



# สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น

## Thai-Nichi Institute of Technology

### 泰日工業大学

สร้างนักคิด ผลิตนักปฏิบัติ สร้างนักประดิษฐ์ ผลิตนักบริหาร

## วารสารสถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น : วิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี

### TNI Journal of Engineering and Technology

ISSN (Print) 2351-0056 ISSN (Online) 2672-9989 ปีที่ 7 ฉบับที่ 2 กรกฎาคม - ธันวาคม 2562

- |   |  |    |
|---|--|----|
| ☀ | A Social Media Monitoring System for Thai University<br>Tanatorn Tanantong, Supranee Thaskhwan, Sasitorn Kreangkriwanich   | 1  |
| ☀ | A Study of Beacons System Comparison with RFID Time Attendance System<br>for Human Resource Management<br>Yuranan Musor  | 18 |
| ☀ | Application of Taguchi Method for Defect Reduce Assembly Process<br>on Printed Circuit Board A Case Study of An Electronics Part Factory<br>Somporn Vongpeang, Anyarat Prasanjai | 26 |
| ☀ | Artificial Neural Network Modeling for Prediction of Tensile Strength<br>in Pressure Vessel Welding with Steel ASTM A537 Class 1<br>Prachya Peasura                              | 36 |
| ☀ | Design and Implement of Two Axes Automatic Sun Tracking with Fuzzy Controller<br>Surachat Chantarachit   | 50 |
| ☀ | Determination of Inventory Replenishment Factors with Lateral Transshipment<br>in a Multiple Warehouses and Multiple Retailers Distribution System<br>Anchalee Supithak          | 57 |
| ☀ | Enhanced MIMO-SCMA Detector by Deep Learning<br>Triratana Metkarunchit   | 68 |



# วารสารสถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น : วิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี

## TNI Journal of Engineering and Technology

ปีที่ 7 ฉบับที่ 2 กรกฎาคม - ธันวาคม 2562 Vol. 7 No. 2 July - December 2019

ISSN (Print) 2351-0056 ISSN (Online) 2672-9989

### ความเป็นมา

ด้วยสถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น มีนโยบายสนับสนุนการเผยแพร่ผลงานวิจัยที่มีคุณภาพ เพื่อเป็นประโยชน์ในการพัฒนาความรู้แก่สังคม โดยเฉพาะภาคธุรกิจและอุตสาหกรรม จึงได้จัดทำวารสารวิชาการ คือ วารสารสถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น : วิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีขึ้น

### วัตถุประสงค์

1. เพื่อส่งเสริมและเผยแพร่ผลงานวิจัยสาขาวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีที่มีคุณภาพ
2. เพื่อเป็นสื่อกลางในการแลกเปลี่ยนองค์ความรู้ทางการวิจัยในสาขาวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี
3. เพื่อพัฒนาศักยภาพทางการวิจัยสาขาวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี

### ที่ปรึกษา

รองศาสตราจารย์ ดร.บัณฑิต ไรจน์อารยานนท์

### ขอบเขตเนื้อหา

บทความวิจัยทางด้านวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี ได้แก่ สาขาวิศวกรรมศาสตร์ วิทยาศาสตร์เทคโนโลยี เทคโนโลยีสารสนเทศ มัลติมีเดีย

### กำหนดออกเผยแพร่

วารสารตีพิมพ์เผยแพร่ราย 6 เดือน (ปีละ 2 ฉบับ)

- ฉบับที่ 1 มกราคม - มิถุนายน
- ฉบับที่ 2 กรกฎาคม - ธันวาคม

### เจ้าของ

สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น (Thai-Nichi Institute of Technology : TNI)

1771/1 ถนนพัฒนาการ แขวงสวนหลวง เขตสวนหลวง กรุงเทพฯ 10250

1771/1 Pattanakarn Rd., Suanluang, Bangkok 10250

## บรรณาธิการ

รองศาสตราจารย์ ดร.พิชิต สุขเจริญพงษ์

สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น

## กองบรรณาธิการ

- |   |   |
|---|---|
| 1. ศาสตราจารย์ ดร.ธนารักษ์ อีระมันคง            | สถาบันเทคโนโลยีนานาชาติสิรินธร<br>มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ |
| 2. ศาสตราจารย์ ดร.โกสินทร์ จำนงไทย              | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี                   |
| 3. รองศาสตราจารย์ ดร.อดิศร ลีลาสันติธรรม        | มหาวิทยาลัยมหิดล  |
| 4. รองศาสตราจารย์ ดร.พีรยุทธ์ ชาญเศรษฐิกุล      | มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์                                  |
| 5. รองศาสตราจารย์ พูลพร แสงบางปลา               | จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย                                   |
| 6. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรพงษ์ พงษ์ยุพินพานิช | มหาวิทยาลัยรามคำแหง                                     |
| 7. รองศาสตราจารย์ ดร.ชุมพล อันตรเสน             | สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น                              |
| 8. รองศาสตราจารย์ ดร.รัตติกกร วรากุลศิริพันธุ์  | สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น                              |

## คณะกรรมการดำเนินงาน

1. รองศาสตราจารย์ ดร.วรากร ศรีเชวงทรัพย์
2. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วุฒิ สุขเจริญ
3. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จันทวัฒน์ ไชยชนะวงศ์
4. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ฐิติพร เลิศรัตน์เดชากุล
5. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ เกษม ทิพย์ธาราจันทร์
6. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บัณฑิต อนุญาหงษ์
7. อาจารย์ ดร.เอิบ พงษ์ทอง
8. นางสาวสุพิศ บายคายนคม
9. นางสาวจุฑามาศ ประสพสันต์
10. นางสาวพิมพ์รต พิพัฒน์กุล
11. นางวรรีรัตน์ แม่นยำ

## การติดต่อกองบรรณาธิการ

1771/1 ถนนพัฒนาการ แขวงสวนหลวง เขตสวนหลวง กรุงเทพฯ 10250

Tel. 0-2763-2600 (ต่อ 2752, 2704)

website : <https://www.tci-thaijo.org/index.php/TNIJournal> e-mail : [journaleng@tni.ac.th](mailto:journaleng@tni.ac.th)

บทความวิจัยที่ตีพิมพ์ในวารสารฉบับนี้เป็นความคิดเห็นส่วนตัวของผู้เขียน  
กองบรรณาธิการไม่มีส่วนรับผิดชอบใดๆ ถือเป็นความรับผิดชอบของผู้เขียนแต่เพียงผู้เดียว



## รายนามผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาบทความ

รองศาสตราจารย์ พูลพร แสงบางปลา	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ศาสตราจารย์ ดร.ปราโมทย์ เตชะอำไพ	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ศาสตราจารย์ ดร.ปารเมศ ชูติมา	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
รองศาสตราจารย์ ดร.ดาวลัย วิวรรณะเดช	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ศาสตราจารย์ ดร.วิลาศ วูวงศ์	สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย (AIT)
ศาสตราจารย์ ดร.พงศ์ชนัน เหลืองไพบูลย์	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
รองศาสตราจารย์ ดร.ธัญญา เกียรติวัฒน์	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
รองศาสตราจารย์ ดร.พัชราภรณ์ ญาณภีร์	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
รองศาสตราจารย์ ดร.อนันต์ มุ่งวัฒนา	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จันทร์ศิริ สิงห์เถื่อน	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิสุทธิ สุพิทักษ์	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชัยวัฒน์ นุ่มทอง	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา
รองศาสตราจารย์ ดร.พิพัฒน์ ชัยวิวัฒน์วรกุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
อาจารย์ ดร.บุญพริกา เกษมสันติธรรม	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
รองศาสตราจารย์ ดร.ณฐา คุปต์ชะเอียง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ระพี กาญจนะ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กำพล วรดิษฐ์	มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
รองศาสตราจารย์ ดร.พิชิต กิตติสุวรรณ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
รองศาสตราจารย์ ดร.ปริทรรศน์ พันธุ์บรรยงค์	สถาบันการจัดการปัญญาภิวัฒน์
รองศาสตราจารย์ ดร.วัชรภรณ์ อีสัยกุล	สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย (AIT)
อาจารย์ ดร.เจนจบ วีระพานิชเจริญกิจ	การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค
ศาสตราจารย์ ดร.รัชนีกร ธรรมวิชัย	St.Cloud State University, USA
Prof. Dr.Michiko OHKURA	Shibaura Institute of Technology, Japan
Dr. Masayuki FUJISE	National Institute of Information and Communications Technology, Japan

## รายนามผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาบทความ

รองศาสตราจารย์ ดร.บัณฑิต โจรจน์อารยานนท์

รองศาสตราจารย์ ดร.พิชิต สุขเจริญพงษ์

รองศาสตราจารย์ ดร.ชุมพล อินทรเสน

รองศาสตราจารย์ ดร.รัตติกร วรากุลศิริพันธุ์

รองศาสตราจารย์ ดร.วรากร ศรีเขวงทรัพย์

รองศาสตราจารย์ ดร.พิศุทธิ์ พงศ์ชัยฤกษ์

รองศาสตราจารย์ ดร.ณัฐพล ลิ้มจิระจรัส

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิมล แสนอ้อม

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จันทวัฒน์ ไชยชนะวงศ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ดำรงเกียรติ รัตนอมรพิน

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิภาวดี วงษ์สุวรรณ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ อัญชลี สุพิทักษ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พรชัย นิเวศน์รังสรรค์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ฐิติพร เลิศรัตน์เดชากุล

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประจักษ์ เฉ็ดโฉม

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธีรรัตน์ เมตต์การุณจิต

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ เกษม ทิพย์ธาราจันทร์

อาจารย์ ดร.สะพรั่งสิทธิ์ มฤทสาธร์

อาจารย์ ดร.กรกฎ เหมสถาปัตย์

อาจารย์ ดร.กันติชา กิตติพิรัชล

อาจารย์ ดร.ธีรพล ศิลาวรรณ

อาจารย์ ดร.ดอน แก้วดก

อาจารย์ ดร.เอกอุ ธรรมกรบัญญัติ

อาจารย์ ดร.พาสน์ ทีฆทรัพย์

อาจารย์ ดร.บุษราพร เหลืองมาลาวัฒน์

สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น

สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น

สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น

สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น

สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น

สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น

สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น

สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น

สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น

สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น

สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น

สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น

สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น

สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น

สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น

สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น

สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น

สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น

สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น

สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น

สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น

สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น

สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น

สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น

สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น

## บทบรรณาธิการ

สืบเนื่องจากการที่รัฐบาลให้ความสำคัญกับการบูรณาการงานวิจัยและนวัตกรรมเข้ากับการอุดมศึกษา โดยการจัดตั้งกระทรวงการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม เมื่อวันที่ 2 พฤษภาคม 2562 ประกอบกับการประกาศแผนงานสำคัญระดับชาติ (Flagship) สำหรับปีงบประมาณ 2563-2564 ของสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สกสว.) ซึ่งได้กำหนด Platform สำคัญสำหรับนักวิจัยและหน่วยงานวิจัยเพื่อใช้เป็นแนวทางในการทำงานวิจัยให้สอดคล้องกับแผนงานสำคัญไว้ 4 Platform ได้แก่ 1) การพัฒนากำลังคนและสถาบันความรู้ 2) การวิจัยและสร้างนวัตกรรมเพื่อตอบโจทย์ท้าทายสังคม 3) การวิจัยและสร้างนวัตกรรมเพื่อเพิ่มขีดความสามารถการแข่งขัน และ 4) การวิจัยและสร้างนวัตกรรมเพื่อการพัฒนาเชิงพื้นที่และลดความเหลื่อมล้ำ โดยแบ่งเป็น 22 แผนงานสำคัญ (Flagship) ซึ่งกำกับดูแลโดยหน่วยงานบริหารจัดการโปรแกรม (Program Management Unit: PMU) 7 หน่วยงานหลัก คือ 1) สำนักงานวิจัยแห่งชาติ (วช.) 2) สำนักงานนวัตกรรมแห่งชาติ (สนช.) 3) สำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร (สวก.) 4) สถาบันวิจัยระบบสาธารณสุข (สวรส.) 5) หน่วยบริหารและจัดการทุนด้านการเพิ่มความสามารถการแข่งขันของประเทศ (บพข.) 6) หน่วยบริหารและจัดการทุนด้านการพัฒนากำลังคน และทุนด้านการพัฒนาสถาบันอุดมศึกษา การวิจัยและการสร้างนวัตกรรม (บพค.) และ 7) หน่วยบริหารและจัดการทุนวิจัยและนวัตกรรมด้านการพัฒนาระดับพื้นที่ (บพท.) จากบริบทของแผนงานดังกล่าวแสดงให้เห็นถึงความสำคัญด้านงานวิจัยและนวัตกรรมที่ภาครัฐให้ความสำคัญอย่างยิ่ง การเสริมสร้างศักยภาพด้านการวิจัยเพื่อธุรกิจและอุตสาหกรรมจึงนับว่ามีความสำคัญอย่างยิ่งสำหรับนักวิจัยทั้งภาครัฐและเอกชน เพื่อการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมของประเทศ การวิจัยทางด้านวิศวกรรมและเทคโนโลยีที่สอดคล้องกับนโยบายของภาครัฐนับว่ามีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการเพิ่มพูนองค์ความรู้ทางด้านเทคโนโลยีระดับสูงและต่อยอดการประยุกต์เทคโนโลยีสู่ภาคอุตสาหกรรม การผลิตและบริการเพื่อเป้าหมายการพัฒนาประเทศอย่างยั่งยืนและมั่นคง

สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น ได้เล็งเห็นถึงความสำคัญของการเผยแพร่ผลงานวิจัยและนวัตกรรม ตลอดจนงานสร้างสรรค์ทางวิชาการที่จะเป็นประโยชน์ต่อแวดวงวิชาการและการประยุกต์ใช้ในภาคอุตสาหกรรมและธุรกิจ จึงได้จัดทำวารสารฉบับนี้ขึ้นเพื่อเป็นช่องทางสำหรับนักวิจัยและนักวิชาการในการเผยแพร่ผลงานสู่สาธารณะ วารสารฉบับนี้จึงเป็นวารสารสำหรับนักวิจัย นักวิชาการตลอดจนผู้บริหารและผู้ปฏิบัติงานในดำเนินงานวิศวกรรมและเทคโนโลยี

วารสารสถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น: วิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มีกำหนดออกปีละ 2 ฉบับ กองบรรณาธิการยินดีรับบทความจากผลงานวิจัย ที่นำเสนอให้คณะกรรมการกลั่นกรองพิจารณา ดังนั้นผู้สนใจที่จะร่วมเผยแพร่ผลงาน ความรู้ และประสบการณ์ สามารถศึกษาและจัดเตรียมบทความจากคำแนะนำสำหรับผู้เขียนบทความและนำเสนอบทความได้ที่ กองบรรณาธิการเพื่อเสนอต่อคณะกรรมการกลั่นกรองบทความพิจารณาจัดพิมพ์ในวารสารต่อไป และหวังเป็นอย่างยิ่งว่าวารสารฉบับนี้จะเป็นประโยชน์ต่อนักวิจัย นักวิชาการ นักการศึกษาและผู้ประกอบการธุรกิจทุกภาคส่วน

รองศาสตราจารย์ ดร.พิชิต สุขเจริญพงษ์

บรรณาธิการ

## สารบัญ

---

- 1 A Social Media Monitoring System for Thai University  
*Tanatorn Tanantong, Supranee Thaskhwan, Sasitorn Kreangkriwanich*
- 18 A Study of Beacons System Comparison with RFID Time Attendance System for Human Resource Management  
*Yuranan Musor*
- 26 Application of Taguchi Method for Defect Reduce Assembly Process on Printed Circuit Board A Case Study of An Electronics Part Factory  
*Somporn Vongpeang, Anyarat Prasanjai*
- 36 Artificial Neural Network Modeling for Prediction of Tensile Strength in Pressure Vessel Welding with Steel ASTM A537 Class 1  
*Prachya Peasura*
- 50 Design and Implement of Two Axes Automatic Sun Tracking with Fuzzy Controller  
*Surachat Chantarachit*
- 57 Determination of Inventory Replenishment Factors with Lateral Transshipment in a Multiple Warehouses and Multiple Retailers Distribution System  
*Anchalee Supithak*
- 68 Enhanced MIMO-SCMA Detector by Deep Learning  
*Triratana Metkarunchit*
- 79 Glauco Dtex Eye Glasses: Early Diagnostic Device for Glaucoma Detection  
*Paween Wongkornchaovalit, Thunyaseth Sethaput*
- 87 Investigation of Energy Conservation Potential for Convenience Stores in Thailand  
*Wipawadee Wongsuwan, Pipat Chaiwiwatworakul, Apinya Puapattanakul, Athikom Bangviwat*
- 97 Improving the Performance of Tree Algorithm using Mixed Splitting Algorithm  
*Warakorn Srichavengsup*
- 105 SARIMA Models Applications for Demand Forecasting and Supply Planning of Natural Rubber in Thailand  
*Pawinee Paisri, Weerapat Sessomboon, Rojaneer Homchalee*
- 115 Unfolding to the Past: Temporal and Dimensional Perception Enrichment for Image Impression Improvement  
*Kulwadee Somboonviwat, Thitiporn Lertrudachakul*

# ระบบเฝ้าติดตามความคิดเห็นบนสื่อสังคมออนไลน์สำหรับมหาวิทยาลัยไทย

ธนาธร ทะนานทอง<sup>1\*</sup> สุปราณี เทศขวัญ<sup>2</sup> ศศิธร เกரியงไกรวณิช<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>สาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ กรุงเทพมหานคร ประเทศไทย

\*ผู้นิพนธ์ประสานงาน อีเมล: tanatorn@sci.tu.ac.th

รับต้นฉบับ: 22 สิงหาคม 2562; รับบทความฉบับแก้ไข: 27 กันยายน 2562 ; ตอรับบทความ: 3 ตุลาคม 2562

เผยแพร่ออนไลน์: 25 ธันวาคม 2562

## บทคัดย่อ

ระบบเฝ้าติดตามความคิดเห็นบนสื่อสังคมออนไลน์ มีวัตถุประสงค์เพื่อใช้ในการรวบรวมข้อมูลความคิดเห็นบนทวีตเตอร์ที่กล่าวถึงมหาวิทยาลัยไทย โดยเลือกมหาวิทยาลัยตัวอย่างจากภาครัฐและเอกชนอย่างละ 20 แห่ง อ้างอิงจากเกณฑ์การจัดอันดับมหาวิทยาลัยโลกที่จัดอันดับโดยเว็บโอมเทริกซ์ เพื่อนำข้อมูลมาวิเคราะห์และแสดงผลในรูปแบบต่าง ๆ ตัวอย่างเช่น การจัดอันดับการถูกกล่าวถึงของมหาวิทยาลัย และการจัดกลุ่มคำที่มีความถี่ในการใช้งานสูงหรือคำที่พบบ่อยในประโยคเพื่อเป็นการแสดงให้เห็นว่าในแต่ละช่วงเวลามหาวิทยาลัยนี้ถูกกล่าวถึงในเรื่องใด ระบบนี้เหมาะสำหรับผู้ที่ต้องการใช้ข้อมูลที่ผ่านการวิเคราะห์ เพื่อนำไปใช้เป็นข้อมูลช่วยในการตัดสินใจในด้านการบริหารจัดการและปรับปรุงประสิทธิภาพมหาวิทยาลัย ตัวอย่างเช่น การวิเคราะห์ความคิดเห็นของนักศึกษาที่เกี่ยวข้องกับกิจกรรมที่จัดโดยมหาวิทยาลัยว่ามีความคิดเห็นใดที่จำเป็นต้องพิจารณาอย่างเร่งด่วน

**คำสำคัญ:** การติดตามสื่อสังคมออนไลน์ การวิเคราะห์สื่อสังคมออนไลน์ การค้นคืนข้อมูล การสกัดคำสำคัญ



# A Social Media Monitoring System for Thai University

Tanatorn Tanantong<sup>1\*</sup> Supranee Thaskhwan<sup>2</sup> Sasitorn Kreangkriwanich<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>*Department of Computer Science, Faculty of Science and Technology, Thammasat University,  
Bangkok, Thailand*

\*Corresponding Author. E-mail address: tanatorn@sci.tu.ac.th

Received: 2 August 2019; Revised: 27 September 2019; Accepted: 3 October 2019

Published online: 25 December 2019

## ***Abstract***

A Social Media Monitoring System aims to gather comments on Twitters referring to Thai Universities. Examples of 20 public universities and 20 private universities, which are selected based on the World University Ranking of Webometrics, are used for analyzing and visualizing in different formats, e.g., ranking mentions of universities and grouping frequencies of high uses or common words in sentences. It demonstrates that universities are referred in which topics in each time duration. This system is suitable for those who want to employ the analyzed data for making a decision in management and improvement of university efficiency. For example, an analysis of comments concerning university activities from students that whether comments are rapidly considered.

**Keywords:** Social Media Monitoring, Social Media Analytics, Information Retrieval, Keyword Extraction

## 1) บทนำ

ปัจจุบันสื่อสังคมออนไลน์กำลังได้รับความนิยมในสังคมไทย [1] เครือข่ายสังคมออนไลน์เป็นช่องทางในการติดต่อสื่อสารและแบ่งปันข้อมูลข่าวสาร ได้แก่ เฟซบุ๊ก (Facebook) ทวิตเตอร์ (Twitter) ยูทูบ (YouTube) และ พันทิป (Pantip) โดยคนทั่วไปจะใช้เพื่อการแลกเปลี่ยนข้อมูลในสิ่งที่สนใจร่วมกัน การแบ่งปันความรู้และประสบการณ์ต่าง ๆ ดังนั้นเครือข่ายสังคมออนไลน์จึงถือว่าเป็นคลังข้อมูลขนาดย่อมเพื่อใช้ในการค้นหาข้อมูลที่สนใจ การใช้ข้อมูลความคิดเห็นหรือข้อเสนอแนะเพื่อช่วยในการตัดสินใจ เช่น การเลือกซื้อสินค้า หรือ การตัดสินใจเข้าศึกษาต่อในระดับชั้นต่าง ๆ เป็นต้น

การถูกกล่าวถึงของมหาวิทยาลัยบนสื่อสังคมออนไลน์ในแง่มุมต่าง ๆ ล้วนมีผลต่อการตัดสินใจเข้าศึกษาต่อของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษา เนื่องจากข้อความบนสื่อสังคมออนไลน์ได้แสดงให้เห็นว่าการใช้ชีวิตในมหาวิทยาลัยนั้นเป็นไปอย่างไร จุดเด่นที่สังคมพูดถึงมีในด้านใดบ้าง และยังแสดงให้เห็นว่า ณ จุดเวลาหนึ่งมีเหตุการณ์ใดที่สำคัญเกิดขึ้น นอกจากนี้การนำความคิดเห็นบนสื่อสังคมออนไลน์มาวิเคราะห์ ยังเป็นประโยชน์ต่อมหาวิทยาลัย เนื่องจากผู้บริหารจะได้ทราบ ข่าวสารเหตุการณ์ต่าง ๆ ที่เกิดขึ้น ข้อเสนอแนะ หรือ ความคิดเห็นต่าง ๆ ของนักศึกษาที่เกี่ยวข้องกับมหาวิทยาลัย

ระบบติดตามและวิเคราะห์ความคิดเห็นต่อมหาวิทยาลัยไทยบนทวิตเตอร์ที่ได้วิจัยและพัฒนาขึ้นมานี้เป็นตัวอย่างในการรวบรวมข้อมูลและนำมาวิเคราะห์ โดยระบบได้ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลความคิดเห็นจากสื่อสังคมออนไลน์ที่มีต่อมหาวิทยาลัยไทยทั้งหมด 40 แห่ง แบ่งเป็นมหาวิทยาลัยเอกชน 20 แห่งและมหาวิทยาลัยรัฐบาล 20 แห่ง วิธีการคัดเลือกมหาวิทยาลัยโดยใช้เกณฑ์การจัดอันดับมหาวิทยาลัยโลกของเว็บโอเมทริกซ์ (Webometrics Ranking of World Universities) เพื่อนำมาวิเคราะห์และนำเสนอในรูปแบบกราฟที่แสดงถึงปริมาณการถูกกล่าวถึงของแต่ละมหาวิทยาลัยแบบ Real-time และในงานนี้ ผู้วิจัยได้นำข้อมูลมาทำการวิเคราะห์และทำการสกัดคำสำคัญในแต่ละช่วงเวลาที่มีมหาวิทยาลัยถูกกล่าวถึง ซึ่งทำให้ได้ผลลัพธ์ความสัมพันธ์ว่าช่วงเวลาต่าง ๆ มหาวิทยาลัยถูกกล่าวถึงในแง่มุมใดมากที่สุดหรือ มีเกิดเหตุการณ์สำคัญใดเกิดขึ้น ซึ่งเป็นข้อมูลที่สำคัญและเป็นประโยชน์และเป็นส่วนหนึ่งของการสะท้อนให้เห็นถึงภาพลักษณ์ของมหาวิทยาลัยจากมุมมองคนภายนอก

## 2) ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

## 2.1) การประมวลผลภาษาธรรมชาติ

ภาษาธรรมชาติ [2] คือ ภาษาที่มนุษย์ใช้ในการสื่อสาร ซึ่งภาษาธรรมชาติในแต่ละภาษาจะมีลักษณะเฉพาะแตกต่างกันไป เช่น ภาษาไทย, ภาษาจีน และ ภาษาตติช เป็นต้น โดยภาษาไทยจัดอยู่ในประเภทของภาษาที่ไม่ตัดคำ (Unsegmented language) คือ ไม่มีการใช้ตัวอักษรใด ๆ ในการบ่งบอกขอบเขตของคำอย่างชัดเจนและต้องอาศัยเทคนิคการตัดคำในการบอกขอบเขตของคำโดยใช้พจนานุกรมและกฎไวยากรณ์ของภาษา [3] แต่ยังมีข้อจำกัด คือคำที่ไม่รู้จักหรือคำที่ไม่มีในพจนานุกรมและคำที่มีความหมายกำกวม ซึ่งการประมวลผลภาษาธรรมชาติ คือ การนำภาษาธรรมชาติของมนุษย์มาประมวลผลเพื่อให้คอมพิวเตอร์เข้าใจและแปลงเป็นคำสั่งไปใช้งานได้โดยมีขั้นตอนการทำงานสรุปได้ดังต่อไปนี้ [4]

2.1.1) การวิเคราะห์ไวยากรณ์ของประโยคว่าถูกต้องตามกฎเกณฑ์ของโครงสร้างภาษา (Parsing)

2.1.2) การอธิบายความหมายของประโยค (Semantic Interpretation)

2.1.3) การสร้างฐานความรู้เพื่อประกอบในการอธิบายความหมายของประโยค (World Knowledge Interpretation)

## 2.2) การจัดอันดับมหาวิทยาลัยโลกของเว็บโอเมทริกซ์

การคัดเลือกมหาวิทยาลัยทำโดยใช้เกณฑ์การจัดอันดับมหาวิทยาลัยโลกของเว็บโอเมทริกซ์ที่จัดทำขึ้นโดยไซเบอร์เมทริกซ์แลป (Cybermetrics Lab) [5] ของกลุ่มวิจัยสภาวะวิจัยแห่งชาติประเทศสเปน เพื่อใช้ในการวัดผลงานทางวิชาการของมหาวิทยาลัยที่มีการเผยแพร่ทางอินเทอร์เน็ตโดยไม่รวมผลงานที่ได้รับการตีพิมพ์ในวารสารหรือเป็นการวัดความสามารถในการเป็นมหาวิทยาลัยอิเล็กทรอนิกส์ (E-university) ในปัจจุบันได้ทำการตรวจสอบมหาวิทยาลัย 13,074 แห่ง เพื่อใช้ในการจัดอันดับทั้งสิ้น 6,000 อันดับ โดยเว็บโอเมทริกซ์ได้ใช้เกณฑ์หรือตัวชี้วัดการจัดอันดับแบ่งเป็นด้านต่าง ๆ ดังรายละเอียดต่อไปนี้

ด้านการปรากฏ (Presence) เป็นการวัดจำนวนหน้าเว็บของมหาวิทยาลัยภายใต้โดเมนซึ่งใช้ผลลัพธ์จากเว็บไซต์ Google คิดเป็นคะแนนร้อยละ 10

ด้านการเผยแพร่ (Transparency) เป็นการวัดจากจำนวนไฟล์เอกสาร โดยใช้ Google Scholar Citation เป็นเครื่องมือในการวัด คิดเป็นคะแนนร้อยละ 10

ด้านความเป็นเลิศ (Excellence) เป็นการวัดจากจำนวนบทความและการอ้างอิงที่ปรากฏภายในโดเมนของมหาวิทยาลัย และสามารถสืบค้นได้ด้วยเว็บไซต์ Google Scholar คิดเป็นคะแนนร้อยละ 30

ด้านการถูกมองเห็น (Visibility) เป็นการวัดค่าเฉลี่ยข้อมูลจำนวนลิงค์ (Link) ภายนอกที่เชื่อมมายัง เว็บไซต์ของมหาวิทยาลัย คิดเป็นคะแนนร้อยละ 50

ตัวอย่างการจัดอันดับมหาวิทยาลัยในประเทศไทย [6] แบ่งเป็นรัฐบาล 20 แห่งและมหาวิทยาลัยเอกชน 20 แห่ง ดังแสดงในตารางที่ 1 และ 2 ตามลำดับ

ตารางที่ 1 ผลการจัดอันดับมหาวิทยาลัยรัฐฯ โดยเว็บโอมเทร็กซ์ ปี 2560

อันดับ	มหาวิทยาลัย	ชื่อย่อ	อันดับโลก
1	มหิดล	MU	433
2	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	CU	452
3	เกษตรศาสตร์	KU	563
4	เชียงใหม่	CMU	609
5	ขอนแก่น	KKU	651
6	เทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี	KMUTT	857
7	สงขลานครินทร์	PSU	899
8	ธรรมศาสตร์	TU	948
9	เทคโนโลยีสุรนารี	SUT	984
10	นเรศวร	NU	1107

ตารางที่ 2 ผลการจัดอันดับมหาวิทยาลัยเอกชนโดยเว็บโอมเทร็กซ์ ปี 2560

อันดับ	มหาวิทยาลัย	ชื่อย่อ	อันดับโลก
1	สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย	AIT	1232
2	รังสิต	RSU	2768
3	เทคโนโลยีมหานคร	MUT	2885
4	กรุงเทพ	BU	2967
5	อัสสัมชัญ	ABAC	3141
6	หอการค้าไทย	UTCC	3199
7	พายัพ	PAYAP	3821
8	หัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ	HCU	4065
9	สยาม	SU	4303
10	ธุรกิจบัณฑิต	DPU	4916

### 2.3) นิพจน์ปรกติ (Regular Expressions)

นิพจน์ปรกติหรือเร็กเอ็กซ์ (RegEx) [7] คือ ลำดับตัวอักษรที่ใช้ในการกำหนดรูปแบบการค้นหา โดยถูกนำมาใช้เพื่อค้นหาข้อความหรือตัวอักษรว่าถูกต้องตามเงื่อนไขที่กำหนดหรือไม่ ซึ่งรูปแบบที่กำหนดสามารถใช้ค้นหาตัวอักษรธรรมดา ข้อความที่กำหนดไว้ หรือ ตัวอักษรพิเศษ ดังแสดงตัวอย่างในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ตัวอย่างสัญลักษณ์ในนิพจน์ปรกติ

สัญลักษณ์	ความหมาย
\w	อักษรทุกตัวรวมถึงสัญลักษณ์ประกาศ (Underscore)
\W	ไม่ใช่ตัวอักษรทุกตัว
\s	ช่องว่าง(whitespace)
\S	ไม่ใช่ช่องว่าง
\d	ตัวเลขทุกตัว
\D	ไม่ใช่ตัวเลข
[abc]	เป็นตัวอักษร a หรือ b หรือ c
abc	เป็นตัวอักษรอะไรก็ได้ที่ไม่ใช่ a , b และ c



#### 2.4) ทวิตเตอร์เอพีไอ (Twitter API: Application Programming Interface)

ทวิตเตอร์เอพีไอ [8] เป็นตัวกลางสำหรับการเชื่อมโยงข้อมูลทวิตเตอร์กับโปรแกรมประยุกต์ต่าง ๆ ทั้งการอ่านข้อมูลจากทวิตเตอร์หรือส่งข้อมูลเข้าทวิตเตอร์ มีรูปแบบเป็น REST API (Representational State Transfer) สามารถใช้รูปแบบเอกซ์เอ็มแอล (XML) หรือเจสัน (JSON) ในการรับส่งข้อมูล โดยข้อจำกัดของการใช้งานทวิตเตอร์เอพีไอสำหรับบัญชีมาตรฐาน (Standard) [9] คือ ใน 1 บัญชีของนักพัฒนาสามารถสร้างแอปได้จำนวน 10 แอป และใน 1 แอปสามารถส่งคำร้องขอข้อมูลย้อนหลังได้ 7 วัน และโดยมีข้อกำหนดว่าภายใน 15 นาทีสามารถร้องขอข้อมูลสูงสุดได้จำนวน 180 การร้องขอต่อครั้ง

#### 2.5) การวิเคราะห์ความรู้สึก (Sentiment Analysis)

การวิเคราะห์ความรู้สึก [10] เป็นการวิเคราะห์ความรู้สึกจากข้อความ เพื่อบ่งบอกความรู้สึกของข้อความที่มีต่อบางสิ่งบางอย่าง เช่น ความรู้สึกเชิงบวกหรือความรู้สึกเชิงลบ ซึ่งในประเทศไทย ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ (NECTEC) เป็นหน่วยงานรัฐบาลได้นำการวิเคราะห์ความรู้สึกมาใช้ในงานในโปรแกรมป๊อป (POP) [11] ที่วัดความรู้สึกของคนไทยโดยนำข้อมูลจากทวิตเตอร์มาวิเคราะห์เป็นความคิดเห็นเชิงบวก ความคิดเห็นเชิงลบหรือความคิดเห็นเป็นกลาง

#### 2.6) งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ชนิตา ลีสิริกุล [12] ได้พัฒนาเว็บแอปพลิเคชันสำหรับวิเคราะห์ความคิดเห็นจากข้อความบนทวิตเตอร์ในการรับฟังเสียงของลูกค้าสถาบันการเงินแห่งหนึ่งอย่างอัตโนมัติ โดยใช้ทวิตเตอร์เอพีไอรวบรวมข้อมูลความคิดเห็นต่อธุรกิจจากคำที่มีความหมายเกี่ยวข้องกับธนาคารกรุงเทพบนทวิตเตอร์มาวิเคราะห์ด้วยการทำมือ (Manual) ทีละข้อความความคิดเห็นและกำหนดคุณสมบัติย่อยแต่ละข้อความและนำมาตัดคำ กำจัดคำหยุดและพิจารณาคำนำหนักของคำสำคัญเพื่อนับความถี่ของคำที่ปรากฏในเอกสารและนำมาวิเคราะห์ทัศนคติเชิงบวกและเชิงลบ

อารยา พุดตาล [13] ได้ทำการวิเคราะห์ทวิตเตอร์ในเหตุการณ์สวรรคตของพระบาทสมเด็จพระปรมินทรมหาภูมิพลอดุลยเดช โดยจะรวบรวมข้อความจากทวิตเตอร์ผ่านเว็บไซต์ (Web Crawler) ร่วมกับฟังก์ชันค้นหาขั้นสูงของทวิตเตอร์ (<https://twitter.com/search-advanced>) ค้นหาด้วยแฮช

แท็กหรือคำที่เกี่ยวกับในหลวงรัชกาลที่ 9 นำมาวิเคราะห์และเปรียบเทียบคุณลักษณะต่าง ๆ โดยพิจารณาจากจำนวนรีทวีต คำ และแฮชแท็กที่เกิดขึ้นหรือเหตุการณ์ต่าง ๆ ที่ไม่เกี่ยวข้องกับในหลวงรัชกาลที่ 9 โดยตรง เช่น การแปรรหัสหรือการเดินทาง ซึ่งเหตุการณ์ดังกล่าวไม่สามารถค้นหาจากคำที่เกี่ยวข้องกับในหลวงรัชกาลที่ 9 ได้โดยตรง และจัดกลุ่มเรื่องราวหรือเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นในช่วงเวลาใดเวลาหนึ่ง

ชนม์ชนก ชิตประเสริฐ [14] ได้ทำวิจัยสื่อสังคมออนไลน์ที่มีอิทธิพลต่อการตัดสินใจเลือกสายการบินต้นทุนต่ำเป็นการศึกษาถึงอิทธิพลของสื่อออนไลน์ที่มีผลต่อการตัดสินใจเพื่อใช้ในการปรับปรุงวิธีการประชาสัมพันธ์ของสายการบิน งานวิจัยชิ้นนี้ได้ใช้แบบสอบถามในการเก็บข้อมูลกับกลุ่มตัวอย่าง นิสิตมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จำนวน 400 คน โดยผลการวิจัยพบว่าสื่อสังคมออนไลน์ที่มีผลต่อการตัดสินใจเลือกสายการบินต้นทุนต่ำอยู่ในระดับปานกลาง โดยสื่อสังคมออนไลน์ที่มีผลต่อการตัดสินใจมากที่สุด คือ ด้าน “Social Network” ซึ่งสื่อที่มีผลได้แก่ “Facebook” “Line” และ “Twitter” ตามลำดับ ถัดมาคือด้าน “Discuss” “Review” และ “Opinion” สื่อที่มีผลได้แก่ “Pantip” “Dek-D” และ “Kapook” ตามลำดับ ด้าน “Online Video” สื่อที่มีผลคือ “Youtube” “Vimeo” และ “Vine” ตามลำดับ ด้าน Weblogs สื่อที่มีผลได้แก่ “Blogging” “Blogger” และ Exteen ตามลำดับ และด้าน Photo Sharings สื่อที่มีผลได้แก่ “Instagram” “Pinterest” และ “Tumblr” ตามลำดับ

ณัชชา สุวรรณวงศ์ [15] ได้ศึกษาเกี่ยวกับปัจจัยที่ส่งผลต่อการเข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาตรีในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี นครราชสีมา (ระบบโควตา) ได้แก่ ปัจจัยด้านภาพลักษณ์ ด้านหลักสูตร ด้านเหตุผลส่วนตัว โดยใช้แบบสอบถามเป็นเครื่องมือในการรวบรวมข้อมูล โดยจากการสำรวจพบว่าผู้ทำแบบสอบถามส่วนใหญ่ให้ความสำคัญกับด้านภาพลักษณ์ของมหาวิทยาลัยมากที่สุด อันดับแรกที่ได้รับให้ความสำคัญคือเป็นมหาวิทยาลัยของรัฐที่มีชื่อเสียงมานาน รองมาคือ เป็นมหาวิทยาลัยที่มีคณาจารย์เก่งและมีความรู้เชี่ยวชาญ ลำดับที่สองคือด้านหลักสูตร ปัจจัยที่ส่งมากที่สุดคือมีการรับนักเรียนในระบบโควตาหรือรับตรง รองมาคือหลักสูตรที่เปิดสอนเน้นทางด้านสาขาวิชาชีพ และในด้านเหตุผลส่วนตัวปัจจัยที่มีผลมากที่สุดคือ มีหลักสูตรและสาขาวิชาตรงกับความต้องการของ

นักเรียน รุ่นพี่เป็นผู้แนะนำให้เลือกเรียนในมหาวิทยาลัยแห่งนี้เป็นส่วนใหญ่นิยมในมหาวิทยาลัยแห่งนี้ ตามลำดับ

กาญจนา สุตาทิพย์ [16] ได้ทำวิจัยการสกัดข้อมูลเทคนิคการเรียนรู้ของเครื่องโดยใช้เทคนิคการทำเหมืองข้อความ โดยประยุกต์ใช้การทำเหมืองข้อความกับการใช้ฐานความรู้ออนโทโลยี ในการสกัดข้อมูลและจัดเก็บคำสำคัญภายใต้ขอบเขตแนวคิดการเรียนรู้ของเครื่อง เริ่มจากการศึกษาและวิเคราะห์ปัญหาการสกัดข้อมูล เพื่อระบุขอบเขตของข้อมูลที่จะนำมาใช้ งานวิจัยส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปแบบไฟล์ PDF พบว่ามีปัญหาการสะกดคำผิด และมีปัญหาเกี่ยวกับสระและวรรณยุกต์ และลักษณะคำในภาษาไทยที่ไม่มีการเว้นช่องว่างเหมือนภาษาอังกฤษอาจจะมีปัญหาในการตัดคำ จึงต้องใช้ฐานความรู้ออนโทโลยีมาช่วยในการสกัดข้อมูล หลังจากทราบปัญหาแล้วจึงรวบรวมข้อมูลที่ใช้ในงานวิจัยทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ จากเว็บไซต์ Thai Journal Online (ThaiJo) เว็บไซต์ Thailand Library Integrated System (Thailis) เว็บไซต์ ACM Digital Library (ACM) และเว็บไซต์ IEEE Xplore Digital Library (IEEE) รวมทั้งหมด 607 ฉบับ ซึ่งการทำงานจะประกอบไปด้วย 3 ส่วน ได้แก่ การเตรียมข้อมูล (Processing Module) การสกัดข้อมูล (Extraction Module) และการแปลผลลัพธ์การสกัดข้อมูล (Generator Module) ซึ่งในแต่ละส่วนจะประกอบไปด้วยขั้นตอนย่อย ๆ ในส่วนการเตรียมข้อมูล เช่น การสกัดข้อความจากไฟล์ PDF การตัดแบ่งคำโดยใช้เล็กซิตรอน (Lexitron) การกำจัดคำหยุด การแปลผลลัพธ์การสกัดข้อมูลโดยนำข้อมูลมาเรียงตามลำดับความถี่ เป็นต้น หลังจากการออกแบบและพัฒนาระบบสกัด ผู้วิจัยได้ทำการประเมินผลโดยใช้ผู้เชี่ยวชาญ 3 ท่าน และเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จากบทความชุดเดียวกัน พบว่ามีความถูกต้องเฉลี่ยของบทความวิชาการภาษาไทยอยู่ที่ร้อยละ 71.34 และบทความวิชาการภาษาอังกฤษอยู่ที่ร้อยละ 87

ทัศนีย์ อุทัยสุริ [17] ได้ทำวิจัยการสกัดคำสำคัญจากบทความภาษาอังกฤษ โดยในงานวิจัยนี้ได้ทำการสกัดคำสำคัญจากบทความจากวิทยานิพนธ์และบทความทางวิชาการ โดยคุณลักษณะที่ใช้ในการเลือกคำที่น่าจะเป็นคำสำคัญ มาจากบทความประกอบด้วย ชื่อเรื่อง ความยาวของคำ คำน้หนักของคำ (TF-IDF) ค่าความสำคัญของคำต่อเอกสาร (TTF) และตำแหน่งที่ปรากฏของคำในเอกสาร โดยใช้บทความจำนวน 320 บทความย่อย แบ่งเป็นจากเว็บไซต์ ThaiLIS จำนวน 120 บทความย่อย และ

เว็บไซต์ IEEE จำนวน 200 บทความย่อย แปลงให้อยู่ในรูปแบบ .txt ซึ่งเป็นบทความย่อยที่เป็นงานวิจัยทางคอมพิวเตอร์และเลือกเฉพาะบทความที่มีค่าสำคัญอยู่แล้วเท่านั้น โดยได้นำคำสำคัญที่มีอยู่ในบทความย่อยมาจัดทำ Corpus ร่วมกับพจนานุกรม Computer Science and Communication Dictionary ต่อมาใช้ไลบรารีของ NLTK ในการตัดแบ่งคำหารากศัพท์และกำจัดคำหยุด และนำเอาชื่อเรื่องเลือกมาเฉพาะค่านามจากนั้นทำการหาว่าความยาวของคำใด ๆ หากค่า TF-IDF และหากค่าผลรวมของบรรทัดทั้งหมด นำมาเปรียบเทียบกับอัลกอริทึมในเครื่องมือ Weka โดยใช้ 2 วิธีการ คือ ต้นไม้ตัดสินใจ (Decision Tree) และการเรียนรู้แบบเบย์อย่างง่าย (Naïve Bayes) และวิเคราะห์ผลโดยดูว่าคำใดตรงกันทุกคำกับต้นฉบับหรือตรงแค่บางส่วนจากต้นฉบับ จากผลการทดลองในส่วนการค้นคืน พบว่า การเรียนรู้้อย่างง่ายให้ค่าความถูกต้องมากกว่าต้นไม้ตัดสินใจ ส่วนการหาคุณลักษณะพบว่า คุณลักษณะที่ช่วยในการหาคำสำคัญที่สุดคือ ความยาวของคำ หรืออาจจะกล่าวได้ว่า คำที่มีความยาวมากกว่าคำอื่นมีโอกาสที่จะเป็นคำสำคัญของเอกสารนั้นมากกว่าคำที่มีความยาวน้อย

เอกภูมิ ภูมิพันธุ์ [18] ได้ทำงานวิจัยเรื่องการสกัดคำสำคัญจากการสื่อสารปากต่อปากแบบอิเล็กทรอนิกส์บนเว็บบอร์ด ในงานวิจัยนี้เป็นการสกัดกลุ่มคำสำคัญจากข้อมูลที่เป็นการสื่อสารแบบปากต่อปากแบบอิเล็กทรอนิกส์ โดยข้อมูลที่จะนำมาใช้เป็นข้อมูลจากเว็บไซต์ Pantip จำนวน 17,738 กระทั่ง โดยใช้เครื่องมือ HTTrack Website Copier ในการเก็บข้อมูล และเก็บข้อมูลเกี่ยวกับกระทู้อาหาร โดยเลือกเก็บข้อมูลเนื้อหากระทู้และความคิดเห็นต่าง ๆ นำข้อมูลที่ได้มาตัดแบ่งคำด้วยเครื่องมือ SWATH และทำการตัดแบ่งเนื้อความเพื่อแบ่งสายโยงใยออกจากกัน โดยให้ผู้อ่านจำนวน 3 คนตัดสินใจและใช้เกณฑ์เสียงส่วนใหญ่ โดยผู้อ่านได้แบ่งสายโยงใยออกเป็น 102 สายโยงใย และข้อมูลที่ฝึกสอนจะถูกนำมาแบ่งสายโยงใยด้วยการปรับค่าตัวแปรต่าง ๆ เพื่อให้สายโยงใยใกล้เคียงกับเสียงส่วนใหญ่ของการตัดสินใจของผู้อ่านด้วยวิธี F-measure มาใช้ในการคำนวณ จากนั้นนำผลลัพธ์ของการตัดแบ่งเนื้อความมาเป็นขอบเขตเพื่อพิจารณาในการตัดแบ่งเนื้อหาออกจากกัน จะทำให้ข้อมูลที่ได้ถูกแบ่งออกเป็นเอกสารคนละชุด ละนำมาคำนวณหาค่าน้ำหนักกลุ่มคำสำคัญด้วยวิธีการ TFIDF และให้ผู้ใช้งานเลือก 20 คำจาก 200 อันดับแรกของแต่ละกลุ่ม ว่าสามารถนำไปพัฒนาต่อได้ และนำมาคำนวณค่าน้ำหนักคำสำคัญอีกครั้งแบบ MT-TFIDF และ

นำมาเปรียบเทียบกับ TFIDF พบว่าผลที่ได้อันดับต้น ๆ เป็นคำสำคัญที่ผู้ใช้ได้เลือกไว้ จึงสรุปได้ว่า การสกัดคำสำคัญด้วยวิธีการ MT-TF-IDF ให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่าวิธี TF-IDF เพียงอย่างเดียว โดยมีระดับความมั่นใจที่ 90% และในการค้นหาคำสำคัญจากคำค้นสองคำจากสามคำ วิธีนำเสนอให้ผลการค้นหาคำสำคัญที่ดีกว่าที่ระดับความมั่นใจที่ 95%

สิริชัย ติเลิศ และเยาวลักษณ์ รวมอยู่ [19] ได้ทำงานวิจัยเรื่องการใช้สื่อสังคมออนไลน์อินสตาแกรมเพื่อสร้างความสำเร็จในการรับรู้ภาพลักษณ์ตราสินค้าของธุรกิจ โดยได้ศึกษาการใช้เครือข่ายสังคมออนไลน์แอปพลิเคชันอินสตาแกรมที่ส่งผลต่อความสำเร็จของธุรกิจของผู้ประกอบการ การสร้างตราสินค้า และเปรียบเทียบการรับรู้ภาพลักษณ์ตราสินค้าที่มีผลต่อการตัดสินใจเลือกซื้อสินค้าและบริการของผู้บริโภค โดยเป็นงานวิจัยแบบผสมผสานที่มีทั้งเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณ ในส่วนของเชิงคุณภาพ คือ การสัมภาษณ์แบบตัวต่อตัวกับผู้ประกอบการที่มีผู้ติดตามมากกว่า 1 หมื่นคน จำนวน 2 ร้าน คือธุรกิจประเภทแพชั่นและความงาม และธุรกิจประเภทอาหารเครื่องดื่ม ถอดบทสัมภาษณ์มาสรุปแนวคิดด้วยการวิเคราะห์เชิงเนื้อหา ในส่วนเชิงปริมาณ คือ การสำรวจข้อมูลโดยใช้แบบสอบถามกับลูกค้าจำนวน 100 คน แบ่งเป็นร้านละ 50 คน เพื่อเปรียบเทียบระดับความสำคัญการรับรู้ภาพลักษณ์ตราสินค้าของผู้บริโภคกับผู้ประกอบการ ด้วยการทดสอบที (T-Test) จากผลการศึกษาพบว่า ร้านค้าที่มีการสื่อสารกับผู้บริโภคสม่ำเสมอ เช่น การนำเสนอสินค้า การให้สินค้าทดลองกับผู้บริโภควิจารณ์และนำมาปรับปรุง การใช้รูปภาพในการสื่อสาร เน้นนำเสนอตราสินค้า การปรับปรุงข้อมูลของสินค้า และการนำเสนอกิจกรรมใหม่ ๆ ให้ลูกค้าได้มีส่วนร่วมกับร้านค้า เมื่อเปรียบเทียบการรับรู้ตราสินค้าของผู้บริโภคกับความคาดหวังของผู้ประกอบการ พบว่า การใช้แอปพลิเคชันอินสตาแกรมในการสร้างภาพลักษณ์ตราสินค้า การรับรู้ตราสินค้า การรับรู้คุณภาพของสินค้าและบริการ การเชื่อมโยงตราสินค้า และความภักดีต่อตราสินค้ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

เกตุวดี สมบูรณ์ทวี และศิวกร อโนริย์ [20] ได้ทำวิจัยเรื่องอิทธิพลสื่อสังคมออนไลน์ที่มีผลต่อการตัดสินใจซื้อสินค้า Smart Phone ของกลุ่ม Gen Y ใน กรุงเทพมหานคร ในงานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยเชิงปริมาณ โดยกลุ่มตัวอย่างที่ใช้คือ กลุ่ม GEN Y ในเขตพื้นที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร จำนวน 400 คน โดยใช้แบบสอบถามเป็นเครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย วิเคราะห์ข้อมูลโดย

การใช้การวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณ (Multiple Regression Analysis) เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยที่ส่งผลต่อความเชื่อมั่นในตราสินค้า ผลการวิจัยพบว่า ผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่เป็นผู้หญิง มีอายุน้อยกว่า 25 ปี มีความถี่ในการใช้สื่อสังคมออนไลน์ 5 – 6 ชั่วโมงต่อวัน และสื่อสังคมออนไลน์ส่งผลต่อการตัดสินใจซื้อสินค้าสมาร์ทโฟนในระดับมาก ได้แก่ ออนไลน์วิดีโอและโซเชียลมีเดีย

จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องที่ได้นำเสนอบทสรุปไปในข้างต้น พบว่าการวิเคราะห์ข้อมูลความคิดเห็นบนสื่อสังคมออนไลน์ต่างๆ อาทิเช่น “Facebook” และ “Twitter” เป็นต้น งานวิจัยเหล่านี้เป็นงานวิจัยที่อยู่ในกระแสและมีความท้าทายหลายประเด็นที่จำเป็นในการวิจัยและพัฒนาต่อยอดเพื่อนำไปประยุกต์ใช้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการดำเนินการของหน่วยงานทั้งภาคเอกชนและรัฐบาล อย่างไรก็ตามในส่วนของการรวบรวมและสกัดข้อมูลความคิดเห็นสำคัญจากสื่อสังคมออนไลน์ที่เกี่ยวข้องกับการกล่าวถึงมหาวิทยาลัยไทยในประเด็นต่างๆ ที่เป็นข้อมูลสำคัญและส่งผลต่อภาพลักษณ์ของมหาวิทยาลัย และสามารถใช้เป็นข้อมูลสะท้อนและป้อนกลับอันเป็นประโยชน์ต่อมหาวิทยาลัยต่างๆ ในการหาแนวทางปรับปรุงและพัฒนาประสิทธิภาพในการดำเนินการให้ดียิ่งขึ้นและสามารถตอบสนองความต้องการของเด็กนักเรียนที่สนใจ นักศึกษาปัจจุบันและผู้สนใจทั่วไป โดยจากการทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องของผู้วิจัยอย่างถี่ถ้วน ผลปรากฏว่าผู้วิจัยยังไม่พบการนำเสนองานวิจัยหรือการนำเสนอมุมมองการพัฒนาในประเด็นดังกล่าวนี้

### 3) วิธีการดำเนินงาน

ระบบติดตามและวิเคราะห์ความคิดเห็นต่อมหาวิทยาลัยไทยบนสื่อสังคมออนไลน์มีโครงสร้างภาพรวมดังแสดงในภาพที่ 1

#### 3.1) การเก็บรวบรวมข้อมูล

ในงานนี้ผู้วิจัยได้ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลจากทวีตเตอร์ผ่านทวีตเตอร์เอพีไอแบบการค้นหามาตรฐาน (Standard search API) ซึ่งสามารถเก็บข้อมูลได้ทุก ๆ 15 นาที และส่งคำร้องสูงสุด 180 คำร้องต่อครั้ง โดยในการเก็บรวบรวมข้อมูลจากทวีตเตอร์ผู้วิจัยได้ใช้ Crawler จำนวน 3 ตัวในการเก็บข้อมูลทุก ๆ 5 นาที โดยเก็บข้อมูลอย่างต่อเนื่องตลอด 24 ชั่วโมง โดยเลือกมหาวิทยาลัยจากการจัดอันดับของเว็บโอมเทร็กซ์ในปี พ.ศ.2560 จำนวน 40 แห่ง แบ่งเป็นมหาวิทยาลัยรัฐบาล 20 แห่งและ

มหาวิทยาลัยเอกชน 20 แห่ง ผ่านคำนิยาม ที่นิยมใช้เรียกแทนชื่อมหาวิทยาลัยรัฐบาลและเอกชนดังแสดงในตารางที่ 4 และ 5 ตามลำดับ

### 3.2) การเตรียมและคัดแยกข้อมูล

ส่วนของการคัดกรองข้อมูลมีหน้าที่ดึงข้อมูลจากฐานข้อมูลดิบ มาคัดกรองลบชุดข้อความซ้ำซ้อนโดยใช้ค่า ID\_STR ซึ่งมีประเภทเป็นสายอักขระในการกรองข้อมูลเนื่องจากแต่ละทวีตจะมีเลขระบุที่ไม่ซ้ำกัน และเก็บลงในฐานข้อมูลสำหรับพักข้อมูล จากนั้นทำการตรวจสอบประเภทของข้อความโดยใช้ฟังก์ชันปรกติในการตรวจสอบรูปแบบประโยคข้อความทวิตที่ได้จากทวิตเตอร์เอพีไอ หากข้อความอยู่ในรูปแบบพร้อมใช้งานหรือเป็นข้อความเต็มจะทำการย้ายลงฐานข้อมูลพร้อมใช้งาน แต่ถ้าเป็นข้อความที่โดนตัดมาและมีข้อความที่เชื่อมโยง (Link) ไปยังหน้าเพจของทวิตนั้นอยู่ส่วนท้ายของข้อความ จะทำการเรียกใช้เว็บคลอว์เลอร์ เพื่อดึงข้อความเต็มและเก็บลงในฐานข้อมูลพร้อมใช้งานเตรียมนำไปเข้าสู่กระบวนการวิเคราะห์ข้อมูลในส่วนถัดไป

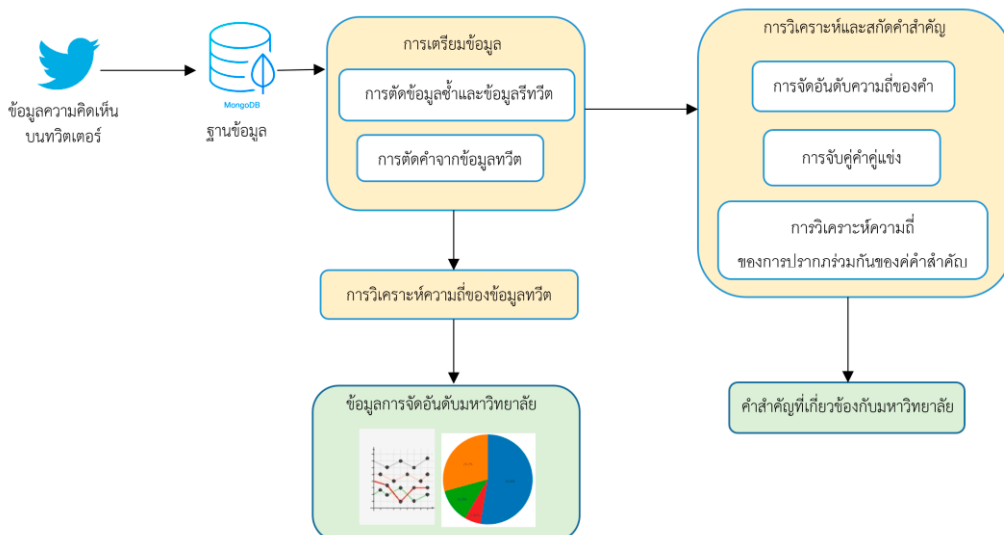
ข้อมูลที่ได้รับอยู่ในรูปแบบเจสันเก็บบันทึกลงในฐานข้อมูลมองโกดีบีคอลเลคชันฐานข้อมูลดิบ (Raw Data) ดังแสดงตัวอย่างในภาพที่ 2 และคำอธิบายในตารางที่ 6 โดยในงานวิจัยนี้จะใช้ข้อมูลในช่วงเดือนพฤศจิกายนถึงธันวาคม ปีพ.ศ.2561

### 3.3) การประมวลผลข้อมูล

ข้อมูลเชิงสถิติเบื้องต้น แสดงแนวโน้มและการจัดอันดับโดยวัดจากปริมาณข้อความทวิตที่มีการกล่าวถึงของแต่ละ

มหาวิทยาลัยทั้ง 40 แห่ง ซึ่งจะแสดงผลในรูปแบบกราฟเส้นบอกปริมาณการถูกกล่าวถึงในระยะเวลา 15 วัน โดยเบื้องต้นจะแสดงผล 10 มหาวิทยาลัยที่มีการถูกพูดถึงบนทวิตเตอร์มากที่สุดตามลำดับ การบอกรายละเอียดปริมาณการถูกกล่าวถึงเมื่อคิดเป็นร้อยละ และแสดงข้อความทวิตที่มีจำนวนผู้รีทวีตมากที่สุด ดังแสดงตัวอย่างภาพหน้าจอของระบบในภาพที่ 3

ส่วนที่ 2 การสกัดคำสำคัญดังแสดงในภาพที่ 4 เริ่มต้นกระบวนการจากการตัดคำด้วยการใช้โมดูล PyThaiNLP [21] เพื่อตัดคำออกจากแต่ละข้อความความคิดเห็นบนทวิตเตอร์ (ในช่วงวันที่ 1 ถึง 31 เดือนธันวาคม ปีพ.ศ.2561) โดยข้อมูลแบ่งเป็น 4 สัปดาห์ และนำข้อมูลในแต่ละสัปดาห์มาหาความถี่คำที่พบบ่อยที่สุดประจำสัปดาห์ จากนั้นทำการเลือกเฉพาะ 1,000 คำแรกแล้วนำมาผสมค่าเป็นวลีหรือกลุ่มคำที่เป็นไปได้ทั้งหมดที่ประกอบด้วย 2 คำที่ถูกตัดมาจากส่วนแรกและเรียกส่วนนี้ว่า “คำสำคัญคู่แข่ง” ขั้นตอนนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อลดปัญหาการตัดคำที่เป็นคำเดียวที่ไม่มีความหมายหรือไม่ใช่คำที่สมบูรณ์ จากนั้นนำ “คำสำคัญคู่แข่ง” มาหาความถี่ของการพบ “คำสำคัญคู่แข่ง” นั้น ๆ ในประโยคอีกครั้งและจัดลำดับความถี่ของคำที่พบและเลือก 500 คำแรกที่มีความถี่สูงสุดของแต่ละสัปดาห์เพื่อให้แน่ใจว่า “คำสำคัญคู่แข่ง” ดังกล่าวมีความสำคัญมากที่สุดเมื่อเทียบกับคำอื่นๆ ที่พบ และจากการจัดอันดับด้วยความถี่สูงสุดคำทั้งหมดที่สกัดจากข้อความทวิตถูกนับว่าเป็น “คำสำคัญ” และเป็น “ตัวแทนคำสำคัญ” สำหรับข้อความทวิตทั้งหมดใน 4 สัปดาห์



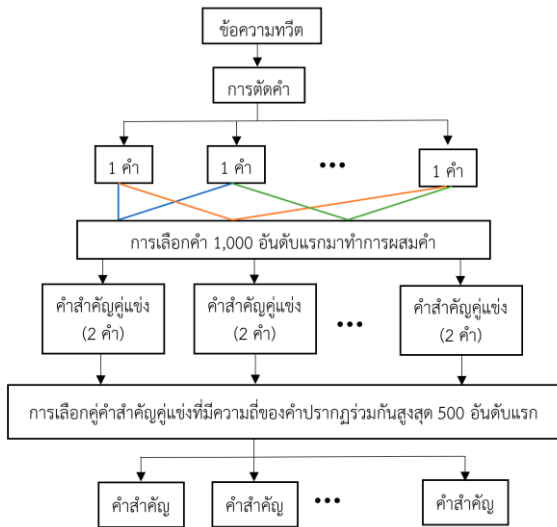
รูปที่ 1 โครงสร้างภาพรวมระบบติดตามและวิเคราะห์ความคิดเห็นต่อมหาวิทยาลัยไทยบนทวิตเตอร์

ตารางที่ 4 คำนิยามอื่นๆ ที่นิยมใช้เรียกแทนชื่อมหาวิทยาลัยรัฐบาล

```

_id: ObjectId("5d82f8c867ad6f33a48f8946")
key: "Mahidol"
data: Object
  created_at: "Mon Dec 03 13:52:05 +0000 2018"
  id: 1069590095970238465
  id_str: "1069590095970238465"
  text: "ได้ค้นหาคำสั้นๆ KING อย่างชัดเจนนี่แหละ พระบิดา พระบุตร ช..."
  truncated: false
  entities: Object
    source: "<a href='\"http://twitter.com/download/android\"' rel='\"nofollow\"'>Twitter f..."
    in_reply_to_status_id: null
    in_reply_to_status_id_str: null
    in_reply_to_user_id: null
    in_reply_to_user_id_str: null
    in_reply_to_screen_name: null
  user: Object
    id: 981898231037640705
    id_str: "981898231037640705"
    name: "จ่านิว"
    screen_name: "markson390"
    location: "ประเทศไทย"
    description: "Bson"
    url: null
    entities: Object
    protected: false
    followers_count: 161
    friends_count: 43
    listed_count: 0
    created_at: "Thu Apr 05 14:15:55 +0000 2018"
    favourites_count: 12896
    utc_offset: null
    time_zone: null
    geo_enabled: false
    verified: false
    statuses_count: 8191
    lang: null
  
```

รูปที่ 2 ตัวอย่างข้อมูลจากทวิตเตอร์เอพีไอ



รูปที่ 3 แผนภาพกระบวนการทำงานของการสกัดคำสำคัญ

ลำดับ	มหาวิทยาลัย	คำนิยามอื่นๆ
1	มหาวิทยาลัยมหิดล	มหิดล ลูกพระบิดา มหาลัยสี่เขียว #ทีม MU
2	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	จุฬา มหาลัยสี่ชมพู มหาลัยแถวสามย่าน เด็กสามย่าน ลูกพระ เกล้า ลูกจามจรี #ทีม CU #ทีมฟ #ทีมจุฬา
3	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์	ลูกพระพิรุณ มเกษตร เกษตรศาสตร์ #ทีมมก #มก #ทีมku #ทีม เกษตร #เกษตร บางเขน
4	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่	#มข มเชียงใหม่ # ทีมมข
5	มหาวิทยาลัยขอนแก่น	#มข ลูกเจ้าพ่อมอดิน แดง มขอนแก่น # ทีมมข
6	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระ จอมเกล้าธนบุรี	#มจร #ทีมบางมด #KMUTT
7	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์	ข้อศรีตรัง มสงขลา # ทีมมอ
8	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์	ธรรมศาสตร์ ลูกแม่โตม พ่อปรีดี ศิษย์อาจารย์ ป่วย #มธ #ทีมมธ # ทีมTU
9	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุ รนารี	มทส ลูกแสดทอง มสุ รนารี#ทีมสุรนารี
10	มหาวิทยาลัยนครสวรรค์	ลูกพระนเรศ มนเรศวร #เด็กมอนอ #ทีมมน # มอนอ #ทีมนเรศวร

ลำดับ	มหาวิทยาลัย	คำนิยามอื่นๆ
11	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง	ทีมลาดกระบัง #kmitl พระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง #สจล #ทีมสจล
12	มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ	ทีมมศว มศว มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
13	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม	มมส ทีมMSU
14	มหาวิทยาลัยศิลปากร	มศก #ทีมSU ศิลปากร
15	มหาวิทยาลัยบูรพา	มบูร ทีมบูรพา ทีมBUU
16	มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง	มฟล เด็กตอยแม่ มแม่ฟ้าหลวง ทีมMFU
17	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ	ทีมพระนครเหนือ มจพพระนครเหนือ . ทีมkmutnb
18	มหาวิทยาลัยแม่โจ้	ทีมมจ ทีมแม่โจ้ ทีมMJU มแม่โจ้
19	มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์	วลัยลักษณ์ ทีมมวล
20	มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา	สวนสุนันทา มรสส สวนนน ทีมSSRU

ตารางที่ 5 คำนิยามอื่นๆ ที่นิยมใช้เรียกแทนชื่อมหาวิทยาลัยเอกชน

ลำดับ	มหาวิทยาลัย	คำนิยามอื่นๆ
1	สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย	ทีมAIT สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย
2	มหาวิทยาลัยรังสิต	#RSU #มอรังสิต #มรส ม. รังสิต#ทีมรังสิต #ทีมRSU
3	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร	เทคโนโลยีมหานคร เทคโนโลยีมหานคร
4	มหาวิทยาลัยกรุงเทพ	#มกท #มกรุงเทพ #ทีมBU #บียู #ทีมบียู

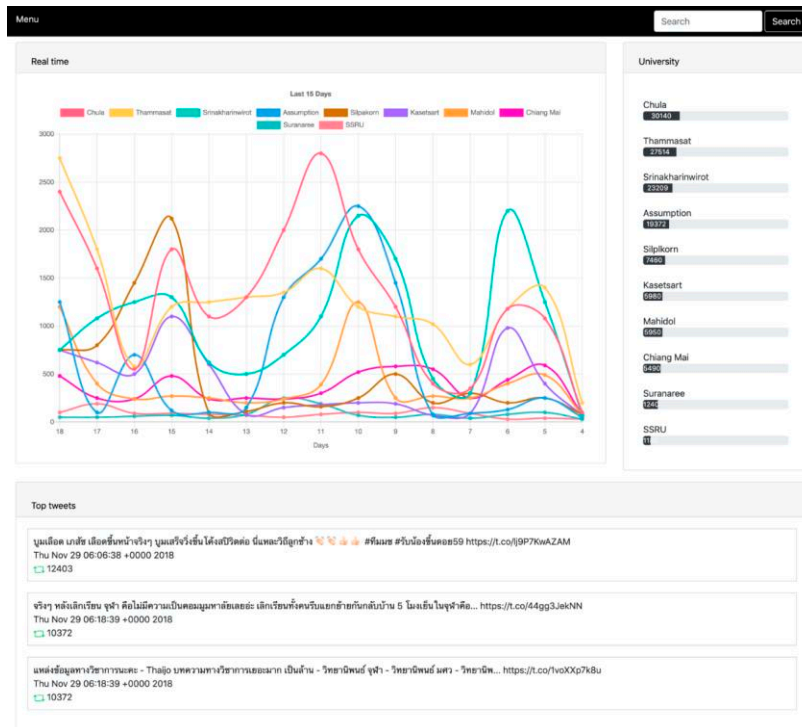
ลำดับ	มหาวิทยาลัย	คำนิยามอื่นๆ
5	มหาวิทยาลัยอัสสัมชัญ	#เอ แบ ค #ABAC # อัสสัมชัญ #ทีมabac #ทีมเอแบค
6	มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย	ลูกแม่ไทร #ทีมUTCC เด็ก หัวการค้า #ทีมหอการค้า
7	มหาวิทยาลัยพายัพ	#ทีมพายัพ ทีมมพย มพายัพ
8	มหาวิทยาลัยหัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ	#หัวเฉียว #มฉก ทีมHCU
9	มหาวิทยาลัยสยาม	มสยาม
10	มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต	ธุรกิจบัณฑิต ทีมมธบ ทีมDPU
11	มหาวิทยาลัยวงษ์ชวลิตกุล	วงษ์ชวลิตกุล วงชวลิตกุล ทีมมว ทีมVU
12	มหาวิทยาลัยราชธานี	มราชธานี
13	มหาวิทยาลัยชินวัตร	มชินวัตร
14	มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต	เกษมบัณฑิต #ทีมเกษม มเกษม
15	มหาวิทยาลัยฟาฏอนี	ฟาฏอนี
16	มหาวิทยาลัยศรีปทุม	ทีมspu มศรีปทุม ทีมศรี ปทุม #DekSPU #SripatumUniversity
17	มหาวิทยาลัยเกริก	มเกริก ทีมKRU
18	มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์	เอเชียอาคเนย์ ทีมSAU
19	วิทยาลัยเซนต์หลุยส์	วิทยาลัยเซนต์หลุยส์
20	มหาวิทยาลัยเซนต์จอห์น	มหาวิทยาลัยเซนต์จอห์น มเซนต์จอห์น



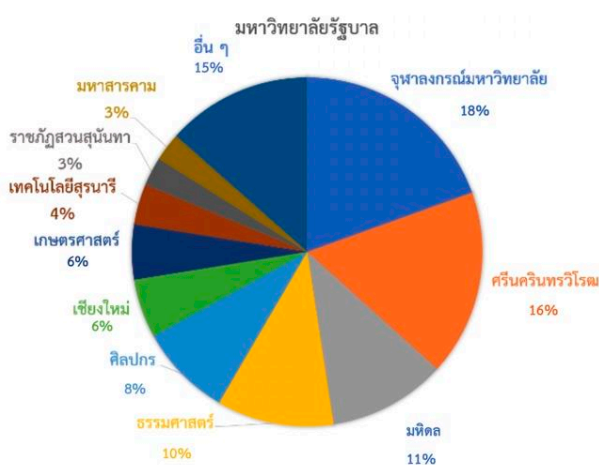
ตารางที่ 6 รายละเอียดของข้อมูลถูกส่งกลับจากทวีตเตอร์เอพีไอ

ชื่อข้อมูล	คำอธิบาย	ประเภทข้อมูล
_id	รหัสของข้อมูล	object
Key	ชื่อมหาวิทยาลัย	string
data	ข้อมูลที่ดึงมาจากทวีตเตอร์	object
created_at	วันที่สร้างข้อความทวีต	string
id	รหัสตัวเลขจำนวนเต็มเพื่อระบุหมายเลขข้อความทวีต มีขนาดสูงกว่า 53 บิต ใช้ id_str เพื่อตรวจสอบความปลอดภัยอีกชั้น	int64
id_str	รหัสตัวเลขที่เก็บในรูปแบบสตริงเพื่อระบุหมายเลขข้อความทวีต	string
text	ข้อความทวีต	string
truncated	ข้อความได้ถูกตัดออกไปบางส่วนหรือไม่	boolean
entitise	ข้อมูลที่เก็บรายละเอียดแฮชแท็กแต่ละอันที่ผู้ใช้ทวีต	object
metadata	เก็บข้อมูลภาษาที่ทวีต	object
source	แหล่งที่มาของทวีต เช่น แอนดรอยด์ หรือ เว็บฯ เป็นต้น	string
user	ข้อมูลของผู้ทวีต	object
id	รหัสตัวเลขจำนวนเต็มเพื่อระบุตัวตนของผู้ใช้ มีขนาดสูงกว่า 53 บิต ใช้ id_str เพื่อตรวจสอบความปลอดภัยอีกชั้น	int64
id_str	รหัสตัวเลขที่เก็บในรูปแบบสตริงเพื่อระบุตัวตนของผู้ใช้	string
name	ชื่อผู้ใช้ที่สามารถตั้งเอง (Display name)	string
screen_name	ชื่อผู้ใช้ ( )Username(	string
location	ประเทศที่ผู้ใช้ทวีตข้อความ	string
description	ข้อความอธิบายตัวตนของผู้ใช้	string
url	ลิงค์สำหรับเชื่อมโยงเว็บไซต์ของผู้ใช้	string
protected	มีการป้องกันทวีตเตอร์เพื่อไม่ให้ผู้อื่นสามารถเข้าถึงได้หรือไม่	boolean

