



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 2351-0056

ปีที่ 6 ฉบับที่ 1 มกราคม - มิถุนายน 2561

- ☀ An Improvement of Search Results Access by Designing a Search Engine Result Page with a Clustering Technique 1
วรสิทธิ์ ชูชัยวัฒนา
- ☀ Determination of the Optimal Chemical Dosing Concentration in Reverse Osmosis Using Design of Experiments: A Case Study of Semiconductor Fabrication Factory in Chacheongsao, Thailand 7
Siripan Sinluenam, Jintawat Chaichanawong
- ☀ Impact of Customer Characteristics on Technical Loss in Distribution System 12
กรวิชญ์ จริตรัมย์, ณกมล โสภายิ่ง, นันทิยา ชัยบุตร
- ☀ Improving Web Application Security by Virtual Password Authentication 19
Kamthorn Sarawan
- ☀ LAF Chat: A Message Encrypting Application Utilizing RSA Algorithm 24
for Android-Based Mobile Device
Rowe-Ann Antenor, Robert Bautista, Francis Paolo Lesaca, Raychelou Valencia
- ☀ Multi-Objective Planning and Optimization for WiMAX Multi-Hop Site Placement: Case Study in Nakhon Ratchasima City, Thailand 31
Chitapong Wechtaisong, Chutima Prommak, Ekkaluk Eaksook

วารสารสถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น : วิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี

TNI Journal of Engineering and Technology

ปีที่ 6 ฉบับที่ 1 มกราคม - มิถุนายน 2561 Vol. 6 No. 1 January - June 2018 ISSN 2351-0056

ความเป็นมา

ด้วยสถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น มีนโยบายสนับสนุนการเผยแพร่บทความจากผลงานวิจัย และบทความวิชาการ ที่มีคุณภาพ เพื่อเป็นประโยชน์ในการพัฒนาความรู้แก่สังคม โดยเฉพาะภาคธุรกิจและอุตสาหกรรม จึงได้จัดทำวารสาร วิชาการ คือ วารสารสถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น : วิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีขึ้น

วัตถุประสงค์

1. เพื่อส่งเสริมและเผยแพร่ผลงานวิจัยและบทความวิชาการสาขาวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีที่มีคุณภาพ
2. เพื่อเป็นสื่อกลางในการแลกเปลี่ยนองค์ความรู้ทางการวิจัยในสาขาวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี
3. เพื่อพัฒนาศักยภาพทางการวิจัยสาขาวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี

ที่ปรึกษา

รองศาสตราจารย์ ดร.บัณฑิต ไรจน์อารยานนท์

ขอบเขตเนื้อหา

บทความวิจัยและบทความวิชาการทางด้านวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี 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

หัวหน้ากองบรรณาธิการ

รองศาสตราจารย์ ดร.พิชิต สุขเจริญพงษ์

สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น

กองบรรณาธิการ

- | | |
|--|--------------------------------|
| 1. ศาสตราจารย์ ดร.ชนารักษ์ ธีระมันคง | สถาบันเทคโนโลยีนานาชาติสิรินธร |
| 2. พันเอก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปรัชญา อารีกุล | มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ |
| 3. รองศาสตราจารย์ ดร.อดิศร ลีลาสันติธรรม | โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า |
| 4. ดร.สุรพงษ์ พงษ์ยุพินพานิช | มหาวิทยาลัยมหิดล |
| 5. รองศาสตราจารย์ ดร.พีรยุทธ์ ชาญเศรษฐิกุล | มหาวิทยาลัยรามคำแหง |
| 6. รองศาสตราจารย์ พูลพร แสงบางปลา | มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ |
| 7. รองศาสตราจารย์ ดร.ชุมพล อันตรเสน | จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย |
| 8. รองศาสตราจารย์ ดร.รัตติกร วรากุลศิริพันธ์ุ | สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น |
| 9. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เลอเกียรติ วงศ์สารพิบูล | สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น |

คณะกรรมการดำเนินงาน

1. ดร.ประมุข บุญเสียง
2. ดร.กรกฎ เหมสถาปัตยกรรม
3. นางสาวจุฑามาศ ประสพสันต์
4. นางสาวสุพิศ บายคายนคม
5. นางสาวภาวิตา สันติวงศ์
6. นางสาวนิรชา อินทร์ศรี
7. นางสาวพิมพ์รต พิพัฒน์กุล
8. นางหฤทัย คงชนจารุอนันต์

การติดต่อกองบรรณาธิการ

1771/1 ถนนพัฒนาการ แขวงสวนหลวง เขตสวนหลวง กรุงเทพฯ 10250

Tel. 0-2763-2600 (ต่อ 2752, 2704) Fax. 0-2763-2754

website : <http://journal.tni.ac.th> e-mail : journal@tni.ac.th

บทความวิจัยและบทความวิชาการที่ตีพิมพ์ในวารสารฉบับนี้เป็นความคิดเห็นส่วนตัวของผู้เขียน
กองบรรณาธิการไม่มีส่วนรับผิดชอบใดๆ ถือเป็นความรับผิดชอบของผู้เขียนแต่เพียงผู้เดียว

รายนามผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาบทความวิจัยและบทความวิชาการ

ศาสตราจารย์ ดร.ปราโมทย์ เดชะอำไพ	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ศาสตราจารย์ ดร.รัชนีกร ธรรมวิชัย	St.Cloud State University, USA.
ศาสตราจารย์ ดร.วิลาศ วูวงศ์	สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย (AIT)
ศาสตราจารย์ ดร.ปารเมศ ชุติมา	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ศาสตราจารย์ ดร.พงศ์ชนัน เหลืองไฟบูลย์	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
ศาสตราจารย์กิตติคุณ อัมพิกา ไกรฤทธิ์	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
รองศาสตราจารย์ ดร.ดาวัลย์ วิวรรณะเดช	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
รองศาสตราจารย์ ดร.ธัญญา เกียรติวัฒน์	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
รองศาสตราจารย์ ดร.ปริทรรศน์ พันธบุรุษย์	สถาบันการจัดการปัญญาภิวัฒน์
รองศาสตราจารย์ ดร.พัชราภรณ์ ญาณภีร์	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
รองศาสตราจารย์ ดร.วัชรภรณ์ อธิชัยกุล	สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย (AIT)
รองศาสตราจารย์ ดร.อนันต์ มุ่งวัฒนา	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
รองศาสตราจารย์ พูลพร แสงบางปลา	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Prof. Dr.Michiko OHKURA	Shibaura Institute of Technology, Japan
Dr.Masayuki FUJISE	National Institute of Information and Communications Technology, Japan
รองศาสตราจารย์ ดร.บัณฑิต โรจน์อารยานนท์	สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น
รองศาสตราจารย์ ดร.พิชิต สุขเจริญพงษ์	สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น
รองศาสตราจารย์ ดร.ชุมพล อันตรเสน	สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น
รองศาสตราจารย์ ดร.รัตติกว วรากุลศิริพันธ์	สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิมล แสนอ้อม	สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จินตวัฒน์ ไชยชนะวงศ์	สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิภาวดี วงษ์สุวรรณ	สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น
ดร.สะพรั่งสิทธิ์ มฤตสาธร	สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น
ดร.กรกฎ เหมสถาปัตยกรรม	สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น

