้น เนื่องจากวิธีนี้มีความรวดเร็วในการตรวจจับวัตถุ ให้ความถูกต้องสูง และทน (robust) ต่อการเปลี่ยนแปลงของแสงพอสมควร สำหรับคุณลักษณะที่ใช้แต่ละคุณลักษณะจะประกอบไปด้วยรูปทรงซึ่งกำหนดด้วยเทมเพลต (template) ตำแหน่งที่สัมพัทธ์กับจุดกำเนิดของหน้าต่างที่ใช้ค้นหา และขนาดของคุณลักษณะ ค่าคุณลักษณะสามารถคำนวณได้จากอัตราส่วนของผลรวมแบบถ่วงน้ำหนักของเทมเพลต แต่เนื่องจากการคำนวณด้วยวิธีดังกล่าวใช้เวลาในการคำนวณมากและไม่เหมาะกับงานแบบเวลาจริง Viola และ Jones [8] จึงเสนอเทคนิคการใช้ภาพอินทิกรัล (integral image) เพื่อทำให้การคำนวณเร็วขึ้น ตัวจำแนกสามารถสร้างได้โดยการวิเคราะห์กลุ่มของภาพที่ใช้สำหรับการเรียนรู้ (training images) โดยจะสอนตัวจำแนกด้วยภาพตัวอย่างโพสิทีฟ (positive sample image) ซึ่งเป็นภาพลำตัวท่อนบนของมนุษย์ และสอนด้วยภาพตัวอย่างเนกาทีฟ (negative sample image) ซึ่งเป็นภาพที่ไม่ใช่ภาพลำตัวท่อนบนของมนุษย์ รูปที่ 2 (ก) แสดงภาพที่ได้จากการตรวจจับภาพร่างกายท่อนบนของผู้ใช้ โดยกรอบสี่เหลี่ยมคือบริเวณที่เป็นร่างกายท่อนบนของผู้ใช้

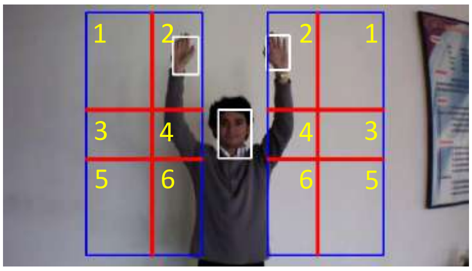
### 2.3 การหาตำแหน่งใบหน้า และมือของผู้ใช้

เนื่องจากผู้ใช้ควบคุมโดรนด้วยท่าทางของมือ ระบบนี้จึงจำเป็นต้องมีการระบุตำแหน่งของใบหน้าและมือของผู้ใช้เพื่อนำไปวิเคราะห์และแปลความหมายของคำสั่งว่าผู้ใช้แสดงท่าทางใด ดังนั้นเมื่อตรวจพบร่างกายท่อนบนของผู้ใช้ในภาพจากขั้นตอนที่เสนอในหัวข้อย่อยที่แล้วสำเร็จแล้ว ภาพที่ได้รับมาซึ่งเป็นภาพในระบบสี RGB จะถูกเปลี่ยนเป็นระบบสี HSV เพื่อให้เพิ่มความสะดวกในการจะแยกจุดสีที่คาดว่าเป็นสีผิวของผู้ใช้ออกมาด้วยวิธีการทำเทรชโฮลด์ (thresholding) กับค่าสี (hue) และความอิ่มของสี (saturation) รูปที่ 2 (ข) แสดงภาพไบนารีซึ่งเป็นผลลัพท์ที่ได้จากการทำเทรชโฮลด์ภาพในระบบสี HSV

(ก)
(ข)
(ค)
(ง)



**รูปที่ 2** ผลลัพธ์จากขั้นตอนการประมวลผลภาพ ก) ภาพผู้ใช้ที่ผ่านการตรวจจับร่างกายท่อนบน ข) ภาพการแยกส่วนภาพจากภาพระบบสี HSV ค) ภาพไบนารีที่ผ่านการกำจัดสัญญาณรบกวน ง) ภาพบริเวณใบหน้าและมือที่ตรวจจับได้



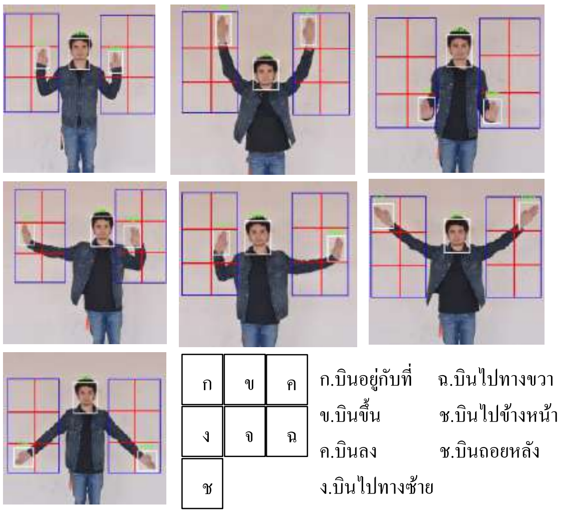

**รูปที่ 3** การกำหนดกรอบสำหรับแปลความหมายของคำสั่งควบคุม

จากรูปตัวอย่างในรูปที่ 2 (ข) พบว่าภาพที่แยกออกมายังมีสัญญาณรบกวนเป็นตำแหน่งจุดอื่นที่สีคล้ายกับสีผิวของผู้ใช้ จึงจำเป็นต้องมีการกำจัดสัญญาณรบกวนดังกล่าวด้วยวิธีมอร์ฟอโลจีคัลโอเพนนิ่ง (morphological opening) และหาขอบเขตกลุ่มพื้นที่ที่ติดกัน (connected component labelling) เพื่อระบุว่าจุดภาพใดอยู่ในกลุ่มพื้นที่ใดเพื่อที่จะสามารถคำนวณคุณสมบัติของแต่ละกลุ่มพื้นที่ได้ กลุ่มพื้นที่ที่มี 1) ขนาดจำนวนจุดภาพ และ 2) อัตราส่วนลักษณะ (aspect ratio) อยู่ในพิสัยที่กำหนดจะถูกเลือกไว้เป็นตัวแทน (candidate) ที่จะเป็นกลุ่มพื้นที่ใบหน้า และกลุ่มพื้นที่มือทั้งสองข้างต่อไป รูปที่ 2 (ค) แสดงภาพที่ผ่านการกำจัดสัญญาณรบกวน จากนั้นกลุ่มพื้นที่ที่มีขนาดใหญ่ที่สุดและอยู่ระหว่างกลุ่มพื้นที่ขนาดเล็กจะถูกระบุว่าเป็นบริเวณใบหน้า ในขณะที่กลุ่มพื้นที่ที่เล็กกว่าที่อยู่ทั้งสองข้างจะถูกระบุว่าเป็นบริเวณมือ รูปที่ 2 (ง) แสดงภาพผลลัพธ์ที่ได้จากการเลือกตัวแทนที่จะเป็นใบหน้าและมือทั้งสองข้าง

## 2.3 การแปลความหมายคำสั่งควบคุม

เมื่อได้ตำแหน่งของบริเวณใบหน้า และมือทั้งสองข้างแล้ว จะเป็นขั้นตอนการแปลความหมายว่าผู้ใช้ทำท่าเพื่อสั่งการควบคุมอากาศยานด้วยคำสั่งใด โดยการกำหนดกรอบพื้นที่ 2 ข้างอ้างอิงจากตำแหน่งและขนาดของกรอบใบหน้าที่ตรวจจับได้ โดยขนาดของกรอบที่ได้นั้นมีความกว้างเป็นสองเท่าและมีความสูงเป็นสามเท่าของความกว้างและความสูงของกรอบใบหน้าตามลำดับ ซึ่งกรอบแต่ละข้างจะถูกแบ่งเป็นกรอบละ 6 ช่อง ซึ่งช่องทั้ง 12 ช่องนี้ จะถูกนำมาใช้เป็นเงื่อนไขในการสร้างคำสั่งการควบคุมโดรน รูปที่ 3 แสดงตัวอย่างของการกำหนดกรอบเพื่อแปลความหมายท่าทาง

ท่าทางของผู้ใช้จะถูกแปลความเป็นคำสั่งควบคุมดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ 4 โดยรายละเอียดการแปลความหมายท่าทางแสดงในตารางที่ 1 เมื่อมือซ้ายหมายถึงมือฝั่งด้านซ้ายที่ปรากฏในภาพ และหมายเลขช่องคือหมายเลขช่องที่แสดงในรูปที่ 3 ซึ่งหลังจากแปลคำสั่งควบคุมแล้วคอมพิวเตอร์จะส่งคำสั่งผ่านเครือข่ายไร้สายไวไฟกลับไปยังอากาศยานเพื่อควบคุมให้บินตามคำสั่ง




**รูปที่ 4** การแปลความหมายคำสั่งควบคุมการบิน

ตารางที่ 1 การแปลคำสั่งควบคุมการบินจากตำแหน่งมือของผู้ใช้

| คำสั่งควบคุมการบิน | มือซ้ายที่ช่อง | มือขวาที่ช่อง |
|---|---|---|
| บินอยู่กับที่ (รูปที่ 4 ก) | 4 | 4 |
| บินขึ้นตามแนวดิ่ง (รูปที่ 4 ข) | 2 | 2 |
| บินลงตามแนวดิ่ง (รูปที่ 4 ค) | 6 | 6 |
| บินไปทางซ้าย (รูปที่ 4 ง) | 3 | 4 |
| บินไปทางขวา (รูปที่ 4 จ) | 4 | 3 |
| บินไปข้างหน้า (รูปที่ 4 ฉ) | 1 | 1 |
| บินถอยหลัง (รูปที่ 4 ช) | 5 | 5 |

## 3. การทดลอง

ผู้วิจัยทำการทดสอบการควบคุมโดรนด้วยท่าทางทั้งหมด 6 ท่า (ไม่รวมท่าบินอยู่กับที่) โดยใช้ผู้ทดสอบ 5 คน แต่ละคนทำท่าทางท่าทางละ 5 ครั้ง ด้วยระยะห่างระหว่างผู้ทดสอบและโดรนตั้งแต่ 0.5 เมตร ถึง 3.5 เมตร การทดสอบดังกล่าวกระทำในห้องปิดภายในอาคาร ไม่มีลม ผนังห้องทดลองเป็นสีขาว โดยที่ผู้ควบคุมสวมเสื้อแขนยาวและกางเกงขายาว ได้ร้อยละความถูกต้องดังตารางที่ 2 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าระบบที่นำเสนอให้ความถูกต้องสูงที่สุดเมื่อผู้ใช้อยู่ห่างจากโดรนในระยะ 1.5 – 3.0 เมตร

ตารางที่ 2 ผลการทดลองความถูกต้องที่ระยะทางระหว่างผู้ควบคุมและโดรนต่างกัน

| | ระยะทาง (เมตร) | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 0.5 | 1.0 | 1.5 | 2.0 | 2.5 | 3.0 | 3.5 |
| ความถูกต้อง | 10% | 73% | 97% | 93% | 97% | 93% | 57% |

## 4. สรุป

งานวิจัยนี้นำเทคโนโลยีการเชื่อมต่อกับผู้ใช้อย่างเป็นธรรมชาติมาประยุกต์ใช้เพื่อพัฒนาระบบการควบคุมอากาศยานปีกหมุนไร้คนขับแบบสี่ใบพัดโดยใช้ท่าทางของผู้ใช้ จากผลการทดลองเพื่อหาระยะห่างระหว่างผู้ใช้กับโดรนพบว่าในระยะ 1.5 – 3 เมตรจะให้ผลดีที่สุด แต่ยังมีข้อจำกัดที่ภาพพื้นหลังของผู้ใช้จะต้องไม่มีสีที่คล้ายสีผิวของผู้ใช้อยู่ด้วย และผู้ใช้จำเป็นต้องใส่เสื้อแขนยาวจึงจะทำงานได้อย่างถูกต้อง

## เอกสารอ้างอิง

[1] V. Alvarez-Santos, R. Iglesias, X. M. Pardo, C. V. Regueiro, and A. Canedo-Rodriguez, “Gesture-based interaction with voice feedback for a tour-guide robot,” *J. Vis. Commun. Image Represent.*, vol. 25, no. 2, pp. 499–509, Feb. 2014.

[2] C. Guo and E. Sharlin, “Exploring the use of tangible user interfaces for human-robot interaction,” in *Proceeding of the twenty-sixth annual CHI conference on Human factors in computing systems - CHI ’08*, 2008, p. 121.

[3] K. Higuchi, Y. Ishiguro, and J. Rekimoto, “Flying eyes: free-space content creation using autonomous aerial vehicles,” in *Proceedings of the 2011 annual conference extended abstracts on Human factors in computing systems - CHI EA ’11*, 2011, p. 561.

[4] F. Mueller, E. Graether, and C. Toprak, “Joggobot: jogging with a flying robot,” in *CHI ’13 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems on - CHI EA '13*, 2013, p. 2845.

[5] J. Nagi, A. Giusti, G. A. Di Caro, and L. M. Gambardella, “Human Control of UAVs using Face Pose Estimates and Hand Gestures,” in *Proceedings of the 2014 ACM/IEEE international conference on Human-robot interaction - HRI ’14*, 2014, pp. 252–253.

[6] K. Pfeil, S. L. Koh, and J. LaViola, “Exploring 3d gesture metaphors for interaction with unmanned aerial vehicles,” in *Proceedings of the 2013 international conference on Intelligent user interfaces - IUI ’13*, 2013, p. 257.

[7] Parrot, “AR.Drone 2.0.” [Online]. Available: http://ardrone2.parrot.com/. [Accessed: 01-Apr-2016].

[8] P. Viola and M. J. Jones, “Robust Real-Time Face Detection,” *Int. J. Comput. Vis.*, vol. 57, no. 2, pp. 137–154, May 2004.

**รัฐภูมิ วรานุสาสน์** ปัจจุบันเป็นอาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร เน้นงานวิจัยทางด้านการประมวลผลภาพ และการโต้ตอบระหว่างมนุษย์และคอมพิวเตอร์

**สิทธิศักดิ์ ทิโน** สำเร็จการศึกษาปริญญาตรีสาขาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ จากคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร สนใจงานวิจัยด้านการประมวลผลภาพดิจิทัล

**ศราวุธ เทียนคำ** สำเร็จการศึกษาปริญญาตรีสาขาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ จากคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร สนใจงานวิจัยด้านการประมวลผลภาพดิจิทัล

**บทความวิจัย**

การประชุมวิชาการ งานวิจัยและพัฒนาเชิงประยุกต์ ครั้งที่ 8

*8th ECTI-CARD 2016, Hua Hin, Thailand*

# การสกัดเสียงจากการเคลื่อนไหวของวัตถุในวิดีโอเงียบ

# Voice Extraction from Object Movement in Silent Video

**ภัทราวุธ คุณวิภูษิต[1], อมร มิสรา[1], กฤษฎิ์ เจริญสาธิต[1] และ ธนัสนี เพียรตระกูล[2]**

[1]วิทยาลัยนานาชาติ มหาวิทยาลัยมหิดล

999 ถ.พุทธมณฑลสาย 4 ต.ศาลายา อ.พุทธมณฑล จ.นครปฐม 73170

[2]ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล

25/25 ถ.พุทธมณฑลสาย 4 ต.ศาลายา อ.พุทธมณฑล จ.นครปฐม 73170 E-mail: tanasanee.phi@mahidol.ac.th

## บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอกระบวนการในการสังเคราะห์เสียงจากภาพเคลื่อนไหวที่มีการสั่นของวัตถุในภาพ โดยจะนำภาพจากกล้องที่มีความละเอียดเหมาะสม มาประมวลผลเพื่อหาวัตถุในภาพที่มีการเคลื่อนไหว จากนั้นจะทำการขยายสัญญาณ แล้วนำตำแหน่งที่เปลี่ยนไปของวัตถุในแต่ละเฟรมมาแปลงให้ออกมาเป็นเสียง จากการทดสอบเบื้องต้นพบว่า การสั่นสะเทือนของวัตถุในภาพสามารถนำมาแปลงเป็นเสียงที่มีความถี่ใกล้เคียงกับความถี่ของเสียงต้นฉบับ ดังนั้นการสกัดเสียงจากการสั่นของวัตถุ จะช่วยทำให้สามารถได้ยินเสียง ซึ่งสามารถนำไปใช้ช่วยในการสืบสวนสอบสวนต่อไปได้

คำสำคัญ: การประมวลผลวิดีโอ, การสกัดเสียง, การขยายสัญญาณ

## Abstract

This research proposed the steps of voice synthesis from video which has the object movement. Video images with the suitable resolution are processed to find the vibrating object. Then, the signals are magnified, the movement positions of the object in each frame are converted to sound. The elementary testing shows that the vibration of object in a video can be can be converted to sound which the frequency close to the frequency of the source. Thus, this process can extract sound that can be used to assist in the investigation of the situation.

Keywords: video processing, voice extraction, signal magnification

## 1. บทนำ

จากเหตุการณ์ความไม่สงบที่เกิดขึ้นบ่อยครั้งในประเทศ อาทิเช่น การลอบวางระเบิดทั้งใน กทม. และต่างจังหวัด การจราจล การชุมนุมประท้วง การโจรกรรม หรือ การลอบวางเพลิง เหตุการณ์เหล่านี้มักมีการตกลงวางแผนกันล่วงหน้า หรือบ้างครั้งมีการนัดหมายจ้างวานให้ผู้อื่นช่วยลงมือดำเนินการ ทำให้เมื่อเกิดเหตุการณ์ความไม่สงบขึ้นการติดตามผู้กระทำความผิดมาลงโทษจึงทำได้ยาก และไม่สามารถหาหลักฐานที่ชัดเจนได้ แต่ในปัจจุบันกล้อง CCTV ได้รับความนิยมมากขึ้น มีการติดตั้งกล้องตามสถานที่สำคัญ เพื่อสอดส่องดูแลความสงบเรียบร้อย หรือในร้านค้า ร้านอาหาร สถานที่สาธารณะทั่วไป ก็มีการติดตั้งกล้องกันมากขึ้น เพื่อที่จะใช้บันทึกภาพและตรวจสอบย้อนหลังได้เมื่อต้องการ ด้วยเหตุนี้เมื่อเกิดเหตุความไม่สงบขึ้น ภาพของผู้ก่อเหตุจึงมักถูกบันทึกไว้ได้ทั้งก่อนและหลังเหตุการณ์ความไม่สงบ

อย่างไรก็ตาม การจะนำภาพของผู้ก่อความไม่สงบ ไปขยายผลเพื่อหาผู้สมรู้ร่วมคิด หรือผู้ร่วมก่อการ อาจจะยังทำได้ไม่สะดวกนัก เนื่องจากกล้องส่วนใหญ่จะไม่สามารถบันทึกเสียงสนทนาที่เกิดขึ้นในระยะไกลได้ หรือ หากบันทึกได้ก็จะมีสัญญาณรบกวนทำให้ได้ยินไม่ชัดเจน จึงเป็นเหตุให้ผู้ต้องสงสัยสามารถปฏิเสธความผิดได้ หรือหากต้องการขยายผลเพื่อสืบหาผู้จ้างวานหรือผู้เกี่ยวข้อง ก็อาจจะทำให้ไม่มีหลักฐานที่จะนำมายืนยันได้ว่าบุคคลนั้นเป็นผู้จ้างวานจริง ด้วยเหตุนี้จึงเกิดแนวความคิดที่ว่า หากเราสามารถได้ยินเสียงสนทนาเหล่านั้น ก็อาจจะทำให้มีหลักฐานที่ชัดเจนขึ้น ว่าใครเป็นผู้จ้างวาน หรือมีใครบ้างเป็นผู้ร่วมก่อเหตุ การสังเคราะห์เสียงจากภาพเคลื่อนไหวที่บันทึกเหตุการณ์นั้นไว้ หรือ ภาพเหตุการณ์ก่อนและหลังก่อเหตุที่ผู้ต้องสงสัยมีการติดต่อพูดคุยกับบุคคลอื่น อาจทำให้ได้ข้อเท็จจริงที่มากขึ้น และสามารถนำไปขยายผลเพื่อติดตามจับกุมผู้ร่วมกระทำความผิดทั้งหมดมาลงโทษได้

ในงานวิจัยนี้จึงมีแนวความคิดที่จะนำเสนอกระบวนการในการสังเคราะห์เสียงจากภาพเคลื่อนไหวที่มีการสั่นสะเทือนของวัตถุในภาพ ในการใช้งานจริงภาพจากกล้อง CCTV ที่มีความละเอียดเหมาะสมจะถูกนำมาประมวลผลเพื่อหาวัตถุในภาพที่มีการเคลื่อนที่หรือมีการสั่นสะเทือน จากนั้นจะทำการแปลงการสั่นสะเทือนเหล่านั้นให้ออกมาเป็นเสียง เพื่อใช้ประกอบเป็นหลักฐานร่วมกับภาพเหตุการณ์ที่ได้บันทึก

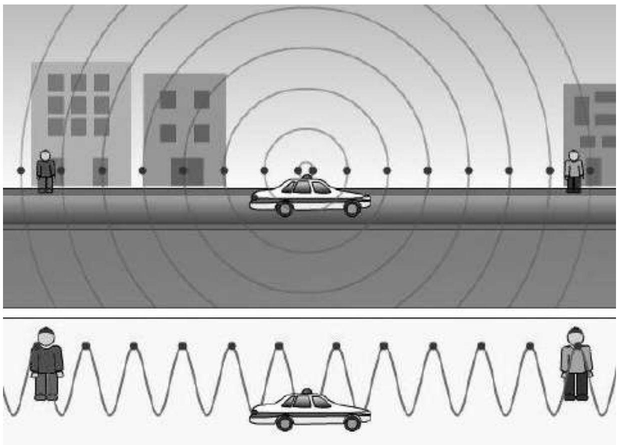
ไว้ แต่ในการทดสอบแนวความคิดนี้ เราจะเริ่มจากการนำภาพเคลื่อนไหวที่ไม่มีเสียง ซึ่งถูกบันทึกไว้ในสภาวะควบคุม มาใช้ในการทดสอบ โดยจะเป็นภาพของวัตถุที่เป็นแหล่งกำเนิดเสียง และ เป็นวัตถุที่เสียงตกไปกระทบ บันทึกด้วยความละเอียด และความเร็วสูง เพื่อแสดงให้เห็นว่าแนวความคิดดังกล่าวมีความเป็นไปได้

## 2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 เสียงกับการได้ยิน

อย่างที่ทราบกันดีว่า เสียงเกิดจากการสั่นสะเทือนของวัตถุ เมื่อวัตถุมีการสั่นสะเทือน จะทำให้เกิดการอัดตัวและขยายตัวของคลื่นเสียง และถูกส่งผ่านตัวกลางไปยังหู ทำให้ได้ยินเสียงขึ้น [1] จะเห็นได้ว่าการเคลื่อนที่ของเสียงจำเป็นต้องอาศัยตัวกลาง ซึ่งอาจจะเป็นของแข็ง ของเหลว หรือ ก๊าซ หากไม่มีตัวกลางเหล่านี้เสียงก็จะไม่สามารถเดินทางมาจนถึงหูของเราได้

เมื่อวัตถุหรือแหล่งกำเนิดเสียงมีการสั่นสะเทือน จะทำให้โมเลกุลของอากาศที่อยู่รอบๆ มีการเคลื่อนที่ โมเลกุลของอากาศเหล่านั้นจะเคลื่อนที่จากแหล่งกำเนิดเสียงไปชนกับโมเลกุลของอากาศที่อยู่ถัดออกไป และเกิดการถ่ายโอนโมเมนตัม [1] จากนั้นโมเลกุลที่ชนกันก็จะแยกออกจากกัน โดยโมเลกุลของอากาศที่เคลื่อนที่มาชนจะถูกดึงกลับไปยังตำแหน่งเดิมด้วยแรงปฏิกิริยา และโมเลกุลที่ได้รับการถ่ายโอนพลังงาน ก็จะเคลื่อนที่ต่อไปและไปชนกับโมเลกุลของอากาศที่อยู่ถัดไป เป็นเช่นนี้ไปเรื่อยๆ ทำให้เกิดเป็นคลื่นเสียง ดังแสดงในรูปที่ 1



**รูปที่ 1** การเคลื่อนที่ของเสียง [1]

ส่วนของความดังของเสียง คือปริมาตรของพลังงานเสียงที่มาถึงหูของเรา [1] ปัจจัยที่มีผลทำให้เสียงดังหรือเสียงค่อย ได้แก่

1. ระยะทาง ถ้าระยะทางใกล้ๆ จะได้ยินเสียงดังมาก และจะได้ยินเสียงค่อยลงไปเมื่อระยะห่างออกไป

2. ความแรงในการสั่นสะเทือนของวัตถุแหล่งกำเนิดเสียง

3. ชนิดของตัวกลางที่คลื่นเสียงเคลื่อนที่ผ่านไป เช่น ถ้าคลื่นเสียงเคลื่อนที่ไปในน้ำจะมีความดังของเสียงมากกว่าคลื่นเสียงที่เคลื่อนที่ไปในอากาศ

4. ขนาดและรูปร่างของวัตถุที่เป็นแหล่งกำเนิดเสียงสั่นสะเทือน

ด้วยเหตุนี้ หากเราอยู่ไกลจากแหล่งกำเนิดเสียง หรือมีการรบกวนจากเสียงอื่นๆ เช่น มีลมพัด มีวัตถุมากั้นทางเดินของเสียง ก็จะทำให้ไม่สามารถได้ยินเสียงชัดเจน แต่หากเราสามารถสังเกตการสั่นสะเทือนของวัตถุที่อยู่ใกล้กับแหล่งกำเนิดเสียงมากกว่า แล้วนำมาแปลงให้เป็นคลื่นเสียงได้ ก็น่าจะทำให้ได้ยินเสียงที่ชัดเจนมากยิ่งขึ้น

### 2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์เสียงจากระยะไกล

จากการค้นคว้างานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เราได้ศึกษาการใช้เลเซอร์วัดแรงสั่นสะเทือนบนพื้นผิวที่มีความเรียบสูงและสามารถสะท้อนแสงกลับมาได้ งานวิจัยนี้เป็นของ James M. Moses และเพื่อนของเขา K.P. Trout [2] ในงานวิจัยกล่าวถึงการขยายสัญญาณและแปลค่าแรงสั่นสะเทือนให้เป็นเสียง โดยใช้คุณสมบัติของเลเซอร์ ซึ่งเป็นการบีบอัดของแสง ทำให้แสงที่ได้นั้น นอกจากจะมีความเข้มข้นสูงแล้ว ยังกระเจิงได้ยากกว่าอีกด้วย สัญญาณที่ได้รับจึงค่อนข้างชัดเจนและไม่มีสัญญาณรบกวนมากนัก พวกเขาได้ยิงเลเซอร์ไปที่กระจกและใช้แผงโซลาเซลล์เป็นตัวรับสัญญาณ จากนั้นจึงใช้เครื่องช่วยขยายสัญญาณก่อนที่จะปล่อยเสียงออกทางลำโพง วิธีนี้ถึงแม้จะทำให้ได้เสียงที่ค่อนข้างชัดเจน แต่ก็ยังมีข้อจำกัดอยู่มาก เช่นในกรณีที่ไม่มีกระจก และยังไม่สามารถใช้ได้จริงในการสืบสวนสอบสวน เนื่องจากต้องใช้งานในขณะที่อยู่ในที่เกิดเหตุเท่านั้น จึงไม่สามารถนำมาใช้กับสถานการณ์ที่ผ่านไปแล้วได้

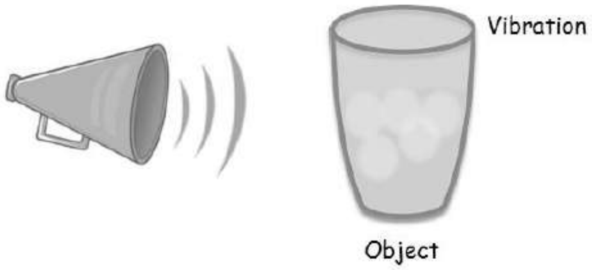
งานวิจัยเรื่องถัดมาเป็นของ Michael Rubinstein และทีมงาน [3] ซึ่งงานวิจัยนี้ได้รับความสนใจและงบสนับสนุนจากบริษัทชื่อดังอาทิเช่น Microsoft, Adobe และแน่นอน มหาวิทยาลัยที่พวกเขาสังกัดอยู่ MIT นั่นเอง พวกเขาได้ใช้ประโยชน์จากคุณสมบัติของเสียงที่เกิดจากการเคลื่อนไหว และก่อให้เกิดแรงสั่นสะเทือน ทดลองวิเคราะห์จากแรงสั่นสะเทือนของสิ่งของรอบข้างที่สามารถหาได้โดยใช้ Video Processing ซึ่งมีพื้นฐานมาจากการประมวลผลภาพ พวกเขาใช้ตัวอย่างที่ได้จากกล้องที่มีความไวและความละเอียดสูง (Ultra-speed Camera) โดยความถี่ของการถ่ายทีละเฟรมของกล้องประเภทนี้สูงกว่าความถี่ที่มนุษย์สามารถรับฟังได้มาก ซึ่งถ้าสามารถสังเคราะห์เสียงได้ 100% จะส่งผลให้ได้เสียงที่ค่อนข้างคมชัดในระดับที่น้อยคนจะแยกออกได้ แต่ข้อเสียของงานวิจัยนี้คือไม่สามารถใช้จริงกับกล้องทั่วไปได้ และหากจะเปลี่ยนกล้อง CCTV ทั้งประเทศให้เป็นกล้องชนิดนี้ต้องใช้งบประมาณที่สูงมาก

จนแทบจะเป็นไปไม่ได้เลย เราจึงได้ค้นคว้าต่อเพื่อหาวิธีที่จะสังเคราะห์เสียงให้ได้ใกล้เคียงที่สุดด้วยงบประมาณที่ต่ำลงมาและสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้จริงในสถานการณ์จริง

## 3. การแปลงการสั่นสะเทือนเป็นเสียง

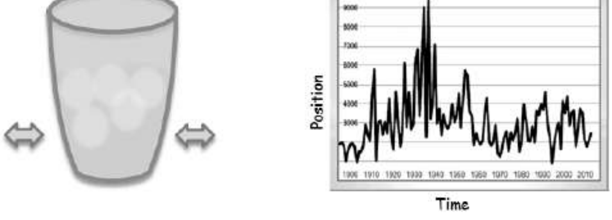
ขั้นตอนในการแปลงการสั่นของวัตถุในภาพเคลื่อนไหวให้เป็นเสียงนั้น ผู้พัฒนาได้ทำการแบ่งอย่างคร่าวๆ ออกเป็น 4 ขั้นตอน คือ

1. ตรวจหาวัตถุที่อยู่ใกล้กับแหล่งกำเนิดเสียงที่สนใจและสามารถตรวจจับความการสั่นสะเทือนได้ โดยการใช้วิธีการของการประมวลผลภาพเคลื่อนไหว เพื่อตรวจหาวัตถุที่ต้องการ เช่น แก้วน้ำ ถุงขนม ต้นไม้ ใบไม้ กระดาษ ฯลฯ ที่สามารถตรวจวัดการสั่นสะเทือนและแปลงเป็นเสียงได้ ดังแสดงในรูปที่ 2 จากนั้นทำการระบุตำแหน่งของวัตถุเหล่านั้นบนภาพ เพื่อจะนำไปใช้ศึกษาการสั่นของวัตถุนั้นในขั้นตอนถัดไป



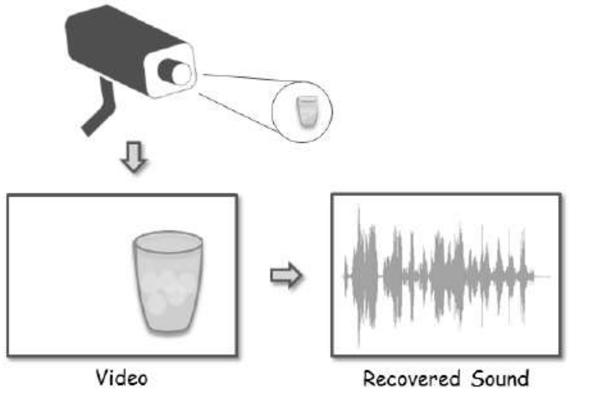

**รูปที่ 2** ตรวจหาวัตถุที่มีการสั่นและอยู่ใกล้กับแหล่งกำเนิดเสียง

2. วิเคราะห์การสั่นสะเทือนของวัตถุนั้นและสร้างเป็นกราฟที่แสดงตำแหน่งของวัตถุที่มีการสั่น ในขั้นตอนนี้จะทำการบันทึกตำแหน่งที่เปลี่ยนไปของวัตถุที่สนใจ โดยพิจารณาจากตำแหน่งของวัตถุในแต่ละเฟรมจากภาพเคลื่อนไหวที่นำมาพิจารณา แล้วนำมาแสดงในรูปแบบกราฟเพื่อให้เห็นการเปลี่ยนแปลงได้ง่ายขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 3



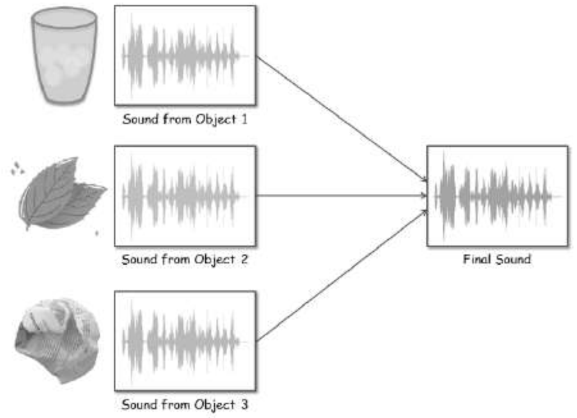

**รูปที่ 3** พิจารณาตำแหน่งของวัตถุในแต่ละเฟรมและแสดงผลเป็นกราฟระหว่างตำแหน่งและเวลา

3. แปลงข้อมูลจากตำแหน่งของวัตถุที่ได้ให้เป็นคลื่นเสียง ภายหลังจากได้ตำแหน่งของวัตถุในแต่ละเฟรมของภาพเคลื่อนไหวแล้ว สัญญาณที่ได้จะถูกนำมาขยายเพื่อให้เห็นการเปลี่ยนแปลงที่ชัดเจนขึ้น และสามารถนำไปแปลงเป็นเสียงที่มีความดังเหมาะสมได้ นั่นคือเราจะได้เสียงที่สกัดออกมาจากภาพเคลื่อนไหว ดังแสดงในรูปที่ 4




**รูปที่ 4** ได้เสียงที่สกัดมาจากวัตถุที่มีการสั่นสะเทือนในภาพ

4. ทำการรวมสัญญาณเสียงที่ได้จากแต่ละวัตถุให้เป็นเสียงเดียวที่มีความชัดเจนมากขึ้น หากการตรวจหาวัตถุในขั้นตอนแรก พบว่ามีวัตถุที่สนใจมากกว่า 1 ชิ้น ในขั้นตอนนี้เราจะทำการรวมสัญญาณเสียงที่ได้จากแต่ละวัตถุที่เราสนใจ ดังแสดงในรูปที่ 5 ในการรวมสัญญาณเสียงนั้นเราพิจารณาระยะห่างจากแหล่งกำเนิดเสียงของแต่ละวัตถุร่วมด้วย วัตถุที่อยู่ไกลจากแหล่งกำเนิดเสียงมากกว่า อาจจะมีเวลาที่หน่วงกว่า (Delay Time) สำหรับการที่เสียงเดินทางไปถึง นอกจากนั้นยังอาจจะมีสัญญาณรบกวนอื่นๆ ที่ไม่ใช่เสียงหลักที่เราสนใจ สัญญาเหล่านั้นจะถูกกรองออกไปในขั้นตอนนี้ด้วย

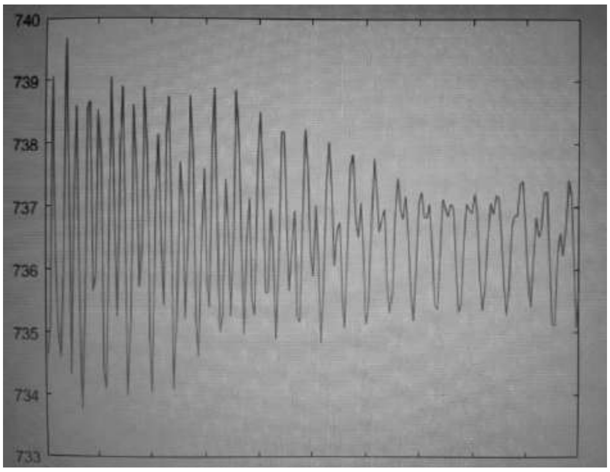



**รูปที่ 5** สัญญาณเสียงจากหลายๆ วัตถุจะถูกรวมเข้าด้วยกันเพื่อสังเคราะห์เป็นเสียงที่ต้องการ

## 4. ผลการวิจัย

ผู้พัฒนาได้ทำการทดสอบวิธีการที่นำเสนอ โดยการนำภาพเคลื่อนไหวของวัตถุ มาหาตำแหน่งที่เปลี่ยนแปลงไปในแต่ละเฟรม ตัวอย่างที่นำมาทดสอบในรูปที่ 6 เป็นภาพของสายเปียโน ผู้พัฒนาทำการกำหนดจุดที่ต้องการพิจารณา บันทึกการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งของจุดดังกล่าว และนำมาสร้างเป็นกราฟดังแสดงในรูปที่ 7

**รูปที่ 6** ภาพตัวอย่างสายเปียโนที่มีการสั่น




**รูปที่ 7** นำตำแหน่งของจุดที่สนใจมาสร้างเป็นกราฟ

หลังจากได้กราฟแล้วผู้พัฒนาได้ลองนำไปแปลงเป็นเสียงซึ่งสามารถเล่นเสียงดังกล่าวได้ แต่อาจจะยังขาดความชัดเจน ซึ่งผู้พัฒนาวางดำเนินการต่อโดยการขยายสัญญาณเสียง และจะทำการกรองสัญญาณรบกวนออก หลังจากที่ได้เสียงที่มีความชัดเจนมากขึ้นแล้ว จะทำการรวมสัญญาณเสียงจากวัตถุหลายๆ ชิ้นเพื่อเพิ่มความถูกต้องแม่นยำต่อไป

## 5. สรุป

วิธีการที่นำเสนอ หรือ การสกัดเสียงจากการสั่นของวัตถุ จะช่วยทำให้เราสามารถได้ยินเสียงที่ไม่สามารถได้ยินอย่างชัดเจนเมื่อทำการบันทึกภาพเคลื่อนไหว ซึ่งเมื่อนำไปใช้ในการสืบสวนสอบสวน ก็จะช่วยให้เจ้าหน้าที่มีข้อมูลมากขึ้น ข้อมูลเหล่านี้อาจนำมาประกอบกับภาพเคลื่อนไหว เพื่อใช้เป็นหลักฐานในการพิจารณาคดี หรืออาจมีส่วนช่วยให้การติดตามผู้ต้องสงสัยหรือผู้ร่วมดำเนินการ มาดำเนินคดีตามกฎหมายเป็นไปได้รวดเร็วยิ่งขึ้น

## เอกสารอ้างอิง

[1] AMFINEWELL, “เสียงกับการได้ยิน” [Online], Available HTTP: https://amfinewell.wordpress.com/2013/01/22/เสียงกับการได้ยิน-3/ (เข้าดูเมื่อ 1 มีนาคม 2559).

[2] J.M. Moses, K.P. Trout, “A Simple Laser Microphone for Classroom Demonstration”, The Physics Teacher, Vol. 44, December 2006.

[3] N. Wadhwa, M. Rubinstein, F. Durand, and W.T. Freeman, “Phase-based video motion processing”, ACM Transactions on Graphics (TOG), Vol. 32, No. 4, 2013.

ภัทราวุธ คุณวิภูษิต, อมร มิสรา, และ กฤษฎิ์ เจริญสาธิต ปัจจุบันเป็นนักศึกษาชั้นปีที่ 4 สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ วิทยาลัยนานาชาติ มหาวิทยาลัยมหิดล มีความสนใจในนวัตกรรมใหม่ๆ ทางด้านคอมพิวเตอร์ การประมวลผลสัญญาณ และภาพประมวลผลภาพ

ธนัสนี เพียรตระกูล ปัจจุบันดำรงตำแหน่งผู้ช่วยศาสตราจารย์ ประจำภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาเอก สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ จากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สนใจงานวิจัยด้านปัญญาประดิษฐ์ การเรียนรู้ของเครื่อง การทำเหมืองข้อมูล และการรู้จำรูปแบบ

**บทความวิจัย**

การประชุมวิชาการ งานวิจัยและพัฒนาเชิงประยุกต์ ครั้งที่ 8

*8th ECTI-CARD 2016, Hua Hin, Thailand*

# การออกแบบและพัฒนาระบบระบุตัวตนจากลายมือเขียน

# Design and Development for Handwriting Identification System

**ธนพงศ์ สุทิน[1], สิตางศุ์ สายดาราสมุทร[1] และ ธนัสนี เพียรตระกูล[2]**

[1]วิทยาลัยนานาชาติ มหาวิทยาลัยมหิดล

999 ถ.พุทธมณฑลสาย 4 ต.ศาลายา อ.พุทธมณฑล จ.นครปฐม 73170

[2]ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล

25/25 ถ.พุทธมณฑลสาย 4 ต.ศาลายา อ.พุทธมณฑล จ.นครปฐม 73170 E-mail: tanasanee.phi@mahidol.ac.th

## บทคัดย่อ

การพิสูจน์ลายมือเขียนเป็นแนวทางหนึ่ง ในการระบุตัวตนของเจ้าของเอกสาร หรือใช้ยืนยันความเป็นเจ้าของเอกสารได้ งานวิจัยนี้จึงได้อออกแบบขั้นตอนวิธีที่จะช่วยในการระบุตัวตนจากลายมือเขียนและพัฒนาเครื่องมือเพื่อใช้ระบุตัวตนของผู้เขียนเอกสารจากลายมือเขียนบนเอกสารได้อย่างสะดวกรวดเร็ว โดยทำการสกัดคุณลักษณะสำคัญของลายมือเขียนจำนวน 31 คุณลักษณะ และนำมาจำแนกเจ้าของลายมือเขียนโดยใช้วิธีการเพื่อนบ้านใกล้สุด K ตัว จากการทดสอบบนลายมือเขียนของ 5 คน พบว่าได้ค่าความถูกต้องอยู่ที่ 96% ซึ่งแสดงให้เห็นว่าวิธีการที่นำเสนอมีความแม่นยำ สามารถตรวจสอบความเป็นเจ้าของเอกสารได้สะดวก และสามารถทราบผลได้ในทันที

คำสำคัญ: การระบุตัวตนจากลายมือเขียน, การสกัดคุณลักษณะ, วิธีการเพื่อนบ้านใกล้สุด K ตัว

## Abstract

Handwriting identification is a method to identify the document owner. It can be used to confirm the document ownership. This research presents a design and development of handwriting identification system. This system is convenient to check the owners of document from their handwriting. In this system, 31 features will be extracted from the handwriting images. These features will be used for identifying the ownership by K-nearest neighbor. The experimental results on 5 persons show that the accuracy of handwriting identification is 96%. This result illustrates that the proposed system is precise. This system can be used for easily checking the document ownership and the results can be showed immediately.

Keywords: handwriting identification, feature extraction, K-nearest neighbor

## 1. บทนำ

ปัญหาอาชญากรรมทางเศรษฐกิจและสังคมในปัจจุบัน เกิดขึ้นในรูปแบบที่หลากหลายและมีความซับซ้อนมากขึ้น การสืบสวนสอบสวนจึงต้องอาศัยข้อมูลและพยานหลักฐานจากหลายแหล่งมาประกอบกัน การพิสูจน์ลายมือเขียนเป็นอีกแนวทางหนึ่ง ในการระบุตัวตนของเจ้าของเอกสาร หรือใช้ยืนยันความเป็นเจ้าของเอกสารได้ ซึ่งหากสามารถระบุตัวตนจากลายมือเขียนได้อย่างแม่นยำ จะสามารถนำไปใช้ช่วยในการสืบสวนสอบสวนคดี ช่วยระบุตัวผู้ต้องสงสัย หรือยืนยันการกระทำความผิด โดยเฉพาะคดีอาชญากรรมทางเศรษฐกิจ [1] ที่อาจจะไม่มีหลักฐานเป็นรูปธรรม แต่สามารถส่งผลเสียหายต่อบุคคล ประเทศชาติ และสังคมโดยรวม ทำลายความน่าเชื่อถือและความมั่นคงทางเศรษฐกิจได้

ตัวอย่างของปัญหาอาชญากรรมทางเศรษฐกิจเช่น การปลอมแปลงเอกสารทางการเงิน ความผิดเกี่ยวกับภาษีอากร โกงใบกำกับภาษี การปล่อยสินเชื่อในธุรกิจบ้านจัดสรรหรือสถาบันการเงิน ความผิดเกี่ยวกับทรัพย์สินทางปัญญา การฉ้อโกงในการซื้อขายผลผลิตล่วงหน้า ความผิดเกี่ยวกับเงินนอกระบบ เช่น แชร์ หรือ ทรัสต์เถื่อน การค้าเงินเถื่อน การเก็งกำไรเงินตราต่างประเทศ การผูกขาดหรือกักตุนสินค้า การรับสินบน ฉ้อโกง ยักยอก การสร้างข้อมูลเท็จ การฉ้อโกงธนาคาร การฉ้อโกงประกันภัย ความผิดเกี่ยวกับการฟอกเงิน และ อื่นๆ อีกมากมาย

ปัญหาเหล่านี้โดยส่วนมากมักเกี่ยวข้องกับการยืนยันตัวตนในเอกสาร หรือระบุตัวผู้กระทำความผิดจากเอกสารหลักฐานที่มีอยู่ ซึ่งอาชญากรทางเศรษฐกิจมักเป็นบุคคลที่มีบุคลิกภาพดี มีสติปัญญา มีการศึกษา

และ ฐานะทางเศรษฐกิจที่ดี รวมถึงมีอิทธิพล [1] บ่อยครั้งที่ผู้กระทำความผิดไม่ใช่การกระทำโดยบุคคลคนเดียว ทำให้คดีมีความซับซ้อน และการระบุผู้กระทำความผิด หรือ พิสูจน์ความผิดทำได้ยาก หลักฐานเพียงเล็กน้อยจึงมีความสำคัญอย่างมาก อาจนำมาใช้ช่วยในการกำหนดแนวทางในการสืบสวน หรือ นำไปใช้ขยายผลเพื่อหาพยานหลักฐานอื่นต่อไปได้ บางครั้งหลักฐานเหล่านั้นอาจมาในรูปของเอกสารที่ไม่สามารถระบุเจ้าของหรือเป็นบันทึกข้อความสั้นๆ เพื่อเตือนความจำหรือมอบหมายงาน ดังนั้นหากเราสามารถยืนยันความเป็นเจ้าของเอกสาร หรือ พิสูจน์ความเป็นเจ้าของลายมือที่อยู่บนเอกสารได้ จะช่วยให้การติดตามสืบสวนหรือดำเนินคดีทางกฎหมายทำได้ง่ายและสะดวกขึ้น

ในงานวิจัยนี้จึงได้ทำการออกแบบขั้นตอนวิธีที่จะช่วยในการระบุตัวตนจากลายมือเขียน และพัฒนาเครื่องมือเพื่อใช้ระบุตัวตนของผู้เขียนเอกสารจากจากลายมือเขียนบนเอกสารได้อย่างสะดวกรวดเร็ว โดยออกแบบให้เป็นแอพพลิเคชันบนสมาร์ทโฟนที่สามารถถ่ายภาพได้สะดวก หรือสามารถเลือกภาพลายมือเขียนที่ต้องการตรวจสอบ และส่งมาประมวลผลเพื่อให้ได้ข้อมูลของผู้ต้องสงสัยกลับไป

## 2. ทบทวนวรรณกรรม

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง พบว่างานวิจัยส่วนใหญ่ที่เกี่ยวข้องกับลายมือเขียน มักเป็นเรื่องของการรู้จำตัวอักษร เพื่อให้สื่อความหมายได้ว่าเป็นอักขระใด อาทิเช่น ในงานของ Hull และคณะ [2] ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1990 ที่กล่าวถึงการรู้จำตัวอักษรที่เป็นลายมือเขียนบนหน้าซองไปรษณีย์ เขาใช้ขั้นตอนวิธีที่เรียกว่า การจับคู่แม่แบบ (Template Matching) เพื่อรู้จำตัวอักษรภาษาอังกฤษและตัวเลขที่อยู่บนหน้าซองจดหมาย ตัวอักษรจะถูกปรับขนาดให้อยู่ที่ 16□16 ช่อง และเปรียบเทียบกับแม่แบบโดยใช้การวัดระยะแบบแฮมมิ่ง (Hamming Distance) นอกจากนี้ยังเพิ่มเติมในส่วนของการวิเคราะห์เส้นแสดงรูปร่าง (Contour) เพื่อเพิ่มความแม่นยำในการรู้จำ หรืองานของ Matan และคณะ [3] ในปีเดียวกัน ที่ใช้เครือข่ายประสาทเทียม (Neural Network) ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการรู้จำตัวอักษร

หลังจากนั้นการรู้จำตัวอักษรจากลายมือเขียนก็ได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่องในหลายภาษา ได้รับการพัฒนาในรูปแบบที่เป็นโปรแกรมประยุกต์เพื่อให้ใช้งานได้สะดวกยิ่งขึ้น และเป็นที่แพร่หลายอย่างมากเมื่อมีการนำมาประยุกต์ใช้ในสมาร์ทโฟน ทำให้ผู้ใช้งานสามารถจดบันทึกหรือทดแทนการพิมพ์ข้อความได้ ตัวอย่างเช่น ในการศึกษาเรื่อง Segmentation and Beautification of Handwriting using Mobile Devices” โดย Jesper Durebrandt [4] ได้กล่าวถึง การแบ่งถึงตัวอักษรที่เขียนติดกัน การปรับปรุงภาพ และการแปลงรูปภาพลายมือเขียนเป็นรูปแบบข้อความดิจิตอล และนำไปประยุกต์ใช้กับอุปกรณ์สื่อสารเคลื่อนที่ ในการศึกษานี้ เขามุ่งเน้นไปที่ขั้นตอนของการแบ่งแยกบรรทัด แบ่งแยกคำ ก่อนนำไปรู้จำ ในส่วนของโปรแกรมประยุกต์บน iOS ทำเพื่อยืนยันว่าขั้นตอนเหล่านั้นสามารถนำมาใช้งานได้จริงเท่านั้น

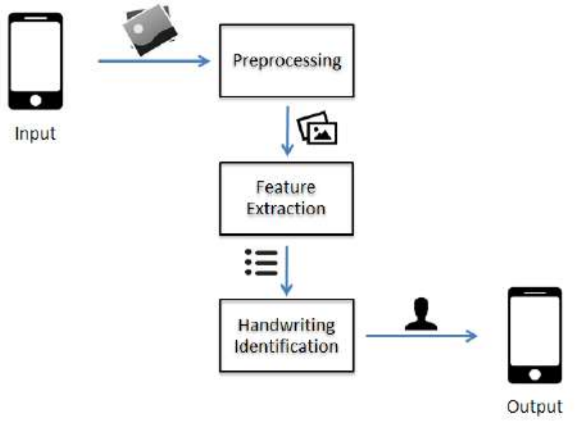
สำหรับงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการระบุตัวตนหรือยืนยันตัวตนจากลายมือเขียน ประเด็นสำคัญที่ถูกนำมาพิจารณาคือ การหาคุณลักษณะที่สำคัญบนลายมือเพื่อที่จะนำมาใช้ในการแยกแยะหรือระบุเจ้าของลายมือนั้น เช่นงานวิจัยเรื่อง Feature Extraction and Selection for Handwriting Identification: A review โดย Khaled Mohammed Bin Abdl, Siti Zaiton Mohd Hashim, และ Azah Kamiiah Muda [5] พวกเขาทำการสกัดคุณลักษณะที่สำคัญเพื่อใช้ระบุความเป็นเจ้าของเอกสาร โดยคุณลักษณะที่ใช้เกี่ยวข้องกับ ตัวอักษร คำ แนวบรรทัด และ ย่อหน้า เช่น การตัดกันของเส้นในตัวอักษร การวนเป็นวง ระดับหรือตำแหน่งของคำระดับบรรทัด และการวิเคราะห์พื้นผิวของเส้น

ในงานวิจัยเรื่อง Document Examiner Feature Extraction: Thinned vs. Skeletonised Handwriting Images ซึ่งเสนอโดย V. Pervouchine และ G. Leedham [6] เขาได้เสนอแนวทางในการระบุเจ้าของลายมือเขียนโดยดูจากการลงน้ำหนัก โดยได้นำเสนอ 2 แนวทางในการตรวจสอบ แบบแรกทำโดยการทำให้เส้นบางลง (Thining) และเก็บโครงสร้างของตัวอักษรในรูปแบบราสเตอร์ (Raster Skeleton) ส่วนอีกแนวทางหนึ่งคือเก็บโครงสร้างในรูปแบบเวกเตอร์ (Vector Skeleton) ผลการทดสอบของเขาพบว่า การเก็บโครงสร้างแบบเวกเตอร์ ให้ค่าความคลาดเคลื่อนในการสกัดคุณลักษณะที่ต่ำกว่า และสามารถช่วยเพิ่มความถูกต้องในการระบุตัวบุคคลได้ถึง 98% เมื่อทำการทดสอบโดยใช้ภาพที่เขียน “th” 100 ครั้ง จากคน 20 คน

จากการศึกษาทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ทำให้เกิดแนวความคิดที่จะพัฒนาโปรแกรมประยุกต์ ซึ่งสามารถนำมาใช้ระบุตัวตนของเจ้าของลายมือเขียน โดยใช้การประมวลผลจากภาพถ่ายดิจิตอลทำการหาคุณลักษณะที่สำคัญเพื่อใช้ในการจำแนก โดยโปรแกรมประยุกต์ที่พัฒนาขึ้น ควรจะสามารถใช้งานได้สะดวก มีความแม่นยำ และ ให้ผลการตรวจสอบได้ในเวลาไม่มาก ผู้วิจัยจึงตัดสินใจที่จะพัฒนาโปรแกรมประยุกต์ให้สามารถรับและแสดงผลข้อมูลได้บนอุปกรณ์สื่อสารเคลื่อนที่ ส่วนของการประมวลผลภาพซึ่งต้องการความแม่นยำจำเป็นต้องได้รับการสกัดคุณลักษณะที่เหมาะสม ซึ่งอาจต้องการทรัพยากรสำหรับการประมวลผลที่มากกว่าจะแยกไว้เป็นอีกส่วน ดังรายละเอียดที่จะกล่าวถึงในหัวข้อถัดไป

## 3. ระบบระบุตัวตนจากลายมือเขียน

ในการพัฒนาระบบระบุตัวตนจากลายมือเขียนนี้ ผู้พัฒนาได้แบ่งขั้นตอนในการทำงานของระบบออกเป็น 5 ขั้น ดังแสดงในรูปที่ 1




**รูปที่ 1** ระบบระบุตัวตนจากลายมือเขียน

ขั้นตอนที่ 1 รับภาพลายมือเขียน (Input) ในขั้นตอนนี้ภาพจะถูกส่งจากโปรแกรมประยุกต์บนอุปกรณ์สื่อสารเคลื่อนที่ มายังหน่วยประมวลผล ผู้พัฒนาเลือกที่จะพัฒนาโปรแกรมประยุกต์บนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ โดยใช้ภาษา Java และโปรแกรมประยุกต์จะเชื่อมต่อกับระบบฐานข้อมูลทั้งที่อยู่ตัวอุปกรณ์เอง และบนหน่วยประมวลผล

ขั้นตอนที่ 2 เตรียมข้อมูลภาพเบื้องต้น (Preprocessing) ภาพที่ได้รับมาจะถูกนำมาประมวลผลเบื้องต้น โดยโปรแกรมจะเลือกตัดเฉพาะบริเวณที่มีข้อความออกมา ปรับความคมชัดของภาพ กำจัดสัญญาณรบกวนต่างๆ และส่วนของพื้นหลังที่ไม่ได้ใช้ในการวิเคราะห์ จากนั้นจะทำการหาตำแหน่งของตัวอักษรต่างๆ ที่อยู่ในภาพ เพื่อนำไปใช้ในขั้นตอนถัดไป

ขั้นตอนที่ 3 สกัดคุณลักษณะที่สำคัญ (Feature Extraction) ในส่วนของการสกัดคุณลักษณะ ถือเป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญเป็นอย่างมาก ในงานวิจัยนี้เสนอที่จะใช้ข้อมูลพื้นฐานเกี่ยวกับลักษณะของตัวอักษรและคำเพื่อความรวดเร็วในการประมวลผล โดยคุณลักษณะที่จะนำมาใช้ได้แก่

(1) ความกว้างของตัวอักษรโดยเฉลี่ย

(2) ความสูงของตัวอักษรโดยเฉลี่ย

(3) อัตราส่วนระหว่างความกว้างและความสูงของแต่ละตัวอักษรโดยเฉลี่ย

(4) ระยะห่างระหว่างตัวอักษรเฉลี่ย

(5) ระยะห่างระหว่างคำโดยเฉลี่ย

(6) ความเอียงของแต่ละตัวอักษรโดยเฉลี่ย

(7) - (11) รูปแบบของวงกลมลักษณะต่างๆ ที่ปรากฏในตัวอักษร

(12) - (16) รูปแบบของเส้นตัดกันแบบต่างๆ ที่ปรากฏในตัวอักษร

(17) - (21) รูปแบบของเส้นในลักษณะทางแยกแบบต่างๆ ที่ปรากฏในตัวอักษร

(22) - (26) รูปแบบของเส้นโค้งแบบต่างๆ ที่ปรากฏในตัวอักษร

(27) - (31) รูปแบบของเส้นมุมแหลมแบบต่างๆ ที่ปรากฏในตัวอักษร

คุณลักษณะในข้อ (7) - (31) จะใช้การจับคู่แม่แบบ (Template Matching) เพื่อหาจำนวนของรูปแบบเหล่านั้นที่ปรากฏอยู่ในลายมือเขียน และนำมาใช้เป็นคุณสมบัติหนึ่งในการจำแนกหรือระบุตัวตนของเจ้าของลายมือเขียนนั้น ตัวอย่างของรูปแบบวงกลมทั้ง 5 รูปแบบของเส้นตัดกัน และ รูปแบบของเส้นทางแยกแสดงในรูปที่ 2-4 ตามลำดับ

**รูปที่ 2** ตัวอย่างแม่แบบวงกลมทั้ง 5 แบบ

**รูปที่ 3** ตัวอย่างแม่แบบของเส้นตัดกันทั้ง 5 แบบ

**รูปที่ 4** ตัวอย่างแม่แบบของเส้นทางแยกทั้ง 5 แบบ

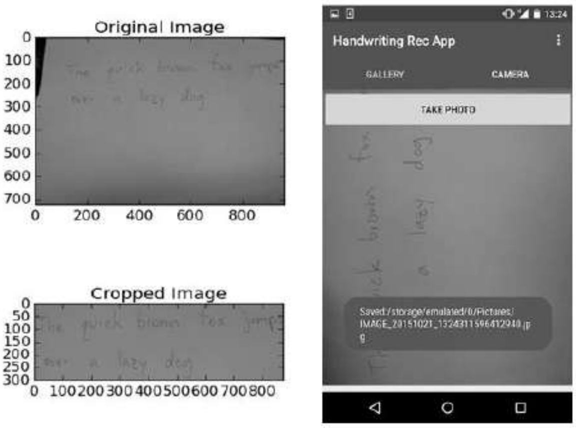
ขั้นตอนที่ 4 จำแนกเจ้าของลายมือเขียน (Handwriting Identification) ภายหลังจากได้คุณลักษณะที่สำคัญทั้งหมดออกมาแล้ว คุณลักษณะเหล่านั้นจะถูกนำมาใช้ในการจำแนกเจ้าของลายมือเขียน โดยในงานวิจัยนี้เลือกที่จะใช้ K-Nearest Neighbor ซึ่งเป็นขั้นตอนวิธีที่ใช้การเปรียบเทียบกับตัวอย่างใกล้เคียงเพื่อจำแนกข้อมูล เหตุที่เลือกใช้ขั้นตอนวิธีนี้เพราะเป็นวิธีที่สามารถให้คำอธิบายเกี่ยวกับการสรุปผลได้ง่าย ตีความได้เข้าใจไม่ยาก จึงเหมาะสมที่จะนำมาใช้สำหรับการประกอบการสืบสวนหรือพิจารณาคดี

ขั้นตอนที่ 5 แสดงผลการจำแนก (Output) หลังจากจำแนกเจ้าของลายมือเขียนในขั้นตอนก่อนหน้าได้แล้ว ผลการจำแนกจะถูกนำไปค้นหาข้อมูลจากฐานข้อมูล เพื่อนำรายละเอียดและข้อมูลของผู้ต้องสงสัยส่งกลับไปแสดงผลบนโปรแกรมประยุกต์อีกครั้ง จึงเป็นอันเสร็จสิ้นขั้นตอนในการทำงานของระบบ

## 4. ผลการวิจัย

ผู้วิจัยได้ทำการออกแบบขั้นตอนวิธีสำหรับการตรวจสอบลายมือเขียน และ ทำการสกัดคุณลักษณะที่จำเป็นต้องใช้ในการยืนยันเจ้าของลายมือเขียน จำนวน 31 คุณลักษณะ เพื่อยืนยันประสิทธิภาพของวิธีการที่นำเสนอ ผู้วิจัยได้ทำการเก็บรวบรวมตัวอย่างลายมือเขียนจำนวน 100 ข้อความ จากผู้เขียน 5 คน และทำการทดสอบเพื่อจำแนกเจ้าของลายมือเขียน โดยใช้ K-Nearest Neighbor และกำหนดให้ K=1 ทำการทดสอบโดยใช้ 10-Fold Cross Validation ผลการทดสอบแสดงค่าความถูกต้องอยู่ที่ 96% ซึ่งเป็นที่น่าพึงพอใจ และจะดำเนินการปรับปรุงให้ดีขึ้นอีก

ในส่วนของการพัฒนาโปรแกรมประยุกต์บนอุปกรณ์สื่อสารเคลื่อนที่ ได้ทำการออกแบบและพัฒนาความสามารถต่างๆที่จำเป็นต้องมีในระบบ เช่น การถ่ายภาพ การส่งข้อมูลภาพเพื่อนำไปประมวลผล การรับและแสดงผลการวิเคราะห์ภาพ ดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ 5




**รูปที่ 5** ตัวอย่างการประมวลผลภาพเพื่อใช้ระบุตัวตนจากลายมือเขียน

## 5. สรุป

นวัตกรรมนี้ได้รับการพัฒนาขึ้นเพื่อลดความยุ่งยากในการตรวจสอบความเป็นเจ้าของลายมือ ผู้ใช้งานสามารถตรวจสอบความเป็นเจ้าของเอกสารจากลายมือเขียนบนเอกสารเหล่านั้นได้โดยสะดวก และสามารถทราบผลได้ในทันที ตัวระบบมีความแม่นยำ มีขั้นตอนวิธีที่ชัดเจน สามารถนำไปอธิบายประกอบสำนวนคดีได้ สามารถนำไปใช้ช่วยในกระบวนการสืบสวนเพื่อติดตามผู้ต้องสงสัย และสามารถใช้ในการพิสูจน์หลักฐานหรือในการดำเนินคดีทางกฎหมาย นอกจากนี้ยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการระบุเจ้าของลายเซ็นบนเอกสารได้ด้วย

เพื่อจะเพิ่มความเชื่อมั่นของผลการทดสอบ ผู้พัฒนาจะเพิ่มกลุ่มตัวอย่าง และ ทดสอบกับลายมือที่ถูกเขียนในสภาวะอารมณ์ที่แตกต่างกันออกไป นอกจากนั้นจะทดสอบกับวิธีการเรียนรู้รูปแบบอื่นเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพ และหาวิธีการที่เหมาะสมที่สุดต่อไป

## เอกสารอ้างอิง

[1] สุมนทิพย์ จิตสว่าง, “อาชญากรรมเศรษฐกิจ” [Online]. Available: http://www.polsci.chula.ac.th/sumonthip/cri-economy.htm (เมื่อ 29 กุมภาพันธ์ 2559).

[2] J.J. Hull, A. Commike, and T.K. Ho, "Multiple Algorithms for Handwritten Character Recognition", Int. Workshop on Frontiers in Handwriting Recognition, Montreal, Canada, April 2-3, 1990, pp.117-129.

[3] O. Matan, R.K. Kiang, C.E. Stenard, B. Boser, J.S. Denker, D. Henderson, R.E. Howard, W. Hubbard, L.D. Jackel, and Y. Le Cun, “Handwritten Character Recognition Using Neural Network Architectures”, In Proceedings of the 4th USPS advanced Technology Conference, Washington D.C., November 1990, pp. 1003-1011.

[4] J. Durebrandt, "Segmentation and Beautification of Handwriting Using Mobile Devices", 2015. [Online]. Available: http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:808277/FULLTEXT01.pdf.

[5] K. Abdl, S. Hashim and A. Muda, "Feature Extraction and Selection for Handwriting Identification: A review", 2013, pp 375-381. [Online]. Available: http://comp.utm.my/pars/files/2013/04/Feature-Extraction-and-Selection-for-Handwriting-Identification-A-review.pdf.

[6] V. Pervouchine and G. Leedham, “Document Examiner Feature Extraction: Thinned vs. Skeletonised Handwriting Images”, IEEE Region 10/TENCON, 21-24 November 2005, pp.1-6.

ธนพงศ์ สุทิน และ สิตางศุ์ สายดาราสมุทร สำเร็จการศึกษาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ วิทยาลัยนานาชาติมหาวิทยาลัยมหิดล มีความสนใจในด้านการพัฒนาซอฟต์แวร์ และการนำระบบคอมพิวเตอร์ไปใช้ในภาคธุรกิจ
ธนัสนี เพียรตระกูล ปัจจุบันดำรงตำแหน่งผู้ช่วยศาสตราจารย์ ประจำภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สนใจงานวิจัยด้านปัญญาประดิษฐ์ การเรียนรู้ของเครื่อง การทำเหมืองข้อมูล และการรู้จำรูปแบบ

**บทความวิจัย**

การประชุมวิชาการ งานวิจัยและพัฒนาเชิงประยุกต์ ครั้งที่ 8

*8th ECTI-CARD 2016, Hua Hin, Thailand*

# การวิเคราะห์ข้อมูลทางด้านนิติวิทยาศาสตร์บนสื่อสังคมออนไลน์ โดยใช้เทคนิค NLP และ Naive Bayes

# A Forensic Analysis on Social Media using NLP and Naive Bayes

**ศศิประภา บานศิลป์[1] และ ดร. มหศักดิ์ เกตุฉ่ำ[2]**

[1]สาขาวิชาระบบสารสนเทศเพื่อการจัดการ คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

1518 ถนนประชาราษฎร์ 1 แขวงวงศ์สว่าง เขตบางซื่อ กรุงเทพมหานคร 10800 โทรศัพท์ 088-9614464 E-mail: sasiprapa_friend@hotmail.com

[2]สาขาวิชาระบบสารสนเทศเพื่อการจัดการ คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

1518 ถนนประชาราษฎร์ 1 แขวงวงศ์สว่าง เขตบางซื่อ กรุงเทพมหานคร 10800 E-mail: mahasak.k@it.kmutnb.ac.th

## บทคัดย่อ

ในปัจจุบันสื่อสังคมออนไลน์ ได้เข้ามามีบทบาทในชีวิตประจำวันมากขึ้นในการติดต่อสื่อสาร การแสดงความคิดเห็น ซึ่งแสดงออกถึงอัตลักษณ์ของแต่ละบุคคลทั้งในเชิงบวก และในเชิงลบ โดยในงานวิจัยชิ้นนี้ ผู้วิจัยทำการนำข้อมูลจาก Social Media (Facebook) มาทำการวิเคราะห์สืบหาผู้ใช้งานที่มีการแสดงความคิดเห็นในด้านบวก และผู้ใช้งานที่มีการแสดงความคิดเห็นในด้านลบ ที่อาจจะส่งผลกระทบและก่อให้เกิดความเสียหายต่อผู้อื่น ทั้งในลักษณะส่วนบุคคล และภาพรวมในระดับสังคม ประเทศชาติ โดยการใช้วิธีการ Naïve-Bayes ซึ่งเป็นเทคนิคในการแก้ปัญหาแบบ Classification ในการจัดแบ่งกลุ่มคนเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มผู้ใช้งานที่เป็นผู้ที่มีแนวโน้มปฏิบัติตามกฎหมาย และกลุ่มผู้ใช้งานที่เป็นผู้ที่มีแนวโน้มกระทำผิดกฎหมาย ซึ่งจะเป็นข้อมูลที่เป็นประโยชน์ในการสืบสวน สอบสวน ต่อเจ้าหน้าที่ผู้มีส่วนเกี่ยวข้องในการดำเนินการตามกฎหมาย ซึ่งจากการทดลอง ผู้วิจัยพบว่า วิธีการ Naïve-Bayes สามารถทำการจัดแบ่งกลุ่มผู้ใช้งาน Social media ที่มีการแสดงความคิดเห็นในด้านบวก และด้านลบ ได้ผลลัพธ์อยู่ในเกณฑ์ที่ดี มีความแม่นยำในการพยากรณ์ข้อมูล

คำสำคัญ: การวิเคราะห์ข้อมูลทางด้านนิติวิทยาศาสตร์, สื่อสังคมออนไลน์, Facebook, Naïve Bayes

## Abstract

These days, social media has played a significant role in daily life of all people and ages in order to communicate as well as express their thoughts and feelings. In this paper, the authors have studied user data from social media (Facebook) whose shared posts are positive, and also the negative side posts that may lead to negative affect personally or can be further extended to the community and nation level. The purposes are to identify users who have commented on the negative side that may be a lawbreaker on Computer related crime. On this which beneficial about investigation for legal proceeding and it facilitate for the police or people who take a part in the operation on law. It also contributes in the community at large to peacefulness. The effective Naïve-Bayes classifier is used in order to classify these two user groups. It significantly shows that analyzing social media data by using Naïve Bayes model presented sharing positive and negative views accurately as well as reflects satisfied results.

Keywords: Forensic Analysis, Social Media, Facebook, Naïve Bayes

## 1. บทนำ

ความก้าวหน้าในยุคดิจิทัลในสังคมปัจจุบัน การใช้งานเทคโนโลยีสารสนเทศ ส่งผลต่อการดำเนินชีวิตประจำวันของผู้คน โดยในปัจจุบันสื่อสังคมออนไลน์ (Social media) ได้เข้ามามีบทบาทในชีวิตของคน ทุกเพศ ทุกวัย ในการติดต่อสื่อสาร รวมถึงมีการใช้งานในการแสดงออกถึงความเป็นอัตลักษณ์ของแต่ละบุคคล ผ่านมุมมองการแสดงความคิดเห็นต่างๆ บนสื่อสังคมออนไลน์ ทั้งในการใช้งานอย่างเกิดประโยชน์ สร้างสรรค์ และการใช้งานในด้านลบ ที่อาจก่อให้เกิดปัญหาและความเสียหาย ทั้งในลักษณะของส่วนบุคคล หรือวงกว้าง ในระดับสังคม และประเทศชาติ โดยการใช้งานสื่อสังคมออนไลน์ในด้านลบที่ส่งผลกระทบสำคัญ ได้แก่ การโพสต์ข้อความหมิ่นพระบรมเดชานุภาพ การค้าขายยาเสพติดผ่านสื่อสังคมออนไลน์ ซึ่งนับเป็นภัยคุกคามที่ต้องเร่งดำเนินการเพื่อความสงบโดยรวมของประเทศชาติและคนในสังคม

นิติวิทยาศาสตร์เป็นการประยุกต์ใช้ความรู้ทางด้านวิทยาศาสตร์ทุกสาขา มาใช้กับการบังคับใช้กฎหมาย เพื่อประโยชน์ในการสืบสวน พิสูจน์หลักฐาน และดำเนินคดีตามกฎหมาย เพื่อนำไปสู่การนำตัวผู้กระทำความผิดมาลงโทษ เพราะหากปราศจากหลักฐานทางนิติ

วิทยาศาสตร์ คดีสำคัญๆ ที่สลับซับซ้อนหลายคดี คงจะไม่สามารถนำตัวผู้กระทำความผิดมาลงโทษได้ ทำให้ส่งผลร้ายต่อสังคม เพราะมีโอกาสที่ผู้นั้นจะกระทำความผิดซ้ำอีก

หากเราสามารถนำเทคโนโลยีสารสนเทศ กระบวนการต่างๆ มาใช้ในการบริหารจัดการข้อมูลบนสื่อสังคมออนไลน์ แล้วนำมาประยุกต์ใช้กับงานทางด้านนิติวิทยาศาสตร์ จะก่อให้เกิดประโยชน์อย่างมากทั้งในกระบวนการทำงานทางด้านนิติวิทยาศาสตร์ การรักษาไว้ซึ่งสิทธิ ความเป็นธรรม ตลอดจนการรักษาความสงบเรียบร้อยในสังคม โดยจากการใช้งานสื่อสังคมออนไลน์ในประเทศไทยในปัจจุบัน พบว่าข้อมูลการแสดงความคิดเห็นของผู้ใช้งานสื่อสังคมออนไลน์ในรูปแบบข้อความเป็นที่นิยมอย่างมากประกอบกับการใช้งานเครือข่ายสังคมออนไลน์เฟซบุ๊ก(Facebook) ในประเทศไทยนั้น มีอัตราการเติบโตที่สูงขึ้นแบบทวีคูณ และได้รับความนิยมอย่างสูง

ทางผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะทำการนำข้อมูลจากสื่อสังคมออนไลน์เฟซบุ๊ก(Facebook) ในรูปแบบข้อความ มาประยุกต์ใช้ในงานทางด้านนิติวิทยาศาสตร์ ในการจัดกลุ่มข้อมูลผู้ใช้งาน ผ่านการโพสต์ข้อความแสดงความคิดเห็นเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มผู้ใช้งานที่มีแนวโน้มเป็นผู้ที่ปฏิบัติตามกฎหมาย และกลุ่มผู้ใช้งานที่เป็นผู้ที่มีแนวโน้มกระทำผิดกฎหมาย (การกระทำความผิดตามพระราชบัญญัติว่าด้วยการกระทำความผิดเกี่ยวกับคอมพิวเตอร์ พ.ศ. 2550)

## 2. วัตถุประสงค์

2.1 เพื่อพัฒนาระบบในการวิเคราะห์ข้อมูลทางด้านนิติวิทยาศาสตร์

2.2 เพื่อสืบหาผู้กระทำความผิดบนสื่อสังคมออนไลน์

## 3. การทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ปัจจุบันมีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการนำข้อมูลจากสื่อสังคมออนไลน์ มาทำการวิเคราะห์ข้อมูลในด้านต่างๆ เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ในการวิเคราะห์ข้อมูลในงานทางด้านนิติวิทยาศาสตร์[1-8] จากความสนใจของผู้วิจัยในงานทางด้านนิติวิทยาศาสตร์พบว่าการวิเคราะห์ข้อมูลทางด้านนิติวิทยาศาสตร์ บนสื่อสังคมออนไลน์(Social media) นั้นมีอยู่หลายงานวิจัย ซึ่งงานวิจัยที่น่าสนใจนั้นสามารถลำดับความได้ดังนี้

Uraz Yavanoglu และคณะ.[1] นำเสนอการวิเคราะห์ข้อมูลมุมมองทางการเมืองผ่านสื่อสังคมออนไลน์ (Intelligent Approach for Identifying Political Views over Social Networks) โดยใช้ ANN model และ Data mining ในการวิเคราะห์ข้อมูล ซึ่งข้อมูลที่นำมาใช้ในการวิจัยเป็นข้อมูลที่นำมาจาก Twitter ในรูปแบบ Public data โดยจากงานวิจัยนี้สามารถช่วยในการวิเคราะห์มุมมองของประชาชน ที่ใช้งานสื่อสังคมออนไลน์ Twitter ภายในประเทศนั้น ว่ามีแนวความคิดในการสนับสนุนหรือต่อต้านรัฐบาล

Chris Howden และคณะ.[2] นำเสนอข้อมูลทางด้านนิติวิทยาศาสตร์ในช่วงเวลาหนึ่งผ่านมุมมอง Twitter (Moments in Time: A Forensic View of Twitter) เป็นการนำข้อมูลจาก Twitter มาดำเนินการผ่าน Python IDLE client ใช้ฐานข้อมูล MySQL และนำข้อมูลจาก Twitter ออกมาแสดงผลข้อมูลผ่านคำสั่ง SQL Statement

Suhyung Jo และคณะ.[3] นำเสนอข้อมูลทางด้านนิติวิทยาศาสตร์ในช่วงเวลาหนึ่งผ่านมุมมอง Twitter (The Study of Text Extraction for Forensic Data) ในการทำการสกัดข้อมูล

Zhaochun Ren และคณะ.[4] นำเสนอการเชื่อมโยงความสัมพันธ์และบริบทสำหรับการวิเคราะห์ข้อความทางด้านนิติวิทยาศาสตร์ (Semantic Linking and Contextualization for Social Forensic Text Analysis)

Noora Al Mutawa และคณะ.[5] นำเสนอการวิเคราะห์ข้อความทางด้านนิติวิทยาศาสตร์ผ่าน Facebook Chat (Forensic artifacts of Facebook's instant messaging service)

Reza Soltani และคณะ.[6] นำเสนอการจับคู่ความสัมพันธ์ใน Social Media (Identity Matching In Social Media Platforms) เป็นงานวิจัยที่มีการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของข้อมูลผู้ใช้งานในสังคมออนไลน์ Facebook, Twitter และ Linkedin

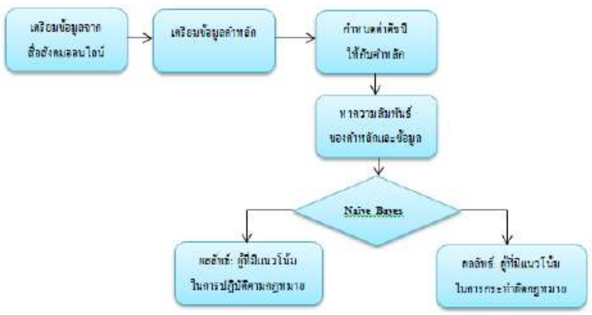
Aniello Castiglione และคณะ.[7] นำเสนอการวิเคราะห์ข้อมูลทางด้านนิติวิทยาศาสตร์โดยการใช้ภาพในสังคมออนไลน์ (A Forensic Analysis of Images on Online Social Networks) เป็นงานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับข้อมูลภาพที่อาจละเมิดลิขสิทธิ์ หรือผิดกฎหมาย ในสังคมออนไลน์

Norulzahrah Mohd Zainudin และคณะ.[8] นำเสนอข้อมูลเครือข่ายสังคมออนไลน์ในการสนับสนุนการหาข้อมูลหลักฐานในรูปแบบดิจิตอล และการนำมาประยุกต์ใช้งาน (Online Social Networks As Supporting Evidence A Digital Forensic Investigation Model and Its Application Design)

## 4. วิธีการพัฒนา และเทคนิคที่นำมาใช้

สำหรับวิธีการพัฒนาจะนำหลักการของการประมวลผลภาษาธรรมชาติ (Natural Language Processing) และ วิธีการ Naïve Bayes เข้ามาใช้ในการดำเนินการ โดยแบ่งขั้นตอนในการดำเนินการออกเป็น 6 ขั้นตอนหลัก ดังนี้ 1) เตรียมข้อมูลจากสื่อสังคมออนไลน์ 2) เตรียมข้อมูลคำหลัก(Forensic Keyword) ในการวิเคราะห์ข้อมูล 3) กำหนดค่าดัชนีให้กับคำหลัก 4) ทำการหาความสัมพันธ์ของข้อมูลคำหลักกับข้อมูลจากสื่อสังคมออนไลน์ที่เตรียมไว้ 5) ทำการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยวิธีการ Naïve

Bayes 6) ทำการวิเคราะห์ผลที่ได้รับ โดยหลักการทำงานของทั้ง 6 ขั้นตอน จะสอดคล้องกันดังภาพที่ 1 ซึ่งจะอธิบายรายละเอียดในแต่ละขั้นตอนการทำงานในลำดับต่อไป




**รูปที่ 1** แผนภาพการวิเคราะห์ข้อมูล

4.1 เตรียมข้อมูลจากสื่อสังคมออนไลน์ ในขั้นตอนแรกนี้ ทางผู้วิจัยจะทำการเตรียมข้อมูลที่จะนำมาใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล โดยจะนำข้อมูลมาจากสื่อสังคมออนไลน์ Facebook ผ่าน Facebook Graph API เข้ามาใช้ในการวิเคราะห์

**รูปที่ 2** การนำข้อมูลมาใช้งาน ผ่าน Facebook Graph API

4.2 เตรียมข้อมูลคำหลัก(Forensic Keyword) ในการวิเคราะห์ข้อมูล ทำการเตรียมคำหลัก(Forensic Keyword) จำนวน 100 คำ โดย 50 คำแรก เป็นคำหลัก (Forensic keyword) ที่พบในกลุ่มผู้ใช้งานที่ปฏิบัติตามกฎหมาย และอีก 50 คำ เป็นคำหลัก (Forensic Keyword) ที่พบในกลุ่มผู้ใช้งานที่เป็นผู้กระทำผิดกฎหมาย

4.3 กำหนดค่าดัชนีให้กับคำหลัก ข้อมูลชุดที่ 1 จะเป็นการนำคำหลัก(Forensic Keyword) ซึ่งเป็นคำที่พบในกลุ่มผู้ใช้งานที่ปฏิบัติตามกฎหมาย มาจำนวน 50 คำ และกำหนดค่าดัชนี ให้เป็นค่า 1 ถึง 50 และข้อมูลชุดที่ 2 จะเป็นการนำคำหลัก(Forensic Keyword) ซึ่งเป็นคำที่พบในกลุ่มผู้ใช้งานที่เป็นผู้ที่กระทำผิดกฎหมาย มาจำนวน 50 คำ และกำหนดค่าดัชนี ให้เป็นค่า 51 ถึง 100

ตารางที่ 1 ข้อมูลตัวอย่างของคำหลัก(Forensic Keyword) และการกำหนดดัชนี ในการวิเคราะห์ข้อมูล

| คำหลัก | ค่าดัชนี | คำหลัก | ค่าดัชนี |
|---|---|---|---|
| ความรัก | 1 | ขายกัญ | 51 |
| คิดถึง | 2 | ยำกัญ | 52 |
| ขอบคุณ | 3 | บ้องกัญ | 53 |
| กำลังใจ | 4 | กัญชาพร้อมส่ง | 54 |
| ความสุข | 5 | ขายปืนเถื่อน | 55 |

4.4 ทำการหาความสัมพันธ์ของข้อมูลคำหลักกับข้อมูลจากสื่อสังคมออนไลน์ที่เตรียมไว้ จะใช้หลักการ String matching ระหว่างคำหลักและข้อความแสดงความคิดเห็น เพื่อเป็นการเตรียมข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลในขั้นตอนถัดไป

ตารางที่ 2 ตัวอย่างชุดข้อมูลสำหรับ Naïve Bayes Training

| ชุดข้อมูล (Data Set) | ดัชนีที่ 1 | ดัชนีที่ 2 | ดัชนีที่ … | ดัชนีที่ 100 |
|---|---|---|---|---|
| 1. ผู้ใช้งาน 1: ความคิดเห็น | 1 | 0 | - | 0 |
| 2. ผู้ใช้งาน 2: ความคิดเห็น | 0 | 2 | - | 100 |
| 3. ผู้ใช้งาน 3: ความคิดเห็น | 1 | 0 | - | 0 |
| 4. ผู้ใช้งาน 4: ความคิดเห็น | 0 | 2 | - | 0 |
| 5. ผู้ใช้งาน 5: ความคิดเห็น | 1 | 0 | - | 100 |
| 6. ผู้ใช้งาน 6: ความคิดเห็น | 0 | 0 | - | 0 |
| 7. ผู้ใช้งาน 7: ความคิดเห็น | 0 | 2 | - | 0 |
| 8. ผู้ใช้งาน 8: ความคิดเห็น | 1 | 0 | - | 100 |
| ............................. | - | - | - | - |
| 100.ผู้ใช้งาน 100: ความคิดเห็น | 1 | - | - | 100 |

4.5 ทำการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยวิธีการ Naïve Bayes จากการวิจัยในครั้งนี้ จะมีการแบ่งคลาสเป็น 2 คลาส ดังนี้

1. Class Positive: ผู้ใช้งานสื่อสังคมออนไลน์ที่มีแนวโน้มในการปฏิบัติตามกฎหมาย

2. Class Negative: ผู้ใช้งานสื่อสังคมออนไลน์ที่มีแนวโน้มในการกระทำผิดกฎหมาย

4.6 ทำการวิเคราะห์ผลที่ได้รับ ในขั้นตอนนี้จะเป็นขั้นตอนในการวิเคราะห์ผลที่ได้รับ จากการวิเคราะห์ข้อมูล (Data analysis) ด้วยวิธี Naïve Bayes ในการวิเคราะห์ผู้ใช้งานสื่อสังคมออนไลน์ท่านนั้นๆ ว่าเป็นผู้ที่มีแนวโน้มปฏิบัติตามกฎหมาย หรือเป็นผู้ที่มีแนวโน้มกระทำผิดกฎหมาย

## 5. จุดเด่นของงาน และประโยชน์ในการนำไปใช้

จุดเด่นและประโยชน์การนำไปใช้งานจากงานวิจัยนี้ สามารถทำการวิเคราะห์ข้อมูลการแสดงความคิดเห็นของผู้ใช้งานสื่อสังคมออนไลน์ ว่าบุคคลท่านนั้นๆ เป็นผู้ที่มีแนวโน้มในการปฏิบัติตามกฎหมาย หรือเป็นผู้ที่มีแนวโน้มในการกระทำผิดกฎหมาย ที่เข้าข่ายการดำเนินการการกระทำความผิดตามพระราชบัญญัติว่าด้วยการกระทำความผิดเกี่ยวกับคอมพิวเตอร์ พ.ศ. 2550 ซึ่งงานวิจัยนี้จะเป็นเครื่องมือที่เป็นประโยชน์อย่างมากในงานทางด้านนิติวิทยาศาสตร์ การสืบสวนวิเคราะห์ข้อมูล รวมถึงการอำนวยความสะดวกให้กับเจ้าหน้าที่ตำรวจและผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับงานทางด้านการรักษากฎหมาย ให้เกิดความคล่องตัวในการดำเนินการมากยิ่งขึ้น ทั้งนี้ก็เพื่อประโยชน์ในการอยู่ร่วมกันของคนในสังคมและการลดปัญหาอาชญากรรมที่อาจเกิดขึ้นได้

## 6. สรุป

ในการดำเนินการวิจัยในครั้งนี้ทางผู้วิจัยได้ทำการทดลองการวิเคราะห์ข้อมูลทางด้านนิติวิทยาศาสตร์บนสื่อสังคมออนไลน์โดยใช้เทคนิคการประมวลผลภาษาธรรมชาติ (NLP) และ Naive Bayes โดยมีค่าความถูกต้องในการวิเคราะห์ข้อมูลสูงถึง 73% ในการจัดกลุ่มบุคคลที่มีแนวโน้มในการปฏิบัติตามกฎหมาย และกลุ่มบุคคลที่มีแนวโน้มกระทำผิดกฎหมาย ซึ่งเป็นประโยชน์ในการนำข้อมูลจากการวิเคราะห์มาช่วยในการสืบหาตัวผู้กระทำความผิด เพื่อดำเนินการตามกฎหมายต่อไป

ทางผู้วิจัยมีความเชื่อมั่นว่างานวิจัยชิ้นนี้สามารถที่จะต่อยอดและพัฒนาให้เกิดประโยชน์ต่อกระบวนการทางนิติวิทยาศาสตร์ และรักษาไว้ซึ่งสัมพันธภาพในการอยู่ร่วมกันของคนในสังคมได้เป็นอย่างดี

## 7. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอบพระคุณพระเจ้า ครอบครัว อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์ทุกท่านที่คอยให้คำแนะนำ ความรู้ พี่ๆ เพื่อนๆ น้องๆ และผู้เชี่ยวชาญในการใช้คำในภาษาไทย (อ. ดำรง ญาณจันทร์) ผู้เชี่ยวชาญในงานทางด้านนิติวิทยาศาสตร์ (พ.ต.ต. พีรพล เสลารัตน์) ที่คอยชี้แนะให้คำแนะนำ เป็นกำลังใจ ให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงเป็นอย่างดี

## เอกสารอ้างอิง

[1] Uraz Yavanoglu, Busra Caglar, Ozlem Milletsever, Medine Colak, Semra Cakir, and Seref Sag_roglu, "Intelligent Approach for Identifying Political Views over Social Networks", IEEE 2013.

[2] Chris Howden, Lu Liu, Zhijun Ding, Yongzhao Zhan, and KP Lam, "Moments in Time: A Forensic View of Twitter", IEEE 2013.

[3] Shankar Setty, Rajendra Jadit, Sabya Shaikh, Chandan Mattikalli and Vma Mudenagudi, "Classification of Facebook News Feeds and Sentiment Analysis", IEEE 2014.

[4] Zhaochun Ren, David van Dijk, David Graus, Nina van der Knaap, Hans Henseler, and Maarten de Rijke, "Semantic Linking and Contextualization for Social Forensic Text Analysis", IEEE 2013.

[5] Noora Al Mutawa, Ibtesam Al Awadhi, Ibrahim Baggili, and Andrew Marrington, "Forensic artifacts of Facebook's instant messaging service", IEEE 2011.

[6] Reza Soltani, and Abdolreza Abhari, "Identity Matching In Social Media Platforms", IEEE 2013.

[7] Aniello Castiglione, Giuseppe Cattaneo, and Alfredo De Santis, "A Forensic Analysis of Images on Online Social Networks", IEEE 2011.

[8] Norulzahrah Mohd Zainudin, and Madjid Merabti, "Online Social Networks As Supporting Evidence A Digital Forensic Investigation Model and Its Application Design", IEEE 2011.

ชื่อ : นางสาวศศิประภา บานศิลป์
งานวิจัยที่สนใจ: งานวิจัยด้าน Data mining และงานวิจัยทางด้านนิติวิทยาศาสตร์
การศึกษา:
- ปัจจุบัน: กำลังศึกษาระดับปริญญาโท สาขาวิชาระบบสารสนเทศเพื่อการจัดการ คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
- ปีการศึกษา 2548 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

การทำงาน:
- ปัจจุบัน: พนักงานระบบงานคอมพิวเตอร์ ธนาคารเพื่อการเกษตรและสหกรณ์การเกษตร

**บทความวิจัย**

การประชุมวิชาการ งานวิจัยและพัฒนาเชิงประยุกต์ ครั้งที่ 8

*8th ECTI-CARD 2016, Hua Hin, Thailand*

# สายอากาศไมโครสตริปแบบสิบเหลี่ยมสำหรับความถี่ 2.4 GHz และการประยุกต์ใช้งานความถี่แถบกว้าง

# Decagon Microstrip Antenna for 2.4 GHz and Wide Band Application

**ฉัตรชัย โชคชัย[1] และณัฐพงษ์ ดวงฤทธิ์[2]**

[1]ภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี E-mail: chatchai_c@rmutt.ac.th

[2]ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ E-mail: du.nattapong@gmail.com

## บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอสายอากาศไมโครสตริปแบบสิบเหลี่ยมสำหรับความถี่ 2.4 GHz และการประยุกต์ใช้งานความถี่แถบกว้างซึ่งทำการออกแบบโดยประยุกต์ใช้รูปแบบวงกลมรวมการประยุกต์สมการหารัศมีจากหลักการของตรีโกณมิติ ซึ่งค่าที่ได้จากการคำนวณมีค่าใกล้เคียงกับการจำลอง การเพิ่มเหลี่ยมของแพทช์สายอากาศมีผลทำให้การตอบสนองความถี่ที่ต่ำลง จากการสร้างชิ้นจริงมีขนาดโดยรวมเท่ากับ 60×60 ตารางมิลลิเมตร จากผลการวัดทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนมีแถบความถี่ร้อยละ 33.96 มีอัตราขยายสูงสุดเท่ากับ 2.1 dBi มีแบบรูปการแผ่กระจายคลื่นแบบรอบตัวในระนาบเดียวที่ระนาบ XZ จากผลการวัดทดสอบนั้นสายอากาศมีการตอบสนองครอบคลุมย่านการใช้งานเครือข่ายไร้สายท้องถิ่นที่ความถี่ 2.4 GHz

คำสำคัญ: สิบเหลี่ยม, ไมโครสตริป, แถบกว้าง

## Abstract

This paper presents decagon microstrip antenna for 2.4 GHz and wide band application, which were designed by using a circular pattern, including the application of the principles of trigonometry equation radius. This value is calculated from a similar simulation. Increasing the aspects of the patch antenna resulted in a lower frequency response. The antenna prototype has overall dimension size of 60 × 60 mm.$^2$, from the measurement results the reflection coefficient bandwidth are 33.96%, the maximum gain is 2.1 dBi. The radiation patterns of the antenna are omi-directional pattern in the plane XZ. The results of the measurement covering the operating band local wireless network at 2.4 GHz.

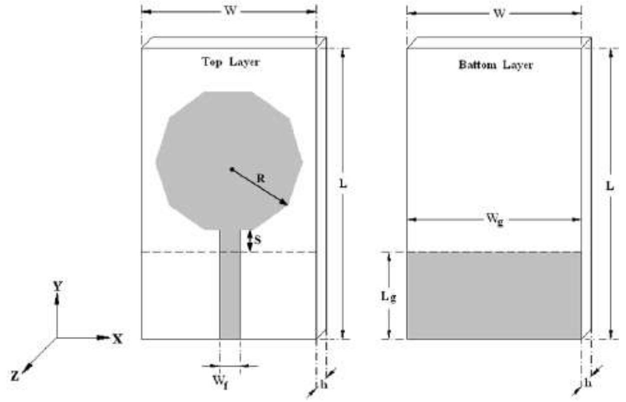
Keywords: decagon, microstrip, wide band

## 1. บทนำ

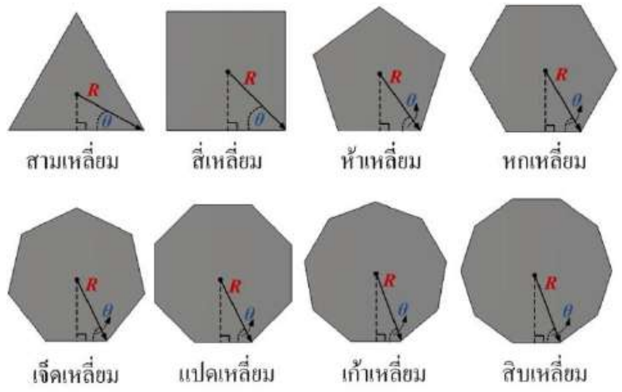
ในยุคที่การสื่อสารได้รับการพัฒนาไปอย่างรวดเร็วนั้น ได้มีการค้นคว้าและวิจัยในด้านต่างๆ เพื่อให้ระบบใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ สามารถตอบสนองต่อความต้องการของผู้ใช้งาน ทำให้ในปัจจุบันนั้นมีระบบที่ได้รับการพัฒนาไปอย่างกว้างไกลโดยเฉพาะการสื่อสารแบบไร้สายได้รับความสนใจเป็นพิเศษ เนื่องตอบสนองต่อผู้ใช้งานในแง่ของความสะดวกสบายในการใช้งาน เช่นเครือข่ายแบบแถบความถี่แบบกว้างมาก บลูทูธ เครือข่ายไร้สายท้องถิ่น เป็นต้น ซึ่งในปัจจุบันเครือข่ายไร้สายท้องถิ่น ได้รับความสนใจในการทำวิจัยเป็นอย่างมาก [1] รวมไปถึงได้มีการพัฒนาให้สามารถใช้งานในช่วงความถี่แถบกว้าง [2]

การพัฒนาระบบการสื่อสารในปัจจุบันนี้ มุ่งเน้นพัฒนาทั้งส่วนของโปรแกรมและตัวอุปกรณ์ควบคู่กันไป ในส่วนของอุปกรณ์ในระบบการสื่อสารไร้สายที่ได้รับความสนใจเป็นอย่างมาก ก็คือสายอากาศ เพราะเป็นส่วนสำคัญในการแพร่กระจายคลื่น ได้มีความพยายามพัฒนาในส่วนของสายอากาศให้มีรูปแบบและประสิทธิภาพที่ดีขึ้น ซึ่งส่วนใหญ่จะใช้รูปทรงเลขาคณิตมาช่วยในการออกแบบแพทช์ของสายอากาศให้เป็นรูปสามเหลี่ยม [3] ที่ตอบสนองย่านความถี่เครือข่ายไร้สายท้องถิ่น การออกแบบแพทช์รูปสี่เหลี่ยมพื้นผ้า เพื่อให้สายอากาศตอบสนองความถี่ที่มากขึ้น [4] จนถึงมีการออกแบบแพทช์รูปห้าเหลี่ยมในการปรับการตอบสนองย่านความถี่คู่ [5-6] และมีการออกแบบสายอากาศโดยใช้รูปหกเหลี่ยมเพื่อปรับแบนด์วิดธ์ของสายอากาศให้กว้างมากยิ่งขึ้น [7-9] การปรับปรุงคุณสมบัติของสายอากาศหลายๆ ด้านนั้นโครงสร้างที่นิยมใช้มากก็คือ รูปแปดเหลี่ยม ที่สามารถเพิ่มการตอบสนองความถี่ที่เพิ่มขึ้นการเพิ่มอิมพีแดนซ์แบนด์วิดธ์ของสายอากาศ [10-14] เมื่อไม่นานมานี้ได้มีการใช้รูปสิบเหลี่ยมในการออกแบบสายอากาศในรูปแบบของการทำซ้ำของโครงสร้างหรือแฟร็กทัลรูปสิบเหลี่ยม [15-16] จะเห็นได้ว่ามีการพัฒนาการออกแบบแพทช์ของสายอากาศโดยการเพิ่มเหลี่ยมมากขึ้นเรื่อยๆ เพิ่มทำการเพิ่มประสิทธิภาพด้านต่างๆ ของสายอากาศ

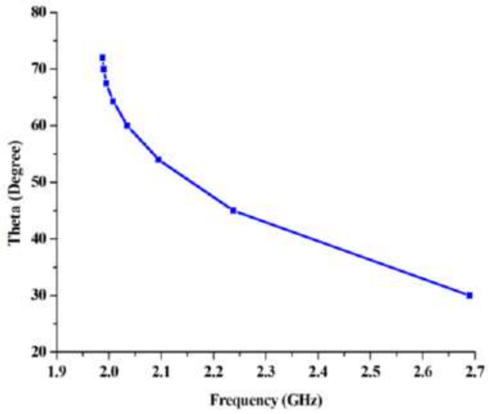
จากที่กล่าวมาข้างต้นในบทความนี้จะนำเสนอการวิเคราะห์และการออกแบบสายอากาศแบบแพทช์ โดยประยุกต์สมการตรีโกณมิติในการคำนวณหาขนาดของแพทช์ รวมไปถึงผลกระทบด้านความถี่ของเพิ่มเหลี่ยมของแพทช์ของสายอากาศ



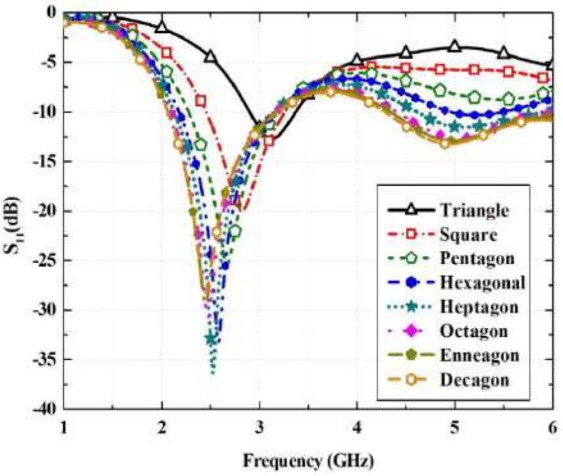

**รูปที่ 1** โครงสร้างสายอากาศที่นำเสนอ




**รูปที่ 2** แพทช์ของสายอากาศแต่ละแบบที่ทำการจำลอง




**รูปที่ 3** ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่และมุมภายในของแพทช์แต่ละแบบ



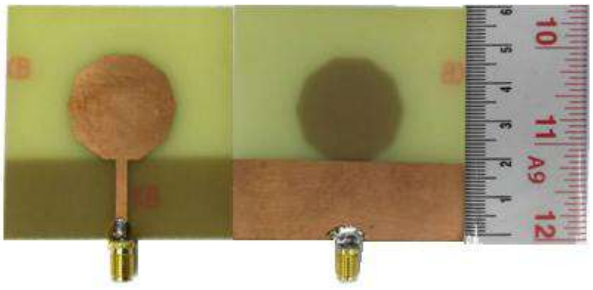

**รูปที่ 4** ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนของแพทช์แต่ละแบบที่ได้จากการจำลอง

## 2. การออกแบบและวิเคราะห์ผล

สายอากาศที่นำเสนอมีโครงสร้างดังรูปที่ 1 ซึ่งทำการออกแบบบนแผ่น FR4 ที่มีค่าคงที่ไดอิเล็กตริก $\varepsilon_r$ = 4.4 มีความหนาของวัสดุฐานรอง (Substrate) h = 1.6 มิลลิเมตรและมีค่าประกอบการสูญเสีย tan $\delta$ = 0.019 มีความหนาแผ่นโลหะทองแดงเท่ากับ 0.035 มิลลิเมตร ประกอบไปด้วยระนาบกราวด์ สายนำสัญญาณแบบไมโครสตริป และแพทช์รูปสิบเหลี่ยม การออกแบบจะทำการกำหนดขนาดของสายอากาศให้มีขนาดเท่ากับ 60×60 ตารางมิลลิเมตร ($\lambda_0$/2 ที่ความถี่ 2.4 GHz) จากรูปที่ 2 เป็นแพทช์แต่ละแบบที่ทำการศึกษาโดยมีรูปสามเหลี่ยมจนถึงสิบเหลี่ยม กระบวนการในการออกแบบและพัฒนาเริ่มจากการออกแบบมาจากการสร้างโดยใช้รูปวงกลม และสมการตรีโกณมิติ รวมกับสมการจาก[17] จะได้ดังนี้

$$f_c = \frac{7.2}{\{[(2R\sin\theta)+(2R\cos\theta/\pi)+S]*k\}} \quad (1)$$

จากสมการ (1) ทำการคำนวณหา $f_C$ โดยการกำหนดค่า S= 0 เซนติเมตร (ใช้หน่วยเป็นเซนติเมตร) ใช้ค่า k = 1.15 ซึ่งเป็นค่าคงที่ได้มาจากการประมาณ [18] ของแผ่น FR4 ที่มีค่าคงที่ไดอิเล็กตริก $\varepsilon_r$ = 4.4 มีความหนาของวัสดุฐานรอง (Substrate) h = 1.6 มิลลิเมตรและมีค่าประกอบการสูญเสีย tan $\delta$ = 0.019 ค่า R = 1.5 เซนติเมตร(ใช้หน่วยเป็นเซนติเมตร) โดยทำการเปลี่ยนค่ามุม $\theta$ ไปตามค่ามุมภายในของรูปแพทช์แต่ละแบบได้ผลดังแสดงในรูปที่ 3 จะเห็นได้ว่าค่ามุมที่เพิ่มจะทำให้ความถี่ลดต่ำลง หรือก็คือจำนวนเหลี่ยมที่เพิ่มขึ้นให้ความถี่ลดลง จากการคำนวณที่ได้นั้นนำขนาดที่ได้มาทำการจำลองโดยกำหนดค่าต่างๆ คงที่ดังนี้ $W_f$ = 3 มิลลิเมตร, $L_g$ = 15.5 มิลลิเมตร (ที่ $\lambda_0$/4 ณ ความถี่ 2.4 GHz ), W = L= 60 มิลลิเมตร(ที่ $\lambda_0$/2 ณ ความถี่ 2.4 GHz ) ค่า S = 0 มิลลิเมตร ค่า R = 15 มิลลิเมตร แล้วทำการเพิ่มจำนวนเหลี่ยมของแพทช์ตั้งสามเหลี่ยมจนถึงสิบเหลี่ยม ซึ่งได้ผลการจำลองดังรูปที่ 4 จะเห็นได้ว่าจำนวนเหลี่ยมที่เพิ่มขึ้น ผลการตอบสนองความถี่จะต่ำลง จากนั้นทำการเลือกแพทช์สิบเหลี่ยมไปทำการปรับหาค่าพารามิเตอร์ที่ดีที่สุด



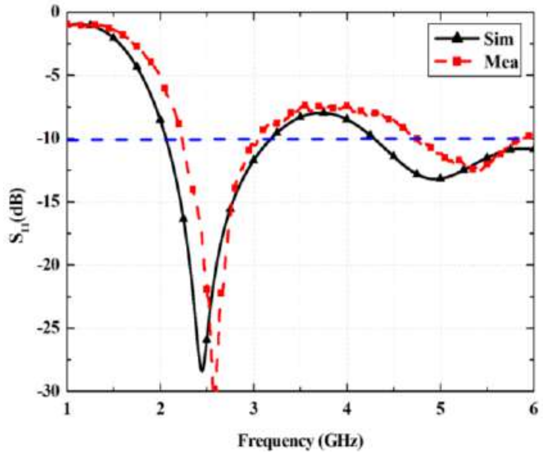
(ก) (ข)

**รูปที่ 5** สายอากาศต้นแบบที่ทำการสร้าง (ก) ด้านหน้า (ข) ด้านหลัง

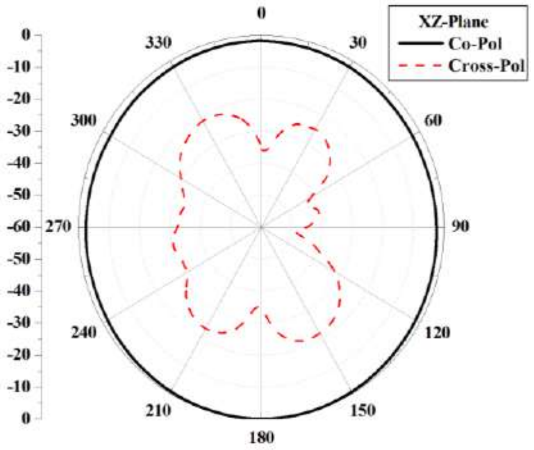
## 3. การสร้างและทดสอบ

จากผลการจำลองและทำการปรับค่าพารามิเตอร์ต่างๆของสายอากาศที่ได้ทำการออกแบบจนได้ค่าที่เหมาะสมที่สุดจึงนำขนาดที่ได้จากการจำลองไปทำการสร้างชิ้นงานจริงได้ดังรูปที่ 5 มีขนาดโดยรวมทั้งหมดของสายอากาศเท่ากับ 60×60 ตารางมิลลิเมตร ซึ่งเมื่อนำไปวัดค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนโดยใช้เครื่องวิเคราะห์โครงข่าย Agilent รุ่น 8719ES จากรูปที่ 6 แสดงผลการวัดค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนของสายอากาศระหว่างผลจากการจำลองการทำงานและผลจากการวัดจริง พบว่าผลจากการจำลองการทำงานได้ความถี่เรโซแนนซ์มีค่าเท่ากับ 2.45 GHz ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อน -27.5 dB และมีแถบความถี่ร้อยละ46.15 ส่วนผลการวัดชิ้นงานจริงความถี่เรโซแนนซ์มีการเลื่อนไปที่ 2.6 GHz ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนเท่ากับ -30 dB และมีแถบความถี่ร้อยละ 33.96 จากผลการวัดทดสอบนั้นจะเห็นได้ว่ามีการเลื่อนของความถี่ไปประมาณ 150 MHz และมีแถบความถี่ร้อยละน้อยกว่าผลการจำลองอยู่ประมาณร้อยละ 12 ซึ่งเป็นผลมาจากกระบวนการสร้างชิ้นจริงเนื่องด้วยชิ้นเป็นแบบสองด้านจึงมีการผิดของการวางขนาดชิ้นระหว่างด้านหน้าและด้านหลัง รวมไปถึงผลการพอร์ต SMA ที่ใช้นั้นมีการตอบสนองต่อความถี่สูงได้ไม่ค่อยดีเท่าที่ควร จากผลการจำลองมีค่าอัตราขยายสูงสุดเท่ากับ 2.25 dBi จากการวัดทดสอบได้ค่าอัตราขยายสูงสุดของสายอากาศที่ความถี่ 2.40 GHz มีอัตราขยายสูงสุดเท่ากับ 2.1 dBi ซึ่งมีต่างจากผลการจำลองเล็กน้อย ซึ่งจากผลการวัดทดสอบโดยรวมนั้นสายอากาศมีการทำงานที่ครอบคลุมการใช้ที่ย่านความถี่ 2.4 GHz อยู่

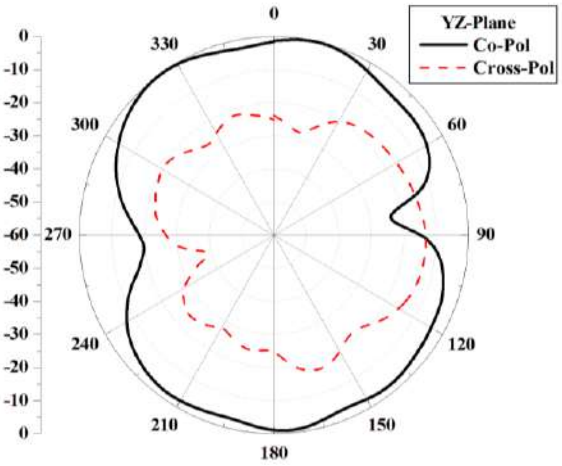
จากรูปที่ 7-8 แสดงแบบรูปการแผ่กระจายพลังงานที่ได้จากการวัดทดสอบแบบ 2 มิติ ที่ความถี่ 2.40 GHz ทั้งในระนาบ XZ และระนาบ YZ ภายในห้องปิดกลั้นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (RF/Anechoic Chamber) แบบ Hybrid Absorber และใช้สายอากาศมาตรฐานแบบฮอร์น (Standard Horn Antenna) รุ่น HF907 ของบริษัท ROHDF&SCHWARZ เป็นสายอากาศตัวส่ง จากการวัดทดสอบนั้น สายอากาศมีแบบรูปการแผ่กระจายพลังงานแบบรอบตัวในระนาบ XZ และเป็นระนาบที่อัตราขยายสูงสุด ส่วนในระนาบ YZ มีลักษณะการแผ่แบบสองทิศทาง




**รูปที่ 6** ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนระหว่างผลวัดทดสอบและการจำลอง




**รูปที่ 7** แบบรูปการแผ่กระจายพลังงานที่ความถี่ 2.40 GHz ในระนาบ XZ




**รูปที่ 8** แบบรูปการแผ่กระจายพลังงานที่ความถี่ 2.40 GHz ในระนาบ YZ

## 4. สรุป

บทความนี้นำเสนอสายอากาศไมโครสตริปแบบสิบเหลี่ยมสำหรับความถี่ 2.4 GHz และการประยุกต์ใช้งานความถี่แถบกว้างซึ่งจากการออกแบบโดยสมการนั้นได้ค่าคำนวณที่ใกล้เคียงและการเพิ่มเหลี่ยมของแพทช์สายอากาศมีผลทำให้การตอบสนองความถี่ที่ต่ำลง จากผลการวัดทดสอบจากชิ้นงานจริง แสดงให้เห็นว่าสายอากาศที่ออกแบบมีผลการตอบสนองครอบคลุมความถี่ใช้งาน รวมทั้งมีอัตราขยายที่ดี และมีแบบรูปการแผ่กระจายพลังงานแบบรอบตัวและแบนด์วิดธ์ที่กว้าง ดังนั้นสายอากาศที่ออกแบบจึงมีความเหมาะสมที่จะนำไปประยุกต์ใช้งานกับเครื่อไร้สายท้องถิ่นที่ 2.4 GHz และความถี่แถบกว้าง

## เอกสารอ้างอิง

[1] S. Shelke and V. Deshmukh, "A Survey on Microstrip Patch Antenna for WiMAX and WLAN Application," Int. J. Inn. Eng., Res. Technol., pp.1-4, Nov. 2014.

[2] V. S. Rathor, J. P. Saini, "A Design of Swastika Shaped Wideband Microstrip Patch Antenna for GSM/WLAN Application," J. Electromagn. Anal. Applicat., pp. 31-37, Feb. 2014.

[3] C.-C. Lin, Y.-C. Kan, L.-C. Kuo, and H.-R. Chuang, "A Planar Triangular Monopole Antenna for UWB Communication," IEEE Microw. Wireless Compon. Lett., vol. 15, pp. 624-626, Oct. 2005.

[4] Tamilvani R, and Anita R, "Design of Rectangular Microstrip Antenna with Rectangular Slot and Circular Slot for Wireless Application," Int. J. Technol. Res. Eng., vol. 2, pp. 2104-2106, May 2015.

[5] M. Tecpoyot-Torres and J. G. Vera-Dimas, "Dual band Pentagonal Microstrip Antenna for Wi-Fi Applications," Electron., Robot. Autom. Mech. Conf., pp. 255-258, 2010.

[6] Ruchi, R. Khanna, "Microstrip Patch Antennas for Dual Band WLAN Applications using Rectangular, Triangular and Pentagonal Shapes of Patch," Int. J. IT, Eng. Appl. Sci. Res., vol. 1, pp. 54-57, Oct. 2012.

[7] S.Natarajamani, S K Behera, S K Patra and R K Mishra, "CPW-Fed Octagon Shape Slot Antenna for UWB Application," Int. Conf. Microw. Antennas Propag. Remote Sensing, 2009.

[8] N. Gunavathi and S. Raghavan, "A CPW- fed Octagon Shaped Antenna for 5GHz WLAN and Higher Band UWB Applications," Int. conf. Comput., Commun. Network Technol., 2010.

[9] C.-H. Hsu, C.-H. Chang, C.-F. Tseng, P.-C. Yang, W.-S. Chen, C.-H. Lai, J.-S. Lin, and H.-W. Yang, "Planar Octagon Monopole Antenna for UWB Applications," Electromagn. Field Prob. Applicat., pp. 1-3, June 2012.

[10] M. Rajput, and S. Swarnkar, "Enhancement Bandwidth and Gain of Hexagonal Patch Antenna at 1.8 GHz," Int. J. Adv. Res. Comput. Eng. Technol., Vol. 3, Issue 6, pp. 2100-2105, June 2014.

[11] S. Basu, A. Srivastava, and A. Goswami, "Dual Frequency Hexagonal Microstrip Patch Antenna," Int. J. Scient. Res. Publicat., vol. 3, pp. 1-9, Nov. 2013.

[12] M.R. Tripathy and I. Chauhan, "CPW-fed Hexagonal Shaped Slot Antenna for UWB Applications," Int. J. Inform. Comput. Technol., vol. 3, pp. 1135-1144, 2013.

[13] Y. S. Santawani, and S. R. Suralkar, "Bandwidth Enhanced Hexagonal Patch Antenna using CPW Fed," Int. J. Eng. Res. Technol., vol. 3, pp. 1310-1312, Nov. 2014.

[14] A. B. Naval, and D.K. Shedge, "Dual Band Suspended Hexagonal Patch Antenna," Int. J. Latest Technol. Eng., Manage. Appl. Sci., vol. 4, pp. 11-15, Sep. 2015.

[15] A. Ramadan, M. Al-Husseini, K. Y. Kabalan and A. El-Hajj, "A Circularly Polarized Decagonal Slot Antenna," High Performance Comput. Sim., pp. 545 – 548, June 2010.

[16] J. Kaur, and Y. Kumar, "Microstrip Decagon Carpet Fractal Antenna for Wireless Applications," Int. J. Eng. Res. Applicat., vol. 2, pp.408-410 Dec 2012.

[17] T. Hariyadi, "A Coplanar Waveguide (CPW) Wideband Octagonal Microstrip Antenna," Inform. Commun. Technol., pp. 340 – 343, Mar. 2013.

[18] K. P. Ray and S. Tiwari, "Vertex Fed Printed Hexagonal Monopole Antenna," Recent Advances Microw. Theory Applicat. pp. 16 – 19, Nov. 2008.

ฉัตรชัย โชคชัย สำเร็จการศึกษา วศ.บ. และ วศ.ม. สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ในปี 2553 และ 2556ปัจจุบันเป็นอาจารย์ประจำที่ภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี สนใจในงานวิจัยเกี่ยวกับการออกแบบสายอากาศขนาดเล็ก

ณัฐพงษ์ ดวงฤทธิ์ สำเร็จการศึกษา วศ.บ. สาขาวิศวกรรมโทรคมนาคม จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ในปี 2557 ปัจจุบันเป็นนักศึกษาปริญญาเอก ที่คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ สนใจในงานวิจัยเกี่ยวกับการออกแบบไมโครเวฟเซ็นเซอร์

**บทความวิจัย**

การประชุมวิชาการ งานวิจัยและพัฒนาเชิงประยุกต์ ครั้งที่ 8

*8th ECTI-CARD 2016, Hua Hin, Thailand*

# เทคนิคการขยายแบนด์วิดท์สายอากาศไมโครสตริปรูปคล้ายยากิในย่านความถี่ 2.45 GHz
# Bandwidth Enhancement Technique in Yagi-Like Printed Microstrip Antennas in 2.45 GHz bands

ธนะกิจ วัฒกีกำธร กมลทิพย์ วัฒกีกำธร นพกฤศณ์ คำน้อยและ จักรพันธุ์ ภู่ระหงษ์

สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

1381 ถนนประชาราษฎร์ 1 แขวงวงศ์สว่าง เขตบางซื่อ กรุงเทพฯ 10800 Email: thanakit.w@rmutp.ac.th

## บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอเทคนิคการขยายแบนด์วิดท์สายอากาศไม-โครสตริปรูปคล้ายยากิในย่านความถี่ 2.45GHz ด้วยเทคนิคการปรับเปลี่ยนโครงสร้างไดโพลในองค์ประกอบขับ จากตัวนำเส้นตรงเดี่ยว ไปเป็นเส้นตรง 3 เส้นรูปร่างคล้ายส้อม อีกทั้งยังได้เพิ่มส่วนพาราซิติกแพทช์เข้าไปในสายอากาศ จนทำให้มีอิมพีแดนซ์แบนด์วิทซ์ที่กว้างมากขึ้น โดยสายอากาศที่นำเสนอนี้มีเปอร์เซ็นต์แบนด์วิดท์ 39.44% และยังคงคุณลักษณะต่อแบบรูปการแผ่กระจายคลื่นและอัตราขยายของสายอากาศที่เทียบเคียงได้กับสายอากาศไมโครสตริปยากิแบบดั้งเดิม

**คำสำคัญ:** ขยายแบนด์วิดท์, สายอากาศไมโครสตริปรูปคล้ายยากิ, พาราซิติกแพทช์

## Abstract

This article presents the bandwidth enhancement of Yagi-Like Printed Antenna, which operates in the frequency band of 2.45 GHz. By modifying the structure of the dipole section from a single line to triple lines (fork-shaped), and add a piece of parasitic element to the original antenna, the impedance bandwidth becomes better. This proposed antenna has 39.44% of bandwidth and still remains the same radiation pattern characteristic and the gain, as the original Yaki-Like Printed Antenna.

**Keywords:** Bandwidth Enhancement, Yagi-Like Printed Microstrip Antennas, Parasitic Patch.

## 1. บทนำ

สายอากาศยากิ-อูดะหรือสายอากาศยากิเป็นสายอากาศเจาะจงทิศทาง (Directional antenna) ซึ่งประกอบด้วยอาเรย์ของไดโพล ซึ่งมีสามองค์ประกอบหลัก ๆ คือ องค์ประกอบตัวสะท้อน (Reflector element) ถัดมาองค์ประกอบขับ (Driven element) เป็นส่วนที่ต้องมีการป้อนสัญญาณเพื่อที่ขับสัญญาณส่งผ่านออกไป โดยตัวองค์ประกอบขับนี้นิยมใช้สายอากาศแบบไดโพลหรือโฟลเด็ดไดโพล วางอยู่ในตำแหน่งด้านหน้าองค์ประกอบประกอบตัวสะท้อน สุดท้ายคือองค์ประกอบกำหนดทิศ (Director element) อยู่ในตำแหน่งด้านหน้าขององค์ประกอบขับทำหน้าที่ช่วยปรับทิศทางในการแพร่กระจายคลื่นให้มีทิศไปด้านหน้าตามทิศทางที่ต้องการ สายอากาศยากินี้เมื่อนำมาสร้างลงบนแผ่นวงจรพิมพ์จะได้สายอากาศไมโครสตริปรูปคล้ายยากิ โดยข้อดีของสายอากาศชนิดนี้คือมีน้ำหนักเบา และสามารถออกแบบให้ได้อัตราขยายสายอากาศที่มากขึ้นได้เมื่อเพิ่มองค์ประกอบกำหนดทิศมากขึ้น [1],[2] แต่สายอากาศประเภทนี้ มีข้อด้อยตรงที่มีอิมพีแดนซ์แบนด์วิทซ์ค่อนข้างแคบ มีเปอร์เซ็นต์แบนด์วิดท์ประมาณ 13-17% เหตุผลก็อันเนื่องมาจากข้อจำกัดองค์ประกอบส่วนขับที่ส่วนใหญ่ใช้สายอากาศไดโพล ซึ่งสายอากาศไดโพลนี้จะมีคุณสมบัติอิมพีแดนซ์แบนด์วิดท์ที่แคบนั่นเอง

ถ้าหากได้มีการปรับปรุงให้ส่วนสายอากาศไดโพลในองค์ประกอบส่วนขับนี้ ให้สามารถตอบสนองต่ออิมพีแดนซ์แบนด์วิดท์ให้กว้างมากขึ้น ด้วยการนำส่วนประกอบพาราซิติกไปวางไว้ด้านหลังใกล้ๆ กับสายอากาศไดโพล [3] หรือเปลี่ยนโครงสร้างที่ส่วนไดโพลด้วยการโค้งงอเล็กน้อย [4] ซึ่งทั้ง 2 วิธีการนี้จะทำให้สายอากาศมีอิมพีแดนซ์แบนด์วิดท์เพิ่มมากขึ้นถึง 40%

## 2. โครงสร้างและผลการจำลองการทำงานของสายอากาศ

### 2.1 โครงสร้างของสายอากาศ

สายอากาศไมโครสตริปรูปคล้ายยากิ ซึ่งถูกกำหนดให้เป็นสายอากาศต้นแบบที่นำเสนอนี้ โดยจะใช้สายอากาศยากิที่มีเฉพาะส่วนตัวขับและส่วนตัวสะท้อนจะไม่มีส่วนของไดเร็คเตอร์ โครงสร้างของสายอากาศต้นแบบที่นำเสนอนี้ ในส่วนขององค์ประกอบตัวขับจะใช้สายอากาศไดโพลที่มีความยาวเท่ากับ $L_{div}$ สำหรับส่วนของตัวสะท้อน จะใช้ส่วนของระนาบกราวด์ที่มีความยาวเท่ากับ $W_g$ ซึ่งความยาวของ ตัวสะท้อนนี้ จะกำหนดให้มีความยาวมากกว่าความยาวกว่าตัวขับเสมอ

สายอากาศต้นแบบนี้ มี 2 ส่วนที่สำคัญคือ ส่วนป้อนสัญญาณและส่วนของสายอากาศรูปคล้ายยากิ ดังแสดงในรูปที่ 1 (ก) ซึ่งภายในส่วนป้อนสัญญาณสามารถแยกย่อยออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่ ส่วนสายนำสัญญาณ 50 โอห์ม โดยมีพารามิเตอร์ความกว้าง $W_F$ เป็นตัวกำหนดให้ได้สายนำสัญญาณ 50 โอห์ม ถัดมาส่วนแมทซ์ซิ่ง $\frac{\lambda g}{4}$ ทรานฟอร์เมอร์ ที่ทำหน้าที่แมทซ์ซิ่งระหว่างสายนำสัญญาณ 50 โอห์มกับชุดเลื่อนเฟส 180 องศาโดยมีพารามิเตอร์ความกว้าง $W_m$ และความยาว $L_m$ เป็นตัวกำหนดให้ได้ค่าแมทซ์ซิ่งที่ดีที่สุดคือ 35.35 โอห์มและสุดท้ายชุดเลื่อนเฟส 180 องศา ในส่วนนี้สัญญาณที่ป้อนผ่านเข้ามาจะถูกแยกออกเป็นสองเส้นทาง โดยเส้นทางที่หนึ่งจะมีผลรวมความยาวทางไฟฟ้า ยาวกว่าผลรวมความยาวทางไฟฟ้า เส้นทางที่สองอยู่ 180 องศาทางไฟฟ้า ทั้งสองเส้นทางจะมีพารามิเตอร์แสดงความยาว $L_{p1}$ $L_{p2}$ และ $L_{p3}$ เป็นตัวกำหนด

ความยาวเส้นทางที่หนึ่งและพารามิเตอร์แสดงความยาว $L_{p1}$ $L_{p2}$ และ $L_{p4}$ เป็นตัวกำหนดความยาวเส้นทางที่สองที่มีความต่างเฟสอยู่ 180 องศาเมื่อเปรียบเทียบกับเส้นทางที่หนึ่ง สำหรับค่าอิมพีแดนซ์ของชุดเลื่อนเฟสจะมีพารามิเตอร์ความกว้าง $W_P$ เป็นตัวกำหนดให้ได้อิมพีแดนซ์ 50 โอห์ม ที่ปลายทางทั้ง 2 เส้นทางของชุดเลื่อนเฟส (พารามิเตอร์ $L_{p1}$ ) จะมีลักษณะเป็นสายนำสัญญาณคู่ขนาน (Coplanar Strip : CPS) [1], [2] ในส่วนปลายทางของ CPS นี้จะป้อนสัญญาณให้แก่สายอากาศไดโพลต่อไป ซึ่งส่วนป้อนสัญญาณทั้งหมดนี้จะอยู่เหนือแผ่นระนาบกราวด์ที่มีความกว้างเท่ากับและความยาวเท่ากับ $W_g$ และ $L_g$ ตามลำดับ สำหรับในส่วนที่ 2 คือส่วนของสายอากาศรูปคล้ายยากิ สามารถแยกออกเป็น 2 ส่วนย่อยได้แก่ส่วนสายนำสัญญาณคู่ขนาน CPS ทำหน้าที่เป็นส่วนป้อนสัญญาณโดยจะมีพารามิเตอร์ความกว้าง $W_{CPS}$ และมีความยาว $S_{div1}$ สุดท้ายคือส่วนของสายอากาศไดโพล ที่ทำหน้าที่แพร่กระจายคลื่นออกสู่อากาศโดยจะมีพารามิเตอร์ความกว้าง $W_{CPS}$ และมีความยาว $L_{div1}$ ซึ่งทั่วไปแล้วค่าความยาว $L_{div1}$ จะถูกกำหนดให้มีค่าประมาณ $\frac{\lambda_0}{2}$ ที่ค่าความถี่ 2.45 GHz ในการคำนวณหาขนาดต่างๆ จะใช้หลักการเดียวกับการคำนวณสายนำสัญญาณไมโครสตริป [5], [6]

การปรับปรุงสายอากาศในขั้นแรกนั้น จะทำการปรับแต่งส่วนของไดโพลจากเส้นตัวนำเดี่ยว เพิ่มเป็นเส้นตัวนำ 3 เส้นลักษณะคล้ายส้อม 3 แฉกในแต่ละด้าน ซึ่งแสดงโครงสร้างสายอากาศได้ดังในรูปที่ 1 (ข) มีระยะห่างในแต่ละเส้นตัวนำคือพารามิเตอร์ s โดยมีความกว้างเท่ากับ $W_{CPS}$ การปรับแต่งความยาว $L_{div2}$ ระยะห่าง s และ $S_{div2}$ นี้จะส่งผลต่อแถบความถี่ตอบสนองของสายอากาศ

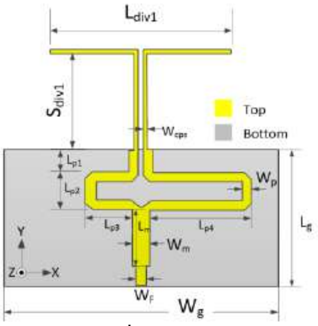
ในขั้นตอนต่อไปทำการปรับแต่งเฉพาะที่ส่วนของตัวขับเช่นกันในแต่ละแฉก โดยมีความกว้างและความยาวในแต่ละแฉกคือ $W_1$ $W_2$ $W_3$ และ $L_1$ $L_2$ $L_3$ ตามลำดับ มีระยะห่างระหว่างแฉกคือ $S_1$ และ $S_2$ ส่วนของตัวขับทั้ง 3 แฉกที่ปรับปรุงขึ้นนี้ ซึ่งการปรับเปลี่ยนขนาดพารามิเตอร์เหล่านี้ จะส่งผลต่อแถบความถี่ตอบสนองของสายอากาศ สำหรับการปรับเปลี่ยนแมทช์ชิ่งอิมพีแดนซ์ของสายอากาศ จะมีชุดแมทช์ชิ่งเพิ่มขึ้นมาก็คือส่วนสตริปที่มีความกว้าง $W_4$ ความยาว $L_4$ และระยะห่าง $S_{div3}$ ซึ่งแสดงโครงสร้างสายอากาศในแบบที่ 3 นี้ได้ดังในรูปที่ 1 (ค)

**ตารางที่ 1** ค่าพารามิเตอร์และขนาดต่างๆ ของสายอากาศ

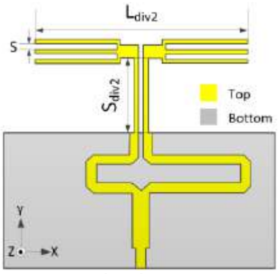
| Parameter | $W_g$ | $W_F$ | $W_m$ | $W_P$ | $W_{CPS}$ | $W_1$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| (mm.) | 90 | 3 | 5.2 | 3 | 1.5 | 3 |
| Parameter | $W_2$ | $W_3$ | $W_4$ | $W_{patch}$ | $L_g$ | $L_m$ |
| (mm.) | 6 | 4.5 | 10 | 10 | 40.7 | 16.7 |
| Parameter | $L_{P1}$ | $L_{P2}$ | $L_{P3}$ | $L_{P4}$ | $L_{div1}$ | $L_{div2}$ |
| (mm.) | 6.6 | 11.4 | 13.8 | 30.15 | 53.8 | 63.8 |
| Parameter | $L_1$ | $L_2$ | $L_3$ | $L_4$ | $L_{patch}$ | $S_{div1}$ |
| (mm.) | 76 | 82.6 | 87.6 | 13 | 35 | 29 |
| Parameter | $S_{div2}$ | $S_{div3}$ | S | $S_1$ | $S_2$ | $S_P$ |
| (mm.) | 22.5 | 17 | 2 | 3 | 2.5 | 19.5 |

สำหรับการปรับแต่งสายอากาศในขั้นตอนสุดท้าย คือ สายอากาศที่นำเสนอในแบบที่ 4 แสดงโครงสร้างสายอากาศได้ดังในรูปที่ 1 (ง) ด้วยการเพิ่มส่วนพาราซิติกแพทซ์สี่เหลี่ยมผืนผ้าที่มีความกว้าง $W_P$ และความยาว $L_P$ ตามลำดับ มาวางให้มีระยะห่างจากส่วนของตัวขับให้ได้ระยะห่างเท่ากับ $S_P$

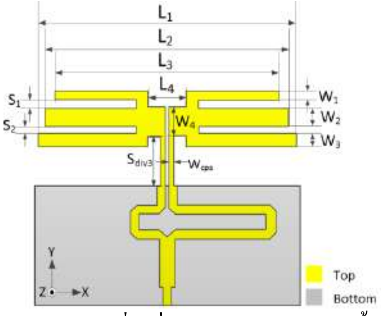
ผลสรุปค่าพารามิเตอร์ ขนาดความกว้าง และขนาดความยาวต่างๆ ของสายอากาศทั้ง 4 แบบแสดงได้ในตารางที่ 1



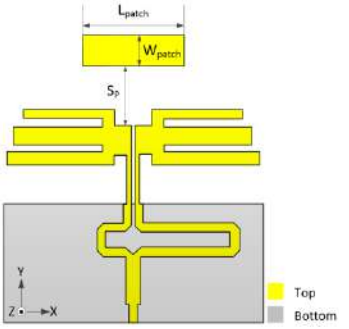

(ก) สายอากาศแบบที่ 1 หรือสายอากาศแบบดั้งเดิม




(ข) สายอากาศแบบที่ 2 ที่ได้จากการปรับแต่งในขั้นแรก




(ค) สายอากาศแบบที่ 3 ที่ได้จากการปรับแต่งในขั้นที่สอง



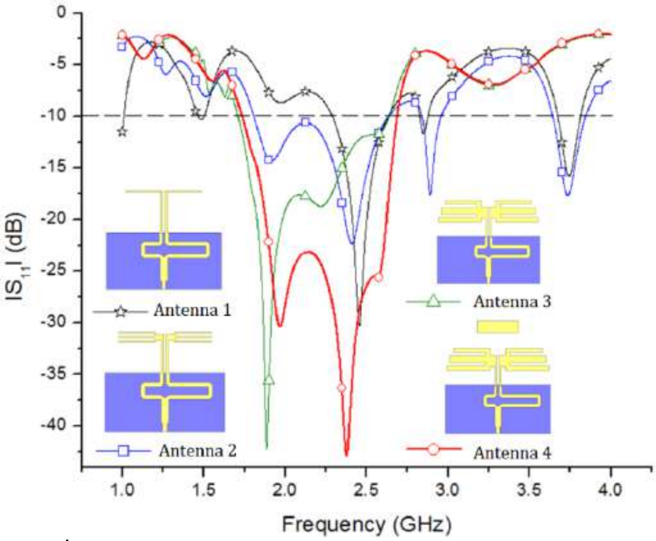

(ง) สายอากาศแบบที่ 4 ที่ได้เพิ่มส่วนพาราซิติกแพทซ์สี่เหลี่ยม

**รูปที่ 1** โครงสร้างและพารามิเตอร์ของสายอากาศไมโครสตริปรูปคล้ายยากิทั้ง 4 แบบ

### 2.2 ผลการจำลองการทำงานของสายอากาศ

วัสดุที่ใช้ในการออกแบบสายอากาศทั้ง 4 แบบนี้ คือวัสดุแผ่นวงจรพิมพ์ 2 หน้าชนิด FR4 ซึ่งมีค่าคงที่ของไดอิเล็กตริก ($\varepsilon_r$) 4.4 ความสูงของวัสดุฐานรองไดอิเล็กตริก (h) 1.6 mm ความบางของทองแดง (Tk) 0.035 mm และค่าการสูญเสียแทนเจนท์ (Loss Tangent : $\delta$ ) 0.019 ใช้ความถี่กลาง 2.45 GHz ในการออกแบบส่วนสายอากาศ กำหนดให้มีค่าอิมพีแดนซ์ทางอินพุต 50 Ω และจำลองการทำงานทำงานของสายอากาศโดยใช้โปรแกรมจำลองการทำงาน IE3D

ผลการออกแบบและจำลองการทำงานสายอากาศด้วยโปรแกรมจำลองการทำงาน เพื่อนำมาวิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิการสะท้อนกลับ $|S_{11}|$ ของสายอากาศในแบบที่ 1 หรือสายอากาศต้นแบบนั้นพบว่าสายอากาศมีผลการตอบสนองต่อค่าอิมพีแดนซ์แบนด์วิดท์ที่ $|S_{11}|$ น้อยกว่า -10dB ในช่วงความถี่ตั้งแต่ 2.29-2.62GHz มีค่าแบนด์วิทช์เท่ากับ 330MHz และมีเปอร์เซ็นต์แบนด์วิทช์เท่ากับ 13.44% สายอากาศตั้งต้นนี้มีแมทช์ชิ่งอิมพีแดนซ์ -30dB ที่ความถี่ 2.45GHz ซึ่งเป็นความถี่ที่ใช้สำหรับการออกแบบ ดังที่แสดงด้วยเส้นกราฟ Antenna 1 (เส้นกราฟสีดำ) ในรูปที่ 2 จากนั้นทำการปรับปรุงสายอากาศตั้งต้นด้วยการในปรับเปลี่ยนส่วนของ Driven จากเส้นตัวนำเดี่ยว เพิ่มเป็นเส้นตัวนำ 3 เส้นลักษณะคล้ายส้อม 3 แฉกในแต่ละด้านและทำการปรับแต่งระยะห่างในแต่ละเส้นตัวนำพารามิเตอร์ s แล้วพบว่าสายอากาศมีผลการตอบสนองต่อค่าอิมพีแดนซ์แบนด์วิดท์ที่เพิ่มขึ้นถึงจากเดิม 20% โดยสายอากาศหลังการปรับแต่งในขั้นตอนนี้มีค่าอิมพีแดนซ์แบนด์วิดท์ที่ $|S_{11}|$ น้อยกว่า -10dB ในช่วงความถี่ตั้งแต่ 1.80-2.62GHz มีค่าแบนด์วิทช์เท่ากับ 820MHz และมีเปอร์เซ็นต์แบนด์วิทช์เท่ากับ 37.10% ดังแสดงด้วยเส้นกราฟ Antenna 2 (เส้นกราฟสีน้ำเงิน) ในรูปที่ 2 จากเส้นกราฟที่แสดงนี้ถึงแม้จะมีอิมพีแดนซ์แบนด์วิดท์ที่กว้างขึ้นแต่สายอากาศนี้กลับมีแมทช์ชิ่งอิมพีแดนซ์ที่ไม่ดีนัก ดังนั้นจึงต้องทำการปรับแต่งเพิ่มเติมด้วยการเพิ่มขนาดความกว้าง $W_1$ $W_2$ $W_3$ และ ความยาว $L_1$ $L_2$ $L_3$ ในแต่ละแฉก และปรับขนาดความกว้าง $W_4$ และความยาว $L_4$ ที่ชุดแมทช์ชิ่งให้เพิ่มขึ้นจนได้ค่าที่เหมาะสมแล้ว พบว่าสายอากาศในแบบที่ 3 นี้ มีผลการตอบสนองต่อค่าอิมพีแดนซ์แบนด์วิดท์ของที่เพิ่มขึ้นถึงอีก 4% สายอากาศมีค่าอิมพีแดนซ์แบนด์วิดท์ที่ $|S_{11}|$ น้อยกว่า -10dB ในช่วงความถี่ตั้งแต่ 1.70-2.58GHz มีค่าแบนด์วิทช์เท่ากับ 880MHz และมีเปอร์เซ็นต์แบนด์วิทช์เท่ากับ 41.12% ดังแสดงด้วยเส้นกราฟ Antenna 3 (เส้นกราฟสีเขียว) ในรูปที่ 2 หลังการปรับแต่งในสายอากาศแบบที่ 3 พบว่ามีแมทช์ชิ่งอิมพีแดนซ์ที่ดีเฉพาะในช่วงแถบความถี่ตั้งแต่ 1.70-2.10GHz ส่วนในช่วงแถบความถี่ตั้งแต่ 2.10-2.58GHz กลับมีแมทช์ชิ่งอิมพีแดนซ์ที่ไม่ดีนักจึงต้องทำการเพิ่มพาราซิติกแพทช์สี่เหลี่ยมผืนผ้าที่มีความกว้าง $W_P$ และความยาว $L_P$ ตามลำดับ และทำการปรับระยะห่าง $S_P$ ได้อย่างเหมาะสมแล้ว พบว่าสามารถช่วยปรับแก้แมทช์ชิ่งอิมพีแดนซ์ในช่วงแถบความถี่ตั้งแต่ 2.10-2.58GHz นี้ได้ดียิ่งขึ้นได้ ถึงแม้จะส่งผลเสียต่อแมทช์ชิ่งอิมพีแดนซ์ในช่วงแถบความถี่ 1.70-2.10GHz บ้างก็ตาม ผลการปรับแต่งขนาดจนได้สายอากาศที่มีคุณสมบัติที่เหมาะสมที่สุดแล้วพบว่าสายอากาศในแบบที่ 4 นี้ มีค่าอิมพีแดนซ์แบนด์วิดท์ที่ $|S_{11}|$ น้อยกว่า -10dB ในช่วงความถี่ตั้งแต่ 1.73-2.64GHz มีค่าแบนด์วิทช์เท่ากับ 910MHz และมีเปอร์เซ็นต์แบนด์วิทช์เท่ากับ 41.64% ดังแสดงด้วยเส้นกราฟ Antenna 4 (เส้นกราฟสีแดง) ในรูปที่ 2

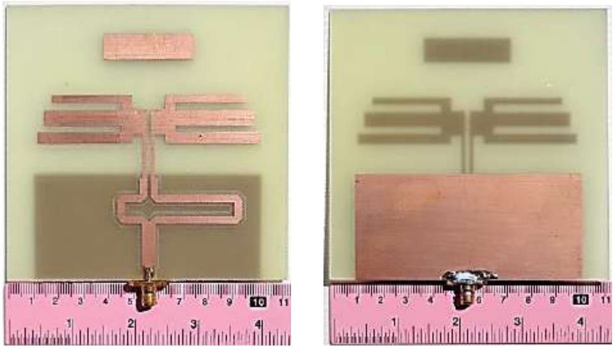



**รูปที่ 2** เปรียบเทียบผลการจำลองค่าอิมพีแดนซ์แบนด์วิดท์ที่ $|S_{11}|$ น้อยกว่า -10dB ของสายอากาศทั้ง 4 แบบ

**ตารางที่ 2** ผลการจำลองค่าอิมพีแดนซ์แบนด์วิดท์, แบนด์วิดท์และเปอร์เซ็นต์แบนด์วิดท์ของสายอากาศทั้ง 4 แบบ

| Parameter | Antenna 1 | Antenna 2 | Antenna 3 | Antenna 4 |
|---|---|---|---|---|
| $|S_{11}|$ <-10dB (GHz) | 2.29 - 2.62 | 1.80 - 2.62 | 1.70 - 2.58 | 1.73 - 2.64 |
| แบนด์วิดท์ (MHz) | 330 | 820 | 880 | 910 |
| % Bandwidth (%) | 13.44 | 37.10 | 41.14 | 41.64 |

### 3. การสร้างและทดสอบ

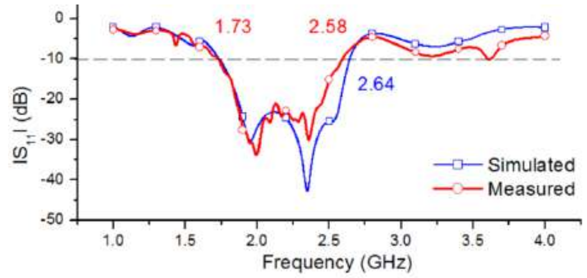


(ก) ด้านบน (ข) ด้านล่าง

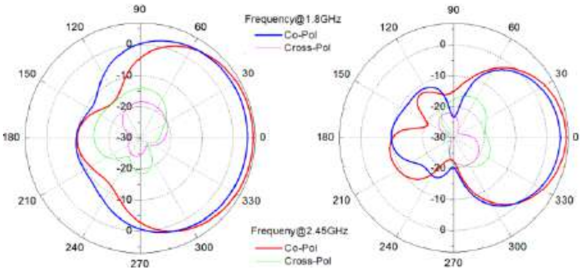
**รูปที่ 3** รูปชิ้นงานสายอากาศที่นำเสนอ

เมื่อนำสายอากาศที่นำเสนอหรือสายอากาศในแบบที่ 4 ไปทำการสร้างลงบนแผ่นวงจรพิมพ์ชนิด FR4 ชนิด 2 หน้า จากนั้นนำสายอากาศไปวัดทดสอบเพื่อหาค่าอิมพีแดนซ์แบนด์วิดท์ที่ $|S_{11}|$ น้อยกว่า -10dB ด้วยเครื่องวิเคราะห์ข่ายงาน Agilent รุ่น 8719ES ซึ่งผลที่ได้จากการวัดแสดงได้ดังในรูปที่ 4 ซึ่งผลการวัดค่าอิมพีแดนซ์แบนด์วิดท์ที่ $|S_{11}|$ น้อยกว่า -10dB ตลอดช่วงแถบความถี่ ของสายอากาศที่นำเสนอพบว่าสายอากาศมีอิมพีแดนซ์แบนด์วิดท์ครอบคลุมแถบความถี่ตั้งแต่ 1.73-2.58GHz สายอากาศมีค่าแบนด์วิทช์เท่ากับ 850MHz และมีเปอร์เซ็นต์แบนด์วิทช์เท่ากับ 39.44% ซึ่งผลการจำลองและผลการวัดชิ้นงานจริงมีค่าอิมพีแดนซ์แบนด์วิดท์น้อยกว่า -10 dB ต่างกันเล็กน้อยซึ่งอาจจะเป็นผลเนื่องจากการความละเอียดในการสร้างชิ้นงานบนแผ่นวงจรพิมพ์และความไม่สมบูรณ์ในการบัดกรีเข้าหัวต่อ SMA เข้ากับสายอากาศ

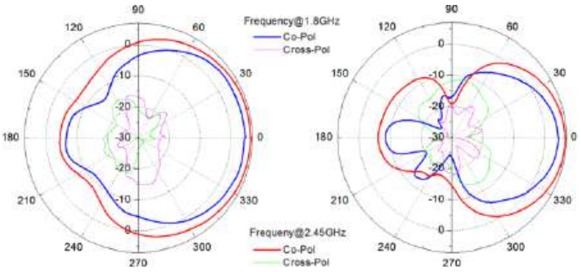
รูปที่ 5 แสดงผลการจำลองและผลการวัดแบบรูปการแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศที่นำเสนอ ในระนาบสนามแม่เหล็ก และระนาบสนามไฟฟ้า ที่ความถี่ 1.8GHz และ 2.45 GHz ซึ่งพบว่าสายอากาศที่นำเสนอ มีทิศทางการแผ่กระจายคลื่นแบบทั้ง 2 ระนาบ เป็นแบบชี้ทิศทางเดียว (Directional) ซึ่งสอดคล้องกับสายอากาศยากิที่มีทิศทางการแผ่กระจายคลื่นแบบชี้ทิศทางเดียวเช่นกัน สำหรับผลการจำลองและผลวัดค่าอัตราการขยาย (Gain) ของสายอากาศที่ความถี่ทดสอบ 1.8GHz และ 2.45 GHz ได้แสดงในตารางที่ 3




**รูปที่ 4** ผลการจำลองและผลวัดค่าอิมพีแดนซ์แบนด์วิดท์ที่ $|S_{11}|$ น้อยกว่า -10dB ของสายอากาศที่นำเสนอ




(ก) ผลจำลองระนาบสนามแม่เหล็ก (ข) ผลจำลองระนาบสนามไฟฟ้า




(ค) ผลวัดระนาบสนามแม่เหล็ก (ง) ผลวัดระนาบสนามไฟฟ้า

**รูปที่ 5** แบบรูปการแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศที่นำเสนอที่ความถี่ 1.8 GHz และ 2.45GHz

**ตารางที่ 3** ผลการจำลองและผลวัดอัตราขยายกำลังงานของสายอากาศ

| ความถี่ | | 1.8GHz | 2.45GHz |
|---|---|---|---|
| อัตราขยายของสายอากาศ (dBi) | ผลการจำลอง | 4.68 | 6.49 |
| | ผลการวัด | 4.78 | 6.62 |

## 4. บทสรุป

การขยายแบนด์วิดท์สายอากาศไมโครสตริปรูปคล้ายยากิด้วยเทคนิคปรับเปลี่ยนโครงสร้างที่นำเสนอนี้ โดยใช้เทคนิคการเพิ่มส่วนของไดโพลจากตัวนำเส้นเดี่ยวให้เพิ่มเป็นตัวนำ 3 เส้นวางในลักษณะขนานกัน ในแต่ละด้านจะมีรูปร่างคล้ายส้อม ร่วมกับเทคนิคเพิ่มส่วนพาราซิติกแพทช์สี่เหลี่ยมผืนผ้าที่มีขนาดเล็กกว่าขนาดของไดโพลและมีการจัดวางตำแหน่งอยู่เหนือส่วนไดโพลในระยะห่างที่เหมาะสมนี้ จะทำให้ได้สายอากาศที่มีเปอร์เซ็นต์แบนด์วิดท์ที่กว้างขึ้นถึง 39.44% (%Bandwidth) เมื่อเปรียบเทียบกับสายอากาศไมโครสตริปรูปคล้ายยากิแบบดั้งเดิมที่มีเปอร์เซ็นต์แบนด์วิดท์เพียง 13.44% สายอากาศที่นำเสนอนี้มีแถบความถี่การตอบสนองตั้งแต่ 1.73-2.58GHz อีกทั้งสายอากาศที่นำเสนอนี้ ยังคงคุณลักษณะในการแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศเทียบเคียงได้กับสายอากาศไมโครสตริปรูปคล้ายยากิแบบดั้งเดิม

## 5. กิตติกรรมประกาศ

ทางคณะผู้นำเสนอต้องขอขอบคุณห้องปฏิบัติการสื่อสารไร้สายและเจ้าหน้าที่ประจำห้องปฏิบัติการสื่อสารไร้สาย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการวัดและทดสอบประสิทธิภาพของสายอากาศ

## เอกสารอ้างอิง

[1] Y. Qian, W.R. Deal, N. Kaneda and T. Itoh, “Microstrip-fed quasi-Yagi antenna with broadband characteristic.” *ELECTRONICS LETTERS,* Vol. 34, No.23, pp.2194-2196, Nov 1998.

[2] E. Navarro, J. Blanes, J. Carrasco, C. Reig, "Yagi-Like Printed Antennas for Wireless Sensor Networks", *IEEE, Sensor Technologies and Applications,* pp. 254-259, Oct 2007.

[3] D.C. Nascimento, R. Schildberg, and J. Lacava, "Low - Cost Yagi-Uda Monopole Array", *Antennas and Propagation Society International Symposium*, 2008. AP-S 2008. IEEE

[4] L.C. Kretly and Alex S. Ribeiro, “A Novel Tilted dipole Quasi-Yagi Antenna Designed for 3G and Bluetooth Applications,” *Proceedings SBMO/IEEE MTT-S, IMOC2003*, pp.303-306.

[5] C. A. Balanis, “Antenna Theory: Analysis and Design,” 3rd Edition, John Wiley & Sons, Inc, USA, 2005.

[6] ประยุทธ อัครเอกฒาลิน, “การออกแบบวงจรไมโครเวฟ,” บริษัท มิสเตอร์ก๊อปปี้ (ประเทศไทย) จำกัด, กรุงเทพฯ, พ.ศ.2550.

**บทความวิจัย**

การประชุมวิชาการ งานวิจัยและพัฒนาเชิงประยุกต์ ครั้งที่ 8

*8th ECTI-CARD 2016, Hua Hin, Thailan*

# สายอากาศไมโครสตริปเฟสอาร์เรย์แบบปรับเลือกลำคลื่นสำหรับระบบสื่อสารไร้สาย

# Switched Beam Microstrip Phase Array Antenna for Wireless Communication Systems

**ชวลิต รักเหลือ[1] และ ไพฑูรย์ รักเหลือ [1]**

[1]ภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

39 หมู่ 1 ถนนรังสิต-นครนายก ตำบลคลองหก อำเภอธัญบุรี ปทุมธานี 12110 โทรศัพท์ 02-549-4620 E-mail: chawalit@rmutt.ac.th

## บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการออกแบบและสร้างสายอากาศไมโครสตริปเฟสอาร์เรย์แบบปรับเลือกลำคลื่นสำหรับระบบสื่อสารไร้สาย ที่มีแบนด์วิดท์อยู่ในช่วงความถี่ 2.5-2.7 GHz (IMT-Extension 2.6 GHz) โดยใช้แผ่นวัสดุฐานรอง FR4 ความหนา 1.6 มิลลิเมตรในการสร้าง สายอากาศต้นแบบประกอบด้วยสายอากาศไมโครสตริปอาร์เรย์ 1×4 องค์ประกอบและวงจรเลื่อนเฟสสำหรับป้อนสัญญาณ โดยใช้ซอฟแวร์ จำลองการทำงาน IE3D และไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC เชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ทำงานในส่วนควบคุมสัญญาณดิจิตอลให้กับวงจรเลื่อนเฟสในชุดของสายอากาศต้นแบบเพื่อควบคุมทิศทางการปรับเลือกลำคลื่น ผลการทดสอบสายอากาศกับเครื่องวิเคราะห์วงจรข่าย (Network analyzer) ในทุกสถานะการทำงานของสายอากาศได้ค่าแบนด์วิดท์ครอบคลุมย่านความถี่ 2.5 – 2.7 GHz ค่าอัตราส่วนแรงดันคลื่นนิ่ง (Voltage Standing Wave Ratio: VSWR) เท่ากับ 1.5 : 1 และอัตราการขยายสูงสุด 5.83 dBi รวมทั้งสามารถปรับเลือกลำคลื่นหลักได้ 8 ทิศทาง

คำสำคัญ: สายอากาศไมโครสตริปเฟสอาร์เรย์, การปรับเลือกลำคลื่น, วงจรเลื่อนเฟส

## Abstract

This paper presents a design and fabrication of switched beam microstrip phase array antenna for wireless communication systems. This proposed antenna is used for bandwidth 2.5 - 2.7 GHz (IMT-Extension 2.6 GHz) and fabricated by using FR4 substrate which its thickness is 1.6 mm. The proposed antenna compose of 1×4 microstrip array antenna and phase shifters for feeding signal by using IE3D software for simulation. Moreover, PIC microcontroller connects with computer to work as phase shifter's digital signal controller for proposed antenna to control switched beam directions. Finally, all working status of antenna, measurement results from network analyzer show that bandwidth cover the frequency range of 2.5 – 2.7 GHz, VSWR equals 1.5 : 1 and maximum gain is 5.83 dBi. Also, the main beam can be switched on 8 directions.

Keywords: microstrip phase array antenna, switched beam, phase shifter

## 1. บทนำ

ในระบบการสื่อสารปัจจุบันที่มีความก้าวหน้าและมีความต้องการใช้งานที่เพิ่มขึ้นอย่างมาก จึงทำให้ช่องสัญญาณที่มีอยู่จำกัดไม่เพียงพอต่อความต้องการใช้งานดังกล่าว ดังนั้นการเพิ่มความจุช่องสัญญาณและการเพิ่มขอบเขตการรับสัญญาณ โดยสายอากาศที่ถูกใช้ในการสื่อสารยุคใหม่จะต้องสามารถปรับลำคลื่นหลัก (Main beam) เพื่อให้สามารถปรับเปลี่ยนทิศทางการแผ่กระจายคลื่นที่ใช้ในการสื่อสารได้ โดยช่วงแรกของเทคโนโลยีสายอากาศปรับลำคลื่น (Switched beam antenna) ใช้ตัวสายอากาศหมุนไปรอบ ๆ ด้วยวิธีทางกลที่ต้องอาศัยมอเตอร์ไฟฟ้าเข้ามาช่วยในการหมุนที่นิยมใช้ในการสื่อสารดาวเทียมและระบบเรดาร์ [1] ซึ่งต่อมาได้มีการเริ่มใช้การปรับลำคลื่นด้วยวิธีการทางไฟฟ้าซึ่งมีความรวดเร็วกว่าการหมุนทางกล ซึ่งการปรับลำคลื่นด้วยวิธีทางไฟฟ้าสามารถแบ่งได้ 3 แบบ คือ การใช้วงจรหน่วงเวลา (Time delay scanning) การปรับความถี่ร่วมกับท่อนำคลื่น (Frequency scanning) และการใช้วงจรปรับเฟส (Phase scanning) โดยวิวัฒนาการของเทคโนโลยีดังกล่าว ได้นำมาพัฒนาเป็นสายอากาศเฟสอาร์เรย์มาใช้กับระบบสายอากาศ ซึ่งถูกนำมาใช้ประโยชน์อย่างมากมาย เช่น ใช้ในระบบการค้นหาติดตามตำแหน่งของดาวเทียม ระบบตรวจหาวัตถุระเบิดในกิจการทหาร ใช้ระบบเรดาร์ในเทคโนโลยีเรือรบ ระบบเรดาร์ทางด้านการประมงและในระบบอากาศยานที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน เป็นต้น [2]

สายอากาศไมโครสตริปได้มีการพัฒนาและวิจัยอย่างแพร่หลายในช่วงสิบปีที่ผ่านมา ซึ่งมีข้อดีคือ มีขนาดเล็ก บางเรียบและราคาเหมาะสม [4] ยิ่งไปกว่านั้นสายอากาศไมโครสตริปมีแบบรูปการแผ่กระจายคลื่นแบบชี้ทิศทาง (Directional radiation pattern) ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่จำเป็นสำหรับสายอากาศแบบปรับเลือกลำคลื่น แต่สายอากาศไมโครสตริปมีข้อเสียคือมีอัตราขยายต่ำ โดยที่กระบวนการเพิ่มอัตราขยายสำหรับสายอากาศไมโครสตริปนั้นสามารถทำได้หลายวิธี แต่วิธีที่ได้รับความนิยมวิธีหนึ่งคือการทำสายอากาศอาร์เรย์เป็นสายอากาศที่มีหลายองค์ประกอบ (Element) [3] ซึ่งได้มีการนำสายอากาศ

อาร์เรย์มาทำการออกแบบร่วมกับวงจรเลื่อนเฟสเพื่อให้สายอากาศอาร์เรย์มีการปรับเลือกลำคลื่นได้โดยการป้อนสัญญาณทางไฟฟ้าควบคุมการปรับเลือกทิศทางของลำคลื่น [4]

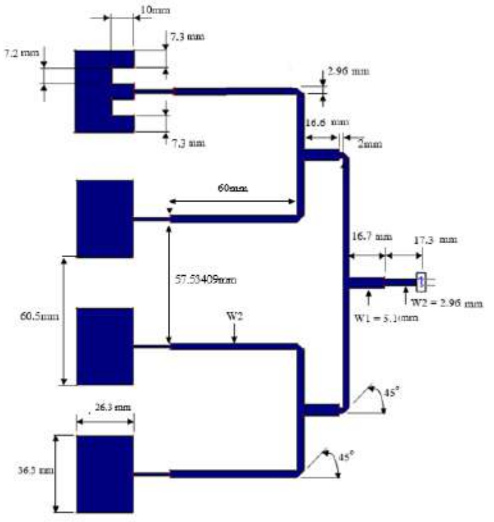
ส่วนของวงจรเลื่อนเฟสทำหน้าที่เลื่อนเฟสของสัญญาณที่ป้อนให้กับแต่ละองค์ประกอบ โดยแต่ละองค์ประกอบจะต้องมีเฟสที่ต่างกัน ซึ่งอุปกรณ์ที่ถูกใช้ในวงจรเลื่อนเฟสคือ พินไดโอด (PIN diode) ซึ่งสามารถควบคุมกำลังงานความถี่วิทยุ (RF Power) ที่สูงด้วยระดับสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรง (DC) ต่ำ ๆ ได้ โดยได้มีนักวิจัยนำวงจรเลื่อนเฟสที่ควบคุมด้วยสัญญาณดิจิตอลมาควบคุมเฟสให้กับองค์ประกอบของสายอากาศอาร์เรย์เพื่อปรับเลือกลำคลื่น [5]

แนวคิดสำหรับบทความนี้นำเสนอสายอากาศไมโครสตริปเฟสอาร์เรย์ที่ควบคุมเฟสแต่ละองค์ประกอบด้วยวงจรเลื่อนเฟสที่ถูกควบคุมด้วยสัญญาณดิจิตอลผ่านไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC เพื่อปรับเลือกทิศทางของลำคลื่น สายอากาศต้นแบบประกอบด้วยสายอากาศอาร์เรย์ 1×4 องค์ประกอบควบคู่กับการป้อนสัญญาณผ่านวงจรเลื่อนเฟสแบบ 3 บิตที่ใช้พินไดโอด [6] เป็นตัวควบคุมเฟสของกระแสที่ป้อนให้แต่ละองค์ประกอบของสายอากาศอาร์เรย์ ซึ่งถูกออกแบบให้มีความต่างเฟส 3 ค่า คือ 45, 90 และ 180 องศา เพื่อปรับเปลี่ยนเฟสของกระแสจำนวน 8 สถานะ จะทำให้สายอากาศต้นแบบสามารถปรับเลือกลำคลื่นหลักได้ 8 ทิศทางเช่นกัน

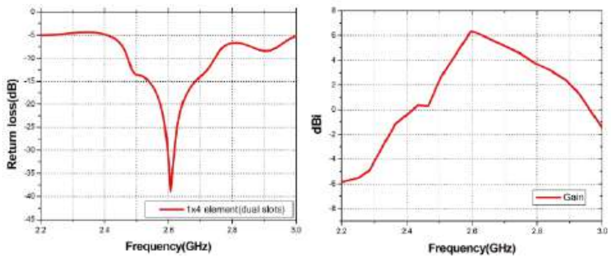
## 2. องค์ประกอบและผลการจำลองการทำงาน

### 2.1 สายอากาศไมโครสตริปอาร์เรย์ 1×4 องค์ประกอบ

สายอากาศไมโครสตริปอาร์เรย์ประกอบด้วยระบบการป้อนสัญญาณแบบขนานป้อนสัญญาณไปให้ไมโครสตริปแพทช์ 4 องค์ประกอบ [5] โดยประกอบด้วยแพทช์สี่เหลี่ยมผืนผ้าจำนวน 3 แพทช์ แพทช์สี่เหลี่ยมผืนผ้าแบบเจาะร่องการป้อนสัญญาณเข้าไปในแพทช์อีกหนึ่งองค์ประกอบ ซึ่งมีขนาดและการจัดวางขององค์ประกอบและสายนำสัญญาณดังรูปที่ 1 จากรูปที่ 1 จะเห็นได้ว่าสายอากาศอาร์เรย์จะองค์ประกอบที่ไม่เหมือนกันอยู่หนึ่งองค์ประกอบเพราะเมื่อได้ทำการวางองค์ประกอบที่เหมือนกัน 4 องค์ประกอบ จะได้ช่วงแบนด์วิดท์ไม่ครอบคลุมกับช่วงแบนด์วิดท์ที่ต้องการ จึงได้ทำการปรับรูปแบบขององค์ประกอบหนึ่งตัวโดยการเจาะร่องเข้าไปในแพทช์เพื่อให้ได้ค่าแบนด์วิดท์ครอบคลุม 2.5 – 2.7 GHz ที่ระดับค่าอัตราการสูญเสียสะท้อนกลับ (Return loss) ต่ำกว่า -10 dB ดังผลการจำลองการทำงานรูปที่ 2(ก) ส่วนการวางตำแหน่งขององค์ประกอบอาร์เรย์จะทำการวางเป็นระยะห่างกัน 60.5 มิลลิเมตร ($0.525\lambda_g$) เพื่อให้ไม่เกิดการรบกวนกันระหว่างองค์ประกอบเมื่อมีการปรับลำคลื่นของสายอากาศ อัตราขยายเฉลี่ยตลอดช่วงความถี่ใช้งานประมาณ 5 dBi อัตราขยายสูงสุด 6 dBi ที่ความถี่กลาง 2.6 GHz ดังรูปที่ 2(ข) โดยสร้างบนวัสดุฐานรอง FR4 หนา 1.6 มิลลิเมตร มีค่าคงที่ไดอิเล็กตริก ($\varepsilon_r$) เท่ากับ 4.5

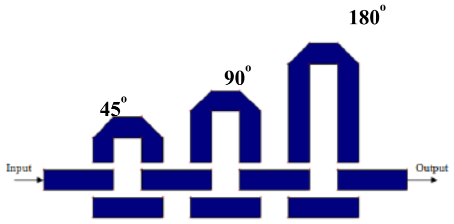



**รูปที่ 1** สายอากาศไมโครสตริปแบบอาร์เรย์ 1×4 องค์ประกอบ

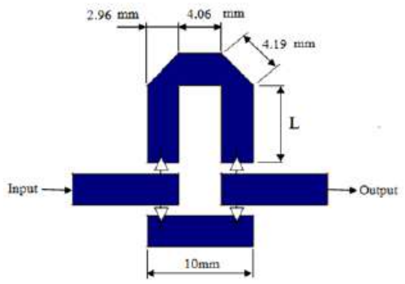



(ก) (ข)

**รูปที่ 2** ผลการจำลองการทำงานของสายอากาศไมโครสตริปอาร์เรย์ (ก) ค่าอัตราการสูญเสียย้อนกลับและ (ข) อัตราขยาย

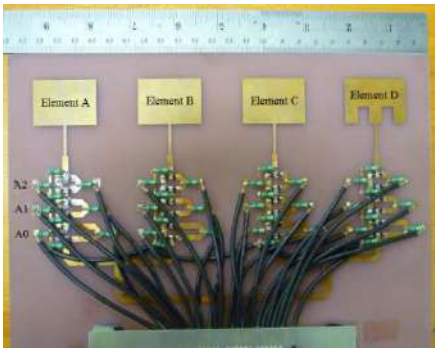



(ก)

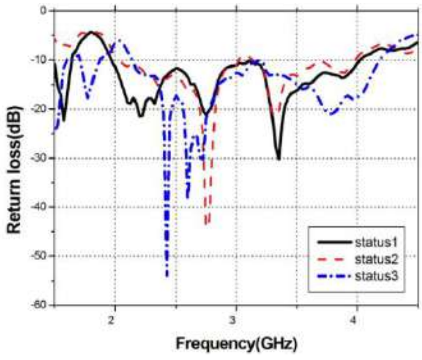



(ข)

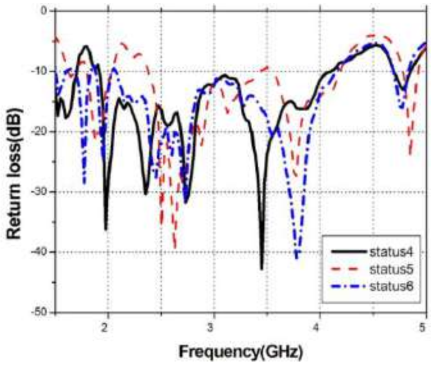
รูปที่ 3 วงจรเลื่อนเฟสโดยใช้พินไดโอดขนาด 3 บิต (ก) โครงสร้างรวม และ (ข) ขนาดและโครงสร้างแต่ละส่วน



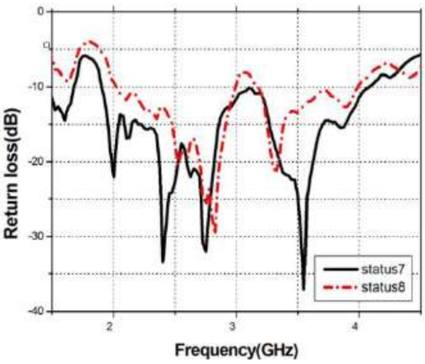

**รูปที่ 4** สายอากาศไมโครสตริปเฟสอาร์เรย์ต้นแบบ




(ก)




(ข)




(ค)

**รูปที่ 5** ผลการวัดค่าการสูญเสียย้อนกลับที่ (ก) สถานะ 1 – 3 (ข) สถานะ 4 – 6 และ (ค) สถานะ 7 – 8

## 2.2 วงจรเลื่อนเฟสโดยใช้พินไดโอดขนาด 3 บิต

รูปที่ 3(ก) แสดงวงจรเลื่อนเฟสขนาด 3 บิตประกอบไปด้วยวงจรเลื่อนเฟสที่ความต่างเฟสกัน 45, 90 และ 180 องศา นำมาต่ออนุกรมกัน โดยสามารถคำนวณความยาวของสายนำสัญญาณจากค่าความต่างเฟสที่ต้องการโดยใช้สมการที่ 1 จะได้ค่าความยาว 7.06, 14.12 และ 28.24 มิลลิเมตร สำหรับความต่างเฟส 45, 90 และ 180 องศา ตามลำดับ

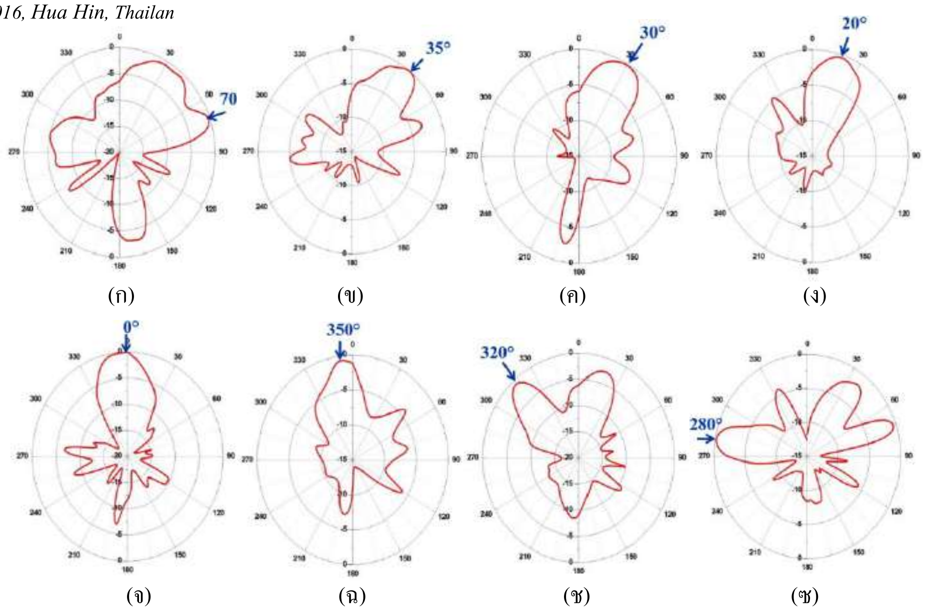
$$L_2 - L_1 = \Delta L = \frac{\lambda_g}{2\pi}\phi \qquad (1)$$

และรูปที่ 3(ข) แสดงขนาดสายนำสัญญาณไมโครสติปในแต่ละส่วนของวงจรเลื่อนเฟสและตำแหน่งการวางของพินไดโอด [8] ซึ่งประกอบด้วยความยาวสายนำสัญญาณในส่วน เท่ากับ 10 มิลลิเมตร ในส่วนดีเลย์ไลน์ (Delay line) มีสองส่วนคือ ส่วนโค้งมีความยาวเท่ากับ $L_1$ และความยาวส่วนตรง L จะมีความยาวเท่ากับครึ่งหนึ่งของความยาวของค่าความต่างเฟส จากสมการที่ 1 ซึ่งจะมีค่าเท่ากับ 3.53, 7.35 และ 14.12 มิลลิเมตร จากนั้นได้นำวงจรเลื่อนเฟสขนาด 3 บิตรวมกับสายอากาศอาร์เรย์เพื่อควบคุมเฟสของกระแสของแต่ละองค์ประกอบเป็นสายอากาศไมโครสตริปเฟสอาร์เรย์ต้นแบบดังรูปที่ 4 ต่อรวมกับแผงวงจรควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อควบคุมการไบอัสให้กับพินไดโอดที่ควยคุมเฟสการป้อนสัญญาณให้แต่ละองค์ประกอบของอาร์เรย์ โดยที่การควบคุมการป้อนสัญญาณดิจิตอล 3 บิต ประกอบไปด้วย บิตที่ 2 ควบคุมการไบอัสของวงจรเลื่อนเฟส 45 องศา ส่วนวงจรเลื่อนเฟส 90 และ 180 องศา จะ ควบคุมโดยใช้บิตที่ 1 และ บิตที่ 0 ตามลำดับ

## 3. ผลการวัดทดสอบ

รูปที่ 4 แสดงสายอากาศต้นแบบและวงจรเลื่อนเฟสโดยใช้พินไดโอดแบบ 3 บิต ด้วยการให้ไบอัสแก่พินไดโอดด้วยสัญญาณดิจิตอล 8 สถานะ ดังตารางที่ 1 ด้วยสัญญาณลอจิก (logic) 0 และ 1 ซึ่งเป็นการไบอัสตรงและไบอัสกลับแก่พินไดโอดตามลำดับ โดยถูกควบคุมการป้อนสถานะผ่านไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ต่อกับคอมพิวเตอร์ จากผลการวัดทดสอบค่าการสูญเสียย้อนกลับ (Return loss) ด้วยเครื่องวิเคราะห์วงจรข่ายแสดงรูปที่ 5 จะเห็นได้ว่าการเปลี่ยนสถานะของการป้อนสัญญาณให้กับสายอากาศต้นแบบจะทำให้ค่าการสูญเสียย้อนกลับมีการเปลี่ยนแปลง แต่อย่างไรก็ดีในทุกสถานะมีค่าการสูญเสียย้อนกลับต่ำกว่า -10 dB ในช่วงความถี่ 2.5 – 2.7 GHz ซึ่งแสดงว่าสายอากาศไมโครสตริปเฟสอาร์เรย์สามารถใช้งานในช่วงความถี่ดังกล่าวได้ทั้ง 8 สถานะ

ส่วนแบบรูปการแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศต้นแบบได้ถูกวัดทดสอบทั้ง 8 สถานะ ถูกแสดงในรูปที่ 6 ซึ่งผลที่ได้เป็นบรรลุตามจุดประสงค์ที่สามารถปรับเลือกลำคลื่นของสายอากาศได้ 8 ทิศทาง กล่าวคือจากรูปที่ 6(ก) เป็นแบบรูปการแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศ




**รูปที่ 6** ผลการวัดแบบรูปการแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศต้นแบบในระนาบ *xz* ที่ความถี่ 2.6 GHz โดยการป้อน (ก) สถานะ 1 (ข) สถานะ 2 (ค) สถานะ 3 (ง) สถานะ 4 (จ) สถานะ 5 (ฉ) สถานะ 6 (ช) สถานะ 7 และ (ซ) สถานะ 8

**ตารางที่ 1** สถานะของการให้ไบอัสให้แก่พินไดโอดในวงจรเลื่อนเฟสเพื่อปรับเปลี่ยนเฟสของกระแส 8 สถานะและผลการวัดอัตราขยาย

| สถานะ | $A_2A_1A_0$ | $B_2B_1B_0$ | $C_2C_1C_0$ | $D_2D_1D_0$ | อัตราขยาย |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 001 | 110 | 011 | 011 | 3.29 dBi |
| 2 | 000 | 000 | 010 | 010 | 4.35 dBi |
| 3 | 111 | 110 | 101 | 100 | 5.24 dBi |
| 4 | 000 | 101 | 010 | 111 | 5.20 dBi |
| 5 | 100 | 101 | 110 | 110 | 5.24 dBi |
| 6 | 110 | 001 | 100 | 111 | 3.48 dBi |
| 7 | 000 | 110 | 100 | 010 | 5.83 dBi |
| 8 | 000 | 000 | 000 | 000 | 2.68 dBi |

โดยการป้อนสัญญาณสถานะ 1 จะทำให้ลำคลื่นหลักมีทิศทางทำมุม 70 องศากับทิศทางแนวตั้งฉากกับระนาบสายอากาศ สำหรับสถานะ 2 – สถานะ 8 ลำคลื่นหลักมีการปรับเปลี่ยนไปตามสัญญาณและเฟสของสัญญาณที่ถูกป้อนเข้ามาให้กับองค์ประกอบแต่ละอันดังรูปที่ 6(ข) ถึง รูปที่ 6(ซ) ผลที่ได้ลำคลื่นหลักสถานะ 2 ทำมุม 35 องศา สถานะ 3 ถึง 8 มีมุมอยู่ที่ 30 องศา 20 องศา 0 องศา – 10 องศา – 40 องศา และ – 80 องศา ตามลำดับ นอกจากนี้สายอากาศต้นแบบมีอัตราขยายในแต่ละสถานะเฉลี่ยอยู่ประมาณ 5 dBi ดังตารางที่ 1

## 4. สรุป

บทความนี้ทำการออกแบบและวัดทดสอบสายอากาศไมโครสตริปเฟสอาร์เรย์แบบปรับเลือกลำคลื่นหลักได้ 8 ทิศทางสำหรับระบบการสื่อสารไร้สาย โดยใช้วงเลื่อนเฟสพินไดโอดเป็นตัวปรับเปลี่ยนเฟสกระแสของแต่ละองค์ประกอบ ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าลำคลื่นหลักสามารถปรับเลือกได้ 8 ทิศทาง แบบชี้เฉพาะเจาะจงทิศทาง ขึ้นอยู่กับการป้อนสัญญาณไบอัสให้กับพินไดโอดเพื่อควบคุมเฟสการป้อนสัญญาณให้กับองค์ประกอบอาร์เรย์ รวมทั้งมีแบนด์วิดท์ทั้ง 8 สถานะครอบคลุมความถี่ 2.5 – 2.7 GHz และมีอัตราขยายเฉลี่ย 5 จึงทำให้งานวิจัยนี้เหมาะสำหรับการนำไปแนวคิดและสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานกับระบบสื่อสารไร้สายในยุคปัจจุบันได้อย่างดี

## เอกสารอ้างอิง

[1] L.C. Godara, M.E. Bialkowski, N.C Karmakar, P.W. Davis, and H.J. Song, "Handbook of Antennas in Wireless Communication," CRC press, ISBN 9780849301247, August, 2001.

[2] G. W. Stimson, "Introduction to Airborne Radar," 2nd ed. Raleigh, NC: SciTech Publishing Inc., 1998.

[3] C. A. Balanis., "Antenna Theory Analysis and Design," John Wiley & Sons, Inc., 1997.

[4] R. De Luis and Franco De Flaviis, "A Reconfigurable Dual Frequency Switched Beam Antenna Array and Phase Shifter using PIN Diodes," Ant. and Prop. Soc. Int. Sym., 1 – 5 June, 2009.

[5] B. Bauman, A. Christianson, A. Wegener, and W. J. Chappell, "Dynamic Visualization of Antenna Patterns and Phased Array Beam Steering," IEEE Ant. Mag., Vol. 54, No. 3, June 2012.

[6] W.E.Doherty and R.d.Joos, "The PIN Diode Circuit Designer's Handbook," Misocreme Corp., Watertown, MA, 1998.

# วงจรเรียงกระแสแบบทวีแรงดันความถี่ 5.8 GHz สำหรับระบบเก็บเกี่ยวพลังงานไฟฟ้าจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

# 5.8 GHz Double Voltage Rectifier Circuit for Electromagnetic Energy Harvesting System

**วรายุทธ สามัคคี กิตติศักดิ์ แพบัว และ ฐิติพงษ์ เลิศวิริยะประภา**

ภาควิชาครุศาสตร์ไฟฟ้า คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

1518 ถนนพิบูลสงคราม เขตบางซื่อ กทม. 10800

e-mail: samakkhee8@gmail.com, ppai_k@hotmail.com, titipong.l@fte.kmutnb.ac.th

## บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอวงจรเรียงกระแสแบบทวีแรงดันความถี่ 5.8 GHz สำหรับระบบการเก็บเกี่ยวพลังงานไฟฟ้าจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า โดยทำงานร่วมกับซุปเปอร์คาปาซิเตอร์ วงจรที่นำเสนอถูกออกแบบมาเพื่อการทำงานในย่านความถี่ Wi-Fi 5.8 GHz โดยใช้ไดโอดความถี่สูงเบอร์ SMS7630-061 ต่อร่วมกับซุปเปอร์คาปาซิเตอร์ 5V / 1 F เพื่อใช้เก็บรวบรวมพลังงานก่อนจะส่งไปเก็บในแบตเตอรี่ขนาดเล็กต่อไป จากผลการทดสอบพบว่าเมื่อกำหนดกำลังไฟฟ้าขาเข้าเท่ากับ 10 dBm แรงดันที่เอาท์พุทที่ได้มีค่ามากกว่าที่ 2.8 V ที่ช่วงกว้างความถี่ที่สนใจที่ 5.5-6.1 GHz

## Abstract

This paper presents the 5.8 GHz double voltage rectifier circuit for electromagnetic energy harvesting system. The double voltage rectifier together with the super capacitor are employed to harvest the electromagnetic energy. The proposed circuit is designed to operate at 5.8 GHz in Wi-Fi frequency band. The Schottky diode SMS7630-061 is employed to implement the proposed rectifier circuit. The super capacitor 5V with capacity of 1 F is employed to collect the electromagnetic energy. It is found that when the input power is 10dBm, the output voltage is greater than 2.8 Vdc at frequency bandwidth of 5.5-6.1 GHz.

Keywords: Rectifier, Energy harvesting system.

## 1. บทนำ

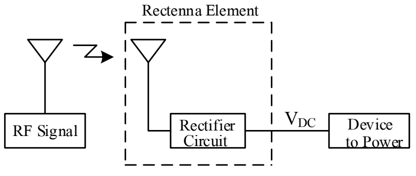
ในปัจจุบันประเทศไทยมีการใช้พลังงานไฟฟ้าเพิ่มขึ้นเป็นอย่างมาก ทั้งภาคอุตสาหกรรมและภาคครัวเรือน แหล่งพลังงานไฟฟ้าหลักของประเทศไทยในปัจจุบันมาจาก ก๊าซธรรมชาติ (70%) ถ่านหิน (20%) น้ำมัน พลังงานหมุนเวียน และพลังน้ำ (5%) ซึ่งการเลือกเชื้อเพลิงเพื่อใช้ผลิตไฟฟ้าจะต้องคำนึงถึง 1. ต้องมีแหล่งสำรองเชื้อเพลิงที่มีปริมาณเพียงพอและแน่นอน เพื่อความมั่นคงในการจัดหา 2. ต้องมีการกระจายแหล่งและชนิดของเชื้อเพลิงเพื่อลดความเสี่ยงจากการพึ่งพาเชื้อเพลิงจากแหล่งหรือชนิดเดียว 3. ต้องเป็นเชื้อเพลิงที่มีราคาเหมาะสมและมีเสถียรภาพ 4. ต้องเป็นเชื้อเพลิงที่เมื่อนำมาผลิตไฟฟ้าแล้วสามารถควบคุมมลพิษให้อยู่ในระดับมาตรฐานคุณรูปที่สะอาดยอมรับได้ 5. ต้องใช้ทรัพยากรพลังงานภายในประเทศที่มีอยู่อย่างจำกัดให้เกิดประโยชน์สูงสุด [1]

ในระบบสื่อสารแบบไร้สายเช่น Wi-Fi สถานีฐานโทรศัพท์มือถือและอุปกรณ์พกพาไร้สาย ซึ่งจากการศึกษาพบว่ามีความเป็นไปได้ที่จะใช้ระบบการเก็บเกี่ยวพลังงานคลื่นวิทยุ (Radio Frequency) ในการชาร์จแบตเตอรี่ของอุปกรณ์ที่ใช้พลังงานต่ำ โดยใช้วงจรเรียงกระแสที่ทำงานในย่านความถี่สูงร่วมกับสายอากาศรับที่มีอัตราการขยายสูง (High gain antenna) สายอากาศความถี่สูงจะถูกใช้ในการเก็บรวบรวมพลังงานคลื่นวิทยุ จากอากาศและจากนั้นส่งไปยังวงจรเรียงกระแสที่ทำงานในย่านความถี่สูง ในงานวิจัยนี้ใช้วงจรเรียงกระแสแบบทวีแรงดัน (Double Voltage Rectifier) จากงานวิจัย [2] และ[3] แต่ทำการปรับปรุงให้ทำงานที่ความถี่สูงขึ้นที่ความถี่ 5.8 GHz

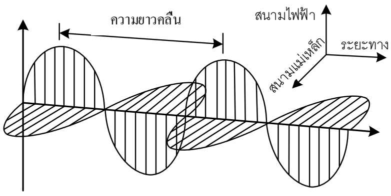
## 2. ทฤษฎี

ระบบการเก็บเกี่ยวพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานคลื่นวิทยุสื่อสาร (Radio Frequency Energy) และระบบการเก็บเกี่ยวพลังงานไฟฟ้าจากสนามแม่เหล็กไฟฟ้าระยะใกล้ (Near Field Electromagnetic Energy) จะมีความแตกต่างกันทั้งในสูตรการคำนวณอุปกรณ์ที่ใช้ย่านความถี่

2.1 ระบบการเก็บเกี่ยวพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานคลื่นวิทยุสื่อสาร (Radio Frequency Energy) [4][5] และ[6] ในระบบนี้แหล่งพลังงานจะอยู่ในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเดินทางตามขวางในรูปแบบคลื่นจร (Traveling transverse electromagnetic wave mode: TEM wave mode) ดังแสดงการทำงานของระบบในรูปที่ 1 (ก) และแสดงการเดินทางของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในรูปที่ 1 (ข)



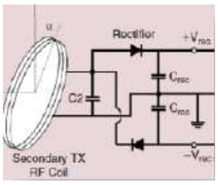

(ก)

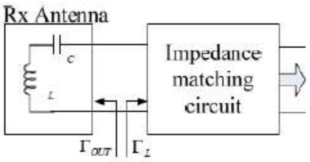



(ข)

รูปที่ 1 (ก) ระบบการเก็บเกี่ยวพลังงานไฟฟ้าจากคลื่นวิทยุสื่อสาร (Radio Frequency Energy) (ข) คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเดินทางตามขวางในรูปแบบคลื่นจร (Traveling transverse electromagnetic wave mode: TEM wave mode)

2.2 ระบบการเก็บเกี่ยวพลังงานไฟฟ้าจากสนามแม่เหล็กไฟฟ้าระยะใกล้ (Near Field Electromagnetic Energy) [7] ชุดรับกาลังไฟฟ้า (Receiver) ประกอบด้วยสายอากาศชุดรับกาลังไฟฟ้า (Receiving antenna) ซึ่งออกแบบลักษณะขดลวดตัวนาทางานที่ความถี่ต่ามากในย่าน kHz ถึง MHz โดยใช้หลักการเหนียวน าสนามแม่เหล็กที่เก็บเกี่ยวมาจากเครื่องใช้ไฟฟ้า มอเตอร์ไฟฟ้า หม้อแปลงไฟฟ้าดังแสดงในรูปที่ 2 (ก) ร่วมกับวงจรเข้าคู่ทางอิมพีแดนซ์ดังแสดงในรูปที่ 2 (ข) และอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์สาหรับเปลี่ยนไฟฟ้ากระแสสลับจากสายอากาศในชุดรับกาลังไฟฟ้าให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรงสาหรับชาร์จแบตเตอรีหรือส่งต่อไปยังโหลดดังแสดงในรูปที่ 2 สาหรับงานวิจัยนี้จะใช้ทฤษฎีที่ 2.1 ระบบการเก็บเกี่ยวพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานคลื่นวิทยุสื่อสาร (Radio Frequency Energy) โดยออกแบบวงจรเรียงกระแสที่ทางานที่ย่านความถี่สูง



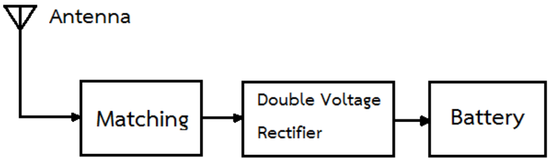




(ก) (ข)

รูปที่ 2 ระบบการเก็บเกี่ยวพลังงานไฟฟ้าจากสนามแม่เหล็กไฟฟ้าระยะใกล้ (Near Field Electromagnetic Energy) (ก) ขดลวดสายอากาศ ตัวเก็บประจุส าหรับทาให้เกิดเรโซแนนซ์ และวงจรเรียงกระแส (ข) ระบบเข้าคู่ทางอิมพีแดนซ์

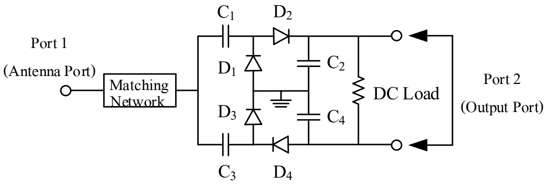
## 3. การออกแบบ

ระบบเก็บเกี่ยวพลังงานไฟฟ้าจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าหรือคลื่นวิทยุสื่อสาร ประกอบไปด้วย สายอากาศภาครับ วงจรแมตช์ชิง วงจรเรียงกระแสแบบทวีแรงดัน และแบตเตอรีในการเก็บพลังงาน ดังแสดงในรูปที่ 3 ในการออกแบบจะทาการออกแบบสายอากาศภาครับและวงจรแมตช์ชิงให้มีค่าอิมพีแดนซ์ที่เข้ากัน เพื่อให้สามารถรับกาลังงานไฟฟ้าได้ดีที่สุด สาหรับวงจรเรียงกระแสแบบทวีแรงดันจะต้องออกแบบให้มีประสิทธิภาพการเปลี่ยนก าลังงานไฟฟ้ากระแสสลับความถี่สูงไปเป็นไฟฟ้ากระแสตรงสูงสุด โดยเฉพาะอย่างยิ่งในงานวิจัยนี้ได้ปรับปรุงวงจรเรียงกระแสแบบทวีแรงดัน จากงานวิจัย [2] และ[3] โดยทาการปรับปรุงให้ทางานที่ความถี่สูงขึ้นที่ความถี่ 5.8 GHz และในงานวิจัยนี้ได้เพิ่มตัวเก็บประจุแบบซุปเปอร์คาปาซิเตอร์ เพื่อเป็นตัวสะสมกาลังไฟฟ้าก่อนส่งต่อไปยังวงจรชาร์จแบตเตอรี เนื่องจากภาคชาร์จแบตเตอรีจะทางานที่แรงดัน 1.25 โวลต์เป็นต้นไปซึ่งในสภาวะแรงดันขาเข้าต่าจะไม่สามารถชาร์จแบตเตอรีได้ดังนั้นตัวเก็บประจุแบบซุปเปอร์คาปาซิเตอร์ จึงถูกนามาใช้เก็บสะสมกาลังไฟฟ้าในขณะแรงดันขาเข้าต่า




รูปที่ 3 บล็อคไดอะแกรมของระบบการเก็บเกี่ยวพลังงานไฟฟ้าจากคลื่นวิทยุสื่อสาร (Radio Frequency Energy)

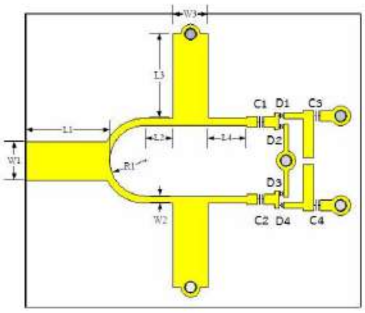
รูปที่ 4 แสดงแผนภาพวงจรแมตช์ชิง และวงจรเรียงกระแสแบบทวีแรงดัน โดยขั้วที่ 1 เชื่อมต่อกับสายอากาศรับกาลังงาน การปรับวงจรแมตช์ชิงจะสัมพันธ์กับค่า $W_1$ $W_2$ $W_3$ $L_1$ $L_2$ $L_3$ $L_4$ และ $R_1$ โดยมีตัวเก็บประจุ $C_1$ และ $C_2$ เป็นตัวเก็บประจุทาหน้าที่ทวีแรงดันขาเข้าให้สูงขึ้นเมื่อทางานร่วมกับ Schottky diode ($D_1$) และ ($D_2$) ซึ่งทาหน้าที่เรียงกระแสให้เป็นไฟกระแสตรง โดยขั้วขาออก ต่อกับโหลดตัวต้านทาน 10 kΩ ลายวงจรแสดงในรูปที่ 5 ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมแสดงในตารางที่ 1 โดยที่ตัวแปร $W_1$ $W_2$ $W_3$ $L_1$ $L_2$ $L_3$ $L_4$ และ $R_1$ มีผลต่อการแมตช์ชิงระหว่างสายอากาศรับและวงจรเรียงกระแสแบบทวีแรงดันที่ความถี่ 5.8GHz การหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมกระทาโดยใช้โปรแกรม CST Microwave Studio ในการจาลอง




รูปที่ 4 แผนภาพวงจรและการจาลองการทางานของสายอากาศ วงจร Matching และวงจร Double Voltage Rectifier

ลายวงจรแมตช์ชิง ลายวงจรเรียงกระแสแบบทวีแรงดันและตัวแปรต่างๆแสดงในรูปที่ 5 จากผลการจ าลองที่ดีที่สุดจึงท าการ

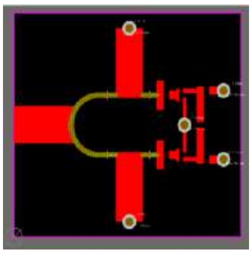
ออกแบบลายวงจรดังแสดงในรูปที่ 6 โดยใช้โปรแกรม Altium Designer Summer 09 สาหรับออกแบบลายวงจร




รูปที่ 5 ลายวงจรแมตช์ชิงและวงจรเรียงกระแสแบบทวีแรงดัน

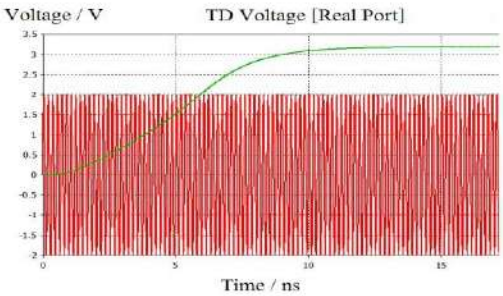
**ตารางที่ 1** ค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่เหมาะสมที่ใช้ในการออกแบบวงจร

| name | value | units |
|---|---|---|
| $C_1$ และ $C_4$ | 15 | μF |
| $C_2$ | 0.1 | μF |
| $C_3$ | 10 | μF |
| อิมพีแดนซ์ของวงจร | 50 | Ω |
| $L_1$ และ $L_3$ | 4.3434 | mm. |
| $L_2$ | 1.4478 | mm. |
| $L_4$ | 1 | mm. |
| $R_1$ | 1.8288 | mm. |
| $W_1$ | 2.5 | mm. |
| $W_2$ | 0.381 | mm. |
| $W_3$ | 1.960488 | mm. |
| ความหนาของทองแดง | 1.7425 | mm. |



รูปที่ 6 การวาดลายวงจรโดยใช้โปรแกรม Altium Designer Summer 09

ในรูปที่ 7 แสดงผลการจาลองการทางานของวงจรเรียงกระแสแบบทวีแรงดันจากรูปที่ 4 โดยที่ขั้วขาเข้า (Port 1) ป้อนสัญญาณขาเข้าความถี่ 5.8 GHz แรงดัน 2 โวลต์พีค พบว่ามีแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 3.2 โวลต์ ที่ขั้วขาออก (Port 2) ซึ่งวงจรเรียงกระแสแบบทวีแรงดันที่น าเสนอสามารถทางานได้โดยสภาวะคงตัวของวงจร (Steady state) เท่ากับ 10 ns




รูปที่ 7 ผลการจาลองการทางานของวงจร Matching และวงจร Double Voltage Rectifier

## 4.ผลการทดลองเบื้องต้น

วงจรต้นแบบถูกสร้างโดยใช้แผ่นปริ้น FR4 ขนาด 15x16 mm. ด้านหน้าเป็นลายวงจรตามขนาดต่างๆในตารางที่ 1 ส่วนด้านหลังเป็นระนาบกราวด์ทั้งหมด ดังแสดงในรูปที่ 8 คอนเนคเตอร์ SMA ถูกใช้โดยต่อเข้ากับขั้วขาเข้าของวงจร (Port 1) การทดสอบการทางานของวงจรแบ่งออกเป็น 3 กรณีคือ

1. กรณีไม่มีโหลด
2. กรณีมีโหลด 10 kΩ
3. กรณีมีโหลด 10 kΩ และ ตัวเก็บประจุแบบซุปเปอร์คาปาซิเตอร์

กรณีไม่มีโหลดแสดงวงจรต้นแบบในรูปที่ 8 กรณีมีโหลด 10 kΩ แสดงวงจรต้นแบบในรูปที่ 9 (ก) กรณีมีโหลด 10 kΩ และ ตัวเก็บประจุแบบซุปเปอร์คาปาซิเตอร์แสดงวงจรต้นแบบในรูปที่ 9 (ข) เครื่องมือทดสอบประกอบไปด้วยเครื่องก าเนิดสัญญาณความถี่สูง (Signal generator) ทดสอบที่ย่านความถี่ 1 ถึง 7 GHz กาลังไฟฟ้าขาเข้าเท่ากับ 10 dBm ตลอดย่านความถี่ และใช้มิเตอร์แบบดิจิตอลในการวัดแรงดันขาออก ดังแสดงในรูปที่ 10

รูปที่ 8 แผ่น PCB ที่กัดลายวงจรพร้อมลงอุปกรณ์แล้ว

(ก) (ข)

รูปที่ 9 การวัดผลของวงจรต้นแบบ (ก) วัด $V_{Out}$ กรณีมีโหลด (ข) วัด $V_C$ (เมื่อต่อซุปเปอร์คาปาซิเตอร์)

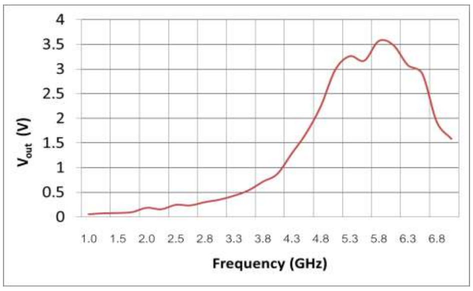
(ก) เครื่องกาเนิดสัญญาณความถี่สูง (ข) มัลติมิเตอร์แบบดิจิตอล

รูปที่ 10 ผลการทดสอบแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงขาออกเมื่อกาหนดกาลังงานไฟฟ้าขาเข้าเท่ากับ 10 dBm

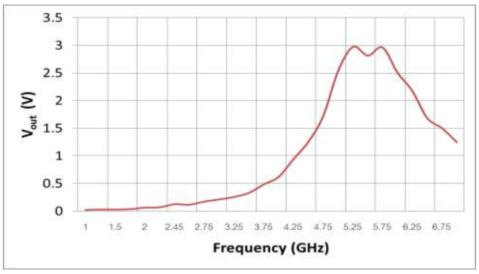
กรณีที่ 1 กรณีไม่มีโหลดแสดงวงจรต้นแบบในรูปที่ 8 พบว่าวงจรมีแรงดันขาออกสูงสุดที่ 6 GHz มีค่าเท่ากับ 3.6 โวลต์ ดังแสดงในรูปที่ 11 แรงดันทีเอาท์พุทมีค่ามากกว่าที่ 3.2 V ที่ช่วงกว้างความถี่ที่สนใจที่ 5.5-6.1 GHz

กรณีที่ 2 กรณีมีโหลด 10 k$\Omega$ แสดงการวัดผลของวงจรต้นแบบในรูปที่ 9 (ก) พบว่าวงจรมีแรงดันขาออกสูงสุดที่ 5.3 GHz มีค่าเท่ากับ 3 โวลต์ ดังแสดงในรูปที่ 12 แรงดันทีเอาท์พุทมีค่ามากกว่า 2.8 โวลต์ ที่ช่วงความถี่ 5.5-6.1 GHz

กรณีที่ 3 กรณีมีโหลด 10 k$\Omega$ และตัวเก็บประจุแบบซุปเปอร์คาปาซิเตอร์ แสดงการวัดผลของวงจรต้นแบบในรูปที่ 9 (ข) ทดสอบที่ความถี่ที่มีแรงดันขาออกสูงสุดที่ 5.3 GHz โดยจับเวลาการเก็บประจุของซุปเปอร์คาปาซิเตอร์ดังแสดงในรูปที่ 13 พบว่าได้แรงดันสูงสุดเท่ากับ 2.5 โวลต์ เมื่อเวลาผ่านไป 1 ชั่วโมงทั้งนี้เวลาในการเก็บประจุจะขึ้นอยู่กับแรงดันขาเข้าและค่าความจุของซุปเปอร์คาปาซิเตอร์ด้วย




รูปที่ 11 แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงขาออกเมื่อกาหนดกาลังงานไฟฟ้าขาเข้าเท่ากับ 10 dBm กรณีที่ 1 กรณีไม่มีโหลด




รูปที่ 12 แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงขาออกเมื่อกาหนดกาลังงานไฟฟ้าขาเข้าเท่ากับ 10 dBm กรณีที่ 2 กรณีมีโหลด

รูปที่ 13 แรงดันขาออกสูงสุดที่ 5.3 GHz เปลี่ยนแปลงตามเวลาการเก็บประจุ

## 5.สรุปผล

การออกแบบวงจรเรียงกระแสแบบทวีแรงดันความถี่ 5.8 GHz สาหรับระบบการเก็บเกี่ยวพลังงานไฟฟ้าจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า โดยวงจรเรียงกระแสแบบทวีแรงดันได้เพิ่มตัวเก็บประจุแบบซุปเปอร์คาปาซิเตอร์ เพื่อเป็นตัวสะสมกาลังงานไฟฟ้าก่อนส่งต่อไปยังวงจรชาร์จแบตเตอรี ผลการทดสอบแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงขาออกพบมีค่าสูงสุดที่ความถี่ 5.5-6.1 GHz ดังนั้นจากผลการออกแบบและทดสอบเบื้องต้นพบว่าระบบการเก็บเกี่ยวพลังงานไฟฟ้าจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่นาเสนอสามารถเก็บเกี่ยวพลังงานไฟฟ้าจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าไว้ในตัวเก็บประจุแบบซุปเปอร์คาปาซิเตอร์เพื่อเป็นตัวสะสมกาลังงานไฟฟ้าก่อนส่งต่อไปยังวงจรชาร์จแบตเตอรีได้

## กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากคณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ตามสัญญาเลขที่ FTE-2558-02 กลุ่มวิจัย

## เอกสารอ้างอิง

[1] "การใช้ไฟฟ้าและผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย", สานักงานนโยบาย และแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน, www.eppo.go.th_power_power2554

[2] Alírio Boaventura, Ana Collado, Nuno Borges Carvalho, and Apostolos Georgiadis, "Optimum Behavior" IEEE Microwave Magazine, March/April 2013.

[3]C.-G. Kim, D.-H. Seo, J.-S. You, J.-H. Park, and B. H. Cho, “Design of a contactless battery charger for cellular phone,” IEEE Trans. on Ind. Electron., DEC. 2001.

[4] Hubregt J. Visser, "RF Energy Harvesting and Transport for Wireless Sensor NetworkApplications: Principles and Requirements" Proceedings of the IEEE, Vol. 101, No. 6,June 2013.

[5] C. A. Balanis, Antenna Theory, Analysis and Design, 2nd ed. New York, NY, USA: Wiley,1997.

[6] U. Olgun, C.-C. Chen, J.L Volakis, ”Design of an efficient ambient WiFi energy harvesting system”,1320 Kinnear Road, Columbus, OH, 143212, USA

[7] http://dennissiegel.de/electromagnetic-harvester

# สายอากาศทวนกำลังไฟฟ้าสำหรับเครื่องอ่านอาร์เอฟไอดีย่านความถี่สูง

# Power Repeater Antenna for High Frequency (HF) RFID Reader

**พินิจนัย สิทธิไทย ฐิติพงษ์ เลิศวิริยะประภา และ กิตติศักดิ์ แพบัว**
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
1518 ถนนประชาราษฎร์ 1 แขวงวงศ์สว่าง เขตบางซื่อ กรุงเทพฯ 10800 โทร. +66 2 555-2000 แฟกซ์ +66 2 587-4350
E-mail: pinitnai@gmail.com , titipong.l@fte.kmutnb.ac.th, ppaikk@gmail.com

## บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการออกแบบสายอากาศทวนกำลังไฟฟ้า (Repeater antenna) สำหรับเครื่องอ่าน RFID ย่านความถี่สูง (HF) มีจุดมุ่งหมายเพื่อเพิ่มพื้นที่การอ่านของสายอากาศเครื่องอ่าน HF RFID Reader ที่ขายในท้องตลาด โดยการใช้สายอากาศทวนกำลังไฟฟ้าที่นำเสนอ ไม่มีการดัดแปลงสายอากาศของเครื่องอ่านแต่อย่างใด สายอากาศทวนกำลังไฟฟ้าที่นำเสนอนี้ถูกออกแบบมาเพื่อใช้งานที่ย่านความถี่ 13.56 MHz ซึ่งจะติดตั้งอยู่เหนือสายอากาศของเครื่องอ่านแบบดั้งเดิม และไม่ต้องเชื่อมต่อโดยตรงกับสายอากาศของเครื่องอ่านแบบดั้งเดิมกับวงจรส่ง ขั้นตอนการออกแบบและระยะห่างที่เหมาะสมระหว่างสายอากาศทวนกำลังไฟฟ้าและสายอากาศของเครื่องอ่านแบบดั้งเดิมจะถูกอธิบายในบทความนี้ซึ่งพบว่าสายอากาศทวนกำลังไฟฟ้าสามารถเพิ่มพื้นที่การอ่านได้สูงสุดถึง 159.25 ตารางเซนติเมตร จากเดิม 12.25 ตารางเซนติเมตร

คำสำคัญ: สายอากาศอาร์เอฟไอดี, สายอากาศทวนกำลังไฟฟ้าความถี่สูง

## Abstract

This paper presents a power repeater antenna design for the High Frequency (HF) RFID Reader. This work aims to increase the reading area of the conventional HF RFID reader antenna by using the proposed power repeater antenna without modification of the reader antenna. The proposed antenna is designed to operate at 13.56 MHz and located over the conventional HF RFID reader antenna without the direct connection to the reader antenna and transmitting circuit. The antenna configuration and its proper spacing between reader antenna and proposed repeater antenna are investigated. It is found that the reading area is increased. Moreover, the reading performances in the term of arbitrary tag orientation are improved. The reading area improvement of RFID reader with the proposed repeater antenna is around 159.95 cm$^2$ compared with the conventional HF-RFID reader antenna of 12.25cm$^2$

Keywords: RFID Antenna, High Frequency RFID Repeater

## 1. บทนำ

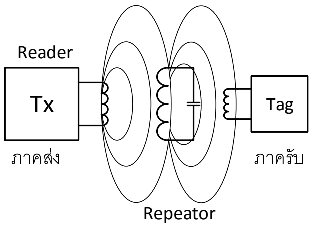
ปัจจุบันความก้าวหน้าของเทคโนโลยีอาร์เอฟไอดี (Radio Frequency Identification: RFID) มีบทบาทกับชีวิตประจำวันมากขึ้น เช่น การใช้แทนกุญแจเข้าหอพัก ใช้เป็นตั๋วเดินทางรถไฟฟ้า เป็นต้นซึ่งเทคโนโลยีอาร์เอฟไอดีเป็นระบบที่ใช้สัญญาณวิทยุในการตรวจสอบและระบุตัวตน ในธุรกิจอุตสาหกรรมแป้งมันสำประหลังนำ [1] นำระบบอาร์เอฟไอดีในย่านความถี่ยูเฮชเอฟ (UHF) มาใช้ในการจัดการระบบขนส่งแป้งมันสำปะหลังซึ่งระบบมีราคาที่สูงมากด้วยสาเหตุที่เป็นอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ ต่างจากย่านความถี่สูง (High Frequency :HF) มีราคาที่ต่ำกว่ามากและจากข่าวสาร [2] มีแนวโน้มว่าเทคโนโลยีอาร์เอฟไอดีจะมีราคาที่ถูกลง

เทคโนโลยีอาร์เอฟไอดีจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่เข้ามาช่วยในการบริหารจัดการ สำหรับระบบอาร์เอฟไอดีในย่านความถี่สูง (HF-RFID) มีราคาเหมาะสม ต้นทุนต่ำ หาซื้อง่ายมีขายทั่วไปอยู่ในท้องตลาดและมีใช้งานทั่วไป อย่างไรก็ตามมีข้อจำกัดในการอ่านแท็กอาร์เอฟไอดี เช่น 1. พื้นที่การอ่านแท็กจำกัด 2. ความสามารถในการอ่านแท็กที่วางตัวหลากหลายทิศทางจำกัด จากข้อจำกัดดังที่กล่าวมานั้น ผู้วิจัยจึงศึกษาค้นคว้าวิธีการเพิ่มความสามารถในการอ่านแท็กที่วางตัวหลากหลายทิศทาง และการเพิ่มพื้นที่การอ่านแท็ก ซึ่งพบว่าจากงานวิจัย [3] สายอากาศทวนกำลังไฟฟ้าโดยอาศัยการเชื่อมต่อเหนี่ยวนำรีโซแนนซ์ (Resonant inductive coupling) หรือ Magnetic resonance เพื่อที่จะส่งผ่านกำลังไฟฟ้าไปยังอุปกรณ์ขนาดเล็ก งานวิจัย [4] ได้ออกสายอากาศทวนกำลังไฟฟ้าสามารถเพิ่มพื้นที่การชาร์ตอุปกรณ์ขนาดเล็กได้ ซึ่งก็สามารถนำมาเป็นแนวทางในการเพิ่มพื้นที่การอ่านแท็กอาร์เอฟไอดีให้กับระบบอาร์เอฟไอดี

บทความนี้นำเสนอการออกแบบและสร้างสายอากาศทวนกำลังไฟฟ้าเพื่อขยายพื้นที่การอ่านแท็กอาร์เอฟไอดีให้กับเครื่องอ่านอาร์เอฟไอดีโดยอาศัยหลักการเชื่อมต่อเหนี่ยวนำรีโซแนนซ์ ที่ความถี่ 13.56 MHz เพื่อนำไปขยายความสามารถในการใช้งานเครื่องอ่านอาร์เอฟไอดีความถี่สูงในท้องตลาด

## 2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

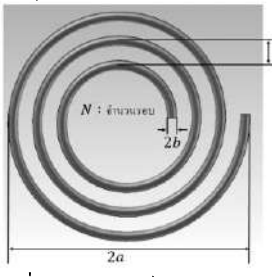
เทคโนโลยีอาร์เอฟไอดี (Radio Frequency Identification: RFID) มีการใช้งานอยู่ 4 ย่านคือ 1. ย่านความถี่ต่ำ (Low Frequency: LF) ใช้ความถี่ 13.56 kHz 2. ย่านความถี่สูง (High Frequency: HF) ใช้ความถี่ 13.56 MHz 3. ย่านความถี่สูงยิ่ง (Ultra-High Frequency: UHF) ใช้ความถี่ 433 MHz หรือ 920 MHz และ 4. ย่านความถี่ไมโครเวฟ (Microwave Frequency) ใช้ความถี่ 2.45/5.8 GHz สำหรับระบบอาร์เอฟไอดีย่านความถี่สูงจะใช้หลักการของวงจรรีโซแนนซ์ (Resonant circuit) ซึ่งประกอบด้วยเครื่องอ่านข้อมูล สายอากาศเครื่องอ่าน สายอากาศแท็กอาร์เอฟไอดีและไอซีแท็กอาร์เอฟไอดี เครื่องอ่านจะส่งพลังงานคลื่นความถี่วิทยุ ไปยังสายอากาศแท็กอาร์เอฟไอดีและส่งต่อไปยังไอซีแท็กอาร์เอฟไอดี เพื่อให้ไอซีแท็กอาร์เอฟไอดีทำงาน และจะส่งข้อมูลไอดีของแท็กกลับไปยังเครื่องอ่านข้อมูลในภาพที่ 1 อย่างไรก็ตาม เนื่องจากวงจรเครื่องอ่านอาร์เอฟไอดีและสายอากาศมีขนาดเล็กจึงทำให้ประสิทธิภาพในการส่งพลังงานคลื่นความถี่วิทยุต่ำ ดังนั้นบทความนี้จึงขอนำเสนอการออกแบบและสร้างสายอากาศทวนกำลังไฟฟ้ามาประยุกต์ใช้กับเครื่องอ่านอาร์เอฟไอดีเพื่อขยายพื้นที่การอ่านแท็กอาร์เอฟไอดีโดยใช้หลักการเชื่อมต่อเหนี่ยวนำรีโซแนนซ์ ที่ความถี่ 13.56 MHz โดยสายอากาศทวนกำลังไฟฟ้าจะทำหน้าที่ทวนกำลังไฟฟ้าจากเครื่องอ่านและส่งไปยังแท็กอาร์เอฟไอดีเพื่อให้ได้ระยะทางเพิ่มขึ้น โดยอาศัยหลักการเชื่อมต่อเหนี่ยวนำรีโซแนนซ์ (Resonant inductive coupling) หรือ Magnetic resonance [5]



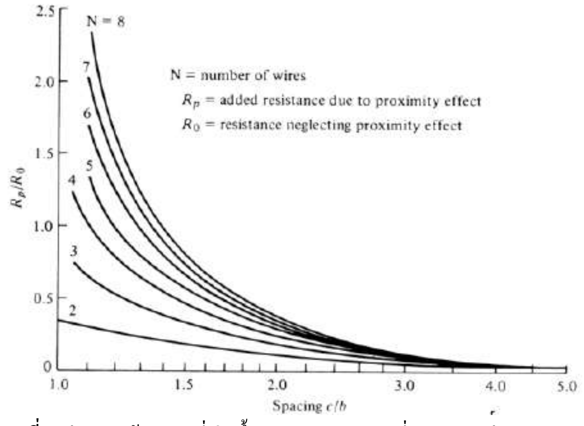

ภาพที่ 1 หลักการถ่ายโอนกำลังไฟฟ้าแบบใช้คลื่นความถี่วิทยุ

การออกแบบสายอากาศขดลวดในภาพที่ 2 สนามแม่เหล็กถูกสร้างขึ้นจากขดลวดของเครื่องอ่านอาร์เอฟไอดี ดังนั้นค่าตัวประกอบคุณภาพ (Quality factor: Q) ของวงจรรีโซแนนซ์ จึงเป็นตัวแปรที่สำคัญในการออกแบบ โดยค่าตัวประกอบคุณภาพควรมีค่าสูงเพื่อให้มีความเข้มสนามแม่เหล็กไฟฟ้าสูง ซึ่งมีผลโดยตรงต่อประสิทธิภาพการถ่ายโอนกำลังงานไฟฟ้าระหว่างเครื่องอ่านและแท็กอาร์เอฟไอดี ค่าตัวประกอบประสิทธิภาพสามารถคำนวณได้ตามสมการที่ (1) โดยค่า $X_L$ คือค่ารีแอกแตนของขดลวดและ R ค่าความความต้านทานขดลวด ค่า R ควรมีค่าน้อยจะส่งผลให้ตัวประกอบคุณภาพมีค่าสูง และระยะห่างของขดลวดยังส่งผลต่อค่าความต้านทานของขดลวด [6] ดังภาพที่ 3 เพื่อให้ค่าความต้านทานที่เกิดขึ้นจากการเหนี่ยวนำระหว่างขดลวด (Proximity effect) ต่ำลงทำให้ได้ค่าตัวประกอบคุณภาพที่สูงขึ้น

$$Q = \frac{1}{R}\sqrt{\frac{L}{C}} = \frac{\omega_0 L}{R} = \frac{X_L}{R} = \frac{f_0}{BW} \quad (1)$$

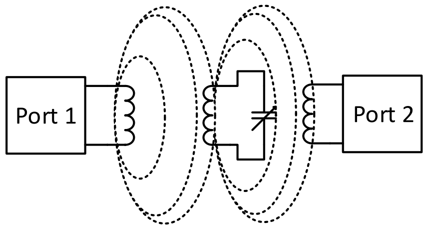



ภาพที่ 2 พารามิเตอร์สายอากาศแบบลูป




ภาพที่ 3 ค่าความต้านทานที่เกิดขึ้นจากผลของการเหนี่ยวนำระหว่างขดลวด [6]

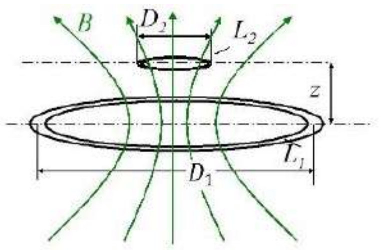
การวัดหาความถี่รีโซแนนซ์ของสายอากาศทวนกำลังไฟฟ้า โดยการอาศัยการส่งผ่านพลังงานจากภาพที่ 4 การเหนี่ยวนำของขดลวด ซึ่งพิจารณาจากค่า S พารามิเตอร์ ที่มีอัตราการส่งผ่านสูงที่สุดจาก $S_{21}$ ที่สามารถวัดได้จากเครื่องวิเคราะห์โครงข่าย เพื่อใช้ในการปรับค่าของตัวเก็บประจุให้เกิดการรีโซแนนซ์ที่ความถี่ที่ต้องการ




ภาพที่ 4 หลักการวัดการส่งพลังงานที่ความถี่รีโซแนนซ์

การวางตัวของสายอากาศเครื่องอ่านและแท็กอาร์เอฟไอดี ที่ให้การส่งกำลังไฟฟ้าสูงสุด ในทางอุดมคตินั้นควรจะต้องวางตัวให้ตรงกันและมีขนาดเท่ากัน [6-7] ดังภาพที่ 5 ในกรณีสายอากาศเครื่องอ่าน

และแท็กอาร์เอฟไอดี มีขนาดเท่ากัน ($D_1$=$D_2$) ก็จะเกิดประสิทธิภาพสูงสุด แต่ในกรณีที่สายอากาศเครื่องอ่านและแท็กอาร์เอฟไอดี มีขนาดไม่เท่ากัน $(D_2/D_1 > 1)$ ประสิทธิภาพจะลดลง




ภาพที่ 5 พารามิเตอร์การถ่ายโอนกำลังไฟฟ้า [7]

## 3. การออกแบบ

ขั้นตอนการออกแบบสายอากาศทวนกำลังไฟฟ้า

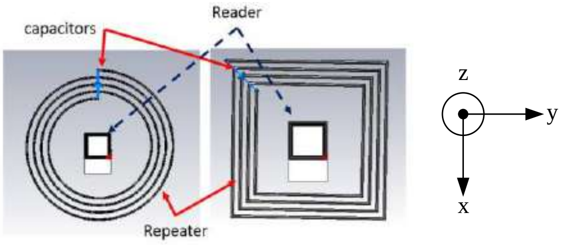
1. คำนวณหาเส้นผ่านศูนย์กลางของสายอากาศทวนกำลังไฟฟ้าที่ยังสามารถยอมรับค่าประสิทธิภาพการทำงานได้จากการพิจารณาจาก [7] โดยการออกแบบเลือกอัตราส่วนที่ $D_2/D_1 = 0.34$ และจากภาพที่ 2 เส้นผ่านศูนย์กลาง $D_1 = 2a$ ($a$ คือรัศมีของสายอากาศทวนกำลังไฟฟ้า)

2. ขนาดของเส้นลวดที่ออกแบบใช้ขนาดรัศมี $b = 1$ มิลลิเมตร ซึ่งเป็นขนาดที่มีขายอยู่ในท้องตลาด กำหนดให้จำนวนรอบของสายอากาศ $N = 4$ รอบ ต่อมาพิจารณากราฟจากภาพที่ 3 เลือกจุดที่มีค่าความต้านทานต่ำ $R = {}^{R_p}\!/_{R_o}$ เพื่อให้ค่าตัวประกอบคุณภาพมีค่าสูงตามสมการที่ (1) จึงได้ค่า $spacing = c/b = 3$ ที่ $N = 4$ ดังนั้นจะได้ $c = 3b = 3$ มิลลิเมตร

ตารางที่ 1 ค่าพารามิเตอร์ในการออกแบบ

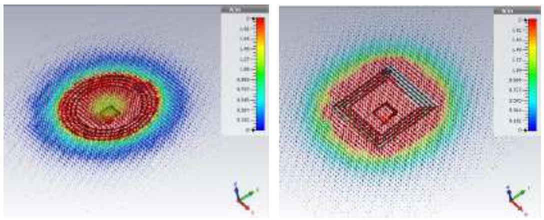
| ตัวแปร | พารามิเตอร์ | ขนาด |
|---|---|---|
| $a$ | รัศมีสายอากาศทวนกำลังไฟฟ้า | 76.47 มิลลิเมตร |
| $N$ | จำนวนรอบ | 4 รอบ |
| $b$ | รัศมีเส้นลวด | 1 มิลลิเมตร |
| $spacing$ | อัตราส่วนระยะห่าง | 3 |
| $c$ | ระยะห่างระหว่างขดลวด | 3 มิลลิเมตร |

ข้อจำกัดความยาวของเส้นลวดต้องยาวไม่เกิน $\lambda/4$ เพราะจะส่งผลให้ค่าตัวประกอบคุณภาพค่าต่ำลงอันเนื่องมาจากค่าความต้านทานที่เพิ่มขึ้น ในงานวิจัยนี้ยังสนใจที่จะออกแบบสายอากาศแบบลูปทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัส โดยอาศัยหลักการเดียวกันกับสายอากาศแบบลูปวงกลม




ภาพที่ 6 โครงสร้างการออกแบบสายอากาศทวนกำลังไฟฟ้า

การจำลองสายอากาศทวนกำลังไฟฟ้าที่ใช้กับโมดูลเครื่องอ่านอาร์เอฟไอดีโดยกำหนดตำแหน่งที่ดีที่สุดตรงกัน กำหนดให้ระยะห่างของสายอากาศทวนกำลังไฟฟ้าสูงขึ้นมาจากโมดูลเครื่องอ่านอาร์เอฟไอดีเป็นระยะ 30 มิลลิเมตรดังภาพที่ 6 ได้ค่าตัวเก็บประจุที่ีรโซแนนซ์ของขดลวดวงกลม 81.12 pF และแบบสี่เหลี่ยม 22.19 pF ซึ่งสามารถหาซื้อได้ตามท้องตลาดที่มีค่าใกล้เคียงคือตัวเก็บประจุแบบปรับค่าได้ ผลการจำลองการออกแบบสายอากาศทวนกำลังไฟฟ้าในภาพที่ 7 การส่งผ่านสนามแม่เหล็กของจากเครื่องอ่านถ่ายโอนไปยังสายอากาศทวนกำลังไฟฟ้าซึ่งจะเห็นได้ว่ามีสนามแม่เหล็กสีแดงถูกถ่ายโอนจะเครื่องอ่านได้เต็มพื้นที่สายอากาศทวนกำลังไฟฟ้า

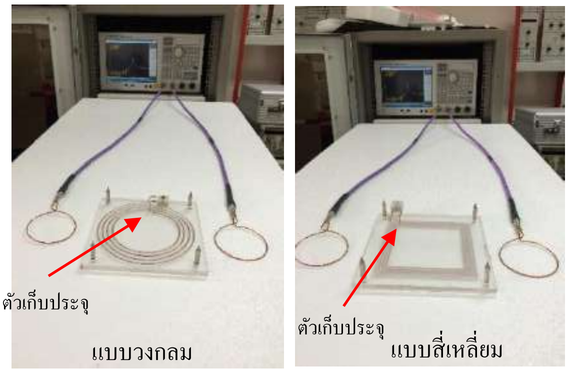


(ก) (ข)

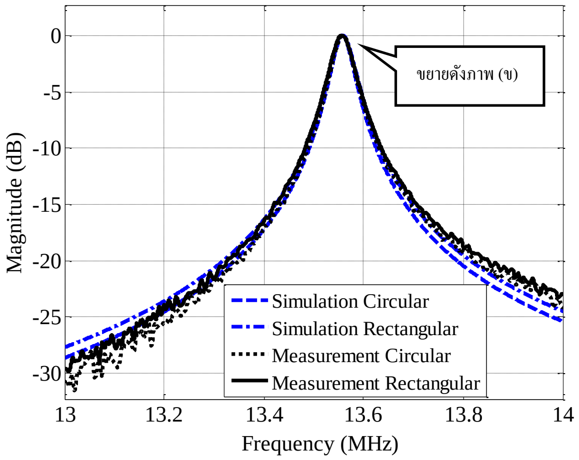
ภาพที่ 7 ผลการจำลองสนามแม่เหล็กจากสายอากาศแบบลูป (ก) วงกลม (ข) สี่เหลี่ยมจัตุรัส โดยมีระยะห่างจากเครื่องอ่านสูงขึ้นมา 30 มิลลิเมตร

## 4. ผลการทดสอบ

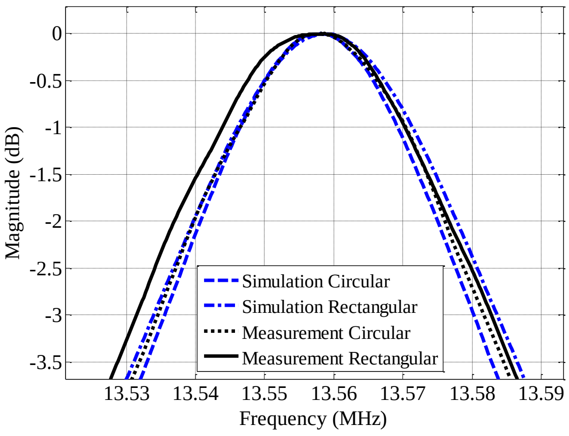
เพื่อเป็นการยืนยันผลการจำลองจึงทำการสร้างและทดสอบหาค่าตัวประกอบคุณภาพของสายอากาศทวนกำลังไฟฟ้า ตัวเก็บปรับจุที่ใช้งานได้ใช้เป็นแบบปรับค่าได้เพื่อให้การปรับหาความถี่ที่รีโซแนนซ์โดยการสังเกตุจากค่าอัตราการส่งผ่าน $S_{21}$ ซึ่งจะใช้เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายดังภาพที่ 8 สาธิตวิธีการวัดอัตราการส่งผ่าน $S_{21}$ เพื่อให้ได้ความถี่รีโซแนนซ์และได้นำผลจากการวัดและการจำลองมาเปรียบเทียบในภาพที่ 9 ว่ามีความสอดคล้องกัน งานวิจัยนี้ทำการวัดเปรียบเทียบ 2 รูปแบบ ทั้งแบบวงกลมและสี่เหลี่ยม




ภาพที่ 8 การวัดอัตราการส่งผ่านด้วยเครื่องวิเคราะห์โครงข่าย




(ก)




(ข)

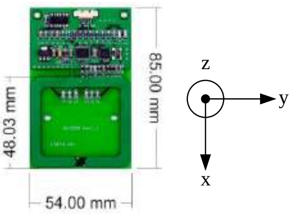
ภาพที่ 9 (ก) ผลการวัด $S_{21}$ จากเครื่องวิเคราะห์โครงข่ายเปรียบเทียบกับผลการจำลอง (ข) ขยายส่วนยอดของ $S_{21}$

การเปรียบเทียบกราฟดังภาพที่ 9 นั้นจะเห็นได้ว่าทั้งผลการจำลองและผลการวัดทดสอบทับกันในภาพที่ 9 เพื่อแสดงให้เห็นว่าสายอากาศทวนกำลังไฟฟ้านั้นมีความถี่รีโซแนนซ์ที่ใกล้เคียงกับ 13.56 MHz มากที่สุด ซึ่งจะนำผลที่ได้ไปคำนวณหาค่าตัวประกอบคุณภาพสรุปไว้ในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ตารางสรุปการเปรียบเทียบผลการจำลองและผลการวัด

| การวัดค่า | | BW (kHz) | Quality factor: Q | Relative Error(%) |
|---|---|---|---|---|
| วงกลม | จากการคำนวณ | 24.9 | 306.2427 | 5.6180 |
| | ผลวัดจริง | 46.8 | 289.9532 | |
| สี่เหลี่ยม | จากการคำนวณ | 17.9 | 273.9256 | 3.5176 |
| | ผลวัดจริง | 51.2 | 264.6175 | |

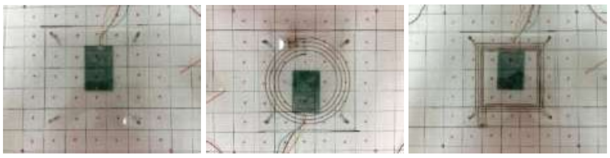
จากนั้นการทดสอบสายอากาศทวนกำลังไฟฟ้าโดยติดตั้งสายอากาศไว้ทางด้านบนของเครื่องอ่านซึ่งมีระยะความสูง 3 เซนติเมตรเป็นระยะที่กำหนด ทำการทดสอบการอ่านแท็กอาร์เอฟไอดีด้วยแท็กตัวอย่างที่มีลักษณะเป็นขดลวดดังภาพที่ 10 (ก) ตามมาตรฐาน ISO14443A




(ก) (ข)

ภาพที่ 10 (ก) แท็กตัวอย่าง ISO14443A Mifare 1K (ข) Reader SL025B Mifare

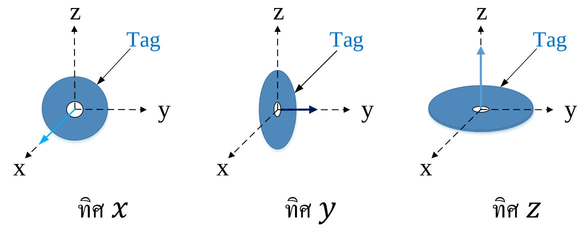
และในการทดสอบการอ่านใช้เครื่องอ่านดังภาพที่ 11(ข) ในรุ่น SL025B Mifare หาซื้อได้จากร้านขายอุปกรณ์อิล็กทรอนิกส์ ในการทำการทดสอบทำโดยตีตารางไว้เป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัสกว้างด้านละ 3.5 เซนติเมตร กำหนดให้เป็นระนาบ XY ซึ่งมีสายอากาศทวนกำลังไฟฟ้าและเครื่องอ่านวางอยู่บนระนาบ XY แบ่งกรณีการทดสอบ (ก) ไม่มีสายอากาศทวนกำลังไฟฟ้า (ข) มีสายอากาศทวนกำลังไฟฟ้าแบบวงกลม (ค) มีสายอากาศทวนกำลังไฟฟ้าแบบสี่เหลี่ยม ดังภาพที่ 11



(ก) (ข) (ค)

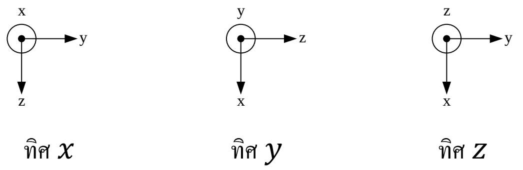
ภาพที่ 11 (ก)ไม่มีสายอากาศทวนกำลังไฟฟ้า(ข) มีสายอากาศทวนกำลังไฟฟ้าแบบวงกลม (ค) มีสายอากาศทวนกำลังไฟฟ้าแบบสี่เหลี่ยม

และในการทดสอบในแต่ละกรณีนั้นจะแบ่งไปอีก 3 ทิศทางของแท็กอาร์เอฟไอดี ดังภาพที่ 12 โดยกำหนดแท็กไปตามแกน X Yและ Z




ภาพที่ 12 การกำหนดทิศทางของแท็ก

การทดสอบการอ่านของแท็กก็จะได้ทั้งหมด 9 กรณี เก็บผลการอ่านแท็ก โดยนำแท็กไปวางบนขดลวดตามช่องที่ตีตารางไว้ สังเกตไฟสถานะ LED บนเครื่องอ่าน พร้อมบันทึกค่าลงตาราง ซึ่งได้ผลดังภาพที่ 13 กำหนดให้ O คืออ่านได้ และ X คืออ่านไม่ได้




| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| x | x | x | x | x | x | x |
| x | x | x | x | x | x | x |
| x | x | x | x | x | x | x |
| x | x | x | x | x | x | x |
| x | x | x | x | x | x | x |
| x | x | x | x | x | x | x |
| x | x | x | x | x | x | x |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| x | x | x | x | x | x | x |
| x | x | x | x | x | x | x |
| x | x | x | x | x | x | x |
| x | x | x | x | x | x | x |
| x | x | x | x | x | x | x |
| x | x | x | x | x | x | x |
| x | x | x | x | x | x | x |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| x | x | x | x | x | x | x |
| x | x | x | x | x | x | x |
| x | x | x | x | x | x | x |
| x | x | x | O | x | x | x |
| x | x | x | x | x | x | x |
| x | x | x | x | x | x | x |
| x | x | x | x | x | x | x |

(ก) ผลการทดสอบแบบไม่มีสายอากาศทวนกำลังไฟฟ้า

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| x | x | x | x | x | x | x |
| x | x | x | x | x | x | x |
| x | O | O | x | O | O | x |
| x | O | O | x | O | O | x |
| x | O | O | x | O | O | x |
| x | x | x | x | x | x | x |
| x | x | x | x | x | x | x |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| x | x | x | x | x | x | x |
| x | x | O | O | O | x | x |
| x | x | O | O | O | x | x |
| x | x | x | x | x | x | x |
| x | x | O | O | O | x | x |
| x | x | O | O | O | x | x |
| x | x | x | x | x | x | x |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| x | x | x | x | x | x | x |
| x | x | x | x | x | x | x |
| x | x | O | O | O | x | x |
| x | x | O | O | O | x | x |
| x | x | O | O | O | x | x |
| x | x | x | x | x | x | x |
| x | x | x | x | x | x | x |

(ข) ผลการทดสอบแบบมีสายอากาศทวนกำลังไฟฟ้าแบบวงกลม

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| x | x | x | x | x | x | x |
| x | x | x | x | x | x | x |
| x | O | O | x | O | O | x |
| x | O | O | x | O | O | x |
| x | O | O | x | O | O | x |
| x | x | x | x | x | x | x |
| x | x | x | x | x | x | x |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| x | x | x | x | x | x | x |
| x | x | O | O | O | x | x |
| x | x | O | O | O | x | x |
| x | x | x | x | x | x | x |
| x | x | O | O | O | x | x |
| x | x | O | O | O | x | x |
| x | x | x | x | x | x | x |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| x | x | x | x | x | x | x |
| x | x | x | x | O | x | x |
| x | x | O | O | O | x | x |
| x | O | O | O | O | x | x |
| x | x | O | O | O | x | x |
| x | x | x | O | O | x | x |
| x | x | x | x | x | x | x |

(ค) ผลการทดสอบแบบมีสายอากาศทวนกำลังไฟฟ้าแบบสี่เหลี่ยม

ภาพที่ 13 ผลการทดสอบการอ่านแท็กอาร์เอฟไอดี

ผลการทดสอบการอ่านจากภาพที่ 13 สามารถนำมาสรุปเป็นตัวเลขพื้นที่ที่อ่านได้เพื่อเปรียบเทียบทั้ง 9 กรณี การทดสอบได้ในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 สรุปพื้นที่การอ่านที่เพิ่มขึ้น

| แบบการทดสอบ | พื้นที่ที่สามารถอ่านได้(ตารางเซนติเมตร) | | |
|---|---|---|---|
| | ทิศ X | ทิศ Y | ทิศ Z |
| ไม่มีสายอากาศทวน | อ่านไม่ได้ | อ่านไม่ได้ | 12.25 |
| มีสายอากาศทวนแบบวงกลม | 73.5 | 73.5 | 110.25 |
| มีสายอากาศทวนแบบสี่เหลี่ยม | 73.5 | 73.5 | 159.25 |

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างแบบวงกลมและแบบสี่เหลี่ยม ในทิศทาง X และ Y ทั้งสองแบบแท็กสามารถอ่านได้มีพื้นที่ที่จากเดิมที่ไม่สามารถอ่านได้เพิ่มขึ้น 73.5 ตารางเซนติเมตร และในทิศทาง Z สำหรับแบบวงกลมเพิ่มขึ้น 110.25 ตารางเซนติเมตร แบบสี่เหลี่ยม 159.25 ตารางเซนติเมตร การที่สายอากาศทวนกำลังไฟฟ้าแบบสี่เหลี่ยมนั้นได้ผลการทดสอบการอ่านมากกว่านั้นเป็นเพราะลักษณะการหักโค้งที่แตกต่างกันจึงทำให้แบบสี่เหลี่ยมมีพื้นที่มากกว่าแบบวงกลมจึงได้ผลการทดสอบการอ่านแท็กได้พื้นที่ที่มากกว่า และทั้งนี้การเลือกสายอากาศทวนกำลังไฟฟ้าที่เหมาะสมนั้นควรพิจารณารูปทรงของเครื่องอ่านประกอบด้วยเพราะจะทำให้ได้ประสิทธิภาพการทำงานที่ดียิ่งขึ้น

## 5. บทสรุป

สายอากาศทวนกำลังไฟฟ้า (Repeater antenna) สำหรับเครื่องอ่านอาร์เอฟไอดี ย่านความถี่สูง (HF) ใช้งานที่ย่านความถี่ 13.56MHz โดยติดตั้งอยู่เหนือสายอากาศของเครื่องอ่านแบบดั้งเดิม ไม่ต้องเชื่อมต่อโดยตรงกับสายอากาศของเครื่องอ่านแบบดั้งเดิมและวงจรส่ง จากการออกแบบที่เหมาะสมที่สุดตามเงื่อนไขที่กำหนดพบว่าพื้นที่การอ่านแท็กเพิ่มขึ้น โดยทดสอบในทาง X Y และ Z เก็บผลการทดสอบสายอากาศทั้งสองแบบ คือแบบวงกลมและแบบสี่เหลี่ยม ในทิศทาง X และ Y ทั้งสองแบบแท็กสามารถอ่านได้มีพื้นที่ที่จากเดิมเพิ่มขึ้น 73.5 ตารางเซนติเมตร และในทิศทาง Z สำหรับแบบวงกลมเพิ่มขึ้น 110.25 ตารางเซนติเมตร แบบสี่เหลี่ยม 159.25 ตารางเซนติเมตร ดังนั้นแสดงให้เห็นว่าสายอากาศที่นำเสนอสามารถติดตั้งอยู่เหนือสายอากาศของเครื่องอ่านสามารถเพิ่มพื้นที่การอ่านได้แบบไม่ต้องเชื่อมต่อโดยตรงกับสายอากาศของเครื่องอ่านและวงจรส่ง ซึ่งง่ายไม่ต้องออกแบบในส่วนของสายอากาศของเครื่องอ่านแบบดั้งเดิมเพิ่มเติมแต่อย่างใด

## กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับอุดหนุนจากสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) และบริษัท เซอร์บ็อกซ์ จำกัด ภายใต้โครงการพัฒนานักวิจัยและงานวิจัยเพื่ออุตสาหกรรม (พวอ.) ระดับปริญญาโท สัญญาเลขที่ MSD57I0034

## เอกสารอ้างอิง

[1] อภิวิชญ์ เจษฎาพรพันธุ์,สมจิตร อาจอินทร์, " ระบบการโลจิสติกส์ภายในโรงงานแป้งมันสำประหลังด้วย RFID กรณีศึกษา : บริษัทสงวนวงษ์อุตสาหกรรม จำกัด ", ThaiVCML2009, Page(s) , ครั้งที่ 9 การประชุมสัมมนาวิชาการด้านการโลจิสติกส์และโซ่อุปทาน

[2] เดลินิวส์, "RFID มีแววราคาถูกแถมฉลาดขึ้น" [online] http://www.id.co.th/home/57-support/83-rfid-price-cheap

[3] กิตติศักดิ์ แพบัว และ ฐิติพงษ์ เลิศวิริยะประภา, "การออกแบบสายอากาศทวนกำลังไฟฟ้าในระบบส่งผ่านกำลังงานไร้สายสำหรับการชาร์จแบตเตอรี่อุปกรณ์พกพาขนาดเล็ก", ECTI-CARD 2015,. [7th Conference on Application Research and Development]

[4] Kazuaki Mori, Hyunkeun Lim, Shunta Iguchi, Koichi Ishida, "Positioning-Free Resonant Wireless Power Transmission Sheet With Staggered Repeater Coil Array (SRCA)", IEEE ANTENNAS AND WIRELESS PROPAGATION LETTERS, VOL. 11, 2012

[5] Klaus Finkenzeller, "RFID Handbook 3th Edition", Chapter 3 Fundamental Operating, Page(s): 31-59 New York: John Wiley & Sons, 2010.

[6] T. L. Balanis. (2005), "Balanis Antenna Theory Analysis and Design, Third Edition", Chapter 5 Loop Antenna, Page(s): 239-241

[7] QI Wireless Power Consortium , " Qi Knowledge Base ", [online] http://www.wirelesspowerconsortium.com/technology/

**บทความวิจัย**

การประชุมวิชาการ งานวิจัยและพัฒนาเชิงประยุกต์ ครั้งที่ 8

*8th ECTI-CARD 2016, Hua Hin, Thailand*

# สายอากาศวงแหวนสี่เหลี่ยมป้อนสัญญาณด้วยโมโนโพลแผ่นบาง

# A Rectangular Ring Antenna Fed by a Flat Monopole

**ชานนท์ ปรางขำ [1] และ ดวงอาทิตย์ ศรีมูล [2]**

[1] นักศึกษาปริญญาโท หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ วิทยาลัยวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรังสิต 52/347 ถนนพหลโยธิน ตำบลหลักหก อำเภอเมือง จังหวัดปทุมธานี 12000 โทรศัพท์ 02-997-2200 ต่อ 3272 E-mail: i_am_chanont@hotmail.com

[2] อาจารย์ประจำ หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ วิทยาลัยวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรังสิต 52/347 ถนนพหลโยธิน ตำบลหลักหก อำเภอเมือง จังหวัดปทุมธานี 12000 โทรศัพท์ 02-997-2200 ต่อ 3272 E-mail: duang-arthit@rsu.ac.th

## บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอสายอากาศวงแหวนสี่เหลี่ยมป้อนสัญญาณด้วยโมโนโพลแผ่นบางสี่เหลี่ยมที่ 2 มุมด้านล่างของโมโนโพลถูกตัดออกทำมุม 45 องศา เพื่อให้สายอากาศมีแถบความถี่กว้างขึ้นและการแมตช์ดีขึ้น เป็นสายอากาศที่แผ่คลื่นแบบสองทิศทาง สร้างจากทองเหลือง จากการทดสอบพบว่า สายอากาศมีแถบความถี่กว้าง 73.08% ระหว่าง 1.65 – 3.55 GHz มีอัตราขยาย 4.5, 5, 6.5 dBi และมีความกว้างลำครึ่งกำลังในระนาบแนวระดับที่ 82, 69, 42 องศา แนวตั้งที่ 80, 72, 65 องศา ณ ความถี่ต่ำ กลาง และสูง ตามลำดับ เมื่อสายอากาศมีขนาดกว้าง 65 mm ความยาว 126 mm และความหนา 26 mm ข้อดีของสายอากาศนี้คือ แถบความถี่กว้าง ขนาดกะทัดรัด โครงสร้างไม่ซับซ้อนและสร้างได้ด้วยวัสดุราคาถูกทำให้เป็นสายอากาศต้นทุนต่ำ เหมาะสำหรับเป็นสายอากาศสถานีฐาน

คำสำคัญ: สายอากาศวงแหวนสี่เหลี่ยม, โมโนโพลแผ่นบาง, สายอากาศแถบกว้าง, แผ่คลื่น 2 ทิศทาง

## Abstract

This paper presents a rectangular ring that fed by a rectangular flat monopole which 2 corners near the feeding point are 45 degree chamfered by depth of *c* for extending the bandwidth and good impedance matching. The proposed antenna radiates in bi-directional. It is contributed from bass sheet. From experimental, we found that the antenna has the bandwidth of 73.08% between 1.65 – 3.55 GHz, has the antenna gains of 4.5, 5, 6.5 dBi, and the half power beam-width at the low, central, and high of the band of 82, 69, 42 degree in the horizontal plane and 80, 72, 65 degree in the vertical plane, respectively. The antenna has the width of 65 mm, the length of 126 mm, and the depth of 26 mm. Advantages of the antenna are wide bandwidth, compact, non-complex structure, and able to fabricate by low cost materials makes it is the low cost antenna. It is suitable to use as a base station antenna.

Keywords: rectangular ring antenna, flat monopole, wideband antenna, bi-directional radiation

## 1. บทนำ

สายอากาศ (antenna) มีความจำเป็นในทุกระบบการสื่อสารไร้สาย เนื่องจากสายอากาศทำหน้าที่ในการเป็นตัวกระจายคลื่นวิทยุออกไปทางด้านฝั่งส่งหรือใช้ดักจับเอาคลื่นวิทยุเข้ามาทางด้านฝั่งรับ สายอากาศถูกพัฒนาในหลายรูปแบบและมีคุณสมบัติหลากหลายขึ้นอยู่กับลักษณะการนำไปใช้งาน ถ้าจะแบ่งประเภทของสายอากาศตามแบบรูปการแผ่พลังงาน (radiation pattern) สามารถแบ่งได้เป็น ทิศทางเดียว (uni-directional) สองทิศทาง (bi-directional) และโดยรอบ (omni-directional)

ปัจจุบันสายอากาศแบบแถบความถี่กว้าง (wideband antenna) ถูกพัฒนาและนำมาใช้งานมากขึ้น เนื่องจากระบบการสื่อสารยุคใหม่ต้องการช่วงความถี่ในการสื่อสารที่กว้าง เช่น ระบบโทรทัศน์ดิจิตอล DVB-T2 มีช่วงความถี่การใช้งานระหว่าง 470–860 MHz สามารถคำนวณเป็นเปอร์เซ็นต์ความถี่ได้ถึง 58.65% ระบบ CDMA2000 หรือ 3G (Third Generation Mobile Phone) ดำเนินการช่วงความถี่ 1.92–2.17 GHz หรือ 12.25% เป็นต้น นอกจากนี้ เทคโนโลยีการสื่อสารปัจจุบันยังสามารถแยกสัญญาณความถี่ที่ได้รับจากสายอากาศเดียวกันออกจากกันได้อย่างชัดเจน สายอากาศเพียงตัวเดียวจึงสามารถดำเนินการในหลายระบบพร้อม ๆ กัน ทำให้ประหยัดทรัพยากรลงได้ สายอากาศแถบความถี่กว้างนี้มีทั้งแผ่สัญญาณทิศทางเดียว [1] สองทิศทาง [2] และโดยรอบ [3]

การสื่อสารไร้สายย่อมพบเจอพื้นที่ให้บริการที่เป็นพื้นที่แคบและยาว เช่น ตามแนวของถนน ตามเส้นทางของรถไฟฟ้า ระเบียงทางเดินของอาคาร เป็นต้น ปกติแล้วผู้ให้บริการจะใช้สายอากาศที่แผ่สัญญาณแบบทิศทางเดียวส่งสัญญาณไปตามแนวยาวของพื้นที่นั้น อย่างไรก็ตาม สายอากาศที่แผ่คลื่นแบบสองทิศทางสามารถนำมาใช้กับพื้นที่ให้บริการแบบนี้ได้เช่นกัน ซึ่งมีข้อดีคือตำแหน่งการวางสายอากาศจะอยู่ตรงกลางของพื้นที่ สัญญาณจะแผ่ออกทั้งด้านหน้าและด้านหลังของสายอากาศ ทำให้ครอบคลุมพื้นที่ได้ดีกว่า ซึ่งถ้าเป็นสายอากาศแบบทิศทางเดียวผู้ใช้ที่อยู่ด้านหลังสายอากาศจะไม่ได้รับสัญญาณเลยหรือได้รับแต่เบาบางมาก ขณะที่การใช้สายอากาศที่แผ่สัญญาณแบบทิศทางเดียว 2 ตัว ประกบกันเพื่อให้แผ่คลื่นออกไป 2 ทิศทาง จะสิ้นเปลืองทรัพยากรมาก โดยจะต้องออกแบบระบบการป้อนสัญญาณเพิ่มเติม

สำหรับผู้ผลิตสายอากาศ สิ่งที่ต้องการคือ สร้างง่าย โครงสร้างไม่ซับซ้อน สามารถเลือกใช้วัสดุราคาต่ำสร้างได้เพื่อทำให้ต้นทุนในการผลิตไม่สูง สายอากาศที่นำเสนอในบทความนี้สามารถตอบสนองความต้องการดังกล่าวได้

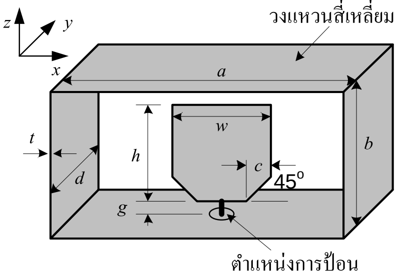
## 2. งานและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัย [4] นำเสนอสายอากาศวงแหวนวงกลมที่ป้อนสัญญาณด้วยโมโนโพลทรงกระบอก เป็นสายอากาศที่แผ่สัญญาณแบบสองทิศทาง พบว่าสายอากาศดังกล่าวให้แถบความถี่กว้าง 10% ซึ่งเป็นผลโดยตรงจากโมโนโพลทรงกระบอกที่ใช้ป้อนสัญญาณ ขณะที่ [3] คือสายอากาศโมโนโพลแพตช์สี่เหลี่ยมเหนือระนาบกราวนด์เป็นสายอากาศที่ให้แถบความถี่กว้างมาก แต่การแมตช์อิมพีแดนซ์ทำได้ยากไม่สามารถทำให้ค่าการสูญเสียย้อนกลับ (return loss) น้อยกว่า -15 dB ได้ตลอดช่วงความถี่การใช้งาน และแม้ว่าแถบความถี่จะกว้างมาก แต่ ณ ความถี่สูงแบบรูปการแผ่สัญญาณจะผิดรูป ไม่สามารถนำมาใช้งานกับบางระบบการสื่อสารที่ต้องการแบบรูปการแผ่สัญญาณที่ชัดเจนได้

การนำสายอากาศ [3] และ [4] มารวมกัน จึงเป็นที่มาของสายอากาศวงแหวนสี่เหลี่ยมป้อนสัญญาณด้วยโมโนโพลสี่เหลี่ยมแผ่นบางซึ่งได้นำเสนอไว้ใน [5] โดยได้เปลี่ยนจากวงแหวนวงกลมที่นำเสนอใน [4] เป็นวงแหวนสี่เหลี่ยม จากการศึกษาเพิ่มเติมพบว่าสายอากาศที่นำเสนอไว้ใน [5] สามารถขยายแถบความถี่เพิ่มได้อีกและสามารถแมตช์อิมพีแดนซ์ได้มากกว่า แม้ว่าจะเป็นสายอากาศที่มีแถบความถี่กว้างและอิมพีแดนซ์แมตช์ดีอยู่แล้ว งานวิจัยที่น่าสนใจที่ใกล้เคียงกัน เช่น [2] เป็นสายอากาศวงแหวนสี่เหลี่ยมป้อนสัญญาณด้วยโมโนโพลแบบขั้นสามเหลี่ยม เป็นสายอากาศที่ให้แถบความถี่กว้างระหว่าง 3-11 GHz แต่การแมตช์อิมพีแดนซ์ไม่สามารถทำให้ค่าการสูญเสียย้อนกลับน้อยกว่า -15 dB ตลอดช่วงความถี่การใช้งานได้

## 3. โครงสร้างสายอากาศนำเสนอ

โครงสร้างสายอากาศนำเสนอแสดงดังรูปที่ 1 ส่วนของสายอากาศที่เป็นวงแหวนสี่เหลี่ยม สร้างจากแผ่นโลหะหนา $t$ กว้าง $d$ พับเป็นวงแหวนสี่เหลี่ยมสูง $b$ และยาว $a$ ดังรูป แล้วเชื่อมประสานให้ติดกันตลอดแนว กลายเป็นวงแหวนหน้าตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้า จากนั้น ณ ตำแหน่งกึ่งกลางของ $a$ และกึ่งกลางของ $d$ ด้านล่างของวงแหวนจะถูกกำหนดให้เป็นตำแหน่งการป้อนสัญญาณด้วยโมโนโพลแผ่นบางสี่เหลี่ยมหนา $t$ กว้าง $w$ และสูง $h$ มีระยะห่างจากวงแหวนสี่เหลี่ยม $g$ วางขนานกับระนาบ $xz$ สองมุมของโมโนโพลสี่เหลี่ยมใกล้กับตำแหน่งการป้อนถูกตัดทำมุม $45^{\circ}$ ขนาดกว้าง $c$ เพื่อการแมตช์ที่ดีและแถบความถี่ที่กว้างขึ้น สิ่งที่เชื่อมต่อระหว่างวงแหวนสี่เหลี่ยม (กราวนด์) กับโมโนโพลแผ่นบาง (ตัวแผ่สัญญาณ) คือ แกนกลางของหัวเชื่อมต่อ (connector) ซึ่งอาจเป็นชนิด SMA หรือ N-type ก็ได้ มีอิมพีแดนซ์ 50 โอห์ม




**รูปที่ 1** โครงสร้างสายอากาศนำเสนอ

สายอากาศถูกออกแบบโดยการจำลองด้วยโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์ (simulation) เพื่อหาคุณสมบัติต่าง ๆ ประกอบด้วย การสูญเสียย้อนกลับ ความกว้างแถบ แบบรูปการแผ่พลังงาน ความกว้างลำครึ่งกำลัง อัตราขยายสายอากาศ เป็นต้น จากการจำลองสายอากาศสามารถสรุปหลักเกณฑ์การออกแบบสายอากาศได้ดังนี้

$b$ มีขนาดประมาณ 1/2 ของ $a$, $d$ มีขนาดประมาณ 2/5 ของ $b$
$h$ มีขนาดประมาณ 3/4 ของ $b$, $w$ มีขนาดประมาณ 3/4 ของ $h$
$g$ มีขนาดประมาณ 1/10 ของ h, c มีขนาดประมาณ 1/5 ของ $w$

$a$ และ $b$ มีผลต่อความถี่การใช้งานและความกว้างลำครึ่งกำลังเช่นเดียวกับ $d$ ที่มีอิทธิพลต่อความกว้างลำครึ่งกำลังและอัตราขยายสายอากาศ นั่นคือ ถ้า $d$ แคบ จะทำให้ความกว้างลำครึ่งกำลังกว้างและอัตราขยายสายอากาศต่ำ ตรงกันข้ามถ้า $d$ กว้างจะทำให้ความกว้างลำครึ่งกำลังแคบและอัตราขยายสายอากาศสูง แต่ $d$ ไม่ควรมีขนาดที่มากเกินไป ($d > b$) เพราะมีผลกับอิมพีแดนซ์ทำให้ไม่แมตช์และแถบความถี่แคบลง

การปรับจูนอิมพีแดนซ์สายอากาศให้กระทำกับระยะห่าง $g$ และขนาดของโมโนโพลแผ่นบางพารามิเตอร์ $h$, $w$, และ $c$ ส่วนการเลื่อนความถี่ให้ปรับขนาดของวงแหวน $a$ และ $b$

## 4. การวิเคราะห์สายอากาศ

โดยใช้หลักการออกแบบตามหัวข้อที่ 3 การจำลองสายอากาศจากซอฟต์แวร์จะได้ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ดังแสดงไว้ในตารางที่ 1 โดยโลหะที่นำมาใช้สร้างสายอากาศคือ ทองเหลือง

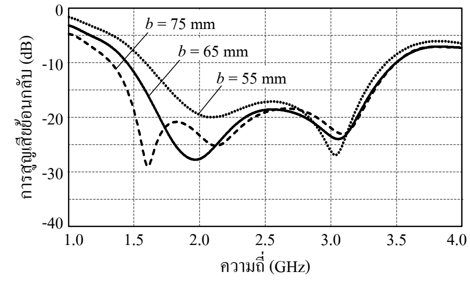
ตารางที่ 1 ขนาดสายอากาศ

| พารามิเตอร์ | $a$ | $b$ | $d$ | $w$ | $h$ | $c$ | $g$ | $t$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ขนาด (mm) | 126 | 65 | 26 | 36 | 44 | 7 | 4 | 0.4 |

เพื่อยืนยันการเปลี่ยนแปลงอิมพีแดนซ์สายอากาศในรูปของค่าการสูญเสียย้อนกลับที่ขึ้นอยู่กับพารามิเตอร์ต่าง ๆ จึงได้แสดงการปรับเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ในบางพารามิเตอร์เพื่อพิจารณาค่าการสูญเสียย้อนกลับและจะนำไปสู่การวิเคราะห์สายอากาศต่อไป โดยเมื่อทำการปรับเปลี่ยนพารามิเตอร์ใด พารามิเตอร์อื่น ๆ จะถูกคงค่าไว้ตามตารางที่ 1

### 4.1 การปรับเปลี่ยนพารามิเตอร์ $b$

ผลการปรับเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ $b$ แสดงดังรูปที่ 2 เมื่อ $b$ เปลี่ยนจาก 55 mm เป็น 65 mm และ 75 mm ตามลำดับ จากรูปพบว่าเมื่อ $b$ มีความสูงเพิ่มขึ้น จะทำให้แมตช์ดีขึ้น และแถบความถี่กว้างขึ้น โดยสามารถสังเกตได้ว่ามีการเปลี่ยนแปลง ณ ความถี่ต่ำอย่างชัดเจน เมื่อตำแหน่งความถี่ลดลงจาก 1.75 GHz เป็น 1.6 GHz และ 1.4 GHz ที่ระดับ -15 dB แต่ที่ความถี่สูง มีการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งความถี่ ณ -15 dB นี้น้อยมาก ทำให้ทราบว่ากราวนด์วงแหวนสี่เหลี่ยมมีอิทธิพลต่อความถี่การใช้งาน ณ บริเวณความถี่ต่ำนี้มากที่สุด หรือขนาดของวงแหวนคือเรโซแนนซ์ ณ ความถี่ต่ำ

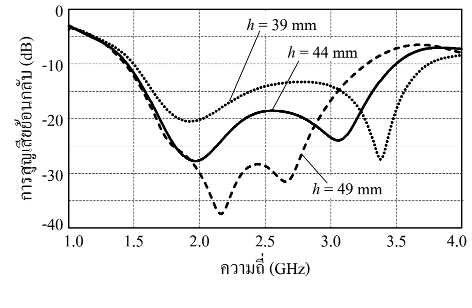



**รูปที่ 2** การสูญเสียย้อนกลับเมื่อเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ $b$

การปรับเปลี่ยนพารามิเตอร์ $a$ ผลลัพธ์ที่ได้จะเหมือนกับการปรับเปลี่ยนพารามิเตอร์ $b$ เนื่องจากเป็นการปรับเปลี่ยนขนาดของวงแหวนเช่นกัน

### 4.2 การปรับเปลี่ยนพารามิเตอร์ $h$

ผลการปรับเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ $h$ แสดงดังรูปที่ 3 เมื่อ $h$ ถูกเปลี่ยนจาก 39 mm เป็น 44 mm และ 49 mm ตามลำดับ จากรูปพบว่าเมื่อ $h$ มีความสูงเพิ่มขึ้น การแมตช์จะดีขึ้น แต่ความกว้างแถบจะลดลง ซึ่งสังเกตได้อย่างชัดเจนว่ามีการเปลี่ยนแปลง ณ ความถี่สูงที่ค่อย ๆ ลดลงจาก 3.6 GHz เป็น 3.3 GHz และ 3.1 GHz ที่ระดับ -15 dB แต่ที่ความถี่ต่ำมีการเปลี่ยนแปลงค่าความถี่น้อยมาก ทำให้ทราบว่าโมโนโพลแผ่นบางมีผลต่อแถบความถี่ ณ ความถี่สูงนี้ หรือขนาดของโมโนโพลคือเรโซแนนซ์ ณ ความถี่สูง

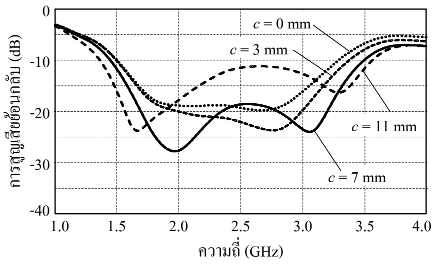



**รูปที่ 3** การสูญเสียย้อนกลับเมื่อปรับเปลี่ยนพารามิเตอร์ $h$

ในกรณีที่ต้องการความกว้างแถบที่มาก จะต้องพิจารณาว่าค่าการสูญเสียย้อนกลับที่ต้องการคือเท่าไรถึงจะเพียงพอ ซึ่งในทางปฏิบัติแล้ว ค่าการสูญเสียย้อนกลับจะอยู่ที่ <-13.8 dB หรือ VSWR ที่ < 1.5 : 1 ตลอดทั้งแถบความถี่ แต่ในสายอากาศบางชนิด เช่น ไมโครสตริปแพตช์ หรือในบางระบบการสื่อสาร การแมตช์เพียง <-10 dB ก็เพียงพอแล้ว

### 4.3 การปรับเปลี่ยนพารามิเตอร์ $c$

ผลการปรับเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ $c$ แสดงดังรูปที่ 4 เมื่อ $c$ ถูกเปลี่ยนจาก 0 mm เป็น 3 mm 7 mm และ 11 mm ตามลำดับ จากรูปพบว่าเมื่อ $c$ = 0 mm หรือเมื่อยังมิได้ทำการตัดมุม พบว่าการแมตช์ของสายอากาศดีพอสมควรดังเช่นใน [5] อย่างไรก็ตาม สามารถทำให้การแมตช์ดีขึ้นและขยายความกว้างแถบให้มากขึ้นได้โดยการปรับปรุงโครงสร้างของสายอากาศ ด้วยการตัดมุมโมโนโพลสี่เหลี่ยมออก 2 มุมที่ใกล้กับตำแหน่งการป้อนสัญญาณ ดังนั้นเมื่อทำการตัดมุมมากขึ้นจาก 0 mm เป็น 3 mm และ 7 mm ทำให้แมตช์ดีขึ้นและความกว้างแถบเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตาม ขนาดของมุมที่ตัดออกจะต้องไม่มากจนเกินไป เพราะถึงแม้ความกว้างแถบจะเพิ่มขึ้น แต่การแมตช์ ณ ตำแหน่งกลางของแถบความถี่เริ่มไม่ดี ดังเช่น $c$ เปลี่ยนจาก 7 mm เป็น 11 mm เป็นต้น




**รูปที่ 4** การสูญเสียย้อนกลับเมื่อปรับเปลี่ยนพารามิเตอร์ $c$

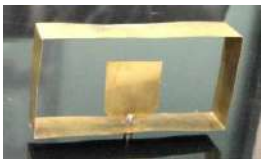
### 5. ผลการทดสอบ

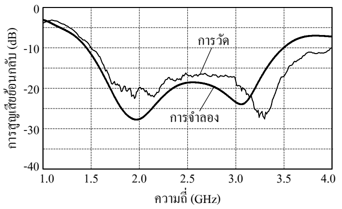
หลังจากการวิเคราะห์ จึงได้สร้างสายอากาศต้นแบบดังรูปที่ 6(ก) เพื่อทดสอบและเปรียบเทียบผล โดยส่วนประกอบของสายอากาศที่เป็นโลหะสร้างจากแผ่นทองเหลืองหนา 0.4 mm อย่างไรก็ตาม วงแหวนสี่เหลี่ยมสามารถสร้างจากท่อโลหะที่มีหน้าตัดสี่เหลี่ยมได้เช่นกัน แม้ว่าความหนาของท่อจะมากกว่า 0.4 mm ก็ตาม เพราะมีผลกับคุณสมบัติที่สำคัญของสายอากาศเพียงเล็กน้อย เมื่อสร้างสายอากาศเสร็จแล้วจึงได้ทำการทดสอบคุณสมบัติต่าง ๆ โดยได้ทำการวัดในพื้นที่โล่งแจ้ง

### 5.1 ค่าการสูญเสียย้อนกลับและความกว้างแถบ

ค่าการสูญเสียย้อนกลับที่ได้จากการวัดเปรียบเทียบกับการจำลองแสดงดังรูปที่ 6(ข) วัดความกว้างแถบได้ถึง 73.08% ระหว่างความถี่ 1.65 – 3.55 GHz ที่ค่าการสูญเสียย้อนกลับ <-15 dB แถบความถี่

จากการวัดจะเลื่อนต่ำกว่าและแมตช์น้อยกว่าผลการจำลองสายอากาศด้วยซอฟต์แวร์ แต่แนวโน้มของกราฟเป็นไปในแนวทางเดียวกัน



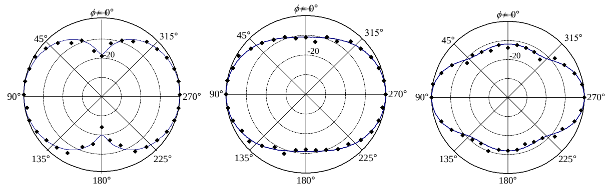



(ก) (ข)

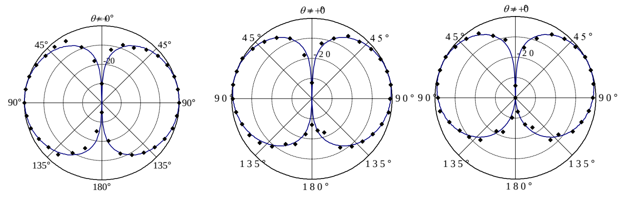
**รูปที่ 6** (ก) สายอากาศต้นแบบ (ข) การสูญเสียย้อนกลับที่ได้จากการจำลองและการวัด

## 5.2 แบบรูปการแผ่สัญญาณ

แบบรูปการแผ่สัญญาณของสายอากาศที่ได้จากการจำลองและการวัด ณ ความถี่ต่ำ กลางและสูงของแถบความถี่การใช้งานหรือ ณ 1.6, 2.3 และ 3.0 GHz แสดงดังรูปที่ 8 เมื่อด้านซ้ายคือโพลาไรซ์ร่วมระนาบ E หรือในระนาบ *yz* ตามพิกัดในรูปที่ 1 และด้านขวาคือโพลาไรซ์ร่วมระนาบ H หรือระนาบ *xz* พบว่า ความกว้างลำครึ่งกำลังระนาบ E มีค่า 82°, 69°, 42° ส่วนระนาบ H มีค่า 80°, 72°, 65° ตามลำดับ แบบรูปการแผ่พลังงานดังกล่าวมีความสมมาตรดี สายอากาศนี้มีอัตราขยายที่ 4.5, 5, 6.5 dBi ณ ความถี่ ต่ำ กลางและสูง ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม เมื่อความถี่สูงขึ้นองศาการชี้ทั้งสองทางในระนาบ H จะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ หรือการชี้ทิศทางของลำคลื่นสายอากาศจะเงยมากขึ้นเรื่อย ๆ ตามพิกัดในรูปที่ 1



(ก)



(ข)

**รูปที่ 8** แบบรูปการแผ่พลังงานโพลาไรซ์ร่วม (ก) ระนาบ E และ (ข) ระนาบ H ณ ความถี่ 1.6, 2.3 และ 3.0 GHz เมื่อเส้นทึบคือผลการจำลองและจุดคือผลการวัดที่ห่างกันจุดละ 10 องศา

## 5. สรุป

บทความนี้ได้นำเสนอสายอากาศวงแหวนสี่เหลี่ยมป้อนสัญญาณด้วยโมโนโพลแผ่นบางสี่เหลี่ยมที่แผ่คลื่นแบบสองทิศทางและแถบความถี่กว้าง โครงสร้างทำจากทองเหลืองมีขนาดกะทัดรัด จากการทดสอบพบว่า สายอากาศมีแถบความถี่กว้าง 73.08% ระหว่าง 1.65 – 3.55 GHz ที่ค่าการสูญเสียย้อนกลับ <-15 dB มีอัตราขยาย 4.5, 5, 6.5 dBi และมีความกว้างลำครึ่งกำลังในระนาบแนวระดับที่ 82°, 69°, 42° แนวตั้งที่ 80°, 72°, 65° ณ ความถี่ต่ำ กลาง และสูง ตามลำดับ ข้อดีของสายอากาศคือ โครงสร้างไม่ซับซ้อน สามารถเลือกวัสดุราคาถูกสร้างได้ ทำให้เป็นสายอากาศต้นทุนต่ำ เหมาะสำหรับใช้เป็นสายอากาศสถานีฐาน

## 6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีที่อำนวยการให้ใช้ซอฟต์แวร์ CST

## 7. เอกสารอ้างอิง

[1] D. Srimoon, "E-Shaped Flat Dipole on an U-Shaped Cross-Sectional Ground Plane," Proceeding of ECTI-CON 2013, Krabi, THAILAND, 15 - 17 May 2013.

[2] S. Lamultree and C. Phongcharoenpanich, “Bi-directional Ultra-wideband Antenna Using Rectangular Ring Fed by Stepped Monopole,” Trans. Progress In Electromagnetics Research, vol. 85, 2008, pp. 227-242.

[3] M. J. Amman and Z. N. Chen, “Wideband monopole antennas for multi-band wireless systems,” IEEE Antennas Propagat. Mag., vol. 45, no. 2, Feb. 2003, pp. 150-146.

[4] S. Kosulvit, M. Krairiksh, C. Phongcharoenpanich, and T. Wakabayashi, “A simple and cost-effective bidirectional antenna using a probe excited circular ring,’” IEICE Trans. Electron., vol. E84-C, no. 4, Apr. 2001, pp. 443-450.

[5] ดวงอาทิตย์ ศรีมูล, "สายอากาศวงแหวนสี่เหลี่ยมป้อนสัญญาณด้วยแพตช์สี่เหลี่ยมที่แผ่คลื่นแบบสองทิศทางและแถบความถี่กว้าง," Proceeding of ECTI-CARD 2013, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา, 8-10 May 2013.

ชานนท์ ปรางงำ เกิดที่ จ.เพชรบูรณ์เมื่อวันที่ 14 มิถุนายน 2527 จบการศึกษาปริญญาตรีจาก ม.รังสิต ปัจจุบันศึกษาปริญญาโท ปีการศึกษา 2549, 2558 ตามลำดับ งานวิจัยที่สนใจคือ เทคโนโลยีสายอากาศ ไมโครเวฟ อาร์เอฟไอดี โครงข่ายโทรคมนาคม สัญญาณและระบบ

ดวงอาทิตย์ ศรีมูล เกิดที่เชียงรายเมื่อ 15 สิงหาคม 2516 จบการศึกษาปริญญาตรีจาก มจธ. ปริญญาโทและเอกจาก สจล. ปีการศึกษา 2539, 2544 และ 2548 ตามลำดับ ปัจจุบันเป็นอาจารย์ประจำ ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยรังสิต งานวิจัยที่สนใจคือ เทคโนโลยีสายอากาศ ไมโครเวฟ อาร์เอฟไอดี โครงข่ายโทรคมนาคม สัญญาณและระบบ

**บทความวิจัย**

การประชุมวิชาการ งานวิจัยและพัฒนาเชิงประยุกต์ ครั้งที่ 8

*8th ECTI-CARD 2016, Hua Hin, Thailand*

# สายอากาศไดโพลบนแผ่นวงจรพิมพ์แถบความถี่กว้าง

# A Wideband Printed Dipole Antenna

**กัญญ์พิชญา ตั้งสกุลเดิม [1] และ ดวงอาทิตย์ ศรีมูล [2]**

[1] นักศึกษาปริญญาโท หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ วิทยาลัยวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรังสิต

52/347 ถนนพหลโยธิน ตำบลหลักหก อำเภอเมือง จังหวัดปทุมธานี 12000 โทรศัพท์ 02-997-2200 ต่อ 3272 E-mail: kanpichaya.tk@gmail.com

[2] อาจารย์ประจำ หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ วิทยาลัยวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรังสิต

52/347 ถนนพหลโยธิน ตำบลหลักหก อำเภอเมือง จังหวัดปทุมธานี 12000 โทรศัพท์ 02-997-2200 ต่อ 3272 E-mail: duang-arthit@rsu.ac.th

## บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอสายอากาศไดโพลบนแผ่นวงจรพิมพ์แถบความถี่กว้าง เมื่อไดโพลสร้างจากโลหะตัวนำบนแผ่นวัสดุ FR4 แต่ละโพลมีรูปร่างเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่ 2 มุมใกล้ตำแหน่งป้อนสัญญาณถูกตัดออกทำมุม 45 องศา อย่างเท่ากันทั้งสองมุม เพื่อให้สายอากาศมีแถบความถี่กว้างและแมตช์อิมพีแดนซ์ดี สายอากาศได้จำลองขึ้นโดยใช้โปรแกรม CST ก่อนทำการสร้างสายอากาศต้นแบบ โดยพัฒนาจากสายอากาศไดโพลแผ่นพิมพ์ที่สร้างจากทองแดงบน FR4 ทั่วไปแต่ปรับปรุงให้มีแถบความถี่กว้างขึ้น สายอากาศนี้แผ่คลื่นแบบรอบทิศทาง แถบความถี่กว้าง 69.39% ระหว่าง 1.6 – 3.3 GHz ที่ค่าการสูญเสียย้อนกลับน้อยกว่า -15 dB ตลอดทั้งย่าน มีอัตราขยาย 2.3 dBi, 2.35 dBi, และ 2.4 dBi ความกว้างลำครึ่งกำลังในระนาบแนวตั้งที่ 79 องศา, 72.5 องศา, และ 68 องศา ณ ความถี่ 1.8 GHz, 2.4 GHz, และ 3.0 GHz หรือคือความถี่ต่ำ กลาง และสูง ตามลำดับ สายอากาศมีขนาด 90.0 mm x 60.0 mm x 4.6 mm ข้อดีของสายอากาศนี้ คือ แถบความถี่กว้าง โพลาไรซ์เชิงเส้นชัดเจน โครงสร้างไม่ซับซ้อนและสร้างได้ด้วยวัสดุราคาถูกทำให้เป็นสายอากาศต้นทุนต่ำ สามารถใช้เป็นสายอากาศสถานีฐานได้เป็นอย่างดี

คำสำคัญ: สายอากาศไดโพลบนแผ่นวงจรพิมพ์, แผ่คลื่นรอบทิศทาง, แถบกว้าง, เอฟอาร์4

## Abstract

This paper presents a wideband printed dipole antenna. Dipole is contributed from flat conductor that printed on the surface of FR4. Each pole is shaped as a rectangular that 2 corners near the feeding point are chamfered with 45 degree, symmetrically. This makes the antenna wide bandwidth and good impedance matching. The antenna is simulated by CST before fabricating the prototype. The developments of this antenna start from conventional printed dipole on the surface of FR4 and adjust it for increasing bandwidth. This antenna provides the Omni-directional radiation and has the frequency range of 69.39% between the frequencies of 1.6 GHz and 3.3 GHz with the return loss less than -15 dB across the band. Gains of the antenna are 2.3 dBi, 2.35 dBi, and 2.4 dBi, while the HPBWs are 79 degree, 72.5 degree, and 68 degree in the vertical plane at the frequencies of 1.8 GHz, 2.4 GHz, and 3.0 GHz or at the low, central and high of the band, respectively. This antenna has the dimensions of 90.0 mm x 6.0 mm x 4.6 mm. Advantages of this antenna are wideband, pure linear polarization, low profile structure, and can be fabricated by inexpensive material make it low-cost. The antenna is suitable for using as a base station antenna.

Keywords: printed dipole antenna, omni-directional radiation, wideband, FR4

## 1. บทนำ

เป็นที่ทราบกันดีว่าสายอากาศมีความจำเป็นในทุกระบบการสื่อสารไร้สายทั้งภาคส่งและภาครับ เช่น ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ ระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย (Wireless LAN) ระบบโทรทัศน์ดิจิทัลภาคพื้นดิน ระบบโทรทัศน์ดาวเทียม ระบบวิทยุ เป็นต้น เนื่องจากสายอากาศทำหน้าที่กระจายสัญญาณออกไปทางฝั่งส่งหรือดักรับเข้ามาทางฝั่งรับ สายอากาศถูกพัฒนาในหลายรูปแบบขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์การนำไปใช้งาน ถ้าจะแบ่งประเภทของสายอากาศตามแบบรูปการแผ่พลังงานแล้ว สามารถแบ่งได้เป็น 1) ทิศทางเดียว (uni-directional) 2) สองทิศทาง (bi-directional) และ 3) แผ่โดยรอบ (omni-directional)

แนวโน้มของการพัฒนาและวิจัยสายอากาศปัจจุบัน คือ สร้างสายอากาศให้มีแถบความถี่กว้างหรือสร้างสายอากาศให้สามารถรองรับได้หลายแถบความถี่พร้อมกัน เนื่องจากเหตุผลในเรื่องของระบบการสื่อสารยุคใหม่ที่มีช่วงความถี่ดำเนินการในการสื่อสารที่กว้างขึ้นเพื่อการรับส่งข้อมูลที่มากขึ้น เช่น ระบบโทรทัศน์ดิจิตอล DVB มีช่วงความถี่การใช้งานระหว่าง 470–860 MHz คิดเป็น 58.65% ระบบ CDMA2000 หรือ 3G (Third Generation Mobile Phone) ดำเนินการช่วงความถี่ 1.92–2.17 GHz คิดเป็น 12.25% เป็นต้น นอกจากนี้ เทคโนโลยีในการสร้าง

เครื่องมือสื่อสารปัจจุบัน สามารถแยกสัญญาณความถี่ที่ได้รับมาจากสายอากาศตัวเดียวกันออกจากกันได้อย่างชัดเจน สายอากาศเพียงตัวเดียวจึงสามารถดำเนินการพร้อมกันได้หลายระบบ ส่งผลให้ประหยัดทรัพยากร เช่น ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ DCS (Digital Cellular System) ดำเนินการช่วง 1.71–1.88 GHz ระบบ 3G ดำเนินการช่วง 1.92–2.17 GHz และระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายมาตรฐาน IEEE802.11b/g ดำเนินการช่วง 2.400–2.483 GHz ทั้งสามระบบนี้จึงสามารถใช้งานบนสายอากาศเดียวกันได้

นักวิจัยจำนวนมากนำเสนอสายอากาศแบบแถบความถี่กว้าง (wideband antenna) หรือสายอากาศแบบหลายแถบความถี่ (multiband antenna) เพื่อให้สามารถครอบคลุมหลายระบบการสื่อสารได้โดยสายอากาศเพียงตัวเดียวเพื่อประหยัดทรัพยากร หากเป็นสายอากาศแบบแถบกว้างจะต้องมีเปอร์เซ็นต์ความถี่ >10% สายอากาศที่ให้เปอร์เซ็นต์ความถี่ที่กว้างมากส่วนใหญ่จะเป็นสายอากาศโมโนโพลแผ่นบาง [1] ที่แผ่คลื่นแบบโดยรอบ แต่มีข้อเสียคือ ณ ความถี่สูงของช่วงดำเนินการแบบรูปการแผ่กำลังงานมักจะไม่แผ่ออกโดยรอบอย่างสม่ำเสมอ มีความบิดเบี้ยว และอัตราขยายลดลงอย่างรวดเร็ว

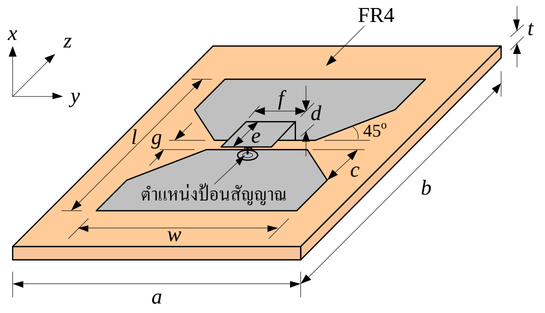
บทความนี้จึงได้นำเสนอสายอากาศแถบกว้างสำหรับเครือข่ายไร้สายต่าง ๆ เป็นสายอากาศไดโพลบนแผ่นวงจรพิมพ์ที่มีความถี่ดำเนินการระหว่าง 1.7-3.1 GHz เป็นสายอากาศที่แผ่คลื่นแบบรอบทิศทางในแนวระดับอย่างสม่ำเสมอ โดยได้แสดงโครงสร้างสายอากาศ การออกแบบ ผลลัพธ์คุณสมบัติของสายอากาศทั้งจากการจำลองและจากการทดสอบสายอากาศต้นแบบ ประกอบด้วย ค่าการสูญเสียย้อนกลับ ความกว้างแถบ แบบรูปการแผ่พลังงาน ความกว้างลำครึ่งกำลัง และอัตราขยาย

## 2. งานและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

สายอากาศไดโพลถูกสร้างด้วยโลหะบนผิววัสดุเช่น FR4 ทั้งนี้เพื่อให้สายอากาศมีความกว้างแถบเพิ่มขึ้น สร้างง่าย สายอากาศคงรูปได้ดีไม่บิดเบี้ยวขณะนำไปใช้งาน อย่างไรก็ตาม อาจมีข้อเสียบ้างในเรื่องของการไม่รองรับกับการใช้งานที่ต้องปล่อยสัญญาณกำลังสูง ๆ ซึ่งอาจทำให้สายอากาศไดโพลบนแผ่นวงจรพิมพ์เกิดความเสียหายได้ เช่น สายอากาศสถานีฐานของระบบวิทยุ หรือระบบ WiMAX เป็นต้น สายอากาศไดโพลบนแผ่นวงจรพิมพ์เช่นใน [2] สามารถทำให้สายอากาศมีความกว้างแถบถึง 38.3% จากปรกติที่ไดโพลทั่วไปให้ความกว้างแถบได้เพียง 10% เท่านั้น นอกจากนี้ยังมีสายอากาศไดโพลบนแผ่นวงจรพิมพ์แบบอื่นที่มีการประยุกต์ให้งานในหลากหลายเช่น [3] สามารถทำการปรับช่วงความถี่การใช้งานตามที่ต้องการได้โดยสามารถทำให้สายอากาศมีความกว้างแถบได้ถึง 51%

## 3. โครงสร้างสายอากาศนำเสนอ

โครงสร้างสายอากาศนำเสนอแสดงดังรูปที่ 1 เป็นสายอากาศไดโพลบนแผ่นวงจรพิมพ์ สร้างจากโลหะตัวนำบนแผ่นวัสดุ FR4 แต่ละโพลมีรูปร่างเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่ 2 มุมใกล้ตำแหน่งป้อนสัญญาณถูกตัดออกทำมุม 45 องศา อย่างเท่ากันทั้งสองมุม เพื่อให้สายอากาศมีแถบความถี่กว้างและแมตช์อิมพีแดนซ์ดี มีขนาดเป็น $c$ เท่ากันทั้งสองมุม เพื่อให้ไดโพลสมมาตร โลหะบนผิววัสดุ FR4 ปกติจะเป็นทองแดงหนาประมาณ 0.05 mm ไดโพลกว้าง $w$ ยาว $l$ ในแนวระนาบ $yz$ ไดโพลป้อนสัญญาณด้วยสายส่งแกนร่วม (coaxial cable) อิมพีแดนซ์ 50 โอห์ม ที่เจาะทะลุผ่าน FR4 ขึ้นมา แกนนอกเชื่อมต่อกับโพลหนึ่งของไดโพลและแกนในเชื่อมต่อกับอีกโพลหนึ่งที่เหลือผ่านแผ่นทองเหลืองที่พับเป็นรูปตัว L กว้าง $f$ ยาว $e$ สูง $d$ หนา 0.4 mm แผ่น FR4 มีความกว้าง $a$ ความยาว $b$ และความสูง $t$




**รูปที่ 1** โครงสร้างสายอากาศนำเสนอ

สายอากาศถูกออกแบบโดยการจำลองด้วยโปรแกรม CST เพื่อหาคุณสมบัติต่าง ๆ จากการจำลองสายอากาศสามารถสรุปหลักเกณฑ์การออกแบบสายอากาศได้ดังนี้

$w$ มีขนาดใกล้เคียงกับ $l/2$

$c$ มีขนาดประมาณ 1/3 ของ $w$

$a$ มีขนาดใหญ่กว่า $w$ เล็กน้อย และ $b$ มีขนาดใหญ่กว่า $l$ เล็กน้อย

$l$ มีผลต่อช่วงความถี่การใช้งาน นั่นคือถ้าต้องการให้ช่วงความถี่สูงขึ้น จะต้องลดขนาด $l$ ลง และถ้าต้องการให้ช่วงความถี่ต่ำลงจะต้องเพิ่มขนาด $l$ ขึ้น อย่างไรก็ตาม จะต้องปรับไปพร้อม ๆ กับขนาดของ $w$ ที่จะทำให้การแมตช์ดีและความกว้างแถบกว้างอย่างคงที่ นอกจากนี้การปรับจูนอิมพีแดนซ์สายอากาศยังสามารถกระทำได้กับระยะห่าง $g$ ขนาดการตัดมุม $c$ และขนาดของสตริปที่ประกอบด้วยพารามิเตอร์ $d$, $e$, และ $f$

## 4. การวิเคราะห์สายอากาศ

โดยใช้หลักการออกแบบตามหัวข้อที่ 3 การจำลองสายอากาศจากซอฟต์แวร์สามารถกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ได้ดังตารางที่ 1

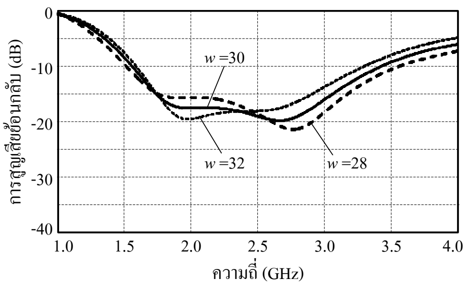
ตารางที่ 1 ขนาดสายอากาศ

| พารามิเตอร์ | *a* | *b* | *l* | *w* | *c* | *d* | *e* | *f* | *g* | *t* |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ขนาด (mm) | 60 | 90 | 58 | 30 | 8.5 | 3 | 8 | 6 | 2 | 1.6 |

เพื่อแสดงให้เห็นถึงอิทธิพลของพารามิเตอร์ต่าง ๆ ต่อการเปลี่ยนแปลงอิมพีแดนซ์ของสายอากาศในรูปของค่าการสูญเสียย้อนกลับ จึงได้แสดงการปรับเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ในบางพารามิเตอร์เพื่อพิจารณาค่าการสูญเสียย้อนกลับ อันจะนำไปสู่การวิเคราะห์สายอากาศต่อไป โดยเมื่อทำการปรับเปลี่ยนพารามิเตอร์หนึ่ง พารามิเตอร์อื่น ๆ จะถูกคงค่าไว้เหมือนเดิมดังตารางที่ 1

## 4.1 การปรับเปลี่ยนพารามิเตอร์ *w*

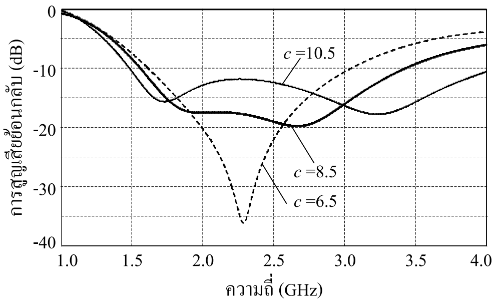
ผลการปรับเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ *w* แสดงดังรูปที่ 2 เมื่อ *w* เปลี่ยนจาก 28 mm เป็น 30 mm และ 32 mm ตามลำดับ จากรูปพบว่าเมื่อ *w* มีความกว้างมากขึ้น จะทำให้แมตช์ดีขึ้น แต่แถบความถี่จะแคบลง โดยสามารถสังเกตได้ว่ามีการเปลี่ยนแปลง ตลอดทั้งช่วงความถี่ดำเนินการ อย่างไรก็ตาม ความกว้างของ *w* จะต้องประมาณ *l* /2 โดยถ้ามากกว่านี้จะทำให้ความกว้างแถบแคบลงอีกครั้งหนึ่ง




**รูปที่ 2** การสูญเสียย้อนกลับเมื่อเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ *w*

## 4.2 การปรับเปลี่ยนพารามิเตอร์ *c*

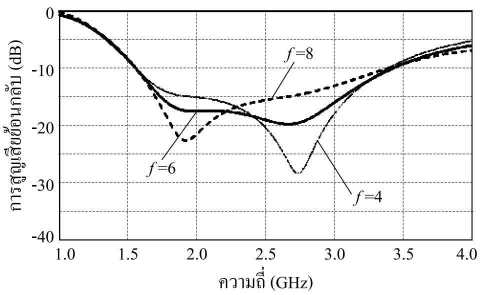
ผลการปรับเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ *c* แสดงดังรูปที่ 3 เมื่อ *c* ถูกเปลี่ยนจาก 6.5 mm เป็น 8.5 mm และ 10.5 mm ตามลำดับ การตัดมุมสามารถทำให้การแมตช์ดีขึ้นและขยายความกว้างแถบให้มากขึ้นได้ มุมของโพลสี่เหลี่ยมที่ตัดออกคือ 2 มุมที่ใกล้กับตำแหน่งการป้อนสัญญาณ ดังนั้นเมื่อทำการตัดมุมมากขึ้นจาก 6.5 mm เป็น 8.5 mm และ 10.5 mm ตามลำดับ ทำให้การแมตช์ลดลงแต่ความกว้างแถบเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตาม ขนาดของมุมที่ตัดออกจะต้องไม่มากจนเกินไป เพราะถึงแม้ความกว้างแถบจะเพิ่มขึ้น แต่การแมตช์ ณ ตำแหน่งกลางของความถี่ดำเนินการเริ่มไม่ดี ดังเช่น *c* ที่เปลี่ยนจาก 8.5 mm เป็น 10.5 mm เป็นต้น




**รูปที่ 3** การสูญเสียย้อนกลับเมื่อปรับเปลี่ยนพารามิเตอร์ *c*

## 4.3 การปรับเปลี่ยนสตริป

ขนาดของสตริปจะประกอบด้วยพารามิเตอร์ *d*, *e*, และ *f* โดยพารามิเตอร์ที่มีอิทธิพลมากที่สุดจะเป็นความกว้างของสตริป *f* ผลการปรับเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ *f* แสดงดังรูปที่ 4 เมื่อ *f* เปลี่ยนจาก 4 mm เป็น 6 mm และ 8 mm ตามลำดับ จากรูปพบว่าเมื่อ *f* มีความกว้างที่ 6 mm จะทำให้การแมตช์ดีขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากที่ความกว้างของสตริปดังกล่าวนี้ทำให้มีอิมพีแดนซ์ใกล้เคียงกับ 50 โอห์ม ซึ่งถ้าสตริปแคบกว่านี้อิมพีแดนซ์จะสูงขึ้น ในทางตรงกันข้ามถ้ากว้างกว่านี้อิมพีแดนซ์จะลดต่ำลง



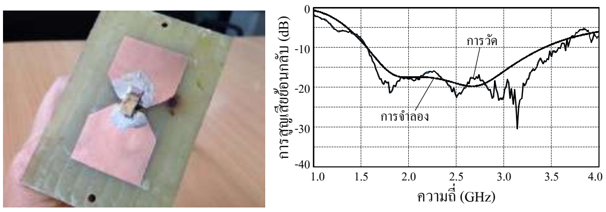

**รูปที่ 4** การสูญเสียย้อนกลับเมื่อเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ *l*

## 5. ผลการทดสอบ

หลังจากการวิเคราะห์ จึงได้สร้างสายอากาศต้นแบบดังรูปที่ 5(ก) เพื่อทดสอบและเปรียบเทียบผล โดยส่วนประกอบของสายอากาศที่เป็นสตริปสร้างจากแผ่นทองเหลืองหนา 0.4 mm เมื่อสร้างสายอากาศเสร็จแล้วจึงได้ทำการทดสอบคุณสมบัติต่าง ๆ โดยได้ทำการวัดในพื้นที่โล่งแจ้ง

## 5.1 ค่าการสูญเสียย้อนกลับและความกว้างแถบ

ค่าการสูญเสียย้อนกลับที่ได้จากการวัดเปรียบเทียบกับการจำลองแสดงดังรูปที่ 5(ข) วัดความกว้างแถบได้ถึง 69.39% ระหว่างความถี่ 1.6 – 3.3 GHz ที่ค่าการสูญเสียย้อนกลับ <-15 dB แถบความถี่จากการวัดจะกว้างกว่าผลการจำลองสายอากาศด้วยซอฟต์แวร์ แต่แนวโน้มของกราฟเป็นไปในแนวทางเดียวกัน

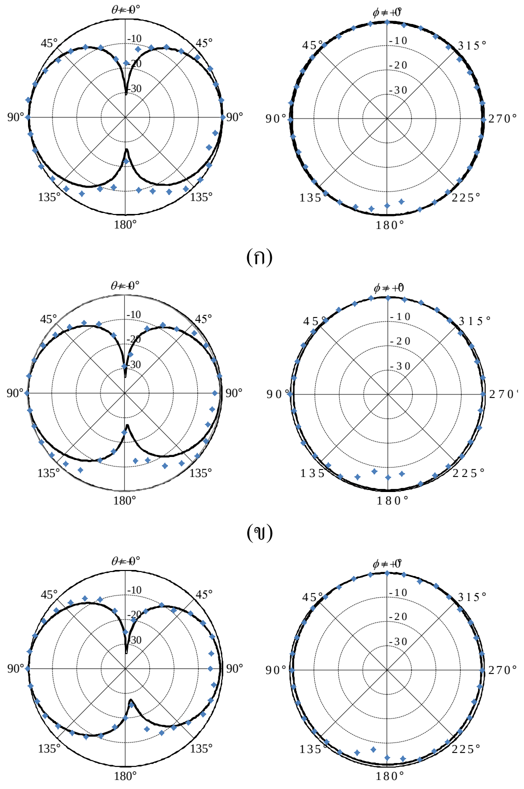



(ก) (ข)

**รูปที่ 5** (ก) สายอากาศต้นแบบ (ข) การสูญเสียย้อนกลับที่ได้จากการจำลองและการวัด

## 5.2 แบบรูปการแผ่สัญญาณ

แบบรูปการแผ่สัญญาณของสายอากาศที่ได้จากการจำลองและการวัด ณ ความถี่ต่ำ กลางและสูงของแถบความถี่การใช้งานหรือ ณ 1.8, 2.4 และ 3.0 GHz แสดงดังรูปที่ 6 เมื่อรูป (ก) คือโพลาไรซ์ร่วมระนาบ E หรือในระนาบ *yz* ตามพิกัดในรูปที่ 1 และรูป (ข) คือโพลาไรซ์ร่วมระนาบ H หรือระนาบ *xz* พบว่า ความกว้างลำครึ่งกำลังระนาบ E มีค่า 79°, 72.5°, 68° ตามลำดับ แบบรูปการแผ่พลังงานดังกล่าวมีความสมมาตรดี สายอากาศนี้มีอัตราขยายที่ 2.3, 2.35, 2.4 dBi ณ ความถี่ ต่ำ กลางและสูง ตามลำดับ



(ก)

(ข)

(ค)

**รูปที่ 6** แบบรูปการแผ่พลังงานโพลาไรซ์ร่วมระนาบ E และ H ณ ความถี่ (ก) 1.8 GHz (ข) 2.4 GHz และ (ค) 3.0 GHz เมื่อเส้นทึบคือผลการจำลองและจุดคือผลการวัดที่ห่างกัน 10 องศา

สังเกตว่าผลการวัดจะแตกต่างจากการคำนวณเล็กน้อย ณ $\theta$= 80 – 100 องศา และ $\phi$= 170 – 190 องศา ทั้งนี้เนื่องจากการวัดจริงจะต้องต่อสายสัญญาณไปสู่เครื่องวิเคราะห์โครงข่าย ส่วนการจำลองไม่มี

## 5. สรุป

บทความนี้ได้นำเสนอสายอากาศไดโพลบนแผ่นวงจรพิมพ์แถบความถี่กว้าง เมื่อไดโพลสร้างจากโลหะตัวนำบนแผ่นวัสดุ FR4 จากการทดสอบพบว่า สายอากาศมีแถบความถี่กว้าง 69.39% ระหว่าง 1.6 – 3.3 GHz ที่ค่าการสูญเสียย้อนกลับ <-15 dB มีอัตราขยาย 2.3, 2.35, 2.4 dBi และมีความกว้างลำครึ่งกำลังในแนวตั้งที่ 79°, 72.5°, 68° ณ ความถี่ต่ำ กลาง และสูง ตามลำดับ ข้อดีของสายอากาศนี้ คือ แถบความถี่กว้าง โพลาไรซ์เชิงเส้นชัดเจน โครงสร้างไม่ซับซ้อนและสร้างได้ด้วยวัสดุราคาถูกทำให้เป็นสายอากาศต้นทุนต่ำ สามารถใช้เป็นสายอากาศสถานีฐานได้เป็นอย่างดี

## 6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีที่อำนวยการให้ใช้ซอฟต์แวร์ CST

## เอกสารอ้างอิง

[1] M. J. Amman and Z. N. Chen, “Wideband monopole antennas for multi-band wireless systems,” IEEE Antennas Propagat. Mag., vol. 45, no. 2, Feb. 2003, pp. 150-146.

[2] N. Li, J. Huang, Q. Hao, and Z. Feng, “A parallel strip line center-probe fed dipole,” Asia-Pacific Microwave Conference Proceedings 2005 (APMC 2005), vol. 4, pp. 4.

[3] T. Li, H. Zhai, L. Li, and C. Liang “Frequency-Reconfigurable Bow-Tie Antenna with a Wide Tuning Range,” IEEE Antennas Propagat. Letters, vol. 13, 2014, pp.1549-1552.

กัญญ์พิชญา ตั้งสกุลเดิม เกิดเมื่อวันที่ 20 ธันวาคม 2528 จบการศึกษาระดับปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต วิศวกรรมมัลติมีเดียและระบบอินเทอร์เน็ต ปีการศึกษา 2551 จากมหาวิทยาลัยกรุงเทพ งานวิจัยที่สนใจคือเทคโนโลยีสายอากาศ ไมโครคอนโทรลเลอร์ ระบบโทรคมนาคม

ดวงอาทิตย์ ศรีมูล เกิดที่เชียงรายเมื่อ 15 สิงหาคม 2516 จบการศึกษาปริญญาตรีจาก มจธ. ปริญญาโทและเอกจาก สจล. ปีการศึกษา 2539, 2544 และ 2548 ตามลำดับ ปัจจุบันเป็นอาจารย์ประจำ ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยรังสิต งานวิจัยที่สนใจคือ เทคโนโลยีสายอากาศ ไมโครเวฟ อาร์เอฟไอดี โครงข่ายโทรคมนาคม สัญญาณและระบบ

# การออกแบบสายอากาศไดโพลล็อกพิริออดิกสำหรับประยุกต์ใช้งานในระบบ WLAN/HSPA/LTE/UWB

# Log – Periodic Dipole Antenna Design for WLAN/HSPA/LTE/UWB Applications

**ขวัญหทัย โพธิ์แจ้ง และ ไพฑูรย์ รักเหลือ**
ภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
39 หมู่ 1 ถนนรังสิต-นครนายก (คลองหก) อำเภอธัญบุรี จังหวัดปทุมธานี 12110
โทรศัพท์ : 083-0265072 E-mail: kwanhatai_p@rmutt.ac.th, paitoon_r@rmutt.ac.th

## บทคัดย่อ

บทความนี้ได้นำเสนอการออกแบบสายอากาศไดโพลล็อกพิริออดิกสำหรับประยุกต์ใช้งานในระบบ WLAN/HSPA/LTE/UWB บนวัสดุฐานรองชนิด FR4 ที่มีค่าไดอิเล็กทริก ($\varepsilon_r$) เท่ากับ 4.3 โดยมีการแมตช์อิมพีแดนซ์ที่ 50 โอห์ม ผลที่ได้จากการวัดทดสอบสายอากาศจริงสายอากาศตอบสนองที่ความถี่ 1.4 GHz ถึง 12 GHz มีรูปแบบการแผ่พลังงานของสายอากาศเป็นแบบทิศทางเดียว และมีอัตราการขยายของสายอากาศเฉลี่ย (Gain) 3.19 dBi สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับระบบอัลตราไวแบนด์ (Ultra wideband, UWB) IEEE 802.15.3 a, HSPA (High Speed Packet Access) IEEE 802.16, LTE (Long Term Evolution) IEEE 802.16m, อาร์เอฟไอดี (RFID) IEEE 802.15.4, เครือข่ายไร้สาย (WLAN) IEEE 802.11 a/b/g, บลูทูธ (Bluetooth) และ ไวแมกซ์ (WiMAX) IEEE 802.16 a/d

คำสำคัญ: สายอากาศล็อกพิริออดิก, อัลตราไวแบนด์, เครือข่ายไร้สาย

## Abstract

This paper, the log-periodic dipole antenna presented the serve in WLAN/HSPA/LTE/UWB. The antenna was fabricated on FR4 substrate with dielectric constant ($\varepsilon_r$) 4.3, excited through a microstrip line feed by 50 ohm of impedance matching. The measurement result shown that the proposed antenna achieved a wide impedance bandwidth of 1.4 GHz. to 12 GHz. The radiation pattern of this antenna was unidirectional and 3.19 dBi of Gain. Good agreement between simulated and measured result indicated that the proposed antenna is suitable to use in Ultra Wide Band (UWB) IEEE 802.15.3 a, High Speed Packet Access (HSPA) IEEE 802.16, Long Term Evolution (LTE) IEEE 802.16m, Radio - Frequency Identification (RFID) IEEE 802.15.4, Wireless Networks (WLAN) IEEE 802.11 a/b/g, Bluetooth and WiMAX IEEE 802.16 a/d.

Keywords: Log – Periodic dipole Antenna, Ultra Wideband, WLAN

## บทนำ

ปัจจุบันเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สาย (Wireless communication System) ได้เข้ามามีบทบาทในชีวิตประจำวันของมนุษย์เป็นอย่างมาก และอุปกรณ์หลักที่ทำหน้าที่ในการรับและส่งคลื่นวิทยุคือ สายอากาศ (Antenna) สายอากาศมีอยู่หลายประเภท และสายอากาศไดโพลแบบล็อกพิริออดิก (Log - periodic dipole, LPD Antenna) นิยมใช้กันอีกโครงสร้างหนึ่ง เนื่องจากมีช่วงการตอบสนองความถี่กว้างอีกทั้งมีอัตราการขยายสูง และมีความถี่ที่กว้าง จึงเป็นที่นิยมในงานสื่อสารที่ต้องใช้ความถี่กว้าง และเป็นสายอากาศที่น่าศึกษาเพื่อนำมาใช้งานในยุคของการสื่อสารแบบไร้สาย [1]

จากการศึกษางานวิจัย สายอากาศล็อกพิริออดิกที่มีขนาดใหญ่และมีแบนด์วิดท์ที่แคบกว่า [2 - 3] จึงได้ทำการออกแบบและสร้างสายอากาศ โดยใช้วิธีเชิงประสบการณ์ร่วมกับการจำลองแบบด้วยโปรแกรม CST (Computer Simulation Technology) มาจำลองค่าสนามแม่เหล็กไฟฟ้า เพื่อนำมาประยุกต์ใช้งานกับระบบ UWB - Ultra wideband ตามมาตรฐาน IEEE 802.15.3 a (3.1 GHz – 10.6 GHz) [4], HSPA - High Speed Packet Access ตามมาตรฐาน IEEE 802.16 (850/900/1700/1900/2100 MHz), LTE - Long Term Evolution ตามมาตรฐาน IEEE 802.16m (1800 MHz), RFID - Radio frequency identification (2.45 GHz และ 5.8 GHz), WLAN ตามมาตรฐาน IEEE 802.11 a/b/g (2.40 GHz – 2.82 GHz และ 5.1 GHz - 5.8 GHz), Bluetooth และ WiMAX ตามมาตรฐาน IEEE 802.16 a/d (2.05 GHz – 6.52 GHz) [5]

## 2. การออกแบบสายอากาศล็อกพิริออดิก

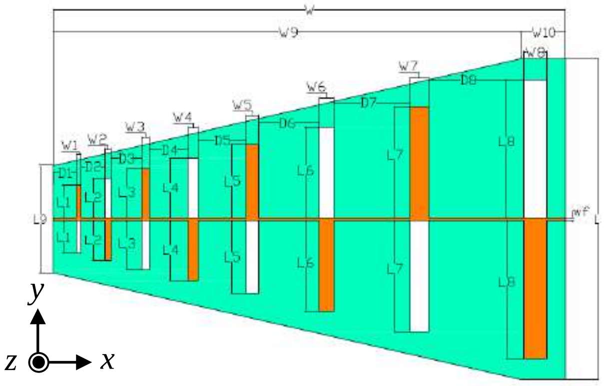
การหาจำนวนอิลิเมนต์ของสายอากาศ (N) นั้นจะใช้สมการที่ (1) ซึ่งจากการคำนวณ จะได้อิลิเมนต์รูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าทั้งด้านหน้าและหลังแผ่นวัสดุฐานรองด้านละ 8 อิลิเมนต์ [2] สมการที่ (2) และ (3) ใช้เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ของแต่ละอิลิเมนต์

$$N = 1 + \frac{\log B_S}{\log\left(\frac{1}{\tau}\right)} \tag{1}$$

$$L_{n+1} = \frac{\lambda}{2} = \frac{v / f_{min}}{2}, \frac{1}{\tau} = \frac{L_{n+1}}{L_n} \tag{2}$$

$$\frac{1}{\tau} = \frac{W_{n+1}}{W_n}, W_{n+1} = \pi xa \quad (3)$$

## 2.1 โครงสร้างของสายอากาศไดโพลล็อกพิริออดิก




รูปที่ 1 โครงสร้างของสายอากาศไดโพลล็อกพิริออดิก

โครงสร้างสายอากาศไดโพลล็อกพิริออดิกสำหรับการใช้งานในย่านความถี่ 1.4 GHz ถึง 12 GHz บนวัสดุฐานรองชนิด FR4 ที่มีค่าไดอิเล็กทริก ($\varepsilon_r$) เท่ากับ 4.3 ความสูงของฐานรอง h = 0.8 mm และความกว้างของสายส่งไมโครสตริป wf = 0.8 mm จากการคำนวณสายอากาศจะมีความกว้าง W = 115 mm และมีความยาว L = 72.2 mm ซึ่งกำหนดค่าพารามิเตอร์ของอิลิเมนต์ (Element) ทั้งด้านหน้า (สีส้ม) และด้านหลัง (สีขาว) ตามตารางที่ 1 ซึ่งประกอบด้วยพารามิเตอร์ W, L และ $D_1 - D_8$ (ระยะห่างระหว่างแต่ละอิลิเมนต์ )

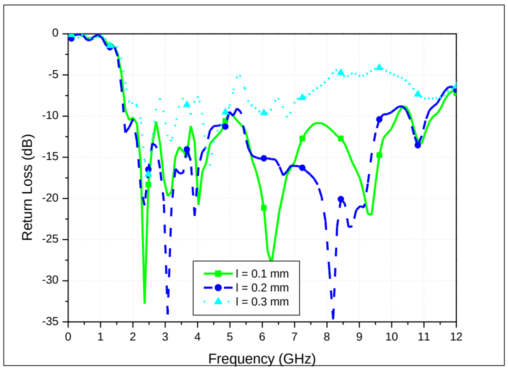
ตารางที่ 1 พารามิเตอร์ของโครงสร้างสายอากาศไดโพลล็อกพิริออดิก

| Parameter | length | Parameter | length | Parameter | length |
|---|---|---|---|---|---|
| W | 115 | L | 72.2 | D1 | 4.347 |
| W1 | 1.107 | L1 | 6.243 | D2 | 5.222 |
| W2 | 1.383 | L2 | 7.805 | D3 | 6.967 |
| W3 | 1.728 | L3 | 9.757 | D4 | 8.708 |
| W4 | 2.162 | L4 | 12.190 | D5 | 10.885 |
| W5 | 2.702 | L5 | 15.245 | D6 | 13.608 |
| W6 | 3.377 | L6 | 19.057 | D7 | 17.008 |
| W7 | 4.222 | L7 | 23.820 | D8 | 21.261 |
| W8 | 5.277 | L8 | 29.760 | | |
| W9 | 105 | L9 | 24 | | |
| W10 | 10 | | | | |

## 2.2 ผลการจำลองแบบ

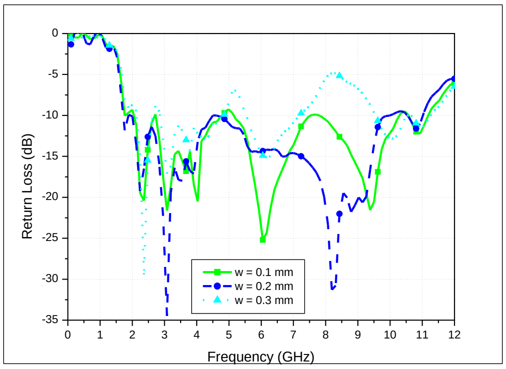
จากโครงสร้างของสายอากาศดังรูปที่ 1 ทำการวิเคราะห์โครงสร้างของสายอากาศด้วยโปรแกรม CST เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงของค่าความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับ (Return Loss) และอัตราการขยายของสายอากาศ พบว่าขนาดความกว้างและความยาวของอิลิเมนต์ มีผลต่อค่าการสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับของสายอากาศเป็นอย่างมาก ดังนั้นจึงได้ทำการวิเคราะห์อิลิเมนต์ต่างๆ เพื่อให้สายอากาศมีความถี่เรโซแนนท์ที่สามารถรองรับย่านความถี่ที่ต้องการใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุด

ซึ่งจากการวิเคราะห์อิลิเมนต์เพื่อการออกแบบสายอากาศได้ส่งผลกระทบให้ค่าความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับของสายอากาศยังมีค่ามากกว่า 10 dB ที่ช่วงความถี่ 4 GHz – 5.5 GHz และช่วงความถี่ 9.5 GHz – 10.5 GHz จึงต้องทำการวิเคราะห์ในขั้นตอนต่อไป โดยการวิเคราะห์อิลิเมนต์ต่างๆ เริ่มจากการวิเคราะห์ความยาวของทุกอิลิเมนต์ (L1 - L8)



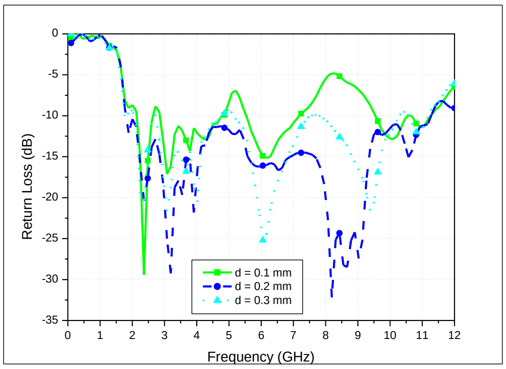

รูปที่ 2 การเปรียบเทียบค่าการสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับในการวิเคราะห์ความยาวของทุกอิลิเมนต์

รูปที่ 2 แสดงการวิเคราะห์ค่าการสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับโดยการเพิ่มความยาวให้ทุกอิลิเมนต์ (L1 – L8) โดยกำหนดค่า l เป็น 0.1 mm, 0.2 mm และ 0.3 mm ตามลำดับ จะเห็นว่า ค่าที่ l = 0.2 mm นั้น มีค่าสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับใกล้เคียงกับขอบเขตที่ต้องการ แต่ช่วงความถี่ 4.7 GHz ถึง 5.3 GHz มีค่าสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับยังสูงกว่า 10 dB จึงทำการวิเคราะห์ความกว้างของทุกอิลิเมนต์ (W1 – W8) ต่อไป




รูปที่ 3 เปรียบเทียบค่าการสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับ
ในการปรับความกว้างทุกอิลิเมนต์

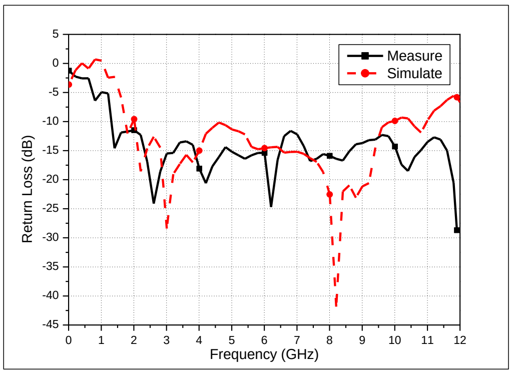
รูปที่ 3 แสดงการวิเคราะห์ค่าการสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับโดยการเพิ่มความกว้างให้ทุกอิลิเมนต์ (W1 – W8) โดยการกำหนดค่า w ให้ลดลง 0.1 mm, 0.2 mm และ 0.3 mm ตามลำดับ จะเห็นว่าค่าที่ w = 0.2 mm นั้น มีค่าการสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับมีค่าต่ำกว่า 10 dB ใกล้เคียงกับขอบเขตที่ต้องการ แต่ช่วงความถี่ 4.2 GHz ถึง 4.3 GHz ค่าการสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับมีค่าสูงกว่า 10 dB จึงได้ทำการเพิ่มระยะห่างของอิลิเมนต์ D4 ต่อไป




รูปที่ 4 เปรียบเทียบค่าการสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับ
ในการปรับระยะห่างของอิลิเมนต์ D4

รูปที่ 4 แสดงการเปรียบเทียบค่าการสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับในการปรับระยะห่างของอิลิเมนต์ D4 โดยการกำหนดค่า d ให้ลดลง 0.1 mm, 0.2 mm และ 0.3 mm ตามลำดับ จะเห็นว่า ค่าที่ d = 0.2 mm นั้นมีค่าสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับมีค่าต่ำกว่า 10 dB ตลอดช่วงความถี่ตั้งแต่ 1.7 GHz ถึง 9.7 GHz หรือเปอร์เซ็นต์แบนด์วิดท์ 140.35% มีอัตราการขยายของสายอากาศเฉลี่ย 4.18 dBi

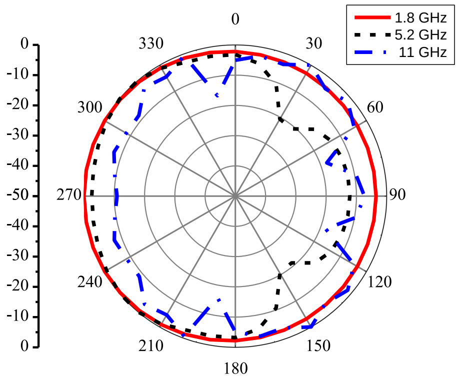
## 3. การทดสอบสายอากาศ



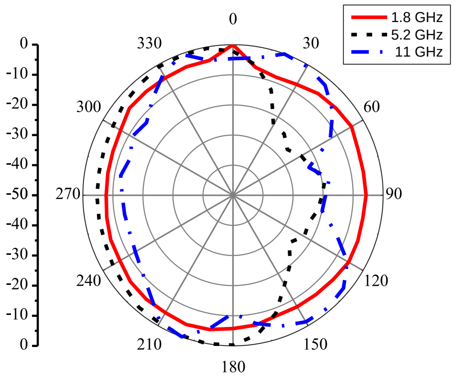

รูปที่ 5 ผลการจำลองแบบและการวัดทดสอบจริง

รูปที่ 5 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างผลการจำลองแบบโดยโปรแกรม CST และผลการวัดค่าการสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับจากเครื่อง PNA Network Analyzer จะเห็นว่าผลจากการวัดด้วยเครื่อง PNA Network Analyzer มีค่าสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับต่ำกว่า 10 dB ตลอดช่วงความถี่ตั้งแต่ 1.4 GHz ถึง 12 GHz หรือเปอร์เซ็นต์แบนด์วิดท์ 158.2% มีอัตราการขยายของสายอากาศเฉลี่ย 3.19 dBi

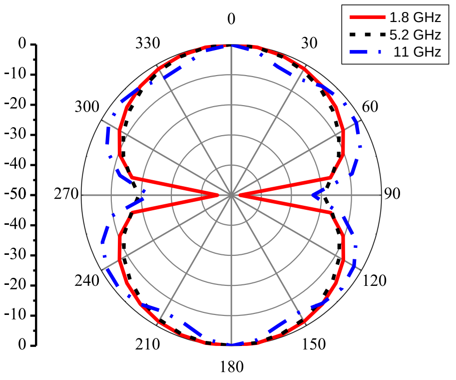
จากนั้นได้ทำการวัดรูปแบบการแผ่พลังงานที่ความถี่ 1.8 GHz., 5.2 GHz. และ 11 GHz. และนำผลการวัดที่ได้ ดังรูปที่ 7 และ รูปที่ 9 มาเปรียบเทียบกับผลการจำลองแบบ ดังรูปที่ 6 และ รูปที่ 8 ซึ่งจากผลการวัดทดสอบจริงในจะเห็นว่าการแผ่พลังงานของสายอากาศเป็นแบบทิศทางเดียว



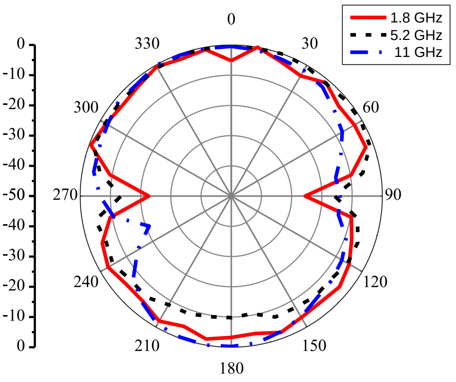

รูปที่ 6 ผลการจำลองในระนาบ X-Z ที่ความถี่ 1.8 GHz., 5.2 GHz. และ 11 GHz.




รูปที่ 7 ผลการวัดทดสอบในระนาบ X-Z ที่ความถี่ 1.8 GHz., 5.2 GHz. และ 11 GHz.




รูปที่ 8 ผลการจำลองในระนาบ Y-Z ที่ความถี่ 1.8 GHz., 5.2 GHz. และ 11 GHz.




รูปที่ 9 ผลการวัดทดสอบในระนาบ Y-Z ที่ความถี่ 1.8 GHz., 5.2 GHz. และ 11 GHz.

## 3. สรุป

สายอากาศไดโพลล็อกพิริออดิกบนแผ่นวงจรพิมพ์ FR4 ที่นำเสนอในบทความนี้ ได้นำเทคนิคเชิงประสบการณ์มาออกแบบสายอากาศสำหรับ WLAN/HSPA/LTE /UWB ซึ่งลักษณะการแผ่กระจายเป็นแบบทิศทางเดียวในระนาบสนามแม่เหล็ก (ระนาบ XZ) มีค่าไดอิเล็กทริก 4.3 ความสูงของวัสดุฐานรอง 0.8 mm และป้อนสายส่งไมโครสตริปที่มีความหนา 0.8 mm สายอากาศสามารถรองรับการใช้งานในช่วงความถี่ตั้งแต่ 1.4 GHz ถึง 12 GHz มีอัตราการขยายของสายอากาศเฉลี่ย 3.19 dBi

## เอกสารอ้างอิง

[1] Qiu Jinghui, Lin Sh Yaratng Cairian and You Qidi, "A Novel Printed Fractal Log - Periodic Dipole Antenna," International Conference on Microwave Electronics : Measurements, Identification, Applications, pp. 50 - 53, 2005.

[2] Ali Khaleghi, H. Sarbandi Farahani and I. Balasingham, "Impulse Radiating Log-Periodic Dipole Array Antenna Using Time -Reversal Technique," IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, Vol 10, pp. 967 – 970, 2011.

[3] Megha Dadel, K.P.Tiwary and S. Srivastava "Log Periodic Triangular Patch Array Antenna with Gap Coupled Feed," International Conference on Signal Processing and Communication (ICSC), pp.99 - 104, 2015.

[4] Grzegorz Adamiuk, Thomas Zwick, and Werner Wiesbeck, "UWB Antennas for Communication Systems," Proceedings of the IEEE, Vol. 100, pp. 2308 - 2321, 2012.

[5] Giovanni A. Casula, Paolo Maxia, Giuseppe Mazzarella, and Giorgio Montisci, "Design Of A Printed Log - Periodic Dipole Array For Ultra - Wideband Applications," Electromagnetics Research C, Vol. 38, 15-26, 2013.

นางสาวขวัญหทัย โพธิ์แจ้ง สำเร็จการศึกษา วศ.บ. วิศวกรรมสารสนเทศและการสื่อสาร, มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี ปัจจุบันกำลังศึกษาหลักสูตรวิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี งานวิจัยที่สนใจ Antenna Design

ดร. ไพฑูรย์ รักเหลือ สำเร็จการศึกษา อส.บ เทคโนโลยีเล็กทรอนิกส์ (เกียรตินิยมอันดับ 2), วศ.ม. วิศวกรรมสารสนเทศ และวศ.ด. วิศวกรรม ไฟฟ้า จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปัจจุบันเป็นอาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

# สายอากาศโมโนโพลทรงกลมแถบความถี่กว้างยิ่งกับเทคนิคการเจาะช่องกากบาท

# A Spherical Monopole Ultra-Wideband Antenna with Cross-Aperture Technique

**ปกรณ์เกียรติ์ เศวตเมธิกุล, ทวีศักดิ์ สุขเจริญทรัพย์, ชลดา ปานสง, ภัทรวรรณ ชุ่มสายันต์, อนุวัฒน์ แสนทวีสุข และ คัมภีร์ รุ่งกลิ่น**
ห้องปฏิบัติการวิจัยนวัตกรรมคลื่นความถี่สูงและการประยุกต์ ภาควิชาครุศาสตร์อุตสาหกรรม
คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
39 หมู่ 1 ถนนรังสิต-นครนายก ตำบลคลองหก อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 12110 โทรศัพท์ 02-549-4750, 4751
E-mail: pkkt@rmutt.ac.th, taweesak_s@rmutt.ac.th, chollada_p@rmutt.ac.th

## บทคัดย่อ

บทความนี้ นำเสนอสายอากาศโมโนโพลทรงกลมสำหรับการประยุกต์ด้านแถบความถี่กว้างยิ่ง ตัวแพร่กระจายคลื่นทำจากทองแดงทรงกลมที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 28 มิลลิเมตร ที่มีการเจาะช่องกากบาทในแนวนอน ซึ่งถูกเชื่อมต่อกับระนาบกราวด์ทรงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 70 มิลลิเมตร โดยระยะห่างระหว่างตัวแพร่กระจายคลื่นและระนาบกราวด์ เท่ากับ 1 มิลลิเมตร สำหรับเทคนิคการช่องเจาะกากบาทที่ใช้ มีผลทำให้ได้คุณสมบัติของแถบความถี่กว้างยิ่งที่ความถี่ 3.1 – 10.6 กิกะเฮิรตซ์ ค่าอัตราส่วนแรงดันคลื่นนิ่ง ต่ำกว่า 1.72 และอัตราขยายมากกว่า 1.36

คำสำคัญ: สายอากาศ, โมโนโพล, แถบความถี่กว้างยิ่ง

## Abstract

This paper proposes a spherical monopole antenna for ultra-wideband application. The antenna radiator was made of a 28 mm-dia. spherical copper having a cross-aperture on horizontal axis, which was connected to a 70 mm-dia. circular ground plane at a distance of 1 mm. The cross-aperture technique was employed in order to achieve an ultra-wide band at 3.1 – 10.6 GHz, VSWR at less than 1.72 and gain at more than 1.36.

Keywords: antenna, monopole, ultra-wideband

## 1. บทนำ

เนื่องจากการเจริญเติบโตของความต้องการใช้ระบบสื่อสารไร้สายในปัจจุบันที่เพิ่มขึ้นอย่างมาก ทำให้ช่องสัญญาณที่มีใช้อยู่ไม่สามารถรองรับกับความต้องการที่สูงมากยิ่งขึ้นได้ ด้วยเหตุนี้ จึงได้มีการศึกษาแถบความถี่กว้างยิ่ง เรียกว่า “อัลตราไวด์แบนด์ (Ultra-wideband)” เกิดขึ้นและได้กำหนดเป็นมาตรฐาน IEEE 802.15.3a ซึ่งครอบคลุมย่านความถี่ 3.1 - 10.6 GHz โดยใช้กำลังในการสื่อสารเพียง -41.3 dBm/MHz เท่านั้น [1], [2] สำหรับย่านแถบความถี่กว้างยิ่งนี้ เหมาะสำหรับการสื่อสารระยะใกล้ เช่น เครือข่ายภายในบ้าน (HAN) หรือเครือข่ายส่วนบุคคล (PAN) เป็นต้น แต่ในขณะเดียวกัน ก็สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานด้านเรดาร์อิมเมจด้วย [3], [4] ปัจจุบันนี้เอง เทคโนโลยีแถบกว้างยิ่ง กำลังได้รับความนิยมอย่างมาก เนื่องด้วยข้อดีหลายประการ ได้แก่ ความสามารถในการแบ่งปันสเปคตรัม ความจุช่องสัญญาณสื่อสารสูง สามารถสื่อสารในสภาวะอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนที่ต่ำได้ดี อัตราความผิดพลาดในการตรวจจับสัญญาณด้านรับต่ำ ทนต่อการถูกรบกวนแทรกแซงได้ดี ประสิทธิภาพในการรับสัญญาณหลายเส้นทาง คุณสมบัติการทะลุทะลวงอุปสรรค และระบบวงจรรับ-ส่งที่ไม่ซับซ้อน [5], [6]

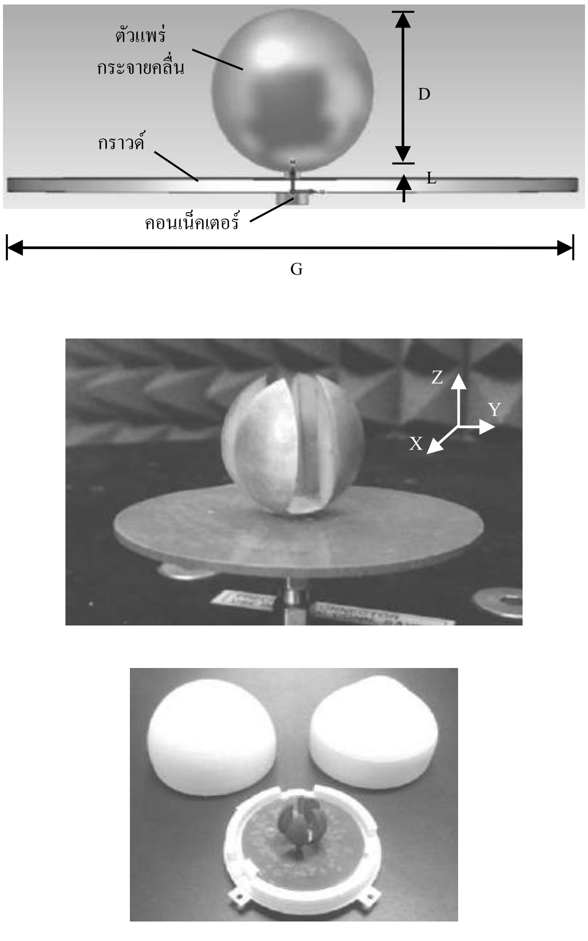
ด้วยเหตุนี้ คณะผู้วิจัยจึงให้ความสนใจสายอากาศแบบแพร่กระจายรอบทิศทาง (Omni-directional) เนื่องจากความจำเป็นของการสื่อสารระยะใกล้ของเครือข่ายภายในบ้านหรือเครือข่ายส่วนบุคคลจะเน้นไปที่การสื่อสารรอบทิศทาง โดยในช่วงหลายปีที่ผ่านมา สายอากาศแถบกว้างยิ่งได้มีการศึกษาและพัฒนาบนโครงสร้างระนาบและโมโนโพลมาบ้าง [7 - 13] แต่สายอากาศโครงสร้างโมโนโพลจะได้รับความสนใจมากกว่า เนื่องจากเป็นโครงสร้างที่เอื้อต่อการแพร่กระจายคลื่นแบบรอบทิศทางได้ดี โดยสายอากาศโมโนโพลแบบแรกๆ ได้แก่ สายอากาศรูปควันภูเขาไฟ (Volcano smoke antenna) ซึ่งถูกนำเสนอในปี พ.ศ. 2488 แต่สายอากาศรูปแบบนี้ ยังมีข้อจำกัดด้านความยากในการสร้างและประสิทธิภาพของอัตราส่วนคลื่นนิ่งที่สูงเกินไป ในเวลาต่อมา ได้มีการพัฒนาสายอากาศที่คล้ายคลึงกัน แต่เป็นรูปดวงตา (Eye-shaped antenna) ขึ้น ซึ่งมีข้อดีด้านแถบความถี่ที่กว้าง คือ 3.1 – 20 GHz และมีอัตราขยายที่สูง ราว 3.5 – 9.3 แต่ลักษณะการแพร่กระจายคลื่นจะเป็นแบบทิศทางเดียว (Directional) สำหรับสายอากาศในรูปแบบอื่นๆ เช่น สายอากาศหลายใบมีดรูปทรงกลม (Multi-circular blades

antenna) เป็นสายอากาศที่มีประสิทธิภาพดีในด้านแบนด์วิดธ์ ประสิทธิผล และรูปแบบการแพร่กระจายคลื่น สำหรับสายอากาศแบบสุดท้ายที่ได้ทำการศึกษา คือ สายอากาศทรงกลม ที่ได้เคยศึกษาการปรับแต่งแบนด์วิดธ์ และมีอิมพีแดนซ์ของสายอากาศที่ใกล้เคียง 50 โอห์ม

สำหรับบทความวิจัยนี้ ได้ทำการศึกษาและพัฒนาสายอากาศทรงกลมที่ได้เคยทำการศึกษามา โดยได้พัฒนาเพิ่มเติมด้วยการเจาะช่องกากบาทในระนาบแกนนอน รายละเอียดของการศึกษาและพัฒนาตลอดจนผลการทดสอบประสิทธิภาพของสายอากาศ ได้ถูกนำเสนอแล้วในหัวข้อถัดไป

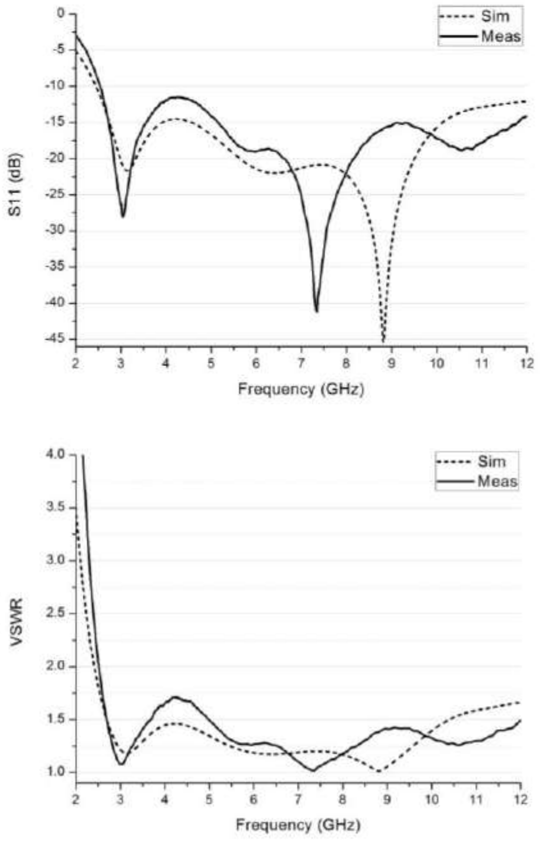
## 2. สายอากาศต้นแบบ

ดังที่ได้กล่าวในตอนต้นแล้วว่า คณะผู้วิจัยให้ความสนใจศึกษาสายอากาศโมโนโพลรูปทรงกลม ซึ่งมีคุณลักษณะที่เอื้อต่อการแพร่กระจายคลื่นรองทิศทาง โดยรูปแบบสายอากาศทรงกลมที่ศึกษาแสดงดังรูปที่ 1




**รูปที่ 1** ต้นแบบสายอากาศทรงกลมกับเทคนิคการเจาะช่องกากบาท

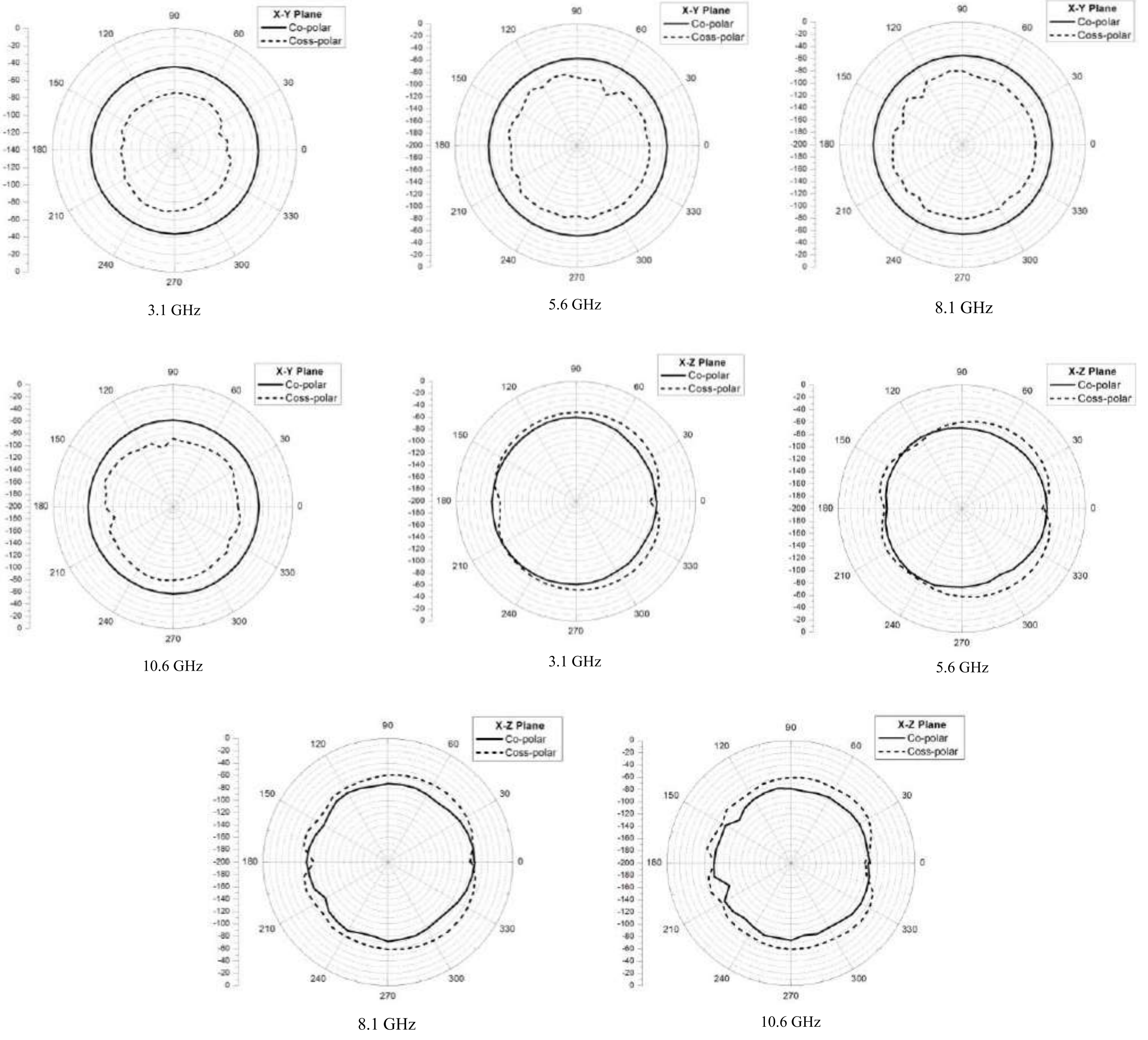
จากรูปที่ 1 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของตัวแพร่กระจายคลื่นรูปทรงกลม (D) ขนาด 28 มิลลิเมตร (ทำจากทองแดง) และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของระนาบกราวด์วงกลม (G) เท่ากับ 70 มิลลิเมตร (RT/Duriod #5880) สำหรับระยะห่างระหว่างตัวแพร่กระจายคลื่นและกราวด์ (L) เท่ากับ 1 มิลลิเมตร ในที่นี้ ทำการเจาะช่องกากบาทในแนวนอนของตัวแพร่กระจายคลื่น กว้าง 8 มิลลิเมตร โดยความลึกของการเจาะช่องจากผิวด้านบนของทรงกลม เป็น 26.4 มิลลิเมตร สำหรับผลการคำนวณและผลการวัดประสิทธิภาพสายอากาศด้านสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับ (Reflection coefficient, $S_{11}$) และค่าแรงดันคลื่นนิ่ง (VSWR) ได้แสดงดังรูปที่ 2




**รูปที่ 2** เปรียบเทียบประสิทธิภาพของสายอากาศด้านสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับ (Reflection coefficient, $S_{11}$) และอัตราส่วนแรงดันคลื่นนิ่ง (VSWR) ของผลการคำนวณและผลการวัด

ข้อสังเกตจากการศึกษา พบว่า การเพิ่มขนาดและความลึกของช่องเจาะกากบาทจะมีส่วนช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของสายอากาศได้ดียิ่งขึ้น โดยในที่นี้ ค่าความกว้างของช่องเจาะกากบาทที่เหมาะสม คือ 8 มิลลิเมตร นอกจากนี้ ยังได้มีการวัดรูปแบบการแพร่กระจายคลื่น (Radiation pattern) ทั้งรูปแบบ Cross-polarization และ Co-polarization

ดังแสดงในรูปที่ 3 โดยทำการวัดที่ความถี่ 3.1, 5.6, 8.1 และ 10.6 GHz โดยจากรูป จะได้รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นแบบรอบทิศทางทั้งระนาบ XY และ XZ เป็นไปตามเป้าประสงค์ของการประยุกต์ใช้กับเครือข่ายส่วนบุคคล/ภายในบ้านที่ต้องการทิศทางการแพร่กระจายคลื่นแบบรอบทิศทาง




**รูปที่ 3** รูปแบบการแพร่กระจายคลื่น (Radiation pattern) ของสายอากาศต้นแบบที่นำเสนอ

## 3. สรุปผลและบทวิเคราะห์

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาและพัฒนาสายอากาศแถบกว้างยิ่งด้วยโครงสร้างสายอากาศแบบโมโนโพลรูปทรงกลม ซึ่งเป็นโครงสร้างที่เอื้อต่อการพัฒนาสายอากาศแถบกว้างยิ่ง โดยได้มีการปรับปรุงค่าประสิทธิภาพของสายอากาศด้วยการเพิ่มช่องเจาะกากบาท เพื่อให้ได้ค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งต่ำกว่า 1.72 และอัตราขยายมากกว่า 1.36 dBi นอกจากนี้ รูปแบบการแพร่กระจายยังเป็นแบบรอบทิศทางด้วย ซึ่ง

## 4. กิตติกรรมประกาศ

ทุนสนับสนุนการวิจัย จากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) งบประมาณแผ่นดิน ประจำปี 2557 รหัสโครงการวิจัย 145544 โครงการวิจัย เรื่อง “การพัฒนาสายอากาศแถบกว้างยิ่งสำหรับเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายรูปแบบใหม่เพื่อการแข่งขันด้านการวิจัยและพัฒนาอุปกรณ์โทรคมนาคมในภูมิภาคอาเซียน” และการสนับสนุนเครื่องมือวัดรูปแบบการแพร่กระจายคลื่น โดยภาควิชาวิศวกรรม

อิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

## เอกสารอ้างอิง

[1] K. Mandke, H. Nam, L. Yerramneni and C. Zuniga, “The evolution of UWB and IEEE 802.15.3a for very high data rate WPAN,” May 6, 2003.

[2] J. Silverstrim, “IEEE ultrawideband presentation,” Oct. 21, 2003.

[3] T. W. Baretti, “History of ultrawideband radar & communicat-ions: pioneer and innovators,” PIERS2000, Cambridge, CA., Jul. 2000.

[4] J. D. Taylor. Ultrawideband Radar: Applicatoins and Design. Boca Roton: CRC Press, 2012.

[5] F. Nekoogar. Ultra-Wideband Communications: Fundamentals and Applications. Ch. 1. Prentice Hall, 2005.

[6] L. E. Miller, “A review of ultrawideband technology,” Report to NETEX Project Office, DARPA, Apr. 2003.

[7] W. K. Toh, Z. N. Chen and X. Qing, “A planar UWB antenna with a broadband feeding strucrure,” IEEE Trans. Ant. Propaga., vol. 57, no. 7, pp. 2172-2175, Jul. 2009.

[8] A. Foudazi, H. R. Hassani and S. M. A. Nezhad, “Small UWB planar monopole antenna with added GPS/GSM/WLAN bands,” IEEE Trans. Ant. Propaga., vol. 60, no. 6, pp. 2987-2992, Jun. 2012.

[9] C. M. Dikmen, S. Cimen and G. Cakir, “Planar octogonal-shaped UWB antenna with reduced radar cross section,” IEEE Trans. Ant. Progapa., vol. 62, no. 6, pp. 2946-2953, Jun. 2104.

[10] L. Paulsen, J. B. West, W. F. Perger and J. D. Kraus, “Recent investigations on the volcano smoke antenna,” IEEE Intl. Symp. Ant. Propaga. Society, vol.3, pp. 845-848, Jun. 2003.

[11] A. Alipour and H. R. Hassanni, “A novel omni-directional UWB monopole antenna,” IEEE Trans. Ant. Propaga., vol. 56, no. 12, pp. 3854-3857, Dec. 2008.

[12] G.-Y. Chen, J.-S. Sun, S.-Y. Huang, Y. D. Chen and C.-H. Lin, “Characteristics of UWB antenna and wave propagation,” Intl. Symp. Intellig. Sign. Proces. & Commun. Syst., pp. 713-716, Hongkong, Dec. 2005.

[13] T. Suzuki, K. Shibata, S. Theerawisitpong and Y. Watanabe, “Analyses of UWB spherical monopole antenna by simulation,” ISAP 2007, pp. 254-257, Oct. 2007.

**ปกรณ์เกียรติ์ เศวตเมธิกุล** (ชื่อ-สกุล เดิม สมบูรณ์ ธีรวิสิฐพงศ์) จบการศึกษา ค.อ.บ. วิศวกรรมไฟฟ้า-สื่อสาร จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี เมื่อปี พ.ศ. 2540 การศึกษา วศ.ม. วิศวกรรมไฟฟ้า-สื่อสาร จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ เมื่อปี พ.ศ. 2548 และการศึกษา D.Eng. วิศวกรรมไฟฟ้า จาก Nippon Institute of Technology เมื่อปี พ.ศ. 2553 ความเชี่ยวชาญและงานวิจัยที่สนใจ ได้แก่ ระบบการสื่อสาร การสื่อสารใยแก้วนำแสง ระบบไมโครเวฟ การออกแบบวงจรความถี่สูง การทดสอบแบบไม่ทำลายด้วยคลื่นความถี่สูง และคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าประยุกต์

**ทวีศักดิ์ สุขเจริญทรัพย์** จบการศึกษา ค.อ.บ. วิศวกรรมไฟฟ้า-สื่อสาร จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี เมื่อปี พ.ศ. 2540 และการศึกษา ค.อ.ม. วิศวกรรมไฟฟ้า จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี เมื่อปี พ.ศ. 2549 ความเชี่ยวชาญและงานวิจัยที่สนใจ ได้แก่ วงจรอิเล็กทรอนิกส์อนาล็อก และสื่อสารเรียนการสอนทางวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

**ชลดา ปานสง** จบการศึกษา ค.อ.บ. วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม จากสถาบันเทคโนโลยีราชมงคล เมื่อปี พ.ศ. 2545 และการศึกษา ค.อ.ม. วิศวกรรมไฟฟ้า-สื่อสาร จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เมื่อปี พ.ศ. 2551 ความเชี่ยวชาญและงานวิจัยที่สนใจ ได้แก่ วงจรสื่อสารอนาล็อกและดิจิตอล สื่อการเรียนการสอนทางวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม

**ภัทรวรรณ ชุ่มสายันต์** กำลังศึกษาระดับปริญญาตรี ชั้นปีที่ 4 หลักสูตร ค.อ.บ. วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม

**อนุวัฒน์ แสนทวีสุข** กำลังศึกษาระดับปริญญาตรี ชั้นปีที่ 4 หลักสูตร ค.อ.บ. วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม

**คัมภีร์ รุ่งกลิ่น** กำลังศึกษาระดับปริญญาตรี ชั้นปีที่ 4 หลักสูตร ค.อ.บ. วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม

# การออกแบบและสร้างสายอากาศตัวสะท้อนพาราโบลอยด์

# Design and Fabricate the Reflector Paraboloid Antenna

**นพพล ปามูล[1] สุธาสินี นาวี[1] นิพนธ์ เลิศมโนกุล[2] และ ระพินทร์ ขัดปิก[2]**
[1]สาขาวิชาเทคโนโลยีโทรคมนาคม [2]สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
128 ถ.สุเทพ ต.ช้างเผือก อ.เมือง จ.เชียงใหม่ 50300 โทรศัพท์: 053-921444 # 2111 E-mail: rapin56_1@hotmail.com

## บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการพิจารณาฟีดฮอร์นวงกลมที่ทำหน้าที่กระตุ้นสัญญาณให้กับสายอากาศตัวสะท้อนพาราโบลอยด์ โดยฟีดฮอร์นวงกลมได้พิจาณาค่าความยาวฟีดฮอร์น ระยะห่างระหว่างช่องเปิดถึงจุดกระตุ้น ระยะยาวของโพรบทุกอย่างที่พอเหมาะเพื่อจะนำไปกระตุ้นสัญญาณให้สายอากาศตัวสะท้อนพาราโบลอยด์แล้วหาค่าระยะอัตราส่วนโฟกัสต่อเส้นผ่านศูนย์กลางช่องเปิดสายอากาศพาราโบลอยด์ (*F/D*) ที่เหมาะสมคือ 0.36 โดยกำหนดให้ความกว้างสายอากาศตัวสะท้อนเท่ากับ 50 ซม. โดยมีอัตราขยายจากการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์เท่ากับ 26.9 *dBi* ค่าอัตราสูญเสียย้อนกลับจากการทดสอบ -23 *dB* มีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแบบทิศทางเดียว

คำสำคัญ: สายอากาศตัวสะท้อนพาราโบลอยด์, ฟีดฮอร์นวงกลม, ระยะโฟกัสต่อเส้นผ่านศูนย์กลางช่องเปิดสายอากาศพาราโบลอยด์

## Abstract

This paper presents the feed horn circular that feeds the signal to the parabolic reflector antenna. This also shows the length of the feed horn circular , the distance between the excited point to circular aperture feed horn and the range of probe are optimized for feeding to the parabolic reflected antenna. Further, the ratio of *F/D* is a very important parameter and it is in a good range at 0.36. This paper also determines the diameter at 50 *cm*., simulation gain is 26.9 *dBi*, experiment return loss is -23 *dB* and the radiation pattern is directional beam.

Keywords: parabola reflector antenna, circular feed horn, high gain, ratio *F/D*

## 1. บทนำ

สายอากาศเป็นการนำความรู้ด้านวิศวกรรมแม่เหล็กไฟฟ้ามาใช้ประโยชน์ได้สูงสุด เพราะช่วยให้การสื่อสารไร้สายเข้าถึงมนุษย์ได้มากและทำให้การใช้ชีวิตสะดวกสบายยิ่งขึ้น ความถี่ท้องถิ่นไร้สาย (Wireless LAN) ที่ใช้กันมีสองย่านคือ 2.4 *GHz* และ 5.8 *GHz* ในบทความนี้จะนำเสนอสายอากาศที่ทำการเชื่อมต่อ (Link) ระหว่างจุดสองจุด (Point to point communication) ที่ความถี่ 5.8 *GHz* ด้วยสายอากาศตัวสะท้อนพาราโบลอยด์ เพราะสายอากาศประเภทนี้จะให้อัตราขยายสูง มีแถบความถี่กว้าง และเหมาะกับการใช้งานด้านความถี่ย่านไมโครเวฟ [1]

โดยทั่วไปสายอากาศประเภทนี้จะประกอบด้วยตัวสะท้อนและตัวฟีด มักจะมีอัตราขยายสูงๆ ($\cong$ 50 *dBi*) ซึ่งอาจจะต้องให้เส้นผ่านศูนย์กลางตัวสะท้อนพาราโบลอยด์มีค่าหลายเท่าของค่าความยาวคลื่น ($\cong$ 100 $\lambda$) ถ้าเป็นสายอากาศตัวสะท้อนที่ใช้สำหรับความถี่ต่ำอาจมีรูแต่ขนาดของรูต้องน้อยกว่า $\lambda/16$ จะช่วยให้ไม่ต้านลม ลดน้ำหนักได้

## 2. คำนวณและออกแบบสายอากาศ

### 2.1 ฟีดฮอร์นวงกลม

ฟีดฮอร์นวงกลมเป็นสายอากาศทรงกระบอกกลมที่ออกแบบให้ได้ค่าที่เหมาะสม (optimal) ที่ความถี่ 5.8 *GHz* โดยมีค่ารัศมีของฟีดฮอร์นวงกลม ($a$) ดังสมการที่ (1) และค่าความยาวคลื่นในท่อนำคลื่นวงกลม ($\lambda_g$) หาได้จากดังสมการที่ (2)

$$0.293\lambda < a < 0.486\lambda \tag{1}$$

$$\lambda_g = \frac{1}{\sqrt{1-\left(\lambda/\lambda_c\right)^2}} \; ; \lambda_c = 3.412a \tag{2}$$

$\lambda_c$ คือ ค่าความยาวคลื่นตัด (cut off wavelength) ของทรงกระบอก [1]

### 2.2 สายอากาศตัวสะท้อนและฟีดฮอร์นวงกลม

สายอากาศใช้งานที่ความถี่ 5.8 *GHz* โดยต้องการให้มีการสื่อสารแบบจุดต่อจุด ต้องออกแบบสายอากาศที่มีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแบบทิศทางเดียวเพื่อให้ได้ระยะที่ไกล ในบทความนี้จะพิจารณาสายอากาศพาราโบลอยด์เพราะให้แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นและอัตราขยายสูงตามที่ต้องการ

สิ่งที่ต้องพิจารณาจะเริ่มจากฟีดฮอร์นวงกลม ซึ่งจะต้องมีความสัมพันธ์กับระยะโฟกัสของสายอากาศพาราโบลอยด์ และระยะความกว้าง ($D$) ของสายอากาศตัวสะท้อนพาราโบลอยด์ดังสมการที่ (3)

$$H = \frac{D^2}{16F} \tag{3}$$

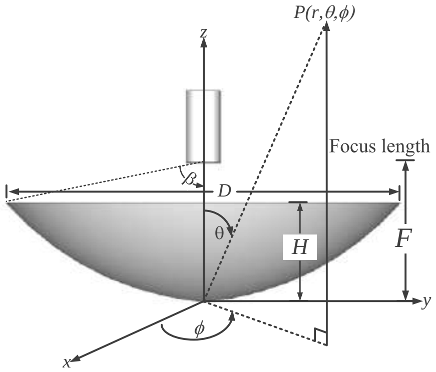
$$\frac{F}{D} = \frac{1}{4\tan(\beta)} \tag{4}$$

เมื่อ $F$ คือ ความยาวโฟกัสของสายอากาศตัวสะท้อนพาราโบลอยด์

$D$ คือ ความกว้างของสายอากาศตัวสะท้อนพาราโบลอยด์

$H$ คือ ความลึกระหว่างจุดยอดถึงขอบสายอากาศพาราโบลอยด์

$\beta$ คือ มุมระหว่างขอบของสายอากาศพาราโบลอยด์กับจุดโฟกัส

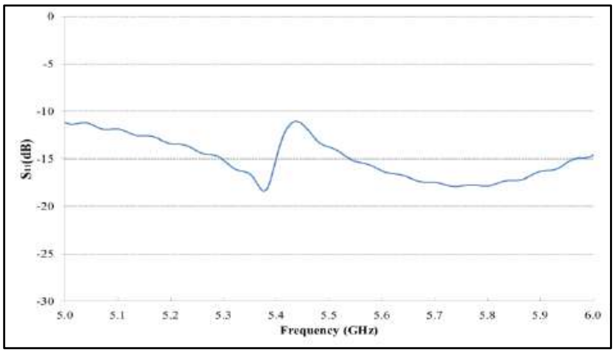



รูปที่ 1 โครงสร้างสายอากาศตัวสะท้อนพาราโบลอยด์

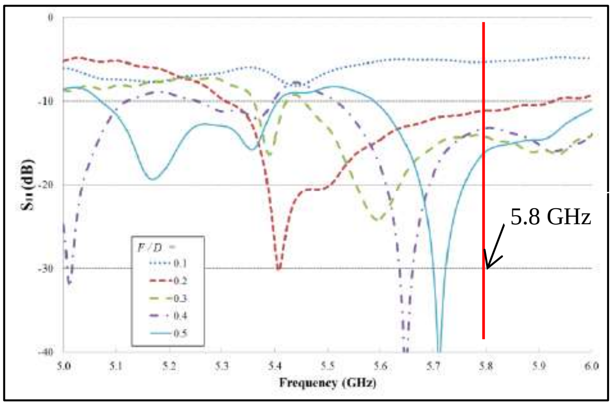
กำหนดให้ความกว้างของสายอากาศพาราโบลอยด์มีค่าเท่ากับ 50 ซม. จึงได้ค่าความสูง $H$ ดังสมการที่ (3) โดยค่าโฟกัสนั้นจะขึ้นอยู่กับการกำหนดค่า *F/D* [2] ซึ่งก็จะส่งผลต่อความลึกของสายอากาศตัวสะท้อนพาราโบลอยด์ $H$ ด้วย [3]

## 3. ผลการจำลอง

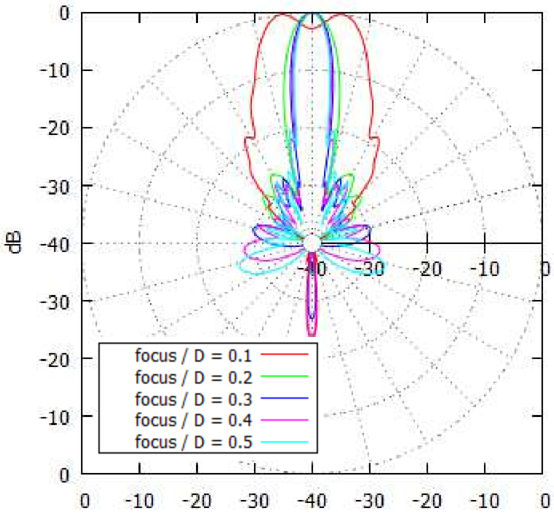
รัศมีของฟีดฮอร์นวงกลมเท่ากับ $0.3\lambda$ โดยความยาวฟีดฮอร์นวงกลมมีค่าเท่ากับ $3\lambda_g/4$ ระยะห่างจากจุดกระตุ้นกับช่องเปิดมีค่าเท่ากับ $\lambda_g/2$ และความยาวโพรบ $\lambda/4$ จะเป็นเงื่อนไขเริ่มต้นสำหรับฟีดฮอร์นวงกลมได้แสดงอัตราการสูญเสียย้อนกลับดังรูปที่ 2 ซึ่งจะเห็นได้ว่าจะสามารถครอบคลุมความถี่ได้ตั้งแต่ 5 *GHz* ถึง 6 *GHz* โดยค่าอัตราสูญเสียย้อนกลับมีค่าเฉลี่ยน้อยกว่า -15 *dB* และสำหรับสายอากาศตัวสะท้อนพาราโบลอยด์กำหนดให้เส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ *D* = 50 ซม. ซึ่งจะเริ่มหาค่าความยาวโฟกัสด้วยการเปลี่ยนแปลงค่า *F/D* [2] โดยจะได้ค่าอัตราสูญเสียย้อนกลับดังรูปที่ **3** จากผลการจำลองทำให้ทราบว่า *F/D* ที่ 0.1 นั้นไม่สามารถตอบสนองความถี่ที่ต้องการได้เลย สำหรับ *F/D* ที่เหมาะสมมีหลายระยะตั้งแต่ 0.2 – 0.5 แต่แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นดังรูปที่ 4 นั้นจะเห็นได้ว่า *F/D* ที่เหมาะสมนั้นคือ 0.3 และ 0.4 เพราะมีโลบข้างน้อยและขนาดต่ำ สำหรับ 0.2 และ 0.5 มีโลบข้างจำนวนมากและขนาดสูง อีกทั้งจากรูปที่ **5** ก็จะเห็นว่าอัตราขยายของสายอากาศระหว่าง *F/D* 0.3 ถึง 0.5 มีค่าใกล้เคียงกัน เพราะฉะนั้นจากรูปที่ 4 และรูปที่ **5** ก็สามารถสรุปได้ว่า *F/D* ที่เหมาะสมที่สุดจะอยู่ระหว่าง 0.3 – 0.4



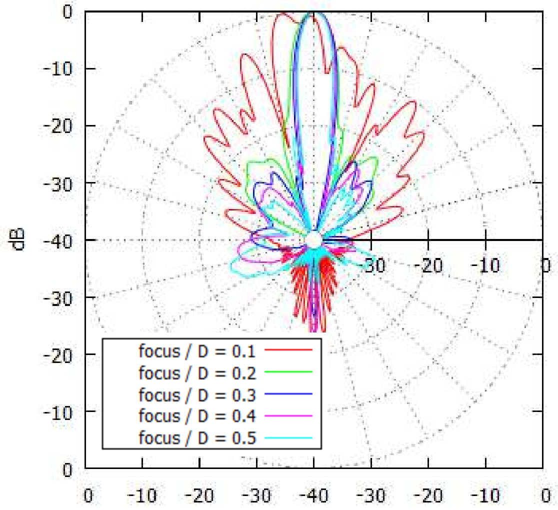

รูปที่ 2 อัตราสูญเสียย้อนกลับของฟีดฮอร์นวงกลม




รูปที่ **3** ค่าอัตราสูญเสียย้อนกลับต่อค่า *F/D*

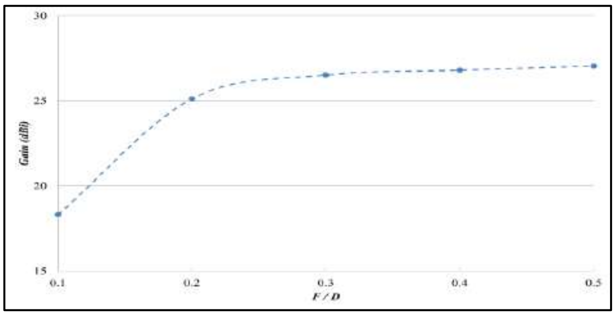



(ก) ระนาบสนามแม่เหล็ก



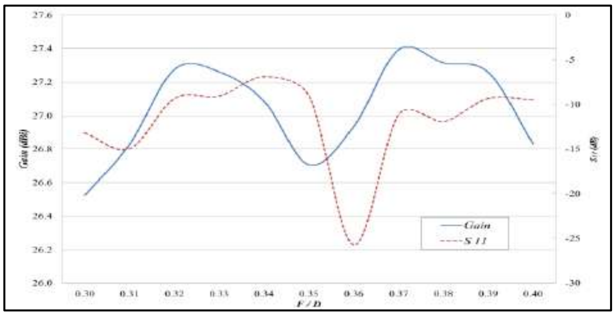

(ข) ระนาบสนามไฟฟ้า

รูปที่ 4 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น เมื่อเปลี่ยนแปลงค่า *F/D*

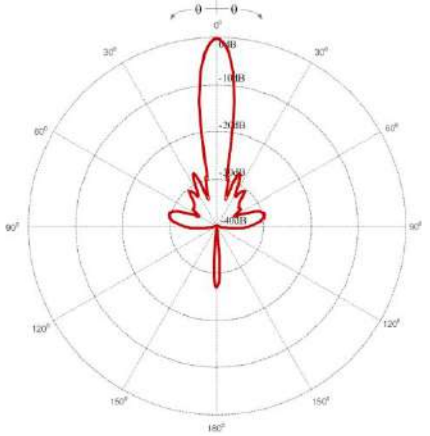



รูปที่ 5 อัตราขยาย

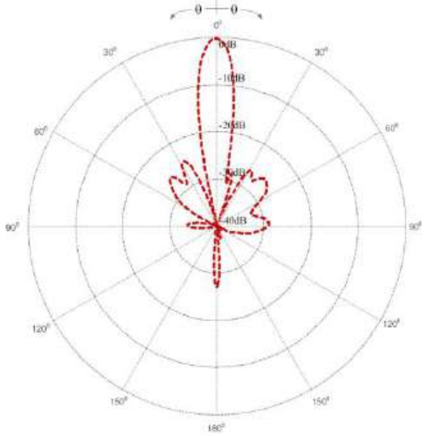
จากนั้นหาค่า *F/D* อย่างละเอียดดังรูปที่ 6 จะเห็นได้ว่า *F/D* ที่เหมาะสมที่สุดคือ 0.36 ซึ่งมีค่าอัตราสูญเสียย้อนกลับน้อยกว่า -25 *dB* และมีอัตราขยาย 26.9 *dBi* ทำให้ได้มุมระหว่างฟีดฮอร์นวงกลมกับขอบสายอากาศตัวสะท้อนจาก (4) มีค่าเท่ากับ $\beta = 34.77^{\circ}$ รูปที่ 7 (ก) เป็นแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นสนามแม่เหล็กที่ลักษณะสมมาตรกันมีโลบหลังน้อยกว่า 15 dB และ (ข) ระนาบสนามไฟฟ้ามีโลบหลังเท่ากับระนาบสนามแม่เหล็กแต่มีลักษณะลำคลื่นไม่สมมาตรอาจเนื่องมากจากตำแหน่งนี้มีโพรบกระกระตุ้นสัญญาณในฟีดฮอร์นวงกลมอยู่




รูปที่ 6 อัตราขยายและค่าอัตราสูญเสียย้อนกลับ เมื่อเปลี่ยนค่า *F/D*



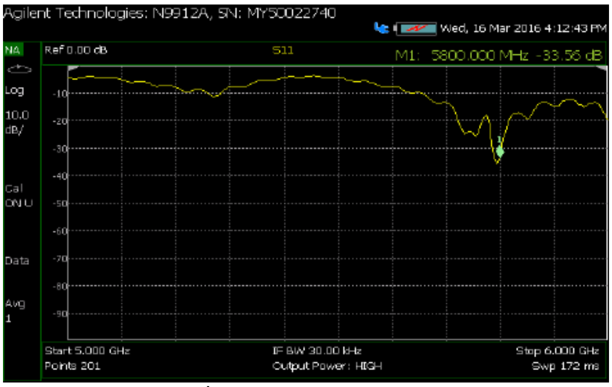
(ก) ระนาบสนามแม่เหล็ก



(ข) ระนาบสนามไฟฟ้า

รูปที่ 7 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นสายอากาศตัวสะท้อนพาราโบลอยด์

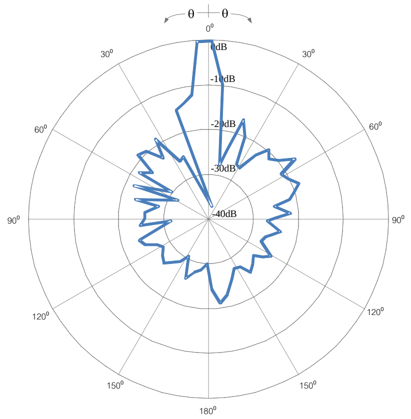
## 4. ผลการทดลอง



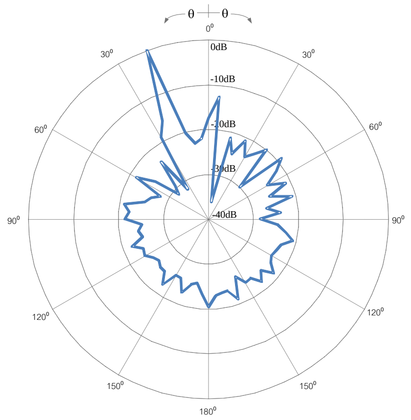

รูปที่ 8 ค่าอัตราสูญเสียย้อนกลับ

รูปที่ 8 เป็นผลการวัดอัตราสูญเสียย้อนกลับด้วยเครื่องวิเคราะห์วงจรข่ายยี่ห้อ Agilent Technologies รุ่น N9912A ซึ่งจะเห็นได้ว่าที่ความถี่ที่ได้ออกแบบไว้ (5.8 *GHz*) จะให้ผลตอบสนองดีที่สุดคือ -33.56 *dB* มีแถบความถี่ (Bandwidth) มากกว่า 350 MHz รูปที่ 9 (ก) เป็นแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามแม่เหล็กที่มีลำคลื่นหลัก $\theta = 0^{\circ}$ มี ลำ

คลื่นด้านข้างบ้างเล็กน้อยที่มุม $\theta = 20^\circ$ โดยโลบหลังยังคงน้อยกว่า -20 *dB* รูปที่ 9 (ข) เป็นแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามไฟฟ้า จะมีลำคลื่นหลักที่ $\theta = 20^\circ$ โดยที่มุม $\theta = 5^\circ$ จะมีโลบข้าง แต่เนื่องจากผลการทดสอบได้ทำในที่โล่งแจ้งอาจมีผลของคลื่นความถี่ที่ไม่ต้องการเข้ารบกวนในระบบ และเนื่องจากสนามระยะไกลของสายอากาศจะมีระยะมากกว่า 10 เมตร จำเป็นต้องใช้สายนำสัญญาณค่อนข้างยาวอาจเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ทำให้ผลการทดลองคลาดเคลื่อนจากผลการจำลอง รูปที่ **10** เป็นโครงสร้างสายอากาศตัวสะท้อนพาราโบลอยด์ที่สร้างพารามิเตอร์ค่าต่างๆ




(ก) ระนาบสนามแม่เหล็ก




(ข) ระนาบสนามแม่เหล็ก

รูปที่ 9 ผลการวัดแบบรูปการแพร่กระจายคลื่น

รูปที่ 10 โครงสร้างสายอากาศตัวสะท้อนพาราโบลอยด์พร้อมฟีดฮอร์นวงกลม

## 5. สรุป

คุณลักษณะทางไฟฟ้าของฟีดฮอร์นวงกลม มีค่าอัตราสูญเสียย้อนกลับเฉลี่ยน้อยกว่า -15 *dB* ตลอดย่านความถี่ 5 – 6 *GHz* มีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแบบทิศทางเดียว จากนั้นนำฟีดฮอร์นวงกลมนี้กระตุ้นสัญญาณให้กับสายอากาศตัวสะท้อน โดยได้กำหนดให้สายอากาศตัวสะท้อนมีความกว้างของเส้นผ่านศูนย์กลางยาวเท่ากับ 50 ซม. แล้วเริ่มพิจารณาค่า *F/D* โดยค่าที่เหมาะสมคือ 0.36 ซึ่งจะได้อัตราสูญเสียย้อนกลับจากผลการวัดเท่ากับ -33.56 *dB* ณ.ความถี่ 5.8 *GHz* โดยมีอัตราขยายสูงสุดของผลการจำลองคือ 27.4 *dBi*

## 6. กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากงบประมาณโครงการยกระดับปริญญานิพนธ์เป็นงานวิจัยตีพิมพ์ งานสร้างสรรค์ และงานบริการวิชาการสู่ชุมชน ประจำปี 2558

## เอกสารอ้างอิง

[1] ระพินทร์ ขัดปิก ชูวงค์ พงษ์เจริญพาณิชย์ สมผล โกศัลวิตร์, การวิเคราะห์สายอากาศช่องเปิดท่อนำคลื่นวงกลม , การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้าครั้งที่ 29., vol. 2. 9 -10 พฤศจิกายน 2549, โรงแรมแอมบาสซาเดอร์ ซิตี้ จอมเทียน จ. ชลบุรี, pp.793-796.

[2] ระพินทร์ ขัดปิก, อรุณี บวรจตุวิช, ชูวงค์ พงษ์เจริญพาณิชย์, และสมผล โกศัลวิตร์, "สายอากาศเกนสูงที่ประยุกต์ใช้สายอากาศทรงกระบอกกลมเป็นตัวกระตุ้น," วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ฉบับพิเศษ 2551 การประชุมทางวิชาการมหาวิทยาลัยมหาสารคามวิจัย ครั้งที่ 4 pp 76 – 79

[3] D. Turrin, W2IMU, "Parabolic Reflector Antenna and Feed," The ARRL UHF/Microwave Experimenter's Manual, ARRL' 1990

นพพล ปามูล นักศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิชาเทคโนโลยีโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงใหม่

สุธาสินี นาวี นักศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิชาเทคโนโลยีโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงใหม่

นิพนธ์ เลิศมโนกุล ปัจจุบันดำรงตำแหน่งผู้ช่วยศาสตราจารย์ ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงใหม่

ระพินทร์ ขัดปิก สำเร็จการศึกษาปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมโทรคมนาคม) ปัจจุบันเป็นอาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงใหม่ มีความสนใจด้านวิศวกรรมสายอากาศ

# การศึกษาการปรับโครงสร้างสายอากาศแบบโมโนโพลรูปปลั๊กไฟสำหรับการสื่อสารแบบไร้สาย

## The Study of Plugs-Shaped Mono-Pole Antenna Structure Tuning for Wireless Communication

**อำนวย เรืองวารี[1] สาริน จันระมาด[1] วัชรพล นาคทอง[2] และปิยดนัย บุญไมตรี[2]**
[1]ภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ถ.รังสิต-นครนายก ต.คลองหก อ.ธัญบุรี จังหวัดปทุมธานี 12110 โทรศัพท์: 0-2549-4620 E-mail: amnoiy.r@en.rmutt.ac.th
[2]สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ศูนย์กลาง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
นครราชสีมา 30000 โทรศัพท์: 0868698253 E-mail: oachi525@gmail.com

**บทคัดย่อ**

งานวิจัยนี้นำเสนอการศึกษาการปรับโครงสร้างสายอากาศแบบโมโนโพลรูปปลั๊กไฟสำหรับการสื่อสารแบบไร้สาย บนแผ่นวงจรพิมพ์ชนิด FR4 มีค่าไดอิเล็กตริก ($\varepsilon_r$) เท่ากับ 4.3 การออกแบบสายอากาศต้นแบบ มีจุดเริ่มต้นจากการปรับจูนโครงสร้างพื้นฐานของสายอากาศโมโนโพลรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่ความถี่เท่ากับ 1.8 กิกะเฮิรตซ์ จนได้โครงสร้างที่สมบูรณ์ การปรับจูนอาศัยการจำลองแบบด้วยโปรแกรม คอมพิวเตอร์ร่วมกับวิธีเชิงประสบการณ์ ในการเพิ่มสตับและเซาะร่องที่ตัวสายอากาศ ผลทำให้ค่าอิมพีแดนซ์แบนด์วิดท์ของสายอากาศที่นำเสนอกว้างขึ้นและสามารถรองรับการประยุกต์ใช้งานกับระบบสื่อสารไร้สาย ได้แก่ DCS, PCS, UMTS, WLAN IEEE 802.11a/b/g, Bluetooth และ WLAN จากผลการจำลองแบบพบว่าค่าอิมพีแดนซ์แบนด์วิดท์มีค่า ร้อยละ 70.02 (1.29-2.68 GHz) มีค่าอัตราขยายเฉลี่ยเท่ากับ 3.25 dBi และมีแบบรูปการแผ่พลังงานในลักษณะรอบทิศทาง

คำสำคัญ: รูปปลั๊กไฟ, การเพิ่มสตับ, การเซาะร่อง, การสื่อสารไร้สาย

**Abstract**

This research is presented the study of plugs-shaped mono-pole antenna structure tuning for wireless communication on FR4 printed circuit board (PCB) with the dielectric value of 4.3. The design of the prototype antenna was based upon the basic structure of a rectangular mono-pole antenna at frequency of 1.8 GHz. The antenna structure tuning (adding stub and slot etching) was completed by using computer program (simulation) and empirical method. The impedance bandwidth of proposed antenna is wider and can be support various wireless communication systems including DCS, PCS, UMTS, WLAN IEEE 802.11 a/b/g, Bluetooth, and WLAN. From the simulation results, the proposed antenna has the impedance bandwidth of 70.02% (1.29-2.68 GHz), the average gain of 3.25 dBi and the radiation patterns as omnidirectional.

Keywords: plugs-shaped, adding stub, slot etching, and wireless communication

## 1.บทนำ

การออกแบบโครงสร้างสายอากาศโมโนโพลที่มีการป้อนสัญญาณอินพุตแบบระนาบร่วมสำหรับการสื่อสารไร้สาย มีนักวิจัยหลายท่านได้ทำการพัฒนาสายอากาศและทำการปรับจูนโครงสร้างสายอากาศกันอย่างแพร่หลาย [1-4] สายอากาศประเภทนี้มีข้อดีคือ มีโครงสร้างขนาดเล็ก ออกแบบง่ายและราคาถูก การปรับจูนเพื่อใช้งานสายอากาศในย่านความถี่ที่ต้องการ สามารถทำได้ง่ายเนื่องจากตัวสายอากาศและการป้อนสัญญาณจะอยู่ในระนาบเดียวกับกราวด์ [2-4] จากที่กล่าวมาพบว่าสายอากาศแบบระนาบร่วมส่วนใหญ่นิยมออกแบบใช้สื่อสารไร้สายในช่วงความถี่กว้างของระบบ DCS, PCS, WCDMA /UMTS, WLAN IEEE 802.11a/b/g , Bluetooth รวมถึงสายอากาศยังมีผลตอบสนองต่อย่านความถี่ที่ใช้กับโทรศัพท์มือถือในประเทศไทย เช่น ย่านความถี่ 1800/1900 MHz และย่านความถี่ 2.1 GHz เป็นต้น จากที่กล่าวมาทำให้เกิดแนวคิดออกแบบสายอากาศให้มีลักษณะและคุณสมบัติที่แตกต่างจากสายอากาศพื้นฐาน เพื่อตอบสนองต่อการใช้งาน และการแผ่พลังงานในลักษณะรอบทิศทาง การออกแบบสายอากาศใช้เทคนิคพื้นฐานเพื่อทำให้สายอากาศมีผลตอบสนองต่อย่านความถี่ใช้งาน เช่น การเซาะร่อง การเพิ่มสตับปรับจูนที่ตัวสายอากาศหรือระนาบกราวด์เป็นต้น ดังนั้น ผู้วิจัยจึงมีความสนใจพัฒนาโครงสร้างสายอากาศโมโนโพลแบบระนาบร่วม โดยเลือกใช้เทคนิคการเพิ่มสตับและเซาะร่องที่ตัวสายอากาศ [5-10] เพื่อทำให้โครงสร้างมีขนาดเล็ก ปรับจูนง่ายไม่ซับซ้อน มีค่าแมตซ์อิมพีแดนซ์เท่ากับ 50 โอห์ม ตลอดย่านความถี่ใช้งานที่ต้องการ ซึ่งจะกล่าวในการออกแบบและผลการจำลองแบบในส่วนต่อไป

## 2. การออกแบบและผลการจำลองแบบ

### 2.1 โครงสร้างสายอากาศ

โครงสร้างสายอากาศในการศึกษานี้เลือกออกแบบบนแผ่นวงจรพิมพ์แบบ FR4 ซึ่งมีค่าคงตัวไดอิเล็กตริก ($\varepsilon_r$) เท่ากับ 4.3 ค่าของความหนาแผ่นวงจรพิมพ์ ($h$) เท่ากับ 0.764 มม. และ มีค่าความหนาแผ่นทองแดง ($t$) เท่ากับ 0.017 มม. โดยเริ่มจากการออกแบบสายอากาศรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าให้มีความถี่เรโซแนนซ์ใช้งาน เท่ากับ 1.8 GHz มีขนาดความกว้าง ($a$) และค่าความยาว ($b$) คือ 14 มม. และ 10 มม. ตามลำดับ ขนาดของสายอากาศเริ่มต้น สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ (1)-(3) [10] สำหรับในส่วนปรับจูนคือการเพิ่มสตับด้านบนของตัวแผ่พลังงานรูป

สี่เหลี่ยมผืนผ้า จากนั้นจะทำการเซาะร่องบริเวณสตับที่เพิ่มในตอนแรกและบริเวณส่วนตรงกลางของการแผ่พลังงานแสดงดังรูปที่ 1 โดยการปรับจูนเลือกขนาดสตับและความกว้างในการเซาะร่องเริ่มจากขนาด λ/8 และสำหรับการคำนวณเบื้องต้นสามารถคำนวณตามสมการดังนี้ [4-10]

$$a = \frac{c}{2f_r}\sqrt{\frac{2}{\varepsilon_r + 1}} \tag{1}$$

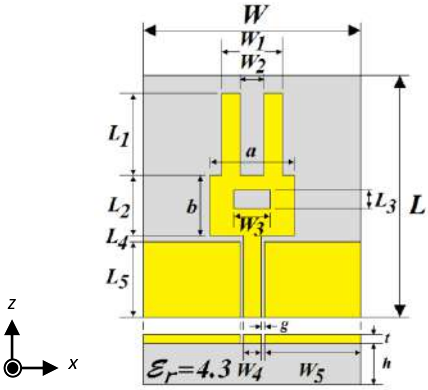
และ

$$b = \frac{c}{2f_r\sqrt{\varepsilon_{eff}}} - 2\Delta L \tag{2}$$

$$\varepsilon_{eff} = \frac{\varepsilon_r + 1}{2} + \frac{\varepsilon_r - 1}{2}\left(1 + \frac{12h}{W}\right)^{-\frac{1}{2}} ; \frac{W}{h} > 1 \tag{3}$$

โดยที่ $c$ คือ ความเร็วแสงมีค่าเท่ากับ $3\times 10^8$ m/s
$\varepsilon_{eff}$ คือ ค่าคงตัวไดอิเล็กตริกสัมพัทธ์
W คือ ค่าของความกว้างของแผ่นวงจรพิมพ์ชนิด FR4
$\Delta L$ คือ ค่าความยาวการกระจายคลื่นในแนวเส้นสนามไฟฟ้า

จากผลการคำนวณสมการดังกล่าวนำมาใช้ในการออกแบบ ร่วมกับการจำลองแบบด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เพื่อทำการปรับจูนโครงสร้างสายอากาศจนได้ต้นแบบที่สมบูรณ์และผลการตอบสนองความถี่ตามที่ต้องการ ดังรูปที่ 1 และมีค่าพารามิเตอร์ที่ดีที่สุดแสดงดัง ตารางที่ 1



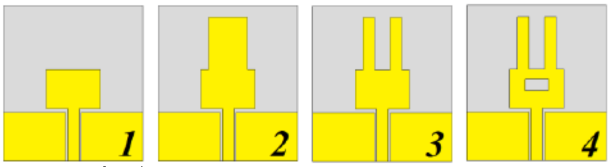

**รูปที่ 1** โครงสร้างของสายอากาศต้นแบบ

**ตารางที่ 1 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของสายอากาศต้นแบบ**

| ขนาดความกว้าง | | ขนาดความยาว | |
|---|---|---|---|
| ตัวแปร | ขนาด ( มม. ) | ตัวแปร | ขนาด ( มม. ) |
| $W$ | 36 | $L$ | 40 |
| $W_1$ | 10 | $L_1$ | 14 |
| $W_2$ | 4 | $L_2$ ,$b$ | 10 |
| $W_3$ | 6 | $L_3$ | 3 |
| $W_4$ | 3 | $L_4$ | 12.5 |
| $W_5$ | 16 | $L_5$ | 1 |
| $a$ | 14 | $h$ | 0.764 |
| $g$ | 0.5 | $t$ | 0.017 |

## 2.2 ผลการจำลองแบบของสายอากาศ

การจำลองแบบโครงสร้างสายอากาศ เพื่อหาค่าความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับ ค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดัน (Voltage standing wave ratio: VSWR) ที่ส่งผลต่ออิมพีแดนซ์แบนด์วิดท์ ค่าอัตราขยายและแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศในระนาบสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้า ขั้นตอนการปรับจูนโครงสร้างสายอากาศให้ได้สายอากาศต้นแบบตามรูปที่ 1 มีขั้นตอนการปรับจูนหลักๆ แบ่งเป็น 3 ส่วน โดยเริ่มจากการนำโครงสร้างสายอากาศโมโนโพลรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าพื้นฐาน [10] มาปรับจูน ตามลำดับ ดังรูปที่ 2



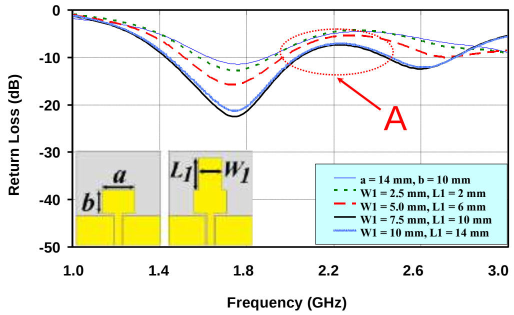

**รูปที่ 2** ขั้นตอนการปรับจูนโครงสร้างสายอากาศต้นแบบ

รายละเอียดการปรับเริ่มปรับในส่วนแรกคือทำการเพิ่มสตับรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าแนวตั้งที่บริเวณด้านบนแผ่นแผ่พลังงานรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าพื้นฐาน โดยค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญในการปรับจูนในขั้นตอนนี้มี 2 ค่าคือ ค่าความกว้าง $W_1$ เลือกปรับจูนที่ขนาดตั้งแต่ 2.5, 5 ,7.5,10 และ 12.5 มม. และค่าความยาว $L_1$ เลือกปรับจูนที่ขนาดตั้งแต่ 2 ,6 ,10 ,14 และ18 มม. จากการปรับจูนดังกล่าวพบว่าได้ค่าที่เหมาะสมที่สุด คือ $W_1$= 10 มม. และ $L_1$ = 14 มม. แสดงดังรูปที่ 3 ผลการจำลองแบบพบว่าค่าการสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับมีผลตอบสนอง 2 ช่วงความถี่ คือ ช่วงความถี่ต่ำร้อยละ 34.28 (1.45-2.05 GHz) และช่วงความถี่สูงร้อยละ 12.76 (2.42-2.75 GHz) แต่ยังไม่คลอบคลุมตลอดย่านความถี่ที่ต้องการ แสดงได้ดังจุด A ในรูปที่ 3 คือที่ความถี่ 2.05-2.42 GHz มีค่าสูงกว่า -10 dB (return loss ≤ -10 dB)

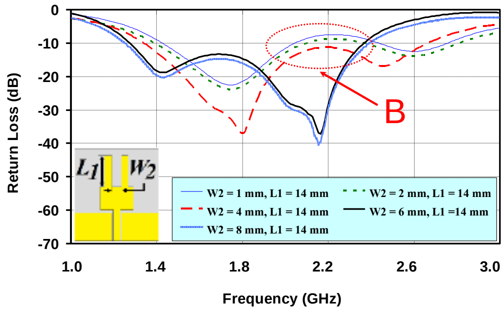
จากเหตุผลข้างต้นจึงทำให้ต้องมีการปรับส่วนที่ 2 คือการเซาะร่องรูปตัวไอที่ตัวสตับด้านบนของตัวแผ่พลังงานที่เพิ่มเข้าไปในส่วนแรก การปรับในส่วนนี้ส่งผลต่อค่าความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับมีค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญ 2 ตัวที่ส่งผลโดยตรง คือความกว้าง $W_2$ เลือกปรับจูนที่ขนาดตั้งแต่ 1 2 4 6 และ 8 มม. และค่าความยาว $L_1$ เลือกค่าคงที่ 14 มม. ซึ่งจากการปรับจูนดังกล่าว ทำให้ได้ค่าที่เหมาะสมที่สุด คือ $W_2$ = 4 มม. และ $L_1$ = 14 มม. ผลการปรับพบว่ามีการเพิ่มขึ้นของค่าแบนด์วิดท์เท่ากับร้อยละ 70.02 (1.29-2.68 GHz) เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับการปรับส่วนแรก พบว่าผลการจำลองแบบในส่วนที่ 2 คือ จุด B ในรูปที่ 4 มีค่าตอบสนองความถี่ที่ดีกว่าในส่วนแรก คือ จุด A ในรูปที่ 3 คือมีค่าความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับต่ำกว่าเส้น -10 dB แต่เมื่อสังเกตผลยังพบว่าค่าที่สูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับยังมีค่าใกล้เคียงกับค่า -10 dB ซึ่งในการสร้างสายอากาศจริงอาจทำให้ค่าดังกล่าวมีการเปลี่ยนแปลงเพื่อให้แน่ใจว่าสายอากาศที่ออกแบบสามารถรองรับความถี่ใช้งานช่วง 2.1-2.3 GHz ได้จริงจึงต้องมีการปรับในจุด B มีค่าลดลงกว่านี้ ดังนั้น ผู้วิจัยจึงได้

ทำการปรับจูนในส่วนที่ 3 เพื่อลดค่าสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับที่ในจุด B ต่อไป

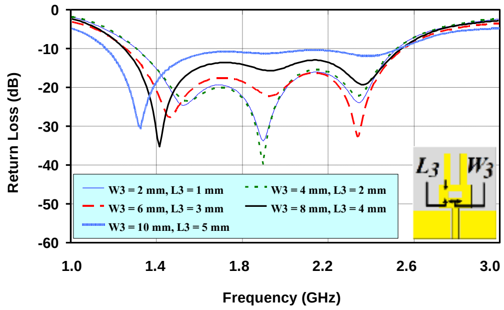
ในการปรับจูนส่วนที่ 3 คือทำการเซาะร่องรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่บริเวณตรงกลางแผ่นแผ่พลังงาน ค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญในการปรับส่วนนี้ได้แก่ ค่าความยาวกว้าง $W_3$ เลือกปรับจูนที่ขนาดตั้งแต่ 2 4 6 8 10 และ 12 มม. และค่าความยาว $L_3$ เลือกปรับจูนที่ขนาดตั้งแต่ 1 2 3 4 และ 5 มม. ซึ่งจากการปรับจูนดังกล่าวพบว่าค่าที่เหมาะสมที่สุด คือ $W_3$ เท่ากับ 6 มม. และ $L_3$ เท่ากับ 3 มม. โดยผลตอบสนองความถี่ของสายอากาศต้นแบบหลังการปรับจูนส่วนที่ 3 มีค่าแบนด์วิดท์เท่ากับร้อยละ 70.16 (1.24-2.58 GHz) ซึ่งมีค่าแบนด์วิดท์กว้างกว่าการปรับในส่วนที่ 2 และมีค่าสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับต่ำกว่า -18 dB ตามต้องการแสดงดังรูปที่ 5




**รูปที่ 3** ค่าความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับเมื่อปรับ $W_1$ และ $L_1$

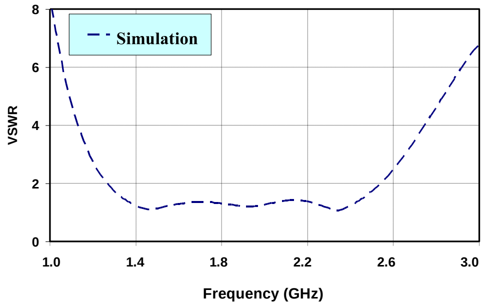



**รูปที่ 4** ค่าความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับเมื่อปรับ $W_2$ และ $L_1$



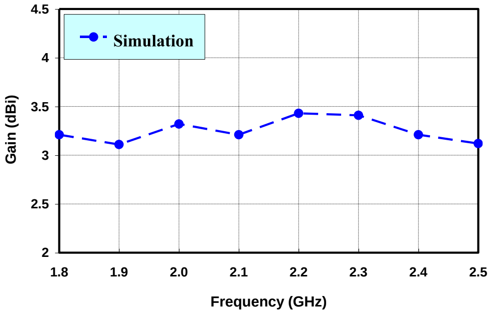

**รูปที่ 5** ค่าความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับเมื่อปรับ $W_3$ และ $L_3$

สำหรับผลการจำลองแบบอัตราส่วนคลื่นนิ่ง (VSWR) ของสายอากาศต้นแบบ แสดงได้ดังรูปที่ 6 พบว่ามีแนวโน้มที่สอดคล้องกันกับค่าความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับจากการจำลองแบบในรูปที่ 5 โดยค่า VSWR ที่ความถี่ 1.3 - 2.5 GHz พบว่ามีค่าเฉลี่ยตลอดย่านความถี่ใช้งาน ต่ำกว่า 2 คือ มีค่าเฉลี่ยประมาณ 1.4



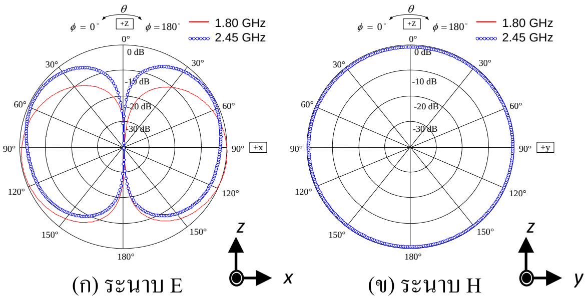

**รูปที่ 6** ผล การจำลองแบบค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดัน VSWR

สำหรับค่าอัตราขยายของสายอากาศต้นแบบ จากผลการจำลองแบบแสดงดังรูปที่ 7 พบว่าค่าอัตราขยายตั้งแต่ ความถี่ 1.3-2.5 GHz มีค่าเฉลี่ยตลอดช่วงความถี่เท่ากับ 3.25dBi




**รูปที่ 7** ผลการจำลองแบบค่าอัตราขยายของสายอากาศต้นแบบ

ในส่วนผลการจำลองแบบแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศต้นแบบในระนาบสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้า ที่ความถี่ใช้งาน 1.8 GHz และ 2.45 GHz พบว่าผลที่ได้มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน คือ การแผ่พลังงานในระนาบสนามไฟฟ้า (E-plane) มีลักษณะ เป็นแบบสองทิศทาง ดังรูปที่ 8 (ก) และการแผ่พลังงานในระนาบสนามแม่เหล็ก (H-plane) มีลักษณะเป็นแบบรอบทิศทาง ดังรูปที่ 8 (ข)




(ก) ระนาบ E (ข) ระนาบ H

**รูปที่ 8** การจำลองแบบแบบรูปการแผ่พลังงานที่ความถี่ 1.8 GHz และ 2.45 GHz

## 4. สรุป

การศึกษาโครงสร้างสายอากาศโมโนโพลรูปปลั๊กไฟ ด้วยการปรับจูนตัวสายอากาศเริ่มจากโครงสร้างสายอากาศโมโนโพลรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าพื้นฐานและทำการปรับเพิ่มสตับและเซาะร่องรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าทำให้มีค่าอิมพีแดนซ์แบนด์วิดท์ขยายกว้างมากขึ้นเพื่อ

รองรับการประยุกต์ใช้งานในระบบ DCS, PCS, UMTS, Bluetooth, และ WLAN IEEE 802.11a/b/g จากผลการจำลองแบบพบว่าสายอากาศต้นแบบ มีแบนด์วิดท์กว้างขึ้นจากเดิมคือมีค่า เท่ากับร้อยละ 70.02 (1.29-2.68 GHz) มีค่าอัตราขยายค่าเฉลี่ย 3.25 dBi ที่ความถี่ 1.3 - 2.5 GHz จุดเด่นของโครงสร้างสายอากาศต้นแบบ จากการศึกษาและวิจัยนี้มีข้อดีคือทำให้ได้สายอากาศมีขนาดเล็ก มีจุดปรับจูนไม่ซับซ้อน และตอบช่วงความถี่ใช้งานในประเทศไทย ตามมาตรฐานที่กำหนด

## 5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ ศาสตราจารย์ ดร.ประยุทธ อัครเอกฒาลิน ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ใช้โปรแกรม CST จนทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

## เอกสารอ้างอิง

[1] S. Yang, A. E. Fathy, S. EI-Ghazaly, H. K. Pan, and V. K. Nair, "A novel hybrid reconfigurable multi-band antenna for universal wireless receivers," presented at the Electromagnetic Theory Symp, July 2007. WLAN

[2] Y. K. Choukiker and S. K. Behera "Microstrip Line-Fed Modified Sierpinki Fractal Monopole Antenna for Dual-Wideband Applications," Communication Control and Computing Technologies (ICCCCT), 2010 IEEE International Conference on, pp 17-20, 7-9 October. 2010. WLAN

[3] G. Zou, L. Guo, and H. Yang "A Compact Tri-Band Monopole Antenna for WLAN and WiMAX Applications," Antennas & Propagation (ISAP), 2013 Proceedings of the International Symposium on, Vol 1 , pp. 226-228 23-25 October. 2013. WLAN

[4] S. Jing, Y. Yin, A. Sun, Y. Wei and Y. Yang " Compact E-Shaped Monopole Antenna for Dual - band WLAN Applications," Microwave Technology & Computational Electromagnetics (ICMTCE), 2011 IEEE International Conference on, pp.305-308, 22-25 May 2011.