ชื่อข้อมูล	คำอธิบาย	ประเภทข้อมูล
followers_count	จำนวนผู้ติดตาม	int
friends_count	จำนวนผู้ใช้ที่กำลังติดตาม	int
create_at	วันที่สร้างบัญชีทวีตเตอร์	string
favourites_count	จำนวนทวีตที่ชื่นชอบ	string
utc_offset	เวลาพักของผู้ใช้	null
timezone	โซนเวลาของผู้ใช้	null
geo_enabled	เปิดใช้งานแบ่งปันโซนเวลาหรือไม่	boolean
verified	บัญชีได้รับการยืนยันตัวเองแล้วหรือไม่	boolean
status_count	จำนวนข้อความที่ทวีตทั้งหมดของผู้ใช้	number
lang	ภาษาที่ผู้ใช้เลือก	string
contributors_enabled	เข้าร่วมโดยสมัครผ่านบัญชีอื่น	boolean
profile_background_color	รหัสสีพื้นหลังบัญชีผู้ใช้เลือก	string
profile_background_image_url	รูปพื้นหลังโปรไฟล์ที่ผู้ใช้อัปโหลดลิงค์แบบ http	string
profile_background_image_url_https	รูปพื้นหลังโปรไฟล์ที่ผู้ใช้อัปโหลดลิงค์แบบ https	string
profile_image_url	รูปแทนตัวตนของบัญชีผู้ใช้เก็บในรูปแบบ http	string
profile_image_url_https	รูปแทนตัวตนของบัญชีผู้ใช้เก็บในรูปแบบ https	string
profile_banner_url	รูปปกบัญชีผู้ใช้	string
retweet_count	จำนวนรีทวีตของข้อความทวีต	int
favorite_count	จำนวนชื่นชอบของข้อความทวีต	int
favorited	กดชื่นชอบทวีตของตัวเองหรือไม่	boolean
retweeted	กดรีทวีตของตัวเองหรือไม่	boolean
lang	ภาษาที่ใช้	string



รูปที่ 4 หน้าจอของระบบติดตามและวิเคราะห์ความคิดเห็นต่อมหาวิทยาลัยไทยบนทวิตเตอร์



รูปที่ 5 จำนวนสัดส่วนของความคิดเห็นที่กล่าวถึงมหาวิทยาลัยรัฐบาล



รูปที่ 6 จำนวนสัดส่วนของความคิดเห็นที่กล่าวถึงมหาวิทยาลัยเอกชน

#### 4) ผลลัพธ์การดำเนินงานและการวิเคราะห์

##### 4.1) ส่วนการแสดงผลภาพรวมความคิดเห็นต่อมหาวิทยาลัย

ผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์ผลจากระบบติดตามและวิเคราะห์ความคิดเห็นต่อมหาวิทยาลัยไทยบนทวิตเตอร์โดยใช้ข้อมูลในช่วงวันที่ 1 พฤศจิกายน ถึง 31 เดือนธันวาคม ปีพ.ศ.2561 ซึ่งผลลัพธ์ปริมาณการถูกกล่าวถึงบนทวิตเตอร์แสดงสรุปในภาพที่ 5 และ 6



จากภาพที่ 5 พบว่า จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยมีปริมาณการถูกกล่าวถึงสูงสุดคิดเป็นประมาณร้อยละ 18 (4,730 ทวิต) มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒคิดเป็นประมาณร้อยละ 16 (4,186 ทวิต) มหาวิทยาลัยมหิดลคิดเป็นประมาณร้อยละประมาณ 11 (2,642 ทวิต) มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์คิดเป็นร้อยละ 10 (2,618 ทวิต) และมหาวิทยาลัยศิลปากรคิดเป็นประมาณร้อยละ 8 (2,091 ทวิต) จากจำนวนทวิตที่เกี่ยวข้องกับมหาวิทยาลัยทั้งหมด 40 แห่ง แสดงให้เห็นถึงแนวโน้มมหาวิทยาลัยที่ได้รับความนิยมบนทวิตเตอร์ในแต่ละช่วงเวลา และทวิตที่ได้รับการรีทวิตสูงจะช่วยให้ข้อมูลในสิ่งที่กำลังเป็นที่พูดถึงได้อย่างชัดเจนและมีรายละเอียดมากยิ่งขึ้น โดยผลตัวเลขดังกล่าวอาจมีความคลาดเคลื่อนจากการเก็บรวบรวมข้อมูล เช่น คำนิยามที่ใช้ในการดึงข้อมูลทวิตผ่านทวิตเตอร์เฟอ์ไอซึ่งมีค่อนข้างน้อยและอาจครอบคลุมข้อมูลได้ไม่เพียงพอสำหรับบางมหาวิทยาลัยส่งผลให้ข้อมูลที่ได้ออกกลับมามีปริมาณน้อย

#### 4.2) การสกัดคำสำคัญที่เกี่ยวข้องกับมหาวิทยาลัย

จากผลการวิเคราะห์หาคำสำคัญโดยเลือกค่า 500 อันดับแรกที่พบในประโยคมากที่สุดในแต่ละสัปดาห์ของ 10 มหาวิทยาลัยที่มีการพูดถึงบนทวิตเตอร์มากที่สุด พบว่าคำที่สกัดออกมาได้นั้นบางคำเป็นคำที่ไม่มีความหมายหรือเป็นคำที่ยังไม่สมบูรณ์ จึงมีการแก้ปัญหาโดยใช้ผู้เชี่ยวชาญจำนวนสามคนมาช่วยวิเคราะห์และตรวจสอบความเหมาะสมของคำสำคัญที่สกัดได้จากกระบวนการอัตโนมัติที่ได้นำเสนอ ซึ่งจะส่งผลสรุปการนิยามว่าคำไหนควรเป็นสำคัญจากความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญที่เห็นตรงกันตั้งแต่สองคนขึ้นไป และเลือก 5 คำแรกของผู้เชี่ยวชาญลงความคิดเห็นว่าเป็นคำสำคัญและมีความถี่ในการใช้งานสูงในแต่ละสัปดาห์ของ 10 มหาวิทยาลัยซึ่งได้ข้อมูลดังแสดงในตารางที่ 7 และจากคำสำคัญที่ได้นำมาวิเคราะห์เพิ่มเติมเราสามารถสกัดข้อมูลและแนวโน้มที่น่าสนใจในช่วงเวลาต่าง ๆ ดังตัวอย่างต่อไปนี้

4.2.1) เทรนด์ของแต่ละมหาวิทยาลัยจะทำให้ทราบถึงเหตุการณ์ที่กำลังจะเกิดขึ้นหรือเกิดขึ้นในขณะนั้น เช่น งานฟุตบอลประเพณีธรรมศาสตร์ – จุฬา ฯ ครั้งที่ 73 ซึ่งจะเกิดขึ้นในช่วงเดือนกุมภาพันธ์จะพบว่าในมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์จะมีการพูดถึงเสื้อเชียร์จำนวนมากซึ่งสิ่งที่เกิดขึ้นภายในมหาวิทยาลัยคือเสื้อเชียร์ขาดตลาด และในช่วงของการสมัครเข้าศึกษาต่อในระดับมหาวิทยาลัยจะพบคำว่า “อยากเข้า” หรือ “รับตรง”

จำนวนมากอาจตีความได้ว่ามหาวิทยาลัยนั้นได้รับความสนใจในการสมัครเข้าศึกษาต่อสูง ซึ่งแสดงให้เห็นว่าคำสำคัญที่สกัดได้อาจมีความเกี่ยวข้องกับเหตุการณ์บางอย่างในมหาวิทยาลัยจริง

4.2.2) การได้คำที่มีความเกี่ยวข้องกับมหาวิทยาลัยซึ่งสามารถนำไปเป็นคำที่ใช้ในการค้นหาข้อมูลเกี่ยวกับมหาวิทยาลัยนั้น ๆ ได้

4.2.3) การติดตามภาพลักษณ์มหาวิทยาลัยจากคำที่ปรากฏในประโยคจำนวนมาก ทำให้สามารถวางแผนการดำเนินงานแก้ไขหรือเฝ้าระวังเหตุการณ์ต่าง ๆ ที่อาจเกิดขึ้นได้ เช่น คำหยาบหรือคำที่มีความหมายในแง่ลบต่อมหาวิทยาลัย

จากผลลัพธ์การสกัดคำข้างต้น เมื่อลองนำผลลัพธ์ของการสกัดคำสำคัญมาเทียบกับเฉลยพบว่า คำสำคัญที่สกัดได้ในช่วง 1-100 คำแรกมีคำสำคัญที่ตรงกับเฉลยโดยเฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ 24.825 ช่วง 101-200 คำตรงกับเฉลยร้อยละ 21.26 ช่วง 201-300 คำ ตรงกับเฉลยร้อยละ 18.20 ช่วง 301-400 ตรงกับเฉลยร้อยละ 18.46 และในช่วง 401-500 ตรงกับเฉลยร้อยละ 17.24

ตารางที่ 7 ผลลัพธ์การหาคำสำคัญ

ชื่อมหาวิทยาลัย	ลำดับ-วันที่	คำสำคัญที่สกัดได้
มหาวิทยาลัยมหิดล	1	มหิดล, ศาลายา, สอบถาม, ตลาดนัด WANNAONE, รับสอน
	2	มหิดล, มหาวิทยาลัย, รอบแรก, ศาลายา, สอบเข้า
	3	มหิดล, มหาวิทยาลัย, ศาลายา, มหาลัย, อยากเข้า
	4	มหิดล, มหาวิทยาลัย, ศาลายา, ตลาดนัดWANNAONE, วิทยาศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	1	สอนพิเศษ, วิชาสามัญ, รับสอน, เรียนพิเศษ, สอนคณิต
	2	วิชาสามัญ, รับสอน, เด็กชิว, สอนคณิต, สอนเลข
	3	รับสอน, วิชาสามัญ, รพ.จุฬา, รับสอนพิเศษ, หาติวเตอร์
	4	รับสอน, วิชาสามัญ, สอนเลข, ตลาดนัด WANNAONE, วิศวะจุฬา

มหาวิทยาลัย เกษตรศาสตร์	1	เกษตรศาสตร์, บางเขน, ม.เกษตร, มหาวิทยาลัยเกษตร, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
	2	บางเขน, ม.เกษตร, ทีมมก, นักรับ, มหาวิทยาลัยเกษตร
	3	เกษตรศาสตร์, บางเขน, มหาวิทยาลัย เกษตร, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, ทีมมก
	4	เกษตรศาสตร์, บางเขน, ทีมมก, ม. เกษตร, ทีมมศว
มหาวิทยาลัย เชียงใหม่	1	ทีมมช, รีวิว, ทีมมศว, นัด-ด, -ดนัก ศึกษา
	2	ทีมมช, ทีมมศว, สอบถาม, วิชา, ทำ พอร์ต
	3	ทีมมช, เกรตออก, ทีมมศว, พอร์ต, ทีม บูรพา
	4	ทีมมช, รีวิว, เกรตออก, นัด-ด, วิชา
มหาวิทยาลัย ธรรมศาสตร์	1	ทีมมธ, ม.ธรรมศาสตร์, เสือเขียว, เด็ก ชิว, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
	2	ทีมมธ, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, ม. ธรรมศาสตร์, ตลาดนัด, วันธรรมศาสตร์
	3	ทีมมธ, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, ม. ธรรมศาสตร์, ทีมมช, รีวิว
	4	ทีมมธ, ม.ธรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, ธรรมศาสตร์ รังสิต, หาเพื่อน
มหาวิทยาลัย เทคโนโลยี สุรนารี	1	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี, เทคโนโลยีสุร นารี, รีวิว, หน่วยงาน, เรียนมท
	2	รีวิว, ท่องเที่ยว, แข่งวิ่ง, รพ.มท, ยกระดับการท่องเที่ยว
	3	สวยมาก, มาสมทบทุน, ไม่ติด, งาน เสริม, เรียนบ้าน
	4	ทำงาน, มาสมทบทุน, เด็กอ้วน, เรียน มท, จะสอบ
มหาวิทยาลัย ศรีนครินทรวิ โรฒ	1	ตลาดนัดEXO, ไปสการ์ด, ตลาดนัด WANNAONE, ทีมมศว, ประสานมิตร
	2	ทีมมศว, มหาวิทยาลัย, ไปมศว, ประสานมิตร, เรียนมศว
	3	ประสานมิตร, มหาวิทยาลัยศรีนครินท รวโรฒ, วิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, ทีมมศว, วันอาทิตย์
	4	ไปมศว, ประสานมิตร, มหาวิทยาลัยศรี นครินทรวิโรฒ, เรียนมศว, ทีมมศว

มหาวิทยาลัย ศิลปากร	1	ม.ศิลปากร, วิชา, ที่ศิลปากร, ทีม ศิลปากร, อยากรู้
	2	ม.ศิลปากร, ทีมศิลปากร, ความหนาว, ส่งพอร์ต, พระราชวังดุสิต
	3	ม.ศิลปากร, ของดี, ของดีญี่ปุ่น, มหาวิทยาลัยศิลปากร, ที่ศิลปากร
	4	ม.ศิลปากร, มหาวิทยาลัยศิลปากร, ตลาดนัด, ทับแก้ว, เรียนศิลปากร
มหาวิทยาลัย ราชภัฏสวน สุนันทา	1	สวนสุ, ม.ราชภัฏ, ค่าเทอม, สวนดุสิต, เจอร์
	2	สวนสุ, สวนนันท, ราชภัฏสวน, สวนดุสิต, มหาวิทยาลัยราชภัฏ
	3	สวนสุ, มหาวิทยาลัยราชภัฏ, วิทยาลัย ราชภัฏ, ลมเก่ง, การจัดการ
	4	สวนสุ, สัมภาษณ์, สอบสัมภาษณ์, ดูเกรด, หา เพื่อน
มหาวิทยาลัย อัสสัมชัญ	1	เรียนเอแบค, เด็กเอแบค, เอแบคบาง นา, อยู่เอแบค, เข้าเอแบค
	2	น่ารักมาก, รักมาก, สวนกุหลาบ, คิดถึง , ใ้คนไทย
	3	วันศุกร์, รอบสุดท้าย, แชมป์กีฬา, เรียน เอแบค, กรุงเทพ
	4	น่ารัก, บางนา, เอแบคบางนา, พี่เอแบค , รักมาก

#### 4.3) การทดสอบและประเมินผลการใช้งานระบบ

การประเมินความพึงพอใจการใช้งานทำโดยการสร้างแบบสอบถามออนไลน์ผ่านกูเกิ้ล (Google Form) โดยโครงสร้างแบบสอบถามแบ่งเป็นสามตอน คือ ตอนที่หนึ่ง คำถามเกี่ยวกับข้อมูลทั่วไป ประกอบด้วย รหัสนักศึกษา เพศ และ อายุ ตอนที่สองความพึงพอใจต่อการใช้งานเว็บไซต์และการออกแบบ และตอนที่สาม คือ ข้อเสนอแนะเพื่อการปรับปรุงในอนาคต ดังตารางที่ 8

ตารางที่ 8 รูปแบบการประเมินผลการใช้งานระบบ

ข้อที่	คำถาม
1. คำถามทั่วไป	
1.1	เพศ
1.2	อายุ
2. ด้านการออกแบบและเนื้อหา	
2.1	หน้าหลักมีความสวยงาม และน่าสนใจ
2.2	การจัดรูปแบบเว็บไซต์ง่ายต่อการอ่านและการใช้งาน
2.3	สีที่ใช้มีความเหมาะสม
2.4	ขนาดตัวอักษรและรูปแบบตัวอักษรมีความเหมาะสม
2.5	เนื้อหาที่มีประโยชน์ต่อผู้ใช้งานและน่าติดตาม
3. ข้อเสนอแนะเพิ่มเติม	
3.1	ข้อเสนอแนะเพิ่มเติม ที่อยากให้เราเพิ่มหรือปรับใน University Monitoring
3.2	ถ้าสามารถเปลี่ยนเนื้อหาจากการติดตามมหาวิทยาลัยเป็นเนื้อหาที่ท่านสนใจได้ ท่านจะเปลี่ยนเป็นอะไร (เช่น ดารา, ภาพยนตร์, การเมือง เป็นต้น)

จากการวิเคราะห์ข้อมูลในส่วนข้อมูลทั่วไป โดยมีจำนวนผู้ตอบแบบสอบถามทั้งหมด 259 คน ซึ่งเป็นเพศชาย จำนวน 112 คน (คิดเป็นร้อยละ 43.2) เพศหญิงจำนวน 145 คน (คิดเป็นร้อยละ 56) และอื่น ๆ จำนวน 2 คน (คิดเป็นร้อยละ 0.8) และช่วงอายุของผู้ตอบแบบสอบถามส่วนมากอยู่ในช่วง 18 – 20 ปี จำนวน 250 คน (คิดเป็นร้อยละ 96.5)

ในส่วนของผลการวิเคราะห์ข้อคำถามในส่วนที่ 2 ที่ออกแบบมาเพื่อวัดความพึงพอใจต่อการใช้งานด้านการออกแบบและเนื้อหาของระบบ แบ่งการให้คะแนนเป็น 5 ระดับความพึงพอใจ คือ ระดับมากที่สุด (5 คะแนน) ระดับมาก (4 คะแนน) ระดับปานกลาง (3 คะแนน) ระดับน้อย (2 คะแนน) และระดับน้อยที่สุด (1 คะแนน) ดังแสดงรายละเอียดในตารางที่ 9 โดยคะแนนผลการประเมินในแต่ละประเด็นสรุปได้ดังต่อไปนี้ ประเด็นที่ 2.1 ด้านการออกแบบหน้าหลักมีความสวยงามและน่าสนใจ ส่วนนี้ได้รับคะแนนการประเมินเฉลี่ยอยู่ที่ 4.00 คะแนน โดยผู้ใช้งานมากให้ค่าความพึงพอใจในระดับมากที่สุดจำนวน 143 คน (คิดเป็นร้อยละ 55) และรองลงมา คือ ระดับมากที่สุดจำนวน 61 คน (คิดเป็นร้อยละ 24) ประเด็นที่ 2.2 ด้านการจัดรูปแบบเว็บไซต์ง่ายต่อการอ่านและการใช้งาน ส่วนนี้ได้รับคะแนนการประเมินเฉลี่ยอยู่ที่ 3.98 คะแนน ผู้ใช้งานส่วนใหญ่ให้ค่าความพึงพอใจในระดับมากที่สุดจำนวน 130 คน (คิดเป็นร้อยละ 51) และลำดับรองลงมา คือ

ระดับมากที่สุดจำนวน 64 คน (คิดเป็นร้อยละ 25) ประเด็นที่ 2.3 เรื่อง สีที่ใช้ ส่วนนี้ได้รับคะแนนการประเมินเฉลี่ยอยู่ที่ 4.13 คะแนน ผู้ใช้งานส่วนใหญ่ให้ค่าความพึงพอใจในระดับมากที่สุดจำนวน 120 คน (คิดเป็นร้อยละ 47) และรองลงมาคือ ระดับมากที่สุดจำนวน 89 คน (คิดเป็นร้อยละ 34) ประเด็นที่ 2.4 ด้านขนาดตัวอักษรและรูปแบบตัวอักษร ส่วนนี้ได้รับคะแนนการประเมินเฉลี่ยอยู่ที่ 4.04 คะแนน ผู้ใช้งานส่วนใหญ่ให้ค่าความพึงพอใจในระดับมากที่สุดจำนวน 110 คน (คิดเป็นร้อยละ 43) และถัดมาคือ ระดับมากที่สุดจำนวน 82 คน (คิดเป็นร้อยละ 32) และประเด็นที่ 2.5 ด้านเนื้อหาที่มีประโยชน์ต่อผู้ใช้งานและน่าติดตาม ส่วนนี้ได้รับคะแนนการประเมินเฉลี่ยสูงสุดเมื่อเทียบประเด็นอื่น ๆ โดยคะแนนเฉลี่ยอยู่ที่ 4.23 คะแนน โดยผู้ใช้งานส่วนใหญ่ให้ค่าความพึงพอใจในระดับมากที่สุดจำนวน 118 คน (คิดเป็นร้อยละ 46) และถัดมา คือระดับมากที่สุดจำนวน 101 คน (คิดเป็นร้อยละ 40) อย่างไรก็ตาม เนื่องจากข้อคำถามในส่วนที่ 2 มีบางประเด็นที่ผู้ตอบแบบประเมินไม่ได้ระบุคำตอบ จึงทำให้ผลรวมจำนวนผู้ตอบในแต่ละประเด็นอาจมีไม่เท่ากัน

สำหรับข้อคำถามประเด็นที่เกี่ยวข้องกับข้อเสนอแนะเพิ่มเติมที่ผู้ใช้งานเสนอให้กับทีมงานผู้วิจัย ในประเด็นที่ 3.1 และ 3.2 ผู้วิจัยได้สรุปรายละเอียดข้อมูลส่วนนี้ไว้ในตารางที่ 10 และ 11 ตามลำดับ

ตารางที่ 9 รายละเอียดผลการประเมินความพึงพอใจในการใช้งานระบบด้านการออกแบบและเนื้อหา

ข้อที่	คำถาม	คะแนนเฉลี่ยที่ได้ (เต็ม 5 คะแนน)	จำนวนผู้ตอบแบบสอบถามในแต่ละระดับคะแนน				
			มากที่สุด (5 คะแนน)	มาก (4 คะแนน)	ปานกลาง (3 คะแนน)	น้อย (2 คะแนน)	น้อยที่สุด (1 คะแนน)
2.1	หน้าหลักมีความสวยงาม และน่าสนใจ	4.00	61 คน	143 คน	51 คน	3 คน	1 คน
2.2	การจัดรูปแบบเว็บไซต์ง่ายต่อการอ่านและการใช้งาน	3.98	64 คน	130 คน	59 คน	3 คน	1 คน
2.3	สีที่ใช้มีความเหมาะสม	4.13	89 คน	120 คน	43 คน	5 คน	1 คน
2.4	ขนาดตัวอักษรและรูปแบบตัวอักษรมีความเหมาะสม	4.04	82 คน	110 คน	61 คน	4 คน	1 คน
2.5	เนื้อหาที่มีประโยชน์ต่อผู้ใช้งานและน่าติดตาม	4.23	101 คน	118 คน	31 คน	4 คน	1 คน

ตารางที่ 10 ข้อเสนอแนะเพิ่มเติมในการปรับปรุงระบบ

ลำดับ	ข้อเสนอแนะ
1	พัฒนาความเร็ว
2	สีไม่ค่อยสวย
3	น่าจะให้เล่นกราฟดิ่ง ๆ อีกเยอะ ๆ
4	อยากให้ทำให้คนที่เพิ่งรู้จัก University Monitoring สามารถเข้าใจได้ง่ายมากยิ่งขึ้น
5	สามารถ Download Data ที่ใช้ visualization ในเว็บมาลองเล่นเองได้ครับ

ตารางที่ 11 ข้อเสนอแนะเพิ่มเติมหัวข้อที่ผู้ใช้มีความสนใจในการติดตาม

ลำดับ	เรื่องที่น่าสนใจ
1	การเมือง
2	ภาพยนตร์
3	ดารา ศิลปิน คนดัง
4	เศรษฐกิจ
5	กีฬา

### 5) สรุปผลการดำเนินงาน

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอระบบเฝ้าติดตามความคิดเห็นต่อมหาวิทยาลัยไทยบนสื่อสังคมออนไลน์ โดยเก็บรวบรวมความคิดเห็นที่เกี่ยวข้องกับมหาวิทยาลัยอ้างอิงจากคำนิยามที่กำหนดขึ้นมาวิเคราะห์ผลและประมวลผลในทางสถิติ เพื่อนำเสนอข้อมูลถึงมหาวิทยาลัยที่ถูกกล่าวถึงและกำลังเป็นกระแสนิยมบนทวิตเตอร์ ซึ่งสามารถใช้ในการวิเคราะห์เหตุการณ์หรือสถานการณ์ที่

กำลังเกิดขึ้น เช่น ในช่วงรับสมัครสอบต่าง ๆ มหาวิทยาลัยที่มีปริมาณการถูกกล่าวถึงสูงอาจหมายถึงการได้รับความสนใจในการสมัครเข้าศึกษาสูงเช่นกัน ทวิตที่ได้รับการรีทวีตจำนวนมาก จะช่วยให้ข้อมูลในสิ่งที่กำลังเป็นที่นิยมในช่วงเวลานั้น ๆ ได้ชัดเจนมากขึ้น นอกจากนี้งานวิจัยฉบับนี้ได้นำเสนอวิธีการสกัดค่าสำคัญจากข้อความโดยใช้ความถี่อย่างง่ายเพื่อใช้ในการวิเคราะห์เหตุการณ์หรือสิ่งที่กำลังเป็นที่พูดถึงอยู่ในขณะนั้น เช่น คำว่า “อยากเข้า” อาจสื่อถึงมหาวิทยาลัยที่มีบุคคลให้ความสนใจในเรื่องการเข้าศึกษาต่อสูง และยังสามารถช่วยในการติดตามหัวข้อที่ควรเฝ้าระวังในการถูกกล่าวถึง ทำให้มหาวิทยาลัยสามารถวางแผนหรือแก้ไขได้รวดเร็วมากขึ้น

ในส่วนของการวิจัยและการพัฒนาต่อยอดในอนาคต ผู้วิจัยที่สนใจสามารถพัฒนาต่อยอดจากงานวิจัยที่ได้นำเสนอนี้ในการทำระบบต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับข้อมูลความคิดเห็นบนสื่อสังคมออนไลน์ได้ อาทิเช่น ระบบสกัดคำสำคัญแบบอัตโนมัติ ระบบวิเคราะห์และจำแนกความคิดเห็นเชิงบวกและลบแบบอัตโนมัติ และระบบวิเคราะห์และสรุปความคิดเห็นอัตโนมัติ เป็นต้น

กิตติกรรมประกาศ

ผลงานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากงบประมาณบูรณาการวิจัยและนวัตกรรม ประจำปีงบประมาณ 2562

## REFERENCES

- [1] Watee. (2561). "Statistic of the World's Digital Users," (In Thai). Accessed: Aug. 10, 2019. [Online]. Available: <https://www.brandbuffet.in.th/2018/02/global-and-thailand-digital-report-2018/>
- [2] T. Theeramunkong. "Current Natural Language Processing," (In Thai). Accessed: Aug. 10, 2019. [Online]. Available: [http://www.jaist.ac.jp/~ping/paper/NLP\\_tis.txt](http://www.jaist.ac.jp/~ping/paper/NLP_tis.txt)
- [3] Choochart Haruechaiyasak. "NLP, Information Retrieval and Text Mining," (In Thai). Accessed: Jul. 10, 2019. [Online]. Available: <http://www2.it.kmutnb.ac.th/teacher/FileDL/maleerat178255420125.pdf>
- [4] Service and E-Learning Development Team, The Office of Computer. "Natural Language Processing System," (In Thai). Accessed: Jul. 12, 2019. [Online]. Available: [https://cst.tsu.ac.th/courseonline/course/computer\\_it/ai/nature.html](https://cst.tsu.ac.th/courseonline/course/computer_it/ai/nature.html)
- [5] PR. "Mahidol University is ranked the 1st in Thailand, according to Webometrics Ranking of World Universities," (In Thai). Accessed: Jul. 12, 2019. [Online]. Available: <https://mahidol.ac.th/th/webometrics-rankings/>
- [6] Burin Rujjanapan. "Thai University Ranking in 2017," (In Thai). Accessed: Jul. 29, 2019. [Online]. Available: [http://www.thaiail.com/topstory/webometrics\\_jan2017.php](http://www.thaiail.com/topstory/webometrics_jan2017.php)
- [7] Chai Phonbopit "Let's learn about Regular Expressions," (In Thai). Accessed: Sept. 18, 2019. [Online]. Available: <https://devahoy.com/blog/2016/11/regular-expressions-101/>
- [8] MindPHP.com "What is API," (In Thai). Accessed: Jan. 25, 2019. [Online]. Available: <https://www.mindphp.com/คู่มือ/73-คืออะไร/2038-api-คืออะไร.html>
- [9] nutmos. "Twitter Increasing Conditions in using API and Developing Report Tools for Low-quality Applications," (In Thai). Accessed: Jan. 28, 2019. [Online]. Available: <https://www.blognone.com/node/104115>
- [10] Oat Phattaraphon. "Sentiment Analysis VS Excellent Listening Tools" (In Thai). Accessed: Jan. 25, 2019. [Online]. Available: <https://medium.com/deepverseio/sentiment-analysis-กับเครื่องดักฟังชั้นเยี่ยม-570cb4d1b66a>
- [11] S-Sense Social Sensing, "NECTEC and What's SPT. S-Sense?" (In Thai). Accessed: Oct. 15, 2018. [Online]. Available: <https://www.ssense.in.th/>
- [12] Chanita Lisirikul. "Business Sentiment Analysis System Using Data Mining on Twitter Data" (In Thai), M.S. thesis, Dept. Information System for Management., King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Bangkok, 2017.
- [13] Araya Pudtal, "An analysis of Twitter in the passing of His Majesty King Bhumibol Adulyadej" (In Thai), M.S. thesis, Dept Computer Science, Chulalongkorn University, Bangkok, 2017.
- [14] Chonchanok Chidpasert, "Social media influences affecting the decision low cost airline," in *Proc. the 13th KU-KPS Conf*, Kasetsart University Kamphaeng Saen, Nakhon Pathom, 2016, pp. 1222-1229
- [15] Natcha Suwanwong, "The factors affecting on decision for admitting Bachelor Degree of Rajamangala University of Technology Isan (Quota System)," (In Thai). Office of Academic Promotion and Registrar, Rajamangala University of Technology Isan, Nakhon Ratchasima, 2017. [Online]. Available: <https://www.rmuti.ac.th/news/attach/721d0b0232717ccfa663943b4e4fcf46-20170828-2-1541-7433.pdf>
- [16] Kanjana Sudatip, "Information Extraction using Machine Learning and Data Mining," M.S. thesis, Dept. Information Technology, King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Bangkok, 2016.
- [17] Thassanee Uthaisuri, "Keyword extraction from English abstracts," M.S. thesis, Dept. Computer Science, Silpakorn University, Bangkok, 2013.
- [18] Ekkaphum Phumiphan, "Extracting keywords from electronics word of mouth in webboard communication," (In Thai). M.S. thesis Dept. Computer Science, Chulalongkorn University, Bangkok, 2011.
- [19] Sirichai Deelers and Yaowaluk Ruamyoo, "Using Social Networking Applications with Instagram through to the Success of business in Brand Awareness," *Veridian E-Journal Silpakorn University*, Vol. 10, No. 1, pp.1422-1438, 2017.
- [20] Kedwadee Sombultawe and Siwakorn Anoree, "The Influence of social media affecting purchasing decision for Smartphone of Gen Y in Bangkok," in *Proc. 12th Naresuan Research Conf. (Research and Innovation for Country Development)*, Naresuan University, Phitsanulok, 2016, pp. 1558-1567.
- [21] Wannaphong Phatthiyaphaibun. "User manual PyThaiNLP 1.4," Accessed: January. 24, 2019. [Online]. Available: <https://pythainlp.readthedocs.io/en/stable/pythainlp-1-4-thai/>

# การศึกษาปีคอนส์ที่ใช้บันทึกเวลาเข้างานเพื่อเปรียบเทียบกับเครื่องบันทึกเวลา ที่ใช้อาร์เอฟไอดีสำหรับงานบริหารทรัพยากรมนุษย์

ยุรนนท์ มูซอ

คณะบริหารธุรกิจ สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น กรุงเทพมหานคร ประเทศไทย

ผู้นิพนธ์ประสานงาน อีเมล : yuranan@tni.ac.th

รับต้นฉบับ: 5 กันยายน 2562; รับผิดชอบต่อฉบับแก้ไข: 20 ตุลาคม 2562; ตอรับบทความ: 29 ตุลาคม 2562

เผยแพร่ออนไลน์: 25 ธันวาคม 2562

## บทคัดย่อ

ระบบบันทึกเวลาเข้าออกงาน (Time Attendance System) ถือเป็นเทคโนโลยีสารสนเทศในการบริหารทรัพยากรมนุษย์ที่สำคัญของเจ้าหน้าที่ฝ่ายบุคคลในการสรุปรวมชั่วโมงการทำงานเพื่อการจ่ายเงินเดือน ปัจจุบันเทคโนโลยีที่นิยมใช้งานในการบันทึกเวลาเข้าออกงานในองค์กรส่วนใหญ่คือการใช้บัตรพนักงานแถบแม่เหล็กอาร์เอฟไอดี (RFID) และที่เครื่องอ่านบัตรเพื่อบันทึกเวลา จากการศึกษาพบว่าเทคโนโลยีปีคอนส์ Beacons สามารถนำมาประยุกต์เป็นเครื่องอ่านข้อมูลพนักงานได้โดยใช้ Mobile Application ของพนักงานเชื่อมต่อและส่งข้อมูลผ่านสัญญาณ Bluetooth เพื่อบันทึกเวลาเข้าออกของพนักงาน งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการนำเทคโนโลยีปีคอนส์ Beacons เข้ามาใช้ในระบบบันทึกเวลาเข้าออกงาน และเปรียบเทียบผลการบันทึกข้อมูลระหว่างปีคอนส์กับอาร์เอฟไอดี (RFID) ในระบบบันทึกเวลาเข้าออกงาน โดยการจับเวลาที่ใช้ในการบันทึกข้อมูลของระบบ จากผลการทดลองจับเวลารายบุคคลระบบบันทึกเวลาอาร์เอฟไอดี (RFID) สามารถลงเวลาเร็วกว่าปีคอนส์ Beacons เฉลี่ย 3.4 วินาที แต่ในการจับเวลารวมทั้งหมด ปีคอนส์ Beacons สามารถลงเวลาเร็วกว่าระบบบันทึกเวลาอาร์เอฟไอดีเฉลี่ย 13.33 วินาที และได้รับความพึงพอใจจากผู้ทดสอบใช้งานมากกว่าระบบบันทึกเวลาอาร์เอฟไอดี (RFID)

**คำสำคัญ:** ปีคอนส์ อาร์เอฟไอดี ระบบบันทึกเวลาเข้างาน

# A Study of Beacons System Comparison with RFID Time Attendance System for Human Resource Management

Yuranan Musor

*Faculty of Business Administration, Thai-Nichi Institute of Technology, Bangkok, Thailand*

Corresponding Author. E-mail address: yuranan@tni.ac.th

Received: 5 September 2019; Revised: 20 October 2019; Accepted: 29 October 2019

Published online: 25 December 2019

## ***Abstract***

Time Attendance System is considered as the information technology of human resource management which is important for human resource personnel in summarizing the collection of working hours for payroll. Nowadays, technology is commonly used to record the time attendance in most organizations is using an RFID, magnetic stripe employee cards tap on the card reader to record time. From the study, it was found that Beacon technology can be applied as an employee data reader by using Mobile application of employees to connect and transmit data via Bluetooth signal to for time recording of departure of employees. This research aims to study the use of beacons in the time attendance system. And comparing the results of recording data between beacons and RFID in the time attendance system by the timer used to record system information. From the individual timer trial results, the RFID time recording system can time faster than the average of Beacons, 3.4 seconds, but in total timer Beacons Can time faster than the average of RFID time recording system 13.33 seconds and is satisfied by the test user more than RFID time recording system.

**Keywords:** Beacon, RFID, Time attendance



## 1) บทนำ

ปัจจุบันเทคโนโลยีได้เข้ามามีบทบาทในการใช้ชีวิตประจำวันมากขึ้นอีกทั้งยังสามารถนำมาช่วยเพิ่มประสิทธิภาพและความถูกต้องได้เป็นอย่างดี เทคโนโลยีที่ช่วยในการจัดการทรัพยากรมนุษย์ในสังคมสารสนเทศ [1] ได้กล่าวถึงองค์ประกอบของระบบสารสนเทศทางด้านการบริหารทรัพยากรมนุษย์ มีองค์ประกอบที่สำคัญ 8 ระบบได้แก่ ระบบวางแผนกำลังคน (Man power planning) ระบบงานทะเบียนประวัติ (Central database) ระบบการตรวจสอบเวลา (Time attendance) ระบบงานด้านการคำนวณเงินเดือน (Payroll) ระบบประเมินผลการปฏิบัติงาน (Performance evaluation) ระบบงานพัฒนาและฝึกอบรมบุคลากร (Training and development) ระบบสวัสดิการต่างๆ (Welfare) ระบบการสรรหาบุคลากร (Recruitment) โดยงานวิจัยนี้จะศึกษาในส่วนของโมดูลการทำงานของระบบการตรวจสอบเวลา เนื่องจากเป็นระบบที่สำคัญในการบันทึกข้อมูลเวลาเข้าและออกทำงาน ซึ่งในปัจจุบันวิธีที่นิยมใช้คือการใช้บัตรพนักงานที่มีแถบแม่เหล็กอาร์เอฟไอดี (Radio Frequency Identification) เพื่อแตะบันทึกเวลากับเครื่องอ่านบัตร แต่ในยุคที่มีการปฏิวัติเทคโนโลยีในโลกปัจจุบัน ทำให้โทรศัพท์มือถือได้ถูกนำมาใช้งานกันอย่างแพร่หลายและเป็นที่ยอมรับในการทำงานมากขึ้นในปัจจุบัน เช่นเดียวกันกับการพัฒนา Application ที่สามารถบันทึกเวลาเข้าออกทำงานได้โดยใช้เทคโนโลยี บีคอนส์ช่วยรับส่งข้อมูลระหว่างโทรศัพท์มือถือผ่านสัญญาณ Bluetooth จากนั้นก็เก็บข้อมูลผ่านระบบ Cloud computing เพื่อให้พนักงานสามารถเรียกดูข้อมูลต่างๆได้ด้วยตัวเองผ่านอินเทอร์เน็ตบนโทรศัพท์มือถือ

## 2) วัตถุประสงค์ของการวิจัย

2.1) เพื่อศึกษาการนำเทคโนโลยีบีคอนส์ Beacons เข้ามาใช้ในระบบบันทึกเวลาเข้าออกงาน

2.2) เปรียบเทียบผลการบันทึกข้อมูลระหว่างบีคอนส์ Beacons กับอาร์เอฟไอดี (RFID) ในระบบบันทึกเวลาเข้าออกงาน

## 3) ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 3.1) ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

อาร์เอฟไอดี (Radio Frequency Identification) [1] เป็นเทคโนโลยีที่นำเอาคลื่นวิทยุมาเป็นคลื่นพาหะเพื่อใช้ในการสื่อสารข้อมูลระหว่างอุปกรณ์สองชนิดที่จะต้องประกอบไปด้วย แท็กอาร์เอฟไอดี (RFID Tag) และเครื่องอ่านข้อมูลอาร์เอฟไอดี (RFID Reader) ใช้การสื่อสารแบบไร้สายผ่านอากาศ โดยจะนำข้อมูลมาทำการตรวจสอบกับคลื่นพาหะที่เป็นคลื่นความถี่วิทยุโดยมีสายอากาศที่อยู่ในตัวอ่านข้อมูลอาร์เอฟไอดี เป็นตัวรับและส่งคลื่น เพื่ออ่านข้อมูลลงจากแท็กอาร์เอฟไอดี และข้อมูลที่อ่านได้ไปยังส่วนของการติดต่อกับคอมพิวเตอร์

บีคอนส์ (Beacon) [2] คืออุปกรณ์ขนาดเล็กสำหรับรับ-ส่งข้อมูลแบบไร้สาย การทำงานของบีคอนส์ Beacons คือปล่อยสัญญาณผ่าน Bluetooth พลังงานต่ำ มีระยะส่งสัญญาณสูงสุด 200 เมตร เพื่อระบุข้อมูลตำแหน่งระยะใกล้ที่แม่นยำ หลักการทำงานของบีคอนส์ Beacons จะแบ่งออกเป็นสองส่วนคือ บีคอนส์ที่เป็น IoT จะนำมาใช้เป็นตัวปล่อยสัญญาณ และสมาร์ตโฟนหรือสมาร์ตทีวีจะถูกรับเป็นตัวรับสัญญาณ โดยจะมีการจัดทำแอปพลิเคชันเป็นตัวแปลงข้อมูล ในการออกแบบแอปพลิเคชัน iOS จะเรียกว่า iBeacon ส่วน Android จะเรียกว่า Eddy Stone

### 3.2) ขอบเขตเทคนิคและวิธีการของการวิจัย

3.2.1) การออกแบบเครื่องอ่านข้อมูลอาร์เอฟไอดี (RFID) โดยใช้ชิปไอซี ESP8266 [3] เชื่อมต่อกับ โมดูลอ่าน RFID รุ่น MFRC522 [4] เพื่ออ่านข้อมูลบัตรประจำตัวที่มีแท็กอาร์เอฟไอดีฝังอยู่

3.2.2) บีคอนส์ SmartBeacon-4AA [5] เพื่อใช้ในการทดสอบอ่านข้อมูลจากการสแกนผ่านโทรศัพท์มือถือผ่านแอปพลิเคชัน Onedee [6] ผ่านสัญญาณบลูทูธ

### 3.3) งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ฉัตรกาญจน์ นามวิเศษ และคณะ [7] ได้พัฒนาระบบตรวจสอบรายชื่อเข้าชั้นเรียนด้วยอุปกรณ์อัจฉริยะเพื่อใช้ในการเช็คชื่อนักเรียนจากเดิมที่ใช้วิธีเช็คชื่อด้วยกระดาษใบรายชื่อระบบที่พัฒนาจะเป็นรูปแบบเว็บไซต์ Responsive Interface มีการสร้างระบบฐานข้อมูลโดยใช้เอสคิวแอลเซิร์ฟเวอร์ (SQL Server) ผลการทดลองใช้ระบบที่นำเสนอสามารถสรุปได้ดังนี้



ระบบตรวจสอบรายชื่อเข้าชั้นเรียนโดยอุปกรณ์อัจฉริยะมีประสิทธิภาพการทำงานที่สูงกว่าระบบการตรวจสอบด้วยใบรายชื่อ โดยระบบที่นำเสนอสามารถตรวจสอบรายชื่อนักศึกษาด้วยความเร็ว ถูกต้องและสามารถลดขั้นตอนการทำงานลงครึ่งหนึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับตรวจสอบรายชื่อด้วยใบรายชื่อ โดยได้พัฒนาระบบบันทึกเวลาการเรียนด้วยอาร์เอฟไอดี (RFID) และคิวอาร์โค้ดโดยออกแบบเครื่องอ่านบัตรอาร์เอฟไอดีด้วยระบบไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino UNO R3 เพื่ออ่านแท็กอาร์เอฟไอดีและกล้องอ่านคิวอาร์โค้ด ส่งข้อมูลไปเก็บที่ฐานข้อมูลดาต้าเบส ผลการทดสอบใช้งานโปรแกรมบันทึกเวลาเรียนและเครื่องบันทึกเวลาเรียนสามารถบันทึกข้อมูลและแสดงข้อมูลได้อย่างถูกต้องมีเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดไม่เกิน 1%

รจนานารถ ดิตไชย และคณะ [8] ได้นำเสนอการใช้งานอุปกรณ์ส่งสัญญาณบอกตำแหน่ง หรือเรียกว่าบีคอนส์ Beacon และพัฒนาระบบซอฟต์แวร์ต้นแบบในการระบุตำแหน่งของผู้ที่เข้ามาใช้บริการในสถานพยาบาล และทำการบันทึกเวลาที่รับบริการในจุดต่างๆ โดยมีการทดสอบระบบการใช้งานในวงจำกัดจำนวน 6 คน เพื่อเก็บข้อมูลการบริการจากนั้นนำผลที่ได้ไปเพิ่มคุณภาพการบริการให้แก่สถานพยาบาล ผลการทดสอบใช้งานการตรวจสอบการเข้ารับบริการ ระบบที่ได้พัฒนาขึ้นสามารถตรวจสอบการเข้าถึงสถานบริการของผู้ใช้บริการได้

สนธิ สิทธิ และสมชาย อารยพิทยา [9] ได้พัฒนาสายรัดข้อมือโดยนำอาร์เอฟไอดีย่านความถี่สูงมาใช้ เพื่อตรวจสอบและระบุตัวตนของบัณฑิตที่เข้ารับพระราชทานปริญญาบัตร ของมหาวิทยาลัยแม่โจ้ซึ่งจัดขึ้นประจำปี พ.ศ. 2559 ระบบประกอบด้วยเครื่องอ่านรหัสแท่ง (Barcode) บนบัตรสมาชิก โดยบันทึกข้อมูลผ่านเว็บแอปพลิเคชัน เปรียบเทียบผลการอ่านรหัสบาร์โค้ดแบบแท่งบนบัตร กับการใช้อาร์เอฟไอดีย่านความถี่สูงยิ่งในสายรัดข้อมือ ผลการเปรียบเทียบพบว่า ระยะเวลาในการอ่านรหัสประจำตัวนักศึกษาโดยการใช้อ่านอาร์เอฟไอดีจะใช้เวลาอ่านเสร็จรวดเร็วกว่าประมาณ 2 เท่า ระบบนี้สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการระบุตัวตนและยืนยันการรายงานตัวตรวจนับจำนวนที่เข้ามาฝึกซ้อม

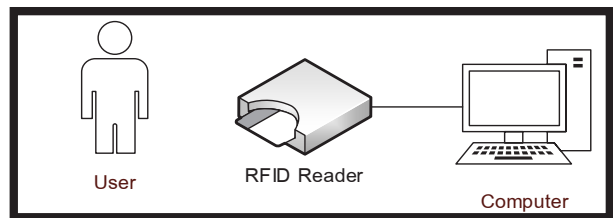
กาญจนา ไกรสดับ และสุปราณี วงษ์แสงจันทร์ [10] ได้กล่าวถึงรูปแบบงานบริหารทรัพยากรมนุษย์ในยุคศตวรรษที่ 21 ที่จะถูกขับเคลื่อนด้วยเทคโนโลยีที่ทันสมัย เพื่อสร้างความได้เปรียบในด้านธุรกิจ ระบบบันทึกเวลาเข้าออกงาน Time

attendance เป็นระบบสารสนเทศที่มีความสำคัญกับงานบริหารทรัพยากรบุคคล

จากการทบทวนวรรณกรรมที่ผ่านมาได้มีงานวิจัยหลายฉบับที่ได้ออกแบบระบบบันทึกข้อมูลเวลาเข้าออกงานทั้งรูปแบบ Hardware และ Software งานวิจัยนี้จึงได้เลือกเทคโนโลยีที่นำมาใช้ในการพัฒนาเป็นเครื่องบันทึกข้อมูลเวลาเข้างานคือบีคอนส์ Beacons เชื่อมต่อกับแอปพลิเคชันบนมือถือ และออกแบบเครื่องบันทึกเวลาโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP8266 โมดูลอ่าน RFID รุ่น MFRC522 เพื่อให้เครื่องอ่านสามารถอ่านค่าบัตร Tag RFID บนบัตรได้ จากนั้นจะทำการทดสอบใช้งานกับกลุ่มตัวอย่างเพื่อเปรียบเทียบเวลาการอ่านค่าและความพึงพอใจของผู้ใช้งาน

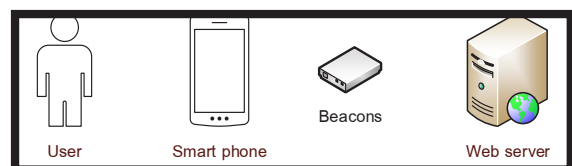
### 3.4) กรอบแนวคิดงานวิจัย

กรอบแนวคิดในการวิจัยเรื่องการศึกษาบีคอนส์ Beacons ที่สามารถบันทึกเวลาเข้างานเพื่อเปรียบเทียบกับเครื่องบันทึกเวลาที่ใช้อาร์เอฟไอดี (RFID)



รูปที่ 1 ระบบบันทึกเวลาเข้าออกงานโดยใช้บัตร RFID

ออกแบบเครื่องอ่านบัตร RFID Reader เพื่อใช้ในการอ่านข้อมูลบัตรที่มีแถบแม่เหล็ก RFID ฝังอยู่ ซึ่งค่าที่อ่านได้นั้นจะเป็นลักษณะเลขฐาน 16 ที่ถูกกำหนดไว้ในบัตรซึ่งจะไม่ซ้ำกัน ตัวอย่างเลขประจำบัตรเช่น ED7EAFFA จากนั้นออกแบบฐานข้อมูลโดยใช้ SQL Server ในการกำหนดรายชื่อ, นามสกุล, รหัสพนักงาน เพื่อนำมาจับคู่กับเลขบัตร RFID เพื่อที่ระบบจะทำการบันทึกข้อมูลเวลาเข้างานของพนักงานได้ถูกต้อง



รูปที่ 2 ระบบบันทึกเวลาเข้าออกงานโดยใช้บีคอนส์

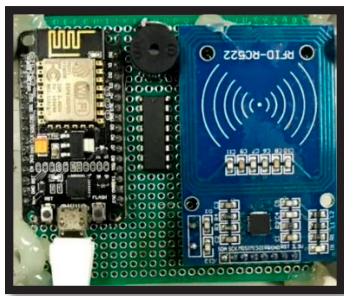
การประยุกต์ใช้อุปกรณ์ส่งสัญญาณบอกตำแหน่งบีคอนส์ Beacons ที่มีคุณสมบัติในการสื่อสารระยะใกล้ผ่านสัญญาณบลูทูธ (Bluetooth) ระหว่างอุปกรณ์ต่างๆ และใช้พลังงานในการทำงานต่ำ เป็นเครื่องอ่านข้อมูลผู้ใช้งานจะต้องติดตั้งแอปพลิเคชันลงบนสมาร์ตโฟนเพื่อเชื่อมต่อเข้ากับบีคอนส์ Beacons เพื่อทำการรับส่งข้อมูล จากนั้นจึงนำข้อมูลเก็บไว้บนคลาวด์เซิร์ฟเวอร์

#### 4) วิธีการดำเนินงานวิจัย

##### 4.1) ภาพรวมงานวิจัย

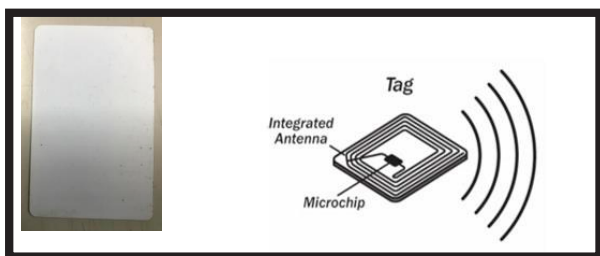
เทคโนโลยีที่เลือกใช้ในการทดสอบประสิทธิภาพการบันทึกข้อมูลเวลา Time attendance มี 2 เทคโนโลยีได้แก่

##### 4.1.1) เทคโนโลยี RFID



รูปที่ 3 RFID Reader

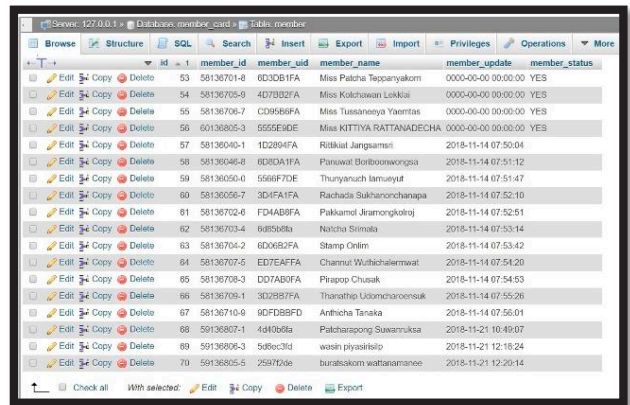
จากรูปที่ 3 RFID Reader ที่ประกอบไปด้วยโมดูลอ่าน RFID รุ่น MFRC522 ความถี่ 13.56 MHz สามารถอ่านข้อมูลบัตร RFID หรือ RFID



รูปที่ 4 Mifare Card และส่วนประกอบของ RFID Tag แหล่งที่มา : [www.barcodesinc.com](http://www.barcodesinc.com)

Tag ภายในจะประกอบไปด้วย 2 ส่วน คือส่วนเก็บข้อมูล และส่วนเสาอากาศ ตัวแท็กนี้สามารถเก็บข้อมูลไว้ได้โดยไม่ต้องใช้พลังงาน เมื่อมีการส่งคลื่นวิทยุเข้ามาที่ตัวแท็ก ตัวแท็กก็จะส่งเป็นสัญญาณข้อมูลกลับไป แท็ก RFID จะถูกแบ่งออกเป็นช่วง

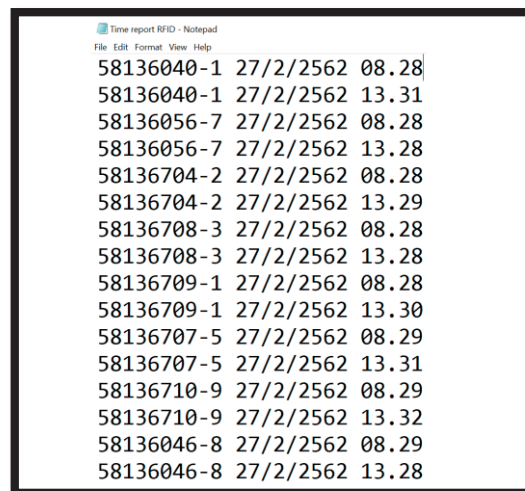
ความถี่ที่รองรับ งานวิจัยฉบับนี้ได้เลือกใช้บัตรที่แบบ Mifare Card ย่านความถี่ 13.56 Mhz



id	member_id	member_uid	member_name	member_update	member_status
53	58136701-8	6D30B1FA	Miss Palcha Teppanyakorn	0000-00-00 00:00:00	YES
54	58136705-9	4D7B927FA	Miss Kolsawan Lekkas	0000-00-00 00:00:00	YES
55	58136706-7	CD95868FA	Miss Tussaneeya Yaemas	0000-00-00 00:00:00	YES
56	60136805-3	5555E9DE	Miss KITTIYA RATTANADECHA	0000-00-00 00:00:00	YES
57	58136040-1	1D2841FA	Ritkai Jangsamet	2018-11-14 07:50:04	
58	58136046-8	6D8DA1FA	Punwut Boiboonwongsa	2018-11-14 07:51:12	
59	58136050-0	5666F7DE	Thunyanch lamuyut	2018-11-14 07:51:47	
60	58136056-7	3D4FA1FA	Rachada Sukharochanapa	2018-11-14 07:52:10	
61	58136702-4	FD4AB8FA	Pakkamol Jiramongkotoj	2018-11-14 07:52:14	
62	58136703-4	6B5868FA	Natcha Simata	2018-11-14 07:53:14	
63	58136704-2	6D0682FA	Stamp Onlim	2018-11-14 07:53:42	
64	58136707-5	ED7EAFFA	Chanut Wuthakarnarat	2018-11-14 07:54:20	
65	58136708-3	DD7AB0FA	Pitapop Chusak	2018-11-14 07:54:53	
66	58136709-1	3D2951FA	Thiraphap Ussomchansook	2018-11-14 07:55:26	
67	58136710-9	9C7D82FD	Anthocha Tansta	2018-11-14 07:56:01	
68	59136807-1	4d4068da	Palchaspong Suwanuka	2018-11-21 10:49:07	
69	59136809-5	5d8ec31d	wasin phasaisitip	2018-11-21 12:16:24	
70	59136805-5	2591706e	buratsakorn wattanarance	2018-11-21 12:20:14	

รูปที่ 5 ฐานข้อมูลรายชื่อพนักงานเครื่องบันทึกเวลา RFID

รูปที่ 5 แสดงผลการอ่านค่าข้อมูลภายในบัตร ในการออกแบบฐานข้อมูลรายชื่อพนักงาน ใช้ฐานข้อมูลแบบเอสคิวแอลเซิร์ฟเวอร์ (SQL Server) เพื่อใช้ในการสร้างข้อมูลพนักงาน ซึ่งจะใช้ Field ในการตรวจสอบข้อมูลคือ Member\_id หมายถึง เลขรหัสประจำตัว, Member\_rfid หมายถึง เลขรหัสประจำบัตร ซึ่งจะไม่ซ้ำกันเลย เป็นการระบุความเป็นเจ้าของบัตรใบนั้นๆ



58136040-1	27/2/2562	08.28
58136040-1	27/2/2562	13.31
58136056-7	27/2/2562	08.28
58136056-7	27/2/2562	13.28
58136704-2	27/2/2562	08.28
58136704-2	27/2/2562	13.29
58136708-3	27/2/2562	08.28
58136708-3	27/2/2562	13.28
58136709-1	27/2/2562	08.28
58136709-1	27/2/2562	13.30
58136707-5	27/2/2562	08.29
58136707-5	27/2/2562	13.31
58136710-9	27/2/2562	08.29
58136710-9	27/2/2562	13.32
58136046-8	27/2/2562	08.29
58136046-8	27/2/2562	13.28

รูปที่ 6 RFID Report

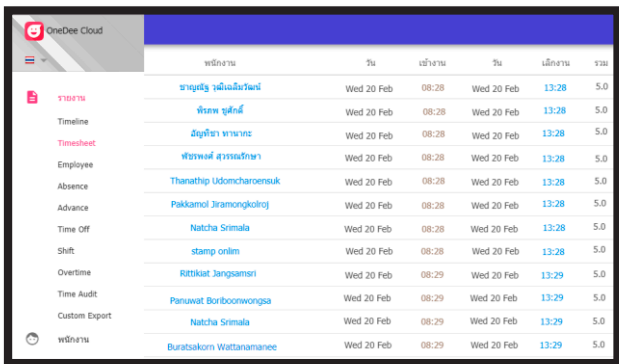
รูปที่ 6 แสดงรายงานเวลาเข้า-ออก Time attendance ซึ่งประกอบไปด้วยข้อมูล รหัสพนักงาน วัน เดือน ปี และเวลาในรูปแบบไฟล์ text เพื่อนำไป Import เข้าสู่ระบบประมวลผลเงินเดือนต่อไปในโมดูล Payroll ต่อไป

4.1.2) เทคโนโลยี Beacon



รูปที่ 7 Beacon Reader

รูปที่ 7 แสดงอุปกรณ์ส่งสัญญาณบอกตำแหน่งบีคอนส์ Beacons ทำหน้าที่ส่งสัญญาณบลูทูธพลังงานต่ำออกมารอบตัวพนักงานที่ต้องการลงเวลาเข้าออกงานจะต้องติดตั้งแอปพลิเคชัน Onedee ที่รองรับทั้งระบบปฏิบัติการ ios และระบบปฏิบัติการ Android ลงบนสมาร์ตโฟนจากนั้นเปิดการเชื่อมต่อสัญญาณบลูทูธ เพื่อเชื่อมต่อสมาร์ตโฟนเข้ากับอุปกรณ์บีคอนส์ Beacons ในการบันทึกเวลาเข้าออกงาน



รูปที่ 8 Beacon Report

รูปที่ 8 แสดงการบันทึกข้อมูลและแสดงข้อมูลเวลาของพนักงานผ่านเว็บไซต์ onedee.io ในการบันทึกข้อมูลเวลาทำงาน ระบบจะบันทึกเวลาทำงานในรูปแบบของ Cloud-TA (Time & Attendance System) [11] ข้อมูลที่ถูกบันทึกไว้จะถูกนำมาแสดงบนหน้าเว็บไซต์ พนักงานทุกคนสามารถ Login เข้าระบบเพื่อดูข้อมูลเวลาการทำงานตนเองได้ผ่านทางสมาร์ตโฟน

4.2) ขั้นตอนในการศึกษา

ในการออกแบบการทดลองผู้วิจัยต้องการศึกษาเพื่อเปรียบเทียบเทคโนโลยีที่นำมาประยุกต์ใช้ในงานด้านการบันทึกเวลา Time attendance โดยจะแบ่งออกเป็น 2 เทคโนโลยีดังนี้

4.2.1) ออกแบบการทดลองโดยการนำเทคโนโลยี RFID มาใช้ในการทดสอบบันทึกเวลาเข้า-ออกงาน โดยใช้บัตรพนักงานที่มี RFID Tag และที่เครื่องอ่านบัตร RFID Reader เพื่อบันทึกข้อมูลเวลาเข้า-ออก ลงบนเครื่องคอมพิวเตอร์เซิร์ฟเวอร์โดยใช้ฐานข้อมูลแบบเอสคิวแอลเซิร์ฟเวอร์ในการบันทึกข้อมูล

4.2.2) ออกแบบการทดลองโดยการนำเทคโนโลยี Beacon มาใช้ในการทดสอบบันทึกเวลาเข้า-ออกงาน โดยใช้สมาร์ตโฟนของกลุ่มตัวอย่าง เพื่อเชื่อมต่อกับอุปกรณ์บีคอนส์ Beacons ยี่ห้อ Sensoro รุ่น SmartBeacon-4AA ผ่านสัญญาณ Bluetooth เพื่อรับ-ส่งข้อมูลเวลา โดยใช้ฐานข้อมูลแบบคลาวด์เซิร์ฟเวอร์ในการบันทึกข้อมูล

4.2.3) ออกแบบการทดลองโดยใช้การสุ่มตัวอย่าง Sampling ที่มีความรู้ทางด้านการทรัพยากรมนุษย์จำนวน 12 คน เพื่อทดสอบจับเวลากระบวนการการบันทึกข้อมูลเวลาเข้า-ออกงาน เปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในกระบวนการบันทึกเวลาแบบคนเดียว และกระบวนการบันทึกเวลาแบบกลุ่ม ซึ่งจะทำการทดสอบ 3 ครั้งเพื่อหาผลต่างทางด้านเวลาของทั้ง 2 ระบบ

5) สรุปและอภิปรายผล

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการบันทึกรายชื่อเข้างานรายบุคคล

วิธีการ	ครั้งที่ (วินาที)			ค่าเฉลี่ย (วินาที)	S.D.
	1	2	3		
ระบบบันทึกเวลาเข้างานโดยใช้บัตร RFID	1.6	1	1.2	1.26	0.30
ระบบบันทึกเวลาเข้างานโดยใช้ Beacon	5	4	5	4.66	0.57

ตารางที่ 1 แสดงผลการเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการบันทึกข้อมูลเวลา Time attendance ระหว่างระบบบันทึกเวลาใช้ RFID และระบบบันทึกเวลาใช้ Beacon ในการทดลองรูปแบบนี้ จะใช้กลุ่มตัวอย่างเพียงคนเดียวเพื่อทำการบันทึกเวลาเข้าและเวลาออกงาน โดยผู้วิจัยจะทำการจับเวลาเพื่อบันทึกกระบวนการตั้งแต่เริ่มต้นจนถึงสิ้นสุดกระบวนการจำนวน 3 ครั้ง เพื่อเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในกระบวนการบันทึกข้อมูลของระบบ ผล

ที่ได้คือระบบบันทึกเวลาเข้าออกงานโดยใช้บัตร RFID มีความเร็วในการบันทึกข้อมูลมากกว่าเฉลี่ย 3.4 วินาที เนื่องจากเครื่องอ่านบัตรอาร์เอฟไอดีสามารถอ่านข้อมูลภายในบัตรได้ทันทีเมื่อมีบัตรอาร์เอฟไอดีมาแตะที่เครื่อง แต่เครื่องอ่านปีคอนส์ ต้องอาศัยแอปพลิเคชันบนเครื่องสมาร์ตโฟนทำให้ต้องใช้เวลาเปิดแอปพลิเคชันและรอให้แอปพลิเคชันนำข้อมูลส่งไปเก็บไว้บนคลาวด์เซิร์ฟเวอร์

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบเวลารวมที่ใช้ในการบันทึกรายชื่อเข้างานแบบกลุ่ม

วิธีการ	ครั้งที่ (วินาที)			ค่าเฉลี่ย (วินาที)	S.D.
	1	2	3		
ระบบบันทึกเวลาเข้างานโดยใช้บัตร RFID	32	35	34	33.66	1.52
ระบบบันทึกเวลาเข้างานโดยใช้ Beacon	20	21	20	20.33	1.15

ตารางที่ 2 แสดงผลการเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการบันทึกข้อมูลเวลา Time attendance แบบกลุ่มระหว่างระบบบันทึกเวลาที่ใช้เทคโนโลยี RFID และระบบบันทึกเวลาใช้เทคโนโลยี Beacons ในการทดลองรูปแบบนี้จะทดสอบกับกลุ่มตัวอย่างจำนวน 12 คน เพื่อทำการบันทึกเวลาเข้าและเวลาออกงาน โดยผู้วิจัยจะทำการจับเวลาเพื่อบันทึกกระบวนการตั้งแต่กลุ่มตัวอย่างคนแรกทำการบันทึกข้อมูลเวลาที่เครื่องจนถึงคนสุดท้ายที่ทำการบันทึกเวลา จำนวน 3 ครั้ง เพื่อเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในกระบวนการบันทึกข้อมูลของระบบ ผลการทดลองพบว่าระบบบันทึกเวลาเข้างานที่ใช้เทคโนโลยี Beacon มีความเร็วในการบันทึกข้อมูลมากกว่าระบบบันทึกเวลาที่ใช้เทคโนโลยี RFID เฉลี่ย 13.33 วินาที เนื่องจากกลุ่มตัวอย่างสามารถบันทึกเวลาผ่านสมาร์ตโฟนของแต่ละคนพร้อมกันผ่านอุปกรณ์ Beacon เพื่อบันทึกข้อมูลบนคลาวด์เซิร์ฟเวอร์

ต้นทุนค่าใช้จ่ายในการทดลองระบบบันทึกเวลาเข้าออกงาน (Time Attendance System) รูปแบบการใช้บัตรพนักงานที่แถบแม่เหล็กอาร์เอฟไอดี (RFID) มีค่าใช้จ่ายในส่วนของฮาร์ดแวร์เครื่องอ่านบัตร RFID reader และบัตรพนักงานแถบแม่เหล็กอาร์เอฟไอดี (RFID) จึงทำให้มีต้นทุนสูงกว่าฮาร์ดแวร์ของระบบปีคอนส์ Beacons ที่ใช้เพียงการเพื่อรับ-ส่งข้อมูลผ่านสัญญาณ Bluetooth กับ Application บนโทรศัพท์สมาร์ตโฟน

ตารางที่ 3 ความพึงพอใจของผู้ใช้งาน

ความพึงพอใจด้านการใช้งาน	$\bar{x}$	S.D.
ระบบบันทึกเวลาเข้างานโดยใช้บัตร RFID	4.16	0.57
ระบบบันทึกเวลาเข้างานโดยใช้ Beacons	4.58	0.51

ตารางที่ 3 แสดงด้านความพึงพอใจ แบ่งการประเมินออกเป็น 2 ส่วน คือ การใช้งานผ่านระบบบันทึกเวลาเข้างานโดยใช้บัตร RFID และการใช้งานระบบบันทึกเวลาเข้างานโดยใช้ปีคอนส์ Beacons กลุ่มตัวอย่างมีความพึงพอใจในการใช้งานการบันทึกเวลาผ่านสมาร์ตโฟนเชื่อมต่อกับปีคอนส์ Beacons มากกว่าการใช้งานบัตร RFID เนื่องจาก Application สามารถใช้งานได้อย่างง่ายดายและไม่ต้องพกพาบัตรอาร์เอฟไอดี RFID ติดตัว

#### 6) ข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาเทคโนโลยีที่นำมาใช้ในระบบบันทึกเวลา Time attendance แบบปีคอนส์ Beacons และแบบอาร์เอฟไอดี (RFID) สำหรับงานบริหารทรัพยากรมนุษย์ ผลการเปรียบเทียบจากการจับเวลาการบันทึกเวลาเข้าออกงานของกลุ่มตัวอย่างพบว่า เทคโนโลยีปีคอนส์ Beacons สามารถบันทึกข้อมูลการเข้าออกงานตั้งแต่คนกลุ่มตัวอย่างคนแรกจนถึงกลุ่มตัวอย่างคนสุดท้ายได้เร็วกว่าเทคโนโลยีแบบอาร์เอฟไอดี (RFID) แต่เมื่อทำการเปรียบเทียบเวลาการบันทึกเวลาเข้าออกงานเป็นรายบุคคลพบว่าเทคโนโลยีแบบอาร์เอฟไอดี (RFID) สามารถบันทึกข้อมูลการเข้าออกงานได้เร็วกว่าเทคโนโลยีปีคอนส์ Beacons และจากผลแบบประเมินความพึงพอใจพบว่ากลุ่มตัวอย่างมีความพึงพอใจเทคโนโลยีปีคอนส์ Beacons มากกว่าเทคโนโลยีอาร์เอฟไอดี (RFID) เนื่องจากเป็นเทคโนโลยีที่ใช้แอปพลิเคชันบนเครื่องสมาร์ตโฟนแทนบัตรพนักงาน ในการบันทึกเวลาเข้าออกงาน แนวทางการวิจัยพัฒนาต่อคือการพัฒนาการรับส่งข้อมูลผ่านสัญญาณ Bluetooth ให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

#### กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณนักศึกษาคณะบริหารธุรกิจ สาขาการจัดการทรัพยากรมนุษย์แบบญี่ปุ่นที่ได้ให้ความร่วมมือในการทดสอบระบบลงชื่อเวลา Time attendance และได้มีส่วนช่วยในการประเมินความพึงพอใจการทำงานจากระบบบันทึกเวลาด้วย RFID และระบบบันทึกเวลาด้วย Beacon

## REFERENCES

- [1] R. Vichivanives, *Business information (Additional revised version)*. (In Thai). Bangkok: SE-Education, 2017.
- [2] P. Kovintavewat, *Radio Frequency Identification (RFID) System*. (In Thai). Pathum Thani: National Science and Technology Development Agency, 2009.
- [3] Modern Manufacturing, “Beacon-Technology,” [Online]. Available: [https://www.mmthailand.com/ทำ\\_ค\\_ว\\_า\\_ม\\_รู้\\_จึ\\_ก\\_กั\\_บ\\_beacon-technology/](https://www.mmthailand.com/ทำ_ค_ว_า_ม_รู้_จึ_ก_กั_บ_beacon-technology/). (accessed May 1, 2019).
- [4] IOXhop, “Get to know ESP8266,” [Online]. Available: [www.ioxhop.com/article/13/esp8266](http://www.ioxhop.com/article/13/esp8266) (accessed May 5, 2019).
- [5] NXP Semiconductors, “MFRC522 Contactless Reader IC.,” [Online]. Available: <https://www.nxp.com/docs/en/data-sheet/MFRC522.pdf> (accessed May 5, 2019).
- [6] BeaconZone Ltd., “SmartBeacon-4AA.,” [Online]. Available: <https://www.beaconzone.co.uk/SmartBeacon-4AA>. (accessed May 5, 2019).
- [7] Onedeehr, “Application Time & Attendance,” [Online]. Available: <https://www.onedee.io/> (accessed May 5, 2019).
- [8] C. Namwiset and P. Phiphithirankarn, “Development of a Classroom Attendance Recording System Using RFID and QR Codes,” *Udon Thani Rajabhat University Journal of Sciences and Technology*, Vol. 6 No. 2, pp. 53-66, July-Dec, 2018.
- [9] R. Tidchai, V. Varavithya, and C. Keamseng, “Beacon implementations for work process monitoring in health care services,” *Journal of the Thai Medical Informatics Association*, Vol. 3 No. 2, pp. 39-45, Jul-Dec, 2017.
- [10] S. Sitti and S. Arayapitaya, “Comparison between Reading Barcode and UHF RFID Wristband for Attending the Rehearsal Sessions and Graduation Ceremony,” *FEU Academic Review*, Vol. 11, No. Special, pp. 70-86, Aug. 2017.
- [11] K. Kaisadub and S. Wongsangchan, “Human Resource Management Technology in the Information Society,” *EAU Heritage Journal Science and Technology*, Vol. 7, No. 2, pp. 298-307, Jul-Dec, 2013.
- [12] Innova Software, “Time & Attendance System on the Cloud,” [Online]. Available: <https://cloud-ta.com> (accessed May 10, 2019).