บทบรรณาธิการ

การก้าวเข้าสู่ปีที่ 6 ของวารสารสถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น : วิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี ฉบับนี้ นับเป็นก้าวที่สำคัญยิ่งของวารสารทางวิชาการ ที่รวบรวมบทความวิจัยและบทความวิชาการด้าน วิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีที่มีคุณภาพและเป็นประโยชน์ต่อภาคการศึกษาและภาคธุรกิจอุตสาหกรรม จนสามารถผ่านการประเมินคุณภาพวารสารวิชาการ โดยศูนย์ดัชนีการอ้างอิงวารสารไทย (Thai Journal Citation Index-TCI) และได้รับการจัดอันดับอยู่ในวารสารกลุ่มที่ 1 ในสาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี กองบรรณาธิการขอขอบคุณผู้ทรงคุณวุฒิเจ้าของผลงานทุกท่านที่ได้นำเสนอผลงานที่มีคุณภาพเพื่อการ ตีพิมพ์ในวารสารฉบับนี้ และเราขอให้คำมั่นสัญญาว่าจะปรับปรุงพัฒนาวารสารฉบับนี้เพื่อยกระดับคุณภาพ ของวารสารให้สูงขึ้น

ในสถานการณ์ที่ประเทศจะต้องพัฒนาทั้งด้านเศรษฐกิจและสังคมเพื่อรองรับการแข่งขันในระดับสากล ตลอดจนการสร้างความมั่นคง มั่งคั่ง และยั่งยืนให้แก่ประชาชนทุกระดับ การวิจัยทางด้านวิศวกรรมศาสตร์ และเทคโนโลยีนับว่ามีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการเพิ่มพูนองค์ความรู้ทางเทคโนโลยีระดับสูงและต่อยอดการ ประยุกต์เทคโนโลยีสู่ภาคอุตสาหกรรมและธุรกิจเพื่อเป้าหมายการพัฒนาประเทศอย่างยั่งยืนและต่อเนื่อง สถาบันอุดมศึกษามีบทบาทสำคัญอย่างยิ่งต่อการพัฒนาทรัพยากรมนุษย์ให้แก่องค์กรทั้งภาครัฐและเอกชน ตลอดจนการผลิตบุคลากรที่มีความรู้ ความสามารถด้านการทำวิจัยอย่างมีประสิทธิภาพ

ในสถานการณ์โลกที่เริ่มมีการแข่งขันในด้านเทคโนโลยีอย่างรุนแรง ตลอดจนแนวโน้มที่จะเกิด สงครามทางการค้าระหว่างประเทศมหาอำนาจทางเศรษฐกิจในยุคปัจจุบัน การเสริมสร้างศักยภาพด้าน การวิจัยนับว่ามีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมเพื่อรองรับการแข่งขัน การวิจัยทางด้าน วิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีนับว่ามีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการเพิ่มพูนองค์ความรู้ทางเทคโนโลยีระดับสูง และต่อยอดการประยุกต์เทคโนโลยีสู่ภาคอุตสาหกรรมและธุรกิจเพื่อเป้าหมายการพัฒนาประเทศอย่างยั่งยืน

สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น ได้เล็งเห็นถึงความสำคัญของการเผยแพร่ผลงานวิจัยและงานสร้างสรรค์ ทางวิชาการที่จะเป็นประโยชน์ต่อแวดวงวิชาการและการประยุกต์ใช้ในภาคอุตสาหกรรมและธุรกิจ จึงได้จัดทำ วารสารฉบับนี้ขึ้น เพื่อเป็นช่องทางสำหรับนักวิจัยและนักวิชาการในการเผยแพร่ผลงานสู่สาธารณะ วารสาร ฉบับนี้จึงเป็นวารสารสำหรับนักวิจัย นักวิชาการ ตลอดจนผู้บริหารและผู้ปฏิบัติงานในดำเนินงานวิศวกรรมและ เทคโนโลยี

วารสารสถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น : วิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มีกำหนดออกปีละ 2 ฉบับ กองบรรณาธิการยินดีรับทุกบทความจากผลงานวิจัย งานวิชาการ และงานสร้างสรรค์ ที่นำเสนอให้คณะกรรมการ กลั่นกรองพิจารณา ดังนั้น ผู้สนใจที่จะร่วมเผยแพร่ผลงาน ความรู้และประสบการณ์ สามารถศึกษาและ จัดเตรียมบทความจากคำแนะนำสำหรับผู้เขียนบทความและนำเสนอบทความได้ที่กองบรรณาธิการเพื่อเสนอต่อ คณะกรรมการกลั่นกรองบทความพิจารณาจัดพิมพ์ในวารสารต่อไป และหวังเป็นอย่างยิ่งว่าวารสารฉบับนี้จะ เป็นประโยชน์ต่อนักวิจัย นักวิชาการ นักการศึกษาและผู้ประกอบการธุรกิจทุกภาคส่วน

รองศาสตราจารย์ ดร.พิชิต สุขเจริญพงษ์

บรรณาธิการ

สารบัญ

- 1 **An Improvement of Search Results Access by Designing a Search Engine Result Page with a Clustering Technique**
วรสิทธิ์ ชูชัยวัฒนา
- 7 **Determination of the Optimal Chemical Dosing Concentration in Reverse Osmosis Using Design of Experiments: A Case Study of Semiconductor Fabrication Factory in Chacheongsao, Thailand**
Siripan Sinluenam, Jintawat Chaichanawong
- 12 **Impact of Customer Characteristics on Technical Loss in Distribution System**
กรวิชญ์ จริตรัมย์, ณกมล โสภายิ่ง, นันทิยา ชัยบุตร
- 19 **Improving Web Application Security by Virtual Password Authentication**
Kamthorn Sarawan
- 24 **LAF Chat: A Message Encrypting Application Utilizing RSA Algorithm for Android-Based Mobile Device**
Rowe-Ann Antenor, Robert Bautista, Francis Paolo Lesaca, Raychelou Valencia
- 31 **Multi-Objective Planning and Optimization for WiMAX Multi-Hop Site Placement: Case Study in Nakhon Ratchasima City, Thailand**
Chitapong Wechtaisong, Chutima Prommak, Ekkaluk Eaksook
- 37 **Performance Evaluation of Location-Based Advertising using Web Application Performance Testing (WAPT)**
Ilia Kachalin, Chanintorn Jittawiriyankoon
- 43 **Shredder for Physical Reduction of Straw and Stubble**
ไพโรจน์ นะเที่ยง, จันทร์เพ็ญ ชุมแสง, กัมต์ อินทวงศ์
- 49 **Song Clustering Using Similarity of Audio Fingerprint**
สุนันท์ ธาติ, พงศ์พันธ์ กิจสนาโยธิน, วรลักษณ์ คงเด่นฟ้า

การปรับปรุงการเข้าถึงผลลัพธ์การสืบค้นโดยการออกแบบ ส่วนของการแสดงผลการสืบค้นในเสิร์ชเอนจินด้วยเทคนิคการจัดกลุ่ม

An Improvement of Search Results Access by Designing a Search Engine Result Page with a Clustering Technique

วรสิทธิ์ ชูชัยวัฒนา

ห้องปฏิบัติการวิจัยทางด้านเสิร์ชเอนจินและระบบสารสนเทศอัจฉริยะ
วิทยาลัยครีเอทีฟดีไซน์ แอนด์ เอ็นเตอร์เทนเมนต์เทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต กรุงเทพมหานคร
worasit.cha@dpu.ac.th