[5] H. Chen, X. Yang, Y. Z. Yin, J. J. Wn, and Y. M. Cai "Tri-band rectangle-loaded monopole antenna with inverted-L slot for WLAN/WiMAX application," ELECTRONICS LETTERS 26th , Vol. 49, No. 20 pp. 1261–1262, September 2013.

[6] A. Azman, M. Z. A. Abd Aziz, M. K. Suaidi, A. Salleh, H. Nornikman and F. Malek "CPW-FED Compact Monopole Antenna for Dual- Band WLAN/ WiMAX Applications," Computer, Communications, and Control Technology (I4CT), 2015 International Conference on, pp. 485-488, 21-23 April 2015.

[7] A. H. Haghparast and G. Dadashzadeh "A Dual Band Polygon Shaped CPW-Fed Planar Monopol e Antenna with Circular Polarization and Isolation Enhancement for MIMO Applications ," Antennas and Propagation (EuCAP), 2015, 9th European Conference on, pp.1-4, 13-17 April 2015.

[8] M.T. Wu, and M. L. Chuang "Multibroadband Slotted Bow –Tie Monopole Antenna," Antennas and Wireless Propagation Letters, IEEE, Vol. 4, pp. 887-890, 2015.

[9] P. Singsura, P. Chomtong, S. Meesomklin and P. Akkaraekthalin, "A Multiband Monopole Antenna with Double Square Slots and Capacitive CPW Feed for LTE,WiMAX and WLAN Systems," Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON), 2015 12th International Conference on, pp. 1-5, 24-27 June 2015.

[10] Balanis C. A. (1982). Antenna Theory, 2nd Edition, New York, John Wiley & Son, Inc.

อำนวย เรืองวารี สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาเอก จากมหาวิทยาลัยคาสเซิล ประเทศสาธารณรัฐเยอรมัน ปี พ.ศ. 2551 ปัจจุบันดำรงตำแหน่ง ผู้ช่วยศาสตราจารย์ประจำ ภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคมคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี งานวิจัยที่สนใจ Ultra Wideband Radar System, Ultra Fast Electrical Pulse Generator, Antenna Design

สาริน จันระมาด กำลังศึกษาหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี พ.ศ.2559 งานวิจัยที่สนใจ Antenna Designs

วัชรพล นาคทอง สำเร็จการศึกษาหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี พ.ศ. 2554 ปัจจุบันดำรงตำแหน่งผู้ช่วยศาสตราจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสานนครราชสีมา งานวิจัยที่สนใจ Antenna Design

ปิยดนัย บุญไมตรี สำเร็จการศึกษาหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน พ.ศ. 2555 ปัจจุบันดำรงตำแหน่งอาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน นครราชสีมา งานวิจัยที่สนใจ Microstrip Filter Design และ Antenna Design

**บทความวิจัย**

การประชุมวิชาการ งานวิจัยและพัฒนาเชิงประยุกต์ ครั้งที่ 8

*8th ECTI-CARD 2016, Hua Hin, Thailand*

# ระบบสารสนเทศสำหรับเช็คชื่อนักศึกษาเข้าร่วมกิจกรรมด้วย RFID/NFC บนโทรศัพท์แอนดรอยด์: กรณีศึกษาโครงการบัณฑิตเกียรตินิยม

# An Information System for Student Activity Check-in with RFID/NFC with Android Smartphone: a case study of Honours Programme Activity

**เนื่องวงศ์ ทวยเจริญ, ศิริรัตน์ สายคุณากร และ เกษราภรณ์ บุญยืน**

สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

110/1-4 ถนนประชาชื่น แขวงทุ่งสองห้อง เขตหลักสี่ กรุงเทพฯ 10120 โทรศัพท์ 02-954-7300 ต่อ 839 E-mail: nuengwong.tun@dpu.ac.th

**บทคัดย่อ**

กิจกรรมนักศึกษามีส่วนสำคัญในการสร้างบุคลิกภาพและทักษะมนุษย์ให้กับนักศึกษา บางสถาบันการศึกษามีการมอบเกียรติบัตรให้กับนักศึกษาที่เข้ากิจกรรมครบตามเกณฑ์ที่กำหนด โดยทั่วไปกิจกรรมเหล่านี้มักมีอาจารย์ผู้ดูแลไม่มาก เช่น โครงการบัณฑิตเกียรตินิยมมีอาจารย์ผู้ดูแลโครงการเพียงคนเดียว ทำให้เกิดความยุ่งยากในการตรวจสอบประเมินนักศึกษาในโครงการและบันทึกข้อมูลของนักศึกษา อาจทำให้เกิดความผิดพลาดในการกรอกข้อมูลปัญหาเหล่านี้จึงทำให้มีการพัฒนาระบบสารสนเทศบนเว็บขึ้นด้วยภาษา C#.NET และฐานข้อมูล SQL Server และแอนดรอยด์แอปพลิเคชันด้วยภาษา Java เพื่อช่วยอำนวยความสะดวกให้อาจารย์ผู้ดูแลกิจกรรมนักศึกษา อาจารย์ผู้ดูแลระบบจะเป็นผู้บันทึกรายชื่อนักศึกษาที่มีสิทธิ์เข้าร่วมโครงการ และระบบจะจัดเก็บข้อมูลเหล่านี้ลงฐานข้อมูล อาจารย์ผู้ดูแลระบบสามารถกำหนดเกณฑ์การได้รับเกียรติบัตรของการเข้าร่วมกิจกรรม รวมถึงกำหนดเกณฑ์ทักษะอื่นๆ ที่สาขาวิชามีการกำหนดเกณฑ์การประเมินแตกต่างกันออกไป เพื่อให้ระบบสามารถประเมินนักศึกษาที่ผ่านเกณฑ์ของโครงการได้ และออกรายงานสรุปให้กับผู้บริหาร ระบบสามารถตรวจสอบรายชื่อผู้ที่มีผลการเรียนที่อยู่ในเกณฑ์และตรงตามเงื่อนไขตามที่มหาวิทยาลัยและสาขาวิชากำหนดถ้ามีนักศึกษาที่ไม่ผ่านเกณฑ์ระบบจะทำการตัดชื่อออกจากโครงการ สุดท้ายจัดทำรายงานสรุปและในการจัดทำเกียรติบัตรให้แก่นักศึกษาที่ผ่านเกณฑ์ของโครงการ นอกจากนี้ยังมีระบบที่ให้นักศึกษาสามารถเข้าไปดูสถานะการเข้าร่วมโครงการของตนเอง และระบบในการเช็คชื่อเข้าร่วมกิจกรรมของนักศึกษาผ่านทางการแตะบัตรนักศึกษาที่มี RFID บนสมาร์ทโฟนที่เป็นระบบปฏิบัติการของ Android ที่มี NFC

คำสำคัญ: กิจกรรมนักศึกษา, อาร์เอฟไอดี, เอ็นเอฟซี, แอนดรอยด์

**Abstract**

Student Activities play a crucial part in student's characteristic and human skills development. Some institutions confer a certificate to students, who attend all pre-defined activities. In general, these activities are managed by a handful of staffs, for example, our case study, Honours Programme is managed by only one staff. This may cause difficulties in the programme evaluation and data collection. This article describes a development of a web-based information system, with C#.NET and SQL Server, and an Android application with Java, to facilitate the student activity's staff. In this system, the staff selects students for joining the programme, and save the student data to the database. The staff can set the criteria for obtaining the programme certificate by joining the program's activities, and set a specific criteria for additional tests, which can be different from different degree programs. Then, the system verifies the student's status with the criteria in the database to suggest the programme's results. If the students fail the criteria, the system will set the student as leaving the programme. Therefore, the system can reduce errors in preparation of report and certificate issued for students in the programme. The system can enable students to view their status of joining the programme. Finally, the Android application can check student's activity attendance by reading the student card's RFID via an Android smartphone with NFC Reader.

.

Keywords: student activity, RFID, NFC, Android

## 1. บทนำ

กิจกรรมนักศึกษามีความสำคัญในการสร้างบุคลิกภาพให้กับนักศึกษา ตลอดจนสร้างทักษะมนุษย์ที่ไม่สามารถพัฒนาในการเรียนการ

สอนในรายวิชาเพียงอย่างเดียว ถึงแม้ว่าในปัจจุบันจะมีความพยายามนำเอาการเรียนการสอนแบบ active เข้ามาเพื่อให้นักศึกษาได้พัฒนาทักษะชีวิต แต่กิจกรรมนักศึกษาก็ยังมีส่วนสำคัญในการสร้างทักษะเหล่านี้ผ่านการทำกิจกรรมร่วมกันระหว่างนักศึกษาต่างสาขาวิชา ซึ่งทำได้ยากในการเรียนการสอนในรายวิชาปกติ เช่น กิจกรรมการออกค่ายอาสา ที่จะทำให้นักศึกษาขยายโลกทรรศน์ ได้เห็นคุณค่าของตนเอง ได้ทำงานร่วมกับผู้อื่นทั้งเพื่อนนักศึกษาต่างสาขาต่างสถาบัน และทำงานร่วมกับบุคคลภายนอก ในอันที่จะพัฒนาศักยภาพนักศึกษาให้ครบทั้ง 5 ด้านตามที่ได้บัญญัติไว้ในกรอบมาตรฐานคุณวุฒิระดับอุดมศึกษา

หลายสถาบันการศึกษาได้เห็นความสำคัญของกิจกรรมนักศึกษา และได้กำหนดให้นักศึกษาเข้าร่วมกิจกรรมอย่างต่อเนื่อง บางสถาบันการศึกษาได้ใช้การเข้าร่วมกิจกรรมเป็นส่วนหนึ่งของการจบการศึกษา บางสถาบันก็มอบเกียรติบัตรให้เมื่อเข้าร่วมกิจกรรมครบตามที่กำหนดไว้ อย่างไรก็ตาม กิจกรรมเหล่านี้ มักมีผู้ดูแลกิจกรรมอยู่จำนวนน้อย และต้องทำหน้าที่ติดตามตรวจสอบข้อมูลการเข้าร่วมกิจกรรมของนักศึกษาอย่างใกล้ชิด ทำให้ข้อมูลสูญหาย ผิดพลาด ได้ง่าย และเป็นผลให้นักศึกษาเสียโอกาสไป

โครงการบัณฑิตเกียรตินิยมเริ่มต้นขึ้นในปีการศึกษา 2545 โดยโครงการมีวัตถุประสงค์เพื่อต้องการเสริมสร้างโอกาสให้กับนักศึกษาเพื่อให้นักศึกษาที่มีผลการเรียนดีได้เข้าร่วมโครงการเพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาศักยภาพของตนเองและจัดกิจกรรมพิเศษที่เสริมทักษะทางด้านวิชาชีพ ภาษาอังกฤษ คอมพิวเตอร์ การพัฒนาบุคลิกภาพ จริยธรรมและคุณธรรมให้แก่นักศึกษา โครงการนี้จัดให้แก่นักศึกษาภาคปกติหลักสูตร 4 ปี โดยคณะสาขาวิชาได้กำหนดเกณฑ์การพิจารณาคัดเลือกนักศึกษาที่เข้าร่วมโครงการทั้งนี้ให้เป็นไปตามความสมัครใจของนักศึกษาด้วยนักศึกษาจะต้องอยู่ร่วมในโครงการครบ 2 ปี ตามระยะเวลาที่กำหนดเข้าร่วมกิจกรรมที่ทางคณะสาขาวิชาและมหาวิทยาลัยจัดให้อย่างสม่ำเสมอ มีความประพฤติดีและมีคะแนนเฉลี่ยสะสมในทุกภาคเรียนไม่ต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนดถ้าไม่เป็นไปตามเงื่อนไขของคณะสาขาวิชา และมหาวิทยาลัย สำนักวิชาการอาจพิจารณาให้นักศึกษาออกจากโครงการ และเมื่อจบการศึกษา มหาวิทยาลัยจะมอบเกียรติบัตรรับรองการเป็นนักศึกษาในโครงการบัณฑิตเกียรตินิยมให้แก่นักศึกษาและจะออกเอกสารสรุปโครงการเมื่อจบโครงการ

อย่างไรก็ตามโครงการบัณฑิตเกียรตินิยม มีอาจารย์ผู้ดูแลโครงการอยู่เพียงคนเดียว และต้องจัดการข้อมูลของนักศึกษาหลายร้อยคน ที่เข้าร่วมกิจกรรมกว่าสิบกิจกรรมต่อปี โดยมีเกณฑ์การผ่านโครงการของแต่ละคณะที่แตกต่างกัน ทำให้เกิดปัญหาขึ้นหากข้อมูลผิดพลาดหรือสูญหาย เราจึงได้จัดทำระบบสารสนเทศนี้ขึ้นโดยใช้โครงการบัณฑิตเกียรตินิยมเป็นกรณีศึกษา โดยมีการพัฒนาเว็บแอปพลิเคชันในการบันทึกและแสดงข้อมูลต่าง ๆ ของโครงการ และพัฒนาแอนดรอยด์แอปพลิเคชันในการเช็คชื่อนักศึกษาที่เข้าร่วมกิจกรรมโดยการอ่าน RFID บนบัตรนักศึกษา โดยโครงการนี้ได้ใช้ภาษา C#.NET, Java, HTML และ SQL ในการพัฒนา

## 2. ทฤษฎีและงานที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 RFID

RFID (Radio Frequency Identification) [1] เป็นอุปกรณ์ทางเทคโนโลยีที่ใช้ระบุตัวตนอย่างหนึ่งผ่านทางคลื่นวิทยุโดยที่อุปกรณ์ RFID ถูกประดิษฐ์ขึ้นใช้งานครั้งแรก ในปี 1945 เป็นผลงานของ Leon Theremin ซึ่งถูกสร้างขึ้นมาเพื่อเป็นเครื่องมือในการดักจับสัญญาณ แต่ในปัจจุบันเปลี่ยนมาเป็นการใช้แบบระบุเอกลักษณ์หรือเป็นป้ายอิเล็กทรอนิกส์ (RFID tag) การสื่อสารกันระหว่างเครื่องอ่าน (RFID Reader) กับ RFID Tag อาณาเขตระหว่างเสาอากาศของเครื่องอ่านสามารถส่งสัญญาณคลื่นวิทยุได้ระยะสั้นเรียกว่า Near Field ส่วนบริเวณที่ไกลออกไปเรียกว่า Far Field โดยปกติ Passive RFID ที่ใช้คลื่นความถี่ LF และ HF จะติดต่อสื่อสารกับเครื่องอ่านในบริเวณที่เรียกว่า Near Field ในขณะที่คลื่นความถี่ UHFหรือสูงกว่า จะติดต่อสื่อสารกับเครื่องอ่านในบริเวณ Far Field ดังนั้นจะเห็นได้ว่า RFID Tag ที่สื่อสารในบริเวณ Far Field สามารถที่จะติดต่อสื่อสารได้ในระยะที่ไกลกว่าและสามารถอ่านค่าโดยผ่านทางคลื่นวิทยุ

### 2.2 NFC

NFC (Near Field Communication) [2] เป็นเทคโนโลยีสื่อสารไร้สายระยะสั้นระยะประมาณ 4 ซม. ที่ใช้ได้ดีกับโครงสร้างพื้นฐานแบบไร้สัมผัส ช่วยสนับสนุนรองรับการสื่อสารระหว่างเครื่องมืออิเล็กทรอนิกส์ในระยะใกล้ๆ NFC ถูกพัฒนาขึ้นโดย Sony และ NXP โดยใช้คลื่นความถี่ 13.56 MHz บนพื้นฐานมาตรฐาน ISO 14443

ในเรื่องของการส่งข้อมูลที่มีความปลอดภัยสูง แตกต่างจากบลูทูธ เป็นเทคโนโลยีที่ช่วยให้การเชื่อมต่อและการแบ่งปันข้อมูลเป็นเรื่องง่าย โดยปัจจุบัน NFC ถูกนำไปใช้กับอุปกรณ์สมาร์ทโฟนในการชำระเงิน หรือ เป็น security keycards เพื่อรักษาความปลอดภัยต่างๆ

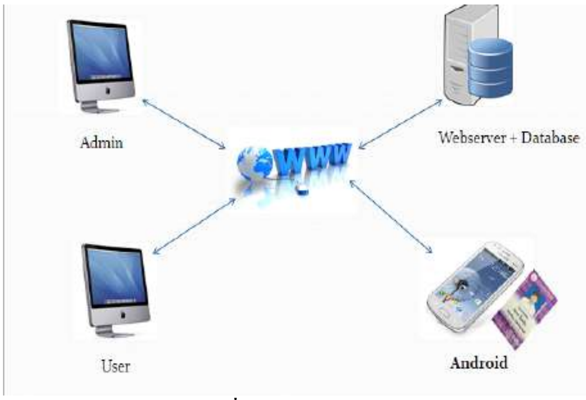
### 2.3 C#.NET

C#.NET [3] เป็นภาษาคอมพิวเตอร์เชิงวัตถุที่มีพื้นฐานมาจาก C++ และมีการทำงานคล้ายกับ java, C# ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อเป็นส่วนหนึ่งในการพัฒนา .NET Framework และการใช้ภาษา C# ยังมีข้อดีคือเป็นการนำภาษาหลาย ๆ ภาษามาพัฒนาเพื่อให้ตรงกับรูปแบบโปรแกรมเชิงวัตถุมากขึ้น ภาษา C# ยังมีการเก็บสิ่งที่ไม่จำเป็นน้อยกว่า Java และยังใช้งานง่ายและไม่ซับซ้อนเท่าภาษา C++ ถ้าเปรียบเทียบภาษา C# กับภาษาอื่นๆ ภาษา C# จะใกล้เคียงกับ Java และภาษา C# และJava มี

ลักษณะการสืบทอดจากคลาสหลักได้คลาสเดียวเหมือนกัน และมีลักษณะการเขียนคล้ายกัน แต่มีบางส่วนที่ต่างกัน

## 3. การออกแบบและพัฒนาระบบ

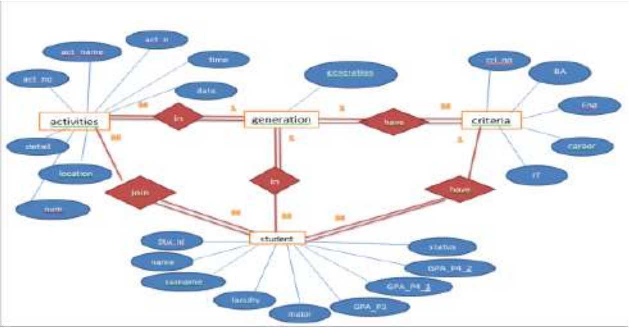
### 3.1 ภาพรวมของระบบ




**รูปที่ 1** ภาพรวมของระบบ

ระบบแบ่งผู้ใช้ออกเป็น2ระดับ คือ ผู้ดูแลกิจกรรมและนักศึกษา โดยผู้ใช้ทุกระดับสามารถเข้าถึงระบบสารสนเทศบนเว็บสำหรับโครงการบัณฑิตเกียรตินิยมได้จากคอมพิวเตอร์ทุกรุ่นที่มีการเชื่อมต่อกับอินเตอร์เน็ต ส่วนนี้ถูกพัฒนาด้วยภาษา C#.NET และใช้ฐานข้อมูล SQL Server และผู้ดูแลกิจกรรมสามารถเช็คชื่อนักศึกษาโดยผ่านแอนดรอยด์แอปพลิเคชันที่พัฒนาด้วยภาษา Java

### 3.2 ฐานข้อมูล




**รูปที่ 2** แผนภาพอีอาร์

ฐานข้อมูลของระบบแสดงในรูปที่ 2 โดยเอนทิตี activities เก็บรายละเอียดการกำหนดกิจกรรมที่ผู้ดูแลโครงการกำหนด เอนทิตี student เก็บข้อมูลของนักศึกษาที่ได้เข้าร่วมโครงการ เอนทิตี criteria เก็บข้อมูลเกณฑ์การประเมินทักษะที่ทางมหาวิทยาลัยหรือคณะวิชากำหนด เอนทิตี generation เก็บข้อมูลรุ่นของนักศึกษาที่เข้าร่วมโครงการ ระบบนี้ใช้ SQL Server แบบ Thai_CI_AS เป็นระบบจัดการฐานข้อมูล

### 3.3 แอนดรอยด์แอปพลิเคชันเพื่อเช็คชื่อนักศึกษาจาก RFID

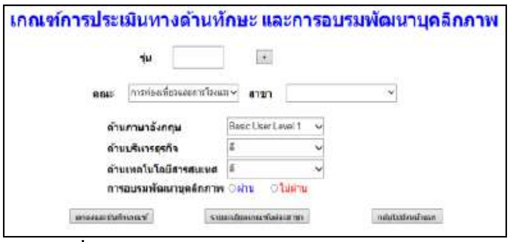
บัตรประจำตัวนักศึกษาในปัจจุบันมักมีเทคโนโลยีระบุตัวตนฝังอยู่ ไม่ว่าจะเป็น RFID หรือ NFC ซึ่งบัตรนักศึกษาในกรณีศึกษานี้มี RFID tag ฝังอยู่ ในขณะที่โทรศัพท์เคลื่อนที่ระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์รุ่นใหม่จะมีเครื่องอ่าน NFC ติดตั้งอยู่ด้วย ซึ่งเราสามารถเขียนโปรแกรมเพื่อให้แอปพลิเคชันบนโทรศัพท์แอนดรอยด์อ่านค่า RFID tag บนบัตรนักศึกษาได้ [4] และนำรหัสบนบัตรไปเปรียบเทียบกับรหัสบัตรบนฐานข้อมูลนักศึกษาที่เก็บไว้บนเครื่องแม่ข่าย ทำให้อาจารย์ผู้ดูแลกิจกรรมนักศึกษาสามารถเช็คชื่อนักศึกษาด้วยการอ่าน RFID tag บนบัตรนักศึกษาได้อย่างรวดเร็ว ด้วยโทรศัพท์แอนดรอยด์ที่ติดตั้งแอปพลิเคชันโดยการนำบัตรนักศึกษามาแตะที่โทรศัพท์มือถือแอนดรอยด์ที่มี NFC Reader ระบบจะทำการอ่าน ID ของ RFID tag จากบัตรนักศึกษาทันที

### 3.3 ข้อจำกัดของระบบ

ระบบที่พัฒนาขึ้นสามารถรองรับการทำงานของโทรศัพท์เคลื่อนที่และแท็บเล็ตที่ติดตั้งระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์เวอร์ชัน 4.1 ขึ้นไป และต้องมีการเชื่อมต่อกับอินเทอร์เน็ต

## 4. ผลการทดสอบระบบ

เมื่อพัฒนาระบบเสร็จสมบูรณ์ ผู้พัฒนาได้ทดสอบการทำงานของระบบ ทางฝั่งอาจารย์ผู้ดูแลกิจกรรมสามารถคัดเลือกรายชื่อนักศึกษาในการเข้าโครงการ สามารถกำหนดรายละเอียดต่างๆของกิจกรรม และสามารถกำหนดเกณฑ์ทักษะให้กับนักศึกษาแต่ละคณะสาขาวิชาได้ ดังแสดงในรูปที่ 3

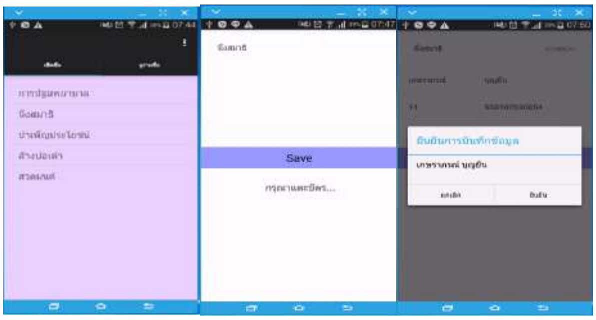



**รูปที่ 3** การกำหนดเกณฑ์ทักษะของคณะสาขาวิชา

นอกจากนี้ยังสามารถนำเข้าข้อมูลการผ่านเกณฑ์จากหน่วยงานอื่นในรูปแบบของไฟล์ Excel ได้อีกด้วย ซึ่งโปรแกรมจะทำการคำนวณการผ่านเกณฑ์ของนักศึกษาได้ตามเกณฑ์และข้อมูลที่ได้รับ

ส่วนทางฝั่งแอนดรอยด์ของอาจารย์ผู้ดูแลกิจกรรม โปรแกรมสามารถแสดงรายชื่อกิจกรรมทั้งหมด ดังรูปที่ 4 (ก) และเมื่ออาจารย์เลือกกิจกรรมที่ต้องการเช็คชื่อนักศึกษาแล้ว โปรแกรมจะแสดงหน้าจอดังรูปที่

4 (ข) เพื่อรอรับการแตะบัตรนักศึกษา เมื่อแตะบัตรนักศึกษาแล้ว โปรแกรมจะส่งข้อมูลนักศึกษาและกิจกรรมไปเก็บไว้ในฐานข้อมูลบนเครื่องแม่ข่าย และดึงข้อมูลชื่อนักศึกษาจากฐานข้อมูลบนเครื่องแม่ข่ายมาแสดงบนแอนดรอยด์ เพื่อยืนยันการเข้าร่วมกิจกรรม ดังรูปที่ 4 (ค) ซึ่งอาจารย์ผู้ดูแลกิจกรรมสามารถดูรายชื่อนักศึกษาที่เข้าร่วมแต่ละกิจกรรมบนโทรศัพท์แอนดรอยด์ได้อีกด้วย




(ก) (ข) (ค)

**รูปที่ 4** หน้าจอ (ก) แสดงกิจกรรมทั้งหมด (ข) รอการแตะบัตรนักศึกษา (ค) แสดงข้อมูลนักศึกษาเมื่อแตะบัตรแล้ว

เมื่อนักศึกษาผ่านเกณฑ์ของโครงการครบถ้วน ระบบเว็บสามารถออกเอกสารเกียรติบัตรให้แก่นักศึกษาทุกคนที่ผ่านโครงการ ดังแสดงในรูปที่ 5 และระบบสามารถออกรายงานสรุปผลการดำเนินงานของโครงการสำหรับผู้บริหารในรูปแบบ MS Word ได้

**รูปที่ 5** การออกเกียรติบัตรให้นักศึกษาที่ผ่านโครงการ

ส่วนนักศึกษาสามารถดูรายละเอียดกิจกรรม และตรวจสอบสถานะการเข้ากิจกรรม และสถานะตามเกณฑ์ต่างๆ ที่คณะได้ตั้งไว้ได้ผ่านทางเว็บแอปพลิเคชัน

หลังจากพัฒนาระบบเรียบร้อย ได้ให้ผู้ดูแลโครงการบัณฑิตเกียรตินิยมทดสอบระบบ และแก้ไขตามความต้องการของผู้ดูแลโครงการ ผลการทดลองระบบเป็นที่พอใจ โดยผู้ดูแลโครงการบัณฑิตเกียรตินิยมได้ให้คะแนนความพึงพอใจที่ระดับ 4.8 จากคะแนนเต็ม 5 คะแนน

## 5. สรุป

ระบบสารสนเทศสำหรับเช็คชื่อนักศึกษาเข้าร่วมกิจกรรมนี้แบ่งผู้ใช้ออกเป็น 2 ส่วน คือ ผู้ดูแลกิจกรรมนักศึกษา และ นักศึกษา ผลการทดสอบระบบเว็บพบว่าระบบสามารถทำงานตามที่กำหนดได้ ส่วนแอนดรอยด์แอปพลิเคชันสามารถใช้ NFC Reader บนเครื่องอ่าน RFID tag บนบัตรนักศึกษาได้ และสามารถบันทึกข้อมูลการเข้าร่วมกิจกรรมนักศึกษาบนฐานข้อมูลบนเครื่องแม่ข่ายได้ถูกต้อง โดยให้ผู้ดูแลโครงการบัณฑิตเกียรตินิยมทดสอบระบบและแก้ไขตามความต้องการของผู้ดูแลโครงการ ผลการทดลองระบบเป็นที่พอใจ

## เอกสารอ้างอิง

[1] Identify RFID. “RFID (อาร์เอฟไอดี) คืออะไร” [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก: http://www.id.co.th/knowledge/75-what-is-rfid?lang=en (สืบค้นวันที่ 6 มีนาคม 2559)

[2] ยุทธนา สุขเจริญ. (2554). “NFC คืออะไร”. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: http://www.id.co.th/component/content/article/58-knowledge-nfc/85-what-is-nfc/ (สืบค้นเมื่อ 6 มีนาคม 2559).

[3] Microsoft. “Introduction to the C# Language and the .NET Framework” [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก: https://msdn.microsoft.com/en-us/library/z1zx9t92.aspx (สืบค้นวันที่ 6 มีนาคม 2559).

[4] Adam Nybäck. “NFC Reader”, เข้าถึงได้จาก https://github.com/nadam/nfc-reader (สืบค้นเมื่อ 6 มีนาคม 2559).

# ระบบสนับสนุนการออกใบอนุญาตใช้รถขนส่งนอกเส้นทาง กรณีศึกษา สำนักงานขนส่งจังหวัดตรัง

# License Authorization System for Public Transport in Irregular Routes A Case Study of Trang Provincial Land Transport Office

**ณัฐธยาน์ จงทอง[1] และ อนันท์ ชกสุริวงค์[2]**

[1]สาขาวิชาการจัดการเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

15 ถนนกาญจนวณิชย์ อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา 90110 E-mail: j.tatimar@gmail.com

[2]ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

15 ถนนกาญจนวณิชย์ อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา 90110 E-mail: anant.choksuriwong@gmail.com

## บทคัดย่อ

บทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำเสนอการแก้ไขปัญหาการขออนุญาตใช้รถขนส่งนอกเส้นทาง ที่มีกระบวนการตรวจสอบเงื่อนไขภายใต้หลักเกณฑ์และข้อกำหนด ซึ่งอาจเกิดความผิดพลาดได้ง่าย และมีความล่าช้าในการออกใบอนุญาต โดยผู้วิจัยได้นำทฤษฎีระบบสนับสนุนการตัดสินใจ อัลกอริทึมแบบละโมบ และเทคนิคเส้นเวลา ประยุกต์ใช้เพื่อออกแบบและพัฒนาระบบงาน ในรูปแบบของเว็บแอพพลิเคชั่นสำหรับการจัดสรรทรัพยากรข้อมูล โดยมีเงื่อนไขของการตรวจสอบได้แก่ จำนวนรถคงเหลือในการขนส่ง วันสิ้นอายุภาษี และช่วงวันที่ขออนุญาต เป็นปัจจัยหลักสำหรับการวิเคราะห์ข้อมูล และทำการแสดงผลจากการวิเคราะห์อยู่รูปแบบของเส้นเวลา เพื่อลดขั้นตอนที่อาจทำให้เกิดความผิดพลาด ช่วยให้กระบวนการขออนุญาตใช้รถขนส่งนอกเส้นทางมีความสะดวก รวดเร็ว และมีความถูกต้องของข้อมูลมากยิ่งขึ้น

*คำสำคัญ: ระบบสนับสนุนการตัดสินใจ, อัลกอริทึมแบบละโมบ, เส้นเวลา, เว็บแอพพลิเคชั่น*

## Abstract

This article aims to present a solution the license authorization for public transport in irregular routes. There are many processes to check the terms and conditions of authorization process. Effect to incorrect data and process delay. The researcher use the theory of decision support systems, Greedy Algorithms and timeline techniques applied to the design and development in the web application. The terms of the audit, number of remaining in transit, tax expiration and date. The results of audit will be in a timeline form. Support to consider the license authorization for public transport. The process that caused the error. The license authorization for public transport in irregular routes with ease, speed and accuracy of the data even more.

*Keywords: Decision Support System, Greedy Algorithms, Timeline, Web Application*

## 1. บทนำ

สำนักงานขนส่งจังหวัดตรัง มีหน้าที่หลักในการควบคุมและติดตามการดำเนินงานของผู้ประกอบการขนส่งตามกฎหมายว่าด้วยการขนส่งทางบกในการขนส่งผู้โดยสารและสินค้า ทั้งนี้ผู้ประกอบการขนส่งประเภทประจำทางนอกจากจัดการเดินรถโดยสารประจำทางในเส้นทางที่ได้รับอนุญาตแล้ว สามารถขออนุญาตนำรถทำการขนส่งนอกเส้นทางได้หากมีการว่าจ้างจากผู้ใช้บริการ โดยยื่นขออนุญาตที่สำนักงานขนส่งจังหวัด เจ้าหน้าที่จะทำการตรวจสอบให้เป็นตามหลักเกณฑ์และวิธีการขออนุญาตที่กำหนดในประกาศคณะกรรมการควบคุมการขนส่งทางบกกลาง แห่งพระราชบัญญัติการขนส่งทางบก พ.ศ. 2522 [1] ก่อนอนุมัติออกใบอนุญาตใช้รถขนส่งนอกเส้นทาง

ปัจจุบันการออกใบอนุญาตใช้รถขนส่งนอกเส้นทาง ยังใช้ตัวบุคคลในการตรวจสอบปัจจัยที่เกี่ยวข้องและการสรุปผลการขออนุญาต จึงทำให้ประสบปัญหาความล่าช้า เกิดข้อผิดพลาดของข้อมูลบ่อยครั้ง ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดนำหลักการทำงานของทฤษฎีระบบสนับสนุนการตัดสินใจ [2] และอัลกอริทึมแบบละโมบ [3] ที่มีการนำไปประยุกต์ใช้การทำวิจัยเพื่อแก้ปัญหาการจัดสรรทรัพยากรเวลาในงานด้านต่าง ๆ และการนำเทคนิคเส้นเวลา [4] เพื่อการจัดการแผนปฏิบัติงานที่เหมาะสม

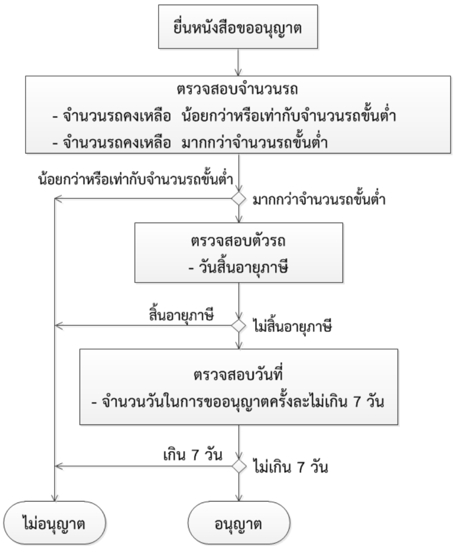
โดยการแสดงระยะเวลาของกิจกรรมแต่ละขั้นตอนที่ต่อเนื่องและไม่ทับซ้อนกัน ช่วยบริหารงานให้เป็นไปตามแผนที่กำหนด

ผู้วิจัยได้นำหลักการทำงานทั้ง 3 ทฤษฎีในการออกแบบระบบ ซึ่งทำให้ได้รูปแบบการพัฒนา โดยการกำหนดลำดับปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อการพิจารณาออกใบอนุญาต เพื่อเป็นต้นแบบในการพัฒนาระบบในรูปแบบเว็บแอพพลิเคชั่นที่สามารถตรวจสอบข้อมูลการขออนุญาตด้วยปัจจัยสำคัญที่กำหนด การแสดงผลการตรวจสอบ และการแสดงข้อมูลการขออนุญาตในรูปแบบเส้นเวลา ที่สามารถเข้าใจได้ง่าย ช่วยสนับสนุนการพิจารณาออกใบอนุญาตใช้รถขนส่งนอกเส้นทางได้อย่างสะดวกรวดเร็ว และข้อมูลมีความถูกต้อง

## 2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 การกำหนดปัจจัยที่มีผลต่อการตัดสินใจเพื่อออกใบอนุญาต

จากหลักเกณฑ์และข้อกำหนดตามประกาศคณะกรรมการควบคุมการขนส่งทางบกกลาง สามารถสรุปปัจจัยที่มีผลต่อการตัดสินใจเพื่อออกใบอนุญาต มี 3 ปัจจัย คือ จำนวนรถคงเหลือในการขนส่ง วันสิ้นอายุภาษี ช่วงวันที่ขออนุญาต และผู้วิจัยได้นำแนวคิดอัลกอริทึมแบบละโมบ [3] ประยุกต์ใช้เพื่อกำหนดลำดับของปัจจัยที่จะช่วยลดขั้นตอนการปฏิบัติงาน สามารถออกใบอนุญาตใช้รถขนส่งนอกเส้นทางได้รวดเร็วขึ้น จากการตั้งสมมติฐานการจัดลำดับปัจจัย สามารถสรุปผล คือ จำนวนรถคงเหลือในการขนส่ง เป็นปัจจัยลำดับที่ 1 วันสิ้นอายุภาษีรถ เป็นปัจจัยลำดับที่ 2 และช่วงวันที่ขออนุญาต เป็นปัจจัยลำดับที่ 3 ดังรูปที่ 1




รูปที่ 1 ลำดับปัจจัยสำคัญและเงื่อนไขการตัดสินใจแต่ละขั้นตอน

### 2.2 ระบบสนับสนุนการตัดสินใจ (Decision Support System)

ระบบสนับสนุนการตัดสินใจเป็นระบบสารสนเทศที่จะรวบรวมข้อมูลและแบบจำลองในการตัดสินใจที่สำคัญเพื่อช่วยในการตัดสินใจในปัญหา โดยระบบจะไม่ทำการตัดสินใจแทนผู้ตัดสินใจแต่จะนำเสนอข้อมูลส่วนที่เป็นส่วนสำคัญในการ ขั้นตอนในการแก้ปัญหาเพื่อพัฒนาระบบสนับสนุนการตัดสินใจแบ่งเป็น 2 ขั้นตอนหลัก ๆ คือ กระบวนการตัดสินใจ และกระบวนการแก้ปัญหา [2]

2.2.1 กระบวนการตัดสินใจ ประกอบด้วยการใช้ความคิดในการออกแบบการเลือกทางเลือกที่ดีที่สุด เป็นการระบุถึงปัญหาที่พบแล้วจำแนกปัญหาออกมาเป็นส่วนย่อย ๆ และคิดวิธีที่แก้ปัญหานั้น ๆ โดยผลลัพธ์ในขั้นตอนนี้เรียกว่า "Decision Statement" และขั้นตอนหลังจากนี้เป็นการออกแบบเพื่อหาทางเลือกที่จะใช้ในการตัดสินใจในแต่ละขั้นตอน โดยอาจมีการสร้างแบบจำลองขึ้นมา เช่น การสร้างแผนภาพการตัดสินใจด้วยต้นไม้ ที่ผลลัพธ์สุดท้ายของกระบวนการตัดสินใจเป็นการเลือกทางเลือกที่ดีที่สุด เพื่อนำกระบวนการนั้นไปใช้ในการแก้ปัญหาจริง

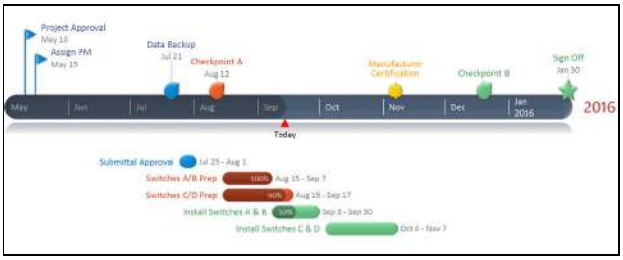
2.2.2 กระบวนการแก้ปัญหา เป็นการดำเนินงานต่อจากกระบวนการตัดสินใจ โดยเพิ่มการนำไปใช้และการติดตามผล ซึ่งการนำไปใช้จะเป็นการนำโมเดลที่ได้มาช่วยในการสนับสนุนการตัดสินใจและแก้ปัญหาต่าง ๆ จนนำไปสู่การติดตามผลเพื่อพัฒนาระบบต่อไป

### 2.3 อัลกอริทึมแบบละโมบ (Greedy Algorithms)

อัลกอริทึมที่มีแนวคิดในการแก้ปัญหาที่ต้องการหาค่าเหมาะที่สุด โดยคำตอบของปัญหาได้มาจากลำดับของการตัดสินใจเลือกคำตอบแต่ละขั้นตอนที่ดีที่สุด จากสภาพของปัญหา ณ ขณะนั้น มีการทำงานที่รวดเร็ว แต่มักไม่ได้คำตอบที่ดีสุดอย่างที่ต้องการ เหมาะสำหรับการแก้ปัญหาที่มีเงื่อนไขหรือปัจจัยเวลาไม่ซับซ้อน เนื่องจากคำตอบที่ได้เลือกไปแล้วนั้นไม่สามารถกลับมาเปลี่ยนแปลงการตัดสินใจได้ในภายหลัง และในบางครั้งผลลัพธ์ที่ได้จากการแก้ปัญหาด้วยแนวคิดนี้อาจจะไม่ดีที่สุดและไม่รองรับกับปัญหาทุกปัญหาได้ [3]

### 2.4 เส้นเวลา (Timeline)

เส้นเวลาเป็นเทคนิคการแสดงผลข้อมูลในรูปแบบกราฟิก โดยแสดงภาพรวมและอธิบายรายละเอียดกิจกรรม/โครงการต่าง ๆ ตามช่วงเวลาที่ผู้ใช้ได้กำหนดไว้ การแสดงผลเป็นกราฟแท่งในแนวนอน แสดงระยะเวลาการดำเนินงานแต่ละขั้นตอนของกิจกรรม ทำให้เห็นลำดับของกิจกรรมที่ต่อเนื่องกัน ผู้ใช้สามารถนำไปเป็นต้นแบบเพื่อช่วยในการบริหารเวลาการดำเนินงานแต่ละกิจกรรม/โครงการ ให้บรรลุวัตถุประสงค์ตามระยะเวลาที่กำหนดได้ [4]




รูปที่ 2 เส้นเวลาแสดงการดำเนินงานแต่ละขั้นตอนของกิจกรรม/โครงการตามระยะเวลาที่กำหนด

## 2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การประยุกต์ใช้คุณสมบัติของระบบสนับสนุนการตัดสินใจทำงานร่วมกับแนวคิดในการแก้ปัญหาของอัลกอริทึมแบบละโมบ โดยการนำไปพัฒนาในรูปแบบเว็บแอพพลิเคชั่นเพื่อหาผลลัพธ์ที่ดีที่สุดในการแก้ปัญหา และการนำเทคนิคเส้นเวลาแสดงผลลัพธ์ที่สามารถเข้าใจได้ง่าย ดังนั้น เทคนิคเส้นเวลา แนวคิดอัลกอริทึมแบบละโมบ และทฤษฎีระบบสนับสนุนการตัดสินใจ จึงมีประโยชน์ต่อการนำมาประยุกต์ใช้ในการตรวจสอบเงื่อนไขและสนับสนุนการออกใบอนุญาตใช้รถขนส่งนอกเส้นทางได้เป็นอย่างดี

จันทร์เพ็ญ กล่อมใจขาว และสมปอง มิสสิตะ [4] ได้นำเทคนิคเส้นเวลามาประยุกต์ใช้ในการจัดการแผนปฏิบัติงานและโครงการประจำปีของหน่วยงาน โดยสามารถอธิบายภาพรวมและรายละเอียดกิจกรรม/โครงการต่าง ๆ ที่มีลำดับของแต่ละกิจกรรมที่ต่อเนื่องกันได้อย่างชัดเจน ทำให้สามารถจัดการเรื่องทรัพยากรบุคคล ทรัพยากรเวลา และงบประมาณของหน่วยงานให้เป็นไปตามแผนงานที่กำหนด

พิพัฒน์พงษ์ ทานา [5] ได้นำทฤษฎีระบบสนับสนุนการตัดสินใจและเทคนิค Greedy best-first search ประยุกต์ใช้การเลือกลำดับเส้นทางในการขนส่งสินค้าโดยคำนึงถึงเส้นทางที่ใช้ระยะทางที่สั้นที่สุด เนื่องจากมีข้อจำกัดด้านเวลา และพัฒนาการทำงานให้อยู่ในรูปแบบเว็บแอพพลิเคชัน จากลักษณะงานเดิมที่ใช้เอกสารในองค์กรและใช้ตัวบุคคลทำการตัดสินใจเลือกเส้นทาง โดยกระบวนการในการทำงานได้นำเอาข้อดีของทั้งการค้นหาเส้นทางแบบลึกก่อน (Depth firstsearch) และการค้นหาแบบกว้างก่อน (Breadth first search) มารวมกันเป็นวิธีการเดียว โดยแต่ละขั้นของการค้นหาในโหนดลูกนั้น การค้นหาจะเลือกเอาโหนดที่ดีที่สุด แล้วใช้ฮิวริสติกฟังก์ชันทำหน้าเหมือนตัววัดผล และให้แสดงผลออกมาเป็นคะแนนเพื่อสนับสนุนให้ผู้ใช้งานระบบสามารถตัดสินใจเลือกเส้นทางที่ดีที่สุด

อภิวัฒน์ ลิขิตเลิศล้ำ [6] ได้นำทฤษฎีสนับสนุนการตัดสินใจประยุกต์ใช้ในการจัดตารางการผลิตในกระบวนการบดซีเมนต์ ให้สอดคล้องกับแผนการผลิตระหว่างฝ่ายผลิตและฝ่ายขาย และเกิดค่าไฟฟ้าในการดำเนินงานบดซีเมนต์ต่ำที่สุด โดยการนำข้อจำกัดและเงื่อนไขการบดปูน แผนการผลิตรายวัน รายสัปดาห์ และปฏิทินช่วงเวลาค่าไฟฟ้า/อัตราค่าไฟฟ้า เป็นปัจจัยสำคัญในการสร้างตัวแบบทางคณิตศาสตร์ ที่สามารถวิเคราะห์ข้อมูลและช่วยสนับสนุนการตัดสินใจในการจัดตารางการผลิตที่มีประสิทธิภาพมากกว่าการจัดตารางการผลิตโดยพนักงาน

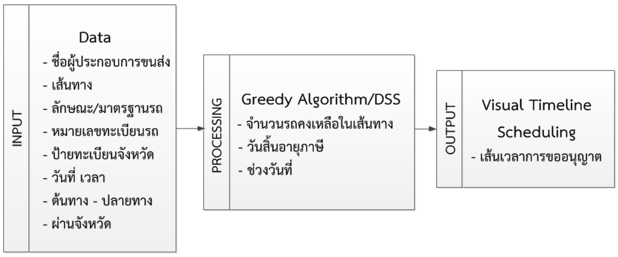
## 3. วิธีดำเนินการวิจัย

### 3.1 การศึกษาข้อมูลและปัญหาการทำงานระบบเดิม

การทำงานระบบเดิมของการออกใบอนุญาตใช้รถขนส่งนอกเส้นทาง เป็นการใช้ตัวบุคคลในการตรวจสอบ ซึ่งประกอบด้วยหลายปัจจัยและหลายเงื่อนไข จึงทำให้เกิดความผิดพลาดของข้อมูลเพื่อการสรุปผลอนุมัติบ่อยครั้ง ทั้งมีความล่าช้าในการทำงาน และผู้ประกอบการขนส่งเสียเวลาในการเดินทางมา

### 3.2 การวิเคราะห์ระบบ

3.2.1 การจากศึกษาข้อมูลและกำหนดปัญหาการทำงานของระบบเดิม ผู้วิจัยจึงคิดหาทางแก้ไขปัญหาโดยออกแบบระบบให้สามารถทำงานได้รวดเร็วขึ้น ลดขั้นตอนการทำงาน และศึกษาแนวคิดของทฤษฎีและอัลกอริทึมที่จะนำมาประยุกต์ใช้ โดยสามารถสรุปหลักการทำงานของระบบได้ดังรูปที่ 3

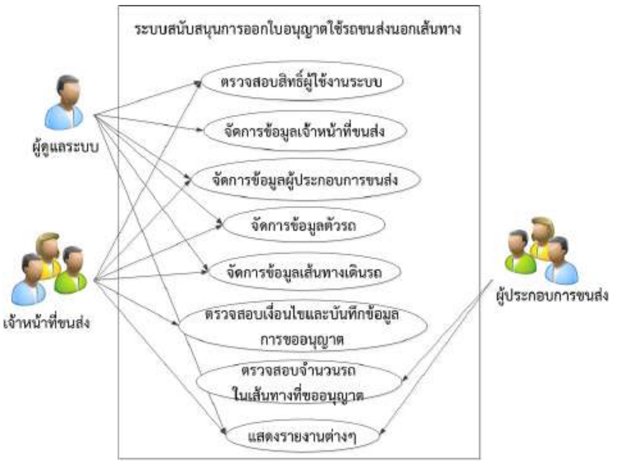



รูปที่ 3 หลักการทำงานของระบบ

3.2.2 จากหลักการทำงานของระบบ สามารถกำหนดขอบเขตของระบบตามความต้องการของกลุ่มผู้ใช้งาน อธิบายโครงสร้างการทำงานของระบบโดยรวม ด้วยแผนภาพ Use Case Diagram ดังรูปที่ 4

จากรูปที่ 4 ระบบสามารถแบ่งกลุ่มผู้ใช้งานออกเป็น 3 กลุ่ม แต่ละกลุ่มมีขอบเขตการใช้งานได้ดังนี้ 1) ผู้ดูแลระบบ สามารถกำหนด/สิทธิ์ผู้ใช้งาน เพิ่ม ลบ แก้ไข ค้นหา ข้อมูลผู้ใช้งานระบบ ข้อมูลตัวรถ ข้อมูลเส้นทางเดินรถ ข้อมูลการขออนุญาต การตรวจสอบเงื่อนไขและการบันทึกข้อมูลการขออนุญาต และการแสดงรายงานต่าง ๆ 2) เจ้าหน้าที่ขนส่ง สามารถเพิ่ม ลบ แก้ไข ค้นหา ข้อมูลผู้ใช้งานระบบ ข้อมูลตัวรถ ข้อมูลเส้นทางเดินรถ ข้อมูลการขออนุญาต การตรวจสอบเงื่อนไขและ

การบันทึกข้อมูลการขออนุญาตและการแสดงรายงานต่าง ๆ 3)ผู้ประกอบการขนส่ง สามารถตรวจสอบจำนวนรถคงเหลือในเส้นทาง และการแคสงรายงานต่าง ๆ ได้




รูปที่ 4 แผนภาพ Use Case Diagram

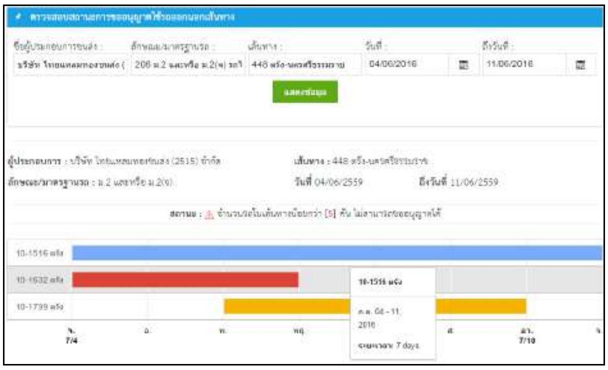
## 4. ผลการดำเนินการวิจัย

จากการพัฒนาระบบสนับสนุนการตัดสินใจได้นำปัจจัยที่สำคัญ คือ จำนวนรถคงเหลือในการขนส่ง วันสิ้นอายุภาษี และช่วงวันที่ขออนุญาต สำหรับการตรวจสอบเงื่อนไขการขออนุญาต ภายใต้หลักเกณฑ์ ข้อกำหนดด้านต่าง ๆ การแสดงผลตรวจสอบจำนวนรถคงเหลือและข้อมูลการอนุญาตในรูปแบบเส้นเวลา ที่สามารถเข้าใจได้ง่าย

ดังนั้น ผลจากการพัฒนาระบบจะช่วยให้ผู้ใช้งานสามารถตรวจสอบการขออนุญาตได้อย่างสะดวก รวดเร็ว ข้อมูลมีความถูกต้อง มองเห็นภาพโดยรวมของข้อมูลอย่างชัดเจน

## 5.สรุป

ระบบสนับสนุนการออกใบอนุญาตใช้รถขนส่งนอกเส้นทางที่พัฒนาขึ้นเพื่อเพิ่มความสะดวกในการตรวจสอบข้อมูลการขออนุญาต จากเดิมที่กระบวนการทำงานมีเงื่อนไขที่ซับซ้อน ข้อมูลเกิดการผิดพลาดบ่อยครั้ง และการอาศัยประสบการณ์การทำงานของเจ้าหน้าที่ โดยระบบสามารถตรวจสอบข้อมูลด้วยปัจจัยสำคัญ หลักเกณฑ์ ข้อกำหนดต่าง ๆ ที่สำคัญได้อย่างสะดวกและรวดเร็ว การแสดงผลตรวจสอบจำนวนรถคงเหลือในการขนส่ง และข้อมูลการอนุญาตในรูปแบบเส้นเวลา ที่สามารถเข้าใจได้ง่าย ดังรูปที่ 5 ซึ่งช่วยสนับสนุนการพิจารณายื่นขออนุญาตให้กับผู้ประกอบการขนส่ง และสนับสนุนการพิจารณาออกใบอนุญาตใช้รถขนส่งนอกเส้นทางแก่เจ้าหน้าที่ขนส่ง



รูปที่ 5 เส้นเวลาการขออนุญาตใช้รถขนส่งนอกเส้นทาง

## 6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณอาจารย์หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาการจัดการเทคโนโลยีสารสนเทศ และบุคลากรสำนักงานขนส่งจังหวัดตรัง ในการให้คำแนะนำและข้อมูลในการทำวิจัยครั้งนี้

## 7. เอกสารอ้างอิง

[1] พระราชบัญญัติการขนส่งทางบก พ.ศ. 2522, [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://www.dlt..go.th

[2] กิตติ ภักดีวัฒนะกุล. คัมภีร์ระบบสนับสนุนการตัดสินใจ และระบบผู้เชี่ยวชาญ. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ : เคทีพีคอมพ์ แอนด์ คอนซัลท์. 2551

[3] กันต์ ศรีจันท์ทองศิริ. 2556. Greedy Algorithms [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก : http://www.ict.mahidol.ac.th/acmicpc2013/download/Training Materials/2013_06_30/Greedy_Algorithms.pdf

[4] จันทร์เพ็ญ กล่อมใจขาว และสมปอง มิสสิตะ (2557, พฤษภาคม). Office Timeline เครื่องมือสำหรับการบริหารจัดการแผนการปฏิบัติงานและโครงการของหอสมุดพระราชวังสนามจันทร์ สำนักหอสมุดกลาง มหาวิทยาลัยศิลปกร. *PULINET Journal*. [ออนไลน์]. *1(2)*,หน้า 59-65.เข้าถึงได้จาก http://pulinet.oas.psu.ac.th/index.php/journal/article/view/30/34

[5] พิพัฒน์พงษ์ ทานา. 2554. การพัฒนารูปแบบประมวลเส้นทางที่ดีที่สุดโดยใช้เทคนิคฮิวริสติกส์แบบ Greedy best-first search กรณีมีข้อจำกัดด้านเวลา กรณีศึกษา บริษัท ยูเซ็น โลจิสติกส์ (ประเทศไทย) จำกัด. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

[6] อภิวัฒน์ ลิขิตเลิศล้ำ. 2554. ระบบสนับสนุนการตัดสินใจการจัดตารางการผลิตในกระบวนการบดซีเมนต์, การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ ประจำปี 2554, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, ประเทศไทย, ตุลาคม 2554 : 24-28.

# เว็บแอพพลิเคชั่นสนับสนุนระบบประกันคุณภาพการศึกษา

# Web Application Support Education Quality Assurance

**มธุรส กัปโก[1], สุรัชนันท์ ไกรเดช[2] และ วิบูลย์ พร้อมพานิชย์[3]**
[1]ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
1 ซอยฉลองกรุง 1 เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520 โทรศัพท์ 02-329-8000 – 02-329-8099 E-mail: 55010977@kmitl.ac.th
[2]ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
1 ซอยฉลองกรุง 1 เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520 โทรศัพท์ 02-329-8000 – 02-329-8099 E-mail: 55011362@kmitl.ac.th
[3]ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
1 ซอยฉลองกรุง 1 เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520 โทรศัพท์ 02-329-8000 – 02-329-8099 E-mail: wiboon.pr@kmitl.ac.th

## บทคัดย่อ

การประกันคุณภาพการศึกษา เป็นกระบวนการอย่างหนึ่งที่ช่วยให้สถาบันการศึกษา คณะและหลักสูตร รวมไปถึงบุคลากรทางการศึกษาได้มีการพัฒนาคุณภาพให้ได้มาตรฐาน ในแต่ละปีการศึกษา แต่ละสถาบัน คณะ และ หลักสูตร จะต้องมีการจัดทำรูปเล่มรายงานการประเมินตนเองที่มีรายละเอียดพร้อมทั้งเนื้อหาและหลักฐานสนับสนุนการประเมินตนเอง ซึ่งการประเมินตนเองที่ได้ดำเนินการไปนั้น จะถูกตรวจประเมินโดยผู้ประเมินที่มาจากหน่วยงานภายในและภายนอก รูปแบบของเล่มรายงานการประเมินนั้น จะมีลักษณะเหมือนกันตามระบบประกันคุณภาพที่ใช้ กระบวนการทำงานแบบนี้ จะต้องมีการจัดทำเอกสารในทุกๆปีที่มีการประเมิน ตลอดจนต้องมีการจัดเก็บรวบรวมข้อมูลทางสถิติและหลักฐานสนับสนุนการประเมินให้เป็นระบบ งานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาและพัฒนาเว็บแอพพลิเคชั่นที่สนับสนุนระบบการประกันคุณภาพการศึกษาในระดับหลักสูตร โดยใช้เทคโนโลยี single page web application ในการสร้างเว็บแอพพลิเคชั่นที่มีความเหมาะสมกับลักษณะของการใช้งานในปัจจุบัน ซึ่งมีการใช้ Angular JS ร่วมกับเทคโนโลยีภาษาโปรแกรมในตระกูล .net มาพัฒนา โดยระบบที่พัฒนาจะช่วยอำนวยความสะดวกของบุคลากรทุกฝ่ายที่มีส่วนเกี่ยวข้องในกระบวนการประกันคุณภาพ ทั้งในเรื่องของการประเมินตนเองตามเกณฑ์ต่างๆ การตรวจประเมินจากบุคคลภายนอก การจัดเก็บและเข้าถึงข้อมูลทางสถิติรวมไปถึงเอกสารที่เป็นหลักฐานสนับสนุนการประเมิน ซึ่งทั้งหมดล้วนจัดเก็บอยู่ในระบบฐานข้อมูลที่ได้ออกแบบไว้

คำสำคัญ: การประกันคุณภาพ, การศึกษา, เว็บแอพพลิเคชั่น

## Abstract

Education quality assurance is the process that can help the institute, the faculty, the curriculum and also cover the education personnel in each academic year to have quality improvement to achieve the standards. In each academic year, each institute, faculty and curriculum have to create the self assessment report which included details of the self-evaluation in each indicator, the reasons that they evaluated themselves in every particular indicator and also the documentary evidence that use to support the self-evaluation, which will be examine by the quality assessor who come from internal and external organization to evaluate the curriculum later. The format of assessment report depends on the quality assurance system that used. This work process must prepare documentation for every year that have assessment as well as systematic storing and gathering statistical data and assessment supporting evidences. This research provide easier way to accomplish the former process by creating the modern web application that the curriculum committee can do their job concurrently, the quality assessor can anytime and anywhere easily reach to the report and also the statistical data and documentary evidences are systematically stored. This research will bring the single page web application technology to make the web application looking more modern and have more dynamic flow of working implemented by Angular JS and .net.

Keywords: quality assurance, education, web application

## 1. บทนำ

การประกันคุณภาพการศึกษา เป็นกระบวนการอย่างหนึ่งที่ช่วยให้สถาบันการศึกษา คณะ และหลักสูตร รวมไปถึงบุคลากรทางการศึกษา ได้มีการพัฒนาคุณภาพให้ได้มาตรฐานตามเกณฑ์ เนื่องจากมีความเป็นไปได้ที่จะมีสถาบันการศึกษาจำนวนหนึ่งอาจจะเปิดหลักสูตรมีการเรียนการสอนแต่ไม่ได้ทำตามระบบหรือแผนที่วางไว้ จึงไม่มีอะไรที่รับประกันได้เลยว่าสถาบันการศึกษาดังกล่าวมีมาตรฐานหรือไม่

กฎหมายในพระราชบัญญัติการศึกษาแห่งชาติ พ.ศ.2552 แก้ไขเพิ่มเติม (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2545 และ (ฉบับที่ 3) พ.ศ. 2553 จึงกำหนดให้มีระบบการประกันคุณภาพการศึกษา [1]

ลักษณะของกระบวนการการประกันคุณภาพก็คือ ในแต่ละปีการศึกษา แต่ละสถาบัน คณะ และ หลักสูตร จะต้องมีการจัดทำรูปเล่มรายงานการประเมินตนเองที่มีรายละเอียดพร้อมทั้งเนื้อหาและหลักฐานสนับสนุนการประเมินตนเอง รูปแบบของเล่มรายงานนั้นจะเหมือนกันในทุกปี ด้วยลักษณะกระบวนการทำงานแบบนี้ในทุกๆ ปี จากการสำรวจผู้เกี่ยวข้อง จึงได้ทราบว่ามีปัญหาในการทำงานหลายๆ อย่าง ดังเช่นว่า การที่คณะกรรมการหลักสูตรที่มีหน้าที่ในการจัดทำเล่มการประกันคุณภาพการศึกษานั้นย่อมมีหลายคน การที่จะต้องใช้โปรแกรมประยุกต์ เช่น Microsoft Word แบ่งส่วนกันทำ แล้วนำมารวมกันนั้น เป็นเรื่องที่ลำบาก กล่าวคือ การแบ่งส่วนงานกันทำ เป็นเรื่องที่เป็นไปค่อนข้างลำบาก รวมไปถึงหัวข้อการประเมินที่อาจจะซ้ำเดิมในทุกๆปี การที่จะต้องจัดทำเล่มรายงานใหม่ ซึ่งมีหัวข้อการประเมินที่อาจจะคล้ายกับปีที่ผ่านมา แล้วมีการเปลี่ยนเนื้อหาบางส่วนนั้น ถือได้ว่าเป็นงานที่ซ้ำซ้อน นอกจากนั้นยังเป็นเรื่องที่ค่อนข้างลำบากสำหรับคณะกรรมการจากภายนอกที่เข้ามาประเมินด้วยเหตุผลหลายอย่าง อาทิเช่น การเข้าถึงเล่มเอกสารการประกันคุณภาพการศึกษา หากคณะกรรมการผู้ประเมินมีหลายท่าน แต่เล่มเอกสารการประกันนั้นมีเพียงเล่มเดียว ก็จะเป็นการยากที่คณะกรรมการทุกๆท่านจะได้อ่านเล่มประกันเพื่อทำการศึกษารายละเอียดต่างๆ ของหลักสูตรก่อนที่จะเข้ามาเยี่ยมเยียนแวะชมสถานที่จริง รวมไปถึงหลักฐานสนับสนุนการประเมิน โดยปกติจะอยู่หลังเล่ม ระหว่างที่อ่านคณะกรรมการจะต้องพลิกไปพลิกมาระหว่างหัวข้อที่อ่านกับหลักฐานที่ถูกอ้างอิงจากเนื้อหานั้นๆ ซึ่งเป็นการไม่สะดวกอย่างยิ่งสำหรับการอ่านอย่างต่อเนื่อง รวมไปถึงการเพิ่ม, แก้ไข หรือลบหลักฐานสนับสนุนการประเมิน หากทำเป็นเว็บแอพพลิเคชั่นก็จะสะดวกและง่ายมากขึ้น แล้วยังมีแนวคิดของการเก็บข้อมูลทางสถิติต่างๆ ซึ่งจะทำให้ง่ายในการหาข้อมูลย้อนหลัง นอกจากนี้ การเก็บข้อมูลทางสถิติต่างๆ ก็จะสามารถนำมาเป็นหลักฐานสนับสนุนการประเมินตนเองในภายหลังได้อีกด้วย

ด้วยเหตุผลดังกล่าว ตลอดจนมีความคิดที่ต้องการจะพัฒนาระบบการประกันคุณภาพการศึกษาให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น ดังนั้นด้วยเทคโนโลยีในปัจจุบันที่สามารถเข้าถึงอินเตอร์เน็ตได้ จึงมีแนวคิดในการจัดทำระบบการประเมินออนไลน์ งานวิจัยนี้ได้ทำการย้ายจากการจัดทำเล่มรายงานแล้วจัดพิมพ์ รวมไปถึงการให้ผู้ประเมินมาอ่านเล่มรายงานบนกระดาษ ไปอยู่บนเว็บแอพพลิเคชั่นที่สามารถเข้าถึงได้ทางอินเตอร์เน็ต ทำให้ง่ายต่อการเข้าถึง กรรมการหลักสูตรและเจ้าหน้าที่สามารถทำการเพิ่มข้อมูลในส่วนต่างๆได้อย่างง่ายดายมากขึ้น และง่ายต่อการที่ผู้เข้ามาประเมินนั้น สามารถดูข้อมูล รวมไปถึงหลักฐานสนับสนุนการประเมินได้บนเว็บแอพพลิเคชั่นที่จัดทำขึ้นมานี้

## 2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 การประกันคุณภาพการศึกษาระดับหลักสูตร CUPT QA

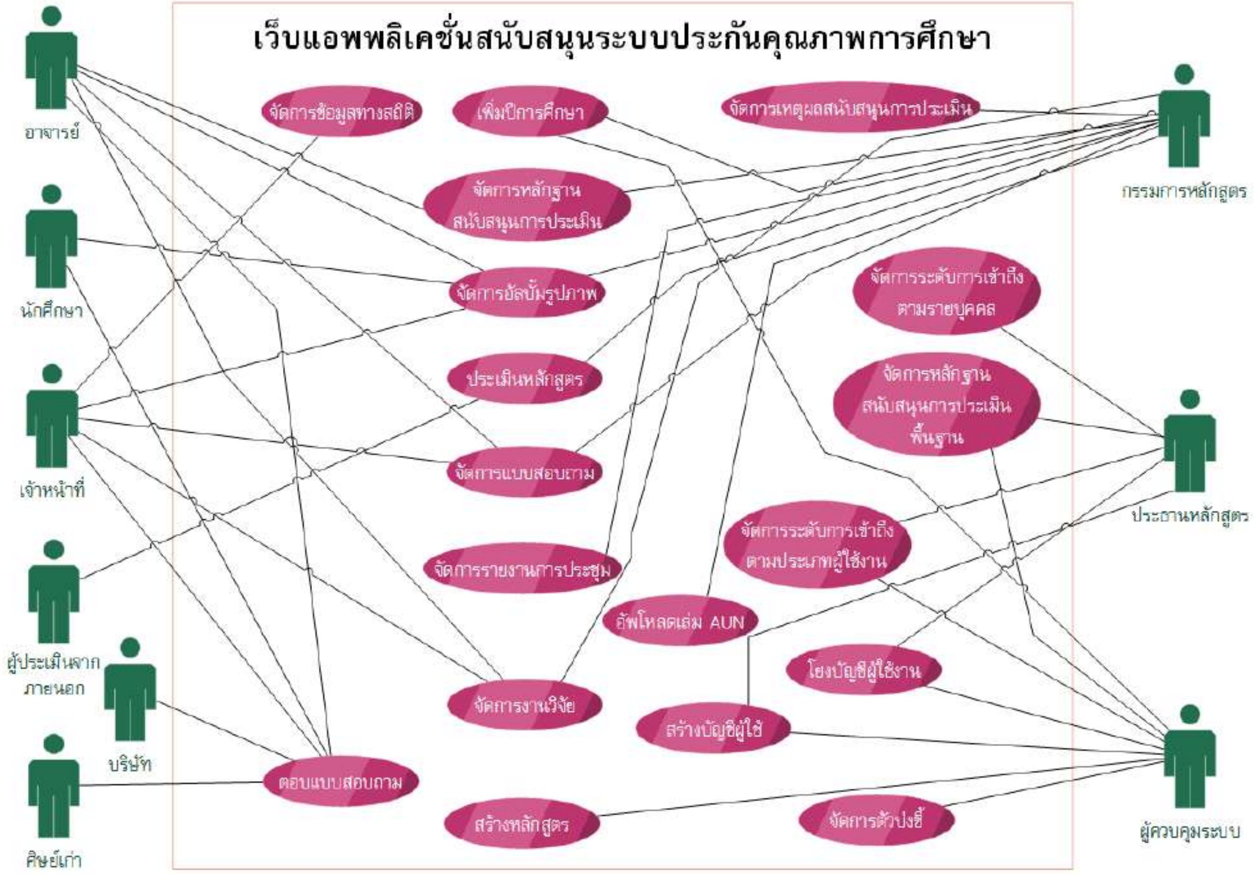
การประกันคุณภาพระดับหลักสูตร CUPT-QA [1] จะแบ่งเป็น 2 องค์ประกอบ คือ องค์ประกอบที่ 1 การกำกับมาตรฐานของการประกันคุณภาพระดับหลักสูตร ซึ่งทุกหลักสูตรจะต้องดำเนินการทุกปี ในขณะที่องค์ประกอบที่ 2 การพัฒนาคุณภาพหลักสูตรตามเกณฑ์ AUN-QA version 3.0 [2] ซึ่งมีทั้งหมด 11 เกณฑ์ ในแต่ละเกณฑ์จะมีเกณฑ์ย่อยกำกับ ระดับคะแนนที่สามารถให้ได้ในแต่ละเกณฑ์มีตั้งแต่ 1-7 สำหรับองค์ประกอบที่ 2 ทุกหลักสูตรจะต้องดำเนินการประเมินทุกๆ 5 ปี ข้อดีของการใช้เกณฑ์ CUPT-QA คือเป็นการลดภาระของสถานศึกษา เพราะการประเมินทั้งภายในและภายนอกมีการใช้เป็นเกณฑ์เดียวกัน อีกทั้งเกณฑ์การประเมินโดยเฉพาะ AUN-QA ตอบโจทย์ต่อบริบทของสถานศึกษาที่แตกต่างกันอีกด้วย

โดยงานวิจัยนี้จะเน้นไปที่การพัฒนาเว็บแอพพลิเคชั่นที่รองรับการประกันคุณภาพการศึกษาระดับหลักสูตร CUPT-QA ตามองค์ประกอบที่ 2 (เกณฑ์ AUN-QA) ส่วนองค์ประกอบแรกจะใช้เว็บไซต์ของหน่วยงานราชการที่มีการพัฒนาไว้ก่อนแล้ว

## 3. การออกแบบและพัฒนาเว็บแอพพลิเคชั่น

### 3.1 Use case diagram

จากปัญหาที่ได้อธิบายในบทนำ สามารถออกแบบ use case diagram ของเว็บแอพพลิเคชั่นที่พัฒนาได้ โดยในผังมีการแสดงรายละเอียดของผู้ที่เกี่ยวข้องในระบบพร้อมกับ use case ต่างๆ ซึ่งจะสอดคล้องกับระดับการเข้าถึงของผู้ใช้งานแต่ละประเภทตามค่าเริ่มต้นของระบบ เนื่องจากระบบจะมีความสามารถในการให้ผู้ควบคุมระบบและประธานหลักสูตรแก้ไขระดับการเข้าถึงดั้งเดิมของผู้ใช้แต่ละประเภทได้อย่างอิสระ บางครั้งในแต่ละหลักสูตรอาจจะมีการทำงานที่แตกต่างกันไป บทบาทของอาจารย์, เจ้าหน้าที่ หรือผู้ใช้งานประเภทต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับระบบก็จะแตกต่างกันไปเช่นกัน ดังนั้นเว็บแอพพลิเคชั่นที่พัฒนา ควรจะต้องมีการรองรับการใช้งานในส่วนนี้ เช่น ในหลักสูตรหนึ่ง ประธานหลักสูตรทำการเปลี่ยนแปลงระดับการเข้าถึงดั้งเดิมของผู้ใช้งานประเภทอาจารย์ให้สามารถจัดการงานวิจัยได้ ดังนั้นผู้ใช้งานประเภทอาจารย์ทั้งหมดที่อยู่ในหลักสูตรนั้น ก็จะสามารถจัดการงานวิจัยได้ ในขณะที่ผู้ใช้งานประเภทอื่นๆ (ที่ยังไม่ได้มีการแก้ไขระดับการเข้าถึงให้เหมือนกับผู้ใช้งานประเภทอาจารย์) จะไม่สามารถจัดการงานวิจัยได้ ดังนั้นระดับการเข้าถึงของผู้ใช้งานแต่ละประเภทไม่จำเป็นต้องเป็นไปตาม use case diagram นี้เสมอไป แต่ในการเริ่มต้นทำงานของระบบ (เมื่อผู้ควบคุมระบบหรือประธานหลักสูตรยังไม่ได้มีการแก้ไขระดับการเข้าถึงของผู้ใช้แต่ละประเภท) ระดับการเข้าถึงของผู้ใช้แต่ละประเภทจะเป็นไปตาม use case diagram ในรูปที่ 1




**รูปที่ 1** Use case diagram

## 3.2 การพัฒนาเว็บแอพพลิเคชั่น

สำหรับการพัฒนาตัวเว็บแอพพลิเคชั่น จะใช้แนวคิดการทำ single page web application [3-4] เนื่องจากผู้ใช้งานมีการเข้าถึงหรือจัดการกับข้อมูลอยู่ตลอดเวลา ถ้าใช้วิธีการกดส่งข้อมูล (submit) ไปหา server ตรงๆ เลย ผลที่ได้ก็คือ ผู้ใช้งานจะต้องรอให้หน้าเว็บโหลดใหม่ทั้งหน้า ทั้งที่ความเป็นจริงแล้วสิ่งที่ต้องการก็คือ ข้อมูลที่จะเอามาแสดงหรือผลลัพธ์ที่ได้จากการดำเนินการกับตัวข้อมูลเท่านั้น ฉะนั้น การพัฒนาเว็บแอพพลิเคชั่นให้เป็น single page web application จึงตอบโจทย์และช่วยให้ผู้ใช้งานเข้าถึงหรือจัดการกับตัวข้อมูลได้เร็วและสะดวกขึ้นกว่าเดิม

ในหน้าแสดงผลที่เป็น front-end ได้ใช้ชุดไลบรารี่ Angular JS ร่วมกับ quantum UI ในการพัฒนา จุดเด่นของการใช้ไลบรารี่ Angular JS ก็คือ สามารถพัฒนาให้ตัวเว็บมีความเป็นไดนามิกมากขึ้น ด้วยคุณสมบัติ two way data binding ของ Angular JS [5] เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของข้อมูลเกิดขึ้นที่ View จะมีการอัพเดทที่ Model อัตโนมัติ หรือถ้ามีการเปลี่ยนแปลงข้อมูลเกิดขึ้นที่ Model ก็จะมีการอัพเดทที่ View เช่นเดียวกัน ส่วน quantum UI เป็นไลบรารี่ที่ใช้ในการทำ user interface ซึ่งสามารถทำงานร่วมกันกับ Angular JS ได้ดี สำหรับตัวอย่างบางส่วนของ user interface ของเว็บแอพพลิเคชั่นที่พัฒนาแสดงดังรูปที่ 2

**รูปที่ 2** User interface ของเว็บแอพพลิเคชั่นที่พัฒนา

ในฝั่ง back-end ได้ใช้ framework ASP.NET Web API เพื่อรองรับกลไกการทำงานที่เป็น single page web application โดย back-end จะทำหน้าที่เป็น web service ซึ่งจะรอ request จากฝั่ง front-end แล้วคอยส่ง response ที่เป็นข้อมูลที่ต้องการหรือผลลัพธ์ของการดำเนินการว่าสำเร็จหรือไม่เท่านั้น

ในส่วนของการจัดเก็บข้อมูลของตัวเว็บแอพพลิเคชั่น ทีมวิจัยได้ใช้ซอฟต์แวร์จัดการฐานข้อมูล Microsoft SQL Server 2014 ในการจัดเก็บข้อมูล และตัวเว็บแอพพลิเคชั่นที่ได้พัฒนาสำเร็จแล้วนั้น ได้ถูกนำไปรันบน server ที่ใช้ระบบปฏิบัติการ Windows Server 2012 R2 โดย

server ดังกล่าวใช้ซอฟต์แวร์ Microsoft Internet Information Services 8 ในการทำหน้าที่เป็น web server

## 4. การทดลองกับผู้ใช้งานจริง

ในส่วนการทดลองกับผู้ใช้งานจริง ทีมวิจัยได้ดำเนินการให้ผู้ใช้งานที่เกี่ยวข้องกับการประกันคุณภาพการศึกษาในระดับหลักสูตร เช่น กรรมการหลักสูตร ได้ใช้เว็บแอพพลิเคชั่นที่พัฒนา แล้วแสดงความคิดเห็นว่าเว็บแอพพลิเคชั่นที่พัฒนาเป็นอย่างไร มีจุดที่ควรพัฒนา หรือจุดที่ควรปรับปรุงตรงไหนหรือไม่ ซึ่งจากการที่ได้ให้ผู้ใช้งานได้ทดลองใช้จริง ก็พบว่ามีผลลัพธ์ที่เป็นความคิดเห็นของผู้ใช้งาน ดังแสดงในตารางที่ 1 ซึ่งเป็นความคิดเห็นบางส่วนที่ได้ยกมาแสดงในบทความนี้

ตารางที่ 1 ความคิดเห็นบางส่วนของผู้ใช้งานที่ได้ทดลองใช้งานจริง

| ลำดับ | รายละเอียด |
|---|---|
| 1 | ภาพพื้นหลังก่อนเข้าใช้และหลัง login โดดเด่นสวยงาม |
| 2 | การเอา mouse ชี้ AUN แล้วมีคำอธิบายให้ ทำให้เข้าใจกลุ่ม AUN ที่เลือกได้ง่าย |
| 3 | ควรให้เว็บแอพพลิเคชั่นที่พัฒนามีการรองรับกรณีการร้องขอบัญชีผู้ใช้งาน สำหรับผู้ใช้ที่ต้องการเข้าถึงความสามารถอื่นๆ หรือต้องการใช้งานในเว็บแอพพลิเคชั่นจริงๆ |
| 4 | ควรให้ผู้ดูแลระบบสามารถกำหนดข้อมูลทางสถิติพื้นฐาน ที่ทุกหลักสูตรมีเหมือนกันและสามารถอ้างอิงในภายหลังได้ |
| 5 | ข้อที่คะแนนน้อยกว่าเป้าเฉลี่ย ควร link ไปแผนระยะสั้น-กลาง-ยาว ด้วยไหม |
| 6 | สิทธิการเข้าถึงของข้อมูลทางสถิติและหลักฐานสนับสนุนการประเมิน ที่เลยปีการศึกษาที่มีการประเมินมาแล้ว ควรปรับให้เป็นดูอย่างเดียว ไม่สามารถให้ผู้ใช้งานมาแก้ไขได้ |

## 5. สรุป

เว็บแอพพลิเคชั่นสนับสนุนระบบประกันคุณภาพการศึกษานี้มีคุณประโยชน์มากมายต่อผู้ที่เกี่ยวข้องกับหลักสูตรและระบบประกันคุณภาพการศึกษา และช่วยให้การทำงานของผู้ที่เกี่ยวข้องกับหลักสูตรและระบบประกันคุณภาพการศึกษานั้นมีความสะดวกมากขึ้น ทีมวิจัยได้ความรู้ใหม่ๆ ที่เกี่ยวกับการพัฒนาเว็บที่เป็น single page web application จากระดับเริ่มต้นจนถึงระดับประยุกต์ สำหรับความคิดเห็นของผู้ใช้งานที่ได้จากการทดลอง สามารถนำไปปรับปรุง และพัฒนาต่อยอดตัวเว็บแอพพลิเคชั่นให้มีความสามารถที่ดีขึ้นได้ในอนาคตต่อไป

## 6. กิตติกรรมประกาศ

เว็บแอพพลิเคชั่นสนับสนุนระบบประกันคุณภาพการศึกษานี้สามารถจัดทำขึ้นมาอย่างสำเร็จลุล่วงมาได้ เนื่องด้วยการช่วยเหลือ และการให้คำปรึกษาจากอาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์วิบูลย์ พร้อมพานิชย์ ที่คอยตอบคำถาม คอยแนะนำเอาใจใส่ สอบถามความคืบหน้า เอาใจใส่ดูแลคอยให้การสนับสนุนเป็นอย่างดีในทุกๆเรื่อง ซึ่งทางคณะผู้จัดทำต้องขอขอบพระคุณอาจารย์วิบูลย์เป็นอย่างสูง นอกเหนือจากนี้ คณะผู้จัดทำต้องขอขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่าน ที่ได้อบรมวิชาความรู้ สั่งสอนมาตั้งแต่คณะผู้จัดทำยังเป็นนักศึกษาชั้นปีที่ 1 ในการจัดทำเว็บแอพพลิเคชั่นสนับสนุนระบบประกันคุณภาพการศึกษานี้ คณะผู้จัดทำได้ใช้ความรู้ในหลากหลายสาขาวิชา นำความรู้ที่อาจารย์ทั้งหลายได้สั่งสอนมาบูรณาการจนสร้างขึ้นมาเป็นเว็บแอพพลิเคชั่นสนับสนุนระบบประกันคุณภาพการศึกษานี้ได้จนสำเร็จ ซึ่งคณะผู้จัดทำมีความซาบซึ้งและสานึกในบุญคุณเป็นอย่างมาก ขอขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ในคณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่อยู่กันมา เป็นเพื่อน เป็นพี่ เป็นน้อง ให้คำปรึกษากันมา

## เอกสารอ้างอิง

[1] ส่วนประกันคุณภาพการศึกษา สจล. (2016, March 4). *คู่มือการประกันคุณภาพการศึกษา CUPT QA ฉบับปีการศึกษา 2558-2560* [Online].Available:https://drive.google.com/file/d/0B4ub6s8FneUgR3hzYV9TUzhmQ2s/view

[2] ASEAN University Network. (2015, October). *Guide to AUN-QA Assessment at Programme Level Version 3.0* [Online]. Available:https://drive.google.com/file/d/0B4ub6s8FneUgV2N0Rjc1VVIxMHc/view

[3] M. Takada. (2012). *Modern web applications: an overview* [Online]. Available: http://singlepageappbook.com/goal.html

[4] Wikipedia. (2016, March 3). *Single-page application* [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Single-page_application

[5] N. Shrivastava. (2014, August 17). *Data Binding In AngularJS* [Online].Available:http://www.codeproject.com/Articles/808257/Part-Data-Binding-In-AngularJS

## ประวัติผู้เขียนบทความ

1. มธุรส กัปโก นักศึกษาชั้นปีที่ 4 ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

2. สุรัชนันท์ ไกรเดช นักศึกษาชั้นปีที่ 4 ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

3. วิบูลย์ พร้อมพานิชย์ อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

# ระบบสั่งอาหารแบบมีบริการส่งถึงที่ ผ่านแอปพลิเคชั่นบนสมาร์ทโฟนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์

# Android Application for Food Delivery

**นุชนาถ สัตย์วินิจ [1] และ ศักดินนท์ เปี้ยกาศ [2]**
ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์
110/1-4 ถนนประชาชื่น หลักสี่ กรุงเทพมหานคร 10210 โทรศัพท์ : 02-954-7300 ต่อ 718
E-mail: [1] nutchanart.saj@dpu.ac.th, [2] dizarale@hotmail.com

## บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการออกแบบและพัฒนาระบบการสั่งอาหารแบบมีบริการจัดส่ง โดยระบบที่พัฒนาขึ้นมีการใช้ทำงาน แบ่งออกเป็นสองส่วน คือ ส่วนแอปพลิเคชันบนสมาร์ทโฟนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ และส่วนของแอปพลิเคชันบนเว็บ ผู้ใช้งานแอปพลิเคชันบนสมาร์ทโฟน สามารถเลือกรายการอาหารได้สองวิธีคือ การสแกนรหัสคิวอาร์ และการเลือกจากรายการอาหารที่มีให้ สามารถระบุจุดรับรายการอาหารที่สั่ง รวมถึงสามารถติดตามสถานะของรายการอาหารที่สั่งได้ ด้านผู้ใช้งานแอปพลิเคชันบนเว็บจะสามารถใช้งานระบบนี้ เพื่อบริหารจัดการรายการอาหาร สามารถรับรายการอาหาร ตรวจสอบคำสั่งซื้อของลูกค้า และสามารรถติดต่อกับลูกค้าได้ผ่านทางแอปพลิเคชันเมื่อรายการอาหารมีปัญหา

ระบบนี้มีการนำเทคโนโลยีหลายเทคโนโลยีมาผนวกไว้ด้วยกัน เพื่อความสะดวกในการใช้งาน เช่น รหัสคิวอาร์ การระบุตำแหน่งโดยใช้จีพีเอส (GPS) การแสดงตำแหน่งโดยใช้แผนที่กูเกิล (GoogleMap) การรับส่งข้อความผ่านระบบคลาวด์ของกูเกิล (GCM)

จากการทดสอบระบบ ระบบนี้สามารถทำงานได้กับระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์เวอร์ชัน 5.0 ขึ้นไป และรองรับการทำงานของเบราเซอร์ทั้ง Internet Explorer FireFoxและ Google Chrome และสามารถรับและบริหารจัดการรายการอาหารได้อย่างถูกต้อง เป็นไปตามขั้นตอนการทำงานที่กำหนดไว้

คำสำคัญ: การประยุกต์ใช้รหัสคิวอาร์, การพัฒนาระบบสำหรับสั่งอาหาร, เทคโนโลยีจีพีเอส, การประยุกต์ใช้แผนที่, การประยุกต์ใช้การรับส่งข้อความผ่านระบบคลาวด์ของกูเกิล

## Abstract

The aim of this project is develop the system that support food delivery. This system has two applications 1) android application for customer and 2) web application for food shop. The customer can select the menu from android application by two ways 1) select directly from menu in application and 2) select from scan QR code. They can identify the location for receive the food and track status of their order by using this application. The owner of food shop or the accomplish can use web application to manage the orders from customers. They will receive and verify the orders and send message to customer if it has problem with order. This research combines many technologies to support multiple usage of the customer such as QR code, GPS, Google map and GCM. The application on smartphone is compatible with the Android operating system version 5.0 or higher and the application on web is compatible with browsers Internet Explorer, Chrome and Firefox. The application has been tested and all functions can be run.

Keywords: QR Code, GPS, GoogleMap, GCM

## 1. บทนำ

ปัจจุบันการการทำการตลาดแบบบริการส่งถึงที่มีอย่างแพร่หลายมากขึ้นเนื่องจากผู้บริโภคต้องการความสะดวกสบายเพิ่มขึ้น อันเนื่องมากจากหลายสาเหตุ เช่น ความไม่สะดวกด้านการเดินทาง ความไม่สะดวกด้านเวลา เป็นต้น และเพื่อตอบสนองต่อสิ่งเหล่านั้น บริการสั่งอาหารที่ใช้การตลาดแบบบริการส่งถึงที่จึงเข้ามามีบทบาทอย่างมาก เพื่อเป็นทางเลือกให้กลุ่มลูกค้ามีที่ความต้องการความสะดวกสบายในการเลือกสั่งอาหารที่ต้องการโดยที่ไม่ต้องไปรับประทานหรือสั่งที่ร้านอาหาร และเป็นการขยายกลุ่มลูกค้าให้กับทางร้านอาหารให้กว้างขวางขึ้น เพื่อเพิ่มยอดขายอาหารให้กับทางร้านอีกด้วย

แต่การสั่งอาหารแบบบริการส่งถึงที่ที่ติดต่อสื่อสารผ่านทางการสนทนาทางโทรศัพท์มีข้อจำกัดเช่น การเลือกรายการอาหารของลูกค้าทำได้ลำบาก เนื่องจากไม่สามารถทราบรายการอาหารของทางร้านได้ทั้งหมด การตกลงจุดรับส่งอาหารอย่างละเอียดทำได้ยาก ส่งผลให้จำเป็นจะต้องมีการติดต่อผ่านโทรศัพท์หลายครั้งทำให้ลูกค้าเกิดความเบื่อ

หน่าย ไม่สามารถติดตามสถานะของรายการอาหารได้ หรือเมื่อลูกค้าตอบรับการสั่งอาหารแล้ว พบว่าไม่มีพื้นที่ให้บริการส่งอาหาร เป็นต้น ซึ่งอาจทำให้ลูกค้าเกิดทัศนคติในเชิงลบกับภาพลักษณ์ของร้าน และต่อระบบการให้บริการในลักษณะเช่นนี้ จากปัญหาต่างๆ ที่กล่าวมาข้างต้น ผู้จัดทำจึงมีแนวคิดที่จะออกแบบระบบที่ช่วยอำนวยความสะดวกในการให้บริการแบบส่งถึงที่ ซึ่งสามารถเข้าถึงได้ง่าย ลดข้อจำกัดที่อาจจะเกิดขึ้นในระหว่างการสั่งอาหาร และเพื่อตอบสนองความต้องการด้านความสะดวกสบายรวมถึงลดปัญหาด้านการติดต่อสื่อสารระหว่างร้านอาหารและผู้บริโภค โดยผู้บริโภคสามารถเข้าใช้งานระบบ ผ่านทางแอปพลิเคชั่นบนสมาร์ทโฟน ซึ่งสามารถค้นหารายการอาหารหรือเลือกการสั่งอาหารที่ต้องการด้วยการสแกน QR code ที่มากับแผ่นพับหรือใบปลิวรายการอาหารและยังสามารถระบุตำแหน่งการรับส่งอาหารผ่านทาง Google map ในส่วนของร้านอาหารสามารถรับรายการอาหาร สรุปยอด ประมาณเวลาในการส่งอาหารแก่ลูกค้าเพื่อประกอบการตัดสินใจ

จากแนวคิดในการพัฒนาระบบการสั่งอาหารแบบบริการส่งถึงที่ที่ผู้จัดทำคิดขึ้นนั้น ส่งผลให้ผู้บริโภคมีทางเลือกในการสั่งอาหารที่มากขึ้น สะดวกและง่ายต่อการใช้งาน เป็นการเพิ่มความประทับใจในเชิงบวกกับร้านอาหารและการบริการ ซึ่งเมื่อลูกค้ามีความประทับใจในการบริการ ส่งผลให้มีแนวโน้มว่าจะยังใช้บริการนี้ไปอย่างต่อเนื่อง ร้านอาหารก็จะได้รับประโยชน์จากระบบ ในการเพิ่มยอดขาย ช่วยลดปัญหาต่างๆ ในการบริการ ส่งผลให้สามารถให้บริการการส่งอาหารได้อย่างมีประสิทธิภาพ เพื่อตอบสนองความพึงพอใจของลูกค้า

## 2. ทฤษฎีและผลงานที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 Model-View-Controller (MVC)

Model-View-Controller หรือ MVC คือ สถาปัตยกรรมซอฟต์แวร์แบบหนึ่งซึ่งเป็นหลักการออกแบบ (Design Pattern) ขั้นพื้นฐานสำหรับการออกแบบในขั้นต่อไป การเขียนโปรแกรมแบบ MVC เป็นที่นิยมมากในการออกแบบและนำไปพัฒนาแอพพลิเคชั่นบนเว็บ โดย MVC จะแบ่ง Object ตามบทบาทหน้าที่ดังนี้

- Model (M) : คือ Object ที่ทำหน้าที่เป็นตัวแทนของข้อมูล โดยไม่ว่าข้อมูลจะถูกจัดเก็บในรูปแบบของไฟล์หรือฐานข้อมูล
- View (V) : คือ Object ที่ใช้ในการแสดงผลข้อมูล(User Interface) ซึ่งภายใน Object ที่ทำหน้าที่เป็น View จะมี code ที่เกี่ยวกับการจัดหน้าตา และรูปแบบข้อมูลที่ใช้แสดงผล
- Controller (C) : คือ Object ที่ทำหน้าที่รับคำสั่ง ประมวลผล และความคุมการทำงาน View และ Model

### 2.2 Google cloud messaging (GCM)

Google cloud messaging หรือ GCMเป็นบริการที่ช่วยส่งข้อมูลจาก App Engine หรือ Serverอื่น ๆ ให้กับอุปกรณ์ Android ซึ่งเป็นการแจ้งเตือนขนาดเล็กถึง Application เมื่อมีข้อมูลใหม่ที่จะเรียกจากเซิร์ฟเวอร์ หรือส่งข้อมูลที่มีขนาดได้ถึง 4KB ให้กลับ Application ได้โดยตรง

### 2.3 REST Protocol

REST (Representational State Transfer) Protocol เป็นแนวทางในการสร้าง Web Service โดยเรียกใช้ผ่านทาง HTTP Method GET/POST/PUT/DELETE ปริมาณข้อมูลที่รับส่ง น้อยกว่าการใช้ Protocol SOAP อยู่มาก

### 2.4 QR Code

Quick Response หรือ QR Code คือบาร์โค้ด 2 มิติ ที่บริษัท Denso-Wave สร้างขึ้นมาในปี 1994 ใช้เป็นสัญลักษณ์แทนข้อมูลต่างๆ มีการตอบสนองที่รวดเร็ว ซึ่งส่วนใหญ่ใช้กับสินค้า, สื่อโฆษณาต่างๆ รวมถึง URL ซึ้งสามารถเข้าถึงข้อมูลได้ด้วยการใช้อุปกรณ์ที่มีกล่องและซอฟแวร์ประเภท QR Code Reader เช่นโทรศัพท์มือถือ เป็นต้น

## 3. การออกแบบและพัฒนา

### 3.1 สถาปัตยกรรมระบบ

**รูปที่ 1** สถาปัตยกรรมระบบ

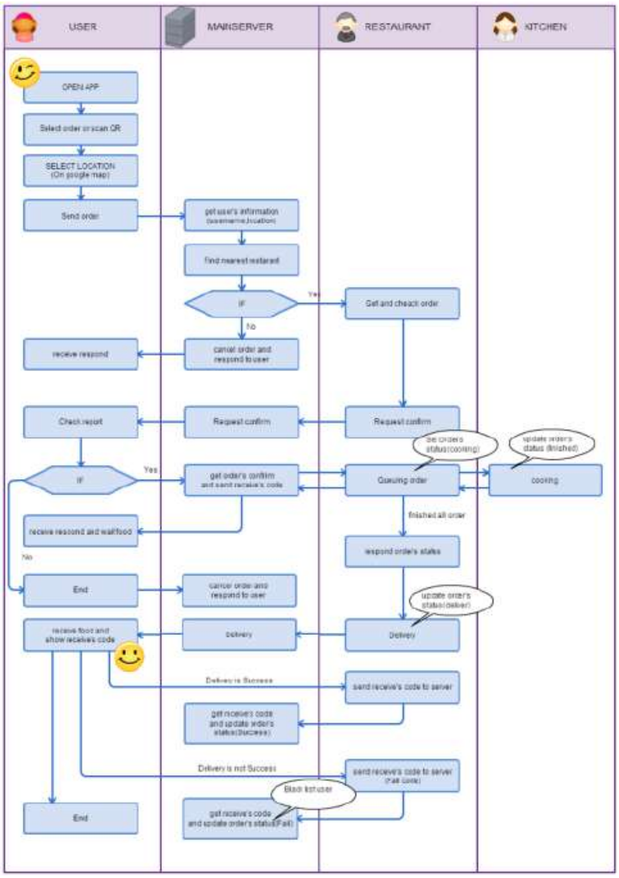
รูปที่ 1 แสดงสถาปัตยกรรมของระบบ ซึ่ง ระบบถูกแบ่งการทำงานออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนผู้ใช้ (ร้านอาหาร ห้องครัว ผู้ดูแลระบบ และผู้ใช้บริการ) และส่วนของ เซิร์ฟเวอร์ซึ่งทั้งสองส่วนจะถูกเชื่อมต่อกันด้วยอินเตอร์เน็ต

1. ส่วนของผู้ใช้ สามารถแบ่งได้ออกเป็น 2 ส่วนคือ

1.1.ส่วนของผู้ใช้ที่เป็น Web Application คือส่วนของร้านอาการ ห้องครัว และผู้ดูแลระบบในส่วนนี้จะถูกพัฒนาด้วย HTML, Java script, PHP,CSS เพื่อใช้ติดต่อกับส่วนของเซิร์ฟเวอร์

1.2.ส่วนของผู้ใช้ที่เป็น Android Application คือส่วนของผู้ใช้บริการ ในส่วนนี้จะถูกพัฒนาด้วย Android SDK และ Java SDK เพื่อใช้ติดต่อกับเซิร์ฟเวอร์

2.ส่วนของเซิร์ฟเวอร์ส่วนนี้มีหน้าที่ในการประมวลผลข้อมูล แลกเปลี่ยนข้อมูล จะจัดเก็บข้อมูล ซึ่งจะถูกพัฒนาด้วย PHP และ MySQL โดยการทำงานของระบบที่ออกแบบเป็นไปดังรูปที่ 2




**รูปที่ 2** การทำงานของระบบ

ขั้นตอนการทำงานของระบบสามารถอธิบายได้ดังนี้ ส่วนของส่วนของผู้บริโภคหรือผู้ใช้บริการ – เมื่อผู้ใช้ทำการเปิดแอปพลิเคชั่น แอปพลิเคชั้นจะแสดงอาหารแนะนำ หรือรายการส่งเสริมการขายของทางร้านอาหาร หากต้องการสั่งอาหารสามารถทำได้สองวิธี คือการเลือกโดยตรงจากรายการอาหาร หรือหากมีใบปลิวของทางร้านก็สามารถสแกนด้วย QR Code ได้ จากนั้นทำการเลือกสถานที่จัดส่งโดยให้ทำการเลือกจุดรับส่งโดยอัตโนมัติ หรือระบุจุดรับส่งด้วยตนเองผ่านทาง Google Map แล้วทำการส่งรายละเอียดการสั่งอาหารรวมถึงหมายเลขโทรศัพท์ที่ใช้ในการติดต่อ รอระบบตอบรับเพื่อยืนยันการสั่งอาหารอีกครั้ง เมื่อทำการยืนยันครั้งที่สอง ระบบจะทำการส่งรหัสในการรับอาหารมาให้ เพื่อทำการยืนยันการรับอาหารต่อไป

ส่วนของเซิร์ฟเวอร์หลัก– มีหน้าที่ในการเป็นส่วนเชื่อมระหว่างผู้ใช้ และผู้ให้บริการ ระบบจะรอรับรายละเอียดในการสั่งอาหารจากผู้ใช้ และจะทำการค้นหาสาขา ที่ใกล้เคียงในการจัดส่งอาหารมากที่สุด และทำการส่งลายละเอียดการสั่งอาหารให้กับสาขานั้นๆ จากนั้นรอการตอบรับจากสาขา เพื่อส่งให้แก่ลูกค้า เมื่อลูกค้าทำการยืนยันการส่งอาหาร ระบบจะทำการยืนยันไปที่สาขา และรายการสั่งอาหารจะถือเป็นเสร็จสิ้นเมื่อระบบได้รับรหัสในการรับอาหารจากทางสาขา

ส่วนของผู้ให้บริการหรือร้านค้า (สาขา) – ผู้ใช้จะใช้งานผ่านระบบเว็บแอปพลิเคชั่น มีหน้าที่ในการรอรับรายการอาหาร จากเซิร์ฟเวอร์หลัก และจะทำการตรวจสอบรายการอาหารว่าสามารถทำได้ตามที่ลูกค้าต้องการหรือไม่ และจะทำการส่งข้อมูลต่างๆกลับไปให้ลูกค้า ผ่าน เซิร์ฟเวอร์หลัก เช่น รายการอาหารที่สามารถทำได้ เวลาประมาณในการทำอาหาร เวลาประมาณในการส่งเป็นต้น เมื่อลูกค้าทำการยืนยันการสั่งอาหารมาแล้ว ระบบจะจัดคิวในการทำอาหารแล้วส่งให้ห้องครัว เพื่อปรุงอาหาร เมื่ออาหารปรุงเสร็จ อาหารจะถูกนำไปส่งให้แก่ลูกค้า แล้วจะต้องนำรหัสในการรับอาหารจากลูกค้ามา ทำการยืนการทำรายการว่าให้บริการสมบูรณ์แล้ว หากไม่มีลูกค้ามารับอาหารก็จะใช้รหัสล้มเหลวแทน ส่วนของห้องครัวจะใช้แอปพลิเคชั่นบนเว็บในการรับรายการอาหารจากทางหน้าร้านเมื่อทำเสร็จจะทำการ เปลี่ยนสถานะของรายการอาหารนั้นๆ

ส่วนของห้องครัว – มีหน้าที่รับรายการอาหารจากทางหน้าร้านเมื่อทำสร็จจะทำการเปลี่ยนสถานะของรายการอาหาร

### 3.2 ขอบเขตของระบบ

ระบบจะถูกแบ่งออกเป็น 4 ส่วน คือ ส่วนของร้านอาหาร (สาขา) ส่วนของผู้บริโภคหรือผู้ใช้บริการ ส่วนของเซิร์ฟเวอร์หลัก (รวมถึงผู้ดูแลระบบ) และห้องครัว โดยส่วนของผู้บริโภคนั้นจะใช้งานผ่านแอปพลิเคชั่นบนโทรศัพท์มือถือสมาร์ทโฟนที่ใช้ระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ เวอร์ชั่น 4.4 ขึ้นไป และส่วนของร้านอาหาร ผู้ดูแลระบบและห้องครัวนั้นจะใช้งานผ่านแอปพลิเคชั่นบนเว็บ

1. ส่วนของร้านค้า ผ่านแอปพลิเคชั่นบนเว็บ
   1.1. สามารถรับรายการอาหารและจุดส่งอาหารจากลูกค้าได้
   1.2. สามารถสรุปค่าใช้จ่ายในการให้บริการ และประเมินระยะเวลาในการส่งอาหาร พร้อมส่งข้อมูลให้กับลูกค้าได้
   1.3. สามารถส่งยืนยันการสั่งอาหารให้กับลูกค้าได้
   1.4. สามารถส่ง รหัสรับอาหารให้กับเซิร์ฟเวอร์หลักได้
2. ส่วนของผู้ใช้บริการ ผ่านแอปพลิเคชั่นบนโทรศัพท์มือถือ
   2.1. สามารถดูรายการส่งเสริมการขายและรายการอาหารได้
   2.2. สามารถเลือกสั่งอาหารผ่าน QR Code หรือเมนูที่มีกำหนดไว้ในแอปพลิเคชั่น รวมถึงแสดงความต้องการเพิ่มเติมได้

2.3. สามารถกำหนดจุดรับอาหารได้โดยใช้ Google map ซึ่งมีให้เลือก 2 รูปแบบ คือ การกำหนดจากจุดที่สั่งหรือการเลือกจุดที่ต้องการให้ไป

2.4. สามารถติดตามสถานะของรายการอาหารที่สั่งได้

3. ส่วนของเซิร์ฟเวอร์หลักและผู้ดูแลระบบ ผ่านแอปพลิเคชั่นบนเว็บ

3.1. ส่วนของผู้ดูแลระบบ

3.1.2. สามารถเพิ่ม และกำหนดพื้นที่ให้บริการของต่างละสาขาได้ และ สามารถเพิ่ม แก้ไข และสร้าง QR Code ของอาหารได้

3.2. ส่วนของเซิร์ฟเวอร์

3.2.1. สามารถค้นหาสาขาที่อยู่ใกล้กับจุดที่ต้องไปส่งได้

3.2.2. สามารถสร้างและส่งรหัสในการรับอาหารให้แก่ลูกค้าได้

3.2.3. สามารถทำการบันทึกข้อมูลการดำเนินการต่างๆ

3.2.4. สามารถปฏิเสธการรับรายการได้ เช่น ไม่อยู่ในพื้นที่ให้บริการ หรือ ผู้ใช้ถูกขึ้นบัญชีดำ

3.2.5. สามารถทำการ ขึ้นบัญชีดำ ผู้ใช้ที่ไม่ทำตามข้อตกลงได้

4. ส่วนของห้องครัวผ่านแอปพลิเคชั่นบนเว็บ

4.1. สามารถเปลี่ยนแปลงสถานะของอาหารได้

## 4. ผลการทดสอบระบบ

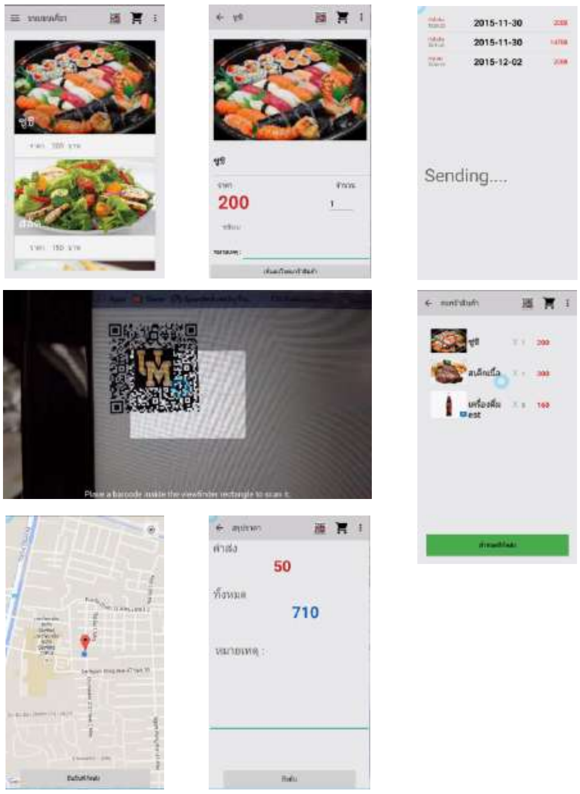
จากการทดสอบระบบสั่งอาหารแบบบริการส่งถึงที่ ผ่านแอปพลิเคชั่นบนสมาร์ทโฟนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์มีผลการดำเนินงานดังนี้

ส่วนของลูกค้า ผ่านแอปพลิเคชั่นบนสมาร์ทโฟน สามารถทำได้ทุกฟังก์ชั่นการทำงาน สามารถตอบสมองการใช้งานได้อย่างดี ไม่มีการหลุดหรือเกิดข้อผิดพลาดในการใช้งานแบบทั่วไป

ส่วนร้านอาหาร ห้องครัว และผู้ดูแลระบบ ผ่านแอปพลิเคชั่นบนเว็บ สามารถทำงานได้ทุกฟังก์ชั่นการทำงาน สามารถตอบสนองการใช้งานโดยทั่วไปได้อย่างดี

หลังจากพัฒนาระบบแล้วได้ทำการทดสอบระบบที่ได้พัฒนาขึ้น โดยทำการทดสอบระบบกับสมาร์ทโฟน 3 รุ่น ได้แก่ Samsung Galaxy s6 edge Android version 5.1 Lollipop, Lenovo Vibe ShotAndroid version 5.1 Lollipop และ Tablet Samsung Galaxy Tab A Android version 5.0 Lollipop จากการทดสอบพบว่า ระบบนี้สามารถทำงานได้กับระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์เวอร์ชัน 5.0 ขึ้นไป และรองรับการทำงานของเบราเซอร์ทั้ง Internet Explorer FireFoxและ Google Chrome และสามารถรับและบริหารจัดการรายการอาหารได้อย่างถูกต้องเป็นไปตามขั้นตอนการทำงานที่กำหนดไว้

ซึ่งตัวอย่างผลลัพธ์ของหน้าจอสมาร์ทโฟนของระบบที่พัฒนาขึ้นเป็นไปดังรูปที่ 3




**รูปที่ 3** ตัวอย่างหน้าจอสมาร์ทโฟนในส่วนของการสั่งอาหารของลูกค้า

## 5. สรุป

ปัจจุบันแอปพลิเคชั่นบนสมาร์ทโฟนได้รับการพัฒนาขึ้นมาสำหรับการสั่งสินค้าผ่านทางระบบออนไลน์ ผู้พัฒนาจึงเล็งเห็นความสำคัญในการนำจุดเด่นของแต่ละเทคโนโลยีที่สนับสนุนการทำงานของสมาร์ทโฟนมาประยุกต์เข้าด้วยกันเพื่อตอบสนองงานด้านการสั่งอาหาร ซึ่งระบบพัฒนาส่วนของร้านอาหารและส่วนของผู้ใช้ที่ต้องการสั่งอาหาร ระบบสามารถทำงานได้ตอบสนองความได้ต้องการพื้นฐานในการสั่งอาหารได้อย่างครบถ้วน มีสิ่งอำนวยความสะดวกอย่าง QR และระบบแผนที่ ที่ช่วยทำให้การสั่งอาหาร และการติดตามเป็นไปได้ง่ายขึ้น

## เอกสารอ้างอิง

[1] Model-View-Controller (MVC). Available: http:// www.w3schools. com /aspnet/mvc_intro.asp

[2] Google cloud messaging (GCM). Available: https://developers.goo gle.com/cloud-messaging/gcm

[3] REST Protocol. Available: http://www.softmelt.com/article.php?id=134

[4] QR Code. Available: http://www.qrcode.com/en/history/

**บทความวิจัย**

การประชุมวิชาการ งานวิจัยและพัฒนาเชิงประยุกต์ ครั้งที่ 8

*8th ECTI-CARD 2016, Hua Hin, Thailand*

# โปรแกรมประยุกต์จำลองการติดตั้งล้อแม็กซ์

## Virtual Wheel-Max Fitting

**นุชนาถ สัตย์วินิจ [1] และ สุรศักดิ์ ศิริรัตน์[2]**

ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

110/1-4 ถนนประชาชื่น หลักสี่ กรุงเทพมหานคร 10210 โทรศัพท์ : 02-954-7300 ต่อ 591

E-mail: [1] nutchanart.saj@dpu.ac.th, [2] surasaksirirat@hotmail.com

## บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้เห็นถึงความสำคัญของธุรกิจการบริการการเปลี่ยนล้อแม็กซ์ ซึ่งปัจจุบันผู้ประกอบการใช้วิธีการเปลี่ยนแบบเดิมๆโดยนำล้อแม็กซ์มาตั้งไว้ข้างรถลูกค้าแล้วให้ลูกค้าดูว่าเข้ากับรถตนเองหรือไม่ ซึ่งอาจจะใช้เวลานาน และสร้างความลำบากให้กับพนักงานของร้าน ผู้จัดทำจึงได้แนวคิดในการพัฒนาโปรแกรมประยุกต์จำลองการติดตั้งล้อแม็กซ์ขึ้นมาเพื่อให้เกิดความสะดวกมากขึ้น

โดยการพัฒนาครั้งนี้ได้มีการนำเทคนิค Android Camera Overlay มาประยุกต์ใช้กับงานวิจัยนี้ โดยผู้ใช้จะแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มคือ ผู้ดูแลระบบ พนักงานในร้าน และผู้ใช้ทั่วไป โดยผู้ดูแลระบบจะใช้งานระบบผ่านทางโปรแกรมประยุกต์บนเว็บเพื่อเข้าจัดการข้อมูลหลังร้าน และผู้ใช้ทั่วไปสามารถเข้าดูข้อมูลเกี่ยวกับล้อแม็กซ์ รายการส่งเสริมการขายต่างๆผ่านทางโปรแกรมประยุกต์บนเว็บ ในส่วนของพนักงานในร้านจะใช้โปรแกรมประยุกต์บนสมาร์ทโฟนที่รองรับระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ โดยมีฟังก์ชันการถ่ายรูป เพื่อจำลองล้อแม็กซ์โดยการเลือกถ่ายรูปแนวตรงของรถหรือเลือกถ่ายแนวเอียง 45 องศาได้เมื่อถ่ายแล้วก็จะมีล้อแม็กซ์ที่มีอยู่ในรายการมาให้เลือกใส่ในภาพที่ถ่ายและจัดเก็บลงเครื่องได้

โปรแกรมประยุกต์บนเว็บได้ทำการทดสอบบนบราวเซอร์ Safari, Google Chrome และ MicrosoftEdge สามารถใช้งานได้จริงทุกฟังก์ชัน ส่วนโปรแกรมประยุกต์บนสมาร์ทโฟนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ได้ทดสอบบนแอนดรอยด์เวอร์ชั่น 4.0 ขึ้นไปสามารถใช้งานได้จริงทุกฟังก์ชัน

คำสำคัญ: การประยุกต์เทคนิค Android Camera Overlay , การจำลองการเปลี่ยนล้อแม็กซ์, โปรแกรมประยุกต์บนสมาร์ทโฟน, โปรแกรมสนับสนุนผู้ใช้งานแอนดรอยด์

## Abstract

This research's importance relates to customer service in the changing of alloy wheels. At present the service provider's staff set the alloy wheels next to a car and the customer decides whether the alloy wheels are compatible with the car or not.

This research is developed, using an android application, to simulate the appearance of the alloy wheels when they are on the car.

The staff will take pictures of the car to the side and at a 45 degree angle to it. It is then for the customer to select the alloy wheels within the application and try to set them to the picture. Thus the customer can decide to select the alloy wheel that they want.

This research has been developed by using Android Camera Overlay technique. Users in this project are divided into three groups:

1) the administrative staff in the shop, they use web application to manage the information about the shop such as promotions, product , etc.

2) the staff, they will use the android application for taking the picture of the car and

3) the customer, they will use the android application for selecting the alloy wheel in the gallery to set in the car's picture.

Web application is tested for Safari, Google Chrome and MicrosoftEdge. It can be run all functions. And the android application supports android to at least versions 4.0

Keywords: Android Camera Overlay, Virtual Fitting, Smartphone Application, Supporting Program for Android Operating System's User

## 1. บทนำ

ในปัจจุบันการเปลี่ยนล้อเป็นที่นิยมมากสำหรับคนรักรถและชื่นชอบการแต่งรถทำให้ธุรกิจบริการด้านล้อแม็กซ์กำลังเป็นที่นิยม ส่งผลให้ธุรกิจนี้มีการแข่งขันกันมากขึ้น ส่วนใหญ่ร้านค้าที่ให้บริการด้านนี้จะมีเว็บไซต์เพื่อใช้สำหรับประชาสัมพันธ์ร้านของตนเอง ซึ่งใน

เว็บไซต์จะมีบริการด้านข้อมูลเกี่ยวกับล้อแม็กซ์ ข่าวสาร และกิจกรรมส่งเสริมการขายต่างๆ เพื่อเป็นการดึงดูดลูกค้าให้เข้ามาใช้บริการมากขึ้น โดยร้านส่วนใหญ่เมื่อลูกค้าเข้ามาใช้บริการพนักงานที่ร้านจะนำล้อแม็กซ์ที่ลูกค้าเลือกมาวางเทียบด้านข้างกับล้อแม็กซ์เดิมของรถลูกค้าซึ่งลูกค้าบางส่วนอาจจะมองไม่เห็นภาพว่าล้อแม็กซ์ที่เลือกนั้นเมื่อใส่เข้ากับรถของตนแล้วจะออกมาเป็นเช่นไรทำให้ลูกค้าต้องใช้เวลาในการตัดสินใจเลือกล้อแม็กซ์นานขึ้น และอาจเกิดปัญหาเมื่อทำการติดตั้งแล้วจากปัญหาด้านการติดตั้งผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะสร้างโปรแกรมประยุกต์บนสมาร์ทโฟนที่สามารถถ่ายภาพรถของลูกค้าและนำภาพถ่ายมาจำลองการใส่ล้อแม็กที่ลูกค้าเลือก เพื่อให้ลูกค้าได้เห็นว่า เมื่อมีการติดตั้งล้อแม็กซ์เข้ากับรถแล้วจะมีลักษณะเป็นเช่นไร โดยโปรแกรมประยุกต์นี้เป็นบริการเสริมของทางร้านเพื่อเป็นการอำนวยความสะดวกให้แก่ลูกค้าจัดเป็นการส่งเสริมการขายอย่างหนึ่งอีกทั้งยังช่วยลดเวลาและหลีกเลี่ยงปัญหาที่จะเกิดขึ้นหลังจากการติดตั้งล้อแม็กซ์แล้ว

## 2. ทฤษฎีและผลงานที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 FrameLayout, Overlay Elements

FrameLayout เป็น Layout ที่ใช้สำหรับการออกแบบโครงสร้างเป็นลักษณะของการซ้อนทับกันของวัตถุหลาย ๆ วัตถุไว้ด้วยกัน โดยตำแหน่งของวัตถุที่วางลงใน Layout นั้นจะถูกเรียงลำดับแบบ Vector กล่าวคือ วัตถุใดมาก่อนจะถูกซ้อนทับอยู่ด้านล่าง วัตถุใดมาทีหลังจะทับวัตถุที่เข้ามาก่อน โดยหากเขียนโปรแกรมให้ TextView อยู่ด้านบนสุดของโค้ดนั่นหมายความว่า TextView เข้ามาก่อนเป็นอันดับแรก และหากเพิ่ม CheckBox และ Button ตามลำดับ จะเห็นได้ว่า Button จะเข้ามาเป็นลำดับสุดท้าย นั่นหมายความว่า Button จะต้องซ้อนทับวัตถุที่มาก่อนหน้านี้

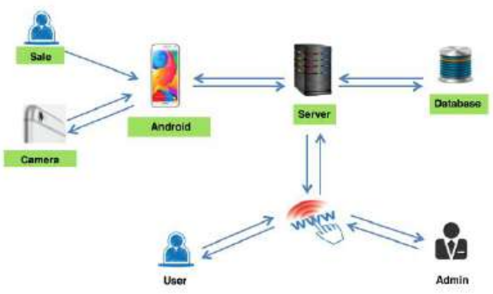
### 2.2 ผลงานที่เกี่ยวข้อง

แอปพลิเคชั่นWheels On Appสำหรับจำลองการติดล้อแม็กซ์ โดยสามารถถ่ายภาพรูปแนวตรง เพื่อที่จำลองล้อแม็กซ์ที่มีอยู่ในรายการมาใส่ สามารถซูม ขยาย และเพิ่มล้อแม็กซ์เองได้ ซึ่งเป็นแนวคิดที่นำมาใช้ในการพัฒนางานนี้

| ฟังก์ชันการทำงาน | Wheels on App | Virtual Wheel-Max Fitting |
|---|---|---|
| ถ่ายรูปรถในแนวตรงด้านข้างตัวรถ | ✔ | ✔ |
| ถ่ายรูปด้านข้างเฉียงกับตัวรถ45องศา | ✖ | ✔ |
| สามารถเลือกภาพล้อแม็กซ์ที่จะนำมาติดในรูปได้ | ✔ | ✔ |
| มีเส้นโครงรถขึ้นมาแสดงบนกล้อง | ✖ | ✔ |

**รูปที่ 1** ตารางการเปรียบเทียบฟังก์ชันการทำงาน

## 3. การออกแบบ และการพัฒนา ขอบเขตของงาน




**รูปที่ 2** สถาปัตยกรรมระบบ

การทำงานของระบบจะแบ่งออกเป็น 3 ส่วนคือโปรแกรมประยุกต์บนสมาร์ทโฟน, โปรแกรมประยุกต์บนเว็บ (สำหรับผู้ดูแลระบบ) และโปรแกรมประยุกต์บนเว็บ (สำหรับผู้ใช้)

1. โปรแกรมประยุกต์บนสมาร์ทโฟน เมื่อผู้ใช้มาถึงร้านล้อแม็กซ์ พนักงานร้านจะเอาโปรแกรมประยุกต์นี้ให้ลูกค้า เพื่อให้ลูกค้าถ่ายรูปรถของรถลูกค้า โดยจะต้องเข้าไปเลือกกดที่เมนู ยี่ห้อรถ รุ่น ปีของรถ และล้อแม็กซ์ เมื่อเลือกเสร็จแล้วก็เข้าสู่หน้าให้เลือกถ่ายภาพแบบแนวตรง และแนวเอียง 45 องศา ลูกค้าจะต้องถ่ายให้ตรงกับเส้นโครงรถที่กำหนดเมื่อถ่ายเสร็จแล้ว จะเข้าสู่หน้าที่ให้เลือกใส่ล้อแม็กซ์ โดยเลือกเปลี่ยนได้หลายแบบแล้วแต่ลูกค้าชอบ เมื่อตัดสินใจได้ตามแบบที่ลูกค้าสนใจ

2. โปรแกรมประยุกต์บนเว็บ (สำหรับผู้ใช้ทั่วไป) เมื่อผู้ใช้เข้าใช้งานเว็บไซต์ผู้ใช้สามารถดูข้อมูลล้อแม็กซ์ได้ดังนี้ ยี่ห้อ รุ่น ขนาด สี ราคา วัสดุที่ใช้ทำ ข้อมูลการเปลี่ยนล้อแม็กซ์ โปรโมชั่นของร้านเป็นต้น

3. โปรแกรมประยุกต์บนเว็บ (สำหรับผู้ดูแลระบบ) เมื่อผู้ดูแลระบบเปิดใช้งานโปรแกรมประยุกต์บนเว็บผู้ดูแลระบบจะต้องทำการ Login เข้าสู่ระบบก่อนทุกครั้งโดยจะมี username และ password ประจำตัวของผู้ดูแลระบบอยู่แล้วผู้ดูแลระบบสามารถจัดการข้อมูลหลังร้านสามารถ เพิ่ม แก้ไข ลบ เรียกดูข้อมูลได้ทั้งหมด

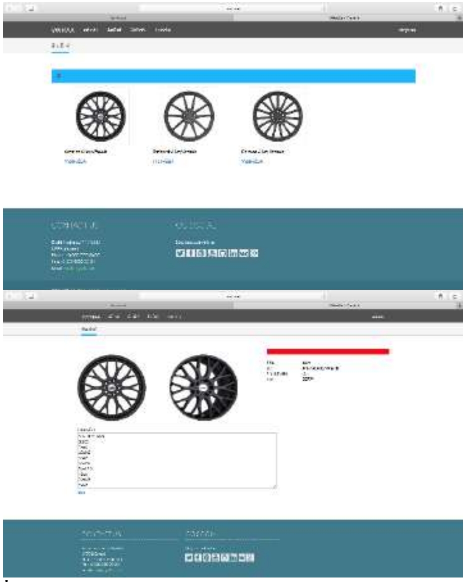
## 4. ผลการดำเนินงาน

4.1หน้าหลัก Web Application สำหรับ User

**รูปที่ 3** หน้าหลัก สำหรับ User

เมื่อผู้ใช้เข้าเว็บแอปพลิเคชั่นขึ้นมาจะปรากฏหน้าเว็บหลักสำหรับเว็บแอปพลิเคชั่นนี้ทุกครั้งที่เข้าเว็บแอปพลิเคชั่น ผู้ใช้สามารถเลือกดูข้อมูลต่างๆ ของทางร้านได้โดยคลิกเลือกเมนูแต่ล่ะเมนูได้ตามที่มีอยู่บนด้านบน

4.2หน้าแสดงข้อมูลล้อแม็กซ์สำหรับ User



**รูปที่ 4** หน้าแสดงข้อมูลล้อแม็กซ์และรายละเอียด สำหรับ User

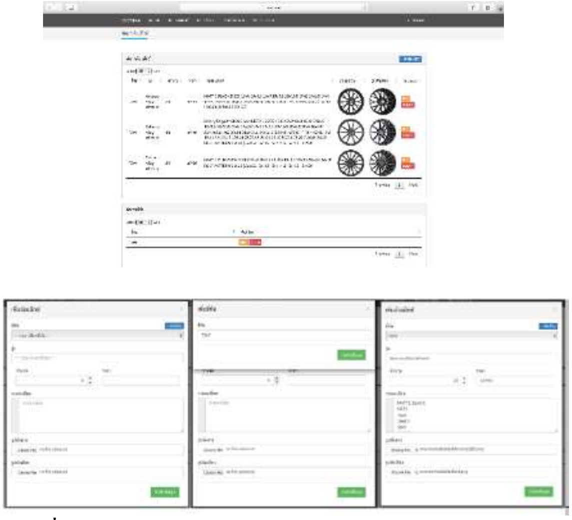
เมื่อผู้ใช้เข้าสู่หน้าแสดงข้อมูลล้อแม็กซ์ในรูปที่4.2ก็จะมีรายการล้อแม็กซ์มาแสดงให้ผู้ใช้เลือกดูเมื่อผู้ใช้คลิกที่เมนูรายละเอียดก็จะแสดงรายละเอียดต่างๆ ของล้อแม็กซ์ทั้งหมดที่ผู้ใช้ได้เลือกทันที

4.3 หน้าแสดงข้อมูลโปรโมชั่น สำหรับ User

**รูปที่ 5** หน้าปฏิทินกิจกรรม

เมื่อผู้ใช้เข้าสู่หน้าโปรโมชั่นก็จะแสดงรายการโปรโมชั่นที่มีอยู่ทั้งหมดของทางร้าน

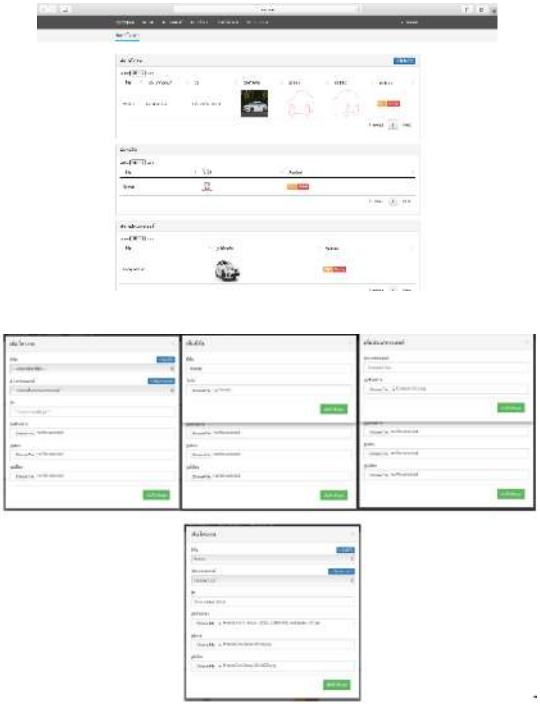
4.4 หน้าหลักระบบจัดการข้อมูลล้อแม็กซ์ Web Application สำหรับ Admin



**รูปที่ 5** หน้าหลักระบบจัดการข้อมูลล้อแม็กซ์ สำหรับ Admin

เมื่อ Admin เข้าสู่ระบบจัดการข้อมูลล้อแม็กซ์ จะแสดงรายการต่างๆทั้งหมดขึ้นมา Admin สามารถเพิ่ม ลบ แก้ไขข้อมูลล้อแม็กซ์ได้ทั้งหมด

4.5 หน้าหลักระบบจัดการข้อมูลโครงรถWeb Application สำหรับ Admin



**รูปที่ 6** หน้าหลักระบบจัดการข้อมูลโครงรถ สำหรับ Admin

เมื่อ Admin เข้าสู่ระบบจัดการข้อมูลล้อโครงรถ จะแสดงรายการต่างๆทั้งหมดขึ้นมา Admin สามารถเพิ่ม ลบ แก้ไขข้อมูลโครงรถได้ทั้งหมด

4.6 หน้าเลือกประเภทรถยี่ห้อ รุ่นรถยนต์

**รูปที่ 7** หน้าเลือกประเภทรถยี่ห้อ รุ่นรถยนต์และกรณีไม่มีข้อมูล

เมื่อSale เข้าใช้งาน Android Application จะต้องทำการเลือกประเภทรถ ยี่ห้อ และรุ่นรถยนต์เพื่อจะเข้าใช้งานกล้องต่อไป

4.7หน้าถ่ายรูป

**รูปที่ 8** หน้าถ่ายรูป

เมื่อ Sale ได้ทำการเลือกประเภทรถ ยี่ห้อ รุ่น แล้วก็จะเข้าสู่โหมดการถ่ายภาพ ก็จะมีไอคอนด้านล่างซ้านมือเพื่อให้เลือกโครงรถ เมื่อทำการเลือกแล้ว ก็กดปุ่มถ่ายรูป เมื่อถ่ายรูปเรียบร้อยแล้วก็จะมีล้อแม็กซ์ขึ้นมาแสดงในรายการด้านล่าง เมื่อทำการกดที่ล้อแม็กซ์แล้วก็มีล้อแม็กซ์ที่เลือกขึ้นมาจำนวน 2 ล้อ แล้วลากไปวางในตำแหน่งที่ต้องการ สามารถซูมขยายขนาดของล้อแม็กซ์ได้ แล้วกดปุ่มด้านบนขวาเพื่อทำการบันทึกลงเครื่อง

## 5. สรุป

แอปพลิเคชั่นสำหรับโปรแกรมประยุกต์จำลองการติดตั้งล้อแม็กซ์ในส่วนของเว็บแอปพลิเคชันของผู้ใช้ทั่วไปสามารถดูข้อมูลของล้อแม็กซ์โปรโมชั่นร้านและสาขาร้านได้ส่วนการใช้งานเว็บแอปพลิเคชั่นของผู้ดูแลระบบสามารถเข้าจัดการข้อมูลต่างๆของระบบหลังร้านได้โดยสามารถจัดการเพิ่มลบแก้ไขข้อมูลล้อแม็กซ์เพิ่มลบแก้ไขข้อมูลโครงรถเพิ่มลบแก้ไขข้อมูลโปรโมชั่นเพิ่มลบแก้ไขข้อมูลสาขาร้านได้ในส่วนของแอปพลิเคชั่นบนแอนดรอยด์ของพนักงานจะเป็นผู้ที่ใช้แอปพลิเคชั่นนี้โดยเลือกประเภทรถยี่ห้อรุ่นรถและถ่ายรูปเพื่อนำล้อแม็กซ์ที่มีอยู่ในรายการมาเลือกเปลี่ยนและจัดเก็บรูปภาพได้

## เอกสารอ้างอิง

[1] การเขียนเว็บแอปพลิเคชั่น PHP. Available: http://www.thaicreate.com/php.html
[2] การพัฒนาโปรแกรมระบบปฏิบัติการ Android. Available: http://www.akexorcist.com/
[3] All Layout in Android Development. Available: http://www.macbaszii.com/2011/02/all-layout-in-android-development.html
[4] การเขียน Bootstrap Available: http://getbootstrap.com/css/
[5] JSON Format Online. Available: http://www.jsoneditoronline.org/

**บทความวิจัย**
การประชุมวิชาการ งานวิจัยและพัฒนาเชิงประยุกต์ ครั้งที่ 8
*8th ECTI-CARD 2016, Hua Hin, Thailand*

# แบบจำลองทางวิศวกรรมของดาวเทียมคิวบ์แซทและการปรับปรุงประสิทธิภาพการบริโภคกำลังงานโดยการใช้รหัสคอนโวลูชันแบบปรับอัตรารหัสได้

# The CubeSat Engineering Model and Improvement of Power Consumption using Adjustable Convolution Code Rate

**ชนาธิป ฤกษ์สุขรุ่งเรือง และ ศรวัฒน์ ชิวปรีชา**
ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
เลขที่ 1 ซอยฉลองกรุง 1 เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520 โทรศัพท์ 02-329-8000 ต่อ 3361
E-mail: chanathip_ro@hotmail.com, sorawat@telecom.kmitl.ac.th

## บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการออกแบบและสร้างแบบจำลองทางวิศวกรรมของดาวเทียมคิวบ์แซทเพื่อสร้างองค์ความรู้ในด้านเทคโนโลยีอวกาศ และใช้รหัสคอนโวลูชันเพื่อแก้ไขความผิดพลาดของการส่งผ่านข้อมูล จากการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของการเข้ารหัสช่องสัญญาณพบว่าสามารถลดกำลังที่ใช้ในการส่งผ่านข้อมูลได้ด้วยผลของอัตราขยายของการเข้ารหัส จึงนำเสนอระบบการเข้ารหัสคอนโวลูชันแบบปรับอัตรารหัสได้ที่สามารถปรับอัตรารหัสให้เหมาะสมต่อสภาพแวดล้อมของช่องสัญญาณ ที่ให้อัตราบิตผิดพลาดต่ำกว่า $10^{-4}$ ซึ่งระบบที่นำเสนอสามารถใช้การบริโภคกำลังงานต่ำที่สุด

คำสำคัญ: ดาวเทียมคิวบ์แซท, รหัสคอนโวลูชัน, การปรับอัตรารหัส

## Abstract

This article presents the design and implementation of CubeSat engineering model to improving capacity-building in space technology. The engineering model uses convolution code to solve the problem bit error rate. The analysis showed that use of channel coding lowers the minimum transmitted power as a result of the coding gain. This paper proposes the adjustable code rate convolution code that can adjust the optimum code rate for different channel environments. The code rate is adjusted to achieve the total bit error rate (BER) less than $10^{-4}$ and to use the lowest power consumption.

Keywords: CubeSat, Convolution Code, Adjustable Code Rate

## 1. บทนำ

ดาวเทียมขนาดเล็กมีบทบาทสำคัญมากขึ้นในปัจจุบัน หนึ่งในนั้น คือ ดาวเทียมคิวบ์แซทซึ่งเป็นที่ได้รับความนิยมในหมู่นักวิจัยเป็นอย่างมากทั้งด้านการศึกษาและพัฒนาความสามารถของนักวิจัย เป็นจุดเริ่มต้นในการสร้างองค์ความรู้ทางด้านเทคโนโลยีดาวเทียมเพื่อสร้างดาวเทียมได้เองภายในประเทศในอนาคต ดาวเทียมคิวบ์แซทเป็นดาวเทียมขนาดนาโนโดยแต่ละหน่วย (Unit : U) มีลักษณะเป็นลูกบาศก์ขนาดเท่ากับ 10 ซม. x 10 ซม. x 10 ซม. มีมวลไม่เกิน 1.33 กิโลกรัม [1] ภารกิจของดาวเทียมคิวบ์แซทส่วนใหญ่ ได้แก่ การสำรวจทางวิทยาศาสตร์ในอวกาศ การทดสอบการทำงานของอุปกรณ์ในอวกาศ การถ่ายภาพ เป็นต้น โดยงานวิจัย [2] แสดงให้เห็นว่าภาพถ่ายที่ส่งมาจากดาวเทียมคิวบ์แซทมีความผิดพลาดของข้อมูลเกิดขึ้นเนื่องจากกำลังของสัญญาณที่อ่อนซึ่งเกิดจากสัญญาณรบกวน การแก้ไขบิตผิดพลาดในการรับ-ส่งข้อมูลสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การเพิ่มกำลังของเครื่องส่ง แต่การเพิ่มกำลังส่งของดาวเทียมคิวบ์แซทที่ซึ่งมีปัญหาหลักอย่างหนึ่งคือแหล่งพลังงานที่จำกัดเนื่องจากขนาดของดาวเทียมที่เล็กทำให้มีพื้นที่สำหรับการติดตั้งแผงเซลล์สุริยะน้อย ส่งผลให้ดาวเทียมคิวบ์แซทมีกำลังสำหรับใช้งานเพียง 2 – 3 วัตต์ เท่านั้น [3] จึงเป็นวิธีที่ไม่เหมาะสม นอกจากการเพิ่มกำลังส่งแล้วยังมีวิธีที่นิยมใช้คือเทคนิคการเข้ารหัสช่องสัญญาณ โดยทั่วไปดาวเทียมคิวบ์แซทจะใช้รหัสคอนโวลูชันด้วยอัตรารหัสเท่ากับ 1/2 และ Constraint length (K) = 7 ตามมาตรฐานของหน่วยงานคณะกรรมการที่ปรึกษาระบบจัดการข้อมูลในอวกาศ (The Consultative Committee for Space Data Systems : CCSDS) [4]

ผู้วิจัยเห็นความสำคัญของการพัฒนาองค์ความรู้ทางด้านเทคโนโลยีดาวเทียมจึงได้สร้างแบบจำลองทางวิศวกรรมของดาวเทียมคิวบ์แซทและแก้ไขปัญหาความผิดพลาดของข้อมูลโดยใช้รหัสคอนโวลูชันที่เป็นรูปแบบการแก้ไขความผิดพลาดล่วงหน้า และจากการวิเคราะห์กำลังที่ใช้ในการส่งผ่านระหว่างระบบที่ไม่มีการเข้ารหัสและมีการเข้ารหัสพบว่าระบบที่มีการเข้ารหัสช่องสัญญาณ นอกจากจะสามารถลดอัตราบิตผิดพลาดของข้อมูลได้แล้ว ยังสามารถลดกำลังส่งขั้นต่ำที่ใช้ในการส่งผ่านข้อมูลได้ บทความนี้จึงนำเสนอระบบการเข้ารหัสคอนโวลูชันแบบปรับอัตรารหัสได้เพื่อนำมาประยุกต์ใช้กับดาวเทียมคิวบ์แซท

## 2. ทฤษฎีและหลักการ

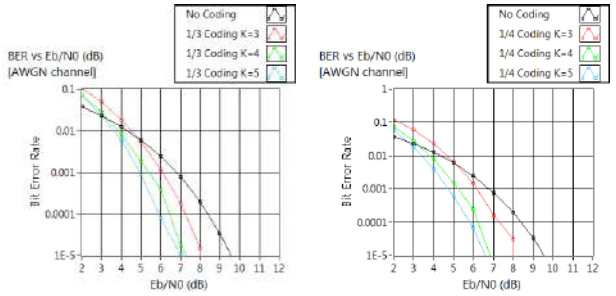
### 2.1 การพัฒนาดาวเทียมคิวบ์แซท

หลักการพัฒนาดาวเทียมคิวบ์แซทจะเริ่มจากการออกแบบและสร้างแบบจำลองทางวิศวกรรมโดยกำหนดภารกิจหลักของดาวเทียม และทำการทดสอบการใช้งานก่อนส่งขึ้นสู่อวกาศจริง ตัวอย่างการทดสอบ เช่น การทดสอบในสภาวะใกล้อวกาศโดยการใช้บอลลูนขนาดใหญ่ในการนำดาวเทียมคิวบ์แซทขึ้นสู่ที่ระดับความสูงได้สูงสุดประมาณ 20-30 กิโลเมตร สภาพแวดล้อมภายนอกจะมีสภาวะคล้ายกับอวกาศ ทำให้สามารถทดสอบการสื่อสารระหว่างดาวเทียมและสถานีภาคพื้นดินได้

### 2.2 รหัสคอนโวลูชันและการวิเคราะห์กำลังส่งขั้นต่ำ

รหัสคอนโวลูชัน [5] เป็นรูปแบบการเข้ารหัสช่องสัญญาณแบบแก้ไขความผิดพลาดล่วงหน้า โดยทั่วไปจะมีพารามิเตอร์ที่บอกถึงคุณลักษณะของรหัสคอนโวลูชันที่ประกอบด้วย 3 ค่า ได้แก่ n คือจำนวนบิตเอาต์พุต k คือ จำนวนบิตอินพุต และ K คือ Constraint Length ซึ่งบ่งบอกถึงหน่วยความจำของวงจรเข้ารหัส โดยเขียนในรูปแบบ (n, k, K) และ อัตรารหัส (Code Rate) = k/n

ได้มีการศึกษาและค้นคว้ารหัสคอนโวลูชันที่เหมาะสมที่สุดสำหรับแต่ละอัตรารหัส และ Constraint Length (K) ใน [6-7] บทความนี้จึงนำรหัสคอนโวลูชันเหล่านี้มาประยุกต์ใช้ในดาวเทียมคิวบ์แซทโดยตัวอย่างประสิทธิภาพของรหัสคอนโวลูชันที่มีอัตรารหัส 1/3 และ 1/4 ในช่องสัญญาณรบกวนเกาส์เซียนแบบขาว (AWGN) แสดงได้ดังรูปที่ 1




**รูปที่ 1** ประสิทธิภาพของรหัสคอนโวลูชันที่มีอัตรารหัส 1/3 และ 1/4

เมื่อพิจารณาอัตราส่วนกำลังส่งของสัญญาณต่อกำลังของสัญญาณรบกวน $S/N$ จะสามารถแสดงในรูปของ $E_b/N_0$ ได้ดังสมการที่ (1) โดยที่ $E_b$ คือพลังงานขั้นต่ำต่อการส่งข้อมูลบิตที่ภาครับ และ $N_0$ คือความหนาแน่นสเปกตรัมของสัญญาณรบกวน

$$S/N = \frac{RE_b}{BN_0} = \eta\frac{E_b}{N_0} \quad (1)$$

เมื่อ $R$ คืออัตราการส่งข้อมูลในหน่วย บิต/วินาที $B$ คือแบนด์วิธของสัญญาณ และ $\eta$ คือประสิทธิภาพการส่งผ่าน

กำลังของสัญญาณรบกวน $N$ แสดงดังสมการที่ (2) [8]

$$N = kTB \quad (2)$$

โดยที่ $k$ คือค่าคงที่ของโบลท์ซมานน์ (Boltzmann Constant) และ $T$ คืออุณหภูมิสัมบูรณ์ในหน่วยเคลวิน

กำลังของสัญญาณที่รับได้ $S_{RX}$ ที่ระยะห่างจากภาคส่ง $d$ สามารถแสดงได้โดยสมการส่งผ่านของฟรีส [9] โดยกำหนดให้ใช้สายอากาศแบบรอบทิศทางและไม่มีสิ่งกีดขวาง เมื่อ $\lambda$ คือความยาวคลื่น และ $P_{TX}$ คือ กำลังส่ง

$$S_{RX} = \left(\frac{1}{4\pi d^2}\right)\frac{\lambda^2}{4\pi}P_{TX} \quad (3)$$

จากสมการที่ (1), (2) และ (3) สามารถหากำลังส่งขั้นต่ำ $P_{TX}$ ในรูปของ $S/N$ ใดๆ ที่ระยะห่าง $d$ ได้ดังนี้

$$P_{TX}[W] = \eta\frac{E_b}{N_0}kTB\left(\frac{4\pi d}{\lambda}\right)^2 \quad (4)$$

เมื่อพิจารณากำลังส่งขั้นต่ำสำหรับระบบที่ไม่มีการเข้ารหัส กำหนดดังสมการที่ (5)

$$P_{TX,Uncoded}[W] = \eta_U\frac{E_b}{N_0}kTB\left(\frac{4\pi d}{\lambda}\right)^2 \quad (5)$$

จากระดับสัญญาณรบกวนที่อุปกรณ์ภาครับ (Receiver Noise Figure : RNF)

$$RNF[dB] = \left(\frac{E_b}{N_0}\right)_{Tx,dB} - \left(\frac{E_b}{N_0}\right)_{Rx,dB} \quad (6)$$

จะได้

$$P_{TX,Uncoded}[W] = \eta_U 10^{\left(\frac{SNR_{U,dB}+RNF_{dB}}{10}\right)}(kTB)\left(\frac{4\pi d}{\lambda}\right)^2 \quad (7)$$

สำหรับระบบที่มีการเข้ารหัสช่องสัญญาณ

$$P_{TX,Coded}[W] = \eta_C 10^{\left(\frac{SNR_{C,dB}+RNF_{dB}}{10}\right)}(kTB)\left(\frac{4\pi d}{\lambda}\right)^2$$

โดย $SNR_{U,dB}$ และ $SNR_{C,dB}$ คือ $E_b/N_0$ ในหน่วย dB ที่ทำให้ระบบที่ไม่มีการเข้ารหัสและมีการเข้ารหัสช่องสัญญาณมีอัตราบิตผิดพลาดตามที่กำหนดตามลำดับ

จากสมการการอัตราขยายของรหัสแสดงดังสมการที่ (8)

$$Coding\ Gain = SNR_U(dB) - SNR_C(dB) \quad (8)$$

จะได้

$$P_{TX,Coded}[W] = \frac{\eta_C 10^{\left(\frac{SNR_{U,dB}+RNF_{dB}}{10}\right)}(kTB)\left(\frac{4\pi d}{\lambda}\right)^2}{10^{Coding\ Gain/10}} \quad (9)$$

ซึ่งสามารถเขียนสมการกำลังส่งขั้นต่ำของระบบที่มีการเข้ารหัสในรูปของกำลังส่งขั้นต่ำของระบบที่มีการเข้ารหัสได้ดังสมการ (10)

$$P_{TX,Coded}[W] = \frac{\eta_C B}{\eta_U B}\frac{P_{TX,Uncoded}}{10^{Coding\ Gain/10}} = \frac{P_{TX,Uncoded}}{10^{Coding\ Gain/10}} \quad (10)$$

จากสมการที่ (7) และ (10) จะเห็นว่าการเข้ารหัสช่องสัญญาณจะทำให้กำลังส่งที่ใช้ในการส่งข้อมูลขั้นต่ำลดลงเนื่องจากผลของอัตราขยายของรหัส (Coding Gain)

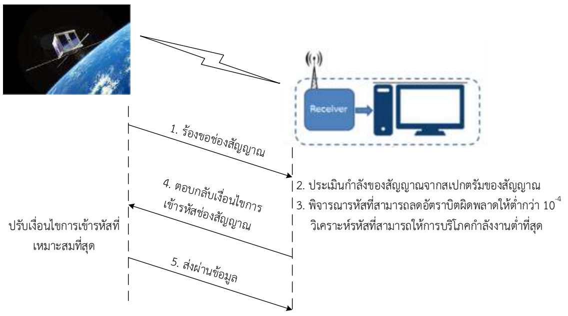
## 3. แบบจำลองทางวิศวกรรมและการปรับปรุงการบริโภคกำลังงานของดาวเทียมคิวบ์แซทที่นำเสนอ

### 3.1 แบบจำลองทางวิศวกรรมของดาวเทียมคิวบ์แซทที่นำเสนอ

แบบจำลองทางวิศวกรรมของดาวเทียมคิวบ์แซทที่นำเสนอในบทความนี้ได้กำหนดให้มีภารกิจหลัก คือ การถ่ายภาพ แบบจำลองทางวิศวกรรมนี้มีขนาด 1 หน่วย (1U) แสดงดังรูปที่ 2 ใช้กล้องถ่ายภาพ CMOS ที่ให้ภาพขนาดใหญ่ที่สุดคือ 640x480 พิกเซล และถูกบีบอัดภาพด้วยรูปแบบ JPEG โดยชิป VC0706 โดยการส่งผ่านข้อมูลไปยังสถานีภาคพื้นดินจะถูกส่งผ่านโมดูลสื่อสารไร้สาย SV650 ด้วยความถี่ 430 MHz ความเร็ว 9,600 bps ด้วยรูปแบบการมอดูเลชัน GFSK

**รูปที่** 2 แบบจำลองทางวิศวกรรมของดาวเทียมคิวบ์แซท

การออกแบบสถานีภาคพื้นดินจะทำหน้าที่รับข้อมูลจากแบบจำลองทางวิศวกรรมของดาวเทียมคิวบ์แซทมาประมวลผลข้อมูลรวมถึงการควบคุมการถ่ายภาพ




**รูปที่** 3 ขั้นตอนการทำงานของระบบที่นำเสนอ

### 3.2 การปรับปรุงประสิทธิภาพการบริโภคกำลังงานด้วยการปรับอัตรารหัส

จากผลของการลดอัตราบิตผิดพลาดและการลดกำลังที่ใช้ในการส่งผ่านข้อมูลของรหัสคอนโวลูชัน บทความนี้จึงได้นำเสนอการเข้ารหัสคอนโวลูชันแบบปรับอัตรารหัสได้โดยมีขั้นตอนการทำงานแสดงดังรูปที่ 3 ดังนี้

1) เมื่อดาวเทียมคิวบ์แซทต้องการส่งผ่านข้อมูล จะมีการร้องขอเงื่อนไขของการเข้ารหัสช่องสัญญาณจากสถานีภาคพื้นดิน

2) สถานีภาคพื้นดินจะทำการประเมิน $E_b / N_0$ ของสัญญาณที่รับได้จากสเปกตรัมของสัญญาณเพื่อใช้ในการวิเคราะห์หาอัตรารหัส Constraint Length (K) และกำลังส่งที่เหมาะสมในสภาพแวดล้อมของช่องสัญญาณ ณ เวลานั้น เมื่อพิจารณารหัสคอนโวลูชันที่อัตรารหัสต่างๆ ระบบจะทำการเลือกอัตรารหัสที่สามารถลดอัตราบิตผิดพลาด (BER) ให้ต่ำกว่า $10^{-4}$

3) หลังจากที่ได้รหัสคอนโวลูชันที่สามารถลดอัตราบิตผิดพลาดได้ต่ำกว่า $10^{-4}$ แล้ว ระบบจะประเมินกำลังที่ใช้ในการส่งผ่านข้อมูลเพื่อหารหัสคอนโวลูชันที่ใช้กำลังในการส่งผ่านข้อมูลน้อยที่สุด

4) เมื่อสถานีภาคพื้นดินสามารถเลือกรหัสคอนโวลูชันที่เหมาะสมต่อสภาพแวดล้อมของช่องสัญญาณ ณ เวลานั้นได้ สถานีภาคพื้นดินจะตอบกลับเงื่อนไขของการเข้ารหัสช่องสัญญาณ ได้แก่ อัตรารหัสคอนโวลูชัน Constraint Length (K) และกำลังส่งขั้นต่ำที่ใช้ในการส่งผ่านข้อมูลไปยังดาวเทียมคิวบ์แซท

5) ดาวเทียมคิวบ์แซทจะทำการปรับเงื่อนไขการเข้ารหัสตามที่สถานีภาคพื้นดินได้ทำการวิเคราะห์หา และทำการส่งผ่านข้อมูล

## 4. การจำลองการทำงาน

จากรูปที่ 1 เมื่อพิจารณาที่อัตราบิตผิดพลาด $10^{-4}$ จะได้ $SNR_U = 8.4$ dB และคำนวณหากำลังส่งขั้นต่ำที่ใช้สำหรับการส่งผ่านข้อมูลโดยใช้สมการที่ (7) และ (10) เมื่อกำหนดค่าพารามิเตอร์ดังนี้ ดาวเทียมคิวบ์แซทอยู่ในวงโคจรต่ำที่ระดับความสูง 300 กิโลเมตร โดยระยะทางระหว่างดาวเทียมและสถานีภาคพื้นดิน $d$ [10] สามารถคำนวณได้จาก $d = \sqrt{(H + R_e)^2 - R_e^2}$ เมื่อ $H$ คือระดับความสูงของดาวเทียม และ $R_e$ คือรัศมีโลก ส่งผ่านข้อมูลโดยใช้ความถี่ 430 MHz ด้วยอัตราการส่งผ่านข้อมูล 9,600 bps และอุณหภูมิสัมบูรณ์เท่ากับ 300 เคลวิน ตารางที่ 1 แสดงการเปรียบเทียบกำลังส่งขั้นต่ำของการใช้รหัสด้วยอัตรารหัสต่างๆ ระบบที่ไม่มีการเข้ารหัสต้องใช้กำลังส่งขั้นต่ำ 1,104.78 mW ในขณะที่ระบบที่มีการเข้ารหัส เช่น รหัสคอนโวลูชันที่มีอัตรา 1/3 และ K=7 ใช้กำลังส่งขั้นต่ำเพียง 528.78 mW เพื่อให้มีอัตราบิตผิดพลาดต่ำกว่า $10^{-4}$

การเปรียบเทียบการส่งผ่านภาพระหว่างระบบที่ไม่มีการเข้ารหัสกับระบบที่มีการเข้ารหัสโดยใช้กำลังส่งเท่ากันผ่านช่องสัญญาณรบกวนเกาส์เซียนแบบขาว (AWGN) แสดงได้ดังตารางที่ 2 ซึ่งการเข้ารหัสคอนโวลูชันสามารถลดอัตราบิตผิดพลาดลงได้สำหรับการส่งผ่านภาพด้วยระบบที่มีการเข้ารหัสคอนโวลูชันแบบปรับอัตรารหัสได้แสดงได้ดังตารางที่ 3 โดยระบบที่นำเสนอสามารถปรับอัตรารหัสให้เหมาะสมต่อสภาพแวดล้อมของช่องสัญญาณได้ สามารถลดอัตราบิตผิดพลาดให้ต่ำกว่า $10^{-4}$ และลดกำลังที่ใช้ในการส่งข้อมูลลงได้

ตารางที่ 1 การเปรียบเทียบกำลังส่งขั้นต่ำที่ใช้ส่งสำหรับผ่านข้อมูล

| อัตรารหัสที่ใช้ | $E_b / N_0$ (dB) ขั้นต่ำที่ให้อัตราบิตผิดพลาดต่ำกว่า $10^{-4}$ | อัตราขยายของรหัส | กำลังส่งขั้นต่ำ (mW) |
|---|---|---|---|
| No Coding | 8.4 | 0 | 1,104.78 |
| Code Rate = 1/2<br>K = 7 | 6 | 2.4 | 635.73 |
| Code Rate = 1/3<br>K = 7 | 5.2 | 3.2 | 528.78 |
| Code Rate = 1/4<br>K = 7 | 5.4 | 3 | 553.70 |
| Code Rate = 2/3<br>K = 5 | 5.8 | 2.6 | 607.12 |

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบการส่งผ่านภาพของระบบที่ไม่มีและมีการเข้ารหัส

| $E_b / N_0$ | 5 dB | 7 dB |
|---|---|---|
| ไม่มีการเข้ารหัส | | |
| Code Rate = 1/4<br>K = 8 | | |

ตารางที่ 3 การจำลองการส่งผ่านภาพด้วยการใช้ระบบที่นำเสนอ

| $E_b / N_0$ | ภาพที่รับได้ | อัตรารหัสที่เหมาะสม | กำลังส่งที่ใช้ (mW) |
|---|---|---|---|
| 3 dB | | Code Rate = 1/3<br>K = 9 | 516.74 |
| 5 dB | | Code Rate = 1/3<br>K = 11 | 504.98 |
| 7 dB | | Code Rate = 1/4<br>K = 8 | 482.25 |

## 5. สรุป

บทความนี้นำเสนอการสร้างแบบจำลองทางวิศวกรรมของดาวเทียมคิวบ์แซทเพื่อสร้างองค์ความรู้ในด้านเทคโนโลยีอวกาศ และนำเสนอการเข้ารหัสคอนโวลูชันแบบปรับอัตรารหัสได้ที่สามารถลดอัตราบิตผิดพลาดให้ต่ำกว่า $10^{-4}$ และใช้การบริโภคกำลังงานที่ต่ำที่สุดจากการจำลองการทำงานการส่งผ่านข้อมูลผ่านช่องสัญญาณรบกวนเกาส์เซียนแบบขาว (AWGN) แสดงให้เห็นว่าการเข้ารหัสคอนโวลูชันแบบปรับอัตรารหัสได้สามารถปรับอัตรารหัสให้เหมาะสมต่อสภาพแวดล้อมของช่องสัญญาณต่างๆ สามารถลดอัตราบิตผิดพลาดของการส่งผ่านข้อมูล รวมถึงลดกำลังที่ใช้ในการส่งผ่านข้อมูลได้มากที่สุดถึง 56.35 เปอร์เซ็นต์เมื่อเทียบกับระบบที่ไม่มีการเข้ารหัสช่องสัญญาณ ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับดาวเทียมคิวบ์แซทได้

## เอกสารอ้างอิง

[1] The CubeSat Program (2009). Cal Poly SLP. CubeSat Design Specification. [Online]. Available: http://www.cubesat.org/images/developers/cds_rev12.pdf

[2] Pirada Techavijit, Polkit Sukchalerm, Aniwat Plodpai and Sorawat Chivapreecha, "CubeSat Image Transmission in JPEG Compression: An Experiment on High Altitude Platform," KST International Conference (KST-iCON), 2016.

[3] Space Exploration, "CubeSats: Power System and Budget Analysis". 2015.

[4] The Consultative Committee for Space Data Systems (CCSDS), Recommendation for Space Data System Standards: TM Synchronization and Channel Coding, 2011.

[5] P. Elias, "Coding for noisy channels," IRE Conv. Rec., pp. 37-46, 1955.

[6] Stephen B. Wicker, Error Control Systems for Digital Communication and Storage, Prentice Hall, 1995.

[7] Shu Lin and Daniel J. Costello, Error Control Coding, 2nd ed., Prentice Hall, 2004.

[8] B. Sklar, Digital Communications: Fundamentals and Applications, NJ. USA : Prentice Hall, 1988.

[9] W. L. Stutzman and G. A. Thiele. Antenna Theory and Design, 2nd ed., John Wiley and Sons, 1998.

[10] Shkelzen Cakaj, Bexhet Kamo, Algenti Lala, and Alban Rakipi, "The Coverage Analysis for Low Earth Orbiting Satellites at Low Elevation." Int. Journal of Advanced Computer Science and Applications, vol. 5, no. 6, 2014.

**นายชนาธิป ฤกษ์สุขรุ่งเรือง**
นักศึกษาระดับปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สจล.

**ผศ.ดร. ศรวัฒน์ ชิวปรีชา**
อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สจล.

# ระบบเฝ้าระวังห้องศูนย์ข้อมูลคอมพิวเตอร์

# Data Center Monitoring System

**วีระยุทธ คุณรัตนสิริ**

สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

1381 ถนนพิบูลสงคราม แขวงบางซื่อ เขตบางซื่อ กรุงเทพฯ 10800 E-mail: weerayuth.k@rmutp.ac.th

## บทคัดย่อ

จากการศึกษาทางสถิติของบริษัท มอริเตอริ่งเทคโนโลยี จำกัด พบว่า 23% ของศูนย์ข้อมูล พบว่ามีสาเหตุมาจากสภาวะแวดล้อมภายในศูนย์ข้อมูลที่ผิดปกติมากกว่า 5 ครั้งต่อปี ซึ่งจะส่งผลเสียต่อความความน่าเชื่อถือขององค์กร เมื่อพิจารณาโดยละเอียดพบว่าสาเหตุส่วนใหญ่เกิดจากระบบปรับอากาศทำงานผิดปกติ ทำอุณหภูมิสูงขึ้นจากค่ามาตรฐานอย่างรวดเร็ว นอกจากนี้ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศที่ไม่เหมาะสม โดยที่ค่าความชื้นสัมพัทธ์มีค่าสูง จะมีโอกาสเกิดการกลั่นตัวของหยดน้ำส่งผลให้เกิดการกัดกร่อนของตัวอุปกรณ์ได้ และหากความชื้นสัมพัทธ์มีค่าต่ำเกินไป อุปกรณ์คอมพิวเตอร์จะเริ่มอ่อนไหวต่อการเกิดการถ่ายเทประจุไฟฟ้า ( Electrostatic Discharge : ESD) ทำให้เกิดความเสียหายต่ออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ภายในศูนย์ข้อมูลได้ หากมีระบบที่สามารถตรวจจับและแจ้งเตือนความผิดปกติดังที่กล่าว ไปยังผู้ดูแลระบบผู้ดูแลระบบสามารถแก้ไขข้อผิดพลาดของระบบได้ทันเวลา

ระบบเฝ้าระวังอุณหภูมิ ความชื้น และตรวจจับควันในตู้เซิร์ฟเวอร์ จึงมีความจำเป็น เพื่อให้สามารถตรวจสอบสภาพแวดล้อมบริเวณตู้เซิร์ฟเวอร์ ส่งผลให้การให้บริการข้อมูลสารสนเทศภายในองค์มีประสิทธิภาพ และเสถียรภาพที่ดีขึ้น

คำสำคัญ: ศูนย์ข้อมูล, อุณหภูมิ, ความชื้นสัมพัทธ์

## Abstract

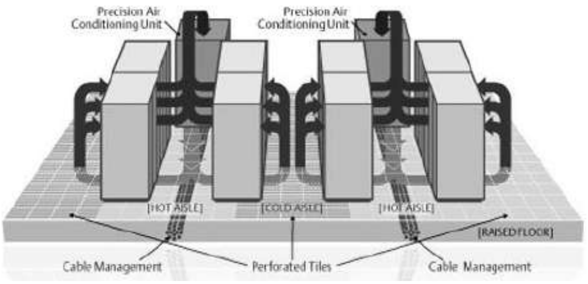
From the research of Monitoring Technology co., Ltd, it was found that 23% of data centers are occurred by the data center environment that it is more than 5 times per year. Which would affect the reliability of the organization. When considered in detail, it was found that the most problem is caused by irregular air conditioning system that it is quickly the high temperature. In addition, the relative humidity in the air is not suitable. The high value of relative humidity will be opportunities to condensing of water droplets resulted in corrosion of the equipment. The low value of relative humidity is influence the Electrostatic Discharge: ESD that causes damage to electronic equipment within the data center. If you have a monitoring system that can detect and alert irregularities to person responsible. The administrator can be solve the incident problem.

So, Temperature , humidity, smoke is necessary to be monitor the environment in the data center. This sytem can be provided protected the efficient and stable of system in data center.

Keywords: Data Center, Temperature, Humunity

## 1. บทนำ

ในการออกแบบห้องศูนย์ข้อมูลในปัจจุบัน ต้องคำนึงถึงปัจจัยหลากหลายอย่าง เช่น ขนาดของห้อง ระบบไฟฟ้า ความชื้นและอุณหภูมิภายในห้อง สายสัญญาณต่าง ๆ เป็นต้น ซึ่งถูกกล่าวไว้ในมาตรฐาน (TIA-942) เนื่องจากโดยปกติแล้วศูนย์ข้อมูลจะให้บริการตลอด 24 ชั่วโมง ดังนั้นต้องการควบคุมและดูแลอยู่ตลอดเวลา ดังนั้นเมื่อพิจารณาเฉพาะในส่วนของอุณหภูมิ ความชื้น สถานะควัน และกระแสไฟฟ้าที่มีการใช้งานในห้องศูนย์ข้อมูล โดยปกติแล้วห้องศูนย์ข้อมูลจะมีการถ่ายเทอากาศภายในห้อง [1] ดังแสดงในรูปที่ 1




**รูปที่ 1** ลักษระการถ่ายเทอากาศภายในศูนย์ข้อมูล

ที่มา: http://www.ispio.com

ในการพัฒนาระบบเฝ้าระวังมีโครงงาน มีการพัฒนาระบบตรวจจับควัน [2] และระดับตรวจจับอุณหภูมิและความชื้น [3] ซึ่งทั้งสองบทความจะกล่าวถึงประสิทธิภาพในการวัดอุณหภูมิ ความชื้น และควันภายในศูนย์ข้อมูล ซึ่งความจริงแล้วค่าอุณหภูมิ ความชื้น และควัน ในจุดต่าง ๆ ของห้องมีความแตกต่างกัน โดยเฉพาะตู้แร็คที่มีการติดตั้งเครื่องคอมพิวเตอร์แม่ข่ายเป็นจำนวนมาก หรือมีระยะห่างในการติดตั้งอุปกรณ์ไม่เพียงพอ ส่งผลต่อการระบายอากาศภายในศูนย์ข้อมูล ซึ่งจากการศึกษาพบว่าทิศทางลมบริเวณตู้แร็ค จะมีลมเย็นซึ่งถูกเป่ามาจากใต้พื้นด้านหน้าตู้ ผ่านอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ภายในตู้ทำให้มีอุณหภูมิที่สูงขึ้น จากนั้นลมร้อนออกจากตู้ทางด้านหลัง และถูกดูดกลับไปบนฝ้าเพื่อเข้าสู่กระบวนการทำความเย็นต่อไป ซึ่งเป็นจุดที่ควรทำการติดตั้งเซ็นเซอร์เพื่อให้ได้ค่าที่รวดเร็วหากมีสิ่งผิดปกติเกิดขึ้น

โดยในงานวิจัยนี้เลือกใช้คอมพิวเตอร์สมองกลฝังตัวราสเบอร์รี่ไพร์ (Raspberry Pi) เพื่อทำหน้าที่รวบรวมข้อมูลและแสดงผลให้กับผู้ดูแลระบบรับทราบ โดยจะทำการรับค่าจากเซ็นเซอร์ที่ติดตั้งบริเวณตู้เซิร์ฟเวอร์ หากระบบตรวจจับได้ว่าสิ่งแวดล้อมผิดปกติจะทำการแจ้งเตือนผ่านอีเมล์ของผู้ดูแลระบบเพื่อให้มาตรวจสอบความผิดปกติ และแก้ไขข้อผิดพลาดของระบบได้ทัน

## 2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

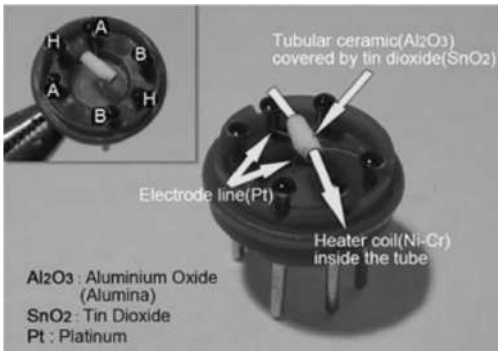
อัคคีภัย เป็นภัยอันตรายที่เกิดจากไฟ ที่เกินการควบคุม [6] ซึ่งสามารถลุกลาม และสร้างความเสียหาย ให้แก่ชีวิต ทรัพย์สิน โดยการเกิดเผาไหม้ เป็นปฏิกิริยาทางเคมี ระหว่างเชื้อเพลิงกับออกซิเจนในอากาศและปล่อยพลังงานความร้อนและแสงสว่าง โดยการเผาไหม้เป็นปฏิกิริยาการคายความร้อน ซึ่งไฟจะเกิดขึ้นได้ต้องประกอบด้วยองค์ประกอบ 3 อย่าง คือ

1. เชื้อเพลิง (FUEL)
2. ออกซิเจน (OXYGEN) โดยทั่วไปจะมีออกซิเจนอยู่ในอากาศประมาณ 21%
3. ความร้อน (HEAT)

**รูปที่ 2** กฎสามเหลี่ยมไฟ

จากรูปที่ 2 แสดงให้เห็นว่าไฟเกิดขึ้นได้ต้องมีองค์ประกอบ 3 อย่าง คือ เชื้อเพลิง(ในรูปแบบของไอระเหย) อากาศ(ออกซิเจน) และความร้อน (ถึงอุณหภูมิติดไฟ) และการที่จะดับไฟนั้นต้องนำองค์ประกอบอย่างใดอย่างหนึ่งออกไป

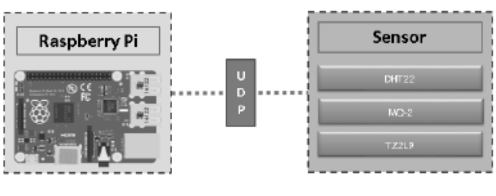
อุปกรณ์ตรวจจับควัน MQ-2 เป็นอุปกรณ์ตรวจสอบปริมาณก๊าซไวไฟ และ ควันในอากาศที่มีความเข้มข้น 300 -10000 ppm(part per million) โครงสร้างของ MQ-2 ประกอบด้วยหลอดไมโคร $Al_2O_3$, ดีบุกไดออกไซด์($SnO_2$) ซึ่งเมื่อจ่ายกระแสไฟฟ้าเข้าที่ขา H จะทำให้เกิดความร้อนขึ้นที่ขดลวด และเมื่อมีก๊าซไวไฟต่างๆ เข้ามาทำปฏิกิริยาจะทำให้ค่าความต้านทานระหว่างขา A และ B (Rs=Sensing Resistance) ลดลง




**รูปที่ 3** โครงสร้างภายใน MQ-2

## 3. การออกแบบและพัฒนาระบบ

ในการรับส่งข้อมูลระหว่างโหนดจะใช้แอคเซสพอยต์ไร้สายเป็นตัวกลางในการเชื่อมต่อไมโครคอลโทรลเลอร์ไปยังตัวควบคุม (ในที่นี้เลือกใช้บอร์ด Raspberry PI) ซึ่งกับโมดูล สื่อสารไร้สาย (Wireless LANs) การเลือกใช้ WLANs มีวัตถุประสงค์เพื่อลดการเชื่อมต่อในรูปของสายสัญญาณลง และต้องไม่ส่งผลกระทบกับระบบที่กำลังทำงานอยู่ในระหว่างขั้นตอนการการติดตั้ง โดยในการรับส่งข้อมูลระหว่างบอร์ดควบคุม กับชุดเซนเซอร์ จะทำการเชื่อมต่อผ่านโปรโตคอล UDP (User Datagram Protocol) โดยที่ชุดเซนเซอร์ จะมีไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino ทำหน้าที่สั่งงานเซนเซอร์ต่าง ๆ และจัดส่งข้อมูลที่ได้จากเซนเซอร์ไปยังบอร์ดควบคุมหลัก ซึ่งก็คือ บอร์ด Raspberry PI โดยไดอะแกรมการเชื่อมต่อแสดงดังรูปที่ 3

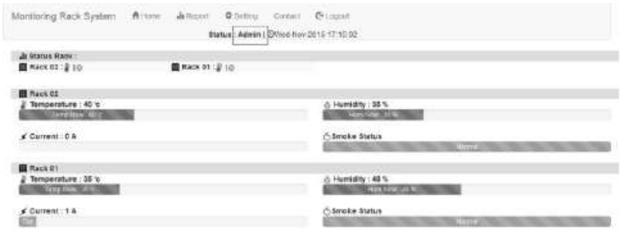



**รูปที่ 3** โครงสร้างการรับส่งข้อมูลของระบบ

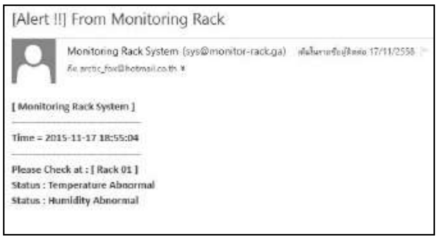
ในเว็บไซต์จะมีการแจ้งเตือนสถานะต่างๆ คือ ค่าอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ กระแสไฟฟ้า และปริมาณควันที่วัดได้บริเวณตู้แร็ค ดังแสดงในรูปที่ 4 โดยระบบสามารถกำหนดค่าเกณฑ์การแจ้งเตือนสถานะต่าง ๆ ผ่านอีเมล์ ซึ่งภายในอีเมล์จะมีรายละเอียดของข้อความแจ้งเตือนอันได้แก่ วันเวลาที่เกิดปัญหา ตำแหน่งที่ติดตั้งอุปกรณ์ และสาเหตุของปัญหาที่ตรวจพบ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

- Temperature Abnormal
- Humidity Abnomal
- Electricity Abnomal
- Smoke Abnormal

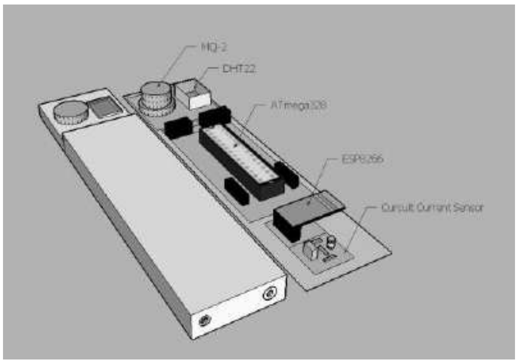
ข้อความแจ้งเตือนในอีเมล์แสดงดังรูปที่ 5 ซึ่งเห็นได้ว่ามีการแจ้งเตือนตู้แร็คที่ 1 เกิดปัญหาค่าอุณหภูมิ และค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่มีความผิดปกติเกิดขึ้น




**รูปที่ 4** หน้าเพจสถานะของผู้บริหารจัดระบบ

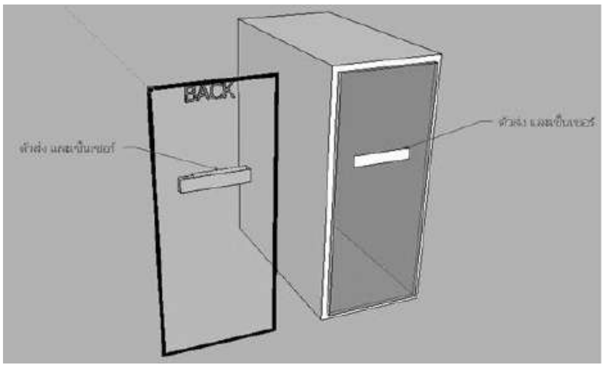



**รูปที่ 5** ข้อความแจ้งเตือนที่ถูกส่งไปยังอีเมล์




**รูปที่ 6** การจัดวางอุปกรณ์ไมโครคอนโทรเลอร์ และเซ็นเซอร์ต่าง ๆ

จากรูปที่ 6 เป็นแบบจำลองการติดตั้งอุปกรณ์ควบคุม และเซ็นเซอร์ภายในกล่อง ซึ่งออกแบบให้กระทัดรัด ติดตั้งได้ง่าย เคลื่อนย้ายสะดวก โดยใช้แม่เหล็กเป็นตัวยึดติดกับตู้แร็ค ซึ่งปกติแล้วตู้แร็คจะมีโครงสร้างโลหะ ซึ่งทำการติดตั้งที่บริเวณด้านหลังของตู้แร็ค แสดงดังรูปที่ 7




**รูปที่ 7** ตำแหน่งการติดตั้งเซ็นเซอร์ตรวจจับอุณหภูมิ ความชื้น และควัน

## 4. ผลการดำเนินการและอภิปราย

ระบบนี้ได้ทำการทดสอบความถูกต้องของเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ เทียบกับเครื่องมือวัดอุณหภูมิ รุ่น Testo 175 H1 ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้แสดงดังตารางที่ 1 และตารางที่ 2 พบว่ามีค่าความคลาดเคลื่อนจากเครื่องวัดประมาณ 1 องศา และค่าความชื้นสัมพัทธ์ ไม่เกิน 1%

**ตารางที่ 1** ผลการทดสอบความเที่ยงตรงของเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ

| ที่ | Sensorที่ 1 | | Sensorที่ 2 | | เครื่องวัด Testo 175 H1 | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | อุณหภูมิ (องศา) | ความชื้น (%) | อุณหภูมิ (องศา) | ความชื้น (%) | อุณหภูมิ (องศา) | ความชื้น (%) |
| 1 | 33 | 37 | 33 | 37 | 33 | 36 |
| 2 | 33 | 37 | 33 | 37 | 32.9 | 36 |
| 3 | 33 | 37 | 34 | 37 | 33 | 37 |
| 4 | 33 | 36 | 33 | 38 | 33 | 36 |

**ตารางที่ 2** ค่าที่วัดได้จากการวางเซ็นเซอร์อุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ภายในตู้เซิร์ฟเวอร์

| ที่ | ด้านบน | ด้านข้าง | ด้านหลัง |
|---|---|---|---|
| 1 | 24.2 | 26.2 | 30.5 |
| 2 | 25.1 | 27.4 | 32.4 |
| 3 | 23.3 | 25.9 | 31.4 |

| ที่ | ด้านบน | ด้านข้าง | ด้านหลัง |
|---|---|---|---|
| 4 | 25.6 | 28.3 | 30.9 |
| 5 | 23.8 | 26.1 | 31.6 |

จากตารางที่ 2 เป็นการวัดค่าอุณหภูมิโดยทำการติดตั้งเซนเซอร์ 3 ตำแหน่งได้แก่ ด้านบน ด้านข้าง และด้านหลังของตู้แร็ค ซึ่งจะเห็นได้ว่าค่าอุณหภูมิของทั้ง 3 ตำแหน่งมีค่าที่แตกต่างกัน อันเนื่องมาจากที่ตำแหน่งด้านหลังของตู้แร็ค จะเป็นตำแหน่งที่ลมจะถูกพ่นออกจากเครื่องแม่ข่ายมาที่ด้านหลังของตู้แร็ค ซึ่งจะทำให้ได้ค่าความร้อนที่สูงที่สุด

**ตารางที่ 3** ผลการทดสอบความเที่ยงตรงของเซ็นเซอร์ตรวจจับ

| ที่ | ประเภทแก๊ส | ค่าที่ได้รับ ตัวที่ 1 | ค่าที่ได้รับ ตัวที่ 2 |
|---|---|---|---|
| 1 | อากาศปกติ | 35.2 | 39.1 |
| 2 | ควันธูป | 200 | 154 |
| 3 | แก๊สไฟแช็ค | 270 | 284 |
| 4 | เปลวไฟแช็ค | 123 | 134 |
| 5 | น้ำมันเบนซิน | 300 | 190 |
| 6 | ฉนวนหุ้มสายไฟไหม้ | 72 | 85 |

จากตารางที่ 3 พบว่าเซ็นเซอร์ตรวจจับควันสามารถแยกแยะความแตกต่างระหว่างควันที่เกิดขึ้นในรูปแบบต่าง ๆ ได้ นอกจากนี้ยังทำการทดสอบเซ็นเซอร์วัดกระแส TZ2L9 เทียบกับเครื่องวัดกระแส FLUKE 30 Clamp Meter

## 5. สรุป

ระบบเฝ้าระวังศูนย์ข้อมูลคอมพิวเตอร์สามารถตรวจสอบค่าสถานะอุณหภูมิ ความชื้น ควัน และกระแสไฟ ได้ผ่านเว็บบราวเซอร์ เพื่อให้การเฝ้าระวังมีความสะดวกยิ่งขึ้น นอกจากนี้ยังเป็นการเพิ่มเสถียรภาพในการใช้งานระบบที่อยู่ภายในศูนย์ข้อมูลได้สามารถทำงานได้ตลอด 24 ชั่วโมง ลดความสูญเสียที่อาจเกิดขึ้น ชิ้นงานที่จัดทำขึ้นประกอบด้วยตัวควบคุมและเซ็นเซอร์ ซึ่งในแต่ละโหนดมีราคาไม่เกิน 1,500 บาท ต่อชุด ซึ่งทำให้ลดค่าใช้จ่ายในการจัดซื้ออุปกรณ์ตรวจสอบที่มีราคาแพง และสามารถบอกค่าวัดได้ของแต่ละตู้แร็ค เพื่อใช้ในการพยากรณ์หาค่าความผิดปกติที่จะเกิดขึ้นในอนาคตได้ นอกจากนี้ขนาดของชิ้นงานถูกออกแบบให้มีขนาดกระทัดรัด และติดตั้งได้ง่ายโดยใช้แม่เหล็กซึ่งทำให้สามารถติดตั้งได้โดยไม่ต้องมีการเจาะหรือแปะเข้ากับวัสดุต่าง ๆ ส่งผลให้ผู้ใช้งานสามารถเคลื่อนย้ายตำแหน่งของชุดเซนเซอร์ได้ตามต้องการ แต่ชิ้นงานยังมีข้อจำกัดด้านการออกแบบตัวรับส่งข้อมูลและรูปแบบการแสดงผล ซึ่งต้องทำการปรับปรุงและแก้ไขให้ดีขึ้นในโอกาสต่อไป

## 4. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ที่ให้การสนับสนุนค่าใช้จ่ายในการนำเสนอบทความในครั้งนี้

## เอกสารอ้างอิง

[1] ศิริวรรณ ภิรมย์ฤทธิ์ ,สุคนธ์ทิพย์ ทินาภรณ, "การออกแบบศูนย์ข้อมูลตามรูปแบบการใช้งานและขนาดขององค์กร," วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเชีย ฉบับที่ 6 เล่ม 2, 2555.

[2] ชนนิกานต์ บุตรบารุง, มุกระวี มะดะเรส, "ระบบป้องกันอัคคีภัยในห้องเซิร์ฟเวอร์ควบคุมผ่านแอนดรอยด์,"ปริญญานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2556

[3] เฉลิมชัย สายเชื้อ, "ระบบตรวจสอบอุณหภูมิและความชื้นภายในห้องเซิร์ฟเวอร์แจ้งเตือนผ่านระบบ SMS," ปริญญานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2554

[4] Telecommunications Industry Association, "Telecommunications Infrastructure Standard for Data Centers," Telecommunications Industry Association Standards and Technology Department, 2005.

[5] เอกชัย มะการ, "เรียนรู้เข้าใจใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AVR ด้วย Arduino", บริษัท อีทีที จำกัด, 2552.

[6] "เอกสารประกอบการฝึกอบรม วิชาการป้องกันและระงับอัคคีภัย ," ศูนย์ป้องกันและบรรเทาสาธารณะภัย เขต 11 สุราษฎร์ธานี, 2557.

**วีระยุทธ คุณรัตนสิริ** สำเร็จการศึกษา วศ.ม. วิศวกรรมไฟฟ้า จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ปัจจุบันเป็นอาจารย์ประจำที่ สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร มีความสนใจเกี่ยวกับระบบเครือข่าย การประมวลผลภาพและเสียง

# การพยากรณ์ปริมาณการใช้น้ำประปารายเดือนในภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบนของประเทศไทย โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม

# Monthly Forecasting of the Quantity of Water Supply in the Northeast of Thailand by Using Artificial Neural Network

**กริช สมกันธา[1] และ วิไลพร กุลตังวัฒนา[2]**
[1]สาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
E-mail: dr_krit@hotmail.com
[2]สาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
E-mail: wilanporn17@yahoo.com

## บทคัดย่อ

ในงานวิจัยนี้ได้เสนอวิธีการพยากรณ์รายเดือนของปริมาณน้ำประปาในจังหวัดของภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบน โดยการใช้โครงข่ายประสาทเทียม ซึ่งการพยากรณ์ปริมาณการใช้น้ำประปาเป็นปัจจัยหนึ่งที่สำคัญเป็นอย่างมากในการวางแผนการใช้น้ำอย่างมีประสิทธิภาพ ในงานวิจัยวิธีการของโครงข่ายประสาทเทียมแบบถดถอยถูกใช้สำหรับการปรับปรุงประสิทธิภาพของการพยากรณ์รายเดือนของปริมาณการใช้น้ำประปา ในงานวิจัยได้ใช้ข้อมูลปริมาณการใช้น้ำประปาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2546-2557 ซึ่งเป็นข้อมูลปริมาณการใช้น้ำประปารายเดือนในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบน งานวิจัยนี้ประสิทธิภาพของวิธีการที่นำเสนอจะถูกเปรียบเทียบกับวิธีการบอกซ์-เจนกินส์ เพื่อแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของขั้นตอนวิธีที่นำเสนอ โดยในงานวิจัยนี้ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ (MAPE) ถูกนำมาใช้เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของวิธีการที่นำเสนอและวิธีการที่นำมาเปรียบเทียบ โดยผลการทดลองของวิธีการโครงข่ายประสาทเทียมแบบถดถอยจะทำการเปรียบเทียบกับวิธีการบอกซ์-เจนกินส์ ในข้อมูลชุดเดียวกัน จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการพยากรณ์โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมแบบถดถอยมีประสิทธิภาพที่ดีและมีความถูกต้องมากกว่าวิธีการของบอกซ์-เจนกินส์ วิธีการที่นำเสนอคาดว่าจะเป็นวิธีการที่เหมาะสมในการพัฒนาโปรแกรมในการพยากรณ์ปริมาณน้ำประปาอย่างมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ: โครงข่ายประสาทเทียม, อนุกรมเวลา, ระบบการพยากรณ์

## Abstract

This paper presents the monthly forecasting of quantity of water supply in the northeast of Thailand by artificial neural network. The quantity of water supply is an important factor for planning to use water efficiently. The artificial neural network for regression technique (ANNR) was used for improving the performance of monthly forecasting of quantity of water supply. In this paper, data are taken from the past records of 2546 to 2557 in the northeast of Thailand. The performance of the algorithm was compared with Box-Jenkins mehtod. The mean absolute percent error (MAPE) is used for testing the efficiency of the proposed method and compared method. Results from the artificial neural network for regression were compared with results obtained from Box-Jenkins method on the same set of data. The results show that the proposed method performs very well and better accuracy than forecasting by Box-Jenkins method. It can be believed that the proposed method may hopefully be an approach for developing program in forecasting system of quantity of water supply efficiently.

Keywords: Artificial neural network, Time series analysis, forecasting system

## 1. บทนำ

การพยากรณ์คือการคาดคะเนถึงสิ่งใดสิ่งหนึ่งที่จะเกิดขึ้นในอนาคตโดยอาศัยข้อมูลในอดีตและปัจจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้องมาทำการวิเคราะห์ถึงสิ่งที่เป็นไปได้ในอนาคต [1]-[7] ในปัจจุบันได้มีการพยากรณ์ข้อมูลในหลากหลายลักษณะ [8]-[13] ซึ่งการพยากรณ์ที่ถูกต้องหรือใกล้เคียงถือเป็นขั้นตอนที่สำคัญในการวางแผนเพื่อพัฒนาในด้านต่างๆ ของประเทศ การพยากรณ์มีบทบาทสำคัญอย่างมากในการวางแผนและการตัดสินใจเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด

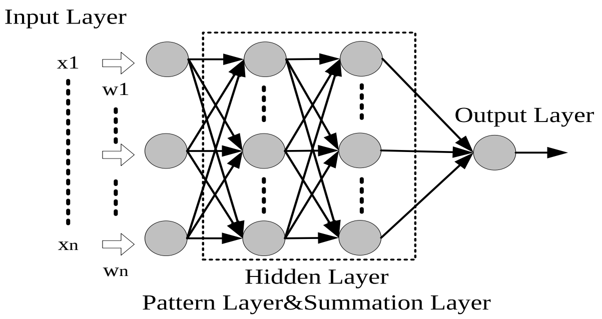
"น้ำ" เป็นปัจจัยสำคัญในการดำรงชีวิตและการพัฒนาประเทศ น้ำถูกใช้ในกิจกรรมต่างๆ ทั้งการอุปโภคบริโภค อุตสาหกรรมและเกษตรกรรม โดยทั่วไปมักจะใช้แหล่งน้ำผิวดินเป็นหลัก แต่ก็เกิดปัญหาการขาดแคลนน้ำ เนื่องจากพื้นที่ที่เหมาะสมสำหรับจะใช้ก่อสร้างแหล่งกักเก็บน้ำผิวดิน มีจำนวนจำกัด แหล่งกักเก็บน้ำบนผิวดินที่มีอยู่มีไม่เพียงพอ ปริมาณน้ำผิวดินจึงไม่พอใช้ ก่อให้เกิดวิกฤติการณ์ขาดแคลนน้ำทุกปี ประกอบกับความเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจของประเทศ ทำให้ต้องใช้ทรัพยากรน้ำมากขึ้น ในการผลิต การที่น้ำผิวดินไม่พอเพียง ประกอบกับการบริการดานสาธารณูปโภค โดยเฉพาะอย่างยิ่ง การประปาส่วนภูมิภาคยังไม่ครอบคลุมพื้นที่เกษตรกรรมทั้งประเทศ ทำให้ผลผลิตทางการเกษตรของประชาชนนอกพื้นที่การประปาส่วนภูมิภาค ประสบปัญหาตลอดมา เนื่องจากขาดแคลนแหล่งน้ำดิบที่ใช้ในกิจการของการประปาส่วนภูมิภาคในปัจจุบัน ส่วนใหญ่จะใช้แหล่งน้ำผิวดินตามธรรมชาติ และแหล่งกักเก็บน้ำที่ก่อสร้างโดยหน่วยงานอื่น เช่น แม่น้ำ หนอง คลอง สระน้ำ และอ่างเก็บน้ำ เป็นต้น มากถึงร้อยละ 94 มีเพียงร้อยละ 6 เท่านั้นที่ใช้น้ำใต้ดินเป็นแหล่งน้ำดิบในการผลิตน้ำประปา ดังนั้นเพื่อให้ประชาชนรวมถึงหน่วยงานภาครัฐและเอกชนที่ขาดแคลนน้ำที่ใช้สำหรับการอุปโภคบริโภค อุตสาหกรรม เกษตรกรรม และธุรกิจบริการมีน้ำสะอาดใช้อย่างเพียงพอทั่วถึง จึงคิดที่จะทำงานวิจัยนี้เพื่อเป็นระบบการพยากรณ์ปริมาณการใช้น้ำประปาในภาคอีสานตอนบน ซึ่งในที่นี้จะประกอบไปด้วยจังหวัดขอนแก่น จังหวัดอุดรธานี จังหวัดหนองคาย จังหวัดเลย จังหวัดบึงกาฬ และจังหวัดหนองบัวลำภู ซึ่งนำข้อมูลในอดีตมาวิเคราะห์องค์ประกอบเพื่อกำหนดตัวแบบจำลองและนำแบบจำลองมาพยากรณ์ค่าอนาคต โดยสามารถพยากรณ์ปริมาณการใช้น้ำประปาในอนาคตจะเพียงพอต่อความต้องการใช้น้ำของประชากรในภาคอีสานตอนบนหรือไม่ การพยากรณ์จำเป็นต่อการวางแผนการผลิตน้ำประปาให้เหมาะสมในแต่ละพื้นที่ ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อการผลิตหรือจัดสรรทรัพยากรน้ำประปาในภาคอีสานตอนบนได้อย่างมีประสิทธิภาพ

## 2. วิธีการที่นำเสนอ

ในงานวิจัยในการพยากรณ์ปริมาณการใช้นำประปาจะใช้วิธีของโครงข่ายประสาทเทียมแบบถดถอยและวิธีการของบอกซ์-เจนกินส์ เพื่อดูประสิทธิภาพของวิธีการ ดังนั้นในส่วนหัวข้อนี้จะอธิบายทั้ง 2 วิธีการ ที่จะนำไปใช้ในการทดสอบ

### 2.1 วิธีการโครงข่ายประสาทเทียม

โครงข่ายประสาทเทียม [18]-[20] เป็นกระบวนการทางคณิตศาสตร์ที่จะนำมาประยุกต์ใช้ในงานวิจัยโดยในงานวิจัยนี้ได้ใช้โครงข่ายประสาทเทียมแบบถดถอย (Artificial Neural Network for Regression) โครงข่ายชนิดนี้จะประกอบไปด้วยชั้นอินพุต (Input Layer) ชั้นซ่อน (Hidden Layer) ซึ่งประกอบไปด้วยการจำลองรูปแบบรวมถึงการรวมค่า และชั้นเอาต์พุต (Output Layer) แสดงดังรูปที่ 1 โครงข่ายประสาทเทียมแบบถดถอยเป็นโครงข่ายที่ใช้ความน่าจะเป็นในการพยากรณ์ (Probabilistic Neural Network) โดยใช้ข้อมูลในการเรียนรู้แบบแพร่ย้อนกลับ (Backpropagation Neural Network) โดยจะกระทำฝึกสอน (Train) โดยการปรับค่าน้ำหนักไปจนกระทั่งได้ค่าความผิดพลาดที่ยอมรับได้ที่ดีที่สุด




`**รูปที่ 1** โครงสร้างโครงข่ายประสาทเทียมแบบถดถอย (GRNN)

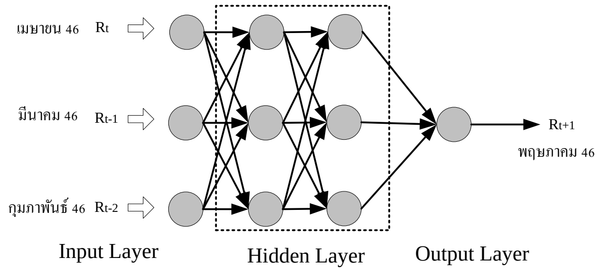
ชั้นอินพุต (Input Layer) ทำหน้าที่รับข้อมูลเข้า ส่วนของชั้นซ่อน (Hidden Layer) จะประกอบไปด้วยชั้นจำลองรูปแบบ (Pattern Layer) ซึ่งทำหน้าที่วัดความแตกต่างของข้อมูลนำเข้าและค่ากลางของแต่ละโหนด และชั้นรวมค่า (Summation Layer) ซึ่งทำหน้าที่รวมค่าผลลัพธ์ที่ได้จากชั้นจำลองรูปแบบ สุดท้ายในส่วนของชั้นเอาต์พุต (Output Layer) คือผลลัพธ์ที่ประมาณได้จากวิธีการโครงข่ายประสาทเทียมแบบถดถอยจะเป็นการประมาณการฟังก์ชันระหว่างตัวแปรต้นและตัวแปรตาม โดยเรียนรู้จากชุดข้อมูล $X$ และ $Y$ ใดๆ ดังสมการ

$$\hat{Y}(X) = \frac{\sum_{i=1}^{n} Y^i \exp\left(-\frac{C_i}{\sigma}\right)}{\sum_{i=1}^{n} \exp\left(-\frac{C_i}{\sigma}\right)}, \qquad (1)$$

$$C_i = \sum_{j=1}^{n} \left| X_j - X_j^i \right|, \qquad (2)$$

ที่ซึ่ง $\hat{Y}(X)$ คือค่าที่ประมาณได้จากวิธีการโครงข่ายประสาทเทียมแบบถดถอย, $Y^i$ คือค่าเป้าหมายของข้อมูลสำหรับการเรียนรู้, $X_j^i$ คือข้อมูลในการฝึกสอนที่ $X$ ใดๆ, $X_j$ คือค่าอินพุตใดๆ และ $\sigma$ คือเกาส์เซียนฟังก์ชัน (Gaussian Function)

ในงานวิจัยได้กำหนดชั้นอินพุตกำหนดจำนวนโหนดเท่ากับจำนวนการใช้ข้อมูลย้อนหลัง ในชั้นซ่อนจำนวนโหนดกำหนดให้เท่ากับ 2 เท่าของจำนวนการใช้ข้อมูลย้อนหลัง และสุดท้ายชั้นเอาต์พุตใช้ 1 โหนด ดังนั้นสถาปัตยกรรมที่ใช้ในงานวิจัยคือ 5-5-5-1, 6-6-6-1, 7-7-7-1, 8-8-8-1 และ 9-9-9-1 ดังตัวอย่างดังรูปที่ 2 และแสดงสถาปัตยกรรมที่ใช้ดังเช่น สถาปัตยกรรม 6-6-6-1 ข้อมูลในการฝึกคือ $R_{t-5}$, $R_{t-4}$, $R_{t-3}$, $R_{t-2}$, $R_{t-1}$, และ $R_t$ และสถาปัตยกรรม 3-3-3-1 ข้อมูลในการฝึกคือ $R_{t-2}$, $R_{t-1}$, และ $R_t$ ที่ซึ่ง $R_t$ คือปริมาณน้ำประปาในช่วงเวลา t, $R_{t-n}$ คือปริมาณน้ำประปาในช่วงเวลาย้อนกลับไป $n$ เดือน, และ $R_{t+1}$ คือผลลัพธ์ของปริมาณน้ำประปาในช่วงเวลาที่ทำการพยากรณ์




`**รูปที่ 2** โครงสร้างโครงข่ายประสาทเทียมที่มีสถาปัตยกรรม 3-3-3-1

## 2.2 วิธีการบอกซ์-เจนกินส์

วิเคราะห์อนุกรมเวลาแบบ วิธีของ บอกซ์-เจนกินส์ [14]-[17 ] เป็นวิธีที่ใช้สำหรับเลือกรูปแบบที่เหมาะสมให้กับอนุกรมเวลา โดยพิจารณาจากสหสัมพันธ์ระหว่างคาบเวลาต่างๆ ที่ผ่านมาเพื่อให้ได้ตัวแบบที่เหมาะสมซึ่งจะทำให้สามารถพยากรณ์เหตุการณ์ในอนาคตจากตัวแบบที่สร้างขึ้น โดยวิธีการนี้มีกระบวนการต่างๆ ดังนี้

**ขั้นตอนที่ 1** การหาสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ในตัวเอง (Autocorrelation Function: ACF) และ การหาสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ในตัวเองบางส่วน (Partial Autocorrelation Function: PACF) เพื่อตรวจสอบว่าอนุกรมเวลาอยู่ภายใต้สภาวะคงที่หรือไม่ การหาสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ในตัวเองคำนวณได้จากสมการที่ 3 และการหาสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ในตัวเองบางส่วนคำนวณได้จากสมการที่ 4

$$r_k = \frac{\sum_{t=1}^{n-k}(Y_t - \bar{Y})(Y_{t+k} - \bar{Y})}{\sum_{t=1}^{n}(Y_t - \bar{Y})^2} \qquad (3)$$

ที่ซึ่ง $Y_t$ คือ ข้อมูลหรือค่าสังเกต ณ เวลา $t$, $k$ คือ จำนวนช่วงเวลาที่ข้อมูลอยู่ห่างกัน, $n$ คือ จำนวนข้อมูลทั้งหมด และ $\bar{Y}$ คือค่าเฉลี่ยของข้อมูลทั้งหมด

$$r_{kk} = \begin{cases} \dfrac{r_k - \sum_{j=1}^{k-1} r_{k-1,j}\, r_{k-j}}{1 - \sum_{j=1}^{k-1} r_{k-1,j}\, r_j} \end{cases} \qquad (4)$$

ที่ซึ่ง $r_{k,j}$ คือ ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ในตัวเองบางส่วนที่ช่วงเวลาห่างกัน $k$ และถ้าอนุกรมเวลาอยู่ภายใต้ภาวะไม่คงที่จะต้องทำให้อนุกรมเวลาอยู่ในภาวะคงที่โดยการหาผลต่างจนกว่าจะได้อนุกรมเวลาที่คงที่

**ขั้นตอนที่ 2** การประมาณค่าพารามิเตอร์ (Estimation) เพื่อให้ได้แบบจำลองที่เหมาะสม โดยจะประมาณค่าพารามิเตอร์ด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุดจนกว่าจะได้ค่าประมาณซึ่งทำให้ผลรวมกำลังสองของค่าความคลาดเคลื่อนมีค่าต่ำที่สุด ดังสมการ

$$SSE = \sum_{i=1}^{n} e_i^{\,2} \qquad (5)$$

ที่ซึ่ง $n$ คือ จำนวนช่วงเวลาของข้อมูลที่ใช้พยากรณ์ และ $e$ คือค่าความคลาดเคลื่อน

**ขั้นตอนที่ 3** การตรวจสอบความเหมาะสมของตัวแบบ (Diagnostic Checking) เพื่อตรวจสอบตัวแบบมีความเหมาะสมกับอนุกรมเวลาหรือไม่ โดยประมาณค่าความคลาดเคลื่อนดังนี้

$$e_t = Y_t - \bar{Y}_t \qquad (6)$$

ที่ซึ่ง $e_t$ คือความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์, $Y_t$ คือข้อมูลหรือค่าสังเกต ณ เวลา $t$ และ $\bar{Y}_t$ คือค่าเฉลี่ยของข้อมูลทั้งหมด ณ เวลา $t$

**ขั้นตอนที่ 4** คำนวณสถิติที่ใช้ในการทดสอบ ซึ่งในงานวิจัยใช้ตัวสถิติของ Box และ Ljung [16]-[17] ดังสมการ

$$Q = n\sum_{k}^{m} r_k^2(e_t) \qquad (7)$$

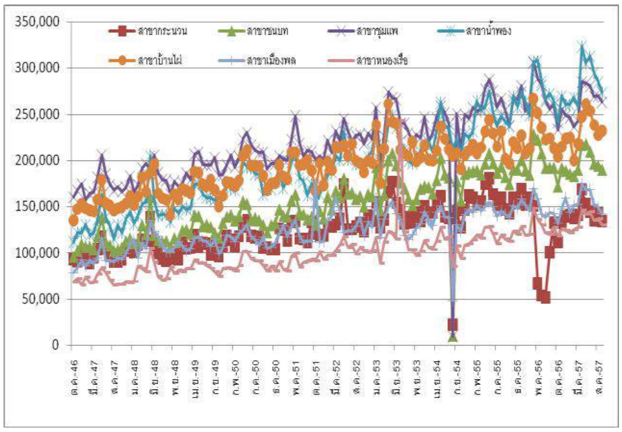
ที่ซึ่ง $n$ คือจำนวนอนุกรมเวลาของ $e_t$ ทั้งหมด, $m$ คือช่วงเวลาที่ห่างกันมากที่สุดของ $e_t$ ที่นำมาพิจารณา และ $r_k$ คือค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ในตัวเองบางส่วนที่ช่วงเวลาห่างกัน $k$

## 3 วิธีการดำเนินการและผลการทดลอง

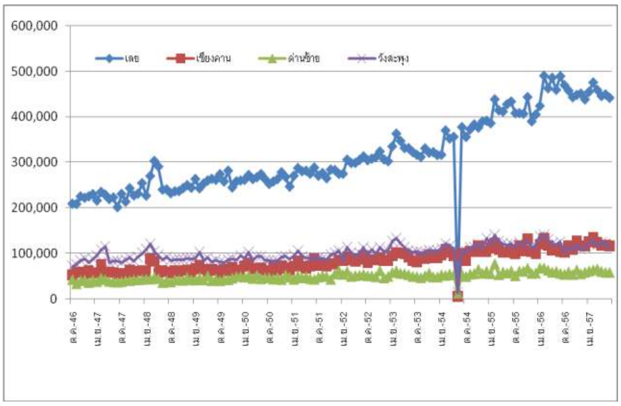
วิธีการดำเนินการวิจัยได้ใช้ข้อมูลปริมาณการใช้น้ำประปาในภาคอีสานตอนบน ซึ่งประกอบไปด้วยจังหวัดขอนแก่น (8 สาขา) จังหวัดอุดรธานี (4 สาขา) จังหวัดหนองคาย (3 สาขา) จังหวัดเลย (4 สาขา) จังหวัดบึงกาฬ (1 สาขา) และจังหวัดหนองบัวลำภู (1 สาขา) โดยเก็บข้อมูลตั้งแต่ปี 2546-2557 จำนวน 11 ปี ซึ่งจะนำมาใช้เป็นข้อมูลสำหรับการพยากรณ์ของวิธีการโครงข่ายประสาทเทียมและวิธีการบอกซ์-เจนกินส์ การทดสอบประสิทธิภาพของวิธีการ ในงานวิจัยได้มีการตรวจสอบความถูกต้องโดยเปรียบเทียบข้อมูลการพยากรณ์โดยพิจารณาจากค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ (Mean Absolute Percentage Error: MAPE) ดังสูตร

$$MAPE = \frac{\sum_{i=1}^{n} \left| \frac{e_t}{y_t} \right| \times 100}{n} \tag{8}$$

ที่ซึ่ง $e_t$ คือ ค่าความคลาดเคลื่อนในการพยากรณ์ในช่วงเวลา $t$ , $y_t$ คือ ค่าที่เกิดขึ้นจริงในช่วงเวลา $t$ , $n$ คือ จำนวนช่วงเวลาของข้อมูลที่ใช้พยากรณ์




**รูปที่ 3** ปริมาณการใช้น้ำประปาจังหวัดขอนแก่น (หน่วย ลบ.ม.)




**รูปที่ 4** ปริมาณการใช้น้ำประปาจังหวัดเลย (หน่วย ลบ.ม.)

กราฟในรูปที่ 3 และรูปที่ 4 แสดงตัวอย่างปริมาณการใช้น้ำประปาในแต่ละพื้นที่ ในแต่ละพื้นที่สาขาในเมืองจะมีการใช้ปริมาณน้ำประปาสูงกว่าสาขาชนบทอย่างมาก ดังนั้นในรูปที่ 3 จึงแสดงเฉพาะสาขานอกเมืองจำนวน 7 สาขา ส่วนรูปที่ 4 แสดงให้เห็นตัวอย่างทั้งสาขาในเมืองและนอกเมืองเพื่อให้เห็นความแตกต่าง

จากการทดลองประสิทธิภาพของวิธีการโครงข่ายประสาทเทียมแสดงผลลัพธ์ดังตารางที่ 1 และตารางที่ 2 โดยจะเป็นการพยากรณ์ปริมาณน้ำจำหน่ายหรือปริมาณใช้น้ำประปาเฉลี่ยรวมของจังหวัดขอนแก่น (สาขาขอนแก่น) และจังหวัดเลย (สาขาเลย) โดยจะเป็นการทดสอบประสิทธิภาพของแต่ละสถาปัตยกรรมของวิธีการเพื่อหาสถาปัตยกรรมที่เหมาะสมที่สุดในการนำไปใช้งาน ซึ่งจะทำให้เกิดประสิทธิภาพในการพยากรณ์สูงสุด (ทดสอบหาค่าความผิดพลาดของทุกเดือนทั้งหมดที่มีข้อมูล)

**ตารางที่ 1** ผลการทดสอบโดยใช้ MAPE เฉลี่ยทั้งหมดในแต่ละเดือนของแต่ละสถาปัตยกรรม (สาขาขอนแก่น)

| สถาปัตยกรรม | Mean Absolute Percentage Error (MAPE) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | มกราคม | กุมภาพันธ์ | มีนาคม | เมษายน | พฤษภาคม | มิถุนายน |
| 5-5-5-1 | 8.04 | 8.67 | 9.67 | 10.32 | 9.86 | 10.65 |
| 6-6-6-1 | 7.65 | 7.98 | 8.65 | 8.34 | 9.11 | 8.32 |
| 7-7-7-1 | 6.02 | 6.89 | 7.76 | 8.45 | 6.77 | 7.06 |
| 8-8-8-1 | 6.53 | 5.21 | 6.87 | 7.12 | 5.43 | 6.98 |
| 9-9-9-1 | 5.97 | 6.89 | 7.72 | 7.32 | 6.28 | 6.43 |
| สถาปัตยกรรม | กรกฎาคม | สิงหาคม | กันยายน | ตุลาคม | พฤศจิกายน | ธันวาคม |
| 5-5-5-1 | 9.02 | 8.32 | 9.55 | 8.15 | 10.65 | 11.78 |
| 6-6-6-1 | 8.21 | 7.43 | 9.54 | 7.88 | 10.23 | 11.97 |
| 7-7-7-1 | 7.44 | 7.97 | 8.21 | 7.43 | 6.76 | 8.23 |
| 8-8-8-1 | 7.65 | 6.45 | 5.67 | 6.13 | 5.57 | 7.83 |
| 9-9-9-1 | 7.98 | 7.92 | 6.32 | 6.17 | 6.26 | 7.31 |

**ตารางที่ 2** ผลการทดสอบโดยใช้ MAPE เฉลี่ยทั้งหมดในแต่ละเดือนของแต่ละสถาปัตยกรรม (สาขาเลย)

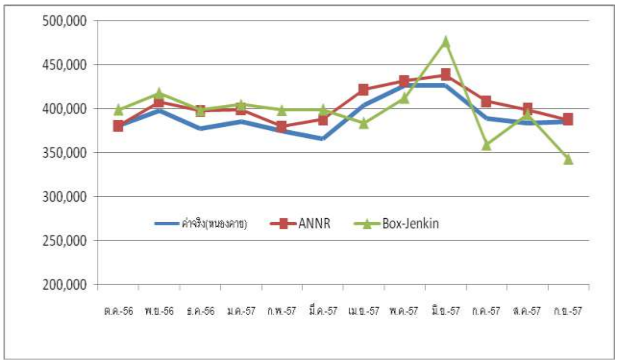
| สถาปัตยกรรม | Mean Absolute Percentage Error (MAPE) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | มกราคม | กุมภาพันธ์ | มีนาคม | เมษายน | พฤษภาคม | มิถุนายน |
| 5-5-5-1 | 9.02 | 8.43 | 8.87 | 9.23 | 9.45 | 9.54 |
| 6-6-6-1 | 8.69 | 8.35 | 8.34 | 8.51 | 8.97 | 8.32 |
| 7-7-7-1 | 7.05 | 7.12 | 7.29 | 7.57 | 8.05 | 7.36 |
| 8-8-8-1 | 6.74 | 5.32 | 5.77 | 6.14 | 6.87 | 6.51 |
| 9-9-9-1 | 7.43 | 6.76 | 5.23 | 7.48 | 5.76 | 7.32 |
| สถาปัตยกรรม | กรกฎาคม | สิงหาคม | กันยายน | ตุลาคม | พฤศจิกายน | ธันวาคม |
| 5-5-5-1 | 9.43 | 12.32 | 8.84 | 9.12 | 9.43 | 9.65 |
| 6-6-6-1 | 8.32 | 11.98 | 9.15 | 9.32 | 9.21 | 8.76 |
| 7-7-7-1 | 7.87 | 10.43 | 8.26 | 7.25 | 7.11 | 8.24 |
| 8-8-8-1 | 6.43 | 9.23 | 6.76 | 6.21 | 6.05 | 5.89 |
| 9-9-9-1 | 7.98 | 9.32 | 7.15 | 6.85 | 6.02 | 6.31 |

จากการทดสอบทั้งหมดพบว่าค่าที่เหมาะสมที่สุดคือ สถาปัตยกรรม 8-8-8-1 ดังนั้นเราจะใช้สถาปัตยกรรมนี้ในการพยากรณ์ เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพการพยากรณ์ที่ดีที่สุด จากนั้นในการทดสอบถัดไปจึงนะเอาสถาปัตยกรรมนี้ไปทดสอบเปรียบเทียบกับวิธีการบอกซ์-เจนกินส์ โดยการทดสอบกับทุกๆ พื้นที่ ซึ่งผลการทดสอบค่าเฉลี่ยของความผิดพลาดในแต่ละพื้นที่ทุกเดือนทั้งหมดแสดงดังตารางที่ 3 และตัวอย่างกราฟการพยากรณ์ในรูปที่ 5, 6, และ 7 ซึ่งแสดงผลลัพธ์การพยากรณ์ใน 12 เดือนสุดท้าย

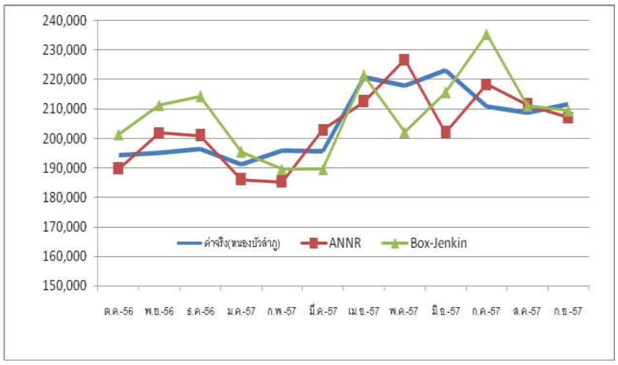
**ตารางที่** 3 ผลการทดสอบค่าเฉลี่ยความผิดพลาดจากการเปรียบเทียบในแต่ละพื้นที่ของภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบน

| จังหวัด | สาขา | Mean Absolute Percentage Error (MAPE) | |
|---|---|---|---|
| | | Box-Jenkin | ANNR |
| ขอนแก่น | ขอนแก่น | 7.45 | 6.45 |
| | เมืองพล | 9.76 | 9.12 |
| | กระนวน | 8.54 | 8.78 |
| | ชนบท | 8.26 | 8.11 |
| | ชุมแพ | 7.54 | 7.12 |
| | น้ำพอง | 7.96 | 6.87 |
| | บ้านไผ่ | 9.23 | 8.65 |
| | หนองเรือ | 7.12 | 7.31 |
| อุดรธานี | เมือง | 7.88 | 7.21 |
| | กุมภวาปี | 10.65 | 8.43 |
| | บ้านดุง | 8.76 | 8.92 |
| | บ้านผือ | 7.54 | 6.76 |
| หนองคาย | หนองคาย | 6.87 | 6.62 |
| | ศรีเชียงใหม่ | 7.43 | 6.77 |
| | โพนพิสัย | 7.12 | 7.43 |
| เลย | เลย | 8.76 | 6.49 |
| | เชียงคาน | 7.53 | 6.54 |
| | ด่านซ้าย | 6.54 | 6.76 |
| | วังสะพุง | 9.14 | 8.54 |
| บึงกาฬ | บึงกาฬ | 9.54 | 7.34 |
| หนองบัวลำภู | หนองบัวลำภู | 7.65 | 7.11 |

**รูปที่ 5** ผลลัพธ์การพยากรณ์สาขาขอนแก่น




**รูปที่ 6** ผลลัพธ์การพยากรณ์สาขาหนองคาย




**รูปที่ 7** ผลลัพธ์การพยากรณ์สาขาหนองบัวลำภู

จากการทดสอบแสดงให้เห็นว่าวิธีการของโครงข่ายประสาทเทียมแบบถดถอยมีประสิทธิภาพมากกว่าวิธีการของบอกซ์-เจนกินส์ ซึ่งสามารถนำไปใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยการทดสอบถัดไปจะแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของวิธีการที่นำเสนอจากผู้เชี่ยวชาญและผู้ใช้งานทั้งจากฝ่ายการประปาส่วนภูมิภาคสำนักงานประปา และจากบุคลากรทั้งภาครัฐและเอกชน ซึ่งจากการสำรวจความพึงพอใจสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 3

**ตารางที่** 3 ผลการทดสอบความพึงพอใจของงานวิจัยจากผู้เชี่ยวชาญ

| หัวข้อแบบสอบถาม | ค่าเฉลี่ย | ค่าเบี่ยงเบนมาตราฐาน |
|---|---|---|
| 1.ข้อมูลเป็นปัจจุบัน | 4.3 | 0.71 |
| 2.ความถูกต้องของการพยากรณ์ | 4.68 | 0.72 |
| 3.การค้นหาข้อมูล | 4.43 | 0.85 |
| 4.สามารถใช้ประโยชน์จากข้อมูลอย่างมีประสิทธิภาพ | 4.54 | 0.83 |
| 5.ความน่าสนใจของวิธีการ | 4.43 | 0.94 |
| 6.การประยุกต์ใช้งานมีประสิทธิภาพ | 4.23 | 0.56 |
| 7.ความน่าเชื่อถือในเชิงวิชาการ | 4.51 | 0.54 |

## 3. สรุป

ในงานวิจัยนี้ได้เสนอวิธีพยากรณ์ปริมาณการใช้น้ำประปา ในภาคอีสานตอนบน เพื่อใช้ในการวางแผนการต่างๆ อย่างเหมาะสม ในงานวิจัยได้เสนอวิธีการโครงข่ายประสาทเทียมแบบถดถอย เพื่อใช้ในการพยากรณ์ โดยใช้ข้อมูลย้อนหลังเป็นเวลา 11 ปี โดยได้นำข้อมูลทั้งหมดเป็นข้อมูลสำหรับการพยากรณ์และสร้างรูปแบบการพยากรณ์ที่เหมาะสมและทดสอบความคลาดเคลื่อนโดยใช้ค่าความคลาดเคลื่อนสมบูรณ์เพื่อวัดประสิทธิภาพของวิธีการ อีกทั้งในการทดลองแสดงถึงประสิทธิภาพของวิธีการที่นำเสนอโดยการเปรียบเทียบกับวิธีการที่มีประสิทธิภาพอีกวิธีการหนึ่งคือวิธีการบอกซ์-เจนกินส์ ซึ่งจากการทดลองแสดงให้เห็นว่าวิธีการที่นำเสนอมีประสิทธิภาพในการพยากรณ์ที่ดีและมีประสิทธิภาพมากกว่า อีกทั้งยังทดสอบความพึงพอใจกับผู้เชี่ยวชาญและผู้ใช้งาน ซึ่งพบว่ามีความเหมาะสมและมีประสิทธิภาพ ดังนั้นวิธีการที่นำเสนอจึงมีความเหมาะสมที่จะนำไปไปประยุกต์เพื่อพยากรณ์ปริมาณการใช้น้ำประปาได้อย่างมีประสิทธิภาพอีกทั้งยังสามารถนำไปเป็นต้นแบบการพยากรณ์ในพื้นที่อื่นๆ ได้

## 4. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี ผู้สนับสนุนในการทำวิจัย ขอขอบคุณสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานีผู้ให้ทุนสนับสนุนการทำวิจัย สุดท้ายขอขอบคุณความอนุเคราะห์จากการประปาส่วนภูมิภาคสำนักงานประปาเขต 7 จังหวัดอุดรธานี ในการให้ข้อมูล

## เอกสารอ้างอิง

[1] ทรงศิริ แต้สมบัติ, “เทคนิคการพยากรณ์เชิงปริมาณ”, กรุงเทพมหานคร, ฟิสิกส์เซ็นเตอร์, 2539.

[2] วิชัย สุรเชิดเกียรติ, “เทคนิคการพยากรณ์”, กรุงเทพมหานคร, ภาควิชาสถิติประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ประยุกต์ สถาบันเทคโนโลยีประจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2554.

[3] ศิริลักษณ์ สุวรรณวงศ์, “เทคนิคการพยากรณ์ การวิเคราะห์อนุกรมเวลา”, กรุงเทพมหานคร, ภาควิชาคณิตศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล, 2543.

[4] วิชิต หล่อจีระชุณห์กุล และคณะ, “เทคนิคการพยากรณ์เชิงสถิติ”, สถาบันบัณฑิตพัฒนาบริหารศาสตร์, 2524.

[5] เอกชัย ชัยประเสริฐสิทธิ, “การวิเคราะห์อนุกรมเวลา”, กรุงเทพมหานคร, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, 2527.

[6] สือ *ล้ออุทัย*, “การวิเคราะห์อนุกรมเวลา”, กรุงเทพมหานคร, 2537.

[7] ศถิรวรรณ สมบัติ, “การพยากรณ์เชิงสถิติโดยวิธีการกรองแบบปรับได้” วิทยานิพนธ์, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2541

[8] ต้นสกุล ศานติบูรณ์, “กาลานุกรมต้นไม้และจุดดำบนดวงอาทิตย์: ปัจจัยชี้วัดภาวะโลกร้อนต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะภูมิอากาศของจังหวัดอุดรธานีในรอบ 30 ปี (พ.ศ.2522-2551)”, 2553.

[9] นิภาพร ลิ้มกุลสวัสดิ์, “การเปรียบเทียบข้อมูลการพยากรณ์ราคาทองคำแท่งโดยวิธีอาริมา”, สารนิพนธ์ปริญญาเศรษฐศาสตร์มหาบัณฑิต บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, 2552.

[10] ณัฐิมา ลิมากุล และ รวิพิมพ์ ฉวีสุข, “การพยากรณ์ปริมาณการส่งออกกุ้งขาวแช่แข็งของประเทศไทยไปยังประเทศสหรัฐอเมริกาและประเทศญี่ปุ่นด้วยเทคนิคการวิเคราะห์อนุกรมเวลา” การประชุมสัมมนาวิชาการด้านการจัดการโลจิสติกส์และโซ่อุปทาน ครั้งที่ 9 (Thai VCML2009), 2552.

[11] นพรัตน์ ศิริโชติ และ ศิริจันทร์ ทองประเสริฐ, “เปรียบเทียบการพยากรณ์ความต้องการพลังงานของภาคอุตสาหกรรมในประเทศไทยด้วยโครงข่ายประสาทเทียมและ ARIMA”, การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ, 2550.

[12] วราฤทธิ์ พานิชกิจโกศลกุล, “การพยากรณ์ปริมาณน้ำฝนรายเดือนของจังหวัดกาฬสินโดยใช้เทคนิคการพยากรณ์เชิงสถิติ”, วารสารวิทยาศาสตร์ทักษิณ, ปีที่ 3, ฉบับที่ 2, 2549.

[13] วราฤทธิ์ พานิชกิจโกศลกุล, “การพยากรณ์ปริมาณน้ำฝนรายเดือนของจังหวัดหนองคาย”, วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยหอการค้าไทย, ปีที่ 27, ฉบับที่ 2, 2550.

[14] G. Janacek and L. Swift, “Time Series Forecasting, Simulation, Applications”, West Sussex, Englang: Ellis horwood Limitend, 1993.

[15] O.D. Anderson, “Time Series Analysis and Forecasting The Box-Jenkins Approach”, Butterworths, London, 1975.

[16] B. Abraham and J. Ledolter, “Statistical Methods for Forecasting”, New York, John Wiley&Sons, 1983.

[17] B.L. Bowerman and R.T. O’Connell, “Forecasting and Time Series: An Applied Approach”, California, Duxbury Press, 1993.

[18] W.T. Miller, R.S.Sutton, and P.J. Werbos, “Neural Network for Control”, The MIT Press, 1990.

[19] K.A. Osman, “Monitoring of Resistance Spot-Welding Using Multi-Layer Perceptron”, International Journal of Advance Manufacturing Technology, vol 12, pp 67-73, 1994.

[20] A. Pinkus, “Approximation Theory of the MLP model in Neural Networks”, Acta Numerica, pp.43-1955, 1990.

**บทความวิจัย**
การประชุมวิชาการ งานวิจัยและพัฒนาเชิงประยุกต์ ครั้งที่ 8
*8th ECTI-CARD 2016, Hua Hin, Thailand*

# การจำลองระบบควบคุมรถไฟและอาณัติสัญญาณ

# The Simulation of Train Control and Signaling

**พุธิตา สมุทรรัตน์ สมสิน ทองไกรรัตน์ ธนวิชญ์ อนุวงศ์พินิจ อลงกรณ์ วิจิตรธนสาร และ วันวิสา ชัชวงษ์**
คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
1 ฉลองกรุง1 เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520 โทรศัพท์: 086-6230864 E-mail: vanvisa.ch@kmitl.ac.th

## บทคัดย่อ

งานวิจัยฉบับนี้เป็นการพัฒนาซอฟต์แวร์ด้วยภาษาเบสิกเพื่อจำลองระบบควบคุมรถไฟและอาณัติสัญญาณผ่านโมเดลรถไฟจำลอง ซึ่งสามารถควบคุมทิศทางการเดินรถไฟ ความเร็วในการเดินรถไฟ และท่าของประแจผ่านซอฟต์แวร์ ควบคู่กับการนำไมโครคอนโทรลเลอร์มาควบคุมสัญญาณไฟ และตรวจจับตำแหน่งรถไฟผ่านอินฟราเรดเซนเซอร์ เพื่อความปลอดภัย และแม่นยำในการทำงานของระบบ

คำสำคัญ: ระบบขนส่งทางราง, อาณัติสัญญาณ, บังคับสัมพันธ์

## Abstract

This paper presents the development of software using Visual Basic language for simulate train controlling and signaling with train model. The train model can be controlled in direction and speed. The turnout's position in the rail model is controlled by software. Microcontrollers are used to control light signal and train detection by infrared sensors (Fix) to ensure the safety and accuracy in the system.

Keywords: Railway System, Signaling, Interlocking

## 1. บทนำ

ในปัจจุบันระบบขนส่งทางรางเป็นก้าวสำคัญของประเทศไทยในการพัฒนาเมือง เพื่อประโยชน์ที่สำคัญทั้งทางด้านเศรษฐกิจ และการบริการขนส่งสินค้าและผู้โดยสาร จากการกำเนิดขึ้นของรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนกรุงเทพ จำกัด มหาชน (บีทีเอส) ในปี พ.ศ. 2543 ทำให้สังคมไทยเห็นถึงประโยชน์ของระบบขนส่งทางรางในรูปแบบที่ทันสมัย และเป็นระบบไฟฟ้า เป็นการแก้ภาพลักษณ์ของการให้บริการขนส่งทางรางให้ดูทันสมัยและน่าเชื่อถือมากยิ่งขึ้น [1] รัฐบาลจึงได้เล็งเห็นถึงความสำคัญของการพัฒนาระบบขนส่งทางราง ก่อให้เกิดโครงการก่อสร้างรถไฟฟ้าสายสีต่างๆในประเทศไทยขึ้นมาเป็นจำนวนมาก ทำให้มีความต้องการบุคลากรจากหลากหลายสาขาเพื่อป้อนเข้าสู่ระบบขนส่งทางรางเป็นจำนวนมาก ดังนั้นจึงต้องมีการเพิ่มขีดความสามารถของบุคลากรในประเทศเพื่อนำไปสู่หนทางการพัฒนาอย่างยั่งยืน เพื่อให้ประเทศไทยมีโอกาสได้เป็นศูนย์กลางระบบขนส่งทางรางแห่งภูมิภาคอาเซียนต่อไปในอนาคต

ระบบอาณัติสัญญาณ (Signaling System) เป็นระบบกลไกที่เข้ามาจัดการการเดินรถไฟให้มีความปลอดภัย รวดเร็ว และมีประสิทธิภาพ เป็นการสื่อสารรับส่งข้อมูลระหว่างคน ตัวรถ และสถานีด้วยสัญญาณไฟ และระบบคอมพิวเตอร์ (สำหรับรถไฟสมัยใหม่) ดังนั้นการเรียนรู้ระบบอาณัติสัญญาณจึงเป็นสิ่งสำคัญ บุคลากรต้องมีความรู้ความชำนาญอย่างแท้จริงเพื่อป้องกันความเสียหายทั้งชีวิตและทรัพย์สิน ดังนั้นการจะสร้างความรู้ความเข้าใจให้กับบุคลากรเพื่อส่งเข้าสู่การทำงานจริงในด้านระบบการสื่อสารและอาณัติสัญญาณได้จะต้องศึกษาและมีประสบการณ์การลงมือปฏิบัติ

บทความวิจัยนี้จึงได้นำเสนอการจำลองระบบควบคุมรถไฟและอาณัติสัญญาณเสมือนจริงขึ้นมา ประกอบด้วยการพัฒนาซอฟต์แวร์เพื่อควบคุมการเดินรถ ระบบควบคุมโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์สัญญาณไฟ และการสร้างรถไฟจำลองเส้นทางการเดินรถ ผลการทดลองพบว่าระบบจำลองที่สร้างขึ้นสามารถเตรียมเส้นทาง และจองเส้นทาง รวมถึงออกรถตามเงื่อนไขความปลอดภัยได้ มีความสอดคล้องถูกต้องเสมือนการเดินรถไฟจริง

## 2. ระบบอาณัติสัญญาณรถไฟ

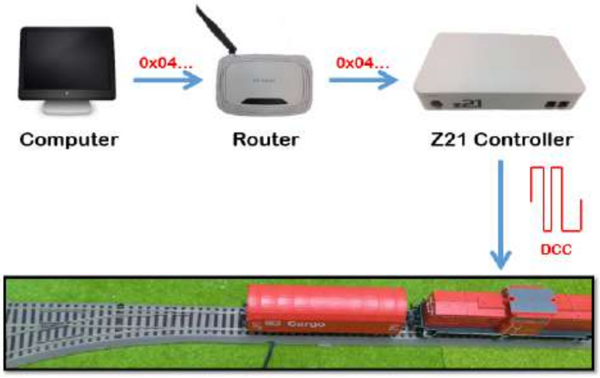
ระบบอาณัติสัญญาณ เป็นระบบกลไก สัญญาณไฟ หรือระบบคอมพิวเตอร์ ที่ใช้เพื่อแจ้งให้พนักงานเดินรถทราบสภาพเส้นทางข้างหน้า การสับหลีกประแจ เป็นต้น โดยการทำงานของอุปกรณ์ต่างๆ ในระบบจะออกแบบให้ทำงานสัมพันธ์กัน หลักการออกแบบระบบอาณัติสัญญาณควบคุมการเดินรถไฟ ไม่ว่าจะเป็นระบบดั้งเดิม หรือระบบสมัยใหม่ ปัจจุบันได้มีการใช้เทคโนโลยีคอมพิวเตอร์เข้ามาช่วยในการจัดการบังคับสัมพันธ์ เรียกว่า ระบบบังคับสัมพันธ์ด้วยคอมพิวเตอร์ [1-2] (Computer-Based Interlocking System: CBI System) เป็นระบบที่นำเอาซอฟต์แวร์ทางคอมพิวเตอร์มาออกแบบระบบตามเงื่อนไขที่กำหนดของการเดินขบวนรถ และจะใช้วิธีการแบ่งทางรถไฟออกเป็นตอนๆ แต่ละตอนมี

สัญญาณกำกับเรียกว่าตอนสัญญาณ (Block Signal) และกฎในการเดินรถไฟให้ปลอดภัยก็คือ ภายในตอนสัญญาณตอนหนึ่ง สามารถมีรถวิ่งได้เพียงขบวนเดียวเท่านั้น ซึ่งจะมีระบบบังคับสัมพันธ์ คอยจัดการบังคับให้การทำงานของประแจ และสัญญาณไฟในเขตบังคับสัมพันธ์ (Interlocking Limit) ให้มีความสัมพันธ์กันเพื่อความปลอดภัยในการเดินรถผ่านประแจต่างๆ และก่อนจะเข้าเขตบังคับสัมพันธ์ ก็จะต้องมีไฟอนุญาตให้เข้าเขตได้ เรียกว่า Home Signal การออกจากเขตเข้าสู่เส้นทางหลัก (Main Line) ก็จะมีไฟ Exit Signal อนุญาตเช่นกัน [3-5]

## 3. การออกแบบระบบ

### 3.1 การออกแบบการติดต่อระหว่างอุปกรณ์และซอฟต์แวร์

ในการทำระบบจำลองนี้ ได้เลือกใช้ชุดโมเดลรถไฟจำลองของ ROCO มาพัฒนาระบบ ซึ่งสามารถควบคุมการทำงานของรถไฟและประแจผ่านซอฟต์แวร์ที่พัฒนาขึ้น โดยคำสั่งในการควบคุมจะถูกส่งข้อมูลมาจากคอมพิวเตอร์ผ่านการเชื่อมต่อไร้สายเข้าไปยังเราท์เตอร์ และถูกส่งผ่านไปยังอุปกรณ์ควบคุม z21 ซึ่งอุปกรณ์ดังกล่าวจะทำการแปลงคำสั่งควบคุมให้เป็นสัญญาณ DCC (Digital Command Control) ส่งเข้ารางรถไฟจำลองเพื่อควบคุมทิศทางและความเร็วในการเดินรถ และควบคุมท่าประแจ โดยภาพรวมการทำงานของระบบ จะแสดงดังรูปที่ 1



**รูปที่ 1** ภาพรวมการจำลองและควบคุมโมเดลรถไฟ

โดยสัญญาณ DCC จะเป็นการมอดูเลตศักย์ไฟฟ้าในรางให้เปลี่ยนไปเป็นรหัสดิจิตอลในขณะเดียวกันก็ให้กำลังไฟฟ้าด้วย โดยข้อมูลบิตหนึ่งจะส่งเป็นคาบสั้น และบิตศูนย์จะเป็นคาบเวลายาว ส่วนทางด้านรถไฟ ในแต่ละหัวรถไฟก็จะถูกติดตั้งเครื่องถอดรหัส DCC ซึ่งสามารถรับสัญญาณจากรางเพื่อที่จะสามารถรับรู้คำสั่ง รวมถึงแปลงไฟกระแสสลับให้เป็นกระแสตรงเพื่อขับมอเตอร์ได้ ในลักษณะเดียวกันประแจก็จะมีตัวถอดรหัสอยู่ซึ่งเชื่อมกับขดลวดแม่เหล็ก (Solenoid) เพื่อรับคำสั่งและควบคุมทิศทางของประแจ

ในการควบคุมสัญญาณไฟ และรับค่าจากเซนเซอร์นั้น ได้ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Mega เพื่อรับส่งค่าระหว่างอุปกรณ์และซอฟต์แวร์ โดยผ่านการสื่อสาร Serial Port โดยคำสั่งในการควบคุมสัญญาณไฟ คือ คำสั่ง ตามด้วยรหัสของเสาไฟต้นที่ต้องการสั่ง เช่น ซอฟต์แวร์ส่งค่า 0st11R ผ่าน Serial ไปยังบอร์ดควบคุม คือ สั่งให้เสาต้นที่ st11R แสดงเป็นไฟแดง โดยบอร์ดอาดูอิโนจะสั่งให้พินที่ควบคุมเสาต้นนั้น ไฟแดงติด และไฟเขียวดับ โดยจะแสดงตัวอย่างดังรูปที่ 2

**รูปที่ 2** การควบคุมไฟสัญญาณ

หากสั่งการด้วยคำสั่ง 1 st11R นั่นคือ สั่งให้เสาต้นที่ st11R แสดงเป็นไฟเขียว ส่วนรหัสของเสาจะจำแนกเป็นรหัสสถานี รหัสชานชาลา และด้านของเสาสัญญาณ เช่น st11R คือ สถานีที่ 1 ชานชาลาที่ 1 เสาสัญญาณทางด้านขวา เป็นต้น ในลักษณะเดียวกันเซนเซอร์ก็จะส่งข้อมูลมาเป็นรหัสลักษณะนี้เช่นเดียวกัน เช่น เมื่อรถไฟวิ่งผ่านเซนเซอร์เสา st11R เซนเซอร์จะพบว่ามีรถไฟเข้ามา และส่งค่าไปยังอาดูอิโน (Arduino) จากนั้นอาดูอิโนจะส่งค่า 1st11R ไปให้แก่ซอฟต์แวร์ ดังรูปที่ 3

**รูปที่ 3** การรับตำแหน่งของรถไฟ

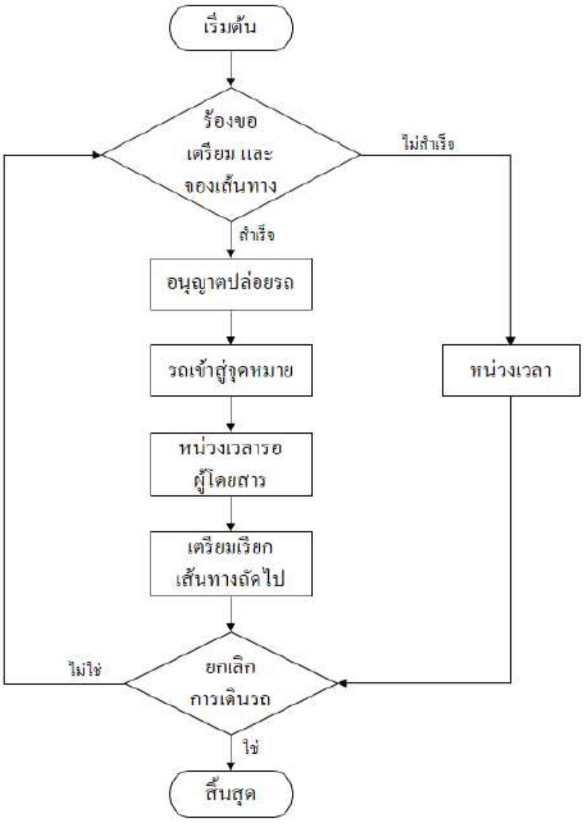
และเมื่อรถไฟวิ่งผ่านเลยไป เซนเซอร์ก็จะกลับมาในสถานะที่ไม่เจอรถไฟอีกครั้ง บอร์ดก็จะทำการส่งรหัส 0 ไปให้แก่ซอฟต์แวร์ โดยบอร์ดจะส่งข้อมูลมายังซอฟต์แวร์เมื่อเซนเซอร์มีการเปลี่ยนแปลงเท่านั้น

### 3.2 การออกแบบซอฟต์แวร์

ในการออกแบบระบบอาณัติสัญญาณต้องออกแบบให้ระบบมีความปลอดภัย ดังนั้นเพื่อไม่ให้เกิดการจองเส้นทางซ้ำ หรือเกิดเหตุการณ์รถไฟชนกัน กระบวนการจองและร้องขอเส้นทางในการเดินรถจึงมีความสำคัญมาก โดยกระบวนการจองเส้นทางและอนุญาตปล่อยรถเป็นไปตามแผนผังในรูปที่ 4

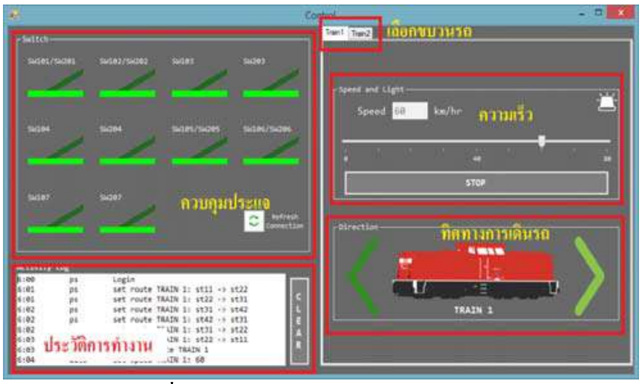
จากรูปที่ 4 เมื่อผู้ใช้ตั้งค่าเส้นทางสมบูรณ์แล้ว รถขบวนนั้นจะพยายามร้องขอเส้นทาง ซึ่งในคำสั่งการร้องขอจะร้องขอ เตรียมและ จองเส้นทางไปพร้อมๆ กัน ถ้าการร้องขอสำเร็จ ระบบก็จะอนุญาตให้ปล่อยรถ โดยให้สัญญาณที่ Exit Signal ต้นนั้นเป็นไฟเขียว จากนั้นกำหนดให้

รถออกวิ่งได้ และเมื่อรถวิ่งผ่านเสาไฟออกเรียบร้อย ให้เสาไฟสัญญาณกลับเป็นสีแดงดังเดิม เมื่อรถเข้าสู่จุดหมายระบบจะสั่งหยุดรถและทำการหน่วงเวลารอผู้โดยสารจากนั้นเตรียมเรียกเส้นทางถัดไปแทน แต่ถ้าเกิดการร้องขอล้มเหลว ระบบจะหน่วยเวลารอการร้องขอใหม่ซ้ำจนกว่าการร้องขอจะสำเร็จ หรือยกเลิกการเดินรถไป



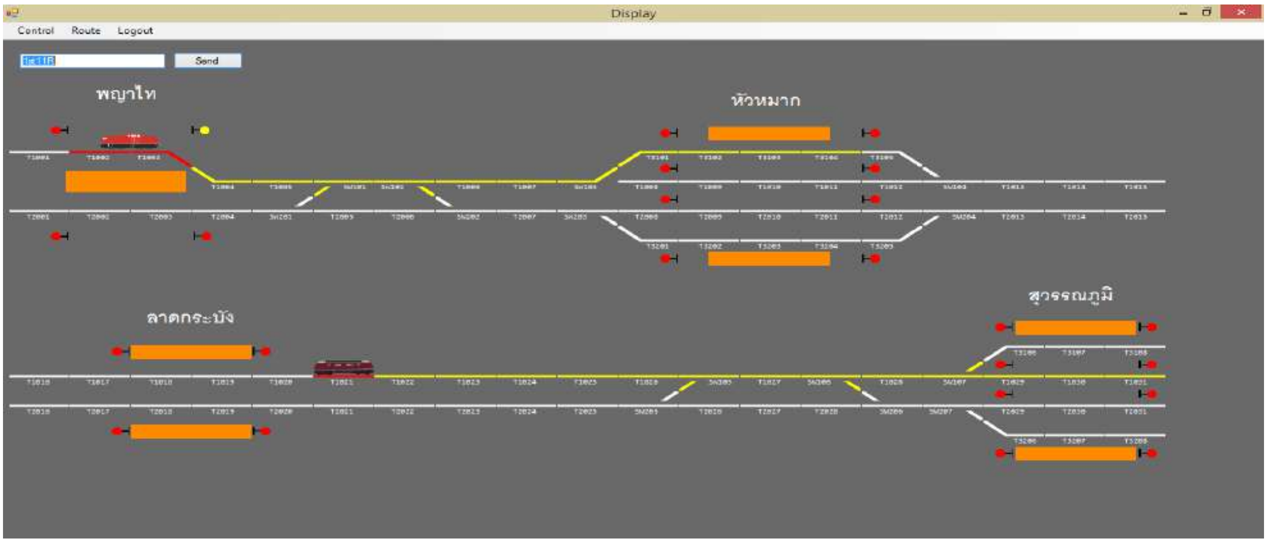

**รูปที่ 4** แผนผังเงื่อนไขการปล่อยรถ

จากรูปที่ 5 แสดงหน้าต่างหลักของโปรแกรม ซึ่งจะแสดงเส้นทางเดินรถทั้งหมด โดยจะมีสถานีทั้งหมด 4 สถานี รวมถึงแสดงสถานะของตอนเส้นทางและตำแหน่งของรถไฟด้วย โดยตอนเส้นทางว่างจะแสดงด้วยเส้นสีขาว ตอนเส้นทางที่ถูกจอง แสดงด้วยเส้นสีเหลือง และตอนเส้นทางที่ใช้งานอยู่ จะแสดงด้วยเส้นสีแดง รวมถึงแสดงสัญญาณไฟ Exit Signal ที่จะอนุญาตให้รถไฟออกสู่เส้นทางหลักได้ด้วย ถ้าสัญญาณอนุญาตนั้นจะแสดงสัญญาณเป็นสีเหลือง ส่วนสีแดงคือไม่อนุญาต




**รูปที่ 6** หน้าต่างควบคุมรถไฟ และประแจ

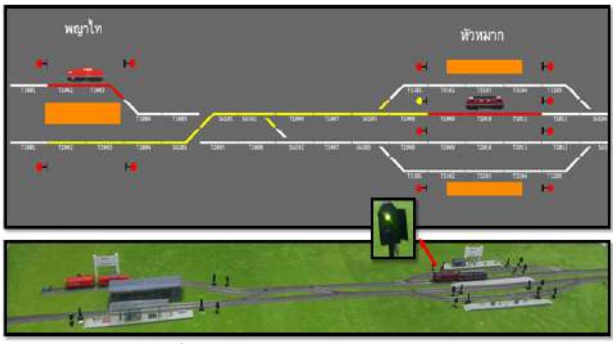
จากรูปที่ 6 แสดงหน้าต่างควบคุมรถไฟ และประแจ ซึ่งจะสามารถกำหนดความเร็วและทิศทางในการเดินรถได้ รวมถึงสามารถสับประแจได้ แต่ถ้าประแจตัวใดถูกจองหรือถูกใช้งานอยู่ก็จะไม่สามารถเปลี่ยนท่าประแจได้ เพื่อป้องกันอุบัติเหตุในการเดินรถ




**รูปที่ 5** หน้าต่างหลักของโปรแกรม

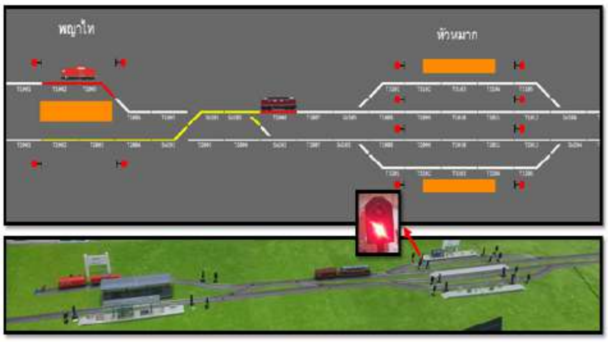
## 4. ผลการทดลอง

จากการออกแบบ และได้พัฒนาระบบขึ้น เพื่อติดต่อควบคุมโมเดลผ่านการติดต่อไร้สาย รับตำแหน่งรถไฟและควบคุมเสาสัญญาณไฟผ่าน Serial Port ขึ้น จากรูปที่ 7 รถไฟขบวนที่ 2 (ขบวนสีเลือดหมูทางด้านขวา) ต้องการออกจาก st22 ไปยัง st12 ซึ่งระบบได้ทำการเตรียมทางสำเร็จแล้ว โดยเส้นทางที่จองไว้จะเปลี่ยนจากสีขาวเป็นสีเหลือง จากนั้นจึงอนุญาตให้ออกจากสถานีได้ด้วยการให้สัญญาณไฟเขียว



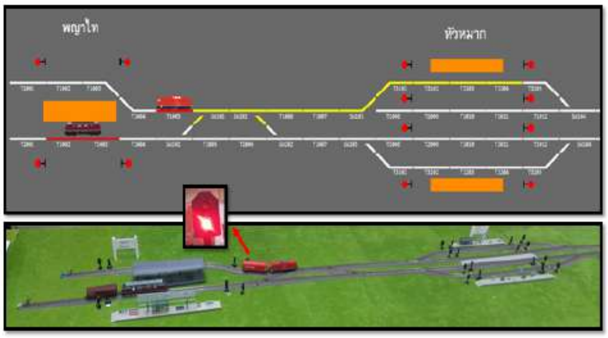

**รูปที่ 7** อนุญาตรถไฟให้ออกจากสถานี

เมื่อรถไฟขบวน 2 วิ่งเข้าสู่ทางหลักแล้ว เสาสัญญาณจะคืนสภาพเป็นสีแดงดังเดิม ดังรูปที่ 8 โดยจะสังเกตเห็นว่าตอนทางที่รถไฟวิ่งผ่านไปแล้วจะเปลี่ยนจากสีเหลืองเป็นสีขาว ซึ่งก็คือเมื่อรถไฟวิ่งผ่านไปตอนนั้นก็จะกลายเป็นตอนทางที่ว่าง




**รูปที่ 8** รถไฟวิ่งเข้าสู่ทางหลัก

ในขณะเดียวกันนี้ รถไฟขบวนที่ 1 ซึ่งจอดอยู่ ณ st11 ก็พยายามร้องขอเส้นทางเข้าสู่ st21 เช่นกัน แต่ไม่สามารถทำได้ เนื่องจากเส้นทางที่ต้องใช้ถูกรถไฟขบวนที่ 2 ใช้อยู่ แต่เมื่อรถไฟขบวนที่ 2 ได้เข้าสู่ st21 แล้ว ตอนทางที่รถไฟขบวน 1 ต้องใช้ก็จะว่างสมบูรณ์ จึงทำให้เตรียมทางและออกรถสู่ st21 ได้ดังรูปที่ 9 ซึ่งประแจได้ถูกสับมาในท่าที่ถูกต้องโดยอัตโนมัติในขั้นตอนของการเตรียมเส้นทาง และระบบจะทำการวนซ้ำเส้นทางที่ตั้งค่าไว้เรื่อยๆ จนกว่าจะมีคำสั่งยกเลิกเส้นทาง




**รูปที่ 9** รถไฟขบวนที่ 1 เดินทางจาก st11 ไปยัง st21

## 5. สรุป

บทความวิจัยนี้ได้นำเสนอการจำลองระบบควบคุมรถไฟและอาณัติสัญญาณเสมือนจริง โดยใช้ต้นแบบเส้นทางโดยมีทั้งหมด 4 สถานี และใช้รถไฟ 2 ขบวน ซึ่งระบบสามารถควบคุมการเดินรถ และท่าประแจผ่านอุปกรณ์ควบคุม z21 ควบคุมสัญญาณไฟ และรับค่าตำแหน่งรถไฟผ่านบอร์ดอาดูอิโน โดยใช้ภาษาเบสิกในการพัฒนาซอฟต์แวร์ขึ้นมาควบคุม แสดงผล และคิดเงื่อนไขต่างๆ ในระบบ ผลจากการทดลองพบว่าระบบจำลองที่สร้างขึ้นมาสามารถเตรียมเส้นทาง และจองเส้นทางรวมถึงออกรถตามเงื่อนไขความปลอดภัยได้

## เอกสารอ้างอิง

[1] นคร จันทศร, “ช่างรถไฟ ความรู้ทั่วไปด้านวิศวกรรมรถไฟ”, งานพัฒนาสื่อวิทยาศาสตร์ฝ่ายสื่อสิ่งพิมพ์และสารวิทยาศาสตร์ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ, 2554.

[2] ธนะพล สุศิวะ, ปิยฉัตร บุญมานำสิน, และ พุธิตา สมุทรรัตน์, “ระบบอาณัติสัญญาณสำหรับรถไฟจำลอง”, ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต, สาขาวิศวกรรม

[3] A. Vijittanasan, S. Saeiao, T. Anuwongpinit, P. Samootrut, B. Purahong, and V. Chutchavong, “On Study of Railway Signaling Simulation in Thailand”, 2015 International Congress on Engineering and Information (ICEAI 2015), Kyoto, Japan, May 7-9, 2015.

[4] J. Pachl, “Railway Operation and Control”, United State of America, Gorham Printing, Rochester WA, 2002.

[5] E. Dincel, O. Eris, and C. Kurtulan, “Auromata-Based Railway Signaling and Interlocking System Design”, IEEE Antennas and Propagation Magazine, Vol. 55, No. 4, pp. 308-319, August 2013.

[6] สมหมาย จิตภัคดี, “ระบบอาณัติสัญญาณรถไฟ”, วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิศวกรรมไฟฟ้าบัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2546.

# การวัดประสิทธิภาพการประมวลผลข้อมูลสถานีอุตุนิยมวิทยาด้วย Hadoop-Hive

# Analyzing the Query performance of weather stations data using Hadoop-Hive

**ธีรยุทธ์ แก้วจักวัติ[1*] อาดีสน เกษา[1] กฤษณ์วรา รัตนโอภาส[2] และสุรีรัตน์ แก้วคีรี[3]**

[1] สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา

160 ถนนกาญจนวนิช ตำบลเขารูปช้าง อำเภอเมือง จังหวัดสงขลา 90000 โทรศัพท์ 0-7433-6933

E-mail: 554234012@parichat.skru.ac.th*, 554234037@parichat.skru.ac.th

[2] โปรแกรมวิชาคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา

160 ถนนกาญจนวนิช ตำบลเขารูปช้าง อำเภอเมือง จังหวัดสงขลา 90000 โทรศัพท์ 0-7433-6933 E-mail: kritwara.ra@skru.ac.th

[3] โปรแกรมวิชาคอมพิวเตอร์ธุรกิจ คณะวิทยาการจัดการ มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา

160 ถนนกาญจนวนิช ตำบลเขารูปช้าง อำเภอเมือง จังหวัดสงขลา 90000 โทรศัพท์ 0-7433-6933 E-mail: sureerat@skru.ac.th

## บทคัดย่อ

ข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยาถือเป็นข้อมูลที่สำคัญในการนำมาประมวลผลเพื่อการพยากรณ์ ด้วยแนวคิดของการทำ Big data ที่มีความนิยมในปัจจุบันด้วยโครงสร้าง Hadoop Cluster ที่มีโปรแกรม hive สำหรับประมวลผลแบบฐานข้อมูลเชิงสัมพันธ์ ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการศึกษาปัจจัยที่ทำให้การประมวลผลดังกล่าวมีประสิทธิภาพสูงขึ้น ด้วยสมมติฐานการเพิ่มขึ้นของ จำนวน Data node และจำนวนการสำเนาของชุดข้อมูล โดยผลการวิจัยพบว่า ค่าของ Map-Reduce ที่ถูกกำหนดด้วยโปรแกรม hive เมื่อทำการประมวลผลมีผลกระทบต่อประสิทธิภาพในการประมวลผล ด้วยค่า 5:1 สอดคล้องกับจำนวน Data node ที่ดีที่สุด คือ 5 Data node กับสำเนาข้อมูล 3 ชุด หากมีการเพิ่ม data node และการสำเนาข้อมูล พบว่าไม่มีผลกระทบต่อเวลาในการประมวลผลและทำให้มีเวลาที่สูงขึ้นในทุกกรณีของชุดคำสั่ง SQL

คำสำคัญ: Big data, Hadoop, Hive, วัดประสิทธิภาพ

## Abstract

The weather data prediction is one of popular datasets in big data trend. The Hive application was the first relational database in Hadoop cluster. This paper presented performance analysis in HiveQL on Hadoop cluster with varying number of data node and replication data. The result found that the best performance in Map-Reduce for distributed node in Hadoop cluster is 5:1. This ratio is compliance with a better query performance which is 3 replications per 5 data nodes. While increasing data node and replication value did not affect the result in anyway.

Keywords: Big data, Hadoop, Hive, performance analysis

## 1. บทนำ

ข้อมูลสารสนเทศที่ถูกบันทึกในแต่ละกิจกรรมในชีวิตประจำวันจากการใช้งานระบบอินเตอร์เน็ต หรือ ข้อมูลอื่นๆ ที่มีการเก็บเพื่อใช้นำมาประมวลผล ได้แก่ ข้อมูลธนาคาร ข้อมูลการซื้อขายสินค้า ข้อมูลเครือข่ายสังคมออนไลน์ เป็นต้น เหล่านี้ล้วนมีปริมาณข้อมูลจำนวนมากมาย โดยการนิยามภาพลักษณะของคำว่า “Big data” [1] กล่าวไว้ด้วยข้อมูลทางสถิติที่สามารถสะท้อนภาพถึงปริมาณข้อมูลขนาดใหญ่ หากเรารู้จักเว็บที่มีทั่วไปมากกว่า 100 พันล้านที่มีอัตราการเพิ่มขึ้นในแต่ละวันสูงกว่า 20,000 เว็บไซต์ และในกรณีของ Facebook ที่มีการโพสมากว่า 300 พันล้านครั้ง และการอัพเดตกว่า 60 พันล้านครั้ง เมื่อพิจารณาถึงปริมาณข้อมูลที่ไม่มากนักในแต่ละครั้งกลับกลายเป็นข้อมูลขนาดมหาศาล ด้วยเทคโนโลยีของการประมวลผลข้อมูลปริมาณมากนี้ จึงจำเป็นต้องใช้เครื่องมือที่เหมาะสม เพราะการใช้ระบบจัดการฐานข้อมูลเชิงสัมพันธ์ที่มีอยู่ในอดีตอาจไม่ใช่คำตอบ แต่ปัจจุบันมีเครื่องมือในการจัดการข้อมูลลักษณะ Big data นั้นคือ โปรแกรม Hadoop ที่มีความสามารถในการขยายเครื่องลูกข่ายหรือโหนดเก็บข้อมูลตามต้องการร่วมกับโปรแกรม Hive ที่สามารถนำข้อมูลเชิงสัมพันธ์มาประมวลผลด้วยกระบวนการ Map-Reduce ที่ได้รับความนิยมในปัจจุบัน เพื่อประมวลผลข้อมูลแบบ Big data ด้วยตัวอย่างข้อมูลการวัดอุณหภูมิจากสถานีวัดอุณหภูมิจากเว็บไซต์ open-bigdata [2] ภายใต้โครงสร้างของ Hadoop ที่แตกต่างกัน ซึ่งผู้วิจัยต้องการนำเสนอประสิทธิภาพของการประมวลผลข้อมูลแบบ Big data ด้วยจำนวนโหนดที่แตกต่างกันและจำนวนการสำเนาข้อมูลที่แตกต่างกันบนหน่วยบันทึกข้อมูลของ Hadoop

ดังนั้นเนื้อหาของงานวิจัยส่วนต่อไปกล่าวถึงทฤษฎีและงานวิจัยพื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับ Hadoop และ Hive พร้อมด้วยวิธีการดำเนินการวิจัยพร้อมแนวคิดในการออกแบบการทดสอบ สำหรับส่วนท้ายกล่าวถึงผลและสรุปการวิจัย

## 2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

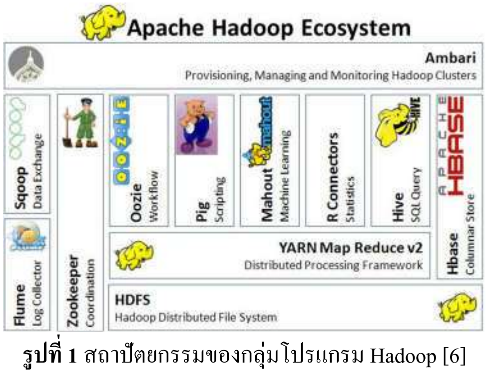
งานวิจัยนี้นำเทคโนโลยี Apach Hadoop และ Hive ที่ได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง มาประมวลผลข้อมูลขนาดใหญ่อย่าง Big data จึงขอแนะนำโครงสร้างและความสามารถของโปรแกรมเหล่านี้ในส่วนนี้ พร้อมงานวิจัยในลักษณะเดียวกันที่นำ Hadoop มาใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลในปัจจุบัน

### 2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาวิจัยด้าน Big data ด้วยโปรแกรม Hadoop มีความนิยมแพร่หลายในปัจจุบัน ด้วยงานวิจัยของ Daniel Abadi [3] ได้เขียนแนวทางในการใช้ภาษา SQL บนโครงสร้างของ Hadoop พร้อมด้วยงานของ K. Jayasri [4] ที่วัดประสิทธิภาพการประมวลผลเช่นเดียวกันแต่เน้นในส่วนของการทดสอบบน NoSQL ด้วยโปรแกรม Mongodb กับข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับภูมิศาสตร์ ด้วยวิธีการ SPARQL query บนโครงสร้างของโปรแกรม Hadoop สำหรับงานวิจัยในประเทศไทยมีการนำมาใช้ในด้านการเรียนรู้ด้วยคอมพิวเตอร์ (Machine learning) บน HDFS แบบ Hadoop cluster ของอดิศร อดิศรพันธ์กุล และศุภฤกษ์ มานิตพรสุทธ์ [5] ด้วยเครื่อง Name node จำนวน 1 เครื่อง และเครื่องData node จำนวน 3 เครื่อง ซึ่งมีการเชื่อมต่อเครือข่ายที่ความเร็วเพียง 100 Mbps ด้วยภาระงานการนับคำ พบว่า การเพิ่ม Data nodeในการประมวลผลไม่ช่วยในการเพิ่มประสิทธิภาพ แต่ในงานวิจัยนี้ เลือกใช้ภาระงานของฐานข้อมูลอุณหภูมิร่วมกับโปรแกรม Hive เพื่อนำเสนอประสิทธิภาพการประมวลผลของ Map-Reduce บนโครงสร้าง Hadoop cluster ในลักษณะเดียวกัน

### 2.2 Hadoop

Hadoop ถือเป็นโอเพ่นซอร์สที่ได้รับความนิยมสำหรับการนำมาประมวลผลข้อมูล และกล่าวถึงกันในกลุ่ม Big data ถูกออกแบบใช้งานบนระบบปฏิบัติการลินุกส์ ลักษณะการทำงานแบบอิสระเพียงคัดลอกไว้ในเครื่องที่ต้องการ และมี Java เป็นตัวสนับสนุนเบื้องหลัง เพื่อสร้างเป็นกลุ่มคลัสเตอร์ได้ง่าย โดยมีการพัฒนากระบวนการที่เรียกว่า Map-Reduce เพื่อช่วยประมวลผลโปรแกรมหรือข้อมูลในรูปแบบกระจายสำหรับอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ทั่วไปตามรูปที่ 1




**รูปที่ 1** สถาปัตยกรรมของกลุ่มโปรแกรม Hadoop [6]

จากสถาปัตยกรรม พบว่ามีโปรแกรมหลายตัวที่รองรับบริการต่าง ๆ บน Apache Hadoop Ecosystem โดยในงานวิจัยนี้เลือกโปรแกรม Hive ที่สนับสนุน SQL query เพื่อนำมาใช้ประมวลผลข้อมูลด้วยโครงสร้างของ HDFS ตามรูปที่ 1 ที่มีการให้บริการหลักด้วย Name node เพื่อบริหารระบบ HDFS จากเครื่อง Data node ที่สามารถเพิ่มจำนวนได้ตามต้องการในรูปแบบกระจายภาระงาน

### 2.3 Hive

โปรแกรมนี้ถูกออกแบบให้ติดตั้งแบบอิสระเหมือนโปรแกรม Hadoop เพื่อสนับสนุนการทำงานของ SQL query โดยสามารถสนับสนุนคำสั่งพื้นฐานอย่าง “SELECT…WHERE” “SELECT…ORDER BY” “GROUP BY” และ “JOIN” พร้อมด้วยคำสั่งเกี่ยวกับการคำนวณอย่าง sum( ) avg( ) count( ) min( ) และ max( ) โดยสามารถกระจายงานในลักษณะ Map-Reduce จึงสามารถรองรับข้อมูลขนาดใหญ่ได้ยืดหยุ่นกว่าฐานข้อมูลเชิงสัมพันธ์อย่าง MySQL และ MariaDB ด้วยโครงสร้างการเก็บข้อมูลของ HDFS

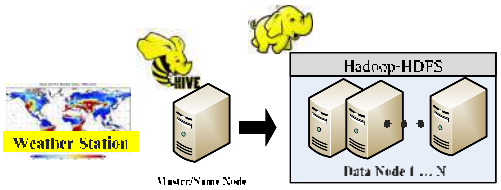
สำหรับในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยทำการศึกษาพบว่ามีรูปแบบของการเก็บข้อมูลของตารางข้อมูลบน Hive [7] อยู่ 3 แบบนั้นคือ Text File RC( Record Columnar File) และ ORC(Optimized Row Columnar File) ซึ่งมีข้อแนะนำในการจัดเก็บที่มีประสิทธิภาพสูงในรูปแบบ ORC จึงเลือกรูปแบบดังกล่าวสำหรับการทดสอบในงานวิจัยนี้

## 3. วิธีการดำเนินการวิจัย

การออกแบบในการวัดประสิทธิภาพของการประมวลผลด้วยโปรแกรม hive ด้วยสมมติฐานการทดสอบประสิทธิภาพของการประมวลผลที่ควรแปรผันตรงกับ “จำนวน Data node และการสำเนาข้อมูล(Rep)” ซึ่งผู้วิจัยเลือกข้อมูลจากตัวอย่างข้อมูลการวัดอุณหภูมิของสถานีอุตุนิยมวิทยา จากเว็บไซต์ “www.open-bigdata.com” [2] เพื่อสร้างข้อมูลขนาดใหญ่หรือ Big data ที่มีขนาด 207,466,688 ระเบียนที่ประกอบด้วยข้อมูลของ รหัสสถานี ชื่อสถานี วันที่ อุณหภูมิสูงสุด และอุณหภูมิต่ำสุด ในไฟล์รูปแบบ ORC ที่บีบอัดข้อมูลด้วยวิธีการ SNAPPY เพื่อนำมาประมวลผลด้วย SQL Query ที่ออกแบบในการทดสอบด้วยโครงสร้างในรูปที่ 2

### 3.1 โครงสร้างในการทดสอบ

การติดตั้ง Hadoop เพื่อให้บริการ HDFS และ Map-Reduce ทำการศึกษาด้วยเทคโนโลยีเวอร์ชวลไลเซชั่น เพื่อสร้างเครื่องเสมือนจริงที่ได้รับความนิยมในปัจจุบันที่มีการบริการด้วย Cloud computing โดยมีเครื่องคอมพิวเตอร์ที่มีคุณสมบัติ Intel i7 RAM 4GB HD 1TB และ Ethernet 1 Gbps จำนวน 4 เครื่อง เพื่อติดตั้งโปรแกรม Hadoop และ Hive แบบคลัสเตอร์ ตามรูปที่ 2




**รูปที่ 2** โครงสร้างสำหรับการวิจัย

สำหรับการทดสอบโครงสร้างตามรูปที่ 2 ประกอบด้วยเครื่องเสมือนจริงที่มีคุณสมบัติ 2 vCPU RAM 2 GB HD 60 GB จำนวน 8 เครื่อง ประกอบด้วยเครื่องเสมือนจริง Name node 1 เครื่อง และ เครื่องเสมือนจริง Data node 7 เครื่อง กำหนดรูปแบบการทดสอบเริ่มจาก Name node 1 เครื่องและ Data node 3 เครื่อง โดยปรับเพิ่ม Data node ครั้งละ 2 เครื่อง เนื่องจากเครื่อง Host สามารถบรรจุเครื่อง Data node 2 เครื่อง ควบคู่ไปกับการกำหนดการสำเนา(Replication-Rep) ที่ 3 5 และ 7 ไปพร้อมกัน เพื่อทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของ Data node และการสำเนาข้อมูล ซึ่งนำเสนอผลด้วยเวลาการประมวลผลในส่วนของผลวิจัยต่อไป

## 3.2 ภาระงานสำหรับการวิจัย

ตัวอย่างข้อมูลภาระงานที่นำมาใช้ในการประมวลผลแบบ Big data เพื่อมาทดสอบด้วย SQL ที่มีคำสั่ง "SELECT…WHERE" และเลือกใช้การคำนวณ avg( ) max( ) พร้อมคำสั่ง "GROUP BY" โดยกำหนดการทดสอบด้วย 4 กรณีตามตารางที่ 1-4

ตารางที่ 1 ชุดคำสั่งของ CASE 01

| | |
|---|---|
| CASE 01 | - SELECT station, datefield, tmax FROM weatherorc WHERE tmax <> -9999 ORDER BY tmax DESC; |

กำหนดชุดคำสั่งที่มีการเรียงข้อมูลกลับจากมากไปหาน้อยของชุดข้อมูลทั้งหมด

ตารางที่ 2 ชุดคำสั่งของ CASE 02

| | |
|---|---|
| CASE 02 | - INSERT OVERWRITE TABLE weather_temp2 SELECT station, cast(SUBSTR(datefield,1,4) as INT), tmax FROM weatherorc WHERE tmax <> -9999;<br>- SELECT station, datefield, MAX(tmax) FROM weather_temp2 GROUP BY station, datefield; |

มีขั้นตอนคือทำการกรองข้อมูลเข้าสู่ตารางใหม่ที่มีระเบียนจำนวน 67,167,328 ระเบียนและนำมาประมวลผลเพื่อหาค่ามากที่สุดในแต่ละวันของทุกสถานี

ตารางที่ 3 ชุดคำสั่งของ CASE 03

| | |
|---|---|
| CASE 03 | - INSERT OVERWRITE TABLE weather_temp3 SELECT station, cast(SUBSTR(datefield,1,4) as INT), tmax FROM weatherorc WHERE tmax <> -9999;<br>- SELECT station, datefield, AVG(tavg) FROM weather_temp3 GROUP BY station, datefield; |

มี 2 ขั้นตอนด้วยกันคือ กรองข้อมูลเพื่อนำมาหาค่าเฉลี่ยของสถานีในแต่ละวัน

ตารางที่ 4 ชุดคำสั่งของ CASE 04

| | |
|---|---|
| CASE 04 | - INSERT OVERWRITE TABLE weather4_temp SELECT station, cast(SUBSTR(datefield,1,4) as INT), tmax, tmin FROM weatherorc WHERE tmax > -9999 and tmin > -9999;<br>- INSERT OVERWRITE TABLE weather4_temp2 SELECT station, year, AVG((tmax-tmin)/2) FROM weather4_temp GROUP BY station, year;<br>- INSERT OVERWRITE TABLE weather4_temp3 SELECT station, MAX(meanTemp) FROM weather4_temp2 GROUP BY station;<br>INSERT OVERWRITE TABLE weather_res4 SELECT w.station, w.year, ww.maxMeanTemp FROM weather4_temp2 w JOIN weather4_temp3 ww ON w.meanTemp = ww.maxMeanTemp; |

ถือว่าเป็นกรณีที่ซับซ้อนมากที่สุดเพราะทำการกรองข้อมูลแยกเป็นรายปีพร้อมหาค่าเฉลี่ยของผลต่างอุณหภูมิสูงและต่ำที่สุดในแต่ละวัน เพื่อนำมาเชื่อมข้อมูลระหว่าง 2 ตาราง

ในส่วนที่ 2 ผู้วิจัยพิจารณาความแตกต่างของประสิทธิภาพได้อย่างชัดเจน โดยแยกตาม Query ที่เลือกจากกรณีชุดคำสั่งของ SQL ดังนี้

1) SELECT station, datefield, *MAX(tmax)* FROM weather_temp2 *GROUP BY station, datefield;*
2) SELECT station, datefield, *AVG(tavg)* FROM weather_temp3 *GROUP BY station, datefield;*
3) SELECT station, year, *AVG((tmax-tmin)/2)* FROM weather4_temp *GROUP BY station, year;*
4) SELECT w.station, w.year, ww.maxMeanTemp FROM *weather4_temp2 w JOIN weather4_temp3 ww ON w.meanTemp = ww.maxMeanTemp;*

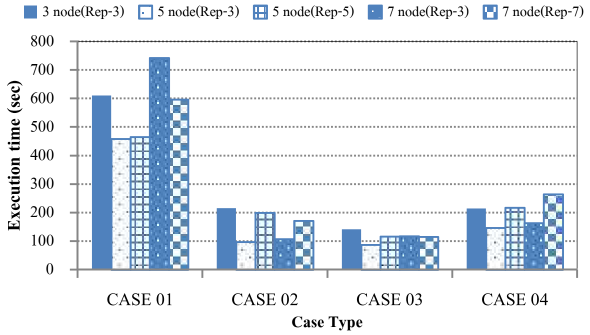
การทดสอบวัดค่าการประมวลผลแบ่งตามจำนวนเครื่อง Data node และการสำเนาข้อมูลไว้ 5 แบบดังนี้

ตารางที่ 5 รูปแบบของ Hadoop Cluster

| ชื่อแบบ | การกำหนดค่า |
|---|---|
| 3 node(Rep-3) | มี Data node 3 เครื่องและกำหนดสำเนาข้อมูล 3 ชุด |
| 5 node(Rep-3) | มี Data node 5 เครื่องและกำหนดสำเนาข้อมูล 3 ชุด |
| 5 node(Rep-5) | มี Data node 5 เครื่องและกำหนดสำเนาข้อมูล 5 ชุด |
| 7 node(Rep-3) | มี Data node 7 เครื่องและกำหนดสำเนาข้อมูล 3 ชุด |
| 7 node(Rep-7) | มี Data node 7 เครื่องและกำหนดสำเนาข้อมูล 7 ชุด |

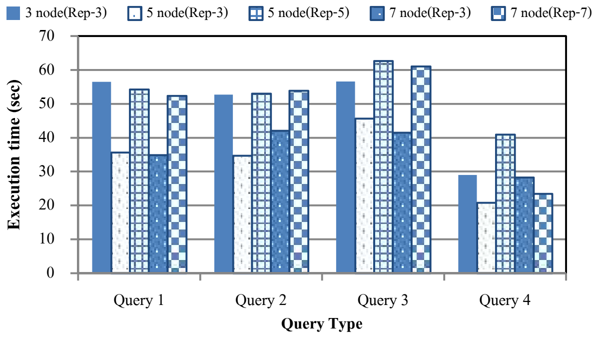
## 4. ผลการวิจัย

ผลจากการประมวลผลที่วัดเป็นวินาทีแยกตามการทดสอบแต่ละแบบ โดยผู้วิจัยนำเสนอแยกตาม Hadoop แบบคลัสเตอร์ในตารางที่ 5 มีภาพรวมของการประมวลผลตามรูปที่ 3 และตาม query ในรูปที่ 4 เพื่ออธิบายผลกระทบตามสมมติฐานในตอนต้น




**รูปที่ 3** การประมวลผลแยกตามชุดคำสั่ง SQL

จากผลการประมวลผลแต่ละชุดคำสั่ง SQL ชุดคำสั่ง CASE 01 ใช้เวลาประมวลผลนานที่สุดด้วยผลลัพธ์ข้อมูล 67,167,328 ระเบียน ในส่วนของ CASE 02 - 04 มีค่าเฉลี่ยที่ใกล้เคียงกัน พิจารณาแยกตามรูปแบบ Hadoop Cluster สามารถประมวลผลได้ดีที่สุดในแบบ 5 node(Rep-3) และรองลงมาคือ 5 node(Rep-5) และ 7 node(Rep-3) เนื่องจากค่าของการทำ Map-Reduce อยู่ที่ 5:1 ทุกชุดคำสั่ง




**รูปที่ 4** การประมวลผลแยกตาม Query

เมื่อพิจารณาแยกตามแต่ละ Query พบว่ารูปแบบที่เหมาะสมกับการประมวลผลได้แก่ แบบ 5 node(Rep-3) และ 7 node(Rep-5) สำหรับรูปแบบอื่นๆ มีค่าใกล้เคียงกันยกเว้นการใช้คำสั่ง Join ใน Query 4 แตกต่างใน 5 node(Rep-5) โดยผลของค่า Map-Reduce อยู่ที่ 5:1 เช่นกัน

## 5. สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาการประมวลผลของข้อมูลอุณหภูมิของสถานีอุตุนิยมวิทยาด้วยชุดข้อมูลจำนวน 207,466,688 ระเบียนที่ประกอบด้วยข้อมูลของ รหัสสถานี ชื่อสถานี วันที่ อุณหภูมิสูงสุด และอุณหภูมิต่ำสุด ในรูปแบบฐานข้อมูลเชิงสัมพันธ์ บนโครงสร้างโปรแกรม Hadoop Cluster ที่มีจำนวน Data node และจำนวนการสำเนาชุดข้อมูลที่แตกต่างกัน โดยปรับรูปแบบ Query ที่มีความหลากหลายด้วยคำสั่ง avg( ) และ max( ) ควบคู่กับ “GROUP BY” และ “ORDER BY” สามารถสรุปได้ว่ามีค่าเวลาประมวลผลที่ดีในรูปแบบ 5 node(Rep-3) เป็นหลักเนื่องจากค่าของ Map-Reduce ที่ถูกกำหนดด้วยโปรแกรม Hive ที่ 5:1 หมายถึงการ map ที่ 5 และ reduce ที่ 1 ซึ่งสอดคล้องกับจำนวน Data node ที่ดีที่สุด ดังนั้นการเพิ่มขึ้นของจำนวน Data node ถือว่ามีผลทำให้การประมวลผลรวดเร็วขึ้นแต่ต้องทำการปรับค่า Map-Reduce ให้เพิ่มขึ้นเพื่อกระจายภาระงาน ซึ่งถือเป็นประเด็นวิจัยที่ต้องทำต่อไป แต่ปัจจัยการเพิ่มชุดสำเนาข้อมูลไม่มีผลสำหรับการประมวลผลด้วยโปรแกรม Hive อย่างชัดเจน

## 6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสำนักวิทยบริการและเทคโนโลยีสารสนเทศ และคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลาที่ให้โอกาสสนับสนุนเครื่องมือและทุนแก่นักศึกษาในการทำงานวิจัยและนำเสนอผลงาน และแนวคิดของงานวิจัยจากเว็บไซต์ open-bigdata [2]

### เอกสารอ้างอิง

[1] V. Reynolds, Big Data For Beginners: Understanding SMART Big Data, Data Mining & Data Analytics For improved Business Performance, Life Decisions & More!. Kindle Edition, 2016.

[2] Hadoop’s open source query tools, (2014, Dec. 15), “Performance test of Pig vs Hive with code examples” [Online] Available: http://www.open-bigdata.com/performance-test-pig-vs-hive-code-examples/.

[3] D. Abadi, S. Babu, F. Ozcan, and I Pandis, “Tutorial: SQL-on-Hadoop Systems,” in *Proceedings of the VLDB Endowment,* Vol. 8, No. 12, pp. 2050-2051.

[4] K. Jayasri, R. Rajmohan, and D. Dinagaran, “Analyzing the Query Performances of Description Logic based Service Matching using Hadoop,” in *2015 International Conference on Smart Technologies and Management for Computing, Communication, Controls, Energy and Materials (ICSTM)*, Vel Tech Rangarajan Dr. Sagunthala R&D Institute of Science and Technology, Chennai, T.N., India. 6 - 8 May 2015. pp. 1-7.

[5] อดิศร อดิศรพันธ์กุล และศุภฤกษ์ มานิตพรสุทธ์, “ประสิทธิภาพของการประมวลผลด้วย Apache Mahout บน Apache Hadoop Cluster,” ใน *การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 38 (EECON-38)*, 2558, น. 858-861.

[6] The Big Data Blog, (2014, Apr. 4), “Hadoop Ecosystem Overview” [Online] Available: http://thebigdatablog.weebly.com/blog/the-hadoop-ecosystem-overview.

[7] MAPR.blog, (2014, Dec. 22), “What Kind of Hive Table is Best for Your Data” [Online] Available: https://www.mapr.com/blog/what-kind-hive-table-best-your-data.

**บทความวิจัย**

การประชุมวิชาการ งานวิจัยและพัฒนาเชิงประยุกต์ ครั้งที่ 8

*8th ECTI-CARD 2016, Hua Hin, Thailand*

# ระบบแจ้งเตือนเหตุก่อการร้ายในพื้นที่ 3 จังหวัดชายแดนภาคใต้โดยใช้พิกัดทางภูมิศาสตร์

# Notification Terrorist Attacks in 3 Provinces Using Location Based

**ณัฐวุฒิ ใจบาน[1] , อธิคม ศิริ[2], กมล บุญล้อม[3], ธนาวุฒิ ธนวาณิชย์[4] และเสกสรรค์ วินยางค์กูล[5]**

สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ สำนักวิชาคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย

80 หมู่ 9 ถนนพหลโยธิน ตำบลบ้านดู่ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงราย 57100 โทรศัพท์ 053-776395 E-mail: jaiban.nuttawut@gmail.com

## บทคัดย่อ

จากปัญหาเหตุการณ์ไม่สงบในพื้นที่ 3 จังหวัดชายแดนภาคใต้ มีการวางระเบิดในลักษณะระเบิดซ้ำใกล้เคียงจุดเดิม งานวิจัยจึงได้มีการพัฒนาระบบแจ้งเตือนเหตุการณ์ร้ายในพื้นที่ 3 จังหวัดชายแดนภาคใต้ โดยใช้พิกัดทางภูมิศาสตร์ เป็นเครื่องมือที่จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพแจ้งเตือนภัยเพื่อให้คนที่อยู่ในพื้นที่ได้ทราบถึงระดับความเสี่ยงและสามารถเตรียมรับวางแผนการใช้ชีวิตประจำวันได้อย่างเหมาะสม การทดลองได้จำลองประชากรจากพื้นที่จริงจำนวน 1,748,682 คน และขนาดพื้นที่จริง 10,927 ตารางกิโลเมตร เพื่อหาระดับความเสี่ยงทั้ง 4 ระดับ จากการทดลอง พื้นที่ระยะ 300, 301-500, 501-700, 701-1000 เมตร มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 425, 663.2, 901.7, 1695 คน ตามลำดับ โดยมีค่าเฉลี่ยเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 257.8

คำสำคัญ: วิเคราะห์ระดับความเสี่ยง, พิกัดทางภูมิศาสตร์

## Abstract

The South Thailand insurgency crisis with arson and bombing is ongoing. Especially, we found that bombing often arises at same area and lack of the efficient notification system for all people in the crisis area. In this work, we develop the notification system with the location-based technique by the use of GPS technology. The proposed system informs the risk level, contingency planning and the local scene to suitable persons. The approximate data (1,748,682 people within 10,927 square kilometers) are used to evaluate the system performance for notifying the target people with violence level of four ranges in 300, 500, 700 and 1,000. The results on average are 425, 663.2, 901.7 and 1,695 people with the average standard deviation up to 257.8

Keywords: Analysis Risk, Location Based

## 1. บทนำ

ปัญหาความถูกต้องแม่นยำของข้อมูลการแจ้งเตือนเหตุก่อการร้าย มีความสำคัญต่อการใช้ชีวิตประจำวันของประชากรหรือนักท่องเที่ยวในเขตชายแดนภาคใต้เป็นอย่างมาก ซึ่งการแจ้งเตือนของหน่วยงานในปัจจุบันมีหลายวิธี เช่น หนังสือพิมพ์ โทรทัศน์ หรือบนเว็บไซต์ แต่ในเวลาฉุกเฉินสื่อต่างๆ เหล่านั้นไม่สามารถเตือนภัยหรือแจ้งอพยพประชาชนได้ จึงทำให้ผู้คนที่อยู่ในบริเวณจุดเสี่ยงไม่สามารถรับรู้ข่าวสารและวิธีการป้องกันในสถานการฉุกเฉินเหล่านั้นได้ทันท่วงที

งานวิจัยจึงได้มีการพัฒนาเครื่องมือที่จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพแจ้งเตือนภัยไปยังประชาชนให้มีความถูกต้องแม่นยำในการให้ข้อมูลมากขึ้น ซึ่งระบบแจ้งเตือนเหตุก่อการร้ายในพื้นที่ 3 จังหวัดชายแดนภาคใต้โดยใช้พิกัดทางภูมิศาสตร์

ระบบการแจ้งเตือนรายละเอียดของจุดเกิดเหตุและสามารถวิเคราะห์ระดับความเสี่ยงของผู้ใช้งานและแจ้งเตือนผ่านแอพพลิเคชั่นได้ จึงช่วยให้ผู้ใช้งานแอพพลิเคชั่นสามารถหลีกเลี่ยงหรือห้ามเข้าใกล้บริเวณจุดเกิดเหตุนั้นเพื่อความปลอดภัยของชีวิตประชากร และทรัพย์สินได้

## 2. ทฤษฎีและหลักการทำงาน

ระบบแจ้งเตือนเหตุก่อการร้ายในพื้นที่ 3 จังหวัดชายแดนภาคใต้โดยใช้พิกัดทางภูมิศาสตร์ ได้นำทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเข้ามาช่วยในการพัฒนาโปรแกรมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการทำงานโดยงานวิจัยได้นำวิธีการและเทคนิควิธีการต่างๆ ดังนี้

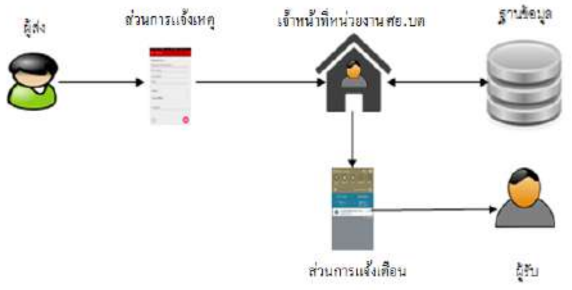
### 2.1วิธีการคำนวณเกณฑ์ความปลอดภัย

[3] ระยะปลอดภัยของบุคคลที่อยู่ในพื้นที่โล่งแจ้ง จากระเบิดที่ดินระเบิดฝัง หรือวางไว้บนดินโดยไม่คำนึงถึงชนิดและสภาพของดินซึ่งดินระเบิดน้อยกว่า หรือเทียบเท่ากับ 27 ปอนด์ ระยะที่ปลอดภัยน้อยที่สุด 300 เมตร หากดินระเบิดมากกว่า 27 ปอนด์ สามารถคำนวณระยะปลอดภัยโดยใช้สูตรระยะปลอดภัยเป็น เมตร $= 100 \times \sqrt[3]{\text{จำนวนดินระเบิด}}$ เป็นปอนด์และถ้าจำนวนดินระเบิดเกิน 425 ปอนด์ ให้ใช้ระยะปลอดภัยอย่างน้อยที่สุด 750 เมตร

**2.2ประชากรและพื้นที่ 3จังหวัดชายแดนภาคใต้**

[5] พื้นที่ 3 จังหวัดชายแดนภาคใต้ ประกอบไปด้วยจังหวัดปัตตานี ยะลาและจังหวัดนราธิวาส รวม 33 อำเภอ มีพื้นที่ทั้งหมด 10,927 ตารางกิโลเมตร ประชากรรวมทั้งหมด 1,748,682 คน เป็นมุสลิม 1,386,880 คน พุทธ 351,367 คน

สามารถแจ้งเหตุและรายละเอียดของเหตุการณ์ต่างๆ โดยผ่านโปรแกรมแจ้งเตือนภัยเพื่อส่งไปยังหน่วยงานหน่วยงานจะทำการเก็บข้อมูลที่ได้มีการแจ้งจากผู้แจ้งเหตุเก็บเข้าฐานข้อมูลส่วนกลางในหน่วยงานจะมีเจ้าหน้าที่จำแนกประเภทของข้อมูลและส่งข้อมูลที่ได้รับแจ้งเข้ามาออกไปยังโปรแกรมแจ้งเตือนภัยเพื่อแจ้งเตือนรายละเอียดของเหตุการณ์ ไปยังผู้รับสามารถทราบรายละเอียดของเหตุการณ์ ดังรูปที่ 1



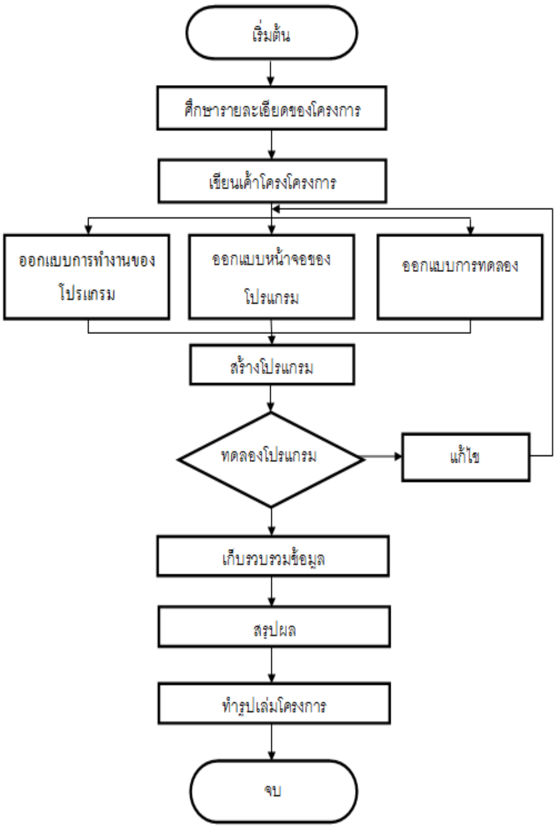

รูปที่ 1 รูปแบบการทำงานระบบแจ้งเตือนเหตุก่อการร้ายในพื้นที่ 3 จังหวัดชายแดนภาคใต้โดยใช้พิกัดทางภูมิศาสตร์

## 3. วิธีการดำเนินงาน

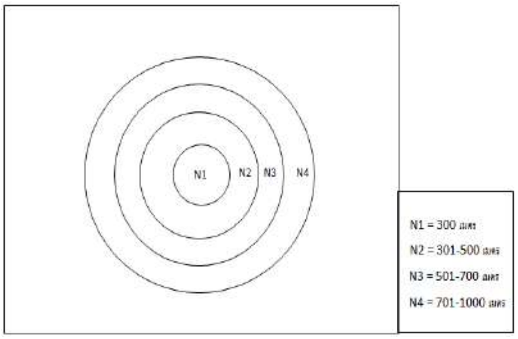
การจัดทำโครงการในครั้งนี้ต้องมีการศึกษาความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับการออกแบบระบบแอนดรอยด์และการดึงข้อมูลมาจากฐานข้อมูลส่วนกลางมาวิเคราะห์เพื่อสามารถบรรลุจุดประสงค์ของงานวิจัยได้อย่างถูกต้องและเหมาะสมในส่วนของรายละเอียดขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานซึ่งในบทนี้ได้แบ่งขั้นตอนการทำงานดังนี้

ขั้นตอนการทดสอบโปรแกรมในขั้นตอนนี้เป็นการทดสอบว่าโปรแกรมสามารถทำงานได้จริงหรือไม่ หากมีข้อผิดพลาดก็กลับไปแก้ไขใหม่จนกว่าโปรแกรมจะสามารถทำงานได้จริงขั้นตอนการเก็บข้อมูลและวิเคราะห์เป็นข้อมูลที่ได้จากการทำงานของโปรแกรมโดยทีมผู้จัดทำได้นำข้อมูลจากฐานข้อมูลส่วนกลางมาวิเคราะห์เมื่อได้ข้อมูลจึงนำมาสรุปผลดังรูปที่ 2

แสดงลักษณะการแจ้งเตือนไปยังบุคลที่อยู่ใกล้ๆบริเวณจุดเกิดเหตุ โดยสุ่มจำนวนประชากรในพื้นที่ 3 จังหวัดชายแดนภาคใต้จำนวนประชากรมีทั้งหมด 1,748,682 คน และอ้างอิงพื้นที่จริง 10,927 ตารางกิโลเมตร ระยะการระดับการแจ้งเตือนอยู่ 4 ระดับ คือระยะห่างจากจุดเกิดเหตุ 300, 301-500, 500-700, และ700-1000 เมตร สามารถหาระห่างจากพื้นที่เกิดเหตุได้โดยใช้สมการดั้งนี้ [4] $d = \text{acos}(\sin \varphi 1 \cdot \sin \varphi 2 + \cos \varphi 1 \cdot \cos \varphi 2 \cdot \cos \Delta\lambda) \cdot R$ ดังรูปที่ 3



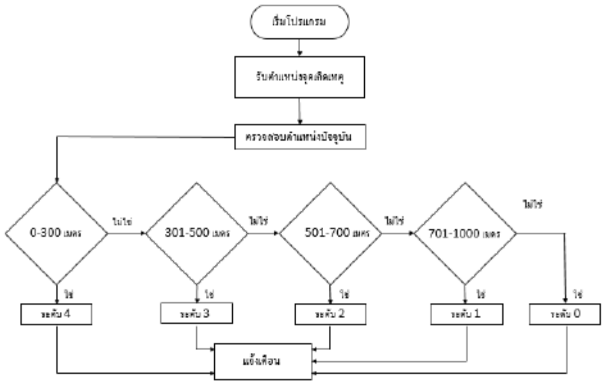

รูปที่ 2 การทำงานโครงการวิจัยระบบแจ้งเตือนเหตุก่อการร้ายในพื้นที่ 3 จังหวัดชายแดนภาคใต้โดยใช้พิกัดทางภูมิศาสตร์




**รูปที่** 3 รูปแบบการกำหนดระยะห่างจุดเกิดเหตุ

เมื่อเริ่มต้นการทำงานโปรแกรมจะรับตำแหน่งจุดเกิดเหตุเพื่อมาวิเคราะห์ตำแหน่งที่อยู่ปัจจุบันของผู้ใช้งานโปรแกรมระบบจะวิเคราะห์ระยะห่างระหว่างตำแหน่งจุดเกิดเหตุและที่อยู่ปัจจุบันเพื่อหา

ระดับความเสี่ยงทั้ง 4 ระดับ คือ ระยะระหว่าง 0-300, 301-500, 501-700, 701-1000 เมตร เมื่อวิเคราะห์เสร็จจึงแจ้งเตือนไปยังผู้ใช้ ดังรูปที่ 4



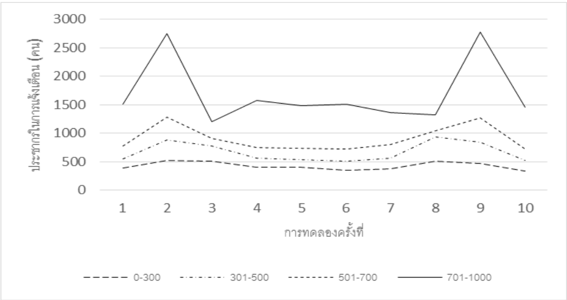

**รูปที่ 4** แผนผังระบบแจ้งเตือนเหตุก่อการร้ายในพื้นที่ 3 จังหวัดชายแดนภาคใต้โดยใช้พิกัดทางภูมิศาสตร์

## 4. ผลการทดลอง

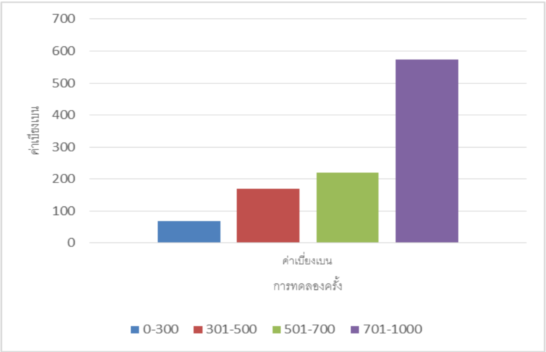
จากงานวิจัยระบบแจ้งเตือนเหตุก่อการร้ายในพื้นที่ 3 จังหวัดชายแดนภาคใต้โดยใช้พิกัดทางภูมิศาสตร์คณะผู้วิจัยได้นำผลการวิเคราะห์ชุดข้อมูลจากระบบที่เขียนจนเสร็จสมบูรณ์แล้วเพื่อวิเคราะห์ระดับระยะเสี่ยงภัยจากเหตุร้ายผู้จัดทำระบบได้ทำเขียนโปรแกรมเพื่อจำลองประชากรและจุดเกินเหตุการณ์ก่อการร้าย จากการทดลองจำนวน 10 ครั้ง ได้ผลการทดลองดังนี้

สุ่มลักษณะการเคลื่อนที่ของประชากรและจุดระเบิดในพื้นที่ที่แตกต่างกันโดยกำหนดระยะความเสี่ยงที่ต่างกันโดยสุ่มจำนวนประชากรในพื้นที่ 3 จังหวัดชายแดนภาคใต้ จำนวนประชากรมีทั้งหมด 1,748,682 คน และอ้างอิงพื้นที่จริง 10,927 ตารางกิโลเมตร ทดลองทั้งหมด 10 ครั้ง ระยะการแจ้งเตือนอยู่ 4 ระดับ ระยะที่ 1 พื้นที่ 0 – 300 เมตร เป็นระยะที่ใกล้และบริเวณจุดเกิดเหตุที่สุด จากกราฟแสดงลักษณะเส้นที่มีความคงที่ไม่มีความคลาดเคลื่อนน้อย ระยะที่ 2 พื้นที่ 301 – 500 เมตร จากกราฟแสดงถึงลักษณะเส้นที่ค่อนข้างที่ไม่มีความคงที่ ระยะที่ 3 พื้นที่ 501 - 700 เมตร จากกราฟแสดงถึงลักษณะเส้นที่ไม่มีความคงที่ค่อนข้างชัดเจนมากกว่าระยะที่ 2 ระยะที่ 4 พื้นที่ 701 – 100 จากกราฟแสดงถึงลักษณะเส้นที่ไม่มีความคงที่อย่างชัดเจน ดังรูปที่ 5

ลักษณะการแจ้งเตือนไปยังบุคคลที่อยู่ใกล้ๆบริเวณจุดเกิดเหตุทำการทดลองจำนวน 10 ครั้ง เพื่อสุ่มลักษณะการเคลื่อนที่ของประชากรและจุดระเบิดในพื้นที่ที่แตกต่างกันโดยกำหนดระยะความเสี่ยงที่ต่างกันโดยสุ่มจำนวนประชากรในพื้นที่ 3 จังหวัดชายแดนภาคใต้จำนวนประชากรมีทั้งหมด 1,748,682 คน และอ้างอิงพื้นที่จริง 10,927 ตารางกิโลเมตร ผลได้ลองทั้งหมด 10 ครั้ง ระยะการระดับการแจ้งเตือนอยู่ 4 ระดับ ระยะที่ 1 พื้นที่ 0 – 300 เมตร จากการทดลองได้ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากัน 67.85114 ระยะที่ 2 พื้นที่ 301 - 500 เมตร จากการทดลองได้ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากัน 169.0981 ระยะที่ 3 พื้นที่ 501 - 700 เมตร จากการทดลองได้ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากัน 220.0566 ระยะที่ 4 พื้นที่ 701 - 1000 เมตร จากการทดลองได้ค่าบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากัน 574.3154 ดังรูปที่ 6




รูปที่ 5 ผลการวิเคราะห์ชุดข้อมูลจากจำนวนประชากร



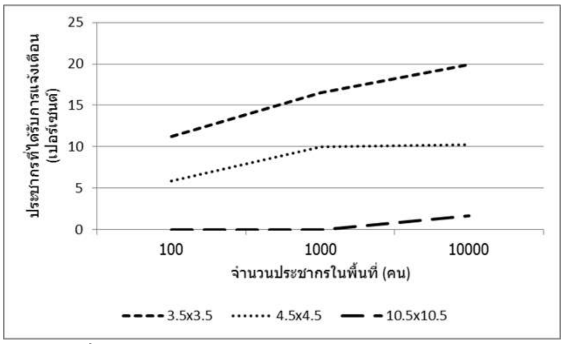

รูปที่ 6 ค่าความผิดพลาดเบี่ยงเบนมาตรฐาน

## 5. สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองระบบแจ้งเตือนเหตุก่อการร้ายในพื้นที่ 3 จังหวัดชายแดนภาคใต้โดยใช้พิกัดทาง สรุปผลการทดลองระบบแจ้งเตือนจำนวนประชากรที่อยู่ในบริเวณพื้นที่เกิดเหตุ ระบุจำนวนประชากรทั้งหมด 100, 1000, และ10,000 คน ขนาดพื้นที่ 3.5x3.5 และ4.5x4.5 กิโลเมตร

การทดลองระบบแจ้งเตือนจำนวนประชากรที่อยู่ในบริเวณพื้นที่เกิดเหตุ ระบุจำนวนประชากรทั้งหมด 100, 1000, และ10,000 คน การทดลองครั้งที่ 1 กำหนดพื้นที่ 3.5x3.5 กิโลเมตร ประชากรที่ได้รับการแจ้งเตือนเท่ากับ 11.2, 16.5 และ19.9 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ การทดลองครั้งที่ 2 กำหนดพื้นที่ 4.5x4.5 กิโลเมตร ประชากรที่ได้รับการแจ้งเตือนเท่ากับ 5.9, 10 และ10.3 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ การทดลองครั้งที่ 3 กำหนดพื้นที่ 10.5x10.5 กิโลเมตร ประชากรที่ได้รับการแจ้งเตือนเท่ากับ 0, 0, 1.7 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าเมื่อขนาดพื้นที่ขนาดเท่าเดิม

เมื่อทำการทดลองโดยการเพิ่มจำนวนประชากรที่ได้รับการแจ้งเตือนจะมีปริมานมากขึ้นตาม กลับกันหากเพิ่มขนาดพื้นที่ขึ้นประชากรที่ได้รับการแจ้งเตือนจะลดลง ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่าระบบแจ้งเตือนเหตุก่อการร้ายในพื้นที่ 3 จังหวัดชายแดนภาคใต้โดยใช้พิกัดทางภูมิศาสตร์ จำนวนการแจ้งเตือนบุคคลที่อยู่ในพื้นที่จะแปรผันตามความหนาแน่นของประชากรและขนาดของพื้นที่ ดังรูปที่ 7




รูปที่ 7 กราฟสรุปผลการทดลองระบบแจ้งเตือนจำนวนประชากรที่อยู่ในบริเวณพื้นที่เกิดเหตุ

รูปแบบส่วนการแจ้งเตือนเมื่อมีเหตุการณ์ความไม่สงบเกิดขึ้นโปรแกรมจะแจ้งเตือนไปยังผู้ใช้สามารถกดเข้าดูแผนที่ได้ซึ่งแสดงจุดเกิดเหตุบนแผนที่ตามจุดต่างๆที่มีผู้ใช้แจ้งเนื้อหาที่แจ้งเตือนจะระบุตำแหน่งที่เกิดเหตุลักษณะของการระเบิด ดังรูปที่ 8

เมื่อมีผู้ใช้แจ้งเหตุเข้ามาจะถูกเก็บไว้ที่ฐานข้อมูลส่วนกลาง การวิเคราะห์ความเสี่ยงจะใช้ข้อมูลตำแหน่งปัจจุบันของผู้ใช้ไปวิเคราะห์แล้วแจ้งระดับของความเสี่ยงให้แก่ผู้ใช้ทราบ ดังรูปที่ 9

รูปที่ 8 การแจ้งเตือนเหตุการณ์ร้าย

รูปที่ 9 วิเคราะห์ความเสี่ยงของตำแหน่งปัจจุบัน

## เอกสารอ้างอิง

[1] ฉัตรชัย สุขสอาด และ นุชนาฏ อารยะกิตติพงศ์ (2546: 38-43)

[2] ยรรยง ทรัพย์สุขอำนวย.ระบบการหาตำแหน่งบนพื้นโลกพิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : ธุรกิจการพิมพ์, 2546 (ตำแหน่งบนพื้นโลก)

[3] วิชา อาวุธ (เล่ม 2) รหัสวิชา 0102050700 หลักสูตร นายสิบชั้นต้น (วิธีการคำนวนเกณฑ์ความปลอดภัย)

[4] http://www.movable-type.co.uk/scripts/latlong.html(การหาพิกัดระยะห่างระหว่างจุด)

[5] ศูนย์ประสานงานวิชาการให้ความช่วยเหลือผู้ได้รับผลกระทบจากเหตุความไม่สงบจังหวัดชายแดนใต้ (ศวชต.) (จำนวนประชากรและขนาดพื้นที่)

นายณัฐวุฒิ ใจบาน

341 หมู่ 1 ตำบลเวียง อำเภอเทิง

จังหวัดเชียงราย 57160

อีเมล์ : jaiban.nuttawut@Gmail.com

**บทความวิจัย**

การประชุมวิชาการ งานวิจัยและพัฒนาเชิงประยุกต์ ครั้งที่ 8

*8th ECTI-CARD 2016, Hua Hin, Thailand*

# ชุดจำลองตรวจจับความผิดพร่องแบบไลน์กับไลน์ในระบบสายส่ง 3 เฟส

# Model of Line to Line Fault Detection in Three Phase Transmission Lines

**คมพัชญ์ ชื่นด้วงจิรสิริ[1] เฉลิมชาติ เรืองเถาะ[2] คณบดี ศรีสมบูรณ์[3] และ นัฐโชติ รักไทยเจริญชีพ[4]**

**สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร**

**1381 ถนนพิบูลสงคราม แขวงบางซื่อ เขตบางซื่อ กรุงเทพฯ 10800**

**E-mail: [1]nook_2106@hotmail.com [2]cc_aircond@hotmail.com -[3]s.kanabadee@gmail.com [4]nattachote.r@rmutp.ac.th**

## บทคัดย่อ

ในระบบการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าจำเป็นต้องมีการตรวจสอบลักษณะของกระแสอย่างต่อเนื่อง เพื่อทำรองรับความผิดพร่องใด ๆ ที่อาจเกิดขึ้นในระบบดังกล่าว บทความฉบับนี้นำเสนอชุดตรวจจับความผิดพร่องแบบไลน์กับไลน์ในระบบสายส่ง โดยการจำลองสายส่งด้วยตัวต้านทานแบบ Wire-wound ที่สามารถปรับค่าได้ ความผิดพร่องของระบบสายส่งในบทความนี้ถูกแบ่งออกเป็น 3 กรณี ได้แก่ การเกิดความผิดพร่องที่ช่วงต้นของสายส่ง กลางของสายส่ง และปลายของสายส่ง จากผลการทดลองพบว่า พบว่า ในกรณีการเกิดความผิดพร่องที่ช่วงต้นของสายส่งนั้น มีกระแสสูงมากทำให้รีเลย์สั่งการป้องกันอุปกรณ์ไม่ทันทำให้ฟิวส์ขาด ซึ่งทำให้ไม่สามารถทำการทดสอบได้ สำหรับในกรณีอื่น อุปกรณ์สามารถตรวจจับและป้องกันได้ สามารถบันทึกค่ากระแสก่อนที่รีเลย์จะทำงานได้ ซึ่งกระแสผิดพร่องดังกล่าว จะมีค่ามากหรือน้อยขึ้นอยู่กับภาระทางไฟฟ้าที่ต่อเพิ่มกับระบบ

คำสำคัญ: ความผิดพร่อง, ความผิดพร่องแบบไลน์กับไลน์, รีเลย์, รีเลย์ป้องกัน

## Abstract

In power transmission system, the behavior of current has to be monitored continually in order to deal with any failure that may existing during the operation. In this paper, a line-to-line fault detection kit is developed in order to detect the system failure. The transmission line is simulated using an adaptable wire-wound resistor. Three cases of considered are the failure that exist at the beginning, middle and the end of transmission line. As a result, a fault at the beginning of the line cannot be detect because the fuse is damaged by a high current which exists only at the beginning of transmission line. When the failure occurs at the middle and the end of transmission line, the proposed kit can be used to detect those failures.

Keywords: Fault, Line to Line Fault, Relay, Protection Relay

## 1. บทนำ

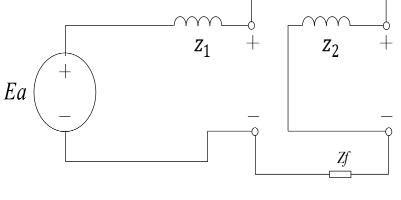
ในปัจจุบันการใช้ไฟฟ้ามีอยู่ทุกที่ไม่ว่าจะเป็นที่อยู่อาศัยหรือโรงงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ เพื่อตอบสนองความต้องการในด้านต่าง ๆ ของสังคม เพราะฉะนั้นการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าจำเป็นต้องทำอย่างต่อเนื่องและมีประสิทธิภาพ แต่ถ้าเกิดความผิดพร่องขึ้นซึ่งเป็นเหตุที่ไม่อาจคาดการณ์ได้ว่าจะเกิดขึ้นเมื่อไหร่ และเกิดจากสาเหตุอะไร ทำให้ต้องหยุดจ่ายกำลังไฟฟ้าชั่วคราวหรือเกิดไฟดับเป็นระยะเวลานาน ทำให้ส่งผลต่อความสะดวกสบายและอาจทำให้เกิดความเสียหายต่อส่วนผลิตของโรงงานอุตสาหกรรมที่ต้องการเดินเครื่องจักรตลอด รวมถึงความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้าด้วย

ในบทความนี้จึงนำเสนอการตรวจจับความผิดพร่องแบบไลน์กับไลน์ในระบบส่งกำลังไฟฟ้าแบบ 3 เฟส เพื่อศึกษาถึงลักษณะของกระแสที่เกิดขึ้น เพื่อที่จะนำไปเป็นแนวทางในการรองรับกับความผิดพร่องที่จะเกิดขึ้น ไม่ว่าจะเป็นการเตรียมระบบสำรอง เมื่อการไฟฟ้าไม่สามารถจ่ายไฟให้กับผู้ใช้อย่างต่อเนื่องได้ รวมไปถึงการพัฒนาระบบและอุปกรณ์ป้องกันต่าง ๆ ให้เหมาะสมกับลักษณะงาน

## 2. การเกิดฟอลต์ระหว่างไลน์กับไลน์

### 2.1 การเกิดฟอลต์ระหว่างไลน์กับไลน์ที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าขณะไม่มีโหลด

เมื่อเกิดฟอลต์ระหว่างไลน์ที่ขั้วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ต่อขดลวดแบบ Y และนิวทรัล ต่อลงดินโดยผ่านรีแอคแตนซ์ และขณะเดินเครื่องไม่ได้จ่ายโหลด ตามไดอะแกรมรูปที่ 2.2 โดยเกิดฟอลต์ที่ขั้วของเฟส A และ C



**รูปที่ 1** วงจรสมมูลของการเกิดฟอลต์แบบไลน์กับไลน์

จากรูปที่ 1 เงื่อนไขของการเกิดฟอลต์จะสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\begin{bmatrix} V_{a0} \\ V_{a1} \\ V_{a2} \end{bmatrix} = \frac{1}{3}\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix}\begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} \qquad (1)$$

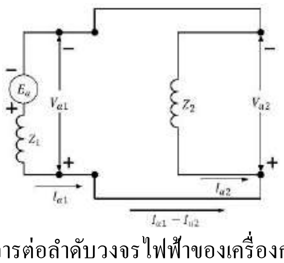
เมื่อส่วนประกอบของกระแสคือ

$$\begin{bmatrix} I_{a0} \\ I_{a1} \\ I_{a2} \end{bmatrix} = \frac{1}{3}\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix}\begin{bmatrix} 0 \\ -I_c \\ I_c \end{bmatrix} \qquad (2)$$

จากการต่อนิวทรัลของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าลงดินโดยผ่านรีแอกแตนซ์ ดังนั้นทำให้ $Z_0$ มีค่า แต่เมื่อ $I_{a0} = 0$ ดังนั้น $V_{a0} = 0$ ทำให้สามารถเขียนสมการหากระแส $I_{a1}$ ได้ดังนี้

$$I_{a1} = \frac{E_a}{Z_1+Z_2} \qquad (4)$$

การเกิดข้อผิดพร่องของระบบสามารถแสดงได้โดยใช้สมการของการเกิดฟอลต์ระหว่างไลน์กับไลน์ เมื่อ $Z_0$ ไม่มีส่วนเกี่ยวข้องกับสมการเฉพาะ จึงทำให้ไม่ต้องใช้วงจรไฟฟ้าลำดับศูนย์ และวงจรไฟฟ้าลำดับบวกและลำดับลบจะต่อขนานกัน เพราะ $V_{a1} = V_{a2}$ เมื่อต่อขนานวงจรไฟฟ้าลำดับบวกและลำดับลบโดยปราศจากวงจรไฟฟ้าลำดับศูนย์ วงจรขนานนี้จึงมีกระแสตามสมการที่ (4) ดังนั้นการต่อลำดับวงจรไฟฟ้าสำหรับการเกิดฟอลต์ระหว่างไลน์กับไลน์ ได้แสดงในรูปที่ 2

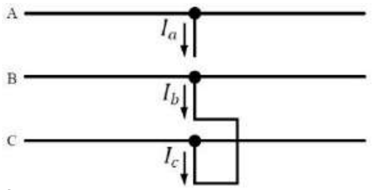



**รูปที่ 2** การต่อลำดับวงจรไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ไม่ได้จ่ายโหลดและเกิดฟอลต์ระหว่างไลน์ที่ขั้วของเฟส B และเฟส C

เมื่อตำแหน่งที่เกิดฟอลต์ระหว่างไลน์กับไลน์ไม่มีส่วนเกี่ยวข้องกับดิน (จะมีศักย์ดินเพียงจุดเดียวเท่านั้น คือนิวทรัลของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า) ทำให้กระแสไม่สามารถไหลไปสู่ดินได้ ดังนั้นกระแส $I_{a0} = 0$ และไม่ว่านิวทรัลของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะต่อลงดินหรือไม่ก็ตามจะไม่มีผลกระทบต่อกระแสฟอลต์

## 2.2 การเกิดฟอลต์ระหว่างไลน์กับไลน์ขึ้นที่ระบบไฟฟ้ากำลัง

การเกิดฟอลต์ระหว่างไลน์กับไลน์จะมีสมมติฐานการต่อของไลน์ 3 เฟส เพื่อแสดงการไหลของกระแส (ตามรูปที่ 3)



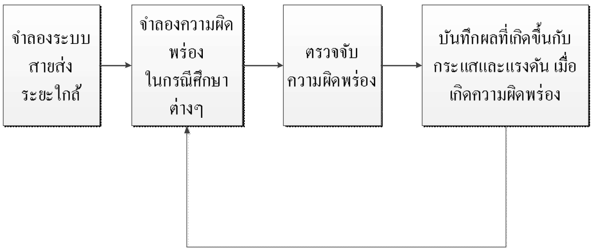

**รูปที่ 3** การไหลของกระแสเมื่อเกิดฟอลต์ระหว่างไลน์กับไลน์ขึ้นที่ระบบไฟฟ้ากำลัง

จากที่กล่าวมาแล้วในเรื่องการเกิดฟอลต์ระหว่างไลน์กับไลน์ขึ้นที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าขณะไม่มีโหลด วงจรไฟฟ้าลำดับบวกและวงจรฟ้าลำดับลบจะต้องต่อขนานกันที่จุดเกิดฟอลต์ เมื่อจะจำลองการเกิดฟอลต์ระหว่างไลน์กับไลน์ ดังนั้นจึงสามารถแสดงค่ากระแส $I_{a1}$ ได้ดังนี้

$$I_{a1} = \frac{V_f}{Z_1+Z_2} \qquad (5)$$

## 3. ชุดจำลองตรวจจับความผิดพร่อง แบบไลน์กับไลน์ในระบบสายส่ง 3 เฟส

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงขั้นตอนออกแบบชุดจำลองตรวจจับความผิดพร่องแบบไลน์กับไลน์ในระบบสายส่ง 3 เฟส โดยใช้รีเลย์ในการกำหนดขอบเขตของความผิดพร่องต่าง ๆ และใช้รีเลย์ป้องกันแบบ Zero Sequence Relay ในการตรวจจับกระแสผิดพร่องและตัดต่อวงจรด้วยหน้าสัมผัสช่วยของรีเลย์ป้องกัน

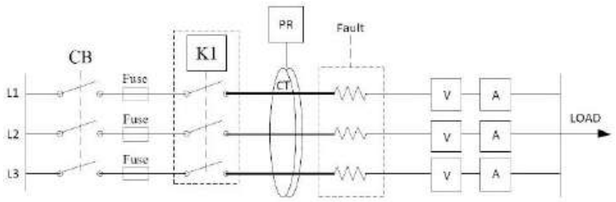



**รูปที่ 4** หลักการทำงานของชุดจำลองตรวจจับความผิดพร่องแบบไลน์กับไลน์ในระบบสายส่ง 3 เฟส

ขั้นตอนการทำงานของชุดจำลองตรวจจับความผิดพร่องแบบไลน์กับไลน์ในระบบสายส่ง 3 เฟส สามาถแสดงได้โดยรูปที่ 4 เมื่อระบบของสายส่งระยะสั้นถูกจำลองขึ้นมา ความผิดพลาดที่เกิดขึ้นกับระบบจะถูกจำลองโดยใช้รีเลย์ เมื่อเกิดความผิดพร่องแก่ระบบรีเลย์ป้องกันจะรับสัญญาณจากหม้อแปลงกระแส เพื่อมาทำการตัดต่อวงจรที่เกิดความผิดพร่องออกจากระบบ แล้วจึงทำการบันทึกค่ากระแสสุดท้ายก่อนที่รีเลย์ป้องกันจะทำงาน

## 3.1 การจำลองระบบสายส่ง

ในส่วนของการจำลองระบบสายส่งนั้นจะมีการต่อผ่านอุปกรณ์ต่างๆ คือ สวิตช์ตัดตอนควบคุมระบบไฟ แมคเนติคคอนแทคเตอร์สำหรับสตาร์ทเครื่องกำเนิด ฟิวส์สำหรับป้องกันอุปกรณ์ และตัวต้านทานแบบไวน์วาวน์สำหรับแทนสายส่ง โวลท์มิเตอร์ และแอมป์มิเตอร์สำหรับสังเกตผลที่เกิดขึ้นกับกระแสและแรงดัน ดังแสดงในรูปที่ 5

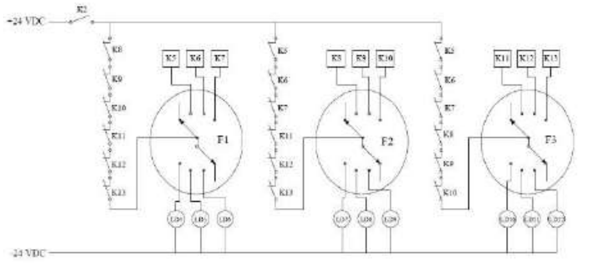



**รูปที่ 5** วงจรจำลองสายส่งกำลังไฟฟ้าระยะใกล้

เมื่อเซอร์กิตเบรกเกอร์ทำงานจะมีไฟไหลผ่านฟิวส์ไปยังชุดสตาร์ทของแมคเนติคคอนแทคเตอร์ (K1) และเมื่อสตาร์ทเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะมีไฟไหลเข้าสู่ระบบไฟฟ้าที่จำลองขึ้น โดยมี CT ที่ต่ออยู่กับรีเลย์ป้องกันตรวจจับอยู่บริเวณต้นสาย เนื่องจากโดยปกติเมื่อเกิดความผิดพร่องกระแสจะไหลย้อนกลับเข้าสู่เครื่องกำเนิด ในส่วนของตัวต้านทานนั้นใช้แทนค่าความต้านทานของสายส่งจริง โดยจะมีชุดรีเลย์สำหรับจำลองความผิดพร่องต่ออยู่

## 3.2 การจำลองความผิดพร่อง

ในส่วนของการจำลองความผิดพร่องนั้น จะใช้ Selector Switch เป็นตัวสั่งการรีเลย์ให้ลัดวงจรระหว่างไลน์กับไลน์ ซึ่งจะมีด้วยกันทั้งหมด 3 ชุดการทำงาน โดยวงจรของการควบคุมจำลองความผิดพร่องนั้น แสดงดังรูปที่ 6




**รูปที่ 6** ชุดควบคุมจำลองการเกิดความผิดพร่อง

เมื่อมีแรงดันไหลเข้าสู่ระบบครบทั้ง 3 เฟส จะทำให้หน้าสัมผัส K2 ทำงาน ทำให้มีแรงดัน 24 VDC ไหลเข้าสู่ Selector Switch ทั้ง 3 ชุด โดย F1, F2 และ F3 คือชุดควบคุมการผิดพร่องทั้ง 3 จุด ตามลำดับ โดยจะมีรีเลย์ K5, K8 และ K11 จำลองความผิดพร่องที่เฟส A กับ B, รีเลย์ K6, K9 และ K12 จำลองความผิดพร่องที่เฟส A กับ C, รีเลย์ K7, K10 และ K13 จำลองความผิดพร่องที่เฟส B กับ C โดยมีหน้าสัมผัสแบบปกติปิดของรีเลย์แต่ละตัวต่ออนุกรมกันก่อนที่จะเข้า Selector Switch ซึ่งทำหน้าเป็น Inter-Lock เพื่อไม่ให้ชุดควบคุมจำลองความผิดพร่องทำงานพร้อมกันเพื่อป้องกันการเกิดความผิดพร่องซ้ำซ้อนในระบบ

## 3.3 การตรวจจับการเกิดความผิดพร่องของรีเลย์

โดยทั่วไปในขณะที่เกิดการผิดพร่องขึ้น ปริมาณกระแสจะเพิ่มขึ้นและแรงดันจะมีขนาดลดลง การเปลี่ยนแปลงของกระแสและแรงดันนี้ จะส่งผลให้ค่าอื่นๆ เปลี่ยนแปลงตามมา เช่น มุมเฟสของกระแสและแรงดัน, ส่วนประกอบฮาร์โมนิค, กำลังไฟฟ้าจริง (Active Power), กำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟ (Reactive Power) และความถี่ของระบบ เป็นต้น การทำงานของรีเลย์ป้องกันจะใช้ปริมาณทางไฟฟ้าเหล่านี้เป็นตัวกระตุ้นให้ทำงาน

## 4. ผลการทดลอง

เพื่อทดสอบความสามารถในการตรวจสอบความผิดพร่องแบบไลน์กับสายส่งของชุดการทดสอบที่นำเสนอ ค่ากระแสและแรงดันของระบบสายส่งสำหรับโหลดสมดุลและไม่สมดุลจะพารามิเตอร์เพื่อแสดงผลการทดสอบดังกล่าว

## 4.1 การเกิดความผิดพร่องแบบไลน์กับไลน์ที่ต้นสาย

เมื่อทำการทดลองการตรวจสอบความผิดพร่องกับโหลดสมดุลพบว่า มีแรงดันตกที่ปลายสาย เนื่องจากชุดจำลองดังกล่าวไม่มีคาปาซิเตอร์สำหรับชดเชยกำลังไฟฟ้า และเมื่อเกิดความผิดพร่องขึ้นที่ต้นสายนั้น อุปกรณ์ป้องกันไม่สามารถตัดการทำงานของวงจรที่เกิดความผิดพร่องออกได้ทันเวลา ทำให้ฟิวส์ขาด

ตารางที่ 1 ผลการตรวจสอบเมื่อเกิดความผิดพร่องที่ต้นสาย

| ชนิดโหลด | เฟสผิดพลาด | $V_a$ | $V_b$ | $V_c$ | $I_a$ | $I_b$ | $I_c$ | $I_{PR}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| สมดุล | ค่าเริ่มต้น | 190 | 190 | 190 | 0.9 | 0.9 | 0.9 | 0.042 |
| | A-B | x | x | x | x | x | x | x |
| | A-C | x | x | x | x | x | x | x |
| | B-C | x | x | x | x | x | x | x |
| ไม่สมดุล | ค่าเริ่มต้น | 190 | 200 | 190 | 0.9 | 0.7 | 0.9 | 0.282 |
| | A-B | x | x | x | x | x | x | x |
| | A-C | x | x | x | x | x | x | x |
| | B-C | x | x | x | x | x | x | x |

เมื่อทำการทดลองการตรวจสอบความผิดพร่องกับโหลดไม่สมดุลพบว่า ผลการตรวจสอบเป็นเช่นเดียวกับกรณีโหลดสมดุลคือ ฟิวส์ขาด เนื่องจากไม่มีคาปาซิเตอร์สำหรับชดเชยกำลังไฟฟ้า เมื่อกำหนดให้ x แสดงผลการวัดเมื่อฟิวส์ของระบบขาด

### 4.2 การเกิดความผิดพร่องแบบไลน์กับไลน์ที่กลางสาย

เมื่อทำการทดลองการตรวจสอบความผิดพร่องกับโหลดสมดุลพบว่า เมื่อเกิดการผิดพร่องที่กลางสาย กำลังไฟฟ้า และ เฟสที่เกิดความผิดพร่องขึ้นนั้นจะมีแรงดันและกระแสลดเหลือเพียงครึ่งเดียวของระบบปกติ ซึ่งรีเลย์ป้องกันสามารถตรวจจับกระแสได้ < 500 mA. ทำให้รีเลย์ป้องกันตรวจจับและตัดวงจรที่เกิดความผิดพร่องออกจากระบบได้

เมื่อทำการทดลองการตรวจสอบความผิดพร่องกับโหลดไม่สมดุลพบว่า เฟสที่เกิดความผิดพร่องที่มีโหลดมากกว่าจะเกิดกระแสผิดพร่องที่รุนแรงกว่าสังเกตได้จากผลการทดลองที่บันทึกได้

ตารางที่ 2 ผลการตรวจสอบเมื่อเกิดความผิดพร่องที่กลางสาย

| ชนิดโหลด | เฟสผิดพลาด | $V_a$ | $V_b$ | $V_c$ | $I_a$ | $I_b$ | $I_c$ | $I_{PR}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| สมดุล | ค่าเริ่มต้น | 190 | 190 | 190 | 0.9 | 0.9 | 0.9 | 0.042 |
| | A-B | 95 | 95 | 190 | 0.45 | 0.45 | 0.9 | 0.522 |
| | A-C | 95 | 190 | 95 | 0.45 | 0.9 | 0.45 | 0.522 |
| | B-C | 190 | 95 | 95 | 0.9 | 0.45 | 0.45 | 0.528 |
| ไม่สมดุล | ค่าเริ่มต้น | 190 | 190 | 200 | 0.9 | 0.9 | 0.7 | 0.281 |
| | A-B | 95 | 95 | 200 | 0.45 | 0.45 | 0.7 | 0.754 |
| | A-C | 95 | 190 | 100 | 0.45 | 0.9 | 0.35 | 0.372 |
| | B-C | 190 | 95 | 100 | 0.9 | 0.45 | 0.35 | 0.34 |

การเว้นระยะบรรทัดห่างในแนวตั้ง ให้เลือกแบบ Exactly 16 พอยน์ เนื้อเรื่องในแต่ละบรรทัดให้จัดเรียงชิดซ้ายและขวาอย่างสวยงาม

### 4.3 การเกิดความผิดพร่องแบบไลน์กับไลน์ที่ปลายสาย

เมื่อทำการทดลองการตรวจสอบความผิดพร่องกับโหลดสมดุลพบว่า เมื่อเกิดการผิดพร่องที่ปลายสาย เฟสที่เกิดความผิดพร่องขึ้นนั้นจะมีแรงดันและกระแสลดเหลือเพียงครึ่งเดียวของระบบปกติ เช่นเดียวกับการเกิดการผิดพร่องที่กลางสาย ทำให้รีเลย์ป้องกันตรวจจับและตัดวงจรที่เกิดความผิดพร่องออกจากระบบได้

เมื่อทำการทดลองการตรวจสอบความผิดพร่องกับโหลดไม่สมดุลพบว่า รีเลย์ป้องกันจะตรวจจับกระแสได้น้อย เพราะระยะทางของสายส่งนั้น ส่งผลต่อความต้านทานทำให้กระแสไหลย้อนมาสู่ต้นสายน้อยลง ดังแสดงในค่าที่บันทึกได้

ตารางที่ 3 ผลการตรวจสอบเมื่อเกิดความผิดพร่องที่ปลายสาย

| ชนิดโหลด | เฟสผิดพลาด | $V_a$ | $V_b$ | $V_c$ | $I_a$ | $I_b$ | $I_c$ | $I_{PR}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| สมดุล | ค่าเริ่มต้น | 190 | 190 | 190 | 0.9 | 0.9 | 0.9 | 0.042 |
| | A-B | 95 | 95 | 190 | 0.45 | 0.45 | 0.9 | 0.528 |
| | A-C | 95 | 190 | 95 | 0.45 | 0.9 | 0.45 | 0.531 |
| | B-C | 190 | 95 | 95 | 0.9 | 0.45 | 0.45 | 0.520 |
| ไม่สมดุล | ค่าเริ่มต้น | 190 | 200 | 190 | 0.9 | 0.7 | 0.9 | 0.291 |
| | A-B | 95 | 100 | 190 | 0.45 | 0.35 | 0.9 | 0.350 |
| | A-C | 95 | 200 | 95 | 0.45 | 0.7 | 0.45 | 0.320 |
| | B-C | 190 | 100 | 95 | 0.9 | 0.35 | 0.45 | 0.341 |

## 5. สรุป

บทความนี้นำเสนอชุดตรวจจับความผิดพร่องแบบไลน์กับไลน์ในระบบสายส่งโดยการจำลองสายส่งด้วยตัวต้านทานแบบ Wire-wound ที่สามารถปรับค่าได้ ผลการทดสอบการตรวจข้อผิดพร่องที่เกิดขึ้น ณ ตำแหน่ง ต้นสาย กลางสาย และปลายสายส่งพบว่า ในกรณีการเกิดความผิดพร่องที่ช่วงต้นของสายส่งนั้น มีกระแสสูงมากทำให้รีเลย์สั่งการป้องกันอุปกรณ์ไม่ทันทำให้ฟิวส์ขาด ซึ่งทำให้ไม่สามารถทำการทดสอบได้ สำหรับในกรณีอื่น อุปกรณ์สามารถตรวจจับและป้องกันได้ สามารถบันทึกค่ากระแสก่อนที่รีเลย์จะทำงานได้ ซึ่งกระแสผิดพร่องดังกล่าว จะมีค่ามากหรือน้อยขึ้นอยู่กับภาระทางไฟฟ้าที่ต่อเพิ่มกับระบบ

## เอกสารอ้างอิง

[1] ประสิทธิ์ พิทยพัฒน์. 2545. การป้องกันระบบไฟฟ้า. กรุงเทพฯ : เอ็มแอนด์อี

[2] ชำนาญ ห่อเกียรติ. 2552. ระบบไฟฟ้ากำลัง. กรุงเทพฯ : คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

[3] E. L. Michelson, Larson, G. Noble “Line-to-Line Faults on A-C Network Feeders” Engineers for the Commonwealth Edison Company, Chicago. June 2009

[4] Myeon-Song Choi, Seung-Jae Lee, Seong-Il Lim, Duck-Su Le “A Direct Three-Phase Circuit Analysis-Based Fault Location for Line-to-Line Fault” Myongji University, Yongin. October 2007.

[5] M. Hagiwara, K. Wada, H. Fujita, and H. Akagi, "A 21-Level (Line-to-Line) BTB System Based on Series Connection of Sixteen Converter-Cells for Power Flow Control," in Conf. Rec. IEEE-IAS Annu. Meeting 2004, pp. 1432-1438.

**บทความวิจัย**
การประชุมวิชาการ งานวิจัยและพัฒนาเชิงประยุกต์ ครั้งที่ 8
*8th ECTI-CARD 2016, Hua Hin, Thailand*

# เครื่องตรวจสอบธนบัตรเปล่งเสียงได้สำหรับโรงเรียนสอนคนตาบอดภาคเหนือในพระบรมราชินูปถัมภ์ จังหวัดเชียงใหม่

# A Voice-Able Device of Checking Cash for the Northern School for the Blind under the Patronage of the Queen in Chiang Mai Province

**ยุพดี หัตถสิน[1], วัชรินทร์ ปรีดี[2], และ สามารถ อินซ้อน[3]**
[1,2,3]สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงใหม่
128 ถนนห้วยแก้ว ตำบลช้างเผือก อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ 50300 [1]โทรศัพท์ 085-1647683
[1]E-mail: UHT@rmutl.ac.th [2]E-mail: j-je@windowslive.com [3]E-mail: night_1002@hotmail.com

## บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอการออกแบบและสร้างเครื่องตรวจสอบธนบัตรเปล่งเสียงได้สำหรับผู้บกพร่องทางการเห็น ซึ่งมักเป็นปัญหาเสมอกรณีของการแยกชนิดธนบัตร โดยปกติการตรวจสอบธนบัตรจะใช้หลักการสัมผัสด้วยมือเพื่อรับรู้ว่าธนบัตรนี้มีราคาเท่าไหร่ ดังนั้นช่วยเหลือให้ผู้บกพร่องทางการเห็นเกิดความมั่นใจมากขึ้นในการแยกชนิดธนบัตร จึงมีการออกแบบโดยใช้เซนเซอร์อินฟราเรดเป็นตัวตรวจวัดชนิดของธนบัตร แล้วทำการประมวลผลค่าที่ได้ผ่านการควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ แล้วทำการเปล่งเสียงให้ผู้ใช้งานได้รู้ชนิดของธนบัตร ซึ่งการทดสอบงานวิจัยนี้แบ่งเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกได้ทำการทดสอบกับผู้ที่มีสายตาปกติจำนวน 34 คน ซึ่งจากผลประเมินสรุปคะแนนตามหัวข้อหลักได้ดังนี้ 1)การออกแบบ 77.4%, 2)ความแม่นยำ 79.04%, 3)ด้านเสียง 70.58%, 4)ความสะดวกในการใช้งาน 76.22%, 5) ราคา 75% และในส่วนที่สองได้ทำการทดสอบกับผู้พิการสายตาจำนวน 11 คน ซึ่งจากผลประเมินสรุปคะแนนตามหัวข้อหลักได้ดังนี้ 1) การออกแบบ 78.89%, 2) ความแม่นยำ 88.63%, 3)ด้านเสียง 72.72%, 4)ความสะดวกในการใช้งาน 71.21, % 5)ราคา 72.72% ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ดีถึงดีมาก

คำสำคัญ: ผู้บกพร่องทางการมองเห็น, เครื่องตรวจสอบธนบัตร, การสัมผัส, โรงเรียนสอนคนตาบอด

## Abstract

The study was searched and talked to teachers who care learning. Teaching for the visually impaired. The school for the blind in the Middle East region. Chiang Mai Province The problem of separation of banknotes of the visually impaired. Notes that the regular monitoring of the visually impaired. It uses touches by hand to make sure that this bill has so much an idea to make a note to check voice for the visually impaired. The infrared sensor is a measure of the notes. Then, the process has been controlled by the microcontroller, then voiced a user to know the kind of banknotes. The test is divided into two parts, the first tests were conducted with people who have normal vision, which is based on the valuation of 34 people : 1. Design 77.4% 2. Accuracy 79.04% 3. Voice 70.58% 4. Ease of use 76.22% 5.Price 75% and in the second test with the visually challenged 11 people of which resulted from the valuation criteria as follows : 1. Design 78.89% 2. Accuracy 88.63% 3. Voice 72.72% 4. Ease of use 71.21% 5. Price 72.72%

Keywords: The visually impaired, Cash-checking device, Touching, The blind school

## 1. บทนำ

จากอดีตถึงถึงปัจจุบันไม่ว่าจะเดินทางไปทุกแห่งหนหรือจะอยู่ที่ใดก็ตาม ทุกสิ่งทุกอย่างล้วนแล้วแต่ต้องมีเงินเข้ามาเกี่ยวข้อง ไม่ว่าจะเป็นเหรียญหรือธนบัตร อาจกล่าวได้ว่าเงินคือปัจจัยอันดับแรกที่ทุกๆคนต้องมีและพกติดตัวอยู่ตลอดเวลา แต่จะมีเพียงบุคคลหรือกลุ่มคนผู้พิการทางสายตาที่ไม่สามารถรับรู้ได้เลยว่าเงินหน้าตาเป็นอย่างไร ดังนั้นจึงต้องมีตัวช่วยในการรับรู้ว่านี่คือเงิน ซึ่งตัวช่วยดังกล่าวจะใช้เพื่อตรวจสอบธนบัตรอย่างเดียว เพราะเงินเหรียญนั้นก็ยังสามารถที่จะพอแยกแยะออกได้ จากการคลำสัมผัสขนาดที่ไม่เท่ากัน ในขณะที่ธนบัตรนั้นสามารถแยกแยะออกได้ยากมาก และค่าเงินของธนบัตรก็จะมีราคาที่ไม่เท่ากัน ซึ่งธนบัตรไทยมีราคาอยู่ที่ 20 บาท 50 บาท 100 บาท 500 บาท และ 1000 บาท การตรวจสอบธนบัตรของผู้พิการทางสายตาจะใช้หลักการสัมผัสด้วยมือเพื่อรับรู้ว่าธนบัตรนี้มีราคาเท่าไหร่ แต่ก็มีส่วนน้อยที่จะตอบได้ถูกต้อง และมีอีกหนึ่งวิธีที่ตรวจสอบมูลค่าธนบัตรได้ด้วยความยาวเนื่องจากแต่ละธนบัตรจะมีขนาดความยาวที่ไม่เท่ากัน ในขณะที่มีความ

กว้างเท่ากัน จึงทำให้ผู้พิการทางสายตารับรู้ได้ยากว่าธนบัตรนั้นเป็นธนบัตรที่มีราคาเท่าไหร่

ดังนั้นจึงทำให้กลุ่มผู้วิจัยเกิดมีแนวคิดเพื่อออกแบบและสร้างเครื่องตรวจสอบธนบัตรสำหรับผู้พิการทางสายตาเพื่อให้นักเรียนผู้พิการทางสายตาที่โรงเรียนสอนคนตาบอดสามารถเรียนรู้เรื่องธนบัตร มีความสะดวก สามารถดำรงชีวิตประจำวันได้เช่นบุคคลอื่น และสามารถพกพาเครื่องตรวจสอบธนบัตรไปใช้ในชีวิตประจำวันได้

## 2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

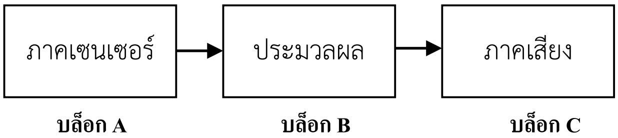
งานวิจัยออมสินไฮเทค[1] ซึ่งได้การสร้างระบบสมองกลขึ้นมาโดยใช้เซนเซอร์อินฟราเรดแบบสองทางจำนวน 5 ตัว เป็นตัวตรวจสอบชนิดของธนบัตร มีการใช้หลักการวัดความยาวของธนบัตรแล้วใช้ไมโครคอนโทลเลอร์ในการประมวลผล แล้วนำข้อมูลที่ได้ไปเทียบกับค่าอ้างอิง แล้วจึงระบุว่าเป็นธนบัตรชนิดไหนต่อไป แต่ไม่ได้ออกแบบเพื่อจุดประสงค์ให้ผู้พิการทางสายตาได้ใช้งาน

การตรวจจับวัตถุกีดขวางด้วยเซนเซอร์แสงอินฟราเรด เซนเซอร์แสงอินฟราเรด[2] เป็นอุปกรณ์หนึ่งที่สามารถนำมาใช้ในการวัดระยะห่าง หรือตรวจจับวัตถุกีดขวางได้ อุปกรณ์แต่ละตัวก็มีคุณสมบัติแตกต่างกันไป เช่น ช่วงระยะในการวัด ช่วงของระดับแรงดันเอาต์พุต ส่วน Reflective Optical Sensor[3] เป็น อุปกรณ์ที่นำโฟโต้ทรานซิส เตอร์หรือโฟโต้ไดโอดมารวมกับ LED อินฟราเรด เพื่อใช้ในการตรวจจับการสะท้อนแสง หรือระยะความใกล้ของวัตถุ หลักการคือเมื่อมีแสงไปตกกระทบกับวัตถุใดๆ วัตถุนั้นจะสะท้อนแสงกลับมาที่โฟโต้ไดโอด

## 3. การดำเนินงานวิจัย

### 3.1 การออกแบบกรอบความคิด

กรอบความคิดถูกออกแบบเป็นบล็อกไดอะแกรมดังในรูปที่ 1 ซึ่งแต่ละบล็อกสามารถอธิบายได้ดังนี้




**รูปที่ 1** กรอบความคิดการออกแบบระบบ

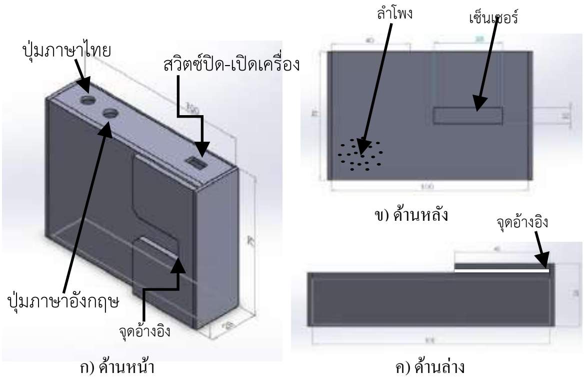
**บล็อก A**: เป็นภาครับค่าแสง โดยใช้เซนเซอร์อินฟราเรดในการตรวจจับวัตถุแล้วส่งไปยัง ภาคประมวลผล

**บล็อก B**: เป็นภาคประมวลผล โดยรับค่าที่อ่านได้จากเซนเซอร์อินฟราเรด นำมาประมวลผล และทำการเปรียบเทียบกับข้อมูลอ้างอิงของโปรแกรม แล้วส่งผลลัพธ์ที่ได้ออกทางภาคเสียง

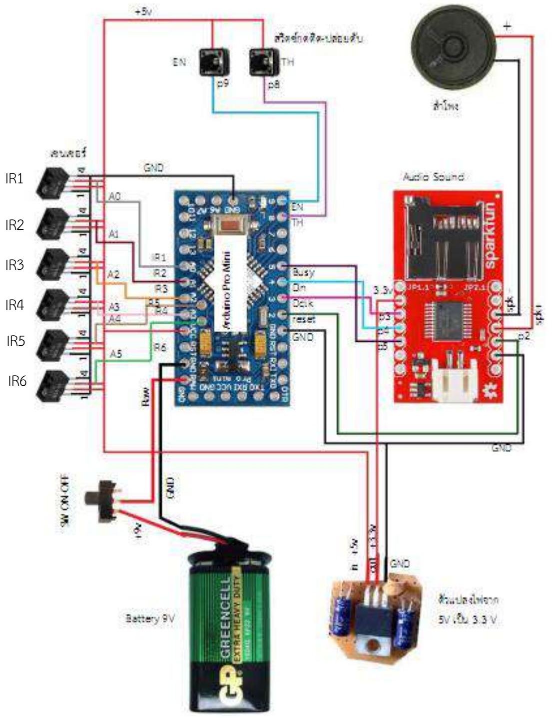
**บล็อก C**: เป็นภาคเสียง ซึ่งประกอบด้วยส่วนของ MP3 โมดูลและภาคขยายเสียง ทำหน้าที่เปล่งเสียงแจ้งให้ผู้ใช้ได้ทราบถึงชนิดของธนบัตรเป็นเสียงพูดภาษาไทยและหรือภาษาอังกฤษ ผ่านทางลำโพง

### 3.2 การออกแบบส่วนประกอบทางด้านฮาร์ดแวร์

รูปที่ 2 แสดงลักษณะแบบร่างกล่องของเครื่องตรวจสอบธนบัตรเปล่งเสียงได้ โดยรูปที่ 2.ก) คือด้านหน้าเป็นตำแหน่งที่มีจุดอ้างอิงธนบัตร ส่วนรูปที่ 2.ข) คือด้านหลังเป็นที่ติดตั้งลำโพงและตำแหน่งเซนเซอร์อินฟราเรด ส่วนรูปที่ 2.ค) คือด้านล่างซึ่งเป็นฐานที่สามารถมองลอดเห็นช่องว่างของจุดอ้างอิงได้




**รูปที่ 2** แบบร่างของเครื่องตรวจสอบธนบัตรเปล่งเสียงได้




**รูปที่ 3** การเชื่อมต่ออุปกรณ์ของเครื่องตรวจสอบธนบัตรเปล่งเสียงได้

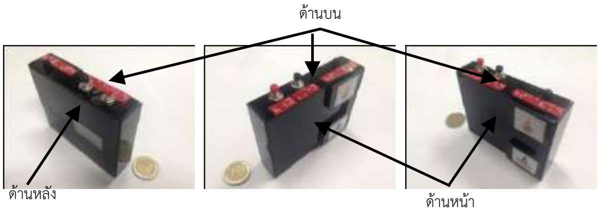
จากรูปที่ 3 เป็นการเชื่อมต่ออุปกรณ์ของโมเดลเครื่องตรวจสอบธนบัตรเปล่งเสียงได้ โดยเริ่มจากแหล่งจ่ายไฟ 9โวลท์ดีซี ผ่านสวิตซ์เลื่อน เปิด-ปิด เมื่อเลื่อนสวิตซ์ปิดวงจร แหล่งจ่ายไฟฟ้าจะจ่ายไฟให้กับขา Raw ของ Arduino เบอร์ 328 บนบอร์ด Arduino จะมาขาไฟบวก 5v นำไปต่อเข้ากับตัวแปลงแรงดันไฟฟ้า จาก 5vdc เป็น 3.3vdc เพื่อใช้เป็นแหล่งจ่ายให้กับโมดูลเสียง Sparkfun Audio จากนั้นเมื่อ Ardunio จะรอรับค่าจากเซนเซอร์ โดยเซนเซอร์ตัวที่ 1(IR1) คือ 20บาท ตัวที่ 2(IR2) คือ 50 บาท ตัวที่ 3(IR3) คือ 100 บาท ตัวที่ 4(IR4) คือ 500 บาท ตัวที่ 5(IR5) คือ 1000 บาท ตัวที่ 6(IR6) คือ เกิดข้อผิดพลาด ต่อมาทำการกดสวิตซ์ภาษา(TH/EN) ซึ่งเป็นสวิตซ์แบบกดติดปล่อยดับ ต่ออยู่กับขา8 และขา9 เพื่อให้ Arduino สั่งงานให้ภาคเสียง(Audio Sound) ส่งเสียงออกทางลำโพง ให้ผู้ใช้ทราบชนิดของธนบัตร ส่วนการต่อทดลองวงจรจริงและการเชื่อมต่ออุปกรณ์พร้อมประกอบลงกล่องแสดงได้ในรูปที่ 4 ส่วนรูปที่ 5 เป็นภาพองค์รวมของชิ้นงานที่เสร็จสมบูรณ์ และรูปที่ 6 เป็นมุมมองหลายมุมของอุปกรณ์ที่นำเสนอ

**รูปที่ 4** การต่อทดลองและประกอบลงกล่อง

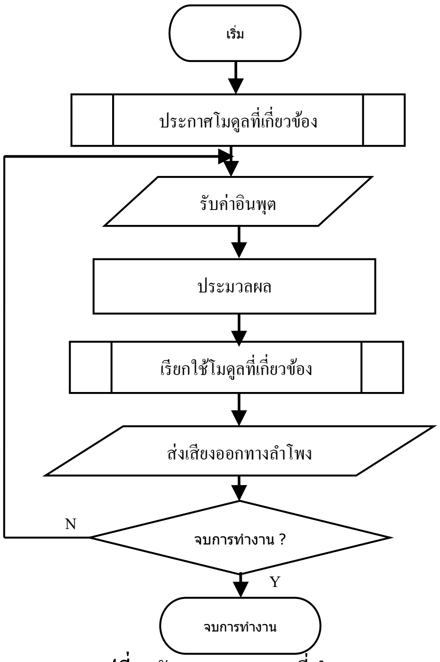
**รูปที่ 5** เครื่องตรวจสอบธนบัตรเปล่งเสียงได้ ด้านบนในมุม 45 องศา

## 3.3 การออกแบบส่วนประกอบทางด้านซอฟต์แวร์

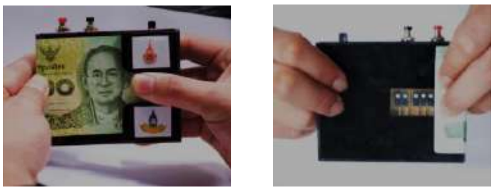
การออกแบบซอฟต์แวร์สามารถแสดงผังงานได้ในรูปที่ 7 ซึ่งเขียนด้วยภาษาซี โดยการทำงานของระบบของเครื่องตรวจสอบธนบัตรเปล่งเสียงได้ เริ่มต้นจากการประกาศตัวแปรที่ใช้ในโปรแกรม รวมถึงการเรียกใช้ไลบรารี่ที่จำเป็น ต่อมาทำการรับค่าจากเซนเซอร์อินฟราเรด นำค่าที่ได้รับมาประมวลผลเปรียบเทียบค่าในโปรแกรมว่าตรงกับเงื่อนไขไหน เพื่อตรวจสอบว่าเป็นธนบัตรชนิดอะไร เมื่อผู้ใช้ทำการกดปุ่มเสียง (TH/EN) จะเรียกใช้โมดูลเสียงให้ทำการเรียกไฟล์เสียง อ้างอิงชื่อไฟล์เสียงจากค่าที่ได้ และการเปล่งเสียงออกทางลำโพงให้ผู้ใช้ได้ทราบชนิดของธนบัตรนั้น




**รูปที่ 6** ในมุมมองต่างๆของเครื่องตรวจสอบธนบัตรเปล่งเสียงได้




**รูปที่ 7** ผังงานของระบบที่นำเสนอ



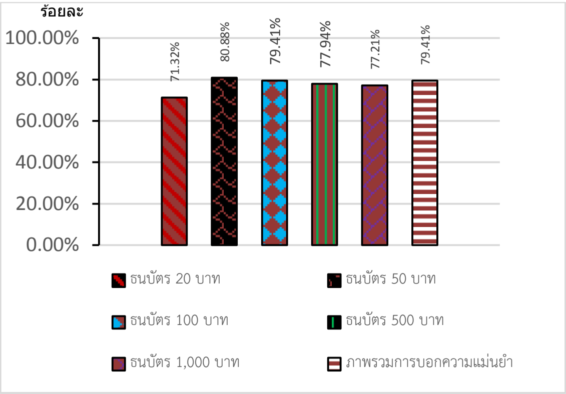
ก) ตำแหน่งคลำด้านหน้า ข) ตำแหน่งคลำด้านหลัง

**รูปที่ 8** การจัดวางธนบัตรด้านหน้าและด้านหลัง

## 4. ผลการทดลอง

ก่อนการทดสองต้องสาธิตวิธีใช้งานเครื่องโดยแสดงได้ในรูปที่ 8 และมีการออกแบบใบประเมินเพื่อตรวจสอบความแม่นยำของระบบสำหรับให้กลุ่มผู้มีสายตาปกติจำนวน 34 คนทำการทดสอบใช้งานจริง โดยในการทดสอบนี้ จะต้องปิดตาผู้ทดสอบก่อนทำการทดสอบในรอบแรก ส่วนรอบที่สองจึงอนุญาตให้เปิดตาเพื่อทำการทดสอบความแม่นยำ

ซึ่งผลการทดสอบแสดงเป็นแผนภูมิได้ดังรูปที่ 9 โดยผลการประเมินเมื่อนำมาหาค่าเฉลี่ยทางสถิติ แล้วทำหน่วยให้อยู่ในเปอร์เซ็นต์ จะได้เกณฑ์คะแนนอยู่ระหว่างดีจนถึงดีมากสำหรับธนบัตรไทยทุกชนิด



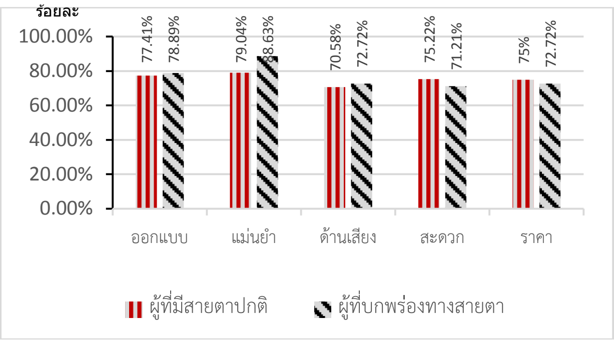

**รูปที่ 9** ผลการประเมินการวัดความแม่นยำจากผู้มีสายตาปกติ

ก) ผู้มีสายตาปกติ ข) ผู้บกพร่องทางการมองเห็น

**รูปที่ 10** บรรยากาศการทดสอบผู้ที่มีสายตาปกติและผู้พิการทางสายตา

จากนั้นจึงออกแบบใบประเมินในประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องตรวจสอบธนบัตร เพื่อนำไปใช้กับกลุ่มบุคคล 2 กลุ่มคือ 1) กลุ่มผู้มีสายตาปกติ 34 คนซึ่งเป็นนักศึกษาในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงใหม่ และ 2) กลุ่มนักเรียนผู้บกพร่องทางการมองเห็น 11 คนที่โรงเรียนสอนคนตาบอดภาคเหนือในพระบรมราชินูปถัมภ์ จังหวัดเชียงใหม่ โดยบรรยากาศการประเมินแสดงได้ดังรูปที่ 10 ส่วนหัวข้อประเมินประกอบไปด้วย 1)การออกแบบ 2)ความแม่นยำ 3) ความสามารถทางด้านเสียง 4)ความสะดวกในการใช้งาน และ 5)ราคา

ผลการประเมินเมื่อนำมาหาค่าเฉลี่ยทางสถิติ แล้วแสดงดังรูปที่ 11 ซึ่งผลเปรียบเทียบการประเมินทำให้ได้ทราบว่า กรณีการออกแบบมีผลใกล้เคียงกันหมายความว่ามีความเห็นใกล้เคียงกัน กรณีความแม่นยำผู้บกพร่องทางการเห็นให้คะแนนมากกว่าหมายความว่าเครื่องตรวจสอบธนบัตรมีความแม่นยำซึ่งต่างจากผู้ที่มีสาตตาปกติที่มีความคิดแบบตรงข้าม กรณีด้านเสียงผู้บกพร่องทางสายตามีความพึงพอใจมากกว่า กรณีความสะดวกใช้งานผู้มีสายตาปกติให้คะแนนมากกว่าหมายความว่าไม่ต้องระมัดระวังมากขณะใช้งาน กรณีราคาผู้มีสายตาปกติให้คะแนนมากกว่าเนื่องจากเห็นราคาที่สมเหตุสมผล




**รูปที่ 11** ผลการประเมินโดยภาพรวมของผู้ทดสอบทั้งสองกลุ่ม

## 4. สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้จัดทำขึ้นโดยมีจุดประสงค์ให้เป็นสื่อการเรียนรู้ทางเสียงและช่วยให้นักเรียนผู้พิการทางสายตา ได้เรียนรู้เกี่ยวกับชนิดธนบัตร สามารถรับรู้ชนิดของธนบัตรได้ด้วยตัวเอง ซึ่งเครื่องตรวจสอบธนบัตรสามารถบอกชนิดของธนบัตรไทยที่มีใช้งานอยู่จริง โดยมีการคำนึงถึงประโยชน์ที่ผู้ใช้งานจะได้รับ จึงออกแบบตัวเครื่องให้มีขนาดพอเหมาะสะดวกในการพกพา มีราคาที่ถูกและสามารถช่วยผู้พิการทางสายตาแยกชนิดของธนบัตรได้ การทดสอบเครื่องตรวจสอบธนบัตรกับผู้มีสายตาปกติและผู้ที่พิการทางสายตา ผลปรากฏว่าประสิทธิภาพของงานวิจัยอยู่ในระดับที่ดีถึงดีมาก

## 5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณอาจารย์ศิริพร วงศ์รุจิไพโรจน์และคณะ จากโรงเรียนสอนคนตาบอดภาคเหนือในพระบรมราชินูปถัมภ์ จังหวัดเชียงใหม่ ที่ได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆ ขอขอบคุณทุนวิจัยในโครงการ HRS2015 ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงใหม่ ที่ให้การสนับสนุนทุนวิจัย

## เอกสารอ้างอิง

[1] พัชราภรณ์ พูลสวัสดิ์ และ มนชยา อุดสอน. “ATM”. [ออนไลน์]. http://robot.learninginventions.org/?page_id=137. 20 พย.57

[2] Embedded Space. “การตรวจจับวัตถุกีดขวางด้วยเซนเซอร์แสงอินฟราเรด”.[ออนไลน์]. http://cpre.kmutnb.ac.th/ esl/learning /index.php?article=ir- proximity-sensor2y0a02. 12 ธค.57.

[3] Sonthaya Nongnuch. “เซ็นเซอร์แสง (Optical Sensor)”. [ออนไลน] http://www.elec za.com/เซ็นเซอร์ แสง-optical-sensor. 20 พย. 57

**บทความวิจัย**

การประชุมวิชาการ งานวิจัยและพัฒนาเชิงประยุกต์ ครั้งที่ 8

*8th ECTI-CARD 2016, Hua Hin, Thailand*

# เครื่องไล่กระรอกด้วยคลื่นความถี่อัลตร้าโซนิค

# Squirrel Infestations Preventer via Ultrasonic wave

**ณัฐพงศ์ พันธุนะ สมเกียรติ ทองแก้ว ภวินท์ ลำพูน นุตร สายพันธุ์กุล และ ณัฐพล พึ่งพูลผล**

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

1381 ถนนพิบูลสงคราม แขวงบางซื่อ เขตบางซื่อ กรุงเทพฯ 10800 โทรศัพท์ 02-836-3000 ต่อ 4150

E-mail: nattapong.p@rmutp.ac.th

## บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอการออกแบบและสร้างอุปกรณ์ที่ใช้ในการไล่กระรอกเพื่อช่วยลดความเสียหายจากการที่กระรอกเข้ามากัดกินผลผลิตของชาวสวน วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อเสนอการออกแบบและสร้างเครื่องไล่กระรอกด้วยคลื่นความถี่อัลตร้าโซนิค (Swappable Ultrasonic Sound Generator) โดยจะใช้คลื่นความถี่อัลตร้าโซนิค ในช่วงความถี่ 20 กิโลเฮิรตซ์ -60 กิโลเฮิรตซ์ โดยภายในวงจรจะประกอบไปด้วยสไลด์สวิชซ์ (Slide switch) สำหรับเลือกโหมดการทำงานไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) เพื่อสร้างคลื่นความถี่เสียงอัลตร้าโซนิค ส่งไปขับเปียโซอิเลคทริคที่ใช้สาหรับกระจายสัญญาณคลื่นความถี่และมีเซเว่นเซ็กเมนต์ (Seven segment) เป็นตัวแสดงโหมดการทำงาน จากการทดสอบปรากฏว่าเครื่องไล่กระรอกด้วยคลื่นความถี่เสียงอัลตร้าโซนิคสามารถสร้างคลื่นความถี่เสียงในช่วง 20-60 กิโลเฮิรตซ์และสามารถไล่กระรอกได้ในรัศมีไกล 28 ตารางเมตร

## Abstract

This research develops the sweepable squirrel equipment by using microcontroller incorporating with ultrasonic sound module (uses frequency between 20 kHz - 60 kHz). It is Known that the squirrels can cause the problem in the garden especially seed, seedling, plant. And therefore the microcontrollers generate ultrasonic sound and drives ultrasonic transponders. Piezoelectric is used to spread ultrasonic sound and seven segments is show the operating mode. The equipment also has a slide switch for enter function, which is sweepable small animals (uses frequency between 20 kHz - 60 kHz). The results of the experiment of this equipment can generate ultrasonic sound between 20 kHz - 60 kHz and can chase squirrels within a distance of up to long 28 sq.m.

**Keywords**: squirrel, infestations, ultrasonic wave

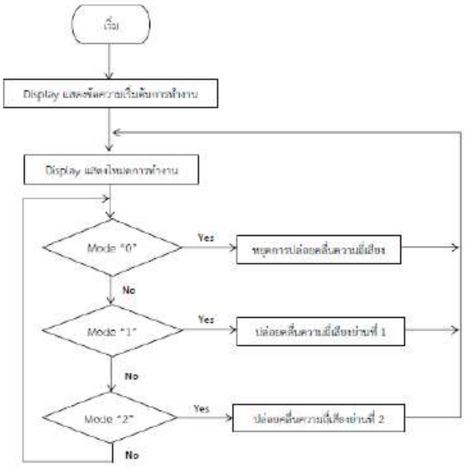
## 1. หลักการและเหตุผล

จากอดีตจนถึงปัจจุบันเกษตรกรไทยนิยมทำสวนผลไม้เป็นอาชีพหลักในการสร้างได้ แต่ต้องพบกับปัญหาของการรุกรานของสัตว์อื่น เช่น กระรอกที่เข้ามากัดกินผลไม้ในสวนอยู่เป็นประจำ ทำให้เกิดความเสียหายแก่ผลผลิตเป็นอย่างมาก ในการแก้ปัญหาในการกำจัดกระรอกเหล่านี้ จึงจำเป็นที่จะต้องมีการกำจัดโดยไม่ให้เกิดผลเสียแก่ระบบนิเวศและสิ่งแวดล้อมด้วยคลื่นอัลตร้าโซนิค หรือคลื่นเหนือเสียง (Ultrasonic wave) ซึ่งหมายถึง คลื่นเสียงที่มีความถี่สูงเกินกว่าที่หูของมนุษย์จะได้ยินโดยมีความถี่สูงถึง 20 KHz แต่โดยปกติหูของมนุษย์จะสามารถได้ยินเสียงสูงสุดได้แค่ประมาณ 15 KHz ดังนั้น คลื่นอัลตร้าโซนิค จึงถูกนำมาใช้สำหรับการสร้างคลื่นเสียงไล่กระรอก หรือสัตว์ต่างๆ ได้ งานวิจัยนี้จึงได้ค้นคว้าข้อมูล และทำการพัฒนา จนกระทั่งได้เป็นเครื่องไล่กระรอก หรือ “เครื่องไล่กระรอกด้วยคลื่นความถี่อัลตร้าโซนิค” โดยเครื่องนี้สามารถส่งคลื่นความถี่สูงรบกวนต่อระบบประสาทของกระรอก ซึ่งจะทำให้กระรอกที่อยู่ในบริเวณของรัศมีคลื่นนั้น ไม่สามารถอยู่ในบริเวณนั้นได้

## 2.ขั้นตอนการออกแบบและสร้าง

### 2.1 การออกแบบการทำงานของเครื่องไล่กระรอกด้วยคลื่นความถี่เสียงอัลตร้าโซนิค

ขั้นตอนการทางานของเครื่องไล่กระรอกด้วยคลื่นความถี่เสียงอัลตร้าโซนิค สามารถเขียนเป็นแผนภาพดังแสดงในรูปที่ 1




รูปที่ 1 โฟลว์ชาตขั้นตอนการทำงานของเครื่องไล่กระรอกด้วยคลื่นความถี่เสียงอัลตร้าโซนิค

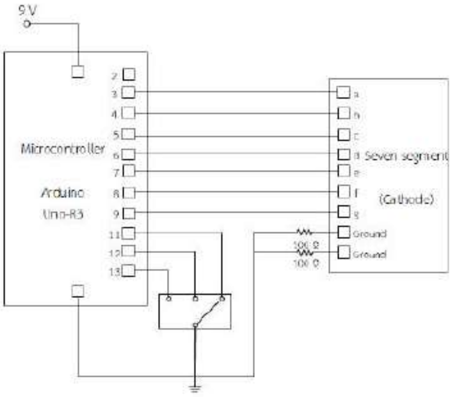
ไมโครคอนโทรลเลอร์เมื่อเริ่มต้นการทำงาน จะจ่ายแรงดันกระแสตรงไปยังพอร์ตหนึ่งของตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ จากนั้นจะมีการแสดงข้อความการทำงานเป็นตัวอักษรขึ้นมาทีละตัว และจะหน่วงเวลาไว้ที่ 250 m/s ต่อ 1 ตัวอักษร โดยจะแสดงคำว่า “SELECT” เพื่อเข้าสู่การเลือกโหมดการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ ดังตารางที่ 1. ซึ่งโหมดการทำงานนั้นแบ่งได้ 3 โหมด คือ 1.โหมด หยุดการทำงาน “0” เพื่อใช้หยุดการปล่อยคลื่นความถี่เสียง 2. โหมดหนึ่งและสองเพื่อใช้สำหรับการปล่อยคลื่นความถี่ “1”

ตารางที่ 1 ตำแหน่งติดดับของเซเว่นเซ็กเมนต์ (7-Segment)

| Position | Logic | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | “S” | “E” | “L” | “E” | “C” | “T” |
| a | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| b | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| c | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| d | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| e | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| f | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| g | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 |

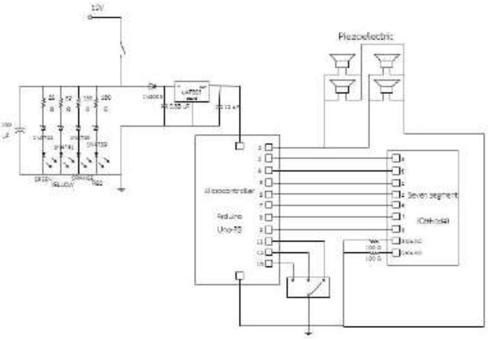
1 = HIGH, 0 = LOW

สำหรับปล่อยคลื่นความถี่เสียงอัลตร้าโซนิคโดยใช้สไลด์สวิตซ์แบบ 3 ทางเลือกเป็นตัวเลือกซึ่งสไลด์สวิตซ์โหมด “0” จะเชื่อมต่ออยู่กับพอร์ต 11 ของไมโทรคอนโทรลเลอร์สวิตซ์โหมด “1” เชื่อมต่ออยู่กับพอร์ต 12 ของไมโครคอนโทรลเลอร์และสวิตซ์โหมด “2” เชื่อมต่ออยู่กับพอร์ต 13 ของไมโครคอนโทรลเลอร์ดังแสดงในรูป 2

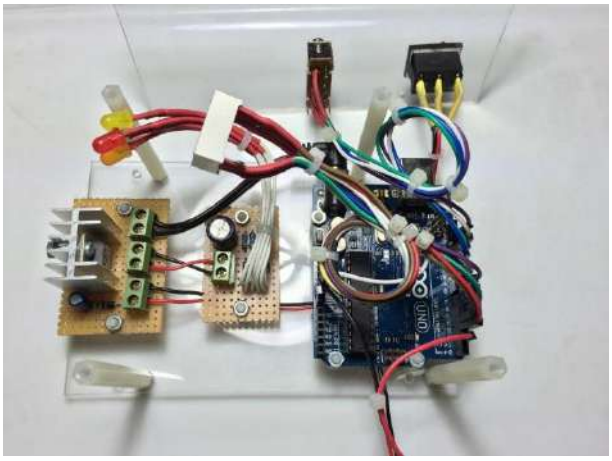



รูปที่ 2 การต่อสไลด์สวิตซ์และเซเว่นเซ็กเมนต์เข้ากับบอร์ด

## 2.2 การออกแบบวงจรของเครื่องไล่กระรอกด้วย คลื่นอัลตร้าโซนิค

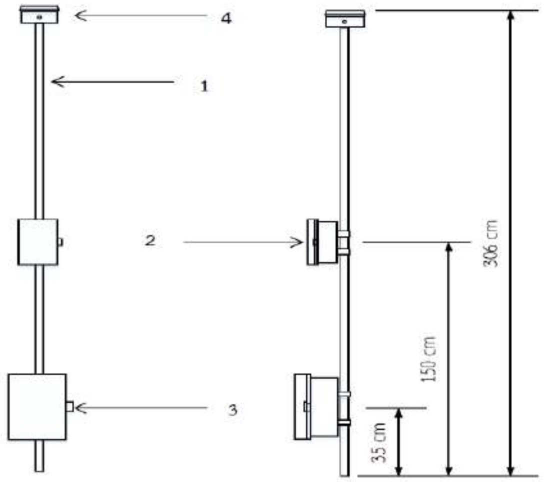



รูป 3 วงจรเครื่องไล่กระรอกด้วยคลื่นความถี่เสียงอัลตร้าโซนิค



รูปที่ 4 วงจรเครื่องไล่กระรอกด้วยคลื่นความถี่เสียงอัลตร้าโซนิค

### 2.3 การออกแบบเสาสำหรับติดเครื่องไล่กระรอกด้วยคลื่นความถี่เสียงอัลตร้าโซนิค



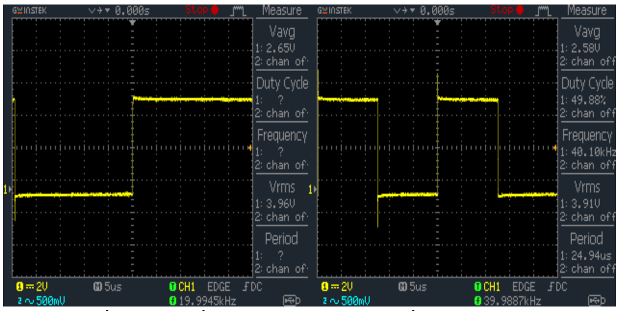

รูปที่ 5 โครงสร้างเครื่องไล่กระรอกด้วยคลื่นความถี่เสียงอัลตร้าโซนิค

ความสูงของเสาที่ติดตั้งอุปกรณ์เครื่องไล่กระรอกมีความสูง 306 เซนติเมตร (1) โดยติดตั้งอุปกรณ์กำเนิดเสียงตรงตำแหน่งที่ (2) ส่วนชุดแหล่งพลังงานติดตั้งบริเวณโคนเสาตำแหน่ง (3) สูงจากพื้น 35 เซนติเมตร

## 3. วิธีการทดสอบ

### 3.1 สัญญาณที่ได้จากไมโครคอนโทรลเลอร์ในโหมดการทำงานที่ 1 และ โหมดการทำงานที่ 2

เมื่อไมโครคอนโทรลเลอร์เลือกโหมดการทำงานที่ 1 จะสั่งเซเว่นเซ็กเมนต์แสดงตัวเลข 1จากนั้นจะสร้างคลื่นความถี่เสียงอัลตร้าโซนิคในช่วงความถี่ตั้งแต่ 40-60 KHz . ส่วนการเลือกโหมดการทำงานที่2 จะสร้างคลื่นความถี่ในช่วงความถี่ 20-60 KHz ซึ่งจะยกตัวอย่าง กราฟความถี่ที่ไมโครคอนโทรลเลอร์สร้างขึ้นในช่วงความถี่ 20KHz และ 40 HZ ดังรูปที่ 6

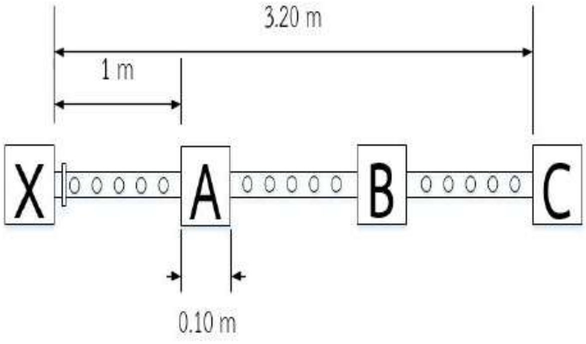



รูปที่ 6 ความถี่ 20KHz (ขวา) , ความถี่ 40 KHz (ซ้าย)

### 3.2 การทดสอบระยะการทำงาน

เริ่มการทดสอบจากปล่อยกระรอกจากจุด X ดังรูปที่ 8 แล้วปล่อยคลื่นความถี่เสียงอัลตร้าโซนิค โดยขณะที่เอาที่กั้นออกนาน 15นาที แล้วค่อยเปิดที่กั้นออกทิ้งไว้ 30 นาที จากนั้นในดูตำแหน่งของกระรอกว่าอยู่ในตำแหน่งไหนแล้วทำการบันทึกผล

รูปที่ 7 อุปกรณ์การทดสอบระยะการทำงาน



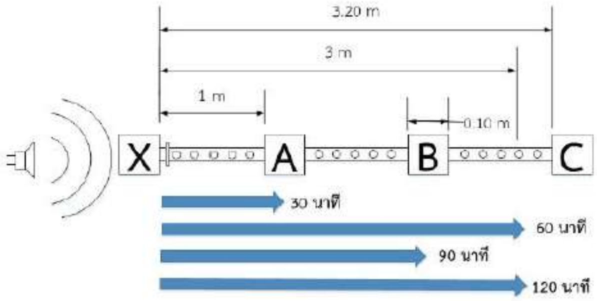

รูปที่ 8 แบบอุปกรณ์การทดสอบระยะการทำงาน

## 4. ผลการทดลอง

พบว่าระยะเวลาที่ปล่อยคลื่นรบกวน หลังจากผ่าน 5 นาทีแรกในขณะที่ไม่เอาที่กั้นออก พบว่ากระรอกมีความกระวนกระวาย จึงได้ตัดสินใจเอาที่กั้นออกและเริ่มทดสอบระยะการทำงานทันที และหลักจากที่ทำการเปิดที่กั้นแล้ว พบว่า 30 นาทีแรก กระรอกอยู่ในตำแหน่ง A แต่เมื่อผ่าน 60 นาทีไป กระรอกจะอยู่ในตำแหน่ง B-C

ตารางที่ 2 ตารางผลการทดสอบระยะการทำงาน

| เวลา (นาที) | ตำแหน่ง |
|---|---|
| 5 | X (กั้น) |
| 30 | A |
| 60 | B – C |
| 90 | B |
| 120 | B - C |



รูปที่ 9 ตำแหน่งและระยะที่กระรอกอยู่

จากรูปที่ 9 พบว่าระยะที่กระรอกจะอยู่เป็นส่วนใหญ่จะอยู่ในตำแหน่ง B – C โดยมีระยะห่างกันประมาณ 3 เมตร สามารถนำคิดคำนวณเป็นพื้นที่ได้ประมาณ 28 ตร.ม ทำให้เราทราบว่าเครื่องไล่กระรอกด้วยคลื่นความถี่เสียงอัลตร้าโซนิค สามารถสร้างรัศมีการทำงานที่ผลต่อกระรอกได้จริง

## 5. สรุป

การทดลองใช้เครื่องไล่กระรอกด้วยคลื่นความถี่อัลตร้าโซนิค โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ในการสร้างคลื่นความถี่เสียงอัลตร้าโซนิค ปรากฏว่าไมโครคอนโทรลเลอร์จะสามารถปล่อยคลื่นความถี่เสียงอัลตร้าโซนิคได้จริง และ เมื่อทดสอบหาระยะการทำงานปรากฏว่า สามารถส่งคลื่นไล่กระรอกได้ โดยมีรัศมีพื้นที่การทำงานอยู่ที่ประมาณ 28 ตร.ม.

## เอกสารอ้างอิง

[1] V. Herold, M. Parczyk, P. Mörchel, C. H. Ziener, G. Klug, W. R. Bauer, E. Rommel, and P. M. Jakob, "In vivo measurement of local aortic pulse-wave velocity in mice with MR microscopy at 17.6 Tesla," *Magnetic resonance in medicine,* vol. 61, pp. 1293-1299, 2009.

[2] X. Zhao, R. Pratt, and J. Wansapura, "Quantification of aortic compliance in mice using radial phase contrast MRI," *J Magnetic Resonance Imaging,* vol. 30, pp. 286-291, 2009.

[3] C. Yeh, S. Hu, K. Maslov, and L. V. Wang, "Photoacoustic microscopy of blood pulse wave," *J Biomedical Optics,* vol. 17, 2012.

[4] A. K. Reddy, S. Madala, A. D. Jones, W. A. Caro, J. F. Eberth, T. T. Pham, G. E. Taffet, and C. J. Hartley, "Multichannel pulsed Doppler signal processing for vascular measurements in mice," *Ultrasound Med. Biol.,* vol. 35, pp. 2042-2054, 2009.

[5] R. Williams, A. Needles, E. Cherin, Y.-Q. Zhou, R. M. Henkelman, S. L. Adamson, and F. S. Foster, "Noninvasive Ultrasonic Measurement of Regional and Local Pulse-Wave Velocity in Mice," *Ultrasound Med. Biol.,* vol. 33, pp. 1368-1375, 2007.

**บทความวิจัย**
การประชุมวิชาการ งานวิจัยและพัฒนาเชิงประยุกต์ ครั้งที่ ๘
*8th ECTI-CARD 2016, Hua Hin, Thailand*

# ระบบสารสนเทศข้อมูลพันธุ์ไม้

# Flora Information System

**มโนเธียร อยู่ยรรยง[1] , นนท์ เขียวหวาน[1] , มานพ ผู้พัฒน์[2] , ศวิตา อยู่ประเสริฐ[2] , ปรีชา การะเกตุ[2] , อนันต์ ผลเพิ่ม[1] , ชัยพร ใจแก้ว[1] และ อภิรักษ์ จันทร์สร้าง[1]***

[1]ห้องปฏิบัติการวิจัยเครือข่ายไร้สาย ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

[2]สำนักงานหอพรรณไม้ สำนักวิจัยการอนุรักษ์ป่าไม้และพันธุ์พืช กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช

E-mail: manotien@gmail.com, nont62@gmail.com, poomanop@hotmail.com, saveta.yo@gmail.com, karaketii@hotmail.com, anan.p@ku.ac.th, chaiporn.j@ku.ac.th, aphirak.j@ku.ac.th*

## บทคัดย่อ

ปัจจุบันการสำรวจพันธุ์ไม้โดยหน่วยงานหอพรรณไม้นั้นจะทำโดยการจดข้อมูลลงในกระดาษ ซึ่งรายละเอียดการจดของพันธุ์ไม้ที่ต้องจดมีความหลากหลายเช่น ลักษณะ สี รูปร่าง และพิกัดของพันธุ์ไม้ ในบางครั้งลายมือของผู้จดอ่านยากทำให้ไม่สามารถนำข้อมูลมาใช้ได้ หรือข้อมูลคลาดเคลื่อน โครงงานนี้จึงได้พัฒนาแอปพลิเคชั่นสำหรับการบันทึกข้อมูลพันธุ์ไม้ เพื่อช่วยอำนวยความสะดวกของผู้บันทึก สามารถช่วยในการหาพิกัด และถ่ายรูปของต้นไม้ได้ ซึ่งเป็นแอปพลิเคชั่นที่ใช้งานในระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ จากการทดสอบระบบพบว่าผู้ใช้สามารถใช้งานแอปพลิเคชั่นแทนการใช้กระดาษจดได้ และช่วยลดระยะเวลาในการทำงานได้

## Abstract

Nowadays, Thai flora surveys conducted by the Forest Herbarium are mainly done on paper. This process requires a botanist to write many details of flora. Hard-to-read handwriting sometimes causes incorrect data which make them unusable. This project developed a mobile application for flora data collection to be used by botanists to find geographical locations and take photos. Evaluation shows that the botanists are able to use the application in place of paper-based recording, which helps reduce their overall working time.