# การประยุกต์วิธีการทาภูเขา เพื่อลดชิ้นงานเสียในกระบวนการประกอบ แผ่นวงจรพิมพ์พีซีบี กรณีศึกษาโรงงานผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์

สมพร วงษ์เพ็ง<sup>1\*</sup> อัญญารัตน์ ประสันใจ<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ปทุมธานี ประเทศไทย

\*ผู้นิพนธ์ประสานงาน อีเมล : somporn\_v@rmutt.ac.th

รับต้นฉบับ: 25 กันยายน 2562; รับผิดชอบต่อฉบับแก้ไข: 28 ตุลาคม 2562; ตอบรับบทความ: 12 พฤศจิกายน 2562

เผยแพร่ออนไลน์: 25 ธันวาคม 2562

## บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อลดของเสียในกระบวนการประกอบแผ่นวงจรพิมพ์พีซีบี จากการศึกษากระบวนการผลิต ณ โรงงานกรณีศึกษา มีปริมาณของเสียร้อยละ 4.39 ก่อนการปรับปรุง ซึ่งขั้นตอนการดำเนินงานประกอบด้วยการนำแผนภูมิพาเรโตมาใช้ จัดลำดับปัญหาที่เกิดขึ้นร่วมกับการใช้แผนผังแสดงเหตุและผลในการหาปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อปัญหา จากนั้นออกแบบการทดลองด้วยวิธีการทาภูเขา เพื่อหาค่าระดับของปัจจัยที่เหมาะสม สำหรับปัจจัยที่มีอิทธิพลของกระบวนการ ซึ่งได้แก่ ความเร็ว (Squeegie Speed), แรง (Squeegie Force), และ ความสูง (Board Size Height) การออกแบบการทดลองถูกใช้เป็นเครื่องมือในการกำหนดค่าพารามิเตอร์ โดยการพิจารณาค่า signal to noise ratio ที่ทำให้เกิดค่า smaller the better

จากการทดลองพบว่า ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดดังนี้ คือ ความเร็ว (Squeegie Speed) คือ 30 มิลลิเมตรต่อวินาที แรง (Squeegie Force) คือ 20 นิวตัน และความสูง (Board Size Height) คือ 1.0 มิลลิเมตร เมื่อมาปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ของเครื่องพิมพ์ตะกั่ว ทำให้ของเสียต่อเดือนลดลงเหลือร้อยละ 2.58 ซึ่งจากเดิมของเสียต่อเดือนร้อยละ 4.39 ของเสียลดลงร้อยละ 40 เป็นไปตามเป้าหมายที่ตั้งไว้

**คำสำคัญ:** การประยุกต์ใช้ทาภูเขา แผ่นวงจรพิมพ์พีซีบี ลดของเสีย



# Application of Taguchi Method for Defect Reduce Assembly Process on Printed Circuit Board A Case Study of An Electronics Part Factory

Somporn Vongpeang<sup>1\*</sup> Anyarat Prasanjai<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Faculty of Technical Education, Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Pathum Thani, Thailand

\*Corresponding Author. E-mail address: somporn\_v@rmutt.ac.th

Received: 25 September 2019; Revised: 28 October 2019; Accepted: 12 November 2019

Published online: 25 December 2019

## ***Abstract***

This research aimed to reduce a defect in printed circuit board assembly process. The amount of defect of the production process at a case study company was 4.39 percent before the improvement. The steps of improvement were based on the Pareto chart and cause – effect diagram to analyze the problem and design the experiment by Taguchi method in order to find the suitable factors. The effective factors in the process were a squeegee Speed, a squeegee force, and a board size height. The experiment was designed as a tool to determine the appropriate set of parameters in order to find the signal to noise ratio that had a smaller the better value.

The result of this research showed that the appropriate parameters to set up the machine were: a squeegee speed was 30 millimeters per second, a squeegee force was 20 Newton, and a board size height was 1.0 millimeters. After the experiment, it showed that defect reduced to 2.58 percent from 4.39 percent.

**Keywords:** Application of Taguchi, Printed circuit board, Defect reduce

### 1) บทนำ

ปัจจุบันอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์มีการแข่งขันกันสูง ซึ่งสินค้าอิเล็กทรอนิกส์เกือบทุกประเภทมีการปรับตัวเพิ่มขึ้น ดังนั้นความจำเป็นของการพัฒนาปรับปรุงกระบวนการและเพิ่มผลผลิตด้านอุตสาหกรรม ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ จึงยังเป็นสิ่งที่ภาคอุตสาหกรรมประเภทนี้ต้องการ ซึ่งปัญหาและอุปสรรคหนึ่งในกระบวนการผลิตประกอบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ลงบนแผ่นพีซีบีจะเกิดขึ้นตั้งแต่กระบวนการพิมพ์ตะกั่วลงบนแผ่นพีซีบี การวางอุปกรณ์ชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ลงบนแผ่นพีซีบี การให้ความร้อนในการหลอมตะกั่ว ระหว่างตัวอุปกรณ์กับแผ่นพีซีบี ซึ่งจะต้องมีการกำหนด ค่าพารามิเตอร์ในการปรับตั้งอย่างเหมาะสม ถูกต้อง จำเป็นต้องมีความรู้และประสบการณ์ในการปรับตั้งค่าพารามิเตอร์เป็นอย่างดี เพื่อกำหนดวิธีการให้กับกระบวนการได้อย่างถูกต้องเหมาะสมเพื่อลดความสูญเสียให้เหลือน้อยที่สุด

สภาพการณ์ปัจจุบันของโรงงานกรณีศึกษาที่ได้เข้าไปสำรวจนั้น พบปัญหาชิ้นงานเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการประกอบของส่วนการพิมพ์ตะกั่ว (Printing Process) จากการนำข้อมูลบันทึกของชิ้นงานเสียของฝ่ายผลิตมาวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาและแยกลักษณะงานเสีย จากข้อมูลพบชิ้นงานเสีย คิดเฉลี่ยต่อเดือนเป็นร้อยละ 4.39 ซึ่งในกระบวนการประกอบถือว่าเป็นร้อยละที่สูง

ดังนั้นจึงได้ทำการระดมสมองร่วมกันหลายฝ่ายและนำสาเหตุหลักที่ได้จากการวิเคราะห์มาทำการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้น และได้ใช้แนวทางทฤษฎี เครื่องมือคุณภาพ 7 ชนิด (7 QC Tools) การควบคุมคุณภาพ และการออกแบบการทดลองด้วยวิธีทากูชิ เพื่อลดงานเสียให้ลดน้อยลงกว่า 40 %

### 2) วัตถุประสงค์ของการวิจัย

2.1) เพื่อลดชิ้นงานเสียในกระบวนการประกอบแผ่นวงจรพิมพ์พีซีบี ลดลง 40% ต่อเดือน

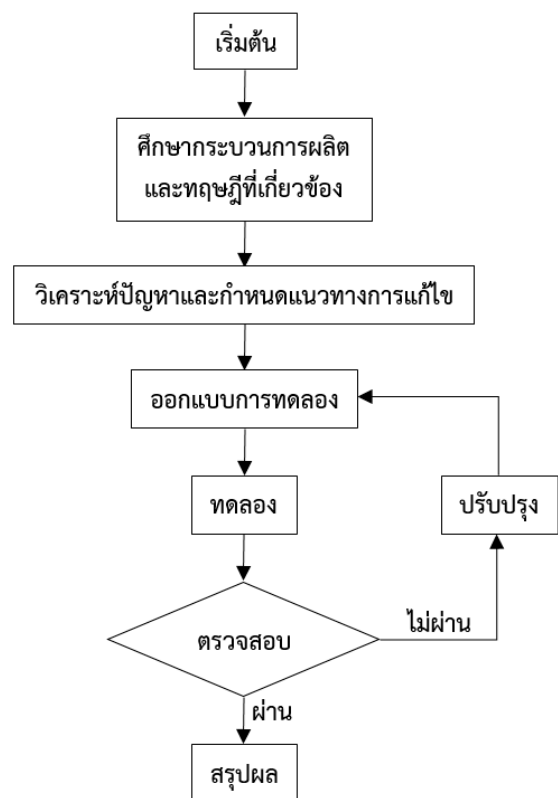
2.2) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการประกอบของส่วนการพิมพ์ตะกั่ว

### 3) วิธีดำเนินการวิจัย

#### 3.1) ข้อมูลและการรวบรวมข้อมูล

การดำเนินงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเพื่อค้นหาสาเหตุและระบุปัจจัยที่มีผลกระทบต่อทำให้เกิดของเสียในกระบวนการประกอบ

อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ลงบนแผ่นพีซีบี โดยคำนึงถึงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ให้ได้คุณภาพตรงตามมาตรฐานเพื่อการพัฒนาปรับปรุงกระบวนการประกอบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ลงบนแผ่นพีซีบีเพื่อลดความสูญเสีย ลดค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้น โดยได้ทำการศึกษาข้อมูลบริษัท ซึ่งดำเนินธุรกิจด้านการประกอบนาฬิกา และประกอบแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์สำหรับควบคุมเครื่องบันทึกเวลา โดยศึกษาจากการปฏิบัติงานในปัจจุบันร่วมกับทฤษฎีต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง ศึกษากระบวนการประกอบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ลงบนแผ่นพีซีบี เก็บข้อมูลปัญหาในการประกอบชิ้นงาน ในรุ่นการผลิต รุ่น Z150 โดยศึกษาของเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการที่ก่อให้เกิดปริมาณงานที่ไม่ตรงตามข้อกำหนด และศึกษาสภาพกระบวนการที่เป็นต้นตอของปัญหาที่เป็นกระบวนการที่เป็นสาเหตุ โดยทำการวิเคราะห์กระบวนการในการประกอบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่าง ๆ ลงบนแผ่นพีซีบี จากนั้นจึงทำการประชุมเพื่อหาข้อสรุปกับทีมงานเพื่อศึกษาและทำการวิจัยเกี่ยวกับปัญหานี้ เริ่มทำการเก็บข้อมูลแล้วจึงทำการวิเคราะห์เพื่อนำไปหาวิธีการแก้ไขปัญหาในส่วนการผลิต โดยมีวิธีการดำเนินการวิจัยเป็นลำดับดังแสดงรูปที่ 1

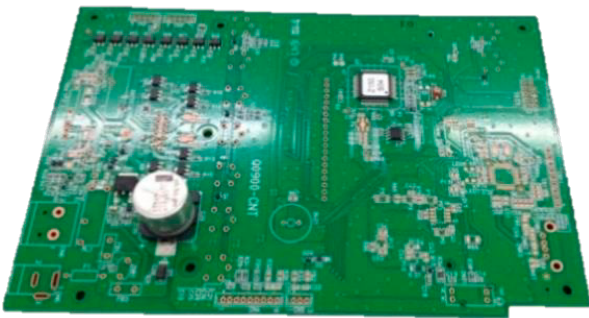


รูปที่ 1 รูปขั้นตอนการดำเนินงาน



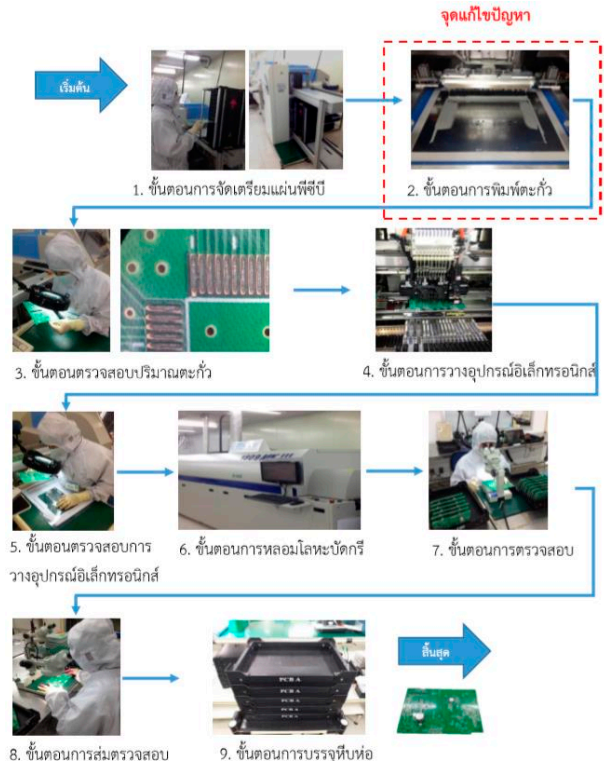
### 3.2) ศึกษากระบวนการการผลิตการประกอบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ลงบนแผ่นพีซีบี

ผลิตภัณฑ์แผงวงจรประกอบด้วยลายวงจรที่เกิดจากการนำวงจรไฟฟ้าที่ได้รับการออกแบบจากวงจรไฟฟ้า ในรูปแบบของแบบวงจรไฟฟ้าหรือเรียกด้วยภาษาทางเทคนิคว่า เซอร์คิตไดอะแกรม (Circuit Diagram) มาอยู่ในรูปแบบของชิ้นงานที่สามารถนำมาใช้งานในทางปฏิบัติงานได้จริง โดยส่วนประกอบของแบบวงจรไฟฟ้านั้น จะมาอยู่ในรูปแบบการต่อสายไฟฟ้าของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์จากอุปกรณ์ชิ้นหนึ่งไปสู่ชิ้นหนึ่งตามลำดับสัญญาณขาเข้าเรียกว่าอินพุตและสัญญาณขาออกหรือเอาต์พุตของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์แต่ละชนิด ซึ่งการประกอบต่อบนลายวงจรจะต้องถูกต้องตามแบบของวงจร ที่ได้ถูกออกแบบไว้เท่านั้น หากมีส่วนใดส่วนหนึ่งที่ผิดแตกต่างจะไม่สามารถทำให้วงจรที่ต่อใช้งานนั้นสามารถทำงานได้ตามหน้าที่ตามที่ถูกออกแบบไว้แล้วได้ครบถ้วน



รูปที่ 2 ลักษณะของพีซีบีที่ทำการผลิตในรุ่น Z150 ที่นำมาศึกษากระบวนการ

ในกระบวนการผลิตรุ่น Z150 นี้จะมีการผลิตอย่างสม่ำเสมอ โดยมีการผลิตอยู่ประมาณ 1,000 ชิ้นต่อเดือน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับจำนวนสั่งซื้อของลูกค้าที่ให้ทำการผลิตโดยให้โรงงานกรณีศึกษาผลิต โดยมีลำดับขั้นตอนการผลิตชิ้นงานตามกระบวนการดังนี้



รูปที่ 3 แผนภาพกระบวนการผลิตของผลิตภัณฑ์โมเดลกรณีศึกษา

ตารางที่ 1 ตารางแสดงลักษณะของเสียในกระบวนการผลิต

ลักษณะของเสีย	ความหมาย	รูป
ตะกั่วลัดวงจร (Bridging)	โลหะบัดกรีที่ขลุกรณณ์ที่เชื่อมติดกันโดยที่ไม่ต้องการเป็นสาเหตุให้เกิดการลัดวงจรของชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์บนแผ่นพีซีบี	
ตะกั่วไม่เพียงพอ (Insufficient Solder)	ปริมาณโลหะบัดกรีที่เชื่อมต่อขลุกรณณ์มีปริมาณน้อยไม่เพียงพอกับขลุกรณณ์อิเล็กทรอนิกส์กับสายวงจบบนพีซีบี	
ขลุกรณณ์อิเล็กทรอนิกส์หลุด (Missing Part)	ขลุกรณณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ตรงตามตำแหน่งที่กำหนดบนพีซีบีหลุดออกหายไปขณะการประกอบในสายการผลิต	
วางขลุกรณณ์ไม่ตรง (Misalignment)	ขลุกรณณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่วางไม่ตรงตามแนวของขลุกรณณ์เชื่อมต่อของขลุกรณณ์กับสายวงจบบนแผ่นพีซีบี	
ขาของตัวขลุกรณณ์อิเล็กทรอนิกส์ลอย (Floating)	ขาของตัวขลุกรณณ์อิเล็กทรอนิกส์สลัดออกจากจุดเชื่อมต่อกับสายวงจบบนแผ่นพีซีบีทำให้รูปทรงการประกอบไม่ปกติ	
ตะกั่วไหลละลายไม่สมบูรณ์ (Non wetting)	ตะกั่วที่ตำแหน่งเชื่อมต่อของขลุกรณณ์อิเล็กทรอนิกส์มีการไหลละลายไม่สมบูรณ์เป็นเนื้อเดียวกัน	
คราบสกปรก (Dirty on Board)	คราบสกปรกแปลกปลอมเช่นเศษฝุ่นผงต่าง คราบขาวเป็นขลุกรณณ์บนแผ่นพีซีบี	
ตะกั่วไม่เกาะขาขลุกรณณ์ (Tombstone)	ชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ประเภทซีพียูที่เกิดการยกขาข้างหนึ่งลอยและตั้งขึ้นจากจุด	
ขลุกรณณ์แตกร้าว (Damage Component)	ชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ที่แตก บิ่น ร้าว บวมจนผิวยกหรือแตกออกจากกัน	

### 3.3) การวิเคราะห์ปัญหาของชิ้นงานเสีย

จากการรวบรวมข้อมูลที่เกิดขึ้นภายใน 6 เดือน ในกระบวนการผลิตแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ ระหว่างเดือน มกราคม - มิถุนายน และสรุปรายละเอียดงานเสียทั้งหมด ในตารางที่ 2

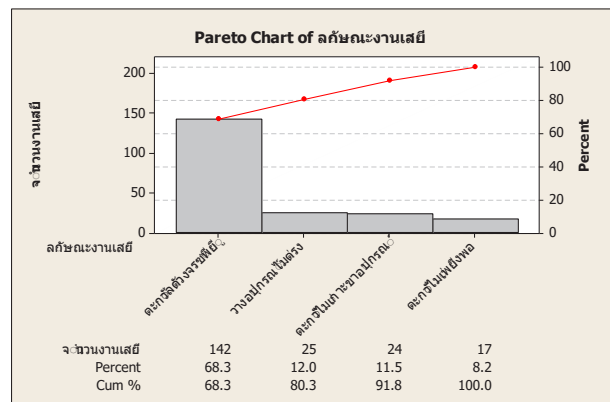
ตารางที่ 2 ข้อมูลของเสียจากฝ่ายผลิต 6 เดือน

เดือน	จำนวนผลิต (ชิ้น)	ชิ้นงานดี (ชิ้น)	ชิ้นงานเสีย (ชิ้น)	ชิ้นงานเสียร้อยละ
มกราคม	954	920	34	3.56
กุมภาพันธ์	1,245	1,197	48	3.86
มีนาคม	200	192	8	4.00
เมษายน	869	824	45	5.18
พฤษภาคม	235	220	15	6.38
มิถุนายน	1,233	1,175	58	4.70
รวม	4,736	4,582	208	4.39

งานที่เกิดปัญหาเหล่านี้จะต้องดำเนินการซ่อมหรือนำกลับมาทำซ้ำ (Rework) และบางส่วนต้องทิ้ง โดยมีค่าใช้จ่ายในการทิ้งต่อบอร์ดเป็นมูลค่า 850 บาทต่อบอร์ด โดยมูลค่าต้นทุนในการทิ้งนี้ เป็นมาตรฐานของบริษัท ตามต้นทุนค่าแรง ค่าวัสดุต่าง ๆ ของโรงงานได้มาจากข้อมูลของในหน่วยงานฝ่ายการผลิต จากข้อมูลพบว่า มีจำนวนแผ่นพีซีบีที่ถูกผลิตออกมาแล้วเป็นของเสียทั้งสิ้น 142 หน่วยคิดเป็นเงิน 120,700 บาท หรือเฉลี่ย 20,117 บาทต่อเดือน เมื่อนำบันทึกข้อมูลบอร์ดที่พบปัญหาแยกแยะกลุ่มของลักษณะอาการเสียที่เกิดขึ้น เพื่อหาจำนวนของลักษณะปัญหาที่เกิดขึ้น โดยนับเป็นจำนวนจุดที่เกิดขึ้นบนแผ่นพีซีบีที่ถูกตรวจสอบพบปัญหาบนแผ่นพีซีบี จัดลำดับปัญหาได้ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 จำนวนชิ้นงานที่เป็นของเสียแยกตามลักษณะตามประเภท

ลักษณะงานเสีย	งานเสีย (จำนวน)	งานเสียสะสม (จำนวน)	สัดส่วนสะสม (%)	สัดส่วน (%)
ตะกั่วลัดวงจรซีพียู	142	142	68	68
วางขลุกรณณ์ไม่ตรง	25	167	80	12
ตะกั่วไม่เกาะขาขลุกรณณ์	24	191	92	11.5
ตะกั่วไม่เพียงพอ	17	208	100	8.5
รวม	208	-	-	100



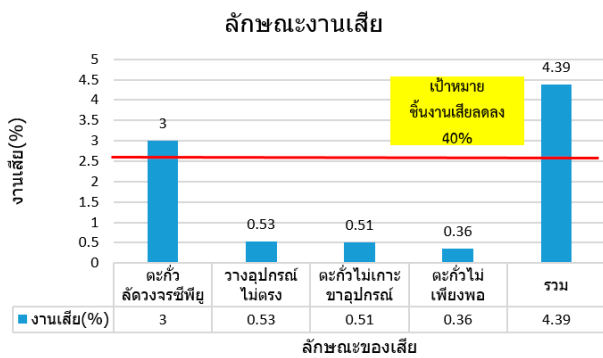
รูปที่ 4 แผนภูมิพาเรโตแสดงลักษณะของเสียที่พบตามลักษณะปัญหา

จากแผนภูมิพาเรโตแสดงให้เห็นว่าจำนวนของลักษณะของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการประกอบวงจรอิเล็กทรอนิกส์บนแผ่นพีซีบีแยกตามลักษณะของหัวข้อปัญหาทั้งหมดที่พบ ในสัดส่วน 80 : 20 ตามหลักการคัดเลือกปัญหาของพาเรโตนั้นจะมีปัญหาอยู่ 2 ลักษณะปัญหาได้แก่ อันดับที่ 1 คือ ปัญหาตะกั่วลัดวงจร

ซีพียู อยู่ที่ร้อยละ 68 ปัญหาอันดับที่ 2 คือ ปัญหาการวางอุปกรณ์ไม่ตรง อยู่ที่ร้อยละ 12 ซึ่งผลรวมอยู่ที่ร้อยละ 80 ของลักษณะของเสียที่พบมากที่สุดในการบวนการ แต่อันเนื่องมาจากความรุนแรงของปัญหาหลังการผลิต ปัญหาการลัดวงจรจะสร้างความเสียหายให้กับผลิตภัณฑ์และชิ้นส่วนต่างและตัวอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์จึงเลือกหัวข้อ ตะกั่วลัดวงจรซีพียู มาพิจารณาในการลดปัญหาที่เกิดขึ้นเป็นลักษณะปัญหาที่จำเป็นเร่งด่วนที่มีผลกระทบต่อทางด้านคุณภาพ ต้นทุน ความเชื่อมั่นจากลูกค้า และเป็นปัญหาที่มีของเสียเกิดขึ้นสูงที่สุดเพื่อที่จะนำไปทำการแก้ไขปรับปรุง

ตารางที่ 4 ลักษณะของชิ้นงานเสีย 6 เดือน

ลักษณะงานเสีย	งานเสีย (จำนวน)	งานเสีย (%)	หมายเหตุ
ตะกั่วลัดวงจรซีพียู	142	3.00	ซ่อมไม่ได้
วางอุปกรณ์ไม่ตรง	25	0.53	ซ่อมได้
ตะกั่วไม่เกาะขาอุปกรณ์	24	0.51	ซ่อมได้
ตะกั่วเพียงพอ	17	0.36	ซ่อมได้
รวม	208	4.39	



รูปที่ 5 กราฟแสดงลักษณะชิ้นงานเสีย

เป็นกราฟแสดงอัตราส่วนของชิ้นงานเสียเฉลี่ยต่อเดือนทั้ง 4 แบบ จากการนำเอาข้อมูลชิ้นงานเสียทั้งหมด 6 เดือน ของฝ่ายผลิต มาวิเคราะห์เพื่อหาสาเหตุและแก้ไขปรับปรุงต่อไป

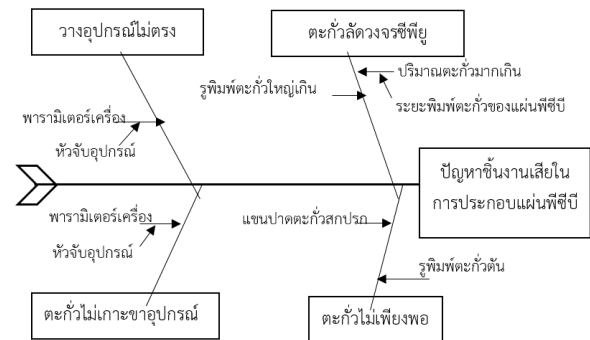
### 3.4) การวิเคราะห์ปัญหาและกำหนดแนวทางการแก้ไข

การหาสาเหตุของชิ้นงานเสียแต่ละชนิด โดยนำแผนผังเหตุและผล มาประยุกต์ในการระดมความคิดจากแผนกผลิต แผนกควบคุมคุณภาพ ผู้บริหาร และผู้ที่เกี่ยวข้อง ดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 การระดมความคิด

การเสนอแนวคิดในการปรับปรุงและการดำเนินการซึ่งวิธีการแก้ไขปัญหาลงปรากฏการณ์ไม่สามารถที่จะแก้ไขได้โดยตรง จึงต้องหาแนวทางป้องกันและแก้ไข[1] จากการระดมความคิดสามารถแบ่งเหตุและผลออกเป็นสาเหตุหลัก ซึ่งสาเหตุหลักสามารถแตกเป็นแขนงสาเหตุย่อยได้อีกเพื่อให้สามารถวิเคราะห์สาเหตุได้ง่ายขึ้น ในการหาแนวทางปรับปรุงแก้ไขต่อไปดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 แผนผังแสดงเหตุและผลของชิ้นงานเสีย

จากแผนภาพแสดงเหตุและผลของชิ้นงานเสียเพื่อทำการวิเคราะห์หาสาเหตุของชิ้นงานเสียแต่ละอาการและได้นำปัญหาทั้งหมดมาทำการแก้ไขทีละขั้นตอน โดยทำการแจกแจงดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 สาเหตุของปัญหาและแนวทางการแก้ไขของชิ้นงานเสีย  
ในกระบวนการผลิตพีซีบี

ปัญหา	สาเหตุของปัญหา	การแก้ไขปัญหา
1. ตะกั่ว ลัดวงจรซีพียู	-ปริมาณตะกั่ว มากเกินไป	-ทดลองปรับระยะของการ พิมพ์ตะกั่ว
	-รูพิมพ์ตะกั่ว ใหญ่เกินไป	-ทดลองปรับระยะของการ พิมพ์ตะกั่ว หรือสร้างบล็อก สกรีน
2. วางอุปกรณ์ ไม่ตรง	-พารามิเตอร์ เครื่อง	-ตรวจเช็คหัวจับอุปกรณ์ -ตรวจเช็คการวางอุปกรณ์
3. ตะกั่วไม่เกาะ ขาอุปกรณ์	-พารามิเตอร์ เครื่อง	-ตรวจเช็คหัวจับอุปกรณ์ -ตรวจเช็คการวางอุปกรณ์
4. ตะกั่วไม่ เพียงพอ	-รูพิมพ์บรรจุ ตะกั่วตัน	-ตรวจเช็คการทำ ความสะอาด
	-แขนปาดตะกั่ว สกปรก	

### 3.5) ปัจจัย และระดับปัจจัย

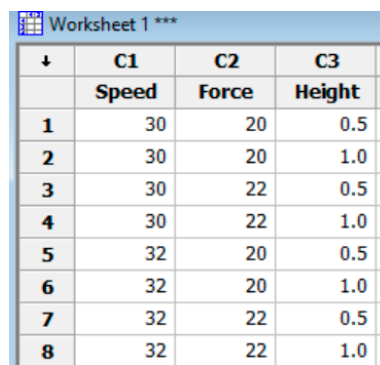
ปัจจัยและระดับปัจจัยที่ศึกษาในงานวิจัยนี้ พิจารณาเฉพาะ ปัจจัยที่ควบคุมได้ (Factor) และไม่สนใจปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ (Noise Factor)[2] โดยปัจจัยที่ศึกษา ประกอบด้วย 3 ปัจจัยหลัก ที่สำคัญ ได้แก่ ความเร็ว (Squeegee Speed), แรง (Squeegee Force), และ ความสูง (Board Size Height) โดยค่าระดับปัจจัย ต่าง ๆ เพื่อประหยัดเวลา ค่าใช้จ่าย จากการระดมความคิดจาก แผนกผลิต แผนกควบคุมคุณภาพ ผู้บริหาร และผู้ที่เกี่ยวข้อง ดัง ตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ปัจจัยและระดับปัจจัย

ปัจจัย	ระดับของปัจจัย		หน่วย
	แบบที่ 1	แบบที่ 2	
ความเร็ว Squeegee Speed	30	32	mm. / sec
แรง Squeegee Force	20	22	N.
ความสูง Board Size height	0.5	1.0	mm.

### 3.6) การออกแบบการทดลองด้วยวิธีทากูชิ

การออกแบบการทดลองเพื่อเก็บข้อมูลด้วยวิธีทากูชิ ซึ่งใช้ การสร้างแผนการทดลองแบบเมตริกซ์ (Design the matrix experiment) [3] มีรูปแบบการทดลองที่เลือกมาจากการทดลอง แบบสมบูรณ์เพื่อลดเวลา และความสิ้นเปลืองทรัพยากรจากการ ทดลองจำนวนมาก [4] โดยใช้แผนการทดลองในรูปแบบ Orthogonal Array  $L_8 2^3$  และผู้วิจัยทำการซ้ำ 3 ครั้ง ตามแผน ที่ออกแบบไว้ โดยจะนำผลการทดลอง (ชิ้นงานเสีย) ที่ได้ มา คำนวณในอัตราส่วนสัญญาณต่อสิ่งรบกวน Signal-To-Noise Ratio เพื่อหาระดับปัจจัยที่เหมาะสมดังรูปที่ 8



↓	C1	C2	C3
	Speed	Force	Height
1	30	20	0.5
2	30	20	1.0
3	30	22	0.5
4	30	22	1.0
5	32	20	0.5
6	32	20	1.0
7	32	22	0.5
8	32	22	1.0

รูปที่ 8 ออกแบบการทดลองด้วยวิธีทากูชิ

### 4) ผลการวิจัย

ผลการทดลองตามรูปแบบ Orthogonal Array  $L_8 2^3$  ทดลอง ซ้ำ 3 ครั้ง[5] ค่าผลการทดลอง (Response) ในงานวิจัยนี้คือ ชิ้นงานเสีย และ คำนวณค่าในอัตราส่วนสัญญาณต่อสิ่งรบกวน (S/N Ratio) โดย การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อลดของเสีย ซึ่งค่า ยิ่งน้อยยิ่งดี หมายความว่า ค่าผลการทดลองยิ่งน้อยยิ่งดี ตาม ทฤษฎีของทากูชิ การคำนวณดังกล่าวอยู่ในรูปของ Smaller-The-Better ผลการทดลองดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ผลการทดลอง

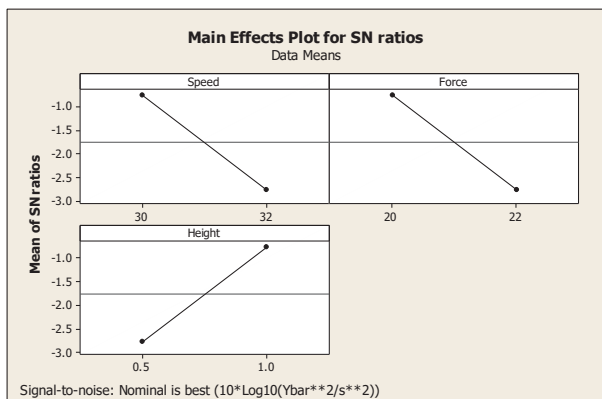
ลำดับ การ ทดลอง	ระดับของปัจจัยที่ใช้ทดลอง			ชิ้นงานเสีย		
	Speed	Force	height	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
1	30	20	0.5	1.0	1.0	0
2	30	20	1.0	1.0	1.0	1.0
3	30	22	0.5	1.0	0	0
4	30	22	1.0	1.0	0	1.0
5	32	20	0.5	0	1.0	0
6	32	20	1.0	0	1.0	1.0
7	32	22	0.5	0	0	0
8	32	22	1.0	0	0	1.0

การวิเคราะห์ผลการทดลอง เพื่อหาปัจจัยที่เหมาะสม โดยพิจารณาจากค่า ผลกระทบของแต่ละปัจจัยจากมากไปน้อย คือ ความเร็ว (Squeegie Speed), แรง (Squeegie Force), และ ความสูง (Board Size Height) ดังตารางที่ 8

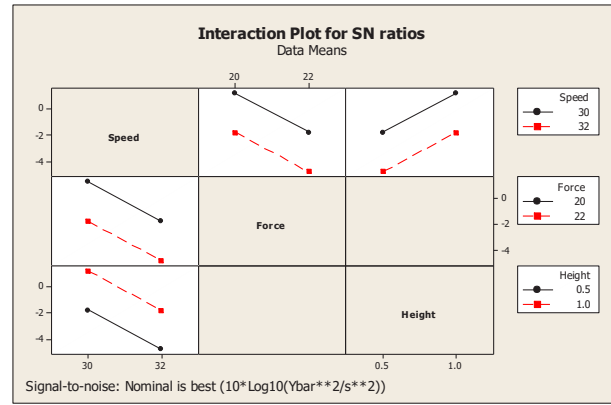
ตารางที่ 8 ผลตอบสนองค่าเฉลี่ยของอัตราส่วนสัญญาณต่อสิ่งรบกวนที่ระดับต่าง ๆ ของแต่ละปัจจัย

ระดับ ปัจจัย	ความเร็ว Squeegie Speed	แรง Squeegie Force	ความสูง Board Size height
1	-0.7575	-0.7575	-2.7643
2	-2.7643	-2.7643	-0.7575
ผลกระทบ	2.0069	2.0069	2.0069
Rank	2	2	2

การวิเคราะห์ผลของทากูชิเพื่อหาระดับปัจจัยที่เหมาะสม พิจารณาจากระดับอัตราส่วนสัญญาณต่อสิ่งรบกวน (Signal-to-Noise Ratio: S/N) มีค่าสูงสุดดังรูปที่ 9



รูปที่ 9 กราฟผลตอบสนองค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสิ่งรบกวนปัจจัยหลัก



รูปที่ 10 กราฟผลตอบสนองค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสิ่งรบกวนความสัมพันธ์กันระหว่างปัจจัย

จากรูปที่ 10 ปัจจัยที่เหมาะสมในการปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ของเครื่องพิมพ์ตะกั่ว เพื่อลดปัญหาของเสียน้อยที่สุดดังนี้  
-ความเร็ว (Squeegie Speed) ค่าที่เหมาะสม คือ 30 mm./sec (ระดับปัจจัยที่ 1)  
-แรง (Squeegie Force) ค่าที่เหมาะสม คือ 20 N. (ระดับปัจจัยที่ 1)  
-ความสูง (Board Size Height) ค่าที่เหมาะสม คือ 1.0 mm. (ระดับปัจจัยที่ 2)

จากค่าของปัจจัยที่เหมาะสมที่สุด คือ ความเร็ว (Squeegie Speed) คือ 30 mm./ sec แรง (Squeegie Force) คือ 20 N. และความสูง (Board Size Height) คือ 1.0 mm. นำมาปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ของเครื่องพิมพ์ตะกั่ว และควบคุมด้วยค่าดังกล่าว เป็นระยะเวลา 1 เดือน ดังรูปที่ 11



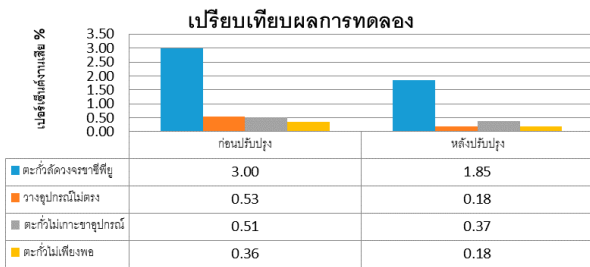
รูปที่ 11 การปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ของเครื่องพิมพ์ตะกั่ว

จากการควบคุมการปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ของเครื่องพิมพ์ตะกั่ว ด้วยปัจจัยที่เหมาะสม ตามการออกแบบการทดลองด้วยวิธีของทากูชิ ในเดือนสิงหาคม ผลดังตารางที่ 9 รูปที่ 12

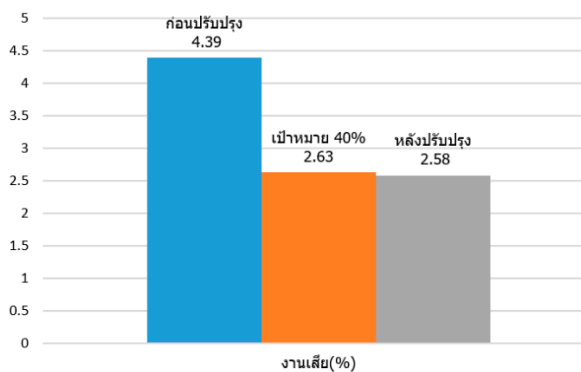


ตารางที่ 9 ผลการทดลอง ก่อนปรับปรุงและหลังปรับปรุง

รายละเอียด	ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง
In put (จำนวน)	4,736	542
Out put (จำนวน)	4,528	528
งานเสีย (จำนวน)	208	14
ตะกั่วลวดวงจรขาซีพียู	3.00	1.85
วางอุปกรณ์ไม่ตรง	0.53	0.18
ตะกั่วไม่เกาะขาอุปกรณ์	0.51	0.37
ตะกั่วไม่เพียงพอ	0.36	0.18
งานเสีย (%)	4.39	2.58
งานเสียที่ลดลง (%)	1.81	



รูปที่ 12 เปรียบเทียบผลการทดลอง



รูปที่ 13 เปรียบเทียบก่อนปรับปรุง เป้าหมาย และหลังปรับปรุง

### 5) สรุปและอภิปรายผล

จากผลการวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่า จากค่าของปัจจัยที่เหมาะสมที่สุด คือ ความเร็ว (Squeegee Speed) คือ 30 mm./sec แรง (Squeegee Force) คือ 20 N. และความสูง (Board Size Height) คือ 1 mm. นำมาปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ของเครื่องพิมพ์ตะกั่ว ทำให้ของเสียต่อเดือนลดลงจากเดิมร้อยละ 4.39 เหลือ 2.58 ซึ่งเป็นไปตามเป้าหมายที่ตั้งไว้ ของเสียลดลง

ร้อยละ 40 ผลการวิจัยสอดคล้องกับ [7] Wanruedee Intananok, 2015 ปัจจัยหลักในกระบวนการสกรีนโลหะบัดกรี

### 6) ข้อเสนอแนะ

การนำเอาเทคนิควิธีการทากุชิม่าช่วยในการออกแบบการทดลอง ทำให้ได้ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งเป็นตัวช่วยในการปรับปรุงลดของเสียในกระบวนการผลิตในส่วนอื่น ๆ ได้นำไปสู่การลดต้นทุนในการผลิต และคุณภาพของชิ้นงานที่สูงขึ้น [8]

การวิจัยในกระบวนการเครื่องพิมพ์ตะกั่วในครั้งนี้ ผลการทดลองเป็นไปตามเป้าหมาย แต่ควรปรับปรุงในปัจจัยอื่น ๆ ต่อไป เพื่อให้ของเสียลดลงมากกว่า

### กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณคณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่คอยสนับสนุน ทั้งเครื่องมืออุปกรณ์ความรู้ เทคนิคต่าง ๆ และขอขอบพระคุณบริษัทกรมศึกษาที่อำนวยความสะดวก สนับสนุน ความร่วมมือเป็นอย่างดีในผลงานในครั้งนี้

### REFERENCES

- [1] Panuwat Tanasankulwong, "Application of Lean Six Sigma in Wine Glass Manufacturing Industry," (In Thai), *TNI Journal of Engineering and Technology*, Vol.7 No.1, pp. 22-31, January – June 2019.
- [2] D.C. Montgomery, *Design and Analysis of Experiments*, 6<sup>th</sup> ed. USA.: John Wiley & Sons, 2005.
- [3] G. Taguchi, *Taguchi Techniques for Quality Engineering*, New York: McGraw-Hill, 1988.
- [4] Roy, R.K., *A primer on the Taguchi competitive manufacturing Series*, New York: Van Nostrand Reinhold, 1990.
- [5] Chalida Chanwichit, "Application of Taguchi method to reduce packet loss," (In Thai), IE Network 2015 SILPAKORN UNIVERSITY, pp. 36-40, April 6-7, 2015.
- [6] Srinivas Athrey, "Application Of Taguchi Method For Optimization Of Process Parameters In Improving The Surface Roughness Of Lathe Facing Operation," *International Refereed Journal of Engineering and Science (IRJES)*, Vol. 1, No. 3, pp.13-19, November 2012.



- [7] Wanruedee Intananok, “DETERMINE PROPER CONDITIONS TO REDUCE DEFECTIVES IN A SOLDER PASTE SCREEN PRINTING PROCESS”, Master of Engineering thesis, Industrial Engineering Department, Chulalongkorn University, Bangkok, Thailand, 2015.
- [8] Surapong Bangphan, “Application of Taguchi Method for Optimizing Turning Process by Studying of Production Machining Parameter,” (In Thai), *UBU Engineering Journal*, Vol.7, No.2, pp. 104-112, July-December 2014.



# แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมสำหรับการทำนายค่าความเค้นแรงดึง ในการเชื่อมภาชนะแรงดันสูงด้วยเหล็กกล้า ASTM A537 Class1

ปรัชญา เพ็ญสุระ

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี  
กรุงเทพมหานคร ประเทศไทย

ผู้นิพนธ์ประสานงาน อีเมล : Prachya.pea@kmutt.ac.th

รับต้นฉบับ: 29 กรกฎาคม 2562; รัับบทความฉบับแก้ไข: 15 กันยายน 2562; ตอรับบทความ: 30 กันยายน 2562  
เผยแพร่ออนไลน์: 25 ธันวาคม 2562

## บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ด้วยแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมในการทำนายค่าความเค้นแรงดึง สำหรับการเชื่อมภาชนะแรงดันสูงในเหล็กกล้า ASTM A537 Class1 ด้วยกระบวนการเชื่อมใต้ฟลักซ์ สำหรับพารามิเตอร์ที่ใช้ในการศึกษา ได้แก่ กระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า และความเร็วในการเดินแนวเชื่อม หลังจากทำการเชื่อมได้มีการทดสอบค่าความเค้นแรงดึง วิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด และสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ผลการวิจัยพบว่าแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่เหมาะสม คือ แบบจำลองทางคณิตศาสตร์จากวิธีโครงข่ายประสาทเทียม โครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมที่เหมาะสม คือ 3-นิวรอนในชั้นอินพุต 3 นิวรอน จำนวนนิวรอนในชั้นซ่อน 14 นิวรอน และจำนวนนิวรอนในชั้นแสดงผล 1 นิวรอน (3-14-1) การเรียนรู้แบบเลเวนเบิร์ก-มาร์คสำหรับการปรับค่าน้ำหนักและไบแอส รูปแบบฟังก์ชันการกระตุ้น คือ ฟังก์ชันลอก-ซิกมอยด์ สำหรับชั้นนำเข้า ฟังก์ชันแทน-ซิกมอยด์ สำหรับชั้นซ่อน และฟังก์ชันเพียวรินสำหรับชั้นผลลัพธ์ มีค่าเฉลี่ยความผิดพลาดที่ 0.284 สภาวะการเชื่อมที่มีค่าความเค้นแรงดึงสูงสุดพบโครงสร้างจุลภาคเฟิร์ลไลต์ละเอียด ลักษณะกลม มีการกระจายตัวกันอย่างหนาแน่น แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ได้มีประสิทธิภาพสามารถนำไปประยุกต์ใช้เพื่อทำนาย ควบคุมคุณภาพของรอยเชื่อมให้ได้ค่าความเค้นแรงดึง ตามข้อกำหนดในมาตรฐาน เพื่อลดต้นทุนในการผลิตและเพิ่มประสิทธิภาพในการเชื่อมต่อไป

**คำสำคัญ :** แบบจำลอง ภาชนะแรงดันสูง วิธีโครงข่ายประสาทเทียม ค่าความเค้นแรงดึง การเชื่อมใต้ฟลักซ์

# Artificial Neural Network Modeling for Prediction of Tensile Strength in Pressure Vessel Welding with Steel ASTM A537 Class 1

Prachya Peasura

*Department of Production Technology Education Faculty of Industrial Education and Technology,  
King Mongkut's University of Technology Thonburi, Bangkok, Thailand*

Corresponding Author. E-mail address: Prachya.pea@kmutt.ac.th

Received: 29 July 2019; Revised: 15 September 2019; Accepted: 30 September 2019

Published online: 25 December 2019

## **Abstract**

This research described to the determine a mathematic model using artificial neural network (ANN) for predicting the of tensile strength in the pressure vessel steel ASTM A537 Class1 grade with submerge arc welding process. The following welding parameters were studied: the welding current, voltage and travel speed. The resulting welding samples were examined using tensile strength tests which were observed microstructure with scanning electron microscopy (SEM) and determine a suitable mathematic model. The research results reveal that using a neural network model with the proposed mathematical model, which tensile strength represents 3 neurons for the input 14 neurons and 1 output neurons (3-14-1). The Levenberg-Marquart training algorithm was also train for weight and bias network. The neuron of log-sigmoid for input layer, tan-sigmoid for hidden layer and purelin for output layer activation function was assigned. The mean square error (MSE) and coefficient of determination (R2) for tensile strength predict was showed that of 0.284. The welding conditions which have the highest tensile strength was showed that microstructure phenomenon could be that fine pearlite and spheroidized pearlite with distribute intensity in heat affected zone. The mathematical model that can be effectively applied to predict and quality control of welds to obtain tensile strength according to the standard requirements, which was reduce production costs and increase work efficiency.

**Keywords** : Model, Pressure Vessel, Artificial Neural Network, Tensile Strength, Submerge Arc Welding

## 1) บทนำ

ภาชนะทนแรงดันสูง (Pressure Vessel) มีความสำคัญต่ออุตสาหกรรมการผลิตในประเทศไทยมาก เช่น อุตสาหกรรมปิโตรเคมี อุตสาหกรรมการผลิต อุตสาหกรรมขนส่งก๊าซทางเรือ เป็นต้น เนื่องจากอุตสาหกรรมดังกล่าวจะต้องใช้พลังงานที่ได้จากก๊าซธรรมชาติ หรือเชื้อเพลิงอื่น ๆ ในสถานะก๊าซ ภาชนะสำหรับบรรจุก๊าซประเภทต่าง ๆ จึงมีความจำเป็นจะต้องใช้เหล็กกลุ่มพิเศษในการสร้างภาชนะทนแรงดันสูง โดยสมาคมการทดสอบและวัสดุแห่งสหรัฐอเมริกา (American Society for Testing and Materials, ASTM) ได้จัดกลุ่มเหล็กกล้าประเภทนี้เป็นเหล็กกล้าทนแรงดันสูง (Pressure Vessel Steels)[1] สำหรับการเชื่อมเหล็กกล้ากลุ่มนี้ต้องมีการพิจารณาถึงความสามารถในการเชื่อม (Weldability) และข้อพิจารณาในการเชื่อม (Welding Consideration) เนื่องจากเหล็กกล้ากลุ่มนี้มีปริมาณคาร์บอนมากกว่า 0.2% จึงมีโอกาสในการเสี่ยงต่อการแตกร้าวขณะทำการเชื่อมหรือหลังการเชื่อมได้ ถ้าสภาวะการเชื่อมไม่เหมาะสม [2]

เหล็กกล้าทนแรงดันสูงเกรด ASTM A537 Class1 เป็นเหล็กกล้าที่ผ่านการอบชุบด้วยความร้อน ซึ่งส่งผลให้มีค่าความเค้นแรงดึงมากกว่าเกรดอื่น ๆ เช่น ASTM A516 เหล็กกล้า ASTM A537 Class 1 นิยมใช้ในการผลิตหม้อไอน้ำแรงดันสูง (Boiler) และภาชนะรับความดันสูง (Pressure Vessel) ในอุตสาหกรรมน้ำมัน ก๊าซธรรมชาติ และปิโตรเคมี กระบวนการเชื่อมที่นิยมใช้ในการเชื่อม ASTM A537 Class1 ได้แก่ กระบวนการเชื่อมใต้ฟลักซ์ (Submerge Arc Welding) เนื่องจากเป็นกระบวนการเชื่อมอัตโนมัติ คุณภาพรอยเชื่อมสูง สามารถเชื่อมได้อย่างรวดเร็ว สามารถควบคุมปริมาณความร้อนเข้าในชิ้นงานได้เป็นอย่างดี เมื่อมีการปรับพารามิเตอร์ได้อย่างเหมาะสม เหล็กกล้า ASTM A537 Class1 เมื่อทำการคำนวณปริมาณคาร์บอนเทียบเท่า (Carbon Equivalent) เพื่อประเมินความเสี่ยงต่อการแตกร้าว พบว่ามีปริมาณคาร์บอนเทียบเท่าที่ 0.61 มีความเสี่ยงต่อการแตกร้าวประมาณ 65 เปอร์เซ็นต์ [3] ทำให้เกิดปัญหาการแตกร้าวใต้แนวเชื่อม (Underbead Cracking) ซึ่งเป็นปัญหาที่พบมากที่สุดในการเชื่อมเหล็กกล้าเกรดนี้ รายงานวิจัยของ Kalyankar and Chudasama [4] ที่ค้นหาแนวทางป้องกันการแตกร้าวบริเวณเขตอิทธิพลความร้อนของเหล็กกล้า ASTM A537 รวมถึงรายงานการวิจัยของ Behnam

Sadeghi et al. [5] ที่ได้ลดความเค้นตกค้างในการเชื่อมเพื่อป้องกันความเสี่ยงต่อการแตกร้าวในบริเวณเขตอิทธิพลความร้อน การเชื่อมเหล็กกล้า ASTM A537 Class 1 ด้วยการเชื่อมใต้ฟลักซ์เพื่อให้ได้คุณภาพของรอยเชื่อมเหมาะสม จะต้องมีการพิจารณาถึงค่าความเค้นแรงดึงที่สามารถรับแรงกระทำจากการออกแบบรอยเชื่อม ไม่เกิดรอยแตกร้าวที่เกิดขึ้นในการเชื่อม ดังนั้น จึงมีความจำเป็นจะต้องเชื่อมในสภาวะที่เหมาะสมในอุตสาหกรรมการผลิตก่อนที่จะได้ข้อกำหนดกระบวนการเชื่อม (Welding Procedure Specification, WPS) จำเป็นจะต้องมีการจัดทำผลการทดสอบกระบวนการเชื่อม (Procedure Qualification Record, PQR) โดยเฉพาะอย่างยิ่งตามมาตรฐาน ASME Boiler and Pressure Vessel Code สถานประกอบการที่ทำธุรกิจการเชื่อมภาชนะทนแรงดันสูงในประเทศไทย ส่วนใหญ่ใช้มาตรฐานดังกล่าวในการผลิตภาชนะทนแรงดันสูง สำหรับกระบวนการจัดทำ PQR ต้องมีการทดลองเชื่อมในพารามิเตอร์ที่แตกต่างกัน รวมถึงต้องมีการตรวจสอบคุณภาพของรอยเชื่อมด้วยการตรวจสอบแบบไม่ทำลาย และการตรวจสอบสมบัติทางกล เช่น การทดสอบค่าความเค้นแรงดึง การทดสอบการตัดโค้ง เป็นต้น ทำให้ต้นทุนการผลิตค่อนข้างสูง และใช้เวลาในการดำเนินการมาก

แบบจำลองโครงข่ายประสาท (Artificial Neural Network, ANN) ได้รับการยอมรับอย่างกว้างขวางในการวิจัยปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence, AI) เป็นการคำนวณเลียนแบบการทำงานของระบบสมองมนุษย์ เพื่อใช้ประโยชน์ในการพยากรณ์ข้อมูล โดยข้อดีของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมสามารถคัดแยกคุณลักษณะพิเศษ (Feature Extraction) ของข้อมูลด้วยตนเอง สามารถนำข้อมูลนำเข้า (Input Data) สำหรับการสร้างแบบจำลองได้โดยตรง ซึ่งมีความแตกต่างจากการเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning) ที่จะต้องทำการคัดแยกคุณลักษณะพิเศษของข้อมูลด้วยตนเองจึงทำให้มีโอกาสเกิดความผิดพลาดได้ ปัจจุบันได้มีการประยุกต์ใช้โครงข่ายประสาทเทียมในงานเชื่อม ได้แก่ การทำนายค่าความเค้นแรงดึง ขนาดรอยเชื่อม ความเค้นตกค้าง รวมถึงการหาความเหมาะสมในกระบวนการเชื่อมต่าง ๆ ดังรายงานวิจัยของ Chinnadurai et al. [6] ได้สร้างแบบจำลองด้วยโครงข่ายประสาทเทียมในการทำนายค่าความเค้นแรงดึงในการเชื่อมท่อ Vignesh and Padmanaban [7] ได้นำเสนอแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมในการทำนายค่าความเค้นแรงดึงในการเชื่อมอลูมิเนียมด้วย

กระบวนการเชื่อมเสียดทาน งานวิจัยของ Babu et al. [8] ได้ทำการสร้างแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมในการทำนายโครงสร้างจุลภาค และสถานะการกัดกร่อนในการเชื่อมเสียดทานในอลูมิเนียม รายงานวิจัยของ Sarka et al.[9] ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบแบบจำลองแบบมัลติเพิลรีเกรสชัน และแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมในการทำนายลักษณะของรอยเชื่อมและความกว้างของเขตอิทธิพลความร้อนในการเชื่อมเหล็กกล้า Yu et al.[10] ได้ออกแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมในการทำนายค่าความแข็งในบริเวณเขตอิทธิพลความร้อนของเหล็กกล้าผสมต่ำด้วยการเชื่อมเลเซอร์ รายงานการวิจัยของ Srinivasan et al.[11] ได้ทำการสร้างแบบจำลองด้วยโครงข่ายประสาทเทียมในการทำนายค่าความเค้นแรงดึง สำหรับการเชื่อมเหล็กกล้าเกรด 15CDV6 ด้วยกระบวนการเชื่อมทิก Dewan et al.[12] ศึกษาแบบจำลองแบบ adaptive neuro-fuzzy inference system (ANFIS) และโครงข่ายประสาทเทียมในการทำนายค่าความเค้นแรงดึงในการเชื่อมแบบเสียดทาน Zhao et al. [13] และคณะได้ออกแบบการทดลองแบบแพคทอเรียลและสร้างแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมในการทำนายค่าความเค้นแรงดึงในการเชื่อมความต้านทานชนิดจุด รายงานวิจัยของ Narayanareddy et al.[14] ได้ทำการศึกษาการจำลองเชิงตัวเลข และแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมในการทำนายการบิดตัวในการเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิม Kumar et al.[15] ได้ทำการสร้างแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมในการทำนายลักษณะของรอยเชื่อมในกระบวนการเชื่อมเย็น โดยจากงานวิจัยที่ผ่านมาได้มีการประยุกต์ใช้ในการทำนายค่าความเค้นแรงดึง ลักษณะรอยเชื่อม ความเค้นตกค้าง ในกระบวนการเชื่อมเสียดทาน กระบวนการเชื่อมทิก การเชื่อมความต้านทานชนิดจุด ในอลูมิเนียม เหล็กกล้าไร้สนิม และเหล็กกล้า เป็นต้น

จากปัญหาและงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่ายังไม่ได้มีงานวิจัยใดที่ได้มุ่งเน้นในการสร้างแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมในการเชื่อมเหล็กกล้า ASTM A537 Class 1 ด้วยกระบวนการเชื่อมได้พัลส์ อีกทั้งการเลือกสภาวะการเชื่อมที่เหมาะสมมีความจำเป็นในการที่จะมีเครื่องมือเพื่อช่วยในการเลือกปัจจัย ระดับของปัจจัยที่มีความเหมาะสมเพื่อให้ได้ค่าความเค้นแรงดึงที่เหมาะสม ไม่เกิดการแตกร้าวทั้งในบริเวณรอยเชื่อมและเขตอิทธิพลความร้อน โดยทำการเลือกปัจจัยนำเข้า (Input) ได้แก่ กระแสไฟฟ้า แรงดัน และความเร็วในการเดินแนวเชื่อม เนื่องจากเป็นปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่ออิทธิพลของสมบัติทางกล

และโครงสร้างจุลภาค ปัจจัยส่งออก (Output) ได้แก่ ค่าความเค้นแรงดึง ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ประยุกต์ใช้วิธีการพื้นผิวตอบสนอง รูปแบบแบบบ็อกซ์-เบนเคน เพื่อสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการทำนายค่าความเค้นแรงดึงจากนั้นทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแบบจำลอง เลือกแบบจำลองที่เหมาะสมสำหรับการเชื่อม และหาสภาวะการเชื่อมที่เหมาะสมสำหรับการระบุในข้อกำหนดกระบวนการเชื่อม (Welding Procedure Specification, WPS) โดยงานวิจัยนี้อุตสาหกรรมการผลิตภาชนะแรงดันสูงสามารถนำข้อมูลวิจัย และแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ไปประยุกต์ใช้เพื่อพยากรณ์ ควบคุมคุณภาพของรอยเชื่อมให้ได้ค่าความเค้นแรงดึง ตามข้อกำหนดในมาตรฐาน ลดปริมาณในการทำ PQR และลดต้นทุนในการจัดทำ PQR ซึ่งเป็นการลดต้นทุนในการผลิต และเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานต่อไป

## 2) ระเบียบวิธีการวิจัย

### 2.1) วัสดุที่ใช้ในการวิจัย

วัสดุที่ใช้ในการวิจัย คือเหล็กกล้าทนแรงดันสูง เกรด ASTM A537 Class 1 ความหนา 6 มิลลิเมตร ทำการเตรียมชิ้นทดสอบขนาด 75 x 180 x 6 มิลลิเมตร ตามมาตรฐาน ASME Boiler and Pressure Vessel Section IX [16] มีส่วนผสมทางเคมีดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ส่วนผสมทางเคมีของวัสดุ ASTM A537 Class 1

C	Mn	Si	Ni	Mo	P	S
0.248	1.48	0.52	0.21	0.078	0.030	0.026

### 2.2) การออกแบบการทดลอง

งานวิจัยได้กำหนดปัจจัยที่ได้ใช้ในการศึกษา 3 ปัจจัย ได้แก่ กระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า และความเร็วในการเชื่อม เนื่องจากปัจจัยทั้งสามจะส่งผลกระทบต่อปริมาณความร้อนที่เข้าในชิ้นงาน ส่งผลต่ออัตราการเย็นตัวในวัสดุถ้าเลือกใช้ระดับของปัจจัยที่ไม่เหมาะสม และมีผลกระทบต่อโครงสร้างจุลภาค และสมบัติทางกล [17] งานวิจัยได้มีการประยุกต์ใช้วิธีการพื้นผิวตอบสนอง รูปแบบการทดลองบ็อกซ์-เบนเคน ในการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ด้วยวิธีการพื้นผิวตอบสนอง และแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม รวมถึงการหาระดับปัจจัยที่

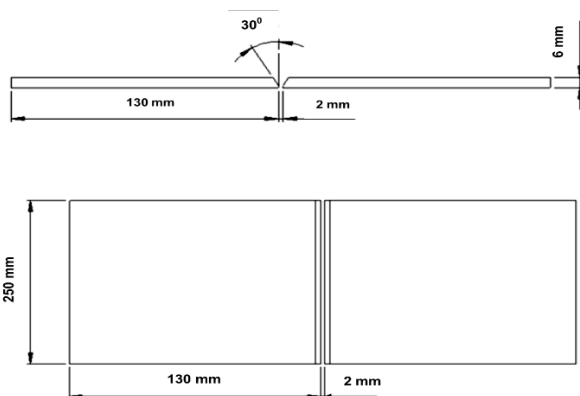
เหมาะสม การออกแบบการทดลองแบบ บ็อกซ์-เบนเคน แบ่งระดับของปัจจัยเป็น 3 ระดับ แสดงในตารางที่ 2 ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง จำนวนชิ้นงานที่ได้ทำการทดลองทั้งหมด 45 ชิ้นงาน ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 การออกแบบการทดลองแบบบ็อกซ์-เบนเคน

ปัจจัย	ระดับปัจจัย			หน่วย
	-1	0	1	
กระแสไฟฟ้า ( $X_1$ )	340	360	380	แอมแปร์
แรงดันไฟฟ้า ( $X_2$ )	22	24	26	โวลต์
ความเร็วในการเชื่อม ( $X_3$ )	24	27	30	เซนติเมตรต่อ นาที

### 2.3) กรรมวิธีการเชื่อม

การศึกษาวิจัยใช้กระบวนการเชื่อมใต้ฟลักซ์ (Submerged Arc Welding : SAW) ในการเชื่อมใต้ใช้ลวดเชื่อม F7A2-EM12K ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.0 มิลลิเมตร ตามข้อกำหนดมาตรฐาน AWS A5.17 Specification for Carbon Steel Electrodes and Fluxes for Submerged Arc Welding [18] เชื่อมต่อชน (Butt Joint) ในตำแหน่งท่าราบ ทำการบากร่องวี (V-Joint) มุม 60 องศา ผิวหน้าของรอยขอบชิ้นงานส่วนตรงที่ฐาน (Root Face) 2 มิลลิเมตร ระยะเว้น (Root Opening) 2 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 1 โดยใช้ทองแดงเป็นแผ่นรองหลัง มีอุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน แล้วทำการเชื่อมดินแนวชิ้นงานตามการออกแบบการทดลอง ปัจจัยควบคุม ได้แก่ ระยะอาร์ก 2.0 มิลลิเมตร , ระยะยื่นของลวดเชื่อม 15 มิลลิเมตร มุมในการเชื่อม 90 องศา [3]



รูปที่ 1 แสดงขนาดชิ้นงานก่อนทำการเชื่อม

### 2.4) การทดสอบสมบัติทางกล

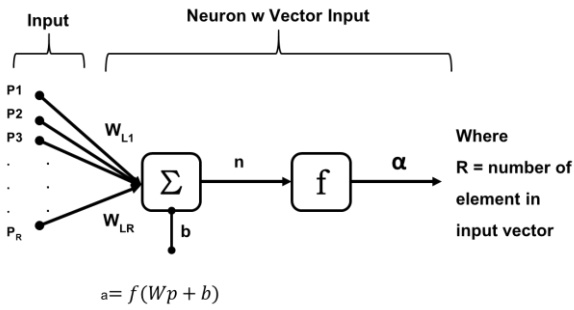
การจัดทำข้อกำหนดมาตรฐานการเชื่อม มาตรฐานสากลได้มีการระบุให้มีการทดสอบสมบัติทางกล ได้แก่ การทดสอบความเค้นแรงดึง และการทดสอบการดัดโค้ง ในงานวิจัยได้มีการจัดทำชิ้นงานทดสอบตามมาตรฐาน ASME Boiler & Pressure Vessel Code ทั้งการทดสอบความเค้นแรงดึง (QW462.1 a) และการดัดโค้ง (QW462.3 a) [16] จากนั้นนำชิ้นงานทดสอบความเค้นแรงดึงโดยเครื่องทดสอบอเนกประสงค์ (Universal Tester) ทดสอบการดัดโค้งด้านหน้ารอยเชื่อม (Face Bend Test) และทดสอบการดัดโค้งด้านรากของรอยเชื่อม (Face Bend Test)

### 2.5) การทดสอบโครงสร้างจุลภาค

การเตรียมชิ้นงานหลังจากการเชื่อมนำมาเตรียมผิวโดยการขัดกระดาษทราย ขัดผิวมัน จากนั้นนำชิ้นงานมากัดชิ้นรอย (Etching) โดยใช้กรดไนตริก 2 มิลลิลิตร และเมทานอล 98 มิลลิลิตร ใช้เวลาในการกัดชิ้นรอย 5 วินาที [19] การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบแสง (Optical Microscope) กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope : SEM) ด้วยกำลังขยาย 1,000 เท่า และ 5,000 เท่า วิเคราะห์ธาตุเชิงพลังงาน (Energy Dispersive X-ray Spectrometer : EDS) รวมถึงการวิเคราะห์การแตกหักของวัสดุ

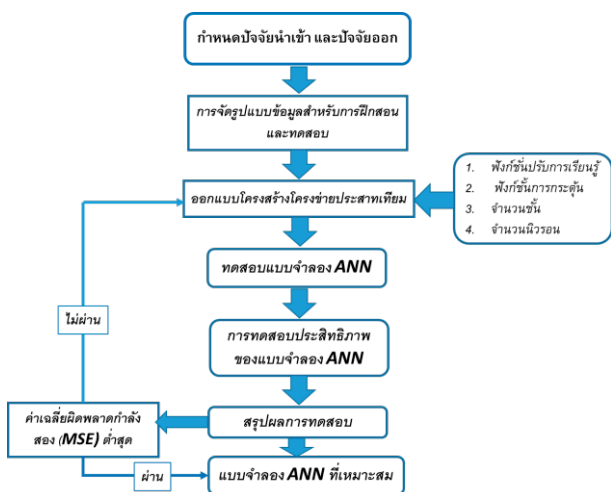
### 3) โครงข่ายประสาทเทียม

โครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network, ANN) ได้รับการยอมรับอย่างกว้างขวางในการวิจัยปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence, AI) ที่ไม่เชิงเส้น โครงข่ายประสาทเทียมเป็นการคำนวณเลียนแบบการทำงานของระบบสมองมนุษย์ เพื่อใช้ประโยชน์ในการพยากรณ์ข้อมูล โครงข่ายประสาทเทียมประกอบด้วยเซลล์ประสาท (Neural) ซึ่งจำลองมาจากการทำงานของระบบสมองมนุษย์ โดยใช้ฟังก์ชันถ่ายโอน (Transfer Function, f) ค่าถ่วงน้ำหนัก (Weight, w) และค่าไบแอส (Bias, b) เป็นเครื่องมือจำลองคุณสมบัติของเซลล์ประสาท ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 แสดงโครงข่ายประสาทเทียมแบบชั้นเดียว [20]

การดำเนินการสร้างแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม ดำเนินการกำหนดปัจจัยนำเข้าทั้ง 3 ปัจจัยได้แก่กระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้าและความเร็วในการเชื่อม ทำการออกแบบการทดลองแบบบ็อกซ์-เบนเคน ปัจจัยส่งออก ได้แก่ค่าความเค้นแรงดึง จากนั้นทำการออกแบบโครงสร้างรูปแบบต่างๆ โดยพิจารณาจาก 4 องค์ประกอบได้แก่ ฟังก์ชันปรับการเรียนรู้ ฟังก์ชันการกระตุ้น จำนวนชั้น และจำนวนนิวรอน ทำการทดสอบแบบจำลอง ประสิทธิภาพแบบจำลอง สรุปผล และทำการเลือกแบบจำลองที่ดีที่สุดจากค่าความผิดพลาดกำลังสอง ดังแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 แผนผังการดำเนินการสร้างแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม

### 3.1 การจัดรูปแบบข้อมูลสำหรับการฝึกสอนและทดสอบ

การจัดรูปแบบข้อมูลสำหรับการฝึกสอน (Training) และทดสอบ (Testing) จากจำนวนปัจจัยนำเข้า (Input) 3 ปัจจัย ผลลัพธ์เป้าหมาย (Output) 1 ค่า โดยมีข้อมูลที่ใช้วิเคราะห์จำนวน 45 ข้อมูลที่ได้จากการทดลองแบบบ็อกซ์ เบนท์เคน

กำหนดจำนวนรอบในการวนซ้ำ (Epoch)=1,000 โดยแปลงข้อมูลให้มีค่าระหว่าง 0-1 โดยใช้สมการ (1)

$$X = \frac{X_i - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}} \quad (1)$$

หลังจากข้อมูลได้ทำการฝึกสอนและทดสอบ ได้ผลลัพธ์ที่เหมาะสมแล้วข้อมูลที่ได้จะต้องถูกแปลงค่ากลับเป็นค่าจริงจากสมการที่ (2)

$$X = [X_i (X_{\max} - X_{\min}) + X_{\min}] \quad (2)$$

โดยที่ X คือ ข้อมูลที่ได้รับการแปลงค่า

$X_i$  คือ ข้อมูลการทดลองที่ i

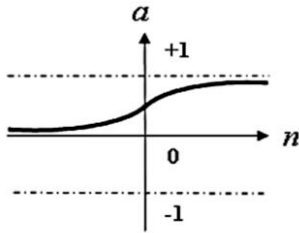
$X_{\min}$  คือ ข้อมูลการทดลองที่มีค่าน้อยที่สุด

$X_{\max}$  คือ ข้อมูลการทดลองที่มีค่ามากที่สุด

### 3.2 การออกแบบโครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมที่เหมาะสม

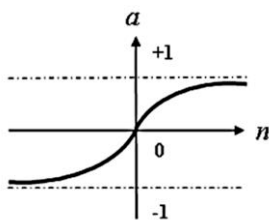
โครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียม ในงานวิจัยได้มีการแบ่งข้อมูลสำหรับฝึกสอน และทดสอบทำให้เกิดการเรียนรู้ด้วยเทคนิคการแพร่กระจายแบบย้อนกลับ ฝึกสอนด้วยวิธีอัลกอริทึมการเรียนรู้แบบเลเวนเบิร์กมาร์ค (Levenberg-Maquartm Algorithm) [21] ฟังก์ชันปรับการเรียนรู้ (Learning Function) ชนิดการเคลื่อนลงตามความชัน (Learning gradient descent, Learnqd) รูปแบบฟังก์ชันการกระตุ้น (Activate Function) ในงานวิจัยได้ใช้ฟังก์ชันลอจิสติกมอยด์ (log-sigmoid) สำหรับชั้นนำเข้า (Input Layer) ฟังก์ชันแทนซิกมมอยด์ (tan-sigmoid) สำหรับชั้นซ่อน (Hidden Layer) และฟังก์ชันเพียวริน (purelin) สำหรับชั้นผลลัพธ์ (Output layer) สลับกันเพื่อที่จะได้ค่าเฉลี่ยความผิดพลาดน้อยที่สุด (Mean Square Error, MSE) และทำให้แบบจำลองมีประสิทธิภาพในการทำนายที่แม่นยำสูง สำหรับฟังก์ชันการถ่ายโอนในแต่ละชั้นแสดงในรูปที่ 4-6 สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ (3)-(5)





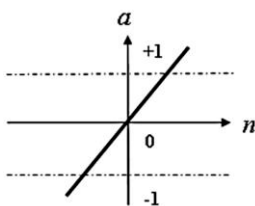
รูปที่ 4 ฟังก์ชันการถ่ายโอนแบบลอก-ซิกมอยด์  
แหล่งที่มา : J. Y. Shim et al. [22]

$$a = \text{Logsig}(n) = \frac{1}{1 + e^{-n}} \quad (3)$$



รูปที่ 5 ฟังก์ชันการถ่ายโอนแบบแทน-ซิกมอยด์  
แหล่งที่มา : J. Y. Shim et al. [22]

$$a = \text{Tansig}(n) = \frac{2}{1 + e^{-2n}} - 1 \quad (4)$$



รูปที่ 6 ฟังก์ชันการถ่ายโอนแบบเพียวริน  
แหล่งที่มา : J. Y. Shim et al. [22]

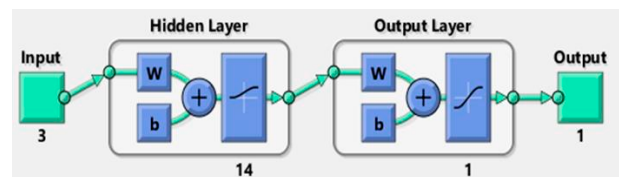
$$a = \text{Purelin}(n) \quad (5)$$

งานวิจัยได้ออกแบบโครงสร้างโครงข่ายประสาทเทียมโดยได้ระบุจำนวนชั้น 1 ชั้น มีรูปแบบที่แตกต่างกันทั้งหมด 8 รูปแบบตามจำนวนของนิวรอนในแต่ละชั้น และชนิดของฟังก์ชันปรับการเรียนรู้ โดยทำการพิจารณาเลือกโครงสร้างโครงข่ายประสาทเทียมที่เหมาะสมจากค่าเฉลี่ยผิดพลาดกำลังสอง (MSE) ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 แสดงค่าเฉลี่ยความผิดพลาดของโครงสร้างโครงข่ายประสาทเทียม

Neuron			MSE
Input Layer	Hidden Layer	Output layer	
3	4	1	0.00153
3	8	1	0.00148
3	10	1	0.00138
3	12	1	0.00150
3	14	1	0.00137
3	16	1	0.00145
3	18	1	0.00144
3	20	1	0.00178

จากตารางที่ 3 ผลการทดลองพบว่าโครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมที่เหมาะสมสำหรับการทำนายค่าความเค้นแรงดึงได้แก่ 3-14-1 ประกอบด้วยจำนวนนิวรอนในชั้นอินพุต 3 นิวรอน จำนวนนิวรอนในชั้นฮิดเดน 14 นิวรอน และจำนวนนิวรอนในชั้นแสดงผล 1 นิวรอน มีค่าเฉลี่ยผิดพลาดกำลังสองเท่ากับ 0.00137 โครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมที่เหมาะสม แสดงดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 โครงข่ายประสาทเทียมของการทำนายค่าความเค้นแรงดึง

### 3.3) การประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม

การประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองสำหรับโครงข่ายประสาทเทียมพิจารณาจาก ค่าเฉลี่ยความผิดพลาดกำลังสอง และค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ ดังแสดงในสมการ (6) และ (7) โดยที่ ค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนกำลังสอง (MSE)

$$MSE = \frac{\sum_{i=1}^N (T_i - A_i)^2}{N} \quad (6)$$

ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ ( $R^2$ )

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (T_i - A_i)^2}{\sum_{i=1}^N (T_i - A)^2} \quad (7)$$