บทคัดย่อ

จากปัญหาข้อมูลเกินพิกัด ส่งผลทำให้เสิร์ชเอนจินกลายเป็นเครื่องมือที่สำคัญที่จะช่วยให้ผู้ใช้งานเว็บไซต์เว็บสามารถค้นหาข้อมูลตามความต้องการของตัวเองได้ งานวิจัยชิ้นนี้มีวัตถุประสงค์เสนอแนวคิดในการออกแบบหน้าจอการแสดงผลการสืบค้นด้วยเทคนิคการจัดกลุ่ม เพื่อที่จะส่งผลให้เพิ่มประสิทธิภาพในการเข้าถึงผลลัพธ์การสืบค้น โดยประยุกต์แนวคิดดังกล่าวกับการสืบค้นรูปภาพ ในการประเมินผลการออกแบบหน้าจอการแสดงผลการสืบค้น นักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษาจากสาขาวิชาวิศวกรรมเว็บและการพัฒนาแอปพลิเคชันบนอุปกรณ์พกพา จำนวน 60 คนได้ถูกเชิญเข้ามาเป็นผู้ทดลองในงานวิจัย โดยนักศึกษาทุกคนจะถูกมอบหมายงานให้ทำการค้นรูปภาพ 2 ครั้ง จากระบบต้นแบบของเสิร์ชเอนจินที่มีการแสดงผลแบบลิสต์และแบบจัดกลุ่ม แบบแผนการทดลองจะใช้วิธี Within-Subjects Design ร่วมกับ Counter Balancing เพื่อลด Learning Effect โดยผลการทดลองสรุปได้ว่า การออกแบบหน้าจอแสดงผลด้วยเทคนิคการจัดกลุ่มสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการเข้าถึงผลลัพธ์การสืบค้น

คำสำคัญ: การออกแบบหน้าจอแสดงผลการสืบค้น, เสิร์ชเอนจิน, เทคนิคการจัดกลุ่ม

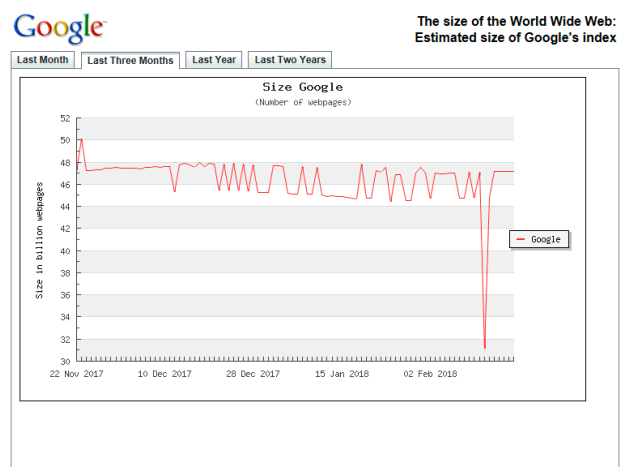
ABSTRACT

Because of information overloaded problem, search engines become important tools to help WWW users to discover the information they desire. This paper aims at designing a search result page with a clustering technique to improve an efficiency of search results access by applying it to image searching task. To evaluate the proposed design, sixty graduate students from the department of Web Engineering and Mobile Application Development were recruited to be participants in this research study. They were given two tasks of finding images and were asked to use a prototype of search engine with displaying the results as lists and as clusters. The within-subjects design with a counter balancing technique for eliminating a learning effect was adopts as an experimental research design. The results showed that a search result page with a clustering technique could improve an efficiency of search results access.

Keywords: Search Result Page Design, Search Engine, Clustering Technique

1) บทนำ

ปริมาณข้อมูลบนอินเทอร์เน็ตและเว็บไซต์เว็บเพิ่มขึ้นจำนวนมหาศาล [1] เนื่องมาจากเป็นช่องทางที่ทำให้ผู้คนทั่วโลกสามารถสร้างและจัดเก็บข้อมูลต่าง ๆ นอกจากนั้นแล้วยังเป็นช่องทางในการแบ่งปันข้อมูลและการเข้าถึงข้อมูลต่าง ๆ ได้อย่างสะดวกและรวดเร็ว จากรายงาน [2] ของเว็บ www.worldwidewebsite.com ในเดือนพฤศจิกายน 2560 ถึงเดือนมกราคม 2561 จำนวนเว็บเพจที่ถูกลีเกลาการสร้างดัชนีไว้มีมากกว่า 44,000 ล้านเว็บเพจ ดังรายละเอียดที่แสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1: ขนาดของเว็บไซต์เว็บประมาณการจากดัชนีของกูเกิล

ในการสืบค้นข้อมูลสารสนเทศบนอินเทอร์เน็ตและเว็บไซต์เว็บจึงกลายเป็นกิจกรรมประจำวันของคนทั่วโลก อย่างไรก็ตามการที่มีปริมาณข้อมูลมหาศาล ส่งผลทำให้เกิดปัญหาข้อมูลเกินพิกัด (Information Overload Problem) กับผู้ที่ต้องการสืบค้นข้อมูล [1] งานวิจัยส่วนใหญ่จึงให้ความสำคัญในเรื่องของการปรับปรุงกระบวนการทำงานของส่วนประกอบต่าง ๆ ของโปรแกรมการค้นหา หรือที่รู้จักกันในชื่อเสิร์ช เอนจิน (Search Engine) ไม่ว่าจะเป็นในเรื่องของการปรับปรุงกระบวนการรวบรวมเว็บเพจ (Webpage Crawling Process Improvement) การปรับปรุงกระบวนการสร้างดัชนีเว็บเพจ (Webpage

Indexing Process Improvement) และการปรับปรุงวิธีการเรียงลำดับผลลัพธ์การค้นหา (Search Results Ranking Mechanism Improvement) โดยมีเป้าหมายเพื่อที่จะเพิ่มประสิทธิภาพและประสิทธิผลในการใช้งานเสิร์ชเอนจิน และสร้างประสบการณ์ที่ดีให้กับผู้ใช้งาน อย่างไรก็ตาม งานวิจัยที่ให้ความสำคัญในเรื่องของการออกแบบส่วนแสดงผลการค้นหา (Search Engine Result Page) ยังมีอยู่ในปริมาณน้อย ดังนั้นงานวิจัยชิ้นนี้ จึงนำเสนอแนวทางในการออกแบบส่วนแสดงผลการค้นหาโดยใช้เทคนิคการจัดกลุ่ม (Clustering Technique)

2) ทบทวนวรรณกรรม

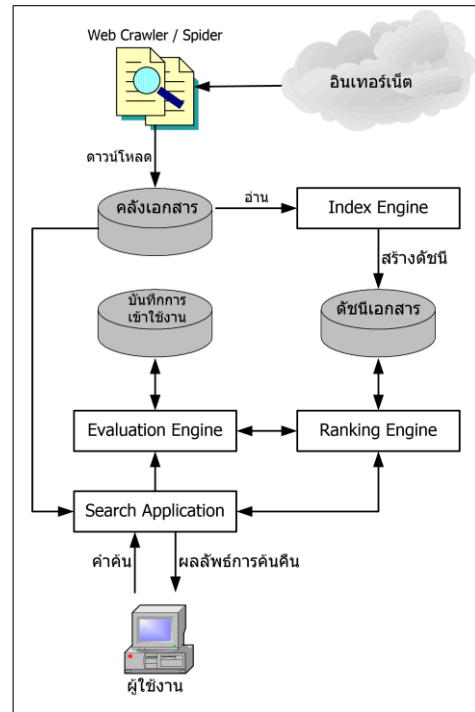
2.1) สถาปัตยกรรมของเสิร์ชเอนจิน

โดยทั่วไปแล้ว ระบบค้นคืนสารสนเทศและเสิร์ชเอนจิน จะประกอบไปด้วยส่วนประกอบที่สำคัญได้แก่ เว็บครอว์เลอร์ (Web Crawler) ส่วนสร้างดัชนี (Index Engine) แอปพลิเคชันสืบค้น (Search Application) ส่วนเรียงลำดับผลลัพธ์ (Ranking Engine) และ ส่วนการประเมินผลลัพธ์การค้นหา (Evaluation Engine) [3] ดังแสดงรายละเอียดในรูปที่ 2 แต่ละส่วนประกอบจะมีหน้าที่และความรับผิดชอบในการทำงานที่แตกต่างกัน โดยมีจุดมุ่งหมายเดียวกัน เพื่อให้สามารถตอบสนองความต้องการให้กับผู้ใช้งานระบบได้อย่างมีประสิทธิภาพและมีประสิทธิผล