## 1. บทนำ

ประเทศไทยเป็นประเทศในเขตร้อนชื้นที่มีความหลากหลายทางพรรณพฤกษชาติ และสภาพสังคมพืชประเทศหนึ่งพรรณพฤกษชาติของไทยมีพืชที่มีท่อลำเลียงไม่น้อยกว่า 10,000 ชนิด โดยมีการศึกษาอย่างต่อเนื่องลงพิมพ์ในหนังสือพรรณพฤกษชาติของประเทศไทยซึ่งจัดทำโดยสำนักงานหอพรรณไม้ กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช [1] โดยมีนักวิจัยได้มีการลงพื้นที่สำรวจ และบันทึกรายละเอียดของพันธุ์ไม้ เพื่อนำข้อมูลมาวิเคราะห์ และเก็บรวบรวมข้อมูลพันธุ์ต่างในประเทศไทย เพื่อจัดทำหนังสือ การบันทึกรายละเอียดนั้นจะมีการบันทึกพิกัด รูปร่าง สี และถ่ายรูปของพันธุ์ไม้ที่พบ ซึ่งจะใช้สมุดในการจดบันทึก การจดบันทึกนั้นสถานที่อยู่ในป่าทำให้การจดนั้นยากลำบาก บางครั้งลายมือของผู้จดบันทึกนั้นอ่านยาก ทำให้ไม่สามารถนำข้อมูลนั้นมาใช้ได้หรือข้อมูลอาจมีการคลาดเคลื่อน เนื่องจากต้องมีการนำข้อมูลที่จดจากกระดาษมาพิมพ์ลงในโปรแกรม BRAHMS ซึ่งเป็นโปรแกรมที่ใช้ในคอมพิวเตอร์ จากปัญหาที่เกิดขึ้นจึงเกิดแนวคิดที่จะพัฒนาแอปพลิเคชั่นที่จะช่วยในการจดบันทึกข้อมูลพันธุ์ไม้ ซึ่งจะทำให้ข้อมูลที่จดมามีความถูกต้อง และไม่สูญหาย สามารถถ่ายรูป หาพิกัดของต้นไม้ ซึ่งจะช่วยอำนวยความสะดวกของผู้จดบันทึก และทำให้ไม่ต้องพกอุปกรณ์ต่างๆ เพิ่มเช่น เครื่องหาพิกัด กล้องถ่ายรูปและกระดาษ

## 2. งานและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

การพัฒนาโครงงานระบบสารสนเทศข้อมูลพันธุ์ไม้ จะใช้เทคโนโลยี IEEE 802.11 [2] คือมาตรฐานการทำงานของระบบเครือข่ายไร้สายกำหนดขึ้นโดย Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) เป็นมาตรฐานกลาง ที่ได้นำมาปฏิบัติใช้ในมาตรฐานของการรับ – ส่งข้อมูล โดยอาศัยคลื่นความถี่ ตัวอย่างของการใช้งาน เช่น Wireless LAN หรือ Wi-Fi เพื่อที่จะทำการเชื่อมโยงอุปกรณ์เครือข่ายไร้สายเข้าด้วยกันบนระบบ ซึ่งโครงงานนี้ในเทคโนโลยีนี้ในการรับส่งข้อมูลจากคอมพิวเตอร์ไปยังเครื่องเซิฟเวอร์

ในการสำรวจพันธุ์ไม้จะมีการจดรายละเอียดของข้อมูลพันธุ์ไม้ต่างๆเช่น สถานที่ พิกัด ประเภท วงศ์ ลักษณะที่อยู่อาศัย ลักษณะรูปร่าง สี ของพันธุ์ไม้ดังรูปที่ 1

**รูปที่ 1** ภาพตัวอย่างการจดบันทึกข้อมูลพันธุ์ไม้

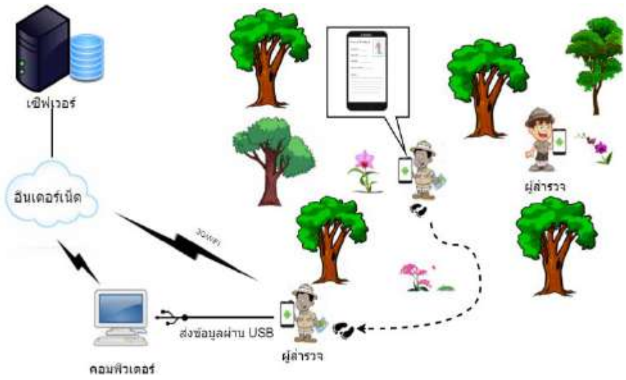
การเก็บข้อมูลพันธุ์ไม้ลงในคอมพิวเตอร์นั้นจะเก็บลงในโปรแกรม BRAHMS [3] ซึ่ง โปรแกรม BRAHMS เป็นโปรแกรมจัดการกับฐานข้อมูลที่ใช้สำหรับนักพฤกษศาสตร์เพื่อที่จะรวบรวมข้อมูลพันธุ์ไม้ พัฒนาโดย มหาวิทยาลัยอ๊อกซฟอร์ด พัฒนาขึ้นมาเพื่อการใช้งานที่หลากหลาย การรวบรวม แก้ไข วิเคราะห์ข้อมูลพันธุ์ไม้ และเพิ่มประสิทธิภาพในการสำรวจพันธุ์ไม้

## 3. รายละเอียดการพัฒนา

การพัฒนาระบบจะพัฒนาในส่วนของแอปพลิเคชั่น และพัฒนาในส่วนของเว็บไซต์ที่ใช้ในการแสดงข้อมูลพันธุ์ไม้ที่ได้จากการสำรวจผ่านแอปพลิเคชั่น

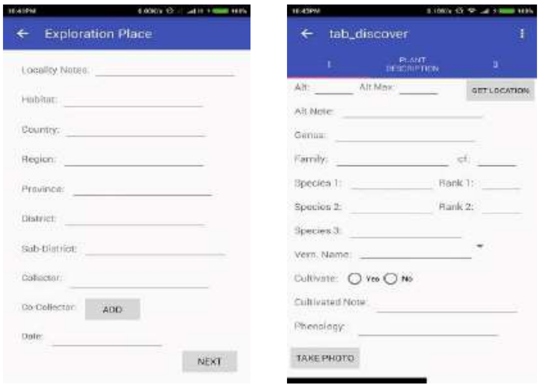
### 3.1 ภาพรวมของระบบ

ภาพรวมของระบบสารสนเทศข้อมูลพันธุ์ไม้ดังรูปที่ 2




**รูปที่ 2** ภาพรวมของระบบ

ในการสำรวจพันธุ์ไม้ผู้สำรวจจะทำการเดินสำรวจหาต้นไม้ เมื่อเจอต้นที่ต้องการสำรวจจะทำการใช้งานแอปพลิเคชั่นโดยจะมีอินเตอร์เฟสดังรูปที่ 3 เมื่อทำการจดบันทึกเสร็จจะทำการส่งออกไฟล์ข้อมูลพันธุ์ไม้ที่ได้สำรวจจากแอปพลิเคชั่น หลังจากนั้นจะมี 2 ทางเลือกในการนำไฟล์ข้อมูลพันธุ์ไม้เข้าโปรแกรม BRAHMS คือ จะทำการส่งไฟล์ข้อมูลพันธุ์ไม้เข้าเครื่องคอมพิวเตอร์ผ่านสาย USB และนำเข้าไฟล์ข้อมูลเข้าสู่โปรแกรม BRAHMS หรือทำการส่งข้อมูลพันธุ์ไม้ผ่าน 3G/WIFI เข้าไปที่เครื่องเซิฟเวอร์เพื่อที่จะให้ผู้ใช้เปิดเว็บไซต์ทำการโหลดไฟล์ข้อมูลพันธุ์ไม้นำเข้าสู่โปรแกรม BRAHMS

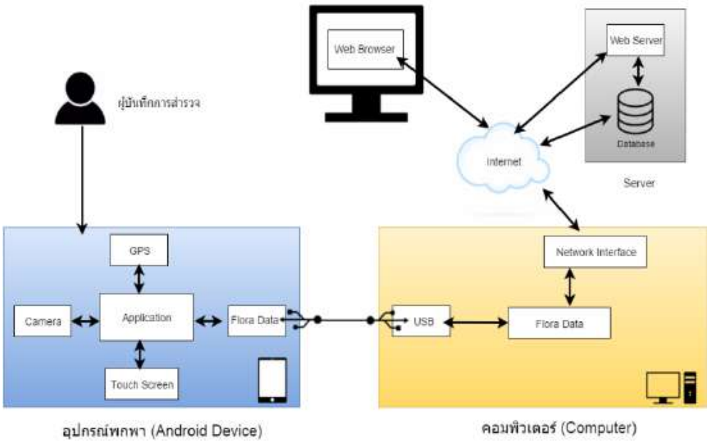



(ก) (ข)

**รูปที่ 3** (ก) อินเตอร์เฟสการกรอกสถานที่ที่สำรวจพันธุ์ไม้ของแอปพลิเคชั่น และ (ข) อินเตอร์เฟสการกรอกข้อมูลของพันธุ์ไม้

### 3.2 การออกแบบและพัฒนาระบบ

การพัฒนาระบบแบ่งออกเป็น 2 ส่วนหลักคือแอปพลิเคชั่นที่ใช้ในการบันทึกข้อมูล และในส่วนของเว็บเซิฟเวอร์ที่ใช้ในการเก็บข้อมูลพันธุ์ไม้ โดยมีองค์ประกอบของระบบดังรูปที่ 4




**รูปที่ 4** องค์ประกอบของระบบ

3.2.1 แอปพลิเคชั่น

เป็นส่วนที่ใช้ในการบันทึกข้อมูลพันธุ์ไม้ แสดงผลการบันทึกข้อมูลพันธุ์ไม้ รูปถ่าย พิกัด และทำการส่งออกข้อมูลพันธุ์ไม้เป็นไฟล์

ฐานข้อมูลเพื่อที่จะนำเข้าคอมพิวเตอร์ ซึ่งแอปพลิเคชั่นสามารถใช้งานในตอนออฟไลน์ได้

3.2.2 เว็บไซต์

เป็นเว็บไซต์ที่สามารถเข้าดูได้จากทุกที่เพื่อใช้ในการแสดงผลการสำรวจพันธุ์ไม้ที่ได้จากแอปพลิเคชั่น

### 3.3 ข้อจำกัดของระบบ

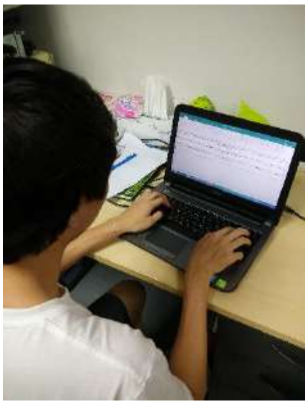
ระบบที่พัฒนาขึ้นรองรับการใช้งานผ่านสมาร์ทโฟนที่ใช้ระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์เท่านั้น

## 4. การทดสอบการใช้งาน

ทำการทดสอบในส่วนของการบันทึกข้อมูลผ่านแอปพลิเคชั่นและบันทึกผ่านกระดาษ หลังจากนั้นนำข้อมูลเข้าโปรแกรม BRAHMS

(ก)

(ข)



(ค)

**รูปที่ 5** (ก) การทดลองการจดบันทึกลงกระดาษ (ข) การทดลองการจดบันทึกลงแอปพลิเคชั่น และ (ค) นำเข้าข้อมูลที่ได้จากการจดลงกระดาษมาลงในโปรแกรม BRAHMS

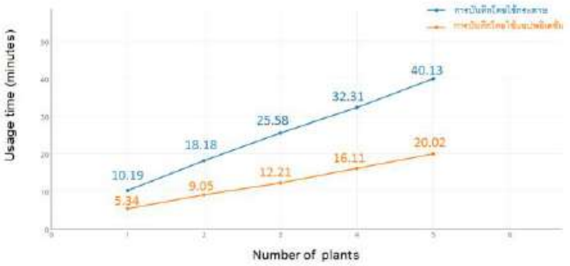
### 4.1 สภาพแวดล้อมการทดสอบ

4.1.1 ประเมินเวลาในการจดบันทึกต่อจำนวนต้นไม้

ผู้พัฒนาประเมินเวลาโดยการใช้แอปพลิเคชั่นในการจดบันทึกและ นำข้อมูลออกมาเป็นไฟล์ CSV เพื่อที่จะนำข้อมูลเข้าเข้าโปรแกรม BRAHMS เปรียบเทียบกับการจดลงในกระดาษและพิมพ์ข้อมูลที่ได้จากการจดลงกระดาษมาลงในโปรแกรม BRAHMS จะจับเวลาในการบันทึกโดยจะบันทึกข้อมูลเริ่มจากหนึ่งต้น โดยจะเพิ่มขึ้นทีละหนึ่งต้น จนกระทั่งครบ 5 ต้น ดังรูปที่ 5

### 4.2 ผลการทดสอบและวิจารณ์ผล

จากการทดลองระยะเวลาที่ใช้ในแอปพลิเคชั่นเปรียบเทียบกับระยะเวลาที่ใช้กระดาษ ดังรูปที่ 6 จากการทดลองพบว่าเวลาที่ใช้ในแอปพลิเคชั่นจะน้อยกว่าเวลาที่ใช้ในกระดาษ โดยค่าที่ได้มาจากการเฉลี่ยการทดลอง 3 คน




**รูปที่ 6** ผลการทดสอบเวลาระยะเวลาในการจดบันทึกต่อจำนวนต้นไม้

## 5. บทสรุป

ระบบสารสนเทศข้อมูลพันธุ์ไม้สามารถใช้งานในการช่วยจดบันทึกข้อมูลพันธุ์ไม้และสามารถนำไฟล์ข้อมูลที่บันทึกผ่านแอปพลิเคชั่นลงในโปรแกรม BRAHMS ซึ่งใช้งานในคอมพิวเตอร์ได้ ในการที่จะไปสำรวจพันธุ์ไม้ในป่านั้นถ้าสถานที่ไม่เอื้ออำนวยในการเขียนลงกระดาษทำให้ลายมือของผู้จดนั้นอ่านได้ยากลำบากและในป่าอาจจะมีความชื้น ทำให้กระดาษอาจจะเปียกข้อมูลที่เขียนลงในกระดาษอาจจะเลือนลางได้ซึ่งถ้าใช้สมาร์ทโฟนทำให้พกพาได้ง่ายและข้อมูลยากที่สูญหาย อีกทั้งยังช่วยลดระยะเวลาในการทำงานและช่วยอำนวยความสะดวกสบาย

สำหรับแนวทางการพัฒนาต่อจะพัฒนาในส่วนของแอปพลิเคชั่นให้หน้าจอผู้ใช้ ใช้งานง่ายขึ้น มีการแนะนำในการกรอกฟอร์มรายละเอียดของพันธุ์ไม้หากพันธุ์ไม้มีรายละเอียดใกล้เคียงกับพันธุ์ไม้ที่เคยสำรวจมาแล้ว

## 6. กิตติกรรมประกาศ

โครงงานนี้ได้รับทุนสนับสนุน และอุปกรณ์จากภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ขอขอบคุณดร.ราชันย์ ภู่มา และดร.วรดลย์ แจ่มจำรูญ บุคลากรสำนักงานหอพรรณไม้ กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช

## เอกสารอ้างอิง

[1] สำนักงานหอพรรณไม้. http://www.dnp.go.th/botany/ [สืบค้นเมื่อ มีนาคม 2559]

[2] IEEE 802.11. https://th.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.11 [สืบค้นเมื่อ มีนาคม 2559]

[3] Innovate Plant Diversity Research. http://herbaria.plants.ox.ac.uk/bol/oxford [สืบค้นเมื่อ มีนาคม 2559]

## ประวัติผู้เขียนบทความ

**นายมโนเธียร อยู่ธรรง**
**งานวิจัยที่สนใจ:** Mobile applications

**นายนนท์ เขียวหวาน**
**งานวิจัยที่สนใจ:** Wildlife conservation

**นายมานพ ผู้พัฒน์**

**นายศวิตา อยู่ประเสริญ**

**นายปรีชา การะเกตุ**

**รศ.ดร.อนันต์ ผลเพิ่ม**
**งานวิจัยที่สนใจ:** Wireless Networks, Media Access Control, QoS

**ผศ.ดร.ชัยพร ใจแก้ว**
**งานวิจัยที่สนใจ:** Mobile Wireless Ad hoc Networks, Sensor Networks

**ผศ.ดร.อภิรักษ์ จันทร์สร้าง**
**งานวิจัยที่สนใจ:** Wireless Local Area Networks, Computer Networking

**บทความวิจัย**

การประชุมวิชาการ งานวิจัยและพัฒนาเชิงประยุกต์ ครั้งที่ 8

*8th ECTI-CARD 2016, Hua Hin, Thailand*

# เครื่องแจกรหัสอินเทอร์เน็ตโดยใช้บัตรประชาชน

# ID Smart Card Authentication Hotspot Appliance

**อธิคม ศิริ [1] , ธันยกานต์ รุ่งสว่าง [2] , สุเทพ อาจอ [3] ,กฤษณะ ปันจา [4], ธนาวุฒิ ธนวาณิชย์ [5] , กมล บุญล้อม [6] และอนุสรณ์ ใจแก้ว [7]**

สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ สำนักวิชาคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย

80 หมู่ 9 ถนนพหลโยธิน ตำบลบ้านดู่ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงราย 57100 โทรศัพท์ 053-776395 E-mail: krishna_ce@hotmail.com

## บทคัดย่อ

การให้บริการอินเทอร์เน็ตสำหรับประชาชนของหน่วยงานทางภาครัฐในปัจจุบันยังมีข้อจำกัดในเรื่องของการให้บริการซึ่งต้องใช้บุคลากรในการให้บริการ จากปัญหาดังกล่าวจึงมีแนวคิดในการพัฒนาระบบที่ช่วยในการให้บริการสำหรับเข้าใช้งานอินเทอร์เน็ตเพื่อให้ประชาชนที่ต้องการใช้งานอินเทอร์เน็ตสามารถนำบัตรประชาชนมาเสียบที่เครื่องอ่านบัตรเพื่อขอใช้บริการ โดยระบบจะทำการตรวจสอบข้อมูลของผู้ใช้งาน และทำการพิมพ์รหัสเพื่อให้ประชาชนนำไปใช้ในการล็อกอินเข้าใช้งานอินเทอร์เน็ต จากการทดลองเพื่อเปรียบเทียบเวลาในการให้บริการจากพนักงานใช้เวลาเฉลี่ย 41.17 วินาที และการให้บริการจากเครื่องแจกรหัสที่ผู้พัฒนาได้จัดทำขึ้นซึ่งใช้เวลาเฉลี่ย 20.93 วินาที แสดงให้เห็นว่าการให้บริการจากเครื่องที่ผู้พัฒนาได้จัดทำขึ้นมีประสิทธิภาพมากกว่าการให้บริการจากพนักงานประมาณ 2 เท่า

**คำสำคัญ:** การระบุตัวตน, ฮอตสปอต

## Abstract

Internet services for the citizens of the state at present is still limited in terms of service, which requires personnel to take care .According to of that problem we have the idea of developing the system for solving the service by using Automatic Service Machine with identity smart card. When people use the identity smart card can be plugged into a machine to make a request. The machine approve and print username , password for log on public internet The experiments to compare the time of service with ordinary system spent an average of 41.17 seconds and the service from Automatic Service Machine which takes an average of 20.93 seconds, to show that the service from new system was made more effective by providing approximately two-fold.

**Keywords:** Authentication, Hotspot

## 1. บทนำ

ปัจจุบันหน่วยงานหรือผู้ให้บริการอินเทอร์เน็ตตามสถานที่ต่างๆส่วนใหญ่ยังไม่มีการเก็บข้อมูลของผู้เข้าใช้งานอินเทอร์เน็ต เนื่องด้วยพระราชบัญญัติว่าด้วยการกระทำความผิดเกี่ยวกับคอมพิวเตอร์กำหนดให้หน่วยงานจำเป็นต้องเก็บข้อมูลผู้ใช้งานอินเทอร์เน็ตสำหรับการระบุตัวตนผู้ใช้ ทำให้หน่วยงานหรือผู้ให้บริการอินเทอร์เน็ตตามสถานที่ต่างๆ จะต้องมีการบันทึกข้อมูลโดยมีเจ้าหน้าที่ทำการจดบันทึกข้อมูลของผู้ใช้งานระบบอินเทอร์เน็ต ซึ่งบางครั้งมีความยุ่งยากและต้องใช้บุคลากรในการดูแลอยู่ตลอดเวลา

ดังนั้นผู้พัฒนาจึงมีแนวคิดในการทำเครื่องแจกรหัสอินเทอร์เน็ตโดยใช้บัตรประชาชน เพื่อตรวจสอบข้อมูลก่อนให้บริการอินเทอร์เน็ตสำหรับผู้ใช้บริการเพื่อให้ทราบตัวตนของผู้ใช้บริการโดยใช้บัตรประชาชนในการแลกรหัสของอินเทอร์เน็ต โดยโครงการนี้ใช้เครื่องอ่านสมาร์ทการ์ดไอดี (Smart Card Reader ID ) เพื่ออ่านข้อมูลในชิปบัตรประชาชนและนำข้อมูลที่ได้ไปจัดเก็บในระบบฐานข้อมูลแล้วทำการปริ้นรหัสสำหรับเข้าใช้งานอินเทอร์เน็ตให้กับผู้ขอใช้บริการ เพื่อให้สะดวกต่อการให้บริการของหน่วยงานรัฐเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้บริการ

## 2. เทคโนโลยีที่เกี่ยวข้อง

การพัฒนาเครื่องแจกรหัสสำหรับเข้าใช้งานอินเทอร์เน็ตใช้เทคโนโลยีและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องดังนี้

2.1 ระบบสมองกลฝังตัว (Embedded System) คือระบบประมวลผล ที่ใช้ชิปหรือไมโครโพรเซสเซอร์ที่ออกแบบมาโดยเฉพาะเป็นระบบคอมพิวเตอร์ขนาดเล็กที่ฝังไว้ในอุปกรณ์ เพื่อเพิ่มความฉลาดความสามารถให้กับอุปกรณ์เหล่านั้นผ่านซอฟต์แวร์

2.2 สมาร์ทการ์ดไอดี เป็นบัตรพลาสติกชนิดหนึ่ง มีขนาดเท่ากับบัตรเครดิตหรือบัตรเอทีเอ็ม แต่ต่างกันตรงที่มีการฝังชิปไว้ที่บนบัตรด้วย ซึ่งในตัวชิปนี้สามารถบันทึกข้อมูลทางอิเล็กทรอนิกส์ได้ และมีวิธีการรักษาความปลอดภัยเป็นอย่างดี

2.3 Application Protocol Data Unit Command (APDU Command) เป็นชุดคำสั่งที่ส่งไปยัง Smart Card ให้ทำงานตามที่เราต้องการชุดคำสั่งจะประกอบไปด้วย 2 ส่วน คือ Header และ Body

ตารางที่ 1 ส่วนประกอบของข้อมูลชุดคำสั่ง APDU command

| **APDU Command** | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Header** | | | | **Body** | | |
| CLA | INS | P1 | P2 | Lc | Data Field | Le |

CLA คือ Class of Instruction หรือชื่อโปรแกรมคำสั่งที่อยู่ใน Smart Card มีขนาด 1 Byte INS คือ Instruction Code หรือ Code ที่ระบุคำสั่งที่ต้องการให้ทำงาน มีขนาด 1 Byte P1 และ P2 คือ Instruction Parameter เป็นส่วนข้อมูลเพิ่มเติมใช้ร่วมกับคำสั่งที่ต้องการให้ทำงานซึ่งทำให้เราสามารถสั่งงานได้มากยิ่งขึ้น มีขนาด 1 Byte Lc คือ ขนาดของข้อมูลที่ส่งไปยัง Smart Card มีขนาด 1 Byte Data Field คือ ส่วนข้อมูลในชุดคำสั่ง โดยขนาดเปลี่ยนแปลงได้ Le คือ ขนาดของข้อมูลที่ต้องการให้ Smart Card ส่งกลับมา

APDU Response ของชุดข้อมูลที่ส่งกลับมาจาก Smart Card ซึ่งจะประกอบไปด้วย Body และ Trailer

ตารางที่ 2 ชุดข้อมูลที่ส่งกลับมาจาก Smart Card

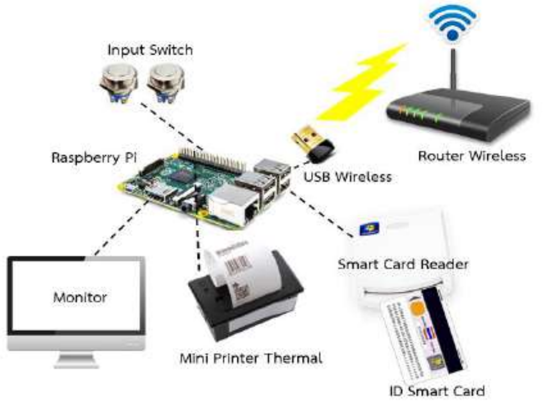
| **APDU Response** | | |
|---|---|---|
| **Body** | **Trailer** | |
| Data Field | SW1 | SW2 |

Data Field คือข้อมูลที่ส่งกลับมา ขนาดสามารถเปลี่ยนแปลงได้ ซึ่งอาจจะมีหรือไม่มีก็ได้ SW1 และ SW2 มีขนาด 1 Byte ทำการเก็บข้อมูลสถานะของการทำงานตาม APDU Command

## 3. วิธีการดำเนินงาน

### 3.1 ส่วนประกอบของอุปกรณ์

เครื่องแจกรหัสอินเทอร์เน็ตโดยใช้บัตรประชาชนประกอบไปด้วยส่วนต่างๆ ดังนี้ บอร์ดสมองกลฝังตัว (Embedded) ทำการเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตผ่าน Network Interface Card และทำการกระจายสัญญาณอินเทอร์เน็ตเพื่อให้อุปกรณ์เข้ามาเชื่อมต่อ ผ่าน Wireless Interface Crad (WIC) , Smart Card Reader ทำหน้าที่ในการอ่านข้อมูลบนบัตรประชาชนของผู้ใช้งาน, เครื่องพิมพ์ความร้อน (Thermal Printer) ทำหน้าที่ในการพิมพ์ข้อมูลรหัสสำหรับเข้าใช้งานอินเทอร์เน็ตให้กับผู้ใช้งาน,ปุ่มกด (Input Switch) ทำหน้าที่ในการรับข้อมูลการทำรายการจากผู้ใช้งาน และหน้าจอแสดงผลที่ทำหน้าที่ในการแสดงข้อมูลตอบรับและแสดงข้อมูลการทำรายการให้กับผู้ใช้งาน อุปกรณ์ทั้งหมดจะถูกควบคุมและสั่งงานผ่านบอร์ดสมองกลฝังตัว (Embedded)

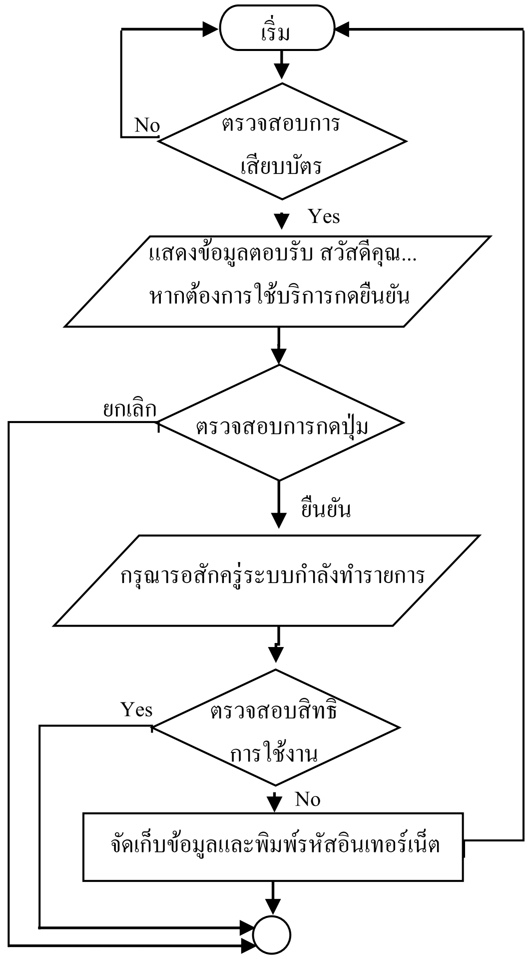



รูปที่ 3 ส่วนประกอบของเครื่องแจกรหัสอินเทอร์เน็ตโดยใช้บัตรประชาชน

### 3.2 ระบบการทำงาน

การทำงานของเครื่องแจกรหัสอินเทอร์เน็ตโดยใช้บัตรประชาชน ซึ่งตัวเครื่องจะทำการเชื่อมต่อเครือข่ายท้องถิ่นกับอินเทอร์เน็ตและทำหน้าที่ในการควบคุมการระบุตัวตนของผู้ใช้งานอินเทอร์เน็ตรวมถึงการเก็บบันทึกการใช้งานอินเทอร์เน็ตของผู้ใช้บริการ เมื่อผู้ใช้งานต้องการใช้บริการอินเทอร์เน็ตสามารถนำบัตรประชาชนมาเสียบขอรับบริการกับตัวเครื่องแจกรหัสอินเทอร์เน็ตที่ผู้พัฒนาได้จัดทำขึ้น ระบบก็จะทำการแสดงข้อมูลตอบรับผู้ใช้งานขึ้นที่หน้าจอแสดงผล และให้ผู้ใช้ยืนยันการทำการโดยสามารถเลือกยืนยันหรือยกเลิกการทำรายการได้ หากกดยืนยันระบบตรวจสอบสิทธิการขอใช้บริการอินเทอร์เน็ต หากมีการใช้งานแล้วระบบจะทำการแจ้งเตือนให้ผู้ใช้งานใช้บริการได้อีกครั้งในวันถัดไป เนื่องจากระบบที่ผู้พัฒนาได้จัดทำขึ้นให้ใช้บริการได้เพียง 1 ครั้ง ภายใน 1 วัน

เมื่อเครื่องแจกรหัสอินเทอร์เน็ตโดยใช้บัตรประชาชนทำการตรวจสอบสิทธิและข้อมูลการใช้บริการเรียบร้อยแล้วก็จะทำการเก็บบันทึกข้อมูลของผู้ใช้บริการเข้าสู่ระบบฐานข้อมูลโดยข้อมูลที่เก็บได้แก่ รหัสบัตรประชาชน, ชื่อผู้ใช้บริการ, และวันเวลาที่ใช้บริการ เพื่อระบุตัวตนในการใช้งานอินเทอร์เน็ต จากนั้นระบบก็จะทำการพิมพ์รหัสผ่านอินเทอร์เน็ตผ่านเครื่องพิมพ์ความร้อน ซึ่งข้อมูลที่พิมพ์ออกมาจะประกอบด้วย ชื่อ SSID, ชื่อผู้ใช้ (Username) ,รหัสผ่านสำหรับเข้าใช้งาน (Password) ดังรูปที่ 4 – 5




รูปที่ 4 หลักการทำงานของระบบแจกรหัสสำหรับเข้าใช้งานอินเทอร์เน็ต

ผู้ใช้งานสามารถนำอุปกรณ์คอมพิวเตอร์หรือมือถือเชื่อมต่อเครื่องแจกรหัสอินเทอร์เน็ตโดยใช้บัตรประชาชนผ่านเครือข่ายไร้สาย (Wireless LAN) โดยนำข้อมูลรหัสผ่านที่ได้รับจากตัวเครื่องแจกรหัสอินเทอร์เน็ตมาระบุตัวตนผู้ใช้งานเพื่อเข้าถึงการใช้งานอินเทอร์เน็ต

รูปที่ 5 วิธีการใช้งานเครื่องแจกรหัสสำหรับเข้าใช้งานอินเทอร์เน็ต

### 3.3 วิธีการทดลอง

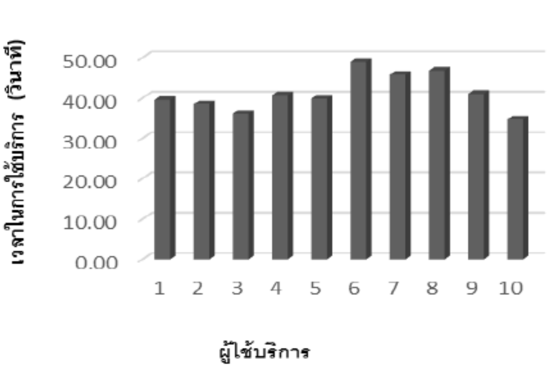
การทดลองเพื่อหาประสิทธิภาพและความเร็วในการให้บริการของบุคลากรและเครื่องที่ผู้พัฒนาได้จัดทำขึ้นโดยการทดลองจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน

การทดลองที่ 1 ทำการทดลองให้บริการแจกรหัสสำหรับเข้าใช้งานอินเทอร์เน็ตโดยมีบุคลากรทำหน้าที่ในการให้บริการโดยทดลองโดยให้ผู้ใช้งานนำบัตรประชาชนมาขอใช้บริการกับพนักงานที่มีหน้าที่ในการให้บริการ โดยทำการเก็บบันทึกข้อมูลของผู้ใช้บริการและทำการแจกรหัสสำหรับเข้าใช้งานอินเทอร์เน็ตให้กับผู้ใช้บริการโดยทดลองกับผู้ใช้บริการ 10 คน ทดลองใช้บริการคนละ 10 ครั้ง บันทึกเวลาที่ใช้ในการใช้บริการเพื่อหาค่าเฉลี่ยของเวลาและความเร็วที่ใช้ในการให้บริการ

การทดลองที่ 2 การทดลองให้บริการโดยใช้เครื่องแจกรหัสสำหรับเข้าใช้งานอินเทอร์เน็ตที่ผู้พัฒนาได้จัดทำขึ้น โดยทดลองให้ผู้ใช้งานนำบัตรประชาชนของตนเองมาเสียบที่ตู้เพื่อขอรับบริการ ระบบจะทำการเก็บข้อมูลของผู้ใช้งานเมื่อมีการเสียบบัตรประชาชนและทำการกดปุ่มยืนยัน ระบบจะทำการพิมพ์ข้อมูลรหัสสำหรับเข้าใช้งานให้กับผู้ใช้บริการผ่าน ปริ้นเตอร์ ทำการทดลองโดยให้ผู้ใช้บริการทดลองใช้บริการจากเครื่องที่ผู้พัฒนาได้จัดทำขึ้นให้ผู้ใช้บริการ 10 คน ทดลองใช้บริการคนละ 10 ครั้ง บันทึกเวลาที่ใช้ในการใช้บริการเพื่อหาค่าเฉลี่ยของเวลาและความเร็วที่ใช้ในการให้บริการ

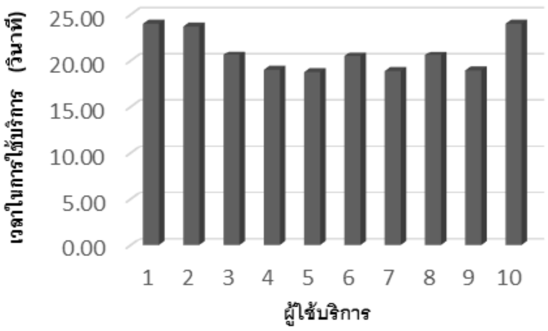
## 4. ผลการทดลอง

การทดลองที่ 1 จากผลการทดลองการหาค่าความเร็วและประสิทธิภาพในการทำงานของบุคลากรที่มีหน้าที่ในการให้บริการแจกรหัสสำหรับเข้าใช้บริการอินเทอร์เน็ตพบว่าระยะเวลาในการทำงานของบุคลากรที่มีหน้าที่รับผิดชอบในการให้บริการแจกรหัสอินเทอร์เน็ตใช้เวลาในการทำงานและให้บริการแสดงดังรูปที่ 6 โดยมีค่าเฉลี่ยต่ำสุดอยู่ที่ 34.69 วินาทีและค่าเฉลี่ยสูงสุดอยู่ที่ 48.92 วินาที



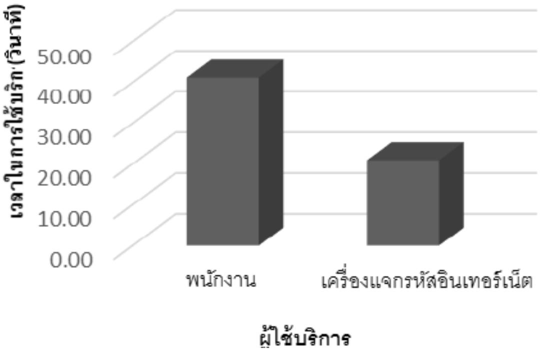

รูปที่ 6 ค่าเฉลี่ยเวลาในการให้บริการโดยพนักงาน

การทดลองที่ 2 การทดลองให้ผู้ใช้งานให้ใช้บริการของระบบที่ผู้พัฒนาได้จัดทำขึ้นใช้เวลาในการทำงานเพื่อให้บริการแก่ผู้ใช้บริการที่ทำการทดลองได้ดังแสดงในกราฟรูปที่ 7 โดยมีค่าเฉลี่ยต่ำสุดอยู่ที่ 18.81 วินาที และค่าเฉลี่ยสูงสุดอยู่ที่ 24.05 วินาที




รูปที่ 7 ค่าเฉลี่ยเวลาในการให้บริการ โดยเครื่องแจกรหัสอินเทอร์เน็ตโดยใช้บัตรประชาชน

การทดลองหาของค่าเฉลี่ยโดยใช้เครื่องแจกรหัสอินเทอร์เน็ตโดยใช้บัตรประชาชนมีความเร็วในการให้บริการมากกว่าการใช้พนักงานในการเก็บบันทึกข้อมูลดังแสดงในรูปที่ 8




รูปที่ 8 ค่าเฉลี่ยเวลารวมในการให้บริการ โดยเครื่องแจกรหัสอินเทอร์เน็ตโดยใช้บัตรประชาชนกับพนักงาน

## 5.สรุปผลการทดลอง

ระบบแจกรหัสสำหรับเข้าใช้งานอินเทอร์เน็ตเป็นระบบประยุกต์การใช้งานเทคโนโลยีระบบสมองกลฝังตัวเพื่อช่วยในการปรับปรุงคุณภาพและเพิ่มประสิทธิภาพในการให้บริการการใช้งานอินเทอร์เน็ตทั้งในภาครัฐและเอกชนซึ่งระบบสามารถเก็บประวัติการใช้บริการและระบุตัวตนในการใช้บริการได้

จากการทดลองเพื่อหาค่าความเร็วและประสิทธิภาพในการทำงานของบุคลากรที่มีหน้าที่ในการให้บริการใช้เวลาเฉลี่ยในการให้บริการเท่ากับ 41.17 วินาที และการให้บริการของระบบที่ผู้พัฒนาได้จัดทำขึ้นใช้เวลาในการทำงานเพื่อให้บริการเท่ากับ 20.93 วินาที

ซึ่งแสดงให้เห็นว่าระบบดังกล่าวที่ผู้พัฒนาได้จัดทำขึ้นมานั้นสามารถช่วยในการให้บริการในการร้องขอการใช้งานอินเตอร์เน็ตได้อย่างมีประสิทธิภาพ ช่วยลดบุคลากรที่ต้องมารับภาระงานในการดูแลและให้บริการ ทำให้การให้บริการนั้นมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นจากเดิมที่ต้องให้บุคคลากรนั้นเข้ามารับผิดชอบ

## 6.เอกสารอ้างอิง

[1] Somkiat.2557.การติดต่อกับ Smart Card. (ออนไลน์) .สืบค้นจาก: http://www.somkiat.cc/learn-smart-card-apdu. 10 มีนาคม 2559

[2] สารานุกรมวิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี. (ออนไลน์) .2558.สืบค้นข้อมูลจาก: https://th.wikipedia.org/wiki/สมาร์ตการ์ด. 10 มีนาคม 2559

[3] สารานุกรมวิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี. (ออนไลน์) .2558.สืบค้นข้อมูลจาก:https://th.wikipedia.org/wiki/ระบบฝังตัว. 11 มีนาคม 2559

[4] ผศ.ดร.ศุภชัย วรพจน์พิศุทธิ์.หนังสือระบบสมองกลฝังตัวที่นักพัฒนาญี่ปุ่นอ่าน. (ออนไลน์). 2552.สืบค้นจาก: http://cstproject.exteen.com/20100926/entry.11 มีนาคม 2559

[5] สิริพร จิตต์เจริญธรรม. ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับการพิสูจน์ตัวตน.2547 สืบค้นจาก: http://www.thaipki.com/knowledge_authen.html. 15 มีนาคม 2559

[6] สารานุกรมวิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี. (ออนไลน์) .2558. สืบค้นจาก: https://th.wikipedia.org/wiki/ไวไฟ.15 มีนาคม 2559

# นวัตกรรมอัจฉริยะเพื่อการท่องเที่ยวเชิงสร้างสรรค์ลุ่มแม่น้ำเพชรบุรีตอนบน

# Innovation of Smart for Creative Tourism in Phetchaburi River .

**ศิวาพร เหมียดไธสง[1] เที่ยง เหมียดไธสง[2] และ สราวุฒิ เชาวสกู[3]**

[1]โปรแกรมวิชาคอมพิวเตอร์ประยุกต์ คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี

38 มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี อำเภอเมือง จังหวัดเพชรบุรี E-mail: siwa.m@hotmail.com

[2,3] โปรแกรมวิชาเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์อิเล็กทรอนิกส์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี

38 มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี อำเภอเมือง จังหวัดเพชรบุรี E-mail: thiangone@hotmail.com

## บทคัดย่อ

บทความนี้เป็นการนำเสนอวิธีการในการลดการใช้สารเคมีด้วยการท่องเที่ยวเชิงสร้างสรรค์ ด้วยนวัตกรรมอัจฉริยะ งานวิจัยนี้เป็นวิธีการที่มุ่งไปที่การออกแบบและสร้างระบบที่สามารถแสดงสภาพแวดล้อมผ่านเว็บเบราว์เซอร์ โดยที่สภาพแวดล้อมจะถูกแสดงในแต่ละโหนดด้วยไอพีแต่ละโหนดแบบเวลาจริง ระบบที่พัฒนาขึ้นได้นำไปติดตั้งในสวนกล้วยและสวนมะนาว พบว่า ระบบสามารถแสดงผลสภาพแวดล้อมได้ถูกต้องและสามารถส่งสัญญาณไวไฟได้ในระดับดี

คำสำคัญ: นวัตกรรม,อัจฉริยะ,การท่องเที่ยวเชิงสร้างสรรค์

## Abstract

This article presents a method of reducing the use of chemicals with the creative tourism with innovative of smart. This research is focusing on how to design and build a system that can be displayed data through a web browser environment. The environment will be displayed in each node with the IP nodes in real-time. The system can be installed in the garden of banana and lemon groves that can be displayed correctly and the environment can have a good WiFi signal.

Keywords: innovation , smart , creative tourism

## 1. บทนำ

ปัจจุบันแม่น้ำเพชรบุรีได้ถูกทำลายจากการเกษตรแผนใหม่หรือเกษตรเคมี ทำให้ มีปัญหาเกิดขึ้นซึ่งเป็นผลสืบเนื่องมาจาก การปฏิวัติเขียว โดยการใช้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมาช่วยในการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตสินค้าเกษตร โดยใช้เครื่องจักรกลแทนแรงงานสัตว์ มีการใช้ปุ๋ยเคมี สารเคมีกำจัดศัตรูพืช ฮอร์โมนพืชสังเคราะห์ การใช้สิ่งเหล่านี้เพื่อต้องการให้ได้ผลผลิตเพิ่มขึ้นให้ทันกับความต้องการที่เพิ่มมากขึ้นของมนุษย์ แต่การใช้ปุ๋ยและสารเคมีในปริมาณที่สูง ทำให้ดินเสื่อมโทรมและขาดความอุดมสมบูรณ์ การใช้สารเคมีในการควบคุมโรคและแมลงศัตรูพืชในในอัตราที่สูงเกินความจำเป็นทำให้เกิดปัญหาสารพิษตกค้างในพืชผลการเกษตรและสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะลุ่มแม่น้ำเพชรบุรีตอนบน

ความพยายามในการอนุรักษ์และแก้ปัญหาลุ่มแม่น้ำเพชรบุรีได้มีการจัดตั้งกลุ่มอนุรักษ์แม่น้ำเพชรบุรี การจัดแข่งขันการแข่งเรือเพื่อการอนุรักษ์แม่น้ำเพชรบุรี กิจกรรมเหล่านี้ถือว่าเป็นการกระตุ้นให้เห็นความสำคัญแต่มีความสำคัญน้อยที่จะเชิญชวนให้เกษตรกรลุ่มน้ำเพชรบุรีตอนบนลดการใช้สารเคมีและสารพิษในการปลูกพืชเศรษฐกิจในลุ่มน้ำเกษตรกรยังคงใช้สารเคมีจำนวนมากเพื่อผลิตพืชผลให้ได้มากที่สุดเพื่อให้เกิดรายได้มากที่สุดโดยไม่สนใจสภาพแวดล้อมที่เสื่อมโทรมไป จากปัญหาดังกล่าวข้างต้นเกษตรกรลุ่มแม่น้ำเพชรบุรีตอนบนจะต้องเปิดสวนให้นักท่องเที่ยวเข้ามาเที่ยวชม เพื่อช่วยในการเพิ่มรายได้และลดการใช้สารเคมีกับพื้นที่ลุ่มแม่น้ำเพชรบุรีโดยเปิดการท่องเที่ยวให้นักท่องเที่ยวได้เข้ามาเที่ยวชมสวน และร่วมทำกิจกรรมในการปลูกพืชโดยไม่ใช้สารเคมี

บทความนี้ได้ นำเสนอรูปแบบการท่องเที่ยวที่ทันสมัย เกษตรอัจฉริยะ(smart farm)ด้วยนวัตกรรมอัจฉริยะเพื่อการท่องเที่ยวเชิงสร้างสรรค์ ซึ่งนักท่องเที่ยวสามารถเรียนรู้สภาพแวดล้อมในการปลูกพืชเศรษฐกิจปลอดสารพิษด้วยตนเอง

## 2. งานและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

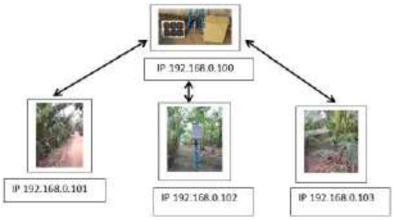
การออกแบบนวัตกรรมอัจฉริยะสำหรับการท่องเที่ยวเชิงสร้างสรรค์ประกอบด้วย 1) ระบบอินเทอร์เนตในทุกสิ่ง ( internet of thing(IoT)) การที่สิ่งต่างๆ ถูกเชื่อมโยงทุกสิ่งทุกอย่างเข้าสู่โลกอินเทอร์เน็ต ทำให้มนุษย์สามารถสั่งการ ควบคุมใช้งานอุปกรณ์ต่างๆ ผ่านทางเครือข่ายอินเตอร์เน็ต เช่น การสั่งเปิด-ปิด อุปกรณ์

เครื่องใช้ไฟฟ้า รถยนต์ โทรศัพท์มือถือ เครื่องมือสื่อสาร เครื่องใช้สำนักงาน เครื่องมือทางการเกษตร เครื่องจักรในโรงงานอุตสาหกรรม อาคาร บ้านเรือน เครื่องใช้ในชีวิตประจำวันต่างๆ ผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต เป็นต้น[1] IoT เป็นการทำงานของอุปกรณ์ในชีวิตประจำวันสมัยใหม่ที่รวมเอา Hardware + Software + Connectivity + Data + Inteligent[2] และ 2) ระบบเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายประกอบด้วยส่วนที่สำคัญ 3 ส่วน คือ 1) โหนดเซ็นเซอร์ เป็นอุปกรณ์ที่มีจำนวนมากที่ฝังตัวอยู่ในสภาพแวดล้อมเพื่อเก็บข้อมูลและส่งข้อมูล 2) โหนดฐานหรือเกตเวย์ เป็นหน่วยที่ทำหน้าที่ในการรับส่งข้อมูล ระหว่างสถานีฐานและเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย 3) โหนดสถานี ทำหน้าที่เก็บข้อมูลที่วัดได้จากหน่วยร่วมเซ็นเซอร์ในเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย ควบคุมการทำงานและติดต่อกับผู้ใช้ หรืออาจติดต่อกับเครือข่ายอื่น ๆ [3]

## 3.รายละเอียดการพัฒนา

### 3.1 ภาพรวมของระบบ

ภาพรวมของระบบประกอบด้วย 2 ส่วนคือ โหนดเซนเซอร์และโหนดฐาน โหนดเซนเซอร์ประกอบไปด้วยเซนเซอร์ 5 ค่า ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ความเข้มแสง ความชื้นในดิน อุณหภูมิในดิน ในแต่ละโหนดจะมีค่า ไอพีตำแหน่งเป็นของตนเอง รูปที่ 1 IP 192.168.0.101 เป็นโหนดที่ 1 IP 192.168.0.102 เป็นโหนดที่ 2
IP 192.168.0.103 เป็นโหนดที่ 3 และ IP 192.168.0.100 เป็นโหนดฐาน ซึ่งโหนดฐานจะส่งค่าตำแหน่ง IP ให้กับโหนดเซนเซอร์




รูปที่ 1 ภาพรวมของระบบ

### 3.2 การออกแบบและพัฒนาระบบ

### 3.2.1 บอร์ดโหนดเซนเซอร์

โหนดเซนเซอร์ จะออกแบบโดยใช้บอร์ด NodeMCU Devkit [4] ในการออกแบบบอร์ดนี้จะใช้ ไอซี EPS8266 NodeMCU นี้จะออกแบบทุกอย่างเป็นโหนดการทำงานย่อยๆและใช้ภาษา Lua[5] ในการเขียนโปรแกรม นอกจากนั้นในNodeMCU นี้ยังสามารถเขียนโปรแกรมด้วยภาษา ซี ได้ ภายในบอร์ดโหนดเซนเซอร์ดังรูปที่ 2

รูปที่ 2 ภายในโหนดเซนเซอร์

โหนดเซนเซอร์แสดงดังรูปที่ 3 จะใช้ อุปกรณ์ DHT11 [6]ในการตรวจวัดค่าอุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ ความชื้นดินจะออกแบบโดยใช้แท่งทองแดงยาว 15 เซนติเมตร วางขนาดกันหุ้มด้วยปูนปลาสเตอร์ การวัดอุณหภูมิในดินด้วยตัววัด DS1820[7] โดยมีย่านการวัดอุณหภูมิจะอยู่ในช่วง -55 C ถึง +125 C การวัดความเข้มแสงโดยใช้ BH1750FVI

รูปที่ 3 เซนเซอร์ต่างๆในโหนดเซนเซอร์

### 3.2.2 บอร์ดโหนดฐาน

โหนดฐานจะเป็นโหนด WIFI เป็นโหนด ให้ค่า IP ตำแหน่งใน แต่ละโหนดเซนเซอร์ โดยโหนดเซนเซอร์ทุกโหนดจะมีตำแหน่ง IP ตามที่ โหนดฐานส่งมาให้ การใช้งานเพียงผู้ใช้เชื่อมต่อระบบ WIFI ผ่านระบบคอมพิวเตอร์หรือโทรศัพท์ ก็สามารถเรียกดูค่าสภาพแวดล้อม 5 ค่า จากโหนดเซนเซอร์ได้ ในแต่ละโหนดผ่านเวปบราวเซอร์ ตามค่า IP ตำแหน่งของเซนเซอร์นั้นๆ ภายในโหนดฐานดังรูปที่ 4

รูปที่ 4 ภายในโหนดฐาน

## 4. การทดสอบการใช้งาน

### 4.1การทดสอบในห้องปฏิบัติการ

การทดสอบในห้องปฏิบัติการจะทดสอบ การรับส่งข้อมูล โดยจะทดสอบโดยทำการอ่านค่าจาก IP แต่ละตัว สามารถที่จะแสดงข้อมูลได้ถูกต้องหรือไม่ โดยค่าที่แสดงจะแสดงทั้งหมด 5 ค่าได้แก่ ค่าอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ค่าความเข้มแสง ค่าความชื้นในดิน ค่าอุณหภูมิในดิน ผลการทดสอบ โหนดเซนเซอร์แต่ละตัวสามารถแสดงค่าได้ถูกต้องแบบเวลาจริง(real time) การทดสอบระยะการส่งข้อมูลไปที่ WIFI พบว่าระยะการส่งข้อมูลแต่ละโหนดสามารถส่งได้ไกล 30 เมตร

### 4.2 การทดสอบในสภาพจริง

**4.2.1 กรณีศึกษา สวนกล้วย** ผู้วิจัยได้ติดตั้งระบบในสวนกล้วยโดยติดตั้งโหนดเซนเซอร์ห่างกันระยะ 20 เมตร และเซนเซอร์โหนดแต่ละตัวห่างจากโหนดฐาน 30 เมตรบางโหนด ติดตั้งใกล้กับทางเดินดังรูปที่ 5 เพื่อสะดวกในการอธิบายและเรียนรู้ในการเข้าใจโหนดเซนเซอร์สำหรับนักท่องเที่ยว

รูปที่ 5 การติดตั้งโหนดเซนเซอร์ในส่วนกล้วย

ผลการทดสอบการส่งสัญญาณระหว่างโหนดเซนเซอร์และโหนดฐานมีความแรงของสัญญาณดี ส่วนการรับส่งข้อมูลค่าข้อมูลมีความถูกต้อง

**4.2.2 กรณีศึกษา สวนมะนาว** การติดตั้งโหนดเซนเซอร์และโหนดฐานในสวนมะนาวจะกระทำในลักษณะเดียวกัน คือ ติดตั้งโหนดเซนเซอร์ห่างกัน 20เมตรและ โหนดเซนเซอร์ ห่างจากโหนดฐาน 30 เมตร การทดสอบพบว่า การส่งสัญญาณมีความแรงในระดับดี ส่วนการรับส่งข้อมูลมีความถูกต้องเช่นเดียวกับสวนกล้วย การติดตั้งดังรูปที่ 6

รูปที่ 6 การติดตั้งโหนดเซนเซอร์ในสวนมะนาว

## 5. บทสรุป

การออกแบบนวัตกรรมอัจฉริยะเพื่อการท่องเที่ยวเชิงสร้างสรรค์ลุ่มแม่น้ำเพชรบุรีตอนบนจะออกแบบโดยใช้แนวคิดของเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายและระบบอินเทอร์เนตในทุกสิ่งโดยใช้บอร์ด **NodeMCU Devkit** ใช้ภาษา Lua ในการพัฒนาโปรแกรม การออกแบบระบบประกอบด้วย 2 ส่วนคือ โหนดเซนเซอร์และโหนดฐาน โหนดแต่ละโหนดมี IP เป็นของตนเอง จากการกำหนดค่า IP จาก WIFI ทำให้นักท่องเที่ยวเข้าดูสภาพแวดล้อมตาม IP โหนดแต่ละโหนดได้ ผลการทดลองในการติดตั้งในสวนกล้วยและสวนมะนาวพบว่า ระบบมีการทำงานที่สมบูรณ์ ในการรับส่งข้อมูล และระยะของความเข้มของสัญญาณWIFI

## 6. แนวทางพัฒนาต่อ

การนำข้อมูลที่ได้ในแต่ละโหนดส่งขึ้นเวปไซต์ทำให้สามารถเข้าดูข้อมูลได้ทุกที่ทุกเวลา สามารถวิเคราะห์สภาพแวดล้อมและนำข้อมูลมาใช้ในการเรียนรู้ร่วมกันระหว่างนักท่องเที่ยวกับชาวสวน

## 7.กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ และมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรีที่ให้ทุนสนับสนุน โปรแกรมวิชาคอมพิวเตอร์ประยุกต์ คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ และสาขาเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์อิเล็กทรอนิกส์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี ที่เอื้อเฟื้อห้องปฏิบัติการ เจ้าของพื้นที่บริเวณลุ่มแม่น้ำเพชรบุรีตอนบนทุกท่าน

## เอกสารอ้างอิง

[1] Internet of thing รู้จักกับ Internet of thing เข้าถึงได้จาก : http://tormootech.blogspot.com/2015/11/intenet-of-things.html สืบค้น 20 ธันวาคม พ.ศ. 2558.

[2] Jimmy's Blog องค์ประกอบของ IoT เข้าถึงได้จาก : http://jimmysoftwareblog.com/node/94 สืบค้น 15 ธันวาคม พ.ศ. 2558.

[3] สุชา สุพิทยภรณ์พงศ์ สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย เข้าถึงได้จาก:http://www.thaitelecomkm.org/TTE/topic/attach/Wireless_Sensor_Network/index.php สืบค้น 15 มกราคม พ.ศ. 2559.

[4] NodeMCU DevKit เข้าถึงได้จาก : http://nodemcu.com/index_en.html#fr_54747661d775ef1a3600009e สืบค้น 10 มีนาคม พ.ศ. 2559

[5] Embedded space เรียนรู้การใช้ภาษา Lua ตอนที่ 1 เข้าถึงได้จาก : http://cpre.kmutnb.ac.th/esl/learning/index.php?article=getting-started-with-lua-part-1สืบค้น 20 มกราคม พ.ศ. 2559
[6] DHT11 : เข้าถึงได้จาก :http://www.adafruit.com /products/386 สืบค้น 10ธันวาคม พ.ศ. 2558
[7] Waterproof Temperature Probe (DS18B20) : เข้าถึง ได้จาก :http://www.dfrobot.com/index.php?route=product/product&product_id=689#.UPLEWCcvRdU 21 ตุลาคม พ.ศ. 2558

ศิวาพร เหมียดไธสง สำเร็จการศึกษาหลักสูตรครุศาสตรอุตสาหกรรมมหาบัณฑิต สาขาคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ปัจจุบันดำรงตำแหน่งประธานสาขาวิชาคอมพิวเตอร์ประยุกต์ คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี งานวิจัยที่สนใจ เครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย เกษตรอัจฉริยะ

เที่ยง เหมียดไธสง สำเร็จการศึกษาหลักสูตรศิลปศาสตรดุษฎีบัณฑิต สาขาอาชีวศึกษา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ปัจจุบันดำรงตำแหน่งประธานสาขาวิชาเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์อิเล็กทรอนิกส์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรีงานวิจัยที่สนใจ เกษตรอัจฉริยะ หุ่นยนต์เพื่อการศึกษา

สราวุฒิ เชาวสกู สำเร็จการศึกษาหลักสูตรครุศาสตรอุตสาหกรรมมหาบัณฑิต สาขาคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ปัจจุบันอาจารย์สาขาวิชาเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์อิเล็กทรอนิกส์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี งานวิจัยที่สนใจ หุ่นยนต์ ระบบอัตโนมัติ เกษตรอัจฉริยะ

# ระบบควบคุมห้องเรียนอัตโนมัติ

# Automation Classroom Control System

**อภิวัฒน์ สุวรรณประไต ธีระวุฒิ พื้นเกาะ สนั่น จันทร์พรม [1] และสุภัทรา เกิดเมฆ [1]**
[1]สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
744 ถนนสุรนารายณ์ ต.ในเมือง อ.เมือง จ.นครราชสีมา 30000 โทรศัพท์ 044-272545 E-mail: sanan@rmuti.ac.th

## บทคัดย่อ

ระบบควบคุมห้องเรียนอัตโนมัติ มีวัตถุประสงค์เพื่ออำนวยความสะดวกในการใช้ห้องเรียนของสาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ โดยการทำงานของระบบควบคุมห้องเรียนอัตโนมัติ สามารถแบ่งการควบคุมได้ 3 ส่วน ได้แก่ ควบคุมผ่านหน้าตู้ควบคุม (Manual) ควบคุมผ่านแอปพลิเคชันบนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ (Bluetooth) และควบคุมผ่านเว็บแอปพลิเคชันบนเครือข่ายอินเทอร์เน็ต (Web application)

ระบบควบคุมห้องเรียนอัตโนมัติสามารถแก้ปัญหาความล่าช้าการเตรียมห้องเรียนเพื่อการเรียนการสอนของอาจารย์หรือเจ้าหน้าที่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยระบบสามารถสั่งเปิด-ปิดอุปกรณ์ไฟฟ้าได้ทั้งแบบปกติและแบบตั้งเวลา สามารถแสดงสถานะการทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้า มีเซนเซอร์ตรวจจับความเคลื่อนไหวเพื่อให้อุปกรณ์ทำงานอัตโนมัติ และสามารถแสดงอุณหภูมิและความชื้นภายในห้องได้

**คำสำคัญ :** ห้องเรียนอัตโนมัติ, Bluetooth, Arduino ADK, ESP8266

## Abstract

This project was conducted to construct an automatic classroom control system for facilitating on classroom usage of Computer Engineering Program. The operation control of this automatic classroom control system was divided into 3 parts as: controlling via control panel (manual), controlling via application on Android OS (bluetooth) and controlling via web applications on internet network (web application).

This thesis on the automatic classroom control system could efficiently resolve the delay on preparation of classrooms for instruction of lecturers or university officer. This system could switch on - off all electric devices both of normal and timing mode, display the working status of all devices, monitor operation of all devices automatically and display room temperature and humidity.

**Keywords :** Automation Classroom, Bluetooth, Arduino ADK, ESP8266

## 1. บทนำ

ความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีในปัจจุบันมีการพัฒนาและคิดค้นสิ่งอำนวยความสะดวกสบายต่อการดำรงชีวิตเป็นอันมาก เทคโนโลยีในปัจจุบัน ได้เข้ามาเสริมปัจจัยพื้นฐานในการดำรงชีวิตให้มีคุณภาพชีวิตดีขึ้น หนึ่งในเทคโนโลยีที่มีการใช้งานกันอย่างแพร่หลาย คือ โทรศัพท์มือถือแบบสมาร์ทโฟน เนื่องจากมีประสิทธิภาพในการทำงานเทียบเท่ากับเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ จึงเหมาะสมที่จะนำมาพัฒนาเพื่อเพิ่มศักยภาพในการสั่งงานเปิด-ปิดอุปกรณ์ไฟฟ้า ภายใต้เครือข่ายไร้สาย (Wi-Fi)

เทคโนโลยีการควบคุมอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าภายใต้ระบบเครือข่ายไร้สาย มีใช้อย่างแพร่หลายในสาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ จึงมีแนวคิดที่จะพัฒนาระบบควบคุมห้องเรียนอัตโนมัติ ที่ผู้ใช้งานสามารถตรวจสอบสถานะและควบคุมการทำงานของอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าในห้องเรียนที่ต่อเข้ากับระบบเครือข่ายอินเทอร์เน็ต โดยการสั่งงานปิด-เปิดอุปกรณ์ไฟฟ้าภายในห้องเรียนผ่านอุปกรณ์แอนดรอยด์ ผ่านหน้าตู้ควบคุม และสั่งงานภายนอกห้องเรียนผ่านระบบเครือข่ายไร้สาย บลูทูธ และอินเทอร์เน็ตไร้สาย

## 2. ขอบเขตของระบบควบคุมห้องเรียนอัตโนมัติ

2.1 สามารถตรวจสอบสถานะ และควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้าต่าง ๆ ภายในห้องเรียน โดยผ่านหน้าตู้ควบคุม แอปพลิเคชัน และเว็บแอปพลิเคชัน

2.2 ระบบควบคุมห้องเรียนอัตโนมัติสามารถสั่งงานเปิด-ปิดอุปกรณ์ไฟฟ้าภายในห้องเรียน ได้ทั้งหมด 16 อุปกรณ์ ดังนี้

| | | | |
|---|---|---|---|
| 1. หลอดไฟแสงสว่าง | จำนวน | 12 | ดวง |
| 2. พัดลม | จำนวน | 2 | เครื่อง |
| 3. โปรเจคเตอร์ | จำนวน | 1 | เครื่อง |
| 4. เครื่องขยายเสียง | จำนวน | 1 | เครื่อง/ชุด |

2.3 สั่งปิด-เปิดอุปกรณ์ไฟฟ้าภายในห้องเรียนที่ได้เชื่อมต่อกับตู้ระบบควบคุมห้องเรียนอัตโนมัติได้ 2 แบบ คือ แบบสั่งงานปกติ และแบบทำงานอัตโนมัติ

2.4 ตั้งเวลาเปิด-ปิดการทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้าต่าง ๆ ที่เชื่อมต่อกับระบบควบคุมห้องเรียนอัตโนมัติได้

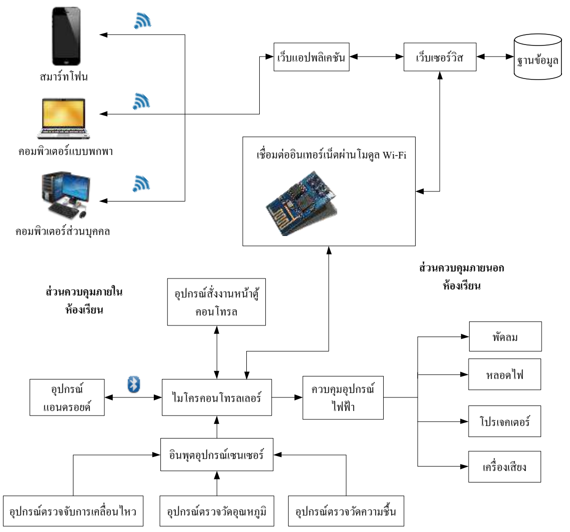
2.5 แสดงอุณหภูมิและความชื้นภายในห้องเรียนผ่านหน้าจอแสดงผล LCD ที่หน้าตู้ควบคุม หน้าแอปพลิเคชัน และผ่านทางหน้าเว็บแอปพลิเคชัน

2.6 มีเซนเซอร์ตรวจจับการเคลื่อนไหวบุคคล (PIR) ติดตั้งหน้าตู้ควบคุมอยู่ภายในห้องเรียน เพื่อให้ระบบทำงานอัตโนมัติได้ เมื่อมีคนเข้ามาในห้องเรียน โดยระบบควบคุมแสงสว่างเปิด-ปิดเองโดยอัตโนมัติ

## 3. แนวความคิดออกแบบระบบควบคุมห้องเรียนอัตโนมัติ

หลักการออกแบบระบบควบคุมห้องเรียนอัตโนมัติมีแนวความคิดในการออกแบบ เป็นการประยุกต์การควบคุมเปิด-ปิดอุปกรณ์ไฟฟ้าแบบหลากหลายอุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีใช้งานภายในห้องเรียนผ่านเครือข่าย ไร้สายบลูทูธ และ Wi-Fi เพื่ออำนวยความสะดวกในการควบคุมทั้งในแบบระยะใกล้และระยะไกล สามารถแสดงแนวความคิดการออกแบบระบบในแผนภาพรวม ดังแสดงในรูปที่ 3.1 โดยแบ่งระบบงานออกเป็น 5 ส่วนหลัก คือ

1. การออกแบบระบบฮาร์ดแวร์ควบคุม
2. การออกแบบระบบซอฟต์แวร์ควบคุมการทำงาน
3. การออกแบบระบบฐานข้อมูลบนเว็บแอปพลิเคชัน
4. การออกแบบการแสดงผลบนแอปพลิเคชันแอนดรอยด์
5. การออกแบบการแสดงผลบนหน้าเว็บแอปพลิเคชัน

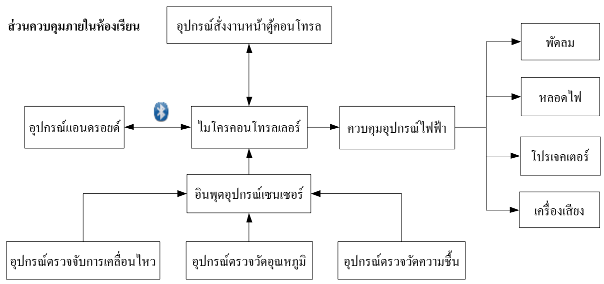



รูปที่ 3.1 แผนภาพรวม การทำงานของระบบควบคุมห้องเรียนอัตโนมัติ

จากแผนภาพการทำงาน แบ่งการทำงานออกเป็นส่วนต่าง ๆ แต่ละส่วนจะมีหน้าที่การทำงานที่แตกต่างกัน อธิบายการทำงานได้เป็นส่วนหลัก ๆ ทั้งหมด 4 ส่วน ได้แก่ ส่วนควบคุมการทำงาน ส่วนสั่งงานจากเครือข่ายภายใน ส่วนสั่งงานจากเครือข่ายภายนอก และสุดท้ายคือส่วนควบคุมอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้า

### 3.1 การออกแบบระบบฮาร์ดแวร์ควบคุม

อุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ระบบควบคุมห้องเรียนอัตโนมัติประกอบไปด้วยตัว ประมวลผลไมโครคอนโทรลเลอร์บนแผงวงจรอาดูโน Mega ADK แผงวงจรเรียงกระแส แผงวงจรรักษาระดับแรงดันไฟฟ้า แผงวงจรขับหลอดไฟแสดงผล อุปกรณ์สั่งงานหน้าตู้ควบคุม อุปกรณ์แอนดรอยด์ วงจรเซนเซอร์อุณหภูมิและความชื้น แผงโมดูลรีเลย์ 16 ช่อง โดยการนำอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ทั้งหมดส่วนใหญ่เป็นแผงวงจรมาประกอบเป็นระบบควบคุมห้องเรียนอัตโนมัติ ดังแสดงในรูปที่ 3.2




รูปที่ 3.2 บล็อกไดอะแกรมระบบฮาร์ดแวร์ควบคุม

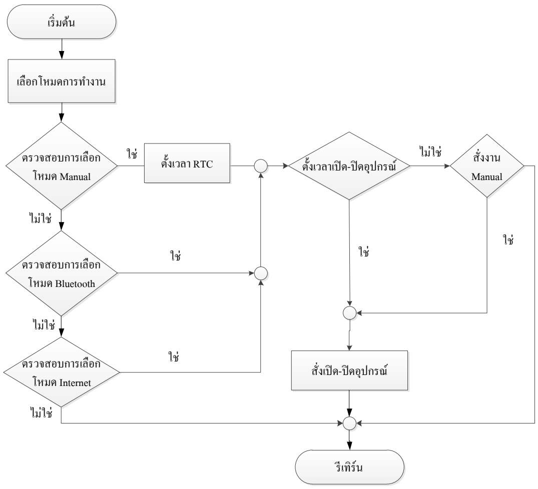
### 3.2 การออกแบบระบบซอฟต์แวร์ควบคุมการทำงาน

การออกแบบโปรแกรมควบคุมการทำงานฮาร์ดแวร์ จะมีการตั้งค่าอุปกรณ์ต่าง ๆ และการเลือกโหมดการทำงาน โดยจะมีโหมดการทำงานอยู่ 3 รูปแบบ คือ

1) โหมด Manual เป็นการเชื่อมต่อระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์อุปกรณ์สวิตซ์เมทริกซ์ และแสดงผลทางหน้าจอ LCD สามารถสั่งงานหน้าตู้ควบคุมให้เปิด-ปิดและตั้งเวลาการทำงานของอุปกรณ์

2) โหมด Bluetooth เป็นการเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์แอนดรอยด์กับไมโครคอนโทรลเลอร์ในรูปแบบไร้สาย สามารถสั่งเปิด-ปิด ตั้งเวลาและแสดงสถานะของอุปกรณ์

3) โหมด Internet เป็นการเชื่อมต่อระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์กับโมดูล Wi-Fi สามารถสั่งงานได้จากภายในนอกห้องเรียนผ่านเว็บแอปพลิเคชัน ดังแสดงในรูปที่ 3.3




รูปที่ 3.3 ผังงานโปรแกรมระบบควบคุมห้องเรียนอัตโนมัติ

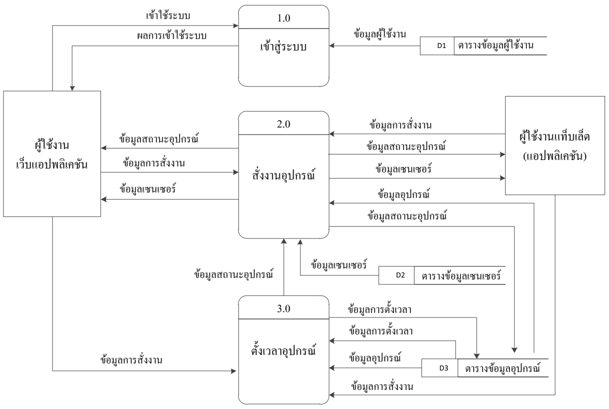
## 3.3 การออกแบบระบบฐานข้อมูลบนเว็บแอปพลิเคชัน

การออกแบบและพัฒนาฐานข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับระบบควบคุมห้องเรียนอัตโนมัติ เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ตรงตามความต้องการ และสามารถแก้ไขได้โดยง่าย ซึ่งประกอบด้วยแผนภาพของระบบงานรวม (Context Diagram) แผนภาพกระแสการไหลของข้อมูลระดับที่ 1 (Data Flow Diagram Level 1) และแผนภาพ ER (ER-Model) โดยสามารถแสดงรายละเอียดได้ตามหัวข้อดังนี้

### 3.3.1 แผนภาพของระบบงานรวมและแผนภาพกระแสการไหลของข้อมูล

แผนภาพของระบบงานรวมและแผนภาพกระแสการไหลของข้อมูล เป็นส่วนที่ช่วยอธิบายการทำงานของระบบ ทำให้ทราบว่าข้อมูลมาจากแหล่งใด ข้อมูลถูกถ่ายโอนไปยังแหล่งใด ข้อมูลถูกจัดเก็บไว้ ณ ที่ใด เกิดเหตุการณ์ใดบ้างกับข้อมูลในระหว่างการถ่ายโอน ซึ่งสามารถแสดงแผนภาพระบบงานรวม ได้ดังแสดงในรูปที่ 3.4 และแสดงแผนภาพกระแสการไหลของข้อมูลระดับที่ 1 ได้ดังแสดงในรูปที่ 3.5

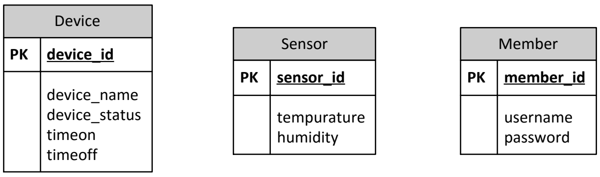
รูปที่ 3.4 แผนภาพของระบบงานรวม




รูปที่ 3.5 แผนภาพกระแสการไหลของข้อมูลระดับที่ 1

### 3.3.2 แผนภาพ ER (ER- Model)

แผนภาพ ER เป็นส่วนที่ช่วยอธิบายลักษณะการเก็บข้อมูลและความสัมพันธ์ของตารางต่าง ๆ ภายในระบบควบคุมห้องเรียนอัตโนมัติ ดังแสดงในรูปที่ 3.6

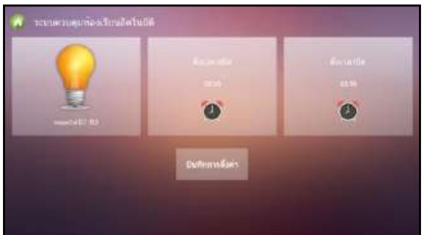



รูปที่ 3.6 แผนภาพ ER (ER-Model)

## 3.4 การออกแบบการแสดงผลบนแอปพลิเคชันแอนดรอยด์

ในการออกแบบการแสดงผลการทำงานของระบบควบคุมห้องเรียนอัตโนมัติ สามารถแบ่งการออกแบบการแสดงผลออกเป็นส่วนหลัก ๆ ที่สำคัญ 2 ส่วน คือ การออกแบบการแสดงผลบนอุปกรณ์แอนดรอยด์ และการออกแบบการแสดงผลบนหน้าเว็บแอปพลิเคชัน ซึ่งรายละเอียดการออกแบบ สามารถแสดงรูปได้ดังนี้

### 3.4.1 การออกแบบการแสดงผลบนอุปกรณ์แอนดรอยด์



รูปที่ 3.7 การออกแบบการแสดงผลข้อมูลบนอุปกรณ์แอนดรอยด์

รูปที่ 3.8 การออกแบบแสดงผลหน้าการตั้งเวลาเปิด-ปิดอุปกรณ์บนอุปกรณ์แอนดรอยด์

### 3.5 การออกแบบการแสดงผลบนหน้าเว็บแอปพลิเคชัน

การออกแบบการแสดงผลบนหน้าเว็บแอปพลิเคชัน แบ่งการออกแบบเป็น 3 ส่วน ได้แก่การออกแบบหน้าการเข้าสู่ระบบ การออกแบบการแสดงผลข้อมูลบนหน้าเว็บแอปพลิเคชัน และการออกแบบแสดงผลการตั้งเวลาเปิด-ปิดบนเว็บแอปพลิเคชัน สามารถแสดงได้ดังนี้

รูปที่ 3.9 การออกแบบหน้าการเข้าสู่ระบบ

รูปที่ 3.10 การออกแบบการแสดงผลข้อมูลบนหน้าเว็บแอปพลิเคชัน

รูปที่ 3.11 การออกแบบแสดงผลหน้าการตั้งเวลาเปิด-ปิดอุปกรณ์บนหน้าเว็บแอปพลิเคชัน

## 4. สรุปผลการทดลองใช้งาน

### 4.1 การทดลองควบคุมเครื่องใช้ไฟฟ้าผ่านแอปพลิเคชัน

1. การทดลองเชื่อมต่อระบบผ่านการสื่อสารแบบบลูทูธ บนแอนดรอยด์แอปพลิเคชัน ปรากฏว่าในระยะที่ 15 เมตรขึ้นไป ไม่สามารถเชื่อมต่อและสั่งงานได้ โดยทดลองวัดในสภาพแวดล้อมที่ไม่มีสิ่งกีดขวาง

2. การทดลองแสดงผลอุณหภูมิและความชื้น เป็นการทดลองวัดค่าอุณหภูมิและความชื้นภายในห้องเรียนที่วัดได้จากอุปกรณ์เซนเซอร์วัดอุณหภูมิ (DHT22) เทียบกับค่าที่วัดได้จากเทอร์โมมิเตอร์แบบปรอท ค่าของอุณหภูมิที่วัดได้จากอุปกรณ์ทั้งสอง มีค่าใกล้เคียงกันมาก

3. การทดลองควบคุมการสั่งงานอุปกรณ์ไฟฟ้าทั้ง 4 ชนิดได้อย่างถูกต้อง ร้อยละ 100 จากจำนวนการทดลอง 40 ครั้ง

### 4.2 การทดลองควบคุมเครื่องใช้ไฟฟ้าผ่านเว็บแอปพลิเคชัน

ผลการทดลองการสั่งเปิด-ปิดอุปกรณ์ไฟฟ้า ให้ทำงานจากภายนอก โดยสั่งผ่านเว็บแอปพลิเคชันด้วยสมาร์ทโมบาย ผ่านระบบเครือข่ายอินเทอร์เน็ตไร้สายและอุปกรณ์ Wi-Fi เชื่อมต่อโมดูล Wi-Fi ESP8266 บนแผงไมโครคอนโทรลเลอร์ ผลการเข้าใช้เว็บแอปพลิเคชันสามารถทำได้โดยเข้าโปรแกรมเบราว์เซอร์ Google Chrome, Firefox, Internet Explorer (เวอร์ชัน 8.0 ขึ้นไป)

### 4.3 การทดลองสั่งงานอุปกรณ์ไฟฟ้าบนหน้าตู้ควบคุม

ผลการทดลองการสั่งงานอุปกรณ์ไฟฟ้าทั้ง 4 ชนิด มีจำนวนครั้งที่สั่งงานรวม 40 ครั้ง ระบบทำงานได้อย่างถูกต้องร้อยละ 100

## 5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่ในการทำการทดลอง

**บทความวิจัย**

การประชุมวิชาการ งานวิจัยและพัฒนาเชิงประยุกต์ ครั้งที่ 8

*8th ECTI-CARD 2016, Hua Hin, Thailand*

# เครื่องแสดงสถานะแบตเตอรี่แบบไร้สายและการประจุไฟฟ้าแบบอัตโนมัติ

# Wireless battery monitoring and automatic charging system

**เสนอ สะอาด* และ ดรุณี ชายทอง**

[1]สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

1 ถ.ราชดำเนินนอก ต.บ่อยาง อ.เมือง จ.สงขลา 90000 โทรศัพท์: 0-7431-7162 E-mail: s_saner@hotmail.com

## บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการออกแบบเครื่องแสดงสถานะแบตเตอรี่แบบไร้สายและการประจุไฟฟ้าแบบอัตโนมัติ เพื่อตรวจวัดสถานะของแบตเตอรี่แบบไร้สายและทำการประจุแรงดันไฟฟ้าแบตเตอรี่อัตโนมัติเมื่อแบตเตอรี่มีค่าแรงดันไฟฟ้าต่ำกว่าที่กำหนด ในการวัดสถานะแบตเตอรี่และการประจุไฟฟ้าถูกออกแบบให้มีไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุมการทำงานของระบบ ทำหน้าที่ในการตรวจวัดค่าแรงดันไฟฟ้า ค่ากระแสไฟฟ้า ค่าอุณหภูมิ การประจุไฟฟ้าแบบอัตโนมัติ การเก็บข้อมูลและการรับส่งข้อมูลค่าสถานะแบตเตอรี่แบบไร้สายด้วยคลื่นความถี่วิทยุขนาด 433.92 เมกะเฮิรตซ์ เพื่อให้สามารถสังเกตพฤติกรรมของแบตเตอรี่ที่เปลี่ยนแปลงตามเวลาได้อย่างสะดวกและรวดเร็ว ผลการทดสอบการทำงานพบว่าสามารถวัดค่าแรงดันไฟฟ้าได้ตั้งแต่ 10-28 โวลต์ มีค่าความผิดพลาดไม่เกิน 0.08 % โดยมีระยะการส่งไม่น้อยกว่า 40 เมตร ซึ่งจะช่วยให้สามารถวางแผนจัดการปัญหาต่างๆ ที่อาจเกิดขึ้นเนื่องจากการเสื่อมสภาพของแบตเตอรี่ อันเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้งานของแบตเตอรี่ในอุปกรณ์ทางไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ต่อไป

คำสำคัญ: การวัดสถานะแบตเตอรี่แบบไร้สาย, การประจุไฟฟ้าอัตโนมัติ, ไมโครคอนโทรลเลอร์

## Abstract

This paper presents the design of a wireless battery monitoring and automatic charging system to measure the status of the battery and automatic charging battery voltage as the battery voltage is substandard. Electric charging and battery status measuring are designed to have a microcontroller system to control working system that measures voltage, current, temperature, automatic electric charging, storage and status transmission of wireless battery by 433.92 MHz radio frequency so that you can observe the behavior of the battery, depending on time quickly and easily. The experimental results are found that it could measure voltage from 10 to 28 volt with an error not exceed than 0.08 percent and the coverage of data transfer with in 40 meters. As the following results, we can plan the problems management that may arise due to the deterioration of the battery in order to increase the efficiency of the battery usage in electrical and electronic equipment.

Keywords: wireless battery monitoring, automatic charging system, microcontroller

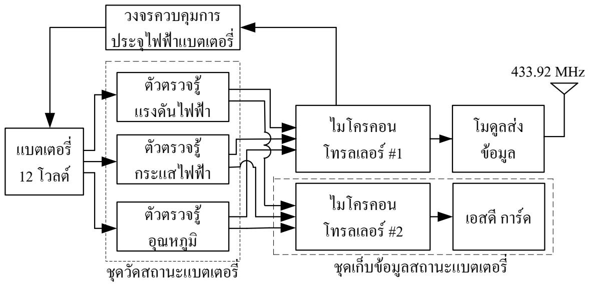
## 1. บทนำ

แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้านับว่าเป็นองค์ประกอบที่มีความสำคัญทำหน้าที่จ่ายกำลังไฟฟ้าไปยังระบบไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ เพื่อให้อุปกรณ์สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพและมีความต่อเนื่อง เนื่องจากระบบอิเล็กทรอนิกส์บางประเภทมีความจำเป็นที่ต้องทำงานอย่างต่อเนื่องตลอดเวลา เช่น ระบบการสื่อสาร ระบบธนาคาร เครื่องมือทางการแพทย์ ระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์ เป็นต้น ดังนั้นระบบสำรองไฟฟ้าจึงเข้ามามีบทบาทที่สำคัญในการจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับระบบในกรณีที่ระบบจ่ายกำลังไฟฟ้าหลักเกิดการขัดข้อง [1]-[2]

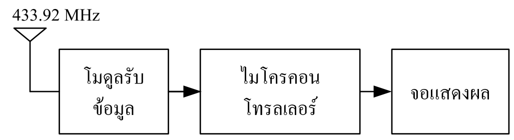
แบตเตอรี่ถือเป็นองค์ประกอบหนึ่งที่มีความสำคัญมาก เนื่องจากแบตเตอรี่เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เก็บและจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้แก่ระบบในกรณีฉุกเฉิน ซึ่งจะช่วยให้ระบบไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์สามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่อง [3] ซึ่งการใช้งานแบตเตอรี่จำเป็นต้องมีการตรวจสอบสภาพของแบตเตอรี่ เพื่อให้สามารถใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ จากเครื่องแสดงสถานะแบตเตอรี่ในระบบสำรองไฟฟ้า [4] และระบบการตรวจสอบแบตเตอรี่โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ [5] โดยระบบดังกล่าวสามารถตรวจวัดค่าแรงดันไฟฟ้า ค่ากระแสไฟฟ้า และค่าอุณหภูมิของแบตเตอรี่ได้ อย่างไรก็ตามจำเป็นต้องใช้สายไฟฟ้าการควบคุมการทำงาน และระบบตรวจสอบแรงดันแบตเตอรี่แบบไร้สายของบริษัท Ablerex Electronics จำกัด [6] ซึ่งสามารถวัดค่าแรงดันไฟฟ้า ค่ากระแสไฟฟ้า ค่าความต้านทาน และค่าอุณหภูมิได้ โดยส่งข้อมูลสถานะแบตเตอรี่แบบไร้สาย อย่างไรก็ตามพบว่าระบบดังกล่าวมีราคาสูงและยังไม่สามารถประจุแรงดันไฟฟ้าให้แก่แบตเตอรี่ได้อัตโนมัติ

จากปัญหาดังกล่าวผู้วิจัยจึงพัฒนาสร้างเครื่องแสดงสถานะแบตเตอรี่แบบไร้สายและการประจุไฟฟ้าแบบอัตโนมัติ เพื่อตรวจสอบสภาพการทำงานของแบตเตอรี่ และทำการประจุแรงดันไฟฟ้าอัตโนมัติ

ควบคุมการทำงานด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ ผ่านคลื่นความถี่วิทยุ เพื่อให้สามารถทราบสถานะปัจจุบันของแบตเตอรี่และเกิดความสะดวกในการใช้งานในการควบคุมในระยะไกล




(ก)




(ข)

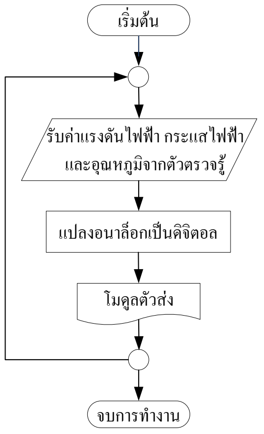
**รูปที่ 1** บล็อกไดอะแกรมเครื่องแสดงสถานะแบตเตอรี่แบบไร้สาย
(ก) ชุดวัดสถานะแบตเตอรี่และส่งสัญญาณแบบไร้สาย
(ข) ชุดรับสัญญาณและการแสดงผล

## 2. การออกแบบเครื่องแสดงสถานะแบตเตอรี่แบบไร้สายและการประจุไฟฟ้าแบบอัตโนมัติ

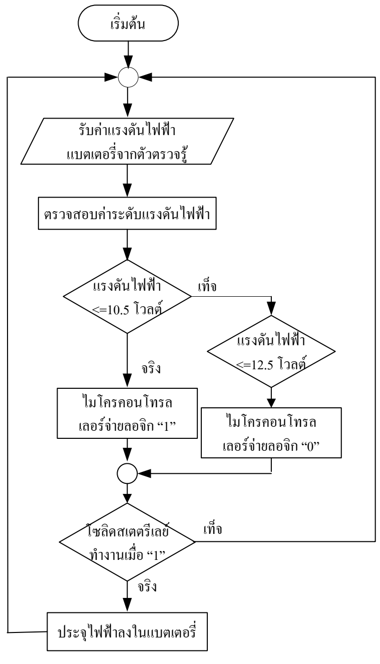
เครื่องแสดงสถานะแบตเตอรี่แบบไร้สายและการประจุไฟฟ้าแบบอัตโนมัติ ถูกออกแบบให้ทำหน้าที่ในการวัดสถานะแบตเตอรี่แบบไร้สาย สามารถแบ่งองค์ประกอบที่สำคัญได้ 2 ส่วน คือ (1) ชุดวัดสถานะแบตเตอรี่และส่งสัญญาณแบบไร้สาย และ (2) ชุดรับสัญญาณและการแสดงผล ดังแสดงในรูปที่ 1

### 2.1 ชุดวัดสถานะแบตเตอรี่และส่งสัญญาณแบบไร้สาย

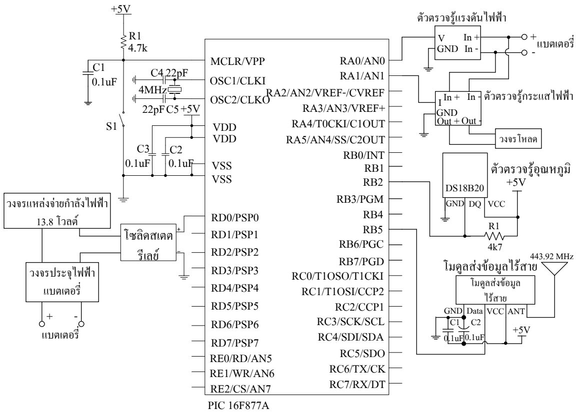
ชุดวัดสถานะของแบตเตอรี่และส่งสัญญาณแบบไร้สาย เป็นวงจรที่ทำหน้าที่ในการวัดค่าสถานะแบตเตอรี่ ประจุไฟฟ้าแบตเตอรี่แบบอัตโนมัติ และส่งข้อมูลสถานะแบตเตอรี่ไปยังชุดรับสัญญาณและการแสดงผลแบบไร้สาย ตามลำดับ โดยการวัดค่าสถานะแบตเตอรี่ จะทำการวัดค่าแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้าและอุณหภูมิเพื่อส่งข้อมูลของแบตเตอรี่ที่ได้ก่อนส่งไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ ตัวที่ 1 (PIC) ซึ่งทำหน้าที่แปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอลอยู่ภายในก่อนทำการประมวลผลต่อไป วงจรวัดสัญญาณแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า ถูกออกแบบให้สามารถป้องกันปัญหาการรบกวนทางไฟฟ้าและอันตรายที่อาจจะเกิดขึ้นกับวงจรรวมถึงการปรับระดับแรงดันไฟฟ้าให้มีความเหมาะสมก่อนส่งสัญญาณไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ ผังงานการส่งข้อมูลสถานะแบตเตอรี่ดังแสดงในรูปที่ 2 ในส่วนของการประจุไฟฟ้าลงในแบตเตอรี่ถูกออกแบบให้ทำงานแบบอัตโนมัติ เมื่อระดับแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่มีค่าต่ำกว่าที่กำหนด แผนผังการประจุไฟฟ้าแบบอัตโนมัติแสดงดังในรูปที่ 3 ค่าที่ได้จากการวัดสถานะแบตเตอรี่เมื่อไมโครคอนโทรลเลอร์ทำการประมวลผลตามที่กำหนดจะทำการส่งข้อมูลไปยังชุดรับสัญญาณและแสดงผลผ่านโมดูลส่งข้อมูลไร้สาย โดยชุดส่งสัญญาณอัตโนมัติที่ความถี่ 433.92 เมกะเฮิรตซ์ วงจรชุดวัดสถานะของแบตเตอรี่และส่งสัญญาณแบบไร้สาย ควบคุมการทำงานด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ แสดงดังในรูปที่ 4 ส่วนวงจรควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ ตัวที่ 2 (Arduino) จะทำหน้าที่ในการบันทึกค่าข้อมูลของสถานะแบตเตอรี่ ลงในหน่วยความจำแบบเอสดีการ์ดในรูปของดาต้าล็อกเกอร์




**รูปที่ 2** แผนผังงานการส่งข้อมูลสถานะแบตเตอรี่แบบไร้สาย



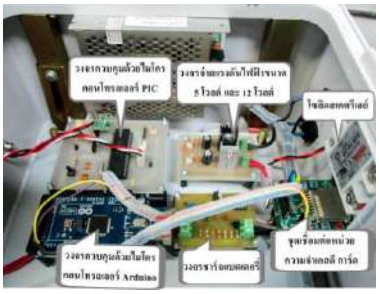

**รูปที่ 3** แผนผังงานการประจุไฟฟ้าลงในแบตเตอรี่




**รูปที่ 4** วงจรชุดวัดสถานะของแบตเตอรี่และส่งสัญญาณแบบไร้สาย ควบคุมการทำงานด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC

## 2.2 ชุดรับสัญญาณและการแสดงผล

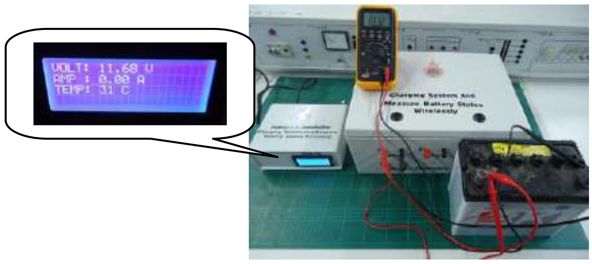
ชุดรับสัญญาณและการแสดงผล ดังแสดงในรูปที่ 5 (ข) ทำหน้าที่ในการรับค่าข้อมูลสถานะแบตเตอรี่ (แรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และอุณหภูมิ) จากวงจรชุดวัดสถานะของแบตเตอรี่และส่งสัญญาณแบบไร้สาย โดยผ่านโมดูลรับส่งข้อมูลแบบไร้สาย และนำข้อมูลดังกล่าวเพื่อไปแสดงผลในรูปแบบของตัวเลขบนจอแอลซีดี เพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถสังเกตการเปลี่ยนแปลงต่างๆ ของแบตเตอรี่ได้อย่างต่อเนื่อง



(ก)

(ข)

**รูปที่ 5** เครื่องแสดงสถานะแบตเตอรี่แบบไร้สายฯ ที่นำเสนอ
(ก) ชุดวัดสถานะแบตเตอรี่และส่งสัญญาณแบบไร้สาย
(ข) ชุดรับสัญญาณและการแสดงผล




**รูปที่ 6** การทดสอบเครื่องแสดงสถานะแบตเตอรีแบบไร้สายและการประจุไฟฟ้าแบบอัตโนมัติเข้ากับแบตเตอรี่

## 3. ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

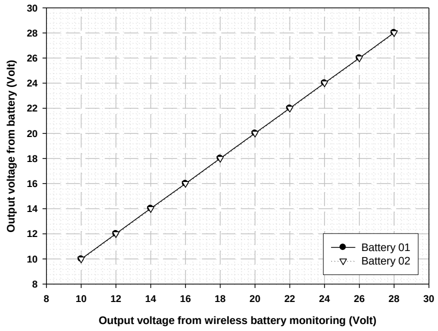
เครื่องแสดงสถานะแบตเตอรี่แบบไร้สายและการประจุไฟฟ้าแบบอัตโนมัติ ถูกนำมาทดสอบประสิทธิภาพการทำงานและเสถียรภาพของวงจร โดยนำมาทดสอบกับแบตเตอรี่ ขนาด 12 โวลต์ ขนาด 45 แอมแปร์ เป็นระยะ 3 สัปดาห์ ดังแสดงในรูปที่ 6 จากการทดสอบการทำงานพบว่า เครื่องแสดงสถานะแบตเตอรี่แบบไร้สาย สามารถวัดค่าต่างๆ ได้อย่างถูกต้องเมื่อเทียบกับค่าที่ได้จากการวัดด้วยมิเตอร์มาตรฐาน รูปที่ 7 แสดงค่าความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าได้จากแบตเตอรี่และจากเครื่องแสดงสถานะแบตเตอรี่ฯ ที่แรงดันไฟฟ้าตั้งแต่ 10-28 โวลต์ จากรูปจะเห็นได้ว่าค่าที่ได้มีค่าความผิดพลาดไม่เกิน 0.08 เปอร์เซ็นต์ และสามารถแสดงผลได้อย่างต่อเนื่อง รูปที่ 8 แสดงการวัดค่ากระแสไฟฟ้า โดยทำการทดสอบที่ค่ากระแสไฟฟ้า 1-15 แอมแปร์ ค่าที่วัดได้จะมีความผิดพลาดเฉลี่ยไม่เกิน 3.5 เปอร์เซ็นต์ รูปที่ 9 แสดงการทดสอบระบบประจุไฟฟ้าลงในแบตเตอรี่แบบอัตโนมัติ โดยจากการทดสอบพบว่าระบบสามารถทำงานได้อย่างแม่นยำโดยจะทำการประจุไฟฟ้าลงในแบตเตอรี่เมื่อค่าแรงดันไฟฟ้าแบตเตอรี่ต่ำกว่ากำหนด และระบบจะทำงานอัตโนมัติเมื่อแรงดันไฟฟ้าแบตเตอรี่ถึงค่าที่กำหนด

นอกจากนั้นยังได้มีการออกแบบให้วัดค่าอุณหภูมิของแบตเตอรี่โดยทำการวัดค่าอุณหภูมิโดยรอบของแบตเตอรี่ ซึ่งผลการทดสอบพบว่าค่าที่วัดได้มีค่าความไม่เกินผิดพลาด 0.5 เปอร์เซ็นต์ สามารถแสดงผลได้อย่างต่อเนื่องในรูปแบบตัวเลขบนจอแสดงผลในชุดรับสัญญาณและการแสดงผลแบบไร้สาย ที่ความถี่ 433.92 เมกะเฮิรตซ์ พบว่าสามารถรับส่งข้อมูลได้อย่างถูกต้องที่ระยะทางได้ระหว่าง 0.2 เมตร - 40 เมตร และยังมีการจัดเก็บข้อมูลในรูปแบบดาต้าล็อกเกอร์ลงในหน่วยความจำแบบแอสดีการ์ด โดยสามารถเรียกดูข้อมูลย้อนหลังได้อีกด้วย

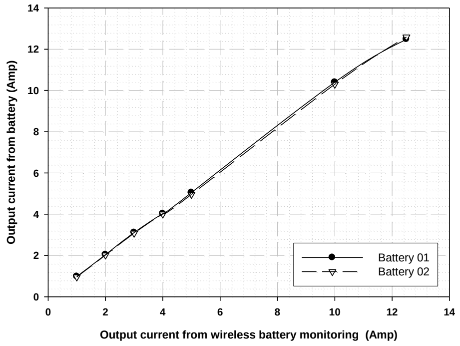
## 4. สรุปผลการทดลอง

เครื่องแสดงสถานะแบตเตอรี่แบบไร้สายและการประจุไฟฟ้าแบบอัตโนมัติที่ได้ออกแบบ สามารถวัดสถานะแบตเตอรี่ได้อย่างถูกต้อง

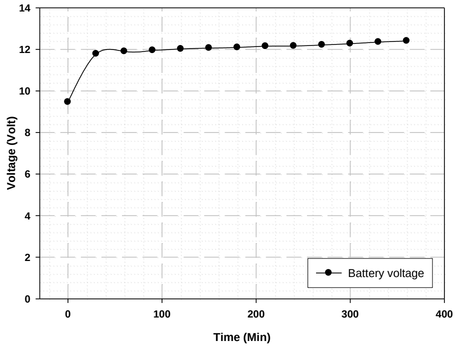
และแสดงผลแบบไร้สาย ทั้งค่าแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และอุณหภูมิ โดยสามารถแสดงผลข้อมูลสถานะแบตเตอรี่ในรูปแบบตัวเลขบนจอแสดงผลแบบไร้สายที่ความถี่ 433.92 เมกะเฮิรตซ์ ได้ในระยะไม่น้อยกว่า 40 เมตร และมีระบบประจุไฟฟ้าลงในแบตเตอรี่แบบอัตโนมัติ นอกจากนี้ยังเก็บข้อมูลสถานะของแบตเตอรี่ลงในหน่วยความจำเพื่อให้สามารถเรียกดูข้อมูลได้ในภายหลัง จึงเหมาะสมที่จะนำไปใช้งานการตรวจวัดสถานะของแบตเตอรี่ เพื่อสามารถใช้งานแบตเตอรี่ได้อย่างมีประสิทธิภาพและยืดอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ต่อไป




**รูปที่ 7** การเปรียบเทียบค่าแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากเครื่องแสดงสถานะแบตเตอรี่แบบไร้สายกับค่าแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่




**รูปที่ 8** การเปรียบเทียบค่ากระแสไฟฟ้าที่ได้จากเครื่องแสดงสถานะแบตเตอรี่ฯ กับค่าที่ได้จากการวัดค่ากระแสไฟฟ้าของแบตเตอรี่




**รูปที่ 9** การการประจุไฟฟ้าลงในแบตเตอรี่แบบอัตโนมัติ

## 4. กิตติกรรมประกาศ

ผลงานวิจัยชิ้นนี้ได้รับการสนับสนุนจากคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย และขอขอบคุณนักศึกษาสาขาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ทุกท่าน ที่มีส่วนร่วมให้งานชิ้นนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

## เอกสารอ้างอิง

[1] J.P.Gun, J.N.Fiorina, M.Fraisse and H.Mabboux, “Increasing UPS Battery Lifemain failure modes, charging and monitoring solutions”, Telecommunications Energy Conference (INTELEC 97), 1997, pp.389-396.

[2] J.P.Cun, J.N.Fiorina,M.Fraisse and H.Mabboux, “The experience of a UPS company advanced battery monitoring”, INTELEC 96, 1996, pp.646-653.

[3] R.Kaniewski and F.Kotz, “The monitoring system of valve regulated lead acid batteries”, Telecommunications Energy Special Conference, 2000. (TELESCON 2000), 10-12 May 2000, pp.323–326.

[4] เสนอ สะอาด อรรถพล อิ้วแส และ เฉลิมพงศ์ พงศ์ชู ,“เครื่องแสดงสถานะแบตเตอรี่ในระบบสำรองไฟฟ้า”, การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 36, 11–13 ธันวาคม 2556, pp. 475-478.

[5] S. N.Patil, Sangmeshwar S.Kendre and R. C.Prasad, “ Battery Monitoring System using Microcontroller”, International Journal of Computer Applications, Volume 28, No.6, August 2011, pp.11–14.

[6] Ablerex Electronics Pte. Ltd., “Enerbatt 3G Wireless Battery Monitoring System”, [online] ได้จาก: http://www.ablerex.com.sg/downloads/products/Enerbatt3G_UM.pdf,

**เสนอ สะอาด** จบการศึกษาระดับปริญญาตรีและปริญญาโท จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง สาขาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ ปี พ.ศ. 2542 และ 2548 ตามลำดับ ปัจจุบันดำรงตำแหน่งผู้ช่วยศาสตราจารย์ ประจำหลักสูตรสาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย ทำงานวิจัยด้านการออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์การประยุกต์ใช้วงจรอิเล็กทรอนิกส์ และด้านพลังงานทางเลือก

# รถเข็นคนพิการควบคุมด้วยศีรษะ

## Wheel Chair control by Head

**มณเฑียร งามแก้ว วิชัย ชัยบุตร และ ศราวุฑ คงลำพันธ์**
สาขาครุศาสตร์อุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
วิทยาเขตขอนแก่น อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น 40000
saravut.ko@rmuti.ac.th

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและสร้างรถเข็นคนพิการควบคุมด้วยศีรษะ และทดสอบประสิทธิภาพของรถเข็นคนพิการควบคุมด้วยศีรษะ สำหรับช่วยเหลือผู้พิการช่วงล่างที่ไร้แขน โดยรถเข็นสามารถควบคุมและสั่งงานด้วยหมวกบนศีรษะของผู้พิการ โดยใช้เซ็นเซอร์วัดค่าการเอียงของศีรษะ ส่งผ่าน Wi-Fi เพื่อติดต่อสื่อสารระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์ ATmega328 ที่อยู่ในหมวกคนพิการกับไมโครคอนโทรลเลอร์ ATmega2560 ที่ติดตั้งอยู่ในรถเข็น แล้วนำค่าที่รับมาประมวลผลและสั่งงานไปที่ชุดควบคุมมอเตอร์ ทำให้รถเข็นเดินหน้า ถอยหลัง เลี้ยวซ้าย เลี้ยวขวา ได้ตามคำสั่ง นอกจากนี้รถเข็นสามารถควบคุมความเร็วรถเข็นด้วยองศาการเอียงของศีรษะสำหรับเดินหน้า ผลจากการทดลองประสิทธิภาพ รถเข็นสามารถควบคุมด้วยศีรษะ ได้ทั้งหมด 4 ทิศทาง คือ เดินหน้า ถอยหลัง เลี้ยวซ้าย และเลี้ยวขวา และสามารถปรับความเร็วด้วยการเอียงความเร็วสูงสุด 3 กิโลเมตรต่อชั่วโมง รับน้ำหนักได้สูงสุด 90 กิโลกรัม

คำสำคัญ: ไมโครคอนโทรลเลอร์,เซ็นเซอร์วัดความเร่งในการเอียง, รถเข็นคนพิการ,

### Abstract

Disabled wheel chair is controlled by head. The purposes of the project were design and develop the patient wheel chair which is controlled by head. It is fascinated for disabilities lower-part disabled person with no hand. Firstly, the mode and command were controlled by the cap on the head of the disabled person. The Accelerometer censor was used to measure the inclination of the head and was sent through wireless to converse between AT mega 2560 Micro controller, was set up the wheel chair. The derivative data was processed then it was send to motor control session. After that the motor control session controlled both left and right side motors, were set up at the wheel of the wheel chair. It could make the wheel chair move forward, backward and turn left or right follow the command. The result of the achievement test found that the wheel chair could be controlled by head by 4 directions, forward, backward, turning left and turning right movement. And it also could be adjusted the speed by the inclination disabled people can weigh up to 90 kg. Motion on the ground at speeds up to 3 km/h as the purpose of the project.

Keyword: Microcontroller, Accelerometer sensor, Wheel Chair

### 1. บทนำ

ประเทศไทยมีสถิติผู้ป่วยพิการที่ได้รับการจดทะเบียนทั้งหมดจำนวน 1,871,073 คน (กระทรวงการพัฒนาสังคมและความมั่นคงของมนุษย์,2557) เป็นคนพิการทางการเคลื่อนไหวหรือร่างกายจำนวน 780,782 คน ผู้ป่วยกลุ่มนี้จะมีปัญหาเรื่องการเคลื่อนที่และไม่สามารถที่จะช่วยเหลือตัวเองได้ เช่น ไม่สามารถเดินได้ไม่สามารถยิบจับสิ่งของได้ ต้องพึ่งพาผู้ดูแลจากพยาบาลหรือญาติผู้ป่วย ทำให้ต้องดูแลอย่างใกล้ชิดตลอดเวลา เพื่ออำนวยความสะดวกแก่ผู้พิการและคนชราที่ไม่สามารถเคลื่อนที่ได้ด้วยตนเอง จึงมีการพัฒนารถเข็นเพื่อผู้พิการ เช่น รถเข็นที่สั่งงานด้วยเสียง[1] ข้อด้อยคือความผิดพลาดของคำสั่งเสียงสูง ความเร็วในการทำงานค่อนข้างต่ำ การควบคุมรถเข็นไฟฟ้าด้วย จอยสติก (joystick)[2] ข้อด้อยคือสำหรับผู้ที่ไม่เคยชินก็จะควบคุมยากอาจเป็นปัญหาต่อการเคลื่อนที่ขาดความคล่องตัวในการใช้งานยากต่อการปรับแต่งเมื่อเกิดปัญหาขึ้น ในการใช้งานบางครั้งมืออาจพลาดไปโดนปุ่มควบคุมได้ง่ายทำให้เป็นอันตรายแก่ผู้พิการได้ รถเข็นคนพิการควบคุมด้วยโทรศัพท์มือถือ Android[3] ข้อด้อยคือ ผู้พิการทางด้านร่างกายสูญเสียความสามารถในการเคลื่อนไหว ได้แก่ มือ เท้า แขน ขา มาจากสาเหตุอัมพาต แขน ขา อ่อนแรง แขน ขาขาด ไม่สามารถใช้รถเข็นควบคุมด้วยโทรศัพท์มือถือ Android ได้ ในปัจจุบันนี้เทคโนโลยีมีส่วนช่วยในการดำเนินชีวิตให้สะดวกมากยิ่งขึ้นแต่ยังไม่สามารถตอบสนองต่อการเคลื่อนไหวของผู้พิการที่เป็นอัมพาตทั้งตัวหรือโรคแอลไอเอส (Locked-in syndrome LIS) ได้ จากปัญหาดังกล่าวผู้วิจัยจึงได้พัฒนารถเข็นสำหรับผู้พิการ โดยเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของรถเข็นเพื่อลดภาระผู้ดูแล และช่วยเหลือผู้พิการให้สามารถพึ่งพาตนเองได้ โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Arduino) ควบคุมเซ็นเซอร์ตรวจจับแกน X, Y และ Z ด้วยโมดูล GY-521MPU-6050 ซึ่งฝังในหมวกของผู้ป่วย เมื่อ

ผู้ป่วยก้มหน้า หรือเอียงซ้าย เอียงขวา เซ็นเซอร์จะตรวจจับการทำงาน แล้วส่งสัญญาณให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ไปขับมอเตอร์เพื่อบังคับล้อรถเข็นคนพิการให้ทำงานตามคำสั่ง ช่วยให้ผู้พิการไม่ต้องออกแรงในการบังคับรถเข็นอีกต่อไป

## 2. หลักการทำงานของวงจร

### 2.1 เซ็นเซอร์ความเร่ง Gyro+Accelerometer (รุ่น GY-512)

GY-521 เป็นโมดูล Accelerometers & Gyroscope ซึ่งสามารถทำงานได้ทั้ง 2 อย่างในเวลาเดียวกัน ใช้ในการตรวจสอบทิศการเคลื่อนที่ และ สามารถใช้ในการตรวจสอบความเร็วในการเปลี่ยนแปลงทิศทางของแกน XYZ ได้ ยกตัวอย่าง ถ้าวัตถุเกิดการเคลื่อนที่หรือเอียง Output ของ Accelerometer จะบอกค่าของการเอียงว่าสถานะปัจจุบันค่าของ XYZ อยู่ที่เท่าไร แต่ Gyroscope จะวัดค่าได้ตอนที่กำลังเอียงหรือตอนกำลังเคลื่อนไหวเท่านั้น เมื่อวัตถุหยุดยิ่ง ค่าของ Gyroscope จะวัดไม่ได้เพราะไม่มีการเคลื่อนไหว

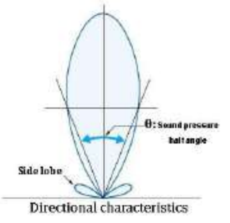
**รูปที่ 1** Gyro+Accelerometer (รุ่น GY-512)

### 2.2 โมดูลเพื่อใช้ในการวัดระยะทาง (Ultrasonic Ranging Module HC-SR04)

การวัดระยะทางโดยไม่ต้องมีการสัมผัสกับพื้นผิวของวัตถุที่ต้องการวัดระยะทาง Ultrasonic Ranging Module HC-SR04 เป็นอุปกรณ์ที่มีความแม่นยำในการวัดระยะทาง จึงมีความเหมาะสมกับรถเข็นผู้พิการควบคุมด้วยศีรษะ และยังใช้กับบอร์ดได้ทุกชนิดทั้งที่เป็น Arduino หรือเป็นไมโครคอนโทรลเลอร์อย่างอื่น

**รูปที่ 2** Ultrasonic Ranging Module HC-SR04

การทำงานของ Ultrasonic sensor จะเริ่มต้นทำงานโดยการส่งสัญญาณเริ่มต้นยาว 10 ไมโครวินาที ไปสั่งให้แหล่งกำเนิดเสียงทำงาน จากนั้นจะส่งคลื่นเสียงความถี่ 40 $kH_z$ ออกไป 8 พัลส์ แล้วรอฟังเสียงสะท้อน ตัวซ้ายจะเป็นตัวส่งคลื่นเสียงออกไปส่วนตัวขวาในรูปที่ 3 จะเป็นตัวรับความถี่ที่สะท้อนกลับมาเนื่องจากเสียงที่ส่งออกไปถึงแม้จะไม่ได้ยินเพราะเกิน 20 $KH_z$ ที่หูมนุษย์จะรับฟังได้ อีกส่วนที่จะต้องรู้ก็คือช่วงวัด และมุมที่สามารถวัดได้และเนื่องจากคุณสมบัติของอุปกรณ์ที่ใช้ในการกำเนิดเสียง และรูปร่างของตัวลำโพง (Horn) ก็ทำให้อุปกรณ์ตัวนี้มีมุมวัด 15 องศา (Measuring Angle)โดยสามารถวัดระยะห่างได้ตั้งแต่ 2 ซม. จนถึง 4 เมตร




**รูปที่ 3** การแพร่กระจ่ายคลื่น

### 2.3 บอร์ดอาร์ดูโน (Arduino Uno Board)

ไมโครคอนโทรลเลอร์คือ อุปกรณ์ที่มีหน่วยประมวลผลและความจำขนาดเล็กภายในตัวเอง สามารถรับ-ส่งข้อมูลได้ทั้งแบบดิจิตอลและอนาล็อกใช้พลังงานน้อย ทำให้เป็นที่นิยมในการใช้งานในรูปแบบที่เรียกว่า Embedded เช่น เครื่องใช้ไฟฟ้าอัจฉริยะทั้งหลายในการต่ออุปกรณ์เสริมต่างๆ [4] คือผู้ใช้งานสามารถต่อวงจรอิเล็กทรอนิกส์จากภายนอกแล้วเชื่อมต่อเข้ามาที่ขา I/O ของบอร์ดหรือเพื่อความสะดวกสามารถเลือกต่อกับบอร์ดเสริม (Shield) ประเภทต่างๆ เช่น XBee Shield, Music Shield, Relay Shield, Wireless Shield, GPRS Shield เป็นต้น มาเสียบกับบอร์ดบนบอร์ด Arduino แล้วเขียนโปรแกรมพัฒนาต่อได้เลย

### 2.4 รถเข็นผู้ป่วยหรือรถเข็นคนไข้ (wheelchair)

รถเข็นผู้ป่วยปัจจุบันรถเข็นผู้ป่วยหรือรถเข็นคนไข้ มีทั้งชนิดที่ต้องใช้มือหมุนล้อ (Manual wheelchairs) กับรถเข็นผู้ป่วย/รถเข็นคนไข้ที่ใช้ระบบอัตโนมัติ ความจำเป็นของรถเข็นผู้ป่วยมีมากขึ้น โดยเฉพาะผู้ที่มีความบกพร่องของการเดินไม่ว่าจะมีสาเหตุมาจากการป่วยไข้ การบาดเจ็บหรือด้วยสาเหตุอื่นๆ

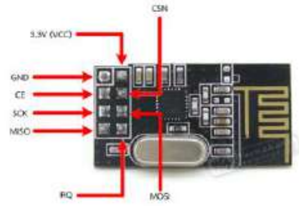
**รูปที่ 4** รถเข็นผู้ป่วย

รถเข็นผู้ป่วยมีวิวัฒนาการอย่างมากมีคุณภาพและสิ่งอำนวยความสะดวกที่หลากหลาย รถเข็นผู้ป่วยที่มีราคาแพงพวก Ultra-light wheelchairs จะมีโครงสร้างเป็นโลหะเบา อลูมิเนียมหรือไตตาเนียม มีระบบการบังคับ การเอนพนัก ระบบความปลอดภัยและระบบล้อที่เคลื่อนไหวได้คล่องแคล่ว ผู้ป่วยจึงสามารถเรียนรู้และบังคับได้อย่างรวดเร็ว เหมาะสำหรับผู้ป่วยที่จำเป็นต้องใช้ระยะยาว สำหรับรถเข็น

ผู้ป่วยที่มีราคาย่อมเยา ถึงจะไม่ได้ผลิตด้วยโลหะเบาแต่มีความทนทาน ใช้งานได้ง่ายมีระบบอำนวยความสะดวกพอควร จึงเหมาะสำหรับผู้ป่วยทั่วๆไป

### 2.5 โมดูลสื่อสารไร้สาย Wireless nrf24l01

โมดูล NRF24L01 เป็นโมดูลสื่อสารไร้สาย ที่สามารถเขียนโปรแกรมให้เป็นได้ทั้งตัวรับและตัวส่ง สามารถใช้กับ Arduino ได้หลายตัวพร้อมกัน มีความเร็ว 2.4G จึงสื่อสารได้รวดเร็วและไม่ต้องการเสาอากาศที่ยาว มีขนาดเล็กสะดวกในการต่อใช้งาน สามารถประยุกต์ใช้งานได้หลายอย่างเช่น ใช้เป็นอุปกรณ์ส่งข้อมูลของเซนเซอร์อัตโนมัติสำหรับควบคุม อุณหภูมิ ความชื้น การแจ้งเตือนต่าง ๆ ควบคุมและติดตามหุ่นยนต์ Robot Control and Monitoring ได้ในระยะ 15-500 เมตร โมดูลนี้ใช้ชิป nRF24L01+ m ทำงานด้วยความเร็วสูง High-speed SPI interface ใช้พลังงานต่ำ รองรับการทำงานร่วมกับ Arduino และมีเสาอากาศมาให้ในตัว




**รูปที่ 5** ตำแหน่งขาต่างของ Wireless nrf24l01

### 2.6 มอเตอร์ (Motor)

มอเตอร์ (Motor) เป็นเครื่องใช้ไฟฟ้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกลประกอบด้วยขดลวดที่พันรอบแกนโลหะที่วางอยู่ระหว่างขั้วแม่เหล็ก โดยเมื่อผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าไปยังขดลวดที่อยู่ระหว่างขั้วแม่เหล็ก จะทำให้ขดลวดหมุนไปรอบแกน และเมื่อสลับขั้วไฟฟ้า การหมุนของขดลวดจะหมุนกลับทิศทางเดิมซึ่งอัตราความเร็วที่หมุนขึ้นอยู่กับกระแสและแรงดันที่จ่ายให้มอเตอร์ ถ้าหากแรงบิดไม่เพียงพอสามารถทดรอบของการหมุนได้

หลักการทำงานของมอเตอร์กระแสตรงเมื่อป้อนแรงดันกระแสไฟฟ้าตรงเข้าไปในมอเตอร์ ส่วนหนึ่งจะแปรงถ่านผ่านคอมมิวเตเตอร์เข้าไปในขดลวดอาร์มาเจอร์สร้างสนามแม่เหล็กขึ้น และกระแสไฟฟ้าอีกส่วนหนึ่งจะไหลเข้าไปในขดลวดสนามแม่เหล็กสร้างขั้วเหนือ-ใต้ขึ้นจะเกิดสนามแม่เหล็ก 2 สนาม ในขณะเดียวกัน ตามคุณสมบัติของเส้นแรงแม่เหล็ก จะไม่ตัดกันทิศทางตรงข้ามจะหักล้างกัน และทิศทางเดียวจะเสริมแรงกัน ทำให้เกิดแรงบิดในตัวอาร์มาเจอร์ ซึ่งวางแกนเพลาและแกนเพลานี้ สวมอยู่กับตลับลูกปืนของมอเตอร์ ทำให้อาร์มาเจอร์นี้หมุนได้ ขณะที่ตัวอาร์มาเจอร์ทำหน้าที่หมุนได้นี้เรียกว่า โรเตอร์ (Rotor) ซึ่งหมายความว่าตัวหมุนการที่อำนาจเส้นแรงแม่เหล็กทั้งสองมีปฏิกิริยาต่อกัน ทำให้ขดลวดอาร์มาเจอร์หรือโรเตอร์หมุนไปนั้นเป็นไปตามกฎซ้ายของเฟลมมิ่ง (Fleming left hand rule)

## 3. ผลการดำเนินงาน

เมื่อทำการออกแบบวงจรชุดควบคุมต่างๆ และทำการออกแบบโปรแกรมที่ใช้ควบคุมรถเข็นเสร็จเรียบร้อยแล้ว นำมาทดสอบประสิทธิภาพการทำงานจริงของรถเข็นผู้พิการควบคุมด้วยศีรษะ ได้ผลการทดลอง ดังนี้

### 3.1 ผลการวัดทดสอบการควบคุมทิศทางและควบคุมความเร็ว

**ตารางที่ 1** ผลการควบคุมทิศทางของรถเข็นคนพิการควบคุมด้วยศีรษะ

| สถานะการเอียง | ผลการควบคุมทิศทางของรถเข็นที่ทำการทดสอบ | |
|---|---|---|
| | ควบคุม(ได้) | ควบคุม(ไม่ได้) |
| 1. ก้มหน้า | ได้ | - |
| 2. เงยหน้า | ได้ | - |
| 3.เอียงหัวทางขวา | ได้ | - |
| 4.เอียงหัวทางซ้าย | ได้ | - |

**ตารางที่ 2** ผลการควบคุมความเร็วของรถเข็นคนพิการควบคุมด้วยศีรษะ

| สถานะการเอียง | ผลการควบคุมความเร็วของรถเข็นที่ทำการทดสอบ | |
|---|---|---|
| | ความเร็วต่ำสุด | ความเร็วสูงสุด |
| 1. ก้มหน้า | 1 กิโลเมตร/ชั่วโมง | 3กิโลเมตร/ชั่วโมง |
| 2. เงยหน้า | 1 กิโลเมตร/ชั่วโมง | 3กิโลเมตร/ชั่วโมง |

### 3.2 ผลการทดสอบการวัดสัญญาณที่ใช้ควบคุมความเร็วรถเข็น

สัญญาณพัลส์ที่ระดับความเร็วต่ำสุด ที่ค่า PWM_out_level0 - 170 ซึ่งค่าDuty Cycle มีค่า 66%

คิดได้จาก สมการ $PWM_out_leve = 255 \times Veff/V$ (3.1)

$Duty\ cycle \times 5\ V = Veff$ (3.2)

แทนค่าในสมการ 1 $Veff = (170/255) \times 5 = 3.33$ V

แทนในสมการที่ 2 $Duty\ cycle = 3.33/5 = 0.66 = 66\%$

สัญญาณพัลส์ที่ระดับความเร็วปานกลาง ที่ค่า PWM_out_level 171 - 200 ซึ่งค่า Duty Cycle มีค่า 78% แทนค่าในสมการที่ (3.1),(3.2) จะได้

แทนค่าในสมการ 1 $Veff = (200/255) \times 5 = 3.92$ V

แทนในสมการที่ 2 $Duty\ cycle = 3.92/5 = 0.78 = 78\%$

สัญญาณพัลส์ที่ระดับความเร็วสูงสุด ที่ค่า PWM_out_level 201 - 250 ซึ่งค่า Duty Cycleมีค่า 98% แทนค่าในสมการที่ (3.1),(3.2) จะได้

แทนค่าในสมการ 1 $Veff = (250/255) \times 5 = 4.90$ V

แทนในสมการที่ 2 $Duty\ cycle = 4.9/5 = 0.98 = 98\%$

**รูปที่ 6** ตำแหน่งติดตั้งมอเตอร์ขับเคลื่อน

จากรูปที่ 6 ตำแหน่งการติดตั้งมอเตอร์ขับเคลื่อนจะติดตั้งให้ใกล้กับล้อรถเข็นผู้ป่วยมากที่สุดเพื่อทำให้การขับเคลื่อนส่งถ่ายกำลังสูงสุด

### 3.3 การทดสอบการวัดกระแสไฟฟ้าจากมอเตอร์ในขณะทำงาน

**ตารางที่ 3** ผลการวัดกระแสไฟฟ้าจากมอเตอร์ขณะรถเข็นทำงาน

| สถานะ | กระแสไฟฟ้าจากมอเตอร์ขณะรถเข็นทำงาน (A) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | เอียง 30 องศา | | เอียง 45 องศา | | เอียง 60 องศา | |
| | ต่ำสุด | สูงสุด | ต่ำสุด | สูงสุด | ต่ำสุด | สูงสุด |
| เดินหน้า | 6.4 | 8.0 | 7.9 | 10.8 | 8.1 | 11.9 |
| ถอยหลัง | 6.5 | 8.0 | 7.8 | 10.1 | 8.3 | 11.5 |
| เลี้ยวซ้าย | 4.7 | 5.2 | 5.4 | 7.3 | 6.1 | 10.3 |
| เลี้ยวขวา | 4.9 | 5.2 | 6.1 | 7.6 | 6.3 | 10.9 |

** เมื่อทดสอบกับคนที่มีน้ำหนัก 70 กิโลกรัม

### 3.4 การทดสอบการวัดแรงดันไฟฟ้าจากมอเตอร์ในขณะทำงาน

**ตารางที่ 4** ผลการวัดแรงดันไฟฟ้าจากมอเตอร์ขณะรถเข็นทำงาน

| สถานะ | แรงดันไฟฟ้าจากมอเตอร์ขณะรถเข็นทำงาน (V) | | |
|---|---|---|---|
| | เอียง 30 องศา | เอียง 45 องศา | เอียง 60 องศา |
| เดินหน้า | 23.3 | 23 | 22.9 |
| ถอยหลัง | 23.3 | 23 | 22.9 |
| เลี้ยวซ้าย | 23.5 | 23.2 | 23.2 |
| เลี้ยวขวา | 23.5 | 23.2 | 23.1 |

** เมื่อทดสอบกับคนที่มีน้ำหนัก 70 กิโลกรัม

### 3.5 ผลการทดสอบระยะทางการป้องกันชน

**ตารางที่ 5** ผลการทดสอบการป้องกันการชน

| ระยะทาง | เดินหน้า | ถอยหลัง |
|---|---|---|
| 50 เซนติเมตร | ตรวจจับได้ | ตรวจจับได้ |
| 100 เซนติเมตร | ตรวจจับได้ | ตรวจจับไม่ได้ |
| 150 เซนติเมตร | ตรวจจับไม่ได้ | ตรวจจับไม่ได้ |

**รูปที่ 7** ตำแหน่งติดตั้งป้องการการชนด้านหลังและชุดควบคุม

## 4. สรุปผล

จากการออกแบบ สร้าง และทดสอบประสิทธิภาพของรถเข็นคนพิการควบคุมด้วยศีรษะ พบว่า รถเข็นคนพิการควบคุมด้วยศีรษะ สามารถควบคุมและสั่งงานได้ทั้งหมด 4 ทิศทาง คือ เดินหน้า ถอยหลัง เลี้ยวซ้าย และเลี้ยวขวา ด้วยหมวกบนศีรษะของผู้พิการ และสามารถปรับความเร็วด้วยการเอียงความเร็วสูงสุด 3 กิโลเมตรต่อชั่วโมง รับน้ำหนักได้สูงสุด 90 กิโลกรัม

รถเข็นคนพิการควบคุมด้วยศีรษะที่สร้างขึ้น สามารถช่วยอำนวยความสะดวกให้กับให้ผู้พิการหรือคนชรา ทำให้ไม่ต้องออกแรงในการบังคับรถเข็นอีกต่อไป

## เอกสารอ้างอิง

[1] ณรงค์รัตน์ เลี้ยวรุ่งโรจน์ อนุพงษ์ ธรรมรักษาสิทธิ์ และ โกสินทร์ จำนงไทย .๒๕๔๖. รถเข็น คนพิการควบคุมด้วยระบบรู้จำเสียงพูด. ๑๒ กุมภาพันธ์ ๒๕๕๘

[2] ธิดารัตน์ อ้มเถื่อน ธิติเกียรติกาญจน์ วุฒิเสลา และปิยนุช นาคอก .๒๕๕๒. เก้าอี้รถเข็นไฟฟ้า. ๒๔ มกราคม ๒๕๕๘

[3] เกียรติศักดิ์ กำเนิดมะไฟ และลิขิต รัตนโสภา .๒๕๕๗. รถเข็นคนพิการควบคุมด้วยโทรศัพท์มือถือ Android. ๑๓ มกราคม ๒๕๕๘

ณัฐการ สันหนัง เจษฎา กาฬจันทร์ และสราวุฒิ ปัญญายาว .๒๕๔๕. รถฝึกเดินกึ่งอัตโนมัติควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์. ๑๙ มกราคม ๒๕๕๘

[4] นายณัฐวุฒิ ชาวไร่ นายศรัญญู ทำขวัญ และ นายรัฐศาสตร์ ลายกนก.๒๕๕๒. บอร์ดอาร์ดูโน(Arduino) รุ่น Arduino328. .(ออนไลน์). แหล่งที่มา : http://elec-robo.webiz.co.th/products ๑๐ มกราคม ๒๕๕๘

[5] มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง .๒๕๕๖. (ออนไลน์). แหลงที่มา : http:// 202.129.59.73/tn/motor10-52/motor1.htm ๑ มกราคม ๒๕๕๘

[6] ลือชัย โพธิ์ชัย .(๒๕๔๔). การควบคุมมอเตอร์ (ออนไลน์) แหล่งที่มา : http://www.lpc.rmutl.ac.th/elcen/elearning/motorcontrol/home_thai.html. ๒๒ กุมภาพันธ์ ๒๕๕๘

[7] เอกวิทย์ ภูมิศรี, ต่อเกียรติ ธาราเสาวรภย์ และสนธยา เม้ามีศรี .๒๕๔๖. รถกายภาพบำบัดไฟฟ้าไฟฟ้า. ๑๗ กุมภาพันธ์ ๒๕๕๘

[8] อำนาจ ทองผาสุก และวิทยา ประยงค์พันธ์ .(2556) ระบบควบคุม มอเตอร์ . ๗ มีนาคม ๒๕๕๘

**บทความวิจัย**

การประชุมวิชาการ งานวิจัยและพัฒนาเชิงประยุกต์ ครั้งที่ 8

*8th ECTI-CARD 2016, Hua Hin, Thailand*

# แอพพลิเคชันระบบจัดการคิวรักษา กรณีศึกษาโรงพยาบาลสงขลานครินทร์

# Healthcare Queuing Application: A Case Study of Songklanagarind Hospital

**ณัฐริกา ลิขิตจรรยารักษ์[1] และ จารุณี ดวงสุวรรณ[2]**

[1]ภาควิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ตู้ ปณ 3 คอหงส์ หาดใหญ่ สงขลา 90112 โทรศัพท์ 0-7428-8578, 0-7444-6917 โทรสาร 0-7444-6917 E-mail: nuknick_lyr@hotmail.com

[2]ภาควิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ตู้ ปณ 3 คอหงส์ หาดใหญ่ สงขลา 90112 โทรศัพท์ 0-7428-8578, 0-7444-6917 โทรสาร 0-7444-6917 E-mail: jarunee.d@psu.ac.th

## บทคัดย่อ

ปัจจุบันความต้องการใช้บริการในสถานที่บริการด้านสุขภาพ ซึ่งได้แก่โรงพยาบาล สถานพยาบาล หรือ ศูนย์การแพทย์ มีแนวโน้มสูงขึ้น แต่จำนวนบุคลากรและเจ้าหน้าที่มีเท่าเดิม จึงทำให้เกิดปัญหาการรอคอยเป็นระยะเวลานาน บทความนี้นำเสนอการพัฒนาแอพพลิเคชันระบบจัดการคิวการเข้ารักษา โดยใช้กรณีศึกษาโรงพยาบาลสงขลานครินทร์ซึ่งเป็นโรงพยาบาลขนาดใหญ่ และมีผู้ใช้บริการในวันหนึ่งๆ เป็นจำนวนมาก สำหรับแอพพลิเคชันที่นำเสนอนี้ถูกพัฒนาขึ้นภายใต้ทฤษฎีแถวลำดับ(queuing theory) ที่ใช้สำหรับการจัดการรายชื่อผู้รอคอย (waiting list) ในกรณีที่อัตราความเร็วการใช้บริการเร็วกว่าอัตราความเร็วการให้บริการ ดังนั้นจึงมีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้จัดการระบบดูแลสุขภาพ(Healthcare System) ที่ความต้องการในการใช้บริการมากกว่าความสามารถในการใช้บริการที่มีอยู่เนื่องจากข้อจำกัดของ ทรัพยากรที่มีอยู่ โดยการประยุกต์ใช้เทคนิคแถวลำดับ ขั้นตอนวิธี Health-Q (Healthcare Queuing algorithm) ถูกนำเสนอเพื่อสร้างขั้นตอนวิธีการทำงานสำหรับแอพพลิเคชัน เพื่อทำให้การถ่ายเทของผู้ใช้บริการ(Patient Flow) มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ลดระยะเวลารอคอยของผู้มาใช้บริการ รวมถึงช่วยลดปัญหาความแออัดภายในโรงพยาบาล อีกทั้งยังสามารถอำนวยความสะดวกให้กับผู้มาใช้บริการในโรงพยาบาลสงขลานครินทร์มากยิ่งขึ้น

คำสำคัญ: ระบบดูแลสุขภาพ, โรงพยาบาล, คิว, ลำดับแถว

## Abstract

Currently demand for services in hospitals have trends upward. But personnel and staff are limited. So often a problem waiting a long time. This article aims to develop a Queue management system applications for medical treatment. The system can facilitate the use of Songklanagarind hospital services. Users can check the current queue of clinics / departments of the hospital. To reduce congestion in the hospital. And to reduce the waiting period of users.

Keywords: healthcare, hospital, queue

## 1. บทนำ

แอพพลิเคชันระบบจัดการคิวการเข้ารักษา กรณีศึกษาโรงพยาบาลสงขลานครินทร์ พัฒนาขึ้นเพื่ออำนวยความสะดวกแก่ผู้มาใช้บริการ เนื่องจากมีผู้มาใช้บริการภายในโรงพยาบาลสงขลานครินทร์ในทุกๆวันเป็นจำนวนมาก เกิดความแออัดในโรงพยาบาล ทั้งเจ้าหน้าที่ ผู้ป่วย และญาติผู้ป่วย เป็นการพัฒนารูปแบบบริการพยาบาลที่มีคุณภาพต่อความพึงพอใจของผู้ใช้บริการ ลดระยะเวลารอคอยของผู้ใช้บริการ ในการพัฒนาแอพพลิเคชันระบบจัดการคิวการเข้ารักษา กรณีศึกษาโรงพยาบาลสงขลานครินทร์ ในส่วนของเว็บแอพพลิเคชันได้ใช้ภาษา PHP และ JavaScript ในการพัฒนา ใช้ Apache เป็น Web Server เพื่อจำลองการใช้งานเสมือนอยู่บนอินเตอร์เน็ต และใช้ภาษา SQLในการจัดการฐานข้อมูล ส่วนบราวเซอร์ที่ใช้ในการทดสอบระบบคือ Google Chrome ในส่วนของโมบายแอพพลิเคชัน ใช้ภาษาจาวาในการพัฒนา บทความนี้ประกอบด้วย 5 ส่วน ดังนี้ ส่วนที่ 2 กล่าวถึงที่มาและแรงจูงใจในการพัฒนา ส่วนที่ 3 กล่าวถึง ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง ส่วนที่ 4 กล่าวถึงการออกแบบ และพัฒนาระบบ และส่วนที่ 5 นำเสนอบทสรุปของบทความ

## 2. ที่มาและแรงจูงใจ

เนื่องจากคนส่วนใหญ่หันมาให้ความสนใจเกี่ยวกับสุขภาพมากขึ้น มีความต้องการที่จะเข้ามาใช้บริการในโรงพยาบาลมากขึ้น แผนกผู้ป่วยนอกเป็นส่วนงานที่มีจำนวนผู้ใช้บริการมากที่สุด จึงมักเกิดปัญหาการรอคอยของผู้ใช้บริการระยะเวลานานจะทำให้ผู้ใช้บริการไม่พึงพอใจ แต่งานบริการในแผนกผู้ป่วยนอกเป็นงานที่มีกิจกรรมมาก และเกิดขึ้นตลอดเวลา เมื่อความต้องการมาใช้บริการเพิ่มขึ้น ทำให้เกิดปัญหาการรับ

บริการที่ไม่ดี เช่น การให้บริการล่าช้า การรอคิวนาน เจ้าหน้าที่พูดไม่ไพเราะ และไม่ได้รับการดูแลเอาใจใส่เท่าที่ควร ในขณะที่ผู้ให้บริการประสบปัญหาด้านการจัดการ ทรัพยากรที่มีอย่างจำกัด ผู้ต้องการใช้บริการมีแนวโน้มสูงขึ้น แต่บุคลากรและเจ้าหน้าที่มีเท่าเดิม

จากปัญหาดังกล่าว ทำให้มีแนวคิดที่จะพัฒนาแอพพลิเคชันระบบจัดการคิวการเข้ารักษา กรณีศึกษาโรงพยาบาลสงขลานครินทร์ เพื่ออำนวยความสะดวก และลดระยะเวลารอคอยของผู้มาใช้บริการจากโรงพยาบาล

## 3. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

### 3.1 คิว

คิว (Queue)เป็นโครงสร้างข้อมูลที่มีลักษณะเป็นรายการในแนวเชิงเส้น (Linear List) ซึ่งมีลักษณะการทำงานที่การเพิ่มข้อมูลจะเพิ่มไปตอนท้ายของรายการได้เพียงด้านเดียวคือส่วนท้าย (Rear) และการนำค่าข้อมูลออกมาใช้งานหรือลบค่าข้อมูลออกจากคิวจะกระทำที่ส่วนหน้า (Front) หลักการนี้เรียกว่า "เข้าก่อนออกก่อน" หรือ First-In First-Out (FIFO) หรือ Last-In Last-Out (LILO) หรือ First-Come First-Served (FCFS) สำหรับการทำงานของระบบงานจริงที่มีลักษณะแบบคิว เช่น การจราจรที่เป็นทางเดินรถทางเดียวจะต้องรอให้รถที่มาถึงก่อนออกไปก่อน การเข้าแถวซื้อของหรือชำระเงิน การสั่งพิมพ์ข้อมูลทางเครื่องพิมพ์ หรือการสับตู้รถไฟบนราง เป็นต้น

การดำเนินการพื้นฐานของคิว(Basic Operations)เกี่ยวข้องกับการกำหนดค่าเริ่มต้นสำหรับคิว(initializing) การใช้ข้อมูลที่จัดเก็บในคิวเพื่อการประมวลผล(utilizing) และการลบข้อมูลจากคิวเพื่อคืนหน่วยความจำให้กับระบบ(erasing) โดยนำไปสู่การดำเนินการเข้าคิว (enqueue)และการออกจากคิว (dequeue) ซึ่งหมายถึงการเพิ่มหรือการจัดเก็บข้อมูลภายในคิวและการลบหรือการดึงข้อมูลออกจากคิวตามลำดับ

### 3.2 การจัดการการให้บริการในสถานบริการด้านสุขภาพ

บทความนี้ได้จัดทำแอพพิคเคชันโดยใช้คลีนิคต่างๆของโรงพยาบาลสงขลานครินทร์เป็นกรณีศึกษา สำหรับโรงพยาบาลสงขลานครินทร์ เป็นโรงพยาบาลขนาด 853 เตียงให้บริการรักษาพยาบาลผู้ป่วยนอก ผู้ป่วยใน ผู้ป่วยอุบัติเหตุและฉุกเฉินในสาขาต่างๆ ได้แก่ คลินิกเด็ก คลินิกกระดูกและข้อ คลินิกตา คลินิกศัลยกรรม คลินิกอายุรกรรม คลินิกผิวหนัง คลินิกนรีเวช คลินิกวางแผนครอบครัว คลินิกฝากครรภ์ คลินิกปฐมภูมิคลินิกเวชปฏิบัติทั่วไป คลินิกหูคอจมูก คลินิกจิตเวช คลินิกทันตกรรม [1] สำหรับปัจจัยที่สำคัญที่มีผลต่อการจัดการในการให้บริการสำหรับสถานที่ด้านสุขภาพในลักษณะของโรงพยาบาล ได้แก่ จำนวนบุคคลากรขององค์กรซึ่งประกอบด้วย แพทย์ พยาบาล เภสัชกร และเจ้าหน้าที่อื่นๆที่เกี่ยวข้อง จำนวนผู้ป่วยที่มาใช้บริการในแต่ละวัน เวลาที่ใช้สำหรับการให้บริการแก่ผู้ป่วยแต่ละคน จำนวนเครื่องมือหรืออุปกรณ์ที่มีอยู่ รวมทั้งความสามารถในการทำงานของเครื่องมืออุปกรณ์เหล่านั้นเป็นต้น ดังนั้นปัจจัยเหล่านี้จะมีผลโดยตรงต่อการจัดคิวให้บริการรักษาในแต่ละคลีนิค ซึ่งส่งผลต่อระยะเวลาในการรอของผู้เข้ารับการรักษา (waiting time)

### 3.3 การวัดประสิทธิภาพการให้บริการ

สำหรับการประเมินผลการทำงานของแอพพลิชันเพื่อทำให้ประสิทธิภาพของการให้บริการของผู้เข้ารับการรักษาดียิ่งขึ้น ในแง่ของการลดระยะเวลาในการรอเพื่อเข้ารับการรักษาหน้าห้องตรวจ นั้นจะทำโดยการใช้การวัดอัตราการให้บริการที่เพิ่มขึ้นโดยการประยุกต์ใช้ทฤษฎีของการวัดค่า capacity utilization rate [4] ตามสมการ (1)

$$[\ (\text{Actual Output})/(\text{Potential Output})\ ] \times 100 \qquad (1)$$

เมื่อ Actual output คือ การให้บริการที่เกิดขึ้นจริง และ Potential output คือ ศักยภาพที่สามารถให้บริการได้

ดังนั้นเมื่อทำการปรับใช้สมการ(1) จะได้สมการสำหรับการจัดคิวเข้ารับการรักษาดังสมการ (2)

$$\mu = [\lambda / (\rho * \sigma)] * 100 \qquad (2)$$

เมื่อ $\mu$ คือ utilization, $\lambda$ คืออัตราการมาเข้ารับบริการของผู้เข้ารับบริการ(ผู้ป่วย), $\rho$ คือ จำนวนของผู้ให้บริการ(แพทย์) และ $\sigma$ คือ ความสามารถที่ผู้ให้บริการสามารถทำได้ในแต่ละคนต่อวัน

### 3.4 แอนดรอยด์แอพพลิเคชัน (Android Application)

แอนดรอยด์แอพพลิเคชัน คือ แอพพลิเคชันต่างๆ ที่สามารถติดตั้งใช้งานได้กับสมาร์ทโฟนที่ใช้ระบบปฏิบัติการ แอนดรอยด์ซึ่งในปัจจุบันได้มีการพัฒนาแอนดรอยด์แอพพลิเคชัน กันมากเนื่องจากแอนดรอยด์ เป็น OS ที่เป็น Open Source สามารถใช้งานได้ฟรี และติดตั้งได้กับสมาร์ทโฟนหรืออุปกรณ์ที่หลากหลาย และนักพัฒนาก็สามารถพัฒนาแอนดรอยด์แอพพลิเคชัน ได้ด้วย Notebook หรือ PC Desktop ธรรมดาได้ เรียกได้ว่าความสามารถของแอนดรอยด์ที่สามารถทำงานร่วมกับฮาร์ดแวร์ อย่างเป็นอิสระได้เกือบทุกอย่าง จึงทำให้ได้รับความนิยมจากองค์กรธุรกิจจำนวนมายและมีการนำแอนดรอยด์แอพพลิเคชัน มาใช้งานร่วมกับธุรกิจหลายๆ ประเภท ทั้งแอพพลิเคชันที่สามารถโหลดมาใช้งาน

ได้เลย หรือแอพพลิเคชัน ที่ต้องซื้อหรือต้องเสียค่าบริการก็ตาม ถ้าแอพพลิเคชัน นั้นมีประโยชน์ต่อผู้ใช้ [2]

### 3.5 เว็บแอพพลิเคชัน (Web Application)

เว็บแอพพลิเคชัน คือ การพัฒนาระบบงานบนเว็บ ซึ่งมีข้อดี คือ ข้อมูลต่าง ๆ ในระบบมีการไหลเวียนในแบบออนไลน์ ทั้งแบบ Local (ภายในวง LAN) และ Global (ออกไปยังเครือข่ายอินเตอร์เน็ต) ทำให้เหมาะสำหรับงานที่ต้องการข้อมูลแบบ Real Time ระบบมีประสิทธิภาพ แต่ใช้งานง่าย เหมือนกับท่านทำกำลังท่องเว็บ ระบบงานที่พัฒนาขึ้นมาจะตรงกับความต้องการกับหน่วยงาน หรือห้างร้านมากที่สุด ไม่เหมือนกับโปรแกรมสำเร็จรูปทั่วไป ที่มักจะจัดทำระบบในแบบกว้าง ๆ ซึ่งมักจะไม่ตรงกับความต้องการที่แท้จริง ระบบสามารถโต้ตอบกับลูกค้าหรือผู้ใช้บริการแบบ Real Time ทำให้เกิดความประทับใจ เครื่องที่ใช้งานไม่จำเป็นต้องติดตั้งโปรแกรมใด ๆ เพิ่มเติมทั้งสิ้น [3]

## 4. รายละเอียดการพัฒนา

### 4.1 การออกแบบระบบ

การออกแบบพัฒนาระบบแบ่งผู้ใช้ออกเป็น 2 ส่วน คือ
1.ผู้ใช้บริการ ใช้งานผ่านสมาร์ทโฟนบนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ โดยมีความสามารถคือ(1) ตรวจสอบคิวปัจจุบันของแต่ละแผนกได้ (2)ตั้งค่าแจ้งเตือนเมื่อใกล้ถึงคิวได้ (3)ค้นหาสถานที่ จำนวนคิวที่เหลือจากหมายเลขผู้ป่วยนอก (Hospital Number: HN) ได้
2. เจ้าหน้าที่ ใช้งานผ่านเว็บแอพพลิเคชันโดยมีความสามารถคือ(1) เจ้าหน้าที่สามารถกำหนดจำนวนห้องตรวจได้ (2) เจ้าหน้าที่สามารถเพิ่มลบผู้ป่วย รวมถึงส่งต่อผู้ป่วยไปยังคลินิกอื่นๆได้

### 4.2 การพัฒนาระบบ

ในการพัฒนาระบบแอพพลิเคชันบนมือถือ "ตรวจสอบคิวโรงพยาบาล (Queue Hospital)" นี้จะคำนึงถึงการเข้าถึงข้อมูลได้อย่างรวดเร็ว ใช้งานง่าย สะดวก ลดระยะเวลารอคอยของผู้มาใช้บริการภายในโรงพยาบาล

รูปที่ 1 แอพพลิเคชัน Queue Hospital

รูปที่ 2 เว็บแอพพลิเคชันระบบจัดการคิว

### 4.3 การประยุกต์คิวเพื่อการบริการในสถานบริการด้านสุขภาพ

เพื่อทำให้ประสิทธิภาพของการเข้ารับบริการของผู้เข้ารับการรักษาดียิ่งขึ้น ในแง่ของการลดระยะเวลาในการรอ ทฤษฎีของคิวจึงถูกนำมาประยุกต์และปรับให้เหมาะสมกับบริบทของแอพพลิเคชันที่สร้างขึ้น บทความนี้จึงเสนอขั้นตอนวิธี **Health-Q** โดยขั้นตอนวิธีดังกล่าวแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือส่วนของการเพิ่มคิวการให้บริการ (Health-enQ procedure) และการลบคิวออกจากการให้บริการ (Health-deQ procedure) ดังแสดงในรูปที่ 3

```
procedure Health-enQ(PatientHN)
  if (queue > PatientServiceCapacity)
     return queue is overflow
   endif
   CurrQ ← CurrQ + 1
   queue[CurrQ] ← PatientHN
   return true
end procedure

procedure Health-deQ
   if queue is empty
     return ("run out of patient")
   end if
   PatientHN = queue[front]
   front ← front + 1
//check number of appointment
  if NOofAppoint[PatientHN] > 1
      // waiting list check
i =1
loop while (i<= NOofAppoint[PatientHN])
```

```
if  WL_Q[i] is shorter than queue
      WL_Q[i]  ← PatientHN
      return  true
endif
      i ← i + 1
 endloop
 return true
end procedure
```

รูปที่ 3 Health-Q pseudo-code

### 4.4 ผล

เมื่อนำแอพพลิเคชันระบบจัดการคิวรักษามาใช้สำหรับการบริหารจัดการคิวเข้ารับการรักษาแทนการจัดการคิวแบบเดิมที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน พบว่าทำให้ระยะเวลาการรอของผู้เข้ารับการรักษาลดลง และประสิทธิภาพของการให้บริการเพิ่มขึ้น โดยใช้สมการ (2) เพื่อคำนวณประสิทธิภาพที่เกิดขึ้นการจัดคิวเข้ารักษาของแอพพลิเคชันระบบจัดการคิวรักษา พบว่าการให้บริการจากเดิม 20 % เพิ่มเป็น 29.16 % ซึ่งอธิบายได้ว่าการให้บริการเพิ่มขึ้นจากเดิมประมาณ 10% นั่นเอง

## 5. สรุป

แอพพลิเคชันระบบจัดการคิวการเข้ารักษา กรณีศึกษาโรงพยาบาลสงขลานครินทร์ เป็นระบบที่สามารถอำนวยความสะดวกแก่ผู้มาใช้บริการในโรงพยาบาลผ่านแอพพลิเคชัน บนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ โดยผู้ใช้สามารถสามารถตรวจสอบคิวปัจจุบันของแต่ละแผนกและดูจำนวนคิวที่เหลือจากหมายเลขผู้ป่วยนอกได้ ในส่วนของเจ้าหน้าที่จะใช้งานผ่านเว็บแอพพลิเคชัน เพื่อความสะดวกในการเข้าถึง และใช้งานซึ่งเจ้าหน้าที่สามารถกำหนดจำนวนห้องตรวจ เพิ่ม ลบ และส่งต่อผู้ป่วยไปยังคลินิกอื่นๆได้ ซึ่งผลจากความสามารถในการทำงานของแอพพลิเคชันที่เสนอนี้ทำให้ประสิทธิภาพการให้บริการของโรงพยาบาลเพิ่มขึ้น เนื่องจากสามารถให้บริการตรวจรักษาผู้ป่วยในแต่ละคลีนิคเพิ่มขึ้น

## 6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยเพื่อการสร้างแอพพลิเคชันระบบจัดการคิวการเข้ารักษา กรณีศึกษาโรงพยาบาลสงขลานครินทร์ สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความอนุเคราะห์และความร่วมมือจากคณาจารย์ผู้ประสานงานประจำภาควิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ทุกท่าน ขอขอบพระคุณ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงานทางวิทยาการคอมพิวเตอร์ อ.ดร. จารุณี ดวงสุวรรณ ที่ได้ให้คำเสนอแนะ แนวคิด ตลอดจนแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ มาโดยตลอด

## เอกสารอ้างอิง

[1] “โรงพยาบาลสงขลานครินทร์” (ออนไลน์) แหล่งที่มา : http://www.hospital.psu.ac.th/ (สืบค้น: 12-1-2559)

[2] “Android and Developer” (ออนไลน์) แหล่งที่มา : http://developer.android.com/ (สืบค้น: 21-2-2559)

[3] “HTML and JavaScript” (ออนไลน์) แหล่งที่มา : http://www.w3schools.com/ (สืบค้น: 1-2-2559)

[4] B. Martin, “Calculating utilization in a services company,” NetSuite OpenAir, Bostan.

ประวัติส่วนตัว
ชื่อ : นางสาวณัฐริกา ลิขิตจรรยารักษ์
วัน เดือน ปี เกิด : 1 มิถุนายน 2537
ที่อยู่ (ปัจจุบัน) : 144/7 ซ.พัฒนาการ ต.ปากแพรก อ.ทุ่งสง จ.นครศรีธรรมราช 80110
โทรศัพท์มือถือ : 084-1840016
E-mail : nuknick_lyr@hotmail.com

**ประวัติการศึกษา**
ปี พ.ศ. 2552 มัธยมศึกษาต้อนปลาย โรงเรียนสตรีทุ่งสง
ปี พ.ศ.2555 ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่

**ประวัติการทำงาน**
ปี พ.ศ. 2557 ผู้ช่วยสอน ภาควิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่

ประวัติส่วนตัว
ชื่อ : จารุณี ดวงสุวรรณ
**ประวัติการทำงาน** : อาจารย์ประจำภาควิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่

**บทความวิจัย**
การประชุมวิชาการ งานวิจัยและพัฒนาเชิงประยุกต์ ครั้งที่ 8
*8th ECTI-CARD 2016, Hua Hin, Thailand*

# ผลกระทบของมวลเนื้อเยื่อเฉลี่ยและความถี่จากโทรศัพท์เคลื่อนที่ต่อศีรษะมนุษย์

# Effect of Averaged Mass Tissue and Frequency from Mobile Phone to Human Head

**ปิยะภัทร พ่วงศรี [1] นนชณัต ฉัตรภูติ [2] อภิบาล พฤกษานุบาล [2] และ อานนท์ สิงห์เสถียร [3]**
[1]โรงเรียนเตรียมวิศวกรรมศาสตร์ ไทย-เยอรมัน วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
[2]ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
1518 ถนนพิบูลสงคราม แขวงวงศ์สว่าง เขตบางซื่อ กรุงเทพฯ 10800 E-mail: piyapatpoung@gmail.com[1]
[3]สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
1381 ถนนพิบูลสงคราม แขวงบางซื่อ เขตบางซื่อ กรุงเทพฯ 10800 E-mail: arnon.si@rmutp.ac.th

## บทคัดย่อ

บทความนี้กล่าวเกี่ยวกับงานวิจัยเรื่องผลกระทบของมวลเนื้อเยื่อเฉลี่ยและความถี่จากโทรศัพท์เคลื่อนที่ต่อศีรษะมนุษย์ โดยการใช้ตัวแปรสองตัว ประกอบด้วยมวลเนื้อเยื่อเฉลี่ยของศีรษะและความถี่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากโทรศัพท์ ผลลัพธ์ของการจำลองนี้ถูกวัดโดยค่าอัตราการดูดซับพลังงานจำเพาะ (Specific Absorption Rate: SAR) ค่าความหนาแน่นพลังงานในศีรษะมนุษย์ และรูปแบบการแผ่พลังงานจากโทรศัพท์เคลื่อนที่ งานวิจัยนี้จำลองโดยใช้แบบจำลองศีรษะแบบ Flat Specific Anthropomorphic Mannequin (SAM) ร่วมกับโทรศัพท์เคลื่อนที่ตามมาตรฐาน IEEE วิธีที่ใช้ในการจำลองนี้มีสองวิธีได้แก่ Perfect Boundary Approximation (PBA) และ Thin Sheet Technique (TST) สำหรับการแบ่งเมช ร่วมกับระเบียบวิธีผลต่างสืบเนื่องในโดเมนเวลาสำหรับการวิเคราะห์เชิงตัวเลข ผลการวิจัยพบว่าค่า SAR ในทุกเงื่อนไขการจำลองอยู่ในช่วง 0.20-9.95 วัตต์ต่อกิโลกรัม ประการที่สองมีความสัมพันธ์ในทางบวกระหว่างค่า SAR กับมวลเนื้อเยื่อเฉลี่ยและความถี่ ประการที่สามพื้นที่ค่า SAR อันเนื่องมาจากความถี่ 1800 MHz นั้นแคบที่สุดเพราะมี Main lobe direction เท่ากับ -60 องศา และสุดท้ายค่าความหนาแน่นกำลังแปรผกผันกับค่าความถี่

คำสำคัญ: อัตราการดูดซับพลังงานจำเพาะ, โทรศัพท์เคลื่อนที่, ศีรษะมนุษย์

## Abstract

This article describes research entitled Effect of Averaged Mass Tissue and Frequency from Mobile Phone to Human Head. Based on two variables, they are comprised of averaged mass tissues of human head and frequencies of electromagnetic wave from the phone. The results of this simulation are far-field pattern of mobile phone, Specific Absorption Rate (SAR) and power density in human head. The research uses Flat Specific Anthropomorphic Mannequin (SAM) combined with IEEE mobile phone. The two methods named Perfect Boundary Approximation (PBA) and Thin Sheet Technique (TST) are used to be mesh dividing. Finite Difference Time Domain numerical method is used to analyze. The results are found that SAR values in all conditions are in the range of 0.20-9.95 W/kg. The second point, the SAR values are increased according to averaged mass tissues and frequencies. Then, the area of SAR values of 1800 MHz is the narrowest due to -60 degree Main Lobe direction. Finally, the power density varies directly with frequencies.

Keywords: specific absorption rate, mobile phone, human head

## 1. บทนำ

ในสภาวการณ์ปัจจุบันโทรศัพท์เคลื่อนที่ได้ถูกพัฒนาและใช้กันอย่างแพร่หลาย โดยอุปกรณ์นี้นั้นได้เป็นตัวกำเนิดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าหรือที่เรียกว่า การรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า (electromagnetic interference) ซึ่งถ้ามนุษย์ได้รับคลื่นนี้ในปริมาณและเวลาที่มากพอ ก็อาจนำพาไปสู่การเกิดโรคต่างๆ เช่น มะเร็ง พาร์กินสัน อัลไซเมอร์ และโรคทางระบบสืบพันธุ์ เป็นต้น องค์การอนามัยโลก สื่อ และงานวิจัยจำนวนมากได้มีคำเตือนถึงอันตรายที่เกิดจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากโทรศัพท์เคลื่อนที่เหล่านี้

ในทางวิศวกรรมการศึกษาผลกระทบจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าต่อมนุษย์ หรือ biological effect เป็นสิ่งสำคัญสิ่งหนึ่งในด้านความเข้ากันได้ทางแม่เหล็กไฟฟ้า (electromagnetic compatibility) ค่า SAR เป็นส่วน

หนึ่งของการวัด biological effect โดยการวัดผลกระทบจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าต่อสุขภาพของมนุษย์ งานวิจัยจำนวนมากเกี่ยวกับ SAR ในศีรษะมนุษย์สามารถแบ่งออกเป็น 4 กลุ่มดังนี้ กลุ่มที่ 1 วิจัยเกี่ยวกับผลกระทบของการดูดซับพลังงานศีรษะมนุษย์อันเนื่องมาจากตำแหน่งของโทรศัพท์ โดยการวัดค่ายอดและค่ารวมของ SAR ทั้งมวลเนื้อเยื่อเฉลี่ย 1 และ 10 กรัม ที่ 850, 900 และ 1600 เมกะเฮิร์ตซ์ (MHz) ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่าตำแหน่งและมุมของโทรศัพท์มีผลต่อค่า SAR กลุ่มที่ 2 เน้นการแปรผันของขนาดและชนิดของศีรษะ โดยการวัดค่ายอดของ SAR มวลเนื้อเยื่อเฉลี่ย 10 กรัม ความถี่ 835 และ 1900 MHz ในขณะที่กลุ่มที่ 3 ได้พัฒนาการตรวจสอบในทางปฏิบัติ โดยการเพิ่มมือของมนุษย์เข้ามาคำนวณค่า SAR ด้วย กลุ่มนี้มีสภาวะการทดลองคือวัดค่า SAR รวม มวลเนื้อเยื่อเฉลี่ย 1 และ 10 กรัม ความถี่ 835 - 2100 MHz กลุ่มสุดท้ายเน้นการวิเคราะห์ผลกระทบจากวัตถุโลหะรูปทรงวงแหวนต่อการดูดซับพลังงานที่ถูกเหนี่ยวนำโดยโทรศัพท์เคลื่อนที่ ซึ่งผลการวิจัยคือการดูดซับพลังงานขึ้นอยู่กับขนาดและตำแหน่งของวัตถุ สภาวะการทดลองนี้คือการวัดค่า SAR รวม มวลเนื้อเยื่อเฉลี่ย 10 กรัม ความถี่ 1900 MHz บทความนี้สนใจในผลกระทบของการดูดซับพลังงานในศีรษะมนุษย์อันเนื่องมาจากมวลเนื้อเยื่อเฉลี่ย 1 และ 10 กรัม และความถี่ใช้งาน 850, 900, 1800 และ 1900 MHz ซึ่งเป็นความถี่ในระบบ Global System for Mobile communication (GSM) เพื่อช่วยเสริมข้อมูลของค่า SAR รูปแบบของสนามระยะไกล และค่าหนาแน่นพลังงานมากขึ้น

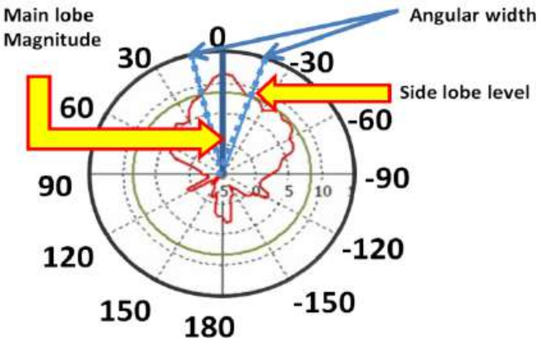
## 2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 สนามระยะไกล

สนามระยะไกลคือกราฟแสดงคุณลักษณะของสายอากาศซึ่งแผ่ออกมาจากโทรศัพท์เคลื่อนที่ โดยประกอบไปด้วยความถี่ ขนาดและทิศทางของโลบหลัก (Main Lobe Magnitude and Direction) ความกว้างของมุม (Angular Width) และระดับโลบข้าง (Side Lobe Level) สนามระยะไกลแปรผันโดยตรงกับความถี่ ขนาดของโลบหลักคือเวกเตอร์สนามไฟฟ้าที่แผ่ออกมามากที่สุด มีหน่วยเป็นเดซิเบล รัศมีของโลบหลักมีสูตรว่า

$$R = \frac{2d^2}{\lambda} \quad [m] \qquad (1)$$

โดยที่ d หมายถึงค่าระยะห่างของสายอากาศที่มากที่สุด หน่วยเป็นเมตร และ $\lambda$ คือความยาวคลื่น หน่วยเป็นเมตร ทิศทางของโลบหลักแสดงทิศทางของเวกเตอร์สนามไฟฟ้าในหน่วยองศา ระดับโลบข้างกล่าวเกี่ยวกับขนาดของเวกเตอร์สนามไฟฟ้าที่ขอบของความกว้างของมุม งานวิจัยนี้เน้นที่พิกัดเชิงขั้วของสนามระยะไกล ที่ประกอบไปด้วย 4 ค่าหลักที่ได้กล่าวมาแล้วดังแสดงในรูปที่ 1




**รูปที่ 1** พิกัดเชิงขั้วของสนามระยะไกล

### 2.2 อัตราการดูดซับพลังงานจำเพาะ (SAR) และความหนาแน่นพลังงาน

SAR ถูกใช้เพื่อคำนวณหาค่าปริมาณของพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่เนื้อเยื่อของมนุษย์ได้ดูดซับไว้ในหน่วยวัตต์ต่อกิโลกรัม (W/kg) การเพิ่มขึ้นของการใช้อุปกรณ์ไร้สายทำให้ปริมาณของพลังงานการแผ่กระจายคลื่นต่อร่างกายมนุษย์เพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย เพราะฉะนั้นเป็นสิ่งสำคัญมากที่จะหลีกเลี่ยงพลังงานการแผ่กระจายคลื่นเข้าไปในศีรษะ ซึ่งค่า SAR สามารถคำนวณได้โดย

$$SAR = \frac{\sigma}{2\rho}E^2 = \frac{P}{\rho} \qquad [W/kg] \qquad (2)$$

โดยที่ $\sigma$ คือค่าความนำไฟฟ้า หน่วยเป็นซีเมนส์ต่อเมตร
$\rho$ คือความหนาแน่น หน่วยเป็นกิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
E คือสนามไฟฟ้า หน่วยเป็นโวลต์ต่อเมตร
P คือความหนาแน่นพลังงาน หน่วยเป็นวัตต์ต่อลูกบาศก์เมตร

โดยทั่วไปปริมาณเนื้อเยื่อที่ถูกนำมาคำนวณค่า SAR จะมีค่า 1 และ 10 กรัม อันเนื่องมาจากข้อกำหนดจาก International Commission on Non-Ionization Radiation Protection (ICNIRP) และ American National Standard Institute (ANSI) ในปี 1991 Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) ได้ตีพิมพ์ "Standard for Safety Levels with Respect to Human Exposure to Radio Frequency Electromagnetic Fields, 3 kHz to 300 GHz." ได้ระบุค่าของความหนาแน่นพลังงานไว้ด้วยโดยกล่าวว่าพลังงานทั้งหมดที่ล้อมรอบพื้นที่ผิวปิดสามารถคำนวณได้จากสูตร

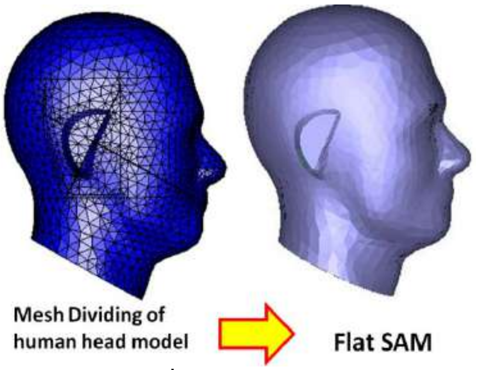
$$P = \frac{f}{300} \quad [W/m^3] \qquad (3)$$

โดย f คือความถี่ จนมาถึงปัจจุบัน IEEE ได้ปรับปรุงมาตรฐานให้ทันสมัย จึงได้ตีพิมพ์ IEEE Std. 1528TM -2013 "Recommended

Practice for Determining the Peak Spatial-Average Specific Absorption Rate (SAR) in the Human Head from Wireless Communications Devices: Measurement Techniques.” ซึ่งได้มีการคำนวณค่า SAR บริเวณเฉลี่ยค่ายอดในทางปฏิบัติ ค่า SAR นั้นได้ถูกแนะนำถึงค่า SAR สูงสุดที่ไม่ควรเกิน โดย 2 องค์กรคือ ICNIRP ได้จำกัดไว้ที่ 2 W/kg และ International Electrotechnical Commission (IEC) ร่วมกับองค์การอาหารและยา (FDA) ของประเทศสหรัฐอเมริกาได้จำกัดไว้ที่ 4 W/kg ถ้าค่า SAR เกินขีดจำกัด พลังงานจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าอาจจะสามารถเอาชนะสมดุลของอุณหภูมิร่างกาย เนื้อเยื่อก็จะได้รับความร้อนมากขึ้น ซึ่งจะนำไปสู่การเกิดโรคต่างๆ ในที่สุด

## 3 โมเดลการจำลอง

โมเดลศีรษะเป็นโมเดลที่ถูกปรับแต่งของ Specific Anthropomorphic Mannequin (SAM) หรือเรียกว่า Flat SAM ดังแสดงในรูปที่ 2




**รูปที่ 2** Flat SAM

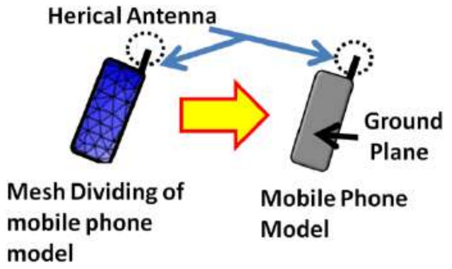
ภายในบรรจุของเหลวที่มีค่าเปอร์มิตติวิตี้เท่ากับ 42 ค่าสภาพให้ซึมผ่านได้เท่ากับ 1 ค่าความหนาแน่นเท่ากับ 1000 กก.ต่อลบ.ม. และค่าความนำไฟฟ้าเท่ากับ 1 ซีเมนส์ต่อเมตรโมเดลโทรศัพท์เคลื่อนที่เป็นโทรศัพท์ทั่วไปแบบโมโนโพล ซึ่งเรียกว่า โทรศัพท์เคลื่อนที่แบบ IEEE โดยเป็นที่รู้จักกันว่าถูกใช้เพื่อการจำลองเพื่อหาค่า SAR โทรศัพท์เคลื่อนที่ประกอบไปด้วย 2 ส่วน คือโครงและสายอากาศโมโนโพลแบบเกลียว โครงนั้นทำมาจากตัวนำไฟฟ้ายิ่งยวด (PEC) ซึ่งทำหน้าที่เป็นกราวด์ ส่วนสายอากาศนั้นมีกำลังไฟฟ้า 1 วัตต์ ทำมาจาก PEC เช่นเดียวกันดังแสดงในรูปที่ 3 การออกแบบสายอากาศเกลียวที่แสดงในรูปที่ 4 นั้นมี 5 ตัวแปร ซึ่งสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$L^2 = (\pi D)^2 + S^2 \quad [cm] \quad (4)$$

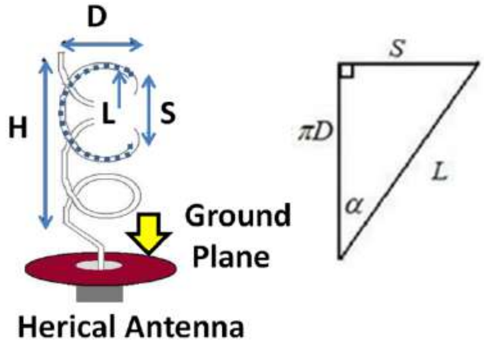
$$\tan \alpha = \frac{S}{\pi D} \quad (5)$$

$$H = NS \quad [cm] \quad (6)$$

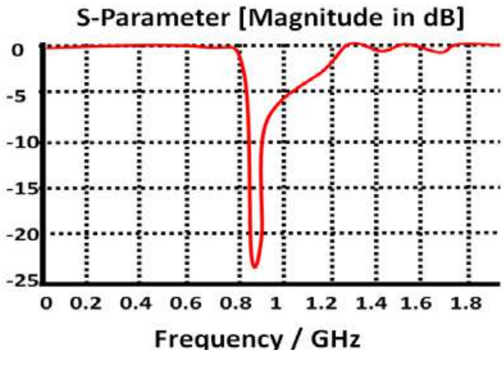
โดยที่ N นั้นคือจำนวนรอบของขดลวด ความถี่ที่สายอากาศส่งออกมานั้นคือ 900 MHz ซึ่งแสดงผ่านพารามิเตอร์ S ดังแสดงในรูปที่ 5 วิธีการที่ใช้คำนวณคือระเบียบวิธีผลต่างสืบเนื่องจำกัดโดเมนเวลา (Finite Difference Time Domain) เข้ากับสมการแมกซ์เวลล์ของสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก




**รูปที่ 3** โทรศัพท์เคลื่อนที่ตามมาตรฐาน IEEE




**รูปที่ 4** การออกแบบสายอากาศแบบเกลียว




**รูปที่ 5** พารามิเตอร์ S ของสายอากาศ

## 4 ผลการจำลอง

SAR ค่ายอด สนามระยะไกล และความหนาแน่นพลังงานถูกวัดในความถี่ใช้งาน 4 ค่าอันได้แก่ 850, 900, 1800 และ 1900 MHz และมวลเนื้อเยื่อเฉลี่ย 2 ค่า คือ 1 และ 10 กรัม จากตารางที่ 1 จะเห็นว่าค่า SAR นั้นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อความถี่มากขึ้น และค่านั้นใกล้เคียงกับงานวิจัยก่อนหน้านี้ เช่นงานวิจัยของ Eduard (2012) ในกรณีมวลเนื้อเยื่อเฉลี่ย 10 กรัม ความถี่ 900 MHz ค่า SAR นั้นต่างกัน 0.15 W/kg และ Joo (2005) ก็สอดคล้องเช่นกัน ในกรณีมวลเนื้อเยื่อเฉลี่ย 1 กรัม ความถี่ 1800 MHz ค่า SAR นั้นต่างกัน 0.12 W/kg

ตารางที่ 1 ค่า SAR ในทุกสถานะการทดลอง

| Frequency (MHz) | Mass Tissue (gram) | SAR (W/kg) |
|---|---|---|
| 850 | 1 | 5.21 |
| | 10 | 6.33 |
| 900 effective frequency | 1 | 5.49 |
| | 10 | 6.48 |
| 1800 | 1 | 0.199 |
| | 10 | 8.41 |
| 1900 | 1 | 0.284 |
| | 10 | 9.95 |

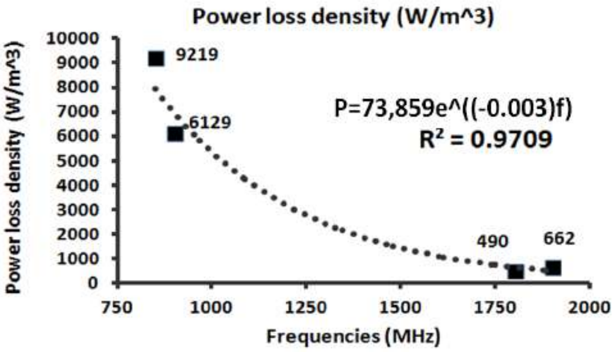
สนามระยะไกลถูกกล่าวถึงเป็นผลการจำลองประการที่ 2 เวกเตอร์สนามไฟฟ้าที่ออกมาจากสายอากาศถูกพิจารณาจากการที่โทรศัพท์อยู่ในแนวแกน x และจากผลการจำลองในตารางที่ 2 ที่มีค่าขนาดและทิศทางของโลบหลัก ความกว้างของมุมและระดับโลบข้างพบว่าค่าองศาของเวกเตอร์สนามไฟฟ้าไม่ขึ้นอยู่กับมวลเนื้อเยื่อเฉลี่ยและความถี่ เวกเตอร์สนามไฟฟ้าจากความถี่ 1800 MHz นั้นเบี่ยงเบนไปจากแกน 0 องศามากที่สุด คือมีค่าเท่ากับ -60 องศา

ตารางที่ 2 ส่วนประกอบต่างๆ ของสนามระยะไกล

| Frequencies (MHz) | Electric Field Vector (Degree) | Angular Width (Degree) | Main lobe magnitude (dB) | Side lobe level (dB) |
|---|---|---|---|---|
| 850 | -5 | 117.2 | 0.03 | -10.7 |
| 900 | -5 | 114.9 | 0.7 | -11.4 |
| 1800 | -60 | 111.9 | 0.52 | -11.4 |
| 1900 | 0 | 31.7 | 11.5 | -3.1 |

ความหนาแน่นพลังงานนั้นหาได้จาก SAR*$\rho$ จากรูปที่ 6 ความหนาแน่นกำลังแปรผันกลับกับความถี่ในลักษณะกราฟเอกซ์โปเนนเชียล ด้วยวิธีการ regression ค่า $R^2$ นั้นเท่ากับ 0.9709 นั่นหมายความว่ากราฟที่ได้มีความใกล้เคียงค่าที่พล็อตได้ ซึ่งเป็นไปตามสมการ

$$P = 73{,}859e^{-0.003f} \quad [W/m^3] \qquad (7)$$




**รูปที่ 6** ค่าความหนาแน่นกำลังแปรผันตามความถี่

## 5 สรุป

บทความนี้ได้แสดงให้เห็นว่าโทรศัพท์เคลื่อนที่นั้นได้กระจายพลังงานออกมาก แล้วศีรษะมนุษย์นั้นก็ได้ดูดซับพลังงานเอาไว้ อัตราการดูดซับพลังงานนั้นก็แปรผันตามความถี่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า และเมื่อเปรียบเทียบกับค่าขีดจำกัดขององค์กรต่างๆ ก็เกินค่าที่กำหนดไว้ แต่อย่างไรก็ตามอันตรายจากพลังงานจากโทรศัพท์นั้นก็ต้องมีช่วงระยะเวลาหนึ่ง จึงอาจกล่าวได้ว่าคลื่นจากโทรศัพท์นั้นไม่ได้ทำอันตรายต่อศีรษะของมนุษย์มากนัก

## เอกสารอ้างอิง

[1] David M. Pozar, Microwave Engineering, Wiley, 4th Edition, 2012.

[2] World Health Organization, Electromagnetic fields and public health: mobile phones, 2014.

[3] J.G. Eduard, C. Moraru, and R. Mihai, "Study of Energy Absorption Field Emitted by Generic Mobile Phone at 900 MHz Frequency", 9th International Conference on Communications (COMM), Bucarest, 2012, pp.267-270.

[4] Lee A. K. and Yun J., "A Comparison of Specific Absorption Rates in SAM Phantom and Child Head Models at 835 and 1900 MHz", IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility Vol.53 No.3, (March 2011) : 619-627.

[5] Hadjem A., et al., "Analysis of Power Absorbed by Children's Head as a Result of New Usages of Mobile Phone", IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility, Vol.52. No.4. (August 2010) : 812-819.

[6] C. Sriprasoet and A. Pruksanubal, "Effects of Ring Metallic Objects on Specific Absorption Rate in Human Head Caused by Mobile Phone", 12th International conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology, Hua Hin, Thailand, 2015.

# วินิจฉัยโรคจากการสังเกตอุจจาระ

## Stool Examination on Mobile

**อานนท์ จันทรัตน์ และ ศิริรัตน์ วณิชโยบล**
ภาควิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

## บทคัดย่อ

ปัจจุบันมีวิธีหลากหลายที่จะหาคำตอบของโรคในผู้คน อีกหนึ่งวิธีที่โดดเด่นซึ่งสามารถทำได้โดยง่ายนั้นคือการสังเกตอุจจาระด้วยตนเอง อุจจาระของคนเราสามารถบอกโรคที่อาจเกิดขึ้นได้จริง แต่อย่างไรก็ตามหากผู้สังเกตไม่มีข้อมูลหรือความรู้เกี่ยวกับการคาดเดาโรคต่าง ๆที่อาจจะเกิดขึ้นจากลักษณะอุจจาระที่ผิดปกติแล้วนั้น อาจเป็นการสร้างนิสัยการละเลยเอาใจใส่สุขภาพได้ บทความนี้นำเสนอการวินิจฉัยโรคจากการสังเกตอุจจาระผ่านทางแอปพลิเคชันที่ใช้บนโทรศัพท์มือถือระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ ภายในแอปพลิเคชันประกอบด้วย 3 ส่วนหลักคือ ส่วนแรก แบบทดสอบที่อำนวยความสะดวกต่อผู้ใช้ในการวินิจฉัยอุจจาระด้วยตนเอง ทำให้ผู้ใช้สามารถทราบถึงภาวะการเกิดโรคและหาทางรักษาได้อย่างทันการ การทดสอบอ้างอิงจากหลายปัจจัย เช่น สี ลักษณะ กลิ่น เป็นต้น ส่วนที่สองคือเนื้อหาความรู้ข้อมูลเกี่ยวกับอุจจาระ รวมไปถึงแนวทางการกินอาหารที่ถูกต้อง และส่วนที่สามคือการแนะนำแนวทางสร้างวินัยที่ดีในการถ่ายอุจจาระ

**คำสำคัญ**: อุจจาระ, การสังเกตอุจจาระ, การวินิจฉัยโรค

Presently, there are variety of ways to get answers to people's diseases. One of the easiest ways is to observe their own stool. Their stool can give their valuable insights into their health. However, if ones have no knowledge to predict various diseases that may be caused by abnormal stools, this may create neglected healthcare habits. This paper presents a diagnosis by observing stool through an application running on Android smartphones. The application consists of three parts. The first part is the stool examination test which facilitates users to self-test to diagnose their own stool, leading to know the status of their disease and seek treatment instantly. The diagnosis from stool is based on several factors, including consistency, color, composition, suspension and smell of stool. The second part provides information about the stool, the correct way to eat. Finally, the third part is to introduce the discipline's great to defecate.

**Keywords:** Stool, Stool Examination, Diagnosis

## 1. บทนำ

ปัจจุบันสังคมไทยเกินครึ่งละเลยการเอาใจใส่ดูแลสุขภาพ ซึ่งหลายคนอาจมองเป็นเรื่องเล็กน้อยและขาดการตระหนักถึง แต่ทว่าสิ่งเล็ก ๆ น้อย ๆนั้นเองที่อาจเป็นสัญญาณเตือนบ่งบอกเกี่ยวกับสุขภาพเป็นอย่างดี เช่น อาการตาขาวมีสีเหลืองอาจบอกได้ว่าตับทำงานผิดปกติ อาการหนาวง่ายซึ่งเสี่ยงต่อการเป็นโรคต่อมไทรอยด์ผิดปกติ แม้กระทั่งอุจจาระของเราซึ่งอาจบอกโรคที่เกิดขึ้นได้หลายรูปแบบตามลักษณะที่แตกต่างกันออกไป ในทางการแพทย์ถือว่าลักษณะอุจจาระมีความสำคัญมากเพราะเป็นเหมือนกระจกสะท้อนสุขภาพของเจ้าของได้ [1-2]

โรคต่าง ๆ ที่อาจเกิดขึ้นและสามารถสังเกตได้จากอุจจาระของตัวเจ้าของนั้นมีมากมาย เช่น การมีอุจจาระเป็นมูกเลือดเนื่องจากติดเชื้อในลำไส้ใหญ่ อาจทำให้เกิดโรคบิดได้ ซึ่งจะเห็นได้จากการสังเกตอุจจาระว่ามีมูกเลือดหรือไม่ เป็นต้น การตรวจสอบหรือวินิจฉัยโรคมีวิธีที่แตกต่างหลากหลายเช่นกัน เช่น การตรวจเลือด การตรวจด้วยกล้องจุลทรรศน์ เป็นต้น แต่อีกหนึ่งวิธีที่ทุกคนสามารถทำได้ด้วยตนเอง สะดวกและทำได้เป็นประจำ คือการสังเกตอุจจาระด้วยตัวของเราเอง แต่ทว่าหลายต่อหลายคนที่ยังไม่ทราบถึงเหตุและผลของการวินิจฉัยโรคจากอุจจาระจึงทำให้เป็นเรื่องที่ยากลำบากพอสมควร เหตุนี้ผู้วิจัยจึงได้ทำการพัฒนาแอปพลิเคชันบนโทรศัพท์มือถือที่ใช้ในการวินิจฉัยหรือพยากรณ์โรคที่ได้จากการสังเกตอุจจาระด้วยตนเองเพื่อเป็นหนึ่งในเครื่องมือที่สนับสนุนการดูแลสุขภาพของผู้ใช้และสร้างเสริมนิสัยการเอาใจใส่ดูแลสุขภาพของคนไทย

บทความนี้ประกอบด้วย 5 ส่วน โดยส่วนที่ 2 อธิบายถึงหลักการและขั้นตอนวิธีการตรวจอุจจาระและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องตามลำดับ ส่วนที่ 3 นำเสนอสถาปัตยกรรมและกระบวนการพัฒนา ส่วนที่ 4 นำเสนอการทดสอบใช้งาน และส่วนที่ 5 เป็นบทสรุป

## 2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 ทฤษฎีและหลักการ

2.1.1 การตรวจอุจจาระ (Stool Examination หรือ Stool Test) คือการตรวจสุขภาพพื้นฐาน เพื่อช่วยแพทย์ในการวินิจฉัยความผิดปกติของโรคในระบบทางเดินอาหาร

การตรวจอุจจาระแบ่งออกเป็น 2 การตรวจใหญ่ๆด้วยกันคือ การตรวจแบบพื้นฐาน และการตรวจแบบเฉพาะเจาะจง

1) การตรวจแบบพื้นฐาน (Physical Analysis) เป็นการตรวจแบบง่ายและใช้เครื่องมือไม่ซับซ้อน อาทิ การดูลักษณะภายนอกของอุจจาระ ว่า แข็ง นุ่ม เป็นน้ำ มีมูก มีเลือดปน ดูสีของอุจจาระ การส่องกล้องตรวจและการตรวจค่าความเป็นกรด เบสของอุจจาระ เป็นต้น

2) การตรวจแบบเจาะจง (Comprehensive Digestive Stool Analysis เรียกย่อว่า CDSA) อาทิ การตรวจเลือดในอุจจาระขั้นละเอียด เพื่อเป็นการคัดกรองมะเร็งในลำไส้แม้กระทั่งการตรวจหาน้ำย่อย เพื่อดูการย่อยอาหารผิดปกติจากเอนไซม์ตัวใด เป็นต้น [2]

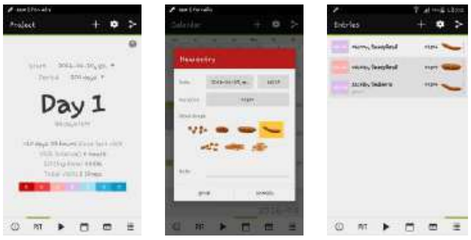
2.1.2 ลักษณะของอุจจาระ (Stool Consistency) สามารถสะท้อนให้เห็นถึงอัตราส่วนของอุจจาระได้ ซึ่งอุจจาระโดยปกติแล้วประกอบด้วยน้ำประมาณ 75 % และของแข็ง 25% ซึ่งได้แก่ เซลลูโลส (Cellulose) กากใยที่ย่อยไม่ได้ เป็นต้น อุจจาระสามารถแบ่งตามลักษณะได้ตามเกณฑ์ของ Bristol Stool Form Scale [3] ได้ 7 ลักษณะ กล่าวคือ 2 ลักษณะแรกเป็นอุจจาระที่เกิดการหมักหมมเป็นเวลานาน เป็นก้อนแข็ง ผู้ที่มีลักษณะอุจจาระเช่นนี้มักมีอาการท้องผูก ลักษณะที่ 3,4 และ 5 เป็นอุจจาระที่ปรกติ และลักษณะที่ 6 กับ 7 เป็นอุจจาระของคนอาการท้องร่วง

**รูปที่1:** ลักษณะของอุจจาระตามเกณฑ์ของ Bristol Stool Form Scale[3]

**2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง**

2.2.1 Descriptive Clinical Evaluation of Stool Output [4] เป็นงานวิจัยที่ถูกเขียนโดย Michele H. Smith ในงานวิจัยนี้ได้ให้แนวทางในการวินิจฉัยโรคจากอุจจาระอย่างละเอียดแก่พยาบาลและผู้ดูแลเด็ก คนชรา ผู้ป่วยในและผู้ป่วยนอก เพื่อการวินิจฉัยโรคและรักษาเบื้องต้นด้วยตนเองก่อนพบแพทย์

2.2.2 โปรแกรมเก็บข้อมูลกิจวัตรประจำวันของการขับถ่ายบนมือถือชื่อว่า Bowel Move (ดูรูปที่ 2) เป็นโมบายแอปพลิเคชันที่ติดตามพฤติกรรมการถ่ายของผู้ใช้ โดยโปรแกรมเก็บวันและเวลาของการถ่ายอุจจาระ ลักษณะของอุจจาระ และสีของอุจจาระ เพื่อดูว่าในแต่ละวันผู้ใช้ถ่ายเป็นเช่นไร และมีการจัดเก็บทั้งในรูปแบบของปฏิทินและลิสต์รายการ ข้อดีของ Bowel Move คือ การออกแบบที่ดี มีส่วนติดต่อผู้ใช้ที่สื่อความหมายได้อย่างดีเยี่ยม มีการเก็บตัวแปลที่สำคัญสำหรับการวินิจฉัย ซึ่งมีด้วยกัน 2 ตัวแปลคือ ลักษณะของอุจจาระ และสีของอุจจาระ ซึ่งผู้ใช้สามารถสังเกตและกรอกข้อมูลได้โดยง่าย อย่างไรก็ตาม Bowel Move มีข้อเสียคือ การเก็บแค่ลักษณะและสีของอุจจาระอาจเป็นข้อมูลที่น้อยเกินไปสำหรับแพทย์หรือผู้วินิจฉัยซึ่งมีโอกาสที่จะได้ผลลัพธ์จากการวินิจฉัยที่คลุมเครือหรือผิดพลาดได้และผู้ใช้ไม่มีแรงจูงใจในการเก็บข้อมูลเพราะสิ่งต่าง ๆ ที่ผู้ใช้เก็บไม่ได้สื่อความหมาย ตัวอย่างเช่น ผู้ใช้ไม่อาจทราบได้ว่าลักษณะของอุจจาระแบบใดที่จะบ่งบอกโรคที่ผู้ใช้อาจเป็นได้

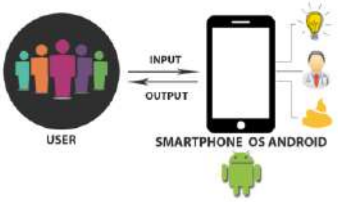



**รูปที่ 2:** ตัวอย่างหน้าจอของแอปพลิเคชัน Bowel

## 3. ขั้นตอนวิธีการดำเนินการวิจัย

### 3.1 สถาปัตยกรรมของแอปพลิเคชัน Stool Examination

การออกแบบสถาปัตยกรรม ของแอปพลิเคชัน Stool Examination มีส่วนประกอบ 2 ส่วนคือ 1. ผู้ใช้ทุกวัย และ2. อุปกรณ์ที่ใช้ระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ ดังแสดงในรูปที่ 3




**รูปที่ 3:** สถาปัตยกรรมของแอปพลิเคชัน Stool Examination

### 3.2 การวิเคราะห์และออกแบบ

โดยทั่วไปคนปกติถ่ายอุจจาระปริมาณ 100-200 กรัม/วัน อุจจาระมีสีน้ำตาลและมีลักษณะอ่อนตัวและเป็นก้อน ไม่มีมูก เลือด หนองหรือพยาธิปะปน ซึ่งสามารถตรวจสอบลักษณะทางกายภาพของอุจจาระด้วยตาเปล่าได้ ผู้วิจัยได้ทำการศึกษา วิเคราะห์และสังเคราะห์ข้อมูล ซึ่งได้ตัวแปรต่าง ๆ ที่มีความเกี่ยวเนื่องกับผลการวินิจฉัยโรคที่ถูกต้องและมีความน่าเชื่อถือด้วยตัวเองก่อนพบแพทย์ การศึกษาได้อ้างอิง

จากงานวิจัย Descriptive Clinical Evaluation of Stool Output [4] เป็นหลักและผู้วิจัยได้ทำการออกแบบแอปพลิเคชันและกำหนดตัวแปรเพื่อวินิจฉัยโรคจากอุจจาระได้ 5 ตัวแปร คือ 1. ลักษณะอุจจาระ 2. สีของอุจจาระ 3. ส่วนประกอบที่ปะปนมากับอุจจาระ เช่น การมีมูก เลือด หรือพยาธิ 4. การจมลอยของอุจจาระ และ 5. กลิ่นของอุจจาระ สามารถสรุปออกมาได้ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1: ตารางสรุปการวินิจฉัยโรคจากอุจจาระ

| ตัวแปร | การวินิจฉัย |
|---|---|
| 1. ลักษณะของอุจจาระมี 7 ตัวเลือก | |
| เป็นก้อนเล็กและแข็งมาก | อาจเกิดโรคท้องผูก หากเป็นบ่อยครั้งอาจเกิดโรคริดสีดวงได้ |
| เป็นก้อนแข็งเกาะกลุ่มไม่ดีนัก | อาจเกิดโรคท้องผูก และมีเลือดออกในทางเดินอาหารส่วนล่าง |
| เป็นก้อนเกาะกลุ่ม ผิวมีรอยแตก | อุจจาระปรกติแต่อาจเริ่มมีอาการท้องผูก |
| เป็นแท่งยาว นิ่ม ผิวเรียบ | ปรกติ |
| นิ่มมาก แต่ยังคงรูปร่างได้ | ปรกติ |
| เหลวเริ่ม ไม่คงรูปร่าง | อาการท้องร่วง |
| เป็นของเหลว | อาการท้องร่วง |
| 2. สีของอุจจาระมี 7 ตัวเลือก | |
| สีน้ำตาลอ่อน | สุขภาพที่ดี |
| สีแดงหรือแดงคล้ำ | มีเลือดออกในทางเดินอาหารส่วนล่าง หรืออาจรับประทาน อาหารที่มีสีดำแดงมากเกินไป |
| สีดำคล้ำหรือดำเข้ม | อาจมีเลือดออกในทางเดินอาหารส่วนบน หรืออาจรับประทาน อาหารที่มีสีดำมากเกินไป |
| สีเหลือง | ทางเดินอาหารอาจดูดซึมผิดปกติ |
| สีเขียว | อาจเพราะรับประทานมากจนเกินไป |
| สีเทา | ตับอ่อนกำลังมีปัญหา |
| สีขาว | ตับอ่อนมีปัญหาหรือติดเชื้อ อาจทำให้เกิดโรคดีซ่าน |
| 3. ส่วนประกอบที่ปะปนมากับอุจจาระมี 4 ตัวเลือก | |
| ไม่มีสิ่งเจือปน | - |
| อุจจาระมีมูก | มีการติดเชื้อในลำไส้ใหญ่ |
| อุจจาระมีเลือด | มีเลือดออกในทางเดินอาหาร |
| อุจจาระมีพยาธิ | อาจเกิดโรคบิดมีตัวได้ |
| 4. การจมลอยของอุจจาระมี 2 ตัวเลือก | |
| จม | อุจจาระที่ดี |
| ลอย | อุจจาระไม่ดี |
| 5. กลิ่นของอุจจาระมี 3 ตัวเลือก | |
| ไม่มีกลิ่น | อุจจาระดีเยี่ยม |
| มีกลิ่นปานกลาง | อุจจาระมีสุขภาพดี |
| มีกลิ่นเหม็น | อุจจาระไม่ดีนัก |

**หมายเหตุ:** ตารางนี้แสดงการสรุปการวินิจฉัยอย่างย่อ รายละเอียดการวินิจฉัยโรคสามารถดูได้ที่ [5]

<u>การออกแบบการทดสอบ</u> ผู้วิจัยได้แบ่งให้ผู้ใช้ทำแบบทดสอบจำนวน 5 ข้อตามตัวแปร 5 ตัวที่ได้ออกแบบไว้ข้างต้น โดยลำดับคำถามเรียงตามความสำคัญของตัวแปร

<u>การวินิจฉัย</u> แอปพลิเคชันทำงานคล้ายระบบผู้เชี่ยวชาญ กล่าวคือการวินิจฉัยเกิดขึ้นได้จากกรณีใดกรณีหนึ่งใน 2 กรณีข้างล่างนี้

1. ผู้ใช้ถูกให้ทำแบบทดสอบทั้ง 5 ข้อ โปรแกรมจึงสามารถวินิจฉัยโรคได้เพราะต้องดูค่าคำตอบของตัวแปรหลายตัวประกอบกัน หรือ
2. ผู้ใช้จะไม่ถูกให้ทำแบบทดสอบทั้ง 5 ข้อ ในกรณีนี้โปรแกรมสามารถวินิจฉัยโรคได้จากคำถามก่อนหน้า

<u>ตัวอย่างการวินิจฉัย</u>

| ตัวแปร | คำตอบของนายเอ | คำตอบของนายบี | คำตอบของนายซี |
|---|---|---|---|
| ลักษณะอุจจาระ | นิ่ม แต่คงรูปร่าง | เป็นของเหลว | ก้อนแข็ง |
| สีของอุจจาระ | น้ำตาล | ดำ | แดงสด |
| ส่วนประกอบปะปน | ไม่มีสิ่งเจือปน | มูก | |
| การลอยตัว | ลอย | | |
| กลิ่นของอุจจาระ | มีกลิ่นปานกลาง | | |
| **ผลการวินิจฉัย** | ปรกติ กินผักมาก | มีเลือดออกในกระเพาะอาหารหรือลำไส้เล็ก | โรคริดสีดวงทวารหนัก |

<u>กติกาในการตอบแบบทดสอบ</u>

1. ผู้ใช้งานควรเลือกตัวเลือกคำตอบที่มีความใกล้เคียงข้อมูลจากอุจจาระของตัวเองมากที่สุด

### 3.3 ข้อจำกัดของแอปพลิเคชัน

1. แอปพลิเคชันนี้ไม่สามารถใช้ทดแทนการวินิจฉัยของแพทย์ได้
2. แอปพลิเคชันนี้เป็นการวินิจฉัยเบื้องต้นก่อนพบแพทย์
3. รองรับระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์รุ่น 3.0 ขึ้นไป

## 4. การทดสอบการใช้งาน

ผู้วิจัยได้ทำการพัฒนาระบบที่ได้ออกแบบไว้โดยใช้ภาษาจาวา (Java) และใช้ Android Studio เป็นเครื่องมือในการพัฒนาแอปพลิเคชันภายในแอปพลิเคชันประกอบด้วย 3 ส่วนหลักๆ คือ 1) ส่วนของการวินิจฉัยโรคที่ได้จากการเลือกข้อมูลที่ผู้ใช้สังเกตได้จากอุจจาระของตนเอง ซึ่งผู้ใช้ ต้องผ่านการเลือกตัวแปรที่กำหนดไว้ 5 ตัวแปรเพื่อทำการวินิจฉัย 2) ทฤษฎีที่เป็นส่วนของเนื้อหา ความรู้ ความเป็นมา รวมถึงแนวทางการตัดสินใจ และ 3) ส่วนของการแนะนำแนวทางการรักษาอุจจาระให้ดีอย่างสม่ำเสมอ

ผลการทดสอบกับผู้ใช้จำนวน 30 คน ประกอบด้วยเพศชาย 12 คนและเพศหญิง18 คน สรุปได้ว่าแอปพลิเคชัน Stool Examination สามารถทำงานได้จริง ทั้งในการวินิจฉัยโรคและข้อแนะนำที่เหมาะสม

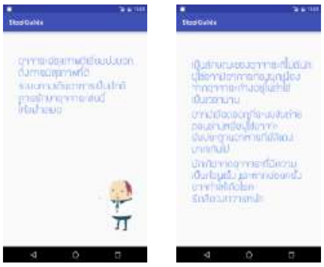
<u>ตัวอย่างหน้าจอการทำงานของแอปพลิเคชัน</u>

รูปที่ 4 แสดงการเริ่มต้นทำงานของแอปพลิเคชัน โดยจะสังเกตได้ว่า มีตัวเลือกทั้งหมด 4 ตัวเลือก ตัวเลือกที่1 จะเป็นส่วนของการวินิจฉัย ตัวเลือกที่ 2 เป็นส่วนของทฤษฎี เนื้อหา ความรู้ ความเป็นมา ตัวเลือกที่ 3 เป็นคำแนะนำแนวทางสร้างวินัยที่ดีในการถ่ายอุจจาระและตัวเลือกที่ 4 เป็นข้อมูลแอปพลิเคชันและผู้พัฒนา

**รูปที่ 4**: ตัวอย่างหน้าจอเริ่มต้นการ

สำหรับขั้นตอนการวินิจฉัยโรค ผู้ใช้จำเป็นต้องตอบแบบทดสอบเกี่ยวกับอุจจาระของตนเองทั้งหมด 5 คำถาม คือ 1. ลักษณะ 2. สี 3. ส่วนประกอบ 4. การลอยตัว และ5. กลิ่น (รูปที่ 5) จากนั้นโปรแกรมจะแสดงผลลัพธ์ของการวินิจฉัยอุจจาระด้วยตนเองทันที ดังแสดงในรูปที่ 6

**รูปที่ 5:** ตัวอย่างหน้าจอขั้นตอนการวินิจฉัย



**รูปที่ 6:** ตัวอย่างหน้าจอผลลัพธ์ของการ

## 5. บทสรุป

บทความนี้นำเสนอการวินิจฉัยโรคจากการสังเกตอุจจาระผ่านทางแอปพลิเคชันสำหรับโทรศัพท์มือถือ บนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ แอปพลิเคชันนี้อำนวยความสะดวกและทำงานได้จริงอีกทั้งยังเป็นตัวช่วยด้านสุขภาพที่ดีได้จริง ทั้งในการวินิจฉัยโรคและสร้างอุปนิสัยให้คนหันมาใส่ใจสุขภาพ งานที่กำลังทำในอนาคตคือการพัฒนาฟังก์ชันการทำงานให้แอปพลิเคชันสามารถเก็บข้อมูลของผู้ใช้ เช่น คำตอบแบบทดสอบ วันและเวลาของการถ่ายอุจจาระ เพื่อดูว่าในแต่ละวันผู้ใช้ ถ่ายเป็นเช่นไร เพื่อเก็บเป็นข้อมูลประวัติการถ่ายอุจจาระและใช้ในการวิเคราะห์และแจ้งเตือนอัตโนมัติในเรื่องสุขภาพแก่ผู้ใช้

## 6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณภาควิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ในการสนับสนุนความรู้และข้อมูลในการพัฒนาแอปพลิเคชัน

## เอกสารอ้างอิง

[1] "การตรวจอุจจาระ", [ออนไลน์] แหล่งที่มา https://www.gotoknow.org/posts/461623 (สืบค้นเมื่อ 1 กุมภาพันธ์ 2559).

[2] Mercola, "What You See in the Toilet Can Give You Valuable Insights into Your Health", [ออนไลน์] แหล่งที่มา http://articles.mercola.com/sites/articles/archive/2013/02/14/normal-stool.aspx (สืบค้นเมื่อ 1 กุมภาพันธ์ 2559).

[3] Royal College of Nursing "Bristol Stool Form Scale", [ออนไลน์] แหล่งที่มา http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmedhealth/PMH0009959 (สืบค้นเมื่อ 19 มกราคม 2559).

[4] M. H. Smith, "Descriptive Clinical Evaluation of Stool Output", Support Line, Vol 31, No. 5, October 2009.

[5] อานนท์ จันทรัตน์, "วินิจฉัยโรคจากการสังเกตอุจจาระ (Stool Examination on Mobile)", รายงานวิชาโครงการทางวิทยาการคอมพิวเตอร์, ภาควิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 2559.

นายอานนท์ จันทรัตน์
นักศึกษาชั้นปีที่ 4
ภาควิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
งานวิจัยที่สนใจ: Mobile Application

**บทความวิจัย**

การประชุมวิชาการ งานวิจัยและพัฒนาเชิงประยุกต์ ครั้งที่ 8

*8th ECTI-CARD 2016, Hua Hin, Thailand*

# ระบบสร้างข้อสอบชาญฉลาดอัตโนมัติออนไลน์โดยขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม

# The Construction System of Online Intelligent Item by Genetic Algorithm

**วิไลพร กุลตังวัฒนา [1] Dang Ngoc Chuong[2] ศราวุฒิ พิมพากุล[3] กริช สมกันธา[4] ไพศาล ดาแร่[5]**

[1,2,3,4,5]สาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี

E-mail: wilanporn17@yahoo.com[1] ngocchuong279@gmail.com[2] Srawut71@gmail.com[3] dr_krit@hotmail.com[4] darae123@hotmail.com[5]

## บทคัดย่อ

บทความนี้เสนอวิธีการพัฒนาการสร้างข้อสอบอัตโนมัติออนไลน์ โดยการใช้ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม ขั้นตอนแรกเริ่มจากการสร้างกราฟจากฐานข้อมูลขนาดใหญ่ของข้อสอบ ขั้นตอนที่สองคือการออกแบบรูปแบบการแทนข้อมูลที่เหมาะสมในรูปแบบของขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม โดยลำดับของโหนดหรือลำดับของข้อสอบถูกใช้ในการเข้ารหัสในรูปแบบของโครโมโซม ขั้นตอนที่สามขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมถูกนำมาใช้ในการสร้างโครโมโซมที่ดีหรือข้อสอบที่ต้องการ โดยข้อสอบที่ต้องการได้มาจากการเลือกข้อสอบจากฟังก์ชันค่าความเหมาะสม ในงานวิจัยค่าความยากง่ายและค่าอำนาจจำแนกถูกนำมาใช้ในการคำนวณหาค่าฟังก์ชันความเหมาะสม ขั้นตอนสุดท้ายจะกระทำการวนซ้ำไปจนกว่าจะได้คำตอบที่เหมาะสมหรือตามกำหนดจำนวนการทำซ้ำ จากผลการทดลองวิธีการที่นำเสนอได้ผลลัพธ์ที่ดีและมีประสิทธิภาพใกล้เคียงกับผู้เชี่ยวแต่สามารถที่จะทำงานได้เร็วและมีประสิทธิภาพกว่า วิธีการที่นำเสนอผ่านระบบออนไลน์จะเป็นเครื่องมือที่มีประโยชน์อย่างสูงในการสร้างข้อสอบที่ดีอย่างรวดเร็ว ที่ซึ่งสามารถสร้างข้อสอบที่มีคุณภาพตามความต้องการได้ทุกที่ และทุกเวลาที่ต้องการสร้างข้อสอบ

คำสำคัญ: ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม ค่าความยาก ค่าอำนาจจำแนก

## Abstract

This paper presents the method for developing the construction system of online intelligent item by genetic algorithm (GA). Firstly, constructed graph from database of a large items. Secondly, designed a suitable representation scheme of the genetic algorithm. A list of nodes was used to encode chromosome to represent all possible paths in a graph. Thirdly, genetic algorithm was used to construct the good items. The good item was derived from selecting in each item from fitness functions. In this research, the difficulty index and discrimination index were used for calculating the fitness function. Finally, the genetic algorithm was repeated until the optimal solution was found or ended the generation that was fixed. From the experimental results, the proposed method performed very well and was close with the expert teachers but it could construct the good item faster than the expert teacher. The proposed method is very useful for assisting many teachers to construct the good item quickly on website. It can construct good item anywhere and anytime.

Keywords: Genetic Algorithm, Difficulty index, Discrimination index.

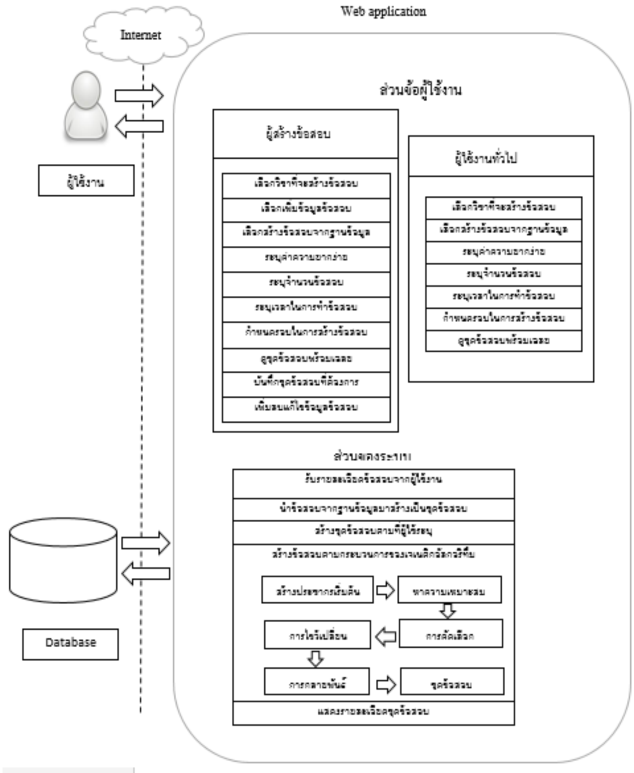
## 1. บทนำ

ในปัจจุบันในการสร้างข้อสอบใช้บุคลากรทางการศึกษา ซึ่งจะต้องใช้เวลานาน ยิ่งถ้าต้องการข้อสอบที่มีคุณภาพมากก็ต้องใช้เวลาในการสร้างมาก ทำให้มีความยุ่งยากในการสร้างข้อสอบในแต่ละครั้ง การออกข้อสอบของครูอาจารย์ ในมหาวิทยาลัย โรงเรียนระดับชั้นมัธยม ประถม หรือหน่วยงานต่างๆ ซึ่งต้องใช้เวลา และใช้สมองอย่างยิ่งในการออกข้อสอบเพื่อมาประเมินนักเรียนนักศึกษาหรือแม้กระทั่งพนักงานหรือบุคลากรในหน่วยงานนั้นๆ ดั้งนั้นถ้ามีการสร้างข้อสอบจำนวนมากและจำกัดเวลาก็จะทำให้ข้อสอบอาจจะไม่มีประสิทธิภาพ ดังนั้นเพื่อลดภาระงานของบุคลากรทางการศึกษาในการสร้างข้อสอบที่มีคุณภาพตามความต้องการจึงได้มีการนำเอาเทคโนโลยีทางปัญญาประดิษฐ์มาช่วยในการแก้ปัญหา ซึ่งในกระบวนการสร้างข้อสอบอัตโนมัตินั้นจะมีการประยุกต์ใช้ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม[4]-[8] มาใช้เพื่อปรับปรุงความสามารถในการค้นหาคำตอบที่ดียิ่งขึ้นเพื่อให้ได้คำตอบที่ดีที่สุด ซึ่งจะทำให้ได้ผลลัพธ์ที่เหมาะสมตามความต้องการ โดยในเว็บไซต์ที่นำเสนอจะสามารถวิเคราะห์ข้อสอบได้ สามารถสร้างข้อสอบที่ดีได้ตามความต้องการของผู้ใช้ และสามารถเพิ่ม ลบ ข้อมูลแก้ไข ในแต่ละรายวิชาได้ ซึ่งจะทำให้ได้เครื่องมือที่เหมาะสมเพื่อช่วยเหลือบุคลากรทางการศึกษาให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น

## 2. วิธีการที่นำเสนอ

ในงานวิจัยข้อสอบที่จะถูกสร้าง ข้อสอบนั้นจะมีการวิเคราะห์ข้อสอบถูกบันทึกลงฐานข้อมูลเพื่อจะนำมาใช้ในกระบวนการขั้นตอนวิธี

เชิงพันธุกรรม โดยรูปแบบภาพรวมระบบการสร้างข้อสอบออนไลน์ แสดงดังรูปที่ 1




รูปที่ 1 ภาพรวมระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติออนไลน์

**2.1 การวิเคราะห์ข้อสอบ**

การวิเคราะห์ข้อสอบหมายถึงการค้นหาคุณลักษณะ คุณภาพของคำถามและตัวเลือก ซึ่งเป็นส่วนที่ประกอบกันขึ้นมาเป็นข้อสอบว่าเป็นอย่างไร ดีหรือไม่ ง่ายหรือยาก โดยจะพิจารณาสองลักษณะ คือค่าความยากง่ายและค่าอำนาจการจำแนก [1]-[3] ซึ่งในระบบที่ได้ออกแบบสามารถทำการวิเคราะห์ข้อสอบใหม่ตามความต้องการของผู้ใช้ และสามารถเพิ่ม ลบ แก้ไขข้อมูลได้โดยสะดวก

ค่าความยากง่าย คือค่าระดับความยากและความง่ายของข้อสอบหรือสัดส่วนของจำนวนผู้ที่ตอบถูกต่อจำนวนผู้ตอบทั้งหมดเพื่อดูความยากง่ายของข้อสอบ [1] เขียนเป็นสูตรสำหรับหาความยากง่ายของข้อสอบได้ (P) ดังสมการที่ 1

$$P = \frac{H + L}{N} \tag{1}$$

ที่ซึ่ง H คือจำนวนคนที่ตอบข้อสอบข้อนั้นถูกในกลุ่มคนเก่ง L คือจำนวนคนที่ตอบข้อสอบข้อนั้นถูกในกลุ่มคนไม่เก่ง และ N คือจำนวนคนทั้งสองกลุ่มรวมกัน ค่าของความยากง่ายแทนด้วย P ซึ่งจะมีค่าอยู่ระหว่าง 0 – 1.00 โดยค่าที่ได้จะอ่านความหมายคือ ถ้าเข้าใกล้ 0 จะเป็นข้อสอบที่ยากมาก ถ้าเข้าใกล้ 1 จะเป็นข้อสอบที่ง่ายมาก ดังนั้นข้อสอบที่ดีควรจะอยู่บริเวณค่าที่เข้าใกล้ 0.5

ค่าอำนาจจำแนกหรือการจำแนกคือค่าสถิติที่ใช้อธิบายคุณภาพของข้อสอบ ข้อสอบที่ดีต้องมีอำนาจจำแนกได้ว่าเด็กคนใดเก่งคนใดอ่อนกว่ากัน [1] สูตรสำหรับการหาค่าอำนาจจำแนกของข้อสอบ (r) แสดงดังสมการที่ 2

$$r = \frac{H - L}{n1} \tag{2}$$

ที่ซึ่ง H คือจำนวนคนที่ตอบข้อสอบข้อนั้นถูกในกลุ่มสูง L คือจำนวนคนที่ตอบข้อสอบข้อนั้นถูกในกลุ่มต่ำ และ n1 คือจำนวนผู้เข้าสอบกลุ่มสูงหรือกลุ่มต่ำ ค่าอำนาจจำแนก จะมีค่าระหว่าง 1.00 กับ –1.00 ข้อที่มีค่าเป็นบวกเท่านั้นจึงจะดี ยิ่งค่าอำนาจจำแนกเข้าใกล้ค่า 1 จะเป็นข้อสอบที่มีคุณภาพที่ดีมาก

**2.2 ขั้นตอนประยุกต์ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมในงานวิจัย**

**2.2.1 ขั้นตอนการทำงานขอขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม**

1.สร้างประชากรโครโมโซมรุ่นเก่า ตามรูปแบบโครโมโซมที่กำหนดไว้ โดยประชากรต้นกำหนด (Initial Population) เกิดจากการสร้างชุดโคโมโซมต้นกำเนิดด้วยการสุ่มสร้างค่าแต่ละโหนดของแต่ละโครโมโซม ซึ่งในแต่ละโครโมโซมก็คือข้อสอบในแต่ละชุด และโหนดแต่ละโหนดคือข้อสอบแต่ละข้อ

2.วิเคราะห์ค่าความเหมาะสมแต่ละโครโมโซม โดยถอดรหัสค่าตัวแปร พารามิเตอร์ต่างๆ ของแต่ละโหนดในโคโมโซม และคำนวณค่าความเหมาะสมจากฟังก์ชันความเหมาะสมที่กำหนดไว้ ซึ่งค่าความเหมาะสมจะเป็นส่วนที่สำคัญมาก เพราะจะเป็นตัวตัดสินใจว่าโครโมโซมใดเหมาะสมหรือไม่เหมาะสม ซึ่งในที่นี้คือข้อสอบชุดใดเหมาะสมหรือไม่เหมาะสม

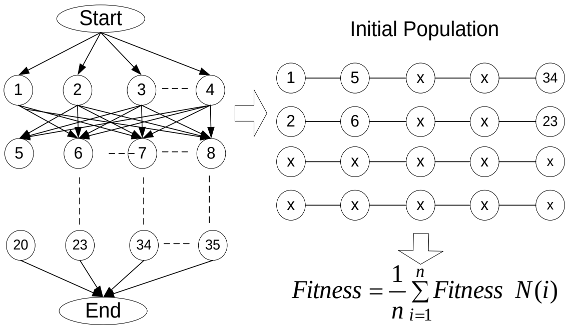
3. สร้าง Mating pool คือชุดโครโมโซมต้นแบบหรือชุดโครโมโซมพ่อแม่ ที่สามารถอยู่รอดเป็นต้นแบบ ซึ่งอาศัยการจำลองการคัดเลือกทางธรรมชาติ โดยพิจารณาค่าถ่วงน้ำหนักจากค่าความเหมาะสมของแต่ละโครโมโซม ซึ่งถ้าหากโครโมโซมใดมีค่าความเหมาะสมมากก็จะมีโอกาสถูกคัดเลือกต้นแบบมาก

4. ดำเนินการทางพันธุศาสตร์โดยจับคู่โครโมโซมต้นแบบใน Mating Pool เพื่อสร้างประชากรในโครโมโซมรุ่นใหม่ ซึ่งตัวดำเนินการทางพันธุศาสตร์ประกอบด้วย ครอสโอเวอร์ โดยแลกเปลี่ยนค่ายีนส์บางส่วนของโครโมโซมซึ่งกันและกันหรือมิวเตชันโดยการสุ่มเปลี่ยนค่ายีนส์บางยีนส์ของแต่ละโครโมโซม

ตัวอย่างของขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมแสดงดังในรูปที่ 2 และตัวอย่างการแทนรูปแบบของขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมดังแสดงในรูปที่ 3

```
Function GA{
Evolution = 0;
Initialize population P(Evolution);
Evaluate P(Evolution);
do{
S(Evolution)=Keep best chromosome P(Evolution);
Pselect(Evolution) = Parents_selection P(Evolution);
P'(Evolution)⇐•Crossover•Pselect(Evolution);
P''(Evolution)⇐•Mutation•P'(Evolution);
Evaluate•P''(Evolution);
P(Evolution+1)⇐•Select(P''(Evolution)•U•S(Evolution•));
Evolution = Evolution + 1;
}While(Evolution <= Max number of evolution);
Select_best(Evolution);
}
```

รูปที่ 2 การทำงานของขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม




รูปที่ 3 ประชากรต้นแบบและฟังก์ชันความเหมาะสม

Initialize population P(Evolution) คือกระบวนการสร้างประชากรต้นแบบที่ได้จากโหนดกราฟ กำหนด 10 แบบ ส่วน Evaluate P(Evolution) คือกระบวนการคำนวณหาค่าฟังก์ชันความเหมาะสม

Keep best chromosome P(Evolution) คือกระบวนการรักษาโครโมโซมในแต่ละรุ่น เพื่อมิให้สูญเสียโครโมโซมที่ดี Parents_selection P(Evolution) คือกระบวนการเลือกโครโมโซมเพื่อดำเนินการทางพันธุศาสตร์ ซึ่งในงานทดลองจะใช้วิธีการวงล้อหมุน (Roulette Wheel) [8] Crossover Pselect(Evolution) คือกระบวนการดำเนินการสลับสายพันธุ์ ดังแสดงวิธีการทำงานในรูปที่ 4 Mutation P'(Evolution) คือกระบวนการกลายพันธุ์ ดังแสดงการทำงานในรูปที่ 5 โดยจะมีการกำหนดค่า Pc = 0.5 ค่าความน่าจะเป็นของการหลับสายพันธุ์ และ Pm = 0.1 ค่าความน่าจะเป็นของการกลายพันธุ์ Select(P''(Evolution)U S(Evolution )) คือการเอาค่าที่ดีที่สุดในรุ่นเดิมมาใช้ในรุ่นใหม่เพื่อเป็นการรักษาโครโมโซมที่ดีไว้สุดท้าย Select_best(Evolution) คือการคัดเลือกโครโมโซมที่ดีที่สุดในกลุ่มประชากรสุดท้ายเพื่อนำมาใช้เป็นข้อสอบที่ต้องการ

```
Function Crossover{
Count = popoulation = 0;
total _ crossover = Pc * (Pop_size/ 2)
while (count < total _ crossover)
{ Parent1 = Random P(Evolution );
 Parent2 = Random P(Evolution );
If(parent1 != parent2 ) {
Pos = Random(Length chromosome);
Children =Crossover(Parent1,Parent2,Pos);
Count = Count + 1;
New population = population + 2;
}}
while (New population < Old population size)
{ Children = Random P(Evolution);
population = population + 1; }
}
```

รูปที่ 4 การทำงานของการสลับสายพันธุ์

```
Function Mutation{
Count = 0;
total _ Mutation = Pm * Popsize * lchromosome;
while (Count < total _ Mutation)
{ Parent = Random (Evolution );
  Position = Random(Length chromosome);
  Mutation(Parent, Position);
  Count = Count + 1; }
}
```

รูปที่ 5 การทำงานของการกลายพันธุ์

#### 2.2.2 การคำนวณหาค่าความเหมาะสม

ในงานวิจัยฟังก์ชันความเหมาะสมได้มาจากค่าความยากง่ายและค่าอำนาจจำแนกที่เหมาะสม และจากที่ผู้ใช้กำหนดค่าขึ้นมาเองเพื่อสร้างข้อสอบที่มีคุณลักษณะต่างๆ ตามความต้องการ

ในงานวิจัยนี้เราสามารถเลือกค่าความยากง่ายและค่าอำนาจจำแนกได้ตามต้องการ หรือจะเลือกค่าที่ดีที่สุดของข้อสอบ นั่นคือ ค่าความยากง่ายเข้าใกล้ 0.5 ค่า อำนาจจำแนก เข้าใกล้ 1 ดังนั้นในการคำนวณหาฟังก์ชันความเหมาะสมสามารถคำนวณได้จากสมการ ดังนี้

$$Fitness = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} Fitness \;\; N(i) \tag{3}$$

$$Fitness \;\; N = \frac{Fitness \;\; P + Fitness \;\; r}{2} \tag{4}$$

$$Fitness \;\; P = 1 - |Pu - P| \tag{5}$$

$$Fitness \;\; r = \frac{r+1}{ru+1} \tag{6}$$

ที่ซึ่ง $Fitness$ คือค่าฟังก์ชันความเหมาะสมของข้อสอบในแต่ละโครโมโซมหรือชุดข้อสอบทั้งหมด $n$ คือจำนวนข้อสอบที่ต้องการ

*Fitness N* คือค่าความเหมาะสมของข้อสอบในแต่ละข้อ *Fitness P* คือค่าความเหมาะสมของค่าความยากง่าย *Fitness r* คือ ค่าความเหมาะสมของค่าอำนาจจำแนก *Pu* ค่าความยากง่ายที่ผู้ใช้กำหนด และ *ru* ค่าอำนาจจำแนกที่ผู้ใช้กำหนด ซึ่งสามารถกำหนดได้ตามความเหมาะสม หรือจะเลือกใช้ค่าที่ดีสุดก็จะสามารถคำนวณได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$Fitness\ P = 1 - |0.5 - P| \qquad (7)$$

$$Fitness\ r = \frac{r+1}{2} \qquad (8)$$

### 3. ผลการทดสอบ

ในงานวิจัยเป็นการทดสอบถึงประสิทธิภาพของขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม เพื่อสร้างข้อสอบอัตโนมัติออนไลน์ ในการทดสอบแรกจะทดสอบเพื่อหาค่าเฉลี่ยของค่าอำนาจจำแนกและค่าความยกง่าย และหาค่าความเหมาะสมสรุปดังตารางที่ 1 โดยข้อมูลที่ใช้ในงานวิจัยจะเป็นข้อมูลของข้อสอบวิชาคอมพิวเตอร์พื้นฐาน จำนวน 300 ข้อ วิชาภาอังกฤษ 300 ข้อ และวิชาภาษาไทย 300 ข้อ

ตารางที่ 1 ค่าเฉลี่ยผลการทดสอบการเข้าใกล้คำตอบที่ดีที่สุด (วิชาคอมพิวเตอร์)

| Generation | Difficulty (0.5) | Discrimination (0.7) | Fitness (1) |
|---|---|---|---|
| 6 | 0.11 | -0.40 | 0.40 |
| 10 | 0.21 | -0.33 | 0.50 |
| 20 | 0.28 | -0.26 | 0.58 |
| 50 | 0.32 | -0.12 | 0.63 |
| 100 | 0.36 | 0.12 | 0.71 |
| 200 | 0.42 | 0.40 | 0.89 |
| Generation | Difficulty (0.1) | Discrimination (0.5) | Fitness (1) |
| 6 | 0.80 | -0.79 | 0.20 |
| 10 | 0.75 | -0.76 | 0.23 |
| 20 | 0.70 | -0.65 | 0.30 |
| 50 | 0.64 | -0.41 | 0.56 |
| 100 | 0.58 | 0.15 | 0.67 |
| 200 | 0.25 | 0.23 | 0.81 |

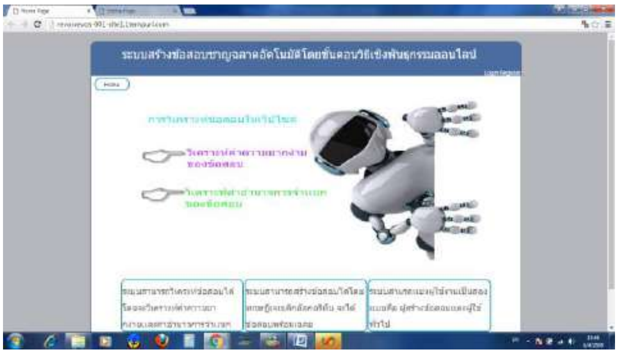
จากการทดสอบประสิทธิภาพวิธีการที่นำเสนอ สามารถทำงานได้ดีในจำนวนรอบที่ 200 ขึ้นไป ซึ่งใกล้เคียงกับผู้เชี่ยวชาญ ซึ่งเหมาะสำหรับการสร้างข้อสอบ แก่บุคลากรได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ในการทดสอบถัดไปเป็นการทดสอบประสิทธิภาพโดยเปรียบเทียบผลการทดสอบระหว่างอาจารย์ผู้เชี่ยวชาญในการสร้างแบบทดสอบ และขั้นตอนวิธีที่นำเสนอ ตามจำนวนข้อสอบที่ต้องการ โดยแสดงค่าเฉลี่ยของข้อสอบที่เหมาะสมตามจำนวนข้อ ของข้อสอบที่ต้องการ ดังแสดงในตารางที่ 2 โดยกำหนดค่าที่ต้องการคือ ค่าความยากง่าย = 0.5 และค่าอำนาจจำแนก = 1

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบประสิทธิภาพของข้อสอบระหว่างวิธีการที่นำเสนอและอาจารย์ผู้เชี่ยวชาญ (วิชาภาษาอังกฤษ)

| Number of Items | Average of Fitness Function from the Proposed Method | Average of Fitness Function from the Expert Teacher 1 | Average of Fitness Function from the Expert Teacher 2 |
|---|---|---|---|
| 10 | 0.95 | 0.87 | 0.91 |
| 15 | 0.93 | 0.80 | 0.90 |
| 20 | 0.90 | 0.81 | 0.87 |
| 25 | 0.87 | 0.82 | 0.85 |
| 30 | 0.86 | 0.83 | 0.80 |

ในลำดับถัดไปแสดงผลการออกแบบเว็บไซต์ในการสร้างข้อสอบอัตโนมัติ โดยจะสามารถวิเคราะห์ข้อสอบได้ และสามารถสร้างข้อสอบโดยสามารถเลือกระดับความยากง่ายได้ 3 ระดับ นั่นคืน ยาก ปานกลาง และง่าย และสามารถสร้างข้อสอบกำหนดจำนวนข้อได้ตามความต้องการ การสร้างข้อสอบสามารถเพิ่มลบแก้ไขข้อมูลได้โดยง่าย อีกทั้งยังมีเทคนิคทางปัญญาประดิษฐ์ในการสร้างข้อสอบอัตโนมัติทำให้สามารถได้ข้อสอบตามความต้องการของผู้ใช้ หลังจากที่ได้ข้อสอบที่ต้องการก็จะสามารถดาวน์โหลดข้อสอบที่ทำการสร้างขึ้นมาพร้อมเฉลยเพื่อนำไปประยุกต์ใช้งานต่อได้อย่างเหมาะสม แสดงดังตัวอย่างการทำงานดังรูปที่ 6 –15

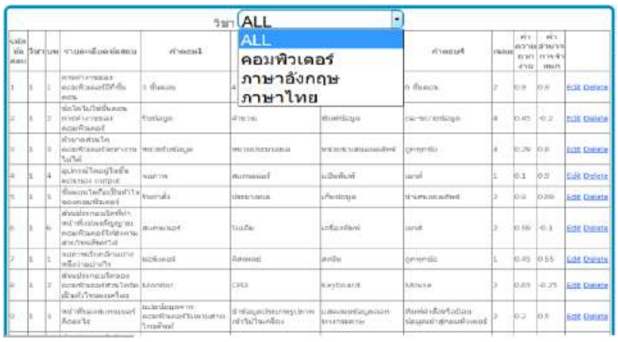


รูปที่ 6 หน้าหลักระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติออนไลน์

รูปที่ 7 การสมัครสมาชิก

รูปที่ 8 การเพิ่มข้อสอบรายข้อ

รูปที่ 9 จัดการข้อมูลรายวิชา



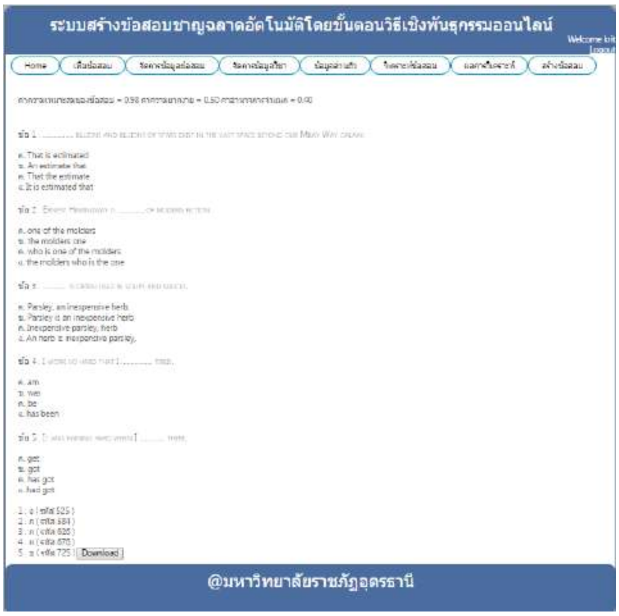

รูปที่ 10 จัดการข้อมูลข้อสอบ

รูปที่ 11 ตัวอย่างการวิเคราะห์ข้อสอบ

รูปที่ 12 ผลการวิเคราะห์ข้อสอบ

รูปที่ 13การสร้างข้อสอบ

รูปที่ 14 ผลการสร้างข้อสอบวิชาคอมพิวเตอร์




รูปที่ 15 ผลการสร้างข้อสอบวิชาอังกฤษ

ในการทดสอบถัดไปจะเป็นการทดสอบความพึงพอใจของระบบการสร้างข้อสอบอัตโนมัติออนไลน์โดยการใช้ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม จากบุคลากรทางการศึกษา จากผู้เชี่ยวชาญในการสร้างข้อสอบ และจากคณาจารย์ผู้สร้างข้อสอบ

ตารางที่ 3 แบบสอบถามการใช้งานเว็บไซต์

| หัวข้อแบบสอบถาม | ค่าเฉลี่ย | ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน |
|---|---|---|
| 1.ความเหมาะสมในการใช้งาน | 4.51 | 0.69 |
| 2.ข้อสอบได้ตามที่ต้องการ | 4.67 | 0.62 |
| 3.ความถูกต้องในการวิเคราะห์ข้อสอบ | 4.35 | 0.58 |
| 4.เวลาในการสร้างข้อสอบ | 4.53 | 0.62 |
| 5.ประสิทธิภาพในการสร้างข้อสอบ | 4.44 | 0.65 |

ในระบบของงานที่นำเสนอสามารถเพิ่มข้อมูลวิชาต่างๆ ได้ ซึ่งขึ้นอยู่กับผู้ใช้งานว่าต้องการเพิ่มข้อมูลวิชาที่ต้องการผ่านเว็บไซต์ โดยระบบจะเหมาะสมกับผู้ใช้งานทุกๆ พื้นที่ หรือในโรงเรียนต่างๆ สามารถเพิ่ม ลบ แก้ไข ได้ตามความเหมาะสม ตามสิทธิที่ได้รับจากผู้ดูแลระบบ ทำให้ระบบงานเป็นระบบที่สามารถใช้งานได้โดยสะดวกและรวดเร็วในการสร้างข้อสอบที่มีคุณภาพสำหรับบุคลากรทางการศึกษา

## 3. สรุป

งานวิจัยนี้เสนอขั้นตอนวิธีการสร้างข้อสอบอัตโนมัติออนไลน์โดยขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม โดยมีการคำนวณค่าความเหมาะสมซึ่งได้มาจากค่าความยากง่ายและค่าอำนาจการจำแนก ในงานวิจัยสามารถกำหนดค่าความยากของข้อสอบได้ตามความเหมาะสม ซึ่งจะสามารถสร้างข้อสอบได้ใกล้เคียงตามที่กำหนดค่าไว้ ประสิทธิภาพที่ได้จะมีคุณภาพดีใกล้เคียงกับมนุษย์ผู้เชี่ยวชาญแต่สามารถสร้างข้อสอบได้อย่างรวดเร็วมากกว่า ดั้งนั้นงานวิจัยชิ้นนี้จะเป็นประโยชน์ต่อผู้สร้างข้อสอบและได้ชุดข้อสอบตรงตามความต้องการผ่านเว็บไซต์ อีกทั้งงานวิจัยนี้ยังนำเอาเทคโนโลยีสารสนเทศที่เหมาะสมมาใช้จัดการเว็บไซต์ ทำให้สามารถเพิ่ม ลบ แก้ไข ข้อมูลของข้อสอบได้โดยง่าย สามารถเพิ่มข้อมูลวิชาอื่นๆ ได้ตามความต้องการ ซึ่งส่งผลทำให้บุคลากรจากทุกพื้นที่สามารถใช้เครื่องมือต่างๆ ผ่านเว็บไซต์ได้อย่างสะดวกและรวดเร็ว จากการทดสอบประสิทธิภาพโดยรวมทั้งหมดระบบการสร้างข้อสอบออนไลน์สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพซึ่งจะเป็นเครื่องมือที่สำคัญในการช่วยเหลือบุคลากรทางการศึกษาให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น

## 4. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี ผู้สนับสนุนในการทำวิจัย และขอขอบคุณสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานีผู้ให้ทุนสนับสนุนการทำวิจัย

## เอกสารอ้างอิง

[1] วินุลาศ เจริญชัย, “การพัฒนาโปรแกรม ไมโครคอมพิวเตอร์จัดเก็บและวิเคราะห์ข้อสอบแบบเลือกตอบ”, วิทยานิพนธ์ปริญญาศึกษาศาสตร์มหาบัณฑิต: มหาลัยขอนแก่น, 2537.

[2] ไชยยศ เรืองสุวรรณ, “เทคโนโลยีการศึกษา ทฤษฎีและการวิจัย”, กรุงเทพฯ : โอ.เอส. พริ้นติ้งเฮ้าส์, 2533.

[3] บุญเชิด ภิญโญอนันตพงษ์ “การทดสอบแบบอิงเกณฑ์ : แนวคิดและวิธีการ” กรุงเทพฯ : คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒประสานมิตร, 2526.

[4] N. Chaiyaratana and A.M.S. Zalzala, “Recent developments in evolutionary and genetic algorithms: theory and applications”, Genetic Algorithms in Engineering Systems: Innovations and Applications, 1997.

[5] S. Han, “The Normality Analysis of Test Scores”, Automation and Systems Engineering (CASE) International Conference, 2011.

[6] D.E. Goldberg, “Genetic Algorithms in Search Optimization and Machine Learning, Addison Wesley”, Reading(MA), 1989.

[7] D. B. Fogel, “Evolutionary Computation: Toward a New Philosophy of Machine Intelligence”, IEEE Press, Piscataway, NJ, 1995.

[8] L. Davis, “Handbook of Genetic Algorithm”, Int. Thomson Computer Press, 1996.

**บทความวิจัย**

การประชุมวิชาการ งานวิจัยและพัฒนาเชิงประยุกต์ ครั้งที่ 8

*8th ECTI-CARD 2016, Hua Hin, Thailand*

# การจัดการความรู้ภูมิปัญญาท้องถิ่น หัตถกรรมกะลามะพร้าว ตำบลชัยบุรี จังหวัดพัทลุง

## Local Wisdom Knowledge Management of Coconut Shell, Chai Buri Subdistrict, Phatthalung

**ศวรรณรัศม์ อภัยพงค์[1] ศิรินันทร์ นาพอ[2] ภูมินทร์ อินทร์แป้น[3] และสุมนา ปาธะรัตน์[4]**

[1,2,3,4]สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการประมง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

179 ม.3 ต.ไม้ฝาด อ.สิเกา จ.ตรัง 92150 โทรศัพท์ 087-889451 E-mail : sawannarat.a@hotmail.co.th

## บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) เพื่อศึกษากระบวนการทำผลิตภัณฑ์จากกะลามะพร้าว โดยใช้กระบวนการจัดการความรู้ 2) เพื่อพัฒนาระบบฐานข้อมูลในการเก็บรวบรวมและเผยแพร่องค์ความรู้ภูมิปัญญาท้องถิ่นหัตถกรรมกะลามะพร้าว โดยประยุกต์แนวคิดโมเดล SECI ในการสกัดความรู้ชนิดฝังลึกด้านการแปรรูปกะลามะพร้าวจากผู้เชี่ยวชาญจำนวน 5 คน มาจัดทำเป็นความรู้ชัดแจ้งในรูปแบบที่เป็นลายลักษณ์อักษร ภาพนิ่ง วิดีทัศน์ และเว็บไซต์ พัฒนาระบบการจัดการความรู้ โดยใช้ภาษาสคริปต์ PHP และ ฐานข้อมูล MySQLในรูปแบบฐานข้อมูลบนเว็บไซต์ ประเมินผลระบบโดยใช้แบบสอบถามเป็นเครื่องมือประเมินความพึงพอใจที่มีต่อระบบ จากกลุ่มผู้เชี่ยวชาญจำนวน 5 คนและผู้ใช้งานทั่วไป จำนวน 30 คน รวม 35 คน ผลที่ได้พบว่าผู้ใช้มีความพึงพอใจในระดับมากถึงมากที่สุด กล่าวคือ ความสะดวกในการใช้งานระบบ มากที่สุด (ค่าเฉลี่ย = 4.53) รองลงมาคือ ความสวยงามของระบบ (ค่าเฉลี่ย = 4.46) ถัดมา คือ ข้อมูลมีความครบถ้วนสมบูรณ์ (ค่าเฉลี่ย = 4.35) และอันดับที่มีค่าพึงพอใจน้อยที่สุดคือ ข้อมูลมีประโยชน์ต่อการนำไปปฏิบัติตาม (ค่าเฉลี่ย = 3.86)

คำสำคัญ : การจัดการความรู้, ภูมิปัญญาท้องถิ่น, กะลามะพร้าว

## Abstract

The purposes of this study were: 1) to investigate the process of coconut shell by using the knowledge management method and 2) to develop a database system for the collection and dissemination the wisdom knowledge of transformation coconut shell. The research method applying the SECI model for extracting tacit knowledge about transformation coconut shell from 5 expert persons. Then transform tacit knowledge to the explicit knowledge into the form of texts, pictures, videos and website. The development of system using PHP script and MySQL for database management on the website. The evaluation system used questionnaire to evaluate their satisfaction with the system, from 5 expert persons and 30 general users, including 35 persons. The satisfaction evaluation of system: 1) the ease of system use is maximum satisfied (X=4.53), 2) the website design (X=4.46), 3) the information integrity (X=4.35), 4) the useful of information on its compliance is minimum satisfied (X=3.86)

Keywords: Knowledge Management, Local Wisdom, Coconut Shell

## 1. บทนำ

ในปี พ.ศ.2525 นายปลื้ม ชูคง ได้เริ่มมีแนวความคิดที่จะผลิตงานนอกเหนือจากงานไม้ไผ่ โดยได้สนใจทำผลิตภัณฑ์จากกะลามะพร้าว ซึ่งเป็นวัสดุที่มีอยู่ทั่วไปในท้องถิ่นรูปแบบลักษณะงานเป็นการนำวัสดุที่มีอยู่ในท้องถิ่น โดยสภาพธรรมชาติแล้ววัสดุเหล่านี้มีค่าน้อยมาก บางครั้งถูกทิ้งขว้างอย่างไร้ค่า และเห็นว่าบรรพบุรุษได้ใช้วัสดุดังกล่าวในการทำเครื่องมือเครื่องใช้เพื่อการดำรงชีวิตมาแล้ว แต่ในปัจจุบันได้ถูกลืมเพราะประชาชนหันไปสนใจเครื่องแก้ว เครื่องถ้วยเคลือบเครื่องปั้นดินเผา พลาสติกและอลูมิเนียม นายปลื้มจึงเป็นบุคคลที่ได้ริเริ่มฟื้นฟูการทำผลิตภัณฑ์จากกะลามะพร้าวและก้านมะพร้าว โดยทำเป็นเครื่องใช้และของที่ระลึก เช่น ทัพพี ช้อน จวัก ตะหลิว กระบวยตักน้ำในระยะเริ่มแรกได้ทำอยู่ครอบครัวเดียว และสามารถจำหน่ายได้หมดไม่ทันกับความต้องการของท้องตลาด ตั้งแต่ พ.ศ.2526 เป็นต้นมา นายปลื้ม ชูคง ได้ชักนำให้ประชาชนในหมู่บ้านหันมาสนใจร่วมทำผลิตภัณฑ์จากกะลามะพร้าวโดยนายปลื้มเป็นวิทยากรช่วยเหลือในการให้ความรู้และให้คำแนะนำแก่สมาชิก ระยะเริ่มแรกมีสมาชิกร่วม 10 กว่าคน ต่อมาเมื่อผลิตภัณฑ์ขายได้ดีทำให้สมาชิกมีกำลังใจมากขึ้นรวมทั้งได้รับการสนับสนุนจากหน่วยงานราชการหลายฝ่าย เช่น อุตสาหกรรมจังหวัดพัทลุง พัฒนาชุมชน กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม ศูนย์ส่งเสริมอุตสาหกรรมภาคใต้ ศูนย์การศึกษานอกโรงเรียนจังหวัดพัทลุง จนถึงปี พ.ศ.2533 ได้มีการจัดตั้งองค์กรกลุ่มหัตถกรรมครอบครัว หมู่ที่ 1 ต.ชัยบุรี อ.เมือง จ.พัทลุง จนมีสมาชิกเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆและมูลค่าในการจำหน่ายสูงขึ้นเรื่อยๆ มีการส่งผลิตภัณฑ์ออกจำหน่ายในต่างประเทศเพิ่มขึ้นอีกด้วย จนทำให้เป็นรายได้ให้กับชาวบ้านเป็นที่น่าพึงพอใจตลอดมา

ซึ่งปัจจุบันมีนักวิจัยหลายท่านได้ตระหนักถึงความสำคัญของการจัดการความรู้ภูมิปัญญาท้องถิ่น เนื่องจากเป็นความรู้ที่แฝงอยู่ในตัวบุคคลใดบุคคลหนึ่ง จึงได้มีการเก็บรวบรวมความรู้จากบุคคลเหล่านั้น

เพื่อเผยแพร่ให้บุคคลอื่นๆที่สนใจสามารถที่จะนำเอาความรู้เหล่านั้นไปใช้ให้เกิดประโยชน์ ดังนี้

ศิรประภา โคบายาชิ (2555) ได้ทำงานวิจัยเรื่องการจัดการองค์ความรู้ภูมิปัญญาท้องถิ่นด้านการจักรสานผลิตภัณฑ์จากผักตบชวาของกลุ่มแม่บ้านหมู่บ้านต๋อมดง ตำบลบ้านต๋อม อำเมือง จังหวัดพะเยา พบว่าเมื่อนำกระบวนการจัดการความรู้มาใช้ก่อให้เกิดผลดีหลายประการ เช่น สามารถเผยแพร่ความรู้ให้กับผู้ที่สนใจได้ มีเครือข่ายการแลกเปลี่ยนความรู้เพิ่มขึ้น มีสมาชิกในกลุ่มเพิ่มขึ้น [1]

กนกพร ฉิมพลี (2555) ได้ทำงานวิจัยเรื่องรูปแบบการจัดการความรู้ภูมิปัญญาท้องถิ่นด้ายหัตถกรรมเครื่องจักรสาน : กรณีศึกษาวิสาหกิจชุมชน จังหวัดนครราชสีมา พบว่าการจัดการความรู้ภูมิปัญญาท้องถิ่นเป็นการนำความรู้ความสามารถและประสบการณ์ที่บรรพบุรุษได้สร้างสรรค์และถ่ายทอดสืบต่อกันมา ทำให้กลายเป็นองค์ความรู้ประจำท้องถิ่นและสามารถปลูกฝังวิธีคิดการดำเนินชีวิตประจำวันให้แก่ลูกหลานได้ [2]

สุดารัตน์ ภัทรดุลพิทักษ์ (2549) การจัดการความรู้ภูมิปัญญาท้องถิ่นผ้าฝ้ายย้อมสีเปลือกไม้ บ้านโนนศึกษา ตำบลนาอุดม อำเภอโพนทอง จังหวัดร้อยเอ็ด ผลการศึกษาเบื้องต้นสามารถนำความรู้ไปส่งเสริมและสนับสนุนความรู้ของชุมชนให้คงอยู่และสามารถถ่ายทอดสู่เยาวชนรุ่นหลังหรือผู้ที่สนใจได้ [3]

ปิติพงษ์ เมษสุวรรณ (2557) ได้ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์ที่ทำจากกะลามะพร้าวของผู้บริโภค ในอำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ พบว่า ผู้ที่ซื้อผลิตภัณฑ์ที่ทำจากกะลามะพร้าวชอบสินค้าประเภทของตกแต่งบ้าน โดยเฉพาะโคมไฟและเครื่องประดับ ผู้ซื้อผลิตภัณฑ์กะลามะพร้าวชาวไทยชอบความเป็นธรรมชาติของกะลามะพร้าว รูปแบบร่วมสมัย และความสวยงาม ส่วนชาวต่างชาติให้ความสำคัญกับความมีศิลปะ และเอกลักษณ์พื้นบ้าน [4] ซึ่งงานวิจัยนี้สามารถนำไปใช้ประกอบการทำผลิตภัณฑ์ได้ เพื่อให้ตรงกับความต้องการของลูกค้า

จากสภาพการณ์ดังกล่าว ผู้วิจัยจึงได้นำวิชาการการจัดการความรู้มาช่วยในการจัดการความรู้ให้กับศูนย์หัตถกรรมกะลามะพร้าว ตำบลชัยบุรี จังหวัดพัทลุง โดยนำกระบวนการจัดการความรู้ที่ประกอบด้วย การรวบรวมและการสร้างความรู้ การจัดเก็บและการค้นคืนความรู้ การถ่ายทอดและเผยแพร่ความรู้การทำผลิตภัณฑ์จากกะลามะพร้าว เพื่อนำความรู้ดังกล่าวไปพัฒนาเป็นระบบการจัดการความรู้และใช้เทคโนโลยีสารสนเทศเป็นเครื่องมือในการเผยแพร่ความรู้บนเครือข่ายอินเทอร์เน็ตในลักษณะของฐานข้อมูลบนเว็บไซต์ อันจะก่อให้เกิดประโยชน์แก่ชุมชนและผู้ที่สนใจ อีกทั้งเป็นการส่งเสริมอนุรักษ์ภูมิปัญญาพื้นบ้านที่เป็นมรดกทางวัฒนธรรมให้คงอยู่สืบไป

## 2. วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อศึกษากระบวนการทำผลิตภัณฑ์จากกะลามะพร้าว โดยใช้กระบวนการจัดการความรู้

2. เพื่อพัฒนาระบบฐานข้อมูลในการเก็บรวบรวมและเผยแพร่องค์ความรู้ภูมิปัญญาท้องถิ่น หัตถกรรมกะลามะพร้าว

## 3. กรอบแนวคิดการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษารูปแบบและกระบวนการผลิตของใช้จากกะลามะพร้าว โดยใช้กระบวนการจัดการความรู้ ที่เน้นการสกัดความรู้ชนิดฝังลึก (Tacit Knowledge) จากผู้เชี่ยวชาญออกมาเป็นความรู้ชัดแจ้ง (Explicit Knowledge) โดยใช้กรอบแนวคิดเกลียวความรู้ SECI Model จากนั้นจึงพัฒนาระบบในลักษณะของฐานข้อมูลบนเว็บไซต์ โดยใช้โปรแกรม PHP และ MySQLในการพัฒนาระบบ เพื่อเป็นคลังความรู้สำหรับการจัดเก็บและถ่ายทอดความรู้กระบวนการผลิตของใช้จากกะลามะพร้าว ในลักษณะ เว็บไซต์ ได้พัฒนาขึ้นสำหรับกลุ่มผู้เชี่ยวชาญ หน่วยงานที่เกี่ยวข้อง นักศึกษา และผู้สนใจในการทำผลิตภัณฑ์จากกะลามะพร้าว

## 4. วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้ใช้วิธีวิจัยเชิงคุณภาพและการวิจัยเชิงพัฒนา ดังนี้

1) วิจัยเชิงคุณภาพ

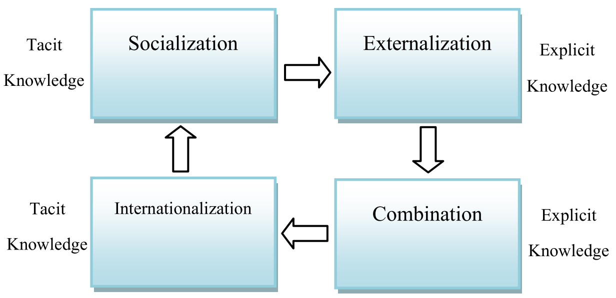
เพื่อใช้ในการรวบรวมองค์ความรู้ภูมิปัญญาท้องถิ่นหัตถกรรมกะลามะพร้าว จากผู้เชี่ยวชาญในการทำผลิตภัณฑ์จากกะลามะพร้าว คือ นายปลื้ม ชูคง และ สมาชิก การเก็บรวมรวมข้อมูลโดยใช้วิธีการสนทนาสัมภาษณ์ และจดบันทึกข้อมูลไว้ในสมุดบันทึกอย่างไม่เป็นทางการ ใช้กล้องถ่ายภาพจัดเก็บภาพและบันทึกเสียง เมื่อรวบรวมข้อมูลได้แล้วจากนั้นนำเอาข้อมูลมาเรียบเรียงจัดหมวดหมู่ให้เป็นระเบียบ จากนั้นให้ผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลอีกครั้งก่อนที่จะนำข้อมูลนั้นไปจัดเก็บในฐานข้อมูลเพื่อเผยแพร่ผ่านเว็บไซต์ ผู้วิจัยได้ใช้ SECI Model ในการนำเสนอการแลกเปลี่ยนความรู้ภูมิปัญญาท้องถิ่นหัตถกรรมกะลามะพร้าว ซึ่งประกอบด้วย 4 กระบวนการ [5] ดังนี้

1) Socialization : การแบ่งปันและการสร้าง Tacit knowledge จากการติดต่อสื่อสารระหว่างกันโดยการแลกเปลี่ยนประสบการณ์ตรง โดยการสัมภาษณ์ สนทนา พูดคุย เรื่องของวิธีการทำผลิตภัณฑ์จากกะลามะพร้าวจากผู้เชี่ยวชาญ จนได้รับความรู้เพื่อมาทดลองทำเอง

2) Externalization : คือ การสร้างและแบ่งปันความรู้จากสิ่งที่มี (Tacit knowledge) และเผยแพร่ออกมาเป็นลายลักษณ์อักษร (Explicit knowlegde) โดยการนำความรู้เรื่องวิธีการทำผลิตภัณฑ์จากกะลามะพร้าวที่ได้จากผู้เชี่ยวชาญมาบันทึกเป็นลายลักษณ์ตัวอักษร ภาพนิ่ง และภาพเคลื่อนไหว

3) Combination : เป็นการรวบรวมความรู้ประเภท Explicit knowledge ที่เรียนรู้มาสร้างเป็นความรู้ประเภท Explicit ใหม่ๆ แล้วถ่ายทอดผ่านเว็บไซต์ระบบจัดการความรู้

4) Internationalization : เป็นการแปลง Explicit knowledge มาเป็น Tacit knowledge เป็นการนำความรู้ที่เรียนรู้มาไปปฏิบัติจนทำให้เกิดทักษะและความชำนาญจนกลายเป็น tacit knowledge ของตนเองในที่สุด และเมื่อเกิดความรู้แล้วก็เกิดการแลกเปลี่ยนกับคนอื่นๆ ต่อไปก็จะเกิดกระบวนการที่เรียกว่า Socialization ขึ้น ซึ่งเป็นกระบวนการที่หมุนเวียนไปเรื่อยๆ




**รูปที่ 1** โมเดลเกลียวความรู้ SECI

2) วิจัยเชิงพัฒนา

เมื่อมีการรรวบรวมข้อมูลหัตถกรรมกะลามะพร้าวมีเก็บรวบรวมข้อมูลไว้ในฐานข้อมูล ซึ่งพัฒนาเป็นระบบจักการความรู้ เพื่อสามารถที่จะเผยแพร่ผ่านทางเว็บไซต์ได้ ซึ่งมีกระบวนการในการพัฒนาระบบ ในรูปแบบของ SDLC [6] ดังนี้

1. การค้นหาและเลือกสรรโครงการ (Project Identification and Selection) เป็นขั้นตอนในการค้นหาโครงการ ซึ่งเป็นขั้นตอนของการคิดพัฒนาระบบจัดการข้อมูลการจัดการความรู้ภูมิปัญญาท้องถิ่นหัตถกรรมกะลามะพร้าว ตำบลชัยบุรี จังหวัดพัทลุง ซึ่งเป็นระบบที่ควรพัฒนาเพื่อไว้จัดเก็บและเผยแพร่ความรู้ภูมิปัญญาท้องถิ่น

2. การเริ่มต้นและวางแผนโครงการ (Project Initiating and Planning System)ได้นำผลจากการสอบถาม สัมภาษณ์ เกี่ยวกับหัตถกรรมกะลามะพร้าวมาวางแผนความต้องการเพื่อกำหนดความเป็นไปได้ของระบบจัดการความรู้ภูมิปัญญาท้องถิ่น หัตถกรรมกะลามะพร้าว โดยนำฐานข้อมูลมาใช้ในการจัดเก็บและถ่ายทอด

3. การวิเคราะห์ (System Analysis) เป็นขั้นตอนในการศึกษาและวิเคราะห์ถึงขั้นตอนการดำเนินงานของระบบเดิม การนำเสนอโครงการหลังจากนั้นจะรวบรวมความต้องการในระบบใหม่ จากผู้ใช้ระบบแล้วนำมาศึกษาและวิเคราะห์ความต้องการเหล่านั้นด้วย การใช้เครื่องมือชนิดต่าง ๆ ได้แก่ แบบจำลองขั้นตอนการทำงานของระบบ (Process Modeling) โดยใช้แผนภาพกระแสข้อมูล (Data Flow Diagram: DFD) และแบบจำลองข้อมูล (Data Modeling) โดยใช้แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ข้อมูล (Entity Relationship Diagram : E-R Diagram)

4. การออกแบบ (Design) นำข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์มาออกแบบ โดยออกแบบระบบออกเป็น 2 ส่วน คือส่วนโครงสร้างเว็บไซต์และส่วนหน้าจอการแสดงผล ซึ่งโครงสร้างเว็บไซต์จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนตามลักษณะการใช้งาน คือ ส่วนของผู้ดูและระบบและส่วนของผู้ใช้งานทั่วไป

5. การพัฒนาและติดตั้งระบบ (System Implementation) เมื่อได้ออกแบบระบบเสร็จสิ้นแล้วจะเป็นในส่วนของการพัฒนา ระบบนี้พัฒนาโดยใช้ฐานข้อมูล MySQL และภาษา PHP ในการเขียนโปรแกรม หลังจากเขียนโปรแกรมเรียบร้อยแล้ว ทำการทดสอบโปรแกรม เพื่อตรวจสอบหาข้อผิดพลาดของโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น จากนั้นทำการอัพโหลดระบบขึ้น server เพื่อเผยแพร่ข้อมูล

6. การซ่อมบำรุงระบบ (System Maintenance) เป็นขั้นตอนสุดท้ายของวงจรพัฒนา เมื่อใช้งานระบบไปสักพักแล้วหากระบบมีปัญหา ก็จะต้องมีการปรับปรุงแก้ไข

ผู้วิจัยได้มีการออกแบบประเมินผลเพื่อประเมินผลความพึงพอใจในการใช้งานของระบบ ซึ่งแบบประเมินนั้น ได้กำหนดเกณฑ์ตามวิธีของไลเคอร์ท (Likert) ซึ่งเป็นมาตราส่วนประมาณค่า (Rating Scale) แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน โดยมีหลักเกณฑ์ดังนี้กำหนดค่าคะแนน

5 หมายถึง ความพึงพอใจมากที่สุด
4 หมายถึง ความพึงพอใจมาก
3 หมายถึง ความพึงพอใจปานกลาง
2 หมายถึง ความพึงพอใจน้อย
1 หมายถึง ความพึงพอใจน้อยที่สุด

เกณฑ์การแปลความหมายเพื่อจัดระดับคะแนนเฉลี่ย ความพึงพอใจของผู้ใช้ มีเกณฑ์การให้คะแนนในแต่ละระดับ ดังนี้

ค่าเฉลี่ย 4.50-5.00 หมายถึง ความพึงพอใจมากที่สุด
ค่าเฉลี่ย 3.50-4.49 หมายถึง มีความพึงพอใจมาก
ค่าเฉลี่ย 2.50-3.49 หมายถึง มีความพึงพอใจปานกลาง
ค่าเฉลี่ย 1.50-2.49 หมายถึง มีความพึงพอใจน้อย
ค่าเฉลี่ย 1.00-1.49 หมายถึง มีความพึงพอใจน้อยที่สุด

## 5. ผลการวิจัย

ได้แบ่งผลการวิจัยออกตามวัตถุประสงค์การวิจัย 2 ข้อ ดังนี้

1. กระบวนการทำผลิตภัณฑ์จากกะลามะพร้าว โดยใช้กระบวนการจัดการความรู้ จากนายปลื้ม ชูคง สามารถแบ่งกระบวนการผลิตออกเป็น 7 ขั้นตอน ดังนี้

1) การเลือกมะพร้าว ปอกเปลือกมะพร้าว การเลือกมะพร้าวจะดูที่ขนาด รูปทรง สี ให้เหมาะกับผลิตภัณฑ์ที่เราจะทำ

- ขนาด ในส่วนของขนาดมะพร้าวแต่ละสายพันธุ์จะมีขนาดที่แตกต่างกัน จะมีขนาดเล็ก กลาง ใหญ่ เราจะทำผลิตภัณฑ์ชนิดใดก็ให้ดูขนาดที่มีความเหมาะสมกับผลิตภัณฑ์นั้น หากผลิตภัณฑ์ใดต้องใช้กะลามะพร้าวทั้งลูก ขนาดถือเป็นสิ่งสำคัญ แต่หากผลิตภัณฑ์ใดใช้แค่บางส่วนของกะลา เรื่องขนาดจะไม่มีผล

- รูปทรง จะมีหลายลักษณะ เช่น ท้ายกลม ท้ายแหลม ทรงกลม ทรงรี

- สี สีของกะลามะพร้าวมีสีที่แตกต่างกันตั้งแต่สีขาวจนถึงน้ำตาลเข้ม สีขาวได้จากมะพร้าวที่ไม่ค่อยแก่ สีน้ำตาลได้จากมะพร้าวที่แก่จัด แต่มะพร้าวบางชนิดถึงแม้ว่าจะมีผลที่แก่แต่สีที่ออกมาอาจจะไม่ออกน้ำตาลเข็มก็มี

การได้มาซึ่งกะลามะพร้าวทางศูนย์จะมีการรับซื้อจากชาวบ้านหรือแม่ค้ามะพร้าว ซึ่งราคาจะตกอยู่ที่ลูกละ 2 - 10 บาท ขึ้นอยู่กับขนาดของกะลามะพร้าว การรับซื้ออาจจะรับซื้อทั้งผล (ยังไม่ได้ปอกเปลือก) และที่ปอกเปลือกแล้ว

2) เลื่อยออกเป็นซีก แกะเนื้อมะพร้าวออก การเลื่อยจะใช้ทั้งแรงงานเครื่องจักรและแรงงานคน ซึ่งจะมีเครื่องเลื่อยกะลามะพร้าวโดยเฉพาะ

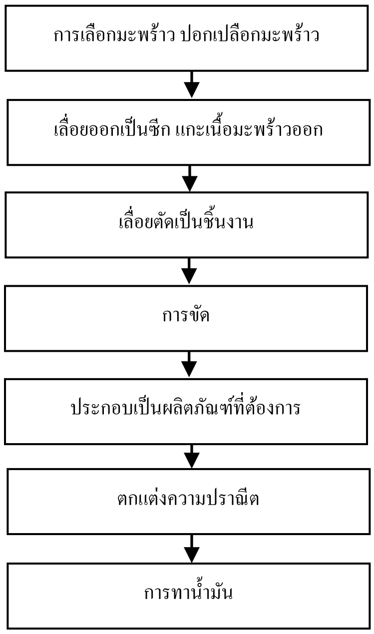
3) เลื่อยตัดเป็นชิ้นงาน ก่อนที่จะเลื่อยตัดเป็นชิ้นงานต้องมีการออกแบบผลิตภัณฑ์ก่อน จากนั้นจึงเลื่อนจามแบบที่ได้ออกแบบไว้ การเลื่อยจะใช้ทั้งเครื่องจักรและใช้มือ

4) การขัด เมื่อเลื่อยกะลาออกเป็นชิ้นแล้วจะทำการขัดด้านใน และเจียด้านนอก การขัดกะลามะพร้าวจะใช้กระดาษทรายเบอร์ 100 (ความละเอียดของงานระดับหยาบ) เบอร์ 150 (ความละเอียดของงานระดับกลาง) ) และเบอร์ 320 (ความละเอียดของงานระดับ]ละเอียด) โดยเอากระดาษทรายไปติดกับเครื่องขัด จากนั้นทำการขัด ซึ่งการนำกระดาษทรายไปติดกับเครื่องจักรข้อดีคือจะทำให้ประหยัดกระดาษ

5) ประกอบเป็นผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ เมื่อตัดกะลาออกตามรูปแบบที่ออกแบบไว้แล้ว ก็จะทำการประกอบเป็นผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ แต่ละผลิตภัณฑ์จะใช้วัสดุในการประกอบที่แตกต่างกัน เช่น ใช้กาวร้อน ย่านละเภา ลวดอลูมิเนียม ตะปูทอง การเลือกวัสดุในการประกอบเราต้องดูว่าผลิตภัณฑ์แต่ละชนิดใช้งานลักษณะใด เช่น ถ้าใช้ในครัวเรือน ซึ่งโดนความร้อนอย่าง ฉวัก จะใช้ลวดอะลูมิเนียม หรือ ตะปูทอง จะไม่ใช้กาวร้อน เนื่องจากต้องใช้ปรุงอาหาร โดยส่วนใหญ่จะใช้ลวดอะลูมิเนียม เนื่องจากนิ่มเวลาพัน และราคาถูกกว่าตะปูทอง

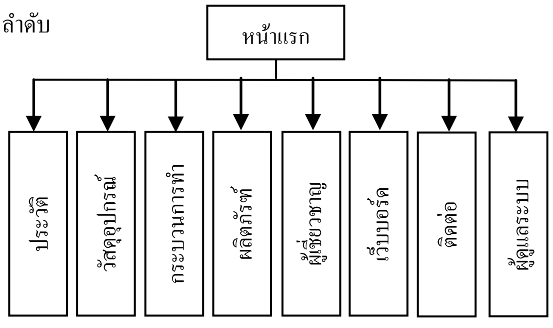
6) ตกแต่งความปราณีต ตรวจสอบความละเอียดของชิ้นงาน ถ้าชิ้นงานยังไม่ละเอียดก็ใช้กระดาษทรายขัดด้วยมือ จนกว่าจะละเอียด ในส่วนของความแข็งแรงถ้ายังไม่แข็งแรงก็อาจจะหยดกาวเพิ่ม

7) การทาน้ำมัน เป็นขั้นตอนสุดท้าย การเลือกใช้น้ำมันชนิดใดนั้นต้องดูที่ตัวผลิตภัณฑ์ว่าเป็นของใช้ประเภทไหน ถ้าเป็นของใช้ในครัวเรือนจะทาน้ำมันมะพร้าว น้ำมันพืช เนื่องจากไม่มีสารเคมี แต่ถ้าเป็นของโชว์ตกแต่งบ้าน เครื่องประดับ จะทาด้วยน้ำมันมะพร้าว แลคเกอร์ หรือ น้ำมันวานิช ใช้แลคเกอร์โดยการฉีดพ่นกลางแดด จะทำให้ชิ้นงานไม่เป็นรอย หากใครมีฝีมือดีก็จะใช้วิธีการทา ส่วนน้ำมันวานิชจะทาในที่ร่ม โดยใช้แปรงขนสัตว์ทา ซึ่งสามารถแสดงกระบวนการทำผลิตภัณฑ์จากกะลามะพร้าวได้ แสดงดังรูปที่ 2




**รูปที่ 2** กระบวนการทำผลิตภัณฑ์จากกะลามะพร้าว

2. การพัฒนาระบบการจัดการความรู้ เพื่อใช้ในการเก็บรวบรวมและเผยแพร่องค์ความรู้ภูมิปัญญาท้องถิ่นหัตถกรรมกะลามะพร้าว มีโครงสร้างและหน้าเว็บไซต์ แสดงดังรูปที่ 3 ถึงรูปที่ 6 ตามลำดับ




**รูปที่ 3** โครงสร้างระบบการจัดการความรู้หัตถกรรมกะลามะพร้าว

**รูปที่ 4** หน้าหลักของระบบการจัดการความรู้หัตถกรรมกะลามะพร้าว

**รูปที่ 5** หน้าประวัติผู้ก่อตั้ง

**รูปที่ 6** ตัวอย่างผลิตภัณฑ์

หลังจากทำการพัฒนาระบบและติดตั้งให้ผู้ใช้ใช้งาน การผู้วิจัยได้วัดผลการใช้งานโดยให้ผู้ใช้ระบบประเมินผลระบบ เพื่อหาความพึงพอใจที่มีต่อระบบ โดยผู้วิจัยได้กำหนดกลุ่มผู้ใช้ออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มของผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 5 คน และกลุ่มผู้ใช้งานทั่วไป จำนวน 30 คน รวมเป็น 35 คน ตามหัวข้อดังตารางที่ 1

**ตารางที่ 1** ผลระดับความพึงพอใจในการใช้งานของกลุ่มผู้เชี่ยวชาญและผู้ใช้ทั่วไป

| รายการประเมิน | ค่าเฉลี่ย | ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน | การแปลผล |
|---|---|---|---|
| 1. ความสะดวกในการใช้งานระบบ | 4.53 | 0.56 | มากที่สุด |
| 2. ความสวยงามของระบบ | 4.46 | 0.069 | มาก |
| 3. ข้อมูลมีความครบถ้วนสมบูรณ์ | 4.35 | 0.68 | มาก |
| 4. ข้อมูลมีประโยชน์ต่อการนำไปปฏิบัติตาม | 3.86 | 0.76 | มาก |
| ค่าเฉลี่ย | 4.3 | 0.52 | มาก |

ผลการประเมินความพึงพอใจในการใช้งานระบบ ในกลุ่มผู้เชี่ยวชาญและผู้ใช้ทั่วไป พบว่าผู้ใช้มีความพึงพอใจในระดับมากถึงมากที่สุด กล่าวคือ ความสะดวกในการใช้งานระบบ มากที่สุด (ค่าเฉลี่ย = 4.53) รองลงมาคือ ความสวยงามของระบบ (ค่าเฉลี่ย = 4.46) ถัดมา คือ ข้อมูลมีความครบถ้วนสมบูรณ์ (ค่าเฉลี่ย = 4.35) และอันดับที่มีค่าพึงพอใจน้อยที่สุดคือ ข้อมูลมีประโยชน์ต่อการนำไปปฏิบัติตาม (ค่าเฉลี่ย = 3.86)

## 6. สรุปผลการวิจัย

จากการสัมภาษณ์นายปลื้ม ชูคง ท่านบอกว่าตอนนี้ผลิตภัณฑ์กะลามะพร้าวไม่เพียงพอต่อความต้องการของตลาด เนื่องจากขาดคนทำขาดวัตถุดิบ การจัดการความรู้เป็นการนำความรู้จากผู้เชี่ยวชาญออกมาเผยแพร่ให้เป็นลายลักษณ์อักษร บนระบบจัดการความรู้ในลักษณะของเว็บไซต์ ทำให้ผู้ที่สนใจได้รับรู้ พร้อมนำไปปฏิบัติเพื่อให้เกิดความเชี่ยวชาญสามารถนำไปใช้ประกอบอาชีพได้ ช่วยส่งเสริมความรู้ให้คงอยู่กับชุมชนและลูกหลานต่อไป

## เอกสารอ้างอิง

[1] ศิรประภา โคบายาชิ. 2555. **การจัดการองค์ความรู้ภูมิปัญญาท้องถิ่นด้านการจักรสานผลิตภัณฑ์จากผักตบชวา ของกลุ่มแม่บ้านหมู่บ้านต๋อมดง ตำบลบ้านต๋อม อำเมือง จังหวัดพะเยา.** วารสารเพื่อการพัฒนาเชิงพื้นที่. ปีที่ 4 ฉบับที่ 4. มีนาคม-เมษายน 2555. หน้า 21-35.

[2] กนกพร ฉิมพลี. 2555. **รูปแบบการจัดการความรู้ภูมิปัญญาท้องถิ่นด้ายหัตถกรรมเครื่องจักรสาน : กรณีศึกษาวิสาหกิจชุมชน จังหวัดนครราชสีมา.** ปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาพัฒนาสังคมและการจัดการ

สิ่งแวดล้อม คณะพัฒนาสังคมและสิ่งแวดล้อม สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์.
[3] สุดารัตน์ ภัทรดุลพิทักษ์ (2549). **การจัดการความรู้ภูมิปัญญาท้องถิ่นผ้าฝ้ายย้อมสีเปลือกไม้ บ้านโนนศึกษา ตำบลนาอุดม อำเภอโพนทอง จังหวัดร้อยเอ็ด**. มหาวิทยาลัยราชภัฏร้อยเอ็ด.
[4] ปิติพงษ์ เมษสุวรรณ. 2557. **ปัจจัยที่มีผลต่อการตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์ที่ทำจากกะลามะพร้าวของผู้บริโภค ในอำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่.** ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาธุรกิจเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
[5] Nonaka, I., Toyama, R. and Konno, N. (2000). **'SECI, Ba, and leadership: a unified model of dynamic knowledge creation'**. Long Range Planning, 33, pp 5–34.
[6] ศรีไพร ศักดิ์รุ่งพงศากุล และเจษฎาพร ยุทธนวิบูลย์ชัย. 2549. **ระบบสารสนเทศและเทคโนโลยีการจัดการความรู้**. ซีเอ็ดยูเคชั่น, กรุงเทพฯ. 384 หน้า

## ประวัติผู้เขียนบทความ

นางสาวศวรรณรัศม์ อภัยพงศ์
อาจารย์สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ
โครงการจัดตั้งคณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี
งานวิจัยที่สนใจ : Mobile Application, Database System, Knowledge management

นางสาวศิรินันทร์ นาพอ
อาจารย์สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ
โครงการจัดตั้งคณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี
งานวิจัยที่สนใจ : Database System, GIS, Android apps

นายภูมินทร์ อินทร์แป้น
อาจารย์สาขาวิชาวิศวกรรมสารสนเทศและการสื่อสาร
โครงการจัดตั้งคณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี
งานวิจัยที่สนใจ : Computer Network, Computer Operating System, Mobile Application

นางสาวสุมนา ปาธะรัตน์
อาจารย์สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ
โครงการจัดตั้งคณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี
งานวิจัยที่สนใจ : 2D Annimation, Multimedia

# การพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ สำหรับการศึกษา วงจรไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์พื้นฐาน โดยใช้ GUI-MATLAB®

# Development of Computer Program Based Graphical in the Teaching of Basic Electric and Electronic Circuits User Interface (GUI) of MATLAB®

**คณาวุฒิ อินทบุต, ฐิติพร หนูแก้ว และ ศิวดล นวลนภดล**

สาขาวิชาเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ วิทยาลัยรัตภูมิ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
414 ม.14 ต.ท่าชะมวง อ.รัตภูมิ จ.สงขลา 90180 โทรศัพท์ 074-584241-4 โทรสาร 074-584240 E-mail: sivadol_techno@hotmail.com

## บทคัดย่อ

การวิจัยในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาโปรแกรมสำหรับการวิเคราะห์และออกแบบวงจรไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์พื้นฐาน โดยใช้จียูไอของแมทแลป วิธีดำเนินการวิจัยประกอบ ด้วย 4 ขั้นตอน คือ วิเคราะห์ ออกแบบ พัฒนา และประเมินความพึงพอใจ ผลของการวิจัยพบว่า โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นมีความสามารถในการการวิเคราะห์และออกแบบวงจรไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์พื้นฐาน ถูกต้องตามทฤษฎี และจากการประเมินความพึงพอใจ โดยผู้เรียน 16 ท่าน พบว่ามีค่าความพึงพอใจอยู่ในระดับมาก ( $\bar{x} = 4.3$ )

**คำสำคัญ:** จียูไอ แมทแลป

## Abstract

The objective of this research was a development of simulation program for Analysis and Design for Basic Electric and Electronic Circuits. Methods of research are comprises of 4 steps, the analysis, design develop and find quality assessment. The analysis results of the software are good agreement with theoretical. The average opinion of the sixteen user on the satisfied of the analysis program was in highly ( $\bar{x} = 4.3$ )

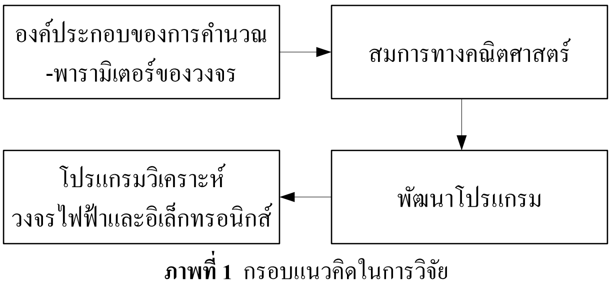
**Keyword**: GUI, MATLAB

## 1. บทนำ

การจัดการศึกษาตามกรอบมาตรฐานหลักสูตร อุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต พ.ศ. 2554 [6] มุ่งเน้นให้มีสมรรถนะที่ได้จากมาตรฐานอาชีพ หรือมาตรฐานสมรรถนะในสาขาอาชีพ ตรงตามความต้องการของสาขาอาชีพ สถานประกอบการและชุมชุน มีความสามารถในการคิดวิเคราะห์ แก้ปัญหา วางแผน จัดการ ตรวจสอบ ให้คำแนะนำ สอนงาน และบูรณาการความรู้อย่างเป็นระบบระดับผู้ควบคุมงาน รวมทั้งเป็นผู้มีคุณธรรมจริยธรรม จรรยาบรรณวิชาชีพ และกิจนิสัยที่เหมาะในการทำงาน สามารถประกอบอาชีพอิสระ และพัฒนาตนเองให้มีความก้าวหน้าในวิชาการและวิชาชีพ

การจัดการเรียนการสอนในหลักสูตร อุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ ได้บรรจุรายวิชาวงจรไฟฟ้าพื้นฐาน และรายวิชาเทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์ เข้ามาในหลักสูตร โดยที่ลักษณะรายวิชามีเนื้อหาที่ที่มุ่งเน้นให้นักศึกษาได้เข้าใจทฤษฎีและฝึกปฏิบัติ ปัญหาการเรียนการสอนที่พบส่วนมาก คือการเชื่อมโยงระหว่างทฤษฎีกับปฏิบัติเข้าด้วยกัน ทำให้นักศึกษาไม่สามารถบรรลุผลในการเรียนการสอนได้เต็มประสิทธิภาพ

จากความเป็นมาและความสำคัญของปัญหาดังกล่าว ผู้วิจัยได้เล็งเห็นถึงความสำคัญในการเรียนการสอนทางด้านพื้นฐานวงจรไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งเป็นเนื้อหาที่เป็นสำคัญของการศึกษาทางด้านวิศวกรรมไฟฟ้า อิเล็กทรอนิกส์ โทรคมนาคม และคอมพิวเตอร์โดยการพัฒนาโปรแกรมจำลอง สำหรับนำไปประยุกต์ใช้กับการเรียนการสอนที่เน้นผู้เรียนเป็นสำคัญ เพื่อให้ผู้เรียนเกิดประสิทธิภาพในการเรียนรู้สูงสุด โดยมีกรอบแนวคิดในการวิจัยแสดงดังภาพที่ 1




**ภาพที่ 1** กรอบแนวคิดในการวิจัย

**2. วิธีดำเนินการวิจัย**

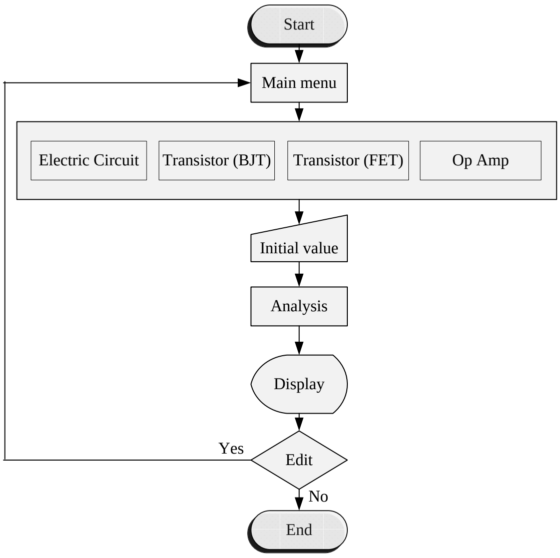
ประกอบด้วย 4 ขั้นตอนแสดงดังต่อไปนี้

**2.1 วิเคราะห์เนื้อหา**

จากการวิเคราะห์เนื้อหาทฤษฎีพื้นฐานวงจรไฟฟ้าพื้นฐานและเทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์ จากหลักสูตรอุตสาหกรรมศาสบัณฑิต [6] พบว่าเนื้อหาที่สามารถนำมาพัฒนาเป็นโปรแกรมจำลองสำหรับใช้ในการศึกษาพื้นฐานวงจรไฟฟ้า และอิเล็กทรอนิกส์ เพื่อเชื่อมโยงไปสู่เนื้อหาในส่วนของการปฏิบัติ ได้แก่เรื่องวงจรแบ่งกระแส วงจรแบ่งแรงดัน วงจรไบอัสทรานซิสเตอร์ วงจรไบอัสทรานซิสเตอร์สนามไฟฟ้า วงจรออปแอมป์ นำมาวิเคราะห์และออกแบบโดยใช้ฟังก์ชั่นจียูไอของแมทแลป (MATLAB GUIs)

**2.2 ออกแบบโปรแกรมจำลอง**

การออกแบบโปรแกรมจำลองจะทำการวิเคราะห์อินพุต เอาต์พุต และกระบวนการทำงาน (Input, Output and Process analysis) ของเนื้อหาในแต่ละเรื่อง แสดงดังภาพที่ 2




**ภาพที่ 2** กระบวนการทำงานของโปรแกรม

จากภาพที่ 2 เริ่มต้นด้วยการเข้าสู่หน้าต่างหลัก (Main menu) ของโปรแกรมจำลอง หลังจากนั้นเลือกเนื้อหาที่จะทำการวิเคราะห์และออกแบบ กำหนดค่าเริ่มต้น (Initial value) เข้าสู่กระบวนการวิเคราะห์ (Analysis) และแสดงผลการจำลอง (Display)

**2.3 พัฒนาโปรแกรม**

การวิเคราะห์และออกแบบพื้นฐานวงจรอิเล็กทรอนิกส์ โดยการสร้างส่วนการติดต่อกับผู้ใช้งาน (Graphic User Interface (GUI)) ในส่วนของอินพุต และเอาต์พุต และในส่วนของการประมวลผลจะเขียนอัลกอริทึม โดยใช้เอ็มไฟล์ (M-File) ของโปรแกรม MATLAB® จากสมการทางคณิตศาสตร์ พร้อมคู่มือการใช้งาน หลังจากนั้นทำการสร้างแบบประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้โปรแกรม ซึ่งเป็นแบบสอบถาม ที่มีลักษณะเป็นแบบประเมินค่าด้วยข้อความ (Itemized Rating Scale) ชนิด 5 ระดับ

**2.4 ประเมินคุณภาพ**

นำโปรแกรมไปทดลองการทำงานและทำการเปรียบเทียบผลการคำนวณกับทฤษฎี หลังจากนั้นทดลองใช้กับกลุ่มตัวอย่าง คือ นักศึกษา ชั้นปีที่ 4 หลักสูตรอุตสาหกรรม ศาสตรบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ วิทยาลัยรัตภูมิ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย จำนวน 16 คน ผลการประเมินความพึงพอใจใน 5 ด้าน ด้านการกำหนดค่าเริ่มต้นในการใช้งานทำได้ง่าย ด้านความสะดวกในการใช้งานแต่ละเมนูโปรแกรม ด้านผลลัพธ์ของการคำนวณวงจรมีความถูกต้อง ด้านความรวดเร็วในการคำนวณผลของวงจร ด้านส่งเสริมให้ผู้เรียนเข้าใจเนื้อหาได้ง่ายและรวดเร็ว ผลการประเมินปรากฏแสดงตารางที่ 1

**3. ผลของการวิจัย**

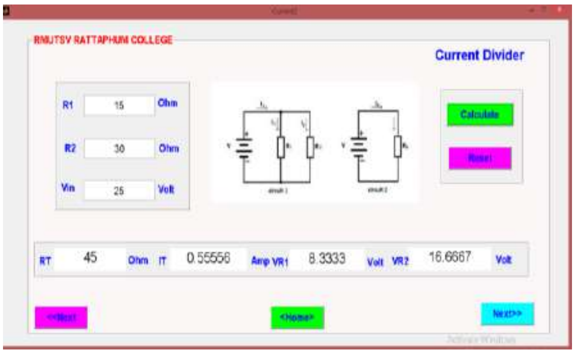
จากการดำเนินการวิจัยอย่างเป็นระบบ ผู้วิจัยขอนำเสนอผลของการวิจัยดังต่อไปนี้

**3.1 ผลการพัฒนาโปรแกรม**

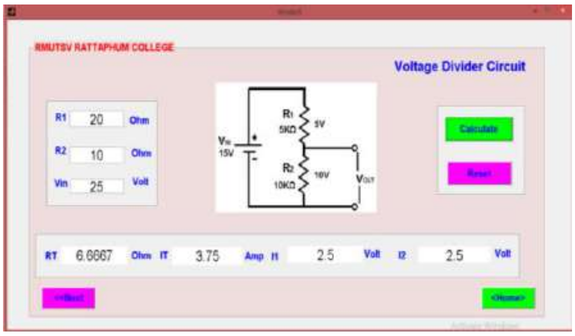
โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นประกอบด้วยหน้าต่างหลัก ได้แก่เรื่องวงจรแบ่งกระแส วงจรแบ่งแรงดัน วงจรไบอัสทรานซิสเตอร์ วงจรไบอัสทรานซิสเตอร์สนามไฟฟ้า วงจรออปแอมป์ แสดงดังภาพที่ 3

**ภาพที่ 3** โปรแกรมหน้าต่างหลัก

โปรแกรมหน้าต่างวิเคราะห์คุณลักษณะของวงจรอิเล็กทรอนิกส์ เป็นส่วนหน้าจอหลักของ วงจร Electric Circuits ซึ่งประกอบด้วยวงจร Current Divider, Voltage Divider Circuit การเขียนหน้าต่างนี้จะใช้ GUI ของ MATLAB ดังภาพที่ 4

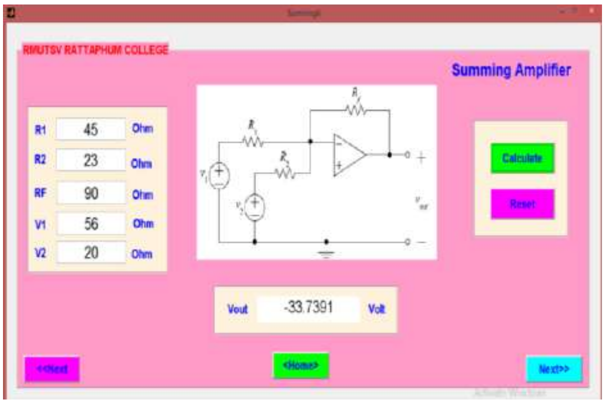



**ภาพที่ 4** วงจรแบ่งกระแส (Current Divider)



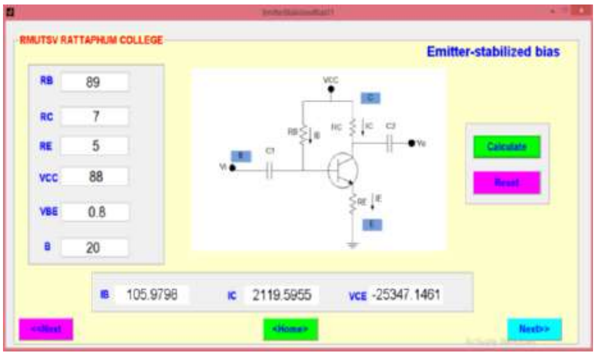

**ภาพที่ 5** วงจรแบ่งแรงดัน (Voltage Divider)

โปรแกรมหน้าต่างวิเคราะห์คุณลักษณะของวงจรอิเล็กทรอนิกส์ เป็นส่วนหน้าจอหลักของ วงจร OP-AMP ซึ่งประกอบด้วยวงจร Inverting Amplifier, Summing Amplifier ,Non-inverting Amplifier และ Difference Amplifier การเขียนหน้าต่างนี้จะใช้ GUI ของ MATLAB แสดงดังภาพที่ 6



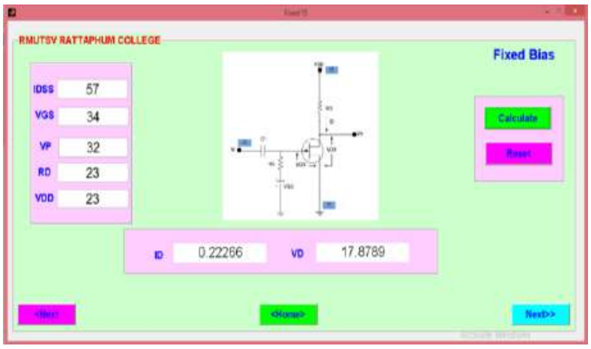

**ภาพที่ 6** โปรแกรมหน้าต่างวงจร Summing Amplifier

โปรแกรมหน้าต่างวิเคราะห์วงจรอิเล็กทรอนิกส์ Transistor Bias เป็นส่วนที่คำนวณวงจรการจัดไบอัสทรานซิสเตอร์ประกอบด้วย Fixed Bias ,Emitter-Stabilize Bias ,Voltage Divider Bias และ DC Bas With Voltage Feedback ดังภาพที่ 7



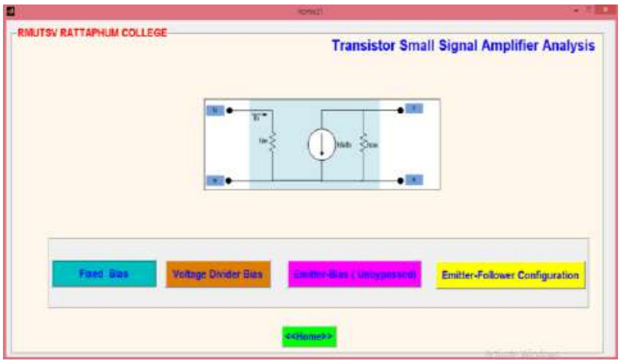

**ภาพที่ 7** โปรแกรมหน้าต่างวงจรไบอัสทรานซิสเตอร์แบบ Emitter-Stabilize Bias

โปรแกรมหน้าต่างวิเคราะห์วงจรอิเล็กทรอนิกส์ เป็นส่วนหน้าจอหลักของ วงจร FET Bias (J-FET) ซึ่งประกอบด้วยวงจร Fixed Bias และ Self Bias ดังภาพที่ 8

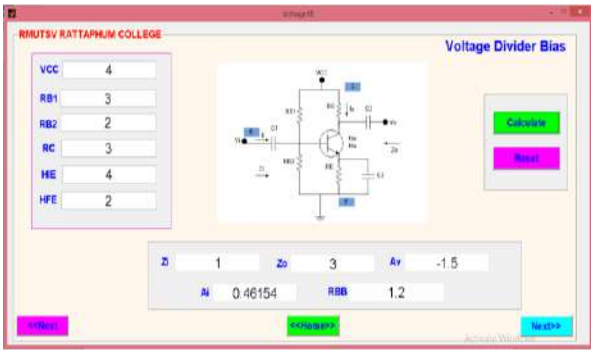



**ภาพที่ 8** โปรแกรมหน้าต่างวงจรไบอัสทรานซิสเตอร์สนามไฟฟ้า

โปรแกรมหน้าต่างวิเคราะห์สัญญาณขนาดเล็กของทรานซิสเตอร์(Transistor Small Signal Amplifierr Analysis)โดยวงจรสามารถหาความต้านทานขาเข้า ความต้านทานขาออก อัตราขยายแรงดัน และอัตราขยายกระแส ซึ่งประกอบด้วยวงจร Fixed Bias, Voltage Divider Bias, Emitter-Bias (Unbypassed) และEmitter-Follower Configuration ดังภาพที่ 9 และภาพที่ 10




**ภาพที่ 9** การวิเคราะห์สัญญาณขนาดเล็กของทรานซิสเตอร์




**ภาพที่ 10** การวิเคราะห์สัญญาณขนาดเล็กของทรานซิสเตอร์

ผลการประเมินความพึงพอใจจากผู้เรียน โดยผู้เรียน จำนวน 16 คน โดยใช้แบบประเมินค่าด้วยข้อความ (Itemized Rating Scale) ชนิด 5 ระดับ ประกอบด้วย 5 ด้านได้แก่ ด้านการกำหนดค่าเริ่มต้นในการใช้งานทำได้ง่าย ด้านความสะดวกในการใช้งานแต่ละเมนูโปรแกรม ด้านผลลัพธ์ของการคำนวณวงจรมีความถูกต้อง ด้านความรวดเร็วในการคำนวณผลของวงจร ด้านส่งเสริมให้ผู้เรียนเข้าใจเนื้อหาได้ง่ายและรวดเร็ว ผลการประเมินปรากฏโปรแกรมที่พัฒนามีความพึงพอใจอยู่ในระดับมาก ดังตารางที่ 1

**ตารางที่ 1** ผลการประเมินความพึงพอใจจากผู้เรียน

| รายการ | ค่าเฉลี่ย | ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน | ระดับความเหมาะสม |
|---|---|---|---|
| 1.การกำหนดค่าเริ่มต้นในการใช้งานทำได้ง่าย | 4.31 | 0.87 | มาก |
| 2.ความสะดวกในการใช้งานแต่ละเมนูโปรแกรม | 4.69 | 0.87 | มากที่สุด |
| 3.ผลลัพธ์ของการคำนวณวงจรมีความถูกต้อง | 4.06 | 0.68 | มาก |
| 4. ความรวดเร็วในการคำนวณผลของวงจร | 4.31 | 0.7 | มาก |
| 5.ส่งเสริมให้ผู้เรียนเข้าใจเนื้อหาได้ง่ายและรวดเร็ว | 4.12 | 1.2 | มาก |
| 5. ค่าเฉลี่ย | 4.3 | | **มาก** |

## 4. สรุปและอภิปรายผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอการวิเคราะห์และออกแบบวงจรไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์พื้นฐาน โดยใช้จียูไอของแมทแลป มีความสามารถในการคำนวณ วิเคราะห์วงจร ประกอบด้วยวงจรไฟฟ้าพื้นฐาน วงจรไบอัสทรานซิสเตอร์ วงจรไบอัสทรานซิสเตอร์สนามไฟฟ้า วงจรออปแอมป์ ซึ่งมีวิธีการดำเนินการวิจัย เริ่มต้นจากการวิเคราะห์ ออกแบบ พัฒนา และสุดท้ายประเมินความพึงพอใจจากผู้เรียน

4.1 โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นสำหรับการศึกษาทฤษฎีวงจรไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์พื้นฐานมีผลการคำนวณถูกต้องตามทฤษฎี

4.2 ความพึงพอใจของผู้เรียน เมื่อใช้โปรแกรมจำลองสำหรับการวิเคราะห์และออกแบบวงจรไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์พื้นฐาน จำนวน 16 ท่าน มีค่าเฉลี่ยความพึงพอใจรวมอยู่ในระดับมาก

จากผลของการวิจัยพบว่า โปรแกรมที่พัฒนาขึ้น สามารถช่วยส่งเสริมให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้ที่รวดเร็ว สามารถทดสอบทฤษฎีที่ได้จากการคำนวณ โดยการปรับเปลี่ยนค่าของตัวแปรต่างๆ ได้ตามความต้องการ ส่งผลให้ผู้เรียนได้ค้นพบความรู้ และเข้าใจเนื้อหาทางด้านทฤษฎีซึ่งสามารถเชื่อมโยงไปสู่การปฏิบัติ และสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในบทเรียนที่ซับซ้อนขึ้นในลำดับถัดไป

## 5. เอกสารอ้างอิง

[1] Boylestad, Robert L and Nashelsky, Louis.Electronic Devices and Circuit Theory 7th. ed. : Prentice-Hall International Edition. , Inc, 2002.

[2] Charles K. Alexander and Matthew N.O. Sadiku. “Fundamentals of Electric Circuit, Second Edition”. McGraw-Hill, 2004.

[3] Paynter, Robert T... Introductory Electronic Devices and Circuits: Conventional Flow Version 6th. ed. : Prentice- Hall. , Inc.2003.

[4] Gati, J.; Kartyas, G. Virtual Classrooms for Robotics and other Engineering Applications. Robotics in Alpe-Adria-Danube Region (RAAD), 2010 IEEE 19th International Workshop on, 24-26 June 2010: 481 – 486.

[5] Floyd, Thomas L. Electronic Devices Conventional Current Version 9th. ed.: Prentice-Hall , Inc, 2012.

[6] วิทยาลัยรัตภูมิ, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย หลักสูตรอุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต (หลักสูตรใหม่ พ.ศ.2554) สาขาเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์.สงขลา

[7] ศิวดล นวลนภดล ,เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์. พิมพ์ที่ ทริปเปิลเอ ซีร็อกซ์, สงขลา : 2558.

**บทความวิจัย**

การประชุมวิชาการ งานวิจัยและพัฒนาเชิงประยุกต์ ครั้งที่ 8

*8th ECTI-CARD 2016, Hua Hin, Thailand*

# โปรแกรมช่วยสืบค้นและเปรียบเทียบราคาอุปกรณ์คอมพิวเตอร์

## Comparison & searching computer device price program

**มัณฑนา เตี๋ยวงษ์สุวรรณ์[1] , กร พวงนาค[2] , สิทธิศักดิ์ วรดิษฐ์[3] และ สุภัทรา สถิตย์พรม[4]**

สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

1381 ถนนประชาราษฎร์ 1 แขวงวงศ์สว่าง เขตบางซื่อ กรุงเทพฯ โทรศัพท์ 02-836-3000 ต่อ 4183

E-mail: [1]manthana.t@rmutp.ac.th , [2]korn.p@rmutp.ac.th, [3]sittisak.w@rmutp.ac.th,

[4]บริษัท ไอทีเอส คอนซัลแตนซี จำกัด

230 ถนนรัชดาภิเษก แขวงห้วยขวาง เขตห้วยขวาง กรุงเทพฯ โทรศัพท์ 0-2274-0699 E-mail: supatthar66@gmail.com

## บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการพัฒนาโปรแกรมช่วยสืบค้นและเปรียบเทียบราคาอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ โปรแกรมที่ถูกสร้างขึ้นอยู่ในลักษณะของวินโดว์แอพพลิเคชั่น โดยการดึงข้อมูลของสินค้าจากเว็บไซต์ของแต่ละตัวแทนจำหน่ายมาทำการสร้างฐานข้อมูลเพื่อค้นหาและเปรียบเทียบราคาสินค้าที่ต่ำที่สุด อีกทั้งยังสามารถสั่งพิมพ์ใบสั่งซื้อสินค้าจากตัวแทนจำหน่ายได้ทันที ในขั้นตอนของการเขียนโปรแกรมนั้น ได้ใช้โปรแกรม Visual Studio 2013 ในการเขียนและพัฒนาวินโดว์แอพพลิเคชั่น โดยภาษาหลักในการเขียนนั้น จะเป็นภาษา C# และใช้ภาษา My SQL สำหรับติดต่อระบบฐานข้อมูลผ่าน SQL Server จากโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นนี้ได้ถูกทำการทดสอบแล้วพบว่าการสืบค้นโดยใช้โปรแกรมสามารถประหยัดเวลาจากการค้นหาจากเว็บไซต์ตามปกติประมาณสามเท่า

คำสำคัญ: วินโดว์แอพพลิเคชั่น, โปรแกรมสืบค้น, ใบสั่งซื้อสินค้า

## Abstract

This paper presents the development of a program to search and compare prices for computer equipment. The program was created in the style of windows applications. The information are pulled from the websites of each of its dealers to create a database to search and compare the prices as low as possible. This program can print orders from the dealer right away. In the process of programming use Visual Studio 2013 to write and browsing applications. The C # is main language of writing and My SQL contact databases through SQL Server application. This program was developed was tested and found that searched using the program can save time more than searching by website circa tripled.

Keywords: Windows application, Searching program, BOQ

## 1. บทนำ

ปัจจุบันตัวแทนจำหน่ายอุปกรณ์คอมพิวเตอร์มีจำนวนมากและมีหลายเว็บไซต์ที่ให้บริการ เมื่อต้องการเลือกซื้ออุปกรณ์คอมพิวเตอร์สักชิ้น ผู้ซื้อมักจะเลือกอุปกรณ์ที่ราคาต่ำที่สุด ปัญหาคือต้องใช้เวลาในการสืบค้นข้อมูลราคาจากตัวแทนจำหน่ายที่ให้บริการที่มีจำนวนมาก และบางครั้งเว็บไซต์ตัวแทนจำหน่ายอาจจะไม่มีอุปกรณ์ที่ต้องการ จึงทำให้เสียเวลาในการสืบค้น จากเหตุผลดังกล่าว คณะผู้พัฒนาโปรแกรมจึงศึกษาและค้นคว้าคิดค้นโปรแกรมที่สามารถค้นหาและเปรียบเทียบข้อมูลสินค้าอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ที่ต้องการ มีราคาต่ำสุด จากเว็บไซต์ตัวแทนจำหน่ายที่ให้บริการจำนวนมาก เพื่อที่จะทำให้ประหยัดเวลาในการสืบค้นข้อมูล

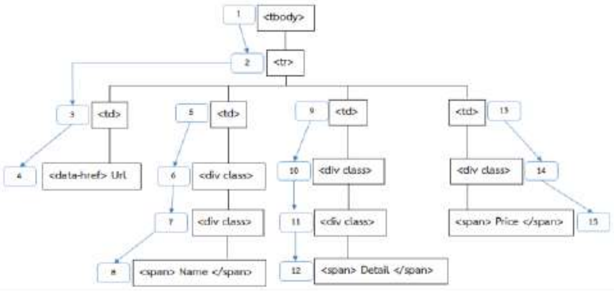
จากการได้ดำเนินการจัดทำโปรแกรมช่วยสืบค้นและเปรียบเทียบราคาอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ ตั้งแต่แรกเริ่มด้วยการศึกษาความเป็นไปได้ในการจัดทำโปรแกรมโดยศึกษาเกี่ยวกับวินโดว์แอปพลิเคชั่น รูปแบบการทำงานของเว็บไซต์และระบบฐานข้อมูลทั้งหมด ไม่ว่าจะเป็นการออกแบบหน้าตาโปรแกรมในรูปแบบต่างๆ การดึงข้อมูลที่ต้องการจากเว็บไซต์และการจัดเรียงข้อมูลของฐานข้อมูลนั้น สิ่งที่จำเป็นในการพัฒนาวินโดว์แอพพลิเคชั่นทั้งหมดคือ ต้องศึกษาและออกแบบวินโดว์แอพพลิเคชั่นเพื่อให้มีความสะดวกและง่ายต่อการใช้งาน และในขั้นตอนของการเขียนโปรแกรมนั้น ได้ใช้โปรแกรม Visual Studio 2013 ในการเขียนและพัฒนาวินโดว์แอพพลิเคชั่น โดยภาษาหลักในการเขียนนั้น จะเป็นภาษา C# และใช้ภาษา My SQL สำหรับติดต่อระบบฐานข้อมูลผ่าน SQL Server โดยโปรแกรมช่วยสืบค้นและเปรียบเทียบราคาอุปกรณ์คอมพิวเตอร์นี้ได้พัฒนาขึ้นเพื่ออำนวยความสะดวกในการสืบค้นราคาอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ เพื่อให้เป็นไปตามวัตถุประสงค์ที่ผู้ใช้งาน

บทความนี้นำเสนอโปรแกรมช่วยสืบค้นและเปรียบเทียบราคาอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ โดยอธิบายถึงขั้นตอนการสร้างโปรแกรมช่วยสืบค้นและเปรียบเทียบราคาอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ ตามด้วยตัวอย่างการใช้งานโปรแกรม รวมทั้งบทสรุปและแนวทางการพัฒนาโปรแกรม

## 2. ขั้นตอนการออกแบบและพัฒนา

### 2.1 การดึงข้อมูลจากเว็บไซต์

การสร้างโปรแกรมการค้นหาเริ่มต้นจากการดึงข้อมูลจากเว็บไซต์ของตัวแทนจำหน่าย โดยอัลกอริทึมที่ใช้ในการดึงข้อมูลเป็นการค้นหาแบบแนวลึกก่อนคือค้นหาไปตามแท็กที่กำหนดไว้ ดังรูปที่ 1 ซึ่งจะทำให้การค้นหามีประสิทธิภาพและรวดเร็ว

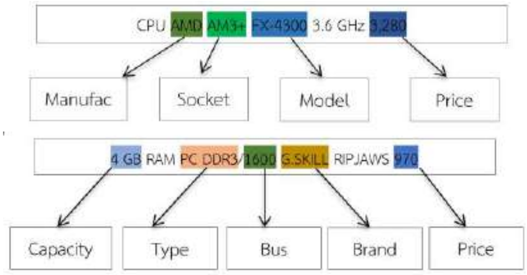



**รูปที่ 1** ลักษณะการดึงข้อมูล

โดยข้อมูลที่ทำการดึงมาจะประกอบไปด้วยรายละเอียดของสินค้าทั้งหมด เช่น ชื่อสินค้า ประเภทของสินค้า ราคา เป็นต้น เพื่อนำข้อมูลที่ได้เหล่านี้ไปทำการแยกประเภทข้อมูลต่อไป

### 2.2 การแยกประเภทข้อมูล

ขั้นตอนการแยกประเภทข้อมูล คือการนำข้อมูลที่ได้มาจากการดึงข้อมูลมาทำการตัดคำเพื่อแยกประเภทข้อมูลตามคำสำคัญของสินค้าแต่ละชนิด เพื่อให้ง่ายต่อการค้นหาสินค้าที่ต้องการดังรูปที่ 2




**รูปที่ 2** การตัดคำเพื่อแยกประเภทของข้อมูล

### 2.3 การสร้างฐานข้อมูล

เริ่มต้นสร้างฐานข้อมูลโดยการออกแบบฐานข้อมูลให้แสดงชื่อฟิลด์ ชนิดของฟิลด์ ขนาด Key และความหมายของแต่ละฟิลด์ ซึ่งการออกแบบจะแยกฟิลด์ของสินค้าเป็นประเภท ดังตารางที่ 1 เป็นการออกแบบฐานข้อมูลโดยใช้ SQL Server 2012 ในการจัดทำฐานข้อมูล

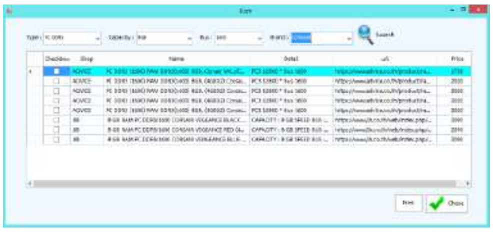
ตารางที่ 1 ฐานข้อมูลของฮาร์ดดิสก์

| ชื่อฟิลด์ | ชนิด | ขนาด | Key | ความหมาย |
|---|---|---|---|---|
| ID | Int | | PK | ไอดีจำนวนข้อมูล |
| Shop | nvarchar | 50 | | ชื่อเว็บไซต์ |
| Type | nvarchar | 50 | | ชนิด |
| Size | nvarchar | 50 | | ความจุ |
| Brand | nvarchar | 50 | | ผู้ผลิต |
| Price | float | | | ราคาอุปกรณ์ |
| Name | nvarchar | MAX | | ชื่ออุปกรณ์ |
| Detail | nvarchar | MAX | | รายละเอียดของอุปกรณ์ |
| Url | nvarchar | MAX | | ลิงค์อุปกรณ์ |
| UpdateDate | datetime | | | วันที่และเวลาในการเก็บข้อมูลเข้าฐานข้อมูล |

## 3. ตัวอย่างการใช้งานโปรแกรม

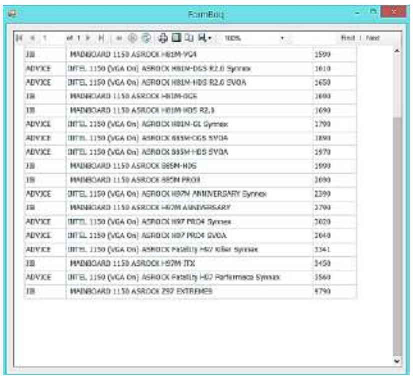
เมื่อเข้าสู่หน้าโปรมแกรมหลักดังรูปที่ 3 จะพบกับตัวเลือกอุปกรณ์ต่างๆที่ต้องการที่จะค้นหา ให้ผู้ใช้เลือกอุปกรณ์ที่สนใจ แล้วคลิกที่อุปกรณ์นั้น หรือถ้าผู้ใช้ต้องการที่จะอัพเดทข้อมูลล่าสุด ให้ผู้ใช้กดที่ฟังก์ชั่นปุ่มอัพเดท แล้วโปรแกรมจะทำการอัพเดทข้อมูลให้ทันที จากนั้นผู้ใช้สามารถเลือกประเภทของสินค้าที่ต้องการค้นหา จากนั้นรายการสินค้าทั้งหมดจะถูกแสดงขึ้นมาพร้อมรายละเอียดและราคาโดยที่รายการสินค้าที่แถบสีปรากฏจะเป็นรายการที่มีราคาต่ำสุด ดังรูปที่ 4

**รูปที่ 3** หน้าหลักโปรแกรม



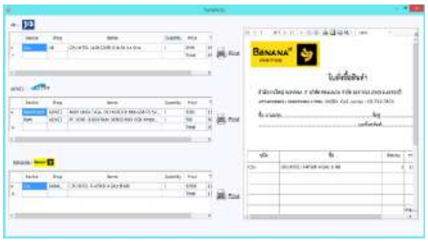
**รูปที่ 4** รายการเปรียบเทียบราคาสินค้าที่ค้นหา

โดยที่ทุกรายการที่ทำการค้นหาพบ ผู้ใช้จะสามารถสั่งพิมพ์รายการสินค้าทั้งหมดเรียงตามลำดับราคาจากต่ำสุดไปสูงสุดได้ดังรูปที่ 5



**รูปที่ 5** การสั่งพิมพ์รายการสินค้าทั้งหมด

หากผู้ใช้ต้องการสั่งพิมพ์ใบสั่งซื้อสินค้าของแต่ละตัวแทนจำหน่ายก็สามารถทำการเลือกรายการสินค้าที่ต้องการแล้วทำการสั่งพิมพ์ใบสั่งซื้อสินค้าได้ทันทีทั้งในรูปแบบของไฟล์ word, excel และ pdf ได้ทันทีดังรูปที่ 6 จากการทดลองเปรียบเทียบการค้นหาราคาสินค้าแต่ละรายการจากการค้นหาเพียงตัวแทนจำหน่ายเดียวกับการค้นหาแบบสามตัวแทนจำหน่ายพบว่าการค้นหาแบบสามตัวแทนจำหน่ายจะได้สินค้าในราคาที่ถูกกว่าดังแสดงในตารางที่ 2

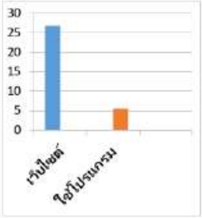


**รูปที่ 6** การสั่งพิมพ์ใบสั่งซื้อสินค้าของแต่ละตัวแทนจำหน่าย

ตารางที่ 2 ตารางเปรียบเทียบราคาจากการค้นหาตัวแทนจำหน่าย

| สเปคที่ | เฉพาะJIB | รวม3เว็บไซต์ | ถูกกว่า |
|---|---|---|---|
| 1 | 24,750 | 24,380 | 370 |
| 2 | 23,280 | 23,110 | 170 |
| 3 | 34,290 | 34,190 | 100 |
| 4 | 67,490 | 67,040 | 450 |
| 5 | 14,240 | 14,110 | 130 |
| 6 | 19,170 | 18,760 | 410 |
| 7 | 18,570 | 18,280 | 290 |
| 8 | 23,270 | 22,640 | 630 |
| 9 | 31,330 | 31,090 | 240 |
| 10 | 24,580 | 24,410 | 170 |

เมื่อทำการเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการค้นหาสินค้าที่ต้องการระหว่างการค้นหาจากเว็บไซต์ตามปกติกับการค้นหาโดยใช้โปรแกรมการค้นหาที่พัฒนาขึ้น พบว่าการค้นหาโดยโปรแกรมใช้เวลาน้อยกว่ามากดังแผนภูมิในรูปที่ 7




**รูปที่ 7** แผนภูมิเวลาเฉลี่ยในการค้นหาจากเว็บไซต์และโปรแกรมค้นหา

โดยแผนภูมินี้จะแสดงค่าเฉลี่ยเปรียบเทียบระหว่าง เวลาในการค้นหาจากเว็บไซต์และการค้นหาแบบใช้โปรแกรมช่วยสืบค้นและเปรียบเทียบราคาอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ ซึ่งการค้นหาจากเว็บไซต์จะมีค่าเฉลี่ยประมาณ 27 นาที ส่วนการค้นหาแบบใช้โปรแกรมจะมีค่าเฉลี่ยอยู่ประมาณ 6 นาที

## 4. บทสรุปและแนวทางการพัฒนาโปรแกรม

จากการที่ได้ศึกษาและค้นคว้าข้อมูลเกี่ยวกับราคาสินค้าคอมพิวเตอร์ และได้จัดทำวินโดว์แอพพลิเคชั่นสำหรับช่วยสืบค้นและเปรียบเทียบราคาอุปกรณ์คอมพิวเตอร์เพื่อให้สะดวกแก่การนำไปใช้งานสำหรับผู้ที่ต้องการสืบค้นราคาอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ มีการทดสอบการใช้งานระบบสรุปออกมาได้ว่าโปรแกรมนี้สามารถสืบค้นและเปรียบเทียบราคาที่ถูกที่สุดได้ โดยที่ตัวโปรแกรมสามารถลิงค์หน้าเว็บไซต์ของสินค้าชนิดนั้นได้ รวมทั้งโปรแกรมนี้ยังสามารถจัดหน้าแสดงและสั่งพิมพ์ใบสั่งซื้อสินค้าของแต่ละตัวแทนจำหน่ายได้

ทั้งนี้ในการดำเนินงานพัฒนาและทดสอบทำให้เห็นถึงปัญหาที่ต้องพัฒนาและปรับปรุงเพื่อให้ระบบเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ ดังประกอบไปด้วย การแก้ปัญหาและศึกษารูปแบบแท็ก ของเว็บไซต์ตัวแทนจำหน่ายและจัดลำดับการดึงให้สั้นและครอบคลุมที่สุด เพื่อประหยัดเวลาในการดึงข้อมูล การแก้ไขปัญหาการดึงข้อมูลจากเว็บไซต์ที่รวดเร็ว และเก็บข้อมูลที่ต้องการให้ได้ทั้งหมด การจัดระบบจัดการฐานข้อมูลให้มีประสิทธิภาพเพื่อให้เกิดความสมดุลของระบบและสามารถทำงานได้อย่างเต็มที่ การพัฒนาวินโดว์แอพพลิเคชั่นให้ละเอียดขึ้น และลดความซ้ำซ้อนของข้อมูลที่ไม่จำเป็น เพื่อให้แสดงผลเร็วขึ้นและดูข้อมูลอย่างรวดเร็ว และการสำรองฐานข้อมูลไว้สำหรับการอัพเดทข้อมูลในกรณีผู้ใช้งานที่มีอินเตอร์เน็ตช้า

## เอกสารอ้างอิง

[1] กิตติ ภักดีวัฒนะกุล, จำลอง ครูอุตสาหะ. คัมภีร์ ระบบฐานข้อมูล. พิมพ์ครั้งที่ 7. กรุงเทพฯ : เคทีพีคอมพ์แอนด์คอนซัลท์ 2547

[2] ธีรวัฒน์ ประกอบผล. การพัฒนาแอพพลิเคชั่น Visual C# 2010. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ : รีไวว่า. 2557.

[3] นิรุธ อำนวยศิลป์. คู่มือเขียนโปรแกรมด้วยภาษา C. กรุงเทพฯ : โปรวิชั่น. 2546.

[4] บัญชา ปะสีละเตสัง. พัฒนาแอพพลิเคชั่นด้วย Visual C# 2008. กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดยูเคชั่น. 2552.

[5] ประชา พฤกษ์ประเสริฐ. สร้างเว็บและเพิ่มลูกเล่นด้วย HTML & XHTML. กรุงเทพฯ : ซิมพลิฟาย. 2553

[6] พงษ์พันธ์ ศิวิลัย. SQL Server 2005 ฉบับสมบูรณ์. กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดยูเคชั่น. 2549

[7] วิเชียร เปรมชัยสวัสดิ์. ระบบฐานข้อมูล (ฉบับปรับปรุง). พิมพ์ครั้งที่ 18. กรุงเทพฯ : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น). 2555

[8] ฐานข้อมูล. ระบบฐานข้อมูลเชิงสัมพันธ์. (2558). สืบค้นเมื่อ 20 มีนาคม 2558, จาก http://203.172.182.81/wbidatabase/unit3/unit3.php

[9] พงศธร สุทธิ. (2557). Language C#. สืบค้นเมื่อ 28 กุมภาพันธ์ 2557, จาก http://tonkung.ueuo.com/index.html

[10] ภาษา SQL (Standard Query Language). (2558) สืบค้นเมื่อ 20 มีนาคม 2558, จาก http://www.pccns.in.th/pornpomol/file/m6/SQL.pdf

[11] ศุภชัย สมพานิช. (2555). ตัวอย่างพัฒนาแอพพลิเคชันด้วย WPF 4.5 ใน VB 2012 และ VC# 2012 สำหรับมือใหม่. สืบค้นเมื่อ 20 มีนาคม 2558, จาก http://www.ebook.in.th/7576/ตัวอย่าง_พัฒนาแอพพลิเคชันด้วย_WPF 4.5 _ใน VB_2012 _VC#_2012 สำหรับมือใหม่

[12] Enjoyday.net. (2010). HTML Element. สืบค้นเมื่อ 20 มีนาคม 2558, จาก http://www.enjoyday.net/webtutorial/html/html_chapter02.html

[13] Nattapon. (2555). ใบความรู้ที่ 1 การใช้งานโปรแกรม visual studio 2010 เบื้องต้น. สืบค้นเมื่อ 28 กุมภาพันธ์ 2557, จาก http://www.slideshare.net/jokesparrow/1-visual-studio- 2010

**มัณฑนา เตี๋ยวงษ์สุวรรณ์** อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ มีความสนใจด้านการประมวลผลภาพดิจิตอล

**กร พวงนาค** หัวหน้าสาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ มีความสนใจด้านระบบสมองกลฝังตัวและระบบชาญฉลาด

**สิทธิศักดิ์ วรดิษฐ์** ผู้ช่วยศาสตราจารย์ อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ มีความสนใจด้านการออกแบบฐานข้อมูลและวงจรดิจิตอล

**สุภัทรา สถิตย์พรม** วิศวกร บริษัท ไอทีเอส คอนซัลแตนซี จำกัด

**บทความวิจัย**
การประชุมวิชาการ งานวิจัยและพัฒนาเชิงประยุกต์ ครั้งที่ 8
*8th ECTI-CARD 2016, Hua Hin, Thailand*

# ลายน้ำดิจิตอลเพื่อป้องกันการปลอมแปลงภาพเอกสารโดยการปรับระยะห่างระหว่างจุดกึ่งกลางของตัวอักษร

# Digital Watermark for Document Image Temper Proof by Adjusting Distance of Character Center

**ปั้นฑิตา อินทะเสม[1*], เกษมสุข เสพศิริสุข[2]**
[1]ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์
17/1 หมู่ 6 ตำบลชุมโค อำเภอปะทิว จังหวัดชุมพร 86230 โทรศัพท์: 0 7751 2100 E-mail: vapor_in_desert@hotmail.com
[2]ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์
17/1 หมู่ 6 ตำบลชุมโค อำเภอปะทิว จังหวัดชุมพร 86230 โทรศัพท์: 0 7751 2100 E-mail: kasemsuk.se@kmitl.ac.th

## บทคัดย่อ

ในปัจจุบันความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีด้านอินเตอร์เน็ตและคอมพิวเตอร์ เข้ามามีบทบาทในการติดต่อสื่อสารเป็นอย่างมาก ซึ่งข้อมูลที่ใช้ในการติดต่อสื่อสารส่วนใหญ่นั้น จะอยู่ในรูปแบบของข้อมูลดิจิตอล ข้อเสียของข้อมูลดิจิตอลคือง่ายต่อการปลอมแปลงและยากต่อการตรวจสอบการปลอมแปลงนั้น ดังนั้นผู้วิจัยเล็งเห็นความสำคัญของการป้องกันและการตรวจสอบการปลอมแปลงภาพเอกสารโดยการปรับระยะห่างระหว่างจุดศูนย์ของตัวอักษร ซึ่งใช้การปรับระยะห่างจะมีลักษณะแตกต่างกัน 2 แบบควบคู่ไปกับการใช้รหัสลับซึ่งจะกำหนดขึ้นมาเพื่อเพิ่มความปลอดภัย ผู้ที่ปลอมแปลงเอกสารจะไม่ทราบถึงลักษณะการปรับระยะห่าง เมื่อมีการปรับเปลี่ยนภาพเอกสารลักษณะดังกล่าวจะถูกทำลายไป ทำให้สามารถตรวจจับได้ว่าภาพเอกสารนั้นถูกปลอมแปลงไปจากเดิม ในงานวิจัยนี้ได้พัฒนาการจากการปรับระห่างระหว่างตัวอักษร มาเป็นการปรับระยะห่างระหว่างจุดศูนย์กลางของตัวอักษร เพื่อให้สามารถตรวจจับลายน้ำได้แม้เอกสารลายน้ำได้รับการหมุน พิมพ์และสแกนกลับมาที่ความละเอียดเพียง 300 dpi

**คำสำคัญ:** ภาพเอกสาร, ลายน้ำดิจิตอล, การปลอมแปลง, การตรวจจับการปลอมแปลง

**Abstract**

The development of internet and computer technology is rapidly improved and spreads widely. The drawbacks digital technology include easy to duplicate or alter without any trace. Authentication and tamper detection are very crucial for the e-document. An adaptive text watermarking is proposed in this paper. Instead of character space modification, the distance between centers of inter-character is taken into account. The proposed method provides more robustness against small rotation, compression and print-scan process at 300 dpi low resolution.

**Keywords**: document image, watermark, counterfeit, tamper proof

## 1. บทนำ

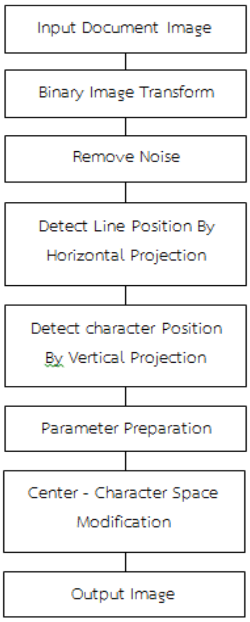
การติดต่อสื่อสารในปัจจุบัน ได้นำเอาเทคโนโลยีทางคอมพิวเตอร์และอินเตอร์เน็ตเข้ามาช่วย ทำให้การสื่อสารเป็นไปอย่างรวดเร็ว ภาพเอกสารก็เป็นหนึ่งในข้อมูลที่ถูกนำมาใช้สื่อสารผ่านทางคอมพิวเตอร์และอินเตอร์เน็ต ซึ่งภาพเอกสารนั้นจะต้องถูกนำมาแปลงให้อยู่ในรูปแบบของข้อมูลดิจิตอล ข้อมูลดิจิตอลนั้นสามารถปลอมแปลงได้ง่ายและยากต่อการตรวจจับ หากเป็นภาพเอกสารที่มีความสำคัญ เช่น ภาพเอกสารทางการเงิน ถ้าเกิดการปลอมแปลงข้อมูลจะส่งผลกระทบต่อเจ้าของหรือผู้ที่เกี่ยวข้องเป็นอย่างยิ่ง ทั้งนี้จึงจำเป็นที่จะต้องมีวิธีการเพื่อตรวจสอบความถูกต้องของภาพเอกสารนั้น ว่าเป็นภาพเอกสารตัวจริงหรือไม่ หรือเป็นภาพเอกสารที่เกิดจากการปลอมแปลง ซึ่งผู้วิจัยเล็งเห็นว่าลายน้ำดิจิตอลสามารถเข้ามาช่วยในการป้องกันและตรวจจับการปลอมแปลงได้ เพื่อลดปัญหาที่จะเกิดจากการปลอมแปลงภาพเอกสาร

ลายน้ำดิจิตอล เป็นวิธีการซ่อนข้อมูลลงไปในสื่อดิจิตอล เช่น ภาพเอกสาร เพื่อวัตถุประสงค์อย่างใดอย่างหนึ่ง เช่น เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล แสดงความเป็นเจ้าของ ป้องกันการละเมิดลิขสิทธิ์และตรวจสอบเส้นทางของข้อมูล ซึ่งลายน้ำจะมีทั้งลายน้ำที่สามารถมองเห็นได้และลายน้ำที่ไม่สามารถมองเห็นได้ ในส่วนของงานวิจัยนี้กล่าวถึงลายน้ำที่ไม่สามารถมองเห็นได้ โดยทั่วไปแล้วลายน้ำจะเป็นการเปลี่ยนแปลงลักษณะของภาพเพียงเล็กน้อย เพื่อให้ได้มาซึ่งรูปแบบของรหัสที่ใช้ในการตรวจสอบ โดยนักวิจัยหลายท่านให้ความสนใจที่จะศึกษาหาวิธีการต่างๆ เช่น ปรับระยะห่างระหว่างบรรทัด (Line space), ระยะห่างระหว่างช่องว่างของคำ (Word space) หรือตัวอักษร (Character space) ให้แคบลงหรือกว้างขึ้น [1-6, 8-10] เพื่อใช้ข้อมูลเหล่านี้ในการตรวจสอบการปลอมแปลง แต่ด้วยความซับซ้อนของลักษณะการจัดวางภาษาไทย ทำให้งานวิจัยที่เกี่ยวข้องของต่างประเทศนำมาปรับใช้กับภาษาไทยค่อยข้างยาก ซึ่งวิธีที่เหมาะสมกับภาษาไทยคือ การปรับระยะห่างระหว่างตัวอักษร ใน [10] ได้เสนอวิธีการปรับปรุงระยะห่างระหว่างตัวอักษร โดยปรับระยะห่างให้มีรูปแบบที่ต่างกัน 2 ขั้ว คือจำนวนคู่หรือคี่ แต่วิธีการดังกล่าวไม่ทนทานต่อ

การบีบอัดภาพเอกสารในงานวิจัยนี้จึงนำเสนอวิธีการปรับปรุงประสิทธิภาพเอกสารโดยใช้ระยะห่างระหว่างจุดศูนย์กลางของตัวอักษรอ้างอิงกับขนาดตัวอักษรเฉลี่ย ซึ่งสามารถตรวจจับได้แม้ภาพเอกสารถูกบีบอัด

## 2.อุปกรณ์และวิธีการที่นำเสนอ

ขั้นตอนในการใส่ลายน้ำจะมีขั้นตอนตามที่แสดงในรูปที่ 1 โดยขั้นแรกจะเริ่มจากการนำภาพเอกสารที่ต้องการใส่ลายน้ำเข้าสู่กระบวนการตามรายละเอียดดังรูปที่ 1




รูปที่ 1 แผนผังของกระบวนการใส่ลายน้ำที่นำเสนอ

### 2.1 กระบวนการเตรียมภาพ

หลังจากที่นำภาพเอกสารที่ต้องการจะใส่ลายน้ำเข้าระบบแล้ว ดังรูปที่ 2 จะต้องทำการทำการเตรียมภาพเอกสารให้พร้อมสำหรับการใส่ลายน้ำ ซึ่งในกระบวนการนี้ภาพเอกสารจะถูกนำมาแปลงเป็นภาพขาว-ดำ (ไบนารี) โดยบริเวณที่เป็นพื้นหลังแทนค่าด้วย 0 และบริเวณที่เป็นตัวอักษรแทนค่าด้วย 1 ดังรูปที่ 3 ซึ่งภาพเอกสารที่ได้อาจมีสัญญาณรบกวน เช่น จุดบนภาพเอกสาร ซึ่งเราได้ใช้ Morphological Opening เป็นวิธีการกำจัดสัญญาณรบกวนนี้ออกไป

รูปที่ 2 ภาพต้นฉบับ

รูปที่ 3 ภาพไบนารี

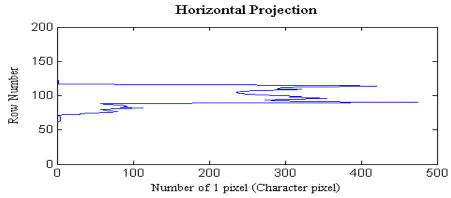
### 2.2 การตรวจหาตำแหน่งแถวข้อความและตำแหน่งของตัวอักษร

ในส่วนของการตรวจหาแถวของข้อความในภาพเอกสารนั้น จะทำโดยการนับจุดของภาพเอกสารตามแนวนอน (Horizontal projection) โดยรวมค่าจำนวนจุดของตัวอักษรในแต่ละแถว ดังสมการ

$$H(i) = \sum_{j=1}^{W} p(i,j) \tag{1}$$

เมื่อ $p(i,j)$ คือ ค่าของภาพขาว-ดำ ของแถวที่ i คอลัมน์ที่ j

ผลที่ได้รับคือ ผลรวมของจำนวนจุดภาพในแต่ละแถวดังรูปที่ 4 กระบวนการนี้วรรณยุกต์ สระ และส่วนของตัวอักษรที่อยู่ด้านบนและด้านล่างที่อยู่ในบริเวณใกล้เคียงกับแถวของตัวอักษรจะถูกรวมกันเป็นข้อมูลแถวเดียวกัน ดังแสดงในรูปที่ 4 ซึ่งเห็นได้ว่าข้อมูลมีทั้งหมด 1 แถว โดยบริเวณที่ไม่มีตัวอักษรผลรวมในแนวนอนจะมีค่าเป็นศูนย์



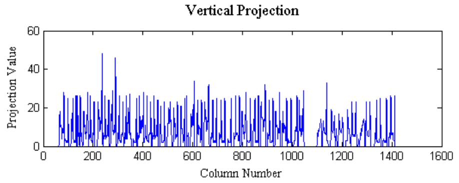

รูปที่ 4 การฉายภาพแนวนอนเพื่อหาตำแหน่งบรรทัดข้อความ

ในส่วนของกระบวนการหาตำแหน่งของตัวอักษร สามารถทำได้ด้วยกระบวนการที่คล้ายกัน เพียงแต่เป็นการหาผลรวมของจุดภาพในแนวตั้ง (Vertical projection) ของภาพย่อยของกลุ่มอักษรในแถว ดังสมการ

$$V(i) = \sum_{i=1}^{H} p(i,j) \tag{2}$$

เมื่อ $p(i,j)$ คือ ค่าภาพขาว-ดำแถวที่ iคอลัมน์ที่ j ของแต่ละบรรทัด

ผลรวมของจุดภาพในแนวตั้งแสดงในรูปที่ 5 ช่วงที่กราฟมีค่าเท่ากับ 0 คือช่องว่างระหว่างตัวอักษร




รูปที่ 5 การฉายภาพย่อยแต่ละบรรทัดเพื่อหาตำแหน่งตัวอักษร

### 2.3 การเตรียมข้อมูลเพื่อใส่ลายน้ำดิจิตอล

เมื่อทำการตรวจหาตำแหน่งของตัวอักษรของข้อความในแต่ละแถวแล้ว จะทำการตัดภาพย่อยของตัวอักษรแต่ละตัวออกมาแล้ว คำนวณหาค่าความกว้างของตัวอักษรตัวที่ k(*W(k)*) ความกว้างเฉลี่ยของตัวอักษร *W_AVG* ช่องว่างระหว่างตัวอักษร *S(k)* และช่องว่างระหว่างจุดศูนย์กลางของตัวอักษรแต่ละตัว *S_Center(k)*

ในส่วนของข้อมูลลายน้ำดิจิตอล *wk* จะเป็นข้อมูล 0,1 ซึ่งมีจำนวนเท่ากับช่องว่างระหว่างของตัวอักษร ข้อมูลลายน้ำสร้างจากกระบวนการ pseudo random numberโดยใช้รหัสลับ เช่น หมายเลขอ้างอิง วันที่ เป็นต้น

### 2.4 การใส่ข้อมูลลายน้ำดิจิตอล

ในขั้นตอนของการใส่ข้อมูลลายน้ำ ผู้วิจัยใช้วิธีการปรับระยะห่างระหว่างจุดศูนย์กลางตัวอักษร ในส่วนของการตรวจสอบลายน้ำภายหลังนั้น จะใช้ความกว้างตัวอักษรเฉลี่ย $W_AVG$ มาใช้เป็นข้อมูลในการอ้างอิง โดยช่องว่างระหว่างจุดศูนย์กลางของตัวอักษรแต่ละตัว จะถูกนำมาแบ่งนับ(Quantization)

$$S_Center_Q(k) = round\left(\frac{S_Center(k)}{Q}\right) \quad (3)$$

$$Q = \frac{W_AVG}{f} \quad (4)$$

เมื่อค่า Q คือ ค่าแบ่งนับ (Quantization)

f คือ ค่าสัมประสิทธิ์ความทนทาน

หลังจากนั้นค่าที่ได้จากการแบ่งนับแล้ว จะถูกปรับให้เป็นเลขจำนวนเต็มในลักษณะของเลขคู่หรือเลขคี่ ตามข้อมูลลายน้ำ *wk* ซึ่งในขั้นตอนนี้จะมีการตรวจสอบระยะห่างของตัวอักษร โดยจะไม่ยอมให้ระยะห่างที่แบ่งนับเป็นศูนย์ ตัวอักษรจะถูกทำการปรับระยะห่างระหว่างจุดศูนย์กลางของแต่ละตัวอักษรใหม่ ดังสมการต่อไปนี้

$$S_Center_{OE}(k) = \begin{cases} S_Center_Q(k); \; S_Center_Q(k)/2 = wk(k) \\ S_Center_Q(k) \pm 1; \quad Otherwise \end{cases} \quad (5)$$

$$S_Center_{New}(k) = S_Center_{OE}(k) * Q \quad (6)$$

### 2.5 การสกัดข้อมูลลายน้ำ

ในส่วนของการสกัดข้อมูลลายน้ำจากภาพเอกสารที่ทำการใส่ลายน้ำลงไปแล้วนั้น การตรวจสอบมีขั้นตอนคล้ายกับขั้นตอนในการใส่ลายน้ำดังในข้อ 2.1-2.3 ซึ่งในส่วนของการสกัดลายน้ำจะทำการแบ่งนับระยะห่างตัวอักษรดังสมการที่ (3) จากนั้นข้อมูลลายน้ำสามารถสกัดออกมาได้ตามลักษณะเลขคู่เลขคี่ดังสมการ

$$wk'(k) = \begin{cases} 1, S_Center_{cQuantized}(k) \text{ is odd} \\ 0, \quad Otherwise \end{cases} \quad (10)$$

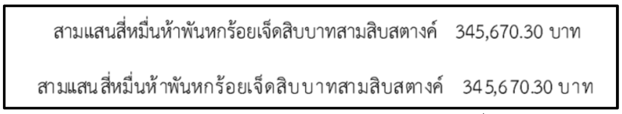
ในการตรวจสอบการการปลอมแปลง ใช้การหาบิตที่ผิดพลาดซึ่งได้จากการเปรียบเทียบข้อมูลลายน้ำที่สกัดได้กับข้อมูลลายน้ำต้นฉบับที่ทำการฝังเข้าไปในข้อมูล

## 3. ผลการทดลองและวิจารณ์

วิธีการที่นำเสนอนี้ ถูกพัฒนาขึ้นโดยโปรแกรม Matlab และทำการทดลองโดยใช้ตัวอักษรภาษาไทยรูปแบบ TH SarabanPSK และ TH NiramitAS ที่มีขนาด 16 พอยน์ การบีบอัดภาพจะใช้โปรแกรม Photoshop การพิมพ์ภาพเอกสารพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์ชนิดเลเซอร์ความละเอียด 600 dpi และสแกนด้วยเครื่องสแกนเนอร์ทั่วไป

### 3.1 ภาพผลลัพธ์

ภาพผลลัพธ์ที่ได้จากการใส่ลายน้ำแสดงดังรูปที่ 6 จะสังเกตได้ว่าภาพลายน้ำจะมีความแตกต่างในส่วนของระยะห่างระหว่างตัวอักษรโดยช่องว่างระหว่างตัวอักษรจะแคบลงหรือกว้างขึ้นปะปนกันไป ซึ่งในภาพรวมทำให้ข้อความมีการขยายออกเพียงเล็กน้อย




รูปที่ 6 ข้อความต้นฉบับ(บน) ภาพข้อความลายน้ำ(ล่าง)

### 3.2 ความทนทานต่อการหมุน การบีบอัด การพิมพ์ และการสแกน

ภาพลายน้ำจะถูกนำมาทดสอบความถูกต้องโดยวัดค่าอัตราของบิตที่ผิดพลาด(Bit Error Rate) ซึ่งจะถูกโจมตีด้วยการหมุนภาพที่ 0.25 ถึง1.5 องศา เพื่อเปรียบเทียบวิธีการปรับระยะห่างระหว่างตัวอักษร [10] กับวิธีการที่นำเสนอ ได้ผลลัพธ์ดังตารางที่ 1 พบว่าวิธีการที่นำเสนอทนทานต่อการหมุนได้มากกว่าวิธีการปรับระยะห่างระหว่างตัวอักษร

**ตารางที่ 1 อัตราบิตผิดพลาดของการหมุน**

| Bit Error Rate (%) | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Method | Rotation | | | | | |
| | 0.25 | 0.5 | 0.75 | 1.0 | 1.25 | 1.5 |
| Character space[10] | 0 | 0 | 2 | 0 | 12 | 2 |
| Proposed | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

ในการบีบอัดคุณภาพด้วยโปรแกรม Photoshop เพื่อให้ภาพมีคุณภาพลดน้อยลง โดยคุณภาพของภาพเอกสารที่บีบอัด อยู่ในระดับ Maximum, High, Medium และ Low ได้ผลลัพธ์อัตราบิตผิดพลาดดังตารางที่ 2 ซึ่งเห็นได้ว่าวิธีการที่นำเสนอทนทานต่อการบีบอัด

**ตารางที่ 2 อัตราบิตผิดพลาดของการบีบอัด**

| Bit Error Rate (%) | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Front | Max | High | Medium | Low |
| TH SarabanPSK | 0 | 0 | 0 | 0 |
| TH NiramitAS | 0 | 0 | 0 | 0 |

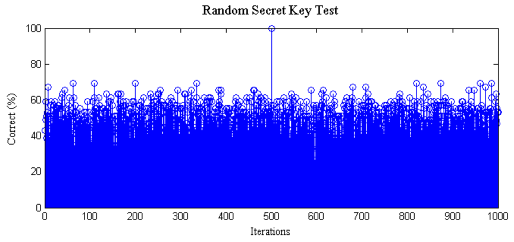
เมื่อภาพที่ถูกใส่ลายน้ำ ถูกนำมาพิมพ์และสแกนกลับด้วยความละเอียดที่ 300 และ 600 dpi นำผลการสกัดลายน้ำด้วยวิธีการก่อนหน้า [10] เปรียบเทียบกับวิธีที่นำเสนอได้ดังตารางที่ 3ซึ่งจะเห็นได้ว่าวิธีการที่นำเสนอให้อัตราบิตที่ผิดพลาดต่ำกว่า

**ตารางที่ 3 อัตราบิตผิดพลาดของการพิมพ์และสแกน**

| Bit Error Rate (%) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Method | Front | 300 dpi | | 600 dpi | |
| | | f=3 | f=4 | f=3 | f=4 |
| Char. space [10] | TH SarabanPSK | 8 | 16 | 8 | 0 |
| Proposed | | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Char. space[10] | TH NiramitAS | 5 | 11 | 3 | 0 |
| Proposed | | 0 | 0 | 0 | 0 |

### 3.3 ความปลอดภัยต่อการสุ่มข้อมูลลายน้ำ

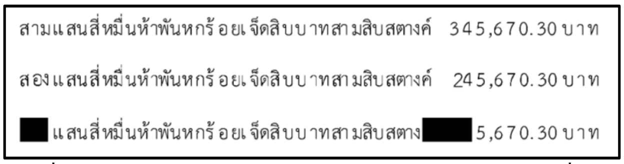
จากการทดลองสุ่มรหัสลับของวิธีการนี้ เพื่อทดลองสกัดข้อมูลลายน้ำ นำมาเปรียบเทียบกับข้อมูลที่ได้จากรหัสลับที่ถูกต้องซึ่งบันทึกค่าความถูกต้อง ซึ่งเปอร์เซ็นต์ความเหมือนจากการสุ่มแต่ละครั้งแสดงดังรูปที่ 7 โดยรหัสลับที่ถูกต้องจะให้ผลลัพธ์สูงสุดในที่นี้ปรากฏตรงกลางครั้งที่ 500




รูปที่ 7 การทดสอบกับการสุ่มรหัสลับ

### 3.4 การระบุตำแหน่งที่ถูกปลอมแปลง

เมื่อเอกสารที่ถูกใส่ลายน้ำ โดนโจมตีโดยการแก้ไข จะส่งผลต่อรูปแบบของระยะห่างที่ได้ทำการใส่ลายน้ำไว้ ซึ่งทำให้สามารถระบุตำแหน่งที่ระยะห่างผิดแปลกไปจากเดิมได้ดังรูปที่ 8 โดยมีการโจมตีแก้ไขตัวอักษรจาก “สาม” เป็น “สอง” และตัวเลข “3” เป็น “2”




รูปที่ 8 ผลการตรวจจับการปลอมแปลงเอกสาร (ด้านบน คือ ภาพที่ใส่ลายน้ำ, กลาง คือ ภาพที่แก้ไขข้อมูล, ล่าง คือ ผลการระบุตำแหน่ง)

## 4. สรุป

งานวิจัยที่นำเสนอนี้ ใช้วิธีการฝังข้อมูลลายน้ำดิจิตอลเข้าไปเพื่อให้สามารถตรวจสอบการปลอมแปลงของภาพเอกสาร โดยการฝังใช้วิธีการปรับระยะห่างระหว่างจุดศูนย์กลางตัวอักษร อ้างอิงกับความกว้างเฉลี่ยของตัวอักษร ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้แสดงให้เห็นว่าวิธีการที่นำเสนอนี้สามารถตรวจสอบการปลอมแปลงได้ และทนทานต่อการโจมตีในรูปแบบของการหมุนไม่เกิน1.5 องศา การบีบอัดภาพให้มีคุณภาพต่ำ และทนต่อการพิมพ์และสแกนที่ความละเอียด 300 dpi ได้ดีกว่างานวิจัยที่มีอยู่ในปัจจุบัน

## 5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากโครงการส่งเสริมการวิจัยภายใต้สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา

## เอกสารอ้างอิง

1. H-C A. Wang, “Data hiding techniques for printed binary images,” The International Conference on Information Technology: Coding and Computing, April 2-4, 2001.

2. T. Amamo and D. Misaki, “Feature calibration method for watermarking of document images,” Proc. 5th Int’l Conf on Document Analysis and Recognition, 1999, pp. 91-94, Bangalore, India.

3. A. K. Bhattacharjya, and H. Ancin, “Data embedding in text for a copier system,” Proc. IEEE International Conference on Image Processing, Vol. 2, 1999, pp. 245-249.

4. Q. Mei, E. K. Wong, and N. Memon, “Data hiding in binary text documents” SPIE Proc.Security and Watermarking of Multimedia Contents III, San Jose, CA., Jan. 2001.

5. M. Wu, E. Tang, and B. Liu, “Data hiding in digital binary images,” Proc. IEEE Int’l Conf. on Multimedia and Expo, Jul 31-Aug 2, 2000, New York, NY.

6. S. H. Low, N. F. Maxemchuk, J. T. Brassil, and L. O’Gorman, “Document marking and identification using both line and word shifting,” Infocom 95, IEEE Computer Society Press, Los Alamitos, Calif., 1995.

7. N. Chotikakamthorn, "Electronic Document Data Hiding Technique Using Inter-Character Space," Proc. of the 1998 IEEE Asia-Pacific Conference on Circuits and Systems, Nov. 24-27 1998, pp. 419-422.

8. Xinmin Zhou; Weidong Zhao; Sichun Wang; RuiPeng; , "A semi-fragile watermarking scheme for content authentication of chinese text documents," Computer Science and Information Technology, 2009. ICCSIT 2009. 2nd IEEE International Conference on , vol., no., pp.439-443, 8-11 Aug. 2009

9. Huijuan Yang; Kot, A.C.; Jun Liu; "Semi-fragile watermarking for text document images authentication," Circuits and Systems, 2005. ISCAS 2005. IEEE International Symposium on , vol., no., pp. 4002-4005 Vol. 4, 23-26 May 2005

10. KasemsukSepsirisuk, “A Temper Detection Method for for Financial Document Image using Image using Digital Watermark” Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology Association (ECTI-CARD-2015), pp.362-365, July 2015.

นางสาวปิ่นฑิตา อินทะเสม จบการศึกษา วท.บ.(สถิติประยุกต์) จากสจล.ปัจจุบันเป็นนักศึกษา วศ.ม.(วิศวกรรมเทคโนโลยีอุตสาหกรรม) งานวิจัยที่สนใจคือการประมวลผลภาพ

ดร.เกษมสุข เสพศิริสุข จบ วศ.บ. และ วศ.ม. (วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์) จาก สจล.และ D.Eng (Science and Technology) จาก Tokai University งานวิจัยที่สนใจคือการประมวลผลภาพ และอิเล็กทรอนิกส์

# การระบุตำแหน่งที่จอดรถผ่านการประมวลผลภาพ

# A Parking Space Detection Using Image Processing

**สมหมาย บัวแย้มแสง** [1]

[1]สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรังสิต

ถนนพหลโยธิน 87 หลักหก อ.เมือง จ.ปทุมธานี 12000 โทรศัพท์ 02-791-5500 ถึง 10 ต่อ 3275 E-mail: sommai.b@rsu.ac.th

## บทคัดย่อ

บทความนี้อธิบายการระบุตำแหน่งที่จอดรถ โดยเริ่มจากนำภาพถ่ายของลานจอดรถ มาแปลงจากภาพสีให้เป็นภาพเทา จากนั้นแยกข้อมูลภาพรถแต่ละคัน ทำภาพให้คมชัดขึ้นและหาขอบภาพเพื่อให้ได้เค้าโครงของรถ จากนั้นแปลงภาพเทาให้เป็นขาวดำเพื่อนับจำนวนจุดภาพสีขาวซึ่งเป็นตัวภาพ ถ้ามีจำนวนมากกว่าเงื่อนไขที่กำหนดให้ทำการนับว่ามีรถ 1 คันจากขั้นตอนที่ผ่านมาจะสามารถตรวจสอบรถที่มีสีต่างๆ ได้ยกเว้นรถสีดำเนื่องจากมีสีใกล้เคียงกับสีพื้นถนน ซึ่งแก้ไขโดยผ่านการตรวจสอบหาองค์ประกอบของสีดำ เมื่อได้ตำแหน่งที่มีรถจอดอยู่จะทำการรวมภาพรถแต่ละคันไว้ในภาพแผนผังช่องที่จอดรถ จากการทดสอบจำนวน 22 ภาพพบว่าผลลัพธ์ที่ได้ผิดพลาด 1 ภาพซึ่งเกิดจากการจอดรถคร่อมช่องจอดรถ โดยอาจแก้ไขในการพัฒนาครั้งต่อไป

คำสำคัญ: การระบุตำแหน่ง, การหาขอบภาพ, องค์ประกอบของสี

## Abstract

This article describes a Parking space detection starts from converting the car park color image to gray image. Then the images is partitioned, sharpened and edge detection to highlight the outline of each car. Then the image was converted to black and white for count white pixels of object in image. If the number of white pixels is greater than the certain condition, it is considered that there is a car in the parking space. After the process, the number of the parked cars can be mapped except for the black cars because the color is similar to the background. This can be solved using the procedure for monitoring the components of the black car. After all occupied parking spaces were found, the images of each car were combined into the car park mapping image. From testing, the 22 images were examined and the program can process 21 images. There is error in 1 images which are caused by cars straddling 2 parking spaces so this problem should be addressed in the future improvement.

Keywords: Parking space detection, edge detection, components of the black color

## 1. บทนำ

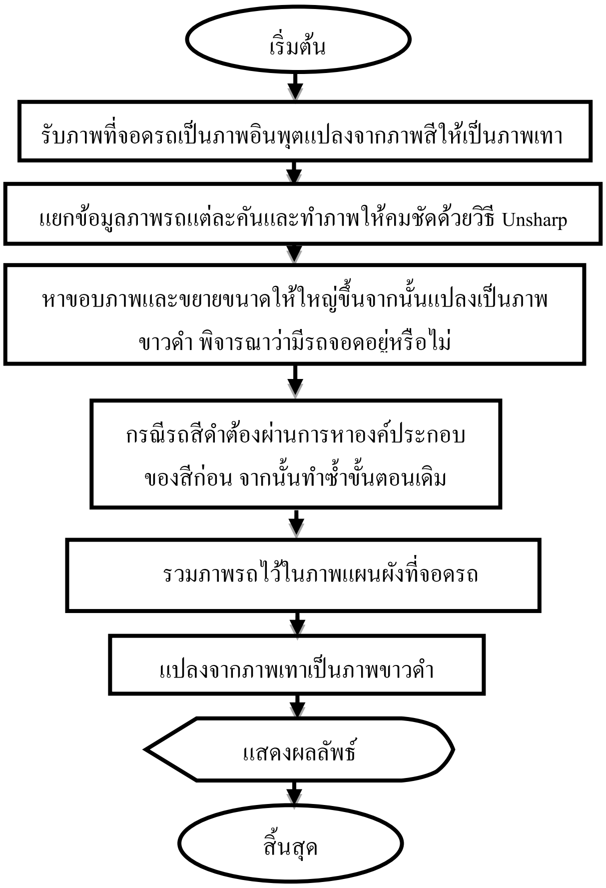
การที่ผู้ขับขี่รถยนต์ จะสามารถหาที่จอดรถได้ในระยะเวลาอันสั้น เป็นเรื่องที่เป็นไปได้ยาก เพราะผู้ขับขี่รถยนต์ที่ต้องการใช้บริการที่จอดรถนั้น ไม่อาจทราบได้ว่าตำแหน่งใดที่ยังว่างอยู่ จึงเกิดปัญหาคือ การที่ต้องเสียเวลาในการหาที่จอดรถ เพื่อแก้ปัญหานี้โดยใช้การประมวลผลภาพ เริ่มจากการติดตั้งกล้องที่ชั้น 8 ของอาคารหอพักชายในมหาวิทยาลัยรังสิตเพื่อถ่ายภาพลานจอดรถ จากนั้นนำภาพมาประมวลผลโดยใช้หลักการทำภาพให้คมชัดขึ้น และการหาขอบภาพด้วยวิธีการของพรีวิท เพื่อนำขอบภาพไปนับจำนวนจุดภาพเทียบกับพื้นหลังภาพ ถ้าจำนวนจุดภาพมีมากกว่าเงื่อนไขที่ได้กำหนดไว้ในแต่ละกรณี ให้ทำการนับว่ามีรถ 1 คัน เมื่อพิจารณาครบทุกตำแหน่งในที่จอดรถ โปรแกรมจะแสดงจำนวนและตำแหน่งของรถ เพื่อใช้ในการบอกผู้ขับขี่รถยนต์ให้ทราบว่าตำแหน่งที่ว่างอยู่นั้นมีกี่ตำแหน่งและตำแหน่งใดบ้าง เพื่อความสะดวกและประหยัดเวลาในการหาที่จอดรถ

## 2. ทฤษฎีและการออกแบบ

### 2.1 ผังงานแสดงการทำงานของระบบ

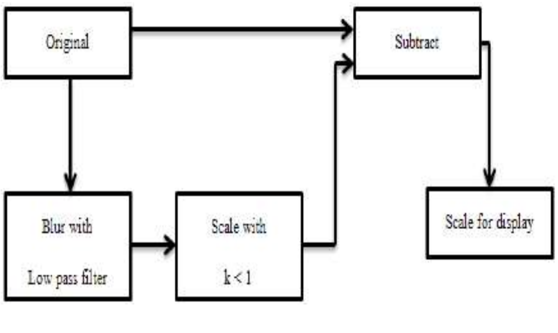
จากรูปที่ 1 ผังงานขั้นตอนการทำงานของระบบเริ่มจากรับภาพที่จอดรถเป็นข้อมูลอินพุต ทำการแปลงจากภาพสีให้เป็นภาพเทา ครอบตัดภาพเพื่อแยกภาพรถแต่ละคันจนครบทุกคัน ทำภาพให้คมชัดขึ้นด้วยวิธี Unsharp Masking และหาขอบภาพด้วยวิธีของพรีวิท เพื่อให้ได้เค้าโครงของรถแต่ละคัน แล้วทำการขยายภาพขึ้น เพื่อปรับปรุงภาพให้ดียิ่งขึ้น แล้วทำการแปลงภาพเทาให้เป็นภาพขาวดำ เพื่อนำไปนับจำนวนจุดภาพสีขาวซึ่งเป็นตัวภาพ แล้วทำการเปรียบเทียบจุดภาพสีขาวในภาพ ถ้ามีมากกว่าเงื่อนไขที่กำหนด ให้ทำการนับว่ามีรถ 1 คัน หลังจากเสร็จสิ้นกระบวนการดังกล่าว จะได้จำนวนรถที่จอดอยู่ แต่จะไม่สามารถนับรถที่เป็นสีดำได้เนื่องจากค่าสีมีค่าใกล้กับสีของพื้นถนนมากๆ จึงต้องมี

กระบวนการพิจารณาสีเพิ่มเข้ามา เพื่อพิจารณาหาค่าสีรถที่เป็นสีดำถ้ามีรถสีดำจอดอยู่ จะแปลงสีดำให้เป็นจุดภาพสีขาว แล้วทำซ้ำขั้นตอนเดิม เมื่อได้ตำแหน่งที่มีรถจอดอยู่ที่ผ่านกระบวนการทั้งสองข้างต้นแล้ว จะทำการรวมภาพรถเข้าไปในภาพแผนผังแสดงช่องที่จอดรถ ขั้นตอนสุดท้ายคือการแสดงผลลัพธ์ ซึ่งเป็นการสิ้นสุดการทำงานของโปรแกรม




**รูปที่ 1** ผังงานขั้นตอนการทำงานของระบบ

## 2.2 การทำภาพให้คมชัดด้วยวิธีการ Unsharp Masking




**รูปที่ 2** แผนผังวิธีการของ Unsharp Masking

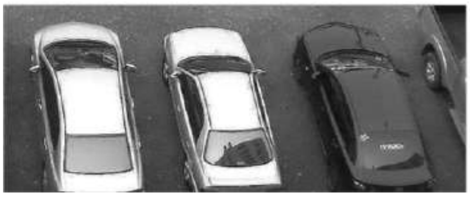
Unsharp Masking เป็นวิธีการหนึ่งที่นำมาใช้เน้นขอบของภาพเพื่อให้ภาพมีความคมชัดขึ้น [1] ขั้นตอนดังรูปที่ 2 โดยอาศัยหลักการนำเอาภาพที่ถูกทำให้เบลอไปลบออกจากภาพต้นแบบเดิม โดยที่ภาพที่ถูกทำให้เบลอ จะต้องถูกคูณด้วยค่าคงที่ (k) เพื่อเป็นตัวแปรสำหรับการปรับขอบของภาพให้มีความคมชัด โดยปกติค่า k จะมีค่าระหว่าง 0.2 – 0.7 ยิ่งค่า k มีค่ามากขึ้น จะมีผลทำให้ขอบของภาพมีความคมชัดมากขึ้น การเน้นขอบของภาพที่ได้จากการลบภาพต้นแบบด้วยภาพที่ถูกทำให้เบลอสามารถเขียนแทนด้วยสมการ

$$J = I - k * H \tag{1}$$

เมื่อ J คือ ภาพผลลัพธ์ที่มีความคมชัดมากขึ้น
I คือ ภาพต้นแบบ
H คือ ภาพต้นแบบที่ถูกทำให้เบลอ
k คือ ค่าคงที่ มีค่าระหว่าง 0.2 – 0.7

ตัวอย่างภาพผลลัพธ์ที่ได้จากการทำ Unsharp Masking แสดงตามรูปที่ 3

(ก) ภาพก่อนผ่านกระบวนการ



(ข) ภาพหลังผ่านกระบวนการ

**รูปที่ 3** การทำให้ภาพคมชัดขึ้นโดยใช้การทำ Unsharp Masking

## 2.3 การหาขอบภาพโดยวิธีของพรีวิท (Prewitt )

การหาขอบภาพโดยวิธีของพรีวิท [2] เป็นการหาขอบของวัตถุในภาพโดยใช้ Mask ตามรูปที่ 4(ก) จะได้ขอบภาพในแนวตั้ง ส่วน Mask ในรูปที่ 4(ข) จะได้ขอบภาพตามแนวนอน

| | | |
|---|---|---|
| -1 | 0 | 1 |
| -1 | 0 | 1 |
| -1 | 0 | 1 |

(ก) Mask ในแนวตั้ง

| | | |
|---|---|---|
| -1 | -1 | -1 |
| 0 | 0 | 0 |
| 1 | 1 | 1 |

(ข) Mask ในแนวนอน

**รูปที่ 4** ตัวกรองที่ใช้เน้นขอบของภาพขนาด 3 x 3

เมื่อนำค่าขอบภาพทั้งแนวตั้ง และแนวนอนมารวมกัน จะได้เป็นขอบภาพทั้งหมดดังรูปที่ 5

(ก) ภาพก่อนผ่านกระบวนการ (ข) ภาพหลังผ่านกระบวนการ

**รูปที่ 5** ผลลัพธ์การหาขอบภาพโดยวิธีของพรีวิท

### 2.4 การขยายขนาดภาพโดยการทำไดเลชัน (Dilation)

การขยายขนาดภาพออกรอบตัวหนึ่งถึงสองพิกเซลมีประโยชน์สองอย่าง อย่างแรกคือลดสัญญาณรบกวนที่เกิดจากจุดภาพสีดำ อย่างที่สองซึ่งเป็นจุดประสงค์หลักคือต้องการเพิ่มพื้นที่ของขอบภาพให้มีขนาดใหญ่ขึ้น [3] เพื่อให้ตรวจสอบการมีอยู่ของรถได้ง่ายขึ้น หลักการของ Dilation เป็นไปตามสมการที่ 2

$$A \oplus B = \{ (x, y) + (u, v) : (x, y) \in A , (u, v) \in B \} \qquad (2)$$

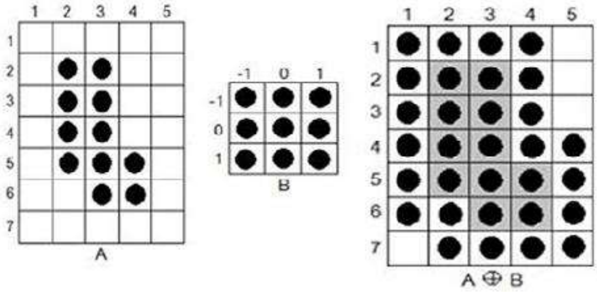
เมื่อ $A$ คือ เซตของข้อมูลภาพอินพุท

$B$ คือ เซตของเมทริกซ์ขนาด 3x3 ซึ่งเป็นตัวกำหนดทิศทาง

$(x, y)$ คือ คู่อันดับแสดงตำแหน่งของสมาชิกใน A

$(u, v)$ คือ คู่อันดับแสดงตำแหน่งของสมาชิกใน B

โดยมีความหมายว่าทุกๆ จุดภาพ $x \in B$ (x เป็นสมาชิกของ B) ทำการเคลื่อนย้ายไปยัง A ด้วยวิธีการทำ Union ไปตามพิกัดของ x ตัวอย่างการทำ Dilation ดังรูปที่ 6




**รูปที่ 6** ตัวอย่างการทำ Dilation

ผลลัพธ์ที่ได้เมื่อทำ Dilation กับภาพขอบภาพรถ ดังในรูปที่ 7

(ก) ภาพก่อนผ่านกระบวนการ (ข) ภาพหลังผ่านกระบวนการ

**รูปที่ 7** ภาพที่ผ่านการขยายจุดภาพขึ้น 2 พิกเซล

### 2.5 การพิจารณาค่าเปอร์เซ็นต์ของจำนวนจุดภาพรถในแต่ละตำแหน่ง

ในการพิจารณาตำแหน่งรถแต่ละตำแหน่งว่ามีรถหรือไม่ จะพิจารณาจากค่าเปอร์เซ็นต์ของจำนวนจุดภาพรถ ซึ่งในแต่ละตำแหน่งจะใช้ค่าเปอร์เซ็นต์ที่แตกต่างกัน เนื่องจากค่าเปอร์เซ็นต์ของจำนวนจุดภาพรถในแต่ละตำแหน่ง มีความแตกต่างกันของขนาดภาพ ดังรูปที่ 8 ซึ่งเป็นภาพอินพุตที่นำมาพิจารณาในแต่ละตำแหน่ง

**รูปที่ 8** ภาพอินพุตที่นำมาพิจารณาในแต่ละตำแหน่ง

### 2.6 แผนผังแสดงช่องที่จอดรถ

จากรูปที่ 9 ภาพแผนผังแสดงช่องที่จอดรถที่นำไปเทียบกับภาพอินพุต เป็นภาพแผนผังแสดงช่องที่จอดรถ โดยตำแหน่งรถที่แสดงเป็นตัวเลขในภาพ ได้มาจากการนำรูปไปครอบกับรูปที่ 8 ภาพอินพุตที่นำมาพิจารณาในแต่ละตำแหน่ง แล้วจะได้เป็นตำแหน่งรถทั้ง 38 คัน ซึ่งจะมีผลลัพธ์เป็นภาพแผนผังแสดงช่องที่จอดรถ

**รูปที่ 9** แผนผังแสดงช่องที่จอดรถ

### 2.7 ตัวอย่างการใช้งาน

การใช้งานโปรแกรมเริ่มจาก โหลดภาพอินพุทที่ต้องการประมวลผลภาพ จากนั้นกดปุ่ม Process ตามรูปที่ 10 ผลลัพธ์ที่ได้จากการกดปุ่ม Process จะแสดง 3 ส่วนคือส่วนแรกแสดงแผนผังตำแหน่งที่มีรถจอดอยู่และตำแหน่งพื้นที่ว่าง ส่วนที่ 2 แสดงจำนวนตัวเลขที่มีรถจอดอยู่ และส่วนที่ 3 แสดงจำนวนตัวเลขพื้นที่ว่าง

**รูปที่ 10** ตัวอย่างการใช้งานโปรแกรม

### 2.8 ผลการทดลอง

**ตารางที่ 1 ผลการทดลองโปรแกรมระบุตำแหน่งที่จอดรถ**

| ชื่อไฟล์ภาพ | จากภาพอินพุต | | จากตารางเอาท์พุต | | % ความผิดพลาด |
|---|---|---|---|---|---|
| | มีรถจอด | พื้นที่ว่าง | มีรถจอด | พื้นที่ว่าง | |
| car1 | 20 | 18 | 20 | 18 | - |
| car2 | 31 | 7 | 31 | 7 | - |
| car3 | 34 | 4 | 34 | 4 | - |
| car4 | 35 | 3 | 35 | 3 | - |
| car5 | 36 | 2 | 36 | 2 | - |
| car6 | 36 | 2 | 36 | 2 | - |
| car7 | 35 | 3 | 35 | 3 | - |
| car8 | 30 | 8 | 29 | 9 | 2.63 |
| car9 | 27 | 11 | 26 | 12 | 2.63 |
| car10 | 31 | 7 | 31 | 7 | - |
| car11 | 33 | 5 | 33 | 5 | - |
| car12 | 34 | 4 | 34 | 4 | - |
| car13 | 34 | 4 | 34 | 4 | - |
| car14 | 34 | 4 | 33 | 5 | 2.63 |
| car15 | 34 | 4 | 34 | 4 | - |
| car16 | 35 | 3 | 35 | 3 | - |
| car17 | 31 | 7 | 31 | 7 | - |
| car18 | 33 | 5 | 33 | 5 | - |
| car19 | 26 | 12 | 27 | 11 | 2.63 |
| car20 | 21 | 17 | 22 | 16 | 2.63 |
| car21 | 17 | 21 | 17 | 21 | 2.63 |
| car22 | 13 | 25 | 13 | 25 | 2.63 |

### 3. สรุป

จากการทดลองกับภาพจำนวน 22 ภาพ ผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลอง ถูกต้อง 17 ภาพ และมีภาพที่เกิดความผิดพลาด 5 ภาพ เนื่องจากในบางพื้นที่ที่มีหญ้าขึ้นจะทำให้เกิดข้อผิดพลาด 2 ภาพ และช่องจอดรถแนวขนาน จะมีปัญหาเรื่องการจอดคร่อมช่องจอดรถทำให้ผลลัพธ์ที่ได้ มีความคลาดเคลื่อนในเรื่องของตำแหน่งที่จอดจำนวน 3 ภาพ

### 4. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณนาย นาวี ไวนาวี และนาย สุรชัย รังสฤษฎ์วีระโชติ นักศึกษาโครงงานที่ช่วยถ่ายภาพ และทำการทดสอบโปรแกรมเป็นผลให้งานสำเร็จได้ด้วยดี

### เอกสารอ้างอิง

[1] สมหมาย บัวแย้มแสง, “การนับจำนวนนกอพยพโดยใช้วิธีการกำหนดหมายเลข”, การประชุมวิชาการ NCIT2010 หน้า 626 - 629

[2] MILAN SONKA, VACLAV HLAVAC, and ROGER BOYLE, “Image Processing Analysis and Machine Vision,” PWS Publishing, pp. 39-60, 1998

[3] สมหมาย บัวแย้มแสง, “โปรแกรมวิเคราะห์กราฟแท่งเทียนผ่านการประมวลภาพ”, การประชุมวิชาการ ECTI 2015 หน้า 112

**ประวัติผู้เขียนบทความ**

อส.บ. พระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
วศ.ม. พระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
อาจารย์ประจำ วิศวกรรมคอมพิวเตอร์ ม.รังสิต
ทำวิจัยทางด้านการประยุกต์ใช้งานการประมวลผลภาพดิจิตอล

**บทความวิจัย**

การประชุมวิชาการ งานวิจัยและพัฒนาเชิงประยุกต์ ครั้งที่ 8

*8th ECTI-CARD 2016, Hua Hin, Thailand*

# ระบบมอนิเตอร์สถานะที่จอดรถยนต์โดยใช้อาดูโน/แอนดรอยด์

# Car Parking Lot Monitoring System using Arduino/Android

**ธนะพงศ์ นพวงศ์ ณ อยุธยา และ ไพฑูรย์ รักเหลือ**

ภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

39 หมู่ 1 ตำบลคลองหก อำเภอธัญบุรี จังหวัดปทุมธานี โทรศัพท์: 0-2549-4620 E-mail: nopavong.n@rmutt.ac.th, paitoon_r@rmutt.ac.th

## บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการออกแบบระบบมอนิเตอร์สถานะที่จอดรถยนต์โดยใช้อาดูโน/แอนดรอยด์ งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อจะช่วยกระบวนการหาช่องจอดรถง่ายขึ้น ในการพัฒนาต้นแบบของระบบสามารถส่งสถานะของช่องจอดรถผ่านแอปพลิเคชั่นของแอนดรอยด์ ได้สูงสุด 8 สถานะ ซึ่งทำการติดต่อกับโปรโตคอล TCP/IP สำหรับอุปกรณ์อินฟาเรดเซนเซอร์จะถูกนำมาใช้เพื่อที่จะตรวจจับรถยนต์ในแต่ละช่องของที่จอดรถ โดยผลที่ได้จากการตรวจจับมีความเที่ยงตรง รวมทั้งบอร์ดอาดูโนจะเป็นอุปกรณ์ที่เชื่อมต่อระหว่างสมาร์ทโฟนกับเซนเซอร์ ซึ่งระบบจะรองรับกับการใช้งานจริงได้ดี จึงเห็นได้ว่าระบบนี้สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงและอัตโนมติ รวมทั้งมีการดูแลรักษาไม่ยุ่งยากและต้นทุนต่ำ

This system has a high potential of being an automated system that requires less maintenance and costs.

คำสำคัญ: ที่จอดรถยนต์, อาดูโน, แอนดรอยด์

## Abstract

This paper describes the design car parking lot monitoring system using Arduino/Android. The aim of research is making the process of finding a parking lot space easier. The development of this prototype system is capable of sending the maximum 8 status of the parking lot to the android application connected to TCP/IP. Infrared sensors are used to detect the cars in each slot this provides accurate to detect occupancy of the slot. The Arduino board is interfaced between smartphone with sensor make the system reliable. This system has a high potential of being an automated system that requires less maintenance and costs.

Keywords: car parking lot, Arduino, Android

## 1. บทนำ

ในยุคที่เทคโนโลยีเข้ามามีบทบาทในชีวิตประจำวันของทุกคน ถ้าลองสำรวจอุปกรณ์ที่อยู่รอบตัวเรา จะพบว่าอุปกรณ์อัจฉริยะเหล่านี้สามารถเชื่อมต่อเข้าหากันได้ผ่านเทคโนโลยีเครือข่าย ประเด็นสำคัญคืออุปกรณ์เหล่านี้สามารถติดต่อสื่อสารกันได้เอง โดยผู้ใช้งานไม่จำเป็นต้องเข้าไปสั่งงานอุปกรณ์เหล่านั้นด้วยตนเอง แต่ผู้ใช้งานเพียงควบคุมสั่งงานจากต้นทางและรับข้อมูลแจ้งเตือนจากอุปกรณ์เท่านั้น ซึ่งแนวคิดดังกล่าวนี้มีชื่อเรียกว่า “Internet of Things” หรือ “อินเตอร์เน็ตทุกสรรพสิ่ง” ซึ่งเทคโนโลยีนี้มีความจำเป็นที่จะต้องทำงานร่วมกับอุปกรณ์ประเภทตัวตรวจจับเซ็นเซอร์ ( Sensors) ซึ่งเปรียบเสมือนการเติมสมองให้กับอุปกรณ์ต่างๆ พร้อมทั้งต้องมี การเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตเพื่อให้อุปกรณ์เหล่านี้สามารถรับส่งข้อมูลได้ จากการสำรวจได้พบว่าการเติบโตของผู้ใช้อินเตอร์เน็ตผ่านโทรศัพท์มือถือมีจำนวนเพิ่มมากขึ้นเนื่องด้วยอัตราความเร็วของการโอนย้ายข้อมูลที่สูงของเทคโนโลยี 3G และ 4G ช่วยทำให้นักพัฒนาสร้างแอปพลิเคชั่นได้หลากหลายมากขึ้น โดยงานในลักษณะนี้อยู่ในหมวดงานวิจัยสารสนเทศเชิงประยุกต์ [1]-[3]

โดยผู้วิจัยได้มองถึงสถานะภาพของประชากรที่มีความต้องจะใช้ยานพาหนะสูงขึ้น จึงส่งผลให้อัตราการใช้งานรถยนต์มีปริมาณเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ และเมื่อปริมาณเพิ่มขึ้นปัญหาที่ตามมา คือจุดหมายปลายทางของผู้ใช้รถมีที่จอดไม่เพียงพอโดยเฉพาะสถานที่อำนวยความสะดวกต่างๆ และผู้ใช้รถไม่สามารถทราบได้ว่ามีตำแหน่งที่จอดรถว่างอยู่ตำแหน่งใด ส่งผลให้ต้องเสียเวลาเพื่อขับรถวนหาที่จอด ทำให้เกิดปัญหาการจราจรติดขัด และยังส่งผลให้เสียค่าใช้จ่ายเนื่องมาจากการใช้พลังงานที่เพิ่มขึ้น และยังก่อให้เกิดปัญหาทางด้านมลพิษ ซึ่งเป็นต้นเหตุของภาวะโลกร้อน

ดังนั้นบทความนี้ได้ทำการออกแบบและพัฒนาระบบมอนิเตอร์สถานะที่จอดรถยนต์โดยใช้บอร์ดไมโครคอนโทรเลอร์อาดูโน่และระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ [4]-[5] เพื่อที่จะสามารถช่วยให้ผู้ใช้รถไม่เสียเวลาและประหยัดพลังงาน รวมทั้งใช้ระบบตรวจจับเซ็นเซอร์ในการแจ้งข้อมูลสถานะต่าง ๆ ไปยังโทรศัพท์มือถือผ่านโปรโตคอลแบบ TCP/IP ในระดับชั้นแม็ค (MAC layer)

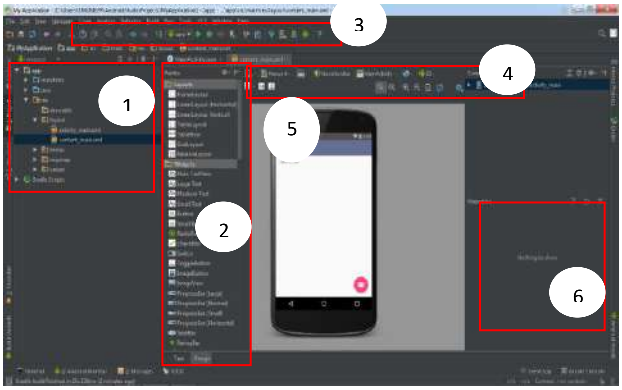
## 2. หลักการและการออกแบบ

### 2.1 ระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์

การเขียนโปรแกรมในแอนดรอยด์เพื่อที่จะสร้างแอพพลิเคชั่น โดยจะกำหนดการทำงานเป็น 2 ส่วน คือ

(1) การออกแบบหน้าแอปพลิเคชั่น หรือในส่วนของ Layout (Activity_main.xml) แสดงการกำหนดการออกแบบของหน้าจอแอพพลิเคชั่นทั้งหมดอาทิเช่น ตัวอักษร สี ขนาด หรือสื่อต่างๆเช่น เสียง วีดีโอ กราฟิกต่างๆ

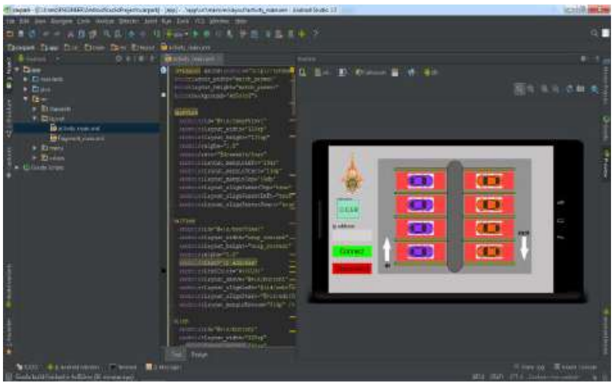
(2) การเขียนโปรแกรมการทำงานของแอพพลิเคชั่นหลังจากที่เราได้สร้างหน้า UI (User interface) เรียบร้อยแล้ว ในส่วนนี้จะเป็นการเขียนโปรแกรมด้วยหลักของภาษาจาวา (JAVA)




**รูปที่ 1** การออกแบบแอพพลิเคชั่นด้วยโปรแกรมแอนดรอยด์

รูปที่ 1 แสดงการออกแบบแอปพลิเคชั่นด้วยโปรแกรมแอนดรอยด์ โดยมีรายละเอียดโปรแกรมในส่วนต่างๆดังต่อไปนี้

- หมายเลข 1 โครงสร้างโปรเจคปัจจุบัน ทำหน้าที่แสดงรายการไฟล์ ซึ่งเป็นโครงสร้างของโปรเจคหน้าปัจจุบันที่เรากำลังใช้งานอยู่
- หมายเลข 2 แถบ widget คือรูปแบบของเครื่องมือที่จะนำออกไปใช้งาน เพื่อสร้างในส่วนของการแสดงผลของหน้าแอพพลิเคชั่นเช่น ปุ่มกด กล่องข้อความ หรือวิดีโอต่าง เครื่องมือในการออกแบบทั้งหมดจะอยู่ในแถบเครื่องมือ widget ทั้งหมด
- หมายเลข 3 แถบควบคุมโปรเจค ส่วนที่สำคัญ ก็คือการสั่งรันโปรเจคเพื่อทดสอบการทำงานนั้นเอง
- หมายเลข 4 แถบควบคุมส่วนแสดงผลจำลอง ก็คือส่วนมุมมองในการสร้างโปรเจคเช่น ดูมุมมองหน้าแพพลิเคชั่นในแนวนอนหรือแนวตั้ง การซูมเพื่อดูรายละเอียดต่างๆ
- หมายเลข 5 ส่วนแสดงผลจำลอง หน้าตาแอพพลิเคชั่น
- หมายเลข 6 หน้าต่างคุณสมบัติ เมื่อเราทำการปรับแต่ง widget ใดๆก็ตามที่อยู่ในส่วนแสดงผลจำลองหน้าต่างคุณสมบัติก็จะแสดงรายละเอียดคุณสมบัติของ widget นั้นทันที



**รูปที่ 2** ส่วนโปรแกรมจาวาแสดงหน้าจอมอนิเตอร์

รูปที่ 2 แสดงส่วนโปรแกรมจาวาที่ออกแบบ เพื่อแสดงสถานะจอมอนิเตอร์และการเชื่อมต่อ โดยสามารถแสดงสถานะรถได้จำนวน 8 คัน ลักษณะการออกแบบจะประกอบไปด้วย ช่องสำหรับป้อน IP Address เพื่อกำหนดปลายทางในการเชื่อมต่อเข้ากับบอร์ดอาดูโน่ ต่อมาเป็นการแสดงตำแหน่งที่ว่างของที่จอดรถ และบอกจำนวนตัวเลขของช่องจอดรถที่ยังว่างอยู่ทั้งหมด รวมทั้งแสดงถึงการทำงานในส่วนของโปรแกรมคำสั่งจาวา (JAVA) โดยเป็นการเขียนคำสั่งการทำงานในส่วนของปุ่ม Connect และ Disconnect เมื่อเริ่มคำสั่งในส่วนของ Connect จะเป็นการเช็ค IP address ในกล่องข้อความ Iptext คือคำสั่ง if (IPAdress.equals("")) ถ้าในกล่องข้อความว่างหมายถึงไม่มีหมายเลข IP address จะทำการแสดงข้อความว่า "Please choose ip address" และในกรณีที่ในกล่องข้อ Iptext นั้นมีหมายเลข IP address อยู่จะทำการแสดงข้อความว่า "Connect to "ตามด้วยรหัส IP address ที่เราใส่เข้าไปเช่น "Connect to":192.168.1.179 และจะทำการเชื่อมต่อเพื่อรับข้อมูลเข้ามาแสดงในสื่อแสดงสถานะของที่จอดรถ

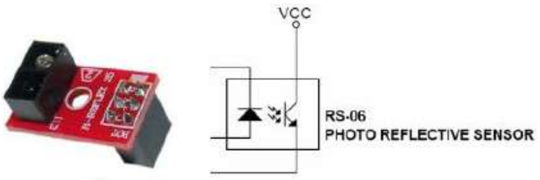
### 2.2 บอร์ดอาดูโน่และอินฟราเรดเซ็นเซอร์

อาดูโน คือ บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์สำเร็จรูป ที่รวมเอาตัวไมโครคอนโทรลเลอร์และอุปกรณ์อื่นๆที่จำเป็น มาในบอร์ดเดียว และเป็นบอร์ดตระกูล AVR ที่มีการพัฒนาแบบ Open Source โดยใช้การเขียนคำสั่งโปรแกรมผ่าน Arduino IDE โดย จะอ้างอิงตามภาษา C /C++ ในการเขียนโปรแกรม โดยเรียกใช้ฟังค์ชั่นและไลบรารีที่ทางอาดูโนได้เตรียมไว้ให้แล้วซึ่งสะดวก และทำให้ผู้ที่ไม่มีความรู้ด้านไมโครคอนโทรลเลอร์อย่างลึกซึ้งสามารถเขียนโปรแกรมสั่งงานได้

โดยง่าย ซึ่งในบทความนี้ได้ใช้บอร์ดอาดูโน รุ่น Mega 2560 แสดงดังรูปที่ 3

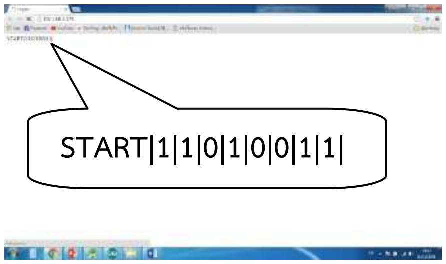
**รูปที่ 3** บอร์ด Arduino Mega2560

เซนเซอร์อินฟราเรดแสดงดังรูปที่ 4 ประกอบด้วยตัวส่งสัญญาณแสงอินฟาเรด (Infrared LED) และอุปกรณ์ตรวจจับแสงอินฟาเรดชนิดโฟโต้ทรานซิสเตอร์ การทำงานของวงจรตรวจจับแสงนี้ทำงานโดยการส่งแสงจากอินฟาเรดไดโอด ไปกระทบกับวัตถุที่ต้องการตรวจจับ แล้วสะท้อนกลับไปยังโฟโตทรานซิสเตอร์ที่เป็นตัวรับ ถ้าวัตถุที่ตรวจจับอยู่ใกล้โฟโตทรานซิสเตอร์ตัวรับจะได้รับสัญญาณแสงที่มีความเข้มสูง ทำให้มีกระแสไหลผ่านโฟโตทรานซิสเตอร์ตัวรับมาก แต่เมื่อวัตถุอยู่ไกลออกไป สัญญาณแสงที่ตัวรับได้รับจะค่อยๆ ลดลง ทำให้ปริมาณกระแสที่ไหลผ่านตัวโฟโตทรานซิสเตอร์ลดต่ำลงด้วย ค่าปริมาณกระแสที่ไหลผ่านทรานซิสเตอร์สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการตรวจจับระยะห่างของวัตถุจากวงจรรับแสงได้




**รูปที่ 4** วงจรตรวจจับแสงด้วยโฟโต้ทรานซิสเตอร์

โดยหลักการในการออแบบระบบ จะต้องกำหนดการใช้งานผ่านเครือข่าย TCP (Transmission Control Protocol) ใช้ Internet Protocol (IP) เพื่อส่งข้อมูลในรูปแบบของข่าวสาร จึงต้องมีการกำหนด Address ระหว่างเครื่องส่งกับเครื่องรับหรือระบุที่ตั้งให้กับเครื่องส่งและเครื่องรับเพื่อให้ข้อมูลสามารถติดต่อสื่อสารและส่งข้อมูลกันได้ โดยขั้นแรกค่า MAC (Media Address Control) เป็นการกำหนดหมายเลขประจำตัวของอุปกรณ์ที่ต่ออยู่ในเครือข่าย ซึ่งกำหนดหมายเลขแมคแอดเดรสจะต้องเป็นตัวเลขฐาน 16 จำนวน 12 ตัว 6 คู่ (รูปแบบแมคแอดเดรสเลขฐานสิบหก 0x54, 0x34, 0x41, 0x30, 0x30, 0x31) ตัวเลขเหล่านี้จะมีประโยชน์ไว้ใช้สำหรับการส่งผ่านข้อมูลไปยังต้นทางและปลายทางได้อย่างถูกต้อง ซึ่งจะไม่ซ้ำกัน ต่อมาคือในส่วนของ IP Address โดยการส่งข้อมูลในงานวิจัยนี้เป็นช่องทางการส่งขอมูลแบบ HTTP เป็นการติดต่อสื่อสารแบบเดียวกันกับเข้าเว็บไซต์ เพื่อให้แอพพลิเคชั่นถึงข้อมูลนำในรูปแบบ HTML มาใช้ในการแสดงผล และเชื่อมต่อผ่านพอร์ท SPI และสุดท้ายคือการกำหนดขาของบอร์ดอาดูโน ที่จะใช้เป็นขา Digital Input จำนวน 8 อินพุต ได้แก่ พอร์ท I/O (Port I/O) 32,34,36,38,40,42,44,46 เพื่อใช้รับข้อมูลและนำค่าที่ได้ไปแสดงผล โดยข้อมูลที่รับเข้ามาจะอยู่ในรูปแบบข้อมูลดิจิตอลโดยจะมีการคัดแยกข้อมูลของเซนเซอร์แต่ละตัวเพื่อนำมากำหนดเงื่อนที่จะนำมาใช้แสดงโดยจะสนใจข้อมูลดิจิตอลที่เป็น “1” เท่านั้นเพื่อใช้ในการแสดงผลดังนั้นเมื่อข้อมูลเป็น “1” บนหน้าจอแอพพลิเคชั่นจะทำการแสดงในช่องจอดเป็นสีแดงหมายความว่าช่องจอดนั้นไม่ว่าง และถ้าไม่ใช่ “1” จะให้ทำการแสดงเป็นสีเขียวหมายถึงช่องจอดรถนั้นว่างพร้อมจอด ดังรูปที่ 5




**รูปที่ 5** ข้อมูลดิจิตอลจากบอร์ดอาดูโน

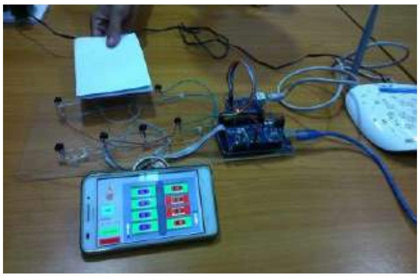
## 3. ผลการทดสอบ

### 3.1 การทดสอบเซนเซอร์อินฟราเรด

ในหัวข้อนี้จะเป็นการทดสอบระยะตรวจจับวัตถุของตัวเซนเซอร์อินฟราเรด ในระดับชั้นกายภาพ (Physical-layer) อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบประกอบด้วย

1) เซนเซอร์อินฟราเรด

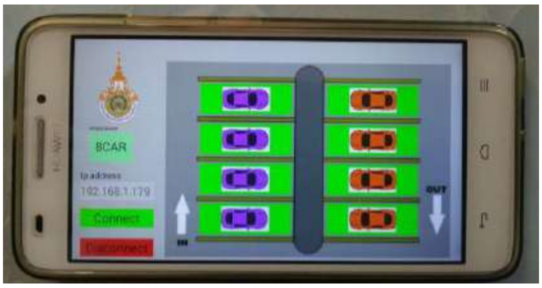
ทำการต่อเซนเซอร์เข้ากับแหล่งจ่ายไฟ DC = 5 v หรือปริมาณแรงดันไฟจริงจากบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อวัดหาระยะของการตรวจจับของอินฟราเรดเซนเซอร์ ซึ่งวัดได้ระยะสูงสุดไม่เกิน 1 เมตร ดังรูปที่ 6



**รูปที่ 6** การทดสอบเซ็นเซอร์อินฟราเรด

### 3.2 การทดสอบแอพพลิเคชั่นเชื่อมต่อกับสมาร์ทโฟน

รูปที่ 7 แสดงผลการทดสอบระบบมอนิเตอร์สถานะที่จอดรถยนต์ ซึ่งทำการเชื่อมกับโปรโตคอล TCP/IP ที่ตั้งค่าไว้ที่ 192.168.1.179




**รูปที่ 7** การเชื่อมต่อระบบกับอินเตอร์เน็ตโปรโตคอล

**รูปที่ 8** โมเดลระบบมอนิเตอร์สถานะที่จอดรถยนต์

รูปที่ 8 แสดงโมเดลระบบมอนิเตอร์สถานะที่จอดรถยนต์ ซึ่งระบบตรวจจับวัตถุจากความเข้มแสงของอินฟราเรดที่สะท้อนกลับมายังโฟโต้ทรานซิสเตอร์ เมื่อมีความเข้มแสงที่เหมาะสมทำให้มีแรงดันไหลผ่านไปยังบอร์ดอาดูโน ซึ่งจะได้สัญญาณที่เข้ามาเป็น LOW หรือว่า HIGH เพื่อที่จะนำข้อมูลมาแสดงบนแอพพลิเคชั่แอนดรอยด์แสดงผลผ่านสมาร์ทโฟนที่เชื่อมต่อกับโปรโตคอล TCP/IP และแสดงสถานะที่จอดรถจำนวน 8 ช่อง ในส่วนของแอพพลิเคชั่น จะมีช่องใส่ IP เพื่อรองรับการใช้งานในเทคโนโลยีอินเตอร์เน็ตทุกสรรพสิ่ง (IOT) จากการทดสอบระบบมีความเสถียรของการใช้งานสูง

## 4. สรุป

บทความนี้ได้ทำการออกแบบและพัฒนาระบบมอนิเตอร์สถานะที่จอดรถยนต์โดยใช้บอร์ดไมโครคอนโทรเลอร์อาดูโน่และระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ ผ่านโปรโตคอลแบบ TCP/IP ในระดับชั้นแม็ค (MAC layer) โดยทำการส่งข้อมูลแบบ HTTP มาใช้ในการแสดงผลและแสดงสถานะที่จอดรถลักษณะการออกแบบจะประกอบไปด้วยการป้อน IP Address เพื่อกำหนดปลายทางในการเชื่อมต่อเข้ากับบอร์ดอาดูโน่ รุ่น Mega 2560 ซึ่งระบบสามารถบอกสถานะช่องจอดรถได้สูงสุด 8 คัน รวมทั้งบทความนี้ได้ทำการการทดสอบระยะตรวจจับวัตถุของตัวเซนเซอร์อินฟราเรดในระดับชั้นกายภาพ ซึ่งมีค่าการตรวจจับได้ในระยะสูงสุดไม่เกิน 1 เมตร

## เอกสารอ้างอิง

[1] K. P. Yang, G. Alkadi, B. Gautam, and M. Jones, “Park-A-Lot: An Automated Parking Management System,” International Journal Computer Science and Information Technology, Vol.1, Iss. 4, pp.276-279, 2013

[2] Y. Geng, “New Smart Parking System Based on Resource Allocation and Reservations”, IEEE Transaction on intelligent transportation systems, Vol.14, Iss. No.3,pp.1129-1138, Sept 2013

[3] S. Banerjee, P. Choudekar, and M. Muju, “Real Time Car Parking System Using Image Processing”, IEEE ICECT 2011, India, pp.99-103, April 2011

[4] L. O. Urdiain, C. P. Romero, and P. V. Houtven, “Wireless Sensor Network Protocol for Smart Parking Application Experimental Study on the Arduino Platform”, AMBIENT 2012, Spain, pp.45-48, 23-28 Sep 2012

[5] G. Kate, K. Dave, and R. Dhumale, “Android Application for S-Park System.” IJRET. Vol.10, Iss. 10, pp.107-110, 2015

**ผศ.ธนะพงศ์ นพวงศ์ ณ อยุธยา** สำเร็จการศึกษา คอ.ม.(บริหารอาชีวะและเทคนิคศึกษา) จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ปัจจุบันดำรงตำแหน่งรองหัวหน้าภาควิชาฝ่ายบริหาร ภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

**ผศ.ดร. ไพฑูรย์ รักเหลือ** จบการศึกษา วศ.ด. วิศวกรรมไฟฟ้า จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปัจจุบันดำรงตำแหน่ง รองหัวหน้าภาควิชาฝ่ายวิชาการและวิจัย ภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

**บทความวิจัย**

การประชุมวิชาการ งานวิจัยและพัฒนาเชิงประยุกต์ ครั้งที่ 8

*8th ECTI-CARD 2016, Hua Hin, Thailand*

# การตรวจสอบรถยนต์อัตโนมัติสำหรับที่จอดรถโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม

# Automatic car detection of car parking using Artificial Neural Network

**วุฒิชัย ปวงมณี**

สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนอร์ท-ใหม่

169 หมู่ 3 ตำบลหนองแก๋ว อำเภอหางดง จังหวัดเชียงใหม่ 50230 E-mail: wutichai@northcm.ac.th

## บทคัดย่อ

ปัจจุบันสำหรับสถานที่ ที่ต้องรองรับปริมาณรถยนต์ที่เข้ามาใช้บริการจำนวนมาก ที่จอดรถหรืออาคารจอดรถ เริ่มมีการนำเอาเทคโนโลยีมาช่วยในการใช้แสดงข้อมูลช่องหรือชั้นจอดรถที่ว่าง พร้อมแสดงจำนวนที่สามารถจอดได้ ซึ่งก็ยังมีการแสดงข้อมูลที่ผิดพลาดและไม่สามารถแสดงตำแหน่งที่ว่างให้กับผู้ขับรถได้ ในบทความนี้จึงนำเสนอวิธีการใช้อุปกรณ์ตรวจวัดระยะมาสร้างรูปแบบลักษณะของรถยนต์ โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมในการจดจำรูปแบบ สำหรับที่จอดรถหรืออาคารจอดรถ เพื่อเพิ่มความแม่นยำในการให้ข้อมูลช่องจอดรถที่ว่าง จากผลการทดลองพบว่าสามารถระบุช่องจอดรถที่ว่างได้อย่างถูกต้อง และในขั้นตอนต่อไปจะปรับปรุงและพัฒนา สำหรับความแม่นยำในการระบุประเภทของรถยนต์และระบบที่เหมาะสมสำหรับให้ข้อมูลกับผู้ขับรถได้

คำสำคัญ: ที่จอดรถ, อาคารจอดรถ, รูปแบบรถยนต์, ตรวจสอบที่จอดรถ, โครงข่ายประสาทเทียม

## Abstract

Nowadays, car parks of many places start to use technology to show the empty parking slot or floor and the amount of spaces that car can be parked. However, there are some error of displaying information and cannot display an empty slot for driver. This paper presents the method that can increase the accuracy of information that display in parking area by using distance sensor to create car pattern and also using Artificial Neural Network (ANN) for pattern recognition. The experiments show that this method can identify a parking slot correctly. For the future study is to improve and develop the accuracy of identifying car type and the appropriate system to provide any information to driver.