เมื่อ T คือ ผลลัพธ์เป้าหมาย



A คือ ผลลัพธ์ที่ได้จากการทำนาย

N คือ จำนวนข้อมูล

#### 4) ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

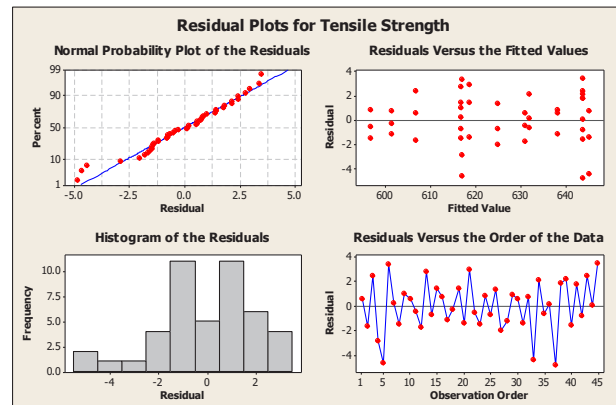
##### 4.1) ผลการวิจัยด้วยวิธีการพื้นผิวตอบสนอง

งานวิจัยได้มีการประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลองแบบ บ็อกซ์-เบนเคน (Box-Bhenken Design) ซึ่งเป็นรูปแบบการทดลองวิธีการพื้นผิวตอบสนอง (Response Surface Methodology, RSM) ในการออกแบบการทดลอง รวมถึงการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ สำหรับการทำนายค่าความเค้นแรงดึง จากนั้นจึงทำการเลือกแบบจำลองที่มีความสามารถในการทำนายที่แม่นยำเปรียบเทียบกับแบบจำลองที่ได้จากโครงข่ายประสาทเทียม สำหรับแบบจำลองของวิธีการพื้นผิวตอบสนองที่เหมาะสม พิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์การพยากรณ์ ( $R^2$ ) สัมประสิทธิ์การพยากรณ์ที่ปรับแก้แล้ว ( $R^2_{adj}$ ) ค่าความน่าจะเป็นของการถดถอย (P-Value of Regression) และค่าความน่าจะเป็นของความเหมาะสมในสมการ (P-Value of Lack of Fit) สำหรับแบบจำลองทั้ง 4 รูปแบบ ได้แก่ แบบจำลองเต็มรูปแบบยกกำลังสอง(Full Quadratic) แบบจำลองเชิงเส้นรวมผลกระทบรวม (Linear + Interaction) แบบจำลองเชิงเส้นรวมสแควร์ (Linear + Squares) และแบบจำลองเชิงเส้น (Linear) โดยเมื่อเปรียบเทียบผลการทดลองจากแบบจำลองทุกรูปแบบ พบว่ารูปแบบของสมการทางคณิตศาสตร์ที่เหมาะสมได้แก่ แบบจำลองเต็มรูปแบบยกกำลังสอง มาใช้สำหรับวิเคราะห์ข้อมูลที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ (P-Value 0.05) โดยมีผลการวิจัยดังต่อไปนี้

ตารางที่ 4 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการเต็มรูปแบบยกกำลังสอง

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	9	11032.40	11032.39	1225.82	240.77	0.000
Linear	3	1140.00	2310.32	770.11	151.26	0.000
Square	3	8442.80	9348.42	3116.14	612.05	0.000
Interaction	3	1449.50	1449.54	483.18	94.90	0.000
Residual Error	35	178.20	178.20	5.09		
Lack-of-Fit	3	27.40	27.42	9.14	1.94	0.143
Pure Error	32	150.80	150.78	4.71		
Total	44	11210.60				
$R^2 = 98.40\%$ $R^2_{(adj)} = 98.00\%$						

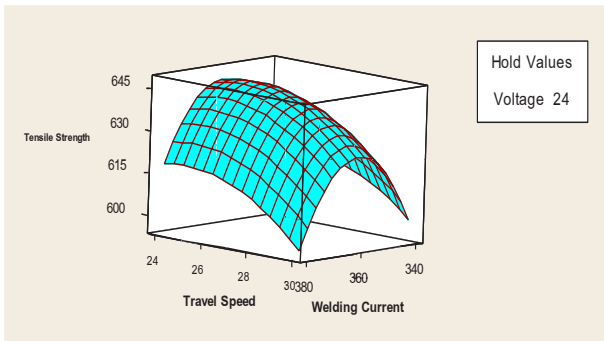
จากตารางที่ 4 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการแบบเต็มรูปแบบยกกำลังสอง พบว่าค่าความน่าจะเป็นของการถดถอย (P-Value of Regression) เท่ากับ 0.000 ซึ่งน้อยกว่าระดับความเชื่อมั่นที่ได้ตั้งสมมติฐานไว้ (P-Value <0.05) ดังนั้นสรุปว่าฟังก์ชันการถดถอยในแบบจำลองเต็มรูปแบบยกกำลังสองมีลักษณะเป็นเชิงเส้น และปัจจัยหลักมีอิทธิพลต่อปัจจัยตอบสนอง (กระแสไฟฟ้า ( $X_1$ ) แรงดันไฟฟ้า ( $X_2$ ) และความเร็วในการเชื่อม ( $X_3$ )) อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ต่อแบบจำลอง การพิจารณาความเหมาะสมของแบบจำลองจะพิจารณาจากค่าความน่าจะเป็นของความเหมาะสมในสมการ (P-Value of Lack of Fit) พบว่าค่า P-Value ของ Lack of Fit เท่ากับ 0.143 ซึ่งมากกว่า 0.05 (P-Value 0.05) สรุปว่าแบบจำลองเต็มรูปแบบยกกำลังสองมีความพอเพียง แบบจำลองเต็มรูปแบบยกกำลังสองมีค่า  $R^2$  เท่ากับ 98.40 เปอร์เซ็นต์ และค่า  $R^2_{adj}$  เท่ากับ 98.00 เปอร์เซ็นต์ เป็นสัมประสิทธิ์การตัดสินใจที่น่าพอใจ



รูปที่ 8 การตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบการทดลอง

การดำเนินการทดลองจะต้องมีการตรวจสอบความถูกต้องและเหมาะสมของข้อมูลที่ได้จากการทดลอง โดยพิจารณาจากการแจกแจงข้อมูลแบบปกติของค่าความเค้นแรงดึง (Probability Plot of Tensile Strength) ที่มีค่า P-Value 0.063 ดังนั้นแล้วค่า P-Value ของการทดสอบมีค่ามากกว่าระดับนัยสำคัญ ( $\alpha = 0.05$ ) ข้อมูลจึงมีความแจกแจงแบบปกติ และพิจารณารูปที่ 8 พบว่าข้อมูลมีการกระจายตัวแบบปกติ (Normal Probability Plot of the Residuals) จากฮิสโตแกรมของค่าความคลาดเคลื่อน (Histogram of the Residuals) มีการกระจายตัวเป็นรูปทรงแบบปกติ ทำให้ประมาณได้ว่าค่าความคลาดเคลื่อนมีการแจกแจงแบบปกติ แผนภูมิการกระจาย

เทียบกับค่าประมาณ (Residuals Versus the Fitted Values) พบว่ารูปแบบการกระจายตัวของค่าความผิดพลาดไม่ได้มีลักษณะแบบกรวยปลายเปิด หรือรูปแบบลำโพง การตรวจสอบความเป็นอิสระ (Independent) ของค่าความคลาดเคลื่อนพิจารณาจากแผนภูมิการกระจาย (Residuals Versus the Order of the Data) พบว่าการกระจายตัวของค่าความคลาดเคลื่อนมีรูปแบบที่เป็นอิสระ ไม่มีรูปแบบที่แน่นอนแสดงให้เห็นว่าค่าความคลาดเคลื่อนมีความเป็นอิสระต่อกัน (Independent) [23] ดังนั้นจึงสรุปได้ว่ารูปแบบการทดลองของแบบจำลองสมการเต็มรูปแบบยกกำลังสองมีความถูกต้องและน่าเชื่อถือได้



รูปที่ 9 แสดงพื้นผิวตอบสนองของอิทธิพลร่วมระหว่าง 3 ปัจจัยที่ใช้ในการวิจัย

จากรูปที่ 9 พบว่าพื้นผิวตอบสนองของการทำนายค่าความเค้นแรงดึงมีสถานะที่เหมาะสม ซึ่งปัจจัยของการเชื่อมมีอิทธิพลมากต่อค่าความเค้นแรงดึง โดยปัจจัยที่แสดงให้เห็นพื้นผิวตอบสนองที่ดีที่สุด สำหรับ ค่าความเค้นแรงดึงสูงสุด คือ กระแสไฟฟ้าในการเชื่อมที่ 340 แอมแปร์ แรงดันไฟฟ้า 26 โวลต์ และความเร็วในการเชื่อม 24 เซนติเมตรต่อนาที

แบบจำลองของสมการเต็มรูปแบบยกกำลังสอง สำหรับค่าความเค้นแรงดึง แสดงดังสมการที่ (8)

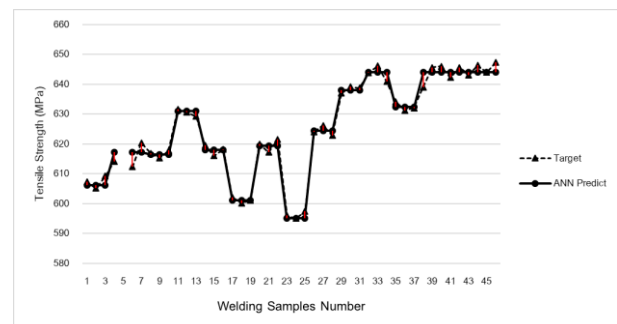
$$Y_{ts} = -1103.23 + 53.919(X_1) + 29.043(X_2) + 118.053(X_3) - 0.069(X_1)^2 + 2.104(X_2)^2 - 0.874(X_3)^2 - 0.143(X_1)(X_2) - 0.027(X_1)(X_3) - 2.669(X_2)(X_3) \quad (8)$$

แบบจำลองสมการเต็มรูปแบบยกกำลังสองของค่าความเค้นแรงดึงมีข้อจำกัดการใช้สมการดังนี้ กระแสไฟฟ้า( $X_1$ ) ที่ 340 ถึง 380 แอมแปร์, แรงดันไฟฟ้า( $X_2$ ) ที่ 22 ถึง 26 โวลต์ และความเร็วในการเชื่อม( $X_3$ ) ที่ 24 ถึง 30 เซนติเมตรต่อนาที เมื่อ

$Y_{TS}$  = ค่าความเค้นแรงดึง (เมกะปาสคาล, MPa)  $X_1$  = กระแสไฟฟ้า (แอมแปร์, Ampere)  $X_2$  = แรงดันไฟฟ้า (โวลต์, Voltage) และ  $X_3$  = ความเร็วในการเชื่อม (เซนติเมตรต่อนาที, cm/min)

#### 4.2) ผลการวิจัยแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม

แบบจำลองในการทำนายค่าความเค้นแรงดึงสำหรับการเชื่อมเหล็กกล้าแรงดันสูง เกรด ASTM A537 Class1 ซึ่งเป็นวัสดุที่ใช้ในการทำภาชนะแรงดันสูง จำเป็นต้องมีความแข็งแรงที่เพียงพอในการรับความเค้นในลักษณะต่างๆ เพื่อไม่ให้เกิดความเสียหายเกิดขึ้นขณะทำการใช้งาน แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมที่เหมาะสมสำหรับการทำนายค่าความเค้นแรงดึง คือ นิวรอนในชั้นอินพุต 3 นิวรอน จำนวนนิวรอนในชั้นซ่อนที่ 14 นิวรอน และจำนวนนิวรอนในชั้นแสดงผล 1 นิวรอน (3-14-1) การเรียนรู้แบบเลเวนเบิร์ก-มาร์ควูด รูปแบบฟังก์ชันการกระตุ้น คือ ลอก-ซิกมอยด์ สำหรับชั้นนำเข้า ฟังก์ชันแทน-ซิกมอยด์ สำหรับชั้นซ่อน และฟังก์ชันเพียวรินสำหรับชั้นผลลัพธ์



รูปที่ 10 แสดงการเปรียบเทียบค่าความเค้นแรงดึงเป้าหมายกับค่าที่ได้จากแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม

จากรูปที่ 10 การเปรียบเทียบค่าผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมกับค่าเป้าหมายจำนวน 45 ค่า พบว่าค่าที่ได้จากแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมมีค่าที่ใกล้เคียงกับค่าผลลัพธ์มาก เมื่อทำการทดสอบประสิทธิภาพของแบบจำลองระหว่างแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม และแบบจำลองเต็มรูปแบบยกกำลังสอง จำนวนข้อมูลที่ใช้ในการทดสอบประสิทธิภาพของแบบจำลองมีทั้งหมด 13 ค่า โดยเป็นข้อมูลที่ยังไม่ได้มีการใช้ในการทดสอบ พบว่าค่าความเฉลี่ยคลาดเคลื่อนของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม เท่ากับ 0.284 ซึ่งน้อยกว่าค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนจากแบบจำลองเต็มรูปแบบยกกำลังสองที่ 0.658 ดังแสดงในตารางที่ 5 ดังนั้นแสดงให้เห็นว่า

แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมที่สร้างขึ้น สามารถทำนายค่า  
ความเค้นแรงดึงที่ได้จากการเชื่อมใกล้เคียงข้อมูลจริงมาก

ตารางที่ 5 เปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมและแบบจำลองเต็มรูปแบบยกกำลังสอง

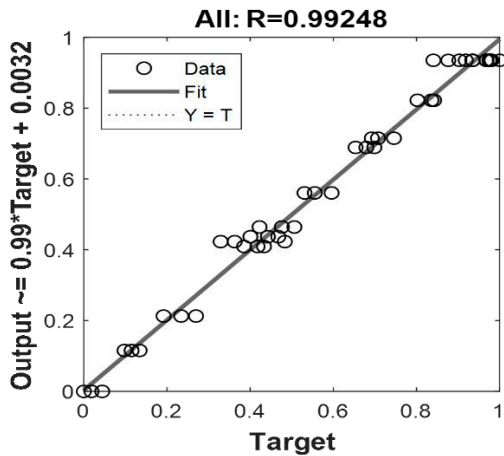
No.	Welding Parameters			Tensile Strength Target	Tensile Strength Predict			
	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>		FQM	SE	ANN	SE
1	340	22	27	607.227	606.799	0.428	606.935	0.292
2	340	24	27	615.573	616.984	1.411	615.210	0.363
3	380	22	27	616.640	616.750	0.110	616.490	0.150
4	380	26	27	630.480	631.050	0.570	631.100	0.620
5	340	24	24	617.933	616.810	1.123	617.933	0.000
6	340	24	30	601.157	601.422	0.265	601.157	0.000
7	380	24	24	619.573	618.600	0.973	619.365	0.208
8	380	24	30	596.210	596.625	0.415	595.121	1.089
9	360	22	24	624.393	624.883	0.490	624.393	0.000
10	360	22	30	638.290	638.241	0.049	638.055	0.235
11	360	24	24	643.630	645.361	1.731	643.943	0.313
12	360	26	30	632.463	631.956	0.508	632.463	0.000
13	360	24	27	644.370	643.888	0.482	643.952	0.418
MSE						0.658		0.284

FQM คือ แบบจำลองเต็มรูปแบบยกกำลังสอง (Full Quadratic Equation)

ANN คือ วิธีการโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network)

MSE คือ ค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนยกกำลังสอง (Mean Square Error)

SE คือ ค่าความคลาดเคลื่อนยกกำลังสอง (Square Error)



รูปที่ 11 แสดงความสัมพันธ์ของผลลัพธ์เป้าหมายและผลลัพธ์ที่ได้จาก  
โครงข่ายประสาทเทียม

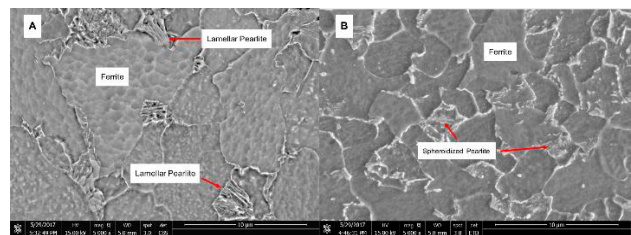
ประสิทธิภาพของแบบจำลองสามารถพิจารณาได้จากค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อน และค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ จากการวิเคราะห์ข้อมูลพบว่าแบบจำลองจากโครงข่ายประสาทเทียมมีค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนน้อยกว่าแบบจำลองเต็มรูปแบบยกกำลังสอง นอกจากนี้แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจที่ 0.992 มีความชันเท่ากับ 0.99 และตัดแกน y ที่ 0.0032 แสดงให้เห็นว่าความสัมพันธ์ระหว่างผลลัพธ์เป้าหมายกับผลลัพธ์ที่ได้จากโครงข่ายประสาทเทียมเป็นเชิงเส้นที่มีความแม่นยำ โดยแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมสามารถทำนายค่าความเค้นแรงดึงของชิ้นงานเชื่อมเหล็กกล้า ASTM A537 class 1 ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังแสดงในรูปที่ 11

ดังนั้นแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมเป็นเชิงเส้นแสดงถึงความแม่นยำของแบบจำลอง โดยโครงข่ายประสาทเทียมสามารถแก้ปัญหาการเกิดแบบจำลองที่ไม่จำรูปแบบของข้อมูลฝึกสอน (Over Fitting) ได้ ถึงแม้จะมีการแบ่งข้อมูลในการฝึกสอน (Training) แต่ข้อมูลทุกค่าสามารถได้รับการฝึกสอนทั้งหมด ดังนั้นข้อมูลจากการทดลอง 45 ค่าจึงเพียงพอที่นำมาใช้กับโครงข่ายประสาทเทียมสำหรับการทำนายค่าความเค้นแรงดึงในการเชื่อมโลหะแรงดันสูงได้อย่างแม่นยำ

#### 4.3) การวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาค

การวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคงานวิจัยใช้การวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ภายหลังจากการได้แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมในการทำนายค่าความเค้น

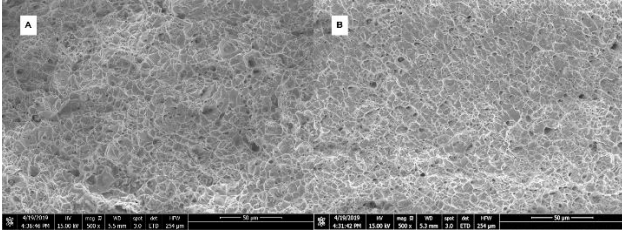
แรงดึงแล้ว ในงานวิจัยจะทำการเชื่อมในสภาวะที่ให้ค่าความเค้นแรงดึงสูงสุด คือ กระแสไฟฟ้าในการเชื่อมที่ 360 แอมแปร์ แรงดันไฟฟ้า 24 โวลต์ และความเร็วในการเชื่อม 27 เซนติเมตร ต่อนาที จะส่งผลให้มีค่าความเค้นแรงดึงที่ 643.59 เมกะปาสคาล งานวิจัยทำการเชื่อมชิ้นงานอีก 3 ชิ้นงานในสภาวะดังกล่าว เพื่อทำการเปรียบเทียบกับสภาวะการเชื่อมที่มีค่าความเค้นแรงดึงน้อยที่สุด เพื่อศึกษาถึงลักษณะของโครงสร้างจุลภาคที่มีอิทธิพลต่อค่าความเค้นแรงดึง ในการวิจัยทำการวิเคราะห์เฉพาะบริเวณเขตอิทธิพลความร้อน (Heat Affected Zone, HAZ) เนื่องจากบริเวณดังกล่าวชิ้นงานที่ผ่านการเชื่อมและทดสอบค่าความเค้นแรงดึงทุกชิ้นงานเชื่อม ทุกสภาวะการเชื่อมเกิดความเสียหายในบริเวณดังกล่าว



รูปที่ 12 โครงสร้างจุลภาคบริเวณเขตอิทธิพลความร้อนของ ASTM A537 class 1 (A) เชื่อมด้วยกระแสไฟฟ้า 340 แอมแปร์ แรงดันไฟฟ้า 22 โวลต์ และความเร็วในการเชื่อม 27 เซนติเมตรต่อนาที (B) เชื่อมด้วยกระแสไฟฟ้า 360 แอมแปร์ แรงดันไฟฟ้า 24 โวลต์ และความเร็วในการเชื่อม 27 เซนติเมตรต่อนาที

โครงสร้างจุลภาคของเหล็กกล้า ASTM A537 class 1 ประกอบไปด้วยโครงสร้างเฟอร์ไรท์ที่เป็นโครงสร้างพื้น และโครงสร้างเฟอร์ไรท์ จากรูปที่ 12 แสดงการเปรียบเทียบชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการเชื่อมในสภาวะที่แตกต่างกัน พบว่าวัสดุที่ทำการเชื่อมด้วยกระแสไฟ 340 แอมแปร์ แรงดันไฟฟ้า 22 โวลต์ และความเร็วในการเชื่อม 24 เซนติเมตรต่อนาที โครงสร้างจุลภาคมีขนาดเกรนที่ใหญ่ มีโครงสร้างลามีลาเพิร์ลไลต์ (Lamellar Pearlite) [24] ที่หยาบกระจายตัวบนโครงสร้างเฟอร์ไรท์ มีความหนาแน่นของเฟอร์ไรต์ 45.32 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากสภาวะการเชื่อมดังกล่าวปริมาณความร้อนที่เข้าไปในชิ้นงานน้อยทำให้อัตราการเย็นตัวต่ำส่งผลให้เกิดเฟอร์ไรต์ละเอียด และเกรนละเอียดเกิดได้น้อยจึงส่งผลให้มีสมบัติทางกลที่ต่ำ ดังแสดงในรูปที่ 12(A) สำหรับสภาวะการเชื่อมที่มีค่าความเค้นแรงดึงสูงสุด พบว่ามีโครงสร้างจุลภาคเฟอร์ไรต์ละเอียด มีการกระจายตัวกันอย่างหนาแน่น 68.42 เปอร์เซ็นต์ รวมถึงการ

เกิดเพิร์ลไลต์ในลักษณะกลม (Spheroidized Pearlite)[24] เนื่องจากสภาวะการเชื่อมที่เหมาะสมปริมาณความร้อนเข้าสู่ชิ้นงานที่เพียงพอทำให้อัตราการเย็นตัวสูงส่งผลให้เพิร์ลไลต์สามารถเกิดได้อย่างหนาแน่นละเอียด และเพิร์ลไลต์บางส่วนรวมตัวกันในลักษณะกลม ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Xue B. et al. [25] และ W. Hui et al. [26] ส่งผลทำให้วัสดุมีสมบัติทางกลที่ดีขึ้น



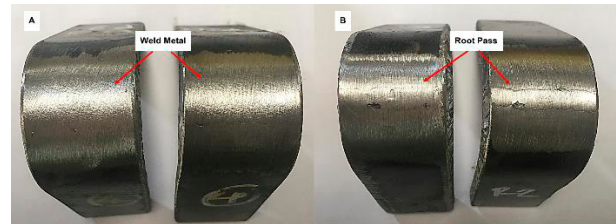
รูปที่ 13 แสดงลักษณะรอยแตกหักของ ASTM A537 class 1 (A) เชื่อมด้วยกระแสไฟฟ้า 340 แอมแปร์ แรงดันไฟฟ้า 22 โวลต์ และความเร็วในการเชื่อม 27 เซนติเมตรต่อนาที (B)เชื่อมด้วยกระแสไฟ 360 แอมแปร์ แรงดันไฟฟ้า 24 โวลต์ และความเร็วในการเชื่อม 27 เซนติเมตรต่อนาที

จากรูปที่ 13 แสดงบริเวณรอยแตกหักหลังจากการทดสอบแรงดึง พบว่าเป็นการแตกหักแบบเหนียว (Ductile Fracture) พบว่ามีช่องว่างขนาดเล็กที่เริ่มก่อตัวขึ้นบริเวณของรอยแตกมีลักษณะเป็นร่องหลุม (Dimple) [27] จากรูป 13(A) พบร่องหลุมขนาดใหญ่เนื่องจากลักษณะของเกรนในโครงสร้างจุลภาคที่มีขนาดใหญ่ รวมถึงโครงสร้างเพิร์ลไลต์ที่หยาบส่งผลให้ชิ้นงานมีค่าความเค้นแรงดึงที่ต่ำเมื่อทำการเปรียบเทียบกับสภาวะการเชื่อมดังรูปที่ 13(B) มีร่องหลุม (Dimple) ขนาดเล็กและปริมาณมาก เนื่องจากมีปริมาณเพิร์ลไลต์ที่มีความละเอียดหนาแน่นสูงสอดคล้องกับงานวิจัยของ Jesús Toribio et al. [28] และ M. Saadat et al. [29] ที่ได้ศึกษาถึงลักษณะของโครงสร้างจุลภาคที่มีผลกระทบต่อลักษณะการแตกของวัสดุในการเชื่อม ดังนั้นในสภาวะดังกล่าวจึงส่งผลให้ชิ้นงานเชื่อมมีค่าความเค้นแรงดึงสูงสุด

#### 4.4) ผลการทดสอบการดัดโค้ง

การพิจารณาสภาวะที่เหมาะสมในการเชื่อมเหล็กกล้า ASTM A537 class 1 สามารถทำนายได้จากแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม แต่ในการพิจารณาเลือกสภาวะที่เหมาะสมจะต้องพิจารณาจากองค์ประกอบต่างๆ เช่น การศึกษาลักษณะการเกิดโครงสร้างจุลภาคเปรียบเทียบสภาวะการเชื่อมต่าง ๆ การ

พิจารณาสมบัติทางกล การตรวจสอบแบบไม่ทำลาย เป็นต้น ตามข้อกำหนดในมาตรฐานสากล โดยเฉพาะอย่างยิ่งมาตรฐาน ASME BPVC Section IX - Welding, Brazing, and Fusing Qualifications ในการจัดทำผลการทดสอบกระบวนการเชื่อม (Procedure Qualification Record: PQR) ได้กำหนดการตรวจสอบแบบไม่ทำลายชนิดต่างๆ การทดสอบค่าความเค้นแรงดึง และการทดสอบการดัดโค้ง(Bend Test) สำหรับการทดสอบการดัดโค้งมีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจสอบความสมบูรณ์ของรอยเชื่อม เช่น รอยแตก รอยยุบ เป็นต้น ทำการตรวจสอบผิวหน้า รอยเชื่อม (Face Bend Test) และตรวจสอบรอยราก (Root Bend Test) ก่อนที่จะเลือกสภาวะที่เหมาะสมในการระบุ ในข้อกำหนดกระบวนการเชื่อม (Welding Procedure Specification: WPS) ต่อไปดังรูปที่ 14



รูปที่ 14 แสดงชิ้นงานทดสอบการดัดโค้ง A บริเวณผิวหน้ารอยเชื่อม B บริเวณรากของรอยเชื่อม

จากรูปที่ 14 ชิ้นงานเชื่อมด้วยกระแสไฟ 360 แอมแปร์ แรงดันไฟฟ้า 24 โวลต์ และความเร็วในการเชื่อม 27 เซนติเมตรต่อนาที เป็นสภาวะที่มีค่าความเค้นแรงดึงสูงสุด พบว่าการทดสอบดัดโค้งผิวหน้ารอยเชื่อม (Face Bend Test) ไม่พบรอยแตก หรือรอยยุบบริเวณที่ทำการทดสอบการดัดโค้ง ดังรูปที่ 14(A) การทดสอบดัดโค้งบริเวณรากรอยเชื่อม(Root Bend Test) จากการตรวจสอบรอยแตก รอยยุบ พบว่าไม่ปรากฏสิ่งดังกล่าว ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่าสภาวะการเชื่อมที่เหมาะสมที่ได้จากการทำนายจากแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม ที่สภาวะการเชื่อมด้วยกระแสไฟ 360 แอมแปร์ แรงดันไฟฟ้า 24 โวลต์ และความเร็วในการเชื่อม 27 เซนติเมตรต่อนาที เป็นสภาวะการเชื่อมที่เหมาะสมสามารถนำมาระบุข้อกำหนดกระบวนการเชื่อม (Welding Procedure Specification: WPS) สำหรับการเชื่อมภาชนะแรงดันสูงด้วยเหล็กกล้า ASTM A537 class 1 ต่อไป



## 5) สรุปผลการวิจัย

แบบจำลองที่มีความเหมาะสมสำหรับงานวิจัยได้ทำการเปรียบเทียบแบบจำลองเต็มรูปแบบยกกำลังสอง และแบบจำลองด้วยวิธีการโครงข่ายประสาทเทียม โดยพิจารณาจากค่าเฉลี่ยความผิดพลาดที่น้อยสุด พบว่าแบบจำลองที่เหมาะสมในการทำนายค่าความเค้นแรงดึง ได้แก่ แบบจำลองด้วยวิธีการโครงข่ายประสาทเทียม มีค่าเฉลี่ยความผิดพลาดน้อยสุดที่ 0.284 โครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมที่เหมาะสม คือ 3-นิวรอนในชั้นอินพุต 3 นิวรอน จำนวนนิวรอนในชั้นซ่อนที่ 14 นิวรอน และจำนวนนิวรอนในชั้นแอสตงผล 1 นิวรอน (3-14-1) การเรียนรู้แบบเลเวนเบิร์กมาร์ค รูปแบบฟังก์ชันการกระตุ้น คือ ลอจซิกมอยด์ สำหรับชั้นนำเข้า ฟังก์ชันแทนซิมมอยด์ สำหรับชั้นซ่อน และฟังก์ชันเพียวรินสำหรับชั้นผลลัพธ์

สภาวะการเชื่อมที่เหมาะสมที่ได้จากการทำนายจากแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม เชื่อมด้วยกระแสไฟ 360 แอมแปร์ แรงดันไฟฟ้า 24 โวลต์ และความเร็วในการเชื่อม 27 เซนติเมตรต่อนาที พบว่ามีโครงสร้างจุลภาคเพิร์ลไลต์ละเอียด มีการกระจายตัวกันอย่างหนาแน่น 68.42 เปอร์เซ็นต์ รวมถึงการเกิดเพิร์ลไลต์ในลักษณะกลม (Spheroidized Pearlite) เนื่องจากสภาวะการเชื่อมที่เหมาะสมปริมาณความร้อนเข้าสู่ชิ้นงานที่เพียงพอทำให้อัตราการเย็นตัวสูงส่งผลให้เพิร์ลไลต์สามารถเกิดได้อย่างหนาแน่นละเอียด และเพิร์ลไลต์บางส่วนรวมตัวกันในลักษณะกลม ส่งผลให้วัสดุมีลักษณะการแตกหักแบบเหนียว (Ductile Fracture) มีร่องหลุม (Dimple) ขนาดเล็กและปริมาณมาก การทดสอบดัดโค้งผิวหน้ารอยเชื่อม (Face Bend Test) และบริเวณรากรอยเชื่อม (Root Bend Test) ไม่พบรอยแตก หรือรอยยุบบริเวณที่ทำการทดสอบการดัดโค้ง โดยสภาวะการเชื่อมดังกล่าวชิ้นงานเชื่อมมีค่าความเค้นแรงดึงสูงสุด สามารถนำมาระบุข้อกำหนดกระบวนการเชื่อม (Welding Procedure Specification: WPS) สำหรับการเชื่อมภาชนะแรงดันสูงด้วยเหล็กกล้า ASTM A537 Class 1 และแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ได้จากงานวิจัยสามารถนำไปประยุกต์ใช้เพื่อพยากรณ์ ควบคุมคุณภาพของรอยเชื่อมให้ได้ค่าความเค้นแรงดึงตามข้อกำหนดในมาตรฐาน เพื่อลดต้นทุนในการผลิตและเพิ่มประสิทธิภาพในการเชื่อมต่อไป

## กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ที่ได้สนับสนุนทุนการทำวิจัย บุคลากรภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ประจำปีงบประมาณ 2562 รวมถึงอุปกรณ์ในการสนับสนุนในการทำวิจัย

## REFERENCES

- [1] W. H. Kearns, *Welding handbook metals and their weldability*, 7<sup>th</sup> ed. USA: American Welding Society, 1982.
- [2] R. L. O'Brien, *Welding handbook welding processes*, 8<sup>th</sup> ed. USA: American Welding Society, 1992.
- [3] The lincon electric company, *The Procedure Hand book of Arc Welding*, USA: The Lincoln Electric Company, 1995.
- [4] V. D. Kalyankar and G. Chudasama, "Effect of post weld heat treatment on mechanical properties of pressure vessel steels," *Materials Today: Proceedings*, Vol. 5, No. 11, Part 3, pp. 24675–24684, Jan. 2018.
- [5] B. Sadeghi, H. Sharifi, M. Rafiei, and M. Tayebi, "Effects of post weld heat treatment on residual stress and mechanical properties of GTAW: The case of joining A537CL1 pressure vessel steel and A321 austenitic stainless steel," *Engineering Failure Analysis*, Vol. 94, pp. 396–406, Dec. 2018.
- [6] T. Chinnadurai, S. Saravanan, N. Prabakaran, M. Karthigai Pandian, and S. Deebika, "Analyzing the weld strength of ultrasonic polymer welding using Artificial Neural Networks," *Materials Today: Proceedings*, Vol. 5, No. 14, Part 2, pp. 28320–28327, Jan. 2018.
- [7] R. Vaira Vignesh and R. Padmanaban, "Artificial neural network model for predicting the tensile strength of friction stir welded aluminium alloy AA1100," *Materials Today: Proceedings*, Vol. 5, No. 8, Part 3, pp. 16716–16723, Jan. 2018.
- [8] K. Kamal Babu et al., "Parameter optimization of friction stir welding of cryorolled AA2219 alloy using artificial neural network modeling with genetic algorithm," *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 94, No. 9, pp. 3117–3129, Feb. 2018.
- [9] A. Sarkar, P. Dey, R. N. Rai, and S. C. Saha, "A comparative study of multiple regression analysis and back propagation neural network approaches on plain carbon steel in submerged-arc welding," *Sādhanā*, Vol. 41, No. 5, pp. 549–559, May 2016.

- [10] L. Yu, K. Saida, S. Hirano, N. Chigusa, M. Mochizuki, and K. Nishimoto, "Application of neural network-based hardness prediction method to HAZ of A533B steel produced by laser temper bead welding," *Welding in the World*, Vol. 61, No. 3, pp. 483–498, May 2017.
- [11] L. Srinivasan, M. C. Khan, T. D. B. Kannan, P. Sathiyaa, and S. Biju, "Application of Genetic Algorithm Optimization Technique in TIG Welding of 15CDV6 Aerospace Steel," *Silicon*, Vol. 11, No. 1, pp. 459–469, Feb. 2019.
- [12] M. W. Dewan, D. J. Huggett, T. Warren Liao, M. A. Wahab, and A. M. Okeil, "Prediction of tensile strength of friction stir weld joints with adaptive neuro-fuzzy inference system (ANFIS) and neural network," *Materials & Design*, Vol. 92, pp. 288–299, Feb. 2016.
- [13] D. Zhao, D. Ren, K. Zhao, S. Pan, and X. Guo, "Effect of welding parameters on tensile strength of ultrasonic spot welded joints of aluminum to steel – By experimentation and artificial neural network," *Journal of Manufacturing Processes*, Vol. 30, pp. 63–74, Dec. 2017.
- [14] V. V. Narayanareddy, N. Chandrasekhar, M. Vasudevan, S. Muthukumaran, and P. Vasantharaja, "Numerical Simulation and Artificial Neural Network Modeling for Predicting Welding-Induced Distortion in Butt-Welded 304L Stainless Steel Plates," *Metallurgical and Materials Transactions B*, Vol. 47, No. 1, pp. 702–713, Feb. 2016.
- [15] N. Pavan Kumar, P. K. Devarajan, S. Arungalai Vendan, and N. Shanmugam, "Prediction of bead geometry in cold metal transfer welding using back propagation neural network," *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 93, No. 1, pp. 385–392, Oct. 2017.
- [16] The American Society of Mechanical Engineers, *Boiler and Pressure Vessel Section IX Welding, Brazing, and Fusing Qualifications*, USA: The American Society of Mechanical Engineers, 2015.
- [17] B. Venugopal Rao, N. Aravindan, and K. Saraswathamma, "Experimentation of effect of process parameters on mechanical properties in SAW Process," *Materials Today: Proceedings*, Vol. 5, No. 13, Part 3, pp. 26961–26967, Jan. 2018.
- [18] American Welding Society, *AWS A5.17 Specification for Carbon Steel Electrodes and Fluxes for Submerged Arc Welding*, USA: American Welding Society, 2019.
- [19] American Society for Metal, *ASM Handbook Metallography and Microstructures*, Vol. 9, American Society for Metal, USA, 1985.
- [20] O. I. Abiodun, A. Jantan, A. E. Omolara, K. V. Dada, N. A. Mohamed, and H. Arshad, "State-of-the-art in artificial neural network applications: A survey," *Heliyon*, Vol. 4, No. 11, p. e00938, Nov. 2018.
- [21] W.-B. Oh, T.-J. Yun, B.-R. Lee, C.-G. Kim, Z.-L. Liang, and I.-S. Kim, "A Study on Intelligent Algorithm to Control Welding Parameters for Lap-joint," *Procedia Manufacturing*, Vol. 30, pp. 48–55, Jan. 2019.
- [22] J.-Y. Shim, J.-W. Zhang, H.-Y. Yoon, B.-Y. Kang, and I.-S. Kim, "Prediction model for bead reinforcement area in automatic gas metal arc welding," *Advances in Mechanical Engineering*, Vol. 10, No. 8, pp. 1-9, Aug. 2018.
- [23] R.H. Myers, D.C. Montgomery, *Response Surface Methodology Process and Product Optimization using Designed Experiments*, 2<sup>nd</sup> ed., Hoboken, New Jersey: John Wiley and Sons, 2002.
- [24] D. Hauserova, J. Dlouh, and M. Kover "Pearlite Lamellae Spheroidisation During Austenitization and Subsequent Temperature Hold", *Archives of Metallurgy and Materials*, Vol. 62, No. 1, pp. 201-204, 2017.
- [25] X. Bai, S. Wu, and P. K. Liaw, "Influence of thermo-mechanical embrittlement processing on microstructure and mechanical behavior of a pressure vessel steel," *Materials & Design*, Vol. 89, pp. 759–769, Jan. 2016.
- [26] W. Hui, Y. Zhang, X. Zhao, N. Xiao, and F. Hu, "High cycle fatigue behavior of V-microalloyed medium carbon steels: A comparison between bainitic and ferritic-pearlitic microstructures," *International Journal of Fatigue*, Vol. 91, pp. 232–241, Oct. 2016.
- [27] W. Yun, B. Philip, X. Zhenying, and W. Junfeng, "Study on fatigue crack growth performance of EH36 weldments by laser shock processing," *Surfaces and Interfaces*, Vol. 15, pp. 199–204, Jun. 2019.
- [28] J. Toribio, B. González, J.-C. Matos, and F.-J. Ayaso, "Influence of Microstructure on Strength and Ductility in Fully Pearlitic Steels," *Metals*, Vol. 6, No. 12, p. 318, Dec. 2016.
- [29] M. Saadati, A. K. Edalat Nobarzad, and M. Jahazi, "On the hot cracking of HSLA steel welds: Role of epitaxial growth and HAZ grain size," *Journal of Manufacturing Processes*, Vol. 41, pp. 242–251, May 2019.





# Design and Implement of Two Axes Automatic Sun Tracking with Fuzzy Controller

Surachat Chantarachit

*Department of Mechatronics Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi  
Pathumthani, Thailand*

Corresponding Author. E-mail address: surachat\_c@rmutt.ac.th

Received: 1 September 2019; Revised: 30 September 2019; Accepted: 16 October 2019

Published online: 25 December 2019

## ***Abstract***

The solar energy is widely used in Thailand. Most of all are fixed on the roof or ground. To increase efficiency of harvesting energy, two axes solar tracking is designed and constructed. The position of the sun is detected by using four LDR sensor. Those sensors are divided by partition in order to know the light direction of the sun. Those data from the sensor are sent to micro-controller to determine the motion by fuzzy controller. The rule of controller is designed to be concerning of energy consumption. Two linear actuator is applied to rotate solar panel. Both of actuator is decoupled. Fifty watts of solar panel is applied to collect the energy. The solar tracking of this research can gain more energy than fixed panel 14 percent. The experimental results are presented and compared.

**Keywords:** two axes tracking, fuzzy controller, solar energy, LDR sensor

## I. INTRODUCTION

Nowadays, much renewable energy is wildly used such as solar, wind, geothermal, biomass and hydropower energy. In Thailand, about sixty percent of the energy source is from natural gas and only seven percent from renewable energy [1]. The solar energy is the third of the sources used after bio-mass.

The sun is the biggest sources and clean energy. The solar panel is used to harvest energy from the sun. The solar panel system can be divided into two types. The passive solar panel is fixed tilt (cannot move following the sun) another type is the active solar panel (the panel can track the sun). The harvesting light is dependent on the angle of incident on sun's light to the solar panel. To get high power from solar panel, the incident angle should be close to zero [2] (perpendicular to the solar panel's surface).

There are many researchers focus on sun tracking system. Soteris A. Kalogirou [3] is designed and build the one-axis sun tracking by using three lights-dependent resistor (LDR). Those of sensor separate works; the first is checked focus of the collector, the second is for detecting day or night and the last sensor is cloud cover. Two LDRs is implemented for solar tracking in one-axis [4]. By output voltage comparing between both LDRs. Both sensor are placed along east to west direction, the output voltage will be difference when the sun rotate all day. From many previous research, [2] presents the active solar panel (one-axis) can increase average 30 percent of fix panel. To increase high efficiency of solar panel, two axis tracking is implemented by [5-8]

Two axis solar tracking is controlled by PLC program [5]. The idle time of the system will be 15-35 min and work for few second. By this concept of idle time. The system can save working energy of the actuator. [6] is implement and controlled by micro-controller. By tracking sensor, four LDRs is fixed inside the hallow

cylinder tubes. One pair of LDR sensor detects movement in azimuth angle and another pair detects tilt angle. Both pairs of sensor are comparing the voltage value and try to balance it by moving solar panel. Chong, K [7] is applied mathematics to calculate the movement of actuator (open-loop control). And last previous work is P.R.Kaware [8] presents the closed-loop control with four LDR with a cylindrical shade. [9] applied only on-off control to track the sun.

In this paper, the active solar is designed and implement control algorithm. The solar panel is two-axis sun tracking in order to increase efficiency. To reduce the actuator power, Fuzzy algorithm is applied to control the system.

## II. HARDWARE DESIGN

### A. Structure Design

Due to movement of the sun are composed of azimuth angle ( $\psi$ ) and tilt angle ( $\alpha$ ), then every day the sun path is always changing. By this information, the designer of sun tracking have to two degrees of freedom in order to cover the movement.

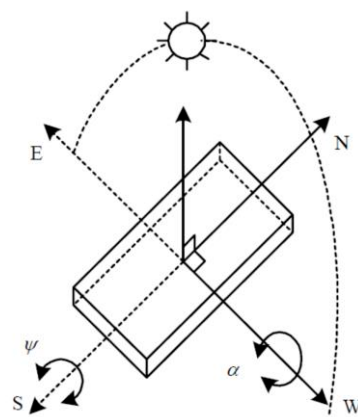


Fig. 1 two axis of sun tracking [6]

The system consist of hardware structure, solar panel, controller board and motor actuator. Those components of sun tracking system are present in Fig.2

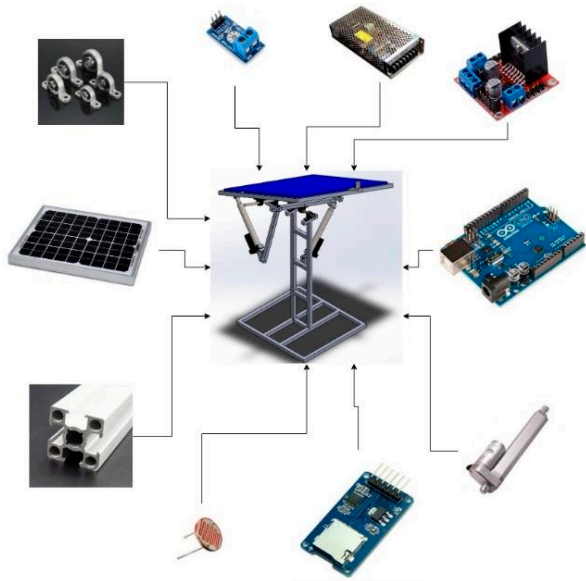


Fig. 2 The sun tracking component

To rotate the solar panel, the linear motor is applied and design to rotate the panel. The advantage of linear actuator is useful in designed structure. The first advantage is self-locking mechanism. The sun is moving slowly in each time period, so if the system is always working in those periods, it will consume more energy to keep track. By this effect of self-locking, the system cannot always tracking all time to maintain position. The second advantage is high power. Due to the weight of solar panel, the torque efficiency of linear motors is higher compared with sizing. The solar tracking mechanism is presented in Fig.3

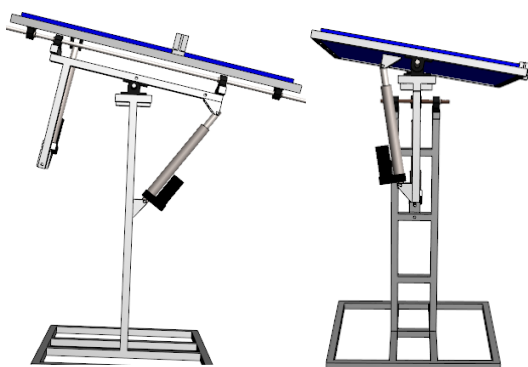


Fig. 3 The solar tracking mechanism

The disadvantage of linear motors is decreasing of working space. Then the panel cannot normal to sun in the morning period (sun rise).

The solar panel angle ( $\psi, \alpha$ ) can be controlled by the length of linear motor by following equation (1)

$$\psi, \alpha = \cos^{-1} \left( -\frac{L^2 - x^2 - y^2}{2xy} \right) \quad (1)$$

when

- $\psi$  is azimuth angle
- $\alpha$  is tilt angle
- $L$  is Length of linear motor
- $x$  is length from Pivot point to linear motor in  $x$  direction
- $y$  is length from Pivot point to linear motor in  $y$  direction

#### B. Sensor Design

The main sensor to design sun tracking is the light dependent resistor (LDR). [10] can divide the concept of LDR sensor designing into three types. The first type is placed on a flat surface with shading device. The second is added to tilt surface and the last is in collimating tube. Three concepts shown in Fig. 4.

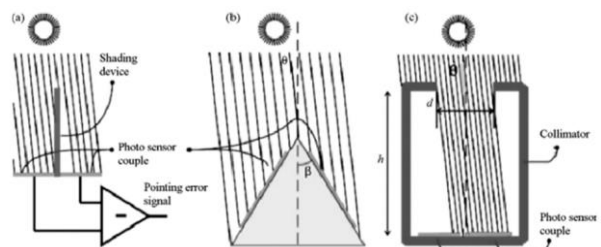


Fig. 4 Tracking concept with LDR sensor [10]

This research combines the first and the second concept of [10]. By combination of both concept, the sensor set can precisely separate direction of sunlight. Four LDR is placed in the corner of partition in this research. And the partition will divide each LDR to four zones, the LDRs sensor present in Fig.5. The working

concept of LDRs is balancing the voltage output of each LDR. By rotating the LDRs sensor normal to the light source, the voltage signal will be equalled.

When the sun rise, the LDRs is presented in block\_A as show in Fig.6. Only left side of the LDR can detect light, the actuator will be rotating the LDRs to block B position. This position both LDRs will get equal light value.

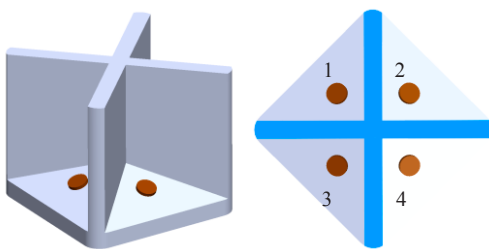


Fig. 5 the LDR assembly sensor

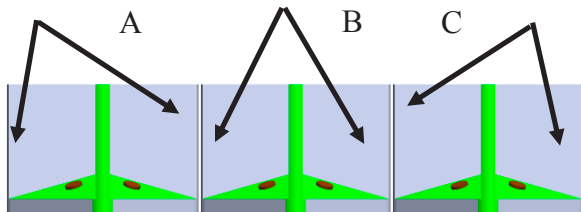


Fig. 6 the working concept of LDRs

### C. Implementation of sun tracking

The prototype of two axis sun tracking is implemented to test and control by LDRs sensing. The main structure is made of 20x20 aluminum profile. 100 mm. and 300 mm. of linear motor rotate the solar panel. The Arduino UNO R3 is the main controller to receive data from sensor, calculate control rule and drive command to linear motor. 50 Watts of solar panel is designed to collect power. The sun tracking hardware is presented in Fig.7

### III. FUZZY CONTROL OF SUN TRACKING

Two axis sun tracking is designed and built. Both of the axis are decoupling control. The data output of the

LDRs sensor (see Fig.4) no.1 and 2 are added together and compared with summing data from sensor 3 and 4 to detected sunlight in azimuth angle. And also no.1 and 3 compares with 2 and 4 to detect the tilt angle.



Fig. 7 sun tracking hardware

The Fig.8 shown the concept to control sun tracking by Fuzzy control. And to design and implement control algorithm, Fuzzy control block in Matlab program is applied to design the control rule. The mandani is fuzzification of this solar tracking. The Matlab block setting is presented in Fig.9

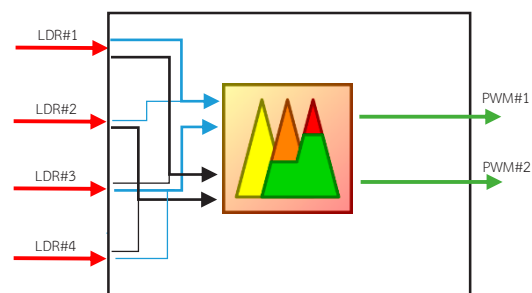


Fig. 8 Fuzzy control block diagrams

The Fuzzy control algorithm is designed to control the sun tracking. By applying fuzzy control, the system can manage tracking error with inaccurate data and working as human reasoning. Then the control rule can be designed by ourselves.

The LDRs sensor is the input of the solar tracking system. The triangular and trapezoidal is applied to the input and output of membership functions. The input and output can be divided to three membership function. Those of membership functions are present in Figs.10 and 11. And Mamdani is the Fuzzy inference between input and output.

There are three rules to manage sun tracking system:

1. If(sensor\_Error is Negative\_Error) then (%PWM is Shrink)
2. If(sensor\_Error is Neutral\_Error) then (%PWM is No Movement)
3. If(sensor\_Error is Positive\_Error) then (%PWM is Stretch)

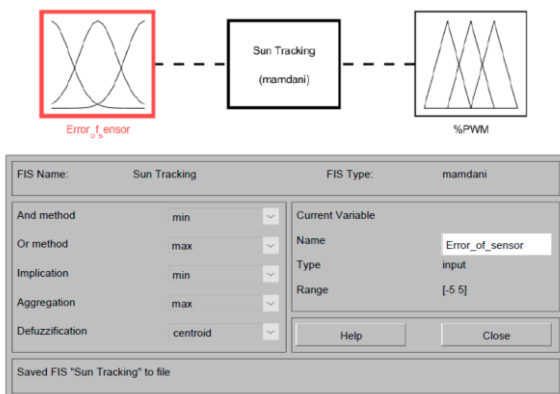


Fig. 9 Fuzzy control setting

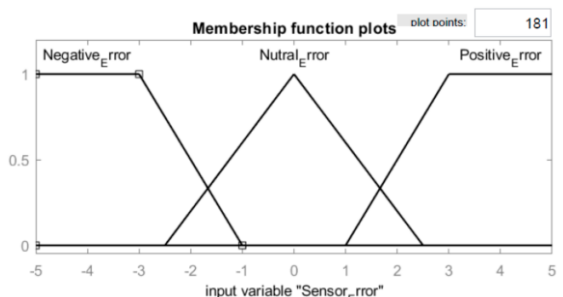


Fig. 10 input membership function

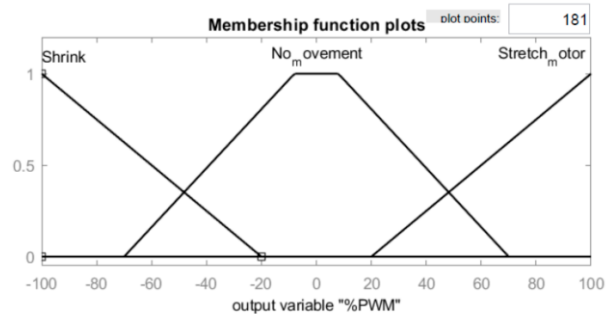


Fig. 11 output membership function

By adding a fuzzy rule to control algorithm, the solar panel can be tracked the sun. The design of the control rule of sun tracking is designed by a gap of both sensor error to activate actuator.

#### IV. EXPERIMENTAL RESULTS AND DISCUSSION

The last session of this research is an experiment. The voltage output from the solar panel from fixed and tracking are conducted and compared. And also present effect of Fuzzy control algorithm. By adding LDRs sensor tracking and Fuzzy algorithm, the solar panel can track the sun and harvest energy. The setting of fixed solar panel is 15 degree fixed and east direction. The data collected is starting in 9.00 to 17.00. The experimental results are presented in Fig.12.

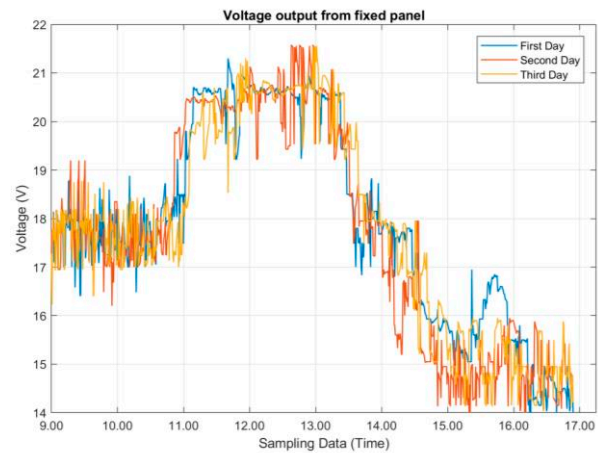


Fig. 12 voltage output from fixed panel

The voltage output from fixed panel can be divided to three zones. The first zone is 9.00 am to 11.00 am, the morning light can produce voltage about 17.5 V. Since the incident angle is not normal to solar panel,

then the voltage output is dropped. The noon light is start from 11.00 am to 13.00 pm. This period can produce highest output voltage about 21 V. And the last period is after noon, the output is lower than other period.

After applying fuzzy control algorithm to micro-controller in order to track the sun, the solar panel can move and track the sun by comparing LDRs sensor. The data collected is starting in 9.00 to 17.00. The experimental results are presented in Fig.13.

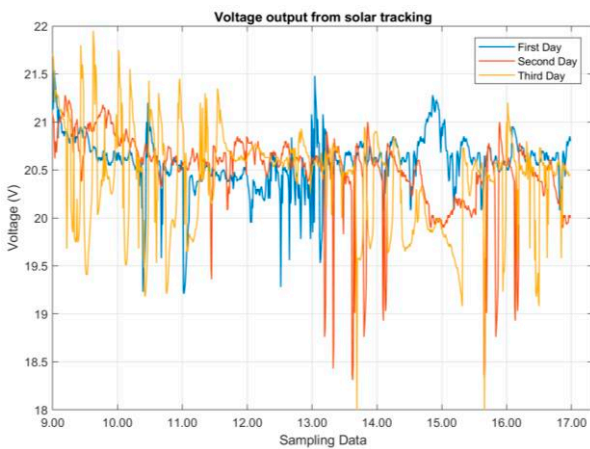


Fig. 13 voltage output from tracking panel

From the experimental result, the output voltage from the solar panel quite stable in each period about 19-21 V. because of the incident angle of the sun is always perpendicular to the solar panel. By tracking the sun, the output voltage is obtained higher than the fixed panel. The results are compared in table1.

Table 1 Output Voltage comparison

Period Time	Average Output Voltage		Voltage compared (V)
	Fixed (V)	Tracked (V)	
09.00-10.00	17.613	20.475	2.862
10.00-11.00	18.914	20.422	1.508
11.00-12.00	19.724	20.289	0.565
12.00-13.00	20.324	20.689	0.365
13.00-14.00	18.952	20.820	1.868
14.00-15.00	17.203	20.301	3.098
15.00-16.00	16.945	20.270	3.325
16.00-17.00	14.745	20.428	5.683

The solar tracking by fuzzy controller can track and harvest energy from the sun with 14% higher than fixed panel and voltage output quite stable.

The output voltage from tracking solar panel by Fuzzy control algorithm and linear controller (PID) is quite similar because the sun rotates from east to west very slow and the sun radiation is very large. Then the benefit of the fuzzy control algorithm is decreasing consumption of tracking power. The power consumption input of two actuators result shown in Figs.14 and 15.

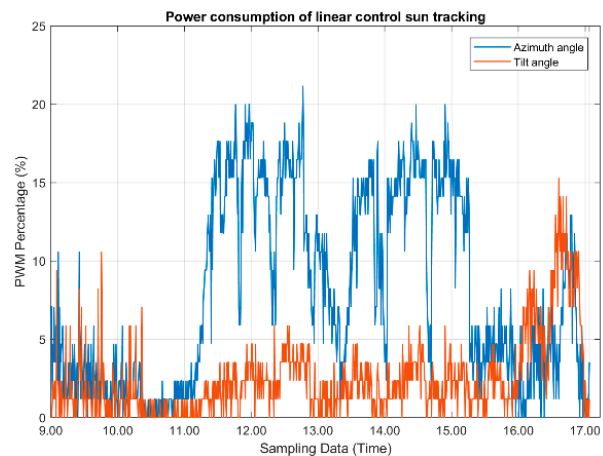


Fig. 14 the power consumption of linear control sun tracking

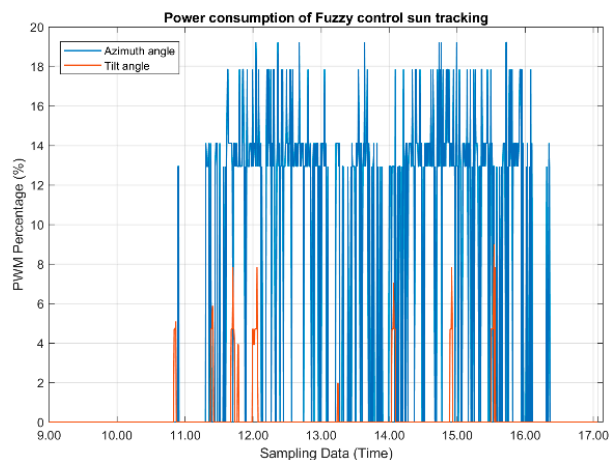


Fig. 15 the power consumption of Fuzzy control sun tracking

From the results of power consumption, the Fuzzy control can track the sun and also lower consume energy than linear controller. Because we can design



the control rule, design the non-active zone of actuator.

The problem of the solar tracking is the cloudy condition. The LDRs sensor cannot get the direction of light when cloudy condition. To solve this condition, the equation of motion of the sun can handle.

#### V. CONCLUSION

To harvest greatest energy from the sun, the incident angle of the sun has to perpendicular to the solar panel. The two axis solar tracking is designed and implement fuzzy control to track the sun. The fuzzy controller can control two linear motors. Four LDR sensor can detect the position of the sun by comparing detecting voltage. The output voltage from solar tracking is stable and higher performance than fixed panel 14 percent.

#### REFERENCES

- [1] Energy Policy and Planning Office, (2018). *Thailand Power Development Plan: PDP*, [Online]. Available : <http://www.eppo.go.th/index.php/en/policy-and-plan/en-tieb/tieb-pdp>
- [2] Rizk, J. C. A. Y., and Y. Chaiko., "Solar tracking system: more efficient use of solar panels", *World Academy of Science, Engineering and Technology Journal*, Vol. 41, pp.313-315., 2008.
- [3] Kalogirou, S. A., "Design and construction of a one-axis sun-tracking system". *Solar Energy Journal*, Vol. 57, No. 6, pp.465-469, 1996, doi: 10.1016/S0038-092X(96)00135-1.
- [4] Khan, M.T.A. et al., "Design and construction of an automatic solar tracking system". in *Proc. ICECE 2010 Int. Conf. on Electrical & Computer Engineering*, 2010, pp. 326-329, doi: 10.1109/ICELCE.2010.5700694.
- [5] S. Abdallah and S. Nijmeh, "Two axes sun tracking system with PLC control," *Energy Conversion and Management*, Vol. 45, No. 11–12, pp. 1931–1939, 2004.
- [6] Bingol, O., Altintas, A. and Oner, Y., "Microcontroller based solar-tracking system and its implementation". *Journal of Engineering Sciences*, Vol. 12, No. 2, pp.243-248, 2006.
- [7] K. K. Chong and C. W. Wong, "General formula for on-axis sun-tracking system and its application in improving tracking accuracy of solar collector," *Solar Energy*, Vol. 83, No. 3, pp. 298–305, Mar. 2009.
- [8] Oo, L.L. and Hlaing, N.K., "Microcontroller-Based Two-Axis Solar Tracking System". in *Proc. 2nd IEEE-ICCRD Int. Conf. on Computer Research and Development (ICCRD)*, May. 2010, pp. 436-440, doi: 10.1109/ICCRD.2010.59.
- [9] Akbar, H.S., et al, "Microcontroller based dual axis sun tracking system for maximum solar energy generation", *American Journal of Energy Research*, Vol.5, No.1, pp.23-27, 2017, doi:10.12691/ajer-5-1-3.
- [10] Hafez, A.Z., Yousef, A.M. and Harag, N.M., "Solar tracking systems: Technologies and trackers drive types–A review", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 91, pp.754-782, 2018, doi: 10.1016/j.rser.2018.03.



# Determination of Inventory Replenishment Factors with Lateral Transshipment in a Multiple Warehouses and Multiple Retailers Distribution System

Anchalee Supithak

*Industrial Engineering Department, Thai-Nichi Institute of Technology, Bangkok, Thailand*

Corresponding Author. E-mail address: anchalee\_s@tni.ac.th

Received: 28 October 2019; Revised: 27 November 2019; Accepted: 2 December 2019

Published online: 25 December 2019

## ***Abstract***

The objectives of this research are to study the reactive lateral transshipment of multiple warehouses and multiple retailers distribution system and to analyze the effects of related factors composing of demand dispersion and filling rate. The developed model is simulated by varying the demands at each location and the filling rate of demands at each location to observe the expected number of stockout in the system. The ten replications of each scenario of different demand distribution are simulated and the results show that the total number of item's stockout increases when demand dispersion is high. Retailer with the lowest demand in a distribution results in the highest number of units' stockout. By varying the filling rate, the distribution with low dispersion demand among retailers trends to has lowest number of units stockout resulting in decreasing total system cost.

**Keywords:** Lateral Transshipment, Filling Rate, Inventory, Multiple Warehouses and Multiple Retailers, Simulation

## I. INTRODUCTION

The lateral transshipment policy is a virtual distribution system of products in logistic network. The local warehouses share their' inventory in order to achieve customer service level at retailers when products are not available at the primary warehouse. The lateral transshipment considered in this research is reactive lateral transshipments responded to situations where one of the stocking points faces a stock out. When a primary warehouse is out of stock, demand is satisfied by the nearby warehouses using rush shipping. Therefore, the inventory costs of holding item and backordering item are compensated by rush transportation from any nearby warehouses.

The inventory management is significant activity of logistics system since inventory cost account for half of logistics cost. [1] has reviewed researches about inventory management published in major logistics journals. They conclude that there are two major themes from logistics researches focused on inventory management. The first one is integrating logistics decisions between inventory decision and transportation decision or warehousing decision and the second one is inventory management through collaborative model which is more recently focused. The virtual inventory management is a collaborative model which has been studied extensively such as the cross filling policy as presented by reference [2]-[7]. [2] studied the consolidate effect on safety stock and regular stock under cross filling allocation rule.

This research presents the effect of filling demand from more than one primary stock to the overall inventory level which seem to be reduced. In addition, cross filling does not favor regular stock but do favor in reducing safety stock. [3] focuses on the significance of available information in the typical supply chain distribution. The inventory control through supply network depend on the variability management and

present the cooperated joint venture model as virtual distribution. Demand distribution is a significant factor effecting inventory level [2]. For cross filling policy, when demands at each location are different, the total safety stock trends to decrease [2]. Since aggregate inventory of consolidation results in safety stock decreasing, [4] study the interaction between the coefficient of variation of demand and the ratio between inventory ordering and holding costs and indicates that the key variable for consolidation is the ratio between the standard deviations of lead time.

Inventory management is significant to retail management as study by [5], [10] and [11]. [5] study the limitation of shelf stocking for multiple item and developed inventory replenishment model to minimize the retail space with the situation that there is no stocking out possibility since this case is 100% of substitutable products. For multiechelon inventory system, [6] present the virtual allocation rule to study the dense and small retailers while [11] study the effect of adopting lateral transshipment between retailers in decreasing the amount of stockout. [7] presents a model of decentralized inventory sharing among suppliers in distribution network when product is expensive and has low demand. Reference [7] considers the independent suppliers when demand is Poisson distribution and apply the queuing theory using dynamic programming to study the total cost of two suppliers as for study. [12] study the benefits of sharing and transshipment of expensive, low-demand items in the supply chain and conclude that sharing and transshipment of items does not always, reduces the overall costs of holding, shipping, and waiting for inventory while sharing of inventory typically benefits all the participants in decentralized supply chains.

Most recent researches focus on inventory management of distribution network and looking for virtual distribution system as presented by [14]. Lateral

transshipment policy is an interesting method extensively study [10-14]. Most researches consider the lateral transshipment in the same echelon, however, this research focuses on the emergency or reactive lateral transshipment which warehouse replenishes item directly to the lower echelon like retailers instead of replenishment in the same echelon since customer is willing to wait for items. In addition, factors involving inventory model of reactive lateral transshipment are rarely studied. The distribution networks normally contain multiple locations of plants, warehouses, and retailers. Inventory levels at these locations have been determined by the optimization of the cost related to inventory and transportation. The improvement of business logistics via information system support virtual inventories management which the shortage products of primary supply location are served by the other supply locations. The compensation of shortage cost with rush delivery by the secondary or tertiary warehouse must be considered in order to keep their customer service level representing product availability.

In the virtual inventory control of  $N$  stocking location, lateral transshipment becomes important, since the decentralized storage is widely adopted [2]. The logistics decisions of multiple stocking locations become complex. When the fill rate for the primary stocking location is less than 100%, the secondary or the tertiary stocking locations are considered. Orders filling from more than one stocking points result in the least risk of stocking out. This paper considers a priority rule of replenishment which are the available inventories from the secondary and tertiary stocking points. The warehouses are used as primary and secondary inventories of items for all demand zones. Customers are assigned to the nearest warehouse that defines their primary serving warehouse with the lowest transportation cost rate as shown in figure 1. Some

demands are satisfied by the secondary and tertiary warehouses when the items are unavailable at primary warehouse. The weekly demand forecast is random variable with demand mean and standard deviation. The three different demands' average and standard deviation are assigned to retailers. The transportation cost rate of secondary and tertiary warehouse is greater than the primary warehouse. Therefore, the stockout cost is compensated by the extra transportation cost. The more units of stockout, the more extra transportation cost in order to keep customer service level. However, safety stock is used to support demand variation and decrease the probability of stockout. The manager have to decide how much safety stock to be keep and how much stockout will be accepted. Thus, the best inventory decision depends on the demand variation, inventory holding cost of safety stock, stockout cost, order filling rate, and transportation cost.

This research aims to simulate the reactive lateral transshipment of three warehouses and three retailers distribution system and to study the effect of the demand, the dispersion of demand among these locations and the filling rate to the number of units' stockout at each demand's location.

The simulation of three demand points and three stocking points is performed by using Arena simulation program. The retailers of each zone, which are Retailer 1, 2 and 3, are supplied by the primary warehouse A, B, and C, respectively. However, some demands that may not be able to respond by the primary warehouse will be supplied by the secondary and the tertiary warehouse, respectively. For example, Retailer 1 is supplied by warehouse A with the filling rate of 95%, however, when the replenishment order from warehouse A have not arrived and more demand occurred during this period, the warehouse B will provide rush delivery instead in order to fulfill customer order. Thus, warehouse B is considered to be the

secondary supplier for retailer 1 and warehouse C is the tertiary supplier of retailer 1 when the first and second suppliers cannot supply the required items as illustrated in figure 1. In addition, the sensitivity analysis is performed to determine the effect of demands' variation and the different level of filling rate.

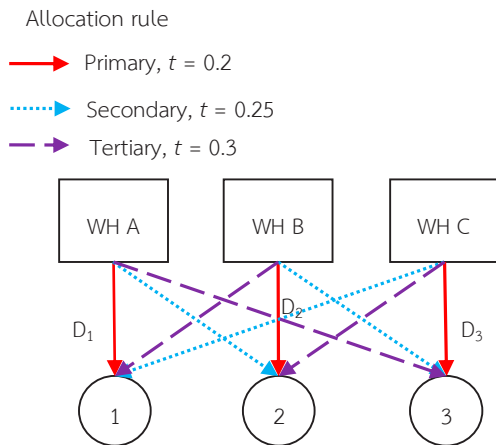


Fig. 1 Retailers are supplied by three warehouses [2]

## II. RESEARCH METHODOLOGY

To solve lateral transshipment problem of multiple warehouses when the required item is not available at primary warehouse, the secondary warehouse and the tertiary warehouse will make rush delivery of that item to customer instead. The objective function is formulated by considered related costs of the whole system.

### A. Problem Statement and Basic Assumptions

The distribution of three warehouses and three retailers is simulated by using Arena software. The first objective is to analyze the effect of filling rate and the demand dispersion to the safety stock level at each location. The second objective is to study the effect of demand dispersion and filling rate to the number of units' stockout. The inventory management method of the considered problem is the push system. When the inventory level reach the reorder point, the new order is placed and arrives according to its replenishment interval as shown in figure 2. However, this problem is

complicated when a warehouse have planned the safety stock for the responsible retailers' zone but other retailers outside the responsibility request rush delivery of available item. Therefore, the demand variation is important factor to the overall safety stock of logistics network.

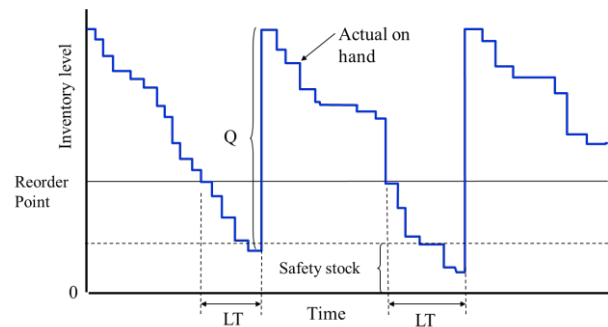


Fig. 2 Inventory Management [9]

The objective function of the problem is to minimize the total logistics cost related to ordering cost, carrying cost, stockout cost, and rapid transportation cost. We consider a demand  $i$  can be fulfilled by warehouse  $j$  as  $Q_{ij}$  with different filling rate from warehouse  $j$ . The mathematical model is constructed based on the following assumptions:

- 1) Customers' demands are random with normal distribution occurring at retailers.
- 2) Related costs are inventory holding cost of safety stock, stockout cost and transportation cost.
- 3) Warehouses adopt push inventory system with safety stock allowance.
- 4) Inventory cost and transportation cost occur at warehouses.
- 5) When products are shortage, the replenishment can be done by secondary or tertiary warehouse depend on the proportional of filling rate.
- 6) The probability of stockout at retailer is represented by the order filling rate.
- 7) When items need to be shipped from other warehouses, all quantity can be satisfied.