เว็บครอว์เลอร์ (Web Crawler) จะเป็นโปรแกรมขนาดเล็กที่มีหน้าที่ในการเข้าไปทำการดาวน์โหลดเว็บเพจมาเก็บไว้ที่คลังเอกสาร (Document Corpus) โดยเว็บเพจที่ถูกดาวน์โหลดมาจะถูกนำไปใช้งานในส่วนสร้างดัชนี (Index Engine) และแอปพลิเคชันสืบค้น (Search Application) ต่อไป

ส่วนสร้างดัชนี (Index Engine) รับผิดชอบในการนำเว็บเพจในคลังเอกสารไปทำการสกัดเนื้อหา เพื่อให้ได้เนื้อหาที่เป็นตัวแทนของเอกสาร และทำการสร้างดัชนีของเอกสารซึ่งจะส่งผลให้เพิ่มความเร็วในการทำงานของแอปพลิเคชันสืบค้น (Search Application) ในส่วนนี้จะเป็นส่วนที่โต้ตอบกับผู้ใช้งานระบบ โดยมีหน้าที่รับคำค้น (Query) ปรับปรุงคำค้น (Query Refinement) และแสดงผลการค้นหา (Search Results) เมื่อแอปพลิเคชันสืบค้นได้รับคำค้น จะทำการส่งคำค้นไปยังส่วนเรียงลำดับผลลัพธ์ (Ranking Engine) ซึ่งจะมีส่วนที่ในการนำคำค้นไปเปรียบเทียบกับดัชนีของเอกสาร เพื่อคำนวณความเกี่ยวพัน (Relevant) ระหว่างคำค้นและดัชนีเอกสาร จากนั้นจะทำหน้าที่ในการเรียงลำดับผลลัพธ์ของการสืบค้น ก่อนที่จะส่งผลลัพธ์ดังกล่าวกลับมายังแอปพลิเคชันสืบค้น เพื่อแสดงผลการค้นหาให้กับผู้ใช้

นอกจากนั้นแล้ว ส่วนการประเมินผลลัพธ์การค้นหา (Evaluation Engine) จะทำงานร่วมกับแอปพลิเคชันสืบค้น (Search Application) ในการบันทึกผลลัพธ์การค้นหา และพฤติกรรมพิจารณาผลลัพธ์ของผู้ใช้ เพื่อที่จะนำข้อมูลดังกล่าวไปใช้ในการปรับปรุงประสิทธิภาพและประสิทธิผลของเสิร์ชเอนจินต่อไป



รูปที่ 2: สถาปัตยกรรมของระบบค้นคืนสารสนเทศและเสิร์ชเอนจิน

2.2) งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการปรับปรุงประสิทธิภาพและประสิทธิผลของเสิร์ชเอนจิน [1] สามารถทำได้หลายแนวทางขึ้นอยู่กับมุมมองของนักวิจัยว่าต้องการจะปรับปรุงการทำงานในส่วนประกอบใดของเสิร์ชเอนจิน โดยอาจจะเป็นการปรับปรุงกระบวนการในการสร้างดัชนีตัวแทนเอกสาร และการปรับปรุงเทคนิคที่ใช้ในการเรียงลำดับผลลัพธ์การค้นหา

การสร้างดัชนีที่เป็นตัวแทนของเอกสารได้ดี จะส่งผลให้ผลลัพธ์การค้นหาตรงกับความต้องการของผู้สืบค้นมากขึ้น ดังนั้นนักวิจัยทางด้านเสิร์ชเอนจินและทางด้านสารสนเทศศาสตร์ได้เสนอแนวคิดและพัฒนาวิธีการต่าง ๆ เพื่อปรับปรุงคุณภาพของดัชนีของเอกสาร โดยอาจจะเป็นการปรับปรุงคุณภาพของดัชนีด้วยวิธีการวิเคราะห์โครงสร้างเอกสาร ได้แก่ การสกัดโครงสร้างของเอกสารในส่วนของการเชื่อมโยงเอกสาร (Document Title) และส่วนของข้อความลิงค์เชื่อมโยง (Anchor Text) [4-7] นอกจากนั้นแล้ว มีนักวิจัยอีกกลุ่มใช้วิธีการวิเคราะห์บันทึกการใช้งานของผู้ใช้ (User Usage Log) มาใช้ในการปรับปรุงคุณภาพของดัชนี โดยงานวิจัยในแนวนี ซึ่งเป็นการใช้ประโยชน์จากส่วนการประเมินผลลัพธ์การค้นหา (Evaluation Engine) ซึ่งทำหน้าที่เก็บคำค้น (Query) ผลลัพธ์การค้นหา (Search Results List) และพฤติกรรมในการเข้าสู่ผลลัพธ์ของผู้ใช้ แม้ว่าพฤติกรรมในการเข้าสู่ผลลัพธ์ของผู้ใช้จะไม่สามารถรับประกันได้ว่าผลลัพธ์ดังกล่าวจะมีความเกี่ยวพัน (Relevant) กับคำค้น แต่การพิจารณาข้อมูลดังกล่าวก็สามารถทำให้ประเมินได้ว่าผลลัพธ์ใดน่าจะเป็นผลลัพธ์ที่น่าสนใจของคำค้นนั้น ๆ โดยสามารถนำข้อมูลดังกล่าวไปใช้สำหรับการปรับปรุงดัชนีของเอกสารและวิธีการการเรียงลำดับผลลัพธ์การค้นหาได้ [8-9] ในขณะเดียวกันมีนักวิจัยอีกจำนวนหนึ่งให้ความสนใจในการนำเอาข้อมูลอื่น ๆ นอกเหนือจากที่ปรากฏในเอกสารมาใช้ประโยชน์ เช่น ข้อมูลจากบรรณนิทัศน์เชิงสังคม (Social Annotation) หรือ ป้ายระบุข้อมูลเชิงสังคม

(Social Tag) มาใช้เพื่อปรับปรุงคุณภาพของการสืบค้นข้อมูล โดยการนำไปใช้ในการสร้างดัชนีที่เป็นตัวแทนของเอกสาร [10-13]

การพิจารณาคุณภาพของเอกสารเพื่อปรับปรุงวิธีการเรียงลำดับผลลัพธ์การสืบค้น เป็นอีกแนวทางหนึ่งที่นักวิจัยให้ความสนใจ Brin and Page ผู้ก่อตั้งกูเกิลได้เสนอแนวคิดวิธีการเรียงลำดับผลลัพธ์การสืบค้น โดยจะพิจารณาคุณภาพของเอกสาร [4] ซึ่งแนวทางดังกล่าวได้กลายมาเป็นส่วนหนึ่งของวิธีการเรียงลำดับผลลัพธ์การสืบค้นของกูเกิล ซึ่งเป็นเสิร์ชเอนจินที่มีคนทั่วโลกใช้มากที่สุดตัวหนึ่ง และงานวิจัยต่อ ๆ มา ก็ได้นำเอาแนวคิดดังกล่าวพัฒนาเพิ่มเติม ซึ่งปรากฏอยู่ในงานของ Choochaiwattana and Spring [10] และงานของ Jomsri et al. [14]