Keywords: Car parking, Parking garage, Car pattern, Car parking detection, Neural network

## 1. บทนำ

ในปัจจุบันอาคารจอดรถสำหรับสถานที่ ที่มีผู้มาใช้บริการจำนวนมาก เช่น ห้างสรรพสินค้า ต้องรองรับปริมาณรถยนต์ที่เข้ามาใช้บริการจำนวนมาก และเป็นสถานที่ ที่มุมทัศนะวิสัยยากต่อการสังเกตสำหรับผู้ขับขี่ ที่กำลังมองหาช่องจอดที่ยังว่างอยู่ ซึ่งในปัจจุบัน [2] ได้มีการออกแบบระบบการจอดรถริมถนนในรูปแบบการส่งข้อมูล Wireless Sensor network แต่คงไม่เพียงพอสำหรับห้างสรรพสินค้าหรืออาคารที่ให้บริการรับฝากรถ จึงได้เริ่มนำเอาระบบการให้ข้อมูลที่ว่างและจำนวนช่องจอดรถ โดยการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับไว้บริเวณทางเข้าอาคารจอดในแต่ละชั้น [6] แต่ไม่สามารถแสดงข้อมูลตำแหน่งของช่องจอดรถที่ว่างในแต่ละชั้น และมีการนำอุปกรณ์วัดระยะอัลตร้าโซนิก (Ultrasonic Sensor) [5] มาใช้ตรวจจับรถที่มาจอดในช่องนั้นโดยมีทั้งแสดงสัญญาณสีของไฟ พร้อมกับแสดงจำนวนที่ว่าง และก็ยังมีการนำวิธีการประมวลผลภาพดิจิตอล [3-4][7] มาใช้ในการหาตำแหน่งช่องที่ว่าง ซึ่งยังไม่มีผู้ที่นำเสนอวิธีการที่สามารถระบุตำแหน่งช่องจอดรถที่ว่าง ด้วยการจดจำรูปแบบของรถประกอบกับการยืนยันตำแหน่ง

งานวิจัยนี้จึงเป็นการนำเสนอการใช้อุปกรณ์ตรวจวัดระยะด้วยคลื่นอัลตร้าโซนิก (Ultrasonic Sensor) โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมในการจดจำรูปแบบของรถยนต์ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อหาวิธีที่เหมาะสมในการยืนยันและระบุประเภทรถ สำหรับที่จอดรถหรืออาคารจอด โดยที่อุปกรณ์ตรวจวัดระยะ ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ส่วนมากแล้วจะมีการนำมาใช้เป็นอุปกรณ์ตรวจจับวัตถุที่มากีดขวางในช่องจอด เพื่อบอกสถานะของช่องจอดในขณะนั้นว่างอยู่หรือไม่

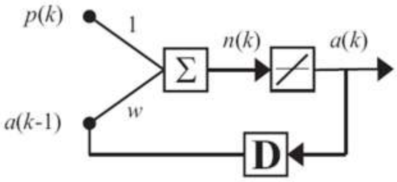
## 2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 โครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network: ANNs)

โครงข่ายประสาทเทียม คือ วิธีการคำนวณทางคณิตศาสตร์ที่เลียนแบบการทำงานของระบบสมองมนุษย์เพื่อใช้ ในการเรียนรู้และจดจำด้วยการทำงานแบบเชื่อมต่อ (Connectionist) โดยการนำข้อมูลต่างๆ มาประมวลผล วิเคราะห์ ตีความ ประโยชน์ในการคาดคะเนเหตุการณ์จากข้อมูลที่มีอยู่ โดยแนวคิดนี้ถูกเสนอโดย W. McCulloch และ W. Pitts ใน

ปี ค.ศ. 1943 และภายหลัง ในปี ค.ศ. 1958 F. Rosenblatt ได้สร้าง ANN ที่ใช้งานได้เป็นคนแรก

ในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้เลือกใช้โครงสร้างของ Neural Network แบบ Back-propagation ดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ 1




**รูปที่ 1** โครงข่ายประสาทเทียมแบบ Recurrent Network

จากรูปที่ 1 เขียนเป็นสมการของผลลัพธ์ ดังสมการที่ 1

$$a(k) = p(k) + w.a(k-1) \quad (1)$$

โดยให้มีการเรียนรู้แบบมีการสอนด้วยวิธี Levenberg-Marquardt Algorithm [1] เป็นกระบวนการที่ใช้ในการการหาจุดต่ำที่สุดสำหรับปัญหา nonlinear ซึ่งจัดว่าเป็นวิธีที่ใช้ในการสอนโครงข่ายประสาทเทียมที่รวดเร็วที่สุด โดยขั้นตอนการทำงานของสามารถอธิบายได้ดังนี้

1 . วิธีสำหรับการเพิ่มประสิทธิภาพ คำนวณหาค่า $F$(x) จากสมการที่ 2

$$F(x) = \sum_{i=1}^{N} V_i^2(x) \quad (2)$$

2. การคำนวณหาค่า Jacobian Matrix จากสมการที่ 3

$$J(x) = \begin{bmatrix} \frac{\partial v_1(x)}{\partial x_1} & \frac{\partial v_1(x)}{\partial x_2} & \cdots & \frac{\partial v_1(x)}{\partial x_n} \\ \frac{\partial v_2(x)}{\partial x_1} & \frac{\partial v_2(x)}{\partial x_2} & \cdots & \frac{\partial v_2(x)}{\partial x_n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ \frac{\partial v_N(x)}{\partial x_1} & \frac{\partial v_N(x)}{\partial x_2} & \cdots & \frac{\partial v_N(x)}{\partial x_n} \end{bmatrix} \quad (3)$$

3.การคำนวณหาค่าถ่วงน้ำหนัก ($W_{t+1}$)โดยการแกสมการ จากสมการที่ 4

$$W_{t+1} = W_t - (J_t^T J_t + \lambda I)^{-1} J_t^T E_t \quad (4)$$

วิธี Levenberg-Marquardt จะถูกนำไปใช้ในการแก้ไขปัญหา least squares เมื่อคำนวณหา $F(w)_{new}$ ที่เกิดขึ้นมาใหม่ เปรียบเทียบกับค่าเดิม ถ้า $F(w)_{old}$ ที่คำนวณใหม่นั้น มีค่าน้อยกว่าค่าเดิม ให้ทำการหารด้วยค่า v แล้ว กลับไปทำงานทำข้อ 1 ถ้า $F(w)_{new}$ มีค่าไม่ลดลงจากค่าเดิม

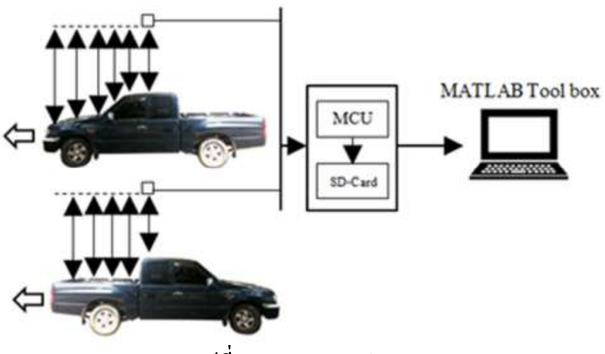
งานวิจัยนี้ได้ใช้ Neural Network Toolbox ภายในโปรแกรม MATLAB มาเป็นเครื่องมือที่ใช้ในการออกแบบและทดลอง ในการจดจำลักษณะของรถและระบุข้อมูลประเภทรถ

## 3. รายละเอียดการพัฒนา

การพัฒนาจะแบ่งออกเป็น ภาพรวมของระบบ การออกแบบ และข้อจำกัด

### 3.1 ภาพรวมของระบบ

ในการออกแบบการทำงานแสดงดังรูปที่ 2 โดยเริ่มต้นการทำงานตั้งแต่เมื่อมีรถเข้ามาจอดในช่องจอด ไม่ว่าจะเป็นในลักษณะการเดินหน้าหรือถอยหลังเข้าจอด โดยจะเคลื่อนที่ผ่านอุปกรณ์ตรวจวัดระยะที่ทำการติดตั้งไว้ด้านบนของช่องจอดซึ่งอยู่ในตำแหน่งตรงกลางของช่อง




**รูปที่ 2** ภาพรวมการทำงาน

จากนั้นจะทำการรับค่าที่ได้จากการสะท้อนของสัญญาณเมื่อกระทบกับวัตถุ ของรถที่เคลื่อนที่ผ่านและบันทึกข้อมูลที่ได้ลงใน โมดูล SD-Card โดยออกแบบชุดควบคุมการทำงานด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AVR ที่ออกแบบไว้สำหรับการบันทึกข้อมูลไว้ ในการสร้างชุดข้อมูลในการฝึกสอน (Train) และในการทดสอบ (Test) ด้วยเหตุผลที่ว่าไม่สามารถจัดเก็บข้อมูลของรถแต่ละประเภท ได้พร้อม ๆ กัน จึงต้องมีการบันทึกข้อมูลไว้ใน โมดูล SD-Card ซึ่งสามารถที่จะนำข้อมูลมาประมวลผล และยังสามารถที่จะนำเครื่องคอมพิวเตอร์ไปทดลองในเวลานั้นได้ทันที

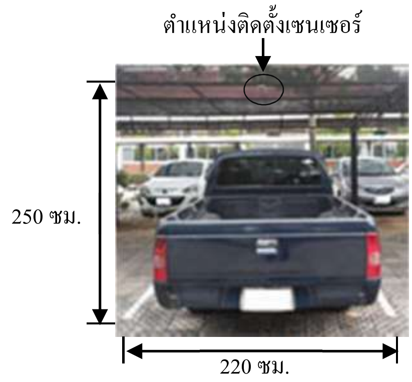
### 3.2 การออกแบบ

งานวิจัยในครั้งนี้ได้เลือกอุปกรณ์วัดระยะในรูปแบบของการวัดระยะด้วยคลื่นอัลตร้าโซนิก โดยอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองแสดงดังรูปที่ 3 ซึ่งมีราคาไม่แพงมาก หาซื้อได้ทั่วไปจากร้านขายอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ และมีระยะที่สามารถวัดได้อยู่ในช่วง 2 ซม. ถึง 5 เมตร

**รูปที่ 3** อุปกรณ์วัดระยะคลื่นอัลตร้าโซนิก

เมื่อทำการเขียนโปรแกรมกับไมโครคอนโทรลเลอร์ และสามารถบันทึกข้อมูลลงในโมดูล SD-Card แล้ว ก็ทำการติดตั้งกับสถานที่จริง โดยที่จอดรถจะเป็นแบบมีหลังคาปิด ในการติดตั้งได้กำหนดระยะติดตั้งจากจุดด้านใน มายังเซนเซอร์ ที่ระยะ 320 ซม. และความสูงของพื้นจนถึงเซนเซอร์อยู่ที่ 250 ซม. แสดงดังรูปที่ 4 (ก) แสดงการติดตั้งด้านข้าง และ (ข) แสดงตำแหน่งการติดตั้งจากด้านหลัง

(ก) ตำแหน่งการติดตั้งด้านข้าง




(ข) ตำแหน่งการติดตั้งด้านหลัง

**รูปที่ 4** การติดตั้งอุปกรณ์วัดระยะทางคลื่นอัลตร้าโซนิก

จากรูปที่ 4 (ก) ระยะที่ติดตั้งเซนเซอร์ 320 ซม. ด้วยเหตุผลที่ว่า จากระยะขอบของหลังคาที่จะมีความยาวที่ 370 ซม. เมื่อทำการทดสอบแล้วไม่มีผลต่อความถูกต้องในการระบุประเภทของรถ

### 3.3 ข้อจำกัด

ในการจอดรถยังมีข้อมูลที่ผิดพลาด สำหรับในกรณีที่ผู้จอดรถในช่อง มีการถอยเข้า-ออก เช่น มีการถอยหลังและเดินหน้าเพื่อจอดรถให้พอดีกับช่องจอดที่กำหนด อยู่หลาย ๆ หลัง ซึ่งทำให้ข้อมูลที่ได้จากการวัดจะไม่สามารถวิเคราะห์ได้ว่า เป็นรถยนต์ประเภทไหน ทั้งการจอดแบบเอาหน้ารถเข้าและการจอดแบบถอยหลังเข้า

## 4. การทดสอบและประเมินผลการใช้งาน

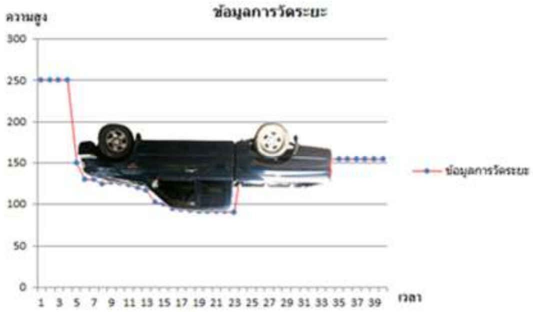
ในการกำหนดข้อมูลรถยนต์ที่ใช้ในการทดลองนั้น ได้ทำการกำหนดรูปแบบของรถยนต์ที่มีลักษณะใกล้เคียงกัน ประกอบไปด้วยรถกระบะ 2 ประตู จำนวน 4 ยี่ห้อ รถกระบะ 4 ประตู จำนวน 4 ยี่ห้อ และรถเก๋ง จำนวน 2 ยี่ห้อ ดังแสดงข้อมูลในตารางที่ 1 จากผลการทดลองประกอบด้วยค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสอง (Mean Square Error: MSE) และกำหนดให้ นิวพุตนิวรอน เท่ากับ 20 ชั้นซ่อน (Hidden layer) เท่ากับ 10 และ เอาต์พุตเท่ากับ 1 โดยค่า weight ของ LM algorithm นี้จะมีการปรับโดยอัตโนมัติ เพื่อให้สามารถลู่เข้าสู่เป้าหมาย (Goal)

**ตารางที่ 1** ข้อมูลการฝึกสอน (Train) รถที่ใช้ในการทดลองและทดสอบ

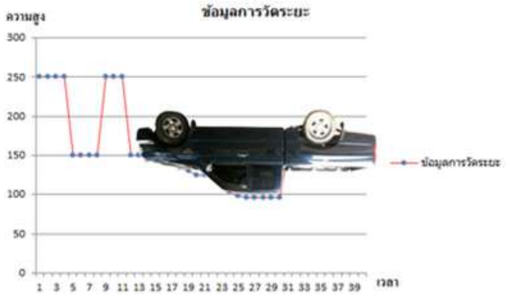
| **ประเภทรถ** | **รูปแบบการฝึกสอน** | MSE (Training) | MSE (Testing) |
|---|---|---|---|
| รถกระบะ 2 ประตู | เดินหน้า | 0.0218 | 0.0455 |
| (FORD) | ถอยหลัง | 0.0221 | 0.0451 |
| รถกระบะ 4 ประตู | เดินหน้า | 0.0195 | 0.0478 |
| (FORD) | ถอยหลัง | 0.0209 | 0.0477 |
| รถกระบะ 2 ประตู | เดินหน้า | 0.0190 | 0.0444 |
| (MAZDA) | ถอยหลัง | 0.0191 | 0.0448 |
| รถกระบะ 4 ประตู | เดินหน้า | 0.0198 | 0.0421 |
| (MAZDA) | ถอยหลัง | 0.0196 | 0.0431 |
| รถกระบะ 2 ประตู | เดินหน้า | 0.0199 | 0.0430 |
| (VIGO) | ถอยหลัง | 0.0187 | 0.0437 |
| รถกระบะ 4 ประตู | เดินหน้า | 0.0174 | 0.0411 |
| (VIGO) | ถอยหลัง | 0.0178 | 0.0409 |
| รถกระบะ 2 ประตู | เดินหน้า | 0.0185 | 0.0399 |
| (ISUZU) | ถอยหลัง | 0.0184 | 0.0411 |
| รถกระบะ 4 ประตู | เดินหน้า | 0.0186 | 0.0418 |
| (ISUZU) | ถอยหลัง | 0.0181 | 0.0421 |
| รถเก๋ง VIOS | เดินหน้า | 0.0189 | 0.0420 |
| | ถอยหลัง | 0.0185 | 0.0428 |
| รถเก๋ง HONDA | เดินหน้า | 0.0186 | 0.0437 |
| | ถอยหลัง | 0.0188 | 0.0435 |

จากข้อมูลตารางที่ 1 กำหนดให้ จำนวนรอบในการฝึกสอนไม่เกิน 1,000 รอบ และค่าเป้าหมาย (Goal) เท่ากับ 0.0001 เมื่อนำข้อมูลที่ใช้ในการทดสอบมาแสดงในรูปแบบกราฟหรือ อนุกรมเวลา (Time series)

ดังรูปที่ 5 ความแตกต่างในระยะเวลาและข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้นในการทดสอบ




(ก) ข้อมูลการจอดในครั้งเดียว




(ข) ข้อมูลการจอดโดยมีการถอย 1 ครั้ง

**รูปที่ 5** เปรียบเทียบระหว่างข้อมูลที่ใช้ในการฝึกสอน กับข้อมูลที่ทดสอบ

## 5. สรุป

จากผลการทดลอง สามารถที่จะแสดงข้อมูลตำแหน่งช่องจอดรถที่ว่างและที่มีรถจอดอยู่ได้โดยคิดเป็นความถูกต้องร้อยละ 100 โดยที่ค่าความผิดพลาดเกิดขึ้นจากรถกระบะ 2 ประตู และ 4 ประตู ที่มีรูปทรงความเหมือน เกินร้อยละ 50 ของส่วนที่ใช้เป็นข้อมูลในการฝึกสอน และระยะเวลาในการเข้าจอดรถของแต่ละคันใช้เวลาไม่เท่ากัน

## 6.1 แนวทางในการแก้ปัญหาและพัฒนา

ผู้วิจัยมีแนวทางในการแก้ปัญหาและพัฒนา อยู่ 2 ประเด็น ประกอบด้วย

6.1.1 นำเอาวิธีของ อนุกรมเวลา (Time series) โดยเลือกอัลกอริธึมที่เหมาะสมช่วยแก้ปัญหาค่าที่วัดได้ ที่ไม่มีความต่อเนื่องและมีผลต่อการระบุประเภทของรถยนต์

6.1.2 แนวทางในการพัฒนา จะพัฒนาโปรแกรมประยุกต์ที่สามารถแสดงข้อมูลภาพกราฟิกและจัดเก็บข้อมูลลงในฐานข้อมูลสำหรับการบริหารและจัดการของฝ่ายอาคารสถานที่ ตลอดจนนำไปใช้ในการให้ข้อมูลสำหรับคณาจารย์ บุคลากร หรือผู้ที่มาติดต่อสามารถที่จะแสดงตำแหน่งช่องจอดรถที่ว่างอยู่ในขณะนั้นได้

## 7. กิตติกรรมประกาศ

ขอบขอบคุณคณาจารย์ เจ้าหน้าที่ ที่ให้ความอนุเคราะห์สำหรับการทดลองในงานวิจัยครั้งนี้ และฝ่ายอาคารสถานที่ ที่ได้ให้ความช่วยเหลือในการติดตั้งอุปกรณ์ สำหรับการทดลองและทดสอบการทำงานจนเสร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

## เอกสารอ้างอิง

[1] Hagan, M. T., Demuth, H. B. and Beale, M., “Neural Network Design 2nd Edition”, PWS Publishing Company, Boston, 1996.

[2] J. Gu, Z. Zhang, F. Yu, and Q. Liu, "Design and implementation of a street parking system using wireless sensor networks," in Industrial Informatics (INDIN), 2012 10th IEEE International Conference on, 2012, pp. 1212-1217.

[3] J. Jermsurawong, M. U. Ahsan, A. Haidar, H. Dong, and N. Mavridis, "Car Parking Vacancy Detection and Its Application in 24-Hour Statistical Analysis," in Frontiers of Information Technology (FIT), 2012 10th International Conference on, 2012, pp. 84-90.

[4] K. Choeychuen, "Automatic parking lot mapping for available parking space detection," in Knowledge and Smart Technology (KST), 2013 5th International Conference on, 2013, pp. 117-121.

[5] Kianpisheh, A., Mustaffa, N., Limtrairut, P. & Keikhosrokiani, P. (2012) Smart Parking System (SPS) Architecture Using Ultrasonic Detector. International Journal of Software Engineering and Its Applications. Vol. 6, No. 3, p. 51-58.

[6] S. Lee, D. Yoon, and A. Ghosh, "Intelligent parking lot application using wireless sensor networks," in Collaborative Technologies and Systems, 2008. CTS 2008. International Symposium on, 2008, pp. 48-57.

[7] V. W. s. Tang, Y. Zheng, and J. Cao, "An Intelligent Car Park Management System based on Wireless Sensor Networks," in Pervasive Computing and Applications, 2006 1st International Symposium on, 2006, pp. 65-70.

**วุฒิชัย ปวงมณี**
**งานวิจัยที่สนใจ** : Embedded system, Image Processing, Neural network

# การพัฒนาระบบสมองกลฝังตัวสำหรับการตรวจวัดปริมาณแอลกอฮอล์และแจ้งเตือนสภาวะการหลับชั่วขณะของผู้ขับรถยนต์

# Embedded system development for Alcoholic Intoxication Detection and Driver Drowsiness Monitoring

**ลิขิต เพ็งจันทร์ดี และ รัฐศิลป์ รานอกภานุวัชร์**
ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์
110/1-4 ถ.ประชาชื่น หลักสี่ กรุงเทพมหานคร 10210 โทรศัพท์: 02-9547300 ต่อ 591 E-mail: udom.ran@dpu.ac.th

## บทคัดย่อ

ระบบสมองกลฝังตัวสำหรับตรวจวัดปริมาณแอลกอฮอล์ของผู้ขับขี่รถยนต์และสภาวะการหลับชั่วขณะขณะขับรถยนต์ จะมีการควบคุมการสตาร์ทรถยนต์ด้วยการวัดปริมาณแอลกอฮอล์ นั่นคือเมื่อปริมาณแอลกอฮอล์เกินกว่าที่กำหนด ระบบจะไม่อนุญาตให้สตาร์ทรถยนต์ นอกจากนี้เจ้าของรถยนต์สามารถดูข้อมูลผ่านอินเตอร์เน็ตย้อนหลังได้ ระบบที่นำเสนอประกอบด้วย 2 ส่วนหลัก ได้แก่ 1) ส่วนของอุปกรณ์ภายในรถยนต์ ทำหน้าที่ในการเก็บข้อมูลเซนเซอร์แอลกอฮอล์ ทำการประมวลผล สั่งการทำงานระบบ Ignition การแจ้งเตือนด้วยเสียง และส่งข้อมูลไปเก็บยังเซิร์ฟเวอร์ รวมถึงส่งข้อความ SMS และพิกัดตำแหน่งรถยนต์ไปหาญาติ นอกจากนี้ระบบจะทำงานในส่วนของกล้องเพื่อตรวจหาภาวะอาการง่วงนอน เมื่อระบบตรวจพบ จะทำการแจ้งเตือนด้วยเสียง และถ้าหากตรวจเจอเป็นจำนวนหลายครั้งระบบจะทำการส่งไปเก็บยังเซิร์ฟเวอร์และส่ง SMS และพิกัดตำแหน่งรถยนต์ไปหาญาติ 2) ส่วนของเซิร์ฟเวอร์ ทำหน้าที่เก็บข้อมูลลงฐานข้อมูลและแสดงผลข้อมูลย้อนหลัง และผลจากการทดสอบการทำงาน พบว่าระบบที่ออกแบบสร้างสามารถทำงานได้ถูกต้อง

**คำสำคัญ**: แอลกอฮอล์, เซนเซอร์, กล้อง, เซิร์ฟเวอร์, อาการง่วงนอน

## Abstract

This project is to develop an embedded system for alcoholic intoxication detection and driver drowsiness. Before staring car, a driver must test breath alcohol from the alcohol sensor. When the alcohol level is over the limit, the driver cannot start the car. Moreover, car owner can see the report via the internet. This system has two main parts: 1) an equipment inside a car for collecting alcohol sensor data, estimating breath alcohol and also controlling relay for ignition system. It also make voice alert and send the collected data to the server and send text message (SMS+Google map) to the driver's family. From this point, if the sensor value isn't over the limit then the system will continue its process on the camera. The system uses the camera for estimate driver drowsiness. If the system found that the driver is sleep, it will make a voice alarm (likes an alarm clock). Moreover, if sleepy is detected multiple times, the system will send the driver data to server and send text message to the driver's family. 2) Application server for storing the data of driver and reporting. From the experiment results, our system can work properly and correctly.

**Keywords:** Alcohol, Sensor, Camera, Server, Drowsiness

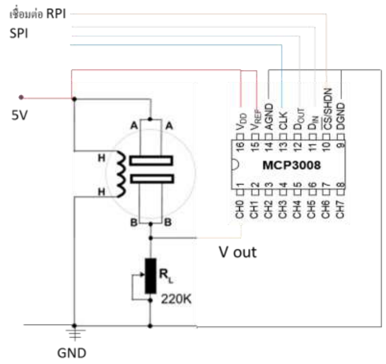
## 1. บทนำ

ผู้คนส่วนใหญ่เวลาเดินทางมักจะใช้การขับขี่รถยนต์เป็นพาหนะหรือไม่ก็นั่งรถประจำทาง โดยในแต่ละวันนั้นเกิดอุบัติเหตุขึ้นมากมายทุกช่วงเวลา โดยสาเหตุหลักจากคนขับรถซึ่งไม่สามารถควบคุมรถได้ เช่น อาการเมาแล้วขับ, อาการหลับใน, อาการเหนื่อยล้าจากการทำงาน เหล่านี้ทำให้เกิดอุบัติเหตุบนท้องถนนอย่างไม่คาดคิด โดยการดื่มเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ก่อนการขับขี่รถยนต์ เป็นสาเหตุหลัก

ดังนั้น ผู้พัฒนาจึงมีแนวคิดในการนำระบบสมองกลฝังตัวเข้ามาช่วยในการตรวจวัดอัตโนมัติ ทั้งก่อนและระหว่างขับขี่รถยนต์ เพื่อช่วยลดการเกิดอุบัติเหตุได้ โดยระบบที่พัฒนาได้แนวคิดมาจาก [1][4] ระบบที่นำเสนอ ประกอบด้วย อุปกรณ์ที่สามารถวัดค่าแอลกอฮอล์และกล้องที่ใช้ในการตรวจสอบภาวะหลับในขณะขับรถ ซึ่งติดตั้งอยู่ภายในตัวรถยนต์ รวมถึงการแจ้งเตือนเสียงผ่านลำโพง และส่งข้อความผ่าน SMS และพิกัดตำแหน่งรถยนต์ไปยังเจ้าของรถหรือญาติที่เกี่ยวข้อง นอกจากนี้เจ้าของรถยนต์สามารถดูข้อมูลผ่านอินเตอร์เน็ตย้อนหลังได้

## 2. หลักการทำงานของ Alcohol Gas Sensor (MQ-3)

ในงานวิจัยนี้ ผู้พัฒนาได้ใช้เซนเซอร์แอลกอฮอล์ MQ3 [6] ในการวัดปริมาณแอลกอฮอล์ในลมหายใจ โดยใช้วิธีการเป่า วงจรเซนเซอร์แสดงดังรูปที่ 1.



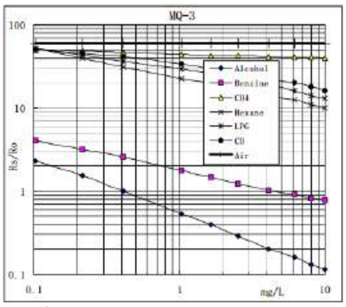

รูปที่ 1 วงจร MQ3 Sensor alcohol

ในส่วนของการคำนวณหาค่าปริมาณแอลกอฮอล์ที่วัดได้ แสดงดังสมการที่ 1

$$Vout=((Vin\times Ro)/(Rs+Ro)) \qquad (1)$$

มีขั้นตอนการคำนวณ ดังนี้

1) หาค่า RS/RO จากสมการแบ่งแรงดัน จะได้ RS/RO = (Vin-Vout)/Vout เมื่อรู้ค่า Vout (ที่วัดได้) นำมาแทนค่าในสมการที่ 1 จะได้ RS/RO ออกมา




รูปที่ 2 กราฟคุณสมบัติ Sensor alcohol

2) หาค่า m (ความชัน) จากสมการ Y = mX + c ของเส้นกราฟแอลกอฮอล์ในรูปที่ 2 จะได้

$$m = ((Y2-Y1)/(X2-X1))$$

$$m = ((0.1-4)/(10-0.1))$$

3) แทนค่า m = -0.39, c = 4 และ Y = (RS/RO) ในสมการ Y = mX + c จะได้ค่า X (mg/L) ออกมา

$$X\ (mg/L) = (y-c)/m$$

$$X\ (mg/L) = ((Rs/Ro) - 4\ )/ -0.39$$

## 3. การออกแบบระบบ

### 3.1 ภาพรวมการทำงานของระบบ

รูปที่ 3 ภาพรวมการทำงาน

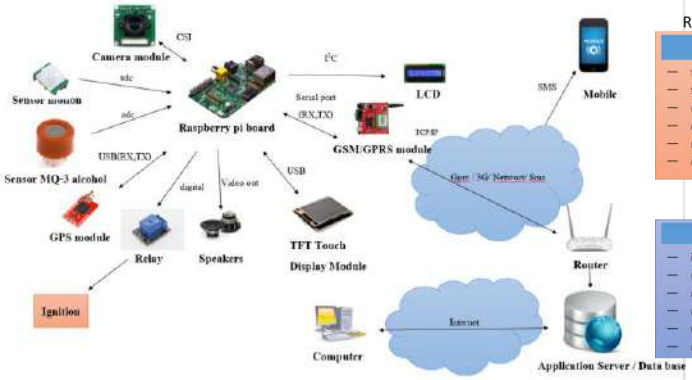
การทำงานของระบบ แสดงดังรูปที่ 3 เริ่มจากผู้ใช้งานอุปกรณ์ เป่าเซ็นเซอร์แอลกอฮอล์เพื่อวัดปริมาณแอลกอฮอล์ในลมหายใจ จากนั้นแปลงเป็นปริมาณแอลกอฮอล์ในกระแสเลือด เพราะว่าคนที่มีปริมาณแอลกอฮอล์ในเลือดเกิน 0.5 %BAC จะมีอาการมึนงง ความสามารถในการควบคุมกล้ามเนื้อไม่สามารถควบคุมร่างกาย และมีผลต่อการมองเห็นของดวงตาทำให้มองเห็นช้าและการตัดสินใจช้าลง ทำให้เกิดอุบัติเหตุบนท้องถนน ถ้าหากระบบทำการตรวจเจอปริมาณแอลกอฮอล์ในเลือดของผู้ขับขี่เกินกว่า 0.5 %BAC ผู้ขับขี่จะไม่สามารถสตาร์ทรถยนต์ได้ นอกจากนี้ระบบจะแจ้งเตือนด้วยเสียงให้ผู้ขับขี่รู้ และส่งข้อความและตำแหน่งพิกัดแผนที่ไปให้ญาติตามเบอร์ที่ผู้ใช้งานกำหนดไว้ในฐานข้อมูล และระบบจะทำการส่งข้อมูลของรถ เช่น สถานะ ตำแหน่งและวันเวลา ไปเก็บที่เซิร์ฟเวอร์ เพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถดูย้อนหลังได้ ถ้าหากปริมาณแอลกอฮอล์ในเลือดไม่เกินกว่าที่กำหนด ผู้ขับขี่สามารถสตาร์ทรถยนต์ได้ และระบบจะทำงานในส่วนการตรวจสอบภาวะง่วงนอนของผู้ขับขี่รถยนต์โดยการประมวลผลกล้อง [3] ที่ติดตั้งในรถยนต์ ซึ่งจะตรวจทุกๆเฟรม โดย 1 เฟรมใช้ในการประมวลผล 1.6 วินาที

ถ้าหากกล้องตรวจสอบไม่เจอใบหน้าหรือดวงตา ระบบจะทำการแจ้งเตือนด้วยเสียงให้ผู้ขับขี่รู้สึกตัว และถ้าตรวจสอบไม่เจอจำนวน 3 ครั้งติดขึ้นไป ระบบจะส่งข้อความและตำแหน่งของผู้ขับขี่ไปให้ญาติตามเบอร์ที่ผู้ใช้งานกำหนดไว้ในฐานข้อมูล

### 3.2 สถาปัตยกรรมระบบ

สถาปัตยกรรมระบบแสดงดังรูปที่ 4 ประกอบด้วย 2 ส่วนดังนี้

1) ส่วนของกล่องอุปกรณ์ ใช้สำหรับเก็บข้อมูลของผู้ขับขี่ ส่วนของอุปกรณ์จะมีกล้องไว้สำหรับการตรวจจับในหน้าและดวงตาของผู้ขับขี่ ส่วนของ Motion sensor ทำหน้าที่ในการตรวจสอบก่อนที่จะวัดปริมาณแอลกอฮอล์ทำให้การเป่าเครื่องวัดแอลกอฮอล์เป็นอย่างถูกต้องและแม่นยำ



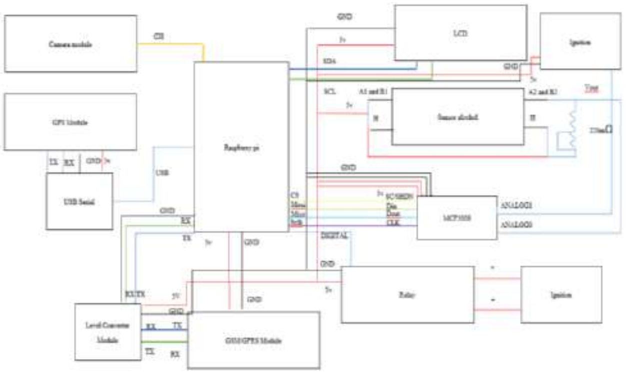

รูปที่ 4 สถาปัตยกรรมระบบ

ส่วนของของ MQ-3 Alcohol sensor ทำหน้าที่ในการเก็บข้อมูลปริมาณแอลกอฮอล์ในลมหายใจของผู้ขับขี่ ส่วนของ GPS ทำหน้าที่ในการเก็บตำแหน่งของรถยนต์ ส่วนของ Relay ทำหน้าที่ในการตัดวงจรการสตาร์ท (Ignition)ไม่ให้ผู้ขับขี่สามารถสตาร์ทรถยนต์ได้เมื่อมีปริมาณแอลกอฮอล์เกินกำหนด ในส่วนของ Speakers ทำหน้าที่แจ้งเตือนให้ผู้ขับขี่ได้รู้ จอ TFT Touch Display module เป็นจอแสดงผลรวมถึงเป็นปุ่มกดให้ผู้ใช้สั่งทำงาน ส่วนของ GSM/GPRS [2] ทำหน้าที่ในการส่งข้อความ SMS ให้กับญาติและเชื่อต่ออินเตอร์เน็ตให้กับอุปกรณ์ สำหรับส่งข้อมูลจัดเก็บลงฐานข้อมูลและดึงข้อมูลจากฐานข้อมูลที่เครื่องเซิร์ฟเวอร์ นอกจากนี้ยังมี Camera module สำหรับอ่านข้อมูลใบหน้าและดวงตา และส่วนประมวลผลกลางจะให้ Raspberry Pi [5]

2) <u>ส่วนเซิร์ฟเวอร์</u> ที่ใช้เก็บข้อมูลและการติดต่อกับผู้ใช้งานจะมีฐานข้อมูล และหน้าเว็บสำหรับให้ผู้ใช้งานไว้ดูข้อมูลย้อนหลัง

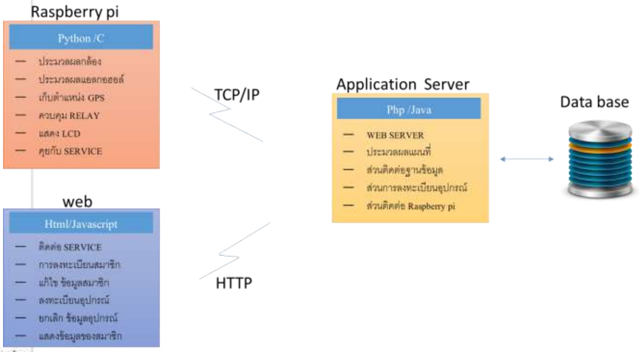
## 3.3 การออกแบบฮาร์ดแวร์

วงจรฮาร์ดแวร์ที่ได้ออกแบบ แสดงดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 ไดอะแกรมฮาร์ดแวร์ส่วนกล่องอุปกรณ์

## 3.4 สถาปัตยกรรมซอฟต์แวร์




รูปที่ 6 สถาปัตยกรรมซอฟต์แวร์

จากรูปที่ 6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระบบย่อยต่างๆ โดยส่วนกล่องอุปกรณ์ที่ประมวลผลด้วย Raspberry จะมีฟังก์ชั่นย่อยในการทำงานประกอบด้วย การอ่านเซ็นเซอร์แอลกอฮอล์ การประมวลผลกล้อง [3] การเก็บพิกัด การควบคุมการสตาร์ท การติดต่อกับเซิร์ฟเวอร์และการแสดงผล ส่วน Application Server จะมีฟังก์ชั่นในการเชื่อมต่อกับฐานข้อมูล เช่น ส่วนติดต่อฐานข้อมูล ส่วนการลงทะเบียนอุปกรณ์ และเป็นตัวกลางติดต่อกับผู้ใช้

## 4. ผลการทดลอง

ผลการทดลองประกอบด้วย ส่วนของเซนเซอร์แอลกอฮอล์ และส่วนประมวลผลกล้อง ดังนี้

1) ผลของเซนเซอร์แอลกอฮอล์ เปรียบเทียบระหว่างค่าที่วัดได้จากเครื่องมือวัดจริง แสดงดังตารางที่ 1 และค่าที่วัดได้จากเซนเซอร์ แสดงดังตารางที่ 2 วัดเฉลี่ยจำนวน 10 ครั้ง พบว่า ค่าเฉลี่ยของเครื่องวัดแอลกอฮอล์ เท่ากับ 0.079 %BAC และค่าเฉลี่ยของเซ็นเซอร์ เท่ากับ 0.086 %BAC ซึ่งจะเห็นว่าใกล้เคียงกันมาก

ตารางที่ 1 ตารางผลการทดลองจากการวัดจากเครื่องวัดแอลกอฮอล์

| ครั้งที่ | ปริมาณแอลกอฮอล์ในลมหายใจ (mg/l) | ปริมาณแอลกอฮอล์ในเลือด (%BAC) |
|---|---|---|
| 1 | 0.4 | 0.084 |
| 2 | 0.3 | 0.063 |
| 3 | 0.4 | 0.084 |
| 4 | 0.4 | 0.084 |
| 5 | 0.4 | 0.084 |
| 6 | 0.4 | 0.084 |
| 7 | 0.4 | 0.084 |
| 8 | 0.4 | 0.084 |
| 9 | 0.4 | 0.084 |
| 10 | 0.3 | 0.063 |

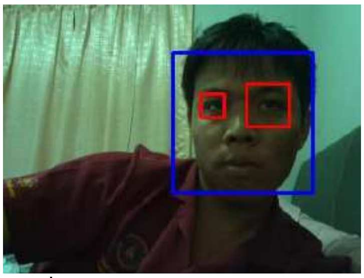
ค่าเฉลี่ยปริมาณแอลกอฮอล์ในลมหายใจ เท่ากับ 0.38 BrAC
ค่าเฉลี่ยของเครื่องวัดแอลกอฮอล์ เท่ากับ 0.079 %BAC

ตารางที่ 2 ผลการทดลองจากการวัดจาก Sensor

| ครั้งที่ | ปริมาณแอลกอฮอล์ในลมหายใจ (mg/l) | ปริมาณแอลกอฮอล์ในเลือด (%BAC) |
|---|---|---|
| 1 | 0.45 | 0.0945 |
| 2 | 0.45 | 0.0945 |
| 3 | 0.41 | 0.0861 |
| 4 | 0.43 | 0.0903 |
| 5 | 0.41 | 0.0861 |
| 6 | 0.45 | 0.0945 |
| 7 | 0.45 | 0.0945 |
| 8 | 0.45 | 0.0945 |
| 9 | 0.45 | 0.0945 |
| 10 | 0.45 | 0.0945 |

ค่าเฉลี่ยปริมาณแอลกอฮอล์ในลมหายใจ เท่ากับ 0.44 BrAC
ค่าเฉลี่ยของเซ็นเซอร์วัดแอลกอฮอล์ เท่ากับ 0.086 %BAC

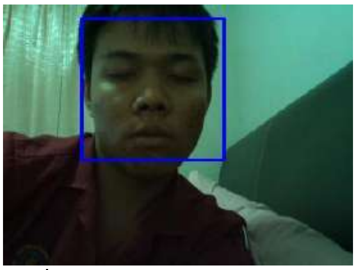
2) ผลการทดสอบกล้อง ประกอบด้วย การทดสอบกรณี Open Eye แสดงดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 ผลลัพธ์ที่ทดสอบจากกล้อง Camera module ในส่วนของ Raspberry pi กรณี Open Eye

ผลจากการทดสอบ เส้นสีแดงคือการแสดงว่าพบดวงตาในเฟรมนี้ ส่วนเส้นสีฟ้าเป็นการตรวจสอบพบใบหน้าโดยให้ผู้ทดสอบทำการลืมตาเพื่อเช็คการลืมตาของผู้ทดสอบ ผลที่ได้พบว่ามีเส้นสีแดง แสดงว่ามีการลืมตาของผู้ทดสอบ

และการทดสอบกรณี Close Eye แสดงดังรูปที่ 8



รูปที่ 8 ผลลัพธ์ที่ทดสอบจากกล้อง Camera module ในส่วนของ Raspberry pi กรณี Close Eye

ผลจากการทดสอบ เส้นสีแดงคือการแสดงว่าพบดวงตาในเฟรมนี้ ส่วนเส้นสีฟ้าเป็นการตรวจสอบใบหน้า โดยให้ผู้ทดสอบทำการหลับตาเพื่อเช็คการหลับตาของผู้ทดสอบ ผลที่ได้จากการทดสอบ ไม่พบเส้นสีแดงแสดงว่าไม่มีการลืมตาของผู้ทดสอบ

## 5. สรุป

ระบบสมองกลฝังตัวสำหรับตรวจวัดปริมาณแอลกอฮอล์ของผู้ขับขี่รถยนต์และสภาวะการหลับชั่วขณะขณะขับรถยนต์ ใช้สำหรับผู้ขับขี่ที่มีอาการมึนเมาหรือปริมาณแอลกอฮอล์ที่เกินตามที่รัฐกำหนด และมีการตรวจสอบอาการง่วงนอนที่เกิดจากการเดินทางในระยะเวลานาน เพื่อแจ้งเตือนและส่งข้อความช่วยเหลือไปยังเช่นญาติ และผลจากการทดสอบการทำงาน พบว่าระบบที่ออกแบบสร้างนี้สามารถทำงานได้ถูกต้องและส่วนที่เป็นปัญหาก็คือการส่งข้อมูลผ่านทางอินเตอร์เน็ตเพราะการทำงานของ GPRS ไม่สามารถทำงานพร้อมกับการส่ง SMSได้

**เอกสารอ้างอิง**

[1] ธีรเทพ พวงภักดี และเมธี ดชิธวราธา , "ตรวจจับอาการง่วงนอนขณะขับรถยนต์," วิทยานิพนธ์ ปริญญตรี มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์, 2556
[2] (2558) Using your GPS. [Online]. Available: https://learn.adafruit.com
[3] (2558) OpenCV and Python. [Online]. Available: http://stackoverflow.com/
[4] Dwipjoy Sarkar, Atanu Chowdhury, A Real Time Embedded System Application for Driver Drowsiness and Alcoholic Intoxication Detection Department of Electronics & Communication Engineering NIT Agartala, India, 2556
[5] (2558) FONA Tethering to Raspberry Pi or BeagleBone Black. [Online]. Available: http://learn.adafruit.com
[6] (2558) Alcohol Gas Sensor –MQ-3. [Online]. Available: https://www.sparkfun.com/products/8880

**ประวัติผู้เขียนบทความ**

**ลิขิต เพ็งจันทร์ดี** เป็นนักศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

**รัฐศิลป์ รานอกภานุวัชร์** เป็นอาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์ มีความสนใจด้านการประมวลแบบขนาน และระบบสมองกลฝังตัว

# การประยุกต์ใช้ระบบบริหารจัดการเครือข่ายร่วมกับระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ เพื่อตรวจติดตามอุปกรณ์บนทางพิเศษ

# Application of Simple Network Management Protocol and GIS for Monitoring devices on the Expressway

**อุทัย วังชัยศรี[1] เสาวนี ศรีสุวรรณ[2] ศศิพงศ์ จินดาลัทธ[3] เทพฤทธิ์ รัตนปัญญากร[4] และ ศักดิ์ดา พรรณไวย[5]**
[1245]แผนกวิจัยและพัฒนาระบบจราจร กองวิจัยและพัฒนาวิศวกรรมระบบทางพิเศษ การทางพิเศษแห่งประเทศไทย
[3]แผนกทดสอบ ควบคุมและพัฒนามาตรฐาน กองวิจัยและพัฒนาวิศวกรรมระบบทางพิเศษ การทางพิเศษแห่งประเทศไทย
2380 ถนนพหลโยธิน แขวงเสนานิคม เขตจตุจักร จังหวัดกรุงเทพฯ โทรศัพท์: 02-5795380-9
E-mail: authai_wan@exat.co.th [1], saovanee_sri@exat.co.th [2], sasipong_chi@exat.co.th [3], thepp9@hotmail.com [4], sakda_pun@exat.co.th [5]

## บทคัดย่อ

การทางพิเศษแห่งประเทศไทย (กทพ.) เป็นหน่วยงานหนึ่งที่มีการติดตั้งเครื่องคอมพิวเตอร์แม่ข่ายและอุปกรณ์ที่เชื่อมต่อในลักษณะเครือข่ายเพื่อสนับสนุนงานอำนวยการจราจร งานความปลอดภัยบนทางพิเศษ และงานบริหารจัดการจราจรเป็นจำนวนมาก ตัวอย่างของอุปกรณ์ที่มีการเชื่อมต่อในลักษณะเครือข่าย เช่น ป้ายข้อความปรับเปลี่ยนได้ กล้อง CCTV อุปกรณ์ตรวจวัดสภาพจราจร โทรศัพท์ฉุกเฉินบนทางพิเศษ อุปกรณ์เหล่านี้ถูกติดตั้งกระจายอยู่ตามศูนย์ควบคุมทางพิเศษทั้ง 6 ศูนย์ ศูนย์ควบคุมระบบจราจรอัจฉริยะ และบนทางพิเศษ โดยปัจจุบันมีระยะทางทั้งสิ้น 207.9 กิโลเมตร และเพื่อรักษาระดับการให้บริการที่เป็นมาตรฐาน อุปกรณ์เหล่านี้จำเป็นที่จะต้องได้รับการบำรุงรักษาให้อยู่ในสภาพที่ใช้งานได้อย่างต่อเนื่อง ดังนั้น กทพ. จึงได้พัฒนาระบบติดตามการทำงานอุปกรณ์ขึ้นโดยประยุกต์ใช้เทคโนโลยีการบริหารจัดการเครือข่ายด้วยโปรโตคอล (Simple Network Management Protocol) ร่วมกับเทคโนโลยีสารสนเทศภูมิศาสตร์ โดยนำร่องทดสอบการใช้งานเพื่อติดตามและเฝ้าดูสถานะอุปกรณ์ที่ติดตั้งบนทางพิเศษกาญจนาภิเษก (บางพลี-สุขสวัสดิ์) และทำการเปรียบเทียบกับระบบติดตามการทำงานอุปกรณ์ที่ได้พัฒนาขึ้นก่อนหน้านี้ ผลจากการทดสอบพบว่าระบบที่พัฒนาขึ้นใหม่สามารถติดตามและเฝ้าดูสถานะการทำงานของอุปกรณ์ได้ดียิ่งขึ้น ช่วยลดปัญหาการแจ้งเตือน สามารถรายงานสถานะการทำงานและรายละเอียดจากตัวอุปกรณ์โดยตรง นอกจากนี้ระบบยังสามารถแสดงตำแหน่งติดตั้งอุปกรณ์บนแผนที่ รวมทั้งมีการจัดทำฐานข้อมูลรายงานสถานะการทำงาน สามารถแจ้งเตือนเมื่ออุปกรณ์เหล่านั้นไม่สามารถทำงานได้เป็นปกติ ทำให้การวางแผนงานซ่อมบำรุงเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ: ระบบบริหารจัดการเครือข่าย, ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์, เว็บเซอร์วิส, ทางพิเศษ, การทางพิเศษแห่งประเทศไทย

## Abstract

The Expressway Authority of Thailand (EXAT) has installed many computer servers and network devices to support the traffic facility, the safety on the expressway and mostly traffic management. The examples of network devices are Variable Message Sign (VMS), Traffic Sensors, Closed Circuit Television (CCTV), and Emergency Telephone System (ETS) on the expressway. These devices are installed at Expressway Control Center Building (CCB), Intelligent Transportation Systems Center (ITS Center) and on the expressway with total distance of 207.9 kilometers. To maintain a service standards level, those devices need to be maintained in a good condition continuously. Therefore, EXAT has developed monitoring device systems by applying the Applications of Simple Network Management Protocol (SNMP) with GIS (Geographic Information System) Technology. The pilot projects have been tested for devices monitoring on the Kanchanaphisek Expressway and compared with previous system. The results show that a new system can track and monitor the status of the device even better. The system can reduce fault alerts problem and report on operating status since the new protocol is directly communicated with devices. Moreover, the systems can display the devices status on the map with GIS technology including, operating status database, notification on schematic Map when devices does not function normally. Finally, this system makes it possible for engineers to plan and maintenance effectively.

Keywords: Simple Network Management Protocol, GIS, Web Service, Expressway, EXAT

## 1. บทนำ

ปัญหาการจราจรติดขัดในเมืองใหญ่เป็นปัญหาสำคัญอันดับต้น ๆ ของประเทศ หลายองค์กรมีแนวทางในการบรรเทาปัญหาโดยประยุกต์ใช้ระบบจราจรอัจฉริยะ (Intelligent Transport Systems: ITS) การทำงานของระบบ ITS นั้นจำเป็นต้องมีการใช้งานอุปกรณ์คอมพิวเตอร์และเครือข่าย ซึ่งอุปกรณ์เหล่านี้ทำงานบนเครือข่ายอินทราเน็ตโดยใช้โปรโตคอลที่เป็นมาตรฐาน หนึ่งในโปรโตคอลมาตรฐานนั้นมีโปรโตคอลที่เรียกว่า Simple Network Management Protocol (SNMP) ทำหน้าที่สื่อสารระหว่างอุปกรณ์คอมพิวเตอร์และเครือข่ายด้วยกันผ่านพอร์ต 161 ซึ่งโปรโตคอลดังกล่าวนิยมนำมาประยุกต์ใช้ในการเฝ้าระวัง ตรวจสอบการทำงานของอุปกรณ์ หรือมอนิเตอร์ (Monitor) อุปกรณ์ ผ่านระบบเครือข่ายของการทางพิเศษแห่งประเทศไทย (กทพ.) เลือกใช้โปรโตคอล SNMP มาพัฒนาร่วมกับโปรแกรมโอเพนซอร์ซ (Open Source) อื่น ๆ เช่น PHP MySQL Apache Google API เป็นต้น จากการพัฒนาระบบดังกล่าวส่งผลให้องค์กรมีการประหยัดงบประมาณได้เป็นจำนวนมาก ทั้งนี้รายละเอียดทฤษฎีงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง และการออกแบบจะกล่าวในหัวข้อถัดไป

## 2. องค์ประกอบและการทำงานของระบบบริหารเครือข่าย

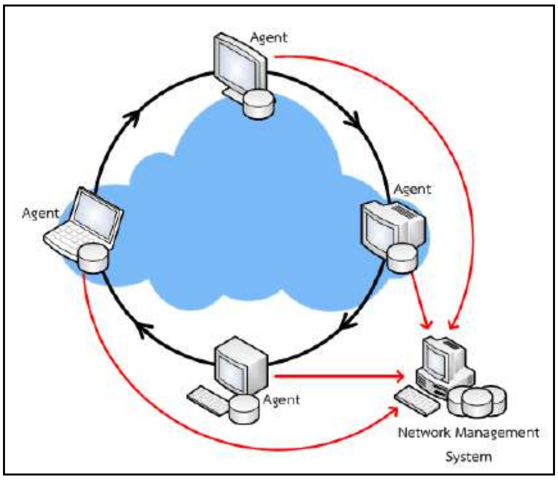
### 2.1 ระบบบริหารเครือข่าย (Network Management System: NMS)

การจัดการบริหารระบบเครือข่ายที่มีขนาดใหญ่ หากไม่มีการบริหารจัดการที่ดีจะทำให้การสื่อสารข้อมูลเกิดความผิดพลาดขึ้นได้ ระบบบริหารเครือข่าย (Network Management System) จึงถูกพัฒนาขึ้นมาเพื่อทำหน้าที่ในการดูแลบริหารระบบเครือข่าย โดยทำการตรวจสอบอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ทำงานอยู่ภายในระบบเครือข่ายว่ามีการทำงานถูกต้องหรือไม่ และหากมีข้อผิดพลาดเกิดขึ้นที่ส่วนใดจะทำการแก้ไขให้สามารถทำงานได้ หรือหาทางแก้ไขปัญหาเฉพาะหน้า เพื่อให้สามารถทำการสื่อสารได้อย่างต่อเนื่องต่อไป [1,2,3,4]

ในรูปที่ 1 แสดงถึงโครงสร้างของระบบเครือข่ายโดยมี Management ทำหน้าที่ดูแลควบคุมการทำงาน และทำการติดต่อกับ Agent ต่าง ๆ ที่อยู่ภายในระบบเครือข่าย

องค์ประกอบต่าง ๆ ภายในระบบบริหารเครือข่าย มีดังนี้

1) Management Station (MS) ทำหน้าที่เป็นสถานีส่วนกลางในการตรวจสอบสถานะของระบบ




**รูปที่ 1** โครงสร้างของระบบบริหารเครือข่าย (Network Management System)

2) Management Agent (MA) เป็นโปรแกรม สำหรับเก็บข้อมูล และรายงานข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้นในระบบให้กับ MS

3) Management Information Base (MIB) เป็นโครงสร้างของข้อมูลที่เก็บไว้ตัวอุปกรณ์ต่าง ๆ

4) Network Management Protocol (NMP) เป็นโปรโตคอลที่ใช้สำหรับสื่อสารภายในระบบ

ปกติแล้ว MS มักจะเป็นเครื่องลักษณะ Stand alone ที่มี Interface ช่วยในการอำนวยความสะดวกสำหรับผู้ดูแลระบบในการตรวจสอบส่วนต่าง ๆ ของระบบเครือข่าย โดย MS มีองค์ประกอบในเบื้องต้น ดังนี้

1) Software สำหรับใช้วิเคราะห์ข้อมูลและแก้ไขข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้น

2) ระบบ Interface สำหรับใช้ตรวจสอบและควบคุมระบบเครือข่าย

3) มีความสามารถตรงกับความต้องการของผู้ดูแลระบบสำหรับใช้ตรวจสอบสภาพความเป็นจริงของระบบและสามารถควบคุมอุปกรณ์ที่อยู่ระยะไกลได้

4) ความสามารถในการดึงข้อมูลจาก MIB

อุปกรณ์ต่าง ๆ ที่อยู่ภายในระบบเครือข่ายจะต้องมีการติดตั้ง MA ไว้ด้วย จึงจะสามารถทำการควบคุมจาก MS ได้ โดย MA เหล่านี้จะทำหน้าที่ตอบข้อมูลตามที่ MS ได้มีการร้องขอ หรือตอบสนองต่อการกระทำที่ส่งมาจาก MS

### 2.2 ระบบบริหารจัดการเครือข่าย (Simple Network Management Protocol: SNMP)

SNMP เป็น NMP หนึ่งที่ช่วยในการจัดการและบริการเน็ตเวิร์คได้จากศูนย์กลาง ถูกออกแบบในปี 1980 จุดมุ่งหมายเพื่อเป็น Band-Aid ในการแก้ปัญหาการจัดการระหว่างเครือข่ายที่ซับซ้อน และเพื่อใช้งานชั่วคราวสำหรับการติดต่อกับอุปกรณ์เน็ตเวิร์ค

SNMP เป็นที่นิยมใช้กันมากในระบบบริหารเครือข่าย โดยทำหน้าที่ในการสื่อสารระหว่าง MS กับ MA ภายในระบบบริหารเครือข่าย SNMP เป็นโปรโตคอลที่อยู่ใน Application Layer ของ Transmission Control Protocol/Internet Protocol (TCP/IP) ซึ่ง SNMP มีการทำงานแบบ User Data Protocol (UDP) โดยการทำงานของ UDP เป็นลักษณะแบบ Connectionless คือข้อมูลจะถูกแบ่งเป็นชิ้น ๆ ตามที่อยู่ปลายทางแล้วผ่านตัวกลางไปยังปลายทาง โดยไม่มีการสร้าง Connection ก่อนที่จะส่งข้อมูลจึงสามารถส่งข้อมูลได้รวดเร็ว เหมาะสำหรับที่จะส่ง Message สั้น ๆ อย่าง Message ของ SNMP มากกว่า TCP

SNMP มีฟังก์ชันการทำงานที่สำคัญ 2 ฟังก์ชัน ได้แก่ NMS และ Network Agents โดย NMS ทำหน้าที่ตรวจสอบอุปกรณ์เน็ตเวิร์คที่มีการสื่อสารอยู่บน SNMP ซึ่งอุปกรณ์เหล่านี้จะมี Agent Software ทำงานอยู่ เพื่อคอยติดต่อกับ NMS ทั้งนี้อุปกรณ์เน็ตเวิร์คที่มี Network Agent ได้แก่ Routers, Repeaters, Hub, Bridger, PC, Print Server, และUPS เป็นต้น ผู้ดูแลระบบสามารถตรวจสอบและควบคุมอุปกรณ์เน็ตเวิร์คผ่านทาง NMS ได้ สามารถตรวจจับได้ว่ามี Agent ใดใช้งานไม่ได้ โดย Agent นั้นอาจจะมีการแสดงเป็นสีแดง หรือมีสัญญาณเตือน ซึ่ง NMS ซอฟต์แวร์ส่วนใหญ่จะมีลักษณะเป็น GUI ซึ่งง่ายต่อการใช้งาน [5]

### 2.3 การประยุกต์ใช้ SNMP ในงานต่าง ๆ

การนำเอา SNMP มาประยุกต์ใช้ในการ Monitor อุปกรณ์ที่ทำการแยกสัญญาณโทรศัพท์และข้อมูลอินเตอร์เน็ตไปยังปลายทาง (Digital Subscriber Line Access Multiplexers: DSLAM) โดยสถานะของอุปกรณ์ DSLAM จะแสดงบนแผนที่ Google Map ว่าอุปกรณ์ DSLAM อยู่ในสถานการณ์ทำงานที่ปกติหรือไม่ ซึ่งถ้าพบว่าอุปกรณ์ DSLAM มีความผิดปกติ เช่น มีอุณหภูมิสูง ไฟฟ้าผิดปกติ หรือขาดการติดต่อ ระบบดังกล่าวจะแจ้งเหตุผิดปกติผ่านบริการข้อความสั้นผ่านโทรศัพท์เคลื่อนที่ไปยังวิศวกรผู้ดูแลระบบ ทำให้วิศวกรผู้ดูแลระบบสามารถเข้าบำรุงรักษาอุปกรณ์ DSLAM ได้ทันการณ์และรวดเร็ว ในงานวิจัยดังกล่าวได้ประยุกต์ใช้ซอฟแวร์ APPSERV ร่วมกับภาษา PHP [6]

นอกจากนี้ยังมีการนำ SNMP มาประยุกต์ใช้ในระบบติดตามการทำงานสถานีดาวเทียมผ่านเว็บบราวเซอร์ของสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน) โดยระบบถูกออกแบบเพื่อติดตามการทำงานของระบบคอมพิวเตอร์และอุปกรณ์ต่อพ่วงผ่านเครือข่ายคอมพิวเตอร์ โดยทำให้ผู้ดูแลระบบสามารถติดตามการทำงานของระบบคอมพิวเตอร์จากระยะไกลและหลาย ๆ ระบบได้ในเวลาเดียวกัน และช่วยให้ผู้ดูแลระบบสามารถติดตามการทำงานได้อย่างต่อเนื่องเมื่อระบบหรืออุปกรณ์มีการทำงานที่ผิดปกติ หรือหยุดปฏิบัติการ ทำให้ผู้ดูแลระบบสามารถแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็ว เพื่อเป็นการป้องกันไม่ให้เกิดความผิดพลาดกับระบบการรับสัญญาณดาวเทียม อันทำให้เกิดการสูญเสียทรัพยากรภาพถ่ายดาวเทียมที่สำคัญได้ โดยระบบดังกล่าวได้ใช้โอเพนซอส (Open Source) ที่ชื่อว่า Cacti [7]

### 2.4 การประยุกต์ใช้ SNMP ในงานระบบจาจรอัจฉริยะ (Intelligent Transportation Systems: ITS)

การดำเนินการเกี่ยวกับระบบ ITS นั้นจำเป็นต้องมีการติดตั้งระบบ NMS เพื่อติดตามการทำงานของอุปกรณ์ตรวจวัดสภาพจราจร (Sensor and Display Device) ซึ่งอุปกรณ์ตรวจวัดสภาพจราจรดังกล่าวอยู่ในกลุ่มประเภทที่มีซอฟแวร์ประเภทเฟิร์มแวร์ (Firmware) ฝังอยู่ โดยการตรวจสอบการทำงานของอุปกรณ์ดังกล่าวนั้น จะทำได้ค่อนข้างยาก เนื่องจากอุปกรณ์ติดตั้งอยู่บนถนน ทางยกระดับ เสาไฟ หรือแม้แต่แกนทรี (Gantry) ซึ่งถ้าอุปกรณ์ใดใช้งานไม่ได้ อันเกิดจากโดนรถขับชนเสาไฟ โดนขโมยตัดสายไฟ แบตเตอรี่เสื่อมสภาพ อาจส่งผลให้ระบบหรืออัลกอริทึมต่างๆ ของระบบทำงานไม่ถูกต้อง หรือคลาดเคลื่อนได้ [8]

### 2.5 การประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (Geographic Information System: GIS) ในงานสารสนเทศ

ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์สามารถบอกตำแหน่งของสถานที่ตำแหน่งวัตถุ อุปกรณ์ต่าง ๆ บนทางพิเศษเป็นพิกัดทางภูมิศาสตร์ เพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถนำข้อมูลไปใช้ในการวางแผน และตัดสินใจในการดำเนินงานด้านต่าง ๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง Internet GIS [9] ซึ่งเป็นเครื่องมือที่สำคัญในการเข้าถึง กระจาย และแสดงข้อมูลเชิงตำแหน่งที่สำคัญที่มีการส่งผ่านข้อมูลถึงผู้รับ มีศักยภาพในการจัดเก็บข้อมูลและสามารถแสดงข้อมูลแบบทันกาล (Real Time) ได้ [10] เช่น การประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (Web-based GIS) กับการบริหารจัดการฐานข้อมูลครุภัณฑ์ด้วยซอฟต์แวร์รหัสเปิด [11] เป็นการประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์โดยผ่านเครือข่ายอินทราเน็ตกับการบริหารจัดการฐานข้อมูลครุภัณฑ์ด้วยซอฟต์แวร์รหัสเปิดสำนักงานเลขาธิการวุฒิสภา ทำให้เกิดฐานข้อมูลที่เชื่อถือได้ ถูกต้อง รวดเร็ว และเป็นปัจจุบัน

## 3. ขั้นตอนการดำเนินงาน

### 3.1 การจัดเตรียมข้อมูล

จัดทำข้อมูล GIS ของอุปกรณ์คอมพิวเตอร์และเครือข่ายจากทุกสายทาง ได้แก่ ทางพิเศษเฉลิมมหานคร (CCB1) ทางพิเศษศรีรัช (CCB2) ทางพิเศษฉลองรัช (CCB3) ทางพิเศษบูรพาวิถี (CCB4) และทางพิเศษกาญจนาภิเษก (บางพลี-สุขสวัสดิ์) (CCB6) โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ชั้นข้อมูลเชิงตำแหน่งของอุปกรณ์ (ข้อมูล GIS ในรูปแบบ Shape file) ประกอบด้วย

1) ชั้นข้อมูลอุปกรณ์ตรวจวัดสภาพจราจร (Smart Micro)
2) ชั้นข้อมูลอุปกรณ์ตรวจวัดสภาพจราจร (G4)
3) ชั้นข้อมูลป้ายข้อความแบบปรับเปลี่ยนได้
4) ชั้นข้อมูลกล้อง CCTV (Closed Circuit Television) (ชนิด IP)
5) ชั้นข้อมูลตู้โทรศัพท์ฉุกเฉิน (ETS)

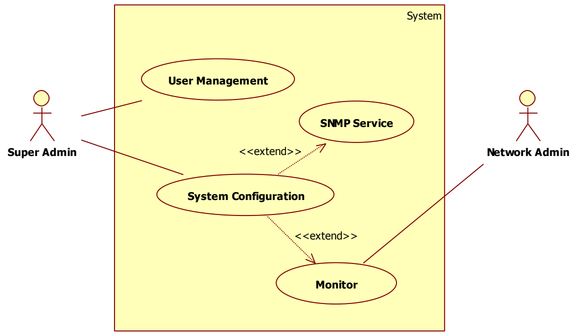
รายละเอียดของอุปกรณ์ที่จะนำมาแสดงในระบบ สรุปได้ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ประเภทและจำนวนของอุปกรณ์

| ลำดับ | ประเภทอุปกรณ์ | จำนวน |
|---|---|---|
| 1 | อุปกรณ์ตรวจวัดสภาพจราจร (Smart Micro) | 42 |
| 2 | อุปกรณ์ตรวจวัดสภาพจราจร (G4) | 5 |
| 3 | ป้ายข้อความแบบปรับเปลี่ยนได้ | 15 |
| 4 | กล้อง CCTV ชนิด IP (Airvision/Aircam) | 36 |
| 5 | ตู้โทรศัพท์ฉุกเฉิน | 134 |

### 3.2 การออกแบบระบบ

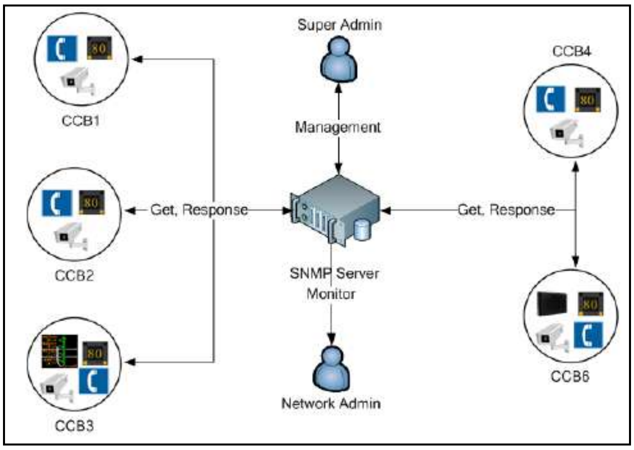
ระบบถูกออกแบบโดยแบ่งผู้ใช้งานระบบเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มที่ 1) เจ้าหน้าที่นำข้อมูลเข้าสู่ระบบ (Super Admin) เป็นผู้มีสิทธิการใช้งานสูงสุด ทำหน้าที่ในการบริหารจัดการและตั้งค่าระบบ (System Configuration) โดยมีสิทธิ เพิ่ม ลบ แก้ไข ข้อมูลอุปกรณ์ได้ เมื่อบริหารจัดการเรียบร้อยแล้วระบบจะสั่งให้บริการ SNMP (SNMP Service) ทำงาน และบริหารจัดการสิทธิ์ผู้ใช้ (User Management) โดยมีสิทธิ เพิ่ม ลบ แก้ไขกลุ่มเจ้าหน้าที่ผู้ดูแลระบบเครือข่ายได้ 2) เจ้าหน้าที่ผู้ดูแลระบบเครือข่าย (Network Admin) ทำหน้าที่เฝ้าระวังระบบ (Monitor) ได้เพียงอย่างเดียวซึ่งสามารถอธิบายโครงสร้างของระบบได้โดยใช้แผนภาพแสดงการทำงานของผู้ใช้งานระบบและความสัมพันธ์กับระบบย่อย (Use Case Diagram) ดังแสดงในรูปที่ 2 และคำอธิบายดังตาราง 2




**รูปที่ 2**Use Case Diagram ของระบบ

ตารางที่ 2 คำอธิบาย Use Case Diagram ของระบบ

| สัญลักษณ์ | คำอธิบาย |
|---|---|
| Super Admin | หมายถึง กลุ่มเจ้าหน้าที่นำข้อมูลเข้า สู่ระบบ |
| Network Admin | หมายถึง กลุ่มเจ้าหน้าที่ผู้ดูแลระบบเครือข่าย |
| User Management | หมายถึง การบริหารจัดการสิทธิ์ผู้ใช้ |
| SNMP Service | หมายถึง การบริการ SNMP |
| System Configuration | หมายถึง การบริหารจัดการและตั้งค่าระบบ |
| Monitor | หมายถึง การเฝ้าระวังระบบ |




**รูปที่ 3** Network Diagram ของระบบ

## 4. ผลการดำเนินการ

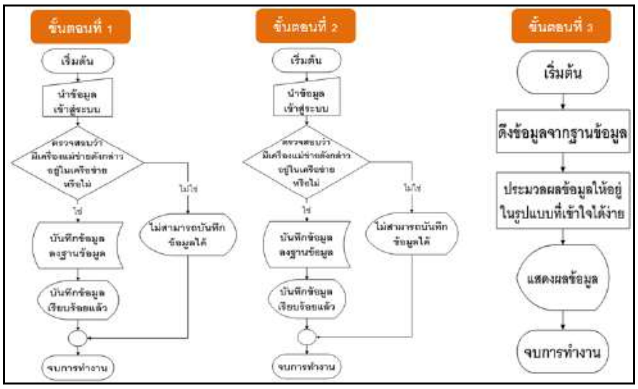
ผู้วิจัยได้พัฒนาระบบที่เรียกว่า ระบบบริหารจัดการเครือข่ายร่วมกับระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เพื่อตรวจติดตามอุปกรณ์บนทางพิเศษ (Simple Network Management Protocol and GIS for Monitoring devices on the Expressway) โดยภาพรวมของระบบ(Network Diagram) ดังรูปที่ 3 พัฒนาโดยใช้ภาษา PHP ร่วมกับโปรแกรม Net-SNMP มีระบบจัดการฐานข้อมูล MySQL ร่วมกับ Open Source ของ Google API เพื่อทำการจัดเก็บข้อมูล ประมวลผลและนำข้อมูลที่ได้จากการประมวลผลไป

แสดงผลบนหน้าจอ นอกจากนี้สามารถตั้งค่าให้กับอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่อยู่บนสายทางเพื่อเปิดใช้งาน SNMP ได้

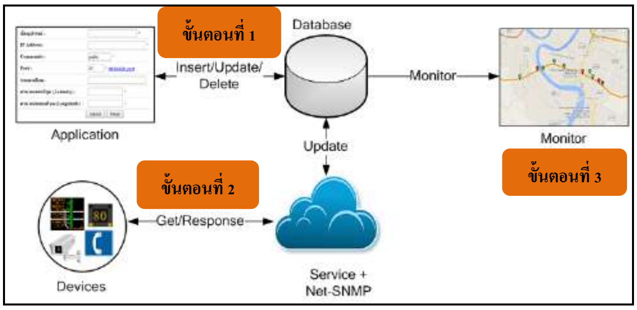
การทำงานของระบบแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน ดังแผนภาพแสดงลำดับขั้นตอนการทำงานของระบบ (Flow Chart) (รูปที่ 4) และภาพรวมของการทำงานดังรูปที่ 5

ขั้นตอนที่ 1 การจัดเก็บข้อมูลทั้งหมดในระบบต้องผ่านการ Login เข้าสู่ระบบ โดยผู้ที่ทำหน้าที่ในการ Login เข้าสู่ระบบ คือ กลุ่มเจ้าหน้าที่ Super Admin เพื่อทำการเพิ่มข้อมูลในระบบ

เมื่อเข้าสู่ระบบแล้วจะแสดงหน้าจอหลัก ซึ่งจะแสดงชื่ออุปกรณ์ IP Address สถานะการทำงานของอุปกรณ์ พิกัด นอกจากนี้ระบบยังแสดงเมนูต่าง ๆ ประกอบด้วย เมนูที่อนุญาตให้แก้ไขข้อมูลส่วนตัวและรหัสผ่านของการเข้าสู่ระบบของเจ้าหน้าที่ Super Admin




**รูปที่ 4** แผนภาพแสดงลำดับขั้นตอนการทำงานของระบบ (Flow Chart)




**รูปที่ 5** การทำงานของระบบ

ขั้นตอนที่ 2 การประมวลผลข้อมูล เมื่อ Super Admin ทำการเพิ่มข้อมูลในระบบเรียบร้อยแล้ว ระบบจะทำการประมวลผล โดยการใช้เซอร์วิส (Service) ร่วมกับโปรแกรม Net-SNMP ทำการร้องขอข้อมูล (Get) ไปยังอุปกรณ์ปลายทางทุกสายทาง ซึ่งข้อมูลที่ร้องขอจากอุปกรณ์ได้แก่ การทำงานของหน่วยประมวลผลหลัก (CPU) การใช้งานของหน่วยความจำหลัก (RAM) การใช้งานของหน่วยความจำสำรอง (Secondary Memory) ระยะเวลาที่ระบบเริ่มทำงาน หรือช่วงเวลาให้บริการ (Uptime) เป็นต้น จากนั้นอุปกรณ์เหล่านั้นจะตอบกลับโดยส่งข้อมูล (Response) มาเก็บไว้ที่ฐานข้อมูล (Database) ผ่านโปรโตคอล SNMP ทุก ๆ 15 วินาที

ขั้นตอนที่ 3 การแสดงผล เมื่อทำการบันทึกและประมวลผลข้อมูลเรียบร้อยแล้ว เจ้าหน้าที่ผู้ดูแลระบบเครือข่าย (Network Admin) สามารถเข้าดูข้อมูลที่แสดงผลได้ผ่านหน้าจอ Monitor ในรูปแบบอัตโนมัติบนระบบ Google API ซึ่งการแสดงผลมี 2 แบบ ได้แก่ 1) ข้อมูลอุปกรณ์ แสดงรายละเอียด ดังนี้ ชื่ออุปกรณ์ IP Address สถานะการทำงานของอุปกรณ์ ข้อมูลเบื้องต้นของอุปกรณ์ เช่น การทำงานของหน่วยประมวลผลหลัก การใช้งานของหน่วยความจำหลัก การใช้งานของหน่วยความจำสำรอง เป็นต้น 2) แสดงตำแหน่งหรือพิกัดของอุปกรณ์เป็นการแสดงผลแบบทันกาล (Real-time) ซึ่งหากมีอุปกรณ์ส่วนใดขัดข้องสามารถเข้าไปตรวจสอบได้อย่างทันท่วงทีดังรูปที่ 7

**รูปที่ 6** หน้าจอของระบบเมื่อทำการ Login เข้าสู่ระบบแล้ว

**รูปที่ 7** ตัวอย่างการแสดงผลของระบบ

## 5. บทสรุปและข้อเสนอแนะ

กทพ. ได้พัฒนาระบบบริหารจัดการเครือข่ายร่วมกับระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เพื่อตรวจสอบการทำงานของอุปกรณ์ต่าง ๆ บนทางพิเศษทุกสายทาง โดยอาศัยการทำงานของโปรโตคอลมาตรฐานที่มีชื่อว่า SNMP ซึ่งมีการพัฒนาโปรแกรมด้วยภาษา PHP ร่วมกับ Google

API สามารถทำให้เจ้าหน้าที่ผู้ดูแลระบบเครือข่าย (Network Admin) เห็นภาพรวมของอุปกรณ์ต่าง ๆ และตำแหน่งที่ติดตั้งบนทางพิเศษอย่างชัดเจน ตลอดจนติดตามการทำงาน เพื่อประเมินประสิทธิภาพของอุปกรณ์เหล่านั้นได้ ทำให้ง่ายต่อการบำรุงรักษาอุปกรณ์ต่าง ๆ เมื่อเปรียบเทียบกับการติดตามการทำงานของอุปกรณ์แบบเดิมที่มีการใช้งานอยู่นั้นเป็นเรื่องที่ทำได้ค่อนข้างยากในการตรวจสอบหาตำแหน่งที่ตั้งของอุปกรณ์เนื่องจากทั้งโครงข่ายทางพิเศษมีอุปกรณ์หลากหลายประเภทเป็นจำนวนมาก และไม่ทราบถึงสาเหตุการขัดข้องของอุปกรณ์แต่ละอุปกรณ์ระบบดังกล่าว ที่ได้มีการพัฒนาขึ้นโดยการใช้ Open Source นั้นทำให้ กทพ. เห็นภาพรวมในการติดตามตรวจสอบการทำงานของอุปกรณ์บนทางพิเศษทั้งโครงข่าย อีกทั้งช่วยให้ กทพ. ประหยัดเวลาในการตรวจสอบช่วยให้การแก้ไข ซ่อมแซมได้อย่างทันท่วงทีเป็นการประหยัดงบประมาณของ กทพ. และสร้างความพึงพอใจให้กับผู้ใช้ทางในการให้บริการอย่างต่อเนื่องสำหรับอุปกรณ์ที่ติดตั้งบนทางพิเศษบางส่วนที่ไม่ได้ใช้โปรโตคอล SNMP ทำให้ไม่สามารถ Monitor ประสิทธิภาพการทำงานได้แต่ระบบที่พัฒนาขึ้นนี้สามารถ Monitor อุปกรณ์ดังกล่าวได้และสามารถระบุได้ว่าอุปกรณ์ดังกล่าวทำงานอยู่หรือไม่ ข้อเสนอแนะในการศึกษาครั้งต่อไปนั้น ควรใช้ระบบที่พัฒนาขึ้นตรวจติดตามอุปกรณ์อื่น ๆ บนทางพิเศษทั้งโครงข่าย และในการจัดหาอุปกรณ์ ติดตั้งอุปกรณ์ที่นำมาใช้บนทางพิเศษในอนาคต ควรให้อุปกรณ์ต่าง ๆ รองรับการใช้งานโปรโตคอล SNMP ด้วยเพื่อให้การตรวจสอบติดตามประสิทธิภาพการทำงานของอุปกรณ์ทำได้อย่างต่อเนื่อง และทำให้การวางแผนงานซ่อมบำรุงเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ

## 6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณพนักงานในสังกัดกองวิจัยและพัฒนาวิศวกรรมระบบทางพิเศษและเจ้าหน้าที่ กทพ. ทุกท่านที่ให้ความร่วมมือในการให้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์

## 7. เอกสารอ้างอิง

[1] Gil Heo et al., “An Extended SNMP-based Management of Digital Convergence Devices”, IEEE 10th International Conference on Computer and Information Technology (CIT), 2010, pp. 2540–2547

[2] Chaparadza, R., “On designing SNMP based monitoring systems supporting ubiquitous access and real-time visualization of traffic flow in the network, using low cost tools”, IEEE 7th Malaysia International Conference on Communication., Volume: 2, 2005, pp. 6

[3] Pras, A. et al., “Comparing the performance of SNMP and Web services-based management”, 2004 IEEE Transactions on Network and Service Management, Volume: 1, 2004, pp. 72–82

[4] สุธิพันธ์ สุวรรณเวลา, นิษฐิดา เอลซ์ และคนอื่น ๆ, 2552. ภาษาสอบถามสำหรับระบบบริหารจัดการเครือข่ายโดยใช้เอสเอ็นเอ็มพี. การประชุมวิชาการระดับชาติทางด้านวิทยาการคอมพิวเตอร์และวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ (NCSEC 2009).

[5] Tawatchai Srirattanawong and Surasak Sanguanpong, 2552. An SNMP Extension with Embedded Management Script. การประชุมวิชาการระดับชาติทางด้านวิทยาการคอมพิวเตอร์และวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ (NCSEC 2009). ค้นเมื่อวันที่ 18 สิงหาคม 2558 จาก http://pindex.ku.ac.th/file_research/EmbeddedSNMP-NSCSEC99.pdf

[6] เกียรติกรณ์ ทองศรี, 2555. ระบบเฝ้าระวังอุปกรณ์ DSLAM และแจ้งเหตุผิดปกติผ่านบริการข้อความสั้น. วิทยานิพนธ์ สาขาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์และโทรคมนาคมบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์.

[7] อนุชิต กลิ่นแก้วนพรัตน์, 2556. ระบบติดตามการทำงานสถานีดาวเทียมผ่านเว็บบราวเซอร์ กรณีศึกษาสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ. สารนิพนธ์ สาขาวิศวกรรมเครือข่าย คณะวิทยาการและเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร.

[8] Xixian Niu et al., “GIS based network management study and its application”, 5th International Conference on Computer Science and Education (ICCSE), 2010, pp. 969-972

[9] สรวิศ นฤปิติ “ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ในงานระบบขนส่งอัจฉริยะ (ITS) Geographical Information System (GIS) in Intelligent Transport System (ITS)” ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, ค้นเมื่อวันที่14 สิงหาคม 2558 จาก http://pioneer.netserv.chula.ac.th/~kong/GIS_in_ITS_2.pdf

[10] เสาวนี ศรีสุวรรณ และคณะ, 2557. “การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เพื่อการจัดการจราจรบนทางพิเศษ Application of GIS Technology for Monitoring Traffic Operation on Expressway”, การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 19, ขอนแก่น, 14-16 พฤษภาคม 2557.

[11] สุดารัตน์ ใจอุดม, 2555. การประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (Web-based GIS) กับการบริหารจัดการฐานข้อมูลครุภัณฑ์ด้วยซอฟต์แวร์รหัสเปิด, สำนักเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร สำนักงานเลขาธิการวุฒสภา, ค้นเมื่อวันที่16 พฤศจิกายน 2558 จาก http:// www.senate.go.th/project2550/performance/data/94_3.pdf

**บทความวิจัย**
การประชุมวิชาการ งานวิจัยและพัฒนาเชิงประยุกต์ ครั้งที่ 8
*8th ECTI-CARD 2016, Hua Hin, Thailand*

# ระบบให้ข้อมูลสภาพจราจรบนทางพิเศษบริเวณจุดพักรถ

# Traveler Information Systems at Expressway Rest Area

**อุดมโชค สุริยะจรัสแสง[1] วุฒิชัย เกษรปทุมานันท์[2] อุทัย วังชัยศรี[3] เทพฤทธิ์ รัตนปัญญากร[4] และ ศักดิ์ดา พรรณไวย[5]**
[12345]กองวิจัยและพัฒนาวิศวกรรมระบบทางพิเศษ การทางพิเศษแห่งประเทศไทย
2380 ถนนพหลโยธิน แขวงเสนานิคม เขตจตุจักร กรุงเทพฯ โทรศัพท์: 02-5795380-9
E-mail: udomchok.exat@gmail.com[1] , vuttichai_kes@exat.co.th[2] , authai_wan@exat.co.th[3], thepp9@hotmail[4], sakda.duk@gmail.com[5]

## บทคัดย่อ

ปัญหาการจราจรติดขัดเป็นปัญหาที่มีความสำคัญในปัจจุบันและเป็นประเด็นท้าทายที่หลายหน่วยงานได้ใช้ความพยายามในการบรรเทาปัญหา การทางพิเศษแห่งประเทศไทย (กทพ.) ซึ่งเป็นหน่วยงานที่รับผิดชอบเกี่ยวกับระบบทางพิเศษ ได้ใช้ความความพยายามหลายวิธีเพื่อแก้ไขปัญหาจราจรติดขัดบนทางพิเศษ หนึ่งในแนวทางการบรรเทาปัญหา คือการพัฒนาระบบให้ข้อมูลสภาพจราจรบนทางพิเศษแบบ real-time บริเวณจุดพักรถ ระบบนี้ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อให้ข้อมูลจราจรแก่ผู้ใช้บริการทางพิเศษในขณะที่แวะพักบริเวณจุดพักรถหรือบริเวณศูนย์บริการ One Stop Service Center ผู้ใช้บริการทางพิเศษสามารถวางแผนการเดินทางหรือเลือกใช้เส้นทางพิเศษที่เหมาะสมเพื่อหลีกเลี่ยงอุบัติเหตุหรือเส้นทางที่สภาพจราจรติดขัด เป็นการช่วยลดปริมาณจราจรที่จะเข้าไปซ้ำเติมบริเวณที่เกิดปัญหา ระบบที่พัฒนาขึ้นเป็นการบูรณาการข้อมูลจราจรของระบบ Schematic Map ระบบภาพจราจร ระบบ Data Exchange Center และประมวลผลผ่าน Web Service ทำให้สามารถแสดงข้อมูลแผนภาพสภาพจราจรแบบเส้นสี ภาพจราจรบนทางพิเศษ และข้อมูลแนะนำการเดินทาง บนจอแสดงผลที่ติดตั้งบริเวณจุดพักรถ ปัจจุบันระบบดังกล่าวได้นำไปติดตั้งและใช้งานบริเวณจุดพักรถบางนาขาออก และมีแผนจะขยายการให้บริการต่อไปให้ครอบคลุมจุดพักรถทั้งหมดของ กทพ.

คำสำคัญ: ระบบให้ข้อมูลสภาพจราจร, เว็บเซอร์วิส, ระบบการขนส่งและการจราจรอัจฉริยะ

## Abstract

Traffic congestion on expressway is one of the complicated issues in the present time and also challenges various organizations to mitigate the problem. The Expressway Authority of Thailand (EXAT) has tried many solutions to alleviate traffic congestion problem. Developing the real-time traveler information systems at rest area is one of the indirect approaches. This developed system was aimed to provide traffic information to travelers who visit at the rest area or at the one stop service. Travelers can plan their trip more efficiently or can select the best route choice to avoid the accident or traffic congestion, accordingly. This road information will help decreasing the traffic quantity on expressway which will reduce the degree of the severe situation. The developing system has integrated the travel information of the Schematic map, the CCTV Traffic system and the Data Exchange Center using the Web Service technology basis. The processing results will be shown in format of traffic color line map, road condition picture, and suggested message on traveler information display panel which were installed at the rest area. Currently, the developed system was implemented at Bangna Rest Area and will be expanded to all other rest areas of EXAT in near future.

Keywords: Traveler Information System, Web Service, Transportation System and Intelligent Transport system.

## 1. บทนำ

ปัจจุบันมีช่องทางการรายงานสภาพจราจรให้ผู้ใช้ทางได้เลือกใช้หลายทาง เช่น การรายงานผ่านโทรศัพท์สมาร์ทโฟน การรายงานผ่านคลื่นวิทยุ (Radio) การรายงานสภาพจราจรผ่านเว็บไซต์ และการรายงานผ่านป้ายจราจรอัจฉริยะที่ติดตั้งบนถนน ข้อมูลสภาพจราจรดังกล่าวมีส่วนช่วยให้ผู้ใช้ทางได้มีโอกาสตัดสินใจเลือกใช้เส้นทางหรือศึกษาเส้นทางก่อนการเดินทาง ช่วยลดปัญหาจราจรติดสะสม ลดโอกาสการเกิดอุบัติเหตุซ้ำซ้อน

การทางพิเศษแห่งประเทศไทย (กทพ.) เป็นหน่วยงานรัฐวิสาหกิจภายใต้การกำกับดูแลของกระทรวงคมนาคมมีหน้าที่ให้บริการทางพิเศษแก่ประชาชน กทพ. เล็งเห็นความสำคัญของการรายงานสภาพจราจรบนทางพิเศษให้กับผู้ใช้ทางทราบ จึงได้ทำการพัฒนาระบบการรายงานสภาพจราจรบนทางพิเศษผ่านแอพพลิเคชั่นโทรศัพท์

สมาร์ทโฟน [1] และป้ายรายงานสภาพจราจรบนทางพิเศษบริเวณหน้าด่านเก็บค่าผ่านทาง [2] อย่างไรก็ตาม กทพ. พบว่าลูกค้าและประชาชนกลุ่มที่มาใช้บริการบริเวณจุดพักรถ ยังไม่ได้รับการให้ข้อมูลจราจรบนทางพิเศษและเป็นพื้นที่ที่ประชาชนสามารถใช้เวลาในการรับทราบข้อมูลจราจรบนทางพิเศษเพื่อประกอบการตัดสินใจเดินทาง ดังนั้น กทพ. จึงได้พัฒนาระบบการให้บริการข้อมูลสภาพจราจรบนทางพิเศษแก่ผู้ใช้ทางที่สามารถมองเห็นได้ชัดเจนบริเวณจุดพักรถและ One Stop Service Center ของ กทพ. โดยออกแบบให้สามารถใช้งานกับระบบสารสนเทศที่มีอยู่เดิมได้อย่างสะดวก

## 2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 เว็บเซอร์วิส (Web Service)

เว็บเซอร์วิส คือระบบซอฟต์แวร์ที่ออกแบบมาเพื่อสนับสนุนการแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์ผ่านระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์ โดยโปรแกรมประยุกต์ที่เขียนโดยภาษาต่าง ๆ และทำงานบนแพลตฟอร์มต่างกันสามารถใช้เว็บเซอร์วิสเพื่อแลกเปลี่ยนข้อมูลผ่านทางเครือข่ายคอมพิวเตอร์ เช่น อินเทอร์เน็ต ในลักษณะเดียวกันกับการสื่อสารแบบอินเตอร์โปรเซส (Inter-Process Communication) บนเครื่องประมวลผลเดียวกัน ความสามารถในการแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างระบบที่ต่างกันนี้ เกิดขึ้นได้เนื่องจากการใช้มาตรฐานเปิด โดย OASIS และ W3C ซึ่งเป็นคณะกรรมการหลักในการรับผิดชอบมาตรฐานและสถาปัตยกรรมของเว็บเซอร์วิส [3,4]

2.1.1 การนำเว็บเซอร์วิสมาประยุกต์ใช้ในงานบริหารจัดการจราจร

ตัวอย่างการนำเว็บเซอร์วิสมาพัฒนาในลักษณะเว็บแอพพลิเคชั่น [5] ร่วมกับระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เพื่อการบริหารจัดการจราจร ได้แก่ ระบบสารสนเทศเพื่อบริหารจัดการการติดตั้ง และบำรุงรักษาสัญญาณไฟจราจรและอุปกรณ์ควบคุมของสำนักจราจรและขนส่ง กรุงเทพมหานคร ผ่านระบบ GIS WEB ระบบนี้พัฒนาขึ้นเพื่อใช้เป็นเครื่องมือในการติดตามและตรวจสอบการทำงาน การบำรุงรักษาสัญญาณไฟจราจรและอุปกรณ์ควบคุมผ่านระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ระบบนี้สามารถอ้างอิงตำแหน่งการติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมได้

2.1.2 การนำเว็บเซอร์วิสมาประยุกต์ใช้ในงานบริหารจัดการจราจรของ กทพ.

กทพ. ได้บูรณาการข้อมูลการจราจรบนทางพิเศษ ได้แก่ ข้อมูลเส้นสีสภาพจราจรบนทางพิเศษจากแผนที่โต้ตอบอัจฉริยะ (IMAP) ข้อมูลภาพจราจรบนทางพิเศษจากกล้อง CCTV และทำการแลกเปลี่ยนข้อมูลกับหน่วยงานภายนอกที่มีหน้าที่ในการบริหารจัดการจราจรและเผยแพร่ข้อมูลจราจรให้ประชาชนผ่านศูนย์แลกเปลี่ยนข้อมูลอัจฉริยะของ กทพ. (Data Exchange Center: DXC) ปัจจุบันหน่วยงานภายนอกที่มีการแลกเปลี่ยนข้อมูลจราจรกับ กทพ. ได้แก่ กระทรวงคมนาคม กองบังคับการตำรวจจราจร (บก.จร.) มูลนิธิศูนย์ข้อมูลจราจรอัจฉริยะไทย (iTIC) เป็นต้น กระบวนการแลกเปลี่ยนข้อมูลเหล่านี้ได้ใช้เทคโนโลยีเว็บเซอร์วิสทั้งสิ้น [6,7]

อีกตัวอย่างของการนำเว็บเซอร์วิสมาประยุกต์ใช้งานร่วมกับระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ได้แก่ การพัฒนาระบบสนับสนุนการบริหารจัดการทำงานของพนักงานจัดการจราจรบนทางพิเศษ (GIS for traffic control Management) ระบบถูกออกแบบเพื่อสนับสนุนการปฏิบัติงานของเจ้าหน้าที่สื่อสาร เจ้าหน้าที่จัดการจราจรช่วยเพิ่มประสิทธิภาพงานอำนวยการจราจรบนทางพิเศษ เจ้าหน้าที่สื่อสารและหัวหน้าชุดเจ้าพนักงานจัดการจราจรสามารถทราบถึงตำแหน่งการปฏิบัติหน้าที่ของพนักงานจัดการจราจรบนทางพิเศษได้แบบบูรณาการช่วยลดขั้นตอนการกรอกข้อมูลเอกสาร และผู้บริหารระดับสูงมีข้อมูลประกอบการตัดสินใจและบริหารจัดการสถานการณ์ [8,9]

### 2.2 ระบบสารสนเทศเพื่อการจัดการ (Management Information System: MIS)

ระบบสารสนเทศเพื่อการจัดการ หมายถึง ระบบที่รวบรวมและจัดเก็บข้อมูลจากแหล่งข้อมูล ทั้งภายใน และภายนอกองค์การอย่างมีหลักเกณฑ์ เพื่อนำมาประมวลผลและจัดรูปแบบให้ได้สารสนเทศที่ช่วยสนับสนุนการทำงาน และการตัดสินใจของผู้บริหารทำให้การดำเนินงานขององค์การเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ บทบาทของ MIS มีหน้าที่หลัก 2 ประการคือ

1) สามารถเก็บรวบรวมข้อมูลจากแหล่งต่าง ๆ ทั้งภายในและภายนอกองค์การไว้อย่างเป็นระบบ

2) สามารถทำการประมวลผลข้อมูลอย่างมีประสิทธิภาพ เพื่อให้ได้สารสนเทศที่ช่วยสนับสนุนการปฏิบัติงานและการบริหารงานของผู้บริหาร

ดังนั้นระบบที่ ประกอบด้วยหน้าที่หลัก 2 ประการข้างต้น ตลอดจนสามารถปฏิบัติงานในหน้าที่หลักทั้ง 2 ได้อย่างครบถ้วนและสมบูรณ์ระบบนั้นสามารถถูกจัดเป็นระบบ MIS [10]

### 2.3 การให้บริการข้อมูลจราจรแก่ผู้ใช้บริการทางพิเศษ

ปัจจุบัน กทพ. มีช่องทางการให้ข้อมูลจราจรแก่ผู้ใช้ทางหลายช่องทาง ได้แก่ การรายงานสภาพจราจรบนทางพิเศษผ่านแอพพลิเคชั่นโทรศัพท์สมาร์ทโฟน “EXAT ITS” โดยแอพพลิเคชั่นดังกล่าวสามารถดาวน์โหลดผ่านระบบปฏิบัติการ iOS และระบบปฏิบัติการ Android ปัจจุบันมียอดผู้ใช้งานดาวน์โหลดประมาณ 30,000 คน [1], ป้ายรายงานสภาพจราจรบนทางพิเศษติดตั้งบริเวณหน้าด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษ (Smart VMS) เพื่อรายงานข้อมูลสภาพจราจรบนทางพิเศษที่เป็นปัจจุบัน

[2] จากการสำรวจความเห็นของประชาชนต่อป้าย Smart VMS ของ กทพ. พบว่าผู้ใช้บริการทางพิเศษมีความเห็นว่าป้าย Smart VMS สามารถให้ข้อมูลการเดินทางและต้องการให้ กทพ. เพิ่มจำนวนป้ายรายงานสภาพจราจรให้มากขึ้น [11] ระบบ TIS เป็นอีกช่องทางหนึ่งในการให้บริการข้อมูลสภาพจราจรแก่ผู้ใช้ทางพิเศษบริเวณจุดพักรถและ One Stop Service ของ กทพ.

## 3. การวิเคราะห์และออกแบบระบบ

ระบบให้ข้อมูลสภาพจราจรบนทางพิเศษ (Traveler Information Systems: TIS) ถือได้ว่าเป็นระบบสารสนเทศเพื่อการจัดการเนื่องจากมีการรวบรวมข้อมูลจราจรจากระบบรายงานสภาพจราจรแบบเส้นสี (Schematic Map) ข้อมูลภาพนิ่งจากกล้อง CCTV ผ่านระบบ DXC และทำการประมวลผลข้อมูลเพื่อสนับสนุนการายงานสภาพจราจรอย่างมีประสิทธิภาพ

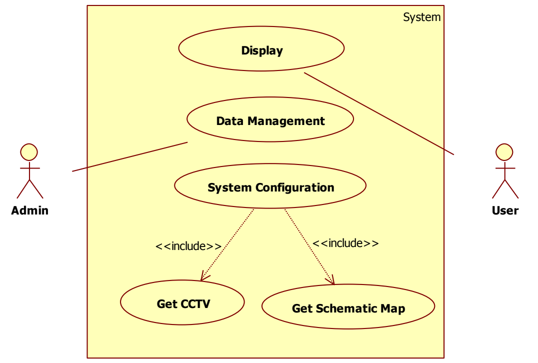
ระบบ TIS ได้บูรณาการข้อมูล 3 ส่วน ได้แก่

1) ภาพจราจรบนทางพิเศษจากกล้อง CCTV ผ่านระบบ DXC จำนวน 3 สายทางได้แก่ ทางพิเศษเฉลิมมหานคร ทางพิเศษศรีรัชและทางพิเศษฉลองรัช โดยเลือกจุดสำคัญต่างๆ มาสายทางละ 9 กล้องรวมทั้งหมด 27 กล้อง โดยมีการดึงเป็นภาพนิ่งทุก ๆ 10 วินาทีเก็บเข้าฐานข้อมูล

2) ข้อมูลจากระบบรายงานสภาพจราจรแบบเส้นสีบนแผนที่โครงข่ายทางพิเศษ (Schematic Map) ซึ่งเป็นการรายงานสภาพจราจรแบบแผนที่เส้นสี 3 สี (เขียว หมายถึงการจราจรคล่องตัว เหลือง หมายถึงการจราจรชะลอตัว แดง หมายถึงการจราจรหนาแน่น ติดขัด) โดยทำการดึงภาพแผนที่เส้นสีทุกๆ 3 นาที

3) ระบบแสดงข้อความประชาสัมพันธ์ซึ่งสามารถกำหนดรูปแบบของการแสดงข้อความตามระยะเวลาที่กำหนดได้ เช่น แสดงข้อความทุกเวลา แสดงข้อความเฉพาะช่วงเวลาเร่งด่วน และแสดงข้อความเฉพาะนอกช่วงเวลาเร่งด่วน

ระบบงานถูกออกแบบโดยแบ่งผู้ใช้งานระบบเป็น 2 กลุ่ม เพื่อให้สอดคล้องกับการใช้งาน ได้แก่ 1) กลุ่มเจ้าหน้าที่ผู้ดูแลระบบ (Admin) เป็นผู้มีสิทธิ์สูงสุดในระบบ ทำหน้าที่ในการบริหารจัดการระบบ (System Configuration) โดยระบบจะทำการดึงข้อมูลภาพนิ่งจากกล้อง CCTV ผ่านระบบ DXC (Get CCTV) และดึงข้อมูลภาพ Schematic Map (Get Schematic Map) บริหารจัดการข้อความประชาสัมพันธ์ (Data Management) มีสิทธิ์ เพิ่ม ลบ แก้ไข ข้อมูล 2) กลุ่มผู้ใช้งานทั่วไปหรือผู้ใช้ทาง (User) ทำหน้าที่ดูการแสดงผล (Display) ได้เพียงอย่างเดียว สามารถอธิบายโครงสร้างระบบโดยใช้แผนภาพแสดงการทำงานของผู้ใช้ระบบและความสัมพันธ์กับระบบย่อย (Use Case Diagram) ดังแสดงในรูปที่ 1 และคำอธิบายดังตาราง 1




**รูปที่ 1** Use Case Diagram ของระบบให้ข้อมูลสภาพจราจรบนทางพิเศษบริเวณจุดพักรถ

ตารางที่ 1 คำอธิบาย Use Case Diagram ของระบบให้ข้อมูลสภาพจราจรบนทางพิเศษบริเวณจุดพักรถ

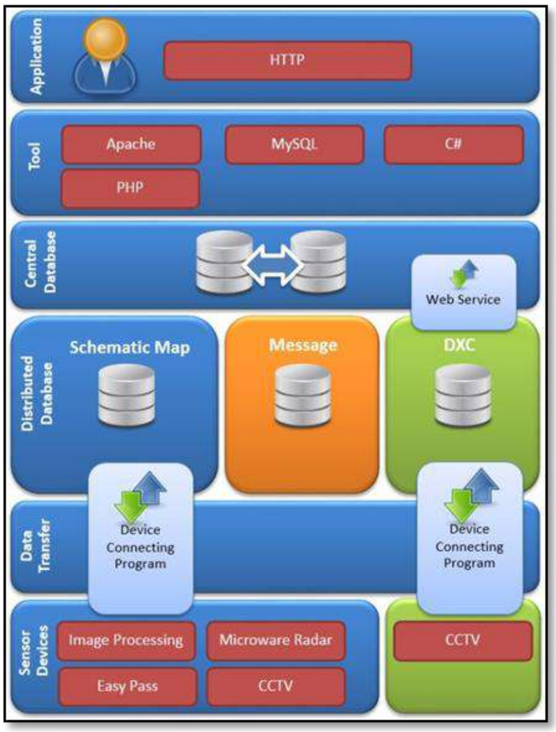
| สัญลักษณ์ | คำอธิบาย |
|---|---|
| Admin | หมายถึง กลุ่มเจ้าหน้าที่ผู้ดูแลระบบ |
| User | หมายถึง กลุ่มผู้ใช้งานทั่วไปหรือผู้ใช้บริการทางพิเศษ |
| Display | หมายถึง การแสดงผลของระบบ |
| Data Management | หมายถึง การบริการจัดการข้อความประชาสัมพันธ์ |
| System Configuration | หมายถึง การบริหารจัดการกับระบบ |
| Get CCTV | หมายถึง การดึงข้อมูลภาพนิ่งจากกล้อง CCTV ผ่านระบบ DXC |
| Get Schematic Map | หมายถึง การดึงข้อมูลภาพ Schematic Map |

## 4. ผลการดำเนินการ

จากการวิเคราะห์และออกแบบระบบ ผู้วิจัยได้พัฒนาระบบที่เรียกว่า ระบบให้ข้อมูลสภาพจราจรบนทางพิเศษ หรือระบบ TIS ในการพัฒนาระบบได้ใช้ภาษา PHP และ C# ร่วมกับระบบจัดการฐานข้อมูล MySQL ทั้งนี้ MySQL ทำหน้าที่เก็บข้อมูลข้อความที่ปรับเปลี่ยนได้ตามระยะเวลา (Message) เก็บข้อมูลภาพ Schematic Map และเก็บข้อมูลภาพนิ่งจากกล้อง CCTV โดยมี Web Service ทำหน้าที่ดึงข้อมูลภาพจากกล้อง CCTV ของระบบ DXC และนำข้อมูลทั้งหมดที่อยู่ในฐานข้อมูลแสดงผลไปยังโปรแกรม Apache ผ่านโปรโตคอล HTTP ดังรูปที่ 2

การทำงานของระบบสามารถแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 การจัดเก็บข้อมูล โดยการเก็บข้อมูลระบบสลับข้อความได้ ระบบดังกล่าวต้องผ่านการ Login เข้าระบบก่อนโดยเจ้าหน้าที่ Admin เพื่อทำการเพิ่มข้อมูลในระบบ เมื่อเจ้าหน้าที่ Admin



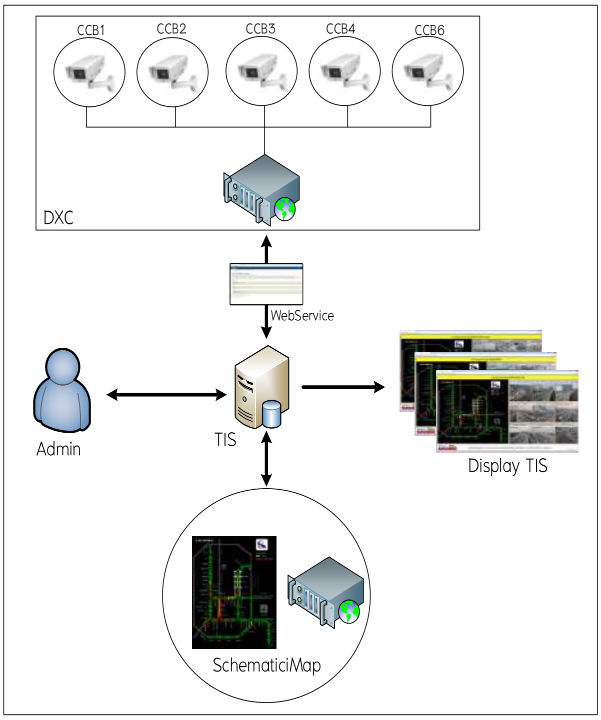

**รูปที่ 2** สถาปัตยกรรมของระบบ TIS

Login เข้าสู่ระบบเรียบร้อยแล้วเจ้าหน้าที่ Admin สามารถกำหนดช่วงเวลาให้ข้อความแสดงได้ 3 ช่วงเวลาด้วยกัน ได้แก่ 1) แสดงข้อความทุกช่วงเวลา 2) แสดงข้อความเฉพาะช่วงเวลาเร่งด่วน และ 3) แสดงข้อความเฉพาะนอกช่วงเวลาเร่งด่วน

ขั้นตอนที่ 2 การประมวลผลข้อมูล เมื่อเจ้าหน้าที่ Admin บันทึกข้อมูลระบบสลับข้อความได้เรียบร้อยแล้ว ระบบจะทำการประมวลผลตามระยะเวลาที่ได้ตั้งค่าให้ข้อความแต่ละข้อความแสดงผลโดยจะแสดงผลทีละ 1 ข้อความเท่านั้น นอกจากนี้ยังมีส่วนของ Web Service ที่ทำการดึงข้อมูลจากระบบ DXC เพื่อประมวลผลข้อมูลภาพนิ่งจากกล้อง CCTV ทั้ง 27 ภาพ และข้อมูลภาพ Schematic Map

ขั้นตอนที่ 3 การแสดงผล เมื่อทำการประมวลผลข้อมูลและบันทึกเสร็จเรียบร้อยแล้ว ระบบจะทำการแสดงผลพิกัดตำแหน่งที่อยู่ของจุดพักรถและ One Stop Service Center บนแผนภาพ Schematic Map ซึ่งจะแสดงผลทางฝั่งซ้ายของจอภาพ และฝั่งขวาจะแสดงภาพนิ่งจากกล้อง CCTV ครั้งละ 9 ภาพตามสายทางต่าง ๆ สลับกันไปทุก ๆ 10 วินาที กลุ่มผู้ใช้งานหรือ User สามารถเข้าดูข้อมูลระบบ TIS ได้ ณ จุดพักรถและ One Stop Service Center ของ กทพ. ภาพรวมของการทำงานของระบบ TIS ดังแสดงในรูปที่ 3 และลักษณะของการรายงานสภาพจราจรของระบบ TIS ดังแสดงในรูปที่ 4

**รูปที่ 3** หน้าต่างของระบบ TIS




**รูปที่ 4** ภาพรวมการทำงานของระบบ TIS

## 5. บทสรุป

กทพ. ได้ทำการพัฒนาระบบให้ข้อมูลสภาพจราจรบนทางพิเศษบริเวณจุดพักรถเพื่อเพิ่มช่องทางการให้บริการข้อมูลจราจรบนทางพิเศษแก่ผู้ใช้บริการทางพิเศษบริเวณจุดพักรถและ One stop service Center โดยผู้ใช้บริการบริเวณจุดพักรถสามารถตัดสินใจเลือกเส้นทางที่จะเดินทางหรือหลีกเลี่ยงเส้นทางที่ติดขัด ซึ่งช่วยรถปริมาณการติดสะสมบนทางพิเศษได้สำเร็จ และถูกนำไปติดตั้งและใช้งานจริงบริเวณจุดพักรถบางนาขาออกเป็นที่เรียบร้อยแล้ว และมีแผนจะขยายการให้บริการต่อไปให้ครอบคลุมจุดพักรถทั้งหมดของ กทพ. ต่อไป

## 6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้สำเร็วลงได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความร่วมมือจากพนักงานในสังกัดกองวิจัยและพัฒนาวิศวกรรมระบบทางพิเศษ และเจ้าหน้าที่ การทางพิเศษแห่งประเทศไทยทุกท่านที่ให้ข้อมูลรวมและช่วยสนับสนุนในส่วนงานต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง ผู้วิจัยขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

ขอขอบพระคุณ ดร.สัณห์ พันธ์อุไร ตำแหน่งหัวหน้าแผนกวางแผนบำรุงรักษาทาง การทางพิเศษแห่งประเทศไทย ที่สละเวลาเป็นปรึกษาตลอดจนปรับปรุงข้อบกพร่องต่างๆ และให้คำแนะนำด้วยความเอาใจใส่อย่างดียิ่ง ผู้วิจัยตระหนักถึงความตั้งใจจริงและทุ่มเทของ ดร.สัณห์ พันธ์อุไร ทำให้ในงานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

อนึ่ง ผู้วิจัยหวังว่า งานวิจัยฉบับนี้จะเป็นประโยชน์อยู่ไม่น้อย จึงขอมอบทั้งหมดนี้ให้แก่พนักงานในกองวิจัยและพัฒนาวิศวกรรมทางพิเศษ และเจ้าหน้าที่การทางพิเศษแห่งประเทศไทยทุกท่าน คณะผู้วิจัยยินดีที่จะรับฟังคำแนะนำจากทุกท่านที่ได้เข้ามาศึกษา เพื่อเป็นประโยชน์ในการพัฒนางานวิจัยต่อไป

## 7. บรรณานุกรม

[1] วุฒิชัย เกษรปทุมานันท์, อุทัย วังชัยศรี และคณะ. การรายงานสภาพจราจรบนทางพิเศษผ่านแอพพลิเคชั่นโทรศัพท์สมาร์ทโฟน, การประชุมวิชาการ งานวิจัยและพัฒนาเชิงประยุกต์ ครั้งที่ 7 (ECTI-CARD2015). 2558.

[2] วุฒิชัย เกษรปทุมานันท์, อุทัย วังชัยศรี และคณะ. การประยุกต์ใช้ระบบป้ายรายงานสภาพจราจรบนทางพิเศษบริเวณหน้าด่านเก็บค่าผ่านทาง, การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 18 (NCCE18). 2556.

[3] อภิรักษ์ ปาลรังษี และ กิตติมา เมฆาบัญชากิจ. การพัฒนาเว็บเซอร์วิสสำหรับธุรกิจขนาดกลางและขนาดย่อม, การประชุมวิชาการทางคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ (CIT2007). 2550, หน้า 50-55.

[4] อุดมเดช ทาระหอม และกิตติมา เมฆาบัญชากิจ. การออกแบบเว็บเซอร์วิสสำหรับการจัดการบริการของมหาวิทยาลัย, การประชุมวิชาการทางคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ (CIT2007). 2550, หน้า 74-78.

[5] สุภาพรรณ วิวัฒนะ และทองพูล หีบไธสง. ระบบสารสนเทศเพื่อบริหารจัดการการติดตั้งและบำรุงรักษาสัญญาณไฟจราจรและอุปกรณ์ควบคุมของสำนักจราจรและขนส่งกรุงเทพมหานครผ่านระบบ GIS WEB. วารสารเทคโนโลยีสารสนเทศ, 2551, ปีที่ 4 ฉบับที่ 7 มกราคม – มิถุนายน 2551.

[6] อุทัย วังชัยศรี, วุฒิชัย เกษรปทุมานันท์ และคณะ. Developing Data Exchange Center System to Mitigate Traffic Congestion on Expressway by Using Web Services, การประชุมวิชาการ การขนส่งแห่งชาติ ครั้งที่ 8 (NTC8). 2555.

[7] วุฒิชัย เกษรปทุมานันท์, อุทัย วังชัยศรี และคณะ. Development of Data Exchange Center in Intelligent Transport Systems using Web Services, การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 34 (EECON34). 2555.

[8] เสาวนี ศรีสุวรรณ, อุทัย วังชัยศรี และคณะ. การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เพื่อการจัดการจราจรบนทางพิเศษ, การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 19 (NCCE19). 2557.

[9] อุทัย วังชัยศรี, เสาวนี ศรีสุวรรณ และคณะ. การใช้เทคโนโลยีระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ร่วมกับ Web service เพื่อการจัดการจราจรบนทางพิเศษ, การประชุมวิชาการ งานวิจัยและพัฒนาเชิงประยุกต์ ครั้งที่ 7 (ECTI-CARD2015). 2558.

[10] วิเชียร, 2555. ระบบสารสนเทศเพื่อการจัด (Management Information System : MIS). สืบค้นเมื่อวันที่ 18 ตุลาคม 2558, สืบค้นจาก http://odarknesso.blogspot.com/2012/05/management-information-system-mis.html

[11] วุฒิชัย เกษรปทุมานันท์, เสาวนี ศรีสุวรรณ และคณะ. การประเมินความพึงพอใจของกลุ่มตัวอย่างผู้ใช้บริการทางพิเศษต่อป้ายรายงานสภาพจราจรอัจฉริยะ ป้ายปรับเปลี่ยนข้อความและป้ายโฆษณา, การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 19 (NCCE19). 2557.

**อุดมโชค สุริยะจรัสแสง** สำเร็จการศึกษาปริญญาตรี วิศวกรรมคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ปัจจุบันเป็นวิศวกร 4 การทางพิเศษแห่งประเทศไทย

**วุฒิชัย เกษรปทุมานันท์** สำเร็จการศึกษาปริญญาโท วิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ปัจจุบันเป็น วิศวกร 6 การทางพิเศษแห่งประเทศไทย

**อุทัย วังชัยศรี** สำเร็จการศึกษาปริญญาโท วิทยาการคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัย สงขลานครินทร์ ปัจจุบันเป็น วิทยากร 6 การทางพิเศษแห่งประเทศไทย

**เทพฤทธิ์ รัตนปัญญากร** ปัจจุบันดำรงตำแหน่งหัวหน้าแผนกวิจัยและพัฒนาระบบจราจร กองวิจัยและพัฒนาวิศวกรรมระบบทางพิเศษ การทางพิเศษแห่งประเทศไทย

**ศักดิ์ดา พรรณไวย** ปัจจุบันดำรงตำแหน่งผู้อำนวยการกองวิจัยและพัฒนาวิศวกรรมระบบทางพิเศษ การทางพิเศษแห่งประเทศไทย

# การเพิ่มฟังก์ชันการใช้งานของอุปกรณ์เราเตอร์ไร้สายที่ใช้ OpenWrt

คณิตกร ขันเชื้อ และ เรวัต ศิริโภคาภิรมย์
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
1518 ถนนประชาราษฎร์ 1 แขวงวงศ์สว่าง เขตบางซื่อ กรุงเทพ 10800
E-mail: kanikon.k@eng.kmutnb.ac.th, rawat.s@eng.kmutnb.ac.th

## บทคัดย่อ

อุปกรณ์กระจายสัญญาณไร้สาย (WiFi Hotspot) อย่างเช่น เราเตอร์ไร้สาย (Wireless Router) ทำหน้าที่เชื่อมต่ออุปกรณ์ของผู้ใช้ เช่น คอมพิวเตอร์พกพาและสมาร์ทโฟน ผ่านระบบเครือข่ายไร้สายเข้าสู่เครือข่ายขององค์กรหรืออินเตอร์เน็ตตอร์เน็ตได้ และเป็นที่ยอมรับกันทั่วไปว่า แนวโน้มของการติดตั้งและใช้งานอุปกรณ์ประเภทนี้ภายในองค์กรอย่างเช่น สถาบันการศึกษา แสดงให้เห็นถึงความหนาแน่นของการติดตั้งใช้งาน (จำนวนอุปกรณ์ต่อพื้นที่) ที่เพิ่มมากขึ้นในช่วงหลายปีที่ผ่านมา งานวิจัยนี้นำเสนอแนวทางการประยุกต์ใช้งานอุปกรณ์ประเภทนี้สำหรับวัตถุประสงค์อื่น โดยการเพิ่มฟังก์ชันการทำงานทั้งในระดับฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ ประเภท Open Source ให้แก่อุปกรณ์ที่รองรับระบบปฏิบัติการ OpenWrt พร้อมยกตัวอย่างการสร้างอุปกรณ์ต้นแบบที่ใช้ฮาร์ดแวร์แตกต่างกัน(TP-Link Archer C5 และ Arduino Yun) และสามารถนำไปใช้งานได้จริง

คำสำคัญ : อุปกรณ์กระจายสัญญาณไร้สาย, อินเตอร์เน็ตของทุกสิ่ง

## Abstract

Wi-Fi hotspots such as wireless routers allow users to connect their devices such as notebooks and smartphones, over a wireless local area network (WLAN) to organizational computer networks or the Internet. It is widely accepted that there is a growing trend of number of wireless access points installed and used in organizations like educational institutions, resulting in the increased WiFi density within an area over the past few years. This research proposes an approach to extend the functionality of those wireless routers supporting OpenWrt, by utilizing open-source software and open hardware. Working prototypes based on two different platforms, namely TP-Link Archer C5 and Arduino Yun, are presented to demonstrate the feasibility of the proposed concept.

Keywords: Wireless Access Point, Internet of Things,

## 1. บทนำ

เราเตอร์ไร้สาย (Wireless Router) เป็นอุปกรณ์ประเภทคอมพิวเตอร์ฝังตัว ทำหน้าที่กระจายสัญญาณสำหรับเครือข่ายไร้สาย มีการใช้งานอย่างแพร่หลาย ทั้งบ้าน สำนักงาน สถานที่ราชการและพื้นที่สาธารณะ รองรับมาตรฐานการเชื่อมต่อแบบไร้สายได้หลายประเภท เช่น IEEE 802.11 a/b/g/n รองรับย่านความถี่ได้ทั้ง 2.4GHz และ 5GHz เป็นต้น สามารถทำงานได้หลายโหมด เช่น โหมดเราเตอร์หรือเอพี (Access Point: AP) โหมดบริดจ์ (Bridge) และโหมดรีพีทเตอร์ (Repeater) เป็นต้น อุปกรณ์หลายรุ่นมีหน้าเว็บ (Web-based Configuration Interface) เพื่อความสะดวกในการจัดการและตั้งค่าการใช้งานสำหรับผู้ดูแลระบบ ในองค์กรหลายแห่งมีการติดตั้งอุปกรณ์เราเตอร์ไร้สายจำนวนมาก เพื่อให้ครอบคลุมพื้นที่การใช้งานอย่างทั่วถึง เช่น ในสถาบันการศึกษา อุปกรณ์เหล่านี้ได้ถูกติดตั้งไว้ใช้งาน เพื่อวัตถุประสงค์เดียวคือ เชื่อมต่ออุปกรณ์ของผู้ใช้กับระบบเครือข่ายหลักขององค์กร คำถามที่สำคัญของงานวิจัยนี้คือ เราสามารถประยุกต์ใช้งาน และเพิ่มฟังก์ชันการทำงานของอุปกรณ์ประเภทนี้ได้อย่างไรบ้าง

บทความนี้ได้เสนอแนวทางการเลือกและประยุกต์ใช้อุปกรณ์เราเตอร์ไร้สาย เพิ่มฟังก์ชันการทำงานทั้งในระดับฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ในรูปแบบต่างๆ และนำมาใช้เพื่อช่วยตรวจสอบสภาพการทำงานของระบบเครือข่าย รวบรวมและเก็บบันทึกข้อมูล นำมาวิเคราะห์และแสดงผล และช่วยในการปรับปรุงประสิทธิภาพการทำงานของระบบเครือข่าย หรือเพื่อวัตถุประสงค์อื่นได้ เป็นการใช้งานอุปกรณ์ได้อย่างคุ้มค่า และเราเชื่อว่า แนวทางที่ได้นำเสนอนี้จะสอดคล้องกับแนวโน้มการพัฒนาอุปกรณ์เราเตอร์ไร้สายของผู้ผลิตหลายราย ที่จะเกิดขึ้นในอนาคตตามยุค "อินเตอร์เน็ตของทุกสิ่ง" (Internet of Things: IoT)

## 2. ที่มาและแรงจูงใจของปัญหา

โดยทั่วไปแล้วอุปกรณ์เราเตอร์ไร้สาย สามารถรายงานหรือแสดงข้อมูลเกี่ยวกับการทำงาน เช่น จำนวนผู้ใช้ที่เชื่อมต่ออยู่ โดยระบุตามหมายเลข MAC ของอุปกรณ์แต่ละตัว ปริมาณของข้อมูลรับส่ง ความแรงหรือคุณภาพของสัญญาณ หรือมีคำสั่งให้สแกนหาอุปกรณ์เครือข่ายไร้สาย ที่เปิดใช้งานอยู่ในบริเวณโดยรอบ อย่างไรก็ตาม

ผู้ดูแลระบบจะต้องเข้าใช้งานผ่านหน้าเว็บ หากมีอุปกรณ์เราเตอร์ไร้สายจำนวนมาก จะทำให้การดูแลระบบอาจทำได้ยากและใช้เวลามาก อุปกรณ์บางรุ่นแม้ว่าจะสามารถใช้งานกับซอฟต์แวร์ควบคุมจากส่วนกลางใช้งานได้กับอุปกรณ์ได้หลายตัวในคราวเดียวกัน แต่ก็มีราคาแพงหรือต้องเสียค่าลิขสิทธิ์ใช้งาน ใช้ได้กับอุปกรณ์ของบริษัทเดียวกัน เท่านั้น และไม่สามารถเพิ่มฟังก์ชันการใช้งานได้

ถ้าเราเลือกใช้อุปกรณ์เราเตอร์ไร้สาย ที่รองรับการติดตั้งและใช้งานเฟิร์มแวร์ภายในที่เป็นระบบปฏิบัติการลีนุกซ์ Linux ร่วมกับซอฟต์แวร์ประเภท Open Source ในการเพิ่มและปรับแต่งฟังก์ชันการทำงานก็เป็นไปได้ หากอุปกรณ์มีพอร์ต I/O เชื่อมต่อกับฮาร์ดแวร์อื่นภายนอกหากมี พอร์ต USB ก็สามารถเพิ่มฟังก์ชันการทำงานในระดับฮาร์แวร์ได้อาทิ การอ่านข้อมูลจากเซนเซอร์ ข้อมูลเกี่ยวกับสภาพสิ่งแวดล้อม เช่น อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ความเข้มแสง ความดันบรรยากาศ เป็นต้น ข้อมูลดังกล่าวที่ถูกตรวจวัด สามารถถูกส่งโดยอัตโนมัติไปยังระบบคอมพิวเตอร์เครื่องอื่นหรือระบบ Cloud ภายในหรือภายนอกองค์กร (Public & Private IoT Cloud) เพื่อตรวจสอบหรือแสดงผลในช่วงเวลาปัจจุบันหรือดูย้อนหลังได้ โดย ม่จำเป็นต้องเก็บข้อมูลปริมาณมากไว้ในหน่วยความจำของตัวอุปกรณ์เราเตอร์ไร้สาย

ตัวอย่างอุปกรณ์ที่สามารถ ทำหน้าที่เป็น อุปกรณ์เราเตอร์ไร้สาย และ เหมาะสำหรับงานด้าน IoT ได้แก่ TP-Link C5 Wireless Router [4] , Arduino Yun [5] และ Linkit Smart 7688 [6]

## 3. งานและความรู้ที่เกี่ยวข้อง

ในบทความ [1] ผู้แต่งได้เสนอฮาร์ดแวร์ที่ชิป Atheros SoC ซึ่งพบได้ในอุปกรณ์กระจายสัญญาณไร้สายหลายรุ่นในตลาด โดยนำมาใช้ร่วมกับระบบปฏิบัติการ OpenWrt เพื่อเป็นตัวเลือกที่มีราคาไม่แพงสำหรับนักพัฒนาและวิจัยระบบ WLAN (Wireless LAN) นอกจากนั้นได้สาธิตการปรับเปลี่ยนซอฟต์แวร์ของระบบ เพื่อทดสอบอัลกอริทึมสำหรับโปรโตคอล Wireless Soft-MAC (Software-based Media Access Control) และได้ทดสอบกับอุปกรณ์ Netgear Wireless Router รุ่น WNDR3700

ในบทความ [2] ผู้แต่งได้นำเสนอระบบ WiZi-Cloud และแนวทางการใช้งาน ZigBee [13] เพื่อเป็นอีกตัวเลือกหนึ่งนอกเหนือจาก WiFi ในการเชื่อมต่อสมาร์ทโฟนเข้ากับระบบเครือข่ายอินเตอร์เน็ต ระบบดังกล่าวประกอบด้วยอุปกรณ์ Wireless Router ของบริษัท Linksys รุ่น WRT54GL ที่ใช้ OpenWrt มีการต่อใช้งานโมดูล TI CC2530 ผ่านพอร์ตอนุกรม เพื่อให้ทำหน้าที่เป็นเกตเวย์ที่สามารถเชื่อมต่อกับอุปกรณ์เสริมสำหรับสมาร์ทโฟน โดยใช้โปรโตคอล ZigBee ในการสื่อสารได้ ในบทความ [3] ผู้แต่งได้เลือกใช้ Linksys WRT54GL ร่วมกับ OpenWRT เป็นอุปกรณ์ในการศึกษาและทดลองวัดปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าของอุปกรณ์ดังกล่าวในสภาวะการทำงานแบบต่างๆ และนำไปพัฒนาเป็นอุปกรณ์ต้นแบบที่สามารถปรับพารามิเตอร์ของระบบ เช่น อัตราการรับส่งข้อมูล เพื่อช่วยประหยัดการใช้พลังงานได้

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบอุปกรณ์ที่รองรับการใช้งาน OpenWrt

| | TP-Link C5 WiFi Router | Arduino Yun | Linkit Smart 7688 Duo |
|---|---|---|---|
| SOC | QCA9558 | AR9331 | MT7688AN |
| CPU | MIPS 74Kc | MIPS 24K | MIPS 24KEc |
| Clock Speed | 720 MHz | 400 MHz | 580 MHz |
| Flash Mem. | 16 MB | 16 MB | 32 MB |
| RAM | 128 MB | 64 MB | 128 MB |
| MCU | No | ATmega32U4 | ATmega32U4 |
| Ethernet | 5 Port | 1Port | 1 Port |
| Wifi | 2.4 / 5 GHz IEEE 802.11b/g/n, 802.11 a/n/ac | 2.4 GHz IEEE 802.11b/g/n | 2.4 GHz IEEE 802.11b/g/n |
| USB Host | 2 Port | 1 Port | 1 Port |
| Serial Port | 1 (Internal) | 1 | 2 |
| Micro SD | No | Yes | Yes |
| GPIOs | No | 20 | 22 |

## 4. การออกแบบและพัฒนาอุปกรณ์ต้นแบบ

### 4.1 แนวทางการเพิ่มฟังก์ชันให้แก่เราเตอร์ไร้สาย

ตัวอย่างการเพิ่มฟังก์ชันการทำงานของอุปกรณ์เราเตอร์ไร้สายมีดังนี้

*4.1.1 การสแกนเพื่อตรวจหาเครือข่าย WiFi ในพื้นที่โดยรอบ*

ข้อมูลที่ได้นี้จะช่วยในการวิเคราะห์ดูว่า มีจำนวนอุปกรณ์ WiFi Hotspots ในแต่ละช่วงเวลามากน้อยเพียงไร มีการใช้ช่องสัญญาณใดบ้าง และมีความแรงของสัญญาณที่วัดได้เป็นอย่างไรบ้าง เนื่องจากความหนาแน่นของอุปกรณ์และการใช้ช่องสัญญาณส่งผลต่อประสิทธิภาพการใช้งานระบบเครือข่ายไร้สายขององค์กรโดยรวม

*4.1.2 การตรวจสอบการเชื่อมต่อภายในระบบเครือข่าย*

การตรวจสอบและเก็บข้อมูลเกี่ยวกับการเชื่อมต่อ จากอุปกรณ์เราเตอร์ไร้สายไปยังเครื่องคอมพิวเตอร์อื่น ทั้งในและนอกระบบเครือข่ายขององค์กร โดยข้อมูลดังกล่าวช่วยในการวิเคราะห์การทำงานและประสิทธิภาพ หรือตรวจสอบปัญหาของระบบเครือข่ายขององค์กรได้ ตัวอย่างคำสั่งหรือโปรแกรมที่ใช้ในการทดสอบ เช่น ping และ iperf เป็นต้น การบันทึกหมายเลข MAC ของเครื่องผู้ใช้ที่เชื่อมต่อในแต่ละช่วงเวลา และบันทึกค่าความแรงของสัญญาณที่รับได้ (RSSI) สำหรับแต่ละอุปกรณ์ของผู้ใช้ ก็ช่วยในการวิเคราะห์พฤติกรรมของผู้ใช้ได้เช่นกัน

*4.1.3 การอ่านค่าจากเซนเซอร์ที่วัดค่าเกี่ยวกับสิ่งแวดล้อม*

การเก็บข้อมูล เช่น อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ความเข้มแสง ความดันบรรยากาศ ในบริเวณที่ติดตั้งอุปกรณ์ เช่น ในกรณีที่มีการติดตั้งอุปกรณ์ไว้ในห้องที่มีเครื่องปรับอากาศ อาจช่วยในการวิเคราะห์พฤติกรรมของผู้ใช้งาน เช่น การเปิด-ปิดเครื่องปรับอากาศในช่วงเวลาต่างๆ และระดับอุณหภูมิในห้องดังกล่าวได้ เป็นต้น ในการเชื่อมต่ออุปกรณ์กับโมดูลเซนเซอร์ประเภทต่างๆ จะใช้บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นตัวกลาง เช่น Arduino ทำให้มีความยืดหยุ่นในการใช้งาน และสามารถนำข้อมูลไปเก็บในระบบ Cloud

*4.1.4 การติดกล้องบันทึกภาพ USB Webcam*

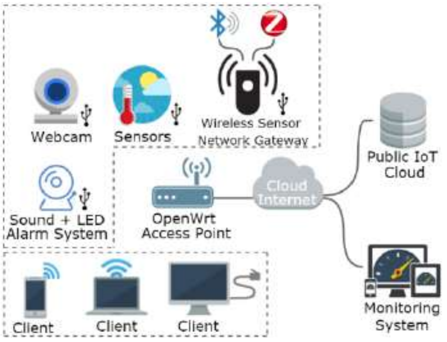
การติดกล้อง USB Webcam เป็นอุปกรณ์เสริม สามารถบันทึกข้อมูลภาพไปยังระบบ Cloud และอาจนำไปใช้ประโยชน์เพื่องานด้านการรักษาความปลอดภัยได้ เป็นต้น ในการพัฒนาอุปกรณ์ต้นแบบนอกจากนั้นสามารถตรวจจับความเคลื่อนไหวได้ด้วยการติดตั้งเซนเซอร์ที่เรียกว่า PIR Motion Sensor ที่ใช้วิธีตรวจจับรังสีอินฟราเรด

*4.1.5 การทำหน้าที่เป็นเกตเวย์ (Gateway)*

อุปกรณ์เราเตอร์ไร้สายสามารถทำหน้าที่เป็นเกตเวย์ เพื่อรับส่งหรือแปลงรูปแบบข้อมูล ที่ได้จากระบบสื่อสารแบบไร้สายอื่น เช่น การเชื่อมต่อตามมาตรฐาน IEEE 802.15.4 / ZigBee และ Bluetooth LE (BLE) หรือแบบมีสาย เช่น บัส RS485 เป็นต้น

*4.1.6 การแจ้งเตือนเหตุฉุกเฉินด้วยสัญญาณเสียงและแสง*

ถ้ามีการติดตั้งอุปกรณ์เพิ่มให้แก่เราเตอร์ไร้สาย ก็สามารถสร้างอุปกรณ์สร้างเสียงเตือน (Alarm Buzzer) และหลอดไฟสีแบบ RGB LED โดยที่ผู้ดูแลระบบสามารถเปิด-ปิดการแจ้งเตือนผ่านหน้าเว็บได้




รูปที่ 1 ภาพรวมแนวทางการเพิ่มฟังก์ชันของระบบ

## 4.2 การออกแบบและพัฒนาอุปกรณ์ต้นแบบ

อุปกรณ์เราเตอร์ไร้สายที่จะนำมาใช้งาน ต้องมีคุณสมบัติดังนี้

- รองรับระบบปฏิบัติการ OpenWrt ที่มีการใช้งานแพร่หลายสำหรับอุปกรณ์ประเภทนี้ และต้องมีหน่วยความจำแบบ Flash มากพอที่จะติดตั้งโปรแกรมต่างๆที่จำเป็น
- รองรับมาตรฐานการสื่อสารที่ใช้คลื่นความถี่ย่าน 2.4GHz และ/หรือย่าน 5GHz
- มีพอร์ต USB 2.0 อย่างน้อย 1 พอร์ต เพื่อใช้เชื่อมต่อกับอุปกรณ์อื่น หรือต่อผ่านอุปกรณ์ USB Hub ถ้าต้องการใช้อุปกรณ์ต่อกับพอร์ตมากกว่าหนึ่งอุปกรณ์

งานวิจัยนี้ได้เลือกใช้อุปกรณ์ฮาร์ดแวร์หลักดังนี้ TP-Link C5 Wireless Router OpenWrt V. Chaos Calmer 15.05 [7] อุปกรณ์นี้เชื่อมต่อกับบอร์ด Arduino ผ่าน USB Serial Port สำหรับส่วนโมดูลเซนเซอร์ใช้ไอซี Bosch BMP280 [8] สำหรับวัดอุณหภูมิ, ความชื้นสัมพัทธ์, ความดันบรรยากาศ และ ไอซี ROHM BH1750 [9] สำหรับวัดความเข้มแสง ในการเก็บข้อมูลสำหรับระบบ Cloud ได้เลือกใช้ Phant ซึ่งเป็น IoT Cloud Platform ของบริษัท Sparkfun [10], สามารถเข้าถึงข้อมูลตามรูปแบบ RESTful Web Service ในการทดสอบการทำงานระบบ Phant ได้เลือกใช้บอร์ด CubieTruck[11] ที่มีฮาร์ดดิสก์ SSD ความจุ 240 GB พร้อมติดตั้ง Lubuntu 14.04 ซึ่งมีข้อดีคือการใช้พลังงานต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับคอมพิวเตอร์แม่ข่ายทั่วไป

ส่วนการแสดงข้อมูลบนหน้าเว็บเลือกใช้ Bootstrap ในการจัดหน้าเว็บ, jQuery ในการดึงข้อมูลในรูปแบบ JSON จาก Cloud และ Hightcharts [12] ในการแสดงผลข้อมูลในรูปกราฟต่างๆ ในส่วนของการพัฒนาซอฟต์แวร์สำหรับ TP-Link C5 Wireless Router ได้เลือกใช้ภาษา Lua [7] ซึ่งมาพร้อมกับ OpenWrt แทนภาษา Python และ Node.js เนื่องด้วยข้อจำกัดของหน่วยความจำในระบบ โดยบทความนี้พัฒนาสคริปต์ภาษา Lua เพื่อทำหน้าที่สแกนเครือข่าย WiFi ในพื้นที่โดยรอบ(โดยใช้คำสั่ง iwinfo, iw และ iwlist), ตรวจสอบการเชื่อมต่อในระบบ(โดยใช้คำสั่ง ping), ติดต่อกับบอร์ด Arudino สำหรับการอ่านค่าจากเซนเซอร์ผ่านทาง USB-to-Serial และ ส่งข้อมูลไปยัง Cloud ผ่าน HTTP Protocol

## 5. การทดสอบการทำงาน

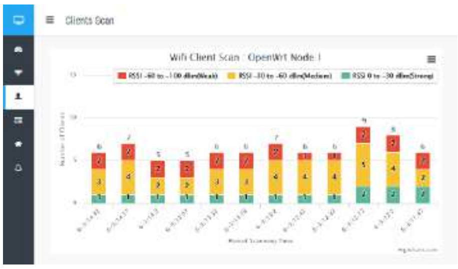
เพื่อสาธิตฟังก์ชันการทำงานของระบบตามที่ได้กล่าวไปจึงนำตัวอย่างภาพหน้าเว็บตัวอย่างมานำเสนอแบ่งตามเมนูการใช้งาน ดังนี้

รูปที่ 2 แสดงข้อมูล ชื่อ, ความแรงสัญญาณและช่องสัญญาณของอุปกรณ์ WiFi ที่ได้สแกนพบ (ย่านความถี่ 2.4 GHz) รูปที่ 3 WiFi Client Scan แสดงจำนวนผู้ใช้งานในแต่ละช่วงเวลา และ จำแนกตามความแรงของสัญญาณ รูปที่ 4 แสดงข้อมูล Round Trip Time เฉลี่ยจาก Host ต่างๆ รูปที่ 5 แสดงผลค่าที่อ่านได้จากเซนเซอร์ต่างๆ ณ ขณะนั้น และ สามารถเรียกดูข้อมูลย้อนหลังได้

สคริปต์ภาษา Lua ต่างๆที่ได้พัฒนามาใช้กับอุปกรณ์ TP-Link สามารถใช้ได้กับบอร์ด Arduino Yun แม้ว่าบอร์ดนี้มีตัวประมวลผลหลัก (AR9331) ที่มีประสิทธิภาพต่ำกว่า และ ใช้ได้เฉพาะย่านความถี่ 2.4GHz แต่สามารถใช้การ์ดหน่วยความจำ micro-SD เพื่อเพิ่มความจุของระบบทำ

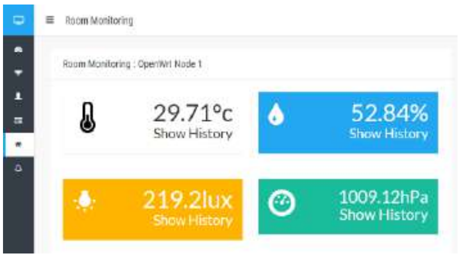
ให้เก็บข้อมูลได้มากขึ้น และ ติดตั้งโปรแกรมอื่นๆ รวมทั้งการใช้ภาษา Python และ Node.js เนื่องจากบอร์ดนี้มีชิป MCU ขนาด 8 บิตจึงสามารถนำไปต่อกับโมดูลเซนเซอร์ได้โดยตรง

รูปที่ 2 การเลือกเมนูเพื่อดูข้อมูลการสแกน WiFi APs




รูปที่ 3 การแสดงจำนวนผู้ใช้งาน WiFi (Clients)

รูปที่ 4 การดูข้อมูลผลการทดสอบเครือข่ายด้วยคำสั่ง ping




รูปที่ 5 การเลือกเมนูเพื่อดูข้อมูลที่อ่านได้จากเซนเซอร์

## 6. บทสรุป

บทความนี้ได้นำเสนอแนวความคิดและ อุปกรณ์ต้นแบบที่สามารถเพิ่มฟังก์ชันการทำงานของอุปกรณ์เราเตอร์ไร้สายให้ทำหน้าที่ได้มากกว่าการเชื่อมต่ออินเตอร์เน็ตโดยใช้ OpenWrt นำข้อมูลที่ได้จากการทำงานเก็บใน Cloud โดยบทความนี้ได้ทดลองการใช้งานดังนี้ การทำงานสแกน WiFi Aps, สแกนผู้ใช้งาน WiFi และ ทดสอบเครือข่ายใช้คำสั่งพื้นฐานใน OpenWrt การอ่านข้อมูลจากเซนเซอร์ผ่านทาง USB-to-Serial และ ส่งข้อมูลข้างต้นไปยัง Cloud ส่วนการแสดงข้อมูลรับข้อมูลจาก Cloud แสดลงผลเป็นกราฟในรูปแบบต่างๆพร้อมอัพเดทค่าอัตโนมัติตามระยะเวลาที่กำหนด

งานวิจัยต่อยอดที่คาดว่าจะดำเนินการต่อไปในอนาคตได้แก่ การเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่าง Platform ที่รองรับการใช้งาน OpenWrt รวมทั้งอัตราการใช้พลังงาน

## 7. เอกสารอ้างอิง

[1] S. Dutt, D. Habibi and I. Ahmad, "A Low Cost Atheros System-on-Chip and OpenWrt Based Testbed for 802.11 WLAN Research", IEEE TENCON 2012

[2] Tao Jin, Guevara Noubir, and Bo Sheng, "WiZi-Cloud: Application-transparent Dual ZigBee-WiFi Radios for Low Power Internet Access", IEEE INFOCOM 2011

[3] Joseph Chabarek and Paul Barford, "Power-Awareness Extensions for Network Testbeds",IEEE International Conference on Communications Workshops (ICC), 2011

[4] ESL-Learning Space, การติดตั้ง OpenWrt สำหรับ TP-Link Archer C5 Wireless Router, http://cpre.kmutnb.ac.th/esl/learning/

[5] Arduino, Arduino Yun Board, https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardYun

[6] Seeed Studio, Link Smart 7688 Duo, http://www.seeedstudio.com/

[7] OpenWrt, https://www.openwrt.org/

[8] Bosch Sensortec, BMP280, Combined humidity and pressure sensor, Final Datasheet V 1.1 May, 2015

[9] Rohm, BH1750, Digital Ambient Light Sensor, 2011 Rev.D

[10] data.sparkfun.com, https://data.sparkfun.com/

[11] Cubietruck, http://www.cubietruck.com/

[12] Hightcharts, http://www.highcharts.com/

[13] Zigbee, http://www.zigbee.org/

# ระบบเครือข่ายไร้สายโดยใช้โดรนอัตโนมัติ
# Automatic Drone Wireless Mesh Network

ปริญญา เปียพนม[1] อภิรักษ์ จันทร์สร้าง[1] ชัยพร ใจแก้ว[1] ไชยวัฒน์ กล่ำพล[2] อนันต์ ผลเพิ่ม[1*]
[1]ห้องปฏิบัติการวิจัยเครือข่ายไร้สาย ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
[2]ภาควิชาวิศวกรรมการบินและอวกาศ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
E-mail: parinya.peapanom@gmail.com, aphirak.j@ku.ac.th, chaiporn.j@ku.ac.th, fengcwp@ku.ac.th, anan.p@ku.ac.th*

## บทคัดย่อ

*จากปัญหาการรับส่งข้อมูลในบริเวณที่เข้าถึงได้ยาก และไม่มีสัญญาณอินเตอร์เน็ตทำให้ต้องใช้สถานีตัวกลางในการรับส่งข้อมูลเป็นช่วงต่อกัน แต่สถานีตัวกลางนี้อาจเกิดปัญหาขึ้นได้ และการที่จะเข้าไปแก้ไขปัญหาอาจทำได้ยากหรือเสียค่าใช้จ่ายจำนวนมาก อีกปัญหาที่สำคัญคือสถานีตัวกลางไม่มีความยืดหยุ่นในการรับส่งข้อมูล โครงงานนี้จึงได้พัฒนาระบบเครือข่ายไร้สายโดยใช้โดรนอัตโนมัติ ซึ่งโดรนเป็นตัวกลางเชื่อมต่อรับส่งข้อมูลแทนที่สถานี โดรนสามารถสร้างเครือข่ายได้อย่างอัตโนมัติเพื่อให้สามารถรับส่งข้อมูลจากต้นทางถึงปลายทางได้ โดยแบ่งการพัฒนาออกเป็น 2 ส่วนหลักคือ ส่วนโปรแกรมควบคุมภาคพื้นดิน ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของโดรนเบื้องต้น และส่วนโปรแกรมบนอุปกรณ์โดรน ทำหน้าที่คิดและสั่งการบินไปยังจุดที่เหมาะสม ส่งผลให้หากมีโดรนตัวหนึ่งขาดจากสัญญาณยังคงสามารถรับส่งข้อมูลได้*

## Abstract

*Data communication over remote areas that lack signal coverage requires intermediary stations to communicate hop by hop. These intermediary stations may still fail to operate, which can be difficult and/or expensive to repair. Another problem is that the intermediary stations are fixed, so they are not suitable for temporary connectivity. This project has developed a wireless network using automated drones as intermediaries to communicate instead of fixed stations. These drones establish a mesh network automatically in order to transfer data from source to destination. We divide the developing process into two main parts. The first is developing software for ground control, which controls the basic operation of the drones. The second is the preliminary program on the drones. It calculates and distributes commands to other drones so that they will move to designated waypoints. As a result, when the one drone loss signal, it still communicate data.*

***Keywords:*** *Quadrotor, Ad hoc, OLSR, Routing Protocol, GPS*

## 1. บทนำ

ปัจจุบันเทคโนโลยีการส่งข้อมูลไร้สายเป็นที่แพร่หลายมาก ซึ่งการส่งข้อมูลแบบไร้สายต้องมีการติดตั้งอุปกรณ์ตัวกลางไว้ล่วงหน้า มักจะมีตำแหน่งที่ตั้งตายตัวไม่สามารถเคลื่อนย้ายได้ ในการส่งข้อมูลแบบนี้มีข้อจำกัดว่าตัวรับส่งสัญญาณจะอยู่กับที่ตลอดเวลา หากเกิดเหตุขัดข้องกับอุปกรณ์ต้องการแก้ไขก็จะต้องใช้คนลงพื้นที่ บางครั้งพื้นที่เหล่านั้นอาจเป็นป่าไม้ ภูเขา หรือบริเวณที่ยากต่อการเข้าถึง จึงได้มีการใช้เทคโนโลยีการบินไร้คนขับขนาดเล็กหรือ โดรนเข้ามาช่วยในการรับส่งข้อมูล ซึ่งโดรนสามารถเคลื่อนที่และเปลี่ยนตำแหน่งได้อย่างเหมาะสมทำให้เกิดความยืดหยุ่นในการรับส่งข้อมูล

โครงการนี้เป็นโครงการต่อเนื่องของโครงการระบบเครือข่ายไร้สายโดยใช้โดรน ซึ่งพัฒนาโดย นาย ณัฐวุฒิ เอื้อศักดิ์สุภา [7] นิสิตคณะวิศวกรรมศาสตร์คอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ โดยส่วนที่ได้พัฒนาแล้วได้แก่ ส่วนของการรับส่งข้อมูลบนตัวโดรนสามารถส่งข้อมูลผ่านเครือข่ายไร้สายได้ และการควบคุมโดรนผ่านตัวคอนโทรนเลอร์ แต่โครงการดังกล่าวโดรนไม่สามารถควบคุมได้อย่างอัตโนมัติ โครงการนี้จึงได้ทำการพัฒนาให้โดรนสามารถบินไปถึงเป้าหมายและสร้างเป็นเครือข่ายได้อย่างอัตโนมัติ หากมีโดรนตัวใดตัวหนึ่งหายไปหรือหลุดการเชื่อมต่อ โดรนที่เหลือก็จะปรับเปลี่ยนรูปแบบใหม่อัตโนมัติและค้นหาเส้นทางใหม่ เพื่อให้สามารถส่งข้อมูลถึงกันได้อีกครั้งหนึ่ง

## 2. งานและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

การพัฒนาโครงการระบบเครือข่ายไร้สายโดยใช้โดรนอัตโนมัติ จะใช้เทคโนโลยีในการสื่อสารข้อมูลคือ เทคโนโลยีเครือข่ายไร้สาย IEEE802.11 ในย่าน 2.4 GHz เป็นเครือข่ายแบบ Ad hoc ซึ่งเป็นเครือข่ายแบบชั่วคราวและไม่มีจุดศูนย์กลาง เหมาะสำหรับใช้งานกับอุปกรณ์ที่ได้ต้องการติดคงที่ตายตัว ทุกตัวจะเป็นอิสระต่อกันและสามารถสื่อสารกันได้ทันที Ad hoc เป็นเครือข่ายที่ไม่มีโครงสร้างพื้นฐานใช้ในงานฉุกเฉินต่างๆ ที่ต้องการเครือข่ายขณะนั้น

ในการค้นหาเส้นทางการส่งข้อมูลใช้โพรโทคอล OLSR [2] ในการค้นหาเส้นทางของการเชื่อมต่อแบบไร้สาย โดยจะแลกเปลี่ยน Routing Table ระหว่างอุปกรณ์ในเครือข่ายไร้สาย และมีการค้นหาเส้นทางแบบจำนวนฮอบที่สั้นที่สุด ถ้ามีเส้นทางหนึ่งขาดหายไปก็จะค้นหาเส้นทางใหม่ในการเชื่อมต่อได้

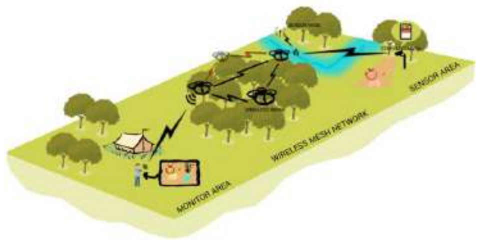
อุปกรณ์การบินใช้เทคโนโลยีอากาศยานไร้คนขับ ซึ่งในปัจจุบันมีการนำอากาศยานไร้คนขับมาประยุกต์เข้ากับงานต่างๆ มากมาย [5] และมีเซนเซอร์ระบบกำหนดตำแหน่งบนพื้นโลก (GPS) โดยคำนวณจากความถี่ของสัญญาณนาฬิกาที่ถูกส่งมาจากดาวเทียมที่โคจรรอบโลก ในโครงการนี้ได้นำโดรนขนาด 4 ใบพัดมาใช้งาน เนื่องจากเป็นอุปกรณ์การบินที่มีลักษณะ ปีกคงที่ เหมาะกับการรักษาตำแหน่งเพื่อเชื่อมต่อสัญญาณ

## 3. รายละเอียดการพัฒนา

การพัฒนาระบบจะพัฒนาในส่วนติดต่อผู้ใช้เพื่อควบคุมโดรนเพื่อให้สร้างเครือข่าย ส่วนการสร้างเครือข่ายบนตัวโดรน และส่วนรับข้อมูลปลายทาง

### 3.1 ภาพรวมของระบบ

ภาพรวมของระบบเครือข่ายไร้สายโดยใช้โดรนอัตโนมัติ แสดงดังรูปที่ 1




**รูปที่ 1.** ภาพรวมของระบบ

ส่วนสั่งงานจากผู้ใช้ (Monitor Area) เป็นส่วนของการควบคุมโดรนเพื่อให้สร้างเครือข่ายในตอนต้น และเป็นส่วนของผู้ใช้งานในการรับส่งข้อมูลจากต้นทางถึงปลายทาง โดยใช้คอมพิวเตอร์ ซึ่งหน้าจอ User Interface แสดงดังรูปที่ 2 โดยที่หน้าจอเป็น Command Line Interface บนระบบปฏิบัติการ Linux สามารถพิมพ์คำสั่งเพื่อควบคุมและตั้งค่าพื้นฐานได้สำหรับโดรนแต่ละตัว

ส่วนเครือข่ายบนตัวโดรน (Wireless Mesh Network) เป็นส่วนของการสร้างเครือข่ายตัวกลางในการรับส่งข้อมูลจากต้นทางถึงปลายทางสามารถที่จะปรับเปลี่ยนโครงสร้างได้ใหม่ ดังรูปที่ 3 เพื่อให้ยังคงสามารถรับส่งข้อมูลได้ ส่วนนี้จะเป็นฝูงโดรนบินอยู่ในอากาศ และจะมีตัวหัวหน้าคอยสั่งการควบคุมโดรนตัวอื่นๆ ถ้าตัวหัวหน้าขาดการเชื่อมต่อ จะมีตัวรองหัวหน้าเข้ามาทำหน้าที่แทน หัวหน้าโดรนจะรับคำสั่งจากผู้ใช้ เพื่อทำงานและติดต่อกับโดรนตัวอื่นๆ

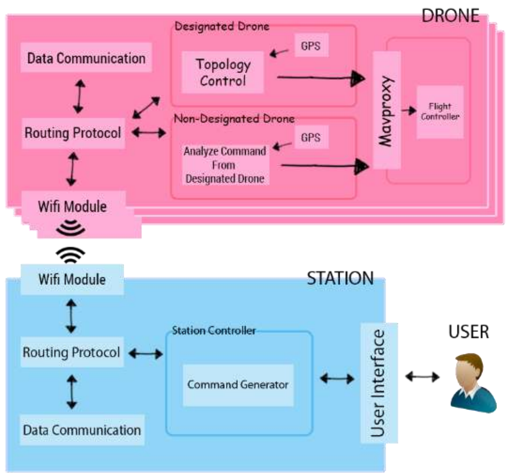
**รูปที่ 2.** Command Line Interface ที่ใช้สั่งงานของผู้ใช้

**รูปที่ 3.** ภาพโครงสร้างการเชื่อมต่อของโดรน

ส่วนเซ็นเซอร์ปลายทาง (Sensor Area) เป็นส่วนของอุปกรณ์ปลายทางที่จะส่งข้อมูลมา อาจเป็นเซ็นเซอร์วัดความชื้น ปริมาณน้ำฝน การถ่ายภาพวีดีโอ หรือการถ่ายรูปสัตว์ป่า ซึ่งเซ็นเซอร์เหล่านี้จะอยู่บริเวณกลางป่า หรือบริเวณที่ยากต่อการเข้าถึง

### 3.2 การออกแบบและพัฒนาระบบ

การพัฒนาระบบแบ่งออกเป็น 3 ส่วนหลัก คือ 1)ส่วนติดต่อกับผู้ใช้ 2)ส่วนตัวหัวหน้าโดรน และ 3)ส่วนโดรนตัวอื่นๆ โดยมีองค์ประกอบของระบบดังรูปที่ 4




**รูปที่ 4.** องค์ประกอบของระบบ

3.2.1 อุปกรณ์โดรนที่ใช้งาน

โดรนที่ใช้งานเป็นแบบปีกหมุน มีขนาด 4 ใบพัดดังรูปที่ 5 พัฒนาโดยภาควิชาการบินและอวกาศ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัย เกษตรศาสตร์ ความเร็วประมาณ 1 เมตรต่อวินาที โดรนจะเป็นการประยุกต์ตัวคอนโทรลเลอร์ Banana Pi M1+ [3] ติดเข้ากับโดรน

**รูปที่ 5.** โดรนขนาด 4 ใบพัด

3.2.2 ส่วนติดต่อกับผู้ใช้

ประกอบด้วย 2 ระบบย่อย คือ ระบบหน้าต่างผู้ใช้ในการรับส่งข้อมูลจากผู้ใช้ สถานที่ที่ต้องการส่ง หรือคำสั่งให้โดรนสร้างเครือข่ายพื้นฐาน และ ระบบการส่งข้อมูล มีหน้าที่รับข้อมูลจากส่วนต่างๆ และส่งไปยังเป้าหมายผ่านโพรโทคอลค้นหาเส้นทางเพื่อค้นหาเส้นทางการส่งและ Wi-Fi Module

3.2.3 ส่วนหัวหน้าโดรน

ส่วนนี้ประกอบด้วย 3 ระบบย่อย คือ 1)ระบบการสร้างเครือข่าย จะมีหน้าที่รับข้อมูลต่างๆมาพิจารณา เช่น ข้อมูล GPS ของโดรนตัวอื่นๆ นำมาประมวลผลเพื่อให้ได้รูปแบบเครือข่าย และส่งไปยังส่วนการส่งข้อมูล เพื่อบอกโดรนตัวอื่นๆให้ไปยังตำแหน่งที่ต้องการ 2)ระบบการส่งข้อมูล มีหน้าที่รับข้อมูลจากส่วนต่างๆ ส่งไปยังเป้าหมายผ่านโพรโทคอลค้นหาเส้นทางและ Wi-Fi Module 3) ระบบบินอัตโนมัติ มีหน้าที่รับคำสั่งจาก ระบบการสร้างเครือข่าย และทำการบินไปยังตำแหน่งที่ต้องการ

ในส่วนของอัลกอริทึมการสร้างเครือข่าย ได้ปรับปรุงการทำงานจากพื้นฐานของ Maximum Matching in Bipartite Graph [6] ดังแสดงในรูปที่ 6

3.2.4 ส่วนโดรนตัวอื่นๆ

ประกอบด้วย 3 ระบบย่อย คือ ระบบการส่งข้อมูล GPS ทำหน้าที่รับค่าจาก GPS และส่งไปยังโดรนตัวหัวหน้าผ่านระบบการส่งข้อมูล ระบบการส่งข้อมูลและระบบบินอัตโนมัติจะมีโครงสร้างเช่นเดียวกับตัวหัวหน้าโดรน

```
D = set of position of drone
T = set of position of target
W = set of matching between D and T (All subset)
W_D = []
For w in W
    Calculate all distance in w and reverse sort
    Append set of distance to W_D
Sort W_D if first value is equal then consider next value
W that generate W_D[0] is answer
```

**รูปที่ 6.** อัลกอริทึมที่พัฒนา

### 3.3 ข้อจำกัดของระบบ

ระบบที่พัฒนาใช้ได้ในเฉพาะระบบปฏิบัติการ Linux อัตราการรับส่งข้อมูลขึ้นกับอุปกรณ์ที่ใช้งาน และสภาพแวดล้อมภายนอก การบินของโดรนในแต่ละครั้งต้องมีระบบรักษาความปลอดภัยคือต้องใช้รีโมทในการนำขึ้นบินก่อนเสมอ เพื่อให้สามารถสลับมาเป็นการควบคุมด้วยรีโมทได้ในเวลาฉุกเฉิน

## 4. การทดสอบการใช้งาน

ทำการทดสอบในส่วนของการสร้าง การปรับเปลี่ยนเครือข่ายของโดรน ทดสอบเวลาที่ใช้ในการรับส่งข้อมูล และระยะเวลาในการเข้าไปแทนที่ของโดรนเพื่อให้สามารถรับส่งข้อมูลได้

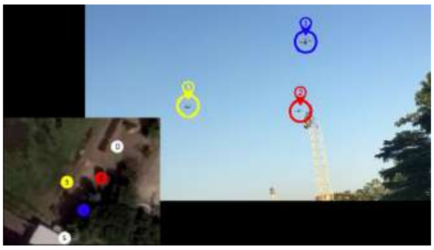
### 4.1 สภาพแวดล้อมในการทดสอบ

4.1.1 การทดสอบการสร้างเครือข่าย และการแทนตำแหน่งของโดรน

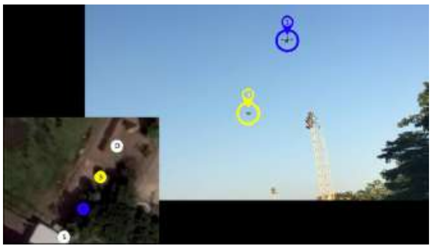
ทำการทดสอบสร้างเครือข่ายโดยใช้โดรนขนาด 4 ใบพัดจำนวน 3 ตัวโดยใช้คอนโทรลเลอร์เป็น Banana Pi M1+ ใช้เทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายแบบ Ad hoc IEEE 802.11bgn ทดสอบบริเวณสนามกีฬา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ซึ่งเป็นพื้นที่โล่ง ระยะทางจากต้นทางถึงปลายทาง 100 เมตร ในการทดสอบ กำหนดให้บินอัตโนมัติในตำแหน่งที่หัวหน้าโดรนคำนวณได้ และสั่งการโดรนตัวอื่นๆดังรูปที่ 7

4.1.2 การทดสอบระยะเวลาขาดหายไป และการกลับมาของสัญญาณ

ทำการทดสอบโดยนำบอร์ด Banana Pi M1+ จำนวน 3 ตัว จำลองเครือข่ายบนพื้นดังรูปที่ 8 ทดสอบบริเวณสนามกีฬามหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ระยะห่างแต่ละจุด 50 เมตรใช้การสื่อสารไร้สายแบบAd hoc IEEE 802.11bgn ทดสอบสัญญาณโดยใช้โปรแกรม iperf [8] และกำหนดเป็นการส่งข้อมูลแบบ UDP แบบค่าเริ่มต้นของโปรแกรม กำหนดให้บอร์ดตัวที่สองขาดหายไปจากสัญญาณ และมีตัวที่สามเข้ามาแทนที่ จับเวลาที่ขาดหายไปและอัตราการส่งข้อมูลขณะนั้น



(ก)



(ข)

**รูปที่ 7.** (ก) การทดสอบการบินอัตโนมัติ และ (ข) การแทนตำแหน่งของโดรน เมื่อขาดจากสัญญาณ

### 4.2 ผลการทดสอบและการวิจารณ์ผล

จากการทดสอบการสร้างเครือข่าย และการแทนตำแหน่งของโดรนพบว่าโดรนสามารถแทนที่ตำแหน่งของโดรนตัวที่ขาดจากสัญญาณ เพื่อให้สามารถยังคงรับส่งข้อมูลเหมือนเดิมได้ แต่จะมีระยะเวลาหนึ่งที่ต้องใช้ในการเคลื่อนที่ของโดรน ช่วงเวลานั้นอาจส่งผลให้ไม่สามารถรับส่งข้อมูลได้ขณะหนึ่ง

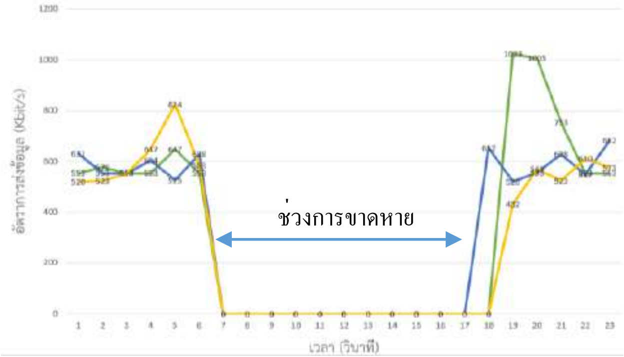
จากการทดสอบระยะเวลาขาดหายไป และการกลับมาของสัญญาณ พบว่าอัตราการส่งข้อมูลเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 432 – 1023 kbit/s ซึ่งระยะเวลาเฉลี่ยจะขาดหายไปประมาณ 10.67 วินาที เริ่มตั้งแต่วินาทีที่ 7 ถึงวินาทีที่ 17 และ 18 ดังรูปที่ 9

## 5. บทสรุป

ระบบเครือข่ายไร้สายโดยใช้โดรนอัตโนมัติสามารถนำไปใช้งานได้ในการรับส่งข้อมูลในพื้นที่ที่เข้าถึงได้ยาก และลดความยุ่งยากในการโยงสัญญาณ ลดค่าใช้จ่ายในการติดตั้งอุปกรณ์แบบตายตัว ซึ่งอุปกรณ์โดรนถือเป็นทางเลือกที่ดีที่จะนำมาประยุกต์ใช้กับงานด้านระบบเครือข่ายในพื้นที่ที่เข้าถึงได้ยาก ผู้จัดทำได้พัฒนาในส่วนของซอฟต์แวร์ ที่สำหรับใช้ควบคุมการสั่งการของโดรนแต่ละตัว เพื่อให้เป็นไปตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ และได้พัฒนาในส่วนตัวโดรนในการเชื่อมต่อต่างๆให้สามารถใช้งานได้

ผลจากการดำเนินงาน พบว่าการสร้างเครือข่ายสามารถทำได้ แต่ปัญหาที่เกิดขึ้นคือเรื่องของสัญญาณที่ค่อนข้างต่ำ และสภาพแวดล้อมขณะนั้นที่อาจส่งผลต่อระบบการรักษาตำแหน่งของโดรน เมื่อทำการทดสอบบนอากาศ

**รูปที่ 8.** การจำลองสร้างเครือข่าย




**รูปที่ 9.** กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการส่งข้อมูลกับเวลา

## 6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสมาชิกห้องปฏิบัติวิจัย ISACC ภาควิชาการบินและอวกาศ คณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ทุกท่านที่ให้ความอนุเคราะห์ในการจัดทำโครงการ โครงการนี้ได้รับทุนสนับสนุนส่วนหนึ่งจากโครงการการแข่งขันพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์แห่งประเทศไทยครั้งที่ 18

## เอกสารอ้างอิง

[1] “Ad hoc”, https://en.wikipedia.org/wiki/Ad_hoc
[2] “Optimized Link State Routing”, https://en.wikipedia.org/wiki/Optimized_Link_State_Routing_Protocol
[3] “Banana Pi”, https://en.wikipedia.org/wiki/Banana_Pi
[4] “IEEE 802.11”, https://th.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.1
[5] “UAV”, https://th.wikipedia.org/wiki/อากาศยานไร้คนขับ
[6] “Matching (graph theory)”, https://en.wikipedia.org/wiki/Matching_(graph_theory)
[7] “ระบบเครือข่ายไร้สายโดยใช้โดรน”,http://manage.nstru.ac.th/pinsorn/paper/ECTI_CARD_2015_opf_files/1171-bosssadd-camera_ready-2.pdf
[8] “iperf”, https://en.wikipedia.org/wiki/Iperf,

# ระบบตรวจวัดพลังงานไฟฟ้าผ่านเครือข่าย IPv6 แบบไร้สาย

# Electric Energy Consumption Measurement using Wireless IPv6 Network

**สุโรตม์ วงศ์ไพบูลย์ , อนันต์ ผลเพิ่ม , อภิรักษ์ จันทร์สร้าง , ชัยพร ใจแก้ว***
ห้องปฏิบัติการวิจัยเครือข่ายไร้สาย ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
E-mail: surote.z9@gmail.com, anan.p@ku.ac.th, aphirak.j@ku.ac.th, chaiporn.j@ku.ac.th*

## บทคัดย่อ

ในปัจจุบันปัญหาด้านพลังงานเป็นสิ่งสำคัญและมีการใช้พลังงานอย่างเปล่าประโยชน์ ทำให้มีพลังงานที่สูญเสียไปมากมายโดยผู้คนไม่ตระหนักถึงพลังงานที่สูญเสียไปมากนัก ดังนั้น โครงงานนี้จึงสร้างอุปกรณ์วัดค่าพลังงานไฟฟ้าและแสดงผลลัพธ์จากอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ต้องการ โดยใช้เทคโนโลยีการสื่อสารที่เป็นมาตรฐานและพร้อมสำหรับการใช้งานไอพีเวอร์ชัน 6 ที่ถูกเลือกมาใช้เป็นเทคโนโลยีการสื่อสารในระดับชั้นเครือข่ายและ เทคโนโลยีการสื่อสาร MQTT ในระดับชั้นแอปพลิเคชัน พลังงานที่อุปกรณ์ไฟฟ้าใช้นั้นจะถูกส่งมายังเครื่องแม่ข่ายแบบเวลาจริงและบันทึกไว้ในฐานข้อมูลโดยจะแสดงผลข้อมูลพลังงานไฟฟ้าในรูปแบบของกราฟผ่านเว็บไซต์

## Abstract

Nowadays, energy problems are becoming more severe. People keep using electrical appliances without clearly realizing how much energy is being wasted. Hence, this project aims to deploy electrical power sensors that measure and report energy usage from points of interest. To make the system comply with communication standards and ready for the Internet of things, IPv6 was chosen for the network layer protocol and MQTT for the application layer. Energy usage data are transmitted to the server in real-time and recorded in the database. The data are processed and visualized on the website.

## 1. บทนำ

การบริหารจัดการค่าใช้ไฟฟ้าในปัจจุบันเป็นไปอย่างยากลำบากทั้งยังระบุแน่ชัดไม่ได้ว่าอุปกรณ์ตัวใดใช้ไฟฟ้ามากเกินไปและไม่มีความสม่ำเสมอในการจัดเก็บค่าพลังงานไฟฟ้าในปัจจุบันเทคโนโลยีเครือข่ายและเครือข่ายไร้สายเข้ามามีบทบาทสำคัญและ Internet of Things ที่กำลังเป็นที่นิยมในปัจจุบันที่สามารถเชื่อมต่ออุปกรณ์เข้าด้วยกันได้ผ่านระบบอินเตอร์เน็ตเพื่อลดความยุ่งยากในการเก็บข้อมูล โครงงานนี้จึงพัฒนาระบบอุปกรณ์เก็บข้อมูลการใช้ไฟฟ้าแบบไร้สายอัตโนมัติโดยใช้ไอพีเวอร์ชัน 6 เพื่อรองรับจำนวนอุปกรณ์ที่เพิ่มขึ้นในอนาคตรวมถึงต้องใช้พลังงานในการทำงานต่ำ

## 2. งานและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในปัจจุบันการพัฒนาระบบวัดพลังงานไฟฟ้ามักจะใช้การวัดด้วยการลากสายไฟฟ้าและวัดได้ภายในครัวเรือนหรือพื้นที่ที่จำกัดซึ่งทำให้เกิดความไม่สะดวกในการวิเคราะห์ข้อมูลหรือการขยายขนาดพื้นที่ที่ใช้ในการวัดค่าพลังงานไฟฟ้า

ในการพัฒนาโครงงานนี้จะใช้เทคโนโลยี IoT ร่วมกับเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายเพื่อใช้ในการสื่อสารและส่งข้อมูลผ่านเครือข่ายแบบไร้สาย การติดต่ออุปกรณ์ใช้เทคโนโลยี 802.15.4 [1] โดยถูกออกแบบมาให้ประหยัดพลังงานและใช้งานในระยะใกล้และเป็น multi-hop network [2] ในส่วนของระดับชั้นเน็ตเวิร์คในการติดต่อสื่อสารนั้นใช้เทคโนโลยี 6LowPAN [3] ในการติดต่อสื่อสารซึ่งออกแบบมาให้รองรับไอพีเวอร์ชัน 6 และประหยัดพลังงานอีกทั้งยังมีขนาดข้อมูลที่เล็กและใช้เทคโนโลยีการสื่อสารในระดับชั้นแอปพลิเคชันเป็น MQ Telemetry Transport (MQTT) [4] ซึ่งมีขนาดเล็กและเป็นการสื่อสารแบบ publish/subscribe

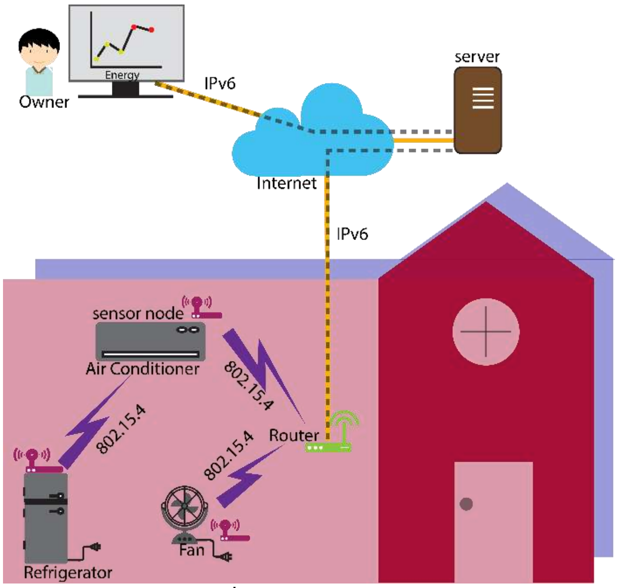
การพัฒนาเซ็นเซอร์โหนดนั้นได้ใช้ระบบปฏิบัติการณ์ Contiki OS [5] ซึ่งเป็นระบบปฏิบัติการณ์สำหรับเซ็นเซอร์โหนดที่มีขนาดเล็กอีกทั้งยังรอบรับไอพีเวอร์ชัน 6 และ 6LowPAN อีกทั้ง Contiki ยังถูกออกแบบให้ทำงานหลายงานในเวลาเดียวกันได้อีกด้วย การใช้ Contiki OS มีข้อดีคือเมื่อเปลี่ยนเซ็นเซอร์โหนดเป็นชนิดอื่นทำให้เราไม่ต้องแก้ไขโปรแกรมเพียงแค่คอมไพล์ใหม่ก็สามารถใช้งานได้กับเซ็นเซอร์โหนดใหม่ที่ Contiki OS รองรับอีกทั้งยังมีเครือข่ายสังคมที่มีคนใช้จำนวนมาก

## 3. รายละเอียดการพัฒนา

การพัฒนาระบบจะพัฒนาในส่วนที่ติดต่อกับผู้ใช้และอุปกรณ์เซ็นเซอร์โหนดเพื่อสร้างเป็นเซ็นเซอร์เน็ตเวิร์คโดยให้เซ็นเซอร์โหนดรับค่าจากอุปกรณ์วัดค่าพลังงานไฟฟ้าและทำหน้าเว็บไซต์เพื่อแสดงผล

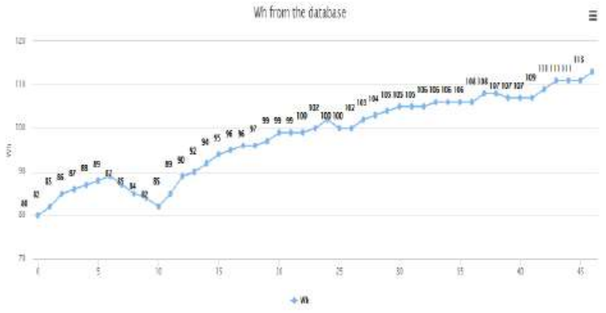
### 3.1 ภาพรวมของระบบ

ภาพรวมของระบบตรวจวัดพลังงานไฟฟ้าผ่านเครือข่าย IPv6 แบบไร้สายดังรูปที่ 1



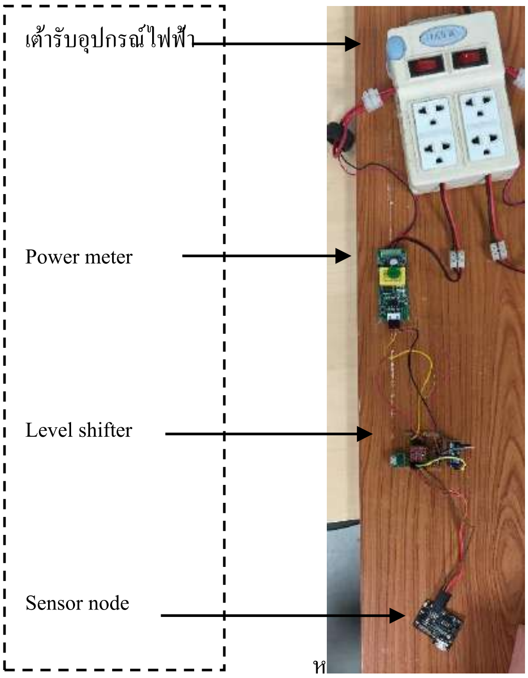

รูปที่ 1 ภาพรวมของระบบ

เมื่อเจ้าของหรือผู้ใช้เปิดเว็บไซต์เพื่อทำการดูข้อมูลอุปกรณ์ไฟฟ้าก็จะเห็นค่าอุปกรณ์ไฟฟ้าแต่ละตัวที่ปรากฏอยู่ทั้งแบบเวลาจริงและแบบรายวัน รายเดือน เป็นต้น โดยไม่จำเป็นต้องอยู่ที่ครัวเรือนเพียงแค่เปิดระบบตรวจวัดพลังงานไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์เครื่องแม่ข่ายรวมทั้งระบบเครือข่ายที่ต่อสู่อินเทอร์เน็ตก็สามารถทำงานได้ จากรูปที่ 2 เป็นการทดลองเก็บข้อมูลพลังงานลงบนฐานข้อมูลจากอุปกรณ์ไฟฟ้า ณ ที่นี่ใช้จอคอมพิวเตอร์เป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าและแสดงผลเป็นกราฟผ่านเว็บไซต์




รูปที่ 2 กราฟสำหรับแสดงผลข้อมูลจากฐานข้อมูล

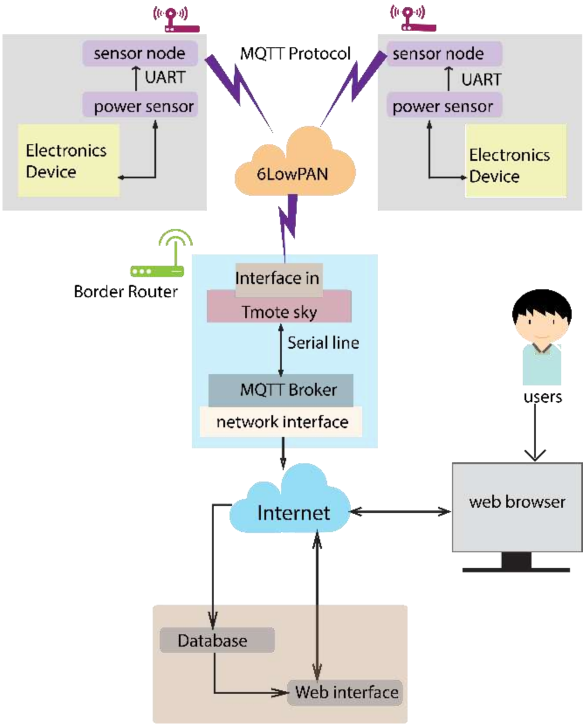
ตัวอย่างการทดลองสำหรับอุปกรณ์ไฟฟ้าจริงเป็นดังรูปที่ 3 โดยมีการต่อเต้ารับอุปกรณ์ไฟฟ้าเข้ากับเครื่องมือวัดพลังงานไฟฟ้า จากนั้นต่ออุปกรณ์วัดพลังงานไฟฟ้าเข้ากับเซ็นเซอร์โหนด




รูปที่ 3 สภาพแวดล้อมของการทดลองจริง

### 3.2 การออกแบบและพัฒนาระบบ

การพัฒนาระบบแบ่งออกเป็น 2 ส่วนหลักคือ 1) เครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย 2) ส่วนเซิร์ฟเวอร์ที่ใช้เก็บข้อมูลของพลังงานไฟฟ้า โดยมีองค์ประกอบของระบบดังรูปที่ 4




รูปที่ 4 รูปองค์ประกอบของระบบ

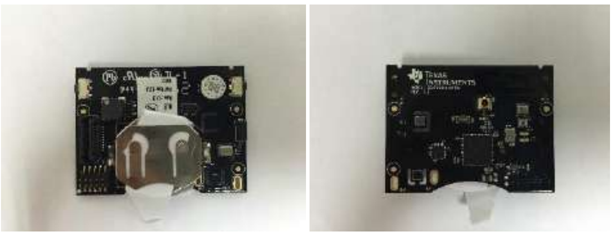
ในส่วนของเซ็นเซอร์โหนดที่ติดกับอุปกรณ์วัดค่าพลังงานไฟฟ้าเป็นโหนดสื่อสารไร้สาย CC2650 Sensortag [6] ซึ่งรองรับเทคโนโลยีการสื่อสารแบบ IEEE 802.15.4 และ 6LoWPAN

*3.2.1 เซ็นเซอร์เน็ตเวิร์ค*

ประกอบไปด้วยเซ็นเซอร์โหนด CC2560 Sensortag [7] เชื่อมต่อผ่าน UART เข้ากับอุปกรณ์วัดค่าพลังงานไฟฟ้าโดยผ่าน level shifter ที่เป็นตัวแปลงแรงดันระหว่างเซ็นเซอร์โหนดและอุปกรณ์วัดค่าพลังงานไฟฟ้า Peacefair PZEM-004 power meter [6] และ Tmote Sky ทำเป็น border router ต่อเข้ากับคอมพิวเตอร์ผ่าน serial line ดังรูปที่ 5

(ก) (ข)

รูปที่ 5 (ก) เซนเซอร์โหนด Tmote sky และ (ข) อุปกรณ์วัดกำลังไฟ



รูปที่ 6 เซ็นเซอร์โหนด CC2650 sensortag (ก) ด้านหลัง (ข) ด้านหน้า

*3.2.2 โปรแกรมประยุกต์บนเว็บไซต์*

เป็นเว็บไซต์ที่สามารถเข้าดูได้จากทุกที่เพื่อใช้ในการแสดงผลข้อมูลพลังงานไฟฟ้าที่ได้รับจากเซ็นเซอร์โหนดโดยใช้เครื่องมือ Nodejs ในการพัฒนาส่วนของฝั่งแม่ข่ายและแสดงผลด้วยกราฟให้กับลูกข่ายโดยสามารถแสดงค่าพลังงานไฟฟ้าแบบเวลาจริงและแสดงค่าพลังงานไฟฟ้าจากฐานข้อมูลเพื่อดูข้อมูลย้อนหลังได้

### 3.3 ข้อจำกัดของระบบ

ระบบที่พัฒนามีข้อจำกัดโดยเมื่อติดตั้งระบบจะต้องทราบใช้ไอพีเครื่องแม่ข่ายจริงเพื่อให้ MQTT subscribe ข้อมูลได้จากเครื่องแม่ข่ายและเครื่องแม่ข่ายจำเป็นต้องรองรับไอพีเวอร์ชัน 6

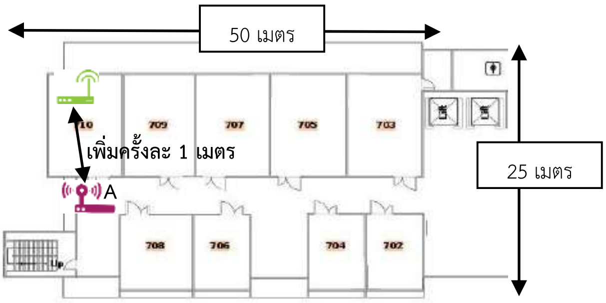
## 4. การทดสอบการใช้งาน

ทำการทดสอบระบบในส่วนของการส่งข้อมูลผ่านรูปแบบ multi-hop ระหว่างเซ็นเซอร์โหนดและทำการทดสอบที่ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ชั้นที่ 7

### 4.1 สภาพแวดล้อมในการทดสอบ

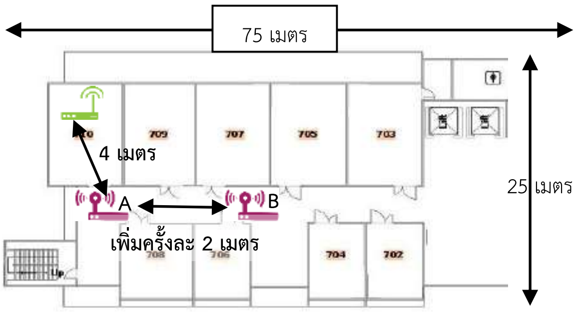
*4.1.1 การทดสอบระยะเวลาที่ใช้ในการส่งข้อมูลผ่าน MQTT จากเซ็นเซอร์โหนดไปยังเครื่องแม่ข่าย*

ทำการทดสอบโดยเปิดเครื่องคอมพิวเตอร์ไว้โดยต่อ border router และทำการตั้งค่าไอพีเวอร์ชัน 6 ให้กับ border router เพื่อให้ border router แจกไอพีเวอร์ชั่น6 ให้กับเซ็นเซอร์โหนดอื่นๆที่ต้องการเชื่อมต่อเข้ามา จากนั้นทำการเปิดรอรับเซ็นเซอร์โหนด ใช้คอมพิวเตอร์อีกเครื่องต่อเข้ากับเซ็นเซอร์โหนดและส่งเวลาปัจจุบันที่เป็นเวลาที่ใช้ในการส่งข้อมูล ณ ขณะนั้นเป็นข้อมูลเมื่อข้อมูลไปถึงเครื่องแม่ข่ายก็ใช้เวลา ณ ปัจจุบันที่ได้รับข้อมูลมาหักล้างกันเพื่อให้ได้เวลาที่ใช้ในการส่งข้อมูลทั้งหมดโดย MQTT ที่ใช้ส่งแต่ละครั้งมีระยะห่างเวลาในการส่ง 10 วินาทีโดยเพิ่มระยะครั้งละ 1 เมตร




รูปที่ 7 สภาพแวดล้อมการทดลองแบบ 1 hop

*4.1.2 การทดสอบระยะเวลาที่ใช้ในการส่งข้อมูลผ่าน MQTT จากเซ็นเซอร์โหนดไปยังเครื่องแม่ข่ายแบบ multi-hop*

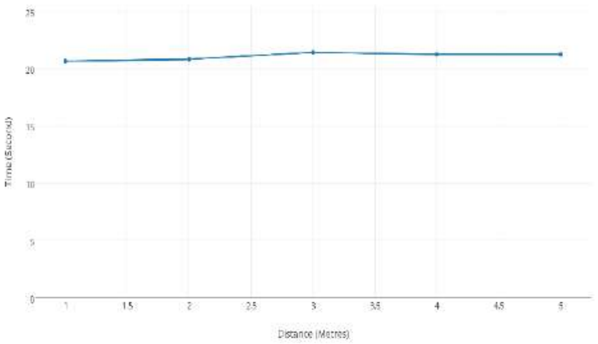



รูปที่ 8 สภาพแวดล้อมการทดลองแบบ 2 hop

ทำการทดสอบโดยเปิดเครื่องคอมพิวเตอร์ไว้โดยต่อ border router และทำการตั้งค่าไอพีเวอร์ชัน 6 ให้กับ border router เพื่อให้ border router แจกไอพีเวอร์ชั่น 6 ให้กับเซ็นเซอร์โหนดอื่นๆที่ต้องการเชื่อมต่อเข้ามา จากนั้นทำการวางตัวเซ็นเซอร์โหนด A ไว้ห่างจาก border router เป็นระยะ 4 เมตรจากนั้นให้เซ็นเซอร์โหนด B ต่อเข้ากับคอมพิวเตอร์อีกเครื่องหนึ่งเพื่อให้ส่งเวลาขณะที่กำลังส่งข้อมูลผ่าน MQTT ไปยังเครื่องแม่ข่ายโดยผ่าน เซ็นเซอร์โหนด A ก่อนจะไปถึงโดย MQTT ที่ใช้ส่งแต่ละครั้งมีระยะห่างเวลาการส่ง 10 วินาทีโดยเพิ่มระยะครั้งละ 2 เมตร

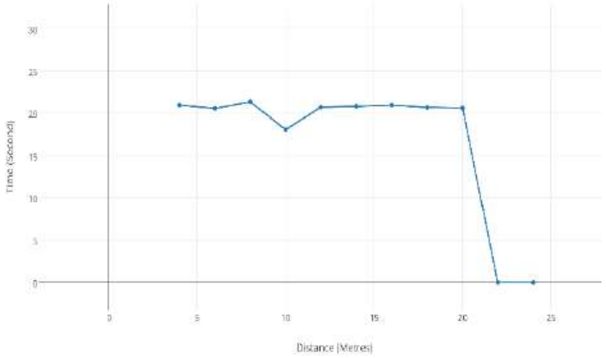
**4.2 ผลการทดสอบและวิจารณ์ผล**

จากการทดสอบระยะเวลาที่ใช้ในการส่งข้อมูลจากเซ็นเซอร์โหนด A ไปยังเครื่องแม่ข่ายตามรูปที่ 7 ได้ผลการทดลองดังรูปที่ 9 จากการเพิ่มระยะห่างครั้งละ 1 เมตร การส่งข้อมูลผ่าน MQTT มีค่าความหน่วงเวลาประมาณ 20 วินาทีโดยเฉลี่ยในระยะ 1-5 เมตร




รูปที่ 9 ผลการทดสอบระยะเวลาที่ใช้ในการส่งข้อมูลจากโหนด A ไปยังเครื่องแม่ข่าย

จากการทดลองที่ 4.1.2 หาระยะเวลาที่ใช้ในการส่งข้อมูลจากเซ็นเซอร์โหนด Bไปยังเครื่องแม่ข่ายโดยผ่านเซ็นเซอร์โหนด A ที่เป็นตัวกลางได้ผลการทดลองดังรูปที่ 10 เมื่อเพิ่มถึงระยะ 20 เมตรจากเซ็นเซอร์โหนด A ยังสามารถใช้งานได้แต่เมื่อเพิ่มระยะอีกหลังจาก 20 เมตร เซ็นเซอร์โหนด B ไม่สามารถที่จะเชื่อมต่อกับเซ็นเซอร์โหนด A ได้




รูปที่ 10 ผลการทดสอบเวลาการส่งข้อมูลจากเซ็นเซอร์โหนด B ไปยังเครื่องแม่ข่าย

## 5. บทสรุป

ระบบตรวจวัดพลังงานไฟฟ้าผ่านเครือข่ายไอพีเวอร์ชัน 6 แบบไร้สายสามารถใช้งานได้และสามารถทำงานแบบ multi-hop ของเซ็นเซอร์ได้อีกทั้งยังสามารถใช้เอ็มคิวทีทีเป็นช่องทางในการสื่อสารในระดับชั้น แอปพลิเคชันได้โดยรวมระบบสามารถวัดค่าพลังงานไฟฟ้าที่อุปกรณ์ไฟฟ้าใช้ได้และสามารถส่งมายังเครื่องแม่ข่ายรวมถึงยังสามารถดูได้จากทุกที่

สำหรับแนวทางในการพัฒนาต่อสามารถพัฒนาระบบเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายให้สามารถส่งข้อมูลได้เร็วขึ้น หรือสามารถนำข้อมูลพลังงานไฟฟ้ามาวิเคราะห์เพื่อทำนายการใช้งานพลังงานไฟฟ้าในอนาคต

## 6. กิตติกรรมประกาศ

โครงงานนี้ได้รับทุนสนับสนุนส่วนหนึ่งจากโครงการการแข่งขันพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์แห่งประเทศไทยครั้งที่ 18 จากศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ

## เอกสารอ้างอิง

[1] IEEE 802.15.4, https://en.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.15.4, [สืบค้นเมื่อ มีนาคม 2559]

[2] Multi-Hop Networking, http://www.profheath.org/research/multi-hop-networking/, [สืบค้นเมื่อ มีนาคม 2559]

[3] C. Yibo, K. M. Hou, H. Zhou, H. l. Shi, X. Liu, X. Diao, et al., "6LoWPAN Stacks: A Survey," in Wireless Communications, Networking and Mobile Computing (WiCOM), 2011 7th International Conference on, 2011, pp. 1-4.

[4] U. Hunkeler, H. L. Truong, and A. Stanford-Clark, "MQTT-S: A publish/subscribe protocol for Wireless Sensor Networks," in Communication Systems Software and Middleware and Workshops, 2008. COMSWARE 2008. 3rd International Conference on, 2008, pp. 791-798.

[5] L. Bruno, M. Franceschinis, C. Pastrone, R. Tomasi, and M. Spirito, "6LoWDTN: IPv6-enabled Delay-Tolerant WSNs for Contiki," in Distributed Computing in Sensor Systems and Workshops (DCOSS), 2011 International Conference on, 2011, pp. 1-6.

[6] Texas Instruments, "SimpleLink™ Bluetooth Smart®/Multi-Standard SensorTag", http://www.ti.com/tool/cc2650stk, [สืบค้นเมื่อ มกราคม 2559]

[7] Arduino communication library for Peacefair PZEM-004T Energy monitor, https://github.com/olehs/PZEM004T, [สืบค้นเมื่อ มกราคม 2559]

**บทความวิจัย**
การประชุมวิชาการ งานวิจัยและพัฒนาเชิงประยุกต์ ครั้งที่ 8
*8th ECTI-CARD 2016, Hua Hin, Thailand*

# การศึกษาแนวทางการปรับปรุงระบบเครือข่ายไร้สายโดยใช้หลักการบริหารโครงการ กรณีศึกษา ศูนย์แพทยศาสตรศึกษาชั้นคลินิก โรงพยาบาลหาดใหญ่

# Feasibility Study of Wireless Network Implementation Based on Project Management Concept: A Case Study of Medical Education Center

**ยศธร ใจสว่าง[1] และ ธัชชัย เอ้งฉ้วน[2]**
[1]หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
15 ถ.กาญจนวณิชย์ อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา 90110 โทรศัพท์ 0-7428-2000 โทรสาร 0-7455-8941
[2]อาจารย์คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
15 ถ.กาญจนวณิชย์ อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา 90110 โทรศัพท์ 0-7428-2000 โทรสาร 0-7455-8941

## บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ในการศึกษาแนวทางการปรับปรุงเครือข่ายไร้สาย ซึ่งได้สำรวจพื้นที่เพื่อใช้ในการออกแบบก่อนการติดตั้งระบบเครือข่ายไร้สาย พร้อมทั้งกำหนดแนวทางการพัฒนาระบบเครือข่ายไร้สายตามหลักการบริหารเครือข่าย ให้สอดคล้องกับพระราชบัญญัติว่าด้วยการกระทำความผิดเกี่ยวกับคอมพิวเตอร์ พ.ศ. 2550 และเสนอทางเลือกในการลดค่าใช้จ่ายในการใช้งานระบบอินเตอร์เน็ตขององค์กร จากผลสำรวจทั้ง 3 ด้าน คือ ด้านประสิทธิภาพ ด้านการยืนยันสิทธิ์การใช้งานและด้านการให้บริการ พบว่ากลุ่มตัวอย่างเห็นด้วยกับการปรับปรุงระบบเครือข่ายไร้สายขององค์กรทั้งสามด้าน

คำสำคัญ: การบริหารจัดการเครือข่าย, ระบบเครือข่ายไร้สาย

## Abstract

This study was aimed to improve wireless network performance. We explored and design the area to network installation. Moreover, the policy of network development was created along to the act on the computer ralated crime and maintainaree and service fees were deceased. All evaluations showed positive results refer to the user approval and satisfaction for this improvement.

Keywords: Network Management, Wireless Network System

## 1. บทนำ

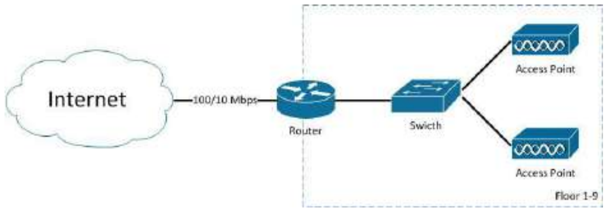
ปัจจุบันได้มีการประยุกต์ใช้เครือข่ายไร้สายเข้ามาเป็นส่วนหนึ่งของระบบด้านการศึกษา มีการนำระบบอินเตอร์เน็ตมาใช้เพื่อให้เข้าถึงแหล่งข้อมูล ทำให้มีความสะดวกรวดเร็ว ผู้วิจัยจึงได้ศึกษาปัญหาระบบเครือข่ายไร้สายในปัจจุบันพบว่า รูปแบบการเชื่อมต่อระบบอินเตอร์เน็ตที่แยกต่อกันในแต่ละชั้นภายในอาคาร เกิดปัญหาเรื่องความล่าช้าในการใช้งานระบบอินเตอร์เน็ต เนื่องจากไม่มีระบบควบคุมการใช้งานแบนวิธ (Bandwidth) ประกอบกับการติดตั้งอุปกรณ์กระจายสัญญาณระบบเครือข่ายไร้สายไม่ครอบคลุมพื้นที่ รวมทั้งค่าใช้จ่ายในการใช้งานอินเตอร์เน็ต ณ ปัจจุบัน ค่าบริการเฉลี่ยต่อเดือน เดือนละ 5 หมื่นบาท นอกจากนี้การใช้งานระบบเครือข่ายไร้สายขององค์กร ไม่สอดคล้องกับพระราชบัญญัติว่าด้วยการกระทำความผิดเกี่ยวกับคอมพิวเตอร์ พ.ศ. 2550 ที่ต้องจัดเก็บข้อมูลจราจรทางคอมพิวเตอร์ (Logfile) ไม่น้อยกว่า 90 วัน

จากปัญหาดังกล่าว ผู้วิจัยจึงได้สำรวจและศึกษาวิธีการปรับปรุงระบบเครือข่ายไร้สายที่สามารถนำไปปฏิบัติได้จริง (Best Practices) โดยการออกแบบและติดตั้งระบบเครือข่ายไร้สายให้ครอบคลุมพื้นที่ใช้บริการ พร้อมทั้งกำหนดแนวทางการพัฒนาระบบเครือข่ายไร้สายของศูนย์แพทยศาสตรศึกษาชั้นคลินิก โรงพยาบาลหาดใหญ่ ให้สามารถตอบสนองความต้องการของผู้ใช้งาน เพื่อให้ระบบมีความปลอดภัย สำหรับการควบคุมและตรวจสอบ โดยจะสอดคล้องกับพระราชบัญญัติว่าด้วยการกระทำความผิดเกี่ยวกับคอมพิวเตอร์ พ.ศ. 2550 ตลอดจนสามารถลดค่าใช้จ่ายในการใช้งานอินเตอร์เน็ตขององค์กร

## 2. ระเบียบวิธีวิจัย

### 2.1 ศึกษาปัญหาและรวบรวมข้อมูล

ปัจจุบันระบบเครือข่ายไร้สายของศูนย์แพทยศาสตรศึกษาชั้นคลินิก โรงพยาบาลหาดใหญ่ ใช้ระบบเครือข่ายไร้สายแบบต่ออินเตอร์เน็ตแยกแต่ละชั้นของอาคาร มีการติดตั้งอินเตอร์เน็ตตั้งแต่ชั้นที่ 1 ถึงชั้นที่ 9 ขนาดช่องสัญญาณอินเตอร์เน็ตที่ใช้งานจำนวน 100 Mbps /10 Mbps ต่อจุด ดังรูปที่ 1

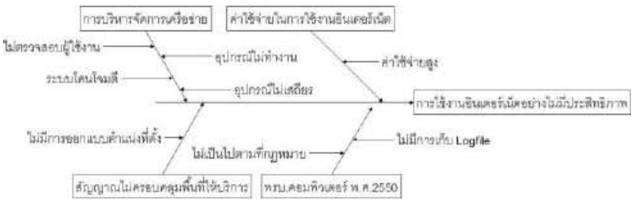



**รูปที่ 1** รูปแบบเครือข่ายไร้สายในปัจจุบัน

ปัจจุบันปัญหาการใช้งานอินเตอร์เน็ตสามารถวิเคราะห์ได้เป็น 3 กลุ่ม ดังต่อไปนี้

- กลุ่มผู้บริหาร เนื่องจากไม่มีระบบการจัดเก็บข้อมูลการใช้งานอินเตอร์เน็ต ทำให้ไม่ทราบข้อมูลและข้อมูลการใช้งานทั้งหมดที่เกี่ยวกับระบบเครือข่ายไร้สาย ส่งผลให้ไม่สามารถดำเนินการพัฒนาระบบเครือข่ายไร้สายเพื่อให้มีประสิทธิภาพได้
- กลุ่มผู้ดูแลระบบ เนื่องจากระบบการใช้งานอินเตอร์เน็ตในปัจจุบันเป็นแบบแยกชั้น ทำให้เกิดการกระจายของอุปกรณ์ตามจุดต่าง ๆ เป็นจำนวนมาก หากมีอุปกรณ์ที่ชำรุดเสียหาย ผู้ดูแลไม่สามารถทราบถึงสถานะของอุปกรณ์ และกรณีมีไฟฟ้าขัดข้องหรือกระแสไฟฟ้าไม่คงที่ ทำให้อุปกรณ์ชำรุด ซึ่งต้องเสียเวลาในการตรวจสอบอุปกรณ์และตั้งค่าอุปกรณ์ใหม่
- กลุ่มผู้ใช้งาน เนื่องจากสัญญาณไม่ครอบคลุมพื้นที่ใช้บริการ โดยเฉพาะช่วงเวลาที่มีผู้ใช้งานพร้อมกัน ทำให้เกิดความล่าช้าในการเชื่อมต่อสัญญาณและการใช้งานส่งผลให้การสืบค้นข้อมูลเกิดความล่าช้าไปด้วย ขาดความเชื่อมั่นในการใช้งานระบบเครือข่ายไร้สาย

ปัญหาที่ทำให้การใช้งานอินเตอร์เน็ตในปัจจุบันไม่มีประสิทธิภาพ คือ ปัญหาการบริหารจัดการเครือข่าย ปัญหาค่าใช้จ่าย ปัญหา พรบ.คอมพิวเตอร์ พ.ศ. 2550 ปัญหาสัญญาณไม่ครอบคลุมพื้นที่ให้บริการ ดังรูปที่ 2




**รูปที่ 2** แผนภาพก้างปลาระบุปัญหาเครือข่ายไร้สายในปัจจุบัน

## 2.2 การวิเคราะห์ระบบ

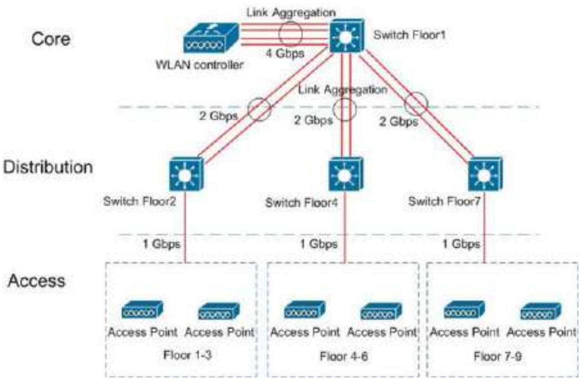
จากปัญหาการใช้งานอินเตอร์เน็ตในปัจจุบัน สามารถแก้ไขปัญหา โดยผู้วิจัยนำแนวทางการบริหารจัดการเครือข่าย (Network Management) การออกแบบเครือข่ายแบบลำดับชั้น (Hierarchical Network) และการออกแบบการวางจุดติดตั้ง Access Point (Site Survey) ก่อนการติดตั้งอุปกรณ์

โดยการทำ Site Survey แบบ Passive ซึ่งเป็นรูปแบบการใช้ซอฟต์แวร์จำลองการแผ่ของคลื่นวิทยุ โดยติดตั้ง Access Point ขึ้นมาเท่ากับจำนวนที่สำรวจ โดยการใช้ซอฟต์แวร์ HiveManager NG ของบริษัท Aerohive เป็นระบบบริหารจัดการเครือข่ายไร้สายของ Aerohive แบบคลาว์ดสามารถใช้ WiFi Planning Tool ทำงานผ่านหน้า Web-based ดังรูปที่ 3 สามารถสร้างหรือ Upload แผนที่ ที่ต้องการวางจุดติดตั้ง Access Point และสร้างรายงานจากการวางแผนให้ได้ ทดลองให้ใช้งานได้ฟรี 30 วัน

**รูปที่ 3** WiFi Planning Tool ทำงานผ่านหน้า Web-based

## 2.3 ออกแบบระบบ

ผู้วิจัยได้ออกแบบเครือข่ายแบบลำดับชั้น (Hierarchical Network) [1] เพื่อควบคุมการบรอดคาสต์ (Broadcast) และจัดการโซนเพื่อควบคุมและรักษาความปลอดภัยของระบบโดย Core Layer เป็นอุปกรณ์หลักที่เชื่อมต่อระหว่างกันด้วยความเร็วสูง Distribution Layer เป็นอุปกรณ์ที่เชื่อมโยงอุปกรณ์หลักไปยังอุปกรณ์เครือข่ายปลายทาง Access Layer รองรับการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ปลายทางจากผู้ใช้งาน และการออกแบบจึงกำหนด Bandwidth Aggregation [2] เพื่อให้จุดที่เป็นคอขวด สามารถเชื่อมต่อกันให้ปริมาณช่องสัญญาณที่เพิ่มขึ้น โดยที่ Wireless Controller มีความต้องการเข้ามาใช้งานสูงเนื่องจากต้องติดต่อกับ Access Point ตลอดเวลา ก็มีโอกาสที่เกิดคอขวดได้ ดังรูปที่ 4




**รูปที่ 4** การทำ Link Aggregation

จากการศึกษาหลักการบริหารเครือข่าย (Network Management) [3] สามารถนำแนวทางแก้ไขปัญหาตามองค์กรมาตรฐานนานาชาติ ISO ที่ได้กำหนดแนวทางสำหรับการบริหารเครือข่ายอย่างเป็นระบบ ซึ่งประกอบด้วย คือ การบริหารประสิทธิภาพ การบริหารข้อผิดพลาด การบริหารการกำหนดค่าเบื้องต้น การบริหารบัญชีผู้ใช้ และการบริหารด้านความปลอดภัย ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สรุปผลการนำแนวทางการบริหารเครือข่าย

| **หัวข้อ** | **ผลการนำแนวทางการบริหารเครือข่ายมาใช้งาน** |
|---|---|
| การบริหารประสิทธิภาพ (Performance Management) | การออกแบบผัง Bandwidth Aggregation |
| การบริหารข้อผิดพลาด (Fault Management) | ใช้ Protocol SNMP เพื่อตรวจสอบการทำงานของอุปกรณ์เครือข่ายไร้สาย |
| การบริหารการกำหนดค่าเบื้องต้น (Configuration Management) | ใช้ Protocol CAPWAP (Control And Provisioning of Wireless Access Points) เพื่อกำหนดค่าการทำงานของ Access Point |
| การบริหารบัญชีผู้ใช้ (Accounting Management) | การกำหนด Policy Management โดยให้ผู้ใช้งานต่อ 1 Account สามารถใช้งานได้ 5 Mbps /2 Mbps |
| การบริหารด้านความปลอดภัย (Security Management) | มีระบบตรวจจับการบุกรุกเครือข่ายไร้สาย Wireless Intrusion Prevention System (WIPS) |

## 2.4 การพัฒนาระบบ

ผู้วิจัยได้ทำการเก็บข้อมูลความต้องการ และรูปแบบการใช้งาน รวมถึงการศึกษาสภาพแวดล้อมต่าง ๆ โดยใช้วิธีการเดินสำรวจสถานที่ที่ต้องการใช้งาน และสอบถามจากผู้ใช้งานหรือผู้ดูแลระบบเครือข่าย สิ่งที่ต้องเก็บข้อมูลประกอบด้วย

2.4.1 รูปแบบเครือข่ายเดิม เพื่อให้ผู้ออกแบบสามารถนำไปประกอบพิจารณาในขั้นตอนการออกแบบเพื่อวิเคราะห์ผลกระทบต่างๆ ที่มีต่อเครือข่ายเดิมได้

2.4.2 ลักษณะของพื้นที่ ควรเริ่มจากการสำเนาแบบของพื้นที่หรืออาคาร และเดินสำรวจสถานที่จริงเพื่อตรวจสอบความถูกต้องของแบบ และรายละเอียดของวัสดุที่ใช้ทำผนัง ตู้เอกสาร และฉากกั้นต่าง ๆ ที่อาจจะส่งผลต่อการปิดกั้นสัญญาณวิทยุแล้วระบุลงในแบบ

2.4.3 ประเภทของซอฟต์แวร์ที่ใช้งาน โดยเก็บข้อมูลผ่านเครือข่ายไร้สาย เช่น Web, Streaming Video, File Transfer หรือโปรแกรมเฉพาะงานต่าง ๆ ที่ใช้ในองค์กร เพื่อแบ่งแยกข้อมูลที่รับส่งผ่านเครือข่ายไร้สายว่าเป็นประเภทใด (Data, Video, Voice) เพื่อให้ผู้ออกแบบระบบสามารถทราบถึงรูปแบบของข้อมูลที่จะมีการรับส่งในระบบเครือข่ายไร้สาย เพื่อระบุปริมาณการใช้งานเครือข่าย เช่น Google Apps for Education มีการรับส่งประเภทข้อมูล (Data) และ YouTube มีการรับส่งประเภทวีดีโอ (Video) เป็นต้น

2.4.4 จำนวนผู้ใช้งาน เป็นการสำรวจแต่ละพื้นที่ที่มีความต้องการใช้งานเครือข่ายไร้สายว่ามีผู้ใช้งานมากน้อยเพียงใด ลักษณะการใช้งานของผู้ใช้งานเครือข่ายไร้สายเป็นแบบกำหนดจุด หรือเคลื่อนที่เพราะหากผู้ใช้งานมีการเคลื่อนย้ายตำแหน่งระหว่างการใช้งานผู้ออกแบบต้องคำนึงถึงการ Roaming ด้วย

2.4.5 กำหนดพื้นที่ที่ต้องการใช้งานเครือข่ายไร้สาย เพื่อให้สามารถคำนวณปริมาณ Access Point ให้เหมาะสม

2.4.6 ประเภทของอุปกรณ์ไร้สาย เพื่อสำรวจว่าผู้ใช้งานเครือข่ายไร้สายใช้อุปกรณ์ไร้สายประเภทใด และใช้ระบบปฏิบัติการใดเพื่อให้ครอบคลุมการเชื่อมต่อจากอุปกรณ์ได้หลากหลายประเภท

2.4.7 งบประมาณ เป็นสิ่งที่ต้องทราบเพื่อใช้ประกอบการออกแบบ โดยงบประมาณที่จะนำมาลงทุนกับระบบเครือข่ายไร้สายว่ามีมากน้อยเพียงใด ในกรณีที่งบประมาณจำกัดผู้ออกแบบสามารถนำข้อมูลส่วนนี้ไปใช้เพื่อให้ระบบเหมาะสมกับงบประมาณ

2.4.8 ช่วงเวลาที่ต้องการใช้งาน เป็นการสำรวจระยะเวลาที่มีผู้ใช้งานเป็นจำนวนมากในเวลาเดียวกัน เพื่อให้ระบบทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

## 2.5 การประเมินประสิทธิภาพของระบบ

การประเมินประสิทธิภาพของระบบ ได้กำหนดเกณฑ์แบบมาตรอันดับ (Rating Scale) ตามวิธีการของไลเคอร์ท (Likert) ประกอบด้วยระดับการให้คะแนน 5 ระดับ ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 เกณฑ์การให้คะแนนแบบประเมิน

| **ระดับเกณฑ์การให้คะแนน** | | **ความหมาย** |
|---|---|---|
| **คะแนนเฉลี่ย** | **เชิงปริมาณ** | |
| 4.6 – 5.0 | 5 | ความพึงพอใจต่อระบบอยู่ในระดับดีมาก |
| 3.6 – 4.5 | 4 | ความพึงพอใจต่อระบบอยู่ในระดับดี |
| 2.6 – 3.5 | 3 | ความพึงพอใจต่อระบบอยู่ในระดับปานกลาง |
| 1.6 – 2.5 | 2 | ความพึงพอใจต่อระบบอยู่ในระดับน้อย |
| 1.0 – 1.5 | 1 | ความพึงพอใจต่อระบบอยู่ในระดับน้อยที่สุด |

## 2.6 ผลการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้นำความรู้จากการศึกษาทฤษฎีการพัฒนาระบบเครือข่ายไร้สายมาประยุกต์ใช้ เพื่อให้มีลำดับขั้นตอนการทำงานที่ถูกต้องดังนี้

2.6.1 การออกแบบแผนผังเครือข่ายตามแนวทางหลักการบริหารเครือข่ายไร้สาย และออกแบบแผนผังโครงสร้างของ Network Diagram เพื่อระบุการจัดวางของอุปกรณ์เครือข่าย และจัดซื้ออุปกรณ์ตามการออกแบบแผนผัง

2.6.2 การออกแบบจุดติดตั้ง Access Point โดยการศึกษาบริเวณที่จะทำการติดตั้ง บริเวณที่ต้องการใช้งานเครือข่ายไร้สาย และจำลองการติดตั้ง โดยการทำ Site Survey ในการจำลองให้ Access Point กระจายสัญญาณออก 2 ย่านความถี่ คือ 2.4 GHz และ 5 GHz เพื่อหาจุดติดตั้ง และจำนวนที่เหมาะสม เพื่อใช้ในการจัดซื้ออุปกรณ์ต่อไป

2.6.3 ข้อกำหนด (TOR) อุปกรณ์เครือข่ายไร้สาย โดยนำหลักการ PDCA เพื่อให้อุปกรณ์ที่ใช้งาน ตรงกับความต้องการของผู้ใช้งาน และเขียนข้อกำหนดอุปกรณ์ให้ตรงกับคุณสมบัติของอุปกรณ์ พร้อมทั้งจัดทำคู่มือการตรวจสอบคุณสมบัติของอุปกรณ์ให้ง่ายกับการตรวจรับอุปกรณ์

2.6.4 วิเคราะห์ความคุ้มค่าในการปรับปรุงเครือข่ายไร้สายจาก 3 ปัจจัย คือ 1. ขนาดช่องสัญญาณอินเตอร์เน็ต 2. เทคโนโลยีที่ใช้งาน 3. จำนวนผู้ใช้งาน และจัดทำ Flow chart เพื่อเสนอทางเลือกในการปรับปรุงเครือข่ายไร้สายให้กับผู้บริหาร

## 2.7 อภิปรายผลการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้ทำการประเมินความพึงพอใจในการใช้งานเครือข่ายไร้สายของ ศูนย์แพทยศาสตรศึกษาชั้นคลินิก โรงพยาบาลหาดใหญ่ โดยผลการทดสอบทั้ง 3 ด้าน คือ ด้านประสิทธิภาพของเครือข่ายไร้สาย ด้านการการยืนยันสิทธิ์การใช้งานและด้านการให้บริการอยู่ในระดับที่ดี

## 3. สรุปผลการวิจัย

การปรับปรุงเครือข่ายไร้สาย ของศูนย์แพทยศาสตรศึกษาชั้นคลินิก โรงพยาบาลหาดใหญ่ ได้มุ่งเน้นการพัฒนาโดยนำเทคโนโลยีและทฤษฎี ที่เกี่ยวข้องในระบบเครือข่ายไร้สาย เป็นวิธีการปรับปรุงระบบเครือข่ายไร้สายที่สามารถนำไปปฏิบัติได้จริง ทำให้ระบบมีความปลอดภัย สามารถควบคุมและตรวจสอบ เพื่อให้สอดคล้องกับพระราชบัญญัติว่าด้วยการกระทำความผิดเกี่ยวกับคอมพิวเตอร์ พ.ศ. 2550 ตลอดจนสามารถลดค่าใช้จ่ายในการใช้งานอินเตอร์เน็ตขององค์กร

## 4. กิตติกรรมประกาศ

อาจารย์ธัชชัย เอ้งฉ้วน ที่ปรึกษาสารนิพนธ์ เป็นส่วนสำคัญเป็นอย่างมากที่กรุณาให้คำปรึกษาให้ข้อเสนอแนะ รวมทั้งข้อคิดเห็น อันเป็นประโยชน์ต่อการจัดทำสารนิพนธ์ให้แก่ผู้จัดทำมาโดยตลอด

ขอกราบขอบพระคุณของบิดามารดา ครอบครัวที่ส่งเสริมและเป็นแบบอย่างที่ดีในการดำเนินชีวิตและเป็นผู้ให้การสนับสนุนด้านการศึกษาอีกทั้งยังคอยเป็นกำลังใจจนประสบความสำเร็จในทุกวันนี้

## เอกสารอ้างอิง

[1] จตุชัย แพงจันทร์. 2555. **เจาะระบบ Network 3 Edition**. นนทบุรี : โรงพิมพ์ไอดีซีฯ.

[2] **Campus LAN and Wireless LAN Design Guide**. สืบค้นเมื่อ 30 ธันวาคม 2558, จาก https://www.cisco.com/c/dam/en/us/td/docs/solutions/CRD/Jul2015/CRD-Campus_LAN_Wireless_LAN_Design_Jul2105.pdf

[3] ธวัชชัย ชมศิริ. 2553. **Computer and Security ความปลอดภัยของระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์**. กรุงเทพมหานคร : โรงพิมพ์โปรวิชั่น.

**ประวัติผู้เขียนบทความ**

ชื่อ-สกุล: ยศธร ใจสว่าง

วุฒิการศึกษา: วท.บ. (วิทยศาสตรบัณฑิต)

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ปีการศึกษา 2554

ตำแหน่งและสถานที่ทำงาน:

นักวิชาการคอมพิวเตอร์ โรงพยาบาลหาดใหญ่

ที่อยู่: 73 ถ.กาญจนวณิชย์ ต.สะเดา อ.สะเดา จ.สงขลา 90120

**บทความวิจัย**
การประชุมวิชาการ งานวิจัยและพัฒนาเชิงประยุกต์ ครั้งที่ 8
*8th ECTI-CARD 2016, Hua Hin, Thailand*

# ระบบรักษาความปลอดภัยเครือข่ายไร้สายโดยใช้ฮันนี่พ็อต

# Wireless Network Security Systems With Honey pot

**บุญฤทธิ์ คุ้มเขต และ ไพฑูรย์ รักเหลือ**
สาขาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
39 หมู่ 1 ถนนรังสิต-นครนายก(คลองหก) อำเภอธัญบุรี จังหวัดปทุมธานี โทรศัพท์: 088-2814100
E-mail: boonyarit_k@rmutt.ac.th, paitoon_r@rmutt.ac.th

## บทคัดย่อ

บทความนี้เป็นการประยุกต์ใช้งานฮันนี่พ็อต (Honey pot) ร่วมกับระบบตรวจจับการบุกรุก (Intrusion Detection System: IDS) บนเครือข่าย เรามุ่งเน้นถึงประสิทธิภาพในการตรวจจับแพ็คเกจการบุกรุก ในรูปแบบโปรโตคอล TCP (Transmission Control Protocol), UDP (User Datagram Protocol) และ ICMP (Internet Control Message Protocol) บนระบบเครือข่ายไร้สาย รวมถึงทำการเปรียบเทียบกันระหว่างเครือข่ายที่มีระบบตรวจจับการบุกรุก เพียงอย่างเดียวกับเครือข่ายที่มีระบบตรวจจับการบุกรุก ร่วมกับฮันนี่พ็อต เครื่องมือที่ใช้สำหรับการตรวจจับการบุกรุกคือโปรแกรม Snort และใช้โปรแกรม Honeyd เพื่อสร้างเป้าหมายลวงสำหรับการบุกรุก ผลการวิจัยพบว่าเมื่อมีระบบตรวจจับการบุกรุก ทำงานร่วมกับฮันนี่พ็อต จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการตรวจจับแพ็คเกจการบุกรุกมากขึ้นอย่างน้อย 30 เปอร์เซ็นต์

คำสำคัญ: ฮันนี่พ็อต, Snort, ระบบตรวจจับการบุกรุก

## Abstract

This article applications Honey pot with intrusion detection system (IDS) in network. We focus on the effectiveness of intrusion detection package. A protocol TCP (Transmission Control Protocol), UDP (User Datagram Protocol) and ICMP (Internet Control Message Protocol) in wireless network. The comparison between the network intrusion detection systems only and network intrusion detection system with Honey pot. Tools used for the intrusion detection is Snort program and use Honeyd program to create a catchy target for intrusion. The results showed that when an intrusion detection system working with the Honey pot. It improves the efficiency of intrusion detection package to more than 30 percent

Keywords: Honey Pot, Snort, intrusion detection system

## 1. บทนำ [1][2]

ระบบเครือข่ายแบบไร้สาย (Wireless Local Area Networks; WLAN) นั้น แม้จะช่วยให้ความสะดวกสบายกับเราในการเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์เข้ากับเครือข่ายได้จากทุกที่ แต่ในทางกลับกัน หากมองในแง่ของระบบรักษาความปลอดภัย ใครก็ตามที่อยู่ในพื้นที่ให้บริการแล้ว ก็สามารถบุกรุกเข้าไปในเครือข่ายได้ ซึ่งระบบการรักษาความปลอดภัยในเครือข่ายไร้สายในปัจจุบันนั้นมีอยู่หลายวิธีอันประกอบด้วย ไฟร์วอลล์ (Firewall) โปรแกรมป้องกันไวรัส (Anti-Virus) และ ระบบตรวจสอบการบุกรุก IDS (Intrusion Detection Systems)

โดย IDS คือระบบตรวจสอบการบุกรุกเข้าสู่ระบบเครือข่าย มักวางไว้ทั้งหน้าไฟร์วอลล์และหลังไฟร์วอลล์เพื่อตรวจสอบการบุกรุก และตรวจสอบผลการใช้ไฟร์วอลล์ว่ากรองได้มากน้อยเพียงใด ตัวอย่างการบุกรุกเช่น DoS (Denial of Service), Port scan หรือ Code red เป็นต้น

ระบบการตรวจจับการบุกรุก ซึ่งทำงานอยู่บนโฮสต์ เพื่อทำการตรวจจับเหตุการณ์หรือกิจกรรมต่างๆ ที่แอบแฝงบนโฮสต์ เราเรียกว่า host-based IDS และระบบการตรวจจับซึ่งทำงานบนระบบเครือข่ายเมื่อทำหน้าที่ในการตรวจสอบข้อมูลซึ่งไหลเวียนภายในเครือข่าย แต่นั้นไม่เพียงพอในการตรวจจับการบุกรุก จึงต้องมีระบบซึ่งออกแบบมาเพื่อลวงให้ดูเหมือนว่าเป็นสิ่งที่ผู้บุกรุกสามารถบุกรุกได้เพื่อเบี่ยงเบนเป้าหมายของการบุกรุกเพื่อผู้ดูแลระบบจะสามารถตรวจพบและป้องกันเครือข่ายได้ทันเวลา

ฮันนี่พ็อต [4]คือคอมพิวเตอร์หรือกลุ่มของคอมพิวเตอร์ที่ถูกติดตั้งไว้สำหรับลวงให้ผู้บุกรุกทำการ โจมตี เพื่อเรียนรู้เทคนิคที่ผู้บุกรุกใช้ และใช้ความรู้เหล่านั้นหาทางป้องกันการ โจมตีใหม่ๆ ที่เกิดขึ้น นอกจากนี้ฮันนี่พ็อตยังสามารถใช้ลดความเสี่ยงของเซิร์ฟเวอร์ในระบบที่อาจถูกโจมตีหรือใช้เป็นระบบตรวจจับการบุกรุกได้อีกทางหนึ่งด้วย

## 2. ระบบตรวจจับผู้บุกรุกและฮันนี่พ็อต

### 2.1 ระบบตรวจจับผู้บุกรุก [3]

ระบบตรวจจับผู้บุกรุก (Intrusion Detection Systems; IDS) เป็นเครื่องมือสำหรับการรักษาความปลอดภัยอีกประเภทหนึ่งที่ใช้สำหรับตรวจจับความพยายามที่จะบุกรุกเครือข่าย และเป็นการตรวจสอบ

การสื่อสารข้อมูลภายในเครือข่ายสื่อสาร โดยการวิเคราะห์รูปแบบพฤติกรรมในกลุ่มของข้อมูล (Data Packet) เพื่อค้นหาสิ่งผิดปกติ (Anomaly) แล้วนำเข้าสู่กระบวนการทำนาย (Prediction) เพื่อตัดสินใจว่าพฤติกรรมนั้นเป็นการบุกรุกจริงหรือไม่และทำการแจ้งเตือนผู้ดูแลเครือข่ายทราบเพื่อดำเนินการต่อไป แต่บางครั้งก็ไม่สามารถตรวจจับการบุกรุกได้ เนื่องจากมีปัญหาเรื่องการทำงานกับสภาวะแวดล้อมสวิตช์ชิง (switching) เนื่องจากทราฟฟิกที่วิ่งบนเครือข่ายไม่ได้กระจายทั่วไปทำให้ยากต่อการตรวจจับ หรือในกรณีนี้ใช้แบบ signature based IDS รูปแบบต่างๆ ที่บุกรุกไม่ได้ทำการอัพเดตอยู่เสมอ ทำให้ไม่สามารถตรวจจับการบุกรุกแบบใหม่ๆได้ และยังเจอกับเทคนิคใหม่ๆหรือ ซับซ้อนของแฮกเกอร์ที่เรียกว่า “IDS Evasion” โดยจะส่งแพ็กเก็ตแปลก ๆ ที่มีการดัดแปลงส่วนหัวเพื่อทำการหลบเลี่ยงการทำงานของ IDS แต่โดยส่วนใหญ่แล้ว IDS ไม่ได้ทำการป้องกันการบุกรุกแบบทันที จึงมีการคิดค้นเทคโนโลยีใหม่ ที่เรียกว่า IPS (Intrusion Prevention System) ซึ่งสามารถตรวจจับและหยุดการบุกรุกได้ทันที โดยการสร้างข้อกำหนดและเงื่อนไขเพื่อใช้พิจารณาและจัดการกับเซสชันที่คาดว่าจะเป็นผู้บุกรุกหรืออาจจะเข้าไปเปลี่ยนแปลงแก้ไขโพลิซีในไฟร์วอลล์แบบอัตโนมัติ ซึ่งจำเป็นจะต้องมีการเรียนรู้เทคนิคการเจาะระบบในรูปแบบต่างๆ เพื่อพัฒนารูปแบบข้อกำหนดหรือเงื่อนไขให้มีความฉลาดมากขึ้น

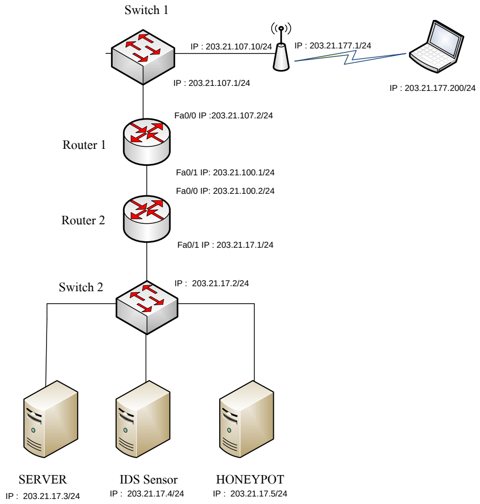
### 2.2 ฮันนี่พ็อต [4][5]

ฮันนี่พ็อต (Honey Pot) หรือเครื่องเป้าหมายลวง ซึ่งหมายถึงเครื่องเซิร์ฟเวอร์ที่เราปล่อยให้มีช่องโหว่ (Vulnerability) เพื่อลวงให้ผู้บุกรุกเข้ามาเจาะระบบ โดยเราใช้ฮันนี่พ็อตเพื่อดักจับการเจาะระบบของผู้บุกรุก ซึ่งทำให้เราได้เรียนรู้วิธีการโจมตีแบบใหม่ๆ ที่จะเข้ามาในระบบตลอดจนสามารถสืบหาตัวผู้บุกรุกได้ก่อนที่จะบุกรุกระบบจริงของเราและสามารถบันทึกข้อมูลการบุกรุกระบบเพื่อนำมาเป็นหลักฐานได้

## 3. การออกแบบระบบเครือข่ายทดสอบและการตั้งค่า

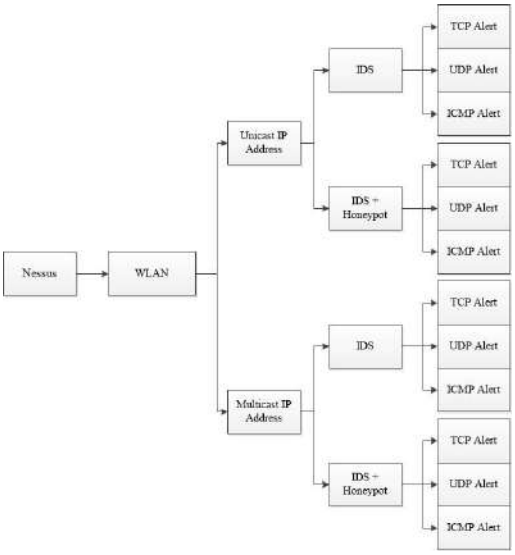
### 3.1 การออกแบบระบบเครือข่ายและการตั้งค่าอุปกรณ์

เราจะทำการตั้งค่าอุปกรณ์เราเตอร์ (Router) โดยอุปกรณ์ที่ใช้คือ Cisco รุ่น 2600 series โดยตั้งค่าให้สามารถใช้คุณสมบัติ DHCP Pool และคุณสมบัติ Router RIP ได้ จากนั้นทำการตั้งค่าอุปกรณ์สวิตช์ (Switch) โดยอุปกรณ์ที่ใช้คือ Cisco รุ่น Catalyst 2950 series ซึ่งจะมีคุณสมบัติเรื่องการสแปนนิงพอร์ต (Spanning Port) คือ การที่สวิตช์จะส่งต่อทุกๆ แพ็คเกจที่รับจากพอร์ตหนึ่งไปยังอีกพอร์ตหนึ่ง จากนั้นทำการตั้งค่า Port mirror ให้กับสวิตช์ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่เป็นประโยชน์และถูกนำมาใช้อย่างมากในการตรวจสอบและเก็บสถิติต่างๆในการรับ-ส่งข้อมูลของพอร์ตหนึ่งบนอุปกรณ์ทำการตั้งค่าโปรแกรม Nessus เพื่อหาสแกนช่องโหว่ของเครือข่าย ความสามารถคือจะสแกนเครื่องคอมพิวเตอร์ในระบบเครือข่ายแล้วก็จะแสดงรายงานออกมาว่าแต่ละเครื่องในระบบเครือข่ายมีช่องโหว่อะไรบ้าง และตั้งค่าเครื่องคอมพิวเตอร์หนึ่งเครื่องเพื่อใช้เป็น Web Server ที่ใช้เป็นเป้าหมายในการโจมตีหรือเหยื่อ (Victim) ในการโจมตีซึ่งจะการเขียน Web page แสดงผลสำหรับทำการเฝ้าดูระบบเครือข่าย จากนั้นตั้งค่าคอมพิวเตอร์อีกเครื่องเพื่อทำหน้าที่การตรวจจับผู้บุกรุกโดยใช้โปรแกรม Snort และทำการเปิดใช้งานข้อกำหนดหรือเงื่อนไข (Rule) ทั้งหมด และตั้งค่าเครื่องคอมพิวเตอร์อีกเครื่องเพื่อทำหน้าที่เป็นเป้าหมายการโจมตีลวงโดยใช้โปรแกรม Honeyd




รูปที่ 1 ระบบเครือข่ายแบบไร้สาย

### 3.2 การออกแบบกรณีทดสอบ

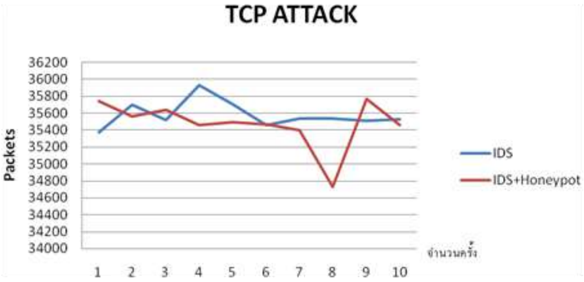



รูปที่ 2 การแบ่งกรณีทดสอบ

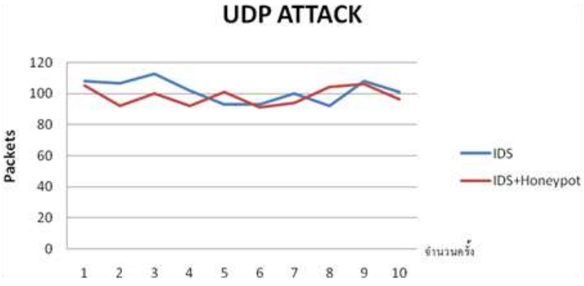
การออกแบบกรณีทดสอบจะใช้โปรแกรม Nessus โจมตีผ่านระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์ขนาดเล็ก และทำการโจมตีด้วยแพ็คเกจของข้อมูลในรูปแบบโปรโตคอล TCP, UDP และ ICMP โดยจะแบ่งได้ 2 กรณีดังแสดงรูปที่ 2 กรณีที่ 1 เป็นการโจมตีระบบเครือข่ายแบบไร้สายขนาดเล็กและทำการโจมตีที่เซิร์ฟเวอร์โดยตรง (Unicast IP Address) โดยมีการเปรียบเทียบกันระหว่างระบบที่มีการตรวจจับการบุกรุกติดตั้งอยู่เพียงอย่างเดียวกับระบบตรวจจับการบุกรุกที่ติดตั้งอยู่ร่วมกับฮันนี่พ็อต กรณีที่ 2 เป็นการโจมตีระบบเครือข่ายแบบไร้สายขนาดเล็กและทำการโจมตีที่เซิร์ฟเวอร์โดยตรง (Multicast IP Address) โดยมีการเปรียบเทียบกันระหว่างระบบที่มีการตรวจจับการบุกรุกติดตั้งอยู่เพียงอย่างเดียวกับระบบตรวจจับการบุกรุกที่ติดตั้งอยู่ร่วมกับฮันนี่พ็อต

## 4. ผลการทดลอง

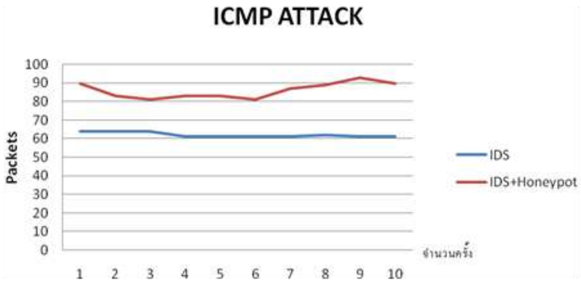
ผลการทดสอบประสิทธิภาพของระบบตรวจจับการบุกรุกและฮันนี่พ็อตเมื่อนำมาใช้งานร่วมกัน โดยโจมตีผ่านระบบเครือข่ายแบบไร้สายขนาดเล็ก โดยใช้โปรแกรม Nessus โจมตีในลักษณะที่เจาะจงไปที่เครื่องเซิร์ฟเวอร์โดยตรง (Unicast IP Address) ผลการทดสอบจะแสดงให้เห็นจำนวนแพ็คเกจที่ตรวจจับได้โดยแบ่งตามโปรโตคอล ได้แก่ TCP, UDP และ ICMP




รูปที่ 3 ผลการโจมตีแบบ Unicast IP ด้วยโปรโตคอล TCP

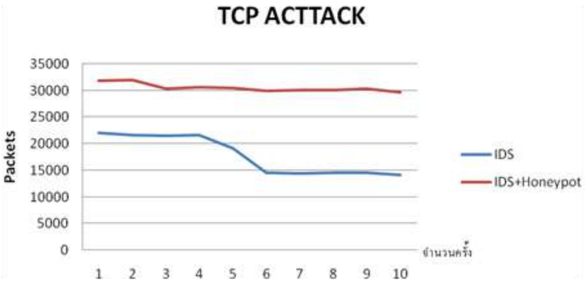



รูปที่ 4 ผลการโจมตีแบบ Unicast IP ด้วยโปรโตคอล UDP

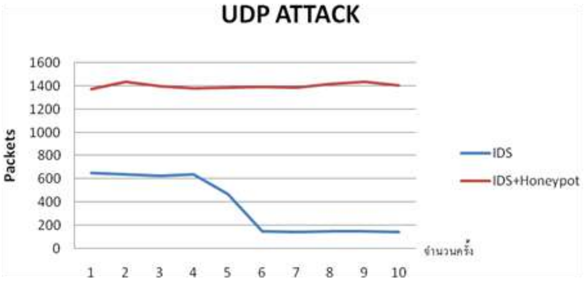



รูปที่ 5 ผลการโจมตีแบบ Unicast IP ด้วยโปรโตคอล ICMP

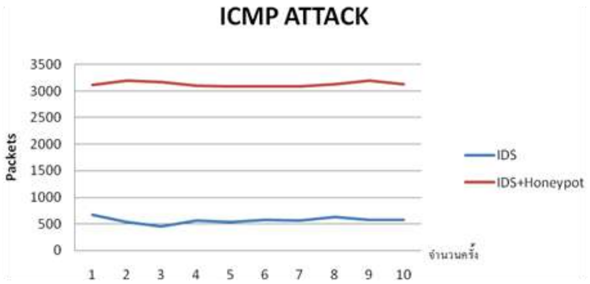
จากรูปที่ 3, 4 และ 5 จะแสดงให้เห็นว่าโปรโตคอล TCP และ UDP นั้นจะมีความแตกต่างของประสิทธิภาพของการตรวจจับแพ็คเกจแตกต่างกันไม่มาก เมื่อเปรียบเทียบกันระหว่างระบบที่มีการตรวจจับการบุกรุกติดตั้งอยู่เพียงอย่างเดียวกับระบบตรวจจับการบุกรุกที่ติดตั้งอยู่ร่วมกับฮันนี่พ็อต ส่วนโปรโตคอล ICMP จะเห็นได้ว่าที่ IDS ทำงานร่วมกับฮันนี่พ็อต สามารถตรวจจับแพ็คเกจได้มากกว่าที่มี IDS อย่างเดียว




รูปที่ 6 ผลการโจมตีแบบ Multicast IP ด้วยโปรโตคอล TCP




รูปที่ 7 ผลการโจมตีแบบ Multicast IP ด้วยโปรโตคอล UDP




รูปที่ 7 ผลการโจมตีแบบ Multicast IP ด้วยโปรโตคอล ICMP

จากรูปที่ 6, 7 และ 8 จะแสดงผลการโจมตีไปที่วงเครือข่ายของเครื่องเซิร์ฟเวอร์ (Multicast IP Address) โดยจากกราฟแสดงให้เห็นว่าระบบตรวจจับการบุกรุกที่ติดตั้งอยู่ร่วมกับฮันนี่พ็อต มีประสิทธิภาพในการตรวจจับผู้บุกรุกมากกว่าระบบที่ติดตั้งระบบตรวจจับการบุกรุกเพียงอย่างเดียว ในทั้ง 3 โปรโตคอล

## 5. สรุป

ในการทดลองการใช้งานของระบบตรวจจับการบุกรุกร่วมกับฮันนี่พ็อตในเครือข่ายแบบไร้สายครั้งนี้ ผู้วิจัยทำการทดลองหาประสิทธิภาพที่เกิดจากการทำงานร่วมกันของระบบตรวจจับการบุกรุกร่วมกับฮันนี่พ็อต จะสามารถตรวจจับผู้บุกรุกที่ทำการโจมตีแบบ Multicast IP Address ได้ดีกว่าแบบ Unicast IP Address ซึ่งถ้าเป็นการโจมตีแบบ Unicast IP Address ด้วยโปรโตคอล ICMP จะมีประสิทธิภาพในการตรวจจับเพิ่มขึ้นประมาณ 33.33 เปอร์เซ็นต์ และถ้าเป็นการโจมตีแบบ Multicast IP Address ด้วยโปรโตคอลทั้งสามแบบ TCP, UDP และ ICMP จะมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นประมาณ 41.66 เปอร์เซ็นต์, 66.42 เปอร์เซ็นต์ และ 83.33 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

## 6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณครอบครัวที่เป็นทั้งกำลังกายและกำลังใจแก่ข้าพเจ้าและขอขอบพระคุณคณาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่ให้การสนับสนุนและคำแนะนำในผลงานวิจัยบทความนี้

## เอกสารอ้างอิง

[1] จตุชัย แพงจันทร์, Master in Security 3rd ed., Infopress Group Thailand, 2015, pp. 299-324

[2] Jong-Moon Kim, A-Yong Kim, Jung-Soo Yuk and Hoe-Kyung Jung, "A Study on Wireless Intrusion Prevention System based on Snort," International Journal of Software Engineering and Its Applications, Vol. 9, No. 2 (2015), pp. 1-12

[3] Albert Sagala, " Automatic SNORT IDS Rule Generation Based on Honeypot Log," ICITEE 7th, Chiang Mai, Thailand, 2015.

[4] นิพนธ์ คชชะ และ ศิรปัฐช์ บุญครอง, " DoS Detection with Honey Pot on Network," NCCIT 9th, Thailand, 2013.

[5] Neha chaudhary and Shailendra Mishra, " Design and Implementation of H-IDS Using Snort, Feature Extraction, Honey pot and Rank and Reduce Alert," International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering, Vol. 2, Issue 2, February 2013.

นาย บุญฤทธิ์ คุ้มเขต สำเร็จการศึกษา วศ.บ. วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม วศ.ม. วิศวกรรมไฟฟ้า จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ปัจจุบันเป็นอาจารย์ ประจำภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และ โทรคมนาคม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ผศ.ดร. ไพฑูรย์ รักเหลือ สำเร็จการศึกษา อส.บ เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์ (เกียรตินิยมอันดับ 2), วศ.ม. วิศวกรรมสารสนเทศ และ วศ.ด. วิศวกรรมไฟฟ้า จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปัจจุบันเป็นอาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

**บทความวิจัย**
การประชุมวิชาการ งานวิจัยและพัฒนาเชิงประยุกต์ ครั้งที่ 8
*8th ECTI-CARD 2016, Hua Hin, Thailand*

# ระบบควบคุมทิศทางสายอากาศแบบอัตโนมัติ โดยใช้เทคนิคเปรียบเทียบตำแหน่งจีพีเอส
# Autonomous GPS-based Antenna Tracking System

ภูมิพงษ์ ดวงตั้ง[1], กัลยรัตน์ สมจักร[2], สุวนันท์ สุยะต๊ะ[3], ธวัชชัย สุเขื่อน[4], อธิคม ศิริ[5], ธนาวุฒิ ธนวาณิชย์[6] และกมล บุญล้อม[7]
สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ ส านักวิชาคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย
80 หมู่ 9 ถนนพหลโยธิน ต าบลบ้านดู่ อ าเภอเมือง จังหวัดเชียงราย 57100 โทรศัพท์ 053-776395 E-mail: fon_gunyarat@hotmail.com

## บทคัดย่อ

ระบบควบคุมทิศทางสายอากาศแบบอัตโนมัติ โดยใช้เทคนิคการเปรียบเทียบตำแหน่งจีพีเอส เป็นอุปกรณ์ที่ให้สถานีกระจายสัญญาณเครือข่ายไร้สายติดตามอุปกรณ์ไร้สายที่มีการเคลื่อนที่ ทำให้การสื่อสารข้อมูลไร้สายมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นจากเดิม โดยการกำหนดมุมให้กับอุปกรณ์ไร้สายแล้วให้สถานีกระจายสัญญาณเครือข่ายไร้สายหมุนตามแบบอัตโนมัติ โดยทำการเปรียบเทียบองศาระหว่างอุปกรณ์ไร้สายกับสถานีกระจายสัญญาณเครือข่ายไร้สาย ในระยะทางตั้งแต่ 5 - 30 เมตร องศาห่างกัน 30 องศา จาการทดลองทำให้มีค่าความถูกต้องแม่นยำเฉลี่ยเท่ากับ 97.08 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นระบบกำหนดทิศทางสายอากาศเพื่อเพิ่มระยะการสื่อสารไร้สาย โดยเทคนิคเปรียบเทียบตำแหน่งจีพีเอส มีประสิทธิภาพในการหาทิศทาง ถูกต้องแม่นยำ

**คำสำคัญ:** การสื่อสารข้อมูลไร้สาย สถานีกระจายสัญญาณเครือข่ายไร้สาย อุปกรณ์ไร้สาย

## Abstract

The antenna direction control system automatically compares the technique of GPS positioning is a device that allows stations to broadcast wireless network equipment Tracker mobile wireless. Making wireless data communication more effective, from the original by the corner, with the wireless device, and then give the wireless network broadcasting carousel by automatic. By comparing the degrees between the wireless devices with wireless network broadcasting station. At a distance of 5-30 meters, degrees, 30 degrees away from making an accurate average 97.08 percent so the antenna direction system for wireless communication range by comparison of GPS position technique. Effective in finding accurate direction.

**Keyword:** Wireless data communications, the station broadcast a wireless network, wireless devices.

## 1. บทนำ

เทคโนโลยีการสื่อสารข้อมูลแบบไร้สายมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องและสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้อย่างหลากหลาย [1] ซึ่งในการสื่อสารข้อมูลแบบไร้สายประกอบด้วยผู้ส่งและผู้รับ โดยการสื่อสารข้อมูลแบบไร้สายจำเป็นต้องมีสายอากาศในการแพร่กระจายคลื่นสัญญาณมี 2 รูปแบบ คือ สายอากาศแบบรอบตัว ลักษณะการกระจายสัญญาณแบบรอบทิศทางและในระยะใกล้ สายอากาศแบบมีทิศทาง ลักษณะการกระจายสัญญาณจุดต่อจุดและในระยะไกล อุปกรณ์ไร้สายอยู่นิ่งไม่มีการเคลื่อนที่ [2]

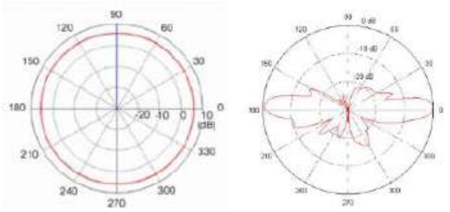
จากปัญหาของสายอากาศแบบมีทิศทาง คณะผู้จัดทำจึงได้มีแนวคิดในการสร้างระบบควบคุมทิศทางสายอากาศแบบอัตโนมัติ โดยใช้เทคนิคการเปรียบเทียบตำแหน่งจีพีเอส ซึ่งกระจายสัญญาณได้ระยะไกลให้มีการสื่อสารกับอุปกรณ์ไร้สายทีมีการเคลื่อนที่ และได้นำเทคโนโลยีระบบสมองกลฝังตัวเข้ามาช่วยในการประมวลผล และการควบคุมทิศทางของสถานีกระจายสัญญาณเครือข่ายไร้สายให้เคลื่อนที่ตามอุปกรณ์ไร้สาย ทำให้การสื่อสารข้อมูลไร้สายมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

## 2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ทฤษฎีพื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับระบบควบคุมทิศทางสายอากาศโดยเทคนิคเปรียบเทียบตำแหน่งจีพีเอสอัตโนมัติ อาศัยหลักการแพร่กระจายสัญญาณไปยังทิศทางใดทิศทางหนึ่ง ด้วยการหาทิศทางการส่งข้อมูลระหว่างผู้ใช้งาน

2.1 สายอากาศ เป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าชนิดหนึ่งที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าให้เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า แบ่งเป็น 2 ประเภทดังนี้ เสาอากาศแบบรอบตัว (Ommi Directional Antenna) เป็นการแพร่กระจายสัญญาณคลื่นรอบทิศทาง เหมาะสำหรับใช้ติดต่อกับเครื่องลูกข่ายจำนวนมากในระบบ และสายอากาศแบบมีทิศทาง (Directional Antenna) เป็นเสาอากาศที่มีทิศทางการแพร่กระจายคลื่นที่มีทิศทางชัดเจน เหมาะสำหรับการติดต่อระหว่างจุดต่อจุด สามารถเพิ่มระยะทางการใช้งานได้ไกลกว่าเสาอากาศ

แบบรอบตัว แต่มีข้อเสียคือ ถ้าไม่อยู่ในทิศทางการแพร่กระจายของคลื่นจะไม่สามารถรับสัญญาณได้ดังรูปที่ 1



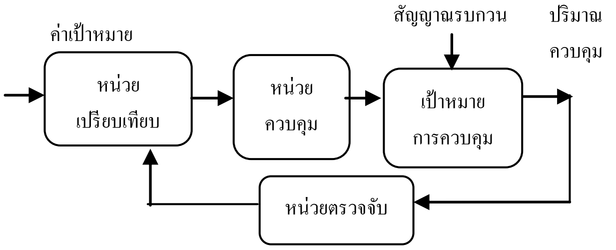
(ก) เสาอากาศแบบรอบตัว (ข) เสาอากาศแบบมีทิศทาง

รูปที่ 1 รูปแบบกระจายสัญญาณของสายอากาศ

2.2 GPS Module (Ublox NEO-6M) รับระยะเวลาจากดาวเทียมที่โคจรรอบโลกเพื่อหาตำแหน่ง latitude และ longitude ในงานนี้อุปกรณ์ไร้สายส่งค่าตำแหน่งจีพีเอส ซึ่งจะได้ค่า latitude และ longitude จากนั้น Rasberry Pi จะอ่านค่าจีพีเอสของสถานีกระจายสัญญาณเครือข่ายไร้สายแล้วเปรียบเทียบกับค่าจีพีเอสที่รับมาจากอุปกรณ์ไร้สาย

2.3 Digital Compass เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ช่วยบอกทิศทางแบบอิเล็กทรอนิกส์ [3] โดยมีหลักการทำงานอาศัยสนามแม่เหล็กโลก ในกาหาค่าของแกนนอน แกนตั้ง แกนสูงโดยรับและขยายกำลังของสนามแม่เหล็ก ในงานนี้ใช้ Digital Compass ในการหาองศาของอุปกรณ์ไร้สาย แล้วให้สถานีกระจายสัญญาณเครือข่ายไร้สายติดตามอุปกรณ์ไร้สาย ตามทิศทางและองศาที่อ่านได้ [4]

2.4 การควบคุมป้อนกลับ (Feedback Control) เป็นการเปรียบเทียบค่าอ้างอิงที่เป็นเป้าหมายกับค่าจริงที่ต้องการควบคุม แล้วควบคุมให้ค่าทั้งสองกลายเป็นค่าเดียวกันและการควบคุมป้อนไปข้างหน้า (Feedforward Control) เป็นลักษณะของการตรวจจับสิ่งรบกวนไว้ก่อน ควบคุมและเพิ่มการชดเชยไปยังเป้าหมายที่ต้องการควบคุมอย่างเหมาะสม [5] ดังรูปที่ 2




รูปที่ 2 การควบคุมป้อนกลับ (Feedback Control)

## 3.วิธีการดำเนินงาน

3.1 หลักการทำงานเปรียบเทียบตำแหน่งจีพีเอส ในการทำงานเปรียบเทียบตำแหน่งของจีพีเอสโมดุลระหว่างอุปกรณ์ไร้สายกับสถานีกระจายสัญญาณเครือข่ายไร้สายมีการส่งค่าจากจีพีเอสของอุปกรณ์ไร้สายจากนั้นจีพีเอสของสถานีกระจายสัญญาณเครือข่ายไร้สายรับค่าจีพีเอสที่ส่งมาแปลงเป็นค่าองศาโดยมีการคำนวณดังต่อไปนี้

การผลต่างของละติจูดและลองจิจูดระหว่างอุปกรณ์ไร้สายและสถานีกระจายสัญญาณเครือข่ายไร้สาย

$$latitude_N - latitude_S \qquad (1)$$

โดยกำหนดให้

$d_x$ คือ ผลต่างของค่าละติจูดระหว่างอุปกรณ์ไร้สายกับสถานีกระจายสัญญาณเครือข่ายไร้สาย, $latitude_N$ คือ ค่าละติจูดของอุปกรณ์ไร้สาย, $latitude_S$ คือ ค่าละติจูดของสถานีกระจายสัญญาณเครือข่ายไร้-สาย

$$d_y = longtitude_N - longitude_S \qquad (2)$$

โดยกำหนดให้

$d_y$ คือ ผลต่างของค่าลองจิจูดระหว่างอุปกรณ์ไร้สายกับสถานีกระจายสัญญาณเครือข่ายไร้สาย, $longitude_N$ คือ ค่าลองจิจูดของอุปกรณ์ไร้สาย, $longitude_S$ คือ ค่าลองจิจูดของสถานีกระจายสัญญาณเครือข่ายไร้สาย

การหาองศาของอุปกรณ์ไร้สายกับสถานีกระจายสัญญาณเครือข่ายไร้สาย

$$\theta_{GPS} = \tan^{-1}\left(\frac{dx}{dy}\right) \qquad (3)$$

โดยกำหนดให้

$\theta_{GPS}$ คือ องศาของตัวอุปกรณ์ไร้สาย

เนื่องจาก $\tan^{-1}$ จะได้ค่าตั้งแต่ -180 องศาถึง 180 องศา ดังนั้นจึงต้องอาศัยฟังก์ชันในการแปลงองศาให้เป็น 0 องศาถึง 360 องศา

$$f(\theta_{GPS}) = \begin{Bmatrix} \theta \le \theta_{GPS} \le 180 & \theta_{Direct} - \theta \\ \theta_{GPS} > 180 & \theta_{Direct} = 360 + \theta \end{Bmatrix} \qquad (4)$$

โดยกำหนดให้

$\theta_{Direct}$ คือ องศาที่ถูกแปลงค่าองศาให้เป็น 0 องศาถึง 360 องศา ระหว่างอุปกรณ์ไร้สายกับสถานีกระจายสัญญาณเครือข่ายไร้สาย

กำหนดเงื่อนไขในการตัดสินใจการควบคุมการหมุนของมอเตอร์และการควบคุมสายอากาศ

$$f(\theta) = \begin{Bmatrix} 0 < \theta_{Direct} \le 180 & \theta_{\min} = \theta_x & \theta_{\max} = \theta + 180 \\ \theta > 180 & \theta_{\min} = \theta - 180 & \theta_{\max} = \theta \end{Bmatrix} \qquad (5)$$

โดยกำหนดให้

$\theta_{\min}$ = องศาต่ำสุดสำหรับเงื่อนไขในการตัดสินใจ

$\theta_{\max}$ = องศาสูงสุดสำหรับเงื่อนไขในการตัดสินใจ

ฟังก์ชันที่ใช้ในการตัดสินใจในการควบคุมมอเตอร์

$$f(\theta_{compass}) = \begin{Bmatrix} \min < \theta < \max & Left \\ \min > \theta > \max & Right \\ \left|\theta_{Direct} - \theta_{compass}\right| \le \theta_{Range} & Stop \end{Bmatrix}$$

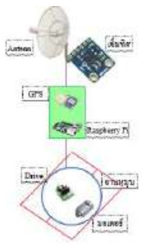
(6)

โดยกำหนดให้

$\theta_{compass}$ คือ องศาของเข็มทิศ

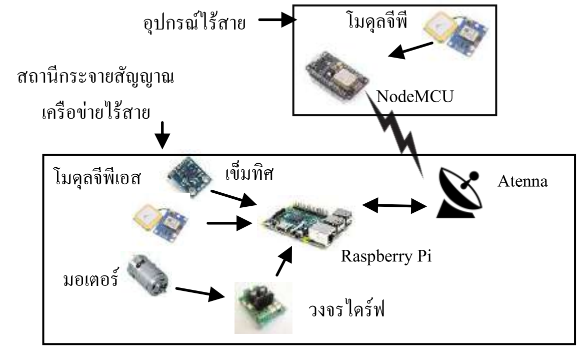
$\theta_{Range}$ คือ องศาคาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ในการควบคุมสายอากาศ

3.2 โครงสร้างของฮาร์ดแวร์มีส่วนประกอบ 2 ส่วนคือ อุปกรณ์ไร้สาย ซึ่งมีโมดุลจีพีเอส กับโมดุล Wi-Fi ติดไว้กับอุปกรณ์ ส่วนที่สองสถานีกระจายสัญญาณเครือข่ายไร้สายมีโมดุลจีพีเอส เข็มทิศและวงจรไดร์ฟมอเตอร์ติดไว้ที่เสาสัญญาณ



รูปที่ 3 โครงสร้างของฮาร์ดแวร์

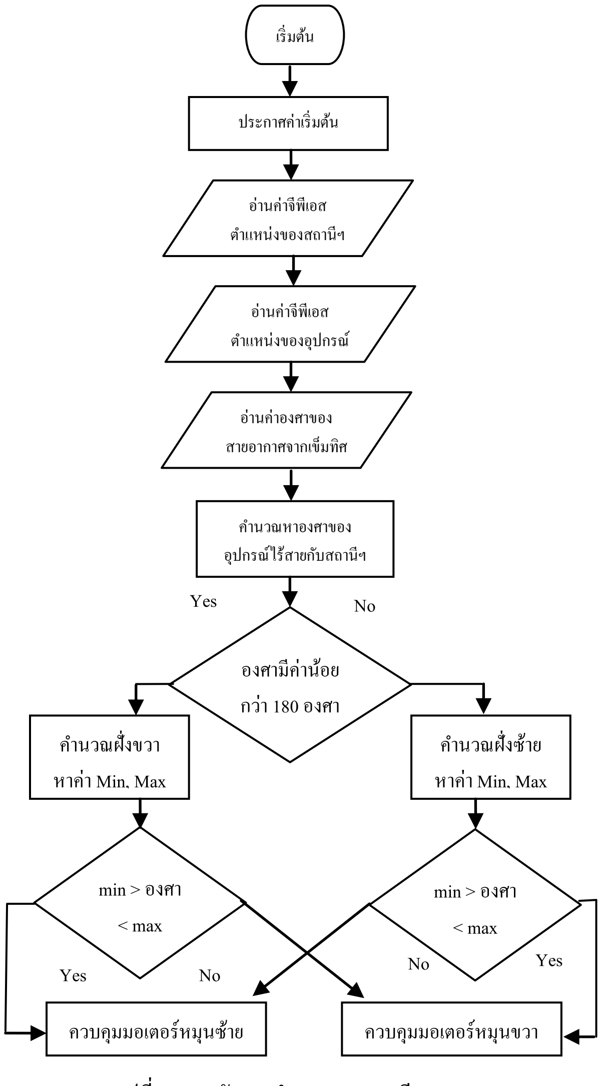
3.3 โครงสร้างของระบบมี 2 ส่วนคือ อุปกรณ์ไร้สาย ประกอบด้วย NodeMCU ทำหน้าที่รับค่าจากโมดุลจีพีเอส แล้วทำการส่งข้อมูลโดยการส่งค่า Latitude และ Longitude ณ ตำแหน่งปัจจุบันให้ Raspberry Pi ส่วนที่สองคือสถานีกระจายสัญญาณเครือข่ายไร้สาย เมื่อ Raspberry Pi อ่านค่าจีพีเอสที่ถูกส่งมาเปรียบเทียบกับจีพีเอสตำแหน่งปัจจุบัน ใช้เข็มทิศเปรียบเทียบมุมเพื่อควบคุมหารหมุนของมอเตอร์โดยผ่านวงจรควบคุมไดร์ฟมอเตอร์ 12 โวลต์




รูปที่ 4 แสดงโครงสร้างของระบบ

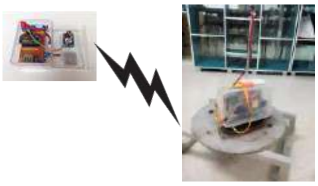
3.4 แผนผังการทำงาน Flowchart ประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ผังการทำงานของ NodeMCU ในการส่งค่าจีพีเอสของอุปกรณ์ไร้สาย เริ่มต้นมีการทำงานโดยการประกาศค่าตัวแปรเริ่มต้น รับค่าจากโมดุลจีพีเอส นำมาคำนวณหาละติจูด ลองจิจูด ส่งค่าที่อ่านได้ไปยัง NodeMCU จากนั้นรอการอ่านค่าจากโมดุลจีพีเอสต่อไป

แผนผังการทำงานในส่วนที่สองคือ ผังการทำงานของ Raspberry Pi ในการรับค่าจีพีเอสของสถานีกระจายสัญญาณเครือข่ายไร้สาย เริ่มต้นมีการทำงานโดยการประกาศตัวแปรเริ่มต้น อ่านค่าตำแหน่งจีพีเอสของสถานีกระจายสัญญาณเครือข่ายไร้สายอ่านค่าตำแหน่งจีพีเอสของอุปกรณ์ไร้สาย อ่านค่าองศาของสายอากาศจากเข็มทิศ คำนวณหาองศาของอุปกรณ์ไร้สายกับสถานีกระจายสัญญาณเครือข่ายไร้สายนำมาวิเคราะห์องศา ถ้าองศาน้อยกว่า 180 องศา คำนวณฝั่งซ้ายหาค่าต่ำสุด, สูงสุด คำนวณฝั่งขวาหาค่าต่ำสุด, สูงสุด จากนั้นตรวจสอบทั้งสองฝั่ง ถ้าค่าต่ำสุดมากกว่าองศาและน้อยกว่าค่าสูงสุด ถ้าถูกต้องให้ควบคุมมอเตอร์หมุนไปทางซ้ายและถ้าไม่ถูกต้องให้ควบคุมมอเตอร์หมุนไปทางขวา




รูปที่ 5 แผนผังการทำงานของสถานีกระจายสัญญาณเครือข่ายไร้สาย

3.5 วิธีการทดลองระบบควบคุมทิศทางสายอากาศ โดยเทคนิคเปรียบเทียบตำแหน่งจีพีเอสอัตโนมัติ มีวิธีการทดลองโดยให้อุปกรณ์ไร้สายส่งค่าพิกัดละติจูด ลองจิจูดผ่านโมดูล Wi-Fi โดยทำการทดลองเริ่มตั้งแต่ 0 ถึง 360 องศา ได้ค่า 12 ค่า มุมห่างกันทุกๆ 30 องศา มีระยะทางตั้งแต่ 5 ถึง 30 เมตร ได้ค่าทั้งหมด 6 ค่า ระยะทางห่างกันทุก 5 เมตร เพื่อหาทิศทางที่ถูกต้องระหว่างสถานีกระจายสัญญาณเครือข่ายไร้สายกับอุปกรณ์ไร้สาย




รูปที่ 6 อุปกรณ์ในการทดลองทั้งอุปกรณ์ไร้สาย และสถานีกระจายสัญญาณเครือข่ายไร้สาย

## 4. ผลการทดลอง

ผลการทดลองของระบบควบคุมทิศทางสายอากาศ โดยเทคนิคเปรียบเทียบตำแหน่งจีพีเอสอัตโนมัติ ทำการทดลองโดยให้อุปกรณ์ไร้สายส่งค่า GPS ตำแหน่งของอุปกรณ์ไร้สายไปยังสถานีกระจายสัญญาณเครือข่ายไร้สาย จากนั้นให้สถานีกระจายสัญญาณเครือข่ายไร้สายคำนวณหาทิศทางแล้วหมุนไปตามทิศทางของอุปกรณ์ไร้สาย เพื่อหาค่าความแม่นยำในการหาทิศทางของสถานีกระจายสัญญาณกับอุปกรณ์ไร้สาย ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลการทดลองการหาทิศทางระหว่างสถานีกระจายสัญญาณเครือข่ายไร้สายกับอุปกรณ์ไร้สาย

| ระยะทาง | มุม (องศา) | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| (เมตร) | 30 | 60 | 90 | 120 | 150 | 180 | 210 | 240 | 270 | 300 | 330 | 0 |
| 5 | 29 | 59 | 89 | 119 | 148 | 178 | 208 | 238 | 267 | 296 | 327 | 359 |
| 10 | 28 | 59 | 87 | 117 | 147 | 177 | 208 | 237 | 268 | 297 | 328 | 358 |
| 15 | 29 | 57 | 88 | 118 | 149 | 179 | 207 | 239 | 267 | 299 | 327 | 359 |
| 20 | 27 | 58 | 87 | 119 | 148 | 178 | 209 | 238 | 269 | 298 | 329 | 357 |
| 25 | 28 | 57 | 89 | 118 | 147 | 179 | 209 | 237 | 268 | 297 | 328 | 358 |
| 30 | 29 | 59 | 87 | 119 | 149 | 177 | 208 | 238 | 267 | 298 | 329 | 359 |
| ค่าเฉลี่ย | **28** | **58** | **88** | **118** | **148** | **178** | **208** | **238** | **268** | **298** | **328** | **358** |

จากผลการทดลองการหาทิศทางระหว่างสถานีกระจายสัญญาณเครือข่ายไร้สายกับอุปกรณ์ไร้สาย ในระยะทางตั้งแต่ 5 – 30 เมตร ได้ค่าเฉลี่ยของการหาองศาตั้งแต่ 30 – 0 องศา ทำให้ทราบว่ามีค่าความคาดเคลื่อนในการหาทิศทาง

ตารางที่ 2 ผลค่าความคาดเคลื่อนของการหาทิศทางระหว่างสถานีกระจายสัญญาณเครือข่ายไร้สายกับอุปกรณ์ไร้สาย

| ระยะทาง | องศาที่คาดเคลื่อน (องศา) | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| (เมตร) | 30 | 60 | 90 | 120 | 150 | 180 | 210 | 240 | 270 | 300 | 330 | เฉลี่ย |
| 5 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 2.00 | 2.00 | 2.00 | 2.00 | 3.00 | 4.00 | 3.00 | 2.00 |
| 10 | 2.00 | 1.00 | 3.00 | 3.00 | 3.00 | 3.00 | 2.00 | 3.00 | 2.00 | 3.00 | 2.00 | 2.45 |
| 15 | 1.00 | 3.00 | 2.00 | 2.00 | 1.00 | 1.00 | 3.00 | 1.00 | 3.00 | 1.00 | 3.00 | 1.91 |
| 20 | 3.00 | 2.00 | 3.00 | 1.00 | 2.00 | 2.00 | 1.00 | 2.00 | 1.00 | 2.00 | 1.00 | 1.82 |
| 25 | 2.00 | 3.00 | 1.00 | 2.00 | 3.00 | 1.00 | 1.00 | 3.00 | 2.00 | 3.00 | 2.00 | 2.09 |
| 30 | 1.00 | 1.00 | 3.00 | 1.00 | 1.00 | 3.00 | 2.00 | 2.00 | 3.00 | 2.00 | 1.00 | 1.82 |
| ค่าเฉลี่ยโดยรวม | | | | | | | | | | | | **2.02** |

จากการทดลองหาค่าความคาดเคลื่อนของการหาทิศทางระหว่างสถานีกระจายสัญญาณเครือข่ายไร้สายกับอุปกรณ์ไร้สาย มีค่าความคาดเคลื่อนที่ 2.02 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นค่าที่ยอมรับได้ในการใช้งานจริง

## 5. สรุปและอภิปรายผลการทดลอง

จากผลการทดลองการหาทิศทางระหว่างสถานีกระจายสัญญาณเครือข่ายไร้สายกับอุปกรณ์ไร้สายมีค่าความถูกต้อง 97.08 เปอร์เซ็นต์ ค่าความผิดพลาด 2.02 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นสรุปได้ว่าระบบกำหนดทิศทางสายอากาศเพื่อเพิ่มระยะการสื่อสารไร้สาย โดยเทคนิคเปรียบเทียบตำแหน่งจีพีเอส มีประสิทธิภาพในการหาทิศทาง ถูกต้องแม่นยำ

## เอกสารอ้างอิง

[1] วิกิพีเดีย. เครือข่ายไร้สาย. สืบค้นจาก https://th.wikipedia.org/wiki. สืบค้นเมื่อ 29 มีนาคม 2559.

[2] ร้าน Hobby Elec. ประเภทของสายอากาศ. สืบค้นจาก http://www.hobbyelec.com/contactus. สืบค้นเมื่อ 29 มีนาคม 2559.

[3] หัสกิจ ภักดี. 2556. Digital Compass. สืบค้นจาก https://mcu56.learninginventions.org/?page_id=266. สืบค้นเมื่อ 1 เมษายน 2559.

[4] Arduitronics. GPS Module. สืบค้นจาก http://www.arduitronics.com/product/348/gps-module-ublox-neo-6m-free-gps-antenna. สืบค้นเมื่อ 1 เมษายน 2559.

[5] ดร.ธนารักษ์ ธีระมั่นคง. ระบบควบคุมและทฤษฎีการควบคุม. Embeded Tecnology. สืบค้นเมื่อ 11 พฤษภาคม 2559.

**บทความวิจัย**

การประชุมวิชาการ งานวิจัยและพัฒนาเชิงประยุกต์ ครั้งที่ 8

*8th ECTI-CARD 2016, Hua Hin, Thailand*

# ระบบโปรแกรมปลูกข้าวโดยการเฝ้าระวังระดับน้ำในแปลงนาด้วยเครือข่ายเครื่องตรวจวัดไร้สาย

# A Rice Planting Program with Water Level Monitoring in Smart Farm System by Wireless Sensor Network

**เจตสรรค์ ขันสิงหา [1] และ ดวงอาทิตย์ ศรีมูล [2]**

[1] นักศึกษาปริญญาโท หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ วิทยาลัยวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรังสิต 52/347 ถนนพหลโยธิน ตำบลหลักหก อำเภอเมือง จังหวัดปทุมธานี 12000 โทรศัพท์ 02-7915549-51 E-mail: jetson.khansingha@gmail.com

[2] อาจารย์ประจำ หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ วิทยาลัยวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรังสิต 52/347 ถนนพหลโยธิน ตำบลหลักหก อำเภอเมือง จังหวัดปทุมธานี 12000 โทรศัพท์ 02-997-2200 ต่อ 3272 E-mail: duang-arthit@rsu.ac.th

## บทคัดย่อ

สถานการณ์ภัยแล้งส่งผลกระทบต่อการใช้น้ำเพื่อการเกษตร โดยเฉพาะการทำนาข้าว ซึ่งการหาแนวทางในการประหยัดน้ำ และรักษาสิ่งแวดล้อมในขณะเดียวกันย่อมเป็นสิ่งสำคัญ งานวิจัยนี้จึงได้นำเสนอระบบโปรแกรมปลูกข้าวแบบประหยัดน้ำ โดยการควบคุมระดับน้ำในแปลงนาต่อหนึ่งฤดูการปลูก ด้วยระบบรายงานและเฝ้าสังเกตระดับน้ำที่ใช้ในนาข้าวแทนการมองด้วยตาเปล่าด้วยเครื่องวัดระดับน้ำอัลตร้าโซนิกเซ็นเซอร์ ผ่านเครือข่ายอุปกรณ์รับรู้แบบไร้สาย ส่งข้อมูลผ่านโครงข่ายมาตรฐาน IEEE 802.15.4 ไปเก็บในเครื่องแม่ข่าย (Server) แสดงบนหน้าเว็บเพจ และเมื่อเกิดเหตุการณ์ที่ผิดปกติในช่วงการเจริญเติบโต สถานีควบคุมจะมีระบบแจ้งเตือนผ่านทางเว็บไซต์ เพื่อให้เกษตรกรเข้ามาดำเนินการปรับปรุงสภาพแวดล้อมของนาข้าว ส่งผลทำให้ควบคุมการผลิตที่ให้ผลได้ตามเป้าหมายอีกทั้งยังสามารถช่วยอนุรักษ์น้ำได้ จากการทดสอบเบื้องต้นพบว่าสามารถส่งข้อมูลมายังสถานีควบคุมและแสดงบนหน้าเว็บเพจได้โดยไม่เกิดการสูญหายของข้อมูล

คำสำคัญ: ข้าว, เปียกสลับแห้ง, อัลตร้าโซนิก, เครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย, IEEE 802.15.4

## Abstract

Drought affects the use of water for agriculture especially the rice planting. For water economical used including to protection of the environment meanwhile is important. This paper presents a rice planting program with water level monitoring in smart farm system by wireless sensor network instead of the looking by naked eye. We apply ultrasonic sensor with IEEE 802.15.4 standard for transmitting data to server via web reporting. When unusual events in period of rice plant grows base stations control alert via internet allow the agriculturist for improvement action in the environment of rice farm. Therefore get the increase productivity and benefit from water conservation. However, the experimental results able transmit data to base station and display via web page without any data lost.

Keywords: rice, smart farm, ultrasonic, wireless sensor network, IEEE 802.15.4

## 1. บทนำ

สถานการณ์ปัจจุบัน ได้เกิดปรากฏการณ์ภัยแล้งอย่างกว้างขวาง ปริมาณน้ำฝนสะสมต่ำกว่าค่าปกติ อ่างเก็บน้ำทั่วประเทศมีปริมาณน้ำกักเก็บไม่เพียงพอสำหรับการทำนาในช่วงฤดูแล้ง อนึ่ง ข้าวเป็นพืชที่ใช้น้ำในการปลูกมากกว่าพืชชนิดอื่น ๆ โดยข้าว 1 ไร่ ใช้น้ำถึง1,200 ลูกบาศก์เมตร [1] อัจฉรา ชุมวงศ์ และ บัญชา ขวัญยืน ได้อธิบายถึงชาวนาว่านิยมปลูกข้าวโดยให้มีน้ำท่วมขังในนาข้าวตลอดเวลาประมาณ 30 เซนติเมตร เพื่อกำจัดวัชพืช ซึ่งเป็นการใช้น้ำที่ไม่ประหยัด ส่งผลกระทบต่อต้นทุนการผลิตทำลายสิ่งแวดล้อมและสรุปว่าการทำนาโดยการจัดการน้ำในนาข้าวประหยัดน้ำได้ต่อไร่ประมาณ 31.6% - 52.6% ผลผลิตไม่ลดลงและมีแนวโน้มสูงกว่าการทำนาแบบดั้งเดิม [2] อย่างไรก็ตาม การจัดการน้ำให้ได้ผลจะต้องพิจารณาความเหมาะสมของช่วงเวลาการเจริญเติบโตของพืช ช่วงไหนควรให้ดินมีสภาพเปียกและช่วงไหนควรมีสภาพแห้ง เวลาในการให้น้ำท่วมขัง ปริมาณน้ำที่ใช้ ซึ่งเกษตรกรต้องเข้าพื้นที่ทำนาทุกวัน เพื่อเฝ้าสังเกตระดับน้ำด้วยตาเปล่าและตรวจความเหมาะสมของช่วงการให้น้ำ ระบายน้ำ ตลอดฤดูกาลเพาะปลูก 120 วัน เพื่อควบคุมการผลิต ประกอบกับชาวนาผู้ปลูกข้าวส่วนใหญ่ในประเทศไทยเป็นผู้สูงวัย อายุเฉลี่ย 57 ปี [3] ทำให้มีข้อจำกัดด้านการจัดการและเกิดความยากลำบากซึ่งมีผลกระทบต่อผลิตผลไม่ได้ตามเป้าหมาย ปัจจัยการผลิตที่เพิ่มขึ้นโดยไม่จำเป็น

งานวิจัยนี้สร้างโปรแกรมการปลูกข้าวต่อหนึ่งฤดูการปลูก หรือ 120 วัน โดยใช้เทคโนโลยีเครือข่ายรับรู้ไร้สาย นำมารายงานข้อมูล

ระดับน้ำในนาข้าวให้กับเกษตรกร แทนการมองด้วยตาของมนุษย์ ผ่านการรายงานบนหน้าเว็บไซต์ ทำให้เกิดความสะดวก โดยสามารถลดการเข้าพื้นที่เพาะปลูกโดยไม่จำเป็น และการจัดการน้ำในนาข้าวเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ และส่งผลให้เกิดผลิตผลได้ตามเป้าหมาย มากยิ่งขึ้น

## 2. งานและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

สร้างโปรแกรมการปลูกข้าว 3 แบบวิธี คือ 1) แบบเปียกสลับแห้งแกล้งข้าว (AWD + SRI) 2) แบบระดับน้ำตื้น SWD, SDC และ 3) การทำนาแบบดั้งเดิม [2-3] โดยการสร้างเครือข่ายอุปกรณ์วัดระดับน้ำใต้ผิวดินด้วยคลื่นอัลตร้าโซนิค การส่งข้อมูลผ่านคลื่นวิทยุ และผ่านผู้ให้บริการ GPRS มาเก็บที่เครื่องแม่ข่าย เพื่อแสดงผลออกหน้าเว็บไซต์

### 2.1 ทฤษฎีอัลตร้าโซนิกเซนเซอร์

อัลตร้าโซนิค [4] คือ คลื่นเสียงที่มีความถี่สูงเกินกว่าที่หูมนุษย์จะได้ยิน เป็นคลื่นเสียงที่มีความถี่สูงกว่า 20 kHz ขึ้นไป งานวิจัยนี้นำคลื่นอัลตร้าโซนิคมาประยุกต์ใช้วัดระดับน้ำในแปลงนาข้าว ซึ่งเป็นเซ็นเซอร์ที่แปลงไปมาระหว่างพลังงานไฟฟ้าและพลังงานกล โดยมีความถี่เรโซแนนซ์ (resonance frequency) อยู่ค่าหนึ่ง ใช้ย่านความถี่ไม่เกิน 50 kHz ในการส่งคลื่นผ่านตัวกลางที่เป็นอากาศ คลื่นเสียงจะไม่มีการเลี้ยวเบนที่ขอบจึงพุ่งออกมาเป็นลำแคบ ๆ ทำให้มีทิศทางที่จะเล็งเพื่อส่งออกคลื่นจากตัวส่ง (Tx) เคลื่อนที่ผ่านตัวกลาง และเมื่อคลื่นไปกระทบกับผิวสัมผัส (target) ที่เป็นของเหลวหรือวัตถุ ก็จะสะท้อนกลับ (echo return) มายังตัวรับ (Rx) บนตัวเซ็นเซอร์เพื่อคำนวนหาระยะทาง (S) จะสามารถคำนวณได้โดยใช้ความสัมพันธ์ทางฟิสิกส์ ดังสมการที่ (1)

$$S = (V \times ToF) / 2 \qquad (1)$$

เมื่อ $V$ คือความเร็วเสียงในอากาศมีหน่วยเป็นเมตร/วินาที $ToF$ (time of flight) คือเวลาทั้งหมดที่คลื่นเดินทางจากตัวส่งไปยังตัวรับมีหน่วยเป็นวินาที สำหรับเสียงที่ส่งออกไปด้วยความถี่เกิน 20 kHz ถึงแม้ว่าหูของมนุษย์จะไม่สามารถรับฟังได้ แต่เนื่องจากยังคงเป็นคลื่นเสียง ดังนั้นความเร็วของเสียงจึงแปรผันตามอุณหภูมิใดๆได้ ดังสมการที่ (2)

$$V = 331.45\sqrt{1+\frac{T_c}{273}} \quad \text{หรือ} \quad V = 331.45 + 0.607T_c \qquad (2)$$

$T_c$ มีหน่วยเป็นองศาเซลเซียส และ $V$ จะกลายเป็น $V_0$ หรือเป็นความเร็วที่ 0 องศาเซลเซียส (273 K) ซึ่งมีค่า 331.45 เมตร/ วินาที

### 2.2 โปรโตคอล ZigBee

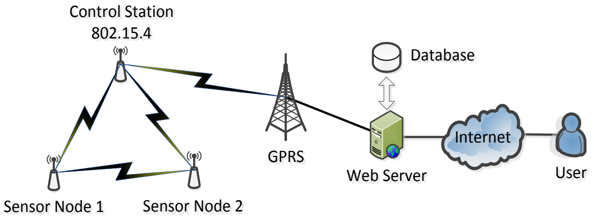
ZigBee [5] เป็นมาตรฐานสากล ในการทำระบบเครือข่ายไร้สายส่วนบุคคล (WPAN) อยู่ภายใต้มาตรฐาน IEEE 802.15.4 ใช้งานสำหรับการสื่อสารในระบบเครือข่ายตัวรับรู้ไร้สายที่สามารถทำงานได้ทุกสภาพแวดล้อมและสามารถทำงานโดยใช้พลังงานจากแบตเตอรี่ขนาดเล็กได้นานหลายเดือน เหมาะสมกับการใช้งานตรวจจับและตรวจสอบสภาพ แวดล้อมต่าง ๆ ที่สนใจ การทำงานของ ZigBee เป็นการรับและส่งคลื่นสัญญาณข้อมูลผ่านชิปขนาดเล็กในระบบเครือข่ายตัวรับรู้ไร้สายแบบจุดต่อจุดไปเรื่อย ๆ จากตัวรับรู้ต้นทางจนถึงปลายทางที่ต้องการข้อมูล ข้อมูลที่ได้อาจจะเป็นการวัดอุณหภูมิ การเคลื่อนไหวของสิ่งมีชีวิต จับปริมาณมลพิษในอากาศ ปริมาณน้ำ อุณหภูมิ แสง และท่อแก๊ส เป็นต้น โปรโตคอล ZigBee จะใช้เฉพาะในส่วนชั้นเครือข่าย (Network Layer) ขึ้นไปเท่านั้น

## 3. รายละเอียดการพัฒนา

ในหัวข้อนี้จะได้กล่าวถึงหลักการทำงานของระบบและการออกแบบและพัฒนาระบบ

### 3.1 หลักการทำงานของระบบ

ระบบประกอบด้วย เซ็นเซอร์ไร้สายสำหรับตรวจวัดค่าปริมาณระดับน้ำในแปลงนามีทั้งหมด 2 โนด และโนดสำหรับรับข้อมูลหรือสถานีควบคุมมี 1 โนด โดยใช้มาตรฐานของการสื่อสารไร้สาย IEEE 802.15.4 โนดเซ็นเซอร์แต่ละโนด สามารถส่งข้อมูลมายังสถานีควบคุมได้โดยตรง แต่ในกรณีที่โนดเซ็นเซอร์ไม่สามารถส่งข้อมูลมายังสถานีควบคุมโดยตรงได้ โนดเซ็นเซอร์จะทำการค้นหาเส้นทางเพื่อที่จะส่งข้อมูลมายังสถานีควบคุม โดยส่งข้อมูลผ่านโนดที่อยู่ใกล้เคียง เพื่อส่งผ่านข้อมูลจากโนดหนึ่งไปยังอีกโนดหนึ่ง เมื่อสถานีควบคุมได้รับข้อมูลจากโนดเซ็นเซอร์แล้ว ระบบจะทำการตรวจสอบ ค่าระดับน้ำในแปลงนาและส่งข้อมูลทั้งหมดเข้าเครื่องแม่ข่ายโดยผ่านโครงข่าย GPRS เพื่อรายงานผ่านทางเว็บไซต์ได้ ภาพรวมของระบบแสดงดังรูปที่ 1




รูปที่ 1 การเชื่อมต่อของระบบ

### 3.2 การออกแบบและพัฒนาระบบ

ในโครงสร้างของระบบตามรูปที่ 2 จะมีโมดูลการทำงานต่าง ๆ ที่เป็นส่วนประกอบของระบบแยกเป็นสามส่วน คือ 1) ส่วนโนดเครือข่ายเซ็นเซอร์ 2) ส่วนสถานีควบคุม และ 3) ส่วนของเซิร์ฟเวอร์กลาง

*3.2.1 โนดเครือข่ายเซ็นเซอร์*

คือการทำงานของภาคส่ง (application transmitter) โดยมีอุปกรณ์ดังนี้

- Sensor SR04 [6] สามารถตรวจวัดระยะห่างได้ระหว่าง 2 เซนติเมตร ถึง 4 เมตร
- XBee ส่งข้อมูลไปยังสถานีฐานเป็นคลื่นวิทยุ ตามมาตรฐาน IEEE 802.15.4 ส่งสัญญาณได้สูงสุด 200 เมตร [7]
- ไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino สำหรับ AT Command

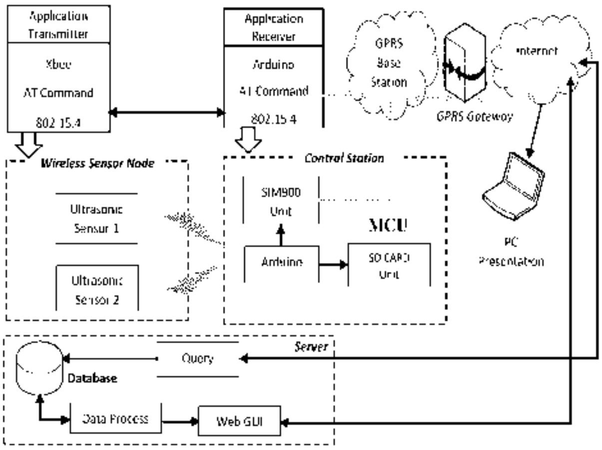
*3.2.2 สถานีควบคุม*

แสดงการทำงานของ ภาครับ(Application Receiver) โดยมีอุปกรณ์ดังนี้

- บอร์ด SIM900 ส่งข้อมูลผ่าน GPRS Mobile Station ไปยังเซิร์ฟเวอร์
- SD Card รับข้อมูลจากโนดเครือข่ายเซ็นเซอร์
- บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino สำหรับ AT Command

*3.2.3 เซิร์ฟเวอร์กลาง*

- Database Query ติดต่อฐานข้อมูล My SQL
- Data Process โปรแกรมประมวลผลข้อมูล
- Web GUI แสดงผลโปรแกรมผ่านเว็บไซต์




รูปที่ 2 โครงสร้างของระบบ

## 3.4 ข้อจำกัดของระบบ

- แบตเตอรี่ที่ใช้ 12 V สามารถให้กำลังไฟกับระบบได้ประมาณ 2-3 วัน
- อุปกรณ์วัดระดับน้ำไม่เหมาะสมสำหรับสภาพแวดล้อมที่มีฝนหนักหรือความชื้นมาก ๆ
- คุณภาพและระยะเวลาในการสื่อสารกับสถานีควบคุมด้วย GPRS ขึ้นอยู่กับเงื่อนไขของผู้ให้บริการ

## 4. การทดสอบการใช้งาน

### 4.1 สภาพแวดล้อมในการทดสอบ

ในการทดสอบได้ใช้อุปกรณ์เครือข่ายไร้สายจำนวน 2 ชุด โดยติดตั้งอุปกรณ์แต่ละชุดห่างกันประมาณ 25 เมตร อุปกรณ์มีการติดตั้งเซ็นเซอร์เข้ากับอุปกรณ์วัดระดับน้ำใต้ผิวดินทรงกระบอกสร้างจากท่อน้ำพีวีซี ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 10.16 เซนติเมตร (4 นิ้ว) ความยาว 25 เซนติเมตร เจาะรูรอบ ๆ จำนวน 40 รู โดยจะทำการทดสอบตลอดช่วงการเพาะปลูกประมาณ 100-120 วันต่อ 1 ฤดูกาล

*4.1.1 การทดสอบที่ 1*

ทดสอบวัดระยะโดยไม่ใช้ท่อโดยชุดเซ็นเซอร์ในแนวตั้งฉาก โดยติดตั้งบนส่วนหัวของเวอร์เนียคาลิปเปอร์ ขณะที่ระดับน้ำ ติดตั้งที่แกนเลื่อน และ การทดสอบวัดระยะทางในท่อแกล้งข้าว เพื่อวัดระดับน้ำใต้ผิวดิน ใช้ ชุดเซ็นเซอร์และท่อที่ติดตั้งให้อยู่ในแนวตั้งฉากกัน ส่วนการทดสอบวัดระยะโดยไม่ใช้ท่อที่เกินกว่า 30 เซนติเมตร ทำการทดสอบวัดระยะจากที่สูงเกินผิวพื้นดินในระยะ 500 เซนติเมตร ลงมา เพื่อหาค่าสูงสุดที่สามารถวัดได้ อนึ่ง การทดสอบสามารถแสดงผลการวัดระดับน้ำ เหนือผิวดิน ใต้ผิวดิน และค่าความผิดพลาด เทียบกับระยะจริงที่ใช้ทดสอบ โดยเพิ่มช่วงระยะการวัด แสดงดังตารางที่ 1 อย่างไรก็ตามการทดสอบการวัดระดับน้ำทั้งโดยไม่ใช้ท่อและภายในท่อแกล้งข้าว สามารถวัดค่าได้ไม่ต่างกัน โดยการทดสอบการวัดระดับน้ำใต้พื้นดิน ด้วยอัลตร้าโซนิกเซ็นเซอร์ SR-04 สามารถวัดได้ โดยไม่เกิดกำทอนในท่อ และ การทดสอบโดยไม่ใช้ท่อสามารถวัดได้ไกลที่สุด ประมาณ 400 เซนติเมตร

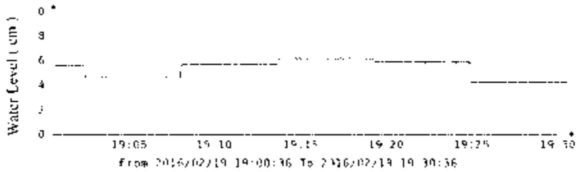
ตารางที่ 1 ผลการทดสอบการวัดระดับน้ำด้วยอัลตร้าโซนิกเซ็นเซอร์

| ระยะทดสอบ (เซนติเมตร) | วัดโดยไม่ใช้ท่อ | | วัดจากภายในท่อ | |
|---|---|---|---|---|
| | ค่าที่วัดได้ (เซนติเมตร) | FSE (%) | ค่าที่วัดได้ (เซนติเมตร) | FSE (%) |
| 6 | 6.13 | 0.45 | 6.13 | 0.45 |
| 9 | 9.08 | 0.29 | 9.08 | 0.29 |
| 15 | 15.04 | 0.15 | 15.04 | 0.15 |
| 30 | 30.10 | 0.34 | 30.10 | 0.34 |

*4.1.2 การทดสอบที่ 2*

ทดสอบการใช้งานอุปกรณ์ภาคส่ง และภาครับ เพื่อทดสอบการใช้งานจริง ในการแสดงค่าระดับน้ำไปแสดงยังเซิร์ฟเวอร์กลาง ด้วย

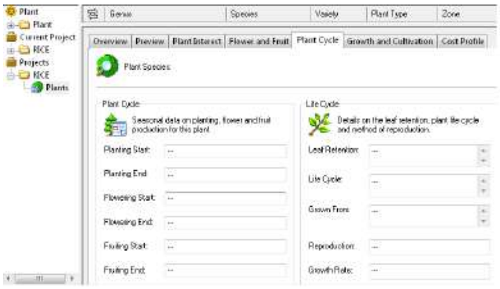
โปรแกรม Rice Planting ที่พัฒนาขึ้น และจากการทดสอบ สามารถดึงค่าขึ้นมาเพื่อแสดงผลที่เซิร์ฟเวอร์กลางได้ แสดงดังรูปที่ 3




รูปที่ 3 กราฟแสดงค่าระดับน้ำในแปลงนาที่ได้จากการทดสอบ

### 4.2 ผลการทดสอบและการวิจารณ์ผล

เมื่อเปิดหน้าอินเตอร์เฟส ผู้ใช้สามารถสร้างโครงการ ปลูก โดยระบบจะให้ใส่ข้อมูลสำหรับการปลูกต่างๆ เช่น ระยะเวลาของโครงการ ตลอดจนระดับน้ำที่ต้องการเฝ้าระวัง และเมื่อโปรแกรมเริ่มทำงาน ระบบจะเปิดพอร์ตการรับส่งข้อมูลกับโนดสถานีฐาน หลังจากนั้นทำการส่งข้อมูลการตั้งค่าให้โนดเซ็นเซอร์ในระบบ เพื่อให้โนดเซ็นเซอร์ทราบว่าต้องส่งค่าที่วัดได้จากเซ็นเซอร์ทุก ๆ ช่วงเวลา (period timer) เมื่อข้อมูลส่งกลับมาโนดสถานีฐาน โปรแกรมทำการวิเคราะห์ข้อมูลและคำนวณเพื่อปรับปรุงฐานข้อมูล เพื่อแสดงรายงาน และสามารถตรวจสอบสถานะการทำงานของอุปกรณ์เครือข่ายต่างๆได้ โดยแสดงดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 อินเตอร์เฟสของระบบ Rice Planting

## 5. สรุป

งานวิจัยนี้เสนอระบบโปรแกรมปลูกข้าวโดยการเฝ้าระวังระดับน้ำในแปลงนาด้วยเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจวัดไร้สาย สามารถทำการติดต่อสื่อสารระยะไกลด้วยวิธี Multi-hop สามารถปรับการตั้งค่าโนดต่างๆ ให้ทำการส่งข้อมูลกลับตามระยะเวลาจริง ผู้ใช้สามารถตรวจสอบค่าระดับน้ำและสถานะการทำงานของอุปกรณ์ต่าง ๆ ผ่านโปรแกรมประยุกต์บนหน้าเว็บไซต์ได้

## 4. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ วิทยาลัยวิศวกรรม มหาวิทยาลัยรังสิตสำหรับการศึกษางานวิจัยนี้ และขอขอบคุณบริษัท ชิโยดะ อินทิเกร (ประเทศไทย) จำกัด ที่ให้การสนับสนุนอุปกรณ์ตลอดจนสถานที่ในการทดสอบสำหรับการศึกษาและพัฒนางานวิจัยนี้

## เอกสารอ้างอิง

[1] วัชระ ภูรีวิโรจน์กุล และคณะ, เอกสารวิชาการข้าว พิมพ์ครั้งที่ 2, กรุงเทพฯ: กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2548

[2] อัจฉรา ชุมวงศ์ และ บัญชา ขวัญยืน, “การจัดการน้ำในนาข้าวเพื่อลดผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านก๊าซมีเทน,” ปริญญาวิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ, 2552

[3] ผลิตเปียกสลับแห้งแกล้งข้าว, [ออนไลน์], เข้าถึงได้จาก http://www.nstda.or.th/nac2013/download/presentation/NAC2013_Set1/CC-305-02-PM/Supachai_Document.pdf เข้าถึง ณ วันที่ 19 กุมภาพันธ์ 2559

[4] ทิวาวรรณ เนตรผง, “การวัดระยะทางด้วยอัลตร้าโซนิกเซ็นเซอร์โดยอาศัยการวิเคราะห์สัญญาณเชิงเวลา-ความถี่,” วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, นครราชสีมา, 2552

[5] Rameswaraiah K. Prasad, Vara D. and Mahen Dradatta, “A smart automation of zigbee through GPRS,” International journal of computer science and electronics engineering (IJCSEE), 1(3), 385-390, 2013.

[6] I. Tead, studio make innovation easier, [online] เข้าถึงได้จาก : http://iteadstudio.com/store/images/produce/Robot/HCSR04/Ultrasonic.rar เข้าถึง ณ วันที่ 19 กุมภาพันธ์ 2559.

[7] จักรกฤช สุขุมทอง, “การวัดปริมาณออกซิเจนละลายน้ำโดยใช้เครือข่ายตรวจวัดแบบไร้สายด้วยระบบปฏิบัติการ TinyOS,” วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, กรุงเทพฯ, 2552

เจตสรรค์ ขันสิงหา เกิดเมื่อ 1 ตุลาคม 2520 จบการศึกษาระดับปริญญาตรี วศ.บ วิศวกรรมคอมพิวเตอร์ จาก มหาวิทยาลัยรังสิต งานวิจัยที่สนใจคือระบบเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย

ดวงอาทิตย์ ศรีมูล เกิดที่เชียงราย เมื่อ 15 สิงหาคม 2516 จบการศึกษาปริญญาตรีจาก มจธ. ปริญญาโทและเอกจาก สจล. ปีการศึกษา 2539, 2544 และ 2548 ตามลำดับ ปัจจุบันเป็นอาจารย์ประจำ ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยรังสิต งานวิจัยที่สนใจคือ เทคโนโลยีสายอากาศ ไมโครเวฟ อาร์เอฟไอดี โครงข่ายโทรคมนาคม สัญญาณและระบบ

# การรวมกลุ่มลิ้งค์ของวายฟาย สำหรับ IEEE 802.11n

# The Aggregation of Wi-Fi Links for IEEE 802.11n

**นิสิต ภูครองตา[1] และ ไพฑูรย์ รักเหลือ [2]**

[1]ภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

39 หมู่ 1 ตำบลคลองหก อำเภอธัญบุรี จังหวัดปทุมธานี 12110 โทรศัพท์ 02-549-4620 E-mail: nisit.p@en.rmutt.ac.th

[2]ภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

39 หมู่ 1 ตำบลคลองหก อำเภอธัญบุรี จังหวัดปทุมธานี 12110 โทรศัพท์ 02-549-4620 E-mail: paitoon.r@en.rmutt.ac.th

## บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการนำ IEEE802.11n มาประยุกต์ใช้ใน IEEE 802.3ad ที่เสนอการเพิ่มแบนด์วิดท์ในการติดต่อสื่อสาร และลดความคับคั่งของการรับส่งข้อมูล รวมถึงการสำรองเส้นทาง เมื่อเส้นทางหลักมีปัญหา โดยเปลี่ยนการรวมกลุ่มลิ้งค์จากเดิมที่เป็นสื่อกลางแบบสายมาเป็นสื่อกลางแบบไร้สาย ทดสอบที่ความถี่ 2.4 กิกะเฮิรตซ์ ช่องสัญญาณ 20 เมกะเฮิรตซ์ ที่ช่อง 1 และ 11 แบบจุดไปจุด โดยมีการส่งข้อมูลแบบสื่อสารสองทางครึ่งอัตรา ปรับลดค่าเวลาตามมาตรฐาน 0.8 ไมโครวินาที ในการประเมินผลค่าปริมาณงาน ค่า SNR และค่าเวลาของการรับ-ส่งแพ็กเกจ เมื่อใช้โพรโตคอลทีซีพี ส่งข้อมูลของแพ็กเกจที่ขนาดแตกต่างกัน ในการทดสอบพบว่าเมื่อรวมกลุ่มลิ้งค์ในระบบไร้สาย สามารถเพิ่มช่องทางการสื่อสารให้เพิ่มขึ้นและลดความคับคั่งของการรับส่งข้อมูล รวมถึงสามารถสำรองเส้นทางเมื่อเส้นทางหลักมีปัญหา เมื่อค่าการรบกวนของช่องสัญญาณมีค่าน้อย จะส่งผลทำให้ค่า SNR เพิ่มขึ้น เป็นผลให้ค่าปริมาณงานเพิ่มขึ้นด้วย เมื่อรวมกลุ่มลิ้งค์ 2 ลิ้งค์ สามารถส่งข้อมูลได้ 40.10 เมกะบิตต่อวินาที เพิ่มขึ้นเฉลี่ยร้อยละ 5.4 โดยใช้โพรโตคอลทีซีพีที่ขนาดของแพ็กเกจแตกต่างกัน เมื่อส่งแพ็กเกจขนาด 1480 กิโลไบต์ สามารถส่งข้อมูลได้ 50.47 เมกะบิตต่อวินาที เพิ่มขึ้นเฉลี่ยร้อยละ 0.84 ในสภาวะไม่มีโหลด และ 60.80 เมกะบิตต่อวินาที เฉลี่ยร้อยละ 0.16 ในสภาวะโหลดเต็มที่ โดยเปรียบเทียบกับการรับ-ส่งข้อมูลที่ไม่มีการรวมกลุ่มลิ้งค์

คำสำคัญ: การรวมกลุ่มลิ้งค์ การรบกวน 802.11n 802.3ad

## Abstract

This paper proposes the application of using IEEE 802.11n in IEEE 802.3ad. The application improves bandwidth in communication and decreasing of the transmitting data congestion. The process is included reserving the redundant path when the main path has problem by changing the link aggregation. For testing frequency at 2.4 GHz with bandwidth 20 MHz on Channel 1 and 11 in mode point to point. Bridging transmission mode uses half duplex. The standard adjusts time value as 0.8 µs. To evaluate the performance of proposed the throughput, SNR and round trip time. Protocol TCP is used for transmitting data at different packet size. The experimental results show that the link aggregation in wireless system is increase the bandwidth and decreasing the data transmission congestion. It reserves the redundant path from problems of the main path. Nevertheless, results of interference power noise decreases in order to increasing SNR and throughput. Two link aggregations can be transmitted data up to 40.10 Mbps (increasing 5.4 %) by using TCP protocol with different packet size. And then, 1480 Kbytes of packet size can be transmitted data up to 50.47 Mbps (increasing 0.84%). For non-load condition can up to 60.80 Mbps (increasing 0.16%) in full-load condition comparing with no the aggregation of Wi-Fi Links.

Keywords: link aggregation, interference, 802.11n, 802.3ad

## 1. บทนำ

จากข้อดีของ IEEE 802.3ad การรวมกลุ่มลิ้งค์ที่มีการเพิ่มแบนด์วิดท์ในการสื่อสารในสื่อกลางแบบสาย จึงมีการนำมาใช้กับสื่อกลางแบบไร้สาย แบบต่างๆ ซึ่งมีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องทั้งการปรับค่าดีเลย์ในการส่งแบบเครือข่ายไร้สาย [1] เป็นการปรับค่าดีเลย์ก่อนที่จะส่งข้อมูลออกไปยังปลายทางโดยปลายทางเป็น 3 ระบบ LTE, WiMAX, Wi-Fi ซึ่งการรวมลิ้งค์แบบ WiMAX + Wi-Fi ให้ค่าปริมาณงานสูงสุด 56.8 Mbytes การทำการรวมลิ้งค์ด้วยสายที่ใช้ ADSL Link [2] เพื่อศึกษาการควบคุมให้ทราฟฟิคของข้อมูลส่งมีความเท่าเทียมกัน การจัดสรรปริมาณการใช้โดยใช้ วิธี Support Vector Machine [3] ซึ่งเป็นการทำ การ

รวมกลุ่มลิ้งค์ เครือข่ายไร้สายแบบต่างๆ (Multi-Radio System) โดยไม่เฉพาะเจาะจงว่าเป็นเครือข่ายไร้สายแบบใด ซึ่ง [4] ได้นำวิธีแบบ Aware Dynamic Qos สำหรับ Video Streaming แบบ Real-Time ใน Wireless Networkซึ่งได้พัฒนาอัลกอลิทึม TS-EDPF เพื่อลด Delay Time ในการใช้งาน Video Streaming แบบ Real-Time การเสนอการรวมกลุ่มลิ้งค์ของ Access Point สำหรับ WLAN [5] เป็นการทำให้ 1 Physical Access Point ให้เสมือนมี Access Point หลายตัว ข้อดีคือลดจำนวน Access Point ข้อเสียคือ Access Point ต้องรองรับการทำ Access Point เสมือนและพื้นที่นั้นต้องสามารถควบคุมการออกแบบได้และ [6] ใช้การ์ด Wi-Fi 3 การ์ด ทั้ง 2 เครื่องทำการ Interface Bonding กันและทดสอบค่าปริมาณงาน TCP ซึ่งได้ค่าปริมาณงาน 12.7 Mbps ในมาตรฐาน IEEE 802.11b ซึ่งนำมาสู่งานของผู้วิจัยที่จะทดสอบการรวมกลุ่มลิ้งค์แบบ Wi-Fi แต่แตกต่างจากงานเดิม เนื่องจากผู้วิจัยได้นำผลในส่วนของค่า Interference และทดสอบด้วยอุปกรณ์ที่ทำการรวมกลุ่มลิ้งค์ที่ไม่ใช่เทคนิค Interface Bonding และนำเสนอการประเมินผลของค่าปริมาณงานของการรวมกลุ่มลิ้งค์เครือข่ายแลนไร้สาย 802.11n โดยเปลี่ยนการรวมกลุ่มลิ้งค์จากเดิมที่เป็นสื่อกลางเป็นแบบสาย มาเป็นสื่อกลางที่เป็นแบบไร้สาย ทดสอบที่ความถี่ 2.4 กิกะเฮิรตซ์ ช่องสัญญาณ 20 เมกะเฮิรตซ์ที่ช่อง 1 และ 11 แบบจุดไปจุด โดยมีการส่งข้อมูลแบบสื่อสารสองทางครึ่งอัตราปรับลดค่าเวลาตามมาตรฐาน 0.8 ไมโครวินาที เพื่อประเมินผลค่าปริมาณงาน ค่า SNR และค่าเวลาของการรับ-ส่งแพ็กเกจ เมื่อใช้โพรโตคอลทีซีพีส่งข้อมูลของแพ็กเกจที่ขนาดแตกต่างกัน

## 2. ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ระบบเครือข่ายไร้สาย เป็นระบบการสื่อสารข้อมูลที่มีความคล่องตัวและยืดหยุ่นเป็นอย่างมาก ซึ่งสามารถนำมาใช้ทดแทน หรือเชื่อมต่อกับระบบเครือข่ายใช้สายแบบดั้งเดิม โดยใช้การส่งคลื่นความถี่วิทยุในการรับและส่งข้อมูลผ่านอากาศ ทะลุกำแพง เพดาน หรือสิ่งก่อสร้างอื่นๆ โดยปราศจากการเดินสาย จึงเหมาะกับการไปใช้งานในบางพื้นที่ที่สภาพแวดล้อมไม่เอื้ออำนวย เช่น การเดินสายข้ามตึก อาคาร หรือแม้แต่การใช้งานชั่วคราว งานกีฬา งานรับพระราชทานปริญญาบัตร เป็นต้น แต่ข้อจำกัดของการสื่อสารไร้สายก็จะมีในเรื่องของ การรับส่งข้อมูลที่ให้อัตราการค่าปริมาณงานที่ค่อนข้างต่ำเพราะมีปัจจัยในสภาพแวดล้อมที่ติดตั้ง รวมถึง ตึก อาคาร ที่จะมาลดทอนประสิทธิภาพของการรับส่งข้อมูลแบบไร้สาย จากปัญหาดังกล่าวในงานวิจัยนี้จึงเสนอแนวคิดในการรวมกลุ่มลิ้งค์ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพช่องทางการสื่อสารแบนด์วิดท์ให้เพิ่มมากขึ้นและมีการสำรองเส้นทางจากที่ระบบเดิมจะใช้สื่อกลางแบบสายทำการรวมกลุ่มลิ้งค์ แต่งานวิจัยนี้จะใช้สื่อกลางแบบไร้สายในการรวมกลุ่มลิ้งค์

## 3. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

มาตรฐาน IEEE802.3ad การรวมกลุ่มลิ้งค์ หรือเรียกอย่างหนึ่งว่าอีเทอร์แชนแนล (Ether Channel) เป็นการรวมหลาย ๆ อินเทอร์เฟสแบบฟิซิคอลเข้าด้วยกันเป็นอินเทอร์เฟสแบบลอจิคอลเพียงอันเดียว เพื่อใช้แก้ปัญหาความคับคั่งในการใช้งานระบบเครือข่าย เสมือนเป็นการเพิ่มเส้นทางข้อมูล จากเส้นทางเดียวเป็นหลายๆเส้นทางเพื่อที่จะทำการแชร์ปริมาณการใช้ไปในหลาย ๆ เส้นทาง พร้อมทั้งยังเป็นการทำเส้นทางสำรอง ในกรณีที่มีบางลิ้งค์ที่เป็นสมาชิกของอีเทอร์แชนแนล เกิดมีปัญหาได้และใช้เกณฑ์วิธี(Protocol) Link Aggregation Control Protocol (LACP) ในการรับ-ส่ง ข้อมูลกัน

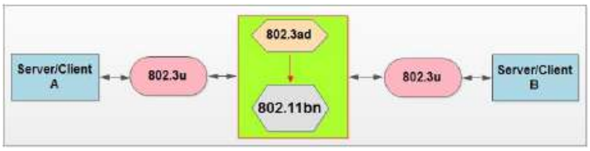
มาตรฐาน 802.11b เป็นมาตรฐานเครือข่ายแลนไร้สายที่ใช้ความถี่ย่าน 2.4 GHz มีความเร็วในการทำงาน 4 ระดับ คือ 1,2,5.5 และ 11 Mbps

มาตรฐาน 802.11n เป็นมาตรฐานเครือข่ายแลนไร้สายที่มีความเร็วสูงสุดถึง 600 Mbps โดยส่งผ่าน 4 Stream ซึ่งประกอบไปด้วยเสาอากาศ 4 ชุดทั้งภาครับและส่ง แต่ละ Stream สามารถใช้งานได้ทั้งย่านความถี่ 2.4 GHz และ 5 GHz หากใช้งานช่องสัญญาณขนาด 40 MHz จะส่งข้อมูลได้สูงกว่าการใช้ช่องสัญญาน ขนาดมาตรฐานคือ 20 MHz

## 4. วิธีการที่นำเสนอ

### 4.1 ภาพรวมของระบบ

การรวมกลุ่มลิ้งค์ระบบไร้สาย ซึ่งเดิมจะใช้กับระบบสายดังรูปที่ 1



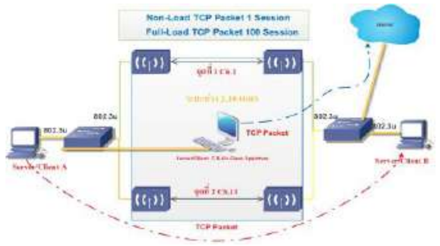

**รูปที่ 1** การรวมกลุ่มลิ้งค์ระบบแลนไร้สาย

โดยจะแบ่งการทดสอบออกเป็น 2 ส่วนดังนี้

4.1.1 ทดสอบการรวมกลุ่มลิ้งค์ 1 ลิ้งค์และ 2 ลิ้งค์ โดยใช้ช่องสัญญาณที่ไม่รบกวนกัน 2 สัญญาณ คือ ช่องสัญญานที่ 1 และ 11 ในระยะทาง 2, 5, 10 เมตรตามลำดับ และวัดผลค่า Interference Power และ SNR เพื่อวิเคราะห์ค่าปริมาณงาน

4.1.2 ทดสอบการรวมกลุ่มลิ้งค์ 1 ลิ้งค์และ 2 ลิ้งค์ โดยใช้ช่องสัญญาณที่ไม่รบกวนกัน ช่องสัญญานที่ 1 และ 11 ในระยะทาง 2 และ 10 เมตร ส่งข้อมูล แบบ TCP จากต้นทางไปยังปลายทาง ส่งข้อมูล 6 ขนาด ดังนี้ 128 ,384, 640, 896,1152 และ 1408 Kbytes สร้างสถานการณ์ 2 แบบ ได้แก่ สภาวะไม่มีโหลด (Non-Load) คือ การใช้งานจากเครื่องรับ-ให้บริการ A

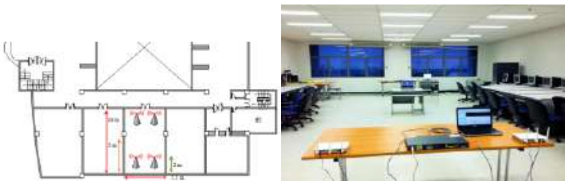
รับ-ส่งข้อมูลไปยัง B และไม่มีเครื่องใดมาใช้ร่วม และส่งข้อมูลเพียง 1 Session เวลา 100 วินาที สภาวะที่มีโหลดใช้งานเต็มที่ (Full-Load) คือ การใช้งานจากเครื่องรับ-ให้บริการ A รับ-ส่งข้อมูลไปยัง เครื่องรับ-ให้บริการ B และมีเครื่องรับ-ให้บริการ C เข้ามาใช้โหลดร่วมด้วยโดยต่อเข้าสวิตย์ตัวเดียวกับเครื่องรับ-ให้บริการ B ทำการส่งข้อมูลพร้อมกัน 100 Session เวลา 100 วินาที วัดผลค่าปริมาณงานและค่าเวลาที่เริ่มส่งข้อมูลจากต้นทางไปยังปลายทาง (RTT) ในสภาวะ Non-Load และ Full-Load ดังรูปที่ 2




**รูปที่ 2** การเชื่อมต่อการรวมกลุ่มลิ้งค์ของระบบแลนไร้สายส่งข้อมูลแบบ TCP ในสภาวะ Non-Load และ Full-Load

### 4.2 การออกแบบและพัฒนาระบบ

ในการทดสอบนี้ใช้ Cisco Catalyst 2960 24 พอร์ต , แอคเซสพ้อยซ์ ASUS RT-N16 4 ตัว,การ์ดวัดสเปกตรัมและค่าปริมาณงานของ Cisco รุ่น AIR-CSCO-SE-WIFI-C,โปรแกรมสร้างทราฟฟิก รับ-ส่งข้อมูล jperf-2.0.2 และโปรแกรมมอนิเตอร์ทราฟฟิก PRTG ซึ่งมีการเชื่อมต่อการทดสอบดังรูปที่ 3



**รูปที่ 3** แผนผังและภาพรวมการวางตำแหน่งของ Access Point ในห้องทดสอบด้วยอุปกรณ์จริง

### 4.3 ข้อจำกัดของระบบ

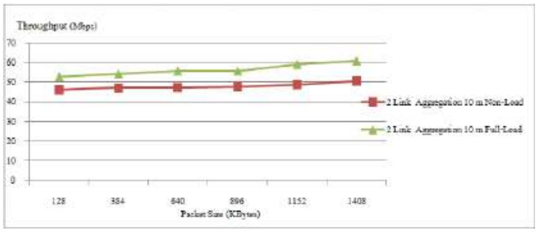
ทดสอบในพื้นที่ 2 ตารางเมตร ที่ไม่มีสิ่งกีดขวาง เนื่องจากเป็นระยะที่ทำให้สัญญาณมีประสิทธิภาพสูงสุด [7] และเพิ่มระยะห่างของจุดเข้าถึง จาก 2 เมตร 5 เมตร และ 10 เมตรตามลำดับ โดยทดสอบวัดผลจำนวน 20 ครั้ง ในแต่ละระยะห่างแล้วนำมาหาค่าเฉลี่ยทางสถิติและบันทึกผล และใช้ความถี่ 2.4 GHz ในช่องสัญญาณ 20 MHz ที่ช่องสัญญาณ 1 และ 11

## 5. ผลการทดสอบและวิจารณ์ผล

5.1 ค่าเปรียบเทียบประสิทธิภาพความแตกต่างระหว่าง Interference Power Station กับค่า Interference Power Noise ที่การรวมกลุ่มลิ้งค์ 1 ลิ้งค์และ 2 ลิ้งค์ พบว่าถ้าค่าความแตกต่างระหว่าง Interference Power Station กับค่า Interference Power Noise มีค่าเพิ่มขึ้น มีผลทำให้ค่าปริมาณงานมีค่าเพิ่มขึ้นและส่งผลต่อการรวมกลุ่มลิ้งค์ มีค่าเพิ่มขึ้นเช่นกัน เมื่อเทียบระหว่างการรวม 1 ลิ้งค์และการรวมกลุ่ม 2 ลิ้งค์ ตัวอย่างเช่นเมื่อค่า Interference มีค่า-5dBm สามารถรับ-ส่ง ข้อมูลด้วยการรวมกลุ่ม 1 ลิ้งค์ได้ 39.53 Mbit/sec 2 ลิ้งค์ได้ 40.20 Mbit/sec และเมื่อมีลิ้งค์ใดลิ้งค์หนึ่งมีปัญหาก็ยังสามารถ รับ- ส่งข้อมูลกันได้ เนื่องจากยังมีเส้นทางสำรองอยู่ ดังรูปที่ 4

**รูปที่ 4** เมื่อลิ้งค์ใดลิ้งค์หนึ่งมีปัญหายังสามารถส่งข้อมูลจากการรวมลิ้งค์ลิ้งค์อื่นได้ มอนิเตอร์จากโปรแกรม PRTG

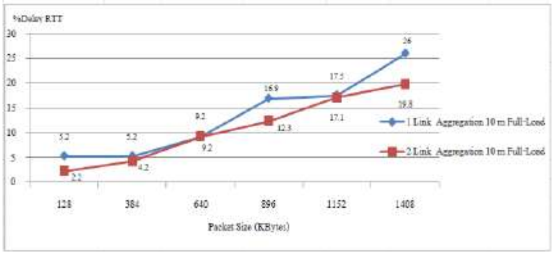
5.2 ค่าปริมาณงานจากการรวมกลุ่มลิ้งค์ 2 ลิ้งค์ ที่ระยะห่างของแอคเซสพ้อยซ์ 10 เมตร ช่องสัญญาณที่ 1 และ 11 ส่งข้อมูล Packet 6 ขนาด ในสภาวะ Non-Load และ Full-Load พบว่าการรวมกลุ่มลิ้งค์ 2 ลิ้งค์ ในสภาวะ Full-Load สามารถส่งข้อมูลได้มากกว่าสภาวะ Non-Load ตัวอย่างเช่น ส่งข้อมูล Packet ขนาด1408 Kbytes ในสภาวะ Full-Load สามารถส่งข้อมูลได้มากกว่าสภาวะ Non-Load 10.33% ดังรูปที่ 5




**รูปที่ 5** ค่าเปรียบเทียบปริมาณงานที่ส่งข้อมูลของการรวมกลุ่มลิ้งค์ 2 ลิ้งค์ ในสภาวะ Non-Load และ Full-Load

5.3 เปอร์เซนต์ความล่าช้าของเวลาที่ข้อมูลจากต้นทางส่งถึงปลายทาง (Round Trip Time) จากการรวมกลุ่มลิ้งค์ 2 ลิ้งค์ ที่ระยะห่างของแอคเซสพ้อยซ์ 10 เมตร ช่องสัญญาณที่ 1 และ 11 ส่งข้อมูล Packet 6 ขนาด ใน

สภาวะ Full-Load พบว่าการรวมกลุ่มลิ้งค์ 2 ลิ้งค์ ในสภาวะ Full-Load สามารถส่งข้อมูลจากต้นทางไปยังปลายทางมีเปอร์เซนต์ความล่าช้าของเวลาที่ข้อมูลจากต้นทางส่งถึงปลายทางน้อยกว่า การรวมกลุ่มลิ้งค์ 1 ลิ้งค์ ตัวอย่างเช่น ส่งข้อมูล Packet ขนาด1408 Kbytes ในสภาวะ Full-Load ที่เวลา 100 วินาที สามารถส่งข้อมูลจากต้นทางไปยังปลายทางมีเปอร์เซนต์ความล่าช้าของเวลาที่ข้อมูลจากต้นทางส่งถึงปลายทาง 19.8% น้อยกว่าการรวมกลุ่มลิ้งค์ 1 ลิ้งค์ที่มีความผิดพลาด 26 % ดังรูปที่ 6




**รูปที่ 6** ค่า % Delay Round Trip Time ของการรวมกลุ่มลิ้งค์ 2 ลิ้งค์ในสภาวะ Full-Load

## 6. สรุป

การรวมกลุ่มลิ้งค์ในระบบสายตามมาตราฐาน IEEE802.3ad เมื่อนำมาใช้กับระบบแลนไร้สายพบว่าเมื่อรวมกลุ่มลิ้งค์ในระบบไร้สายสามารถเพิ่มช่องทางการสื่อสารให้เพิ่มขึ้นและสำรองเส้นทางเมื่อลิ้งค์ใดลิ้งค์หนึ่งมีปัญหาทำให้ข้อมูลที่รับ-ส่งยังสามารถรับ-ส่งได้ปกติ ซึ่งนอกจากค่า Interference Power และค่า SNR แล้ว ค่า Interference Power Station ยังมีผลต่อค่าปริมาณงานด้วย ซึ่งพบว่าถ้าค่าความแตกต่างระหว่างค่า Interference Power Station กับค่า Interference Power มีค่าเพิ่มขึ้น มีผลทำให้ค่าปริมาณงาน เพิ่มขึ้นเฉลี่ยในภาพรวม 5.4 % และในการรับส่งข้อมูลของโปรโตคอล TCP ที่ขนาดของ packet sizes ที่ต่างกันก็จะส่งผลต่อค่าปริมาณงานโดยเมื่อมีการรวมลิ้งค์ จาก 1 ลิ้งค์เพิ่มเป็น 2 ลิ้งค์ ทำให้ค่าปริมาณงานเพิ่มขึ้นเฉลี่ยในภาพรวม 0.84% ในสภาวะ Non-Load และเพิ่มขึ้นเฉลี่ยในภาพรวม 0.16% ในสภาวะ Full-Load รวมถึงเมื่อมีการรวมกลุ่มลิ้งค์ 2 ลิ้งค์ส่งผลให้ค่าความล่าช้าของเวลาที่ส่งข้อมูลจากต้นทางไปยังปลายทางลดลงเฉลี่ยในภาพรวม 6.2 %

### 6.1 แนวทางการพัฒนาต่อ

ทดสอบเรื่องการแพร่กระจายคลื่นเพื่อสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการกระจายคลื่นของการรวมกลุ่มลิ้งค์รวมถึงการทำนายอุปกรณ์ที่จะติดตั้งและเพิ่มระยะทดสอบแบบภายในอาคารโดยใช้ย่านความถี่ 5 GHz และเปรียบเทียบหากมีการรบกวนของช่องสัญญาณทับซ้อนกัน จะมีผลต่อค่า ค่าปริมาณงาน เช่นไร และจากผลกระทบนั้นจะมาสามารถที่จะมีแนวคิดเพื่อแก้ไขหรือไม่

## 7. เอกสารอ้างอิง

[1] A. Yamaguchi, et al., “Downlink Link Aggregation Performance with Delay Adjustment Capability in Multi-Radio Access System,” Vehicular Technology Conference (VTC Spring), 2011 IEEE 73rd, 2011. pp. 1-5.

[2] F. Lutz, et al., “Load balancing and aggregation of multiple ADSL links,” Proceedings of the Ninth Workshop on Intelligent Solutions in Embedded Systems (WISES 2011), 2011. pp. 21-26.

[3] K. Hashiguchi, et al., “Traffic allocation control using support vector machine in heterogeneous wireless link aggregation,” in Consumer Communications and Networking Conference (CCNC), 2011 IEEE, 2011. pp. 653-657.

[4] J. C. Fernandez, et al., "Bandwidth Aggregation-Aware Dynamic QoS Negotiation for Real-Time Video Streaming in Next-Generation Wireless Networks," Multimedia on IEEE Transactions, Vol. 11, No. 6, 2009. pp. 1082-1093.

[5] N. Funabikiy, et al., "A Proposal of Access-Point Aggregation Approach for Multiple Wireless Local Area Networks," 2012 Sixth International Conference on Complex, Intelligent and Software Intensive Systems (CISIS), 2012. pp. 677-682.

[6] A. Jayasuriya, et al., “Aggregation of Wi-Fi Links: When Does it Work?,” in 15th IEEE International Conference on Networks 2007 (ICON 2007), 2007. pp. 318-323.

[7] S. S. Kolahi and L. Peng, “Evaluating IPv6 in Peer-to-Peer 802.11n Wireless LANs,” Internet Computing, IEEE, vol. 15, 2011. pp. 70-74.

**นิสิต ภูครองตา** อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

**ผศ.ดร.ไพฑูรย์ รักเหลือ** อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

# เครื่องรบกวนสัญญาณโทรศัพท์เคลื่อนที่ ย่านความถี่ 850 MHz โดยใช้โปรแกรม MATLAB Simulink ร่วมกับบอร์ด Arduino

# Mobile Jammer for 850 MHz band By using MATLAB Simulink software With Arduino board

**ภูเบต แสงมะฮะหมัด บุญฤทธิ์ คุ้มเขต และ วิโรจน์ พิราจเนนชัย**

ภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

39 หมู่ 1 ถนนรังสิต-นครนายก (คลองหก) อำเภอธัญบุรี จังหวัดปทุมธานี 12110 โทร. 0-2549-4620 e-mail: pubet_s@rmutt.ac.th

## บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนา ออกแบบและสร้างเครื่องรบกวนสัญญาณโทรศัพท์เคลื่อนที่ ย่านความถี่ 850 MHz (Mobile Jammer for 850 MHz band) ในย่านความถี่ระบบเชื่อมโยงขาลง (Downlink) 869 - 894 MHz และระบบเชื่อมโยงขาขึ้น (Uplink) 824 - 849 MHz ครอบคลุมพื้นที่ว่างระยะ 5 เมตร การออกแบบประกอบด้วยส่วนสำคัญ 4 ส่วนหลัก ๆ คือ บอร์ด Arduino เป็นส่วนที่ทำหน้าที่กำเนิดสัญญาณฟันเลื่อย (Saw-tooth signal) และสัญญาณรบกวน (Noise signal) โดยการออกแบบด้วยโปรแกรม MATLAB Simulink ในส่วนที่สองคือ วงจรปรับระดับสัญญาณ (Signal level adjustment) เพื่อปรับระดับสัญญาณให้เหมาะสมก่อนเข้าวงจรออสซิลเลเตอร์ควบคุมด้วยแรงดัน (Voltage Controlled Oscillator : VCO) และส่วนสุดท้ายคือ วงจรขยายสัญญาณวิทยุ (RF Amplifier) และสายอากาศ รวมเป็นเครื่องรบกวนสัญญาณโทรศัพท์เคลื่อนที่ ซึ่งสามารถตัดสัญญาณโทรศัพท์ย่านความถี่ 850 MHz

คำสำคัญ: เครื่องรบกวนสัญญาณโทรศัพท์เคลื่อนที่, สัญญาณฟันเลื่อย, สัญญาณรบกวน

## Abstract

This article describes how to developed designed and built the Mobile Jammer for 850 MHz band. The mobile 850 MHz band is 869 – 894 MHz frequency for downlink and 824 – 849 MHz for uplink. The propose Mobile Jammer was coverage 5 meters of distance. This jammer consisted of 4 main sections; the first is Arduino board, which is saw-tooth signal and noise signal generator designed by MATLAB Simulink software. The second is signal level adjustment circuit. The third section is Voltage Controlled Oscillator (VCO) circuit and the last sections are power amplifier and antenna.

Keywords: Mobile Jammer, Saw-tooth signal, Noise signal

## 1. บทนำ

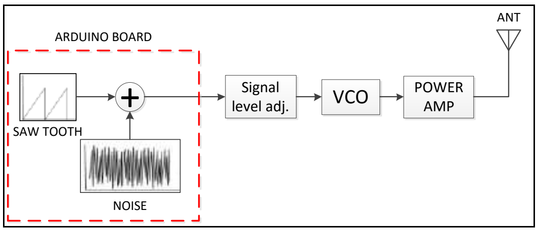
ปัจจุบันการติดต่อสื่อสารด้วยโทรศัพท์เคลื่อนที่ ได้มีบทบาทในชีวิตประจำวันมากขึ้น เพื่อช่วยอำนวยความสะดวกในการติดต่อสื่อสารแลกเปลี่ยนข้อมูล และใช้กันเป็นจำนวนมาก แต่ในปัจจุบันมีการใช้เทคโนโลยีดังกล่าวไปในทางที่ผิด เช่น การใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่หรืออุปกรณ์เครื่องรับสัญญาณที่ใช้ความถี่ในย่านเดียวกับโทรศัพท์เคลื่อนที่ ในการทุจริตในการสอบ ทำให้เกิดความเสียหายต่อองค์กร หน่วยงาน และภาครัฐ ตลอดจนการใช้สัญญาณโทรศัพท์เคลื่อนที่ในการจุดฉนวนระเบิด ทำให้เป็นอันตรายต่อชีวิตและทรัพย์สิน

เครื่องรบกวนสัญญาณโทรศัพท์เคลื่อนที่สามารถช่วยแก้ปัญหาดังกล่าวได้ โดยการรบกวนคลื่นสัญญาณโทรศัพท์เคลื่อนที่ด้วยการส่งคลื่นที่มีความถี่เดียวกับความถี่โทรศัพท์ ใช้ในการติดต่อสื่อสารกับสถานีส่ง วิธีการนี้เรียกว่าการรบกวนแบบปฏิเสธการให้บริการ [1-4] โดยสัญญาณที่เครื่องรบกวนสัญญาณโทรศัพท์เคลื่อนที่นี้ส่งออกมาจะไปรบกวนสเปกตรัมของคลื่นวิทยุที่ ผู้ให้บริการส่งออกมาผ่านสถานีส่ง ทำให้โทรศัพท์เคลื่อนที่ไม่สามารถรับรู้ได้ว่าบริเวณนี้อยู่ในเขตให้บริการ

งานวิจัยนี้จึงได้ทำการพัฒนาการออกแบบและสร้างเครื่องรบกวนสัญญาณโทรศัพท์เคลื่อนที่โดยออกแบบแหล่งกำเนิดสัญญาณควบคุม โดยใช้บอร์ดไมโครคอนโทรเลอร์ Arduino ร่วมกับโปรแกรม MATLAB Simulink เพื่อสร้างเครื่องรบกวนสัญญาณโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่อยู่ในรัศมีทำการ ไม่ให้สามารถใช้งานทั้งรับและส่งสัญญาณได้ ซึ่งอุปกรณ์รบกวนสัญญาณนี้สามารถใช้ได้ในทางทหารและสถานที่งดใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่หรือเครื่องมือสื่อสารทุกประเภทที่ใช้ความถี่ในย่าน 850 MHz อย่างเช่น โรงภาพยนตร์ โรงพยาบาล โบสถ์ หรือสถานที่ราชการ ฯลฯ นอกจากนี้ยังได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับประสิทธิภาพ การทำงานของอุปกรณ์ เพื่อประโยชน์ในการศึกษานำไปประยุกต์และปรับปรุงใช้ในย่านความถี่อื่น หรือส่วนอื่น ต่อไป

## 2. โครงสร้างและการออกแบบ

ในการออกแบบและสร้างเครื่องรบกวนสัญญาณโทรศัพท์เคลื่อนที่ ย่านความถี่ 850 MHz นั้นสามารถแบ่งออกเป็น 4 ส่วนหลัก ๆ คือ ในส่วนของ บอร์ด Arduino วงจรปรับระดับสัญญาณ วงจรออสซิลเลเตอร์ควบคุมด้วยแรงดัน และส่วนสุดท้ายคือ วงจรขยายสัญญาณวิทยุ และสายอากาศ แสดงโครงสร้างดังรูปที่ 1

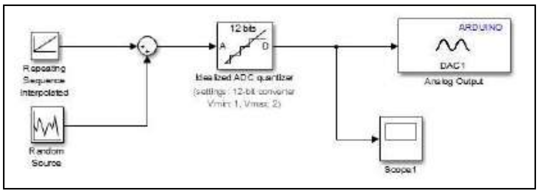



**รูปที่ 1** โครงสร้างของเครื่องรบกวนสัญญาณโทรศัพท์เคลื่อนที่

จากรูปที่ 1 สัญญาณฟันเลื่อย และสัญญาณรบกวน ถูกสร้างและรวมกัน ด้วยบอร์ดไมโครคอนโทรเลอร์ Arduino โดยใช้โปรแกรม MATLAB Simulink ในการออกแบบ หลักจากนั้นสัญญาณดังกล่าวจะถูกส่งไปเข้าวงจรปรับระดับสัญญาณ (Signal level adjustment) เพื่อปรับแรงดันขาออกของบอร์ด Arduino ให้เหมาะสมเพื่อส่งไปยังวงจรออสซิลเลเตอร์ควบคุมด้วยแรงดัน (VCO) เพื่อควบคุมให้สร้างความถี่ย่าน 850 MHz หลังจากนั้น สัญญาณจะถูกขยายด้วยวงจรขยาย (Power Amp) แล้วส่งออกสายอากาศ (ANT) ซึ่งการออกแบบแต่ละส่วนแสดงดังหัวข้อต่อไปนี้

### 2.1 MATLAB และ บอร์ด Arduino

ในการออกแบบชุดกำเนิดสัญญาณฟันเลื่อย และสัญญาณรบกวน นั้นในงานวิจัยนี้ได้นำเสนอการออกแบบและสร้างโดยใช้บอร์ดไมโครคอนโทรเลอร์ Arduino ร่วมกับโปรแกรม MATLAB Simulink ซึ่งมีโครงสร้างการออกแบบแสดงดังรูปที่ 2

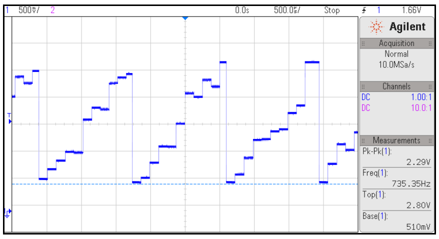



**รูปที่ 2** บล็อกไดอะแกรม ของชุดกำเนิดสัญญาณฟันเลื่อย และสัญญาณรบกวน

จากรูปที่ 2 แสดงบล็อกไดอะแกรมจากโปรแกรม MATLAB Simulink ของชุดกำเนิดสัญญาณฟันเลื่อยที่สร้างโดย บล็อก Repeating Sequence Interpolated และสัญญาณรบกวน ที่ถูกสร้างจากบล็อก Random Source หลังจากนั้นทั้งสองสัญญาณจะถูกนำไปรวมกันที่ตัวรวมสัญญาณ (Adder) ส่งไปแปลงสัญญาณจากอนาล็อกให้เป็นสัญญาณดิจิตอลที่บล็อก Idealized ADC quantizer เพื่อทำการส่งสัญญาณดังกล่าวออกทางขา DAC1 ของบอร์ด Arduino ต่อไป ในการออกแบบแต่ละบล็อกที่มีการตั้งค่าต่าง ๆ แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การตั้งค่าบล็อกที่ใช้งานในโปรแกรม MATLAB Simulink

| บล็อก Simulink | Parameter | Value |
|---|---|---|
| Repeating Sequence Interpolated | vector of output values | [0,1] |
| Random Source | - Source type<br>- Method<br>- Variance | - Gaussian<br>- Sum of uniform values<br>- 0.01 |
| Idealized ADC quantizer | - Number of converter bits<br>- output | - 12 bit<br>- uint16 |
| Analog output | pin output | DAC1 |



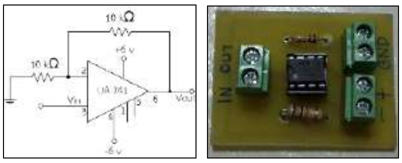

**รูปที่ 3** สัญญาณขาออกของบอร์ด Arduino

จากรูปที่ 3 แสดงสัญญาณฟันเลื่อยและสัญญาณรบกวน ซึ่งเป็นสัญญาณขาออกของบอร์ด Arduino จะเห็นว่าสัญญาณดังกล่าวมีความถี่ 735.35 Hz แรงดันขาออกที่ 0.51 V – 2.8 V ซึ่งจะยังไม่สามารถนำไปควบคุมวงจรออสซิลเลเตอร์ควบคุมด้วยแรงดันเพื่อให้กำเนิดความถี่ที่ต้องการได้ ดังนั้นสัญญาณดังกล่าวจึงถูกส่งไปยังวงจรปรับระดับสัญญาณก่อน

### 2.2 วงจรปรับระดับสัญญาณ

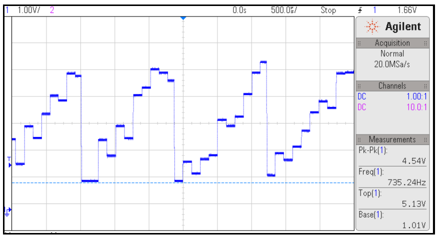
การออกแบบวงจรปรับระดับสัญญาณนั้นในงานนี้ออกแบบโดยใช้ออปแอมป์ (Op-Amp) ต่อเป็นวงจรขยายแบบไม่กลับเฟส

(Non-inverting Amplifier) เพื่อทำการขยายและปรับระดับสัญญาณที่ออกมาจากบอร์ด Arduino ให้เหมาะสมก่อนเข้าวงจรออสซิลเลเตอร์ควบคุมด้วยแรงดัน แสดงวงจรและการต่อลงบนแผ่นวงจรพิมพ์ดังรูปที่ 4




(ก) (ข)

**รูปที่ 4** วงจรปรับระดับสัญญาณโดยใช้ออปแอมป์ (ก) วงจร (ข) การต่อลงบนแผ่นวงจรพิมพ์



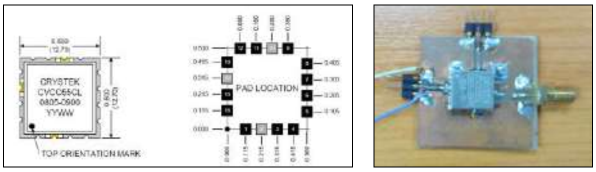

**รูปที่ 5** สัญญาณขาออกของวงจรปรับระดับสัญญาณ

สัญญาณขาเข้าของวงจรปรับระดับสัญญาณมีระดับแรงดันอยู่ที่ 0.51V – 2.8V ซึ่งเป็นสัญญาณจากบอร์ด Arduino หลักจากนั้นสัญญาณดังกล่าวจะถูกขยายด้วยวงจรปรับระดับสัญญาณ ซึ่งแรงดันขาออกที่ได้มีค่าอยู่ระหว่าง 1.01V – 5.13V แสดงดังรูปที่ 5 เพื่อส่งไปควบคุมการสร้างความถี่ที่วงจรออสซิลเลเตอร์ควบคุมด้วยแรงดันต่อไป

## 2.3 วงจรออสซิลเลเตอร์ควบคุมด้วยแรงดัน (VCO)

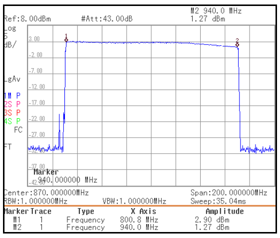
ในการออกแบบวงจรออสซิลเลเตอร์ควบคุมด้วยแรงดัน ในงานวิจัยนี้เลือกใช้ออสซิลเลเตอร์ควบคุมด้วยแรงดัน สำเร็จรูปเบอร์ CVCO55CL-0805-0900 ซึ่งสามารถกำเนิดสัญญาณความถี่กวาดตั้งแต่ความถี่ 800 – 900 MHz เพื่อรบกวนความถี่ของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ย่านความถี่ 850 MHz แสดงตำแหน่งขาและการต่อใช้งานบนแผ่นวงจรพิมพ์ดังรูปที่ 6

รูปที่ 7 แสดงสัญญาณที่ทำการวัดช่วงความถี่กวาดของวงจรออสซิลเลเตอร์ควบคุมด้วยแรงดันโดยใช้แรงดันควบคุมจากสัญญาณขาออกของวงจรปรับระดับสัญญาณ ซึ่งความถี่กวาดที่ได้อยู่ในช่วง 800.8 MHz ถึง 940.0 MHz ครอบคลุมย่านความถี่ 850 MHz จากนั้นความถี่วิทยุย่านดังกล่าว ถูกนำไปขยายต่อที่วงจรขยายสัญญาณวิทยุและส่งออกสายอากาศ




(ก) (ข)

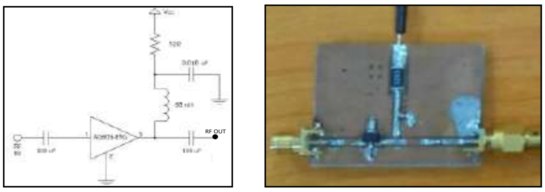
**รูปที่ 6** วงจรออสซิลเลเตอร์ควบคุมด้วยแรงดัน (ก) ตำแหน่งขาใช้งาน (ข) การต่อลงบนแผ่นวงจรพิมพ์



**รูปที่ 7** ความถี่กวาดของวงจรออสซิลเลเตอร์ควบคุมด้วยแรงดัน

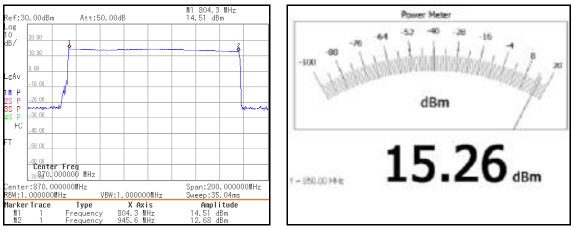
## 2.4 วงจรขยายสัญญาณวิทยุ และสายอากาศ

ในการออกแบบวงจรขยายสัญญาณความถี่วิทยุ เลือกใช้ไอซีเบอร์ AG603-89G มีคุณสมบัติสามารถขยายสัญญาณย่านความถี่ 800 – 900 MHz ตามที่ต้องการได้ แสดงวงจรและการต่อใช้งานบนแผ่นวงจรพิมพ์ดังรูปที่ 8 และผลการวัดสัญญาณและกำลังงานขาออกของวงจรขยายสัญญาณวิทยุแสดงดังรูปที่ 9



(ก) (ข)

**รูปที่ 8** วงจรขยายสัญญาณความถี่วิทยุ (ก) วงจร (ข) การต่อลงบนแผ่นวงจรพิมพ์




**รูปที่ 9** สัญญาณและกำลังงานขาออกของวงจรขยายสัญญาณวิทยุ

รูปที่ 9 แสดงสัญญาณขาออกของวงจรขยายสัญญาณวิทยุ มีความถี่กวาดอยู่ในช่วง 804.3 – 945.6 MHz และมีกำลังงานที่ 15.26 dBm ณ ความถี่ 850 MHz

ในการเลือกใช้สายอากาศนั้นได้เลือกใช้สายอากาศแบบสำเร็จรูปชนิด Multi-Band Directional Antenna รุ่น 489-DB มีทิศทางการแพร่กระจายคลื่นแบบทิศทางเดียว แสดงคุณสมบัติอื่น ๆ ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 คุณสมบัติของสายอากาศ

| | |
|---|---|
| ย่านความถี่ที่ใช้งานได้ | 824- 894/ 1850- 1990/ 2400- 2500 MHz |
| VSWR | 1.5 : 1 |
| อัตราการขยาย | 10 dBi |
| ค่าความต้านอินพุต | 50 Ohm |
| ขนาด | 457 x 216 x 63.5 mm |

## 3. ผลจากการทดสอบ

การทดสอบผลของการรบกวนสัญญาณโทรศัพท์เคลื่อนที่นั้นได้ทดสอบโดยการปรับเปลี่ยนระยะทางระหว่างเครื่องรบกวนสัญญาณโทรศัพท์เคลื่อนที่ ที่ทำการออกแบบ และโทรศัพท์เคลื่อนที่ย่าน 850 MHz ของ G-Net Model : G820 ทดสอบที่เครือข่าย DTAC

ตารางที่ 3 แสดงผลการทดสอบโดยการปรับเปลี่ยนระยะทางที่ทำการรบกวนสัญญาณ ตั้งแต่ 1 เมตร ถึง 5 เมตร แล้วทำการบันทึกผลการรบกวนสัญญาณในเรื่องของระยะเวลาที่เริ่มรบกวนได้

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบการรบกวนสัญญาณโทรศัพท์เคลื่อนที่

| รัศมี | ผลการรบกวน | ระยะเวลาเริ่มรบกวน |
|---|---|---|
| 1 เมตร | ได้ | 24 วินาที |
| 2 เมตร | ได้ | 27 วินาที |
| 3 เมตร | ได้ | 1.15 นาที |
| 4 เมตร | ได้ | 1.41 นาที |
| 5 เมตร | ได้ | 2.40 นาที |

## 4. สรุป

งานวิจัยได้นำเสนอการออกแบบและสร้างเครื่องรบกวนสัญญาณโทรศัพท์เคลื่อนที่ ย่านความถี่ 850 MHz โดยใช้บอร์ดไมโครคอนโทรเลอร์ Arduino ร่วมกับโปรแกรม MATLAB Simulink ซึ่งตัวเครื่องสามารถรบกวนสัญญาณโทรศัพท์เคลื่นที่ย่าน 850 MHz ได้ และสามารถครอบคุมพื้นที่ว่างระยะ 5 เมตร ได้

เครื่องรบกวนสัญญาณโทรศัพท์เคลื่อนที่ ที่นำเสนอสามารถปรับปรุงแก้ไขในเรื่องการปรับเปลี่ยนย่านความถี่ที่ต้องการรบกวน เพิ่มกำลังงานในการรบกวนเพื่อเพิ่มระยะการรบกวน รวมถึงการปรับเปลี่ยนความถี่ของส่วนกำเนิดสัญญาณฟันเลื่อยและสัญญาณรบกวนให้มีค่าความถี่มากขึ้นเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการรบกวน

## 5. กิตติกรรมประกาศ

ในการทำงานวิจัยนี้ ทางผู้จัดทำขอขอบพระคุณท่านอาจารย์ทุกท่าน รวมถึงห้องปฏิบัติการวิศวกรรมไมโครเวฟ ภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่มีส่วนร่วมทำให้งานวิจัยนี้ลุล่วงไปได้ด้วยดี

## เอกสารอ้างอิง

[1] I. Patell, R. Kulkarn and J. Ali Khan, “Intelligent FM Signal Jamming System” 3th Int. Conf., Comput. Commun. & Networking Technology (ICCCNT), 2012. Coimbatore, pp. 1 – 6, July 2012.

[2] N. K. Mishra “Development of GSM - 900 Mobile Jammer: an approach to overcome existing limitation of Jammer” 5th IEEE Conf. on Wireless Commun. and Sensor Networks (WCSN), 2009. Allahabad, pp. 1 – 4, Dec. 2009.

[3] S. K. Mahato and C.vimala “Cellular Signals Jamming System in 2G And 3G” Int. Conf. on Signal Process, Embedded System and Commun. Technologies and their applicat. for Sustainable and Renewable Energy (ICSECSRE’14). Vol. 3, Special Issue 3, pp. 242-247, Apr. 2014.

[4] E. Divya and R. Aswin “Design of User Specific Intelligent Cell Phone Jammer” 1st Int Conf. on Recent Advances in Inform. Technology (RAIT-2012). Dhanbad, pp. 312 – 316, Mar. 2012.

ภูเบต แสงมะฮะหมัด สำเร็จการศึกษา วศ.บ สาขาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ปัจจุบันตำแหน่งนักวิชาการศึกษา ภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

บุญฤทธิ์ คุ้มเขต สำเร็จการศึกษา วศ.บ. สาขาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม และ วศ.ม. วิศวกรรมไฟฟ้า จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรีปัจจุบันตำแหน่งอาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

**บทความวิจัย**

การประชุมวิชาการ งานวิจัยและพัฒนาเชิงประยุกต์ ครั้งที่ 8

*8th ECTI-CARD 2016, Hua Hin, Thailand*

# การออกแบบตัวสะท้อนพื้นผิวเลือกความถี่ผ่านใช้การเจาะช่องด้วยเทคนิคอินเตอร์ดิจิตอลสำหรับระบบ LTE

# The Design of Frequency Selective Surface Reflector Using Slot Interdigital Technique for LTE System

**รณชัย ฮูเจี่ย[1], พงศธร ชมทอง[1]และ ประยุทธ อัครเอกฒาลิน [2]**

[1]สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาครุศาสตร์ไฟฟ้า คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม

[2]สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

1518 ถนนประชาราษฎร์ 1 แขวงวงศ์สว่าง เขตบางซื่อ กรุงเทพมหานคร 10800

E-mails : ronnachai.hoojia@gmail.com, pongsathornc@kmutnb.ac.th, prayoot@kmutnb.ac.th

## บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการจำลองการทำงานการออกแบบตัวสะท้อนแบบพื้นผิวเลือกความถี่ผ่าน (FSS) บนแผ่นวงจรพิมพ์ไมโครเวฟที่ใช้วิธีการเจาะช่องด้วยเทคนิคอินเตอร์ดิจิตอลเพื่อให้เกิดการตอบสนองความถี่เรโซแนนซ์คือ 1.8 GHz (LTE) จากวิธีการออกแบบด้วยเทคนิคดังกล่าวทำให้สามารถออกแบบพื้นผิวเลือกความถี่ผ่านหนึ่งหน่วยมีขนาดที่ลดลงได้จากความยาวคลื่น $\lambda/2$ เหลือประมาณ $\lambda/8$ เมื่อทำการต่อแบบอาเรย์จะทำให้ขนาดของพื้นผิวเลือกความถี่มีขนาดที่ลดลงมากกว่าการออกแบบปรกติ การทดสอบประสิทธิภาพจะทดสอบร่วมกับสายอากาศไดโพลที่มีความถี่ 1.8 GHzและพื้นผิวเลือกความถี่ผ่านเป็นตัวสะท้อน พบว่าสามารถเพิ่มประสิทธิภาพเกณฑ์การขยายของสายอากาศได้ถึง 8.32 dB และมีทิศทางการแพร่กระจายแบบชี้ทิศทาง มีค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อน ($S_{11}$) -14 dB และค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่าน ($S_{21}$) -1.6 dB แบนด์วิดท์คือ 1.72 GHz-1.92 GHz (200MHz)

คำสำคัญ: พื้นผิวเลือกความถี่ผ่าน, อินเตอร์ดิจิตอล, สายอากาศไดโพล

## Abstract

This article propose the simulation design of frequency selective surface (FSS) reflector on print circuit board by using slot interdigital technique for resonance frequency at 1.8 GHz (LTE). That design it can be reduce the size of FSS 1 unit form $\lambda/2$ to $\lambda/8$. When connect to array FSS the total size is decrease more than normally design. The performance testing of FSS is testing with dipole antenna at resonance frequency 1.8 GHz and FSS is the reflector that can enhance the gains of antennas up to 8.32 dB the radiation pattern is direction return loss is ($S_{11}$) -14 dB, insertion loss (S21) is -1.6 dB and bandwidth is 1.72 GHz-1.92 GHz (200MHz).

Keywords: Frequency selective surface, Interdigital, Dipole antenna

## 1. บทนำ

ทุกวันนี้การพัฒนาทางด้านการสื่อสารแบบไร้สายมีการพัฒนาไปอย่างรวดเร็วในทุก ๆ ด้านไม่ว่าจะเป็นการสื่อสารในระบบอินเตอร์เน็ตไร้สาย (WLAN) การสื่อสารในระบบมือถือ (Mobile Communication) หรือแม้กระทั่งการสื่อสารในระบบดาวเทียม (Satellite Communication) ในการพัฒนานี้จะมีการพัฒนาเกี่ยวกับความรวดเร็วในการติดต่อสื่อสาร ช่องทางในการติดต่อสื่อสาร จำนวนขนาดความกว้างของช่องแบนด์วิดท์ หรือแม้กระทั่งระยะทางในการรับและส่งสัญญาณที่มีประสิทธิภาพ นอกจากสิ่งที่กล่าวมาขนาดของอุปกรณ์ก็เป็นสิ่งจำเป็นที่ต้องคำนึงถึงเนื่องจากการสื่อสารไร้สายจำเป็นต้องใช้อุปกรณ์ที่มีขนาดเล็กและมีประสิทธิภาพที่ดีเพื่อความสะดวกและความคล่องตัวในการทำงาน พร้อมทั้งต้องสามารถติดต่อสื่อสารได้หลากหลายช่วงความถี่ตามที่ต้องการ ในประเทศไทยปัจจุบันการสื่อสารไร้สายสำหรับระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่เป็นสิ่งที่มีความจำเป็นต่อความต้องการของผู้ใช้บริการซึ่งได้มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องจนมาถึงยุคที่เรียกว่า 4G (Long Term Evolution) ซึ่งมีความรวดเร็วในการติดต่อสื่อสาร การรับและส่งข้อมูลทางด้านมัลติมีเดีย แต่สิ่งหนึ่งที่ยังคงมีความสำคัญในการติดต่อสื่อสารทุกยุคสมัยของการสื่อสารไร้สายนั่นคือสายอากาศที่เป็นองค์ประกอบสำคัญเป็นอย่างยิ่งในการติดต่อสื่อสารการพัฒนาสายอากาศจึงได้มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องและมีประสิทธิภาพที่มากขึ้น สามารถใช้งานได้หลากหลายรูปแบบและรองรับการใช้งานได้หลากหลายย่านความถี่ ไม่ว่าจะเป็นสายอากาศที่มีการแพร่กระจายแบบรอบทิศทาง (Omni directional) หรือสายอากาศที่มีการแพร่กระจายแบบทิศทาง (Directional) ในการพัฒนาอย่างหนึ่งที่สำคัญคือการพัฒนาตัวสะท้อน (Reflector) สำหรับสายอากาศแบบชี้ทิศทางโดยตามปรกติแล้วสายอากาศจะมีการพัฒนาตัวสะท้อนและสายอากาศโดยใช้วัสดุที่เป็นโลหะ [1] หรือการพัฒนาตัวสะท้อนและสายอากาศที่เป็นแผ่นวงจรพิมพ์ [2], [3] ซึ่งเทคนิคดังกล่าวจะทำให้มีการเพิ่มเกณฑ์การขยายได้มากขึ้นแต่ยังมีอีกวิธีการหนึ่งที่สามารถเพิ่มเกณฑ์การขยายได้มากกว่านั่นคือวิธีการออกแบบตัวสะท้อนพื้นผิวเลือกความถี่ผ่าน บทความนี้ได้นำเสนอเกี่ยวกับการจำลอง

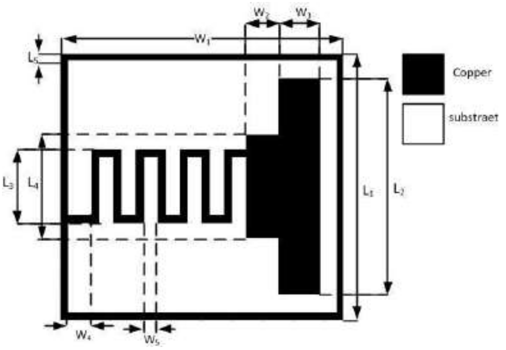
การทำงานการออกแบบตัวสะท้อนแบบพื้นผิวเลือกความถี่ผ่าน (FSS) บนแผ่นวงจรพิมพ์ไมโครเวฟโดยจะเป็นการออกแบบที่ประยุกต์มาจากหลักการออกแบบวงจรกรองความถี่ผ่านแถบที่ใช้เทคนิคอินเตอร์ดิจิตอล [4],[5] เนื่องจากเทคนิคดังกล่าวจะทำให้สามารถทำให้ขนาดลดลงได้จากความยาวคลื่น $\lambda/2$ เหลือประมาณ $\lambda/8$ ซึ่งเป็นผลมาจากการเกิดค่าคลื่นช้า (Slow wave) ภายในสายนำสัญญาณ โดยโครงสร้างของพื้นผิวเลือกความถี่ผ่านนี้จะทำการออกแบบด้วยเทคนิคการเจาะช่อง 1 หน่วยให้มีโครงสร้างแบบเรโซเนเตอร์ที่ใช้เทคนิคอินเตอร์ดิจิตอลจากนั้นจึงนำไปทำการเชื่อมต่อแบบอาเรย์ (Array) เพื่อทำเป็นตัวสะท้อนแล้วทำการเชื่อมต่อกับสายอากาศไดโพลที่มีการตอบสนองความถี่ที่ 1.8 GHz เพื่อทดสอบการเพิ่มเกณฑ์ของสายอากาศที่ได้ การออกแบบจะทำการออกแบบบนแผ่นวงจรพิมพ์ FR-4 มีค่าสัมประสิทธิ์วัสดุ ($\varepsilon r$) 4.4 ค่าการสูญเสียของวัสดุ 0.018 ความหนาของวัสดุ (Thickness) 1.6 มม.การออกแบบนำเสนอในส่วนถัดไป

## 2 การออกแบบ

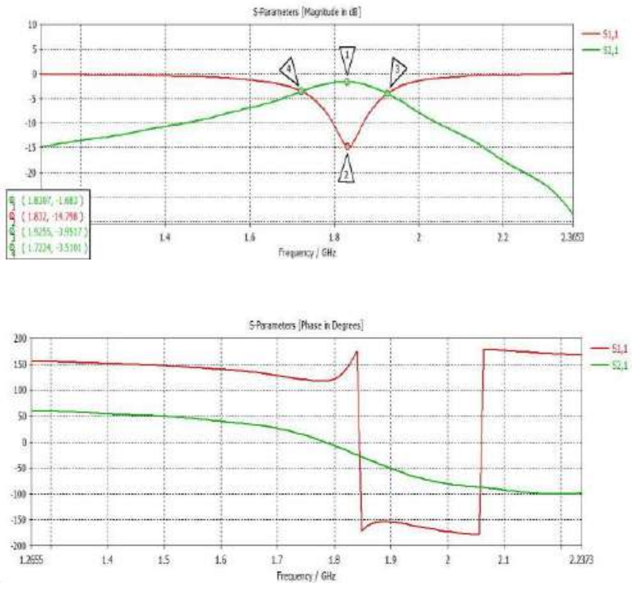
การออกแบบจะแบ่งออกเป็น 3 ส่วนโดยส่วนแรกจะเป็นการออกแบบที่ขนาด 1 หน่วยเพื่อทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านและค่าสัมประสิทธิ์การย้อนกลับส่วนต่อมาจะเป็นการนำขนาด 1 หน่วยที่ได้ไปทำการเชื่อมต่อแบบอาเรย์เพื่อทำให้เป็นตัวสะท้อนส่วนสุดท้ายจะเป็นการอธิบายการออกแบบพื้นผิวเลือกความถี่ผ่านกับสายอากาศไดโพลเพื่อทดสอบการเพิ่มเกณฑ์ที่เพิ่มขึ้นและการแพร่กระจายของสายอากาศ

### 2.1 การออกแบบพื้นผิวเลือกความถี่ผ่าน 1 หน่วย

ในส่วนนี้จะนำเสนอการออกแบบพื้นผิวเลือกความถี่ผ่านโดยใช้เทคนิคการเจาะช่องและเทคนิคอินเตอร์ดิจิตอลซึ่งการออกแบบนี้จะใช้ขนาดของพื้นผิวเลือกความถี่ผ่านแบบ 1 หน่วยโครงสร้างแสดงตามภาพที่ 1 ซึ่งโครงสร้างดังกล่าวจะถูกนำมาจากการออกแบบเรโซเนเตอร์ในวงจรกรองความถี่ผ่านแถบ [5] ซึ่งจะมีความแตกต่างจากการออกแบบปรกติคือโครงสร้างดังภาพจะทำการเจาะช่องเนื่องจากการเจาะช่องนี้จะทำให้เกิดการส่งผ่านได้มากที่สุดหากเปรียบเทียบกับการไม่เจาะช่องพบว่าการที่ไม่ทำการเจาะเป็นเรโซเนเตอร์จะทำให้ขนาดของพื้นผิวเลือกความถี่ผ่าน 1 หน่วยมีขนาดที่ใหญ่กว่านั่นหมายความว่าการเจาะช่องจะทำให้ขนาดมีลักษณะที่ใกล้เคียงกับการออกแบบเรโซเนเตอร์ของวงจรกรองความถี่ผ่านแถบ ซึ่งการเจาะช่องให้มีลักษณะเหมือนกับเรโซเนเตอร์ที่ใช้เทคนิคอินเตอร์ดิจิตอลเนื่องจากเทคนิคดังกล่าวสามารถทำให้เกิดการลดขนาดลงของเรโซเนเตอร์จาก $\lambda/2$ เหลือประมาณ $\lambda/8$ [4] เป็นผลมาจากการเพิ่มค่าความจุที่ปลายสายนำสัญญาณจนทำให้เกิดค่าคลื่นช้าดังนั้นปรากฏการณ์ดังกล่าวจะทำให้สามารถลดขนาดของสายนำสัญญาณลง

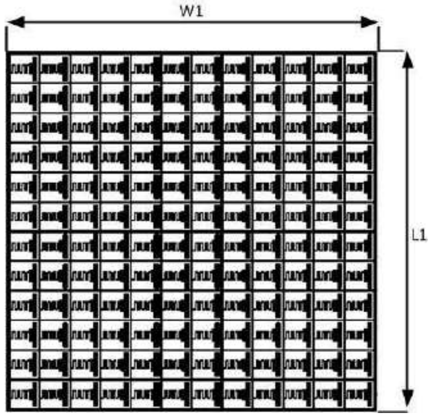



**ภาพที่ 1** แสดงโครงสร้างพื้นผิวเลือกความถี่ผ่าน 1 หน่วย

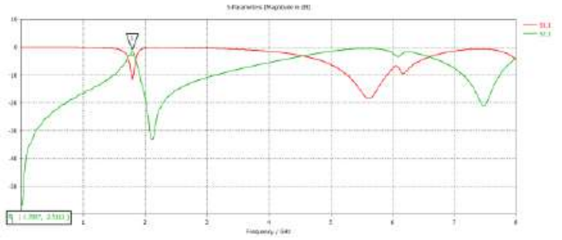



**ภาพที่ 2** แสดงผลจำลองการทำงานพื้นผิวเลือกความถี่ผ่าน 1 หน่วย

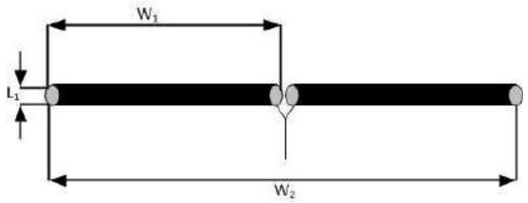
เมื่อทำการจำลองการทำงานพบว่ามีการส่งผ่านที่ดีในช่วงความถี่ 1.8 GHz แสดงตามภาพที่ 2 เนื่องจากพื้นผิวเลือกความถี่มีลักษณะการทำงานคล้ายกับวงจรกรองความถี่ผ่านแถบจึงสามารถบอกได้ว่าช่วงความถี่ที่สามารถใช้งานได้ในช่วงการส่งผ่านคือ 1.72 GHz-1.92 GHz นั่นหมายความว่ามีช่วงแบนด์วิดท์คือ 200 MHz มีค่าการสูญเสียส่งผ่านคือ -1.6 dB และมีค่าการสูญเสียย้อนกลับคือ -14.79 dB และจากการดูค่าเฟสจากผลการจำลองการทำงานพบว่ามีการเกิดค่าเอสเคิร์ฟ (S-Curve) ที่ช่วงความถี่ที่ออกแบบนั่นหมายความว่าเกิดการเปลี่ยนแปลงขึ้นทางเฟสตรงตามความถี่ที่ออกแบบ ขนาดโดยรวมคือ W1 = 9.2 มม., W2 = 1.05 มม., W3 = 1.35 มม., W4 = 0.78 มม., W5 = 0.48 มม., L1 = 8.6 มม., L2 = 7 มม., L3 = 2.38 มม., L4 = 3.33 มม., L5 = 0.2 มม. ขั้นตอนต่อไปคือการนำไปทำการเชื่อมต่อแบบอาเรย์ซึ่งจะกล่าวในลำดับถัดไป



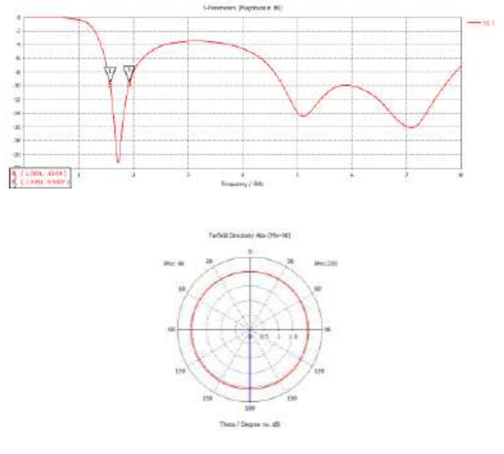

**ภาพที่ 3** แสดงโครงสร้างอาเรย์พื้นผิวเลือกความถี่ผ่าน



**ภาพที่ 4** แสดงผลจำลองการทำงานพื้นผิวเลือกความถี่ผ่านแบบอาเรย์




**ภาพที่ 5** แสดงโครงสร้างสายอากาศไดโพล



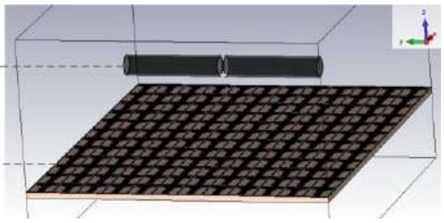
**ภาพที่ 6** แสดงผลจำลองการทำงานสายอากาศไดโพล

## 2.2 การออกแบบพื้นผิวเลือกความถี่ผ่านแบบอาเรย์

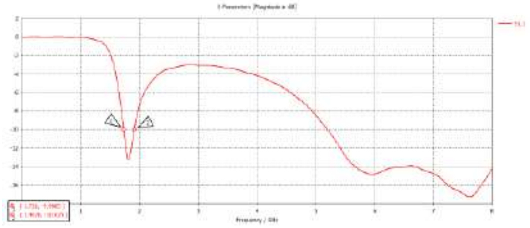
หลังจากที่ได้ทำการออกแบบพื้นผิวเลือกความถี่ผ่านแบบ 1 หน่วยที่มีผลตอบสนองความถี่เรโซแนนซ์ที่ 1.8 GHz ในส่วนนี้จะนำเสนอการเชื่อมต่ออาเรย์ของพื้นผิวเลือกความถี่ผ่านแถบโดยการนำมาเชื่อมต่อกันในรูปแบบอาเรย์ (Array) ซึ่งจะทำการเชื่อมต่อโดยทดลองเพิ่มขนาดให้มีขนาดเป็นเลขคี่หรือเลขคู่เพื่อดูผลตอบสนองค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านว่ามีการส่งผ่านตรงตามที่ความถี่ 1.8 GHz ของพื้นผิวเลือกความถี่ผ่านแบบ 1 หน่วย ในบทความนี้จะใช้ขนาด 12 * 12 หน่วย เนื่องจากเป็นขนาดที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการออกแบบแสดงโครงสร้างตามภาพที่ 3 เมื่อทำการจำลองการทำงานของการเชื่อมต่อแบบอาเรย์พบว่ามีการเรโซแนนซ์ที่ความถี่เดียวกับขนาด 1 หน่วยและมีการเปลี่ยนแปลงทางเฟสตรงช่วงความถี่เรโซแนนซ์ ขนาดโดยรวมคือ $W_1$ = 110.8 มม. $L_1$=103.6 มม.มีค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านและย้อนกลับคือ 2.51 dB และ -11.727 dB ตามลำดับแบนด์วิดท์คือ 1.72 GHz -1.92 GHz

## 2.3 การออกแบบตัวสะท้อนพื้นผิวเลือกความถี่ผ่านแบบอาเรย์และสายอากาศแบบไดโพล

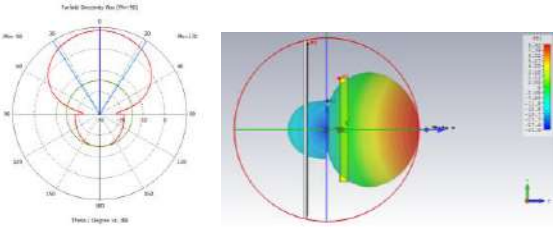
การนำพื้นผิวเลือกความถี่ผ่านแบบอาเรย์มาใช้งานในบทความนี้จะนำมาใช้งานเพื่อเป็นตัวสะท้อนสำหรับสายอากาศชนิดไดโพลซึ่งสายอากาศและตัวสะท้อนนี้จะมีความถี่ที่เรโซแนนซ์ตรงกันซึ่งระยะระหว่างสายอากาศและตัวสะท้อนพื้นผิวเลือกความถี่ผ่านนี้โดยปรกติจะมีระยะประมาณ $\lambda/2$ ของความถี่เรโซแนนซ์แต่ในกรณีของตัวสะท้อนที่ถูกทำการออกแบบที่ความยาวคลื่นประมาณ $\lambda/8$ ทำให้ระยะระหว่างสายอากาศและตัวสะท้อนนั้นมีระยะที่ลดลงโครงสร้างของสายอากาศที่ออกแบบนั้นจะทำการออกแบบบนท่อทองแดงแสดงโครงสร้างตามภาพที่ 5 ซึ่งสายอากาศนี้เมื่อทำการจำลองการทำงานจะพบว่ามีการเรโซแนนซ์ความถี่ที่ 1.8 GHz มีแบนด์วิดท์คือ1.56 GHz-1.91 GHz (350 MHz) มีการแพร่กระจายแบบรอบทิศทาง (Omnidirectional) เกณฑ์การขยายของสายอากาศ 2.04 dBi แสดงตามภาพที่ 6 ขนาดของสายอากาศจะมีขนาดคือ W1 = 34.5 มม., W2 = 71.1 มม., L1 = 6 มม. ต่อมาจะทำการนำสายอากาศวางบนพื้นผิวเลือกความถี่ผ่านซึ่งระยะห่างของอุปกรณ์ทั้งสองเป็นระยะ $D_1$ โดยจะต้องทำการปรับระยะที่เหมาะสมเนื่องจากขนาด 1 หน่วยของพื้นผิวเลือกความถี่ผ่านถูกลดขนาดลงจาก $\lambda/2$ จึงส่งผลกระทบต่อระยะห่างดังที่ได้กล่าวไว้ในข้างต้น ระยะที่เหมาะสมคือ $D_1$ = 18.6 มม. ผลการจำลองการทำงานพบว่าที่ระยะเหมาะสมจะทำให้มีค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านต่ำกว่า -10 dB มีแบนด์วิดท์คือ 1.72 GHz-1.90 GHz (180 MHz) มีการแพร่กระจายแบบชี้ทิศทางและมีเกณฑ์การขยายของสายอากาศคือ 8.43 dBi แสดงการจำลองการทำงานตามภาพที่ 7 และ 8




**ภาพที่ 6** แสดงโครงสร้างสายอากาศวางบนตัวสะท้อนผิวเลือกความถี่ผ่าน



**ภาพที่ 7** แสดงค่าจำลองการทำงานสัมประสิทธิ์การส่งผ่าน



**ภาพที่ 8** แสดงค่าจำลองการทำงานผลการแพร่กระจายและเกณฑ์การขยาย

## 3. สรุป

การออกแบบพื้นผิวเลือกความถี่ผ่านเจาะช่องด้วยเทคนิคอินเตอร์ดิจิตอลทำให้สามารถลดขนาด 1 หน่วยลงได้จากการออกแบบปรกติที่มีขนาดจากเดิมคือความยาวคลื่น $\lambda/2$ เหลือประมาณ $\lambda/8$ เนื่องจากมีลักษณะการออกแบบคล้ายกับเรโซเนเตอร์ในวงจรกรองความถี่ผ่านแถบเมื่อนำมาทำเป็นตัวสะท้อนใช้งานร่วมกับสายอากาศไดโพลจะทำให้สามารถเพิ่มเกณฑ์การขยายของสายอากาศโดยมีสัมประสิทธิ์การส่งผ่านต่ำกว่า -10 dB มีแบนด์วิดท์คือ 1.72 GHz-1.90 GHz (180 MHz) มีเกณฑ์การขยายของสายอากาศคือ 8.43 dBi

## เอกสารอ้างอิง

[1] นัตพล ดอกจอก และ พงศธร ชมทอง, "*สายอากาศอาร์สองแถบความถี่ใช้เทคนิคอินเตอร์ดิจิตอลพื้นฐานของสายอากาศไดโพล*", การประชุมวิชาการครุศาสตร์อุตสาหกรรม, pp. 3-7,

[2] D. Singh, A. Kumar and V. Agarwala, "*ANALYSIS OF FREQUENCY SELECTIVE SURFACE FOR RADAR ABSORBING MATERIALS*", Progress In Electromagnetics Research B, vol. 38, 2012, pp.297-314.

[3] Yunus E, Kubilay Sertel, and A. Gilbet. "*Frequency-Selective Surface to Enhance Performance of Broad-Band Reconfigulable Array*," IEEE Transaction on Antenna Propagation, vol. 50, No.12, pp. 1716-1724.

[4] P.Chomtong and P.Akkaraekthalin, "*A triple band bandpass filter using tri-section step-impedance and capacitively loaded step-impedance resonators for GSM, WiMAX, and WLAN systems*", Frequenz Journal 2014.

[5] J. S. Hong and M. J. Lancaster, "*End-coupled microstrip slow-wave resonator filter*," IEEE Microwave and Wireless Components Letters, Vol. 32, pp. 1494–1496, 1996.

รณชัย ฮูเจี่ย จบการศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูงจาก วิทยาลัยเทคนิคหนองคาย เมื่อปี พ.ศ. 2556 ปัจจุบันศึกษาระดับชั้นปริญญาตรี สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาครุศาสตร์ไฟฟ้า คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

พงศธร ชมทอง จบการศึกษาระดับปริญญาเอก สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ปัจจุบันดำรงตำแหน่งอาจารย์ สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาครุศาสตร์ไฟฟ้า คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

ประยุทธ อัครเอกฒาลิน จบการศึกษาระดับชั้นปริญญาเอกสาขาวิศวกรรมไฟฟ้า University of Delaware, Newark, USA. ปัจจุบันดำรงตำแหน่งอาจารย์สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

# การประยุกต์ไอพีพีบีเอกซ์โดยใช้บอร์ดราสเบอร์รี่พายเพื่อสนับสนุนการให้บริการธุรกิจของ CAT2Call Plus

# Applying IP-PBX on Raspberry Pi Board for Business Support Services of CAT2Call Plus

**ภราดร ศรีอาวุธ[1] และ วฤษาย์ ร่มสายหยุด[2]**
[1] สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี แขนงวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช
9/9 หมู่ 9 ต.บางพูด อ.ปากเกร็ด จ.นนทบุรี 11120 E-mail : sriarwut@gmail.com
[2]สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี แขนงวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช
9/9 หมู่ 9 ต.บางพูด อ.ปากเกร็ด จ.นนทบุรี 11120 E-mail: Walisa.rom@stou.ac.th

## บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ขอนำเสนอการประยุกต์ไอพีพีบีเอกซ์โดยใช้ราสเบอร์รี่พายเพื่อสนับสนุนการให้บริการธุรกิจของ CAT2Call Plus โดยวัตถุประสงค์หลักของการพัฒนาระบบตู้ชุมสายอัตโนมัติไอพีพีบีเอกซ์คือการนำไปใช้กับระบบโทรศัพท์ภายในองค์กรขนาดเล็ก หรือกลุ่มธุรกิจขนาดย่อมได้ การศึกษาดำเนินการการทดลอง 1) ค่าใช้จ่ายและ 2) ผลประโยชน์ ด้านค่าใช้จ่ายของระบบที่นำเสนอต่ำกว่ากับระบบไอพีพีบีเอกซ์ที่ใช้งานบนเครื่องคอมพิวเตอร์แม่ข่าย (Server) และเพิ่มประสิทธิภาพของคุณสมบัติพื้นฐาน ได้แก่ การโทรเข้า, การโทรออก, การโอนสาย และการตรวจสอบข้อมูลการโทรได้

คำสำคัญ: ไอพีพีบีเอกซ์, บอร์ดราสเบอร์รี่พาย, วีโอไอพี, คอมพิวเตอร์แบบฝังตัว

## Abstract

This research proposed the applying IP-PBX on Raspberry Pi Board for Business Support Services of CAT2Call Plus. The main objective of developing a Private Automatic Branch Exchange (PABX) System used the internal phone systems or small business. The study conducted the experiments; 1) Cost and 2) Benefit. The costing of the proposed system with IP-PBX system on the server, to reduce the cost and enhance the performance functions such as call in, call out and call forward include can monitoring the call information by CDR (Call Detail Record).