The related notations to mathematical model are as follow:

$Q_{ij}$  is replenishment quantity of customer  $i$  from warehouse  $j$ , when  $i = 1, 2, \dots, m$  and  $j = 1, 2, \dots, n$  (unit)

$q_j$  is the quantity shipped by lateral transshipment

$D_i$  is average demand of customer  $i$  (unit per week)

$S_{d_i}$  is demand standard deviation of customer  $i$  (unit per week)

$SS_i$  is the safety stock of customer  $i$  (unit)

$C$  is item price (dollars)

$S_i$  is inventory setup cost (dollars/order)

$I$  is percentage of inventory holding cost (percent per year)

$h_i$  is holding cost of item at warehouse  $i$

$k_i$  is stockout cost of item at warehouse  $i$

$FR_i$  is filling rate in percentage or service level of warehouse  $i$

$P_{Stockout}$  is probability of stockout with stockout cost of  $k_i$  and some of them will be replenished by lateral transshipment policy depend on the filling rate of  $FR_j$

$Z_i$  is standard deviation of normal distribution depend on the filling rate ( $FR$ )

$LT_{ij}$  is replenishment lead time from supplying by warehouse  $j$  to customer  $i$  (week)

$R_i$  is reorder point of customer  $i$  (unit)

$t_{ij}$  is transportation cost rate per unit distance from warehouse  $j$  to customer  $i$

$\alpha$  is the penalty cost from rush delivery per unit of product of

$dist_{ij}$  is the rush distance between customer  $i$  to warehouse  $j$

$S_{ij}(Q)$  is ordering cost from warehouse  $j$  to customer  $i$

$H_{ij}(Q)$  is holding cost from warehouse  $j$  to customer  $i$

$B_{ij}(Q)$  is backordering cost from warehouse  $j$  to customer  $i$

$T_{ij}(Q)$  is transportation cost from warehouse  $j$  to customer  $i$

$C_{ij}(Q)$  is total logistics cost from warehouse  $j$  to customer  $i$

The push inventory system with stochastic demands occurring at retailers is applied. The classical economic order quantity [8] is considered. Demand at each retailer is normal distribution with average demand per period and a standard deviation of demand. To determine the optimal quantity and timing of Lateral Transshipment, the four key cost components; ordering cost, carrying cost, holding cost and rush transportation cost of the total logistics cost should be minimized as equation (1).

$$C_{ij}(Q_{ij}, q_j) = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (S_{ij}(Q_{ij}) + H_{ij}(Q_{ij}, q_j) + B_{ij}(Q_{ij}, q_j) + T_{ij}(Q_{ij}, q_j)) \quad (1)$$

The inventory decisions for each retailers which are replenishment order quantity, safety stock, and reorder point are calculated as equation (2), (3), (4), and (4) respectively [8].

$$Q_{ij} = \sqrt{\frac{2SD_i \times 50}{h_j}} \quad (2)$$

$$P_{stockout} = \frac{ICQ_{ij}}{k_i D_i} \quad (3)$$

$$SS_i = S_{d_i} Z_i \sqrt{LT_{ij}} \quad (4)$$

$$R_i = D_i(LT) + SS_i \quad (5)$$

Thus, total holding cost is the cost of holding regular stock, safety stock and lateral transshipment quantity (q) as equation (6).

$$H_{ij}(Q_{ij}, q_j) = IC \left( \frac{\sum_{j=1}^n Q_{ij}}{2} + \sum_{i=1}^m S_{d_i} Z_i \sqrt{LT_{ij}} + \sum_{j=1}^n q_j \right) \quad (6)$$

For stockout cost, the number of product stockout is compensated by lateral transshipment quantity ( $Q_{ij}$ ) represented by equation (7)

$$B_{ij}(Q_{ij}, q_j) = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n [k_i (E_Z S_{d_i} - q_j) \frac{D_i}{Q_{ij}}] \quad (7)$$

The ordering cost or inventory setup cost is calculated as equation (8),

$$S_{ij}(Q_{ij}) = \sum_{j=1}^n S_i \frac{D_j}{Q_{ij}} \quad (8)$$

and the transportation cost is calculated as follow;

$$T_{ij}(Q_{ij}, q_j) = \left( \sum_{j=1}^n t_{ij} dist_{ij} \right) \frac{D_j}{Q_{ij}} + \alpha \sum_{j=1}^n q_j \quad (9)$$

Each customer  $i$  has different level of demand. Some customers have high demands whereas some have low demands.

### B. Optimization

When demands are considered to be random variable with the parameters of average demand and standard deviation, the optimal solution can be obtained by applying the derivative function to total cost equation. In case of lateral transshipment, the system is dynamic management and involving the estimation of safety stock quantity, thus simulation technique is more efficient. This section presents the equations related to optimal solution for multiple warehouses problem. The items holding cost of two warehouses compose of holding economic order quantity, safety stock, and lateral transshipment quantity as shown in equation (10). The shortage cost and inventory setup cost for multiple warehouses problem is represented as equation (11) and (12), respectively.

$$H_{ij}(Q_{ij}, q_j) = IC \left[ \frac{(Q_{11} + Q_{22})}{2} + (S_{d_1} Z_1 \sqrt{LT_1} + S_{d_2} Z_2 \sqrt{LT_2}) \right] + (q_{12} + q_{21}) \quad (10)$$

$$B_{ij}(Q_{ij}, q_j) = k_2 (E_{Z_2} S_{d_2} - q_{12}) \frac{D_1}{Q_{11}} + k_1 (E_{Z_1} S_{d_1} - q_{21}) \frac{D_2}{Q_{22}} \quad (11)$$

$$S_{ij}(Q_{ij}) = S_1 \frac{D_1}{Q_{11}} + S_2 \frac{D_2}{Q_{22}} \quad (12)$$

$$T_{ij}(Q_{ij}, q_j) = (t_{11} dist_{11} + \alpha q_{12}) \frac{D_1}{Q_{11}} + (t_{22} dist_{22} + \alpha q_{21}) \frac{D_2}{Q_{22}} \quad (13)$$

Since demands are random and uncertain, the optimal  $Q_{ij}$  from equation (2) is not accurately optimal

value. The economic order quantity from equation (2) does not include the number of item stockout ( $k_i E_Z S_{d_i}$ ), thus,  $Q_{ij}$  will vary and result in varying of  $P_{Stockout}$  and  $SS_i$ . Equation (14) and (15) are the solutions of replenishment quantity and probability of stockout without lateral transshipments.

$$Q = \sqrt{\frac{2D_i [S + k_i E_Z S_{d_i}]}{IC}} \quad (14)$$

$$P_{stockout} = 1 - \frac{QIC}{D_i k_i} \quad (15)$$

Consequently, the simulation is the research method considered to be more efficient with random events.

### C. Instance Problem

The instance problem is a distribution of three warehouses and three retailers with different demand levels. The demands are normal distribution with the average weekly demand and standard deviation of 77 and 25, 350 and 150, and 750 and 300 for retailer1, 2, and 3, respectively. The inventory parameters are 25% of holding cost, 10 dollars per order for setup cost and 2 dollars per unit for shortage cost. Suppose that the item has a value of 200 and the lead time for replenishment an item is 6 weeks. The simulation model is illustrated as shown in figure 3.



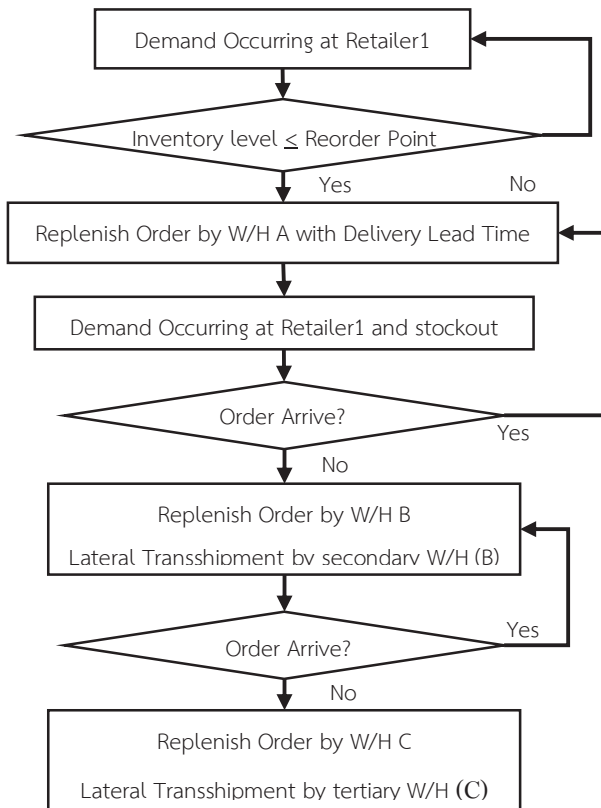


Fig. 3 Conceptual Model for Simulation

The primary warehouse has to replenish orders to retailers with order filled rate of 95% and the less demand is filled by the secondary and the tertiary warehouses.

The instance problem is a distribution of three warehouses with three retailers which has order filled rate of 95% by primary warehouse, 4% by secondary warehouse and 1% by tertiary warehouse. Transportation rate is lowest for the primary warehouse and increases for the secondary and tertiary warehouse. Suppose that, the rush distance for the secondary warehouse and the tertiary warehouse are more than the primary warehouse about 25% and 50%, respectively. Thus, the variable transportation cost per unit of travelling distance and per item of rush delivery for the instance problem is 0.2, 0.25, and 0.3.

### III. EXPERIMENTAL RESULTS

The research problem is developed as the three warehouses and three retailers' distribution system by using Arena simulation. Then, the simulation is performed in different scenarios to observe the effect of related factors which are demand and filling rate to the number of units' stockout.

#### A. Simulation Model

The problem was created on Arena simulation modelling program with 3 modules. The first module is supplying activity which will replenish item when the inventory level at a retailer reach its' reorder point as shown in figure 4. The second module, as shown in figure 5, is creating orders at each retailer according to its' uncertain demands varying between retailers. The third module is shown in figure 6 which simulate the replenishment activities of three warehouses. The 95% of orders are replenished by the primary warehouse of that retailer. The less orders of 4% are supported by the secondary warehouse and the left of 1% are replenished by the tertiary warehouse.

The developed model was simulated by varying demands and order filling rate with ten replications for each scenario. The considered demands are randomly normal distribution with three different levels assigned to retailers.

#### B. Experimental Results

The model was simulated in four scenarios to evaluate the effect of demand dispersion. The random demands of three retailers with low, middle and high values of demands is assigned as shown in table I to table IV. The order quantity, safety stock and reorder point are calculated as equation (1), (2), and (3), respectively. For each scenario, instead of calculating the total system cost, the maximum and the average number of stockout are recorded and reported as

shown in the following table because the research objective is to study the behaviour of stockout from varying the related factors.

TABLE I: The Simulation Results with Low Demands

Scenario I	Retailer1	Retailer2	Retailer3
Demands	10	350	900
Standard DEV	5	150	320
Order quantity	14.14	83.67	134.16
Safety stock	20.21	606.25	1293.33
Reorder Point	80.21	2,706.25	6,693.33
Max. No. Stockout	19,947.71	448.99	927.72
Avg. No. Stockout	14,929.12	334.54	709.43
Max. Stockout Cost	39,895.41	897.99	1,855.45

TABLE II: The Simulation Results with Medium Demands

Scenario II	Retailer1	Retailer2	Retailer3
Demands	77	350	750
Standard DEV.	25	150	300
Order Quantity	39.24	83.67	122.47
Safety stock	101.04	606.25	1,212.50
Reorder Point	563.04	2706.25	5712.50
Max. No. Stockout	13,525.59	532.77	1,020.24
Avg. No Stockout	9,987.35	396.97	774.63
Max Stockout Cost	27,051.18	1,065.55	2,040.48

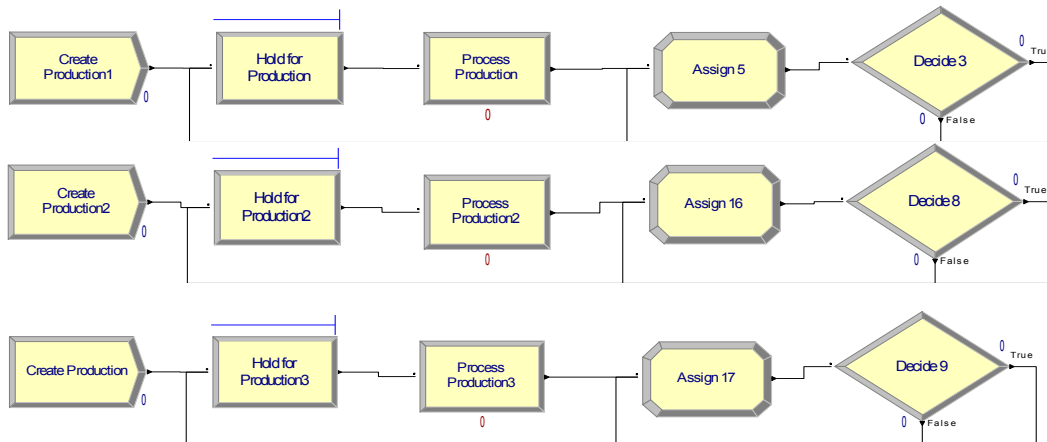


Fig. 4 Supplying Module

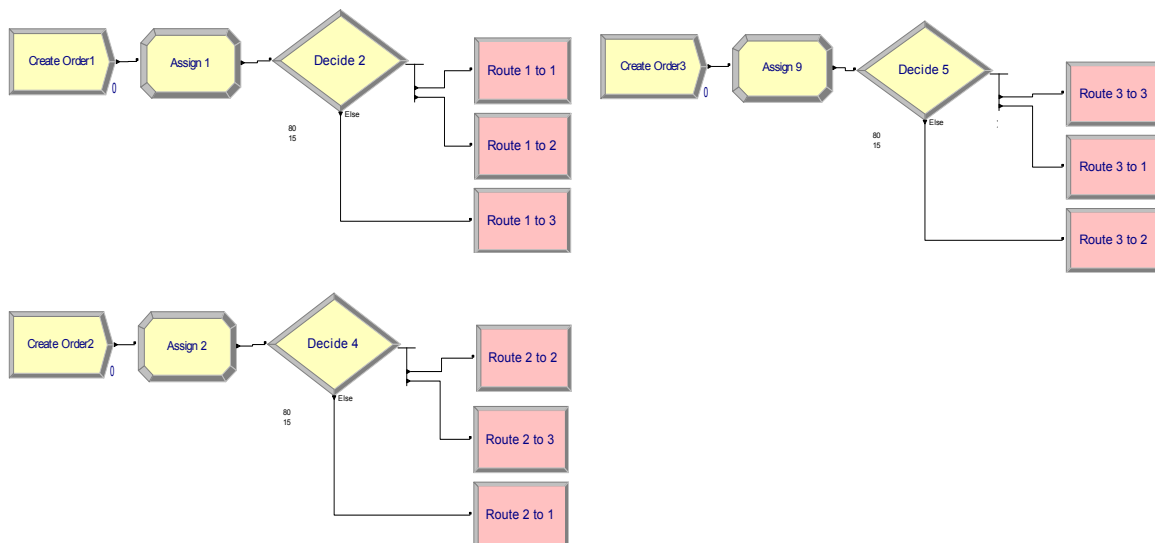


Fig. 5 Distribution Module

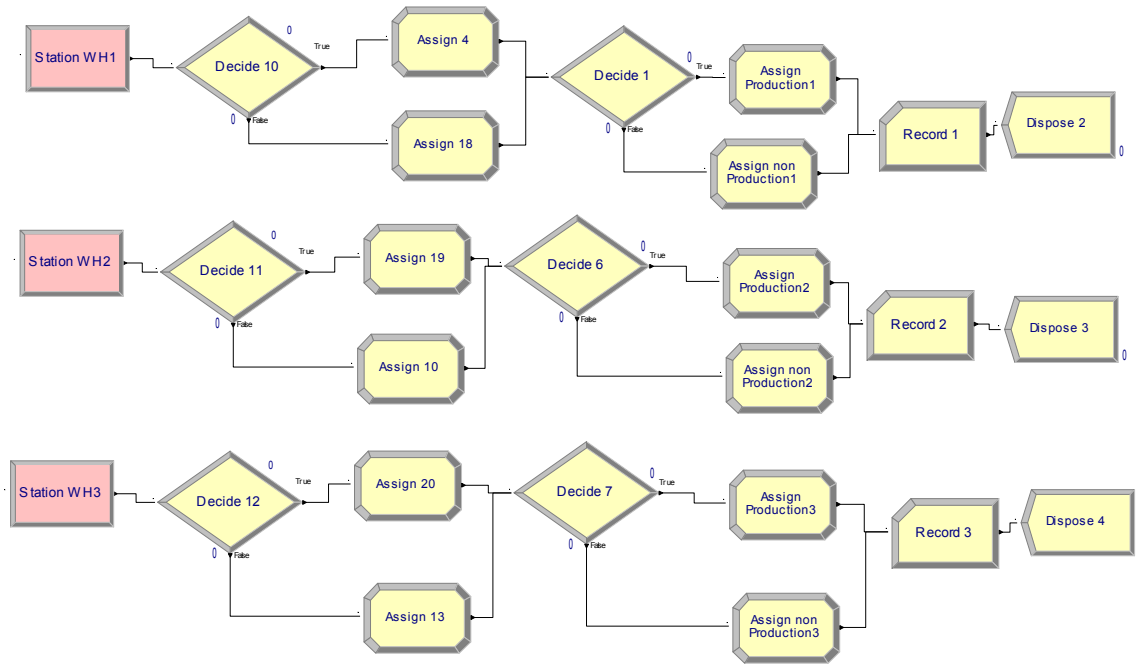


Fig. 6 Replenishment Module

According to table II, the three retailers' average demands are set nearby comparing to average demands in table I. After performing the simulation, the total average number of units' stockout decrease when the network has demands close by. For equally assigned demands as shown in table III, the simulation results show significantly decreasing in average number of units' stockout. For table IV, demand average and variation is increased about 4 times comparing to the second scenario. The average number of units' stockout increases about 5.5 times comparing to the results from the second scenario.

TABLE III: The Simulation Results with Equal Demands

Scenario III	Retailer1	Retailer2	Retailer3
Demand	400	400	400
Standard DEV	194	194	194
Order quantity	89.44	89.44	89.44
Safety stock	784.08	784.08	784.08
Reorder Point	3,184.08	3,184.08	3,184.08
Max.No.Stockout	3,184.08	3,184.08	3,184.08
Avg No Stockout	1,467.62	1,751.26	2,090.46
Max Stockout Cost	1,134.23	1,318.03	1,620.59

TABLE IV: The Simulation Results with High Demands

Scenario IV	Retailer1	Retailer2	Retailer3
Demand	385	1750	3750
Standard DEV	125	750	1500
Order quantity	87.75	187.08	273.86
Safety stock	505.21	3031.24	6062.49
Reorder Point	2,815.21	13,531.24	28,562.49
Max. No. Stockout	67,796.00	2,595.87	7,269.04
Avg No Stockout	49,990.00	1,934.18	5,015.13
Max Stockout Cost	13,5591.90	5,191.75	14,538.08

By varying the filling rate from 95% (FR = 0.95) to 80% (FR = 0.8), the average number of units' stockout increases as shown in table V. Thus, the deviation percentage of amounts of item stockout is calculated in order to evaluate the effect of filling rate varying from 95% to 80% as the following equation:

$$\%Deviation = \frac{NumberofStockout_{(FR=0.8)}}{NumberofStockout_{(FR=0.95)}} \times 100 \quad (14)$$

TABLE V: The Results Comparison between Filling Rate of 0.8 and 0.95

Cases Study	Location	Demand Distribution	Average Number of Stockout (Unit)	
			Filling Rate=0.8	Filling Rate=0.95
Scenario 1	Retailer1	N(10,5)	22,080.64	14,929.12
	Retailer2	N(350,150)	4,484.38	334.54
	Retailer3	N(900,320)	2,735.73	709.43
	Total		29,300.75	15,973.09
Scenario 2	Retailer1	N(77,25)	15,128.24	9,987.35
	Retailer2	N(350,150)	4,143.92	396.97
	Retailer3	N(750,300)	2,593.81	774.63
	Total		21,865.97	11,158.95
Scenario 3	Retailer1	N(385,125)	76,204.30	49,989.63
	Retailer2	N(1750,750)	20,833.69	1,934.18
	Retailer3	N(3750,1500)	13,699.80	5,015.13
	Total		110,737.79	56,938.94
Scenario 4	Retailer1	N(400,194)	2,787.53	1,134.23
	Retailer2	N(400,194)	3,598.94	1,318.03
	Retailer3	N(400,194)	3,716.95	1,620.59
	Total		10,103.42	4,072.85

By calculating %Deviation according to results in table V;

$$\%Deviation_{scenarioI} = \frac{29,300.75}{15,973.09} \times 100 = 183.44\%$$

$$\%Deviation_{scenarioII} = \frac{21,865.97}{11,158.95} \times 100 = 195.95\%$$

$$\%Deviation_{scenarioIII} = \frac{110,737.79}{56,938.94} \times 100 = 194.49\%$$

$$\%Deviation_{scenarioIV} = \frac{110,737.79}{56,938.94} \times 100 = 194.49\%$$

Consequently, the 15 percentage decreasing of filling rate (95% to 80%) results in the increasing of the average number of item's stockout of 192.1 percentage.

### C. Results Discussion

According to the simulation results from table I to table IV, the discussion is summarized into 3 issues.

Firstly, the distribution system has lower dispersion of demand as shown in table II comparing to table I, the maximum average value of total number of item's stockout is 9,987.35 units (table II), while the maximum average value of total number of item's stockout is 14,929.12 units (table I). As the result, when the demands among retailers are more difference, the distribution system trends to have higher total number of items' stockout. Secondly, the results for all scenarios (table I to table IV) show that the retailer with the lowest demand trends to have the significant high in number of units' stockout. Lastly, the system with the equal demand, the number of item's stockout trend to be low and equally.

### IV. CONCLUSION

The simulation of reactive lateral transshipment replenishment of multiple warehouses and multiple retailers' distribution system by varying the retailers' average demands shows consequence to the average number of item's stockout. When retailers in the network have equal average demands, the average number of item's stockout decreases significantly. The distribution system with equal average demands gives lowest number of item's stockout. By varying filling rate from 95% to 80%, the number of item's stockout dramatically increase about 192 percentage in average for every scenarios.

For future research, the sensitivity analysis of related factors such as inventory holding cost and setup cost could be performed.

### REFERENCES

- [1] B. D. Williams and T. Tokar, "A review of Inventory Management Research in Major Logistics Journals," *The International Journal of Logistics Management*, Vol. 19, No. 2, pp. 212-232, 2008.

- [2] R. H. Ballou and A. Burnetas, "Planning Multiple Location Inventories," *Journal of Business Logistic.*, Vol. 24, No. 2, pp. 65-89, 2003.
- [3] T. Davis, "Effective Supply Chain Management," *Sloan Management Review Summer*, 35-46, 1993.
- [4] P. F. Wanke, "Consolidation Effects and Inventory Portfolios," *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, Elsevier*, Vol. 45 No. 1, pp. 107-124, Jan. 2009.
- [5] M. Ketzenberg, R. Metters, and V. Vargas, "Inventory Policy for Dense Retail Outlets," *Journal of Operation Management*, Vol. 18, No. 3, pp. 303-316, 2000.
- [6] S. C. Graves, "A Multiechelon Inventory Model with Fixed Replenishment Intervals," *Management Science*, Vol. 42, No. 1, pp. 1-18, Jan. 1996.
- [7] H. Zhao, V. Deshpande, and J. K. Ryan, "Inventory Sharing and Rationing in Decentralized Dealer Networks," *Management Science*, Vol. 51, No. 4, pp. 531-547, Apr. 2005.
- [8] R. J. Tersine, *Principles of Inventory and Materials Management*, 4<sup>th</sup> ed. New York: North Holland, 1982.
- [9] R. H. Ballou, *Business Logistics Management*, 3<sup>rd</sup> ed. Englewood Cliffs: Prentice-Hall, 1992.
- [10] J. Chen and J. Lu, "Influence of Lateral Transshipment Policy on Supply Chain Performance: A Stochastic Demand Case," *iBusiness*, Vol. 2, pp. 77-86, Jan. 2010.
- [11] D. Mangal and P. Chandra, "Inventory Control in Supply Chain Through Lateral Transshipment-A case study in Indian Industry," *International Journal of Engineering (IJE)*, Vol. 3, No. 5, pp. 443-457, Nov 2009.
- [12] J. Grahovac and A. K. Chakravarty, "Sharing and Lateral Transshipment of Inventory in a Supply with Expensive Low-Demand Items," *Management Science*, Vol. 47, No. 4, pp. 579-594, April 2001.
- [13] C. Paterson, G. Kiesmullery, R. Teunterz, and K. Glazebrookx, "Inventory Models with Lateral Transshipments: A Review," *European Journal of Operational Research*, Vol. 210, No. 2, pp. 125-136, April, 2011.
- [14] R. Patriarca, F. Costantino, and G. D. Gravio, "Inventory model for a multi-echelon system with unidirectional lateral transshipment," *Expert Systems with Applications*, Vol. 65, pp. 372-382, Dec 2016.

# การปรับปรุงสมรรถนะตัวตรวจหา MIMO-SCMA ด้วยการเรียนรู้เชิงลึก

ตรีรัตน์ เมตต์การุณจิต

สาขาเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น กรุงเทพมหานคร ประเทศไทย

ผู้นิพนธ์ประสานงานอีเมล : triratana@tni.ac.th

รับต้นฉบับ: 9 สิงหาคม 2562; รับประทานฉบับแก้ไข: 20 ตุลาคม 2562; ตอรับบทความ: 12 ธันวาคม 2562

เผยแพร่ออนไลน์: 25 ธันวาคม 2562

## บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการการเรียนรู้เชิงลึกมาใช้เป็นตัวตรวจหาสัญญาณ สำหรับระบบหลายสัญญาณนำเข้านำออก - การเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งรหัสเบาบาง (multiple input multiple output - sparse code multiple access : MIMO-SCMA) โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมแบบลึกที่มีการแผ่ชั้นตอนวิธีการส่งผ่านข้อความ (message passing algorithm : MPA) โดย MPA สามารถแปลงกระบวนการทำงานให้กระจายเข้าไปในโครงข่ายประสาทเทียมได้ โครงข่ายประสาทเทียมนี้สามารถฝึกฝนแบบออฟไลน์ และนำไปใช้เป็นการตรวจหาแบบออนไลน์ได้ นอกจากนี้โครงข่ายประสาทเทียมที่ได้ผ่านการฝึกฝนสามารถปรับค่าถ่วงน้ำหนักให้สอดคล้องกับขอบของกราฟปัจจัย (factor graph) ได้ จากผลการจำลองระบบ MIMO-SCMA เนื้อช่องสัญญาณเฟดดิ้งแบบเรย์ลี กิ่ง-สถิติ พบว่าการตรวจหาโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมมีประสิทธิภาพเหนือกว่า MPA แบบดั้งเดิม

**คำสำคัญ:** การเรียนรู้เชิงลึก โครงข่ายประสาทเทียม การเข้าถึงหลายทางแบบเข้ารหัสเบาบาง ชั้นตอนวิธีการส่งผ่านข้อความ





# Enhanced MIMO-SCMA Detector by Deep Learning

Triratana Metkarunchit

*Faculty of Information Technology, Thai-Nichi Institute of Technology, Bangkok, Thailand*

Corresponding Author. E-mail address: triratana@tni.ac.th

Received: 9 August 2019; Revised: 20 October 2019; Accepted: 12 December 2019

Published online: 25 December 2019

## ***Abstract***

In this paper, we propose a deep learning approach for multiple input multiple output - sparse code multiple access (MIMO-SCMA) signal detection by using a deep neural network via spreading the procedure of the message passing algorithm (MPA). The MPA can be transformed into a sparsely connected neural network. The neural network can be trained off-line and then implemented for online detection. Besides when the neural network has been trained, the network weights corresponding to the edges of a factor graph. From the simulation result of the MIMO-SCMA system over the quasi-static Rayleigh fading channel, found that the neural network detection better performance than the traditional MPA.

**Keywords:** deep learning, neural network, SCMA, MPA

## 1) บทนำ

การใช้งานอุปกรณ์สื่อสารไร้สายที่เชื่อมต่อกันในอินเทอร์เน็ต กำลังส่งผลกระทบต่อวิถีชีวิตของคนเราในแง่มุมต่าง ๆ ทั้งในแง่การใช้ชีวิต การทำงานและความบันเทิง จำนวน สมาร์ทโฟนที่เพิ่มขึ้นอย่างมาก รวมถึงการเกิดขึ้นของแอปพลิเคชันต่าง ๆ อย่างต่อเนื่อง ทำให้ปริมาณข้อมูลของสมาร์ทโฟนพุ่งสูงขึ้น คาดการณ์ว่าจะมีปริมาณการใช้ทั่วโลกสูงถึง 3.3 เซตตะไบต์ (zettabyte) ภายในปี 2021 โดยปริมาณการใช้สมาร์ทโฟนจะพุ่งสูงกว่าปริมาณการใช้จากคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลภายในปีเดียวกัน [1] การปรับเปลี่ยนพฤติกรรมการใช้งานดังกล่าวนี้ จะนำไปสู่การเปลี่ยนแปลงโฉมหน้าการเชื่อมต่อแบบไร้สายเข้า สู่ยุคที่ 5 หรือ 5G ที่โครงสร้างพื้นฐานของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ต้องเผชิญกับความต้องการความจุ (capacity) ที่สูงขึ้นอย่างมาก

การเข้าถึงหลายทางแบบเข้ารหัสเบาบาง (sparse code multiple access : SCMA) เป็นเทคโนโลยีที่ใช้คู่มือรหัส (codebook) สำหรับการเข้าถึงแบบไม่ตั้งฉาก (non-orthogonal) ที่สามารถรับมือกับความต้องการของ 5G ที่ต้องการเชื่อมต่อในปริมาณมาก และเพิ่มความจุของระบบให้สูงขึ้น [2-3] เทคนิคอีกอย่างหนึ่งที่สำคัญคือ ระบบหลายสัญญาณนำเข้านำออก (multiple-input multiple-output : MIMO) ที่ได้รับการระบุว่าเป็นเทคโนโลยีที่สำคัญ เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพเชิงสเปกตรัม (spectral efficiency) โดยใช้วิธีการรวมส่งสัญญาณร่วมสี่เชิงพื้นที่ (spatial multiplexing) เทคนิค MIMO-SCMA ได้ถูกเลือกใช้ในโครงข่าย 5G อย่างไรก็ตาม ปัญหาสำคัญที่ทำนายสำหรับ SCMA คือการลดความซับซ้อนของการตรวจหา (detection) [4] และการออกแบบคู่มือรหัสให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น [5]

ขั้นตอนวิธีการส่งผ่านข้อความ (message passing algorithm : MPA) เป็นเทคนิคสำหรับการตรวจหาหลายผู้ใช้ที่ได้รับความนิยมเพราะช่วยลดความซับซ้อนได้ ในทางทฤษฎีได้รับการพิสูจน์แล้วว่าถ้าไม่มีวนรอบในกราฟปัจจัย (factor graph) เช่น โครงสร้างของ SCMA จะทำให้ MPA ได้รับความนิยมที่จะเป็นตามขอบ (marginal probabilities) สำหรับการตรวจหาอย่างถูกต้อง [6] ในขอบเขตของภาวะน่าจะเป็นสูงสุด (maximum likelihood : ML)

การเรียนรู้เชิงลึก (deep learning) ได้แสดงให้เห็นถึงความน่าอัศจรรย์ในความก้าวหน้าด้าน คอมพิวเตอร์วิทัศน์ (computer vision) [7] การรู้จำเสียงพูด (speech recognition)

และการประมวลผลภาษาธรรมชาติ (natural language processing : NLP) [8] ผลกระทบที่น่าทึ่งจากการเรียนรู้เชิงลึกได้รับความสนใจอย่างมากในการวิจัยแบบดั้งเดิม นักวิจัยเริ่มตระหนักถึงพลังและความสำคัญของการประยุกต์ใช้การเรียนรู้เชิงลึก และได้เริ่มเปิดโลกการค้นคว้าวิจัย และประยุกต์ใช้วิธีการที่มีศักยภาพนี้ เพื่อแก้ปัญหาในหัวข้อทางการสื่อสารไร้สาย

เมื่อเร็ว ๆ นี้ การเรียนรู้เชิงลึกได้แสดงให้เห็นถึงความสามารถที่มีแนวโน้มในการแก้ปัญหาเฉพาะทางสำหรับการสื่อสารไร้สายได้ [9]–[14] ตัวอย่างงานวิจัยที่น่าสนใจ เช่น การนำการเรียนรู้เชิงลึกมาใช้กับการออกแบบในชั้นกายภาพ [15] ที่ได้รวมวิธีเข้ารหัสอัตโนมัติ (auto-encoder : AE) เชิงลึกแบบไม่มีผู้สอนเข้าไปในระบบ MIMO รวมถึงกระบวนการเข้ารหัส / ถอดรหัสสำหรับการส่งผ่านข้อมูลเหนือช่องสัญญาณเฟดดิ้งแบบเรย์ลี (Rayleigh fading channel) ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าระบบ AE มีสมรรถนะที่เหนือกว่า วิธีการเข้ารหัสปริภูมิ-เวลาแบบบล็อก (space-time block code : STBC) ที่ต้องการ SNR น้อยกว่าถึง 15 dB

ไม่นานมานี้ ได้มีงานวิจัยที่นำการเรียนรู้เชิงลึกมาใช้กับ SCMA โดยการหาค่าเหมาะที่สุดร่วมกัน สำหรับการจัดผังกลุ่มดาว (constellations) ของคู่มือรหัส (codebook) และการตรวจหาในโครงข่าย SCMA ด้วยโครงข่ายประสาทเทียมแบบลึก (deep neural network) ทำให้โครงสร้างคู่มือรหัสปรับตัวได้แบบอัตโนมัติ [16] และได้รับประสิทธิภาพที่ยอดเยี่ยมเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการแบบดั้งเดิม ในอีกวิธีหนึ่งของการนำการเรียนรู้เชิงลึกมาปรับปรุงประสิทธิภาพของระบบ SCMA คือการฝึกฝนการตรวจหาของ MPA โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมแบบลึก ที่สามารถทำให้ระบบ SCMA มีประสิทธิภาพสูงขึ้น [17]

ในบทความนี้เราต้องการปรับปรุงสมรรถนะของตัวตรวจหา MPA ที่ใช้ในระบบ MIMO-SCMA โดยการแทนที่ MPA ด้วยโครงข่ายประสาทเทียมแบบลึกที่เชื่อมต่อกันอย่างกระจัดกระจาย โดยแยกส่วน MPA และกำหนดค่าวงน้ำหนักรวมของกราฟปัจจัย หลังจากฝึกฝนแบบออฟไลน์แล้ว เราสามารถนำโครงข่ายประสาทเทียมนี้มาใช้งานแบบออนไลน์ เพื่อต้องการปรับปรุงสมรรถนะในแง่อัตราความผิดพลาดบิต (bit error rate : BER) ของระบบ MIMO-SCMA ให้สูงขึ้น

บทความนี้ส่วนที่ 2 เป็นวัตถุประสงค์ของการวิจัย ส่วนที่ 3 เป็นวิธีดำเนินการวิจัย ที่ได้อธิบายแบบจำลองของระบบ MIMO-SCMA และการออกแบบโครงข่ายประสาทเทียมที่อิงกับขั้นตอน

วิธีการตรวจหา โดยการดัดแปลงกระบวนการตรวจหาของ MPA รวมถึงวิธีการทดลองเชิงตัวเลข (numerical experiments) ในส่วนที่ 4 เป็นผลการจำลองระบบที่แสดงให้เห็นถึงอัตราความผิดพลาดบิต เมื่อเปรียบเทียบกับวิธี MPA กับการใช้โครงข่ายประสาทเทียมและส่วนท้ายเป็นบทสรุป

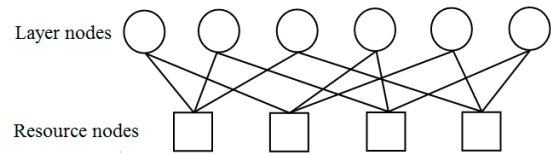
## 2) วัตถุประสงค์ของการวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อต้องการปรับปรุงสมรรถนะตัวตรวจหาที่ใช้ในระบบ MIMO-SCMA โดยการแทนที่ MPA ด้วยโครงข่ายประสาทเทียมแบบลึก ที่มีกระบวนการทำงานของ MPA กระจายอยู่ภายในการเชื่อมต่อ ทำการฝึกฝนโครงข่ายประสาทเทียมแบบออฟไลน์ และจำลองระบบ MIMO-SCMA สำหรับการเชื่อมโยงขาลง ที่ส่งผ่านช่องสัญญาณเฟดดิ้งแบบเรย์ลี กึ่ง-สถิตย์ (quasi-static Rayleigh fading) โดยสถานีเคลื่อนที่ (mobile station) ใช้วิธีการตรวจหา 2 แบบคือ โครงข่ายประสาทเทียมที่ถูกฝึกฝนมาแล้ว และ MPA แบบดั้งเดิม ทำการทดสอบเชิงตัวเลขเพื่อเปรียบเทียบสมรรถนะในแง่อัตราความผิดพลาดบิต ของการตรวจหาทั้ง 2 แบบ

## 3) วิธีดำเนินการวิจัย

### 3.1) แบบจำลองระบบ MIMO-SCMA

เมื่อพิจารณาถึงการเชื่อมโยงขาลงของระบบ SCMA ที่สถานีฐาน (base station : BS) มีสื่อสารไปยัง สถานีเคลื่อนที่ จำนวน  $J$  ผู้ใช้งานที่แตกต่างกันไป บิตข้อมูล  $b_j \in B^{\log_2 M}$  ของผู้ใช้รายที่  $j$  ถูกมอดูเลต (modulate) สัญญาณไปเป็น สัญลักษณ์กลุ่มดาว (constellation)  $N$  มิติ  $c_j \in C^N$  ในขณะที่  $C$  กำหนดให้เป็น เซตข้อมูลเชิงซ้อน (complex field) สัญลักษณ์ที่มีมิติต่ำ  $c_j$  จะถูกส่งไปเป็น รหัสคำ (codeword) แบบเบาบาง  $K$  มิติเชิงซ้อน (complex dimensions) หรือ  $c$  โทน (tone) คือ  $x_j \in C^{K \times 1}$  ที่ใช้คู่มอร์หัส SCMA  $x_j \in C^{K \times M}$  ขนาด  $M$  เป็นเซตของกลุ่มดาวสำหรับผู้ใช้ลำดับที่  $j$  ทั้งนี้รหัสคำ  $x_j = [x_1^j, x_2^j, \dots, x_K^j]$  จะมีค่าที่เป็นศูนย์อยู่  $N < K$  มิติ รหัสคำ  $x_j$  สำหรับคาบเวลาที่  $i$  จะถูกรวมกับ



รูปที่ 1 กราฟปัจจัยของ SCMA ที่มีค่า  $J=6$   $K=4$  และ  $d_f=3$

ผู้ใช้รายอื่น ๆ จำนวน  $J$  ผู้ใช้ ตามสมการ

$$\mathbf{x}(i) = \sum_{j=1}^J \mathbf{x}_j(i) \quad (1)$$

การแผ่รหัสคำแบบเบาบางไปบน  $K$  ทรัพยากรเชิงเวลาหรือเชิงความถี่ สามารถแสดงด้วยกราฟปัจจัย (factor graph) ดังตัวอย่างในรูปที่ 1 กราฟปัจจัยสามารถแสดงได้ในรูปแบบหนึ่งคือ เมทริกซ์ตัวชี้บอก (indicator matrix) โดยกราฟในรูปที่ 1 จะสมมูลกับเมทริกซ์ดังนี้

$$F = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

ในขณะที่  $F = (f_1, f_2, \dots, f_j) \in B^{K \times J}$  เป็นเมทริกซ์ตัวชี้บอกที่แยกออกไป 2 เซตคือ

$$V(k) = \{j | [F]_{k,j} = 1\}, k = 1, 2, \dots, K \quad (3)$$

$$R(j) = \{k | [F]_{k,j} = 1\}, k = 1, 2, \dots, J \quad (4)$$

โดย  $V(k)$  เป็นเซตของผู้ใช้ที่ส่งสัญลักษณ์ซ้ำออกไปยังทรัพยากรลำดับที่  $k$  และ  $R(j)$  เป็นเซตของบล็อกทรัพยากรผู้ใช้ลำดับที่  $j$

ในงานวิจัยนี้กำหนดให้ระบบ MIMO เป็นแบบ STBC โดยสถานีฐานของระบบ STBC-MIMO SCMA กำหนดให้มีสายอากาศด้านส่งจำนวน  $N_T$  ตัว ส่งข้อมูลไปยังสายอากาศด้านรับจำนวน  $N_R$  ตัว ที่สถานีเคลื่อนที่ของผู้ใช้ ทั้งนี้ก่อนที่ผลรวมของรหัสคำ  $\mathbf{x}$  ถูกส่งออกไปยังสายอากาศ จะถูกเข้ารหัสแบบบล็อกปริภูมิ-เวลา ไปยัง  $N_T$  มิติ ได้เป็น  $\mathbf{D} \in C^{N_T}$  ขนาด

$KL$  ที่มีอัตราการใช้รหัส  $1/L$  โดยตัวอย่างของรหัสแบบบล็อก ปริภูมิ-เวลา เชิงซ้อน  $\mathbf{D}_{N_T, K}$  ที่มี  $N_T = 3, K = 4$  และมีอัตราการใช้รหัสเท่ากับ  $1/2$  เขียนได้เป็น

$$(\mathbf{X}_{3,4})^T = \begin{bmatrix} x_1 & -x_2 & -x_3 & -x_4 & x_1^* & -x_2^* & -x_3^* & -x_4^* \\ x_2 & x_1 & x_4 & -x_3 & x_2^* & x_1^* & x_4^* & -x_3^* \\ x_3 & -x_4 & x_1 & x_2 & x_3^* & -x_4^* & x_1^* & x_2^* \end{bmatrix} \quad (5)$$

จากสมการที่ (5) สถานีฐานได้ส่งรหัสค่าไปบน  $K = 4$  คาบเวลาและแผ่ไปยัง 8 คาบเวลาสัญลักษณ์ ของแต่ละ  $N_T = 3$  สายอากาศ โดยเวกเตอร์แถวที่  $n_T$  ของเมทริกซ์ใน (5) คือสัญญาณที่ส่งออกไปยังสายอากาศลำดับที่  $n_T$  หรือ  $(\mathbf{D}^{n_T})^T$  โดย  $n_T = 1, 2, \dots, N_T$

งานวิจัยนี้เน้นที่ช่องสัญญาณ MIMO แบบราบโดยสัญญาณรับได้ที่สายอากาศลำดับที่  $n_R$  ของผู้รับลำดับที่  $j$  เขียนได้เป็น

$$\mathbf{y}^{j, n_R} = \sum_{n_T=1}^{N_T} \text{diag}(\mathbf{h}_j^{n_R, n_T}) \mathbf{D}^{n_T} + \mathbf{z}_j^{n_R} \quad (6)$$

ในขณะที่  $n_R = 1, 2, \dots, N_R$  และ  $\mathbf{h}_j^{n_R, n_T} \in \mathbb{C}^{KL \times 1}$  เป็นเวกเตอร์อัตราขยายช่องสัญญาณ ระหว่างสายอากาศด้านส่งลำดับที่  $n_T$  ของ BS และสายอากาศด้านรับลำดับที่  $n_R$  ของผู้ใช้รายที่  $j$  ที่สมาชิกแต่ละตัวมีคุณสมบัติการกระจายแบบเกาส์เซียน (Gaussian) เชิงซ้อน  $CN(0, 1)$  ทั้งนี้  $\mathbf{z}_j^{n_R} \in \mathbb{C}^{KL \times 1}$  เป็นเวกเตอร์สัญญาณรบกวนแบบเกาส์เซียน เหนือสายอากาศลำดับที่  $n_R$  ของผู้ใช้รายที่  $j$  โดยแต่ละสมาชิกมีแบบจำลองที่เป็นอิสระ และมีการกระจายตัวอย่างเดียวกันคือ  $CN(0, \sigma^2)$  ที่มีค่าเฉลี่ยเป็น 0 และแปรปรวน  $\sigma^2$  โดยสมมติว่าสัมประสิทธิ์ของช่องสัญญาณทั้งหมดอิสระจากกัน

สัญญาณที่รับได้ที่สายอากาศ ในรูปแบบเวกเตอร์คือ  $\mathbf{y}^j = [(\mathbf{y}^{j,1})^T, (\mathbf{y}^{j,2})^T, \dots, (\mathbf{y}^{j, N_R})^T]^T \in \mathbb{C}^{N_R KL \times 1}$  และสัญญาณที่รับได้สำหรับผู้รับลำดับที่  $j$  เขียนได้ดังนี้

$$\mathbf{y}^j = \mathbf{H}_j \mathbf{D} + \mathbf{z}_j \quad (7)$$

โดย  $\mathbf{H}_j \in \mathbb{C}^{N_R KL \times N_T KL}$  เป็นเมทริกซ์ของช่องสัญญาณ MIMO ที่เขียนได้ดังนี้

$$\mathbf{H}_j = \begin{bmatrix} \text{diag}(\mathbf{h}_j^{1,1}) & \text{diag}(\mathbf{h}_j^{1,2}) & \dots & \text{diag}(\mathbf{h}_j^{1, N_T}) \\ \text{diag}(\mathbf{h}_j^{2,1}) & \text{diag}(\mathbf{h}_j^{2,2}) & \dots & \text{diag}(\mathbf{h}_j^{2, N_T}) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \text{diag}(\mathbf{h}_j^{N_R,1}) & \text{diag}(\mathbf{h}_j^{N_R,2}) & \dots & \text{diag}(\mathbf{h}_j^{N_R, N_T}) \end{bmatrix} \quad (8)$$

ในขณะที่  $\mathbf{D} = [(\mathbf{D}^1)^T, (\mathbf{D}^2)^T, \dots, (\mathbf{D}^{N_T})^T]^T \in \mathbb{C}^{N_T KL \times 1}$  เป็นเวกเตอร์ของสัญญาณ การรวมส่งสัญญาณร่วมสี่เชิงพื้นที่ และ  $\mathbf{z}_j = [(\mathbf{z}_j^1)^T, (\mathbf{z}_j^2)^T, \dots, (\mathbf{z}_j^{N_R})^T]^T \in \mathbb{C}^{N_R KL \times 1}$  เป็นเวกเตอร์ของสัญญาณรบกวนเชิงซ้อนของผู้รับลำดับที่  $j$

จากสมการที่ (7) สามารถเขียนใหม่ในรูปแบบของ เมทริกซ์ช่องสัญญาณประสิทธิภาพ (effective channel matrix) ที่เป็นไปตาม

$$\mathbf{y}^j = \mathbf{H}_j \mathbf{D} + \mathbf{z}_j = \mathbf{H}_{eff,j} \cdot \mathbf{x} + \mathbf{z}_j \quad (9)$$

โดย  $\mathbf{H}_{eff,j} \in \mathbb{C}^{N_R KL \times N_T K}$  คือเมทริกซ์ช่องสัญญาณประสิทธิภาพ เพื่อที่จะถอดรหัสของ STBC จะใช้คุณสมบัติเชิงตั้งฉาก (orthogonality) ของเมทริกซ์ช่องสัญญาณประสิทธิภาพด้านรับ สัญญาณที่รับได้จะถูกปรับแต่งให้ไปเป็น

$$\tilde{\mathbf{y}}^j = (\mathbf{H}_{eff,j})^H \cdot \mathbf{y}^j = (\mathbf{H}_{eff,j})^H \mathbf{H}_{eff,j} \cdot \mathbf{x} + (\mathbf{H}_{eff,j})^H \mathbf{z}_j \quad (10)$$

$\tilde{\mathbf{y}}^j$  คือสัญญาณที่รับได้ที่ได้ถูกถอดรหัส STBC เรียบร้อยแล้ว โดย  $(\mathbf{H}_{eff,j})^H$  คือ เมทริกซ์สลับเปลี่ยนแอร์มิต (Hermitian transpose) ของ  $\mathbf{H}_{eff,j}$

### 3.2) การนำโครงข่ายประสาทเทียมแทนที่ MPA

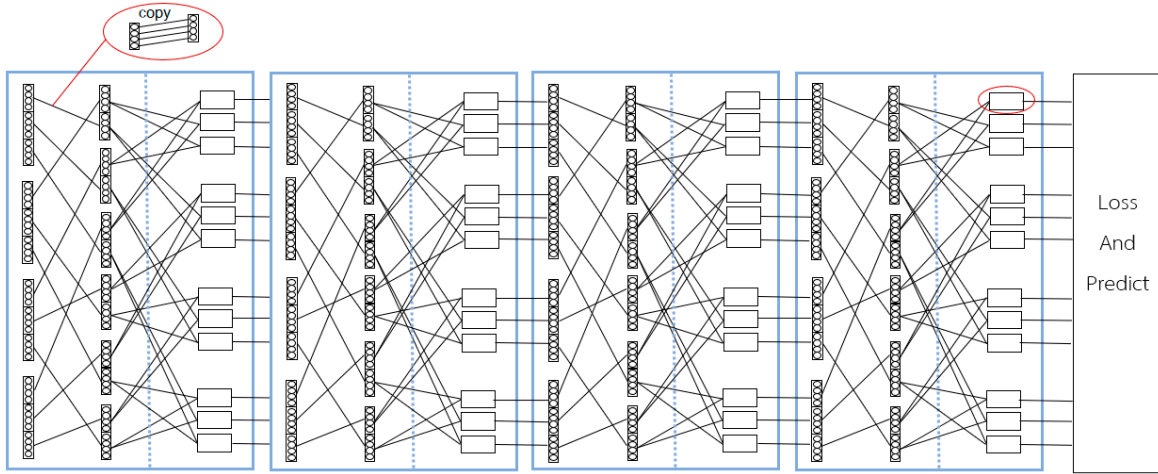
MPA มีการคำนวณความน่าจะเป็นตามขอบ (marginal probabilities) ที่มีการวนซ้ำ (iterations) โดยเราจะนำชั้นของโครงข่ายประสาทเทียมแทนที่ในขั้นตอนการวนซ้ำ ในส่วนนี้จะอธิบายว่า MPA และโครงข่ายประสาทเทียมทำงานอย่างไร

3.2.1) ขั้นตอนวิธีการส่งผ่านข้อความ MPA การตรวจหาของ SCMA ได้มาจากการหาค่าสูงสุดของความน่าจะเป็นภายหลัง (posterior probability)

$$\hat{\mathbf{X}} = \arg \max_{\mathbf{x} \in \mathbf{X}^{J,K}} p(\mathbf{X} | \tilde{\mathbf{y}}^j), \quad (11)$$

ในขณะที่  $\mathbf{X} = [\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2, \mathbf{x}_3, \dots, \mathbf{x}_j]$  และ  $\mathbf{x}_j \in \mathbf{X}$  โดย  $j = 1, 2, 3, \dots, J$  ทั้งนี้  $\mathbf{X}_j$  แสดงถึงเซตสัญญาณกลุ่มดาวของผู้ใช้ลำดับที่  $j$  และ  $\mathbf{X}^{J,K}$  คือสัญญาณกลุ่มดาวทั้งหมดที่รวมกันจาก

ผู้ใช้ที่แตกต่างกัน จากการคำนวณความน่าจะเป็นตามขอบในสมการที่ 11 การตัดสินใจของแต่ละผู้ใช้ สามารถเขียนได้เป็น



รูปที่ 2 โครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียม โดยกล่องสี่เหลี่ยมสีฟ้าคือแต่ละบล็อก และบล็อกเล็กในวงสีแดงคือบล็อกการเชื่อมต่อรวม

$$\hat{\mathbf{x}}_j = \arg \max_{\mathbf{x} \in \mathbf{X}^{J,K}} \sum_{\mathbf{x} \in \mathbf{X}^{J,K}, \mathbf{x}_j = [\mathbf{X}]_j} p(\mathbf{X}|\tilde{\mathbf{y}}), \quad (12)$$

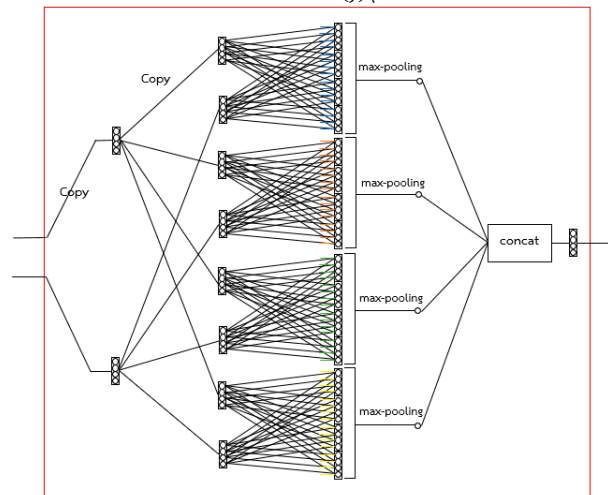
ในขณะที่  $\hat{\mathbf{x}}_j$  คือค่าที่ได้จากการประมาณ (estimation) ทั้งนี้เราสามารถใช่วิธี MPA มาหาคำตอบในสมการ (12) ได้

ในวิธีของ MPA ค่าความน่าจะเป็นจะเกิดหลังจากถูกคำนวณโดยการวนซ้ำ มีสองชนิดของข้อความที่ถูกคำนวณและแลกเปลี่ยนในกราฟปัจจัย ข้อความที่ถูกส่งจากทรัพยากรลำดับที่  $k$  ไปยังผู้ใช้ลำดับที่  $j$  กำหนดให้เป็น  $I_{R_k \rightarrow u_j}^t$  และข้อความที่ถูกส่งจากผู้ใช้ลำดับที่  $j$  ไปยังทรัพยากรลำดับที่  $k$  กำหนดให้เป็น  $Q_{u_j \rightarrow R_k}^t$  โดย  $t$  คือตรรกะการวนซ้ำ เพื่อให้ข้อความสองชนิดปรับให้ถูกต้องมากขึ้นตามสมการ

$$\begin{aligned} I_{R_k \rightarrow u_j}^t(x_j) &= \sum_{\mathbf{X}^{V(k) \setminus j}} p(\tilde{\mathbf{y}}_k | \mathbf{x}_{j_1}, j_1 \in V(k)) \\ &\times \prod_{j_2 \in V(k) \setminus j} Q_{u_{j_2} \rightarrow R_k}^{t-1}(x_{j_2}) \\ &= \sum_{\mathbf{X}^{V(k) \setminus j}} \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} \exp\left(-\frac{1}{2\sigma^2} A_k\right) \\ &\times \prod_{j_2 \in V(k) \setminus j} Q_{u_{j_2} \rightarrow R_k}^{t-1}(x_{j_2}) \end{aligned} \quad (13)$$

$$A_k = \left\| \tilde{\mathbf{y}}_k - \sum_{j_1 \in V(k)} \hat{h}_k \cdot x_{j_1} \right\|^2, \quad (14)$$

$$Q_{u_j \rightarrow R_k}^t(x_j) = p(x_j) \prod_{k \in R(j) \setminus k} I_{R_k \rightarrow u_j}^{t-1}(x_j), \quad (15)$$



รูปที่ 3: บล็อกการเชื่อมต่อรวม โดยแถบสีที่ติดอยู่กับเซลล์ประสาทเป็นการนำเข้าของโครงข่าย

โดย  $\tilde{\mathbf{y}}_k$  คือสัญญาณที่รับได้ของทรัพยากรลำดับที่  $k$  ที่ได้ผ่านการปรับแต่งและถอดรหัสในขั้นตอนของ STBC เรียบร้อยแล้ว ในขณะที่  $\hat{h}_k$  เป็นอัตราขยายช่องสัญญาณเฟดดิ้ง (channel fading gains) ของทรัพยากรลำดับที่  $k$  หลังจากผ่านขั้นตอนของ STBC มาแล้ว ในขณะที่  $R(j) \setminus k$  เป็นเซตของ  $R(j)$  หลังจากการนำส่วนประกอบ  $k$  ออกไป และ  $V(k) \setminus j$  หมายถึง

เซตของ  $V(k)$  หลังจากนำส่วนประกอบ  $j$  ออกไป โดย  $X^{V(k)\setminus j}$  แสดงถึงสัญลักษณ์ที่ส่งโดยผู้ขายอื่น ๆ ที่เป็นไปได้ ในเซตของ  $V(k)$  ที่คาดหวังสำหรับผู้ซื้อลำดับที่  $j$

สมการที่ (13) และ (15) เมื่อถูกปรับจากการคูณเป็นการบวก ด้วยฟังก์ชันลอการิทึม สามารถเขียนใหม่ได้เป็น

$$LI_{R_k \rightarrow u_j}^t(x_j) = \ln \left( \sum_{x \in V(k)\setminus j} \exp \left( -\frac{1}{2\sigma^2} A_k + \sum_{j_2 \in (k)\setminus j} LQ_{u_{j_2} \rightarrow R_k}^{t-1}(x_{j_2}) \right) \right) + \beta$$

$$\approx \max_{x_j} \left( -\frac{1}{2\sigma^2} A_k + \sum_{j_2 \in (k)\setminus j} LQ_{u_{j_2} \rightarrow R_k}^{t-1}(x_{j_2}) \right) + \beta \quad (16)$$

$$LQ_{u_j \rightarrow R_k}^t(x_j) = \ln(p(x_j)) + \sum_{k \in C(j)\setminus k} LI_{R_k \rightarrow u_j}^{t-1}(x_j), \quad (17)$$

$$\text{โดย } \beta = 1/\sqrt{2\pi\sigma^2}$$

3.2.2) สถาปัตยกรรมโครงข่ายประสาทเทียม จากขั้นตอนวิธีในการคำนวณของ MPA มีความเป็นไปได้ที่จะแทนที่ด้วยโครงข่ายประสาทเทียมโดยการจัดการให้แพร่กระจายเข้าไปในโครงข่าย กำหนดให้โครงข่ายประสาทเทียมแบบลึกประกอบด้วย 4 บล็อก ที่แต่ละบล็อกประกอบด้วย 2 ชั้น แสดงในรูปที่ 2 ทั้งนี้ การคำนวณหลักจะอยู่ในสมการที่ (16) และ (17) ในวิธีของ MPA แต่ละรอบของการคำนวณสมการที่ (16) และ (17) สามารถแผ่ออก โดยแพร่กระจายระหว่าง 2 ชั้นในบล็อก ทั้งนี้จะมีบล็อกย่อยภายในที่เรียกว่า บล็อกการเชื่อมต่อรวม อยู่ในรูปที่ 3 โดยมีการคำนวณที่เป็นไปตาม

$$LI_{R_k \rightarrow u_j}^t(x_j) = \max_{x \in V(k)\setminus j} \left( -\frac{c_{2(l+1),j_1,j,k}}{2\sigma^2} A_k + \sum_{j_2 \in (k)\setminus j} w_{2(l+1),j_2,j,k} LQ_{u_{j_2} \rightarrow R_k}^{2l+1}(x_{j_2}) + a_{j,k} \beta \right) \quad (18)$$

จากรูปที่ 1 ค่า  $d_f = 3$  และมี  $V(k)\setminus j$  มี 2 ส่วนประกอบ จากรูปที่ 3 จะเห็นได้ว่าบล็อกการเชื่อมต่อรวมมี 2 การนำเข้า (input) ในที่นี้รับเข้ามาเพื่อคำนวณ  $LI_{R_k \rightarrow u_j}^t$  ทั้งนี้ค่า  $M$  ถูกตั้งค่าให้เท่ากับ 4 ที่แต่ละผู้ใช้มี 4 สัญลักษณ์ ดังนั้นแต่ละการนำเข้าของบล็อกการเชื่อมต่อมี 4 โหนด โดยแถบสีที่ถูกเชื่อมต่อเข้าไปยัง เซลล์ประสาท (neurons) ก่อนที่จะเข้าสู่กระบวนการรวมแบบหาค่ามากที่สุด (max-pooling) เป็นการรับเข้าเพื่อคำนวณหาค่า  $A_k$  โดยค่าของ  $\beta$  ในสมการ (18) เป็นค่าออฟเซตของเซลล์ประสาท ทั้งนี้เซลล์ประสาทจะกำหนดค่าถ่วงน้ำหนัก  $w$  ให้กับการนำเข้าต่าง ๆ และนำมารวมกันก่อนนำออก (output) สัญลักษณ์ที่ถูกนำออกจากเซลล์ประสาทต่าง ๆ จะถูกดำเนินการโดยการหาค่าสูงสุดและผลลัพธ์ที่ได้จะถูกรวมเข้าด้วยกันไปเป็นกลุ่ม 4 โหนด เนื่องจากค่า  $x_j$  มีอยู่ 4 ค่า ในชั้นแรกของบล็อกจะมีการคำนวณที่เป็นไปตาม

$$LQ_{u_j \rightarrow R_k}^{(2l+1)}(x_j) = b_{2l+1,j,k} \ln(p(x_j)) + \sum_{k \in C(j)\setminus k} w_{2l+1,k,j,k} LI_{R_k \rightarrow u_j}^{2l}(x_j) \quad (19)$$

โหนดต่าง ๆ หนึ่งสุดจะถูกยึดไว้รวมเป็น 4 กลุ่ม ทำหน้าที่รับและเก็บ สัญลักษณ์ที่นำเข้ามาจากบล็อกก่อนหน้าและนำมาคำนวณได้เป็น  $LQ_{u_j \rightarrow R_k}^{(2l+1)}$  โดยการนำออกของแต่ละกลุ่มโหนดในกรณีที่มีบล็อกแรกที่ไม่มีการนำเข้าจะถูกตั้งค่าให้เป็น  $\ln(1/M)$  สัญลักษณ์ที่นำออกจะถูกส่งต่อไปยังกลุ่มเซลล์ประสาท 6 กลุ่ม ที่มีการถ่วงน้ำหนักการนำเข้า

จากสมการ 19 และ 20 จะเห็นได้ว่าเราไม่ได้ประยุกต์ใช้ฟังก์ชันกระตุ้น (activation function) ที่มักจะถูกใช้ในโครงข่ายประสาทเทียมเพื่อให้แน่ใจว่าการนำออกของเซลล์ประสาทเป็นแบบไม่เชิงเส้น อย่างไรก็ตามเราจำเป็นต้องทำให้โครงข่ายประสาทเทียมสมมูลกับ MPA ดังนั้นเราจึงใช้เพียงการรวมกันแบบเชิงเส้นของการนำเข้าเซลล์ประสาทที่ทำให้ได้ผลลัพธ์นำออก

สำหรับชั้นนำออก (output layer) มีการคำนวณที่เป็นไปตามสมการ (20) เพื่อใช้ในการคำนวณฟังก์ชันการส่งผ่าน หรือ ลอจิต (logits) นำออกของโครงข่าย ที่ได้นำมาประยุกต์ใช้ในกระบวนการของ MPA



$$LQ_{u_j}(x_j) = \ln(p(x_j)) + \sum_{k \in C(j)} LI_{R_k \rightarrow u_j}^L(x_j) \quad (20)$$

สุดท้ายเป็นขั้นตอนการตัดสินใจโดยการประมาณค่าของสัญลักษณ์ได้โดย

$$\hat{x}_j = \arg \max_{x_j} LQ_{u_j}(x_j), \quad j = 1, 2, \dots, J \quad (21)$$

ส่วนถัดไปเป็นการหาค่าฟังก์ชันสูญเสีย (loss function) เพื่อที่จะฝึกฝนโครงข่ายประสาทเทียมอย่างเหมาะสม กำหนดให้เป็นไปตาม

$$Loss = E \left\{ \sum_j I(x_j, \hat{x}_j) \log \left( \frac{\exp(LQ_{u_j}(x_j))}{\sum_{\hat{x}_j} \exp(LQ_{u_j}(\hat{x}_j))} \right) \right\}, \quad (22)$$

ในขณะที่  $I(x_j, \hat{x}_j)$  เป็นฟังก์ชันตัวชี้บอก (indicator function) ที่เป็นไปตาม

$$I(x_j, \hat{x}_j) = \begin{cases} 1, & x_j = \hat{x}_j \\ 0, & x_j \neq \hat{x}_j \end{cases}, \quad (23)$$

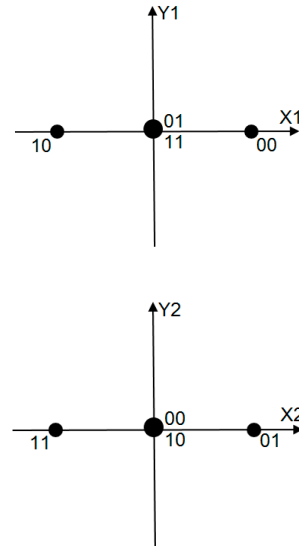
และ  $E\{\cdot\}$  เป็นการคำนวณหาค่าคาดหวัง (expectation) โดยฟังก์ชันสูญเสียถือว่าเป็นเอนโทรปีข้าม (cross entropy) ของฟังก์ชันค่าสูงสุดอย่างอ่อน (softmax function) การนำออกของ 4 เซลล์ประสาทถูกทำให้เป็นบรรทัดฐาน (normalize) ด้วยฟังก์ชันค่าสูงสุดอย่างอ่อนที่อิสระจากกัน เนื่องจากเป็นไปได้ที่จะคำนวณหาค่าคาดหวังในระหว่างการฝึกฝน ดังนั้นเราจึงแทนที่ฟังก์ชัน  $E\{\cdot\}$  ด้วยการหาค่าเฉลี่ย

### 3.3) การทดลองเชิงตัวเลข (numerical experiments)

การทดสอบระบบเป็นการจำลองการเชื่อมโยงขาลงของ STBC 3x4 MIMO SCMA ที่ส่งสัญญาณเหนือช่องสัญญาณเฟดดิ้งแบบเรย์ลี กิ่ง-สถิติ กำหนดให้ STBC-MIMO มีสายอากาศ  $N_T = 3$  และ  $N_R = 4$  บล็อกรหัส ST มีอัตราเข้ารหัสเท่ากับ  $1/2$  ในขณะที่วิธีการของ SCMA ใช้คู่มือรหัส 4-ary แบบ circular QAM (3,4) ดังรูปที่ 4 ที่ถูกนำเสนอใน [20] และใช้เทคนิคการส่งรหัสคำ SCMA ข้ามบล็อกรหัส ปริภูมิ-เวลา [21] เพื่อเพิ่มอัตราขยายไดเวอร์ซิตี ทั้งนี้ SCMA ถูกกำหนดค่าตัว

แปร ที่เป็นไปตาม :  $N = 2, J = 6, K = 4, d_f = 3$  บิตข้อมูล ได้ถูกเข้ารหัสด้วยรหัสคอนโวลูชันที่อัตรา 0.5 โดยวิธีการตรวจหาใช้ทั้งแบบ MPA และโครงข่ายประสาทเทียมเพื่อนำมาเปรียบเทียบ

3.3.1) การฝึกฝนโครงข่ายประสาทเทียม เราได้สร้างโครงข่ายประสาทเทียมโดยใช้เฟรมเวิร์ค TensorFlow [18] ที่เป็นโอเพนซอร์สคลังโปรแกรม (library) ของ Google ที่ง่าย

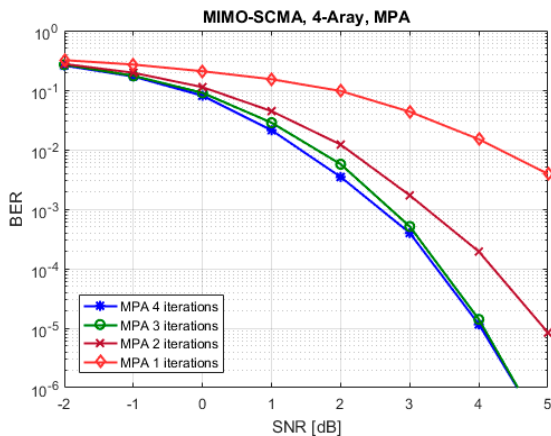


รูปที่ 4 สัญลักษณ์กลุ่มดาว SCMA 4 จุด ที่ถูกฉายลงไป 3 จุดต่อ 1 มิติเชิงซ้อน [20]

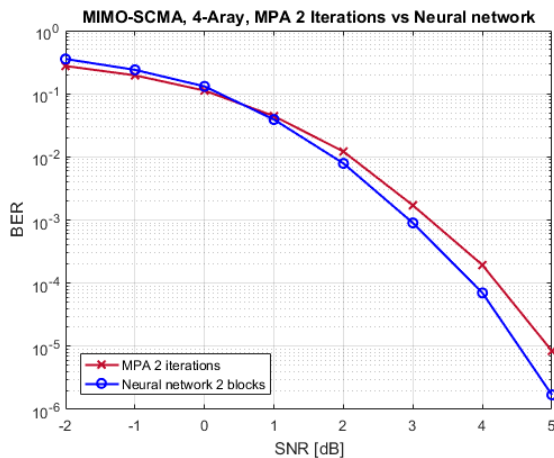
ต่อการใช้งานและไม่มีค่าใช้จ่าย เพื่อที่จะลดเวลาในการฝึกฝน และได้ผลลัพธ์ที่ดีขึ้น ส่วนสำคัญคือการกำหนดค่าเริ่มต้นพารามิเตอร์ทั้งหมดของโครงข่ายประสาทเทียมให้มีค่าเท่ากัน แต่ไม่เท่ากับศูนย์ โดยเราได้ตั้งค่าอัตราการเรียนรู้เริ่มต้นเท่ากับ 0.001 และเราเลือกใช้ตัวเพิ่มประสิทธิภาพ (optimizer) ของ Adam [19] ที่ทำให้ค่าพารามิเตอร์ทั้งหมดในโครงข่ายประสาทเทียมเหมาะสมที่สุด (optimize) เพียงพอที่นำไปใช้งานได้ เนื่องจากเป็นตัวเพิ่มประสิทธิภาพ เกรเดียนต์ขั้นสูงช่วยปรับแต่งอัตราการเรียนรู้ในแต่ละขั้นตอนได้ ในขณะที่วิธีการเคลื่อนลงตามความชันเกรเดียนต์ (stochastic gradient descent : SGD) แบบธรรมดาทำไม่ได้ เราได้ฝึกฝนโครงข่ายประสาทเทียม 2 ตัว ที่มี 2 บล็อก และ 4 บล็อก โดยทั้ง 2 โครงข่ายจะถูกฝึกฝนภายใต้ช่องสัญญาณเฟดดิ้งแบบเรย์ลี เสมือน-สถิติ ที่มี การกำหนดค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน (signal to noise ratio : SNR) ไว้ล่วงหน้าก่อน อย่างไรก็ตามหลังจากการ

ฝึกฝนโครงข่ายประสาทเทียมนี้ จะมีการทำงานอย่างมีประสิทธิภาพกับค่า SNR ต่าง ๆ ได้

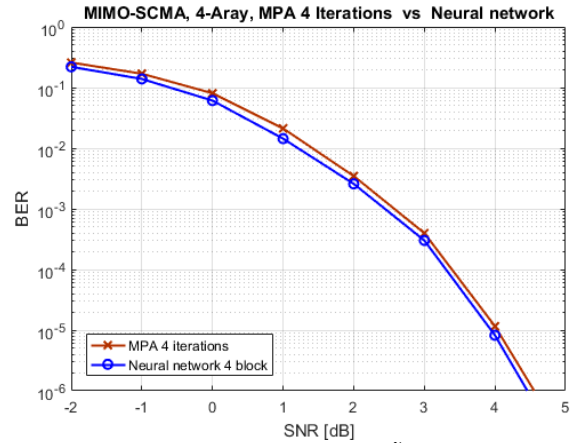
3.3.2 ชุดข้อมูล (data set) ของระบบ SCMA ทั้ง 6 ผู้ใช้ มีการรวมกันของสัญญาณรหัสค่าทั้งหมด 4096 สัญญาณ เราได้สร้างชุดข้อมูลของสัญญาณ SCMA สำหรับการฝึกฝนโครงข่ายประสาทเทียม โดยในแต่ละรอบของการฝึกฝน เราจะกำหนด 4096 สัญญาณ ที่มีสัญญาณรบกวนแตกต่างกันไป โดยชุดข้อมูลสำหรับฝึกฝนจะถูกกำหนดให้มีค่า SNR คงที่ที่ 1.5 dB เมื่อฝึกฝนเสร็จสิ้น แล้วนำโครงข่ายประสาทเทียม MPA



รูปที่ 5 สมรรถนะในแง่ BER ของ MPA ที่มีรอบการวนซ้ำต่างกัน บนช่องสัญญาณเฟดดิ้งแบบเรย์ลี กิ่ง-สถิติ



รูปที่ 6 สมรรถนะในแง่ BER สำหรับ MPA วนซ้ำ 2 รอบ และโครงข่ายประสาทเทียม 2 บล็อก บนช่องสัญญาณเฟดดิ้งแบบเรย์ลี กิ่ง-สถิติ



รูปที่ 7 สมรรถนะในแง่ BER สำหรับ MPA วนซ้ำ 4 รอบ และโครงข่ายประสาทเทียม 4 บล็อก บนช่องสัญญาณเฟดดิ้งแบบเรย์ลี กิ่ง-สถิติ

มาทดสอบระบบ MIMO-SCMA โดยสร้างชุดข้อมูลด้วยวิธีการเดียวกันแต่มีการปรับระดับขึ้นของ SNR ไปครั้งละ 1 dB

#### 4) ผลการทดสอบ

จากรูปที่ 5 เป็นผลการจำลองระบบ STBC 3x4 MIMO SCMA ที่ใช้วิธีการตรวจหา MPA แบบดั้งเดิม เปรียบเทียบสมรรถนะในแง่อัตราความผิดพลาดบิต (bit error rate : BER) เมื่อมีการปรับจำนวนการวนซ้ำ จะเห็นได้ว่าเมื่อจำนวนการวนซ้ำเพิ่มจาก 1 รอบเป็น 2 รอบ สมรรถนะของระบบก็จะดีขึ้นอย่างเห็นได้ชัด และการวนซ้ำในรอบถัด ๆ ไปสมรรถนะของระบบก็จะสูงขึ้นไปเรื่อย ๆ สังเกตได้ว่าเมื่อการวนซ้ำเข้าสู่รอบที่ 4 สมรรถนะของ MPA ก็จะเริ่มมีการลู่เข้า (convergence)

การเปรียบเทียบสมรรถนะในแง่ BER ของวิธี MPA และโครงข่ายประสาทเทียมอยู่ในรูปที่ 6 และรูปที่ 7 เพื่อที่จะให้มีการทดสอบอย่างเท่าเทียม เราจะตั้งค่าให้โครงข่ายประสาทเทียมเป็น 2 และ 4 บล็อก เปรียบเทียบกับ MPA ที่มีการวนซ้ำ 2 และ 4 รอบตามลำดับ จากรูปที่ 6 สังเกตได้ว่าโครงข่ายประสาทเทียมมีสมรรถนะที่สูงกว่า MPA ในช่วงที่มี SNR สูง หลังจากจุดตัดของกราฟที่ SNR = 0.5 dB โดยโครงข่ายประสาทเทียมต้องการ SNR น้อยกว่า MPA 0.3 dB ที่ BER =  $10^{-3}$  จากรูปที่ 7 จะเห็นได้ว่าโครงข่ายประสาทเทียม 4 บล็อก ก็มีสมรรถนะที่เหนือกว่า MPA โดยต้องการ SNR น้อยกว่า 0.15 dB ที่ BER =  $10^{-3}$

## 5) สรุป

เราได้นำเสนอการใช้โครงข่ายประสาทเทียมสำหรับการตรวจหาในระบบ MIMO-SCMA โดยแสดงให้เห็นถึงวิธีการแผ่กระบวนการทำงานของ MPA ไปในโครงข่ายประสาทเทียม โดยการเพิ่มค่าถ่วงน้ำหนักไปที่ขอบของกราฟปัจจัย การทำงานของ MPA ถูกกระจายไปในการเชื่อมต่อของโครงข่าย จากผลการจำลองระบบ MIMO-SCMA บนช่องสัญญาณเฟดดิ้งแบบเบเรลลี กิ่ง-สถิติ แสดงให้เห็นว่าสมรรถนะในแง่ของ BER ของการตรวจหาที่ใช้โครงข่ายประสาทเทียมเหนือกว่าวิธี MPA แบบดั้งเดิมในช่วงที่มี SNR สูง ทั้งนี้ โครงข่ายประสาทเทียมสามารถเร่งการทำงานบนสถานีเคลื่อนที่ด้วยการใช้ชิป ปัญญาประดิษฐ์ (artificial intelligence : AI)

## REFERENCES

- [1] Cisco, "Cisco Visual Networking Index: Forecast and Trends, 2017–2022 White Paper," [Online] Available: <https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/service-provider/visual-networking-index-vni/white-paper-c11-741490.html>. (accessed: July 21, 2019)
- [2] Fabio Giust, Luca Cominardi, and Carlos J Bernardos, "Distributed mobility management for future 5G networks: overview and analysis of existing approaches," *IEEE Communications Magazine*, Vol. 53, No. 1, pp. 142–149, 2015.
- [3] Mamta Agiwal, Abhishek Roy, and Navrati Saxena, "Next generation 5G wireless networks: A comprehensive survey," *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, Vol. 18, No. 3, pp. 1617–1655, 2016.
- [4] F. Wei and W. Chen, "A low complexity SCMA decoder based on list sphere decoding," in *Proc. IEEE GLOBECOM, Washington, DC, USA, Dec. 2016*, pp. 1–6.
- [5] M. Alam and Q. Zhang, "Performance study of SCMA codebook design," in *Proc. IEEE WCNC, San Francisco, CA, Mar. 2017*, pp. 1–5.
- [6] F. R. Kschischang, B. J. Frey, and H. A. Loeliger, "Factor graphs and the sum-product algorithm," *IEEE Trans. Inf. Theory*, Vol. 47, No. 2, pp.498–519, Feb. 2001.
- [7] Chaoyun Zhang, Pan Zhou, Chenghua Li, and Lijun Liu, "A convolutional neural network for leaves recognition using data augmentation," In *Proc. 2015 IEEE Int. Conference on Computer and Information ; Ubiquitous Computing and Communications; Dependable, Autonomic and Secure Computing; Pervasive Intelligence and Computing*, Liverpool, UK, Dec. 2015, pp. 2143–2150, DOI: 10.1109/CIT/IUCC/DASC/PICOM.2015.318
- [8] Richard Socher, Yoshua Bengio, and Christopher D Manning, "Deep learning for NLP (without magic)," In *Proc. 50th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics: Tutorial Abstracts*, Jeju Island, Korea, Jul. 2012, p. 5.
- [9] Chaoyun Zhang, Paul Patras and Hamed Haddadi, "Deep Learning in Mobile and Wireless Networking: A Survey," *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, Vol. 21, No. 3, pp.2224 – 2287, Mar. 2019, DOI: 10.1109/COMST.2019.2904897
- [10] Akhil Gupta and Rakesh Kumar Jha, "A survey of 5G network: Architecture and emerging technologies," *IEEE Access*, vol. 3, pp. 1206–1232, 2015.
- [11] Chunxiao Jiang, Haijun Zhang, Yong Ren, Zhu Han, Kwang-Cheng Chen, and Lajos Hanzo, "Machine learning paradigms for next generation wireless networks," *IEEE Wireless Communications*, Vol. 24, No. 2, pp. 98–105, 2017.
- [12] Duong D Nguyen, Hung X Nguyen, and Langford B White, "Reinforcement learning with network-assisted feedback for heterogeneous rat selection," *IEEE Transactions on Wireless Communications*, Vol. 16, No. 9, pp. 6062 – 6076, Sept. 2017, DOI: 10.1109/TWC.2017.2718526
- [13] Fairuz Amalina Narudin, Ali Feizollah, Nor Badrul Anuar, and Abdullah Gani, "Evaluation of machine learning classifiers for mobile malware detection," *Soft Computing*, Vol. 20, No. 1, pp. 343–357, 2016.
- [14] Wencong Xiao, Jilong Xue, Youshan Miao, Zhen Li, Cheng Chen, Ming Wu, Wei Li, and Lidong Zhou, "Tux2: Distributed graph computation for machine learning," in *Proc. 14<sup>th</sup> USENIX Symposium on Networked Systems Design and Implementation (NSDI '17)*, Boston, MA, USA, Mar. 2017, pp.669–682.
- [15] Timothy J O'Shea, Tugba Erpek, and T Charles Clancy, "Deep learning based MIMO communications," Accessed: Jul. 2017. [Online]. Available: <https://arxiv.org/abs/1707.07980>
- [16] Minhoe Kim, Nam-I Kim, Woongsup Lee and Dong-Ho Cho, "Deep Learning-Aided SCMA," *IEEE Communications Letters*, Vol. 22, No. 4, pp. 720 – 723, 2018



- [17] Chao Lu, Wei Xu, Hong Shen, Hua Zhang, and Xiaohu You, “An Enhanced SCMA Detector Enabled by Deep Neural Network,” Accessed: Aug, 2018. [Online]. Available: <https://arxiv.org/abs/1808.08015>
- [18] M. Abadi et al., “Tensorflow: Large-scale machine learning on heterogeneous systems,” Accessed: Aug, 2018. [Online]. Available: <https://arxiv.org/abs/1603.04467>
- [19] D. P. Kingma and J. Ba, “Adam: A method for stochastic optimization,” in *Proc. 3<sup>rd</sup> International Conference for Learning Representations*, San Diego, 2015, [Online]. Available: <https://arxiv.org/abs/1412.6980>
- [20] Triratana Metkarunchit, “SCMA codebook design base on circular-QAM,” in *Proc. Integrated Communication Navigation and Surveillance Conference (ICNS)*, Virginia, USA, May. 2017, DOI: 10.1109/ICNSURV.2017.8011917
- [21] Triratana Metkarunchit, “Achieving Higher Full-diversity Gain of Downlink STBC-MIMO SCMA System,” *Journal of Communications*, Vol. 13, No. 9, pp. 535-539, Sep. 2018.