ใน [15] มีการสำรวจและวิเคราะห์รูปแบบการแสดงผลการสืบค้นของเสิร์ชเอนจินที่เป็นที่นิยมจำนวนทั้งสิ้น 12 ตัว และได้ทำการสรุปองค์ประกอบที่สำคัญของรูปแบบการแสดงผลการสืบค้น โดยได้ระบุไว้ว่าการแบ่งกลุ่มเอกสารที่เป็นผลลัพธ์ของการสืบค้นนั้น จะทำให้ผู้ค้นหาสามารถตรวจสอบผลลัพธ์การสืบค้นได้เร็วขึ้น ดังนั้นในงานวิจัยชิ้นนี้ จึงนำเอาประเด็นดังกล่าวมาพัฒนาเพิ่มเติม โดยจะให้ความสำคัญในเรื่องของการออกแบบที่จะทำให้สามารถเพิ่มประสิทธิภาพของการเข้าถึงผลลัพธ์ของการสืบค้น ซึ่งจะเป็นแนวทางที่สำคัญที่จะส่งผลทำให้เกิดการปรับปรุงประสิทธิภาพและประสิทธิผลของเสิร์ชเอนจินต่อไปในอนาคต

3) วัตถุประสงค์และสมมติฐานของงานวิจัย

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ เพื่อทำการออกแบบรูปแบบการแสดงผลการสืบค้นโดยการประยุกต์ใช้เทคนิคการจัดกลุ่ม (Clustering Technique) โดยจะนำเอาแนวทางในการออกแบบดังกล่าวไปประยุกต์ใช้กับการพัฒนาเสิร์ชเอนจินต้นแบบสำหรับการสืบค้นรูปภาพบนเว็ลด์ไวต์เว็บ (Prototype of WWW Image Search Engine) และทำการประเมินประสิทธิภาพของรูปแบบการแสดงผลการสืบค้นดังกล่าว โดยเปรียบเทียบกับประสิทธิภาพของการแสดงผลแบบปกติของการสืบค้นรูปภาพบนเสิร์ชเอนจิน

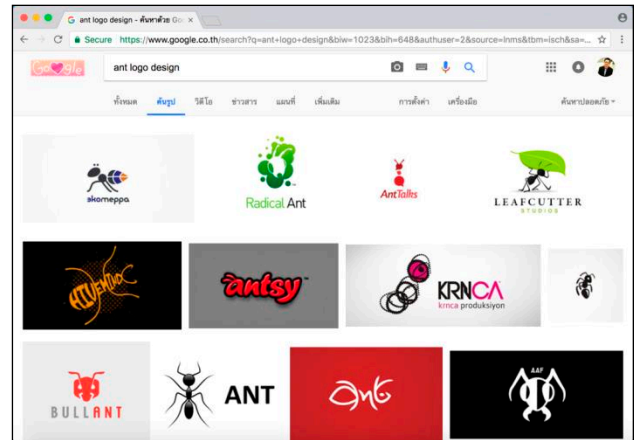
โดยกำหนดสมมติฐานของงานวิจัยไว้ว่า รูปแบบการแสดงผลการสืบค้นรูปภาพแบบที่มีการใช้เทคนิคการจัดกลุ่มจะให้ประสิทธิภาพในการเข้าถึงผลลัพธ์การสืบค้นมากกว่ารูปแบบการแสดงผลการสืบค้นรูปแบบแบบปกติที่เสิร์ชเอนจินมีการใช้อยู่ในปัจจุบัน โดยพิจารณาจากเวลาที่ใช้ในการเข้าถึงผลลัพธ์ของการสืบค้น

4) ระเบียบวิธีวิจัยและการออกแบบการทดลอง

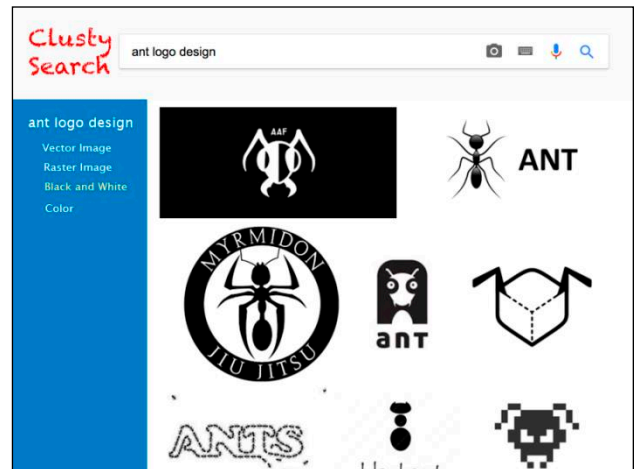
4.1) การออกแบบการแสดงผลการสืบค้นด้วยเทคนิคการจัดกลุ่ม

การออกแบบการแสดงผลการสืบค้นที่ง่ายต่อการใช้งานจะส่งผลทำให้สามารถสร้างประสบการณ์ที่ดีให้กับผู้ใช้เสิร์ชเอนจินได้ โดยปกติแล้วการแสดงผลการสืบค้นบนเสิร์ชเอนจินจะแสดงในรูปแบบของลิสต์ของผลลัพธ์การสืบค้น (Search Results List) ดังแสดงในรูปที่ 3 ซึ่งจะเห็นได้ว่า การแสดงผลการสืบค้นแบบดังกล่าว ผู้ใช้งานเสิร์ชเอนจินมักจะใช้เวลาในการพิจารณาผลลัพธ์การสืบค้นค่อนข้างมาก ดังนั้นในงานวิจัยนี้ จึงนำเอาเทคนิคการจัดกลุ่ม (Clustering Technique) มาใช้เพื่อการจัดกลุ่มผลลัพธ์การสืบค้น เพื่อเพิ่มช่องทาง

ให้กับผู้ใช้ในการเลือกกลุ่มของผลลัพธ์ตามหัวข้อที่เกี่ยวข้องกับผลลัพธ์ดังแสดงในรูปที่ 4 โดยในด้านซ้ายมือของหน้าจอ จะทำการแสดงการจัดกลุ่มของลักษณะของผลลัพธ์การสืบค้น



รูปที่ 3: การออกแบบการแสดงผลการสืบค้นรูปภาพบนกูเกิล



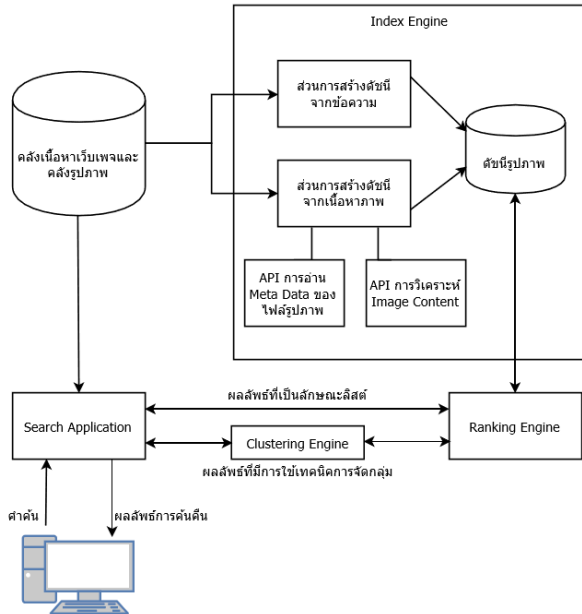
รูปที่ 4: การออกแบบการแสดงผลการสืบค้นรูปภาพที่มีการใช้เทคนิคการจัดกลุ่ม