Keywords: IP-PBX, Raspberry Pi board, VoIP, Embedded computer

## 1. บทนำ

บมจ. กสท โทรคมนาคม มีบริการโทรศัพท์ผ่านอินเทอร์เน็ตที่เรียกกันว่า Voice over Internet Protocol (VoIP) ในชื่อบริการว่า CAT2Call Plus ผู้ใช้บริการสามารถเลือกใช้งานได้กับอุปกรณ์รูปแบบต่างๆ เช่นอุปกรณ์แปลงสัญญาณ, เครื่องโทรศัพท์ IP-Phone, โปรแกรม Soft phone หรือติดตั้ง Application บน Smart phone และประยุกต์ใช้กับตู้สาขาได้ และในปัจจุบันซึ่งมีบอร์ดคอมพิวเตอร์ขนาดเล็กที่เรียกว่าบอร์ดราสเบอร์รี่พาย (Raspberry Pi board) ที่กำลังได้รับความนิยมใช้งานทั้งในประเทศและต่างประเทศ เนื่องจากมีราคาไม่แพงและมีฟังก์ชั่นการใช้งานที่สามารถประยุกต์ได้หลากหลาย จึงนำมาประยุกต์เพื่อติดตั้งเพื่อใช้งานร่วมกับซอฟต์แวร์แอสเทอริสค์ (Asterisk) เพื่อสร้างเป็นระบบไอพีพีบีเอกซ์ได้

## 2. วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

ในการพัฒนาการประยุกต์บริการโทรศัพท์ผ่านอินเตอร์เน็ต CAT 2 Call Plus เพื่อใช้กับตู้ชุมสายอัตโนมัติโดยใช้ราสเบอร์รี่พายบอร์ดครั้งนี้ ต้องอาศัยความรู้ ความเข้าใจในทฤษฎีและหลักการของเรื่องดังต่อไปนี้

### 2.1 เทคโนโลยี Voice over IP (VoIP)

Voice over IP [1-3] หรือ VoIP เป็นการส่งสัญญาณเสียงผ่านโครงข่ายอินเทอร์เน็ต โดยวิธีแปลงสัญญาณเสียงจากผู้ส่งที่เป็นสัญญาณอนาล็อกให้เป็นสัญญาณดิจิทัล และจะต้องอาศัยอุปกรณ์หรือโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อทำงานร่วมกัน ในการศึกษาการทำงานต้องมีพื้นฐานทางด้านเครือข่ายคอมพิวเตอร์ พร้อมทั้งโครงสร้างและหลักการทำงานของโพรโทคอล ที่ใช้งาน

### 2.2 บริการโทรศัพท์ผ่านอินเทอร์เน็ต CAT2Call Plus

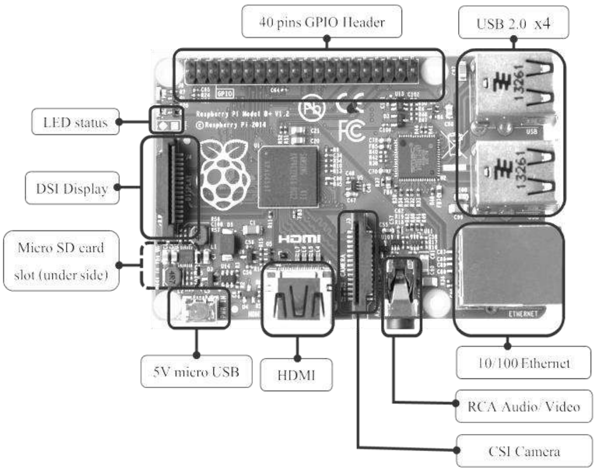
CAT2 Call Plus [4] เป็นบริการที่ใช้งานแบบ VoIP ของบริษัท กสท โทรคมนาคม จำกัด (มหาชน) รูปแบบหนึ่ง มีให้บริการแบบรายเดือน (Postpaid) และแบบเติมเงิน (Prepaid) สามารถใช้งานได้กับ IP Phone, Analog Phone Adaptor, PC softphone และ Application บนระบบ iOS และ Android โดยสามารถใช้งานผ่านอินเตอร์เน็ตทุกเครือข่าย

## 2.3 เทคโนโลยีระบบไอพีพีบีเอกซ์ (IP-PBX)

ไอพีพีบีเอกซ์ [1] เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการเชื่อมโยง, ควบคุมเครื่องโทรศัพท์ในระบบ และทำหน้าที่หลักของตู้ชุมสายโทรศัพท์ (เช่น ระบบ Voicemail, IVR ) ในการสื่อสารทางเสียงผ่านระบบเครือข่ายอินเทอร์เน็ตหรืออินทราเน็ต

## 2.4 บอร์ดราสเบอร์รี่พาย (Raspberry Pi board)

บอร์ดราสเบอร์รี่พาย (Raspberry Pi Board) [6-7] เป็นบอร์ดคอมพิวเตอร์แบบฝังตัว ราคาประหยัด สามารถเชื่อมต่ออุปกรณ์ได้หลากหลายเช่น เมาส์, คีย์บอร์ด, จอภาพคอมพิวเตอร์หรือจอโทรทัศน์ที่รองรับ HDMI, โมดูลกล้อง, อีเทอร์เน็ต และอื่นๆ สามารถติดตั้งระบบปฏิบัติการได้หลากหลาย เช่น ระบบปฏิบัติการ Rasbian, UBUNTU MATE, SNAPPY UBUNTI CORE, PINET, Windows 10 IOT CORE, OSMC, OPENELEC และ RISC OS จึงเป็นที่นิยมนำมาประยุกต์ใช้ในการทำโครงงานทางด้านไฟฟ้า, อิเล็กทรอนิกส์ เช่นการเขียนโปรแกรมสั่งงานควบคุมอุปกรณ์ หรือเป็นเครื่องคอมพิวเตอร์ตั้งโต๊ะขนาดเล็ก




รูปที่ 1 ลักษณะของบอร์ดราสเบอร์รี่พาย รุ่น MODEL B+

## 2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

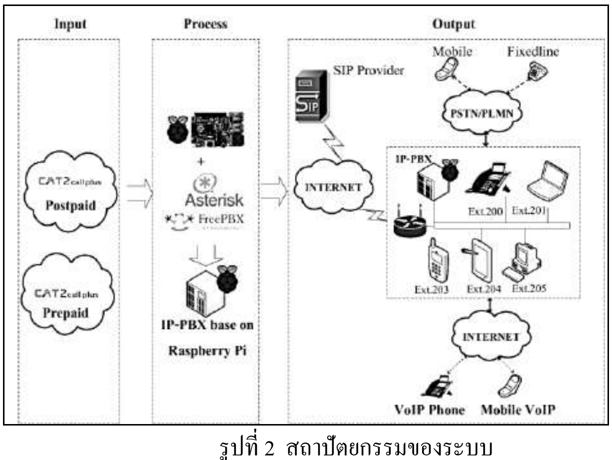
สำนักงานคณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ (สำนักงาน กสทช.) ร่วมกับ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง [5] ได้จัดทำ "โครงการวิเคราะห์ทิศทางและแนวโน้มการใช้งานเทคโนโลยีในการพัฒนาตู้ชุมสายอัตโนมัติราคาประหยัดราคาประหยัดโดยใช้ Raspberry Pi" โดยงานวิจัยนี้ ทำการทดสอบการโทรหากันภายใน และการต่อใช้งานกับแอร์การ์ดเพื่อใช้สำหรับโทรเข้า โทรออกไปยังเลขหมายภายนอก ข้อดีของงานวิจัยนี้คือมีหน้าเว็บไซต์สำหรับตั้งค่าเป็นภาษาไทย แต่การใช้งานต้องติดตั้งอุปกรณ์เพิ่มเป็นแอร์การ์ดเพื่อใช้สำหรับติดตั้งซิมการ์ดหมายเลขโทรศัพท์มือถือในการโทรออกไปยังเบอร์เครือข่ายนอก

Walberto Adad (2014) [8-9] ศึกษาเรื่อง "Using Asterisk to implement a low cost telephone system" มีการสาธิตการตั้งค่าการโทรเข้า โทรออกร่วมกับอุปกรณ์ต่างๆ เพื่อต่อระบบ VoIP กับโครงข่าย PSTN โดยใช้ Voice Gateway ซึ่งให้แนวคิดในการทำ VoIP Server ที่ราคาถูก ซึ่งในงานวิจัยนี้เป็นการอธิบายวิธีการตั้งค่าเบื้องต้นกับอุปกรณ์และซอฟต์แวร์ แต่ไม่ได้แสดงผลการทดสอบให้เห็นว่าการเรียกเข้า เรียกออกสามารถทำได้ปกติหรือมีข้อจำกัดอะไรหรือไม่

ในงานวิจัยนี้จึงกำหนดสมมุติฐานงานวิจัยในการเปรียบเทียบการทำงานระหว่างไอพีพีบีเอกซ์ที่ใช้งานบนบอร์ดราสเบอร์รี่พาย โดยรุ่นที่ใช้ในงานวิจัยคือ รุ่น MODEL B+ กับไอพีพีบีเอกซ์ที่ทำงานบนเครื่องแม่ข่ายว่าหากนำมาใช้งานจริง สามารถที่จะทดแทนกับเครื่องแม่ข่ายได้หรือไม่ เมื่อใช้กับการทำงานฟังก์ชั่นพื้นฐาน คือ การโทรเข้า การโทรออกและการโอนสาย เป็นต้น

## 3. วิธีดำเนินการวิจัย

การประยุกต์ไอพีพีบีเอกซ์โดยใช้บอร์ดราสเบอร์รี่พายเพื่อสนับสนุนการให้บริการธุรกิจของ CAT2Call Plus จะต้องมีการออกแบบในส่วนของฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ และการวิเคราะห์ปัญหาซึ่งรายละเอียดในการดำเนินการวิจัยประกอบไปด้วย (1) ออกแบบและติดตั้งระบบไอพีพีบีเอกซ์บนบอร์ดราสเบอร์รี่พาย พร้อมทั้งตั้งค่าการใช้งานกับบริการ CAT2Call Plus (2) ออกแบบการใช้งานโทรศัพท์เข้า-ออก ระหว่างโทรศัพท์ผ่านอินเตอร์เน็ตกับโทรศัพท์ผ่านอินเตอร์เน็ต โทรศัพท์ผ่านอินเตอร์เน็ตกับโทรศัพท์พื้นฐาน และโทรศัพท์ผ่านอินเตอร์เน็ตกับระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ (3) ทำการทดสอบความสามารถครอบคลุมการใช้ และ (4) เก็บข้อมูลการใช้งานจากข้อมูลการโทร Call Detail Record และบันทึกผล พร้อมทั้งวิเคราะห์คุณภาพการสื่อสาร




รูปที่ 2 สถาปัตยกรรมของระบบ

จากรูปที่ 2 บริการของ CAT2Call Plus มีทั้งแบบรายเดือน และบริการแบบเติมเงิน ซึ่งจะนำหมายเลขของ CAT2Call plus มาประยุกต์เป็นระบบตู้ชุมสายอัตโนมัติไอพีพีบีเอกซ์ โดยติดตั้งระบบบนใช้ราสเบอร์รี่พายบอร์ดและมีซอฟต์แวร์แอสเทอริสค์เป็นโปรแกรมจัดการการโทรเข้า โทรออก ในส่วนการใช้งานเพื่อทดสอบการวิจัยครั้งนี้อุปกรณ์ที่ใช้ ประกอบไปด้วย

ในส่วนของฮาร์ดแวร์ (1) เครื่องคอมพิวเตอร์แม่ข่าย สำหรับทำหน้าที่เป็นระบบโทรศัพท์ไอพีพีบีเอกซ์ที่ใช้เป็นตัวเปรียบเทียบ (2) เครื่องคอมพิวเตอร์ผู้ใช้บริการ (client) สำหรับทำการเชื่อมต่อเพื่อตั้งค่าการทำงานระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์แม่ข่าย และการเชื่อมต่อกับบอร์ดราสเบอร์รี่พาย (3) บอร์ดราสเบอร์รี่พาย สำหรับทำหน้าที่เป็นระบบโทรศัพท์ไอพีพีบีเอกซ์ (4) อุปกรณ์จ่ายไฟเลี้ยงขนาดแรงดัน 5 Volt 650mA, 3W (5) IP Phone สำหรับเป็นเครื่องโทรศัพท์ระบบ VoIP (6) อุปกรณ์จัดเส้นทาง (router) (7) เครื่องโทรศัพท์สมาร์ตโฟน (8) สาย UTP CAT5e

ในส่วนของซอฟต์แวร์ (1) โปรแกรม AsteriskNOW (2) โปรแกรม RasPBX (3) โปรแกรม Soft Phone Zoiper (4) โปรแกรม Soft Phone X-Lite (5) โปรแกรมไวร์ชาร์ก (Wireshark) สำหรับดักจับและวิเคราะห์ข้อมูลในระบบเครือข่ายที่ทำการทดสอบ (6) โปรแกรม PuTTy เป็นโปรแกรม SSH client สำหรับการเชื่อมต่อกับเครื่องแม่ข่ายและบอร์ดราสเบอร์รี่พายผ่านเครือข่าย

## 3. ผลการทดสอบการทำงาน

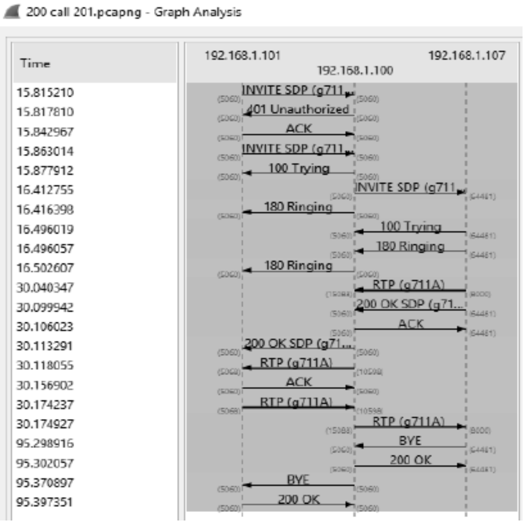
การทดสอบโทรหากันภายในเครือข่ายโดยใช้แผนผังเครือข่ายดังรูปที่ 2 และผลการทดสอบดัง ตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลการทดสอบการโทรหากันในเครือข่าย

| A number / B number | Ext. 200 | Ext. 201 | Ext. 202 | Ext. 203 | Ext. 204 | Ext. 205 | Ext. 301 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Ext. 200 | | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Ext. 201 | ✓ | | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Ext. 202 | ✓ | ✓ | | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Ext. 203 | ✓ | ✓ | ✓ | | ✓ | ✓ | ✓ |
| Ext. 204 | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | | ✓ | ✓ |
| Ext. 205 | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | | ✓ |
| Ext. 301 | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | |

จากตารางที่ 1 เป็นตัวอย่างผลการทดสอบเรียกหากันภายในเครือข่าย โดยเริ่มจากหมายเลข Extension 200 เรียกออกไปยังหมายเลข Extension 201 จบครบทุกเลขหมายที่มี ผลการทดสอบทุกหมายเลขสามารถเรียกเข้า เรียกออกได้ปกติ

และในส่วนการวิเคราะห์ผลการโทรโดยใช้โปรแกรม Wireshark แสดงได้ดังรูป ที่ 3



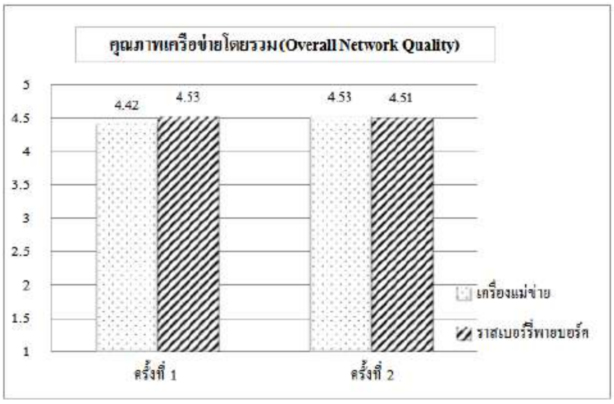

รูปที่ 3 กระบวนการทำงานการโทรโดยใช้โปรแกรม Wireshark

จากรูปที่ 3 เป็นตัวอย่างการโทรออกจากหมายเลข Extension 200 หมายเลขไอพี 192.168.1.101 เรียกไปยังหมายเลข Extension 201 หมายเลขไอพี 192.168.1.107 โดยผ่าน ผ่าน SIP server หมายเลขไอพี 192.168.1.100 และใช้โปรแกรมวิเคราะห์แพ็กเกจด้วยโปรแกรม Wireshark โดยกรองโปรโตคอล SIP และ RTP เพื่อตรวจสอบการติดต่อสื่อสารนั้น จากรูปหมายเลข 200 ส่งข้อความร้องขอการเชื่อมต่อ (INVITE) ไปยังหมายเลข 201 จากนั้นหมายเลข 201 ได้ตอบรับ (ACK) การเชื่อมต่อกลับหมายเลข 200 และระหว่างนั้นจะมีเสียง (Ringing) ในระหว่างรอการตอบรับจากปลายทาง เมื่อหมายเลข 201 รับสาย ระบบจะส่งข้อความ 200 OK หมายถึงการติดต่อสำเร็จ และสามารถทำการสนทนากันได้ระหว่างสองหมายเลข และเมื่อสนทนาเสร็จสิ้นก็จะมีการส่งข้อความ BYE เป็นการสิ้นสุดการติดต่อสื่อสาร

## 4. สรุปการผล

(1) การใช้งานโดยการติดตั้งระบบไอพีพีบีเอกซ์โดยใช้ซอฟต์แวร์แอสเทอริสค์เพื่อให้ทำงานบนบอร์ดราสเบอร์รี่พาย สามารถใช้งานร่วมกับการใช้หมายเลขของ CAT2Call plus ได้อย่างดี และเมื่อเปรียบเทียบกับการทำงานของระบบไอพีพีบีเอกซ์ที่ทำงานบนเครื่องแม่ข่าย คุณภาพโดยรวมไม่แตกต่างกันมาก ดังรูปที่ 3

(2) ระบบสามารถใช้งานโทรศัพท์เข้า-ออกระหว่างโทรศัพท์ผ่านอินเตอร์เน็ตกับโทรศัพท์ผ่านอินเตอร์เน็ต, โทรศัพท์ผ่านอินเตอร์เน็ตกับโทรศัพท์พื้นฐาน และโทรศัพท์ผ่านอินเตอร์เน็ตกับระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ได้ปกติ รวมทั้งการใช้งานฟังก์ชั่นพิเศษ เช่นการโอนสาย




รูปที่ 3 ผลการเปรียบเทียบคุณภาพเครือข่ายโดยรวม

จากรูปที่ 3 เป็นผลการเปรียบเทียบคุณภาพเครือข่ายโดยรวม ซึ่งการทดสอบจะใช้ระบบเครือข่ายเดียวกัน ช่วงเวลาใกล้เคียงกัน อุปกรณ์ที่ใช้ต้นทางเป็น VoIP Phone เบอร์ภายใน 200 และหมายเลขปลายทางเป็นสมาร์ตโฟนที่ใช้โปรแกรม Zoiper เป็นโปรแกรม Soft Phone โดยใช้เวลาในการทดสอบการสนทนาประมาณ 15 นาที ซึ่งผลการทดสอบไอพีพีบีเอกซ์ จากคะแนนคุณภาพเต็ม 5 ครั้งที่ 1 บนเครื่องแม่ข่ายได้ 4.42 และบนบอร์ดราสเบอร์รี่พาย ได้ 4.53 ครั้งที่ 2 บนเครื่องแม่ข่ายได้ 4.53 และบนบอร์ดราสเบอร์รี่พาย ได้ 4.51 ซึ่งจะเห็นว่ามีความแตกต่างกันไม่มาก จึงสรุปได้ว่าไอพีพีบีเอกซ์ที่ทำงานบนบอร์ดราสเบอร์รี่พายมีความสามารถเทียบเท่ากับไอพีพีบีเอกซ์ ที่ทำงานบนเครื่องแม่ข่าย

(3) ระบบไอพีพีบีเอกซ์ที่ใช้งานบนบอร์ดราสเบอร์รี่พาย ทำให้ได้ระบบใช้งานที่ราคาประหยัดและยืดหยุ่นในการปรับเปลี่ยนส่วนฮาร์ดแวร์ เป็นทางเลือกที่องค์กรขนาดเล็กนำมาปรับเพื่อใช้ภายใน ทำให้สามารถลดค่าใช้จ่ายในการใช้งานโทรศัพท์, ค่าใช้งานในส่วนอุปกรณ์ซอฟต์แวร์หรือฮาร์ดแวร์ราคาแพง และรวมถึงประหยัดพลังงานไฟฟ้าอีกด้วย เช่น ไอพีพีบีเอกซ์บนบอร์ดราสเบอร์รี่พาย (ใช้พลังงานประมาณ 3W) หากเปิดทิ้งไว้ 24 ชั่วโมงจะใช้พลังงานไฟฟ้าประมาณ 0.072 kWh แต่คอมพิวเตอร์แม่ข่าย (ขนาด 240W ) หากเปิดทิ้งไว้ 24 ชั่วโมงจะใช้ไฟประมาณ 5.76 kWh

## 5. กิตติกรรมประกาศ

นักวิจัยขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วฤษาย์ ร่มสายหยุด อาจารย์ที่ปรึกษาการค้นคว้าอิสระและงานวิจัยนี้ ซึ่งกรุณาให้คำแนะนำ และตรวจสอบข้อบกพร่องต่างๆเพื่อให้งานวิจัยสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี จึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

## เอกสารอ้างอิง

[1] กิติพงษ์ สุวรรณราช. *"ออกแบบและติดตั้งระบบโทรศัพท์ IP-PBX ด้วย Asterisk,"* พิมพ์ครั้งที่ 2, กรุงเทพฯ: ออฟเซ็ทเพรส, 2551.

[2] จตุชัย แพงจันทร์. *"เจาะระบบ Network 3rd Edition,"* พิมพ์ครั้งที่ 1, นนทบุรี: ไอดีซีฯ, 2555.

[3] สุวัฒน์ ปุณณชัยยะ. *"เปิดโลก TCP/IP และโปรโตคอลของอินเตอร์เน็ต,"* พิมพ์ครั้งที่ 1, กรุงเทพฯ: โปรวิชั่น, 2545.

[4] CAT2Call Plus [Online] Available : http://www.cattelecom.com/site/th/list_service.php?cat=190

[5] สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (2557). *โครงการวิเคราะห์ทิศทางและแนวโน้มการใช้งานเทคโนโลยีในการพัฒนาตู้ชุมสายอัตโนมัติราคาประหยัดโดยใช้ Raspberry Pi* [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://nbtc-raspberrypi.info

[6] Raspberry Pi [Online]. Available : https://www.raspberrypi.org

[7] Asterisk for Raspberry Pi [Online]. Available: http://www.raspberry-asterisk.org

[8] Walberto Abad. (2014, August). *Using Asterisk to implement a low cost telephone system.* [Online]. Available : https://www.raspberrypi.org/magpi-issues/MagPi26.pdf

[9] Walberto Abad. (2014, November). *Using Asterisk to implement a low cost telephone system – Part 2.* [Online]. Available : https://www.raspberrypi.org/magpi-issues/MagPi28.pdf

นายภราดร ศรีอาวุธ นักศึกษาหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต แขนงวิชา เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร มหาวิทยาลัย สุโขทัย-ธรรมาธิราช งานวิจัยที่สนใจ ด้านเทคโนโลยีสื่อสารและโทรคมนาคม

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วฤษาย์ ร่มสายหยุด ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ประจำสาขาวิชาวิทยาศาตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัย สุโขทัยธรรมาธิราช งานวิจัยที่สนใจ ด้านเทคโนโลยีสื่อสารและโทรคมนาคม

# การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของโพรโทคอลการเข้าถึงหลายทางที่ไวต่อการยับยั้งในระบบสื่อสารแบบแพ็กเกต

# Performance Analysis of Inhibit Sense Multiple Access in Packet Communication Systems

**สุชาดา สิทธิ์จงสถาพร[1] และอภิชฎา ทองรักษ์[2]**
[1]สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร
140 ถนนเชื่อมสัมพันธ์แขวงกระทุ่มราย เขตหนองจอก กรุงเทพฯ 10530E-mail: ssuchada@mut.ac.th
[2]สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคมมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
1381 ถนนพิบูลสงคราม แขวงบางซื่อ เขตบางซื่อ กรุงเทพฯ 10800E-mail: aphichata.t@rmutp.ac.th

## บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอโพรโทคอลการเข้าถึงหลายทางที่ไวต่อการยับยั้ง นั้นจัดเป็นโพรโทคอลการเข้าถึงแบบสุ่มที่มีการใช้งานอย่างกว้างขวางในระบบสื่อสารข้อมูลแบบแพ็กเกต โดยเป็นโพรโทคอลที่พัฒนาเพื่อที่จะใช้แสดงสภาวะการมีอยู่หรือไม่มีอยู่ของผู้ใช้ช่องสัญญาณในขณะนั้นๆ ระบบของโพรโทคอลการเข้าถึงหลายทางที่ไวต่อการยับยั้งนั้นออกแบบมาเพื่อลดการชนกันของข้อมูลในขณะทำการรับส่งข้อมูล บทความนี้จะกล่าวถึงการศึกษาเพื่อวิเคราะห์หาประสิทธิภาพทางคุณลักษณะของวิสัยสามารถของโพรโทคอลการเข้าถึงหลายทางที่ไวต่อการยับยั้งที่เกี่ยวกับทราฟฟิกใช้งาน(หรือโหลดบริการ) ผลที่ได้จากการจำลองการทำงาน พบว่า วิสัยสามารถที่ได้จากโพรโทคอลการเข้าถึงหลายทางที่ไวต่อการยับยั้งนี้สามารถปรับปรุงสมรรถนะการทำงานได้ดีมากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับโพรโทคอลการเข้าถึงหลายทางแบบอื่นๆ

คำสำคัญ: โพรโทคอลการเข้าถึงหลายทางที่ไวต่อการยับยั้ง การเข้าถึงหลายทาง ระบบสื่อสารข้อมูลแบบแพ็กเกต

## Abstract

Inhibit Sense Multiple Access (ISMA) is one of random access protocol which has been widely used in packet communication systems. The key feature of ISMA development isthat the access point sends a signal ‘idle’ when the access point is not receiving any packets. ISMA system has been designed as random access protocols in order to avoid the collision of packets if two terminals are out of range of each other. This paper presents the study about throughput of ISMA system for the offered traffic. Simulation results show that the throughput of ISMA system achieves well performance compared with the conventional multiple access protocol.

Keywords:Inhibit Sense Multiple Access (ISMA), Multiple Access Protocol,Packet communication systems

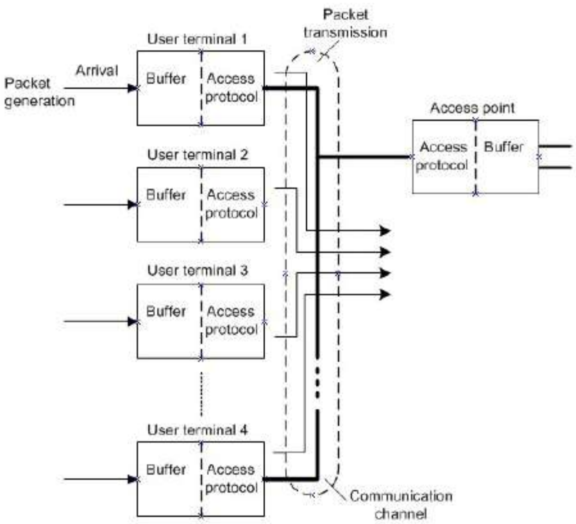
## 1. บทนำ

โพรโทคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลางในโครงข่ายแบบเข้าถึงหลายทาง (Multiple access network) ได้มีการออกแบบเพื่อใช้งานช่องสัญญาณร่วมกัน โดยโพรโทคอลที่นำมาใช้ในระบบสื่อสารข้อมูลแบบแพ็กเกต (Packet communication systems) ได้แก่ โพรโทคอลการเข้าถึงหลายทางแบบช่วงชิงกัน (Contention multiple access protocol) [1]-[3] ในบทความนี้จะกล่าวถึงโพรโทคอลการเข้าถึงแบบสุ่ม (Random access protocols) ได้แก่โพรโทคอลการเข้าถึงหลายทางที่ไวต่อคลื่นพาห์ (Carrier Sense Multiple Access protocol: CSMA protocol) [4],[5] และโพรโทคอลการเข้าถึงหลายทางที่ไวต่อการยับยั้ง (Inhibit Sense Multiple Access protocol: ISMA protocol)โดยจะศึกษาเพื่อวิเคราะห์เปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิสัยสามารถของแต่ละชนิดโพรโทคอลเทียบกับทราฟฟิกใช้งาน โดยในหัวข้อที่ 2 จะอธิบายเงื่อนไขที่เกี่ยวข้องในการจำลองการทำงานต่อมาหัวข้อที่ 3 จะกล่าวถึงรายละเอียดคร่าวๆของโพรโทคอลการเข้าถึงแบบสุ่มแต่ละชนิด ในหัวข้อที่ 4 จะแสดงผลที่ได้จากการจำลองการทำงาน และสรุปผลในหัวข้อที่ 5

## 2.เงื่อนไขที่เกี่ยวข้องในการจำลองการทำงาน (Universal condition in the computer simulation) [1]

### 2.1การกำหนดค่าของระบบสื่อสารข้อมูลแบบแพ็กเกต (Configuration of the packet communication systems)

สำหรับการกำหนดค่าสำหรับจำลองการทำงานของระบบสื่อสารข้อมูลแบบแพ็กเกตนั้น เทอร์มินอลแต่ละผู้ใช้งานเข้าถึงจุดเข้าถึง (access point) โดยใช้โพรโทคอลการเข้าถึง ดังแสดงในรูปที่ 1




รูปที่ 1 การกำหนดค่าของระบบสื่อสารข้อมูลแบบแพ็กเกต [1]

ความน่าจะเป็นของการที่แต่ละเทอร์มินอลจะสร้างข้อมูลแบบแพ็กเกตจำนวนใดๆ ณ เวลานั้นๆ แสดงในสมการที่ 1 ดังนี้

$$P_n(t) = \frac{e^{-\lambda t}(\lambda t)^n}{n!} \quad (1)$$

และมีค่าคาดหวัง **(Expectation value)** เป็น $\frac{1}{\lambda}$ โดยที่มีความน่าจะเป็นที่ไม่มีการสร้างข้อมูลแพ็กเกตใดๆ ณ เวลาเป็นศูนย์ ดังนี้

$$P_0(t) = e^{-\lambda t} \quad (2)$$

ดังนั้นความน่าจะเป็นที่ข้อมูลแพ็กเกตแรกจะสร้างขึ้นมาหลังจากเวลา

$$p(t) = 1 - e^{-\lambda t} \quad (3)$$

โดยที่ $\lambda = \frac{1}{T_{int}}$ และ $T_{int} = -\frac{T_{time}}{\log\left(1-\frac{G}{M_{num}}\right)}$ เมื่อ $G$ เป็น ทราฟฟิกทั้งหมด $M_{num}$ เป็นจำนวนเทอร์มินอลที่เข้าถึง $T_{time}$ เป็น ช่วงเวลาส่งข้อมูล และ $T_{int}$ เป็นค่าคาดหวังของช่วงเวลาที่เกิดข้อมูลแพ็กเกต

## 2.2ทราฟฟิกใช้งาน (Offered traffic)

ทราฟฟิกใช้งาน จะกล่าวถึงจำนวนแพ็กเกตทั้งหมด รวมถึงแพ็กเกตที่มีการสร้างขึ้นมาใหม่เมื่อมีการส่งแพ็กเกตซ้ำ (retransmissionpackets) ที่จุดเข้าถึงในช่วงเวลานั้นๆ โดย $G$ เป็นทราฟฟิกใช้งานด้วยอัตราส่งข้อมูลหนึ่งๆ (transmission data rate) ดังนี้

$$G = \frac{T_t}{R} \quad (4)$$

เมื่อ $R$ เป็น อัตราการส่งข้อมูล หน่วยเป็น บิตต่อวินาที (bps) และ $T_t$ เป็น บิตที่มีการร้องขอในการส่ง หน่วยเป็น บิต (bit)

## 2.3วิสัยสามารถ (Throughput)

วิสัยสามารถ จะกล่าวถึง จำนวนแพ็กเกตทั้งหมดของแพ็กเกตที่ทำการส่งไปยังจุดเข้าถึงได้สำเร็จในช่วงเวลานั้นๆ โดย $S$ เป็นวิสัยสามารถด้วยอัตราการส่งข้อมูลหนึ่งๆ คำนวณได้จาก

$$S = \frac{T \times n}{R} \quad (5)$$

เมื่อR เป็นจำนวนของข่าวสาร (information) ในแพ็กเก็ตมีหน่วยเป็น บิตต่อวินาที (bps) และ $T$ เป็นจำนวนบิต และ $n$ เป็นจำนวนแพ็กเกตที่ส่งได้สำเร็จสังเกตได้ว่า ถ้าแพ็กเกตข้อมูลทั้งหมดสามารถส่งไปได้สำเร็จอย่างสมบูรณ์ ค่า $S$ จะมีค่าเป็น 1 และถ้าแพ็กเกตข้อมูลทั้งหมดที่ส่งไปเกิดจากเสียหายจากการชนกันของข้อมูล (collision) ค่า $S$ จะมีค่าต่ำสุดเป็น 0

# 3. โพรโทคอลการเข้าถึงแบบสุ่ม (Random Access Protocol)

## 3.1โพรโทคอลการเข้าถึงหลายทางที่ไวต่อคลื่นพาห์ชนิดไม่ยืนกราน (Non-persistent Carrier Sense Multiple Access protocol : np-CSMA protocol)

โพรโทคอล np-CSMA [1] จะมีการทำงานแสดงรูปที่ 2ดังนี้ เทอร์มินอลต้องการส่งแพ็กเกตจะเริ่มตรวจสอบตัวกลาง ถ้าตัวกลางว่าง (idle) เทอร์มินอลจึงส่งแพ็กเกตไป ถ้าเกิดเหตุการณ์ที่เทอร์มินอลมากกว่า 2 เทอร์มินอลพยายามส่งแพ็กเกตในเวลาเดียวกัน จะเป็นผลให้เกิดการชนกันของข้อมูล (collision) ดังนั้นโพรโทคอลฯจะมีการตรวจสอบโดย ถ้าตัวกลางว่างอยู่ จึงทำการส่งแพ็กเกต แต่ถ้าตัวกลางไม่ว่าง จะรอเพื่อประวิงเวลาในการส่งแพ็กเกตใหม่ และเริ่มทำซ้ำอีกครั้ง

ช่วงเวลาการทำงานของโพรโทคอล np-CSMA ดังแสดงในรูปที่ 3 โดยมีระยะเวลา $B$ และ $I$ แสดงถึงเวลาที่คาดว่าจะเกิดสัญญาณ “busy” และ “idle” ตามลำดับ และช่วงเวลา $U$ เป็นเวลาที่ข้อมูลแพ็กเกตไม่มีการชนกัน ดังนั้นวิสัยสามารถ ($S$) คำนวณ ได้จาก

$$S = \frac{U}{B+I}, U = Ge^{-aG}, I = \frac{1}{G}, \ B = 1 + a + \bar{Y} \quad (6)$$

กำหนดให้ $\bar{Y}$ เป็นค่าคาดหวังของการส่งแพ็กเกตแรกไปแพ็กเกตสุดท้าย

ดังนั้นฟังก์ชันการกระจายตัวของ Y หาได้จาก

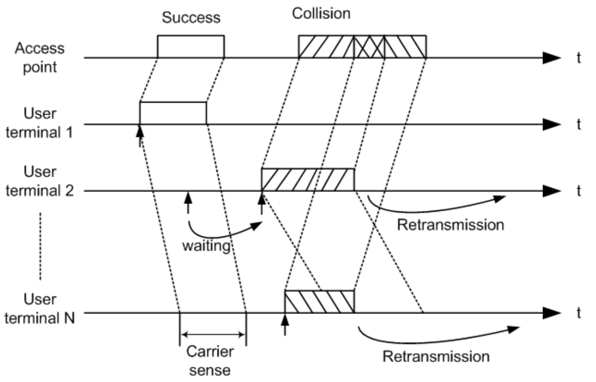
$$F_Y(y) = \Pr\{Y \le y\} = e^{-(a-y)G}, \ y \le a \quad (7)$$

$$\bar{Y} = a - \frac{1}{G}(1 - e^{-aG}) \quad (8)$$

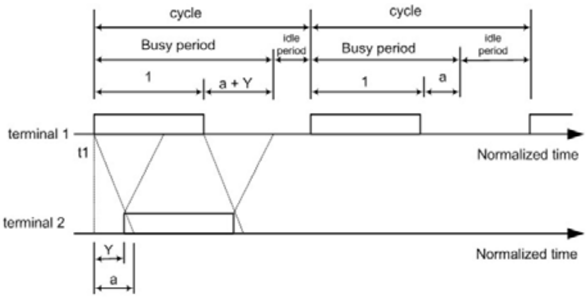
ดังนั้น วิสัยสามารถ ($S$) ของโพรโทคอล np-CSMA สำหรับทราฟฟิกใช้งาน ($G$) สามารถคำนวณได้จาก

$$S = \frac{G e^{-G}}{G(1+2a)+e^{-aG}} \quad (6)$$

เมื่อ $a$ เป็นเวลาที่ใช้ในการประวิงเวลา (propagation delay)




รูปที่ 2 โพรโทคอล np-CSMA




รูปที่ 3 ช่วงเวลาในการทำงานของโพรโทคอล np-CSMA

## 3.2โพรโทคอลการเข้าถึงหลายทางที่ไวต่อการยับยั้งชนิดไม่ยืนกรานแบบร่อง(Slotted non-persistent Inhibit Sense Multiple Access protocol : Slotted np-ISMA protocol)

โพรโทคอลSlotted np-ISMA [1] จะมีการทำงานแสดงในรูปที่ 4 ในขณะที่แต่ละเทอร์มินอลมีการสร้างข้อมูลแพ็กเกตนั้น แต่ละเทอร์มินอลจะส่งสัญญาณยับยั้ง (inhibit) ถ้าเทอร์มินอลใดๆได้รับสัญญาณว่าง (idle) เทอร์มินอลนั้นจะทำการส่งข้อมูลแพ็กเกตในช่องเวลา (slot) ถัดไปในกรณีเดียวกัน ถ้าเทอร์มินอลใดๆได้รับสัญญาณไม่ว่าง (busy) เทอร์มินอลนั้นๆจะไม่ส่งข้อมูลแพ็กเกตออกไปและจะรอจนกระทั่งช่องเวลาถัดไป

จากรูปที่ 5 ความยาวของช่วงเวลาว่าง (idle period) จะเกิดขึ้นอย่างน้อย 1 ช่องเวลา ถ้าช่วงเวลาว่างมี 1 ช่องเวลา หมายความว่า จะมีช่วงเวลาว่างที่มาถึงจะต้องมี 1 ช่องเวลา และถ้าช่วงเวลาว่างเป็น 2 ช่องเวลา หมายความว่า ช่วงเวลาว่างที่มาถึงจะอยู่ในช่วงเวลาที่ 2 จากเงื่อนไขดังกล่าว สามารถพิจารณาได้จากขบวนการจัดตารางแบบพัวซอง (Poisson scheduling process) ดังนี้

$$I = \frac{d}{1-e^{-dG}} \qquad (7)$$

โดยที่ d เป็น เวลาประวิงแบบนอร์มาไลซ์(Normalised propagation delay)

การชนกันจะเกิดขึ้นเมื่อข้อมูลแพ็กเกตมากกว่า 2 ชุดมาถึงในช่องเวลาเดียวกันและจะมีการจัดส่งออกไปในช่องเวลาถัดไป ดังนั้นช่วงเวลาไม่ว่าง (B) และค่าคาดหวังของช่วงเวลาที่ใช้งานได้ (Expected useful time:U) คำนวณจาก

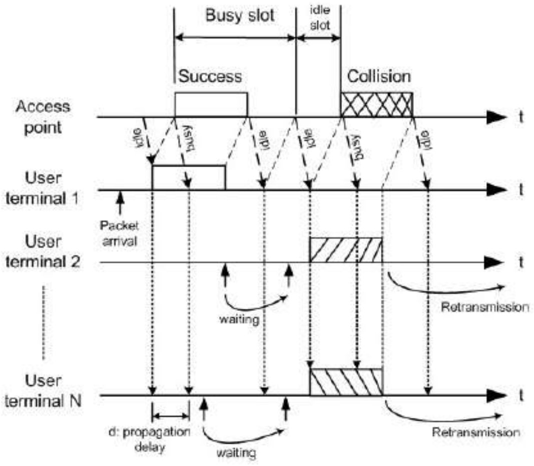
$$B = \frac{1+d}{e^{-dG}} \;\; , \; U = \frac{B}{1+d} P_{succ} \qquad (8)$$

โดยที่ความน่าจะเป็นของช่วงเวลาที่ส่งได้สำเร็จ ($P_{succ}$) หาได้จาก

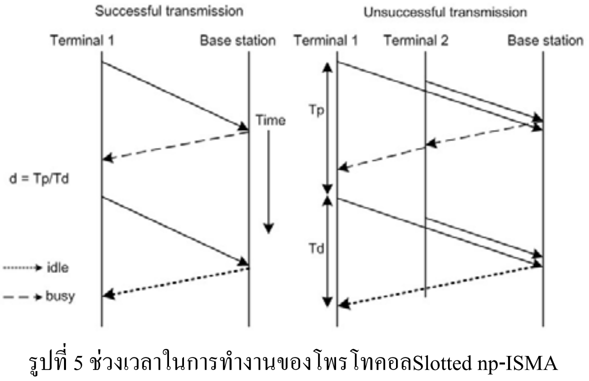
$$P_{succ} = \frac{dGe^{-dG}}{1-e^{-dG}} \qquad (9)$$

ดังนั้น วิสัยสามารถ (S) ของโพรโทคอลSlotted np-ISMA สำหรับทราฟฟิกใช้งาน (G) คำนวณได้จาก

$$S = \frac{U}{B+I} = \frac{d\,G\,e^{-G}}{1+d-e^{-aG}} \qquad (10)$$



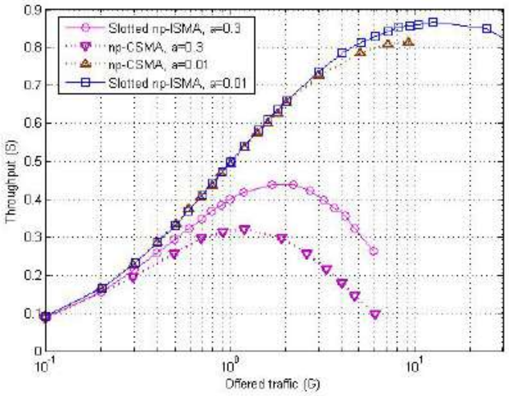

รูปที่ 4 โพรโทรคอลSlotted np-ISMA



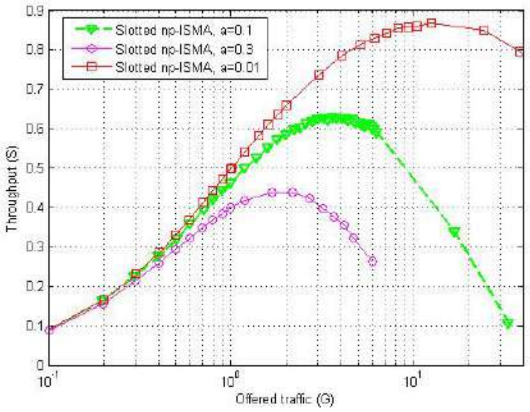

รูปที่ 5 ช่วงเวลาในการทำงานของโพรโทคอลSlotted np-ISMA

## 4. ผลการจำลองการทำงาน

เงื่อนไขการจำลองการทำงานเพื่อศึกษาประสิทธิภาพของโพรโทคอล np-CSMA เทียบกับโพรโทคอล slotted np-ISMAดังแสดงในตารางที่ 1




รูปที่6 วิสัยสามารถของโพรโทคอลทั้ง 2 แบบ เมื่อ a = 0.01 และ 0.3




รูปที่7 วิสัยสามารถของโพรโทคอล Slotted np-ISMA โดยแสดงค่าที่ได้จากการจำลองการทำงานเมื่อมีค่า a ต่างกัน

ตารางที่ 1 เงื่อนไขการจำลองการทำงาน

| | |
|---|---|
| รัศมีการให้บริการ (Service area radius) | 100m |
| ความสูงของจุดเข้าถึง | 5m |
| จำนวนเทอร์มินอล | 100 |
| อัตราสัญลักษณ์ (Symbol rate) | 256 k symbol/second |
| ความยาวของแพ็กเกต | 128 symbol |
| อัตราบิต (Bit rate) | 512kB/second |

รูปที่ 6 เปรียบเทียบวิสัยสามารถที่ได้จากโพรโทคอลทั้ง 2 ชนิดเมื่อกำหนด a เป็นเวลาประวิงการแพร่กระจายนอร์มาไลซ์ (Normalized propagation delay) มีค่าเป็น 0.01 พบว่าโพรโทคอล Slotted np-ISMA แสดงให้เห็นชัดเจนว่าสามารถปรับปรุงสมรรถนะเป็นอย่างมากเมื่อทราฟฟิกใช้งานมีค่ามากขึ้น และค่าวิสัยสามารถที่มากที่สุด (Maximum throughput) ของโพรโทคอล Slotted np-ISMA จะขึ้นอยู่กับค่า a [4],[5] จากการจำลองการทำงานดังแสดงในรูปที่ 7 เปรียบเทียบวิสัยสามารถที่ได้จากโพรโทคอลnp-CSMA แสดงให้เห็นว่า ถ้าค่า a น้อย จะให้ค่าวิสัยสามารถสูงกว่าค่า a มาก

## 5. สรุป

บทความนี้กล่าวถึงระบบของโพรโทคอลการเข้าถึงหลายทางที่ไวต่อการยับยั้งนั้นออกแบบมาเพื่อลดการชนกันของข้อมูลในขณะทำการรับส่งข้อมูล โดยโพรโทคอลการเข้าถึงหลายทางที่ไวต่อการยับยั้งมีวิสัยสามารถที่ได้จากโพรโทคอล Slotted np-ISMA กับโพรโทคอล np-CSMA จะขึ้นอยู่กับค่าเวลาประวิงการแพร่กระจายนอร์มาไลซ์

## เอกสารอ้างอิง

[1] H. Harada and R. Prasad, *Simulation and Software Radio for Mobile Communications*, Artech House universal personal communications series, 2002.

[2] วาทิต เบญจพลกุล, *การสื่อสารข้อมูลและโครงข่าย (Data Communication and Network)*, สนพ.จุฬาลงกรณ์, 2555.

[3] M. Hofmann, *Content Networking: Architecture, Protocols and practice",* AbeBooks, 2005.

[4] H. Li and N. Vaidya, "Optimal CSMA-based wireless communications with worse case delay and non-uniform sizes", *IEEE INFOCOM,* 2014, pp. 2526-2534.

[5] H. Saadi, et al, "Simulation and Application of ISMA as Anti-collision Algorithm in RFID System to improve its Performance by Capture effect ", *Int. J. of Microwaves Applications*, vol.2, no.1, 2013, pp-64-68.

**สุชาดา ลิทธิ์จงสถาพร** จบการศึกษาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (อิเล็กทรอนิกส์) เกียรตินิยมอันดับที่หนึ่ง และวิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า) จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร ปัจจุบันเป็นอาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานครและได้รับตำแหน่งผู้ช่วยศาสตราจารย์ สาขาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ งานวิจัยที่สนใจ ได้แก่ การประมวลสัญญาณขั้นสูงแบบปรับตัวได้เชิงสถิติ

**อภิชฎา ทองรักษ์**จบการศึกษา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต(วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์) จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังปัจจุบันเป็นอาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนครงานวิจัยที่สนใจได้แก่ การประมวลผลสัญญาณดิจิตอล ระบบการสื่อสารและนวัตกรรม

# การศึกษาความคลาดเคลื่อนของการวัดค่าความต้านทานที่เกิดจากความต้านทานสาย

# Study on Error of Resistance Measurement use to Resistance cable

**กิตติชัย กิตตวราภรณ์[1] ชัยวัฒน์ เจษฎาจินต์[2] และ ณัฐพงศ์ พันธุนะ[1]**
[1]สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
1381 ถนนประชาราษฎร์สาย1 แขวงวงศ์สว่าง เขตบางซื่อ กรุงเทพฯ 10800 โทรศัพท์ 02-836-3000 ต่อ 4150 E-mail: nattapong.p@rmutp.ac.th
[2]ส่วนงานความต้านทาน ฝ่ายมาตรวิทยาไฟฟ้า สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ
3/4-5 หมู่ 3 ตำบลคลองห้า อำเภอคลองหลวงจังหวัดปทุมธานี 12120 โทรศัพท์ 0 2577 5100 ต่อ 1219 E-mail: chaiwat@nimt.or.th

## บทคัดย่อ

โดยทั่วไปวิธีวัดค่าตัวต้านทานที่นิยมใช้กันเป็นอย่างมากคือ การวัดค่าตัวต้านทาน โดยใช้ โอห์มมิเตอร์ ซึ่งวิธีการนี้สามารถวัดค่าได้สะดวก แต่ปัญหาหนึ่งที่พบในการวัดความต้านทานคือ ความคลาดเคลื่อนของการวัดที่เกิดจากความต้านทานสาย ซึ่งมีผลต่อความถูกต้องของค่าการวัด โดยเครื่องวัดความต้านทานทั่วไปจะไม่มีฟังก์ชั่นการวัดแบบ 4 สาย ซึ่งสามารถกำจัดปัญหานี้ได้ บทความนี้จะศึกษาความคลาดเคลื่อนดังกล่าว โดยจะศึกษาความแตกต่างของการวัดความต้านทานโดยใช้ฟังก์ชั่นการวัดแบบ 2 สาย วัดความต้านทานโดยใช้สายวัด แบบ 2 สาย และ 4 สาย เปรียบเทียบความถูกต้องกับการใช้ฟังก์ชั่นการวัดแบบ 4สาย วัดความต้านทานโดยใช้สายวัด แบบ4 สาย จากการศึกษาพบว่าค่าความต้านทานของการวัดแบบฟังก์ชั่น 2 สาย โดยใช้สายวัด 4สาย มีค่าลดลงครึ่งหนึ่งของการวัดแบบใช้สายวัด 2 สาย

คำสำคัญ: การวัดความต้านทาน, เครื่องวัดความต้านทาน, ความคลาดเคลื่อนของการวัด

## Abstract

The most common method to measure the resistance, is used to measure the resistance using ohmmeter This method can be measured easily. However, one issue that is common to measure the resistance. Tolerance of measurement of the resistance line. Which affects the accuracy of the measurement. By measuring the resistance will not function measurements fourth line which can eliminate this problem. This article will examine the discrepancy by studying the different resistance measurements using a function to measure 2-wire resistance measurements using a tape measure 2-wire and 4 wire accurate comparison with. use functions measuring 4-wire resistance measurements using a tape measure 4-wire, the study found that the impedance measurement function two-line by using a fourth line is reduced by half. the second measure of a wired line.

Keywords: Resistance Measurement, Measuring the Resistance, Error of Resistance Measurement

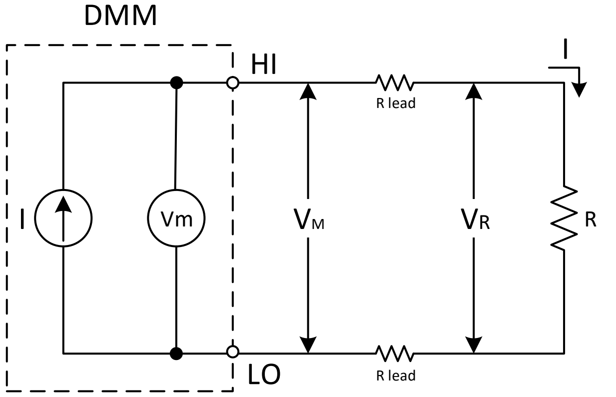
## 1. บทนำ

ในระบบการวัดความต้านทานโดยทั่วไปมีหลากหลายวิธี ซึ่งปัจจัยหลักที่มีผลต่อค่าความถูกต้องของการวัดคือความคลาดเคลื่อนต่างๆ ที่เกิดขึ้นจากการวัด บทความนี้จะศึกษาความคลาดเคลื่อนของการวัดค่าความต้านทานที่เกิดจากความต้านทานสาย โดยการเปรียบเทียบค่าการวัดความต้านทานโดยใช้ดิจิตอลมัลติมิเตอร์ 8 $\frac{1}{2}$ หลัก ซึ่งสามารถเลือกใช้ฟังก์ชั่นการวัดความต้านทานแบบ 2 สาย และแบบ 4สาย ได้ โดยวัดใน 3 รูปแบบ คือ ใช้ฟังก์ชั่นการวัดแบบ 2สาย วัดความต้านทานแบบใช้สายวัด 2 สาย, ใช้สายวัด4 สาย และใช้ฟังก์ชั่นการวัดแบบ 4 สาย วัดความต้านทานแบบใช้สายวัด 4 สาย โดยเปรียบเทียบค่ากัน เพื่อเป็นการยืนยันความถูกต้องของระบบการวัด

## 2. การวัดความต้านทาน

### 2.1 การวัดความต้านทานด้วยโอห์มมิเตอร์แบบ 2 สาย

การวัดค่าความต้านทานสามารถแสดงการต่อวงจรการวัดได้ดังรูปที่ 1 โดยวงจรสมมูลโดยทั่วไปของการวัดตัวต้านทานด้วยโอห์มมิเตอร์จะประกอบไปด้วยแหล่งจ่ายกระแสและโวลท์มิเตอร์ ซึ่งคุณลักษณะ (Specification) ขึ้นอยู่กับมิเตอร์ที่นำมาใช้ ค่าความต้านทานที่ต้องการวัดคือ R แต่ความต้านทานที่มิเตอร์แสดงค่าจะเป็นค่าของความต้านทานที่ต้องการทราบค่ารวมกับค่าความต้านทานที่เกิดขึ้นของสายคือ $R + 2R_{LEAD}$




**รูปที่ 1** การวัดความต้านทานด้วยโอห์มมิเตอร์แบบ 2 สาย

เมื่อพิจารณา จากรูปที่ 1 กระแส I จะไหล จากขั้ว HI ผ่าน $R_{LEAD}$ , R และ $R_{LEAD}$ ครบวงจรที่ขั้ว LO ทำให้เกิด แรงเคลื่อนตกคร่อมที่สายและแรงเคลื่อนตกคร่อมความต้านทาน ที่ทำการวัด ขณะเดียวกันแรงเคลื่อนที่มิเตอร์อ่านได้จะ เท่ากับแรงเคลื่อนตกคร่อมสายและแรงเคลื่อนตกคร่อมความต้านทาน ที่ทำการวัดรวมกัน โดยสามารถแสดงได้ดังสมการ

$$V_M = V_R + 2(V_{R\,LEAD}) \quad (1)$$

และเครื่องวัดจะแสดงผลที่หน้าจอ โดยจะมีค่าเท่ากับ

$$\text{Measured Resistance} = \frac{V_M}{I} = R + 2R_{LEAD} \quad (2)$$

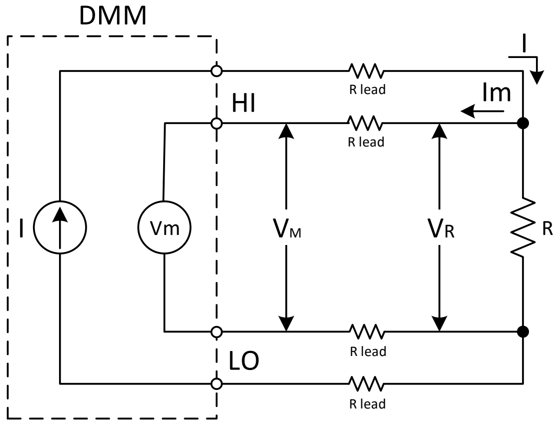
แต่ในทางอุดมคติค่าความต้านทาน R จะมีค่า

$$\text{Actual Resistance} = \frac{V_R}{I} = R \quad (3)$$

เมื่อ VM = แรงเคลื่อนตกคร่อมของมิเตอร์
VR = แรงเคลื่อนตกคร่อมตัวต้านทานที่วัด

## 2.2 การวัดความต้านทานด้วยโอห์มมิเตอร์แบบ 4 สาย

วิธีการวัดความ ต้านทานแบบ 4 สาย สามารถแสดงดังรูปที่ 2

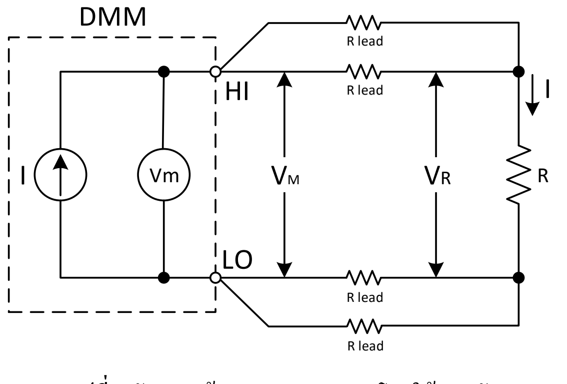



**รูปที่ 2** การวัดความต้านทานด้วยโอห์มมิเตอร์แบบ 4 สาย

จากรูปเมื่อกระแส I ไหลออกจากขั้ว Source HI ผ่าน $R_{LEAD}$ , R และ $R_{LEAD}$ ครบวงจรที่ขั้ว Source LO ขณะเดียวกันโวลท์มิเตอร์จะทำการวัด ค่าแรงเคลื่อน ซึ่งแรงเคลื่อนที่โวลท์มิเตอร์อ่านได้ จะมีค่าเท่ากับแรงเคลื่อนตกคร่อมความต้านทานที่ ทำการวัด เนื่องจากความต้านทานของโวลท์มิเตอร์ มีค่าสูงมาก จึงทำให้มีกระแส $I_m$ น้อยมากหรือแทบไม่มีไหลผ่าน $R_{LEAD}$ จึงทำให้ไม่มีแรงเคลื่อนตก คร่อมสาย $R_{LEAD}$ เป็นผลให้ค่าที่แสดงบนหน้าจอเครื่องวัดเป็น

$$\text{Measured Resistance} = \frac{V_M}{I} = \frac{V_R}{I} \quad (4)$$

## 2.3 การวัดความต้านทานด้วยโอห์มมิเตอร์แบบ 2 สาย โดยใช้สายวัด 4 สาย




**รูปที่ 3** วัดความต้านทานแบบ 2 สาย โดยใช้ สายวัด 4 สาย

จากรูปที่ 3 กระแส I จะไหล จากขั้ว HI ผ่าน ($R_{LEAD}$ // $R_{LEAD}$) ผ่าน R และ ($R_{LEAD}$ // $R_{LEAD}$) ครบวงจรที่ขั้ว LO ทำให้แรงเคลื่อนที่มิเตอร์อ่านได้จะ เท่ากับแรงเคลื่อนตกคร่อมสายซึ่งขนานกันและแรงเคลื่อนตกคร่อมความต้านทานที่ทำการวัด รวมกัน

$$\text{Measured Resistance} = \frac{V_M}{I}$$

$$= V_R + \frac{2V(R_{LEAD}//R_{LEAD})}{I}$$

$$= (R_{LEAD} // R_{LEAD}) + R + (R_{LEAD} // R_{LEAD}) \quad (5)$$

## 3. วิธีการวัดค่าความต้านทานโดยใช้โอห์มมิเตอร์

การวัดค่าความต้านทานในบทความนี้ใช้ ดิจิตอลมัลติมิเตอร์ 8 ½ หลัก ที่มีค่าความต้านทาน (Input Impedance > 10 GΩ )วัดค่าความต้านทาน แบบ Decade โดยวัดค่าความต้านทานที่ค่า 0.01Ω, 0.1 Ω, 1 Ω, 10 Ω, 100 Ω, 1,000 Ω, 10,000 Ω, 100,000 Ω, และ 1,000,000 Ω ด้วยวิธีการวัดค่าความต้านทานใน 3 รูปแบบ คือ
1. วัดความต้านทานแบบ 2 สาย ด้วยฟังก์ชั่น 2 สาย ตามรูปที่ 1
2. วัดความต้านทานแบบ 4 สาย ด้วยฟังก์ชั่น 4 สาย ตามรูปที่ 2
3. วัดความต้านทานแบบ 4 สาย ด้วยฟังก์ชั่น 2 สาย ตามรูปที่ 3 แล้วนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบกันเพื่อศึกษาความแตกต่างที่เกิดขึ้น

## 4. ผลการวัดค่าความต้านทาน

จากการวัดค่าความต้านทาน ทั้ง 3 รูปแบบ สามารถแสดงค่าผลการวัดดังตาราง ที่ 1

ตารางที่1 ผลการวัดค่าความต้านทาน

| | 2/2 | 4/4 | 2/4 |
|---|---|---|---|
| 0 | 0.0529367 | 0.00623 | 0.02797 |
| 0.01 | 0.0622833 | 0.01567 | 0.03762 |
| 0.1 | 0.15295 | 0.10624 | 0.128077 |
| 1 | 1.0527567 | 1.0060533 | 1.028137 |
| 10 | 10.05414 | 10.007237 | 10.02958 |
| 100 | 100.04854 | 100.0081 | 100.0242 |
| 1000 | 1000.0352 | 999.9868 | 1000.017 |
| 10000 | 10000.216 | 10000.167 | 10000.21 |
| 100000 | 100001.3 | 100001.32 | 100001.2 |
| 1000000 | 999984.43 | 999984.77 | 999984.2 |

ตารางที่2 ความแตกต่างของการวัดแบบฟังก์ชั่น 2สายและฟังก์ชั่น4สาย

| Resistance Value | Diff (2/2 - 4/4) | |
|---|---|---|
| | Ω | % |
| 0 | 0.046707 | |
| 0.01 | 0.046613 | 466.1333 |
| 0.1 | 0.04671 | 46.71 |
| 1 | 0.046703 | 4.670333 |
| 10 | 0.046903 | 0.469033 |
| 100 | 0.040437 | 0.040437 |
| 1000 | 0.048433 | 0.004843 |
| 10000 | 0.049667 | 0.000497 |
| 100000 | -0.02 | -2E-05 |
| 1000000 | -0.33333 | -3.3E-05 |

ตารางที่3 ความแตกต่างของการวัดแบบฟังก์ชั่น 2สาย ใช้สายวัด4 สายและฟังก์ชั่น4สาย

| Resistance Value | Diff (2/4 - 4/4) | |
|---|---|---|
| | Ω | % |
| 0 | 0.02174 | |
| 0.01 | 0.02195 | 219.5 |
| 0.1 | 0.021837 | 21.83667 |
| 1 | 0.022083 | 2.208333 |
| 10 | 0.022343 | 0.223433 |
| 100 | 0.016143 | 0.016143 |
| 1000 | 0.030567 | 0.003057 |
| 10000 | 0.039333 | 0.000393 |
| 100000 | -0.113 | -0.00011 |
| 1000000 | -0.56667 | -5.7E-05 |

## 5. สรุป

บทความนี้นำเสนอการศึกษาความคลาดเคลื่อนของการวัดค่าความต้านทาน เนื่องจากความต้านทานสายระหว่างอุปกรณ์เครื่องมือวัดกับความต้านทานที่ต้องการวัด จากการศึกษาพบว่าความต้านทานของสายจะมีผลต่อค่าความคลาดเคลื่อนของการวัดสูงมาก ในย่านการวัดค่าความต้านทานต่ำ ส่วนย่านการวัดค่าความต้านทานสูงผลของค่าความต้านทานในสายจะมีเปอร์เซ็นต์น้อยต่อค่าความคลาดเคลื่อนในการวัดค่าความต้านทาน

จากผลการศึกษาการใช้เครื่องมือวัดค่าความต้านทานที่มีฟังก์ชั่นการวัดแบบ 4 สายจะช่วยกำจัดค่าความต้านทานในสายได้ และเมื่อใช้ฟังก์ชั่นการวัดแบบ 2 สาย แต่ใช้สายวัด 4 สายก็สามารถช่วยแก้ปัญหาค่าความต้านทานในสายได้ โดยพบว่าค่าความต้านทานในสายจะลดลงถ้าใช้จำนวนสายมากขึ้น ใช้สายที่มีพื้นที่หน้าตัดมากขึ้นหรือลดความยาวของสายลง เนื่องจากค่าความต้านทานสายจะมีค่าเท่ากับความต้านทานจำเพาะคูณความยาวหารด้วยพื้นที่หน้าตัด

## 6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร และฝ่ายมาตรวิทยาไฟฟ้า สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ ที่เอื้อเฟื้ออุปกรณ์ทั้งหมดในการทดสอบ

## เอกสารอ้างอิง

[1] Schumacher, B., Warnecke, P., "Transport behavior of commercially available 100 /spl Omega/ standard resistors," CPEM 2000 Conference Digest, 2000, pp.486-487.

[2] B.J. Pritchard and G. W. Small., "Temperature Coefficient Variation in Heat Treated Evanohm and Their Effect on the Transient Behavior of the NML 1 $\Omega$ Resistors," IEEE Trans. Instrum. Meas., Vol. 42(2), 1993, pp. 557-561.

[3] WU. Jian, LI. Zheng-kun, and CHEN. Le, "Research on Analysis and Measurement Method for Thermal Resistance of Precision Resistor," ICIEA. 2014 IEEE Conference, 2014, pp. 1510-1514.

[4] J.H. Dellinger, "The Temperature Coefficient of Resistance of Copper," Bulletin of the Bureau of Standards, Vol.7, No.1, PP.88 – 90.

[5] Sorsdal, T., "Determination of Standard Resistor Temperature Coefficients," CPEM 2002 Conference Digest, 2002, pp. 46-47.

[6] G.R.Jones and R.E.Elmquist. Characterization of loading effects in precision 1$\Omega$ Resistor Conf. Digest of CPEM 2008, Broomfield: 2008, 392-393.

[7] H.Sasaki, H.Nishinaka, K. Shida. Automated measurement system for 1-$\Omega$ Omega standard resistor using a modified Wheatstone bridge Conf. Digest of CPEM 1990, 122-123

[8] J.Lan,Z.Zhang,Z.Li,Q.He,B.Han,S.Li,and G.Wang.High Precision Measurement of the Load Effect of the Resistor. Conf. Digest of CPEM 2008,Washington D.C : 2012,380-381

กิตติชัย กิตติวราภรณ์ กำลังศึกษาระดับปริญญาโท หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

ณัฐพงศ์ พันธุนะ จบการศึกษาระดับปริญญาเอก ปร.ด. สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ชัยวัฒน์ เจนฎาจินต์ จบการศึกษาระดับปริญญาเอก ปร.ด. สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ปัจจุบันทำงานในตำแหน่ง นักมาตรวิทยา ฝ่ายมาตรวิทยาไฟฟ้า สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

**บทความวิจัย**

การประชุมวิชาการ งานวิจัยและพัฒนาเชิงประยุกต์ ครั้งที่ 8

$8^{th}$ *ECTI-CARD 2016, Hua Hin, Thailand*

# เครื่องทดสอบอุปกรณ์ป้องกันกระแสเกิน

## Overcurrent Protection Devices Tester

อุดม เครือเทพ และ สันติภาพ โคตทะเล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนาตาก ต.ไม้งาม อ.เมือง จ.ตาก 63000 Email: Santipab@Yahoo.com

**บทคัดย่อ**

*บทความนี้จะนำเสนอการออกแบบและการสร้างเครื่องทดสอบอุปกรณ์ป้องกันกระแสเกินที่ใช้หลักการควบคุมเฟสอย่างง่ายควบคุมการทำงานด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ มีย่านกระแสของการทดสอบ10 ถึง 50 แอมป์แปร์ที่ความถี่ 50 เฮิรตซ์ แสดงผลค่ากระแสไฟฟ้าและเวลาของการตัดตอน ผลการทดสอบของเครื่องต้นแบบที่สร้างขึ้นเปรียบเทียบกับชุดทดสอบรีเลย์แบบ 1 เฟส โมเดล T1000 ตามมาตรฐาน IEC และมาตรฐาน มอก. พบว่ามีค่าความผิดพลาดเฉลี่ย 6.18 เปอร์เซ็นต์*

***คำสำคัญ :*** อุปกรณ์ป้องกันกระแสเกิน การควบคุมเฟส

**Abstract**

*This article presents the design and construction of test equipment overcurrent protection controller that uses a simple phase controlled by a microcontroller. With the electric current range of the test 10 to 50 amps at a frequency of 50 Hz. Display the value of trip electric current and trip duration time. The test results of the prototype test that compares with the single-phase relay test set model T1000 with IEC and TIS standards. Found that the average error of 6.18 percent.*

***Keywords:*** Overcurrent protection devices, Phase-control

## 1. บทนำ

อุปกรณ์ป้องกันกระแสเกินของระบบไฟฟ้า เช่น ฟิวส์ เซอร์กิตเบรคเกอร์ รีเลย์กระแสไฟฟ้าเกิน เป็นต้น เป็นอุปกรณ์ความปลอดภัยที่ต้องมีความแม่นยำในการทำงานเพื่อป้องกันความเสียหายต่อระบบ ในการใช้งานจริง มีน้อยมากที่ผู้ใช้งานจะทำการทดสอบอุปกรณ์เหล่านี้เมื่อผ่านการใช้งานมาเป็นเวลานานทั้งๆที่อุปกรณ์เหล่านั้นส่วนใหญ่มีการรับประกันตัวเครื่องเพียง 1 ปีเท่านั้น สาเหตุหลักของความละเลยนี้ อาจมาจากการขาดความสนใจ ขาดความรู้ หรือการประชาสัมพันธ์ด้านความปลอดภัยมีน้อยเกินไป และที่สำคัญเครื่องมือทดสอบเป็นอุปกรณ์เฉพาะที่มีราคาแพง ไม่มีใช้งานในหน่วยงานขนาดเล็ก ในงานวิจัยนี้จึงมีความสนใจที่จะออกแบบ และสร้างเครื่องทดสอบอุปกรณ์ป้องกันกระแสเกินอย่างง่าย ที่ไม่มีจุดหมายในเชิงการค้า แต่มีจุดหมายสำหรับกลุ่มผู้ใช้ไฟขนาดเล็ก เพื่อช่วยในการทดสอบอุปกรณ์สำหรับชุมชน และหน่วยงานขนาดเล็กของภาครัฐ โดยสามารถทดสอบได้กับอุปกรณ์ป้องกันกระแสเกินหลายชนิดและมีหลายย่านของพิกัดกระแส มีเครื่องมือมาตรฐานเพื่อการตรวจสอบและปรับแต่ง ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุมเพื่อการพัฒนาในอนาคต ใช้หลักการที่ง่าย ไม่ซับซ้อน โดยเลือกใช้หลักการตวบคุมเฟสอย่างง่ายควบคุมการทำงานของไทริริสเตอร์สร้างแรงดันไฟฟ้าจ่ายกระแสให้กับโหลดที่เป็นตัวต้านทานผ่านอุปกรณ์ป้องกันกระแสเกิน ทำการจับเวลาการตัดตอน และขนาดกระแส เพื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐานของอุปกรณ์

## 2. อุปกรณ์ป้องกันกระแสเกิน

อุปกรณ์ป้องกันกระแสเกินที่ใช้เป็นอุปกรณ์ตัดตอนในระบบไฟฟ้ามีอยู่หลายชนิดดังรูปที่ 1 ได้แก่ ฟิวส์ เซอร์กิตเบรกเกอร์ โอเวอร์โหลดรีเลย์สำหรับมอเตอร์ เป็นต้น

**รูปที่ 1** อุปกรณ์ป้องกันกระแสเกินชนิดต่างๆ

ระยะเวลาในการหลอมละลายของฟิวส์ [1] จะมีค่า ดังตารางที่ 1 ซึ่งจะเห็นว่าถ้ากระแสมีค่าไม่เกิน 1.6 เท่าของค่าพิกัดฟิวส์จะหลอมละลายในระยะเวลา 60 นาที แต่ถ้ากระแสมีค่าเป็น 2 เท่าของค่าพิกัดฟิวส์จะหลอมละลายอย่างรวดเร็ว ทั้งนี้ก็เพราะถูกออกแบบให้สามารถทนค่าในกรณีการเริ่มเดิน หรือเริ่มใช้งานของอุปกรณ์ไฟฟ้าในช่วงเวลาสั้นๆ

**ตารางที่ 1** ระยะเวลาในการหลอมละลายของฟิวส์ตาม มอก.10-2524

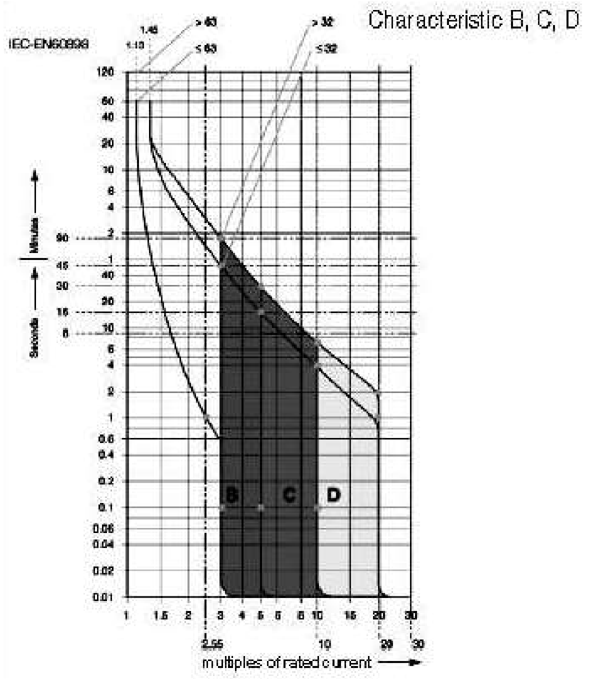
| | Operating time (Minute) | | |
|---|---|---|---|
| Rated (A) | 1.35 of rated | 1.6 of rated | 2 of rated |
| 3-15 | 60 | 60 | 2 |
| 20-30 | 60 | 60 | 2 |
| 40-60 | 60 | 60 | 4 |

เซอร์กิตเบรกเกอร์ขนาดเล็กจะถูกแบ่งเป็น 3 ประเภท ตามจำนวนเท่าของกระแสกระชากที่ทำให้เกิดการตัดตอน [2] ดังตารางที่ 2 และมีเวลาในการ

ตัดตอน ดังรูปที่ 2 ซึ่งจะเห็นว่าอุปกรณ์ที่มีพิกัดสูงจะมีตัดตอนที่เร็วกว่าเพื่อความปลอดภัย

**ตารางที่ 2** ประเภทของเซอร์กิตเบรคเกอร์ขนาดเล็ก

| Type | Trip current | Application |
|---|---|---|
| B | 3 $I_n$ - 5 $I_n$ | No inrush current or Switching surge |
| C | 5 $I_n$ - 10 $I_n$ | Small inrush current or Switching surge |
| D | $I_n$ - 50 $I_n$ | High inrush current or Switching surge |

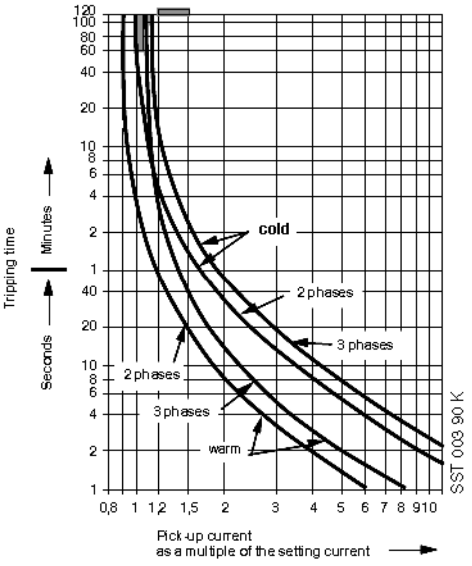



**รูปที่ 2** กระแสไฟฟ้าและเวลาในการตัดตอนของเซอร์กิตเบรคเกอร์

ตามมาตรฐาน IEC มีการแบ่งชั้นของโอเวอร์โหลดรีเลย์ชนิดความร้อนเพื่อให้เหมาะสมกับวิธีการเริ่มเดินมอเตอร์และโหลดที่ใช้งาน[3] ดังตารางที่ 3 และมีการตัดตอน ดังกราฟในรูปที่ 3 ซึ่งจะเห็นว่าขณะที่กระแสไฟฟ้าสูงกว่าพิกัดมากๆ เวลาในการตัดตอนจะเร็วขึ้น สอดคล้องกับอุปกรณ์ตัดตอนชนิดอื่นที่กล่าวมาในข้างต้น

**ตารางที่ 3** ชั้นของโอเวอร์โหลดรีเลย์ชนิดความร้อนขนาดเล็ก

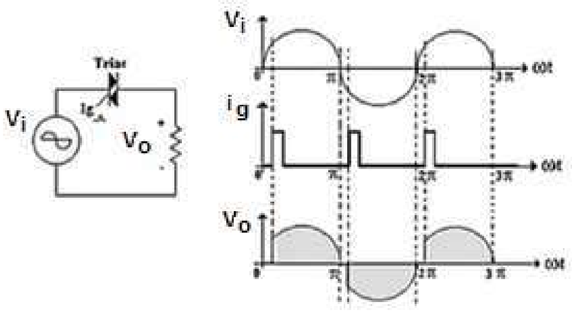
| Class | Starting time of motor (sec) |
|---|---|
| 10 | 10 |
| 20 | 20 |
| 30 | 30 |




**รูปที่ 3** เวลาและกระแสไฟฟ้าตัดตอนของโอเวอร์โหลดรีเลย์

## 3. การควบคุมเฟส

หลักการควบคุมเฟสเป็นหลักการอย่างง่ายของการควบคุมแรงดันไฟฟ้าเอาท์พุต โดยส่วนใหญ่มักใช้ไทริสเตอร์เป็นอุปกรณ์สวิตช์ ดังแสดงในรูปที่ 4 และมีค่าอาร์เอ็มเอสของแรงดันเอาท์พุต กระแสเมื่อโหลดเป็นตัวต้านทาน และกระแสที่ผ่านไทริสเตอร์ ดังสมการที่ 1 ถึงสมการที่ 3 ตามลำดับ




**รูปที่ 4** การควบคุมเฟสโดยใช้ไตรแอค

$$V_o = V_i\sqrt{\frac{1}{2\pi}\sin 2\alpha + \frac{\pi - \alpha}{\pi}} \quad (1)$$

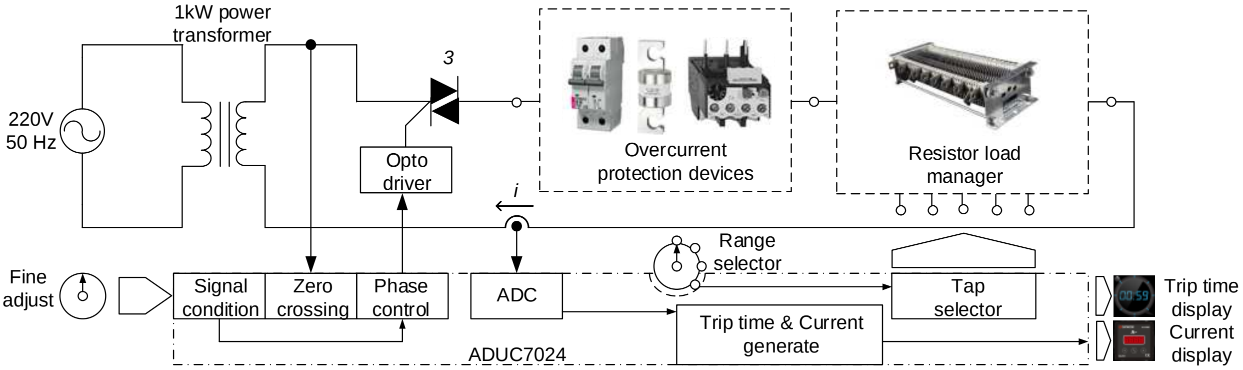
$$I_o = \frac{V_o}{R} \quad (2)$$

$$I_T = \frac{V_i}{R}\sqrt{\frac{1}{2}\left(1 - \frac{\alpha}{\pi} + \frac{\sin 2\alpha}{2\pi}\right)} \quad (3)$$

เมื่อ $\alpha$ คือ มุมเฟสของการนำกระแส

## 4. การออกแบบระบบควบคุม

เครื่องทดสอบอุปกรณ์ป้องกันกระแสเกินที่นำเสนอจะมีโครงสร้างดังรูปที่ 5 โดยมีหม้อแปลงกำลังขนาด 1 กิโลวัตต์ 220/12 โวลต์ เป็นแหล่งจ่ายที่ใช้ในการทดสอบอุปกรณ์ตัดตอน ทำการเลือกย่านกระแสที่ใช้ในการทดสอบด้วยสวิตช์ ใช้ไตรแอคเบอร์TG70AA40 ที่มีพิกัดกระแสและแรงดัน 70 แอมแปร์ 400 โวลต์ ตามลำดับ ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ ADUC 7024 ทำการเลือกแทปโหลดด้วยการเทียบกับกระแสจริงที่ทำการตรวจจับ และสร้างสัญญาณควบคุมให้กับไทริสเตอร์ทำหน้าที่ปรับกระแสแบบละเอียดโดยใช้หลักการควบคุมเฟส ทำการจับเวลาและแสดงผลการตัดตอน และแสดงผลค่ากระแสไฟฟ้า โหลดที่ใช้จะเป็นตัวต้านทานที่มีพิกัดกำลังรวม 250 วัตต์




**รูปที่ 5** โครงสร้างของเครื่องทดสอบอุปกรณ์ป้องกันกระแสเกิน

โดยมีขั้นตอนของการทดสอบ ดังนี้

1) ต่ออุปกรณ์ตัดตอนที่ต้องการทดสอบ

2) เลือกย่านกระแสที่จะทำการทดสอบ 10A 20A 30A 40A และ 50A

3) ทำการปรับกระแสอย่างละเอียดด้วยมือ ตรวจสอบที่แอมมิเตอร์

4) อ่านค่าเวลาในการตัดตอน

5) เขียนกราฟเวลาในการตัดตอน

6) ตรวจสอบกับกราฟของผู้ผลิตอุปกรณ์ตัดตอนตามมาตรฐานที่กำหนด

## 5. การทดสอบการทำงาน

เครื่องต้นแบบที่สร้างขึ้น และชุดทดสอบรีเลย์ 1 เฟส isa โมเดล T1000 [4] จะแสดงได้ ดังรูปที่ 6 มีผลการทดสอบการทำงานกับอุปกรณ์ตัดตอน ดังต่อไปนี้

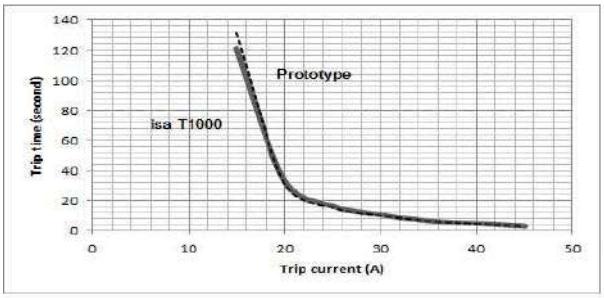
(ก) เครื่องต้นแบบ

(ข) ชุดทดสอบรีเลย์ isa โมเดล T1000

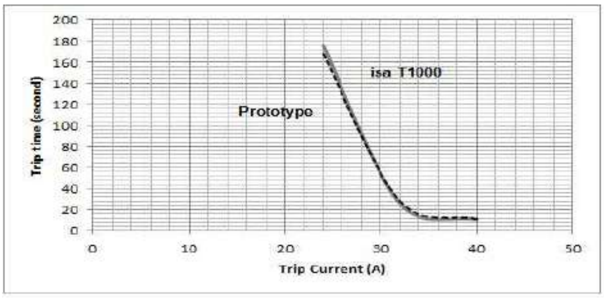
**รูปที่ 6** เครื่องทดสอบอุปกรณ์ป้องกันกระแสเกิน

### 5.1 การทดสอบเซอร์กิตเบรกเกอร์

เซอร์กิตเบรกเกอร์ที่นำมาทดสอบจะมีขนาดพิกัด 10 A และ16A มีผลการทดสอบ ดังกราฟในรูปที่ 7 และรูปที่ 8 ตามลำดับ มีค่าความผิดพลาดเฉลี่ย เปอร์เซ็นต์




**รูปที่ 7** เวลาและกระแสตัดตอนของเซอร์กิตเบรกเกอร์ 10 A




**รูปที่ 8** เวลาและกระแสตัดตอนของเซอร์กิตเบรกเกอร์ 16 A

**5.2 การทดสอบฟิวส์**

ทำการทดสอบกับฟิวส์ก้ามปูขนาด 30 A ได้ผลดังตารางที่ 4 เมื่อเปรียบเทียบตาม มอก.10-2524 ในตารางที่ 1 พบว่ามีค่าใกล้เคียงกัน

**ตารางที่ 4** ผลการทดสอบฟิวส์ก้ามปูขนาด 30 A

| Testing current (A) | Condition | Time |
|---|---|---|
| 30 | normal | - |
| 40.5 | melt | 68 min. |
| 60 | melt | 112 sec. |

**5.3 การทดสอบโอเวอร์โหลดรีเลย์**

ทำการทดสอบกับโอเวอร์โหลดรีเลย์ TA25DU ขนาด 14 A และ 19 A มีผลการทดสอบ ดังตารางที่ 5 และตารางที่ 6 ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นว่ามีค่าใกล้เคียงกับค่าในกราฟของรูปที่ 3

**ตารางที่ 5** ผลการทดสอบโอเวอร์โหลดรีเลย์ขนาด 14 A

| Testing current (A) | Condition | Time (sec) |
|---|---|---|
| 30 | trip | 50.88 |
| 37.5 | trip | 23.25 |
| 45 | trip | 17.41 |
| 51.7 | trip | 12.19 |

**ตารางที่ 6** ผลการทดสอบโอเวอร์โหลดรีเลย์ขนาด 19 A

| Testing current (A) | Condition | Time (sec) |
|---|---|---|
| 36 | trip | 43.28 |
| 45 | trip | 27.38 |

**5.4 การทดสอบมอเตอร์รีเลย์**

ทำการทดสอบมอเตอร์รีเลย์ OMRON รุ่น SE-2EN มีผลการทดสอบเทียบกับชุดทดสอบรีเลย์ โมเดล T1000 ดังตารางที่ 7 จากผลการทดสอบพบว่า เครื่องต้นแบบที่นำเสนอเมื่อเปรียบเทียบกับ T1000 เวลาของการตัดตอนมีความผิดพลาดเฉลี่ยอยู่ที่ 6.18 เปอร์เซนต์

| Setting time (sec) | Setting current (A) | Current (A) | | Time (sec) | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | isa. | Prot. | isa. | Prot. |
| Multiplyer = 4 | | | | | |
| 4 | 6 | 10 | 11.4 | 39.54 | 36.99 |
| 10 | 4 | 10 | 12.1 | 62.69 | 59.24 |
| 10 | 4 | 15.1 | 23.4 | 39.01 | 36.43 |

## 6. สรุป

เครื่องทดสอบอุปกรณ์ป้องกันกระแสเกินที่นำเสนอจะทำการปรับย่านกระแสแบบหยาบด้วยการจัดการโหลดที่ควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อป้องกันกระแสกระชาก และทำการปรับกระแสแบบละเอียดด้วยหลักการควบคุมเฟสอย่างง่าย มีส่วนแสดงผลของกระแส และเวลาในการตัดตอนของอุปกรณ์ จากการทดสอบกับอุปกรณ์ป้องกันกระแสเกิน 4 ชนิด พบว่ามีความถูกต้องอยู่ในระดับที่น่าพอใจ คือเมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องมือทดสอบที่มีมาตรฐาน isa โมเดล T1000 พบว่ามีค่าผิดพลาดเฉลี่ย 6.18 เปอร์เซ็นต์ และจากการทดสอบเทียบกับกราฟมาตรฐานของอุปกรณ์ที่ผู้ผลิตทำการทดสอบอุปกรณ์ตัดตอน พบว่ามีแนวโน้มที่ถูกต้อง ความผิดพลาดอาจเกิดจากสภาพอากาศของการทดสอบที่ต่างกันประมาณ 15 องศาเซนเซียส จึงมีความเป็นไปได้ของการพัฒนาเครื่องทดสอบดังกล่าวในราคาที่ถูกและมีหลักการที่ง่ายไม่ซับซ้อน

## เอกสารอ้างอิง

[1] Thai Industrial Standards Institute. ,“มาตรฐานอุตสาหกรรม ฟิวส์ก้ามปู ม.อ.ก.10-2524” , มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมไทย, 1981.

[2] ABB (Hong Kong) L.t.d., “Line Protection Miniature Circuit Breaker (MCBs)”, ABB LPV Circuit Breaker Brochure, pp.1-16, 2006.

[3] ABB Stotz Kontant Gmbh., “Thermal Overload Relay Electronic Overload Relay”, ABB Technical Cataloque, pp.16-22, 2003.

[4] I.SA Istrumentazioni Sistemi Automatici S.r.l., “Single Phase Relay Test Set Mod.T1000”, DOC.SIE10093 REV.10, pp.1-36, 2008.

## ประวัติผู้เขียนบทความ

อุดม เครือเทพ สำเร็จการศึกษาปริญญาตรีและปริญญาโทสาขาวิศวกรรมไฟฟ้าจาก รม. และ มช. ตามลำดับ มีความสนใจการป้องกันระบบไฟฟ้า การแปลงผันกำลังงาน และพลังงานทดแทน

สันติภาพ โคตทะเล สำเร็จการศึกษาปริญญาตรีและปริญญาโทสาขาวิศวกรรมไฟฟ้าจาก สจพ. และ สจล. ตามลำดับ มีความสนใจการแปลงผันกำลังงาน ระบบควบคุม และพลังงานทดแทน

# ชุดสาธิตการควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์กระแสตรงโดยใช้โปรแกรมแลปวิวที่มีขั้นตอนวิธีควบคุมแบบพีไอ

# Demonstration Set of DC Motor Speed Control using LabVIEW containing with PI Control Algorithm

**ชนม์รัตน์ ตติยะวรนันท์**
ภาควิชาวิศวกรรมระบบวัดคุมและเมคคาทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร
140 ถนนเชื่อมสัมพันธ์ แขวงกระทุ่มราย เขตหนองจอก กรุงเทพมหานคร โทรศัพท์: 02-9883655 E-mail: chonrat@mut.ac.th

## บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการออกแบบชุดสาธิตการควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์กระแสตรงสำหรับห้องปฏิบัติวิชาระบบควบคุม โดยใช้โปรแกรมแลปวิวในการควบคุมความเร็วมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงซึ่งมีคำสั่งบล็อกไดอะแกรมถูกใช้ในการสร้างอัลกอริทึมการควบคุมแบบพีไอด้วยค่าอัตราการสุ่มเท่ากับ 20 มิลลิวินาที ซึ่งทาโคเจนเนอเรเตอร์ถูกใช้เพื่อการวัดความเร็วรอบของมอเตอร์ที่มีแรงดันไฟฟ้าจากทาโคเจนเนอเรเตอร์เป็นแรงดันไฟฟ้าขนาด 0 ถึง 5 โวลต์เพื่อป้อนให้กับมอดูลอินพุตแอนะล็อกของระบบ ซึ่งสัญญาณควบคุมจากขั้นตอนวิธีควบคุมแบบพีไอถูกส่งผ่านมอดูลเอาต์พุตแอนะล็อกไปควบคุมวงจรสร้างสัญญาณพีดับบลิวเอ็มเพื่อควบคุมวงจรขับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง จากผลการทดสอบด้วยคำสั่งความเร็ว 1600 รอบต่อนาทีมีค่าเวลาในการเข้าสู่สภาวะคงตัวมีค่าเท่ากับ 300 มิลลิวินาทีและเปอร์เซ็นต์ของการพุ่งเกินมีค่าไม่เกิน 10 %

คำสำคัญ: การควบคุมความเร็วมอเตอร์, โปรแกรมแลปวิว, ขั้นตอนวิธีควบคุมแบบพีไอ

## Abstract

This paper presents a design of a demonstration set of DC motor speed control for the control systems laboratory. The LabVIEW program is used for controlling speed of DC motor and the block diagram code is used to implement a PI control algorithm with 20 milliseconds of the sampling time. A DC tachogenerator is used for measuring the motor speed. The voltage from a tachogenerator to be a 0 to 5 volt is used for an analog input module of system. The control signal from PI control algorithm is sent via an analog output module to control a PWM signal generator for controlling a DC motor driver circuit. From the experimental results, the settling time at 1600 rpm speed command is 300 milliseconds and the percent of overshoot less than 10 %.

Keywords: motor speed control, LabVIEW, PI control algorithm

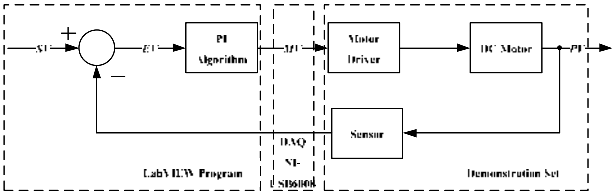
## 1. บทนำ

โปรแกรมแลปวิว [1] ได้รับความนิยมใช้งานสำหรับภาคอุตสาหกรรมในประเทศไทยมากกว่า 10 ปี เพื่อใช้สำหรับงานเครื่องมือวัด และการควบคุมต่างๆ โดยการควบคุมความเร็วของมอเตอร์มีประโยชน์มากสำหรับงานอุตสาหกรรมไทย ซึ่งบทความนี้ได้นำเสนอชุดสาธิตเพื่อให้ผู้เรียนรู้สามารถเข้าใจการใช้โปรแกรมแลปวิวในการควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์กระแสตรงโดยมีการควบคุมแบบวงปิดด้วยขั้นตอนวิธีพีไอ (PI: Proportional plus Integral) สำหรับการเรียนการสอนในห้องปฏิบัติการระบบควบคุม

## 2. โครงสร้างระบบที่นำเสนอ

บทความนี้นำเสนอโครงสร้างระบบการควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์กระแสตรงประกอบด้วยโปรแกรมแลปวิวบนคอมพิวเตอร์ที่มีขั้นตอนวิธีควบคุมแบบพีไอดังสมการที่ 1 เมื่อ $e(t)$ คือสัญญาณความคลาดเคลื่อนทางเวลา หรือตัวแปรความคลาดเคลื่อน (*EV*: error variable) ซึ่งเป็นค่าผลต่างระหว่างค่าตัวแปรเป้าหมาย (*SV*: set-point variable) กับค่าตัวแปรกระบวนการ (*PV*: process variable) $K_p$ คืออัตราขยายแบบสัดส่วน (proportional gain) $K_i$ คืออัตราขยายแบบปริพันธ์ (Integral gain) $m(t)$ คือสัญญาณปรับแต่งกระบวนการทางเวลาหรือตัวแปรปรับแต่งกระบวนการ (*MV*: manipulated variable) โดยใช้มอดูล DAQ รุ่น NI-USB6008 รับค่าอินพุตแอนะล็อก (analog input) จากเซนเซอร์คือทาโคเจนเนอเรเตอร์ (tachogenerator) เป็นตัวกำเนิดแรงดันไฟฟ้าที่ทำหน้าที่แปลงความเร็วรอบเป็นแรงดันไฟฟ้า และส่งค่าเอาต์พุตแอนะล็อก (analog output) คือค่าตัวแปรปรับแต่งกระบวนการเพื่อไปควบคุมชุดขับมอเตอร์ ซึ่งชุดขับมอเตอร์ประกอบด้วยวงจรสร้างสัญญาณพีดับบลิวเอ็มด้วยไอซี TL494 เพื่อป้อนเข้าวงจรขับมอเตอร์ด้วยไอซี L298N ไปควบคุมมอเตอร์กระแสตรงต่อไปดังรูปที่ 1

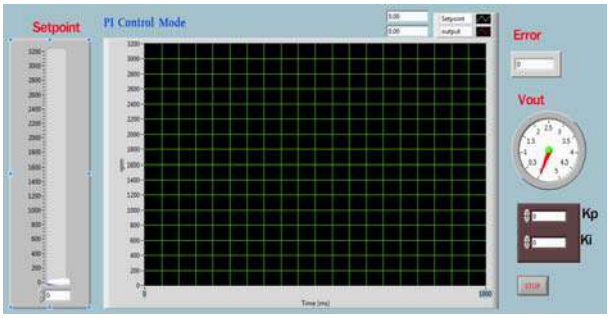
$$m(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(t) \qquad (1)$$



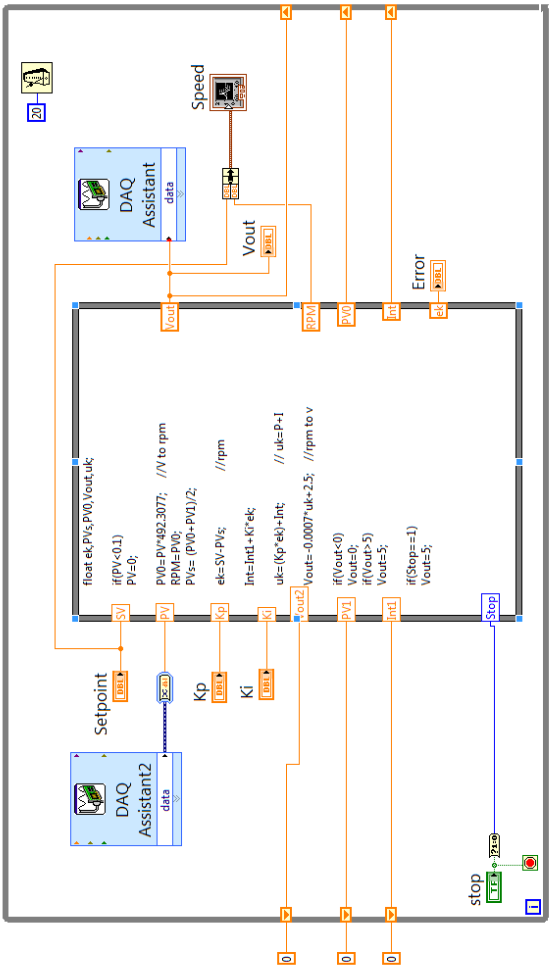

**รูปที่ 1** โครงสร้างระบบที่นำเสนอ

## 2.1 โปรแกรมแลปวิว

การออกแบบโปรแกรมแลปวิว [2] แบ่งออกเป็น 2 ส่วนได้แก่ ส่วนแรกคือหน้าต่าง front panel เป็นส่วนแสดงผลให้ผู้เรียนรู้ศึกษาผลตอบสนองทางเวลาของความเร็วรอบมอเตอร์ เมื่อมีการเปลี่ยนค่าเป้าหมาย (Setpoint) หรือปรับแต่งค่า $K_p$ และ $K_i$ ดังรูปที่ 2 และอีกส่วนคือหน้าต่าง block diagram เป็นขั้นตอนวิธีควบคุมแบบพีไอประกอบด้วย DAQ Assistant2 เป็นบล็อกไดอะแกรมอินพุตแอนะล็อกรับค่าตัวแปรกระบวนการ (*PV*) จากทาโคเจนเนอเรเตอร์ซึ่งค่าที่รับเข้ามาเป็นค่าแรงดันไฟฟ้าจึงทำการแปลงเป็นค่าความเร็วรอบหรือเรียกว่า "scaling" ส่วนค่าตัวแปรเป้าหมาย (*SV*) ค่า $K_p$ และ $K_i$ ตัวแปรทั้งสามนี้รับค่ามาจากหน้าต่าง front panel ส่วนตัวแปร *uk* เป็นสมการขั้นตอนวิธีควบคุมแบบพีไอตามสมการที่ 1 จากนั้นทำการแปลงค่าความเร็วรอบเป็นค่าแรงดันไฟฟ้าคือตัวแปร *Vout* ส่งออกไปยังเอาต์พุตแอนะล็อกด้วยบล็อกไดอะแกรม DAQ Assistant โดยทั้งหมดนี้ทำงานวนรอบอย่างต่อเนื่องด้วยบล็อกไดอะแกรม While loops ที่ครอบคลุมบล็อกไดอะแกรมอื่นทั้งหมดจะหยุดการทำงานเมื่อกดปุ่มหยุด (stop) ที่หน้าต่าง front panel แสดงดังรูปที่ 3



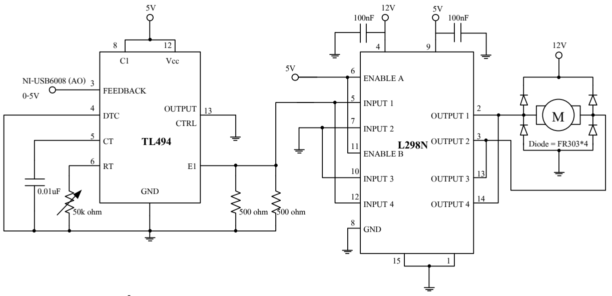

**รูปที่ 2** การออกแบบส่วน front panel สำหรับการควบคุมแบบพีไอ




**รูปที่ 3** การออกแบบส่วน block diagram สำหรับการควบคุมแบบพีไอ

## 2.2 ชุดขับมอเตอร์กระแสตรง

การออกแบบวงจรชุดขับประกอบด้วยวงจรสร้างสัญญาณพีดับบลิวเอ็ม (PWM: pulse width modulation) ด้วยไอซี TL494 โดยขา 5 ของไอซีรับสัญญาณแรงดัน 0 ถึง 5 โวลต์จากเอาต์พุตแอนะล็อกของมอดูล DAQ และขา 9 ของไอซีจะสร้างสัญญาณพีดับบลิวเอ็มตั้งแต่ 100 ถึง 0 เปอร์เซ็นต์ ส่งไปยังวงจรขับมอเตอร์ด้วยไอซี L298N โดยขา 5 และ 12 รับสัญญาณพีดับบลิวเอ็มเพื่อควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์กระแสตรง โดยขา 2, 14 และขา 3, 13 ต่อกับมอเตอร์กระแสตรงซึ่งต่อกับไดโอดเพื่อป้องกันกระแสไหลย้อนกลับ




**รูปที่ 4** การออกแบบวงจรชุดขับมอเตอร์กระแสตรง

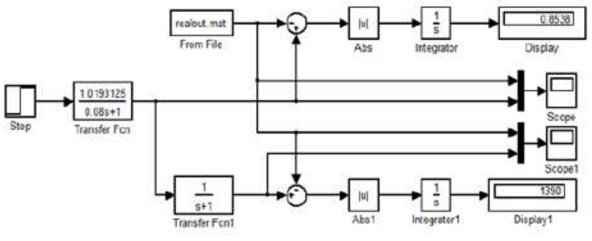
## 3. การควบคุมความเร็วมอเตอร์กระแสตรงด้วยขั้นตอนวิธีพีไอ

### 3.1 การหาฟังก์ชันถ่ายโอนของระบบ

ฟังก์ชันถ่ายโอน (*TF*: transfer function) เป็นฟังก์ชันความสัมพันธ์ระหว่างเอาต์พุตกับอินพุตของระบบในโดเมน s (s-domain) โดยการหาฟังก์ชันถ่ายโอนเริ่มจากการป้อนสัญญาณอินพุตเป็นสัญญาณขั้นบันไดที่ความเร็วรอบ 1600 รอบต่อนาที (50% ของความเร็วรอบ) แล้วทำการวัดผลตอบสนองของสัญญาณหรือหาค่าที่แสดงสมรรถนะของผลตอบสนองของสัญญาณที่เรียกว่าฟังก์ชันต้นทุน (cost function) ดังสมการที่ 2 เมื่อ $e(t)$ คือค่าความคลาดเคลื่อน $E$ คือฟังก์ชันต้นทุนที่เป็นการหาค่าผลรวมของค่าสมบูรณ์ความคลาดเคลื่อนหรือเป็นการปริพันธ์ของค่าความคลาดเคลื่อนสมบูรณ์ (integral of absolute error) โดยค่าฟังก์ชันต้นทุนที่มีค่าน้อยแสดงว่าแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มีฟังก์ชันถ่ายโอนเสมือนระบบจริง โดยใช้การจำลองในโปรแกรม MATLAB/SIMULINK [3] เพื่อประมาณค่าแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบ ซึ่งได้ค่าประมาณฟังก์ชันถ่ายโอนเมื่อค่าฟังก์ชันตามสมการที่ 3 เมื่อมีค่าฟังก์ชันต้นทุนเท่ากับ 0.8538 ดังรูปที่ 5

$$E = \int_0^\infty |e(t)|dt \quad (2)$$

$$TF = \frac{1.0193}{0.08s+1} \quad (3)$$




**รูปที่ 5** การจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อหาฟังก์ชันถ่ายโอนของระบบ

### 3.2 การหาค่า $K_p$ และ $K_i$ สำหรับขั้นตอนวิธีพีไอ

จากการหาฟังก์ชันถ่ายโอนของระบบดังสมการที่ 3 สามารถคำนวณหาค่า $K_p$ และ $K_i$ โดยการใช้เทคนิคทางเดินราก (root locus) [3-4] ซึ่งการออกแบบให้ระบบเข้าสู่สภาวะคงตัวภายในเวลาไม่เกิน 0.3 วินาที ($t_s$: settling time) และระบบมีเปอร์เซ็นต์การพุ่งเกิน (*OS*: overshoot) ไม่เกิน 10 เปอร์เซ็นต์โดยสามารถคำนวณหาอัตราการหน่วง ($\zeta$ : damping ratio) คือ 0.5912 ตามสมการที่ 4 การคำนวณหาค่าความถี่ธรรมชาติ ($\omega_n$ : natural frequency) คือ 22.5547 ตามสมการที่ 5 เพื่อคำนวณหาตำแหน่งโพลในโดเมน s ($s_{1,2}$: pole) คือ -13.33±*j*18.192 ตามสมการที่ 6 เพื่อวางโพลบนเส้นทางเดินรากโดยแปลงให้ตำแหน่งโพลอยู่ในโดเมน z ($z_{1,2}$: pole of z-domain) ที่มีอัตราการชักค่า (*Ts*: sampling time) คือ 0.02 วินาทีสามารถคำนวณโพลวงปิดในระนาบ z คือ 0.7158±*j*0.2726 ตามสมการที่ 7 ทำให้สามารถคำนวณหาฟังก์ชันถ่ายโอนของตัวควบคุมแบบพีไอ ($G_{PI}$(z)) ตามสมการที่ 8 โดยค่า $K$ สามารถหาได้จากอัตราขยายที่ทำให้เส้นทางเดินรากตัดผ่านโพลในระนาบ z ด้วยโปรแกรม MATLAB แสดงดังรูปที่ 6 จะได้ค่าอัตราขยาย ($K$) คือ 1.56 โดยการคำนวณหาค่า $K_p$ และ $K_i$ ได้ดังสมการที่ 9-10 ตามลำดับ เมื่อ $\alpha$ เป็นค่าซีโร่ในระนาบ z คือ 0.5534 ดังนั้นจะได้ค่า $K_p$ คือ 0.863 และ $K_i$ คือ 0.697

$$\zeta = \frac{-\ln(\%OS/100)}{\sqrt{\pi^2 + (\ln(\%OS/100))^2}} \quad (4)$$

$$\omega_n = \frac{4}{t_s \zeta} \quad (5)$$

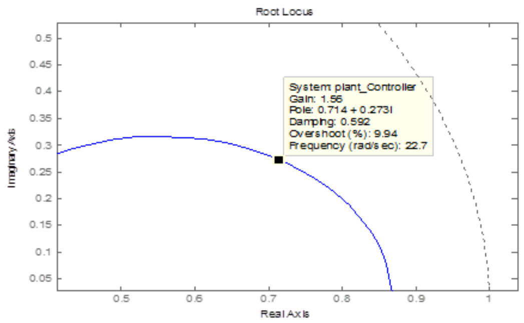
$$s_{1,2} = -\zeta\omega_n \pm j\omega_n\sqrt{1-\zeta^2} \quad (6)$$

$$z_{1,2} = e^{(s_{1,2} \times Ts)} \quad (7)$$

$$G_{PI}(\mathrm{z}) = K\left(\frac{z-0.5534}{z-1}\right) \quad (8)$$

$$K_p = \alpha \times K \quad (9)$$

$$K_i = K - K_p \quad (10)$$




**รูปที่ 6** การหาค่าอัตราขยายที่ทำให้เส้นทางเดินรากตัดผ่านโพล

## 4. ผลการทดสอบ

การทดสอบแบ่งออกเป็น 3 กรณีเมื่อต้องการค่าเป้าหมายที่ 1600 รอบต่อนาทีเนื่องจากเป็นสัญญาณที่ใช้หาฟังก์ชันถ่ายโอนของระบบซึ่งใช้ค่า $K_p$ คือ 0.863 และ $K_i$ คือ 0.697 ตามการคำนวณก่อนหน้านี้

โดยกรณีที่ 1 ไม่ใส่ลูกตุ้มน้ำหนักบนแกนเชื่อมต่อระหว่างแกนมอเตอร์กระแสตรงกับแกนทาโคเจนเนอเรเตอร์ และกรณีที่ 2 ใส่ลูกตุ้มน้ำหนักขนาด 0.25 กิโลกรัมบนแกนเชื่อมต่อระหว่างแกนมอเตอร์กระแสตรงกับแกนทาโคเจนเนอเรเตอร์ได้ผลทดสอบมีเปอร์เซ็นต์การพุ่งเกินไม่เกิน 10% และเวลาเข้าสู่สภาวะคงตัวไม่เกิน 0.3 วินาทีดังรูปที่ 7-8

กรณีที่ 3 ใส่ลูกตุ้มน้ำหนักขนาด 2 กิโลกรัมบนแกนเชื่อมต่อต่อระหว่างแกนมอเตอร์กระแสตรงกับแกนทาโคเจนเนอเรเตอร์ได้ผลทดสอบมีเปอร์เซ็นต์การพุ่งเกินไม่เกิน 10% และเวลาเข้าสู่สภาวะคงตัวไม่เกิน 0.5 วินาทีดังรูปที่ 9

## 5. สรุป

ชุดสาธิตการควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์กระแสตรงได้ผลการทดสอบที่ดีตามหลักการของขั้นตอนวิธีพีไอที่ต้องการเปอร์เซ็นต์การพุ่งเกินไม่เกิน 10 เปอร์เซ็นต์และเวลาเข้าสู่สภาวะคงตัวที่ภายในเวลาไม่เกิน 0.3 วินาทีเมื่อน้ำหนักไม่เกิน 2 กิโลกรัมเหมาะสมสำหรับผู้เรียนรู้ใช้ศึกษาผลตอบสนองเมื่อทำการปรับแต่งค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม

## 6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณนายอนุชา ไชยวังเทพ ที่ช่วยประกอบอุปกรณ์ และเก็บผลทดสอบการควบคุมแบบพีไอของชุดสาธิตนี้

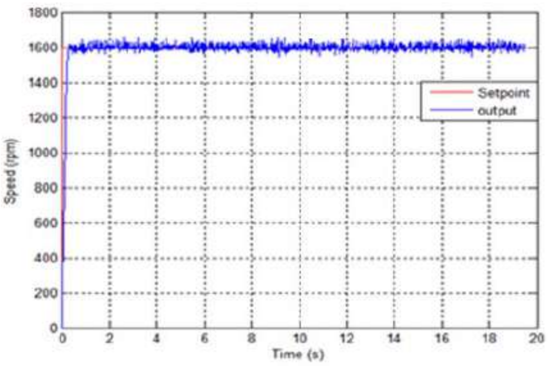
## เอกสารอ้างอิง

[1] Nation Instruments. (2015, August). *LabVIEW* [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/LabVIEW

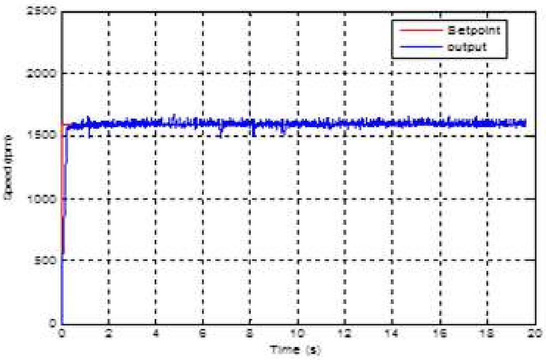
[2] K. Dileep *et al*., "LabVIEW Based Speed Control of DC Motor Using PID Controller," *International Journal of Electrical and Electronics Research*, vol. 3, Issue 2, pp. 293-298, Apr.-Jun. 2015.

[3] *Control Systems Toolbox For Use with MATLAB. User's Guide Version 6*, The MathWorks Inc., 2006.

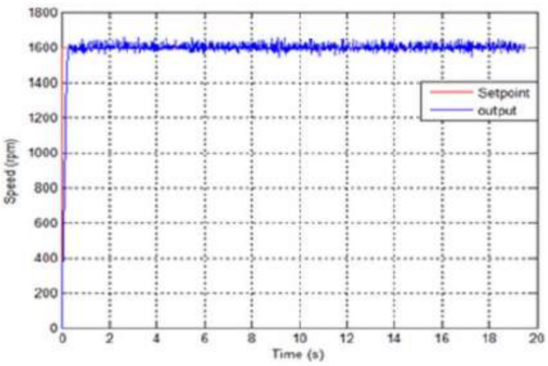
[4] K. Ogata, *Modern Control Engineering. 3rd Edition*, Prentice-Hall, 1997.




**รูปที่ 7** การควบคุมความเร็วรอบที่ 1600 รอบ/นาทีแบบไม่มีภาระ




**รูปที่ 8** การควบคุมความเร็วรอบที่ 1600 รอบ/นาทีแบบมีภาระ 0.25 กก.




**รูปที่ 9** การควบคุมความเร็วรอบที่ 1600 รอบ/นาทีแบบมีภาระ 2 กก.

# ผลกระทบของความถูกต้องของเครื่องวัดความต้านทานขดลวดหม้อแปลงต่อการผลิตหม้อแปลงไฟฟ้า

## Effect of Winding Resistance Meter Accuracy to the Production of Transformers

**ชัยวัฒน์ เจษฎาจินต์ และ เนตรนพิศ คุ้มทุกทิศ**

ห้องปฏิบัติการความต้านทาน ฝ่ายมาตรวิทยาไฟฟ้า สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ

3/4-5 หมู่ 3 ตำบลคลองห้า อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 12120 โทรศัพท์ 02-577-5100 ต่อ 1219

E-mail: chaiwat@nimt.or.th and natenapit@nimt.or.th

## บทคัดย่อ

หม้อแปลงไฟฟ้าเป็นอุปกรณ์สำหรับการเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้าที่มีการใช้งานกันอย่างแพร่หลายในระบบการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า ส่วนประกอบหลักของหม้อแปลงไฟฟ้าคือขดลวดและแกนเหล็ก โดยเฉพาะในส่วนของขดลวดนั้นเป็นต้นทุนหลักในการผลิตและเป็นส่วนที่ส่งผลกับประสิทธิภาพของหม้อแปลงไฟฟ้า ในการออกแบบและทดสอบขดลวดของหม้อแปลงไฟฟ้า [1] นั้นจะถูกวัดออกมาในหน่วยของความต้านทานคือโอห์ม ด้วยการใช้เครื่องวัดความต้านทานขดลวด บทความนี้จะนำเสนอความสัมพันธ์ระหว่างความถูกต้องของเครื่องวัดความต้านทานขดลวดและต้นทุนรวมถึงประสิทธิภาพของหม้อแปลงไฟฟ้า จากการศึกษาพบว่าความถูกต้องของเครื่องวัดความต้านทานขดลวดส่งผลกระทบถึงต้นทุนและการสูญเสียเนื่องจากขดลวดของหม้อแปลงไฟฟ้า หากทราบค่าความคลาดเคลื่อนของเครื่องวัดขดลวดจะสามารถนำค่าดังกล่าวไปใช้เป็นค่าแก้เพื่อเพิ่มค่าความถูกต้องของความต้านทานขดลวดได้

คำสำคัญ: หม้อแปลง, ความต้านทานขดลวด, ความถูกต้อง, ต้นทุน, ประสิทธิภาพ

## Abstract

Electrical transformer is equipments for change the voltage level that general using in the electric power system. A transformer consists of two parts : winding coil and core parts. For winding coil is cost and effect to efficiency of transformer. The winding coil measured in resistance unit (ohm) on the design and testing transformer by using the winding resistance meter. This paper is study on the relation between the accuracy of winding resistance meter with the cost and transformer efficiency that effects to transformer. By analyzing if known the error of winding resistance meter, that can correction value for improved more accuracy of resistance winding value.

Keywords: Transformer, Winding resistance, Accuracy, Cost, efficiency

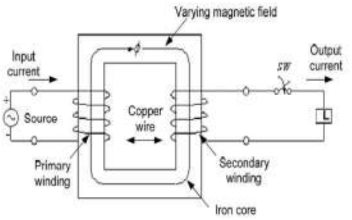
## 1. บทนำ

ปัจจุบันการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าตั้งแต่แหล่งกำเนิดกระแสไฟฟ้าไปยังระบบสายส่งจนถึงระดับผู้ใช้งาน มีการเปลี่ยนแปลงระดับแรงดันในระบบโดยใช้อุปกรณ์ที่เรียกว่า หม้อแปลงไฟฟ้า(Electric Transformer) จากการสำรวจจากผู้ผลิตหม้อแปลงไฟฟ้าพบว่าในแต่ละปีหม้อแปลงไฟฟ้าในตลาดที่มีความต้องการใหม่และทดแทนของเดิมมีมูลค่าหลายพันล้านบาทและส่วนประกอบหลักในการผลิตหม้อแปลงไฟฟ้านั้นจะเป็นขดลวด (Coil) และแกนเหล็ก (Core) โดยในส่วนของขดลวดนั้นจะทำมาจากทองแดง ซึ่งทองแดงดังกล่าวมีราคาค่อนข้างสูงและต้องนำเข้าจากต่างประเทศ นอกจากนี้ราคาจำหน่ายของหม้อแปลงไฟฟ้ายังขึ้นอยู่กับขนาดของเควีเอ (kVA) และประสิทธิภาพ (Efficiency) อีกด้วย

สำหรับบทความนี้จะทำการศึกษาถึงความถูกต้องของเครื่องวัดความต้านทานขดลวด (Winding Resistance Meter) ซึ่งใช้ในการวัดค่าความต้านทานของขดลวด ที่ส่งผลกระทบต่อต้นทุนของขดลวดและประสิทธิภาพของหม้อแปลงไฟฟ้าอันเนื่องมาจากการสูญเสียเนื่องจากขดลวด เพื่อให้ผู้ผลิตสามารถนำค่าความความถูกต้องของเครื่องวัดที่ผ่านการสอบเทียบไปใช้งานในการลดต้นทุนและเพิ่มประสิทธิภาพได้อย่างถูกต้องเหมาะสมต่อไป

## 2. หม้อแปลงไฟฟ้า

โดยทั่วไปโครงสร้างทั่วไปของหม้อแปลงไฟฟ้า [2] จะประกอบไปด้วยแกนเล็กและขดลวด 2 ชุด คือ ขดลวดปฐมภูมิ (Primary Winding) และขดลวดทุติยภูมิ (Secondary Winding) ดังรูปที่ 1. โดยในส่วนของแกนเหล็กจะเป็นแผ่นเหล็กซิลิกอนจัดเรียงซ้อนกัน สำหรับขดลวดของหม้อแปลงไฟฟ้านั้นจะเป็นขดลวดทองแดงอาบน้ำยาฉนวนพันอยู่รอบแกนเหล็ก ดังรูปที่ 2.




รูปที่ 1. โครงสร้างทั่วไปของหม้อแปลงไฟฟ้า

รูปที่ 2. ลักษณะแกนเหล็กและขดลวดของหม้อแปลงไฟฟ้า

โดยในส่วนของขดลวดนั้นจะมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

- ขนาดพื้นที่หน้าตัด

$$A = \frac{I}{J} \qquad (1)$$

A = พื้นที่หน้าตัดของขดลวด (ตารางมิลลิเมตร)
I = กระแสตามพิกัด (แอมแปร์)
J = ความหนาแน่นกระแส (แอมแปร์ต่อตารางมิลลิเมตร)

- จำนวนขดลวด

$$N_1 = \frac{V_1}{E/N} \qquad (2)$$

$N_1$ = จำนวนรอบขดลวดปฐมภูมิ (รอบ)
$V_1$ = แรงดันด้านเข้า (โวลท์)
E/N = โวลท์ต่อรอบ

- น้ำหนักขดลวดทองแดง

$$W = N \bullet A \bullet l_{av} \bullet D \qquad (3)$$

W = น้ำหนักของขดลวด (กิโลกรัม)
N = จำนวนรอบของขดลวด (รอบ)
A = พื้นที่หน้าตัดของขดลวด (ตารางมิลลิเมตร)
D = ความหนาแน่นของทองแดง

$l_{av}$ = ความยาวของรอบเฉลี่ย (มิลลิเมตร)

- ความต้านทานของขดลวด

$$R = \rho \frac{l}{A} \qquad (4)$$

R = ความต้านทานของขดลวด (โอห์ม)
$\rho$ = ความต้านทานจำเพาะของทองแดง (โอห์ม-เมตร)
l = ความยาวของขดลวด (มิลลิเมตร)
A = พื้นที่หน้าตัดของขดลวดทองแดง (ตารางมิลลิเมตร)

- กำลังสูญเสียในขดลวด

$$P_{CU} = I^2 \bullet R \qquad (5)$$

$P_{CU}$ = กำลังไฟฟ้าสูญเสียในขดลวด (วัตต์)
I = กระแสไฟ (แอมแปร์)
R = ความต้านทานของขดลวด (โอห์ม)

- ประสิทธิภาพของหม้อแปลง

$$\eta = \frac{P_{OUT}}{P_{IN}} = \frac{P_{OUT}}{P_{OUT} + P_C + P_{CU}} \qquad (6)$$

n = ประสิทธิภาพของหม้อแปลง (เปอร์เซนต์)
$P_{OUT}$ = กำลังไฟฟ้าด้านออก (วัตต์)
$P_{IN}$ = กำลังไฟฟ้าด้านเข้า (วัตต์)
$P_C$ = กำลังไฟฟ้าสูญเสียในแกนเหล็ก (วัตต์)
$P_{CU}$ = กำลังไฟฟ้าสูญเสียในขดลวด (วัตต์)

## 3. ความสัมพันธ์ระหว่างความถูกต้องกับต้นทุนและประสิทธิภาพของหม้อแปลงไฟฟ้า

ขนาดพิกัดของหม้อแปลงและอัตราส่วนของแรงดันไฟฟ้าจะเป็นตัวกำหนดเริ่มต้นในการออกแบบหม้อแปลงไฟฟ้า โดยปริมาณการใช้ทองแดงในการทำขดลวดจะขึ้นอยู่กับพื้นที่หน้าตัด จำนวนรอบและความยาวของรอบเฉลี่ยของขดลวด ดังสมการที่ (1) ถึง (3) มีค่าความต้านทานของขดลวดหม้อแปลงไฟฟ้าแสดงดังสมการที่ (4) สำหรับกำลังการสูญเสียและประสิทธิภาพของหม้อแปลงไฟฟ้าแสดงดังสมการที่ (5) และ (6)

จำนวนรอบการพันของหม้อแปลงจะขึ้นอยู่กับอัตราส่วนของแรงดันไฟฟ้า โดยหากมีค่าคงที่ก็จะส่งผลให้ความยาวของขดลวดมี

ค่าคงที่ตาม หากพิจารณาจากสมการที่ (4) ถึง (6) ถ้าความยาวของรอบเฉลี่ยมีค่าคงที่ หากค่าความต้านทานขดลวดมีค่าสูง ค่าพื้นที่หน้าตัดของขดลวดจะมีขนาดเล็กทำให้ใช้ปริมาณทองแดงในการทำขดลวดน้อย ขณะเดียวกันประสิทธิภาพของหม้อแปลงจะมีค่าต่ำ เนื่องจากความสูญเสียเนื่องจากขดลวดมีค่าสูง ในทางตรงกันข้ามถ้าความต้าทานขดลวดมีค่าต่ำ ค่าพื้นที่หน้าตัดของขดลวดจะมีขนาดใหญ่ทำให้ใช้ปริมาณในการทำขดลวดมากแต่ขณะเดียวกันประสิทธิภาพของหม้อแปลงจะมีค่าสูงเนื่องจากความสูญเสียในขดลวดต่ำ จากที่ได้กล่าวมาสามารถสรุปความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานขดลวดกับต้นทุนขดลวดทองแดงและประสิทธิภาพได้ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานขดลวดกับต้นทุนและประสิทธิภาพ

| ความต้านทานขดลวด (โอห์ม) | ต้นทุนของขดลวดทองแดง | ประสิทธิภาพของหม้อแปลงไฟฟ้า |
|---|---|---|
| สูง | ต่ำ | ต่ำ |
| ต่ำ | สูง | สูง |

จากตารางที่ 1 หากเครื่องวัดขดลวดความต้านทานมีค่าความถูกต้องคลาดเคลื่อนไปหรือแสดงค่าความต้านทานขดลวดสูงหรือต่ำไปกว่าความเป็นจริงก็จะส่งผลถึงต้นทุนและประสิทธิภาพ ดังนั้นเครื่องวัดดังกล่าวจำเป็นที่จะต้องสอบเทียบให้มีความถูกต้องมากที่สุด

## 4. ผลการสอบเทียบเครื่องวัดขดลวดความต้านทาน

จากข้อมูลการสอบเทียบเครื่องวัดความต้านทานขดลวด โดยใช้ตัวต้านทานมาตรฐานในย่าน 0.333, 1, 10, 100 มิลลิโอห์ม และ 1, 10, 50, 100 และ 500 โอห์ม ตามลำดับ สามารถแสดงผลการสอบเทียบความถูกต้องของเครื่องวัดดังกล่าวได้ในตารางที่ 2.

จากตารางที่ 2 แสดงถึงค่าความต้านทานที่ใช้เครื่องวัดความต้านทานขดลวดอ่านเทียบกับตัวต้านทานมาตรฐาน โดยมีค่าความไม่แน่นอนที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ [3] และในส่วนค่าความคลาดเคลื่อนของเครื่องวัดความต้านทานขดลวดนั้น เปอร์เซนต์ของความคลาดเคลื่อนมีค่าเป็นบวก เครื่องวัดจะอ่านค่ามากกว่าความเป็นจริงและหากมีค่าเป็นลบจะอ่านค่าต่ำกว่าความเป็นจริง [4] ในกรณีที่นำเครื่องวัดขดลวดความต้านทานดังกล่าวไปวัดขดลวดของหม้อแปลงไฟฟ้า ค่าความต้านทานจริงของขดลวดจะมีค่าเท่ากับค่าที่แสดงผลรวมกับค่าตรงกันข้ามกับความคลาดเคลื่อนของเครื่องวัด เช่น หากนำเครื่องวัดนี้ไปวัดความต้านทานของขดลวดและมีการแสดงผลการวัดเป็น 10โอห์ม หมายถึงความต้านทานจริงของขดลวดมีค่า 10.077 โอห์ม หรือ 10 โอห์มรวมกับ 0.77 เปอร์เซนต์ของ 10 โอห์ม เป็นต้น เมื่อนำค่าจากเครื่องวัดดังกล่าวมาเปรียบเทียบกับต้นทุนของขดลวดทองแดงและการสูญเสียเนื่องจากขดลวดของหม้อแปลงไฟฟ้าที่เกิดขึ้นกับความต้านทานขดลวดจริง จะสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 2 ผลการสอบเทียบเครื่องวัดความต้านทานขดลวด

| ความต้านทานมาตรฐาน (โอห์ม) | ค่าที่วัดจากเครื่องวัดความต้านทานขดลวด (โอห์ม) | ความไม่แน่นอน (± เปอร์เซนต์) | ความคลาดเคลื่อน (เปอร์เซนต์) |
|---|---|---|---|
| 0.000 333 | 0.000 335 6 | 0.33 | - 0.78 |
| 0.001 | 0.001 003 | 0.1 | + 0.3 |
| 0.01 | 0.010 01 | 0.1 | + 0.1 |
| 0.1 | 0.108 | 0.1 | + 8 |
| 1 | 1.010 | 0.1 | + 1 |
| 10 | 9.923 | 0.01 | - 0.77 |
| 50 | 49.57 | 0.02 | - 8.86 |
| 100 | 100.1 | 0.1 | + 0.1 |
| 500 | 500.3 | 0.02 | + 0.06 |

ตารางที่ 3 ค่าจากเครื่องวัดความต้านทานขดลวดและค่าความต้านทานจริงของขดลวดเปรียบเทียบกับต้นทุนและการสูญเสียของขดลวด

| ค่าที่วัดจากเครื่องวัดความต้านทานขดลวด (โอห์ม) | ความต้านทานขดลวด (โอห์ม) | ต้นทุนจากขดลวดทองแดง (เปอร์เซนต์) | การสูญเสียเนื่องจากขดลวด (เปอร์เซนต์) |
|---|---|---|---|
| 0.000 333 | 0.000 338 6 | - 0.78 | +0.78 |
| 0.001 | 0.000 997 | + 0.3 | -0.3 |
| 0.01 | 0.009 99 | + 0.1 | -0.1 |
| 0.1 | 0.094 | + 8 | -8 |
| 1 | 0.990 | + 1 | -1 |
| 10 | 10.077 | - 0.77 | +0.77 |
| 50 | 50.43 | - 8.86 | +8.86 |
| 100 | 99.9 | + 0.1 | -0.1 |
| 500 | 499.7 | + 0.06 | -0.06 |

จากตารางที่ 3 จะเห็นว่าต้นทุนจากขดลวดทองแดงจะมีการเปลี่ยนแปลงในทางตรงกันข้ามกับการสูญเสียเนื่องจากขดลวด ซึ่งความต้านทานของขดลวดจำเป็นที่จะต้องมีความถูกต้อง เพื่อที่จะทำให้เกิดความเหมาะสมระหว่างต้นทุนและการสูญเสียของขดลวด ดังนั้นความถูก

ต้องของเครื่องวัดความต้านทานขดลวดจึงมีความสำคัญต่อการวัดค่าความต้านทานของขดลวดหม้อแปลงไฟฟ้า

## 4. สรุป

จากที่ได้กล่าวมาแล้วทั้งหมด จะเห็นว่าค่าความถูกต้องของความต้านทานขดลวดมีส่วนสัมพันธ์กับต้นทุนและประสิทธิภาพของหม้อแปลงไฟฟ้า โดยหากเครื่องวัดอ่านค่าได้สูงกว่าความเป็นจริงจะมีผลทำให้ปริมาณการใช้ขดลวดเพิ่มขึ้นทำให้ต้นทุนสูงตามแต่การสูญเสียเนื่องจากขดลวดทองแดงจะมีค่าต่ำ ในทางตรงกันข้ามถ้าเครื่องวัดอ่านค่าได้ต่ำกว่าความเป็นจริงจะมีผลทำให้ปริมาณการใช้ขดลวดต่ำและการสูญเสียเนื่องจากขดลวดสูง สำหรับความถูกต้องดังกล่าวสามารถวัดได้โดยใช้เครื่องวัดความต้านทานขดลวด ซึ่งความถูกต้องของเครื่องวัดดังกล่าวสามารถทราบได้จากการสอบเทียบ เมื่อเครื่องวัดได้ผ่านการสอบเทียบจะทำให้รู้ถึงความคลาดเคลื่อนของเครื่องวัดและสามารถนำค่าความคลาดเคลื่อนดังกล่าวมาชดเชยกับค่าความต้านทานที่ทำการวัดด้วยเครื่องวัดนั้น จะทำให้ค่าความต้านทานที่วัดมีค่าใกล้เคียงกับความต้านทานจริงของขดลวดมากขึ้น สำหรับการชดเชยค่า [5] จะทำได้โดยการรวมค่าความคลาดเคลื่อนในทิศทางตรงกันข้ามเข้ากับค่าที่เครื่องวัดอ่านได้ ดังนั้นหากต้องการความคลาดเคลื่อนของเครื่องวัดเพื่อชดเชยค่าที่วัด เครื่องวัดดังกล่าวต้องมีการสอบเทียบที่จุดใกล้เคียงกับความต้านทานของขดลวดให้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้

## 5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณฝ่ายมาตรวิทยาไฟฟ้า สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ ที่ส่งเสริมให้ทำงานวิจัยนี้ บริษัท เจริญชัยหม้อแปลง จำกัดและ บริษัท อีเทอนิตี้ จำกัด ที่ให้คำปรึกษาและเอื้อเฟื้อข้อมูล

## เอกสารอ้างอิง

[1] IEC 60076-1 : 1999, "Power Transformer-Part 1: General", Edition 2.1, 2000-04.

[2] Bharat Heavy Electricals Limited, "Transformers", McGraw-Hill, New York, 2005.

[3] EA-4/02 M:2013, "Expression of the Uncertainty of Measurement in Calibration", rev 02, September 2013

[4] Fluke corporation, "Calibration: Philosopy in practice," Everett. WA. U.S.A., 1994.

[5] J. Hribik, B. Lojko, P. Fuchs, "Accuracy Verification of Simplified Error Correction Method in Digital Electricity Meters", MEASUREMENT 2011 Proceedings of the 8th International Conference, Smolenice, Slovakia, 2011.

นายชัยวัฒน์ เจษฎาจินต์ จบการศึกษาระดับปริญญาเอก ปร.ด. สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ปัจจุบันทำงานในตำแหน่ง นักมาตรวิทยา ฝ่ายมาตรวิทยาไฟฟ้า สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มีความสนใจทางด้านมาตรวิทยาไฟฟ้า การวัดความต้านทานและควอนตัมฮอลล์

นางเนตรนพิศ คุ้มทุกทิศ จบการศึกษาระดับปริญญาโท วท.ม. สาขาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปัจจุบันทำงานในตำแหน่ง นักมาตรวิทยา ฝ่ายมาตรวิทยาไฟฟ้า สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มีความสนใจทางด้านมาตรวิทยาไฟฟ้า การวัดความต้านทานและควอนตัมฮอลล์

**บทความวิจัย**

การประชุมวิชาการ งานวิจัยและพัฒนาเชิงประยุกต์ ครั้งที่ 8

*8th ECTI-CARD 2016, Hua Hin, Thailand*

# การยืนยันค่าความถูกต้องการสอบเทียบฟังก์ชันตัวอ่านอุณหภูมิของเครื่องแหล่งจ่ายมาตรฐานโดยใช้เทอร์โมคัปเปิ้ลชนิดเจ และ ชนิดเค เปรียบเทียบกับจุดน้ำแข็ง

# Accuracy Investigation of Calibrator's Temperature Indicator by Comparison of Thermocouple type J and type K with Ice Point Reference

กองศักดิ์ ทองบุญ[1] จุฑารัตน์ ทานะรมณ์[1] อดิเทพ จ่างอ่อน[1]

[1] ห้องปฏิบัติการสอบเทียบเครื่องมือวัดชนิดหลายฟังก์ชัน ฝ่ายมาตรวิทยาไฟฟ้า สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ

3/4-5 หมู่ที่ 3 ตำบลคลองห้า อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 12120 โทร. 0-2577-5100

E-mail: kongsak@nimt.or.th, jutarat@nimt.or.th, adithep@nimt.or.th

## บทคัดย่อ

บทความนี้อธิบายถึงหลักการสอบเทียบตัวอ่านเทอร์โมคัปเปิ้ลชนิดเคและชนิดเจ (Thermocouple type K,J) ที่มีฟังก์ชันเทอร์โมคัปเปิ้ลอยู่ในเครื่องมาตรฐานแหล่งจ่ายคาลิเบรเตอร์ ซึ่งภายในจะมีวงจรชดเชยอุณหภูมิของรอยต่อเย็น(Cold junction compensation: CJC) โดยเลือกใช้วิธีการวัดแบบเปรียบเทียบกับจุดน้ำแข็ง (Ice Point Method) มาทำการสอบเทียบเครื่องตัวอ่านอุณหภูมิ สำหรับเทอร์โมคัปเปิ้ลแบบเปิดวงจรชดเชยอุณหภูมิของรอยต่อเย็น (Indicator with cold junction compensation : CJC on) [1] เพื่อยืนยันค่าความถูกต้องของเครื่องมือตามคุณลักษณะ (Specification) ที่ได้ระบุไว้ในคู่มือของเครื่องมือแต่ละรุ่น ทั้งนี้จะทำการวัดอุณหภูมิที่จุดอ้างอิง 0 องศาเซลเซียส (Degree Celsius : ºC) อุณหภูมิห้องปฏิบัติการ 23 ºC ไปจนถึงอุณหภูมิ 1100 ºC โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ MET-CAL เวอร์ชัน 6.1 ควบคุมขั้นตอนการทำงานและบันทึกผลการวัด ซึ่งจะนำผลการวัดที่ได้มาเปรียบเทียบผลเป็นกราฟเทียบกับเกณฑ์ความถูกต้องของตัวอ่านที่ 1 ปี

คำสำคัญ: การสอบเทียบ, คาลิเบรเตอร์, จุดน้ำแข็ง

## Abstract

This article describes the calibration method of thermocouple type K and J's indicators which were embedded inside the calibrator. Inside the calibrator's thermocouple is cold junction compensation: CJC type. Ice point method was used for the calibration of indicator with cold junction compensation : CJC on, and to investigate the accuracy of the instrument according to the specification in user manual. The measurement will be performed at 0 **ºC** , 23 **ºC**, up to 1100 **ºC** . MET-CAL version 6.1 is used for measurement control and data record. The measurement data will then be plotted and an accuracy investigation will be performed at 1 year.

Keywords: Calibration, calibrator, Ice Point

## 1. บทนำ

คาลิเบรเตอร์เป็นเครื่องแหล่งจ่ายค่ามาตรฐาน (Standard) สำหรับใช้สอบเทียบเครื่องมือวัดทางด้านไฟฟ้า โดยเครื่องสามารถเป็นได้ทั้งตัวอ่านและแหล่งจ่ายเทอร์โมคัปเปิ้ล ภายในจะมีวงจรชดเชยอุณหภูมิของรอยต่อเย็น และจะถูกเรียกชื่อตามแต่ละผู้ผลิต ในคู่มือของเครื่องคาลิเบรเตอร์จะเรียกว่า วงจรอุณหภูมิรอยต่ออ้างอิง (Iso-thermal block reference junction temperature) ดังนั้นค่าความถูกต้องของเครื่องมือก็จะขึ้นอยู่กับการออกแบบวงจรให้มีการชดเชยอุณหภูมิที่แม่นยำ เสถียรภาพคงที่ดี ทำให้ราคาของเครื่องมือสูงตามไปด้วยเช่นกัน ขณะเดียวกันในวงรอบของการสอบเทียบ เพื่อยืนยันค่าความถูกต้องของเครื่องว่ายังคงเป็นไปตามคุณลักษณะ 1 ปีที่ระบุไว้ในคู่มือ จำเป็นต้องเลือกวิธีการวัดให้เหมาะสมด้วย ในการทดลองนี้จะใช้เครื่องสอบเทียบชนิดหลายฟังก์ชัน (Multi Product Calibrator) รุ่น 5522A มาทำการวัดตัวอ่านเทอร์โมคัปเปิ้ล ซึ่งค่าความถูกต้องตามคุณลักษณะ เทอร์โมคัปเปิ้ลที่ 1 ปี ดังแสดงตามรูปที่ 1. [2] จะเห็นว่าค่าความถูกต้องของเทอร์โมคัปเปิ้ลแต่ละชนิด ที่จุดอุณหภูมิใดๆจะมีความถูกต้องแตกต่างกัน นอกจากนั้นคู่มือยังบอกถึงแนวทางในการเลือกใช้เครื่องมาตรฐานและวิธีการในการสอบเทียบ บอกถึงจุดสอบเทียบ โดยจะระบุค่าให้ทำการสอบเทียบเทอร์โมคัปเปิ้ล ชนิดเจ ที่จุดอุณหภูมิห้องปฏิบัติการ 23 ºC เพียงจุดเดียว ดังนั้นบทความนี้ได้ทำการทดลองวัดตัวอ่านเทอร์โมคัปเปิ้ล ชนิดเค และ ชนิดเจ อุณหภูมิที่จุดอื่นๆ เพื่อจะยืนยันย้อนกลับไปว่าสามารถที่จะสอบเทียบตัวอ่านเทอร์โมคัปเปิ้ล ชนิดเจเพียงแค่จุดเดียวก็เพียงพอ หากผลการวัดยังอยู่ในเกณฑ์ค่าความถูกต้อง แสดงว่าวงจรชดเชยอุณหภูมิของรอยต่อเย็นภายในตัวเครื่องอ่านยังคงชดเชยค่าอุณหภูมิในแต่ละจุดอุณหภูมิใดๆถูกต้องด้วยเช่นกัน

**Temperature Calibration (Thermocouple)**

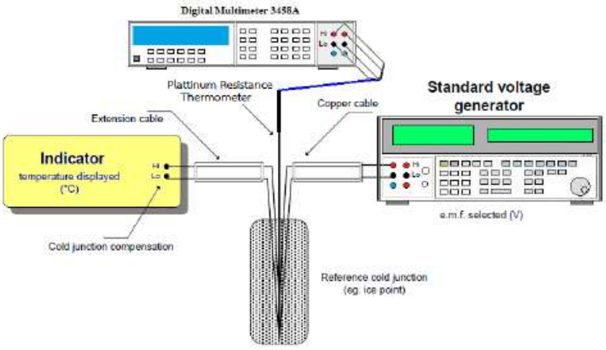
| TC Type [1] | Range °C [2] | Absolute Uncertainty Source/Measure tcal ±5 °C ± °C [3] | |
|---|---|---|---|
| | | 90 days | 1 year |
| J | -210 to -100 | 0.20 | 0.27 |
| | -100 to -30 | 0.12 | 0.16 |
| | -30 to 150 | 0.10 | 0.14 |
| | 150 to 760 | 0.13 | 0.17 |
| | 760 to 1200 | 0.18 | 0.23 |
| K | -200 to -100 | 0.25 | 0.33 |
| | -100 to -25 | 0.14 | 0.18 |
| | -25 to 120 | 0.12 | 0.16 |
| | 120 to 1000 | 0.19 | 0.26 |
| | 1000 to 1372 | 0.30 | 0.40 |

รูปที่ 1. ตารางค่าความถูกต้องของเครื่องมือตามคุณลักษณะของเทอร์โมคัปเปิ้ล ชนิดเคและชนิดเจ

## 2. การดำเนินการวิจัย

### 2.1 หลักการและวิธีการสอบเทียบ

หลักการเทอร์โมคัปเปิ้ลเป็นอุปกรณ์วัดอุณหภูมิชนิดเทอร์โมอิเล็กทริคประเภทหนึ่ง ถูกนำมาใช้วัดอุณหภูมิที่มีคุณสมบัติสอดคล้องกันระหว่างอุณหภูมิต่อแรงเคลื่อนไฟฟ้าตลอดช่วงของการใช้งาน ตามแต่ละชนิดของเทอร์โมคัปเปิ้ล ในการกำหนดจุดสอบเทียบตัวอ่านเทอร์โมคัปเปิ้ลชนิดเค และ ชนิดเจ จะใช้ค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์อุณหภูมิต่อแรงเคลื่อนไฟฟ้า จากสเกลอุณหภูมิมาตรฐาน ITS-90 [3] เป็นเกณฑ์ในการตั้งค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้ามาตรฐานต่อจุดสอบเทียบอุณหภูมิที่ต้องการวัด โดยใช้วิธีการวัดแบบเปรียบเทียบกับจุดน้ำแข็ง ทำการสอบเทียบตัวอ่านอุณหภูมิสำหรับเทอร์โมคัปเปิ้ลแบบ แสดงดังรูปที่ 2. วิธีนี้จะครอบคลุมลักษณะการใช้งานของเครื่องตัวอ่าน/แหล่งจ่ายเทอร์โมคัปเปิ้ล ที่มีวงจรชดเชยรอยต่อเย็นในสภาวะเปิดใช้งานในตัวเครื่อง




รูปที่ 2. การต่อสอบเทียบเครื่องตัวอ่านอุณหภูมิสำหรับเทอร์โมคัปเปิ้ล

วิธีการสอบเทียบในการเตรียมการสอบเทียบ เครื่องมือมาตรฐานอ้างอิงที่นำมาใช้ในการสอบเทียบจะต้องผ่านการสอบเทียบเพื่อหาค่าจริง (True Value) การเลื่อนค่า (Drift) ค่าความคลาดเคลื่อน (Error) เพื่อที่จะนำค่าที่ได้ มาใช้ปรับแก้ในระบบการวัด ซึ่งค่าต่างๆ จะถูกระบุไว้ในใบวัดรับรองผลการสอบเทียบ (Certificate) ของเครื่องมือนั้นๆ มีดังนี้

- จุดน้ำแข็งอ้างอิง (Reference Ice Point) ในที่นี้เลือกใช้เครื่องสอบเทียบศูนย์องศา (Zero Point Calibrator) เป็นจุดอ้างอิงอุณหภูมิ จะต้องสอบเทียบเพื่อตรวจสอบความเสถียรภาพ(Stability) ของตัวเครื่องต่อปี มีค่า ±0.002 ºC

- Platinum Resistance Thermometer (PRT) เป็นเครื่องมือมาตรฐานอ้างอิงที่มีความถูกต้องสูง จะถูกนำมาใช้ในการตรวจสอบจุดน้ำแข็งอ้างอิง ในขณะทำการสอบเทียบช่วงเวลานั้น ว่ายังคงอุณหภูมิ 0 ºC ในใบรับรองผลการสอบเทียบจะมีค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิ(Temperature Coefficient) รวมถึงค่าจริงที่ถูกนำมาใช้เป็นค่าแก้ในระบบ ซึ่งใช้ร่วมกับเครื่องวัดดิจิตอลมัลติมิเตอร์ รุ่น3458A ที่มีความสามารถในการอ่าน 8 ½ หลัก ที่ได้ผ่านการสอบเทียบในฟังก์ชั่นแรงเคลื่อนไฟฟ้ากระแสตรงและความต้านทานเทียบกับเกณฑ์ค่าความถูกต้องที่ 1 ปีเพื่อแสดงผลความต้านทานต่ออุณหภูมิจากขั้วสาย PRT

- เทอร์โมคัปเปิ้ล ที่นำมาใช้จะต้องผ่านการสอบเทียบที่อุณหภูมิอ้างอิง และอุณหภูมิสภาวะแวดล้อมของห้องปฏิบัติการ รวมถึงต้องครอบคลุมจุดที่ต้องการจะใช้งานด้วย ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับผู้ใช้ร้องขอ เพิ่มเติมจุดที่นำไปใช้งาน ผลที่ได้จากใบรับรองจะนำมาเป็นค่าปรับแก้ในกระบวนการวัด

- แหล่งจ่ายมาตรฐานแรงเคลื่อนไฟฟ้าจะต้องมีค่าความถูกต้องและค่าเสถียรภาพต่อปีที่ดี หรือผู้ใช้สามารถทำการวัดหาค่าเสถียรภาพ ณ ช่วงเวลาใช้งานจริงได้ด้วยวิธีการ

### 2.2 ขั้นตอนการวัด

ในขั้นตอนนี้ต้องมีการเตรียมความพร้อมเครื่องมือมาตรฐานอ้างอิง เครื่องมือจะต้องทำตามคำแนะนำของผู้ผลิต ตั้งแต่เปิดเครื่อง เพื่อทำการ worm up> self test > zero cal และเลือกใช้สายวัดชนิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าความร้อนต่ำ (Low thermal emf) สำหรับวัดแรงเคลื่อนไฟฟ้า แล้วนำสายเทอร์โมคัปเปิ้ลและPRT ใส่ลงในเครื่องเครื่องสอบเทียบศูนย์องศา หลังจากนั้นทิ้งไว้ 30นาที เพื่อให้อุณหภูมิคงที่ก่อนการใช้งาน ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

1. ทำการวัดหาค่าจริงของแหล่งจ่ายแรงเคลื่อนไฟฟ้ามาตรฐานที่จุดสอบเทียบใดๆ ต่ออุณหภูมิที่ทำการวัดซึ่งได้จากสเกลอุณหภูมิมาตรฐาน ITS-90 ดังแสดงตารางที่ 1. โดยตั้งค่าดิจิตอลมัลติมิเตอร์มีขั้นตอนดังนี้

- Range => **DCV** ; NPLC => **100** ; digits => **8** ; **short input 4 wires** ; wait 60 sec ; **Math null**

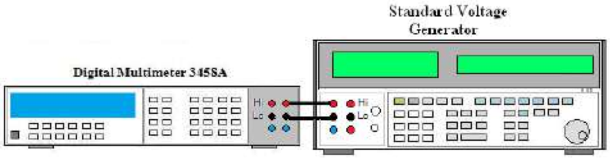
หลังจากนั้นต่อสายวัดชนิด low thermal emf เข้าที่ขั้วเอาพุท (Output : O/P) ของแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ามาตรฐาน ปลายสายอีกด้านต่อเข้าที่ขั้ว

อินพุท (Input : I/P) ของดิจิตอลมัลติมิเตอร์ แสดงดังรูปที่ 3. แล้วนำค่าที่ได้มาทำการคำนวณหาค่าชดเชย(correction) ยกตัวอย่าง เช่น ทำการวัดเทอร์โมคัปเปิ้ลชนิดเค ที่ 23 ºC แรงเคลื่อนไฟฟ้าเท่ากับ 0.9190mV วัดได้จริง 0.9188 mV ดังนั้นหากต้องการป้อนค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้ามาตรฐานให้ถูกต้องจะต้องทำการชดเชยค่าดังนี้

0.9190mV – 0.9188mV = 0.0002mV

∴ การชดเชยจะได้ 0.9190mV + 0.0002mV = **0.9192 mV**

เมื่อทำการวัดค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าและหาค่าชดเชยเสร็จแล้วให้ทำการถอดสายวัดออกจากเครื่องมือ




รูปที่ 3. การต่อวัดหาค่าจริงของแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ามาตรฐาน

ตารางที่ 1. ค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์อุณหภูมิต่อแรงเคลื่อน ไฟฟ้าจากสเกลอุณหภูมิมาตรฐาน ITS-90

| ºC | 0 | 23 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | 100 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Type J (mV) | 0.000 | 1.174 | 1.537 | 2.059 | 2.585 | 3.116 | 3.650 | 4.187 | 4.726 | 5.269 |
| Type K (mV) | 0.000 | 0.919 | 1.203 | 1.612 | 2.023 | 2.436 | 2.851 | 3.267 | 3.682 | 4.096 |
| ºC | 200 | 300 | 400 | 500 | 600 | 700 | 800 | 900 | 1000 | 1100 |
| Type J (mV) | 10.779 | 16.327 | 21.848 | 27.393 | 33.102 | 39.132 | 45.494 | 51.877 | 57.953 | 63.792 |
| Type K (mV) | 8.138 | 12.209 | 16.397 | 20.644 | 24.905 | 29.129 | 33.275 | 37.326 | 41.276 | 45.119 |

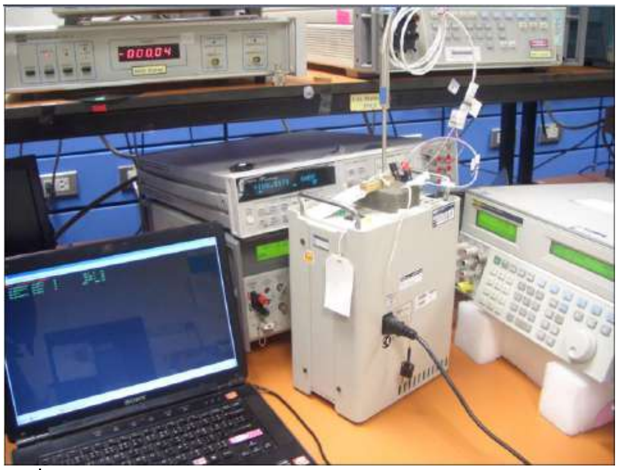
2. ทำการต่อสายเทอร์โมคัปเปิ้ลโดยปลายสายทางด้านทองแดง (Copper Wire) ต่อเข้าที่ขั้ว O/P เครื่องแหล่งจ่ายแรงเคลื่อนไฟฟ้ามาตรฐาน ส่วนปลายสายต่อขยายระยะ (Extension Cable) ต่อเข้าด้าน I/P TC ของตัวเครื่องอ่านอุณหภูมิ

3. ทำการตั้งค่าดิจิตอลมัลติมิเตอร์ย่านการวัดความต้านทานต่ำดังนี้

- Set => **4-Wires** ; NPLC => **100** ; digits => **8** ; set => **Offset Comp on**

จากนั้นต่อปลายสายจาก PRT เข้าที่ขั้ว I/P ทั้ง 4 ขั้วของดิจิตอลมัลติมิเตอร์

เมื่อทำการต่อสายวัดเข้ากับเครื่องมือเสร็จเรียบร้อย โดยขั้นตอนการวัดจะใช้คอมพิวเตอร์ควบคุมระบบการวัดผ่านโปรแกรม MET-CAL แสดงดังรูปที่ 4. โดยสั่งการทำงานให้เครื่องแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ามาตรฐาน จ่ายค่าแรงดันไฟฟ้าที่ทำการชดเชยค่าแล้วตามจุดอุณหภูมิที่ต้องการวัดผ่านทางฝั่งสายทองแดงของเทอร์โมคัปเปิ้ล ส่วนปลายสายต่อขยายระยะของสายเทอร์โมคัปเปิ้ลอีกด้านที่ถูกต่อไว้ที่ตัวอ่านจะแสดงผลการวัดค่าอุณหภูมิที่ทำการวัดตามความสัมพันธ์อุณหภูมิต่อแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่จุดสอบเทียบต่างๆ โดยรอให้ตัวอ่านสภาวะคงที่แล้ว โปรแกรมคอมพิวเตอร์จะทำการเก็บผลการวัด พร้อมบันทึกผลการวัดดังกล่าว จนสิ้นสุดกระบวนการวัดครบทุกจุดที่ต้องการ

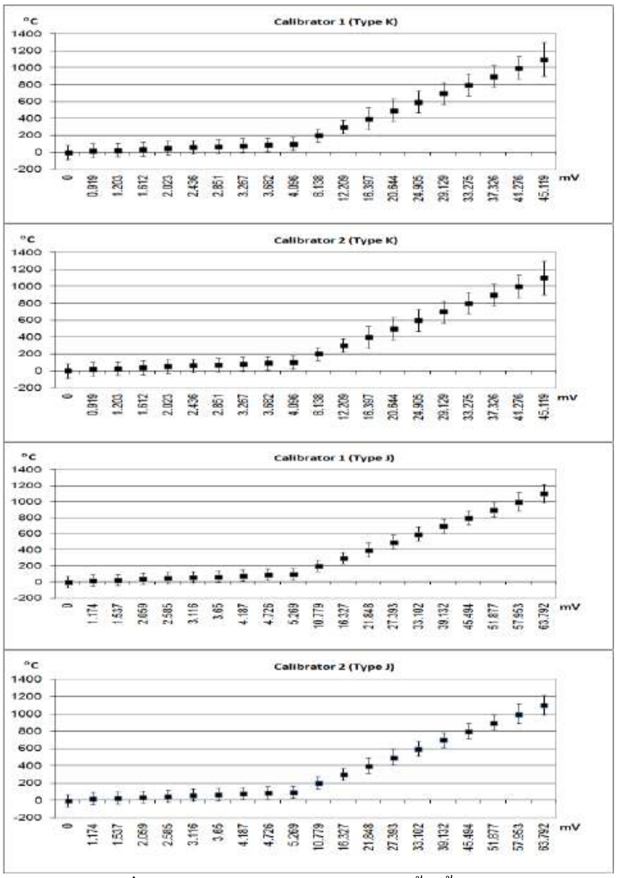


รูปที่ 4. ระบบการวัดจริงโดยใช้คอมพิวเตอร์ควบคุมระบบการวัดผ่านโปรแกรม MET-CAL

## 3. การวิเคราะห์ผลการทดลอง

ผลจากการวัดครั้งนี้ได้ใช้เครื่องตัวอ่านอุณหภูมิ 2 เครื่อง โดยเลือกใช้วิธีการวัดแบบเปรียบเทียบกับจุดน้ำแข็ง มาทำการวัดตัวอ่านอุณหภูมิสำหรับเทอร์โมคัปเปิ้ลแบบเปิดวงจรชดเชยอุณหภูมิของรอยต่อเย็น วัดตามจุดที่กำหนด โดยใช้มาตรฐานอ้างอิงชุดเดียวกัน ทั้งนี้ก่อนที่จะทำการวัดเพื่อศึกษา ได้ทำการสอบเทียบเครื่องตัวอ่านที่จุดอุณหภูมิห้องปฏิบัติการ 23 ºC ก่อน โดยเครื่องทั้ง 2 มีผลการสอบเทียบรวมกับค่าความไม่แน่นอนแล้วยังอยู่ในเกณฑ์เมื่อนำไปเปรียบเทียบความถูกต้องที่ 1 ปี [2]

ในการวิเคราะห์ผลการวัด ได้นำผลการวัดที่ได้จากการใช้เทอร์โมคัปเปิ้ล ชนิดเค และ ชนิดเจ มาวัดเครื่องตัวอ่านทั้ง 2 นำมาพล๊อตเป็นกราฟเชิงเส้นและนำไปเปรียบเทียบกับความถูกต้องของเครื่องมือในแต่ละจุดอุณหภูมิ ดังแสดงจากกราฟที่ 1. เมื่อพิจารณาจากกราฟจะเห็นว่าค่าที่วัดได้จะมีความเป็นเชิงเส้นของเทอร์โมคัปเปิ้ลทั้ง2 ชนิดจะไปในแนวเดียวกัน และผลการวัดยังอยู่ในช่วงความถูกต้องตามคุณลักษณะ ทั้งนี้หากมองย้อนกลับที่รูปที่ 1 .เรื่องของค่าความถูกต้องตามคุณลักษณะที่ 1 ปี ของเครื่องมือจะพบว่าที่อุณหภูมิสูงขึ้นจะมีค่าขอบเขตความถูกต้อง มากกว่าที่จุดอุณหภูมิห้องปฏิบัติการ 23 ºC ที่ถูกระบุไว้ว่ามีความถูกต้องของเครื่องตัวอ่านดีที่สุด




รูปที่ 5. กราฟเชิงเส้นของเทอร์โมคัปเปิ้ลทั้ง2 ชนิด

## 4. สรุป

ผลจากการทดลอง แสดงให้เห็นว่าหากทำการสอบเทียบตามจุดที่ถูกระบุไว้ในคู่มือหรือทำการสอบเทียบตามจุดอุณหภูมิห้องปฏิบัติการ 23 ºC ถ้าค่าเฉลี่ยของผลการวัดที่ได้รวมกับค่าความไม่แน่นอนแล้วยังอยู่ในเกณฑ์ความถูกต้องของเครื่องตัวอ่านรุ่นนั้นแล้ว ก็จะสามารถยืนยันได้ว่าเครื่องตัวอ่านอุณหภูมิที่เทอร์โมคัปเปิ้ลชนิดอื่นและที่จุดอุณหภูมิใดๆ ก็ยังให้ผลการสอบเทียบยังอยู่ในเกณฑ์ของความถูกต้องของเครื่องตัวอ่าน ทั้งนี้ยังแสดงให้เห็นว่าวงจรชดเชยอุณหภูมิของรอยต่อเย็นของเครื่องตัวอ่านอุณหภูมิยังทำงานได้อย่างถูกต้อง ในทางกลับกันหากผลการสอบค่าเฉลี่ยของผลการวัดรวมกับค่าความไม่แน่นอนแล้วไม่อยู่ในเกณฑ์ความถูกต้องที่ระบุไว้ในคู่มือ ผลการวัดอุณหภูมิของเทอร์โมคัปเปิ้ลชนิดอื่นก็จะมีผลไม่อยู่ในเกณฑ์ความถูกต้องด้วยเช่นกัน ดังนั้นผู้ใช้งานเครื่องตัวอ่านอุณหภูมิจะต้องมีการทวนสอบเครื่องมืออยู่เสมอหลังส่งเครื่องมือไปสอบเทียบกับห้องปฏิบัติการสอบเทียบ ทั้งนี้เครื่องตัวอ่านบางรุ่นมีการปรับค่า (Adjustment) ให้ค่าเฉลี่ยผลการวัดรวมกับความไม่แน่นอนกลับเข้ามาอยู่ในเกณฑ์ความถูกต้องของเครื่องมือในแต่ละรุ่นได้ หรือผู้ใช้จะไม่มีการปรับค่าเครื่องก็ได้ แต่ต้องมีการนำค่าที่ได้จากใบรับรองผลการสอบเทียบไปปรับแก้ค่าก่อนการนำไปใช้งาน

## 4. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณฝ่ายมาตรวิทยาไฟฟ้า ฝ่ายมาตรวิทยาอุณหภูมิ สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติที่สนับสนุนเครื่องมือวิทยาศาสตร์ ช่วยให้ทำงานวิจัยนี้ และนักมาตรวิทยา ฝ่ายมาตรวิทยาไฟฟ้าและฝ่ายมาตรวิทยาอุณหภูมิ สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ ที่คอยให้คำปรึกษาและแนะนำทางด้านเทคนิคที่ใช้ในการวิจัย

## เอกสารอ้างอิง

[1] EURAMET cg-11, "Guidelines on the Calibration of temperature Indicators and Simulators by Electrical Simulation and Measurement", Version 2.0 (03/2011).

[2] Fluke, Multi-Product Calibrator Service Manual 5520A, PN 802303 April 1999 Rev.1,12/02, Chapter 3 Calibration and Verification.

[3] ASTM E230, Reference Table, American Society for testing and Materials sensor, TM/CG01/TT01/V04, 2012

### ประวัติผู้เขียนบทความ

นายกองศักดิ์ ทองบุญ จบการศึกษาระดับปริญญาโท คณะวิทยาศาสตร์ สาขามาตรวิทยา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปี พ.ศ. 2553 ตำแหน่งปัจจุบันนักมาตรวิทยา ฝ่ายมาตรวิทยาไฟฟ้า สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มีความสนใจทางด้านมาตรวิทยาไฟฟ้า และอิเล็กทรอนิกส์

นางสาวจุฑารัตน์ ทานะรมณ์ จบการศึกษาระดับปริญญาโท คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ปี พ.ศ. 2555 ตำแหน่งปัจจุบันนักมาตรวิทยา ฝ่ายมาตรวิทยาไฟฟ้า สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มีความสนใจทางด้านมาตรวิทยาไฟฟ้าและด้านควอนตัมและสปินทรอนิกส์

นายอดิเทพ จ่างอ่อน จบการศึกษาระดับปริญญาตรี คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม สาขาเทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ปี พ.ศ. 2556 ตำแหน่งปัจจุบันนักมาตรวิทยา ฝ่ายมาตรวิทยาไฟฟ้า สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มีความสนใจทางด้านมาตรวิทยาไฟฟ้า และอิเล็กทรอนิกส์

**บทความวิจัย**

การประชุมวิชาการ งานวิจัยและพัฒนาเชิงประยุกต์ ครั้งที่ 8

*8th ECTI-CARD 2016, Hua Hin, Thailand*

# การวัดความต้านทานสูงด้วยวิธีการโวลท์แอมป์แบบอัตโนมัติ

# Automatic Volt-Amp Method for High Resistance Measurement

**เนตรนพิศ คุ้มทุกทิศ และ ชัยวัฒน์ เจษฎาจินต์**

ห้องปฏิบัติการความต้านทาน ฝ่ายมาตรวิทยาไฟฟ้า สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ

3/4-5 หมู่ 3 ตำบลคลองห้า อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 12120 โทรศัพท์ 02-577-5100 ต่อ 1219

E-mail: natenapit@nimt.or.th and chaiwat@nimt.or.th

## บทคัดย่อ

ในการวัดค่าความต้านทานสูงนั้น มีวิธีการวัดหลากหลาย ที่นิยมใช้กันทั่วไป คือเทคนิคการวัดแบบวีทสโตนบริดจ์และ การวัดแบบโวลท์แอมป์ โดยมีจำหน่ายเป็นระบบสำเร็จรูป แต่ระบบสำเร็จรูปที่ผู้ผลิตสร้างเพื่อจำหน่ายนี้ยังมีข้อด้อยหลายประการ ทั้งในส่วนของตัวต้านทานที่ใช้เป็นตัวมาตรฐานสำหรับถ่ายทอดค่าซึ่งต้องใช้ของบริษัทผู้ผลิตเอง และที่สำคัญทั้งสองวิธียังมีข้อจำกัดในเรื่องของแรงเคลื่อนไฟฟ้าทดสอบที่ไม่ครอบคลุมความต้องการของภาคอุตสาหกรรม งานวิจัยนี้ได้พัฒนาระบบการการวัดค่าความต้านทานสูง ใช้เทคนิคการวัดแบบโวลท์แอมป์แบบอัตโนมัติซึ่งประกอบด้วยแหล่งจ่ายแรงเคลื่อนไฟฟ้า และดิจิทัลมัลติมิเตอร์ ระบบนี้ออกแบบให้สามารถใช้แหล่งจ่ายแรงเคลื่อนไฟฟ้าจากภายนอก และสามารถปรับค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าได้ อีกทั้งยังสามารถจ่ายแรงเคลื่อนไฟฟ้าได้สูงถึง 5000 โวลท์ และเมื่อนำผลการวัดที่วัดค่าความต้านทานโดยระบบนี้ไปเทียบค่ากับผลการวัดตัวต้านทานที่วัดโดย ระบบโวลท์แอมป์ของบริษัทผู้ผลิตได้ค่าความต้านทานที่มีผลการวัดต่างกันไม่เกิน 0.4 เปอร์เซ็นต์ และผลการวัดต่างกันไม่เกิน 0.5 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับระบบวีทสโตนบริดจ์ ซึ่งผลดังกล่าวนี้ สามารถนำมายืนยันความถูกต้องของระบบที่พัฒนาขึ้นมานี้โดยวัดค่าความต้านทานได้ถูกต้องในระดับที่ยอมรับได้

คำสำคัญ: การวัดความต้านทาน, ความต้านทานสูง, การวัดแบบโวลท์แอมป์

## Abstract

There are several methods in high resistance measurements. The most popular methods are Wheatstone bridge and Volt-Amp measurement techniques which are commercially available. There are many disadvantages of commercial resistance measurement systems. For example, the incomplete commercial Wheatstone bridges need too many resistance values to support various resistances under test, and customers have to purchase resistance standards only from the same manufacture they purchase the system from. Moreover, both methods also have voltage limitation which are not cover all the ranges that industries need. To overcome these problematic issues, an alternative method for high resistance measurement method, an automatic Volt-Amp measurement system, was developed. This system consists of a variable high voltage power supply and a digital multimeter. Up to 5000 Volt power supply can be used in this system to support the demand of high voltage industries. To validate the results of the developed Volt-Amp system, the errors between the measured values of the developed Volt-Amp system and the commercial systems were compared. The resulted errors are less than 0.4 % and 0.5 % for Volt-Amp system and Wheatstone bridge system, respectively.

Keywords: Resistance Measurement, High Resistance, Volt-Amp measurement Technique

## 1. บทนำ

ระบบการวัดค่าความต้านทานที่มีบริษัทผลิตขายในตลาด ประกอบด้วย 2 เทคนิคการวัดคือวีทสโตนบริดจ์ และโวลท์แอมป์ซึ่งผลิตออกมาเป็นระบบสำเร็จรูปพร้อมใช้งาน การวัดแบบวีทสโตนบริดจ์ เป็นวิธีการวัดที่ให้ค่าความถูกต้องสูงมาก เนื่องจาก ต้องใช้เครื่องมือวัด และตัวต้านทานมาตรฐานที่มีความแม่นสูงรวมถึง ต้องถูกสอบเทียบโดยมีใบรับรองการสอบเทียบ เพื่อรับรองค่าของตัวต้านทานที่ใช้เป็นตัวมาตรฐาน สำหรับนำมาถ่ายค่าต่อไปยังตัวต้านทานที่ต้องการวัดในหลายย่าน การที่ต้องใช้ตัวต้านทานที่เป็นตัวมาตรฐานหลายค่า นี้เองทำให้เทคนิคการวัดแบบนี้เป็นระบบที่ต้องใช้ค่าใช้จ่ายสูงทั้งในส่วนของอุปกรณ์ที่ใช้กับระบบวัด และตัวต้านทานที่ใช้เป็นมาตรฐานซึ่งต้องมีค่าใช้จ่ายในการส่งสอบเทียบด้วย ส่วนระบบการวัดด้วยวิธีโวลท์แอมป์ที่มีจำหน่ายแบบสำเร็จรูปเป็นระบบวัดที่ประกอบด้วยแหล่งจ่ายแรงเคลื่อนไฟฟ้า ดิจิทัลมัลติมิเตอร์ เพื่อวัดค่ากระแส และนำมาคำนวนค่าความต้านทานโดยโปรแกรมสำเร็จรูป ซึ่งวิธีนี้ไม่ต้องใช้ตัวต้านทานที่

เป็นตัวมาตรฐานทำให้สามารถวัดค่าความต้านทานได้กว้าง และครอบคลุมกว่าวิธีการแรก แต่ยังพบปัญหาที่เกิดจากโหลด และการวัดค่าความต้านทานด้วยวิธีนี้จะให้ค่าความถูกต้องลดลงนอกจากนี้ระบบสำเร็จรูปทั้งสองวิธีนั้นออกแบบเพื่อใช้ในงานสอบเทียบตัวต้านทานมาตรฐานจึงยังมีปัญหาเรื่องขั้วต่อในระบบกับขั้วต่อของตัวต้านทานที่ต้องการวัดโดยตัวต้านทานที่ใช้ในภาคอุตสาหกรรมบางประเภทไม่สามารถต่อกับเครื่องสำเร็จรูปได้รวมถึงข้อจำกัดเรื่องของแหล่งจ่ายที่ไม่สอดคล้องกับภาคอุตสาหกรรมต้องการอีกด้วย

เพื่อเป็นการแก้ไขปัญหาดังกล่าวงานวิจัยนี้ ได้ทำการศึกษาการวัดค่าความต้านทานสูงโดยวิธีโวล์ทแอมป์แบบอัตโนมัติ ซึ่งใช้เครื่องมือ ราคาไม่สูงเกินไป และใช้สายวัดที่มีขั้วต่อที่สามารถรองรับกับตัวต้านทานมาตรฐานที่ใช้งานในระดับอุตสาหกรรมซึ่งมีความหลากหลาย และระบบวัดนี้ยังออกแบบให้ใช้แหล่งจ่ายจากภายนอกซึ่งสามารถจ่ายค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าได้สูงถึง 5000 โวลท์ เพื่อตอบสนองความต้องการของภาคอุตสาหกรรม และเมื่อทดสอบระบบโดยการเปรียบเทียบผลการวัดกับเครื่องมือวัดของบริษัทผู้ผลิตแล้ว ให้ค่าที่ใกล้เคียง ในระดับที่ยอมรับและสามารถใช้งานได้

## 2. ตัวต้านทานไฟฟ้าและวิธีการวัดค่าความต้านทานไฟฟ้า

### 2.1 ประเภทของตัวต้านทานมาตรฐาน

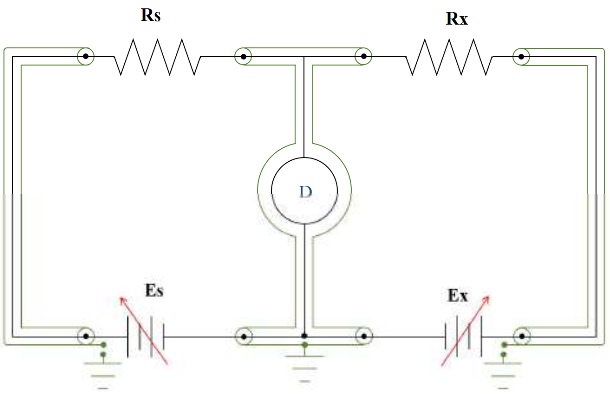
สามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภทตามระดับการใช้งานคือ

2.1.1 ตัวต้านทานที่ใช้เป็นตัวมาตรฐาน ตัวต้านทานประเภทนี้มีค่าความถูกต้องสูงในระดับ หนึ่งในล้านส่วน ( part per million)มักใช้เป็นตัวต้านทานที่นำมาเป็นค่ามาตรฐานในการถ่ายทอดค่าความถูกต้องไปยังตัวต้านทานอื่นที่ต้องการ จึงเป็นตัวต้านทานมาตรฐานที่มีเสถียรภาพที่ดี ค่าความต้านทานเปลี่ยนแปลงไปน้อยมากเมื่อเทียบกับระยะเวลาการใช้งาน มีสัมประสิทธิ์อุณหภูมิต่ำ คือค่าความต้านทานเปลี่ยนแปลงไปไม่มากเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนไป มีการตอบสนองกับความถี่ และมีขั้วต่อของตัวต้านทานเป็นลักษณะเฉพาะ เช่นชนิดเอ็นตัวผู้ (Male Type N Connector) หรือชนิดเอ็นตัวเมีย (Female Type N) เป็นต้น

2.1.2 ตัวต้านทานที่ใช้ในภาคอุตสาหกรรม เป็นตัวต้านทานที่มีค่าความถูกต้องไม่สูงมากนัก โดยทั่วไปมีค่าความถูกต้องอยู่ในระดับเปอร์เซนต์ ส่วนใหญ่ใช้ในงานสอบเทียบค่าความเป็นฉนวน (Insulation Tester) ตัวต้านทานประเภทนี้โดยปกติแล้วต้องการแรงเคลื่อนไฟฟ้าทดสอบสูง บางประเภทสูงถึงในระดับ 5000โวลท์ และผลิตจากหลายบริษัทจึงมีขั้วต่อ หลากหลายประเภท เช่น BNC, Banana, สายเปลือย และชนิดอื่นๆ ขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้งาน

### 2.2 วิธีการวัดค่าความต้านทาน

2.2.1 การวัดความต้านทานด้วยวิธีการวัดแบบวีทสโตนบริดจ์ เทคนิควัดความต้านทานประเภทนี้นิยมใช้สำหรับวัดค่าตัวต้านทานที่เป็น




**รูปที่ 1** วงจรวัดค่าความต้านทานโดยวิธีวีทสโตนบริดจ์

ตัวต้านทานมาตรฐาน ใช้หลักการการสมดุลของบริดจ์ ที่ประกอบด้วยแขนสองข้างซึ่งมีแหล่งจ่ายแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ปรับค่าได้ Ex และ Es ต่อเข้ากับตัวต้านทานมาตรฐาน Rs ที่ทราบค่าจริงจากการส่งสอบเทียบ และเมื่อบริดจ์สมดุล คือไม่มีกระแสไหลผ่าน ตัวตรวจจับ (Detector) D ในรูปที่ 1 โดยค่าความต้านทานที่ต้องการวัด Rx คำนวนได้จากสมการที่ 1

$$R_x = \frac{E_x}{E_s} R_s \qquad (1)$$

วิธีการนี้ใช้อุปกรณ์ที่มีความแม่นสูง จึงเป็นระบบสำเร็จรูปที่มีราคาสูงมาก อีกทั้งยังมีค่าใช้จ่ายในการส่งสอบเทียบตัวต้านทานมาตรฐานหลายค่าเพื่อให้ครอบคลุมทุกย่านการวัดอีกด้วย

2.2.2 การวัดความต้านทานด้วยวีธีการวัดแบบโวลท์แอมป์ วิธีการนี้โดยทั่วไปนิยมใช้วัดความต้านทานค่าสูง โดยสามารถหาค่าความต้านทานได้โดยประยุกต์มาจากกฎของโอห์ม ส่วนประกอบของวงจรประกอบด้วย ความต้านทานที่ต้องการทราบค่า ต่ออนุกรมกับแอมป์มิเตอร์ และแหล่งจ่ายแรงดันดังรูปที่ 2 ค่าความต้านทานที่ต้องการวัด โดยในอุดมคติแล้วสามารถคำนวนได้จากสมการ

$$R_x = \frac{V_R}{I} \qquad (2)$$

$R$ = ค่าความต้านทานที่ต้องการวัด (โอห์ม)

$V_R$ = ค่าแรงดันที่จ่ายออกมา (โวลท์)

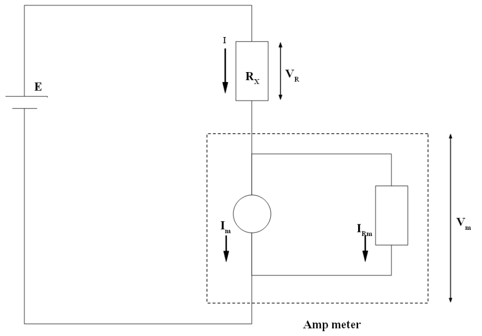
$I$ = ค่ากระแสที่วัดจากแอมป์มิเตอร์ (แอมแปร์)

ในทางปฏิบัติค่าความต้านทานที่วัดได้สามารถหาได้จาก

$$R_x = \frac{E}{I_m} \qquad (3)$$

แต่เนื่องจากการวัดที่เกิดขึ้นจริง ความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นเนื่องจากแรงเคลื่อนไฟฟ้า $E$ ตามรูป ที่ 2

$$E = V_R + V_m \qquad (4)$$




**รูปที่ 2** วงจรวัดค่าความต้านทานโดยวิธีโวล์ทแอมป์

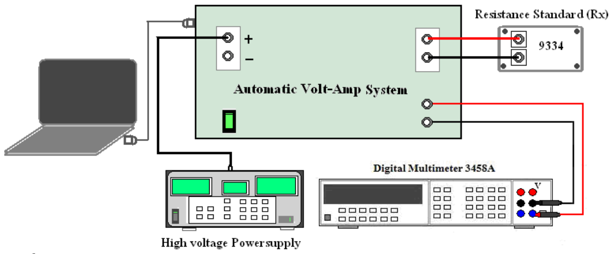
โดย $V_R$ และ $V_m$ คือแรงเคลื่อนที่ตกคร่อม ตัวต้านทานและแอมป์มิเตอร์ตามลำดับ และ ความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากกระแส $I$

$$I_m = I - I_{RM} \tag{5}$$

โดย $I_m$ และ $I_{RM}$ คือค่ากระแสที่มิเตอร์อ่านค่า และกระแสที่ผ่านตัวต้านทานภายในแอมป์มิเตอร์ จะเห็นว่ากรณีการวัดแบบโวลท์แอมป์นี้เหมาะกับการวัดค่าความต้านทานที่มีค่าสูง เนื่องจากความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นนี้จะมีผลกับความต้านทานสูงน้อยกว่าการวัดค่าความต้านทานต่ำ

## 3. การวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าโดยวิธีโวลท์แอมป์แบบอัตโนมัติ

ในงานวิจัยนี้ได้พัฒนาระบบวัดความต้านทานสูงโดยวิธีโวลท์แอมป์แบบอัตโนมัติ ควบคุมโดยคอมพิวเตอร์ ดังรูปที่3 โดยระบบประกอบด้วยอุปกรณ์หลัก คือ แหล่งจ่ายแรงเคลื่อนไฟฟ้าซึ่งสามารถจ่ายแรงเคลื่อนได้สูงถึง 5000 โวลท์ และแอมป์มิเตอร์ ซึ่งในระบบนี้ใช้ดิจิทัลมัลติมิเตอร์ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ใช้แพร่หลายโดยสามารถอ่านค่าได้ความละเอียดถึง 8 1/2 หลัก ใช้สำหรับวัดค่ากระแส ซึ่งเป็นการลดปัญหาผลกระทบจากโหลด และระบบได้พัฒนาโปรแกรมสำหรับควบคุมระบบวัดเพื่อให้การวัดค่าความต้านทานสูงซึ่งโดยปกติแล้วมักมีปัญหาเรื่องสัญญาณรบกวนเนื่องจากผู้ปฏิบัติงาน




**รูปที่ 3** ระบบวัดค่าความต้านทานโดยวิธีโวล์ทแอมป์แบบอัตโนมัติ

และยังออกแบบให้สามารถเลือกความละเอียดของแอมป์มิเตอร์ และกำหนดจำนวนครั้งในการวัด ตลอดจน การตั้งค่าต่างๆของเครื่องวัดก่อนที่จะนำค่ามาคำนวน เพื่อสะดวกในกรณีที่ตัวต้านทานบางชนิดอาจต้องใช้เวลาในการวัดมากขึ้นและ ระบบวัดแบบอัตโนมัตินี้ยังสามารถวัดค่าจริงของแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่แหล่งจ่ายที่ จ่ายค่ามายังระบบ ก่อนที่จะนำไปเข้าสูตรในการคำนวนเพื่อแสดงค่าความต้านทานที่วัดได้แก่ผู้ใช้งานยังหน้าจอแสดงผล และออกแบบให้เก็บข้อมูลไว้ในเครื่องอีกด้วย ในงานวิจัยได้ทำการทดสอบระบบโดยนำมาวัดค่าความต้านทานสูง 3 ค่าคือ 0.1 จิกะโอห์ม 1 จิกะโอห์ม และ10 จิกะโอห์มตามลำดับ โดยจะทำการวัดค่าความต้านทานโดยใช้ ค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าทดสอบ 3 ค่า คือ 100 โวลท์ 500 โวลท์และ 1000 โวลท์ โดยทำการวัดค่าความต้านทานทั้งสามค่าด้วยระบบที่พัฒนาขึ้นเอง และระบบสำเร็จรูปจากบริษัทผู้ผลิตทั้งสองเทคนิคการวัด ได้ผลการวัดดังจะนำเสนอในหัวข้อถัดไป

## 4. ผลการวัดค่าความต้านทานโดยระบบโวลท์แอมป์เทียบกับเทียบกับเครื่องวัดความต้านทานของบริษัทผู้ผลิต

จากตารางที่ 1 พิจารณาจากผลการวัดเมื่อเปรียบเทียบค่าที่วัดได้จากวิธิการวัดโดยวิธีวีทสโตนบริดจ์ (วิธีที่1 ตามตารางที่ 1) ซึ่งเป็นวิธีที่วัดค่าโดยใช้หลักการที่เชื่อถือได้มากที่สุดกับค่าที่วัดโดยวิธีโวลท์แอมป์แบบอัตโนมัติ(วิธีที่ 3ตามตารางที่1)ที่พัฒนาขึ้นมานี้พบว่าค่าความต้านทานที่ได้ทั้ง 3 ค่า มีค่าแตกต่างกัน มากที่สุดคือ ตัวต้านทาน 10 จิกะโอห์มที่ 1000 โวลท์ คือ 0.5 เปอร์เซ็นต์

**ตารางที่ 1** เปรียบเทียบค่าผลการวัดค่าความต้านทาน โดยวิธีสำเร็จรูปทั้งสองวิธี และวิธีโวลท์แอมป์แบบอัตโนมัติที่พัฒนาขึ้นมาเอง

| ค่าความต้านทาน (จิกะโอห์ม) | แรงเคลื่อนไฟฟ้าทดสอบ (โวลท์) | ผลการวัดค่าความต้านทาน | | | เปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนผลการวัดจากวิธีที่ (เปอร์เซ็นต์) | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | (1)วีทสโตนบริดจ์ สำเร็จรูป | (2)โวลท์แอมป์ สำเร็จรูป | (3)โวลท์แอมป์ อัตโนมัติ | 1และ3 | 2และ3 |
| 0.1 | 100 | 0.100 008 4 | 0.099 989 4 | 0.100 076 6 | 0.07 | 0.09 |
| 0.1 | 500 | 0.100 008 4 | 0.099 989 5 | 0.100 020 8 | 0.01 | 0.03 |
| 0.1 | 1000 | 0.100 008 4 | 0.099 989 5 | 0.100 000 3 | 0.01 | 0.01 |
| 1 | 100 | 1.000 105 | 0.999 893 | 1.000 816 | 0.07 | 0.09 |
| 1 | 500 | 1.000 079 | 0.999 896 | 0.999 353 | 0.07 | 0.05 |
| 1 | 1000 | 1.000 082 | 0.999 658 | 0.999 798 | 0.03 | 0.01 |
| 10 | 100 | 10.005 453 | 9.996 391 | 9.998 334 | 0.07 | 0.02 |
| 10 | 500 | 10.005 232 | 9.997 362 | 9.983 557 | 0.22 | 0.14 |
| 10 | 1000 | 10.005 304 | 9.998 059 | 9.955 343 | 0.50 | 0.43 |

และเมื่อเปรียบเทียบผลการวัดค่าความต้านทานโดยวิธีโวลท์แอมป์ที่พัฒนาขึ้นเอง กับ วิธีโวลท์แอมที่ขายโดยบริษัทผู้ผลิต(วิธีที่ 2 ตามตารางที่ 1) พบว่าค่าของตัวต้านทานทั้งสามค่านั้นทั้งสองวิธีวัดค่าได้ต่างกันใน

ระดับที่ใช้งานได้ โดยพบว่าค่าความต้านทานที่วัดผลได้นั้นความคลาดเคลื่อนต่างกันมากที่สุดไม่เกิน 0.4 เปอร์เซ็นต์ ที่ค่าความต้านทาน 10 จิกะโอห์มเช่นเดียวกัน และ เมื่อพิจารณาผลการวัดจากทั้ง 3 วิธีพบว่าค่าความต้านทาน 0.1 จิกะโอห์มและ 1 จิกะโอห์ม เมื่อถูกวัดค่าโดยใช้แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่สูงขึ้น จะมีผลการวัดแตกต่างกันลดลง เนื่องจากผลของแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่สูงขึ้นมีผลต่อสัญญาณการวัดค่าของระบบ โดยเครื่องมือวัดที่ใช้วัดนั้นสามารถวัดค่าได้ชัดเจนขึ้น แต่สำหรับค่าความต้านทาน 10 กิกะโอห์มนั้นผลการวัดที่แรงเคลื่อนสูงขึ้น ไม่ได้มีผลกับความต่างของค่าที่ทำการวัด ทั้งนี้อาจขึ้นอยู่กับสมบัติของตัวต้านทานแต่ละชนิดที่นำมาใช้ซึ่ง ค่าสัมประสิทธิ์ที่เกิดจากค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าทดสอบของตัวต้านทานนั้นๆ หรืออาจเกิดจากค่าของความต้านทานเมื่อมีค่าสูงมาก การเกิดกระแสรั่วไหล เมื่อทำการวัดค่า และความผิดพลาดอื่นๆ จะเกิดขึ้นได้ง่ายกว่าค่าความต้านทานที่ต่ำลงมา

## 5. สรุป

จากผลการการวัดค่าความต้านทาน0.1 กิกะโอห์ม 1 กิกะโอห์ม และ10 กิกะโอห์มที่แรงเคลื่อนไฟฟ้า 100 โวลท์ 500 โวลท์ และ 1000 โวลท์ ตามลำดับ โดยใช้วิธีการวัดค่าความต้านทานทั้ง 3 วิธี คือวิธีวีทสโตนบริดจ์แบบสำเร็จรูป วิธีโวลท์แอมป์แบบสำเร็จรูป และวิธีโวลท์แอมป์แบบอัตโนมัติที่ห้องปฏิบัติการพัฒนาขึ้นมาผลการวัดค่าความต้านทานโดยวิธีโวลท์แอมป์แบบอัตโนมัติที่ห้องปฏิบัติการพัฒนาขึ้นมาเองนั้น ให้ค่าของความต้านทานใกล้เคียงกับค่าความต้านทานที่ทำการวัดทั้งสองวิธีโดยเครื่องมือสำเร็จรูปของบริษัทผู้ผลิตที่มีชื่อเสียง และให้ผลการวัดที่มีค่าความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 0.5 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งจากผลจางงานวิจัยนี้ ทำให้ห้องปฏิบัติการสามารถใช้วิธีโวลท์แอมป์แบบอัตโนมัติดังกล่าวในการให้บริการงานสอบเทียบแก่ลูกค้าได้ เนื่องจากโดยปกติแล้วค่าความต้านทานสูงที่ ใช้ในภาคอุตสาหกรรม จะต้องการค่าความถูกต้อง ไม่เกิน 5 เปอร์เซ็นต์ และเทคนิคการวัดค่าความต้านทานสูงโดยวิธีโวลท์แอมป์แบบอัตโนมัตินี้ได้ออกแบบ ให้สามารถวัดค่าความต้านทานโดยเลือกแรงเคลื่อนไฟฟ้าได้ตามต้องการไม่จำกัดย่านการจ่ายค่าของแหล่งจ่ายแรงเคลื่อน และสามารถวัดค่าความต้านทานโดยใช้แรงเคลื่อนไฟฟ้าได้สูงถึง 5000 โวลท์

## 6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณฝ่ายมาตรวิทยาไฟฟ้า สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติที่สนับสนุนด้านงบประมาณและส่งเสริมให้ทำงานวิจัยนี้

## เอกสารอ้างอิง

[1] Fluke corporation, "Calibration: Philosoply in practice," Everett. WA. U.S.A., 1994.

[2] Keithley, "Low Level measurements hand book" Joseph F. Keithley, 7th Edition.

[3] Ing. Roman Honig, "Practical Aspects of High Resistance Measurements"

นางเนตรนพิศ คุ้มทุกทิศ จบการศึกษาระดับปริญญาโท สาขาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปัจจุบันทำงานในตำแหน่ง นักมาตรวิทยา ฝ่ายมาตรวิทยาไฟฟ้า สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มีความสนใจทางด้านมาตรวิทยาไฟฟ้า การวัดความต้านทานและควอนตัมฮอลล์

นายชัยวัฒน์ เจษฎาจินต์ จบการศึกษาระดับปริญญาเอก สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ปัจจุบันทำงานในตำแหน่ง นักมาตรวิทยา ฝ่ายมาตรวิทยาไฟฟ้า สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มีความสนใจทางด้านมาตรวิทยาไฟฟ้า การวัดความต้านทานและควอนตัมฮอลล์

# Dual Mixer Time Difference สำหรับการสอบเทียบแหล่งจ่ายความถี่ที่มีความเสถียรสูง

# Dual Mixer Time Difference for calibrating a high stability frequency source

**ปิยพัฒน์ พูลทอง[1] และ เทพบดินทร์ บริรักษ์อราวินท์[2]**
[1]ห้องปฏิบัติการเวลาและความถี่ ฝ่ายมาตรวิทยาไฟฟ้า สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ
3/4-5 ม.3 ต.คลองห้า อ.คลองหลวง จ.ปทุมธานี 12120 โทรศัพท์ 02-577-5100 ต่อ 1335 E-mail: piyaphat@nimt.or.th
[2]ห้องปฏิบัติการแม่เหล็ก ฝ่ายมาตรวิทยาไฟฟ้า สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ
3/4-5 ม.3 ต.คลองห้า อ.คลองหลวง จ.ปทุมธานี 12120 โทรศัพท์ 02-577-5100 ต่อ 1337 E-mail: thepbodin@nimt.or.th

## บทคัดย่อ

ระบบ Dual Mixer Time Difference ที่สร้างขึ้นมีเสถียรภาพที่ดีมากเมื่อเทียบกับระบบการสอบเทียบด้วยวิธีดั้งเดิม โดยที่เสถียรภาพจะขึ้นอยู่กับอัตราส่วนการลดทอนความถี่ ซึ่งที่ค่าเฉลี่ยของการวัดที่ 10,000 วินาที มีเสถียรภาพที่ต่ำกว่า $1\times10^{-16}$ Hz/Hz และเมื่อนำมาคำนวนความไม่แน่นอนรวมของระบบ Dual Mixer Time Difference จะพบว่ามีค่าอยู่ที่ $6.6\times10^{-14}$ Hz/Hz
คำสำคัญ: ระบบ Dual Mixer Time Difference, ระบบการสอบเทียบ, เสถียรภาพ

## Abstract

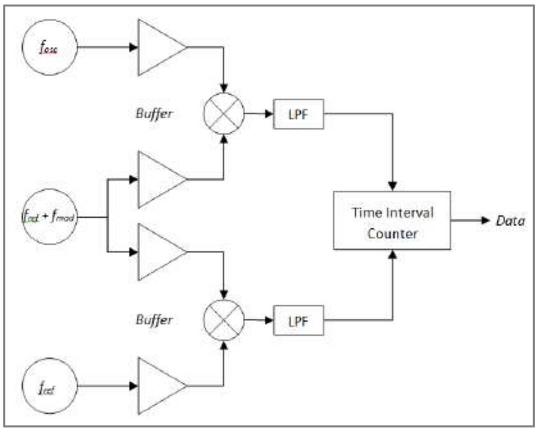
The Dual Mixer Time Difference system has much better stability than the conventional calibration system. Its stability strongly depends on the ratio of the reference frequency and the offset frequency. The stability of the system is reported lower than $1\times10^{-16}$ Hz/Hz at the averaging time of 10,000 s which the uncertainty of the Dual Mixer Time Difference system is estimated as $6.6\times10^{-14}$ Hz/Hz.
Keywords: Dual Mixer Time Difference system, calibration system, stability

## 1. บทนำ

การใช้งานอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับเวลาและความถี่นั้น จำเป็นที่จะต้องมีการสอบเทียบเพื่อให้มั่นใจว่าเวลาและความถี่นั้นมีค่าที่ถูกต้อง โดยทั่วไปการสอบเทียบจะทำการเปรียบเทียบค่าความถี่มาตรฐานจากนาฬิกาอะตอม กับค่าที่วัดได้จากแหล่งจ่ายความถี่ โดยวิธีที่ใช้โดยทั่วไปนั้นสามารถแบ่งได้เป็น 3 วิธีหลัก คือ Direct Measurement Method, Phase Difference Method และ Dual Mixer Time Difference Method

การวัดเฟสที่ต่างกันของสัญญาณด้วยวิธี Time Difference Method [1] เป็นวิธีที่ง่ายที่สุด และไม่ต้องการอุปกรณ์มาก แต่วิธีดังกล่าวความละเอียดของการวัดจะถูกจำกัดด้วยเครื่องมือ ซึ่งโดยปกติจะสามารถวัดความแตกต่างของเวลาได้ที่ความละเอียดเพียง 0.1 นาโนวินาที และไม่สามารถทำการวัดได้ด้วยอัตราการวัดที่สูง เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาข้อจำกัดของอัตราการวัดความถี่ สัญญาณความถี่มาตรฐานและสัญญาณจากแหล่งจ่ายความถี่จะถูกนำมารวมกันด้วยอุปกรณ์รวมความถี่ (Frequency Mixer) เพื่อหาความถี่ที่แตกต่างกันด้วยวิธี Beat Frequency Method หรือ Heterodyne Method [2] ค่าที่วัดได้จึงเป็นผลต่างของความถี่ แต่วิธีการสอบเทียบดังกล่าวจะไม่ได้ค่าความแตกต่างของเฟส และสัญญาณที่นำมาเปรียบเทียบจะต้องมีความถี่ที่ต่างกันมาก

ดังนั้นถ้านำข้อดีของ 2 วิธีข้างต้นมารวมกัน จะทำให้ได้วิธีที่เรียกว่า Dual Mixer Time Difference Method (DMTD) [3,4] โดยสัญญาณจากแหล่งจ่ายความถี่จะถูกลดทอนด้วยวิธี Beat Frequency Method และจากนั้นเฟสของสัญญาณจะถูกวัดด้วยวิธี Time Difference Method ดังรูปที่ 2-3 ข้อมูลที่ได้จะเป็นผลต่างเฟสของความถี่มาตรฐานกับแหล่งจ่ายความถี่ที่ให้ความละเอียดสูง และมีสัญญาณรบกวนต่ำ [4]




รูปที่ 1 การสอบเทียบแหล่งจ่ายความถี่ด้วยวิธี Dual Mixer Time Difference Method

เนื่องจากวิธีนี้สามารถวัดความต่างเฟสที่มีความละเอียดสูงได้ จึงถูกนำมาใช้ในการสอบเทียบนาฬิกาอะตอมที่มีเสถียรภาพสูงมาก และนอกจากนี้ยังใช้ในการเปรียบเทียบค่าความถี่มาตรฐานที่ได้จากนาฬิกาอะตอม โดยทางสถาบันมาตรวิทยาของญี่ปุ่นได้ใช้วิธี Dual Mixer Time Difference ซึ่งให้ค่าความละเอียดในการวัดถึง 2 พิโควินาที ทำการเปรียบเทียบความถี่ของนาฬิกาอะตอม 24 เครื่อง [5-7] เพื่อใช้ในการกำหนดค่าความถี่มาตรฐาน และเวลามาตรฐานของประเทศญี่ปุ่น

## 2. ระบบ Dual Mixer Time Difference

### 2.1 การออกแบบ

ระบบสอบเทียบด้วยวิธี Dual Mixer Time Difference (DMTD) ประกอบด้วยอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับความถี่หลายส่วน โดยแต่ละส่วนมีหน้าที่การทำงานที่แตกต่างกัน ดังนั้นการจำลองรูปแบบของสัญญาณเพื่อที่จะดูลักษณะหรือแนวโน้มของสัญญาณก่อนที่จะทำการออกแบบวงจรจึงเป็นสิ่งที่สำคัญ

ในการสร้างแบบจำลองจะทำการสร้างสัญญาณรูปไซน์ซึ่งเหมือนกับสัญญาณที่ความถี่ที่ออกมาจากอุปกรณ์ต่างๆ ตามสมการที่ (1-3) โดยที่ไม่มีการใส่สัญญาณรบกวน เพื่อที่จะให้ง่ายต่อการจำลองในเบื้องต้น สัญญาณที่จำลองขึ้นประกอบด้วยสัญญาณมาตรฐานที่ 10MHz (Ref) และสัญญาณจากอุปกรณ์ที่ต้องการสอบเทียบซึ่งมีความถี่ใกล้เคียงกับความถี่มาตรฐาน (UUC) จากนั้นนำทั้งสองสัญญาณมาผสมกับสัญญาณที่เรียกว่า Common Oscillator ซึ่งจะมีความถี่มากกว่าความถี่มาตรฐานเล็กน้อย (COM) ด้วยFrequency Mixer โดยวิธีการรวมสัญญาณเป็นไปดังสมการที่ (4) และ (5)

$$\mathrm{REF} = \mathrm{A}\sin(2\pi f_{Ref}t + \phi_{Ref}) \quad (1)$$

$$\mathrm{UUC} = \mathrm{A}\sin(2\pi f_{UUC}t + \phi_{UUC}) \quad (2)$$

$$\mathrm{COM} = \mathrm{A}\sin(2\pi f_{com}t + \phi_{com}) \quad (3)$$

$$\mathrm{REF} \times \mathrm{COM} = \mathrm{B}[\cos(2\pi\{f_{Ref} - f_{com}\}t + (\phi_{Ref} - \phi_{com})) - \cos(2\pi\{f_{Ref} + f_{com}\}t) + (\phi_{Ref} + \phi_{com})] \quad (4)$$

$$\mathrm{UUC} \times \mathrm{COM} = \mathrm{C}[\cos(2\pi\{f_{UUC} - f_{com}\}t + (\phi_{UUC} - \phi_{com})) - \cos(2\pi\{f_{UUC} + f_{com}\}t) + (\phi_{UUC} - \phi_{com})] \quad (5)$$

โดยที่ $f_{Ref}$ , $\phi_{Ref}$ คือ ความถี่และเฟสมาตรฐาน $f_{UUC}$ , $\phi_{UUC}$ คือ ความถี่และเฟสของอุปกรณ์ที่สอบเทียบ $f_{com}$ , $\phi_{com}$ คือ ความถี่และเฟสของสัญญาณ Common Oscillator และ $A, B, C$ คือ แอมปลิจูดของสัญญาณ

จากสมการจะเห็นได้ว่าสัญญาณที่ส่งออกมาจาก Frequency Mixer ประกอบด้วยสัญญาณที่มีความถี่สูง $(f_{Ref} + f_{com})$ และสัญญาณที่มีความถี่ต่ำ $(f_{Ref} - f_{com})$ เนื่องจากระบบ DMTD จะวัดเฟสของสัญญาณที่มีความถี่ต่ำ ดังนั้นสัญญาณที่ออกมาจาก Frequency Mixer จะต้องถูกกรองเอาสัญญาณความถี่สูงออกไปโดยใช้ Lowpass Filter ซึ่งจะต้องกรองความถี่สูงออกไปให้ได้มากที่สุด เพื่อลดสัญญาณรบกวนที่มีความถี่สูงออกไป ในแบบจำลองของอุปกรณ์กรองความถี่จะถูกกำหนดความถี่ที่ต้องการที่ 1kHz (cut-off frequency) ซึ่งความถี่ที่สูงกว่า 1kHz จะถูกลดทอนทำให้ลดปัญหาของสัญญาณรบกวนที่ความถี่สูงลงได้

หลังจากนั้นระบบจะทำการวัดค่าความแตกต่างเฟสของสัญญาณที่ถูกลดทอนจากสัญญาณความถี่มาตรฐาน $(\phi_{Ref} - \phi_{com})$ และจากสัญญาณอุปกรณ์ที่นำมาสอบเทียบ $(\phi_{UUC} - \phi_{com})$ โดยค่าความแตกต่างของเฟสนั้นสามารถนำมาคำนวนหาค่าความถี่ที่แตกต่างกันได้ด้วยสมการ

$$\Delta\phi = (\phi_{Ref} - \phi_{com}) - (\phi_{UUC} - \phi_{com}) \quad (6)$$

$$\frac{\Delta\phi}{\Delta t} = \left(\frac{f_{Ref}}{f_{Ref} - f_{com}}\right)\mathrm{FFO} \quad (7)$$

โดยที่ $\Delta\phi$ คือ ความต่างเฟสระหว่างสัญญาณความถี่มาตรฐานและสัญญาณจากอุปกรณ์ที่นำมาสอบเทียบ $\Delta t$ คือ เวลาระหว่างการวัดในแต่ละครั้ง และ FFO คือ ความถี่ที่แตกต่างจากความถี่มาตรฐาน มีค่า $\frac{f_{UUC} - f_{Ref}}{f_{Ref}}$

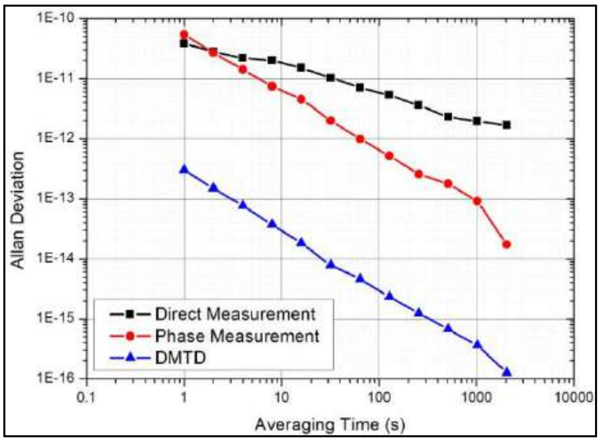
ในการวัดค่าเฟส สัญญาณรูปไซน์จะถูกปรับให้เป็นพัลส์ โดยใช้วงจรที่เรียกว่า Zero Crossing Detector (ZCD) เพื่อลดค่าความไม่แน่นอนที่เรียกว่า Trigger Error ซึ่งเกิดจากความคลาดเคลื่อนของการอ่านค่าเฟสของสัญญาณตามสมการที่ (8)

$$\text{Trigger Error} = \frac{\sqrt{{E_{input}}^2 + {E_{signal}}^2}}{\text{Slew Rate}} \quad (8)$$

จากสมการจะเห็นได้ว่ายิ่งมีค่า Slew Rate สูง ก็จะทำให้ค่า Trigger Error ต่ำลง ดังนั้นถ้าทำการเปลี่ยนรูปแบบของสัญญาณจากรูปคลื่นไซน์ ให้ไปเป็นสัญญาณรูปคลื่นสี่เหลี่ยม ก็จะทำให้ค่าความไม่แน่นอนนี้มีค่าน้อยลง ส่งผลต่อประสิทธิภาพโดยรวมของระบบ DMTD ในการเปลี่ยนสัญญาณนั้นสามารถทำได้โดยง่ายโดยการใช้วงจรขยายแบบ Active Low Pass Filter เพื่อเพิ่ม Slew Rate แต่การใช้งานวงจรขยายสัญญาณ จะต้องระวังเรื่องสัญญาณรบกวนซึ่งจะถูกขยายขึ้นมาด้วย

## 2.2 การทดสอบ

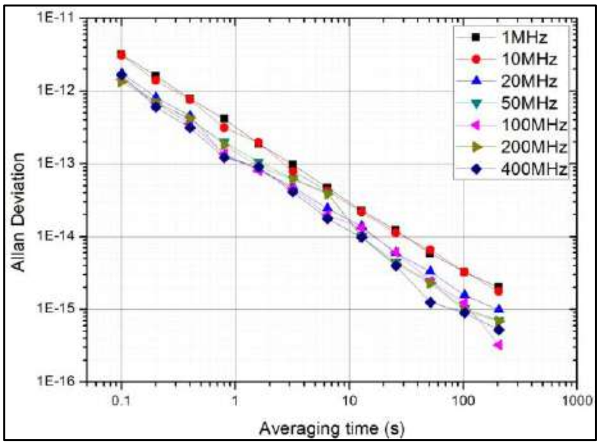
ในการทดสอบระบบจะทำการจ่ายความถี่มาตรฐานจากนาฬิกาอะตอมซีเซียม (Symmetricom 5071A with high performance tube) ให้กับเครื่องสร้างสัญญาณ Waveform Generator (Rigol DG4102) เพื่อสร้างความถี่ 10 MHz จ่ายให้ช่องสัญญาณ Ref และUUC และสัญญาณความถี่ 10.000 1 MHz สำหรับช่องสัญญาณ COM โดยในการทดสอบจะใช้สายสัญญาณที่มีความยาวเท่ากันเพื่อลดปัญหาความคลาดเคลื่อนของเฟสที่เข้าสู่ระบบ DMTD จากนั้นสัญญาณที่ออกจากระบบ DMTD จะถูกวัดความแตกต่างของเฟสด้วย Time Interval Counter (Stanford Research SR620) ซึ่งอ้างอิงความถี่มาตรฐานจากนาฬิกาอะตอมซีเซียม ค่าความแตกต่างของเฟสที่วัดได้จาก SR620 จะถูกบันทึกและคำนวนค่าเสถียรภาพ เพื่อเปรียบเทียบกับระบบการสอบเทียบเดิม




รูปที่ 2 ผลการเปรียบเทียบเสถียรภาพของระบบการวัด ด้วยวิธีการสอบเทียบแบบต่างๆ

จากผลการเปรียบเทียบระบบการวัดจะเห็นได้ว่าวิธีการสอบเทียบด้วยระบบ DMTD มีเสถียรภาพที่ดีกว่าวิธีการสอบเทียบแบบเดิมถึงกว่า 100 เท่า นอกจากนี้คุณสมบัติของอุปกรณ์ RF ที่ใช้ในวงจรของระบบ DMTD สามารถใช้งานได้ในช่วงความถี่ตั้งแต่ 1 – 400 MHz ดังนั้นจึงทำการทดสอบเสถียรภาพของระบบสำหรับความถี่ต่างๆ ที่ต้องการใช้งาน โดยทำการจ่ายความถี่ที่ต้องการวัดที่ช่องรับสัญญาณ Ref และ UUC จากนั้นสร้างสัญญาณความถี่ซึ่งมีค่ามากกว่าความถี่ที่ต้องการวัด 100 Hz จ่ายเข้าที่ช่องสัญญาณ COM ซึ่งสัญญาณขาออกซึ่งจะถูกวัดความต่างของเฟสจะได้สัญญาณที่ความถี่ถูกลดทอนลงมาที่ 100 Hz หลังจากนั้นทำการวัดด้วยอัตราการวัดที่ 10 Hz

จากรูปที่ 3 พบว่าเมื่อความถี่ที่ใช้งานมีค่าเพิ่มขึ้นระบบจะมีเสถียรภาพที่ดีขึ้น เนื่องจากอัตราส่วนของการลดทอนความถี่มีค่ามากขึ้น ยกตัวอย่างเช่น ที่ความถี่ 1 MHz มีอัตราส่วนการลดทอนความถี่ที่ 10,000 เท่า แต่ที่ 100 MHz มีอัตราส่วนอยู่ที่ 1,000,000 เท่า ทั้งนี้เป็นไปตามสมการที่ (7) โดยระบบจะสามารถวัดค่าได้ละเอียดมากขึ้นส่งผลให้เสถียรภาพซึ่งแสดงในหน่วยสัมพัทธ์มีค่าที่ดีขึ้นไปด้วย ดังนั้นระบบ DMTD จึงเหมาะกับการใช้งานที่ความถี่สูง แต่ที่ความถี่ที่สูงกว่า 400 MHz นั้นระบบจะต้องได้รับการออกแบบใหม่โดยเฉพาะอย่างยิ่งในส่วนของลายวงจร จะต้องคำนึงถึงการรั่วไหลของสัญญาณความถี่สูงมาก เพื่อลดสัญญาณรบกวนในระบบ




รูปที่ 3 เสถียรภาพของระบบ DMTD สำหรับการสอบสอบเทียบความถี่ในช่วง 1 – 400 MHz

## 2.3 การประเมินความไม่แน่นอน

การประเมินความไม่แน่นอนของระบบจะอ้างอิงวิธีจาก "Guide to the expression of uncertainty in measurement" ซึ่งจัดทำโดย Joint Committee for Guides in Metrology [8] ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในสถาบันมาตรวิทยาทั่วโลก นอกจากนี้ยังใช้แนวทางการประเมินความไม่แน่นอนของคณะกรรมการมาตรวิทยาภูมิภาคเอเชียแปซิฟิก (APMP) [9] ซึ่งได้ทำแนวทางสำหรับการประเมินความไม่แน่นอนของการวัดด้วยระบบ DMTD ซึ่งจากระบบ DMTD ที่สร้างขึ้นสามารถประเมินค่าความไม่แน่นอนได้ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ค่าความไม่แน่นอนของระบบ DMTD

| Source of Uncertainty | Uncertainty |
|---|---|
| UTC[NIMT] Uncertainty | $3.2 \times 10^{-14}$ |
| Time Link Uncertainty | $2.0 \times 10^{-15}$ |
| Cable Uncertainty | $2.1 \times 10^{-17}$ |
| DMTD Systematic Uncertainty | $3.3 \times 10^{-16}$ |
| Combined Uncertainty | $3.3 \times 10^{-14}$ |
| Expanded Uncertainty (k=2) | $6.6 \times 10^{-14}$ |

## 3. สรุป

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอเทคนิคและแนวทางการออกแบบระบบวัดความถี่โดยใช้เทคนิค Dual Mixer Time Difference เพื่อใช้ในการสอบเทียบแหล่งจ่ายความถี่ที่มีความเสถียรสูง ของห้องปฏิบัติการเวลาและความถี่ สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ ในขั้นต้นการออกแบบระบบ DMTD ได้ทำการจำลองสัญญาณขึ้นด้วยโปรแกรม LabView เพื่อที่จะได้เข้าใจกระบวนการที่เกิดขึ้นในอุปกรณ์ต่างๆ และเพื่อที่จะได้เข้าใจการทำงานของระบบทั้งหมด โดยแนวคิดของระบบ DMTD คือการลดทอนความถี่ที่ใช้ในการวัดเฟส ทำให้ได้ความละเอียดของการวัดที่มากขึ้น หลังจากการนั้นทำการออกแบบ และสร้างแผงวงจรรวมระบบ DMTD เพื่อลดการเกิดสัญญาณรบกวนที่เกิดจากการกวนกันระหว่างสายนำสัญญาณ และการรบกวนความถี่สูงจากแหล่งจ่ายไฟฟ้า

ผลการทดสอบระบบ DMTD พบว่ามีค่าเสถียรภาพของระบบการวัดที่ดีกว่าการวัดด้วยวิธีการสอบเทียบแบบเดิมที่ใช้ทำการสอบเทียบอยู่ในปัจจุบันเป็นอย่างมาก โดยเสถียรภาพการวัดของระบบ DMTD ที่การสอบเทียบความถี่ 10 MHz นั้นมีค่าที่ต่ำกว่า $1\times10^{-16}$ สำหรับค่าเฉลี่ยของเวลาวัดที่ $10^4$ วินาที ทำให้ได้ค่าความไม่แน่นอนรวมของระบบ Dual Mixer Time Difference จะพบว่ามีค่าอยู่ที่ $6.6\times10^{-14}$ Hz/Hz

## 4. กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากศูนย์ประสานงานนักเรียนทุนรัฐบาลทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติปี พ.ศ. 2555

## เอกสารอ้างอิง

[1] Hewlett-Packard, Hewlett-Packard Application Note: 200-3 - The Fundamentals of Time Interval Measurement, Hewlett-Packard Company, 1997.

[2] C.A. Greenhall, A Method for Using a Time Interval Counter to Measure Frequency Stability, TDA Progress Report, pp. 42-90, 1987.

[3] D.W. Allan, Picosecond Time Difference Measurement System, Proc. 29th Annu. Symp. On Freq. Contrl., pp. 404-411, 1975.

[4] G. Brida, The Dual Mixer Time Difference at IEN, Proc. Precision Electromagnetic Measurements, pp. 52-53, 2000.

[5] Y. Hanado, F. Nakagawa, H. Ito, K. Imamura and M. Hosokawa, Overview of Japan Standard Time generation, General Assembly and Scientific Symposium 2011 URSI, pp. 1-4, 2011.

[6] Y. Hanado, K. Imamura, N. Kotake, F. Nakagawa, Y. Shimizu, R. Tabuchi, Y. Takahashi, M. Hosokawa and T.Morikawa, The new Generation System of Japan Standard Time at NICT, International Journal of Navigation and Observation, 2008.

[7] F. Nakagawa, M. Imae, Y. Hanado, and M. Aida, Development of multichannel dual mixer time difference system to generate UTC (NICT), IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, vol. 54, no. 2, pp. 829–832, 2005.

[8] Joint Committee for Guides in Metrology (JCGM100:2008), Guide to the expression of uncertainty in measurement, 2010.

[9] Asia Pacific Metrology Programme, Guideline of Uncertainty Calculation Document ID211_3, http://www.apmpweb.org/fms/guidelines3.php?tc_id=TF.

**ดร.ปิยพัฒน์ พูลทอง** จบการศึกษาระดับปริญญาเอกจาก University College London ประเทศสหราชอาณาจักร ปัจจุบันเป็นนักวิจัย ที่สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ สนใจงานทางด้านการวัดเชิงควอนตัมในนาฬิกาอะตอม และระบบการรักษาเวลามาตรฐานของประเทศไทย

**นาย เทพบดินทร์ บริรักษ์อราวินท์** จบการศึกษาระดับปริญญาโทจาก มหาวิทยาลัยเทคโนลียีพระจอมเกล้าธนบุรี ปัจจุบันเป็นนักวิจัย ที่สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ สนใจงานด้านมาตรวิทยาโดยเฉพาะระบบการวัด และการออกแบบเครื่องมือวัดทางด้านสนามแม่เหล็ก และ ระบบการวัดด้านเวลาและความถี่

**บทความวิจัย**

การประชุมวิชาการ งานวิจัยและพัฒนาเชิงประยุกต์ ครั้งที่ 8

*8th ECTI-CARD 2016, Hua Hin, Thailand*

# การสอบเทียบเทอร์โมคัปเปิลที่จุดกำเนิดอุณหภูมิมาตรฐานยูเทคติค โคบอลต์-คาร์บอน

## Thermocouple calibration by using Co-C Eutectic fixed point cell

**อ้อยใจ อ่องหร่าย**

ห้องปฏิบัติการอุณหภูมิ ฝ่ายมาตรวิทยาอุณหภูมิ สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ

3/4-5 ตำบลคลองห้า อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 12120 โทรศัพท์ 02-577-5100 ต่อ 1311 E-mail: oijai@nimt.or.th

## บทคัดย่อ

อุตสาหกรรมการผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ แก้ว โลหะ และเซรามิกส์ เป็นตัวอย่างอุตสาหกรรมที่ต้องใช้อุณหภูมิสูงในการพัฒนาและปรับปรุงคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของวัสดุ รวมถึงการหลอมและการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ให้ได้มาตรฐาน การพัฒนาการวัดอุณหภูมิสูงให้ถูกต้องและครอบคลุมช่วงอุณหภูมิที่ใช้งาน นับว่ามีความสำคัญควบคู่ไปกับการพัฒนาทางวิทยาศาสตร์เทคโนโลยี และมีส่วนช่วยสนับสนุนอุตสาหกรรมให้ใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ ฝ่ายมาตรวิทยาอุณหภูมิ สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ ได้ทำการพัฒนามาตรฐานการวัดอุณหภูมิสูงที่จุดกำเนิดอุณหภูมิโลหะผสมยูเทคติคชนิดโคบอลต์-คาร์บอน (Co-C) เพื่อถ่ายทอดความถูกต้องในการวัดอุณหภูมิสูงให้แก่ภาคอุตสาหกรรมที่ใช้เครื่องมือวัดอุณหภูมิประเภทเทอร์โมคัปเปิลที่อุณหภูมิสูงถึง 1 324 °C ด้วยค่าความไม่แน่นอนดีกว่า 0.6 °C

คำสำคัญ: มาตรฐานการวัดอุณหภูมิ, อุตสาหกรรมหนัก, จุดกำเนิดอุณหภูมิมาตรฐาน, โคบอลต์-คาร์บอน ยูเทคติก, เทอร์โมคัปเปิล

## Abstract

In high temperature industry, such as auto-parts, glasses, metals and ceramics, are crucially dependent on temperature. The accurate measurement and control of temperature in science and industry is essential to improve chemical, physical properties and quality of production including efficient operation of industrial processes. Thermometry metrology department, National Institute of Metrology (Thailand) NIMT has been established the new standard for high temperature measurement by using fixed point cell of the eutectic alloy: Co-C. This standard can ensure the high temperature measurement by using thermocouple for temperature up to 1 324 °C with uncertainty better than 0.6 °C ($k$=2).

Keywords: Temperature standard, Heavy industry, Fixed point cells, Co-C eutectics, Thermocouples

## 1. บทนำ

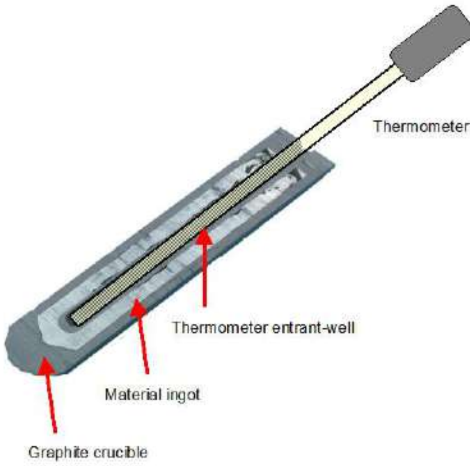
การวัดอุณหภูมิมีความแตกต่างจากปริมาณอื่นๆในทางฟิสิกส์ เนื่องจากอุณหภูมิไม่สามารถบวกรวมกันได้โดยตรงได้เหมือน ระยะทาง หรือเวลา การวัดอุณหภูมิที่ถูกต้องนั้นจะเป็นการวัดอุณหภูมิหลังจากระบบนั้นมีความสมดุลทางความร้อนเสียก่อน เครื่องมือมาตรฐานที่มีความถูกต้องสูงสุดทางการวัดอุณหภูมิที่ได้ถูกกำหนดขึ้นเป็นมาตรฐานสากล เรียกว่า จุดกำเนิดอุณหภูมิมาตรฐาน (Fixed point cell) ที่ให้ค่าจุดอุณหภูมิคงที่เมื่อสารบริสุทธิ์เกิดการเปลี่ยนแปลงสถานะ (จุดสามสถานะ จุดหลอมเหลว หรือจุดเยือกแข็ง) โดยสเกลมาตรฐานนี้เรียกว่า International temperature scale of 1990 (ITS-90) [1-2] ITS-90 นอกจากระบุจุดกำเนิดอุณหภูมิมาตรฐานในเสกลสากล ที่สามารถใช้งานวัดอุณหภูมิที่มีความถูกต้องสูงได้ตั้งแต่ -270.15 °C ถึง 1084.62 °C ยังให้แนวทางในการเลือกใช้เทอร์โมมิเตอร์ที่เหมาะสม ตลอดจนวิธีการวัดอุณหภูมิที่ถูกต้องในการสอบเทียบเทอร์โมมิเตอร์อีกด้วย

ปัจจุบันจุดกำเนิดอุณหภูมิมาตรฐาน ที่ระบุอยู่ใน ITS-90 มีอุณหภูมิสูงสุดอยู่ที่จุดเยือกแข็งของทองแดงบริสุทธิ์ (1 084.62 °C) ซึ่งยังไม่ครอบคลุมต่อการใช้งานในอุตสาหกรรมหนัก ที่ต้องใช้อุณหภูมิสูงกว่า 1 100 °C ในการผลิต เช่น อุตสาหกรรม แก้ว โลหะ และเซรามิก ในงานวิจัยที่ผ่านมามีการค้นคว้าหาวัสดุที่มีอุณหภูมิของการเปลี่ยนแปลงสถานะที่สูงกว่าทองแดงมาเป็นจุดกำเนิดอุณหภูมิมาตรฐาน ซึ่งแท้จริงแล้วมีสารบริสุทธิ์มากมายที่มีจุดหลอมแหลว/เยือกแข็งสูงกว่าทองแดง เช่น เหล็ก โคบอลต์ และพลาตินั่ม แต่ไม่สามารถนำมาใช้งานนี้ได้ เพราะที่อุณหภูมิสูง จะเกิดการปนเปื้อนในเนื้อสารบริสุทธิ์กับภาชนะบรรจุ (crucible) ที่ทำจากวัสดุคาร์บอน (graphite) ทำให้อุณหภูมิที่จุดหลอมเหลวเปลี่ยนแปลงไป [3] จนกระทั่งในปี 1999 นักวิจัยชาวญี่ปุ่นจึงมีการนำเอาโลหะอัลลอยด์ยูเทคติคที่มีปริมาณคาร์บอนผสมอยู่และมีจุดหลอมเหลวสูง มาประยุกต์ใช้เป็นวัสดุสำหรับจุดกำเนิดอุณหภูมิมาตรฐานเพื่อสอบเทียบเครื่องมือวัดอุณหภูมิสูงประเภทเทอร์โมคัปเปิลและไพโรมิเตอร์ [4] บทความนี้จะอธิบายถึง การพัฒนามาตรฐานการวัดอุณหภูมิสูง ที่จุดกำเนิดอุณหภูมิมาตรฐานยูเทคติกโคบอลคาร์บอล (Co-C eutectic fixed point cell) และการนำมาใช้เพื่อสอบเทียบเทอร์โมคัปเปิล Type S ที่นิยมใช้งานกันมากในภาคอุตสาหกรรมหนัก

## 2. การจัดการทดลอง (Measurement set up)

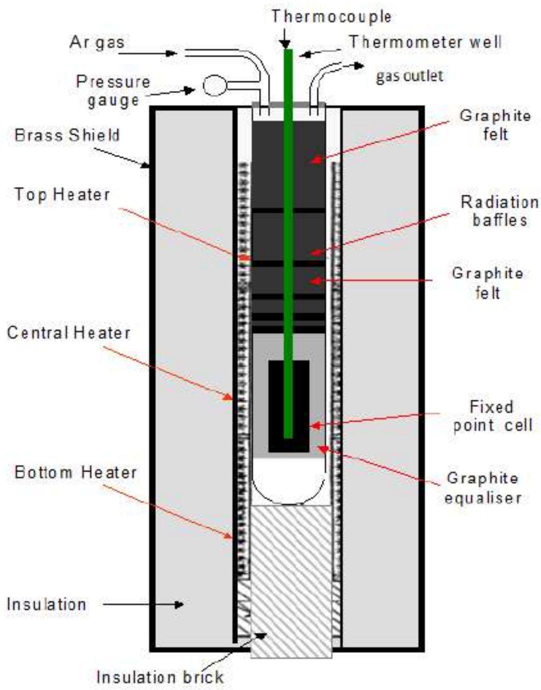
### 2.1 เครื่องมือ

เซลล์จุดกำเนิดอุณหภูมิมาตรฐาน Co-C eutectic fixed point cell ผลิตโดย National Physical Laboratory (NPL) ประเทศสหราชอาณาจักร มีอุณหภูมิที่จุดหลอมเหลวอยู่ที่ 1324 ± 0.45 °C ($k$ =2) ได้ถูกนำมาใช้เป็นมาตรฐานในการสอบเทียบเทอร์โมคัปเปิล Type S ลักษณะของเซลล์ภายนอกเป็น crucible ชนิดแกรไฟต์เส้นผ่านศูนย์กลาง 50 mm ยาว 250 mm กึ่งกลางมีช่องใส่เทอร์โมมิเตอร์ลึก 220 mm ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 mm ภายใน crucible บรรจุด้วยวัสดุอัลลอยด์ Co-C ในอัตราส่วน (~2.6 mass%carbon) รูปที่ 1 แสดงภาพตัดขวาง fixed point cell ประกอบด้วย Graphite crucible ช่องใส่เทอร์โมมิเตอร์ ล้อมรอบด้วยวัสดุโลหะที่จะต้องหลอมเหลวให้เกิดจุดอุณหภูมิคงที่ (fixed point temperature)




**รูปที่ 1** Fixed point cell ประกอบด้วย Graphite crucible, material และช่องสำหรับใส่เทอร์โมมิเตอร์

ในการใช้งาน Co-C eutectic fixed point cell จะต้องใช้งานร่วมกับเตาให้ความร้อน เซลล์ต้องถูกประกอบลงในท่อ Alumina ปลายปิดหนึ่งด้านพร้อมกับเสริมแผ่นแกรไฟต์รอบเซลล์ให้แน่น ตรงกึ่งกลางใส่ท่อ Alumina สำหรับใส่เทอร์โมคัปเปิล และประกอบปลายเปิดอีกด้านเข้ากับระบบก๊าซด้านบนที่จ่าย Ar บริสุทธิ์ 99.995% ที่อัตราการไหลต่ำประมาณ 0.4 L/min โดยให้ระบบเซลล์มีความดันของ Ar สูงกว่าบรรยากาศเล็กน้อยที่ประมาณ 1.12 bar ตลอดการวัด เพื่อป้องกันการเผาไหม้ของวัสดุกราไฟต์จากออกซิเจนภายนอก เสร็จแล้วติดตั้งเซลล์และอุปกรณ์ทั้งหมดในเตา (High temperature three zone furnace) เพื่อให้ความร้อนสำหรับหลอมเหลวเซลล์ การติดตั้งเซลล์ อุปกรณ์ประกอบระบบในเตาอุณหภูมิสูงแสดงได้ดังรูปที่ 2




**รูปที่ 2** Co-C eutectic fixed point cell ติดตั้งในเตาอุณหภูมิสูง สำหรับงานสอบเทียบเทอร์โมคัปเปิล

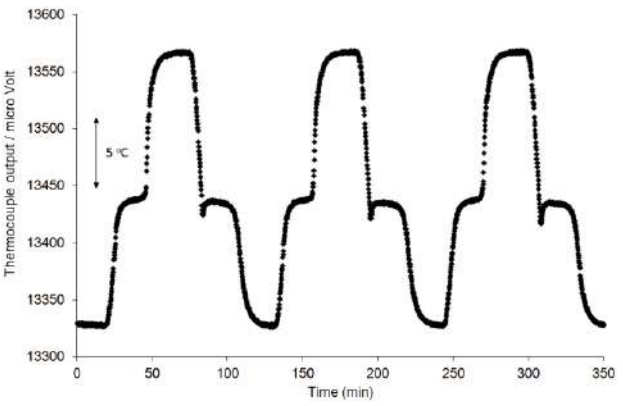
### 2.2 วิธีทำการวัด (Measurement Method)

เริ่มทำการวัดโดยนำเทอร์โมคัปเปิล Type S ที่ต้องการสอบเทียบใส่ในช่องใส่เทอร์โมมิเตอร์ (thermometer well) ที่บริเวณกึ่งกลางเตาด้านบนลงสู่เซลล์ ปลายรอยต่อวัดอุณหภูมิเทอร์โมคัปเปิลจะต้องถูกยกสูงจากก้นเซลล์ประมาณ 5 mm เพื่อเว้นระยะการยืดขยายของวัสดุที่อุณหภูมิสูง และปลายรอยต่ออ้างอิงอีกด้านของเทอร์โมคัปเปิลจะต้องถูกรักษาไว้ที่อุณหภูมิอ้างอิง 0 องศาเซลเซียส (ice point) ก่อนต่อเข้ากับอุปกรณ์ดิจิตอลโวลต์มิเตอร์สำหรับอ่านค่า output ตลอดการวัด จากนั้นค่อยๆ ปรับเพิ่มอุณหภูมิ ไปที่อุณหภูมิต่ำกว่าจุดหลอมเหลวของ Co-C eutectics (1 324 °C ) ประมาณ 10 °C (set 1 310 °C rate 5 °C/min) ทิ้งไว้ให้สมดุลอย่างน้อย 2 ชั่วโมงเพื่อให้แน่ใจว่า เซลล์และอุปกรณ์ประกอบภายในทั้งหมดรวมถึงเทอร์โมคัปเปิลร้อนทั่วถึงดี จากนั้นเริ่มทำการวัดรอบที่ 1 โดยค่อยๆ เพิ่มอุณหภูมิไปที่อุณหภูมิสูงกว่าจุดหลอมเหลวของ Co-C eutectics ประมาณ 10 °C (set 1 334 °C rate 2.5 °C/min) เมื่ออุณหภูมิถึงประมาณ 1 324 °C เซลล์จากสถานะของแข็งจะเริ่มหลอมละลาย (melting) สังเกตุได้จาก output ของเทอร์โมคัปเปิลจะคงที่ไม่เปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิของเตา ทิ้งไว้ที่อุณหภูมินี้ประมาณ 1 ชม. เพื่อให้แน่ใจว่าเซลล์หลอมเหลวหมด สังเกตุได้จาก output ของเทอร์โมคัปเปิล เพิ่มสูงขึ้นไปยังอุณหภูมิเตาที่ตั้งไว้ จากนั้นปรับอุณหภูมิลดลง (set 1 314 °C rate 2.5 °C/min) เพื่อให้ เซลล์แข็งตัว (freezing) เท่ากับ 1 รอบการวัด ทิ้งไว้ที่อุณหภูมินี้ประมาณ 1 ชม. จนกระทั่งเซลล์แข็งตัว

ทั้งหมด สังเกตได้จาก output ของเทอร์โมคัปเปิล ลดลงมายังอุณหภูมิเตาที่ตั้งไว้ จากนั้นทำซ้ำโดยเพิ่มอุณหภูมิขึ้นให้เซลล์หลอมเหลวอีกจนครบ 3 รอบ เมื่อครบแล้ว ค่อยๆลดอุณหภูมิเซลล์ลงมาที่อุณหภูมิห้อง (set 25 °C rate 5 °C/min)

## 3 ผลการทดลอง (Measurement Results)

รูปที่ 3 แสดงกราฟ output ของเทอร์โมคัปเปิล Type S ตามเวลาในหน่วยไมโครโวลต์ ระหว่างทำการสอบเทียบด้วย Co-C eutectic fixed point cell ในช่วงที่เซลล์ยังไม่เปลี่ยนแปลงสถานะ สัญญาณ output ของเทอร์โมคัปเปิลจะเพิ่มขึ้น/ลดลงตามอุณหภูมิของเตาที่ส่งผ่านมายังเซลล์ เมื่ออุณหภูมิถึงจุดอุณหภูมิคงที่เซลล์เปลี่ยนสถานะหลอมเหลวหรือแข็งตัว output ของเทอร์โมคัปเปิลจะคงที่ตามเวลาไม่เปลี่ยนแปลงตามการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของเตา เกิด Melting/ Freezing plateau




**รูปที่ 3** Output ของเทอร์โมคัปเปิล Type S ขณะทำการสอบเทียบที่ Co-C eutectic fixed point cell

การคำนวนหาค่า output ของเทอร์โมคัปเปิล คำนวณจากผลการทดลองโดยใช้การหาตำแหน่งจุดเปลี่ยนเว้า (inflection point) ของกราฟการหลอมเหลว เนื่องจากมีการทำซ้ำได้ (Reproducibility) ที่ดีกว่าจุดเยือกแข็ง ด้วยข้อจำกัดของ solidification ที่ไม่เส้นคงวาของอัลลอยด์ [3] จากผลการทดลองสามารถหา output ของเทอร์โมคัปเปิลที่จุดหลอมเหลว ครั้งที่ 1, 2 และ 3 ได้เท่ากับ 13 437.4 µV, 13 437.7 µV, 13 437.1 µV ตามลำดับ ได้ค่าเฉลี่ยของ output ของเทอร์โมคัปเปิล ($E$) เท่ากับ 13 437.4 µV โดยมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าเฉลี่ยนี้เท่ากับ 0.2 µV

พิจารณาค่า output จากตารางมาตรฐานของเทอร์โมคัปเปิล Type S ($E_{ref}$) ที่สอดคล้องกับอุณหภูมิของ Co-C eutectics ที่ 1 324 °C มีค่าเท่ากับ 13 437.1 µV [5] ดังนั้น ได้ว่าค่าความผิดพลาด error ของเทอร์โมคัปเปิลนี้($E$-$E_{ref}$) เท่ากับ -13.4 µV หรือประมาณ -1.1 °C เมื่อค่า sensitivity ของเทอร์โมคัปเปิล Type S ที่อุณหภูมินี้เท่ากับ 12 µV/ °C

การสอบเทียบเทอร์โมคัปเปิล จำเป็นต้องรายงานค่าผลการวัดควบคู่กับค่าความไม่แน่นอนของการวัดที่เกิดขึ้นด้วย ตารางที่ 1 แสดงสรุปค่าความไม่แน่นอนต่างๆ ที่เกิดขึ้นในการสอบเทียบเทอร์โมคัปเปิลกับเซลล์ Co-C eutectics นี้ โดยแหล่งที่มาของค่าความไม่แน่นอนที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ (1) ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (2) ค่าความไม่แน่นอนที่เกิดขึ้นจากการตัดสินค่าโวลต์เตจที่จุดหลอมเหลว (3) ค่าความไม่แน่นอนจากความไม่เป็นเอกรูปของเทอร์โมคัปเปิล(4) ค่าความไม่แน่นอนที่เกี่ยวของกับจุดกำเนิดอุณหภูมิมาตรฐาน (5) ค่าความไม่แน่นอนเนื่องจากการสอบเทียบดิจิตอลโวลต์มิเตอร์ (6) ค่าความไม่แน่นอนเนื่องจากสัญญาณโวลต์เตจรบกวนและอื่นๆ (7) ค่าความไม่แน่นอนจาก ice point ที่นำมาใช้เป็นอุณหภูมิที่รอยต่ออ้างอิงของเทอร์โมคัปเปิล ค่าต่างๆเหล่านี้ต้องผ่านกระบวนการวิเคราะห์เชิงสถิติ และนำคำนวณหาค่าความไม่แน่นอนรวมในการสอบเทียบ รายละเอียดการคำนวณหาค่าความไม่แน่นอนอย่างละเอียดสามารถศึกษาเพิ่มเติมได้ตามเอกสาร [6] จากตารางที่ 1 ได้ค่าความไม่แน่นอนรวม (root sum square) อยู่ที่ 7.0 µV หรือ 0.6 °C ( 95% confidence, coverage factor k=2 )

| Co-C Melting point (°C) | 1 324 |
|---|---|
| Type A | |
| (1) Reproducibility of melting voltage, $\mu$V | 0.2 |
| Type B | |
| (2) Plateau determination, $\mu$V | 0.6 |
| (3) Thermocouple Inhomogeneity, $\mu$V | 1.6 |
| (4) Eutectic temperatures, $\mu$V | 3.0 |
| (5) Voltmeter calibration, $\mu$V | 0.1 |
| (6) Spurious emf, $\mu$V | 0.6 |
| (7) Ice point uncertainty, $\mu$V | 0.1 |
| Combined uncertainty ($k$=1) /$\mu$V | 3.5 |
| Combined uncertainty ($k$=2) /$\mu$V | 7.0 |
| Temperature equivalent ($k$=2) / °C | 0.6 |

ตารางที่ 1 ตัวอย่างตารางแสดงค่าความไม่แน่นอนต่างๆ ในการสอบเทียบเทอร์โมคัปเปิล

## 4. สรุป

บทความนี้ ได้ทำการอธิบายถึงการพัฒนามาตรฐานการวัดอุณหภูมิสูง ที่จุดกำเนิดอุณหภูมิมาตรฐานยูเทคติคโคบอลคาร์บอล (Co-C eutectic fixed point cell) เพื่อนำมาใช้ในการสอบเทียบเทอร์โมคัปเปิล Type S จากวิธีการสอบเทียบที่ได้สถาปณาขึ้นที่สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ

สามารถให้ค่าความถูกต้องของการวัดอุณหภูมิที่ Co-C eutectic fixed point cell อุณหภูมิ 1 324 °C ด้วยเทอร์โมคัปเปิล Type S นี้ เท่ากับ 13 437.4 μV โดยมีค่าความไม่แน่นอนรวมของการสอบเทียบเทอร์โมคัปเปิลชนิด S ที่อุณหภูมินี้ อยู่ที่ 7.0 μV หรือ 0.6 °C ซึ่งเพียงพอต่อความต้องการของภาคอุตสาหกรรมในการใช้งานเทอร์โมคัปเปิลเพื่อยืนยันความถูกต้องของการวัดอุณหภูมิสูงกว่า 1 000 °C

## 5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติในการสนับสนุนการดำเนินการจัดหาครุภัณฑ์ Co-C eutectic fixed point cell พร้อมอุปกรณ์ประกอบระบบภายใต้โครงการเงินกู้เพื่อฟื้นฟูเศรษฐกิจและพัฒนาโครงสร้างพื้นฐาน (Development Policy Loan : DPL)

### เอกสารอ้างอิง

[1] H. Preston-Thomas, "The International Temperature Scale of 1990 (ITS-90)," *Metrologia,* vol. 27, p. 3, 1990.

[2] D.R. White and J.V. Nicholas, Traceable temperatures : An Introduction to temperature measurement and calibration , 2nd ed., John Wiley& Sons Ltd., England, 2001.

[3] E. R. Woolliams, G. Machin, D. H. Lowe, and R. Winkler, "Metal (carbide)–carbon eutectics for thermometry and radiometry: a review of the first seven years," *Metrologia,* vol. 43, pp. R11-25, 2006.

[4] Y.Yamada, F.Sakuma, and A.Ono, "Thermocouple observations of melting and freezing plateaus for metal-carbon eutectics between the copper and palladium points," *Metrologia,* vol. 37, pp. 71-73, 2000.

[5] ASTM, "E230-03 Specification and temperature -Electromotive Force (EMF) Tables for standardized thermocouples," in *ASTM standards section 14 Vol.14.03 Temperature Measurement*, ed. Conshohocken, PA: ASTM International, 2005.

[6] EURAMET/cg-08/v.01 (EA-10/08) ,Calibration of Thermocouples, European Association of National Metrology Institutes, 2007.

**ประวัติผู้เขียนบทความ** :
**ชื่อ-นามสกุล :** ดร. อ้อยใจ อ่องหร่าย
นักมาตรวิทยา
ห้องปฏิบัติการอุณหภูมิ
ฝ่ายมาตรวิทยาอุณหภูมิ สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ ปทุมธานี

**การศึกษา :**

| | |
|---|---|
| วท. บ. (ฟิสิกส์) | ม.ศิลปากร สำเร็จปี 2543 |
| วท. ม. (ฟิสิกส์) | ม.จุฬาลงกรณ์ สำเร็จปี 2547 |
| PhD. in Physics | University of Surrey, United Kingdom สำเร็จปี 2555 |

**สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ:** Thermodynamics, Temperature standards, Thermocouple thermometry, High temperature measurement In-situ calibration for industry applications

**งานวิจัย**

1. พัฒนามาตรฐานการวัดอุณหภูมิสูงกว่าหนึ่งพันองศาเซลเซียสเพื่อการวัดอุณหภูมิแบบสัมผัส
2. การใช้องค์ความรู้ด้านมาตรวิทยาอุณหภูมิในการจัดการพลังงานของภาคอุตสาหกรรมหนัก
3. Self –validation technique for thermocouple measurement

# การพัฒนาชุดวัด Laser power ที่มีความถูกต้องสูง เพื่อศึกษาระดับความปลอดภัยของ Laser pointer ที่จำหน่ายในประเทศไทย

# Development of an accurate laser power testing kit for safety assessment of laser pointers in Thailand

**กนกวรรณ นนทพจน์[1] และ ณรัฐ รุจิรัตน์ [1]**
[1]ห้องปฏิบัติการเลเซอร์พาวเวอร์ ฝ่ายมาตรวิทยาไฟฟ้า สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ
3/4-5 หมู่ 3 ตำบลคลองห้า อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 12120 โทรศัพท์ 0 2577 5100 ต่อ 1333 E-mail: kanokwan@nimt.or.th

## บทคัดย่อ

จากความก้าวหน้าของเทคโนโลยีเลเซอร์ที่รวดเร็ว ส่งผลให้เลเซอร์พอยเตอร์ (laser pointer) มีราคาที่ถูกลง มีกำลังที่สูงขึ้น และมีสีสันที่หลากหลาย และได้เข้ามามีบทบาทในชีวิตประจำวันของทุกคนมากขึ้น การใช้งานโดยคนที่ไม่มีความตระหนักถึงอันตรายที่อาจเกิดขึ้นเป็นเหตุให้เกิดอุบัติเหตุเกี่ยวกับดวงตาเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ หลายๆประเทศได้ตระหนักถึงผลกระทบเหล่านี้ จึงได้มีข้อกำหนดเกี่ยวกับระดับความปลอดภัยของ laser pointer เพื่อเป็นการคุ้มครองผู้บริโภค แต่อย่างไรก็ตาม ประเทศไทยยังไม่มีข้อกำหนดเหล่านี้ ดังนั้นจึงเป็นแรงกระตุ้น ให้มีการศึกษาระดับความอันตรายของ laser pointer ที่จำหน่ายในประเทศไทย โดยอ้างอิงข้อกำหนดของประเทศสหรัฐอเมริกา US Code of Federal Regulations (CFR) งานวิจัยนี้จะเป็นการพัฒนาชุดวัดกำลังของเลเซอร์ (Laser power) ที่มีความถูกต้องสูง ปลอดภัยในการใช้ และราคาไม่แพง ที่จะประกอบไปด้วย power meter ชนิด thermopile, bandpass filters, lens mount และ iris โดยจะนำมาทดสอบวัดกำลังของ laser pointer ที่สุ่มตัวอย่างมาจากตลาดในประเทศประมาณ 20 ชิ้น รวมไปถึงการประเมินค่าความไม่แน่นอนในการวัด และนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ระดับความอันตรายของ laser pointer ที่จำหน่ายในประเทศ

คำสำคัญ: เลเซอร์พอยเตอร์, กำลังเลเซอร์, ระดับความอันตราย, ค่าความไม่แน่นอนในการวัด

## Abstract

Recent advances in laser technology have enabled low-cost, more powerful, and more visible wavelengths of laser pointers. Large numbers of these high power lasers have found their way into people's lives and are being used by people who may be unaware of potential eye injury, resulting in increased reports of retinal injuries. Therefore, many countries have issued restrictions or regulations, on the power limit of laser pointers used for demonstration purposes. At present, there are none of these regulations on the sale and use of laser pointers in Thailand. In this research, an accurate, inexpensive, user friendly, laser pointer power testing kit will be built for the measurement of optical power emitted from handheld lasers. The setup consists of a thermopile power meter, optical bandpass filters, lens mounts, lens tube, and iris. Output power of about 20 laser pointers randomly purchased from various sources will be determined, including evaluation of measurement uncertainty. The safety level with respect to the limits imposed by the US Code of Federal regulations will be also discussed.

Keywords: Laser pointers, laser power, laser safety level, measurement uncertainty

## 1. บทนำ

ปากกาเลเซอร์ (Laser pen) หรือ เลเซอร์พอยเตอร์ (laser pointer) เป็นเลเซอร์แบบพกพา (Handheld laser) ที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน ที่ใกล้ตัวของทุกคนมากๆ ก็คือ laser pointer ในการนำเสนอผลงาน และใช้ในการเรียนการสอนโดยเฉพาะในห้องปฏิบัติการระดับมัธยมศึกษา นอกจากนั้นยังนำมาใช้เป็นของเล่น และ เพื่อความบันเทิงเช่นการสร้าง special effect ในงาน concert หรือในสถานบันเทิงต่างๆ เป็นต้น ซึ่งการประยุกต์ใช้ของ laser pointer นั้นไม่มีข้อจำกัด กฎหมายของหลายๆประเทศได้กำหนดกำลัง (power) ของ laser pointer ที่คนทั่วไปสามารถซื้อใช้ไว้ที่ไม่เกิน 5 mW ความก้าวหน้าของเทคโนโลยีเลเซอร์ ได้ทำให้ laser pointer ในท้องตลาด มีราคาที่ถูกลง มีสีสันที่หลากหลายเพิ่มขึ้น นอกจาก HeNe laser pointer สีแดงที่คุ้นเคยกันดี ก็จะมี laser pointer สีเขียว สีม่วง และที่กำลังมาแรงในปัจจุบันคือ สีน้ำเงิน นอกจากมีสีสันที่หลากหลายแล้ว ระดับกำลัง ก็มีหลากหลายจากระดับ

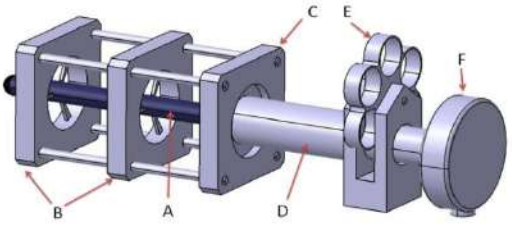
1mW-1000 mW เลยทีเดียว ซึ่งเกินข้อกำหนดของหลายๆประเทศ ที่จำกัดกำลังของ laser pointer ไว้ที่ไม่เกิน 5 mW จากการที่ทุกคนสามารถซื้อ laser pointer ชนิดใดก็ได้มาใช้ รายงานอุบัติเหตุที่เกิดกับดวงตา ก็มีเพิ่มมากขึ้นเป็นลำดับ [1–3] ในปี 2008 ประเทศออสเตรเลีย ได้ออกกฎหมายห้ามนำเข้า laser pointer ที่มีกำลังมากกว่า 1 mW หลังจากเกิดเหตุมีผู้ใช้ laser pointer กำลังสูงรบกวนการทำงานของนักบิน [4] ปี 2010 สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติของสวิสเซอร์แลนด์ (the Federal Office of Metrology in Switzerland) ได้ทำการสุ่มทดสอบ laser pointer จำนวนหนึ่งและพบว่า laser pointer ที่ไม่เป็นไปตามข้อกำหนดนั้นมีอัตราที่สูงมาก [5] และเร็วๆนี้ งานวิจัยจากสหรัฐอเมริกาโดย National Institute of Standard and Technology (NIST) ได้พัฒนาชุดวัด laser power ต้นแบบที่ไม่ซับซ้อนและไม่แพง [6] เพื่อใช้วัด กำลังของ laser pointer ในย่านความยาวคลื่นที่มองเห็นได้ (visible) และย่านอินฟราเรด(IR) ที่มีความถูกต้องสูงเพื่อนำมาทดสอบความเป็นไปตามข้อกำหนดทางกฎหมายของอเมริกา (US Code of Federal Regulations, CFR) [7,8] และพบว่า laser pointer ที่ไม่เป็นไปตามข้อกำหนดนั้นมีอัตราที่สูงมากเช่นกัน

### 1. 1 เทคโนโลยีการผลิต Laser Pointer

เลเซอร์ pointer สีแดง ในปัจจุบันใช้เทคโนโลยี vertical-cavity surface-emitting laser (VCSEL) diodes ซึ่งมีประสิทธิภาพกว่า laser diode แบบเดิม มีแสงสีแดงที่ความยาวคลื่นประมาณ 650 nm ส่วน laser pointer สีเขียวเป็นสีกำลังเป็นที่นิยมอย่างสูงในขณะนี้ เนื่องจากแสงสีเขียวเป็นคลื่นแสงที่ดวงตาของมนุษย์มองเห็นได้ดีที่สุด ถึงแม้ที่กำลังน้อยมนุษย์จะสามารถมองเห็นได้ดีราวกับว่ามีกำลังสูงทีเดียว laser pointer สีเขียวส่วนใหญ่สร้างโดยเทคโนโลยีที่เรียกว่า diode-pumped solid-state (DPSS) ซึ่งใช้ laser diode ความยาวคลื่น IR ที่ 808 nm (ตามองไม่เห็น)ในการ pump Nd:YVO4 หรือNd:YAG คริสตัล ให้ปล่อยแสง laser ออกมาที่ความยาวคลื่น IR ที่ 1064 nm (ตามองไม่เห็น) เมื่อแสงเดินทางผ่านpotassium titanyl phosphate (KTP) คริสตัลจะเกิด second harmonic generation และท้ายสุดปล่อยแสง laser ที่ความยาวคลื่น 532 nm ออกมา ดังนั้นใน laser pointer สีเขียวที่ออกแบบดี และมีคุณภาพจะต้องประกอบด้วยวัสดุที่สามารถกรองไม่ให้แสง laser ที่ความความคลื่นในช่วง IR (808 nm และ 1064 nm) ออกมาได้หรือออกมาในระดับที่ปลอดภัย ส่วนเลเซอร์ pointer สีน้ำเงิน ใช้เทคโนโลยีการสร้างเดียวกันกับเลเซอร์สีเขียว โดยมีการปล่อยลำแสงสีน้ำเงินออกมาที่ความยาวคลื่น 473 nm ในปัจจุบันมีผู้ผลิตหลายรายขาย laser pointer สีน้ำเงินที่มีกำลังสูงถึง 1500 mW ตามท้องตลาด ซึ่งเป็นเลเซอร์class 4 มีที่ความรุนแรงมาก นอกจากนี้ ยังมีเลเซอร์ pointer สีม่วงน้ำเงิน ที่ความยาวคลื่น 405 nm ( violet VIS) ซึ่งเป็น diode เลเซอร์

## 2. การออกแบบชุดวัดกำลังเลเซอร์พอยเตอร์

จุดประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อพัฒนาชุดวัดกำลังของเลเซอร์ (Laser power) ที่มีความถูกต้องสูง ปลอดภัยในการใช้ ราคาไม่แพง และสามารถวัดกำลังของเลเซอร์ได้ครอบคลุมความยาวคลื่นทั้งในย่าน visible ได้ รวมทั้งในย่าน IR ที่ 808 nm (Pump laser) และที่ 1064 nm (fundamental) ได้ ชุดวัดประกอบด้วยส่วนประกอบต่างๆ ดังรูปที่ 1 ซึ่งประกอบด้วย (A) Laser pointer (B) self-centering lens mounts สำหรับการวัดแบบ hand free และยึดเลเซอร์พอยเตอร์ ให้ไม่เคลื่อนที่ (C) Adjustable iris ยึดกับ laser pointer และ the lens tube (D) อย่างพอดี โดยที่ Iris สามารถปรับความกว้างได้ตามขนาดของเลเซอร์พอยเตอร์ ทั้งสองส่วนทำหน้าที่ปิดลำแสงเลเซอร์ไม่ให้เล็ดลอดออกมา (E) Bandpass filters ซึ่งใส่ไว้ใน selectable filter wheel และ (F) คือ Power meter ซึ่งอ่านค่ากำลังของเลเซอร์ที่ผ่าน filter ออกมา




รูปที่ 1 ชุดวัดกำลังของเลเซอร์พอยเตอร์

## 3. วิธีการทดลอง

การวัดกำลังของ laser pointer นั้น ขึ้นอยู่กับสีของ laser ที่ต้องการวัด การวัดกำลังของเลเซอร์สีแดงและสีม่วงซึ่งมีความคลื่นเดียวไม่ต้องใช้ bandpass filter กำลังของ laser pointer มีค่าเป็น

$$P_{red,violet} = \frac{P_{total}}{C_n} \qquad (1)$$

โดยที่ $P_{total}$ คือค่ากำลังที่อ่านได้ และ $C_n$ คือ Calibration factor ของ laser power detector (ได้มาจากการสอบเทียบ รายละเอียดในหัวข้อถัดไป) สำหรับเลเซอร์สีเขียวซึ่งประกอบด้วยความยาวคลื่น 532 nm (green) 808 nm (IR diode pump) และ 1064 nm (IR fundamental) ดังนั้นกำลังคือของเลเซอร์สีเขียวคือ

$$P_{532} = \frac{P_{total}}{C_n} - [P_{808} + P_{1064}] \qquad (2)$$

$$P_{808} = \frac{P'_{808}}{C_n T_{808}} \qquad (3)$$

$$P_{1064} = \frac{P'_{1064}}{C_n T_{1064}} \qquad (4)$$

โดยที่ $P'_\lambda$ คือค่ากำลังของเลเซอร์ความยาวคลื่น λ ที่อ่านได้จาก detector $C_n$ คือ Calibration factor ของ laser power detector และ $T_\lambda$ คือค่า

transmission ของ bandpass filter ที่ความยาวคลื่น λ ได้มาจากการทดสอบ

### 3.1 การหาค่า Calibration Factor ของ Detector

Power detector ที่ใช้เป็น Thermopile detector รุ่น 3A-P (Ophir) ซึ่งมี Spectral Range ที่ 0.15-6 μm Power range ที่ 60 μW-3W การหาค่า Calibration factor นั้น หาได้โดยการสอบเทียบกับ Reference detector ของสถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติที่สอบกลับได้ยัง SI units ที่ความยาวคลื่น 633 nm, 515 nm, และ 488 nm ที่กำลังต่างๆ โดยผลของการสอบเทียบนั้นแสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 Power detector calibration results

| Wavelength | Power | Calibration factor | Uncertainty |
|---|---|---|---|
| 633 nm | 1 mw | 1.015 | 0.6% |
| | 3 mw | 1.012 | 0.6% |
| 515 nm | 5 mW | 1.025 | 0.9% |
| | 10 mW | 1.025 | 0.9% |
| 488 nm | 5 mW | 1.009 | 0.9% |

### 3.2 การหาค่า Transmission ของ Bandpass filter

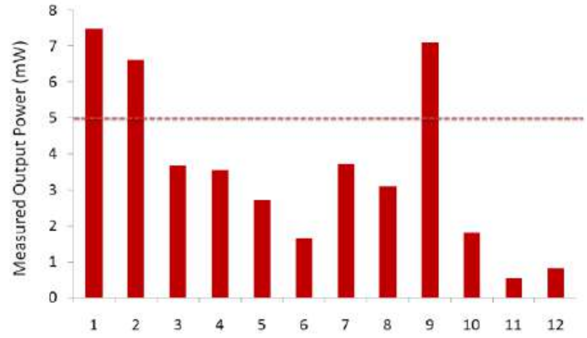
เนื่องจากเลเซอร์สีเขียวประกอบด้วยความยาวคลื่น 532 nm 808 nm (IR diode pump) และ1064 nm (IR fundamental) Bandpass filter ที่ใช้คือชนิด 800 ± 8 nm, FWHM = 40 ± 8 nm และ 1064 ± 2 nm, FWHM = 10 ± 2 nm. ค่า Transmission นั้นหาจาก อัตราส่วนของกำลังของเลเซอร์ที่วัดได้จาก standard pyroelectric detector แบบมี filter และไม่มี filter ค่า Transmission ของ filter ทั้งสองนั้นวัดโดยใช้ Nd:YAG laser ที่ความยาวคลื่น 1064 nm และ 532 nm ค่า Transmisson และ uncertainty นั้นแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ค่า Transmission และ uncertainty ของ Bandpass filter

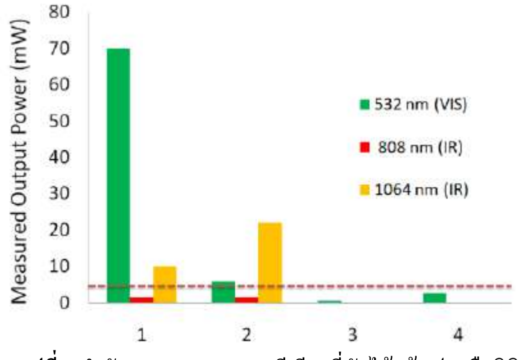
| Filter center wavelength | Laser wavelength | % Transmission | Uncertainty, $u_f$ |
|---|---|---|---|
| 800 nm | 532 | 0.00 | - |
| | 1064 | 0.00 | |
| 1064 nm | 532 | 0.00 | - |
| | 1064 | 84.92% | 0.1 % |

## 4. ผลการทดลอง

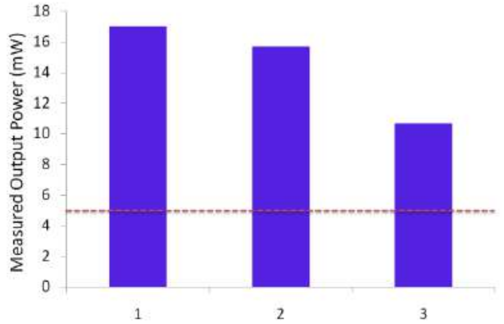
ชุดวัดนี้ ใช้ ศึกษาและทดสอบ กำลังของ laser pointer ที่ใช้และจำหน่ายในประเทศ ทั้งในย่านแสงที่มองเห็น (visible) และมองไม่เห็น (IR) ว่าเป็นไปตามมาตรฐานความปลอดภัยของสากลหรือไม่ และเป็นไปตาม spec ที่กำหนดไว้บนเครื่องมือหรือไม่ เนื่องจากประเทศไทยยังไม่มีข้อกำหนดทางกฎหมายเกียวกับ laser pointer งานวิจัยนี้จึงอ้างอิงข้อกำหนดที่ 21 ของ US CFR งานวิจัยนี้วัดกำลังของ laser pointer ที่สุ่มตัวอย่างมาจากตลาดในประเทศทั้งหมด 19 ชิ้นและทุกชิ้นต่างระบุว่าเป็น Class 3R หรือต่ำกว่า ผลการทดลองที่รวมความไม่แน่นอนในการวัดที่ 1% แสดงดังกราฟที่ 1-3 ซึ่งจะเห็นได้ว่า เลเซอร์สีแดงที่สุ่มซื้อมาวัดทั้งหมด 12 ชิ้น มีจำนวน 3 ชิ้น ที่ให้กำลังเกิน 5 mW (ในย่าน visible) ซึ่งเป็นลิมิตของ US CFR เลเซอร์สีเขียวที่วัด 4 ชิ้น มี 2 ชิ้น ที่มีกำลังเกินกว่า CFR โดยที่ความยาวคลื่น visible สีเขียว มีค่ากำลังสูงถึง ~70 mW และ ~20 mW ที่ ความยาวคลื่น 808 nm ทั้งสองชิ้นนี้ มีค่ากำลัง 1.5 mW และที่ความยาวคลื่น 1064 nm มีค่ากำลังสูงถึง ~ 10 mW และ ~20 mW ซึ่งเกินกว่า CFR limit มาก (0.63 mW ที่ความยาวคลื่น 808 nm และ 1.92 mW ที่ความยาวคลื่น 1064 nm อ้างอิงตามมาตรฐาน ANSI [9] และ IEC [10]) สำหรับกำลังของ laser pointer สีน้ำเงินที่วัดทั้ง 3 ชิ้น พบว่า ทุกชิ้น ให้ค่ากำลังเกิน 5 mW โดยให้ค่ากำลังที่ ~ 17 mW, 16 mW และ 11 mW ตามลำดับ




**กราฟที่ 1** กำลังของ laser pointer สีแดงที่วัดได้ เส้นประคือลิมิตกำลังของเลเซอร์ที่เป็นไปตาม Class 3R visible AEL (5 mW)




**กราฟที่ 2** กำลังของ laser pointer สีเขียวที่วัดได้ เส้นประคือลิมิตกำลังของเลเซอร์ที่เป็นไปตาม Class 3R visible AEL (5 mW)




**กราฟที่ 3** กำลังของ laser pointer สีน้ำเงินที่วัดได้ เส้นประคือลิมิตกำลังของเลเซอร์ที่เป็นไปตาม Class 3R visible AEL (5 mW)

## 5. สรุป

งานวิจัยนี้ได้สร้างชุดวัดกำลังของเลเซอร์ (Laser power) ที่มีความถูกต้องสูง ปลอดภัยในการใช้ และราคาไม่แพง เป็นที่สำเร็จ โดยประกอบไปด้วย power meter ชนิด thermopile, bandpass filters, lens mount และ iris และได้นำมาทดสอบวัดกำลังของ laser pointer ที่สุ่มตัวอย่างมาจากตลาดในประเทศจำนวน 19 ชิ้น ซึ่งประกอบไปด้วยเลเซอร์สีแดง สีเขียว และสีม่วง มีค่าความไม่แน่นอนในการวัดของชุดวัดที่ 1% โดยประเมินจากการสอบเทียบ power detector และ bandpass filter และได้ทำการวิเคราะห์ระดับความอันตรายของ laser pointer ที่จำหน่ายในประเทศ โดยอ้างอิงตามมาตรฐาน ANSI และ IEC นั้น พบว่ากำลังของเลเซอร์พอยเตอร์สีแดง 75% เป็นไปตามลิมิตของ US Code of Federal Regulations (US CFR) ในขณะที่ 50% ของเลเซอร์พอยเตอร์สีเขียว นั้นไม่เป็นไปตามลิมิตของ US CFR ทั้งกำลังของย่านความยาวคลื่นที่มองเห็น (VIS) และมองไม่เห็น (IR) ส่วนเลเซอร์พอยเตอร์สีม่วงนั้น การวัดพบว่า เลเซอร์พอยเตอร์สีม่วงทั้งหมด ให้กำลังเกินลิมิตของ US CFR

งานวิจัยนี้ เป็นผลงานแรกที่ทำการสุ่มวัดกำลังของเลเซอร์พอยเตอร์ในประเทศไทยโดยที่มีค่าความแม่นยำสูง นอกจากนี้ยังเป็นงานแรกที่ทำการสุ่มวัดค่ากำลังเลเซอร์ของเลเซอร์พอยเตอร์สีม่วงอีกด้วย เนื่องจากในปัจจุบันยังไม่มีกฎระเบียบควบคุมการซื้อขายและนำเข้าอุปกรณ์เลเซอร์ในประเทศไทย ข้อมูลเหล่านี้จะสามารถนำไปเป็นแนวทางในการออกข้อกำหนดมาตรฐานเกี่ยวกับการซื้อขาย laser pointer ในประเทศ ทั้งนี้เพื่อเป็นการประกันความปลอดภัยให้แก่ประชาชนผู้ใช้ และสร้างความตระหนักแก่สังคมในความอันตรายของ laser pointer ที่มีจำหน่ายตามท้องตลาดนั่นเอง

## 4. กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากศูนย์ประสานงานนักเรียนทุนรัฐบาลทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ

## เอกสารอ้างอิง

[1] Wong R, Sim D, Rajendram R and Menon G 2007 Class 3A laser pointer-induced retinal damage captured on optical coherence tomography Acta Opthal mol. Scand. 85227–8

[2] Wyrsch S, Baenninger P B and Schmid M K 2010 Retinal injuries from a handheld laser pointer N. Engl. J. Med. 3631089–91

[3] Ziahosseini K, Doris J P and Turner G S 2010 Maculopathy from handheld green diode laser pointer BMJ 340c2982

[4] "Laser pointers restricted after attacks". Sydney Morning Herald. 2008-04-06. Retrieved 2008-04-06

[5] Blattner P 2011 The underrated hazard potential of laser pointers METinfo18

[6] Joshua H and Marla D 2013 Accurate, inexpensive testing of laser pointer for safe operation Meas. Sci. Technol. 24(2013) 045202 (7pp)

[7] CFR 2012 Code of Federal Regulations Title 21. Food and Drugs; Part 1040: Performance Standards for Light-Emitting Products; Section 1040.10 Laser Products (US 21 CFR 1040.10)

[8] CFR 2012 Code of Federal Regulations Title 21. Food and Drugs; Part 1040: Performance Standards for Light-Emitting Products; Section 1040.11 Specific Purpose Laser Products (US 21 CFR 1040.11)

[9] ANSI 2007 American National Standard for the Safe Use of Lasers (Orlando: Laser Institute of America) ANSI Z136.1

[10] IEC 2007 Safety of Laser Products. Part 1: Equipment classification and requirements (International Electrotechnical Commission) EN 60825-1 ed. 2

### ประวัติผู้เขียนบทความ

ดร.กนกวรรณ นนทพจน์ ปัจจุบันมีตำแหน่งเป็นนักมาตรวิทยา ห้องปฏิบัติการเลเซอร์พาวเวอร์ ฝ่ายมาตรวิทยาไฟฟ้า สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ สำเร็จปริญญาตรีสาขาวิชาฟิสิกส์ จากมหาวิทยาลัยมหิดล สำเร็จปริญญาเอก สาขาวิชาฟิสิกส์ ด้วยงานวิจัยทาง Ultrafast laser spectroscopy จาก Virginia Polytechnic Institute and State University (Virginia Tech) , USA ในปี 2008 ในปี 2010-2012 ได้ไปทำวิจัยในฐานะ Guest researcher ด้านนาโนเทคโนโลยี กับ National Institute of Standard and Technology (NIST, USA) งานวิจัยที่สนใจได้แก่ optical, infrared and far-infrared spectroscopy, และ measurement standard of laser power

**บทความวิจัย**

การประชุมวิชาการ งานวิจัยและพัฒนาเชิงประยุกต์ ครั้งที่ 8

*8th ECTI-CARD 2016, Hua Hin, Thailand*

# การสอบเทียบมาตรรังสียูวีเอ โดยการเทียบกับมาตรรังสีเชิงสเปกตรัมมาตรฐานของ มว.

# Calibration of UVA radiometers by comparison against a standard spectroradiometer at NIMT

**พลวัฒน์ จำปาเรือง[1] ชยุตม์ เจริญกิจ[1] และ โรจนา ลี้เจริญ[1]**

[1]ห้องปฏิบัติการการกระจายคลื่นแสง ฝ่ายมาตรวิทยาแสง สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

3/4-5 ถนนเลียบคลองห้า ตำบลคลองห้า อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 12120 โทรศัพท์ 02-577-5100 ต่อ 2312 E-mail: pollawat@nimt.or.th

## บทคัดย่อ

มาตรรังสียูวีเอเป็นเครื่องมือที่ใช้วัดค่าความรับรังสีของหลอดรังสียูวีเอ ซึ่งมีการใช้งานอย่างแพร่หลายในวงการแพทย์ และอุตสาหกรรม การวัดรังสียูวีเอให้มีความถูกต้องสำคัญอย่างยิ่งต่อประสิทธิภาพในการรักษาผู้ป่วยและการควบคุมคุณภาพของสินค้า ดังนั้นเครื่องมือวัดจึงจำเป็นต้องได้รับการสอบเทียบก่อนนำไปใช้งาน การสอบเทียบมาตรรังสียูวีเอ ณ สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ (ประเทศไทย) อาศัยพื้นฐานการวัดรังสีเชิงสเปกตรัมโดยใช้มาตรรังสีเชิงสเปกตรัมเป็นมาตรฐานเทียบ และใช้หลอดรังสียูวีชนิดไอปรอทซีนอนเป็นแหล่งกำเนิดแสง การรายงานผลจะรายงานเป็นค่าแฟกเตอร์การสอบเทียบ วิธีการนี้ต้องคำนวณผลรวมค่ามาตรฐานของปริมาณความรับรังสีเชิงสเปกตรัมในช่วงยูวีเอตั้งแต่ความยาวคลื่น 315 นาโนเมตร จนถึง 400 นาโนเมตรซึ่งเป็นนิยามมาตรฐานระหว่างประเทศโดยองค์กรคณะกรรมาธิการความสว่างระหว่างประเทศ การประเมินความไม่แน่นอนของการวัดบนวิธีการดั้งเดิมตาม GUM จะทำให้เกิดความยุ่งยากในการหาค่าสหสัมพันธ์และความไม่เป็นเชิงเส้นของการวัด การวิเคราะห์ด้วยแบบจำลองมอนติ-คาร์โลจะสามารถแก้ปัญหานี้ได้ และให้ผลลัพธ์ที่ไม่แตกต่างกัน โดยทั่วไปขีดความสามารถของการสอบเทียบเครื่องมือชนิดนี้มีความไม่แน่นอนเท่ากับร้อยละ 4.5

คำสำคัญ: มาตรรังสียูวีเอ, มาตรรังสีเชิงสเปกตรัม, การสอบเทียบ, ความไม่แน่นอนของการวัด, แบบจำลองมอนติ-คาร์โล

## Abstract

A broadband UVA radiometer is generally known as UVA meter which is used to measure UVA irradiation of UV sources. At present, UVA radiation is utilized in many areas ranging from medical applications to industrial applications. Accurate measurement of UVA irradiation is therefore critical for effective and safe medical treatment and quality control in product manufacturing. A UVA meter should regularly be calibrated in order to maintain its measurement accuracy. This work presents a method for calibration of a UVA based on the source-based spectroradiometric method. In the calibration process, the UVA meter under calibration is calibrated against the reference spectroradiometer whose calibration factor has been previously determined by calibration against spectral irradiance standard lamps. The Hg(Xe) lamp is used as the calibration light source. The UVA calibration factor is reported on the certificate of calibration and it can be obtained from the ratio of UVA integrated irradiance value from the spectral irradiance values of the calibration source as measured by the reference spectroradiometer to the UVA meter's reading. The UVA integrated irradiance corresponds the UVA action spectrum which is the rectangular function from 315 nm to 400 nm as recommended by the International Commission on Illumination (CIE). Estimating the associated measurement uncertainty by using the traditional GUM method is too complicated due to correlations and non-linearity. To avoid such complexity, a Monte-Carlo simulation is employed and both results were not significantly different. From the Monte-Carlo method, the relative expanded measurement uncertainty for a typical UVA meter calibration at NIMT is estimated to be 4.5%.

Keywords: UVA meter, spectroradiometer, calibration, measurement uncertainty, Monte-Carlo method.

## 1. บทนำ

ในปัจจุบันมีการใช้ประโยชน์จากแหล่งกำเนิดรังสียูวีเอในหลายด้าน อาทิ งานวิจัยและงานด้านอุตุนิยมวิทยา การรักษาโรคทางผิวหนัง และโดยเฉพาะอย่างยิ่งในภาคอุตสาหกรรมที่มีการใช้งานอย่างแพร่หลาย [4] เช่น การบ่มพอลิเมอร์ในอุตสาหกรรมแม่พิมพ์ การตรวจสอบรอยแตกร้าวของโลหะ การบ่มสีและสารเคลือบของวัสดุในอุตสาหกรรมชิ้นส่วนยานยนต์ และการบ่มสารละลายเคมีไวแสงในกระบวนการถ่ายทอดลวดลายอิเล็กทรอนิกส์ด้วยเทคนิคโฟโตกราฟีใน

กระบวนการผลิตอุปกรณ์ไมโครอิเล็กทรอนิกส์ เป็นต้น การวัดค่าความรับรังสียูวีเอหรือที่รู้จักในอีกชื่อหนึ่งคือความเข้มรังสียูวีเอเพื่อให้ได้ค่าที่ถูกต้องมีความจำเป็นอย่างมาก เพราะจะส่งผลกระทบไปยังคุณภาพของผลการวิจัย ประสิทธิภาพในการรักษาผู้ป่วย คุณภาพของการทดสอบและคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ดังนั้นการสอบเทียบมาตรรังสียูวีเอก่อนนำไปใช้งานนั้นเป็นสิ่งที่สำคัญอย่างยิ่ง เพราะจะทำให้ผลของการวัดมีความถูกต้องแม่นยำและมีการสอบกลับได้ไปยังหน่วยฐานในระบบหน่วยวัดระหว่างประเทศ

ในอดีตที่ผ่านมาประเทศไทยขาดห้องปฏิบัติการที่สามารถสอบเทียบมาตรรังสียูวีเอและได้รับการรับรองมาตรฐานระบบงานระหว่างประเทศเลขที่ ISO/IEC 17025 ได้ ด้วยปัญหาดังกล่าวสถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ (ประเทศไทย) จึงได้สนับสนุนงานวิจัยพัฒนาการสอบเทียบมาตรรังสียูวีเอขึ้นในปี พ.ศ. 2555 และได้รับการรับรองตามมาตรฐานเลขที่ ISO/IEC 17025 ในปีถัดมา ซึ่งงานวิจัยนี้ได้พัฒนาวิธีการสอบเทียบมาตรรังสียูวีเอ โดยการเทียบกับมาตรรังสีเชิงสเปกตรัมมาตรฐาน และอาศัยการวิเคราะห์ข้อมูล การหาความไม่แน่นอนของการวัดด้วยวิธีมอนติ-คาร์โล ซึ่งจะทำให้สามารถหาองค์ประกอบของความไม่แน่นอนอย่างครบถ้วนสมบูรณ์ได้โดยง่าย

## 2. ทฤษฎี

มาตรรังสียูวีเอประกอบด้วย 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนแสดงผล และส่วนแปลงสัญญาณแสงเป็นสัญญาณไฟฟ้า ส่วนแปลงสัญญาณเรียกว่าหัววัดรังสียูวีเอ (UVA detector) จะประกอบด้วยไดโอดตรวจจับแสง (Photodiode) ซึ่งทำหน้าที่ในการเปลี่ยนสัญญาณแสงเป็นสัญญาณไฟฟ้า ช่องรับแสง (Aperture) ทำหน้าที่ในการกำหนดพื้นที่รับแสง ตัวกรองรังสียูวีเอ (UVA filter) เป็นตัวกำหนดการตอบสนองเชิงสเปกตรัมของหัววัดแสง และตัวกระจายแสง (Diffuser) ทำหน้าที่ช่วยทำให้ลำแสงเป็นไปตามกฎของโคไซน์ สัญญาณตั้งต้นที่วัดได้จากหัววัดรังสียูวีเอจะอยู่ในรูปของสัญญาณไฟฟ้า ( $i$ ) ในหน่วยโวลต์หรือแอมป์ และเครื่องมือชนิดนี้จะถูกสอบเทียบโดยผู้ผลิต เพื่อทำการแปลงความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณไฟฟ้าให้เป็นสัญญาณทางแสง [4] ดังสมการที่ (1)

$$i = \int_0^\infty E_\lambda(\lambda) \cdot s_{act}(\lambda) \cdot d\lambda \tag{1}$$

โดยที่ $E_\lambda(\lambda)$ คือค่าการกระจายตัวของความรับรังสีเชิงสเปกตรัมของแหล่งกำเนิดแสง (Spectral irradiance distribution of source) และ $s_{act}(\lambda)$ คือค่าการตอบสนองเชิงสเปกตรัมของมาตรรังสียูวีเอ (Spectral responsivity of UVA meter)

การสอบเทียบมาตรรังสียูวีเอมีหลากหลายวิธี เช่น เทียบกับหลอดมาตรฐานชนิดดิวเทอเรียม เทียบกับหัววัดยูวีเอมาตรฐาน เทียบกับมาตรรังสียูวีเอมาตรฐาน หรือใช้มาตรรังสีเชิงสเปกตรัมเป็นมาตรฐานเทียบ ซึ่งสามารถใช้มาตรฐานได้ 2 ชนิด คือ มาตรรังสีเชิงสเปกตรัมแบบกราดและแบบอนุกรมแถวไดโอด (Scanning and diode array spectroradiometers) [5] โดยใช้แสงจากหลอดชนิดไอปรอทซีนอน หลอดชนิดไอปรอท หรือหลอดแสงดำ (Black light lamps) เป็นแหล่งกำเนิดแสงที่ใช้ในการสอบเทียบ ทั้งนี้การเลือกแหล่งกำเนิดแสงที่ใช้ในการสอบเทียบจะส่งผลกระทบต่อความคลาดเคลื่อนในการวัดขณะใช้งาน ถ้าสเปกตรัมของแหล่งกำเนิดแสงที่ใช้ในการสอบเทียบมีลักษณะแตกต่างไปจากแหล่งกำเนิดแสงที่ถูกทดสอบซึ่งเรียกว่า ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากความไม่สอดคล้องของสเปกตรัม (Spectral mismatch error) จากงานวิจัยของสถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติประเทศสหรัฐอเมริกาพบว่ามีร้อยละของความคลาดเคลื่อน ดังตารางที่ 1 [4]

การรายงานผลการสอบเทียบจะรายงานค่าการตอบสนองต่อความรับรังสียูวีเอ (UVA irradiance responsivity, ($R_t$)) ซึ่งตามนิยามของ CIE จะสามารถหาได้ดังสมการที่ 2

$$R_t = \frac{i}{E_{UVA}} = \frac{i}{\int_{315}^{400} E_{std}(\lambda) \cdot d\lambda} \tag{2}$$

โดยที่ $E_{UVA}$ คือค่าความรับรังสีรวมในช่วงยูวีเอที่คำนวณได้จากมาตรรังสีเชิงสเปกตรัมมาตรฐาน $E_{std}(\lambda)$ คือ ค่าความรับรังสีเชิงสเปกตรัมที่วัดด้วยมาตรรังสีเชิงสเปกตรัม และ $i$ คือค่าสัญญาณที่อ่านได้จากมาตรรังสียูวีเอที่ถูกสอบเทียบ

ในบางครั้งจะนิยมรายงานค่าแฟกเตอร์การสอบเทียบ (Calibration factor, ($K_t$ )) ซึ่งคำนวณได้จากส่วนกลับของค่าการตอบสนองต่อความรับรังสียูวีเอ ดังสมการที่ 3

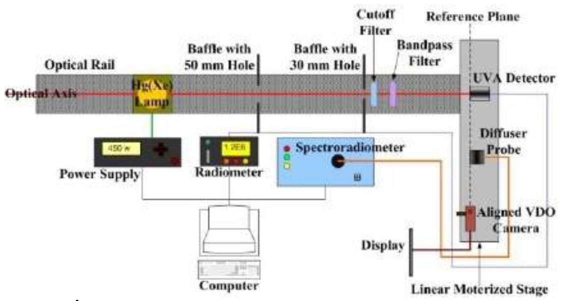
$$K_t = \frac{1}{R_t} \tag{3}$$

**ตารางที่ 1** ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากความไม่สอดคล้องของสเปกตรัม

| ชนิดหลอดที่ใช้สอบเทียบ | ชนิดหลอดที่ใช้ทดสอบ (ขณะใช้งาน) | | | |
|---|---|---|---|---|
| | ไส้ทังสเตน | ไอปรอท | ดิวเทอเรียม | ซีนอน |
| ไส้ทังสเตน | 0.0 % | 50.8 % | -6.7 % | 2.7 % |
| ไอปรอท | -33.7 % | 0.0 % | -38.2 % | -31.9 % |
| ดิวเทอเรียม | 7.2 % | 61.7 % | 0.0 % | 10.1 % |
| ซีนอน | -2.7 % | 46.8 % | -9.2 % | 0.0 % |

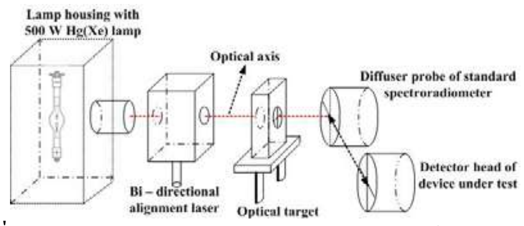
## 3. การติดตั้งอุปกรณ์และวิธีการสอบเทียบ

การสอบเทียบมาตรรังสียูวีเอ ณ สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ ใช้วิธีการบนพื้นฐานการวัดรังสีเชิงสเปกตรัม โดยการใช้มาตรรังสีเชิงสเปกตรัมชนิดอนุกรมแถวไอโอดเป็นมาตรฐานเทียบ ซึ่งจะเก็บค่าสเกลมาตรฐานสำหรับค่าการตอบสนองต่อความรับรังสีเชิงสเปกตรัม (Spectral irradiance responsivity) ไว้ และใช้หลอดชนิดไอปรอทซีนอนขนาดกำลัง 500 วัตต์ เป็นแหล่งกำเนิดแสงในการสอบเทียบ




**รูปที่ 1** ภาพมุมบนของระบบการสอบเทียบมาตรรังสียูวีเอ

สำหรับการจัดวางแนวแกนทัศนศาสตร์ (Optical axis alignment) และระนาบอ้างอิงของการวัด (Reference plane) จะใช้เทคนิคการสะท้อนกลับหมดและการแทรกสอดของแสงเลเซอร์ฮีเลียม-นีออนชนิด 2 ทิศทางร่วมกับเป้านิ่ง (Target) และกล้องวิดีโอ การติดตั้งอุปกรณ์และเครื่องมือมาตรฐานในการสอบเทียบมาตรรังสียูวีเอ มีการติดตั้งดังรูปที่ 1 โดยที่ฉากกั้นแสงขนาดรูเปิด 30 มิลลิเมตรและขนาดรูเปิด 50 มิลลิเมตรจะวางห่างจากระนาบอ้างอิงเท่ากับ 214.5 มิลลิเมตร และ 359.5 มิลลิเมตรตามลำดับ ส่วนแผ่นกรองแสงยูวีเอและแผ่นตัดแสงคลื่นยาวขนาด 2 นิ้วจะวางห่างจากระนาบอ้างอิงเป็น 159.5 มิลลิเมตรและ 199.5 มิลลิเมตรตามลำดับ



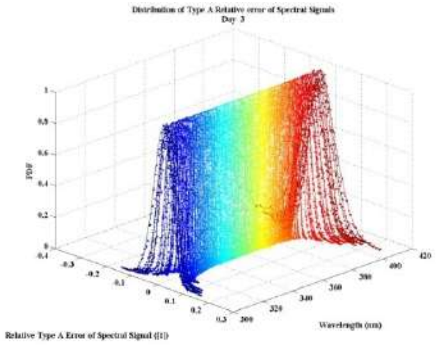

**รูปที่ 2** ภาพการจัดวางแนวหัวรับแสง ด้วยลำแสงเลเซอร์ชนิด 2 ทิศทาง

## 4. การสอบกลับได้ทางมาตรวิทยาและการประเมินความไม่แน่นอนของการวัด

มาตรรังสีเชิงสเปกตรัมมาตรฐานชนิดอนุกรมแถวไดโอดใช้เป็นมาตรฐานในการสอบเทียบมาตรรังสียูวีเอ มีการสอบกลับได้ไปยังค่าความรับรังสีมาตรฐานของกลุ่มหลอดมาตรฐาน ซึ่งมีการสอบกลับได้ไปยังหน่วยฐานในระบบหน่วยวัดระหว่างประเทศ

การประเมินความไม่แน่นอนของการวัดอ้างอิงตามมาตรฐานเลขที่ JCGM 100:2008 [1] มาตรฐานเลขที่ JCGM 101:2008 ว่าด้วยการประเมินความไม่แน่นอนด้วยวิธีการมอนติ-คาร์โล [2] และมาตรฐานเกี่ยวกับการประเมินความไม่แน่นอนของการวัดทางด้านแสงเลขที่ CIE 198:2011 [3] ทั้งนี้ความไม่แน่นอนของการวัดสำหรับการสอบเทียบมาตรรังสียูวีเอโดยการใช้มาตรรังสีเชิงสเปกตรัมเป็นมาตรฐานเทียบมีแหล่งที่มาของความคลาดเคลื่อนหลักดังนี้

- ความคลาดเคลื่อน Type A ที่อ่านค่าได้จากมาตรรังสียูวีเอภายใต้การสอบเทียบและมาตรรังสีเชิงสเปกตรัมมาตรฐาน ซึ่งมีแหล่งที่มาจาก 2 ส่วนคือ ความสามารถในการทำซ้ำ (Repeatability) และความสามารถในการทำให้เกิดขึ้นใหม่ของการสอบเทียบ 1 รอบ (Reproducibility)



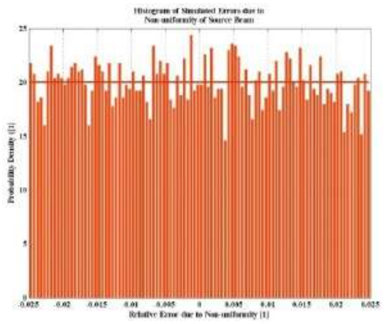

**รูปที่ 3** ความคลาดเคลื่อนของความสามารถการทำซ้ำในการวัดสเปกตรัม

- ความคลาดเคลื่อน Type B ได้มาจากหลายแหล่ง สำหรับวิธีการนี้จะเกิดจากแหล่งต่าง ๆ ดังนี้
  - ➢ จากสเกลความยาวคลื่น (Wavelength scale) ของมาตรรังสีเชิงสเปกตรัมมาตรฐานที่มีความคลาดเคลื่อนเท่ากับ ± 0.3 นาโนเมตร
  - ➢ จากความละเอียดเชิงสเปกตรัม (Spectral resolution) ของมาตรรังสีเชิงสเปกตรัมมาตรฐานซึ่งมีการประเมินความไม่แน่นอนบนพื้นฐานของ three-point method มีการประเมินความไม่แน่นอนที่ความละเอียดเชิงสเปกตรัมเท่ากับ (3.1 ± 0.2) นาโนเมตร
  - ➢ จากความไม่สม่ำเสมอเชิงพื้นที่ของแหล่งกำเนิดแสงที่ใช้ในการสอบเทียบ (Spatial non-uniformity of source) จากผลการทดลองความคลาดเคลื่อนจากส่วนนี้จะไม่เกินร้อยละ 5
  - ➢ จากการกำหนดมุมของการตกกระทบพบว่าจะมีความคลาดเคลื่อนเป็นไปได้ภายใน 3° คิดเป็นร้อยละ 0.2
  - ➢ จากแสงรบกวนเชิงสเปกตรัม (Spectral stray light) ของมาตรรังสีเชิงสเปกตรัมมาตรฐานจะประเมินที่ความคลาดเคลื่อนร้อยละ 1

➢ จากความเสถียร (Stability) ของมาตรรังสีเชิงสเปกตรัมมาตรฐาน จากการทดลองมีความคลาดเคลื่อนเท่ากับร้อยละ 0.6

➢ จากการเลื่อนของค่าสเกลมาตรฐาน (Drift of standard) จากข้อมูลประวัติพบว่าจะมีค่าต่ำกว่าร้อยละ 5

➢ จากการกำหนดระยะการวัดซึ่งจะมีความคลาดเคลื่อนไม่เกิน ± 1 มิลลิเมตร พบว่าจะมีคลาดเคลื่อนเป็นร้อยละ 0.2

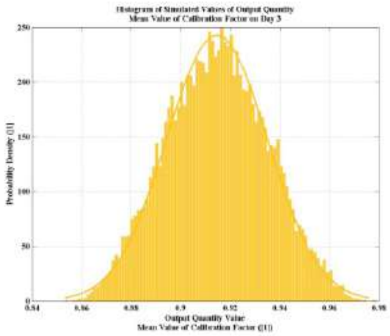


**รูปที่ 4** ความไม่แน่นอนจากความไม่สม่ำเสมอเชิงพื้นที่ของลำแสง

➢ จากผลกระทบของอุณหภูมิแวดล้อมของห้องปฏิบัติการ ความคลาดเคลื่อนจากส่วนนี้จะเท่ากับร้อยละ 1.6

➢ จากความเป็นเชิงเส้นของมาตรรังสีเชิงสเปกตรัมประเมินที่ร้อยละ 1

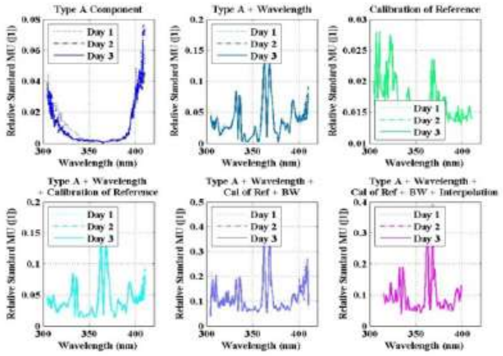
นอกจากนี้ยังมีความคลาดเคลื่อนจากแหล่งอื่น ๆ เช่น ความละเอียดของการอ่านค่า ความสามารถในการทำให้เกิดขึ้นใหม่ของการสอบเทียบหลาย ๆ รอบ เป็นต้น



**รูปที่ 5** การกระจายแฟกเตอร์การสอบเทียบที่จำลองด้วยวิธีมอนติ-คาร์โล

## 3. สรุป

การสอบเทียบมาตรรังสียูวีเอโดยใช้มาตรรังสีเชิงสเปกตรัมเป็นมาตรฐานเทียบ หากประเมินความไม่แน่นอนตามวิธีการของ GUM จะทำให้เกิดความยุ่งยากมากในการวิเคราะห์ข้อมูล อีกทั้งจะทำให้ได้ความไม่แน่นอนของการวัดที่ไม่สมบูรณ์ เนื่องด้วยไม่สามารถหาค่าสหสัมพันธ์และความเป็นเชิงเส้นของระบบได้โดยง่าย แต่หากประเมินความไม่แน่นอนโดยใช้วิธีมอนติ-คาร์โลจะทำให้สามารถวิเคราะห์ข้อมูลได้สะดวกและสามารถแก้ปัญหาข้างต้นได้ ทั้งนี้การสอบเทียบมาตรรังสียูวีเอของ มว. ด้วยวิธีการที่นำเสนอนี้จะมีความไม่แน่นอนขยายเท่ากับร้อยละ 4.5 ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95.45




**รูปที่ 6** ความสัมพันธ์ของความไม่แน่นอนจากแหล่งที่มาต่าง ๆ

## 4. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณฝ่ายมาตรวิทยาแสง สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ ที่สนับสนุนให้พัฒนาระบบการสอบเทียบนี้จนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

## เอกสารอ้างอิง

[1] Evaluation of measurement data - Guide to the expression of uncertainty in measurement, JCGM 100:2008, September 2008.

[2] Evaluation of measurement data - Supplement 1 to the “Guide to the expression of uncertainty in measurement” — Propagation of distributions using a Monte Carlo method, JCGM 101:2008, 2008.

[3] Determination of measurement uncertainties in photometry, CIE 198:2011, 2011.

[4] T.C. Larason and C.L. Cromer, “Sources of error in uv radiation measurement,” in J. Res. Natl. Inst. Stand. Technol., vol. 106, 2001, pp. 649-656.

[5] G. Xu and X. Huang, “Calibration of broadband UV radiometers – methodology and uncertainty evaluation,” in Metrologia, vol. 40, 2003, pp. S21-S24.

นายพลวัฒน์ จำปาเรือง จบการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ตำแหน่งนักมาตรวิทยาปฏิบัติการ ฝ่ายมาตรวิทยาแสง สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ มีความสนใจทางด้านแสง

# เครื่องตรวจสอบชิ้นงานอัตโนมัติโดยใช้ตัวตรวจจับชนิดเส้นใยแก้วนำแสงและกล้อง USB ราคาถูก

# Automatic inspection machine using fiber optic sensor & low cost USB camera

**ศิริพงษ์ วงษ์คาร**

ภาควิชาวิศวกรรมระบบวัดคุมและเมคคาทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร

140 แขวงกระทุ่มราย เขตหนองจอก กรุงเทพมหานคร โทรศัพท์: 02-9883666 E-mail: siripong@mut.ac.th

## บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการออกแบบเครื่องจักรอัตโนมัติเพื่อคัดแยกชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการผลิต โดยประกอบด้วย 2 ส่วนหลัก ๆ คือ การตรวจสอบเกลียวด้านในของชิ้นงานด้วยตัวตรวจจับชนิดเส้นใยแก้วนำแสง และการวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของชิ้นงานด้วยการประมวลผลภาพจากกล้อง USB ราคาถูก ซึ่งเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ด้วยโปรแกรม LabVIEW ส่งผ่านข้อมูลให้กับ PLC เพื่อทำงานควบคุมการคัดแยกชิ้นงานต่อไป

คำสำคัญ: ตัวตรวจจับชนิดใยแก้วนำแสง, กล้องเว็บแคม, ตัวควบคุมเชิงตรรกแบบโปรแกรมได้, เครื่องตรวจสอบอัตโนมัติ

## Abstract

This paper presents the design of automatic inspection machine for classification of work pieces which was mainly consist of two parts. The first section is investigating the tapping by fiber optic sensor, and another is the measurement of diameter of the objects using the low cost USB webcam which its drawing was processed by using LabVIEW software. The inspection data will be informed to the PLC for classification procedure.

Keywords: fiber optic sensor, USB webcam, PLC, automatic inspection machine

## 1. บทนำ

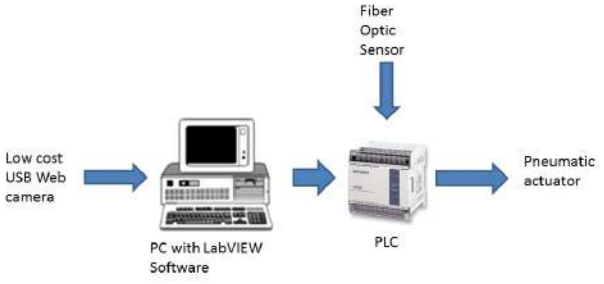
เนื่องจากชิ้นงานที่ออกจากเครื่องจักรนั้นจำเป็นต้องมีการทดสอบคุณสมบัติต่างๆ [1]-[2] ให้ถูกต้องและสมบูรณ์ครบถ้วนก่อนส่งให้กับลูกค้าดังนั้นขั้นตอนการตรวจสอบที่สำคัญคือ การวัดขนาด เส้นผ่านศูนย์กลาง และเกลียว เป็นต้น เพื่อให้ได้ชิ้นงานที่มีคุณภาพและความเชื่อถือจากกลุ่มลูกค้าในภาคธุรกิจอุตสาหกรรมที่มีบทบาทต่อประเทศในปัจจุบันอย่างมาก

ความผิดพลาดจากการทำงานของเครื่องจักรที่ผลิตออกมามีความแม่นยำและถูกต้องทุกชิ้นงานและการตรวจสอบโดยมนุษย์ก็ไม่รวดเร็วเหมือนเครื่องทดสอบดังนั้นเครื่องทดสอบจึงมีความต้องการจากผู้ประกอบการอุตสาหกรรมการผลิตชิ้นส่วนต่างๆ เพื่อไม่ให้ชิ้นงานเสียปะปนไปกับชิ้นงานดี

เครื่องตรวจสอบเกลียวและขนาดอัตโนมัติจะช่วยลดขยะอุตสาหกรรมที่ส่งผลต่อสิ่งแวดล้อมเพราะชิ้นงานบางชิ้นสามารถนำมาผลิตได้อีกครั้งโดยกระบวนการตรวจสอบแต่ละขั้นตอนหากมีความผิดพลาดในขั้นตอนใดก็สามารถตรวจสอบได้และนำกลับไปเข้าสู่กระบวนการผลิตโดยเครื่องจักรใหม่อีกครั้งเพื่อเป็นการลดต้นทุนและเวลา

## 2. โครงสร้างระบบที่นำเสนอ

โครงสร้างระบบทั้งหมดมีแผนภาพดังรูปที่ 1 ประกอบด้วยกล้องเวปแคมราคาถูกโดยจะเชื่อมต่อกับเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ติดตั้งโปรแกรม LabVIEW ผ่านทางพอร์ต USB ซึ่งเครื่องคอมพิวเตอร์เชื่อมต่อกับPLC เพื่อควบคุมการคัดแยกชิ้นงานอย่างอัตโนมัติ




**รูปที่ 1** โครงสร้างการทำงานของเครื่องตรวจสอบชิ้นงานแบบอัตโนมัติ

### 2.1 ตัวตรวจจับชนิดเส้นใยแก้วนำแสง (Fiber Optic Sensor)

ตัวตรวจจับชนิดเส้นใยแก้วนำแสง เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้สำหรับตรวจจับการมีหรือไม่มีของวัตถุ โดยอาศัยหลักการวัดปริมาณของความเข้มของแสงที่กระทบวัตถุและสะท้อนกลับมา ลักษณะของตัวตรวจจับชนิดเส้นใยแก้วนำแสงดังรูปที่ 2

**รูปที่ 2** ตัวตรวจจับชนิดเส้นใยแก้วนำแสง

ตัวตรวจจับชนิดเส้นใยแก้วนำแสงมีหลักการทำงานโดยแอมพลิฟลายเออร์ยิงแสงไปกระทบวัตถุ และสะท้อนกลับมายังหัวไฟเบอร์ออปติก แล้วส่งกลับไปยังแอมพลิฟลายเออร์ทำการประมวลผลจากค่าความเข้มแสงที่ได้แล้วส่งสัญญาณเอาต์พุตออกมา ข้อดีของการใช้ตัวตรวจจับชนิดเส้นใยแก้วนำแสงคือ ขนาดของหัวที่มีขนาดเล็กทำให้เหมาะกับการใช้งานในพื้นที่จำกัดหรือตรวจจับชิ้นงานที่มีขนาดเล็ก

ส่วนประกอบของตัวตรวจจับชนิดเส้นใยแก้วนำแสงประกอบไปด้วยสองส่วนหลักๆคือ แอมพลิฟลายเออร์ และหัวไฟเบอร์ออปติก แอมพลิฟลายเออร์ เป็นอุปกรณ์ทำหน้าที่ประมวลผลจากค่าความเข้มแสงที่ได้รับส่งเป็นสัญญาณเอาต์พุตออกมา

## 2.2 กล้อง USB

ระบบการตรวจสอบขนาดด้วยภาพจะใช้กล้องเว็บแคม (web camera) ที่มีความความละเอียด 2 ล้านพิกเซลและสามารถปรับความละเอียดสูงสุดได้ถึง 16 ล้านพิกเซล มีอัตราเฟรมสูงสุด 30 เฟรมต่อวินาที และใช้การเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ด้วยมาตรฐาน USB 2.0 ดังแสดงในรูปที่ 3

**รูปที่ 3** กล้องเว็บแคมราคาถูก

## 2.3 ระบบคัดแยกชิ้นงานด้วย PLC

PLC (Programmable Logic Control) คือตัวควบคุมที่นิยมใช้ในการควบคุมในงานอุตสาหกรรม ถูกพัฒนาขึ้นมาเพื่อทดแทนวงจรรีเลย์ เป็นเครื่องควบคุมที่มีราคาถูก สามารถใช้งานได้อย่างเอนกประสงค์ และสามารถเรียนรู้การใช้งานได้ง่าย ซึ่งในระบบที่ออกแบบนี้ได้ใช้ PLC ของบริษัทมิตซูบิชิ รุ่น FX1N-40MR ที่มีดิจิตอลอินพุต 24 ช่อง และดิจิตอลเอาต์พุต16 ช่อง ดังรูปที่ 4

**รูปที่ 4** PLC มิตซูบิชิ รุ่น FX1N-40MR

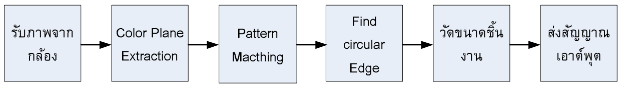
เมื่อชิ้นงานผ่านกระบวนการตรวจสอบเกลียวและวัดขนาดเสร็จเรียบร้อยแล้ว PLC จะทำหน้าที่แยกชิ้นงานดีและเสียออกจากกัน โดยใช้ระบบนิวเมติกส์ในการผลักชิ้นงานเสียออกจากสายพานลำเลียงดังรูปที่ 5

ชิ้นงานดี ชิ้นงานเสีย

**รูปที่ 5** ระบบคัดแยกชิ้นงานด้วย PLC

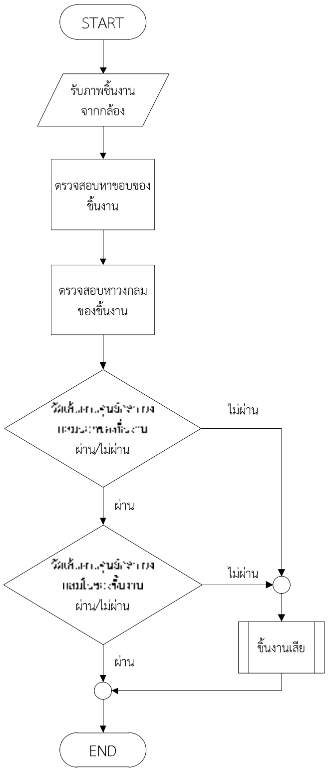
## 3. การออกแบบโปรแกรมประมวลผลภาพ

การตรวจจับขนาดวงกลมของชิ้นงานจะใช้การประมวลผลภาพด้วยโปรแกรม LabVIEW ร่วมกับ NI Vision Module ของบริษัท National Instruments ซึ่งมีความสามารถในการจับคู่รูปแบบ (Pattern Matching) การทำงานของโปรแกรมประมวลผลภาพ เมื่อรับภาพจากกล้องแล้ว จะทำการแยกระนาบสี (Color Plane) เพื่อนำภาพไปประมวลผล จากนั้นโปรแกรมประมวลผลจะทำการจับคู่รูปแบบกับภาพต้นแบบและตรวจจับขอบของวงกลมของชิ้นงานเพื่อวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่กำหนดจะส่งสัญญาณเอาต์พุต ดังรูปที่ 6




**รูปที่ 6** บล็อกไดอะแกรมการประมวลผลภาพ

ขั้นตอนการคัดแยกชิ้นงานว่าเป็นชิ้นงานดีหรือชิ้นงานเสีย สามารถแสดงดังแผนภาพในรูปที่ 7




**รูปที่ 7** โฟลว์ชาร์ตการทำงานการประมวลผลด้วยโปรแกรม LabVIEW

จากรูปที่ 7 โปรแกรม LabVIEW จะรับภาพชิ้นงานจากกล้อง นำมาหาขอบของชิ้นงาน ตรวจสอบวงกลมของชิ้นงาน วัดเส้นผ่าศูนย์กลางชิ้นงาน ทั้งเส้นผ่าศูนย์กลางนอกของชิ้นงานว่าอยู่ในค่าที่ได้กำหนดไว้หรือไม่ ถ้าไม่อยู่ในค่าที่ได้กำหนดไว้ก็จะเป็นงานเสีย โปรแกรมก็ส่งค่าออกเป็นชิ้นงานเสียให้กับ PLC ต่อไป แต่ถ้าอยู่ในค่าที่กำหนดไว้ก็จะผ่านมาวัดเส้นผ่าศูนย์กลางของวงกลมในของชิ้นงาน แต่ถ้าวัดวงกลมในแล้วไม่อยู่ในค่าที่กำหนดก็จะเป็นงานเสีย โปรแกรมก็ส่งค่าออกไปบอกว่าเป็นชิ้นงานเสียให้กับ PLC ส่วนถ้าอยู่ในค่าที่กำหนดก็จะเป็นชิ้นงานดี โปรแกรมก็จะส่งค่าออกไปบอกว่าเป็นงานดีให้กับ PLC เพื่อประมวลผลต่อไป จะเห็นได้ว่าจะมีการเช็คค่าสองค่าถ้าค่าใดค่าหนึ่งไม่ได้โปรแกรมก็จะส่งค่าเป็นงานเสียทันที จะไม่มีการเช็คงานในขั้นตอนต่อไปเพื่อลดเวลาในการทำงานลง

## 4. ผลการทดสอบ

ชิ้นงานที่นำมาวัดเพื่อทำการทดลองการทำงานของเครื่องตรวจสอบชิ้นงานอัตโนมัติ จะเป็นลักษณะทรงกระบอก 2 ชั้น มีรูตรงแกนกลางและมีเกลียวอยู่ด้านในมีมุมของเกลียว 60 องศา ดังรูปที่ 8

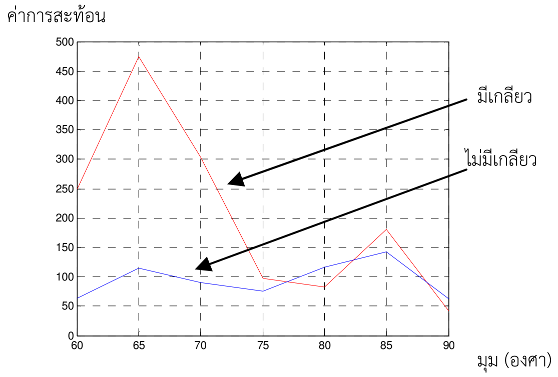
ชิ้นงานมีเกลียว

ชิ้นงานไม่มีเกลียว

**รูปที่ 8** ชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบ

### 4.1 การตรวจสอบเกลียวด้วยตัวตรวจจับเส้นใยแก้วนำแสง

ผลการทดสอบไฟเบอร์ออปติกเซนเซอร์ที่ปล่อยแสงไปกระทบกับชิ้นงานที่มีเกลียวและไม่มีเกลียวค่าที่ได้ในแต่ละมุมของการวัดค่าสะท้อนจะมีค่าแตกต่างกันออกไปเนื่องจากการที่เกลียวทำมุมกับเซนเซอร์แต่ละมุมจะมีแสงที่สะท้อนกลับมาไม่เท่ากันดังรูปที่ 9




รูปที่ 9 เปรียบเทียบมุมในการวัดค่าสะท้อนแสง

ซึ่งจากการตรวจสอบหากพบว่าชิ้นงานไม่มีเกลียวก็จะถูกนำกลับไปแก้ไขในขั้นตอนการทำเกลียวใหม่

### 4.2 การวัดขนาดชิ้นงานด้วยกล้อง

ผลการทดสอบหาค่าขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของชิ้นงานวงกลมทั้งด้านในและด้านนอกโดยใช้กล้องเว็บแคมราคาถูกเปรียบเทียบกับค่าที่วัดได้จากเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์สามารถแสดงผลได้ดังตารางที่ 1 และตารางที่ 2

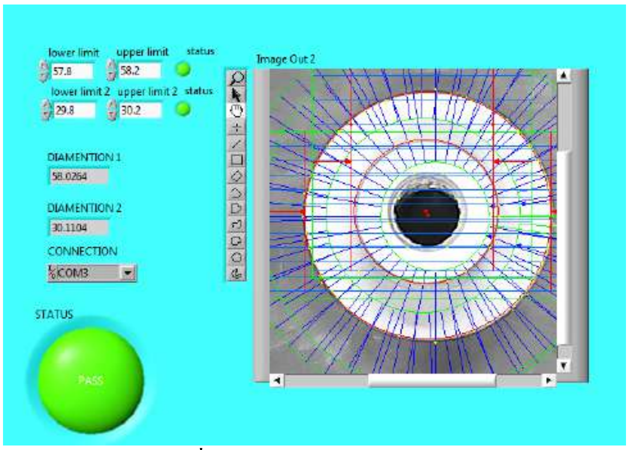
ตารางที่ 1 เปรียบค่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางวงกลมด้านใน ที่วัดได้จากกล้องและเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์

| ชิ้นที่ | ค่าเฉลี่ยที่วัดได้จากกล้อง (mm) | ค่าที่วัดจากเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ (mm) | ความผิดพลาด (mm) |
|---|---|---|---|
| 1 | 29.95 | 30.20 | 0.25 |
| 2 | 29.52 | 29.95 | 0.43 |
| 3 | 29.74 | 30.05 | 0.31 |
| 4 | 27.62 | 28.20 | 0.58 |
| 5 | 27.62 | 28.10 | 0.48 |
| 6 | 29.42 | 29.90 | 0.48 |

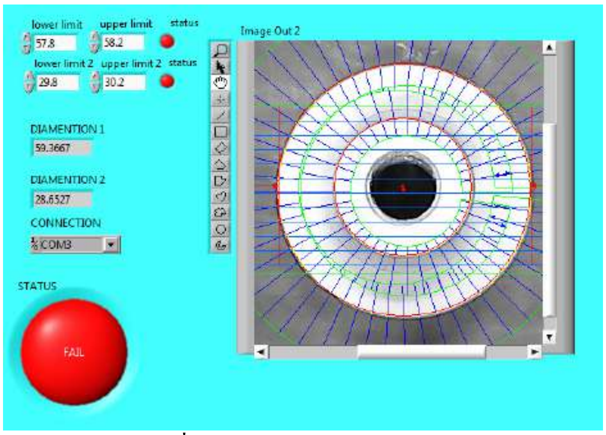
ตารางที่ 2 เปรียบค่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางวงกลมด้านนอก ที่วัดได้จากกล้องและเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์

| ชิ้นที่ | ค่าเฉลี่ยที่วัดได้จากกล้อง (mm) | ค่าที่วัดจากเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ (mm) | ความผิดพลาด (mm) |
|---|---|---|---|
| 1 | 58.05 | 58.10 | 0.05 |
| 2 | 59.22 | 59.50 | 0.28 |
| 3 | 58.12 | 58.30 | 0.18 |
| 4 | 57.33 | 57.70 | 0.37 |
| 5 | 59.09 | 59.20 | 0.11 |
| 6 | 57.16 | 57.00 | 0.16 |

การคัดแยกชิ้นงานจะทำการกำหนดค่าสูงสุดต่ำสุดของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเอาไว้ หากชิ้นงานมีขนาดอยู่ภายในขอบเขตที่กำหนดเอาไว้ก็จะแสดงสถานะผ่าน (PASS) ดังแสดงในรูปที่ 10 หากชิ้นงานมีขนาดไม่อยู่ภายในขอบเขตที่กำหนดเอาไว้ก็จะแสดงสถานะไม่ผ่าน (FAIL) ดังแสดงในรูปที่ 11




**รูปที่ 10** แสดงสถานะผ่าน (PASS)




**รูปที่ 11** แสดงสถานะไม่ผ่าน (FAIL)

## 5. สรุป

การทดลองการใช้ตัวตรวจจับชนิดเส้นใยแก้วนำแสง เพื่อตรวจสอบเกลียวโดยการยิงแสงให้ตั้งฉากกับเกลียวของชิ้นงานทำให้ค่าของแสงสะท้อนที่กลับมามีค่าแตกต่างกันเนื่องจากการทำมุมของแสงที่สะท้อนกลับมา ถ้ามุมของเกลียวตั้งฉากและระยะห่างที่พอเหมาะจะมีค่าสะท้อนของแสงกลับมามาก แต่ถ้ามุมของเกลียวไม่ได้ตั้งฉากและระยะห่างที่พอเหมาะ ค่าสะท้อนของแสงกลับมาก็น้อย ซึ่งจากการทดลองพบว่าที่มุมในช่วง 60 ถึง 70 องศา จะให้การสะท้อนที่ดีที่สุด

การทดลองการวัดขนาดของชิ้นงานด้วยกล้องพบว่ามีค่าใกล้เคียงกับการวัดด้วยเครื่องมือที่มีความเที่ยงตรงกว่าอย่างเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ แต่อย่างไรก็ยังคงมีความผิดพลาดอยู่บ้าง ดังนั้นการวัดขนาดด้วยกล้องจึงเป็นอีกแนวทางหนึ่งที่สามารถนำมาใช้วัดขนาดที่ไม่ต้องการความละเอียดสูงมากและยังลดเวลาการวัดงานแต่ละชิ้นลง เพราะสามารถวัดขนาดชิ้นงานหลายขนาดได้พร้อมกัน

## เอกสารอ้างอิง

[1] K. Mikolajczk, A. Zisserman and C. Schmid "Shape recognition with edge-based features". In British Machine Vision Conference, September 2003

[2] Kang Ge-wen, Liu Hong-bing, "Surface Defects Inspection, of Cold Rolled Strips Based on Neural Network", Machine Learning and Cybernetics, Proceedings of 2005 International Conference on Digital Object Identifier, Aug,2005, pp.5034-5037

**บทความวิจัย**

การประชุมวิชาการ งานวิจัยและพัฒนาเชิงประยุกต์ ครั้งที่ 8

*8th ECTI-CARD 2016, Hua Hin, Thailand*

# การศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ยานยนต์ไฟฟ้าในประเทศไทยกรณีศึกษาพื้นที่ธัญบุรี

# Feasibility Study of Electric Vehicle in Thailand: Thanyaburi Area

**กฤษณ์ชนม์ ภูมิกิตติพิชญ์[1] พิมพ์นภัส เอี่ยมสมบูรณ์[2] และสุมนมาลย์ เนียมหลาง[1] สมหมาย ผิวสอาด[1]**

[1]คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ถนนรังสิต-นครนายก อำเภอธัญบุรี จังหวัดปทุมธานี 12110 โทรศัพท์ 02-549-3403 E-mail: krischonme.b@en.rmutt.ac.th

[2]คณะศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ถนนรังสิต-นครนายก อำเภอธัญบุรี จังหวัดปทุมธานี 12110 โทรศัพท์ 02-549-3403 E-mail: pimnapat_i@mail.rmutt.ac.th

## บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ยานยนต์ไฟฟ้าในประเทศไทยกรณีศึกษาพื้นที่ธัญบุรี ซึ่งในปัจจุบันยานยนต์ไฟฟ้าได้เข้ามามีบทบาทและเติบโตในระบบขนส่งของประเทศไทยอย่างรวดเร็ว ยานยนต์ไฟฟ้าขนาดเล็กเหมาะสำหรับการขนส่งบุคคลในพื้นที่ขนาดเล็ก หมู่บ้านจัดสรร หรือในเมืองที่มีรัศมีไม่เกิน 60 กิโลเมตร จากการศึกษาในพื้นที่ธัญบุรีพบว่าตัวแปรที่มีอิทธิพลมีอยู่สองตัวแปรคือ ลักษณะการออกแบบตัวยานยนต์ไฟฟ้าและความพอใจต่อเทคโนโลนีของยานยนต์ การศึกษานี้ทำให้สามารถเป็นข้อมูลในการออกแบบยานยนต์ไฟฟ้าที่เหมาะสมสำหรับประเทศไทยในอนาคตต่อไป

คำสำคัญ: ยานยนต์ไฟฟ้า การศึกษาความพึ่งพอใจ ประเทศไทย

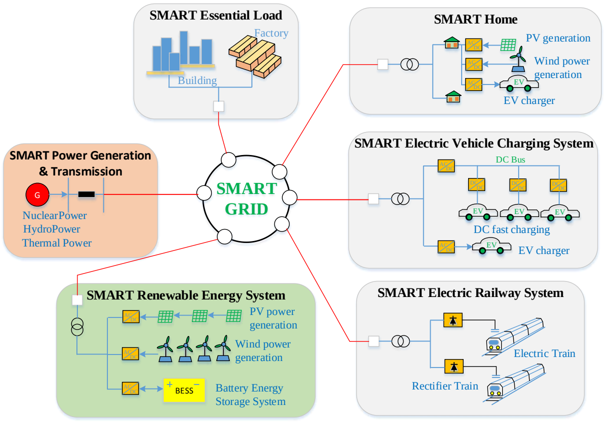
## Abstract

This paper presents the feasibility study of electric vehicle in Thailand: Thanyaburi Area. According to the electric vehicles were developed very fast in the transportation system in Thailand. This electric vehicle is suitable for driving on the small area as village or small city. The study showed that the two influenced variables are the model design and user technology. This study can be verified as the basic knowledge for design the electric vehicle in Thailand on future.

Keywords: electric vehicles, feasibility study, Thailand.

## 1. บทนำ

ยุคการเปลี่ยนแปลงและพัฒนาเทคโนโลยีด้านการขนส่งอย่างรวดเร็วในสังคมโลก การขนส่งในเมือง การขนส่งระหว่างเมือง การขนส่งระหว่างประเทศ จำเป็นเป็นต้องมียานพาหนะที่เหมาะสม รถพลังงานไฟฟ้าเป็นยานพาหนะที่ตอบโจทย์สำหรับการขนส่งในเมือง (City Car) รัศมีของเมืองไม่เกิน 60 กิโลเมตร เหมาะที่จะใช้รถพลังงานไฟฟ้ามากที่สุดเพื่อการประหยัดพลังงานในภาพรวม เทคโนโลยีรถพลังงานไฟฟ้าในต่างประเทศได้มีการพัฒนาอย่างรวดเร็วแต่สำหรับประเทศไทยการเติบโตยังช้าอยู่ ลืบเนื่องมากจากโครงสร้างพื้นฐานของประเทศยังไม่เข้มแข็ง การรองรับเทคโนโลยีสมัยใหม่สภาพสังคมและสิ่งแวดล้อมต้องปรับปรุงและเอื้อต่อสิ่งใหม่ ซึ่งต้องใช้เงินลงทุนมหาศาล ถ้าต้องการสิ่งเหล่านั้นในเวลาที่เหมาะสม รูปที่ 1 แสดงการนำยานยนต์ไฟฟ้าในระบบสมาร์ตกริดในอนาคตซึ่งช่วยพัฒนาภาพรวมของการพัฒนาประเทศอย่างแท้จริง




รูปที่ 1 ยานยนต์ไฟฟ้าในระบบสมาร์ตกริดในอนาคต

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ร่วมกับมหาวิทยาลัย Nagoya ประเทศญี่ปุ่น ซึ่งเป็นมหาวิทยาลัยที่มีอาจารย์ที่ได้รับ Nobel Price คนล้าสุดด้านนวัตกรรม Blue LED ได้ลงนามความร่วมมือด้านงานวิจัยและงานวิชาการ ทั้งนี้ทั้งสองมหาวิทยาลัยได้ร่วมกันทำงานวิจัยระหว่างคณะวิศวกรรมศาสตร์และ Center of innovation for personalized and diverse society เรื่อง “The society and mobility to realize an active and joyful life style”

รองศาสตราจารย์ ดร.กฤษณ์ชนม์ ภูมิกิตติพิชญ์ หัวหน้าทีมวิจัยได้นำเสนอวัตถุประสงค์ของโครงการที่มีความร่วมมือในเฟสแรก

ของคณะวิศวกรรมศาสตร์ มทร.ธัญบุรี กับมหาวิทยาลัยนาโกยา คือเพื่อต้องการศึกษาพฤติกรรมของคนต่อการใช้ยานยนต์ไฟฟ้าในสังคมไทยในชีวิตประจำวันก่อนจะมีการพัฒนาเฟส 2 ต่อไปในการพัฒนารูปแบบของรถพลังงานไฟฟ้าต่อไป ดร.สุมนมาลย์ เนียมหลาง หัวหน้าฝ่ายวิชาการ ผู้ร่วมวิจัยกล่าวว่า รถยนต์พลังงานไฟฟ้าขนาด 1 ที่นั่งมีการขับเคลื่อนโดยมีแหล่งพลังงานจากแบตเตอรี่ซึ่งใช้เวลาประจุประมาณ 5 ชั่วโมงต่อการชาร์จ 1 ครั้ง รถยนต์พลังงานไฟฟ้าขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 500 วัตต์ สามารถใช้ขับเคลื่อนต่อเนื่องได้ระยะทาง 60 กิโลเมตร ต่อการประจุใช้ 1 ครั้ง

รูปที่ 2 การประชุมเตรียมความพร้อมในการทำโครงการวิจัย

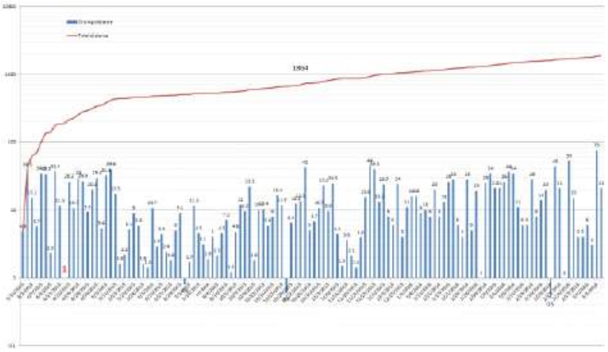
## 3. ลักษณะของยานยนต์ไฟฟ้า

รูปที่ 3 แสดงยานยนต์ไฟฟ้าที่ได้นำเข้าจากประเทศญี่ปุ่นเป็นรุ่น Super-Compact Electric Vehicle COMS ของยี่ห้อ Toyota Auto Body คุณลักษณะเด่นของยานยนต์ไฟฟ้า เป็นยานยนต์ส่วนบุคคลนั่ง 1 คน น้ำหนักยานยนต์ 410 กิโลกรัม กำลังไฟฟ้าพิกัด 590 วัตต์ กำลังไฟฟ้าสูงสุด 5 กิโลวัตต์ แรงบิดสูงสุด 250 นิวตันเมตร วิ่งได้ความเร็วสูงสุด 60 กิโลเมตรต่อชั่วโมง เวลาในกระประจุ 6 ชัวโมงต่อ 1 ครั้ง

รูปที่ 3 ยานยนต์ไฟฟ้าที่ใช้ทดสอบ

## 4. ผลการศึกษา

การศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ยานยนต์ไฟฟ้าในประเทศไทยกรณีศึกษาพื้นที่ธัญบุรี ได้แบ่งพื้นที่การขับขี่ออกเป็น 4 พื้นที่ คือ Zone A: RMUTT (< 3 km) Zone B: Porntisarn Village and neighborhood ( 3 - 30 km) Zone C: Thunyaburi Distric ( ~10 km) และ Zone D: Others (>30 km)



รูปที่ 4 ระยะทางที่ขับขี่ในแต่ละวัน

ผู้ขับยานยนต์ไฟฟ้าในเขตมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรีและพื้นที่โดยรอบที่ให้สัมภาษณ์เป็นชายมากกว่าหญิง คิดเป็นร้อยละ 65 และ 35 ตามลำดับ ช่วงอายุของผู้ขับยานยนต์ไฟฟ้า พบว่า ช่วงอายุสูงสุด ระหว่าง 21-40 ปี (คิดเป็นร้อยละ 70) และช่วงอายุระหว่าง 41-60 ปี (คิดเป็นร้อยละ 30) ระดับการศึกษา พบว่า ระดับปริญญาตรี มีจำนวนผู้ขับยานยนต์ไฟฟ้าสูงสุด (ร้อยละ 45) รองลงมา คือ ระดับปริญญาโท และปริญญาเอก (ร้อยละ 25 เท่ากัน ) และระดับมัธยมศึกษาตอนต้น/ตอนปลาย/เทียบเท่า (ร้อยละ 5) ตามลำดับ สถานภาพของผู้ขับยานยนต์ไฟฟ้า พบว่า ฝ่ายสนับสนุนสูงสุด (ร้อยละ 45) รองลงมา คือ อาจารย์ (ร้อยละ 25) และนักศึกษาระดับปริญญาโท และปริญญาเอก (ร้อยละ 15 เท่ากัน) ตามลำดับ

จุดประสงค์การขับยานยนต์ไฟฟ้า พบว่า เพื่อเดินทางไปติดต่องานระหว่างคณะสูงสุด (ร้อยละ 90) รองลงมา เดินทางไปทางธุระ/ธุรกิจ และเดินทางกลับที่พักอาศัย (ร้อยละ 5 เท่ากัน) ความถี่ของการขับยานยนต์ไฟฟ้า พบว่า ผู้ขับยานยนต์ไฟฟ้าขับเป็นเวลา 1-3 ครั้ง/สัปดาห์สูงสุด และไม่แน่นอน (ร้อยละ 35 เท่ากัน) รองลงมา ทุกวัน (ร้อยละ 20) 4-6 ครั้ง/สัปดาห์ และ 1-2 ครั้ง/เดือน (ร้อยละ 5 เท่ากัน) ช่วงเวลาในการเดินทาง พบว่า ไม่แน่นอน (ร้อยละ 75) รองลงมา เวลา 09.00 น.-12.00 น. และ 13.01 น.-16.30 น. (ร้อยละ 10 เท่ากัน) และ เวลา 16.31 น.-23.59 น. (ร้อยละ 5)

ความพึงพอใจ / ไม่พึงพอใจต่อผู้ขับยานยนต์ไฟฟ้าในภาพรวม มีความพึงพอใจในระดับมาก (ค่าเฉลี่ย 2.35) เมื่อพิจารณารายด้าน พบว่า มีความพึงพอใจสูงสุด คือ ปัจจัยกระตุ้นต่อการขับรถไฟฟ้า (แรงจูงใจ) อยู่ในระดับมาก (ค่าเฉลี่ย 2.53) รองลงมา ปัจจัยด้านเทคนิค

(การตรวจสอบความพร้อมก่อนใช้งาน) (ค่าเฉลี่ย 2.44) ส่วนปัจจัยด้านการใช้งาน และปัจจัยด้านสมรรถนะรถไฟฟ้า อยู่ในระดับปานกลาง (ค่าเฉลี่ย 2.25 และ 2.15 ตามลำดับ) เมื่อพิจารณารายข้อ ดังแสดงผลได้ดังนี้

ตารางที่ 1 ปัจจัยความพึงพอใจ / ไม่พึงพอใจต่อผู้ขับยานยนต์ไฟฟ้า

| ปัจจัยความพึงพอใจ / ไม่พึงพอใจต่อผู้ขับยานยนต์ไฟฟ้า | Mean | S.D. | แปลความ |
|---|---|---|---|
| **1. ปัจจัยกระตุ้นต่อการขับรถไฟฟ้า (แรงจูงใจ)** | 2.53 | **.251** | **มาก** |
| 1.1 เป็นเทคโนโลยีที่ทันสมัย | 2.85 | .366 | มาก |
| 1.2 เป็นรูปแบบ (Model) ยานยนต์ไฟฟ้าที่เหมาะสมกับการใช้งาน | 2.45 | .510 | มาก |
| 1.3 เป็นวัฒนธรรมการเดินทางที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม | 2.30 | .470 | ปานกลาง |
| **2. ปัจจัยด้านการใช้งาน** | 2.25 | **.639** | **ปานกลาง** |
| 2.1 ตอบสนองการเดินทางในเขตชุมชนเมือง | 2.15 | .671 | ปานกลาง |
| 2.2 ตอบสนองการเดินทางในเขตเมืองชุมชนชนบท | 2.35 | .875 | มาก |
| 2.3 ตอบสนองการเดินทางของคนชราในอนาคต | 2.25 | .716 | ปานกลาง |
| **3. ปัจจัยด้านสมรรถนะรถไฟฟ้า** | 2.15 | **.411** | **ปานกลาง** |
| 3.1 มีความสะดวกสบาย เช่น ที่นั่ง สภาพรถไฟฟ้า ฯลฯ | 2.15 | .671 | ปานกลาง |
| 3.2 มีความปลอดภัยขณะขับขี่ | 2.00 | .562 | ปานกลาง |
| 3.3 มีความรวดเร็วในการเดินทาง | 2.30 | .470 | ปานกลาง |
| **4. ปัจจัยด้านเทคนิค(การตรวจสอบความพร้อมก่อนใช้งาน)** | 2.44 | **.458** | **มาก** |
| 4.1 เข็มขัดนิรภัย | 2.55 | .510 | มาก |
| 4.2 ความร้อนของเครื่องยนต์ | 2.25 | .444 | ปานกลาง |
| 4.3 เบรคมือ | 2.40 | .754 | มาก |
| 4.4 ระดับแบบเตอรี่ | 2.55 | .510 | มาก |
| 5. ท่านมีความพึงพอใจต่อการขับรถไฟฟ้าในภาพรวม อยู่ในระดับใด | 2.30 | .470 | ปานกลาง |
| **ในภาพรวม** | 2.35 | **.330** | **มาก** |

ปัจจัยกระตุ้นต่อการขับรถไฟฟ้า (แรงจูงใจ) พบว่า ผู้ขับยานยนต์ไฟฟ้ามีความพึงพอใจสูงสุดคือ เป็นเทคโนโลยีที่ทันสมัย (ค่าเฉลี่ย 2.85) รองลงมา มีรูปแบบ (Model) ยานยนต์ไฟฟ้าที่เหมาะสมกับการใช้งาน (ค่าเฉลี่ย 2.45) อยู่ในระดับมาก ส่วนลำดับสุดท้าย คือ เป็นวัฒนธรรมการเดินทางที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม (ค่าเฉลี่ย 2.30) อยู่ในระดับปานกลาง

ปัจจัยด้านการใช้งาน พบว่า ขับยานยนต์ไฟฟ้ามีความพึงพอใจสูงสุด คือ ตอบสนองการเดินทางในเขตเมืองชุมชนชนบท (ค่าเฉลี่ย 2.35) อยู่ในระดับมาก ส่วนตอบสนองการเดินทางของคนชราในอนาคตและตอบสนองการเดินทางในเขตชุมชนเมือง (ค่าเฉลี่ย 2.25 และ2.15 ตามลำดับ) อยู่ในระดับปานกลาง

ปัจจัยด้านสมรรถนะรถไฟฟ้า พบว่า ผู้ขับยานยนต์ไฟฟ้ามีความพึงพอใจอยู่ในระดับปานกลางทุกข้อ โดยค่าเฉลี่ยสูงสุด คือ มีความรวดเร็วในการเดินทาง (ค่าเฉลี่ย 2.30) รองลงมา มีความสะดวกสบาย เช่น ที่นั่ง สภาพรถไฟฟ้า ฯลฯ (ค่าเฉลี่ย 2.20) และลำดับสุดท้าย มีความปลอดภัยขณะขับขี่ (ค่าเฉลี่ย 2.15)

ปัจจัยด้านเทคนิค(การตรวจสอบความพร้อมก่อนใช้งาน) พบว่า ขับยานยนต์ไฟฟ้ามีความพึงพอใจสูงสุดคือ เข็มขัดนิรภัย และระดับแบบเตอรี่ (ค่าเฉลี่ย 2.55 เท่ากัน) อยู่ในระดับมาก รองลงมา เบรกมือ (ค่าเฉลี่ย 2.40) ส่วนความร้อนของเครื่องยนต์ (ค่าเฉลี่ย 2.25) อยู่ในระดับปานกลาง ผู้ขับยานยนต์ไฟฟ้าในเขตมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรีและพื้นที่โดยรอบมีความพึงพอใจในภาพรวมอยู่ในระดับปานกลาง (ค่าเฉลี่ย 2.30)

ปัญหาที่พบจากการใช้งาน คือไม่สามารถขับรถไฟฟ้าไประยะมากกว่า 80 กิโลเมตรได้ การใช้เวลาในการชาร์ตแบตเตอรี่ค่อนข้างนาน และนั่งได้คนเดียว

## 4.4 ผลการวิเคราะห์แบบจำลองของผู้ขับยานยนต์ไฟฟ้า

จากการทดสอบค่าความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่าง ๆ ด้วยการวิเคราะห์ค่า Chi-Square ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 อันจะทำให้ทราบถึงความอิสระต่อกันของตัวแปรแต่ละตัวแปรว่ามีความเป็นอิสระต่อกันจริงหรือไม่ ถ้าค่า Chi-Square มีค่าเข้าใกล้ 0 แปลความหมายได้ว่า ตัวแปรสองตัวนั้นเป็นอิสระต่อกัน และถ้าค่า Chi-Square มีค่าเข้าใกล้ 1 แปลความหมายได้ว่า ตัวแปรสองตัวนั้นไม่เป็นอิสระต่อกันหรือมีความสัมพันธ์กันนั่นเอง ดังแสดงในตารางด้านล่าง

ตารางที่ 2 การวิเคราะห์ค่า Chi-Square ของผู้ขับยานยนต์ไฟฟ้า

| **Q 3** | **Q 4** | **Q 5** | **Q 9** | **Q 10** | **Q 13** | **Q 15** | **Q 17** | **Q 18** | **Q 21** | **Q 8** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Q 3** | 0.000 | 0.353 | 0.676 | 0.401 | 0.826 | 0.180 | 0.381 | 0.401 | 0.723 | 0.381 |
| **Q 4** | | 0.050 | 0.050 | 0.165 | 0.495 | 0.071 | 0.322 | 0.323 | 0.224 | 0.322 |
| **Q 5** | | | 0.822 | 0.360 | 0.830 | 0.176 | 0.246 | 0.403 | 0.360 | 0.246 |
| **Q 9** | | | | 0.038 | 0.005 | 0.236 | 0.219 | 0.038 | 0.038 | 0.219 |
| **Q 10** | | | | | 0.048 | 0.232 | 0.008 | 0.078 | 0.078 | 0.008 |
| **Q 13** | | | | | | 0.005 | 0.057 | 0.048 | 0.220 | 0.057 |
| **Q 15** | | | | | | | 0.291 | 0.011 | 0.077 | 0.291 |
| **Q 17** | | | | | | | | 0.008 | 0.008 | 0.000 |
| **Q 18** | | | | | | | | | 0.078 | 0.008 |
| **Q 21** | | | | | | | | | | 0.008 |
| **Q 8 (Y)** | | | | | | | | | | |

วิธีการพิจารณาเลือกแบบจำลอง คือ 1) พิจารณาเครื่องหมายของตัวแปรที่มีค่าเป็นเครื่องหมายลบและบวก 2) พิจารณาค่า R2 ใกล้ 1 และมีตัวแปร

ที่สมเหตุสมผลมากที่สุด ในที่นี้คือ M5 มี $R^2$= 0.833 และ3) ตรวจสอบความสมเหตุสมผล คือถ้าเป็นรูปแบบ (Model) ยานยนต์ไฟฟ้าที่เหมาะสมกับการใช้งานสูงจะทำให้ผู้ขับมีความพึงพอใจในการให้บริการเพิ่มขึ้นตามไปด้วย แต่ถ้าเป็นรูปแบบ (Model) ยานยนต์ไฟฟ้าที่เหมาะสมกับการใช้งานต่ำ จะทำให้ผู้ขับมีความพึงพอใจในการให้บริการลดน้อยลงตามไปด้วย และถ้ายานยนต์ไฟฟ้ามีความสะดวกสบาย เช่น ที่นั่ง สภาพรถไฟฟ้า ฯลฯ สูง จะทำให้ผู้ขับมีความพึงพอใจในการให้บริการเพิ่มขึ้นตามไปด้วย แต่ถ้ามีความสะดวกสบาย เช่น ที่นั่ง สภาพรถไฟฟ้า ฯลฯ ต่ำ จะทำให้ผู้ขับมีความ พึงพอใจในการให้บริการลดน้อยลงตามไปด้วย ด้วยเหตุนี้เราจึงเลือก สมการด้านล่าง

$$Y = 40.806 + 40.564\,(q10) + 20.363\,(q15) \qquad (1)$$

เมื่อ Y คือ ค่าความพึงพอใจ Q10 คือ ค่ารูปแบบที่เหมาะสมของยานยนต์ไฟฟ้า (Optimal model of EV) และQ15 คือ ค่าของส่วนประกอบที่สะดวก (Comfortable Equipment)

## 5. สรุปผล

จากการตอบแบบสอบถามของผู้ขับขี่ยานยนต์ไฟฟ้า จำนวน 20 ตัวอย่าง ประเด็นที่ควรพิจารณามีดังต่อไปนี้ ผู้ขับขี่ยานยนต์ไฟฟ้าในมีความพึงพอใจต่อการได้ขับขี่รถไฟฟ้าร้อยละ 100 โดยมีความพึงพอใจในภาพรวมระดับมาก ซึ่งมีความสอดคล้องกับสมการที่ได้จาการวิเคราะห์ความถดถอยโลจิสติคว่า รูปแบบรถไฟฟ้าคือปัจจัยกระตุ้นภายนอกที่สำคัญอันทำให้ผู้ขับขี่ยานยนต์ไฟฟ้าเกิดความรู้สึกพึงพอใจต่อการใช้งาน และโครงสร้างของรถไฟฟ้าที่ความสะดวกสบาย เช่น ที่นั่ง สภาพรถไฟฟ้า มีผลต่อความพึงพอใจต่อการใช้งานมากขึ้นต่อไปในอนาคตอีกด้วย ทั้งนี้อาจเป็นเพราะผู้ขับขี่รถไฟฟ้าส่วนใหญ่เป็นเพศชาย มีอายุในวัยกลางคน ซึ่งอยู่ในวัยทำงาน มีความต้องการความทันสมัย ความสะดวกและรวดเร็วในการดำรงชีวิต จึงส่งผลให้มีความรู้สึกเห็นด้วยต่อปัจจัยดังกล่าว ข้อเสนอแนะเพื่อการพัฒนาจากการสำรวจ ข้อเสนอแนะในการเพิ่มความพึงพอใจในการขับขี่รถไฟฟ้า มีดังนี้ เพิ่มความจุของแบตเตอรี่ในการใช้งาน ความเร็วในการชาร์จแบตเตอรี่ หรือใช้เวลาชาร์จแบตเตอรี่น้อย และควรเพิ่มที่นั่งด้านหลังอีก 1 ที่นั่ง

## กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนบทความขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี และมหาวิทยาลัย Nagoya ประเทศญี่ปุ่นที่สนับสนุนเงินทุนวิจัยตลอดโครงการและขอขอบคุณบุคลากรคณะวิศวกรรมศาสตร์ที่ช่วยขับขี่ยานยนต์ไฟฟ้า

## เอกสารอ้างอิง

[1] เอกสารรายงานผลการวิจัย “การศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ยานยนต์ไฟฟ้าในประเทศไทยกรณีศึกษาพื้นที่ธัญบุรี” มทร.ธัญบุรี, 2559

[2] Ahmad Pesaran, Tony Markel. “Battery Requirements and cost-benefit analysis for plug in hybrid vehicles.” 2007.

[3] Albertslund Delebil. Prisliste for Albertslund Delebil. 2011. http://www.albertslund-delebil.dk/.

[4] Århus Delebilklub. Forbrugspriser. 2011. http://www.aarhus-delebilklub.dk/priserbilermv.htm.

[5] Autoflotte. Gute Zahlen für 2010. http://www.autoflotte.de/gute-zahlen-fuer-2010-1007058.html.

[6] Barth, Matthew, and Susan Shaheen. “Shared-Use Vehicle Systems: A Framework for Classifying Carsharing, Station Cars, and Combined Approaches.” Transportation Research Record Vol.1791, 2002: 105-112.

**บทความวิจัย**

การประชุมวิชาการ งานวิจัยและพัฒนาเชิงประยุกต์ ครั้งที่ 8

*8th ECTI-CARD 2016, Hua Hin, Thailand*

# วงจรขยายเสียงคลาสดีทำงานตลอดย่านความถี่เสียงอย่างง่าย

# Simple Full range Class D Amplifier Circuit

**สุเทพ ทัพธวัช [1]**

[1]สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสยาม

38 ถ.เพชรเกษม แขวงบางหว้า เขตภาษีเจริญ จังหวัดกรุงเทพ โทรศัพท์ 02-457-0068 ต่อ 5210, 5233 E-mail: suthep.thu@siam.edu

## บทคัดย่อ

วงจรขยายเสียงคลาสดีนี้เป็นวงจรขยายตลอดย่านความถี่เสียง โดยวงจรประกอบไปด้วย ไอซี อาร์ แอล ซี และทรานซิสเตอร์ การผสมสัญญาณเสียงกับสัญญาณฟันเลื่อยใช้ไอซีออปแอมป์ การป้อนกลับจะมีทั้งสัญญาณอนาล็อกทางเอาต์พุตและสัญญาณพัลซ์ อีกทั้งวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านเป็นแบบอันดับสอง ผลที่ได้ทำให้สัญญาณเสียงทางเอาต์พุตมีความสมบูรณ์ ผลจำลองการทำงานด้วยโปรแกรมโปรติอุสที่แหล่งจ่ายไฟ ±45โวลท์ เมื่อไม่มีสัญญาณอินพุตกรณีต่อโหลด 4โอห์ม และ 8โอห์ม แรงดันเอาต์พุตเท่ากับ -0.16มิลลิโวลท์ และ-0.32มิลลิโวลท์ ตามลำดับ เมื่อป้อนสัญญาณอินพุตขนาด 2.3โวลท์พีค-ทู-พีค ตลอดย่านความถี่เสียง สัญญาณเอาต์พุตสามารถสวิงสูงสุดประมาณ 40โวลท์พีค ต่อกับโหลด 4โอห์ม และ 8โอห์ม ให้กำลังวัตต์ 200วัตต์ และ 100วัตต์ ตามลำดับ

คำสำคัญ: คลาสดี, ตลอดย่านความถี่

## Abstract

This Class D Amplifier is Full range Amplify. By circuit component of IC R L C and Transistor. The mixer of audio with saw-tooth signal by use Op-amp, Negative Feedback of output analog and digital signal, The Second order Low-pass filter. The result showed that the good output signal. Simulation by Proteus set test showed voltage source ±45V. In case no input signal, with connecting a load at 4Ω and 8Ω, output voltage equal to -0.16mV and -0.32mV respectively. When the experiment used input signal is $2.3V_{P-P}$, the maximum fluctuation of output signal is about to $40V_P$ at full range. With connecting a load at 4Ω and 8Ω, the output power are of 200W and 100W respectively.

Keywords: Class D, Full range

## 1. บทนำ

คลาสของเครื่องขยายเสียงที่รู้จักกัน[1-3] จะแบ่งตามลักษณะการทำงานของเทคโนโลยีการออกแบบ ชื่อเรียกของคลาสจึงเป็นตัวบ่งบอกลักษณะการทำงานของวงจร โดยมีอยู่สองกลุ่ม ได้แก่ วงจรขยายที่มีหลักการทำงานแบบอนาล็อก และวงจรขยายที่มีหลักการทำงานแบบดิจิตอล ถ้าหากกล่าวถึงวงจรขยายที่ประหยัดพลังงานและมีขนาดเล็กจะต้องนึกถึงวงจรขยายคลาสดี(Class D) การทำงานเริ่มจากการผสมสัญญาณฟันเลื่อยกับสัญญาณเสียงด้านอินพุต ได้สัญญาณพัลซ์ที่มีความกว้างเปลี่ยนแปลงตามสัญญาณเสียง ผ่านภาคขยายแล้วกรองสัญญาณด้วยวงจรกรองสัญญาณความถี่ต่ำผ่านเพื่อเอาสัญญาณพัลซ์ออกให้เหลือแต่สัญญาณเสียง

วงจรขยายคลาสดีมีการออกแบบมาหลากหลายรูปแบบ ทั้งที่เป็นวงจรแบบดิสครีท[4] และวงจรที่ใช้ไอซี[5] ข้อด้อยในยุคเริ่มแรกของคลาสดี คือ จะตอบสนองความถี่สูงไม่ดี จึงนิยมนำมาขับเสียงต่ำไปจนถึงเสียงกลาง เพราะไม่ต้องการรายละเอียดของเสียงมากหนัก ปัจจุบันได้มีการพัฒนาและออกแบบให้สามารถตอบสนองตลอดย่านความถี่เสียงได้ดี อย่างไรก็ตามนักเล่นเครื่องเสียงยังวิจารณ์ว่าคุณภาพเสียงยังไม่ดีเท่ากับคลาสเอบี แต่ข้อดีของวงจรขยายคลาสดีที่เด่นชัด คือมีขนาดวงจรเล็กประหยัดพลังงานและเกิดความร้อนน้อย เมื่อเทียบกับวงจรขยายคลาสอื่นในขนาดวัตต์ที่เท่ากัน

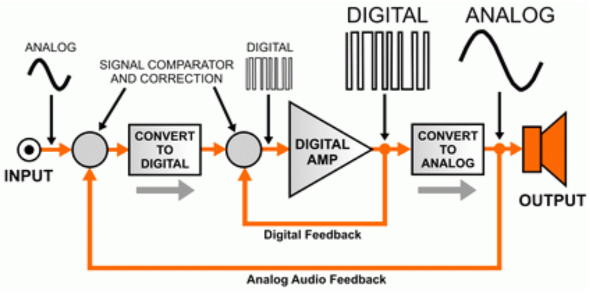
บทความวิจัยนี้จึงพัฒนาวงจรขยายคลาสดีที่ตอบสนองตลอดย่านความถี่เสียงจากวงจรเดิม[6]ที่มีขนาดวงจรที่เล็ก แต่สัญญาณเสียงทางเอาต์พุตยังไม่ดี ดังนั้นจึงนำวงจรดังกล่าวมาปรับปรุงคุณภาพเสียงให้ดีขึ้น โดยอาศัยหลักการป้อนกลับทั้งสัญญาณอนาล็อกทางด้านเอาต์พุตและสัญญาณพัลซ์ ร่วมกับใช้วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านอันดับที่สอง[7]

## 2. ทฤษฎีและหลักการ

### 2.1 หลักการทำงานของคลาสดี[8]

การทำงานเริ่มจากแปลงสัญญาณอินพุตที่เป็นอนาล็อกให้เป็นสัญญาณดิจิตอล จากนั้นขยายสัญญาณดิจิตอลแล้วนำสัญญาณที่ขยายแล้วแปลงกลับมาเป็นสัญญาณอนาล็อก โดยระหว่างกระบวนจะมีการส่ง

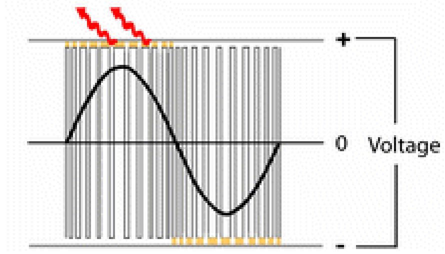
สัญญาณอนาล็อกด้านเอาต์พุตย้อนกลับมาเปรียบเทียบสัญญาณอนาล็อกด้านอินพุต(พร้อมกับสร้างสัญญาณฟันเลื่อย) ทำให้คลื่นสัญญาณเสียงเอาต์พุตที่ออกมามีการปรับรูปคลื่นสัญญาณให้ตรงตามสัญญาณที่เข้ามายิ่งขึ้น ส่วนการป้อนกลับแบบดิจิตอลช่วยให้สัญญาณพัลซ์มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น จากหลักการดังกล่าวแสดงไว้ในรูปที่ 1




รูปที่ 2. รูปคลื่นไซน์เทียบกับปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้นของคลาสดี

## 2.2 กำลังสูญเสียเป็นความร้อนในคลาสดี

การพิจารณาการสูญเสียกำลังเป็นความร้อนในรูปที่ 2 เป็นสัญญาณรูปคลื่นไซน์ทางเอาต์พุต และสัญญาณพัลซ์ก่อนเข้าวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านเทียบกับปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้นจากความต่างระหว่างสัญญาณออกจริงกับแรงดันไฟเลี้ยง เห็นได้ว่าความร้อนจะเกิดตอนที่ทรานซิสเตอร์อยู่สถานะออนเท่านั้นและความร้อนที่เกิดขึ้นยังขึ้นอยู่กับความกว้างของสัญญาณพัลซ์



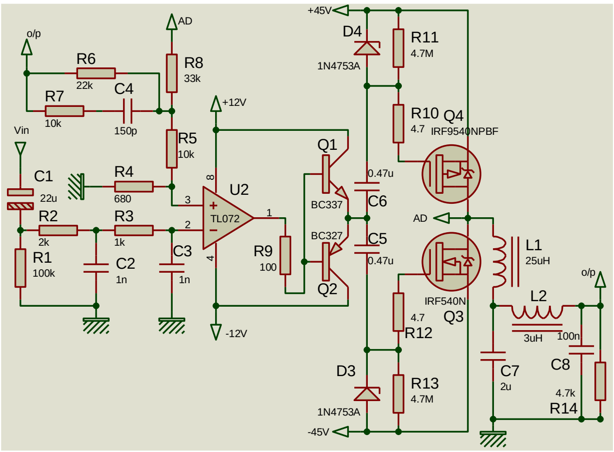

รูปที่ 2. รูปคลื่นไซน์เทียบกับปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้นของคลาสดี

## 3 การออกแบบ

### 3.1 วงจรขยายเสียงคลาสดีทำงานตลอดย่านความถี่เสียงอย่างง่าย

การออกแบบใช้ไอซี TL072 ทำหน้าที่แรก คือสร้างสัญญาณฟันเลื่อยขึ้นมาจากตัวไอซีเองด้วยวิธีนำสัญญาณเสียง(อนาล็อก)ด้านเอาต์พุตป้อนกลับผ่าน R6 R7 และC4 หน้าที่ที่สอง คือผสมสัญญาณเสียงกับสัญญาณฟันเลื่อยให้เอาต์พุตเป็นสัญญาณพัลซ์ออกทางขา 1 หน้าที่สุดท้ายปรับปรุงสัญญาณพัลซ์ที่ขา 1 จากการป้อนกลับสัญญาณดิจิตอลผ่านทาง R8 โดยการป้อนกลับทั้งสัญญาณอนาล็อกและสัญญาณดิจิตอลจะถูกรวมสัญญาณโดยผ่าน R5 ซึ่งการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทาน R5 จะมีผลต่ออัตราการขยายของวงจรและสัญญาณป้อนกลับด้วย ดังนั้นเมื่อได้ค่า R5 ที่เหมาะสมแล้วจะคงที่ไว้ หากต้องการปรับเพิ่ม/ลดอัตราการขยายของวงจร ทำได้โดยเพิ่ม/ลดค่าความต้านทาน R4 สำหรับ R1-R3 และ C1-C3 เป็นวงจรกรองความถี่ให้ย่านความถี่เสียงผ่าน

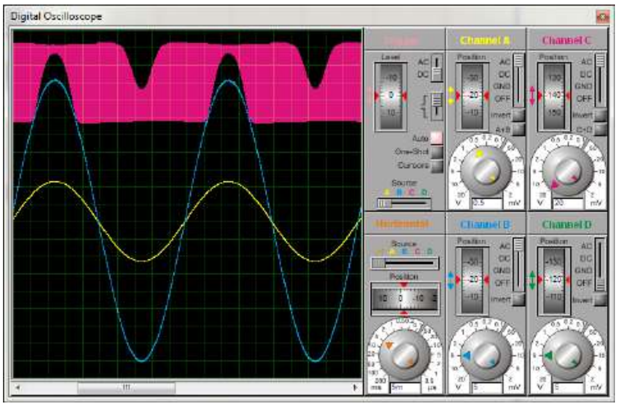
ทรานซิสเตอร์ Q1 และ Q2 จะรับสัญญาณพัลซ์มาขับสัญญาณให้กับทรานซิสเตอร์คู่เอาต์พุตผ่านทาง C5-C6 ไปยังทรานซิสเตอร์ Q3 และ Q4 ซึ่งทำหน้าที่ขยายสัญญาณพัลซ์ออกไปเข้าวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านแบบอันดับสอง ส่วน R14 ต่อไว้เพื่อป้องกันการเสียหายจากการไม่ได้ต่อโหลดเพราะขณะที่ไม่ได้ต่อโหลด เมื่อมีสัญญาณอินพุตวงจรจะไม่สร้างสัญญาณพัลซ์และทำให้ Q4 อยู่สถานะออนตลอด มีผลให้เกิดความร้อนและเสียหายได้ โดยวงจรที่ออกแบบแสดงไว้ในรูปที่ 3



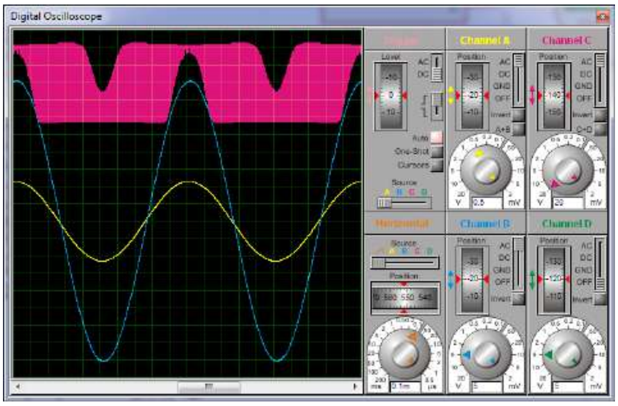

รูปที่ 3 วงจรขยายเสียงคลาสดีทำงานตลอดย่านความถี่เสียงอย่างง่าย

### 3.2 ผลการจำลองการทำงานด้วยโปรติอุส 8.3

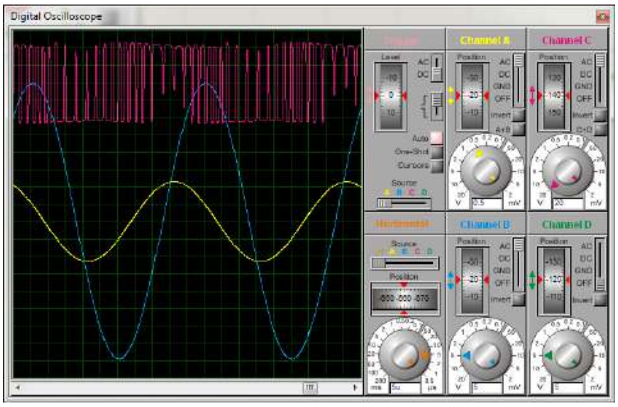
การทดลองเป็นการจำลองการทำงานด้วยโปรแกรมโปรติอุส เงื่อนไขการทดลองคือวงจรต่อกับแหล่งจ่ายแรงดันไฟ ±45โวลท์ และต่อโหลดตัวต้านทาน 4โอห์ม เมื่อเริ่มต้นการทดลองให้ป้อนสัญญาณแรงดันอินพุตรูปคลื่นไซน์เข้าที่อินพุต $V_{in}$ ขนาด 2.3โวลท์พีค-ทู-พีค ที่ความถี่ 20 เฮิร์ต ผลการทดลองแสดงไว้ดังรูปที่ 4 จากนั้นทดลองต่อด้วยการปรับเปลี่ยนค่าความถี่เป็น 1กิโลเฮิร์ต และ20กิโลเฮิร์ต ตามลำดับ ผลการทดลองแสดงไว้ดังรูปที่ 5 และ 6 ตามลำดับ โดยที่ความหมายของสีเส้นสัญญาณคือ สีเหลืองเป็นสัญญาณอินพุต สีฟ้าเป็นสัญญาณเอาต์พุต และสีชมพูเป็นสัญญาณพัลซ์ที่ถูกขยาย ณ จุด AD



รูปที่ 4 สัญญาณไซน์ที่ความถี่ 20เฮิร์ตกับสัญญาณพัลซ์ ณ จุด AD

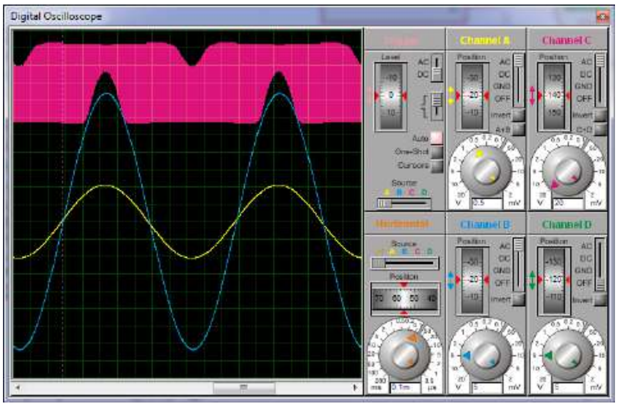


รูปที่ 5 สัญญาณไซน์ที่ความถี่ 1กิโลเฮิร์ตกับสัญญาณพัลซ์ ณ จุด AD



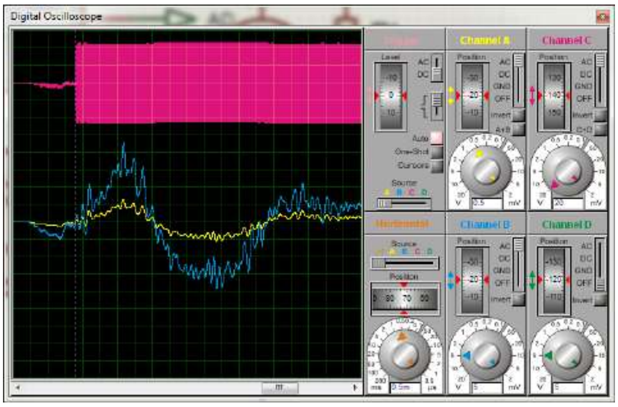
รูปที่ 6 สัญญาณไซน์ที่ความถี่ 20กิโลเฮิร์ตกับสัญญาณพัลซ์ ณ จุด AD

จากรูป 4-6 เป็นกรณีป้อนแรงดันอินพุตค่าสูงสุด เมื่อพิจารณาสัญญาณรูปคลื่นไซน์ทางด้านเอาต์พุตจะเห็นว่าค่อนข้างสมบูรณ์ แต่ที่ความถี่เสียง 20เฮิร์ต และ1กิโลเฮิร์ต ในรูปที่ 4 และ 5 สัญญาณเอาต์พุตจะมีผิดเพี้ยนตรงจุดสูงสุดและต่ำสุดของสัญญาณบ้างเล็กน้อยคือปรากฏสัญญาณพัลซ์ที่ผ่านวงจรกรองความถี่ต่ำ จึงทำให้สัญญาณเอาต์พุดไม่เรียบสนิท แต่หากขนาดแรงดันอินพุตลดต่ำกว่า 2.3โวลท์พีค-ทู-พีค ดังปรากฏในรูปที่ 7 ที่ลดขนาดของสัญญาณอินพุตมีค่าเท่ากับ 2.1โวลท์พีค-ทู-พีค ที่ความถี่ 1กิโลเฮิร์ต ความผิดเพี้ยนตรงจุดสูงสุดและต่ำสุดของสัญญาณเอาต์พุตจะไม่ปรากฏให้เห็น ส่วนสัญญาณพัลซ์แสดงให้เห็นว่าที่ความถี่เสียงสูงจำนวนพัลซ์ของสัญญาณพัลซ์จะน้อย และที่ความถี่เสียงต่ำจำนวนพัลซ์ของสัญญาณพัลซ์จะถี่มาก เนื่องจากความถี่ในการออน/ออฟของสัญญาณพัลซ์ดังกล่าวเกิดจากความถี่เดียวของสัญญาณฟันเลื่อยที่มาผสมกับสัญญาณเสียง ดังนั้นความร้อนที่เกิดจากการสวิตซ์ของทรานซิสเตอร์จะเกิดในช่วงความถี่เสียงต่ำมากที่สุด



รูปที่ 7 แรงดันอินพุตสัญญาณไซน์ขนาด 2.1โวลท์พีค-ทู-พีค

จากนั้นทดลองโดยป้อนสัญญาณเสียงด้วยไฟล์เสียง “ภูมิแพ้กรุงเทพ.wav” ที่ขนาดแอมพลิจูด 2.3โวลท์พีค-ทู-พีค ผลที่ได้แสดงไว้ในรูปที่ 8



รูปที่ 8 สัญญาณเสียง ภูมิแพ้กรุงเทพ.wav กับสัญญาณพัลซ์ ณ จุด AD

จากรูปที่ 8 แสดงให้เห็นว่าเมื่อเริ่มมีสัญญาณอินพุตเข้ามาวงจรจะใช้เวลาชั่วขณะหนึ่งในการสร้างสัญญาณพัลซ์(รอการสร้างสัญญาณฟันเลื่อย) จากนั้นสัญญาณพัลซ์จะปรับเปลี่ยนความกว้างหรือแคบของการออนตามความถี่สัญญาณเสียง โดยที่การสวิตซ์ของสัญญาณพัลซ์จะออน/ออฟเกือบเต็มช่วงบวกและลบของแหล่งจ่ายไฟ ซึ่งเป็นไปตามหลักการของคลาสดี ส่วนสัญญาณเสียงทางด้านเอาต์พุตก็ตอบสนองได้ดีตลอดย่านความถี่เสียง

## 4. สรุป

จากผลจำลองการทำงานของวงจรด้วยโปรแกรมโปรติอุส สามารถสรุปผลได้ดังนี้

1. กรณีที่ยังไม่มีสัญญาณเสียงทางอินพุต ค่าแรงดันเอาต์พุตเข้าใกล้ 0 โวลท์ โดยที่เมื่อต่อโหลด 4 โอห์ม และ 8 โอห์ม แรงดันเอาต์พุตเท่ากับ -0.16มิลลิโวลท์ และ-0.32มิลลิโวลท์ ตามลำดับ

2. กรณีป้อนสัญญาณอินพุตขนาด 2.3 โวลท์พีค-ทู-พีค สัญญาณเอาต์พุตสามารถสวิงได้สูงสุด 40โวลท์พีค(สัญญาณไม่ผิดเพี้ยน) ต่อกับโหลด 4 โอห์ม และ 8 โอห์ม ให้กำลังวัตต์ที่ 200วัตต์ และ 100วัตต์ ตามลำดับ

3. ความร้อนของวงจรจะเกิดจากทรานซิสเตอร์คู่เอาต์พุตและปริมาณความร้อนสะสมเป็นผลจากการทำงานในย่านความถี่เสียงต่ำมากที่สุด

## เอกสารอ้างอิง

[1] Dong itsound. คลาส(Class)เพาเวอร์แอมป์ คืออะไร [Online]. Available: http://www.itsound.net

[2] นาย ศรายุทธ คงตา ใบความรู้ที่ 3 เรื่อง คลาสของวงจรขยายเสียง [Online]. Available: FTP://srt.cmtc.ac.th/.../ใบความรู้ที่ 3 คลาสของวงจรขยายเสียง.pdf

[3] นาย เศกสรรค์ สุวรรณศิลป์ (2015, Jan. 10) ความรู้พื้นฐาน EEEngine [Online]. Available: http://www.powertech-audio.com

[4] Darkamikaze (2012, August 30) Fully Discrete D Amplifier(WIP) [Online]. Available: http://www.diyaudio.com

[5] Admin. TPA3251D2 เพาเวอร์แอมป์คลาสดี 2x175W Stereo [Online]. Available: http://www.semi-journal.com

[6] M.zivkoviv. (2013, March 16) Class D Amplifier with IRF540 / IRF9540 100W [Online]. Available: http://www.elitesecurity.org

[7] ชาญศิลป์ นิลสาย, ศรีสวัสดิ์ เถื่อนทอง. เครื่องขยายเสียง สเตอริโอ คลาสดี [Online]. Available: http://www.te.kmutnb.ac.th/msn/classdproject.pdf

[8] D-TECH. New class d switching technology [Online]. Available: http://www.tafnaudio.com/dtech.htm

**นายสุเทพ ทัพธวัช**
สาขาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสยาม
วุฒิการศึกษาปริญญาโท สาขาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ สถาบันพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

**บทความวิจัย**
การประชุมวิชาการ งานวิจัยและพัฒนาเชิงประยุกต์ ครั้งที่ 8
*8th ECTI-CARD 2016, Hua Hin, Thailand*

# ระบบยืนยันตัวตนแบบ 2 ขั้นตอนอย่างปลอดภัยสำหรับใช้งานทั่วไป

## 2-Step Verification Secure System for General Use

**ประภาส ผ่องสนาม, อรอนงค์ แซจิว**
สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต
60 ถนนร่มเกล้า แขวงมีนบุรี เขตมีนบุรี กรุงเทพฯ 10510
E-mail: p.phongsanam@gmail.com

## บทคัดย่อ

ในสภาพแวดล้อมของการเข้าใช้งานอินเตอร์เน็ตและการสื่อสารไร้สายนั้น การยืนยันตัวตนถือเป็นสิ่งที่สำคัญมากในโลกยุคปัจจุบัน ดังนั้นในบทความนี้นำเสนอกระบวนการปรับปรุงระบบยืนยันตัวตนรูปแบบเดิมให้มีความปลอดภัยมากยิ่งขึ้น ในการเข้าถึงระบบสารสนเทศที่ใช้งานอยู่ทั่วไป โดยใช้การยืนยันตัวตนแบบ 2 ขั้นตอน (2-Step Verification) โดยประยุกต์ใช้แอปพลิเคชันที่ติดตั้งบนสมาร์ทโฟน ซึ่งเป็นวิธีการที่ง่าย สะดวกใช้งาน และผู้ใช้งานทั่วไปสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้จริงในชีวิตประจำวัน ซึ่งจากผลการศึกษาและทดลองพบว่า การเพิ่มกระบวนการยืนยันตัวตนแบบ 2 ขั้นตอนนั้นสามารถเพิ่มความปลอดภัยให้กับผู้ใช้งานระบบและลดความซับซ้อนในการกำหนดรหัสผ่านของผู้ใช้งานได้เป็นอย่างดี

คำสำคัญ: การยืนยันตัวตนแบบ 2 ขั้นตอน, ระบบล็อกอิน, ระบบยืนยันตัวตน

## Abstract

In the Internet and Wireless communication environment, authentication of the users is very important. This article proposed scheme to improve security in a general authentication system by using 2-steps verification from smartphone application. The propose scheme is simple, flexible and can used in daily life. The simulation and results shown adding 2-steps, verification process can increase the security of the system and simplify the password of users.

Keywords: 2-Step Verification, login system, authentication system

## 1. บทนำ

การใช้งานอีเมล์และระบบสารสนเทศในปัจจุบันแทบจะเป็นปัจจัยสำคัญปัจจัยหนึ่งสำหรับโลกในยุคปัจจุบัน ที่ทุกคนสามารถเข้าถึงอินเตอร์เน็ตและเทคโนโลยีสมัยใหม่ได้ผ่านทางมือถือและแอปพลิเคชันต่าง ๆ ซึ่งหากผู้ใช้งานไม่ตระหนักถึงความเสี่ยง หรือภัยคุกคามต่าง ๆ ที่อาจเกิดขึ้นได้จากความรู้เท่าไม่ถึงการณ์ก็อาจนำไปสู่ความเสียหายที่อาจประเมินค่าไม่ได้ ณ ปัจจุบันการยืนยันตัวตนเพื่อเข้างานระบบสารสนเทศต่าง ๆ ยังคงใช้การยืนยันตัวตนในรูปแบบเดิมคือใช้ชื่อผู้ใช้งาน (Username) และรหัสผ่าน(Password) หากผู้ใช้งานกำหนดชื่อผู้ใช้งานหรือรหัสผ่านที่ง่ายเกินไป[1-3] เช่น 123456, password, 12345, 12345678, qwerty, วัน เดือน ปีเกิด ฯลฯ ก็อาจถูกผู้ไม่ประสงค์ดีสามารถคาดเดารหัสผ่านเพื่อนำไปใช้ยืนยันตัวตนเข้าสู่ระบบเพื่อเข้าไปดำเนินการธุรกรรมต่าง ๆ แทนผู้ใช้งานจริงได้ซึ่งอาจเกิดความเสียหายต่าง ๆ ตามมา ซึ่งในการล็อกอินเข้าใช้งานระบบโดยใช้ชื่อผู้ใช้งาน และรหัสผ่าน นอกจากจะต้องทำงานผ่านช่องทางที่ปลอดภัย (Secure Channel) หรือ SSL (Secure Sockets Layer) เพื่อป้องกันแฮคเกอร์ (Hacker) หรือผู้ไม่ประสงค์ดีดักจับข้อมูลระหว่างทางแล้ว ปัจจัยหนึ่งที่ต้องคำนึงถึงในด้านความปลอดภัยคือการกำหนดชื่อผู้ใช้งานและรหัสผ่านต้องมีความปลอดภัยและยากต่อการคาดเดาด้วย ซึ่งการกำหนดรหัสผ่านเพื่อความปลอดภัยในการยากที่จะคาดเดานั้นจะขึ้นอยู่กับความยาวตัวอักษร[4][5] และต้องประกอบด้วยตัวอักษรตัวเล็ก ตัวใหญ่ ตัวเลข อักษรพิเศษและต้องมีการเปลี่ยนรหัสผ่านใหม่เรื่อย ๆ ด้วย ซึ่งการกำหนดรหัสผ่านที่ยาว เพื่อความปลอดภัยนั้นจะนำไปสู่ปัญหาการลืมรหัสผ่านหรือการพิมพ์รหัสผ่านผิดเพิ่มขึ้นด้วย ดังนั้นในระบบที่ต้องการความปลอดภัยสูงเช่นระบบธนาคารจะมีการใช้รหัส OTP (One Time Password) โดยมีการส่งรหัสลับไปยังมือถือของผู้ใช้งานในแต่ละครั้งที่มีการทำรายการซึ่งเป็นวิธีการที่สะดวกและปลอดภัย แต่ก็ต้องแลกมากับการเสียค่าใช้จ่ายที่เพิ่มมากขึ้นเพื่อแลกกับความปลอดภัยที่เพิ่มเข้ามา ซึ่งการเพิ่มค่าใช้จ่ายอาจไม่เหมาะสมกับธุรกิจขนาดเล็กที่มีต้นทุนน้อย

ในปัจจุบันแทบทุกคนจะมีการใช้งานโทรศัพท์มือถือแบบสมาร์ทโฟน ซึ่งสมาร์ทโฟนส่วนใหญ่นั้นจะสามารถติดตั้งโปรแกรมเพื่ออำนวยความสะดวกในด้านต่าง ๆ เช่น ด้านบันเทิง ข่าวสาร กีฬา สุขภาพ ตลอดถึง แอปพลิเคชันด้านการเงิน การธนาคาร และด้านความปลอดภัยต่าง ๆ ซึ่ง ณ ปัจจุบันได้มีแอปพลิเคชันเพื่อการสร้างรหัสลับอย่างปลอดภัยที่มีการเปลี่ยนแปลงเลขรหัสตามช่วงเวลาเพื่อใช้เป็นรหัสด้าน

ความปลอดภัย ซึ่งในบทความนี้ได้นำเสนอการปรับปรุงระบบรูปแบบเดิมเพื่อให้สามารถประยุกต์ใช้งานร่วมกับแอปพลิเคชันสร้างรหัสลับตามช่วงเวลา เพื่อให้กระบวนการยืนยันตัวตนในรูปแบบเดิมนั้นมีความปลอดภัยเพิ่มมากยิ่งขึ้นและลดปัญหาความซับซ้อนในการกำหนดรหัสผ่านสำหรับผู้ใช้งานได้ด้วย

## 2. ทฤษฎีพื้นฐาน

**Time-based One-time Password Algorithm (TOTP)** : คือกระบวนการที่ใช้คอมพิวเตอร์สร้างรหัสเฉพาะตามแต่ละช่วงเวลาที่กำหนดไว้จากแชร์คีย์ลับ (Shared secret key) ที่สร้างขึ้นตามมาตรฐาน RFC 6238 [6][7] ซึ่งในเวลาต่อมาได้นำเอาไปใช้เป็นพื้นฐานสำหรับระบบระบบ Open Authentication (OATH) และ มีการนำหลักการนี้ไปใช้ในการสร้างตัวเลขในกระบวนการยืนยันตัวตน แบบ 2 ปัจจัย (Two Factor Authentication) โดยในการสร้างรหัสตามช่วงเวลานั้นจะมีการนำค่าคีย์ลับ(secret key) มารวมกับช่วงเวลาประทับ (timestamp) ผ่านฟังก์ชันเข้ารหัสแฮช (cryptographic hash function) เพื่อสร้างเป็นรหัสตามแต่ละช่วงเวลา ซึ่งโดยปกติแล้วค่าเวลาประทับจะถูกกำหนดให้มีการเปลี่ยนแปลงไปในทุก ๆ 30 วินาที ซึ่งทำให้รหัสที่ได้จะเปลี่ยนแปลงไปเรื่อย ๆ ตามช่วงเวลา โดยในแต่ละช่วงเวลารหัสที่ถูกสร้างขึ้นมาจากคีย์ลับตัวเดียวกันจะต้องมีค่าผลลัพธ์เมื่อผ่านฟังก์ชันแฮชแล้วเป็นค่าเดียวกันเสมอ

Google Authenticator (GA) [8-10] : คือโปรแกรมประยุกต์ที่สามารถดาวน์โหลดและติดตั้งได้ฟรีทั้งบนสมาร์ทโฟนหรือคอมพิวเตอร์ โดยโปรแกรม GA จะทำหน้าที่สร้างรหัส TOTP ตามมาตรฐาน RFC 6238 โดยรหัสที่โปรแกรม GA สร้างมาให้นั้นจะเป็นตัวเลขที่มีขนาดความยาวตั้งแต่ 6 – 8 หลักซึ่งกระบวนการสร้างรหัสโดยโปรแกรม GA ตามช่วงเวลา (Time Based) แสดงดังรูปที่ 1

```
function GoogleAuthenticatorCode(string secret)
  key := base32decode(secret)
  message := floor(current Unix time / 30)
  hash := HMAC-SHA1(key, message)
  offset := last nibble of hash
    /*4 bytes starting at the offset*/
  truncatedHash := hash[offset..offset+3]
   /*remove  most significant bit*/
  Set the first bit of truncatedHash to zero
  code := truncatedHash mod 1000000
  pad code with 0 until length of code is 6
  return code
```

**รูปที่ 1** Pseudocode for One Time Password OTP

## 3. การออกแบบและนำไปใช้งาน

การปรับปรุงระบบยืนยันตัวตนรูปแบบเดิมโดยเพิ่มขั้นตอนการเก็บบันทึกและตรวจสอบรหัส TOTP นั้นเราได้ทำการเพิ่มฟิลด์ GA_key และ GA_enable เข้าไปในโครงสร้างตารางแสดงดังรูปที่ 2 เพื่อใช้สำหรับเก็บรหัสลับและสถานะการเปิดใช้งาน TOTP ตามลำดับ

```
CREATE TABLE  user_password (
      username VARCHAR( 32 ) NOT NULL ,
      password VARCHAR( 32 ) NOT NULL ,
      GA_key CHAR( 16 ) NOT NULL ,
      GA_enable TINYINT( 1 ) NOT NULL ,
      PRIMARY KEY (  `username` )
)
```

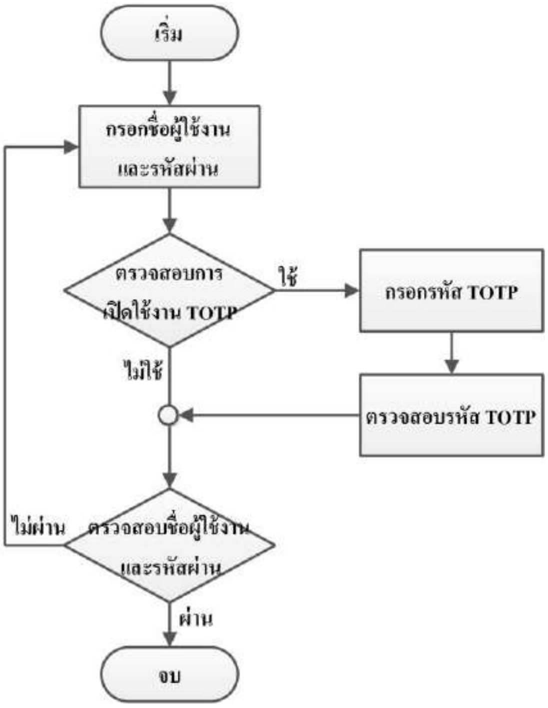
**รูปที่ 2** โครงสร้างตารางสำหรับเก็บข้อมูลชื่อผู้ใช้งาน รหัสผ่าน

โดยในกระบวนการเก็บบันทึกรหัสลับและกระบวนการยืนยันตัวตนจะมีกระบวนการทำงานดังรูปที่ 3 -4 ตามลำดับ

## 4. ผลการทดลอง

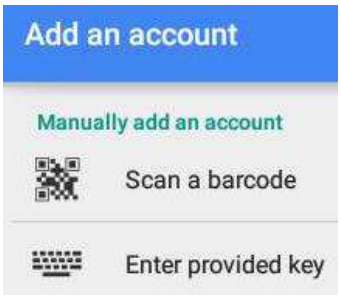
ในขั้นตอนการทดสอบเราได้ทำการเขียนโปรแกรมด้วยภาษา PHP [9] เพื่อทำการสร้างรหัสลับ (Secret key) ขนาดความยาว 16 ตัวอักษรพร้อมทั้ง QR-Code เพื่อใช้เป็นชุดข้อมูลเริ่มต้นในการสร้างรหัส TOTP สำหรับใช้กับโปรแกรม GA แสดงดังรูปที่ 5 ซึ่งผู้ใช้งานสามารถเลือกกรอกรหัสตัวอักษรเข้าไปในโปรแกรม GA หรือจะใช้วิธีการแสกน QR-Code ที่โปรแกรมสร้างให้ก็ได้ จากตัวอย่างรหัสลับคือ "**APJZW4PN7NMGS3ZT**" ซึ่งเมื่อนำรหัสนี้ไปกรอกในโปรแกรม GA แสดงดังรูปที่ 6 -7 ตามลำดับ ซึ่งสามารถทำได้ 2 วิธีคือแสกน QR-Code และกรอกเลขรหัสเข้าไปด้วยตัวเอง โดยเมื่อกรอกรหัสเข้าไปในโปรแกรม GA แล้วจะต้องได้รหัส TOTP หรือ GA Code เป็น "**096843**" แสดงดังรูปที่ 8 ตามลำดับ ซึ่งเลขรหัสนี้จะเปลี่ยนแปลงไปทุก ๆ 30 วินาที ซึ่งรหัสนี้จะนำไปใช้เป็นรหัสเพื่อใช้สำหรับยืนยันตัวตนในขั้นตอนที่ 2 หลังจากที่ผู้ใช้งานได้ล็อกอินด้วยชื่อผู้ใช้งาน และ รหัสผ่านจากขั้นตอนเดิมแล้ว

**รูปที่ 3** แสดงขั้นตอนการสร้าง TOTP

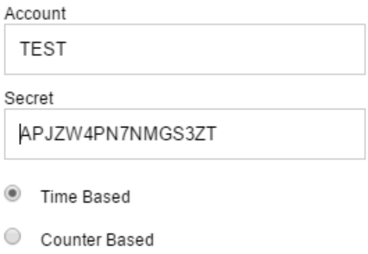



**รูปที่ 4** แสดงกระบวนการ ตรวจสอบเพื่อยืนยันตัวตน

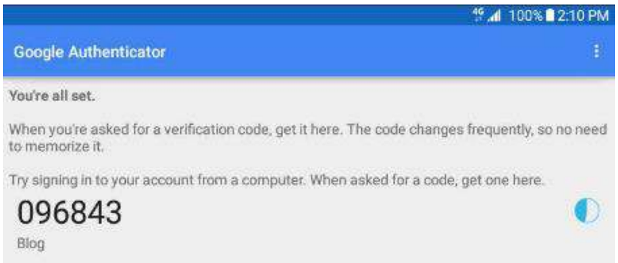
**รูปที่ 5** ตัวอย่างโปรแกรมสร้างรหัสลับและ QR-Code




**รูปที่ 6** แสดงหน้าต่างนำเข้าข้อมูลรหัสลับเพื่อใช้สร้างรหัส TOTP




**รูปที่ 7** แสดงหน้าต่างกรอกรหัส




**รูปที่ 8** แสดงรหัส TOTP ที่ได้จากโปรแกรม GA

## 5. สรุป

การนำรหัส TOTP มาใช้เพื่อยืนยันตัวตนแบบ 2 ขั้นตอนนั้นสามารถเพิ่มความปลอดภัยให้กับผู้ใช้งานและสามารถลดความซับซ้อนในการกำหนดรหัสผ่านของผู้ใช้งานได้ อีกทั้งโปรแกรม GA สามารถดาวน์โหลดและติดตั้งลงบนเครื่องคอมพิวเตอร์หรือสมาร์ทโฟนเพื่อใช้งานได้ฟรีซึ่งเป็นวิธีการที่สะดวกและเพิ่มความปลอดภัยของระบบได้มากยิ่งขึ้น

## เอกสารอ้างอิง

[1] SplashData, Inc., "Worst Passwords List", http://splashdata.com/blog/

[2] J. Condliffe, "The 25 Most Popular Passwords of 2014", http://gizmodo.com/the-25-most-popular-passwords-of-2014-were-all-doomed-1680596951

[3] M. Slain, "Announcing Our Worst Passwords of 2015", https://www.teamsid.com/worst-passwords-2015/

[4] M. McDowell, S. Hernan, J. Rafail, "Cyber Security Tip ST04-002, Choosing and Protecting Passwords," US CERT. Retrieved June 20, 2009.

[5] "Want to deter hackers? Make your password longer". MSNBC. 2010-08-19. Retrieved 2010-11-07.

[6] "RFC 6238 - TOTP: Time-Based One-Time Password Algorithm". Retrieved July 13, 2011.

[7] RFC 6238, https://tools.ietf.org/html/rfc6238

[8] Google Authenticator, https://en.wikipedia.org/wiki/Google_Authenticator

[9] PHPGangsta/GoogleAuthenticator, https://github.com/PHPGangsta/GoogleAuthenticator

[10] chregu/GoogleAuthenticator, https://github.com/chregu/GoogleAuthenticator.php

[11] Hypertext Preprocessor, http://php.net/

**บทความวิจัย**

การประชุมวิชาการ งานวิจัยและพัฒนาเชิงประยุกต์ ครั้งที่ 8

*8th ECTI-CARD 2016, Hua Hin, Thailand*

# การทดสอบความเป็นไปได้ของการเพิ่มความจุของรหัสภาพคิวอาร์โค้ดโดยใช้ระดับเทา 4 ระดับ

# A Proof of Concept : QR Code Capacity Improvement using 4 Level Grayscale

**วาทิตา พันธุมะโน[1] และ เสาวลักษณ์ วรรธนาภา[2]**

[1]ภาควิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

99 ม.18 ต.คลองหนึ่ง อ.คลองหลวง จ.ปทุมธานี 12121 E-mail: watita.juja@gmail.com

[2]ภาควิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

99 ม.18 ต.คลองหนึ่ง อ.คลองหลวง จ.ปทุมธานี 12121 E-mail: scw@cs.tu.ac.th

## บทคัดย่อ

คิวอาร์โค้ด (QR Code) เป็นบาร์โค้ดสองมิติที่นิยมใช้กันในปัจจุบัน สามารถบรรจุข้อมูลได้สูงสุด 4,296 ตัวอักษร ในเวอร์ชัน 40 ระดับแก้ไขข้อผิดพลาด L แต่ต้องใช้พื้นที่ขนาดใหญ่ในการแสดงคิวอาร์โค้ดดังกล่าว บทความนี้เสนอการทดสอบความเป็นไปได้ของการเพิ่มความจุข้อมูลโดยใช้ระดับเทาแทนการใช้สีเข้ม สีอ่อนของคิวอาร์โค้ดมาตรฐานจากการทดลองเปรียบเทียบปริมาณข้อมูลที่เข้ารหัสคิวอาร์โค้ดมาตรฐานกับคิวอาร์โค้ดระดับเทา แสดงให้เห็นว่าการนำระดับเทา 4 ระดับมาใช้ในกระบวนการเข้ารหัสคิวอาร์โค้ด สามารถบรรจุข้อมูลได้มากกว่าการเข้ารหัสคิวอาร์โค้ดแบบมาตรฐานโดยเฉลี่ย 189.70% ทำให้คิวอาร์โค้ดแบบระดับเทา ใช้พื้นที่แสดงภาพน้อยกว่าคิวอาร์โค้ดแบบมาตรฐาน

คำสำคัญ: รหัสภาพคิวอาร์โค้ด, การแทนที่ข้อมูล, รหัสแท่งสองมิติ

## Abstract

QR code is the most used two-dimensional barcode and used in many application. As ISO/IEC 18004:2006, QR code version 40 error correction level L (40L) can contain maximum (4,296) alphanumeric character. But, 40L QR code needs large space for display. This paper describes a proof of concept to improve data capacity of QR code by using 4 level grayscale instead of light and dark color in the standard method. The result showed that, by using 4 level grayscale in QR code generation method, data capacity can be improved 189.70%. That can imply, it is possible to display a larger number of data in the same space size or use smaller space to display the same number of data of standard QR by using grayscale.