# Glauco Dtex Eye Glasses: Early Diagnostic Device for Glaucoma Detection

Paween Wongkornchaovalit<sup>1</sup> Thunyaseth Sethaput<sup>2\*</sup>

<sup>1,2</sup>Mechanical Engineering Program, Sirindhorn International Institute of Technology, Pathum Thani, Thailand

\*Corresponding Author. E-mail address: thunyaseth@siit.tu.ac.th

Received: 4 September 2019; Revised: 27 November 2019; Accepted: 2 December 2019

Published online: 25 December 2019

## **Abstract**

Glaucoma is the second cause of vision loss and blindness, not only in developing countries deal with it, but developed countries also face it. The main problem of blindness from glaucoma is a lack of recognition, to clarify, the patients do not know whether they have glaucoma or not. As time pass by, it continues to develop from time to time, and most of the patients will realize about it when it has developed into a severe stage. According to the ophthalmology research, if the area ratio between the optic cup to the optic disc is greater than  $1/3$ , patients will be classified as having glaucoma. The aim of this research is to develop the device to capture the image of the optic disc. Then, the image provided by the prototype, with the aid of image processing algorithm based on the area ratio of the optic cup to the optic disc, can be used to classify glaucomatous patients from healthy individual. From the result, the captured image of the optic disc, the location of the optic nerve head is clear. The image of the optic disc apparently shows brighter and dimmer section, which represents the optic cup and optic disc respectively. The image can be used for analysis of opened angle glaucoma via image processing algorithm, which are provided by many researchers [ 1,19,21,22].

**Keywords :** Glaucoma, Ophthalmoscope, Diagnosis, Optic cup, Optic disc



## I. INTRODUCTION

Glaucoma is a chronic and irreversible neurodegenerative disease which can be classified by the iridocorneal angle [ 1], [2] . Simple name of the iridocorneal angle is angle [ 3]. Open-angle (OAG), closed-angle (AAG), and developmental categories are types of glaucoma, which are further divided into primary and secondary types [2]. In case of primary open- angle glaucoma ( POAG ) , patients may have elevated intraocular pressure or without it [2]. In Asia, a lot of patients who have open-angle glaucoma, the intraocular pressure is almost the same as people who are healthy [4].

In this study focuses on open-angle glaucoma that sometimes called as an insidious onset, which takes slow progression over months to years [5], [6]. It is the commonest form of disease and painless [5],[7]. Because of its painless, so patients do not aware of damage to the eye until it is in the final stage, and visual impairment has occurred [7].

The objective of this research is to develop the prototype to capture the image of the optic cup and optic disc. In addition, the authors believe in the quote, prevention is better than cure, which in the case of glaucoma, there is no way to cure. So, this prototype is aimed to diagnose the people before they get into severe stage and are totally blind. Furthermore, in the case that the doctors need to diagnose the patients who are in rural area, this prototype is also a good choice as it is a portable with very lightweight. After the image is captured by the prototype, with the aid of image processing algorithm based on the area ratio of the optic cup to the optic disc, can be used to classify glaucomatous patients from healthy people. Nevertheless, the image processing algorithm is created based on many theories, which are provided by many researchers.

## II. LITERATURE REVIEW

Glaucoma is one of the leading eye disease that brings the blindness to the patient without notice. There are several factors which affect the growth of glaucoma, but the main problem is glaucoma takes time to develop itself gradually. Hence, it is hard to be noticed by the patients whether they have glaucoma or not. Furthermore, the lack of knowledge about glaucoma is also another reason that people don't aware of themselves. In Ebonyi, Nigeria, where is the developing country, a sample group of people, 402 people were asked about glaucoma with 12 Yes/ No questions in 2016 [5]. From the result of research, 27 (6.7%) had good knowledge, while 375 (93.3%) had poor knowledge [5]. So, it can be seen that people in developing countries had poor knowledge about glaucoma, which may be the reason to explain an increasing number of people who will have glaucoma. However, an important issue that we can't ignore is risk factors which have several factors that contribute and affect people to be glaucomatous patients [8]. From the Journal of Optometry, age had relative relationship with risk, which means as people have grown older, risk of having glaucoma is also rising [4], [8]-[10]. Next factor is gender, from a Bayesian meta-analysis, it was shown that men tend to have open-angle glaucoma [11]. Third factor is genetic and family history. Family history demonstrated that it carried a relative risk of 2.1 times as being associated with OAG [9]. Although family history plays an important role of glaucoma risks, the closeness of relationship of a patient is another crucial factor, more closeness means higher risk [4], [11]. Final factor, myopia, is also a significant glaucoma risk factor [4], [12] - [17]. Furthermore, in case of glaucomatous patients, glaucoma development and progression rise with the degree of myopia [17].

To identify whether patients have glaucoma or not, they need to have a proper diagnosis which performed



by an ophthalmologist. Normally, five common tests are used to diagnose glaucoma, Tonometry, measure an intraocular pressure, Perimetry, measure how wide you can see, Gonioscopy, measure an iridocorneal angle, Pachymetry, measure the corneal thickness which affects to an intraocular pressure, and Ophthalmoscopy, see the shape and color of the optic nerve. In this paper decided to use ophthalmoscopy, to visualize the posterior segment of the eye, by focusing on optic nerve [18].

In ophthalmoscopy, optic disc and optic cup are crucially important to an analysis. From ophthalmology research, it classifies the patient to be glaucomatous patient if the patient has the area ratio between an optic cup to an optic disc more than  $1/3$  [1], [19]. Furthermore, radius ratio between an optic cup to an optic disc can also be an indicator as same as the area ratio with  $1/3$ . From the Fig. 1, it can be observed that an optic cup is smaller and brighter than an optic disc. In addition, some ophthalmologists call the optic disc as optic nerve head (ONH).

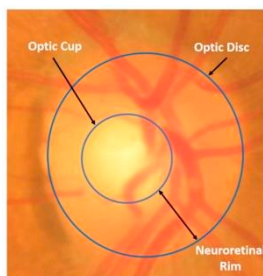


Fig. 1. Image of Optic Cup and Optic Disc [20]

### III. RESEARCH METHODOLOGY

We have developed many prototypes based on various theories. In this paper, two main prototypes are presented chronologically. Based on the direct ophthalmoscope, in the first prototype, the body of the device is made from the PVC trapezoidal wire duct, 18 mm x 1 m. For the lighting, the 0.022 Watts LED light bulb is the light source, and the power supply is a 3-

button cell. Two holes are drilled for inserting the endoscope and the LED light bulb respectively. The top view of the device is illustrated in Fig. 2.

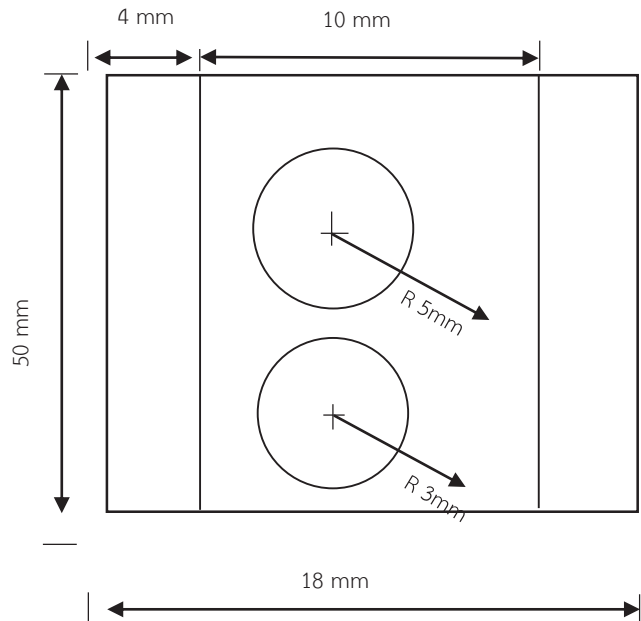


Fig. 2. Top view of the first prototype

As can be seen from Fig. 2, there are bigger hole on the top, while the smaller hole is below. The radius of two holes are drilled respect to the cross-sectional area of the endoscope, and the LED light bulb. The outer diameter of endoscope and the LED light bulb are 8 mm and 5 mm respectively. Therefore, the holes are set to be drilled as 10 mm and 6 mm in in term of diameter.

For final prototype, we also use the direct ophthalmoscope as the model for our prototype. However, we decide to cut some parts of the direct ophthalmoscope and modify from the first prototype to be more user-friendly. We also change the light bulb from LED to be the incandescent light bulb which is used in the direct ophthalmoscope. The main reason that we decide to change the light bulb is the intensity and the brightness of the light which LED light may be harmful to the eyes. The body of the final prototype is also modified which is provided as below.

The final prototype is divided into 4 parts which are equipment, specification of main equipment, design of the prototype, and how to operate the device.

#### A. Equipment

The prototype consists of 9 apparatuses as following.

1. 2.5V Halogen Lamp
2. Stamp Paper Clip
3. Wi-Fi Endoscope
4. 3/8 Inch Grey Agricultural PVC Pipe, 6 cm in length
5. x10 Folding Hand Loupe Lens
6. 2 pieces of 1.5V AA Batteries
7. 3V AA Batteries Holder with Lead
8. 1 set of dual crocodile clip wire
9. The eye glasses frame

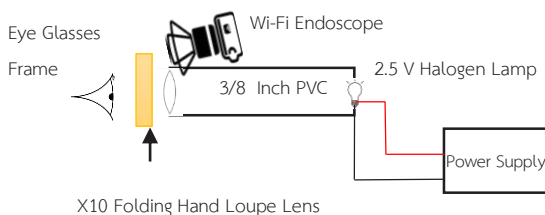


Fig. 3. Schematic Diagram of Glauco Dtex Eye Glasses

#### B. Specification of lamp and wi-fi endoscope

1. Halogen lamp is for Mark II Classic ophthalmoscope Medical Devices (Pvt). Ltd
2. Wi-Fi Endoscope
  - 2.1 Cable Length: 1 m
  - 2.2 Camera Head Outer Diameter: 8 mm
  - 2.3 Lens: 2 Megapixels CMOS camera
  - 2.4 Resolution: HD 720p
  - 2.5 Frame Rate: 30FPS
  - 2.6 Viewing Angle: 70°
  - 2.7 Effective Focal Distance: 4-6 cm
  - 2.8 Battery Capacity: 800mAh
  - 2.9 System Requirement: IOS/Android

#### C. Design of the prototype

Based on the direct ophthalmoscope, the illumination and viewing optical system. By cutting off lens 1 and aperture view, use 3/8 inch grey agricultural PVC pipe to be the canal for the light. At the initial point of the pipe is the position of the lamp, while at the exit side of the pipe is where the lens is located. To get the fundus image, the slope is needed because if the endoscope is parallel to the pipe, the photo cannot be seen at the light show on the object. The slope is a stamp paper clip. 2 pieces of 1.5V AA batteries are the power supply for the lamp.

#### D. How to use the device

The procedure of using this device can be divided into 2 parts, which are endoscope part and lamp part.

##### 1. Endoscope part

- a. Connection between receiver and sender is connected via Wi-Fi. By pressing the button as shown in Fig. 4.
- b. The Wi-Fi box requires charging with USB cable at the port as indicated in Fig. 4.
- c. Connection between the endoscope and Wi-Fi box at the port which is shown in Fig. 4.
- d. Android and IOS system, application "HD Scope" is required, which can be downloaded in Play Store and App Store respectively.
- e. All record will be in video for ease of use.
- f. After record the video, this recorded video is needed to save in mobile phone or computer.

- g. Choose the best part of the video and take a screenshot.
- h. Enlarge the screenshot to get bigger photo or can crop in computer.

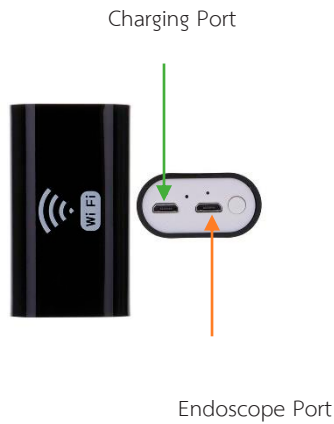


Fig. 4. Wi-Fi Box of The Endoscope



Fig. 5. HD Scope Application

### 2. Halogen Lamp part

Connection between the power supply and the lamp is connected via red and black dual crocodile clip wire.

### E. Flow diagram to classify glaucomatous patients

As shown in Fig. 6, captured optic nerve head image from the prototype is the input, which is transferred to the image processing algorithm. After image processing finished, glaucomatous patients and normal can be classified.

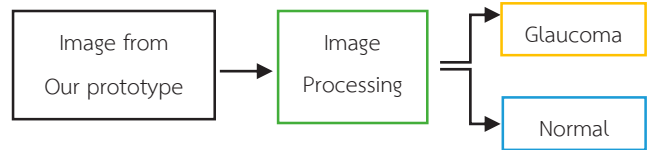


Fig. 6. Flow Diagram of Classification of Patients

## IV. RESULTS AND DISCUSSION

The images provided by two prototypes are presented and compared as shown in Fig. 7 and Fig. 8, respectively. In Fig. 7, and Fig. 8, the optic nerve head is cropped using window photo program. By observation, the brightest area is located in the center of the image, while the dimmer part is at the edge of the image. The results agree with the studies observed by other research [1], [19].

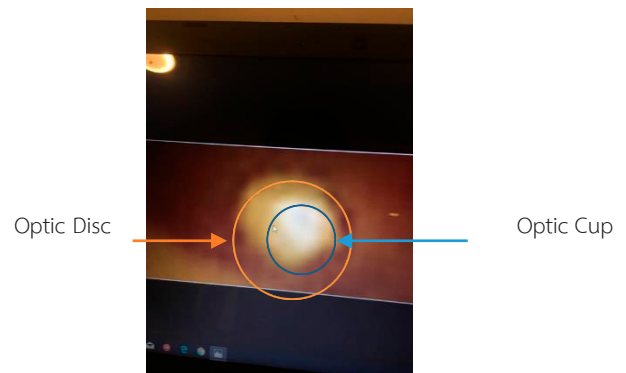


Fig. 7. Image of the Optic Nerve Head from the first prototype

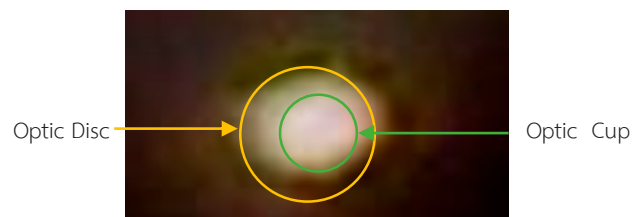


Fig. 8. Image of the Optic Nerve Head from the final prototype

It can be observed that the results from both prototypes are similar, but the color of the images is quite different. From Fig. 7, the color of the image is

brighter, since the LED light bulb provides the higher level of brightness and intensity compared to the incandescent lamp. As the result, we can see the clearer optic cup and optic disc. However, the distance between the eye and the device also has to be taken into account. From several experiments, if the distance of the device is closer to the eye, then the image is going to be brighter and has clearer details. The temperature of the light bulb also affects the color of the image. The image of the first prototype (Fig. 7) presents the warmer tone than the final one (Fig. 8). Furthermore, as the final prototype uses the PVC pipe to be the body of the device, light from the light bulb travels inside the pipe, which also loses energy during travelling, resulting in the less brightness and intensity, although the light pass the hand loupe lens, but it cannot compensate the loss.

From the flow diagram in Fig. 6, various techniques in image processing have been developed by many researchers. Objective of these techniques is to classify normal people from glaucomatous patients using fundus image [1], [19], [21], [22]. The principle of image processing technique is image segmentation. Based on the flow diagram in Fig. 6, an input image is the image that is captured by our prototype. Next step is pre-processing, which some researchers enhance and filter the image [21]. After pre-processing, optic disc will be extracted from the image, which some algorithm may also extract special feature, for example, texture and intensity [22]. Using glaucoma data set, the algorithm can make a decision, which in some research, it can state the stage of glaucoma as well, then lead the result and classification between patients and healthy people [1], [19], [21], [22].

However, the image in Fig. 8, may need further improvement for better resolution. The higher resolution of the image means the higher accuracy of the classification result.

## V. CONCLUSION

Glaucoma has effected all around the world, developed countries, developing countries, and under developed countries. Five common tests are used to diagnose glaucoma. In this study, we observe the main problem of glaucoma, people have inadequate knowledge about glaucoma [4], which leads to irreversible blindness. The objective of this study is to solve this problem by creating the prototype which normal people can use it, and classify whether they have glaucoma or not. We decide to use direct ophthalmoscope as the based device. By cutting off some parts, and replace the handle of a direct ophthalmoscope by a grey agricultural PVC pipe. At the exit of a pipe is a position where folding hand loupe lens with X10 magnification. The optic nerve head image from our prototype is illustrated in Fig. 6, which show the brighter section and dimmer section that are optic disc and optic cup respectively. By input our ONH image into an image processing algorithm, classification between healthy people and glaucomatous patients can be achieved.

However, this prototype is needed further improvement since the resolution and quality of the image should be higher. From the direct ophthalmoscope, we may put the concave lens before the halogen lamp to let the light scatter inside the pipe, which may increase the quality of the image. In addition, we believe that accuracy and precision of the classification result are higher with higher quality image and resolution.

## ACKNOWLEDGEMENT

We would like to express our deep gratitude to our families who support us since the beginning of this project. We would also like to thank Dr. Maroay Phlernjai for his advice on material and platform of this device.

Our grateful thanks are also extended to Asst.Prof.Dr. Suchada Rianmora for her advice in type and specification of a lens, to Asst.Prof.Dr. Chung-Hao Hsu for his advice in searching for the materials. We also wish to thank Mr. Nikhom Meedet, Mr. Manatchai Srimatra, and Mr. Thirdpong Phomoiam who offer their generous technical supports.

#### REFERENCES

- [1] Chalinee Burana- Anusorn, Waree Kongprawechnon, Toshiaki Kondo, Sunisa Sintuwong, and Konokvate Tungpimolrut "Image Processing Techniques for Glaucoma Detection Using Cup- to- Disc Ratio," *Thammasat International Journal of Science and Technology*, Vol. 18, No.1, pp. 22-34, Jan-Mar, 2013.
- [2] Young H. Kwon, John H. Fingert, Markus H. Kuehn, and Wallace L.M. Alward. . "Mechanisms of Disease: Primary Open- Angle Glaucoma," *The New England Journal of Medicine*, Vol. 360, No. 11, pp. 1113-1124, Mar 2009.
- [3] Wallace L. M. Alward, Reid A. Longmuir, "Anatomy of Angle," in *Color Atlas of Gonioscopy*, 2<sup>nd</sup> ed. San Francisco: American Academy of Ophthalmology, 2008, pp. 1-6.
- [4] Suzuki Y, Iwase A, Araie M, et al. "Risk factor for open-angle glaucoma in a Japanese population: the Tajimi Study," *Ophthalmology*, Vol. 113, No. 9, pp. 1613-17, Sep 2006.
- [5] C. E. Ogbonnaya, L. U. Ogbonnaya, O. Okoye, N. Kizor-Akaraiwe, " Glaucoma Awareness and Knowledge, and Attitude to Screening in a Rural Community in Ebonyi State, Nigeria," *Open Journal of Ophthalmology*, Vol. 6, No.2, pp. 119-127, Jan 2016.
- [6] Heijl A, Bengtsson B, Hyman L, Leske MC, Early Manifest Glaucoma Trial Group, "Natural history of open-glaucoma," *Ophthalmology*, Vol. 116, No. 12, pp. 2271-2276, Dec 2009.
- [7] O. HOFFMAN, " Glaucoma control," *Canadian Journal of Public Health*, Vol. 52, No. 1, pp. 23-28, Jan 1691.
- [8] Le A, Mukesh BN, McCarty CA, Taylor HR. " Risk factors associated with the incidence of open- angle glaucoma: the visual impairmentproject," *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, Vol. 44, No. 9, pp. 3783-3789, Sep 2003.
- [9] Miglior S, Pfeiffer N, Torri V, Zeyen T, Cunha- Vaz J, Adamsonsl the European Glaucoma Prevention Study (EGPS) Group, " Predictive factors for open- glaucoma among patients with ocular hypertension in the European Glaucoma Prevention Study," *Ophthalmology*, Vol. 114, No, 1 pp. 3-9, Jan 2007.
- [10] Rudnicka AR, Mt- Isa S, Owen CG, Cook DG, Ashby D, "Variations in primary open-angle glaucoma prevalence by age, gender, and race: a Bayesian meta- analysis," *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, Vol. 47, No. 10 pp. 4254-4261, Oct 2006.
- [11] Congdon N, Wang F, Tielsch JM, "Issue in the epidemiology and population-based screening of primary angle-closure glaucoma," *Survey of Ophthalmology*, Vol.36, No. 6, pp. 411-423, May-Jun 1992.
- [12] Cho H-K, Kee C, " Population-based glaucoma prevalence studies in Asians," *Survey of Ophthalmology*, Vol. 59, No. 4, pp. 434-447, Jul-Aug 2014.
- [13] Lander J, Goldberg I, Graham SL, " Analysis of risk factors which may be associated with progression from ocular hypertension to primary open- angle glaucoma," *Clinical & Experimental Ophthalmology*, Vol. 30, No. 4, pp. 242- 247, Aug 2002.
- [14] Kim MJ, Kim JM, Kim HS, Jeoung JW, and Park KH, " Risk factors for open- angle glaucoma with normal baseline intraocular pressure in young population: the Korea National Health and Nutrition Examination Survey," *Clinical & Experimental Ophthalmology*, Vol. 42, No. 9 , pp. 825- 832, Dec 2014.
- [15] Yamamoto S, Sawaguchi S, Iwase A, et al, " Primary open- angle glaucoma in a population associated with high prevalence of a primary open- angle glaucoma," *Ophthalmology*, Vol. 121, No. 8, pp. 1558-1565, Aug 2014.
- [16] Vijaya L, Rashima A, Panday M, et al, " Predictors for incidence of primary open-angle glaucoma in a south Indian population" , *Ophthalmology*, Vol. 121, No. 7, pp. 1370- 1376, Jul 2014.
- [17] Marcus MW, de Vries MM, Montolio J, Jansonius NM, " Myopia as a risk factor for open- angle glaucoma: a systematic review and meta-analysis," *Ophthalmology*, Vol. 118, No. 10, pp. 1994-1998, Oct 2011.
- [18] Nancy C. Sharts- Hopko and Catherine Glynn- Milley, "Primary Open-Angle Glaucoma: Catching and Treating the ' Sneak Thief of Sight' ," *The American Journal of Nursing*, Vol. 109, No.2, pp. 40-48, 2009.



- [19] M. Roslin, S. Sumathi, “ Glaucoma Screening by the Detection of Blood Vessels and Optic Cup to Disc Ratio,” in *International Conference on Communication and Signal Processing*, Melmaruvathue, India, April 6-8, 2016, pp. 2210-2214.
- [20] Baidaa Al-Bander, Bryan M. Williams, Waleed Al-Nuaimy, Majid A. Al-Tae, Harry Pratt, and Yalin Zheng, “Dense Fully Convolutional Segmentation of the Optic Disc and Cup in Colour Fundus For Glaucoma Diagnosis,” in *Symmetry*, Vol. 10, No. 4, April, pp. 1-16, 2018.
- [21] Dnyaneshwari D.Patil, and Ramesh R. Manza , “Design New Algorithm for Early Detection of Primary Open Angle Glaucoma using Retinal Optic Cup to Disc Ratio” , in *International Conference on Electrical, Electronics, and Optimization Techniques (ICEEOT)*, Chennai, India, Mar 3-5, 2016, pp. 148-151.
- [22] Anum Abdul Salam, M.Usman Akram, Kamran Wazir, Syed Muhammad Anwar, and Muhammad Majid, “ Autonomous Glaucoma Detection From Fundus Image Using Cup to Disc Ratio and Hybrid Features,” in *IEEE International Symposium on Signal Processing and Information Technology (ISSPIT)*, Abu Dhabi, United Arab Emirates, Dec 7-10, 2015, pp. 370-374.

# การศึกษาศักยภาพการอนุรักษ์พลังงานสำหรับร้านสะดวกซื้อในประเทศไทย

วิภาวดี วงษ์สุวรรณ<sup>1\*</sup> พิพัฒน์ ชัยวิวัฒน์วรกุล<sup>2</sup> อภิญญา พัวพัฒนกุล<sup>3</sup> อธิคม บางวิวัฒน์<sup>4</sup>

<sup>1</sup>หลักสูตรเทคโนโลยีวิศวกรรม บัณฑิตวิทยาลัย และคณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น กรุงเทพมหานคร ประเทศไทย

<sup>2,3,4</sup>บัณฑิตวิทยาลัยร่วมด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี กรุงเทพมหานคร ประเทศไทย

\*ผู้นิพนธ์ประสานงาน อีเมล : wipawadee@tni.ac.th

รับต้นฉบับ: 21 สิงหาคม 2562 ; รับผิดชอบต่อฉบับแก้ไข: 19 กันยายน 2562; ตอรับบทความ: 3 ตุลาคม 2562

เผยแพร่ออนไลน์: 25 ธันวาคม 2562

## บทคัดย่อ

ร้านสะดวกซื้อในประเทศไทยเพิ่มจำนวนขึ้นอย่างต่อเนื่องทั้งในเขตชุมชนเมืองและพื้นที่ชนบท ร้านค้ามีอุปกรณ์ไฟฟ้าสำหรับการแช่เย็น ปรับอากาศ ส่องสว่าง อุณหภูมิ อื่นๆ อีกทั้งให้บริการตลอด 24 ชั่วโมง จึงมีความต้องการใช้ไฟฟ้าสูง แม้ที่ผ่านมาร้านสะดวกซื้อได้ดำเนินมาตรการอนุรักษ์พลังงานอย่างต่อเนื่อง แต่ก็ยังมีศักยภาพที่จะลดการใช้พลังงานอยู่

งานวิจัยนี้ได้ตรวจวิเคราะห์พลังงานและผลตรวจวัดทำให้ทราบลักษณะการใช้พลังงานของร้านค้า ปัจจัยรวมถึงกิจกรรมที่ส่งผลกระทบต่อการใช้พลังงาน การสำรวจภาคสนามร้านสะดวกซื้อ 9 แห่ง ทำให้ทราบว่าร้านสะดวกซื้อใช้ไฟฟ้าสูงถึง 173,284 kWh/year ค่าเฉลี่ยพลังงานไฟฟ้าสูงสุด 20 kW ค่าเฉลี่ยความเข้มการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อปี 823 kWh/m<sup>2</sup>.year ระบบและอุปกรณ์แช่เย็นมีการใช้พลังงานสูงสุดคิดเป็นร้อยละ 59-64 ของการใช้ไฟฟ้าทั้งหมด ระบบปรับอากาศใช้ไฟฟ้าในระดับรองลงมาที่ร้อยละ 26-28 ระบบไฟฟ้าส่องสว่างร้อยละ 5 การศึกษาได้เสนอ 8 มาตรการอนุรักษ์พลังงานที่มีศักยภาพเชิงเทคนิค ได้แก่ (1) หลังกาสีเซรามิกสะท้อนแสง (2) หลังกาฉนวนกันความร้อน (3) การติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์ (4) การลดพื้นที่กระจก (5) เครื่องปรับอากาศอินเวอร์เตอร์ (6) ตู้แช่เย็นแบบเปิดอินเวอร์เตอร์ (7) ห้องแช่เย็นแบบปิดอินเวอร์เตอร์ (8) กระจก 3 ชั้นสำหรับห้องแช่เย็นแบบปิดหรืออินเวอร์เตอร์

จากการพัฒนาแบบจำลองคณิตศาสตร์สำหรับร้านค้าเพื่อประเมินการใช้พลังงานในแต่ละระบบและการใช้พลังงานโดยรวมของร้าน และในภาพรวมของประเทศได้ทำนายผลการประหยัดพลังงานตั้งแต่ปี 2562-2570 และการใช้พลังงานไฟฟ้าของร้านสะดวกซื้อทั้งแบบร้านค้าเดี่ยวและร้านค้าในอาคารพาณิชย์ที่ติดตั้งในรายการมาตรการและหลายมาตรการร่วมกัน พบว่าจะลดการใช้พลังงานลงได้ประมาณร้อยละ 9.9 ทั้งนี้ มาตรการอนุรักษ์พลังงานเหล่านี้ควรได้รับการประเมินว่ามีความคุ้มค่าต่อการลงทุนต่อไป

**คำสำคัญ :** ร้านสะดวกซื้อ การอนุรักษ์พลังงาน พลังงานไฟฟ้า คอมเพรสเซอร์อินเวอร์เตอร์ หลังกาเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตไฟฟ้า



# Investigation of Energy Conservation Potential for Convenience Stores in Thailand

Wipawadee Wongsuwan<sup>1\*</sup> Pipat Chaiwiwatworakul<sup>2</sup> Apinya Puapattanakul<sup>3</sup> Athikom Bangviwat<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Graduate School, and Faculty of Engineering, Thai-Nichi Institute of Technology, Bangkok, Thailand

<sup>2,3,4</sup>The Joint Graduate School of Energy and Environment (JGSEE), King Mongkut's University of Technology  
Thonburi (KMUTT), Bangkok, Thailand

\*Corresponding Author. E-mail address: wipawdee@tni.ac.th

Received: 21 August 2019; Revised: 19 September 2019; Accepted: 3 October 2019

Published online: 25 December 2019

## Abstract

The convenience stores in Thailand presents its continuing growth in both urban and rural areas. The stores possess various electric equipment for refrigeration, air-conditioning, lighting, cooking, with 7/24 service; resulting in high electricity demand. Those stores have been persistently conducted energy conservation; however, there is still a great potential for energy consumption reduction.

This research conducted detailed energy auditing to investigate the energy usage and its influencing factors. Nine convenience stores participated in the study. The results showed that the stores consumed electricity at 173,284 kWh/year, average peak power 20 kW, energy intensity 823 kWh/m<sup>2</sup>.year. The refrigeration shares 59–64% of the total energy consumption. The air-conditioning came the second with the consumption of 26-28% while the electric lighting consumed about 5%. This study proposed eight energy conservation measures including (1) Reflective ceramics painted roof, (2) Insulated roof for heat resistance, (3) Solar photovoltaic rooftop, (4) Reduction of glazed area, (5) inverter air-conditioner, (6) Inverter compressor for refrigerated open showcase, (7) Inverter compressor for walk-in cold room, and (8) 3-layers glass for walk-in cold room.

A mathematical model was developed for the store to present the energy usage in each system and the whole shop. For Thailand, the estimated conserved energy in the standalone and the commercial building's store, implementing particular measure and combined measures, from 2019 – 2027 is about 9.9%. Therefore, these measures should be further evaluated for their investment worthiness.

**Keywords:** Convenience store, Energy conservation, Electrical Energy, Inverter compressor, Solar PV rooftop

1) บทนำ

ร้านสะดวกซื้อ (Convenience store) ให้บริการจำหน่ายสินค้าตลอด 24 ชั่วโมง ร้านค้าตั้งในทำเลที่เข้าถึงสะดวก มีการปรับอากาศ ทำให้เป็นที่นิยมใช้บริการของประชาชนทั่วไป ร้านสะดวกซื้อที่มีทั้งประเภทอาคารเดี่ยวและร้านที่ตั้งอยู่ในอาคารพาณิชย์ ภายในร้านค้ามีเครื่องไฟฟ้าจำนวนมาก อาทิ เครื่องปรับอากาศ ตู้แช่เย็นอาหารและเครื่องดื่ม ตู้ไอศกรีม ตู้แช่แข็งยูนิท หลอดไฟฟ้า เครื่องอุ่นอาหาร ฯลฯ โดยบริเวณหลังร้านใช้เก็บสต็อกสินค้าซึ่งไม่ปรับอากาศ

ร้านสะดวกซื้อในประเทศไทยมีการขยายตัวอย่างต่อเนื่อง ในปี 2559 จำนวนสาขาร้านสะดวกซื้อเพิ่มจากปี 2558 ประมาณ 7.2% [1], [2] นอกจากนี้ ร้านยังขยายพื้นที่จากเดิมทำให้รองรับสินค้าและอุปกรณ์ได้มากขึ้น และมีความต้องการไฟฟ้าสูงขึ้น [3]

งานวิจัยหลายชิ้นในต่างประเทศได้นำเสนอข้อมูลการใช้พลังงานในร้านสะดวกซื้อ อาทิ The National Renewable Energy Laboratory (NREL)[4] ระบุว่าร้านสะดวกซื้อสามารถปรับปรุงให้มีสมรรถนะพลังงานสูงกว่ามาตรฐาน ASHRAE 90.1-2004 ซึ่งเป็นมาตรฐานอนุรักษ์พลังงานสำหรับระบบส่องสว่าง ระบบหน้าต่าง กรอบอาคาร อุปกรณ์ปรับอากาศ อุปกรณ์ทำความเย็น การผลิตพลังงาน โดยสามารถลดการใช้พลังงานลงได้ถึงร้อยละ 50 [4]

New Energy and Industrial Technology Development Organization (NEDO) [5] ศึกษาความเป็นไปได้ของร้านสะดวกซื้อที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมในประเทศไทยและในเวียดนามเมื่อปี 2555 โดยตรวจวิเคราะห์การใช้พลังงานในร้านสะดวกซื้อ 7 สาขาในไทยและในเวียดนาม มีการนำเสนออุปกรณ์ประสิทธิภาพสูงจากญี่ปุ่นมาใช้กับระบบส่องสว่าง ระบบปรับอากาศ และตู้แช่เย็น ซึ่งพบว่าจะลดการใช้พลังงานไฟฟ้าได้ร้อยละ 27

งานวิจัยอีกชิ้นของไต้หวันได้ตรวจสอบและวิเคราะห์การใช้ไฟฟ้าในร้านสะดวกซื้อของไต้หวันจำนวน 30 ร้าน [6] ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นการใช้พลังงานในร้านสะดวกซื้อในไต้หวันเท่ากับ 2,346 kWh/m<sup>2</sup>.year ซึ่งสูงกว่าค่าของอาคารสำนักงานและโรงแรม มาตรการอนุรักษ์พลังงานที่มีความสำคัญเป็นอันดับแรกคือการเปลี่ยนตู้แช่และเก็บอาหารที่เป็นอุปกรณ์เก่าและล้าสมัยให้เป็นอุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพ

2) วัตถุประสงค์ของการวิจัย

งานวิจัยนี้เพื่อศึกษาและวิเคราะห์การใช้พลังงานของร้านสะดวกซื้อในประเทศไทย และปัจจัยที่ส่งผลต่อการใช้พลังงานของร้านค้า เพื่อนำเสนอมาตรการอนุรักษ์พลังงานที่มีความเป็นไปได้เชิงเทคนิคกับร้านสะดวกซื้อ

3) วิธีดำเนินการวิจัย

ขั้นตอนแรกเป็นการทบทวนวรรณกรรมการอนุรักษ์พลังงานในร้านสะดวกซื้อ การสัมภาษณ์บุคลากรในกลุ่มธุรกิจ เพื่อให้ทราบทิศทางของธุรกิจร้านสะดวกซื้อ ระบบและอุปกรณ์ในร้านค้า จากนั้นกำหนดร้านสะดวกซื้อที่จะทำการสำรวจ โดยร้านมีลักษณะอาคาร พื้นที่ อายุ และอุปกรณ์ต่างกัน

การตรวจวัดพลังงานของร้านค้าเป็นการวัดต่อเนื่อง 24 ชั่วโมง อย่างน้อย 7 วัน เพื่อให้ทราบพฤติกรรมการใช้พลังงานของทั้งร้านค้า และเป็นรายระบบอุปกรณ์ การตรวจวัดยังครอบคลุมการวัดอุณหภูมิ ความชื้น ความเร็วลมเย็นของเครื่องทำความเย็นและเครื่องปรับอากาศ และการถ่ายโอนความร้อนผ่านกรอบอาคาร ทั้งนี้ผลตรวจวัดทั้งหมดจะนำมาพัฒนาเป็นแบบจำลองคณิตศาสตร์การใช้พลังงานไฟฟ้าของร้านสะดวกซื้อ แบบจำลองนี้แสดงความสัมพันธ์ของลักษณะร้านค้า สมรรถนะของระบบ/อุปกรณ์ กับความต้องการพลังงาน (Power demand) และปริมาณการใช้พลังงาน (Electrical energy consumption) ดังสมการที่ (1)

$$E_{pa} = \sum_{i=1}^n \left[ \frac{A_{wi}(OTTV_i)}{COP_i} + \frac{A_n(RTTV_i)}{COP_i} + A_i \left\{ \frac{LPD_i + EQD_i + OTHER_i}{COP_i} \right\} \right] n_h \quad (1)$$

$$+ \sum_{i=1}^n A_i(LPD_i + EQD_i)n_h$$

$OTTV_i$  คือ ค่าการถ่ายเทความร้อนของผนังภายนอก ( $W_{th}/m^2$ )

$RTTV_i$  คือ ค่าการถ่ายเทความร้อนของหลังคา ( $W_{th}/m^2$ )

$A_{wi}$  คือ พื้นที่ผนังภายนอก ( $m^2$ )

$A_{ri}$  คือ พื้นที่หลังคา (เฉพาะส่วนที่ตรงกับพื้นที่จำหน่ายสินค้า) ( $m^2$ )

$LPD_i$  คือ การใช้ไฟฟ้าเพื่อส่องสว่าง ( $W_{elec}/m^2$ )

$EQD_i$  คือ การใช้ไฟฟ้าของอุปกรณ์ไฟฟ้า ( $W_{elec}/m^2$ )

$OTHER_i$  คือ แหล่งความร้อนอื่น ๆ ( $W_{th}/m^2$ )

$COP_i$  คือ สมรรถนะของระบบปรับอากาศ (-)

$A_i$  คือ พื้นที่ใช้สอย ( $m^2$ )

$n_h$  คือ จำนวนชั่วโมงทำงานตลอดทั้งปี (ชั่วโมง)

จากการสำรวจและการใช้แบบจำลองข้างต้น ผู้วิจัยได้เสนอแนวทางการลดการใช้พลังงาน โดยครอบคลุมการใช้อุปกรณ์ประสิทธิภาพสูง และการลดความร้อนถ่ายเทผ่านกรอบอาคาร และประเมินศักยภาพของการอนุรักษ์พลังงานของร้านสะดวกซื้อในระดับมหภาค เป็นการประเมินเปรียบเทียบแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของการใช้พลังงานของร้านค้าตามการเพิ่มจำนวนของร้านในกรณีที่ไม่มีมาตรการใดๆ หรือ Business as Usual (BAU) และกรณีที่ร้านค้าดำเนินการมาตรการอนุรักษ์พลังงานต่างๆ

#### 4) ผลการวิจัย

##### 4.1) การสำรวจร้านสะดวกซื้อ

ร้านสะดวกซื้อที่สำรวจมี 9 ร้านค้า ตารางที่ 1 แสดงอายุร้านค้า พื้นที่ใช้สอยรวม พื้นที่จำหน่ายสินค้า การใช้พลังงานรวม และค่าการถ่ายโอนความร้อนรวมผ่านผนังและหลังคา (OTTV และ RTTV) โดยร้านค้ารหัส ST01 ST04 ST05 ST06 ST07 ST08 และ ST09 เป็นร้านค้าเดี่ยว และร้านค้ารหัส ST02 และ ST03 เป็นร้านค้าในอาคารพาณิชย์

ตารางที่ 1 ภาพรวมร้านสะดวกซื้อ

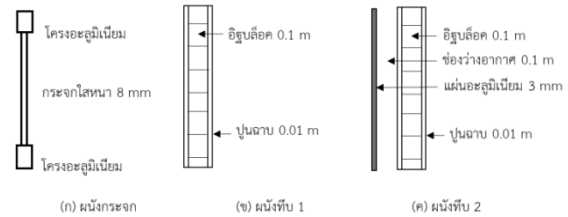
ร้านค้า	อายุ (ปี)	พื้นที่ใช้สอยรวม (m <sup>2</sup> )	พื้นที่จำหน่ายสินค้า (m <sup>2</sup> )	การใช้พลังงานรวม (kWh/yr)	OTTV (W/m <sup>2</sup> )	RTTV (W/m <sup>2</sup> )
ST01	8	203	155	193,812	29.82	9.21
ST02	10	215	141	202,428	29.52	n/a
ST03	6	162	86	132,744	63.75	n/a
ST04	2	266	194	147,348	32.61	2.43
ST05	2	266	194	208,584	57.46	9.21
ST06	5	154	130	169,620	63.75	9.21
ST07	3	293	203	142,440	62.81	9.21
ST08	5	291	212	191,940	51.21	9.21
ST09	5	155	130	170,640	62.55	9.04

ข้อมูลเฉลี่ยสำหรับร้านค้าเดี่ยว อาทิ พื้นที่ใช้สอย คือ 232 m<sup>2</sup> สัดส่วนพื้นที่ปรับอากาศคือร้อยละ 75 การใช้พลังงานรวมต่อปีของร้านค้า คือ 174,912 kWh/year และสำหรับร้านค้าในอาคารพาณิชย์ ข้อมูลเฉลี่ยข้างต้นจะเท่ากับ 189 m<sup>2</sup>, ร้อยละ 60 และ 167,586 kWh/year ตามลำดับ ซึ่งต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับร้านค้าเดี่ยว

##### 4.1.1) กรอบอาคาร

ผนังภายนอกของร้านสะดวกซื้อมีส่วนผนังทึบและกระจก โดยด้านหน้าร้านค้าเป็นกระจกใสโครงสร้างอะลูมิเนียม ผนังทึบ

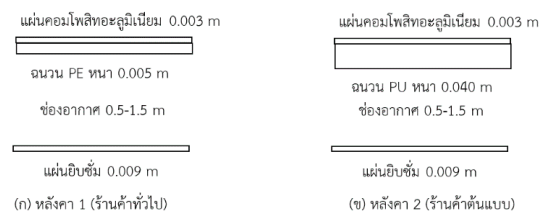
ด้านข้างอาจเป็นอิฐบล็อกฉาบปูนสองด้าน (ผนังทึบ 1) และอิฐบล็อกครูดด้วยแผ่นอะลูมิเนียม (ผนังทึบ 2) รูปที่ 1 แสดงลักษณะของผนังของร้านสะดวกซื้อ



รูปที่ 1: ผนังกระจกและผนังทึบของร้านสะดวกซื้อ

ผลคำนวณสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมผ่านผนัง (OTTV) ของร้านสะดวกซื้อมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 51.46 W<sub>th</sub>/m<sup>2</sup> สำหรับร้านค้าเดี่ยวและ 46.64 W<sub>th</sub>/m<sup>2</sup> สำหรับร้านค้าในอาคารพาณิชย์ ค่า OTTV ของร้านสะดวกซื้อส่วนใหญ่สูงกว่าค่าเกณฑ์มาตรฐานของอาคารพาณิชย์ขนาดใหญ่ ดังนั้น ความร้อนที่ผ่านเข้าร้านสะดวกซื้อต่อพื้นที่จึงสูงกว่า

หลังคาร้านค้าเป็นแผ่นอะลูมิเนียมมีฉนวน PE หนา 0.005 m โดยร้านค้าต้นแบบมีการใช้หลังคาฉนวน PU หนา 0.04 m ได้หลังคามีช่องอากาศ 0.5–1.5 m และแผ่นยิปซัมบอร์ดหนา 0.009 m โครงสร้างหลังคาของร้านทั่วไปและร้านค้าต้นแบบแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 หลังคาร้านสะดวกซื้อ

ค่าเฉลี่ย RTTV สำหรับหลังคาแบบทั่วไปของร้านสะดวกซื้อคือ 9.21 W<sub>th</sub>/m<sup>2</sup> โดยหลังคาฉนวน PU ของร้านค้าต้นแบบทำให้ค่า RTTV ลดลงเหลือ 2.43 W<sub>th</sub>/m<sup>2</sup> แสดงว่าฉนวนหลังคาที่หนาขึ้นลดความร้อนลงได้ประมาณร้อยละ 74

##### 4.1.2) ระบบปรับอากาศ

ร้านสะดวกซื้อใช้เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนระบายความร้อนด้วยอากาศ จำนวน 3-5 เครื่อง เปิดใช้งานสลับกันตาม

ตารางเวลาที่กำหนด พิกัดความเย็นของเครื่องอยู่ระหว่าง 7,600-12,000  $W_{th}$  (หรือ 25,000-40,944 Btu/hr) สมรรถนะ EER 9.6-11.4 (Btu/hr)/ $W_{elec}$  (COP 2.81-3.34) การใช้ไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศจากการตรวจวัดอยู่ระหว่าง 69-162 kWh/day หรือ 24,948-58,398 kWh/year ค่าดัชนีการใช้ไฟฟ้าต่อพื้นที่ 316 kWh/m<sup>2</sup>/year

#### 4.1.3) ระบบไฟฟ้าส่องสว่าง

ระบบไฟฟ้าส่องสว่างใช้หลอดชนิด LED ทั้งหมด กำลังไฟฟ้าของหลอด LED แตกต่างกันตามขนาดของหลอด และตามที่มีแบรนด์ธุรกิจเลือกใช้ เช่น 15.3 W 18 W และ 20 W

ผลการตรวจวัดระดับแสง ณ ตำแหน่งต่างๆ ในร้าน พบว่า

4.03-5.67  $W_{elec}/m^2$  ดัชนีการใช้ไฟฟ้าเฉลี่ยต่อพื้นที่ต่อปี 41 kWh/m<sup>2</sup>/year

#### 4.1.4) ระบบห้องแช่เย็นแบบวอล์คอินและตู้แช่เย็นแบบเปิด

ห้องแช่เย็นแบบวอล์คอิน (Walk-in cold room) ในร้านที่เข้าสำรวจมีขนาด 5-8 ประตู ห้องแช่เย็นเครื่องตีเย็นและสต็อกสินค้าอื่นเพื่อรอจำหน่าย ห้องเย็นติดตั้งเครื่องส่งลมเย็น 2-3 ชุด และคอนเดนซิ่งยูนิต 1-2 ชุด

การตรวจวัดอุณหภูมิของอากาศในห้องเย็นพบว่าอยู่ระหว่าง 0-5°C มีภาระทำความเย็นสูงสุด 10-12  $kW_{th}$  ค่าความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุด 6-7  $kW_{elec}$  ไฟฟ้าที่ห้องแช่เย็นใช้นั้นโดยรวมพลังไฟฟ้าประมาณ 1  $kW_{elec}$  สำหรับให้ความร้อนโครงสร้างของห้องเย็น ป้องกันการกลั่นตัวของน้ำบนตัวห้องเย็น

ห้องแช่เย็นส่วนใหญ่ทำงานที่ภาระความเย็นต่ำเกือบตลอดเวลา สมรรถนะพลังงานโดยรวมของห้องแช่เย็นจึงค่อนข้างต่ำ ค่าภาระความเย็นเฉลี่ย 3.8  $kW_{th}$  ค่าสมรรถนะการทำความเย็น (COP) เฉลี่ย 0.76

ตู้แช่เย็นแบบเปิด (Open showcase) มีหน้ากว้างสองขนาดคือ 1.8 m และ 0.9 m จำนวนรวม 3-4 ชุดต่อร้านค้า อุณหภูมิตู้แช่เย็นรักษาไว้ที่ 2-4 °C ค่าพลังไฟฟ้า 1.5-3.5  $kW_{elec}$  ปัจจุบันคอมเพรสเซอร์ที่ใช้กับห้องเย็นและตู้แช่แบบเปิดเป็นชนิดความเร็วรอบคงที่ (Fixed speed) ค่าดัชนีการใช้ไฟฟ้าของห้องแช่เย็นแบบปิด และ ตู้แช่เย็นแบบเปิดต่อพื้นที่ 372 kWh/m<sup>2</sup>/year

#### 4.1.5) อุปกรณ์ใช้ไฟฟ้าอื่น ๆ

นอกเหนือจากห้องแช่เย็นแบบวอล์คอินและตู้แช่เย็นแบบเปิด อุปกรณ์ทำความเย็นอื่น ได้แก่ ตู้แช่เย็นอาหารกล่อง ตู้แช่หมั ไอศกรีม ตู้แช่เนื้อสัตว์ ตู้น้ำแข็ง ตู้แช่ผักผลไม้สด ตู้น้ำหวาน ตู้ น้ำอัดลม ตู้สเลอบี ตู้น้ำแข็งยูนิต ตู้น้ำแข็งกด ฯลฯ ค่าพลังไฟฟ้าที่วัดได้อยู่ระหว่าง 1.55-875  $W_{elec}$  ส่วนกลุ่มทำความเย็นหลังร้าน ได้แก่ ตู้แช่แบบปิด และตู้ทำน้ำแข็ง

ตู้แช่เย็นแนวตั้งสำหรับแช่อาหารแช่แข็ง (ข้าวกล่อง) ควบคุมอุณหภูมิไว้ที่ -25°C ใช้พลังไฟฟ้า 1.0-2.5  $kW_{elec}$  ตู้แช่เย็นเครื่องตีและผลิตภัณฑ์นม ตั้งค่าอุณหภูมิที่ 2-4°C ตู้แช่เย็นเนื้อสัตว์และไอศกรีมตั้งค่าอุณหภูมิ -17°C

อุปกรณ์ทำความร้อนในพื้นที่ปรับอากาศ อาทิ เครื่องทำน้ำร้อน เครื่องทำกาแฟ ไมโครเวฟ ตู้ชาลาเปา เครื่องอบ แขนวชิ เครื่องคิดเงิน ฯลฯ มีค่าพลังไฟฟ้า 30-690  $W_{elec}$  ด้านหลังร้านมีอุปกรณ์อื่น ได้แก่ ป้อน้ำ พัดลม

ค่าดัชนีการใช้ไฟฟ้าของอุปกรณ์อื่นๆ ต่อพื้นที่เท่ากับ 184 kWh/m<sup>2</sup>/year

#### 4.1.6) การใช้พลังงานไฟฟ้า

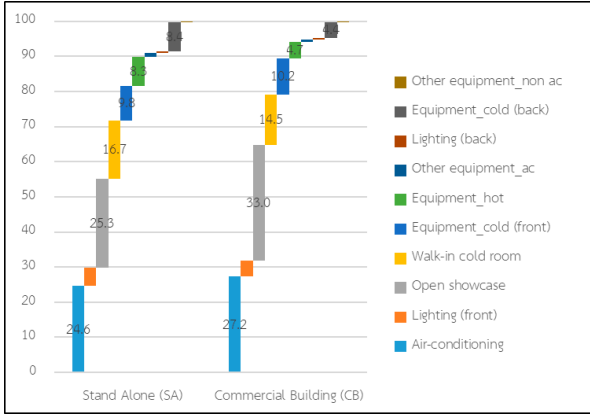
ผลจากการตรวจวัดการใช้ไฟฟ้าและพลังไฟฟ้าของทั้งร้านค้า และของแต่ละระบบอุปกรณ์ รวมถึงข้อมูลจากบิลค่าไฟฟ้า ทำให้ทราบว่าร้านสะดวกซื้อใช้ไฟฟ้าเฉลี่ย 173,284 kWh/year ค่าเฉลี่ยพลังไฟฟ้าสูงสุด 20 kW ค่าความเข้มการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อปีจากร้านค้าที่สำรวจแสดงได้ดัง รูปที่ 3 โดยค่าเฉลี่ยจาก 9 ร้าน คือ 823 kWh/m<sup>2</sup>/year

จากรูปที่ 3 ร้านค้าที่ 4, 7, และ 8 เป็นร้านค้าต้นแบบที่เพิ่มฉนวนโพลียูรีเทน (PU) หนา 0.040 m เข้าไปได้หลังคา ทำให้ลดความร้อนลงได้ประมาณร้อยละ 75 ในขณะที่ร้านที่ 6 และ 9 เป็นร้านค้าที่มีอุปกรณ์ทำความเย็นที่ใช้ไฟฟ้าสูง

รูปที่ 4 แสดงสัดส่วนของการใช้ไฟฟ้าของระบบต่างๆ ในร้านค้า ทั้งนี้ ร้านค้าเดี่ยวและร้านค้าในอาคารพาณิชย์มีสัดส่วนคล้ายคลึงกัน

การใช้ไฟฟ้าของร้านสะดวกซื้อสัมพันธ์กับกิจกรรมของธุรกิจ ระบบห้องแช่เย็นแบบวอล์คอินและตู้แช่เย็นแบบเปิด ใช้พลังงานสูงสุดร้อยละ 44-48 ของการใช้ไฟฟ้าทั้งหมด เมื่อรวมกับเครื่องเย็นอื่นอีกร้อยละ 15-16 สัดส่วนการทำความเย็นทั้งหมดคือร้อยละ 59-64 รองลงมาคือระบบปรับอากาศที่ ร้อยละ 26-28 ระบบไฟฟ้าส่องสว่างร้อยละ 5 การใช้ไฟฟ้าส่วนที่เหลือเป็นของ

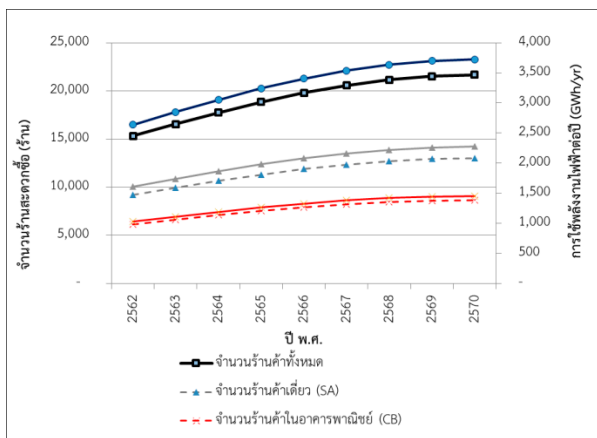




รูปที่ 6 สัดส่วนการใช้พลังงานในแต่ละระบบของร้านสะดวกซื้อสำหรับแบบจำลองร้านค้าเดี่ยวและร้านค้าในอาคารพาณิชย์

#### 4.3) มาตรการและศักยภาพอนุรักษ์พลังงานในร้านสะดวกซื้อ

จากสถิติการเติบโตของร้านสะดวกซื้อที่ผ่านมา ผลคาดการณ์ปี 2562-2570 ร้านสะดวกซื้อจะเพิ่มขึ้นด้วยอัตราที่ลดลงจากการอ้อมตัว ดังแสดงในรูปที่ 7 ซึ่งจำนวนร้านค้าแบ่งสัดส่วนเป็นร้านค้าเดี่ยวต่อร้านค้าในอาคารพาณิชย์ 60 : 40 การใช้พลังงานไฟฟ้าเพิ่มจาก 2,638 GWh/year เป็น 3,727 GWh/year ในปี 2570 หรือเติบโตขึ้นเป็น 1.4 เท่า ในอีก 8 ปีข้างหน้า



รูปที่ 7 คาดการณ์จำนวนร้านสะดวกซื้อและการใช้ไฟฟ้าปี 2562-2570

ผลประเมินการใช้พลังงานของร้านสะดวกซื้อกรณีที่น่าเป็นมาตรการอนุรักษ์พลังงานเป็นรายมาตรการ หรือหลายมาตรการร่วมกัน ทำให้ทราบศักยภาพเชิงเทคนิคของมาตรการอนุรักษ์พลังงานสำหรับร้านสะดวกซื้อในประเทศตั้งแต่ปัจจุบันจนถึงปี 2570

มาตรการอนุรักษ์พลังงานทั้ง 8 มาตรการที่น่าเสนอในบทความวิจัยนี้ได้รับการพิสูจน์แล้วว่ามีความพร้อมเชิงพาณิชย์

และสามารถประยุกต์ใช้กับร้านค้าที่มีอยู่แล้วและร้านค้าก่อสร้างใหม่ กำหนดเป็นรหัส M1-M8 ดังรายละเอียดต่อไปนี้

**(M1) หลังคาสี่เหลี่ยมสะท้อนแสง** การทำสี่เหลี่ยมกับผิวหลังคาเพิ่มสัมประสิทธิ์การสะท้อนรังสีอาทิตย์จาก 0.7 เป็น 0.95 ผลการคำนวณพบว่าค่า RTTV ลดจาก 7.4  $W_{th}/m^2$  เป็น 4.4  $W_{th}/m^2$  หรือลดลงร้อยละ 40 เทียบกับหลังคาปกติ เมื่อพื้นที่หลังคาร้านค้าในส่วนที่มีการปรับอากาศเท่ากับ 174  $m^2$  สมรรถนะของเครื่องปรับอากาศ COP เท่ากับ 2.8 และปรับอากาศตลอด 24 ชั่วโมง แบบจำลองร้านสะดวกซื้อแสดงให้เห็นว่าการใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศจะลดลงจาก 46,563 kWh/year เหลือ 44,892 kWh/year

**(M2) หลังคาฉนวนกันความร้อน** การใช้ฉนวน PU หนา 0.04 m (สัมประสิทธิ์การนำความร้อน  $k=0.024 W/m/K$ ) แทนฉนวน PE หนา 0.005 m (สัมประสิทธิ์การนำความร้อน  $k=0.032 W/m/K$ ) สามารถลดค่า RTTV จาก 7.4  $W_{th}/m^2$  เป็น 2.4  $W_{th}/m^2$  หรือลดลงร้อยละ 75 เทียบกับหลังคาปกติ เมื่อสมรรถนะของเครื่องปรับอากาศ COP เท่ากับ 2.8 การใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศจะลดลงจาก 46,563 kWh/year เหลือ 43,854 kWh/year

**(M3) หลังคาติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์** ร้านค้าเดี่ยวมีพื้นที่หลังคาและรับรังสีอาทิตย์โดยตรงตลอดทั้งวัน การติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาขนาด 15 kW สามารถผลิตไฟฟ้าได้ 21,900 kWh/year ค่าไฟฟ้าที่ได้เป็นผลจากการทำแบบจำลองโดยใช้ซอฟต์แวร์ PVSYST และใช้ข้อมูลรังสีอาทิตย์ตลอดทั้งปีของประเทศไทย

**(M4) การลดพื้นที่กระจก** การลดพื้นที่กระจกหน้าร้านลงร้อยละ 50 โดยติดตั้งผนังฉนวน PU หนา 0.05 m แทน สามารถลดค่า OTTV ของทั้งร้านค้าลงจาก XXX  $W/m^2$  เป็น YYY  $W/m^2$  เมื่อสมรรถนะเครื่องปรับอากาศ COP=2.8 และปรับอากาศตลอด 24 ชั่วโมง จะสามารถลดการใช้ไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศจาก 46,563 kWh/year เหลือ 42,941 kWh/year

**(M5) เครื่องปรับอากาศอินเวอร์เตอร์** เครื่องปรับอากาศที่มีประสิทธิภาพสูงสามารถลดการใช้ไฟฟ้าของร้านค้าลงได้มาก ปัจจุบันเทคโนโลยีอินเวอร์เตอร์ได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้กับคอมเพรสเซอร์ หากร้านสะดวกซื้อเปลี่ยนมาใช้เครื่องปรับอากาศแบบอินเวอร์เตอร์จะช่วยประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้ไม่น้อยกว่าร้อยละ 20



(M6) ตู้แช่เย็นแบบเปิดอินเวอร์เตอร์ ตู้แช่แบบเปิดใช้คอมเพรสเซอร์ชนิดความเร็วรอบคงที่ การเปลี่ยนใช้คอมเพรสเซอร์อินเวอร์เตอร์มีศักยภาพในการลดพลังงานลงได้ประมาณร้อยละ 15

(M7) ห้องแช่เย็นแบบปิดอินเวอร์เตอร์ ตู้แช่เย็นแบบปิดใช้คอมเพรสเซอร์ชนิดความเร็วรอบคงที่ การเปลี่ยนใช้คอมเพรสเซอร์อินเวอร์เตอร์มีศักยภาพในการลดพลังงานลงได้ประมาณร้อยละ 20 จากการทำงานช่วงภาระบางส่วนสูง

ผลประโยชน์จากการใช้อินเวอร์เตอร์ในมาตรการ (M5-7) เป็นค่าประเมินจากการทดลองตรวจวัดจริง

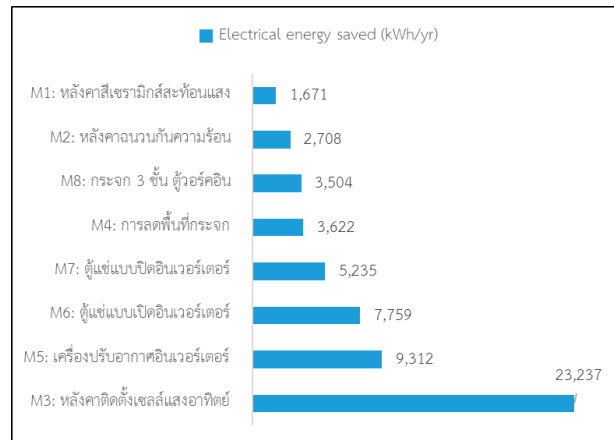
(M8) กระจก 3 ชั้น สำหรับห้องแช่เย็นแบบวอร์คอิน ห้องแช่เย็นแบบปิดจำเป็นต้องมีการให้ความร้อนที่บ้านประตูกระจกเพื่อป้องกันความควบแน่นของน้ำในอากาศ การเลือกใช้บานกระจก 2 ชั้น ที่เติมอาร์กอน หรือกระจก 3 ชั้น ทำให้ผิวกระจกมีอุณหภูมิสูงขึ้น สามารถลดการทำงานของฮีทเตอร์ไฟฟ้าลงร้อยละ 50

มาตรการทั้ง 8 ดังกล่าวให้ผลการประหยัดพลังงานต่อร้านค้าอย่างน้อยแตกต่างกัน

โดยรูปที่ 8 เรียงลำดับผลประโยชน์พลังงานไฟฟ้าต่อร้านค้าต่อปี มาตรการที่ประหยัดไฟฟ้าได้สูงสุดคือ M3 หลังคาติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ซึ่งทำควบคู่กับหลังคาติดฉนวน คือ 23,237 kWh/year รองลงมาคือมาตรการ M5 เครื่องปรับอากาศอินเวอร์เตอร์ คือ 9,312 kWh/year

มาตรการอนุรักษ์พลังงานทั้งหมดที่นำเสนอมีอายุโครงการต่างกันไป 10 ปี 15 ปี และ 20 ปี ส่งผลให้ผลรวม การประหยัดพลังงานตลอดอายุโครงการอยู่ในช่วง 16.709 – 464.734 MWh โดยมาตรการ M3 หลังคาติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีอายุการใช้งาน 20 ปี ประหยัดได้สูงสุด

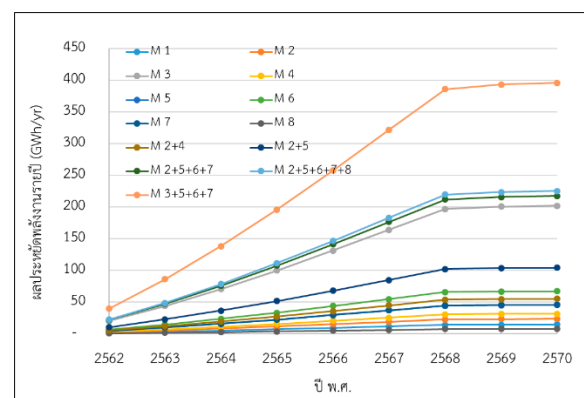
แบบจำลองร้านค้าเดียวกับแบบจำลองร้านค้าในอาคารพาณิชย์ ถูกใช้ประเมินผลประหยัดพลังงานต่อปี และใช้ทำนายผลประหยัดพลังงานไฟฟ้าของร้านสะดวกซื้อระหว่างปี 2562–2570 ดังรูปที่ 9 และ 10 เห็นได้ว่าศักยภาพการลดการใช้พลังงานของร้านค้าในอาคารพาณิชย์ต่ำกว่าร้านค้าเดี่ยวอย่างชัดเจน เพราะมีจำนวนที่น้อยกว่าและไม่สามารถดำเนินมาตรการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์



รูปที่ 8 สรุปพลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้แต่ละมาตรการอนุรักษ์พลังงาน

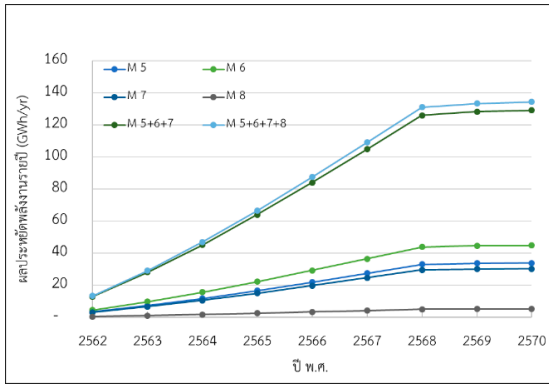
ร้านค้าเดี่ยวจะประหยัดการใช้พลังงานได้สูงสุดกรณีดำเนินมาตรการ M3 M5 M6 และ M7 ร่วมกัน ในระยะเวลา 9 ปีนี้ คาดว่าร้านค้าเดี่ยวจะประหยัดพลังงานได้ร้อยละ 12.2 หากใช้อัตราค่าไฟฟ้าของร้านสะดวกซื้อในปัจจุบันที่ 3.5 บาทต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง ก็จะประหยัดได้ถึง 7.75 ล้านบาท

กรณีร้านค้าในอาคารพาณิชย์หากดำเนินหลายมาตรการร่วมกัน คือ M5 M6 M7 จะลดการใช้พลังงานไฟฟ้าได้มากที่สุด ซึ่งคาดว่าจะประหยัดพลังงานได้ร้อยละ 6.2 คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้ 2.53 ล้านบาท



รูปที่ 9 ผลประหยัดพลังงานรายปีของร้านสะดวกซื้อประเภทร้านค้าเดี่ยว



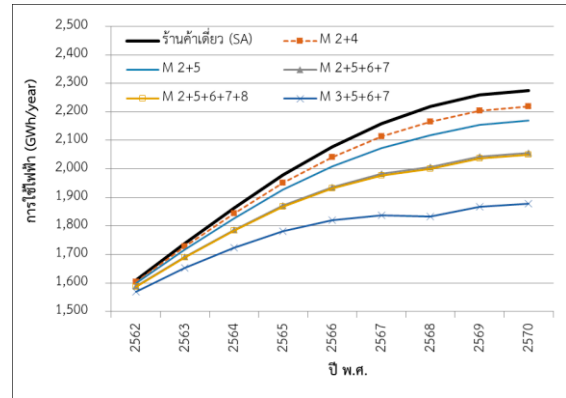


รูปที่ 10 ผลประหยัดพลังงานร้านสะดวกซื้อรายปีประเภทร้านค้าในอาคารพาณิชย์

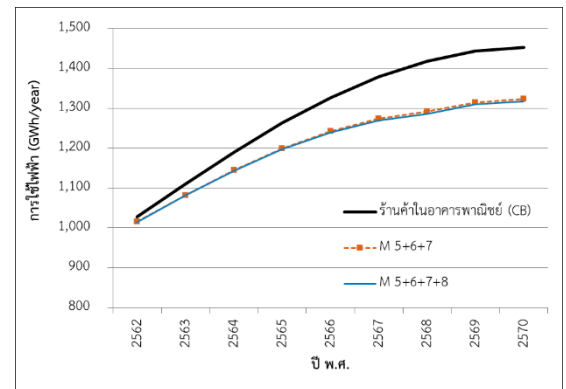
รูปที่ 9 และ 10 แสดงให้เห็นว่าพลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้สะสมเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงแรกจนถึงปี 2568 จากนั้นจะเพิ่มขึ้นช้าลง เนื่องจากร้านสะดวกซื้อจะปรับปรุงใหม่ทุก 7 ปี และเมื่อปรับปรุงจึงดำเนินการอนุรักษ์พลังงานได้ ดังนั้นการปรับปรุงร้านเก่าจะแล้วเสร็จทั้งหมดใน 7 ปี ประกอบกับอัตราการเติบโตจำนวนร้านค้าที่ลดลง สัดส่วนร้านค้าใหม่ในช่วงแรกจะมากกว่าช่วงหลัง ส่งผลให้จำนวนร้านค้าที่ปรับปรุงในช่วงแรกมากกว่าในช่วงหลัง กราฟจึงชันมากในช่วงแรก และเปลี่ยนแปลงน้อยในช่วงหลัง

แนวโน้มการใช้พลังงานไฟฟ้าในร้านสะดวกซื้อ (หน่วย GWh/year) ประเภทร้านค้าเดี่ยวและร้านค้าในอาคารพาณิชย์ เทียบกับกรณีฐาน แสดงดังรูปที่ 11 และ 12 เมื่อร้านค้าเดี่ยวติดตั้งหลายมาตรการร่วมกัน คือ M3 M5 M6 และ M7 จะส่งผลให้การประหยัดในปี 2570 เทียบกับปี 2562 เพิ่มขึ้นเพียงร้อยละ 19.6 และคิดเป็นการใช้พลังงานร้อยละ 82.6 ของกรณีฐาน

ร้านค้าในอาคารพาณิชย์จะลดการใช้พลังงานได้มากที่สุดเมื่อดำเนินหลายมาตรการร่วมกัน คือ M5 M6 M7 ซึ่งจะทำให้การใช้พลังงานในปี 2570 เทียบกับปี 2562 เพิ่มขึ้นร้อยละ 30.4 และคิดเป็นการใช้พลังงานร้อยละ 91.1 ของกรณีฐาน



รูปที่ 11 แนวโน้มการใช้พลังงานของร้านสะดวกซื้อประเภทร้านค้าเดี่ยว



รูปที่ 12 แนวโน้มการใช้พลังงานของร้านสะดวกซื้อประเภทร้านค้าในอาคารพาณิชย์

ร้านสะดวกซื้อจะสนใจติดตั้งมาตรการอนุรักษ์พลังงานก็ต่อเมื่อเป็นมาตรการที่มีผลตอบแทนการลงทุนที่ดี แม้ว่าการลงทุนติดตั้งหลายมาตรการอนุรักษ์พลังงานจะลดการใช้ไฟฟ้าได้มากกว่า แต่ต้องคำนึงถึงความคุ้มค่าต่อการลงทุนด้วย มาตรการใดที่มีค่าใช้จ่ายของมาตรการต่อหน่วยไฟฟ้าที่ประหยัดได้ที่ต่ำกว่า ก็น่าสนใจที่จะติดตั้งก่อนมาตรการอื่น

### 5) สรุปและอภิปรายผล

งานวิจัยนี้ได้ตรวจวิเคราะห์การใช้พลังงานของร้านสะดวกซื้อ 9 ร้าน ประกอบกับการตรวจวัดปัจจัยด้านความร้อน การวิเคราะห์สมรรถนะของระบบและอุปกรณ์ในร้านค้า และการพัฒนาแบบจำลองการใช้ไฟฟ้าของร้านสะดวกซื้อ และได้เสนอมาตรการอนุรักษ์พลังงานที่มีศักยภาพเชิงเทคนิค 8 มาตรการ โดยมาตรการอนุรักษ์พลังงานที่มีศักยภาพสูง ได้แก่ การติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคา เครื่องปรับอากาศแบบคอมเพรสเซอร์อินเวอร์เตอร์ และห้องแช่เย็นแบบวอล์คอินและตู้แช่เย็นแบบเปิดที่ใช้คอมเพรสเซอร์อินเวอร์เตอร์

แบบจำลองคณิตศาสตร์ที่พัฒนาขึ้นใช้ประเมินการใช้พลังงานไฟฟ้าในรายอุปกรณ์และการใช้พลังงานโดยรวมของร้าน จึงสามารถทำนายพลังงานที่ประหยัดได้ต่อปี ระหว่างปี 2562–2570 จากการใช้มาตรการเดี่ยวและหลายมาตรการร่วมกัน และทำนายการใช้ไฟฟ้าของร้านสะดวกซื้อหากติดตั้งหลายมาตรการร่วมกัน ในระยะเวลา 9 ปี คาดว่าร้านค้าเดี่ยวยจะประหยัดพลังงานได้ร้อยละ 12.2 ในขณะที่ร้านค้าในอาคารพาณิชย์จะประหยัดได้ร้อยละ 6.2 โดยมีผลประหยัดเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักตามจำนวนร้านค้าเท่ากับประหยัดได้ร้อยละ 9.9 ทั้งนี้การศึกษาคำนวณค่าด้านการเงินจะดำเนินการในศึกษาในระยะต่อไป

#### กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอแสดงความขอบคุณ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.) และการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ.) ผู้สนับสนุนทุนวิจัยสำหรับโครงการรหัส P-16-51687 และขอแสดงความขอบคุณร้านสะดวกซื้อผู้ร่วมโครงการ

#### REFERENCES

- [1] Pulsook Nilkitsaranon, Piyanuch Sathapongpak, “Trends of business/industry in 2017-2019 for new convenience stores”, (In Thai). [Online]. Available: [https://www.krungsri.com/bank/getmedia/f1e844b6-74af-44df-9ba4-23dc9d0f7427/IO\\_Modern\\_Trade\\_2017\\_TH.aspx](https://www.krungsri.com/bank/getmedia/f1e844b6-74af-44df-9ba4-23dc9d0f7427/IO_Modern_Trade_2017_TH.aspx). [accessed: May 31, 2017].
- [2] Prachachat Thurakit, “7-11 remark large market share speed up to 13,000 stores online penetration.” (In Thai). [Online]. Available: <https://www.prachachat.net/marketing/news-36540>. [Accessed: 11-Oct-2019].
- [3] Saiseenews, “Announce legend of Thai 7-11 that anyone love!!.” (In Thai). [Online]. Available: <http://www.saiseenews.com/>. [accessed: Jun 02, 2017].
- [4] Eric Bonnema, Matt Leach, and Shanti Pless, “Technical Support Document: Development of the Advanced Energy Design Guide for Medium to Big Box Retail Buildings – 50% Energy Savings”, National Renewable Energy Laboratory (NREL). Available: <https://www.nrel.gov/docs/fy13osti/52589.pdf>. [accessed: Jun 02, 2017].
- [5] New Energy and Industrial Technology Development Organization (NEDO), “Feasibility Study on Green Convenience Stores with High-Efficiency Equipment in

Thailand and Vietnam”, in *Feasibility Studies with the Aim of Developing a Bilateral Offset Credit Mechanism FY2012*. NTT DATA INSTITUTE OF MANAGEMENT CONSULTING, INC, 2012.