4.2) การเตรียมข้อมูลและการพัฒนาเสิร์ชเอนจินต้นแบบ

เว็บคอร์ปอเรชันทำการดาวน์โหลดเว็บเพจและรูปภาพมาเก็บไว้ในคลังเอกสารในช่วงระหว่างเดือนมกราคมถึงเดือนกันยายน 2560 อย่างไม่จำกัด เนื่องจากวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เน้นที่รูปแบบการแสดงผลการสืบค้น ดังนั้นเว็บคอร์ปอเรชันที่ได้ถูกพัฒนาขึ้น จะทำการดาวน์โหลดเนื้อหาเว็บเพจและรูปภาพ โดยจะนำเอาเนื้อหาของเว็บเพจ ร่วมกับการใช้ API ในการอ่าน Metadata ของไฟล์รูปภาพ และการวิเคราะห์ Image Content ไปสร้างเป็นดัชนีตัวแทนรูปภาพ เพื่อใช้สำหรับแอปพลิเคชันสืบค้น และในการสร้างดัชนีนั้นจะใช้ตัวแบบเวกเตอร์สเปซโมเดล [3] ซึ่งเป็นตัวแบบมาตรฐานสำหรับการสร้างดัชนีในระบบค้นคืนสารสนเทศ โดยใช้ TF-IDF เป็นการกำหนดค่าน้ำหนักของแต่ละเทอมในเอกสาร และการเรียงลำดับผลลัพธ์การสืบค้นของส่วนเรียงลำดับผลลัพธ์ (Ranking Engine) จะใช้ Cosine Similarity เปรียบเทียบคำค้น (Query) และดัชนีของดัชนีรูปภาพ ดังที่แสดงในสมการที่ 1

$$Sim(D_j, Q) = \frac{\sum_{i=1}^N w_{i,j} \cdot w_{i,q}}{\sqrt{\sum_{i=1}^N w_{i,j}^2 \cdot \sum_{i=1}^N w_{i,q}^2}} \quad (1)$$

เพื่อวัดประสิทธิภาพของการเข้าถึงผลลัพธ์การสืบค้น จากการออกแบบหน้าจอแสดงผลการสืบค้นด้วยเทคนิคการจัดกลุ่มเสิร์ชเอนจินต้นแบบ (Search Engine Prototype) จึงได้ถูกพัฒนาขึ้น โดยประกอบไปด้วยส่วนของการแสดงผลการสืบค้น 2 รูปแบบ ได้แก่ การแสดงผลลัพธ์ที่เป็นลักษณะลิสต์ และการแสดงผลลัพธ์ที่มีการใช้เทคนิคการจัดกลุ่ม ดังรูปที่ 5 ซึ่งแสดงส่วนประกอบของเสิร์ชเอนจินต้นแบบ



รูปที่ 5 : ส่วนประกอบของเสิร์ชเอนจินต้นแบบ

สำหรับในส่วนของ Clustering Engine นั้น ผู้วิจัยเลือกใช้เทคนิค Hierarchical Clustering โดยใช้คำนำหน้าของเทอมของดัชนีรูปภาพเป็นตัวเปรียบเทียบเพื่อจัดกลุ่มของรูปภาพ ในขณะที่เดียวกันการตั้งชื่อกลุ่ม (Cluster Labeling) จะทำโดยการพิจารณาจากความถี่ของเทอมของดัชนีรูปภาพในกลุ่มเดียวกัน

4.3) การออกแบบการทดลองและการประเมินผลการออกแบบ

ในการประเมินผลการออกแบบ นักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษาจากสาขาวิศวกรรมเว็บและการพัฒนาแอปพลิเคชันบนอุปกรณ์พกพา จำนวน 60 คน เข้ามาเป็นผู้ทดลอง โดยแต่ละท่านได้รับคำสั่งให้ทำการค้นหาข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับรูปสินค้าที่ได้กำหนดไว้ล่วงหน้า 2 รูป โดยผู้ทดลองจะให้เห็นรูปภาพดังกล่าว และให้ทำการกำหนดคำค้น (Query) ด้วยตนเอง เมื่อเสิร์ชเอนจินต้นแบบรับคำค้นดังกล่าวแล้ว จะทำการสืบค้นและแสดงผลลัพธ์การสืบค้นให้กับผู้ทดลอง โดยผู้ควบคุมการทดลองจะทำการบันทึกเวลา ตั้งแต่เริ่มส่งคำค้นเข้าสู่เสิร์ชเอนจินต้นแบบจนกระทั่งผู้ทดลองค้นพบรูปภาพตามคำสั่งที่ระบุไว้

เนื่องจากลักษณะของส่วนแสดงผลลัพธ์การสืบค้นมี 2 รูปแบบ แต่มีผู้ทำการทดลองแค่ 1 กลุ่ม ดังนั้นเพื่อลดผลกระทบจากการเรียนรู้ (Learning Effects) ของการใช้งานเสิร์ชเอนจินต้นแบบ แบบแผนการ

ทดลองจึงจำเป็นต้องใช้วิธี Within-Subjects Design ร่วมกับ Counter Balancing โดยการแสดงผลลัพธ์ของการสืบค้นจะสลับกันโดยที่ผู้ทดลอง 30 คนแรก ในการทำการทดลองครั้งที่ 1 ส่วนแสดงผลลัพธ์การสืบค้นจะเป็นแบบลิสต์ก่อน แล้วจะค่อยแสดงผลลัพธ์ที่เป็นแบบที่มีการใช้เทคนิคการจัดกลุ่ม และจะสลับกันในการทำการทดลองครั้งที่ 2 ในขณะที่ผู้ทดลอง 30 คนหลัง ในการทำการทดลองครั้งที่ 1 ส่วนแสดงผลลัพธ์การสืบค้นแบบที่มีการใช้เทคนิคการจัดกลุ่มจะแสดงก่อน แล้วค่อยแสดงผลลัพธ์ที่เป็นแบบลิสต์ และจะสลับกันในการทำการทดลองครั้งที่ 2

จากนั้นจะนำเอาเวลาที่บันทึกไว้ของผู้ทดลองทุกคนมาหาค่าเฉลี่ย เพื่อเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการเข้าถึงผลลัพธ์การสืบค้นที่ถูกต้องของส่วนแสดงผลลัพธ์การสืบค้นทั้งสองแบบ นอกจากนั้นแล้ว ผู้ควบคุมการทดลองจะทำการสัมภาษณ์ผู้ทดลองอย่างไม่เป็นทางการในประเด็นที่เกี่ยวข้องกับผลกระทบของการออกแบบส่วนแสดงผลลัพธ์การสืบค้น เพื่อสรุปความคิดเห็นและความรู้สึกของการใช้งานส่วนแสดงผลลัพธ์การสืบค้นแบบที่มีการใช้เทคนิคการจัดกลุ่ม

5) ผลการวิจัย การอภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

เนื่องจากผู้ทดลองแต่ละคนจะได้เห็นรูปภาพที่เป็นผลลัพธ์ก่อนที่จะเริ่มทำการสืบค้นผ่านเสิร์ชเอนจินต้นแบบ และเปิดโอกาสให้ผู้ทดลองทำการกำหนดคำค้นด้วยตนเอง ดังนั้นในการจับเวลาในการเข้าถึงผลลัพธ์การสืบค้นจะเริ่มตั้งแต่ผู้ทดลองส่งคำค้นเข้าไปในเสิร์ชเอนจินต้นแบบ จนกระทั่งผู้ทดลองสามารถเข้าถึงผลลัพธ์ที่ถูกต้องตรงกับรูปภาพในคำสั่ง ตารางที่ 1 แสดงเวลาเฉลี่ยที่ผู้ทดลองใช้สำหรับการเข้าถึงผลลัพธ์การสืบค้น ผ่านส่วนแสดงผลลัพธ์การสืบค้นทั้งแบบลิสต์และแบบที่มีการใช้เทคนิคการจัดกลุ่ม ซึ่งจะพบว่าเวลาเฉลี่ยของแบบที่มีการใช้เทคนิคการจัดกลุ่มน้อยกว่าแบบลิสต์ 11.15 วินาที ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าผู้ทดลองเข้าถึงผลลัพธ์การสืบค้นได้เร็วกว่าเมื่อใช้งานส่วนการแสดงผลลัพธ์การสืบค้นที่มีการใช้เทคนิคการจัดกลุ่ม อย่างไรก็ตามส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของส่วนการแสดงผลลัพธ์การสืบค้นที่มีการใช้เทคนิคการจัดกลุ่มมากกว่า