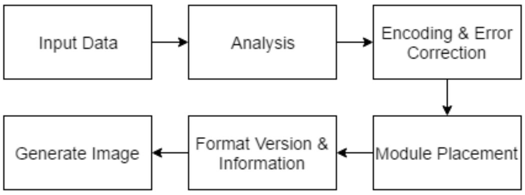
Keywords: QR Code, Representation , two-dimensional code

## 1. บทนำ

รหัสคิวอาร์โค้ดเป็นรูปภาพที่มีลักษณะเป็นรหัสแท่งสองมิติประเภทหนึ่ง ถูกสร้างโดยบริษัทเดนโซเวฟ ในปี พ.ศ. 2537 รหัสคิวอาร์โค้ดที่นิยมใช้ในปัจจุบัน สามารถบรรจุข้อมูลได้มากที่สุด 4,296 ตัวอักษร แต่การบรรจุข้อมูลปริมาณมากลงบนคิวอาร์โค้ด จะส่งผลให้ภาพรหัสคิวอาร์โค้ดมีขนาดใหญ่ ทำให้ไม่สามารถพื้นที่จำกัดได้อย่างมีประสิทธิภาพ งานวิจัยมากมายที่นำเสนอวิธีการเข้ารหัสคิวอาร์โค้ดให้มีขนาดเล็กลง และสามารถบรรจุข้อมูลได้ปริมาณที่มากขึ้นเทคนิคหนึ่ง คือ การเพิ่มสีแทนการเข้ารหัสคิวอาร์โค้ดเป็นสีเข้มสีอ่อน แต่การเพิ่มสีเข้ามานั้น อาจทำให้ค่าใช้จ่ายในการพิมพ์ที่สูงขึ้น และความคมชัดของภาพคิวอาร์โค้ดสีขึ้นอยู่กับคุณภาพของเครื่องพิมพ์ คุณภาพหมึกสีและสภาพแวดล้อม แสง ซึ่งส่งผลให้การถอดรหัส (Decode) ข้อมูลจากสีมีโอกาสผิดพลาดมากขึ้น งานวิจัยนี้นำเสนอการเพิ่มความจุของรหัสคิวอาร์โค้ดโดยใช้ระดับเทา (Grayscale) ซึ่งประหยัดค่าใช้จ่ายกว่าการใช้สี และอาจมีโอกาสผิดพลาดในการถอดรหัสน้อยกว่าการใช้สี

## 2. คิวอาร์โค้ดมาตรฐาน

คิวอาร์โค้ด คือ รหัสแท่งสองมิติ ประกอบด้วยช่องสี่เหลี่ยมเล็กๆที่เรียกว่า โมดูลสำหรับเก็บข้อมูล โดยใน 1 โมดูลนั้นสามารถเก็บข้อมูลได้ 1 บิต คิวอาร์โค้ดมาตรฐานมี 40 เวอร์ชั่น และมีระดับแก้ไขข้อผิดพลาด 4 ระดับ คือ H, Q, M และ L ซึ่งความสามารถในการกู้คืนคิดเป็น 30%, 25%, 15% และ 7% ตามลำดับ โดยแต่ละเวอร์ชั่นจุข้อมูลได้แตกต่างกัน เวอร์ชั่นที่จุได้มากที่สุด คือ เวอร์ชั่น 40 ระดับแก้ไขความผิดพลาด L โดยสามารถจุข้อมูลได้ 4,296 ตัวอักษร [1] คิวอาร์โค้ดมาตรฐานนั้นมีหลักการทำงาน ดังรูปที่ 1




**รูปที่ 1** ขั้นตอนการเข้ารหัสคิวอาร์โค้ดมาตรฐาน

**รูปที่ 2** ตัวอย่างภาพคิวอาร์โค้ดมาตรฐาน

## 3. การเพิ่มความจุข้อมูลของคิวอาร์โค้ด

การเพิ่มความจุข้อมูลของคิวอาร์โค้ดมีผู้ทำงานวิจัยไว้หลายชิ้น ดังนี้

A. Grillo (2010) [2] เสนอวิธี High Capacity Colored Two Dimensional Code (HCC2D) โดยเปลี่ยนจากการใช้สีอ่อนและเข้มในคิวอาร์โค้ดมาตรฐาน ที่ทำให้ 1 โมดูล เก็บข้อมูลได้ 1 บิท เป็นการใช้สีอย่างน้อย 4 สี ทำให้ 1 โมดูล สามารถเก็บข้อมูลได้มากกว่า 1 บิท เช่น หากใช้ 4 สี จะเก็บข้อมูลได้ 2 บิท ซึ่งความจุข้อมูลต่อ 1 บิต จะเพิ่มขึ้นตามจำนวนสีที่ใช้ ดังสมการที่ (1)

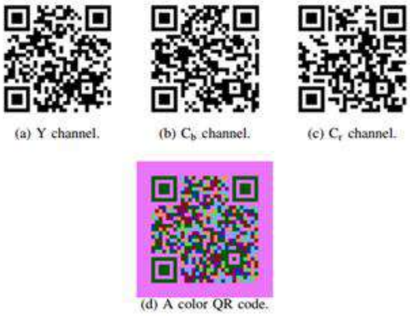
$$\text{BpM} = \log_2(\text{จำนวนสี}) \qquad (1)$$

**รูปที่ 3** ตัวอย่างภาพ HCC2D ของ A. Grillo แบบ 4 สี และ 16 สี

K. Furumoto (2012) [3] ใช้วิธีการเพิ่มความจุโดยการแบ่งข้อมูลเป็นส่วนๆ ตามจำนวน bit depth ของ grayscale ที่ต้องการ นำแต่ละส่วนมาเข้ารหัสคิวอาร์โค้ดมาตรฐาน จากนั้นอ่านค่าบิตของตำแหน่งที่ตรงกันในแต่ละส่วน เพื่อแปลงเป็นค่าสำหรับสร้างคิวอาร์โค้ดระดับเทา

**รูปที่ 4** ตัวอย่างภาพคิวอาร์โค้ดระดับเทาของ K. Furumoto

M. Kikuchi (2013) [4] เสนอวิธีเพิ่มความจุโดยการแบ่งข้อมูลเป็น 3 ส่วนเท่าๆ กัน จากนั้น นำแต่ละส่วนมาเข้ารหัสอาร์โค้ดแบบมาตรฐาน หลังจากนั้น นำคิวอาร์โค้ดมาตรฐานแต่ละภาพที่ได้ มาแปลงให้อยู่ใน Y, Cb และ Cr channel ตามลำดับ ซึ่ง Y,Cb,Cr เป็นระบบที่นิยมใช้ส่งสัญญาณดิจิตอลวีดีโอ [5] ซึ่งข้อมูลในคิวอาร์โค้ด ใน Chanel Y สามารถถอดรหัส (Decode) ด้วยวิธีการถอดรหัสของคิวอาร์โค้ดมาตรฐานได้ เนื่องจาก Chanel Y เป็น Chanel ที่เก็บค่าความสว่าง




**รูปที่ 5** ตัวอย่างภาพคิวอาร์โค้ดสีของ M. Kikuchi

ผู้วิจัยเสนอวิธีเพิ่มความจุโดยการเพิ่มจำนวนบิตในแต่ละโมดูลของภาพรหัสคิวอาร์โค้ดให้เก็บได้มากกว่า 1 บิต แล้วแทนที่แต่ละโมดูลด้วยระดับเทาอย่างน้อย 4 ระดับซึ่งจะสามารถจุข้อมูลได้เพิ่มขึ้นอย่างน้อย 1 บิต

**ตารางที่ 1** วิธีการเพิ่มความจุคิวอาร์โค้ดในงานวิจัย

| | **แบ่งข้อมูลเป็นส่วน** | **ไม่แบ่งข้อมูลเป็นส่วน** |
|---|---|---|
| **สี** | Kikuchi, 2013 | Grilo, 2010 |
| **ระดับเทา** | Furumoto, 2012 | วิธีที่นำเสนอ |

## 3. การเข้ารหัสคิวอาร์โค้ดด้วยระดับเทา

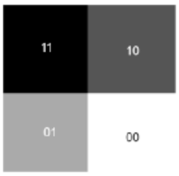
การเข้ารหัสคิวอาร์โค้ดด้วยระดับเทามีขั้นตอนดังต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1 Input Data คือ การรับข้อมูล

ขั้นตอนที่ 2 Analysis คือ การวิเคราะห์ชนิดของข้อมูลที่รับเข้ามา

ขั้นตอนที่ 3 Encode and Error Collection คือการแปลงข้อมูลที่รับเข้ามาเป็นข้อมูลไบนารี่และคำนวณรหัสแก้ไขข้อผิดพลาด

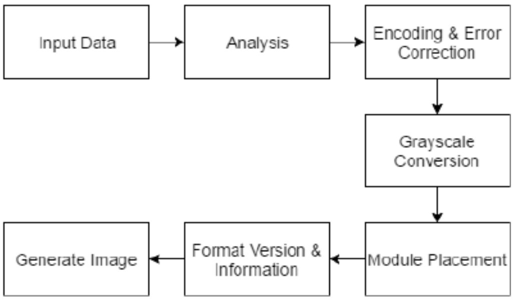
ขั้นตอนที่ 4 Grayscale Conversion คือ การแปลงข้อมูลไบนารีที่ได้จากขั้นตอนที่ 3 โดยการแบ่งข้อมูลทีละ 2 บิต แล้วแทนค่าข้อมูลด้วยระดับเทา โดยแสดงดังรูปที่ 1




**รูปที่ 6** แทนชุดข้อมูลด้วยระดับเทา

ขั้นตอนที่ 5 Module placement คือการจัดสรรข้อมูลลงในเมทริกซ์ตามรูปแบบคิวอาร์โค้ดมาตรฐาน

ขั้นตอนที่ 6 Format version information คือการจัดข้อมูลเวอร์ชั่นของรหัสคิวอาร์โค้ดลงตำแหน่งในภาพรหัสคิวอาร์โค้ด




**รูปที่ 7** ขั้นตอนการเข้ารหัสคิวอาร์โค้ดด้วยระดับเทา

**รูปที่ 8** คิวอาร์โค้ดระดับเทาเวอร์ชั่น 2

## 4. การทดลอง

เปรียบเทียบความจุข้อมูลของคิวอาร์โค้ดระดับเทาและคิวอาร์โค้ดมาตรฐาน โดยใช้ข้อความ ระดับแก้ไขข้อผิดพลาดเดียวกันในการเข้ารหัสของทั้งสองแบบ ตามขั้นตอนดังต่อไป

ขั้นตอนที่ 1 กำหนดระดับแก้ไขข้อผิดพลาด L

ขั้นตอนที่ 2 กำหนดข้อความที่มีจำนวนอักขระ1 ตัว ในการทดลองนี้ใช้ตัวอักษร A

ขั้นตอนที่ 3 บันทึกเวอร์ชั่นที่น้อยที่สุดของคิวอาร์โค้ดมาตรฐาน ที่สามารถบรรจุข้อความในขั้นตอนที่ 2 ได้

ขั้นตอนที่ 4 เข้ารหัสคิวอาร์โค้ดระดับเทา

ขั้นตอนที่ 5 บันทึกจำนวนโมดูลที่ใช้ในรหัสคิวอาร์โค้ดระดับเทา

ขั้นตอนที่ 6 หาเวอร์ชั่นที่น้อยที่สุดของคิวอาร์โค้ดมาตรฐานที่มีจำนวนโมดูลมากกว่าหรือเท่ากับจำนวนโมดูลที่บันทึกในขั้นตอนที่ 5 บันทึกเป็นเวอร์ชั่นระดับเทา

ขั้นตอนที่ 7 เพิ่มความยาวของข้อความจากขั้นตอนที่ 2 โดยเพิ่มอักขระ 1 ตัว ทำซ้ำตั้งแต่ขั้นตอนที่ 3 จนข้อความยาวเกินข้อกำหนดของคิวอาร์โค้ดมาตรฐาน (เวอร์ชั่น 40)

ขั้นตอนที่ 8 ทำซ้ำตั้งแต่ข้อ 1 โดยเปลี่ยนระดับแก้ไขข้อผิดพลาดเป็น M Q และ H

## 5. ผลการทดลอง

**ตารางที่ 2** เปรียบเทียบความจุระหว่างคิวอาร์โค้ดมาตรฐานกับคิวอาร์โค้ดระดับเทาที่เวอร์ชั่น 28 แต่ละระดับแก้ไขข้อผิดพลาด

| | L | M | Q | H |
|---|---|---|---|---|
| คิวอาร์โค้ดมาตรฐาน | 2,223 | 1,732 | 1,263 | 958 |
| คิวอาร์โค้ดระดับเทา | 4,296 | 3,391 | 2,420 | 1,852 |

จากการทดลองพบว่าการเข้ารหัสคิวอาร์โค้ดระดับเทาสามารถบรรจุข้อมูลได้มากกว่าการเข้ารหัสคิวอาร์โค้ดมาตรฐานที่เวอร์ชั่นและระดับแก้ไขข้อผิดพลาดเดียวกัน จำนวนความจุข้อมูลของคิวอาร์ทั้งสองประเภทที่เวอร์ชั่น 28 ถูกแสดงไว้ในตารางที่ 2 โดยระดับแก้ไขข้อผิดพลาด L สามารถบรรจุข้อมูลได้เพิ่มขึ้นเฉลี่ย 189.87% ที่ระดับแก้ไขข้อผิดพลาด M สามารถบรรจุข้อมูลได้เพิ่มขึ้นเฉลี่ย 190.11% ที่ระดับแก้ไขข้อผิดพลาด Q สามารถบรรจุข้อมูลได้เพิ่มขึ้นเฉลี่ย 188.81% และที่ระดับแก้ไขข้อผิดพลาด H สามารถบรรจุข้อมูลได้เพิ่มขึ้นเฉลี่ย 190.03% ดังแสดงในรูปที่ 9 และ รูปที่ 10 และตารางที่ 3

**รูปที่ 9** เปรียบเทียบความจุข้อมูลคิวอาร์โค้ดมาตรฐานและคิวอาร์โค้ดระดับเทาที่ระดับแก้ไขข้อผิดพลาด H

**รูปที่ 10** เปรียบเทียบความจุข้อมูลคิวอาร์โค้ดมาตรฐานและคิวอาร์โค้ดระดับเทาที่ระดับแก้ไขข้อผิดพลาด L

**ตารางที่ 3** สรุปผลการทดลองความจุที่เพิ่มขึ้นเมื่อเข้ารหัสคิวอาร์โค้ดระดับเทาเทียบกับความจุของคิวอาร์โค้ดมาตรฐาน

| ระดับแก้ไขข้อผิดพลาด | ความจุเพิ่มขึ้น (%) | | |
|---|---|---|---|
| | เฉลี่ย | มากที่สุด | น้อยที่สุด |
| L | 189.87 | 202.70 (v. 14) | 163.83 (v. 2) |
| M | 190.11 | 201.53 (v. 9) | 160.53 (v. 2) |
| Q | 188.81 | 199.36 (v. 26) | 162.07 (v. 2) |
| H | 190.03 | 207.42 (v. 14) | 170.24 (v. 6) |

## 6. สรุปผลการทดลอง

เมื่อทำการเข้ารหัสด้วยคิวอาร์โค้ดระดับเทา 4 ระดับ สามารถจุข้อมูลได้มากกว่าคิวอาร์โค้ดมาตรฐานในเวอร์ชั่นและระดับแก้ไขข้อผิดพลาดเดียวกัน โดยเฉลี่ยประมาณ 189.70% โดยความจุเพิ่มขึ้นน้อยที่สุด ที่ระดับแก้ไขข้อผิดพลาดที่ M คิวอาร์โค้ดเวอร์ชั่น 2 (160.53%) และความจุเพิ่มขึ้นมากที่สุดที่ระดับแก้ไขข้อผิดพลาดที่ H คิวอาร์โค้ดเวอร์ชั่น 14 (207.42%) ซึ่งเป็นความจุที่ใกล้เคียงกับวิธีการใช้ HCC2D แบบ 4 สี ของ A. Grillo

## 7. งานที่จะทำในอนาคต

งานวิจัยในขั้นถัดไป คือ เพิ่มจำนวนระดับเทาเป็น 8 และ 16 ระดับ รวมถึงทดสอบประสิทธิภาพการถอดรหัสคิวอาร์โค้ดระดับเทาเทียบกับวิธีการเพิ่มความจุคิวอาร์โค้ดของงานวิจัยชิ้นอื่น

## เอกสารอ้างอิง

[1] ISO/IEC, “Information technology – Automatic identification and data capture techniques – QR code 2005 bar code symbology specification,” IS 18004:2006, 2006.

[2] A. Grillo, A. Lentini, M. Querini and G. Italiano. "High capacity colored two dimensional codes." Computer Science and Information Technology (IMCSIT), Proceedings of the 2010 International Multiconference on. IEEE, 2010.

[3] K. Furumoto, Y. Watanabe and M. Morii. "Gray scale two-dimension code and its application." Engineering Kobe University, on IEICE, 2012-11.

[4] M. Kikuchi, M. Fujiyoshi and H. Kiya. "A New Color QR Code Forward Compatible with the Standard QR Code Decoder." Department of Information and Communication System, Tokyo Metropolitan University on IEEE, 2013.

[5] A. Kaur and B. V. Kranthi. "Comparison between YCbCr color space and CIELab color space for skin color segmentation." *IJAIS* 3.4 (2012): 30-33.

**วาทิตา พันธุมะโน**
ภาควิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
งานวิจัยที่สนใจ การประมวลผลภาพ (Digital Image Processing)

**เสาวลักษณ์ วรรธนาภา**
ภาควิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
งานวิจัยที่สนใจ: Multimedia Content Analysis, Digital Image Processing, Computer Vision

**บทความวิจัย**

การประชุมวิชาการ งานวิจัยและพัฒนาเชิงประยุกต์ ครั้งที่ 8

*8th ECTI-CARD 2016, Hua Hin, Thailand*

# การประยุกต์ใช้ตัวกรองตัดสัญญาณรบกวนชนิดปรับค่าได้เอง เพื่อตรวจจับกระแสฮาร์มอนิกสำหรับตัวกรองแบบแอคทีฟ

# The Application of Noise Cancellation Adaptive Filter to Detect Harmonic Current for Active Filter

**ชาญชัย พฤกษ์พาดี[1] สาคร วุฒิพัฒนพันธุ์[1] และ นัฐโชติ รักไทยเจริญชีพ[1]**

[1]สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

1381 ถนนประชาราษฎร์1 แขวงวงศ์สว่าง เขตบางซื่อ กรุงเทพฯ 10800 โทรศัพท์ 02-836-3000 ต่อ 4150 E-mail: sakhon.w@rmutp.ac.th

## บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอวิธีการตรวจจับกระแสฮาร์มอนิกสำหรับตัวกรองแบบแอคทีฟโดยอาศัยพื้นฐานทฤษฎีของตัวกรองตัดสัญญาณรบกวนชนิดปรับค่าได้เอง เดิมทฤษฎีนี้ถูกพัฒนาขึ้นมาเพื่อประมวลผลสัญญาณเสียง ทฤษฎีดังกล่าวมีสองขั้นตอนวิธีที่นิยมคือ Least Mean Square (LMS) และRecursive Least Square (RLS) ซึ่งจะทำการวิเคราะห์และเปรียบเทียบทั้งสองขั้นตอนวิธีด้วยโปรแกรม MATLAB Simulink เพื่อเลือกขั้นตอนวิธีที่เหมาะสมสำหรับนำไปพัฒนาประสิทธิภาพของตัวกรองฮาร์มอนิกแบบแอคทีฟชนิดปรับตัวได้เองในงานวิจัยต่อจากนี้

คำสำคัญ: ฮาร์มอนิก, ตัวกรองแบบแอคทีฟ, ตัวกรองชนิดปรับค่าได้เอง, ขั้นตอนวิธี LMS, ขั้นตอนวิธี RLS

## Abstract

This paper presents a method to detect the harmonic current for active filter based on the theory of noise cancellation adaptive filter theory. The theory was originally developed to process the audio signals. This theory has two popular algorithms i.e. Least Mean Square (LMS) and Recursive Least Square (RLS). This article was analyzed and compared the advantages and disadvantages of both types of algorithms by MATLAB Simulink program. Then decide on the appropriate algorithm for improve the efficiency of adaptive active filter in the next researches.

Keywords: harmonic, active filter, adaptive filter, LMS algorithm, RLS algorithm

## 1. บทนำ

ปัจจุบันในโรงงานอุตสาหกรรมจะมีอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ประกอบด้วยอุปกรณ์และวงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลังเช่น แหล่งจ่ายกำลังแบบสวิตชิ่ง บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ วงจรเรียงกระแส และวงจรควบคุมความเร็วมอเตอร์ ซึ่งอุปกรณ์เหล่านี้ล้วนเป็นสาเหตุของการเกิดฮาร์มอนิกในระบบไฟฟ้า โดยฮาร์มอนิกจะมีผลกระทบต่อกระแสและแรงดันทั้งในเชิงขนาด (Amplitude) และมุม (Phase Angle) คือจะทำให้รูปสัญญาณมีขนาดและรูปร่างเบี่ยงเบน (Distortion) ไปจากสภาพตอนที่มีเพียงความถี่หลักมูล (Fundamental Frequency)

การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค และการไฟฟ้านครหลวงได้ตั้งกฎเกณฑ์เกี่ยวกับฮาร์มอนิกที่เกิดจากผู้ใช้ไฟ (สถานประกอบการประเภทธุรกิจและอุตสาหกรรม) โดยกำหนดค่าขีดจำกัดความเพี้ยนฮาร์มอนิกของกระแสและแรงดันสำหรับผู้ใช้ไฟรายใดๆที่จุดต่อร่วม ทั้งยังมีการบังคับใช้สำหรับผู้ขอไฟรายใหม่ให้แสดงรายการใช้ไฟฟ้าและคำนวณค่าความเพี้ยนฮาร์มอนิกเพื่อให้การไฟฟ้าตรวจสอบ หากเกินขีดจำกัดที่กำหนดจะไม่จ่ายไฟให้ ส่วนผู้ใช้ไฟรายเดิมหากการไฟฟ้าตรวจสอบแล้วพบว่าความเพี้ยนฮาร์มอนิกเกินขีดจำกัดผู้ใช้ไฟต้องทำการแก้ไขเพื่อลดผลกระทบไม่ให้เกินขีดจำกัดที่กำหนด ไม่เช่นนั้นการไฟฟ้าจะเข้าไปดำเนินการแก้ไขให้ และคิดค่าใช้จ่ายกับผู้ใช้ไฟหรืองดการจ่ายไฟฟ้า แม้ว่าปัจจุบันข้อกำหนดนี้จะมีความเข้มงวดกับผู้ยื่นขอใช้ไฟรายใหม่ แต่ในความเป็นจริงแล้วหากมีการตรวจสอบกันอย่างจริงจังจะพบผู้ใช้ไฟส่วนมากล้วนสร้างปริมาณกระแสฮาร์มอนิกเกินขีดจำกัด ดังนั้นหากสามารถลดปริมาณกระแสฮาร์มอนิกในระบบไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟได้ก็จะเป็นการลดความเสียหายที่เกิดขึ้นกับผู้ใช้ไฟเองและยังเป็นการปฏิบัติตามกฎเกณฑ์ของผู้ให้บริการไฟฟ้าด้วย

ตารางที่ 1 ขีดจำกัดกระแสฮาร์มอนิก สำหรับผู้ใช้ไฟรายใดๆที่จุดต่อร่วม

| ระดับแรงดันไฟฟ้าที่จุดต่อร่วม (kV) | อันดับฮาร์มอนิกและขีดจำกัดของกระแส (Arms) | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 |
| 0.400 | 48 | 34 | 22 | 56 | 11 | 40 | 9 | 8 | 7 | 19 | 6 | 16 | 5 | 5 | 5 | 6 | 4 | 6 |
| 11 and 12 | 13 | 8 | 6 | 10 | 4 | 8 | 3 | 3 | 3 | 7 | 2 | 6 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 |
| 22, 24 and 33 | 11 | 7 | 5 | 9 | 4 | 6 | 3 | 2 | 2 | 6 | 2 | 5 | 2 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 |
| 69 | 8.8 | 5.9 | 4.3 | 7.3 | 3.3 | 4.9 | 2 | 2 | 1.6 | 4.9 | 1.6 | 4.3 | 1.6 | 1 | 1 | 1.6 | 1 | 1 |
| 115 and above | 5 | 4 | 3 | 4 | 2 | 3 | 1 | 1 | 1 | 3 | 1 | 3 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |

ตารางที่ 2 ขีดจำกัดแรงดันฮาร์มอนิก สำหรับผู้ใช้ไฟรายใดๆที่จุดต่อร่วม

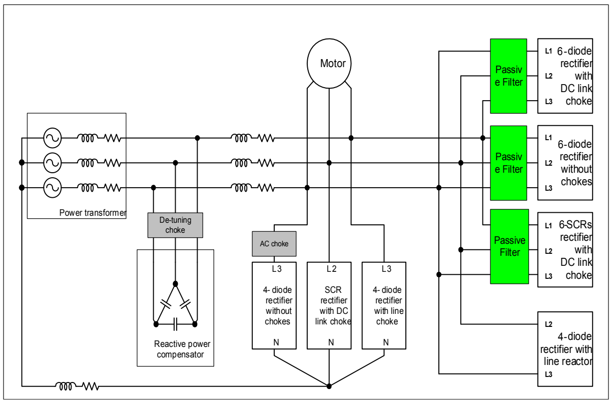
| ระดับแรงดันไฟฟ้าที่จุดต่อร่วม (kV) | ค่าความเพี้ยนฮาร์มอนิกรวมของแรงดัน (%) | ค่าความเพี้ยนฮาร์มอนิกของแรงดันแต่ละอันดับ(%) | |
|---|---|---|---|
| | | อันดับคี่ | อันดับคู่ |
| 0.400 | 5 | 4 | 2 |
| 11 and 12 | 4 | 3 | 1.75 |
| 22, 24 and 33 | 3 | 2 | 1 |
| 69 | 2.45 | 1.63 | 0.82 |
| 115 and above | 1.5 | 1 | 0.5 |

## 2. การปรับปรุงฮาร์มอนิกในระบบไฟฟ้า

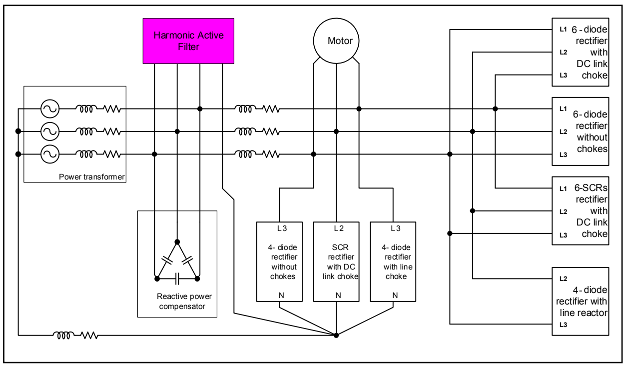
การแก้ไขหรือปรับปรุงฮาร์อนิกทำได้โดยการติดตั้งตัวกรองฮาร์มอนิกเข้าไปที่ระบบ ซึ่งตัวกรองแบ่งออกเป็นสองชนิดหลักๆคือ ตัวกรองแบบพาสซีพ และตัวกรองแบบแอคทีฟ

ตัวกรองแบบพาสซีพมีข้อเสียคือต้องทราบอันดับที่แน่นอนของฮาร์มอนิกแล้วจึงออกแบบตัวกรองพาสซีพสำหรับฮาร์มอนิกอันดับนั้นๆซึ่งนิยมใช้ปรับปรุงที่สาขาย่อยของระบบไฟฟ้าโดยเฉพาะการขับเคลื่อนมอเตอร์โดยต่ออนุกรมกับโหลดดังแสดงในรูปที่ 1

ตัวกรองแบบแอคทีฟสามารถใช้ปรับปรุงได้ทั้งที่สาขาย่อยหรือที่ระบบไฟฟ้าทั้งระบบโดยการต่อขนานดังแสดงในรูปที่ 2 ตัวกรองแบบแอคทีฟยังสามารถปรับตัวได้เองเพื่อชดเชยฮาร์มอนิกที่เกิดขึ้นในทุกช่วงเวลา จากข้อดีดังกล่าวทำให้ตัวกรองฮาร์มอนิกแบบแอคทีฟมีความน่าสนใจและนำมาวิเคราะห์ในหัวข้อต่อไป




**รูปที่ 1** การต่อตัวกรองฮาร์มอนิกแบบพาสซีพในระบบไฟฟ้า

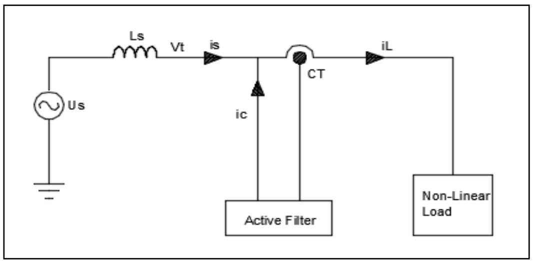



**รูปที่ 2** การต่อตัวกรองฮาร์มอนิกแบบแอคทีฟในระบบไฟฟ้า

## 3. หลักการทำงานของตัวกรองฮาร์มอนิกแบบแอคทีฟ

หลักการของตัวกรองฮามอนิกส์แบบแอคทีฟคือ ตรวจจับกระแสฮาร์มอนิก จากนั้นจ่ายกระแสฮาร์มอนิกที่มีขนาดเท่ากับที่ตรวจจับได้แต่มีทิศทางตรงกันข้ามเข้าสู่ระบบไฟฟ้าเพื่อหักล้างกระแสฮาร์มอนิกที่เกิดขึ้นในเวลานั้น โดยส่วนประกอบหลักของตัวกรองแบบแอคทีฟมีสองส่วนคือ วงจรกำลัง และวงจรควบคุม [1]

บล๊อกไดอะแกรมแสดงการทำงานของตัวกรองฮาร์มอนิกแบบแอคทีฟได้แสดงไว้ในรูปที่ 3 โดยแรงดันแหล่งจ่าย $U_S$ เป็นแรงดันรูปคลื่นซายน์ (Sinusoidal Wave Form) แต่รูปคลื่นแรงดัน $V_t$ เกิดการเบี่ยงเบนอันเนื่องจากโหลดที่ต่อเป็นโหลดที่มีคุณลักษณะไม่เป็นเชิงเส้นจำพวกอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลัง




**รูปที่ 3** บล็อกไดอะแกรมการทำงานของตัวกรองฮาร์มอนิกแบบแอคทีฟ

โดยกระแสโหลด $i_L$ เกิดจากกระแสโหลดที่ความถี่หลักมูล $i_l$ รวมกับกระแสโหลดที่ความถี่ฮาร์มอนิก $i_h$ ดังนี้

$$i_L(t) = i_l(t) + i_h(t) \tag{1}$$

เมื่อให้ $i_s$ เป็นกระแสแอคทีฟที่อยู่ในเฟสเดียวกับแรงดัน $U_S$ และ $i_q$ เป็นกระแสรีแอคทีฟซึ่งมีมุมต่างจากกระแส $i_s$ 90 องศา ดังนั้นกระแสโหลดที่ความถี่หลักมูลจะมีค่าดังนี้

$$i_l(t) = i_s(t) + i_q(t) \quad (2)$$

แทนค่าจาก (2) ลงใน (1) จะได้

$$i_L(t) = i_s(t) + i_q(t) + i_h(t) \quad (3)$$

$$i_L(t) = i_s(t) + i_{comp}(t) \quad (4)$$

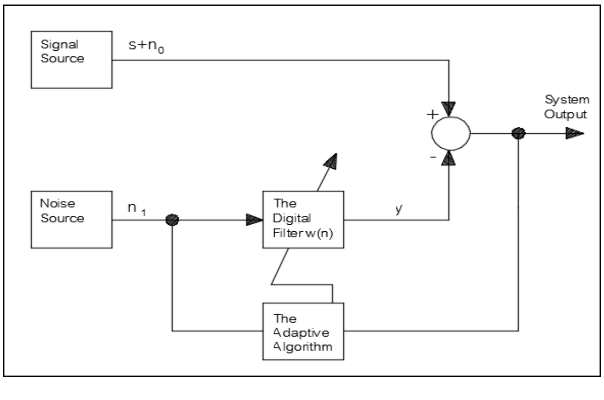
เมื่อกระแส $i_{comp}$ คือกระแสที่ตัวกรองฮาร์มอนิกแบบแอคทีฟต้องจ่ายออกมาเพื่อปรับปรุงฮาร์มอนิก

## 4. ตัวกรองตัดสัญญาณรบกวนชนิดปรับค่าได้เอง

ในส่วนนี้จะนำเสนอแนวคิดการตรวจจับกระแสฮาร์มอนิกชนิดปรับค่าได้เอง ซึ่งเป็นส่วนวงจรควบคุมของตัวกรองฮาร์มอนิกแบบแอคทีฟ ตัวกรองชนิดปรับค่าได้เองอยู่บนพื้นฐานของทฤษฎีของการตัดเสียงรบกวนซึ่งจะประมวลผลด้วยการแยกสัญญาณเสียงที่ต้องการออกจากสัญญาณเสียงรบกวน [2] โดยบล็อกไดอะแกรมแสดงการทำงานของทฤษฎีดังกล่าวนี้ได้แสดงไว้ในรูปที่ 4

เซ็นเซอร์หลักจะเป็นตัวกำเนิดสัญญาณ s และสัญญาณรบกวน $n_0$ รวมกันเป็นสัญญาณ $s+n_0$ ซึ่งใช้เป็นสัญญาณอินพุตที่เข้าสู่ตัวกรองชนิดปรับค่าได้เอง โดยเซ็นเซอร์อีกตัวจะรับสัญญาณรบกวน $n_1$ ซึ่งไม่มีความสัมพันธ์กับสัญญาณ s แต่สัมพันธ์กับสัญญาณ $n_0$ โดย สัญญาณ $n_1$ นี้เรียกว่าสัญญาณอ้างอิงซึ่งถูกใช้เป็นตัวสร้างสัญญาณทดแทน y และสัญญาณ y นี้ถูกจำลองให้ใกล้เคียงกับสัญญาณ $n_0$ และสุดท้ายสัญญาณเอาต์พุตของระบบก็คือการนำเอาสัญญาณ $s+n_0$ มาหักล้างกับสัญญาณ y ซึ่งจะไดเป็นสัญญาณ $s+n_0$-y [1]

ขั้นตอนวิธีปรับค่าได้เอง (The Adaptive Algorithm) เกิดจากการรับสัญญาณอ้างอิงและสัญญาณเอาพุตมาประมวลผลปรับค่า w(n) เพื่อให้สัญญาณ y ใกล้เคียงกับสัญญาณ $n_0$ และทำเช่นนี้วนไปเรื่อยๆ จนกระทั่งสัญญาณ y เข้าใกล้สัญญาณ $n_0$ มากที่สุด




**รูปที่ 4** บล็อกไดอะแกรมตัวกรองตัดสัญญาณรบกวนชนิดปรับค่าได้เอง

ในบทความนี้จะกล่าวถึงและเปรียบเทียบขั้นตอนวิธีที่นิยมใช้สองชนิดคือ Least Mean Square (LMS) และ Recursive Least Square (RLS) โดยขั้นตอนวิธี LMS มีความนิยมใช้มากที่สุดในตัวกรองปรับค่าได้เอง ข้อดีคือมีความง่ายไม่ซับซ้อน แต่ข้อเสียคือมีความเร็วในการปรับตัวจนถึงจุดบรรจบช้ากว่าเมื่อเทียบกับขั้นตอนวิธีอื่น และมีผลกระทบจากสัญญาณอินพุตพอสมควร [3] ค่าประมวลผล *w(n)* ของขั้นตอนวิธี LMS หาได้จาก

$$w(n+1) = w(n) + \mu x(n) \,.\, e(n) \quad (5)$$

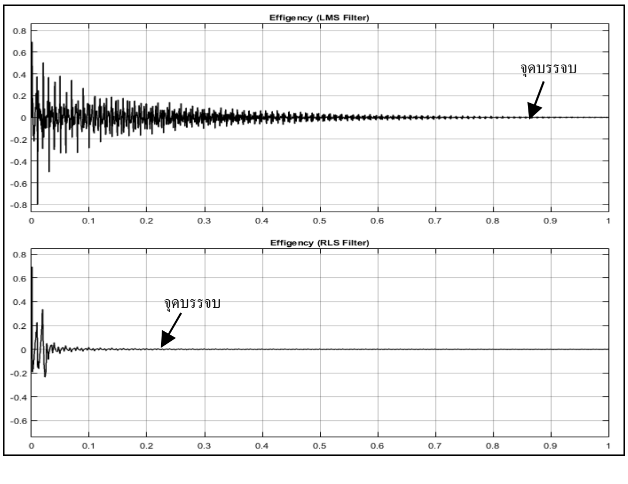
เมื่อ $\mu$ คือค่าคงที่ step size ($0 < \mu < 2$), *x(n)* คือสัญญาณอ้างอิง $n_1$ และ *e(n)* คือสัญญาณผิดพลาด $s+n_0-y$

ขั้นตอนวิธี RLS เป็นขั้นตอนวิธีที่ซับซ้อนกว่าขั้นตอนวิธี LMS แต่ข้อดีคือมีความเร็วในการปรับตัวจนถึงจุดบรรจบเร็วกว่าและมีผลกระทบจากสัญญาณอินพุตน้อยกว่าขั้นตอนวิธีLMS [3] ค่าประมวลผล *w(n)* ของขั้นตอนวิธี RLS หาได้จาก

$$w(n+1) = w(n) + \xi(n) \,.\, e(n) \quad (6)$$

เมื่อ $\xi(n)$ คือค่าสัมประสิทธ์การได้เปรียบ (gain coefficient)

เมื่อจำลองการทำงานของขั้นตอนวิธี LMS และ RLS ด้วยโปรแกรม MATLAB Simulink โดยตั้งค่า Step Size (mu) ของขั้นตอนวิธี LMS เป็น 0.07 และ Forgetting Factor ของขั้นตอนวิธี RLS เป็น 1 จะเห็นว่าขั้นตอนวิธี RLS ใช้เวลาในการวิ่งเข้าหาจุดบรรจบน้อยกว่า รวมทั้งช่วงเวลาก่อนและหลังจุดบรรจบจะมีการกระเพื่อมของสัญญาณน้อยกว่าขั้นตอนวิธี LMS ดังแสดงไว้ในรูปที่ 5 นั่นคือเมื่อใช้ขั้นตอนวิธี RLS จะทำให้สัญญาณ *y* เข้าใกล้สัญญาณ $n_0$ ได้เร็วมากกว่า และสัญญาณเอาต์พุตมีความใกล้เคียงกับสัญญาณอินพุตมากว่าขั้นตอนวิธี LMS

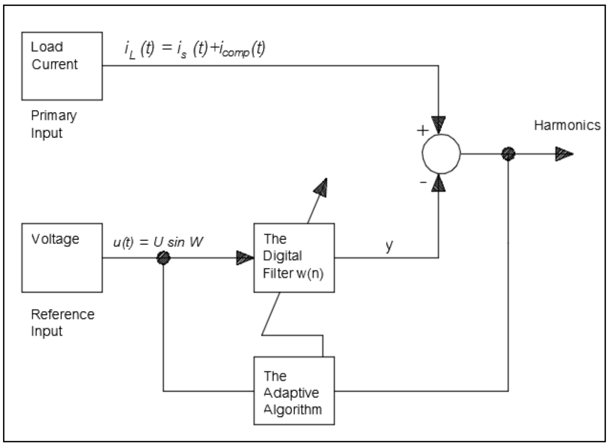



**รูปที่ 5** ผลจำลองการทำงานเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของขั้นตอนวิธี LMS (บน) และขั้นตอนวิธี RLS (ล่าง)

## 5. การใช้ตัวกรองตัดสัญญาณรบกวนชนิดปรับค่าได้เองเพื่อตรวจจับกระแสฮาร์มอนิก

การตรวจจับกระแสฮาร์มอนิกเป็นสิ่งที่ยาก เนื่องจากปกติต้องรู้ขนาดและมุมของกระแสฮาร์มอนิกที่แท้จริง แต่อาจใช้วิธีหากระแสฮาร์มอนิกทางอ้อมหรือจากการวิเคราะห์ นั่นคือทำการวัดกระแสปกติ (กระแสรวม) ที่มีความถี่หลักมูลและกระแสฮาร์มอนิกปะปนอยู่ จากนั้นทำการหักล้างกระแสความถี่หลักมูลออกไป ผลลัพธ์ที่ได้ก็คือกระแสฮาร์มอนิกนั่นเอง [1] ซึ่งหลักการนี้จะเป็นหลักการเดียวกับทฤษฎีการใช้ตัวกรองตัดสัญญาณรบกวนชนิดปรับค่าได้เองดังที่กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 4

บล็อกไดอะแกรมแสดงการประยุกต์ใช้ตัวกรองตัดสัญญาณรบกวนชนิดปรับค่าได้เองมาใช้ตรวจจับกระแสฮาร์มอนิกได้แสดงไว้ในรูปที่ 6 โดยสัญญาณกระแสโหลดจะถูกตรวจจับด้วยหม้อแปลงกระแส (Current Transformer) เมื่อพิจารณาจากสมการ (3.4) กระแสโหลดคือผลรวมของกระแส $i_s(t)$ และกระแส $i_{comp}(t)$ และจากทฤษฎีของตัวกรองตัดสัญญาณรบกวนชนิดปรับค่าได้เอง สัญญาณอ้างอิงต้องสัมพันธ์กับสัญญาณที่ต้องการหักล้างออกจากระบบ กรณีนี้สัญญาณที่ต้องการหักล้างคือกระแส $i_s(t)$ ซึ่งมีมุมเฟสตรงกับแรงดันที่แหล่งจ่าย ส่วนสัญญาณแรงดัน $u(t)$ นั้นรับมาจากหม้อแปลงแรงดันของแรงจ่าย (Potential Transformer) และจะถูกนำมาใช้เป็นสัญญาณอ้างอิง [1]




**รูปที่ 6** บล็อกไดอะแกรมแสดงการใช้ตัวกรองตัดสัญญาณรบกวนชนิดปรับค่าได้เองมาใช้ตรวจจับกระแสฮาร์มอนิก

## 6. สรุป

จากการศึกษาเปรียบเทียบขั้นตอนวิธี LMS และขั้นตอนวิธี RLS สำหรับตัวกรองตัดสัญญาณรบกวนชนิดปรับค่าได้เอง เห็นได้ว่าขั้นตอนวิธี RLS มีข้อดีกว่าคือความเร็วในการปรับจนถึงจุดบรรจบเร็วกว่า และมีผลกระทบจากสัญญาณอินพุตน้อยกว่า ถึงแม้ว่าการคำนวณจะซับซ้อน ทำให้ต้องใช้ตัวประมวลผลที่มีความสามารถสูงและหน่วยความจำมากขึ้นก็ตาม แต่เมื่อนำหลักการของตัวกรองตัดสัญญาณรบกวนชนิดปรับค่าได้เองมาประยุกต์ใช้เพื่อตรวจจับกระแสฮาร์มอนิก การใช้ขั้นตอนวิธี RLS จะมีประสิทธิภาพ สามารถตรวจจับฮาร์มอนิกได้เร็วขึ้นและค่าผิดพลาดน้อยลง ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยกับผลดีที่ได้นั้น ขั้นตอนวิธี RLS จึงมีความเหมาะสมที่จะวิจัยและพัฒนาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของตัวกรองฮาร์มอนิกแบบแอคทีฟชนิดปรับตัวได้เองต่อไป

**7. กิตติกรรมประกาศ**

คณะผู้เขียนบทความขอขอบคุณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ที่ให้การสนับสนุนในด้านต่างๆเพื่อส่งบทความนี้

## เอกสารอ้างอิง

[1] W. Liu, "Adaptive Power Line Harmonic Detection For Active Filter Applications," Master of Applied Science in Electrical and Computer Engineering, Ryerson University, Toronto, 2004.

[2] B. Widrow and S.D. Stearns, Adaptive Signal Processing, Printice Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1985.

[3] H. Quanzhen, G. Zhiyuan, G. Shouwei, S. Yong, and Z. Xiaojin, "Comparison of LMS and RLS Algorithm for Active Vibration Control of Smart Structures," ICMTMA 2011 3rd International Conference on (vol. 1), January 2011, pp. 745-748.

[4] L. Gyugi and E.C. Strycula, "Active AC Power Filter," Conf Rec of IEEE-IAS Annual Meeting, October 1976, pp. 529-535.

[5] L. Zhou and Z. Li, "A Novel Active Power Filter Based on the Least Compensation Current Control Method," IEEE Trans on Power Electronics, vol. 15, No. 4, July 2000, pp. 655-659.

[6] B. Singh and K. Al-Haddad, "A review of Active Filters for Power Quality Improvement," IEEE Trans on Industrial Electronics, vol. 46, No. 5, October 1999, pp. 960-971.

[7] T.L. Leung, S. Valiviita, and S.J. Ovaska, "Adaptive and delayless Filtering System for Sinusoids with Varying Frequency," Southeastcon '99, IEEE Proceedings, March 1999, pp. 149-153.

**บทความวิจัย**
การประชุมวิชาการ งานวิจัยและพัฒนาเชิงประยุกต์ ครั้งที่ 8
*8th ECTI-CARD 2016, Hua Hin, Thailand*

# วงจรกำเนิดสัญญาณไซน์ควอเดรเจอร์โหมดกระแสโดยใช้ DO-CDTA เพียงตัวเดียว
# A Current-mode Sinusoidal Quadrature Oscillator Using Single DO-CDTA

**จรินทร์ศักดิ์ แซ่เตียว[1], ศักดิ์สิทธิ์ สุ่มมาตย์[2] และ ภัสส์กุญช์ ฐิติมหัทธนกุศล[3]**
[1]สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น
150 ถนนศรีจันทร์ ตำบลในเมือง อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น 40000 โทรศัพท์ 043-336371 E-mail: charinsak.sa@rmuti.ac.th
[2]สาขาวิชาเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ วิทยาลัยเทคโนโลยีภาคตะวันออกเฉียงเหนือ
200 ถนนมิตรภาพ ตำบลในเมือง อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น 40000 โทรศัพท์ 083-372-6340 E-mail: ton_3555@hotmail.com
[3]สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน นครราชสีมา
741 ถนนสุรนารายณ์ อ.เมือง จ.นครราชสีมา 30000 โทร 044-233000 ต่อ 3140 E-mail: makyou_sula44@hotmail.com

## บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอวงจรกำเนิดสัญญาณไซน์ควอเดรเจอร์โหมดกระแสโดยใช้ DO-CDTA วงจรที่นำเสนอใช้อุปกรณ์แอกทีฟหลักเพียงแค่หนึ่งตัวต่อร่วมกับตัวเก็บประจุอีกสองตัว ทำให้โครงสร้างการต่อวงจรไม่ซับซ้อน นอกจากนี้ เงื่อนไขในการกำเนิดสัญญาณและความถี่ในการกำเนิดสัญญาณ ยังสามารถควบคุมด้วยวิธีทางอิเล็กทรอนิกส์โดยการปรับกระแสไบแอสภายนอก เนื่องจากวงจรใช้เพียงตัวเก็บประจุที่ต่อลงกราวน์ไม่มีการต่อตัวต้านทานภายนอก จึงเหมาะที่จะนำไปพัฒนาเป็นวงจรรวม ทั้งนี้ผลการทดสอบสมรรถนะของวงจรจากการจำลองด้วยโปรแกรม PSPICE พบว่า ผลที่ได้มีความสอดคล้องกับที่วิเคราะห์ไว้ในทางทฤษฎี

คำสำคัญ: โหมดกระแส, วงจรกำเนิดสัญญาณแบบควอเดรเจอร์, DO-CDTA

## Abstract

This article presents a current-mode quadrature oscillator using DO-CDTA. The proposed circuit consists of single active element and 2 grounded capacitors which are easy construction of circuit. In addition, the condition of oscillation and frequency of oscillation can be controlled electronically by adjusting the bias current. The proposed circuit uses only grounded capacitors without any external resistor which is beneficial from the point of view of integrated circuit fabrication. Moreover, the simulation results by PSPICE program are shown corresponding with the theoretical analysis.

Keywords: Current-mode, Quadrature Oscillator, DO-CDTA

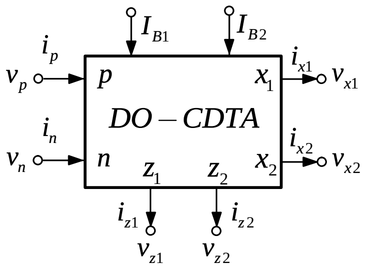
## 1. บทนำ

วงจรกำเนิดสัญญาณไซน์ เป็นวงจรที่มีความสำคัญในงานด้านวิศวกรรมไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งได้นำไปใช้งานในด้านต่างๆ เช่น ในระบบสื่อสาร การประมวลผลสัญญาณ และระบบเครื่องมือวัด เป็นต้น วงจรกำเนิดสัญญาณอีกประเภทหนึ่งที่นิยมนำมาใช้งาน ก็คือ วงจรกำเนิดสัญญาณไซน์แบบควอเดรเจอร์ วงจรกำเนิดสัญญาณประเภทนี้ จะสามารถให้สัญญาณทางด้านเอาต์พุตที่มีเฟสต่างกัน 90 องศา ซึ่งจะเรียกสัญญาณดังกล่าวว่า สัญญาณควอเดรเจอร์ (Quadrature Signal) ตัวอย่างการนำไปใช้งาน เช่น การมอดูเลตสัญญาณแบบไซด์แบนด์เดี่ยว (single side band; SSB) และการผสมสัญญาณแบบควอเดรเจอร์ [1] ดังนั้น ในช่วงที่ผ่านมา จึงมีผู้นำเสนอวงจรกำเนิดสัญญาณควอเดรเจอร์ออกมาเป็นจำนวนมาก ทั้งนี้เทคนิคที่นิยมใช้ คือ การสังเคราะห์และออกแบบวงจรในโหมดกระแส เนื่องจากทำให้ได้ข้อดีหลายประการ เช่น มีแบนด์วิธด์กว้าง มีความเป็นเชิงเส้นสูง มีค่าพิสัยพลวัตกว้าง และวงจรไม่ซับซ้อนเมื่อเทียบกับวงจรที่ทำงานในโหมดแรงดัน [2]

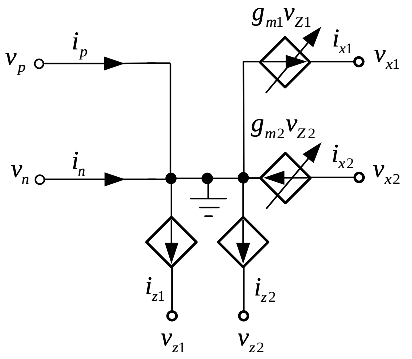
จากการสำรวจผลงานวิจัยในช่วงที่ผ่านมาเกี่ยวกับการสังเคราะห์และออกแบบวงจรกำเนิดสัญญาณไซน์ โดยการใช้อุปกรณ์แอกทีฟ (Active Building Block) เพียงตัวเดียว พบว่า วงจรที่นำเสนอ ยังมีข้อด้อยหลายประการ ตัวอย่าง เช่น มีการต่อตัวต้านทานภายนอก [3] วงจรมีการต่อตัวเก็บประจุแบบลอย [4] ซึ่งทำให้วงจรที่ออกแบบไม่เหมาะในการนำมาสร้างเป็นวงจรรวม บางวงจรที่นำเสนอ มีอิมพิแดนซ์ทางด้านเอาต์พุตต่ำ [5] นอกจากนี้ วงจรที่นำเสนอ มีเงื่อนไขและความถี่ในการกำเนิดสัญญาณที่ไม่สามารถควบคุมด้วยวิธีอิเล็กทรอนิกส์ [3-4]

จากที่กล่าวมาข้างต้น บทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำเสนอวงจรกำเนิดสัญญาณไซน์ควอเดรเจอร์โหมดกระแส วงจรที่นำเสนอจะใช้ DO-CDTA เพียงหนึ่งตัว และตัวเก็บประจุจำนวนสองตัว อิมพีแดนซ์ทางด้านเอาต์พุตมีค่าสูง สามารถนำไปต่อแบบคาสเคด (cascade) หรือขับ

โหลดได้โดยตรง ทั้งนี้วงจรที่นำเสนอปราศจากการต่อตัวต้านทานภายนอก มีเพียงตัวเก็บประจุที่ต่อลงกราวนด์เท่านั้น จึงมีความเหมาะสมในการพัฒนาไปเป็นวงจรรวม อีกทั้งยังสามารถปรับเงื่อนไขและความถี่ในการกำเนิดสัญญาณได้ด้วยวิธีทางอิเล็กทรอนิกส์




**รูปที่** 1 สัญลักษณ์ของ DO-CDTA




**รูปที่** 2 วงจรสมมูลของ DO-CDTA

## 2. หลักการทำงานของ DO-CDTA

ในปี ค.ศ. 2003 มีผู้นำเสนออุปกรณ์แอกทีฟที่มีชื่อว่า CDTA (Current Differencing Transconductance Amplifier) เพื่อนำมาใช้ในงานประมวลผลสัญญาณอนาลอกทั้งในโหมดแรงดันและกระแส [6] ในบทความนี้จะนำ CDTA มาประยุกต์ใช้เพื่อให้สังเคราะห์วงจรได้ง่ายขึ้น ซึ่งจะเรียกว่า DO-CDTA (Dual-output Current Differencing Transconductance Amplifier) คุณสมบัติทางอุดมคติของ DO-CDTA สามารถแสดงด้วยสมการที่ (1)

$$\begin{bmatrix} v_p \\ v_n \\ i_{z1}, i_{z2} \\ i_{x1} \\ i_{x2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & g_{m1} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & g_{m2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_p \\ i_n \\ v_{x1}, v_{x2} \\ v_{z1} \\ v_{z2} \end{bmatrix} \quad (1)$$

$g_{m1}$ และ $g_{m2}$ คือ ค่าความนำถ่ายโอน (Transconductance) สามารถปรับค่าได้ด้วยกระแสไบแอสภายนอก $I_{B1}$ และ $I_{B2}$ ตามลำดับ ค่าความนำถ่ายโอนของ DO-CDTA ที่สร้างจากมอสทรานซิสเตอร์หาได้ดังนี้

$$g_{m1} = \sqrt{m_n C_{ox} \left[\frac{W}{L}\right]_{11,12} I_{B1}} \quad (2)$$

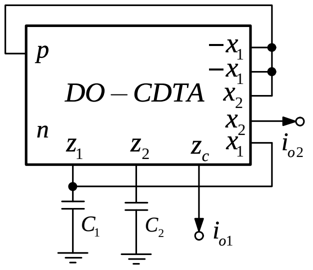
และ

$$g_{m2} = \sqrt{m_n C_{ox} \left[\frac{W}{L}\right]_{23,24} I_{B2}} \quad (3)$$

เมื่อ $m_n$ คือ ค่าความคล่องผิว (Channel Mobility), $C_{ox}$ คือ ค่าประจุที่เกิดจากความหนาของออกไซด์ที่แชนแนล (Oxide Capacitance), $W$ คือ ความกว้างของแชนแนล (Effective Channel Width) และ $L$ คือ ความยาวของแชนแนล (Effective Channel Length) สัญลักษณ์และวงจรสมมูลของ DO-CDTA แสดงได้ดังรูปที่ 1 และ 2 ตามลำดับ ส่วนรูปที่ 3 จะเป็นวงจรภายในที่ออกแบบด้วยมอสทรานซิสเตอร์

## 3. วงจรกำเนิดสัญญาณที่นำเสนอ

วงจรกำเนิดสัญญาณควอเดรเจอร์โหมดกระแสที่ได้นำเสนอประกอบด้วย DO-CDTA เพียงหนึ่งตัว และ ตัวเก็บประจุที่ต่อลงกราวนด์อีกจำนวนสองตัว แสดงดังรูปที่ 4




**รูปที่** 4 วงจรกำเนิดสัญญาณควอเดรเจอร์โหมดกระแสที่นำเสนอ

จากวงจรในรูปที่ 4 สามารถเขียนสมการคุณลักษณะสมบัติ (Characteristic Equation) ได้เป็น

$$s^2 + s\frac{g_{m1}C_2 - g_{m2}C_1}{C_1C_2} + \frac{g_{m1}g_{m2}}{C_1C_2} = 0 \quad (4)$$

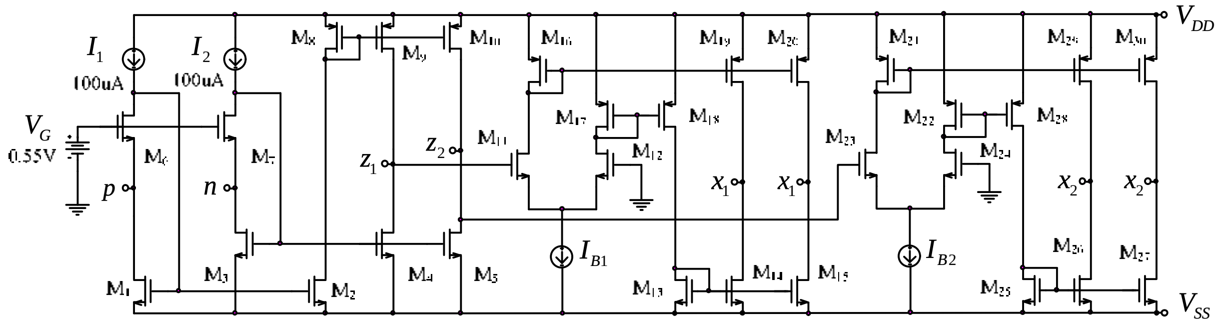
จากสมการที่ (4) จะเขียนสมการเงื่อนไขในการกำเนิดสัญญาณและความถี่ในการกำเนิดสัญญาณได้ดังสมการที่ (5) และ (6) ตามลำดับ

$$g_{m1} = g_{m2}, \quad C_2 = C_1 \quad (5)$$

และ

$$f_{osc} = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{g_{m1}g_{m2}}{C_1C_2}} \quad (6)$$

แทนค่า $g_{m1}$ และ $g_{m2}$ จากสมการ (1) และ (2) ลงในสมการที่ (5) และ (6) ดังนั้น สมการเงื่อนไขในการกำเนิดสัญญาณและความถี่ใน




**รูปที่** 3 วงจรภายในของ DO-CDTA

การกำเนิดสัญญาณสามารถเขียนใหม่ได้ดังสมการที่ (7) และ (8) ตามลำดับ

$$I_{B1} = I_{B2}, \quad C_1 = C_2 \tag{7}$$

และ

$$f_{osc} = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\mu_n C_{ox}\left[\frac{W}{L}\right]\left(\frac{I_{B1}I_{B2}}{C_1C_2}\right)^{\frac{1}{2}}} \tag{8}$$

ความสัมพันธ์ของอัตราส่วนกระแสทางด้านเอาต์พุต สามารถแสดงได้ดังสมการที่ (9)

$$\frac{i_{o2}(s)}{i_{o1}(s)} = \frac{g_{m2}}{sC_2} \tag{9}$$

ในสภาวะคงตัวของสัญญาณไซน์สมการที่ (9) สามารถเขียนได้ใหม่ดังนี้

$$\frac{i_{o2}(j\omega_{osc})}{i_{o1}(j\omega_{osc})} = -j\frac{g_{m2}}{\omega_{osc}C_2} \tag{10}$$

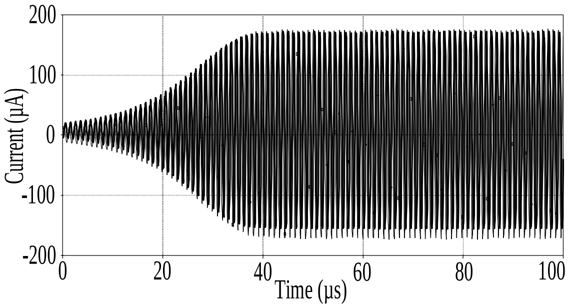
จากสมการที่ (10) จะเห็นได้ว่าสัญญาณเอาต์พุตของวงจรจะมีเฟสต่างกัน 90 องศา จึงกล่าวได้ว่า วงจรที่นำเสนอสามารถกำเนิดสัญญาณไซน์แบบควอเดรเจอร์โหมดกระแสทางด้านเอาต์พุตได้

## 4. ผลจำลองการทำงาน

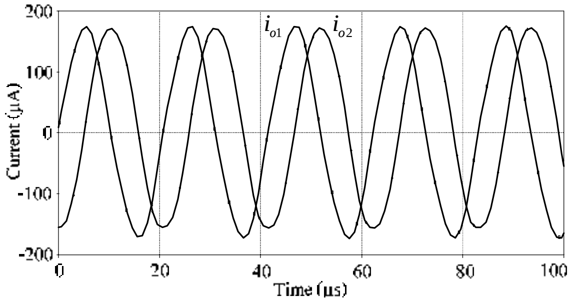
ในหัวข้อนี้จะเป็นการทดสอบสมรรถนะของวงจรกำเนิดสัญญาณที่นำเสนอในรูปที่ 4 ด้วยโปรแกรม PSPICE ซึ่งโครงสร้างภายในของ DO-CDTA แสดงได้ดังรูปที่ 3 ส่วนทรานซิสเตอร์จะใช้พารามิเตอร์ของ 0.35μm TSMC เทคโนโลยี [7] โดยมีอัตราส่วน W/L ของทรานซิสเตอร์ดังตารางที่ 1 แรงดันที่จ่ายให้กับวงจรจะมีค่า ±1.5V ในที่นี้จะใช้ตัวเก็บประจุ $C_1$ และ $C_2$ มีค่าเท่ากันคือ 0.2nF ส่วนค่ากระแสไบอัส $I_{B1}$ และ $I_{B2}$ มีค่าเท่ากับ 200μA และ 202μA ตามลำดับ ในรูปที่ 5 แสดงสัญญาณเอาต์พุตที่ได้จากวงจรกำเนิดสัญญาณที่นำเสนอ รูปที่ 6 จะเป็นสัญญาณเอาต์พุตในสภาวะอยู่ตัว และรูปที่ 7 จะแสดงสเปกตรัมความถี่ของสัญญาณทางด้านเอาต์พุต ซึ่งจากการจำลองด้วยโปรแกรมพบว่าสัญญาณทางด้านเอาต์พุตมีเฟสต่างกัน 89.86 องศา และมีความถี่เท่ากับ 906.961kHz นอกจากนี้ยังพบว่าค่าผิดเพี้ยนทางฮาร์มอนิกส์ของสัญญาณ (Total Harmonic Distortion; THD) ทางด้านเอาต์พุต $i_{o1}$ และ $i_{o2}$ มีค่าท่ากับ 3.774% และ 2.978% ตามลำดับ ในรูปที่ 8 จะแสดงความสัมพันธ์ของเฟสเอาต์พุตด้วย Lissagous Figure

**ตารางที่** 1 อัตราส่วน W/L ของทรานซิสเตอร์ที่ใช้ในการจำลอง

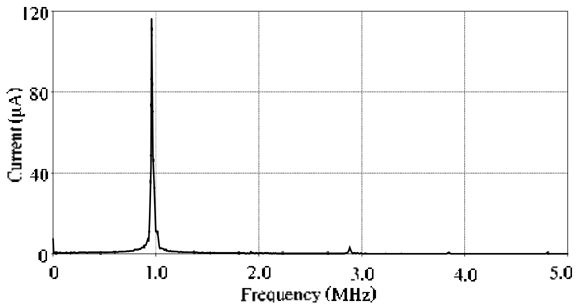
| ทรานซิสเตอร์ | W (μm) | L (μm) |
|---|---|---|
| M1-M10 | 20 | 1 |
| M11-M12, M23-M24 | 40 | 1 |
| M16, M21 | 5 | 1 |
| M17, M22 | 5.35 | 1 |
| M13-M15, M18-M20, M25-M27, M28-M30 | 6.2 | 1 |



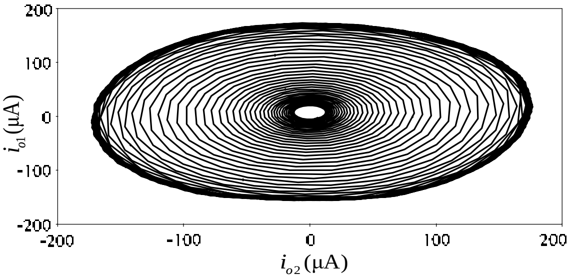

**รูปที่** 5 สัญญาณเอาต์พุตที่ได้จากวงจรกำเนิดสัญญาที่นำเสนอ




**รูปที่** 6 สัญญาณเอาต์พุตในสภาวะอยู่ตัว




**รูปที่** 7 สเปกตรัมของสัญญาณทางด้านเอาต์พุต




**รูปที่** 8 Lissagous Figure

## 5. สรุป

บทความนี้นำเสนอวงจรกำเนิดสัญญาณไซน์ควอเดรโหมดกระแส ซึ่งวงจรจะประกอบด้วย DO-CDTA จำนวนหนึ่งตัว และตัวเก็บประจุที่ต่อลงกราวน์ด์อีกสองตัว วงจรที่นำเสนอสามารถปรับเงื่อนไขในการกำเนิดสัญญาณและความถี่ในการกำเนิดสัญญาณได้ด้วยวิธีทางอิเล็กทรอนิกส์ นอกจากนี้ภายในวงจรหลีกเลี่ยงการต่อตัวเก็บประจุแบบลอย และตัวต้านทานทำให้เหมาะที่จะนำไปพัฒนาเป็นวงจรรวม ทั้งนี้ผลที่ได้จากการจำลองด้วยโปรแกรม PSPICE พบว่าวงจรสามารถให้สัญญาณควอเดรเจอร์โหมดกระแสทางเอาต์พุตได้ตามที่วิเคราะห์ไว้ในทางทฤษฎี

## 6. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น และ วิทยาลัยเทคโนโลยีภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ที่ให้การสนับสนุนด้านงบประมาณ สำหรับงานวิจัยครั้งนี้

## เอกสารอ้างอิง

[1] I.A. Khan, and S. Khawaja, “An integrable gm-C quadrature oscillator,” International Journal of Electronics, vol. 87, no.11, 2000, pp. 1353-1357.

[2] C. Toumazou, F.J. Lidgey, and D.G. Haigh, “Analogue IC design: the current-mode approach”, London: Peter Peregrinus, 1990.

[3] T. Bumrongchoke, D. Duangmalaiand and W. Jaikla, “Current differencing transconductance amplifier based current-mode quadrature oscillator using grounded capacitors,” International Symposium on Communications and Information Technologies, 2010, pp. 192-195.

[4] J. Jin, and C. Wang, “Single CDTA-based current-mode quadrature oscillator,” International Journal of Electronics and Communications (AEU), vol. 66, no. 11, 2012, pp. 933-936.

[5] W. Jaikla, and M. Siripruchyanan, “A versatile quadrature oscillator and universal biquad filter using dual-output current controlled current differencing transconductance amplifier,” International Symposium on Communications and Information Technologies, 2006, pp. 1072-1075.

[6] D. Biolek, “CDTA-building block for current-mode analog signal processing,” European conference on circuit theory and design, 2003, pp. 397-400.

[7] E. Yuce, “On the implementation of the floating simulators employing a single active device,” International Journal of Electronics and Communications (AEU), vol. 61, no. 2, 2007, pp. 453-458.

**จรินทร์ศักดิ์ แซ่เตียว** สำเร็จการศึกษาปริญญาวิศวกรรมศาสตร์ดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม ปัจจุบันทำงานตำแหน่งอาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็คทรอนิกส์และโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น

**ศักดิ์สิทธิ์ สุ่มมาตย์** สำเร็จการศึกษาปริญญาวิศวกรรมศาสตร์ดุษฎีบัณฑิตสาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม ปัจจุบัน ทำงานตำแหน่งอาจารย์ประจำสาขาวิชาเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ วิทยาลัยเทคโนโลยีภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

**ภัสส์กุญช์ ฐิติมหัทธนกุศล** สำเร็จการศึกษาปริญญาโทสาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม ปัจจุบันทำงานอาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

# โครงข่ายแบ่งความถี่แบบอินเฟสที่มีตัวปรับอัตราสโลปสำหรับระบบเสียง 2.1

# New In-Phase Crossover Network with Symmetrically Adjustable Slope for 2.1 Surround System

**พีรชัย ฐิติไชโย ดลชัย สุขเจริญผล บุณย์ชนะ ภู่ระหงษ์ และวันวิสา ชัชวงษ์**
คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
เลขที่ 1 ถนนฉลองกรุง แขวงลำปลาทิว เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520 Email: peter_peerachai@hotmail.com

## บทคัดย่อ

บทความวิจัยนี้เสนอโครงข่ายแบ่งความถี่แบบอินเฟสที่มีตัวปรับอัตราสโลปและมีคุณสมบัติผลรวมของทางผลตอบสนองเชิงขนาดเป็นออลพาสฟังก์ชั่นสำหรับระบบเสียงรอบตัวแบบ 2.1 ที่ใช้ลำโพงขับเสียงต่ำขนาดเล็ก โดยโครงข่ายแบ่งความถี่แบบ 2 ทางที่นำเสนอประกอบด้วยตัวกรองความถี่แบบไวงานที่อาศัยผลหักล้างระหว่างเอ้าพุทของตัวกรองความถี่ต่ำผ่านและตัวกรองแบบผ่านตลอดในแยกสัญญาณช่วงความถี่ต่ำและความถี่สูงผ่านสำหรับป้อนให้ตัวขับเสียงความถี่ต่ำและสูงตามลำดับ ซึ่งพบว่าระบบโครงข่ายที่นำเสนอให้อัตราสโลปสามารถปรับค่าได้ด้วยตัวแปรอัลฟ่าที่มีความชันของสโลป ดีกว่าแบบ LR 4 และ Bessel Alignment อันดับ 4 และผลจากการจำลองด้วยโปรแกรมจะเห็นได้ชัดว่าผลรวมของผลตอบสนองต่อเฟสราบเรียบตลอดช่วงจุดตัดความถี่ โดยมีลูกคลื่นของผลตอบสองทางขนาดรวมน้อยกว่า 0.25 dB

## Abstract

This article describes a frequency network with an adjustable rate slope and are in phase with the sum of response measures during the cut-off frequency is All Pass function for 2.1 surround sound use a sound low small speaker. The filter frequency sensitivity that is structured the difference in creating the responsiveness of the network frequency division 2, which showed that the network offered to the slope can be adjusted with variable al. Alpha is the slope of the slope better than LR 4 and Bessel Alignment No. 4 and the results of the simulation program is obvious that the sum of the flat phase response over the cutoff frequency. The second wave of response to the total size of less than 0.25 dB.

## 1. บทนำ

โครงข่ายแบ่งความถี่ถูกนำมาใช้ในการแบ่งช่วงความถี่ให้เหมาะสมกับช่วงความถี่ของตัวขับเสียงซึ่งประกอบด้วยตัวกรองความถี่แบบความถี่ต่ำผ่านและความถี่สูงผ่านเพื่อแบ่งช่วงสัญญาณความถี่ต่ำป้อนให้ตัวขับเสียงในช่วงความถี่ต่ำหรือวูฟเฟอร์(Woofer) และแบ่งความถี่ของสัญญาณในช่วงความถี่สูงผ่านป้อนให้ตัวขับเสียงย่านสูงเรียกว่าทวีตเตอร์(Tweeter) โดยโครงข่ายแบบนี้เรียกว่าโครงข่ายแบ่งความถี่ 2 แบนด์(Two band crossover network) และถ้ามีตัวขับเสียงในช่วงระหว่างความถี่ต่ำและความถี่สูงซึ่งเรียกว่าตัวขับเสียงกลาง(Midrange)ซึ่งใช้ตัวกรองความถี่ผ่านเฉพาะย่านเป็นตัวแบ่งความถี่ป้อนให้เราจะเรียกโครงข่ายแบ่งความถี่แบบ 3 แบนด์ ในระบบโครงข่ายแบบดั้งเดิมทั้งแบบไม่ไวงาน(passive network) และแบบไวงาน(Active network) สำหรับการใช้งานในกลุ่มออดิโอที่ต้องการโครงข่ายแบ่งความถี่คุณภาพสูงจะต้องมีคุณสมบัติเด่นดังนี้[ ]

1. ผลรวมของผลตอบสนองทางขนาดต่อความถี่ราบเรียบ(Flat magnitude response)
2. มีอัตราความชันของสโลปสูง
3. มีลักษณะอินเฟสตลอดช่วงจุดตัดความถี่
4. มีผลตอบสนองทางเฟสเป็นเชิงเส้นหรือผลตอบสนองทางการหน่วงราบเรียบในช่วงผ่านความถี่(Pass band)

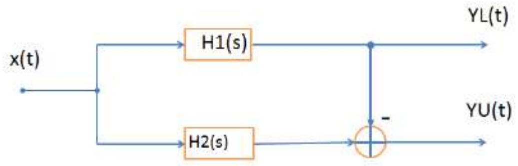
ซึ่งเราพบว่าในการสร้างจริงของโครงข่ายแบ่งความถี่ในทางปฏิบัติโดยทั่วไปใช้ ตัวกรองความถี่แบบ LR4[5] อันดับ 4 ที่ให้คุณสมบัติข้อ 1 และ 3 แต่จะขาดคุณสมบัติข้อ 2 และ 4 และในทางวิศวกรรมออดิโอพบว่าคุณสมบัติข้อ 3 เป็นข้อที่สำคัญข้อนึงของระบบเสียงรอบตัวเพราะถ้าโครงข่ายแบ่งความถี่ใดขาดคุณสมบัติข้อนี้จะทำให้ผลตอบสนองการแผ่กระจายเสียงแบบโพล่าร์ (Polar radiation pattern) ที่จุดแกนรับฟังจะมีการเอียงของบีมเสียงหลัก (Main beam) [4] และส่งผลให้คุณภาพของเสียงที่รับฟังได้ด้อยคุณภาพลงไปมาก

ดังนั้นในงานวิจัยนี้เสนอโครงข่ายแบ่งความถี่แบบมีตัวปรับอัตราสโลปและมีคุณสมบัติอินเฟสพร้อมผลรวมทางผลตอบสนองเชิง

ขนาดช่วงจุดตัดความถี่เป็นออลพาสฟังก์ชั่นสำหรับระบบเสียงรอบตัวแบบ 2.1 ที่ใช้ลำโพงขับเสียงต่ำขนาดเล็ก(เส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 3 นิ้ว) โดยใช้ตัวกรองความถี่แบบไวงานที่มีโครงสร้างแบบผลต่างในการสร้างผลตอบสนองของโครงข่ายแบ่งความถี่แบบ 2 ทาง ซึ่งพบว่าระบบโครงข่ายที่นำเสนอให้อัตราสโลปสามารถปรับค่าได้ด้วยตัวแปรอัลฟ่าที่มีความชันของสโลปชันกว่าโครงข่ายแบ่งความถี่แบบดั้งเดิมที่ไม่สามารถปรับอัตราสโลปให้เหมาะสมได้และระบบโครงข่ายแบบดั้งเดิมบางแบบ[9] ยังให้ผลตอบสนองไม่ตรงกับเงื่อนไขสำหรับระบบที่มีคุณภาพสูง

## 2. โครงสร้างโครงข่ายแบ่งความถี่

โครงสร้างของโครงข่ายแบ่งความถี่แบบพื้นฐานเช่นแบบ 2 ทางที่โดยทั่วไปประกอบด้วยตัวกรองความถี่ต่ำผ่าน(LPF)และตัวกรองความถี่สูงผ่าน (HPF) ดังแสดงในรูป 1 เมื่อกำหนดให้ H1(s) และ H2(s) เป็นตัวกรองความถี่แบบ LPF และ HPF ตามลำดับ(และตัดส่วนผลหักล้างออกไป) ซึ่งโดดยส่วนมากในทางวิศวกรรมออดิโอตัวกรองนิยมใช้สมการโพลิโนเมียลแบบบัตเตอร์เวิร์ทที่มีลักษณะสำคัญคือผลตอบสนองในช่วงผ่านความถี่มีลักษณะราบเรียบ(Maximally flat magnitude responses) แต่เมื่อต้องการโครงข่ายแบ่งความถี่คุณภาพสูงที่สอดคล้องกับคุณสมบัติทั้ง 4 จะพบว่าโครงข่ายที่สร้างจากโพลิโนเมียลดังกล่าวจะไม่สอดคล้องตรงกับคุณสมบัติทั้ง 4 โดยผลรวมของผลตอบสนองทางขนาดให้ผลรวมมีลักษณะไม่ราบเรียบรอบจุดตัดความถี่และผลตอบสนองของเฟสมีลักษณะไม่อินเฟสกันตามรูปที่ 1 และ 3 ที่ระบบอันดับ 2




**รูปที่ 1** บล๊อคไดอะแกรมของระบบเดิมและระบบที่นำเสนอ

ต่อจากนั้นมีการเสนองานวิจัยที่ต้องการลดความซับซ้อนของระบบลงโดยใช้ตัวกรองความต่ำ H1(s) เพียงตัวเดียว ส่วน H2(s) ถูกแทนด้วย 1 [4] และตัวหน่วงเวลา [1] ตามลำดับ โดยในบทความนี้แทน H2(s) ด้วย APF ที่มีสมการฟังก์ชั่นถ่ายโอนในรูปเศษส่วนมีนิยามดังนี้

$$A(s_n) \triangleq \frac{P(-s_n)}{P(s_n)} \qquad (1)$$

เมื่อ *P(sn)* เป็นสมการโพลิโนเมียลซึ่งสามารุเขียนในรูปเพิ่มกำลังและเขียนในรูปผลรวมได้ดังนี้

$$P_r(s_n) = 1 + b_1 s_n + b_2 s_n^2 + \ldots + b_{r-1} s_n^{r-1} + s_n^r = \sum_{k=0}^{r} b_k s_n^k \qquad (2)$$

ดังนั้นสมการฟังก์ชั่นถ่ายโอนของ LPF มีนิยามดังนี้

$$H_L(s_n) = \frac{1}{[B_r(s_n)]^2} \qquad (3)$$

และเราสามารถหาฟังกฺชั่นถ่ายโอนของตัวกรอง HPF ได้โดยใช้การหักล้างระหว่าง APF และ LPF เราสามารถเขียนได้ดังนี้

$$H_H(s_n) \triangleq A(s_n) - H_L(s_n) = \frac{P(-s_n)}{P(s_n)} - \frac{1}{[P(s_n)]^2} = \frac{P(s_n)\,P(-s_n) - 1}{[P(s_n)]^2} \qquad (4)$$

และเมื่อแทน s = Jw ลงในสมการ (4) ราสามารถเขียนสมการผลตอบสนองทางขนาดต่อความถี่ของตัวกรอง HPF ได้

$$H_H(j\omega_n) = [1 - M_L(\omega_n)]\, e^{j\emptyset A(\omega_n)} \qquad (5)$$

$$M_H(\omega_n) = [1 - M_L(\omega_n)] \qquad (6)$$

และสมการฟังก์ชั่นถ่ายโอนของตัวกรองผ่านตลอด *APF* และ *HPF* ได้ดังสมการ (7)-(8)

$$A(s_n) = \frac{B_r(-s_n)}{B_r(s_n)} \qquad (7)$$

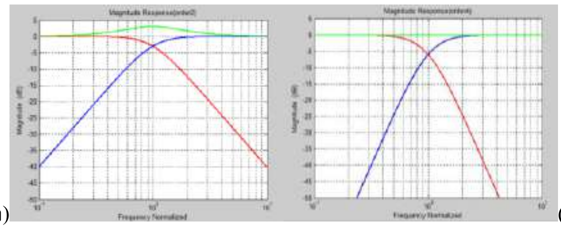
$$M_H(s_n) = \frac{B_r(s_n) B_r(-s_n) - 1}{[B_r(s_n)]^2} = \frac{(-1)^r s_n^{2r}}{[B_r(s_n)]^2} \qquad (8)$$

และจากสมการ (3), (7) และ (8) เมื่อเราแทนสมการโพลิโนเมียลเทอมส่วนด้วยสมการของโพลิโนเมียลของบัตเตอร์เวิร์ธ์อันดับ 2 และสมการโพลิโนเมียลเทอมส่วนของเบสเซลอันดับ 2 สามารถเขียนสมการ

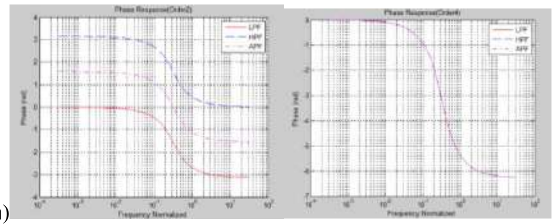
ฟังก์ชั่นถ่ายโอนใน *s-domain* ได้ดังตารางที่ 1 และแสดงผลตอบสนองทางขนาดและเฟสได้ดังรูป 3, 5 และ 6

**ตารางที่ 1** ฟังก์ชั่นถ่ายโอนของโครงข่ายกรองความถี่ ทั้ง *3* แบบ

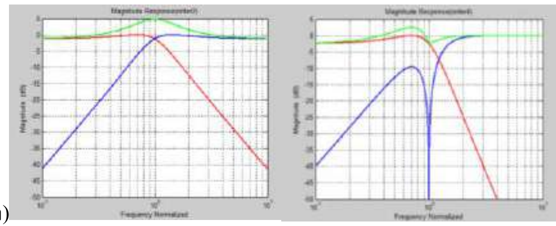
| | Butterworth filter n = 2 | LR 4 n = 4 | Bessel Alignment n = 4 |
|---|---|---|---|
| APF | $\frac{S-1}{S+1}$ | $\frac{B_2(-S)}{B_2(S)}$ | $\frac{B_{Besste}(-S)}{B_{Bessle\,2}(S)}$ |
| LPF | $\frac{1}{S^2+2S+1}$ | $\frac{1}{(S^2+\sqrt{2}S+1)^2}=\frac{1}{[B_2(S)]^2}$ | $\frac{1}{(S^2+\sqrt{3}S+1)^2}$ |
| HPF | $\frac{-S^2}{S^2+2S+1}$ | $\frac{S^4}{(S^2+\sqrt{2}S+1)^2}$ | $\frac{S^4-S^2}{[B_{Bessel\,2}(S)]^2}$ |

(ก)  (ข)

**รูปที่ 2** การเปรียบเทียบผลตอบสนองของขนาดต่อความถี่นอร์มอลไลซ์ของโครงข่ายแบ่งความถี่แบบ 2 ทาง ที่ประกอบด้วยตัวกรองความถี่ LPF และ HPF (ก) แบบบัตเตอร์เวรอร์ธอันดับ 2 และ (ข) แบบ LR 4 อันดับ 4

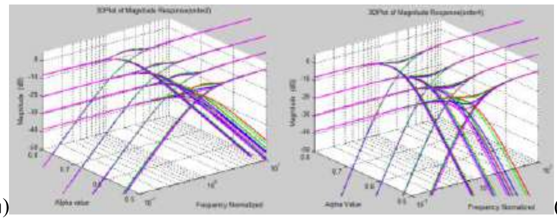
(ก)  (ข)

**รูปที่ 3** การเปรียบเทียบผลตอบสนองทางเฟสต่อความถี่นอร์มอลไลซ์ของโครงข่ายแบ่งความถี่แบบ 2 ทาง ที่ประกอบด้วยตัวกรองความถี่ LPF และ HPF (ก)แบบบัตเตอร์เวิร์ธอันดับ 2 และ (ข) แบบ LR 4 อันดับ 4 ซึ่งให้คุณสมบัติอินเฟสตอลดช่วงความถี่ออดิโอของตัวกรองความถี่ทั้ง 3 ตัว

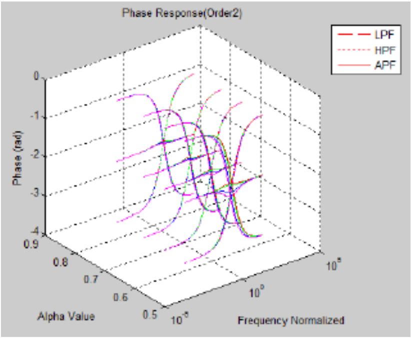
(ก)  (ข)

**รูปที่ 4** การเปรียบเทียบผลตอบสนองของขนาดต่อความถี่นอร์มอลไลซ์ของโครงข่ายแบ่งความถี่แบบ 2 ทาง ที่ประกอบด้วยตัวกรองความถี่ LPF และ HPF (ก) แบบ Bessel alignment อันดับ 2 และ (ข) แบบ Bessel alignment อันดับ 4

## 3. ผลการจำลองระบบที่นำเสนอ

(ก)  (ข)

**รูปที่ 5** การเปรียบเทียบผลตอบสนองของขนาดต่อความถี่นอร์มอลไลซ์ของโครงข่ายแบ่งความถี่ 2 ทางโดยใช้ตัวกรองความถี่ LPF และ HPF อันดับ 2 โดยมีตัวแปรอัลฟ่าปรับอัตราชันของสโลป ในช่วง 0-1.0 และ (ข) ระบบโครงข่ายใช้ตัวกรองอันดับ 4




**รูปที่ 6** ผลตอบสนองทางเฟสต่อความถี่นอร์มอลไลซ์ของโครงข่ายที่นำเสนออันดับ 4 โดยมีตัวแปรอัลฟ่าปรับอัตราชันของสโลป

## 4. สรุป

โครงข่ายแบ่งความถี่แบบ 2 ทางที่มีคุณสมบัติอินเฟสของตัวกรองความถี่ทุกตัวในระบบที่สามารถปรับอัตราสโลปในช่วงเปลี่ยนได้ด้วยตัวแปรปรับค่าได้ถูกนำเสนอแล้ว นอกจากนี้ยังพบว่าผลรวมของทั้ง

ผลตอบสนองทางขนาดและเฟสมีการกระเพื่อมเพียงเล็กน้อยอยู่ในช่วงค่าที่ยอมรับได้ในขณะที่โครงข่าย 2 ทางที่สร้างจากสมการโพลิโนเมียลแบบบัตเตอร์เวิร์ธอันดับ 2 และแบบ Bessel alignment อันดับ 2 และอันดับ 4 จะให้ผลรวมทางขนาดไม่ราบเรียบและผลตอบสนองทางเฟสไม่ตรงกับคุณสมบัติอินเฟสซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญในการทำให้เกิดบีมหลักของการกระจายเสียงเอียงออกไปจากจุดรับฟัง

## เอกสารอ้างอิง

[1] S. P. Lipshitz and J. Vanderkooy, "A Family of Linear-Phase Crossover Network of High Slope Derived by Time Delay," J. Audio Eng. Soc., vol. 31, pp. 2 – 20 (1983(Jan./Feb.)

[2] J. Vanderkooy and S. P. Lipshitz, "Is Phase Linearization of Loudspeaker Crossover Networks Possible by Time Offset and Equalization?" J. Audio Eng. Soc., vol. 32, pp. 946 – 955 (1984 Dec.)

[3] S. P. Lipshitz and J. Vanderkooy, "Use of Frequency Overlap and Equalization to Produce High-Slope Linear-Phase Loudspeaker Crossover Networks," J. Audio Eng. Soc., vol.33, pp. 114 – 126 (1985 Mar.)

[4] R. A. Gabel, "On the Design of Complementary Filters," Rec. IEEE Int. Conf. on Acoustics. Speech. And Signal Processing (Washington, DC, 1979 Apr. 2 – 4), pp. 805 – 808.

[5] S. H. Linkwitz, "Active Crossover Networks for Noncoincident Drivers," J. Audio Eng. Soc., vol. 24, pp. 2 – 8 (1976 Jan./Feb.).

[6] A. N. Thiele "Optimum Passive Loudspeaker Dividing Networks," Proc. IREE (Australia), vol. 36, pp. 220-224 (1975 July).

[7] R. H. Frater., "In-phase Crossover Networks," IREE (Australia) 16th Convention Digest (Melbourne, 1977 Aug.) pp. 250 – 252.

[8] P. Garde, "All-Pass Crossover Systems," J. Audio Eng. Soc., vol. 28, pp. 575 – 584 (1980 Sept.).

[9] J. A. D' Appolito, "Active Realization of Multiway All-Pass Crossover Systems," presented at the 76th Convention of the Audio Engineering Society, New York, J. Audio Eng. Soc. (Abstracts), vol. 32, p. 1008 (1984 Dec.), reprint 2125.

[10] H. W. Bode, Network Analysis and Feedback Amplifier Design (Van Nostrand, Princeton, NJ, 1945; reprinted by Krieger, Huntington, NY, 1975), p. 263;

**พีรชัย ฐิติไชโย** จบการศึกษาจากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง สนใจงานวิจัยด้านวิศวกรรมออดิโออคูสติคสำหรับการใช้ในบ้านและรถยนต์

**ดลชัย สุขเจริญผล** จบการศึกษาจากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปัจจุบันทำงานอยู่ที่คณะวิศวกรรมศาสตร์ สจล. สนใจงานวิจัยด้านวิศวกรรมออดิโอ – อคูสติค, DSP, การสังเคราะห์เสียงดนตรีและsmart teaching flatform system

**บุณย์ชนะ ภู่ระหงษ์** จบการศึกษาจากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปัจจุบันทำงานอยู่ที่คณะวิศวกรรมศาสตร์ สจลสนใจงานวิจัยด้านวิศวกรรมออดิโอ – อคูสติค หุ่นยนต์ขนาดเล็กและการประยุกต์ใช้งานทางการแพทย์-อุตสาหกรรมและsmart teaching flatform system

**วันวิสา ชัชวงษ์** จบการศึกษาจากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปัจจุบันทำงานอยู่ที่คณะวิศวกรรมศาสตร์ สจลสนใจงานวิจัยด้านวิศวกรรมบรอดคาสท์ทั้งระบบวิดีโอและออดิโอ , วิศวกรรมระบบราง, ระบบสกาด้าและsmart teaching flatform system

**บทความวิจัย**
การประชุมวิชาการ งานวิจัยและพัฒนาเชิงประยุกต์ ครั้งที่ 8
*8th ECTI-CARD 2016, Hua Hin, Thailand*

# วงจรกรองความถี่สูงผ่านโดยใช้ยูนิฟอร์มดิสทริบิวด์อาร์ซีแบบหลายชั้น

## High Pass Filter by using Multilater Uniformly Distributed RC

**ธนะพงศ์ นพวงศ์ ณ อยุธยา และ วิโรจน์ พิราจเนนชัย**
ภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
39 หมู่ 1 ตำบลคลองหก อำเภอธัญบุรี จังหวัดปทุมธานี โทรศัพท์: 0-2549-4620 E-mail: nopavong.n@rmutt.ac.th, virote.p@en.rmutt.ac.th

### บทคัดย่อ

บทความนี้ได้นำเสนอการออกแบบวงจรกรองความถี่สูงผ่านโดยใช้ยูนิฟอร์มดิสทริบิวด์อาร์ซีแบบหลายชั้นด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ จากผลการทดลองจะได้ผลการตอบสนองทางขนาดมีความชันประมาณ 8 dB/octave ผลตอบสนองทางเฟสแบบเชิงเส้น ที่ความถี่ 5 MHz ค่ากรุ๊ปดีเลย์คงที่ในย่านความถี่ใช้งาน และวงจรมีความเสถียรภาพที่ดี ซึ่งโปรแกรม LT-spice จะถูกนำมาใช้ในการจำลอง และผลการทดลองจะถูกแสดงให้เห็นด้วยการเปรียบเทียบผลการจำลองกับผลการทดสอบ

คำสำคัญ: วงจรกรองความถี่สูงผ่าน, ยูนิฟอร์มดิสทริบิวด์อาร์ซีแบบหลายชั้น, โปรแกรม LT-Spice

### Abstract

This paper presents the design of a high-pass filter by using Multilayer Uniform Distribution RC (MURC) that solving by matrix method. The results indicated that a frequency response characteristic of about 8 dB/octave and linear phase response at 5 MHz. The group delay is constant over all frequency operation. The circuit has good stability property. The LT-Spice software is used for simulation. To validate the proposed, simulation results have been compared with experimental results.

Keywords: high pass filter, multilayer uniformly distributed RC, LT-Spice program

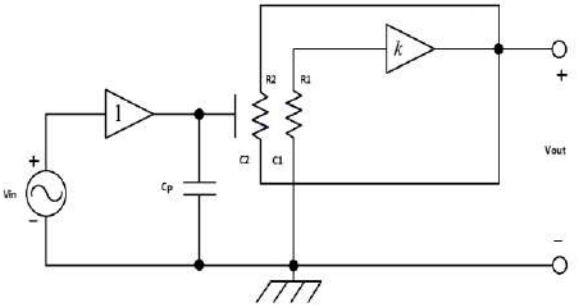
### 1. บทนำ

วงจรกรองความถี่เป็นวงจรที่มีบทบาทสำคัญในงานด้านวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม ปัจจุบันในการออกแบบวงจรกรองความถี่จะถูกนำไปประยุกต์ใช้ในวงจรวิทยุและทีวี ซึ่งวงจรกรองความถี่เป็นส่วนสำคัญที่จะทำให้ได้สัญญาณภาพและเสียงตามที่ต้องการโดยทั่วไปการทำงานของวงจรกรองความถี่จะถูกออกแบบมาให้ทำงานในโหมดของแรงดันเป็นส่วนใหญ่ เช่น วงจรกรองความถี่ทางอนาล็อก (Analog filter) ซึ่งใช้กับสัญญาณที่เกี่ยวกับเวลาและวงจรกรองความถี่ทางดิจิตอล (Digital filter) ใช้กับสัญญาณเชิงตัวเลข แต่ปัญหาของวงจรกรองความถี่ต่าง ๆ นี้จะมีค่ากรุ๊ปดีเลย์ (Group delay)ไม่คงที่ในช่วงความถี่ที่ออกแบบ

ในปัจจุบันวงจรกรองความถี่แบบแอกทีฟที่มีโดยทั่วไปถูกออกแบบเพื่อใช้กับสัญญาณอนาล็อกที่มีความต่อเนื่องทางเวลาจึงมีข้อจำกัดในการปรับเปลี่ยนคุณลักษณะของผลการตอบสนองทางขนาดต่อความถี่ ซึ่งคุณสมบัติที่สำคัญของวงจรกรองความถี่กล่าวคือ ผลการตอบสนองทางขนาดของวงจรประเภทนี้จะมีค่าอัตราความชันที่ค่อนข้างแน่นอนไม่สามารถปรับเปลี่ยนให้สูงขึ้นได้ด้วยตนเองนอกจากจะทำการเปลี่ยนอันดับของวงจรให้สูงขึ้นส่วนผลที่ตามมาจะทำให้วงจรมีความซับซ้อนมากขึ้นและยากต่อการนำไปใช้งาน และเพื่อให้วงจรกรองความถี่มีค่ากรุ๊ปดีเลย์คงที่ จึงต้องมีการนำตัวยูนิฟอร์มดิสทริบิวด์อาร์ซีแบบหลายชั้น (Multilayer Unifromly Distributed RC) [4]หรือ MURC มาประยุกต์ใช้ในการออกแบบ โดยผลตอบสนองทางขนาดจะมีผลที่ดีกว่าวงจรกรองความถี่แบบแอกทีฟ อาร์ซีทั่วไป และจะมีค่าความไวต่ำและค่าเฟสดีเลย์ในช่วงความถี่ที่ใช้งานที่คงที่กว่า ดังนั้นบทความนี้จึงได้ทำการนำเสนอหลักการของวงจรกรองความถี่แบบแอกทีฟโดยใช้ตัวยูนิฟอร์มดิสทริบิวด์อาร์ซีแบบหลายชั้น ที่ใช้สมการทางคณิตศาสตร์แบบเมตริกซ์ในการออกแบบ และนำวงจรที่ได้ไปจำลองการทำงานในโปรแกรม LT-spice เพื่อวิเคราะห์หาคุณสมบัติต่าง ๆ ของวงจร เช่น ผลตอบสนองทางขนาด เสถียรภาพ และกรุ๊ปดีเลย์ โดยผลการจำลองจะยืนยันความถูกต้องด้วยผลการทดสอบจริงด้วยเครื่องวิเคราะห์โครงข่ายความถี่ต่ำ

## 2. การออกแบบวงจรกรองความถี่สูงผ่านโดยใช้ยูนิฟอร์มดิสทริบิวด์อาร์ซีแบบหลายชั้น

การออกแบบวงจรกรองความถี่สูงผ่านโดยใช้โครงสร้างของตัวยูนิฟอร์มดิสทริบิวด์อาร์ซีแบบหลายชั้นบทความนี้ จะใช้วงจรกรองความถี่สูงผ่านแบบยูนิฟอร์มดิสทริบิวด์อาร์ซีแบบหลายชั้นในการออกแบบ ซึ่งส่วนประกอบหลักของวงจรประกอบไปด้วยออปแอมป์ 2 ตัว และยูนิฟอร์มดิสทริบิวด์อาร์ซีแบบหลายชั้น 1 ตัว ดังแสดงในรูปที่ 1




**รูปที่ 1** วงจรกรองความถี่สูงผ่านแบบยูนิฟอร์มดิสทริบิวด์อาร์ซี

จากรูปวงจรที่ 1 เมื่อทำการกำหนดพอร์ทของตัวอุปกรณ์ยูนิฟอร์มดิสทริบิวด์อาร์ซีแบบหลายชั้นแล้วพิจารณาตัวกรองด้วยกลุ่มตัวแปรแอตมิตแตนซ์ (Y Parameter) ได้ดั่งสมการที่ (1)

$$\begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \\ I_4 \\ I_5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_{11} & Y_{12} & Y_{13} & Y_{14} & Y_{15} \\ Y_{21} & Y_{22} & Y_{23} & Y_{24} & Y_{25} \\ Y_{31} & Y_{32} & Y_{33} & Y_{34} & Y_{35} \\ Y_{41} & Y_{42} & Y_{43} & Y_{44} & Y_{45} \\ Y_{51} & Y_{52} & Y_{53} & Y_{54} & Y_{55} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ V_3 \\ V_4 \\ V_5 \end{bmatrix} \quad (1)$$

กำหนดให้ $V_2 = 0, V_3 = V_4 = KV_1$ จะได้ดั่งสมการที่ (2)

$$\begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \\ I_4 \\ I_5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{Y_{11}}{K} + Y_{13} + Y_{14} & Y_{15} \\ \frac{Y_{21}}{K} + Y_{23} + Y_{24} & Y_{25} \\ \frac{Y_{31}}{K} + Y_{33} + Y_{34} & Y_{35} \\ \frac{Y_{41}}{K} + Y_{43} + Y_{44} & Y_{45} \\ \frac{Y_{51}}{K} + Y_{53} + Y_{54} & Y_{55} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_3 \\ V_5 \end{bmatrix} \quad (2)$$

จากสมการที่ (2) กำหนดให้ $V_{ou}=V_3, V_{in}=V_5, I_{in}=I_5$ และ $I_1=0$ เมื่ออินพุทอิมพีแดนซ์ของวงจรขยายมีค่าเป็นอนันต์ โดยที่จะไม่พิจารณา $I_2$, $I_3$ และ $I_4$ เนื่องจากกระแสอินพุตใดๆ ลงกราวด์ จะไม่มีความเป็นอิสระทำให้สามารถลดจำนวนสมการลงได้ แล้วแทนค่าในสมการ (3) จะได้ทรานเฟอร์ฟังก์ชั่นดังสมการที่ (4)

$$\begin{bmatrix} 0 \\ I_{in} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{Y_{11}}{K} + Y_{13} + Y_{14} & Y_{15} \\ \frac{Y_{51}}{K} + Y_{53} + Y_{54} & Y_{55} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{out} \\ V_{in} \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$T(s) = \frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{-(Y_{11}/K + Y_{13} + Y_{14})}{Y_{15}} \quad (4)$$

$$T(s) = \frac{\alpha K(1-\alpha)(Y-1)\left\{2RX(Y-1) - P^2\right\}}{Y\left\{2RX(Y-1)\left(1-\alpha^2\right) - \alpha(1-\alpha)P^2\right\} + (Y-1)^2 RX(2\alpha K - 1)}$$

โดยที่ $X = \dfrac{P}{R\sinh P}$ $\qquad Y = \cosh P$

$P = \sqrt{sRC}$ $\qquad \alpha = \dfrac{C_2}{C_1 + C_2}$

สำหรับการคำนวณหาเสถียรภาพของวงจรกรองความถี่สูงผ่านในบทความนี้ จะขึ้นอยู่กับตำแหน่งรากของสมการทรานเฟอร์ฟังก์ชั่นโดยจะใช้เทคนิคไนควิสต์ไดอะแกรม (Nyquist diagram) ซึ่งมีหลักการคือการนำรากของสมการคุณลักษณะหรืออาจกล่าวได้ว่านำสมการตัวส่วนของฟังก์ชันการถ่ายโอนมาหาเส้นทางการเดินของไนควิสต์ และกรณีที่จะพิจารณาว่าวงจรมีเสถียรภาพนั้นจะต้องมีเส้นทางการเดินของไนควิสต์ปิดล้อมจุดกำเนิด (Origin) ดังสมการที่ (5)

$$T(P) = \frac{N_0 + N_1 P + N_2 P^2 + \ldots + N_m P^m}{D_0 + D_1 P + D_2 P^2 + \ldots + D_n P^n} \quad (5)$$

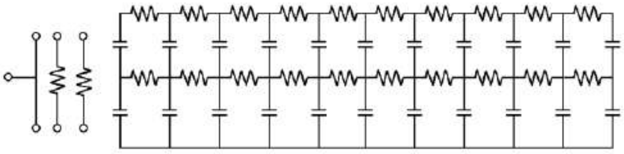
เมื่อ *N (P)* คือ โพลิโนเมียลของตัวเศษ
*D (P)* คือ โพลิโนเมียลของตัวส่วน

ค่ากรุ๊ปดีเลย์ของวงจรจะเป็นการวิเคราะห์เพื่อดูความล่าช้าของวงจรซึ่งจะทำให้ทราบว่าวงจรมีการทำงานได้มีประสิทธิภาพมากน้อยเพียงใด โดยสามารถหาค่ากรุ๊ปดีเลย์ของวงจรได้จากการหาอนุพันธ์มุมเฟสของฟังก์ชันการถ่ายโอนของวงจรเทียบกับความถี่ ดังสมการที่ (6)

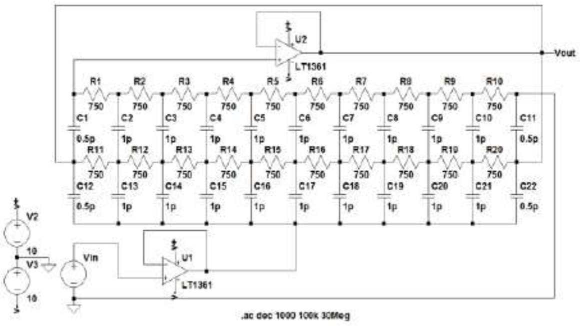
$$\tau_g = \frac{d\phi}{d\omega} \quad (6)$$

## 3. ผลการจำลองด้วยโปรแกรม LT-spice

วงจรกรองความถี่สูงผ่านโดยใช้ยูนิฟอร์มดิสทริบิวต์อาร์ซีแบบหลายชั้น จะถูกออกแบบโดยใช้วงจรแบบลัมด์อิลิเมนท์อาร์ซี (Lumped element RC) โดยเลือกทำการต่อแบบ $\pi$ ดังรูปที่ 2 ที่มีค่า $R_1$=$R_2$=7.5 kΩ และ $C_1$=$C_2$=10 pF ซึ่งจะใช้ตัวต้านทานและตัวเก็บประจุจำนวน 10 เซคชั่น

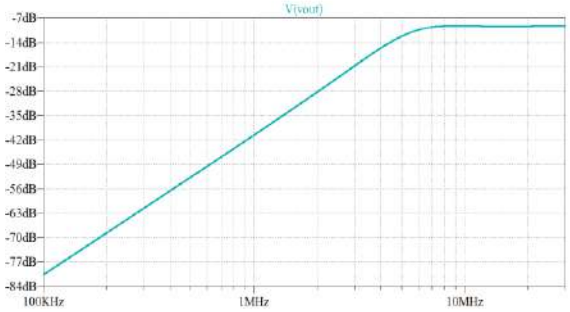


รูปที่ 2 วงจรเสมือนของยูนิฟอร์มดิสทริบิวต์อาร์ซีแบบหลายชั้น



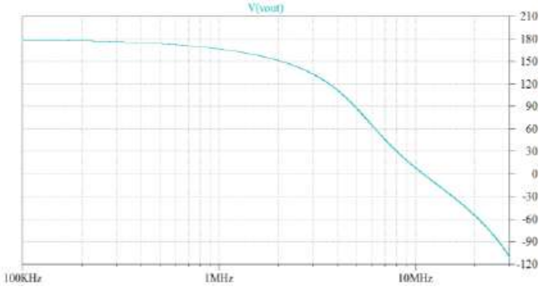

รูปที่ 3 วงจรกรองความถี่สูงผ่านโดยใช้ยูนิฟอร์มดิสทริบิวต์อาร์ซีแบบหลายชั้นด้วยโปรแกรม LT-spice

รูปที่ 3 แสดงวงจรกรองความถี่สูงด้วยยูนิฟอร์มดิสทริบิวต์อาร์ซีแบบหลายชั้นบนโปรแกรม LT-spice ประกอบด้วย ออปแอมป์เบอร์ LT1361 ในส่วนของวงจรขยายจะใช้หลักการแบ่งแรงดัน (Voltage divider)

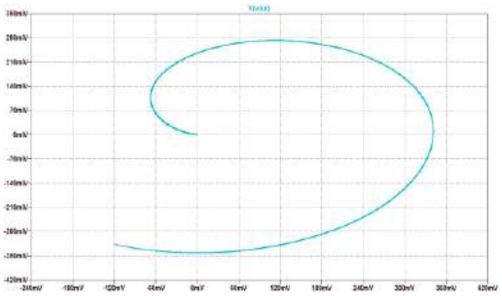



รูปที่ 4 ผลการตอบสนองทางโดยใช้โปรแกรม LT-spice

รูปที่ 4-5 แสดงผลจำลองของผลตอบสนองทางขนาดและเฟสของวงจรกรองความถี่สูง จะเห็นได้ว่า เมื่อพิจารณาความชันของกราฟในช่วงเข้าใกล้ความถี่ที่ตอบสนองที่ 5 MHz จะได้ความชัน 8 dB/octave และผลตอบสนองทางเฟสจะมีค่าเป็นแบบเชิงเส้น

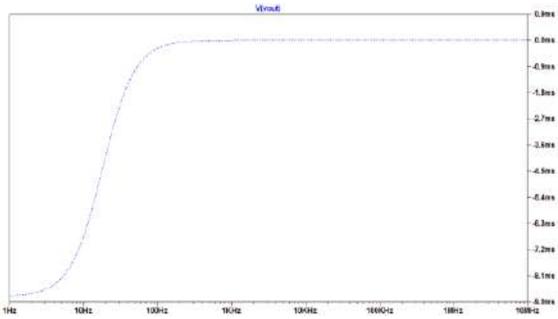



รูปที่ 5 ผลการตอบสนองเฟสโดยใช้โปรแกรม LT-spice



รูปที่ 6 เสถียรภาพของวงจรกรองความถี่สูง

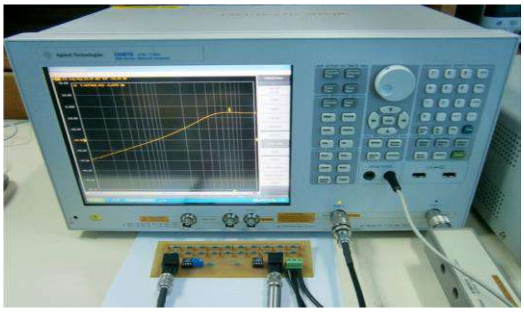
จากรูปที่ 6 พบว่าโพล (pole) และซีโร่ (zero) จะมีลักษณะเป็นจำนวนเชิงซ้อนสังยุค ทำให้วงจรมีเส้นทางการเดินของไนควิสต์ปิดล้อมจุดกำเนิด นั่นแสดงว่าวงจรกรองความถี่สูงแบบที่ใช้โครงสร้างของยูนิฟอร์มดิสทริบิวต์อาร์ซีแบบหลายชั้นที่ได้ทำการออกแบบไว้ จะมีเสถียรภาพ



รูปที่ 7 กรุ๊ปดีเลย์ของวงจรกรองความถี่สูง

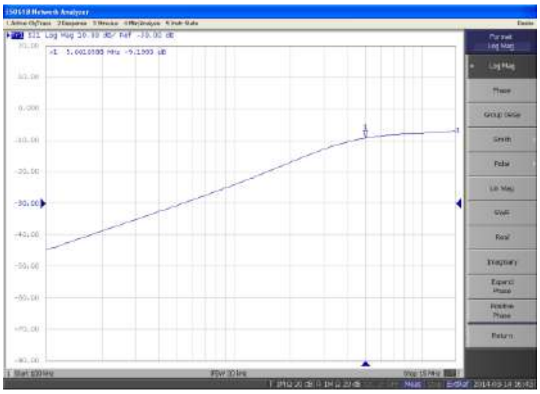
รูปที่ 7 แสดงค่ากรุ๊ปดีเลย์ของวงจรกรองความถี่สูง จะเห็นได้ว่าจะมีลักษณะเป็นเส้นตรงตลอดในช่วงความถี่ที่ใช้งาน ซึ่งถือได้ว่าวงจรกรองความถี่สูงที่ได้ทำการออกแบบไว้นั้นมีค่ากรุ๊ปดีเลย์คงที่ในช่วงความถี่ที่ใช้งาน

## 4. ผลการทดลองจริงของวงจรกรองความถี่สูง

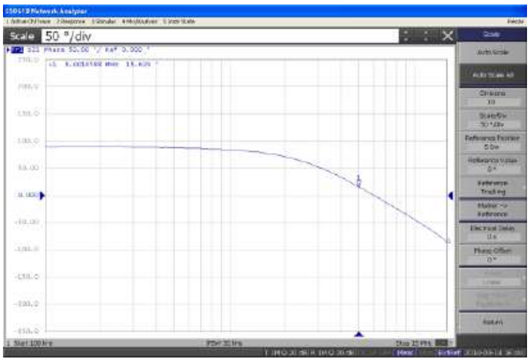


รูปที่ 8 การวัดทดสอบวงจรจริงด้วยเครื่องวิเคราะห์วงจรโครงข่าย

รูปที่ 8 การวัดทดสอบผลการตอบสนองของวงจรจริงที่ได้ทำการออกแบบด้วยเครื่องวิเคราะห์โครงข่าย (Network Analyzer) รูปที่ 10-11 แสดงผลการวัดทดสอบของผลตอบสนองทางขนาดและเฟส จะมีความชัน 8.707 dB/octave และผลตอบสนองทางเฟสจะมีค่าเป็นแบบเชิงเส้น



รูปที่ 10 ผลตอบสนองทางขนาดที่ได้จากการวัดทดสอบ



รูปที่ 11 ผลตอบสนองทางเฟสที่ได้จากการวัดทดสอบ

## 4. สรุป

วงจรกรองความถี่สูงผ่านแบบยูนิฟอร์มดิสทริบิวด์อาร์ซีแบบหลายชั้น มีการตอบสนองทางขนาดประมาณ 8 dB/octave ที่ความถี่ 5 MHz มีผลตอบสนองทางเฟสเป็นแบบเชิงเส้น จากการผลการทดลองจะเห็นว่าการออกแบบด้วยยูนิฟอร์มดิสทริบิวด์อาร์ซีแบบหลายชั้น จะทำให้วงจรกรองความถี่สูงมีผลการตอบสนองทางขนาดและเฟสที่ดีกว่าวงจรกรองความถี่สูงที่ทำมาจากวงจรอาร์ซีพื้นฐาน และมีค่ากรุ๊ปดีเลย์คงที่แบบเส้นตรงในช่วงความถี่ที่ใช้งาน ซึ่งเหมาะสำหรับนำไปประยุกต์ใช้ในเทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์สื่อสารในยุคปัจจุบัน

## เอกสารอ้างอิง

[1] L. Grama, A. Lodin, C. Rusu, and J. Takala, “Method to convert analog filter to digital filters,” ISPA 2013, Italy, pp.438-443, 4-6 Sep 2013.

[2] B. Dogan, and A. Yuksel, “Analog filter group delay optimization using the Vortex Search algorithm,” SIU 2015, Turkey, pp.288-291, 16-19 May 2015.

[3] R. A. Vural, and U. E. Ayten, “Optimized analog filter approximation via evolutionary algorithms,” ISDA 2012, India, pp.485-490, 27-29 Nov 2012.

[4] S. Klungtong, V. Pirajnanchai, P. Rakluea, and K. Janchitrapongvej, “Voltage-Mode Universal Biquadratic Filters using OTA-URC,” International Journal of Computer and Electrical Engineering, Vol 4, No. 4, August 2012

[5] M. S. Ghausi, and T. J. Kelly, “Introduction to Distributed Parameter Network with Application to Integrated Circuits,” H. R. Andwinsion INC.

**ผศ.ธนะพงศ์ นพวงศ์ ณ อยุธยา** สำเร็จการศึกษา คอ.ม.(บริหารอาชีวะและเทคนิคศึกษา) จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ปัจจุบันเป็นรองหัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

**วิโรจน์ พิราจเนนชัย** สำเร็จการศึกษา วศ.ม. วิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปัจจุบัน ดำรงตำแหน่งหัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

# ลดต้นทุนการผลิตของอุตสาหกรรมอาหารแช่แข็งด้วยองค์ความรู้ด้านมาตรวิทยาอุณหภูมิ

# Reduce production costs for frozen food industry using thermometry metrology know-how

**ดร. นฤดม นวลขาว**
ห้องปฏิบัติการจุดกำเนิดอุณหภูมิมาตรฐาน ฝ่ายมาตรวิทยาอุณหภูมิ สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ
3/4-5 ตำบลคลองห้า อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 12120 โทรศัพท์ 02-577-5100 ต่อ 1332 E-mail: narudom@nimt.or.th

## บทคัดย่อ

การจัดการพลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ มีความสำคัญเป็นอย่างยิ่งต่อต้นทุนในการผลิตอาหารแช่แข็ง เนื่องจากต้องใช้พลังงานจำนวนมากในกระบวนการผลิตโดยเฉพาะอย่างยิ่งกระบวนการแช่แข็งสินค้าที่อุณหภูมิต่ำกว่า –18 องศาเซลเซียส [1] ฝ่ายมาตรวิทยาอุณหภูมิ สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ (มว.) จึงได้ดำเนินโครงการลดต้นทุนการผลิตแก่อุตสาหกรรมอาหารแช่แข็งด้วยมาตรวิทยาอุณหภูมิ เพื่อเป็นการส่งเสริมศักยภาพในกระบวนการผลิตให้แก่อุตสาหกรรมอาหารแช่แข็ง โดยการเผยแพร่ความรู้เรื่องการวัดอุณหภูมิให้สามารถใช้งานเครื่องมือได้อย่างถูกต้อง และการปรับปรุงการควบคุมอุณหภูมิในกระบวนการผลิต เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ตรงตามมาตรฐาน ตลอดจนสามารถลดความสูญเสียที่จะเกิดขึ้นในกระบวนการผลิต อีกทั้งยังสามารถลดการใช้พลังงานที่เกินความจำเป็นในกระบวนการแช่แข็ง ส่งผลให้สามารถลดต้นทุนการผลิตแก่ผู้ผลิตได้อีกทางหนึ่ง ซึ่งจากการดำเนินโครงการดังกล่าวให้แก่โรงงานต้นแบบ พบว่าสามารถลดการใช้พลังงานในกระบวนการแช่แข็งลงได้มากกว่าร้อยละ 20

คำสำคัญ: การจัดการพลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ , อุตสาหกรรมอาหารแช่แข็ง, มาตรฐาน, มาตรวิทยาอุณหภูมิ, สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ

## Abstract

A good management of the energy efficiency plays a big role in the production costs of frozen food industry due to the large consumption rate of energy in order to freeze the product down to the temperature of -18 degree Celsius. Therefore, thermometry metrology department of National Institute of Metrology (Thailand) performs a project for the production cost reduction in frozen food industry. The project includes a dissemination of the good practice for the using thermometer and the improvement of the temperature control protocol in the production process. Theses will reduce the energy consumption rate in the production process, while the product quality is still controlled according to the international food standard. The result from the pilot factory participating in this project show that the energy consumption rate in the production process was reduced more than 20%.

Keywords: energy efficiency, frozen food industry, international food standard, metrology, National Institute of Metrology (Thailand)

## 1. บทนำ

การแช่แข็ง เป็นกรรมวิธีการถนอมอาหาร เพื่อคงความสดและรักษาคุณภาพอาหาร ได้ดีกว่าการถนอมอาหารด้วยวิธีอื่น และสามารถประยุกต์ใช้ได้เกือบทุกผลิตภัณฑ์อาหาร ซึ่งเกือบทุกขั้นตอนของกระบวนผลิตอาหารแช่แข็งจะเกี่ยวข้อง กับอุณหภูมิทั้งสิ้น ซึ่งหากใช้เครื่องมือวัดอุณหภูมิ ที่ไม่เหมาะสมหรือผู้ใช้งานยังไม่ทราบถึงวิธีการใช้เครื่องมืออย่างถูกต้องก็จะส่งผลกระทบโดยตรงต่อคุณภาพของอาหารแช่แข็ง รวมทั้งการใช้พลังงาน ที่มากเกินไปในกระบวนการผลิต ทำให้มีต้นทุนการผลิต ที่สูงขึ้น ส่งผลให้เกิดการ เสียโอกาสในการแข่งขันทางการค้า และนำมาซึ่งการสูญเสียรายได้

ด้วยเหตุนี้ การเผยแพร่ความรู้เรื่องการใช้งาน เทอร์โมมิเตอร์ได้อย่างถูกต้อง เหมาะสมต่อลักษณะงานที่ใช้และเป็นไปตามมาตรฐานสากลให้แก่ผู้ใช้งาน ที่เกี่ยวข้องในกระบวนการผลิต จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่ง ต่อการยกระดับคุณภาพของอาหาร แช่แข็ง ไทย ให้สอดคล้องตามมาตรฐานสากล รวมถึงการจัดการควบคุมอุณหภูมิได้อย่างมีประสิทธิภาพ จะทำให้ สามารถ ลดการสูญเสียด้านพลังงานในกระบวนการผลิตได้อย่างชัดเจน ช่วยให้สามารถลดต้นทุนในการผลิต และส่งเสริมศักยภาพในการ แข่งขันของอุตสาหกรรมอาหารแช่แข็งไทย ทั้งในตลาดอาเซียน และในตลาดโลก

มว.ได้สถาปนามาตรฐานหน่วยวัดอุณหภูมิเพื่อเป็นมาตรฐานหลักของประเทศและการสอบย้อนกลับได้ทางการวัดไปยังสเกลอุณหภูมิสากล (International Temperature Scale of 1990, ITS-90) [2] รวมถึงได้เผยแพร่ความรู้เรื่องการวัดอุณหภูมิ อย่างถูกต้อง สู่ภาคอุตสาหกรรมอาหารแช่แข็ง เพื่อยกระดับความสามารถ ของการแข่งขัน และ เป็นการเตรียมความพร้อมให้กับภาคอุตสาหกรรมอาหาร แช่แข็ง ไทยเข้าสู่ การแข่งขันและเป็นที่ยอมรับในประชาคมเศรษฐกิจอาเซียน

## 2. การดำเนินงาน

### 2.1 สภาพเบื้องต้นและปัญหา

ห้องปฏิบัติการจุดกำเนิดอุณหภูมิมาตรฐาน มว. ได้รับความอนุเคราะห์จาก บริษัทผู้ส่งออกผักและผลไม้แช่แข็ง ไปยัง อังกฤษ ญี่ปุ่น ตะวันออกกลาง และออสเตรเลีย เป็นโรงงานต้นแบบ สำหรับ ดำเนินโครงการ "ส่งเสริมการจัดการด้านการผลิตอาหารแปรรูปแช่แข็งโดยใช้ความรู้ด้านมาตรวิทยา " ในครั้งนี้ ซึ่งจากการเยี่ยมชม ในเบื้องต้น พบว่า บริษัทมีประเด็น ปัญหาต่างๆที่ต้อง พัฒนา โดยอาศัยองค์ความรู้ด้านมาตรวิทยาอุณหภูมิดังนี้

ประเด็นที่ 1. ผู้ปฏิบัติงานขาดความรู้ความเข้าใจ ถึงการใช้งานเทอร์โมมิเตอร์ในกระบวนการผลิต การใช้ผลการสอบเทียบ วิธีการกำหนดเกณฑ์ที่ใช้ควบคุมเครื่องมือวัดในกระบวนการผลิต และ วิธีการพิจารณาผลที่ได้จากเครื่องมือวัดในกระบวนการผลิต

ประเด็นที่ 2 ผู้ปฏิบัติงานขาดความรู้ และข้อมูลสำคัญในการการตั้งเกณฑ์ของอุณหภูมิภายในห้องแช่แข็งสำหรับกระบวนการผลิต โดยตั้งค่าอุณหภูมิที่ค่อนข้างต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานในกระบวนการผลิต ไว้พอสมควร กล่าวคือ การตั้งค่าอุณหภูมิภายในห้องแช่แข็ง ไว้ที่ -35 องศาเซลเซียส สำหรับผลิตภัณฑ์ซึ่งมีมาตรฐานของอุณหภูมิในการผลิตและจัดเก็บที่ -18 องศาเซลเซียส [1] ทำให้เกิดการสูญเสียด้านพลังงาน และส่งผลต่อต้นทุนในการผลิต

### 2.2 แผนการปฏิบัติงาน

จากปัญหาดังกล่าว ทางห้องปฏิบัติการ ฯ ได้วางแนวทางในการแก้ปัญหา ให้แก่บริษัทดังกล่าว ตามขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนที่ 1. จัดฝึกอบรมให้แก่ผู้ปฏิบัติงานให้มีความรู้ความเข้าใจในการใช้งานเทอร์โมมิเตอร์อย่างถูกวิธี รวมถึง การพิจารณาและการนำผลการสอบเทียบไปใช้งาน ได้อย่างถูกต้อง ตรงตามวัตถุประสงค์ โดยผู้เข้าร่วมการฝึกอบรม จะต้องผ่านเกณฑ์ การประเมินผลความรู้หลังฝึกอบรมที่ร้อยละ 80

ขั้นตอนที่ 2. ทำการทดลองเพื่อหาค่าอุณหภูมิ หรือกระบวนการควบคุมอุณหภูมิที่ เหมาะสมสำหรับห้องแช่แข็ง โดยอาศัยเครื่องมือวัดอุณหภูมิประเภท Data Logger วัดอุณหภูมิของอากาศภายในห้องแช่แข็งและวัดอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์เพื่อเป็นการเก็บข้อมูลในเบื้องต้น จากนั้นทดลองเปลี่ยนค่าอุณหภูมิของห้องแช่แข็งให้สูงกว่า -35 องศาเซลเซียส ซึ่งคาดว่าจะอยู่ในช่วงอุณหภูมิ -30 องศาเซลเซียส ถึง -25 องศาเซลเซียส แล้วจึงเก็บผลค่าอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ เพื่อวิเคราะห์หาค่าอุณหภูมิที่เหมาะสมของห้องแช่แข็ง ทั้งนี้การปรับการตั้งค่าอุณหภูมิดังกล่าวจะต้องไม่กระทบต่ออุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ซึ่งกำหนดให้อยู่ในช่วง -18 องศาเซลเซียส โดยคาดว่าผลจากการปรับเปลี่ยนในครั้งนี้จะส่งผลให้บริษัทสามารถล ดพลังงาน ในกระบวนการผลิตลงได้ไม่ต่ำกว่าร้อยละ 2

### 2.3 ผลการดำเนินงาน

ผลการดำเนินงานครั้งนี้สามารถแบ่งออกเป็นสองส่วนได้ดังนี้

**<u>ส่วนที่ 1</u> :** ผลจากการจัดฝึกอบรมเพื่อให้ความรู้

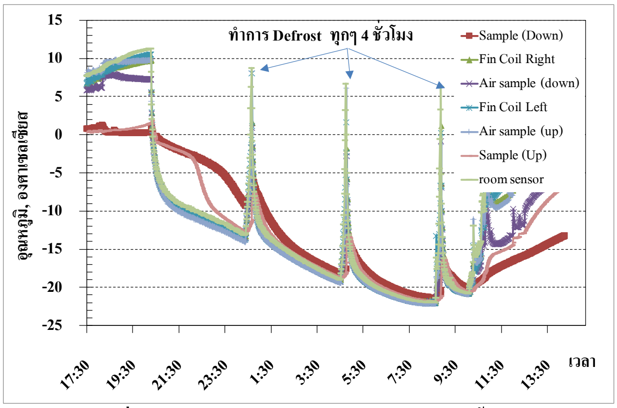
จากการจัดฝึกอบรมในหัวข้อ การใช้งานเทอร์โมมิเตอร์อย่างถูกวิธีสำหรับอุตสาหกรรมอาหาร ให้กับผู้ปฏิบัติงานซึ่งเข้าร่วมอบรมจำนวน 16 คน ปรากฏว่าผู้เข้าร่วมการอบรมทั้งหมดมีความรู้ความเข้าใจในการใช้งานเทอร์โมมิเตอร์สำหรับอุตสาหกรรมอาหาร รวมถึงสามารถพิจารณาและนำผลการสอบเทียบไปใช้งาน โดยสามารถทำคะแนนจากแบบประเมินความรู้หลังฝึกอบรมได้ สูงขึ้นถึงมากกว่า ร้อยละ 98 เมื่อเทียบกับคะแนนประเมินความรู้ก่อนฝึกอบรมซึ่งทำได้เพียงร้อยละ 21

**<u>ส่วนที่ 2</u> :** ผลจากการปรับเปลี่ยนอุณหภูมิภายในห้องแช่แข็ง .

ในการเก็บข้อมูล อุณหภูมิของอากาศและผลิตภัณฑ์ภายในห้องแช่แข็งในครั้งที่ 1 ซึ่งเป็นสภาวะการทำงานโดยทั่วไปของบริษัทในกระบวนการแช่แข็งก่อนเริ่มโครงการ โดยอาศัยเครื่องมือวัดอุณหภูมิประเภท Data Logger ซึ่งมีหัววัดอุณหภูมิจำนวน 9 หัววัดและผ่านการสอบเทียบแล้ว (รูปที่ 1) ทำให้ได้ทราบอุณหภูมิที่แท้จริงของผลิตภัณฑ์และอากาศในบริเวณต่างๆ ภายในห้องแช่แข็ง ซึ่งเป็นข้อมูลที่สำคัญสำหรับนำมาวิเคราะห์ เพื่อปรับปรุงกระบวนการแช่แข็งในขั้นตอนต่อไป โดยข้อมูลดังกล่าวได้แสดงไว้ดังรูปที่ 2

**รูปที่ 1** การวัดอุณหภูมิของอากาศและผลิตภัณฑ์ภายในห้องแช่แข็งโดยอาศัยเครื่องมือวัดอุณหภูมิประเภท Data Logger ชนิด 9 หัววัดอุณหภูมิ

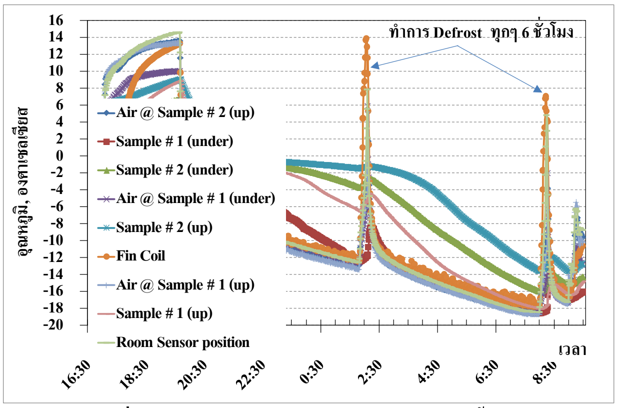
ห้องแช่แข็งที่ดำเนินการทดลองในครั้งนี้มีขนาด กว้าง 3 เมตร ลึก 4.5 เมตร และสูง 2.7 เมตร โดยใช้คอมเพรสซอร์ทำความเย็นขนาด 22.4 กิโลวัตต์ และมีฮีตเตอร์สำหรับ Defrost ขนาด 30.6 กิโลวัตต์ และตั้งอุณหภูมิสำหรับแช่แข็งไว้ที่ -35 องศาเซลเซียส




**รูปที่** 2 ผลการวัดอุณหภูมิภายในห้องแช่แข็งครั้งที่ 1

ข้อมูลจากรูปที่ 2 แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ผ่านตามเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดไว้กล่าวคือมีค่าต่ำว่า -20 องศาเซลเซียส เมื่อเสร็จสิ้นกระบวนการแช่แข็ง แต่จะเห็นได้ว่าทั้งอุณหภูมิของอากาศและผลิตภัณฑ์จะมีค่าสูงขึ้นทุกครั้งที่เกิดการ Defrost ภายในห้องแช่งแข็ง โดยในเบื้องต้นทางบริษัทได้กำหนดระยะเวลาของกระบวนการแช่แข็งไว้ที่ 13 ชั่วโมง และตั้งค่าการ Defrost ไว้ที่ทุกๆ 4 ชั่วโมง ซึ่งใช้พลังงานไฟฟ้าในการแช่แข็งตลอดกระบวนการอยู่ที่ 387 กิโลวัตต์ชั่วโมง สำหรับผลิตภัณฑ์ 1350 กิโลกรัม คิดเป็นต้นทุนด้านพลังงาน 1.18 บาทต่อกิโลกรัม

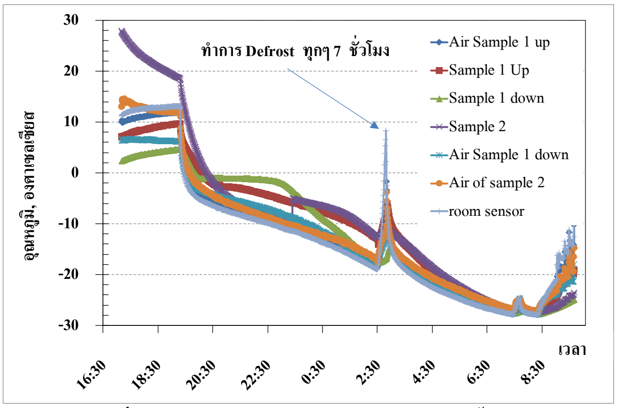
จากข้อมูลดังกล่าว จึงได้ทดลองปรับปรุงประสิทธิภาพของกระบวนการแช่แข็งด้วยการเปลี่ยนช่วงเวลาของการทำ Defrost จากเดิม ทุกๆ 4 ชั่วโมง เป็น ทุกๆ 6 ชั่วโมง โดยยังคงระยะเวลาในการแช่แข็งไว้ที่ 13 ชั่วโมงเหมือนเดิม ซึ่งอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์และอากาศภายในห้องแช่แข็งในครั้งนี้ เป็นดังรูปที่ 3




**รูปที่** 3 ผลการวัดอุณหภูมิภายในห้องแช่แข็งครั้งที่ 2

จากรูปที่ 3 จะเห็นได้ว่าอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์และอากาศภายในห้องแช่แข็งต่ำกว่า -18 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐาน [1] CODEX CAC /RCP 8-1976 ซึ่งกำหนดไว้สำหรับการผลิตอาหารแช่แข็ง ในขณะที่การ Defrost ลดลงเหลือเพียง 2 ครั้ง ซึ่งควรจะสามารถประหยัดพลังงานในการแช่แข็งลงไปได้อย่างชัดเจน แต่เนื่องจากการแช่แข็งในครั้งนี้ ทางโรงงานไม่ได้ทำการ Pre-cooled ผลิตภัณฑ์ ก่อนทำการแช่แข็งเหมือนการแช่แข็งในครั้งแรก จึงทำให้ต้องใช้พลังงานในห้องแช่แข็งที่มากขึ้น แต่อย่างไรก็ตาม จากการเก็บข้อมูลพบว่า พลังงานของการแช่แข็งในครั้งนี้ใช้ไปเพียง 384 กิโลวัตต์ชั่วโมง ซึ่งน้อยกว่าการแช่แข็งในครั้งแรก ในขณะที่ผลิตภัณฑ์ที่แช่แข็งเพิ่มขึ้นเป็น 1430 กิโลกรัม จึงทำให้ต้นทุนด้านพลังงานในการแช่แข็งลดลงมาอยู่ที่ 1.10 บาท ต่อกิโลกรัม

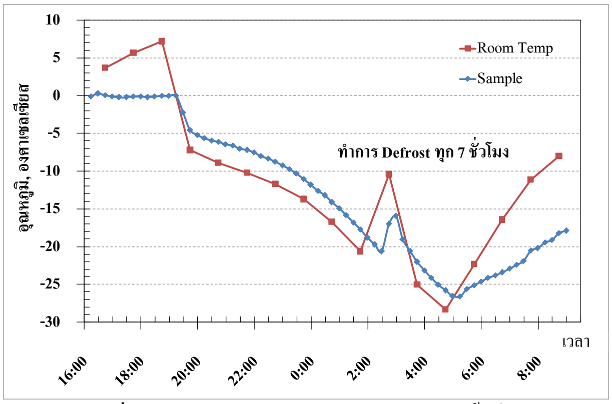
เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพในการแช่แข็งเพิ่มขึ้น จึงได้ทำการปรับช่วงเวลาในการ Defrost จากทุกๆ 6 ชั่วโมง เป็น ทุกๆ 7 ชั่วโมง ซึ่งทำให้เหลือการ Defrost เพียงครั้งเดียว ตลอดระยะเวลาในการแช่แข็ง 13 ชั่วโมง โดยผลจากการทดลองเปลี่ยนแปลงขั้นตอนการแช่แข็งในครั้งนี้แสดงไว้ในรูปที่ 4




**รูปที่** 4 ผลการวัดอุณหภูมิภายในห้องแช่แข็งครั้งที่ 3

จากการทดลองแช่แข็งในครั้งที่ 3 พบว่า อุณหภูมิของทั้งผลิตภัณฑ์และอากาศภายในห้องแช่แข็งต่ำกว่า -20 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่ต้องการสำหรับกระบวนการผลิต เมื่อทำการแช่แข็ง 10 ชั่วโมง และอุณหภูมิต่ำสุดเมื่อเสร็จสิ้นกระบวนการแช่แข็งคือ -28 องศาเซลเซียส และใช้พลังงานในการแช่แข็งครั้งนี้เพียง 379 กิโลวัตต์ชั่วโมง ซึ่งจะเห็นได้ว่ายังสามารถลดพลังงานในการแช่แข็งลงได้ ด้วยการลดระยะเวลาการแช่แข็งลง

ด้วยเหตุนี้จึงได้ทำการทดลอง ปรับเปลี่ยนระยะเวลาในการแช่แข็งจาก 13 ชั่วโมง เหลือเพียง 10 ชั่วโมง โดยทำการ Defrost เพียงครั้งเดียวคือทุกๆ 7 ชั่วโมง ซึ่งในการเก็บข้อมูลในครั้งนี้ ได้ใช้เครื่องมือ Data logger with probe ของทางบริษัทซึ่งผ่านการสอบเทียบและเปรียบเทียบค่ากับ เครื่องมือวัดอุณหภูมิประเภท Data Logger ของทางห้องปฏิบัติการที่ใช้ในการเก็บข้อมูลที่ผ่านมา ซึ่งผลจากการทดลองในครั้งนี้ได้แสดงไว้ดังรูปที่ 5




**รูปที่** 5 ผลการวัดอุณหภูมิภายในห้องแช่แข็งครั้งที่ 4

จากรูปที่ 5 จะเห็นได้ว่า ค่าอุณหภูมิของทั้งผลิตภัณฑ์และอากาศภายในห้องแช่แข็งลดลงต่ำกว่า -25 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่ผ่านตามมาตรฐานการควบคุมอุณหภูมิของการผลิตอาหารแช่แข็ง ซึ่งกำหนดไว้เพียงว่า ต่ำกว่า -25 องศาเซลเซียส และจากการเก็บข้อมูลด้านพลังงานที่ใช้ในการแช่แข็งพบว่า การแช่แข็งครั้งนี้ใช้พลังงานเพียง 286 กิโลวัตต์ชั่วโมง ซึ่งคิดเป็นพลังงานที่ลดลงมากร้อยละ 27 เมื่อเทียบกับการแช่แข็งแบบเดิมของทางบริษัท

แต่เนื่องจากจำนวนผลิตภัณฑ์ที่แช่แข็งในครั้งนี้มีเพียง 1100 กิโลกรัม จึงทำให้ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานในการแช่แข็งต่อหนึ่งกิโลกรัมจะอยู่ที่ 1.07 บาท ซึ่งคิดเป็นต้นทุนด้านพลังงานในการแช่แข็งต่อกิโลกรัมของผลิตภัณฑ์ที่บริษัทสามารถลดลงได้ประมาณร้อยละ 10 ซึ่งเกินกว่าค่าคาดหวังที่ตั้งไว้ร้อยละ 2 ก่อนเริ่มโครงการนี้

## 3. สรุป

จากการดำเนินโครงการนี้ สามารถสรุปผลการดำเนินงานได้เป็นสองส่วนดังนี้

ในส่วนแรก ผู้ปฏิบัติงานในกระบวนการผลิต มีความรู้ความเข้าใจ ในการใช้งานเทอร์โมมิเตอร์สำหรับอุตสาหกรรมอาหาร เพิ่มขึ้น และสามารถพิจารณาและนำผลการสอบเทียบไปใช้งานได้อย่างถูกต้อง

ในส่วนที่สอง ด้วยเทคนิคในการวัดอุณหภูมิที่ดีและถูกต้องมากขึ้น ทำให้สามารถวิเคราะห์และปรับปรุงกระบวนการในการแช่แข็งด้วยการลดจำนวนครั้งในการทำ Defrost และ ระยะเวลาในกระบวนการแช่แข็ง ทำให้บริษัทสามารถประหยัดพลังงานในการแช่แข็งได้มากกว่าร้อยละ 27 และคิดเป็นต้นทุนด้านพลังงานต่อกิโลกรัมที่ประหยัดไปได้ประมาณร้อยละ 10

ข้อมูลและความรู้ซึ่งได้จากการดำเนินการในครั้งนี้ สามารถประยุกต์ใช้ในการส่งเสริมและปรับปรุงกระบวนการผลิตอาหารแช่แข็งประเภทต่างๆ ได้ ทั้งนี้ทาง มว. ได้รับความสนใจจากบริษัทผู้ผลิตอาหารแช่แข็งสำหรับส่งออก และจำหน่ายภายในประเทศ อีกอย่างน้อย 2 บริษัท ในการดำเนินโครงการปรับปรุงกระบวนการผลิตด้วยการลดพลังงานในกระบวนการผลิตโดยอาศัยความรู้ด้านมาตรวิทยาอุณหภูมิ

## 4. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ สภาอุตสาหกรรม จังหวัดนครปฐม ในการประสานงานบริษัทในกลุ่มอาหารแช่แข็ง เพื่อใช้เป็นโรงงานต้นแบบสำหรับดำเนินโครงการในครั้งนี้

## เอกสารอ้างอิง

[1] CODEX CAC /RCP 8-1976, CODE OF PRACTICE FOR THE PROCESSING AND HANDLING OF QUICK FROZEN FOODS, The C O D E X A L I M E N T A R I U S international food standards, FAO, 2008

[2] Consultative Committee for Thermometry (CCT) (1989). "The International Temperature Scale of 1990 (ITS-90)" (PDF). Procès-verbaux du Comité International des Poids et Mesures, 78th meeting (Sèvres, France: International Committee for Weights and Measures (CIPM)). Retrieved 25 June 2013.

**ประวัติผู้เขียนบทความ** :
**ชื่อ-นามสกุล :** ดร. นฤดม นวลขาว
นักมาตรวิทยาชำนาญการ
ห้องปฏิบัติการจุดกำเนิดอุณหภูมิมาตรฐาน ฝ่ายมาตรวิทยาอุณหภูมิ สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ ปทุมธานี

**การศึกษา :** วท. บ. (ฟิสิกส์) ม.สงขลานครินทร์ สำเร็จปี 2541
วท. ม. (ฟิสิกส์) ม. เทคโนโลยีสุรนารี สำเร็จปี 2543
Dr.-ing. (Physics) Technical University Berlin, Germany, สำเร็จปี 2552

**สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ:** Radiation thermometry, Radiometry, Solid-state physics

**งานวิจัย**
1. การสถาปนาชุดเครื่องมือวัดค่าสัมประสิทธิ์การเปล่งของวัตถุดำ ณ สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ
2. การประเมินค่าความไม่เป็นเชิงเส้นของเทอร์โมมิเตอร์มาตรฐานแบบแผ่รังสีที่อุณหภูมิสูงโดยอาศัยแหล่งกำเนิดอุณหภูมิเชิงแผ่รังสีชนิดวัตถุดำ
3. การประเมินค่า SIZE-OF-SOURCE EFFECT ของเทอร์โมมิเตอร์มาตรฐานแบบแผ่รังสี
4. การประเมินค่าความไม่เป็นเชิงเส้นของเทอร์โมมิเตอร์มาตรฐานแบบแผ่รังสีโดยอาศัยแหล่งกำเนิดอุณหภูมิเชิงแผ่รังสีชนิดวัตถุดำ

# การออกแบบตัวกรองความถี่แถบผ่านแบบอินเตอร์ดิจิทัลแฮร์พินและการกำจัดแถบความถี่แคบ

# Design of Interdigital Hairpin Bandpass Filter with Narrow Band Rejection

**สุปัญญา สิงห์กรณ์ กัญญวิทย์ กลิ่นบำรุง และสมศักดิ์ อรรคทิมากูล**
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาครุศาสตร์ไฟฟ้า คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
1518 ถนนประชาราษฎร์ 1 แขวงวงศ์สว่าง เขตบางซื่อ กรุงเทพฯ 10800
e-mail: s_korn@windowslive.com, kanyawit@live.com, ssa@kmutnb.ac.th

## บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอการพัฒนาและออกแบบตัวกรองความถี่แถบผ่านแบบอินเตอร์ดิจิทัลแฮร์พินที่มีการกำจัดความถี่แถบแคบที่ไม่ต้องการ การออกแบบวงจรกรองความถี่แถบผ่านประกอบด้วยแถบตัวนำเชื่อมต่อแบบขนานแบบอินเตอร์ดิจิทัลแฮร์พิน จำนวน 4 ตัว ที่มีขนาดเดียวกันและมีสตับปรับค่าได้แบบปลายสายเปิดวงจรของวงจรกรองแถบความถี่หยุด สำหรับความถี่ใช้งานของตัวกรองความถี่แถบผ่านคือ 0.9-3.9 GHz และความถี่แถบหยุดคือ 2.45 GHz โดยผลการวัดที่ได้มีความสอดคล้องกับการใช้โปรแกรมจำลอง SONNET Lite

คำสำคัญ: ตัวกรองความถี่แบบอินเตอร์ดิจิทัลแฮร์พิน ตัวกรองความถี่แถบผ่าน การกำจัดความถี่แถบแคบ

## Abstract

This paper presents a design of interdigital hairpin bandpass filter with narrow band rejection. The designed bandpass filter consists of four parallel coupling inter-digital fingers with the same size and an open-ended tuning stub of band stop filter. The operating frequency of bandpass filter is 0.9-3.9 GHz and narrow reject band is 2.45 GHz. Finally, measured results which are in good agreement to simulated results using SONNET Lite software, were presented.

Keywords: lnterdigital Hairpin Filter, Bandpass Filter, Narrow Band Rejection

## 1. บทนำ

ปัจจุบันเทคโนโลยีการสื่อสารสมัยใหม่ส่วนใหญ่ทำงานในย่านความถี่ไมโครเวฟ เช่น ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ ระบบการสื่อสารผ่านดาวเทียม ระบบเครือข่ายสื่อสารไร้สาย ระบบโทรทัศน์ดิจิทัล เป็นต้น การทำงานในระบบการสื่อสารแบบต่าง ๆ จำเป็นต้องมีการจัดสรรใช้แถบความถี่ที่มีอยู่จำกัดให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด ดังนั้นในระบบการสื่อสารไร้สายพบว่า วงจรกรองความถี่จึงมีความสำคัญในการทำหน้าที่คัดเลือกเฉพาะความถี่ที่ต้องการและขจัดความถี่ที่ไม่ต้องการออกไป รวมทั้งขจัดสัญญาณการรบกวนระหว่างกัน (Inter-Modulation) ในแถบความถี่ของระบบการสื่อสารต่างๆ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้งานของแถบความถี่ทั้งในส่วนของสถานีฐาน (Base Station) และในส่วนของสถานีทวนสัญญาณ ตลอดจนการรบกวนภายในวงจรของอุปกรณ์สื่อสารไร้สายต่าง ๆ ดังนั้นวงจรกรองความถี่ไมโครเวฟจึงเป็นสิ่งที่จำเป็นสำหรับระบบการสื่อสารสมัยใหม่ในปัจจุบัน และที่สำคัญที่สุดคือการออกแบบตัวกรองความถี่ที่มีขนาดเล็กกะทัดรัด และมีประสิทธิภาพสูง ตัวกรองความถี่ที่ดีและมีประสิทธิภาพสามารถที่จะกำจัดแถบความถี่ที่ไม่ต้องการได้ [1-2] โดยไม่ส่งผลกระทบต่อแถบความถี่ที่ใช้งาน

## 2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 ตัวกรองความถี่แถบผ่าน

ตัวกรองความถี่แถบผ่าน (Bandpass Filter) มีความสำคัญต่อระบบการสื่อสาร เนื่องจากเป็นวงจรที่ยอมให้สัญญาณความถี่ในย่านของแถบความถี่ที่ต้องการผ่าน สำหรับในระบบการสื่อสารทั่วไป จะนิยมใช้เป็นวงจรกรองประเภทพาสซีพที่ใช้อุปกรณ์ชนิดตัวเหนี่ยวนำ (L) และตัวเก็บประจุ (C) ที่ค่อนข้างง่ายในการออกแบบในย่านของการตอบสนองทางความถี่ที่ต้องการและสามารถลดทอนสัญญาณในแถบความถี่ที่ไม่ต้องการ วงจรกรองความถี่แถบผ่านที่ใช้ในระบบสื่อสารเป็นวงจรที่มีความสำคัญมาก ในงานด้านต่างๆ เช่น ระบบการสื่อสาร ระบบการควบคุม เครื่องมือแพทย์ เป็นต้น ดังนั้นที่ผ่านมาจึงมีนักวิจัยจำนวนมาก [3-4] ได้พัฒนาวงจรกรองความถี่ให้มีโครงสร้างที่เล็กกะทัดรัด ง่ายต่อการออกแบบ และสามารถตอบสนองย่านความถี่ที่ต้องการได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยส่วนใหญ่การออกแบบวงจรกรองความถี่จะอาศัยคุณสมบัติของวงจรเรโซแนนซ์ ที่ประกอบด้วยวงจรตัวเหนี่ยวนำ ตัวเก็บประจุ และตัวต้านทาน แบบอนุกรมและแบบขนาน สำหรับวงจรกรองความถี่ที่สร้างบนโครงสร้างบนแผ่นวงจรพิมพ์แบบไมโครสตริปจะนิยม

ใช้คุณสมบัติของวงจรสายส่งที่เกิดสภาวะเรโซแนนซ์ ที่มีการออกแบบเป็นวงจรสายส่งคู่ขนาน วงจรสายส่งแบบ $\lambda/2$ หรือแบบ $\lambda/4$ หรือโครงสร้างอื่นที่มีรูปแบบต่าง ๆ

2.1.1 เรโซเนเตอร์แบบไมโครสตริปปลายเปิดวงจรที่ยาว $\lambda/2$

วงจรเรโซเนเตอร์แบบไมโครสตริปที่มีความยาว $\lambda/2$ จะมีคุณสมบัติเหมือนกับวงจรเรโซแนนซ์แบบขนาน LC การกระจายแรงดันบนเรโซเนเตอร์จะมีขนาดแรงดันสูงสุดที่ปลายเปิดวงจร และมีขนาดแรงดันต่ำสุดที่กึ่งกลางความยาวของเรโซเนเตอร์

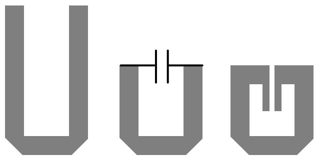
2.1.2 เรโซเนเตอร์แบบไมโครสตริปปลายลัดวงจรที่ยาว $\lambda/4$

วงจรเรโซเนเตอร์แบบไมโครสตริปปลายลัดวงจรที่มีความยาว $\lambda/4$ จะมีวงจรเทียบเคียงเป็นวงจรเรโซแนนซ์แบบขนาน LC เหมือนกับไมโครสตริปปลายเปิดวงจรที่มีความยาว $\lambda/2$ หากเปรียบเทียบวงจรเรโซเนเตอร์ทั้งสองแบบ จะพบว่าวงจรเรโซเนเตอร์แบบไมโครสตริปปลายเปิด จะ มีความยาวเป็นสองเท่า ดังนั้นขนาดของวงจรจะใหญ่กว่าปกติประมาณ 2 เท่า แต่หากพิจารณาในด้านการสร้าง จะพบว่าวงจรเรโซเนเตอร์แบบไมโครสตริปปลายลัดวงจร จะสร้างได้ยากกว่าเนื่องจากต้องมีการเวียโฮล (Via hole) เพื่อลัดวงจรปลายสายของวงจรเรโซเนเตอร์ลงระนาบกราวนด์

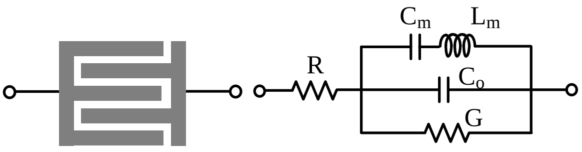
**2.2 วงจรกรองความถี่แบบอินเตอร์ดิจิทัลแฮร์พิน**

การออกแบบวงจรกรองความถี่ในย่านความถี่ต่ำกว่า 1 GHz จะพบว่า วงจรส่วนใหญ่จะใช้สายส่งไมโครสตริปหรือตัวกรองความถี่แบบกลุ่มก้อน (Lump Devices) ที่พบว่ามีค่าใช้จ่ายที่ต่ำ แต่มีข้อเสียที่สำคัญได้แก่ วงจรมีขนาดใหญ่ มีการสูญเสียจากการใส่แทรกที่สูงที่ทำให้ไม่เป็นที่ยอมรับสำหรับการใช้งานในระบบการสื่อสารแบบไร้สาย สำหรับวงจรกรองความถี่ที่มีการใช้งานในระบบของโทรศัพท์มือถือ ระบบโทรศัพท์ไร้สาย และวิทยุติดตามตัว ส่วนใหญ่เป็นตัวกรองความถี่แถบผ่านที่มีโครงสร้างเป็นวงจรเรโซเนเตอร์ไมโครสตริปที่มีโครงสร้างที่แตกต่างกัน เช่น นอกจากนั้นยังมีตัวกรองความถี่อีกประเภทหนึ่งที่มีโครงสร้างเป็นวงจรเรโซเนเตอร์แบบแฮร์พิน [5] ที่อาศัยการเชื่อมโยงของโหมดคลื่นต่างๆ ที่ทำให้มีตัวประกอบคุณภาพที่มีค่าสูงมากขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 1 โดยจะมีการพัฒนาโครงสร้างของวงจรให้มีขนาดที่เล็กกะทัดรัด ที่อาศัยรูปแบบของการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์แบบกลุ่มก้อน หรือการออกแบบโดยใช้สายส่งไมโครสตริปที่มีรูปแบบต่าง ๆ เป็นต้น

การออกแบบวงจรกรองความถี่ที่มีประสิทธิภาพจำเป็นมีค่าของการสูญเสียต่ำ โครงสร้างมีขนาดเล็ก ดังนั้นจึงมีการพัฒนาโดยใช้โครงสร้างของวงจรเรโซเนเตอร์แบบอินเทอร์ดิจิทัลแฮร์พิน [2] แสดงดังรูปที่ 2 ที่นำมาต่อแบบอนุกรมหรือแบบขนาน เพื่อควบคุมย่านการตอบสนองทางความถี่ตามที่ผู้ใช้งานต้องการ


(ก) (ข) (ค)

**รูปที่ 1** วงจรเรโซเนเตอร์แบบแฮร์พิน (ก) แบบปกติ (ข) แบบขนาดเล็ก (ค) แบบขนาดเล็กเส้นคู่

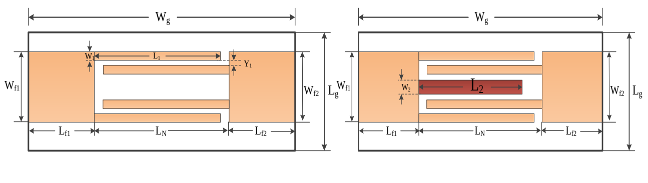


(ก) (ข)

**รูปที่ 2** วงจรเรโซเนเตอร์ที่ใช้ตัวเก็บประจุแบบอินเตอร์ดิจิทัล

## 3. การออกแบบตัวกรองความถี่แถบผ่าน

บทความนี้เป็นการนำเสนอการออกแบบตัวกรองความถี่แถบผ่านแบบอินเตอร์ดิจิทัลแฮร์พินและกำหนดให้มีการกำจัดแถบความถี่แคบโดยใช้วิธีการจำลองด้วยโปรแกรม Sonnet Lite และสร้างวงจรกรองความถี่ที่ออกแบบบนแผ่นวงจรพิมพ์แบบ FR-4 ที่ประกอบด้วยแถบตัวนำ หรือแถบโลหะวางอยู่บนวัสดุฐานรองไดอิเล็กตริก ที่วางอยู่บนระนาบกราวด์อีกชั้นหนึ่ง โดยออกแบบให้แถบตัวนำมีความกว้าง 3 มิลลิเมตร และความสูง 1.6 มิลลิเมตร อิมพีแดนซ์คุณลักษณะทางอินพุตและเอาต์พุตของตัวกรองความถี่มีค่าเท่ากับ 50 โอห์ม โครงสร้างตัวกรองความถี่แถบผ่านแบบอินเตอร์ดิจิทัลแฮร์พินที่มีแถบตัวนำขนานกันจำนวน 4 ตัว แสดงดังรูปที่ 3 (ก) และตัวกรองความถี่แถบผ่านที่ใส่ตัวกรองความถี่แถบหยุดแบบแคบโดยใช้สตับแบบปลายเปิดวงจรที่สามารถปรับค่าความยาวได้ ดังแสดงในรูปที่ 3 (ข)

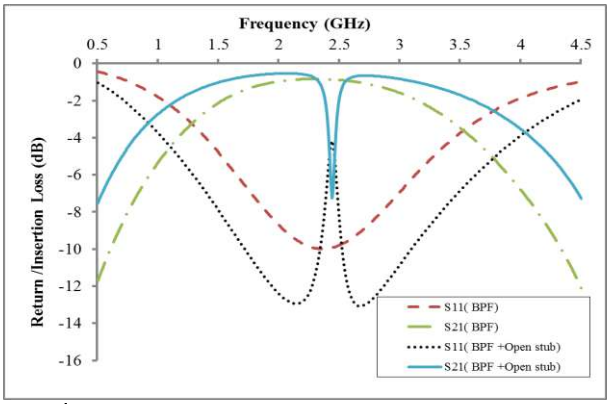


(ก) ตัวกรองความถี่แถบผ่าน (ข) ใส่ตัวกรองความถี่แถบหยุด

**รูปที่ 3** ตัวกรองความถี่แถบผ่านแบบอินเตอร์ดิจิทัลแฮร์พิน

รูปที่ 3 แสดงโครงสร้างของตัวกรองความถี่แถบผ่านแบบอินเตอร์ดิจิทัลแฮร์พินที่ออกแบบและใส่ตัวกรองความถี่แถบหยุด มีรายละเอียดของค่าพารามิเตอร์ตัวกรองความถี่ ดังนี้ $W_g = 36mm,\ L_g = 18mm,\ L_{f1} = 8.7mm, L_{f2} = 8.7mm,\ Y_1 = 0.3mm,\ L_N = 18.6mm,\ L_1 = 18.3mm,\ W_1 = 0.3mm,\ W_2 = 0.6mm,\ L_2 = 18mm,\ W_{f1} = W_{f2} = 3mm$ , จากนั้น

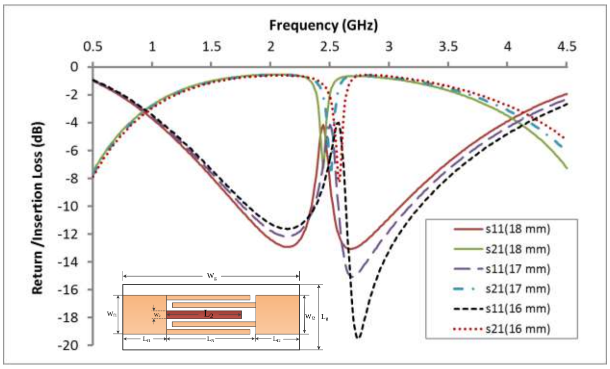
ทำการจำลองการทำงานโดยใช้โปรแกรม Sonnet Lite เพื่อเปรียบเทียบผลของวงจรกรอง ผลตัวกรองความถี่แถบผ่านที่ใช้แถบตัวนำ 4 ตัว และการใส่สตัปแบบปลายสายเปิดวงจรที่ปรับค่าได้ ดังแสดงในรูปที่ 4




**รูปที่ 4** ผลการจำลองตัวกรองความถี่แถบผ่านแบบอินเตอร์ดิจิทัลแฮร์พิน

รูปที่ 4 แสดงผลการจำลองตัวกรองความถี่แถบผ่านแบบอินเตอร์ดิจิทัลแฮร์พิน ที่พบว่ามีผลการตอบสนองในย่านความถี่ตั้งแต่ 1.28-3.5 GHz และเมื่อใส่สตัปปรับค่าได้แบบปลายสายเปิดวงจร จะส่งผลให้การตอบสนองทางความถี่มีการเปลี่ยนแปลงอยู่ในย่านความถี่ตั้งแต่ 0.90-4.05 GHz และมีการเกิดแถบความถี่หยุดในช่วงความถี่ 2.45 GHz

จากนั้นดำเนินการศึกษาการปรับความยาวของสตัป ที่มีค่าความยาว ($L_2$) ตั้งแต่ 16, 17 และ 18 มิลลิเมตร เพื่อควบคุมตำแหน่งการเกิดความถี่เรโซแนนซ์ของแถบความถี่หยุด โดยการใช้โปรแกรมจำลอง Sonnet Lite ดังแสดงในรูปที่ 5

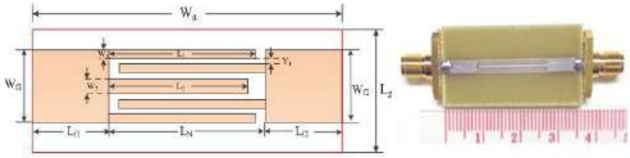



**รูปที่ 5** ผลการจำลองเมื่อปรับความยาว ($L_2$) ของสตัปแบบปลายเปิด

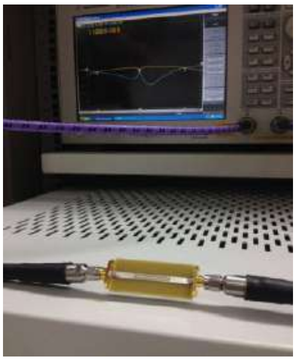
รูปที่ 5 แสดงผลการจำลองตัวกรองความถี่แถบผ่านแบบอินเตอร์ดิจิทัลแฮร์พินที่สามารถปรับตำแหน่งของแถบความถี่หยุดได้โดยใช้สตัปแบบปลายเปิด ซึ่งผลของการจำลองพบว่าเมื่อเพิ่มความยาวของสตัปมากขึ้นตำแหน่งความถี่เรโซแนนซ์จะมีค่าลดน้อยลง ที่สามารถควบคุมแถบความถี่ที่ไม่ต้องการหรือลดการรบกวนในย่านความถี่ข้างเคียงได้ตามที่ผู้ใช้งานต้องการ

## 4. ผลงานวิจัย

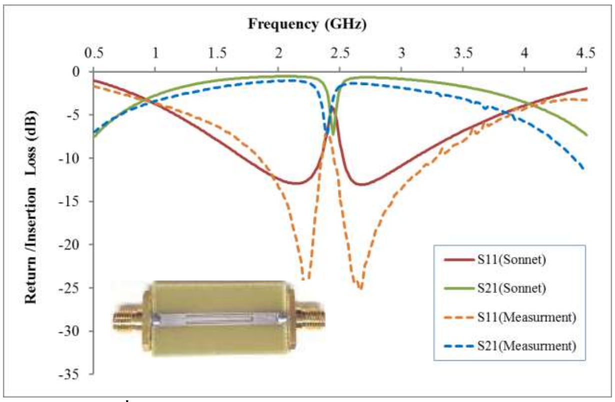
โครงสร้างของตัวกรองความถี่แถบผ่านแบบอินเตอร์ดิจิทัลแฮร์พินที่สร้างขึ้นจะแสดงดังรูปที่ 6 และนำไปทดสอบโดยใช้เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายไฟฟ้า Agilent รุ่น E5071C แสดงดังรูปที่ 7 สำหรับผลของการจำลองโดยใช้โปรแกรม Sonnet Lite และผลของการตอบสนองของตัวกรองความถี่แบบอินเตอร์ดิจิทัลแฮร์พิน จะแสดงดังรูปที่ 8



**รูปที่ 6** ตัวกรองความถี่แบบอินเตอร์ดิจิทัลแฮร์พินและชิ้นงานจริง



**รูปที่ 7** การทดสอบวัดชิ้นงานจริง




**รูปที่ 8** ผลการเปรียบเทียบระหว่างการจำลองและการวัด

การเปรียบเทียบผลการจำลองและการวัดการตอบสนองทางความถี่ของตัวกรองความถี่แถบผ่านพบว่าตัวกรองความถี่แถบผ่านที่ออกแบบสามารถตอบสนองความถี่ในช่วง 0.90-4.05 GHz และกำหนดให้มีการ

เกิดแถบความถี่หยุดในช่วงความถี่ 2.45 GHz ซึ่งเป็นช่วงความถี่ของ WIFI ที่ผู้ใช้งานไม่ต้องการให้มีการรบกวนในแถบความถี่ผ่าน สำหรับผลการวัดที่ได้พบว่ามีความสอดคล้องกับการใช้โปรแกรมจำลอง SONNET Lite ดังแสดงในรูปที่ 8 โดยผลที่ได้จากการวัดที่ความถี่สูงๆ จะมีความคลาดเคลื่อนจากผลการจำลองประมาณ ±10 % เนื่องจากวงจรวัดจริงมีค่าการสูญเสียที่เกิดขึ้นจากวัสดุของฐานรอง การใช้ขั้วต่อ SMA การสร้างและการประกอบตัวกรองความถี่ ซึ่งจะส่งผลกระทบกับอิมพีแดนซ์ของวงจรที่ทำให้มีการเปลี่ยนแปลงและก่อให้เกิดปัญหาด้านการแมทชิ่งทางอิมพีแดนซ์ อย่างไรก็ตามในการออกแบบผู้ใช้งานสามารถปรับแต่งช่วงของความถี่ใช้งานของวงจรให้มีผลการทำงานที่มีความเหมาะสมและรองรับกับการใช้งานได้

## 5. สรุปผล

บทความนี้เป็นการนำเสนอการออกแบบตัวกรองความถี่แถบผ่านแบบอินเตอร์ดิจิทัลแฮร์พินและการกำจัดแถบความถี่แถบแคบโดยกำหนดให้มีค่าแบนด์วิดธ์ประมาณ 3 GHz ที่มีช่วงความถี่แถบผ่านอยู่ระหว่าง 0.9-4.05 GHz โดยที่วงจรที่ออกแบบมีโครงสร้างที่ไม่ซับซ้อน มีขนาดเล็ก และผู้ใช้งานสามารถนำไปใช้เป็นแนวทางในการประยุกต์ใช้กับความถี่ย่านที่ต้องการได้ นอกจากนั้นแล้วบทความนี้ได้นำเสนอการใส่สตับที่ปลายสายแบบเปิดวงจรสำหรับการปรับแถบความถี่หยุดที่ความถี่ 2.45 GHz โดยใช้สายส่งที่มีความยาว $\lambda/4$ ของความถี่ที่ไม่ต้องการ ที่พบว่าผู้ใช้สามารถกำหนดย่านความถี่ที่ไม่ต้องการ โดยการปรับค่าความยาวของสตับได้ สำหรับตัวกรองความถี่แถบผ่านที่ได้นำเสนอนี้สามารถพัฒนาเพื่อนำไปใช้ในระบบการสื่อสารที่สามารถควบคุมแถบความถี่ที่ไม่ต้องการได้อย่างมีประสิทธิภาพ

## เอกสารอ้างอิง

[1] Thirumalaivasan K and Nakkeeran R, "UWB Bandpass Filter with Notched Band for the Rejection of 5 GHz WLAN using Hexagonal Multiple Mode Resonator", Communication Control and Computing Technologies (ICCCCT), 2010.

[2] Fathi Nasri and et.al. "Analysis and Design of Dual Band-Notched Interdigital Hairpin UWB Bandpass Filter", Mediterranean Microwave Symposium (MMS), 2011.

[3] Jiwen Zhu and Zhenghe Feng, "Microstrip Interdigital Hairpin Resonator with an Optimal Physical Length", IEEE Microwave and Wireless Components Letters, 2006.

[4] Adel B. Abdel-Rahman, Adel Z. EI Dein, Hesham F.A. Hamed and Ahmed A. Ibrahim, "Small Third Order Coupled Resonator Band-Pass Filter using Capacitor Loaded Slots", Antennas and propagation (MECAP), 2010.

[5] Kai Chang, Inder Bahi, and Vijaynair, "RF and Microwave Circuit and Component Design for Wireless Systems", Wiley Series in Microwave and Optical Engineering, Kai Chang, Series Editor.

นายสุปัญญา สิงห์กรณ์ ค.อ.บ. สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ปัจจุบันทำงานตำแหน่งอาจารย์ สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร งานวิจัยที่สนใจ ได้แก่ การออกแบบวงจรความถี่สูง

# การออกแบบวงจรกรองผ่านแถบความถี่ในท่อนำคลื่นโดยใช้การต่อเรียงวงจรช่องแคบแบบหลายตัว สำหรับการศึกษาด้านวิศวกรรมไมโครเวฟ

# Design of Waveguide Band-pass Filter using Cascaded Irises For Microwave Engineering Education

**พิชิต อ้วนไตร[1] ณัฐพงษ์ อินทรวิเศษ[2] วารินี วีระสินธุ์[2] และสมศักดิ์ อรรคทิมากูล[2]**
[1]สาขาวิชาเทคโนโลยีไฟฟ้าอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี
321 ถนนนารายณ์มหาราช อำเภอเมือง จังหวัดลพบุรี E-mail: bnnapo@gmail.com
[2]ภาควิชาครุศาสตร์ไฟฟ้า คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
1518 ถนนพิบูลสงคราม เขตบางซื่อ กรุงเทพ E-mail: nattakwan@gmail.com , warinee_w@hotmail.com และ ssa@kmutnb.ac.th

## บทคัดย่อ

บทความวิจัยนี้เป็นการนำเสนอการออกแบบวงจรกรองผ่านแถบความถี่ในท่อนำคลื่นโดยใช้การต่อเรียงวงจรช่องแคบหลายตัวสำหรับการศึกษาด้านวิศวกรรมไมโครเวฟ ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาค่าตัวแปรที่ใช้ในวงจรกรองผ่านแถบความถี่ โดยออกแบบโปรแกรมจำลอง CST Microwave Studio® จากนั้นทำการสร้างวงจรจริงและทดสอบการทำงานด้วยเครื่องวิเคราะห์โครงข่ายทางไฟฟ้าซึ่งผลที่ได้พบว่าวงจรแบ่งกำลังงานมีประสิทธิภาพของการทำงานที่การตอบสนองทางความถี่ 4 GHz ที่สอดคล้องกับโปรแกรมการจำลองเชิงพานิชย์ สุดท้ายทำการพัฒนาเป็นสื่อการสอนสำหรับการศึกษาด้านวิศวกรรม และประเมินคุณภาพของสื่อการสอนที่พัฒนาขึ้นโดยผู้เชี่ยวชาญที่สอนในรายวิชาวิศวกรรมไมโครเวฟหรือที่เกี่ยวข้อง จำนวน 8 ท่าน ผลการประเมินพบว่ามีความเหมาะสมอยู่ในระดับมาก ดังนั้นผลของงานวิจัยสามารถนำไปในการใช้เป็นสื่อประกอบการสอนในด้านวิศวกรรมไมโครเวฟได้อย่างมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ: ท่อนำคลื่น, วงจรกรองผ่านแถบความถี่, การต่อเรียงวงจรช่องแคบหลายตัว

## Abstract

This research paper presents the design of waveguide band-pass filter using cascaded irises for microwave engineering education. First step, we studied and designed the waveguide bandpass filter parameters using the CST Microwave Studio®. Then, waveguide bandpass filter was fabricated and measured by using network analyzer. The test results shown that the frequency response of waveguide bandpass filter was at 4 GHz in consistent with commercial simulation program. Finally, we developed the waveguide bandpass filter to be use as teaching tools for engineering education or related. The teaching tools were assessed by 8 experts, and the appropriation for developed teaching tools was at high level. The research results can be used as a teaching media in the microwave engineering subject with efficiently.

Keywords: Waveguide, Band-Pass filter, Cascaded irises

## 1. บทนำ

เทคโนโลยีการสื่อสารโทรคมนาคมเป็นกลไกที่จำเป็นต่อการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคม ประเทศที่พัฒนาแล้วจะมีระบบการสื่อสารโทรคมนาคมที่ทันสมัย โดยส่วนใหญ่พบว่ามีการใช้งานในย่านความถี่ไมโครเวฟกันอย่างแพร่หลาย เช่น ระบบการสื่อสารดาวเทียม อุปกรณ์ติดตามในระยะทางไกล ระบบอินเทอร์เน็ต ระบบโทรทัศน์ ระบบเรดาร์ เป็นต้น ท่อนำคลื่นจึงถูกเลือกเป็นสายนำสัญญาณชนิดหนึ่งที่นิยมใช้ในการเชื่อมต่อสัญญาณระหว่างภาคขยายกำลังกับเครื่องส่งหรือเครื่องรับ [1] สำหรับการรับ-ส่งข้อมูลในระบบสื่อสารดาวเทียมซึ่งจะต้องคำนึงถึงค่าของสัญญาณรบกวนที่อาจจะเกิดขึ้น จึงจำเป็นที่จะต้องมีการสร้างวงจรกรองความถี่ภายในท่อนำคลื่นเพื่อกรองความถี่ที่ต้องการผ่าน และแยกความถี่ที่ไม่ต้องการออกไปที่จะส่งผลให้มีการใช้งานที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น ที่ผ่านมาได้มีผู้วิจัย [1-3] ทำการพัฒนาวงจรกรองความถี่ในท่อนำคลื่นที่สามารถรองรับกับระบบการสื่อสารดาวเทียม ที่มีเทคโนโลยีขั้นสูง โครงสร้างของวงจรซับซ้อน ส่งผลให้การออกแบบและสร้างวงจรจริงมีความยุ่งยาก และจำเป็นต้องใช้เครื่องมือที่ทันสมัยและมีความละเอียดมากจึงจะสามารถสร้างวงจรใช้งานจริงได้อย่างมีคุณภาพ

การศึกษาด้านวิศวกรรมไมโครเวฟในในปัจจุบันส่วนใหญ่จะใช้รูปแบบการสอนที่เน้นผู้สอนเป็นสำคัญ โดยจากการสำรวจของงานวิจัย [4-6] พบว่ากิจกรรมในห้องเรียนผู้สอนจะจัดรูปแบบกิจกรรมการเรียนการสอนที่ขึ้นอยู่กับผู้สอนเป็นส่วนใหญ่โดยใช้วิธีการบรรยาย การใช้การ

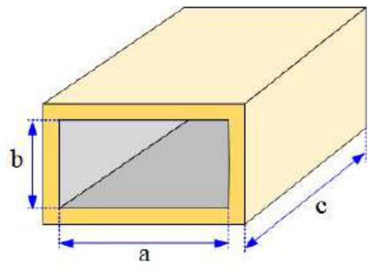
ถามตอบกับผู้เรียนเป็นครั้งคราว และไม่มีรูปแบบการสอนที่ชัดเจน ส่วนสื่อการสอนที่ใช้ส่วนใหญ่เป็นกระดานดำ ดังนั้นผู้เรียนจึงมีความต้องการให้มีสื่อการสอนที่สามารถอธิบายถึงปรากฏการณ์การทำงานและส่งเสริมให้ผู้เรียนมีการจินตนาการและสร้างความคิดสร้างสรรค์ให้เพิ่มมากขึ้น นอกจากนั้นสื่อการสอนสามารถใช้พิสูจน์และตรวจสอบความรู้ ความเข้าใจทางทฤษฎีที่ใช้งานง่ายและส่งเสริมให้เกิดการเรียนรู้ที่รวดเร็วขึ้น

ดังนั้นบทความนี้จึงนำเสนอการออกแบบวงจรกรองความถี่แถบผ่านในท่อนำคลื่นแบบสี่เหลี่ยมโดยใช้การต่อเรียงวงจรช่องแคบหลายตัวภายในท่อนำคลื่นที่ตอบสนองในย่านความถี่ 4.0 GHz. ที่สามารถออกแบบและสร้างง่ายโดยใช้ทฤษฎีพื้นฐานในการออกแบบ ลักษณะของโครงสร้างไม่ซับซ้อน จากนั้นทำการสร้างชิ้นงานจริง และทดสอบการทำงานโดยใช้เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายไฟฟ้าซึ่งผลงานวิจัยที่ได้สามารถใช้เป็นสื่อประกอบการสอนทางด้านวิศวกรรมไมโครเวฟ และนำไปประยุกต์ใช้งานในระบบการสื่อสารดาวเทียมได้อย่างมีประสิทธิภาพ

## 2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 ท่อนำคลื่นสี่เหลี่ยม [7]

ท่อนำคลื่นเป็นสายส่งสัญญาณชนิดหนึ่งที่ใช้ในการส่งคลื่นไมโครเวฟ โดยทั่วไปจะมีลักษณะเป็นท่อกลม หรือท่อสี่เหลี่ยม แล้วแต่ความสะดวกในการใช้งาน ส่วนใหญ่จะทำมาจากทองแดงหรืออะลูมิเนียม ด้านในฉาบด้วยเงินเพื่อให้เป็นตัวนำที่ดี เนื่องจากคลื่นไมโครเวฟมีความถี่สูงมากจะเดินทางได้ดีที่บริเวณผิวของตัวนำถ้าหากใช้สายนำสัญญาณทั่วไปจะทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานได้ สำหรับความถี่ต่ำสุดที่สามารถเดินทางผ่านไปในท่อนำคลื่นเรียกว่า ความถี่คัตออฟ ดังนั้นจึงต้องใช้ความถี่ที่สูงกว่าความถี่คัตออฟ ที่จะสามารถเดินทางไปบนท่อนำคลื่นได้โดยที่ลักษณะของท่อนำคลื่นสี่เหลี่ยมสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 1 สำหรับโหมดการทำงานของท่อนำคลื่นสี่เหลี่ยมหาได้จากสมการความถี่คัตออฟซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้




**รูปที่ 1** ท่อนำคลื่นสี่เหลี่ยม

$$f_{c_{mn}} = \frac{c}{2\pi}\sqrt{\left(\frac{m\pi}{a}\right)^2 + \left(\frac{n\pi}{b}\right)^2} \qquad (1)$$

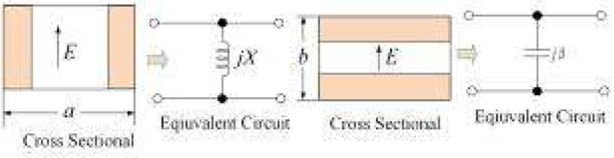
โดยที่ $f_{c_{mn}}$ คือ ความถี่คัตออฟของท่อนำคลื่น

$a$ คือ ความกว้างของท่อนำคลื่น

$b$ คือ ความสูงของท่อนำคลื่น

### 2.2 วงจรช่องแคบ [8]

วงจรช่องแคบหรือไอริส (Iris) มีลักษณะเป็นการนำแผ่นโลหะบางๆ ขนาดความหนาน้อยกว่าค่าความยาวคลื่นที่ใช้งานมากๆ มีสภาพความเป็นตัวนำไฟฟ้าที่ต่ำโดยวางที่ผนังด้านในของท่อนำคลื่นในลักษณะขนานกับสนามไฟฟ้า ทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าไหลผ่านและเหนี่ยวนำให้เกิดสนามแม่เหล็ก โดยวงจรสมมูลทางไฟฟ้าของวงจรช่องแคบแบบตัวเหนี่ยวนำ (Inductive Iris) เปรียบเทียบได้เป็นวงจรตัวเหนี่ยวนำต่อแบบขนานแสดงดังรูปที่ 2 (ก) วงจรสมมูลทางไฟฟ้าของวงจรช่องแคบแบบตัวเก็บประจุ (Capacitive Iris) เปรียบเทียบได้เป็นวงจรตัวเก็บประจุต่อแบบขนานแสดงดังรูปที่ 2 (ข)




(ก) ตัวเหนี่ยวนำ (ข) ตัวเก็บประจุ

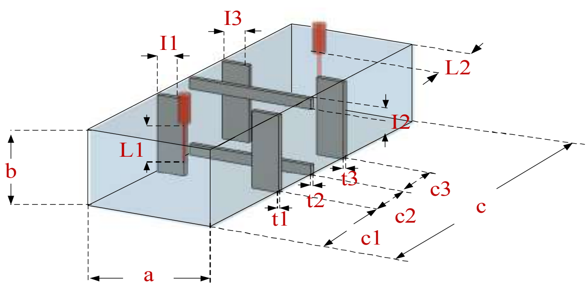
**รูปที่ 2** วงจรช่องแคบและวงจรเทียบเคียง

## 3. การออกแบบวงจรกรองความถี่แถบผ่าน

การออกแบบวงจรกรองผ่านแถบความถี่ภายในท่อนำคลื่นในบทความนี้ ในอันดับแรกได้ทำการออกแบบวงจรท่อนำคลื่นให้ทำงานในโหมด TE10 โดยกำหนดขนาดความกว้างของท่อนำคลื่นให้มีขนาดความกว้าง (a) เท่ากับ 48 mm ความสูง (b) เท่ากับ 32 mm ความยาว (c) เท่ากับ 138.7 mm โดยป้อนสัญญาณด้วยสายอากาศโมโนโพล (L1) ที่มีความยาวเท่ากับ 17 mm ณ ความถี่กลางเท่ากับ 4.5 GHz ตำแหน่งในการวางสายอากาศ (L2) จะวางอยู่ห่างจากฝาปิดของท่อนำคลื่นประมาณ 23.133 mm ระยะห่างจากปากท่อนำคลื่นถึงช่องแคบตัวที่ 1 (c1) ช่องแคบตัวที่ 3 เท่ากับ 46.3 mm ระยะห่างจากช่องแคบตัวที่ 1 ถึงช่องแคบตัวที่ 2 (c2) เท่ากับ 20.08 mm ขนาดความหนาของช่องแคบตัวที่ 1 ถึงช่องแคบตัวที่ 3 (t1,t2,t3) เท่ากับ 2 mm

จากการทดลองปรับค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องต่างๆ ของวงจรกรองผ่านแถบความถี่ในท่อนำคลื่นโดยใช้การต่อเรียงวงจรช่องแคบหลายตัวด้วยโปรแกรมจำลอง เพื่อให้วงจรที่ได้ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ และทำให้ได้ค่าตัวเลขขนาดต่างๆ ที่เหมาะสมในการดำเนินการ จากนั้นทำการจำลองการทำงานอีกครั้งโดยใช้ค่าตัวเลขที่ได้เบื้องต้น และทำการ

ปรับค่าโดยละเอียดอีกครั้งเพื่อให้วงจรทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุด โดยโครงสร้างทั้งหมดดังแสดงในรูปที่ 3




**รูปที่ 3** โครงสร้างท่อนำคลื่นที่ออกแบบ ที่มีขนาด a =48 mm, b=32mm, c=138.4mm, c1=46.3mm, c2,c3=20.08mm, t1,t3,t3=2mm, L1=16.7mm, L2=23.1mm, I1,I3=10.56mm, และ I2=4.48mm

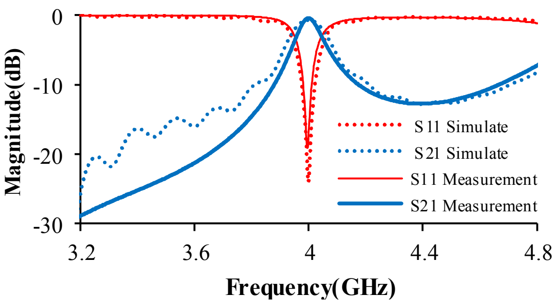
## 4. ผลการวิจัย

### 4.1 ผลการวิเคราะห์วงจรกรองความถี่

จากผลจำลองการออกแบบวงจรกรองผ่านแถบความถี่ในท่อนำคลื่นโดยใช้การต่อเรียงวงจรช่องแคบหลายตัววางอยู่ในท่อนำคลื่นสี่เหลี่ยม ได้นำค่าที่ได้ออกแบบไปทำการสร้างเป็นชิ้นงานจริงที่มีโครงสร้างเป็นแท่งอลูมิเนียมกัดและเซาะร่องด้วยเครื่อง CNC ให้เป็นวงจรช่องแคบจำนวน 3 ตัววางอยู่ในกล่องสี่เหลี่ยม ดังรูปที่ 4 แล้วจึงนำไปวัดและทดสอบด้วยเครื่องวิเคราะห์โครงข่ายทางไฟฟ้ายี่ห้อ Agilent รุ่น E5071C ดังรูปที่ 5 และได้ผลการทดสอบและวัดผลการทำงานดังแสดงในรูปที่ 6

**รูปที่ 4** วงจรต้นแบบ

**รูปที่ 5** การวัดและทดสอบการทำงาน




**รูปที่ 6** ผลการตอบสนองต่อความถี่วงจรกรองความถี่ภายในท่อนำคลื่น

ผลการวัดวงจรกรองความถี่ในท่อนำคลื่น ด้วยเครื่องวิเคราะห์โครงข่ายทางไฟฟ้ายี่ห้อ Agilent รุ่น E5071C เปรียบเทียบผลกับโปรแกรมจำลอง CST พบว่ามีผลการตอบสนองความถี่ที่ความถี่กลางเท่ากับ 4.0 GHz แบนด์วิดท์มีค่าเท่ากับ 130 MHz และ 100 MHz ตามลำดับ ภายในแถบความถี่ผ่านเกิดความสูญเสียเนื่องจากการใส่แทรกมีค่าเท่ากับ 0.54 dB และ 0.6 dB ตามลำดับ และมีการสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับสูงสุดมีค่าประมาณ 19.5 dB และ 25 dB ตามลำดับ ทั้งนี้ผลการเปรียบเทียบการทำงานของการวัดจากชิ้นงานจริงและการจำลองจะให้ผลที่สอดคล้องกันมีค่าคลาดเคลื่อนไม่เกิน ± 2%

### 4.2 ผลการทดสอบคุณภาพสื่อการสอน

ผลของงานวิจัยที่ได้ถูกนำมาสร้างเป็นสื่อการสอน ในการเรียนการสอนรายวิชาวิศวกรรมไมโครเวฟ ที่ใช้เป็นชุดวงจรกรองความถี่พาสซีพไมโครเวฟ แสดงดังรูปที่ 7 และรูปที่ 8 จากนั้นทำการประเมินคุณภาพของสื่อการสอนที่พัฒนาขึ้น โดยใช้ผู้เชี่ยวชาญที่สอนในรายวิชาวิศวกรรมไมโครเวฟ จำนวน 8 ท่าน ผลการประเมินมีรายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 1

**รูปที่ 7** ชุดสื่อการสอนวงจรกรองความถี่ไมโครเวฟที่พัฒนาขึ้น

**รูปที่ 8** สภาพการเรียนการสอน

**ตารางที่ 1** ผลการประเมินคุณภาพของชุดสื่อการสอนที่พัฒนาขึ้น

| ข้อคำถาม | $\overline{X}$ | *S.D.* | แปลผล |
|---|---|---|---|
| 1. สอดคล้องกับเนื้อหาและวัตถุประสงค์ของรายวิชา | 4.38 | 0.52 | มาก |
| 2. มีความเหมาะสมกับระดับผู้เรียน | 4.25 | 0.46 | มาก |
| 3. มีปริมาณที่เหมาะสมต่อการสอน | 3.63 | 0.52 | มาก |
| 4. มีโครงสร้างการออกแบบที่ถูกต้อง | 4.13 | 0.64 | มาก |
| 5. มีคุณภาพที่ใช้ในการสอนได้ | 4.50 | 0.53 | มาก |
| 6. ง่ายและสะดวกต่อการใช้งาน | 4.50 | 0.53 | มาก |
| 7. ดูแลและเก็บรักษาได้อย่างสะดวก | 4.75 | 0.46 | มากที่สุด |
| 8. กระตุ้นความสนใจของผู้เรียน | 3.63 | 0.52 | มาก |
| 9. ส่งเสริมให้เข้าใจเนื้อหาได้ดีขึ้น | 3.75 | 0.46 | มาก |
| 10. ใช้เป็นสื่อประกอบการสอนด้านวิศวกรรมได้อย่างเหมาะสม | 4.13 | 0.64 | มาก |
| รวม | 4.16 | | มาก |

จากแบบสอบถามความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญที่มีต่อชุดสื่อการสอนที่พัฒนาขึ้นพบว่า ชุดสื่อการสอนนี้สามารถดูแลและเก็บรักษาได้อย่างสะดวกมีค่าความเหมาะสมอยู่ในระดับมากที่สุด มีความเหมาะสมมากที่สามารถนำไปใช้ในการเรียนการสอนได้ง่ายและสะดวกต่อการใช้งาน แต่เครื่องมือที่สร้างขึ้นอาจมีปริมาณที่ไม่เหมาะสมต่อการเรียนการสอนมากนัก อย่างไรก็ตามสื่อการสอนดังกล่าวสามารถกระตุ้นความสนใจของผู้เรียน และส่งเสริมให้ผู้เรียนสามารถทำความเข้าใจเนื้อหาที่ซับซ้อนได้เป็นอย่างดี

## 5. สรุปผล

บทความวิจัยครั้งนี้ได้นำเสนอการออกแบบวงจรกรองผ่านแถบความถี่ในท่อนำคลื่นโดยใช้การต่อเรียงวงจรช่องแคบหลายตัวสำหรับการศึกษาด้านวิศวกรรมไมโครเวฟ ซึ่งได้ออกแบบด้วยโปรแกรมเชิงพาณิชย์ และทดสอบด้วยเครื่องมือวิเคราะห์โครงข่ายไฟฟ้าที่ให้ผลที่สอดคล้องกับการออกแบบแต่ยังต้องกำหนดโหมดในการจำลองการทำงานให้มีความเหมาะสม สอดคล้องกับลักษณะการใช้งาน กำหนดค่าใช้งานในการจำลองให้มีความละเอียด มีความแม่นยำมากยิ่งขึ้นและผลจากการประเมินคุณภาพของสื่อการสอนจากผู้เชี่ยวชาญ ผลการประเมินพบว่าอยู่ในระดับที่เหมาะสมมาก ที่สามารถนำไปใช้ในการประกอบการเรียนการสอนด้านวิศวกรรมไมโครเวฟและวิชาอื่นๆที่เกี่ยวข้องได้เป็นอย่างดี

## เอกสารอ้างอิง

[1] Shengxian Li, Junmei Fu and Xuda Wu, “Analysis of High-Power Rectangular Waveguide Filter with Capacitive Coupling Iris for Satellite,” in Power and Energy Engineering Conference, APPEEC Asia-Pacific , 2009, pp. 1-4.

[2] Subramanyam, A.V.G.; Sivareddy, D.; Srinivasan, V.V.; Hariharan, V.K., “Realization and Qualification of Waveguide iris Filters for Space Applications,” Microwave and RF Conference (IMaRC), 2014 IEEE International , vol., no., pp.334,337, 15-17 Dec. 2014.

[3] Soon-mi Hwang; Bierng-Chearl Ahn, “New Design Method for a Dual band Waveguide Iris Polarizer,” Microwave, Antenna, Propagation and EMC Technologies for Wireless Communications, 2007 International Symposium on , vol., no., pp.435,438, 16-17 Aug. 2007.

[4] วีรวุฒิ ขันรัตน์ , และคณะ, “การศึกษาสภาพการเรียนการสอนด้านวิศวกรรมโทรคมนาคมหลักสูตรระดับปริญญาตรีของมหาวิทยาลัยในประเทศไทย.” การประชุมวิชาการครุศาสตร์อุตสาหกรรมระดับชาติครั้งที่ 6, 2556.

[5] อนุรักษ์ เมฆพะโยม และคณะ, “สภาพการเรียนการสอนด้านวิศวกรรมโทรคมนาคม กรณีศึกษาเรื่องระบบการสื่อสารดิจิตอล หลักสูตรระดับปริญญาตรี,” การประชุมวิชาการครุศาสตร์อุตสาหกรรมระดับชาติ ครั้งที่ 4, 2554.

[6] เอกพันธ์ พาเจริญ และคณะ,“การศึกษาสภาพการเรียนการสอนทางด้านวิศวกรรมโทรคมนาคม เรื่องสายอากาศไมโครสตริป หลักสูตรระดับปริญญาตรี,” การประชุมวิชาการครุศาสตร์อุตสาหกรรมระดับชาติ ครั้งที่ 5, 2555.

[7] David M. Pozar, Microwave Engineering. John Wiley & Son, New York, 1998.

[8] N. Marcuvitz, Waveguide Handbook. Short RunPress Ltd; London, UK, 1986.

# การสอบเทียบดิจิตอลมัลติมิเตอร์ 6 ½ หลัก ด้วยวิธีการวัดแทนที่ โดยใช้ดิจิตอลมัลติมิเตอร์ 8 ½ หลัก เปรียบเทียบกับวิธีการวัดโดยตรง

# Calibration of a 6 ½ Digit Digital Multimeter by Substitution Measurement Method using an 8 ½ Digit Digital Multimeter compared with Direct Measurement Method

**จุฑารัตน์ ทานะรมณ์ , กองศักดิ์ ทองบุญ และ อดิเทพ จ่างอ่อน**
ห้องปฏิบัติการเครื่องมือวัดทางไฟฟ้าชนิดหลายฟังก์ชัน ฝ่ายมาตรวิทยาไฟฟ้า สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ
3/4-5 หมู่ 3 ตำบลคลองห้า อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 12120 โทรศัพท์ 02-577-5100 ต่อ 1220
E-mail: jutarat@nimt.or.th, kongsak@nimt.or.th และ adithep@nimt.or.th

## บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการสอบเทียบดิจิตอลมัลติมิเตอร์ 6 ½ หลัก ด้วยวิธีการวัดแทนที่โดยใช้ดิจิตอลมัลติมิเตอร์ 8 ½ หลัก เป็นเครื่องมือมาตรฐาน โดยนำผลที่ได้จากการสอบเทียบจุดสอบเทียบจากย่านการวัดที่มีค่าความแม่นสูงของดิจิตอลมัลติมิเตอร์ 6 ½ หลักด้วยวิธีนี้เปรียบเทียบกับผลการสอบเทียบด้วยวิธีการวัดโดยตรง พบว่า มีค่าความคลาดเคลื่อนฟังก์ชันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงและความต้านทาน ซึ่งเป็นฟังก์ชันและย่านการวัดที่มีความแม่นสูง มีค่าไม่เกิน 1 ไมโครโวลท์/โวลท์ และ 8 ไมโครโอห์ม/โอห์ม ตามลำดับ อีกทั้งทิศทางความคลาดเคลื่อนยังเป็นไปในทิศทางเดียวกันทุกฟังก์ชัน ยืนยันได้ว่าสามารถใช้ดิจิตอลมัลติมิเตอร์ 8 ½ หลัก เป็นเครื่องมือมาตรฐาน สำหรับสอบเทียบดิจิตอลมัลติมิเตอร์ 6 ½ หลัก ด้วยวิธีการวัดแทนที่ได้

คำสำคัญ: ดิจิตอลมัลติมิเตอร์, การสอบเทียบ, วิธีการวัดโดยตรง, วิธีการวัดแทนที่, ตัวมาตรฐาน

## Abstract

This article describe the calibration of the 6 ½ digit digital multimeter by means of the substitution measurement method using the 8 ½ digit digital multimeter as the measurement standard to be compared with the direct measurement method as a function of dc voltage and resistance. It was found that the best accuracy of the 6 ½ digit multimeter were less than 1 μV/V and 8 μΩ/Ω for its measurement errors, respectively. Also, the directions of the measurement error from the measurement point are in the same direction. Thus, it was proved that the substitution measurement by the 8 ½ digit digital multimeter as the measurement standard can be used for the calibration of the 6 ½ digit digital multimeter.

Keywords: digital multimeter, calibration, direct measurement method, substitution measurement method, standard

## 1. บทนำ

ในปัจจุบันเครื่องมือวัดทางไฟฟ้ามีมากมาย สามารถแบ่งได้หลายประเภทของเครื่องมือไม่ว่าจะทำหน้าที่เป็นแหล่งจ่ายหรือเป็นตัวแสดงผลตามปริมาณทางไฟฟ้านั้นๆ ซึ่งหนึ่งในเครื่องมือวัดทางไฟฟ้านั้น คือ ดิจิตอลมัลติมิเตอร์ (digital multimeter) เป็นเครื่องมือวัดที่สามารถวัดปริมาณทางไฟฟ้าที่ต้องการทราบค่าได้ โดยแสดงเป็นตัวเลขบนจอแสดงผลสัมพันธ์กับหน่วยและย่านการวัดนั้นๆ รวมทั้งค่าความแม่น (accuracy) ของแต่ละดิจิตอลมัลติมิเตอร์ด้วย สิ่งที่เป็นการยืนยันว่าเครื่องมือวัดๆ นั้นมีค่าความถูกต้องที่เชื่อถือได้และเป็นไปตามค่าความแม่นของเครื่องมือภายในข้อกำหนดจำเพาะของเครื่องมือ (specification) นั้นได้ เรียกว่า การสอบเทียบ (calibration) ซึ่งเป็นการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการชี้บอกโดยเครื่องมือวัดกับค่าสมนัยที่รู้ค่าของปริมาณที่วัดภายใต้ภาวะเฉพาะที่บ่งไว้ [1] จะมีวิธีการสอบเทียบที่เหมาะสมกับเครื่องมือและค่าความแม่นของเครื่องมือนั้นๆ ผลจากการสอบเทียบจะให้ข้อมูลว่าเครื่องมือวัดที่ใช้ยังคงมีคุณลักษณะทางด้านมาตรวิทยาที่เหมาะสมในการใช้งานต่อไปหรือไม่

วิธีการสอบเทียบดิจิตอลมัลติมิเตอร์ ตามแนวทางการสอบเทียบดิจิตอลมัลติมิเตอร์นั้น แหล่งจ่ายมาตรฐานที่นำมาใช้สำหรับสอบเทียบนั้นควรมีค่าความแม่นดีกว่าดิจิตอลมัลติมิเตอร์ด้วยวิธีการสอบเทียบวิธีการวัดโดยตรง (direct measurement method) เป็นอย่างน้อย 4:1 [2] แต่ถ้าไม่มีแหล่งจ่ายมาตรฐานที่มีความแม่นดีกว่าได้ อาจจะต้องเปลี่ยนวิธีการสอบเทียบ หรือ หาตัวมาตรฐานอื่นๆเพิ่มเติมเพื่อให้มีความสามารถเพียงพอที่จะสอบเทียบเครื่องมือได้ ซึ่งวิธีการสอบเทียบมีได้หลายวิธี เช่น วิธีการวัดโดยอ้อม (indirect measurement method)

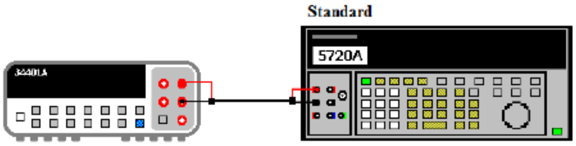
วิธีการวัดความแตกต่าง (differential measurement method) หรือ วิธีการวัดแทนที่ (substitution measurement method) เป็นต้น [3] ซึ่งวิธีการวัดทั้งหมดมีกระบวนวิธีและแหล่งที่มาของความไม่แน่นอนที่แตกต่างกัน [4] แต่ค่าความคลาดเคลื่อนของการวัดจะต้องไม่แตกต่างกัน และมีทิศทางความคลาดเคลื่อนเป็นไปในทิศทางเดียวกัน ดังนั้นงานวิจัยนี้ได้เห็นถึงปัญหาของการสอบเทียบดิจิตอลมัลติมิเตอร์ 6 ½ หลัก หากไม่มีแหล่งจ่ายมาตรฐานที่เหมาะสมได้ และได้นำเสนอวิธีการสอบเทียบการวัดแทนที่ โดยใช้ดิจิตอลมัลติมิเตอร์ 8 ½ หลัก มาเป็นเครื่องมือมาตรฐานสำหรับสอบเทียบดิจิตอลมัลติมิเตอร์ 6 ½ หลัก เปรียบเทียบกับวิธีการสอบเทียบวิธีการวัดโดยตรง

## 2. วิธีการสอบเทียบ

งานวิจัยนี้ได้ใช้ดิจิตอลมัลติมิเตอร์ 6 ½ หลัก ยี่ห้อ Agilent model 34401A [5] เครื่องสอบเทียบทางไฟฟ้า (Calibrator) ยี่ห้อ Fluke model 5500A [6] และ model 5720A [7] และทำการคำนวณทดสอบอัตราค่าความแม่นระหว่างเครื่องสอบเทียบทางไฟฟ้ากับดิจิตอลมัลติมิเตอร์ 6 ½ หลัก พบว่า เครื่องสอบเทียบทางไฟฟ้า model 5720A กับดิจิตอลมัลติมิเตอร์ model 34401A มีอัตราส่วนความแม่นมากกว่า 4:1 และกับเครื่องสอบเทียบทางไฟฟ้า model 5500A ได้อัตราส่วนความแม่นเป็น 1:1 จากการทดสอบอัตราส่วนความแม่นนี้สามารถใช้เครื่องสอบเทียบทางไฟฟ้า model 5720A เป็นเครื่องมาตรฐานสอบเทียบดิจิตอลมัลติมิเตอร์ 6 ½ โดยวิธีการวัดโดยตรงได้ ตามแนวทางการสอบเทียบดิจิตอลมัลติมิเตอร์ [2] สำหรับวิธีการวัดแทนที่ ผู้วิจัยเลือกใช้ดิจิตอลมัลติมิเตอร์ 8 ½ หลัก ยี่ห้อ Fluke model 8508A [8] เป็นเครื่องมือมาตรฐานสอบเทียบดิจิตอลมัลติมิเตอร์ 6 ½ หลัก

### 2.1 วิธีการวัดโดยตรง

วิธีการวัดโดยตรง เป็นการวัดเปรียบเทียบปริมาณที่รู้ค่าโดยตรง ในการสอบเทียบโดยใช้วิธีการวัดโดยตรงมีขั้นตอนการวัด โดยจ่ายค่าปริมาณทางไฟฟ้าที่รู้ค่าจาก model 5720A ให้กับดิจิตอลมัลติมิเตอร์ 6 ½ หลัก model 34401A โดยตรง และบันทึกค่าที่อ่านได้จากจอแสดงผลของดิจิตอลมัลติมิเตอร์ 6 ½ หลัก ดังแสดงในรูปที่ 1




รูปที่ 1 การต่อสายวัดโดยวิธีการวัดแทนที่

จากรูปที่ 1 สามารถวิเคราะห์แหล่งที่มาของความไม่แน่นอนพบว่ามีแหล่งที่มาของความไม่แน่นอนที่สำคัญ ได้แก่ ความไม่แน่นอนของ model 5720A, ความไม่แน่นอนจากหลักสุดท้ายของดิจิตอลมัลติมิเตอร์ (resolution), ความสามารถในการวัดซ้ำ (repeatability) และความไม่แน่นอนอื่นๆขึ้นอยู่กับปริมาณที่วัด

### 2.2 วิธีการวัดแทนที่

วิธีการวัดแทนที่ เป็นวิธีการวัดปริมาณที่จะทำการวัดถูกแทนที่ด้วยปริมาณที่ทราบค่าเดียวกัน ในลักษณะที่มีผลกระทบของสองค่าของการวัดในสถานะเดียวกัน แสดงความสัมพันธ์ได้ดังสมการ 1

$$V_x = \frac{V_s}{V_{s'}} \bullet V_{x'} \qquad (1)$$

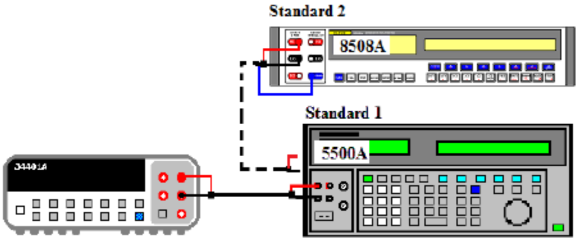
โดยที่ $V_x$ = ค่าปริมาณที่ต้องการวัด

$V_{x'}$ = ค่าที่อ่านได้จากดิจิตอลมัลติมิเตอร์ 6 ½ หลัก (34401A)

$V_s$ = ค่าสอบเทียบจากใบรายงายผลของ 8508A

$V_{s'}$ = ค่าที่อ่านได้จาก 8508A

ในการสอบเทียบโดยใช้วิธีการวัดแทนที่ มีขั้นตอนการวัดโดยจ่ายค่าปริมาณทางไฟฟ้าจาก model 5500A ให้กับดิจิตอลมัลติมิเตอร์ 6 ½ หลัก model 34401A และบันทึกค่าที่อ่านได้จากดิจิตอลมัลติมิเตอร์ 6 ½ หลัก ($V_{x'}$) จากนั้นจ่ายค่าปริมาณทางไฟฟ้าจาก model 5500A ไปยังดิจิตอลมัลติมิเตอร์ 8 ½ หลัก model 8508A และบันทึกค่าที่อ่านได้จาก model 8508A ($V_{s'}$) ซึ่ง model 8508A เป็นเครื่องมือมาตรฐานที่ได้รับการสอบเทียบแล้วและสามารถรู้ค่าจากใบรายงานผลการสอบเทียบของ model 8508A จะได้ค่า ($V_s$) ดังแสดงในรูปที่ 2 จากนั้นนำค่าที่ได้คำนวณตามสมการ (1)




รูปที่ 2 การต่อสายวัดโดยวิธีการวัดแทนที่

จากรูปที่ 2 สามารถวิเคราะห์แหล่งที่มาของความไม่แน่นอนพบว่ามีแหล่งที่มาของความไม่แน่นอนที่สำคัญ ได้แก่ ความเสถียรภาพ (stability) ในการจ่ายปริมาณทางไฟฟ้าของ 5500A, ความไม่แน่นอนของ

8508A, ความไม่แน่นอนจากหลักสุดท้ายของดิจิตอลมัลติมิเตอร์ทั้ง 6 ½ หลัก และ 8 ½ หลัก, ความสามารถในการวัดซ้ำ และความไม่แน่นอนอื่นๆขึ้นอยู่กับปริมาณที่วัด

## 3 ผลการวัด

### 3.1 ผลของวิธีการวัดโดยตรง

ผลของการสอบเทียบโดยวิธีการวัดโดยตรง แสดงค่าความคลาดเคลื่อน (error) ระหว่างค่าที่อ่านได้จาก model 34401A กับ model 5720A ได้ผลดังแสดงตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลของวิธีการวัดโดยตรง

| Model 5720A | ค่าที่อ่านได้34401A | Error |
|---|---|---|
| 1 V | 1.000 001 V | 1 µV/V |
| 10 V | 10.000 01 V | 1 µV/V |
| 100 V | 99.999 9 V | -1 µV/V |
| 1 V,1 kHz | 0.999 860 V | -140 µV/V |
| 10 V,1 kHz | 9.998 58 V | -142 µV/V |
| 100 V,1 kHz | 99.983 6 V | -164 µV/V |
| 0.9999964 kΩ | 0.999 994 kΩ | -2.4 µΩ/Ω |
| 9.999833 kΩ | 9.999 82 kΩ | -1.3 µΩ/Ω |
| 1 A | 0.999 995 A | -86 µA/A |
| 1A,1 kHz | 0.999 995 A | -5 µA/A |

### 3.2 ผลของวิธีการวัดแทนที่

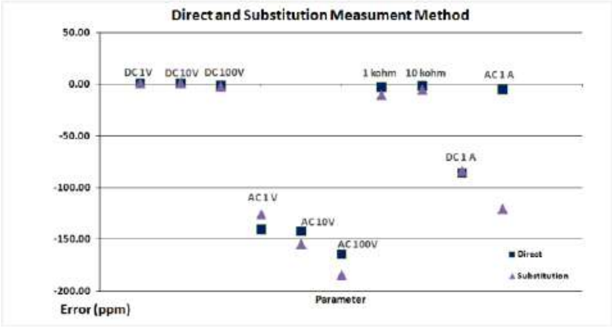
ผลของการสอบเทียบโดยวิธีการวัดแทนที่ แสดงค่าความคลาดเคลื่อนระหว่างค่าที่คำนวณได้จากสมการที่ 1 กับ model 8508A ได้ผลดังแสดงตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลของวิธีการวัดแทนที่

| Model 8508A | ค่าสมการที่ 1 | Error |
|---|---|---|
| 0.999 987 0 V | 0.999 989 V | 2 µV/V |
| 9.999 962 V | 9.999 98 V | 1.8 µV/V |
| 99.999 87 V | 99.999 7 V | -1.7 µV/V |
| 1.000 006 V,1 kHz | 0.999 881 V | -125 µV/V |
| 10.000 18 V,1 kHz | 9.998 64 V | -154 µV/V |
| 100.000 6 V,1 kHz | 99.982 2 V | -184 µV/V |
| 1.000 013 6 kΩ | 1.000 004 kΩ | -9.6 µΩ/Ω |
| 9.999 895 kΩ | 9.999 85 kΩ | -4.5 µΩ/Ω |
| 0.999 994 9 A | 0.999 912 A | -82.9 µA/A |
| 1.000 062 mA,1 kHz | 0.999 942 A | -120 µA/A |

### 3.3 ผลการเปรียบเทียบระหว่างวิธีการวัดโดยตรงและวิธีการวัดแทนที่

ผลการสอบเทียบของวิธีการวัดแทนที่ โดยใช้ดิจิตอลมัลติมิเตอร์ 8 ½ หลัก model 8508A เป็นเครื่องมือมาตรฐาน เปรียบเทียบกับการสอบเทียบด้วยวิธีการวัดโดยตรง สำหรับสอบเทียบดิจิตอลมัลติมิเตอร์ 6 ½ หลัก ดังแสดงกราฟรูปที่ 3




รูปที่ 3 ผลการสอบเทียบของวิธีการวัดแทนที่เทียบกับวิธีการวัดโดยตรง

จากกราฟแสดงผลการสอบเทียบทั้งสองวิธีเปรียบเทียบกัน พบว่ามีค่าความคลาดเคลื่อนมากน้อยแตกต่างกันในแต่ละฟังก์ชัน สำหรับจุดสอบเทียบของฟังก์ชันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง และความต้านทาน เป็นฟังก์ชันและย่านที่มีค่าความแม่นที่สุดของดิจิตอลมัลติมิเตอร์ 6 ½ หลัก [5] ผลสอบเทียบทั้งสองวิธีแตกต่างกันน้อยมาก จากผลการวัดตารางที่ 1 และ 2 ฟังก์ชันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง, ฟังก์ชันแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ, ความต้านทาน, กระแสไฟฟ้ากระแสตรง และกระแสไฟฟ้ากระแสสลับ มีค่าคลาดเคลื่อนจากวิธีการวัดโดยตรงไม่เกิน 1 µV/V, 20 µV/V, 8 µΩ/Ω, 4 µA/A และ 115 µA/A ตามลำดับ แต่มีทิศทางความคลาดเคลื่อนไปในทิศทางเดียวกันทุกฟังก์ชัน

## 4. สรุป

ดิจิตอลมัลติมิเตอร์เป็นเครื่องมือที่มีใช้กันแพร่หลายในด้านงานวิจัยและภาคอุตสาหกรรม ซึ่งมีต้องการความแม่นที่แตกต่างกัน ดังนั้นการสอบเทียบดิจิตอลมัลติมิเตอร์ จึงใช้วิธีการที่ไม่ยุ่งยากมาก เพียงพิจารณาถึงค่าความแม่นของตัวมาตรฐานที่ทำหน้าเป็นแหล่งจ่ายมาตรฐานที่สามารถนำมาใช้สำหรับสอบเทียบได้ดีกว่าอย่างน้อย 4 เท่า จะสามารถสอบเทียบโดยใช้วิธีการวัดโดยตรงได้ ถ้าไม่มีตัวมาตรฐานที่ทำหน้าเป็นแหล่งจ่ายมาตรฐานได้ดีกว่าอย่างน้อย 4 เท่า สามารถที่จะสอบเทียบได้โดยใช้วิธีอื่น หนึ่งในวิธีสอบเทียบที่สามารถนำมาใช้สอบเทียบได้คือ วิธีการวัดแทนที่ ในงานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่า วิธีการวัดโดยตรงกับวิธีการวัดแทนที่ ได้ผลการวัดที่ใกล้เคียงกัน ซึ่งสามารถนำ

วิธีการวัดแทนที่มาสอบเทียบดิจิตอลมัลติมิเตอร์ยืนยันคุณลักษณะทางมาตรวิทยาได้ ค่าความคลาดเคลื่อนที่แตกต่างกัน มีได้หลายสาเหตุ ได้แก่ ความเสถียรภาพของ model 5720A และ model 5500A มีค่าไม่เท่ากัน เมื่อทำการจ่ายค่าปริมาณให้กับดิจิตอลมัลติมิเตอร์ในช่วงระยะเวลาหนึ่งที่เท่ากัน การรักษาความเสถียรภาพของเครื่องมีค่าไม่เท่ากันด้วย มีผลต่อค่าที่อ่านได้ และแหล่งความไม่แน่นอนจากความเสถียรภาพของเครื่องนี้จะปรากฏเมื่อคำนวณหาค่าความไม่แน่นอนของการสอบเทียบ อีกทั้งงานวิจัยนี้ยังสามารถแสดงให้เห็นแนวโน้มความคลาดเคลื่อนในทิศทางเดียวกันทั้ง 2 วิธีได้ ชี้ให้เห็นว่า การสอบเทียบดิจิตอลมัลติมิเตอร์สามารถสอบเทียบได้โดยวิธีการวัดโดยตรงและวิธีการวัดแทนที่ แต่มีแหล่งที่มาของความไม่แน่นอนที่แตกต่างกัน

## 5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณฝ่ายมาตรวิทยาไฟฟ้า สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ ที่ส่งเสริมให้ทำงานวิจัยนี้ และนักมาตรวิทยา ฝ่ายมาตรวิทยาไฟฟ้า สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ ที่คอยให้คำปรึกษาและแนะนำทางด้านเทคนิคที่ใช้ในการวิจัย

## เอกสารอ้างอิง

[1] JCGM member organizations, "JCGM 200:2008 International vocabulary of metrology – Basic and general concepts and associated terms (VIM)", JCGM 2008

[2] EURAMET Cg-15, "Guidelines on the Calibration of Digital Multimeters", Version 3.0, Germany, February 2015

[3] IEC 60050-300, "311: Electrical and electronic measurements – General terms relating to measurements", 311-02: Methods of measurement, 2001

[4] EA-4/02 M:2013, "Expression of the Uncertainty of Measurement in Calibration", rev 02, September 2013

[5] Hewlett-Packard, HP 34401A Multimeter User's Guide, Part Number 34401-9004, the United States, February 1996

[6] Fluke, Multi-Product Calibrator Operator Manual 5500A, Rev. 11,7/06, U.S.A, December 1994

[7] Fluke, Multi-Function Calibrator Service Manual 5700A/5720A Series II, PN 601630 Rev. 1, 3/02, U.S.A, June 1996

[8] Fluke, Digital Reference Multimeter Users Manual 8508A, PN 1673798 Rev. 2, 5/06, UK, July 2002

นางสาวจุฑารัตน์ ทานะรมณ์ จบการศึกษาระดับปริญญาโท คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ปี พ.ศ. 2555 ตำแหน่งปัจจุบันนักมาตรวิทยาปฏิบัติการ ฝ่ายมาตรวิทยาไฟฟ้า สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มีความสนใจทางด้านมาตรวิทยาไฟฟ้าและด้านควอนตัมและสปินทรอนิกส์

นายกองศักดิ์ ทองบุญ จบการศึกษาระดับปริญญาโท คณะวิทยาศาสตร์ สาขามาตรวิทยา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปี พ.ศ. 2553 ตำแหน่งปัจจุบันนักมาตรวิทยาปฏิบัติการ ฝ่ายมาตรวิทยาไฟฟ้า สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มีความสนใจทางด้านมาตรวิทยาไฟฟ้า และอิเล็กทรอนิกส์

นายอดิเทพ จ่างอ่อน จบการศึกษาระดับปริญญาตรี คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม สาขาเทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ปี พ.ศ. 2556 ตำแหน่งปัจจุบันนักมาตรวิทยาปฏิบัติการ ฝ่ายมาตรวิทยาไฟฟ้า สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มีความสนใจทางด้านมาตรวิทยาไฟฟ้า และอิเล็กทรอนิกส์

**บทความวิจัย**

การประชุมวิชาการ งานวิจัยและพัฒนาเชิงประยุกต์ ครั้งที่ 8

*8th ECTI-CARD 2016, Hua Hin, Thailand*

# การศึกษาผลกระทบจากความร้อนของตัวต้านทานวัดกระแส 10, 20 และ 50 แอมแปร์และการนำไปใช้งานของตัวต้านทานวัดกระแสในการสอบเทียบฟังก์ชันกระแสไฟฟ้ากระแสสลับของเครื่องแหล่งจ่ายมาตรฐาน

# Study of Thermal effect of Current Shunt Resistor 10A, 20A and 50A and Usage of Current Shunt Resistors in Alternating Current Function of Calibrator Calibration

**อดิเทพ จ่างอ่อน, จุฑารัตน์ ทานะรมณ์ และ กองศักดิ์ ทองบุญ**

ห้องปฏิบัติการเครื่องมือวัดทางไฟฟ้าชนิดหลายฟังก์ชัน ฝ่ายมาตรวิทยาไฟฟ้า สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ

3/4-5 หมู่ 3 ตำบลคลองห้า อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 12120 โทรศัพท์ 02-577-5100 ต่อ 1220

E-mail: adithep@nimt.or.th, jutarat@nimt.or.th และ kongsak@nimt.or.th

## บทคัดย่อ

บทความนี้กล่าวถึงการศึกษาผลกระทบจากความร้อนของตัวต้านทานวัดกระแส 10, 20 และ 50 แอมแปร์ พบว่า เมื่อวัดกระแสไฟฟ้า 10 แอมแปร์ 1 กิโลเฮิรตซ์ และ 5 กิโลเฮิรตซ์ ผ่านตัวต้านทานวัดกระแส 3 ตัว ขนาด 10 แอมแปร์, 20 แอมแปร์ และ 50 แอมแปร์ โดยจ่ายค่ากระแสไฟฟ้าต่อเนื่อง 15 นาที เกิดความร้อนขึ้นกับตัวต้านทานวัดกระแส ความแตกต่างของอุณหภูมิเท่ากับ 3.9, 1.8 และ 1.2 องศาเซลเซียส ทำให้ค่าความต้านทานเปลี่ยนแปลงลดลง 0.0011, 0.0004 และ 0.0001 โอห์ม ตามลำดับ และค่า ac-dc current transfer difference จากการวัดมีค่าที่ใกล้เคียงกันและมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน แต่ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่ากลางของค่าที่วัดได้ของตัวต้านทานวัดกระแสขนาด 10 แอมแปร์ มีค่าการกระจายของผลการวัดน้อยที่สุด ถึงแม้ว่ามีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิมากที่สุด ซึ่งเป็นปัจจัยหนึ่งในการเลือกใช้งานตัวต้านทานวัดกระแสให้เหมาะกับค่ากระแสไฟฟ้าที่ทำการวัดที่ให้ความถูกต้องมากขึ้น

คำสำคัญ: ตัวต้านทานวัดกระแส, ฟังก์ชันกระแสไฟฟ้ากระแสสลับ, เครื่องแหล่งจ่ายมาตรฐาน, ค่าความต้านทาน, ความร้อน

## Abstract

The study about the Thermal effect due to the heat of 10, 20 and 50 Ampere current shunt resistors is described in this article. According to the study, it was found that when 10 Amperes electrical current at 1 kHz and 5 kHz were measured through all three of the current shunt resistors by which continuous current was applied for 15 minutes; the heat occurred at the current shunt resistor. It was also revealed that for the differences of the temperatures 3.9 °C, 1.8 °C and 1.2 °C; the resistance decreased about 0.0011, 0.0004, and 0.0001 Ω, respectively which then affected the difference of measurement results. Moreover, the ac-dc current transfer differences from the measurements were close and tended to be in the same direction. The standard deviation of the median of the current shunt resistors 10 Ampere had the least distribution measurement results although its temperature changed the most. This is one of the factors that should be considered for selecting the appropriate current shunt resistor for the electrical current so more precise measurement can be achieved.

Keywords: current shunt resistor, alternating current function, calibrator, resistance, heat

## 1. บทนำ

ตัวต้านทานวัดกระแส (current shunt resistor) เป็นตัวต้านทานย่านต่ำมีความเที่ยงสูงและสามารถรับกระแสไฟฟ้าที่ขนาดต่างๆกัน ซึ่งใช้สำหรับวัดหาค่าปริมาณทางไฟฟ้า ได้แก่ กระแสไฟฟ้ากระแสตรง (direct current) และ กระแสไฟฟ้ากระแสสลับ (alternating current) ในทางมาตรวิทยาทางด้านการสอบเทียบเครื่องแหล่งจ่ายมาตรฐาน (calibrator) ฟังก์ชันกระแสไฟฟ้ากระแสตรงและกระแสไฟฟ้ากระแสสลับ ทำวัดค่ากระแสไฟฟ้าต่างๆ ผ่านตัวต้านทานวัดกระแสเช่นกัน เรียกวิธีการสอบเทียบแบบนี้ว่าวิธีการสอบเทียบวิธีการวัดโดยอ้อม (indirect measurement) [1]

การวัดค่ากระแสไฟฟ้าผ่านตัวต้านทานวัดกระแสนั้น พบว่ามีความร้อนเกิดขึ้นไม่ว่าจะเป็นสายวัดหรือตัวต้านทานวัดกระแส หากพิจารณาถึงผลกระทบจากสายวัด พบว่ามีผลกระทบน้อยมาก เพราะสามารถเปลี่ยนสายวัดที่สามารถทนกระแสไฟฟ้าที่ต้องการวัดได้ แต่ความร้อนที่เกิดขึ้นภายในตัวต้านทานวัดกระแสนั้น เมื่อเกิดความร้อนเกิดขึ้นจะทำให้ค่าความต้านทานเปลี่ยนไป [2] ซึ่งอาจจะมีผลต่อค่ากระแสไฟฟ้าที่ทำการวัด และในการสอบเทียบเครื่องแหล่งจ่ายมาตรฐานฟังก์ชันกระแสไฟฟ้า ต้องเลือกใช้ตัวต้านทานวัดกระแสที่เหมาะสมกับ

ปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ทำการวัดด้วย เพื่อลดค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นจากตัวต้านทานวัดกระแส หากกล่าวถึงการเลือกใช้ตัวต้านทานวัดกระแสในปัจจุบันมีการแบ่งประเภทของตัวต้านทานวัดกระแสเป็น 2 ประเภท ได้แก่ ตัวต้านทานวัดกระแสสำหรับกระแสไฟฟ้ากระแสตรง และตัวต้านทานวัดกระแสสำหรับกระแสไฟฟ้ากระแสสลับ ซึ่งในปัจจุบันตัวต้านทานวัดกระแสสำหรับกระแสไฟฟ้ากระแสตรงสามารถทราบผลของความร้อนภายในได้จากข้อกำหนดจำเพาะ (specification) ของตัวต้านทานได้ แต่แตกต่างกับตัวต้านทานวัดกระแสสำหรับกระแสไฟฟ้ากระแสสลับที่มีการออกแบบตัวต้านทานที่แตกต่างออกไป และข้อกำหนดจำเพาะของตัวต้านทานจะบอกถึงค่าความแตกต่างระหว่างกระแสไฟฟ้ากระแสตรงและกระแสสลับ (ac-dc different) สัมพันธ์กับปริมาณค่ากระแสไฟฟ้าและค่าความถี่ รวมถึงขีดจำกัดของปริมาณกระแส [3]

ดังนั้นงานวิจัยนี้แสดงให้เห็นถึงผลกระทบจากความร้อนของตัวต้านทานวัดกระแสสำหรับกระแสไฟฟ้ากระแสสลับในการสอบเทียบฟังก์ชันกระแสไฟฟ้ากระแสสลับของเครื่องแหล่งจ่ายมาตรฐาน และการเลือกใช้ตัวต้านทานวัดกระแสสำหรับกระแสไฟฟ้ากระแสสลับที่เหมาะสม เพื่อเพิ่มความถูกต้องของค่ากระแสไฟฟ้าที่วัดได้

## 2. วิธีการทดลอง

งานวิจัยนี้ได้ใช้เครื่องมือในการทดลองได้แก่ เครื่องแหล่งจ่ายมาตรฐาน รุ่น 5520A [4], ตัวต้านทานวัดกระแสสำหรับกระแสไฟฟ้ากระแสสลับขนาด 10 แอมแปร์, 20 แอมแปร์ และ 50 แอมแปร์ [3], ดิจิตอลมัลติมิเตอร์ 8 ½ หลัก รุ่น 3458A [5], เครื่องวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับมาตรฐาน รุ่น 5790A [6] และเครื่องวัด อุหณภูมิ รุ่น WD-35626-00 และห้องปฏิบัติการที่ใช้ทดลองควบคุมอุณหภูมิที่ 23 ± 2 องศาเซลเซียส (C°) โดยใช้วิธีการวัดโดยอ้อมในการวัดค่ากระแสไฟฟ้า โดยค่ากระแสไฟฟ้ากระแสตรงหาได้จากการจ่ายกระแสไฟฟ้ากระแสตรงผ่านตัวต้านทาน และวัดแรงดันไฟฟ้าตกคล่อมตัวต้านทานโดยใช้ดิจิตอลมัลติมิเตอร์ 8 ½ หลัก และคำนวณค่ากระแสไฟฟ้ากระแสตรงตามสมการ 1

$$I = \frac{E}{R} \qquad (1)$$

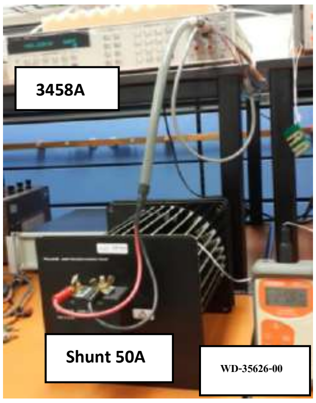
เมื่อ $I$ = ค่ากระแสตรงที่ได้จากการคำนวณ
$E$ = ค่าแรงดันไฟฟ้าที่อ่านค่าได้จากดิจิตอลมัลติมิเตอร์
$R$ = ค่าความต้านทานจากใบรับรองผลสอบเทียบ

และค่ากระแสไฟฟ้ากระแสสลับหาได้จากการวัดค่า ac-dc current transfer difference และนำมาคำนวณตามสมการ 2

$$I_X = I_{DC} \bullet (1 + (\delta_m + \delta_s)) \qquad (2)$$

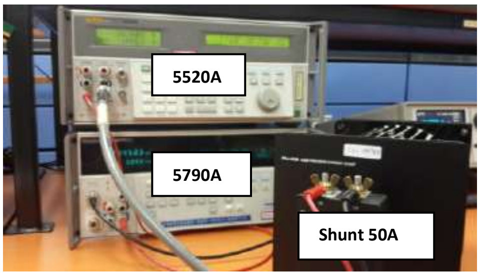
เมื่อ $I_X$ = กระแสสลับที่ได้จากการคำนวณ
$I_{DC}$ = ค่ากระแสตรงที่ได้จากการวัดตามสมการที่ 1
$\delta_m$ = ค่า ac-dc current transfer difference จากการวัด
$\delta_s$ = ค่า ac-dc current transfer difference จากใบรับรองผลสอบเทียบ

มีขั้นตอนการทดลองดังนี้ ขั้นตอนแรก วัดค่าความต้านทานและอุณหภูมิของตัวต้านทานวัดกระแสก่อนจ่ายค่ากระแสไฟฟ้ากระแสสลับจากเครื่องแหล่งจ่ายมาตรฐาน รุ่น 5520A ด้วยดิจิตอลมัลติมิเตอร์ 8 ½ หลัก รุ่น 3458A และวัดอุณหภูมิด้วยเครื่องวัดอุณหภูมิ แล้วบันทึกค่าความต้านทานและอุณหภูมิ ในงานวิจัยนี้วัดค่าความต้านทานและอุณหภูมิของตัวต้านทานวัดกระแสสำหรับกระแสไฟฟ้ากระแสสลับขนาด 20 แอมแปร์ และ 50 แอมแปร์ ดังแสดงรูปที่ 1




รูปที่ 1 การวัดค่าความต้านทานและอุณหภูมิ

ขั้นตอนที่สอง วัดหาค่ากระแสไฟฟ้ากระแสสลับ 20 แอมแปร์ ความถี่ 1 กิโลเฮิตท์ โดยจ่ายค่าค่ากระแสไฟฟ้าต่อเนื่องนาน 15 นาที เริ่มตั้งแต่ค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเพื่อนำมาแทนค่าในสมการที่ 2 หาค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ ซึ่งเป็นเวลาใกล้เคียงกับเวลาสูงสุดของเครื่อง 5520A ที่สามารถจ่ายได้ [4] งานวิจัยนี้ได้จับเวลาเก็บวัดค่ากระแสไฟฟ้ากระแสสลับที่ได้นาทีที่ 10, 13 และ 15 ตามลำดับ ผ่านตัวต้านทานวัดกระแสสำหรับกระแสไฟฟ้ากระแสสลับขนาด 50 แอมแปร์ ผ่านเครื่องวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับมาตรฐาน รุ่น 5790A เพื่อวัดค่า ac-dc current transfer difference แล้วนำมาคำนวณตามสมการ 2 จากนั้นวัดค่าความต้านทานและอุณหภูมิของตัวต้านทานวัดกระแสหลังจ่ายค่ากระแสไฟฟ้ากระแสสลับด้วย แล้วบันทึกค่าความต้านทานและอุณหภูมิ แสดงรูปที่ 2




รูปที่ 2 การวัดหาค่ากระแสไฟฟ้ากระแสสลับ

ทำตามขั้นตอนที่ 2 ซ้ำ โดยเปลี่ยนตัวต้านทานวัดกระแสสำหรับกระแสไฟฟ้ากระแสสลับขนาด 20 แอมแปร์ และวัดหาค่ากระแสไฟฟ้ากระแสสลับ 10 แอมแปร์ ความถี่ 1 กิโลเฮิตซ์ และ 5 กิโลเฮิตซ์ ผ่านตัวต้านทานวัดกระแสขนาด 10 แอมแปร์, 20 แอมแปร์ และ 50 แอมแปร์ รวมถึงวัดอุณหภูมิของตัวต้านทานวัดกระแสก่อนและหลังจ่ายค่ากระแสไฟฟ้าด้วย

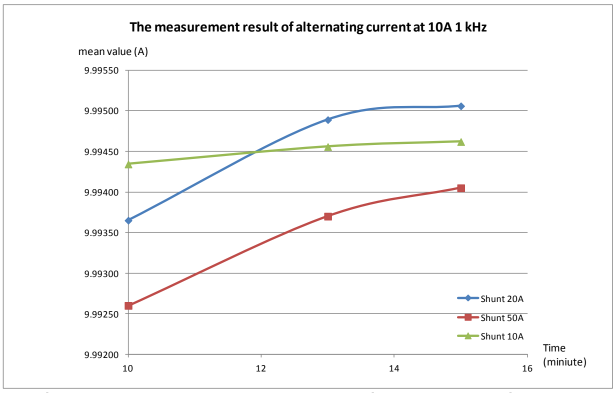
## 3 ผลการทดลอง

ผลการวัดค่าความต้านทานและอุณหภูมิของตัวต้านทานวัดกระแสขนาด 10, 20 และ 50 แอมแปร์ก่อนและหลังจ่ายค่ากระแสไฟฟ้ากระแสสลับจากเครื่องแหล่งจ่ายมาตรฐาน ดังตารางที่ 1

ตาราง 1 ค่าความต้านทานและอุณหภูมิของตัวต้านทานวัดกระแส

| เวลา / ตัวต้านทาน | 0 นาที | | 15 นาที | |
|---|---|---|---|---|
| | ความต้านทาน (โอห์ม) | อุณหภูมิ ($C^{\circ}$) | ความต้านทาน (โอห์ม) | อุณหภูมิ ($C^{\circ}$) |
| 10 A | 0.0574 | 23.0 | 0.0563 | 26.9 |
| 20 A | 0.0284 | 23.0 | 0.0280 | 24.8 |
| 50 A | 0.0168 | 23.0 | 0.0167 | 24.2 |

จากผลการทดลองค่าความต้านทานของตัวต้านทานวัดกระแส 10 แอมแปร์ มีค่าความต้านทานความลดลง 0.0011 โอห์ม เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น 3.9 องศาเซลเซียส ค่าความต้านทานของตัวต้านทานวัดกระแส 20 แอมแปร์ มีค่าความต้านทานความลดลง 0.0004 โอห์ม เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น 1.8 องศาเซลเซียส และค่าความต้านทานของตัวต้านทานวัดกระแส 50 แอมแปร์ มีความลดลง 0.0001 โอห์ม เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น 0.7 องศาเซลเซียส ค่าความต้านทานของตัวต้านทานวัดกระแสขนาด 10 แอมแปร์ เปลี่ยนแปลงมากที่สุด เมื่อเทียบกับตัวต้านทานขนาด 20 และ 50 แอมแปร์ มีอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงมากกว่าส่งผลให้ค่าความต้านทานเปลี่ยนมากเช่นกัน ผลจากความร้อนจากการจ่ายกระแสไฟฟ้าต่อเนื่อง 15 นาที ซึ่งการออกแบบตัวต้านทานวัดกระแสในปัจจุบันจะออกแบบให้สามารถระบายความร้อนได้เร็ว และเมื่อนำผลการคำนวณค่ากระแสไฟฟ้า 10 แอมแปร์ ความถี่ 1 กิโลเฮิรตซ์ วัดผ่านตัวต้านทานวัดกระแสทั้ง 3 ตัว เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นและค่าความต้านทานลดลง ดังแสดงกราฟรูปที่ 3




รูปที่ 3 ค่ากระแสไฟฟ้า 10 แอมแปร์ ความถี่ 1 กิโลเฮิรตซ์ เมื่อเกิดความร้อนขณะทำการวัดของตัวต้านทานวัดกระแส

จากกราฟรูปที่ 3 พบว่า เมื่อจ่ายค่ากระแสไฟฟ้าผ่านตัวต้านทานวัดกระแส ตัวต้านทานวัดกระแสจะมีอุหณภูมิสูงขึ้นและค่าความต้านทานภายในเปลี่ยนดังผลการทดลองตารางที่ 1 ส่งผลให้ค่ากระแสไฟฟ้ากระแสสลับที่วัดได้เปลี่ยนแปลงไปด้วย มีการเปลี่ยนแปลงของค่าที่วัดได้อย่างรวดเร็วเดียวช่วงนาทีที่ 10 ถึงนาทีที่ 13 แล้วเริ่มเข้าสู่สภาวะเสถียรช่วงนาทีที่ 14 ถึงนาทีที่ 16 ซึ่งเป็นช่วงเวลาในการวัดค่า เพราะไม่ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไป แต่มีความแตกต่างกันของค่าที่วัดได้ระหว่างตัวต้านทานวัดกระแสทั้งสอง

หากพิจารณาถึงการเลือกตัวต้านทานวัดกระแสที่เหมาะสมไปใช้งาน ผู้วิจัยทดลองวัดค่ากระแส 10 แอมแปร์ 1 กิโลเฮิรตซ์ และวัดที่ความถี่ 5 กิโลเฮิรตซ์เพิ่มเติมขึ้น ตัวต้านทานวัดกระแสที่สามารถนำมาวัดได้มีขนาด 10 แอมแปร์, 20 แอมแปร์ และ 50 แอมแปร์ โดยทำการวัดภายใต้ตัวแปรควบคุม ได้แก่ ค่ากระแสไฟฟ้ากระแสตรง ($I_{DC}$) จากเครื่องแหล่งจ่ายมาตรฐาน, สายวัด, เวลาจ่ายค่ากระแสไฟฟ้าจากเครื่องแหล่งจ่ายมาตรฐาน ได้ผลตามตารางที่ 2 พบว่าค่าเฉลี่ยของ $\delta_m$ จากการวัดค่า ac-dc current transfer difference ที่นำไปคำนวณหาค่ากระแสไฟฟ้ากระแสสลับตามสมการ 2 ของแต่ละตัวต้านทานวัดกระแสมีค่าที่ใกล้เคียงกันและมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน ทั้งสองความถี่

ตาราง 2 ความสัมพันธ์อุณหภูมิก่อนและหลังการวัดของตัวต้านทานวัดกระแสกับค่าเฉลี่ยของ $\delta_m$ จากการวัดโดยใช้วิธี AC-DC difference และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่ากลางของค่าที่วัดได้ ( $S_{\bar{X}}$ )

| ตัวต้านทานวัดกระแส (แอมแปร์) | | $\delta_m$ (ppm) | | $S_{\bar{X}}$ (ppm) | | ความแตกต่างของอุณหภูมิก่อนและหลังทำการวัด (C°) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 1 kHz | 5 kHz | 1 kHz | 5 kHz | |
| 10 | วัดค่า 10 | -541 | 9156 | 1.6 | 1.8 | 3.9 |
| 20 | วัดค่า 10 | -493 | 9623 | 2.4 | 3.7 | 1.8 |
| 50 | วัดค่า 10 | -595 | 9244 | 3.1 | 7.4 | 1.2 |

และจากสมการ 2 ค่ากระแสไฟฟ้ากระแสสลับที่คำนวณได้นั้น จะขึ้นอยู่กับค่า $\delta_s$ เท่านั้นหากวัดกระแสขนาดเท่ากัน ซึ่งค่า $\delta_s$ เป็นค่าที่บ่งชี้ลักษณะเฉพาะของตัวต้านทานวัดกระแสนั้นๆ ทำให้ค่ากระแสไฟฟ้าที่คำนวณได้มีค่าแตกต่างกัน และเกิดค่าคลาดเคลื่อนที่ต่างกันด้วย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่ากลางของค่าที่วัดได้ ( $S_{\bar{X}}$ ) ของแต่ละตัวต้านทานวัดกระแส ซึ่งบอกถึงความกระจายของค่าที่วัดที่แตกต่างกันด้วย จากตารางที่ 2 พบว่า ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่ากลางของค่าที่วัดได้ของตัวต้านทานวัดกระแสขนาด 10 แอมแปร์ มีค่าการกระจายของผลการวัดน้อยที่สุดทั้งสองความถี่ ทั้งที่มีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิมากที่สุด เพราะวัดค่าในช่วง 100 % ของย่านตัวต้านทานวัดกระแส เมื่อเปรียบเทียบกับ ตัวต้านทานวัดกระแสขนาด 20 แอมแปร์ และ 50 แอมแปร์ ซึ่งวัดอยู่ในช่วง 50% และ 20 % ตามลำดับของย่านตัวต้านทานวัดกระแสเท่านั้น

## 4. สรุป

การเลือกใช้ตัวต้านทานวัดกระแสสำหรับสอบเทียบเครื่องแหล่งจ่ายมาตรฐานต้องคำนึงถึงระยะเวลาการจ่ายกระแสไฟฟ้า เมื่ออุณหภูมิที่สูงขึ้นค่ากระแสไฟฟ้าที่วัดได้มีเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าความต้านทานของตัวต้านทานวัดกระแสลดลงซึ่งผลการวัดนั้นจะถูกต้องและแม่นยำที่สุดนั้นขึ้นอยู่กับองค์ประกอบเหล่านี้ และการใช้งานของเครื่องมือมาตรฐานไม่เสียหายและใช้งานได้ยาวนานมากยิ่งๆ จะต้องทำเงื่อนไขของคู่มือของผู้ผลิต

## 5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณฝ่ายมาตรวิทยาไฟฟ้า สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติที่ส่งเสริมให้ทำงานวิจัยนี้ และนักมาตรวิทยา ฝ่ายมาตรวิทยาไฟฟ้า สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ ที่คอยให้คำปรึกษาและแนะนำทางด้านเทคนิคที่ใช้ในการวิจัย

## เอกสารอ้างอิง

[1] IEC 60050-300, "311: Electrical and electronic measurements – General terms relating to measurements", 311-02: Methods of measurement, 2001

[2] Hala Mohamed Abdel Mageed, "Temperature Effects on the Electrical Performance of Large Area Multicrystalline Silicon Solar Using the Current Shunt Measuring Techinque" Scientific Research, Engineering, 2010, 2, 888-894

[3] Fluke, AC Current Shunt Set, Instruction Manual A40B , Rev. 1, 7/09, U.S.A, July 2008

[4] Fluke, Multi-Product Calibrator Operator Manual 5520A, Rev. 6, 1/03, U.S.A, August 1998

[5] Agient Technologies, 3458A Multimeter User's Guide, Part Number 03458-90014, U.S.A, Copyright 1988, 1992, 1994, 2000

[6] Fluke, AC Measurement Standard, Operator Manual 5790A, PN 893284 Rev. 4, 1/06, U.S.A, January 1992

นายอดิเทพ จ่างอ่อน จบการศึกษาระดับปริญญาตรี คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม สาขาเทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏไลยอลงกรณ์ ปี พ.ศ. 2556 ตำแหน่งปัจจุบันนักมาตรวิทยา ฝ่ายมาตรวิทยาไฟฟ้า สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มีความสนใจทางด้านมาตรวิทยาไฟฟ้า และอิเล็กทรอนิกส์

นางสาวจุฑารัตน์ ทานะรมณ์ จบการศึกษาระดับปริญญาโท คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ปี พ.ศ. 2555 ตำแหน่งปัจจุบันนักมาตรวิทยา ฝ่ายมาตรวิทยาไฟฟ้า สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มีความสนใจทางด้านมาตรวิทยาไฟฟ้าและด้านควอนตัมและสปินทรอนิกส์

นายกองศักดิ์ ทองบุญ จบการศึกษาระดับปริญญาโท คณะวิทยาศาสตร์ สาขามาตรวิทยา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปี พ.ศ. 2553 ตำแหน่งปัจจุบันนักมาตรวิทยา ฝ่ายมาตรวิทยาไฟฟ้า สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มีความสนใจทางด้านมาตรวิทยาไฟฟ้า และอิเล็กทรอนิกส์

# การใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อการปลูกเห็ดระบบอัจฉริยะ

# Microcontroller Based for Smart Mushroom Cropping

**นิมิตร หงษ์ยิ้ม[1] สมศักดิ์ มิตะถา[1] และ ศวัสกร ไชยสุนทร[2]**

[1]สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เลขที่ 1 ถนนฉลองกรุง เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520, E-mail: nimith@siamsq.net

[2]สาขาวิชาเทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง

แขวงหัวหมาก เขตบางกะปิ กรุงเทพมหานคร 10240, E-mail: sawatsakorn_c@hotmail.com

## บทคัดย่อ

ระบบไมโครคอนโทรลเลอร์ได้ถูกนำมาใช้ในการควบคุมสภาพแวดล้อมภายในโรงปลูกเห็ดอาศัยความสัมพันธ์ของอุณหภูมิต่อความชื้นที่มีความละเอียดถึง +/-5 % โดยการคำนวณมาจากค่าเฉลี่ยของเซ็นเซอร์จำนวน 4 ตัว ที่ติดตั้งไว้ภายในโรงปลูกเห็ดรวมไปถึงการบันทึกข้อมูลในฐานข้อมูลเพื่อการวิเคราะห์และควบคุมการเพิ่มผลผลิตของการปลูกเห็ดให้แน่นอนอย่างเป็นระบบ แต่ข้อจำกัดสำหรับบางพื้นที่ๆไม่มีอินเตอรเน็ตซึ่งงานวิจัยนี้ได้แก้ปัญหาโดยการนำการส่งข้อมูลเพื่อผ่านคลื่นวิทยุโดยใช้หลักการส่งข้อมูล APRS (Automatic Position Report System) โปรโตคอล ได้นำข้อมูลอุณหภูมิและความชื้นไปบันทึกผลเข้าสถานีรับเพื่อส่งเข้าฐานข้อมูลผ่านระบบอินเตอร์เน็ตในอีกพื้นที่ๆอยู่ห่างไปได้มากกว่า 2 กิโลเมตร

คำสำคัญ: ระบบปลูกเห็ด, การวัดอุณหภูมิ ความชื้น,APRS, ไมโครคอนโทรลเลอร์

## Abstract

Microcontroller can be used to control the temperature and humidity by the ability of the system to control inside enclosure has grown mushrooms relative to humidity with a resolution of up to + /-5% By calculating the average of the four sensors installed inside the enclosure growing mushrooms. The information is sent for analysis to enhance the productivity of the cultivated mushrooms, but some areas do not have the internet, so the introduction of data transmission via radio waves using APRS (Automatic Position Report System) data, temperature and humidity to enter. Internet access is possible over two kilometers.

Keywords: Mushroom Cropping, Environment measurement, APRS, Microcontroller

## 1. บทนำ

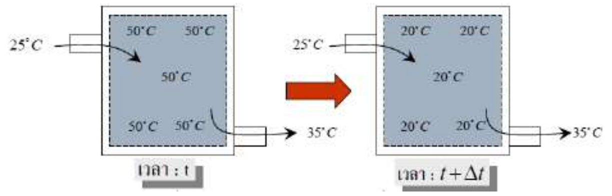
โรงปลูกที่ใช้สำหรับการปลูกเห็ดมีข้อกำหนดของสภาพแวดล้อมที่มีรายละเอียดและมีความจำเป็นที่ต้องควบคุมระดับของอุณหภูมิและความชื้นโดยปัญหาสำคัญในการควบคุมสภาพแวดล้อมภายในโรงปลูกถือว่าการควบคุมเป็นสิ่งจำเป็นอย่างมากต่อการปลูกเห็ดที่อาจจะนำความเสียหายได้ถ้าไม่มีดูแลอย่างใกล้ชิด ตัวอย่างเช่นการระบายอากาศซึ่งถูกควบคุมตามธรรมชาติหรือจับเวลาที่ตั้งไว้ล่วงหน้า [1] แต่การออกแบบระบบอาจนำไปสู่การสูญเสียความชื้นเพราะว่าความชื้นที่ลดลงอาจเกิดได้จากความร้อนหรือความเย็นโดยขึ้นอยู่กับพื้นที่ในการออกแบบสร้างมาในการปลูกเห็ดและทำให้เห็ดแห้งเสียหายได้ ดังนั้นจำเป็นต้องนำระบบเกษตรอัจริยะที่มีคุณภาพ มาตรฐานและระบบอัตโนมัติมาใช้ โดยที่ผ่านมาการออกแบบในอดีตมีการสร้างระบบปลูกเห็ดโดยคอมพิวเตอร์ควบคุมสภาพแวดล้อมในโรงปลูกโดยวัดจากเซ็นเซอร์ การใช้งานของระบบการควบคุมสภาพแวดล้อมซึ่งคอมพิวเตอร์ที่ใช้สำหรับการเพาะปลูกส่วนใหญ่พัฒนาสำหรับเรือนกระจกอ้างจากงานวิจัยที่ผ่านมา[2-4] ที่มีอยู่ในเชิงพาณิชย์ การพัฒนาระบบสำหรับโรงปลูกที่ใช้ในการผลิตเห็ดในตอนนั้นแต่ข้อเสียที่สำคัญของงานวิจัยในขณะนั้นคือค่าใช้จ่ายที่สูงของระบบคอมพิวเตอร์ในอดีต

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้คือการพัฒนาระบบโดยใช้ต้นทุนต่ำและส่วนประกอบสามารถหาได้อย่างง่ายดายได้รับการพัฒนาโดยใช้ไมโครคอนโทรเลอร์ที่มีความแน่นอนในราคาที่ต่ำเพื่อเกษตรกรโดยรวมไปถึงการเฝ้าติดตามการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมภายในโรงเห็ดผ่านระบบออนไลน์โดยใช้ APRS protocol มาใช้ในการส่งข้อมูลระยะไกลเพื่อรับข้อมูลมายังพื้นที่ๆสามารถบันทึกลงในฐานข้อมูลหลักเพื่อการเฝ้าดูผ่าน Web interface application

## 2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องและการออกแบบระบบ

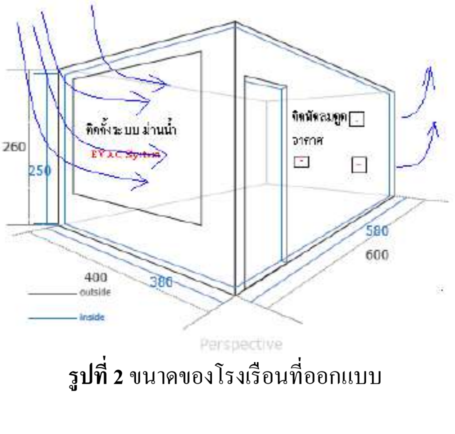
## 2.1 การถ่ายเทอุณหภูมิและความชื้นของโรงปลูกเห็ด

อาศัยการไหลของอากาศในหลักพลศาสตร์ มีกระบวนการไหลที่มีค่าคงที่ หรือสภาวะคงที่และมีการไหลที่ไม่คงที่ โดยการอ้างถึงกฎข้อที่หนึ่งของ อุณหพลศาสตร์ (The 1st LAW of Thermodynamic for Open system) [5] ได้กล่าวไว้ใน กฎข้อที่หนึ่งของเทอร์โมไดนามิกส์หรือกฎการอนุรักษ์พลังงานมีหลักการว่า "พลังงานสามารถเปลี่ยนรูปหรือถูกถ่ายโอนจากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่งได้แต่ไม่สามารถสร้างขึ้นใหม่หรือทำลายให้สูญสลายไปได้" ดังนั้นการควบคุมการเติมอากาศที่ไหลเข้าภายในโรงปลูกและการปล่อยอากาศออกจากโรงปลูก สามารถแทนด้วยแบบจำลองง่ายๆ ที่อธิบายจากการควบคุมปริมาตร เมื่อเทียบกับการอ้างอิงของอุณหภูมิ ดังรูปที่ 1



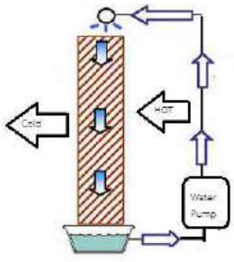

**รูปที่ 1** การไหลคงที่และสภาวะคงที่ ต่อช่วงเวลา

โดยการเติมอากาศและการถ่ายเทความร้อนและระบายความชื้น อ้างถึงหลักการข้างต้นมาอธิบายในการไหลเวียนของอากาศที่ต้องการควบคุมในโรงปลูกที่ได้ทำการออกแบบไว้ดังรูปที่ 2




**รูปที่ 2** ขนาดของโรงเรือนที่ออกแบบ

การควบคุมความชื้นให้อยู่ในช่วงที่ต้องการทำได้โดยสร้างความชื้นจากระบบ EVAP (Evaporative Air Cooling System) [6] โดยระบบ EVAP หมายถึงระบบทำความเย็นที่ใช้พลังงานธรรมชาติ และการระเหยของน้ำช่วยในการทำความเย็น หลักการทำงานของระบบ EVAP คือการปล่อยกระแสลมไหลผ่านตัวกลางที่มีน้ำไหลผ่าน (Cooling pad) และการที่อากาศซึ่งมีอุณหภูมิสูงกว่าไหลผ่านน้ำจะทำให้น้ำระเหยกลายเป็นไอ ซึ่งจะเป็นการดึงเอาความร้อนของอากาศออก ทำให้อุณหภูมิของอากาศลดลง และอากาศที่วิ่งผ่านแผงน้ำนี้จะมีอุณหภูมิที่เย็นมากขึ้น โดยแผงความเย็น (Cooling pad) ที่ทำจากกระดาษอัดเคลือบน้ำยาชนิดพิเศษ ซึ่งกระดาษอัดชนิดน้ำที่ได้นั้นนำมาเรียงเป็นแท่งให้มีความหนาประมาณ 4-6 นิ้ว วางเรียงให้มีพื้นที่ผิวมากที่สุด เพื่อให้มีโอกาสสัมผัสน้ำและอากาศที่ไหลผ่านมากที่สุดเช่นกัน เป็นการช่วยให้น้ำระเหยได้มากนั่นเอง และมีพัดลมระบายเอาอากาศร้อนข้างนอกในด้านหลังของโรงปลูกตามรูปที่ 3




**รูปที่ 3** หลักการของระบบ EVAP

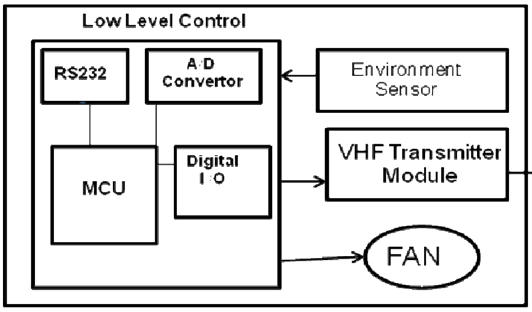
## 2.2 ระบบควบคุมสภาพแวดล้อมในโรงปลูกเห็ด

การเขียนโปรแกรมให้สามารถควบคุมโรงปลูกเห็ดได้นั้น อ้างถึงงานวิจัยของ Tscierpe (1973) [7] ได้ทำการวิจัยและอธิบายข้อกำหนดการควบคุมในสองช่วงของวงจรชีวิตการปลูกเห็ด ในดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 เงื่อนไขการควบคุมสภาพแวดล้อมในโรงปลูกตามช่วงเวลา

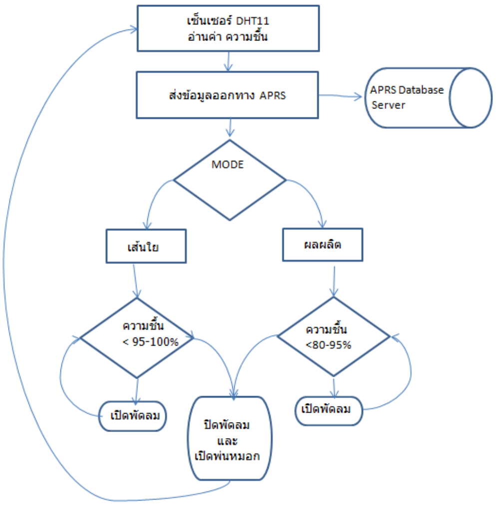
| | |
|---|---|
| 1. ช่วงเป็นเส้นใย (Mycelium) | อุณหภูมิ ในช่วง 25°-29°C<br>ความชื้น ในช่วง 95 -100% |
| 2. ช่วงผลผลิต (Production) | อุณหภูมิ ในช่วง 14°-18°C*<br>ความชื้น ในช่วง 80-95% |

โดยจากการทดลองวัดอุณหภูมินั้นมีความสัมพันธ์การเปลี่ยนแปลงกับความชื้น ซึ่งดังนั้นการนำไมโครคอนโทรลเลอร์มาใช้ในการควบคุมความชื้นเท่านั้น การเปิดปิดพัดลมระบายอากาศนั้นจะเป็นการเพิ่มหรือลดความชื้นที่ได้มาจากระบบ EVAP โดยงานวิจัยนี้มีการออกแบบโดยเลือกใช้ ชิบ ราคาถูกและหาง่ายของ ATMEL ATMEGA 328 8 bit RISC [8] ประกอบไปด้วย 13 GPIO 5 A/D 10 bit เนื่องจากสะดวกในการใช้งาน ทำให้เขียนโปรแกรมได้ง่าย การออกแบบอุปกรณ์เชื่อมต่อที่มีอินพุทเป็นอุปกรณ์วัดความชื้นและเอาท์พุทเป็นพัดลม 4 ตัวควบคุมการเปิดปิดผ่านการทำงานของรีเลย์ และการส่งข้อมูลที่อ่านได้จากค่าเฉลี่ยของเซ็นเซอร์ส่งผ่านทางพอร์ตอนุกรมไปยังชุดส่ง ข้อมูลทางวิทยุใช้โปรโตคอล APRS การเขียนโปรแกรมให้เก็บค่าเซ็นเซอร์ DHT11[9] ที่เป็นเซ็นเซอร์วัดความชื้นและอุณหภูมิจำนวน 4 ตัวโดยวัดค่าอุณหภูมิ และความชื้น 4 ตัวคำนวนหาค่าเฉลี่ยเพื่อทำการควบคุมพัดลมในการเพิ่มหรือลดความชื้นภายในตามเงื่อนไขข้างต้นแสดงได้ใน Block Diagram รูปที่ 4




**รูปที่ 4** Block Diagram ของระบบควบคุม และ ส่งข้อมูล

การส่งข้อมูลออกมาเพื่อเข้าระบบอินเตอร์เน็ตนั้นใช้ Packet Radio protocol หรือที่นิยมเรียกอีกชื่อว่า APRS (Automatic Position Report System) หรือ Packet Radio[10] โดยการส่งรูปแบบข้อมูลจากโรงปลูกเห็ด ออกไปผ่านคลื่นวิทยุย่านVHF 144.390 MHzในลักษณะของข้อมูลถูกจัดให้มีแบบสถานีตรวจอากาศ(Weather Station)เข้าไปยังสถานีรับที่มีต่อกับระบบอินเตอร์เน็ตหรือที่เรียกว่า Internet Gateway นั้นอยู่ห่างออกไปประมาณ 2 กิโลเมตรโดยที่พื้นที่โรงปลูกเห็ดนั้นไม่มีบริการของระบบอินเตอร์เน็ตจึงจำเป็นต้องใช้ระบบการส่งสัญญาณระยะไกลเป็นทางเลือก และในการทดลองนั้นจำเป็นที่จะต้องทราบถึงการเปลี่ยนแปลงของความชื้นภายในโรงเรือนตลอดทั้งวัน เพื่อนำค่าที่ได้มาปรับเปลี่ยนในการเขียนโปรแกรมควบคุมพัดลมที่ดูดลมความชื้นให้อากาศถ่ายเทดีขึ้น และเพื่อรักษาระดับความชื้นด้านหลังของโรงปลูกให้ได้ค่าที่ถูกต้อง โดยมีการควบคุมพัดลมให้สลับกันทำงาน เพื่อกระจายความชื้นให้มีความสัมพันธ์กันในพื้นที่ที่ทำการทดลอง แสดง Flowchart ตามเงื่อนไข ที่ได้มาจากการทดลองที่ทำก่อนหน้านี้ ออกมาได้แสดงตาม Flowchart ในรูปที่ 5




**รูปที่ 5** Flowchart การเขียนโปรแกรมควบคุมและส่งข้อมูล

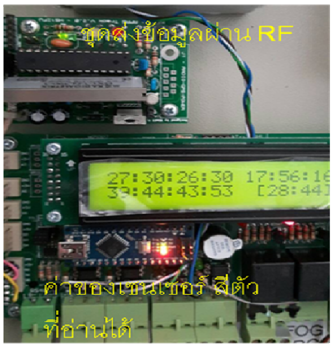
## 3. ผลการทดลอง

ทำการติดตั้งระบบที่ออกแบบเสร็จเรียบร้อยในพื้นที่ที่ตั้งโรงปลูกเห็ด ขนาดความกว้าง 4 เมตร ยาว 6 เมตร และสูง 2.50 เมตร โดยมีพัดลมดูดอากาศติดตั้งในด้านหลัง 4 ตัว เพื่อควบคุมความชื้นโดยใช้ระบบแผง EVAP หนา 4 นิ้ว ด้านหน้าเพื่อสร้างความชื้นให้ระบบแสดงดังรูปที่ 6

ด้านหน้าติดตั้งระบบ EVAP ด้านหลังที่มีการติดตั้งพัดลม

**รูปที่ 6** โรงปลูกที่ใช้ในการทดลองงานวิจัยนี้

การติดตั้งระบบการควบคุมความชื้นนั้นต่อกับเซ็นเซอร์ 4 จุด ภายในโรงปลูกกระจายไปทั้งสี่มุม โดยติดตั้ง ระบบกล่องควบคุมแสดงดังรูปที่ 7 ซึ่งจะมีชุดการวัดและควบคุมความชื้นจากค่าเฉลี่ยที่วัดได้ และส่งข้อมูลต่อไปให้อีกชุดที่ทำหน้าที่ส่งข้อมูลผ่านระบบสัญญาณวิทยุไปยังสถานีรับที่อยู่ไกลออกไป 2 กิโลเมตร เพื่อป้อนข้อมูลเข้า Database Server แสดงผลออกมาในรูปกราฟ เพื่อใช้วิเคราะห์ความเที่ยงตรงของระบบควบคุมให้ได้ตามที่ตั้งไว้ในตารางที่ 1




**รูปที่ 7** ชุดควบคุมอ่านเซ็นเซอร์ 4 ตัว และ ชุดส่งข้อมูล

ผลการทดลอง จากค่าที่วัดได้จากเซ็นเซอร์จำนวน 4 ตัว สามารถควบคุมให้ได้ค่าตามที่กำหนดไว้ในเงื่อนไขตารางที่ 1 คือ ช่วงเส้นใย **(Mycelium)** ต้องรักษาความชื้นไว้ที่ 95-100% ซึ่งกราฟที่ Plot ได้มาจากข้อมูลในระบบ APRS หรือ Packet Radio โดยชุดส่งข้อมูลผ่าน RF ทางความถี่ย่าน VHF 144.390MHz มีการส่งข้อมูลจากโรงปลูกเห็ดไปยังสถานีรับที่อยู่ในระยะที่ไกลถึง 2 กิโลเมตร ซึ่งได้ค่าตามที่กำหนดไว้ ใกล้เคียงกับ 95 % (ค่าผิดพลาด +/- 5%) ตามต้องการโดยนำค่าที่ได้ซึ่งดึงข้อมูลมาจาก Database Server ผ่าน Web Interface ทาง

http://aprs.fi/FDIOT-3 [11] ซึ่งผลการทดลองการควบคุมความชื้นสามารถแสดงในกราฟ อธิบายได้ดังรูปที่ 8

**รูปที่ 8** ผลของการวัดค่าความชื้นบันทึกบน Database Server

## 4. สรุป

งานวิจัยนี้เป็นประยุกต์การควบคุมสภาพแวดล้อมในการปลูกเห็ดที่เป็นระบบซึ่งผสมผสานในการเก็บบันทึกข้อมูลซึ่งต้องการรายละเอียดซึ่งไม่สามารถทำได้ในแรงงานคนในการจดบันทึกทำให้ได้ทราบถึงสภาพแวดล้อมภายในของโรงปลูกเห็ดได้ตลอดเวลา ด้วยเหตุผลถึงการเพิ่มผลผลิตให้มีมาตรฐาน มีประสิทธิภาพ ผลการทดลองสามารถนำไปใช้งานได้จริง ในพื้นที่ที่ห่างไกลที่ไม่มีบริการอินเตอร์เน็ต ซึ่งการนำระบบไมโครคอนโทรลเลอร์ที่มีราคาถูกมาประยุกต์ใช้งาน โดยระบบนี้สามารถนำไปดัดแปลงพัฒนาต่อยอดในระบบ Greenhouse หรือระบบการเกษตรแบบอื่นที่ต้องการเก็บข้อมูลระยะไกล และนำไปพัฒนาเพื่อเชิงพาณิชย์ต่อไป

## 5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ ฟาร์มเห็ดสหวัฒน์ เขตหนองจอก กรุงเทพฯ ที่ได้เอื้อเฟื้อพื้นที่โรงเรือนปลูกเห็ดนางฟ้าภูฐานสำหรับใช้ในการทดลองครั้งนี้ และ บจก. FARM-D ASIA ที่สนับสนุนบุคลากรติดตั้งระบบ

## เอกสารอ้างอิง

[1] Vedder, P.J.C., “Modern Mushroom Growing. Stanley Thornes, Cheltenham”, (1978), pp. 420.

[2] Willits, D.H., Karnoski, T.K. and McClure, W.F.,. “A microprocessor-based control system for greenhouse research-Part I hardware”. Trans. ASAE, 23: 1980, 68-692,698.

[3] Tantau, H.-J., “The ITG digital greenhouse climate control system for energy saving”, Gartenbauwissenschaft, ,1984, 49: 140-143

[4] Saffell, R.A. and Marshall, B., “Computer control of air temperature in a glasshouse” . J. Agric.Eng. Res., ,1983, 28: 469-477.

[5] Cengel, Yunus A., and Michael A. Boles. "An engineering approach." ENERGY1 ,2002,: 51.

[6] Giabaklou, Zahra, and John A. Ballinger. "A passive evaporative cooling system by natural ventilation." Building and Environment 31.6 ,1996: 503-507.

[7] Tschierpe, J.J., Environmental factors and mushroom growing, Part II. Mushroom J. 1973, 2:77-94.

[8] Atmel 8-BIT Microcontroller with /8/16/32 Kbytes in system programmable Flash[online].Available: http://www.atmel.com/devices/atmega328p.aspx

[9] DHT11-Humidity & Temperature Sensor Datasheet [online].Available: http://www.micropik.com/PDF/dht11.pdf

[10] Chaiyasoonthorn, S; Hongyim, N; Mitatha, S.”Building Automatic Packet Report System to report position and radiation data for autonomous robot in the disaster area”. In: Control, Automation and Systems (ICCAS), 2015 15th International Conference on. IEEE, 2015. p. 85-88.

[11] APRS.fi APRS Database Web-Server [online] Available: http://aprs.fi/page/about_technical

**นิมิตร หงษ์ยิ้ม** สำเร็จการศึกษาปริญญาตรี สาขาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ และกำลังศึกษาระดับปริญญาโทสาขาเดียวกันที่คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง งานวิจัยที่สนใจได้แก่ Long Range Communication, Embedded System Applications and Robotic design

**สมศักดิ์ มิตะถา** สำเร็จศึกษาระดับปริญญาเอก สาขาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ ปัจจุบันเป็นอาจารย์ประจำสาขาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง งานวิจัยที่สนใจได้แก่ Computer System Design, Microcontroller Applications, Embedded System Applications, Optical Logic Gate

**ศวัสกร ไชยสุนทร** สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาเอก สาขาฟิสิกส์ประยุกต์ จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปัจจุบันเป็นอาจารย์ประจำสาขาเทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง งานวิจัยที่สนใจได้แก่ Telecommunication & Electronics, Fiber Optics Communication, Nonlinear Optic, Computer Engineering

**บทความวิจัย**
การประชุมวิชาการ งานวิจัยและพัฒนาเชิงประยุกต์ ครั้งที่ 8
*8th ECTI-CARD 2016, Hua Hin, Thailand*

# ระบบการให้น้ำ ปุ๋ย และสารเคมี แบบอัตโนมัติโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ กรณีศึกษาการปลูกสตรอเบอรี่

# Automatic watering, liquid fertilizing and pesticides system using solar energy in case strawberry plants

**เสกสรรค์ วินยางค์กูล[1] ธเนศ คณะดี[2] เสกสรร วงค์สม[2] กมล บุญล้อม[2] ธนาวุฒิ ธนวาณิชย์[2] และ อธิคม ศิริ[2]**
[1]โปรแกรมวิชาวิศวกรรมโลจิสติกส์ และการจัดการ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย
80 หมู่ 9 ต.บ้านดู่ อ.เมือง จ.เชียงราย 57100 โทรศัพท์ 086-6046-288 E-mail: seksanwin@yahoo.com
[2]โปรแกรมวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ สำนักคอมพิวเตอร์ และเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย
80 หมู่ 9 ต.บ้านดู่ อ.เมือง จ.เชียงราย 57100 โทรศัพท์ 053-776-395

## บทคัดย่อ

ในการพัฒนาออกแบบ และสร้างระบบการให้น้ำ ปุ๋ย และสารเคมี แบบอัตโนมัติโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ ได้ทำการออกแบบระบบโดยมีหลักการพิจารณาออกแบบ 3 ส่วน ได้แก่ ส่วนที่ 1 ส่วนการผลิต และเก็บพลังงาน ส่วนที่ 2 ส่วนควบคุม ส่วนที่ 3 ส่วนการจ่ายของน้ำ ปุ๋ย และสารเคมี เมื่อพิจารณาโดยการเปรียบเทียบค่า น้ำหนักของต้นสตรอเบอรี่ และค่าเปอร์เซ็นต์ความสมบูรณ์ของต้นที่ได้จากการปลูกแบบทั่วไป กับระบบที่ได้ออกแบบไว้นั้น ผลของการใช้ระบบจะมีค่าที่ดีกว่า โดยจะมีน้ำหนักต้นที่มากกว่าที่ 18 กรัมต่อต้น หรือมากกว่าที่ 11.61 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และเมื่อพิจารณาค่าเปอร์เซ็นต์ความสมบูรณ์ของต้น จะเห็นได้ว่า ในช่วงระยะต้นเล็ก ช่วงก่อน และหลังการออกดอก และช่วงบำรุงผลเล็ก และเก็บเกี่ยว ระบบที่ได้ออกแบบไว้จะมีค่าที่ดีกว่า โดยมีค่าร้อยละของระบบที่ออกแบบไว้มากกว่าในช่วงต่างๆ ที่ 1.67, 3.33 และ 3.33 และเมื่อพิจารณาการใช้พลังงานไฟฟ้า โดยไฟฟ้าที่ได้จากชุดเซลล์แสง สามารถชาร์จพลังงานที่ได้จากชุดเซลล์แสงเพียงพอในการจ่ายให้แก่โหลดที่ต้องการ สรุปผลที่ได้โดยการปลูกแบบทั่วไปและระบบ ในช่วงของการปลูกที่แบ่งจะเห็นได้ว่าระบบที่ได้ออกแบบไว้นั้นจะมีค่าของตัวชี้วัดที่ดีกว่า เนื่องจากการใช้ระบบในการควบคุมสามารถกำหนดทั้ง ระยะเวลา และปริมาณได้อย่างมีมาตรฐานกว่าการปลูกแบบทั่วไปโดยใช้คนในการควบคุมซึ่งผลที่ได้จากการออกแบบนี้จะสามารถใช้เป็นแนวทางในการพัฒนารูปแบบของการปลูกสตอร์เบอรี่ภายในพื้นที่ จังหวัดเชียงรายได้ต่อไป

คำสำคัญ: ระบบอัตโนมัติ, การให้น้ำ ปุ๋ย และสารเคมี, พลังงานแสงอาทิตย์, การปลูกสตรอเบอรี่

## Abstract

Design development and construction of automatic watering, liquid fertilizing and pesticides system using solar energy. The system was principles designed of 3 parts, 1) energy production and storage 2) control system 3) system of watering, liquid fertilizing and pesticides, when consideration with comparison of weight and percentage of completeness for trees grown. From the traditional systems compare that have designed. The results of designed system will be better. It has a weight greater than 18 grams per plant or more than 11.61 percent by weight. Considering the percentage of completeness for trees grown can be seen in the first period (small), before and after flowering period, released and harvest period. The designed system offer better value at 1.67, 3.33 and 3.33 percent. and considering the use of electricity. The electricity generated from the solar cell. Energy from the rechargeable enough to pay for the load required.

The result was the traditional systems compare designed system during the period of strawberry plants growing designed system have a value of the indicators are good. Because of the system of control to define the duration and volume have been standard than traditional systems used by people to control the outcome of this design can be used as a guide in the development of the strawberry plants within chiang rai area further.

Keywords: automatic system, watering, liquid fertilizing, Pesticides, solar energy, strawberry plants

## 1. บทนำ

ในภาคเหนือมีความนิยมในการปลูกพืชเมืองหนาวที่เหมาะสมกับพื้นที่ในการปลูก โดยส่วนใหญ่จะทำการปลูกพืชเมืองหนาวเฉพาะถิ่นได้แก่ สตรอเบอรี่ ส้ม ลิ้นจี่ ชา เป็นต้น โดยในพื้นที่จังหวัดเชียงรายมีพื้นที่ในการปลูกพืชดังกล่าวในปริมาณที่มาก ซึ่ง สตรอเบอรี่เป็นพืชเศรษฐกิจที่กำลังเป็นที่นิยมปลูกในพื้นที่ โดยสตรอเบอรี่จัดเป็นพืชที่สามารถยืนต้นได้หลายปี แต่โดยทั่วไปจะปลูกปีเดียวแล้วจะมีการปลูกใหม่ในปีถัดไป ลักษณะการเจริญเติบโตจะแตกกอเป็นพุ่มเตี้ย สูงจากพื้นดิน 6-8 นิ้วทรงพุ่มกว้าง 8 -12 นิ้ว ระบบรากส่วนใหญ่อยู่ระดับลึกประมาณ 12 นิ้วจากผิวดิน ลำต้นปกติยาว 1 นิ้ว โดยพันธุ์ที่นิยมปลูกแบ่งเป็น พันธุ์เพื่อการบริโภคสด ได้แก่ พันธุ์พระราชทานเบอร์ 70 , 80

เบอร์50 และเบอร์20 , 329 เป็นต้น และพันธุ์เพื่อการแปรรูป ได้แก่ พันธุ์พระราชทานเบอร์16 และเซลวา ,  329 ซึ่งในปัจจุบันการปลูกและการดูแลรักษา จะปลูกในเดือนกันยายน – กลางเดือนตุลาคม แต่ปัจจุบันภายในพื้นที่จังหวัดเชียงรายสามารถทำการควบคุมและกำหนดให้ออกได้ตลอดทั้งปี โดยนิยมปลูกพันธุ์พระราชทาน 80 (เป็นพันธุ์ที่มูลนิธิโครงการหลวงส่งเสริมให้ปลูก ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2552 เป็นต้นมา) เป็นสายพันธุ์ที่มาจากประเทศญี่ปุ่น ชื่อพันธุ์ Royal Queen ซึ่งมีลักษณะเด่นคือก้านใบและลำต้นจะมีสีแดงสด ผมมีลักษณะเป็นรูปทรงกรวยสวยงาม ผลมีขนาดปานกลางน้ำหนักเฉลี่ย 15 กรัม ผลมีกลิ่นหอม รสหวานฉ่ำ อีกทั้งยังมีความต้านทานต่อโรคและแมลงได้เป็นอย่างดี ซึ่งลักษณะในการปลูกจะมีระยะปลูกระหว่างแถว 30 - 40 เซนติเมตร ระหว่างต้น 25 - 30 เซนติเมตร โดยสิ่งสำคัญของการปลูกได้แก่ การให้น้ำ การให้ปุ๋ย และการใช้สารเคมีควบคุมโรค โดยจะมีลักษณะของการให้น้ำอยู่ที่วันละ 2 ครั้ง ในช่วงเช้า และช่วงบ่าย และปริมาณน้ำที่ให้จะมีปริมาณที่เพิ่มขึ้นเมื่อต้นเจริญเติบโตมากขึ้น [1] ส่วนการให้ปุ๋ย จะแบ่งเป็น การใส่ปุ๋ยเพื่อการเจริญเติบโตในตอนเริ่มการปลูก และการใส่ระหว่างการปลูก โดยระหว่างการปลูกจะสามารถในปุ๋ยในรูปของของเหลวได้ [2] และการใช้สารเคมีควบคุมโรคสตรอเบอรี่ [3] โดยจะทำการพ่นที่บริเวณโคน และใบของต้น ซึ่งการใช้สารเคมีควบคุมโรคสตรอเบอรี่จะใช้สารฆ่าเชื้อราส่วนใหญ่ไม่มีอันตรายหรือมีน้อยมากต่อมนุษย์และสัตว์เลี้ยง แต่บางชนิดอาจมีอาการระคายเคืองต่อผิวหนัง (ผู้ฉีดพ่นสารเคมี) และบางชนิดอาจมีผลต่อการเกิดเซลมะเร็ง (ผู้บริโภค) โดยการใช้สารเคมีจึงต้องทำด้วยความระมัดระวังในช่วงใกล้เก็บเกี่ยว โดยเลือกชนิดที่ไม่ปรากฏคราบของสารบนผลในการฉีดพ่นทุกครั้ง

จากปัญหาที่เกิดทางผู้วิจัยจึงได้ทำการออกแบบระบบการให้น้ำ ปุ๋ย และสารเคมี แบบอัตโนมัติโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งได้นำมาทำการใช้ในการปลูกสตรอเบอรี่ เพื่อทำให้ความสะดวกในการดำเนินการในการให้น้ำ ปุ๋ย และสารเคมี ตามระยะเวลาที่กำหนด และได้นำรูปแบบของพลังงานทางเลือกจากแสงอาทิตย์มาเป็นตัวต้นกำลังในการขับปั๊มเพื่อให้เป็นทางเลือกในการใช้เทคโนโลยี ซึ่งโดยส่วนมากเกษตรกรส่วนใหญ่จะเลือกใช้ปั๊มน้ำซึ่งใช้พลังงานไฟฟ้าในการจ่ายน้ำเข้าแปลงเกษตร ทำให้ค่าไฟฟ้าจะสูงตามการใช้งานปั๊มน้ำ จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องลดค่าใช้จ่ายในเรื่องค่าไฟฟ้าที่ใช้ในการจ่ายให้ปั๊มน้ำทำงาน ดังนั้น ทางผู้วิจัยจึงได้นำทางเลือกในการใช้พลังงานที่เหมาะสมและประหยัดแก่การนำไปใช้ สำหรับภาคการเกษตร

ดังนั้นทางผู้วิจัยได้เห็นถึงปัญหาที่เกิดขึ้นในระบบของการให้น้ำ ปุ๋ย และสารเคมี ที่เกิดขึ้นในพื้นที่ โดยกลุ่มผู้วิจัยจึงจะนำเทคโนโลยีที่ได้ออกแบบมาสร้าง ระบบการให้น้ำ ปุ๋ย และสารเคมี แบบอัตโนมัติโดใช้พลังงานแสงอาทิตย์ เพื่อให้เกิดประโยชน์แก่กลุ่มเกษตรกรผู้ปลูกสตรอเบอรี่ ซึ่งจะส่งผลให้เกิด ประสิทธิภาพ และศักยภาพที่ดีขึ้นต่อไป

## 2. วัตถุประสงค์

เพื่อพัฒนาออกแบบ และสร้างระบบการให้น้ำ ปุ๋ย และสารเคมี แบบอัตโนมัติโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์

## 3. วิธีการศึกษา

การพัฒนาออกแบบสร้างระบบการให้น้ำ ปุ๋ย และสารเคมีแบบอัตโนมัติโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ ครั้งนี้ได้รวมเอากระบวนการ ขั้นตอน และกลไกลเครื่องกล และการควบคุมอัตโนมัติ ในทางวิศวกรรมเข้ามาช่วยในการพัฒนากระบวนการในการปลูกสตรอเบอรี่ ภายในพื้นที่จังหวัดเชียงราย โดยมุ่งเน้นขั้นตอนของการลดลงของการใช้พลังงานและแรงงานคนที่เกี่ยวข้อง เพื่อที่จะได้ทำการประยุกต์ใช้หลักของการควบคุมการให้น้ำ ปุ๋ย และสารเคมี ในการการปลูกสตรอเบอรี่ที่มีความเหาะสมกับพื้นที่ต่อไป

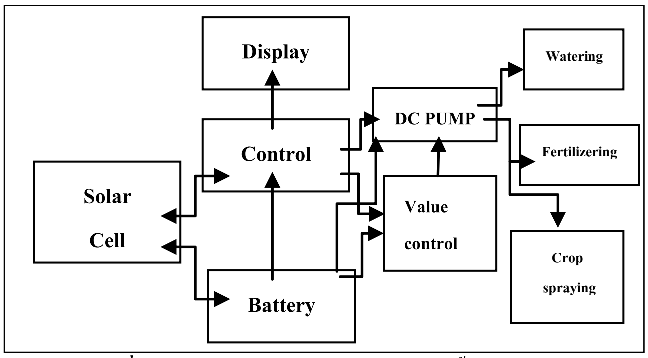
## 4. ขั้นตอนการดำเนินงาน

ศึกษาและเก็บข้อมูลจากสถานที่จริงที่ใช้ในการปลูกสตรอเบอรี่ และหาข้อมูลที่เกี่ยวกับระบบการควบคุมแบบอัตโนมัติ ที่ใช้ในการควบคุมการให้น้ำ ปุ๋ย และสารเคมี และรูปแบบของการผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ ทำการเขียนแบบและออกแบบระบบการให้น้ำ ปุ๋ย และสารเคมี แบบอัตโนมัติโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ ดำเนินการจัดหาจัดซื้อวัสดุอุปกรณ์ต่างๆที่ใช้ในการสร้างระบบ และทำการสร้างระบบตามที่ได้ออกแบบไว้ ซึ่งงานวิจัยนี้ได้ออกแบบการทดลองโดยการเปรียบเทียบค่าน้ำหนักของต้นสตรอเบอรี่ และค่าเปอร์เซ็นต์ความสมบูรณ์ของต้นที่ได้จากการปลูก แบบทั่วไป กับระบบที่ได้ออกแบบไว้ และทำการวิเคราะห์ข้อมูลการทดลองทั้งสองว่ามีข้อแตกต่างกันอะไรบ้าง สรุปของการทดลองทั้งสองว่าการปลูก แบบทั่วไป กับระบบที่ได้ออกแบบไว้

## 5. ผลการศึกษา

### 5.1 การออกแบบระบบและส่วนประกอบของระบบ

จากการออกแบบ และทำการสร้างระบบการให้น้ำ ปุ๋ย และสารเคมี แบบอัตโนมัติโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ โดยมีหลักการพิจารณาออกแบบ 3 ส่วน ได้แก่ส่วนที่ 1 ส่วนการผลิต และเก็บพลังงาน โดยจะมีชุดเซลล์แสงทำหน้าที่รับพลังงานแสงอาทิตย์ แล้วเปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้าซึ่งได้นำไปจัดเก็บไว้ในแบตเตอรี่ และมีบางส่วนใช้จ่ายให้แก่กล่องควบคุม ส่วนที่ 2 ส่วนควบคุม โดยจากทำการเขียนโปรแกรมควบคุมการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้แก่ ปั๊มน้ำ และโซลินอยส์วาล์วให้สามารถทำงานได้ตามเวลาที่ต้องการ ส่วนที่ 3 ส่วนการจ่ายของน้ำ ปุ๋ย และสารเคมี ซึ่งจะเป็นระบบของท่อไปยังตำแหน่งของต้นสตรอเบอรี่ซึ่งมีรายละเอียดของบล็อกไดอะแกรมของระบบ และอุปกรณ์ดังแสดงในรูปที่ 1 และรูปที่ 2

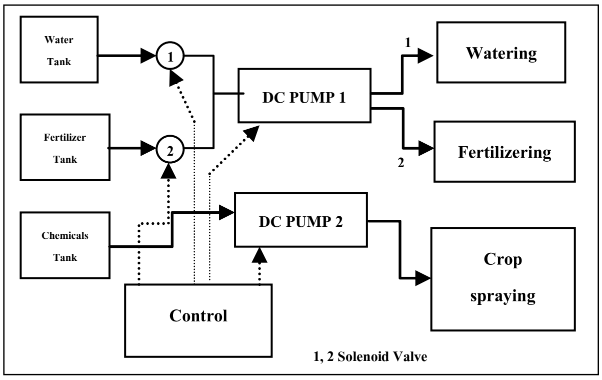



**รูปที่ 1** บล็อกไดอะแกรมของระบบการให้น้ำ ปุ๋ย และสารเคมีแบบอัตโนมัติโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์

**รูปที่ 2** ระบบการให้น้ำ ปุ๋ย และสารเคมี แบบอัตโนมัติโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ โดยใช้กับการปลูกสตรอเบอรี่

**5.2 หลักการทำงานของระบบ**

หลักการออกแบบระบบควบคุมการจ่ายของน้ำ ปุ๋ย และสารเคมีดังแสดงในรูปที่ 3




**รูปที่ 3** การควบคุมการจ่ายของน้ำ ปุ๋ย และสารเคมี

จากรูปที่ 3โดยมีหลักของการทำงานในการควบคุมการจ่ายของน้ำ ปุ๋ย และสารเคมีจากกล่องควบคุมโดยจะทำการส่งสัญญาณไปทำการควบคุมปั๊มน้ำตัวที่ 1 และ 2 โซลินอยส์วาล์ว ทั้ง 2 ตัว โดยการจ่ายน้ำจะทำการควบคุมให้โซลินอยส์วาล์วตัวที่ 1 เปิด ส่วนโซลินอยส์วาล์วตัวที่ 2 ปิด จากนั้นกล่องควบคุมจะทำการส่งสัญญาณให้ปั๊มน้ำตัวที่ 1 ทำงาน ซึ่งจะทำให้เกิดการไหลของน้ำไปยังตำแหน่งที่ได้วางสายไว้ที่ต้นสตรอเบอรี่ และเมื่อต้องการจ่าย ปุ๋ยจะทำการควบคุมให้โซลินอยส์วาล์วตัวที่ 1 ปิด ส่วนโซลินอยส์วาล์วตัวที่ 2 เปิด จากนั้นกล่องควบคุมจะทำการส่งสัญญาณให้ปั๊มน้ำตัวที่ 1 ทำงาน ซึ่งจะทำให้เกิดการไหลของปุ๋ยน้ำ ส่วนการควบคุมการจ่ายสารเคมีนั้นไม่ต้องทำการควบคุมโดยโซลินอยส์วาล์ว เพราะตำแหน่งจะอยู่เหนือด้านบนของต้นสตรอเบอรี่ที่ใช้ท่อส่งด้านบน โดยกล่องควบคุมจะทำการส่งสัญญาณให้ปั๊มน้ำตัวที่ 2 ทำงานจะทำให้เกิดการไหลของสารเคมี

**5.3 รูปแบบการจัดการปุ๋ยและน้ำ**

การทดลองในการปลูกสตอรอเบอรี่จะใช้พันธุ์พระราชทานเบอร์ 80 โดยทำการทดลองปลูก 2 แถว แถวละ 10 ต้น โดยมีระยะห่างระหว่างแถวที่ 40 cm และระยะห่างระหว่างต้นที่ 30 cm โดยปลูกเริ่มต้นตั้งแต่งต้นกล้าปลูกขนาดขยายพันธุ์

ในการออกแบบรูปแบบของการจ่ายน้ำ ปุ๋ยน้ำ และสารเคมีในการการปลูกสตอรอเบอรี่ ในช่วงต่างๆ นั้นจะใช้รูปแบบข้อกำหนดที่เป็นมาตรฐานในการปลูก [4] โดยจะแบ่งการให้น้ำออกเป็น 3 ระดับตามระยะเวลาในการปลูก ได้แก่ ช่วงระยะต้นเล็ก ระยะก่อนการออกดอกและระยะบำรุงผล เก็บเกี่ยว โดยจะใช้ปริมาณต่อต้นที่ 250, 500 และ 1,000 $cm^3$ ตามลำดับ โดยจะกำหนดให้หนึ่งช่วงวันจะทำการให้น้ำที่ 4 รอบ และปริมาณปุ๋ยน้ำ และสารเคมี ที่จ่ายในช่วงวันที่เริ่มทำการปลูก โดยปุ๋ยจะให้ครั้งละ 7 วัน ซึ่งให้ 2 รอบแรกที่ 1,500 $cm^3$และรอบที่ 3-4 ที่ 2,000 $cm^3$ และรอบที่ 5-8 ที่ 2,500 $cm^3$ และการใส่สารเคมีเพื่อกำจัดเชื้อราโดยจะให้ 1 ครั้งต่อ 10 วันโดยให้ครั้งละ 1,000 $cm^3$ คงที่ โดยจะใช้สัปดาห์ในการปลูกทั้งหมดประมาณ 8 สัปดาห์ หรือประมาณ 60 วัน ของรอบการปลูกสตอรอเบอรี่ที่ใช้ในการปลูกแบบทั่วไป

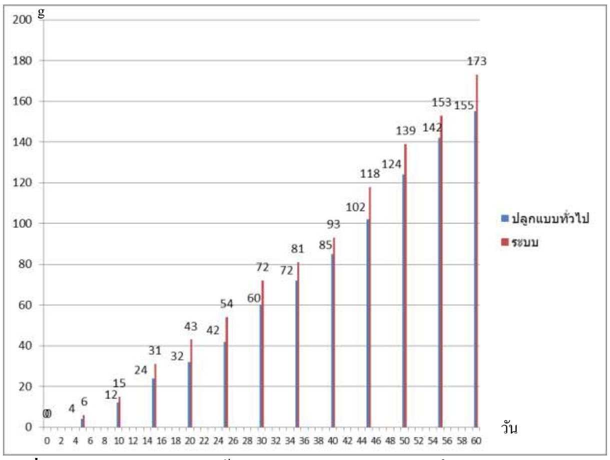
**5.4 การวางแผนการทดลอง**

โดยได้ผลของการเปรียบเทียบความสมบูรณ์ช่วงระยะต้นเล็ก ช่วงก่อน และหลังการออกดอก และช่วงบำรุงผลเล็ก และเก็บเกี่ยว ของการปลูกแบบทั่วไป และระบบ ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การเปรียบเทียบความสมบูรณ์ช่วงระยะต้นเล็ก ของการปลูกแบบทั่วไป และระบบ (ค่าเฉลี่ย ร้อยละจากผู้เชี่ยวชาญ)

| ช่วงระยะต้นเล็ก | ลำต้น | ใบอ่อน | ใบสมบูรณ์ |
|---|---|---|---|
| แบบทั่วไป | 90 | 95 | 95 |
| ระบบ | 95 | 95 | 95 |
| ก่อน และหลังการออกดอก | ลำต้น | ใบสมบูรณ์ | ดอก |
| แบบทั่วไป | 85 | 90 | 90 |
| ระบบ | 90 | 90 | 95 |
| ช่วงบำรุงผลเล็กและเก็บเกี่ยว | ลำต้น | ใบสมบูรณ์ | ผล |
| แบบทั่วไป | 90 | 90 | 90 |
| ระบบ | 90 | 95 | 95 |

และเมื่อพิจารณาออกแบบการทดลองโดยการเปรียบเทียบค่าน้ำหนักของต้นสตรอเบอรี่ในช่วงเวลาที่ทำการปลูก ในช่วง 5 วันของการปลูกแบบทั่วไป และระบบ โดยทำการวัดค่าน้ำหนักเฉลี่ยหน่วยเป็น กรัม สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4




**รูปที่ 4** การเปรียบเทียบน้ำหนักของต้นสตรอเบอรี่ ของการปลูกแบบทั่วไป และระบบ (ค่าเฉลี่ย จากการวัด)

### 5.5 การคำนวณการใช้พลังงานไฟฟ้า

ชุดเซลล์แสง สามารถชาร์จกระแสไฟฟ้าได้ที่ 2 แอมป์ต่อชั่วโมง โดยทำการชาร์จเข้าที่แบตเตอรี่จำนวน 2 ลูกต่อต่อแบบขนานกัน โดยมีกระแสรวมทั้งหมดต่อการจ่ายที่ 80 แอมป์ต่อชั่วโมง เมื่อมีสัญญาณสั่งให้ปั๊มน้ำทำงานที่ระดับการจ่ายปริมาณน้ำที่ต้องการในที่นี้ได้ทำกาคำนวณจากการจ่ายน้ำที่ภาระสูงสุดที่ 20 ลิตร เมื่อปั๊มน้ำมีอัตราการไหลที่ 10 ลิตรต่อนาทีดังนั้นจะใช้เวลาที่ 2 นาทีในการจ่ายน้ำที่มีภาระโหลดสูงสุด ซึ่งการใช้กำลังงานในการจ่ายให้แก่ปั๊มน้ำที่ใช้จะกินกระแสไฟฟ้าที่ 2.23 แอมป์ต่อนาที ถ้าทำงาน 2 นาทีจะกินกระแสไฟที่ 4.46 แอมป์ เมื่อพิจารณาในช่วงของการชาร์จกระแสเข้าในช่วงของการจ่ายน้ำ โดยมีช่วงเวลาที่ 4 ชั่วโมง ซึ่งสามารถชาร์จกระแสได้ 8 แอมป์ เมื่อเปรียบเทียบแล้วพลังงานที่ใช้ไปในช่วงของการจ่ายน้ำน้อยกว่าพลังงานที่ได้จากการชาร์จดังนั้นระบบนี้สามารถใช้พลังงานที่ได้จากชุดเซลล์แสงเพียงพอในการจ่ายให้แก่โหลดที่ต้องการ

## 6. วิจารณ์และสรุปผล

จากการทดลองในการปลูกต้นสตอรอเบอรี่ที่ใช้ในการปลูกแบบทั่วไป เทียบกับระบบที่ได้ทำการออกแบบในการจ่าย น้ำ ปุ๋ย และสารเคมี เมื่อเทียบค่างานวิจัยนี้ได้ออกแบบการทดลองโดยการเปรียบเทียบค่า น้ำหนักของต้นสตรอเบอรี่ และค่าเปอร์เซ็นต์ความสมบูรณ์ของต้นที่ได้จากการปลูก แบบทั่วไป กับระบบที่ได้ออกแบบไว้นั้น ผลของการใช้ระบบจะมีค่าที่ดีกว่า ซึ่งค่าน้ำหนักของต้นสตรอเบอรี่ที่ได้จาก ระบบ ที่ 173 กรัมต่อต้น เทียบกับการปลูกแบบทั่วไป ที่ 155 กรัมต่อต้น (โดยค่าเฉลี่ย) ซึ่งจะเห็นได้ว่าต้นที่ปลูกโดยการใช้ระบบที่ได้ออกแบบไว้จะมีน้ำหนักต้นที่มากกว่าที่ 18 กรัมต่อต้น หรือมากกว่าที่ 11.61 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และเมื่อพิจารณาค่าเปอร์เซ็นต์ความสมบูรณ์ของต้น จะเห็นได้ว่า ในช่วงระยะต้นเล็ก ช่วงก่อน และหลังการออกดอก และช่วงบำรุงผลเล็ก และเก็บเกี่ยว ของระบบที่ได้ออกแบบไว้จะมีค่าที่ดีกว่าโดยเมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยรวมของการปลูกแบบเดิมทั้ง 3 ช่วงจะมีค่าเท่ากับ 93.33, 88.33 และ 90 ส่วนของระบบที่ 95.00, 91.67 และ 93.33 โดยมีค่าร้อยละของระบบที่ออกแบบไว้มากกว่าในช่วงต่างๆ ที่ 1.67, 3.33 และ 3.33 และเมื่อพิจารณาการใช้พลังงานไฟฟ้า โดยไฟฟ้าที่ได้จากชุดเซลล์แสง สามารถชาร์จพลังงานที่ได้จากชุดเซลล์แสงเพียงพอในการจ่ายให้แก่โหลดที่ต้องการ

สรุปผลที่ได้โดยการปลูกแบบทั่วไป และระบบ ในช่วงของการปลูกที่แบ่งจะเห็นได้ว่าระบบที่ได้ออกแบบไว้นั้นจะมีค่าของตัวชี้วัดที่ดีกว่า เนื่องจากการใช้ระบบในการควบคุมสามารถกำหนดทั้งระยะเวลา และปริมาณได้อย่างมีมาตรฐานกว่าการปลูกแบบทั่วไปโดยใช้คนในการควบคุมซึ่งผลที่ได้จากการออกแบบนี้จะสามารถใช้เป็นแนวทางในการพัฒนารูปแบบของการปลูกสตอร์เบอรี่ภายในพื้นที่จังหวัดเชียงรายได้ต่อไป

## 7. ข้อเสนอแนะ

1. ควรที่จะปรับเปลี่ยนระบบให้มีการเติม น้ำ ปุ๋ย และสารเคมี ในถังเก็บแบบอัตโนมัติ
2 .ควรเพิ่มขนาดของปั๊มน้ำให้มีแรงดันสูงกว่าเดิม
3. ควรจับตัวแปร เช่น ความชื้นในดิน อุณหภูมิในบริเวณที่ปลูก เพื่อนำมาวิเคราะห์เพื่อปรับปรุงระบบ

## เอกสารอ้างอิง

[1] ชูศักดิ์ สัจจพงษ์, “ผลของการให้น้ำที่มีต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของต้นสตรอเบอรี่” วิทยานิพนธ์. (เกษตรศาสตร์) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ 2528.

[2] เอกนรินทร์ ปินทะนา, “ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับความสำเร็จในการปลูกสตรอเบอรี่ ในตำบลบ่อแก้ว อำเภอสะเมิง จังหวัดเชียงใหม่” วิทยานิพนธ์. (เกษตรศาสตร์) มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ 2553.

[3] บัวบาง ยะอูป และคณะ, “การสำรวจสถานภาพของโรคและแมลงศัตรูของสตรอเบอรี่ ในภาคเหนือของประเทศไทย” การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 35 กุมภาพันธ์ 2540, หน้า 302-310.

[4] ชูเกียรติ ตั้งใจกตัญญู, “การวิเคราะห์ประสิทธิภาพทางเศรษฐกิจของการผลิตสตรอเบอรี่ ในอำเภอสะเมิง จังหวัดเชียงใหม่และอำเภอแม่สาย จังหวัดเชียงราย ปีการเพาะปลูก 2542/2543” วิทยานิพนธ์ (เศรษฐศาสตร์เกษตร) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ 2545.

**บทความวิจัย**

การประชุมวิชาการ งานวิจัยและพัฒนาเชิงประยุกต์ ครั้งที่ 8

*8th ECTI-CARD 2016, Hua Hin, Thailand*

# เครื่องตรวจสอบคุณภาพของไข่ไก่ โดยใช้หลักการค่าฮอร์ยูนิต

# Egg Quality Tester Machine Using Haugh Unit

**กรณิการ์ มูลโพธิ์ และ ณัฐพงศ์ แพน้อย**

[1]สาขาวิชาวิศวกรรมระบบวัดคุมและเมคคาทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร

140 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร ถนนเชื่อมสัมพันธ์ แขวงกระทุ่มราย เขตหนองจอก กรุงเทพฯ 10530 โทรศัพท์ 02-988-3666 ต่อ 1112

Email: kornika@mut.ac.th , Nattapong@mut.ac.th

## บทคัดย่อ

บทความนี้ได้นำเสนอเครื่องตรวจสอบคุณภาพของไข่ไก่ โดยใช้หลักการค่าฮอร์ยูนิต โดยค่าฮอร์ยูนิตคือค่าที่วัดได้จากการคำนวณน้ำหนักของไข่และความสูงของไข่ขาวข้น ดังนั้นบทความนี้จึงแบ่งเนื้อหาออกเป็น 3 ส่วนหลักคือ ส่วนที่ 1 การชั่งน้ำหนักของไข่โดยใช้โหลดเซลล์ ส่วนถัดไปคือ การวัดความสูงของไข่ขาวข้นโดยใช้เซนเซอร์ที่ใช้หลักการคลื่นความถี่เหนือเสียง ส่วนสุดท้ายเป็นส่วนของการประมวลผลโดยใช้ไมโครคอนโทลเลอร์ PIC 16F877 แล้วทำการแสดงผลค่าฮอร์ยูนิตออกทางจอแอลซีดี ในส่วนของผลการทดลองของบทความนี้พบว่าค่าที่ได้จากการชั่งน้ำหนักระหว่าง 0 ถึง 100 กรัม และความสูง 0 ถึง 0.009 เมตร มีค่าความผิดพลาดไม่เกิน 4 และ 10 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ และเมื่อทำการประมวลผลหาค่าฮอร์ยูนิตเทียบเคียงกับเครื่องต้นแบบของบริษัทซีพีที่มีราคาสูง โดยพบว่าเครื่องที่ได้จากบทความนี้สามารถใช้งานได้ดี

คำสำคัญ: การชั่งน้ำหนัก, การวัดความสูง, โหลดเซลล์, อัลตราโซนิค, ตรวจสอบคุณภาพไข่, ฮอร์ยูนิต

## Abstract

This paper present Egg Quality Tester Using Haugh Unit. The Haugh unit is a measure of egg protein quality based on the weighed of egg and the height of its egg white (albumen). So this article is divided into three parts: part one is measure weighed of egg using load cell. Then measure the height of egg white using Ultrasonic sensor. The last part three is processor using microcontroller PIC 16F877 and display by LCD. The average error of measure weighed between 0-100 g and the height between 0-9mm are 4% and 10% respectively. The result of processing the haugh unit without error between this work and prototype quality of the eggs from CPALL.

Keywords: measure weighed, measure height, load cell, Ultrasonic sensor, egg quality tester, Haugh unit

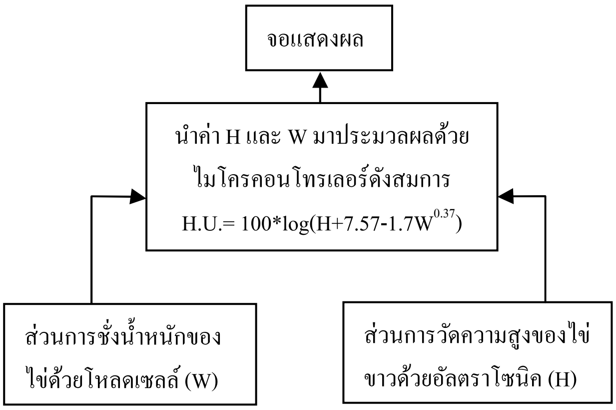
## 1. บทนำ

สำหรับอุตสาหกรรมโรงงานแปรรูปผลิตภัณฑ์จากไข่ไก่นั้น การตรวจสอบหาคุณภาพของไข่ไก่เป็นสิ่งที่สำคัญ ซึ่งการตรวจสอบหาคุณภาพของไข่ไก่มีอยู่ด้วยกันหลายวิธี เช่น การนำไข่ไก่ไปแช่ในน้ำ การสังเกตดูจากสีของเปลือกไข่ไก่ การวัดระยะความสูงของไข่ขาว ซึ่งการตรวจสอบด้วยวิธีเหล่านี้จำเป็นต้องใช้แรงงานคนที่มีความชำนาญ พร้อมทั้งใช้ระยะเวลานาน โดยในโรงงานอุตสาหกรรมแปรรูปผลิตภัณฑ์ไข่ไก่ขนาดใหญ่ ใช้เครื่องตรวจสอบหาคุณภาพของไข่ไก่ที่นำเข้ามาจากต่างประเทศ และมีราคาสูง ส่วนโรงงานอุตสาหกรรมแปรรูปผลิตภัณฑ์ไข่ไก่ขนาดเล็กยังไม่มีเครื่องตรวจสอบคุณภาพของไข่ไก่ จึงทำให้ไข่ไก่มีราคาต่ำ หากในโรงงานอุตสาหกรรมแปรรูปผลิตภัณฑ์ไข่ไก่ขนาดเล็กมีการตรวจสอบคุณภาพของไข่ไก่ก่อน จะทำให้ไข่ไก่มีราคาสูงขึ้น ปัจจุบันยังไม่มีเครื่องตรวจสอบคุณภาพไข่ไก่ที่มีต้นทุนต่ำ

ดังนั้นบทความนี้จึงนำเสนอ เครื่องตรวจสอบคุณภาพไข่ไก่ที่นำเอาหลักการการวัดระยะทางด้วยคลื่นเสียงที่ชื่อว่าอัลตราโซนิค นำมาวัดระยะความสูงของไข่ขาว และนำเอาหลักการของโหลดเซลล์มาทำเครื่องชั่งน้ำหนัก เพื่อชั่งน้ำหนักของไข่ และนำไปคำนวณในสูตรหาคุณภาพของไข่โดยที่ไม่ต้องใช้แรงงานคนจำนวนมาก ที่สำคัญราคาไม่สูง

## 2. โครงสร้างระบบที่นำเสนอ

เนื่องจากบทความนี้นำเสนอเครื่องตรวจสอบคุณภาพไข่โดยใช้หลักการของฮอร์ยูนิตโดยค่าฮอร์ยูนิตคือค่าที่วัดได้จากการคำนวณน้ำหนักของไข่และความสูงของไข่ขาวข้น ดังนั้นในบทความนี้จึงแบ่งการทำงานออกเป็น 3 ส่วนหลักด้วยกันดังแสดงในรูปที่ 1 คือ ส่วนการชั่งน้ำหนักของไข่ด้วยโหลดเซลล์ ส่วนการวัดความสูงของไข่ขาวด้วยอัลตราโซนิค และส่วนของการประมวลผลสัญญาณและแสดงผลออกทางจอแอลซีดี




**รูปที่ 1** หลักการทำงานของเครื่องตรวจสอบคุณภาพไข่ไก่

## 2.1 ส่วนการชั่งน้ำหนักของไข่ด้วยโหลดเซลล์

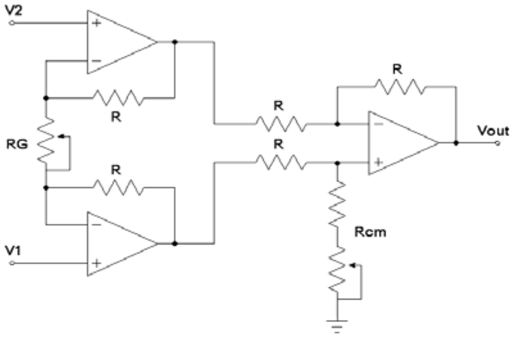
เนื่องจากบทความนี้ในส่วนของการวัดน้ำหนักใช้อุปกรณ์ตรวจวัดน้ำหนักคือสเตนเกจ (Strain gauge) ซึ่งให้ค่าแรงดันเอาต์พุตที่ระดับต่ำมาก โดยทำการวัดค่าแรงดันที่วงจรบริดจ์ที่ใส่สเตนเกจ โดย ช่วงน้ำหนักระหว่าง 0 ถึง 100 กรัม พบว่าที่น้ำหนัก 0 กรัม ได้ค่าแรงดัน คือ 0.265 มิลลิโวลต์ และทำการวัดค่าแรงดันที่น้ำหนัก 100 กรัม ได้ค่าแรงดันคือ 1.537 มิลลิโวลต์ ดังนั้นจึงจำเป็นจะต้องมีส่วนของวงจรขยายอินทรูเมนเตชั่น ใช้ขยายสัญญาณที่มีขนาดเล็ก ๆ ให้มีขนาดตามที่ต้องการดังรูปที่ 2 โดยมีอัตราขยายดังสมการที่ 1 จากนั้นส่งไปวงจรการปรับซีโร่และสแปน เพื่อปรับระดับแรงดันให้อยู่ในช่วงที่ต้องการ คือ 0-5 โวลต์ ดังรูปที่ 3 โดยแรงดันเอาท์พุตแสดงดังสมการที่ 2 สามารถแสดงวงจรรวมที่ต่อจริงได้ดังรูปที่ 4 และทำการประมวลผลเพื่อคำนวณหาค่าน้ำหนักในส่วนของคอนโทรเลอร์ ดังรูปที่ 5

$$\frac{V_{out}}{(V_1 - V_2)} = 1 + \frac{2R}{R_G} \tag{1}$$

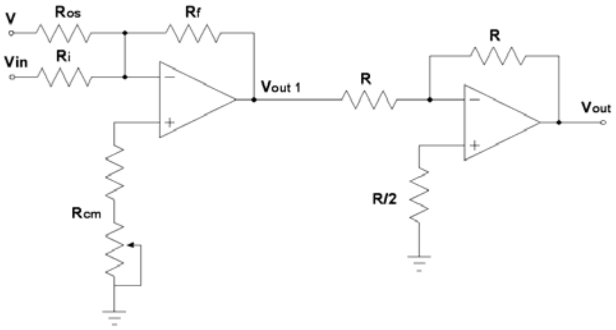
$$V_{out1} = -\frac{R_f}{R_i}V_{in} - \frac{R_f}{R_{os}}V \tag{2}$$

## 2.2 ส่วนการวัดความสูงของไข่ขาวด้วยอัลตราโซนิค

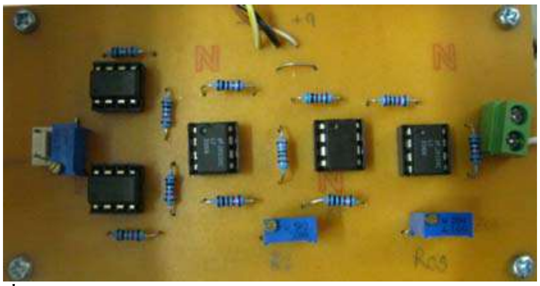
การวัดระดับด้วยคลื่นอัลตราโซนิคนั้น จะอาศัยหลักการเคลื่อนที่ไปในตัวกลางด้วยความเร็วคงที่ ซึ่งการเดินทางจากตัวส่งไปยังวัสดุแล้วสะท้อนกลับมายังตัวรับ จะสามารถนำมาใช้ในการคำนวณระยะทางได้ ซึ่งจะใช้ทฤษฎีเกี่ยวกับ การเดินทางของความเร็วเสียงในอากาศมีค่าเท่ากับ 346 เมตร/วินาที ที่ความดันระดับน้ำทะเล และอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส



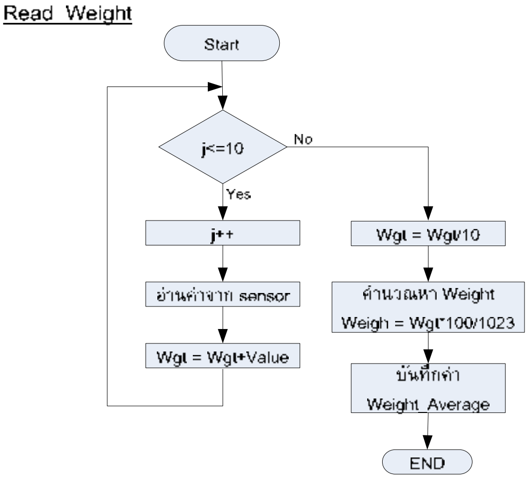

**รูปที่ 2** วงจรขยายอินสทรูเมนเตชั่น




**รูปที่ 3** วงจรการปรับซีโร่ และแสปน (zero and span)

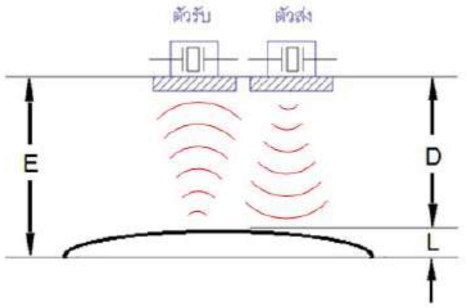


**รูปที่ 4** วงจรขยายอินสทรูเมนเตชั่น และวงจรการปรับซีโร่ และแสปน




**รูปที่ 5** แผนผังการคำนวณหาค่าน้ำหนัก

โดยในการวัดความสูงของไข่ขาวสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 6 และสามารถหาความสัมพันธ์ ของความเร็ว เวลา และระยะทางของคลื่นเมื่อสะท้อนกับวัสดุ ได้ดังนี้




**รูปที่ 6** ความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางกับเวลา

$$D = \frac{vt}{2} \tag{3}$$

$$L = E - D \tag{4}$$

เมื่อ $D$ = ระยะทางจากเซนเซอร์ถึงไข่ในถาด $L$ = ความสูงของไข่ในถาด $E$ = ระยะทางจากเซนเซอร์ถึงถาด $v$ = ความเร็วของคลื่นเสียงในอากาศ $t$ = เวลาที่ใช้ในการเดินทางทั้งหมด

หลักการทำงานในการวัดความสูงของไข่ขาว จะทำงานโดยไมโครคอลโทรลเลอร์จะสั่งงานด้วยลอจิก “0” ไปให้วงจรสร้างสัญญาณสี่เหลี่ยมที่มีความถี่ 40 กิโลเฮิร์ทซ ออกไปทางด้านตัวส่ง ในเวลาเดียวกันตัวไมโครคอลโทรลเลอร์จะเริ่มทำการจับเวลาโดยการนับสัญญาณนาฬิกาไว้ใน Time1 ด้วย และเมื่อสัญญาณอัลตร้าโซนิคกระทบกับวัตถุจะสะท้อนกลับมาที่ตัวรับดังรูปที่ 7 และตัวรับจะทำการขยายสัญญาณที่ได้รับให้มีขนาดสูงขึ้น แล้วส่งสัญญาณไปที่ไมโครคอลโทรเลอร์เพื่อเช็คขอบของสัญญาณและหยุดการนับเวลา จากนั้นตัวไมโครคอลโทรลเลอร์ก็จะนำเวลา Time1 ที่ได้ไปคำนวณหาระยะทางจากเซนเซอร์ถึงไข่ในถาด (D) ดังสมการที่ 3 โดยแสดงวงจรรวมที่ต่อจริงดังรูปที่ 7 และแสดงแผนผังการคำนวณหาระยะทางจากเซนเซอร์ถึงไข่ในถาด ดังรูปที่ 8 และนำค่า Height_Average (D) ที่ได้ไปคำนวณหาความสูงของไข่ในถาด (L) ดังสมการที่ 4 ต่อไป

## 2.3 ส่วนการประมวลผลด้วยไมโครคอนโทรเลอร์ และแสดงผล

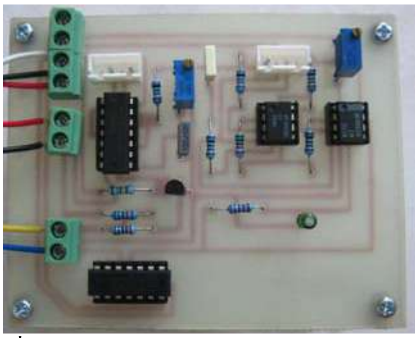
ในส่วนของการออกแบบการประมวลผล เมื่อได้ค่าน้ำหนักจากการชั่งน้ำหนัก และได้ค่าความสูงจากการวัดส่วนสูงเรียบร้อยแล้ว โปรแกรมก็จะนำค่าที่ได้ทั้งสองมาคำนวณหาค่าความสดของไข่ไก่โดยคำนวณจากสมการที่ 5

$$H.U. = 100 * \log\left(H + 7.57 - 1.7W^{0.37}\right) \tag{5}$$

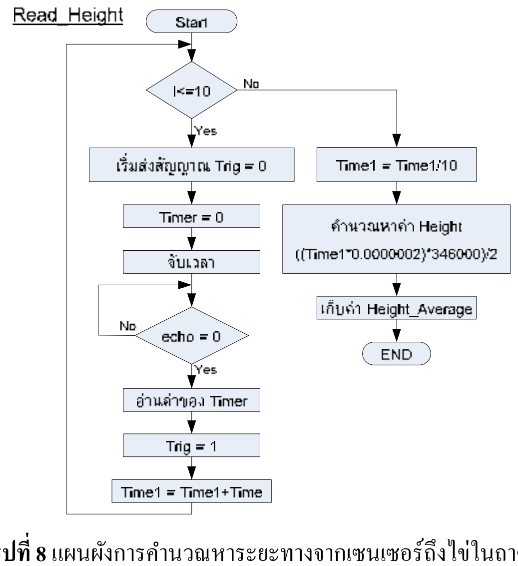
เมื่อ $H$ = ความสูงของไข่ขาว (มิลลิเมตร) $W$ = น้ำหนักของไข่ไก่ (กรัม) โดยค่า H.U. ที่อยู่ช่วงระหว่าง 72-130 เป็นเกรด AA ช่วงระหว่าง 61-71 เป็นเกรด A ช่วงระหว่าง 31-60 เป็นเกรด B และช่วงระหว่าง 30-ต่ำกว่าเป็นเกรด C จากนั้นนำค่าที่ได้มาหาช่วงเพื่อแสดงผล โดยสามารถแสดงแผนผังการประมวลผล และแสดงผลได้ดังรูปที่ 9

## 3. ผลการทดสอบเครื่องทดลอง

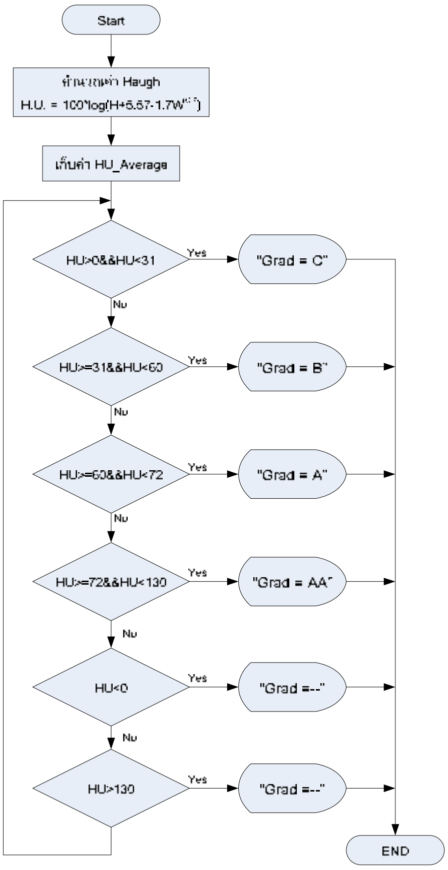
หลังจากสร้างเครื่องทดลองดังแสดงในรูปที่ 10 และได้ทำการทดสอบเครื่องเพื่อตรวจสอบคุณภาพไข่ โดยแบ่งการทดสอบออกเป็น 2 กรณี คือ กรณีที่ 1 ทำการทดสอบเครื่องชั่งน้ำหนัก เทียบเคียงกับเครื่องชั่งดิจิตอลที่ได้รับการรับรองมาตรฐานแล้ว วัดความสูงของไข่ เทียบเคียงกับเวอร์เนียดิจิตอล และนำค่าที่ได้มาคำนวณหาค่าฮอร์ยูนิต โดยแสดงผลการทดลองได้ดังตารางที่ 1 กรณีที่ 2 นำเครื่องตรวจสอบคุณภาพไข่ไปเทียบเคียงกับเครื่องต้นแบบของบริษัท ซีพี ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 2



**รูปที่ 7** วงจรภาครับ และภาคส่งสัญญาณอัลตราโซนิค




**รูปที่ 8** แผนผังการคำนวณหาระยะทางจากเซนเซอร์ถึงไข่ในถาด




**รูปที่ 9** แผนผังการคำนวณหาค่าฮอร์ยูนิต และการแสดงผลผ่านจอ LCD

**รูปที่ 10** แสดงเครื่องทดลองเทียบกับเครื่องจากบริษัท ซี พี

## 4. บทสรุป

จากการทดสอบเครื่องทดลองพบว่าค่าความผิดพลาดในการทดลองทั้งกรณีเครื่องมือวัด และกับเครื่องต้นแบบ เห็นว่าการชั่งน้ำหนักมีค่าความผิดพลาดไม่เกิน 4 เปอร์เซ็นต์ และการวัดความสูงมีค่าไม่เกิน 10 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเมื่อนำมาคำนวณหาค่าฮอร์ยูนิตจะได้ค่าความผิดพลาดไม่เกิน 11 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเมื่อเทียบกับช่วงของค่าฮอร์ที่ใช้ในการคัดเกรดคุณภาพของไข่ซึ่งมีช่วงกว้างทำให้ผลการทดลองในการคัดคุณภาพไข่จึงไม่มีการวิเคราะห์คลาดเคลื่อนแต่อย่างใด ซึ่งในเบื้องต้นถือว่าสามารถใช้งานได้ดี

## กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ คุณพงษ์ปกรณ์ วงษ์หนองแวง และคุณกมลวรรณ ทวีสอน ที่ช่วยประกอบติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆในเครื่องทดลองและเก็บผลการทดสอบระบบ

**ตารางที่ 1** การทดลองเครื่องตรวจสอบคุณภาพไข่ไก่เทียบกับเครื่องมือวัด

| ลำดับ (ฟอง) | น้ำหนัก (กรัม) | | | ส่วนสูง (มิลลิเมตร) | | | ค่า H.U. | | | เกรด | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | เครื่องทดลอง | เครื่องมือวัด * | ค่าผิดพลาด (%) | เครื่องทดลอง | เครื่องมือวัด ** | ค่าผิดพลาด (%) | เครื่องทดลอง | เครื่องมือวัด | ค่าผิดพลาด (%) | เครื่องทดลอง | เครื่องมือวัด |
| 1 | 64.51 | 63.87 | 1.00 | 3.02 | 3.18 | 5.03 | 42.33 | 45.27 | 6.49 | B | B |
| 2 | 61.29 | 60.78 | 0.84 | 2.74 | 2.51 | 9.16 | 40.15 | 36.35 | 10.45 | B | B |
| 3 | 65.29 | 64.05 | 1.94 | 3.78 | 4.00 | 5.50 | 52.77 | 56.20 | 6.10 | B | B |
| 4 | 60.11 | 60.65 | 0.89 | 1.57 | 1.65 | 4.85 | 14.55 | 16.31 | 10.79 | C | C |
| 5 | 64.41 | 64.52 | 0.17 | 3.02 | 3.07 | 1.63 | 42.03 | 43.07 | 2.41 | B | B |

**ตารางที่ 2** ผลการทดลองเครื่องตรวจสอบคุณภาพไข่ไก่เทียบกับเครื่องต้นแบบของบริษัท ซีพี

| ลำดับ (ฟอง) | น้ำหนัก (กรัม) | | | ส่วนสูง (มิลลิเมตร) | | | ค่า H.U. | | | เกรด | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | เครื่องทดลอง | เครื่องต้นแบบ | ค่าผิดพลาด (%) | เครื่องทดลอง | เครื่องต้นแบบ | ค่าผิดพลาด (%) | เครื่องทดลอง | เครื่องต้นแบบ | ค่าผิดพลาด (%) | เครื่องทดลอง | เครื่องต้นแบบ |
| 1 | 62.85 | 62.10 | 1.21 | 4.00 | 3.82 | 4.71 | 56.96 | 55.20 | 3.19 | B | B |
| 2 | 66.76 | 65.80 | 1.46 | 3.73 | 3.86 | 3.37 | 51.21 | 53.50 | 4.28 | B | B |
| 3 | 66.86 | 65.80 | 1.61 | 3.45 | 3.66 | 5.74 | 47.28 | 50.90 | 7.11 | B | B |
| 4 | 66.08 | 66.50 | 0.63 | 3.21 | 3.40 | 5.59 | 43.98 | 47.50 | 7.41 | B | B |
| 5 | 61.17 | 60.70 | 2.42 | 3.79 | 4.00 | 5.25 | 55.28 | 58.10 | 4.85 | B | B |
| 6 | 69.10 | 68.55 | 0.80 | 3.96 | 4.15 | 4.57 | 52.91 | 55.58 | 4.80 | B | B |
| 7 | 65.88 | 67.10 | 1.82 | 3.89 | 3.86 | 0.77 | 53.83 | 52.76 | 2.03 | B | B |
| 8 | 66.86 | 67.05 | 0.28 | 3.88 | 3.66 | 6.01 | 53.15 | 50.13 | 6.02 | B | B |
| 9 | 67.25 | 65.11 | 3.28 | 3.50 | 3.40 | 2.94 | 47.76 | 47.71 | 0.10 | B | B |
| 10 | 62.80 | 62.50 | 0.48 | 3.95 | 4.00 | 1.25 | 56.28 | 57.04 | 1.33 | B | B |

## เอกสารอ้างอิง

[1] Yongyu Li, Sagar Dhakal, Yankun Peng, “A machine vision system for identification of micro-crack in egg shell”, Journal of Food Engineering, Volume 109, March 2012, Pages 127-134

[2] G. Hueber, Linz Univ, T.Ostermann, T.Bauernfeind and more, “New approach of ultrasonic distance measurement technique in robot applications”, WCCC-ICSP 2000, Vol.3, Aug 2000, Page 2066-2069

# การพัฒนาเครื่องผสมอาหารสัตว์แบบเลือกสูตรโปรแกรมทำงานได้

# Development of Animal Feed Mixer Multi Recipe

**กุลสมทรัพย์ เย็นฉ่ำชลิต[1] พิชิต อ้วนไตร[1] พัชรีพรรณ สมวงษ์[2] และ โชติวุฒิ ประสพสุข[3]**

[1]สาขาวิชาเทคโนโลยีไฟฟ้าอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี

[2]สาขาวิชาคอมพิวเตอร์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี

[3]สาขาวิชาเทคโนโลยีเครื่องกล คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี

321 ถนนนารายณ์มหาราช ตำบลทะเลชุบศร อำเภอเมือง จังหวัดลพบุรี

e-mail: kulsomsap.ycl@gmail.com, bnnapo@gmail.com, au_pps@hotmail.com tae_fully@hotmail.com

## บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการพัฒนาเครื่องผสมอาหารสัตว์ที่สามารถโปรแกรมการทำงานของสูตรอาหารที่เหมาะสมได้ 3 สูตรโดยมีส่วนประกอบหลัก ได้แก่ ถังเก็บส่วนผสม ถังผสมและ ไซโลสำหรับบรรจุ เครื่องผสมอาหารสัตว์ที่พัฒนาขึ้นช่วยลดระยะเวลาการทำงานของเกษตรกรในการผลิตอาหารแต่ละสูตรและค่าความผิดพลาดจากการทำงานน้อยกว่าการผสมเองด้วยมือ ซึ่งช่วยส่งเสริมให้เกษตรกรมีรายได้เพิ่มขึ้นจากการขายอาหารสัตว์และการเกษตรในครัวเรือน

ผลการวิจัยพบว่าเครื่องผสมอาหารสัตว์ที่พัฒนาขึ้นมีประสิทธิภาพ สามารถผสมอาหารได้ตามโปรแกรมที่ตั้งไว้

คำสำคัญ: เครื่องผสมอาหารสัตว์, PLC

## Abstract

This paper presents the development of animal feed mixer multi recipe, It can program 3 of recipes, including storage tanks, mix tanks and silos for mixed containers. The animal feed mixer reduce the duration of the farmer's work do 3 recipe of animal feed preparing, and the error of the recipe less mixing by hand. Which encourages farmers to increase revenue from the sale of livestock and agriculture household.

The results showed that the animal developed effectively. Food can be mixed according to preset programs.

Keywords: Animal feed Mixing, PLC

## 1. บทนำ

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมแรงงานส่วนใหญ่ของประเทศเกือบครึ่งหนึ่งทำงานในภาคการเกษตร [1] นับเป็นหนึ่งในอาชีพหลักที่ขับเคลื่อนเศรษฐกิจของประเทศผลผลิตทางการเกษตรมีหลายส่วนทั้งจากการผลิตพืช การประมงและปศุสัตว์ ซึ่งการทำปศุสัตว์มีการขยายตัวเพิ่มขึ้น [2] และมีความสำคัญ เนื่องจากประชากรที่มีอัตราการเพิ่มมากขึ้น ทำให้ความต้องการผลผลิตจากการทำปศุสัตว์เพิ่มมากขึ้นไปด้วย ในการผลิตปศุสัตว์เพื่อตอบสนองความต้องการของผู้บริโภคมีปัจจัยหลายประการที่ทำให้สัตว์มีการเจริญเติบโตและให้ผลผลิต เช่น การปรับปรุงพันธุ์สัตว์ การจัดการสุขภาพสัตว์ ทำให้มีภูมิคุ้มกันโรคจากสภาวะภูมิอากาศที่เปลี่ยนแปลง ผู้ที่ผลิตสัตว์จำเป็นต้องหาทางที่จะเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตสัตว์ให้มากขึ้น โดยเฉพาะปัจจัยที่สำคัญคืออาหารสัตว์ เนื่องจากเป็นต้นทุนที่ใช้ในการเลี้ยงสัตว์ไม่น้อยกว่าร้อยละ 70 อาหารสัตว์ที่ใช้เลี้ยงสัตว์มีมากมายหลายชนิด แต่ละชนิดมีคุณภาพประสิทธิภาพ และราคาที่แตกต่างกันออกไป ในการให้สัตว์มีการเจริญเติบโตตามระยะเวลาที่กำหนดเพื่อแข่งขันกับคู่แข่งอื่นในตลาด ผู้ผลิตสัตว์จึงมีการจัดการให้อาหารสัตว์อย่างถูกต้องและเหมาะสมกับชนิดของสัตว์

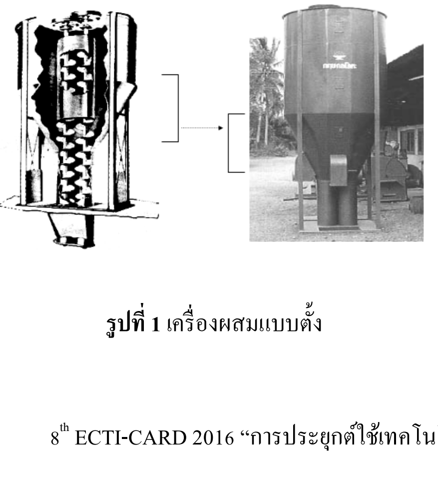
เพื่อที่จะลดต้นทุนในด้านอาหารสัตว์ผู้ผลิตจะต้องหาอาหารสัตว์ที่มีราคาถูก มีคุณภาพ ตามโภชนาการที่ควรเป็น โดยการนำผลผลิตจากการผลิตเกษตรกรรมอื่นที่มีจำนวนมากพอนำมาประยุกต์ใช้เป็นประโยชน์ในแง่ของอาหารสัตว์ นำมาผสมกับอาหารหลักที่ใช้เพื่อเพิ่มคุณภาพของอาหาร โดยจะมีการผสมเป็นสัดส่วนที่ชัดเจนแต่หากต้องการปริมาณการผสมที่มากการผสมอาหารสัตว์ก็จะเป็นงานที่ยุ่งยากเพราะโดยทั่วไปมักจะผสมให้เสร็จตามจำนวนแล้วนำไปใช้งานในครั้งเดียวไม่ผสมซ้ำหลายรอบ หากใช้กำลังคนผสมในปริมาณมากส่วนผสมอาจมีความคลาดเคลื่อนและการผสมอาหารอาจจะไม่เข้ากันดีดังนั้นเครื่องผสมอาหารสัตว์จึงเป็นสิ่งจำเป็นที่จะเป็นตัวช่วยสำคัญของเกษตรกรเพื่อที่จะได้สูตรอาหารที่เป็นมาตรฐานมีคุณค่าและโภชนาการที่เท่าเดิมในทุกครั้ง

จากความสำคัญของเครื่องผสมอาหารที่กล่าวมาผู้วิจัยจึงออกแบบและพัฒนาเครื่องผสมอาหารสัตว์แบบอัตโนมัติ ที่สามารถเลือกสูตรผสมอาหารเพื่อให้เป็นไปตามสัดส่วนของสัตว์ในแต่ละช่วงวัย สามารถผสมอาหารได้เป็นปริมาณมาก มีส่วนผสมที่ถูกต้องลดต้นทุนการจ้างแรงงานคนและเพิ่มรายได้ให้กับเกษตรกรจากการขายอาหารสัตว์และการเกษตรในครัวเรือน

## 2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 เครื่องผสมอาหารสัตว์

การผสมอาหารสัตว์แต่เดิมใช้แรงงานคนในการผสมซึ่งทำให้ผู้ใช้งานเกิดความเหนื่อยล้าในการเตรียมส่วนผสม ทำให้เกิดการปัญหาการสิ้นเปลืองวัตถุดิบ ผสมไม่ได้สัดส่วนจึงได้มีการคิดค้นเครื่องผสมอาหารสัตว์ขึ้นมา เช่น ใช้การปั่น (blender) ด้วยใบมีดหมุนด้วยความเร็วสูงตัดวัตถุให้มีขนาดเล็ก และอัดผ่านรูตะแกรงได้เนื้อวัตถุสม่ำเสมอเป็นเนื้อเดียวกัน ซึ่งอาจใช้เป็นทั้งเครื่องบดและเครื่องผสมในขณะเดียวกันได้ การโม่ (roller mill) ทำงานโดยอาศัยแรงเสียดสี มีส่วนประกอบคือ แผ่นเหล็กสองแผ่นประกบกันโดยแผ่นหนึ่งติดอยู่กับที่ไม่มีการเคลื่อนไหวในขณะที่อีกแผ่นหนึ่งหมุน ผิวของแผ่นเหล็กของด้านที่ประกบกันจะมีลักษณะเป็นร่องๆ หรือตารางมีสันนูนเพื่อให้อาหารที่บดได้ที่แล้วผ่านออก ขนาดวัตถุที่บดได้ขึ้นกับความห่างของแผ่นเหล็ก 2 อัน ส่วนอีกแบบหนึ่ง ใช้เป็นลูกกลิ้งหมุนรอบแกนและบดอาหารได้โดยผ่านลงระหว่างช่องลูกกลิ้ง เครื่องบดแบบค้อนเหวี่ยง (hammer mill) ประกอบด้วยท่อนเหล็กเล็ก ๆ หลายท่อนยึดอยู่กับแกนหมุนอย่างหลวม ๆ เมื่อแกนกลางหมุนจะเหวี่ยงท่อนเหล็กให้กางออกตีวัตถุต่าง ๆ ที่เราต้องการบดให้แตกละเอียด จนสามารถที่จะผ่านรูตะแกรงออกมาได้ เครื่องผสมแบบตั้ง (vertical mixer) การทำงานของเครื่องใช้สกรูลำเลียง (Screw Flights) มีลักษณะเป็นเกลียวหมุนดึงอาหารเข้าท่อเหล็กจากตอนล่างของเครื่อง แล้วเหวี่ยงอาหารออกตอนบนและตกลงมาทำให้เกิดการผสมขึ้นอย่างช้า ๆ ซึ่งจะเป็นถังลักษณะทรงกระบอกตั้งขึ้น และตอนล่างเรียวเข้าเป็นรูปกรวย เครื่องแบบนี้ใช้ตามโรงผสมขนาดเล็กและใช้ในฟาร์มขนาดเล็ก



**รูปที่ 1** เครื่องผสมแบบตั้ง

### 2.2 PLC

PCL (Programmable logic Control : PLC) เป็นอุปกรณ์ควบคุมการทำงานของเครื่องจักรหรือกระบวนการทำงานต่างๆในการต่อใช้งาน PLC จะมีส่วนที่เป็นภาคอินพุตและเอาต์พุตสำหรับใช้งาน ในภาคอินพุตอาจเป็นตัวตรวจวัดหรือ สวิทตช์ต่างๆส่วนภาคเอาต์พุตจะใช้ต่อออกไปควบคุมการทำงานของอุปกรณ์หรือเครื่องจักรเช่น มอเตอร์ เราสามารถสร้างวงจรหรือแบบของการควบคุมได้โดยการป้อนเป็นโปรแกรมคำสั่งเข้าไปใน PLC นอกจากนี้ยังสามารถใช้งานร่วมกับอุปกรณ์อื่นเช่นเครื่องอ่านบาร์โค๊ด (Barcode Reader) เครื่องพิมพ์ (Printer) ซึ่งในปัจจุบันนอกจากเครื่อง PLC จะใช้งานแบบเดี่ยว (Standalone) แล้วยังสามารถต่อ PLC หลายๆ ตัวเข้าด้วยกัน (Network) เพื่อควบคุมการทำงานของระบบให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

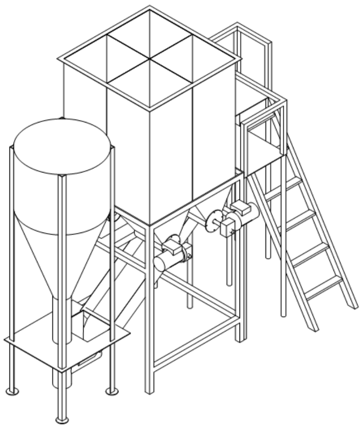
**รูปที่ 2** PLC MITSUBISHI รุ่น FX3U-48MT-ES/A

## 3. การออกแบบเครื่องผสมอาหารสัตว์

เครื่องผสมอาหารสัตว์แบบเลือกสูตรโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นประกอบด้วยส่วนสำคัญคือส่วนเก็บวัตถุดิบและส่วนผสมอาหาร ในส่วนเก็บวัตถุดิบแบ่งช่องของการเก็บวัตถุดิบออกเป็น 4 ช่อง คือ รำ 1 ช่อง ข้าวโพด 1 ช่อง หัวอาหาร 1 ช่อง และปลายข้าว 1 ช่อง สามารถเก็บวัตถุดิบแต่ละชนิดไว้ได้ถึง 200 กิโลกรัม / ถัง และในการทำงานวัตถุดิบจะเทลงมายังรางรับวัตถุดิบ และส่งต่อไปยังไซโลเพื่อทำการผสม เพียงแค่กดปุ่ม Start ตามสูตรที่ต้องการ เครื่องผสมอาหารจะทำงานตามระบบและผสมอาหารออกมาตามสูตรที่ต้องการ โดยการทำงานจะใช้ PLC ในการควบคุมจากเซ็นเซอร์ที่วัดปริมาณของวัตถุดิบและสั่งให้มอเตอร์ทำการขับชุดสกรูลำเลียงการหาแรงบิดสามารถหาได้จากสมการ (1) , (2)

$$T_g = \frac{9.55 P_2}{N_S} \tag{1}$$

$$T_g = P_{out} \frac{60}{9.81 \times 2\pi N_r} \tag{2}$$



**รูปที่ 3** เครื่องผสมอาหารที่พัฒนา

ในการคำนวณปริมาตรถังเก็บอาหารในงานวิจัยครั้งนี้สามารถหาได้จากสมการพื้นที่ทรงกระบอก (3) และปริมาตรทรงกรวย (4)

$$\text{พื้นที่ทรงกระบอก} = \pi r^2 h \tag{3}$$

$$\text{ปริมาตรทรงกรวย} = \frac{1}{3}\pi r^2 h \tag{4}$$

$r$ คือ รัศมีของวงกลม
$h$ คือ ความสูงของถัง

## 4. ผลการทำงาน

### 4.1 ทดสอบการผสมอาหาร

ทดสอบการทำงานตามสูตรผสมอาหารทั้ง 3 สูตรโดยใช้การทดลองกับการเลี้ยงหมู 3 ขนาดคือขนาดเล็ก, กลางและ ใหญ่ การตรวจสอบคือดูลักษณะของอาหารที่ผสมกันว่ามีความเข้ากันดีตามโปรแกรมที่ตั้งไว้โดยในตารางที่ 1 แสดงผลการทำงานโปรแกรมหมูขนาดเล็ก

**รูปที่ 4** ชุดควบคุมการทำงานของเครื่องผสมอาหาร

**ตารางที่ 1** ทดสอบการผสมอาหารสูตรที่ 1 สำหรับหมูขนาดเล็ก

| ปริมาณวัตถุดิบที่ใช้ในการผสมอาหารทั้งหมด (กิโลกรัม) | | | | เวลาที่ใช้ในการผสมอาหาร (นาที) | ผลการทดสอบ |
|---|---|---|---|---|---|
| ข้าวโพดบด | ปลายข้าว | รำละเอียด | หัวอาหาร | | |
| 25 | 25 | 15 | 35 | 5 | ส่วนผสมยังไม่เข้ากัน |
| 25 | 25 | 15 | 35 | 10 | ส่วนผสมเข้ากันบางส่วน |
| 25 | 25 | 15 | 35 | 15 | ส่วนผสมเข้ากันดี |

**ตารางที่ 2** ทดสอบการผสมอาหารสูตรที่ 2 สำหรับหมูขนาดกลาง

| ปริมาณวัตถุดิบที่ใช้ในการผสมอาหารทั้งหมด (กิโลกรัม) | | | | เวลาที่ใช้ในการผสมอาหาร (นาที) | ผลการทดสอบ |
|---|---|---|---|---|---|
| ข้าวโพดบด | ปลายข้าว | รำละเอียด | หัวอาหาร | | |
| 25 | 30 | 20 | 25 | 5 | ส่วนผสมยังไม่เข้ากัน |
| 25 | 30 | 20 | 25 | 10 | ส่วนผสมเข้ากันบางส่วน |
| 25 | 30 | 20 | 25 | 15 | ส่วนผสมเข้ากันดี |

**ตารางที่ 3** ทดสอบการผสมอาหารสูตรที่ 3 สำหรับหมูขนาดใหญ่

| ปริมาณวัตถุดิบที่ใช้ในการผสมอาหารทั้งหมด (กิโลกรัม) | | | | เวลาที่ใช้ในการผสมอาหาร (นาที) | ผลการทดสอบ |
|---|---|---|---|---|---|
| ข้าวโพดบด | ปลายข้าว | รำละเอียด | หัวอาหาร | | |
| 30 | 30 | 25 | 15 | 5 | ส่วนผสมยังไม่เข้ากัน |
| 30 | 30 | 25 | 15 | 10 | ส่วนผสมเข้ากันบางส่วน |
| 30 | 30 | 25 | 15 | 15 | ส่วนผสมเข้ากันดี |

ผลจากการทำงานตามโปรแกรมพบว่าอาหารหมูที่ใช้เครื่องผสมอาหารมีคุณภาพตามที่ตั้งไว้และสามารถนำไปใช้งานได้ด้วยเวลาที่

รวดเร็วและการเก็บวัตถุดิบที่มากสามารถทำให้การผสมอาหารสามารถทำได้คราวละมากๆ

**รูปที่ 5** อาหารหมูหลังจากผสมจากซ้าย หมูขนาดเล็ก กลาง ใหญ่

### 4.2 คำนวณรายจ่ายเทียบกับการจ้างแรงงานคน

ในงานวิจัยครั้งนี้ทำการเปรียบเทียบผลของการใช้รายจ่ายในการจ้างแรงงานรายวันกับรายจ่ายค่าไฟฟ้าที่ใช้ตลอดระยะเวลาการเลี้ยงสุกร 8 สัปดาห์แสดงในตารางที่ 4

**ตารางที่ 4** ค่าไฟฟ้าตลอดระยะเวลา 8 สัปดาห์ต่อจำนวนสุกร 40 ตัว

| ขนาดสุกร | สัปดาห์ | ปริมาณอาหาร/วัน (kg) | จำนวนยูนิต | ค่าไฟฟ้า (บาท) |
|---|---|---|---|---|
| สุกรเล็ก | 1-2 | 80 | 28.28 | 36.50 |
| สุกรกลาง | 3-5 | 200 | 84.84 | 98.78 |
| สุกรใหญ่ | 6-8 | 400 | 169.68 | 361.93 |
| รวม | | | 282.8 | 497.21 |

รายจ่ายค่าไฟฟ้าตลอดระยะเวลาการเลี้ยงสุกร 8 สัปดาห์เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่าจ้างแรงงานผสมอาหารรายวันที่มีค่าแรงขั้นต่ำ 300 บาทต่อวัน แสดงในตารางที่ 5

**ตารางที่ 5** เปรียบเทียบรายจ่ายในการผสมอาหารระหว่างแรงงานคนกับเครื่องผสมอาหาร

| ประเภท | จำนวนวัน | รายจ่ายเฉลี่ย/วัน/บาท | รวม/บาท |
|---|---|---|---|
| แรงงานคน | 56 | 300 | 16,800 |
| เครื่องผสมอาหาร | 56 | 8.87 | 497.21 |

## 5. สรุปผล

การพัฒนาเครื่องผสมอาหารสัตว์แบบเลือกสูตรโปรแกรมทำงานได้ที่ผู้วิจัยได้พัฒนาสามารถเลือกสูตรการทำงานได้ 3 สูตรและสามารถช่วยลดเวลาการทำงานของเกษตรกรได้อีกทั้งเมื่อนำมาเทียบรายจ่ายที่ต้องเสียไปในการจ้างแรงงานคนยังถูกกว่าผลผลิตที่เหลือสามารถนำไปขายเพื่อเพิ่มรายได้ได้อีกทาง

## เอกสารอ้างอิง

[1] สำนักงานสถิติแห่งชาติ. (2559, มีค 10.). *ทิศทางการทำงานของแรงงานไทย* [Online]. Available: http://www.nso.go.th

[2] สารสนเทศส่งเสริมการเกษตร. (2559, กพ). *มูลค่าผลิตภัณฑ์มวลรวมภายในประเทศ* [Online].Available: http://www.agriinfo.doae.go.th

[3] กิตติศักดิ์ แสนประเสริฐ, “เครื่องผสมน้ำยางพารากับสารเคมีขนาดเล็ก”. รายงานการวิจัย: มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย, 2552

[4] รัฐศักดิ์ พรหมมาศ, “เครื่องผสมผงถ่านเพื่ออัดแท่ง”. รายงานการวิจัย: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ วิทยาเขตวังไกลกังวล, 2550

**กุลสมทรัพย์ เย็นฉ่ำชลิต**
สาขาวิชาเทคโนโลยีไฟฟ้าอุตสาหกรรม
คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี
Research Area : Electrical Power, Control System

**พิชิต อ้วนไตร**
สาขาวิชาเทคโนโลยีไฟฟ้าอุตสาหกรรม
คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี
Research Area : Electronics, Telecommunication System

**พัชรีพรรณ สมวงษ์**
สาขาวิชาคอมพิวเตอร์
คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี
Research Area : Computer Programming

**โชติวุฒิ ประสพสุข**
สาขาวิชาเทคโนโลยีเครื่องกล
คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี
Research Area : Mechanical, Renewable Energy

# การให้น้ำและปุ๋ยทางสายเทปน้ำหยดในแปลงข้าวโพดหวาน

# Drip Tape Irrigation and Fertigation in Sweet Corn Fields

**อลงกต กองมณี[1] พัชรี ยางยืน[1] เสกสรร สงจันทึก[2] และ ธงชัย มณีชูเกตุ[3]**
[1] สาขาวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้
63 หมู่ 4 ต.หนองหาร อ.สันทราย เชียงใหม่ โทรศัพท์ 053-873-802 E-mail: agongman@gmail.com
[2]สำนักวิจัย มหาวิทยาลัยแม่โจ้
โทรศัพท์ 053-873-432 E-mail: seksansong@mju.ac.th
[3]สถาบันพลังงาทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้
โทรศัพท์ 053-875-590 E-mail: thongchaimaejo@gmail.com

## บทคัดย่อ

การให้น้ำให้ปุ๋ยในแปลงพืชไร่ต้องการความแม่นยำเพิ่มขึ้น เนื่องจากน้ำมีจำกัด ปุ๋ยมีราคาแพง ผู้ซื้อต้องการผลผลิตคุณภาพดี และแรงงานทักษะภาคเกษตรหาได้ยาก การวิจัยนี้พัฒนาระบบให้น้ำให้ปุ๋ยแบบกึ่งอัตโนมัติทางสายเทปน้ำหยดในแปลงข้าวโพดหวาน โดยคำนึงถึงบริบทของการปลูกของเกษตรกรและความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ ผลการทดลองชี้ว่าระบบสามารถนำมาใช้งานได้จริง ผลการทดลองสามารถนำไปใช้งานได้จริง อย่างไรก็ตามผู้ปลูกแนะนำให้มีการพัฒนาต่อยอดระบบในปัจจุบันเพื่อให้สามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างการเจริญเติบโตของพืชกับปริมาณการใช้น้ำของพืชที่แท้จริง

คำสำคัญ: ระบบน้ำหยด, ข้าวโพดหวาน, ความชื้นในดิน

## Abstract

Irrigation and fertigation in crop productions need to be more precise because of the deficit water supply, higher fertilization cost, demanding on good produces, and shortage of skilled farmers. This research develops the semi-automatic drip tape irrigation and fertigation control systems for sweet corn planting. The findings show that our low-cost system are practical. Several comments from crop growers suggest that the system should have functions for analyze the relationship between crop growing stages and its water requirements.

Keywords: drip irrigation, sweet corn, soil moisture

## 1. บทนำ

ภูมิอากาศที่แปรปรวนไปจากแบบแผนของภูมิอากาศที่เคยเป็นเช่นในอดีต ส่งผลให้ฤดูกาลในการปลูกพืชมีแนวโน้มเปลี่ยนแปลงไม่แน่นอน การปลูกโดยอาศัยทรัพยากรน้ำที่ได้จากน้ำฝนและน้ำจากแหล่งธรรมชาติตามฤดูกาล จึงเป็นการทำการเกษตรที่มีความเสี่ยงสูง เกษตรกรจึงต้องปรับตัวให้ทันกับความเปลี่ยนแปลงโดยอาศัยเทคโนโลยีที่สามารถเพิ่มความแม่นยำในการทำการเกษตร เช่นเทคโนโลยีในการให้น้ำให้ปุ๋ยแก่พืชแบบอัตโนมัติเป็นต้น ปัจจัยที่จะทำให้การใช้งานการให้ปุ๋ยในระบบน้ำ (fertigation) [2] เกิดประสิทธิภาพดังนี้ มีระบบการให้น้ำที่เหมาะสมและมีการกระจายของน้ำในพื้นที่สม่ำเสมอ มีวิธีการควบคุมการให้น้ำที่เหมาะสมตามความต้องการของพืช ไม่มากเกินไปจนเกิดการชะล้าง หรือน้อยเกินไปจนทำให้พืชขาดน้ำ มีความเข้าใจการใช้ปุ๋ยและสารเคมีที่ผสมลงในน้ำอย่างถูกต้อง เช่น ปุ๋ยที่ผสมต้องละลายน้ำได้หมดและเมื่อผสมแล้วต้องไม่ตกตะกอน รู้สูตรหรือสัดส่วนของปุ๋ย อัตราการใส่ธาตุอาหารหลัก ธาตุอาหารรอง ปริมาณที่ใช้ และช่วงเวลาการให้ปุ๋ยที่เหมาะสมกับชนิดพืชและชนิดของดินที่ปลูก

ระบบควบคุมการให้น้ำให้ปุ๋ยแบบกึ่งอัตโนมัติทางสายเทปน้ำหยดในแปลงข้าวโพดหวานนี้ เป็นการบูรณาการ องค์ความรู้ในการให้น้ำให้ปุ๋ยจากนักวิชาการด้านข้าวโพด ข้อมูลภูมิอากาศ และข้อมูลความชื้นในดิน เพื่อนำมาสร้างข้อกำหนดในการให้น้ำให้ปุ๋ย นอกจากนั้นยังมีการพัฒนาอุปกรณ์วัดระดับความชื้นในดินราคาถูกที่มีความถูกต้องเพียงพอสำหรับใช้งานในแปลงพืชไร่ มีการบันทึกข้อมูลรูปแบบใกล้เคียงเวลาจริง ในดาต้าล็อกเกอร์ และระบบฐานข้อมูล

## 2. รายละเอียดการพัฒนา

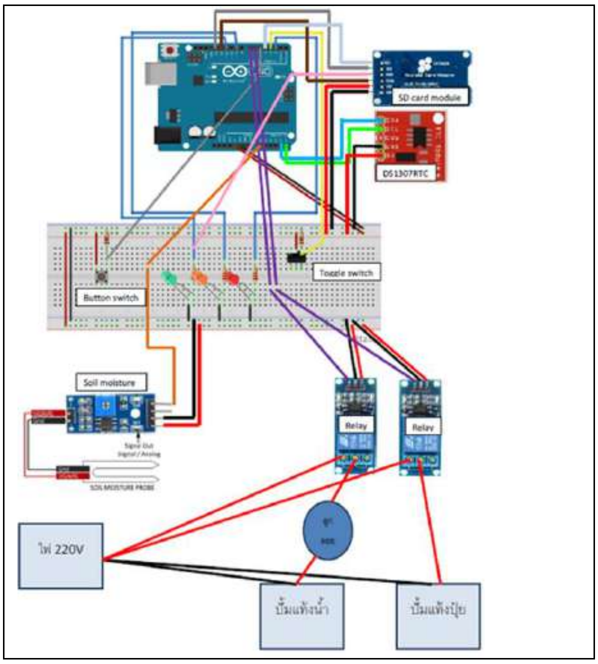
ในการให้น้ำ ระบบจะทำการเช็คความชื้นในดินทุกๆ 5 นาที โดยที่เมื่อความชื้นในดินต่ำและภูมิอากาศเหมาะสมจะทำการปล่อยน้ำเข้าแปลง สำหรับการให้ปุ๋ยทางน้ำผู้ปลูกเลือกที่จะทำการควบคุมการปล่อย

ปุ๋ยด้วยตัวเองโดนการกดปุ่มปล่อยปุ๋ย เนื่องจากเหตุผลหลายประการ รวมทั้งผู้ปลูกยังต้องการที่จะใช้ประสพการณ์ในการจัดการการปลูกด้วยตัวเองในบางส่วน

**รูปที่ 1** หน้ากล่องควบคุมการให้น้ำให้ปุ๋ย

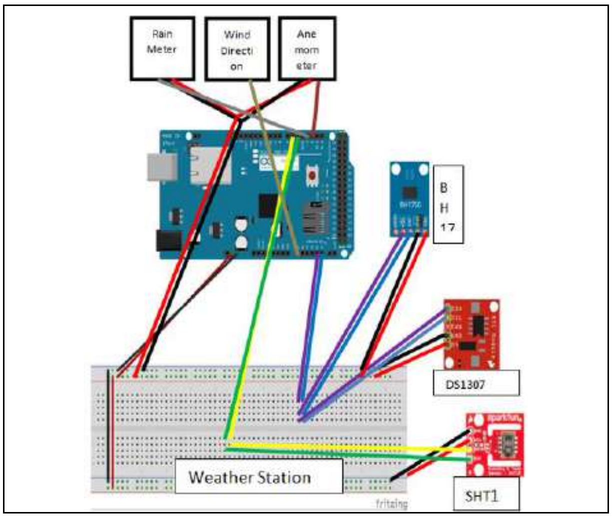
**รูปที่ 2** ระบบควบคุมการให้น้ำให้ปุ๋ย

ส่วนอุปกรณ์หลักในกล่องควบคุมประกอบด้วย Arduino Mega2560 โมดูลนาฬิกา DS1370 โมดูลบันทึกข้อมูล SD Card Relay 5V เซนเซอร์วัดความชื้นในดิน และ SD Card




**รูปที่ 3** อุปกรณ์กล่องควบคุมการให้น้ำให้ปุ๋ย

ส่วนอุปกรณ์ในส่วนสถานีอากาศ ประกอบไปด้วยเซ็นเซอร์วัดความเร็วและทิศทางลม ปริมาณน้ำฝน อุณหภูมิ ความชื้นและความเข้มแสง โดยค่าที่วัดได้ทำการผ่านตัวกรอง Kalman filter [3] เพื่อกรองสัญญาณรบกวน




**รูปที่ 5** อุปกรณ์วัดสภาพอากาศในแปลง

## 3. การทดสอบ

งานวิจัยนี้แบ่งเป็น 3 การทดลอง การทดลองแรกทำการหาอัตราปุ๋ยเคมีที่เหมาะสมอัตราต่อการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตของข้าวโพดหวาน อัตราปุ๋ยน้ำที่เหมาะสมที่สุดนี้ ($N$-$P_2O_5$-$K_2O$ 20-10-10 กก./ไร่) ได้ถูกนำไปใช้ในการทดลองที่สองซึ่งเป็นการทดสอบระบบควบคุมที่พัฒนาขึ้นว่าสามารถจ่ายน้ำจ่ายปุ๋ยได้ดีหรือไม่โดยวัดจากความสม่ำเสมอของการเจริญเติบโตของต้นข้าวโพด โดยให้ปุ๋ยตามอัตราที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองในการทดลองแรก การทดลองที่สามเป็นการทดสอบการใช้งาน (usability test) ระบบควบคุมด้วยเทคนิค thinkaloud [4] จากผู้ปลูกข้าวโพด การทดลองในแต่ละส่วนมีรายละเอียดดังนี้

## 3.1 ทดลองหาอัตราปุ๋ยเคมีที่เหมาะสม

วางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block Design (RCBD) [1] มีวิธีการใส่ปุ๋ยและอัตราปุ๋ย 6 อัตรา (treatments) จำนวน 6 ซ้ำ (replications) โดยปลูกแบบ Strip test ได้แก่

**ตารางที่ 1** การให้ปุ๋ยทางระบบน้ำหยด $N$-$P_2O_5$-$K_2O$

| อัตรา | สูตรปุ๋ย |
|---|---|
| 1 | 5.0-2.5-2.5 กก./ไร่ |
| 2 | 10.0-5.0-5.0 กก./ไร่ |
| 3 | 20.0-10.0-10.0 กก./ไร่ |
| 4 | 20.0-10.0-10.0 กก./ไร่ |
| 5 | ปุ๋ยรองพื้น สูตร 15-15-15 อัตรา 30 กก/ไร่ และสูตร 46-0-0 อัตรา 30 กก/ไร่ (แบบมาตรฐาน) |
| 6 | ปุ๋ยรองพื้น สูตร 15-15-15 อัตรา 50 กก/ไร่ และใส่ปุ๋ยสูตร 46-0-0 อัตรา 30 กก/ไร่ (แบบ GAP) |

การเตรียมแปลงและการเตรียมดิน เตรียมพื้นที่โดยการไถจอบหมุนเพื่อกลบวัชพืช และใช้จอบเพื่อปรับพื้นที่ จากนั้นวัดพื้นที่ทำแนวปลูกโดยมี ระยะระหว่างแถว 75 เซนติเมตร ระยะระหว่างต้น 20 เซนติเมตร แถวมีความยาว 5 เมตร 1 แถวปลูกได้ 26 ต้น เพาะเมล็ดข้าวโพดลงในถาดหลุม ขนาด 104 หลุม การปลูกโดยการย้ายกล้า เมื่อกล้าข้าวโพดมีอายุ 7 วันโดยมีระยะระหว่างแถว 75 เซนติเมตร ระยะระหว่างต้น 20 เซนติเมตร ทำการกระทุ้งหลุมโดยใช้ไม้กระทุ้ง ย้ายกล้าข้าวโพดหลุมละ 1 ต้น การปฏิบัติดูแลรักษา การให้น้ำให้น้ำอย่างสม่ำเสมออย่าให้ขาดน้ำ ให้แบบระบบน้ำหยด การกำจัดวัชพืช โดยใช้แรงงานคนโดยการใช้จอบถางกำจัดวัชพืช การถอนต้นแขนงต้นข้าวโพดเมื่อข้าวโพดอายุประมาณ 35 วัน เพื่อลดการแย่งธาตุอาหาร การเด็ดฝักสองทิ้งหลังจากข้าวโพดออกไหมได้ 50 เปอร์เซ็นต์ ได้ 5 วัน การใส่ปุ๋ยการให้ปุ๋ยทางระบบน้ำหยด ให้สัปดาห์ละ 1 ครั้ง โดยใส่ไปพร้อมกับการให้น้ำทางสายเทปน้ำหยด การใส่ปุ๋ยทางดิน ครั้งที่ 1ใส่ปุ๋ยรองพื้นก่อนปลูกสูตร 15-15-15 อัตรา 30 และ 50 กิโลกรัมต่อไร่ ครั้งที่ 2 ใส่ปุ๋ยพร้อมกลบโคนต้นข้าวโพด สูตร 46-0-0 อัตรา 30 กิโลกรัมต่อไร่ทำการเก็บเกี่ยวผลผลิตข้าวโพด เมื่อข้าวโพดหวานอยู่ในระยะน้ำนม (Milk Stage) ซึ่งนับจากวันหลังออกไหม 50 เปอร์เซ็นต์ 19 วัน โดยเก็บสิ่งทดลองละ 6 ซ้ำๆ ละ 21 ต้น เพื่อบันทึกลักษณะผลผลิตและลักษณะทางพืชไร่ที่สำคัญ

จากการทดลองการหาอัตราปุ๋ยที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตข้าวโพดหวาน พันธุ์ หวานแม่โจ้ 84 พบว่า การให้ปุ๋ยข้าวโพดหวานระบบ GAP ให้ผลผลิตฝักสดทั้งเปลือกสูงสุดคือ 2,432 กิโลกรัม/ไร่ ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับการให้ปุ๋ยทางระบบน้ำหยดที่อัตรา N-P2O5-K2O 20.10.0-10.0 กก./ไร่ ที่ให้ผลผลิตน้ำหนักฝักสดทั้งเปลือก 2,337 กิโลกรัม/ไร่ ในขณะเดียวกันการให้ปุ๋ยข้าวโพดหวานระบบ GAP ให้ผลผลิตฝักสดแตกต่างกันทางสถิติกับการให้ปุ๋ยทางระบบน้ำหยดที่อัตรา N-P2O5-K2O 15.0-7.5-7.5 กก./ไร่, อัตรา N-P2O5-K2O 10.0-5.0-5.0 กก./ไร่ และในอัตรา N-P2O5-K2O 5.0-2.5-2.5 กก./ไร่ ให้ผลผลิตฝักสดทั้งเปลือก 2,258 กก./ไร่ 2,155 กก./ไร่ และ 2,050 กก./ไร่ ตามลำดับ ซึ่งการให้ปุ๋ยทางระบบน้ำหยดทั้ง 4 อัตราให้ผลผลิตฝักสดสูงกว่าการให้ปุ๋ยข้าวโพดหวานแบบมาตรฐาน ที่ให้ผลผลิตฝักสดทั้งเปลือก 2,037 กก./ไร่

## 3.2 ทดสอบระบบควบคุม

วางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block Design (RCBD) [1] มีจำนวน 9 พันธุ์ (treatments) 3 ซ้ำ (replications) การเตรียมแปลงและการเตรียมดิน เตรียมพื้นที่โดยการไถจอบหมุนเพื่อกลบวัชพืช และใช้จอบเพื่อปรับพื้นที่ จากนั้นวัดพื้นที่ทำแนวปลูกโดยมีระยะระหว่างแถว 75 เซนติเมตร ระยะระหว่างต้น 20 เซนติเมตร แถวมีความยาว 4 เมตร 1 แถวปลูกได้ 21 ต้น ปลูกพันธุ์ละ 4 แถวต่อซ้ำ (4 rows/plot)ก่อนปลูกทำการเพาะเมล็ดข้าวโพดลงในถาดหลุมขนาด 104 หลุม การปลูก ปลูกโดยการย้ายกล้าเมื่อกล้าข้าวโพดมีอายุ 7 วันโดยมีระยะระหว่างแถว 75 เซนติเมตร ระยะระหว่างต้น 20 เซนติเมตร ทำการกระทุ้งหลุมโดยใช้ไม้กระทุ้ง ย้ายกล้าข้าวโพดหลุมละ 1 ต้น การให้น้ำโดยใช้ระบบควบคุมการให้น้ำแบบอัตโนมัติ การกำจัดวัชพืชทำโดยใช้แรงงานคนโดยการใช้จอบถางวัชพืช การถอนต้นแขนงต้นข้าวโพดเมื่อข้าวโพดอายุประมาณ 35 วัน เพื่อลดการแย่งธาตุอาหาร การเด็ดฝักสองทิ้งหลังจากข้าวโพดออกไหมได้ 50 เปอร์เซ็นต์ ได้ 5 วัน การใส่ปุ๋ยการให้ปุ๋ยทางระบบน้ำหยดสัปดาห์ละ 1 ครั้ง โดยใส่ไปพร้อมกับการให้น้ำทางสายเทปน้ำหยด โดยใช้อัตราปุ๋ย N-P2O5-K2O 20.0-10.0-10.0 กก./ไร่ แบ่งใส่ 10 ครั้ง ทำการเก็บเกี่ยวผลผลิตข้าวโพด เมื่อข้าวโพดหวานอยู่ในระยะน้ำนม (Milk Stage) ซึ่งนับจากวันหลังออกไหม 50 เปอร์เซ็นต์ 19

วัน โดยเก็บพันธุ์ละ 3 ซ้ำ เก็บข้าวโพดหวาน 2 แถวกลาง เพื่อบันทึกลักษณะผลผลิตและลักษณะทางพืชไร่ที่สำคัญ

ประสิทธิภาพของระบบควบคุมการจ่ายน้ำจ่ายปุ๋ยวัดได้จากความสม่ำเสมอของความสูงของต้นข้าวโพด ซึ่งการทดลองนี้ใช้การวางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block Design (RCBD) ในการวัดข้าวโพดจำนวน 9 พันธุ์ การเก็บเกี่ยวทำเมื่อข้าวโพดหวานอยู่ในระยะน้ำนม (Milk Stage) ซึ่งนับจากวันหลังออกไหม 50 เปอร์เซ็นต์ 19 วัน โดยเก็บพันธุ์ละ 3 ซ้ำ เก็บข้าวโพดหวาน 2 แถวกลาง การวิเคราะห์ Analysis of Variance ได้ผลดังนี้จากการทดลองการเปรียบเทียบคุณภาพและผลผลิตข้าวโพดหวานจำนวน 9 พันธุ์ 3 ซ้ำพบว่าลักษณะความสูงของต้นข้าวโพดหวานที่อายุ 48 วัน หลังจากย้ายกล้า มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P<0.05$) ระบบสามารถให้น้ำให้ปุ๋ยอย่างสม่ำเสมอทั่วพื้นที่และให้ผลผลิตได้ในปริมาณที่เหมาะสม

ตารางที่ 3 ความแปรปรวนลักษณะความสูงของต้นข้าวโพด าย 48 วัน

| Source | df | SS | MS | F | F.05 | F.01 | F-Prob |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Block | 2 | 87.0487 | 43.5243 | 0.24 | 3.63 | 6.23 | 0.7887 |
| Treatment | 8 | 4817.6993 | 602.2124 | 3.38 | 2.59 | 3.89 | 0.0183 |
| Ex. error | 16 | 2853.6380 | 178.3524 | | | | |
| Total | 26 | 7758.3859 | 298.3995 | | | | |

Grand Mean = 176.71 CV = 7.56 %

LSD .05 = 23.12   LSD .01 = 31.85

## 4. สรุปผลและข้อเสนอแนะ

จากการทดลองการใช้ระบบการให้น้ำแบบอัตโนมัติ พบว่าระบบการให้น้ำสามารถนำมาใช้งานได้จริง แต่ยังคงต้องมีการพัฒนารูปแบบของโปรแกรมควบคุมการให้น้ำให้มีความหลากหลายมากขึ้น และสามารถนำไปใช้กับพืชชนิดอื่นๆได้ และควรจะมีจอแสดงผลให้ชัดเจน เช่น ในขณะนี้ความชื้นในดินมีความชื้นเหลืออยู่กี่เปอร์เซ็นต์ แล้วค่าที่ตั้งเอาไว้ว่าความชื้นในดินลดลงเหลือกี่เปอร์เซ็นต์ปั๊มน้ำจึงทำการปั๊มน้ำลงไปในแปลง แล้วใช้ระยะเวลาเท่าไรในการให้น้ำตลอดจนปริมาณที่ใช้ในการให้ในแต่ละครั้ง ถ้าสามารถนำมาแสดงผลให้เห็นภาพและสามารถบันทึกข้อมูลเก็บไว้ได้ ระบบต่างๆ ก็จะสามารถนำมาพัฒนางานต่างๆได้อีกมากมายตลอดจนสามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างการเจริญเติบโตของพืชกับปริมาณการใช้น้ำของพืชที่แท้จริง

## 5. กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยนี้ได้รับทุนจากสภาวิจัยแห่งชาติประจำปี พ.ศ.2558 และได้ใช้แปลงปลูกของสำนักวิจัย ม.แม่โจ้ นักวิจัยขอแสดงความขอบคุณทั้งสองหน่วยงาน

## เอกสารอ้างอิง

[1] Gomez, K. A., & Gomez, A. A. (1984). Randomized complete block design analysis. Statistical procedures for agricultural research. John Willey and Sons, New York.

[2] Loganathan, V., & Latha, K. R. (2016). Effect of drip fertigation on nutrient uptake and seed yield of pigeonpea [Cajanus cajan (L.) Millsp.] under westeren agroclimatic zones of tamil nadu. Legume Research-An International Journal, (OF).

[3] Sun, S. L., & Deng, Z. L. (2004). Multi-sensor optimal information fusion Kalman filter. Automatica, 40(6), 1017-1023.

[4] Van den Haak, M. J., & De Jong, M. D. (2003, September). Exploring two methods of usability testing: concurrent versus retrospective think-aloud protocols. In Professional Communication Conference, 2003. IPCC 2003. Proceedings. IEEE International (pp. 3-pp). IEEE.

อลงกต กองณี
งานวิจัยที่สนใจ โมบายแอ็พพลิเคชั่นทางการเกษตร

พัชรี ยางยืน
งานวิจัยที่สนใจ สารสนเทศเพื่อการบริหารจัดการ โมบายแอ็พพลิเคชั่น

เสกสรร สงจันทึก
งานวิจัยที่สนใจ ปรับปรุงพันธ์ข้าวโพด และการวางแผนการผลิตพืช

ผศ ดร ธงชัย มณีชูเกตุ
งานวิจัยที่สนใจ ระบบเซ็นเซอร์ทางการเกษตร และระบบเกษตรอัจฉริยะ

**บทความวิจัย**

การประชุมวิชาการ งานวิจัยและพัฒนาเชิงประยุกต์ ครั้งที่ 8

*8th ECTI-CARD 2016, Hua Hin, Thailand*

# การประยุกต์ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์สำหรับตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

# An Application of Microcontroller for Solar Drying

**สถาพร สิทธิวงค์[1] และ ผศ.ดร.ชัยยพล ธงชัยสุรัชต์กูล[2]**

[1]ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมไฟฟ้า วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

1518 ถนนพิบูลสงคราม แขวงวงศ์สว่าง เขตบางซื่อ กรุงเทพฯ 10800 โทรศัพท์ 02-555-2000 ต่อ 6311 E-mail: sathaporn.s@cit.kmutnb.ac.th

[2]ภาควิชาครุศาสตร์ไฟฟ้า คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

1518 ถนนพิบูลสงคราม แขวงวงศ์สว่าง เขตบางซื่อ กรุงเทพฯ 10800 โทรศัพท์ 02-555-2000 ต่อ 3339, 2501 E-mail: srp@kmutnb.ac.th

## บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการประยุกต์ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์บอร์ด Arduino Mega2560 เพื่อนำมาควบคุมอุณหภูมิและความชื้นในตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ โดยออกแบบตู้อบให้มีขนาดกว้าง 80 เซนติเมตร ยาว 65 เซนติเมตร ด้านหน้าสูง 15 เซนติเมตร ด้านหลังสูง 25 เซนติเมตร ออกแบบให้มีการควบคุมพัดลม DC 12 จำนวน 4 ตัว ประกบด้านซ้าย(ดูดอากาศเข้า)และด้านขวา(ดูดอากาศออก) เพื่อระบายความชื้นของผลิตภัณฑ์ ใช้พลังงานไฟฟ้าจากแผงโซล่าเซลล์ชนิดโมโนคริสตอลไลน์ขนาด 10 W โดยมีการชาร์จไฟเข้าแบตเตอรี่ขนาด 12V, 7.2Ah เพื่อเป็นแหล่งจ่ายไฟให้กับวงจรในตู้อบแห้ง สามารถแสดงอุณหภูมิและความชื้นผ่านจอ LCD ใช้ตัวตรวจวัดความชื้นและอุณหภูมิรุ่น DHT 22 ผลการทดสอบกับผลิตภัณฑ์พริกจำนวน 0.5 kg ค่าความเข้มแสงอาทิตย์ระหว่าง 756-1058 W/m$^2$ พบว่าความชื้นลดลง 10%-18% ใช้เวลาตากแห้ง จำนวน 6 ชั่วโมง ควบคุมอุณหภูมิภายในตู้อบอยู่ระหว่าง 35ºC - 40ºC น้ำหนักหลังตาก 0.175 kg และทดสอบกับหมูสดจำนวน 0.5 kg พบว่าความความชื้นลดลงเหลือ 50% ใช้เวลาตาก 4-6 ชั่วโมง ควบอุณหภูมิภายในตู้ที่ 50ºC - 60ºC ตู้อบแห้งนี้สามารถใช้อบผลิตภัณฑ์ได้หลายอย่าง เช่น พริก กล้วย หมู เป็นต้น ซึ่งชาวบ้านและชุมชนสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้

คำสำคัญ: ตู้อบแห้ง, พลังงานแสงอาทิตย์, ไมโครคอนโทรลเลอร์

## Abstract

This paper presented to apply Arduino Mega2560 microcontroller for control temperature and humidity inside the solar dryer cabinet. The cabinet was designed with the dimensions 80 x 65 x 15 cm. The concept of design it can be control a four of cooling fan, left used for intake the air and right used to exhaust for ventilation. A 10W Monocrystalline solar panels is used to transform solar energy into electrical energy to charge a 12V ,7.2 Ah. A measure of temperature and humidity can be displayed by LCD ,used humidity and temperature sensor model DHT22. The test of the chili product 0.5 kg, tested at the solar intensity between 756-1058 W/m$^2$. found that the humidity decreased 18%-10%, using drying time 6 hours, the controlled temperature in the cabinet between 35-40ºC, and the weight of the chili after drying was 0.156 kg. When tested with 0.5-kg pork, the humidity decreased from 95 to 50%, with the drying time 4-5 hours, and the temperature inside the cabinet 50-60º C. This solar drying cabinet can be used today with many various kinds of the products – chili, banana and pork. The villagers and communities can further make use of it.

Keywords: Dryers, Solar, Microcontroller

## 1. บทนำ

ปัจจุบันประเทศไทยมีค่าระดับพลังงานแสงอาทิตย์ปัจจุบันศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ในประเทศไทยมีความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ค่าเฉลี่ยประมาณ 5.05 kWh/m$^2$/day หรือ 1,843 kWh/m$^2$/year หรือ 18.2 MJ/m$^3$/Day[1] ซึ่งถือได้ว่าเหมาะสำหรับใช้ประโยชน์จากพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ การอบแห้งเป็นกระบวนการทำให้ความชื้นระเหยออกจากวัตถุนั้นหรือเป็นกระบวนการลดน้ำหนักของวัตถุทำให้วัตถุนั้นมีน้ำหนักเบาขึ้น โดยวัตถุนั้นอาจจะเป็นของแข็ง กึ่งของแข็งหรือของเหลว [2] ในปัจจุบันการตากแห้งจากแสงอาทิตย์มีความจำเป็นมากเนื่องจากเป็นการถนอมอาหารหรือเก็บรักษาผลิตภัณฑ์นั้นๆ เช่น การตากกล้วย พริก ใบชา ตัวแปรสำคัญในการตากแห้งคืออากาศที่ทำหน้าที่เป็นตัวกลางในการถ่ายเทความร้อนและความชื้นดังกล่าว ในการตากแห้งแบบวิธีดั้งเดิมจะพบปัญหาในช่วงฤดูที่มีความชื้นสูง ทำให้ต้องใช้เวลาในการตากแห้งนานและเสี่ยงต่อการเน่าเสียของผลิตภัณฑ์ ก่อนหน้านี้การ

ทำอาหารให้แห้งมักจะตากแดด ซึ่งไม่สามารถควบคุมความร้อนและคุณภาพของผลิตภัณฑ์ได้ หลักเกณฑ์การถนอมอาหารตากแห้งคือจะต้องลด ยับยั้งและป้องกันปฏิกิริยาทางเคมีทั้งหลายและการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ทุกชนิด เพื่อให้ได้อาหารตากแห้งที่เก็บได้นานไม่บูดเน่าเพราะการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์หรือไม่มีสารเคมีตกค้างเนื่องจากปฏิกิริยาทางเคมี การอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์แบ่งได้ 3 ระบบ คือ ระบบ Passive คือ ระบบที่เครื่องอบแห้งทำงานโดยอาศัยพลังงานแสงอาทิตย์และกระแสลมพัดผ่าน ระบบ Active คือระบบที่มีเครื่องช่วยให้อากาศเคลื่อนที่หมุนเวียนในทิศทางที่ต้องการ เช่น พัดลม โดยพัดลมจะทำหน้าที่ดูดอากาศจากภายนอกให้เคลื่อนที่ผ่านอุปกรณ์รับความร้อนจากดวงอาทิตย์และมีการถ่ายเทความร้อนไปยังอากาศให้อากาศเคลื่อนที่ผ่านวัสดุหรือผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในการอบแห้งเพื่อลดความชื้นให้เหลือตามต้องการ ระบบ Hybrid เป็นระบบที่ใช้พลังงานแสงอาทิตย์ และอาศัยพลังงานรูปอื่นเพิ่ม เช่น พลังงานเชื้อเพลิง พลังงานไฟฟ้า วัสดุอบแห้งจะได้ความร้อนจากอากาศร้อน[3] บทความวิจัยนี้ได้มีแนวคิดสร้างตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์แบบระบบ Active เลือกใช้บอร์ดไมโครคอนโทลเลอร์ Arduino Mega2560 มาควบคุมอุณหภูมิและความชื้นในตู้และใช้ไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ เนื่องจากสามารถใช้เป็น PWM output ได้ มีราคาถูก เหมาะสำหรับผู้เริ่มศึกษาโปรแกรม

## 2. การออกแบบและติดตั้ง

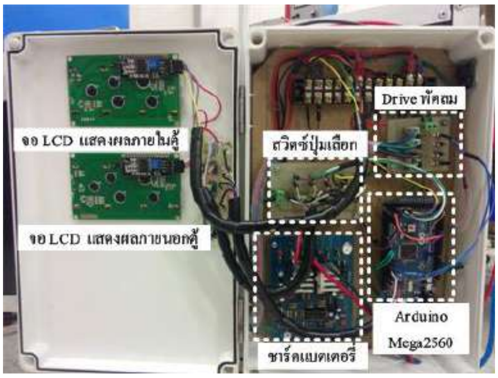
### 2.1 โครงสร้างของตู้อบแห้ง

ตู้อบแห้งได้ออกแบบให้ใช้ภายในครัวเรือน โครงสร้างของตู้อบทำจากแผ่นอะคริลิคสีดำเพื่อดูดความร้อน ด้านบนเป็นกระจกลาดเอียง 40 องศาเพื่อรับแสงแดดได้เต็มที่ มีขนาดกว้าง 80 เซนติเมตร ยาว 65 เซนติเมตร ด้านหน้าสูง 15 เซนติเมตร ด้านหลังสูง 25 เซนติเมตร ใช้พัดลม DC 12V ดูดอากาศเข้าในตู้ 2 ตัวและระบายความชื้นออก 2 ตัว ใช้โซล่าเซลล์ชนิดโมโนคริสตัลไลน์ ขนาด 10 วัตต์ 1 แผง มีตู้กล่องคอนโทรลติดตั้งด้านข้างตู้ ดังรูปที่ 1

**รูปที่ 1** ตู้อบแห้ง

### 2.2 การทำงานตู้อบแสงอาทิตย์

เมื่อแสงอาทิตย์ส่องที่ผิวกระจกหน้าตู้อบแห้ง พื้นผิวภายในตู้อบจะทำหน้าที่ดูดกลืนความร้อนสะสมไว้ ทำให้อุณหภูมิภายในตู้อบสูงขึ้น วัตถุที่อบแห้งที่อยู่ในตู้จะถ่ายเทความชื้นให้ระเหยออกมา เกิดการลอยตัวสูงขึ้นออกไปทางช่องพัดลมระบายออก และมีพัดลมดูดอากาศภายนอกเข้ามา เพื่อเป็นการถ่ายเทความชื้นให้กับอาหารแบบธรรมชาติ การทำงานของตู้อบแห้งนี้ ใช้เซ็นเซอร์ตรวจวัดอุณหภูมิและเซ็นเซอร์ตรวจวัดความชื้นภายในตู้อบแห้ง แล้วนำค่าที่ตรวจวัดได้มาประมวลผลในไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ Arduino Mega2560[4,5] เพื่อประมวลผลในการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นในตู้อบแห้ง โดยไมโครคอนโทรลเลอร์จะส่งสัญญาณ PWM มาควบคุมพัดลมทั้งด้านดูดอากาศเข้า และพัดลมดูดอากาศออกเพื่อควบคุมอุณหภูมิและความชื้นในตู้อบแห้งให้ได้ตามค่าที่ตั้งไว้ตามโหมดของการอบแห้ง เช่น พริก หมูแดดเดียว เป็นต้น ตู้อบแห้งนี้สามารถเลือกโหมดการตากแห้งได้ โดยสามารถปรับที่คีย์แพคและสามารถแสดงค่าของอุณหภูมิและความชื้นในตู้อบแห้งได้ทางจอ LCD ขนาด 4 บรรทัด




**รูปที่ 2** วงจรภายในกล่องควบคุม

การเขียนโปรแกรมคือกำหนดอุณหภูมิตามโหมดการตากแห้ง เช่น พริกตั้งช่วงอุณหภมิที่ 65 °C, กล้วย 70 °C, หมูแดดเดียว 55 °C [8]

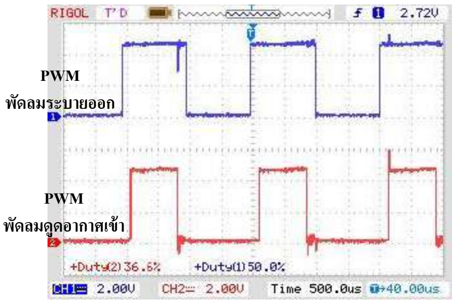
ตารางที่ 1

| โหมด | ช่วงอุณหภูมิ (°C) | Duty Cycle พัดลมดูดเข้า (%) | Duty Cycle พัดลมดูดออก (%) |
|---|---|---|---|
| พริก | ถ้า < 40 | 0 % | 0 % |
| | ถ้า 41 - 64 | 40 % | 10 % |
| | ถ้า > 65 | 90 % | 90 % |

## 3 การทดสอบ

### 3.1 สัญญาณ PWM

ทดลองวันจันทร์ที่ 1 กุมภาพันธ์ 2559 ใช้เครื่องมือวัดความเข้มแสงแสงอาทิตย์รุ่น Tenmars TM-207, วัดอุณหภูมิโดยใช้ KTJ Thermo Hygro รุ่น TA218C โดยติดตั้งเซ็นเซอร์ตรวจวัดอุณหภูมิไว้ภายในตู้อบ 1 ตัวและภายนอก 1 ตัวเพื่อใช้เทียบอุณหภูมิทั้งสองโดยมีจอแสดงผล LCD แสดงอุณหภูมิและความชื้นของเครื่องอบแห้ง




**รูปที่ 3** สัญญาณ PWM จากไมโครคอนโทรลเลอร์

การทดสอบพริกสดเพื่อนำมาตากแห้ง พบว่าน้ำหนักก่อนตากแห้ง 0.5 กิโลกรัม ตั้งแต่เวลา 9.00 – 16.00 บันทึกค่าทุก 1 ชั่วโมง หลังตากแห้ง พบว่าน้ำหนักของพริกอยู่ที่ 0.156 กิโลกรัม อัตราการอบแห้ง (Drying rate : DR)[6] มีค่าเท่ากับ 0.0945 kg/m$^2$hr ตามสมการ(1)

$$DR = \frac{m_{pi} - m_{pf}}{A \times t} \qquad (1)$$

เมื่อ *DR* คือ อัตราการอบแห้ง (kg/m$^2$hr)

$m_{pi}$ คือ น้ำหนักวัตถุดิบก่อนอบ (kg)

$m_{pf}$ คือ น้ำหนักวัตถุดิบหลังอบ (kg)

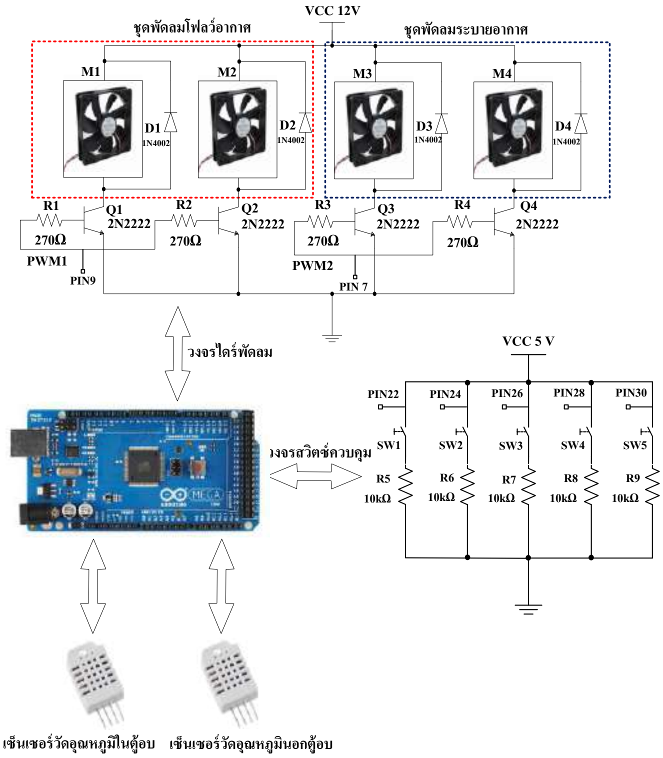
$A$ คือ พื้นที่ของวัตถุอบแห้ง (m$^2$)

$t$ คือ เวลาที่ใช้ในการอบแห้ง (hr)

กำลังไฟฟ้าที่ใช้ในการอบแห้งเท่ากับ 59.497 วัตต์ต่อชั่วโมง ใช้เวลาในการอบแห้ง 6 ชั่วโมง

ตารางที่ 2

| เวลา(ชั่วโมง) | อุณหภูมิ(°C) | ความชื้นของพริก(%RH) | แรงดันแบตเตอรี่(V) | กระแสแบตเตอรี่(A) | กำลังไฟฟ้าที่ใช้(W) |
|---|---|---|---|---|---|
| 9.00-10.00 | 36 | 78 | 12.3 | 0.7 | 8.61 |
| 10.00-11.00 | 48 | 65 | 12.3 | 0.8 | 9.84 |
| 11.00-12.00 | 50 | 54 | 12.3 | 0.88 | 10.82 |
| 12.00-13.00 | 54 | 32 | 12.3 | 0.74 | 9.10 |
| 13.00-14.00 | 58 | 28 | 12.3 | 0.65 | 8.00 |
| 14.00-15.00 | 45 | 16 | 12.2 | 0.58 | 7.08 |
| 15.00-16.00 | 42 | 14 | 12.1 | 0.5 | 6.05 |




**รูปที่ 4** วงจรควบคุมอุณหภูมิด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์

### 3.2 ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (Specific Energy Consumption, SEC)

ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะที่ค่าเท่ากับ 0.622 MJ/kg

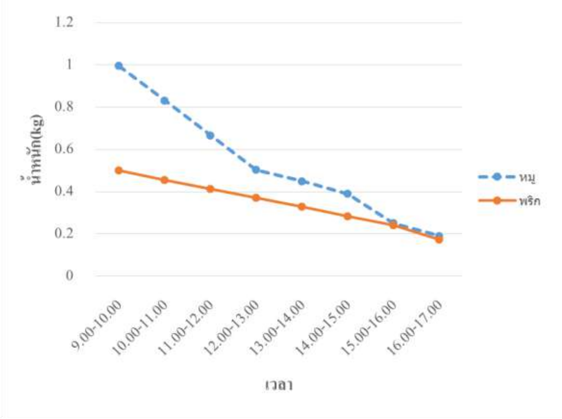
$$\text{Specific Energy Consumption, SEC} = \frac{E}{m_{pi} - m_{pf}} \qquad (2)$$

เมื่อ SEC คือ ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (MJ/kg)

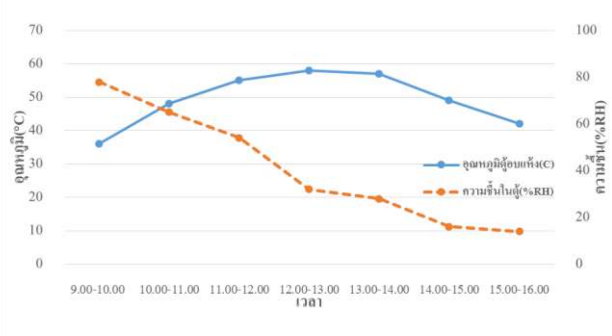
E คือ พลังงานรวมที่เข้าไปในระบบ (MJ)

$m_{pi}$ คือ น้ำหนักวัตถุดิบก่อนอบ (kg)

$m_{pf}$ คือ น้ำหนักวัตถุดิบหลังอบ (kg)




น้ำหนักของพริกและหมูเมื่อนำมาตากแห้ง




**รูปที่ 5** ความสัมพันธ์อุณหภูมิและความชื้นต่อเวลา

**รูปที่ 6** ตัวอย่างก่อนและหลังการอบแห้ง

## 3. สรุป

การทดสอบตู้อบแห้งที่ค่าความเข้มแสงอาทิตย์ระหว่าง 756-1,058 W/m$^2$ ผลการทดสอบกับผลิตภัณฑ์พริกจำนวน 0.5 kg พบว่าความชื้นลดลง 18%-10% ใช้เวลาตากแห้ง จำนวน 6 ชั่วโมง อุณหภูมิควบคุมภายในตู้อบอยู่ระหว่าง 40ºC - 65ºC น้ำหนักหลังตาก 0.156 kg ลักษณะของพริกหลังการตาก พริกจะแห้งและกรอบกว่าพริกแห้งทั่วไป ผิวของพริกมีสีน้ำตาลเข้ม และทดสอบกับหมูจำนวน 0.5 กิโลกรัม พบว่าความความชื้นลดจาก 95% เหลือ 50% ใช้เวลาตาก 4-5 ชั่วโมง อุณหภูมิภายในตู้ 50ºC - 60ºC ตู้อบแห้งนี้สามารถใช้อบผลิตภัณฑ์ได้หลายอย่าง เช่น พริก กล้วย หมู เป็นต้น ซึ่งชาวบ้านและชุมชนสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้

## เอกสารอ้างอิง

[1] ศักยภาพพลังงานทดแทน, กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.) กระทรวงพลังงาน

[2] S. Soponronnarit, “Solar drying in Thailand,” School of Energy and Materials, King Mongkut's Institute of Technology Thonburi, Volume 2, Issue 2, July 1995, Pages 19–25

[3] Janjai, S., and B. K. Bala. "Solar drying technology." *Food Engineering Reviews* 4.1 (2012): 16-54.

[4] Mega, Arduino. "2560." *http://www. projetoarduino. com. br/arduinomega-2560-p19>. Acesso em* 20 (2011): 05-14.

[5] http://www.arduino.cc/en/Main/arduinoBoardMega2560

[6] Aymen ELkhadraoui, Sami Kooli, Ilhem Hamdi, Abdelhamid Farhat “Experimental investigation and economic evaluation of a new mixed-mode solar greenhouse dryer for drying of red pepper and grape,” Research and Technology Center of Energy, Thermal Processes Laboratory, Tunisia, Renewable Energy, Volume 77, May 2015, Pages 1–8

[7] David Inhyuk Kima, Jungwon Kima, Ho Kyong Shonb, Seungkwan Honga, “Pressure retarded osmosis (PRO) for integrating seawater desalination and wastewater reclamation: Energy consumption and fouling” Journal of Membrane Science, Volume 483, 1 June 2015, Pages 34–41

[8] จารุวัฒน์ เจริญจิตร, “เทคโนโลยีการอบแห้งด้วยรังสีอาทิตย์และแนวทางการพัฒนา” มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย สงขลา

นายสถาพร สิทธิวงศ์ สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาโท มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ปัจจุบันทำงานที่ สาขาเทคโนโลยีวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ งานวิจัย Power Electronics, Renewable Energy

ผศ.ดร.ชัยยพล ธงชัยสุรัชต์กูล สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาเอก Ph.D.(Electrical Engineering) Vanderbilt University, Tennessee, USA งานวิจัย Fuzzy Logic, Robotics Engineering , Electrical Energy Conservation

**บทความวิจัย**
การประชุมวิชาการ งานวิจัยและพัฒนาเชิงประยุกต์ ครั้งที่ 8
*8th ECTI-CARD 2016, Hua Hin, Thailand*

# ระบบสารสนเทศบนเว็บและระบบลงทะเบียนเข้างานผ่าน NFC สำหรับงานประชุมวิชาการ

# A Web-based Information System and NFC Check-in for Academic Conferences

**เนื่องวงศ์ ทวยเจริญ และ จารุวัฒน์ จันทรเกษ**
สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์
110/1-4 ถนนประชาชื่น แขวงทุ่งสองห้อง เขตหลักสี่ กรุงเทพฯ 10120 โทรศัพท์ 02-954-7300 ต่อ 839 E-mail: nuengwong.tun@dpu.ac.th

## บทคัดย่อ

บทความนี้กล่าวถึงการพัฒนาระบบสารสนเทศบนเว็บสำหรับการประชุมงานวิชาการที่สามารถลงทะเบียนเข้างานด้วย NFC บนโทรศัพท์เคลื่อนที่ระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ได้ โดยระบบนี้จะเพิ่มความสะดวกในการส่งบทความ พิจารณาบทความ ติดตามผลการพิจารณาบทความ รวมทั้งเพิ่มความสะดวกในการเข้าร่วมงานประชุมโดยใช้เทคโนโลยี NFC ในการเข้าร่วมงานประชุมวิชาการ ซึ่งจะแบ่งส่วนของผู้ใช้ออกเป็น 3 ส่วนได้แก่ ผู้จัดงานประชุมวิชาการ ผู้เขียนบทความ และกรรมการพิจารณาบทความ ผู้จัดงานประชุมวิชาการสามารถสร้างงานประชุมวิชาการผ่านทางเว็บไซต์ เพื่อให้ผู้ที่สนใจส่งบทความเพื่อให้กรรมการตรวจสอบโดยจะมีกรรมการตรวจสอบอย่างน้อยบทความละ 2 คน เมื่อบทความผ่านการตรวจสอบแล้ว ระบบจะแจ้งผลให้เจ้าของบทความรับทราบเพื่อแก้ไขบทความเพิ่มเติม เมื่อแก้ไขบทความเสร็จสมบูรณ์ ผู้ผ่านการพิจารณาสามารถดาวน์โหลดบทความ ผ่านทางเว็บไซต์ และสามารถลงทะเบียนเข้างานประชุมวิชาการโดยการสัมผัสโทรศัพท์มือถือของผู้เข้าร่วมกับโทรศัพท์ของเจ้าหน้าที่รับลงทะเบียนที่มีระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ เวอร์ชั่น 4.2 เป็นต้นไปผ่านทาง NFC

คำสำคัญ: การประชุมวิชาการ, เอ็นเอฟซี, แอนดรอยด์, โปรแกรมประยุกต์บนเว็บ

## Abstract

This article describes a development of a web-based Information System for Academic Conferences, supporting fast registration with NFC technology on Android smartphones. This system can facilitate paper submission, paper evaluation, result notification with web technology, and on-site registration process with NFC technology. There are 3 user levels in the system, including the conference organizer, the author, and the reviewer. The organizer can create a conference via the system's website, and the authors can upload their manuscripts for reviewing. The reviewing process should contain at least 2 reviewers. After the reviewing process, the system informs the authors the result and accepts a camera-ready accordingly. Then, the author can download all of the conference's publications via the web site, and can register with a touch at the conference venue with NFC on his and the conference organizer's Android smartphone. The application supports Android version 4.2 and above with NFC.