[6] D. Chou, C.-S. Chang, and Y.-Z. Hsu, “Investigation and analysis of power consumption in convenience stores in Taiwan,” *Energy and Buildings*, Vol. 133, pp. 670–687, Dec. 2016.

# การปรับปรุงประสิทธิภาพของอัลกอริทึมต้นไม้ โดยใช้อัลกอริทึมการแบ่งกลุ่มผสม

วารากร ศรีเชวงทรัพย์

ห้องปฏิบัติการวิจัยวิศวกรรมคอมพิวเตอร์หุ่นยนต์และเทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น  
กรุงเทพมหานคร ประเทศไทย

ผู้นิพนธ์ประสานงาน อีเมล : warakorn@tni.ac.th

รับต้นฉบับ: 14 ตุลาคม 2562; รับประทานฉบับแก้ไข: 4 พฤศจิกายน 2562; ตอรับบทความ: 12 พฤศจิกายน 2562

เผยแพร่ออนไลน์: 25 ธันวาคม 2562

## บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ได้แก่ การปรับปรุงประสิทธิภาพของอัลกอริทึมต้นไม้ โดยใช้อัลกอริทึมการแบ่งกลุ่มผสม เนื่องจากกรณีที่มีจำนวนผู้ใช้น้อย อัลกอริทึมต้นไม้ไบนารีจะมีประสิทธิภาพที่ดีที่สุด และสำหรับกรณีที่มีจำนวนผู้ใช้งานมากขึ้น อัลกอริทึมเทอนารีจะมีประสิทธิภาพที่ดีที่สุด ดังนั้นบทความฉบับนี้จึงได้นำเสนออัลกอริทึมการแบ่งกลุ่มผสม ซึ่งจะมีการแบ่งกลุ่มการชนออกเป็น 2 กลุ่ม ดังเช่น อัลกอริทึมต้นไม้ไบนารี กรณีที่มีผู้ใช้ที่เกี่ยวข้องกับการชนน้อย และจะมีการแบ่งกลุ่มการชนออกเป็น 3 กลุ่ม ดังเช่น อัลกอริทึมต้นไม้เทอนารี กรณีที่มีผู้ใช้ที่เกี่ยวข้องกับการชนมาก จากผลการทดสอบพบว่า อัลกอริทึมที่นำเสนอมีแนวโน้ม ค่าความน่าจะเป็นในการเข้าใช้ช่องสัญญาณสำเร็จสูงกว่า อัลกอริทึมต้นไม้ไบนารี และอัลกอริทึมต้นไม้เทอนารี ซึ่งส่งผลให้ประสิทธิภาพของอัลกอริทึมที่นำเสนอสูงกว่าอัลกอริทึมต้นไม้ไบนารี และอัลกอริทึมต้นไม้เทอนารี

**คำสำคัญ** : การเข้าถึงช่องสัญญาณ อัลกอริทึมต้นไม้ อัลกอริทึมการแบ่งกลุ่มผสม



# Improving the Performance of Tree Algorithm using Mixed Splitting Algorithm

Warakorn Srichavengsup

*Computer Engineering Robotics and Technology Research Laboratory : CERT  
Faculty of Engineering, Thai-Nichi Institute of Technology, Bangkok, Thailand*

Corresponding Author. E-mail address: warakorn@tni.ac.th

Received: 14 October 2019; Revised: 4 November 2019; Accepted: 12 November 2019

Published online: 25 December 2019

## ***Abstract***

The aim of this research is to enhance the performance of tree algorithm using mixed splitting algorithm. Binary tree is very efficient when the number of users is small. In case of large number of users, Ternary tree performs better than other algorithms. Therefore, this paper introduces mixed splitting algorithm. The details of this algorithm are as follows. When the number of the collided users is small, this algorithm will split the collided users into 2 groups. In case of large number of users, this algorithm will split the collided users into 3 groups. From the results, we found that the probability of success of the proposed algorithm tends to be higher than the Binary and Ternary algorithms. With this reason, the proposed algorithm performs superior performance than other algorithms.

**Keywords:** Channel Access Method, Tree Algorithm, Mixed Splitting Algorithm

### 1) บทนำ

ปัจจุบันเป็นยุคแห่งการสื่อสารความเร็วสูง ทำให้เกิดความ ต้องการในการส่งข้อมูลจำนวนมากพร้อมกันจากผู้ใช้หลายราย ปัญหาที่ตามมา คือ ในกรณีที่ผู้ใช้หลายรายต้องการส่งข้อมูล พร้อมกัน จะทำให้มีโอกาสที่จะเกิดการชนกันของข้อมูล เพื่อ แก้ไขปัญหาการชนกันของข้อมูล ได้มีผู้เสนออัลกอริทึมต่าง ๆ ดังนี้ อัลกอริทึม ALOHA [1-3], อัลกอริทึม slotted ALOHA [4-5], อัลกอริทึมการตรวจช่องสัญญาณ Carrier Sense Multiple Access (CSMA) [6-7], อัลกอริทึมการตรวจช่องสัญญาณและ การหลีกเลี่ยงการชนกันของข้อมูล Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance (CSMA/CA) [8-9] และ อัลกอริทึมต้นไม้ (Tree Algorithm) [10-11]

เมื่อเปรียบเทียบอัลกอริทึมต้นไม้กับอัลกอริทึมอื่น ๆ จะ พบว่าอัลกอริทึมต้นไม้มีข้อดี คือ อัลกอริทึมต้นไม้ได้นำการ แบ่งกลุ่มของผู้ใช้มาช่วยในการแก้ไขปัญหาการชนกันของข้อมูล ได้อย่างมีประสิทธิภาพ และมีการทำงานไม่ซับซ้อน โดยการ แก้ไขปัญหาการชนมีขั้นตอนดังนี้ เมื่อเกิดการชนกันของข้อมูล จะมีการแบ่งกลุ่มผู้ใช้ที่เกี่ยวข้องกับการชนออกเป็นกลุ่มย่อย และ เมื่อเกิดชนกันขึ้นอีกครั้งในกลุ่มย่อย ผู้ใช้ที่เกี่ยวข้องกับการชน จะแบ่งกลุ่มออกไปเรื่อย ๆ จนกระทั่งไม่มีการชนกันเกิดขึ้น

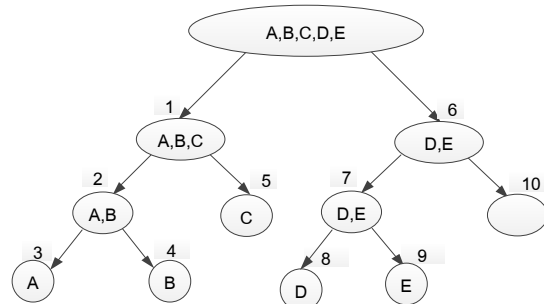
วัตถุประสงค์ของบทความวิจัยฉบับนี้ ได้แก่ การนำเสนอการ ปรับปรุงประสิทธิภาพของอัลกอริทึมต้นไม้ เพื่อควบคุมการเข้า ใช้ช่องสัญญาณของระบบสื่อสารความเร็วสูง โดยใช้อัลกอริทึม การแบ่งกลุ่มผสม สำหรับลำดับการนำเสนอในบทความฉบับนี้ เป็นดังนี้ ในส่วนถัดไปจะกล่าวถึงรายละเอียดของอัลกอริทึม ต้นไม้ที่เป็นที่รู้จักอย่างแพร่หลาย ซึ่งได้แก่ อัลกอริทึมต้นไม้ไบนารี (Binary tree algorithm) และอัลกอริทึมต้นไม้เทอนารี (Ternary tree algorithm) จากนั้นจะกล่าวถึงรายละเอียดของ อัลกอริทึมการแบ่งกลุ่มผสม ตามด้วยผลการทดสอบ การ วิเคราะห์ข้อมูล และส่วนสรุปของงานวิจัย

### 2) อัลกอริทึมต้นไม้ไบนารี อัลกอริทึมต้นไม้เทอนารี

อัลกอริทึมต้นไม้ไบนารี และอัลกอริทึมต้นไม้เทอนารี มี รายละเอียดดังนี้

#### 2.1) อัลกอริทึมต้นไม้ไบนารี

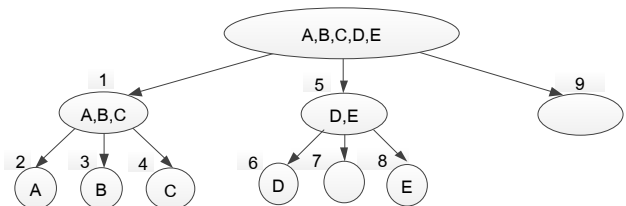
หลักการของอัลกอริทึมต้นไม้ไบนารีเป็นดังนี้ เมื่อใดก็ตามที่ เกิดการชนกันของข้อมูล จะมีการแบ่งกลุ่มผู้ใช้ที่เกี่ยวข้องกับการ ชนออกเป็น 2 กลุ่ม โดยจะมีการแบ่งกลุ่มเท่ากับ 2 กลุ่มไปเรื่อย ๆ และจะหยุดแบ่งกลุ่มเมื่อ ผู้ใช้ทุกคนเข้าใช้ช่องสัญญาณสำเร็จ สำหรับตัวอย่างการแก้ปัญหาการชนของอัลกอริทึมต้นไม้ไบนารี แสดงได้ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 การเข้าใช้ช่องสัญญาณของอัลกอริทึมต้นไม้ไบนารี

#### 2.2) อัลกอริทึมต้นไม้เทอนารี

กรณีที่มีผู้ใช้งานจำนวนมาก อัลกอริทึมต้นไม้ไบนารี จะมี ประสิทธิภาพที่ไม่ดี อย่างเช่น หากมีผู้ใช้งานในระบบจำนวน 35 คน ผู้ใช้ทั้ง 35 คน จะต้องเลือกเข้าใช้ช่องสัญญาณใด ช่องสัญญาณหนึ่ง จากช่องสัญญาณ 2 ช่อง ทำให้มีโอกาสในการ เกิดการชนสูงในช่วงแรก ซึ่งส่งผลให้ประสิทธิภาพของอัลกอริทึม ลดลง ดังนั้น จึงได้มีผู้ที่ทำการทดสอบ โดยแบ่งกลุ่มผู้ใช้ออกเป็น หลายกลุ่มย่อย และประเมินสมรรถนะของระบบ จากผลการ ทดสอบ ได้ผลว่าในกรณีที่มีผู้ใช้งานในระบบจำนวนมาก การ แบ่งกลุ่มผู้ใช้ออกเป็น 3 กลุ่ม จะช่วยปรับปรุงประสิทธิภาพของ อัลกอริทึมต้นไม้ไบนารีได้ [12-13] โดยเรียกอัลกอริทึมนี้ว่า อัลกอริทึมต้นไม้เทอนารี ตัวอย่างการแก้ปัญหาการชนของ อัลกอริทึมต้นไม้เทอนารี แสดงได้ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 การเข้าใช้ช่องสัญญาณของอัลกอริทึมต้นไม้เทอนารี

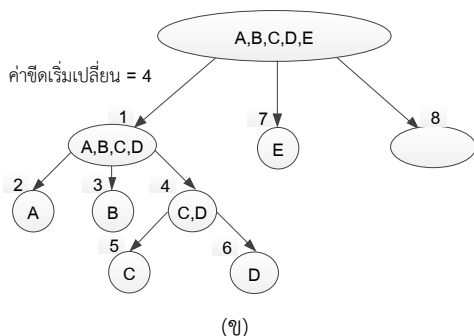
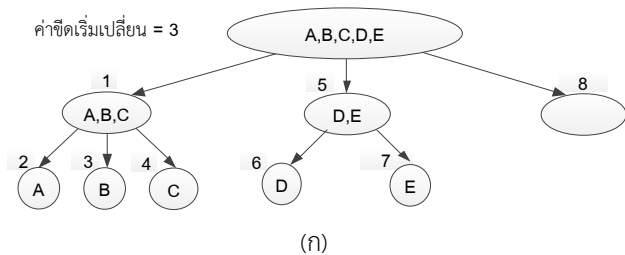
### 3) อัลกอริทึมการแบ่งกลุ่มผสม

ในกรณีที่มีจำนวนผู้ใช้ที่เกี่ยวข้องกับการขนน้อย อย่างเช่น 2 คน การแบ่งกลุ่มต้นไม้นี้เท่ากับ 2 กลุ่ม จะมีประสิทธิภาพที่ดีกว่า การแบ่งกลุ่มต้นไม้นี้เท่ากับ 3 กลุ่ม แต่กรณีที่มีจำนวนผู้ใช้ที่เกี่ยวข้องกับการขนมาก อย่างเช่น 8 คน การแบ่งกลุ่มต้นไม้นี้เท่ากับ 3 กลุ่ม จะมีประสิทธิภาพที่ดีกว่า ดังนั้นบทความวิจัยฉบับนี้ จึงได้เสนออัลกอริทึมการแบ่งกลุ่มผสม โดยกรณีที่มีจำนวนผู้ใช้ที่เกี่ยวข้องกับการขนน้อย จะแบ่งกลุ่มต้นไม้นี้เท่ากับ 2 กลุ่ม และกรณีที่มีจำนวนผู้ใช้ที่เกี่ยวข้องกับการขนมาก จะแบ่งกลุ่มต้นไม้นี้เท่ากับ 3 กลุ่ม

ตัวอย่างการแก้ปัญหาการขนของอัลกอริทึมการแบ่งกลุ่มผสม แสดงได้ดังรูปที่ 3

ในบทความวิจัยฉบับนี้ ได้กำหนดตัวแปรค่าขีดเริ่มเปลี่ยน (threshold) ขึ้นมา โดยค่าขีดเริ่มเปลี่ยน คือ ค่าจำนวนผู้ใช้ที่เกี่ยวข้องกับการขนต่ำสุดที่จะแบ่งกลุ่มเท่ากับ 3 อย่างเช่น รูปที่ 3 (ก) ได้กำหนดค่าขีดเริ่มเท่ากับ 3 นั่นคือ เมื่อจำนวนผู้ใช้ที่เกี่ยวข้องกับการขนน้อยกว่า 3 จะมีการแบ่งกลุ่มเพียง 2 กลุ่ม และเมื่อจำนวนผู้ใช้ที่เกี่ยวข้องกับการขนมากกว่าหรือเท่ากับ 3 จะมีการแบ่งกลุ่ม 3 กลุ่ม

รูปที่ 3 (ข) ได้กำหนดค่าขีดเริ่มเท่ากับ 4 นั่นคือ เมื่อจำนวนผู้ใช้ที่เกี่ยวข้องกับการขนน้อยกว่า 4 จะมีการแบ่งกลุ่มเพียง 2 กลุ่ม และเมื่อจำนวนผู้ใช้ที่เกี่ยวข้องกับการขนมากกว่าหรือเท่ากับ 4 จะมีการแบ่งกลุ่ม 3 กลุ่ม

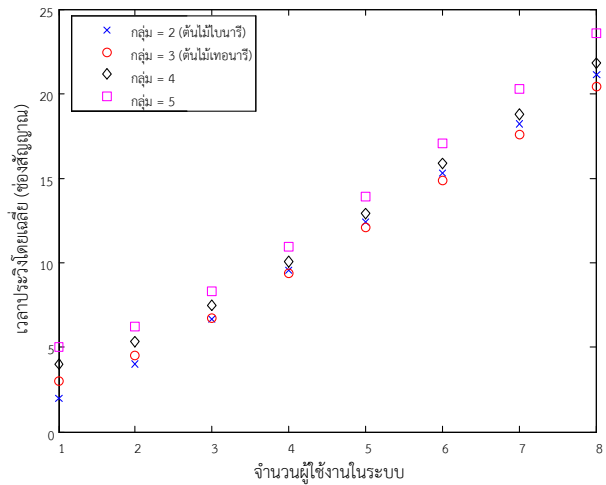


รูปที่ 3 การเข้าใช้ของสัญญาณของอัลกอริทึมการแบ่งกลุ่มผสม

### 4) ผลการทดสอบและการวิเคราะห์ข้อมูล

ในส่วนนี้ จะกล่าวถึงผลการทดสอบอัลกอริทึมต่าง ๆ โดยมีรายละเอียดดังนี้

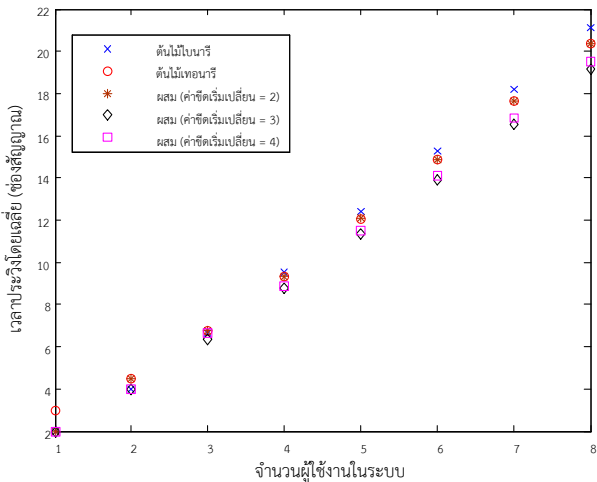
รูปที่ 4 แสดงการเปรียบเทียบเวลาประวิงโดยเฉลี่ยของอัลกอริทึมซึ่งมีการแบ่งกลุ่มผู้ใช้ที่เกี่ยวข้องกับการขนออกเป็น 2, 3, 4 และ 5 กลุ่ม จากผลที่ได้พบว่า การแบ่งกลุ่มเท่ากับ 4 และ 5 กลุ่ม จะให้ประสิทธิภาพที่ไม่ดี เมื่อเปรียบเทียบกับ การแบ่งกลุ่มการขนเท่ากับ 2 กลุ่ม และ 3 กลุ่ม ในกรณีที่มีผู้ใช้งานในระบบจำนวนน้อยกว่าหรือเท่ากับ 2 คน อัลกอริทึมต้นไม้นี้ ไม่นารี ซึ่งมีการแบ่งกลุ่มผู้ใช้ที่เกี่ยวข้องกับการขนออกเป็น 2 กลุ่ม จะให้ค่าเวลาประวิงโดยเฉลี่ยน้อยที่สุด สำหรับกรณีที่มีผู้ใช้งานในระบบจำนวนมากกว่าหรือเท่ากับ 3 คน อัลกอริทึมต้นไม้นี้ ไม่นารี และอัลกอริทึมต้นไม้นี้ เอนารี จะให้ค่าเวลาประวิงโดยเฉลี่ย เท่ากัน สำหรับกรณีที่มีผู้ใช้งานในระบบจำนวนมากกว่าหรือเท่ากับ 4 คน อัลกอริทึมต้นไม้นี้ เอนารี ซึ่งมีการแบ่งกลุ่มผู้ใช้ที่เกี่ยวข้องกับการขนออกเป็น 3 กลุ่ม จะมีประสิทธิภาพมากที่สุด



รูปที่ 4 การเปรียบเทียบเวลาประวิงโดยเฉลี่ยระหว่างการแบ่งกลุ่มการขน ออกเป็น 2, 3, 4 และ 5 กลุ่ม

จากผลที่ได้จากรูปที่ 4 จึงนำมาออกแบบอัลกอริทึมการแบ่งกลุ่มต้นไม้นี้เท่ากับ 2 และ 3 กลุ่ม โดยกำหนดค่าขีดเริ่มเปลี่ยนค่าหนึ่ง อย่างเช่น หากกำหนดให้ค่าขีดเริ่มเปลี่ยนเท่ากับ 3 หากมีผู้ใช้ที่เกี่ยวข้องกับการขนกันเท่ากับหรือมากกว่า 3 คน จะมีการแบ่งกลุ่มออกเป็น 3 กลุ่ม แต่หากมีผู้ใช้ที่เกี่ยวข้องกับการขนกันเท่ากับ 2 คน จะมีการแบ่งกลุ่มออกเป็น 2 กลุ่ม

รูปที่ 5 แสดงการเปรียบเทียบเวลาประวิงโดยเฉลี่ยระหว่างอัลกอริทึมต้นไม้ไบนารี อัลกอริทึมต้นไม้เทอนารี และอัลกอริทึมที่นำเสนอ โดยมีค่าขีดเริ่มเปลี่ยนเท่ากับ 2, 3 และ 4 ตามลำดับ จากผลที่ได้พบว่า อัลกอริทึมที่นำเสนอ มีประสิทธิภาพดีกว่าอัลกอริทึมต้นไม้ไบนารี และอัลกอริทึมต้นไม้เทอนารี เมื่อพิจารณาค่าขีดเริ่มเปลี่ยน พบว่ากรณีที่มีค่าขีดเริ่มเปลี่ยนเท่ากับ 3 ให้ประสิทธิภาพที่ดีกว่ากรณีซึ่งมีค่าขีดเริ่มเปลี่ยนเท่ากับ 2 และ 4



รูปที่ 5 การเปรียบเทียบเวลาประวิงโดยเฉลี่ยระหว่างอัลกอริทึมต้นไม้ไบนารี อัลกอริทึมต้นไม้เทอนารี และอัลกอริทึมที่นำเสนอ

จากการทดสอบข้างต้น ทำให้ทราบว่า การแบ่งกลุ่มผู้ใช้เท่ากับ 2 กลุ่ม จะให้ประสิทธิภาพที่ดีที่สุด ตอนที่จำนวนผู้ใช้งานเท่ากับ 1 และ 2 คน หากจำนวนผู้ใช้งานเท่ากับ 3 คน การแบ่งกลุ่มผู้ใช้งานเท่ากับ 2 และ 3 กลุ่ม จะให้ประสิทธิภาพดีที่สุด และหากผู้ใช้งานในระบบมากกว่า 3 คน การแบ่งกลุ่มผู้ใช้เท่ากับ 3 กลุ่ม จะให้ประสิทธิภาพที่ดีที่สุด

ดังนั้นในการทดลองต่อจากนี้ จะพิจารณา

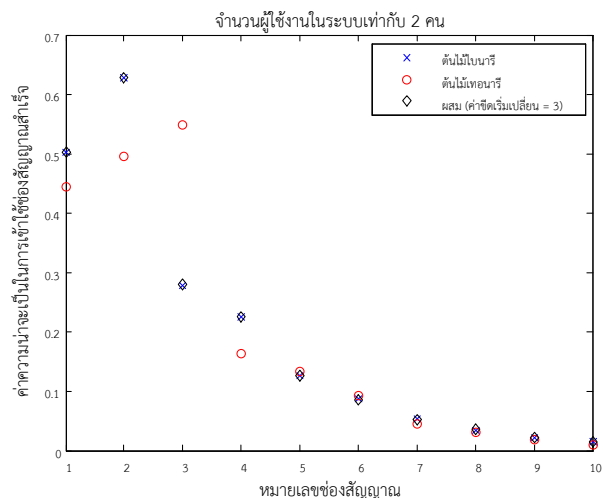
- 1) กรณีที่มีจำนวนผู้ใช้งานในระบบเท่ากับ 2 คน ซึ่งให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุด เมื่อมีการแบ่งกลุ่มผู้ใช้เท่ากับ 2 กลุ่ม
- 2) กรณีที่มีจำนวนผู้ใช้งานในระบบเท่ากับ 3 คน ซึ่งให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุด เมื่อมีการแบ่งกลุ่มผู้ใช้เท่ากับ 2 และ 3 กลุ่ม
- 3) กรณีที่มีจำนวนผู้ใช้งานในระบบเท่ากับ 8 คน ซึ่งให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุด เมื่อมีการแบ่งกลุ่มผู้ใช้เท่ากับ 3 กลุ่ม

รูปที่ 6, 7 และ 8 แสดงการเปรียบเทียบค่าความน่าจะเป็นในการเข้าใช้ช่องสัญญาณสำเร็จ กรณีที่มีผู้ใช้งานในระบบเท่ากับ 2, 3 และ 8 คน ตามลำดับ จากผลที่ได้พบว่า กรณีที่มีจำนวนผู้ใช้งานในระบบเท่ากับ 2 คน ทุกอัลกอริทึม จะมีโอกาสที่จะประสบความสำเร็จในช่องสัญญาณต้น ๆ สูง กรณีที่มีจำนวน

ผู้ใช้งานในระบบเท่ากับ 3 คน จะมีโอกาสที่จะประสบความสำเร็จในช่องสัญญาณต้น ๆ ลดลงจากกรณีที่มีจำนวนผู้ใช้งานในระบบเท่ากับ 2 คน และมีโอกาสที่จะประสบความสำเร็จในช่องสัญญาณกลาง ๆ มากขึ้น ในกรณีที่มีจำนวนผู้ใช้งานในระบบเท่ากับ 8 คน จะมีโอกาสที่จะประสบความสำเร็จในช่องสัญญาณต้น ๆ ลดลง เนื่องจากเกิดการชนกันในช่องสัญญาณต้น ๆ มาก และมีโอกาสที่จะประสบความสำเร็จในช่องสัญญาณหลัง ๆ มากขึ้น

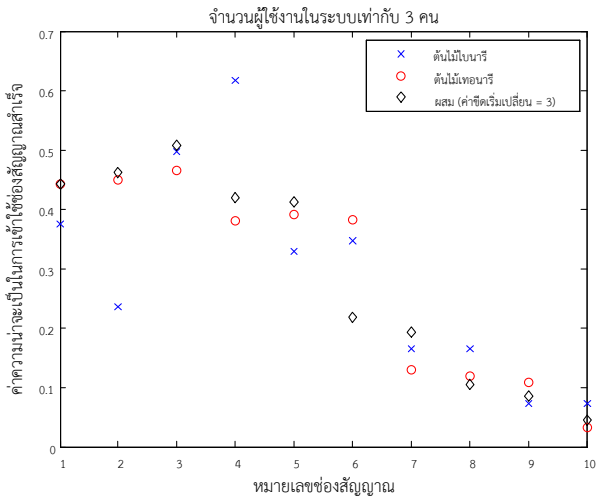
เมื่อเปรียบเทียบอัลกอริทึมที่นำเสนอ กับอัลกอริทึมต้นไม้ไบนารี และอัลกอริทึมต้นไม้เทอนารี พบว่าอัลกอริทึมที่นำเสนอ มีแนวโน้มค่าความน่าจะเป็นในการเข้าใช้ช่องสัญญาณสำเร็จสูงกว่า อัลกอริทึมต้นไม้ไบนารี และอัลกอริทึมต้นไม้เทอนารี

รูปที่ 9, 10 และ 11 แสดงการเปรียบเทียบค่าความน่าจะเป็นในการชนกัน กรณีที่มีผู้ใช้งานในระบบเท่ากับ 2, 3 และ 8 คน ตามลำดับ จากผลที่ได้พบว่า เมื่อมีจำนวนผู้ใช้งานในระบบมากขึ้น โอกาสที่จะเกิดการชนกันในช่องสัญญาณแรก ๆ จะสูงมากขึ้น อย่างเช่น กรณีที่มีผู้ใช้งานในระบบเท่ากับ 8 คน อัลกอริทึมต้นไม้ไบนารี มีค่าความน่าจะเป็นในการชนกันในช่องสัญญาณแรกเท่ากับ 0.97 และจะมีค่าความน่าจะเป็นในการชนกันลดลงในช่องสัญญาณหลัง นอกจากนี้ยังสังเกตได้ว่า อัลกอริทึมต้นไม้เทอนารี มีค่าความน่าจะเป็นในการชนกันต่ำกว่า อัลกอริทึมอื่น

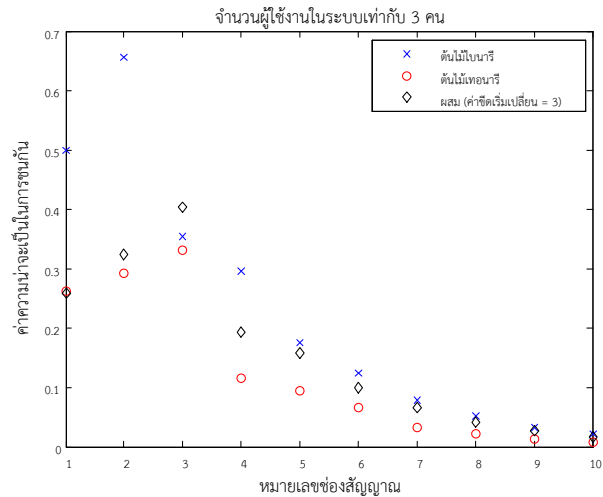


รูปที่ 6 ค่าความน่าจะเป็นในการเข้าใช้ช่องสัญญาณสำเร็จ ที่หมายเลขช่องสัญญาณต่าง ๆ กรณีที่มีผู้ใช้งานในระบบเท่ากับ 2 คน

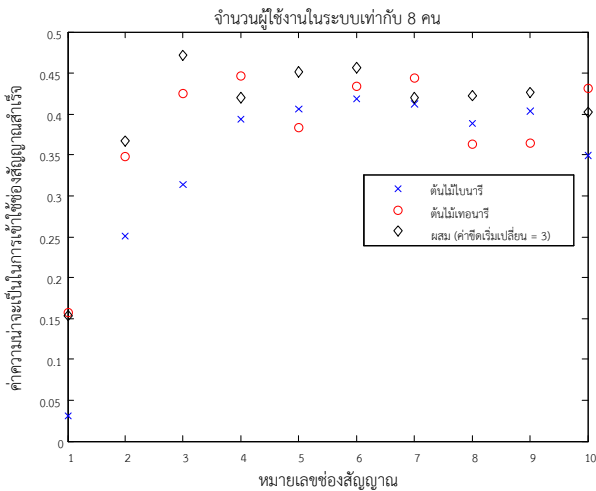




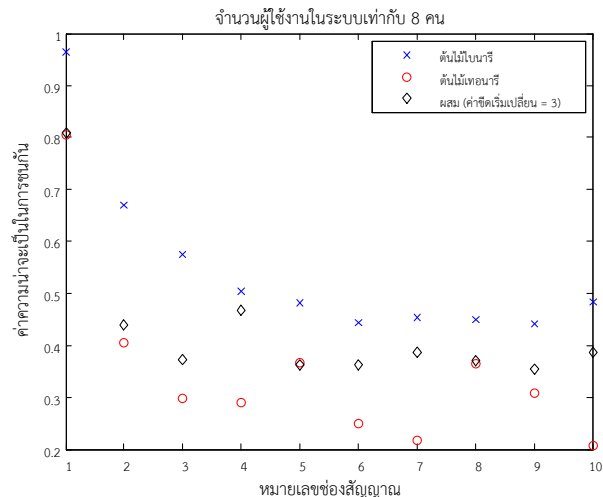
รูปที่ 7 ค่าความน่าจะเป็นในการเข้าใช้ช่องสัญญาณสำเร็จ ที่หมายเลขช่องสัญญาณต่าง ๆ กรณีที่มีผู้ใช้งานในระบบเท่ากับ 3 คน



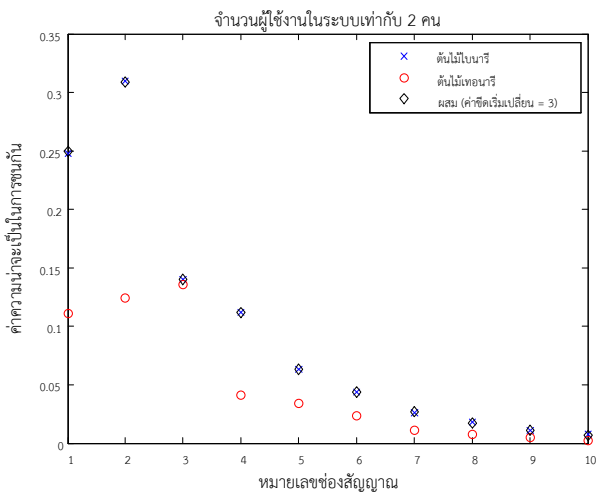
รูปที่ 10 ค่าความน่าจะเป็นในการชนกัน ที่หมายเลขช่องสัญญาณต่าง ๆ กรณีที่มีผู้ใช้งานในระบบเท่ากับ 3 คน



รูปที่ 8 ค่าความน่าจะเป็นในการเข้าใช้ช่องสัญญาณสำเร็จ ที่หมายเลขช่องสัญญาณต่าง ๆ กรณีที่มีผู้ใช้งานในระบบเท่ากับ 8 คน

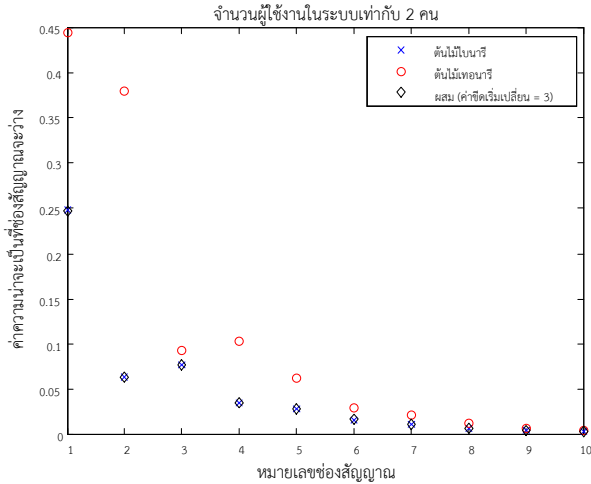


รูปที่ 11 ค่าความน่าจะเป็นในการชนกัน ที่หมายเลขช่องสัญญาณต่าง ๆ กรณีที่มีผู้ใช้งานในระบบเท่ากับ 8 คน

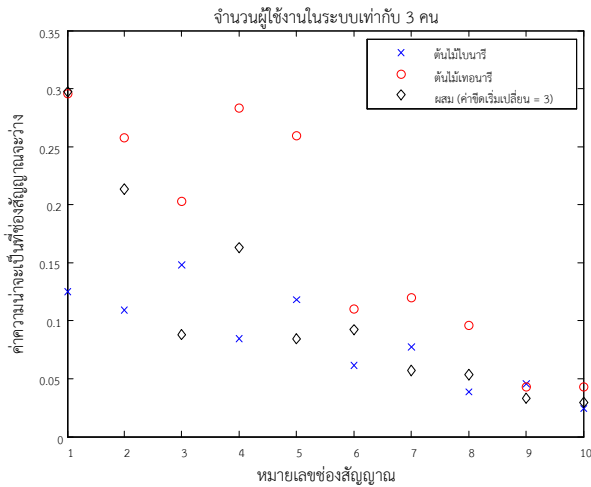


รูปที่ 9 ค่าความน่าจะเป็นในการชนกัน ที่หมายเลขช่องสัญญาณต่าง ๆ กรณีที่มีผู้ใช้งานในระบบเท่ากับ 2 คน

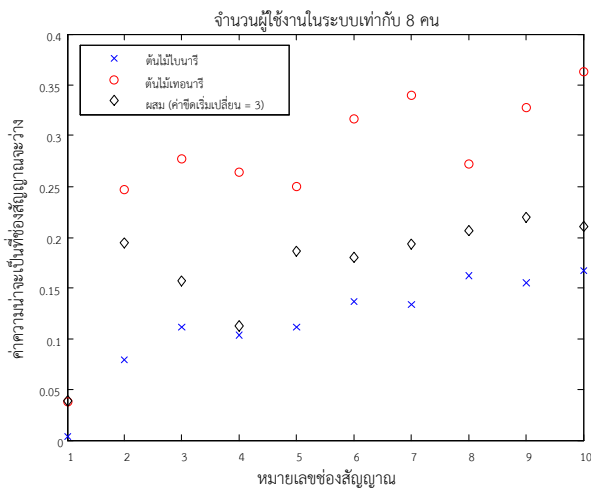
รูปที่ 12, 13 และ 14 แสดงการเปรียบเทียบค่าความน่าจะเป็นที่ช่องสัญญาณจะว่าง กรณีที่มีผู้ใช้งานในระบบเท่ากับ 2, 3 และ 8 คน ตามลำดับ จากผลที่ได้พบว่า อัลกอริทึมต้นไม้เทอนารี มีโอกาสที่ช่องสัญญาณจะว่างสูงกว่า อัลกอริทึมต้นไม้ใบนารี และอัลกอริทึมที่นำเสนอซึ่งมีค่าขีดเริ่มเปลี่ยนเท่ากับ 3 นอกจากนี้ จะพบว่ากรณีที่มีจำนวนผู้ใช้งานในระบบมากขึ้น มีโอกาสที่ช่องสัญญาณหลัง ๆ จะว่างมากขึ้น



รูปที่ 12 ค่าความน่าจะเป็นที่ข้อสัญญาจะว่าง ที่หมายเลขข้อสัญญาต่าง ๆ กรณีที่มีผู้ใช้งานในระบบเท่ากับ 2 คน



รูปที่ 13 ค่าความน่าจะเป็นที่ข้อสัญญาจะว่าง ที่หมายเลขข้อสัญญาต่าง ๆ กรณีที่มีผู้ใช้งานในระบบเท่ากับ 3 คน



รูปที่ 14 ค่าความน่าจะเป็นที่ข้อสัญญาจะว่าง ที่หมายเลขข้อสัญญาต่าง ๆ กรณีที่มีผู้ใช้งานในระบบเท่ากับ 8 คน

จากการเปรียบเทียบ ค่าความน่าจะเป็นในการเข้าใช้ข้อสัญญาสำเร็จ ค่าความน่าจะเป็นในการชนกัน และค่าความน่าจะเป็นที่ข้อสัญญาจะว่าง ดังแสดงในรูปที่ 6 -14 ได้ข้อสรุปดังนี้

เมื่อพิจารณาค่าความน่าจะเป็นในการเข้าใช้ข้อสัญญาสำเร็จ พบว่าอัลกอริทึมที่นำเสนอ มีแนวโน้มค่าความน่าจะเป็นในการเข้าใช้ข้อสัญญาสำเร็จสูงกว่า อัลกอริทึมต้นไม้ใบนารี และอัลกอริทึมต้นไม้เทอนารี

เมื่อพิจารณาค่าความน่าจะเป็นในการชนกัน พบว่าอัลกอริทึมต้นไม้เทอนารี มีแนวโน้มค่าความน่าจะเป็นในการชนกันต่ำกว่า อัลกอริทึมต้นไม้ใบนารี และอัลกอริทึมที่นำเสนอ

เมื่อพิจารณาค่าความน่าจะเป็นที่ข้อสัญญาจะว่าง พบว่าอัลกอริทึมต้นไม้เทอนารี มีแนวโน้มค่าความน่าจะเป็นที่ข้อสัญญาจะว่างสูงกว่า อัลกอริทึมต้นไม้ใบนารี และอัลกอริทึมที่นำเสนอ

จากการพิจารณาค่าความน่าจะเป็นในการเข้าใช้ข้อสัญญาสำเร็จ ค่าความน่าจะเป็นในการชนกัน และค่าความน่าจะเป็นที่ข้อสัญญาจะว่าง จะพบว่าค่าความน่าจะเป็นในการเข้าใช้ข้อสัญญาสำเร็จ จะสะท้อนถึงประสิทธิภาพของอัลกอริทึมได้ดีกว่าค่าความน่าจะเป็นอื่น ๆ โดยให้ผลลัพธ์ที่สอดคล้องกับผลการเปรียบเทียบเวลาประวิงโดยเฉลี่ยระหว่างอัลกอริทึมต้นไม้ใบนารี อัลกอริทึมต้นไม้เทอนารี และอัลกอริทึมที่นำเสนอ ดังแสดงในรูปที่ 5

### 5) บทสรุป

บทความวิจัยฉบับนี้ ได้นำเสนอวิธีการปรับปรุงประสิทธิภาพของอัลกอริทึมต้นไม้ โดยใช้อัลกอริทึมการแบ่งกลุ่มผสม กรณีที่มีผู้ใช้ที่เกี่ยวข้องกับการชนน้อย จะมีการแบ่งกลุ่มการชนออกเป็น 2 กลุ่ม ดังเช่น อัลกอริทึมต้นไม้ใบนารี กรณีที่มีผู้ใช้ที่เกี่ยวข้องกับการชนมากขึ้น จะมีการแบ่งกลุ่มการชนออกเป็น 3 กลุ่ม ดังเช่น อัลกอริทึมต้นไม้เทอนารี จากผลการทดสอบพบว่าอัลกอริทึมที่นำเสนอมีแนวโน้ม ค่าความน่าจะเป็นในการเข้าใช้ข้อสัญญาสำเร็จสูงกว่า อัลกอริทึมต้นไม้ใบนารี และอัลกอริทึมต้นไม้เทอนารี ซึ่งส่งผลให้ประสิทธิภาพของอัลกอริทึมที่นำเสนอสูงกว่าอัลกอริทึมอื่น ๆ สำหรับงานวิจัยต่อยอดในภายภาคหน้า จะเป็นการศึกษาเพื่อหาค่าขีดเริ่มที่เหมาะสมเมื่อเทียบกับจำนวนผู้ใช้ในระบบ

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณสถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น ที่ได้สนับสนุน  
การนำเสนอผลงานในครั้งนี้

REFERENCES

- [1] N. Abramson, "The ALOHA system-Another alternative for computer communications," in *AFIPS Conf. Proc.*, 1970, Vol. 37, pp. 281-285.
- [2] J. Choi, "Throughput Analysis for Coded Multichannel ALOHA Random Access," *IEEE Communications Letters*, Vol. 21, No. 8, pp. 1803-1806, Aug. 2017.
- [3] H. J. Noh, J. K. Lee and J. S. Lim, "ANC-ALOHA: Analog Network Coding ALOHA for Satellite Networks," *IEEE Communications Letters*, Vol. 18, No. 6, pp. 957 - 960, June 2014.
- [4] J. Yu and L. Chen, "Stability Analysis of Frame Slotted Aloha Protocol," *Mobile Computing IEEE Transactions*, Vol. 16, No. 5, pp. 1462-1474, 2017.
- [5] H. Baek, J. Lim and S. Oh, "Beacon-Based Slotted ALOHA for Wireless Networks with Large Propagation Delay," *IEEE Communications Letters*, Vol. 17, No. 11, pp. 2196 - 2199, Nov. 2013.
- [6] M. Karaca and B. Landfeldt, "Approaching Optimal Centralized Scheduling With CSMA-Based Random Access Over Fading Channels," *IEEE Trans. Comm.*, Vol. 20, No. 6, pp. 1183 - 1186, June 2016.
- [7] A. Maatouk, M. Assaad and A. Ephremides, "Energy Efficient and Throughput Optimal CSMA Scheme," *IEEE/ACM Transactions on Networking*, Vol. 27, No. 1, pp. 316 - 329, Feb. 2019.
- [8] Q. Liu, Y. Lu, G. Hu, S. Lv, X. Wang and X. Zhou., "Cooperative control feedback: On backoff misbehavior of CSMA/CA MAC in channel-hopping cognitive radio networks," *Journal of Communications and Networks*, Vol. 20, No. 6, pp. 523 - 535, Dec. 2018.
- [9] A. Maatouk, M. Assaad and A. Ephremides, "Performance Analysis of CSMA/CA based Medium Access in Full Duplex Wireless Communications," *IEEE Transactions on Mobile Computing*, Vol. 15, No. 6, pp. 1457 - 1470, June 2016.
- [10] S. H. Kim and P. Park, "An Efficient Tree-Based Tag Anti-Collision Protocol for RFID Systems," *IEEE Communications Letters*, Vol. 11, No. 5, pp. 449 - 451, May 2007.
- [11] J. I. Capetanakis, "Tree Algorithms for Packet Broadcast Channels," *IEEE Trans. Inform. Theory*, Vol. IT-25, pp. 505-515, Sept. 1979.
- [12] P. Mathys, P. Flajolet, "Q-ary collision resolution algorithms in random-access systems with free or blocked channel access," *IEEE Trans. Inform. Theory*, Vol.31, pp-217-243, Mar. 1985.
- [13] H. Wu and Y. Pan, *Medium Access Control in Wireless Networks*. New York: Nova Science, 2008.

# การประยุกต์ใช้ตัวแบบ SARIMA สำหรับการพยากรณ์อุปสงค์ และการวางแผนอุปทานยางพาราของไทย

ภาวิณี ไพบูลย์<sup>1</sup> วีรพัฒน์ เศรษฐ์สมบูรณ์<sup>2</sup> โรจณี หอมชาลี<sup>3\*</sup>

<sup>1,3</sup>ภาควิชาคณิตศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม มหาสารคาม ประเทศไทย

<sup>2</sup>ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ขอนแก่น ประเทศไทย

\*ผู้นิพนธ์ประสานงาน อีเมล : rojanee.h@msu.ac.th

รับต้นฉบับ: 28 กันยายน 2562; รับบทความฉบับแก้ไข: 26 พฤศจิกายน 2562; ตอรับบทความ: 2 ธันวาคม 2562

เผยแพร่ออนไลน์: 25 ธันวาคม 2562

## บทคัดย่อ

ยางพาราเป็นพืชเศรษฐกิจและเป็นสินค้าส่งออกที่สำคัญของประเทศไทย การศึกษาและพยากรณ์ปริมาณอุปสงค์ยางพาราสามารถใช้เป็นข้อมูลสำหรับการวางแผนอุปทานเกี่ยวกับปริมาณผลผลิตและเนื้อที่เพาะปลูกได้อย่างเหมาะสม งานวิจัยนี้ได้หาตัวแบบสำหรับการพยากรณ์ปริมาณการส่งออกยางพาราประเภทน้ำยางข้น ยางแผ่นรมควันชั้น 1 และยางก้อนจับตัว ซึ่งเป็นตัวแบบอนุกรมเวลา ได้แก่ ตัวแบบ SARIMA(0,0,0)(0,1,1)<sub>12</sub> ตัวแบบ SARIMA(0,1,1)(1,1,0)<sub>12</sub> และ ตัวแบบ SARIMA(0,1,1)(1,1,0)<sub>12</sub> ตามลำดับ หลังจากนั้นได้วิเคราะห์สถิติย้อนหลังเกี่ยวกับผลผลิต และนำมาประมาณการผลผลิตและเนื้อที่เพาะปลูกยางพาราที่สอดคล้องกับผลการพยากรณ์ความต้องการยางพาราทั้งจากภายในประเทศและการส่งออก พบว่า ในปี 2565 ประเทศไทยควรมีผลผลิตยางพารา ประมาณ 1.573 ล้านตัน ซึ่งต้องใช้เนื้อที่เพาะปลูกประมาณ 6.561 ล้านไร่ ผลการวิจัยที่ได้สามารถนำมาวางแผนและกำหนดข้อเสนอเชิงนโยบายที่เหมาะสมในการผลิตยางพาราของไทย ซึ่งพบว่า ประเทศไทยควรลดพื้นที่เพาะปลูกยางพาราลง 16.291 ล้านไร่ เนื่องจากปัจจุบันปลูกมากถึง 22.852 ล้านไร่ โดยรัฐบาลอาจส่งเสริมให้ปลูกพืชเศรษฐกิจอื่นทดแทนเพื่อให้เกิดความสมดุลระหว่างอุปสงค์และอุปทาน

**คำสำคัญ:** ยางพารา อุปสงค์ อุปทาน อนุกรมเวลา ตัวแบบ SARIMA

# SARIMA Models Applications for Demand Forecasting and Supply Planning of Natural Rubber in Thailand

Pawinee Paisri<sup>1</sup> Weerapat Sessomboon<sup>2</sup> Rojanee Homchalee<sup>3\*</sup>

<sup>1,3</sup>Department of Mathematics, Faculty of Science, Maharakham University, Maharakham, Thailand

<sup>2</sup>Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Khon Kaen University, Khon Kaen, Thailand

\*Corresponding Author. E-mail address: rojanee.h@msu.ac.th

Received: 28 September 2019; Revised: 26 November 2019 ; Accepted: 2 December 2019

Published online: 25 December 2019

## **Abstract**

Rubber is the important economic crops and export products of Thailand. Studying and forecasting the demand of rubber could be used as information for supply planning including production and cultivate area. Time series analysis was used to formulate the forecasting model for export volume of Concentrated Latex, RSS Grade 1, and Crepe Rubber. The appropriate forecasting time series models were  $SARIMA(0,0,0)(0,1,1)_{12}$ ,  $SARIMA(0,1,1)(1,1,0)_{12}$  and  $SARIMA(0,1,1)(1,1,0)_{12}$ , respectively. After that historical statistics of production and stock were used to estimated rubber production and cultivate area corresponding to forecast including domestic demand and export. In the year 2022, Thailand should produce rubber about 1.573 million tons, which requiring cultivate area is about 6.561 million rai, respectively. The research results could be used to plan and set the appropriate policy for Thai rubber production. Consequently, Thailand should reduce rubber plantations by 16.291 million rai because nowadays there already have as much as 22.852 million rai. The government may promote the planting of other economic crops in order to balance the demand and supply.

**Keywords:** Rubber, Demand, Supply, Time series, SARIMA model

## 1) บทนำ

ประเทศไทยได้ชื่อว่าเป็นประเทศเกษตรกรรมที่มีความอุดมสมบูรณ์ “ในน้ำมีปลา ในนามีข้าว” จนกลายเป็นแหล่งผลิตอาหารเลี้ยงประชากรทั่วโลก ในแต่ละปีมีผลผลิตทางการเกษตรไม่ว่าจะเป็นพืชผัก ผลไม้ และพืชไร่ออกสู่ตลาดเป็นจำนวนมาก ทั้งตลาดภายในประเทศและตลาดส่งออก ภาคการเกษตรจึงมีบทบาทสำคัญต่อระบบเศรษฐกิจของประเทศ และผลการพัฒนาการเกษตรที่ผ่านมา พบว่า รายได้และความเป็นอยู่ของเกษตรกรโดยรวมดีขึ้น [1]

ยางพาราจัดเป็นสินค้าเกษตรที่สำคัญของประเทศไทย อีกทั้งประเทศไทยยังเป็นผู้ผลิตยางพารารายใหญ่ของโลก ตามมาด้วยอินโดนีเซีย เวียดนาม อินเดีย จีน และมาเลเซีย และประเทศไทยถือเป็นผู้ส่งออกยางพารารายใหญ่ของโลก เช่นเดียวกัน ยางพาราที่ไทยส่งออกแบ่งเป็นสองกลุ่ม โดยกลุ่มแรกจะเป็นผลิตภัณฑ์ยางกึ่งสำเร็จรูป เป็นการแปรรูปน้ำยางที่กรี๊ดได้ให้เป็นในรูปแบบที่ต้องการและทำการส่งออกเพื่อนำไปใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์ยาง กลุ่มที่สองจะเป็นผลิตภัณฑ์ยางสำเร็จรูป เป็นกระบวนการแปรรูปน้ำยางที่กรี๊ดได้ให้เป็นสินค้าสำเร็จรูป เช่น ยางรถยนต์ ถูมียาง ทุ้งยางอนามัย ท่อยาง เป็นต้น แม้ผลผลิตยางพาราทั่วโลกจะเพิ่มขึ้น แต่นับว่ามีมากเกินความต้องการเป็นปีที่ 4 ติดต่อกัน โดยมีการคาดการณ์ว่าภายในปี 2563 จะมีผลผลิตยางพาราส่วนเกินถึงประมาณ 1 ล้านตัน และปริมาณยางสังเคราะห์ส่วนเกินจะมีถึง 3 ล้านตัน [2]

แต่ด้วยเหตุผลของความไม่แน่นอนในปริมาณการบริโภคภายในประเทศและปริมาณการส่งออก อันเนื่องมาจากความผันผวนของหลายปัจจัย จึงไม่สามารถคาดการณ์อุปสงค์และวางแผนอุปทานยางพาราของไทยได้อย่างเหมาะสม

การวางแผนอุปทานเป็นการวางแผนในด้านการเพาะปลูกเพื่อให้ได้ผลผลิตที่สอดคล้องกับความต้องการ เนื่องจากหากเพาะปลูกมากเกินไปจะส่งผลให้เกิดอุปทานส่วนเกินและส่งผลให้ราคาผลผลิตตกต่ำ เกิดผลกระทบทางเศรษฐกิจการเงินของเกษตรกรผู้ปลูกซึ่งเป็นผู้มีรายได้น้อยอยู่แล้ว แต่หากเพาะปลูกน้อยเกินไปจะทำให้เสียโอกาสทางการขาย ส่งผลต่อความน่าเชื่อถือของตลาด ดังนั้นการวางแผนอุปทานที่เหมาะสมจึงมีความสำคัญอย่างมาก ทั้งนี้ข้อมูลที่จำเป็นในการวางแผนอุปทานได้อย่างเหมาะสมคือการพยากรณ์อุปสงค์ที่แม่นยำทั้งการใช้ในประเทศและการส่งออก

## 2) การทบทวนวรรณกรรม

อนุกรมเวลา (Time Series) คือ กลุ่มของค่าสังเกตที่เก็บรวบรวมมาตามเวลาอย่างต่อเนื่องและการวิเคราะห์อนุกรมเวลา (Time Series Analysis) คือ การศึกษารูปแบบการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรที่เปลี่ยนไปตามเวลาในอดีตจนถึงปัจจุบัน แล้วนำรูปแบบนั้นมาวิเคราะห์เพื่อพยากรณ์ค่าของตัวแปรนั้นในอนาคต ดังนั้นวัตถุประสงค์ของการวิเคราะห์อนุกรมเวลา คือ หาตัวแบบทางคณิตศาสตร์ที่เหมาะสมในการพยากรณ์ค่าของตัวแปรในอนาคต นั้นเอง เทคนิคการพยากรณ์ด้วยวิธีการวิเคราะห์อนุกรมเวลามีหลายวิธี แต่ละวิธีมีหลักการและความเหมาะสมกับข้อมูลที่แตกต่างกัน แบ่งเป็น เทคนิคการปรับให้เรียบ (Smoothing Technique) และวิธีการของบ็อกซ์-เจนกินส์ (Box-Jenkins Method) ดังรายละเอียดต่อไปนี้ [3]

โดยทั่วไปวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ เป็นวิธีที่มีความแม่นยำสูงกว่าการกำหนดตัวแบบของวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ ทำได้โดยการตรวจสอบสมบัติฟังก์ชันสหสัมพันธ์ในตัว (Autocorrelation function: ACF) และฟังก์ชันสหสัมพันธ์ในตัวบางส่วน (Partial autocorrelation function: PACF) ของอนุกรมเวลาที่คงที่ (Stationary) หรืออนุกรมเวลาที่มีค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนคงที่ [4, 5]

การพยากรณ์ด้วยวิธีวิเคราะห์อนุกรมเวลานั้น มีผู้ศึกษาวิจัยไว้จำนวนมาก เช่น การศึกษาถึงความแม่นยำของการวิเคราะห์อนุกรมเวลาและการพยากรณ์ เพื่อหาวิธีพยากรณ์ที่เหมาะสมสำหรับการแก้ปัญหาธุรกิจและเศรษฐกิจ ได้แก่ วิธีการปรับให้เรียบแบบเอ็กซ์โปเนนเชียลของโฮลด์และวินเทอร์ วิธีการถดถอยในตัว และวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ ซึ่งนำมาใช้กับตัวแบบ ARIMA โดยให้ผู้ใช้เลือกรูปแบบที่เหมาะสมที่สุดเพื่อให้เข้ากับลักษณะของข้อมูล ทำให้ความแม่นยำในการพยากรณ์มีมากขึ้น การคัดเลือกตัวแบบควรอยู่บนพื้นฐานของความคลาดเคลื่อนที่น้อยที่สุด [6]

ในปี 2004 มีการวิจัยเกี่ยวกับการใช้วิธีการหาค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่โดยการให้น้ำหนักแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล (Exponential Weighted Moving Averages) สำหรับอนุกรมเวลาที่ไม่เป็นแนวโน้มหรืออนุกรมเวลาที่มีแนวโน้ม และอนุกรมเวลาที่ไม่เป็นฤดูกาลหรือมีฤดูกาล ซึ่งผลการศึกษาได้กล่าวไว้ว่า วิธีการหาค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่โดยการให้น้ำหนักแบบเอ็กซ์โปเนนเชียลเป็นวิธีที่มีความยืดหยุ่นสูงมาก เหมาะสมต่อการนำไปวิเคราะห์การพยากรณ์ทั้งในกรณีที่ข้อมูลไม่มีแนวโน้มและไม่มีฤดูกาล หรือ

ข้อมูลที่มีแนวโน้มและมีฤดูกาล ขึ้นอยู่กับการนำไปประยุกต์ใช้งาน เพราะการใส่หน้าหนักให้กับข้อมูลในแต่ละช่วงจะขึ้นอยู่กับการพิจารณาความเหมาะสมของผู้ที่นำไปใช้งาน ด้วยเหตุผลดังกล่าว จึงทำให้การพยากรณ์ด้วยวิธีนี้มีความยืดหยุ่นสูงเหมาะสมกับการนำไปประยุกต์ใช้งานในหลายๆ ด้าน [7]

จากการศึกษาค้นคว้างานวิจัยที่เกี่ยวข้อง พบว่า มีการประยุกต์ใช้ตัวแบบการพยากรณ์แบบบ็อกซ์-เจนกินส์ เช่น การพยากรณ์ผลผลิตและปริมาณส่งออกยางพาราของประเทศไทย เพื่อคาดการณ์ผลผลิตและปริมาณส่งออกยางพาราของประเทศไทย ด้วยเทคนิคทางสถิติ 4 วิธี ได้แก่ การพยากรณ์ด้วยสมการถดถอยโดยใช้ตัวแปรหุ่นฤดูกาลและแนวโน้มเวลา ตัวแบบ SARIMA (p,d,q)(P,D,Q)<sub>s</sub> ของบ็อกซ์-เจนกินส์ และการปรับเรียบแบบเอ็กซ์โปเนนเชียลฤดูกาลตามแนวคิดของโฮลต์และวินเทอร์ ด้วยตัวแบบพยากรณ์เชิงบวกและตัวแบบพยากรณ์เชิงพหุคูณ ผลการศึกษาพบว่า การพยากรณ์ด้วย สมการถดถอยโดยใช้ตัวแปรหุ่นฤดูกาลและแนวโน้มเวลาเป็นตัวแบบที่มีความเหมาะสมที่สุด เนื่องจากให้ค่าสถิติรากของค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error: RMSE) ต่ำสุด และเมื่อคาดการณ์ผลผลิตและปริมาณส่งออกพบว่าในปี พ.ศ. 2559 ผลผลิตยางพารามีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ร้อยละ 3.47 แต่ปริมาณส่งออกกลับมีทิศทางลดลงร้อยละ 0.31 แสดงให้เห็นถึงผลผลิตส่วนเกินจากความไม่สอดคล้องระหว่างอุปสงค์ และอุปทานในตลาดยางพาราของประเทศไทย [8]

นอกจากนี้ยังมีการพยากรณ์ปริมาณการส่งออกยางแผ่นรมควันชั้น 1 โดยวิธีของบ็อกซ์-เจนกินส์ โดยใช้ข้อมูลรายเดือน ตั้งแต่เดือนกุมภาพันธ์ 2550 ถึงเดือนมกราคม 2556 รวมทั้งสิ้น 72 เดือน ตัวแบบพยากรณ์ที่เหมาะสมสำหรับข้อมูลชุดนี้ คือ ARIMA(1,0,0) หรือ AR(1) [9] และการพยากรณ์ปริมาณการส่งออกยางคอมปาวด์ ด้วยการเปรียบเทียบเทคนิคการวิเคราะห์อนุกรมเวลา 3 วิธี ได้แก่ วิธี บ็อกซ์-เจนกินส์ วิธีการปรับเรียบแบบเอ็กซ์โปเนนเชียลของโฮลต์ และวิธีการปรับเรียบแบบเอ็กซ์โปเนนเชียลที่มีแนวโน้มแบบเดม ผลการศึกษาพบว่า วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ เป็นวิธีที่มีความแม่นยำสูงที่สุด [10]

### 3) วิธีดำเนินการวิจัย

จากการทบทวนวรรณกรรมดังที่กล่าวมา พบว่า แม้จะมีการวิจัยเกี่ยวกับการพยากรณ์ปริมาณผลผลิตหรือการส่งออกยางพารามาบ้างแล้ว แต่ยังไม่ค่อยมีการนำผลการพยากรณ์ที่

ได้มาวางแผนอุปทาน ผู้วิจัยจึงมีความสนใจสร้างตัวแบบสำหรับการพยากรณ์อุปสงค์ยางพาราของไทยด้วยการวิเคราะห์อนุกรมเวลา ซึ่งเป็นการประยุกต์ใช้ข้อมูลในอดีตในการสร้างตัวแบบพยากรณ์ รวมทั้งการนำผลการพยากรณ์ที่ได้มาวางแผนอุปทานเพื่อคาดการณ์ผลผลิตและเนื้อที่เพาะปลูกที่เหมาะสม โดยมีวิธีการดำเนินงาน ดังนี้

#### 3.1) การเก็บรวบรวมข้อมูล

3.1.1) รวบรวมข้อมูลอนุกรมเวลาปริมาณการส่งออกยางพารา ได้แก่ น้ำยางชั้น ยางแผ่นรมควันชั้น 1 และยางก้อนจับตัว ซึ่งเป็นข้อมูลยางพารากลุ่มยางกึ่งสำเร็จรูปที่ยังไม่ได้ทำการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ก่อนการส่งออก ข้อมูลดังกล่าวได้รวบรวมจากกรมศุลกากร [11] ซึ่งเป็นข้อมูลรายเดือน เริ่มตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม พ.ศ. 2555 ถึง เดือนตุลาคม พ.ศ. 2560 รวมทั้งสิ้น 70 เดือน

3.1.2) รวบรวมข้อมูลเนื้อที่เพาะปลูก (ไร่) ผลผลิตต่อไร่ และปริมาณการใช้ยางพาราในประเทศไทย จากสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร [12] เพื่อนำไปการประมาณและวางแผนอุปทานยางพาราของไทย

#### 3.2) สร้างตัวแบบการพยากรณ์อุปสงค์

ตัวแบบการพยากรณ์อุปสงค์ยางพาราของไทย เป็นตัวแบบการพยากรณ์แบบบ็อกซ์-เจนกินส์ ซึ่งมีขั้นตอนการสร้างดังนี้ [4, 5]

3.2.1) พิจารณากราฟข้อมูลอนุกรมเวลาเพื่อดูว่ามีค่าเฉลี่ยคงที่และค่าความแปรปรวนคงที่หรือไม่ กล่าวคือ ต้องเป็นอนุกรมเวลาแบบคงที่ (Stationary) หากข้อมูลเป็นอนุกรมเวลาแบบไม่คงที่ (Nonstationary) จะต้องทำการแปลงข้อมูลด้วยวิธีต่างๆ เช่น ลอการิทึมธรรมชาติ (Natural logarithms) และทำการหาผลต่างอันดับที่ d แบบไม่มีฤดูกาล ให้กับข้อมูลอนุกรมเวลาที่มีแนวโน้ม และในกรณีที่ข้อมูลอนุกรมเวลาไม่มีฤดูกาล จะต้องหาผลต่างอันดับที่ D แบบมีฤดูกาล เพื่อให้อนุกรมเวลามีค่าเฉลี่ยคงที่

3.2.2) พิจารณากราฟแสดงค่า ACF และ PACF เพื่อหาอันดับของ q, Q และ p, P



3.2.3) นำอันดับ  $p, d, q$  และ  $P, D, Q$  มาสร้างตัวแบบ แทนด้วย SARIMA( $p, d, q$ )( $P, D, Q$ )<sub>s</sub> ซึ่งมีโครงสร้างโดยรวมดังสมการ (1) และตัวแบบที่เป็นไปได้อาจมีมากกว่าหนึ่งตัวแบบ

3.2.4) นำตัวแบบที่เป็นไปได้แต่ละตัวแบบมาหาค่าประมาณของพารามิเตอร์ในตัวแบบด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด และทดสอบพารามิเตอร์แต่ละตัวว่าอยู่ในสมการตัวแบบหรือไม่

3.2.5) ตรวจสอบข้อตกลงเบื้องต้นเกี่ยวกับความคลาดเคลื่อนของตัวแบบ 4 ข้อ ได้แก่ 1) ความคลาดเคลื่อนต้องมีการแจกแจงแบบปกติ 2) ค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนเป็นศูนย์ 3) ความคลาดเคลื่อนมีความแปรปรวนคงที่ และ 4) ความคลาดเคลื่อนเป็นอิสระกัน

3.2.6) คำนวณความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์ด้วยค่าร้อยละความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (Mean Absolute Percentage Error: MAPE) ของทุกตัวแบบที่ผ่านข้อตกลงเบื้องต้น โดยเกณฑ์ในการพิจารณาค่า MAPE มีดังนี้ [13]

MAPE  $\leq 10\%$  แสดงว่าการพยากรณ์มีความแม่นยำสูง  
 10% < MAPE  $\leq 20\%$  แสดงว่าการพยากรณ์มีความแม่นยำระดับดี  
 20% < MAPE  $\leq 50\%$  แสดงว่าการพยากรณ์มีความแม่นยำพอใช้  
 MAPE > 50% แสดงว่าการพยากรณ์มีความแม่นยำน้อย  
 3.2.7) เลือกตัวแบบที่ให้ค่า MAPE ต่ำที่สุด เพื่อเป็นตัวแบบที่เหมาะสมสำหรับการพยากรณ์