ตารางที่ 1: แสดงเวลาเฉลี่ยของการเข้าถึงผลลัพธ์การสืบค้นของผู้ทดลอง

ผลการประเมิน	ผลการประเมิน	
	เวลาเฉลี่ย (วินาที)	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
รูปแบบการแสดงผลลัพธ์การสืบค้น		
แบบลิสต์ (List)	56.24	9.28
แบบที่มีการใช้เทคนิคการจัดกลุ่ม (Clustering Technique)	45.09	12.44

หากพิจารณาถึงสาเหตุหลักที่ทำให้การเข้าถึงผลลัพธ์การสืบค้นของรูปแบบการแสดงผลลัพธ์แบบจัดกลุ่มมีความรวดเร็วกว่ารูปแบบการแสดงผลลัพธ์แบบลิสต์ เป็นเพราะว่าพฤติกรรมของผู้สืบค้นมักจะใช้คำค้น (Query Term) ที่มีความหมายค่อนข้างกว้าง ในกรณีนี้ที่เพิ่ม

เริ่มทำการสืบค้น การใช้คำค้นที่ไม่เฉพาะเจาะจง จะส่งผลโดยตรงต่อเวลาที่ใช้ในการพิจารณาผลลัพธ์การสืบค้น ดังนั้นการจัดรูปแบบการแสดงผลการสืบค้นแบบกลุ่ม จะช่วยให้ผู้ใช้สืบค้นสามารถเข้าถึงกลุ่มผลลัพธ์ที่ตัวเองต้องการได้ทันที จึงส่งผลให้ลดระยะเวลาในการเข้าถึงผลลัพธ์ที่ต้องการได้

เมื่อวิเคราะห์รายละเอียดของข้อมูลเวลาในการเข้าถึงผลลัพธ์การสืบค้นของส่วนแสดงผลทั้งสองแบบพบว่า มีผู้ทดลองอยู่ส่วนหนึ่งมีความไม่คุ้นเคยกับการแสดงผลที่มีการจัดกลุ่ม (Clustering) จะใช้เวลาในการเข้าถึงผลลัพธ์มากกว่าแบบลิสต์ แต่เมื่อเข้าใช้งานของส่วนแสดงผลการสืบค้นแบบจัดกลุ่มแล้ว ก็สามารถใช้งานได้รวดเร็วมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับข้อมูลที่ได้จากการสัมภาษณ์อย่างไม่เป็นทางการหลังการทำการทดลอง โดยผู้ทดลองจำนวนหนึ่งให้ความเห็นว่า การเข้าถึงผลลัพธ์การสืบค้นแบบจัดกลุ่มสามารถทำให้เข้าถึงผลลัพธ์ที่ต้องการได้ทันที แต่จะต้องทำความเข้าใจในส่วนของการแสดงผลก่อน และเมื่อให้เปรียบเทียบส่วนแสดงผลการสืบค้นทั้งสองแบบ ผู้ทดลองร้อยละ 75 มีความพึงพอใจกับการแสดงผลการสืบค้นแบบจัดกลุ่ม โดยให้เหตุผลว่าการจัดกลุ่มทำให้สามารถเข้าไปถึงผลลัพธ์ได้ทันที ทำให้สะดวกในการเข้าถึงผลลัพธ์ได้มากกว่า อย่างไรก็ตาม มีผู้ทดลองบางท่านให้ข้อเสนอแนะว่า ข้อความที่ใช้เป็นคำอธิบายกลุ่ม จะต้องมีความชัดเจนด้วย ซึ่งจะส่งผลทำให้การจัดกลุ่มมีประสิทธิภาพและมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

แม้ว่างานวิจัยชิ้นนี้ทำการทดลองบนเสิร์ชเอนจินต้นแบบที่สืบค้นรูปภาพ ผู้พัฒนาเสิร์ชเอนจินที่ต้องการเพิ่มประสิทธิภาพในการเข้าถึงผลลัพธ์การสืบค้นสามารถนำแนวทางดังกล่าวไปใช้ในพัฒนาเสิร์ชเอนจินบนเอกสารชนิดอื่น ๆ เช่น เว็บเพจ เป็นต้น ได้เช่นเดียวกัน อย่างไรก็ตาม วิธีการจัดกลุ่มเพื่อแสดงผลการสืบค้นอาจจะต้องมีการศึกษาเพิ่มเติม เพื่อความเหมาะสมกับชนิดของเอกสาร

ในอนาคตการศึกษาเพิ่มเติมในเรื่องเทคนิคการจัดกลุ่มเพื่อใช้ในการแสดงผลการสืบค้น และการสร้างคำอธิบายกลุ่มจำเป็นต้องดำเนินการต่อไป รวมทั้งทดลองการออกแบบส่วนของการแสดงผลการสืบค้นในรูปแบบอื่น ๆ ที่จะเพิ่มประสิทธิภาพและประสิทธิผลให้กับผู้ใช้เสิร์ชเอนจินในการเข้าถึงข้อมูลต่าง ๆ จำเป็นต้องศึกษาเพิ่มเติม

6) สรุป

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทำการออกแบบรูปแบบการแสดงผลการสืบค้นโดยการประยุกต์ใช้เทคนิคการจัดกลุ่ม (Clustering Technique) มาใช้เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพของการเข้าถึงผลลัพธ์การสืบค้น เพื่อประเมินประสิทธิภาพของการออกแบบ เสิร์ชเอนจินต้นแบบจึงถูกพัฒนาขึ้นโดยประกอบไปด้วยส่วนของการแสดงผล 2 รูปแบบ ได้แก่ การแสดงผลที่เป็นลักษณะลิสต์ และการแสดงผลที่มีการใช้เทคนิคการจัดกลุ่ม ในการประเมินผลการออกแบบ นักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษาจากสาขาวิชาวิศวกรรมเว็บและการพัฒนาแอปพลิเคชันบนอุปกรณ์พกพาจำนวน 60 คน เข้ามาเป็นผู้ทดลอง ผลการทดลองพบว่าเวลาเฉลี่ยในการเข้าถึงผลลัพธ์การสืบค้นของแบบที่มีการใช้เทคนิคการจัดกลุ่มน้อยกว่าแบบลิสต์ 11.15 วินาที ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าผู้ทดลองเข้าถึงผลลัพธ์การสืบค้นได้รวดเร็วกว่าเมื่อใช้งาน

ส่วนการการแสดงผลการสืบค้นที่มีการใช้เทคนิคการจัดกลุ่ม และจากการสัมภาษณ์ผู้ทดลองหลังจากการทำงานประเมินผลการออกแบบพบว่า ผู้ทดลองร้อยละ 75 มีความพึงพอใจกับการแสดงผลแบบจัดกลุ่ม โดยให้เหตุผลว่าการจัดกลุ่มทำให้สามารถเข้าถึงผลลัพธ์ได้โดยตรง แต่ได้ให้ข้อเสนอแนะว่า ข้อความที่ใช้ในการอธิบายกลุ่มจะต้องมีความชัดเจนด้วย จึงจะส่งผลทำให้ประสิทธิภาพของการเข้าถึงผลลัพธ์การสืบค้นดีขึ้น