Keywords: academic conference, NFC, Android, Web-based Application

## 1. บทนำ

ในปัจจุบัน สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา (สกอ.)ได้สนับสนุนให้สถาบันการศึกษาจัดการประชุมวิชาการ และเข้าร่วมการประชุมวิชาการอย่างสม่ำเสมอ เนื่องจากการประชุมวิชาการเป็นการถ่ายทอดวิทยาการในสาขาวิชาต่าง ๆ ให้เป็นไปอย่างกว้างขวางและเกิดการพัฒนาต่อยอดองค์ความรู้อย่างรวดเร็ว ปัจจัยหนึ่งที่มีส่วนเกื้อหนุนก็คือเทคโนโลยีสารสนเทศ คอมพิวเตอร์ และการสื่อสาร ที่ช่วยสนับสนุนให้การจัดการประชุมวิชาการสามารถทำได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น ส่งผลให้รูปแบบหรือวิธีการบริหารจัดการงานประชุมวิชาการพัฒนายิ่งขึ้นไป

เพื่อให้ตอบสนองต่อประสิทธิภาพในการดำเนินงานที่ผู้เข้าร่วมงานคาดหวัง ระบบงานประชุมวิชาการควรพัฒนาการดำเนินงานให้มีความสะดวกและรวดเร็ว โดย ผู้เขียนบทความสามารถส่งบทความ และตรวจสอบผลการพิจารณาบทความได้สะดวกและรวดเร็ว โดยครอบคลุมการลงทะเบียนหน้างานและการแจกจ่ายเอกสารให้แก่ผู้เข้าร่วมการประชุมวิชาการ ในส่วนการคัดเลือกบทความทางวิชาการเพื่อนำไปตีพิมพ์ในงานประชุมวิชาการ ซึ่งจะต้องผ่านการพิจารณาจากผู้พิจารณาบทความที่มีความเชี่ยวชาญในแต่ละสาขาวิชานั้น ผู้จัดงานประชุมสามารถมอบหมายบทความให้ผู้เชี่ยวชาญพิจารณาตามความเชี่ยวชาญ และผู้พิจารณาบทความสามารถพิจารณาและส่งผลการพิจารณาของบทความได้อย่างสะดวกยิ่งขึ้น

ถึงแม้ว่าในปัจจุบันจะมีระบบรับบทความให้กับงานประชุมวิชาการที่ให้ผู้เขียนบทความส่งบทความ และผู้พิจารณาบทความส่งผลการพิจารณาผ่านระบบแอปพลิเคชันบนเว็บได้ อย่างไรก็ตาม ระบบเหล่านี้ยังไม่สามารถให้ผู้เข้าร่วมงานลงทะเบียนหน้างานได้โดยตรง และผู้เข้าร่วมงานไม่สามารถดาวน์โหลดบทความฉบับสมบูรณ์ผ่านเว็บไซต์ได้ โดยระบบในปัจจุบัน ผู้จัดงานประชุมวิชาการจำเป็นต้องมีการจัดพิมพ์รายชื่อผู้เข้าร่วมงานบนกระดาษ และผู้เข้าร่วมงานต้องต่อแถวเพื่อค้นหารายชื่อและลงทะเบียนทีละคน หากมีผู้เข้าร่วมจำนวนมาก จะทำให้เสียเวลาอย่างมาก รวมถึงการแจกจ่ายเอกสารสำหรับงานประชุมวิชาการที่มักใช้การจัดพิมพ์เป็นเล่มหรือบันทึกลงแฟลชไดรฟ์ ทำให้ผู้เข้าร่วมไม่สามารถเปิดอ่านได้ทันที และหากมีข้อผิดพลาด ผู้จัดงานก็ไม่สามารถแก้ไขและแจกจ่ายได้อย่างรวดเร็ว ทั้ง ๆ ที่ข้อมูลทุกอย่างอยู่ในรูปแบบอิเล็กทรอนิกส์และอยู่บนเว็บแอปพลิเคชันที่ออนไลน์เรียบร้อยแล้ว

ด้วยเหตุนี้ ผู้วิจัยจึงได้พัฒนาระบบสารสนเทศสำหรับการประชุมวิชาการขึ้น เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการดำเนินงานของการวิชาการ ซึ่งระบบสารสนเทศสำหรับการประชุมวิชาการสามารถใช้งานได้จาก 2 ส่วน คือบนคอมพิวเตอร์ผ่านทางเว็บไซต์ ทำหน้าที่ รับบทความส่งผลการพิจารณาบทความ และแจกจ่ายเอกสารให้แก่ผู้เข้าร่วม และโปรแกรมส่วนที่อยู่บนโทรศัพท์มือถือระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์เวอร์ชั่น 4.2 เป็นต้นไป ทำหน้าที่ลงทะเบียนผู้เข้าร่วมงานหน้างาน ด้วยการสัมผัสเครื่องโทรศัพท์ โดยในส่วนของเว็บไซต์ได้ถูกพัฒนาด้วยภาษา HTML และPHP บนฐานข้อมูล MySQL ในส่วนของแอนดรอยด์ถูกพัฒนาด้วยภาษา JAVA

## 2. ทฤษฎีและงานที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 NFC

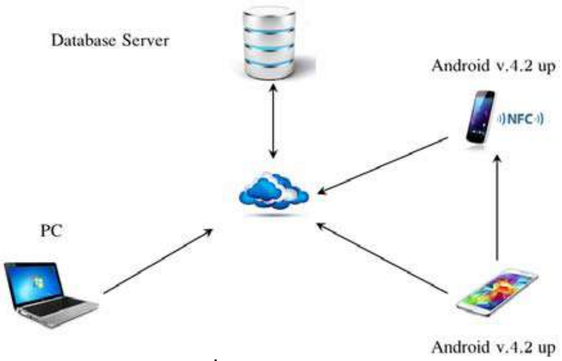
NFC [1] ย่อมาจาก Near Field Communication เป็นมาตราฐานการเชื่อมต่อกับสมาร์ทโฟนและอุปกรณ์ต่างๆ มีสัญญาณวิทยุเป็นตัวกลางใช้งานโดยการนำไปแตะกับเครื่องหรือกับแท็ก การทำงานของ NFC จะเริ่มขึ้นเมื่อมีอุปกรณ์มาอยู่ใกล้ๆ (ประมาณ 4-5 ซม. ) จึงทำให้ NFC ประหยัดพลังงานกว่า Bluetooth ที่ทำงานอยู่ตลอดเวลา เนื่องจากความสะดวกและปลอดภัยของ NFC ทำให้เป็นที่นิยมมากขึ้นเรื่อยๆ การประยุกต์ใช้งานส่วนใหญ่มักนำ NFC มาใช้กับการชำระเงินที่ต้องการความรวดเร็วและมีมูลค่าไม่สูง ซึ่งจะทำให้โทรศัพท์เคลื่อนที่สามารถใช้เพื่อการชำระเงินได้ โดยวิธีการแตะบนเครื่องอ่านหรือเครื่องชำระเงิน เช่น ร้านขายสินค้าและบริการแบบด่วน ระบบการซื้อขายตั๋วและระบบการแลกเปลี่ยนข้อมูลแบบ peer-to-peer การชำระเงินค่าโดยสารในระบบขนส่งมวลชน เป็นต้น การชำระเงินแบบไร้สัมผัสนี้ก่อให้เกิดการชำระเงินที่ง่ายและรวดเร็ว ลดการเข้าคิวชำระเงินในร้านค้าห้างสรรพสินค้า และร้านสะดวกซื้อต่าง ๆ ดังนั้นจึงเหมาะแก่การนำมาใช้ในงานประชุมวิชาการที่มีผู้เข้าร่วมจำนวนมาก

### 2.2 ทฤษฎีและงานที่เกี่ยวข้อง

มีเว็บแอปพลิเคชันจำนวนมากที่สนับสนุนการดำเนินงานของงานประชุมวิชาการ ตัวอย่างเช่น ECTICARD2016 [2] ที่เน้นการใช้งานง่าย และสามารถติดตามผลการพิจารณาบทความรวมถึงการส่งเอกสารทางการเงินและเอกสารต่างๆของแต่ละบทความได้ EasyChair [3] เป็นเว็บสำหรับการส่งบทความของงานประชุมวิชาการที่ผู้จัดสามารถสร้างงานประชุมวิชาการของตนเองได้บนเว็บที่บริการบนกลุ่มเมฆและเผยแพร่บทความ กำหนดการ และเอกสารอื่นๆได้ Open Conference[4] ให้ทั้งบริการบนกลุ่มเมฆและบริการโปรแกรมเพื่อติดตั้งลงเครื่องแม่ข่ายของหน่วยงานด้วยตนเอง และสามารถจัดการบทความ พิจารณาบทความและจัดการเอกสารอื่นๆได้ ส่วน Scientific.net [5] ให้บริการรับบทความและพิจารณาบทความของสำนักพิมพ์ชั้นนำด้านวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์ทั่วโลก

## 3. การออกแบบและพัฒนาระบบ

### 3.1 ภาพรวมของระบบ




**รูปที่ 1** ภาพรวมของระบบ

ภาพรวมของระบบแสดงในรูปที่ 1 ระบบแบ่งออกเป็น 2 ระบบย่อย ได้แก่ เว็บแอปพลิเคชั่น และแอนดรอยด์แอปพลิเคชัน โดยเว็บแอปพลิเคชันทำหน้าที่ดังนี้

- ผู้จัดงานประชุมวิชาการ สร้างงานประชุมวิชาการ มอบหมายผู้พิจารณาบทความ และดูรายชื่อผู้ที่เข้าร่วมงานประชุมแบบเวลาจริง
- ผู้เขียนบทความ ส่งบทความ และติดตามผลการพิจารณาบทความ
- กรรมการผู้พิจารณาบทความ ให้ผลตอบกลับการพิจารณาบทความ

นอกจากนี้ ผู้ใช้ทุกระดับสามารถดาวน์โหลดบทความฉบับสมบูรณ์ผ่านเว็บแอปพลิเคชันได้อีกด้วย

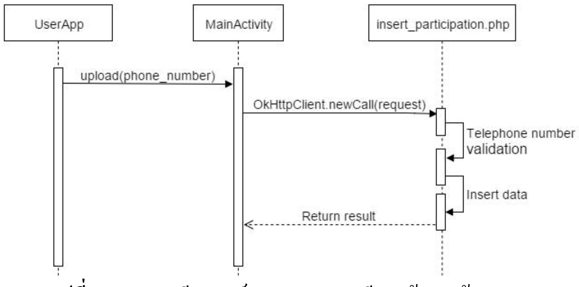
ส่วนแอนดรอยด์แอปพลิเคชั่น จะถูกแบ่งออกเป็น 2 ฝั่ง ได้แก่

- ฝั่งบันทึกการลงทะเบียนของเจ้าหน้าที่งานประชุม จะทำหน้าที่รอรับข้อมูลจากผู้เข้าร่วมงานประชุมมาลงทะเบียนผ่านทาง NFC
- ฝั่งผู้เข้าร่วมงานประชุมวิชาการ จะใช้โทรศัพท์มาลงทะเบียนด้วย NFC เพื่อเข้างานประชุม

## 3.2 การทำงานของระบบลงทะเบียนด้วย NFC

ผู้เข้าร่วมงานประชุมวิชาการที่ลงทะเบียนผ่านทางเว็บแอปพลิเคชันแล้ว สามารถติดตั้งแอนดรอยด์แอปพลิเคชันเพื่อลงทะเบียนงานประชุมด้วย NFC เมื่อเปิดแอปพลิเคชันขึ้น ผู้เข้าร่วมงานจะต้องกรอกเบอร์โทรศัพท์ที่ลงทะเบียนไว้กับทางเว็บ(phone_number) เนื่องจากนโยบายด้านความปลอดภัย ระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ไม่อนุญาตให้แอปพลิเคชันอ่านค่าหมายเลขโทรศัพท์ได้โดยตรง ซึ่งผู้เข้าร่วมงานสามารถดำเนินการกระบวนการเหล่านี้ที่ไหนก็ได้ ก่อนเดินทางมาเข้างานประชุมวิชาการ

ในส่วนผู้จัดงานประชุมวิชาการต้องติดตั้งแอนดรอยด์แอปพลิเคชันของฝั่งผู้จัด แล้วกรอกหมายเลขงานประชุมวิชาการของตนเอง (conID) ลงไป แล้วเครื่องโทรศัพท์ของผู้จัดก็พร้อมใช้งานได้ทันที




**รูปที่ 2** แผนภาพซีเควนซ์ของการลงทะเบียนเข้างานด้วย NFC

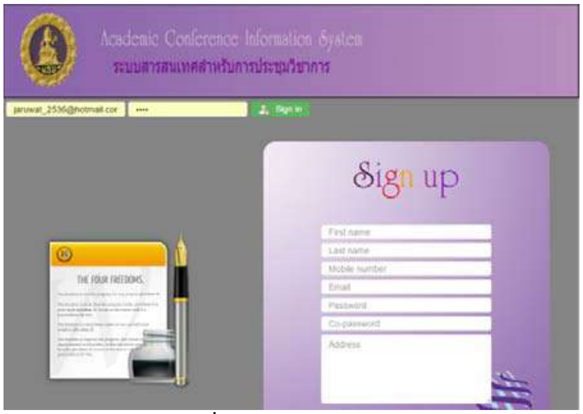
จากรูปที่ 2 เมื่อผู้เข้าร่วมงานเดินทางมาถึงงานประชุมวิชาการ ผู้เข้าร่วมงานสามารถนำโทรศัพท์แอนดรอยด์ของตนเองที่ติดตั้งโปรแกรมเรียบร้อยแล้ว(UserApp) มาแตะกับโทรศัพท์แอนดรอยด์ของผู้จัดงานประชุมวิชาการ แอปพลิเคชันของผู้จัด(MainActivity)จะอ่านข้อมูลเบอร์โทรศัพท์ของผู้เข้าร่วมงานผ่านคลาส NfcAdapter [6] แล้วสร้างคลาส Request ด้วยหมายเลขงานประชุม(conID) เบอร์โทรศัพท์ของผู้เข้าร่วม(phone_number) และ URL ของไฟล์ insert_participation.php ในเครื่องแม่ข่าย จากนั้นข้อมูลจะถูกส่งไปยังเครื่องแม่ข่าย ผ่านเมธ็อด OkHttpClient.newCall(request) [7] เมื่อเครื่องแม่ข่ายได้รับ Request จะส่งต่อไปให้ไฟล์ insert_participation.php ตรวจสอบเบอร์โทรศัพท์และหมายเลขงานประชุม หากข้อมูลถูกต้อง ก็จะ Insert ข้อมูลลงฐานข้อมูลผู้เข้าร่วมงานประชุมนั้น ๆ ซึ่งผู้จัดงานประชุมสามารถเข้ามาตรวจสอบรายชื่อผู้เข้าร่วมประชุมแบบเวลาจริงได้ผ่านเว็บแอปพลิเคชัน

## 4. ผลการทดสอบระบบ

หลังจากพัฒนาแอปพลิเคชันทั้งเว็บและแอนดรอยด์เรียบร้อยแล้ว ผู้พัฒนาได้ทดสอบระบบ โดยการทดสอบจะแบ่งเป็น 2 ส่วน ได้แก่ การทดสอบส่วนของเว็บแอปพลิเคชันกับฐานข้อมูล และ การทดสอบส่วนของแอนดรอยด์แอปพลิเคชันโดยใช้เทคโนโลยี NFC

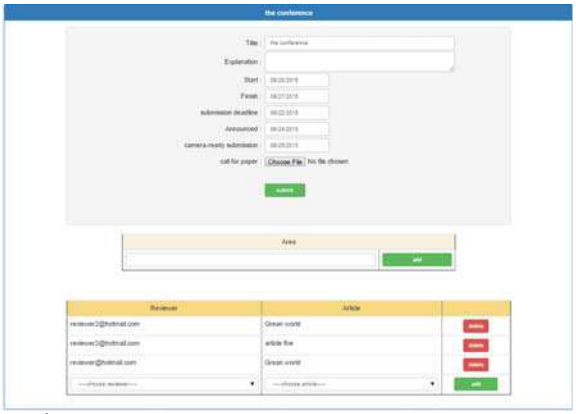
### 4.1 การทดสอบระบบเว็บแอปพลิเคชันกับฐานข้อมูล

เมื่อผู้ใช้ทำการสมัครสมาชิกแล้ว ระบบจะทำการตรวจสอบและบันทึกข้อมูลการสมัครลงในฐานข้อมูล หลังจากนั้นผู้ใช้สามารถลงชื่อเข้าใช้งานเว็บแอปพลิเคชันได้ ดังแสดงในรูปที่ 3




**รูปที่ 3** หน้าจอสมัครสมาชิก

ระบบสามารถสร้าง บันทึก และแก้ไขข้อมูลของงานประชุมวิชาการได้อย่างถูกต้อง สามารถอัพโหลดไฟล์ Call for paper และมอบหมายบทความให้กรรมการพิจารณาบทความได้ ดังแสดงในรูปที่ 4



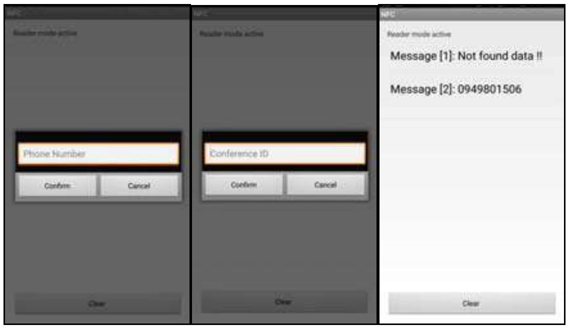

**รูปที่ 4** หน้าจอการสร้างงานประชุม และมอบหมายผู้พิจารณาบทความ

เมื่อทดสอบการบันทึกผลการพิจารณาบทความ หากบทความที่ถูกพิจารณามีจำนวนผู้ประเมินให้ผลเป็นผ่านการประเมินมากกว่า 50% ระบบจะบันทึกให้บทความดังกล่าวผ่านการพิจารณาอัตโนมัติ จากการทดสอบ ระบบสามารถคำนวณและบันทึกผลการผ่านและไม่ผ่านการประเมินได้อย่างถูกต้อง ทั้งที่มีผู้พิจารณา 2-5 คนต่อบทความ นอกจากนี้ผู้เข้าร่วมประชุมวิชาการยังสามารถเข้าไปดาวน์โหลดเอกสารและบทความฉบับสมบูรณ์ของงานประชุมผ่านเว็บได้ ดังแสดงในรูปที่ 5

**รูปที่ 5** หน้าจอรายการบทความในงานประชุมวิชาการบนเว็บ

### 4.2 การทดสอบระบบแอนดรอยด์แอปพลิเคชันการลงทะเบียนเข้างานประชุมด้วย NFC

สำหรับผู้เข้าร่วมงานประชุมวิชาการ ที่เปิดใช้งานแอปพลิเคชันครั้งแรก จะต้องใส่เบอร์โทรศัพท์ที่ผู้ใช้ได้สมัครสมาชิกไว้กับระบบ จึงจะสามารถใช้งานแอปพลิเคชันนี้ได้ ดังแสดงในรูป 6 (ก)




(ก) (ข) (ค)

**รูปที่ 6** หน้าจอแอนดรอยด์ (ก) ผู้เข้าร่วมงานกรอกหมายเลขโทรศัพท์ (ข) ผู้จัดงานกรอกหมายเลขงานประชุม (ค) รายการเบอร์โทรศัพท์ของผู้เข้าร่วมงานที่ผู้จัดงานได้รับ

เมื่อเปิดแอปพลิเคชัน ผู้จัดงานประชุมจะต้องใส่หมายเลขงานประชุมวิชาการ ซึ่งสามารถดูได้จาก เมนู “Home” ในเว็บแอปพลิเคชันที่ผู้ใช้สร้างงานประชุมวิชาการขึ้น ดังแสดงในรูป 6 (ข)

เมื่อทดสอบการลงทะเบียนเข้างานประชุมด้วย NFC ด้วยโทรศัพท์รุ่น Samsung Galaxy S4 และ Samsung Galaxy S5 พบว่าโทรศัพท์สามารถส่งข้อมูลผ่านสัญญาณ NFC ได้ทันที ดังแสดงในรูป 6 (ค) ได้ และระบบเว็บสามารถแสดงข้อมูลการเข้าร่วมงานประชุมวิชาการจากฐานข้อมูลได้อีกด้วย โดยมีเงื่อนไขคือโทรศัพท์จะต้องรองรับเทคโนโลยี NFC และต้องเปิดการใช้งาน NFC และหากโทรศัพท์มีปลอกหนา หรือมีเคส จะต้องถอดออกก่อนจะใช้งาน เนื่องจาก NFC เป็นการสื่อสารระยะสั้น เคสของโทรศัพท์อาจเป็นอุปสรรคของการส่งสัญญาณ

## 5. สรุป

เนื่องจากปัจจุบันมีการจัดงานประชุมวิชาการต่าง ๆ อย่างแพร่หลาย บทความนี้กล่าวถึงการพัฒนาแอปพลิเคชันสำหรับจัดงานประชุมวิชาการ เพื่อให้ผู้ที่ต้องการส่งบทความวิชาการสามารถส่งบทความ และให้ผู้เชี่ยวชาญสามารถพิจารณาบทความได้อย่างสะดวกรวดเร็วยิ่งขึ้น ระบบสารสนเทศสำหรับการประชุมวิชาการนี้ประกอบด้วยฟังก์ชันย่อยคือ การสร้างงานประชุมวิชาการ การส่งบทความ การพิจารณาบทความ การดาวน์โหลดบทความและการลงทะเบียนเข้างานประชุมด้วย NFC ที่ทำให้การดำเนินงานในการจัดงานประชุมวิชาการสะดวกและรวดเร็วยิ่งขึ้น

## เอกสารอ้างอิง

[1] ยุทธนา สุขเจริญ. (2554). “NFC คืออะไร”. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: http://www.id.co.th/component/content/article/58-knowledge-nfc/85-what-is-nfc/ (สืบค้นวันที่ 8 กันยายน 2556).

[2] คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร. (2559). “งานประชุมวิชาการงานวิจัยและพัฒนาเชิงประยุกต์ ครั้งที่ 8”. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก: http://ecticard2016.ecticard.org/ (สืบค้นวันที่ 5 มีนาคม 2559).

[3] EasyChair. “EasyChair: The conference system”. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: http://easychair.org/.(สืบค้นวันที่ 5 มีนาคม 2559)

[4] Zakon Group LLC. “OpenConf: Peer-Review, Abstract and Conference Management”. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: https://www.openconf.com/.(สืบค้นวันที่ 5 มีนาคม 2559).

[5] Trans Tech Publications Ltd. “Scientific.Net”. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: http://www.scientific.net.(สืบค้นวันที่ 5 มีนาคม 2559).

[6] Android Developers. "NfcAdapter". [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: http://developer.android.com/reference/android/nfc/NfcAdapter.html.(สืบค้นวันที่ 5 มีนาคม 2559).

[7] Square. “OkHttp: An HTTP & HTTP/2 client for Android and Java application”. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: http://square.github.io/okhttp/.(สืบค้นวันที่ 5 มีนาคม 2559).

**บทความวิจัย**
การประชุมวิชาการ งานวิจัยและพัฒนาเชิงประยุกต์ ครั้งที่ 8
*8th ECTI-CARD 2016, Hua Hin, Thailand*

# โปรแกรมตรวจแบบสอบถาม

# Application for Scoring Questionnaire

**วัลภา ภุมมะระ**
สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
1381 ถนนพิบูลสงคราม แขวงบางซื่อ เขตบางซื่อ กรุงเทพฯ 10800 E-mail: wanlapha.p@rmutp.ac.th

## บทคัดย่อ

ในหลายองค์กรนิยมนำแบบสำรวจ หรือแบบประเมินมาใช้สำรวจความคิดเห็น และนำความคิดเห็นเหล่านั้นมาปรับปรุงให้เกิดการพัฒนาที่ดีขึ้น โดยข้อมูลที่ได้รับจากแบบสำรวจแต่ละครั้งครั้งมีจำนวนมาก ซึ่งยากต่อการตรวจสอบและจัดเก็บ แต่ปัจจุบันด้วยความเจริญก้าวหน้าทางเทคโนโลยี ทำให้สามารถลดขั้นตอนการทำงาน และลดเวลาในการตรวจสอบ โดยการนำเอาเทคโนโลยีการประมวลผลภาพมาใช้ในการตรวจสอบ ร่วมกับการคำนวณเชิงสถิติของข้อมูลที่รวบรวมไว้เป็นจำนวนมาก ซึ่งโปรแกรมตรวจแบบสอบถามนั้นสามารถรองรับรูปแบบของแบบสอบถามได้ทุกรูปแบบ โดยแบ่งการใช้งานออกเป็น 4 ส่วน คือ ส่วนการกำหนดข้อมูลทั่วไปของผู้ประเมิน ส่วนการกำหนดตำแหน่งที่ต้องการตรวจสอบ ส่วนการตรวจสอบแบบสอบถามด้วยวิธีการประมวลผลภาพ และส่วนสุดท้าย คือ การรายงานผลของการตรวจสอบแบบสอบถาม โดยแสดงข้อมูลทั้งหมดที่ตรวจได้และสามารถส่งข้อมูลออกไปยังโปรแกรม Microsoft Excel ซึ่งผลการดำเนินการของโครงงานนี้มีความแม่นยำในการตรวจสอบอยู่ในระดับ 95% และยังช่วยประหยัดเวลาในการตรวจสอบแบบสอบถามมากกว่าการตรวจสอบด้วยตนเองถึง 6 เท่า

คำสำคัญ: ตรวจแบบสอบถามม, การประมวลผลภาพ

## Abstract

The organizations adopted survey or questionnaire for survey opinions and bring those opinions to improve the development even better. Each time has a lot of information which take many time to detect and difficult to collect information. Technological advances make convenient to reduce process and time to check. This project used the image processing technique with the statistical calculations for manage many data. This program supports every form of questionnaire forms. The work is divided into four parts. The first is assign general information. The second is selecting position of assessor. The third is scoring of questionnaire by detection according to position detection areas with image processing technique. The fourth is summary of scoring all information to report window and can export to Microsoft Excel. The project overall operation is successful because the application have accuracy levels in 95% and save time to checked more than manual 6 times.

Keywords: Scoring Questionnaire, Image Processing

## 1. บทนำ

ในการเก็บข้อมูลเพื่อนำมาใช้ในการวิจัย การประเมินผลต่าง ๆ ล้วนต้องมีการสร้างทำแบบสอบถาม หรือแบบประเมินเพื่อใช้ในการเก็บข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่างที่ต้องการ โดยในแต่ละครั้งข้อมูลจากกลุ่มเป้าหมายที่ได้กรอกข้อมูลลงในแบบสอบถามหรือแบบประเมินแล้วจึงนำมาตรวจสอบและจัดเก็บข้อมูลที่มีความยุ่งยาก เนื่องจากมีจำนวนข้อมูลมาก จึงได้พัฒนาและนำเทคโนโลยีในการประมวลผลภาพ (Image Processing) มาใช้ในการตรวจสอบและคำนวณค่าเฉลี่ยเชิงสถิติของข้อมูลในแบบสอบถามที่รวบรวมมาเป็นจำนวนมาก

การประมวลผลภาพ (Image Processing) คือ เป็นการประยุกต์ใช้งานการประมวลผลสัญญาณบนสัญญาณ 2 มิติ เช่น ภาพนิ่ง (ภาพถ่าย) หรือภาพวีดีทัศน์ (วีดีโอ) และยังรวมถึงสัญญาณ 2 มิติอื่นๆ ที่ไม่ใช่ภาพด้วย การประมวลผลภาพดิจิตอล (Digital Image Processing : DIP) เป็นสาขาที่กล่าวถึงเทคนิคและอัลกอริทึมต่างๆ ที่ใช้การประมวลผลภาพที่อยู่ในรูปแบบดิจิตอล

จากการที่ระบบตรวจแบบสอบถามแบบเดิม มีข้อจำกัดเกี่ยวกับรูปแบบของแบบสอบถาม (Template) ทางคณะผู้จัดทำจึงมีแนวคิดในการปรับปรุงประสิทธิภาพระบบให้ดีขึ้น เพื่อให้ผู้ใช้สามารถตรวจแบบสอบถามได้รวดเร็วกว่าการนับทีละแผ่นโดยใช้หลักการของการประมวลผลภาพ และสามารถออกแบบแบบสอบถามด้วยตนเองเพื่อนำไปประยุกต์ใช้งานในรูปแบบต่างๆได้

## 2. ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

2.1 แบบสอบถาม (Questionnaire)

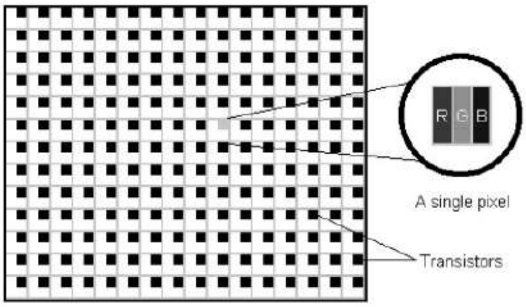
แบบสอบถาม หมายถึง รูปแบบของคำถามเป็นชุดๆ ที่ได้ถูกรวบรวมไว้อย่างมีหลักเกณฑ์และเป็นระบบ เพื่อใช้วัดสิ่งที่ผู้วิจัยต้องการจะวัดจากกลุ่มตัวอย่าง หรือประชากรเป้าหมายให้ได้มาซึ่งข้อเท็จจริงทั้งในอดีต ปัจจุบัน แบบสอบถาม เป็นเครื่องมือวิจัยชนิดหนึ่งที่นิยมใช้กันมาก เพราะการเก็บรวบรวมข้อมูลสะดวก และสามารถใช้วัดได้อย่างกว้างขวาง การเก็บข้อมูลด้วยแบบสอบถามสามารถทำได้ด้วยการสัมภาษณ์หรือให้ผู้ตอบด้วยตนเอง

ประเภทของข้อคำถามในแบบสอบถามอาจแบ่งได้เป็น 2 ประเภท

- คำถามปลายเปิด (Open Ended Question)
- คำถามปลายปิด (Close Ended Question)

2.2 พื้นฐานการประมวลผลภาพ [5]

ในเริ่มต้นของการประมวลผลภาพต้องทำการนำภาพจากกล้องมาแปลงในอยู่ในรูปของเมตริกซ์ ซึ่งภาพที่ได้ประกอบด้วยจุดต่าง ๆ ซึ่งมีค่าระดับความสว่างของภาพดิจิตอล ซึ่งอยู่ในในรูปแบบเมทริกซ์ 2 มิติขนาด M × N ดังรูปที่ 1




**รูปที่ 1** การจัดเก็บค่าสีในรูปของเมทริกซ์

จากนั้นพิกเซลในแต่ละระนาบของสีหาแปลงเป็นภาพระดับสีเทา ด้วยสมการที่ 1

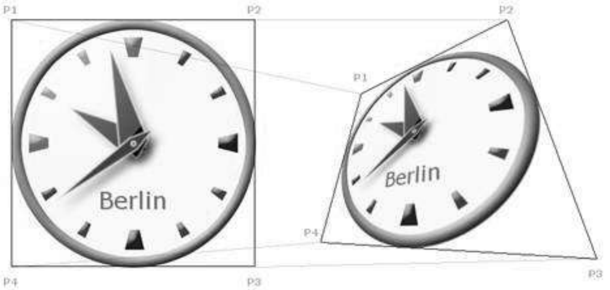
$$\text{Grayscale} = \frac{R+G+B}{3} \quad (1)$$

2.2.1 การหาขอบภาพ

การหาขอบภาพเป็นการหาขอบเขตของวัตถุภายในภาพซึ่งขอบเขตวัตถุจะเป็นที่เด่นและมีความสาคัญมากที่สุด เพื่อที่จะนำไปสู่การหาจุดอ้างอิงของวัตถุต่อไป โดยลักษณะเด่นของวัตถุที่พบโดยทั่วไปก็คือส่วนที่เป็นสัน หรือส่วนที่เป็นขอบเขตของวัตถุ เมื่อมีแสงมากระทบก็จะมีความสว่างมากกว่าส่วนอื่น โดยทั่วไปลักษณะของขอบภาพที่ดีจะมีลักษณะ ดังต่อไปนี้

2.2.2 หลักการ perspective transformation

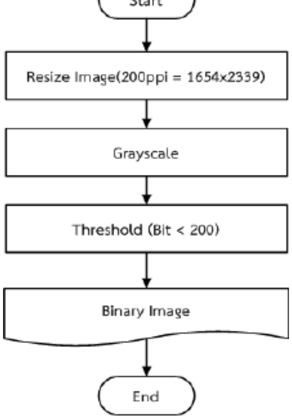
มีการนำหลักการ perspective transformation มาประยุกต์ใช้ในงานต่าง ๆ เช่น การปรับภาพที่มีการบิดเบี้ยว ซึ่งปกติแล้วภาพกระดาษคำตอบที่ได้มักเกิดการบิดเบี้ยว เพื่อที่จะทำให้ตำแหน่งของแบบทดสอบที่ต้องการตรวจสอบนั้นว่าอยู่ในตำแหน่งที่ต้องการหรือไม่ รูปที่ 2 แสดงตัวอย่างการปรับภาพที่มีการบิดเบี้ยว



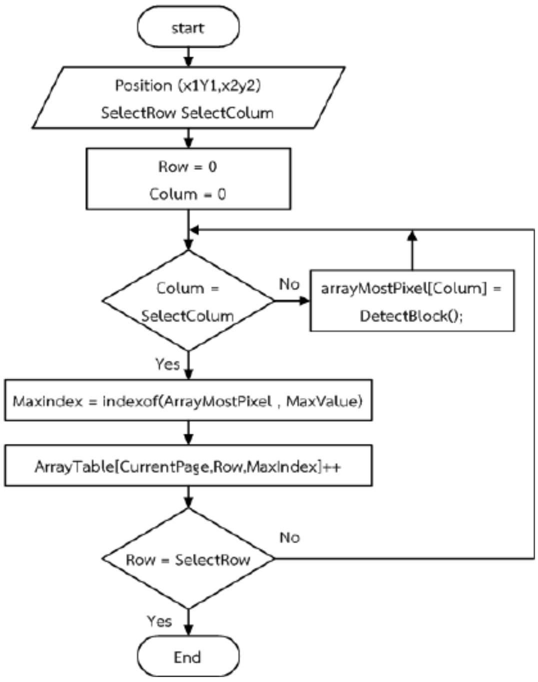

**รูปที่ 2** ตัวอย่างภาพที่ใช้หลักการ perspective transformation

## 3. การออกแบบและพัฒนาระบบ

ขั้นตอนการประมวลผลภาพโดยทั่วไป เริ่มต้นด้วยการปรับปรุงภาพด้วยวิธีต่างๆ จากนั้นนำภาพที่ได้แปลงให้เป็นภาพระดับสีเทา (Gray scale Image) หลังจากนั้นจะทำการแปลงภาพขาวดำ (Binary Image) โดยการทำเทรชโฮลด์ โดยอัลกอริทึมที่ใช้ในโปรแกรมตรวจบบสอบถาม ประกอบการลดขนาดภาพ (Resize) , ภาพระดับสีเทา (Gray Scale), การเทรชโฮลด์ (Threshold), ภาพไบนารี (Binary Image) ซึ่งขั้นตอนแสดงดังรูปที่ 3

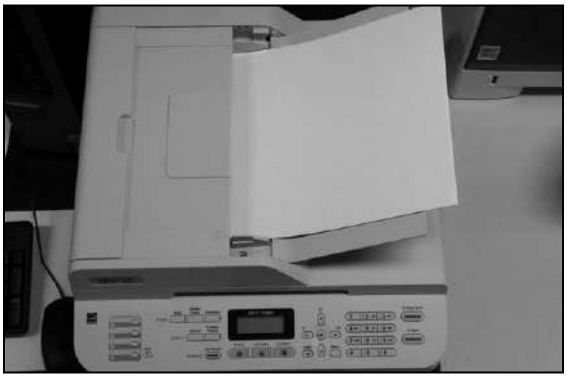



**รูปที่ 3** ขั้นตอนการประมวลผลภาพเบื้องต้น




**รูปที่ 4** ขั้นตอนการตรวจสอบแบบสอบถามแบบ Single Mode

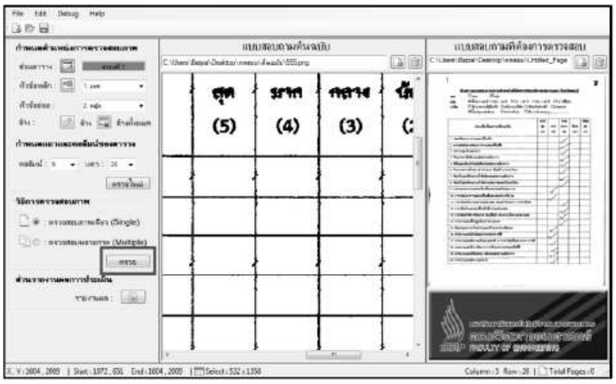
จากรูปที่ 4 แสดงขั้นตอนการตรวจสอบแบบสอบถามแบบทีละหน้า (Single Mode) โดยโปรแกรมจะส่งตำแหน่งของแต่ละช่อง โดยเริ่มจาก แถวที่ 1 คอลัมน์ 1 และไปจนถึงแถวสุดท้ายของตาราง โดยในการตรวจสอบจะเริ่มต้นทีละแถว โดยในแต่ละแถวจะพิจารณาจากช่องที่มีความเข้มมากที่สุด เมื่อได้ค่ามากที่สุดในคอลัมน์นั้น ทำการบันทึกผลแล้วแสดงผลในหน้าต่างรายงานผลโปรแกรม



**รูปที่ 5** การวางแบบสอบถามบนเครื่องสแกนป้อนเอกสารอัตโนมัติ

การวางแบบประเมินลงบนเครื่องสแกนควรวางให้อยู่ตำแหน่งเดิมทุกครั้ง ถ้าตำแหน่งกระดาษเลื่อนไปจากตำแหน่งเดิมมากจะทำให้โปรแกรมตรวจแบบสอบถามพลาดเพราะว่าโปรแกรมจะอ้างอิงตำแหน่งที่ระบุไว้ในการตรวจสอบแบบสอบถามเช่น หากแบบสอบถามใบแรกที่ใช้ในการกำหนดตำแหน่งสแกนโดยวางชิดขอบด้านบนซ้ายควรที่จะวางใบต่อไปชิดด้านบนซ้ายทั้งหมด หากแบบสอบถามใบแรกวางชิดบนซ้าย แต่ใบต่อมาชิดด้านบนขวา เมื่อสั่งให้โปรแกรมทำงาน ผลที่ได้จะมีค่าที่ผิดพลาด

จากรูปที่ 6 แสดงแบบสอบถามที่เข้ากระบวนการตรวจจับบริเวณพื้นที่ของการตรวจ โดยใช้การตรวจจับขอบภาพ (Edge Detection) โดยเมื่อหาจุดอ้างอิงได้แล้วจะทำการประมวลผลหาตัวเลือกที่ผู้ประเมินได้กรอกลงในแบบสอบถาม ซึ่งผลลัพธ์ของการตรวจสอบแสดงดังรูปที่ 7



**รูปที่ 6** แบบสอบถามที่กำลังดำเนินการตรวจสอบ

**ตารางที่ 1** การเปรียบเทียบการตรวจนับคะแนนด้วยตนเองและนับด้วยโปรแกรม

| **การตรวจนับ** | **ครั้งที่1** | **ครั้งที่2** | **ครั้งที่ 3** |
|---|---|---|---|
| คน | 134 นาที 35 วินาที | 126 นาที 5 วินาที | 150 นาที 25 วินาที |
| โปรแกรม | 17 นาที 47 วินาที | 18 นาที 40 วินาที | 20 นาที 57 วินาที |
| เวลาที่แตกต่าง | 116 นาที 48 วินาที | 107 นาที 35 วินาที | 129 นาที 28 วินาที |

จากตารางที่ 1 ทำการนับคะแนนจำนวน 3 ครั้ง และทำการเปรียบเทียบระยะเวลาที่ใช้ในการตรวจแบบสอบถามเปรียบเทียบกับระยะเวลาที่โปรแกรมใช้ไป ซึ่งสังเกตได้ว่าค่าความแตกต่างของระยะเวลาของการตรวจด้วยตนเองกับโปรแกรมมีความแตกต่างเฉลี่ยประมาณ 117 นาที นอกจากนี้แล้ว ในตารางที่ 2 แสดงผลในหน้าต่างรายงานผลโปรแกรม และจะแสดงเวลาที่ใช้ในการตรวจสอบ

แบบสอบถามทั้งหมด ให้ผู้ใช้ทำการกดที่ปุ่ม รายงานผล เพื่อแสดงผลการตรวจสอบแบบสอบถาม

**ตารางที่ 2** ผลการเปรียบเทียบค่าทางสถิติระหว่างการนับด้วยตนเองและการนับด้วยโปรแกรม

| การตรวจนับ | ค่าเฉลี่ย | ค่าเบี่ยงเบน |
|---|---|---|
| ด้วยคน | 136 นาที 50 วินาที | 12 นาที 24 วินาที |
| ด้วยโปรแกรม | 19 นาที 8 วินาที | 1 นาที 38 วินาที |

ในงานวิจัยนี้ใช้ผู้ตรวจแบบสอบถามจำนวน 3 คน โดยทำการเปรียบเทียบโดยใช้ระยะเวลาการตรวจแบบสอบถามระหว่างคน และการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ ซึ่งตารางที่ 2 แสดงเป็นการเปรียบเทียบค่าทางสถิติระหว่างการนับด้วยตนเองและนับด้วยโปรแกรม โดยใช้หลักการทางสถิต คือ การหาค่าเฉลี่ย การหาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ซึ่งพบว่าการตรวจแบบสอบถามด้วยมนุษย์ ใช้เวลา 136นาที 50วินาที ส่วนการทดสอบโดยใช้โปรแกรมใช้เวลาเพียง 19นาที 8 วินาที ซึ่งถ้าเปรียบเทียบเป็นอัตราส่วนจะพบว่ามนุษย์ใช้เวลาตรวจข้อสอบมากกว่าถึง 6.89 เท่า เมื่อเปรียบเทียบกับการนับด้วยมนุษย์ นอกจากนี้แล้วการใช้งานมนุษย์จะอุปสรรคที่เกิดจากสภาพร่างกาย การใช้ร่างกายในการตรวจแบบสอบถามในระยะเวลานาน ๆ ส่งผลต่อประสิทธิภาพการตรวจแบบสอบถาม แต่การตรวจนับด้วยโปรแกรมลดปัญหาที่เกิดจากกายภาพลดได้

## 4. สรุป

ผลการทดสอบโปรแกรมตรวจสอบแบบสอบถาม ใช้ในการตรวจแบบสอบถามที่ความละเอียด 200 DPI ทั้งหมด 3 รูปแบบ คือ 2, 3 และ 5 ตัวเลือก อย่างละ 20 แผ่น สามารถตรวจแบบสอบถามโดยที่ความถูกต้องของแบบ 2 ตัวเลือกจะมีค่าความผิดพลาดอยู่ที่ร้อยละ 1 แบบ 3 ตัวเลือก สามารถตรวจแบบสอบถามโดยที่ความถูกต้องจะมีค่าความผิดพลาดอยู่ที่ร้อยละ 0.33 และ แบบ 5 ตัวเลือก สามารถตรวจแบบสอบถามโดยที่ความถูกต้องจะมีค่าความผิดพลาดอยู่ที่ร้อยละ 0.04 ส่วนการตรวจนับด้วยตนเองจะไม่มีค่าความผิดพลาดซึ่งเมื่อนำมาเปรียบเทียบแล้ว ค่าความคลาดเคลื่อนนั้นไม่เกินร้อยละ 5 เป็นค่าที่ยอมรับได้ ส่วนเวลาที่ใช้ในการตรวจจะขึ้นอยู่กับจำนวนของแบบสอบถาม กรณีที่แบบสอบถามมากจะใช้เวลานาน หากเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ระหว่างการตรวจนับด้วยตนเองกับการตรวจนับด้วยโปรแกรมพบว่าถ้าแบบทดสอบมีจำนวนข้อน้อยจะใช้เวลาในการตรวจสอบใกล้เคียงกัน แต่หากแบบทดสอบจำนวนข้อมาก การใช้โปรแกรมจะใช้เวลาในการตรวจสอบได้รวดเร็วกว่า นอกจากนี้โปรแกรมยังสามารถรายงานผล (Report) ในเชิงเชิงสถิติ ในรูปแบบ ค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน เป็นต้น นอกจากนี้ระบบสามารถปรับรูปแบบการรายงานผลและเลือกกลุ่มข้อมูลให้แสดงค่าตามที่ผู้ใช้ต้องการ

## 5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ที่ให้การสนับสนุนค่าใช้จ่ายในการนำเสนอบทความในครั้งนี้

## เอกสารอ้างอิง

[1] ขนบ ทองคำ, “การพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับระบบการอ่านเครื่องหมาย,” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 2544

[2] ธิติพงศ์ วัฒนานนท์เสถียร, วชิระ ศรีละออง, “โปรแกรมตรวจกระดาษคาตอบโดยใช้การประมวลผลภาพเชิงดิจิตอล,” ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 2555

[3] พุทธินันท์ พัดกระจ่าง และ นุชนาฏ สัตยากวี, “ระบบตรวจข้อสอบแบบปรนัยบนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์,” ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกาแพงแสน

[5] สมเกียรติ อุดมหรรษากุล, “การประมวลผลภาพดิจิตอลเบื้องต้น,” กรุงเทพมหานคร : ท็อป, 2554

[6] สุทิสา ชมวงษ์, กมพล ขวัญเพชรและอานนท์ พุ่มพวง, “โปรแกรมสร้างและตรวจแบบประเมิน. กรุงเทพมหานคร : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร, 2554

**วัลภา ภุมมะระ** สำเร็จการศึกษา วศ.บ.วิศวกรรมคอมพิวเตอร์ จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ปัจจุบันเป็นอาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร มีความสนใจด้านการประมวลผลภาษาธรรมชาติ, การประมวลผลภาพ

**บทความวิจัย**

การประชุมวิชาการ งานวิจัยและพัฒนาเชิงประยุกต์ ครั้งที่ 8

*8th ECTI-CARD 2016, Hua Hin, Thailand*

# ระบบการประชุมภาพผ่านเครือข่ายคอมพิวเตอร์

# Video Conferencing System on Computer Network

**อัญชลี พานิชเจริญ[1] และ ณัฐวุฒิ พานิชเจริญ[2]**

สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนาตาก

41/1 ถนนพหลโยธิน ตำบลไม้งาม อำเภอเมืองตาก จังหวัดตาก 63000 โทรศัพท์ 0 5551 5900-5 ต่อ 251

E-mail: [1]anchalee_tak@hotmail.com, [2]nattrit@gmail.com

## บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อสร้างระบบการประชุมภาพผ่านเครือข่ายคอมพิวเตอร์ โดยใช้โปรแกรมจาวามีเดียเฟรมเวิร์กที่มีคุณสมบัติเอื้อต่อการออกแบบ สามารถสร้างดาต้าซอร์ตเพื่อใช้จับภาพจากกล้องและไมโครโฟน สัญญาณที่ได้ผ่านกระบวนการเพื่อแยกหรือรวมแทร็กภาพเสียงด้วยวิธีโค้ดเดคและส่งเป็นสตรีมมิ่งมีเดียไปยังปลายทางด้วยโปรโตคอลเวลาจริง สามารถกำหนดค่าการติดต่อตลอดจนลักษณะการติดต่อผ่านหน้าจอติดต่อกับผู้ใช้ ที่ผู้ใช้งานสามารถกำหนดเองได้ ผลการทดสอบพบว่าสัญญาณตอบสนองได้ดีทั้งภาพและเสียงต่อเนื่องเมื่อตรวจสอบอัตราการส่งข้อมูลในหน่วย kB/Sec ผลการอัปโหลดพบว่าสัญญาณเครือข่ายแบบเพียร์ทูเพียร์มีอัตราการส่งเป็น $\bar{X}$ =147.72 SD=1.44 เครือข่ายแบบอินทราเน็ต $\bar{X}$ =146.18 SD=1.48 เครือข่ายแบบแลน $\bar{X}$ =77.96 SD=2.75 และเครือข่ายแบบแวน $\bar{X}$ =60.85 SD=61.88 ส่วนการดาวน์โหลดเครือข่ายแบบเพียร์ทูเพียร์ $\bar{X}$ =126.75 SD=1.72 เครือข่ายแบบอินทราเน็ต $\bar{X}$ =123.98 SD=2.40 เครือข่ายแบบแลน $\bar{X}$ =62.68 SD=2.73 และเครือข่ายแบบแวน $\bar{X}$ =51.58 SD=49.22

คำสำคัญ: ระบบการประชุมภาพ, สตรีมมิ่งไฟล์

## Abstract

The purpose of this research was to design a video conferencing on computer network used the Java Media Framework features contributing to the design. It can create a data source to use the camera and microphone capture. The signal processing to separate or combine audio tracks with video encoder and streaming media is delivered to the destination with real-time protocol. The user can configure the features on GUI. The test results showed that the signal responsive continuously and monitor the data transfer rate in kB/sec; Upload data transfer rate for peer to peer network $\bar{X}$ =147.72 SD=1.44, Intranet $\bar{X}$ =146.18 SD =1.48, LAN $\bar{X}$ =77.96 SD=2.75 and WAN $\bar{X}$ =60.85 SD=61.88. Download data transfer rate for peer to peer network $\bar{X}$ =126.75 SD=1.72, Intranet $\bar{X}$ =123.98 SD=2.40, LAN $\bar{X}$ =62.68 SD=2.73, WAN $\bar{X}$ =51.58 SD=49.22. The video conferencing system was successful could meet the aim set.

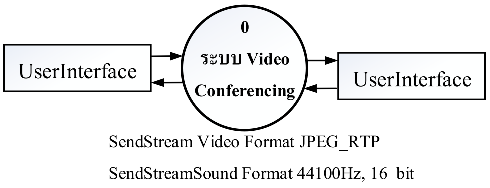
Keywords: Video conferencing system, Streaming files

## 1. บทนำ

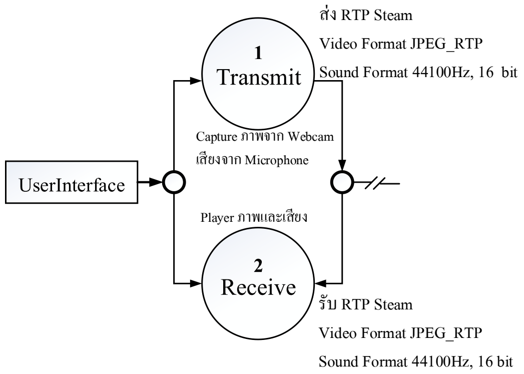
Video Conferencing System คือ เทคโนโลยีที่ช่วยในการติดต่อสื่อสารผ่านเครือข่ายคอมพิวเตอร์ ในรูปแบบของการประชุมทางไกลทั้งภาพเสียงในเวลาเดียวกัน การประชุมทางวีดีโอผ่านเครือข่ายคอมพิวเตอร์ทำได้หลายวิธีด้วยกัน ส่วนใหญ่แล้วก็ต้องการซอฟต์แวร์และซอฟต์แวร์ไคลเอนต์ที่ช่วยให้ผู้ใช้ส่งและรับสัญญาณวีดีโอและออดิโอต่อกันได้ และก็ยังเกี่ยวข้องกับฮาร์ดแวร์และซอฟว์แวร์ชนิดพิเศษทางเซิร์ฟเวอร์อีกด้วยที่เป็นโฮสต์ของการประชุมทางวีดีโอและส่งสัญญาณไปให้กับทุกจุดที่เชื่อมต่อกับเซิร์ฟเวอร์ เมื่อบุคคลหนึ่งต้องการประชุมทางวีดีโอกับผู้ใช้ปลายทางก็จะใช้ซอฟต์แวร์ไคลเอนต์เพื่อล็อกเข้าในตัวสะท้อน ซึ่งเป็นคอมพิวเตอร์บนอินเทอร์เน็ตที่เป็นโฮสต์ให้กับคนที่เข้าร่วมประชุมทางวีดีโอกันได้ทันที เมื่อผู้ใช้ล๊อกเข้าในตัวสะท้อนทำให้สามารถเข้าร่วมการประชุมที่มีอยู่แล้วได้ เมื่อมีผู้ใช้ล๊อกเข้ามาในตัวสะท้อน ก็จะมีสัญญาณอย่างสม่ำเสมอส่งจากคอมพิวเตอร์ของผู้ใช้นี้ไปยังตัวสะท้อน ที่จะสะท้อนต่อออกไปให้ผู้ใช้ที่ต่ออยู่กับตัวสะท้อนนี้ทราบว่ามีผู้ใช้ได้ ล็อกเข้ามาแล้ว และพร้อมจะทำการประชุมทางวีดีโอเพื่อที่จะเป็นผู้เข้าร่วมประชุมทางวีดีโอได้จำเป็นต้องมีกล้องวีดีโอ และไมโครโฟนบนคอมพิวเตอร์ด้วย (บางครั้งส่วนไมโครโฟนจะติดอยู่พร้อมบนตัวกล้อง) กล้องจะแปลงภาพวีดีโอไปเป็นข้อมูลดิจิตอลแล้วซอฟต์แวร์ไคลเอนต์ก็จะบีบอัดและเข้ารหัสข้อมูลนี้ เพื่อให้ส่งผ่านทางอินเทอร์เน็ตได้ ถ้าหากข้อมูลไม่ถูกบีบอัดหรือลดขนาดมันก็จะใหญ่เกินกว่าจะส่งทางอินเทอร์เน็ตได้ ซอฟต์แวร์การประชุมทางวีดีโอบางตัวยังทำงานนี้โดยไม่ต้องผ่านตัวสะท้อนได้อีกด้วย ถ้าทราบถึงไอพีแอดเดรส

ของบุคคลที่ต้องการประชุมทางวีดีโอด้วย ผู้ใช้สามารถเชื่อมต่อโดยตรงกับบุคคลนั้นได้ โดยไม่ต้องผ่านตัวสะท้อนกลับใดๆ อีก ในกรณีนี้จะประชุมเฉพาะแบบตัวต่อตัวเท่านั้นแทนที่จะกระทำได้เป็นกลุ่ม ผู้ใช้ต้องการเห็นภาพระหว่างกัน ต้องใช้ซอฟต์แวร์ไคลเอนต์ชนิดเดียวกัน ซอฟต์แวร์นี้จะถอดรหัสภาพวีดีโอและแสดงผลเป็นวีดีโออยู่บนหน้าจอของแต่ละฝ่าย ซึ่งข้อมูลวีดีโอถูกส่งผ่านเครือข่ายคอมพิวเตอร์ด้วยโปรโตคอล RTP องค์ประกอบของการประชุมภาพ Video Conferencing จะประกอบไปด้วย คอมพิวเตอร์ เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการรับส่งข้อมูล เว็บแคม เป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับการจับภาพและจะมีการแปลงภาพเป็นรูปแบบ ไบนารี่ที่คอมพิวเตอร์สามารถอ่านได้ โดยทั่วไปจะใช้รูปแบบกราฟิก JPEG ที่มีการบีบอัดขนาดไฟล์ได้มาก โดยภาพยังคงมีรายละเอียดอยู่ในระดับที่ดี ภาพ JPEG นี้ถูกเชื่อมโยงอยู่กับ URL บนเว็บโฮมเพจหนึ่ง ลิงก์นี้คงค่าอยู่เสมอ แม้ว่าภาพจะเปลี่ยนไปนานเท่าใด ซึ่งหมายถึงว่าผู้ที่คลิกลิงก์นี้ จะได้รับชมภาพใหม่ล่าสุดที่ถูกจับภาพจากเว็บแคมอยู่เสมอ

## 2. โครงสร้างของการประชุมภาพผ่านเครือข่ายคอมพิวเตอร์

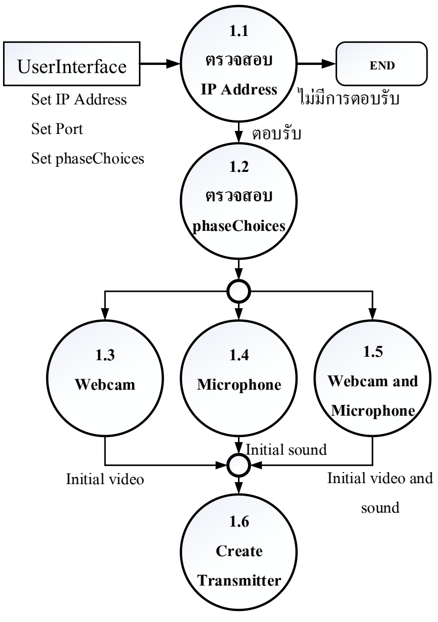



**รูปที่ 1** ระบบการประชุมภาพผ่านเครือข่ายคอมพิวเตอร์



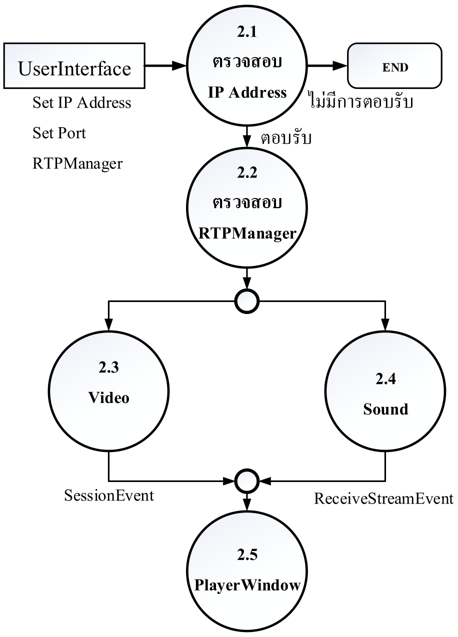

**รูปที่ 2** ส่วนประกอบของแต่ละสถานี

โครงสร้างของการประชุมภาพผ่านเครือข่ายคอมพิวเตอร์เป็นดังรูปที่ 1 ระบบนี้ใช้คุณลักษณะของจาวามีเดียเฟรมเวิร์ก (Java Media Framework: JMF) การนำจาวามีเดียเฟรมเวิร์ก มาใช้กับการวิจัยครั้งนี้เนื่องจาก มีการใช้งานที่ง่ายต่อการโปรแกรม สนับสนุนการจับมีเดีย และสนับสนุนการพัฒนาการส่งสื่อและงานประยุกต์เกี่ยวกับการประชุมผ่านอินเตอร์เน็ตในจาวา โดยใช้การรับและการส่งโปรโตคอลอาร์ทีพี (Real-Time Transport Protocol : RTP) อุปกรณ์ที่ใช้จับสื่อจะเป็นตัวสร้างข้อมูลสื่อ ได้แก่ กล้องวีดีโอและไมโครโฟน โดยต้องมีฮาร์ดแวร์นั้นๆ โมเดลข้อมูลที่ใช้มีลักษณะเป็นสื่อชนิดสตรีมมิ่ง สื่อสตรีมมิ่งนี้มาจากอุปกรณ์จับ ได้แก่ ไมโครโฟนหรือกล้อง ไฟล์ในดิสก์ไดร์ฟหรือนำมาจากเน็ตเวิร์ก ข้อมูลสตรีมมิ่งจะถูกแบ่งออกเป็นหลายช่องสัญญาณของข้อมูลหรือเรียกว่า แทร็ก เช่น ไฟล์หนึ่งจะประกอบไปด้วยแทร็กของออดิโอและแทร็กของวีดีโอ ซึ่งถือได้ว่าเป็นแหล่งข้อมูลของระบบ จากรูปที่ 2 ระบบการประชุมภาพผ่านเครือข่ายคอมพิวเตอร์จะประกอบไปด้วย 3 ส่วน คือ UserInterface Transmit และ Receive โดย UserInterface จะเป็นตัวตั้งค่าการติดต่อโดยกำหนดรูปแบบการติดต่อตามตามความต้องการของผู้ใช้ให้ทั้ง 2 ส่วน คือ Transmit จะทำการจับภาพจากเว็บแคมและเสียงจากไมโครโฟนระบบจะจัดรูปแบบสัญญาณภาพเป็น JPG_RTP และเสียงจะมีรูปแบบ 44100Hz 16 bit แล้วส่งออกไปในโครงข่าย ส่วน Receive จะรับค่าสัญญาณภาพเป็น JPG_RTP และเสียงจะมีรูปแบบ 44100Hz 16 bit เพื่อแสดงผลบนมอนิเตอร์และลำโพง




**รูปที่ 3** Level 1 Process 1 ส่วนประกอบของการส่งสัญญาณ

จากรูปที่ 3 เป็นรายละเอียดของกระบวนการสร้างสัญญาณเพื่อส่งไปยังระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์เพื่อรับรูปแบบการตั้งค่าจากผู้ใช้ผ่าน UserInterface หลังจากนั้นจะนำไปสร้างส่วนประกอบของการส่ง ส่วนรูปที่ 4 เป็นการทำงานเพื่อสร้างระบบการรับสัญญาณเพื่อให้ทั้งสองสถานีสามารถทำการติดต่อทางภาพและเสียงได้



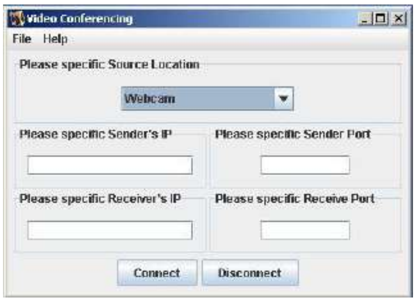

**รูปที่ 4** Level 2 Process 2 ส่วนประกอบของการรับสัญญาณ

## 3. ผลการทดสอบ

### 3.1 การทดสอบการทำงานของระบบ

ในหัวข้อนี้แสดงผลการทำงานในส่วนต่างๆ ของระบบที่ได้ออกแบบสร้างขึ้นมารวมถึงผลที่ได้ทำการทดสอบระบบบนเครือข่ายคอมพิวเตอร์ ได้แก่ระบบเพียร์ทูเพียร์ อินทราเน็ต เลนอินเตอร์เน็ต และแวนอินเตอร์เน็ต ซึ่งผลเป็นที่น่าพอใจ

**รูปที่ 5** หน้าต่างเข้าสู่ระบบ




**รูปที่ 6** หน้าต่างติดต่อกับผู้ใช้

**รูปที่ 7** การเลือกชนิดของแหล่งกำเนิด

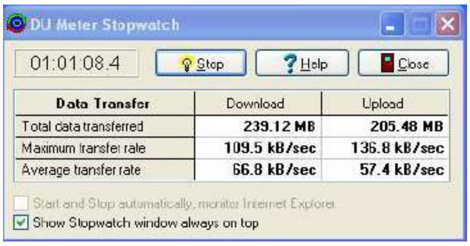
**รูปที่ 8** การกำหนดค่าการติดต่อของระบบ

**รูปที่ 9** ภาพที่ปรากฏในการใช้งาน

**รูปที่ 10** เว็บแคมที่ใช้ในการทดสอบ

## 3.2 การทดสอบในระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์

เครื่องมือในการทดสอบอัตราการส่งผ่านข้อมูลใช้ DU Meter ซึ่งเป็นการจัดการเกี่ยวกับการรายงานข้อมูลที่ส่งผ่านเครือข่ายคอมพิวเตอร์ในช่วงเวลาใดๆ ซึ่งแสดงผลในรูปของภาพและตัวเลข สามารถแสดงผลการ Upload และ Download ข้อมูลได้ สำหรับการทดสอบครั้งนี้ใช้ 30 ตัวอย่าง ระยะเวลาเวลาห่างกัน 1 ชั่วโมง




**รูปที่ 11** การทดสอบอัตราการส่งผ่านข้อมูล

**ตารางที่ 1** สรุปผลการทดสอบอัตราการรับส่งข้อมูลบนเครือข่ายคอมพิวเตอร์แบบต่างๆ

| ชนิดของเครือข่าย | อัตราการส่งข้อมูล kB/sec | |
|---|---|---|
| | Upload | Download |
| 1. Peer to Peer | $\bar{X}$ =147.72 SD=1.44 | $\bar{X}$ =148.01 SD=1.66 |
| 2. Intranet | $\bar{X}$ =146.18 SD=1.48 | $\bar{X}$ =146.08 SD=1.35 |
| 3. LAN | $\bar{X}$ =77.96 SD=2.75 | $\bar{X}$ =78.21 SD=1.44 |
| 4. WAN | $\bar{X}$ =64.55 SD=3.92 | $\bar{X}$ =65.82 SD=3.06 |

## 4. สรุปผล

ในการศึกษาครั้งนี้เป็นการสร้างและพัฒนาระบบการประชุมภาพผ่านเครือข่ายคอมพิวเตอร์ จากการดำเนินการจะมีไฟล์ที่สร้างขึ้นมา 3 ส่วน เพื่อเป็นกลไกประกอบการทำงานคือ (1)โปรแกรม UserInterface ใช้สำหรับติดต่อกับผู้ใช้งานในการเลือกฟังก์ชันของระบบ ได้แก่ การรับส่งสัญญาณเสียง การรับส่งสัญญาณภาพ และการรับส่งสัญญาณภาพและเสียงพร้อมกันในลักษณะของการประชุมหรือ Video Conferencing นอกจากนี้แล้วโปรแกรมส่วนนี้ยังใช้เป็นโปรแกรมในการกำหนด IP Address และ หมายเลข Port ที่ใช้การประชุม (2) โปรแกรม Transmit เป็นโปรแกรมที่สร้างข้อมูลเพื่อใช้ในการส่ง โดยสามารถรองรับการเลือกการทำงานจากโปรแกรม UserInterface ทั้งนี้กำหนดอุปกรณ์ที่ใช้จับสัญญาณเป็นกล้องเว็บแคมและไมโครโฟน สัญญาณภาพและเสียงตามมาตรฐาน จะถูกกระบวนจัดการสัญญาณ หรือที่เรียกว่า Codec เพื่อให้เป็นระดับสัญญาณทางดิจิตอล ที่มีคุณภาพดีใช้แบนด์วิดธ์ต่ำ และสามารถส่งสัญญาณในระบบโครงข่าย โดยเป็นสัญญาณรูปแบบสตรีมมิ่ง คือการส่งสัญญาณจะส่งไปสู่บัฟเฟอร์และการแสดงผลนั้นจะดึงสัญญาณที่อยู่ในบัฟเฟอร์แสดงผลไปได้พร้อมกัน โดยโปรแกรม Transmit นี้อาศัยเทคโนโลยีของจาวามีเดียเฟรมเวิร์ก ที่สามารถรองรับกับการทำงานลักษณะนี้โดยตรง โดยสัญญาณสตรีมมิ่งนั้นจะถูกส่งโดยใช้โปรโตคอลชนิดเวลาจริง คือ Real Time Protocol (3)โปรแกรม Receive เป็นโปรแกรมที่รับสัญญาณสตรีมมิ่ง ที่มีลักษณะสอดคล้องกับการส่งสัญญาณในด้านส่ง กับการกำหนดค่าของผู้ใช้ตามโปรแกรม UserInterface และทำหน้าที่ในการแสดงผลบนมอนิเตอร์ โดยนำสัญญาณสตรีมมิ่งมาทำการ Codec เพื่อให้ได้สัญญาณเช่นเดียวกันกับสัญญาณต้นแบบ

## 5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนาตาก และมหาวิทยาลัยนเรศวร ที่ให้การสนับสนุนการทดสอบสัญญาณในการวิจัยครั้งนี้

## เอกสารอ้างอิง

[1] กิตติพงษ์ พุ่มพวง. “การศึกษาผลการใช้ชุดการสอนทางไกลโดยใช้ระบบวีดีโอคอนเฟอร์เรนซ์” วิทยานิพนธ์ กศ.ม. มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒประสานมิตร, 2547
[2] ชัย และภานุวัฒน์ บุญผาสุก. “คัมภีร์ Java เล่ม 2” กรุงเทพฯ: เคทีพี คอมพ์ แอนด์ คอนซัลท์ จำกัด, 2548.
[3] ลัญฉกร วุฒิสิทธิกุลกิจ. “โครงข่ายอินเตอร์เน็ตและโพรโทคอลทีซีพี/ไอพี” กรุงเทพฯ: บริษัทด่านสุทธาการพิมพ์ จำกัด, 2545.
[4] สุธี พงศาสกุลวรรณิกา เนตรงาม. คู่มือการเขียนโปรแกรมภาษา Java ฉบับผู้เริ่มต้น. นนทบุรี: อินโฟเพรส, 2545.
[5] สุรศักดิ์ สงวนพงษ์. “สถาปัตยกรรมและโปรโตคอลทีซีพี/ไอพี” กรุงเทพฯ: ซีเอ็ดยูเคชั่น, 2543.

# การพัฒนาฐานข้อมูลดาวเทียมโดยใช้โปรแกรม LabVIEW

# THE DEVELOPMENT OF SATELLITE DATABASE BY USING LabVIEW

**ทินวัฒน์ จังจริง และ ไพฑูรย์ รักเหลือ**
ภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
39 หมู่ 1 ตำบลคลองหก อำเภอธัญบุรี จังหวัดปทุมธานี โทรศัพท์: 0875854999 E-mail: thinnawat_j@rmutt.ac.th, paitoon.r@rmutt.ac.th

## บทคัดย่อ

บทความนี้มีจุดมุ่งหมายที่จะใช้ LabVIEW ในการออกแบบประยุกต์ใช้ในระบบกราฟฟิก เพื่อที่จะนำไปใช้ร่วมกับฐานข้อมูลดาวเทียม เพื่อนำไปประมวลผลและวิเคราะห์สัญญาณดาวเทียม โดยในโครงงานนี้จะใช้ LabVIEW ในการประมวลผลและวิเคราะห์สัญญาณดาวเทียมที่ได้ลงไปเก็บในระบบฐานข้อมูล Oracle ในการจัดการฐานข้อมูล โดยข้อมูลสัญญาณดาวเทียมที่ได้จะถูกเปลี่ยนแปลงไปตามวันเวลา และสภาพภูมิอากาศ สภาพแวดล้อมที่แตกต่างกันจะถูกบันทึกไว้โดยเครื่องบันทึกข้อมูล ซึ่งถูกสุ่มเก็บข้อมูลในทุก ๆ 1 mS มาผ่านกระบวนการและนำเข้าสู่ตารางที่ได้รับการออกแบบให้รองรับข้อมูลขนาดใหญ่ นอกจากนี้ยังพัฒนาฐานข้อมูลสัญญาณดาวเทียมให้สามารถเชื่อมต่อผ่านระบบเครือข่ายอินเตอร์เน็ต ทำการเชื่อมต่อโดยใช้ภาษา PHP ในการเขียนเว็บไซต์ระบบฐานข้อมูลสัญญาณดาวเทียม ซึ่งสมาชิกที่ลงทะเบียนกับทางเว็บไซต์ สามารถเข้าดูข้อมูลและใช้งานข้อมูลผ่านระบบดาวน์โหลดข้อมูล และยังสามารถดูกราฟการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณดาวเทียม ซึ่งค่าที่ได้นั้นจะถูกจัดเก็บให้อยู่ในรูปแบบอุณหภูมิ แรงดันในย่าน C-band และ KU-band ในวันเวลาต่าง ๆ ที่กำหนด เพื่อทำการเลือกข้อมูลที่ต้องการดาวน์โหลด เพื่อนำไปวิเคราะห์และประมวลผลสัญญาณดาวเทียมต่อไป

คำสำคัญ: LabVIEW, ORACLE, WEBSITE

## Abstract

This article is intended to use the LabVIEW graphical system design applications. In order to be used in conjunction with satellite data process and analyze satellite. The product is used LabVIEW to process and analyze satellite has to keep in the Oracle database system to manage the database. The satellite data that can be changed according to the time of day and climate Different environments can be recorded by a data logger. This data was collected every 1 mS come through and bring to the table that is designed to support large data. It also developed a database can be connected via satellite to the Internet connected using the PHP language to write Web database satellite which was registered with the site. All information and data use. Via download you can also see a graph of the satellite. This value is then stored in the form of pressure, temperature in C-band and KU-band in the days that are set to make an informed choice to download analyze and process the satellite.

Keywords: LabVIEW, ORACLE, WEBSITE

## 1. บทนำ

ปัจจุบันการสื่อสารดาวเทียมมีความสำคัญต่อชีวิตประจำวันเป็นอย่างมาก ไม่ว่าจะเป็นเครือข่ายโทรศัพท์ไร้สาย การถ่ายทอดสดผ่านดาวเทียม การพยากรณ์อากาศ ซึ่งใช้ดาวเทียมในการรับส่งข้อมูลข่าวสาร ในการสื่อสารข้อมูลดาวเทียมนั้น จะเกิดการลางหายของสัญญาณอย่างกระทันหัน (scintillation) และการลดทอน ซึ่งเกิดจากปัจจัยทางธรรมชาติหลายอย่าง เช่น ความร้อน อุณหภูมิ ความเข้มของแสง ซึ่งเราไม่สามารถควบคุมได้ ทำให้การสื่อสารมีประสิทธิภาพลดลง ดังนั้น จึงได้เกิดแนวความคิดในการวิเคราะห์สัญญาณดาวเทียมขึ้น เพื่อเก็บรวบรวมข้อมูลของตัวแปรเหล่านั้นว่ามีผลต่อระดับสัญญาณอย่างไร

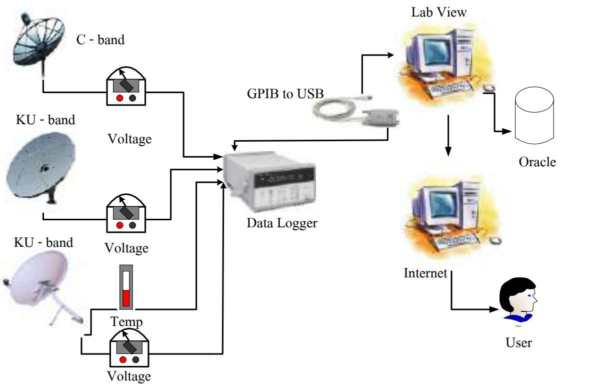
การวิเคราะห์สัญญาณดาวเทียม อาศัยการเก็บข้อมูลของสัญญาณดาวเทียมแล้วนำมาทำการประมวลผลทางคณิตศาสตร์ และในเชิงสถิติศาสตร์ การคำนวณทางคณิตศาสตร์เพื่อการวิเคราะห์สัญญาณดาวเทียม อาศัยจำนวนข้อมูลที่มีจำนวนมากและซับซ้อนในการคำนวณ ดังนั้นระบบฐานข้อมูลจึงมีความจำเป็นอย่างมากในการจัดระบบหมวดหมู่ของข้อมูล และทำการเชื่อมโยงข้อมูลให้สามารถคำนวณและแสดงผลทางสถิติในรูปแผนภูมิที่สวยงาม เข้าใจง่าย ซึ่งในปัจจุบันมีโปรแกรมที่สามารถพัฒนาฐานข้อมูลดาวเทียมดังกล่าวให้ง่ายต่อการจัดเก็บและแสดงผลอีกด้วย

ในบทความวิจัยนี้ใช้ LabVIEW ในการประมวลผลและวิเคราะห์สัญญาณดาวเทียมที่ได้ลงไปเก็บในระบบฐานข้อมูล Oracle

โดยข้อมูลสัญญาณดาวเทียมที่ได้จะถูกเปลี่ยนแปลงไปตามวันเวลา และสภาพภูมิอากาศ สภาพแวดล้อมที่แตกต่างกันจะถูกบันทึกไว้โดยเครื่องบันทึกข้อมูล ซึ่งถูกสุ่มเก็บข้อมูลในทุก ๆ 1 mS มาผ่านกระบวนการและนำเข้าสู่ตารางที่ได้รับการออกแบบให้รองรับข้อมูลขนาดใหญ่ นอกจากนี้ยังสามารถเชื่อมต่อผ่านระบบเครือข่ายอินเตอร์เน็ต โดยใช้ภาษา PHP ในการเขียนเว็บไซต์ระบบฐานข้อมูลสัญญาณดาวเทียม ซึ่งสมาชิกที่ลงทะเบียนกับทางเว็บไซต์ สามารถเข้าดูข้อมูลและใช้งานข้อมูลผ่านระบบดาวน์โหลดข้อมูล และยังสามารถดูกราฟการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณดาวเทียม ซึ่งค่าที่ได้นั้นจะถูกจัดเก็บให้อยู่ในรูปแบบอุณหภูมิ แรงดันในย่าน C-band และ KU-band ในวันเวลาต่าง ๆ ที่กำหนด

## 2. การออกแบบ

การออกแบบการทำงาน ประกอบด้วย 3 ส่วน คือ 1.จานรับสัญญาณ 2.โปรแกรม LabVIEW และฐานข้อมูล 3.การแสดงผลทางบราวเซอร์ ซึ่งสัมพันธ์กันดังนี้ ข้อมูลดิบที่ทำการจัดเก็บจากเครื่องดาต้าลอกเกอร์ จะถูกส่งเข้าไปประมวลผลในโปรแกรม LabVIEW ในรูปแบบข้อความแสดงวันที่ของการวัด เวลา แรงดัน ทั้งในย่าน C-band และ Ku-band รวมทั้งอุณหภูมิขณะทำการวัดสัญญาณ โดยจะทำการจัดรูปแบบข้อมูลให้เหมาะสำหรับการเขียนเข้าสู่ระบบฐานข้อมูล หลังจากผ่านการจัดรูปแบบแล้ว ก็จะทำการจัดเก็บลงฐานข้อมูลผ่านทางโปรแกรม SQL developer ในส่วนของผู้ใช้ที่ต้องการข้อมูลดาวเทียมไปใช้ทำการวิเคราะห์ สามารถเข้าสู่หน้าแอดเดรสของโปรแกรม โดยจะต้องสมัครสมาชิกเสียก่อน เพื่อทำการล็อกอินเข้าสู่ระบบ โดยสามารถเข้าไปใช้งานส่วนของข้อมูลดาวเทียมได้ในส่วนของกราฟแสดงผล และ ดาวน์โหลดข้อมูลออกมาเป็นแฟ้มข้อมูล ซึ่งข้อมูลดาวเทียมที่ต้องการสามารถเลือกช่วงข้อมูลได้ โดยระบุวัน เวลาเริ่มต้นของข้อมูล เวลาสิ้นสุดของข้อมูล




**รูปที่ 1** แบบจำลองการทำงานของฐานข้อมูลดาวเทียมผ่านเครือข่ายอินเตอร์เน็ต

### 2.1 จานรับสัญญาณ

ในการเก็บข้อมูลสัญญาณดาวเทียมนั้นจำเป็นต้องมีการติดตั้งจานรับสัญญาณจากดาวเทียมที่จะทำการเก็บสัญญาณ โดยจะต้องทราบองศาและมุมเพื่อที่จะได้สามารถหันหน้าจานรับกับสัญญาณที่ส่งมาจากดาวเทียมได้ตรงตามความถี่

การหามุมก้มเงยมีสูตรในการหาค่าดังนี้ มุมเงย (Elevation Angle) : *EL*

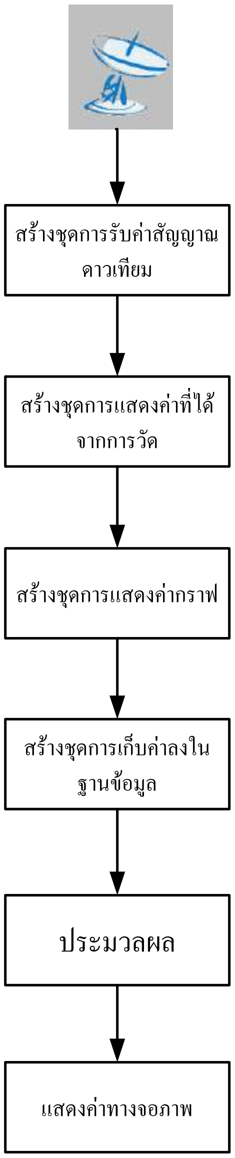
$$EL = \tan^{-1}\left[\frac{\cos\theta\cos\phi - \dfrac{R}{R+H}}{\sqrt{1-\cos^2\theta\cos^2\phi}}\right] \quad (1)$$

การหามุมส่ายมีสูตรในการหาค่าดังนี้ มุมส่าย (AZIMUTH ANGLE) : *AZ*

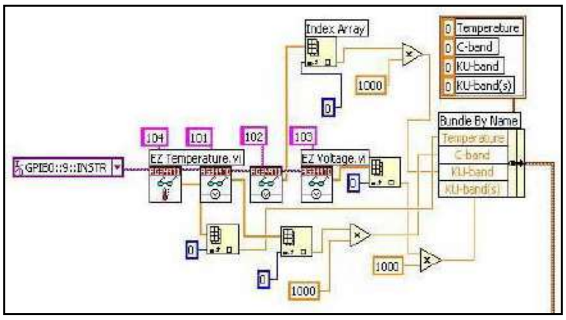
$$AZ = \tan^{-1}\left[\frac{\tan\phi}{\sin\theta}\right] \quad (2)$$

### 2.2 การออกแบบในโปรแกรม LabVIEW และการสร้างฐานข้อมูล Oracle

ผู้วิจัยได้ดำเนินการออกแบบการทำงานโดยสร้างบล็อกไดอะแกรมในโปรแกรม LabVIEW ทั้งในส่วนของการรับข้อมูลจาก Datalogger ผ่านทางสาย GPIB ให้สามารถแสดงผลการคัดแยกสัญญาณที่รับเข้ามาในรูปแบบของหน่วยวัดต่าง ๆ และสามารถนำไปจัดเก็บยังหมวดหมู่ที่ได้สร้างไว้ ซึ่งในที่นี้ให้เก็บค่าอุณหภูมิหน่วยเป็น ℃ ใน Bundle by name ที่ชื่อ Temperature และเก็บค่าของแรงดันหน่วยเป็น V. (Volte) จะเก็บ โดยแบ่งเป็นค่าแรงดันของจาน KU-band จานใหญ่ให้เก็บใน Bundle by name ที่ชื่อ KU-band จาน KU-band จานเล็กให้เก็บใน Bundle by name ที่ชื่อ KU-band(s) และ C-band ให้เก็บใน Bundle by name ที่ชื่อ C-band เมื่อเราทำการรับค่าและคัดแยกสัญญาณได้เรียบร้อยแล้วก็จะทำการส่งค่าที่ได้มาทำการประมวลผลและแสดงผลในรูปของค่าที่เป็นตัวเลขและกราฟ ซึ่งผู้วิจัยได้ทำการเขียนบล็อกไดอะแกรมในส่วนนี้ ให้สามารถทำการรับค่าของสัญญาณที่ทำการแบ่งแยกค่าของสัญญาณแสดงผลในรูปของตัวเลขและกราฟผ่านทางโมดูล DBL และในส่วนสุดท้ายการส่งข้อมูลไปยังฐานข้อมูล Oracle ให้ตรงตามคอลัมน์ที่ตั้งไว้ในฐานข้อมูล ซึ่งต้องนำเอาส่วนต่าง ๆ มาเชื่อมโยงเข้าด้วยกัน เราก็จะได้บล็อกไดอะแกรมรวมดังรูปที่ 2,3

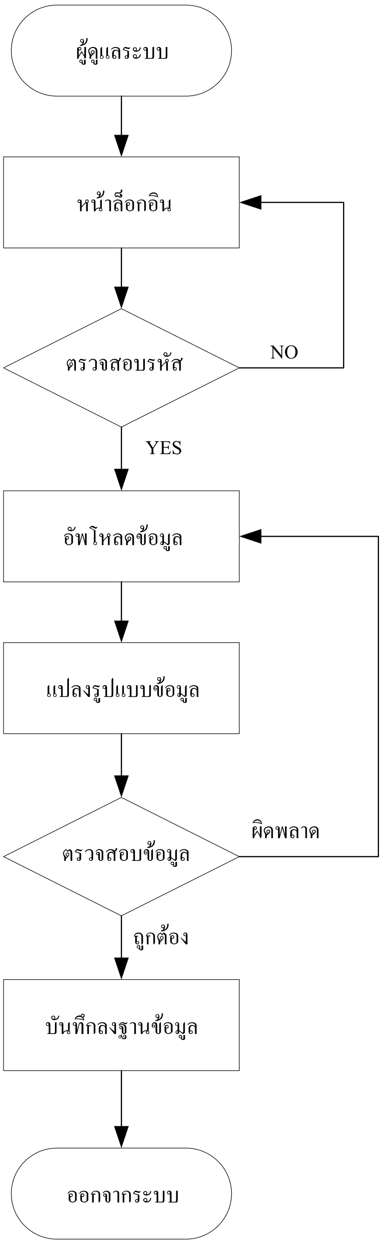



**รูปที่ 2** แผนผังขั้นตอนการสร้างโปรแกรม LabVIEW



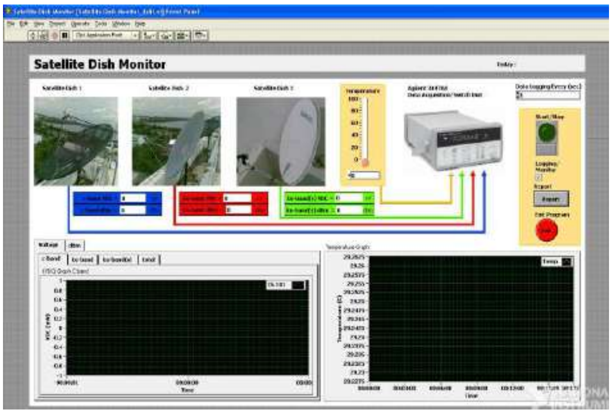

**รูปที่ 3** บล็อกไดอะแกรมการทำงานของโปรแกรม LabVIEW

การสร้างฐานข้อมูล Oracle ผู้วิจัยได้เลือกใช้โปรแกรม Oracle เวอร์ชั่น Oracle SQL developer 1.05 ซึ่งเป็นเวอร์ชั่นที่ง่ายต่อการเชื่อมต่อกับโปรแกรม LabVIEW เนื่องจากมีฟังก์ชั่นที่รองรับกับโปรแกรม LabVIEW แต่โปรแกรม Oracle นี้ใช้เนื้อที่ในการเก็บข้อมูลที่ค่อนข้างสูง จึงควรจัดหาเครื่องคอมพิวเตอร์ที่มีประสิทธิภาพมาใช้ในการลงระบบฐานข้อมูล โดยดำเนินการสร้าง Database ในการเก็บข้อมูล แยกตามคอลัมน์ของข้อมูลต่างๆ



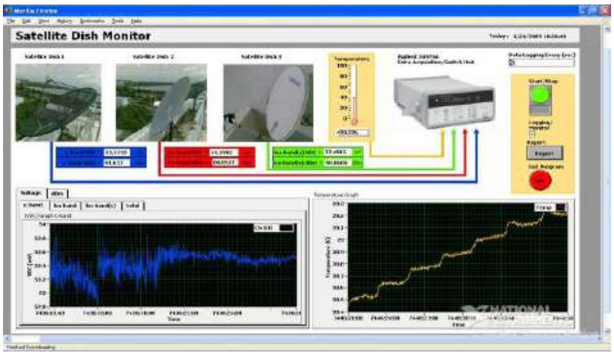

**รูปที่ 4** หน้าต่างฐานข้อมูลที่บันทึกในโปรแกรม Oracle

## 3. ผลการทดสอบ




**รูปที่ 5** หน้าจอที่ใช้ในการทำงานของโปรแกรม LabVIEW

รูปที่ 5 หน้าจอที่ใช้ในการทำงานของโปรแกรม LabVIEW ซึ่งหน้าต่างนี้เราสามารถทำการออกแบบแต่งเติมลูกเล่นให้สวยงามได้ตามต้องการ โดยสามารถนำรูปที่เราต้องการมาวางไว้ในส่วนนี้ได้ และยังสามารถเพิ่มสีสันได้ด้วยการเปลี่ยนสีของเส้นกราฟ หรือเส้นที่ใช้ในการเชื่อมโยงข้อมูล สีของปุ่มกด และอื่น ๆ ซึ่งการเพิ่มลูกเล่นในส่วนต่าง ๆ ให้กับหน้าจอที่ใช้ในการทำงานนี้ จะทำให้น่าจอการทำงานมีความน่าสนใจ และน่าใช้มากขึ้นอีกด้วย ทั้งนี้หน้าจอที่ใช้ในการทำงานนี้จะแสดงค่าของแรงดันหน่วยเป็น V. และ dBm. ในรูปแบบที่เป็นผลตัวเลขและกราฟ รวมถึงแสดงกราฟเปรียบเทียบของจาน C-band KU-band KU-band(s) ทั้งหน่วยที่เป็น V และdBm




**รูปที่ 6** หน้าจอที่ใช้ในการทำงานผ่านทางเว็บไซต์

รูปที่ 6 หน้าจอที่ใช้ในการทำงานผ่านทางเว็บไซต์ โดยสามารถดูข้อมูลในแต่ละช่วงเวลา และสามารถตรวจสอบสถานะการทำงานของเครื่องได้

## 4. สรุป

การทดสอบระบบฐานข้อมูลดาวเทียมแสดงผลในระบบเครือข่ายอินเตอร์เน็ตนั้น สามารถที่จะเก็บข้อมูลสัญญาณดาวเทียมจากเครื่องเก็บข้อมูล DATA LOGGER และสามารถส่งข้อมูลเข้าไปยังโปรแกรม LabVIEW เพื่อทำการแสดงผลและเก็บข้อมูลที่ได้ลงสู่ระบบฐานข้อมูล Oracle ได้ และสามารถที่จะแสดงผลในระบบเครือข่ายอินเตอร์เน็ตได้โดยผลจะออกมาใน 2 รูปแบบคือ กราฟข้อมูลสัญญาณดาวเทียม และข้อมูลที่เป็นค่าแรงดัน อุณหภูมิตามวันเวลาที่กำหนด ซึ่งผู้เข้าใช้งานทั่วไปสามารถที่จะเข้าไปศึกษาข้อมูล เพื่อนำไปวิเคราะห์ในโอกาสต่อไปได้

## เอกสารอ้างอิง

[1] กิจไพบูลย์ ชีวพันธุศรี. 2557. การสร้างระบบอัตโนมัติด้วย LabVIEW ร่วมกับระบบ Data Acquisition และ Machine Vision สำหรับผู้เริ่มต้น. กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดยูเคชั่น

[2] กิจไพบูลย์ ชีวพันธุศรี. 2550. การออกแบบแอพพลิเคชันในระบบกราฟิกด้วย LabVIEW. กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดยูเคชั่น.

[3] Robert H. Bishop. 2007. LabVIEWTM 8 Student Edition. United States of America : Prentice – Hall.

[4] ศุภชัย จิวะรังสินี, ขจรศักดิ์ สังข์เจริญ. 2549. ระบบฐานข้อมูล Oracle Database 10g Express Edition. กรุงเทพฯ : TrainLyst.

[5] ทรงพล บูรณะโอสถ, สุรชาติ พงศ์สุธนะ. 2544. ORACLE. กรุงเทพฯ : XLINC.

**ทินวัฒน์ จังจริง** สำเร็จการศึกษา วศ.บ วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม-โทรคมนาคม, และ วศ.ม. วิศวกรรมไฟฟ้า จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ปัจจุบันเป็นอาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

**ไพฑูรย์ รักเหลือ** สำเร็จการศึกษา อส.บ เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์ (เกียรตินิยมอันดับ 2), วศ.ม.วิศวกรรมสารสนเทศ, และวศ.ด.วิศวกรรมไฟฟ้า จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปัจจุบันดำรงตำแหน่งรองหัวหน้าภาควิชาฝ่ายวิชาการและวิจัย และอาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

# เครื่องมือสนับสนุนการฝึกเขียนพยัญชนะไทยสำหรับเด็กเล็ก

# Thai Alphabet Handwriting Assistant Tool for Kids

**นัสริน ไชยบัญดิษฐ์ และ นิวรรณ วัฒนกิจรุ่งโรจน์**
ภาควิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
E-mail: nuchaibandit@gmail.com, niwan.w@psu.ac.th

## บทคัดย่อ

บทความนี้เสนอเครื่องมือสนับสนุนการฝึกเขียนพยัญชนะไทย โดยประกอบด้วย 2 ส่วนหลัก คือ ส่วนสนับสนุนเด็ก และส่วนสนับสนุนผู้สอน ในส่วนแรกสนับสนุนเด็กให้ได้มีการเรียนรู้และการฝึกเขียนพยัญชนะไทย ในส่วนนี้เด็กจะได้เรียนรู้และฝึกเขียนพยัญชนะไทยอย่างมีขั้นตอน นอกจากนี้ เด็กจะสามารถเข้าทำการทดสอบการเขียนพยัญชนะไทยแต่ละตัวโดยใช้เม้าส์ลากตามเส้นประได้ โดยโปรแกรมจะตรวจสอบความถูกต้องของการเขียนแล้วบันทึกข้อมูลการทดสอบไว้ โดยในการตรวจสอบความถูกต้องของการเขียนนี้ ผู้วิจัยได้ทำการเก็บตำแหน่งการลากเมาส์ของผู้ฝึกเขียน แล้วนำมาเทียบกับตำแหน่งเฉลยที่ได้จัดเตรียมไว้ ซึ่งตำแหน่งดังกล่าวอยู่ในรูปเวกเตอร์ 2 มิติ และผู้วิจัยได้นำเสนอวิธีในการให้คะแนนการเขียนโดยการประยุกต์ใช้ระยะทางยูคลิเดียนขึ้น โดยคะแนนที่ได้นี้จะถูกบันทึกไว้เพื่อใช้ในส่วนสนับสนุนผู้สอนต่อไป ผู้สอนดูคะแนนความสามารถในการเขียนพยัญชนะไทยแต่ละตัวของเด็กแต่ละคน เพื่อนำข้อมูลไปพัฒนาให้เด็กสามารถเรียนรู้การเขียนพยัญชนะไทยได้อย่างมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น

คำสำคัญ: การฝึกคัดลายมือ, พยัญชนะไทย

## Abstract

This paper proposed a tool for practicing Thai alphabets handwriting consisting of two parts, kids assisting part and teacher assisting part. For the kids assisting part, kids can learn and practice for writing Thai alphabets by their hands, step by step. In addition, the test of handwriting skills was developed to evaluate the ability of each child by calculating and analyzing each character performance score in the teacher assisting part. When kids dragged mouse, 2D vectors presenting the positions were used to compute the score based on Euclidean distance. The computed scores were collected in order to represent the statistical graph in the teacher assisting part. The developed tool would be able to help the kids and teacher in the efficient process of practicing Thai alphabets handwriting.

Keywords: Hand Writing Practice, Thai alphabets

## 1. บทนำ

ภาษาเป็นสิ่งที่มนุษย์กำหนดขึ้นมาเพื่อสื่อสารทำความเข้าใจกันในแต่ละสังคม ทั้งภาษาพูดและภาษาเขียนต่างก็มีความสำคัญในการพัฒนาชีวิตของมนุษย์ การเรียนรู้ภาษาจะเริ่มตั้งแต่เด็ก เด็กที่มีการเรียนรู้ภาษาอย่างถูกต้องโดยเฉพาะภาษาเขียนจะนำไปสู่การพัฒนาความรู้ด้านอื่นๆได้อย่างมีประสิทธิภาพ การเริ่มฝึกเขียนพยัญชนะควรเป็นไปอย่างมีขั้นตอน เพื่อให้เด็กไม่เกิดความสับสนและจะพัฒนาได้อย่างรวดเร็ว

ภาษาไทยเป็นเอกลักษณ์ของชาติ เด็กไทยควรเขียนพยัญชนะไทยให้ถูกต้อง สวยงาม ทั้งนี้หลักสูตรการศึกษาขั้นพื้นฐาน กระทรวงศึกษาธิการได้มีการกำหนดให้ใช้ภาษาเป็นเครื่องมือในด้านการติดต่อสื่อสาร รวมถึงต้องการให้นักเรียนมีพัฒนาการด้านการอ่าน การเขียนที่ถูกต้องตั้งแต่เด็ก ภาษาเขียนจะต้องทำความเข้าใจในแต่ละพยัญชนะว่าการเขียนที่ถูกต้องเป็นอย่างไร นอกเหนือไปจากการเรียนรู้ทางด้านภาษาแล้ว การฝึกเขียนพยัญชนะ ยังถือเป็นการฝึกพัฒนาการของเด็กในด้านกล้ามเนื้อมือและสายตาอีกด้วย [1] การเขียนต้องอาศัยความสัมพันธ์ของสมองและสายตา ถ้าหากสมองและสายตาไม่มีความสัมพันธ์กันก็จะส่งผลให้เขียนพยัญชนะที่ผิดและไม่เป็นไปตามขั้นตอนได้ จึงจำเป็นต้องเริ่มจากให้เด็กรู้จักตัวพยัญชนะไทย แล้วจึงค่อยเริ่มหัดเขียนตามเส้นประเพื่อให้รู้จักพยัญชนะมากขึ้น การที่เด็กจะฝึกเขียนพยัญชนะให้ได้อย่างมีขั้นตอนที่ถูกต้องนั้น ครูหรือผู้ปกครองจะต้องสอนและสังเกตุพฤติกรรมการเขียนของเด็กอย่างใกล้ชิด พยัญชนะใดที่เด็กยังไม่สามารถเขียนได้ ครูหรือผู้ปกครองจะต้องสอนทบทวนและให้เด็กหัดเขียนซ้ำ

ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงได้จัดทำโปรแกรมการหัดเขียนพยัญชนะไทยสำหรับเด็กให้มีประสิทธิภาพ ซึ่งโปรแกรมที่จัดทำขึ้นประกอบด้วยส่วนสนับสนุนเด็กให้เรียนรู้เกี่ยวกับพยัญชนะไทย หัดเขียนพยัญชนะไทยอย่างมีขั้นตอน และทำการทดสอบเขียนพยัญชนะไทย เพื่อช่วยให้เด็กได้เรียนรู้การเขียนพยัญชนะไทยอย่างมีประสิทธิภาพ และส่วนสนับสนุนผู้สอนให้ตรวจสอบความสามารถในการเขียนของเด็ก แล้วนำผลการสรุปประเมินไปประกอบการพิจารณาดูแลฝึกฝนอย่างใกล้ชิดให้เด็กสามารถพัฒนาทักษะการเขียนพยัญชนะไทยต่อไป

## 2. งานและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาและวิจัยเพื่อพัฒนาการฝึกเขียนพยัญชนะให้มีประสิทธิภาพมีมาอย่างต่อเนื่อง[2] กระทรวงศึกษาธิการได้มีการกำหนดแนวทางการเขียนพยัญชนะไทยให้ถูกต้องตามหลักเกณฑ์ ดังนี้ [3]

1) ตัวพยัญชนะ ถ้ามีหัว ให้เขียนหัวก่อน แล้วลากเส้นต่อไปให้สิ้นสุดตัวอักษรโดยไม่ต้องยกมือ

2) ตัวพยัญชนะ เขียนตามสัดส่วนที่ถูกต้องตามหลักการเขียนพยัญชนะไทย และ

3) เขียนเส้นตัวอักษรพยัญชนะไทยเรียบสม่ำเสมอ ไม่หนักบ้างเบาบ้าง

ในปัจจุบันได้มีการเสนอเครื่องมือเพื่อช่วยในการฝึกเขียนพยัญชนะไทย เช่น เก่งไทย โดย Atchariya Darote [4] ก.ไก่อยู่ไหน โดย Department of Computer Science KKU [5] หัดเขียน ก.ไก่ โดย dekdev Inc. [6] ซึ่งเครื่องมือที่มีอยู่ดังกล่าวมานี้ จะมีฟังก์ชันสำหรับให้เด็กได้ฝึกเขียนและแสดงความถูกต้องของการเขียนพยัญชนะที่ได้เลือกเท่านั้น แต่ไม่ได้มีการเก็บสถิติการฝึกฝนทักษะความสามารถของพยัญชนะ และแสดงสถิติภาพรวมของทุกพยัญชนะรวมถึงพัฒนาการในการฝึกเขียนให้ผู้สอนทราบว่าเด็กยังขาดทักษะในการเขียนพยัญชนะใด ซึ่งจะเป็นประโยชน์กับผู้สอนให้ได้ดูแลการฝึกเขียนพยัญชนะที่ผู้ฝึกยังเขียนไม่ถูกต้องได้อย่างใกล้ชิด ส่วนตัวพยัญชนะใดที่ผู้ฝึกชำนาญแล้วผู้สอนอาจไม่จำเป็นต้องสูญเสียเวลาฝึกอีกก็เป็นได้ ซึ่งจะทำให้ในภาพรวมจะทำให้ช่วยผู้สอนประหยัดเวลาได้เป็นอย่างดี

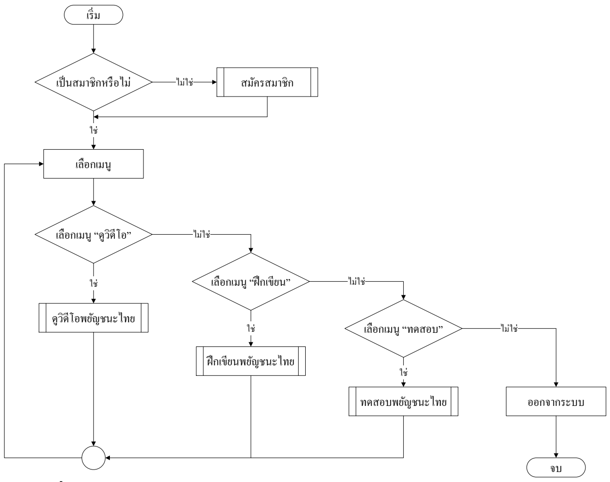
## 3. การออกแบบโปรแกรม

งานที่เสนอนี้ถูกพัฒนาขึ้นโดยใช้ MATLAB ติดตั้งบนระบบปฏิบัติการ Windows 7 รุ่น 64 บิต โดยการออกแบบโปรแกรมประกอบด้วย 2 ส่วนหลัก คือ ส่วนสนับสนุนเด็ก/ผู้ฝึกเขียนและส่วนสนับสนุนผู้สอน

### 3.1. ส่วนสนับสนุนเด็กให้ฝึกเขียนพยัญชนะไทย

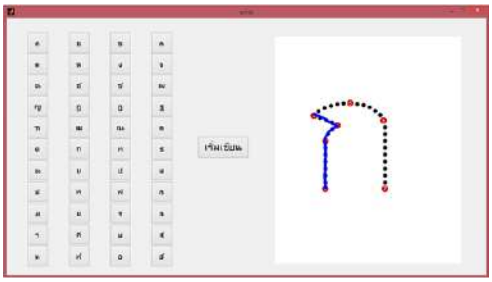
ผู้เริ่มฝึกเขียนพยัญชนะไทยจะต้องสมัครสมาชิกก่อน เพื่อให้มีชื่อผู้ใช้สำหรับบันทึกข้อมูลการทดสอบสำหรับรายงานผลการทดสอบในส่วนสนับสนุนผู้สอนต่อไป โปรแกรมส่วนนี้ถูกออกแบบให้เด็ก/ผู้ฝึกเขียนสามารถใช้งานได้ 3 ฟังก์ชัน คือ การดูวิดีโอพยัญชนะไทย การฝึกเขียนพยัญชนะไทย และการทดสอบพยัญชนะไทย ดังผังงานโปรแกรมในรูปที่ 1

1) *ดูวิดีโอพยัญชนะไทย* เด็ก/ผู้ฝึกเขียนเลือกพยัญชนะที่ต้องการเพื่อดูวิดีโอแสดงขั้นตอนการเขียนพยัญชนะที่เลือกไว้ได้ ดังตัวอย่างหน้าจอในรูปที่ 2 (ก)

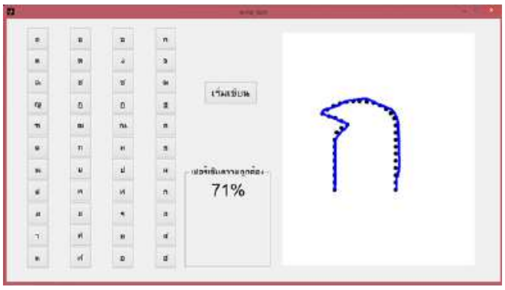



**รูปที่ 1** ผังงานโปรแกรมส่วนสนับสนุนเด็กให้ฝึกเขียนพยัญชนะไทย

**(ก)** ตัวอย่างหน้าจอฟังก์ชันดูวิดีโอพยัญชนะไทย



**(ข)** ตัวอย่างหน้าจอฟังก์ชันฝึกเขียนพยัญชนะไทย




**(ค)** ตัวอย่างหน้าจอฟังก์ชันทดสอบพยัญชนะไทย

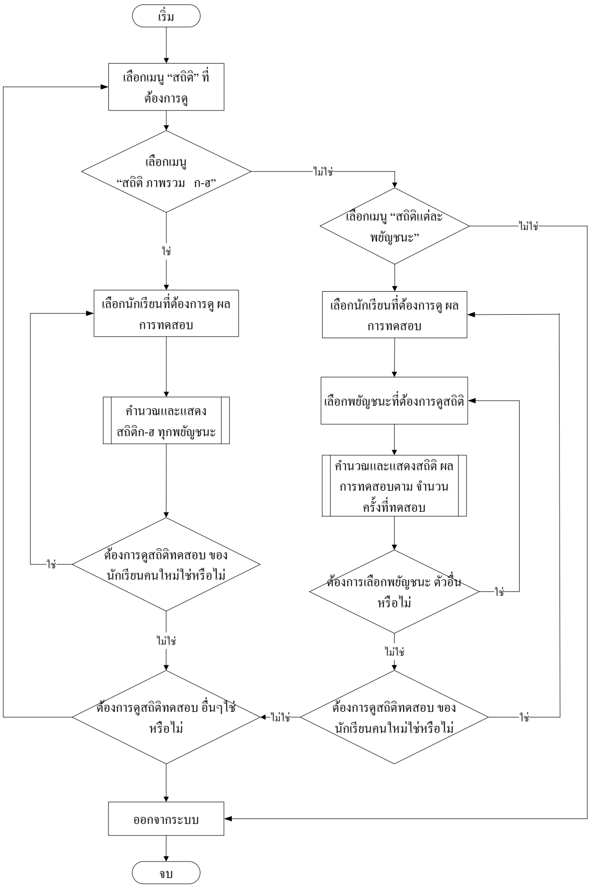
**รูปที่ 2** ตัวอย่างหน้าจอส่วนสนับสนุนเด็กให้ฝึกเขียนพยัญชนะไทย

2) *ฝึกเขียนพยัญชนะไทย* เด็ก/ผู้ฝึกเขียนเลือกพยัญชนะที่ต้องการ โปรแกรมจะแสดงภาพพยัญชนะที่เลือกเป็นเส้นประพร้อมด้วยหมายเลขระบุไว้ตั้งแต่จุดเริ่มต้นจนถึงจุดสิ้นสุด เพื่อแนะนำขั้นตอนการเขียน จากนั้นเด็ก/ผู้ฝึกเขียนใช้เมาส์ลากไปตามเส้นประได้ ดังตัวอย่างจอภาพในรูปที่ 2 (ข)

3) *ทดสอบพยัญชนะไทย* เด็ก/ผู้ฝึกเขียนเลือกพยัญชนะที่ต้องการ โปรแกรมจะแสดงภาพพยัญชนะเป็นเส้นประ เด็ก/ผู้ฝึกเขียนทำการทดสอบโดยใช้เมาส์ลากไปตามเส้นประ เมื่อเขียนเสร็จ โปรแกรมจะคำนวณคะแนนเป็นเปอร์เซนต์ความถูกต้องในการเขียนพยัญชนะ แล้วแสดงคะแนนที่ได้ออกมาให้เด็ก/ผู้ฝึกเขียนทราบ ซึ่งคะแนนที่ได้นี้จะถูกบันทึกไว้เพื่อใช้ในส่วนสนับสนุนผู้สอนต่อไป ตัวอย่างจอภาพแสดงดังรูปที่ 2 (ค) ทั้งนี้ขั้นตอนวิธีที่นำเสนอเพื่อใช้ในการคำนวนคะแนนความถูกต้องในการเขียนพยัญชนะไทย จะกล่าวถึงโดยละเอียดในหัวข้อที่ 4

### 3.2. ส่วนสนับสนุนผู้สอน

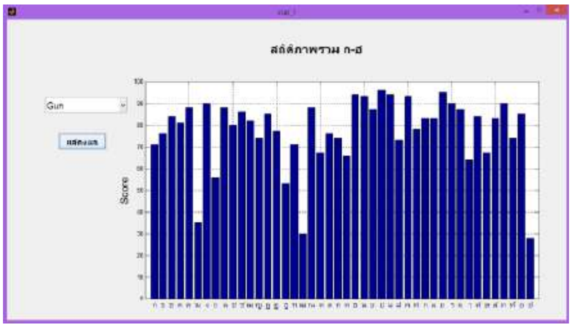
ผู้สอนต้องเลือกชื่อผู้ใช้ของเด็ก/ผู้ฝึกเขียนที่ต้องการดูสถิติและความสามารถในการเขียนพยัญชนะไทย โปรแกรมส่วนนี้ถูกออกแบบให้ผู้สอนสามารถใช้งานได้ 2 ฟังก์ชัน ดังผังงานในรูปที่ 3



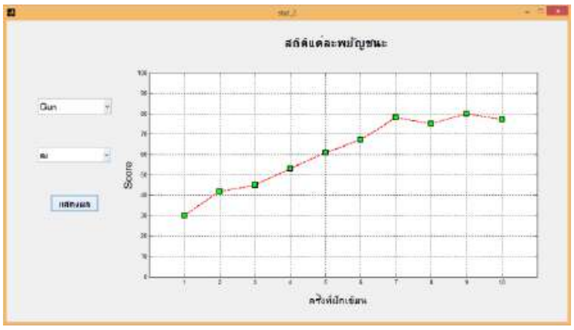

**รูปที่ 3** ผังงานโปรแกรมส่วนสนับสนุนผู้สอน

1) *สถิติภาพรวม ก-ฮ* ผู้สอนสามารถดูสถิติคะแนนความถูกต้องในการเขียน ก-ฮ ของเด็ก/ผู้ฝึกเขียนที่ผู้สอนเลือกไว้ได้ สำหรับพยัญชนะที่เด็ก/ผู้ฝึกเขียนได้ทำการทดสอบหลายครั้ง โปรแกรมจะใช้คะแนนครั้งที่ได้มากที่สุดในการแสดงกราฟคะแนนความถูกต้องของการเขียนพยัญชนะ ดังตัวอย่างจอภาพในรูปที่ 4 (ก)

2) *สถิติแต่ละพยัญชนะ* ผู้สอนจะต้องเลือกพยัญชนะที่ต้องการดูสถิติคะแนนความถูกต้อง โปรแกรมจะแสดงคะแนนความถูกต้องของการเขียนพยัญชนะแต่ละครั้ง ดังตัวอย่างจอภาพในรูปที่ 4 (ข)




**(ก)** ตัวอย่างหน้าจอฟังก์ชันสถิติภาพรวม ก-ฮ




(ข) ตัวอย่างหน้าจอฟังก์ชันสถิติแต่ละพยัญชนะ

**รูปที่ 4** ตัวอย่างหน้าจอส่วนสนับสนุนผู้สอน

## 4. ขั้นตอนวิธีในการประเมินผลการเขียนพยัญชนะไทย

เมื่อเด็ก/ผู้ฝึกเขียนได้ทำการทดสอบโดยการใช้เมาส์เขียนไปตามเส้นประ โปรแกรมจะเก็บข้อมูลตำแหน่งการลากเมาส์ในรูปของเวกเตอร์ 2 มิติ แล้วนำไปเปรียบเทียบกับตำแหน่งเฉลยของพยัญชนะต้นแบบซึ่งได้มีการเตรียมไว้อยู่รูปเวกเตอร์ 2 มิติเช่นกัน แต่มีขนาดไม่เท่ากัน ตำแหน่งเฉลยนี้จะถูกเก็บตามจำนวนจุดที่แสดงเป็นเส้นประของแต่ละพยัญชนะ ดังนั้น ขนาดของเวกเตอร์ 2 มิติแสดงตำแหน่งเฉลยจึงไม่เท่ากับตำแหน่งการลากเมาส์ของผู้ฝึกเขียน การคำนวณคะแนนความถูกต้องของการเขียนพยัญชนะ พิจารณจากตำแหน่งลากเมาส์ซึ่งถ้าผ่านตำแหน่งเฉลยหลายจุดจะทำให้ได้คะแนนมาก อย่างไรก็ตาม จอภาพอาจมีความละเอียดมากเกินกว่าที่ผู้ฝึกจะสามารถลากเมาส์ผ่านตำแหน่งเฉลย

พอดีนั้นเป็นไปได้ยาก จึงได้กำหนดค่าคงที่ขึ้นมาเพื่อใช้ระบุระยะห่างที่ยอมรับได้ ซึ่งถือว่าตำแหน่งของเมาส์ที่ลากนั้นผ่านตำแหน่งเฉลย กำหนดสัญลักษณ์ต่าง ๆ ดังนี้

- กำหนดให้ $\mathbf{P} = \{\mathbf{p}_1, \mathbf{p}_2, \ldots, \mathbf{p}_n\}$ แทน เซตของเวกเตอร์ 2 มิติ แสดงพิกัดตำแหน่งเฉลยต่าง ๆ ของตัวพยัญชนะต้นแบบ โดยที่ $\mathbf{p}_\mathrm{i} = \left[\mathrm{x}_\mathrm{i}^{(\mathrm{p})} \quad \mathrm{y}_\mathrm{i}^{(\mathrm{p})}\right]$
- กำหนดให้ $\mathbf{Q} = \{\mathbf{q}_1, \mathbf{q}_2, \ldots, \mathbf{q}_m\}$ แทน เซตของเวกเตอร์ 2 มิติ แสดงพิกัดตำแหน่งเฉลยต่าง ๆ ของตัวพยัญชนะตรวจสอบ โดยที่ $\mathbf{q}_j = [x_j^{(q)} \quad y_j^{(q)}]$
- กำหนดให้ $\delta$ แทน ค่าคงที่เพื่อระบุความใกล้ของพิกัดตำแหน่งสองตำแหน่ง ในงานวิจัยนี้กำหนด $\delta = 10$ ค่าคงที่ดังกล่าวนี้สามารถปรับเปลี่ยนได้ตามความเหมาะสมของความละเอียดจอภาพ

ขั้นตอนวิธีในการประเมินผลให้คะแนนการเขียนพยัญชนะไทยแสดงมีขั้นตอนดัง Algorithm 1 ในตอนเริ่มต้นกำหนดให้ตำแหน่งเฉลยทุกตำแหน่งไม่มีการลากเมาส์ผ่าน (ดูบรรทัดที่ 1) แต่ละตำแหน่งเฉลยจะถูกพิจารณากับตำแหน่งการลากเมาส์โดยการคำนวณหาระยะทางยูคลิเดียน (ดูบรรทัดที่ 4) ถ้าระยะทางที่คำนวณได้มีค่าน้อยกว่าค่าคงที่ $\boldsymbol{\delta}$ แล้วตำแหน่งเฉลยที่พิจารณานั้นมีการลากเมาส์ผ่าน (ดูบรรทัดที่ 5-8) จากนั้นดำเนินการพิจารณาตำแหน่งเฉลยถัดไป เมื่อพิจารณาจนครบทุกตำแหน่งเฉลยแล้ว จึงการคำนวนคะแนนความถูกต้องเป็นเปอร์เซนต์ของจำนวนตำแหน่งเฉลยที่มีการลากเมาส์ผ่าน (ดูบรรทัดที่ 11)

## 5. บทสรุป

บทความนี้นำเสนอเครื่องมือสนับสนุนการพัฒนาการเริ่มฝึกเขียนพยัญชนะไทยสำหรับเด็กเล็ก ซึ่งจะช่วยในเด็กได้ฝึกเขียนโดยตนเองได้ โดยเครื่องมือที่ได้พัฒนาขึ้นนี้มีการเก็บสถิติคะแนนความสามารถในการเขียนพยัญชนะแต่ละตัวแยกข้อมูลชื่อเด็ก เครื่องมือสามารถรายงานผลออกมาเป็นกราฟให้กับผู้สอนได้พิจารณาว่าเด็กแต่ละคนมีความสามารถและพัฒนาการในการเขียนพยัญชนะแต่ละตัวได้ อันจะเป็นการช่วยให้ผู้สอนประเมินได้ว่าเด็กแต่ละคนจะต้องได้รับการดูแลฝึกฝนการเขียนพยัญชนะตัวใดอย่างใกล้ชิด ทำให้ลดเวลาในการสอนการเขียนพยัญชนะที่เด็กมีความชำนาญอยู่แล้ว ส่งผลให้เด็กมีการพัฒนาได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพมากขึ้น

## 6. งานที่จะทำในอนาคต

ผู้วิจัยมีแนวคิดในการนำเครื่องมือที่ได้พัฒนาขึ้นไปแนะนำการใช้งานให้กับครูผู้สอนได้ทดสอบใช้จริงในสถานศึกษาสำหรับเด็กเล็ก แล้วศึกษาถึงผลที่ได้เทียบกับเด็กที่ไม่ได้ใช้เครื่องมือที่พัฒนาขึ้น รวมถึงมีแนวคิดที่จะพัฒนาโปรแกรมให้มีความสามารถมากขึ้น เช่น เพิ่มในส่วนของการฝึกเขียนตัวเลข ฝึกเขียนสระ เป็นต้น

**Algorithm 1: Hand-Writing Evaluation based on Euclidean Distance**

**Input:** $\mathbf{P} = \{\mathbf{p}_1, \mathbf{p}_2, \ldots, \mathbf{p}_n\}, \mathbf{Q} = \{\mathbf{q}_1, \mathbf{q}_2, \ldots, \mathbf{q}_m\}, \delta$
**Output:** *Score*

1: $Reach(\mathbf{p}_i) = 0$ for $i = 1, 2, \ldots, n$
2: For each $\mathbf{p}_i \in \boldsymbol{P}$
3:   For each $\mathbf{q}_i \in \boldsymbol{Q}$
4:     $\|\mathbf{q}_j - \mathbf{p}_i\| = \sqrt{\left(x_j^{(q)} - x_i^{(p)}\right)^2 + \left(y_j^{(q)} - y_i^{(p)}\right)^2}$
5:     If $\|\mathbf{q}_j - \mathbf{p}_i\| \leq \delta$
6:       $Reach(\mathbf{p}_i) = 1$
7:       $Break;$
8:     End If
9:   End For
10: End For
11: Compute Score: $Score = \frac{\sum_{i=1,2,\ldots,n,\ Reach(p_i)=1} 1}{n} \times 100$

## เอกสารอ้างอิง

[1] ดวงเดือน ศาตรภัทร. “การวัดและประเมินพัฒนาการและความพร้อมของเด็กปฐมวัย,” *ในประมวลสาระชุดวิชาหลักการและแนวคิดทางการปฐมวัยศึกษา หน่วยที่ 5-8.* กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช, 2537, หน้า 399-400.

[2] นิตยา วานิช และพิศมัย หาญสมบัติ, “ชุดเสริมประสบการณ์การเขียนพยัญชนะไทยสำหรับเด็กปฐมวัยระดับชั้นบริบาล โรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์,” Journal of Graduate Studies in Northern Rajabhat Universities, ปีที่ 4, ฉบับที่ 6, หน้า 101-116, มกราคม-มิถุนายน 2557.

[3] สำนักวิชาการและมาตรฐานการศึกษา. สำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน.กระทรวง ศึกษาธิการ. (2559, เมษายน 6). *เขียนได้ลายมือสวย.* [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: http://www.academic.obec.go.th/web/news/d/944

[4] Atchariya Darote. (2559, เมษายน 6). *เก่งไทย.* [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: https://itunes.apple.com/th/app/keng-thiy/id697559254?l=th&mt=8

[5] Department of Computer Science KKU. (2559, เมษายน 6). *ก.ไก่อยู่ไหน.* [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: https://play.google.com/store/apps/details?id=com.Staywin.Korkai&hl=th

[6] dekdev Inc. (2559, เมษายน 6). *หัดเขียน ก.ไก่.* [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: https://play.google.com/store/apps/details?id=com.bkapp.korkai&hl=th

# ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์สำหรับติดตามนักศึกษาต่างชาติ

# Using GIS to Monitor Foreign Students

**อัชอารีย์ บิลละเตะ พัชรา รัตนคช และศิริรัตน์ วณิชโยบล**
ภาควิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่

## บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์นักศึกษาต่างชาติในรูปแบบของเว็บแอปพลิเคชันโดยการ Mashup ข้อมูลจากข้อมูลสารสนเทศของนักศึกษาต่างชาติ, ข้อมูลพิกัดตำแหน่งประเทศที่อยู่ของนักศึกษาและข้อมูล Google Maps เข้าด้วยกัน ระบบถูกพัฒนาด้วย MVC, PHP, JavaScript, AJAX, XML และ Google Maps โดยใช้ MySQL เป็นระบบจัดการฐานข้อมูล ระบบมีเครื่องมือที่ช่วยให้ผู้บริหารมหาวิทยาลัยสามารถสืบค้นข้อมูลนักศึกษาและดูการกระจายตำแหน่งตามประเทศที่นักศึกษาเป็นพลเมือง ตามเพศ ตามระดับการศึกษา และตามทุนการศึกษา เป็นต้น เพื่อประโยชน์ในการวางแผนการรับนักศึกษาต่างชาติให้หลากหลายและในการมอบทุนการศึกษา ข้อมูลนักศึกษาต่างชาติปี 2555-2558 ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ ถูกใช้เป็นกรณีศึกษา

คำสำคัญ: ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์, Google Maps API, Mashup

## Abstract

This paper demonstrates the Web-based application of a Geographic Information System for monitoring foreign students. The system utilizes GIS by creating maps by Mashup data sources from students, position data of students' resident and Google Maps together. The system is implemented with PHP, JavaScript, AJAX, XML and Google Maps using MVC framework and MySQL as a database management system. The system provides a tool that allows university administrators can query, monitor and view students' data and the distribution of students' country population by gender, by level of education, etc. for the purpose of supporting management decision in planning and distributing educational scholarships for foreign students. Foreign students' data from 2012-2015 of Prince of Songkla University, Hat Yai campus is used as a case study.

Keywords: GIS, Google Maps API, Mashup

## 1. บทนำ

ในปัจจุบันมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ได้รับความสนใจจากนักศึกษาจากต่างประเทศสมัครเข้ามาเป็นนักศึกษาจำนวนมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งนักศึกษาจากประเทศในกลุ่มสมาคมประชาชาติแห่งเอเชียตะวันออกเฉียงใต้หรืออาเซียน (ASEAN) ซึ่งเป็นสมาคมความร่วมมือในระดับภูมิภาคของประเทศต่างๆ ในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้

ระบบสารสนเทศนักศึกษาต่างชาติของมหาวิทยาลัยฯ ในปัจจุบันเป็นระบบสารสนเทศเพื่อการจัดการ (MIS) ที่ช่วยในการค้นหาด้วยวิธีการค้นหาแบบธรรมดา ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จากการค้นหาออกมาในรูปแบบของข้อความและตัวเลข ทำให้การมองเห็นข้อมูลไม่ชัดเจนซึ่งยากในการเรียกใช้ข้อมูล และยากต่อการวิเคราะห์ เพื่อให้การบริการค้นหาข้อมูลของนักศึกษาต่างชาติสามารถมองเห็นข้อมูลได้ชัดเจน และผู้บริหารสามารถทำความเข้าใจข้อมูลได้ง่าย งานวิจัยนี้จึงนำเทคโนโลยีสารสนเทศภูมิศาสตร์มาช่วยในการเสนอวิธีการแสดงผลลัพธ์ที่ได้จากการค้นหาข้อมูลนักศึกษาในรูปแบบเชิงพื้นที่โดยแสดงตำแหน่งพิกัดของนักศึกษาบนแผนที่ของ Google Maps เพื่ออำนวยความสะดวกในการจัดการข้อมูลนักศึกษาต่างชาติที่มีปริมาณมากขึ้นให้เป็นปัจจุบันและจัดเก็บอย่างเป็นระเบียบ ทำให้ผู้บริหารสามารถเรียกใช้ข้อมูลในรูปแบบแผนที่ได้อย่างรวดเร็วและสนับสนุนการตัดสินใจของผู้บริหารระดับสูงได้อย่างมีประสิทธิภาพ เช่น ติดตามดูการกระจายตัวของนักศึกษาจากประเทศต่าง ๆ ดูข้อมูลส่วนตัวของนักศึกษา (เข้าศึกษาด้วยทุนอะไร (ตัวเองหรือทุนการศึกษาอื่น) ระดับการศึกษาและสถานะการศึกษา) และสัดส่วนของนักศึกษาในกลุ่มอาเซียนกับนักศึกษานอกกลุ่ม เป็นต้น

บทความนี้ประกอบด้วย 6 ส่วน โดยส่วนที่ 2 อธิบายถึงระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์, Google Maps API, Model-View-Controller และ CodeIgniter ตามลำดับ ส่วนที่ 3 กล่าวถึงงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง จากนั้นนำเสนอรายละเอียดการออกแบบและพัฒนาระบบ GIS-MFS ในส่วนที่ 4 ส่วนที่ 5 อธิบายกรณีศึกษาและการทดสอบการใช้งานระบบ และส่วนที่ 6 เป็นบทสรุป

## 2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (Geographic Information System: GIS)

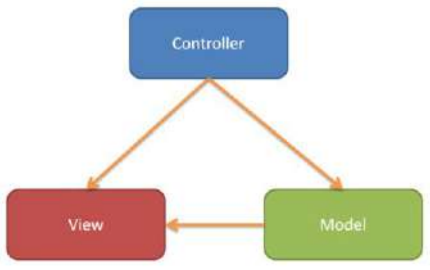
ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ [1] คือระบบคอมพิวเตอร์ที่ทำงานเกี่ยวกับข้อมูลในเชิงพื้นที่ สามารถใช้กำหนดข้อมูลและสารสนเทศที่มีความสัมพันธ์กับตำแหน่งในเชิงพื้นที่ เช่น ที่อยู่ เป็นต้น และ GIS เป็นระบบข้อมูลสารสนเทศที่อยู่ในรูปของตารางข้อมูลและฐานข้อมูล ที่มีส่วนสัมพันธ์กับข้อมูลเชิงพื้นที่ ซึ่งรูปแบบและความสัมพันธ์ของข้อมูลเชิงพื้นที่ทั้งหลาย จะสามารถนำมาวิเคราะห์ด้วย GIS และทำให้สื่อความหมายในเรื่องการเปลี่ยนแปลงที่สัมพันธ์กับเวลาได้ เช่น การย้ายที่อยู่ การเปลี่ยนแปลงของการใช้พื้นที่ เป็นต้น ข้อมูลเหล่านี้ เมื่อปรากฏบนแผนที่ ทำให้สื่อความหมาย และสามารถเข้าใจได้ง่ายขึ้น

**2.2 Google Maps**

Google Maps [2] คือ บริการของ Google ที่ให้บริการเทคโนโลยีด้านแผนที่ที่มีประสิทธิภาพสูง สามารถแสดงผลเป็นภาพถ่ายดาวเทียมหรือเป็นภาพแผนที่ได้ตามความต้องการ และยังสามารถ ลด ขยาย แผนที่เพื่อให้สะดวกต่อการใช้งานได้ อีกทั้งผู้ใช้งาน สามารถใช้ฟังก์ชันที่มีอยู่ใน Google maps ได้ เช่น การปักหมุดสถานที่ที่ต้องการ การหาค่าละติจูดลองจิจูดในแผนที่ เป็นต้น

**2.3 Model-View-Controller (MVC)**

MVC [3-4] คือ สถาปัตยกรรมซอฟต์แวร์ชนิดหนึ่ง ปัจจุบันมี Framework ที่เกี่ยวข้องกับการสร้างเว็บไซต์หรือเว็บแอปพลิเคชันจำนวนมาก ที่นิยมใช้โครงสร้างแบบ MVC ซึ่งจะมีการทำงานออกเป็น 3 ส่วน คือ1) Model คือส่วนติดต่อฐานข้อมูล ทำหน้าที่ดึงข้อมูลจากฐานข้อมูลหรือบันทึกข้อมูลลงฐานข้อมูล 2) View คือส่วนที่นำข้อมูลจาก Controller จากนั้นนำผลลัพธ์ไปแสดงให้ผู้ใช้งานผ่านส่วนติดต่อกับผู้ใช้ (User Interface) และ 3) Controller คือส่วนที่ทำหน้าที่รับอินพุตจากผู้ใช้ จากนั้นนำคำสั่งที่ได้ไปประมวลผล อีกทั้งยังเป็นตัวเชื่อมต่อระหว่าง Model กับ View รูปที่ 1 แสดงขั้นตอนการทำงานของ MVC




**รูปที่ 1**: ขั้นตอนการทำงานของ MVC

ข้อดีของ MVC คือ โครงสร้างดูเป็นระเบียบ ประหยัดไฟล์การทำงานของหน้าเว็ปเพจจะเร็ว ทุกอย่างสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ และเรื่องความปลอดภัยสามารถจัดการได้ง่ายกว่าแบบอื่น ส่วนข้อเสียของ MVC คือโครงสร้างอาจจะยุ่งยากกว่าแบบอื่นและถ้าไม่เข้าใจโครงสร้างจะพัฒนาระบบได้ยาก

**2.4 CodeIgniter** [5]

CodeIgniter คือ Framework ที่ถูกพัฒนาขึ้นด้วยภาษา PHP และเป็นเครื่องมือที่ช่วยพัฒนาเว็บไซต์และเว็บแอปพลิเคชัน CodeIgniter รองรับการเขียนโค้ดแบบ MVC ซึ่งการทำงานจะแยกส่วนประมวลผลและส่วนแสดงผลออกจากกัน ทำให้ง่ายต่อการพัฒนาโปรแกรม และมีความปลอดภัยมากยิ่งขึ้น โค้ดที่ได้มีความเป็นระเบียบเรียบร้อยซึ่งทำให้ง่ายต่อการแก้ไข อีกทั้งสามารถติดต่อกับฐานข้อมูลต่างๆได้ง่าย เช่น MySQL, SQL Server และ Oracle เป็นต้น

## 3. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เกศวายุธ รักษ์กุลและคณะ [6] ได้ศึกษาและพัฒนาระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์อาคารชลประทานในรูปแบบเว็บแอปพลิเคชันผ่านเครือข่ายระบบอินเทอร์เน็ต (สามารถเข้าถึงได้ที่ http://irrigation.rid.go.th/rid16/ISGIS16) ใช้ภาษา PHP และ MySQL เป็นระบบจัดการฐานข้อมูล ผู้ใช้สามารถเห็นการกระจายของอาคารชลประทานตามจังหวัด ตามโครงการพระราชดำริและตามประเภทอาคารชลประทาน สีและสัญลักษณ์ในรูปแบบต่าง ๆ ถูกใช้แทนประเภทอาคารชลประทาน เช่น อ่างเก็บน้ำ ฝาย ประตูระบายน้ำ และประเภทอาคารอื่น ๆ ผู้ใช้สามารถคลิกที่สัญลักษณ์เพื่อการแสดงรายละเอียดของอาคารชลประทาน ระบบช่วยสนับสนุนการตัดสินใจของผู้บริหารในการติดตามและการดำเนินการ

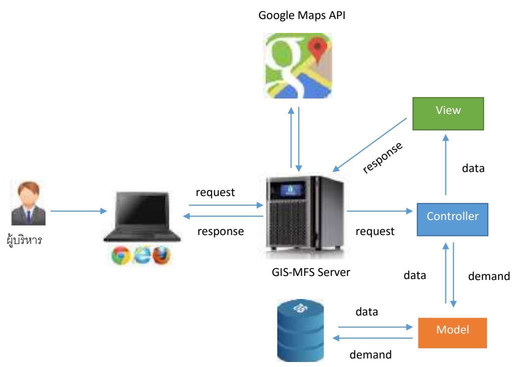
วินิจ กลิ่นละมัยและคณะ [7] ได้พัฒนาระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์โรงเรียน/นักเรียนของสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษา จ.สตูล ระบบฯสามารถแสดงการกระจายของนักเรียน แยกเป็นรายโรงเรียน และสามารถคำนวณระยะทางจากจุดต่างบนแผนที่ สำหรับใช้ประโยชน์ในด้านการลงพื้นที่ ช่วยในการติดตามและการสืบค้นหาตำแหน่งที่ตั้งของโรงเรียนและบ้านเรือนของนักเรียนเป็นรายบุคคลเพื่อดำเนินการจัดสรรการให้ทุนจักรยานแก่นักเรียน

สุรีย์รัตน์ เลิศบูรณฉัตรและคณะ [8] ได้พัฒนาระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ผู้ใช้งานสามารถดูการกระจายตำแหน่งพิกัดที่ติดตั้งของเครื่องถอนเงินอัตโนมัติ ค้นหาข้อมูลพื้นฐานและตรวจสอบสถานะการทำงาน สถานะยอดเงินคงเหลือ และรายงานประจำเดือนได้ ระบบฯ ถูกพัฒนาขึ้นมาเพื่อสนับสนุนการบริหารและการตัดสินใจของผู้บริหารธนาคารในการติดตั้งและบริหารจัดการเครื่องถอนเงินอัตโนมัติ

## 4. ระบบ GIS–MFS

ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์สำหรับติดตามนักศึกษาต่างชาติ (GIS-MFS) มีจุดประสงค์เพื่อ Mashup ข้อมูลสารสนเทศของนักศึกษา

ต่างชาติ ข้อมูลพิกัดตำแหน่งประเทศของนักศึกษาและข้อมูล Google Maps เข้าด้วยกัน ซึ่งผู้ใช้สามารถแสดงข้อมูลออกมาในรูปแบบของแผนที่ สำหรับใช้ประโยชน์ในด้านการดูการกระจายตัวของนักศึกษาแยกตามมิติต่าง ๆ เพื่อประโยชน์ในการวางแผนรับนักศึกษาต่างชาติเข้ามาในมหาวิทยาลัย จัดสรรงบประมาณที่เหมาะสมและการพิจารณาทุนการศึกษาให้แก่นักศึกษาต่างชาติ



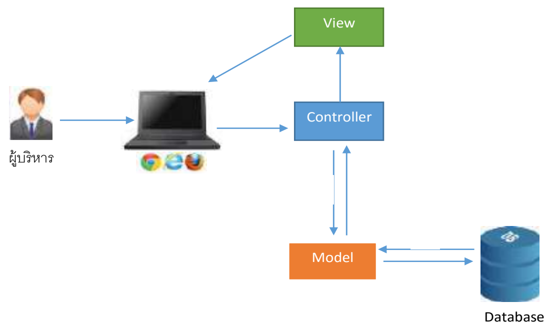

**รูปที่ 2:** สถาปัตยกรรม GIS-MFS

### 4.1 สถาปัตยกรรมโดยรวม

สถาปัตยกรรมระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์สำหรับติดตามนักศึกษาต่างชาติ (GIS-MFS) แสดงดังรูปที่ 2 แบ่งการทำงานออกเป็นส่วนประกอบต่าง ๆ ดังนี้

- Database เป็นแหล่งข้อมูลประกอบด้วยข้อมูล 2 ส่วนคือข้อมูลนักศึกษาต่างชาติ (เช่น รหัสนักศึกษา ชื่อ นามสกุล เพศ สถานะการศึกษา คณะ ทุนการศึกษาที่ได้รับ เป็นต้น) จากกองทะเบียนมหาวิทยาลัยและข้อมูลพิกัดนักศึกษาต่างชาติซึ่งเป็นข้อมูลพิกัดตำแหน่งที่ตั้งระดับจังหวัดของบ้านนักศึกษา
- ผู้ให้บริการแผนที่ Google Maps API ซึ่งเป็นบริการฟรีของ Google Map Server
- ผู้บริหาร ดูข้อมูลนักศึกษาต่างชาติตามขอบเขตที่ต้องการผ่านทางเว็บแอปพลิเคชัน
- GIS-MFS Server เป็นเซิร์ฟเวอร์หลักทำหน้าที่
  - Mashup ข้อมูล Google Maps และข้อมูลจากแหล่งข้อมูลเข้าด้วยกัน
  - ให้บริการหน้าเว็บในการรับการร้องขอจากผู้ใช้งาน

รูปที่ 3 แสดงตัวอย่างกระบวนการทำงานของ MVC กรณีที่ผู้บริหารต้องการเลือกประเทศจาก drop-down list อธิบายตามลำดับหมายเลข ดังนี้ (1) คำร้องขอของผู้บริหารจะถูกส่งผ่านทางเว็บแอปพลิเคชัน (2) เว็บแอปพลิเคชันส่งคำร้องขอไปยัง Controller จากนั้น Controller จะทำการตรวจสอบข้อมูลที่รับมา (3) Controller จะเรียกใช้ Method ที่ชื่อ DirectorReport() เพื่อทำการประมวลผล โดยข้างใน DirectorReport() จะมีคำสั่งเรียกใช้ Method ที่ชื่อ ShowCountry() ซึ่งอยู่ในส่วนของ Model จากนั้นก็จะทำการส่งคำสั่งเรียกใช้ไปยัง Model (4-6) Model เรียกใช้ Method ที่ชื่อว่า ShowCountry() โดยใน ShowCountry() จะทำการติดต่อกับฐานข้อมูลและทำการขอข้อมูลรายชื่อประเทศจากฐานข้อมูล เมื่อประมวลผลเสร็จก็ส่งข้อมูลกลับไปยัง Method ที่ชื่อ DirectorReport() ที่อยู่ในController (7) Controller เมื่อได้รับข้อมูล ก็จะใช้คำสั่งส่งข้อมูลต่อไปยัง View และ (8) View จะสร้างเว็บเพจสำหรับแสดงผลลัพธ์ โดยจะทำการแสดงผลลัพธ์ผ่านทางเว็บแอปพลิเคชัน




**รูปที่ 3:** กระบวนการทำงานของ MVC (กรณีที่ผู้บริหารต้องการเลือกประเทศจาก drop-down list)

### 4.2 ข้อจำกัดของระบบ

ระบบ GIS-MFS จำเป็นต้องเชื่อมต่อกับระบบอินเตอร์เน็ต เนื่องจากการแสดงแผนที่ต้องเรียกใช้ Google Maps API ซึ่งเป็นบริการของ Google

## 5. กรณีศึกษา

ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์สำหรับติดตามนักศึกษาต่างชาติถูกพัฒนาด้วยแนวคิด MVC ภาษา PHP, JavaScript, AJAX, XML และ Google Maps โดยใช้ MySQL เป็นระบบจัดการฐานข้อมูลข้อมูลนักศึกษาต่างชาติที่เข้าศึกษาตั้งแต่ปี 2555-2558 ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ถูกนำมาใช้เป็นกรณีศึกษาในการทดสอบระบบ GIS-MFS

### 5.1 ผลการพัฒนาระบบ

ผู้ใช้คือผู้บริหารต้องระบุตัวตนก่อนใช้งานและสามารถใช้งานระบบ GIS-MFS ผ่านเว็บเบราว์เซอร์ Chrome, Internet Explore และ Mozilla Firefox ระบบสามารถแสดงผลได้ปกติ และเมื่อทำการคลิกที่

สัญลักษณ์ ระบบตอบสนองทันทีและทำการแสดงรายละเอียดต่าง ๆ ขึ้นมาอย่างชัดเจน สัญลักษณ์ แทนนักศึกษาชายและ แทนนักศึกษาหญิงและระดับการศึกษาแยกโดยใช้สีต่าง ๆ กล่าวคือน้ำเงิน เขียว แดง และเหลืองแทนปริญญาตรี ปริญญาโท ปริญญาเอกและประกาศนียบัตรบัณฑิตชั้นสูงตามลำดับ ถ้านักศึกษามาจากประเทศในกลุ่มอาเซียนจะมีรูปธงอาเซียนในสัญลักษณ์ เช่น สัญลักษณ์ และ แทนนักศึกษาชายจากประเทศในกลุ่มอาเซียนกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีและนักศึกษาหญิงจากประเทศในกลุ่มอาเซียนกำลังศึกษาในระดับปริญญาเอกตามลำดับ

- เมื่อเข้าสู่ระบบจะเข้าสู่หน้า Home ดังรูปที่ 4

**รูปที่ 4:** หน้าจอเมื่อเข้าสู่ระบบของผู้บริหาร

- เมื่อคลิกที่ปุ่ม Submit จะทำการแสดงผลตาม drop-down list ที่เลือก จากตัวอย่างในรูปที่ 5 ได้เลือก drop-down list เป็น All ทั้งหมด

- จากตัวอย่างในรูปที่ 6 ได้เลือก drop-down list ของ Continent เป็น ASEAN และเลือก drop-down list ของScholarship เป็นทุนสำหรับนักศึกษาต่างชาติที่มีศักยภาพสูง (THE-AC)

**รูปที่ 6:** หน้าจอเมื่อเลือก drop-down list ของ Continent เป็น ASEAN และเลือก drop-down list ของ Scholarship เป็นทุนสำหรับนักศึกษาต่างชาติที่มีศักยภาพสูง (THE-AC)

- จากตัวอย่างในรูปที่ 7 ได้เลือก drop-down list ของ Sex เป็น Female เลือก drop-down list ของ Study Level เป็นปริญญาเอก และเลือก drop-down list ของ Scholarship เป็นทุนสำหรับนักศึกษาต่างชาติที่มีศักยภาพสูง (THE-AC)

**รูปที่ 7:** การกระจายตัวของนักศึกษาต่างชาติเพศหญิงที่กำลังศึกษาปริญญาเอกและได้รับทุนสำหรับนักศึกษาต่างชาติที่มีศักยภาพสูง (TEH-AC)

- จากตัวอย่างในรูปที่ 8 ได้เลือก drop-down list ของ Continent เป็น ASEAN เลือก drop-down list ของ Sex เป็น Male และเลือก drop-down list ของ Scholarship เป็นทุนสำหรับนักศึกษาต่างชาติที่มีศักยภาพสูง (THE-AC) เมื่อทำการคลิกที่สัญลักษณ์ที่ต้องการ ระบบจะทำการแสดงข้อมูลของนักศึกษาคนนั้นขึ้นมาโดยแสดงข้อมูลใน popup

**รูปที่ 8:** หน้าจอเมื่อคลิกสัญลักษณ์ใน Google maps

- เมื่อกรอกข้อมูลที่ต้องการลงในช่องค้นหา ระบบจะค้นหาตามรหัสนักศึกษา ชื่อ และประเทศ จากรูปที่ 9 เมื่อคลิกปุ่ม Search ระบบได้ค้นหาข้อมูลของรหัสนักศึกษา และเมื่อผู้ใช้งานคลิกที่สัญลักษณ์ก็จะแสดงข้อมูลของนักศึกษาคนนั้น

ผลการดำเนินงานของระบบ GIS-MIS สรุปได้ดังนี้

- สามารถสืบค้นหานักศึกษารายบุคคลโดยระบุคำค้นในช่องค้นหาที่อยู่มุมบนขวามือ ผลการค้นหาจะปรากฏสัญลักษณ์แทนนักศึกษาและผู้ใช้สามารถคลิกที่สัญลักษณ์เพื่อดูข้อมูลพื้นฐานและข้อมูลการศึกษาของนักศึกษา (ดูรูปที่ 9)

- สามารถดูการกระจายตัวของนักศึกษาต่างชาติตามมิติ ต่าง ๆ ที่ต้องการ เช่น นักศึกษามาจากประเทศในกลุ่มอาเซียนหรือไม่ นักศึกษาจากประเทศที่สนใจ เพศ คณะที่ศึกษา ระดับการศึกษา สถานะการศึกษา และทุนการศึกษาที่ได้รับ เป็นต้น รูปที่ 7 แสดงการกระจายตัวของนักศึกษาต่างชาติเพศหญิงที่กำลังศึกษาปริญญาเอกและได้รับทุนสำหรับนักศึกษาต่างชาติที่มีศักยภาพสูง (TEH-AC)

## 6. บทสรุป

บทความนี้นำเสนอการออกแบบและพัฒนาระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์สำหรับติดตามนักศึกษาต่างชาติ โดยการแสดงผลลัพธ์ในรูปแบบพิกัดประเทศที่นักศึกษาเป็นพลเมือง ข้อมูลพื้นฐาน ภาควิชา คณะที่สังกัดและการลงทะเบียน ทำให้ผู้บริหารสามารถติดตามนักศึกษารายคน และเห็นการกระจายตัวของนักศึกษาแยกตามประเทศ ระดับการศึกษาและเพศ นอกจากนั้นระบบยังช่วยในการบริหารจัดการ เช่น การติดตามนักศึกษา การพิจารณาทุนการศึกษาแก่นักศึกษา การวางแผนรับนักศึกษาต่างชาติ และการวิเคราะห์ถึงสาเหตุที่นักศึกษาเลือกมาเรียน นอกจากนั้นระบบนี้สามารถประยุกต์ใช้ได้กับสถานศึกษาอื่น ๆ ได้ด้วย

## 7. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณกองทะเบียนและประมวลผล มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ในการสนับสนุนข้อมูลของนักศึกษาต่างชาติ

## เอกสารอ้างอิง

[1] "ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์", ศูนย์วิจัยภูมิสารสนเทศเพื่อประเทศไทย", [ออนไลน์], เข้าถึงได้จาก: http://www.gisthai.org/about-gis/gis.html สืบค้น: 20 มกราคม 2559.

[2] "เริ่มต้นรู้จัก ก่อนการใช้งาน Google Map API", [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก http://www.ninenik.com/เริ่มต้น_รู้จัก_ก่อนการใช้งาน_google_map_api-266.html สืบค้น: 30 มกราคม 2559.

[3] "Model–view–controller (MVC)", [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก https://en.wikipedia.org/wiki/Model–view–controller, สืบค้น: 30 มกราคม 2559.

[4] "แนวคิดการพัฒนาระบบในรูปแบบ MVC", [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก http://www.mdsoft.co.th/ความรู้/110-mvc-concept.html , สืบค้น: 30 มกราคม 2559.

[5] "CodeIgniter คืออะไร", [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก http://codeigniter.in.th/, สืบค้น: 3 กุมภาพันธ์ 2559.

[6] เกศวายุธ รักษ์กุล และศิริรัตน์ วณิชโยบล, "ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์อาคารชลประทานโดยใช้ Google Maps" The 8th National Conference on Computing and Information Technology (NCCIT2012).

[7] วินิจ กลิ่นละมัย, ศิริรัตน์ วณิชโยบล และลัดดา ปรีชาวีรกุล, "ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์นักเรียนระดับประถมศึกษาของสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษา สตูล ด้วยเทคโนโลยี Mashup", The 6th

International Joint Conference on Computer Science and Software Engineering (JCSSE2009)

[8] สุรีย์รัตน์ เลิศบูรณฉัตร, ศิริรัตน์ วณิชโยบล, ลัดดา ปรีชาวรีกุลและ วิภาดา เวทย์ประสิทธิ์, "ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์สำหรับการดูแลจัดการเครื่องถอนเงินอัตโนมัติของธนาคาร", การประชุมวิชาการ งานวิจัยและพัฒนาเชิงประยุกต์ครั้งที่7 (ECTI-CARD 2015).

นายอัชอารีย์ บิลละเตะ
ภาควิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์
คณะวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
งานวิจัยที่สนใจ : การพัฒนาเว็บแอปพลิเคชันด้วยภาษา PHP

# ระบบศูนย์ข้อมูลแบบพร้อมใช้งานสูงโดยใช้เทคโนโลยีเฟลโอเวอร์คลัสเตอร์ กรณีศึกษามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

# Design and implementation high availability datacenter using failover cluster technology Case study of Rajamangala University of Technology Phra Nakhon

**นิวัตร จารุวาระกูล[1] เชาวลิต สมบูรณ์พัฒนากิจ[2] และเชวงศักดิ์ คงเกิด[3]**

[1] คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

[2,3]สำนักวิทยบริการและเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

399 ถนนสามเสน แขวงวชิระพยาบาล เขตดุสิต กรุงเทพฯ 10300

## บทคัดย่อ

การให้บริการศูนย์ข้อมูลนับว่าเป็นหนึ่งในความต้องการพื้นฐานสำหรับหน่วยงานต่าง ๆ ทั้งภาครัฐ เอกชน รวมไปถึงสถาบันการศึกษาจำเป็นจะต้องมีการจัดตั้งศูนย์ข้อมูลเพื่อให้บริการด้านข้อมูลข่าวสารและเทคโนโลยีสารสนเทศ แต่เนื่องจากความก้าวหน้าทางด้านเทคโนโลยีสารสนเทศเป็นไปอย่างรวดเร็ว ส่งผลให้ศูนย์ข้อมูลเดิมที่ให้บริการโดยใช้งานหนึ่งบริการต่อหนึ่งเครื่องแม่ข่าย ร่วมกับเทคนิคเวอร์ชวลไลเซชั่นแบบเก่า ไม่สามารถรองรับการขยายตัวของสารสนเทศได้ และการเพิ่มจำนวนของเครื่องแม่ข่ายจำนวนมากทำให้เกิดปัญหาในการจัดการพื้นที่ในศูนย์ข้อมูล ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า อุณหภูมิ รวมถึงการบริหารจัดการระบบศูนย์ข้อมูลที่ยุ่งยากและซับซ้อนขึ้น ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้เสนอวิธีการนำเทคโนโลยีเฟลโอเวอร์คลัสเตอร์ มาประยุกต์ใช้ในศูนย์ข้อมูลเพื่อให้สามารถลดปริมาณการใช้พลังงาน ลดต้นทุนการจัดการเครื่องแม่ข่าย ลดระยะเวลาการบำรุงรักษาระบบ และเพิ่มความสามารถในการขยายการให้บริการที่สอดคล้องกับเทคโนโลยีในปัจจุบัน

**คำสำคัญ :** ศูนย์ข้อมูล เฟลโอเวอร์คลัสเตอร์ เวอร์ชวลแมชชีน เครื่องแม่ข่าย

## Abstract

The data center service is one of the basic requirement for government organizations, business organizations including educational institution and all organizations have to establish data center to providing their information and service, but the cutting-edge technologies are tailored to gain an edge very fast, Nowadays data center that provide service using one primary function per server or traditional virtualization cannot support the expansion of information. An increasing number of server cause trouble in data center space area, electricity power consumption, temperature affect management complicated. Therefore, this research present mechanism of apply Failover Cluster Technology in data center to decrease electricity power consumption and increase potential for expand service provide according to current technology.

**Keywords**: data center failover cluster virtualization server

## 1.บทนำ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ประกอบด้วยพื้นที่เขตการศึกษา 5 พื้นที่ ได้แก่ ศูนย์เทเวศร์ ศูนย์โชติเวช ศูนย์พณิชยการพระนคร ศูนย์ชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ และศูนย์พระนครเหนือ โดยเดิมทีไม่มีการจัดตั้งศูนย์ข้อมูลกลางของมหาวิทยาลัย แต่ละวิทยาเขตจะมีการจัดตั้งเครื่องคอมพิวเตอร์แม่ข่ายกระจายกันอยู่แยกตามหน่วยงานหรือตามคณะ ซึ่งการดูแลและบริการจัดการก็แยกกันไปตามแต่ละพื้นที่ ยังไม่มีการเชื่อมต่อระบบเข้าด้วยกัน ทำให้การบริการเครื่องแม่ข่ายทั้งหมดเป็นไปในรูปแบบการให้บริการแบบเดี่ยว (Stand Alone Server) โดยบริการต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็น เว็บ, เมล์, ไฟล์ และอื่น ๆ จะแยกกันออกไปในแต่ละเครื่อง และในบางคณะก็ยังไม่มีการให้บริการเครื่องคอมพิวเตอร์แม่ข่าย สำนักวิทยบริการและเทคโนโลยีสารสนเทศเริ่มมีการจัดตั้งศูนย์ข้อมูล (Data Center) ขึ้นที่มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ศูนย์เทเวศร์ โดยมีการติดตั้งเครื่องคอมพิวเตอร์แม่ข่ายเพื่อรองรับบริการอินเตอร์เน็ตและบริการระบบเครือข่ายขั้นพื้นฐานขึ้น โดยมีอุปกรณ์เป็นเครื่องคอมพิวเตอร์แม่ข่าย จำนวน 3 เครื่อง และอุปกรณ์พร็อกซี่เพื่อใช้ในการควบคุมการใช้งานอินเตอร์เน็ต

มิติการดำเนินงานด้านเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสารของมหาวิทยาลัย เริ่มเข้าสู่การเป็น E-University การใช้งานระบบเครือข่ายและเทคโนโลยีสารสนเทศเติบโตขึ้นอย่างก้าวกระโดด โดยมีจำนวนของระบบสารสนเทศที่นำไปใช้ในการเรียนการสอน การวิจัย การบริหารจัดการระบบงานต่าง ๆ ของมหาวิทยาลัยเพิ่มจำนวนขึ้นมาก

ส่งผลให้จำนวนเครื่องคอมพิวเตอร์แม่ข่ายและอุปกรณ์เครือข่ายเพิ่มขึ้นมากจนกระทั่งพื้นที่ของสำนักวิทยบริการและเทคโนโลยีสารสนเทศในขณะนั้น ไม่เพียงพอต่อการขยายการให้บริการศูนย์ข้อมูล จำนวนเครื่องคอมพิวเตอร์แม่ข่ายและจำนวนอุปกรณ์เครือข่ายในศูนย์ข้อมูลได้เพิ่มจำนวนขึ้นจนกระทั่งเต็มพื้นที่ศูนย์ข้อมูล จนกระทั่งในช่วงเวลาหนึ่งไม่สามารถขยายการให้บริการได้อีก จึงได้มีการนำเทคโนโลยีเวอร์ชวลไลเซชั่นมาใช้งานส่งผลให้สามารถเพิ่มบริการได้ โดยที่ไม่ต้องมีการเพิ่มจำนวนอุปกรณ์จริง แต่เมื่อระยะเวลาผ่านไปพบว่าการให้บริการด้วยเทคโนโลยีเวอร์ชวลไลเซชั่นนั้นกลับมีปัญหาบางประการที่ทำให้เกิดความยุ่งยากในการบริหารจัดการ เช่นการใช้ Software Hypervisor ต่างผู้ผลิตกัน การย้ายเครื่องเวอร์ชวลแมชชีนข้ามแพลตฟอร์ม การใช้งานหน่วยบันทึกข้อมูลร่วมกันระหว่าง Hypervisor ไม่สามารถกระทำได้ รวมถึงระยะเวลาในการกู้คืนระบบในกรณีที่เกิดความเสียหายขึ้นกับอุปกรณ์จริงต้องใช้เวลานาน งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาระบบให้บริการเครื่องแม่ข่ายที่มีเสถียรภาพ และมีความพร้อมใช้งานสูง สามารถ ลดปริมาณการใช้พลังงาน ลดต้นทุนการจัดการเครื่องแม่ข่าย ลดระยะเวลาการบำรุงรักษาระบบ และเพิ่มความสามารถในการขยายการให้บริการ

## 2.ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 เวอร์ชวลไลเซชั่น (Virtualization)

ระบบคอมพิวเตอร์เสมือนได้ถูกคิดค้นเมื่อปี ค.ศ.1960 โดยเกิดมาจากแนวคิดที่ว่าเครื่องคอมพิวเตอร์แม่ข่ายที่ทำงานหนึ่งเครื่องต่อหนึ่งแอพพลิเคชั่นนั้นไม่สามารถดึงประสิทธิภาพของเครื่องแม่ข่ายออกมาใช้ได้อย่างเต็มที่ จากแนวคิดดังกล่าวจึงเกิดความต้องการในการดึงประสิทธิภาพของเครื่องแม่ข่ายให้สามารถใช้งานได้อย่างเต็มความสามารถ ซึ่งต่อมามีการพัฒนาซอฟแวร์ที่ช่วยให้ผู้ใช้สามารถใช้ระบบปฏิบัติการดอส บนยูนิกซ์เวิร์คสเตชั่นได้ ทำให้เกิดการตื่นตัวในการพัฒนาเทคโนโลยีทางด้านเวอร์ชวลไลเซชั่นกันมากขึ้น ดังนั้นระบบคอมพิวเตอร์เสมือนคือการจำลองเครื่องคอมพิวเตอร์ในรูปแบบกายภาพให้เป็นเครื่องคอมพิวเตอร์เสมือนได้หลาย ๆ ระบบ ทำให้สามารถใช้งานระบบปฏิบัติการและแอพพลิเคชั่นอื่น ๆ ได้หลายระบบพร้อมๆ กันและมีความเป็นอิสระต่อกันโดยที่ไม่ขึ้นอยู่กับทรัพยากรจริงอันใดอันหนึ่ง นอกจากนี้ยังสามารถที่จะรวบรวมทรัพยากรด้านการประมวลผล การจัดเก็บข้อมูล และการสื่อสาร มารวมกันไว้ที่ศูนย์กลางโดยผู้ใช้สามารถนำทรัพยากรเหล่านั้นไปจัดสรรใช้ประโยชน์ได้ตามความเหมาะสม [1]

### 2.2 คอมพิวเตอร์คลัสเตอร์ (Computer Cluster)

เทคโนโลยีคอมพิวเตอร์คลัสเตอร์ คือ การนำเครื่องคอมพิวเตอร์ที่มีจำนวนมากกว่าสองเครื่องขึ้นไปมาเชื่อมต่อกันผ่านเครือข่ายความเร็วสูง เพื่อให้เครื่องทุกเครื่องในระบบสามารถทำงานร่วมกันได้เสมือนเป็นเครื่องคอมพิวเตอร์เครื่องเดียวกัน โดยความแตกต่างระหว่างระบบคอมพิวเตอร์คลัสเตอร์กับระบบคอมพิวเตอร์บนเครือข่าย LAN คือการใช้ทรัพยากร ถึงแม้ระบบเครือข่าย LAN จะเป็นการเชื่อมต่อเครื่องคอมพิวเตอร์จำนวนมากเข้าด้วยกันเหมือนระบบคลัสเตอร์ แต่การใช้ทรัพยากรของแต่ละเครื่องจะแยกอิสระออกจากกันไม่สามารถใช้ทรัพยากร หน่วยประมวลผล หน่วยความจำหลัก และหน่วยบันทึกข้อมูลร่วมกันได้ [2] โดยองค์ประกอบของเทคโนโลยีคลัสเตอร์ คือ เครื่องแม่ข่าย ระบบเครือข่ายความเร็วสูง ซอฟแวร์ที่ใช้สนับสนุนในการบริหารการทำงานแบบคลัสเตอร์ และโปรแกรมประยุกต์ ที่มีความสามารถในการรองรับการทำงานแบบคลัสเตอร์ได้

### 2.3 เฟลโอเวอร์คลัสเตอร์ (Failover Cluster)

เป็นระบบคอมพิวเตอร์คลัสเตอร์ที่ประยุกต์ใช้หลักการกระจายภาระงาน (Load Balancing) บริการให้กับเครื่องเซิร์ฟเวอร์หลายเครื่องช่วยกันทำงานเพื่อให้ระบบสามารถรองรับกับปริมาณผู้ใช้งานที่เข้ามาใช้งานพร้อมกันจำนวนมากได้ ระบบคลัสเตอร์มุ่งแก้ไขปัญหา 2 เรื่อง คือ ระบบไม่สามารถให้บริการได้ และระบบตอบสนองช้า โดยเจาะจงลงไปในส่วนของเครื่องแม่ข่ายที่ให้สามารถให้บริการได้ตลอดเวลาโดยมีอัตราการหยุดให้บริการต่ำที่สุดการทำในลักษณะนี้ทางคอมพิวเตอร์เราเรียกกันว่า High Availability ซึ่งการทำงานในลักษณะนี้เมื่อเครื่องแม่ข่ายเครื่องใดเครื่องหนึ่งในคลัสเตอร์ไม่สามารถให้บริการได้จะมีเครื่องแม่ข่ายเครื่องอื่นในคลัสเตอร์เดียวกันขึ้นมาทำงานแทนกันได้ทันที [3]

### 2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในสภาวะเศรษฐกิจปัจจุบันที่มีการแข่งขันกันสูง การลดต้นทุนหรือค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานย่อมสร้างความได้เปรียบในการแข่งขันในทุกหน่วยงานไม่เว้นแต่หน่วยงานภาครัฐและหน่วยงานการศึกษา การใช้ประโยชน์ของระบบคลาวด์คอมพิวติ้ง เป็นแนวทางที่มีคุณภาพในการลดต้นทุนการให้บริการทางด้านเทคโนโลยีสารสนเทศ โดยจะเปลี่ยนวิธีให้บริการจากรูปแบบหนึ่งบริการต่อหนึ่งเครื่องแม่ข่ายสู่การให้บริการในรูปแบบเวอร์ชวลไลเซชั่น เพื่อการใช้งานทรัพยากรเครื่องแม่ข่ายได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ และสามารถลดจำนวนเครื่องแม่ข่าย และลดการใช้พลังงานลงได้ [4] แนวคิดในการประหยัดพลังงานในการใช้งานเทคโนโลยีสารสนเทศในปัจจุบัน โดยใช้เทคโนโลยี เวอร์ชวลไลเซชั่นมาบริหารจัดการ ซึ่งจะมีวิธีการ 4 วิธีการหลักคือ Virtualization Process, Virtualization Process Capability, Virtualization Efficiency และ

Virtualization Process Maturity เพื่อใช้ในการประเมินและวัดผลของการพัฒนาเวอร์ชวลไลเซชั่น ซึ่งสามารถช่วยลดการใช้พลังงานไฟฟ้าได้จริง นำไปสู่การพัฒนา Green Data Center [5]

## 3. วิธีการนำเสนอ

ในงานวิจัยนี้ได้นำเทคโนโลยี เฟลโอเวอร์คลัสเตอร์มาใช้งานในศูนย์ข้อมูล โดยจากเดิมที่มีการใช้งานเครื่องคอมพิวเตอร์แม่ข่ายชนิดหนึ่งบริการต่อหนึ่งเครื่องแม่ข่าย และเทคนิคเวอร์ชวลไลเซชั่นแบบเก่าโดยมีการใช้งานเวอร์ชวลไลเซชั่นที่แยกกันทำงานในแต่ล่ะ Hypervisor ซึ่งในขณะนั้นภายในศูนย์ข้อมูลมีจำนวนเครื่องคอมพิวเตอร์แม่ข่ายที่ให้บริการดังกล่าว ดังแสดงในตารางที่ 1

**ตารางที่ 1** จำนวนเครื่องคอมพิวเตอร์แม่ข่ายและบริการ

| ประเภทของเครื่องแม่ข่าย | เครื่องแม่ข่าย | บริการ |
|---|---|---|
| Single Server (1 server : 1 service) | 45 | 45 |
| Traditional Hypervisor | 3 | 15 |
| **รวม** | 48 | 60 |

### 3.1 กระบวนการสร้างคลัสเตอร์

การพัฒนาศูนย์ข้อมูล โดยนำเทคโนโลยีเฟลโอเวอร์คลัสเตอร์และเวอร์ชวลไลเซชั่นมาใช้งาน เริ่มจากทำการสำรวจเครื่องแม่ข่าย และบริการที่ใช้งานอยู่ในปัจจุบัน และสร้างโหนดที่เป็นสมาชิกในคลัสเตอร์ขึ้นมาจำนวน 5 โหนด และสร้างทรัพยากรแบบใช้ร่วมกัน ประกอบด้วยระบบเครือข่าย และหน่วยบันทึกข้อมูล เพื่อให้ทุกโหนดที่เป็นสมาชิกในคลัสเตอร์เดียวกันสามารถใช้งานระบบเครือข่าย และหน่วยบันทึกข้อมูลร่วมกันได้ โดยคลัสเตอร์มีเครื่องแม่ข่าย 5 เครื่อง มีหน่วยความจำหลักรวม 512 กิกะไบต์ ระบบเครือข่ายเชื่อมต่อด้วยความเร็ว 10 กิกะบิตต่อวินาที และหน่วยบันทึกข้อมูลชนิด SAN (Storage area network) ขนาด 7.27 เทราไบต์ เชื่อมต่อด้วยสายไฟเบอร์ออฟติก ซึ่งในงานวิจัยนี้ใช้ซอฟท์แวร์บริหารจัดการระบบ Fail over cluster และ Hyper-V ที่ทำงานอยู่บนระบบปฏิบัติการ Microsoft Windows Server 2012 ในการพัฒนาศูนย์ข้อมูลแบบพร้อมใช้งานสูง

### 3.2 การปรับระบบเข้าสู่สภาพแวดล้อมแบบเวอร์ชวลไลเซชั่น

หลังจากที่ได้ทำการสร้างคลัสเตอร์ ขั้นตอนต่อไปจะเป็นการย้ายบริการจากเครื่องแม่ข่ายเดิมแบบหนึ่งบริการต่อหนึ่งเครื่องแม่ข่าย และเทคนิคเวอร์ชวลไลเซชั่นแบบเก่ามาเข้าสู่คลัสเตอร์ โดยในขั้นตอนนี้จะเป็นการปรับเปลี่ยนให้ทุก ๆ บริการให้เป็นเวอร์ชวลไลเซชั่น และนำมาทำงานบนสภาพแวดล้อมของคลัสเตอร์ การใช้งานในรูปแบบนี้ทำให้สามารถใช้งานคุณสมบัติการทำเฟลโอเวอร์ได้ ทำให้สมาชิกทุกโหนดในคลัสเตอร์เปลี่ยนแปลงผู้ถือครอง Cluster Resource เช่น หน่วยบันทึกข้อมูล ระบบเครือข่าย รวมถึงสคริปต์ต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องจากโหนดที่ถือครองทรัพยากรอยู่ เมื่อเกิดการเปลี่ยนสถานะเป็นออฟไลน์ หรือเสียหายเนื่องจากปัญหาอุปกรณ์ จะเกิดกระบวนการเฟลโอเวอร์โดยอัตโนมัติ โดยผู้ใช้ยังคงสามารถใช้บริการต่าง ๆ ได้ตามปกติ และเมื่อโหนดออฟไลน์ไปนั้นถูกซ่อมแซมจนสามารถกลับมาทำงานตามปกติเรียกว่าสถานการณ์ Failback ซึ่งทุก ๆ โหนดในคลัสเตอร์นั้นจะมีการสื่อสารกันเองภายในคลัสเตอร์เพื่อบอกสถานะของตนเองให้คลัสเตอร์ ได้รับรู้สถานะปัจจุบันของทุก ๆ โหนดเพื่อให้ระบบคลัสเตอร์ตัดสินใจได้ว่าจะทำอะไรเมื่อมีเหตุการณ์เกิดขึ้นในคลัสเตอร์นั้น เช่น การเกิดเฟลโอเวอร์ หรือ Failback โดยคลัสเตอร์รับรู้ได้จากข้อความที่ส่งกันไปมาผ่าน Heartbeat Network นี้อย่างสม่ำเสมอ

### 3.3 การทำ High Availability

เพื่อให้สอดคล้องกับแผนการทำ Business Continuity หรือการทำให้ระบบสามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่องเมื่อเกิดเหตุการณ์ที่ไม่คาดคิดขึ้น จึงทำการพิจารณาสองปัจจัยที่เกี่ยวข้อง คือ การทำ High Availability กับ Disaster Recovery โดยออกแบบระบบให้สามารถให้บริการหรือ Availability ให้กับผู้ใช้งานได้สูงที่สุด โดยระบบยังคงสามารถทำงานต่อได้ แม้จะมีความเสียหายเกิดขึ้นกับอุปกรณ์ โดยใช้เทคนิคการทำ Live Migration เป็นกลไกสำคัญที่ทำให้เมื่อเกิดความเสียหายขึ้นบริการที่ทำงานอยู่ในโหนดที่มีปัญหาจะถูกย้ายไปทำงานที่โหนดอื่นทันที และเป็นไปโดยอัตโนมัติ โดยช่วงเวลาที่มีการทำ Live Migration มีการเกิดการชะงักของบริการเป็นช่วงเวลาสั้น ๆ (เฉลี่ยประมาณ 3-5 วินาที) ก่อนที่ระบบจะสามารถไปทำงานบนโหนดใหม่ได้ ซึ่งถือเป็นค่าที่ยอมรับได้สำหรับบริการทั่ว ๆ ไปของมหาวิทยาลัย อีกส่วนหนึ่งจะเป็นการทำ Disaster Recovery โดยสร้างไซต์สำรองขึ้นเพื่อรองรับการย้ายระบบในกรณีที่ไซต์หลักเกิดล่มหรือเสียหาย เช่น ในกรณีที่ศูนย์ข้อมูลของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ซึ่งตั้งอยู่ในพื้นที่อาคารสำนักวิทยบริการและเทคโนโลยีสารสนเทศ ศูนย์เทเวศร์ ประสบอุบัติภัยที่ไม่คาดคิด เพลิงไหม้ น้ำท่วม เป็นต้น ระบบทั้งหมดในศูนย์ข้อมูลจะสามารถย้ายไปที่ศูนย์ข้อมูลไซต์สำรอง ซึ่งจัดตั้งอยู่ในศูนย์พระนครเหนือได้ แต่ในขณะที่ทำงานวิจัยนี้สามารถย้ายได้เฉพาะบริการที่มีความสำคัญ ๆ เท่านั้น เนื่องจากที่ศูนย์ข้อมูลพระนครเหนือ ไม่มีเครื่องแม่ข่ายที่เพียงพอที่จะรองรับบริการทั้งหมดได้

## 4. ผลการดำเนินงาน

งานวิจัยนี้ได้ทำการพัฒนาระบบศูนย์ข้อมูลแบบพร้อมใช้งานสูงโดยใช้เทคโนโลยีเฟลโอเวอร์คลัสเตอร์ เพื่อพัฒนาการให้บริการเครื่องแม่ข่ายอย่างมีประสิทธิภาพส่งผลให้เกิดความคุ้มค่าทางด้านการใช้งานทรัพยากร และลดปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าได้เป็นอย่างดี โดยจำนวน

ของเครื่องแม่ข่ายเดิมที่เป็นแบบหนึ่งบริการต่อหนึ่งเครื่องแม่ข่ายของมหาวิทยาลัยมีจำนวนทั้งหมด 48 เครื่อง เปิดให้บริการสารสนเทศทั้งหมด 60 บริการ และเมื่อปรับเปลี่ยนมาใช้เทคโนโลยีเฟลโอเวอร์คลัสเตอร์ จำนวนเครื่องแม่ข่ายที่ให้บริการจะเหลือเพียง 5 เครื่อง ให้บริการจำนวน 60 บริการเท่าเดิม จะสังเกตได้ว่าจำนวนของเครื่องแม่ข่ายลดลงได้เป็นจำนวนมาก ดังแสดงในตารางที่ 2

**ตารางที่ 2** เปรียบเทียบจำนวนเครื่องแม่ข่ายและบริการแบบเดิมกับแบบเฟลโอเวอร์คลัสเตอร์

| จำนวน | แบบเดิม (เครื่อง) | เฟลโอเวอร์คลัสเตอร์ (เครื่อง) |
|---|---|---|
| **เครื่องแม่ข่าย** | 48 | 5 |
| **บริการ / Service** | 60 | 60 |

ในส่วนต่อมาเป็นคุณสมบัติที่เพิ่มเติมขึ้นมาจากเดิม ซึ่งศูนย์ข้อมูลแบบเดิมไม่สามารถทำได้ คือการลดเวลาการสูญเสียคุณสมบัติในการให้บริการของเครื่องแม่ข่าย ผลการทดสอบพบว่าศูนย์ข้อมูลแบบพร้อมใช้งานสูงโดยใช้เทคโนโลยีเฟลโอเวอร์คลัสเตอร์ มีระยะเวลาในการกู้คืนระบบสั้นมาก โดยมีระยะเวลาในการสูญเสียคุณสมบัติในการให้บริการเฉลี่ยเพียง 3-5 วินาที เท่านั้น และยังสามารถเปิดใช้คุณสมบัติการทำ Replications ไปยัง Disaster Recovery ได้ ดังแสดงในตารางที่ 3

**ตารางที่ 3** ผลลัพธ์การวัดคุณสมบัติ High Availability

| การทำ High Availability | ระยะเวลาเฉลี่ย / เครื่อง (วินาที) |
|---|---|
| **Live Migration** | 3.25 |
| **Quick Migration** | 10.43 |

ในส่วนสุดท้ายเรื่องของการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องแม่ข่ายมีปริมาณการใช้งานไฟฟ้าลดลงมาก เนื่องจากจำนวนของเครื่องแม่ข่ายที่เปิดให้บริการลดลงจาก 48 เครื่อง เหลือเพียง 5 เครื่อง ซึ่งส่งผลให้ปริมาณการใช้ไฟฟ้าที่ใช้ภายในศูนย์ข้อมูลลดลงจาก 7,370 วัตต์ เหลือเพียง 3,366 วัตต์ ทำการเก็บข้อมูลโดยวัดค่าเฉลี่ยจากการใช้งานในช่วงเวลาที่ศูนย์ข้อมูลมีการใช้งานสูงสุด เวลา 9.00 น. ถึง 11.00 น. และแสดงปริมาณการใช้ไฟฟ้าในแต่ละตู้ Rack ดังแสดงในตารางที่ 4 ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าศูนย์ข้อมูลลดการใช้พลังงานไฟฟ้าได้ถึง 4,004 วัตต์ โดยคิดเป็นร้อยละ 54.33

**ตารางที่ 4** ผลลัพธ์การวัดปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าใ นศูนย์ข้อมูล

| ปริมาณการใช้ไฟฟ้าเฉลี่ย | แบบเดิม(วัตต์) | คลัสเตอร์(วัตต์) |
|---|---|---|
| ตู้ rack 1 | 1,694 | 1,958 |
| ตู้ rack 2 | 726 | 1,408 |
| ตู้ rack 3 | 1,144 | 0 |
| ตู้ rack 4 | 748 | 0 |
| ตู้ rack 5 | 1,298 | 0 |
| ตู้ rack 6 | 1,760 | 0 |
| รวม | 7,370 | 3,366 |

## 5. สรุป

งานวิจัยนี้ได้พัฒนาศูนย์ข้อมูลแบบพร้อมใช้งานสูงโดยประยุกต์ใช้เทคโนโลยีเฟลโอเวอร์คลัสเตอร์ โดยทดสอบที่ศูนย์ข้อมูลของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร และมีการใช้งานจริงมาระยะหนึ่ง พบว่าศูนย์ขอมูลของมหาวิทยาลัยมีศักยภาพ และคุณสมบัติในการให้บริการได้เป็นอย่างดี ช่วยลดต้นทุนในการจัดซื้อและบำรุงรักษาเครื่องแม่ข่าย ลดเวลาการสูญเสียคุณสมบัติในการให้บริการของเครื่องแม่ข่ายหากเกิดกรณีความเสียหายที่เกิดขึ้นกับอุปกรณ์ และลดการใช้พลังงานไฟฟ้าได้อย่างมาก เป็นไปตามวัตถุประสงค์ ซึ่งมีความเหมาะสมในการพัฒนาห้องศูนย์ข้อมูลยุคใหม่ที่มีเสถียรภาพ และความยืดหยุ่นสูง สามารถนำทรัพยากรที่มีอยู่มาใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพและคุ้มค่ามากที่สุด

## เอกสารอ้างอิง

[1] Jesada Viriyasoontornpan, " Virtualization Server Implementation and Evaluation Cass Study: Aeronautical Radio of Thailand, " in Department of Computer and Communication Technology, Dhurakij Pundit University, 2014

[2] Adulsak Srithilah, "Factors Study The Computer Cluster Technology applied to Animation Industry For Developing Production Process," Technology Management, Thammasat University, 2009

[3] ClusterKit, Web Cluster [Online], Available : http://www.clusterkit.co.th/webcluster.php.Accessed :February 6, 2016.

[4] D. G. Chandra and M. D. Borah, "Cost benefit analysis of cloud computing in education," in 2012 International Conference on Computing, Communication and Applications (ICCCA), 2012, pp. 1–6.

[5] M. Liangli, C. Yanshen, S. Yufei, and W. Qingyi, "Virtualization Maturity Reference Model for Green Software," in 2012 International Conference on Control Engineering and Communication Technology (ICCECT), 2012, pp. 573–576.

# ระบบบันทึกบริการถ่ายทอดการสื่อสาร

## Video Relay Service Recording System

**อนุวัตร์ สมบุญ[1], พรพิมล รามัญอุดม[2] และ บุญชัย งามวงศ์วัฒนา[3]**
ห้องปฏิบัติการวิจัยนวัตกรรมอินเทอร์เน็ต ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ
112 อุทยานวิทยาศาสตร์แห่งประเทศไทย ถ.พหลโยธิน ต.คลองหลวง อ.คลองหนึ่ง จ.ปทุมธานี 12120 โทรศัพท์ 02-564-6900
[1]E-mail: anuwat.sombun@nectec.or.th, [2]E-mail: pornpimol.ramonudom@nectec.or.th, [3]E-mail: boonchai.ngamwonwattana@nectec.or.th

## บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอระบบบันทึกบริการถ่ายทอดการสื่อสาร โดยใช้หลักการของ Network-Based, Encoded Capture ซึ่งเป็นการตรวจจับ Traffic จากระบบเครือข่าย แล้วผ่านกระบวนการคัดกรองเพื่อให้ได้แพ็คเก็ตที่เกี่ยวข้องกับการส่งวิดีโอรวมถึงอุปกรณ์อื่นๆที่ต้องการ โดยระบบจะทำการวิเคราะห์แพ็คเก็ตสำหรับโพรโทคอลต่างๆที่เกี่ยวข้อง เพื่อดึงข้อมูลการสนทนา เช่น Video Call และ IP Phone Call ซึ่งทำงานอยู่บน H.323 Framework ประกอบด้วยโพรโทคอลที่เกี่ยวข้อง เช่น TPKT/Q.931, H.225, H.245, และ RTP และในขั้นตอนสุดท้าย เป็นการรวบรวมข้อมูลวิดีโอและเสียง การทำ Synchronization และการ Merge Stream แล้วเขียนลงสู่ไฟล์วิดีโอที่สามารถเล่นในภายหลังได้ ด้วยหลักการที่นำเสนอ ระบบที่พัฒนาขึ้นสามารถปรับปรุงประสิทธิภาพการบันทึกบริการถ่ายทอดการสื่อสารได้เป็นอย่างดี กล่าวคือ การเก็บข้อมูลวิดีโอและเสียงจากแพ็คเก็ตในเครือข่ายโดยตรง ทำให้ได้ข้อมูลดั้งเดิมซึ่งไม่มีการเข้ารหัส Video Encoding ซ้ำซ้อน จึงไม่เกิดการสูญเสียทางด้านคุณภาพ และสามารถเก็บข้อมูลวิดีโอที่เป็น Native Resolution ที่มีความคมชัดสูงเท่ากับที่ส่งออกจากต้นทาง นอกจากนี้ ยังสามารถเก็บข้อมูลการสนทนาจากอุปกรณ์อื่นๆ ที่เกี่ยวข้องเช่น IP Phone ได้

คำสำคัญ: การบันทึกวิดีโอ, การตรวจจับข้อมูลจากระบบเครือข่าย, โพรโทคอล H.323, TPKT/Q.931, H.225, H.245, RTP

## Abstract

This paper presents the video relay service recording system that was developed using the network-based, encoded capture methodology. The system works by monitoring network traffic and filtering for the related video call and IP phone call packets, which include protocols on H.323 Framework, e.g. TPKT/Q.931, H.225, H.245, and RTP. Next, the system collects and reassembles the video and voice data into streams. Finally, it synchronizes and merges streams into a video file for playback later. The test results show that the proposed methodology can effectively improve the recording system. Since the video and voice data are collected directly from the network packets, the system can get the original native resolution contents without quality loss from re-encoding the video. In addition, the system can also record conversations from other networked devices such as IP Phone.

Keywords: video recording, network traffic monitoring, protocols H.323, TPKT/Q.931, H.225, H.245, RTP

## 1. บทนำ

ศูนย์บริการถ่ายทอดการสื่อสารแห่งประเทศไทย หรือ TTRS (Thai Communication Relay Service) ได้ให้บริการล่ามภาษามือเพื่อช่วยเหลือผู้พิการทางด้านการได้ยิน ในการติดต่อสื่อสารกับบุคคลธรรมดา โดยผ่านการสนทนาวิดีโอผ่านอินเทอร์เน็ต หรือที่เรียกว่าระบบ VRS (Video Relay Service) ซึ่งได้ติดตั้งโดยใช้ระบบสื่อสารของบริษัท Avaya ในการดำเนินการให้บริการนั้น มีความจำเป็นจะต้องบันทึกการสนทนาที่เกิดขึ้น เพื่อให้สามารถตรวจสอบการให้บริการล่ามภาษามือและเพื่อใช้ในการพัฒนาการบริการให้ดียิ่งขึ้นต่อไปได้ อย่างไรก็ตาม ระบบของ Avaya ไม่มีคุณสมบัติในการบันทึกบริการถ่ายทอดการสื่อสารดังที่ต้องการ จึงได้มีการนำโปรแกรมสำหรับบันทึกหน้าจอ เช่น Camtasia Studio มาใช้งานแทน เพื่อให้สามารถบันทึกการสนทนาวิดีโอที่ปรากฏบนหน้าจอลงสู่ไฟล์วิดีโอได้ วิธีการนี้แม้ว่าจะบรรลุวัตถุประสงค์หลัก แต่ก็มีข้อจำกัดหลายประการ เช่น การบันทึกวิดีโอจากหน้าจอทำให้เกิดการเข้ารหัส Video Encoding ซ้ำซ้อนและคุณภาพแย่ลง นอกจากนี้ยังไม่สามารถบันทึกการสนทนาจากอุปกรณ์อื่นๆ เช่น IP Phone ที่จำเป็นต้องใช้งานร่วมกัน ดังนั้นจึงมีความจำเป็นต้องพัฒนาระบบให้มีประสิทธิภาพและตรงต่อความต้องการมากยิ่งขึ้น สำหรับโครงการนี้ นำเสนอระบบบันทึกบริการถ่ายทอดการสื่อสาร โดยใช้

หลักการของ Network-Based, Encoded Capture ซึ่งเป็นการตรวจจับ Traffic จากระบบเครือข่าย แล้วผ่านกระบวนการคัดกรองเพื่อให้ได้แพ็คเก็ตที่เกี่ยวข้องกับการส่งวิดีโอ จากนั้นทำการวิเคราะห์ เพื่อดึงข้อมูลการสนทนา Video Call และ IP Phone Call และในขั้นตอนสุดท้าย เป็นการรวบรวมข้อมูลวิดีโอและเสียง การทำ Synchronization และการ Merge Stream แล้วเขียนลงสู่ไฟล์วิดีโอที่สามารถเล่นในภายหลังได้

## 2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ปัจจุบันการสนทนาวิดีโอผ่านอินเทอร์เน็ตหรือ Video Call มีการใช้งานกันอย่างแพร่หลาย ซึ่งสามารถใช้งานได้โดยผ่านโปรแกรม หรือ Plug-in บนหน้าเว็บเบราว์เซอร์ต่างๆ ด้วยหลากหลายโพรโทคอลที่มีการใช้งานกัน เช่น SIP/RTP, H.323/RTP, Flash RTMP, Skype (Proprietary) ในการสนทนาวิดีโอผ่านอินเทอร์เน็ตโดยทั่วไป การบันทึกการสนทนาอาจจะไม่มีความจำเป็นมากนัก ความสามารถนี้จึงไม่ปรากฏในโปรแกรมสนทนาวิดีโอผ่านอินเทอร์เน็ตต่างๆ ที่มีการใช้งานกันอยู่ในปัจจุบัน อย่างไรก็ตาม การบันทึกการสนทนาวิดีโอยังมีความจำเป็นอย่างยิ่งในหลายๆ สถานการณ์ด้วยกัน เช่นที่ศูนย์บริการถ่ายทอดการสื่อสารแห่งประเทศไทย ได้ให้บริการล่ามภาษามือเพื่อช่วยเหลือผู้พิการทางด้านการได้ยิน ในการติดต่อสื่อสารกับบุคคลธรรมดาโดยผ่านการสนทนาวิดีโอผ่านอินเทอร์เน็ต มีความจำเป็นต้องทำการบันทึกการสนทนาวิดีโอ เพื่อให้สามารถตรวจสอบการให้บริการล่ามภาษามือ และเพื่อใช้ในการพัฒนาการบริการให้ดียิ่งขึ้นต่อไปได้ โดยหลักการทางทฤษฎีที่เกี่ยวกับการบันทึกวิดีโอผ่านอินเทอร์เน็ตสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท ดังนี้

### 2.1 Decoded Capture

วิธีการนี้เป็นการเก็บข้อมูลวิดีโอที่ปลายทางซึ่งถูกส่งผ่านไปยังโปรแกรมที่เป็น Video Player เพื่อถอดรหัส Video Encoding แล้วถูกส่งต่อไปที่ส่วนแสดงผลหน้าจอและเสียงของเครื่องคอมพิวเตอร์ วิธีการนี้เปรียบเสมือนการบันทึกวิดีโอแบบอนาล็อก คือเป็นการเก็บหน้า Screenshot ที่แสดงบนหน้าจอที่ความเร็วประมาณ 30 fps (frame per second) รวมถึงเก็บข้อมูลเสียงจากเครื่องคอมพิวเตอร์ด้วยวิธีการ Sampling จากนั้นจึงเข้ารหัส Video Encoding ข้อมูล Screenshot และเสียง เข้าด้วยกันเป็นไฟล์วิดีโอที่ต้องการ เช่น MP4/H.264, Flash FLV วิธีการนี้มีข้อดีคือ สามารถบันทึกวิดีโอบนหน้าจอได้โดยไม่ขึ้นกับโพรโทคอลที่ใช้ในการส่ง Video Call ผ่านระบบเครือข่าย แต่มีข้อเสียคือ คุณภาพของวิดีโอที่สูญเสียไปและด้อยกว่าที่ส่งออกจากต้นทาง เนื่องจากจำเป็นต้องทำการเข้ารหัส Video Encoding ซ้ำซ้อน เพื่อเก็บรวบรวม Screenshot ที่ได้จากหน้าจอคอมพิวเตอร์เป็นไฟล์วิดีโอ ซึ่งในขั้นตอนนี้จำเป็นต้องใช้ทรัพยากรของเครื่องคอมพิวเตอร์มาก และใช้เวลาในการประมวลนานด้วย ตัวอย่างของโปรแกรมที่ใช้หลักการนี้เช่น Camtasia Studio, CamStudio เป็นต้น

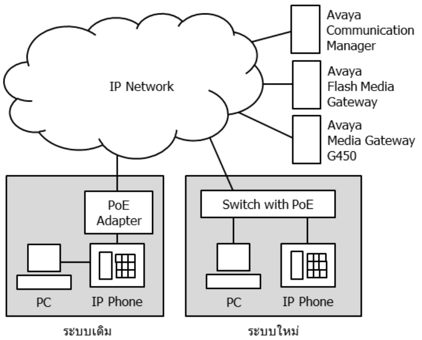
### 2.2 Network-Based, Encoded Capture

วิธีนี้เป็นการเก็บข้อมูลวิดีโอโดยตรงจากแพ็คเก็ตต่างๆ ที่ส่ง Video Call ผ่านระบบเครือข่าย โดยที่ยังไม่มีการถอดรหัส Video Encoding หลักการทำงานเริ่มต้นจากการตรวจจับ Traffic จากระบบเครือข่าย แล้วผ่านกระบวนการคัดกรองเพื่อให้ได้แพ็คเก็ตที่เกี่ยวข้องกับ Video Call ที่ต้องการ จากนั้นจะเป็นการวิเคราะห์ในระดับแพ็คเก็ตอย่างละเอียด ซึ่งประกอบด้วย สัญญาณ Call Signaling เช่น SIP, H.323 และโพรโทคอลต่างๆ ที่ใช้ในการส่งข้อมูลวิดีโอและเสียง เช่น RTP/H.263, RTP/H.264, RTP/G.729 เป็นต้น ในขั้นตอนต่อไปเป็นการเก็บรวบรวมข้อมูลวิดีโอและเสียงที่ได้จากแพ็คเก็ตต่างๆ ลงสู่ไฟล์วิดีโอที่ต้องการ วิธีการนี้มีข้อดีคือ สามารถบันทึกวิดีโอที่มีคุณภาพสูงเทียบเท่ากับที่ส่งออกจากต้นทาง เนื่องจากเป็นการเก็บข้อมูลวิดีโอจากแพ็คเก็ตโดยตรง และไม่มีการเข้ารหัส Video Encoding ที่ซ้ำซ้อน ดังนั้น จึงใช้ทรัพยากรของเครื่องคอมพิวเตอร์น้อย และสามารถประมวลผลได้อย่างรวดเร็ว นอกจากนี้ ยังมีข้อดีคือ สามารถบันทึกวิดีโอ ณ จุดใดก็ได้ในระบบเครือข่าย เช่นที่อุปกรณ์ Switch หรือที่เครื่องเซิร์ฟเวอร์ โดยไม่จำเป็นต้องใช้โปรแกรมที่เป็น Video Player วิธีการนี้ต้องอาศัยความเข้าใจในโพรโทคอลต่างๆ ที่เกี่ยวข้องอย่างลึกซึ้ง เพื่อให้สามารถดึงข้อมูลวิดีโอจากแพ็คเก็ตต่างๆ ได้อย่างถูกต้องและครบถ้วน

## 3. การออกแบบและพัฒนาระบบ

### 3.1 โครงสร้างการทำงานของระบบ

รูปที่ 1 แสดงการเชื่อมต่อของระบบบันทึกบริการถ่ายทอดการสื่อสารที่ได้ปรับปรุงเทียบกับระบบเดิม โดยเจ้าหน้าที่ถ่ายทอดการสื่อสารจำเป็นจะต้องรับสายเข้าเป็น Video Call และโทรออกอีกสายหนึ่ง




**รูปที่ 1** การเชื่อมต่อของระบบบันทึกบริการถ่ายทอดการสื่อสาร

ผ่านทาง IP Phone Call ไปพร้อมๆ กัน เนื่องจากระบบเดิมใช้โปรแกรม Camtasia Studio ในการบันทึกการสนทนาบนเครื่องคอมพิวเตอร์ จึงจำเป็นต้องทำการดึงสัญญาณเสียงและไมค์เข้าสู่ Sound Card ของเครื่องก่อน ซึ่งเจ้าหน้าที่จะต้องใช้งานโทรศัพท์ IP Phone ผ่านทาง Sound Card เท่านั้น เพื่อให้สามารถบันทึกเสียงโทรศัพท์ไปพร้อมๆ กับ Video Call ได้ สำหรับระบบที่พัฒนาขึ้น ใช้วิธีการบันทึกข้อมูลจากระบบเครือข่ายแทน โดยใช้อุปกรณ์ Switch ในการส่งผ่าน Traffic จาก IP Phone มายังเครื่องคอมพิวเตอร์ โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นจึงสามารถบันทึก Video Call และ IP Phone Call ได้พร้อมกัน จากรูป ประกอบด้วย Avaya Communication Manager ทำหน้าที่ในการจัดการเกี่ยวกับการโทรเข้าออกทั้งในส่วนของ Video Call และ IP Phone Call โดยใช้สัญญาณ Call Signaling H.323 [1] Avaya Flash Media Gateway ทำหน้าที่ในการสื่อสารข้อมูล Video Call ผ่าน RTP/H.263/G.729 และเป็น Gateway สำหรับเชื่อมต่อ Web Video Call กับผู้ใช้งาน Avaya Media Gateway ทำหน้าที่ในการสื่อสารข้อมูล VoIP Call ผ่าน RTP/G.729 และเป็น Gateway สำหรับเชื่อมต่อกับผู้รับสายปลายทาง รูปที่ 2 แสดงโครงสร้างภาพรวมการทำงานของระบบบันทึกบริการถ่ายทอดการสื่อสาร ซึ่งประกอบด้วยส่วนประกอบหลักๆ ดังนี้คือ

**การวิเคราะห์สัญญาณ Call Signaling**

ทำหน้าที่ในการตรวจจับแพ็คเก็ตที่ติดต่อสื่อสารกับ Avaya Communication Manager ซึ่งจะทำการวิเคราะห์โพรโทคอล TCP/TPKT [2] และ Call Signaling ต่างๆ คือ Q.931 [3]/H.225 [4]/H.245 [5] เพื่อให้ทราบถึงสัญญาณการเริ่มต้นของ Call ต่างๆ รวมถึงการเก็บข้อมูลของ Logical Channel ที่จำเป็นเช่น IP Address สำหรับ Media Gateway Server, Port สำหรับ RTP Media Channel และ RTCP Control Channel รวมถึงข้อมูลเกี่ยวกับ Codec เช่น H.263 สำหรับการส่งข้อมูลวิดีโอ และ G.729 สำหรับการส่งข้อมูลเสียง ข้อมูลเหล่านี้จะถูกนำไปใช้ในส่วนของการบันทึก Video Call และ IP Phone Call ต่อไป

**การบันทึก Video Call**

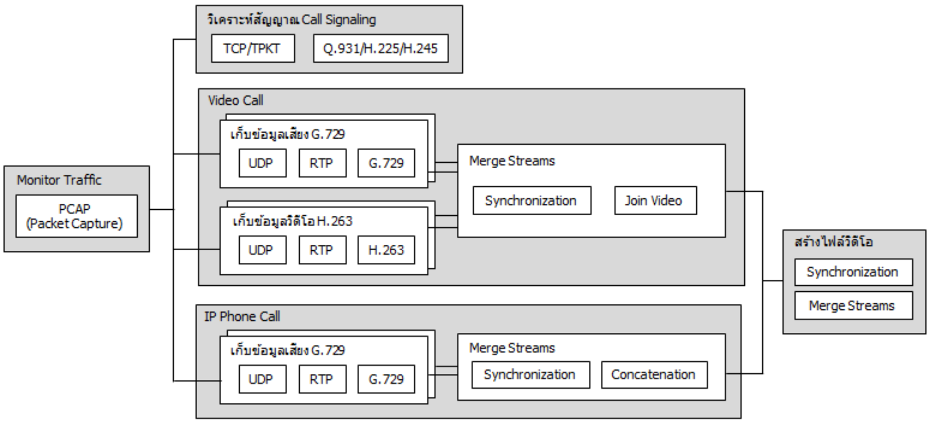
ประกอบด้วยส่วนของการเก็บข้อมูลเสียง G.729 และข้อมูลวิดีโอ H.263 ซึ่งการสนทนาวิดีโอในหนึ่ง Video Call นั้น จะส่งข้อมูลเสียงและวิดีโอแยกออกจากกันเป็นทั้งหมด 4 Stream ด้วยกันคือ ข้อมูลเสียงไป-กลับ ข้อมูลวิดีโอไป-กลับ โดยจะต้องทำการวิเคราะห์โพรโทคอล RTP และ Header ของข้อมูลเสียง G.729 และข้อมูลวิดีโอ H.263 ตามลำดับ จากนั้นจึงทำการบันทึกข้อมูลเสียงและวิดีโอลงสู่ไฟล์ชั่วคราว ขั้นตอนต่อไป เป็นการ Merge Stream สำหรับ ข้อมูลเสียงไป-กลับ ข้อมูลวิดีโอไป-กลับ ซึ่งจะต้องทำการ Synchronize Stream ต่างๆ เข้าด้วยกันให้ตรงกับเวลาจริงที่เกิดขึ้น รวมถึงการ Join Video ไป-กลับเข้าด้วยกัน

**การบันทึก IP Phone Call**

ทำหน้าที่ในการวิเคราะห์โพรโทคอล RTP เพื่อเก็บข้อมูลเสียง G.729 โดยในหนึ่ง IP Phone Call นั้น จะส่งข้อมูลเสียงแยกออกจากกันเป็น 2 Stream คือ ข้อมูลเสียงไป-กลับ จากนั้นจึงทำการ Merge Stream ข้อมูลเสียงไป-กลับ ซึ่งประกอบด้วยการ Synchronize Stream เข้าด้วยกันให้ตรงกับเวลาจริงที่เกิดขึ้น โดยในกรณีที่มีการโทรออกด้วย IP Phone Call มากกว่าหนึ่งครั้ง จะต้องทำการ Concatenate Stream เข้าด้วยกันด้วย

**การสร้างไฟล์วิดีโอ**

ประกอบด้วยการ Synchronize Stream ที่ได้จากไฟล์การบันทึก Video Call และ IP Phone Call เข้าด้วยกันให้ตรงกับเวลาจริงที่เกิดขึ้น จากนั้น จึงเป็นการ Merge Stream ของ Video Call และ IP Phone เข้าด้วยกันให้อยู่ในรูปแบบของไฟล์วิดีโอที่ต้องการ




**รูปที่ 2** โครงสร้างภาพรวมการทำงานของระบบบันทึกบริการถ่ายทอดการสื่อสาร

## 3.2 การพัฒนาโปรแกรมประยุกต์

การพัฒนาโปรแกรมประยุกต์ ระบบบันทึกบริการถ่ายทอดการสื่อสารเป็นใช้ Java Platform และใช้เครื่องมือหลักๆ ดังนี้

**NetBeans IDE** เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการพัฒนาโปรแกรม Java
**jNetPcap** เป็น Library สำหรับการตรวจจับแพ็คเก็ตบนระบบเครือข่ายเพื่อนำมาวิเคราะห์ต่อไป
**JavaFX** เป็น Library สำหรับสร้างหน้าอินเทอร์เฟส
**ffmpeg** เป็น Library สำหรับการจัดการข้อมูลวิดีโอและเสียง

รูปที่ 3 แสดงหน้าอินเทอร์เฟสของโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น ซึ่งถูกออกแบบให้ใช้งานง่าย และเหมาะสำหรับเจ้าหน้าที่ถ่ายทอดการสื่อสาร โดยโปรแกรมจะทำงานในการตรวจจับการให้บริการถ่ายทอดการสื่อสารอย่างอัตโนมัติ และวิเคราะห์การสนทนา Video Call และ IP Phone Call ที่เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง เมื่อจบการให้บริการในแต่ละครั้ง โปรแกรมจะให้เจ้าหน้าที่ถ่ายทอดการสื่อสารยืนยันในการบันทึกการสนทนาที่เกิดขึ้นลงสู่ไฟล์วิดีโอตามต้องการ รูปที่ 4 แสดงตัวอย่างผลการบันทึกบริการถ่ายทอดการสื่อสาร ซึ่งสามารถบันทึกและแสดงวิดีโอทั้งสองฝั่งได้ที่ Native Resolution (352 x 288 pixels) และมีความคมชัดเท่ากับที่ส่งออกจากต้นทาง จึงทำให้การตรวจสอบการแสดงภาษามือสามารถทำได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น

## 4. สรุป

ระบบบันทึกบริการถ่ายทอดการสื่อสารได้ติดตั้งใช้งานที่ศูนย์บริการถ่ายทอดการสื่อสารแห่งประเทศไทย ผ่านการทดสอบว่าสามารถทำงานได้อย่างถูกต้อง และมีประสิทธิภาพมากทั้งในด้านของคุณภาพของวิดีโอที่บันทึกได้ และสามารถตรวจจับสัญญาณการสนทนาจากระบบเครือข่ายเพื่อการบันทึกการสนทนา Video Call และ IP Phone ได้อย่างอัตโนมัติ นอกจากนี้ ยังสามารถประมวลผลการบันทึกการสนทนาลงสู่ไฟล์วิดีโอได้อย่างรวดเร็ว จึงสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของเจ้าหน้าที่ถ่ายทอดการสื่อสาร ให้สามารถให้บริการได้อย่างต่อเนื่องและรวดเร็วขึ้นกว่าเดิมด้วย

**รูปที่ 3** อินเทอร์เฟสของโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น

**รูปที่ 4** ตัวอย่างผลการบันทึกบริการถ่ายทอดการสื่อสาร

## เอกสารอ้างอิง

[1] J. Clerk Maxwell, "H.323 : Packet-based multimedia communications systems," https://www.itu.int/rec/T-REC-H.323/e
[2] Y. Pouffary and A. Young, "ISO Transport Service on top of TCP (ITOT)," Internet Engineering Task Force, RFC 2126, March 1997.
[3] "Q.931 : ISDN user-network interface layer 3 specification," http://www.itu.int/rec/t-rec-q.931/e
[4] "H.225.0 : Call signalling protocols and media stream packetization for packet-based multimedia communication systems," http://www.itu.int/rec/T-REC-H.225.0/e
[5] "H.245 : Control protocol for multimedia communication," http://www.itu.int/rec/T-REC-H.245/e

**อนุวัตร์ สมบุญ** วศ.ม. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าฯลาดกระบัง 2005 งานวิจัยที่สนใจ Unified Communication, Network Protocols และ Network Packet Analysis

**พรพิมล รามัญอุดม** วท.ม. มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ 2014 งานวิจัยที่สนใจ Network Protocols, Human Computer Interaction และ Usability Testing

**บุญชัย งามวงศ์วัฒนา** วศ.บ. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าฯลาดกระบัง 1994 งานวิจัยที่สนใจ Network Design, Network Protocols, และ Multimedia Communication

**บทความวิจัย**

การประชุมวิชาการ งานวิจัยและพัฒนาเชิงประยุกต์ ครั้งที่ 8

*8th ECTI-CARD 2016, Hua Hin, Thailand*

# สังคมติวเตอร์ออนไลน์บนแอนดรอยด์

# Tutor Community on Android

**เนื่องวงศ์ ทวยเจริญ พีรพล โพธิ์ทัย และ พิเชฐ จรีรัตนชาติ**

สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

110/1-4 ถนนประชาชื่น แขวงทุ่งสองห้อง เขตหลักสี่ กรุงเทพฯ 10120 โทรศัพท์ 02-954-7300 ต่อ 839 E-mail: nuengwong.tun@dpu.ac.th

## บทคัดย่อ

บทความนี้กล่าวถึงการพัฒนาแอปพลิเคชันบนแอนดรอยด์ที่จัดทำขึ้นเพื่ออำนวยความสะดวกในการนัดติวระหว่างรุ่นพี่และรุ่นน้อง เนื่องจากมีการนัดติวในรายวิชาต่างๆระหว่างรุ่นพี่กับรุ่นน้องอยู่เป็นประจำ บางครั้งอาจมีการสื่อสารข้อมูลที่ผิดพลาด ไม่ว่าจะเป็นเรื่องสถานที่ เวลา หรือบทเรียนที่จะติวกัน หรือบางครั้งมีการสื่อสารที่ไม่ทั่วถึง เราจึงพัฒนาแอปพลิเคชันบนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ ชื่อว่า Tutor Community on Android ขึ้น โดยใช้ภาษา JAVA และ XML ในการพัฒนาตัวแอปพลิเคชัน ใช้ภาษา PHP ในการทำเว็บเซอร์วิส และใช้ภาษา SQL ในการติดต่อกับฐานข้อมูล โดยใช้ GCM ในการแจ้งเตือน แอปพลิเคชันนี้จะช่วยให้การนัดติวกันระหว่างรุ่นพี่และรุ่นน้องทำได้ง่ายขึ้น ถูกต้อง และทั่วถึง โดยผู้ใช้สามารถนัดติวได้โดยระบุวัน เวลา สถานที่ และวิชาที่ต้องการจะติว ผู้ใช้สามารถเพิ่มรายชื่อเพื่อนที่จะติวพร้อมกันเข้าไปได้ ผู้ใช้สามารถพูดคุยกับคนที่อยู่ในกลุ่มการติวนั้นๆได้ ผู้ใช้ที่เป็นรุ่นน้องสามารถร้องขอไปที่รุ่นพี่ได้ว่าต้องการรุ่นพี่คนใดมาติว และสามารถเข้าไปดูข้อมูลของพี่แต่ละคนพร้อมทั้งให้คะแนนพี่ติวได้ ส่วนผู้ใช้ที่เป็นรุ่นพี่ ก็สามารถเข้าไปดูข้อมูลและให้คะแนนรุ่นน้องที่มาติวได้ด้วย ว่ามีความตั้งใจเข้าติวเพียงใด ผู้ใช้สามารถเข้าไปดูประวัติการติวย้อนหลังและแสดงความคิดเห็นเกี่ยวกับการติวครั้งนั้นๆได้ เพื่อนำไปปรับปรุงในการติวครั้งต่อ ๆ ไป ผลการทดสอบระบบพบว่าระบบสามารถทำงานได้ถูกต้อง และรับการแจ้งเตือนผ่าน GCM ได้ 100% รวมทั้งได้คะแนนความพึงพอใจเฉลี่ยที่ 4.03

คำสำคัญ: เครือข่ายสังคม, ติว, แอนดรอยด์

## Abstract

This article describes an Android application facilitating the tutorial session between senior students and junior students. There are many tutorial sessions between senior and junior students regularly. Sometimes there are some communication errors, such as location, time, or tutorial topic. Furthermore, the communication cannot reach all related students. This causes problems frequently. Therefore, we develop an Android application, called Tutor Community on Android. We use JAVA and XML to develop the application and using PHP language for its web services, SQL to connect with the system database, and GCM for notification. This application can help setting up tutorial sessions between seniors and juniors easier, more accurate, and more widespread. Users can request a tutorial session by date, time, place, and subject that they want. Users can add friends to attend the tutorial together. Users can post an announcement in the tutorial session. Juniors can also request for a tutorial session with a specific Senior. Juniors can see information about seniors and give a rating to them. Like Juniors, Seniors can see information about juniors and give a rating to them too. Users can view a history of previous tutorials and comments about the tutorial at any time for improvement. The experimental results show that the application can work correctly, receive notifications from GCM correctly 100%, and received satisfaction rating of 4.03 from 5.

Keywords: social network, tutor, Android

## 1. บทนำ

ในการเรียนในมหาวิทยาลัย เน้นการเรียนการสอนที่นักศึกษาต้องค้นคว้าหาความรู้ด้วยตนเองเป็นส่วนใหญ่ ทำให้นักศึกษาต้องมีความรับผิดชอบในการเรียนรู้ด้วยตนเอง โดยมีอาจารย์เป็นผู้แนะนำแนวทางการหาความรู้ ทำให้การเรียนในมหาวิทยาลัย จะมีการติวกันในกลุ่มนักศึกษาขึ้นเป็นประจำ โดยอาจเป็นการติวในกลุ่มเพื่อน หรืออาจเป็นการติวระหว่างรุ่นพี่ที่เรียนผ่านมาแล้วและรุ่นน้องก็ได้ อย่างไรก็ตาม การติวกันระหว่างรุ่นพี่รุ่นน้อง มักเป็นการติวที่มีประสิทธิผลที่ดีกว่า เนื่องจากรุ่นพี่ซึ่งเรียนวิชานั้น ๆ ผ่านมาแล้ว สามารถให้คำแนะนำรุ่นน้องได้ดีกว่าเพื่อนรุ่นเดียวกัน เพราะสามารถระบุเนื้อหาที่สำคัญ และมองเห็นภาพรวมของความรู้ที่จะนำไปใช้ต่อไปได้ดีกว่ารุ่นน้อง

อย่างไรก็ตาม การติวโดยรุ่นพี่มีข้อจำกัดหลายอย่าง เช่น รุ่นน้องไม่รู้จักรุ่นพี่ที่เรียนดี ทำให้ไม่กล้าไปขอให้รุ่นพี่มาช่วยติว หรือรุ่นน้องจัดกลุ่มติวและนัดหมายรุ่นพี่ได้ แต่ก็ไม่ได้ประกาศให้ทั่วถึง ทำให้รุ่นน้องที่ไม่สนิทสนมกันพลาดการติวเหล่านี้ไปได้ หรืออาจมีการสื่อสารที่ผิดพลาด เช่น เวลา สถานที่ หรือบทเรียนที่จะติว เป็นต้น ทางผู้พัฒนาโปรแกรมเองก็มีปัญหาเรื่องการนัดติวกับรุ่นน้องอยู่บ่อยครั้ง เช่น นัดติวแล้วน้องไม่มา เลื่อนเวลาติว เอกสารหรืออุปกรณ์ที่จะต้องนำมาติว หรือมีการเปลี่ยนสถานที่ ซึ่งบางครั้งไม่สามารถแจ้งไปที่รุ่นน้องได้อย่างทั่วถึง

ผู้พัฒนาจึงได้มีแนวคิดในการพัฒนาแอปพลิเคชันสำหรับโทรศัพท์มือถือที่ใช้ระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ เพื่อแก้ปัญหาในการสื่อสารระหว่างรุ่นพี่และรุ่นน้องเพื่อการติวโดยเฉพาะขึ้น โดยแอปพลิเคชันนี้มีชื่อว่า Tutor Community on Android และใช้ภาษา JAVA, XML, PHP และ SQL ในการพัฒนา แอปพลิเคชันนี้สามารถสร้างกลุ่มติวโดยการนัดหมายวัน เวลา สถานที่ และร้องขอรุ่นพี่ที่อาจารย์คัดเลือกไว้แล้วให้มาเป็นติวเตอร์ได้ โดยรุ่นน้องไม่จำเป็นต้องรู้จักสนิทสนมกับรุ่นพี่ เมื่อสร้างกลุ่มติวแล้ว รุ่นน้องสามารถเพิ่มเพื่อนเข้ามาในกลุ่มติว หรือร้องขอเพื่อเข้าร่วมกลุ่มติวของคนอื่น และโพสข้อความลงในกลุ่มติวเพื่อสื่อสารก่อนการติวได้ รุ่นพี่สามารถตอบรับหรือปฏิเสธการติวได้ โดยโปรแกรมจะแจ้งเตือนเหตุการณ์ต่าง ๆ เหล่านี้ผ่าน GCM ส่งตรงไปยังโทรศัพท์ของผู้เกี่ยวข้องทุกคน และเมื่อเสร็จสิ้นการติว ทั้งรุ่นพี่และรุ่นน้องสามารถให้คะแนนกันได้ ส่วนอาจารย์ผู้ดูแลสามารถเข้ามาตรวจสอบกลุ่มติวได้ว่ามีการติวเกิดขึ้นหรือไม่อย่างไร ทำให้อาจารย์สามารถดูแลนักศึกษาได้ทั่วถึงยิ่งขึ้น

## 2. ทฤษฎีและงานที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 GCM

GCM [1] ย่อมาจาก Google Cloud Messaging เป็นระบบรับ-ส่งข้อความที่ให้บริการโดย Google เพื่อให้นักพัฒนาสามารถสั่งการให้แอปพลิเคชันบนอุปกรณ์เคลื่อนที่สามารถส่งข้อความออกได้และรับข้อความต่าง ๆ เข้าสู่อุปกรณ์ ได้ด้วยเช่นกัน ตัวอย่างเช่น นักพัฒนาสามารถส่งข้อความที่มีขนาดข้อมูล 4KB ไปสู่แอปพลิเคชันของตนที่อยู่บน อุปกรณ์ Android ทุกเครื่องได้ โดยการส่งข้อความนั้นผ่านเครื่องเซิร์ฟเวอร์ของ Google ที่ติดตั้ง GCM เอาไว้ ซึ่งข้อความที่ GCM อนุญาตให้ส่งได้นั้นอาจมีองค์ประกอบเป็นลิงก์ ข้อความโฆษณา หรือคำสั่งอื่น ๆ

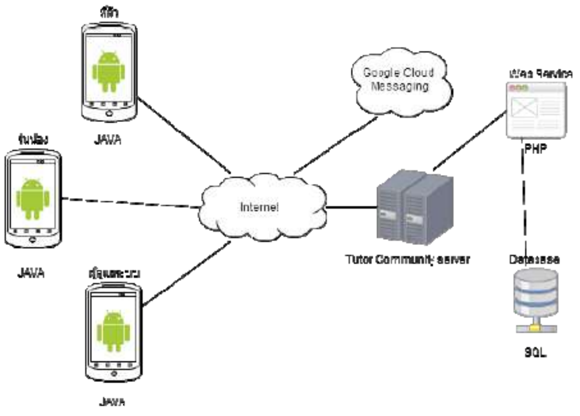
### 2.2 งานที่เกี่ยวข้อง

มีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาระบบด้วย GCM ดังนี้ งานวิจัย [2] ได้ทำการศึกษาและทดสอบประสิทธิภาพทางเวลาของบริการ GCM ในการส่งข้อความไปยังผู้รับมากกว่า 1,000 คน ในเวลาเดียวกันภายใน 10 วินาที พบว่าข้อความถูกส่งมาถึงผู้รับจำนวนมากได้สำเร็จในช่วงระยะเวลาที่กำหนดภายใต้สถานการณ์ทดสอบต่าง ๆ กว่า 80% ในขณะที่ผู้รับออนไลน์ และ 40% ในขณะที่ออฟไลน์ ดังนั้นบริการ GCM จึงพอเพียงกับการใช้ในการส่งข้อความไปยังโทรศัพท์มือถือของผู้รับจำนวนมาก

งานวิจัย [3] ได้พัฒนาระบบแจ้งเตือนข้อขัดข้องของอุปกรณ์ในระบบสื่อสารของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ผ่านแอนดรอยด์แอปพลิเคชั่นโดยการใช้ GCM จากการทดสอบส่งข้อความแจ้งเตือนไปยังโทรศัพท์แอนดรอยด์ 5 เครื่อง พบว่าข้อความที่ถูกส่งจากเซิร์ฟเวอร์ส่งไปถึงผู้รับ 100% และใช้เวลาเฉลี่ยในการรับข้อความเพียง 2.822 วินาทีเท่านั้น ซึ่ง GCM สามารถใช้ในระบบการแจ้งเตือนนี้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

## 3. การออกแบบและพัฒนาระบบ

### 3.1 ภาพรวมของระบบ




**รูปที่ 1** ภาพรวมของระบบ

ภาพรวมของระบบแสดงในรูปที่ 1 แอปพลิเคชันบนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ถูกพัฒนาขึ้นโดยใช้ภาษา JAVA และ XML เพื่อติดต่อกับเครื่องแม่ข่ายที่เก็บเว็บเซอร์วิสและฐานข้อมูล โดยใช้ภาษา PHP พัฒนาเว็บเซอร์วิส และใช้ ภาษา SQL เพื่อติดต่อฐานข้อมูล นอกจากนี้ยังใช้ GCM หรือ Google Cloud Messaging ในการแจ้งเตือนไปยังโทรศัพท์ของผู้ใช้

ในระบบประกอบด้วยผู้ใช้ 3 ระดับได้แก่ รุ่นน้อง รุ่นพี่ และอาจารย์ผู้ดูแล โดยผู้ใช้ทั้ง 3 ระดับสามารถใช้งานระบบผ่านโทรศัพท์เคลื่อนที่ระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ โดยรุ่นน้องสามารถเปิดกลุ่มติว เชิญเพื่อนเข้ากลุ่มติว เชิญรุ่นพี่มาเป็นคนติว สมัครเข้ากลุ่มติวของคนอื่น โพสข้อความในกลุ่มติว และให้คะแนนความพึงพอใจรุ่นพี่

หลังการติวเสร็จสิ้นได้ โดยจะมีการแจ้งเตือนเหตุการณ์ต่าง ๆ ในกลุ่มติว ผ่าน GCM ส่วนรุ่นพี่จะได้รับคำเชิญผ่าน GCM สามารถรับหรือปฏิเสธการเป็นพี่ติวได้ โพสข้อความในกลุ่มติว และให้คะแนนความพึงพอใจรุ่นน้องหลังจากการติวเสร็จสิ้นได้ ส่วนอาจารย์ผู้ดูแล สามารถอนุมัติรุ่นพี่ที่มีคุณสมบัติเป็นพี่ติวได้ และเข้าดูข้อมูลกลุ่มติวแต่ละกลุ่ม และคะแนนความพึงพอใจของทั้งรุ่นพี่และรุ่นน้อง เพื่อดูว่ามีการติวเกิดขึ้นจริงหรือไม่

### 3.2 การทำงานของระบบแจ้งเตือนด้วย GCM

แอปพลิเคชันมีการแจ้งเตือนรุ่นพี่ เมื่อรุ่นน้องเชิญรุ่นพี่มาเป็นผู้ติวให้ แจ้งเตือนเพื่อน เมื่อมีคำเชิญเข้ากลุ่มติว และแจ้งเตือนผู้เกี่ยวข้องทั้งหมด เมื่อมีการแก้ไขรายละเอียด หรือ มีการ โพสข้อความในกลุ่มติวที่สร้างไว้แล้ว ซึ่งแอปพลิเคชันจะส่งการแจ้งเตือนเหล่านี้ผ่าน GCM ทั้งหมด เนื่องจาก GCM สามารถส่งข้อความให้กับโทรศัพท์จำนวนมากได้อย่างรวดเร็ว

การส่งข้อความแจ้งเตือนจากเครื่องเซิร์ฟเวอร์ด้วย GCM ไปยังเครื่องแอนดรอยด์จะส่งในรูปแบบของ JSON[4] ซึ่งเป็นรูปแบบที่สำหรับใช้ในการแลกเปลี่ยนข้อมูลที่ซับซ้อนให้อยู่ในรูปข้อความธรรมดา ไปยังส่วนติดต่อที่กูเกิ้ลเตรียมไว้ผ่าน GCM HTTP Connection Server ที่เป็นตัวกลางในการส่งข้อความระหว่างเครื่องแม่ข่ายที่ใช้ประมวลผลข้อความกับโทรศัพท์ของผู้ใช้ การพัฒนาเริ่มต้นที่แอนดรอยด์แอปพลิเคชันในโทรศัพท์ของผู้ใช้ต้องอนุญาตให้มีการรับข้อความจาก GCM ที่กำหนดในไฟล์ Manifest.xml และในคลาสหลักของแอนดรอยด์แอปพลิเคชันจะมีการกำหนด SENDER_ID ที่ผู้พัฒนาได้ลงทะเบียนโปรเจ็คกับทางกูเกิ้ลไว้แล้ว จากนั้นเครื่องแอนดรอยด์จึงสามารถลงทะเบียนรับ Registration ID ของเครื่องแอนดรอยด์เครื่องนั้นจากคลาส GCMRegistrar ของกูเกิ้ลได้ เมื่อมีข้อมูล SENDER_ID ของแอปพลิเคชันและ Registration ID ของทุกเครื่องแล้ว ไฟล์ PHP ในเครื่องแม่ข่ายเว็บจึงสามารถส่งการแจ้งเตือนไปยัง GCM Server ให้ส่งข้อความแจ้งเตือนไปรูปแบบ JSON ยังเครื่องแอนดรอยด์ได้

### 3.3 ข้อจำกัดของระบบ

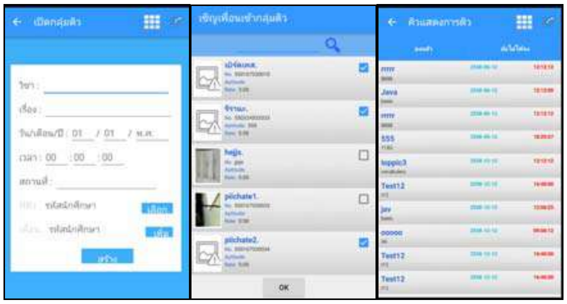
ระบบที่พัฒนาขึ้นสามารถรองรับการทำงานของโทรศัพท์เคลื่อนที่และแท็บเล็ตที่ติดตั้งระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์เวอร์ชัน 4.1 ขึ้นไป และต้องมีการเชื่อมต่อกับอินเทอร์เน็ต

## 4. ผลการทดสอบระบบ

### 4.1 ผลการทดสอบระบบตามหน้าที่

หลังจากพัฒนาโปรแกรมเสร็จสมบูรณ์ ผู้พัฒนาได้ทดสอบระบบที่ได้พัฒนาขึ้น โดยทำการทดสอบระบบกับอุปกรณ์ 2 รุ่น ได้แก่ Tablet Asus fonepad 7 ที่ใช้ Android version 4.4 KitKat และ Smart phone Galaxy s6 edge ที่ใช้ Android version 5.0 Lollipop จากการทดสอบระบบพบว่า เมื่อนำไปใช้งานบนแท็บเล็ตที่มี ขนาดหน้าจอ 1280*800 พิคเซล จะมีการแสดงผลต่างจากการนำไปใช้งานบนสมาร์ทโฟน ที่มีขนาดหน้าจอ 2560*1440 เล็กน้อย เนื่องจากไม่ได้ออกแบบเรื่องของขนาดหน้าจอไว้ตั้งแต่ต้น ทำให้มีผลต่อความสวยงามเล็กน้อย แต่ไม่ส่งผลต่อการทำงานหลักของระบบ ถึงแม้ว่าจะใช้ระบบปฏิบัติการต่างรุ่นกันก็ตาม ส่วนการส่งข้อความแจ้งเตือนผ่าน GCM พบว่าสามารถรับข้อความแจ้งเตือนได้ 100%

รูปที่ 2 (ก) แสดงหน้าจอเพื่อให้นักศึกษาเปิดกลุ่มติว โดยนักศึกษาต้องกรอกรายละเอียดการเปิดกลุ่มติว ได้แก่วัน เวลา สถานที่ วิชาและเรื่องที่ต้องการเปิดกลุ่มติว ซึ่งนักศึกษาสามารถส่งคำเชิญรุ่นพี่ให้เป็นพี่ติว และส่งคำเชิญเพื่อนให้เข้าร่วมกลุ่มติวได้ ดังแสดงในรูปที่ 2 (ข) กลุ่มการติวที่สร้างขึ้นจะถูกนำไปแสดงในรายการคิวการติว ดังรูปที่ 2 (ค) ซึ่งนักศึกษาทุกคนสามารถมองเห็นและสมัครเข้าร่วมการติวได้ด้วยตนเอง



(ก) (ข) (ค)

**รูปที่ 2** หน้าจอ (ก) เปิดกลุ่มติว (ข) เชิญเพื่อนเข้ากลุ่มติว (ค) คิวการติว

(ก) (ข) (ค)

**รูปที่ 3** หน้าจอ (ก) เชิญพี่ติว (ข) ดูรายชื่อสมาชิกกลุ่มติว (ค) รายละเอียดสมาชิกในกลุ่มติว

ส่วนรุ่นพี่ที่รุ่นน้องเชิญให้เป็นผู้ติว จะได้รับการแจ้งเตือนผ่าน GCM และเมื่อกดที่การแจ้งเตือน แอปพลิเคชันจะแสดงหน้าจอดังรูปที่ 3 (ก) เพื่อให้รุ่นพี่ตรวจสอบรายละเอียดของกลุ่มติว และสามารถเลือกได้ว่าจะตอบรับคำเชิญหรือไม่ นอกจากนี้ รุ่นพี่ยังสามารถดูรายชื่อรุ่นน้องในกลุ่มติว ดังรูปที่ 3 (ข) และดูรายละเอียดของรุ่นน้องแต่ละคนได้ดังรูปที่ 3 (ค) และรุ่นพี่และรุ่นน้องในกลุ่มติวสามารถสนทนาผ่านแอปพลิเคชันได้อีกด้วย ซึ่งอาจารย์ผู้ดูแลนักศึกษาสามารถเข้ามาตรวจสอบผลการติวของแต่ละกลุ่มติวได้ผ่านห้องสนทนาเหล่านี้

## 4.2 ผลการสำรวจความพึงพอใจของผู้ใช้ต่อระบบ

ตารางที่ 1 แสดงผลสำรวจความพึงพอใจของผู้ใช้ต่อแอปพลิเคชัน Tutor Community ที่พัฒนาขึ้นจำนวน 20 คน แบ่งเป็นผู้ชาย 13 คน ผู้หญิง 7 คน ที่นัดติวหนังสือเฉลี่ย 1-2 ครั้งต่อสัปดาห์ โดย 1 คะแนนหมายถึง น้อยที่สุด และ 5 คะแนนหมายถึง มากที่สุด โดยคะแนนเฉลี่ยรวมอยู่ที่ 4.03 คะแนน หัวข้อที่ได้คะแนนน้อยที่สุดคือความง่ายในการใช้งานและ หัวข้อที่ได้คะแนนมากที่สุดคือข้อมูลถูกต้อง

ตารางที่ 1 ผลสำรวจความพึงพอใจการใช้งานแอปพลิเคชัน

| ข้อ | คำถาม | เฉลี่ย |
|---|---|---|
| 1. | คุณคิดว่า Icon สอดคล้องกับลักษณะกับการใช้งานใช่หรือไม่ | 4 |
| 2. | คุณคิดว่าสีพื้นหลัง สีตัวอักษร และปุ่มใช้งานเหมาะสมกันใช่หรือไม่ | 4.2 |
| 3. | คุณคิดว่าหน้าจอการใช้งานของแอปพลิเคชันเข้าใจง่ายใช่หรือไม่ | 4.3 |
| 4. | แอปพลิเคชันทำให้การนัดติวง่ายขึ้นใช่หรือไม่ | 3.8 |
| 5. | แอปพลิเคชัน สามารถนำไปใช้งานได้จริง ใช่หรือไม่ | 4.1 |
| 6. | คุณคิดว่าฟังก์ชัน ในแอปพลิเคชันครบถ้วน ใช่หรือไม่ | 4.2 |
| 7. | คุณคิดว่าข้อมูล ในแอปพลิเคชันถูกต้อง ใช่หรือไม่ | 4.5 |
| 8. | คุณคิดว่า แอปพลิเคชันนี้ มีประโยชน์ต่อการนัดติว | 3.8 |
| 9. | คุณคิดว่า ประสิทธิภาพโดยรวมของแอปพลิเคชันอยู่ในระดับใด | 3.9 |
| 10. | คุณคิดว่าความง่ายในการใช้งานแอปพลิเคชันอยู่ในระดับใด | 3.5 |

## 5. สรุป

เนื่องจากการเรียนในมหาวิทยาลัยเน้นการเรียนรู้ด้วยตัวนักศึกษาเอง ทำให้มีการจัดติวระหว่างกลุ่มนักศึกษาหลายครั้งต่อปี ไม่ว่าจะเป็นระหว่างเพื่อนรุ่นเดียวกัน หรือระหว่างรุ่นพี่และรุ่นน้อง อย่างไรก็ตาม การจัดติวในปัจจุบันมีปัญหาอยู่มากด้านการกระจายข่าวสารให้ทั่วถึง และการสื่อสารระหว่างรุ่นพี่รุ่นน้องที่ไม่สนิทสนมกัน นอกจากนี้นักศึกษาในปัจจุบันยังใช้งานโทรศัพท์มือถือที่ใช้ระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์จำนวนมาก เราจึงพัฒนาแอนดรอยด์แอปพลิเคชัน Tutor community ขึ้น เพื่อแก้ปัญหาในการกระจายข่าวสารและติดต่อสื่อสารกันในกลุ่มติว ทั้งในเรื่องของเวลา สถานที่ หรือหัวข้อที่จะติวกันเป็นต้น โดยแอปพลิเคชันนี้สามารถเปิดกลุ่มติว ดูรายการกลุ่มติวต่างๆ เข้าหรือออกจากกลุ่มติว ดูรายการการติวต่างๆที่ผ่านมา มีการสนทนาภายในกลุ่มติวและแจ้งเตือนผู้เกี่ยวข้องได้อย่างถูกต้อง ผลการทดสอบระบบพบว่าแอปพลิเคชันสามารถทำงานได้อย่างถูกต้อง และแจ้งเตือนได้ถูกต้อง 100% โดยมีคะแนนความพึงพอใจของผู้ใช้เฉลี่ยอยู่ที่ 4.03 คะแนน

## เอกสารอ้างอิง

[1] AndroidBegin.com. (May, 2013). “Android Google Cloud Messaging GCM using PHP Tutorial” [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก: http://www.androidbegin.com/tutorial/android-google-cloud-messaging-gcm-tutorial/ (สืบค้นวันที่ 20 สิงหาคม 2558)

[2] Yilmaz, Y.S.; Aydin, B.I.; Demirbas, M., "Google cloud messaging (GCM): An evaluation," Global Communications Conference (GLOBECOM), 2014 IEEE , vol., no., pp.2807,2812, 8-12 Dec. 2014

[3] กรวรรธน์ วุฒิวัณณ และ เนื่องวงศ์ ทวยเจริญ. "ระบบการแจ้งเตือนข้อขัดข้องอุปกรณ์ในระบบสื่อสารสำหรับการไฟฟ้าฝ่ายผลิต แห่งประเทศไทยผ่านโทรศัพท์เคลื่อนที่ระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์", ECTI-CARD 2015, จ.ตรัง, 8- 10 ก.ค. 58.

[4] Introducing JSON, เข้าถึงได้จาก http://json.org (สืบค้นเมื่อ 24 ก.พ. 2558)

**บทความวิจัย**

การประชุมวิชาการ งานวิจัยและพัฒนาเชิงประยุกต์ ครั้งที่ 8

*8th ECTI-CARD 2016, Hua Hin, Thailand*

# ระบบเก็บรวบรวมข้อมูลอุทกแบบกึ่งอัตโนมัติผ่านสมาร์ทโฟน

## Semi-Automatic Hydrological Data Collection System via Smartphone

ดนัย วิไลเอก[1], อภิรักษ์ จันสร้าง[1], อนันต์ ผลเพิ่ม[1], สุรพันธ์ อินแก้ว[2] และ ชัยพร ใจแก้ว[1]*

[1]ห้องปฏิบัติการเครือข่ายไร้สาย ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

[2]ส่วนอุทกวิทยา สำนักบริหารจัดการน้ำและอุทกวิทยา กรมชลประทาน

E-mail: danai.wilaiek@gmail.com, aphirak.j@ku.ac.th, anan.p@ku.ac.th, punpun02@gmail.com, chaiporn.j@ku.ac.th*

## บทคัดย่อ

กรมชลประทานได้ทำการเก็บข้อมูลของลำน้ำต่างๆมาเป็นเวลานานแล้ว ซึ่งรูปแบบหลักที่ทำคือบันทึกด้วยกระดาษ และส่งข้อมูลผ่านทางโทรศัพท์ หรือใช้โปรแกรมสนทนา ทำให้เกิดปัญหามากมาย เช่นความล่าช้า ข้อมูลสูญหาย รวมถึงไม่สะดวกในการจัดการและดูแล บทความนี้จึงนำเสนอระบบเก็บรวบรวมข้อมูลอุทกแบบกึ่งอัติโนมัติผ่านสมาร์ทโฟน เพื่อช่วยอำนวยความสะดวกให้แก่เจ้าหน้าที่ของกรมชลประทาน โดยโปรแกรมประยุกต์มีหน้าเก็บข้อมูลอยู่ 4 รูปแบบ คือ ระดับน้ำ ปริมาณน้ำ ปริมาณน้ำฝน และจุดสำรวจใหม่ โดยในหน้าของระดับน้ำจะมีการเก็บข้อมูลสองวิธีคือ วัดด้วยเสาระดับและอ่านค่าด้วยสายตา แล้วบันทึกด้วยโปรแกรมประยุกต์ และวัดโดยการอ่านค่าจากอุปกรณ์ตรวจวัดระดับน้ำ ซึ่งโปรแกรมประยุกต์บนสมาร์ทโฟนจะสามารถรับค่าจากอุปกรณ์ตรวจวัดผ่านทางบลูทูธอัตโนมัติเมื่อทำการเชื่อมต่อกันเอาไว้ ส่วนหน้าของปริมาณน้ำ และปริมาณน้ำฝนจะมีการเก็บค่าจากการจดบันทึกเพียงอย่างเดียว ในส่วนของสถานที่จะเป็นหน้าสำหรับการเพิ่มสถานีใหม่ และหาพิกัดของสถานีใหม่ เมื่อบันทึกค่าต่างๆเสร็จสิ้นแล้วเจ้าหน้าที่สามารถส่งข้อมูลทั้งหมดเข้าสู่ระบบได้ทันทีโดยไม่ต้องทำงานหลายขั้นตอน จากการทดสอบระบบพบว่าฟังก์ชันต่างๆจะช่วยให้เจ้าหน้าที่มีความสะดวกมากยิ่งขึ้น เนื่องจากสามารถช่วยลดระยะเวลาในการจดบันทึกข้อมูล

**คำสำคัญ:** อุปกรณ์ตรวจวัด, บลูทูธ

**Abstract**

The Royal Irrigation Department (RID) has been collecting hydrological data from various streams and rivers for a long time. The data collection process is mainly done by taking notes on paper, which is quite dated and cumbersome. Recently, data are now reported by phone calls and chat applications, but it still takes a lot of time and not convenient to manage. This article presents the semi-automatic hydrological data collection system via smart phone, which was developed to facilitate the data collection process for RID staff. The application supports four kinds of data collection: water level, water quantity, precipitation, and survey location. The water-level page allows collection of both manual reading by sight and automatic reading via Bluetooth. The other three pages support manual measurements only. Evaluation shows that the system can ease the staff operation by reducing the overall data recording time.

**Keywords:** sensor, Bluetooth, application, RID, staff gauge

## 1. บทนำ

เนื่องจากในปัจจุบัน ทางกรมชลประทานได้มีการตรวจวัดข้อมูลต่างๆ เช่น ระดับน้ำ ปริมาณน้ำ และปริมาณน้ำฝน เป็นต้น [1] เพื่อนำข้อมูลมาประมวลผล และทำการวิเคราะห์เพื่อช่วยในการตัดสินใจสำหรับการบริหารทรัพยากรน้ำในแต่ละพื้นที่ ซึ่งในการจดบันทึกข้อมูลต่างๆเหล่านี้ ปัจจุบันกรมชลประทานได้ใช้วิธีในการจดบันทึกโดยตรงด้วยกระดาษ และส่งข้อมูลเหล่านั้นผ่านหลายช่องทาง เช่น ทางโทรศัพท์ ทางโปรแกรมสนทนา ให้แก่เจ้าหน้าที่ที่เป็นคนคอยบันทึกข้อมูลเข้าสู่ระบบอีกที ซึ่งมีข้อเสียมากมาย เช่นความล่าช้าของข้อมูลเนื่องจากต้องบันทึกข้อมูลหลายทอด รวมถึงเกิดความสับสนเพราะมีหลากหลายช่องทางในการส่งข้อมูล จากปัญหาที่เกิดขึ้นจึงเกิดแนวคิดที่จะพัฒนาโปรแกรมประยุกต์บนสมาร์ทโฟน เพื่ออำนวยความสะดวกและลดขั้นตอนในการบันทึกข้อมูล โดยโปรแกรมประยุกต์ที่จะทำนั้นจะต้องสะดวกและลดขั้นตอนรวมถึงเวลาในการเก็บข้อมูล จึงมีแนวคิดที่จะนำเทคโนโลยีบลูทูธ (Bluetooth) มาประยุกต์ใช้งาน เนื่องจากเทคโนโลยีดังกล่าวมีสมาร์ทโฟนเป็นจำนวนมากที่รองรับการใช้งานบลูทูธ การรับข้อมูลได้อย่างอัตโนมัติผ่านทางบลูทูธ ช่วยให้การเก็บข้อมูลลดขั้นตอนและสะดวกยิ่งขึ้น

## 2. งานและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

การพัฒนาโปรแกรมประยุกต์ จะใช้เทคโนโลยีบลูทูธ (Bluetooth) [2] ซึ่งเป็นการสื่อสารไร้สายแบบสองทางในระยะใกล้ โดยใช้มาตรฐาน IEEE 802.15.1 [3] ซึ่งใช้คลื่นวิทยุระยะสั้นในการสื่อสาร

อุปกรณ์ตรวจวัดมีการส่งข้อมูลโดยใช้เทคโนโลยี SDI-12 (Serial Digital Interface at 1200 baud) [4] ซึ่งใช้รูปแบบการสื่อสาร

แบบอะซิงโครนัส มีการใช้พลังงานต่ำเหมาะกับการใช้งานด้านการตรวจวัด สามารถใช้เพื่อส่งข้อมูลต่างๆไปเก็บไว้ที่เครื่องบันทึกข้อมูล ในส่วนของโครงงานมีการติดต่อระหว่างอุปกรณ์ตรวจวัดและบลูทูธ จึงต้องใช้อุปกรณ์ที่เป็นตัวกลางในการติดต่อ นั่นคือไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยใช้ไลบลารี่ในการทำงาน เมื่ออุปกรณ์ตรวจวัดสามารถติดต่อกับบลูทูธโมดูลได้แล้ว ก็จะสามารถส่งข้อมูลผ่านบลูทูธโมดูลไปสู่บลูทูธบนสมาร์ทโฟน

ระบบเก็บข้อมูลลาดตระเวนในป่าโดยใช้การสื่อสารไร้สาย [5] เป็นระบบที่ช่วยอำนวยความสะดวกแก่หหน่วยลาดตระเวนโดยสามารถลดระยะเวลาในการจดบันทึก ด้วยการใช้โปรแกรมประยุกต์แทนที่การจดด้วยกระดาษ รวมถึงมีการใช้บลูทูธในการรวบรวมข้อมูลจากโหนดต่างๆที่ติดตั้งไว้ในป่า โดยนำส่วนของการติดต่อไร้สายด้วยบลูทูธ และการพัฒนาโปรแกรมประยุกต์มาประยุกต์ใช้เข้ากับโครงงานนี้

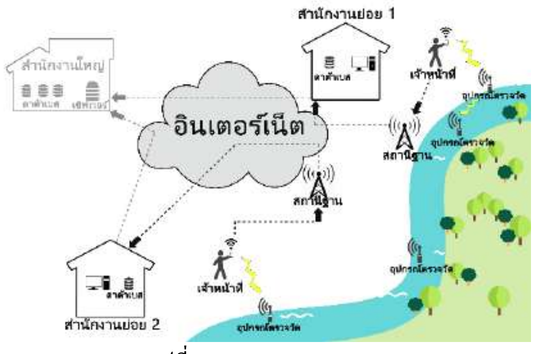
อุปกรณ์ตรวจวัดระดับน้ำเป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับตรวจวัดระดับน้ำดังรูปที่3 ซึ่งการทำงานจะอาศัยการทำงานของลูกลอยเพื่อใช้วัดระดับน้ำ โดยค่าที่วัดได้จะส่งออกมาเป็น SDI-12 หรือ 4-20 mA เพื่อส่งข้อมูลออกไป หรือสามารถนำมาแสดงผลบนหน้าจอของอุปกรณ์ตรวจวัดก็ได้ ซึ่งเครื่องบันทึกข้อมูลจะทำงานโดยใช้พลังจากแบตเตอรี่ แบตเตอรี่ที่ใช้จะมีการเติมพลังงานด้วยการใช้พลังแสงอาทิตย์เพื่อให้สามารถใช้ได้อย่างต่อเนื่อง

## 3. รายละเอียดการพัฒนา

การพัฒนาระบบจะพัฒนาส่วนติดต่อผู้ใช้ในรูปแบบของโปรแกรมประยุกต์บนสมาร์ทโฟนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์และใช้ไมโคร-คอนโทรลเลอร์ในการรับส่งข้อมูลจากอุปกรณ์ตรวจวัด

### 3.1 ภาพรวมของระบบ

ภาพรวมของระบบเก็บข้อมูลและส่งข้อมูลผ่านสมาร์ทโฟน แสดงดังรูปที่ 1




รูปที่ 1. ภาพรวมของระบบ

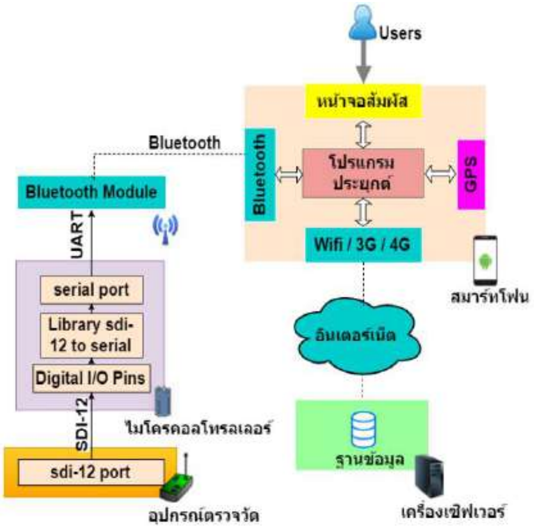
เมื่อเจ้าหน้าที่ติดตั้งโปรแกรมประยุกต์ลงในสมาร์ทโฟน จะสามารถจดบันทึกข้อมูลในส่วนของการอ่านเสาระดับน้ำได้ทันที ดังรูปที่ 2 และสามารถรับข้อมูลจากอุปกรณ์ตรวจวัด ดังรูปที่ 3 ผ่านทางโปรแกรมประยุกต์ โดยที่ไม่ต้องจดบันทึกด้วยตัวเอง เมื่อจดบันทึกเสร็จสามารถที่จะเก็บข้อมูลเอาไว้ เมื่อต้องการจะส่งก็สามารถกดส่งข้อมูลไปเก็บไว้ในระบบได้ทันที

รูปที่ 2 เสาวัดระดับน้ำ

รูปที่ 3 อุปกรณ์ตรวจวัด

### 3.2 การออกแบบและพัฒนาระบบ

การพัฒนาระบบแบ่งออกเป็น 3 ส่วนหลัก คือ (1) โปรแกรมประยุกต์บนสมาร์ทโฟน (2) ส่วนรับและส่งข้อมูลจากอุปกรณ์ตรวจวัด และ(3) ส่วนของฐานข้อมูล โดยมีองค์ประกอบของระบบดังรูปที่ 4



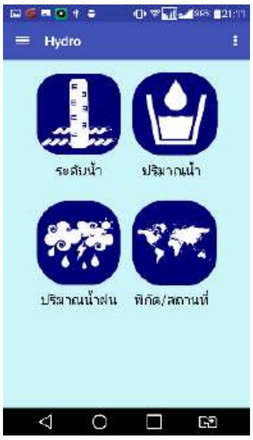
รูปที่ 4. องค์ประกอบของระบบ

*3.2.1 โปรแกรมประยุกต์บนสมาร์ทโฟน*

โปรแกรมประยุกต์บนสมาร์ทโฟนพัฒนาขึ้นเพื่อทำงานบนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ โดยแบ่งการทำงานออกเป็น 4 ฟังชันก์ คือ ส่วนวัดระดับน้ำ ส่วนวัดปริมาณน้ำ ส่วนวัดปริมาณน้ำฝน ส่วนจุดสำรวจใหม่ โดยมีอินเตอร์เฟสตามรูปที่ 5 และรูปที่ 6 โดยโปรแกรมประยุกต์จะรับข้อมูลจากผู้ใช้ทั้ง 4 ส่วน แต่จะมีส่วนของการวัดระดับน้ำจะรับค่าทั้งจากผู้ใช้และรับจากอุปกรณ์ตรวจวัด

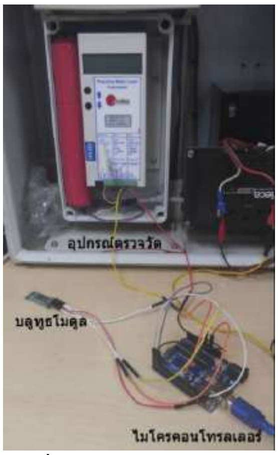
*3.2.2 ส่วนรับส่งข้อมูลจากอุปกรณ์ตรวจวัด*

ประกอบด้วยอุปกรณ์ตรวจวัด Unidata 6541c [6] , ไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Uno chipset ATmega328P [7] และ Bluetooth Module fc-114 [8] โดยอุปกรณ์ตรวจวัดจะส่งข้อมูลแบบ SDI-12 และไมโครคอนโทรลเลอร์ จะรับข้อมูลผ่านทางดิจิตอลไอโอพิน จากนั้นจะทำหน้าที่อ่านค่าจาก SDI-12 แล้วส่งค่าให้กับบลูทูธโมดูล โดยเชื่อมต่อผ่านทาง UART ดังรูปที่ 7




รูปที่ 5. หน้าหลักสำหรับเลือกใช้งานส่วนต่างๆของโปรแกรมประยุกต์

รูปที่ 6. หน้าจดบันทึกระดับน้ำ



รูปที่ 7. สถานีอุปกรณ์ตรวจวัด

*3.2.3 ส่วนของฐานข้อมูล*

ในส่วนนี้จะทำหน้าที่ในการเก็บข้อมูลที่ถูกส่งมาจากโปรแกรมประยุกต์ รวมถึงทำหน้าที่ในการส่งข้อมูลสถานีเพื่อนำไปแสดงในโปรแกรมประยุกต์ ดังรูปที่ 8

รูปที่ 8. โครงสร้างฐานข้อมูล

รูปที่ 9. สภาพแวดล้อมการทดลองที่ 4.1.1

### 3.3 ข้อจำกัดของระบบ

โปรแกรมประยุกต์สามารถทำงานได้บนสมาร์ทโฟนที่ใช้ระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ และรองรับเทคโนโลยีบลูทูธ โดยใช้ฐานข้อมูลคือ MySQL ในการเก็บข้อมูล

## 4. การทดสอบการใช้งาน

ทดสอบระบบใน 2 รูปแบบคือ (1) ทดสอบระบบในส่วนของความเร็วในการรับส่งข้อมูลระหว่างบลูทูธโมดูลกับสมาร์ทโฟน โดยสมาร์ทโฟนที่ใช้ในการทดสอบคือ LG V10 chipset Snapdragon 808 เพื่อหาเวลาที่ใช้ในการรอรับข้อมูลจากอุปกรณ์ตรวจวัด (2) ทดสอบความเร็วในการจดบันทึกระหว่างการจดด้วยกระดาษ กับการจดบันทึกด้วยโปรแกรมประยุกต์ เพื่อทดสอบว่าการใช้โปรแกรมประยุกต์จะสามารถลดเวลาในการจดบันทึกได้เมื่อเทียบกันการจดบันทึกด้วยกระดาษ

### 4.1 สภาพแวดล้อมในการทดสอบ

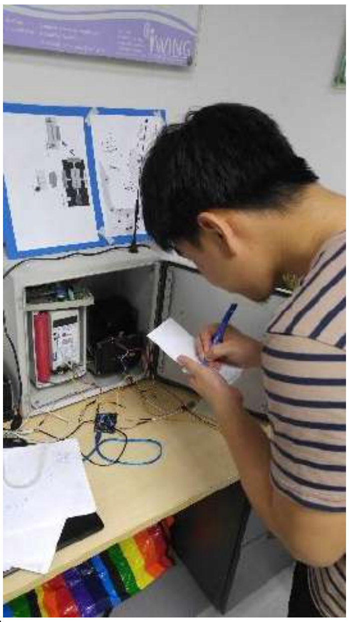
*4.1.1 การทดสอบค่าความหน่วงเวลาระหว่างสถานีตรวจวัดกับสมาร์ทโฟน*

ทดสอบโดยเชื่อมต่อสมาร์ทโฟนเข้ากับบลูทูธโมดูล แล้วจับเวลาในการรับข้อมูล ดังรูปที่ 9 โดยทำการทดลองจำนวน 10 ครั้ง

*4.1.2 ทดสอบความเร็วในการจดบันทึก*

ทดสอบโดยทดลองจดด้วยโปรแกรมประยุกต์ ดังรูปที่ 10 แล้วเทียบกับการจดโดยใช้กระดาษจด แล้วจับเวลาในการบันทึกค่าตั้งแต่เริ่มต้นจดไปจนเสร็จสิ้นการจด ดังรูปที่ 11 และรูปที่12 การทดลองจะรวมถึงการพิมพ์ข้อมูลเข้าไปสู่ฐานข้อมูล โดยทำการทดลองวิธีละ 10 ครั้ง

รูปที่ 10. สภาพแวดล้อมการจดบันทึกด้วยโปรแกรมประยุกต์



รูปที่ 11. สภาพแวดล้อมการจดบันทึกด้วยกระดาษ

**4.2 ผลการทดสอบ**

จากการทดสอบค่าความหน่วงเวลาในการรับส่งข้อมูลระหว่างสถานีตรวจวัดกับสมาร์ทโฟน ซึ่งพบว่าการรับส่งข้อมูลจะมีระยะหน่วงเวลาอยู่ระหว่าง 0.7 – 5.0 วินาที และมีระยะหน่วงเวลาโดยเฉลี่ยที่ 2.744 วินาที

จากการทดสอบความเร็วในการจดบันทึกเป็นไปตามตารางที่ 1 ซึ่งพบว่าเวลาในการจดบันทึกด้วยโปรแกรมประยุกต์มีความเร็วที่มากกว่าเมื่อเทียบกับการจดบันทึกด้วยกระดาษ

รูปที่ 12. สภาพแวดล้อมการพิมพ์ข้อมูลเข้าสู่ฐานข้อมูล

ตารางที่ 1. เวลาที่ใช้ในการจดบันทึกด้วยกระดาษเทียบกับการจดบันทึกด้วยโปรแกรมประยุกต์

| | จดบันทึกด้วยกระดาษ (วินาที) | จดบันทึกด้วยโปรแกรมประยุกต์ (วินาที) |
|---|---|---|
| ค่าเฉลี่ยเวลาในการจดบันทึก | **95.93** | **34.2** |

## 5. บทสรุป

ระบบเก็บรวบรวมข้อมูลแบบกึ่งอัตโนมัติผ่านสมาร์ทโฟนสามารถนำไปใช้เก็บข้อมูลลำน้ำได้จริง โดยการใช้สมาร์ทโฟนในการเก็บข้อมูล และเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ตรวจวัดด้วยบลูทูธใช้คาบในการรับข้อมูลประมาณ 1-5 วินาที ดังนั้นในการจดบันทึกจะมีความสะดวกสบายมากยิ่งขึ้น รวมถึงถ้าเป็นเจ้าหน้าที่ประจำที่มีการจดบันทึกซ้ำๆ ก็จะไม่จำเป็นต้องเลือกสถานที่ใหม่ทุกครั้ง ซึ่งต่างจากการจดบันทึกที่จะต้องจดสถานที่ลงไปในทุกๆครั้ง

สำหรับแนวทางในการพัฒนาต่อ สามารถพัฒนาเพิ่มเติมในส่วนของโปรแกรมประยุกต์ให้มีความหลากหลายมากยิ่งขึ้น รวมถึงพัฒนาระบบรับข้อมูลอัตโนมัติจากอุปกรณ์ตรวจวัด ในหัวข้ออื่นๆ เช่น ปริมาณน้ำฝน

## 6. กิตติกรรมประกาศ

โครงงานนี้ได้รับการอนุเคราะห์อุปกรณ์จากกรมชลประทาน

## เอกสารอ้างอิง

[1] กรมชลประทาน. www.rid.go.th/ [สืบค้นเมื่อ พฤศจิกายน 2558]

[2] บูลทูธ. https://en.wikipedia.org/wiki/Bluetooth, [สืบค้นเมื่อ ธันวาคม 2558]

[3] IEEE 802.15 WPAN Task Group 1 (TG1). http://www.ieee802.org/15/pub/TG1.html, [สืบค้นเมื่อ ธันวาคม 2558]

[4] SDI-12 A Serial-Digital Interface Standard for Microprocessor-Based Sensors Version 1.3. http://www.sdi-12.org/specification.php?fileID=1 [สืบค้นเมื่อ มกราคม 2559]

[5] ณรงค์ เสรีพุกกะณะ, ”ระบบเก็บข้อมูลลาดตระเวนในป่าโดยใช้การสื่อสารไร้สาย”, โครงงานวิศวรรมคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ, 2557 [สืบค้นเมื่อ พฤศจิกายน 2558]

[6] Manual Precision Water Level Instruments Model 6541. http://www.unidata.com.au/wp-content/uploads/2013/08/Unidata-Manual-6541-Precision-Water-Level-Instruments-Issue-2.2.pdf [สืบค้นเมื่อ มกราคม 2559]

[7] Arduino Board Uno. https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardUno [สืบค้นเมื่อ มกราคม 2559]

[8] HC-05 FC-114 and HC-06 FC-114. Part 2 – Basic AT commands. http://www.martyncurrey.com/hc-05-fc-114-and-hc-06-fc-114-part-2-basic-at-commands/ [สืบค้นเมื่อ ธันวาคม 2558]

## ประวัติผู้เขียนบทความ

**นายดนัย วิไลเอก**
**งานวิจัยที่สนใจ:** Wireless Network, Sensor Networks

**ผศ.ดร.ชัยพร ใจแก้ว**
**งานวิจัยที่สนใจ:** Mobile Wireless Ad hoc Networks, Sensor Networks

**ผศ.ดร.อภิรักษ์ จันทร์สร้าง**
**งานวิจัยที่สนใจ:** Wireless Local Area Networks, Computer Networking

**รศ.ดร.อนันต์ ผลเพิ่ม**
**งานวิจัยที่สนใจ:** Wireless Networks, Media Access Control, QoS

**นายสุรพันธ์ อินแก้ว**
**งานวิจัยที่สนใจ:** hydrological telemetry

# ระบบการเชื่อมต่ออุปกรณ์ไอโอทีสำหรับระบบการเกษตร

# IoT Platform for Agricultural System

**ญาณกร ธัญญางค์, ชัยพร ใจแก้ว, อภิรักษ์ จันทร์สร้าง และ อนันต์ ผลเพิ่ม***
ห้องปฏิบัติการวิจัยเครือข่ายไร้สาย ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
E-mail: yanakorn_eve@hotmail.com, chaiporn.j@ku.ac.th, aphirak.j@ku.ac.th, anan.p@ku.ac.th*

## บทคัดย่อ

ในปัจจุบันอุปกรณ์เทคโนโลยีมีบทบาทสำคัญต่อการดำเนินชีวิตของมนุษย์ รวมถึงเทคโนโลยีอินเตอร์เน็ตในทุกสิ่งที่กำลังเป็นที่นิยมอยู่ในขณะนี้ ทำให้ผู้คนสนใจนำเทคโนโลยีเหล่านี้มาประยุกต์ใช้งานในหลากหลายด้าน ซึ่งในด้านการเกษตรก็มีการประยุกต์นำอุปกรณ์จำพวกเครื่องมือตรวจวัดมาใช้งานด้วย แต่อุปกรณ์ที่ใช้งานกันอยู่โดยทั่วไปมีหลากหลายชนิด รวมทั้งยังมาจากหลากหลายบริษัท ซึ่งอุปกรณ์แต่ละชนิดนั้นไม่สามารถที่จะสื่อสารกันได้ เนื่องจากความแตกต่างของลักษณะข้อมูล รวมถึงข้อตกลงที่ใช้ในการสื่อสาร จึงเป็นผลทำให้เกิดความไม่สะดวกในการเชื่อมต่ออุปกรณ์ที่หลากหลายต่อการใช้งาน และแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างแต่ละอุปกรณ์ ส่งผลให้เกิดความยากลำบากในการนำข้อมูลมาใช้งาน บทความนี้จึงได้นำเสนอระบบการเชื่อมต่อที่มารองรับการใช้งานดังกล่าว ซึ่งเป็นวิธีแก้ปัญหาที่จะช่วยให้อุปกรณ์ต่างชนิดสามารถเชื่อมต่อกันได้โดยง่าย โดยแบ่งการพัฒนาออกเป็น 2 ส่วนหลัก คือ ส่วนในการรับข้อมูล ซึ่งจะรวบรวมและจัดเก็บข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัด และส่วนในการนำข้อมูลไปใช้งาน ที่จะแสดงผลข้อมูลในรูปแบบที่เข้าใจง่าย เพื่อให้ผู้ใช้สามารถเข้าถึงข้อมูลและนำข้อมูลไปใช้งานต่อได้ จากการทดสอบระบบพบว่าจำนวนของอุปกรณ์มีผลต่อระยะเวลาที่ใช้ในการส่งข้อมูลจากต้นทางถึงปลายทางเท่านั้น ไม่ได้มีผลกระทบต่อภาระงานของหน่วยประมวลผล

คำสำคัญ: อินเตอร์เน็ตในทุกสิ่ง เครื่องมือตรวจวัด ลักษณะของข้อมูล ข้อตกลงที่ใช้ในการสื่อสาร ระบบการเชื่อมต่อ

## Abstract

Nowadays, technologies become an important part of human lives including internet of things technology, which is very popular at this moment. Many people are interested in using this technology and adapt into many fields. In agriculture, devices like sensors are increasingly deployed. However there are many kinds of devices from many vendors. These devices cannot communicate with each other due to differences in data formats and protocols, which is inconvenient for data exchanging. This article introduces a platform to handle such problems, and make data communication and exchange easier. The system is divided into two parts. The first is data receiving part for collecting and storing data from field sensors. The second is data publication for displaying data to the user using easy-to-understand formats. The user can also obtain the raw data to be used in their own applications. Evaluation shows that the number of devices only affects transferring time between the devices to the server but not the CPU usage.

Keywords: Internet of Things (IoT), Sensor, Data Type, Protocol, Platform

## 1. บทนำ

การนำเทคโนโลยีมาประยุกต์ใช้ในการเกษตรช่วยสร้างความสะดวกสบายให้กับเกษตรกร ซึ่งเทคโนโลยีส่วนใหญ่ที่ได้นำมาใช้ คือ อุปกรณ์ประเภทเครื่องมือตรวจวัดชนิดต่างๆ แต่ในปัจจุบันอุปกรณ์ทางการเกษตรที่ใช้กันอยู่โดยทั่วไปมีมากมายหลากหลายชนิด รวมทั้งยังมาจากหลากหลายบริษัท ซึ่งอุปกรณ์แต่ละชนิดนั้นไม่สามารถที่จะสื่อสารกันได้ เนื่องจากความแตกต่างของลักษณะข้อมูล รวมถึงข้อตกลงที่ใช้ในการสื่อสาร จึงเป็นผลทำให้เกิดความไม่สะดวกในการเชื่อมต่ออุปกรณ์ที่หลากหลายต่อการใช้งาน และแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างแต่ละอุปกรณ์ ซึ่งปัญหาเหล่านี้ส่งผลให้เกิดความยากลำบากในการจัดเก็บและวิเคราะห์ข้อมูล เพื่อนำข้อมูลไปใช้งานต่อไปในอนาคต ดังนั้น เพื่อความสะดวกในการสื่อสารของอุปกรณ์หลากหลายชนิด บทความนี้จึงออกแบบและพัฒนาระบบการเชื่อมต่อสำหรับระบบการเกษตรในการสื่อสารข้อมูลระหว่างอุปกรณ์เหล่านี้ เพื่อให้อุปกรณ์สามารถที่จะสื่อสารกันได้ รวมถึงสามารถนำข้อมูลมาใช้งานให้เกิดประโยชน์ต่อได้ในอนาคต

## 2. งานและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

เครื่องมือตรวจวัดในปัจจุบันมีมาตรฐานการสื่อสารที่หลากหลายชนิด อาทิเช่น มาตรฐาน IEEE 802.15.4 [1][2] ซึ่งใช้งานในระยะสั้นและมีราคาถูก ทั้งยังสามารถใช้งานได้เป็นระยะเวลานาน เทคโนโลยีบลูทูธ (Bluetooth) [1][2] ซึ่งเป็นเครือข่ายไร้สายส่วนตัว

(Personal Area Network : PAN) ที่ใช้ในระยะสั้นและใช้พลังงานต่ำ รับส่งข้อมูลบนย่านความถี่ 2.4 GHz หรือ มาตรฐาน IEEE 802.11 (Wi-Fi) [3] ซึ่งเป็นมาตรฐานที่ถูกกำหนดขึ้นมาเพื่อใช้ในเครือข่ายแลนไร้สาย ซึ่งมีการรับส่งข้อมูลอยู่บนคลื่นวิทยุย่านความถี่ 2.4 และ 5 GHz และมีการเข้ารหัสข้อมูลก่อนทำการกระจายสัญญาณ พร้อมทั้งมีการตรวจสอบผู้ใช้งาน เป็นต้น ซึ่งข้อมูลจากเครื่องมือตรวจวัดชนิดต่างๆ นั้นไม่สามารถใช้งานร่วมกันโดยตรงได้ จึงจำเป็นต้องสร้างระบบกลางเพื่อรวบรวมข้อมูลจากเครื่องมือตรวจวัดเหล่านั้นเข้าด้วยกัน และทำการส่งข้อมูลไปเก็บยังเครื่องคอมพิวเตอร์แม่ข่ายโดยใช้มาตรฐานการสื่อสารแบบเอ็มคิวทีที (Message Queuing Telemetry Transport : MQTT) [4] ซึ่งใช้สำหรับการเชื่อมต่อระหว่างเครื่องจักรคุยกับเครื่องจักร (Machine to Machine : M2M) โดย MQTT ถูกออกแบบมาให้มีขนาดเล็กและแบนด์วิธต่ำ การทำงานจะใช้หลักการของ Message Queue ซึ่งประกอบด้วย Broker เป็นตัวกลางในการจัดการกับข้อความ Publisher ทำหน้าที่ในการส่งข้อมูลไปยังหัวข้อนั้นๆ และ Subscriber ทำหน้าที่คอยดูการเปลี่ยนแปลงของข้อความที่ถูกอ้างอิงด้วยหัวข้อ

การทำงานของระบบการเชื่อมต่ออุปกรณ์ไอโอทีสำหรับระบบการเกษตรมีลักษณะคล้ายกับเทคโนโลยี NETPIE [7][8] ของศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ (NECTEC) ซึ่งเป็นคลาวด์แพลตฟอร์มที่เปิดให้บริการเชื่อมต่อสื่อสารในรูปแบบ IoT แต่ความแตกต่างของระบบนี้กับเทคโนโลยี NETPIE คือ ระบบนี้มีเครื่องคอมพิวเตอร์แม่ข่ายภายในระบบสำหรับเก็บข้อมูล รวมถึงมีเว็บไซต์ให้ผู้ใช้งานเข้าถึง และนำข้อมูลไปใช้งานต่อได้ง่ายขึ้น

## 3. รายละเอียดการพัฒนา

การพัฒนาระบบจะพัฒนาในส่วนของการรับข้อมูลจากเครื่องมือตรวจวัด และนำข้อมูลเข้าสู่ฐานข้อมูล รวมถึงส่วนของการนำข้อมูลไปใช้งานต่อ

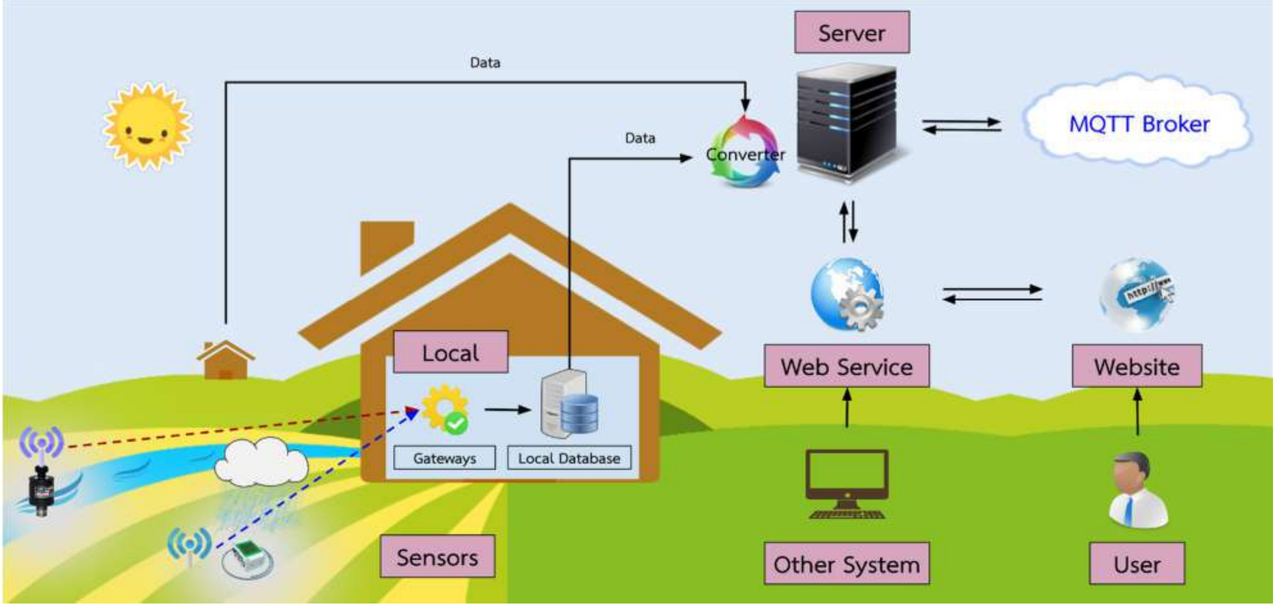
### 3.1 ภาพรวมของระบบ

ภาพรวมของระบบการเชื่อมต่ออุปกรณ์ไอโอทีสำหรับระบบการเกษตร แสดงดังรูปที่ 1

เมื่อเครื่องมือตรวจวัด (Sensor) รับค่ามาจากสภาพแวดล้อมในแปลงเกษตร จะทำการสื่อสารข้อมูลผ่านตัวกลางแต่ละชนิดที่ได้สร้างไว้เพื่อรองรับข้อมูล จากนั้นข้อมูลจะถูกส่งไปเก็บที่ตัวเครื่องโลคอล (Local) เพื่อป้องกันข้อมูลสูญหาย และจะถูกส่งไปเก็บที่เครื่องคอมพิวเตอร์แม่ข่าย (Server) ทันทีหากกำลังเชื่อมต่ออินเตอร์เน็ตอยู่ เมื่อข้อมูลถูกส่งไปถึงเครื่องคอมพิวเตอร์แม่ข่ายแล้ว ข้อมูลจะถูกจัดการให้อยู่ในรูปแบบเดียวกันก่อนเก็บเข้าสู่ฐานข้อมูล และเมื่อผู้ใช้ระบบต้องการนำข้อมูลไปใช้งาน จะสามารถเรียกใช้ข้อมูลผ่านทางเว็บไซต์ ซึ่งข้อมูลจะถูกแสดงผลในรูปแบบกราฟเส้น และตาราง ดังรูปที่ 2

### 3.2 การออกแบบและพัฒนาระบบ

องค์ประกอบโดยรวมของระบบการเชื่อมต่ออุปกรณ์ไอโอทีสำหรับระบบการเกษตร (แสดงดังรูปที่ 4) แบ่งออกเป็น 7 ส่วนหลัก คือ




**รูปที่ 1** ภาพรวมของระบบ

(ก)

| No. | Date | Time | Value |
|---|---|---|---|
| 1 | 14-02-2016 | 00:40:32 | 56.90 |
| 2 | 14-02-2016 | 01:40:34 | 53.70 |
| 3 | 14-02-2016 | 02:40:39 | 57.50 |
| 4 | 14-02-2016 | 03:40:44 | 7.80 |
| 5 | 14-02-2016 | 04:40:49 | 27.30 |
| 6 | 14-02-2016 | 05:40:54 | 56.70 |
| 7 | 14-02-2016 | 06:40:59 | 97.90 |
| 8 | 14-02-2016 | 07:41:04 | 97.90 |

(ข)

**รูปที่ 2** (ก) ตัวอย่างข้อมูลที่แสดงผลในรูปแบบกราฟเส้น
(ข) ตัวอย่างข้อมูลที่แสดงผลในรูปแบบตาราง

*3.2.1 ส่วนเครื่องมือตรวจวัด (A)*

เครื่องมือตรวจวัดที่มีมาตรฐานการสื่อสาร IEEE 802.15.4 บลูทูธ IEEE 802.11 และเอ็มคิวทีที จะถูกติดตั้งไว้ที่บริเวณแปลงเกษตรของผู้ใช้ เพื่อทำการตรวจวัดค่าต่างๆ และจะทำการส่งข้อมูลไปยังตัวกลางตามแต่ละประเภทของมาตรฐานการสื่อสาร โดยตัวอย่างของเครื่องมือตรวจวัด แสดงดังรูปที่ 3

**รูปที่ 3** ตัวอย่างเครื่องมือตรวจวัด (Bluetooth)

*3.2.2 ส่วนตัวเครื่องโลคอล (B)*

เครื่องโลคอลเป็นเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ประกอบไปด้วย 2 โมดูล คือ โมดูลตัวกลางที่ใช้ในการรับข้อมูล ซึ่งเป็นโมดูลที่ใช้ในการรับข้อมูลที่มาจากอุปกรณ์แต่ละมาตรฐานการสื่อสาร และระบบฐานข้อมูล ซึ่งเป็นโมดูลที่ใช้ในการเก็บข้อมูลที่ถูกส่งมาจากตัวกลางที่ใช้ในการรับข้อมูล เพื่อสำรองข้อมูลในกรณีที่ไม่สามารถเชื่อมต่ออินเตอร์เน็ตได้

*3.2.3 ส่วนเครื่องคอมพิวเตอร์แม่ข่าย (C)*

เป็นส่วนที่รับข้อมูลมาจากตัวเครื่องโลคอล แล้วทำการแปลงข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบที่กำหนด ก่อนทำการเก็บข้อมูลเข้าสู่ฐานข้อมูล ซึ่งประกอบด้วย 2 โมดูล คือ โมดูลแปลงข้อมูล และระบบฐานข้อมูล

*3.2.4 ส่วนเชื่อมต่อกับระบบเอ็มคิวทีทีโบรกเกอร์อื่น (D)*

เป็นส่วนที่ใช้สำหรับเชื่อมต่อกับระบบอื่นๆ โดยจะสามารถทำการเชื่อมต่อไปยังเอ็มคิวทีทีโบรกเกอร์ตัวอื่นๆได้

*3.2.5 ส่วนให้บริการเว็บเซอร์วิส (E)*

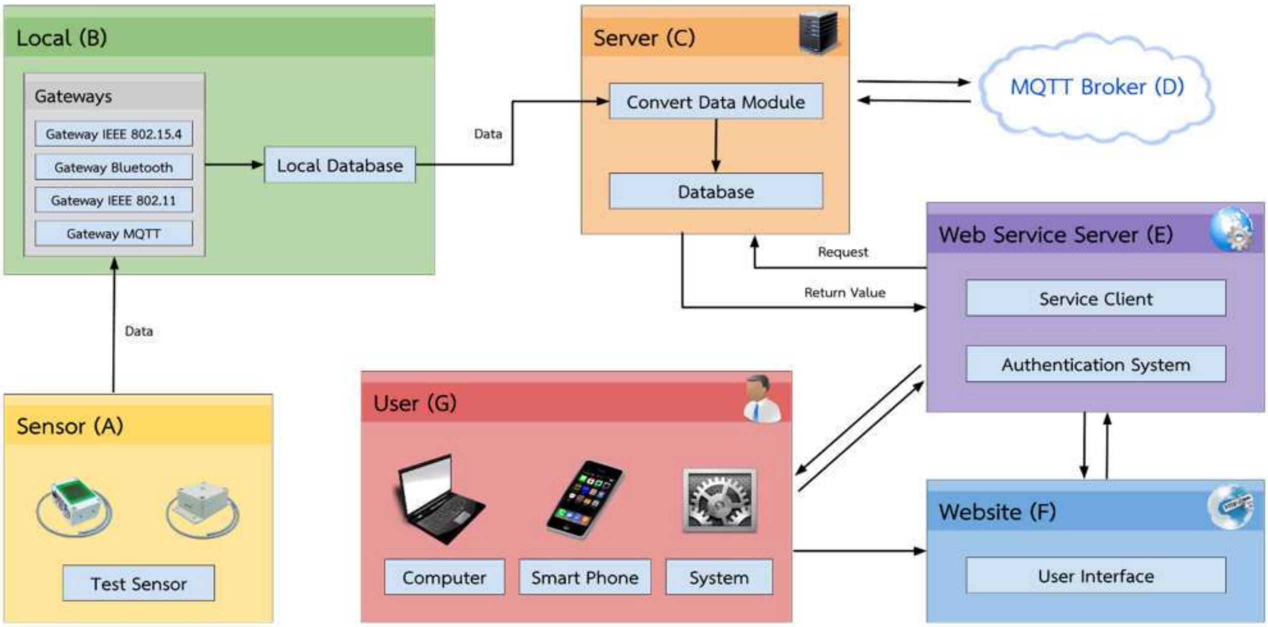
เป็นส่วนที่ใช้สำหรับให้บริการแลกเปลี่ยนข้อมูลกันระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์ผ่านทางระบบเครือข่าย [5] โดยผู้ใช้งานสามารถเรียกใช้ข้อมูลได้ผ่านทางเอพีไอ [6] ซึ่งประกอบด้วย 2 โมดูล คือ เซอร์วิสไคลเอนต์ และระบบยืนยันตัวตน

*3.2.6 ส่วนเว็บไซต์ (F)*

เป็นส่วนที่แสดงผลข้อมูลในรูปแบบที่สามารถเข้าใจได้ง่าย

*3.2.7 ส่วนผู้ใช้ (G)*

เป็นส่วนของผู้ใช้ที่สามารถเข้าถึงข้อมูลที่ได้ทำการจัดเก็บไว้เพื่อนำข้อมูลไปใช้ในการวิเคราะห์ โดยจะสามารถเข้าถึงข้อมูลผ่านทางคอมพิวเตอร์ สมาร์ทโฟน หรือผ่านทางระบบอื่น



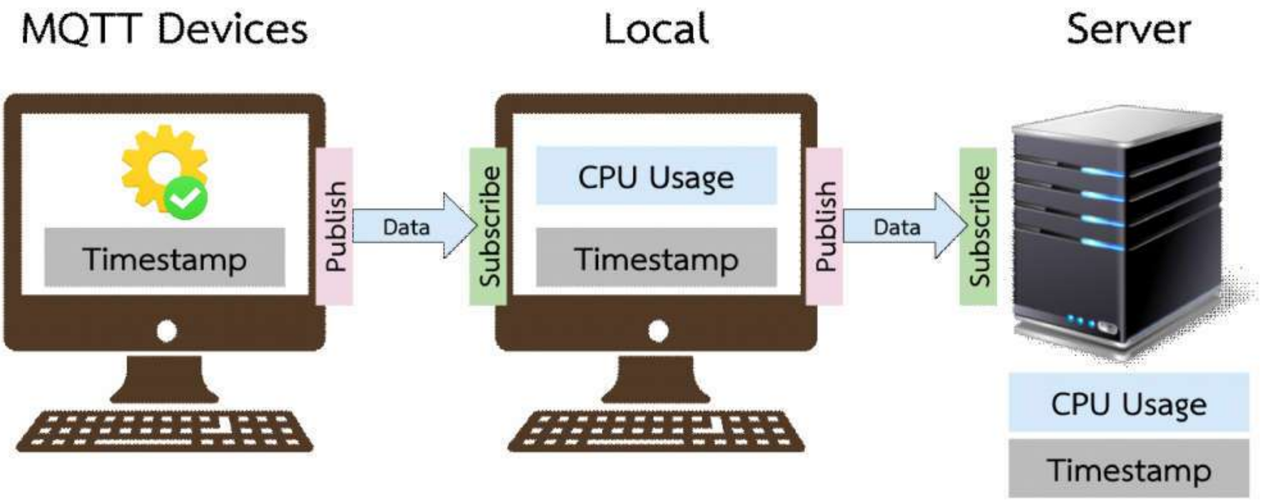

**รูปที่ 4** องค์ประกอบโดยรวมของระบบ

### 3.3 ข้อจำกัดของระบบ

ระบบที่พัฒนาขึ้นมีข้อจำกัด คือ ระบบสามารถใช้งานได้บนระบบปฏิบัติการ Linux และสามารถรองรับได้เฉพาะอุปกรณ์ที่มีมาตรฐานการสื่อสารที่ได้พัฒนาภายในระบบเท่านั้น

## 4. การทดสอบการใช้งาน

ทำการทดสอบระบบในส่วนของความสามารถในการรองรับจำนวนอุปกรณ์ที่เพิ่มขึ้น และระยะเวลาที่ใช้ในการส่งข้อมูลจากบริเวณต่างๆ เมื่อมีการเพิ่มจำนวนอุปกรณ์

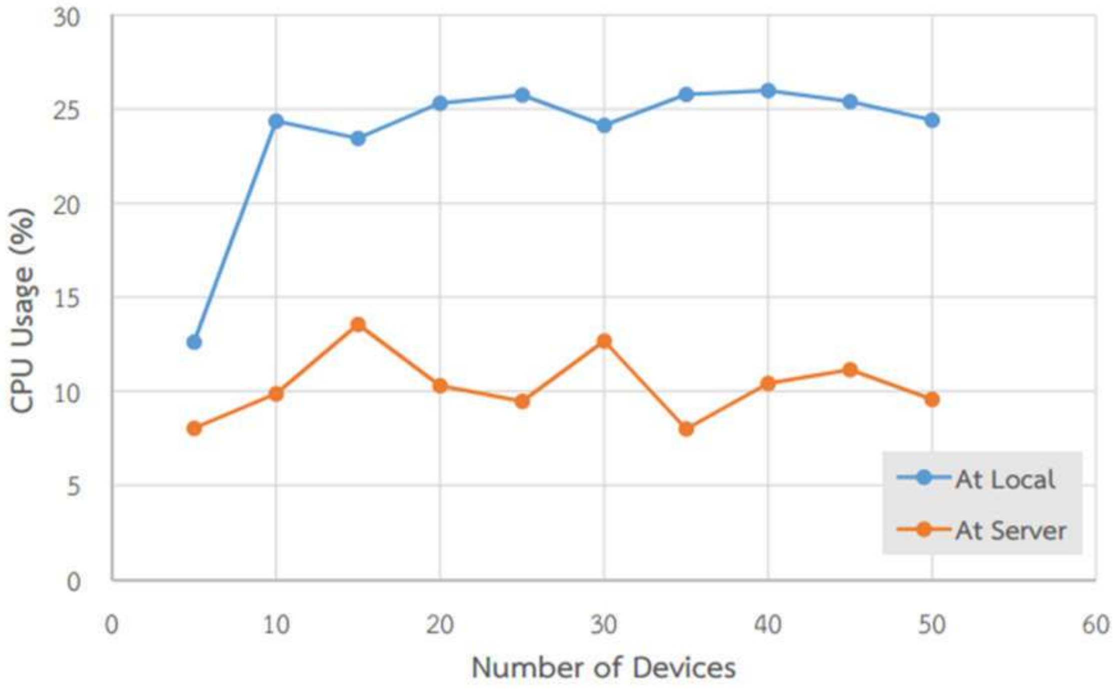



**รูปที่ 5** สภาพแวดล้อมในการทดสอบระบบ

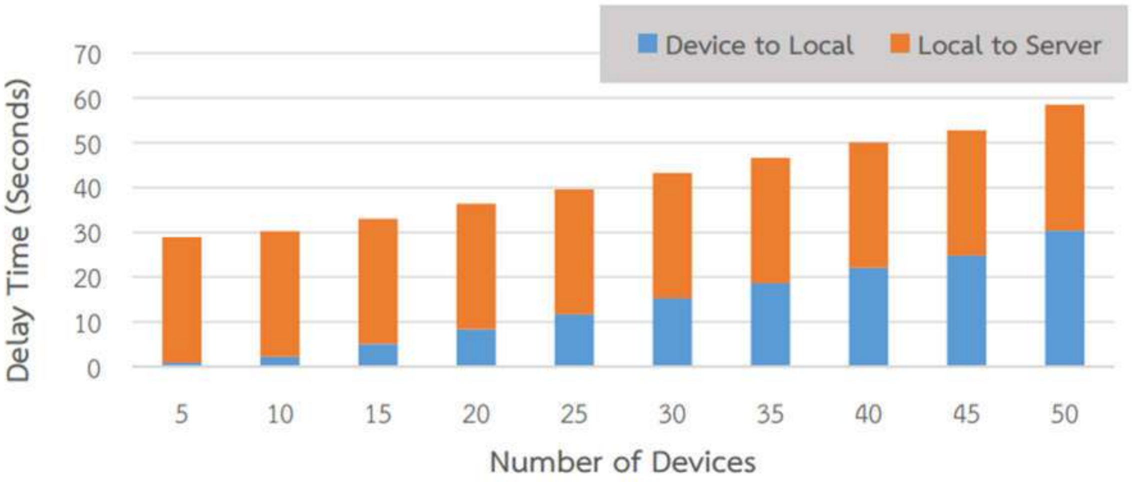
**4.1 สภาพแวดล้อมในการทดสอบ**

ในการทดสอบระบบจะใช้อุปกรณ์ที่มีมาตรฐานการสื่อสารแบบเอ็มคิวทีทีทั้งหมด โดยอุปกรณ์แต่ละตัวจะทำการส่งข้อมูลเข้าสู่ระบบทุก 1 วินาที รวมถึงในส่วนของการรับข้อมูล (Subscribe) จะมีเวลาหน่วงแต่ละข้อมูล 0.01 วินาที การทดลองจะทำการเพิ่มจำนวนอุปกรณ์ในการส่งข้อมูลเข้าสู่ระบบ จำนวน 5 ถึง 50 ตัว และทำการวัดการใช้งานของซีพียูโดยเก็บผลทุก 1 วินาที ที่บริเวณเครื่องโลคอล และเครื่องคอมพิวเตอร์แม่ข่าย รวมถึงทำการวัดเวลาที่ทำการเริ่มส่งข้อมูลจากอุปกรณ์ต้นทาง เวลาที่ข้อมูลถูกจัดเก็บลงในฐานข้อมูลที่เครื่องโลคอล และเวลาที่ข้อมูลถูกจัดเก็บลงในฐานข้อมูลที่เครื่องคอมพิวเตอร์แม่ข่าย (แสดงดังรูปที่ 5)

การวัดผลจะนำผลจากการส่งข้อมูลเข้าสู่ระบบ 10 ข้อมูลแรก และการใช้งานซีพียู รวมถึงเวลาในช่วงนั้นมาวิเคราะห์




**รูปที่ 6** การทดสอบความสามารถในการรองรับจำนวนอุปกรณ์ที่เพิ่มขึ้น




**รูปที่ 7** การทดสอบระยะเวลาที่ใช้ในการส่งข้อมูลจากบริเวณต่างๆ

### 4.2 ผลการทดสอบและการวิจารณ์ผล

จากการทดสอบความสามารถในการรองรับจำนวนอุปกรณ์ที่เพิ่มขึ้น ได้ผลลัพธ์แสดงดังรูปที่ 6 ซึ่งพบว่าจำนวนอุปกรณ์ที่เพิ่มขึ้นไม่มีผลต่อการใช้งานของซีพียูที่บริเวณคอขวดของระบบ คือ บริเวณตัวกลางที่ใช้ในการรับข้อมูล และบริเวณเครื่องคอมพิวเตอร์แม่ข่าย เนื่องจากการรับส่งข้อมูลโดยใช้มาตรฐานการสื่อสารแบบเอ็มคิวทีที จะถูกจำกัดการรับส่งข้อมูลด้วยอัตราที่คงที่

จากการทดสอบระยะเวลาที่ใช้ในการส่งข้อมูลจากบริเวณต่างๆ เมื่อมีการเพิ่มจำนวนอุปกรณ์ ได้ผลลัพธ์แสดงดังรูปที่ 7 ซึ่งพบว่าการส่งข้อมูลจากอุปกรณ์ถึงเครื่องโลคอลมีผลต่อระยะเวลาที่ใช้ในการส่งข้อมูลโดยรวม แต่การส่งข้อมูลจากเครื่องโลคอลถึงเครื่องคอมพิวเตอร์แม่ข่ายใช้ระยะเวลาคงที่ ประมาณ 28 วินาที เนื่องจากส่วนของการรับข้อมูลมีการหน่วงเวลาข้อมูลละ 0.01 วินาที เพื่อลดภาระการทำงานของระบบ

## 5. บทสรุป

ระบบการเชื่อมต่ออุปกรณ์ไอโอทีสำหรับระบบการเกษตรสามารถนำไปใช้งานในการรับข้อมูลจากอุปกรณ์ได้จริง โดยข้อมูลที่ส่งจากอุปกรณ์จะถูกส่งต่อไปยังตัวกลางที่ใช้ในการรับข้อมูล และเก็บไว้ที่ฐานข้อมูลในเครื่องโลคอล จากนั้นจะถูกส่งต่อไปเก็บยังฐานข้อมูลของเครื่องคอมพิวเตอร์แม่ข่าย เมื่อผู้ใช้ต้องการนำข้อมูลไปใช้งาน สามารถเรียกใช้ได้ผ่านทางเว็บไซต์ โดยระบบดังกล่าวสามารถรองรับอุปกรณ์ได้เป็นจำนวนมาก แต่เพื่อให้การใช้งานเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด จึงอาจต้องมีการปรับเวลาหน่วงภายในระบบให้เหมาะสมต่อจำนวนของอุปกรณ์ที่ต้องการใช้งาน หรือเหมาะสมต่อความต้องการของผู้ใช้

สำหรับแนวทางในการพัฒนาต่อ สามารถพัฒนาในส่วนของการรองรับอุปกรณ์ที่มีหลากหลายมาตรฐานการสื่อสารเพิ่มเติมจากส่วนที่ได้พัฒนาไปแล้ว และพัฒนาให้อยู่ในรูปแบบของปลั๊กอิน เพื่อให้ง่ายต่อการขยายอุปกรณ์ที่เพิ่มขึ้น

## 6. กิตติกรรมประกาศ

โครงงานนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากโครงการการแข่งขันพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ แห่งประเทศไทย ครั้งที่ 18 จากศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ

## เอกสารอ้างอิง

[1] ระบบเครือข่ายไร้สาย, http://www.freebsd.sru.ac.th/course/4012702-Data-Communication/parinya-book/unit-09.pdf, [สืบค้นเมื่อ พฤศจิกายน 2558]

[2] มาตรฐาน IEEE 802.15 กำหนดพื้นที่ของเครือข่ายไร้สายส่วนบุคคล, http://sirane217.blogspot.com/2015/02/ieee-80215.html, [สืบค้นเมื่อ พฤศจิกายน 2558]

[3] มาตรฐานเครือข่ายไร้สาย IEEE 802.11, https://network.kku.ac.th/index.php/web-article/wireless/46, [สืบค้นเมื่อ พฤศจิกายน 2558]

[4] MQTT (Message Queuing Telemetry Transport) คืออะไร, www.mindphp.com/บทความ/31-ความรู้ทั่วไป/3343-mqtt.html, [สืบค้นเมื่อ ธันวาคม 2558]

[5] เว็บเซอร์วิซ, https://th.wikipedia.org/wiki/เว็บเซอร์วิซ, [สืบค้นเมื่อ ธันวาคม 2558]

[6] API คืออะไร, http://www.เกร็ดความรู้.net/api/, [สืบค้นเมื่อ ธันวาคม 2558]

[7] NETPIE, https://netpie.io/, [สืบค้นเมื่อ กุมภาพันธ์ 2558]

[8] NETPIE: Internet of Things, http://www.nectec.or.th/innovation/innovation-software/netpie.html, [สืบค้นเมื่อ กุมภาพันธ์ 2558]

## ประวัติผู้เขียนบทความ

**นางสาวญาณกร ธัญญางค์**
**งานวิจัยที่สนใจ:** Wireless Sensor Network

**ผศ.ดร.ชัยพร ใจแก้ว**
**งานวิจัยที่สนใจ:** Mobile Wireless Ad hoc Networks, Sensor Networks

**ผศ.ดร.อภิรักษ์ จันทร์สร้าง**
**งานวิจัยที่สนใจ:** Wireless Local Area Networks, Computer Networking

**รศ.ดร.อนันต์ ผลเพิ่ม**
**งานวิจัยที่สนใจ:** Wireless Networks, Media Access Control, QoS

# การบริหารจัดการเครือข่ายด้วยเทคโนโลยี VLAN กรณีศึกษา บ้านพักบุคลากร มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา

# Network Management with VLAN Case Study: Songkhla Rajabhat University's Staff House

**กฤษณ์วรา รัตนโอภาส[1*] สรายุทธ กูลเกื้อ[2] อำนาจ ทองขาว[1] และญาณพัฒน์ ชูชื่น[1]**
[1] โปรแกรมวิชาคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา
160 ถนนกาญจนวนิช ตำบลเขารูปช้าง อำเภอเมือง จังหวัดสงขลา 90000 โทรศัพท์ 0-7433-6933
E-mail: kritwara.ra@skru.ac.th[*], aumnat.to@skru.ac.th, yanapat.ch@skru.ac.th
[2] สำนักวิทยบริการและเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา
160 ถนนกาญจนวนิช ตำบลเขารูปช้าง อำเภอเมือง จังหวัดสงขลา 90000 โทรศัพท์ 0-7433-6933
E-mail: sarayut.ku@skru.ac.th

## บทคัดย่อ

ด้วยความนิยมใช้อินเตอร์เน็ตในบ้าน/ที่พักอาศัยกว่า 88% และภารกิจในการให้บริการอินเตอร์เน็ตของบ้านพักบุคลากรของมหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา เพื่อแก้ไขปัญหาความเสถียรภาพของเครือข่ายด้วยเทคโนโลยีเครือข่ายท้องถิ่นเสมือน(VLAN) มาออกแบบบริหารจัดการเครือข่ายแบบสายที่มีผู้ใช้งานมากกว่า 80 หลัง โดยเสนอวิธีกำหนดค่าการบริการ DHCP แยกตามแต่ละ VLAN ภายใต้เครือข่ายเดียวกันอย่างอิสระและป้องกันการรบกวนและโจมตีการให้บริการของเครือข่าย พร้อมกับเพิ่ม VLAN สำหรับการติดตามตรวจสอบสถานะของสวิตช์ด้วยโปรแกรม Cacti เพื่อสนับสนุนผู้ดูแลให้สามารถติดตามการทำงาน

คำสำคัญ: VLAN, การออกแบบเครือข่าย, การตรวจสอบเครือข่าย

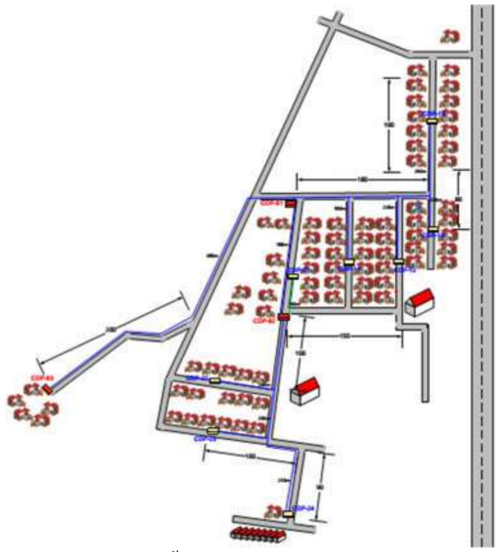
## Abstract

The internet at home usage has increased to 88%. Songkhla Rajabhat University's staff home was supported by computer center. The Virtual LAN (VLAN) that it can resolve an unstable internet connect problem. Songkhla Rajabhat University's staff home users nearly 80. This networking concept designed by multi VLAN technology. We presented a concept of the DHCP configuration for multi VLAN under single network. This network designing is protected from both interrupt and attack. The monitor VLAN extended to this network for check switch status with Cacti software which supporting switch's information for administrator.

Keywords: VLAN, Network Designed, Network Monitoring

## 1. บทนำ

โดยข้อมูลพื้นฐานจากการสำรวจพฤติกรรมของผู้ใช้อินเตอร์เน็ตประจำปี พ.ศ. 2558 พบว่านิยมใช้บริการอินเตอร์เน็ตในบ้าน/ที่พักอาศัยสูงถึง 88% โดยการออกแบบการให้บริการสำหรับบ้านพักมีปัญหาและอุปสรรค์หลากหลายรูปแบบ และจากพื้นที่กรณีศึกษามหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา เพิ่มเติมจากการให้บริการเครือข่ายอินเตอร์เน็ตหลักของทางมหาวิทยาลัย หน่วยงานที่รับผิดชอบมีภารกิจในการให้บริการเครือข่ายของบ้านพักบุคลากรภายในมหาวิทยาลัยที่มีจำนวน 80 หลังตามรูปที่ 1 โดยมีการเริ่มให้บริการตั้งแต่ พ.ศ. 2551 เป็นต้นมา



รูปที่ 1 พื้นที่ให้บริการเครือข่ายบ้านพักบุคลากร

จึงได้พัฒนาจากการให้บริการเครือข่ายแบบไร้สายจนมาสู่ระบบสายในปัจจุบัน ด้วยการพัฒนาของเทคโนโลยีและข้อจำกัดของการให้บริการรวมถึงความต้องการใช้งานของบุคลากรที่เพิ่มขึ้นตามยุคของอินเตอร์เน็ต โดยเริ่มการให้บริการในอดีตด้วยระบบ dialup modem

ในช่วงปี พ.ศ. 2548 ด้วยสายสัญญาณโทรศัพท์ และเข้าสู่ระบบเครือข่ายไร้สายด้วยเทคโนโลยี wireless distribution system (WDS) [2] ที่สามารถกระจายสัญญาณอินเตอร์เน็ตในพื้นที่กว้าง แต่ประสบปัญหาหลักเมื่อส่วนที่เรียกว่า main base station หยุดทำงานหรือไม่สามารถให้บริการอินเตอร์เน็ตจากระบบสาย ผู้ใช้กลับพบว่ามีระดับสัญญาณของเครือข่ายไร้สายปกติ จึงยกเลิกและทำการติดตั้งระบบสายสัญญาณไปตามจุด แต่ด้วยปัญหาของจุดติดตั้งตู้อุปกรณ์สัญญาณบนเสาไฟฟ้า ที่มีพื้นที่ลักษณะเดียวกับผู้ให้บริการทั่วไปเช่น ทริปเปิลที ทีโอที เป็นต้น ทำให้อุปกรณ์เสื่อมสภาพจากความร้อน โดยหน่วยงานที่ให้บริการได้รับการสนับสนุนจากทางมหาวิทยาลัย เพื่อทำการติดตั้งระบบเครือข่ายแบบสายไปสู่บ้านพักสำหรับปรับปรุงบริการให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น แต่สำหรับในบ้านพักถือเป็นสิทธิส่วนตัวของบุคลากรในการติดตั้งอุปกรณ์กระจายสัญญาณ ดังนั้นในระยะเริ่มต้นของการให้บริการได้ประสบปัญหาทางเทคนิคของอุปกรณ์กระจายสัญญาณไร้สายส่วนตัวที่มีการนำเข้ามาติดตั้งเพื่อให้บริการด้วยหมายเลข IP address ในกลุ่มเดียวกันพบว่ามีการจ่ายหมายเลข IP address กลับมาจากอุปกรณ์เข้าสู่ระบบ ทำให้รบกวนบ้านหลังอื่นๆ และส่งผลให้ไม่สามารถใช้บริการอินเตอร์เน็ตได้ ด้วยปัญหาดังกล่าวทำให้หน่วยงานที่รับผิดชอบเครือข่ายบ้านพักฯ ต้องปรับปรุงการออกแบบใหม่ด้วยการแยกการจัดเส้นทาง(gateway) ที่แบ่งเครือข่ายด้วย virtual LAN (VLAN) [3] เนื่องจากมีงานวิจัยและการให้บริการนิยมนำเทคโนโลยีนี้มาบริหารจัดการเครือข่ายในปัจจุบัน โดยพบว่าจากการออกแบบและใช้งานจริงสามารถแก้ปัญหาที่กล่าวมาข้างต้นได้ เนื่องจากการดูแลรักษาระบบเครือข่ายบ้านพักฯ ต้องอาศัยบุคลากรที่ดูแลเครือข่ายหลักของมหาวิทยาลัยที่มีจำนวนจำกัด แตกต่างกันกับผู้ให้บริการเอกชนที่มีค่าบริการและค่าดูแลรักษา

ส่วนเนื้อหาถัดไปกล่าวถึงทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องของการนำเครือข่ายท้องถิ่นเสมือนมาใช้ในการออกแบบเครือข่ายและผลการใช้งานจริง พร้อมส่วนท้ายได้ทำการสรุปและอภิปรายผลการการให้บริการ

## 2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ส่วนที่ 2 ผู้เขียนต้องการนำเสนอที่มาและการใช้งานแนวคิดของการใช้งานเทคโนโลยี VLAN ในการบริหารจัดการเครือข่าย พร้อมด้วยที่มาของแนวคิดนี้

### 2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การใช้แนวคิดของการออกแบบที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยี VLAN ของสาธิต ขวัญชุม [4] ใช้หลักการของ เครือข่ายท้องถิ่นเสมือน (VLAN) ประยุกต์กับการบริหารจัดการเครือข่ายไร้สายของมหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ ได้นำไปใช้รักษาความปลอดภัยของระบบเครือข่ายและการดูแลซ่อมบำรุง ควบคุมกับอุปกรณ์บนเครือข่าย ด้วยเทคโนโลยีดังกล่าว นรินทร์ บิลสัน [5] ที่ทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของลินุกซ์เกตเวย์ด้วยเทคโนโลยี VLAN และพบว่ามีความปลอดภัยที่ดีกว่าทำให้การบริการมีประสิทธิภาพ สำหรับงานวิจัยของ A. M. Haji Nur [6] ได้ศึกษาการใช้ VLAN ทำการจำลองจัดการเครือข่ายบน OPNET เพื่อวัดค่า Delay และ Collision ในงานออกแบบบริการที่ต้องการเพิ่มประสิทธิภาพของเครือข่ายและป้องกันการรบกวนเครือข่ายเป็นหลัก

### 2.2 เครือข่ายท้องถิ่นเสมือน (VLAN)

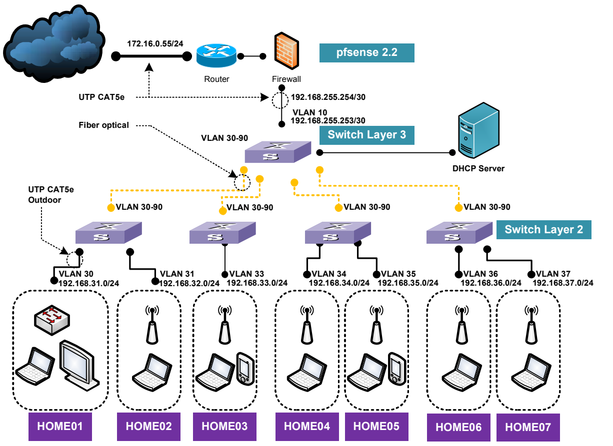
เครือข่ายท้องถิ่นเสมือน Virtual LAN (VLAN) [3] กำหนดค่าของหมายเลข VLAN ได้ตั้งแต่ 1-4094 เพื่อแบ่งแยกเครือข่ายย่อยตามพื้นที่ เช่น แผนกหรือหน่วยงาน ลักษณะการใช้งาน เป็นต้น คุณลักษณะดังกล่าวอยู่บนอุปกรณ์สวิตซ์เลเยอร์ 2 และ 3 ด้วยคุณสมบัตินี้ทำให้แยกสวิตซ์ให้เป็นหลายเครือข่ายที่มีอิสระต่อกัน

การเชื่อมต่อระหว่าง VLAN มี 2 แบบหลักคือAccess/Untagged Port และ Trunk/Tagged Port โดยมีหน้าที่เบื้องต้นดังนี้

- Access/Untagged Port ทำการเชื่อมต่อสวิตซ์กับอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ทั่วไปเช่น ไมโครคอมพิวเตอร์ เครื่องพิมพ์เครือข่าย
- Trunk/ Tagged Port ทำหน้าที่ Uplink Port หรือเชื่อมต่อ VLAN ระหว่างสวิตซ์แต่ละตัว

## 3. การออกแบบเพื่อให้บริการ

จากการออกแบบเครือข่ายสำหรับการให้บริการบ้านพักบุคลากรกรณีศึกษามหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา ตามรูปที่ 1 โดยภาพรวมของการให้บริการและการเชื่อมต่อเครือข่ายตามรูปที่ 2 ที่ประกอบด้วยเครือข่ายหลักส่วนที่มีไฟร์วอลล์ เราท์เตอร์และสวิตซ์เลเยอร์ 3 ซึ่งตามจุดติดตั้งย่อยมีสวิตซ์เลเยอร์ 2 สำหรับกระจายเครือข่ายท้องถิ่นเสมือน (VLAN) ชั้นล่างสุดคืออุปกรณ์ตามบ้านพักของบุคลากรที่ประกอบด้วยอุปกรณ์กระจายสัญญาณเครือข่ายไร้สาย เครื่องคอมพิวเตอร์ สมาร์ททีวีและสมาร์ทโฟน เป็นต้น




รูปที่ 2 แผนผังการเชื่อมต่อเครือข่ายบ้านพักบุคลากร

จากรูปที่ 2 มีการนำเครื่องแม่ข่ายมาให้บริการหลัก 2 เครื่อง ได้แก่เครื่องสำหรับ ไฟร์วอลล์และ DHCP โดยมีคุณสมบัติและโปรแกรมที่ติดตั้งพร้อมการกำหนดค่าดังต่อไปนี้

- **ไฟร์วอลล์** ติดตั้ง pfsense 2.2 บน Intel Xeon CPU X3360 @ 2.83GHz RAM 4 GB กับ 2 Gigabit Ethernet โดยกำหนด WAN มี IP Address 172.17.0.55/24 (Gateway 172.17.0.1) และ LAN มี IP Address 192.168.255.254/30 (Gateway 192.168.255.253)
- **สวิตช์เลเยอร์** 3 กำหนดมี Interface หลัก IP Address 192.168.255.253/30 (Default route 0.0.0.0->192.168.255.254/30) เพื่อให้ทุก VLAN เชื่อมต่อไปที่ไฟร์วอลล์ ทำการสร้าง VLAN 30-90 กำหนดให้มีหมายเลข IP Address 192.168.30-90.0/24 แยกไป พร้อมกำหนดค่า IP helper -> 192.168.3.9 ที่ทำหน้าที่ DHCP สำหรับทุก VLAN
- **บริการ DHCP** ติดตั้ง CentOS 6.5 64bits พร้อมกับ dhcp บนเครื่องเดียวกับไฟร์วอลล์ ในรูปแบบเครื่องเสมือนจริง โดยกำหนดค่าในไฟล์ /etc/dhcp/dhcpd.conf ไว้ตามรูปที่ 3
- **สวิตช์เลเยอร์ 2** การ Uplink กำหนดแบบ Tagging ให้รับค่า VLAN 30-60 และเพิ่ม Default VLAN 1006 ซึ่งเป็น VLAN สำหรับควบคุมอุปกรณ์เครือข่ายเพื่อใช้ในการตรวจสอบสถานะของอุปกรณ์ ร่วมกับสวิตช์ตัวอื่นๆ ของเครือข่ายหลัก และสำหรับ Link ไปตามบ้านพักกำหนด Access port เพื่อให้บริการแยกตาม
- **โปรแกรมตรวจสอบ Cacti** เป็นโปรแกรมที่รายงานข้อมูลการให้บริการอุปกรณ์เครือข่ายที่รองรับโปรโตคอล SNMP โดยสามารถรายงานข้อมูลสถานะปัจจุบัน และปริมาณการใช้ข้อมูล โดยจากรูปที่ 2 ไม่ได้กล่าวถึงเพราะอยู่นอกเหนือจากแผนผังดังกล่าว

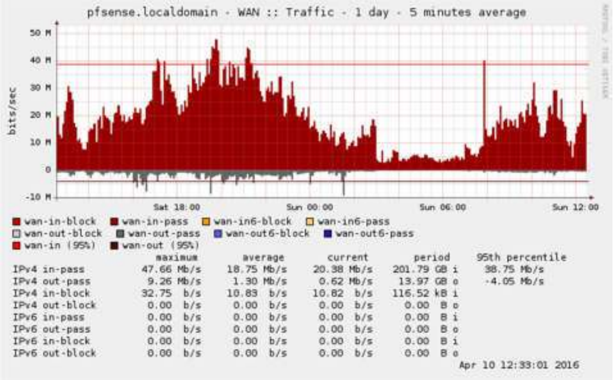
```
........
subnet 192.168.3.0 netmask 255.255.255.0 {
}
# VLAN 30
subnet 192.168.30.0 netmask 255.255.255.0 {
  range 192.168.30.21  192.168.30.200;
  option routers 192.168.30.1;
  option domain-name-servers 172.17.14.9;
}
#....VLAN 31-59....
# VLAN 60
subnet 192.168.60.0 netmask 255.255.255.0 {
  range 192.168.60.21  192.168.60.200;
  option routers 192.168.60.1;
  option domain-name-servers 172.17.14.9;
}
........
```

รูปที่ 3 การกำหนดค่า DHCP สำหรับ VLAN 30-90

แต่เนื่องจากตู้กระจายมีสวิตช์เลเยอร์ 2 ไม่เพียงพอ จากรูปที่ 1 จุดติดตั้งตู้กระจายจะถูกกำหนดให้ครอบคลุมพื้นที่บ้านพักไม่เกิน 150 เมตร ซึ่งการออกแบบแบ่งได้ทั้งหมด 11 ตู้ โดยระยะห่างระหว่างตู้จะห่างมากกว่าระยะควบคุมของสายประเภท UTP CAT5e จึงทำการเชื่อมต่อสัญญาณด้วยสายไยแก้วนำแสงทั้งหมดตามรูปที่ 2 กำหนดให้สมมติฐานในการออกแบบใช้งานคือผู้ใช้สามารถรับบริการและไม่เกิดปัญหาการรบกวนการจ่าย DHCP จากอุปกรณ์ส่วนตัว หรือการรบกวนจากปัญหาเครือข่าย รวมถึงการคุกคามด้วยกลุ่มโปรแกรม Net-cut

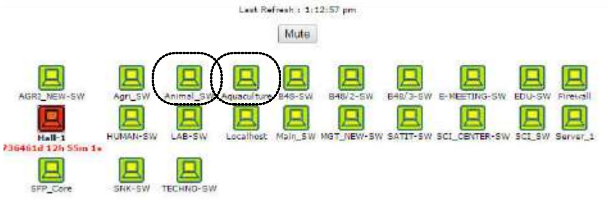
## 4. ผลการให้บริการ

ด้วยการออกแบบและการให้บริการระบบเครือข่ายด้วยเทคโนโลยี VLAN โดยเสนอข้อมูลจากไฟร์วอลล์ pfsense ตามรูปที่ 4 ด้วยผู้ใช้โดยเฉลี่ยที่วันละ 170 อุปกรณ์ จากบริการ DHCP ที่แสดงสถิติการเข้าใช้ ด้วยค่าสูงสุดที่ 50 Mbps เพราะเนื่องจากระยะในการเชื่อมต่อของบ้านพักอยู่มากกว่า 100 เมตร จึงสามารถให้บริการที่ 100 Mbps โดยมีผู้ใช้บริการตลอดทั้งวันต่างจากเครือข่ายหลักที่สูงในช่วงเวลาราชการ



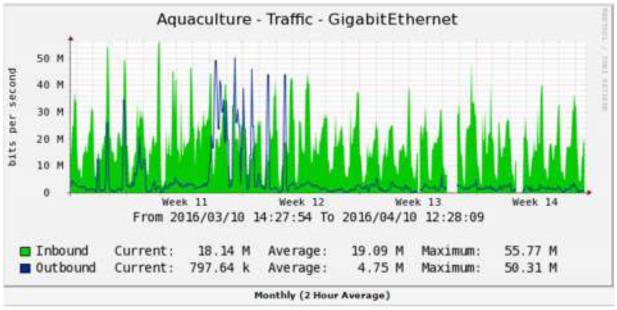

รูปที่ 4 ปริมาณการใช้งานของเครือข่ายบ้านพัก

พบว่าปริมาณข้อมูล Upload สูงสุด 9.26 Mbps และ Download สูงสุดที่ 47.66 Mbps และสามารถเทียบดูข้อมูลจากโปรแกรม Cacti ในรูปที่ 5,6 และ 7 ต่อไป



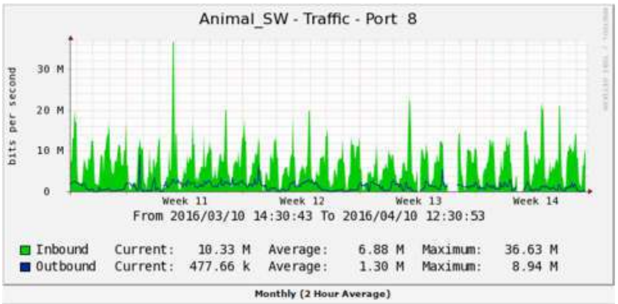

รูปที่ 5 รายงานสถานะบริการของอุปกรณ์สวิตช์

โปรแกรม Cacti รับข้อมูลผ่านโปรโตคอล SNMP จากสวิตช์ของเครือข่ายบ้านพักฯ ที่ถูกเพิ่ม VLAN 1006 ไปสำหรับใช้ตรวจสอบสถานะและการจราจรข้อมูล จากรูปที่ 5 ได้แก่ Animal_SW และ Aquaculture ซึ่งสามารถแสดงข้อมูลการจราจรเมื่อกดเข้าไปที่ภาพตามรูปที่ 6 พบว่ามีปริมารข้อมูลเข้า-ออกสูงสุดกว่า 50 Mbps แต่โดยเฉลี่ยอยู่ที่ 4.75 Mbps




รูปที่ 6 ปริมาณข้อมูลของสวิตช์หลักเครือข่ายบ้านพัก

สำหรับรูปที่ 7 นำเสนอข้อมูลในสวิตช์ย่อยที่ทำการตรวจสอบจากช่อง Uplink พบว่ามีข้อมูล Upload สูงสุดที่ 8.94 Mbps และ Download สูงสุดที่ 36.63 Mbps




รูปที่ 7 ปริมาณข้อมูลของสวิตช์ย่อยเครือข่ายบ้านพัก

จากการให้บริการเครือข่ายบ้านพักฯ พบว่ามีการให้บริการที่มีประสิทธิภาพสูงขึ้นด้วยปริมารข้อมูลเข้า-ออก พร้อมด้วยระบบตรวจสอบสถานะจากโปรแกรม Cacti ทำให้ผู้ดูแลและรับผิดชอบทำงานได้สะดวกขึ้น เมื่อเกิดปัญหาในระบบเครือข่าย

## 5. สรุปและอภิปรายผลการวิจัย

จากปัญหาของการให้บริการเครือข่ายสำหรับบ้านพักอาศัยหรือกรณีศึกษาบ้านพักบุคลากรของมหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา ด้วยการนำเทคโนโลยี VLAN เข้ามาช่วยออกแบบพบว่าด้านตัวเลขการใช้งานมีปริมาณผู้ใช้สูงถึง 170 อุปกรณ์ต่อวัน และปริมารข้อมูลสูงกว่า 50 Mbps พร้อมทั้งสามารถตรวจสอบสวิตช์ที่ให้บริการด้วยโปรแกรมตรวจสอบอย่าง Cacti ที่รายงานแบบ real time ด้วยการออกแบบดังกล่าว ถูกนำไปพัฒนากับเครือข่ายหลักของมหาวิทยาลัย ในการดูแลห้องปฏิบัติการคอมพิวเตอร์จำนวน 11 ห้อง ด้วยแนวคิดดังกล่าวนำมาแยก VLAN ของแต่ละห้อง เพื่อป้องกันการใช้โปรแกรมหรือการรบกวนเครือข่ายระหว่างการเรียนการสอน จึงทำให้เครือข่ายมีประสิทธิภาพในการให้บริการการเรียนการสอนเพิ่มขึ้น แต่สิ่งที่สำคัญในการออกแบบครั้งนี้ คือบริการ DHCP และการกำหนดค่าไฟร์วอลล์ เพื่อให้สามารถรองรับการทำงานแบบหลาย VLAN ได้อย่างมีประสิทธิภาพ เพราะนอกเหนือจากการแยกเครือข่ายเป็นเครือข่ายย่อยอย่าง VLAN การกำหนดค่าให้ทุก VLAN ทำงานร่วมกับ DHCP และไฟร์วอลล์ถือว่ามีความสำคัญเช่นกัน

## 6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยพร้อมกับสำนักวิทยบริการและเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา ที่สนับสนุนการทำงานวิจัยและนำเสนอผลงานไว้ ณ ที่นี้

### เอกสารอ้างอิง

[1] สำนักงานพัฒนาธุรกรรมอิเล็กทรอนิกส์ (องค์กรมหาชน), *"รายงานผลสำรวจพฤติกรรมผู้ใช้อินเทอร์เน็ตในประเทศไทย ปี 2558"*, กระทรวงเทคโนโลยีและการสื่อสาร, 2558.

[2] Wikipedia. (2016, Jan. 3). "Wireless distribution system" [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Wireless_distribution_syst

[3] Wikipedia. (2016, Mar. 18). "Virtual LAN" [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Virtual_LAN

[4] สาธิต ขวัญชุม และศิวาวัฒน์ พีระพัฒน์. "การบริหารจัดการเครือข่ายไร้สายด้วยเทคโนโลยี VLAN กรณีศึกษา อาคารวิชาการ 1-9 มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์," ใน *National Conference on Computer Information Technologies, 2014*.

[5] นรินทร์ บิลสัน กฤษณ์วรา รัตนโอภาส และนลินี อินทมะโน. "การวิเคราะห์ประสิทธิภาพลินุกซ์เกตเวย์ด้วยรูปแบบเวอร์ชวลไลเซชั่น," ใน *การประชุมวิชาการระดับประเทศด้านเทคโนโลยีสารสนเทศ (National Conference on Information Technology: NCIT) ครั้งที่ 7, 2015,* น. 304-308.

[6] A. M. Haji Nur, " Performance Analysis of LAN and VLAN Using Soft Computing Techniques," in *IOSR Journal of Electronics and Communication Engineering (IOSR-JECE)*, vol. 9, www.iosrjournals.org, 2014, pp. 10-16.

# การควบคุมความเร็วรอบของอินดักชันมอเตอร์ด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์

# Speed Control of A Single Phase Induction Motor using Microcontroller

**ไวยพจน์ ศุภบวรเสถียร และ วิภาวัลย์ นาคทรัพย์**

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสยาม

38 ถ.เพชรเกษม แขวงบางหว้า เขตภาษีเจริญ กรุงเทพมหานคร โทรศัพท์ 02-457-0068 ต่อ 5122

E-mail: vyapotes.sup@siam.edu, wipavan.nar@siam.edu

## บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการควบคุมความเร็วรอบของอินดักชันมอเตอร์โดยใช้วิธีการสร้างแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับให้มีความถี่ตามต้องการ โดยที่ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นตัวกำเนิดสัญญาณ PWM และทำการวัดความเร็วรอบของมอเตอร์ ความถี่ที่ต้องการนี้นำไปควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ซึ่งสามารถกำหนดค่าได้จากคีย์แพ็ด โดยมีจอแอลซีดีทำหน้าที่แสดงค่าความเร็วรอบที่ต้องการ ซึ่งชุดควบคุมความเร็วรอบของอินดักชันมอเตอร์โดยการปรับความถี่ที่นำเสนอได้ถูกสร้างขึ้นและทำการทดสอบ ผลการทดสอบพบว่ามีค่าความผิดพลาดความเร็วรอบของมอเตอร์ไม่เกิน ± 1.2 %

คำสำคัญ: อินดักชันมอเตอร์, ไมโครคอนโทรลเลอร์, ความเร็วรอบ, ความถี่

## Abstract

This paper presents a variable speed control of an induction motor using voltage/frequency method. The microcontroller is used to generate PWM (pulse width modulation) waveform and to measure speed of the motor. The desired frequency to control speed according is selected from the keypad. The LCD is displayed by the setting speed. The proposed machine is constructed and tested. Its performance is demonstrated to have an error of the speed not greater than ± 1.2 %.

Keywords: induction motor, microcontroller, speed, frequency

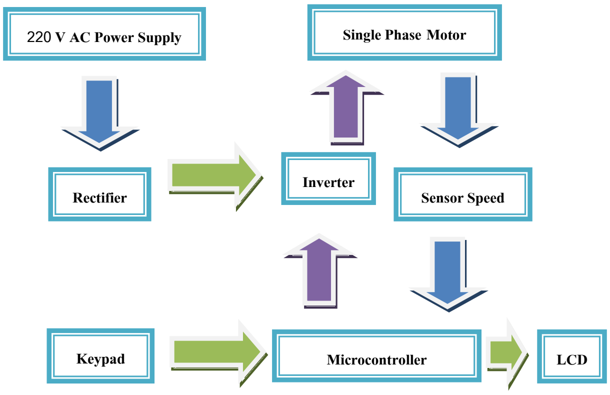
## 1. บทนำ

ในปัจจุบันอินเวอร์เตอร์ได้พัฒนาไปอย่างรวดเร็ว และมีการใช้งานอย่างแพร่หลายในทางอุตสาหกรรม เพื่อใช้ในการปรับความเร็วรอบของมอเตอร์ ซึ่งความเร็วรอบของมอเตอร์ มีความสัมพันธ์กับสมการความเร็วรอบ Synchronous speed,n = (120*f)/p ถ้าต้องการเปลี่ยนค่าความเร็วรอบ จะสามารถเปลี่ยนได้ที่ความถี่ (f) หรือจำนวนขั้วแม่เหล็ก (p) ที่มี 4 ขั้ว แต่โดยทั่วไปจะเปลี่ยนที่ค่าความถี่ เพราะการเปลี่ยนที่จำนวนขั้วแม่เหล็กเป็นเรื่องที่ยาก และใช้ต้นทุนสูง ส่วนใหญ่อินเวอร์เตอร์ทั่วไปจะมีการปรับความถี่โดยใช้มือในการปรับค่า ซึ่งจะไม่สามารถระบุความเร็วรอบได้ และไม่มีการแสดงค่าความเร็วรอบให้ทราบ ดังนั้นผู้จัดทำจึงมีแนวคิดที่จะออกแบบและสร้างชุดควบคุมความเร็วรอบอินดักชันมอเตอร์โดยการปรับความถี่ด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อที่จะสามารถกำหนดความเร็วรอบ และแสดงค่าความเร็วรอบปัจจุบันได้ พร้อมกับควบคุมความเร็วรอบให้มีค่าคงที่ตามที่กำหนดโดยมีขอบเขตการทำงานดังนี้

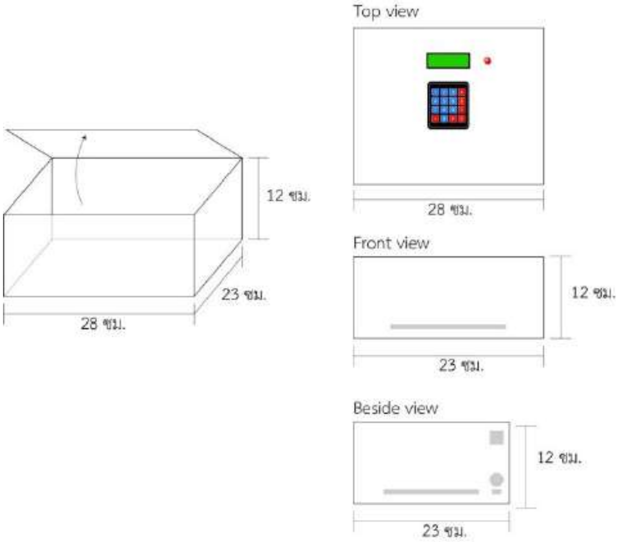
- ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 เป็นตัวควบคุม
- ป้อนค่าอินพุตทางคีย์แพ็ดและแสดงผลทางจอแอลซีดี
- แหล่งจ่ายเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 220 V
- เลือกความเร็วรอบมอเตอร์ได้ตั้งแต่ 900 rpm - 2,100 rpm โดยการปรับค่าความถี่ตั้งแต่ 30 Hz-70 Hz
- ใช้อินดักชันมอเตอร์ขนาด 1/4 HP

## 2. การออกแบบและสร้าง

การออกแบบและสร้างชุดควบคุมความเร็วรอบของอินดักชันมอเตอร์โดยการปรับความถี่ด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ มีบล็อกไดอะแกรมรวมแสดงดังรูปที่ 1 และมีโครงสร้างแสดงดังรูปที่ 2



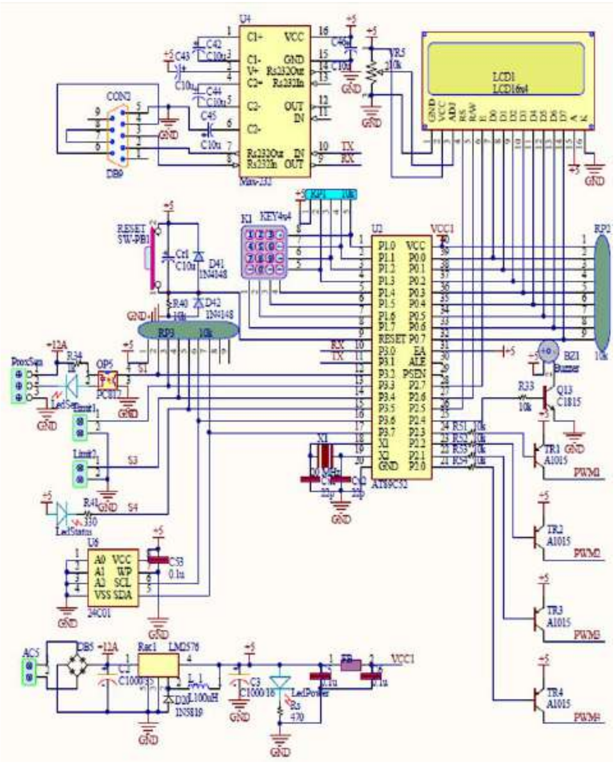

รูปที่ 1 บล็อกไดอะแกรมรวมที่นำเสนอ



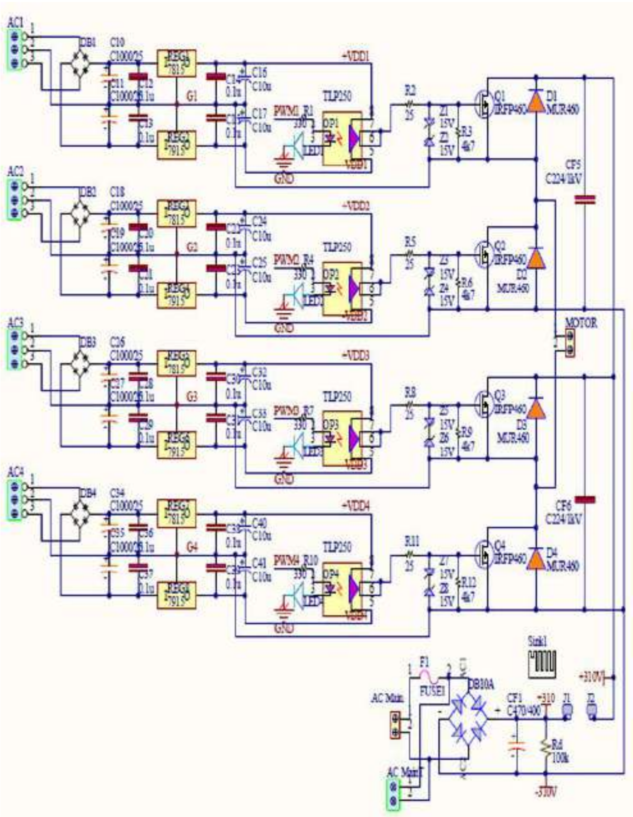

รูปที่ 2 โครงสร้างที่นำเสนอ

หลักการทำงานของชุดควบุมที่นำเสนอเป็นดังนี้ ในการเขียนโปรแกรมเลือกใช้ภาษาแอสเซมบลี้ แล้วบันทึกลงในไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ไปควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ให้ได้จำนวนรอบที่ต้องการ ซึ่งสามารถเลือกความเร็วรอบได้ในช่วง 900 rpm – 2100 rpm จากการกดคีย์แพ็ด (Keypad 1 = 900 rpm แต่ละคีย์ที่เพิ่มขึ้น 1 จะเพิ่มความเร็วรอบครั้งละ 150 rpm จนถึง keypad 9 = 2100 rpm) โดยจอแอลซีดีแสดงการเลือกความเร็วรอบจากกดคีย์แพ็ด เมื่อเลือกความเร็วรอบที่ต้องการผ่านการกดคีย์แพ็ดแล้ว ไมโครคอนโทรลเลอร์จะควบคุมลำดับการทำงานของมอสเฟตกำลังในวงจรอินเวอร์เตอร์ เพื่อแปลงไฟฟ้ากระแสตรงที่ได้มาจากวงจรเรียงกระแสให้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับที่มีค่าความถี่ตามที่โปรแกรมไว้และป้อนให้กับมอเตอร์เพื่อให้ได้ความเร็วรอบตามที่ต้องการ

วงจรรวมของชุดควบคุมที่นำเสนอแสดงดังรูปที่ 3 และ 4 ตามลำดับ โดยที่รูปที่ 3 คือวงจรการต่อเชื่อมกันระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์ คีย์แพ็ดและจอแอลซีดี ส่วนในรูปที่ 4 เป็นวงจรการต่อวงจรอินเวอร์เตอร์ ซึ่งจากรูปที่ 4 นี้ความถี่จะส่งมาที่ขา PWM และมายังไอซีเบอร์ TLP250 ซึ่งมีแรงดันไฟเลี้ยงวงจรมีค่าเป็น ± 15 V กรณีที่หลอดแอลอีดีสว่าง จะทำให้ไอซี TLP250 ทำหน้าที่ขับเกตปล่อยสัญญาณออกไปเข้าสู่มอสเฟสกำลังโดยใช้หลักการหน่วงเวลา ซึ่ง PWM1, PWM2 และ PWM3, PWM4 จะทำงานพร้อมกันไม่ได้ เพราะถ้าทำงานพร้อมกันกระแสไหลลงกราวด์ ทำให้เกิดการลัดวงจรและวงจรเสียหายได้ จึงเขียนโปรแกรมให้ PWM1 ทำงานพร้อมกับ PWM4 และ PWM2 ทำงานพร้อมกับ PWM3 โดยหน่วงเวลาสลับกันทำงานเพื่อให้ได้ความถี่ตามต้องการ

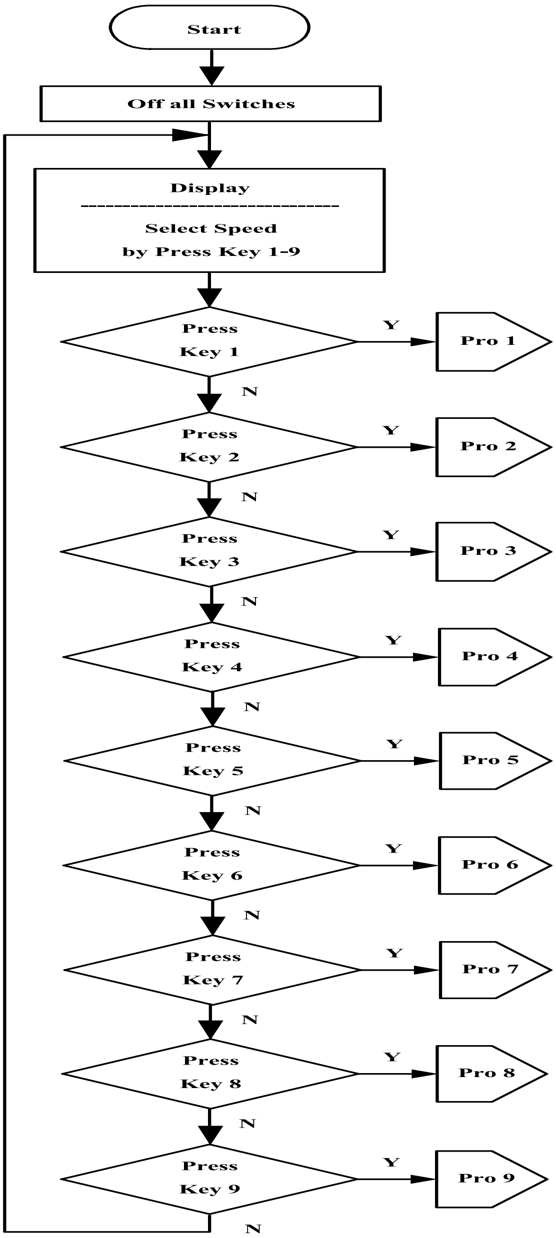


รูปที่ 3 วงจรการต่อชุดควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์



รูปที่ 4 วงจรการต่ออินเวอร์เตอร์

การออกแบบและสร้างชุดควบคุมความเร็วรอบของอินดักชันมอเตอร์โดยการปรับความถี่ด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ มีแผนผังการทำงาน ( Flow Chart ) ดังรูปที่ 5



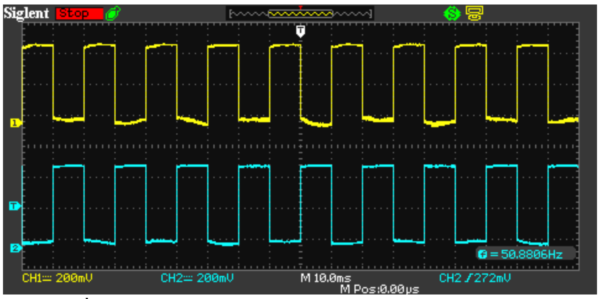

**รูปที่ 5** แผนผังการทำงานที่นำเสนอ

โปรแกรมทั้งหมดประกอบด้วย โปรแกรมย่อย 9 โปรแกรม ได้แก่ โปรแกรมย่อยที่ 1 เป็นการกดคีย์แพ็ดที่ 1 เพื่อกำหนดให้ความถี่มีค่าเป็น 30 Hz และความเร็วรอบ 900 rpm โปรแกรมย่อยที่ 2 เป็นการกดคีย์แพ็ดที่ 2 เพื่อกำหนดให้ความถี่มีค่าเป็น 35 Hz และความเร็วรอบ 1,050 rpm โปรแกรมย่อยที่ 3 เป็นการกดคีย์แพ็ดที่ 3 เพื่อกำหนดให้ความถี่มีค่าเป็น 40 Hz และความเร็วรอบ 1,200 rpm โปรแกรมย่อยที่ 4 เป็นการกดคีย์แพ็ดที่ 4 เพื่อกำหนดให้ความถี่มีค่าเป็น 45 Hz และความเร็วรอบ 1,350 rpm โปรแกรมย่อยที่ 5 เป็นการกดคีย์แพ็ดที่ 5 เพื่อกำหนดให้ความถี่มีค่าเป็น 50 Hz และความเร็วรอบ 1,500 rpm โปรแกรมย่อยที่ 6 เป็นการกดคีย์แพ็ดที่ 6 เพื่อกำหนดให้ความถี่มีค่าเป็น 55 Hz และความเร็วรอบ 1,650 rpm โปรแกรมย่อยที่ 7 เป็นการกดคีย์แพ็ดที่ 7 เพื่อกำหนดให้ความถี่มีค่าเป็น 60 Hz และความเร็วรอบ 1,800 rpm โปรแกรมย่อยที่ 8 เป็นการกดคีย์แพ็ดที่ 8 เพื่อกำหนดให้ความถี่มีค่าเป็น 65 Hz และความเร็วรอบ 1,950 rpm และ โปรแกรมย่อยที่ 9 เป็นการกดคีย์แพ็ดที่ 9 เพื่อกำหนดให้ความถี่มีค่าเป็น 70 Hz และความเร็วรอบ 2,100 rpm

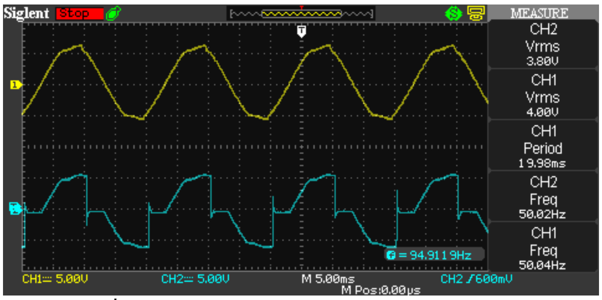
## 3. การทดลองและผล

ได้ทำการทดสอบการทำงานของชุดควบคุมที่นำเสนอโดยทำการทดลองใช้งานอินเวอร์เตอร์ที่ควบคุมโดยไมโครคอนโทรลเลอร์ เมื่อเริ่มจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับที่มีขนาดเป็น 220 V ให้กับวงจร ซึ่งหน้าจอแอลซีดีจะแสดงข้อความว่า “Select Speed by Press Key 1-9” เมื่อกดเลือกค่าความเร็วรอบทางคีย์แพ็ดเรียบร้อยแล้ว โปรแกรมไมโครคอนโทรลเลอร์จะควบคุมให้คาบเวลาคงที่แล้วจะทำการเปลี่ยนค่าเวลาช่วงเปิด-ปิดของวงจร ที่สัมพันธ์กับความถี่ตามโปรแกรมที่เขียนกำกับเลขคีย์แพ็ดไว้ วงจรจะไม่หยุดทำงานจนกว่าจะกดปุ่ม Reset สามารถคำนวณค่าความถี่ได้จากสูตรความเร็วรอบตามสมการที่อ้างไว้ในบทนำ โดยค่าความถี่ ความเร็วรอบ และการกดคีย์แพ็ด มีความสัมพันธ์กันดังตารางที่ 1 เมื่อเลือกค่าความเร็วรอบตามต้องการแล้วบันทึกผลการทดลองเป็นไปในกรณีไม่มีโหลดได้ตามตารางที่ 2 และรูปตัวอย่างผลการทดลองเมื่อเลือกกดคีย์ 5 ได้สัญญาณ PWM1 และ PWM2, สัญญาณอินพุตและเอาต์พุต แสดงดังรูปที่ 6-8 ตามลำดับ

รูปที่ 6 หน้าจอแอลซีดีขณะกดเลือกคีย์ 5




รูปที่ 7 สัญญาณของ PWM1 และ PWM2 ขณะกดเลือกคีย์ 5




รูปที่ 8 สัญญาณอินพุตและเอาต์พุตขณะกดเลือกคีย์ 5

ตารางที่ 1 ความสัมพันธ์ของค่าความถี่ ความเร็วรอบ และ การกดคีย์แพ็ด

| การกดคีย์แพ็ด | ความถี่ (Hz) | ความเร็วรอบ (rpm) | คาบเวลา (ms) | หน่วงเวลา (ms) |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 30 | 900 | 33.333 | 16.667 |
| 2 | 35 | 1050 | 28.571 | 14.286 |
| 3 | 40 | 1200 | 25.000 | 12.500 |
| 4 | 45 | 1350 | 22.222 | 11.111 |
| 5 | 50 | 1500 | 20.000 | 10.000 |
| 6 | 55 | 1650 | 18.182 | 9.091 |
| 7 | 60 | 1800 | 16.667 | 8.333 |
| 8 | 65 | 1950 | 15.385 | 7.693 |
| 9 | 70 | 2100 | 14.286 | 7.143 |

ตารางที่ 2 ผลการทดลองวัดค่าความเร็วรอบของมอเตอร์ขณะไม่มีโหลด

| คีย์ที่กด | ความเร็วรอบที่ต้องการ (rpm) | ความเร็วรอบมอเตอร์ (rpm) | Error (%) |
|---|---|---|---|
| 1 | 900 | 890 | 1.111 |
| 2 | 1050 | 1045 | 0.476 |
| 3 | 1200 | 1195 | 0.417 |
| 4 | 1350 | 1340 | 0.741 |
| 5 | 1500 | 1495 | 0.333 |
| 6 | 1650 | 1640 | 0.606 |
| 7 | 1800 | 1790 | 0.556 |
| 8 | 1950 | 1937 | 0.667 |
| 9 | 2100 | 2090 | 0.476 |

## 3. สรุป

ชุดควบคุมความเร็วรอบของอินดักชันมอเตอร์โดยการปรับความถี่ด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ ที่นำเสนอนี้ พบว่าการทำงานของอินเวอร์เตอร์ที่ควบคุมโดยไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ได้ออกแบบและสร้างขึ้นนี้ เมื่อทำการทดลองใช้งานจริงได้ผลเป็นไปหลักการ นั่นคือเมื่อเลือกความเร็วรอบของมอเตอร์โดยการกดคีย์แพ็ด แล้วไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำการกำเนิดสัญญาณ PWM ตามความถี่ที่ต้องการโดยการเขียนโปรแกรม และส่งกระแสไฟฟ้าไปยังชุดวงจรอินเวอร์เตอร์ เพื่อที่จะนำไปขับมอเตอร์ต่อไป ตัวอย่างเช่นถ้ากดคีย์ 3 (1200 rpm) มอเตอร์จะหมุนประมาณ 1195 rpm ซึ่งมีค่าความผิดพลาดเล็กน้อยเกิดขึ้น เมื่อพิจารณาโดยรวมจะมีค่าความผิดพลาดไม่เกิน ± 1.2 % วงจรจะไม่หยุดทำงานและไม่สามารถเลือกความเร็วรอบอื่น ๆ ได้จนกว่าจะมีการกดปุ่ม Reset จึงสรุปได้ว่าอินเวอร์เตอร์ที่ควบคุมโดยไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ได้สร้างขึ้นมานี้สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพตรงตามวัตถุประสงค์และสามารถนำไปใช้งานได้จริงในชีวิตประจำวัน และเป็นเครื่องต้นแบบในการพัฒนาต่อไปในอนาคต โดยมีข้อเสนอแนะดังนี้ คือทำการออกแบบรูปสัญญาณ PWM ให้เป็นคลื่นรูปไซน์ เพิ่มจำนวนความเร็วรอบให้สูงขึ้น และตั้งค่าความเร็วรอบได้จากการกดคีย์แพ็ดโดยตรงโดยไม่มีการกำหนดค่าไว้

## เอกสารอ้างอิง

[1] V. Subrahmanyam, "Electric drives," McGraw-Hill, 2005.
[2] P.S. Chaudhari, P. M. Patil, S.S. Patil, P.P. Kulkarni and R.M. Holmukhe, "Comparison of performance characteristic of squirrel cage induction motor by three phase sinusoidal and PWM inverter supply using MATLAB digital simulation," Third international conference on emerging trends in engineering and technology,2010.
[3] http://www.alldatasheet.com/view.jsp?Searchword=Irfp460.
[4] http://www.alldatasheet.com/At89c52.

ผศ.ไวยพจน์ ศุภบวรเสถียร
สำเร็จการศึกษา: คอ.ม. (เทคโนโลยีไฟฟ้า), คอ.บ. (วิศวกรรมไฟฟ้า) พ. ศ.2537, 2531 ตามลำดับ จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ปัจจุบัน: เป็นอาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยสยาม งานวิจัย:การประยุกต์ใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ ระบบควบคุม

# การสร้างมอเตอร์สวิตช์รีลักแตนซ์ชนิด 3 เฟส 12/8

# Construction of a 3-Phase 12/8 Switched Reluctance Motor

**สาคร วุฒิพัฒนพันธุ์[1] นครินทร์ นุชศิริ[1] ศิวกร บุราคร[1] และ สิทธิชัย ภู่เสือ[1]**
[1]สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
1381 ถนนประชาราษฎร์1 แขวงวงศ์สว่าง เขตบางซื่อ กรุงเทพฯ 10800 โทรศัพท์ 02-836-3000 ต่อ 4150 E-mail: sakhon.w@rmutp.ac.th

## บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการสร้างมอเตอร์สวิตช์รีลักแตนซ์ 3 เฟส ชนิด 12/8 (ขั้วสเตเตอร์/โรเตอร์) ชุดขับเคลื่อนมอเตอร์มี 2 ภาคสำคัญคือ ภาคกำลังและภาคควบคุม โดยภาคกำลังเลือกใช้วงจรแปลงผันกึ่งบริดจ์ไม่สมมาตรซึ่งใช้ไอจีบีทีเป็นสวิตช์จำนวน 2 ตัว/เฟส ในภาคควบคุมนั้นสัญญาณอินพุตส่วนหนึ่งมาจากเซนเซอร์ตรวจจับตำแหน่งขั้วโรเตอร์และอีกส่วนหนึ่งมาจากเซนเซอร์ตรวจจับกระแสที่ไหลผ่านขดลวดเฟส แล้วนำสัญญาณอินพุตมาประมวลผลด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ AVR ATmega 16 เพื่อควบคุมมอเตอร์ โดยทำการทดสอบทิศทางการหมุนและปรับความเร็วรอบเพื่อพิสูจน์ว่ามอเตอร์ที่สร้างขึ้นสามารถทำงานได้จริง

คำสำคัญ: มอเตอร์สวิตช์รีลักแตนซ์, วงจรแปลงผันกึ่งบริดจ์ไม่สมมาตร

## Abstract

This paper presents a construction of 3-phase 12/8 Switched Reluctance Motor (SRM). Motor drive set consists of two main parts that is the power part and the control part. Power part is an asymmetric half-bridge converter which uses two IGBTs as switching devices in each phase. In the control part, one set of input signals received from the rotor pole position sensors and another one received from the phase winding current sensors. Those input signals are processed by a microcontroller AVR ATmega16 for control the motor. Direction test and speed test are used to prove that the motor can be practically work.

Keywords: switched reluctance motor, asymmetric half-bridge converter

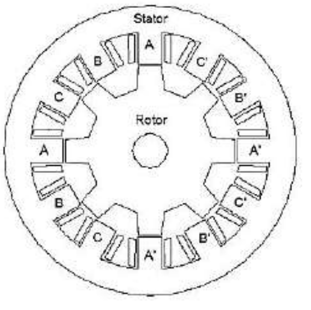
## 1. บทนำ

มอเตอร์สวิตช์รีลักแตนซ์ไม่สามารถต่อกับแหล่งจ่ายไฟโดยตรง จำเป็นต้องใช้ชุดขับเคลื่อนเพื่อให้มันสามารถทำงานได้ รวมทั้งเกิดการกระเพื่อมของแรงบิด (Torque Ripple) และมีเสียงรบกวน [1] แต่ทั้งนี้มันก็มีโครงสร้างที่เรียบง่าย ทนทาน และมีความเชื่อถือได้สูง [2] ที่สำคัญส่วนโครงสร้างของตัวมอเตอร์สวิตช์รีลักแตนซ์จะมีต้นทุนไม่สูงและทำงานได้ตั้งแต่ความเร็วรอบต่ำไปจนถึงความเร็วรอบที่สูงมาก ถึงแม้วงจรแปลงผันที่ใช้ขับเคลื่อนมอเตอร์ชนิดนี้มีหลายชนิด แต่ที่นิยมใช้กันมากที่สุดคือวงจรแปลงผันกึ่งบริดจ์ไม่สมมาตร จึงทำการสร้างมอเตอร์สวิตช์รีลักแตนซ์ 3 เฟส ชนิด 12/8 ซึ่งขับเคลื่อนด้วยวงจรแปลงผันกึ่งบริดจ์ไม่สมมาตรเพื่อใช้เป็นต้นแบบในการศึกษาและพัฒนาการขับเคลื่อนมอเตอร์ชนิดนี้ต่อไป

## 2. หลักการที่เกี่ยวข้อง

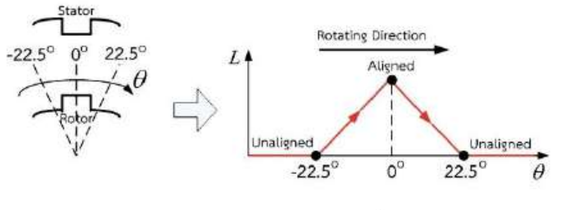
### 2.1 มอเตอร์สวิตช์รีลักแตนซ์ 3 เฟส ชนิด 12/8

มอเตอร์สวิตช์รีลักแตนซ์ คือมอเตอร์ที่มีโครงสร้างเรียบง่าย โดยทั้งสเตเตอร์และโรเตอร์มีลักษณะขั้วยื่น และทำมาจากแผ่นเหล็กบางอัดซ้อนกัน ที่สเตเตอร์มีการพันขดลวดแบบกระจุก (Concentrated Winding) แต่ที่โรเตอร์จะไม่มีขดลวดและแท่งตัวนำหรือแม้แต่แม่เหล็กถาวร โดยแรงบิดแต่ละเฟสจะเกิดขึ้นได้เมื่อป้อนกระแสเข้าไปที่ขดลวดสเตเตอร์แล้วทำให้โรเตอร์พยายามเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งที่ทำให้เกิดค่าความเหนี่ยวนำสูงสุด ทำให้ค่าความเหนี่ยวนำแต่ละเฟสเป็นฟังก์ชั่นของทั้งกระแสเฟสและตำแหน่งโรเตอร์ [3] ซึ่งเฟสถัดไปจะมีลักษณะเช่นเดียวกัน เมื่อทุกเฟสทำงานตามลำดับจึงทำให้โรเตอร์หมุนได้ แต่จะเกิดการกระเพื่อมของแรงบิดจากการรับ-ส่งของแต่ละเฟส โดยรูปที่ 1 แสดงภาพตัดของมอเตอร์สวิตช์รีลักแตนซ์ 3 เฟส ชนิด 12/8 ซึ่งพันขดลวดสเตเตอร์เฟสละ 4 ขั้ว จึงได้จำนวน 3 เฟส นั่นคือ เฟส A เฟส B และ เฟส C ตามลำดับ




**รูปที่ 1** รูปหน้าตัดของมอเตอร์สวิตช์รีลักแตนซ์ 3 เฟส ชนิด 12/8

เนื่องจากมอเตอร์เป็นชนิด 3 เฟส สเตเตอร์มี 12 ขั้ว และโรเตอร์มี 8 ขั้ว ดังนั้นตำแหน่งการเคลื่อนที่ของหนึ่งขั้วโรเตอร์หรือหนึ่งคาบการทำงานแต่ละเฟสคือ 45° (360°/8) ถ้ากำหนดให้ตำแหน่ง aligned คือ 0° เมื่อให้หมุนแบบตามเข็มนาฬิกา ช่วงที่เกิดแรงบิดค่าบวกคือ -22.5° ถึง 0° และช่วงที่เกิดแรงบิดค่าลบคือ 0° ถึง 22.5° ดังแสดงในรูปที่ 2



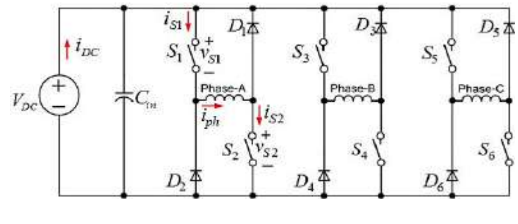

**รูปที่ 2** การเคลื่อนที่ของโรเตอร์ในหนึ่งคาบการทำงานของแต่ละเฟส

## 2.2 วงจรแปลงผันกึ่งบริดจ์ไม่สมมาตร

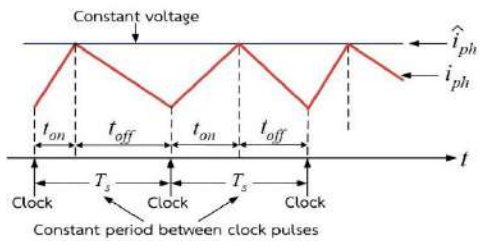
วงจรแปลงผันกึ่งบริดจ์ไม่สมมาตรจะมีสวิตช์และไดโอดสองตัวต่อเฟส โดยรูปที่ 3 แสดงวงจรแปลงผันกึ่งบริดจ์ไม่สมมาตร 3 เฟส ซึ่งวงจรนี้สามารถสร้างแรงดันตกคร่อมขดลวดเฟสได้ทั้งค่าบวก ค่าศูนย์ และค่าลบ จึงมีประสิทธิภาพในการควบคุมรูปร่างของกระแสเฟส มีความยืดหยุ่น มีความน่าเชื่อถือในการทำงาน และเนื่องจากแต่ละเฟสเป็นอิสระต่อกัน ดังนั้นเมื่อเฟสใดเกิดปัญหาเฟสอื่นก็ยังคงทำงานต่อไปได้

วงจรแปลงผันชนิดนี้มีสองโหมดการทำงานคือ กรณีมอเตอร์มีความเร็วรอบสูงค่าแรงดันต้านกลับของขดลวดจะช่วยจำกัดกระแสเฟสได้ตามธรรมชาติจึงทำงานในโหมดกระแสพัลส์ แต่กรณีมอเตอร์มีความเร็วรอบต่ำทำให้ค่าแรงดันต้านกลับไม่สูงพอที่จะจำกัดกระแสเฟสจึงต้องควบคุมให้สวิตช์ทำการสับ (Chop) ด้วยความถี่สูงซึ่งเรียกว่าโหมดคุมค่ากระแส งานวิจัยนี้เลือกใช้แบบความถี่การสวิตช์คงที่ (Current Regulated PWM) ซึ่งมีคาบการสวิตช์คงที่ โดยสวิตช์จะเริ่มนำกระแสที่เวลาเริ่มต้นของคาบการสวิตช์ ส่วนวัฏจักรงาน (Duty Cycle) ของสวิตช์จะแปรตามกระแสเฟสซึ่งเทียบกับระดับกระแสอ้างอิงดังแสดงในรูปที่ 4 ซึ่งการคุมค่ากระแสแบบนี้ยังแบ่งออกเป็นการสับกระแสแบบหนัก (Hard Chopping) และการสับกระแสแบบนุ่มนวล (Soft Chopping) [4]

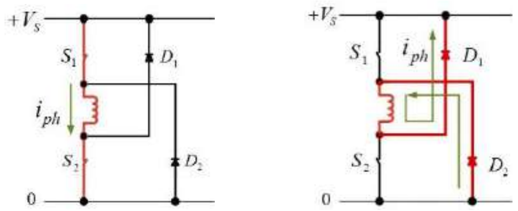
บทความนี้ทดสอบเพียงความเร็วรอบต่ำและต้องการวิธีควบคุมที่ไม่ซับซ้อนจึงเลือกคุมค่ากระแสแบบ Hard Chopping ซึ่งสถานะการทำงานของสวิตช์และไดโอดมีสองสถานะคือ สถานะที่สวิตช์ on ทั้งคู่ แรงดันตกคร่อมขดลวดเฟสจะมีค่าเท่ากับแรงดันของแหล่งจ่ายกระแสของขดลวดเฟสจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว โดยทิศทางกระแสที่ไหลผ่านขดลวดเฟสของสถานะนี้แสดงไว้ในรูปที่ 5 (a) อีกสถานะคือเมื่อสวิตช์ off ทั้งคู่ กระแสจะไหลผ่านไดโอดทั้งสองตัวเพื่อคืนพลังงานให้กับแหล่งจ่าย แรงดันตกคร่อมขดลวดเฟสมีค่าเป็นลบของแหล่งจ่ายทำให้กระแสของขดลวดเฟสลดลงอย่างรวดเร็ว โดยทิศทางกระแสที่ไหลผ่านขดลวดเฟสของสถานะนี้แสดงไว้ในรูปที่ 5 (b)




**รูปที่ 3** วงจรแปลงผันกึ่งบริดจ์ไม่สมมาตร ชนิด 3 เฟส




**รูปที่ 4** รูปคลื่นกระแสเฟสเมื่อคุมค่ากระแสแบบความถี่การสวิตช์คงที่




(a) (b)

**รูปที่ 5** ทิศทางกระแสของขดลวดเฟสเมื่อควบคุมแบบ Hard Chopping

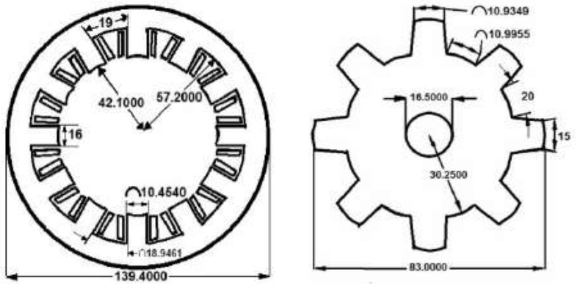
## 2.3 ไมโครคอนโทรลเลอร์ AVR ATmega16

ไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์นี้มีความเร็วและหน่วยความจำที่เหมาะสม นั่นคือ อินพุต/เอาท์พุต จำนวน 32 พอร์ต ซึ่งมากพอที่จะใช้ในการควบคุมมอเตอร์ และมีโมดูลสร้างสัญญาณ Pulse Width Modulation (PWM) จำนวน 4 ช่องซึ่งเหมาะกับการควบคุมเกตของไอจีบีที มีโมดูลแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอลขนาด 10 บิต เพื่อใช้แปลงสัญญาณแรงดันที่ได้จากการตรวจวัดกระแส และสามารถสื่อสารกับอุปกรณ์ภายนอกได้หลายแบบจึงเหมาะสำหรับใช้เพื่อพัฒนาการควบคุมมอเตอร์สวิตช์รีลักแตนซ์ต่อไปในอนาคต

## 3. การสร้างมอเตอร์สวิตช์รีลักแตนซ์

### 3.1 โครงสร้างสเตเตอร์และโรเตอร์

แกนเหล็กสเตเตอร์และโรเตอร์จะใช้เลเซอร์ตัดแผ่นเหล็กบางให้มีรูปหน้าตัดเป็น 12 ขั้ว และ 8 ขั้ว ดังรูปที่ 6 (a) และ 6 (b) ตามลำดับ แล้วนำมาอัดซ้อนกันเพื่อขึ้นรูปเป็นโครงสร้างของสเตเตอร์ และโรเตอร์ จากนั้นสอดเพลาร้อยเข้าไปในรูของโรเตอร์และประกอบหัวท้ายของเพลาด้วยตลับลูกปืนเพื่อยึดติดกับโครงสร้างของสเตเตอร์




(a) (b)

**รูปที่ 6** รูปหน้าตัดของสเตเตอร์และโรเตอร์ (หน่วยเป็นมิลลิเมตร)

## 3.2 ขดลวดสเตเตอร์

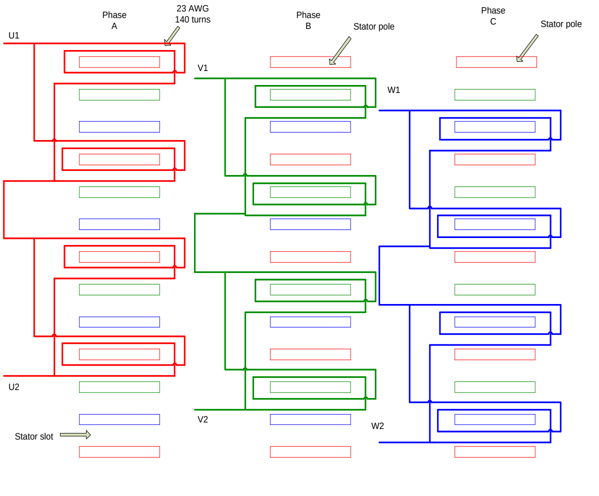
การคำนวณหาจำนวนรอบ ขนาด และความยาวของลวดทองแดงที่นำมาพันเป็นขดลวดสเตเตอร์ต้องกำหนดบางตัวแปรตามหลักเกณฑ์การพันขดลวดซึ่งพิจารณาจากมิติของสเตเตอร์[6] จากนั้นหาค่าตัวแปรที่เหลือโดยอาศัยสมการดังนี้

$$R = \frac{\rho}{A} l \qquad (1)$$

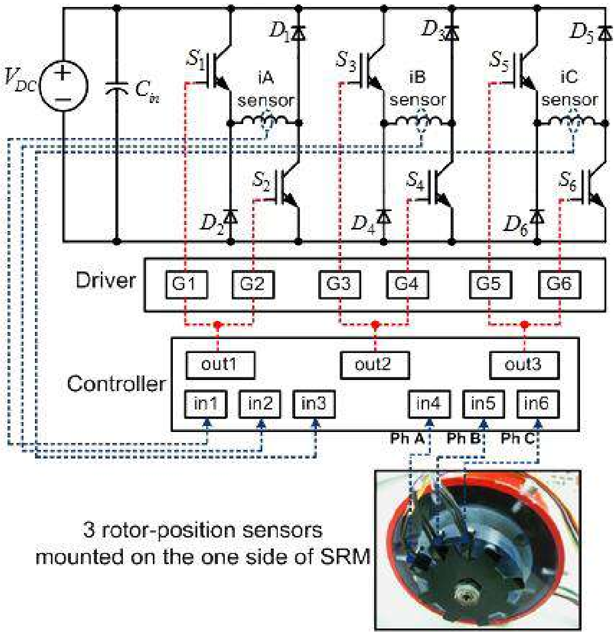
เมื่อ $R$ คือความต้านทานของขดลวด (Ω), $\rho$ คือความต้านทานจำเพาะของขดลวด (0.01786 x $10^{-6}$ Ω.m), $l$ คือความยาวของขดลวด (m) และ $A$ คือพื้นที่หน้าตัดของขดลวด ($m^2$)

การพันขดลวดของมอเตอร์สวิตช์รีลักแตนซ์ในบทความนี้เลือกพันให้เป็น 4 ขั้วแม่เหล็กต่อเฟส (เหนือ 2 ขั้ว และใต้ 2 ขั้ว) ดังรูปที่ 7 โดยพันให้ได้ค่าความต้านทานของขดลวด 2 โอห์ม/เฟส จำนวน 3 เฟส

นำเซนเซอร์ทั้งสามตัวมาติดตั้งที่ปลายเพลาด้านหนึ่งของมอเตอร์ จากนั้นต่อวงจรร่วมกับชุดขับเคลื่อนเพื่อให้สามารถทำงานได้ โดยไดอะแกรมของระบบทั้งหมดแสดงไว้ในรูปที่ 8




**รูปที่ 7** ลักษณะการพันขดลวดของมอเตอร์สวิตช์รีลักแตนซ์ที่สร้างขึ้น



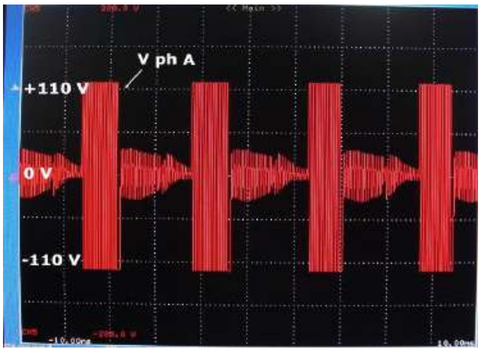

**รูปที่ 8** ไดอะแกรมของระบบขับเคลื่อนมอเตอร์สวิตช์รีลักแตนซ์

## 4. ผลการทดสอบ

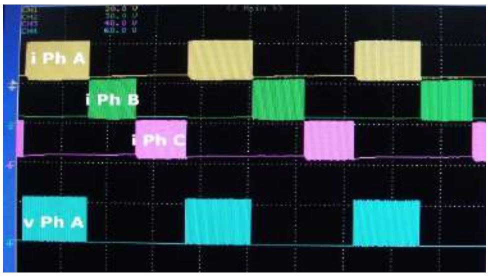
จากการทดสอบแรงดันตกคร่อมขดลวดของมอเตอร์ โดยยกตัวอย่างขดลวดเฟส A จะได้รูปคลื่นสัญญาณดังในรูปที่ 9 ซึ่งเห็นได้ว่าช่วงเวลาที่ขดลวดเฟส A ทำงานนั้นระดับแรงดันอยู่ระหว่าง +110 V DC ถึง -110 V DC (ระดับบวกและลบของแรงดันที่แหล่งจ่าย) แสดงว่าวงจรแปลงผันกึ่งบริดจ์ไม่สมมาตรที่ใช้สามารถทำงานได้ถูกต้องตามหลักการของโหมดคุมค่ากระแสแบบสับกระแสรุนแรง แต่ทั้งนี้ช่วงที่ขดลวดเฟส A ไม่ได้ทำงานก็ยังเกิดการแกว่ง (Oscillation) ของสัญญาณแรงดันที่ระดับศูนย์เนื่องมาจากการรบกวนของแรงดันเหนี่ยวนำในเฟส B และ C ขณะทำการวัดนั่นเอง

จากการทดสอบให้หมุนแบบตามเข็มนาฬิกา มอเตอร์จะทำงานในลักษณะเฟส A-B-C ดังรูปคลื่นสัญญาณในรูปที่ 10 และจากการทดสอบให้หมุนแบบทวนเข็มนาฬิกา มอเตอร์จะทำงานในลักษณะเฟส C-B-A ดังรูปคลื่นสัญญาณในรูปที่ 11 แสดงมอเตอร์สามารถหมุนได้ทั้งสองทิศทางโดยเรียงการทำงานแต่ละเฟสได้ถูกต้องตามหลักการ รวมทั้งมีการรับ-ส่งกระแสของเฟสที่อยู่ติดกันได้อย่างต่อเนื่อง

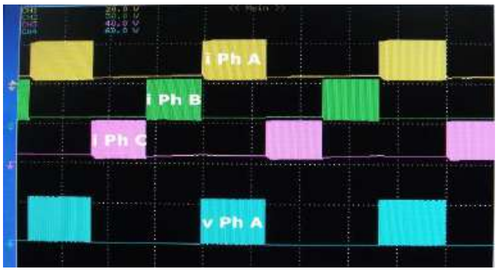
เมื่อป้อนแรงดันอินพุต 110 V DC เข้าชุดขับเคลื่อนมอเตอร์โดยใช้ความถี่การสวิตช์ของไอจีบีที 5 kHz จากนั้นปรับค่าค่าวัฏจักรงานในช่วง 50% - 75 % (ขั้นละ 5%) ความเร็วรอบของมอเตอร์จะเพิ่มและลดตามค่าวัฏจักรงาน หรือความเร็วรอบจะแปรผันตามค่าวัฏจักรงานเมื่อควบคุมด้วยวิธีที่ใช้ในบทความนี้ โดยความสัมพันธ์ระหว่างค่าวัฏจักรงานและความเร็วรอบของมอเตอร์เมื่อทดสอบแบบให้หมุนตามเข็มนาฬิกาและทวนเข็มนาฬิกาได้แสดงไว้ในรูปที่ 12 และรูปที่ 13 ตามลำดับ



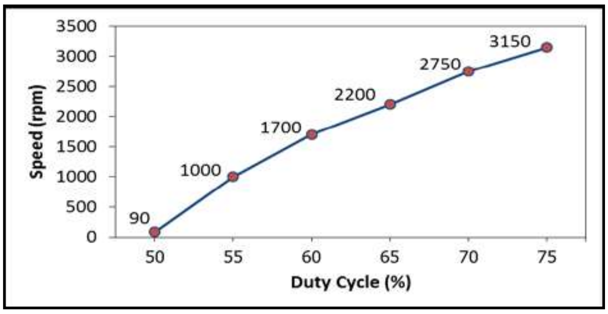

**รูปที่ 9** แรงดันตกคร่อมขดลวดเฟส A



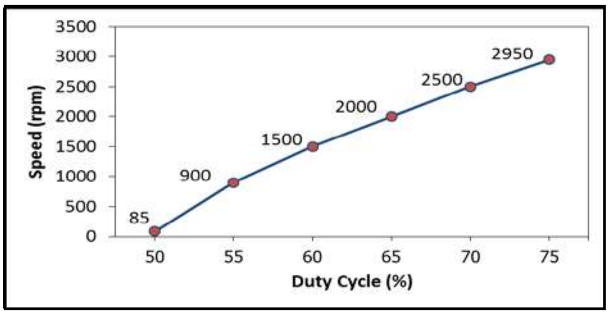

**รูปที่ 10** กระแสไอจีบีทีที่เฟส A เฟส B เฟส C และแรงดันตกคร่อมไอจีบีทีที่เฟส A กรณีหมุนแบบตามเข็มนาฬิกา




**รูปที่ 11** กระแสไอจีบีทีที่เฟส A เฟส B เฟส C และแรงดันตกคร่อมไอจีบีทีที่เฟส A กรณีหมุนแบบทวนเข็มนาฬิกา




**รูปที่ 12** ความสัมพันธ์ระหว่างค่าวัฏจักรงานของไอจีบีทีและความเร็วรอบของมอเตอร์เมื่อทดสอบแบบตามเข็มนาฬิกา




**รูปที่ 13** ความสัมพันธ์ระหว่างค่าวัฏจักรงานของไอจีบีทีและความเร็วรอบของมอเตอร์เมื่อทดสอบแบบทวนเข็มนาฬิกา

## 5. สรุป

มอเตอร์สวิตซ์รีลักแตนซ์มีโครงสร้างที่เรียบง่ายโดยมีขดลวดที่สเตเตอร์เท่านั้น จึงทำงานได้ตั้งแต่ความเร็วรอบต่ำๆ ไปจนถึงความเร็วรอบที่สูงมากได้ แต่ปัญหาสำคัญคือจำเป็นต้องมีชุดขับเคลื่อนที่จ่ายกระแสให้สัมพันธ์กับการเคลื่อนที่ของโรเตอร์ การควบคุมจึงมีความยุ่งยาก รวมทั้งมีการกระเพื่อมของแรงบิด เมื่อทำการทดสอบมอเตอร์และชุดขับเคลื่อนที่สร้างขึ้นมาพบว่าสามารถใช้งานได้จริงโดยมีค่าใช้จ่ายในส่วนโครงสร้างมอเตอร์ไม่สูง ส่วนข้อเสียที่เกิดขึ้นควรนำมาวิจัยเพิ่มเติมว่าต้องปรับปรุงส่วนใดในระบบเพื่อให้มอเตอร์ชนิดนี้สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพคุ้มค่ากับต้นทุนการผลิต

## เอกสารอ้างอิง

[1] สุพัฒน์ กิตติรัตน์สัจจา, มอเตอร์สวิตซ์รีลักแตนซ์: ทฤษฎีและการออกแบบ, พิมพ์ครั้งที่ 1, กรุงเทพฯ, แผนกตำรา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2550.

[2] Krishnan Ramu, Switched Reluctance Motor Drives: Modeling, Simulation, Analysis, Design, and Applications, Boca Raton, CRC Press, 2001.

[3] S. Woothipatanapan, A. Jangwanitlert, and P. Chancharoensook, "Efficiency Improvement of Converter for Switched Reluctance Motor Drives by Mixed Operation of IGBT and MOSFET," Proc. TENCON 2010, Japan, November 2010. pp. 1841-1846.

[4] T.J.E. Miller, Electronic Control of Switched Reluctance Machines, 1st ed., Oxford: Newnes, 2001.

[5] ประจิน พลังสันติกุล, การเขียนโปรแกรมควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์ AVR ด้วยภาษา C กับ Win AVR (C Complier) เล่ม 1, กรุงเทพฯ, บริษัท แอพซอฟต์เทค จำกัด, 2549.

[6] H. M. Rai, Principles of Electrical Machine Design, New Delhi, Sumitra Enterprises, 2004.

**บทความวิจัย**
การประชุมวิชาการ งานวิจัยและพัฒนาเชิงประยุกต์ ครั้งที่ 8
*8th ECTI-CARD 2016, Hua Hin, Thailand*

# แบบจำลองสำหรับประมาณค่าแรงบิดของมอเตอร์ชนิดสวิทช์รีลัคแตนซ์

# A Model for Torque Estimation of a Switched Reluctance Motor

**ไพโรจน์ ทองประศรี**
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ศรีราชา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา
199 ถนนสุขุมวิท ตำบลทุ่งสุขลา อำเภอศรีราชา จังหวัดชลบุรี 20230 E-mail: sfengprt@src.ku.ac.th

## บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับหาค่ากระแสของมอเตอร์ชนิดสวิทช์รีรัคแตนซ์ แบบจำลองนี้ถูกประยุกต์มาจากสมการหาค่าความเหนี่ยวนำแบบไม่เป็นเชิงเส้นโดยใช้วิธีการวิเคราะห์แบบอนุกรมฟูเรียร์ แบบจำลองของกระแสและความเหนี่ยวนำถูกนำไปใช้สำหรับประมาณค่าแรงบิดของมอเตอร์ มอเตอร์ชนิดสวิทช์รีลัคแตนซ์ 3 เฟส 12 ขั้วสเตเตอร์ 8 ขั้วโรเตอร์ ถูกนำไปทดลองเพื่อเปรียบเทียบกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ได้นำเสนอ ผลการทดลองที่ได้ยืนยันถึงความถูกต้องของแบบจำลองที่ได้นำเสนอ

คำสำคัญ: ความเหนี่ยวนำแบบไม่เป็นเชิงเส้น, แรงบิด, มอเตอร์ชนิดสวิทช์รีลัคแตนซ์

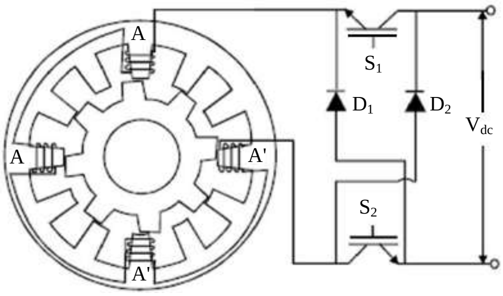
## Abstract

This paper presents a mathematical model to find the current of a switched reluctance motor. This model is applied from the nonlinear inductance equation using the Fourier series method. The current and inductance models are used to estimate the torque of the switched reluctance motor. A 3-phase switched reluctance motor with 12 stator poles 8 rotor poles is tested to compare with the proposed mathematical model. The experimental results have confirmed the validity of the proposed model.

Keywords: nonlinear inductance, torque, switched reluctance motor

## 1. บทนำ

มอเตอร์ชนิดสวิทช์รีลัคแตนซ์มีจุดเด่นเมื่อเปรียบเทียบกับมอเตอร์ชนิดอื่นได้แก่ ราคาถูก มีความทนทาน และมีแรงบิดสูง [1] อย่างไรก็ตามคุณลักษณะของมอเตอร์ชนิดสวิทช์รีลัคแตนซ์มีความไม่เป็นเชิงเส้นสูง สิ่งนี้เป็นอุปสรรคที่สำคัญในการวิเคราะห์และการออกแบบระบบควบคุมเพื่อประมาณค่าหรือควบคุมแรงบิด สำหรับการกระตุ้นให้มอเตอร์ชนิดสวิทช์รีลัคแตนซ์ทำงานนั้นโดยทั่วไปจะใช้วงจรคอนเวอร์เตอร์แบบบริดจ์สมมาตร ในรูปที่ 1 แสดงวงจรคอนเวอร์เตอร์แบบบริดจ์สมมาตร 1 กิ่งสำหรับกระตุ้นให้มอเตอร์ชนิดสวิทช์รีลัคแตนซ์ 3 เฟส 12 ขั้วสเตเตอร์ 8 ขั้วโรเตอร์ทำงาน การประมาณค่าแรงบิดของมอเตอร์ชนิดสวิทช์รีลัคแตนซ์นั้นมีความจำเป็นต้องสร้างแบบจำลองแรงบิดขึ้นมา เนื่องจากความอิ่มตัวความเป็นแม่เหล็กของมอเตอร์มีสูงมากส่งผลให้ความเหนี่ยวนำมีความไม่เป็นเชิงเส้นสูงด้วย ดังนั้นจึงมีความยากที่จะสร้างแบบจำลองของมอเตอร์เพื่อประมาณค่าแรงบิดของมอเตอร์ให้มีความถูกต้อง




**รูปที่ 1** วงจรคอนเวอร์เตอร์แบบบริดจ์สมมาตร 1 กิ่ง

แบบจำลองของมอเตอร์ชนิดสวิทช์รีลัคแตนซ์แบบคล้ายเชิงเส้นเป็นวิธีการที่ง่าย [2] อย่างไรก็ตามความเที่ยงตรงน้อยกว่าเมื่อเทียบกับแบบจำลองไม่เป็นเชิงเส้น ความสัมพันธ์ระหว่างเส้นแรงแม่เหล็กเกี่ยวคล้องกับกระแสและตำแหน่งของโรเตอร์ได้ถูกนำไปสร้างแบบจำลองแบบไม่เป็นเชิงเส้น [3] โดยใช้วิธีการปรับเส้นโค้งแต่วิธีการนี้ต้องการข้อมูลจำนวนมาก วิธีการประมาณค่าแรงบิดโดยใช้การคำนวณพลังงานที่อยู่ในรูปของสนามแม่เหล็กโดยใช้การประมาณค่าแบบเชิงเส้น วิธีการนี้จะมีความผิดพลาดสูงเมื่อคุณลักษณะของเส้นแรงแม่เหล็กมีความไม่เป็นเชิงเส้นเพิ่มขึ้น [4] ในบทความนี้นำเสนอวิธีการประมาณค่าแรงบิดของมอเตอร์โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ แบบจำลองนี้ถูกประยุกต์มาจากแบบจำลองของกระแสและความเหนี่ยวนำแบบไม่เป็นเชิงเส้นโดยใช้วิธีการวิเคราะห์แบบอนุกรมฟูเรียร์ มอเตอร์ชนิดสวิทช์

รีลัคแตนซ์ 3 เฟส 12 ขั้วสเตเตอร์ 8 ขั้วโรเตอร์ ได้ถูกนำไปทดสอบเพื่อยืนยันถึงความถูกต้องของแบบจำลองที่ได้นำเสนอ

## 2. แบบจำลองความเหนี่ยวนำแบบไม่เป็นเชิงเส้นของมอเตอร์ชนิดสวิทช์รีลัคแตนซ์

สมการที่ (1) คือแบบจำลองไม่เป็นเชิงเส้นของมอเตอร์ชนิดสวิทช์รีลัคแตนซ์สำหรับหาค่าความเหนี่ยวนำ [5] ถูกแบ่งเป็น 4 ช่วงตำแหน่งดังแสดงในสมการที่ (2) โดยค่าความเหนี่ยวนำระหว่างเฟสไม่ถูกนำมาวิเคราะห์เนื่องจากมีค่าน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับความเหนี่ยวนำเฟส [2]

$$L(\theta)=\begin{cases} L_u & ,0\le\theta\le\theta_1 \\ k\left[\theta-\left(\dfrac{\pi}{N_r}-\left(\dfrac{\beta_r+\beta_s}{2}\right)\right)\right]+L_u & ,\theta_1<\theta\le\theta_2 \\ L_a & ,\theta_2<\theta\le\theta_3 \\ -k\left[\theta-\left(\dfrac{\pi}{N_r}-\left(\dfrac{\beta_r-\beta_s}{2}\right)\right)\right]+L_a & ,\theta_4<\theta\le\theta_5 \\ L_u & ,\theta_5<\theta\le 2\pi/N_r \end{cases} \quad (1)$$

$$\begin{bmatrix}\theta_1\\ \theta_2\\ \theta_3\\ \theta_4\\ \theta_5\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}\pi/N_r-(\beta_r+\beta_s)/2\\ \pi/N_r-(\beta_r-\beta_s)/2\\ \pi/N_r\\ \pi/N_r-(\beta_r-\beta_s)/2\\ \pi/N_r-(\beta_r+\beta_s)/2\end{bmatrix} \quad (2)$$

โดยที่ $k=(L_a-L_u)/\beta_s$ เมื่อ $L_a$ คือค่าความเหนี่ยวนำตำแหน่งตรงขั้ว $L_u$ คือค่าความเหนี่ยวนำตำแหน่งไม่ตรงขั้ว $\beta_s$ คือส่วนโค้งขั้วสเตเตอร์ $\beta_r$ คือส่วนโค้งขั้วโรเตอร์ $N_r$ คือจำนวนขั้วของโรเตอร์ และ $\theta$ คือตำแหน่งของโรเตอร์

การใช้อนุกรมฟูเรียร์สำหรับหาค่าความเหนี่ยวนำสามารถหาได้จากสมการที่ (3)

$$\begin{aligned} L(\theta) &= \sum_{n=0}^{\infty} L(\theta)\cos(N_r\theta) \\ &= \frac{L_0}{2}+L_n\, n\cos(nN_r\theta) \end{aligned} \quad (3)$$

โดยที่

$$L_0=\frac{N_r}{\pi}\int_0^{2\pi/N_r} L(\theta)d(\theta)$$

$$L_n=\frac{N_r}{\pi}\int_0^{2\pi/N_r} L(\theta)n\cos(nN_r\theta)d(\theta)$$

## 3. สมการแรงบิดของมอเตอร์ชนิดสวิช์รีลัคแตนซ์

สมการพื้นฐานของแรงดันเมื่อพิจารณาอุปกรณ์สวิตซ์ ไดโอดเป็นอุปกรณ์ทางอุดมคติ ในส่วนความต้านทานเฟสไม่ถูกนำมาพิจารณาเนื่องจากมีค่าความต้านทานน้อยมาก สามารถหาค่าได้จากสมการที่ (4)

$$v=\omega L(\theta)\frac{di}{d\theta}+\omega i\frac{dL(\theta)}{d\theta} \quad (4)$$

โดยที่ $\omega$ คือความเร็วของมอเตอร์ $\theta_{on}$ คือมุมกระตุ้นให้มอเตอร์ทำงาน $\theta_{off}$ คือมุมกระตุ้นให้มอเตอร์หยุดทำงาน และ $\theta_e$ คือมุมที่กระแสลดลงมีค่าเป็นศูนย์

สมการของกระแสสามารถหาค่าได้จากสมการที่ (5) ซึ่งเกิดจากการแทนสมการที่ (3) ลงในสมการที่ (4)

$$i=\begin{cases} \dfrac{u(\theta-\theta_{on})}{\omega\left[L_u+k(\theta-\theta_1)\right]} & ,\theta_{on}\le\theta\le\theta_3 \\ \dfrac{u(\theta-\theta_{on})}{\omega\left[L_a-k(\theta-\theta_3)\right]} & ,\theta_3<\theta\le\theta_{off} \\ \dfrac{u(\theta_e-\theta)}{\omega\left[L_a-k(\theta-\theta_3)\right]} & ,\theta_{off}\le\theta\le\theta_5 \\ \dfrac{u(\theta_e-\theta)}{\omega L_u} & ,\theta_5<\theta\le\theta_e \end{cases} \quad (5)$$

จากสมการที่ (3) และ (5) ทำให้สามารถหาค่าแรงบิดเฟส และแรงบิดทั้งหมดได้โดยคำนวณจากสมการที่ (6) และ (7) ตามลำดับ

$$T_{phase}=\frac{1}{2}i^2\frac{dL}{d\theta} \quad (6)$$

$$T_e=\sum_{phase} T_{phase}(i,\theta) \quad (7)$$

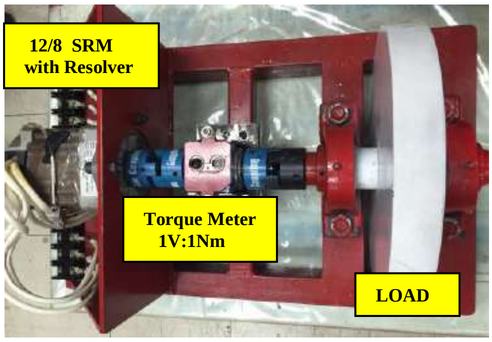
## 4. ผลจำลองการทำงานและผลการทดลอง

โครงสร้างของมอเตอร์ชนิดสวิทซ์รีลัคแตนซ์ 3 เฟส 12 ขั้วสเตเตอร์ 8 ขั้วโรเตอร์ดังแสดงในรูปที่ 2 ถูกนำมาใช้เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ได้นำเสนอ โดยมีรายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 1

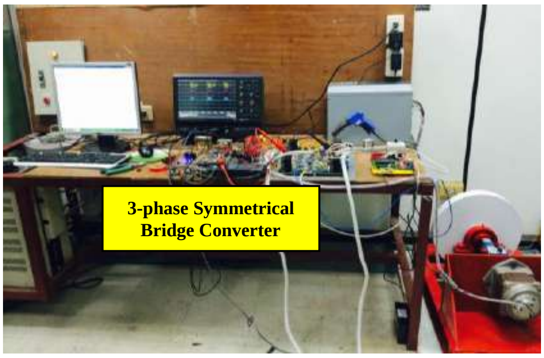
**รูปที่ 2** โครงสร้างของสเตเตอร์มี 12 ขั้ว และโรเตอร์มี 8 ขั้ว

ตารางที่ 1 รายละเอียดของมอเตอร์ชนิดสวิทซ์รีลัคแตนซ์

| พารามิเตอร์ | ขนาด |
|---|---|
| ความเหนี่ยวนำตรงขั้ว/ไม่ตรงขั้ว | 2 mH/0.15mH |
| ส่วนโค้งของขั้วโรเตอร์/สเตเตอร์ | 24 °/ 23 ° |
| พิกัดแรงดัน | 48 V |
| ความเร็วฐาน | 6000 rpm |
| พิกัด | 3.3 kW |




ก) 12/8 มอเตอร์ชนิดสวิทซ์รีลัคแตนซ์ (ซ้าย) เครื่องมือวัดแรงบิด (กลาง) และโหลด (ขวา)

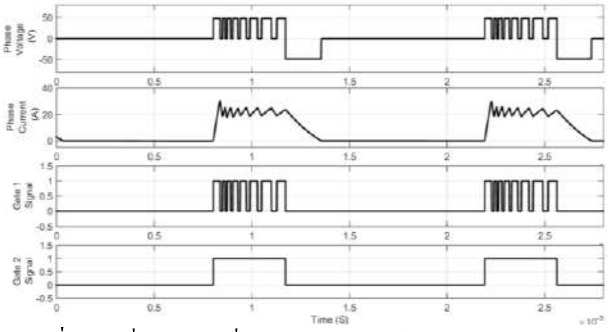



ข) คอนเวอร์เตอร์ 3 เฟส แบบบริดจ์สมมาตร

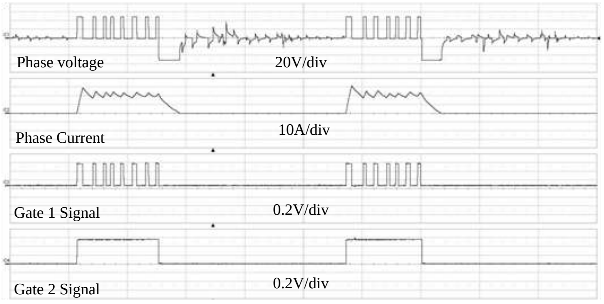
**รูปที่ 3** ชุดอุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ

รูปที่ 3 แสดงชุดทดลองประกอบด้วยมอเตอร์ชนิดสวิทซ์รีลัคแตนซ์ 3 เฟส 12 ขั้วสเตเตอร์ 8 ขั้วโรเตอร์ ถูกขับด้วยวงจรคอนเวอร์เตอร์ 3 เฟส แบบสมมาตรแรงดันดีซีบัส 48 โวลท์ ตำแหน่งมุมโรเตอร์ถูกวัดจากตัวรีโซลเวอร์สำหรับใช้ประมวลผลเพื่อสร้างสัญญาณมุมกระตุ้นควบคุมวงจรคอนเวอร์เตอร์โดยใช้ตัวควบคุม TMS320F28335 DSP

รูปที่ 4 และรูปที่ 5 แสดงสัญญาณคลื่นแรงดันและกระแสของเฟส A และสัญญาณควบคุมวงจรคอนเวอร์เตอร์แบบ Soft-Chopping ($S_1$, $S_2$) ซึ่งเกิดจากการวิเคราะห์ด้วยสมการที่ (4) และ (5) และผลจากการทดลองตามลำดับ โดยใช้มุมกระตุ้นสำหรับควบคุมการทำงานคือ $\theta_{on}$ = 5° และ $\theta_{off}$ = 12° ความเร็วของโรเตอร์ 3000 รอบต่อนาที




**รูปที่ 4** รูปคลื่นสัญญาณที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในโหมดควบคุมแบบ Soft-Chopping

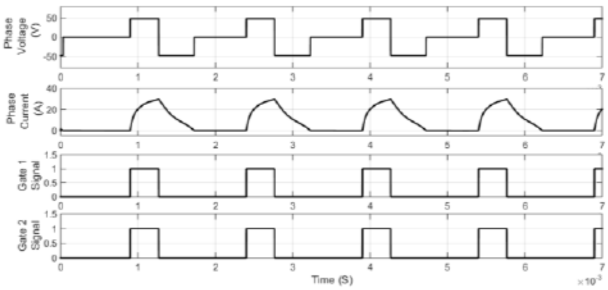



**รูปที่ 5** รูปคลื่นสัญญาณที่ได้จากการทดลอง เมื่อควบคุมการทำงานในโหมด Soft-Chopping

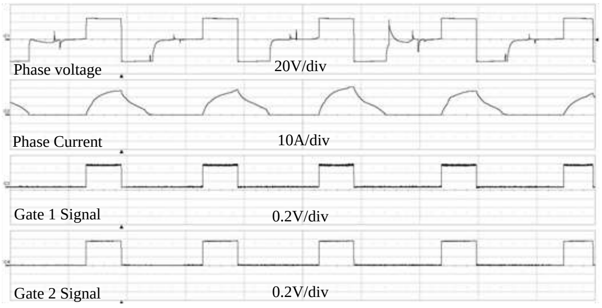
รูปที่ 6 และรูปที่ 7 แสดงสัญญาณคลื่นแรงดันและกระแสของเฟส A และสัญญาณควบคุมวงจรคอนเวอร์เตอร์แบบ Single-Pulse ($S_1$, $S_2$) ซึ่งเกิดจากการวิเคราะห์ด้วยสมการที่ (4) และ (5) และผลจากการทดลองตามลำดับ โดยใช้มุมกระตุ้นสำหรับควบคุมการทำงานคือ $\theta_{on}$ = 5° และ $\theta_{off}$ = 15° ความเร็วของโรเตอร์ 4500 รอบต่อนาที

รูปที่ 8 และรูปที่ 9 แสดงสัญญาณคลื่นแรงบิดเฟส A เฟส B เฟส C และแรงบิดรวม สัญญาณควบคุมวงจรคอนเวอร์เตอร์แบบ Single-Pulse ($S_1$, $S_2$) ซึ่งเกิดจากการวิเคราะห์ด้วยสมการที่ (6) และ (7) และผล

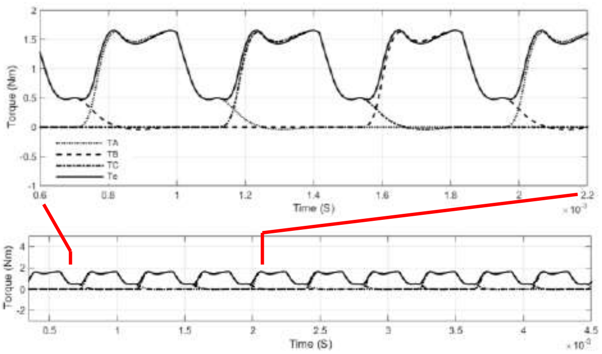
จากการทดลองตามลำดับ โดยใช้มุมกระตุ้นสำหรับควบคุมการทำงานคือ $\theta_{on}$ = 5° และ $\theta_{off}$ = 18° ความเร็วของโรเตอร์ 5000 รอบต่อนาที



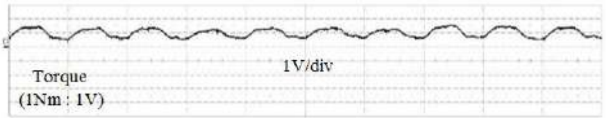

**รูปที่ 6** รูปคลื่นสัญญาณที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในโหมดควบคุมแบบ Single-Pulse




**รูปที่ 7** รูปคลื่นสัญญาณที่ได้จากการทดลอง เมื่อควบคุมการทำงานในโหมด Single-Pulse




**รูปที่ 8** รูปคลื่นแรงบิดของเฟส A เฟส B เฟส C และแรงบิดรวม เมื่อวิเคราะห์ด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์




**รูปที่ 9** รูปคลื่นของแรงบิดรวม ซึ่งเกิดจากการทดลอง

## 5. สรุป

บทความนี้นำเสนอแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของกระแสและความเหนี่ยวนำแบบไม่เป็นเชิงเส้นสำหรับประมาณค่าแรงบิดของมอเตอร์ชนิดสวิทช์รีลัคแตนซ์ แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ได้นำเสนอได้รับการยืนยันความถูกต้องจากผลการทดลองกับมอเตอร์ชนิดสวิทช์รีลัคแตนซ์ 3 เฟส 12 ขั้วสเตเตอร์ 8 ขั้วโรเตอร์ โดยรูปร่างของกระแสเฟสและแรงบิดที่เกิดจากผลจำลองการทำงานและการทดลองมีความสอดคล้องกัน โดยในรูปที่ 8 ค่าแรงบิดรวมเฉลี่ยเท่ากับ 1.45 Nm และในรูปที่ 9 ค่าแรงบิดรวมเฉลี่ยเท่ากับ 1.4 Nm ซึ่งผลที่ได้จากแบบจำลองมีค่าสูงกว่าการทดลอง เนื่องจากแบบจำลองไม่ได้คิดค่าความต้านทาน

## 6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณห้องปฏิบัติการ Power Electronic Applications and Energy Management (PEAEM) คณะวิศวกรรมศาสตร์ศรีราชา

## เอกสารอ้างอิง

[1] Q. Zheng, J.X. Xu, and S.K. Panda, “A Study on Torque Modelling of Switched Reluctance Motors,” American Control Conference, pp. 321-326, June 2013.