3.3) การประมาณและวางแผนอุปทาน

3.3.1) พยากรณ์อุปสงค์ที่ยางพาราของไทยล่วงหน้าถึงปี พ.ศ. 2565

3.3.2) วิเคราะห์ปริมาณสถิติย้อนหลังเกี่ยวกับผลผลิตยางพารา และอัตราการแปลงยางพาราของไทย

3.3.3) ประมาณการผลผลิตและเนื้อที่ปลูกยางพาราที่สอดคล้องกับผลการพยากรณ์

$$(1 - \phi_1 B - \phi_2 B^2 - \dots - \phi_p B^p)(1 - \Phi_1 B^S - \Phi_2 B^{2S} - \dots - \Phi_P B^{PS})(1 - B)^d (1 - B^S)^D Y_t = \delta + (1 - \theta_1 B - \theta_2 B^2 - \dots - \theta_q B^q)(1 - \Theta_1 B^S - \Theta_2 B^{2S} - \dots - \Theta_Q B^{QS}) \varepsilon_t \quad (1)$$

เมื่อ

- $Y_t$  คือ ข้อมูล ณ เวลาที่  $t$
- $B$  คือ Backshift operator
- $\varepsilon_t$  คือ ความคลาดเคลื่อนสุ่ม ณ เวลาที่  $t$  โดยที่  $\varepsilon_t \sim NID(0, \sigma^2)$
- $\delta$  คือ พารามิเตอร์ค่าคงที่ของตัวแบบ
- $p$  คือ อันดับที่  $p$  ของกระบวนการ Nonseasonal autoregressive
- $d$  คือ อันดับที่  $d$  ของการหาผลต่างแบบ Nonseasonal difference
- $q$  คือ อันดับที่  $q$  ของกระบวนการ Nonseasonal moving average
- $P$  คือ อันดับที่  $P$  ของกระบวนการ Seasonal autoregressive
- $D$  คือ อันดับที่  $D$  ของการหาผลต่างแบบ Seasonal

- difference
- $Q$  คือ อันดับที่  $Q$  ของกระบวนการ Seasonal moving average
- $\phi_1, \phi_2, \dots, \phi_p$  คือ พารามิเตอร์แสดงค่าของ Nonseasonal autoregressive process อันดับที่  $1, 2, \dots, p$
- $\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_q$  คือ พารามิเตอร์แสดงค่าของ Nonseasonal moving average process อันดับที่  $1, 2, \dots, q$
- $\Phi_1, \Phi_2, \dots, \Phi_P$  คือ พารามิเตอร์แสดงค่าของ Seasonal autoregressive process อันดับที่  $1, 2, \dots, P$
- $\Theta_1, \Theta_2, \dots, \Theta_Q$  คือ พารามิเตอร์แสดงค่าของ Seasonal moving average process อันดับที่  $1, 2, \dots, Q$

4) ผลการวิจัย

4.1) ตัวแบบการพยากรณ์อุปสงค์การส่งออกยางพารา

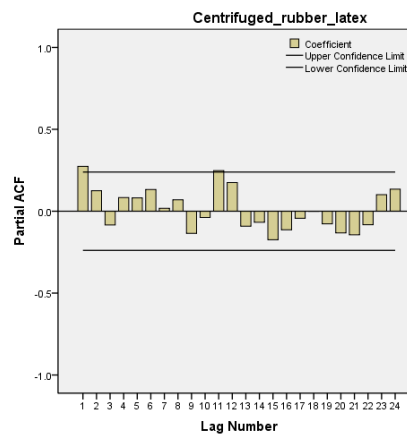
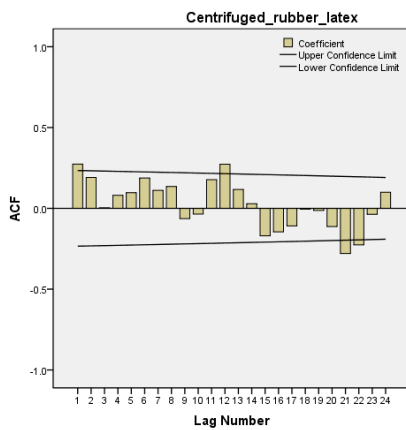
จากการพิจารณา ACF ดังรูปที่ 1-3 พบว่าข้อมูลปริมาณการส่งออกน้ำยางชั้น เป็นอนุกรมเวลาที่ไม่เป็นแบบสุ่มแต่มีอิทธิพลเนื่องจากฤดูกาล ส่วนของแผนภูมิความถี่ 1 อนุกรมเวลาไม่เป็นแบบสุ่มและมีอิทธิพลเนื่องจากฤดูกาล ทำให้อนุกรมเวลาไม่คงที่ ดังนั้น จึงแปลงข้อมูลด้วยการหาผลต่างฤดูกาลอันดับที่ 1 (D=1) และแปลงข้อมูลด้วยการหาค่าผลต่างและผลต่างฤดูกาลอันดับที่ 1 (d=1, D=1) ตามลำดับ สำหรับยางก้อนจับตัว อนุกรมเวลาไม่มีแนวโน้มและอิทธิพลเนื่องจากฤดูกาล จึงเป็นอนุกรมเวลาที่คงที่แล้ว ผลจากการวิเคราะห์ทำให้ได้ตัวแบบพยากรณ์ที่เหมาะสม ได้แก่ ตัวแบบ SARIMA(0,0,0)(0,1,1)<sub>12</sub> SARIMA(0,1,1)(1,1,0)<sub>12</sub> และ SARIMA(0,1,1)(1,1,0)<sub>12</sub> พร้อมค่า

MAPE เท่ากับ 18.18% 15.33% และ 17.99% ตามลำดับ แสดงว่า ตัวแบบพยากรณ์ที่ได้มีความแม่นยำในระดับดีและสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้ โดยสมการพยากรณ์ปริมาณการส่งออกน้ำยางชั้น ยางแผ่นรมควันชั้น 1 และยางก้อนจับตัว แสดงดังสมการที่ (2) - (4) ตามลำดับ

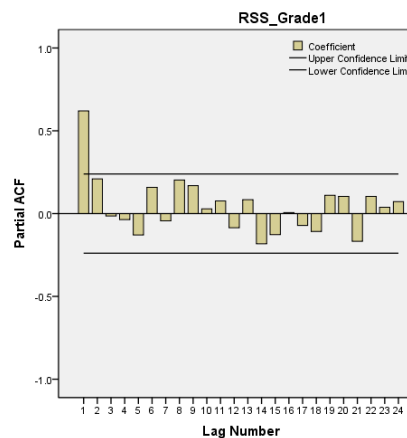
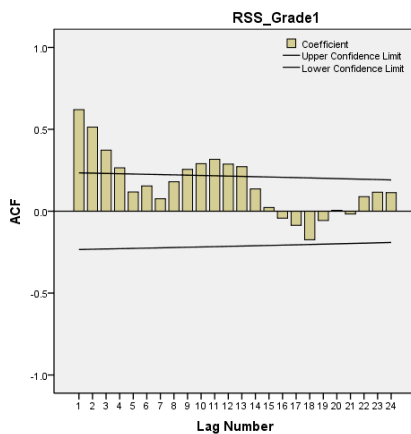
$$(1-B^{12})Y_t = 0.0002 + (1-0.6156B^{12})e_t \quad (2)$$

$$(1-B)(1+0.5769B)(1-B^{12})Y_t = 0.000002 + (1-0.6082B)e_t \quad (3)$$

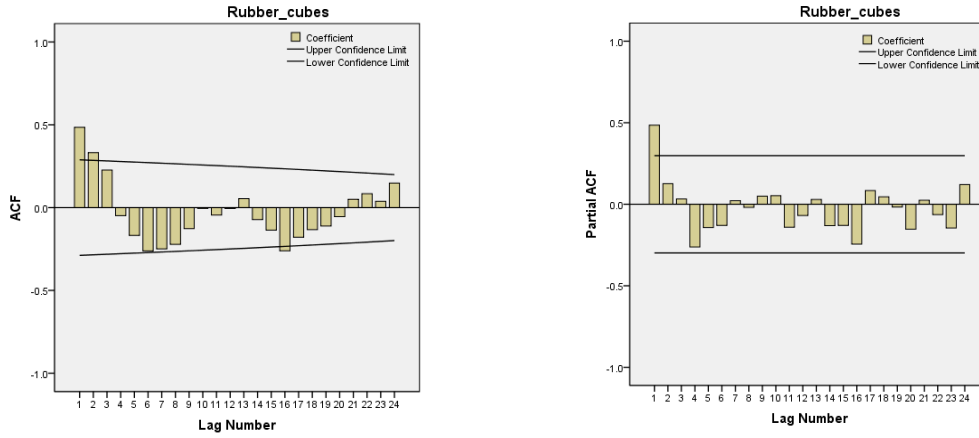
$$(1-B)(1+0.6256B)(1-B^{12})Y_t = (1-0.4659B)e_t \quad (4)$$



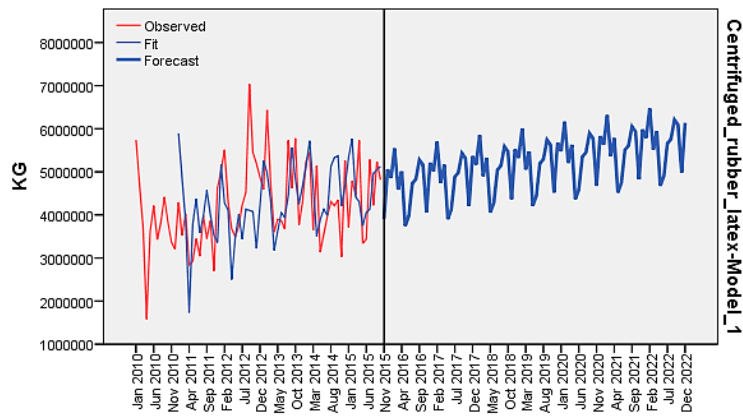
รูปที่ 1 ACF และ PACF ของปริมาณการส่งออกน้ำยางชั้น



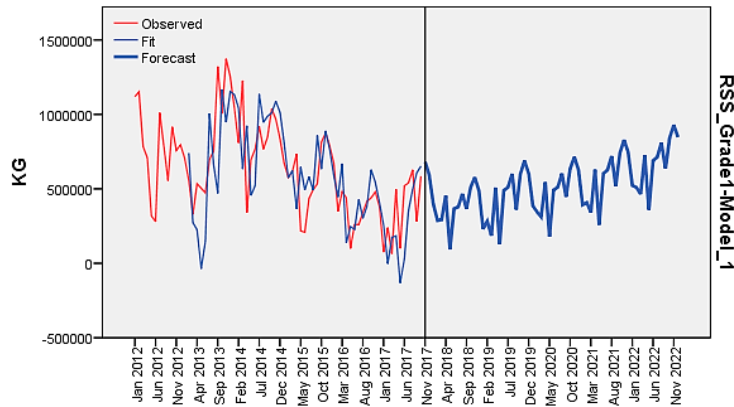
รูปที่ 2 ACF และ PACF ของปริมาณการส่งออกยางแผ่นรมควันชั้น 1



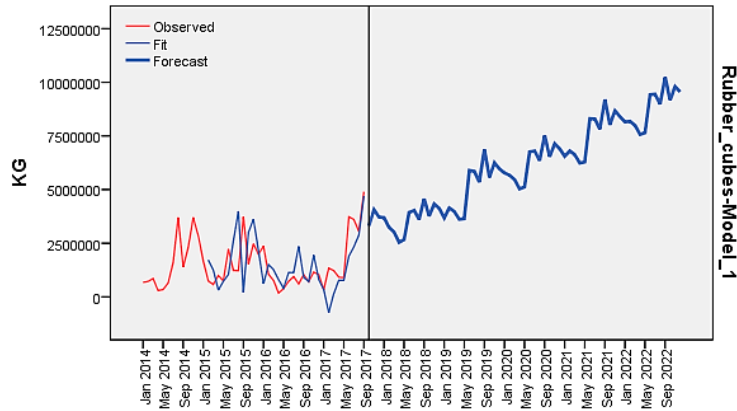
รูปที่ 3 ACF และ PACF ของปริมาณการส่งออกยางก้อนจับตัว



รูปที่ 4 การเคลื่อนไหวของค่าพยากรณ์ปริมาณการส่งออกนํ้ายางข้น



รูปที่ 5 การเคลื่อนไหวของค่าพยากรณ์ปริมาณการส่งออกยางแผ่นรมควันชั้น 1



รูปที่ 6 การเคลื่อนไหวของค่าพยากรณ์ปริมาณการส่งออกยางก้อนจับตัว

จากการพยากรณ์ด้วยตัวแบบ SARIMA ได้ค่าพยากรณ์ปริมาณการส่งออกน้ำยางชั้น ยางแผ่นรมควันชั้น 1 และยางก้อนจับตัว ล่วงหน้า 5 ปี ตั้งแต่ปี 2561 ถึงปี 2565 โดยแสดงการเคลื่อนไหวของค่าพยากรณ์ดังรูปที่ 4-6

ประมาณการผลิตและเนื้อที่เพาะปลูกยางพาราที่สอดคล้องกับผลการพยากรณ์ความต้องการยางพาราทั้งจากภายในประเทศและตลาดส่งออก พบว่า ในปี 2565 ประเทศไทยควรมีผลผลิตยางพารา 1.573 ล้านตัน ซึ่งต้องใช้เนื้อที่เพาะปลูกประมาณ 6.561 ล้านไร่ ดังรายละเอียดในตารางที่ 1

#### 4.2) การประมาณและวางแผนอุปทานยางพารา

หลังจากวิเคราะห์สถิติย้อนหลังเกี่ยวกับผลผลิตยางพารา สัดส่วนผลผลิต และอัตราการแปลง ผลการวิเคราะห์ถูกนำมา

ตารางที่ 1 ผลการประมาณอุปสงค์ ผลผลิต และเนื้อที่เพาะปลูกยางพารา ณ ปี 2565

รายการ	น้ำยางชั้น	ยางแผ่นรมควันชั้น 1	ยางก้อนจับตัว
ปริมาณการส่งออก <sup>1/</sup> (ล้านตันแยกตามประเภท)	0.068	0.008	0.105
ความต้องการใช้ในประเทศ <sup>2/</sup> (ล้านตันแยกตามประเภท)	0.210	0.188	0.298
ความต้องการรวม <sup>3/</sup> (ล้านตันแยกตามประเภท)	0.278	0.196	0.403
ความต้องการรวม <sup>4/</sup> (ล้านตันยางดิบ)	0.463	0.187	0.806
		1.573	
เนื้อที่ปลูก <sup>4/</sup> (ล้านไร่)	6.561		

หมายเหตุ:

- <sup>1/</sup> ค่าพยากรณ์ปริมาณการส่งออก ณ ปี 2565
- <sup>2/</sup> ค่าพยากรณ์ความต้องการใช้ในประเทศ ณ ปี 2565 ด้วยตัวแบบแนวโน้มเชิงเส้นของข้อมูลจากสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร
- <sup>3/</sup> ประมาณการความต้องการรวม (ปริมาณการส่งออก และความต้องการใช้ในประเทศ)
- <sup>4/</sup> ความต้องการรวม (อัตราการแปลงสภาพยางดิบเป็นน้ำยางชั้น 1:0.60, อัตราการแปลงสภาพยางดิบเป็นยางแผ่น 1:1 และอัตราการแปลงสภาพยางดิบเป็นยางก้อน 1:0.50)
- <sup>5/</sup> ประมาณการเนื้อที่ปลูก (ผลผลิตต่อไร่ ปี 2556 ถึงปี 2559 โดยเฉลี่ย เท่ากับ 239.75 กก./ไร่)

### 5) สรุปและอภิปรายผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอวิธีการสร้างและคัดเลือกตัวแบบพยากรณ์ที่เหมาะสมกับอนุกรมเวลาปริมาณการส่งออกน้ำยางชั้นยางแผ่นรมควันชั้น 1 และยางก้อนจับตัว โดยใช้ข้อมูลรายเดือนตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2555 ถึงเดือนตุลาคม พ.ศ. 2560 จำนวนทั้งสิ้น 70 เดือน เพื่อหาตัวแบบพยากรณ์ที่ผ่านข้อตกลงเบื้องต้นและให้ค่า MAPE ต่ำที่สุด ได้แก่ SARIMA(0,1,1)(1,1,0)<sub>12</sub> และ SARIMA(0,1,1)(1,1,0)<sub>12</sub> โดยไม่มีพจน์ของค่าคงที่ ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับการวิจัยของเพ็ญนภา พุ่มซ้อน [9] และวรางคณา กิริติวิบูลย์ [10] ซึ่งสร้างตัวแบบการพยากรณ์ปริมาณการส่งออกยางแผ่นรมควันชั้น 1 และยางคอมปาวด์ ตามลำดับ ด้วยวิธีของบ็อกซ์-เจนกินส์เช่นเดียวกัน โดยใช้ข้อมูลอนุกรมเวลาในช่วงเวลาที่แตกต่างกันไป ผลการวิจัยพบว่า ตัวแบบพยากรณ์ที่ได้มีความแม่นยำในการพยากรณ์ในระดับดีและสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้เช่นเดียวกัน แต่บางตัวแบบไม่คำนึงถึงความผันแปรตามฤดูกาล ยกเว้นงานวิจัยของเฉลิมพล จตุพร และพัฒนา สุขประเสริฐ [8] ซึ่งความผันแปรตามฤดูกาลจะส่งผลอย่างยิ่งต่อค่าพยากรณ์ที่ได้ เนื่องจากปริมาณผลผลิตและราคาที่ผันแปรตามฤดูกาล จึงอาจส่งผลให้ปริมาณการส่งออกแปรผันตามฤดูกาลได้เหมือนกับตัวแบบการพยากรณ์ที่ได้ในงานวิจัยครั้งนี้

หลังจากได้ตัวแบบการพยากรณ์แล้ว งานวิจัยนี้ได้วิเคราะห์สถิติย้อนหลังเกี่ยวกับผลผลิต สัดส่วนผลผลิต และอัตราการแปลง ผลการวิเคราะห์ดังกล่าวถูกนำมาวิเคราะห์เพื่อประมาณการผลผลิตและเนื้อที่เพาะปลูกยางพารา พบว่า ในปี พ.ศ. 2565 ประเทศไทยจะมีผลผลิตยางพารา ประมาณ 1.573 ล้านตัน ซึ่งต้องใช้เนื้อที่เพาะปลูกประมาณ 6.561 ล้านไร่ แต่ปัจจุบัน (พ.ศ. 2560) ประเทศไทยมีเนื้อที่เพาะปลูกยางพารามากถึง 22.852 ล้านไร่ ซึ่งส่วนใหญ่เป็นเนื้อที่เพาะปลูกทางภาคใต้ 13.799 ล้านไร่ รองลงมาคือภาคตะวันออกเฉียงเหนือ 5.230 ล้านไร่ [12] ดังนั้นประเทศไทยควรลดเนื้อที่ปลูกยางพาราลง 16.291 ล้านไร่ เพื่อลดกำลังการผลิตยางพาราออกสู่ตลาด ซึ่งจะส่งผลให้ราคาผลผลิตสูงขึ้น เป็นการแก้ปัญหาให้กับเกษตรกรผู้ปลูกยางพาราโดยตรง อีกทั้งจะทำให้มีปริมาณผลผลิตที่สอดคล้องกับตลาดทั้งภายในประเทศและตลาดส่งออกได้

ทั้งนี้ การลดพื้นที่เพาะปลูกยางพารา จะส่งผลต่อรายได้ในภาพรวมของเกษตรกร เกษตรกรจึงควรหันมาปลูกพืชเศรษฐกิจอื่นทดแทนที่มีความเหมาะสมกับลักษณะสภาพดิน สภาพภูมิ

ประเทศ และสภาพภูมิอากาศของพื้นที่ ส่วนภาครัฐและหน่วยงานที่เกี่ยวข้องควรหาแนวทางร่วมกันในการวางแผนเชิงบูรณาการเกี่ยวกับการเลือกเพาะปลูกและการจัดสรรพื้นที่เพาะปลูกพืชเศรษฐกิจสำคัญของประเทศ เพื่อให้เกิดความสมดุลทั้งในเชิงพื้นที่ อุปทาน อุปสงค์ และมูลค่าทางเศรษฐกิจในภาพรวมของประเทศ

### กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณกรมศุลกากรและสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร ที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลสำหรับการวิจัย

### REFERENCES

- [1] Farm Thailand. "Agricultural News, Export of Thai Agricultural Products," (In Thai). [Online]. Available: <http://www.farmthailand.com/399>. [accessed Oct 19, 2017].
- [2] Domestic Economy, "Agricultural Products Exports in 2017, Rice-Rubber in the World Market," (In Thai). *Prachachat Business Newspaper*, Vol. 39, No.4904 pp. 3, Monday 9 - Wednesday 11 January 2017.
- [3] Mookda Manmin, *Time Series and Forecasting*, (In Thai). Bangkok: Prakaipruek Publishing, 2006.
- [4] G. E. P. Box, et al., *Time Series Analysis: Forecasting and Control*, 3<sup>rd</sup> ed. New Jersey: Prentice Hall, Englewood Cliffs, 1994.
- [5] Songsiri Taesombat, "*Quantitative Forecasting*," (In Thai). Bangkok: Kasetsart University Press, 2006.
- [6] R. Fildes and S. Makridakis, "The Impact of Empirical Accuracy Studies on Time Series Analysis and Forecasting," *International Statistical Review*, Vol. 63 No. 3, pp. 289-308, 1995.
- [7] H. Charles C, "Forecasting Seasonals and Trends by Exponentially Weighted Moving Averages," *International Journal of Forecasting*, Vol. 20, No. 1 pp. 5-10, Jan-Mar 2004.
- [8] Chalermpon Jatuporn and Patana Sukprasert, "Forecasting Models for Rubber Production and Export Quantity of Thailand," (In Thai). *Khon Kaen Agriculture Journal*, Vol. 44, No. 2, pp. 219-228, 2016.
- [9] Pennapa Putzon, "The Forecast of Export Quantity of the Rubber Ribbed Smoked Sheets 1 by Box-Jenkins Method," (In Thai). B.Sc. Statistics. Burapha University, Chon Buri, Thailand, 2013.



- [10] Warangkhan Keerativibool, "Forecasting the Export Quantity of the Rubber Compound," (In Thai). *SWU Science Journal*, Vol. 30, No. 2, pp. 41-56, 2014.
- [11] The Customs Department. Import-Export Statistics. (In Thai). [Online]. Available: [http://www.customs.go.th/statistic\\_report.php?tab=by\\_tariff\\_classification](http://www.customs.go.th/statistic_report.php?tab=by_tariff_classification). [accessed Oct 25, 2017]
- [12] Office of Agricultural Economics. Situation and Trend of Important Agricultural Products in 2018. (In Thai). [Online]. Available: <http://www.oae.go.th/oaenew/OAE/>. [accessed Jan 19, 2017].
- [13] C.D. Lewis, *International and Business Forecasting Methods*. London: Butterworth Scientific, 1982.

# Unfolding to the Past: Temporal and Dimensional Perception Enrichment for Image Impression Improvement

Kulwadee Somboonviwat<sup>1</sup> Thitiporn Lertrusdachakul<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>*Faculty of Engineering at Sriracha, Kasetsart University Sriracha Campus, Chonburi, Thailand*

<sup>2</sup>*Faculty of Information Technology, Thai-Nichi Institute of Technology, Bangkok, Thailand*

\*Corresponding Author. E-mail address: thitiporn@tni.ac.th

Received: 5 September 2019; Revised: 17 October 2019; Accepted: 29 October 2019

Published online: 25 December 2019

## ***Abstract***

An image is in essence a record of visible objects at a particular point in time. This paper proposes a method based on adaptively integrating depth cues with relative motion for enriching temporal and dimensional perception of images. The key idea of our method is to construct a natural-looking animated sequence of images from the original one by introducing differing depth cues and varying time frames to individual generated images. The differing depth cues are created by utilizing variations of visual details and color saturation, whereas the presentation time duration of each image is determined based on structural similarity of consecutive images. The resulting animated image can give a sense of increasing depth as well as a temporal dynamics from past to present. The proposed method can be applied to image impression improvement, especially in the exhibitions or presentations of historical places and artifacts.

**Keywords:** Image Impression, Temporal and Dimensional Perception, Depth Cues, Structural Similarity Index





## I. INTRODUCTION

The evolution of digital imaging has led to an unprecedented growth of the number of digital imaging applications, ranging from industrial to daily life applications. Nowadays, digital imaging is used for diverse purposes such as medical treatment, security, law enforcement, defect detection, preventive maintenance, railway facilities and road inspection and maintenance system. Smartphones and the Internet have made everyone being able to communicate specific and meaningful moments visually. Everybody can be a photographer in their own way. Meanwhile, today's technological society has drastically changed and impacted the level of media richness. Social networking sites like Facebook and Instagram have allowed us to document and manifest our social life through images as a digital representation in the virtual world. We can easily and instantly create an extraordinary image and share it directly to our favorite social media platform.

To obtain a better and more impressive images, many software and apps have been developed to assist us in editing, enhancing and compositing digital images. Tons of smart image filters and algorithms including visual effects are currently available to provide an effective way to catch people's attention. Commercial and noncommercial software, apps and websites such as Adobe Photoshop [1], Canva [2] and BeFunky [3], not only let us adjust brightness, contrast, saturation, hue and blur but also offer photo effects and filters of inspiration, e.g., bokeh and vintage effects, mysterious and seductive filters. All of these technological advancement of digital imaging have inspired and challenged us to create an innovative approach to exploit depth and temporal perception simultaneously to render more impressive images that can naturally visualize the passage of time from past to the present.

In this paper, we utilize depth cues in relative motion to synchronize dimension of space and time (past to present) for providing naturally innovative image impression. These depth cues with reciprocal motion are automatically generated from the original color image.

## II. LITERATURE REVIEW

Human brain has evolved to see the world as it is useful for survival. Therefore, our visual perception is based on learning how to see and how the brain organizes visual elements such as colors, shapes, sizes and spatial relationships [4]. The brain's response can introduce depth cues to the images to give us the illusion of three-dimensional (3D) appearance. The depth cues [5] - [8] can be constructed from shading, relative size, linear and atmospheric perspective, focus, motion, stereoscopic and physiological cues. For example, overlapping objects indicate relative distance. Larger objects and more visible detail (in focus) tend to be perceived as being closer. Close objects appear to exhibit more saturated hues and contrasting values. The technique of chiaroscuro [9] which refers to the interplay of light and shadow, can be used to achieve the illusion of three-dimensional volume on a flat surface. Qian *et al.* [10] studied the effects of two depth cues on visual working memory (VWM) performance. Their results showed that combining the coherent binocular and monocular depth cues can provide significantly better performance on the perceptually closer-in-depth items. According to [11] in stereoscopic vision, depth magnitude tends to increase with binocular disparity, while precision and realism of depth perception tend to decrease. The depth perception in disparity-defined objects has special characteristic needed to be investigated for depth estimation errors [12]. Inspired by these effects of depth on human's perception, in this paper, we put

forward the idea to combine depth cues and make the realistic depth experience.

For antique and vintage images, precious retro feel can be accomplished by reducing the contrast, saturation, brightness and adjusting the temperature of color and tone [13]. The color fade will bring out some of the details and make motifs become flatter. These effects lead us to a sense of different vibe like they are from another age.

Some websites, apps and research [14] - [17] use motion as a tool for creating lively photo stylizations and effects in static and animated images. In [16], the photographs at different time points of the day are combined with geometric stencils across the scene to create layered animation of a unique impression. Different shade movement [16], [17] enhances the expression of time (day to night) and dimension in the desired moving direction. In [18], different image slices of relative time and transition from daytime to nighttime are used to capture both details and a sequence of time in a single 2D image. Unlike our proposed method which utilizes only a single original image to provide a better sense of temporal and dimensional impression, these methods require taking many photos of different time or manually adjusting the colors.

### III. RESEARCH METHODOLOGY

To experience the image beyond a snapshot, we propose the method to enhance temporal perception from olden days to the present with integrated dimensional feeling through the appearance of depth cues. By introducing the depth cues of color saturation, visual details and visible time, our method can improve the perspective in time and dimension of a 2D color image. Fig. 1 describes an overview of the proposed approach. Our approach consists of three main steps:

(1) image quantization, (2) structural similarity index calculation, and (3) animation creation.

First, the color image is converted into indexed images by using minimum variance quantization [19] with a series of quantized colors and dithering. The minimum variance quantization is used because it allocates more or less of the colormap entries according to the actual data and can produce more accurate colors than uniform quantization. In addition, the dithering technique of Floyd-Steinberg's error diffusion dither algorithm [20] is applied to adjust the colors of pixels in a neighborhood to make the average color in each neighborhood approximated to the original RGB color. This is to increase the apparent number of colors for a better apparent color resolution of an image. From the preliminary experiment, we obtained the most suitable numbers of quantized colors ( $Q$ ) for the appropriate change of image perception as described in (1).

$$Q = 2^i ; i=2,3,4,\dots,8 \quad (1)$$

When the number of quantized colors  $Q$  equals to 4 ( $i=2$ ), the image begins to have a feeling of depth. An art expert suggests that image with 8 quantized colors ( $i=3$ ) evokes the most perceived sensation of former times. When the number of quantized colors  $Q$  increases, more detail and saturated hues become visible. Therefore, the images start to have more depth as  $Q$  increases and the perception of difference becomes smaller for larger  $Q$  ( $Q>64$ ).

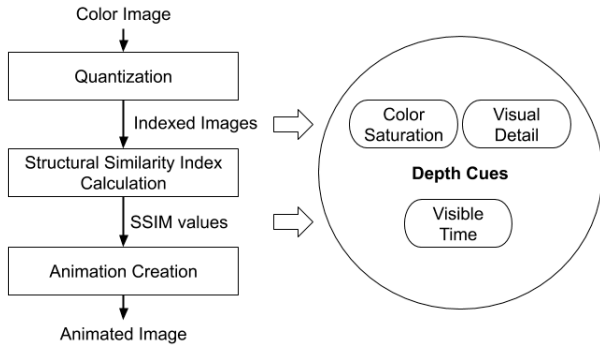


Fig. 1. The overview of the proposed approach.

Next, we integrate the motion by using visible time to animate a series of images into GIF form. The frame duration will depend on the image difference in each step of quantized colors. Specifically, it is inversely proportional to the similarity between each image. In this process, the structural similarity index (SSIM) is calculated for adjusting the visible time of each frame. SSIM [21] - [23] is selected because it can perform more accurate measurement of the perceptual difference between two similar images than the standard measure of mean square error (MSE). SSIM is based on the visual impact of three characteristics of an image, i.e., luminance, contrast and structure, and can be simplified as (2).

$$SSIM(x, y) = \frac{(2\mu_x\mu_y + C_1)(2\sigma_{xy} + C_2)}{(\mu_x^2 + \mu_y^2 + C_1)(\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + C_2)} \quad (2)$$

where  $\mu_x$ ,  $\mu_y$ ,  $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$  and  $\sigma_{xy}$  are the local means, standard deviations, and cross-covariance for images  $x$ ,  $y$ . The default values of  $C_1$  and  $C_2$  are  $(0.01L)^2$  and  $(0.03L)^2$  where  $L$  is the dynamic range of the input image. The value of SSIM is standardized to a scale of -1 (very different) to 1 (very similar). By testing the duration of each frame in the preliminary experiment, we obtained the best frame duration adjusted according to the comments from an art expert to achieve the temporal and dimensional perception of the image as shown in (3).

$$tf_i = \frac{1 - SSIM(img_i, img_{i+1})}{\sum_{i=2}^7 (1 - SSIM(img_i, img_{i+1}))} \times t_s ; i=2,3,4,\dots,7 \quad (3)$$

where  $tf_i$  is the frame duration of image with  $2^i$  quantized colors ( $img_i$ ),

$SSIM(img_i, img_{i+1})$  is the structural similarity index value for  $img_i$  using  $img_{i+1}$  as the reference image,

$t_s$  is the setting time in second to control the period of animated image which refers to the total frame duration excluding the last frame. It is also set to be the duration of the last frame (the highest image quality) and the default value is 1. The duration of animated GIF and the animation speed can be changed proportionally by adjusting the value of  $t_s$ . Once the values of SSIM are determined, we then compute the frame duration of each quantized image to create an impressive animation.

#### IV. RESULTS AND DISCUSSION

We applied the proposed approach to produce the images more appealing. As the temporal (past to present) and dimensional (depth) perception are the target of our method, the images of temples which carry implicit history and aesthetic, are selected to test in the experiment. These images are taken from several temples in Bangkok such as Wat Arun Ratchawaram Ratchawaramahawihan (Wat Arun), Wat Phra Chetuphon Vimolmangklararm Rajwara mahaviharn (Wat Pho) and Wat Phra Si Rattana Satsadaram (Wat Phra Kaew). The examples of images are shown in Figs. 2 and 3. Fig. 2 compares the results between 2 and 4 quantized colors. The digital images are available online at <http://tiny.cc/xynhez>. It can be seen that images with  $Q$  of 4 become more depth (not flat) and are used as the beginning frame of the animated images. Fig. 3 shows four examples of consecutive frames with quantized colors of 4, 8, 16, 32, 64, 128, 256 ( $i=2,3,4,\dots,8$ ) from left to right and top to bottom. It can be clearly seen that the images become more

appearing and perceptible as the visual detail and color saturation are increased. The original images are available online at <http://tiny.cc/mlqhez>. The difference can be observed clearly when the images are viewed in large size and high quality display. When  $Q$  is small, the image difference is easily noticeable. However, it becomes almost no difference (very similar) in the last two image frames.

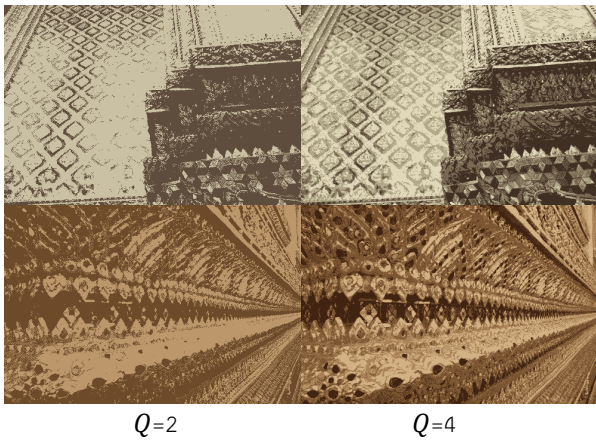
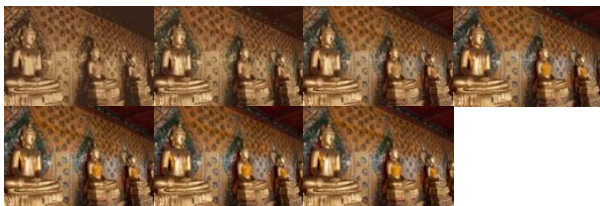
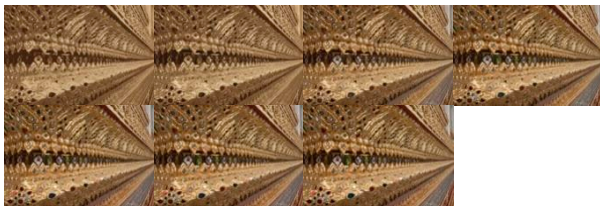


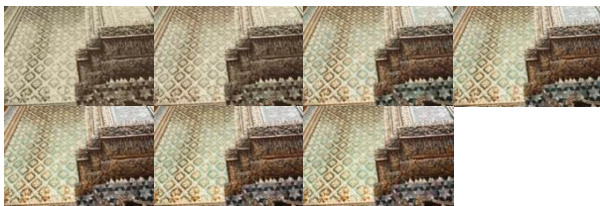
Fig. 2. The comparison of images with different quantized colors ( $Q$ ).



Wat Arun 1



Wat Arun 2



Wat Phra Kaew 1



Wat Pho 1

Fig. 3. The examples of image results with 4, 8, 16, 32, 64, 128, 256 quantized colors (left to right and top to bottom).

Fig. 4 illustrates an example of local SSIM value map for Wat Arun 2. It is calculated from 2-D grayscale images of consecutive frames by using (2). The results are displayed in grayscale by scaling the minimum value to black and the maximum value to white. The higher value of local SSIM value (i.e. white color) indicates more similarity. The average value of local SSIM values will be used as a global SSIM value of the image. Fig. 5 shows the global SSIM values of the example images shown in Fig. 3. The value of 1 means very similar. The images of Wat Arun 1 have smaller SSIM values than others which are corresponding to the larger difference in visual perception between each frame. It can be obviously seen that all graphs tend to be less slope (more similarity) when  $Q$  is increased. From these variations, we can compute the frame duration ( $t_{f_i}$ ) by (3) and the results are described in Fig. 6 with the default value  $t_s$  of 1. The created GIF animation will have shorter frame duration if the frames are more similar.



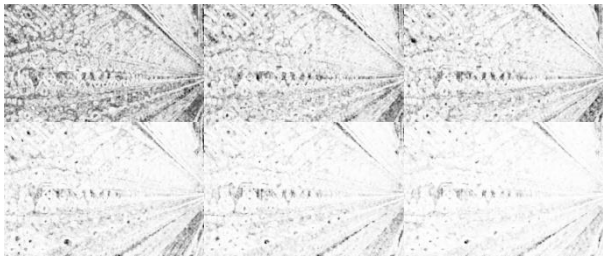


Fig. 4. Local SSIM value map of consecutive frames for  $i = 2, 3, 4, \dots, 7$  in Wat Arun 2 (left to right and top to bottom).

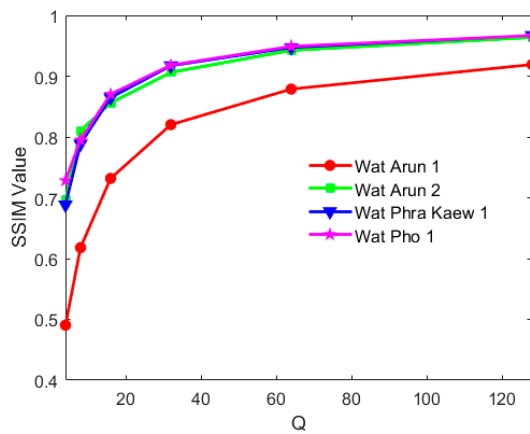


Fig. 5. The global SSIM values of the example images shown in Fig. 3.

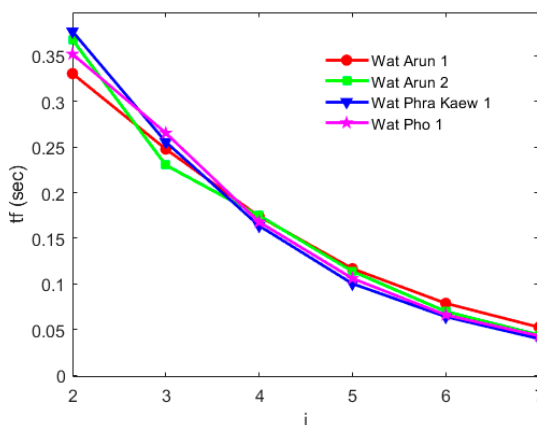


Fig. 6. The frame duration of the example images shown in Fig. 3.

Fig. 7 illustrates an example of frame duration in term of percentage of animated period. In this case by default, the total time of period is 2 seconds which 50% of them will allocate for 6 animated images and another 50% will be the duration of the last frame. The animated GIF can be viewed at <http://tiny.cc/icisbz>.

For the overall results, the created GIF animations can improve the perception of time (past to present)

and dimension (depth) as the images are getting richer in detail and color saturation. These depth cues are enhanced by relative motion of image frame according to the image difference. An artistic specialist suggested that the proposed method would be good at image with high detail/texture/pattern, high color variation and high dimension or perspective from shadow or lightness. The difference in saturation between each frame could be used for fine tuning the frame duration. Compared to prior methods [16], [17], the proposed GIF animations generation approach utilizes a single original image to naturally provide a better sense of temporal and dimensional impression without manually adjusting the image colors. Our method can be used in various scenarios such as electronic brochures, exhibitions in the museums, visual arts, websites and social media to make the images more impression and attention.

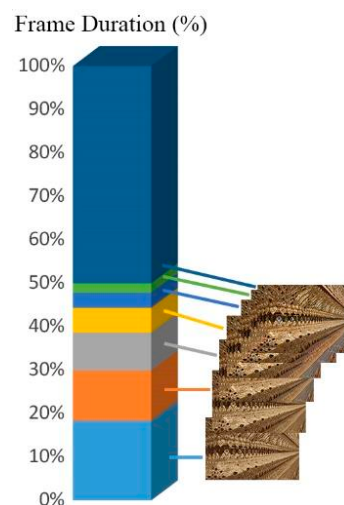


Fig. 7. The frame duration of Wat Arun 2 as percentage of animated period.

Although the indexed images of a series of quantized colors work well for the animated GIF in our approach, the frame selection and transition could be further investigated for the delicate and intricate conveying of expression.

## V. CONCLUSION

In this paper, we propose an intuitive and simple method to exploit depth cues of images for successive transformation of temporal and dimensional feelings. The method is based on innate characteristics of a sequence of quantized images. The variations of visual detail and color saturation in relative motion assist the human brain to perceive more depth and time of the past to the present. With these techniques, the approach can be extended to other types of depth cues or other cues with corresponding motion to produce images that are more interesting and impressive for a variety of applications.

## REFERENCES

- [1] Adobe Photoshop. (2019). Adobe. Accessed: Sep. 3, 2019. [Online]. Available: <https://www.adobe.com/sea/products/photoshopfamily.html>
- [2] Canva. (2019). [Online]. Available: <https://www.canva.com/features/photo-effects/>
- [3] BeFunky. (2019). [Online]. Available: <https://www.befunky.com/features/photo-effects/>
- [4] L. Wang. "8 mind-bending optical illusions (and what they reveal about how our brains work)." Visual Learning Center by Visme. <https://visme.co/blog/best-optical-illusions/> (accessed Sep. 3, 2019).
- [5] A. Hosny. "How come a 3D movie on a 2D screen ?!" <https://abdelrahmanhosny.wordpress.com/2014/03/12/how-come-a-3d-movie-on-a-2d-screen/> (accessed Sep. 3, 2019).
- [6] C. Jirousek. "Two dimensional illusion of three dimensional form." Art, Design, and Visual Thinking. <http://char.txa.cornell.edu/language/element/form/formillu.htm> (accessed Sep. 3, 2019).
- [7] J.-I. Jung, J.-H. Lee, I.-Y. Shin, J.-H. Moon, and Y.-S. Ho, "Improved depth perception of single-view images," *ECTI Transactions on Electrical Eng., Electronics, and Communications*, Vol. 8, No. 2, pp. 164-172, Aug. 2010.
- [8] K. Ruxpaitoon, N. Aoki, and H. Kobayashi, "Studies on perspective expression technique used in wall paintings of each Thai dynasty period," *Journal of the Society of Photographic Science and Technology of Japan*, Vol. 76, No.1, pp. 88-98, 2013.
- [9] D. Scott. "Chiaroscuro." <https://drawpaintacademy.com/chiaroscuro/> (accessed Sep. 3, 2019).
- [10] J. Qian, J. Li, K. Wang, S. Liu, and Q. Lei, "Evidence for the effect of depth on visual working memory," *Scientific Reports*, Jul. 2017.
- [11] P. B. Hibbard, A. E. Haines, and R. L. Hornsey, "Magnitude, precision, and realism of depth perception in stereoscopic vision," *Cognitive Research: Principles and Implications*, May 2017.
- [12] P. Cammack and J. M. Harris, "Depth perception in disparity-defined objects: finding the balance between averaging and segregation," *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, Jun. 2016.
- [13] Lars. "4 tips for modern vintage photography." <https://www.eyeem.com/blog/modern-vintage-photography> (accessed Sep. 3, 2019).
- [14] A. Semmo, M. Reimann, M. Klingbeil, S. Shekhar, M. Trapp, and J. Döllner, "ViVid: Depicting dynamics in stylized live photos," 2019, doi: 10.1145/3305365.3329726.
- [15] Bloggif. (2019). [Online]. Available: <https://en.bloggif.com/effect> (accessed Sep. 3, 2019).
- [16] F. Q. Wei. "Time in motion by Fong Qi Wei." Gestalten. <https://gestalten.com/blogs/journal/time-in-motion-by-fong-qi-wei> (accessed Sep. 3, 2019).
- [17] fqwimages. <https://fqwimages.tumblr.com/> (accessed Sep. 3, 2019).
- [18] fqwimages. "Time paintings." <https://fqwimages.com/time-paintings/> (accessed Sep. 3, 2019).
- [19] The MathWorks, Inc. "Reduce the number of colors in an image." <https://www.mathworks.com/help/images/reduce-the-number-of-colors-in-an-image.html> (accessed Sep. 3, 2019).
- [20] R. W. Floyd and L. Steinberg, "An adaptive algorithm for spatial gray scale," *International Symposium Digest of Technical Papers, Society for Information Displays*, 1975, pp. 36.
- [21] Z. Wang. "Image quality assessment: From error visibility to structural similarity." <https://pdfs.semanticscholar.org/>



66dc/7d32429e5e5906d1026706eb3a716b67bd3b.pdf

(accessed Sep. 3, 2019).

- [22] I. Mamun. "Image classification using SSIM." <https://towardsdatascience.com/image-classification-using-ssim-34e549ec6e12> (accessed Sep. 3, 2019).
- [23] The MathWorks, Inc. "ssim." <https://www.mathworks.com/help/images/ref/ssim.html> (accessed Sep. 3, 2019)



## คำแนะนำสำหรับผู้เขียนบทความเพื่อลงตีพิมพ์

วารสารสถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น : วิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี เป็นวารสารวิชาการทางด้านวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี ของสถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น บทความที่นำเสนอจะต้องพิมพ์เป็นภาษาไทย หรือภาษาอังกฤษตามรูปแบบที่กำหนด และพร้อมที่จะนำไปตีพิมพ์ได้ทันที การเสนอบทความเพื่อพิจารณาตีพิมพ์ในวารสาร มีรายละเอียดดังนี้

### 1. หลักเกณฑ์การพิจารณาบทความเพื่อตีพิมพ์

1.1 เป็นบทความที่ไม่ได้อยู่ระหว่างการพิจารณาตีพิมพ์ หรือไม่ได้อยู่ระหว่างการพิจารณาของสื่อสิ่งพิมพ์อื่นๆ และไม่เคยตีพิมพ์ในวารสารใดมาก่อนทั้งในประเทศและต่างประเทศ หากตรวจสอบพบว่ามีการตีพิมพ์ซ้ำซ้อน ถือเป็นความรับผิดชอบของผู้เขียนแต่เพียงผู้เดียว

1.2 เป็นบทความที่แสดงให้เห็นถึงความคิดริเริ่มสร้างสรรค์ มีคุณค่าทางวิชาการ มีความสมบูรณ์ของเนื้อหา และมีความถูกต้องตามหลักวิชาการ

1.3 บทความที่ได้รับการตีพิมพ์จะต้องผ่านการประเมินคุณภาพจากผู้ทรงคุณวุฒิ (Peer review) อย่างน้อย 2 ท่าน ต่อบทความ ซึ่งผู้ทรงคุณวุฒิอาจให้ผู้เขียนแก้ไขเพิ่มเติมหรือปรับปรุงบทความให้เหมาะสมยิ่งขึ้น

1.4 กองบรรณาธิการขอสงวนสิทธิ์ในการตรวจแก้ไขรูปแบบบทความที่ส่งมาตีพิมพ์ตามที่เห็นสมควร

1.5 บทความ ข้อความ ภาพประกอบ และตารางประกอบ ที่ตีพิมพ์ลงวารสารเป็นความคิดเห็นส่วนตัวของผู้เขียน กองบรรณาธิการไม่มีส่วนรับผิดชอบใดๆ ถือเป็นความรับผิดชอบของผู้เขียนแต่เพียงผู้เดียว

1.6 ต้องเป็นบทความที่ไม่ละเมิดลิขสิทธิ์ ไม่ลอกเลียน หรือดัดทอนข้อความของผู้อื่นโดยไม่ได้รับอนุญาต

1.7 หากเป็นงานแปลหรือเรียบเรียงจากภาษาต่างประเทศ ต้องมีหลักฐานการอนุญาตให้ตีพิมพ์เป็นลายลักษณ์อักษรจากเจ้าของลิขสิทธิ์

1.8 ต้องมีการอ้างอิงที่ถูกต้อง เหมาะสมก่อนการตีพิมพ์ ซึ่งเป็นความรับผิดชอบของเจ้าของผลงาน

1.9 บทความที่ส่งถึงกองบรรณาธิการ ขอสงวนสิทธิ์ที่จะไม่ส่งคืนผู้เขียน

### 2. รูปแบบการกลั่นกรองบทความก่อนลงตีพิมพ์ (Peer-review)

ในการประเมินบทความโดยผู้ทรงคุณวุฒิเป็นการประเมินแบบ Double-blind peer review คือ ผู้ทรงคุณวุฒิไม่ทราบชื่อและรายละเอียดของผู้เขียนบทความ และผู้เขียนบทความไม่ทราบชื่อและรายละเอียดของผู้ทรงคุณวุฒิ

### 3. ประเภทของบทความที่รับพิจารณาลงตีพิมพ์

นิพนธ์ต้นฉบับต้องเป็นบทความวิจัย ประกอบด้วย บทความย่อ บทนำ วัตถุประสงค์ของการวิจัย วิธีดำเนินการวิจัย ผลการวิจัย สรุปและอภิปรายผล และเอกสารอ้างอิง

**หมายเหตุ :** บทความภาษาไทยต้องมีบทคัดย่อภาษาไทยและภาษาอังกฤษ โดยใช้บทคัดย่อภาษาไทยก่อนบทคัดย่อภาษาอังกฤษ บทความภาษาอังกฤษไม่ต้องมีบทคัดย่อภาษาไทย

\* เอกสารอ้างอิง เป็นการบอกรายการแหล่งอ้างอิงที่มีการอ้างอิงในเนื้อหาของงานเขียน

# วารสารสถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น : วิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี

## ปีที่ 7 ฉบับที่ 2 กรกฎาคม - ธันวาคม 2562

### 4. จริยธรรมในการตีพิมพ์ผลงานวิจัยในวารสารวิชาการ

วารสารสถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น : วิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี ได้คำนึงถึงจริยธรรมในการตีพิมพ์บทความ โดยจริยธรรมและบทบาทหน้าที่ของผู้เกี่ยวข้อง มีดังนี้

#### 4.1 บทบาทและหน้าที่ของผู้นิพนธ์

1. ผลงานที่ส่งมาให้พิจารณานั้น ต้องเป็นผลงานใหม่ และไม่เคยตีพิมพ์เผยแพร่ที่ไหนมาก่อน
2. ในกรณีที่มีการนำข้อมูลของผู้อื่นมาใช้ ผู้นิพนธ์ต้องอ้างอิงผลงานนั้น รวมทั้งต้องจัดทำรายการอ้างอิง ในส่วนท้ายบทความ
3. ผู้นิพนธ์ต้องรายงานข้อเท็จจริงที่เกิดขึ้น โดยไม่มีการให้ข้อมูลอันเป็นเท็จ หรือ บิดเบือนข้อมูล
4. ผู้นิพนธ์ต้องดำเนินการจัดทำบทความตามข้อกำหนดของกองบรรณาธิการวารสาร ซึ่งสามารถศึกษารายละเอียดได้จากเมนู Author Guidelines ในเว็บไซต์ <https://www.tci-thaijo.org/index.php/TNIJournal>
5. หากมีแหล่งเงินทุนสนับสนุนการวิจัย ผู้นิพนธ์ต้องระบุแหล่งเงินสนับสนุนนั้นด้วย
6. หากมีผลประโยชน์ทับซ้อน ผู้นิพนธ์ต้องเปิดเผยข้อมูลเกี่ยวกับผลประโยชน์ทับซ้อนนั้น

#### 4.2 บทบาทและหน้าที่ของบรรณาธิการ

1. บรรณาธิการต้องพิจารณาคุณภาพของบทความที่จะตีพิมพ์เผยแพร่ในวารสาร
2. บรรณาธิการต้องไม่เปิดเผยข้อมูลของผู้นิพนธ์ และข้อมูลของผู้ประเมินแก่บุคคลอื่นซึ่งไม่เกี่ยวข้อง
3. บรรณาธิการต้องไม่มีผลประโยชน์ทับซ้อนกับผู้นิพนธ์ และผู้ประเมินบทความ
4. หากเกิดความไม่แน่ใจหรือสงสัย บรรณาธิการต้องหาหลักฐานมาพิสูจน์ข้อสงสัยนั้น และไม่ปฏิเสธการตีพิมพ์บทความเพราะความสงสัยของตนเอง
5. หลังจากที่ยกบทความผ่านกระบวนการประเมินโดยผู้ประเมิน บรรณาธิการต้องคัดเลือกบทความมาตีพิมพ์ โดยพิจารณาจากควมมีประโยชน์ ความทันสมัย ความชัดเจน และความสอดคล้องของเนื้อหาบทความ กับนโยบายของวารสาร
6. บรรณาธิการต้องใช้โปรแกรมที่เชื่อถือได้ในการตรวจสอบการคัดลอกผลงานผู้อื่น (Plagiarism) เพื่อให้มั่นใจได้ว่าทุกบทความที่ตีพิมพ์ในวารสารไม่ได้คัดลอกผลงานของผู้อื่น
7. บรรณาธิการต้องไม่มีผลประโยชน์ทับซ้อนใดๆ กับผู้นิพนธ์ และผู้ประเมินบทความ
8. หากพบว่า มีการคัดลอกผลงานของผู้อื่น บรรณาธิการต้องหยุดกระบวนการพิจารณาบทความ และติดต่อผู้นิพนธ์ เพื่อให้ผู้นิพนธ์ได้ชี้แจง และนำข้อมูลการชี้แจงนั้นมาพิจารณาประกอบการตัดสินใจ “ดำเนินการกระบวนการพิจารณาบทความต่อ” หรือ “หยุดกระบวนการพิจารณาบทความ”

#### 4.3 บทบาทและหน้าที่ของผู้ประเมินบทความ

1. ผู้ประเมินบทความต้องรักษาความลับ โดยไม่เปิดเผยข้อมูลของบทความที่ส่งมาพิจารณาแก่บุคคลอื่นๆ ที่ไม่เกี่ยวข้อง
2. เมื่อได้รับบทความจากบรรณาธิการ และผู้ประเมินบทความ เห็นว่าตนเองอาจมีผลประโยชน์ทับซ้อนกับผู้นิพนธ์ อย่างเช่น รู้จักกับผู้นิพนธ์เป็นการส่วนตัว หรือเหตุผลอื่นๆ ที่ทำให้ไม่สามารถให้ดำเนินการประเมินได้อย่างอิสระ ผู้ประเมินควรปฏิเสธการประเมินบทความนั้น และแจ้งเหตุผลให้บรรณาธิการทราบ
3. ผู้ประเมินควรระบุบทความที่ผู้นิพนธ์ไม่ได้อ้างอิง แต่มีความสำคัญและสอดคล้องกับบทความที่กำลังประเมิน นอกจากนี้หากพบว่าบทความมีความเหมือน หรือซ้ำซ้อนกับบทความอื่น ผู้ประเมินต้องแจ้งให้บรรณาธิการทราบ

- ผู้ประเมินบทความ ควรพิจารณาประเมินบทความเฉพาะในสาขาวิชาที่ตนเองมีความเชี่ยวชาญ โดยควรพิจารณาคุณภาพของบทความ และความสำคัญของบทความที่มีต่อสาขานั้น
- ผู้ประเมินบทความไม่ควรใช้ความคิดเห็นส่วนตัวที่ไม่มีหลักฐานรองรับมาตัดสินบทความนั้น

#### 5. ข้อกำหนดการจัดพิมพ์ต้นฉบับบทความ

ผู้เขียนต้องจัดพิมพ์บทความตามข้อกำหนดเพื่อให้มีรูปแบบการตีพิมพ์เป็นมาตรฐานแบบเดียวกัน ดังนี้

##### 5.1 ขนาดของกระดาษ ให้ใช้ขนาด A4

##### 5.2 กรอบของข้อความ ระยะห่างของขอบกระดาษ

ด้านบน 2.5 ซม. (0.98")

ด้านล่าง 2 ซม. (0.79")

ด้านซ้าย 2 ซม. (0.79")

ด้านขวา 2 ซม. (0.79")

##### 5.3 ระยะห่างระหว่างบรรทัด หนึ่งช่วงบรรทัดของเครื่องคอมพิวเตอร์ (Single)

##### 5.4 ตัวอักษร รูปแบบของตัวอักษรให้ใช้ TH Sarabun New

##### 5.5 รายละเอียดต่างๆ ของบทความ กำหนดดังนี้

ชื่อเรื่อง (Title) ขนาด 22 ตัวหนา กำหนดกึ่งกลาง

ชื่อผู้เขียน (Author) ขนาด 14 ตัวธรรมดา กำหนดกึ่งกลาง ไม่ต้องใส่คำนำหน้า

ที่ติดต่อผู้เขียน ขนาด 14 ตัวเอน กำหนดกึ่งกลาง

E-mail ผู้นิพนธ์ประสาน ขนาด 12 ตัวธรรมดา กำหนดกึ่งกลาง

บทคัดย่อ (Abstract) จัดรูปแบบการพิมพ์เป็นแบบ 1 คอลัมน์ ชื่อหัวข้อ ขนาด 14 ตัวหนาและเอน

กำหนดกึ่งกลาง ข้อความในบทคัดย่อ ขนาด 14 ตัวธรรมดา

คำสำคัญ (Keywords) ให้ใส่คำสำคัญ 4-5 คำ ซึ่งเกี่ยวข้องกับบทความที่นำเสนอ โดยให้จัดพิมพ์ได้

บทคัดย่อ ขนาด 12 ตัวหนาและเอน กำหนดชิดซ้าย ข้อความในคำสำคัญ ขนาด 12 ตัวธรรมดา

รูปแบบการพิมพ์เนื้อหาของบทความ

- รูปแบบการพิมพ์เป็นแบบ 2 คอลัมน์ แต่ละคอลัมน์ กว้าง 8.2 ซม. (3.23") ระยะห่างระหว่างคอลัมน์ 0.6 ซม. (0.24")

- หัวข้อหลัก ประกอบด้วย บทนำ (Introduction) วัตถุประสงค์ของการวิจัย (Objectives) วิธีดำเนินการวิจัย (Methods) ผลการวิจัย (Results) สรุปและอภิปรายผล (Conclusions and Discussion) เอกสารอ้างอิง (References) ขนาด 14 ตัวธรรมดา กำหนดกึ่งกลาง และมีเลขกำกับ เช่น 1) บทนำ และ I. Introduction เป็นต้น

- หัวข้อรอง ระดับที่ 1 ขนาด 14 ตัวเอน กำหนดชิดซ้าย

- หัวข้อรอง ระดับที่ 2 ขนาด 14 ตัวเอน กำหนดชิดซ้ายและเลื่อนเข้ามา 0.5 cm

- เนื้อเรื่อง ขนาด 14 ตัวธรรมดา

- ชื่อตาราง ขนาด 12 ตัวธรรมดา กำหนดกึ่งกลาง และใส่ชื่อเหนือตาราง

- หัวข้อในตาราง ขนาด 12 ตัวหนา กำหนดกึ่งกลาง เนื้อหาในตาราง ขนาด 12 ตัวธรรมดา

- ชื่อภาพประกอบ ขนาด 12 ตัวธรรมดา กำหนดกึ่งกลาง และใส่ชื่อใต้ภาพ

- เนื้อหาในภาพประกอบ ขนาด 12 ตัวธรรมดา

## 5.6 เอกสารอ้างอิง

5.6.1 การอ้างอิงในเนื้อหาบทความใช้การอ้างอิงแบบตัวเลข ตามมาตรฐานสากล โดยใช้หมายเลขในเครื่องหมายก้ามปู [ ] และเรียงลำดับการอ้างอิงตามเนื้อหา โดยมีตัวอย่างการเขียน เช่น [1] หรือ [2] หรือ [1], [2] หรือ [1], [3]-[8] หรือ [9], [10], [15], [16] หากมีการอ้างอิงซ้ำบทความเดิมให้ใช้หมายเลขเดิม ตัวอย่างเช่น by Brown [4], [5]; as mentioned earlier [2], [4]-[7], [9]; Smith [4] and Brown and Jones [5]; Wood et al. [7]

5.6.2 รูปแบบของชื่อหัวข้อใช้รูปแบบตัวอักษร TH Sarabun New ขนาด 14 ตัวธรรมดา ในเนื้อหาขนาด 12 ตัวธรรมดา

5.6.3 การอ้างอิงท้ายบทความ จะต้องเรียงตามลำดับบทความที่เขียนอ้างอิงในเนื้อเรื่อง และใช้การอ้างอิงตามรูปแบบการอ้างอิง IEEE ซึ่งผู้เขียนสามารถศึกษาวิธีการเขียนเอกสารอ้างอิงตามรูปแบบที่กำหนดได้ที่ <http://journals.ieeeauthorcenter.ieee.org/wp-content/uploads/sites/7/IEEE-Reference-Guide.pdf> โดยจะต้องเขียนเป็นภาษาอังกฤษเท่านั้น หากบทความอ้างอิงมาจากบทความภาษาไทย ต้องแปลเป็นภาษาอังกฤษให้ถูกต้อง

5.6.4 ในการแปลเอกสารอ้างอิงจากภาษาไทยเป็นภาษาอังกฤษ จะต้องแปลทุกรายการโดยยังคงเอกสารอ้างอิงภาษาไทยเดิมไว้ด้วย เขียนจัดเรียงคู่กัน โดยให้เอกสารอ้างอิงภาษาอังกฤษที่แปลขึ้นก่อนและตามด้วย เอกสารอ้างอิงภาษาไทย และเติมคำว่า “(In Thai)” ต่อท้ายเอกสารอ้างอิงภาษาอังกฤษที่แปลจากภาษาไทย ดังเช่นตัวอย่างต่อไปนี้

### ตัวอย่างการแปลเอกสารอ้างอิงภาษาไทยเป็นภาษาอังกฤษ

#### ตัวอย่างที่ 1 อ้างอิงจากหนังสือ (Books)

##### Basic Format:

[Number] J. K. Author, “Title of chapter in the book,” in *Title of His Published Book*, x<sup>th</sup> ed. City of Publisher, (only U.S. State), Country: Abbrev. of Publisher, year, ch. x, sec. x, pp. xxx-xxx.

##### Examples:

- [1] V. Rijiravanich, Work study: principles and case studies, (In Thai) 4<sup>th</sup> ed. Bangkok: Chulalongkorn University, 2005.
- [1] วันชัย ริจิรวนิช, การศึกษาการทำงาน, หลักการและกรณีศึกษา, พิมพ์ครั้งที่4. สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย: ศูนย์หนังสือจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2548.

#### ตัวอย่างที่ 2 การอ้างอิงวารสาร (Periodicals)

##### Basic Format:

[Number] J. K. Author, “Name of paper,” *Abbrev. Title of Periodical*, vol. x, no. x, pp. xxx-xxx, Abbrev. Month, year.

##### Examples:

- [2] N.Dechampai, K.Sethanan, “An Application of Lean Manufacturing System in The Textile of Lean Manufacturing System in the Textile and Garment Industry Case study: Wacoal Kabinburi co.,Ltd,”

(In Thai). MBA-KKU Journal, vol. 7 no. 2, pp. 13-27, July-December, 2014.

- [2] นิวัฒน์ เดชอำไพ, ดร. กาญจนา เศรษฐนันท์, “การเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการผลิตชุดชั้นในสตรีโดยประยุกต์ใช้แนวคิดการผลิตแบบลีน”, วารสารวิทยาลัยบัณฑิตศึกษากิจการมหาวิทยาลัยขอนแก่น, ปีที่ 7, ฉบับที่ 2, กรกฎาคม-ธันวาคม, pp.13-27, 2557.

### ตัวอย่างที่ 3 การอ้างอิงจากการประชุมทางวิชาการ (Conferences and Conference Proceedings)

#### Basic Format:

[Number] J. K. Author, “Title of paper,” in *Abbreviated Name of Conf.*, City, State, Country, Month and day(s), year, Paper number.

#### Examples:

- [3] N. Kriengkarakot, P. Kriengkarakot, S. Duan P. Thung, W. Piromsuk, “Repair work Reduction in Sewing Process of the Apparel Factory.” (In Thai). in *Proceedings of (10th UBRC) Ubon Ratchathani University National Research Conference*, Ubon Ratchathani, July 7-8, 2016, pp. 87-96.
- [3] นุชสรุา เกรียงกรกฎ, ปรีชาเกรียงกรกฎ, สกาวเดือน พรหมทุ่ง และวิจิตรา ภิรมย์สุข, งานวิจัยการลดชิ้นส่วนงานซ่อมในขั้นตอนการเย็บของโรงงานผลิตเสื้อผ้าสำเร็จรูป, *ประมวลบทความในงานประชุมวิชาการระดับชาติ ครั้งที่ 10 มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี*, 7-8 กรกฎาคม, pp. 87-96, 2559.

## 6. วิธีการจัดส่งบทความ

ผู้เขียนส่งบทความออนไลน์ได้ที่ <https://www.tci-thaijo.org/index.php/TNIJournal>

เมื่อกองบรรณาธิการได้รับบทความจะดำเนินการส่งบทความเสนอผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาบทความและแจ้งผลการพิจารณาให้ผู้เขียนบทความทราบ สำหรับบทความที่ผ่านการประเมินโดยผู้ทรงคุณวุฒิแล้วจะได้รับการตีพิมพ์ลงในวารสารเพื่อเผยแพร่ต่อไป

#### หมายเหตุ

ตามประกาศสถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น ฉบับที่ 080/2561 ลงวันที่ 7 กันยายน 2561 เรื่องการเก็บค่าสมาชิกรายปี ค่าอ่านประเมินบทความโดยผู้ทรงคุณวุฒิ และค่าตีพิมพ์บทความลงในวารสารสถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น มีการกำหนดอัตราค่าใช้จ่าย ดังนี้

1. ค่าสมาชิกวารสารสถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น: บริหารธุรกิจและภาษา อัตรา 500 บาท ต่อปี
2. ค่าอ่านประเมินบทความโดยผู้ทรงคุณวุฒิของวารสารสถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น จ่ายเมื่อส่งบทความ และผ่านการพิจารณาเบื้องต้นจากกองบรรณาธิการ อัตรา 2,500 บาท ต่อ บทความ 1 เรื่อง
3. ค่าตีพิมพ์บทความในวารสารสถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น จ่ายเมื่อได้รับความเห็นชอบจากผู้ทรงคุณวุฒิ อัตรา 1,500 บาท ต่อ บทความ 1 เรื่อง

วารสารสถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น : วิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี  
ปีที่ 7 ฉบับที่ 2 กรกฎาคม - ธันวาคม 2562



แบบฟอร์มการส่งบทความ วารสารสถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น

ชื่อเรื่อง (ภาษาไทย) : .....

ชื่อเรื่อง (ภาษาอังกฤษ) : .....

ผู้เขียน (ลำดับที่ 1)

ชื่อ-สกุล (ภาษาไทย) .....

ชื่อ-สกุล (ภาษาอังกฤษ) .....

ตำแหน่ง : .....

ที่อยู่หน่วยงาน : .....

โทรศัพท์.....โทรสาร.....e-mail.....

ผู้เขียน (ลำดับที่ 2)

ชื่อ-สกุล (ภาษาไทย) .....

ชื่อ-สกุล (ภาษาอังกฤษ) .....

ตำแหน่ง : .....

ที่อยู่หน่วยงาน : .....

โทรศัพท์.....โทรสาร.....e-mail.....

ผู้เขียน (ลำดับที่ 3)

ชื่อ-สกุล (ภาษาไทย) .....

ชื่อ-สกุล (ภาษาอังกฤษ) .....

ตำแหน่ง : .....

ที่อยู่หน่วยงาน : .....

โทรศัพท์.....โทรสาร.....e-mail.....

“ข้าพเจ้าและผู้เขียนร่วม (ถ้ามี) ขอรับรองว่า บทความที่เสนอมานี้ ยังไม่เคยได้รับการตีพิมพ์และไม่ได้อยู่ระหว่างกระบวนการพิจารณาตีพิมพ์ในวารสารหรือสิ่งตีพิมพ์อื่นใด ข้าพเจ้าและผู้เขียนร่วม ขอมอบลิขสิทธิ์บทความที่ได้รับการตีพิมพ์ให้แก่สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น และยอมรับในหลักเกณฑ์การพิจารณาต้นฉบับ โดยยินยอมให้กองบรรณาธิการ มีสิทธิ์พิจารณาตรวจแก้ไขต้นฉบับได้ตามที่เห็นสมควร ทั้งนี้ หากในบทความมีข้อความ ตาราง หรือภาพประกอบ ที่ละเมิดลิขสิทธิ์ของบุคคลหรือหน่วยงานอื่น ให้ถือเป็นความรับผิดชอบของข้าพเจ้าและผู้เขียนร่วมแต่เพียงฝ่ายเดียว”

ลงชื่อ .....

( ..... )

...../...../.....

# วารสารสถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น : วิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี

ปีที่ 7 ฉบับที่ 2 กรกฎาคม - ธันวาคม 2562

## "สร้างนักคิด ผลิตนักปฏิบัติ สร้างนักประดิษฐ์ ผลิตนักบริหาร"

### คณะวิศวกรรมศาสตร์

#### หลักสูตรระดับปริญญาตรี

- หลักสูตรวิศวกรรมยานยนต์ (Automotive Engineering, B.Eng. : AE)
- หลักสูตรวิศวกรรมการผลิต (Production Engineering, B.Eng. : PE)
- หลักสูตรวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ (Computer Engineering, B.Eng. : CE)
- หลักสูตรวิศวกรรมอุตสาหกรรม (Industrial Engineering, B.Eng. : IE)
- หลักสูตรวิศวกรรมไฟฟ้า (Electrical Engineering, B.Eng. : EE)
- International Program (Digital Engineering, B.Eng. : DGE)

#### หลักสูตรระดับปริญญาโท

- หลักสูตรเทคโนโลยีวิศวกรรม (Engineering Technology, M.Eng. : MET)

### คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ

#### หลักสูตรระดับปริญญาตรี

- หลักสูตรเทคโนโลยีสารสนเทศ (Information Technology, B.Sc. : IT)
- หลักสูตรเทคโนโลยีมัลติมีเดีย (Multimedia Technology, B.Sc. : MT)
- หลักสูตรเทคโนโลยีสารสนเทศทางธุรกิจ (Business Information Technology, B.Sc. : BI)
- หลักสูตรเทคโนโลยีดิจิทัลทางสื่อสารมวลชน (Digital Technology in Mass Communication, B.Sc. : DC)
- International Program (Data Science and Analytics, B.Sc. : DSA)

#### หลักสูตรระดับปริญญาโท

- หลักสูตรเทคโนโลยีสารสนเทศ (Information Technology, M.Sc. : MIT)

### คณะบริหารธุรกิจ

#### หลักสูตรระดับปริญญาตรี

- หลักสูตรการจัดการเทคโนโลยีและนวัตกรรมการผลิต (Management of Production Technology and Innovation, B.B.A. : MI)
- หลักสูตรบริหารธุรกิจญี่ปุ่น (Japanese Business Administration, B.B.A. : BJ)
- หลักสูตรการจัดการธุรกิจระหว่างประเทศ (International Business Management, B.B.A. : IB)
- หลักสูตรการบัญชี (Accountancy, B.Acc. : AC)
- หลักสูตรการจัดการทรัพยากรมนุษย์แบบญี่ปุ่น (Japanese Human Resources Management, B.B.A. : HR)
- หลักสูตรการจัดการโลจิสติกส์และโซ่อุปทาน (Logistics and Supply Chain Management, B.B.A. : LM)
- หลักสูตรการตลาดเชิงสร้างสรรค์ (Creative Marketing, B.B.A. : CM)
- หลักสูตรการจัดการการท่องเที่ยวและบริการเชิงนวัตกรรม (Innovative Tourism and Hospitality Management, B.B.A. : TH)
- International Program (International Business Management, B.B.A. IBM)

#### หลักสูตรระดับปริญญาโท

- หลักสูตรนวัตกรรมการจัดการธุรกิจและอุตสาหกรรม (Innovation of Business and Industrial Management, M.B.A. : MBI)
- หลักสูตรบริหารธุรกิจญี่ปุ่น (Japanese Business Administration, M.B.A. : MBJ)



☀	Glauco Dtex Eye Glasses: Early Diagnostic Device for Glaucoma Detection	79
	Paween Wongkornchaovalit, Thunyaseth Sethaput	
☀	Investigation of Energy Conservation Potential for Convenience Stores in Thailand	87
	Wipawadee Wongsuwan, Pipat Chaiwiwatworakul, Apinya Puapattanakul, Athikom Bangviwat	
☀	Improving the Performance of Tree Algorithm using Mixed Splitting Algorithm	97
	Warakorn Srichavengsup	
☀	SARIMA Models Applications for Demand Forecasting and Supply Planning of Natural Rubber in Thailand	105
	Pawinee Paisri, Weerapat Sessomboon, Rojanee Homchalee	
☀	Unfolding to the Past: Temporal and Dimensional Perception Enrichment for Image Impression Improvement	115
	Kulwadee Somboonviwat, Thitiporn Lertrusdachakul	