[2] W.F. Ray, and R.M. Davis, “Inverter drive for doubly-salient reluctance motor: Its fundamental behavior, linear analysis and cost implications,” IEE Journal on Electric Power Applications, pp. 185-193, Dec. 1979.

[3] D.A. Torrey, and J.H. Lang, “Modelling a nonlinear variable-reluctance motor drive,” IEE Proceedings B - Electric Power Applications, vol.137, no.5, pp. 314-326, Sep. 1990.

[4] R. B. Inderka and R.W.A.A. De Doncker, “High-Dynamic Direct Average Torque Control for Switched Reluctance Drives,” IEEE Transactions on Industry Applications, vol. 39, no. 4, pp.1040-1045, Aug. 2003.

[5] X. Liu, Z.P. Pan, and Z.Q. Zhu “Analysis of Average Torque in Switched Reluctance Motor with Unipolar and Bipolar Excitations Based on an Improved Fourier Series Model,” Vehicle Power and Propulsion Conference, pp.1-6, Mar. 2010.

นายไพโรจน์ ทองประศรี จบการศึกษา วศ.ม. วิศวกรรมไฟฟ้า จาก สจล.ปัจจุบันเป็นผู้ช่วยศาสตราจารย์ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ศรีราชา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา

# ผลกระทบของฮาร์โมนิกส์ต่อสนามแม่เหล็กหมุนในเครื่องจักรกลไฟฟ้าแบบชนิดเหนี่ยวนำ

# The Harmonic Effect of Rotating Magnetic Field of Induction Machine

ณัฐพงศ์ พันธุนะ กันตินันท์ รื่นสัมฤทธิ์ ศุภโชค จินดาพล อานนท์ สิงห์เสถียร มนัส บุญเทียรทอง และพสิษฐ์ สุวรรณภิงคาร
สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
1381 ถ.ประชาราษฎร์ 1 แขวงวงศ์สว่าง เขตบางซื่อ กรุงเทพมหานคร 10800

## บทคัดย่อ

บทความฉบับนี้กล่าวถึงการจำลองและประยุกต์สมการทางคณิตศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับความสัมพันธ์ของสนามแม่เหล็กหมุนในเครื่องจักรกลไฟฟ้าแบบชนิดเหนี่ยวนำ 3 เฟส ที่มีฮาร์โมนิกส์สเปซเข้ามาเกี่ยวข้อง โดยการจำลองดังกล่าวจะใช้งานผ่านโปรแกรมสำเร็จรูป ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จะแสดงผลออกมาในรูปแบบของกราฟฟิค (Graphical) ในรูปของฟังก์ชันองค์ประกอบของไซน์นูซอยด์ตามลำดับ เพื่อนำลักษณะของกราฟฟิคดังกล่าวที่เกิดขึ้นนำมาวิเคราะห์ถึงลักษณะแรงเคลื่อนแม่เหล็กที่มีความผิดเพี้ยนเมื่อมีผลกระทบของฮาร์โมนิกส์ ตามลำดับ

คำสำคัญ : สนามแม่เหล็ก, เครื่องจักรกลไฟฟ้าแบบชนิดเหนี่ยวนำ

## Abstract

This article mention the simulation and application of mathematic equation of rotating magnetic field of 3 phase induction machine. With the harmonic space respectively. This paper Simulate processing the Magneto Motive Force (MMF) of rotating magnetic field by the software package. The result of simulation is showed the MMF of sinusoidal Graphical respectively. And analysis distortion of MMF with harmonic space effect.

Keyword: Magnetic field, Induction Machine

## 1. บทนำ

เครื่องจักรกลไฟฟ้าชนิดเหนี่ยวนำ (Induction Machine) มีโครงสร้างพื้นฐานที่สำคัญสองส่วน ได้แก่ สเตเตอร์ (Stator) และโรเตอร์ (Rotor) ตามลำดับ โดยในส่วนของสเตเตอร์จะเป็นโครงสร้างภายนอกของตัวเครื่องจักรกลไฟฟ้าที่ไม่มีการเคลื่อนที่ และสำหรับโรเตอร์ จะเป็นส่วนของโครงสร้างที่มีการเคลื่อนที่แบบหมุนได้อย่างอิสระ และโดยทั่วไปโรเตอร์จะเป็นส่วนที่อยู่ภายในสเตอร์ของเครื่องจักรกลไฟฟ้า [1]

นอกจากนี้เครื่องจักรกลไฟฟ้าชนิดเหนี่ยวนำยังมีความสัมพันธ์เกี่ยวข้องโดยตรงกับปรากฏการณ์ของสนามแม่เหล็กได้แก่ แรงเคลื่อนแม่เหล็ก (Magneto Motive Force, MMF) ซึ่งแรงเคลื่อนแม่เหล็กดังกล่าวมีโอกาศที่จะมีความผิดเพี้ยนขึ้นได้ (Distortion) เมื่อมีผลของแรงเคลื่อนไฟฟ้า (Electro Motive Force, EMF) ที่มีฮาร์โมนิกส์ผิดเพี้ยนเกิดขึ้น (Harmonic Distortion) ตลอดจนผลกระทบของการจัดวางขดลวดในร่องสล๊อต (Slot) ที่มีผลทำให้เกิดฮาร์โมนิกส์สเปซ ตามลำดับ ดังนั้นบทความฉบับนี้จึงกล่าวถึงการแสดงพฤติกรรมของแรงเคลื่อนแม่เหล็ก ในสนามแม่เหล็กหมุน (Rotating Magnetic Field) ของเครื่องจักรกลไฟฟ้าชนิดเหนี่ยวนำที่มีผลกระทบต่อฮาร์โมนิกส์ผิดเพี้ยนเกิดขึ้น โดยบทความฉบับนี้จะเน้นการวิเคราะห์และศึกษาเฉพาะ ฮาร์โมนิกส์ลำดับที่ 3, 5 และ 7 เท่านั้น

## 2. การเกิดสนามแม่เหล็กหมุนในสภาวะปกติ

เมื่อพิจารณาจากสมการทางคณิตศาสตร์ของกระสไฟฟ้า 3 เฟส แบบสมดุลที่ประกอบด้วยเฟส a, b ,c คือ (1) (2) และ (3) ตามลำดับ โดยกำหนดให้ขดลวดของเครื่องจักรกลไฟฟ้าชนิดเหนี่ยวนำทั้งสามขด วางอยู่ในสเตเตอร์ ทำมุมห่างกัน 120 องศาทางไฟฟ้า ดังนันเมื่อป้อนกระแสไฟฟ้าสลับสามเฟสสมดุล เข้าไปในขดลวดสามเฟสดังกล่าว จะทำให้เกิดแรงเคลื่อนแม่เหล็ก ($F$) ในสนามแม่เหล็กหมุนที่มีขนาดคงที่ขึ้นมาดังสมการที่ (4)

$$i_{aa'}(t) = I_M \sin\omega t A \quad (1)$$

$$i_{bb'}(t) = I_M \sin(\omega t - 120^\circ) A \quad (2)$$

$$i_{cc'}(t) = I_M \sin(\omega t - 240^\circ) A \quad (3)$$

$$F(\theta) = F_a(\theta) + F_b(\theta) + F_c(\theta) \quad (4)$$

สำหรับแรงเคลื่อนแม่เหล็กดังกล่าว ถ้าพิจารณาเครื่องจักรกลไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำเป็นชนิดสองขั้วแม่เหล็ก ที่มีชุดขดลวดบนสเตเตอร์สามชุดตามลำดับ โดยวิธีการวิเคราะห์จะทำการคำนวณรูปคลื่นแรงเคลื่อนแม่เหล็กลัพธ์ที่ตำแหน่งใดๆ ในช่องอากาศ (Air Gap) ซึ่งถูกนิยามด้วยมุม $\theta$ นอกจากนี้ยังสามารถเลือกจุดกำเนิดของมุม $\theta$ ให้อยู่ในแกนของเฟส a, b ,c ที่ชั่วขณะเวลาใดๆ แรงเคลื่อนแม่เหล็กทั้งสามเฟสจะมีการกระจายตัวในช่องอากาศที่ถูกนิยามโดยมุม $\theta$ ดังสมการที่ (5)

$$F(\theta) = F_a(\theta) + F_b(\theta) + F_c(\theta) \quad (5)$$

ในชั่วขณะเวลาใดๆ ชุดขดลวดที่แต่ละเฟสจะสร้างคลื่นแรงเคลื่อนแม่เหล็กเป็นไซด์นูซอยด์กระจายอยู่ โดยยอดของคลื่นดังกล่าวจะวางตัวอยู่ที่ขดลวดชุดนั้นๆ และแอมพลิจูดจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับกระแส

ชั่วขณะในแต่ละเฟส [2] สำหรับการกระจายของแรงเคลื่อนแม่เหล็กเฟส a ที่มุม $\theta$ แสดงโดย ดังสมการที่ (6)

$$F_a(\theta) = Ni_a \sin\theta \quad (6)$$

โดย N คือ จำนวนรอบประสิทธิผลของชุดขดลวดเฟส a

$I_a$ คือ กระแสในชุดขดลวดเฟส a

นอกจากนี้แกนของเฟส b และ c จะถูกเลื่อนห่างออกจากเฟส a เป็นมุม $120^\circ$ ทางไฟฟ้า ทำให้กระจายตัวของแรงเคลื่อนแม่เหล็กไฟฟ้าเฟส b และเฟส c เลื่อนห่างออกจากกันเป็นมุม $120^\circ$ ทางไฟฟ้า ตามลำดับ ดังแสดงตามสมการ (7) และ (8)

$$F_b(\theta) = Ni_b \sin(\theta - 120^\circ) \quad (7)$$

$$F_c(\theta) = Ni_c \sin(\theta + 120^\circ) \quad (8)$$

ดังนั้น แรงเคลื่อนแม่เหล็กรวมที่มุม $\theta$ แสดงโดยสมการ (9)

$$F(\theta) = Ni_a \sin\theta + Ni_b \sin(\theta - 120^\circ) + Ni_c \sin(\theta + 120^\circ) \quad (9)$$

เมื่อนำสมการกระแสที่เป็นฟังก์ชันของเวลา ซึ่งถูกนิยามโดยสมการ (1) (2) และ (3) แทนลงในสมการจะได้ที่ (9) จะได้สมการที่ (10) คือ

$$F(\theta,t) = \frac{3}{2} N\,\mathrm{I_m} \cos(\omega t - \theta) \quad (10)$$

โดย Im คือ ค่ายอดแอมปลิจูดของกระแสในชุดขดลวด

## 3. ผลกระทบของฮาร์โมนิกส์สเปซที่เกี่ยวข้อง

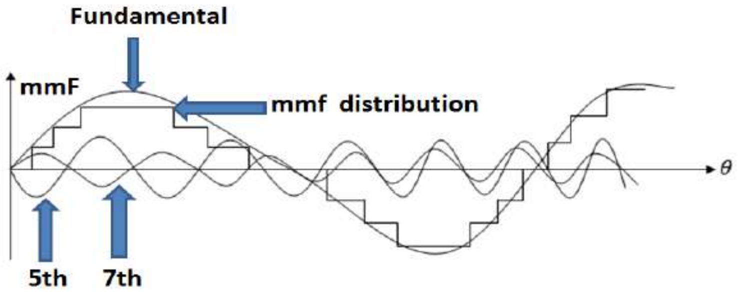
การกระจายของแรงเคลื่อนแม่เหล็กในอุดมคติ (Ideal Case) จะมีลักษณะเป็นฟังก์ชันไซนูซอยด์ที่มีความราบเรียบ โดยเครื่องจักรกลไฟฟ้าชนิดเหนี่ยวนำในอุดมคติ จะมีจำนวนร่องสล๊อต (Slot) สำหรับใส่ขดลวด ที่กระจายอยู่ภายในผิวของเครื่องจักรกลไฟฟ้าดังกล่าว ซึ่งสมมุติให้มีจำนวนร่องสล๊อตมีค่าเป็นอนันต์ [3] แต่การสมมุติดังกล่าวไม่มีโอกาศที่จะเป็นไปได้ในทางปฏิบัติ ดังนั้นในทางปฏิบัติชุดขดลวดของเครื่องจักรกลไฟฟ้าจะกระจายอยู่ในร่องสล๊อตที่มีจำนวนจำกัด จากผลดังกล่าว เมื่อมีกระแสที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา ไหลผ่านขดลวดที่ถูกจัดวางในร่องสล๊อตที่จำกัด กระแสนี้จะสร้างแรงเคลื่อนแม่เหล็กกระจายในสเปซเวฟ (Space Wave) ที่มีลักษณะลูกคลื่นเป็นขั้นบันไดดังแสดงในรูปที่ 1

แรงเคลื่อนแม่เหล็กขั้นบันไดที่กระจายอยู่ในเครื่องจักรกลไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำจะมีลักษณะเป็นฮาร์มอนิกส์สเปซเวฟ (Harmonic Space Wave) ที่ประกอบด้วย ฮาร์มอนิกส์สเปซมูลฐานและฮาร์โมนิกส์สเปซอันดับที่ h คือ h = (6m±1) เมื่อ m คือจำนวนเต็มบวก (m = 1, 2, 3.....) สำหรับองค์ประกอบฮาร์มอนิกส์มูลฐานและองค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ลำดับอื่นๆ ของแรงเคลื่อนแม่เหล็กถูกแสดงรูปที่ 1 และตารางที่ 1 ตามลำดับ

ในกรณีเครื่องจักรกลไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำสามเฟส มีกระแสที่เป็นไซนูซอยด์ไหลผ่านขดลวด ฮาร์โมนิกส์สเปซเวฟที่เกิดขึ้นจะหมุนด้วยความเร็วที่เป็นส่วนแปรผกผันกับฮาร์โมนิกส์อันดับที่ h คือ 1/h ของคลื่นมูลฐาน โดยฮาร์โมนิกส์สเปซเวฟดังกล่าว จะหมุนในทิศทางเดียวกับคลื่นอันดับมูลฐานถ้า h = (6m+1) และหมุนในทิศทางตรงกันข้ามถ้า h = (6m-1) ตามลำดับ

ดังนั้นความเร็วซิงโครนัสของฮาร์มอนิกสเปซเวฟลำดับที่ $h$ และ p คือจำนวนโพล สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (11)

$$n_{s(h)} = \frac{n_s}{h} = \frac{120f}{hp} \quad (11)$$




รูปที่1 การกระจายแรงเคลื่อนแม่เหล็ก 1 เฟส ในรูปของฮาร์โมนิกส์เสปซ

**ตารางที่ 1** ผลกระทบลำดับฮาร์โมนิกส์ต่อความเร็วซิงโครนัส ที่ความถี่ f = 60 HZ, p = 4

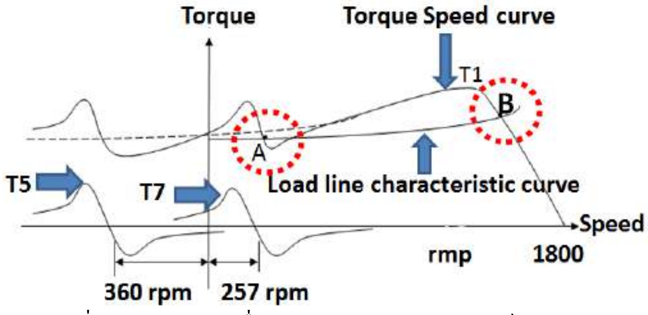
| ลำดับฮาร์มอนิกสเปซ | ความเร็วซิงโครนัส (rpm) |
|---|---|
| 1 | 1800 |
| 5 | -1800/5 =(-360) |
| 7 | 1800/7= 287.4 |
| 11 | -1800/11=(-163.6) |
| 13 | 1800/13=138.5 |

จากผลลัพธ์ความเร็วซิงโครนัสของฮาร์โมนิกส์สเปซในตารางที่ 1 จะเกิดผลกระทบต่อความสัมพันธ์ของกราฟระหว่างแรงบิดและความเร็วรอบ (Torque – Speed Curve) ของเครื่องจักรกลไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำชนิดสามเฟส โดยผลกระทบดังกล่าวจะเกิดขึ้นเมื่อมีอันดับฮาร์โมนิกส์ตั้งแต่ 5, 7, 11 และ 13 เข้ามาเกี่ยวข้อง กล่าวคือจะทำให้เครื่องจักรกลไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำ ทำงานที่ความเร็วรอบต่ำกว่าปกติที่ควรจะเป็น ดังแสดงในรูปที่ 2

จากรูปที่ 2 เป็นความสัมพันธ์ของกราฟแรงบิดและความเร็วรอบกับกราฟคุณลักษณะของโหลดสำหรับเครื่องจักรกลไฟฟ้า (Load line Characteristic Curve) ตามลำดับ

โดยจากรูปที่ 2 แสดงให้เห็นว่าในกรณีที่เครื่องจักรกลไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำควรจะมีจุดทำงานอยู่ที่จุด B แต่ด้วยมีผลของฮาร์โมนิกส์สเปซเกิดขึ้น (ในกรณีนี้พิจารณาเฉพาะอันดับที่ 5 และ 7) ซึ่งทำให้เกิดแรงบิดแฝงของอันดับฮาร์โมนิกส์ที่ 5 (T5) และอันดับที่ 7 (T7) ตามลำดับ

จึงทำให้จุดทำงานดังกล่าวจากจุด B ถูกเปลี่ยนมาเป็นที่จุด A ซึ่งมีขนาดความเร็วลดลงหรือจะหมุนช้า (Crawls) ดังนั้นในทางปฏิบัติการที่จะลดผลกระทบเบื้องต้นของอาการ Crawls จะต้องทำให้ฮาร์โมนิกส์สเปซอันดับที่ 5 และอันดับที่ 7 ลดลง ซึ่งสามารถทำได้โดยการพันชุดขดลวดโดยใช้ Chorded หรือ Short-pitched




รูปที่ 2 แรงบิดแฝงต่อเนื่องจากผลกระทบของสเปซฮาร์โมนิก

## 4. ผลกระทบของฮาร์โมนิกส์ต่อสนามแม่เหล็กหมุน

ในกรณีที่เกิดฮาร์โมนิกส์สเปซลำดับอื่นๆนอกเหนือความถี่มูลฐานขึ้น จะมีผลทำให้คุณลักษณะของเส้นแรงแม่เหล็กในเครื่องจักรกลไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำไม่มีลักษณะเป็นฟังก์ชันไซนูซอยด์ที่มีความราบเรียบ ดังนั้นในกรณีศึกษาของบทความฉบับนี้จึงใช้ฮาร์โมนิกส์อันดับที่ 3,5 และ7 ตามลำดับ เนื่องจากฮาร์โมนิกส์ทั้งสามอันดับมีโอกาศเกิดขึ้นได้จริงในทางปฏิบัติ นอกจากนี้จะพิจารณาขนาดเปอร์เซนต์แอมปลิจูดของฮาร์โมนิกส์อันดับที่ 3,5 และ7 ที่ 5% และ 10% ของความถี่มูลฐาน โดยมีความสัมพันธ์ดังสมการ (12), (13), (14) และ (15) ตามลำดับ

$$F'_a(\theta)=F_{a,\max}\sin(\omega t+0^\circ)+x_iF_{a,\max}\sin(y_i\omega t+0^\circ) \quad (12)$$

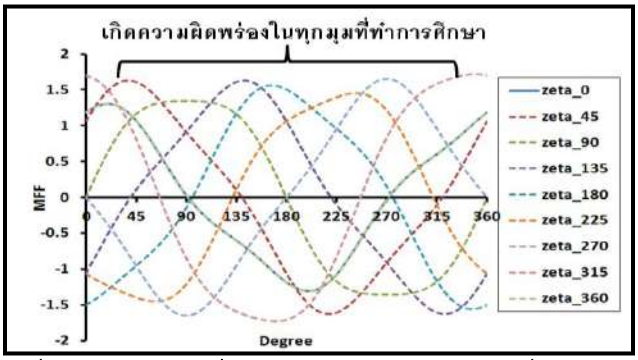
$$F'_b(\theta)=F_{b,\max}\sin(\omega t+240^\circ)+x_iF_{b,\max}\sin(y_i\omega t+240^\circ) \quad (13)$$

$$F'_c(\theta)=F_{c,\max}\sin(\omega t+120^\circ)+x_iF_{c,\max}\sin(y_i\omega t+120^\circ) \quad (14)$$

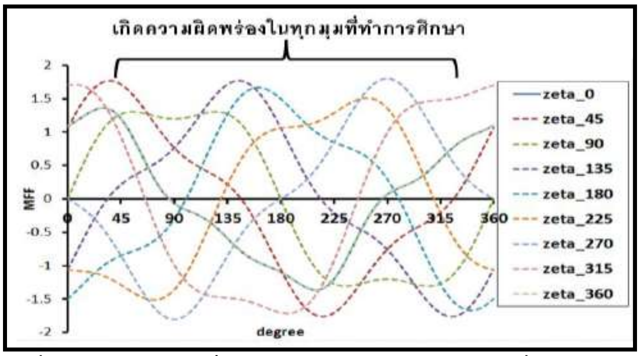
$$F(\theta)=F_a(\theta)+F_b(\theta)+F_c(\theta) \quad (15)$$

โดยที่ $x_i=0.05,0.1$ และ $y_i=$ ลำดับฮาร์โมนิคที่ (3,5,7)

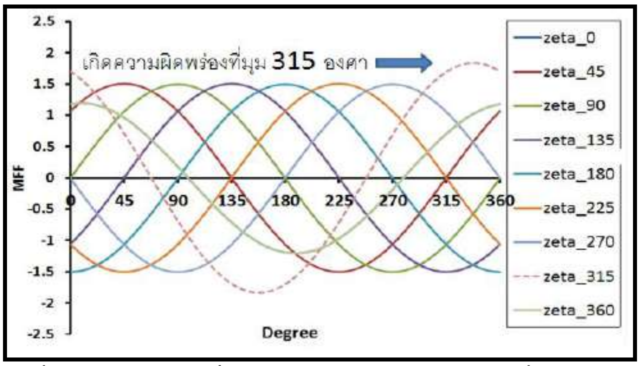
จากผลของสมการทั้งหมดดังที่กล่าวมาข้างต้น สามารถแสดงผลลัพธ์ของแรงเคลื่อนแม่เหล็กรวม ( $F(\theta)=F_a(\theta)+F_b(\theta)+F_c(\theta)$ ) ดังแสดงให้เห็นรูปที่ 3 ถึง รูปที่ 11 ตามลำดับ



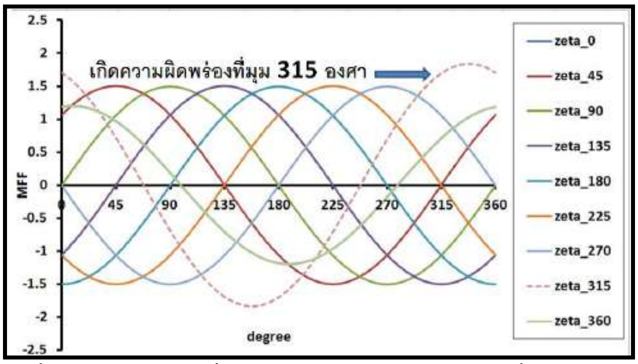

รูปที่ 3. ลักษณะของแรงเคลื่อนแม่เหล็กรวม มีฮาร์โมนิกส์อันดับที่ 3 อยู่ 5%



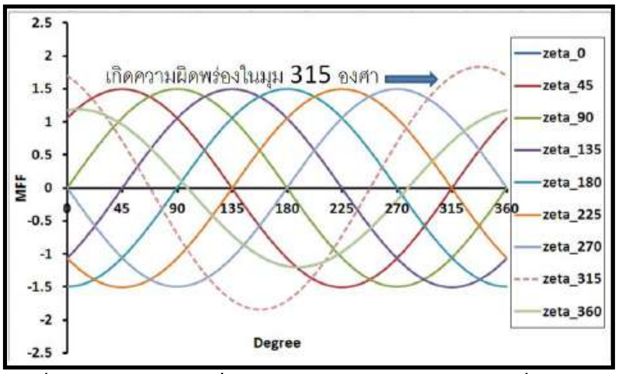

รูปที่ 4 ลักษณะของแรงเคลื่อนแม่เหล็กรวม มีฮาร์โมนิกส์อันดับที่ 3 อยู่10%



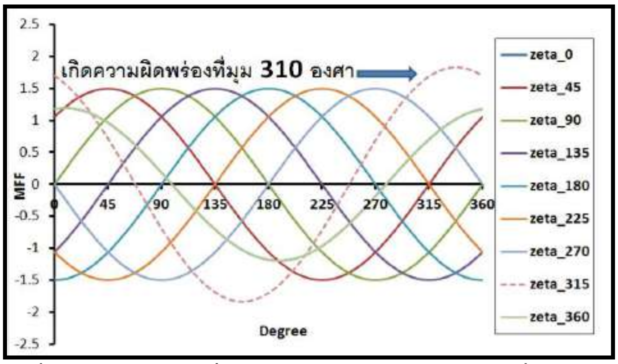

รูปที่ 5 ลักษณะของแรงเคลื่อนแม่เหล็กรวม มีฮาร์โมนิกส์อันดับที่ 5 อยู่ 5%



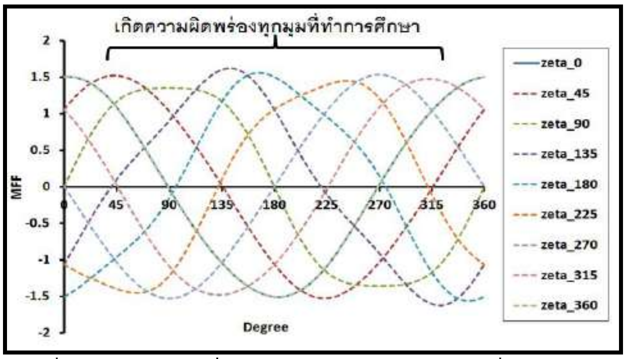

รูปที่ 6 ลักษณะของแรงเคลื่อนแม่เหล็กรวมมีฮาร์โมนิกส์อันดับที่ 5 อยู่ 10%



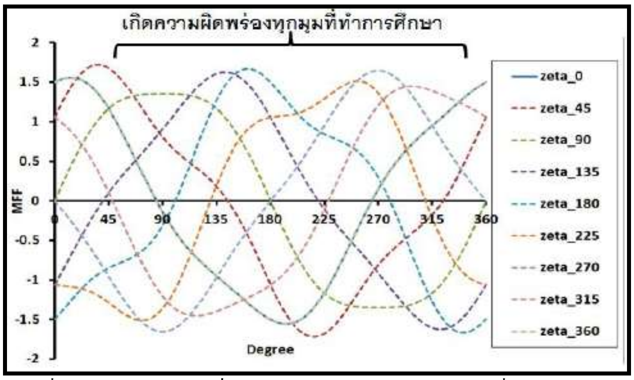

รูปที่ 7 ลักษณะของแรงเคลื่อนแม่เหล็กรวมมีฮาร์โมนิกส์อันดับที่ 7 อยู่ 5%



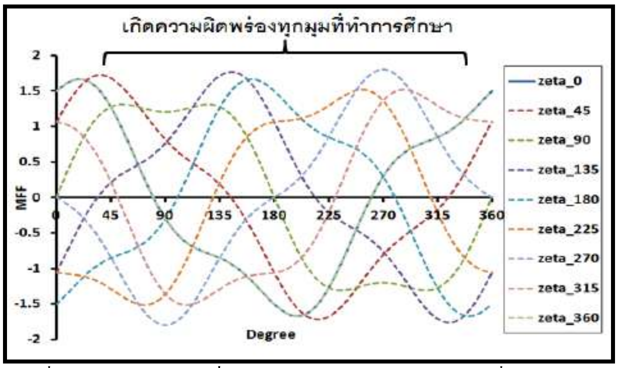

รูปที่ 8 ลักษณะของแรงเคลื่อนแม่เหล็กรวม มีฮาร์โมนิกส์อันดับที่7 อยู่ 10%




รูปที่ 9 ลักษณะของแรงเคลื่อนแม่เหล็กรวม มีฮาร์โมนิกส์อันดับที่3,5,7อยู่ 1%




รูปที่ 10 ลักษณะของแรงเคลื่อนแม่เหล็กรวม มีฮาร์โมนิกส์อันดับที่3,5,7อยู่ 5%




รูปที่ 11 ลักษณะของแรงเคลื่อนแม่เหล็กรวม มีฮาร์โมนิกส์อันดับที่3,5,7อยู่10%

## 5. สรุปผล

จากการวิเคราะห์ข้อมูลและสมการทางคณิตศาสตร์ของแรงเคลื่อนแม่เหล็กรวม $F(\theta)$ สำหรับเครื่องจักรกลไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำที่มีผลของฮาร์โมนิกส์อันดับที่ 3, 5 และ7 เข้ามาเกี่ยวข้อง ทำให้ทราบว่าฮาร์โมนิกส์อันดับที่ 3 มีผลทำให้แรงเคลื่อนแม่เหล็กรวมดังกล่าว มีความผิดเพี้ยนมากกว่าฮาร์โมนิกส์อันดับที่ 5 และ 7 ตามลำดับ ดังแสดงให้เห็นในรูปที่ 3 ถึง 8 นอกจากนี้แรงเคลื่อนแม่เหล็กรวมจะมีความผิดเพี้ยนมากขึ้น ตามการเพิ่มขึ้นของเปอร์เซนต์แอมปลิจูดของฮาร์โมนิกส์ในทุกอันดับที่ทำการศึกษาคือเพิ่มขึ้นจาก 5% เป็น 10% ตามลำดับ แต่จะเห็นผลลัพธ์ความผิดเพี้ยนได้อย่างชัดเจนในกรณีของผลกระทบจากฮาร์โมนิกส์อันดับที่ 3 ซึ่งแสดงให้เห็นดังรูปที่ 3 และ 4 ตามลำดับ

ในกรณีที่จำลองโดยการนำผลกระทบของฮาร์โมนิกส์อันดับที่ 3, 5 และ7 มาวิเคราะห์รวมกันทั้งหมด ดังแสดงให้เห็นดังรูปที่ 9 ถึง 11 พบว่าลักษณะของแรงเคลื่อนแม่เหล็กรวมจะมีความผิดเพี้ยนอย่างเห็นได้ชัด แม้ว่าจะพิจารณาขนาดแอมปลิจูดของฮาร์โมนิกส์เพียงแค่ 1% เท่านั้น ดังแสดงให้เห็นดังรูปที่ 9 และจะมีค่าความผิดเพี้ยนมากขึ้นตามขนาดแอมปลิจูดของฮาร์โมนิกส์ ดังแสดงให้เห็นในรูปที่ 10 และ 11 ซึ่งมีความสอดคล้องกับทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง [4]

## 6. เอกสารอ้างอิง

[1].ผศ.ดร. บัลลังก์ เนียมมณี, และ ผศ.ดร. สุขสันติ์ หวังสถิตวงษ์ "เครื่องจักรกลไฟฟ้ากระแสสลับ AC Machines" มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, กรุงเทพฯ, 2555.

[2].P. C. Sen, Principles of Electric Machines and Power Electronics, Second Edition, John Wiley & Sons, Inc 1997.

[3].มงคล ทองสงคราม "เครื่องกลไฟฟ้ากระแสสลับ" กรุงเทพฯ, 2541.

[4].Stephen J. Chapman, Electrical Machinery Fundamental, Fourth Edition, McGraw-Hill International Edition, 2005.

**บทความวิจัย**

การประชุมวิชาการ งานวิจัยและพัฒนาเชิงประยุกต์ ครั้งที่ 8

*8th ECTI-CARD 2016, Hua Hin, Thailand*

# การวิเคราะห์โลกัสกำลังเชิงซ้อนของเครื่องจักรกลไฟฟ้าแบบซิงโครนัส

## Analysis of Locus of Complex Power on Synchronous Machine

ณัฐพงศ์ พันธุนะ ชนันรัตน์ วีระเพ็ชร์ วงศธร สุขสมสังข์ อานนท์ สิงห์เสถียร พูนศรี วรรณการ และสาคร วุฒิพัฒนพันธุ์

สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

1381 ถ.ประชาราษฎร์ 1 แขวงวงศ์สว่าง เขตบางซื่อ กรุงเทพมหานคร 10800

**บทคัดย่อ**

บทความฉบับนี้กล่าวถึงการจำลองและประยุกต์สมการทางคณิตศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับความสัมพันธ์โลกัสของกำลังเชิงซ้อนในเครื่องจักรกลไฟฟ้าแบบซิงโครนัส 3 เฟส โดยการจำลองดังกล่าวจะใช้งานผ่านโปรแกรมสำเร็จรูป ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จะแสดงผลออกมาในรูปแบบของกราฟฟิค (Graphical) เพื่อนำลักษณะของกราฟฟิคดังกล่าวที่เกิดขึ้นนำมาวิเคราะห์ถึงขีดจำกัดเสถียรภาพ และจุดทำงานของเครื่องจักรกลไฟฟ้าแบบซิงโครนัสตามลำดับ

คำสำคัญ : เครื่องจักรกลไฟฟ้าแบบซิงโครนัส

**Abstract**

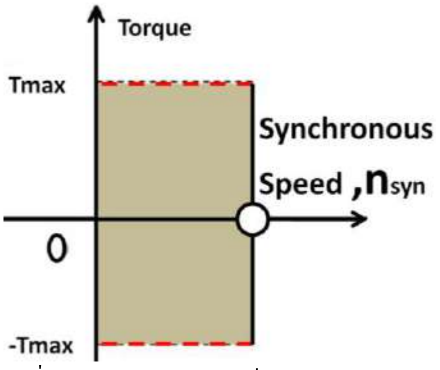
This article mention the simulation and application of mathematic equation of Complex power of 3 phase Synchronous machine. respectively. This paper Simulate processing the Locus of Stability of Synchronous machine by the software package. The result of simulation is showed the Stability limit and Operating Point of Synchronous machine respectively.

Keyword: Synchronous machine

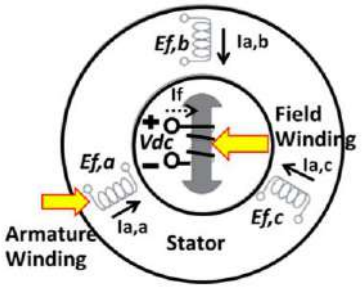
## 1. บทนำ

เครื่องจักรกลไฟฟ้าแบบซิงโครนัสเป็นอุปกรณ์ที่มีความสำคัญในระบบไฟฟ้ากำลัง กล่าวคือมักจะถูกใช้งานเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เนื่องจากเป็นเครื่องจักรกลไฟฟ้าที่มีความเร็วคงที่ ซึ่งเรียกว่า ความเร็วซิงโครนัส (Synchronous Speed, $n_{sys}$) และมีแรงบิดสูงสุดคงที่ (Constant Maximum Torque, $T_{max}$) ตามลำดับ ดังแสดงให้เห็นในรูปที่ 1

สำหรับเครื่องจักรกลไฟฟ้าแบบซิงโครนัส จะมีโครงสร้างพื้นฐานที่สำคัญสองส่วน ได้แก่ สเตเตอร์ (Stator) และโรเตอร์ (Rotor) ตามลำดับ โดยในส่วนของสเตเตอร์จะเป็นโครงสร้างของตัวเครื่องจักรกลไฟฟ้าที่ไม่มีการเคลื่อนที่และจะมีการติดตั้งขดลวดอาร์เมเจอร์ (Armature Winding) ที่สเตเตอร์ และสำหรับโรเตอร์ จะเป็นส่วนของโครงสร้างที่มีการเคลื่อนที่แบบหมุนได้อย่างอิสระ และโดยทั่วไปโรเตอร์จะเป็นส่วนที่อยู่ภายในสเตอร์ของเครื่องจักรกลไฟฟ้า นอกจากนี้ในส่วนของโรเตอร์จะมีการติดตั้งขดลวดสนาม (Field Winding) ซึ่งจะถูกกระตุ้นด้วยไฟฟ้ากระแสตรง ($V_{dc}$) ดังแสดงให้เห็นในรูปที่ 2 ซึ่งมีผลทำให้สนามแม่เหล็กหมุนในเครื่องจักรกลไฟฟ้าดังกล่าวมีความสม่ำเสมอสูง โดยผลของสนามแม่เหล็กดังกล่าวจะทำให้เกิดแรงดันเหนี่ยวนำที่ขดอาร์เมเจอร์เฟส a, b, c คือ ($E_{fa}$, $E_{fb}$, $E_{fc}$) ตามลำดับ ดังนั้นในทางอุดมคติจึงพิจารณาให้ความเร็วของโรเตอร์ดังกล่าวจะมีความเร็วเท่ากับความเร็วของสนามแม่เหล็กหมุน หรือความเร็วซิงโครนัส




รูปที่ 1 คุณลักษณะของความเร็วซิงโครนัสและแรงบิดสูงสุด




รูปที่ 2 โครงสร้างพื้นฐานของเครื่องจักรกลไฟฟ้าแบบซิงโครนัส

แต่อย่างไรก็ตามเครื่องจักรกลไฟฟ้าแบบซิงโครนัสยังมีความสัมพันธ์เกี่ยวข้องโดยตรงกับกระแสสนาม ($I_f$) และกระแสอาร์เมเจอร์ ($I_a$) ตามลำดับ โดยกระแสทั้งสองประเภทจะเป็นตัวกำหนดขีดจำกัดความร้อนที่เกิดขึ้นภายในขดลวดสนาม (Field Winding) และขดลวดอาร์เมเจอร์ (Armature Winding) ของเครื่องจักรไฟฟ้าแบบซิงโครนัส ดังนั้นบทความฉบับนี้จะกล่าวถึงการประเมินขีดจำกัดเสถียรภาพ ที่มีผลต่อการทำงานของเครื่องจักรกลไฟฟ้าแบบซิงโครนัส โดยจะประเมินในรูปของโลกัสกำลังเชิงซ้อน ตามลำดับ.

## 2. คุณลักษณะกำลังไฟฟ้าของเครื่องจักรกลไฟฟ้าแบบซิงโครนัส

โดยทั่วไปเครื่องจักรกลไฟฟ้าแบบซิงโครนัสจะเชื่อมต่อกับบัสที่มีแรงดันคงที่ และทำงานที่ความเร็วคงที่ แต่อย่างไรก็ตามจะมีขีดจำกัดในส่วนของการจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับบัสอนันต์ (Infinite Bus) โดยการจ่ายกำลังไฟฟ้าดังกล่าวจะต้องไม่มีสูญเสียการเกาะติดความเร็วซิงโครนัสเกิดขึ้น (Lose Synchronism) [1] ดังนั้นจึงมีความจำเป็นต้องวิเคราะห์กำลังส่งผ่านดังกล่าวในสภาวะคงตัว (Steady State) โดยในเบื้องต้นจะต้องกำหนดพารามิเตอร์ต่างๆที่เป็นองค์ประกอบของเครื่องจักรกลไฟฟ้าแบบซิงโครนัส ที่จะนำไปสู่การวิเคราะห์การส่งผ่านกำลังไฟฟ้าและแรงบิด ดังแสดงให้เห็นในรูปที่ 3 และ 4 ตามลำดับ [2]

เมื่อ $I_f$ คือ กระแสสนาม

$V_{dc}$ คือแรงดันกระแสตรงที่ใช้กระตุ้นขดลวดสนาม

$I_a$ คือ กระแสอาร์เมเจอร์

$E_f$ คือ แรงดันเหนี่ยวนำที่ขดอาร์เมเจอร์

$\delta$ คือ มุมกำลังหรือมุมของแรงดันเหนี่ยวนำที่ขดอาร์เมเจอร์

$R_a$ คือ ความต้านทานของขดลวดอาร์เมเจอร์

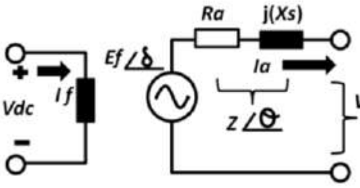
$X_s$ คือ ซิงโครนัสรีแอคแตนซ์

Zs คือ อิมพิแดนซ์ของวงจร

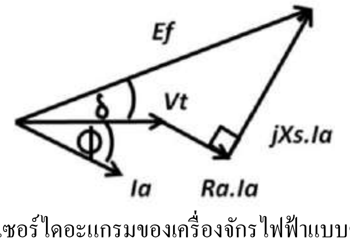
$\theta s$ คือ มุมอิมพิแดนซ์ของวงจรสมมูล

$V_t$ คือ แรงดันที่ขั้วของเครื่องจักรกลไฟฟ้าแบบซิงโครนัส

$\phi$ คือมุมระหว่าง $E_f$ และ $I_a$ หรือมุมตัวประกอบกำลัง




รูปที่ 3 พารามิเตอร์วงจรสมมูลต่อเฟสของเครื่องจักรไฟฟ้าแบบซิงโครนัส




รูปที่ 4 เฟสเซอร์ไดอะแกรมของเครื่องจักรไฟฟ้าแบบซิงโครนัส

จากพารามิเตอร์ต่างๆในรูปที่ (1) และ (2) จะได้ผลลัพธ์ของกำลังไฟฟ้าเชิงซ้อนที่ (S) ขั้ว $V_t$ ดังสมการที่ (1) คือ

$$S = V_t \bullet I_a{}^* = P + jQ \tag{1}$$

โดย (Ia*) คือค่าคอนจูเกตของกระแส Ia มีเพื่อกำหนดให้กำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟล้าหลังมีค่าเป็นบวก (+Q) และ P คือค่ากำลังจริง ตามลำดับ

ดังนั้นจากสมการที่ (1) กำลังไฟฟ้าจริง P และกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟ Q ต่อเฟส สามารถแสดงได้ดังสมการที่ (2) และ (3) คือ [3]

$$P = \frac{|V_t| \bullet |E_f|}{Z_s}\cos(\theta_s - \delta) - \frac{|V_t|^2}{Z_s}\cos(\theta_s) \tag{2}$$

$$Q = \frac{|V_t| \bullet |E_f|}{Z_s}\sin(\theta_s - \delta) - \frac{|V_t|^2}{Z_s}\sin(\theta_s) \tag{3}$$

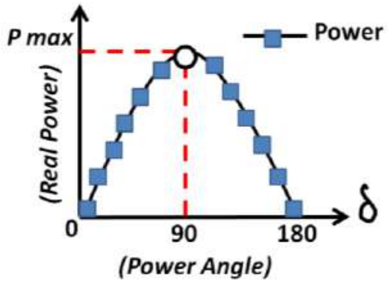
จากสมการที่ (2) และ (3) ในกรณีที่ไม่พิจารณาผลของ $R_a$ จะมีผลทำให้ $\theta s$ มีค่าเท่ากับ 90 องศา จะได้ผลลัพธ์ดังสมการที่ (4) (5) และ (6) คือ

$$P = \frac{|V_t| \bullet |E_f|}{X_s}\sin(\delta) \tag{4}$$

$$P_{max} = \frac{|V_t| \bullet |E_f|}{X_s} \tag{5}$$

$$Q = \frac{|V_t| \bullet |E_f|}{X_s}\cos(\theta_s - \delta) - \frac{|V_t|^2}{X_s} \tag{6}$$

จากสมการที่ (4) และ (5) เมื่อนำมาวิเคราะห์เชิงกราฟ จะได้ความสัมพันธ์ดังรูปที่ 5



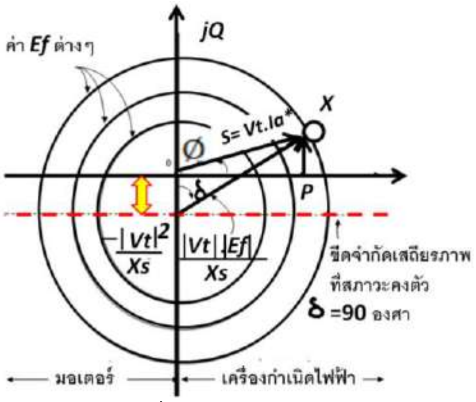

รูปที่ 5 คุณลักษณะของกำลังไฟฟ้าและมุมกำลัง

จากรูปที่ 5 แสดงให้เห็นว่า ในกรณีที่มุมกำลัง ($\delta$) มีค่าเกินกว่า 90 องศา จะมีผลทำให้ค่ากำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องจักรกลไฟฟ้าแบบซิงโครนัสลดลงอย่างฉับพลัน ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเครื่องจักรกลไฟฟ้าแบบซิงโครนัสเกิดการสูญเสียการเกาะติดความเร็วซิงโครนัสระหว่างโรเตอร์และสนามแม่เหล็กหมุน ดังนั้นขีดจำกัดของเสถียรภาพที่สภาวะคงตัว (Stability Limit) สำหรับเครื่องจักรกลไฟฟ้าแบบซิงโครนัส จะต้องมีค่า $\delta$ ไม่เกิน 90 องศา

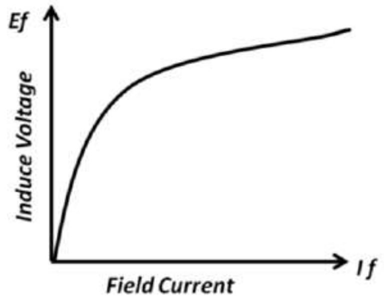
## 3. โลกัสกำลังเชิงซ้อนของเครื่องจักรกลไฟฟ้าแบบซิงโครนัส

จากความสัมพันธ์ของสมการที่ (2) ถึง (6) เมื่อนำค่ากำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟต่อเฟส มาวิเคราะห์ในรูปของคุณลักษณะทางคณิตศาสตร์ จะได้พิกัดโลกัสในระนาบเชิงซ้อน (Locus of Complex S-plane) ซึ่งโลกัสดังกล่าวจะมีลักษณะเป็นวงกลม ดังแสดงให้เห็นในรูปที่ 6 โดยมีความสัมพันธ์ของโลกัสดังต่อไปนี้

- โลกัสวงกลมมีรัศมีเท่ากับ $P_{\max} = \dfrac{|V_t| \bullet |E_f|}{X_s}$
- โลกัสวงกลมมีจุดศูนย์กลางอยู่ที่ $(0, -\dfrac{|V_t|^2}{X_s})$
- X คือจุดทำงาน, $\delta$ คือมุมกำลัง และ $\varnothing$ คือมุมตัวประกอบกำลัง
- ขนาดวงกลมของโลกัสจะเปลี่ยนแปลงตามค่าของ $E_f$ โดยค่า $E_f$ จะแปรผันตามขนาดของกระแสสนาม ($I_f$) ดังแสดงในรูปที่ 7
- เส้นประในแนวนอน คือค่าขีดจำกัดกำลังสูงสุดในสภาวะคงตัว (ตัดผ่านจุดศูนย์กลาง) โดยจะมีค่าขีดจำกัดที่ $\delta$ ไม่เกิน 90 องศา

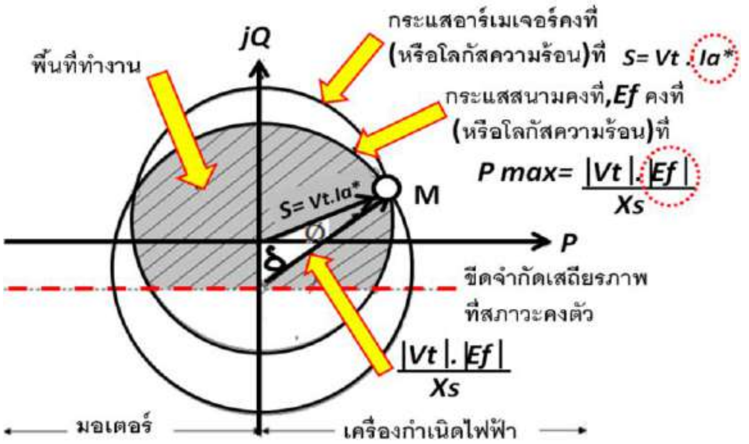



รูปที่ 6 โลกัสกำลังเชิงซ้อนต่อเฟส

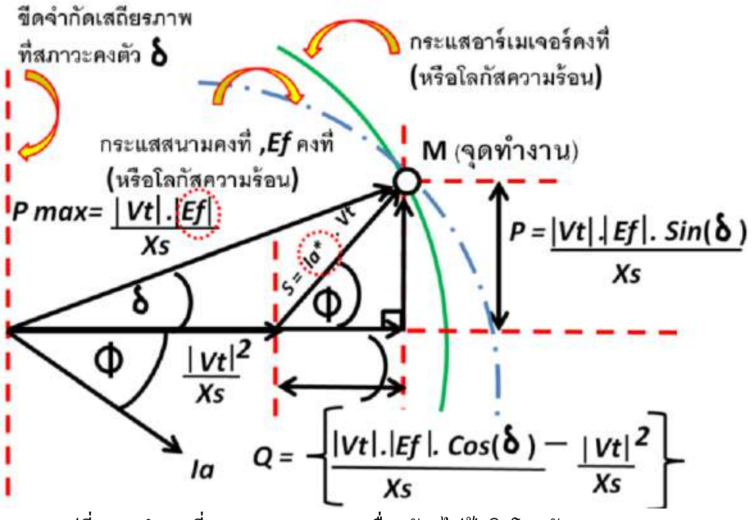



รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่าง $E_f$ และ $I_f$

เมื่อนำสมการที่ (1) มาร่วมวิเคราะห์กับโลกัสในรูปที่ 6 จะได้ผลลัพธ์ซึ่งแสดงให้เห็นถึงสมรรถนะของเครื่องจักรไฟฟ้าแบบซิงโครนัส ดังแสดงในรูปที่ 8 โดยวงกลมที่เกิดขึ้นจากสมการที่ (1) จะมีรัศมีเท่ากับ $S = V_t \bullet I_a *$ และจุดทำงานที่เหมาะสม (M) ของเครื่องจักรไฟฟ้าแบบซิงโครนัสสามารถแสดงให้เห็นในรูปที่ 9 ตามลำดับ




รูปที่ 8 พื้นที่สมรรถนะของเครื่องจักรไฟฟ้าแบบซิงโครนัส



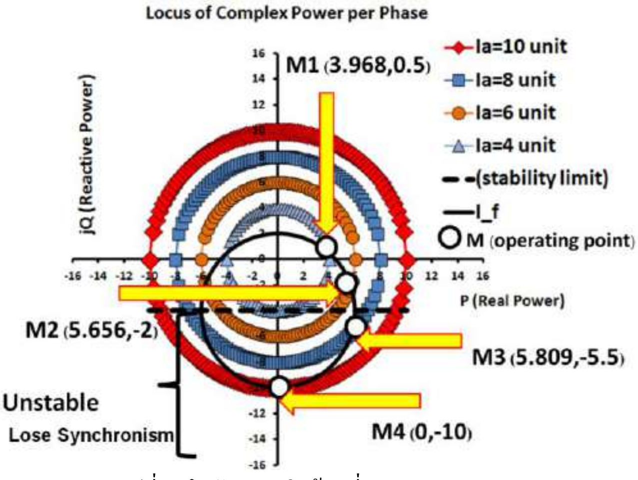

รูปที่ 9 จุดทำงานที่เหมาะสม (M) ของเครื่องจักรไฟฟ้าซิงโครนัส

จากรูปที่ 6 ถึง 9 แสดงให้เห็นว่า ($E_f$) ซึ่งแปรผันกับขนาดกระแสสนาม ($I_f$) ตลอดจนกระแสอาร์เมเจอร์ ($I_a$) จะเป็นตัวกำหนดขีดจำกัดความร้อนที่เกิดขึ้นภายในขดลวดสนาม และขดลวดอาร์เมเจอร์ ของเครื่องจักรไฟฟ้าแบบซิงโครนัส เนื่องจากกระแสทั้งสองประเภทมีผลทำให้เกิดกำลังไฟฟ้าที่ขดลวด ซึ่งผลของกำลังไฟฟ้าดังกล่าวจะทำให้เกิดความร้อนที่ขดลวดด้วย นอกจากนี้ค่าพารามิเตอร์ต่างๆจะต้องสอดคล้องกับจุดทำงานที่เหมาะสม (M)

## 4. การออกแบบและวิเคราะห์โลกัสกำลังเชิงซ้อน

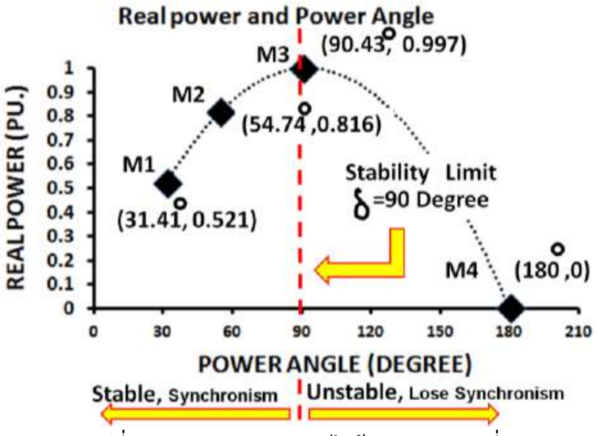
จากความพันธ์ของสมการที่ (1) ถึง (6) ดังที่กล่าวมาแล้ว เมื่อนำมาวิเคราะห์และออกแบบให้โมเดลโลกัสของสมการที่ (1) คือ $S = V_t \bullet I_a *$ โดยมีค่าแรงดันที่ขั้วของเครื่องจักรกลไฟฟ้าคือ $V_t = 1\angle 0^0$ unit และ $I_a = 4\angle\phi^0, 6\angle\phi^0, 8\angle\phi^0, 10\angle\phi^0$ unit ตามลำดับ นอกจากนี้ออกแบบให้ขีดจำกัดของเสถียรภาพที่สภาวะคงตัว

คือ $|V^2|/X_S = -6$ unit และโลกัสวงกลมที่ขึ้นอยู่กับการแปรผันตามขนาดของกระแสสนาม ($I_f$) มีรัศมีคงที่เท่ากับ $|V_t|\bullet|E_f|/X_S = 4$ unit โดยจากข้อกำหนดในการออกแบบดังกล่าวสามารถแสดงให้เห็นได้ดังรูปที่ 10



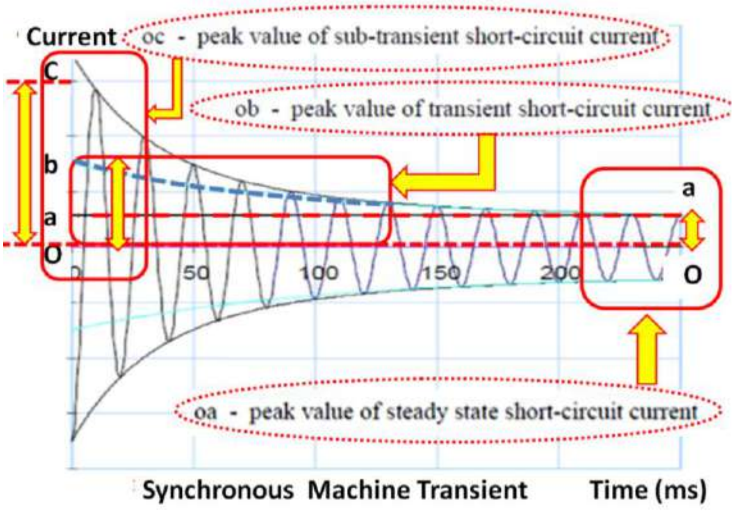

รูปที่ 10 โลกัสกำลังเชิงซ้อนที่ทำการออกแบบ

จากรูปที่ 10 ทำการหาจุดตัดระหว่างโลกัสของสมการที่ (1) ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงค่ารัศมีตามขนาดของกระแส ($I_a$) และโลกัสวงกลมที่ขึ้นอยู่กับการแปรผันตามขนาดของกระแสสนาม ($I_f$) ด้วยเทคนิคระเบียบวิธีเชิงเลข (Numerical Method) จะได้ค่าจุดตัด $M_1$(3.968,0.5), $M_2$(5.656,-2), $M_3$(5.809,-5.5) และ $M_4$(0,-10) ตามลำดับ นอกจากนี้เมื่อนำค่าพารามิเตอร์ที่ออกแบบและค่าผลลัพธ์ของจุดตัด มาคำนวณตามความสัมพันธ์ของสมการที่ (1) ถึง (6) จะได้ผลลัพธ์ดังรูปที่ 11




รูปที่ 11 คุณลักษณะของกำลังไฟฟ้าและมุมกำลัง ที่ออกแบบ

จากผลลัพธ์รูปที่ 10 และ 11 แสดงให้เห็นว่า ที่จุดตัด $M_1$ และ $M_2$ สามารถใช้ออกแบบเป็นจุดทำงานได้ เนื่องจากเป็นจุดที่ไม่เกินขีดจำกัดของเสถียรภาพ (ไม่เกิน 90 องศา) แต่อย่างไรก็ตามที่จุดตัด $M_3$ และ $M_4$ เป็นจุดที่เกินขีดจำกัดของเสถียรภาพ (เกิน 90 องศา) ซึ่งที่จุดทั้งสองจุดดังกล่าวทำให้เกิดความไม่เสถียร หรือสูญเสียการเกาะติดความเร็วซิงโครนัสของโรเตอร์ (Lose Synchronism) :ดังนั้นกรณีนี้จึงไม่สามารถนำมาออกแบบใช้งานได้ในทางปฏิบัติ เนื่องจากผลของกระแสอาร์เมเจอร์มีค่าสูงเกินทำให้จุดทำงานเกินขีดจำกัดของเสถียรภาพที่กำหนด โดยกรณีดังกล่าวมีโอกาสเกิดขึ้นได้จริงในทางปฏิบัติคือ การเกิดกระแสผิดพร่องชั่วแวบ (Fault Sub-Transient Current) ประเภทเกิดกระแสลัดวงจรที่มีขนาดสูงกว่ากระแสที่สภาวะอยู่ตัวในระบบไฟฟ้ากำลัง (Steady State Current) ที่มีเครื่องจักรกลไฟฟ้าแบบซิงโครนัสทำหน้าที่เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ดังแสดงการจำลองเชิงกราฟดังรูปที่ 12




รูปที่ 12 การเกิดกระแสผิดพร่องของเครื่องจักรกลไฟฟ้าแบบซิงโครนัส

## 5. สรุปผล

การออกแบบโลกัสจุดทำงานของเครื่องจักรกลไฟฟ้าแบบซิงโครนัส ควรออกแบบให้การทำงานของกระแสสนามและกระแสอาร์เมเจอร์ไม่เกินโลกัสขีดจำกัดของเสถียรภาพ ซึ่งมีค่า $\delta$ ไม่เกิน 90 องศา ตามลำดับ โดยกรณีที่กล่าวถึงการออกแบบในบทความฉบับนี้จะเป็นการอ้างอิงถึงในช่วงอุดมคติ ที่สภาวะอยู่ตัวของเครื่องจักรกลไฟฟ้าแบบซิงโครนัสเท่านั้น

## 6. เอกสารอ้างอิง

[1].ผศ.ดร. บัลลังก์ เนียมมณี, และ ผศ.ดร. สุขสันติ์ หวังสถิตวงษ์ “เครื่องจักรกลไฟฟ้ากระแสสลับ AC Machines” มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, กรุงเทพฯ, 2555.

[2].P. C. Sen, Principles of Electric Machines and Power Electronics, Second Edition, John Wiley & Sons, Inc 1997.

[3].Stephen J. Chapman, Electrical Machinery Fundamental, Fourth Edition, McGraw-Hill International Edition, 2005.

# การวิเคราะห์สนามแม่เหล็กหมุนในเครื่องจักรกลไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำชนิด 3 เฟส ในสภาวะอยู่ตัว

# Analysis of Steady state Rotating Magnetic Field in Three Phase Induction Machine

ณัฐพงศ์ พันธุนะ ศุภโชค จินดาพล กันตินันท์ รื่นสัมฤทธิ์ อานนท์ สิงห์เสถียร และพูนศรี วรรณการ
สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
1381 ถ.ประชาราษฎร์ 1 แขวงวงศ์สว่าง เขตบางซื่อ กรุงเทพมหานคร 10800

## บทคัดย่อ

บทความฉบับนี้กล่าวถึงการจำลองและประยุกต์สมการทางคณิตศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับความสัมพันธ์ของสนามแม่เหล็กหมุนในเครื่องจักรกลไฟฟ้าแบบชนิดเหนี่ยวนำ 3 เฟส โดยการจำลองดังกล่าวจะใช้งานผ่านโปรแกรมสำเร็จรูป ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จะแสดงผลออกมาในรูปแบบของกราฟฟิค (Graphic) ที่เกิดจากฟังก์ชั่นไซน์นูซอยด์ตามลำดับ เพื่อนำลักษณะของกราฟฟิคดังกล่าวที่เกิดขึ้นนำมาวิเคราะห์ถึง แรงเคลื่อนแม่เหล็ก, ความเข้มสนามแม่เหล็ก, ความหนาแน่นสนามแม่เหล็กที่สภาวะอยู่ตัว ตามลำดับ

คำสำคัญ : สนามแม่เหล็ก, เครื่องจักรกลไฟฟ้าแบบชนิดเหนี่ยวนำ

## Abstract

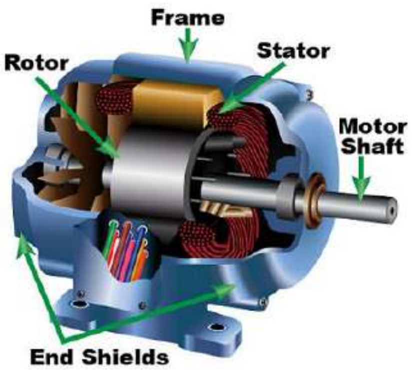
This article mention the simulation and application of mathematic equation of rotating magnetic field of 3 phase induction machine.. This paper Simulate processing the Magneto Motive Force (MMF) of rotating magnetic field by the software package. The result of simulation is showed the MMF of sinusoidal Graphical respectively. And analysis Magnetic Field Intensity Magnetic Flux Density and . Magneto Motive Force on steady state condition.

Keyword: Magnetic field, Induction Machine

## 1. บทนำ

เครื่องจักรกลไฟฟ้าแบบหมุน (Rotating machine) เป็นระบบการแปลงพลังไฟฟ้าเชิงกลชนิดหนึ่งที่มีความสำคัญอย่างมาก ซึ่งอาศัยหลักการเปลี่ยนรูปพลังงานไฟฟ้ากับพลังงานทางกล โดยเรียกเครื่องจักรกลไฟฟ้าแบบหมุนที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าอินพุตให้กลายเป็นพลังงานทางกลเอาต์พุตโดยเรียกหลักการนี้ว่า มอเตอร์ (Motor) ในทางกลับกันเครื่องจักรกลไฟฟ้าแบบหมุนที่เปลี่ยนพลังงานทางกลอินพุตให้กลายเป็นพลังงานไฟฟ้าเอาต์พุตเพื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับโหลดทางไฟฟ้าโดยเรียกว่าเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator) ตามลำดับ

สำหรับเครื่องจักรกลไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำ (Induction Machine) เป็นเครื่องจักรกลไฟฟ้าหมุนชนิดหนึ่งที่สามารถทำหน้าที่เป็นได้ทั้งมอเตอร์และเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ตามลำดับ โดยมีโครงสร้างพื้นฐานที่สำคัญสองส่วน ได้แก่ สเตเตอร์ (Stator) ที่เป็นส่วนของโครงสร้างซึ่งไม่สามารถเคลื่อนที่ได้ และเป็นโครงภายนอกของตัวเครื่องจักรกลไฟฟ้า และสำหรับโรเตอร์ (Rotor) จะเป็นส่วนของโครงสร้างที่มีการเคลื่อนที่หมุนได้อย่างอิสระ โดยส่วนมากโรเตอร์จะอยู่ภายในตัวของเครื่องจักรกลไฟฟ้า ตามลำดับ




รูปที่ 1 โครงสร้างพื้นฐานของเครื่องจักรกลไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำ

ซึ่งเครื่องจักรกลไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำจะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับปรากฏการณ์ที่เกี่ยวข้องกับสนามแม่เหล็กได้แก่ ความเข้มสนามแม่เหล็ก (Magnetic Field Intensity) ความหนาแน่นสนามแม่เหล็ก (Magnetic Flux Density) และแรงเคลื่อนแม่เหล็ก (Magneto Motive Force, MMF) ตามลำดับ เนื่องจากจะต้องอาศัยปรากฏการณ์ดังกล่าว ในการเหนี่ยวนำให้โรเตอร์เกิดการหมุนเมื่อทำงานเป็นมอเตอร์ และสร้างแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำ (Induced Voltage) เมื่อทำงานเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

ดังนั้นบทความฉบับนี้จะกล่าวถึงการโมเดลปรากฏการณ์สนามแม่เหล็กของเครื่องจักรกลไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ ตลอดจนวิเคราะห์ถึงความเข้มสนามแม่เหล็ก และความหนาแน่นของสนามแม่เหล็ก และแรงเคลื่อนแม่เหล็กของเครื่องจักรกลไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำชนิด 3 เฟส ที่สภาวะอยู่ตัว (Steady State) เท่านั้น

## 2. การเกิดสนามแม่เหล็กหมุน (Rotating magnetic field)

ในกรณีที่กำหนดให้ขดลวดทั้งสามเฟสของเครื่องจักรกลไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำ มีจำนวนสามขด และวางกระจายตัวอย่างสม่ำเสมออยู่ใน

สเตเตอร์ ซึ่งขดลวดแต่ละขดจะทำมุมห่างกัน 120 องศาทางไฟฟ้า โดยเมื่อป้อนไฟฟ้ากระแสสลับสามเฟสดังแสดงให้เห็นในสมการที่ (1) (2) และ (3) ซึ่ง $I_M$ คือค่าขนาดแอมปลิจูดสูงสุดของกระแสในขดลวดนั้นๆ และผลที่ได้จากสมการทั้งสามดังกล่าว จะทำให้เกิดผลของแรงเคลื่อนแม่เหล็กรวมที่มีขนาดคงที่ ($F$) ซึ่งเกิดจากแรงเคลื่อนแม่เหล็กเฟส a b และc ที่เปลี่ยนแปลงตามมุมในช่องอากาศ (Air Gap) ภายในสเตเตอร์ ($\theta$) ดังแสดงให้เห็นในสมการ (4)

$$i_{aa'}(t) = I_M \sin \omega t \quad (1)$$
$$i_{bb'}(t) = I_M \sin(\omega t - 120^\circ) \quad (2)$$
$$i_{cc'}(t) = I_M \sin(\omega t - 240^\circ) \quad (3)$$
$$F(\theta) = F_a(\theta) + F_b(\theta) + F_c(\theta) \quad (4)$$

โดยที่ชั่วขณะเวลาใดๆ ชุดขดลวดที่แต่ละเฟสจะสร้างคลื่นแรงเคลื่อนแม่เหล็กเป็นไซน์นูซอยด์ และแอมพลิจูดสูงสุดของแรงเคลื่อนแม่เหล็กนั้น จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับกระแสชั่วขณะในแต่ละเฟส สำหรับการกระจายของแรงเคลื่อนแม่เหล็กที่มุม $\theta$ สำหรับเฟส a สามารถแสดงให้เห็นได้ดังสมการที่ (5) [1]

$$F_a(\theta) = N i_a \sin\theta \quad (5)$$

โดย N คือจำนวนรอบประสิทธิผลของชุดขดลวดเฟส a
$I_a$ คือกระแสในชุดขดลวดเฟส a

นอกจากนี้แรงเคลื่อนแม่เหล็กเฟสอื่นๆ จะถูกเลื่อนห่างออกจากกันเป็นจำนวน 120 องศาทางไฟฟ้าจากเฟส a ทำให้การกระจายตัวของแรงเคลื่อนแม่เหล็กไฟฟ้าของเฟส b และเฟส c สามารถแสดงได้ดังสมการ (6) และ (7) ตามลำดับ

$$F_b(\theta) = N i_b \sin(\theta - 120^\circ) \quad (6)$$
$$F_c(\theta) = N i_c \sin(\theta + 120^\circ) \quad (7)$$

จากสมการที่ (1) ถึง (7) สามารถวิเคราะห์แรงเคลื่อนแม่เหล็กรวมที่มุม $\theta$ และในฟังก์ชัน $(\theta, t)$ ดังสมการ (8) และ (9) คือ

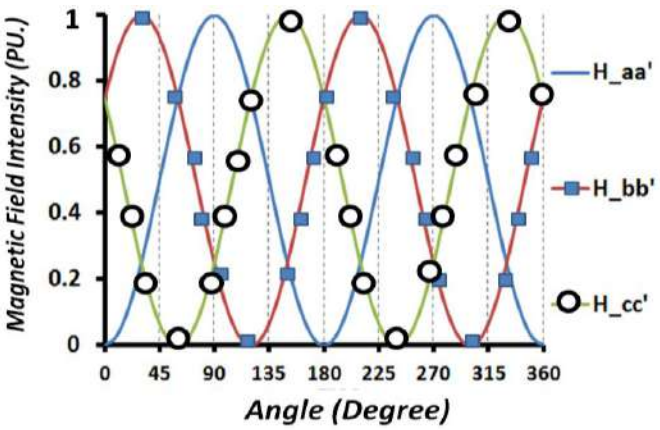
$$F(\theta) = N i_a \sin\theta + N i_b \sin(\theta - 120^\circ) + N i_c \sin(\theta + 120^\circ) \quad (8)$$

$$F(\theta, t) = 1.5 \bullet N\, \mathrm{I_m} \cos(\omega t - \theta) \quad (9)$$

จากสมการที่ (1) ถึง (9) สามารถนำมาประยุกต์สำหรับหาค่าความเข้มสนามแม่เหล็ก ($H$) ซึ่งสามารถพิจารณาด้วยความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ของค่าความเข้มสนามแม่เหล็กที่มีการเปลี่ยนแปลงตามเวลาของเฟส a b และ c ได้ดังสมการที่ (10) (11) และ (12) ตามลำดับ [2] โดย $H_M$ คือค่าขนาดแอมปลิจูดสูงสุดของความเข้มสนามแม่เหล็ก

$$H_{aa'}(\theta, t) = (H_M \sin \omega t)\angle 0^\circ \quad (10)$$
$$H_{bb'}(\theta, t) = (H_M \sin(\omega t - 120^\circ))\angle 120^\circ \quad (11)$$
$$H_{cc'}(\theta, t) = (H_M \sin(\omega t - 240^\circ))\angle 240^\circ \quad (12)$$

ความสัมพันธ์ของสมการที่ (10) ถึง (12) สามารถนำมาวิเคราะห์และแสดงผลลัพธ์เชิงกราฟได้ดังรูปที่ 2 โดยขนาดของความเข้มสนามแม่เหล็กจะแสดงในหน่วยของ Per-unit ($PU.$)

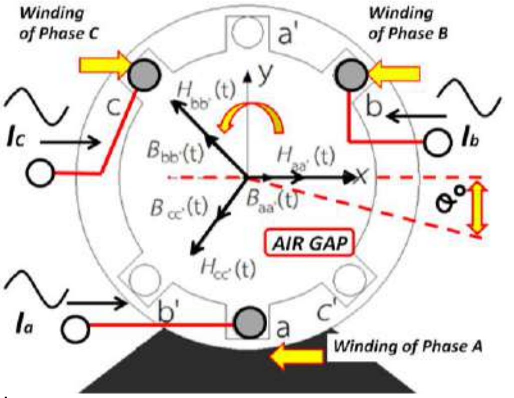



รูปที่ 2 ความสัมพันธ์เข้มสนามแม่เหล็กในเชิงเวลาและเชิงมุม

นอกจากจะเกิดความเข้มสนามแม่เหล็กแล้ว อีกสิ่งหนึ่งที่เกิดขึ้นพร้อมกันก็คือความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็ก ($B$) ซึ่งสามารถแสดงความสัมพันธ์ได้ดังสมการที่ (13) ถึง (16) เมื่อ $\mu$ คือค่าความซึมซาบสนามแม่เหล็ก และ $B_M$ คือค่าขนาดแอมปลิจูดสูงสุดของความหนาแน่นสนามแม่เหล็ก

$$B = \mu H \quad (13)$$
$$B_{aa'}(\theta, t) = (B_M \sin \omega t)\angle 0^\circ \quad (14)$$
$$B_{bb'}(\theta, t) = (B_M \sin(\omega t - 120^\circ))\angle 120^\circ \quad (15)$$
$$B_{cc'}(\theta, t) = (B_M \sin(\omega t - 240^\circ))\angle 240^\circ \quad (16)$$

จากผลลัพธ์ในรูปที่ 2 และจากสมการที่ (10) ถึง (16) สามารถแสดงความสัมพันธ์ในรูปของเวกเตอร์ความเข้มและความหนาแน่นของสนามแม่เหล็กหมุนได้ดังรูปที่ 3

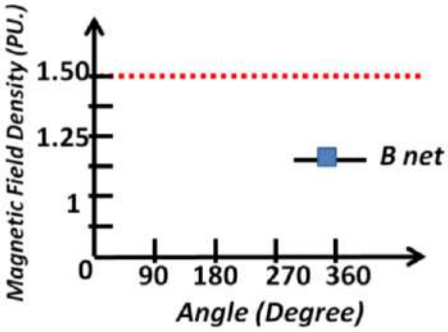



รูปที่ 3 ลักษณะเวกเตอร์ความเข้มและความหนาแน่นสนามแม่เหล็ก

จากรูปที่ 3 และสมการที่ (14) ถึง (16) ตามลำดับ จะได้ผลรวมของความหนาแน่นสนามแม่เหล็กทั้งสามเฟส ($B_{net}$) ดังสมการที่ (20) คือ

$$B_{net} = B_{aa'} + B_{bb'} + B_{cc'} \qquad (20)$$

โดยจากสมการที่ (20) เมื่อทำการวิเคราะห์ผลรวมของความหนาแน่นสนามแม่เหล็กลัพธ์ที่ตำแหน่งมุม $\theta$ ใดๆ ในช่องอากาศด้วยเทคนิคระเบียบวิธีเชิงเลข (Numerical Method) จะได้ผลลัพธ์ดังรูปที่ 4 โดยขนาดความหนาแน่นของสนามแม่เหล็ก จะแสดงในหน่วยของ Per-unit (*PU.*)



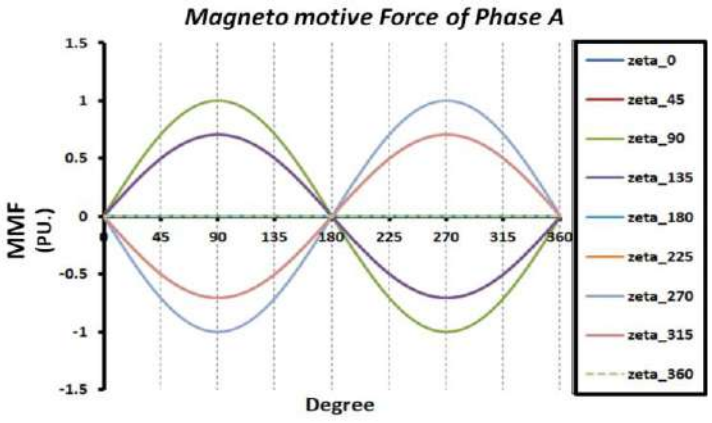

รูปที่ 4 ผลรวมของความหนาแน่นสนามแม่เหล็กลัพธ์ที่ตำแหน่งมุม $\theta$

จากผลลัพธ์ในรูปที่ 4 แสดงให้เห็นว่า ผลรวมความหนาแน่นสนามแม่เหล็กลัพธ์ที่เกิดขึ้นนั้น ไม่ว่าทิศทางของสนามแม่เหล็กเฟส a, b และ c จะเปลี่ยนแปลงไปตามมุม $\theta$ อย่างไร ขนาดผลรวมของความหนาแน่นสนามแม่เหล็กลัพธ์ดังกล่าว ยังคงมีค่าคงที่เสมอคือ ($B_{net}$= 1.5* $B_M$) ซึ่งมีความสอดคล้องกับค่าสูงสุดของผลรวมของแรงเคลื่อนแม่เหล็กลัพธ์ดังสมการที่ (9) จึงสามารถกล่าวได้ว่าผลรวมความเข้มสนามแม่เหล็กหมุนของเครื่องจักรกลไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำที่สภาวะอยู่ตัวจะมีความสม่ำเสมอตลอดการทำงาน

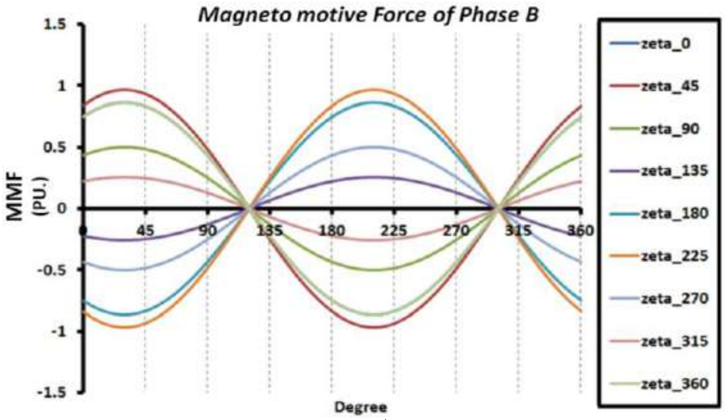
## 3. กรณีศึกษาการเกิดแรงเคลื่อนแม่เหล็กหมุนของเครื่องจักรกลไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำ 3 เฟส

จากลักษณะของกระแสสลับในขดลวดทั้งสามเฟสดังที่กล่าวมาแล้ว เมื่อมีการกำหนดขนาดกระแสให้มีค่าเท่ากันและมีมุมห่างกันระหว่างเฟสขนาด 120 องศา ตามหลักของลำดับเฟสบวก (Positive Sequence)

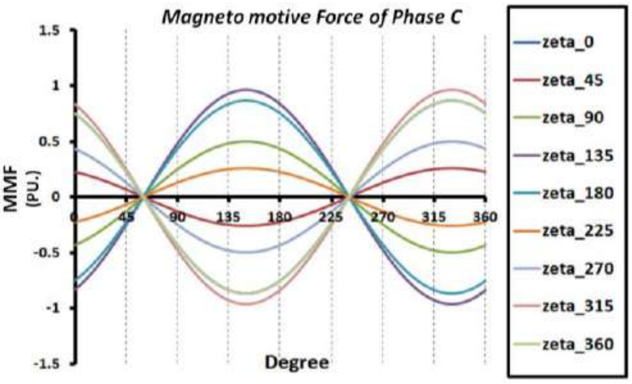
โดยแรงเคลื่อนแม่เหล็กที่เกิดขึ้นในแต่ละเฟสจะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับจำนวนรอบของขดลวดตัวนำ ปริมาณกระแส และมุมเฟสเริ่มต้นของกระแสนั้นๆ ตามลำดับ ซึ่งจากพารามิเตอร์ของสมการที่ (5) (6) และ (7) เมื่อทำการกำหนดเงื่อนไขมุม $\theta$ ที่สามารถเปลี่ยนแปลงในช่องอากาศคือ 0, 45, 90, 135, 225, 270, 315 และ 360 ตามลำดับ จะได้ผลลัพธ์จากการวิเคราะห์แรงเคลื่อนแม่เหล็กเฟส a b และ c ในรูปของเชิงกราฟ ดังรูปที่ 5 6 และ 7 ตามลำดับ โดยขนาดของแรงเคลื่อนแม่เหล็กดังกล่าว จะแสดงในหน่วยของ Per-unit (*PU.*)




รูปที่ 5 ลักษณะของแรงเคลื่อนแม่เหล็กที่เกิดขึ้นในช่องอากาศของเฟส A



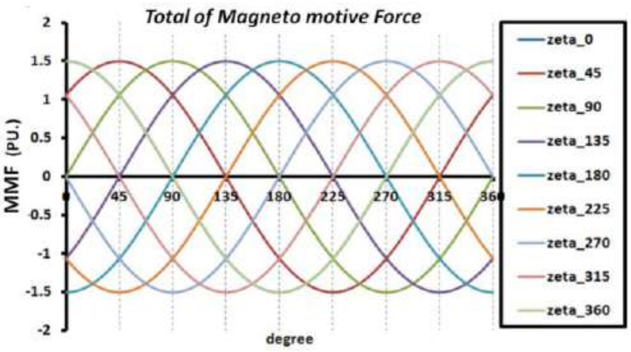

รูปที่ 6 ลักษณะของแรงเคลื่อนแม่เหล็กที่เกิดขึ้นในช่องอากาศของเฟส B




รูปที่ 7 ลักษณะของแรงเคลื่อนแม่เหล็กที่เกิดขึ้นในช่องอากาศของเฟส C

จากผลลัพธ์ในรูปที่ 5 6 และ 7 แสดงให้เห็นว่า เมื่อมุม $\theta$ ในช่องอากาศมีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้น จะมีผลทำให้เฉพาะขนาดแอมพลิจูดของแรงเคลื่อนแม่เหล็กเท่านั้นที่มีการเปลี่ยนแปลง โดยลักษณะรูปคลื่นของแรงเคลื่อนแม่เหล็กทั้งสามเฟสดังกล่าว จะมีมุมเฟสคงที่โดยตลอด ซึ่งสอดคล้องกับหลักการคลื่นยืน (Standing Wave) ในทฤษฎีทางฟิสิกส์ [3] นอกจากนี้ผลลัพธ์ที่ได้ยังแสดงให้เห็นว่าในกรณีที่สภาวะอยู่ตัว แรงเคลื่อนแม่เหล็กแต่ละเฟสของเครื่องจักรกลไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำ จะมีความสัมพันธ์ในฟังก์ชันของไซน์นูซอยด์ ซึ่งสอดคล้องกับสมการที่ (5) ถึง (7) ดังที่กล่าวมาแล้ว ตลอดจนมีลักษณะรูปคลื่นที่มีความราบเรียบ (Smoothly MMF) และปราศจากความผิดเพี้ยนของแรงเคลื่อนแม่เหล็กเกิดขึ้น (MMF Distortion)

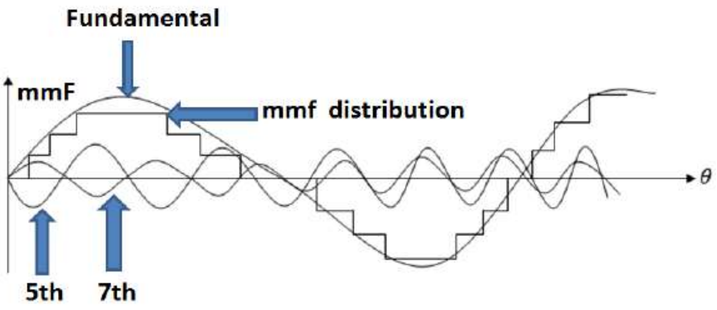
เมื่อนำผลลัพธ์ที่ได้จากรูปที่ 5 6 และ 7 มาทำการรวมกันด้วยหลักการเชิงกราฟ ตลอดจนตามความสัมพันธ์ของสมการที่ 8 และ 9 ตามลำดับ จะได้ผลลัพธ์ของแรงเคลื่อนแม่เหล็กรวมทั้งสามเฟสที่เปลี่ยนแปลงตามมุมในช่องอากาศ ดังรูปที่ 8




รูปที่ 8 ลักษณะผลลัพธ์ของแรงเคลื่อนแม่เหล็กรวมทั้ง 3 เฟส ที่เกิดขึ้น

จากผลลัพธ์ในรูปที่ 8 แสดงให้เห็นว่าผลลัพธ์ของแรงเคลื่อนแม่เหล็กรวมทั้ง 3 เฟส มีขนาดแอมพลิจูดสูงสุดคงที่ในทุกๆมุม $\theta$ ในช่องอากาศที่ทำการศึกษา แต่อย่างไรก็ตามมุมเฟสของผลรวมแรงเคลื่อนแม่เหล็กดังกล่าวจะมีการเปลี่ยนแปลงนำหน้าเมื่อมุม $\theta$ อยู่ 90 องศาเสมอ ซึ่งสอดคล้องกับความสัมพันธ์ของสมการที่ (9) โดยผลรวมของแรงเคลื่อนแม่เหล็กดังกล่าวจะเป็นรูปคลื่นมีความราบเรียบ และไม่เกิดความผิดเพี้ยนของรูปคลื่นในฟังก์ชันไซน์นูซอยด์

ซึ่งในกรณีดังกล่าวจะเกิดขึ้นได้ในทางอุดมคติเท่านั้น เนื่องจากในทางปฏิบัติชุดขดลวดของเครื่องจักรกลไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำจะกระจายอยู่ในร่องสล๊อตที่สเตเตอร์ มีจำนวนจำกัด เมื่อมีกระแสที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา ไหลผ่านขดลวดที่ถูกจัดวางในร่องสล๊อตที่มีจำกัด กระแสนั้นจะสร้างแรงเคลื่อนแม่เหล็กกระจายตัวในช่องอากาศในรูปแบบของสเปซเวฟ (Space Wave) ซึ่งมีลักษณะลูกคลื่นเป็นขั้นบันได (MMF Distortion) ดังแสดงในรูปที่ 9




รูปที่9 การกระจายแรงเคลื่อนแม่เหล็กลักษณะลูกคลื่นเป็นขั้นบันได

## 4. สรุปผล

ปรากฏการณ์สนามแม่เหล็กหมุนของเครื่องจักรกลไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำที่สภาวะอยู่ตัว จะมีค่าผลรวมของความหนาแน่นสนามแม่เหล็กทั้งสามเฟสคงที่โดยตลอด แม้ว่ากระแสไหลในขดลวดทั้งสามเฟสดังกล่าวจะมีมุมเฟสที่แตกต่างกัน นอกจากนี้ผลรวมของแรงเคลื่อนแม่เหล็กทั้งสามเฟสที่สภาวะอยู่ตัว จะมีรูปแบบของฟังก์ชันไซนูซอยด์ที่มีลักษณะความราบเรียบ แต่อย่างไรก็ตามกรณีศึกษาที่กล่าวถึงในบทความฉบับนี้จะพิจารณาในส่วนที่เป็นอุดมคติเท่านั้น

## 5. เอกสารอ้างอิง

[1].ผศ.ดร. บัลลังก์ เนียมมณี, และ ผศ.ดร. สุขสันติ์ หวังสถิตวงษ์ “เครื่องจักรกลไฟฟ้ากระแสสลับ AC Machines” มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, กรุงเทพฯ, 2555.

[2].P. C. Sen, Principles of Electric Machines and Power Electronics, Second Edition, John Wiley & Sons, Inc 1997.

[3].Stephen J. Chapman, Electrical Machinery Fundamental, Fourth Edition, McGraw-Hill International Edition, 2005.

# ประสิทธิภาพการลดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ด้วยสาหร่ายขนาดเล็ก

# The efficiency of $CO_2$ capture by using microalgae

**ครรชิต เงินคำคง[1] แสงเทียน ดวงจันทร์[1] เจษฎาภรณ์ จิติธรรม[1] ลดาวัลย์ วัฒนะจีระ[1] นันท์นภัส มโนนันท์[2] และ บัญจรัตน์ โจลานันท์[1]**
[1]หลักสูตรวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
128 ถนนห้วยแก้ว ต.ช้างเผือก อ.เมือง จ.เชียงใหม่ 50300 โทรศัพท์ 053-921444 ต่อ 2441 E-mail: kunchit2516@rmutl.ac.th
[2]สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
155 หมู่ 2 ต.แม่เหียะ อ.เมือง จ.เชียงใหม่ 50100

## บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นถึงประสิทธิภาพของสาหร่ายขนาดเล็กในการลดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และผลของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ต่อการเจริญของสาหร่าย การศึกษาครั้งนี้ ได้ทำการเลือกสาหร่าย *Scenedesmus* sp. และ *Scenedesmus obliquus* TISTR 8522 โดยทำการเพาะเลี้ยงสาหร่ายในอาหารเหลวสูตรเจเอ็ม ในถังปฏิกิริยาขนาด 5 ลิตร โดยให้ความเข้มแสงที่ 4,000 ลักซ์ และให้อากาศด้วยเครื่องเติมอากาศตลอด 24 ชั่วโมง ทำการเติมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 99% ที่อัตราการไหล 0.1 vvm เป็นเวลา 16 วัน ผลการศึกษาพบว่าสาหร่าย *Scenedesmus obliquus* TISTR 8522 มีประสิทธิภาพสูงสุด โดยมีค่าอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะเท่ากับ 0.885±0.02 ต่อวัน ค่ามวลสาหร่าย 2,350±132.29 มิลลิกรัมต่อลิตร และประสิทธิภาพในการลดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูงสุด 97.00±1.53%

คำสำคัญ: สาหร่ายขนาดเล็ก, การลดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

## Abstract

The current research focused on biomass productivity and carbon dioxide capture efficiency using microalgae. The experiment choose *Scenedesmus* sp. and *Scenedesmus obliquus* TISTR 8522 by cultivating in working volume 5 liters bioreactor with Jaworski's medium under 24 hours light intensity 4,000 lux and aeration with air. The different concentration of $CO_2$ (99%) of experiments was 0.1 vvm. The period of all experiments were 16 days. The results showed that the maximum specific growth rate and biomass productivity were 0.885±0.02 $d^{-1}$ and 2,350±132.29 mg/l with *Scenedesmus obliquus* TISTR 8522. The maximum $CO_2$ capture efficiency was 97.00±1.53%.

Keywords: microalgae, $CO_2$ capture

## 1. บทนำ

โลกร้อนนี้จัดว่าเป็นปัญหาสำคัญของโลกโดยที่ทุกฝ่ายก็ได้เห็นพ้องต้องกันว่าจะต้องหาทางลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกให้ได้ โดยได้มีอนุสัญญาสหประชาชาติว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ (United nations framework conversion on climate change-UNFCCC) [1] ซึ่งในรายงานของหน่วยงานระหว่างรัฐบาลว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (IPCC) ได้เสนอรายงานทุกๆ 5 ปี สรุปว่าโลกได้ร้อนขึ้นอย่างต่อเนื่อง และมีสาเหตุมาจากกิจกรรมของมนุษย์ นั่นคือการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสู่บรรยากาศในปริมาณที่มาก และในอัตราการที่เร็วมาก [2] โดยเฉพาะก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งเป็นก๊าซเรือนกระจกที่สำคัญ การเพิ่มขึ้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ดังกล่าวมีสาเหตุสำคัญมาจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิล โดยทั่วไปก๊าซที่เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงเหล่านี้จะประกอบด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ประมาณ 10-20% [3] ซึ่งมีศักยภาพในการทำให้เกิดภาวะโลกร้อน (Global warming potential; GWP) ปัจจุบันเป็นปัญหาทางด้านสิ่งแวดล้อมที่สำคัญ การศึกษาวิจัยและการพัฒนาเทคโนโลยีเพื่อลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีอย่างต่อเนื่อง โดยมุ่งเน้นในการนำก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์กลับมาใช้ประโยชน์ผ่านกระบวนการต่างๆ อย่างไรก็ตามการสังเคราะห์แสงของสาหร่าย ถือเป็นแนวทางหนึ่งในการใช้ประโยชน์จากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ผ่านกระบวนการทางชีวภาพที่มีประสิทธิภาพ และไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เนื่องจากสาหร่ายมีการเติบโตโดยใช้แสงเป็นพลังงาน และใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นแหล่งคาร์บอนในการสังเคราะห์แสง และเป็นสารอาหารหลักเพื่อการเจริญเติบโตและสร้างมวลสาหร่าย อีกทั้งยังเป็นวิธีที่ช่วยลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เช่น สาหร่าย *Spirulina platensis* มีประสิทธิภาพในการลดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์อยู่ระหว่าง 90-100% [4] และสาหร่าย *Chlorella vulgaris* มีประสิทธิภาพในการลดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ถึง 82.50-99% ส่วนสาหร่าย *Scedesmus obliquus* WUST4 สามารถลดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้ถึง 67% [5] รวมไปถึงสามารถนำมวลสาหร่ายไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมต่างๆ ได้อีกด้วย

ดังนั้นจะเห็นได้ว่าสาหร่ายมีความสำคัญต่อมนุษย์ในด้านต่างๆ ทั้งด้านสิ่งแวดล้อม และการนำมาใช้ประโยชน์ด้านอื่นๆ เช่น ด้านระบบนิเวศวิทยา ด้านลดก๊าซเรือนกระจก ด้านอาหาร ด้านอุตสาหกรรม ด้านเกษตรกรรม และด้านการใช้เป็นพลังงานชีวภาพ เป็นต้น [6]

ดังนั้นการวิจัยนี้ได้ศึกษาถึงประสิทธิภาพของการลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของสาหร่ายขนาดเล็ก เพื่อเป็นแนวทางในประยุกต์ใช้ในการลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจากขบวนการต่างๆ จากโรงงานอุตสาหกรรม และเพื่อประโยชน์ในการนำไปใช้เป็นข้อมูลสำหรับการพิจารณาศักยภาพ ความเป็นไปได้ของการใช้ประโยชน์จากสาหร่ายขนาดเล็กในด้านอุตสาหกรรมในเชิงพาณิชย์ต่อไป

## 2. วิธีการวิจัย

### 2.1 สารเคมี และสาหร่ายขนาดเล็กที่ใช้ในการศึกษา

สาหร่ายที่ใช้ในการศึกษาสายพันธุ์ *Scenedesmus* sp. ได้มาจากหลักสูตรวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา และสาหร่าย *Scenedesmus obliquus* TISTR 8522 ได้มาจากสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย เลี้ยงในสูตรอาหาร Jaworski's medium (JM) และสารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์ทุกชนิดเป็น Analytical reagent (AR)

### 2.2 การเตรียมหัวเชื้อสาหร่าย และการเพิ่มปริมาณ

นำหัวเชื้อสาหร่ายมาเลี้ยงในอาหารเหลวสูตร JM โดยใช้หัวเชื้อเริ่มต้นมีค่าความหนาแน่นของเซลล์สาหร่ายอยู่ที่ 0.5 จำนวน 10% โดยปริมาตร มาเทลงถังขนาด 50 ลิตร ที่บรรจุอาหารเหลว ปริมาตร 40 ลิตร ให้แสงจากหลอดไฟสีส้ม (Warm white light) ค่าความเข้มแสง 4,000 ลักซ์ (4 in 1 Multi-function environmental meter model ST-8820; Taiwan) โดยให้แสงตลอด 24 ชั่วโมง และเติมอากาศจากเครื่องปั๊มอากาศที่อัตราการเติม 30 ลิตรต่อนาที ตลอด 24 ชั่วโมง ทำการเลี้ยงสาหร่ายจนมีค่าความหนาแน่นของเซลล์สาหร่าย(Optical density; $OD_{560}$) โดยใช้เครื่อง Uv-visible spectrophotometer (Biochrom model libra S12; UK) อยู่ในช่วง 0.3-0.5 เพื่อใช้เป็นหัวเชื้อตั้งต้นในการทดลองขั้นต่อไป

### 2.3 ศึกษาผลของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่อผลผลิตของสาหร่าย

นำหัวเชื้อสาหร่ายที่เพาะเลี้ยงไว้ในข้อ 2.2 มาทำการศึกษาโดยแบ่งการทดลองออกเป็น 2 ชุดการทดลอง ชุดการทดลองละ 3 ซ้ำ โดยทำการทดลองในถังไบโอรีแอคเตอร์ 10 ลิตร ปริมาตร 5 ลิตร ส่วนชุดการทดลองที่ 2 ซึ่งเป็นชุดการทดลองนั้น นอกจากเติมอากาศแล้วทำการเติมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 99% ที่อัตราการไหล 0.1 vvm ตลอดเวลาการทดลอง โดยใช้เครื่อง Peristaltic pump (Watson marlow model 502S; UK) ในการดูดจ่ายปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ทำการเก็บตัวอย่างทุกๆ 2 วัน เป็นเวลา 16 วัน โดยศึกษาถึงการเจริญเติบโตของสาหร่ายในรูปมวลสาหร่ายโดยใช้เทคนิคการกรอง [7] และผลของการเติมปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ส่งผลต่ออัตราการเจริญเติบโตของสาหร่าย โดยพิจารณาจากค่าอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ ($\mu$) ซึ่งคำนวณได้จากสมการที่ 1 [8] หลังจากนั้นทำการทดลองซ้ำเดิม และเปลี่ยนชนิดของสาหร่ายจนครบ

$$\mu = \ln (N_2 - N_1) / (t_2 - t_1) \qquad (1)$$

$\mu$ = อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ ($day^{-1}$)
$N_1$ = มวลสาหร่ายเริ่มต้นในการทดลอง (mg/l)
$N_2$ = มวลสาหร่ายวันเก็บตัวอย่าง (mg/l)
$t_1$ = วันที่เริ่มต้นการทดลอง (day)
$t_2$ = วันที่เก็บตัวอย่าง (day)

### 2.4 ศึกษาประสิทธิภาพของการลดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

ศึกษาประสิทธิภาพของการลดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โดยวัดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ก่อน และหลังออกจากชุดการทดลอง โดยใช้เครื่องวัดองค์ประกอบก๊าซ (Geotech model Biogas 5000, UK) เก็บตัวอย่างทุกๆ 2 วัน เป็นเวลา 16 วัน คำนวณหาประสิทธิภาพการลดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของสาหร่ายจากสมการที่ 2 [8]

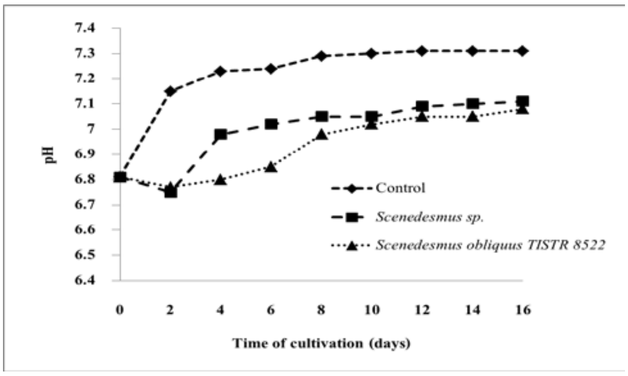
$$\text{Efficiency of } CO_2 \text{ capture} = \text{Influent of } CO_2 - \text{Effluent of } CO_2 / \text{Influent of } CO_2 \times 100 \qquad (2)$$

## 3. ผลการวิจัยและอภิปราย

การเติมปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่อัตราการไหล 0.1 vvm มีผลต่อค่าความเป็นกรดด่างของสาหร่าย *Scenedesmus* sp. และ *Scenedesmus obliquus* TISTR 8522 (รูปที่ 1) พบว่า สาหร่าย *Scenedesmus* sp. จะมีค่าความเป็นกรดด่างอยู่ระหว่าง 6.80-6.98 ส่วนสาหร่าย *Scenedesmus obliquus* TISTR 8522 มีค่าความเป็นกรดด่างอยู่ระหว่าง 6.34-6.81 ส่วนชุดควบคุมมีค่าความเป็นกรดด่างอยู่ในช่วง 6.81-7.30

การเติมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ส่งผลต่อค่าความเป็นกรดด่างและมวลสาหร่าย โดยสาหร่าย *Scenedesmus* sp. และ *Scenedesmus obliquus* TISTR 8522 มีค่าเหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตและมีมวลสาหร่ายมากกว่าชุดควบคุม โดยทั่วไปสาหร่าย *Scenedesmus* sp. เติบโตได้ดีในค่าความเป็นกรดด่างช่วงกว้าง ค่าความเป็นกรดด่างที่เหมาะสมต่อการเจริญของสาหร่ายบางสาหร่ายสายพันธุ์ เช่น *Scenedesmus obliquus* สามารถเจริญเติบโตได้ดีค่าความเป็นกรดด่างเท่ากับ 7.00 มีการผลิตมวล

สาหร่ายเพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 25.6% [9] ส่วนสาหร่าย *Scenedesmus quadricauda* อยู่ระหว่าง 5.00-7.00 [10]

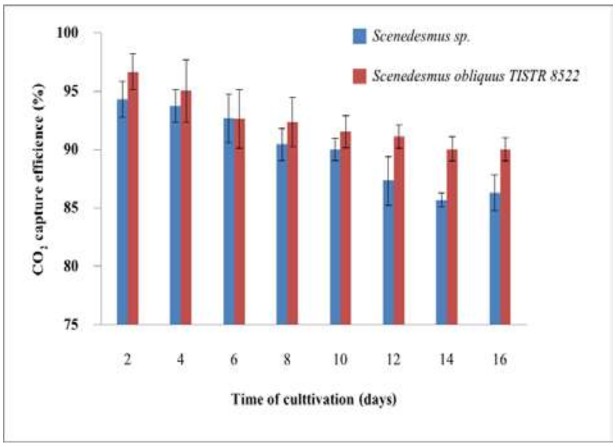



**รูปที่ 1** ผลของปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่อความเป็นกรดด่างของสาหร่าย *Scenedesmus* sp. และ *Scenedesmus obliquus* TISTR 8522

**ตารางที่ 1** ผลของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่อค่าความหนาแน่นของเซลล์สาหร่าย ($OD_{560}$) มวลสาหร่าย ($Biomass_{max}$) อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ ($\mu_{max}$) ของสาหร่าย *Scenedesmus* sp. และ *Scenedesmus obliquus* TISTR 8522

| Microalgae | $OD_{max}$ | $\mu_{max}$ | $Biomass_{max}$ |
|---|---|---|---|
| control | 0.62±0.03 | 0.341±0.02 | 683±76.38 |
| *Scenedesmus* sp. | 0.77±0.02 | 0.666±0.01 | 1,567±208.17 |
| *S.obliquus* TISTR 8522 | 0.84±0.02 | 0.885±0.02 | 2,350±132.29 |

จากการศึกษา (ตารางที่ 1) พบว่า สาหร่าย *Scenedesmus obliquus* TISTR 8522 มีค่าความหนาแน่นของเซลล์สาหร่ายสูงสุดอยู่ที่ 0.84±0.02 ส่วน *Scenedesmus* sp. มีค่าความหนาแน่นของเซลล์สาหร่ายสูงสุดอยู่ที่ 0.77±0.02 ส่วนชุดควบคุมมีค่าความหนาแน่นของเซลล์สาหร่ายสูงสุดอยู่ที่ 0.62±0.03 เมื่อมีการเติมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่อัตราการไหล 0.1 vvm พบว่า สาหร่ายมีมวลสาหร่ายมากกว่าชุดควบคุม โดยมีปริมาณมวลสาหร่ายมากที่สุดถึง 2,350±132.29 มิลลิกรัมต่อลิตร 1,567±208.17 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 683±76.38 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ นอกจากนี้ยัง พบว่าการเติมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีผลต่ออัตราการเจริญเติบโตจำเพาะของสาหร่าย *Scenedesmus obliquus* TISTR 8522 มีค่าอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะสูงสุดอยู่ที่ 0.885±0.02 ต่อวัน รองลงมาเป็นสาหร่าย *Scenedesmus* sp. อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะสูงสุดอยู่ที่ 0.666±0.01 ต่อวัน และชุดควบคุมมีค่าอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะสูงสุดอยู่ที่ 0.341±0.02 ต่อวัน ดังนั้นจะเห็นได้ว่าผลของการเติมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีผลต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายทั้ง 2 ชนิด จากรายงานวิจัย พบว่า สาหร่าย *Scenedesmus obliquus* มีมวลเพิ่มขึ้นจาก 5,241 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็น 14,224 มิลลิกรัมต่อลิตร ก่อนเติมและหลังเติมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ [11] และสาหร่าย *Scenedesmus* IMMTCC-6 เมื่อมีการเติมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 99.9% ที่อัตราการไหล 0.2 vvvm พบว่า สาหร่ายมีค่าอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะอยู่ที่ 0.42 ต่อวัน และมวลสาหร่ายอยู่ที่ 71.7 มิลลิกรัมต่อลิตรต่อวัน มากกว่าชุดควบคุมมีค่าอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะอยู่ที่ 0.23 ต่อวัน และมวลสาหร่ายอยู่ที่ 16.1 มิลลิกรัมต่อลิตรต่อวัน [12] ส่วนสาหร่าย *Scenedesmus obliquus* CNW-N พบว่ามีปริมาณการผลิตมวลสาหร่ายอยู่ที่ 292.50 มิลลิกรัมต่อลิตรต่อวัน และมีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะอยู่ที่ 1.19 ต่อวัน ส่วนสาหร่าย *Scenedesmus obtusiusculus* พบว่า มีค่าอัตราการเจริญเติบจำเพาะอยู่ที่ 0.38 ต่อวัน และมวลสาหร่ายอยู่ที่ 6,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ [7] ส่วนสาหร่าย *Scenedesmus dimorphus* เมื่อเติมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ 50% ที่อัตราการไหล 1.5 vvm มีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะถึง 0.105 ต่อวัน และมีมวลสาหร่ายมากถึง 1,406 มิลลิกรัมต่อลิตร [13] จากการศึกษา พบว่า สาหร่าย *Scenedesmus* sp. และ *Scenedesmus obliquus* TISTR 8522 มีค่าอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะมากกว่างานวิจัยของ Al-Shatri แต่น้อยกว่างานวิจัยของ Toledo-Cervantes อาจเป็นเพราะว่ามีการเติมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่แตกต่างกันออกไป และค่าความเป็นกรดต่างส่งผลต่อการเจริญเติบโต งานวิจัยของ Al-Shatri และ Toledo-Cervantes ควบคุมค่าความเป็นกรดต่าง และสูตรอาหารที่เลี้ยงก็แตกต่างกัน ในการทดลองนี้ใช้สูตรอาหาร Jawork's medium (JM) ส่วนงานวิจัยของ Al-Shatri ใช้สูตรอาหาร Bold's basal medium (BBM) และงานวิจัยของ Toledo-Cervantes ใช้สูตรอาหาร BG-11




**รูปที่ 2** ประสิทธิภาพการลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของสาหร่าย *Scenedesmus* sp. และ *Scenedesmus obliquus* TISTR 8522

จากการศึกษา (รูปที่ 2) พบว่า สาหร่าย *Scenedesmus obliquus* TISTR 8522 และ *Scenedesmus* sp. มีประสิทธิภาพในการลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูงสุด 97.00±1.53% และ 94.00±1.53% ตามลำดับ ดังนั้นการใช้สาหร่ายจึงเป็นเทคนิคที่มีประสิทธิภาพในการลดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

## 4. สรุป

การศึกษาประสิทธิภาพของสาหร่ายในการลดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และผลของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ต่อการเจริญของสาหร่าย การศึกษาครั้งนี้ ได้ทำการเลือกสาหร่าย *Scenedesmus* sp. และ *Scenedesmus obliquus* TISTR 8522 โดยทำการเพาะเลี้ยงสาหร่ายในอาหารเหลวสูตรเจเอ็ม ในถังปฏิกิริยาขนาด 5 ลิตร โดยให้ความเข้มแสงที่ 4,000 ลักซ์ และให้อากาศด้วยเครื่องเติมอากาศตลอด 24 ชั่วโมง ทำการเติมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 99% ที่อัตราการไหล 0.1 vvm เป็นเวลา 16 วัน ผลการศึกษาพบว่าสาหร่าย *Scenedesmus obliquus* TISTR 8522 การเจริญของสาหร่ายและประสิทธิภาพในการลดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ดีกว่าสาหร่าย *Scenedesmus* sp. โดยมีค่าอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะสูงสุดเท่ากับ 0.885±0.02 ต่อวัน ค่ามวลสาหร่ายสูงสุด 2,350±132.29 มิลลิกรัมต่อลิตร และประสิทธิภาพในการก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูงสุด 97.00±1.53%

## 5. กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้ได้รับทุนการสนับสนุนจากสำนักบริหารโครงการส่งเสริมการวิจัยในอุดมศึกษาและพัฒนามหาวิทยาลัยแห่งชาติ สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา

## 6. เอกสารอ้างอิง

[1] บัณฑูร เศรษฐศิโรตม์ อำนาจ ชิดไธสง และศุภกร ชินวรรโน. 2557. Climat@risk. สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย พิมพ์ครั้งที่ 1 กรกฎาคม 2557.

[2] อำนาจ ชิดไธสง. 2553. การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของไทย เล่ม 1 สภาพภูมิอากาศในอดีต. กรุงเทพ. สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย พิมพ์ครั้งที่ 2 มีนาคม 2553.

[3] Ho, S.-H., C.-Y. Chen, D.-J. Lee and J.-S. Chang. 2011. Research review paper : Perspectives on microalgle $CO_2$-emission mitigation systems – A review. Biotechnology Advanes. 29: 189 -198.

[4] Bahr, M., I. Diaz, A. Domingauez, A. G. Sanchez and R. Munoz. 2014. Microalgal-Biotechnology as a platform for an integral biogas upgrading and nutrient removal from anaerobic effluents. Environmental Science & Technology. 48: 573-581.

[5] Li, F.-F., Z. Yang, R. Zeng, G. Yang, X. Chang, J.-B. Yan and Y.-L. Hou. 2011. Microalgae capture of $CO_2$ from actual flue gas discharged from a combustion chamber. Industrial & Engineering Chemistry Research. 50(10): 6496-6502.

[6] Demirbas, A. 2010. Use of algae as biofuel sources. Energy Conversion and Management. 51: 2738-2749.

[7] Toledo-Cervantes, A., M. Morales, E. Novelo and S. Revah. 2013. Carbon dioxide fixation and lipid storage by *Scenedesmus obtusiusculus*. Bioresource Technology. 130: 652-658.

[8] Kao, C.-Y., S.-Y. Chiu, T.-T. Huang, L. Dai, L.-K. Hsu and C.-S. Lin. 2012a. Ability of a mutant strain of microalgae *Chlorella* sp. to capture carbon dioxide capture for biogas upgrading. Applied Energy. 39: 76-183.

[9] Hodaifa, G., M.E. Martinez and S. Sanchez. 2009. Influence of pH on the culture of *Scenedesmus obliquus* in olive-mill wastewater. Biotechnology and Bioprocess Engineering. 14: 854-860.

[10] Lam, M. K., K.T. Lee and A. R. Mohamed. 2012. Current status and challenges on microalgae-based carbon capture. Greenhouse Gas Control. 10: 456-469.

[11] Shivhare, S., A.K. Mishra, V.K. Sethi and A.K.S. Bhadoria. 2014. Biomass, growth rate and biochemical analysis of *Scenedesmus obliquus* algae in shahpura lake bhopal. International Journal of Advance Research. 2(4): 1-14.

[12] Nayak, M., S. S. Rath, M. Thirunavoukkarasu, P.K. Panda, B.K. Mishra and R.C. Mohanty. 2013. Maximizing biomass productivity and $CO_2$ biofixation of microalga, *Scenedesmus* sp. by using sodium hydroxide. J.Microbiol. Biotechnol. 23(9): 1260-1268.

[13] Al-Shatri, A., E. Ali, N. Al-Shorgani and M. Sahaid. 2014. Growth of *Scenedesmus dimorphus* in different algal media and pH profile due to secreted metabolites. African Journal of Biotechnology. 13(16): 1714-1720.

ประวัติผู้เขียนบทความ
นายครรชิต เงินคำคง
ตำแหน่ง : นักวิชาการศึกษา
งานวิจัยที่สนใจ : สาหร่าย และเทคโนโลยีทางด้านสิ่งแวดล้อม
ที่ทำงาน : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
128 ถนนห้วยแก้ว ต.ช้างเผือก อ.เมือง จ.เชียงใหม่ 50300

# แบบจำลองการปลดล็อคกลอนไฟฟ้าด้วยการตรวจจับและประมวลผลภาพคิวอาร์โค้ด

# The Electric Strike Unlocking Model using QR Code Image Detection and Processing

**นุชนาฏ หาไม้ตรี ณัฐกิตติ์ พูลเอี่ยม และ นนทรัฐ บำรุงเกียรติ**
สาขาวิชาวิศวกรรมสารสนเทศและการสื่อสาร คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี
ถนนนารายณ์มหาราช ตำบลทะเลชุบศร อำเภอเมือง จังหวัดลพบุรี 15000 โทรศัพท์ 086-988-0338 E-mail: nontarat.brk@gmail.com

## บทคัดย่อ

แบบจำลองการปลดล็อคกลอนไฟฟ้าด้วยการตรวจจับและประมวลผลภาพคิวอาร์โค้ดนี้ เป็นสิ่งประดิษฐ์ต้นแบบที่นำการใช้ประโยชน์ของคิวอาร์โค้ดมาประยุกต์ใช้ในด้านการรักษาความปลอดภัย ซึ่งขั้นตอนวิธีการทำงานของของแบบจำลองดังกล่าวนั้น ประกอบด้วย 3 ส่วน ได้แก่ 1.การตรวจจับระยะเพื่อถ่ายภาพคิวอาร์โค้ดด้วยโมดูลอัลตร้าโซนิก 2.การประมวลผลภาพคิวอาร์โค้ดผ่านบอร์ดราสเบอรี่พาย และ 3. การตัดสินใจปลดล็อคกลอนไฟฟ้า ซึ่งการทำงานทั้งหมดนี้จะแสดงผลผ่านหน้าจอแสดงผลแอลซีดีในทุกขั้นตอน โดยกำหนดให้มีการส่งภาพคิวอาร์โค้ด ผ่านทางอีเมล์ของผู้ต้องการใช้งานก่อนทำงานในช่วงเช้าของทุกวัน ซึ่งผลของการจัดทำแบบจำลองการปลดล็อคกลอนไฟฟ้านี้นั้นแสดงให้เห็นถึงการใช้ภาพคิวอาร์โค้ดเพื่อการปลดล็อคกลอนไฟฟ้าได้ตามวัตถุประสงค์และมีความถูกต้อง

คำสำคัญ: คิวอาร์โค้ด บอร์ดราสเบอรี่พาย โมดูลอัลตร้าโซนิก กลอนไฟฟ้า

## Abstract

The electric strike unlocking model using QR code image detection and processing is the invention which study the application of QR code in the security system. The methodology of this model separated into 3 parts consisting of 1. The QR code image detection process and capturing using ultrasonic detector module. 2. The QR code image processing via raspberry pi board. 3. The process of the electric strike unlocking and illustrated through the LCD display. The QR code image is created by this model are send to user's Email before their work start in the morning. The result of this project is show the perfective of the electric strike unlocking when using QR code image following objectives and correctly.

Keywords: QR code, raspberry pi board, ultrasonic module, electric strike

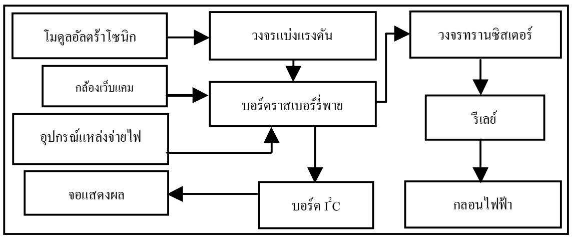
## 1. บทนำ

ด้วยความเจริญก้าวหน้าทางเทคโนโลยีที่มีประโยชน์ต่อมนุษย์ในปัจจุบัน ถือเป็นตัวชี้วัดหนึ่งที่บ่งบอกถึงความก้าวหน้าและศักยภาพของประเทศที่กำลังพัฒนาเป็นอย่างดี คณะผู้จัดทำจึงมีแนวคิดที่จะนำเทคโนโลยีคิวอาร์โค้ด ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่ได้รับความนิยมและเป็นที่น่าสนใจในปัจจุบันมาใช้ร่วมกับระบบการรักษาความปลอดภัย เพื่อเป็นแนวทางหรือทางเลือกใหม่สำหรับการรักษาความปลอดภัยในอนาคต โดยอาศัยกล้องเว็บแคมเชื่อมต่อกับบอร์ดราสเบอร์รี่พาย และการเขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานด้วยภาษาไพธอน จากนั้นนำผลการทำงานดังกล่าว เพื่อใช้อ้างอิงบุคคลว่าสามารถผ่านระบบรักษาความปลอดภัยและปลดล็อคกลอนไฟฟ้าตามรูปแบบคิวอาร์โค้ดที่ได้กำหนดไว้ได้หรือไม่ ซึ่งการนำเทคโนโลยีคิวอาร์โค้ดมาใช้ในด้านการรักษาความปลอดภัยนี้ ถือเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่แตกต่างจากเทคโนโลยีระบบปลดล็อคเดิมๆ และเป็นการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีคิวอาร์โค้ดที่เป็นเทคโนโลยีที่น่าสนใจในปัจจุบันให้เกิดประโยชน์และเป็นแนวทางสำหรับการสร้างเทคโนโลยีอื่นๆ เพื่ออำนวยความสะดวกแก่มนุษย์ในอนาคต

## 2. วิธีการดำเนินงาน

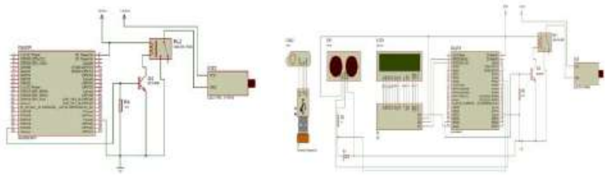
แบบจำลองการปลดล็อคกลอนไฟฟ้าด้วยการตรวจจับและประมวลผลภาพคิวอาร์โค้ด คณะผู้จัดทำได้ศึกษาและออกแบบใน 3 ส่วน ได้แก่ การศึกษาส่วนประกอบทั้งหมดของแบบจำลอง การออกแบบโครงสร้างภายนอกและภายในของแบบจำลอง และขั้นตอนวิธีการทำงาน (Algorithm) ของแบบจำลอง

### 2.1 ส่วนประกอบทั้งหมดของแบบจำลอง



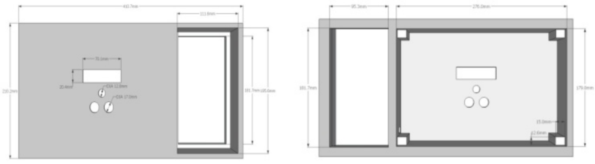

**รูปที่** 1 การทำงานร่วมกันของบอร์ดราสเบอรี่พายกับกลอนไฟฟ้า

การเชื่อมต่ออุปกรณ์ทั้งหมดของแบบจำลองนี้ อุปกรณ์ทุกตัวถูกต่อเข้ากับบอร์ดราสเบอรี่พาย ซึ่งเป็นหน่วยประมวลผลหลักของแบบจำลอง โดยมีหน้าที่รับข้อมูลเข้ามาประมวลผลและส่งข้อมูลออกไปให้อุปกรณ์อื่นๆ ทำงาน แบ่งการทำงานแต่ละส่วนดังรูปที่ 1 และรูปที่ 2



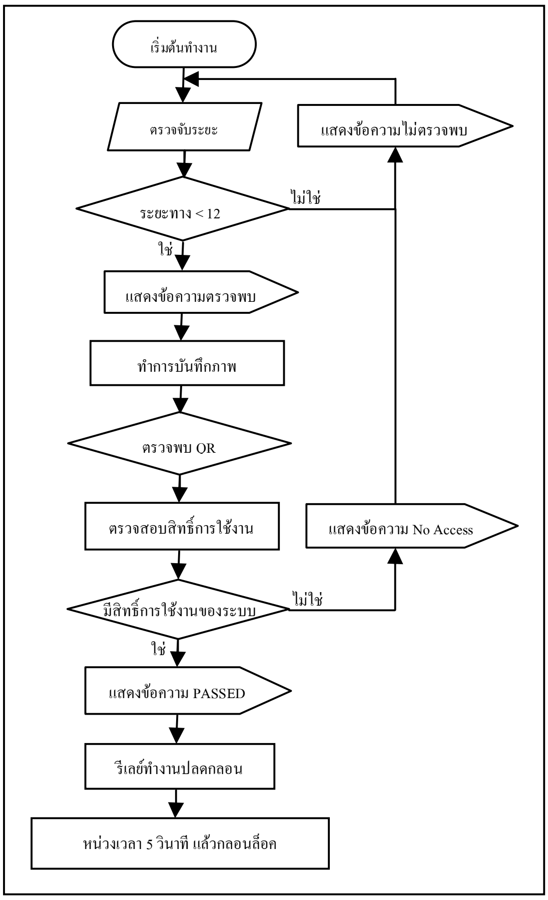
(ก) (ข)

**รูปที่** 2 การเชื่อมต่ออุปกรณ์ทั้งหมดของแบบจำลอง



(ก) (ข)

**รูปที่ 3** การออกแบบโครงสร้างของแบบจำลอง




**รูปที่ 4** ขั้นตอนวิธีการทำงานของแบบจำลอง

**2.2 การออกแบบโครงสร้างภายนอกและภายในของแบบจำลอง**

การออกแบบโครงสร้างภายนอกและภายในของแบบจำลองแสดงส่วนของด้านหน้าและส่วนของด้านหลัง แสดงดังรูปที่ 3

**2.3 ขั้นตอนวิธีการทำงาน ของแบบจำลอง**

ขั้นตอนวิธีทำงานของแบบจำลองนั้น ประกอบด้วยการทำงานใน 3 ส่วน ได้แก่ การตรวจจับระยะเพื่อถ่ายภาพคิวอาร์โค้ดด้วยโมดูลอัลตร้าโซนิก การประมวลผลภาพคิวอาร์โค้ดผ่านบอร์ดราสเบอรี่พาย และการตัดสินใจปลดล็อคกลอนไฟฟ้า ซึ่งขั้นตอนวิธีการทำงานแสดงดังรูปที่ 4(ก) - (ข)

## 3. ผลการสร้างแบบจำลองการปลดล็อคกลอนไฟฟ้าด้วยการตรวจจับและประมวลผลภาพคิวอาร์โค้ด

(ก) (ข)

**รูปที่ 5** แบบจำลองที่สร้างขึ้น

## 3. สรุปผล

แบบจำลองที่สร้างขึ้นนี้ เป็นการนำประโยชน์ของเทคโนโลยีภาพคิวอาร์โค้ด มาใช้ในด้านการรักษาความปลอดภัยให้กับที่พักอาศัยหรือสถานที่สำคัญ โดยแบบจำลองมีการใช้งานที่สะดวก รวดเร็ว มีความปลอดภัยและมีความถูกต้อง จึงมีความเหมาะสมต่อการนำไปเป็นต้นแบบสำหรับสร้างระบบจริงได้ในอนาคต

## เอกสารอ้างอิง

[1] ระบบอุลตร้าโซนิค (Ultrasonic ). [ระบบออนไลน์].แหล่งที่มา student.nu.ac.th/electronic/Part01/Ultrasonic.doc (9 ส.ค. 2558).

[2] ลีนุกซ์.[ระบบออนไลน์].แหล่งที่มา https://th.wikipedia.org/wiki/ลีนุกซ์ (9 ส.ค. 2558).

[3] Alex Bradbury and Ben Everard.Learning Python wiyh Raspberry Pi.US&UK : British Library.2014.

นายณัฐกิตติ์ พูลเอี่ยม นางสาวนุชนาฎ หาไม้ตรี
นักศึกษาสาขาวิศวกรรมสารสนเทศและการสื่อสาร
คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี

นายนนทรัฐ บำรุงเกียรติ
วศ.ม. (ไฟฟ้า) จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
วศ.บ. (โทรคมนาคม) สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมสารสนเทศและการสื่อสาร
คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี

**บทความสิ่งประดิษฐ์และนวัตกรรม**

การประชุมวิชาการ งานวิจัยและพัฒนาเชิงประยุกต์ ครั้งที่ 8

8th ECTI-CARD 2016, Hua Hin, Thailand

# SmartCane: An Automatic Navigator Walking Stick for Blind Person

# สมาร์ทแคน:ไม้เท้านำทางอัตโนมัติสำหรับผู้พิการทางสายตา

**พชร วีระภักดี[1] รณกร ขำเพชร[2] วชิราวุธ ธรรมวิเศษ[3] และ อุรฉัตร โคแก้ว[4]**

ภาควิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

123 ถ.มิตรภาพ ต.ในเมือง อ.เมือง จ.ขอนแก่น 40001 โทรศัพท์ 0-4336-2188-90 ต่อ 101-103

E-mail[1]: toonpachara@hotmail.com, E-mail[2]: runnakon13@hotmail.com, E-mail[3]: twachi@kku.ac.th and E-mail[4]: urachart@kku.ac.th

## บทคัดย่อ

SmartCane เป็นอุปกรณ์ไม้เท้านำทางอัจฉริยะที่สร้างขึ้นเพื่อช่วยผู้ที่พิการทางสายตาให้สามารถเดินทางได้โดยไม่ต้องพึ่งพาคนอื่น โดยอุปกรณ์ต้นแบบพัฒนาโดยใช้ บอร์ด Arduino Nano ให้มีน้ำหนักเบา มีการใช้เซ็นเซอร์อัลตราโซนิคสำหรับตรวจจับสิ่งกีดขวาง เซ็นเซอร์เข็มทิศสำหรับตรวจจับทิศทาง โดยจะแจ้งเตือนด้วยสัญญาณเสียงและการสั่นสะเทือนที่ด้ามจับ นอกจากนี้ไม้เท้าสามารถเชื่อมต่อกับสมาร์ทโฟนระบบแอนดรอยด์ผ่านทางบลูทูธ เพื่อเปิดใช้งานระบบนำทางซึ่งผู้ใช้สามารถค้นหาปลายทางที่ต้องการเดินไปด้วยเสียงพูด จากนั้นโปรแกรมจะค้นหาเส้นทางจาก Google Map และ เริ่มระบบนำทางเพื่อบอกทิศทางที่ต้องเดินจนสามารถเดินไปถึงจุดหมาย โดยไม้เท้าจะทราบตำแหน่งปัจจุบันจาก GPS และ ทิศทางจากเข็มทิศของไม้เท้า การทดสอบผู้พัฒนาได้นำอุปกรณ์ต้นแบบทดลองกับนักเรียนโรงเรียนคนตาบอดจังหวัดขอนแก่นซึ่งในภาพรวมของอุปกรณ์อยู่ในระดับพอใจมาก

**คำสำคัญ :** ไม้เท้านำทางอัจฉริยะ, คนตาบอด, Arduino, ระบบนำทาง GPS

## Abstract

Smart Cane is an automatic navigator walking stick to guide blind person for walking around cities by themselves. The prototype device is developed using Arduino Nano board blind that uses an ultrasonic sensor to detect obstacles and a compass sensor to detect directions, and notifies by beep sounds and vibration. In additional, the device can connect to an Android Smartphone via Bluetooth for opening the navigation system. In android application, the user can tell the name of destination place by voice. After that, application will connect to Google Map service for searching the walking path. To navigate, the device uses GPS and compass sensor to detect the current position and direction, and send different sets of sounds and vibrations through the cane to tell the user whether they should walk forward or turn left or right. We evaluated the prototype device with students of Khon Kean School for the Blind. As the result, most of testers are appreciated the device.

Keywords**:** Smart Walking Stick**,** Blind Person, Arduino, GPS Navigator

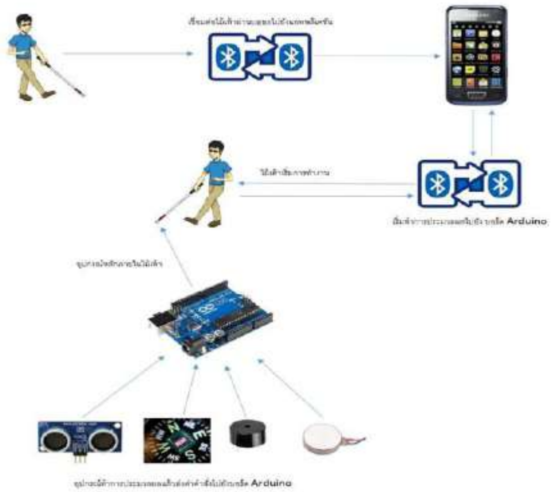
## 1.บทนำ

ผู้พิการทางสายตานั้นไม่สามารถมองเห็นสิ่งกีดขวางและไม่ทราบทิศทางดังนั้นการเดินทางจึงเป็นเรื่องที่ยุ่งยาก จำเป็นต้องมีคนช่วยนำทางให้ซึ่งหาไม่มีผู้ช่วยพวกเขาก็ไม่สามารถเดินทางไปได้ด้วยตนเอง เพื่อช่วยให้คนตาบอดสามารถเดินทางไปที่ต่างๆได้ด้วยตนเอง ผู้วิจัยจึงทำการพัฒนา ไม้เท้าอัจฉริยะ Smart Cane ให้เป็นอุปกรณ์สำหรับนำทางแบบอัตโนมัติ โดยภายในไม้เท้าจะประกอบด้วยอุปกรณ์เซ็นเซอร์ที่จะส่งคลื่นโซน่าออกไปเพื่อตรวจจับสิ่งกีดขวาง และ วงจรเข็มทิศที่จะวัดทิศทางที่ไม้เท้าชี้ไป โดยจะมีการส่งสัญญาณเป็นชุดของความถี่เสียง และการสั่นสะเทือนไปที่ไม้เท้า ทำให้คนตาบอดสามารถรู้ว่าข้างหน้ามีสิ่งกีดขวาง และ ขณะนี้กำลังเดินไปทิศทางใด

นอกจากนั้นเพื่อให้คนตาบอดเดินทางไปยังสถานที่ต่างๆได้เอง ไม้เท้าจะสามารถเชื่อมต่อกับโปรแกรมประยุกต์ในโทรศัพท์สมาร์ทและค้นหาสถานที่ปลายทางโดยใช้เสียงพูด เมื่อได้ตำแหน่งของสถานที่แล้วระบบค้นหาเส้นทางการเดินจาก Google Map เพื่อแนะนำเส้นทางและ ใช้ GPS กับ โมดูลเข็มทิศ เพื่อให้ทราบตำแหน่งและทิศทางปัจจุบันแล้วไม้เท้าก็จะส่งสัญญาณ เป็นชุดความถี่เสียงเพื่อบอกให้เดิน และสัญญาณการสั่นสะเทือนที่มือจับเพื่อบอกให้เลี้ยวซ้าย เลี้ยวขวา จนกว่าผู้ใช้จะเดินไปถึงปลายทาง ด้วยไม้เท้า Smart Cane นี้จะทำให้คนตาบอดสามารถเดินไปที่ต่างๆได้เองโดยไม่ต้องมีผู้นำทาง

## 2. วิธีดำเนินการ

### 2.1 แนวคิดและเครื่องมือที่ใช้ในการพัฒนา



**รูปที่ 1** ภาพรวมระบบ

การพัฒนาไม้เท้านำทางอัจฉริยะ เพื่อให้ตรงตามความต้องการของคนตาบอดจริงๆ ผู้วิจัยได้ทดสอบและขอคำแนะนำจากโรงเรียนคนตาบอดจังหวัดขอนแก่น ทำให้ทราบถึงข้อจำกัดและลักษณะของไม้เท้า การส่งสัญญาณเตือนที่เหมาะสมกับคนตาบอด

รูปที่ 1 แสดงภาพรวมของระบบที่ออกแบบ โดยเครื่องมือที่ใช้ในการพัฒนาประกอบด้วย ส่วนของฮาร์ดแวร์ ประกอบด้วย บอร์ด Arduino, โมดูลเข็มทิศ, โมดูล Ultrasonic Sensor, โมดูลบลูทูธ, ลำโพง, มอเตอร์สั่น, ไม้เท้า, แบตเตอร์รี่พกพา ส่วนของซอฟต์แวร์ โปรแกรมควบคุมอุปกรณ์พัฒนาด้วย ภาษา C++ บน Arduino IDE และโปรแกรมประยุกต์บนสมาร์ทโฟนพัฒนาด้วย Android Studio และ App Inventor โดยใช้ภาษา Java และบริการ Google Map Service API สำหรับค้นหาข้อมูลเส้นทาง

## 3.สรุปและอภิปรายผล

จากการพัฒนาไม้เท้านำทางอัจฉริยะเพื่อช่วยเหลือผู้พิการทางสายตา และได้นำไปให้คนตาบอดที่โรงเรียนคนตาบอดจังหวัดขอนแก่นได้ทดลองใช้ ระดับคะแนนความพึงพอใจต่อการใช้งานในภาพรวมของระบบอยู่ในระดับพอใจมาก

## กิตกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณภาควิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ขอขอบคุณศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติที่ให้ทุนสนับสนุนในการวิจัย และ ขอบคุณคณะครูและนักเรียนโรงเรียนคนตาบอดจังหวัดขอนแก่นที่ให้ร่วมทดสอบและให้คำแนะนำ

## เอกสารอ้างอิง

[1] Amanda Kooser(July 29,2014). Smart shoes vibrate you in the right direction using Google Maps. Available: http://www.cnet.com/news/bluetooth-smart-shoes-vibrate-you-in-the-right-direction/

[2] รพี โพธิชัย(2011). ระบบนำทางภายในอาคารเพื่อผู้พิการทางสายตาด้วยเทคโนโลยีอาร์เอฟไอดี. วิทยานิพนธ์, คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

[3] Google Inc(2015). Google Maps Directions API Find directions between locations. Available: https://developers.google.com/maps/documentation/directions/

**นายพชร วีระภักดี** การศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาเทคโนโลยีสารสนเทศการสื่อสารจากมหาวิทยาลัยขอนแก่น งานวิจัยที่สนใจเกี่ยวกับเว็บไซต์การออกแบบและสถาปัตยกรรมและ เครือข่ายคอมพิวเตอร์

**นายรณกร ขำเพชร** การระดับปริญญาตรี สาขาเทคโนโลยีสารสนเทศการสื่อสาร จากมหาวิทยาลัยขอนแก่นงานวิจัยที่สนใจเกี่ยวกับเว็บไซต์สถาปัตยกรรมและเครือข่ายคอมพิวเตอร์

**วชิราวุธ ธรรมวิเศษ** การศึกษาระดับ ปริญญาเอกสาขาวิทยาการคอมพิวเตอร์จากมหาวิทยาลัยขอนแก่น งานวิจัยที่สนใจเกี่ยวกับ คอมพิวเตอร์ศึกษา เว็บเทคโนโลยี การสกัดและการผสานข้อมูลสารสนเทศ

**อุรฉัตร โคแก้ว** การศึกษาระดับปริญญาเอกสาขาวิธีทางการเรียนรู้ผ่านสื่ออิเล็กทรอนิกส์จากมหาวิทยาลัยอัสสัมชัญ งานวิจัยที่สนใจเกี่ยวกับคอมพิวเตอร์ศึกษา คอมพิวเตอร์กราฟฟิกส์ และการปฏิสัมพันธ์ระหว่างมนุษย์

# การตรวจความสุกของทุเรียนจากสมบัติทางไฟฟ้าที่ขั้วก้านทุเรียนด้วยโพรบแบบขนาน

# The Ripeness Determination of Durian by Measuring the Electric Properties On the Stem of Durian with parallel probes

**มนตรี ไชยชาญยุทธ์[1] และ พลศาสตร์เลิศประเสริฐ [2]**
[1]สาขาวิชาวิศวกรรมศาสตร์ หลักสูตรวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์
17/1 หมู่ที่ 6 ตำบลชุมโค อำเภอปะทิว ชุมพร 86160 โทรศัพท์ 081-388-5657 E-mail: montree.ch@kmitl.ac.th
[2]สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร กรุงเทพฯ
1 ถนนฉลองกรุง 1 แขวงลำปาทิว เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520 โทรศัพท์ (+66) 2-329-8344 E-mail: klpolsar@kmitl.ac.th

## บทคัดย่อ

บทความนี้ กล่าวถึงการออกแบบการวัดคุณภาพความสุกของทุเรียนแบบไม่ทำลายโดยการศึกษาความสัมพันธ์ของอายุทุเรียนกับสมบัติไฟฟ้าที่ขั้วทุเรียนด้วยโพรบแบบขนาน ซึ่งอาศัยการเปลี่ยนแปลงค่า ไดอิเล็กตริกที่ขั้วทุเรียนตามอายุของทุเรียน โพรบที่ออกแบบถูกนำมาใช้เป็นคาปาซิเตอร์ในวงจรอะสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์ วงจรจะออสซิเลทค่าความถี่ออกมาในช่วงต่างกันตามอายุทุเรียน และใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการประมวลผลค่าความถี่เพื่อตอบอายุ และเปอร์เซ็นต์ความสุกของทุเรียน แสดงผลผ่านหน้าจอแอลซีดี และระดับแถบแอลอีดี จากการศึกษา และเก็บข้อมูล พบความสัมพันธ์ของอายุทุเรียนกับค่าความเป็นไดอิเล็กตริกของขั้วทุเรียนว่า โพรบแบบขนานสามารถวัดค่าไดอิเล็กตริกที่ขั้วทุเรียนได้ ผลการทดลองตรวจวัดทุเรียนที่อายุ 105-110 วัน ซึ่งเป็นทุเรียน 70-75% จำนวน 100 ลูก มีความถูกต้อง 95%และการตรวจวัดวัดทุเรียนที่อายุ 110-115 วัน ซึ่งเป็นทุเรียน 80-85% จำนวน 20 ลูก เครื่องวัดสามารถวัดได้ถูกต้อง และมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ: ความสุก ทุเรียน แบบไม่ทำลาย

## Abstract

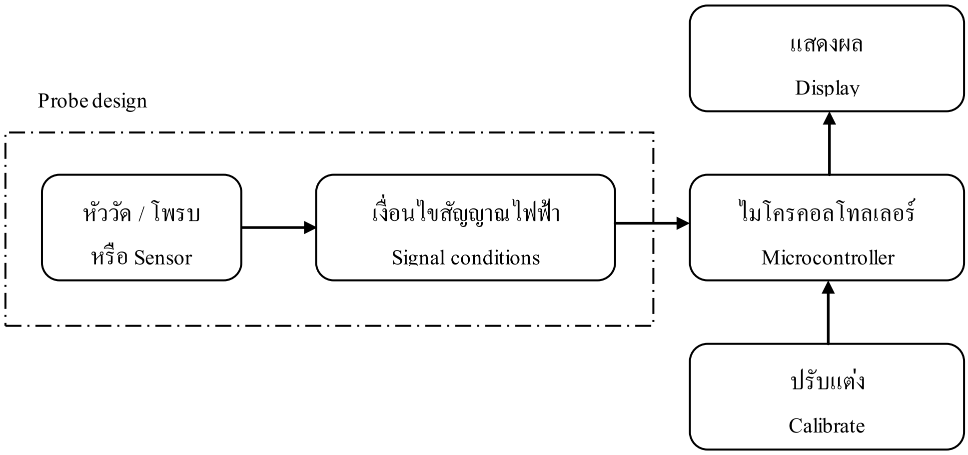
This article describes a designed for Non Destructive Maturity Determination of Durian by measuring the electrical properties on the stem of a durian. The configuration of probes was a parallel probe, which it's used to check the dielectric changing value of durian stem. The probe was used as capacitors in astable multi-vibrator circuit. We use the oscillation frequency according to durian's age. Microcontroller was used to evaluate the frequency to be solution of age and percentage of durian, together with shows the results on the LCD screen and LED strip. From the study of relative between durian ages with dielectric values at durian stem, we found that the parallel probe able to measure the dielectric values changing at durian stem. From experimental results, we found that the parallel probe to checkers the durian of 105 – 110 days (durian of 70 – 75%), 100 representative sample, the system could verify correct 95%, while the monitoring with durian of 110 – 115 days (durian of 80 – 85%), an amount of 20 representative sample, the system could verify correctly and efficiently.

**Keywords:** Maturity, Durian, Non-destructive

## 1. บทนำ

ถ้าพูดถึงราชาแห่งผลไม้ของประเทศไทย ต้องนึกถึงทุเรียนเป็นอันดับแรก เพราะลักษณะภายนอกของผลที่เป็นหนามคล้ายมงกุฎของพระราชา และเนื้อในที่มีรสชาติอร่อยที่ยากจะหาผลไม้อื่นมาเทียบทุเรียนที่นิยมปลูกกันมาก มี 4 สายพันธุ์ คือ หมอนทอง, ชะนี, ก้านยาว, และ กระดุม ซึ่งมีลักษณะที่แตกต่างกันออกไป แต่มีอยู่หนึ่งสายพันธ์ที่คนส่วนมากนิยมรับประทานและอีกทั้งยังทำรายได้ให้กับประเทศเป็นอย่างสูง คือ สายพันธุ์หมอนทอง นับตั้งแต่อดีตมาจนถึงปัจจุบันเกษตรกรชาวสวนทุเรียนได้มีการตรวจสอบว่าลูกทุเรียนลูกไหนสุกหรือไม่สุก โดยสังเกตก้านผล สังเกตหนาม สังเกตรอยแยกระหว่างพู การชิมปลิง การเคาะเปลือกหรือกรีดหนาม การปล่อยทุเรียนให้ร่วง และการนับอายุของทุเรียน อย่างไรก็ตามผู้บริโภคทั้งภายในประเทศ และต่างประเทศมักมีปัญหาเมื่อทุเรียนที่ซื้อมามีคุณภาพต่ำกว่าที่ควรอันเนื่องมาจากการตัดทุเรียนดิบปะปนมากับทุเรียนดี

การวัดระดับความสุก หรือคุณภาพของทุเรียนมีด้วยกันหลายวิธี เช่น การวัดความสุกของทุเรียนพันธุ์หมอนทองโดยใช้ความถี่ธรรมชาติ (resonant frequency) [1] กระบวนการวัดความสุกของทุเรียนแบบไม่ทำลายโดยใช้แรงสั่น(vibration) ซึ่งจะใช้เลเซอร์ดอบเปอร์ (laser Doppler) [2]




**รูปที่ 1** แสดงไดอะแกรมกรอบแนวความคิดของโครงงานวิจัย

การนำคลื่นไมโครเวฟที่ความถี่ 3 GHz มาช่วยในการวัดความชื้นของทุเรียนและนำไปเปรียบเทียบกับเปอร์เซนต์ความแห้งต่อน้ำหนักเพื่อวัดความสุกของทุเรียน [3] การวัดความสุกของทุเรียนโดยใช้แผ่น Microstrip [4] การวัดความสุกของทุเรียนพันธุ์ชะนีด้วยสัญญาณเสียงเคาะ โดยใช้ สัญญาณการสั่นสะเทือนของเสียงเปลี่ยนเป็นสัญญาณทางไฟฟ้า [5]

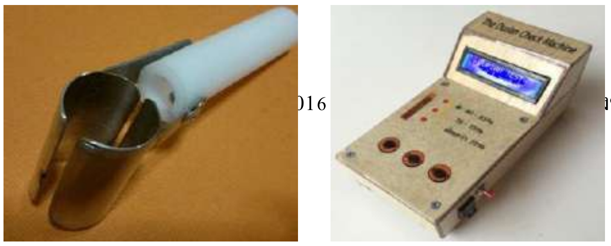
ดังนั้นจากปัญหาข้างต้นจึงเกิดแนวคิดในการศึกษาการตรวจสอบคุณภาพของทุเรียน ว่าได้มาตรฐานตามระดับความสุกหรือไม่ ด้วยการอ้างอิงจากอายุของผลทุเรียน กับสมบัติทางไฟฟ้าที่ขั้วของผลทุเรียน

## 2. วิธีการ และการออกแบบ

ในการศึกษาวิจัยนี้คณะผู้วิจัยมีกรอบแนวความคิดของโครงการวิจัยโดยแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ 1.ส่วนของการศึกษาออกแบบสร้างโพรบตัวตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางไฟฟ้า (ค่าความจุไฟฟ้าและแรงเคลื่อนไฟฟ้า) และ 2.ส่วนของกระบวนการในการนำข้อมูลทางไฟฟ้าที่ได้จากโพรบมาประมวลผลและแสดงระดับคุณภาพความสุกของผลทุเรียน ซึ่งทั้งสองส่วนได้แสดงดังในไดอะแกรมรูปที่ 1

### 2.1 การออกแบบโพรบ

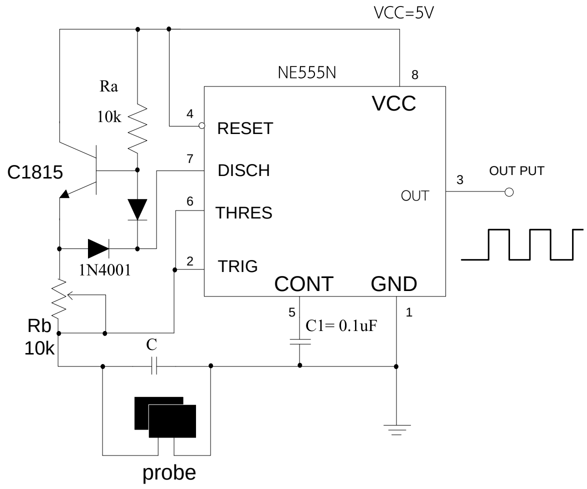
การออกแบบโพรบที่นำมาใช้ในการวิจัยเครื่องตรวจสอบทุเรียน ผู้วิจัยได้ทำการออกแบบโพรบรูปทรงกระบอก โดยการนำวัสดุนำไฟฟ้าที่เป็นทรงกระบอกมาทำโพรบแบบขนาน ด้วยการผ่าครึ่งให้เป็นสองส่วน และนำมาวางขนานกันเหมือนกับหลักการของคาปาซิเตอร์ โพรบทำจากท่อสแตนเลสขนาด 2 นิ้ว ยาว 5 เซนติเมตร ผ่าครึ่งเพื่อให้เป็นสื่อนำไฟฟ้าบวก (+) ทางด้านซ้ายตรง และสื่อนำไฟฟ้าลบ (-) ทางด้านขวา อาศัยอากาศ และขั้วของทุเรียนเป็นไดอิเล็กตริก ดังรูปที่ 2



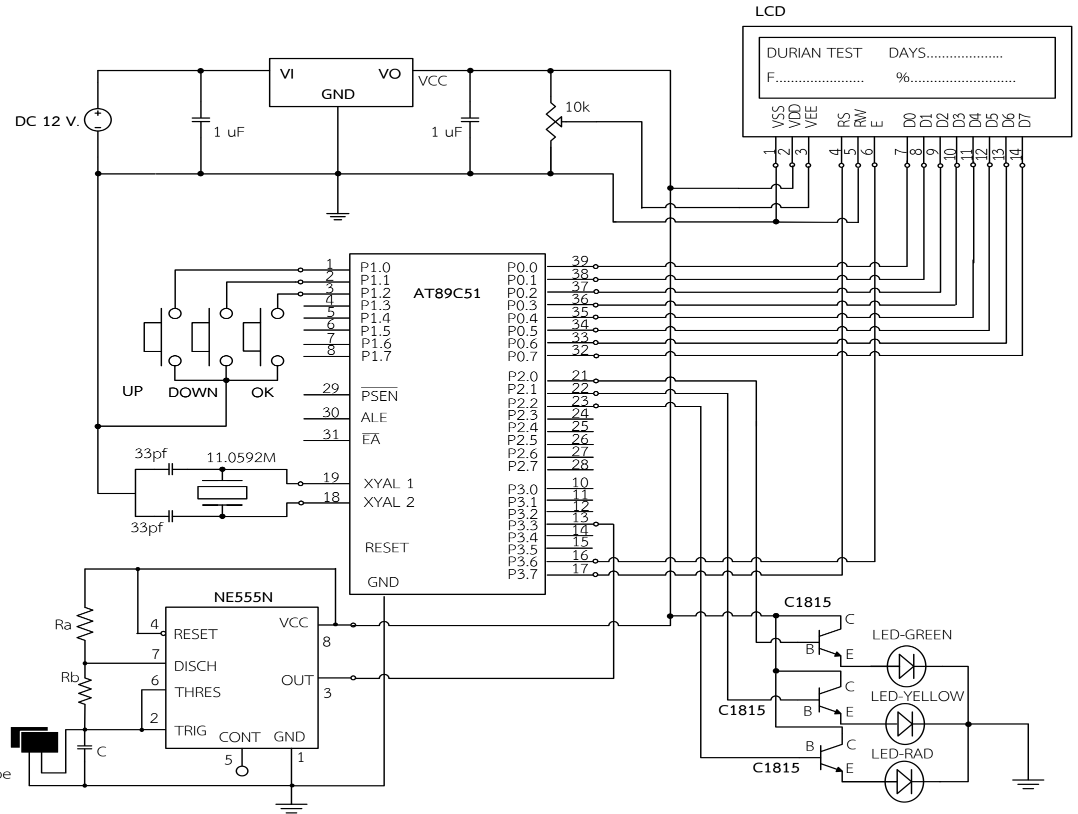
**รูปที่ 2** โพรบแบบขนาน และเครื่องที่ออกแบบ

### 2.2 วงจรอะสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์

ในการออกแบบทางฮาร์ดแวร์ของเครื่องตรวจสอบทุเรียนได้ใช้วงจรอะสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์ เป็นวงจรกำเนิดความถี่ โดยนำโพรบที่ได้ออกแบบโดยใช้หลักการของคาปาซิทีปเซ็นเซอร์ มาต่อแบบขนานกับตัวเก็บประจุ ภายในวงจรอะสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์ ดังรูปที่ 3




**รูปที่ 3** วงจรอะสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์




**รูปที่ 4** วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์

เมื่อนำโพรบไปวัดที่ขั้วทุเรียนวงจรจะออสซิลเลทความถี่ที่แตกต่างกันตามอายุของทุเรียน เพราะขั้วทุเรียนมีสมบัติความเป็นไดอิเล็กตริก และการนำไฟฟ้าต่างกันไปตามอายุของทุเรียน [6]

## 2.3 วงจรไมโครคอลโทรลเลอร์

วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นวงจรที่ใช้สำหรับรับค่าความถี่จากวงจรอะสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์เพื่อมาประมวลผล แล้วแสดงผลผ่านจอแสดงผลผ่านจอแอลซีดี (LCD) และแสดงผลผ่านหลอดแอลอีดี(LED) โดยส่วนต่างๆ ของไมโครคอลโทรลเลอร์ (AT89C51) ซึ่งแต่ละพอร์ตในการต่อใช้งานของไมโครคอลโทรลเลอร์สามารถอธิบายการออกแบบในการทำหน้าที่แต่ของแต่ละพอร์ตดังนี้ พอร์ต P0 ต่อกับจอแสดงผลแอลซีดี เพื่อแสดงข้อมูลที่ได้จากการตรวจสอบทุเรียน พอร์ต P1.0 ถึง P1.2 ต่อกับ ปุ่มสวิตซ์ ในการเลือกการใช้งานในการการตรวจสอบทุเรียนได้ตามที่ต้องการตามความต้องการ พอร์ต P2.0 ถึง P2.2 จะต่อกับหลอดแอลอีดี เพื่อแสดงสถานะของลูกทุเรียน พอร์ต P3.3/INT1 อินเตอร์รัพต์ภายนอกหมายเลข 1 โดยเป็นการรับค่าความถี่ที่ได้มาจากวงจรอะสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์ เพื่อนำไปประมวลผล และ P3.6/WR กับ P3.7/RD เป็นขาข้อมูลที่ส่งไปยังจอแอลซีดี ดังในรูปที่ 4

## 2.4 การออกแบบโปรแกรม

ในการออกแบบซอฟแวร์นั้นสามารถอธิบายการออกแบบและอธิบายขั้นตอนทำงานได้ดังนี้

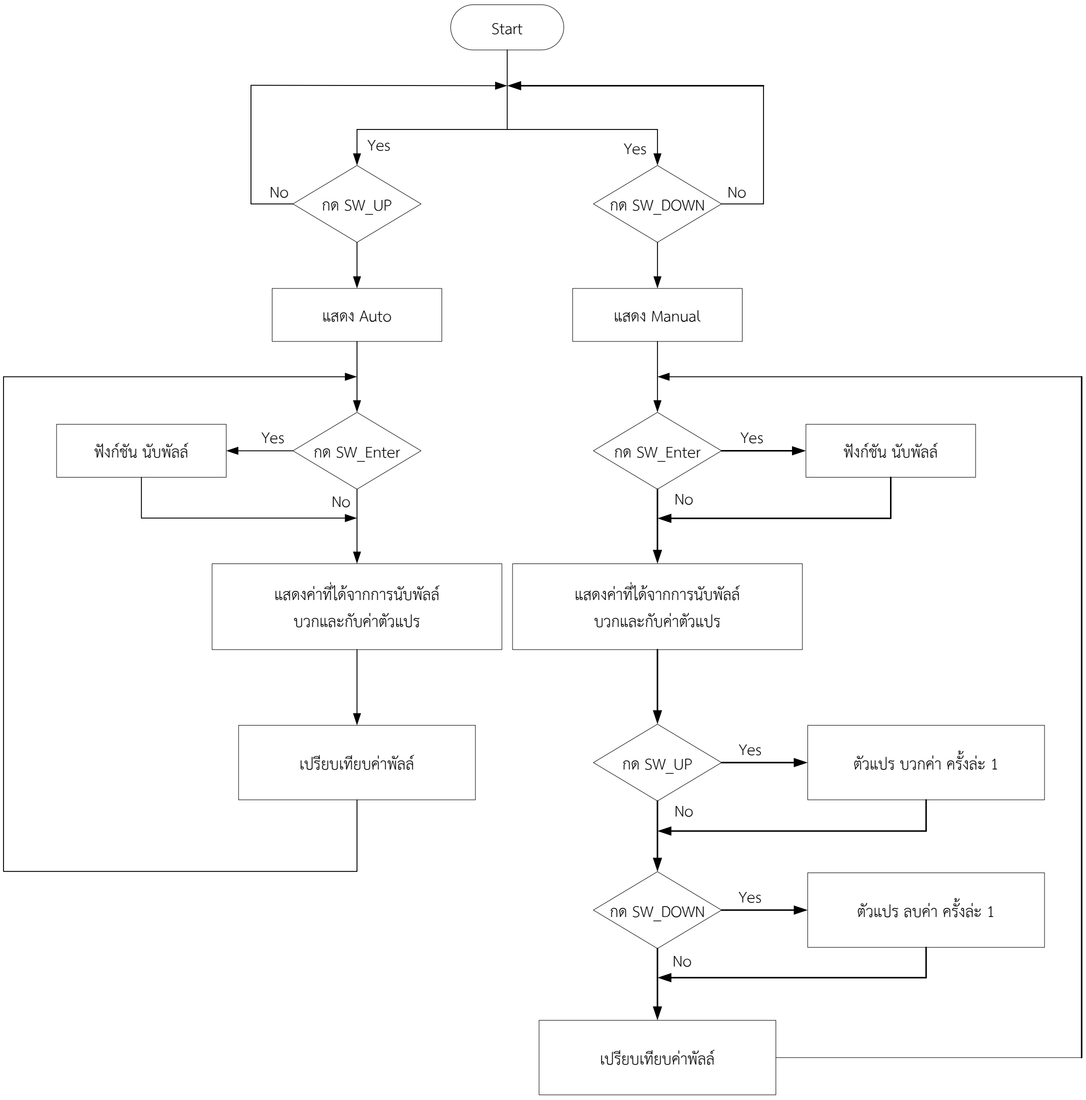
1. โปรแกรมจะเริ่มทำงานเมื่อเปิดเครื่อง จากนั้นจะเข้าสู่หน้าเมนู โดยเมนูจะให้ทำการเลือกระหว่างโหมดที่ 1 และโหมดที่ 2

2. ถ้าเลือกการโหมดที่ 1 ไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำการเข้าระบบ Auto และถ้าเลือกโหมดที่ 2 ไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำการเข้าระบบ Manual แล้วแสดงทางหน้าจอแอลซีดี (LCD) จากนั้นแล้วกดปุ่ม Enter

3. เมื่อทำการเลือกโหมดตามที่ต้องการแล้ว ไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำการนับพัลส์แล้วนำเอาค่าพัลส์ที่นับได้ไปแสดงบนจอแอลซีดี ในของแต่ละโหมดการใช้งานแล้วพร้อมบอกสถานะการตรวจสอบทุเรียนบนแถบแอลอีดี (LED) ของเครื่องตรวจสอบทุเรียน

4. เมื่อทำการเลือกโหมด Auto ไมโครคอนโทรลเลอร์ทำการประมวลค่าพัลส์มาแสดงผ่านทางจอแอลซีดี พร้อมบอกสถานะของการตรวจสอบทุเรียนบนแถบแอลอีดี และพร้อมที่จะทำการตรวจสอบ

5. เมื่อทำการเลือกโหมด Manual ไมโครคอนโทรลเลอร์ทำการแสดงค่าพัลส์ที่เข้ามาแสดงผ่านทางจอแอลซีดี โดยสามารถเพิ่มและลดค่าได้ และพร้อมที่จะทำการตรวจสอบ




**รูปที่ 5** ลำดับการทำงานของโปรแกรม

6. เมื่อไมโครคอนโทรลเลอร์ทำการประมวลค่าจากการนับพัลส์ที่เข้ามาแสดงผ่านทางแอลอีดี และแสดงบนแถบแอลอีดี

จากขั้นตอนดังกล่าวสามารถเขียนแผนผังการทำงานของเครื่องตรวจสอบทุเรียนที่มีการควบคุมโดยไมโครคอนโทรลเลอร์ ได้ดังรูปที่ 5

## 3. ผลการทดลอง และวิจารณ์

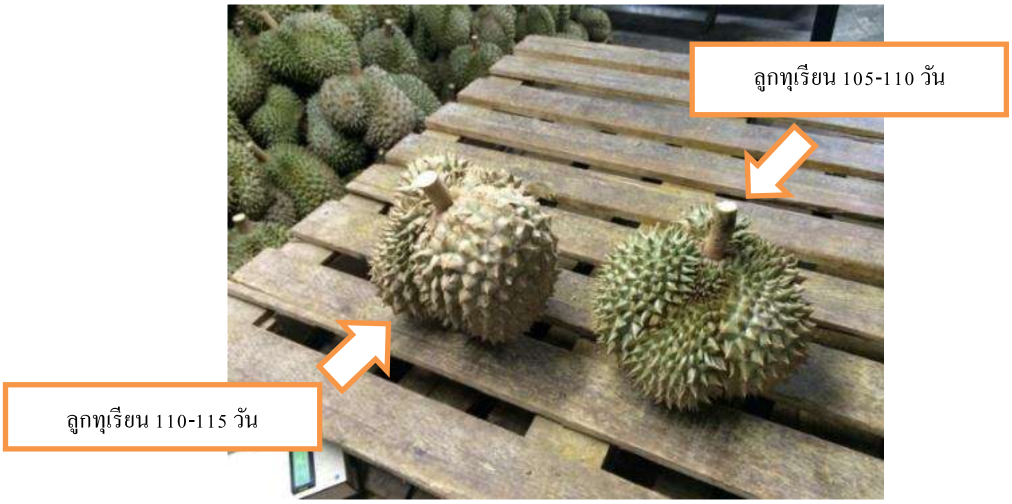
### 3.1 การทดลองที่ 1 การศึกษาความสัมพันธ์ของอายุทุเรียนกับค่าความถี่ที่ออสซิลเลทจากวงจรมัลติไวเบรเตอร์

การทดลองนี้เป็นการทดลองศึกษาความสัมพันธ์ของอายุทุเรียนกับค่าความถี่ที่เปลี่ยนแปลงตามสมบัติทางไฟฟ้าที่ขั้วทุเรียน โดยนำเครื่องตรวจสอบความสุกทุเรียน และโพรบที่ออกแบบสำเร็จ ทดลองวัดค่าความถี่ที่ออสซิสเลทจากวงจรมัลติไวเบรเตอร์ดังในรูปที่ 6 ทุเรียนตัวอย่างที่นำมาทดลองจะเป็นทุเรียนหมอนทองช่วงอายุ 105-120 วัน และบันทึกผลการทดลองดังตารางที่ 1

จากผลการทดลองในตารางที่ 1 พบว่าเมื่ออายุของทุเรียนต่างกันจำทำให้สมบัติทางไฟฟ้าที่ขั้งทุเรียนแตกต่างกันด้วยซึ่งเมื่อนำสมบัติทางไฟฟ้ามาแปลงเป็นเงื่อนทางไฟฟ้า(ผู้วิจัยแปลงเป็นความถี่)จะทำให้สามารถนำมาใช้แยกแยะระดับความสุก หรืออายุของทุเรียนได้

**ตารางที่ 1** ความสัมพันธ์ของอายุทุเรียนกับความี่ออสซิลเลท

| อายุทุเรียน (วัน) | ทุเรียน % | ความถี่ (KHz) |
|---|---|---|
| 105-109 | 70-75 และ 75-80 | 9.15-9.98 |
| 110-116 | 80-85 และ 85-90 | 8.14-9.14 |
| 117-120 | 90-100 | 10.0-10.2 |




**รูปที่ 6** ลูกทุเรียนอายุ 105-110วัน และ ลูกทุเรียนอายุ 110-115วัน

**รูปที่ 7** การตรวจสอบทุเรียน โดยบอกเปอร์เซ็นต์ทุเรียนบนแถบแอลอีดี

**รูปที่ 8** การตรวจสอบทุเรียนอายุ105-110วัน และ ทุเรียนอายุ110-115วัน

**3.2 การทดลองที่ 7 การทดลองประสิทธิภาพของระบบที่ออกแบบ (หลังการเก็บเกี่ยว)**

การทดลองนี้ศึกษาประสิทธิภาพของระบบที่ออกแบบ (หลังการเก็บเกี่ยว) ทำการทดลองวัดที่ขั้วของลูกทุเรียน โดยทำการตรวจสอบหลังจากการเก็บเกี่ยวแล้ว ไม่เกิน 12 ชั่วโมง ซึ่งตัวอย่างที่ทดลองเป็นทุเรียนที่เป็นต้องการของตลาดทั้งภายในประเทศ และส่งออกไปยังต่างประเทศ (ลูกทุเรียนอายุ 105-110วัน และ ลูกทุเรียนอายุ 110-115วัน รูปที่ 6-8) ในการทดลองนี้ ทดลองเพื่อตรวจสอบว่าเครื่องตรวจสอบความสุกทุเรียนที่ออกแบบสามารถบ่งบอกอายุของทุเรียนที่ได้ตรงตามอายุ และตรงตามเปอร์เซ็นต์ของลูกทุเรียนหรือไม่

จากการทดลองการประมวลผลหลังการเก็บเกี่ยวของทุเรียนที่อยู่ในช่วง อายุ 105-115วัน ซึ่งเป็นทุเรียนที่ทำการเก็บเกี่ยวเพื่อส่งออกสู่ต่างประเทศหรือส่งภายในประเทศ โดยนำทุเรียน 100 ลูกในช่วงอายุทุเรียน 105-110 วัน ซึ่งมีค่าเปอร์เซ็นต์ทุเรียน 70-75 เปอร์เซ็นต์ มาตรวจวัดความสุกด้วย โพรบแบบขนาน สามารถตรวจสอบความถูกต้องได้ 95 ลูก จากนั้น มาทำการวัดความสุกของทุเรียนอายุ 110-115 วัน ซึ่งมีค่าเปอร์เซ็นต์ทุเรียน 80-85 เปอร์เซ็นต์ จำนวน 20 ลูก โพรบแบบขนานสามารถบ่งบอกอายุและเปอร์เซ็นต์ของทุเรียนได้อย่างถูกต้องตามช่วงอายุและเปอร์เซ็นต์ของลูกทุเรียน

## 4. สรุปผลการทดลอง

การวัดระดับความสุกของทุเรียนด้วยการอาศัยการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางไฟฟ้าที่ขั้วทุเรียนต้องทำการวัดในขณะที่ขั้วทุเรียนยังไม่แห้ง หรือเก็บเกี่ยวมาไม่เกิน 12 ชั่วโมงซึ่งถือเป็นข้อจำกัดหลักที่พบจากการศึกษาวิจัยในครั้งนี้

## 5. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร และขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติที่ให้งบ ประมาณสนับสนุน ประจำปีงบประมาณ 2558

## เอกสารอ้างอิง

[1] A. Terdwongwarakul, W. Srichonpet, K. Poniyom and A. Sukchareon, “Investigation of change of exponential frequency index as related to durian maturity”, In Proceedings of 5th International Symposium on Fruit, Nut, and Vegetable Production Engineering. 3-10 September 1997, UC Davis, California USA.

[2] S. Kongrattanaprasert, S. Arunrungrusmi, B. Pungsiri, K. Chomnongthai, “Nondestructive Maturity Determination of Durian by Force Vibration”, Circuits and Systems, 2001. ISCAS 2001. The 2001 IEEE International Symposium., Vol.2, pp. 441-444, May 2001.

[3] T. Rutpralom, P. Kumhom and K. Chamnongthai, “Nondestructive Maturity Determination of Durian by Using Microwave Moisture Sensing”, Industrial Technology, 2002. IEEE ICIT '02. 2002 IEEE International Conference, Vol.1, pp. 155-158, Apr 2003.

[4] N. Kittiamornkul, K. Jiraseriamornkul, K. Chamnongthai, M. Krairiksh and K. Higuchi, “System Design of Durian Maturity Determination using Microstrip Patch Antennas”, SICE Annual Conference 2007., pp.2875-2879, 17-20 Sep 2007.

[5] S. Saimek, J. Nuadkum, W. Piyarat, “A study for ripeness of durian by Fast Fourier Transform (FFT)”, การประชุมวิชาการเครือข□า ยวิศวกรรมเครื่องกลแหงประเทศไทยครั้งที่ 19, 19-21 ตุลาคม 2548.

[6] ก้องเกียรติ ณ สีมา,ไทม์เมอร์ไอซีเบอร์ 555, บริษัทอิเล็กทรอนิกส์ เวิลด์ จำกัด พ.ศ.2528

**มนตรี ไชยชาญยุทธ์** เกิดที่สงขลา ประเทศไทย เมื่อวันที่ 20 กันยายน 2522 สำเร็จปริญญาตรี ปี 2546 และปริญญาโท ปี2548 สาขาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง งานวิจัยที่สนใจ คือ อิเล็กทรอนิกส์เพื่อการเกษตร ระบบการวัดและควบคุม

# ระบบตรวจวัดคุณภาพน้ำทะเลชายฝั่ง

## The Coastal Water Quality Monitoring Systems

**มนตรี ไชยชาญยุทธ์ [1] และ พลศาสตร์ เลิศประเสริฐ [2]**

[1]สาขาวิชาวิศวกรรมศาสตร์ หลักสูตรวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์
17/1 หมู่ที่ 6 ตำบลชุมโค อำเภอปะทิว ชุมพร 86160 โทรศัพท์ 081-388-5657 E-mail: montree.ch@kmitl.ac.th

[2]สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร กรุงเทพฯ
1 ถนนฉลองกรุง 1 แขวงลำปาทิว เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520 โทรศัพท์ (+66) 2-329-8344 E-mail: klpolsar@kmitl.ac.th

## บทคัดย่อ

บทความนี้กล่าวถึงกล่าวถึงระบบตรวจวัดคุณภาพน้ำทะเลชายฝั่ง เพื่อเก็บข้อมูลคุณภาพน้ำบริเวณชายฝั่งทะเล ระบบที่ออกแบบประกอบด้วย การตรวจวัดคุณภาพน้ำ การเก็บตัวอย่างน้ำ การวัดความลึกของน้ำ การวัดคุณภาพน้ำจะสามารถตรวจวัดปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำ ตรวจวัดพีเอช ตรวจวัดอุณหภูมิ และตรวจวัดความเค็ม การเก็บตัวอย่างน้ำสามารถเก็บตัวอย่างน้ำได้ 3 ระดับความลึก ที่ระดับน้ำลึกไม่เกิน 30 เมตร ระดับความลึกละ500 มิลลิลิตร ระบบถูกควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ (PIC 18F46K22) แสดงผลผ่านหน้าจอแอลซีดี มีอีอีพรอมเก็บข้อมูลการวัดและเก็บข้อมูลแบบเวลาจริง จากผลการทดลองตรวจวัดค่าออกซิเจนละลายในน้ำ ค่าพีเอช ค่าอุณหภูมิ และค่าความเค็ม เทียบกับวิธีมาตรฐาน ระบบที่ออกแบบมีเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด 25% 20% 20% และ15% ตามลำดับ ซึ่งค่าความผิดพลาดดังกล่าวเป็นที่ยอมรับได้ ส่วนการวัดความลึก และเก็บตัวอย่างน้ำนั้นระบบที่ออกแบบทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ: คุณภาพน้ำ น้ำเค็ม อุณหภูมิ ความเค็ม ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ

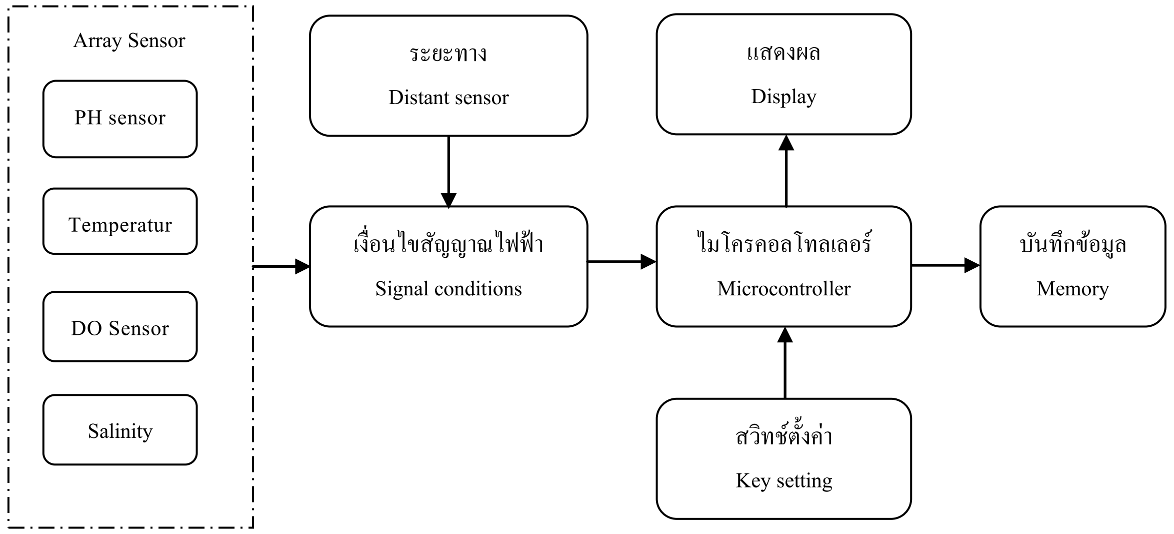
## Abstract

This article describes a designed for the Water Quality Monitoring Machine, which we use for gathering the data of the water quality of the coastal area in salt water and brackish water. This system consists of the water quality measurement, the water sampling and the water depth measurement. The water quality measurement can measure of the dissolved oxygen, pH value, temperature and salinity. The system can collect water sampling on 3 difference depth levels, that can keep sample was 500 ml/level. And the system can be measured at the depth level less than 30 meters. The system is controlled by a microcontroller (PIC 18F46K22), that shown the result of water quality value on the LCD display and kept the data into the EEPROM on real time. Our experimentation, the measurement result of Dissolved Oxygen, pH, Temperature and Salinity compared with the standard measurement system. Respectively, its a percentage error of 25%, 20%, 20% and 15% However, the results were acceptable. The result of Water Depth Measurement and Water Sampling can be used effectively.

Keywords: Water quality, Sea Water, Temperature, Salinity, dissolved oxygen (DO)

## 1. บทนำ

จากปัญหาการลดจำนวนลงของสัตว์น้ำทะเล จึงมีการเพาะพันธุ์สัตว์น้ำเพื่อการนำไปบริโภค และสามารถรักษาพันธุ์สัตว์น้ำได้ด้วย การวัดเพื่อตรวจสอบคุณภาพน้ำก่อนที่จะทำการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจึงจำเป็นต้องรู้ถึงคุณภาพน้ำที่สัตว์น้ำได้อยู่อาศัย ดำรงชีวิตและเจริญเติบโต เนื่องจากน้ำแต่ละที่มีคุณสมบัติที่แตกต่างกันออกไปตามสภาพแวดล้อมและบริเวณพื้นที่ต่างกัน เช่น แม่น้ำ ลำคลอง และทะเลเป็นต้น ซึ่งไม่สามารถตรวจสอบและวิเคราะห์ด้วยตาเปล่าได้ว่า น้ำ ณ จุดนั้นมีคุณสมบัติเป็นอย่างไร เหมาะแก่การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ปะการังและพืชน้ำต่างๆหรือไม่ ปัจจุบันวิธีการเก็บคุณภาพน้ำมีความยุ่งยาก และไม่มีความสะดวก นอกจากนี้การเก็บน้ำตัวอย่างทำได้ทีละครั้ง ที่ระดับความลึกเดียว และการตรวจวัดคุณภาพน้ำก็ยังต้องนำน้ำมาทดสอบคุณภาพน้ำบนบก ด้วยกระบวนการทางเคมี ทั้งนี้ค่าพื้นฐานบางอย่างอาจจะแปรเปลี่ยนไปตามเวลา ถ้าต้องรอทดสอบในห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ค่าที่วัดได้ก็ไม่ใช่ค่าจริง ดังนั้นคณะผู้วิจัยคณะผู้วิจัยได้ตระหนักถึงปัญหาที่เกิดขึ้นในปัจจุบัน จึงได้ถือเป็นหัวข้อวิจัยหลักที่จะทำการวิจัยและพัฒนาออกแบบระบบระบบตรวจวัดคุณภาพน้ำทะเลชายฝั่ง




**รูปที่ 1** ไดอะแกรมกรอบแนวความคิดของโครงงานวิจัย

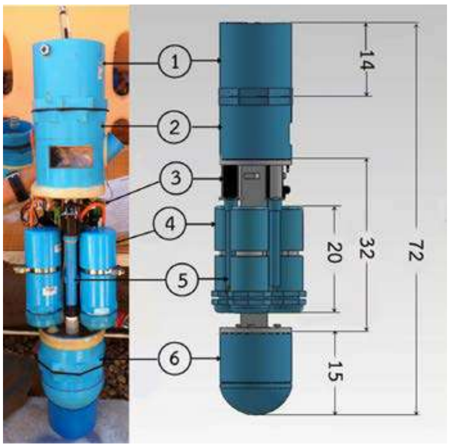
การวัดคุณภาพน้ำมีด้วยกันหลายแบบตามจุดประสงค์ของการใช้งานเช่น โครงการวิจัยระบบตรวจวัดคุณภาพน้ำและแสดงแผนที่อัตโนมัติระดับความเป็นกรด-ด่าง หรือค่า pH เป็นหนึ่งในค่าพื้นฐานที่ใช้ตรวจวัดและควบคุมคุณภาพน้ำ [2] การตรวจวัดคุณภาพน้ำแบบจัดตั้งสถานีตรวจวัดเช่น สถานีตรวจวัดคุณภาพน้ำเป็นระบบที่ใช้ตรวจวัดแบบอัตโนมัติควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ รับ-ส่งข้อมูลและสั่งงานควบคุมการทำงานจากศูนย์กลางผ่านเครือข่ายอินเตอร์เน็ต ควบคุมระยะไกล สามารถตั้งเวลาการทำงานได้ มีระบบล้างและเก็บหัววัดในน้ำสะอาด เพื่อให้เกิดความแม่นยำในการวัด ลดค่าใช้จ่ายในการส่งคนไปดูแลและบำรุงรักษา สามารถตรวจวัดคุณภาพน้ำได้ 4 ชนิดคือ อุณหภูมิ ความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ [3] นอกจากนี้ยังมีการตรวจวัดคุณภาพน้ำแบบระบบโทรมาตรอยู่หลายงานวิจัย เช่น ระบบโทรมาตรแบบทุ่นลอย มีการส่งข้อมูลแบบเวลาจริงผ่านระบบ GPRS เข้าระบบอินเตอร์เน็ต [4] จัดทำขึ้นเพื่อเฝ้าระวังสถานการณ์คุณภาพน้ำบริเวณคลองสารภี จ.ปราจีนบุรี ซึ่งเป็นพื้นที่ประสบปัญหาคุณภาพน้ำเสื่อมโทรมบ่อยครั้ง โครงการจัดทำสถานีตรวจวัดคุณสมบัติของดินและน้ำแบบอัตโนมัติผ่านระบบไร้สาย [5]

## 2. วิธีการ และการออกแบบ

จากกรอบแนวความคิดของโครงการวิจัยดังแสดงในรูปที่ ๆ ซึ่งแต่ละส่วนจะทำหน้าที่ดังรายละเอียดที่จะกล่าวต่อไปนี้

Array sensor คือ ส่วนที่เป็นเซ็นเซอร์เซนเซอร์ตรวจวัดค่า pH ค่าอุณหภูมิ ค่าความเค็ม และค่าออกซิเจนในน้ำ นอกจากนี้จะนำเซนเซอร์ระยะทางมาทำการตรวจจับระดับความลึกของน้ำทะเลด้วยเพื่อเก็บเก็บข้อมูล และตัวอย่างน้ำที่ระดับความลึกที่ต้องการ (ระดับความลึกของน้ำไม่เกิน 30 เมตร)

การทำงานโดยรวมของระบบตรวจวัดคุณภาพน้ำทะเลชายฝั่งและเก็บตัวอย่างน้ำแบบ 3 ระดับความลึก โดยไมโครคอนโทรเลอร์จะรับค่าระดับความลึกที่ต้องการให้เก็บตัวอย่างน้ำ และ ข้อมูลค่าต่างๆ ผ่านทางสวิทช์ตั้งค่า โดยสามารถระบุค่าความลึกได้ 3 ระดับความลึก เมื่อทำการปล่อยเครื่องวัดคุณภาพน้ำลงสู่ใต้น้ำ เซ็นเซอร์วัดระดับความลึกจะทำงานและเมื่อถึงระดับความลึกที่ต้องการปั๊มน้ำจะทำการสูบน้ำเข้าไปเก็บไว้ในที่เก็บน้ำ พร้อมกันนั้นเซ็นเซอร์ทั้งหมดจะทำงานเพื่อบันทึกค่าข้อมูลพื้นฐานที่ได้ไว้ในอีอีพรอม(EEPROM) เพื่อนำไปแสดงผลทางหน้าจอแอลซีดีเมื่อนำเครื่องวัดคุณภาพน้ำขึ้นสู่ผิวน้ำ ซึ่งเมื่อระบบทำงานครบทั้ง 3 ระดับความลึกที่ต้องการแล้วระบบจะขึ้นสู่ผิวน้ำโดยอัตโนมัติ

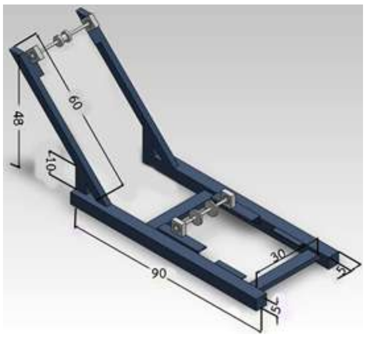


**รูปที่ 2** เครื่องวัดคุณภาพ และเก็บตัวอย่างน้ำ

**รูปที่ 3** โพรบเซ็นเซอร์อุณหภูมิ และความเค็ม

**รูปที่ 4** โพรบเซ็นเซอร์ออกซิเจนในน้ำ

**รูปที่ 5** โพรบเซ็นเซอร์พีเอช




**รูปที่ 6** ระบบปล่อยเครื่องขึ้น-ลงอัตโนมัติ

จากรูปที่ 2 หมายเลข 1 ฝาปิดด้านบน หมายเลข 2 ส่วนหน้าจอแสดงผล หมายเลข 3 ปั๊มน้ำ หมายเลข 4 กระบอกเก็บน้ำ หมายเลข 5เซ็นเซอร์ หมายเลข 6 ท่อถ่วงน้ำหนัก และ สำหรับใส่แบตเตอรี่ ซึ่งระบบที่ออกแบบประกอบด้วย ตัวเซ็นเซอร์ที่ใช้ในการวัดอุณหภูมิน้ำเป็นแบบเทอร์มิสเตอร์ เบอร์ NTSE0103 โพรบวัดความเค็มเป็นแผ่นสแตนเลส ทรงสีเหลี่ยมจตุรัส มีหน้าสัมผัส 1 เซนติเมตร ความหนาของแผ่น โพรบ 0.2 ซ.ม. โดยจะวางขนานกัน 2 แผ่น ความห่างอยู่ระหว่าง 1 ซ.ม. และหุ้มหัวโพรบด้วยท่อพีวีซี แสดงดังในรูปที่ 3 ส่วนของ โพรบอื่นๆ เป็นโพรบเซนเซอร์สำเร็จรูป ดังแสดงในรูปที่ 4-5 ตามลำดับ รูปที่ 6 เป็นตัวปล่อยเครื่องวัดคุณภาพ และเก็บตัวอย่างน้ำลงสู่น้ำ และดึงขึ้นเมื่อวัดและเก็บตัวอย่างน้ำที่ต้องการเรียบร้อยแล้ว

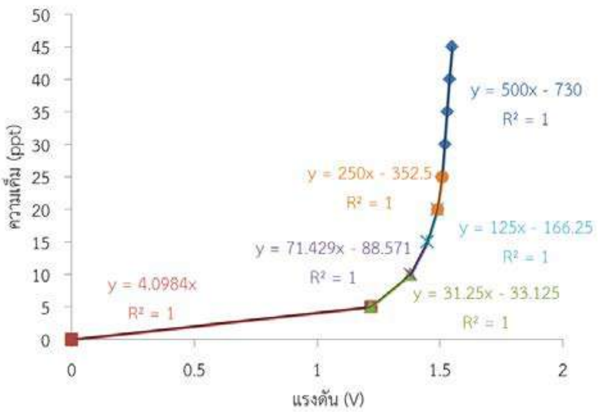
วงจรใช้งานทางอิเล็กทรอนิกส์ แสดงดังในรูปที่ 7-8 รายละเอียดการคำนวณออกแบบ การออกแบบโปรแกรมควบคุมผู้วิจัยได้เสนอรายละเอียดไว้ในรายงานการวิจัยรายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2558 เรื่องระบบตรวจวัดคุณภาพน้ำทะเลชายฝั่งและเก็บตัวอย่างน้ำแบบ 3 ระดับความลึก สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร และสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ

## 3. ผลการทดลอง และวิจารณ์

เนื่องจากเซนเซอร์ที่นำมาใช้งานส่วนใหญ่เป็นเซนเซอร์สำเร็จรูปซึ่งมีการใช้งานแบบมาตรฐานแล้ว แต่ส่วนของเซนเซอร์ความเค็มผู้วิจัยได้ออกแบบขึ้นมาโดยอาศัยสมบัติความนำไฟฟ้า ดังนั้นจึงได้ทำการทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างความเค็มกับค่าเงื่อนไขสัญญาณ (แรงดัน)

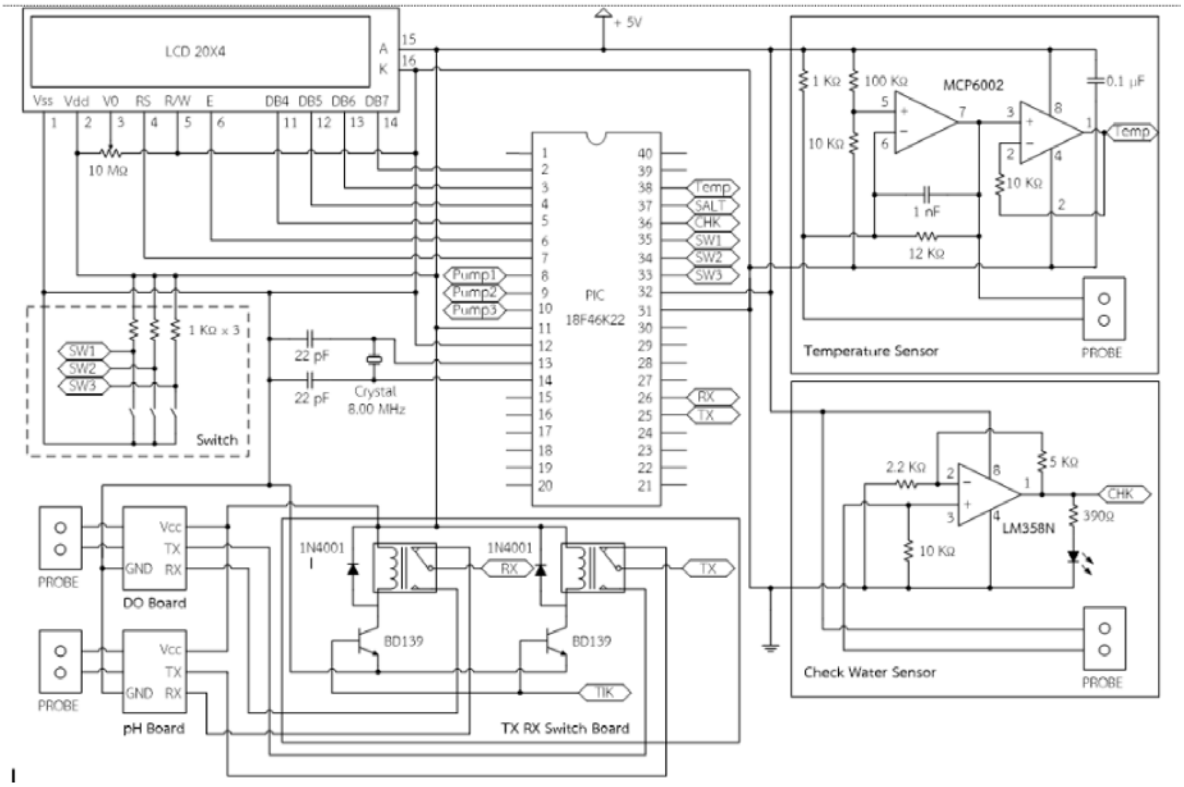
### 3.1 การทดลองที่ 1 การออกแบบโพรบวัดความเค็ม

การทดลองนี้เป็นการทดลองหาความสัมพันธ์สัญญาณทางไฟฟ้าของโพรบวัดความเค็มที่ได้ออกแบบขึ้นเพื่อนำข้อมูลที่ได้ไปเขียนโปรแกรมเงื่อนไขแสดงระดับความเค็ม ซึ่งผลการทดลองที่ได้แสดงดังในรูปที่ 9

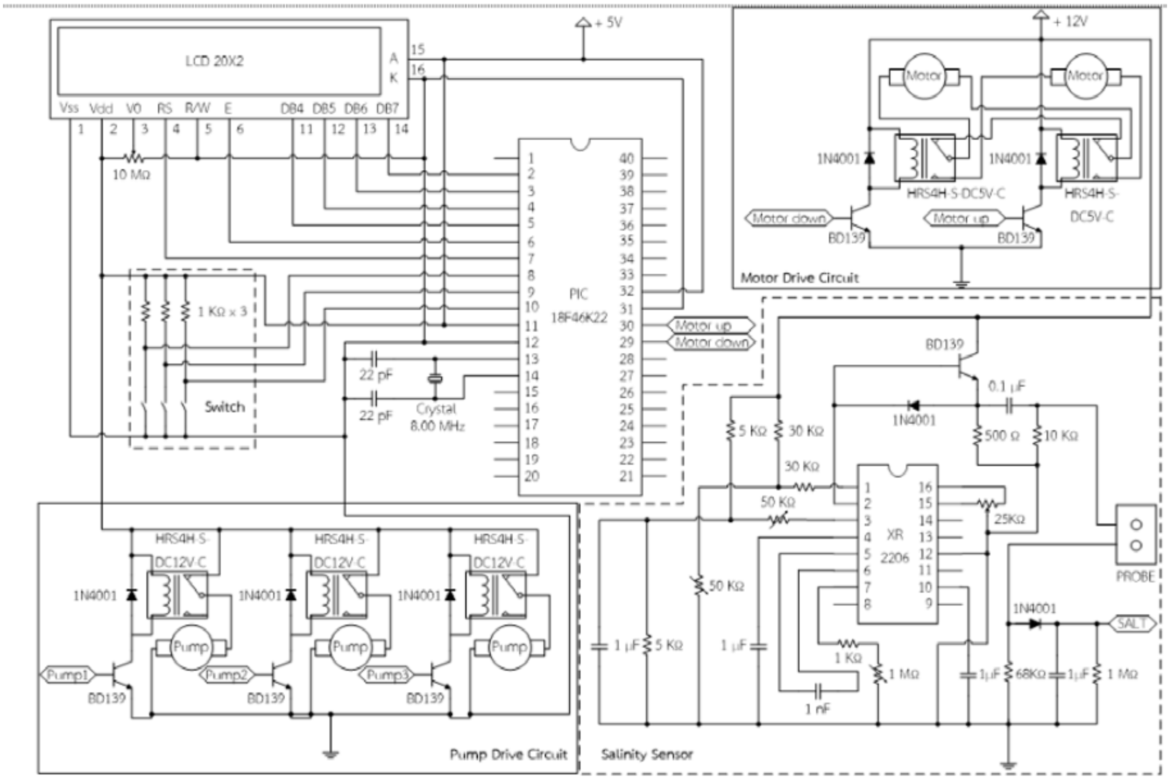



**รูปที่ 9** กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค็มกับค่าแรงดันเฉลี่ย

ผลการทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างความเค็มมาตรฐานกับแรงดันเฉลี่ยที่ได้ดังในกราฟรูปที่ 9 เพื่อใช้งานง่ายผู้วิจัยได้ทำเส้นแบ่งช่วงกราฟ เขียนกราฟเป็นเชิงเส้น โดยพิจารณาค่า $R^2$ (สัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ ; Coefficient of Determination) ให้มีค่าเท่ากับ 1 จากนั้นนำข้อมูลที่ได้ไปเขียนโปรแกรมควบคุมใช้งานเซนเซอร์ที่ออกแบบ




**รูปที่ 7** วงจรรวมของเครื่องวัดคุณภาพน้ำ




**ตารางที่ 1** บันทึกผลการทดสอบเครื่องวัดคุณภาพน้ำ

| สถานที่ | | | ความลึก(m) | ออกซิเจนในน้ำ | พี-เอช | อุณหภูมิ (°C) | ความเค็ม (ppt) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ห้วยตีนจับ | ครั้งที่ 1 | ระดับ 1 | 1 | 8.12 | 6.46 | 32.25 | 0.00 |
| | | ระดับ 2 | 2 | 8.06 | 6.48 | 31.82 | 0.00 |
| | ครั้งที่ 2 | ระดับ 1 | 1 | 8.89 | 6.57 | 32.02 | 0.00 |
| | | ระดับ 2 | 2 | 8.25 | 6.49 | 31.34 | 0.00 |
| | ครั้งที่ 3 | ระดับ 1 | 1 | 9.93 | 7.00 | 31.06 | 0.00 |
| | | ระดับ 2 | 2 | 8.12 | 6.48 | 30.20 | 0.00 |
| คลองบางสน | ครั้งที่ 1 | ระดับ 1 | 1 | 7.22 | 7.00 | 29.88 | 34.75 |
| | | ระดับ 2 | 3 | 5.40 | 7.00 | 26.76 | 35.26 |
| | | ระดับ 3 | 4 | 4.90 | 7.00 | 26.76 | 35.9 |
| | ครั้งที่ 2 | ระดับ 1 | 1 | 8.45 | 7.00 | 29.56 | 34.98 |
| | | ระดับ 2 | 3 | 6.12 | 7.00 | 26.23 | 35.56 |
| | | ระดับ 3 | 4 | 5.99 | 7.00 | 26.2 | 35.75 |
| | ครั้งที่ 3 | ระดับ 1 | 1 | 7.03 | 7.00 | 29.65 | 34.13 |
| | | ระดับ 2 | 3 | 6.89 | 7.00 | 27.03 | 35.12 |
| | | ระดับ 3 | 4 | 5.10 | 7.00 | 26.89 | 35.58 |

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| เกาะไข่ | ครั้งที่ 1 | ระดับ 1 | 5 | 6.34 | 7.20 | 29.82 | 35.03 |
| | | ระดับ 2 | 10 | 6.02 | 7.17 | 27.03 | 35.12 |
| | | ระดับ 3 | 15 | 5.55 | 7.17 | 25.66 | 35.68 |
| | ครั้งที่ 2 | ระดับ 1 | 5 | 6.02 | 7.20 | 30.54 | 34.89 |
| | | ระดับ 2 | 10 | 5.76 | 7.20 | 28.47 | 35.24 |
| | | ระดับ 3 | 15 | 5.71 | 7.20 | 26.55 | 35.75 |
| | ครั้งที่ 3 | ระดับ 1 | 5 | 6.89 | 7.34 | 29.89 | 34.78 |
| | | ระดับ 2 | 10 | 6.24 | 7.20 | 27.76 | 35.31 |
| | | ระดับ 3 | 15 | 5.87 | 7.20 | 26.67 | 35.67 |
| เกาะไข่ วันที่ 2 | ครั้งที่ 1 | ระดับ 1 | 1 | 7.23 | 7.02 | 30.14 | 34.98 |
| | | ระดับ 2 | 6 | 6.89 | 7.02 | 29.36 | 35.02 |
| | | ระดับ 3 | 12 | 6.53 | 7.02 | 26.61 | 35.04 |

### 3.2 การทดลองที่ 2 การทดลองประสิทธิภาพของเครื่องวัดคุณภาพน้ำ

การทดลองนี้เป็นการทดลองใช้งานเครื่องที่ออกแบบในสถานที่จริง คือ ห้วยตีนจับ สะพานคลองบางสน และเกาะไข่ โดยทดลองประสิทธิภาพของเครื่องวัดคุณภาพน้ำที่ความลึก 0-15 เมตร เพื่อตรวจสอบระบบของเซ็นเซอร์ว่าสามารถใช้งานได้จริง สามารถลงน้ำที่ระดับความลึกที่กำหนดได้ และสามารถเก็บน้ำได้ 3 ระดับ บันทึกผลการทดลองลงในตารางที่ 1

## 4. สรุปผลการทดลอง

ระบบตรวจวัดคุณภาพน้ำทะเลชายฝั่งสามารถวัดค่าออกซิเจนในน้ำ วัดค่าพีเอช วัดค่าอุณหภูมิ และวัดค่าความเค็มได้ ทั้งนี้ในการทำเครื่องวัดคุณภาพน้ำ ควรเปลี่ยนจากการใช้ท่อพีวีซี เป็นสแตนเลสเนื่องจากไม่ทำให้สแตนเลสแตกอันเนื่องมาจาก เมื่อระบบลงไปที่ระดับน้ำลึกจะเจอแรงกดดันจากน้ำสูงขึ้นกว่าระดับผิวน้ำ อาจทำให้น้ำเข้าในส่วนของวงจรเกิดความเสียหาย ซึ่งต้องมีการป้องกันหรือซีลด้วยสารที่ป้องกันน้ำ เช่นซิลิโคน ทาสีทุกส่วนที่เป็นเหล็ก เพื่อป้องกันสนิม

## 5. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตรชุมพรเขตอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร และขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติที่ให้งบ ประมาณสนับสนุน ประจำปีงบประมาณ 2558

## เอกสารอ้างอิง

[1] วุฒินันท์ เจียมศักดิ์ศิริ,ศุภนิจ พรธีระภัทร,รพีพงศ์ โชครุ่งอิสรานุกูล ,วรพันธุ์ ไชยศรีรัตนากูล, วิน บรรจงปรุ, อวิรุทธิ์ ศรีสุวรรณ์,ธวัชชัย คำศรี,"ระบบตรวจวัดคุณภาพน้ำและแสดงแผนที่อัตโนมัติ," 1 มีนาคม พ.ศ.2554 ถึง 31 สิงหาคม พ.ศ.2554

[2] คงพันธ์ รุ่งประทีปถาวร,"สถานีตรวจวัดคุณภาพน้ำ," [Online]. หน่วยปฏิบัติการวิจัยพัฒนาเทคโนโลยีสมองกลฝังตัว (EST),2554.

[3] ชวลี เฌอกิจ และวิชญ์ ศรีวงษา,"โครงการจัดทำสถานีเฝ้าระวังคุณภาพน้ำโดยระบบโทรมาตร แบบทุ่นลอยในคลองสารภี จังหวัดปราจีนบุรี," กลุ่มวิจัยและพัฒนาด้านวิทยาศาสตร์ และสถาบันพัฒนาการชลประทาน สำนักวิจัย และพัฒนากรมชลประทาน,2553

[4] สมบูรณ์ มั่นความดี, ผจงจิตต์ ศรีสุข และสุภัทตรา นุชนารถ, "โครงการจัดทำสถานีตรวจวัดคุณสมบัติของดิน และน้ำ แบบอัตโนมัติผ่านระบบไร้สาย," 2552.

**มนตรี ไชยชาญยุทธ์** เกิดที่สงขลา ประเทศไทย เมื่อวันที่ 20 กันยายน 2522 สำเร็จปริญญาตรี ปี 2546 และปริญญาโท ปี2548 สาขาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ จาก สจล.(KMITL) งานวิจัยที่สนใจ คือ อิเล็กทรอนิกส์เพื่อการเกษตร ระบบการวัดและควบคุม

**บทความสิ่งประดิษฐ์และนวัตกรรม**

การประชุมวิชาการ งานวิจัยและพัฒนาเชิงประยุกต์ ครั้งที่ 8

*8th ECTI-CARD 2016, Hua Hin, Thailand*

# อุปกรณ์วัดคลื่นไฟฟ้าหัวใจประมวลผลด้วยโปรแกรม LabVIEW

## ECG measurement devices processed by LabVIEW

**สิทธิชัย จีนะวงษ์ สุจิตรา จีนะวงษ์ ดนัย ชาติมนตรี และ วิชัย แก้วรากมุข**

สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงราย

99 หมู่ 10 ต.ทรายขาว อ.พาน จ.เชียงราย 57120 โทรศัพท์ 0-5372-3979 ต่อ 4202 E-mail: sithichai19@gmail.com

**บทคัดย่อ**

บทความนี้นำเสนอ อุปกรณ์วัดคลื่นไฟฟ้าหัวใจประมวลผลด้วยโปรแกรม LabVIEW ซึ่งสามารถนำไปใช้กับโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลได้ การทำงานจะใช้วงจรออปแอมป์ในการขยายสัญญาณไฟฟ้าที่วัดจากแผ่นอิเล็กโทรดจำนวน 3 ลีด แล้วทำการส่งสัญญาณเข้าประมวลผลด้วยคอมพิวเตอร์ โดยผ่านโมดูล NI DAQ - 6000 ของโปรแกรม LabVIEW แสดงผลบนคอมพิวเตอร์ที่สามารถบันทึกผลของสัญญาณ ที่ได้หลังจากการวัดในคอมพิวเตอร์ โดยมีการเก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อหาประสิทธิภาพของสัญญาณโดยการวัดเทียบกับเครื่องมือวัดทางไฟฟ้า มีการประเมินของผู้เชี่ยวชาญจำนวน 5 ท่าน จากโรงพยาบาลดอยหลวง จังหวัดเชียงราย ผลการทดสอบพบว่า สัญญาณจากอุปกรณ์ที่สร้างมีความใกล้เคียงกับเครื่องมือวัดทางไฟฟ้า ผลของอัตราการเต้นของหัวใจพบว่ามีค่าความคาดคลื่น ± 0.26% และผลการประเมินจากผู้เชี่ยวชาญมีค่าเฉลี่ยรวมอยู่ที่ 4.16 ซึ่งอยู่ในระดับดี

คำสำคัญ: คลื่นไฟฟ้าหัวใจ, อัตราการเต้นหัวใจ, LabVIEW

**Abstract**

This paper presents ECG measurement tool operating by Lab-VIEW software applying for Tambon health promoting Hospital. Three electrode leads are used to generate measured signals amplifying by operating amplifiers. Interfaced to PC computer by NI DAQ-6000 module operating on the Lab-VIEW software, all measured signal results are recorded and displayed by PC computer. The measured results are compared to the genuine measured results for performance evaluation. The accuracy performance is evaluated by 5 expert users from Doiluang Hospitals, Chiang Rai District. The results show that the measured signals of the proposed measurement are likely coincided to the genuine results with tolerance of ± 0.26%. The good satisfaction with average score of 4.16 is also found.

Keywords: Electrocardiogram, Heart rate, LabVIEW

### 1. บทนำ

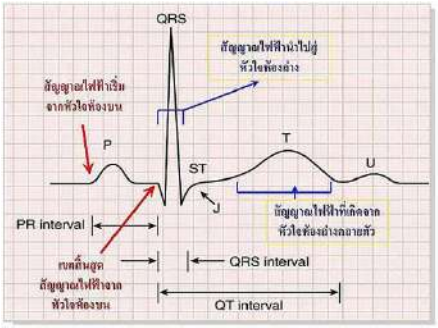
ปัจจุบันเครื่องวัดคลื่นไฟฟ้าหัวใจ โดยส่วนใหญ่จะเป็นผลิตภัณฑ์ที่นำเข้ามาจากต่างประเทศซึ่งมีราคาสูง เครื่องวัดคลื่นไฟฟ้าหัวใจเหล่านั้นยังมีค่าซ่อมบำรุงสูงเช่นเดียวกับอุปกรณ์ทางการแพทย์อื่นๆ อีกทั้งโรงพยาบาลขนาดเล็กหรือโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบล ไม่สามารถจัดซื้อเครื่องมือเหล่านี้เข้าใช้ในหน่วยงานได้ แต่ยังมีความจำเป็นที่จะต้องใช้เครื่องมือเหล่านี้เพื่อตรวจวิเคราะห์หาสาเหตุเบื้องต้นของผู้ป่วยเพื่อดำเนินการรักษาต่อไป

จากปัญหาดังกล่าว ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดสร้างอุปกรณ์ตรวจวัดคลื่นไฟฟ้าหัวใจเพื่อใช้ในการวินิจฉัยโรคเบื้องต้น ผ่านทางคอมพิวเตอร์ โดยสามารถแสดงกราฟจังหวะการเต้นของคลื่นไฟฟ้าหัวใจของผู้ป่วยเพื่อให้แพทย์หรือผู้เชี่ยวชาญทำการวิเคราะห์สัญญาณการเต้นของหัวใจเพื่อวิเคราะห์การทำงานของหัวใจที่ปกติหรือผิดปกติ การวัดคลื่นไฟฟ้าหัวใจจะมีการประมวลผลด้วยโปรแกรม LabVIEW ที่สำคัญมุ่งเน้นด้านของงบประมาณในการจัดซื้ออุปกรณ์ให้มีต้นทุนต่ำเหมาะสำหรับใช้กับโรงพยาบาลเล็กๆ โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบล

### 2. การตรวจวัดคลื่นไฟฟ้าหัวใจ

#### 2.1 คลื่นไฟฟ้าหัวใจ

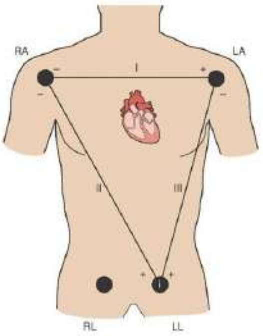
การเกิดคลื่นไฟฟ้าหัวใจ เกิดจากการกระตุ้นเซลล์ต่างๆ ของหัวใจด้วยกระบวนการทางไฟฟ้าที่กล้ามเนื้อหัวใจที่ผลิตมาขณะหัวใจบีบตัว โดยเริ่มต้นที่เซลล์กล้ามเนื้อหัวใจชนิดพิเศษที่สามารถสร้างกระแสไฟฟ้าได้เองเรียกว่า Sinus Node กระแสไฟฟ้าจะวิ่งผ่านกล้ามเนื้อหัวใจห้องบน เกิดกระแสไฟฟ้าที่ตรวจได้เรียกว่า P wave กระแสไฟฟ้าจะมาหยุดที่รอยต่อระหว่างหัวใจห้องบนและห้องล่างเรียกว่า AV node หลังจากนั้นกระแสไฟฟ้าจะวิ่งไปหัวใจห้องล่างทั้งซ้ายและขวา และทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าที่เรียกว่า QRS Complex พบว่าทุกวงรอบของการบีบตัวและคลายตัวของหัวใจที่ปกตินั้น จะมีรูปแบบของคลื่นไฟฟ้าเหมือนกันทุกครั้ง โดยดูได้จากจอแสดงผล หรือบันทึกลงกระดาษกราฟเพื่อสังเกตความผิดปกติที่เกิดขึ้น [1] ดังรูปที่ 1




**รูปที่ 1** คลื่นไฟฟ้าหัวใจที่ปกติ

## 2.2 การวัดคลื่นไฟฟ้าหัวใจแบบ 3 Lead

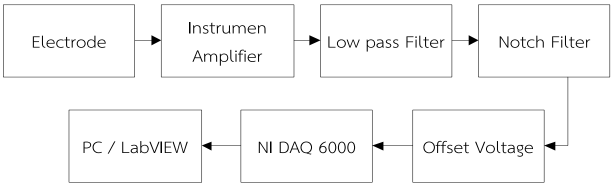
เป็นต้นแบบการติดขั้วอิเล็กโทรดในระบบ standard limb lead หรือ bipolar limb lead โดยติดอิเล็กโทรดในตำแหน่งไหล่ขวา ไหล่ซ้ายและบริเวณกระดูกหัวเหน่า เป็นการวัดผลรวมของความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างขั้วบวกและขั้วลบที่ตำแหน่งแขนและขา โดยแบ่งเป็น 3 Lead คือ Lead I วัดความต่างศักย์ไฟฟ้าของแขนขวา (-) แขนซ้าย (+) ส่วน Lead II วัดความต่างศักย์ไฟฟ้าของแขนขวา (-) ขาซ้าย (+) และ Lead III วัดความต่างศักย์ไฟฟ้าของขาซ้าย (+) แขนขวา (-) เมื่อลากเส้นตรงผ่านจุดทั้งสามนี้จะได้ในรูปสามเหลี่ยม เรียกว่า Einthoven Triangle [2] ดังรูปที่ 2



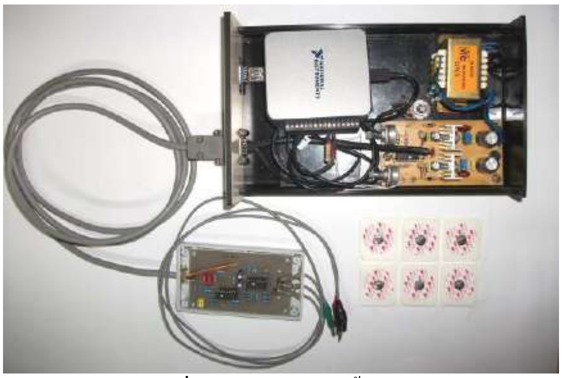

**รูปที่ 2** ตำแหน่งติดขั้วอิเล็กโทรด

## 3. การออกแบบและสร้างอุปกรณ์วัดคลื่นไฟฟ้าหัวใจประมวลผลด้วย LabVIEW

วงจรขยายสัญญาณจะรับสัญญาณจากแผ่นอิเล็กโทรด มาขยายให้มีขนาดเหมาะสมก่อนนำสัญญาณไปกรองสัญญาณรบกวนที่ความถี่ต่ำผ่าน โดยวงจรกรองสัญญาณความถี่ต่ำผ่านเป็นวงจรที่ทำหน้าที่กรองความถี่ที่เลือกไว้ไม่ให้ผ่าน แล้วต่อสัญญาณเข้าตัวแปลงสัญญาณ NI DAQ 6000 เพื่อแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณข้อมูลทางดิจิตอล เชื่อมต่อผ่านพอร์ต USB เข้ากับโปรแกรม LabVIEW เพื่อประมวลผลสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจ และแสดงผลบนคอมพิวเตอร์ ดังรูปที่ 3 และ รูปที่ 4




**รูปที่ 3** ขั้นตอนการทำงานของอุปกรณ์วัดคลื่นไฟฟ้าหัวใจ



**รูปที่ 4** วงจรการทำงานทั้งหมด

## 4. ผลการทดสอบ

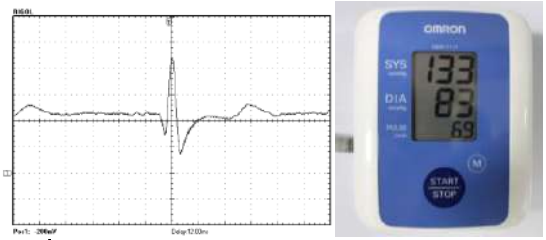
### 4.1 การทดสอบการทำงานของอุปกรณ์

ก่อนทำการติดแผ่นอิเล็กโทรด ควรให้ผู้ป่วยนอนบนเตียงก่อน หลังจากนั้นทำการติดแผ่นอิเล็กโทรดไว้ด้านบนหน้าอกด้านซ้าย หน้าอกด้านขวา และใต้ชายโครงด้านซ้าย หลังจากนั้นทำการคีบสายสัญญาณเข้ากับแผ่นอิเล็กโทรด โดยให้สายสัญญาณขั้วบวกหรือสายที่มีสีแดง ต่อเข้าที่หน้าอกซ้าย สายสัญญาณขั้วลบหรือสายที่มีสีดำ ต่อเข้าที่หน้าอกขวา และสายสัญญาณขั้วกราวด์หรือสายที่มีสีเขียว ต่อเข้าที่ใต้ชายโครงด้านซ้าย ดังรูป 5

**รูปที่ 5** การต่อสายสัญญาณเข้ากับแผ่นอิเล็กโทรด

การทดลองจะเป็นการเปรียบเทียบสัญญาณที่วัดได้จากอุปกรณ์วัดคลื่นไฟฟ้าหัวใจที่สร้างขึ้น กับเครื่องมือวัดทางไฟฟ้า ซึ่งในที่นี้จะใช้ออสซิลโลสโคป และเครื่องวัดความดันโลหิต เพื่อวัดอัตราการเต้นของหัวใจ โดยใช้ผู้ป่วย 5 คน ผลการทดลองเป็นดังรูปที่ 6 รูปที่ 7 และตารางที่ 1

**รูปที่ 6** ผลสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจจาก




**รูปที่ 7** ผลสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจจากเครื่องมือวัดทางไฟฟ้า และเครื่องวัดความดัน

ตารางที่ 1 ตัวอย่างการเปรียบเทียบสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจผู้ป่วย 1 คน

| คลื่นไฟฟ้าหัวใจ | Oscilloscope ($Y_n$) | LabVIEW ($X_n$) | ค่าความผิดพลาด $e = \left\|\frac{Y_n - X_n}{Y_n}\right\| \times 100\%$ |
|---|---|---|---|
| PR | 108 ms | 110 ms | ± 1.85% |
| QRS | 164 ms | 160 ms | ± 2.43% |
| ST | 108 ms | 100 ms | ± 7.40% |
| QT | 436 ms | 430 ms | ± 0.90% |

## 4.2 การประเมินความพึงพอใจ

ในการประเมินเพื่อหาค่าความพึงพอใจของอุปกรณ์วัดคลื่นไฟฟ้าหัวใจประมวลผลด้วยโปรแกรม LabVIEW ที่สร้างขึ้น โดยได้รับการประเมินจากผู้เชี่ยวชาญของโรงพยาบาลดอยหลวง จำนวน 5 ท่าน แสดงดังตารางที่ 2

จากตารางที่ 2 พบว่าผู้เชี่ยวชาญทั้ง 5 ท่าน มีความคิดเห็นเกี่ยวกับ ประสิทธิภาพของเครื่องตรวจวัดคลื่นไฟฟ้าหัวใจ ทั้ง 2 ด้าน มีค่าเฉลี่ยรวมอยู่ในระดับดี ($\overline{X} = 4.16$)

ตารางที่ 2 ผลการประเมินความพึงพอใจของเครื่องวัดคลื่นไฟฟ้าหัวใจ

| รายการประเมิน | $\overline{X}$ | ระดับคุณภาพ |
|---|---|---|
| 1. ด้านความพึงพอใจ | 4.24 | ดี |
| 2. ด้านคุณภาพ | 4.08 | ดี |
| คะแนนเฉลี่ยรวม | 4.16 | ดี |

## 5. สรุป

อุปกรณ์วัดคลื่นไฟฟ้าหัวใจประมวลผลด้วยโปรแกรม LabVIEW ที่ได้ออกแบบมานั้นสามารถทำการวัดและแสดงผลคลื่นไฟฟ้าหัวใจแบบ 3 Lead รวมทั้งอัตราการเต้นของหัวใจได้จริง มีความสะดวกในการใช้งานมากขึ้นโดยสามารถต่อเข้ากับคอมพิวเตอร์พกพาได้ และมีราคาค่อนข้างถูก ทำให้เหมาะที่จะนำไปใช้งานตามโรงพยาบาลขนาดเล็ก หรือโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบล ซึ่งในอนาคตจะมีการพัฒนาให้สามารถใช้งานร่วมกับเซ็นเซอร์ทางการแพทย์อื่นๆ ต่อไป

## 4. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ผู้สนับสนุนทุนวิจัย

## เอกสารอ้างอิง

[1] ธเนศ อังศุวัฒนากุล, เอกชัย สมหวัง, จีรดา กระแสโสม, และรัตนาภรณ์ ชลมารค, “เครื่องวัดคลื่นไฟฟ้าหัวใจแบบพกพา ด้วยอิเล็กโทรดแบบนิ้วสัมผัส,” การประชุมวิชาการวิศวกรรมชีวการแพทย์ไทย. ครั้งที่ 4, 9-10 สิงหาคม 2555.

[2] คณะพยาบาลศาสตร์, “คู่มือการประชุมเชิงปฏิบัติการแก่พยาบาลวิชาชีพ,” การประชุมเชิงปฏิบัติการ. คณะพยาบาลศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล. 26-27 พฤษภาคม 2557

# เครื่องสลายก๊าซพิษ จากกระบวนการอบและเคลือบปกหนังสือ โดยการประยุกต์ใช้พลังงานโคโรนา แบบสนามไฟฟ้าความเครียดสูง

# Toxic Gas Eliminator from Baking and Coatings Books by Applied High Intensity Electric Field Corona Energy

ศิศีโรตม์ เกตุแก้ว
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง ถนนรามคำแหง หัวหมาก บางกะปิ กรุงเทพฯ 10240
โทร. 081-4435753 E-mail : siseerot@hotmail.com

## บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอเครื่องสลายก๊าซพิษ จากกระบวนการอบและเคลือบปกหนังสือ โดยการประยุกต์ใช้พลังงานโคโรนา แบบสนามไฟฟ้าความเครียดสูง โดยทีแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูง ได้นำหลักการของวงจรฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์มาใช้งาน และควบคุมการทำงานของเพาเวอร์มอสเฟต ด้วยไอซีเบอร์ SG3525 ที่ความถี่ 15 กิโลเฮิร์ต ผ่านหม้อแปลงสวิตชิ่งแรงดันสูง เพื่อให้ได้แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงแรงสูง 1 กิโลโวลต์ ถึง 5 กิโลโวลต์ โดยที่แรงดันไฟฟ้ากระแสสลับอินพุต 36 โวลต์ เพื่อประยุกต์ใช้กับชุดอิเล็กโตรดปลายแหลมที่วางห่างจากแผ่นอะลูมิเนียมเท่ากับ 1 เซนติเมตรในชุดเซลล์โคโรนา โดยออกแบบให้ทำงาน 1 ชั่วโมง ซึ่งตัวเครื่องสามารถผลิตก๊าซโอโซนได้ 1.9 ppm ถึง 8.5 ppm และที่ปริมาณก๊าซโอโซน 2.7 ppm สามารถนำมาใช้สลายก๊าซพิษจากกระบวนการอบและเคลือบปกหนังสือได้เป็นอย่างดี

**คำสำคัญ :** ก๊าซโอโซน, สนามไฟฟ้า, ก๊าซพิษ

**Abstract**

This paper presents toxic gas eliminator from baking and coatings books by applied high intensity electric field corona energy. Using flyback converter principle and controlling of the switching by IC#SG3525. The flyback converter is designed to operate at 15 kHz frequency through a DC high voltage flyback transformer at output voltage of 1 kV to 5 kV, and at the input voltage of 36 $V_{AC}$ , By adapting the copper wire amount 45 set between aluminium plates in corona cell set , one - hour operating yields the ozone gas ($O_3$) generating capacity of 1.9 ppm to 8.5 ppm and at 2.7 ppm enables baking and coating books as well.

**Keywords** : ozone, electric field, toxic gas

## 1. บทนำ

ปัจจุบันนี้ได้มีการได้นำเอาก๊าซโอโซนมาใช้งานในด้านอุตสาหกรรมและชีวิตประจำวันอย่างมาก ซึ่งในทางปฏิบัติจะเห็นว่าก๊าซโอโซนนั้นมีทั้งข้อดีและข้อเสีย ซึ่งขึ้นอยู่กับว่าจะนำก๊าซโอโซนไปใช้ประโยชน์อะไร จึงเป็นผลทำให้เกิดแนวคิดที่จะปรับปริมาณก๊าซโอโซนเพื่อให้เกิดประโยชน์หลากหลายต่ออุตสาหกรรมและสังคมให้มากที่สุด โดยใช้วิธีการพัฒนาเครื่องผลิตก๊าซโอโซน ซึ่งอาศัยการปรับความเครียดของสนามไฟฟ้า (คือ การปรับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูง) เพื่อควบคุมปริมาณก๊าซโอโซน โดยที่ก๊าซนี้จะเกิดขึ้นได้จากการแตกตัวของโมเลกุลของออกซิเจน ซึ่งการสร้างแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูงแบบสวิตชิ่ง ได้นำไอซีเบอร์ SG3525 เป็นตัวสร้างพัลส์มอดูเลชั่นและเป็นวงจรควบคุมการสวิตช์ของเพาเวอร์มอสเฟตในภาคฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ โดยมีหม้อแปลงแรงสูงความถี่สูงจะทำหน้าที่เหนี่ยวนำสัญญาณพัลส์ เพื่อสร้างไฟฟ้าแรงดันสูงไปประยุกต์ใช้จ่ายให้กับชุดเซลล์โคโรนา โดยพลังงานไฟฟ้าจากชุดเซลล์โคโรนาเป็นปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพโดยตรง และชนิดของวัสดุที่ใช้ทำเซลล์โคโรนาต้องเอื้ออำนวยต่อการที่จะเกิดกระบวนการโคโรนาดิสชาร์จด้วย เพื่อทำให้เกิดการแตกตัวของโมเลกุลของออกซิเจน จากสมการคือ $O_2 + O \rightarrow O_3$

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงต้องมีการทดลองปรับแรงดันไฟฟ้าแรงสูงด้านเอาต์พุต (ปรับความเครี ยดของสนามไฟฟ้ า) เพื่อดูปริมาณก๊าซโอโซนที่เปลี่ยนไป และจะได้นำไปใช้ในการทดสอบการลดปริมาณก๊าซพิษ เช่น ก๊าซไฮโดรคาร์บอน ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ และสลายกลิ่นในอากาศจากกระบวนการอบและเคลือบปกหนัง

## 2. วิธีการผลิตก๊าซโอโซน ($O_3$) ในชุดเซลล์โคโรนา

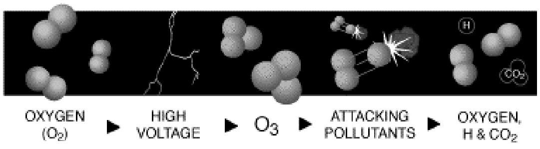
ชุดเซลล์โคโรนาจะเป็นการทำให้อากาศบริเวณรอบๆ เส้นลวดทองแดงเกิดการแตกตัวเป็นประจุโดยการป้อนไฟฟ้ากระแสตรงแรงสูงให้กับเส้นลวดทองแดง ซึ่งจะทำให้เกิดสนามไฟฟ้าความเข้มสูงบริเวณผิวเส้นลวด และเมื่ออากาศผ่านเข้าไปจะทำให้อากาศเกิดการแตกตัวทำให้เกิดเป็นก๊าซโอโซน (ซึ่งก๊าซโอโซนี้ก็คือก๊าซออกซิเจนในสถานะ 3 อะตอม $O_3$ เกิดจากการใช้แรงดันไฟฟ้าแรงสูง ทำการเขย่าโมเลกุลของออกซิเจนด้วยวิธีโคโรนาดิสชาร์จในสถานะ 2 อะตอม $O_2$ ให้แตกตัวและรวมตัวเป็นโมเลกุลออกซิเจน 3 อะตอม $O_3$ จะได้ก๊าซโอโซน)

ก๊าซโอโซนผลิตขึ้นมาได้ ด้วยวิธีการดังต่อไปนี้

1. วัสดุหรือวัตถุดิบที่ใช้ผลิตก๊าซโอโซนมี 2 อย่าง คือ
   1.1 ใช้อากาศแห้งที่มีอยู่ทั่วไป
   1.2 ใช้ออกซิเจนบริสุทธิ์
2. เครื่องผลิตก๊าซโอโซน สามารถแยกตามหลักการได้ดังนี้

2.1 ใช้หลักการทางไฟฟ้า ที่เราเรียกว่า โคโรนาดิสชาร์จ (Corona Discharge) ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ลักษณะตามความถี่ คือ ชนิดความถี่ต่ำและชนิดความถี่สูง สำหรับสภาพอากาศที่ร้อน และชื้นชนิดความถี่สูงจะเหมาะกว่า เพราะสามารถผลิตก๊าซโอโซนได้ความเข้มข้น (Concentration) ได้สูงกว่า

2.2 ใช้หลอดยูวี (Ultra Violet : UV) ชนิดนี้จะผลิตก๊าซโอโซนความเข้มข้นต่ำ จะใช้ได้ในการบำบัดอากาศ สำหรับการบำบัดน้ำจะไม่ค่อยเหมาะ เพราะการละลายต่ำมากจึงไม่ค่อยได้ผล




รูปที่ 1 การแตกตัวของออกซิเจน พร้อมทั้งการทำลายมลภาวะ [1]

## 3. การออกแบบและการสร้าง

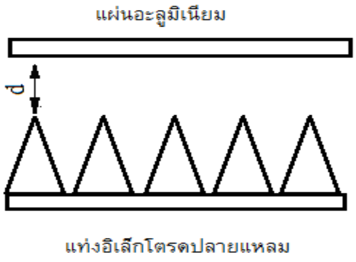
### 3.1 ชุดเซลล์โคโรนา

ชุดเซลล์โคโรนาประกอบไปด้วยอิเล็กโตรดปลายแหลมวางห่างจากแผ่นอะลูมิเนียม ซึ่งมีแรงดันไฟฟ้าตรงกันข้าม หากพิจารณาความเครียดสนามไฟฟ้าของชุดเซลล์โคโรนา จะเป็นไปตามสมการที่ (1)

$$E = \frac{V}{d \times \eta^*} \qquad (1)$$

เมื่อ
$E$ = ความเข้มสนามไฟฟ้า
$V$ = แรงดันไฟฟ้า
$d$ = ระยะห่างระหว่างแผ่นอะลูมิเนียมกับแท่งอิเล็กโตรดปลายแหลม
$\eta^*$ = แฟคเตอร์สนามไฟฟ้า

เพราะฉะนั้นชุดเซลล์อิเล็กโตรดเลือกใช้อิเล็กโตรดปลายแหลม โดยวางห่างจากแผ่นอะลูมิเนียม (d) เท่ากับ 1 เซนติเมตร



รูปที่ 2 ชุดเซลล์โคโรนา

### การคำนวณหาแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงแรงสูง

ชุดเซลล์ผลิตก๊าซโอโซน มีระยะห่างระหว่างชุดอิเล็กโตรดปลายแหลมกับแผ่นอะลูมิเนียม (d) เท่ากับ 1 เซนติเมตร และ $\eta^*$ เท่ากับ 0.2 ดังนั้นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงแรงสูง เท่ากับ

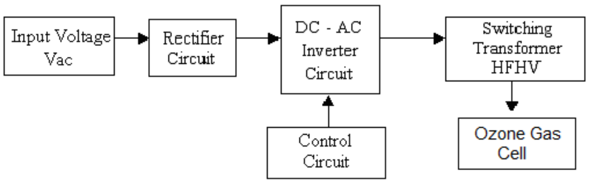
$$V = E \times d \times \eta^*$$

เพราะฉะนั้น ที่สนามไฟฟ้า $E_i$ = 16.27 kV/cm จะได้ V = 3.254 kV
เพราะฉะนั้น ที่สนามไฟฟ้า E = 19.129 kV/cm จะได้ V = 3.825 kV

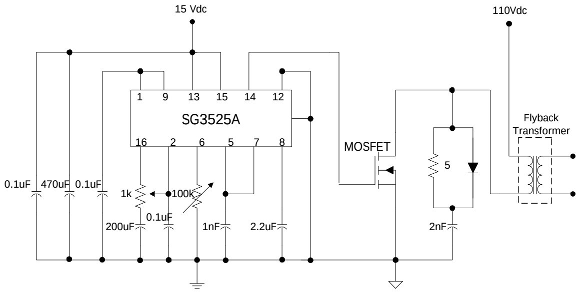
ดังนั้นย่านแรงดันไฟฟ้าที่ทำให้เริ่มเกิดการโคโรนา คือ 3.254 kV ถึง 3.825 kV ที่ย่านสนามไฟฟ้า 16.27 kV/cm ถึง 19.129 kV/cm

### 3.2 การออกแบบแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงแรงสูง

งานวิจัยนี้ได้ออกแบบสร้างแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าแรงดันสูงแบบสวิตชิ่ง ได้นำไอซีเบอร์ SG3525 นำมาใช้ในวงจรควบคุมการทำงานของเพาเวอร์มอสเฟต โดยที่คาบเวลาการทำงานของเอาต์พุตพัลส์สามารถกำหนดได้ และได้นำวงจรฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ และใช้หม้อแปลงสวิตชิ่งมาเป็นตัวเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้า ซึ่งใช้ความถี่สวิตชิ่ง 15 kHz คงที่ ดังรูปที่ 3 และรูปที่ 4




รูปที่ 3 บล็อกไดอะแกรมโครงสร้างแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงแรงสูง

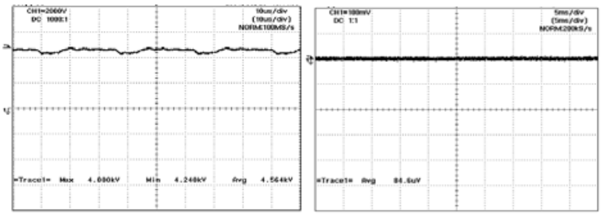



รูปที่ 4 วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูง แบบฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์

รูปที่ 5 แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงแรงสูงที่ออกแบบและสร้างขึ้น

## 4. การทดสอบและวิเคราะห์

### 4.1 การทดสอบวัดสัญญาณ ($V_{OUT}$) แรงดันไฟฟ้ ากระแสตรงแรงสูงของหม้อแปลงสวิตชิ่ง และสัญญาณแรงดันไฟฟ้าของหม้อแปลงสวิตชิ่งที่ได้จากการใช้ Probe x 1 วัดคร่อมความต้านทาน 0.1 $\Omega$ ของเซลล์โคโรนา ดังรูปที่ 6



(ก) (ข)

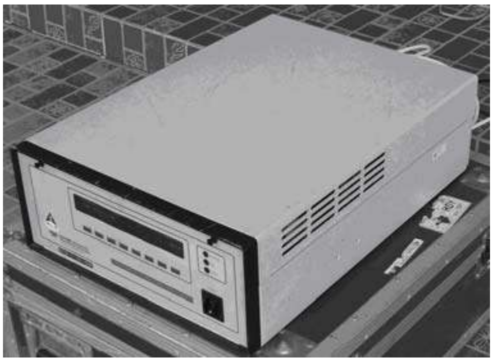
รูปที่ 6 (ก) สัญญาณ ($V_{OUT}$) แรงดันไฟฟ้ ากระแสตรงแรงสูงของหม้อแปลงสวิตชิ่ง (Probe x 1000) เท่ากับ 4.5 กิโลโวลต์ และ (ข) สัญญาณแรงดันไฟฟ้ าของหม้อแปลงสวิตชิ่งที่ได้จากการใช้ Probe x 1 วัดคร่อมความต้านทาน 0.1 โอห์ม ของเซลล์โคโรนา เท่ากับ 84.6 ไมโครโวลต์ (หมายเหตุ : แรงดันไฟฟ้าที่วัดคร่อมความต้านทาน 0.1 โอห์ม สามารถนำมาคำนวณกระแสไฟฟ้าเอาต์พุตของเซลล์โคโรนาได้ เท่ากับ I = V / R = $(84.6 \times 10^{-6}) / (0.1)$ = 846 ไมโครแอมแปร์)

ตารางที่ 1 การปรับแรงดันไฟฟ้าด้านเอาต์พุต ปริมาณก๊าซโอโซน และปริมาณก๊าซ VOCs จากการอบและเคลือบปกหนังสือ (ซึ่งปรับความถี่ 15 kHz ให้คงที่)

| การปรับแรงดันไฟฟ้าด้านเอาต์พุต (โวลต์) | ปริมาณก๊าซโอโซน (ppm) | วัดก๊าซ VOCs (ppm) |
|---|---|---|
| 1 | 1.9 | 125 |
| 2 | 2.7 | 39 |
| 3 | 4.3 | 17 |
| 4 | 6.2 | 5 |
| 5 | 8.5 | 1 |

### 4.2 เครื่องตรวจวัดปริมาณก๊าซโอโซน : $O_3$

การวิเคราะห์ปริมาณก๊าซโอโซน โดยใช้ PHOTOMETRIC $O_3$ ANALYZER – MODEL 400E ของบริษัท ALS LABORATORY GROUP (THAILAND) CO., LTD ดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 เครื่องตรวจวัดปริมาณก๊าซโอโซน

รูปที่ 8 การนำเครื่องสลายก๊าซพิษมาใช้งานจริง

## 5. สรุป

ในงานวิจัยนี้ได้ออกแบบและสร้างเครื่องสลายก๊าซพิษ จากกระบวนการอบและเคลือบปกหนังสือ โดยใช้หลักการโคโรนาดิสชาร์จแบบสนามไฟฟ้าความเครียดสูง ซึ่งในการทดสอบได้ทำการปรับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงแรงสูง (V) ตั้งแต่ 1 กิโลโวลต์ ถึง 5 กิโลโวลต์ เพื่อจ่ายให้กับเซลล์โคโรนา โดยผลการทดสอบตามตารางที่ 1 จะเห็นว่า

เมื่อแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงแรงสูงเพิ่มขึ้นจะทำให้ปริมาณก๊าซโอโซนเพิ่มขึ้น ปริมาณก๊าซพิษ VOCs จะลดลงด้วยตามลำดับ อันเนื่องมาจาก ที่ว่าเมื่อแรงดันไฟฟ้าแรงสูงเพิ่มจะส่งผลให้ความเครียดสนามไฟฟ้าสูงขึ้นจะทำให้เกิดการแตกตัวของโมเลกุลของออกซิเจนเพิ่มขึ้น จึงส่งผลให้ปริมาณก๊าซโอโซนเพิ่มขึ้น และก๊าซโอโซนนี้จะไปสลายก๊าซพิษให้ลดลงด้วย ดังนั้นในอนาคตทางผู้วิจัยจะพัฒนาระบบผลิตก๊าซโอโซนให้ไปประยุกต์ให้เกิดประโยชน์ในระบบอุตสาหกรรมการผลิตอาหาร และพัฒนาให้เป็นสินค้าในเชิงพานิชย์ต่อไป

## 6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณทุนวิจัยของท่านอาจารย์สุนทร เกตุแก้ว และท่านอาจารย์ภิรมณ์ เกตุแก้ว โดยที่คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง สนับสนุนการนำเสนอในครั้งนี้

## เอกสารอ้างอิง

[1] S. Ketkaew, 2012, "Plasma Ozonizer Using Micro-Converter for Ammonia ($NH_3$) Decreasing in Shrimp Food Production", Procedia Engineering 32 (2012), 148-154.

[2] Siseerot Ketkaew, July 2007, "The Case Study of 5 kHz –25 kHz High Frequency Adjustment in Converter Circuit of Generate Ozone Gas", AU Journal of Technology, Published by Assumption University (ABAC) Hua Mak, Bangkok, Thailand, Volume 11 Number 1, pp.42-47.

[3] Siseerot Ketkaew, October 20-22, 2010, Title : Electric air filter for dust trap and disease killing by applied electrostatic technique : TSB 2010 International Conference on Biotechnology for Healthy Living The 22nd Annual Meeting of the Thai Society for Biotechnology, Prince of Songkla University, Trang Campus, Thailand.

[4] Siseerot Ketkaew, January 13-14, 2011, "The Design of Small Ozonator For Hydrogen Sulfide (H2S) Smell Mitigation in Chicken Food Production Ramkhamhaeng University, International Research Conference 2010 (RUIRC 2010), pp.137-145.

[5] ศิศีโรตม์ เกตุแก้ว,"เครื่องผลิตก๊าซโอโซน โดยใช้รังสีโคโรนาสำหรับบำบัดกลิ่นเหม็นอับ", การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 4 ประจำปี 2555, 3 เมษายน ถึง 4 เมษายน 2555, หน้า 617-620.

[6] ศิศีโรตม์ เกตุแก้ว, "การออกแบบแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงแรงสูงขนาดเล็ก", การประชุมวิชาการ การพัฒนาชนบทที่ยั่งยืน ประจำปี 2555, ชุมชนท้องถิ่น ฐานรากการพัฒนาประชาคมเศรษฐกิจอาเซียน สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา ร่วมกับมหาวิทยาลัยขอนแก่น, 16-19 กุมภาพันธ์ 2555, หน้า 961-966.

**ศิศีโรตม์ เกตุแก้ว** จบการศึกษาระดับ (วศ.บ.), (วศ.ม.) และ Ph.D. สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ปัจจุบันดำรงตำแหน่งผู้ช่วยศาสตราจารย์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ และกรรมการสภาคณาจารย์ และกรรมการส่งเสริมการวิจัย สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยรามคำแหง สาขางานวิจัยที่สนใจด้านการประยุกต์ใช้วิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูงด้านสิ่งแวดล้อม

# ระบบตรวจสอบและจัดการพื้นที่ว่างในลานจอดรถ

# Parking Space Detection and Management System

**ณัฐกานต์ พุทธรักษ์, จีรสุดา โกษียาภรณ์, ธันวา สุวรรณรัตน์, และ บุณณ์ณฤตกรณ์ ภู่วิจิตรสุทิน**
คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
เลขที่ 1 ซอยฉลองกรุง 1 แขวงลาดกระบัง เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520 โทรศัพท์: 02-329-8324
E-mails: nattakan.pu@kmitl.ac.th, jeerasuda.ko@kmitl.ac.th, thanwa.swr@gmail.com, and boonnaritkornp@gmail.com

## บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการออกแบบและสร้างระบบตรวจสอบและจัดการพื้นที่ว่างในลานจอดรถ เพื่อหวังว่าจะสามารถอำนวยความสะดวกแก่ผู้ใช้รถยนต์ที่ต้องการบริหารเวลาในการหาที่จอดรถล่วงหน้า ระบบจะสามารถตรวจจับสถานะของช่องจอดรถที่ทำการติดตั้งอุปกรณ์เซนเซอร์อัลตราโซนิคไว้ผ่านการประมวลผลด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์และส่งข้อมูลไปจัดเก็บบนฐานข้อมูล อุปกรณ์ในระบบต้นแบบจะประกอบด้วยเซนเซอร์ตรวจจับสถานะช่องจอดรถทั้งหมด 4 ตัว ซึ่งข้อมูลนี้จะถูกประมวลผลด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์และส่งผ่านโมดูลซิกบีไปยังเซิร์ฟเวอร์เพื่อจัดเก็บข้อมูลในฐานข้อมูล เพื่อให้สามารถนำไปวิเคราะห์และแสดงผลบนแอพพลิเคชันบนโทรศัพท์เคลื่อนที่ระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ได้

## Abstract

This research proposes a design and custom-made parking space detection and management system. We hope this system can accommodate users to manage the time for finding parking space beforehand. The system will detect parking space status by using ultrasonic sensors, and then data from sensors will be processed by microcontroller. After that data will be transmitted wirelessly to server. The prototype system consists of four sensors used to detect their parking status. These data will be processed by microcontroller and then wirelessly sent to be stored in database via zigbee module. All data will be analyzed and displayed via an application on Android phones.

## 1. บทนำ

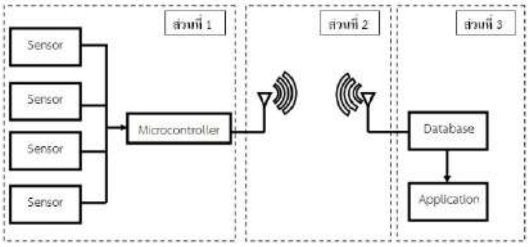
ในปัจจุบันผู้คนมีการใช้งานรถยนต์ส่วนบุคคลเป็นจำนวนมากทำให้ความเพียงพอในการใช้งานลานจอดรถลดลง เช่น ลานจอดรถตามห้างสรรพสินค้าหรือสถานศึกษาต่างๆ เป็นต้น เมื่อผู้ใช้รถยนต์ต้องการที่จะใช้งานลานจอดรถในวันที่มีรถยนต์จอดกันอยู่จำนวนมาก ผู้ใช้จะต้องใช้เวลาในการหาที่จอดรถยนต์ให้ได้ซึ่งในบางครั้งอาจเสียเวลาและเมื่อผู้ใช้ต้องการจอดรถยนต์แต่เมื่อเข้าไปในลานจอดรถกลับไม่มีที่ว่างเลยทำให้เกิดการสิ้นเปลืองทั้งเวลา พลังงานน้ำมันและยังสร้างมลพิษให้เกิดขึ้นอีกด้วย คณะผู้จัดทำเล็งเห็นปัญหานี้และได้จัดทำระบบตรวจสอบและจัดการพื้นที่ว่างในลานจอดรถเพื่อพัฒนาให้ผู้ใช้สามารถตรวจสอบพื้นที่ภายในลานจอดรถล่วงหน้าว่ามีที่ว่างสำหรับตนเองหรือไม่ ซึ่งจะช่วยให้ผู้ใช้สามารถประหยัดเวลาในการค้นหาที่จอดรถได้ โดยผู้ใช้งานสามารถตรวจสอบพื้นที่ว่างภายในลานจอดรถผ่านแอพพลิเคชันบนโทรศัพท์เคลื่อนที่ระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ได้โดยไม่ต้องเข้าไปในลานจอดรถให้เสียเวลา นอกจากนั้น หากลานจอดรถที่ต้องการมีรถยนต์จอดเต็มแล้ว แอพพลิเคชันยังสามารถแนะนำและนำทางผู้ใช้ไปยังที่จอดรถแห่งใหม่ที่สำรองไว้ได้อีกด้วย

## 2. ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยนี้ใช้โมดูลอัลตราโซนิค JSN-SR04T ซึ่งจะทำงานเมื่อมีการป้อนสัญญาณพัลส์กระตุ้นการทำงานที่มีความกว้าง 10 μs และรับไฟเลี้ยงที่ +5V โดยในการวัดระดับอัลตราโซนิคจะทำการส่งคลื่นความถี่ 40 kHz ออกมา เมื่อคลื่นที่ถูกส่งออกมาเดินทางไปถึงวัตถุจะมีการสะท้อนกลับมาเข้าตัวรับและเข้าสู่ขา Echo หลักการทำงานของโมดูลอัลตราโซนิคจะต้องใช้งาน 4 พอร์ตคือ Vcc, Trig, Echo และ GND โดยในพอร์ต Vcc ต้องป้อนแรงดัน +5V จากไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อเป็นไฟเลี้ยง โดยพอร์ต Trig ต้องทำการป้อนสัญญาณพัลส์ TTL ขนาด 1 ms เป็นสัญญาณอินพุตเพื่อกระตุ้นการทำงานของอัลตราโซนิคเซนเซอร์ ต่อมาที่พอร์ต Echo จะส่งสัญญาณพัลส์เอาต์พุตโดยพัลส์ที่ส่งออกมาจะแสดงถึงช่วงเวลาการเดินทางของคลื่นอัลตราโซนิคขาไปและขากลับ ส่วนหลักการเขียนแอพพลิเคชันบนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ [1][2] นั้นเป็นระบบปฏิบัติการที่มีพื้นฐานอยู่บนลินุกซ์ ถูกออกแบบมาสำหรับอุปกรณ์ที่ใช้จอสัมผัส เช่น สมาร์ทโฟนหรือแท็บเล็ตคอมพิวเตอร์ ซึ่งได้รับการคิดค้นและพัฒนาโดยบริษัทแอนดรอยด์

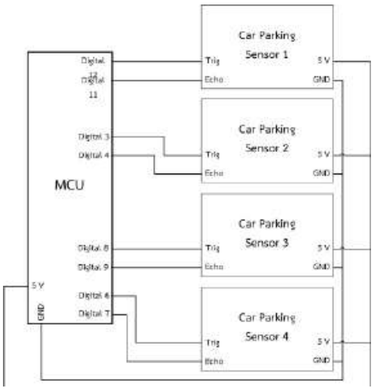
## 3. การออกแบบระบบ

การทำงานของระบบจะเริ่มจากการติดตั้งเซนเซอร์ตรวจสอบสถานะการจอดรถไว้ตามตำแหน่งที่ต้องการ โดยระบบจะแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ดังรูปที่ 1 โดยส่วนที่ 1 คือ ส่วนของเซนเซอร์ที่ใช้ในการตรวจสอบสถานะของช่องจอดรถแต่ละจุด ส่วนที่ 2 คือภาคส่งและรับข้อมูลด้วยโมดูลไร้สายซิกบี และส่วนที่ 3 คือส่วนของการจัดเก็บข้อมูลในฐานข้อมูลรวมถึงการนำข้อมูลไปแสดงผ่านแอพพลิเคชันบนโทรศัพท์เคลื่อนที่ระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์




**รูปที่ 1** บล็อกไดอะแกรมของระบบ

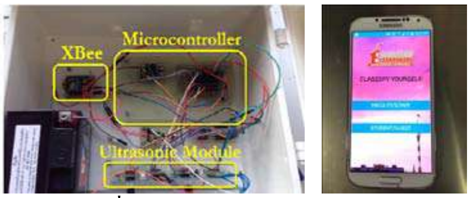
โมดูลอัลตราโซนิคจะตรวจสอบสถานะของช่องจอดรถโดยมีไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุมการทำงานของเซนเซอร์และคำนวณระยะห่างระหว่างตัวเซนเซอร์ถึงใต้ท้องรถ โดยกำหนดให้ที่ระยะต่ำกว่า 40 ซม. ไมโครคอนโทรลเลอร์จะประมวลผลและส่งลอจิก 1 ไปยังฐานข้อมูล หมายถึง ช่องจอดรถช่องนั้นไม่ว่าง และที่ระยะมากกว่า 40 ซม.ไมโครคอนโทรลเลอร์จะประมวลผลและส่งลอจิก 0 ไปยังฐานข้อมูล หมายถึง ช่องจอดรถช่องนั้นว่าง โดยมีการออกแบบวงจรดังรูปที่ 2




**รูปที่ 2** แผนผังการเชื่อมต่อระหว่างเซนเซอร์กับไมโครคอนโทรลเลอร์

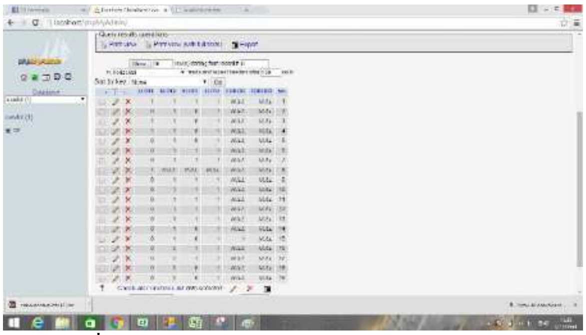
## 4. ผลการทำงานของระบบ

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบประกอบด้วย โมดูลอัลตราโซนิค ไมโครคอนโทรลเลอร์, โมดูลส่งสัญญาณแบบไร้สายซิกบีและโทรศัพท์เคลื่อนที่ระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ แสดงดังรูปที่ 3




**รูปที่ 3** อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

ผลการทดสอบแสดงในแอพพลิเคชันบนโทรศัพท์เคลื่อนที่ระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ซึ่งรับข้อมูลสถานะของช่องจอดรถยนต์จากฐานข้อมูล ดังรูปที่ 4 ซึ่งแอพพลิเคชันจะแสดงสถานะช่องจอดรถจากเซนเซอร์ทั้งหมด 4 ตัว ผลลัพธ์ที่แสดงบนหน้าแอพพลิเคชันจะแสดงในมุมมองจากด้านบน สถานะของช่องจอดรถถูกแบ่งออกเป็น 2 กรณีได้แก่ ที่จอดรถว่างและที่จอดรถเต็ม ดังแสดงในรูปที่ 5 และรูปที่ 6 ตามลำดับ

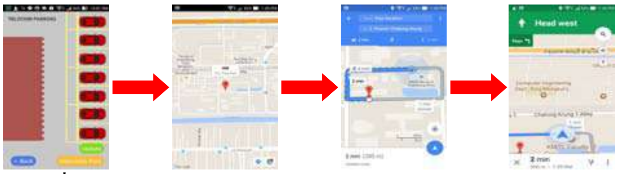


**รูปที่ 4** ข้อมูลสถานะของช่องจอดรถในฐานข้อมูล

**รูปที่ 5** ที่จอดรถว่าง

**รูปที่ 6** ที่จอดรถเต็ม

หากที่จอดรถทั้งหมดเต็ม แอพพลิเคชันจะสามารถแนะนำที่จอดแห่งใหม่ให้กับผู้ใช้งานได้ และสามารถนำทางไปยังที่จอดได้โดยเชื่อมต่อกับแอพพลิเคชัน Google Maps โดยอัตโนมัติดังแสดงในรูปที่ 7



**รูปที่ 7** แอพพลิเคชันแนะนำและนำทางผู้ใช้ไปยังที่จอดรถแห่งใหม่

## 5. สรุป

งานวิจัยนี้ประสบความสำเร็จในการสร้างอุปกรณ์เซนเซอร์ตรวจสถานะช่องจอดรถโดยใช้โมดูลอัลตราโซนิคและสร้างแพ็คเกจที่เป็นโลหะเพื่อป้องกันความเสียหายในกรณีที่เกิดอุบัติเหตุ ระบบต้นแบบได้ใช้เซนเซอร์อัลตราโซนิคตรวจสถานะการจอดรถทั้งหมด 4 ตัว ทำการส่งข้อมูลเหล่านี้ไปเก็บในฐานข้อมูลบนเซิร์ฟเวอร์ผ่านโมดูลไร้สายซิกบีและนำข้อมูลนี้ไปแสดงผลผ่านแอพพลิเคชันบนโทรศัพท์เคลื่อนที่ระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ และยังสามารถออกแบบให้แอพพลิเคชันแนะนำเส้นทางให้ผู้ใช้งานสามารถนำรถไปจอดในที่จอดรถแห่งใหม่ได้ในกรณีที่ที่จอดรถนั้นเต็ม

## เอกสารอ้างอิง

[1] ธันยพัฒน์ วงศ์รัตน์, "ภาษาพีเอชพี," คู่มือพัฒนาเว็บแอ็พพลิเคชันด้วย PHP & AJAX+jQuery, vol. 1, ตุลาคม 2013, หน้า 200-270.

[2] ศุภชัย สมพานิช, "การเขียนแอนดรอยด์แอพพลิเคชัน," Basic Android Programming, vol. 1, ธันวาคม 2012, หน้า 120-260.

# อุปกรณ์รดน้ำต้นไม้อัตโนมัติโดยใช้เซ็นเซอร์วัดความชื้นในดิน

## Auto Watering Plants with Soil Moisture Sensor

**ชีวัน บุญธรรม[1] มัลลิกา พุ่มพวง[2] และเสฏฐวิทย์ เกิดผล[3]**
ภาควิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
[1]50 ถนนงามวงศ์วาน เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10930 โทรศัพท์ 02-562-5444 ต่อ 4330-4332
E-mail: b.sheewan@gmail.com, plaman_@hotmail.com, sethavidh.g@ku.ac.th

## บทคัดย่อ

อุปกรณ์รดน้ำต้นไม้อัตโนมัติโดยใช้เซ็นเซอร์วัดความชื้นในดิน พัฒนาขึ้นเพื่อช่วยในการรดน้ำต้นไม้ สำหรับผู้ที่ต้องการปลูกต้นไม้แต่ไม่มีเวลารดน้ำต้นไม้ อีกทั้งยังช่วยวัดค่าความชื้นในดินที่บ่งบอกถึงความต้องการน้ำของพืช ซึ่งค่าความชื้นที่วัดได้จากการใช้ soil moisture sensor และการรดน้ำต้นไม้ทำได้อย่างอัตโนมัติ โดยการใช้ servo motor ในการช่วยดูดและดันน้ำ ผ่านการประมวลผลจาก arduino uno board ทำให้ผู้ใช้งานที่รักการปลูกต้นไม้มีความสะดวกและประหยัดเวลาในการดูแลรักษาต้นไม้ที่รักได้

คำสำคัญ: รดน้ำต้นไม้, soil moisture sensor, servo motor, arduino

## Abstract

Auto watering plants with soil moisture sensor project were developed for helping a person who wants to grow plant but has no time to take care of them. The device observes soil moisture value which notifies the water needs of crops. The soil moisture value is measure by the soil moisture sensor. The watering system uses servo motor controlled by an Arduino uno board to drain and pump water. Using this device, watering crop is automatic, convenient, and demands less time from the user.

Key word: watering crop, soil moisture sensor, servo motor, arduino

## 1. บทนำ

ปัจจุบันมนุษย์ให้ความสนใจสิ่งประดิษฐ์ทางด้านสุขภาพและสิ่งแวดล้อมกันมากขึ้น คนบางกลุ่มรักการปลูกต้นไม้ แต่ไม่มีเวลาดูแลต้นไม้ให้เจริญเติบโตให้ได้ตามที่คาดหวังไว้ เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพในการเลี้ยงดูต้นไม้ ผู้วิจัยจึงสร้างอุปกรณ์สำหรับช่วยรดน้ำต้นไม้อัตโนมัติ และสามารถวัดค่าความต้องการน้ำของพืชได้ อุปกรณ์ชิ้นนี้ช่วยให้ประหยัดเวลาในการรดน้ำต้นไม้ เพียงเติมน้ำใส่ภาชนะที่ต่อเข้ากับอุปกรณ์ที่เตรียมไว้ และระบบจะรดน้ำต้นไม้เองอย่างอัตโนมัติ เมื่อต้นไม้ต้องการน้ำ และหยุดรดน้ำเมื่อต้นไม้ต้องการน้ำเพียงพอ

## 2. การทดลอง

อุปกรณ์รดน้ำต้นไม้อัตโนมัติ แบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนรดน้ำต้นไม้ และส่วนประมวลผลรับค่าความชื้นในดินของต้นไม้

### 2.1 ส่วนรดน้ำต้นไม้

อุปกรณ์ที่ใช้ ได้แก่ PU tube ขนาด 6 มม. ยาว 2 เมตร ข้อต่อ 3 ทาง 2 ชิ้น สปริง 2 ชิ้น กระบอกฉีดยา 1 อัน ลวดขนาด 1 มม. ยาว 10 ซม. Servo motor สำหรับกระแสตรง แรงดันไฟ 9v ถ่าน 9v 1 ก้อน และลูกทรงกลมขนาดเล็ก 2 อัน โดยมีการจัดวางดังภาพที่ 1ก

### 2.2 ส่วนประมวลผลรับค่าความชื้นในดินของต้นไม้

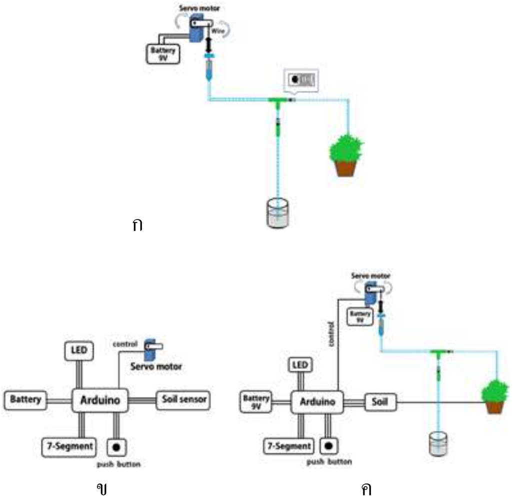
อุปกรณ์ที่ใช้ ได้แก่ arduino uno board สายไฟขนาด 1 มม. ยาว 20 ซม. 10 เส้น soil moisture sensor หลอดไฟ led สำหรับแสดงสถานะการรดน้ำต้นไม้ จอ 7-segment สำหรับแสดงค่าความชื้นของดิน bread board สำหรับเชื่อมต่อระหว่าง arduino uno board กับ servo motor ปุ่มกดสำหรับกดรดน้ำต้นไม้ทันที และถ่าน 9v 1 ก้อน โดยมีการจัดวางดังภาพที่ 1ข และอุปกรณ์ในภาพรวมแสดงดังภาพที่ 1ค

## 3. ขั้นตอนการทำงาน

ขั้นตอนการทำงานของอุปกรณ์แบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนประมวลผลรับค่าความชื้นในดินของต้นไม้ และส่วนการรดน้ำต้นไม้

### 3.1 ขั้นตอนการประมวลผลรับค่าความชื้นในดินของต้นไม้

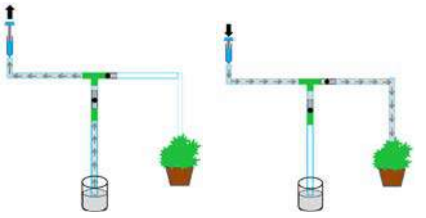
Arduino uno board จะอ่านค่าความชื้นในดินจาก soil moisture sensor เมื่อค่าที่อ่านได้สูงกว่า threshold ค่าความชื้นที่ควรรดน้ำ arduino จะสั่งให้ servo motor หมุนรดน้ำต้นไม้ และไฟรดน้ำต้นไม้จะติดขึ้น ในการหมุนแต่ละรอบจะมี delay เพื่อรออ่านค่าจาก soil moisture sensor และเมื่อ soil moisture sensor อ่านได้ค่าความชื้นต่ำลงจนน้อยกว่า threshold ค่าความชื้นที่ต้นไม้ควรได้รับ arduino จะสั่งให้ servo motor หยุดหมุน เพื่อหยุดรดน้ำต้นไม้ และไฟรดน้ำต้นไม้จะดับลง




ภาพที่ 1 ก ส่วนประกอบของส่วนรดน้ำต้นไม้
ข ส่วนประกอบของส่วนประมวลผลรับค่าความชื้นในดิน
ค ส่วนประกอบทั้งหมดของอุปกรณ์

### 3.2 ขั้นตอนการรดน้ำต้นไม้

การรดน้ำต้นไม้ servo motor จะทำงานโดยหมุนทวนเข็มนาฬิกา และหมุนตามเข็มนาฬิกาสลับกันครั้งละ 180 องศา ในการหมุนทวนเข็มนาฬิกา servo motor จะดึงกระบอกฉีดยาเพื่อดูดน้ำขึ้น และเมื่อ servo motor หมุนตามเข็มนาฬิกาจะดันน้ำออกไปยังต้นไม้ ซึ่งการดูดและดึงน้ำของกระบอกฉีดยาสามารถช่วยให้น้ำไม่ไหลกลับได้โดยอาศัยลูกทรงกลมขนาดเล็ก 2 ลูก ลูกที่ 1 ใส่ติดกับสปริงและข้อต่อที่ดูดน้ำ และลูกที่ 2 ใส่ติดกับสปริงและข้อต่อฝั่งปล่อยน้ำรดต้นไม้ หลักการทำงานเมื่อดูดน้ำลูกบอลลูกที่ 1 จะถูกดันไปติดสปริงเพื่อเปิดทางให้ดูดน้ำขึ้นได้ และลูกที่ 2 จะดันติดข้อต่อเพื่อปิดทางน้ำออก ดังรูปที่ 2ก และเมื่อดันกระบอกฉีดยาปล่อยน้ำ ลูกบอลลูกที่ 1 จะถูกดันให้ติดกับข้อต่อปิดทางไม่ให้น้ำไหลกลับ และลูกที่ 2 จะดันไปทางปริงให้น้ำไหลออกได้ นอกจากนี้อุปกรณ์ยังสามารถกดปุ่มเพื่อรดน้ำได้ทันทีอีกด้วย



ก ข

ภาพที่ 2 ก หลักการดูดน้ำ ข หลักการรดน้ำ

## 4. ผลการทดลอง

จากการทดลอง เมื่อ soil moisture sensor วัดค่าความชื้นในดินได้ 250 ซึ่งสูงกว่า threshold ค่าความชื้นที่จะรดน้ำ อุปกรณ์ arduino ได้สั่งให้ servo motor หมุนรดน้ำต้นไม้ จนกระทั่งค่าความชื้นในดินที่วัดได้มีค่าต่ำกว่า 200 ซึ่งน้อยกว่า threshold ค่าความชื้นที่ต้นไม้ควรได้รับ อุปกรณ์จึงหยุดการรดน้ำต้นไม้

## 5. สรุปผลการทดลอง

อุปกรณ์รดน้ำต้นไม้อัตโนมัติ สามารถช่วยรดน้ำต้นไม้ได้ เมื่อต้นไม้ต้องการน้ำ มีประโยชน์สำหรับผู้ที่ต้องการปลูกต้นไม้ ทำให้ผู้ใช้งานสะดวกในการใช้งาน และประหยัดเวลาในการรดน้ำต้นไม้ได้

## 6. แนวคิดในการพัฒนาต่อ

อุปกรณ์นี้สามารถพัฒนาต่อได้โดยการเลือกประเภทต้นไม้ได้ และมีการเพิ่มให้กำหนด threshold ความชื้นที่จะรดน้ำต้นไม้ได้ เพื่อควบคุมการรดน้ำตามความชื้นในดินสำหรับต้นไม้ต่างชนิดกัน อีกทั้งยังสามารถเพิ่มอุปกรณ์เชื่อมต่อ wifi หรือ Bluetooth ที่จะติดต่อสั่งการรดน้ำต้นไม้ หรือแสดงค่าความชื้นผ่านมือถือได้

## เอกสารอ้างอิง

[1] Jeremy Blum, Exploring Arduino: Tools and Techniques for Engineering Wizardry, Wiley, 2013.

[2] Servo, Arduino Reference, retrieved from https://www.arduino.cc/en/Reference/Servo

[3] S. Lee, “Soil Moisture Sensor,” ITEAD Intelligent Systems Co.Ltd, Shenzhen, China, Tech., April 2013.

## ประวัติผู้เขียน

**นางสาวชีวัน บุญธรรม** สำเร็จการศึกษา วศ.บ. สาขาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี กำลังศึกษาหลักสูตรวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

**นางสาวมัลลิกา พุ่มพวง** สำเร็จการศึกษา วท.บ. สาขาเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี กำลังศึกษาหลักสูตรวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

**ดร.เสฎฐวิทย์ เกิดผล** สำเร็จการศึกษา วศ.บ. ไฟฟ้าสื่อสาร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย M.S., Electrical Engineering University of Southern California และ Ph.D., Computer Engineering University of Southern California ปัจจุบันเป็นอาจารย์ประจำภาควิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

# ระบบแจ้งเตือนการโจรกรรมและระบุตำแหน่งรถจักรยานยนต์

# Motorcycle Alarm and Tracking System

**ปราโมทย์ วาดเขียน, จีรสุดา โกษียาภรณ์, ธนัท เมษพันธุ์, และ ธนาศักดิ์ ชมจุรัย,**

ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เลขที่ 1 ซอยฉลองกรุง 1 ถนนฉลองกรุง แขวงลาดกระบัง เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520 โทรศัพท์ 02-329-8324

E-mail: promote@telecom.kmitl.ac.th, jeerasuda@telecom.kmitl.ac.th, nun029566455@hotmail.com, และ gengvocal@gmail.com,

## บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอการออกแบบระบบแจ้งเตือนเพื่อป้องกันการโจรกรรมและระบุตำแหน่งรถจักรยานยนต์โดยใช้เซ็นเซอร์วัดความเร่งและโมดูลจีพีเอส/จีพีอาร์เอส มาใช้งานร่วมกับไมโครคอนโทรลเลอร์ การเปิด/ปิดการทำงานของระบบนั้นสามารถควบคุมได้ด้วยรีโมตคอนโทรลเลอร์ เซ็นเซอร์วัดความเร่งจะทำการตรวจจับความเร่งที่เปลี่ยนแปลงไปของรถจักรยานยนต์จากสภาวะปกติ ซึ่งหากมีการตรวจจับค่าความเร่งที่บ่งชี้ว่ามีการเคลื่อนที่ของรถในสภาวะที่ไม่ปกติ ระบบจะทำการแจ้งเตือนด้วยเสียงแตรและการกระพริบของไฟเลี้ยวซึ่งเป็นการป้องกันในเบื้องต้น โมดูลจีพีอาร์เอสที่ติดตั้งไว้จะทำการส่งสัญญาณโทรออกไปยังโทรศัพท์ของเจ้าของรถ นอกจากนี้ยังส่งตำแหน่งที่อยู่ของรถที่ระบุค่าพิกัดจากโมดูลจีพีเอสผ่านทางระบบเครือข่ายอินเทอร์เน็ตไปยังเซิร์ฟเวอร์ซึ่งหากรถจักรยานยนต์ถูกโจรกรรมเจ้าของรถก็สามารถติดตามตำแหน่งปัจจุบันของรถได้ผ่านทางหน้าเว็บไซต์

คำสำคัญ: เซ็นเซอร์วัดความเร่ง, รีโมตคอนโทรลเลอร์, ระบบติดตามตำแหน่ง

## Abstract

This research proposes a system for robbery alarm and tracking motorcycle. The system is composed of remote controller, acceleration sensor, relay, GPS/GPRS module, microcontroller and server. The operation of the system can be controlled by a remote controller. The acceleration sensor is used to measure change of acceleration from normal position. If any suspicious acceleration is detected the horn will alarm and turn light is on for warning. The installed GPRS module will send calling signal to the owner's phone number and also the current position of the motorcycle detected by the GPS module to the server via internet network. In case that the event of robbery is occurred, the current location of the stolen motorcycle can be tracked by the owner via the website.

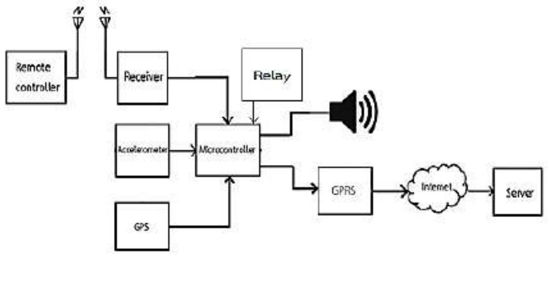
Keywords: acceleration sensor, remote controller, tracking system

## 1. บทนำ

ในปัจจุบันรถจักรยานยนต์เป็นพาหนะที่กำลังได้รับความนิยมในการใช้งานสูงมากขึ้น ทั้งนี้เพราะนอกจากความคล่องตัวเหมาะสมกับการใช้งานในสภาวะการจราจรที่ติดขัดแล้ว อีกเหตุผลหนึ่งคือความหลากหลายในรูปแบบของรถจักรยานยนต์ที่มีให้เลือกใช้ ซึ่งบางรุ่นแม้มีราคาสูงก็ได้รับความนิยมสูงมาก ปัญหาที่ตามมาก็คือทำให้การโจรกรรมรถจักรยานยนต์เพิ่มสูงขึ้นตามไปด้วย ทั้งนี้เพราะเวลาที่ใช้ในการโจรกรรมสั้นจึงทำให้เกิดเหตุโจรกรรมได้ง่ายและราคาที่นำไปจำหน่ายต่อก็ค่อนข้างสูง จากปัญหาดังกล่าว ทางผู้จัดทำจึงได้นำเสนอระบบแจ้งเตือนการโจรกรรมและระบุตำแหน่งรถจักรยานยนต์ขึ้นมาเพื่อเป็นการป้องกันการโจรกรรมในเบื้องต้นและยังสามารถติดตามตำแหน่งรถจักรยานยนต์ได้หากไม่สามารถหลีกเลี่ยงเหตุโจรกรรมได้

## 2. การออกแบบและหลักการทำงานของระบบ

ระบบแจ้งเตือนการโจรกรรมและระบุตำแหน่งรถจักรยานยนต์ที่นำเสนอ แสดงดังบล็อกไดอะแกรมในรูปที่ 1. ซึ่งสามารถอธิบายการทำงานได้ดังนี้ ในกรณีที่เกิดการเคลื่อนที่ที่ผิดปกติของรถจักรยานยนต์ (คอรถถูกหมุน, รถถูกยก) ค่าความเร่งของเซนเซอร์ความเร่งแบบ 3 แกนจะถูกประมวลผลด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ ในกรณีที่ตรวจจับการเคลื่อนที่ของรถที่ผิดปกติได้ ระบบจะสั่งการให้แตรรถและสัญญาณไฟเลี้ยวทำงา เพื่อแจ้งเตือนการโจรกรรม รีเลย์ซึ่งถูกใช้เป็นสวิตซ์จะทำการตัดการจ่ายไฟให้กับรถจักรยานยนต์ทันที ทำให้ไม่สามารถสตาร์ทรถจักรยานยนต์ได้




รูปที่ 1 บล็อกไดอะแกรมการทำงานของระบบแจ้งเตือนการโจรกรรมและระบุตำแหน่งรถจักรยานยนต์

นอกจากนี้โมดูลจีพีอาร์เอสที่ติดตั้งไว้จะทำการส่งสัญญาณเรียกออกไปยังหมายเลขโทรศัพท์ของเจ้าของรถและส่งข้อมูลพิกัดของรถจักรยานยนต์ที่ได้จากโมดูลจีพีเอสไปจัดเก็บไว้ในเซิร์ฟเวอร์ [2] ซึ่งเจ้าของรถจักรยานยนต์สามารถเข้าถึงข้อมูลดังกล่าวในฐานข้อมูลผ่านเว็บบราวเซอร์ โดยระบบที่นำเสนอนี้สามารถทำการควบคุมการเปิด/ปิดการทำงานของระบบผ่านรีโมตคอนโทรลเลอร์

## 3. ผลการทำงานของระบบ

การควบคุมการเปิด/ปิดการทำงานของระบบที่นำเสนอสามารถควบคุมผ่านรีโมตคอนโทรลเลอร์ สัญญาณบิตข้อมูลของรีโมตตัวส่งและตัวตัวรับเมื่อส่งคำสั่ง เปิด/ปิด ระบบ แสดงดังรูปที่ 2

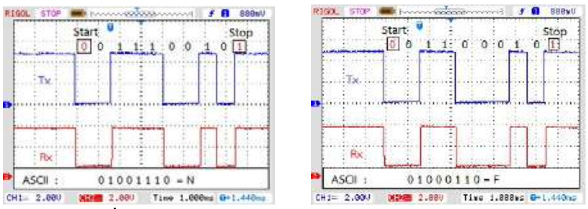
การวัดค่าสัญญาณจากโมดูลเซนเซอร์วัดความเร่ง 3 แกน แสดงดังรูปที่ 3 สัญญาณพัลส์ที่วัดได้จากขา SDA คือสัญญาณพัลส์ที่แสดงค่าความเร่งเชิงเส้น 3 แกน สัญญาณพัลส์จากขา SCL จะแสดงสัญญาณนาฬิกาของแต่ละไบต์ มีทั้งหมด 9 ไบต์ สัญญาณที่ขา SDA คือข้อมูลค่าความเร่งเชิงเส้น 3 แกน (แต่ละแกนใช้ 2 ไบต์) ซึ่งจะมีค่าความเร่งใน แกน X, Y, และ Z มีค่า 0.12g, -0.07g, และ 1.07g ตามลำดับ

ในกรณีที่เกิดการเคลื่อนที่ของรถที่ผิดปกติ (คอรถถูกหักหมุนและ/หรือ รถถูกยกขึ้น) เมื่อไมโครคอนโทรลเลอร์ประมวลผลค่าความเร่ง 3 แกนแล้วตรวจจับได้ว่าเกิดการโจรกรรมรถขึ้น จะทำการแจ้งเตือนด้วยเสียงแตรและการกระพริบของสัญญาณไฟเลี้ยวของรถจักรยานยนต์และรีเลย์จะตัดการจ่ายไฟให้กับรถจักรยานยนต์ทำให้รถไม่สามารถสตาร์ทได้ ผลการวัดสัญญาณขาเข้าและสัญญาณขาออกที่ขา NC ของรีเลย์ที่ต่อร่วมกับสวิตซ์กุญแจของรถ แสดงดังรูปที่ 4

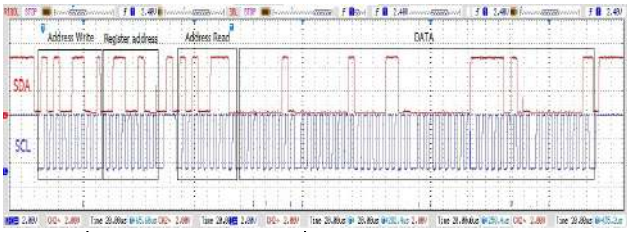
โมดูลจีพีเอสจะถูกใช้ในการบ่งชี้พิกัดปัจจุบันของรถจักรยานยนต์ซึ่งจะส่งค่าตำแหน่งไปยังเซิร์ฟเวอร์เพื่อแสดงบนหน้าเว็บไซต์ และโมดูลจีพีอาร์เอสจะส่งสัญญาณเรียกเข้าไปยังหมายเลขโทรศัพท์ของเจ้าของรถ ดังแสดงในรูปที่ 5

## 4. สรุป

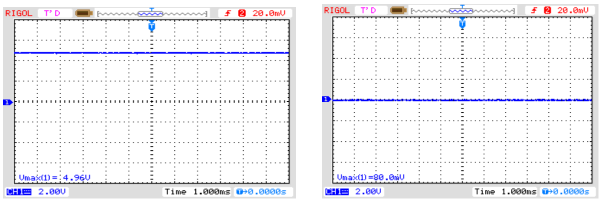
งานวิจัยนี้นำเสนอการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีเพื่อการออกแบบและสร้างระบบแจ้งเตือนการโจรกรรมและระบุตำแหน่งรถจักรยานยนต์ที่สามารถควบคุมการทำงานได้ด้วยรีโมตคอนโทรลเลอร์ โดยระบบดังกล่าวสามารถแจ้งเตือนด้วยเสียงแตรและการกระพริบของสัญญาณไฟเลี้ยวหากการเคลื่อนที่ที่ผิดปกติของรถถูกตรวจจับได้ซึ่งระบบจะทำการตัดการจ่ายไฟให้แก่รถจักรยานยนต์ จึงทำให้รถไม่สามารถสตาร์ตได้ การแจ้งเตือนด้วยสัญญาณโทรออกไปยังเลขหมายของเจ้าของรถและตำแหน่งปัจจุบันของรถที่ส่งไปยังฐานข้อมูล ทำให้เจ้าของรถทราบเหตุแห่งการโจรกรรมได้ทันท่วงทีและสามารถติดตามตำแหน่งของรถได้ผ่านทางเว็บบราวเซอร์อีกด้วย



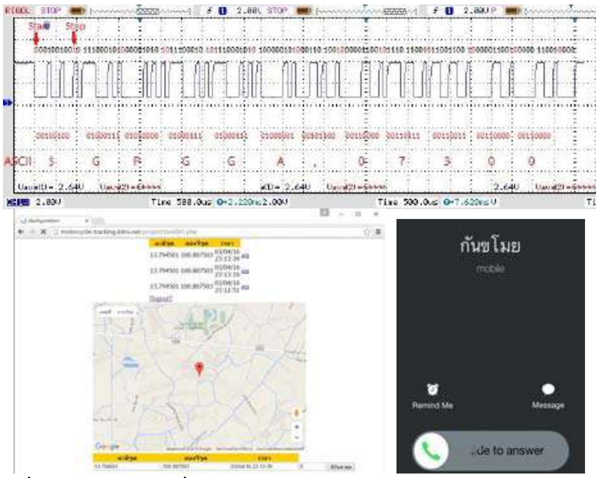

รูปที่ 2 สัญญาณบิตข้อมูลของรีโมตตัวส่งและตัวรับ เมื่อทำการส่งคำสั่ง เปิด (รูปซ้าย) และ ปิด (รูปขวา) ระบบ ตามลำดับ




รูปที่ 3 ตัวอย่างสัญญาณพัลส์ที่วัดได้จากขา SDA และขา SCL ของโมดูลเซนเซอร์วัดความเร่ง 3 แกน



รูปที่ 4 สัญญาณขาเข้า (ซ้าย) และสัญญาณขาออก (ขวา) ที่ขา NC ของรีเลย์ที่ต่อร่วมกับสวิตซ์กุญแจของรถจักรยานยนต์ (เมื่อเกิดเหตุโจรกรรม)




รูปที่ 5 สัญญาณจากเครื่องรับสัญญาณจีพีเอส, การแสดงตำแหน่งพิกัดบนหน้าเว็บไซต์ และ สัญญาณเรียกเข้าจากโมดูลจีพีอาร์เอสเพื่อแจ้งเตือน

## เอกสารอ้างอิง

[1] ประจิน พลังสันติกุล. (2558). **พื้นฐานภาษา C สำหรับ Arduino**. กรุงเทพมหานคร: บริษัท แอพซอฟต์เทค จำกัด.

[2] ธันยพัฒน์ วงศ์รัตน์. (2554) **เรียนลัดสร้างเว็บแอพพลิเคชันด้วย PHP & MySQL ฉบับ Workshop**. กรุงเทพมหานคร: บริษัท สวัสดี ไอที จำกัด.

# ระบบรู้จำและเก็บข้อมูลป้ายทะเบียนอัตโนมัติ
# Automatic license plates recognition and data accumulation

**สิปนนท์ มุทาวัน[1], อริสรา หนูวัฒนา[1] และพรชัย เปลี่ยมทรัพย์[2]**
**[1]สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และระบบคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร**
**6 ถนนราชมรรคาใน อำเภอเมือง จังหวัดนครปฐม 73000 โทรศัพท์ 034-219364-66 ต่อ 25517**
**[2]ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร**
**6 ถนนราชมรรคาใน อำเภอเมือง จังหวัดนครปฐม 73000 โทรศัพท์ 034-219364-66 ต่อ 25517 email: pliamsup_p@su.ac.th**

## บทคัดย่อ

ระบบตรวจจับและเก็บข้อมูลป้ายทะเบียนอัตโนมัติ เป็นระบบที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้อย่างหลากหลาย ในงานวิจัยนี้เราได้นำมาใช้ในกรณีที่มีรถยนต์สูญหาย โดยสามารถค้นหาข้อมูลการออกของรถยนต์ด้วยหมายเลขทะเบียน ซึ่งเราจะทำการเก็บข้อมูลแยกออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่ 1.วันที่และเวลาที่รถยนต์ออกจากลานจอดรถ รวมถึงหมายเลขป้ายทะเบียนที่อ่านได้จากการนำภาพป้ายทะเบียนที่ถ่ายได้ไปประมวลผลผ่านโปรแกรมไพทอน (Python) โดยใช้เทคนิคการประมวลผลภาพ และเทคนิค Optical Character Recognition (OCR) ซึ่งข้อมูลทั้งหมดจัดเก็บในรูปไฟล์ข้อความ 2.ภาพป้ายทะเบียนที่ถ่ายได้จากกล้องตัวที่ 1 จัดเก็บในรูปไฟล์รูปภาพ 3.ภาพคนขับ ที่ถ่ายได้จากกล้องตัวที่ 2 จัดเก็บในรูปของไฟล์วีดีโอ จากนั้นจะทำการเชื่อมข้อมูลทั้ง 3 ส่วนด้วยโปรแกรมวิชวลเบสิก (Visual Basic) โดยการใช้หมายเลขป้ายทะเบียน หรือวันที่ที่ต้องการค้นหาเป็นตัวเชื่อมข้อมูล

คำสำคัญ: ป้ายทะเบียน, การประมวลผลภาพ, Optical Character Recognition (OCR), Visual Basic

## Abstract

Automatic license plates recognition and data accumulation is the system provide a variety of benefits. According to this paper, this system was brought to be used in case of the loss of car. The method is to search the information regarding the accessing in-out of the car according to the registration car number which will be divided into 3 parts as following: 1. Date and Time when the car has driven out from the parking lots including the license car number that can be read from the Python program. This program has processed through the processing technique and Optical Character Recognition (OCR) technique in which all the information is stored in the text file format. 2. License plate image that was taken by the camera 1 which will be stored in the image file format. 3. The image of driver that was taken by the camera 2 which will be stored in the video file format. After that, the system will connect all the information from these 3 parts by using Visual Basic Program. This program requires the use of license plate number or the date that you would like to search for to be the linkage of the information.

Keywords: license plate, Image processing, Optical Character Recognition (OCR), Visual Basic

## 1. บทนำ

ในปัจจุบันเทคโนโลยีได้เข้ามามีบทบาทสำคัญกับชีวิตมนุษย์มากขึ้น มีการนำเทคโนโลยีไปใช้งานในทุกๆภาคส่วน เพื่ออำนวยความสะดวก และความรวดเร็วของงานต่างๆ โดยยังมีการพัฒนาเทคโนโลยีในด้านต่างๆอย่างต่อเนื่องเพื่อรองรับความต้องการของมนุษย์

จากเหตุอาชญากรรมที่เพิ่มขึ้นในปัจจุบัน ทำให้เทคโนโลยีในการรักษาความปลอดภัยมีการพัฒนาจนเป็นที่แพร่หลาย บางองค์กรมีการใช้ระบบกล้องวงจรปิดเพื่อรักษาความปลอดภัยในองค์กรของตนเอง ตลอดจนถึงภาคครัวเรือนที่เริ่มมีการใช้งานมากขึ้น ทั้งนี้รถยนต์ก็เป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้เกิดเหตุอาชญากรรมได้ง่าย โดยการโจรกรรมรถยนต์ถือเป็นเรื่องที่เกิดขึ้นตามสถานที่ต่างๆมากมาย รวมถึงในมหาวิทยาลัยที่มีผู้คนเข้าออกตลอดเวลา ไม่เพียงแต่นักศึกษา คณาจารย์ หรือบุคลากรในมหาวิทยาลัยเท่านั้น จึงทำให้เกิดเหตุการณ์โจรกรรมรถยนต์ได้ง่าย

มหาวิทยาลัยศิลปากร มีการนำเทคโนโลยีกล้องวงจรปิดมาใช้ในการบันทึกภาพรถเข้าออกในทุกๆประตูทางเข้า-ออกของมหาวิทยาลัย โดยเราได้นำเทคโนโลยีการค้นหาป้ายทะเบียนรถยนต์มาต่อยอด เพื่อใช้ในด้านการค้นหารถยนต์ที่สูญหายจากหมายเลขป้ายทะเบียนรถยนต์นั้นๆ พร้อมทั้งมีการเก็บข้อมูลทั้งภาพถ่ายของผู้ขับขี่, เวลาออก รวมถึงประตูทางออกที่กล้องบันทึกภาพได้ เพื่อช่วยในการค้นหาและติดตามรถยนต์ที่สูญหายได้สะดวกและรวดเร็วมากยิ่งขึ้น

## 2. ขั้นตอนการทำงานของระบบรู้จำและเก็บข้อมูลป้ายทะเบียนอัตโนมัติ

2.1 รถยนต์ขับผ่านเซนเซอร์ตัวที่ 1 กล้องตัวที่1 ถ่ายภาพป้ายทะเบียน จากนั้นนำภาพที่ได้ไปผ่านกระบวนการฮาร์แคสเคด ( Haar cascade) เพื่อหาตำแหน่งป้ายทะเบียนบนภาพ จากนั้นทำการตัดให้เหลือเพียงส่วนที่เป็นเลขทะเบียน กล้องตัวที่ 2 ทำการบันทึกภาพวีดีโอคนขับรถ จากนั้นทำการบันทึกไฟล์ภาพและไฟล์วีดีโอจากกล้องทั้ง 2 ตัวตามลำดับ

2.2 นำภาพป้ายทะเบียนที่ได้ทำอิมเมจโปรเซสซิง (Image processing) โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

2.2.1 ขั้นตอนการแปลงภาพสี (RGB Image) เป็นภาพเกรสเกล (Gray Scale Image) และแปลงภาพเกรสเกล (Gray Scale Image) เป็นภาพขาวดำ (Binary Image)

**รูปที่ 1 ตัวอย่างภาพเกรสเกล (Gray Scale Image)**

**รูปที่ 2 ตัวอย่างภาพขาวดำ (Binary Image)**

2.2.3 ทำการปรับปรุงคุณภาพของภาพโดยการกร่อน (Erosion) และการขยาย (Dilation) จากนั้นทำการกลับค่าสี

**รูปที่ 3 ตัวอย่างภาพที่ได้จากการกร่อน (Erosion)**

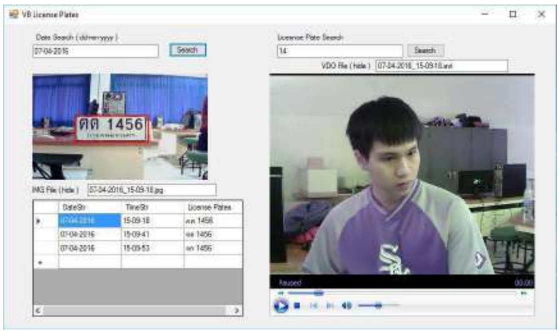
**รูปที่ 4 ตัวอย่างภาพที่ได้จากการขยาย (Dilation)**

**รูปที่ 5 ตัวอย่างภาพที่ได้จากการกลับค่าสี**

2.3 ทำการอ่านเลขป้ายทะเบียนด้วยวิธี Optical Character Recognition (OCR) ส่งค่าที่อ่านได้ พร้อมกับวันที่, เวลา, ชื่อไฟล์รูปภาพ และชื่อไฟล์วีดีโอ บันทึกลงในฐานข้อมูล ในที่นี้เราใช้โปรแกรม MS Access

**รูปที่ 6 ตัวอย่างข้อมูลในฐานข้อมูล**

2.4 ค้นหาข้อมูลป้ายทะเบียนได้จาก วันที่ และหมายเลขป้ายทะเบียน ระบบจะแสดงผล วันที่ เวลา หมายเลขป้ายทะเบียนที่อ่านได้ ชื่อไฟล์ภาพ และชื่อไฟล์วีดีโอ โดยสามารถเลือกดูภาพหรือไฟล์วีดีโอ ได้จากการคลิกที่ชื่อไฟล์



**รูปที่ 7 ภาพรวมระบบสำหรับค้นหาข้อมูล**

## 3.สรุป

ระบบรู้จำและเก็บข้อมูลป้ายทะเบียนที่ได้พบว่า ทำให้สามารถค้นห้าข้อมูลรถยนต์ที่ต้องการได้จากหมายเลขป้ายทะเบียนและวันที่ที่ต้องการค้นหา โดยระบบจะแสดงผล วันที่ เวลา หมายเลขป้ายทะเบียนที่อ่านได้ ชื่อไฟล์ภาพป้ายทะเบียน และชื่อไฟล์วีดีโอที่บันทึกภาพคนขับรถ และสามารถเลือกดูภาพหรือไฟล์วีดีโอ ได้จากการคลิกที่ชื่อไฟล์ ช่วยทำให้การติดตามคนร้ายและรถยนต์ที่สูญหายได้สะดวกและรวดเร็วมากยิ่งขึ้น

## 4. เอกสารอ้างอิง

[1] “การประมวลผลภาพ”, [ออนไลน์], เข้าถึงเมื่อ 10 ตุลาคม 2558. แหล่งที่มาhttp://www.engineersgarage.com/articles/image-processing-tutorial-applications.

[2] “Optical Character Recognition (OCR)”, [ออนไลน์], เข้าถึงเมื่อ 11 กุมภาพันธ์ 2559 แหล่งที่มา https://python3.wannaphong.com/2015/06/ocr-กับภาษา-python.html

[3] “Visual Basic”, [ออนไลน์], เข้าถึงเมื่อ 29 มีนาคม 2559. แหล่งที่มา https://www.youtube.com/watch?v=syTaJ5saqug

## 5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ อาจารย์ ดร.โสภณ ผู้มีจรรยา ที่ได้ให้คำแนะนำเกี่ยวกับเทคนิคการประมวลผลภาพดิจิทัล รวมถึงการแก้ปัญหาต่างๆ ในงานวิจัยนี้

# ระบบบริหารจัดการ คลินิกเทคนิคการแพทย์ กรณีศึกษา คลินิกชัยภูมิแลบ

# Medical Laboratory Management System : Case Study of Chaiyaphum Lab

**ณัฏฐณิชา โพธิ์สว่าง[1] ศิริรัตน์ สิทธิหาโคตร[2] มัลลิกา วัฒนะ[3] อุรฉัตร โคแก้ว[4] และวชิราวุธ ธรรมวิเศษ[5]**
ภาควิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
123 ถ.มิตรภาพ ต.ในเมือง อ.เมือง จ.ขอนแก่น 40002 โทรศัพท์ 0-4336-2188-90 ต่อ 101-103
E-mail: [1]memy090909@gmail.com, [2]beauz.dcl@gmail.com, [3]monlwa@kku.ac.th, [4]urachart@kku.ac.th, and [5]twachi@kku.ac.th

## บทคัดย่อ

คลินิกเทคนิคการแพทย์ส่วนใหญ่ที่ให้บริการตามจังหวัดหรืออำเภอต่างๆยังไม่มีการจัดเก็บข้อมูลที่เป็นระบบที่เหมาะสมทำให้เกิดปัญหาในการค้นหาข้อมูลประวัติการตรวจของคนไข้ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้พัฒนาระบบบริหารจัดการคลินิกเทคนิคการแพทย์ โดยระบบที่พัฒนาในรูปแบบของเว็บไซต์แอปพลิเคชัน ซึ่งพัฒนาจากภาษา HTML5 และ CSS การเชื่อมต่อกับฐานข้อมูลใช้ PHP ส่วนฐานข้อมูลที่ใช้คือ MySQL โดยการพัฒนาระบบได้ศึกษาจากคลินิกชัยภูมิแลบ จังหวัดชัยภูมิ เป็นกรณีศึกษาตัวอย่าง โดยระบบที่พัฒนาได้ มีการจัดเก็บข้อมูลของคนไข้ และผลตรวจ และยังแจ้งผลตรวจให้กับคนไข้ แจ้งเตือนนัดตรวจหรือฟังผลตรวจ นอกจากนี้ยังมีส่วนตอบคำถาม-ตอบระหว่างคนไข้และนักเทคนิคการแพทย์ ดังนั้นระบบบริหารจัดการคลินิกเทคนิคการแพทย์กรณีศึกษาคลินิกชัยภูมิแลบที่ได้พัฒนาสามารถนำไปปรับใช้กับคลินิกเทคนิคการแพทย์ทั่วไป เพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของคลินิกเทคนิคการแพทย์ได้

คำสำคัญ: ระบบบริหารจัดการคลินิกเทคนิคการแพทย์

## Abstract

The information storage of most medical laboratory clinics are an improper system, that make the search problem for the patient information. Therefore, this project developed a medical laboratory clinic management system. The system is implemented on a web application using HTML5 and CSS. Moreover, PHP is used for connecting the MySQL database. The Chaiyaphum Lab at Chaiyaphum province is a case study to implement the system. The system manages the patient information, the lab result and inform the lab results and appointment time online. In additional, the patient can contact to the medical technologists using the web application. Therefore, this system can be applied to the other medical laboratory clinic to increase the efficiency of clinical management.

Keywords: Medical Laboratory Management System

## 1. บทนำ

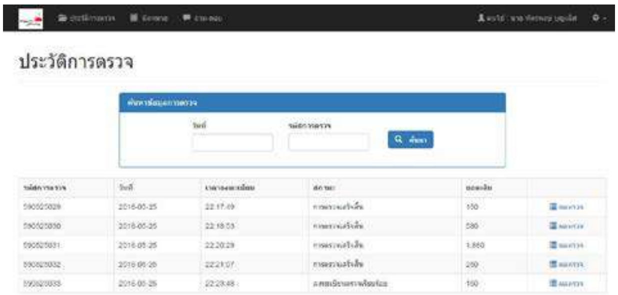
คลินิกเทคนิคการแพทย์ คือคลินิกที่ให้บริการตรวจสุขภาพ โดยการตรวจเลือด ตรวจปัสสาวะหรือตรวจอุจจาระ ทั้งในและนอกสถานที่การตรวจตามคำสั่งแพทย์และผู้ใช้บริการทั่วไปที่รักสุขภาพการตรวจสุขภาพพนักงานก่อนเข้าทำงาน หรือตรวจตัวอย่างในงานวิจัย หน่วยงานต่างๆ ทั้งภาครัฐ รัฐวิสาหกิจและเอกชนโดยมีนักเทคนิคการแพทย์และผู้เชี่ยวชาญทำงานในส่วนนี้โดยเฉพาะ เป็นการเพิ่มความสะดวกรวดเร็วและเป็นส่วนตัวให้กับผู้ใช้บริการ ปัญหาส่วนใหญ่ของทางคลินิก คือการเก็บข้อมูลของคลินิกมีจำนวนมากในแต่ละครั้ง

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้พัฒนาระบบบริหารจัดการคลินิกเทคนิคการแพทย์ เพื่อช่วยบริหารจัดการข้อมูลและเพิ่มประสิทธิภาพระบบการทำงานของคลินิกเทคนิคการแพทย์ ให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นและสะดวกต่อการใช้งานโดยได้ใช้คลินิกชัยภูมิแลบจังหวัดชัยภูมิ เป็นกรณีศึกษาตัวอย่างระบบที่ได้พัฒนาอยู่ในรูปแบบของเว็บไซต์ เพื่อความสะดวกในการใช้งานได้ทุกสถานที่

## 2. การทดลองการใช้งาน

การทดสอบการใช้งานระบบโดยแบ่งผู้ใช้ 4 กลุ่ม คือ ผู้ใช้บริการ(คนไข้), เจ้าหน้าที่เวชระเบียน, เจ้าหน้าที่เทคนิคการแพทย์ และผู้ดูแลระบบ โดยระบบจะมีการจัดเก็บข้อมูลการเข้ารับการตรวจของคนไข้ ซึ่งมีการคำนวณค่าใช้จ่ายในการตรวจและมีการบันทึกผลการตรวจของนักเทคนิคการแพทย์ นอกจากนี้ยังมีการเก็บข้อมูลเกี่ยวกับการสั่งซื้อและเบิกใช้อุปกรณ์และน้ำยาของคลินิกด้วย ในส่วนการใช้งานของคนไข้จะมีฟังก์ชันถาม-ตอบสุขภาพกับนักเทคนิคการแพทย์โดยตรง ผ่านทางระบบผู้ใช้ของคนไข้ได้ และคนไข้สามารถดูผลการตรวจทาง

ออนไลน์การนัดหมายระหว่างคนไข้และทางคลินิก โดยใช้งานผ่านรหัสของตนที่ได้จากที่คลินิก นอกจากนี้ยังมีการแสดงรายงานสรุปผลการดำเนินงานทั้งหมดของคลินิกเพื่อให้เจ้าของคลินิกด้วย สำหรับตัวอย่างหน้าจอของบริหารจัดการคลินิกเทคนิคการแพทย์ได้แสดงในรูปที่ 1 แสดงหน้าจอประวัติการตรวจผู้ใช้บริการในแต่ละรายสามารถดูข้อมูลการตรวจและรายการตรวจต่าง ๆ




**รูปที่** 1 หน้าจอประวัติการตรวจของคนไข้

## 3. สรุปผลการดำเนินงาน

ระบบบริหารจัดการคลินิกเทคนิคการแพทย์ กรณีศึกษาคลินิกชัยภูมิแลบที่ได้พัฒนาเพื่อแก้ปัญหาการจัดเก็บข้อมูล และได้เพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของคลินิกในสะดวกมากยิ่งขึ้น โดยระบบที่พัฒนาอยู่รูปแบบของเว็บไซต์ทำให้สะดวกในการใช้งาน นอกจากนี้ระบบยังมีการให้บริการข้อมูลการตรวจโรคต่างๆ แจ้งเตือนตารางนัดหมายส่วนตอบคำถาม-ตอบระหว่างคนไข้และนักเทคนิคการแพทย์ การจัดการบัญชีค่าใช้จ่ายของทางคลินิกและมีการแบ่งสิทธิ์การใช้งานของแต่ละประเภท ทำให้ระบบบริหารจัดการ คลินิกเทคนิคการแพทย์รองรับการใช้งานได้ตั้งแต่ คลินิกเทคนิคขนาดเล็กจนถึงขนาดใหญ่ ดังนั้นระบบบริหารจัดการคลินิกเทคนิคการแพทย์ สามารถนำไปปรับใช้กับคลินิกเทคนิคการแพทย์ทั่วไป เพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของคลินิกเทคนิคการแพทย์ได้

## 4. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณคลินิกเทคนิคการแพทย์ คลินิกชัยภูมิแลบ จังหวัดชัยภูมิที่ให้ ศึกษาระบบ คำแนะนำ และร่วมทดสอบระบบที่พัฒนา

## เอกสารอ้างอิง

[1] amploysoft. mysql. ค้นเมื่อ 12 กันยายน 2557, จาก http://www.amplysoft.com/knowledge/whatis-Mysql.html

[2] sublime2. ค้นเมื่อ 1 ตุลาคม 2558, จากhttp://nicha.in.th/2012/11/sublime-text2

[3] html5. ค้นเมื่อ 1 ตุลาคม 2558, จากhttp://www.mindphp.com/บทเรียนออนไลน์/77-บทเรียน-html5/2479-บทที่-1-html5-คืออะไร31.html

**ณัฏฐณิชา โพธิ์สว่าง** การศึกษาระดับปริญญาตรีสาขาเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสารจากมหาวิทยาลัยขอนแก่น งานวิจัยที่สนใจเกี่ยวกับเว็บไซต์การออกแบบและสถาปัตยกรรม

**ศิริรัตน์ สิทธิหาโคตร**การศึกษาระดับปริญญาตรีสาขาเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสารจากมหาวิทยาลัยขอนแก่น งานวิจัยที่สนใจเกี่ยวกับเว็บไซต์การออกแบบและสถาปัตยกรรม

**มัลลิกา วัฒนะ**การศึกษาระดับปริญญาเอกสาขาวิทยาการคอมพิวเตอร์จากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย งานวิจัยที่สนใจเกี่ยวกับ การประมวลผลภาพคอมพิวเตอร์ศึกษา

**อุรฉัตร โคแก้ว**การศึกษาระดับปริญญาเอกสาขาวิธีทางการเรียนรู้ผ่านสื่ออิเล็กทรอนิกส์จากมหาวิทยาลัยอัสสัมชัญ งานวิจัยที่สนใจเกี่ยวกับคอมพิวเตอร์ศึกษา คอมพิวเตอร์กราฟฟิกส์ และการปฏิสัมพันธ์ระหว่างมนุษย์

**วชิราวุธ ธรรมวิเศษ** การศึกษาระดับปริญญาเอกสาขาวิทยาการคอมพิวเตอร์จากมหาวิทยาลัยขอนแก่นงานวิจัยที่สนใจเกี่ยวกับ คอมพิวเตอร์ศึกษาเว็บเทคโนโลยี การสกัดและการผสานข้อมูลสารสนเทศ

# ระบบจัดการฟาร์มสุกร กรณีศึกษา ฟาร์มครูเสริฐ

# Pig Farm Management System on Case Study: Kru Sert Farm

**กานต์ชนก ขินสูงเนิน[1], มัลลิกา วัฒนะ[2], วชิราวุธ ธรรมวิเศษ[3], อุรฉัตร โคแก้ว[4]**
ภาควิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
E-mail: kanchanok.khin@gmail.com[1], monlwa@kku.ac.th[2], twachi@kku.ac.th[3], urachart@kku.ac.th[4]

## บทคัดย่อ

เนื่องจากฟาร์มสุกรส่วนใหญ่ใช้ระบบการจัดการฟาร์มเป็นแบบดั้งเดิม ทั้งในส่วนของการจัดเก็บข้อมูลของสุกรส่วน และส่วนการคำนวณสัดส่วนสูตรอาหารของสุกรซึ่งการคำนวณใช้กระดาษจดบันทึกทำให้ความผิดพลาดได้ ดังนั้นโครงงานนี้จึงได้พัฒนาระบบจัดการฟาร์มสุกร ระบบจัดการฟาร์มสุกรได้ศึกษาและใช้ข้อมูลในการพัฒนาจากฟาร์มครูเสริฐ จังหวัดขอนแก่น โดยระบบสามารถจัดเก็บข้อมูลของพ่อพันธุ์ แม่พันธุ์ และลูกสุกร และระบบยังสามารถคำนวณสูตรอาหารสุกรแต่ละรุ่น อีกทั้งยังเป็นประชาสัมพันธ์ฟาร์มผ่านเว็บไซต์และแชร์ผ่านไปยังสังคมออนไลน์รวมไปถึงการแชร์ข้อมูลผ่านสื่อสังคมออนไลน์เกี่ยวกับฟาร์มสุกร โดยเว็บแอปพลิเคชันระบบจัดการฟาร์มสุกรได้พัฒนาด้วยเทคโนโลยี HTML5 และ CSS3 ในส่วนของการติดต่อกับฐานข้อมูลด้วยภาษา PHP โดยใช้ phpMyAdmin โดยใช้ Facebook API Plugin นอกจากนั้นยังเชื่อมต่อกับ Google Map API ในการระบุตำแหน่งที่ตั้งของฟาร์มได้ เพื่อให้สามารถเดินทางมายังฟาร์มได้อย่างสะดวกยิ่งขึ้น

คำสำคัญ: ระบบจัดการฟาร์มสุกร, คำนวณสูตรอาหารสุกร

## Abstract

Since most pig farms use a traditional farm system that the storage of data of pigs and the calculation of pig formula proportion is done on paper, the information might be easily lost. Therefore, this project was developed as a Pig Farm Management System by getting information of pig from Kru Sert Fatm, which is one of the pig farms in Khonkaen as the case study. The system can manage the information of pig breeders and piggies. Moreover, the system can also calculate the recipes pigs for each model. The public relations of the farm can be found on the website and social media. The system is implemented on a web application using HTML5 and CSS. PHP is used for connecting database in phpMyAdmin. In addition, sharing information system use the Facebook API Plugin and Google Maps service, which is called Google Map API. Users are able to pinpoint the location of the farm for visiting.

Keywords: The pigs farm management system, Pigs feed recipe calculator

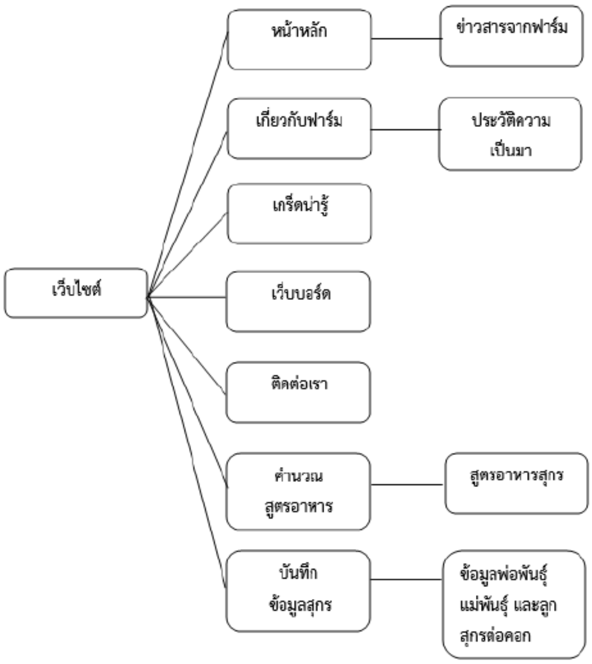
## 1. บทนำ

ในปัจจุบันมีฟาร์มสุกรส่วนใหญ่จะพบปัญหาเกี่ยวกับการจัดเก็บข้อมูลสุกรที่ยังไม่เป็นระบบเท่าที่ควร และการคำนวณสัดส่วนสูตรอาหารของสุกร ซึ่งการคำนวณใช้กระดานจดบันทึกทำให้เกิดความผิดพลาดได้

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้พัฒนาระบบการจัดการฟาร์มสุกร เพื่อช่วยในการบริหารจัดการข้อมูลและเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานของระบบจัดการฟาร์มสุกรให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น และสะดวกต่อการใช้งาน โดยฟาร์มสุกรครูเสริฐ เป็นกรณีศึกษา ซึ่งฟาร์มสุกรครูเสริฐ เป็นฟาร์มที่เลี้ยงสุกรทั้งพ่อพันธุ์ แม่พันธุ์ และลูกสุกรขุน เพื่อส่งขายไปยังตลาดกลาง โดยผู้จัดทำได้ทำการศึกษาปัญหาต่าง ๆ ภายในฟาร์มสุกรเพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของฟาร์ม โดยระบบที่พัฒนามีการจัดเก็บข้อมูลของพ่อพันธุ์ แม่พันธุ์ และลูกสุกร และมีระบบคำนวณสูตรอาหารสุกรแต่ละรุ่น ซึ่งระบบที่ได้พัฒนาอยู่ในรูปแบบของเว็บแอปพลิเคชัน สามารถประชาสัมพันธ์ฟาร์มสุกรผ่านเว็บไซต์และแชร์ข้อมูลต่าง ๆ ผ่านไปยังสังคมออนไลน์ นอกจากนี้ยังมีระบบเว็บบอร์ด เพื่อใช้ในการแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างผู้ที่สนใจในการทำฟาร์มสุกร ระบบส่งข้อความพูดคุยไปยังผู้จัดการฟาร์ม เพื่อให้ผู้ใช้งานทั้งที่เป็นสมาชิกและไม่เป็นสมาชิก สามารถสอบถามข้อมูลต่าง ๆ โดยตรงกับผู้จัดการฟาร์มสุกรได้ และยังมีส่วนของการบอกตำแหน่งของฟาร์มเพื่อให้ง่ายต่อการเดินทางมายังฟาร์มสำหรับผู้ที่สนใจ และส่วนของเกร็ดหน้ารู้ให้ผู้ใช้งานทั่วไปสามารถศึกษาข้อมูลต่าง ๆ เกี่ยวการทำฟาร์มสุกร และการเลี้ยงสุกรได้อีกด้วย

## 2. การทำงานของระบบ

กระบวนการทำงานของระบบได้ศึกษาจากการสังเกตขั้นตอนการทำงานภายในฟาร์มสุกรและได้สอบถามจากเจ้าของฟาร์มสุกร ซึ่งเป็นผู้ที่ใช้งานระบบ เพื่อให้การพัฒนาระบบจะได้เป็นไปตามความต้องการเจ้าของระบบจริง โดยการทำงานของระบบจัดการฟาร์มสุกร มีส่วนทำงานหลักๆ ดังนี้ การคำนวณสูตรอาหารของสุกร การบันทึกข้อมูลข้อมูลของสุกรทั้งพ่อพันธุ์ แม่พันธุ์ และลูกสุกรแต่ละคอก เว็บบอร์ดใช้ติดต่อสอบถาม โดยรายละเอียดของระบบแสดงในรูปที่ 1




**รูปที่ 1** การทำงานของเว็บไซต์

## 3. การออกแบบและพัฒนาระบบ

จากการวิเคราะห์ระบบจัดการฟาร์มสุกร กรณีศึกษา ฟาร์มครูเสริฐ สามารถแบ่งผู้ใช้งานออกเป็น 3 กลุ่ม ดังนี้

1. ผู้ใช้ทั่วไป สามารถใช้งานระบบได้โดยสามารถเข้าใช้งานหน้าหลัก เกี่ยวกับฟาร์ม เกร็ดน่ารู้ เว็บบอร์ด ติดต่อเจ้าของฟาร์ม และสามารถสมัครสมาชิกได้

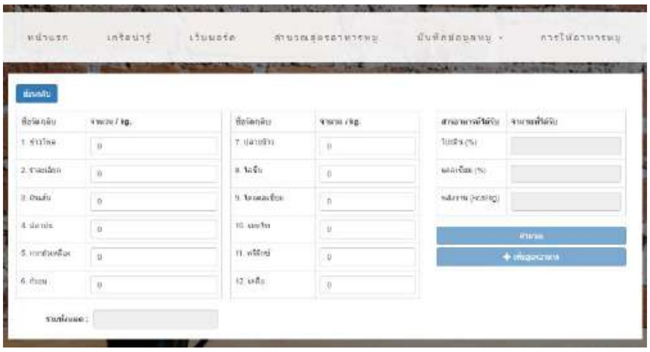
2. ผู้ใช้ที่เป็นสมาชิก โดยสามารถเข้าใช้งานหน้าหลัก เกี่ยวกับฟาร์ม เกร็ดน่ารู้ ติดต่อเจ้าของฟาร์ม เข้าสู่ระบบ และหน้าเว็บบอร์ด ผู้ใช้ที่เป็นสมาชิกสามารถเพิ่ม ลบ แก้ไขกระทู้ของตนเองได้

3. ผู้จัดการฟาร์ม จะเป็นผู้ดูแลเว็บไซต์ สามารถเพิ่ม ลบ แก้ไขเกร็ดน่ารู้ และจัดการเกี่ยวกับเว็บบอร์ดได้ โดยในส่วนของระบบที่ผู้จัดการฟาร์มมีสิทธิ์ในการใช้งานได้เพียงผู้เดียว จะแบ่งออกเป็นส่วนหลัก ๆ ดังนี้ การคำนวณสูตรอาหาร การจัดการข้อมูลสุกร และการจัดการการให้อาหารสุกรซึ่งเป็นการบันทึกข้อมูลการให้อาหารสุกรแต่ละรุ่น

จากการวิเคราะห์การทำงานของระบบจัดการฟาร์มสุกร สามารถออกแบบหน้าจอการทำงานของเว็บแอปพลิเคชันของระบบได้ดังตัวอย่างรูปด้านล่าง

**รูปที่ 2** หน้าแสดงตารางข้อมูลสูตรอาหารทั้งหมด

จากการออกแบบหน้าจอการทำงานในรูปที่ 2 ผู้จัดการฟาร์มสามารถดูรายละเอียดของสูตรอาหารทั้งหมดที่ถูกคำนวณและบันทึกไว้ได้ ทั้งนี้ยังสามารถเพิ่ม ลบ แก้ไขสูตรอาหารได้

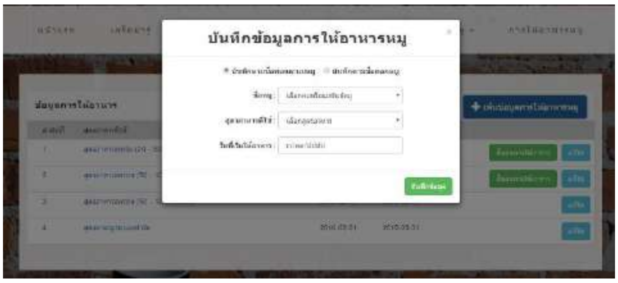


**รูปที่ 3** หน้าสำหรับคำนวณสูตรอาหาร

จากการออกแบบหน้าจอการทำงานในรูปที่ 3 ผู้จัดการฟาร์มสามารถคำนวณสูตรอาหาร โดยใส่รายละเอียดวัตถุดิบ ซึ่งจะสามารถใส่ได้น้ำหนักรวมทั้งหมดไม่เกิน 100 กิโลกรัมต่อการคำนวณหนึ่งครั้ง

**รูปที่ 4** หน้าสำหรับจัดการข้อมูลสุกร

จากการออกแบบหน้าจอการทำงานในรูปที่ 4 ผู้จัดการฟาร์มสามารถเพิ่ม ลบ แก้ไขสูตรข้อมูลสุกรได้




**รูปที่ 5** หน้าสำหรับจัดการการให้อาหารสุกร

จากการออกแบบหน้าจอการทำงานในรูปที่ 5 ผู้จัดการฟาร์มสามารถเพิ่มการให้อาหารสุกรได้ จากนั้นระบบจะจัดการเกี่ยวกับวันเวลาในการให้อาหารและแจ้งเตือนว่าแต่ละวันสุกรจะต้องกินอาหารสูตรใดบ้าง โดยสูตรอาหารสุกรจะมีการเปลี่ยนแปลงในทุก ๆ 2 เดือน หลังจากที่เริ่มให้อาหารในครั้งแรก เพื่อดูการเจริญเติบโตของสุกร และเพื่อที่จะนำมาใช้สำหรับการปรับปรุงสูตรในอนาคต

## 4. สรุปผลการวิจัย

ระบบจัดการฟาร์มสุกร กรณีศึกษา ฟาร์มครูเสริฐที่ได้พัฒนาเพื่อแก้ปัญหาการจัดเก็บข้อมูล และได้เพิ่มประสิทธิภาพการจัดการในการจัดเก็บสูตรอาหาร และการคำนวณสูตรอาหารของสุกรให้สะดวกมากยิ่งขึ้น โดยระบบพัฒนาอยู่ในรูปแบบของเว็บแอปพลิเคชัน ทำให้สะดวกในการใช้งาน นอกจากนี้ระบบยังมีการทำงานที่อัตโนมัติในการเปลี่ยนสูตรอาหารในทุก ๆ 2 เดือน และมีการแจ้งเตือนให้ผู้จัดการฟาร์มทราบว่าแต่ละวันสุกรแต่ละคอกต้องกินอาหารสูตรใดบ้าง ซึ่งจะแต่ละสูตรก็จะมีส่วนผสมที่แตกต่างกันออกไป นอกจากนี้ผู้ใช้งานทั่วไปและผู้ใช้งานที่เป็นสมาชิกยังสามารถที่จะใช้งานการอ่านเกร็ดน่ารู้ การส่งข้อความสอบถามข้อมูลกับผู้จัดการฟาร์ม ข้อมูลการเดินทางมาฟาร์ม และการตั้งกระทู้เพื่อแบ่งปันและแลกเปลี่ยนข้อมูลกับผู้ที่สนใจรายอื่นได้อีกด้วย ดังนั้นระบบจัดการฟาร์มสุกร สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับฟาร์มสุกรอื่นเพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของฟาร์มสุกรอื่นๆได้

## 5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ คุณเกียรติศักดิ์ เตายืน ผู้จัดการฟาร์มสุกรครูเสริฐ ที่ให้คำปรึกษาเกี่ยวกับการจัดการฟาร์มสุกรและให้ความร่วมมือในการทดสอบระบบที่ได้พัฒนา

## เอกสารอ้างอิง

[1] Harubijii. (2013). การเลี้ยงสุกร การเลี้ยงหมู วิธีการเลี้ยงสุกร. ค้นเมื่อ 24 กันยายน 2557, จาก http://www.farmthailand.com/154

[2] การเลี้ยงและการดูแลหมูในระยะต่างๆ. [ม.ป.ป.]. ค้นเมื่อ 25 กันยายน 2557, จาก http://kanchanapisek.or.th/kp6/sub/book/book.php?book=18&chap=9&page=t18-9-infodetail05.html

[3] ปศุสัตว์ไทย. (2014). สายพันธุ์ของสุกร. ค้นเมื่อ 9 ตุลาคม 2557, จาก http://www.thaifeed.net/article-13-1.html

**กานต์ชนก ขินสูงเนิน** การศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร จากมหาวิทยาลัยขอนแก่น งานวิจัยที่สนใจเกี่ยวกับ Management Information System, Big Data

**มัลลิกา วัฒนะ** การศึกษาระดับปริญญาเอก สาขาวิธีทางการเรียนรู้การประมวลผลภาพ จากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย งานวิจัยที่สนใจเกี่ยวกับทุนพัฒนาอาจารย์สาขาขาดแคลน

**วชิราวุธ ธรรมวิเศษ** การศึกษาระดับปริญญาเอก สาขาวิทยาการคอมพิวเตอร์ จากมหาวิทยาลัยขอนแก่น งานวิจัยที่สนใจเกี่ยวกับ คอมพิวเตอร์ศึกษา การสกัดและการผสานข้อมูลสารสนเทศ

**อุรฉัตร โคแก้ว** การศึกษาระดับปริญญาเอก สาขาวิธีทางการเรียนรู้ผ่านสื่ออิเล็กทรอนิกส์จากมหาวิทยาลัยอัสสัมชัญ งานวิจัยที่สนใจเกี่ยวกับคอมพิวเตอร์ศึกษา คอมพิวเตอร์กราฟฟิกส์ และการปฏิสัมพันธ์ระหว่างมนุษย์

# ระบบการพยากรณ์และตรวจจับความผิดปกติของการใช้ไฟฟ้าในเขตเทศบาลนครอุดรธานี

# Forecasting and Detecting Abnormality System of Electricity Consumption of Udon Thani Municipality.

**ปัจจัย พวงสุวรรณ[1], วิษณุ ตลับเงิน[2] และ คณพศ จูลนันท์[3]**
[1]สาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
64 มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี ถ.ทหาร ต.หมากแข้ง อ.เมือง จ.อุดรธานี 41000 โทรศัพท์ 081-8720433 E-mail: patchaip@yahoo.com
[2]สาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
64 มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี ถ.ทหาร ต.หมากแข้ง อ.เมือง จ.อุดรธานี 41000 โทรศัพท์ 082-8479440 E-mail: wizzanu_te@hotmail.com
[3]สาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
64 มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี ถ.ทหาร ต.หมากแข้ง อ.เมือง จ.อุดรธานี 41000 โทรศัพท์ 088-5497065 E-mail: siripun.00@gmail.com

## บทคัดย่อ

จุดประสงค์ของการศึกษาครั้งนี้ทำขึ้นเพื่อ 1) พัฒนาแบบจำลองการโดยพยากรณ์การใช้ไฟฟ้าของผู้ใช้และหม้อแปลงไฟฟ้าในเขตเทศบาลนครอุดรธานี 2) เปรียบเทียบเทคนิคการพยากรณ์เชิงปริมาณแบบดัชนีฤดูกาลกับแบบซัพพอร์ตเวกเตอร์เมชีน ข้อมูลที่นำมาพยากรณ์ใช้ข้อมูลที่รวบรวมข้อมูลย้อนหลัง 4 ปี (พ.ศ. 2555-2558) เพื่อพยากรณ์ล่วงหน้า 1 ปี ผลการวัดประสิทธิภาพของการพยากรณ์ใช้ค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ ผลการศึกษาพบว่าแบบซัพพอร์ตเวกเตอร์เมชีนมีประสิทธิภาพดีกว่ามีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยสัมบูรณ์เท่ากับ 1.56 % แบบดัชนีฤดูกาล มีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยสัมบูรณ์เท่ากับ 5.03 % ในการพยากรณ์ปริมาณความต้องการไฟฟ้ารวม 3) พัฒนาระบบตรวจจับความผิดปกติของการใช้ไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้า โดยอาศัยฐานกฎตรวจสอบข้อมูลของผู้ใช้ในแต่ละเดือนว่ามีสถานะเป็น ปกติ เฝ้าระวัง หรือผิดปกติ เพื่อรายงานให้เจ้าหน้าที่การไฟฟ้าตรวจสอบ นอกจากนี้ระบบสามารถแสดงตำแหน่งของมิเตอร์ผู้ใช้และหม้อแปลงไฟฟ้าบน Google map เพื่อใช้หาเส้นทางและระยะเวลาจากสำนักงานการไฟฟ้าเขต 1 อุดรธานี

คำสำคัญ: การใช้ไฟฟ้า, การพยากรณ์, ดัชนีฤดูกาล, ซับพอร์ตเวกเตอร์แมชีน, ค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์, การตรวจจับความผิดปกติ

## Abstract

The purpose of this research was conducted 1) to develop a forecasting model of electricity consumption of users and power transformers in Udon Thani municipality. 2) to compare the forecasting techniques of seasonal index method and support vector machine (SVM). The data are used to forecast which was collected after four years (2555-2558 BC), and one year in advance to forecast. The performance of forecasting use the Mean Absolute Percentage Error (MAPE). The study found that on case total demand of electricity, a support vector machine has outperformed with MAPE = 1.56% and MAPE of seasonal index = 5.03% 3) to develop a system to detect abnormal use of electric power users by using rule-based for monitoring in each month that is normal surveillance or abnormal to report to the authorities to investigate. Additionally, the system can display the location of the meter and the transformer on a Google map to find the route and duration of the electricity offices.

Keywords: electricity consumption, forecast, season index, support vector machine, mean absolute error, detect abnormal

## 1. บทนำ

การพยากรณ์เป็นการคาดการณ์สิ่งที่จะเกิดขึ้นในอนาคตและผลการพยากรณ์มีประโยชน์ในการวางแผนและการตัดสินใจ[1] ปัจจุบันเราใช้ประโยชน์จากการพยากรณ์ในด้านต่าง ๆ เช่น การพยากรณ์อากาศ พยากรณ์ราคาหุ้น พยากรณ์ราคาสินค้า เป็นต้น จากวิกฤตโลกร้อนสิ่งหนึ่งที่เราต้องการพยากรณ์คือปริมาณการใช้ไฟฟ้า ไฟฟ้าเป็นพลังงานชนิดหนึ่งที่ มนุษย์นำมาใช้ประโยชน์ได้หลายอย่าง ในด้านการพัฒนาเศรษฐกิจ การเพิ่มผลผลิต ทั้งเกษตรกรรมและ อุตสาหกรรมที่สามารถกระจายรายได้ ทุกวันนี้ไฟฟ้าเป็นปัจจัยสำคัญในการดำรงชีวิตประจำวันของมนุษย์ จากปริมาณการใช้ไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นทุกปีทำให้มีงานวิจัยการพยากรณ์ปริมาณการใช้ไฟฟ้าในระดับภาค ระดับประเทศ แต่ไม่มีการพยากรณ์ระดับจังหวัด สำนักงานการไฟฟ้าเขต 1 อุดรธานี มีความต้องการพยากรณ์การใช้ไฟฟ้าเพื่อช่วยในการวางแผนการผลิต การควบคุมและการจ่ายกระแสไฟฟ้าของหม้อแปลงไฟฟ้า ตลอดจนป้องการลักลอบการใช้ไฟฟ้า การร้องเรียนการคิดค่าไฟฟ้าเกินจริงของผู้ใช้ คณะผู้วิจัยจึงทำงานวิจัยนี้เพื่อพัฒนาโปรแกรมสำหรับใช้ในการพยากรณ์การใช้ไฟฟ้าของผู้ใช้และของหม้อแปลงไฟฟ้าและตรวจจับความผิดปกติของการใช้ไฟฟ้าในเขตเทศบาลนครอุดรธานี นอกจากนี้ยังสามารถแสดง

ตำแหน่งของมิเตอร์ผู้ใช้ไฟฟ้าและของหม้อแปลงไฟฟ้าผ่าน Google map เพื่อหาเส้นทางและระยะเวลาในการเดินทางจากสำนักงานไฟฟ้าไปยังพิกัดที่ต้องการ

## 2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 การวิเคราะห์แนวโน้ม

แนวโน้มในอนุกรมเวลานั้น สามารถพิจารณาเบื้องต้นโดยนำข้อมูลมาทำแผนภาพกระจาย (Scatter diagram) เพื่อตรวจสอบว่ามีลักษณะรูปร่างเป็นแบบใด แล้วใช้วิธีการทางสถิติเพื่อวัดค่าแนวโน้มหรือหาความสัมพันธ์ของแนวโน้มดังกล่าว วัตถุประสงค์ของการศึกษาเพื่ออธิบายแบบแผนหรือรูปแบบที่เกิดขึ้นในอดีตและคาดการณ์แนวโน้มในอนาคต ทำให้สามารถใช้ตรวจสอบประสิทธิภาพ[2]

#### 2.1.1 แนวโน้มเชิงเส้น (Linear trend)

ในกรณีที่อนุกรมเวลามีแนวโน้มเชิงเส้น คือ อนุกรมเวลา Y ขึ้นอยู่กับช่วงเวลา X และมีความสัมพันธ์เชิงเส้นกัน ดังนั้นในการประมาณค่าแนวโน้มจะพิจารณาจากสมการการถดถอย [3]

$$\widehat{Y_i} = a + bX_i \qquad (1)$$

โดยที่ $\widehat{Y_i}$ เป็นค่าประมาณแนวโน้ม (ตัวแปรตาม)

$X_i$ เป็นเวลาต่างๆ (ตัวแปรอิสระ)

$a$ เป็นจุดตัดแกน Y (Y - intercept)

$b$ เป็นความชันของเส้นตรง (slope)

#### 2.1.2 การเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาล

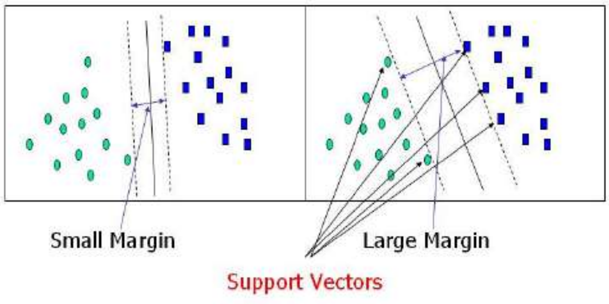
การเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลเป็นการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นที่เกี่ยวข้องกับสภาพอากาศ ฤดูกาลหรือเทศกาลตามลักษณะกิจกรรมและประเพณีต่างๆ ตามธรรมชาติหรือสิ่งที่มนุษย์กำหนดขึ้น ผลผลิตต่างๆ ทางด้านการเกษตรก็ขึ้นอยู่กับฤดูกาลอย่างมาก เช่น ยอดขายสินค้าประเภทของขวัญมักจะมียอดขายสูงในช่วงเดือนธันวาคมถึงเดือนมกราคม ของทุกๆ ปี [4] ปริมาณการใช้ไฟฟ้ามีสภาพอากาศในแต่ละเดือนเป็นตัวแปรที่มีผลกระทบเช่นเดียวกัน[5]

ขั้นตอนของการคำนวณดัชนีฤดูกาล

1) สร้างสมการเส้นแนวโน้ม
2) คำนวณหาค่าอัตราส่วนร้อยละต่อค่าแนวโน้ม
3) หาค่าเฉลี่ยของอัตราส่วนร้อยละต่อค่าแนวโน้มแต่ละฤดูกาล

### 2.2 ซัพพอร์ตเวคเตอร์แมชีน (Support Vector Machine)

ซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชีนจัดเป็นเทคนิคที่ใช้ในการแก้ปัญหาทางด้านการรู้จำรูปแบบ โดยอาศัยหลักการของการหาสัมประสิทธิ์ของสมการเพื่อสร้างเส้นแบ่งแยกกลุ่มข้อมูลที่ถูกป้อนเข้าสู่กระบวนการสอนให้ระบบเรียนรู้ โดยเน้นไปยังเส้นแบ่งแยกแยะกลุ่มข้อมูลได้ดีที่สุด (Optimal Separating Hyperplane) ดังรูปที่ 1




รูปที่ 1 ซัพพอร์ตเวคเตอร์แมชีน

สำหรับรากฐานเดิมของซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน ถูกนำมาใช้กับข้อมูลที่เป็นเชิงเส้น แต่ในความเป็นจริงแล้วข้อมูลที่นำมาใช้ในระบบการสอนให้ระบบเรียนรู้ส่วนใหญ่มักเป็นข้อมูลแบบไม่เป็นเชิงเส้นซึ่งสามารถแก้ปัญหาดังกล่าวด้วยเคอร์เนลฟังก์ชัน (kernal function) ที่ใช้สำหรับการเปลี่ยนแปลงมิติของข้อมูลให้สูงขึ้น เพื่อช่วยในการเรียงตัวของข้อมูลเสียใหม่ที่เรียกว่า "ปริภูมิมิติสูง" (Higher Dimensional Space) เคอร์เนลที่นิยมใช้มี 3 ชนิด ด้วยกันคือ โพลิโนเมียล (Polynomial), เรเดียลเบสิสฟังก์ชัน (Radial Basis Function-RBF) และ ซิกมอยด์ (Sigmoid) โดยงานวิจัยนี้ใช้เคอร์เนลโพลิโนเมียล[6]

## 3. วิธีการดำเนินงานวิจัย

### 3.1 การเตรียมข้อมูล

ข้อมูลที่ใช้ในการวิจัยเป็นการรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับปริมาณการใช้ไฟฟ้าของผู้ใช้และหม้อแปลงไฟฟ้าที่ได้รับความอนุเคราะห์จากสำนักงานการไฟฟ้า เขต 1 อุดรธานีโดยถ่ายโอนข้อมูลข้อมูลบางส่วนจากระบบจัดการฐานข้อมูลจากสำนักงาน การไฟฟ้าเขต 1 จังหวัดอุดรธานี ข้อมูลตั้งแต่ พ.ศ. 2555 – 2558 เป็นเวลา 4 ปีย้อนหลังมายังระบบ โดยสุ่มข้อมูลผู้ใช้,ปริมาณการใช้ไฟฟ้าผู้ใช้ จำนวน 428 ราย และข้อมูลหม้อแปลงไฟฟ้า ปริมาณการจ่ายกระแสไฟฟ้าจำนวน 97 หม้อ เพื่อสร้างเป็นโปรแกรมต้นแบบ

### 3.2 การสร้างแบบจำลองการพยากรณ์

การพยากรณ์ใช้การสร้างแบบจำลองซึ่งพัฒนาโปรแกรมด้วย Visual C# เชื่อมต่อกับระบบจัดการฐานข้อมูล Oracle ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค โดยวิธีวิเคราะห์แนวโน้มแบบดัชนีฤดูกาล มีขั้นตอนการคำนวณค่าแนวโน้มแล้วคำนวณค่าดัชนีฤดูกาล พร้อมทั้งหาประสิทธิภาพของแบบจำลอง ส่วนวิธีซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีนพัฒนาโปรแกรมควบคู่กับใช้โปรแกรม Rapid miner กำหนดให้ ค่า c=0.2 เพื่อตรวจสอบผลการทำงานและประสิทธิภาพของแบบจำลองทั้งสองแบบ

### 3.3 การตรวจจับความผิดปกติของการใช้ไฟฟ้า

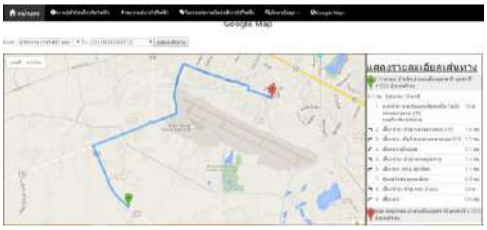
การตรวจจับความผิดปกติของการใช้ไฟฟ้า เป็นการตรวจสอบการใช้ไฟฟ้าของแต่ละครัวเรือน โดยนำข้อมูลการใช้ไฟฟ้ามาวิเคราะห์เพื่อให้เจ้าหน้าที่ได้ทราบว่าปกติ เฝ้าระวัง หรือผิดปกติ จะเป็นไปตามกฎที่สำนักงานการไฟฟ้า เขต 1 ระบุไว้ ได้แก่

1) แบบปกติ (|ค่าไฟฟ้าปัจจุบัน – ค่าเฉลี่ย|) < 100
2) แบบเฝ้าระวัง ( |ค่าไฟฟ้าปัจจุบัน– ค่าเฉลี่ย |) =50 – 99)
3) แบบผิดปกติ ( |ค่าไฟฟ้าปัจจุบัน– ค่าเฉลี่ย| ) >= 100 หรือเท่ากับ 0

ค่าเฉลี่ยเท่ากับค่าเฉลี่ยของปริมาณการใช้ไฟฟ้าย้อนหลัง 3 เดือนบวกค่าพยากรณ์

## 4. ผลการดำเนินงาน

### 4.1 การแสดงตำแหน่งของหม้อแปลงไฟฟ้า



รูปที่ 2 ตำแหน่งของหม้อแปลงบน Google map

### 4.2 ผลพยากรณ์การใช้กระแสไฟฟ้า

การพยากรณ์การใช้กระแสไฟฟ้า โดยจะใช้ข้อมูลย้อนหลังทั้งหมด 4 ปี และ 3 ปี เป็นข้อมูล Train ปีสุดท้าย 1 ปี เป็นข้อมูล Test ในการพยากรณ์

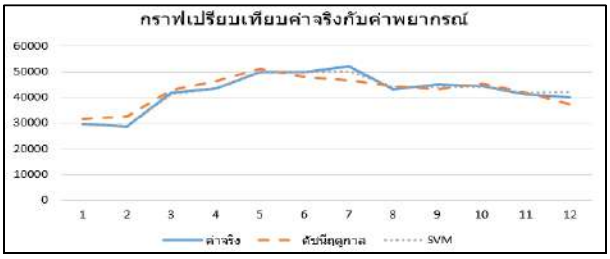
**ตารางที่ 1** ผลพยากรณ์การใช้กระแสไฟฟ้าของผู้ใช้ล่วงหน้า 1 ปี

| ปี | เดือน | ค่าจริง | ดัชนีฤดูกาล | ผลต่าง | SVM | ผลต่าง - SVM |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 2015 | 1 | 221 | 216.87 | 4.13 | 221 | 1 |
| 2015 | 2 | 194 | 190.37 | 3.63 | 187 | 7 |
| 2015 | 3 | 222 | 217.23 | 4.77 | 205 | 17 |
| 2015 | 4 | 214 | 204.11 | 9.89 | 220 | 6 |
| 2015 | 5 | 227 | 225.93 | 1.07 | 225 | 2 |
| 2015 | 6 | 248 | 220.79 | 27.21 | 243 | 5 |
| 2015 | 7 | 234 | 222.04 | 11.96 | 229 | 5 |
| 2015 | 8 | 242 | 221.96 | 20.04 | 249 | 7 |
| 2015 | 9 | 237 | 217.50 | 19.50 | 242 | 5 |
| 2015 | 10 | 245 | **227.65** | **17.35** | **230** | **15** |
| 2015 | 11 | 241 | **225.46** | **15.54** | **240** | **1** |
| 2015 | 12 | 240 | **214.51** | **25.49** | **235** | **5** |
| MAPE-ดัชนีฤดูกาล = 5.81% MAPE-SVM = 2.75 % | | | | | | |

**รูปที่ 4** กราฟพยากรณ์การใช้กระแสไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้า ล่วงหน้า 1 ปี

ตารางที่ 2 ผลพยากรณ์การใช้กระแสไฟฟ้าของหม้อแปลงไฟฟ้าล่วงหน้า 1 ปี

| ปี | เดือน | ค่าจริง | ดัชนีฤดูกาล | ผลต่าง | SVM | ผลต่าง-SVM |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 2015 | 1 | 2808 | 3145.71 | 337.71 | 3009 | 201 |
| 2015 | 2 | 2772 | 3215.30 | 443.30 | 2709 | 63 |
| 2015 | 3 | 4247 | 4265.61 | 18.61 | 4107 | 140 |
| 2015 | 4 | 4514 | 4850.97 | 336.97 | 4496 | 18 |
| 2015 | 5 | 5566 | 5424.63 | 141.37 | 5456 | 110 |
| 2015 | 6 | 5228 | 5357.65 | 129.65 | 5202 | 26 |
| 2015 | 7 | 5467 | 4964.24 | 502.76 | 5302 | 165 |
| 2015 | 8 | 4107 | 4680.69 | 573.69 | 4371 | 264 |
| 2015 | 9 | 4678 | 4454.03 | 223.97 | 4502 | 176 |
| 2015 | 10 | 4814 | 4919.61 | 105.61 | 4687 | 127 |
| 2015 | 11 | 4598 | 4392.51 | 205.49 | 4605 | 7 |
| 2015 | 12 | 4086 | 3571.80 | 514.20 | 4101 | 15 |
| MAPE-ดัชนีฤดูกาล= 6.68 MAPE-SVM = 2.48 % | | | | | | |

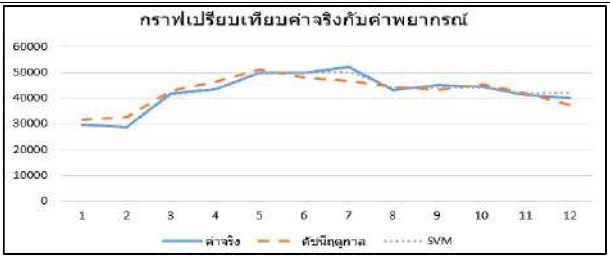



**รูปที่ 5** กราฟพยากรณ์การใช้กระแสไฟฟ้าของหม้อแปลงล่วงหน้า 1 ปี

ตารางที่ 3 ตารางผลพยากรณ์ความต้องการการใช้กระแสไฟฟ้ารวมล่วงหน้า 1 ปี

| ปี | เดือน | ค่าจริง | ดัชนีฤดูกาล | ผลต่าง | SVM | ผลต่าง-SVM |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 2015 | 1 | 29543 | 31549.63 | 2006.63 | 29500 | 43 |
| 2015 | 2 | 28793 | 32557.71 | 3764.71 | 28693 | 100 |
| 2015 | 3 | 41740 | 42689.90 | 949.90 | 41205 | 535 |

| ปี | เดือน | ค่าจริง | ดัชนีฤดูกาล | ผลต่าง | SVM | ผลต่าง-SVM |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 2015 | 4 | 43293 | 46395.37 | 3102.37 | 43308 | 15 |
| 2015 | 5 | 49927 | 50999.46 | 1072.46 | 50110 | 183 |
| 2015 | 6 | 49794 | 48065.76 | 1728.24 | 49854 | 60 |
| 2015 | 7 | 52046 | 46628.27 | 5417.73 | 50304 | 1742 |
| 2015 | 8 | 43150 | 44498.01 | 1348.01 | 44105 | 955 |
| 2015 | 9 | 45117 | 43191.17 | 1925.83 | 44032 | 1085 |
| 2015 | 10 | 44474 | 45349.88 | 875.88 | 43981 | 493 |
| 2015 | 11 | 41186 | 41781.52 | 595.52 | 41986 | 800 |
| 2015 | 12 | 40087 | 37264.88 | 2822.12 | 42027 | 1940 |
| MAPE-ดัชนีฤดูกาล = 5.03 MAPE-SVM = 1.56 % | | | | | | |




**รูปที่ 6** กราฟพยากรณ์ความต้องการการใช้กระแสไฟฟ้ารวมล่วงหน้า 1 ปี

### 3.4 ผลการตรวจจับความผิดปกติการใช้กระแสไฟฟ้าของผู้ใช้

ตารางที่ 4 ผลการตรวจจับความผิดปกติการใช้กระแสไฟฟ้าของผู้ใช้

| ปี | เดือน | จำนวน(หน่วย) | ผลการวิเคราะห์ |
|---|---|---|---|
| 2015 | 7 | 86 | ปกติ |
| 2015 | 8 | 111 | ปกติ |
| 2015 | 9 | 91 | ปกติ |
| 2015 | 10 | 382 | ผิดปกติ |
| 2015 | 11 | 107 | ปกติ |
| 2015 | 12 | 82 | ปกติ |

## 4. สรุปผล

การพัฒนาระบบการพยากรณ์และตรวจจับความผิดปกติของการใช้ไฟฟ้าในเขตเทศบาลนครอุดรธานี ได้มุ่งเน้นการพัฒนาระบบงานการพยากรณ์โดยเปรียบเทียบการใช้เทคนิคการวิเคราะห์ดัชนีฤดูกาลและซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชีนผลปรากฏว่าแบบซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีนมีประสิทธิภาพดีกว่าแบบดัชนีฤดูกาลในโดยพิจารณาจากค่าความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ยในทุกกรณี และระบบตรวจจับความผิดปกติของการใช้ไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้าได้ รวมไปถึงสามารถแสดงตำแหน่งของหม้อแปลงไฟฟ้าบน Google map แสดงระยะทางและเวลาที่ใช้ในการเดินทางได้

## 6. เอกสารอ้างอิง

[1] B.L. Bowerman, R.T. O'Connell, and A.B. Koehler, (2005). *Forecasting, Time series, Regression. Belmont*, CA: Thomson Brooks/Cole.

[2] ทรงศิริ แต้สมบัติ. (2549). *การพยากรณ์เชิงปริมาณ*. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

[3] รังสรรค์ เนียมสนิท. (2541). *อนุกรมเวลา และเลขดัชนี*. พิมพ์ครั้งที่ 2. ขอนแก่น: มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

[4] ศิริลักษณ์ สุวรรณวงศ์. (2545). *เทคนิคการพยากรณ์การวิเคราะห์อนุกรมเวลา*. ม.ป.ท.

[5] การวิเคราะห์อนุกรมเวลา. ค้นเมื่อ 15 กันยายน 2558, จาก http://www.nitiphong.com/paper_ppt/Business%20Statistics/09-time-series.ppt

[6] Han, Jia, Kamber, Micheline and Pei, Jian.(2011). *Data mining concepts and techniques*. Elsvier.

[7] Jason N. Gaylord. (2013). Professional ASP.NET 4.5 in C# and VB

นายวิษณุ ตลับเงิน กำลังศึกษาอยู่ระดับปริญญาตรี
สาขาวิทยาการคอมพิวเตอร์
คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี

นายคณพศ จูลนันท์ กำลังศึกษาอยู่ระดับปริญญาตรี
สาขาวิทยาการคอมพิวเตอร์
คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ปัจจัย พวงสุวรรณ
อาจารย์ประจำหลักสูตรวิทยาการคอมพิวเตอร์
คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี

# สายอากาศแพตช์พาราซิติกโพลาไรซ์วงกลมแบนด์กว้างป้อนสัญญาณเดี่ยวร่วมกับแผ่นพับสำหรับประยุกต์ใช้งานอาร์เอฟไอดียูเอชเอฟสากล

# A Single-Fed Broadband Circularly Polarized Parasitized Patch Antenna with Folded Plate for Universal UHF RFID Applications

**สิทธิชัย เด่นตรี[1] บัญชา เหลือแดง[2] ลักขณา บรรณวัฒน์[2] และ ชูวงศ์ พงศ์เจริญพาณิชย์[3]**
[1] วิทยาลัยชุมชนเมืองแห่งกรุงเทพมหานคร มหาวิทยาลัยนวมินทราธิราช
4095/29 ถ.มิตรไมตรี 3 แขวงดินแดง เขตดินแดง กรุงเทพฯ 10400 โทรศัพท์ 0-2245-6602 E-mail: sitthichai.d@live.com
[2]คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
96 หมู่ 3 ถ.พุทธมณฑล สาย5 ตำบล ศาลายา อำเภอ พุทธมณฑล จังหวัด นครปฐม 73170 E-mail: bancha.lua@rmutr.ac.th, lakkhana.ban@rmutr.ac.th
[3] คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
10 ถ.ฉลองกรุง แขวงลาดกระบัง เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520 โทรศัพท์ 02-329-8000 E-mail: pchuwong@gmail.com

## บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอสายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลอาร์เอฟไอดียูเอชเอฟสากล ที่ปรับช่วงความถี่ตามมาตรฐานของแต่ละประเทศ สายอากาศประกอบด้วยแผ่นพับ แพตช์พาราซิติก และระนาบกราวนด์ โดยโครงสร้างแผ่นพับสร้างจากแผ่นโลหะชิ้นเดียวประกอบด้วยแพตช์หลัก แพตช์ผนัง และเส้นป้อนสัญญาณ ผลการจำลองพบว่ามีความถี่กลางที่ $|S_{11}|$ มีค่าน้อยกว่า -15 dB ที่ปรับความถี่ 840, 870, 900, 930 และ 960 MHz มีอัตราส่วนแกน 3 dB ครอบคลุมช่วงความถี่ 840-960 MHz และอัตราขยายเฉลี่ยมากกว่า 8.6 dBic สายอากาศที่นำเสนอสามารถใช้งานกับเครื่องอ่านข้อมูลอาร์เอฟไอดียูเอชเอฟสากลที่ครอบคลุมความถี่ตั้งแต่ 840-960 MHz

คำสำคัญ: แบนด์กว้าง, โพลาไรซ์วงกลม, อาร์เอฟไอดียูเอชเอฟ

## Abstract

This research proposes antenna for universal ultra-high frequency (UHF) RF identification (RFID) readers on Different countries and regions permit different UHF bands for RFID applications. The antenna utilizes a folded plate, parasitic patch, and a ground plane. The folded plate, which is fabricated from one single plate, consists of a main patch, a wall patch, and a feed line. The simulated results changed an $|S_{11}| < -15$ dB at the frequency of 840, 870, 900, 930 and 960 MHz, a 3-dB Axial ratio of 840–960 MHz, and average gain greater than 8.6 dBic. The proposed antenna is applicable for universal UHF RFID readers as it covers the entire operating UHF RFID frequency range of 840–960 MHz.

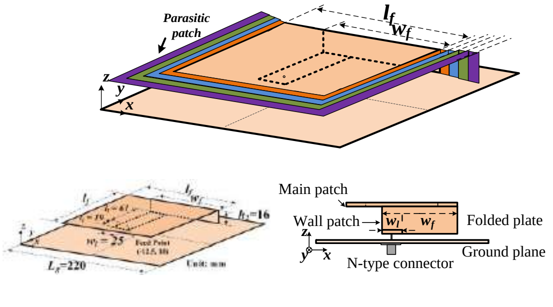
Keywords: Broadband, Circular Polarization, UHF RFID

## 1. บทนำ

การติดต่อสื่อสารแบบการกระจัดกระจายย้อนกลับ อาศัยสนามไฟฟ้าในการโอนถ่ายกำลังงานบนระยะสนามไกล ซึ่งต้องคำนึงถึงโพลาไรซ์ของสายอากาศ ซึ่งสายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลโพลาไรซ์วงกลมสามารถเพิ่มโอกาศในการติดต่อสื่อสาร และยังสามารถแก้ไขปัญหาเรื่องจางหายหลายวิถีได้ ซึ่งอาร์เอฟไอดียูเอชเอฟสากลมีช่วงความถี่ในการปฏิบัติการ 840-960 MHz (แบนด์วิดธ์ร้อยละ 13.3%) โดยมีงานวิจัยที่สามารถปรับปรุงโพลาไรซ์วงกลมด้วยการเพิ่มแพตช์เพื่อขยายช่วงกว้างอัตราส่วนแกนได้มากกว่า 13% โดยเรียกเทคนิคนี้ว่าการเพิ่มแพตช์พาราซิติก [1] และอีกเทคนิคที่มีการพัฒนาการป้อนสัญญาณด้วยโพรบโคแอคเชียลให้ตัวแผ่นพับที่เป็นตัวแพร่กระจายคลื่นร่วมกับแพตช์พาราซิติกเพื่อเปลี่ยนอิมพีแดนซ์และอัตราส่วนแกน [2]

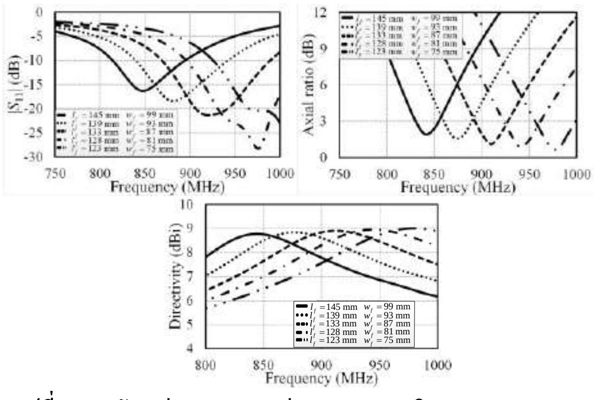
## 2. โครงสร้างสายอากาศ

รูปที่ 1 แสดงโครงสร้างและพารามิเตอร์สายอากาศที่นำเสนอ ซึ่งประกอบด้วยสองชั้นคือ แผ่นพับร่วมกับแพตช์พาราซิติก และระนาบกราวนด์ โดยมีช่องว่างระหว่างชั้นเป็นอากาศ ซึ่งแผ่นพับสร้างจากแผ่นเดียวที่ประกอบด้วยแพตช์หลัก แพตช์ผนัง และเส้นป้อนสัญญาณ โดยที่แพตช์หลักเชื่อมต่อกับเส้นป้อนสัญญาณด้วยแพตช์ผนัง แพตช์หลักมีขนาดกว้างและยาว ($L_f$) 142 mm ซึ่งเชื่อมต่อกับแพตช์ผนังในลักษณะตั้งฉากด้วยขนาดกว้าง ($w_f$) เท่ากับ 96 mm และสูง ($h_2$) 16 mm ซึ่งแพตช์ผนังเชื่อมต่อกับเส้นป้อนสัญญาณที่มีขนาดยาว ($l_l + l_i$) เท่ากับ 80 mm และกว้าง ($w_l$) 25 mm ที่ถูกวางห่าง ($h_1$) 5 mm เหนือระนาบกราวนด์ขนาด ($L_g$) 220 mm ในส่วนของแพตช์พาราซิติกที่มีขนาดความกว้างและความยาวร่วมกับแพตช์หลัก ($L_f$) เท่ากับ 123, 128, 133, 139 และ 145 mm โดยแพตช์ผนัง ($w_f$) จะเปลี่ยนตามเท่ากับ 75, 81, 87, 93 และ 99 mm

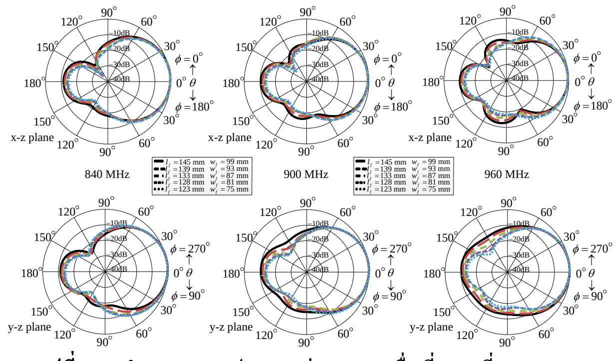



**รูปที่ 1** โครงสร้างและพารามิเตอร์สายอากาศ

## 3 การจำลองคุณลักษณะสายอากาศ




**รูปที่ 2** $|S_{11}|$ อัตราส่วนแกน และค่าสภาพเจาะจงทิศทาง ของสายอากาศ




**รูปที่ 3** ผลจำลองแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นที่ความถี่ 840 MHz 900 MHz และ 960 MHz ในระนาบ x-z และ y-z

การจำลอง $|S_{11}|$ ของสายอากาศมีความถี่กลางทั้งหมด 5 ช่วงความถี่ที่ 840, 870, 900, 930 และ 960 MHz ซึ่งมีความถี่กลางที่ $|S_{11}|$ เท่ากับ -15 .7 dB ที่ 840 MHz, -17.3 dB ที่ 870 MHz, -16.5 dB ที่ 900 MHz, -21.1 dB ที่ 930 MHz และ -24.3 dB ที่ 960 MHz โดยมีอัตราส่วนแกนเท่ากับ 1.9 dB ที่ 840 MHz, 1.6 dB ที่ 870 MHz, 1.9 dB ที่ 900 MHz, 2.0 dB ที่ 930 MHz และ 2.4 dB ที่ 960 MHz มีอัตราขยายเฉลี่ยที่ใช้งานในระบบอาร์เอฟไอดียูเอชเอฟสากลมากกว่า 8.6 dBic ดังแสดงในรูปที่ 2 นากจากนี้มีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นชนิดเจาะจงทิศทางตลอดย่านความถี่ใช้งาน 840 ถึง 960 MHz ดังรูปที่ 3 และสรุปคุณลักษณะการแพร่กระจายคลื่นดังตารางที่ 1

สามารถคำนวณระยะการอ่านได้จากสมการที่ 1 โดยมีระยะการอ่านสูงสุด 7.3 เมตร

$$d_{\max}(\theta,\phi) = \frac{\lambda}{4\pi}\sqrt{\frac{EIRP_R}{P_{chip}}\left(1-|\Gamma|^2\right)G_{tag}(\theta,\phi)\chi} \quad (1)$$

**ตารางที่ 1** คุณลักษณะการแพร่กระจายคลื่นและช่วงกว้างอัตราส่วนแกนของสายอากาศ

| Frequency (MHz) | | 840 | 870 | 900 | 930 | 960 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| HPBW | *x-z* | 68° | 67° | 67° | 66° | 66° |
| | *y-z* | 67° | 67° | 67° | 67° | 67° |
| 3-dB AR-BW | *x-z* | 90° | 90° | 80° | 75° | 75° |
| | *y-z* | 80° | 80° | 70° | 70° | 70° |
| F/B (dB) | | 12 | 12 | 13 | 13 | 15 |
| Directivity (dBi) | | 8.7 | 8.8 | 8.8 | 8.8 | 8.8 |
| Gain (dBic) | | 8.6 | 8.7 | 8.7 | 8.8 | 8.8 |

## 4. สรุป

การทดสอบคุณลักษณะทางไฟฟ้าของสายอากาศเครื่องอ่านข้อมูลอาร์เอฟไอดียูเอชเอฟสากลที่ใช้โครงสร้างแผ่นพับร่วมกับแพตช์พาราซิติกเพื่อ ที่ประกอบด้วยเส้นป้อนสัญญาณ แผ่นผนังและแพตช์หลัก ป้อนสัญญาณเดี่ยวด้วยโพรบโคแอคเชียล เพื่อเปลี่ยนอิมพีแดนซ์และอัตราส่วนแกน โดยมีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นทิศทางเดียวโพลาไรซ์วงกลมหมุนซ้าย ประยุกต์ใช้งานกับเครื่องอ่านข้อมูลอาร์เอฟไอดียูเอชเอฟสากล สายอากาศที่นำเสนอสามารถประยุกต์ใช้งานได้หลายช่วงความต่างของช่วงความถี่ในแต่ละประเทศ ผลจากการทดสอบหาระยะทางไกลที่สุดที่สามารถติดต่อสื่อสารบนระบบอาร์เอฟไอดียูเอชเอฟพบว่า สามารถติดต่อสื่อสารกันได้ในช่วงระยะทาง 0 ถึง 7.3 m

## เอกสารอ้างอิง

[1] Z. N. Chen, X. Qing, and H. L. Chung, “A universal UHF RFID reader antenna,” *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, Vol. 57, No. 5, pp. 1275–1282, May 2009.

[2] Z. Wang, S. Fang, S. Fu, and S. Jia, “Single-fed broadband circularly polarized stacked patch antenna with horizontally meandered strip for universal UHF RFID applications,” *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, Vol. 59, No. 4, pp. 1066–1073, Apr. 2011.

## ดัชนีผู้เขียนบทความ


| | | หน้า |
|---|---|---|
| D | Dang Ngoc Chuong | 403 |
| ก | กนกวรรณ นนทพจน์ | 535 |
| | กมล บุญล้อม | 25, 61, 157, 351, 371, 475, 603 |
| | กมลทิพย์ วัฒกีกำธร | 267 |
| | กมลรัตน์ ปัตถานัง | 13 |
| | กร พวงนาค | 419 |
| | กรณิการ์ มูลโพธิ์ | 607 |
| | กริช สมกันธา | 337, 403 |
| | กฤติน ทิพย์สน | 5 |
| | กฤษฎิ์ เจริญสาธิต | 251 |
| | กฤษณ์ชนม์ ภูมิกิตติพิชญ์ | 547 |
| | กฤษณ์วรา รัตนโอภาส | 347, 673 |
| | กฤษณะ ปั้นจา | 371 |
| | กฤษดา ยิ่งขยัน | 197 |
| | กสิน วิเชียรชม | 21 |
| | กองศักดิ์ ทองบุญ | 519, 591, 595 |
| | กัญญ์พิชญา ตั้งสกุลเดิม | 289 |
| | กัญญวิทย์ กลิ่นบำรุง | 583 |
| | กัญญาภัค ศรีสุข | 223 |
| | กันตินันท์ รื่นสัมฤทธิ์ | 686, 697 |
| | กัลยรัตน์ สมจักร | 475 |
| | กานต์ชนก ขินสูงเนิน | 738 |
| | กิตติชัย กิตตวราภรณ์ | 503 |
| | กิตติศักดิ์ แพบัว | 275, 279 |
| | กีรดิษ สายพัทลุง | 49 |
| | กีรติ ชยะกุลคีรี | 161 |
| | กุลสมทรัพย์ เย็นฉ่ำชลิต | 611 |
| | เกรียงไกร ทัศนวิภาส | 117, 121 |
| | เกรียงไกร เหลืองอำพล | 243 |
| | เกษมสุข เสพศิริสุข | 423 |
| | เกษราภรณ์ บุญยืน | 309 |
| ข | ขวัญหทัย โพธิ์แจ้ง | 293 |
| ค | คณบดี ศรีสมบูรณ์ | 355 |
| | คณพศ จูลนันท์ | 741 |
| | คณาวุฒิ อินทบุต | 415 |
| | คณิตกร ขันเชื้อ | 455 |

| | | หน้า |
|---|---|---|
| | คณิน อินธิสาร | 137 |
| | คณิศร จิ้กระโทก | 153 |
| | คมพัชญ์ ชื่นด้วงจิรสิริ | 355 |
| | ครรชิต เงินคำคง | 701 |
| | คัมภีร์ รุ่งกลิ่น | 297 |
| ฆ | ฆอยรอน  อีซอ | 223 |
| จ | จรินทร์ศักดิ์ แซ่เตียว | 567 |
| | จักรกฤษ อ่อนชื่นจิตร | 17, 133 |
| | จักรกฤษณ์ จันทรศิริ | 45 |
| | จักรพันธุ์ ภู่ระหงษ์ | 267 |
| | จักรี ตั้งตัว | 37 |
| | จักรี ศรีนนท์ฉัตร | 17, 133, 145 |
| | จารุณี ดวงสุวรรณ | 391 |
| | จารุวัฒน์ จันทรเกษ | 623 |
| | จิรายุทธ สอนสุภาพ | 153 |
| | จีรวัฒน์ เตวิน | 157 |
| | จีรสุดา โกษียาภรณ์ | 728, 732 |
| | จีราภา ทิพกรณ์ | 29 |
| | จุฑารัตน์ ทานะรมณ์ | 519, 591, 595 |
| | เจตสรรค์ ขันสิงหา | 479 |

| | | หน้า |
|---|---|---|
| | เจษฎาภรณ์ จิติธรรม | 701 |
| ฉ | ฉัตรชัย โชคชัย | 263 |
| | เฉลิมชาติ เรืองเถาะ | 355 |
| ช | ชนม์รัตน์ ตติยะวรนันท์ | 173, 511 |
| | ชนันรัตน์ วีระเพ็ชร์ | 693 |
| | ชนาธิป ฤกษ์สุขรุ่งเรือง | 329 |
| | ชยุตม์ เจริญกิจ | 539 |
| | ชโยดม ชื่นกมล | 137 |
| | ชลดา ปานสง | 297 |
| | ชลพรรษ บทมาตร | 211 |
| | ชลัช สัตยารักษ์ | 41 |
| | ชวลิต รักเหลือ | 271 |
| | ชัชวาลย์ เยรบุตร | 57 |
| | ชัยพร ใจแก้ว | 9, 367, 459, 463, 661, 667 |
| | ชัยยพล  ธงชัยสุรัชต์กูล | 619 |
| | ชัยวัฒน์ เจษฎาจินต์ | 503, 515, 523 |
| | ชาญชัย ทองโสภา | 33 |
| | ชาญชัย พฤกษ์พาดี | 563 |
| | ชานนท์ ปรางขำ | 285 |

| | | หน้า |
|---|---|---|
| | ชิติสรรค์ วิชิโต | 177 |
| | ชีวัน บุญธรรม | 730 |
| | ชุตินันท์ เสาเงิน | 65 |
| | ชูวงค์ พงศ์เจริญพาณิชย์ | 745 |
| | เชวงศักดิ์ คงเกิด | 649 |
| | เชาวลิต สมบูรณ์พัฒนากิจ | 649 |
| | โชติวุฒิ ประสพสุข | 611 |
| | ไชยวัฒน์ กล่ำพล | 459 |
| ญ | ญาณกร ธัญญางค์ | 667 |
| | ญาณพัฒน์ ชูชื่น | 673 |
| ฐ | ฐิติพงษ์ เลิศวิริยะประภา | 275, 279 |
| | ฐิติพร ขันทอง | 117 |
| | ฐิติพร หนูแก้ว | 415 |
| ณ | ณภัทร ยิ้มจันทร์ | 215 |
| | ณรงค์ศักดิ์ สุขมา | 203 |
| | ณรัฐ รุจิรัตน์ | 535 |
| | ณัฏฐณิชา โพธิ์สว่าง | 736 |
| | ณัฏฐากร พุกสีแสง | 33 |
| | ณัฐกานต์ พุทธรักษ์ | 728 |
| | ณัฐกิตติ์ พูลเอี่ยม | 705 |

| | | หน้า |
|---|---|---|
| | ณัฐธยาน์ จงทอง | 313 |
| | ณัฐพงศ์ พันธุนะ | 141, 227, 231, 235, 239, 363, 503, 689, 693, 697 |
| | ณัฐพงศ์ แพน้อย | 607 |
| | ณัฐพงษ์ เชื้อเมืองพาน | 197 |
| | ณัฐพงษ์ ดวงฤทธิ์ | 263 |
| | ณัฐพงษ์ อินทรวิเศษ | 587 |
| | ณัฐพล พึ่งพูลผล | 363 |
| | ณัฐริกา ลิขิตจรรยารักษ์ | 391 |
| | ณัฐวุฒิ ใจบาน | 351 |
| | ณัฐวุฒิ พานิชเจริญ | 631 |
| | ณัฐิกา เพ็งลี | 9 |
| | ณัฐิธัช เลิศจำรัสพงศ์ | 193 |
| ด | ดนัย ชาติมนตรี | 721 |
| | ดนัย วิไลเอก | 661 |
| | ดรุณี ชายทอง | 1, 383 |
| | ดลชัย สุขเจริญผล | 571 |
| | ดลรวี วุ่นแม่สอด | 239 |

| | | หน้า |
|---|---|---|
| | ดวงอาทิตย์ ศรีมูล | 207, 285, 289, 479 |
| ต | ไตรรงค์ ใจดี | 231 |
| ท | ทวีศักดิ์ สุขเจริญทรัพย์ | 297 |
| | ทองคำ สมเพราะ | 5 |
| | ทัศวรรณ พุทธสกุล | 13 |
| | ทินวัฒน์ จังจริง | 635 |
| | เทพบดินทร์ บริรักษ์อราวินท์ | 527 |
| | เทพฤทธิ์ รัตนปัญญากร | 443, 449 |
| | เที่ยง เหมียดไธสง | 101, 375 |
| ธ | ธงชัย มณีชูเกตุ | 615 |
| | ธนบดี ทานาค | 141 |
| | ธนพงศ์ สุทิน | 255 |
| | ธนพล นพางค์แก้วเก้า | 141 |
| | ธนวิชญ์ อนุวงศ์พินิจ | 343 |
| | ธนเสฏฐ์ ทศดีกรพัฒน์ | 33 |
| | ธนะกิจ วัฒกีกำธร | 267 |
| | ธนะพงศ์ นพวงศ์ ณ อยุธยา | 431, 575 |
| | ธนัท เมษพันธุ์ | 732 |
| | ธนัสนี เพียรตระกูล | 251, 255 |

| | | หน้า |
|---|---|---|
| | ธนาวุฒิ ธนวาณิชย์ | 25, 61, 157,351, 371, 475, 603 |
| | ธนาศักดิ์ ชมจุรัย | 732 |
| | ธเนศ คณะดี | 603 |
| | ธรรมกร ครองไตรภพ | 73 |
| | ธวัชชัย สุเขื่อน | 475 |
| | ธัชชัย เอ้งฉ้วน | 193, 467 |
| | ธัญวัฒน์ ลิมปิติ | 53 |
| | ธันยกานต์ รุ่งสว่าง | 371 |
| | ธันยวุฒิ อักขระสมชีพ | 9 |
| | ธันวา สุวรรณรัตน์ | 728 |
| | ธาตรี มามี | 49 |
| | ธีรพงษ์ ฉิมเพชร | 41 |
| | ธีรยุทธ์ แก้วจักวัติ | 347 |
| | ธีรวงศ์ สุเมธพันธุ์ | 177 |
| | ธีระยุทธ กุสม | 37 |
| | ธีระวุฒิ พื้นเกาะ | 379 |
| น | นคร อัมระนันท์ | 85 |
| | นครินทร์ นุชศิริ | 681 |
| | นนชณัต ฉัตรภูติ | 395 |

| | หน้า | | | หน้า |
|---|---|---|---|---|
| นนท์ เขียวหวาน | 367 | | นิวัตร จารุวาระกูล | 649 |
| นนทรัฐ บำรุงเกียรติ | 705 | | นิสิต ภูครองตา | 485 |
| นพกฤศณ์ ดำน้อย | 267 | | นุกูล ชูศรี | 5 |
| นพพล ปามูล | 301 | | นุชนาฏ หาไม้ตรี | 705 |
| นพสิทธิ์ อริยพสิษฐ์ | 21 | | นุชนาถ สัตย์วินิจ | 321, 325 |
| นรากร พุทธเรืองศรี | 141 | | นุตร สายพันธุ์กุล | 363 |
| นเรศ ขวัญทอง | 93 | | เนตรนพิศ คุ้มทุกทิศ | 515, 523 |
| นฤดม นวลขาว | 579 | | เนติวุฒิ บุรี | 45 |
| นวคุณ พอใจ | 157 | | เนื่องวงศ์ ทวยเจริญ | 309, 623, 657 |
| นัฐโชติ รักไทยเจริญชีพ | 355, 563 | บ | บัญจรัตน์ โจลานันท์ | 701 |
| นัทธพงศ์ วัฒนศิริ | 21 | | บัญชา เหลือแดง | 745 |
| นันทชัย ทองแป้น | 65 | | บุญชัย งามวงศ์วัฒนา | 653 |
| นันท์นภัส มโนนันท์ | 701 | | บุญฤทธิ์ คุ้มเขต | 471, 487 |
| นันธชัย เต๋จาติ๊บ | 61 | | บุณณ์ณฤตกรณ์ ภู่วิจิตรสุทิน | 728 |
| นัสริน ไชยบัญดิษฐ์ | 639 | | บุณย์ชนะ ภู่ระหงษ์ | 571 |
| นาตยา คล้ายเรือง | 181 | ป | ปกรณ์เกียรติ์ เศวตเมธิกุล | 297 |
| นาทรพี ผลใหญ่ | 9 | | ปฏิทิน ประทีปสุวรรณ | 77 |
| นิพนธ์ เลิศมโนกุล | 301 | | ปฏิมากร จันทร์พริ้ม | 41 |
| นิมิตร หงษ์ยิ้ม | 599 | | ปณวรรต คงธนกุลบวร | 153 |
| นิวรรณ วัฒนกิจรุ่งโรจน์ | 639 | | ปภังกร ศรีสุข | 223 |

| | | หน้า | | หน้า |
|---|---|---|---|---|
| | ประกาศิต ศรีประไหม | 169 | พงษ์ศิลป แก้วรัตนศรีโพธิ์ | 57 |
| | ประจวบ อินระวงศ์ | 73, 149 | พชร วีระภักดี | 707 |
| | ประภาส ผ่องสนาม | 555 | พนมขวัญ ริยะมงคล | 29 |
| | ประยุทธ อัครเอกฒาลิน | 491 | พนมพร รอดคำดี | 137 |
| | ประสงค์ เกษแก้ว | 97 | พรชัย เปลี่ยมทรัพย์ | 734 |
| | ปราโมทย์ วาดเขียน | 732 | พรชัย พฤกษ์ภัทรานนต์ | 41 |
| | ปริญญา เปียพนม | 459 | พรพิมล ชิวะกิจ | 185 |
| | ปรีชา การะเกตุ | 367 | พรพิมล รามัญอุดม | 653 |
| | ปัจจัย พวงสุวรรณ | 741 | พรเพชร มาลัยนาค | 121 |
| | ปัณฑิตา อินทะเสม | 423 | พรศิลป์ บัวงาม | 125 |
| | ปิยดนัย บุญไมตรี | 305 | พลวัฒน์ จำปาเรือง | 539 |
| | ปิยพัฒน์ พูลทอง | 527 | พลศาสตร์ เลิศประเสริฐ | 709, 715 |
| | ปิยวัจน์ ค้าสบาย | 185, 189 | พสิษฐ์ สุวรรณภิงคาร | 689 |
| | ปิยสุดา ตันเลิศ | 105 | พัชยา คีรินทร์ | 235 |
| | ปิยะเทพ ประยูรคง | 177 | พัชรา รัตนคช | 643 |
| | ปิยะภัทร พ่วงศรี | 395 | พัชรี ยางยืน | 615 |
| | ปุณยสิริ บุญเป็ง | 197 | พัชรีพรรณ สมวงษ์ | 611 |
| ผ | ผุสดี มุหะหมัด | 215 | พิชิต ทนันชัย | 37 |
| พ | พงศธร ชมทอง | 491 | พิชิต อ้วนไตร | 587, 611 |
| | พงศ์พัฒน์ เวชการ | 117 | พิเชฐ จิรีรัตนชาติ | 567 |

| | | หน้า |
|---|---|---|
| | พินิจนัย สิทธิไทย | 279 |
| | พิมพ์นภัส เอี่ยมสมบูรณ์ | 547 |
| | พิศณุ ชัยจิตวณิชกุล | 97 |
| | พีรชัย ฐิติไชโย | 571 |
| | พีรพล โพธิ์ทัย | 657 |
| | พุทธาวุฒิ ลีกุลธร | 177 |
| | พุธิตา สมุทรรัตน์ | 343 |
| | พูนศรี วรรณการ | 693, 697 |
| | ไพฑูรย์ รักเหลือ | 271, 293, 431, 471, 485, 635 |
| | ไพโรจน์ ทองประศรี | 685 |
| | ไพศาล ดาแร่ | 403 |
| ภ | ภราดร ศรีอาวุธ | 495 |
| | ภวินท์ ลำพูน | 363 |
| | ภัทรวรรณ ชุ่มสายันต์ | 297 |
| | ภัทราวุธ คุณวิภูษิต | 251 |
| | ภัสส์กุญช์ ฐิติมหัทธนกุศล | 567 |
| | ภานี น้อยยิ่ง | 69 |
| | ภูเบต แสงมะฮะหมัด | 487 |
| | ภูมินทร์ อินทร์แป้น | 93, 409 |
| | ภูมิพงษ์ ดวงตั้ง | 475 |
| ม | มณเฑียร งามแก้ว | 387 |
| | มธุรส กัปโก | 317 |
| | มนตรี ไชยชาญยุทธ์ | 709, 715 |
| | มนัส บุญเทียรทอง | 689 |
| | มนัส สังวรศิลป์ | 13 |
| | มโนเชียร อยู่ยรรยง | 367 |
| | มยุรา เผ่าบ้านฝาง | 185 |
| | มหศักดิ์ เกตุฉ่ำ | 259 |
| | มัณฑนา เตี๋ยวงษ์สุวรรณ์ | 419 |
| | มัลลิกา พุ่มพวง | 730 |
| | มัลลิกา วัฒนะ | 736, 738 |
| | มานพ ผู้พัฒน์ | 367 |
| ย | ยศธร ใจสว่าง | 467 |
| | ยุทธนา ปิติธีรภาพ | 65 |
| | ยุพดี หัตถสิน | 5 |
| ร | รณกร ขาเพชร | 707 |
| | รณชัย ฮูเจี่ย | 491 |
| | ระพินทร์ ขัดปีก | 301 |
| | รัชฎาพร คำภู | 181 |

| | | หน้า | | หน้า |
|---|---|---|---|---|
| | รัฐภูมิ วรานุสาสน์ | 29, 247 | วฤษาย์ ร่มสายหยุด | 495 |
| | รัฐศิลป์ รานอกภานุวัชร์ | 439 | วัชรพล นาคทอง | 305 |
| | รุ่งลาวัลย์ ชูสวัสดิ์ | 1 | วัชระ ตุ่นกระโทก | 149 |
| | รุสดี ดอเล๊าะ | 223 | วัชรินทร์ ปรีดี | 359 |
| | เรวัต ศิริโภคาภิรมย์ | 455 | วันวิสา ชัชวงษ์ | 343, 571 |
| | โรจนา ลิ้เจริญ | 539 | วัลภา ภุมมะระ | 243, 627 |
| ฤ | ฤกษ์ชาย หงษ์ขาว | 189 | วาทิต เบญจพลกุล | 169 |
| ล | ลดาวัลย์ วัฒนะจีระ | 701 | วาทิตา พันธุมะโน | 559 |
| | ลลิตา ชัยมงคล | 153 | วารินี วีระสินธุ์ | 587 |
| | ลักขณา บรรณวัฒน์ | 745 | วิชัย แก้วรากมุข | 721 |
| | ลัดดา ปรีชาวีรกุล | 215 | วิชัย ชัยบุตร | 387 |
| | ลิขิต เพ็งจันทร์ดี | 439 | วิชาญ มะวิญธร | 9 |
| ว | วงศธร สุขสมสังข์ | 693 | วิเชษฐ ทิพย์ประเสริฐ | 77 |
| | วชิรนันท์ ปุ้ม | 203 | วิเชียร อูปแก้ว | 17, 133 |
| | วชิราวุธ ธรรมวิเศษ | 707, 736, 738 | วิทยา ศรีกุล | 73 |
| | วรพจน์ พัฒนวิจิตร | 243 | วิบูลย์ พร้อมพานิชย์ | 317 |
| | วรวุฒิ ทาคำมา | 25 | วิภาวัลย์ นาคทรัพย์ | 677 |
| | วรวุฒิ บุญเป็ง | 33 | วิโรจน์ พิราจเนนชัย | 487, 575 |
| | วรากร เสาะก่าน | 121 | วิไลพร กุลตังวัฒนา | 337, 403 |
| | วรายุทธ สามัคคี | 275 | วิวัฒนชัย อินทะนู | 189 |

| | | หน้า | | หน้า |
|---|---|---|---|---|
| | วิษณุ ตลับเงิน | 741 | ศักดิ์ชัย เทพเอียด | 53 |
| | วิษณุ บุญเปลี่ยน | 145 | ศักดิ์ชัย แผ่นกระโทก | 149 |
| | วีระ สุทธิสิงห์ | 161 | ศักดิ์ดา พรรณไวย | 443, 449 |
| | วีระยุทธ คุณรัตนสิริ | 333 | ศักดินนท์ เปี้ยกาศ | 321 |
| | วุฒิชัย เกษรปทุมานันท์ | 449 | ศักดิ์สิทธิ์ สุ่มมาตย์ | 567 |
| | วุฒิชัย ปวงมณี | 435 | ศิรินันทร์ นาพอ | 113, 409 |
| | วุฒิชัย สง่างาม | 149 | ศิริพงษ์ วงษ์การ | 543 |
| | วุฒิพงศ์ แสงทะมาตย์ | 97 | ศิริพร จันทะวงค์ | 37 |
| | ไวยพจน์ ศุภบวรเสถียร | 677 | ศิริพันธ์ เทพมาก | 129 |
| ศ | ศรวัฒน์ ชิวปรีชา | 329 | ศิริรัตน์ วณิชโยบล | 399, 643 |
| | ศราวุฑ คงลำพันธ์ | 211, 387 | ศิริรัตน์ สายคุณากร | 309 |
| | ศราวุฒิ พิมพากุล | 403 | ศิริรัตน์ สิทธิหาโคตร | 736 |
| | ศราวุธ ขุนประเสริฐ | 219 | ศิวกร บุราคร | 681 |
| | ศราวุธ เทียนคำ | 247 | ศิวดล นวลนภดล | 415 |
| | ศวรรณรัศม์ อภัยพงค์ | 113, 409 | ศิวพร ถาวรวงศา | 109 |
| | ศวัสกร ไชยสุนทร | 219, 599 | ศิวาพร เหมียดไธสง | 101, 375 |
| | ศวิตา อยู่ประเสริฐ | 367 | ศิศีโรตม์ เกตุแก้ว | 724 |
| | ศศิชา สมบัตินิมิตร | 137 | ศุภโชค จินดาพล | 689, 697 |
| | ศศิประภา บานศิลป์ | 259 | ศุภวัฒน์ คชประดิษฐ์ | 33 |
| | ศศิพงศ์ จินดาลัทธ | 443 | ศุภวัฒน์ อินทร์เกิด | 93 |

| | | หน้า | | หน้า |
|---|---|---|---|---|
| ส | สถาพร สิทธิวงศ์ | 619 | สาริน จันระมาด | 305 |
| | สนั่น จันทร์พรม | 379 | สิงห์ทอง พัฒนเศรษฐานนท์ | 45 |
| | สมเกียรติ ทองแก้ว | 141, 363 | สิตางศุ์ สายดาราสมุทร | 255 |
| | สมพร สิริสำราญนุกุล | 85, 89 | สิทธิชัย จีนะวงษ์ | 721 |
| | สมมาตร เลิศวนิชย์ทิพย์ | 89 | สิทธิชัย เด่นตรี | 741 |
| | สมรักษ์ เพชรชาตรี | 219 | สิทธิชัย ภู่เสือ | 687 |
| | สมศักดิ์ มิตะถา | 219, 599 | สิทธิศักดิ์ ทิโน | 247 |
| | สมศักดิ์ อรรคทิมากูล | 583, 587 | สิทธิศักดิ์ วรดิษฐ์ | 419 |
| | สมสิน ทองไกรรัตน์ | 343 | สิปนนท์ มุทาวัน | 734 |
| | สมหมาย บัวแย้มแสง | 427 | สิระ สิรปวเรศ | 137 |
| | สมหมาย ผิวสอาด | 547 | สุกฤษฎิ์ ไชยติ๊บ | 157 |
| | สรายุทธ กูลเกื้อ | 673 | สุจิตรา จีนะวงษ์ | 721 |
| | สรายุทธ์ แย้มประยูร | 145 | สุชาดา สิทธิ์จงสถาพร | 499 |
| | สราวุฒิ เชาวสกู | 101, 375 | สุฐิติ เทียนทอง | 137 |
| | สัญญา คูณขาว | 81 | สุทธิกานต์ บ่อจักรพันธ์ | 105 |
| | สัญญา อุทธโยธา | 37 | สุเทพ ทัพธวัช | 551 |
| | สันติภาพ โคตทะเล | 165, 507 | สุเทพ อาจอ | 371 |
| | สัพพัญญู ศรีสารคาม | 211 | สุธาสินี นาวี | 301 |
| | สาคร วุฒิพัฒนพันธุ์ | 563, 681, 693 | สุปัญญา สิงห์กรณ์ | 583 |
| | สามารถ อินซ้อน | 359 | สุภัทรา เกิดเมฆ | 379 |

| | หน้า |
|---|---|
| สุภัทรา สถิตย์พรม | 419 |
| สุมนมาลย์ เนียมหลาง | 547 |
| สุมนา ปาธะรัตน์ | 113, 409 |
| สุรเชษฐ์ โทวราภา | 137 |
| สุรเดช จิตประไพกุลศาล | 29 |
| สุรพันธ์ อินแก้ว | 661 |
| สุรพันธุ์ เอื้อไพบูลย์ | 21 |
| สุรศักดิ์ ศิริรัตน์ | 325 |
| สุรัชนันท์ ไกรเดช | 317 |
| สุริยา ไชยวงค์ | 227 |
| สุรีรัตน์ แก้วคีรี | 347 |
| สุโรตม์ วงศ์ไพบูลย์ | 463 |
| สุวนันท์ สุยะต๊ะ | 475 |
| เสกสรร วงค์สม | 603 |
| เสกสรร สงจันทึก | 615 |
| เสกสรรค์ วินยางค์กูล | 25, 351, 603 |
| เสฎฐวิทย์ เกิดผล | 730 |
| เสนอ สะอาด | 1, 383 |
| เสาวนี ศรีสุวรรณ | 443 |
| เสาวลักษณ์ วรรธนาภา | 559 |

| | | หน้า |
|---|---|---|
| | แสงเทียน ดวงจันทร์ | 701 |
| | โสรยา สิงสาโร | 215 |
| อ | อจลวิชญ์ ฉันทวีโรจน์ | 53 |
| | อดิเทพ จ่างอ่อน | 519, 591, 595 |
| | อธิคม ศิริ | 25, 61, 157, 351, 371, 475, 603 |
| | อนันต์ ผลเพิ่ม | 9, 367, 459, 463, 661, 667 |
| | อนันท์ ชกสุริวงศ์ | 313 |
| | อนุวัฒน์ แสนทวีสุข | 297 |
| | อนุวัตร์ สมบุญ | 653 |
| | อนุสรณ์ ใจแก้ว | 157, 371 |
| | อภิชฎา ทองรักษ์ | 81, 499 |
| | อภิบาล พฤกษานุบาล | 395 |
| | อภิรักษ์ จันทร์สร้าง | 9, 367, 459, 463, 661, 667 |
| | อภิวัฒน์ สุวรรณประไพ | 379 |
| | อภิสิทธิ์ อุคำ | 137 |
| | อมร มิสรา | 251 |
| | อรรถ พยอมหอม | 85 |

| | หน้า |
|---|---|
| อรรถการ จันทร์ศศิธร | 49 |
| อรรถชัย อะทะถ้ำ | 77 |
| อรอนงค์ แซจิว | 555 |
| อริสรา หนูวัฒนา | 734 |
| อลงกต กองมณี | 615 |
| อลงกรณ์ วิจิตรธนสาร | 343 |
| อ้อยใจ อ่องหร่าย | 531 |
| อัชอารีย์ บิลละเตะ | 643 |
| อัญชลี พานิชเจริญ | 631 |
| อาดีสน เกษา | 347 |
| อานนท์ จันทรัตน์ | 399 |
| อานนท์ ไชยธิมา | 197 |
| อานนท์ สิงห์เสถียร | 395, 689, 693, 697 |
| อาภากร แพ่งสภา | 207 |
| อำนวย เรืองวารี | 305 |
| อำนาจ ทองขาว | 673 |
| อุดม เครือเทพ | 165, 507 |
| อุดมโชค สุริยะจรัสแสง | 449 |
| อุทัย วังชัยศรี | 443, 449 |
| อุมาพร มัทธุรศ | 121 |
| อุรฉัตร โคแก้ว | 707, 736, 738 |
| อุสาห์ บุญบำรุง | 49 |

# ขอขอบคุณผู้ให้การสนับสนุนการจัดประชุมวิชาการ ECTI-CARD2016

บริษัท เมเชอร์โทรนิกซ์ จำกัด
บริษัท ไพรเมซี่ ซัพพลาย จำกัด
บริษัท แสงวิทย์ ซายน์ จำกัด
บริษัท แมริโกลด์ เทคโนโลยีส์ จำกัด
บริษัท เมสเชอร์เมนท์เอเชีย จำกัด
บริษัท ไวส์ไลฟ์ จำกัด
บริษัท แปซิฟิค เพาเวอร์ เทคโนโลยี จำกัด
บริษัท ดีอาร์เค เทคโนโลยี จำกัด

บริษัท เอสซีจี โซลูชั่น จำกัด
บริษัท พีทีเอส คอมบิเนชั่น จำกัด
บริษัท ไออาร์ซี เทคโนโลยีส์ จำกัด
บริษัท วีนัส ซัพพลาย จำกัด
บริษัท ออโต ไดแด็กติก จำกัด
บริษัท ที ไซน์ โซลูชั่น จำกัด
บริษัท เอสซอม จำกัด
บริษัท ดีอาร์เค เพาเวอร์ เซอร์วิส จำกัด