เอกสารอ้างอิง

- [1] วรสิทธิ์ ชูชัยวัฒนา, "การปรับปรุงประสิทธิภาพของระบบค้นคืนสารสนเทศและโปรแกรมการค้นหา : แนวคิดและเทคนิค," *วารสารวิชาการสถาบันอุดมศึกษาเอกชนแห่งประเทศไทย ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*, ปีที่ 3, ฉบับที่ 1, หน้า 73 – 83, 2557
- [2] "WorldWideWebSize.com | The size of the World Wide Web (The Internet)." [Online]. Available: <http://www.worldwidewebsite.com/>. [Accessed: 14-Feb-2018].
- [3] B. Croft, D. Metzler, and T. Strohan, *Search Engines: Information Retrieval in Practice*. Boston: Pearson, 2009.
- [4] S. Brin and L. Page, "The Anatomy of a Large-scale Hypertextual Web Search Engine," in *Proceedings of the Seventh International Conference on World Wide Web 7*, Amsterdam, The Netherlands, The Netherlands, 1998, pp. 107–117.
- [5] N. Craswell, D. Hawking, and S. Robertson, "Effective Site Finding Using Link Anchor Information," in *Proceedings of the 24th Annual International ACM SIGIR Conference on Research and Development in Information Retrieval*, New York, NY, USA, 2001, pp. 250–257.
- [6] T. H. W. Westerveld, W. Kraaij, and D. Hiemstra, "Retrieving Web Pages using Content, Links, URLs and Anchors," in *Proceedings of the Tenth Text retrieval Conference (TREC 2001)*, Gaithersburg, USA, 2001, pp. 663–672
- [7] A. Kundu, S. Sett, S. Kumar, S. Sengupta, and S. Chaudhury, "Search Engine Indexing Storage Optimization Using Hamming Distance," *International Journal of Intelligent Information and Database Systems*, vol. 6, no. 2, pp. 113–128, Mar. 2012.
- [8] G. Xue, H. Zeng, Z. Chen, T. Yu, W. Ma, W. Xi, and W. Fan, "Optimizing Web Search Using Web Click-Through Data," *Proceedings of the 13th ACM Conference on Information and Knowledge Management*, Washington DC, USA, 2004, pp.118-126.
- [9] F. Ahmadi-Abkenari and A. Selamat, "Advantages of Employing Log Rank Web Page Importance Metric in Domain Specific Web Search Engines," *International Journal of Digital Content Technology and its Application*, vol. 7, no. 9, pp. 425-432, 2013.
- [10] W. Choochaiwattana and M. Spring, "Applying Social Annotations to Retrieve and Re-rank Web Resources," *Proceedings of the International Conference on Information Management and Engineering*, Kuala Lumpur, Malaysia, 2009, pp. 215-219.
- [11] P. Dmitriev, N. Eiron, M. Fontoura, and E. Shekita, "Using Annotations in Enterprise Search," *Proceedings of the 15th International World Wide Web Conference*, Edinburgh, Scotland, 2006, pp. 811-817.
- [12] C. Marlow, M. Naaman, D. Boyd, and A. Davis, "Tagging Paper, Taxonomy, Flickr, Academic Article, To Read," *Proceedings of the 17th ACM Conference on Hypertext and Hypermedia*, Odense, Denmark, 2006, pp. 31-40.



- [13] D. Zhou, J. Bian, S. Zheng, H. Zha, and C.L. Giles, "Exploring Social Annotations for Information Retrieval," *Proceedings of the 17th International World Wide Web Conference*, Beijing, China, 2008, pp. 715-724.
- [14] P. Jomsri, S. Sanguansintukul, and W. Choochaiwattana, "CiteRank: Combination Similarity and Static Ranking with Research Paper Searching," *International Journal of Internet Technology and Secured Transactions*, vol. 3, no. 2, pp. 161-177, 2011.
- [15] วิไลพร เลิศมหาเกียรติ, ภูริวัตร คัมภีร์ภาพพัฒนา และ อนิราช มิ่งขวัญ, "รูปแบบการแสดงผลการค้นคืนของเครื่องมือการสืบค้นสารนิเทศบนอินเทอร์เน็ต," *วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ*, ปีที่ 18, ฉบับที่ 1, หน้า 89 – 98, 2551

Determination of the Optimal Chemical Dosing Concentration in Reverse Osmosis Using Design of Experiments: A Case Study of Semiconductor Fabrication Factory in Chacheongsao, Thailand

Siripan Sinluenam¹, Jintawat Chaichanawong²

*Advanced Material Processing Research Lab, Research Center for Advanced Energy Technology
Master Program in Engineering Technology, Faculty of Engineering, Thai-Nichi Institute of Technology
1771/1 Pattanakarn Rd., Suan Luang, Bangkok 10250, Thailand*

¹si.siripan_st@tni.ac.th

²jintawat@tni.ac.th

Abstract— The objective of the study was to explore the effects of chemical dosage concentration with respect to specification of treated Reverse Osmosis water and imply to simulate the optimal amount of chemical in the Reverse Osmosis (RO) process. The study was implied Water Treatment Plant in one semiconductor fabrication in Chacheongsao, Thailand as the case study. The experiment was conducted in the real pilot scale by variation of chemical concentration. Design of Experiment was used to evaluate in term of Analysis of Variance in order to validate the obtained result. Conductivity and % Salt Rejection are key performance indicators. The results developed the optimal range of treated chemical concentration of 10% Antiscalant with 10% Microbiocide solution with RO water conductivity in the range of 5.05-8.51 $\mu\text{S}/\text{cm}$ with % Salt rejection in the range 95.12-98.52. The optimal condition could operate approximately to the calculated value from Excel Solver. This condition could reduce feeding chemical consumption amount and help monitoring performance of RO unit.

Keywords— Reverse Osmosis, Antiscalant, Microbiocide, Conductivity, Analysis of Variance

I. INTRODUCTION

The continuous and accelerated development of information and communication technology is affected to the growth of semiconductor manufacturing industry. In manufacturing semiconductor products, semiconductor chips are performed on silicon wafer substrate involving oxidation, diffusion, ion implementation, deposition of conductors and insulators, photolithography and etching [1]. During the fabrication, chips may contaminate by various impurities e.g. chemical solution, machine, operator, thus the chips are particularly being cleaned prior undergoes to assembly as one part of electronic devices. Cleaning process is one of the critical process in order to rinse the impurities from chips, thus the quality of rinsing water is significantly to be qualified with respect to chip specification requirements. Ultrapure water is typically consumed in semiconductor manufacturing according to the specification defined in term of resistivity of 18 Megaohm.cm as the inverse of conductivity value [2, 3].

In this research, Ultrapure Treatment Plant of one Semiconductor Fabrication Factory in Chacheongsao province, Thailand was implied as a case study. The treatment processes are consisted of Pretreatment process and Desalination process. Pretreatment process is fundamental process of water treatment, consisted of Sand Filtration to trap suspended solid, Carbon Filtration to absorb colour, odour and organic substance and Cartridge Filter Housing to trap suspended particulate matter before undergoes to Desalination process. [4, 5]. Desalination process is correspondingly a fundamental process for Ultrapure water production, the processes are consisted of Reverse Osmosis and Ion Exchanger [2]. Reverse Osmosis or RO is purified water by rejecting soluble molecules, ions and biological substance by semipermeable membrane, purified water from RO undergoes to Ion Exchanger to remove ion containment in water as significantly affect to Resistivity of water and eventually become Ultrapure water supplying to manufacturing process.

In this research, Reverse Osmosis or RO was studied. As the fundamental treatment of Ultrapure water, RO is rejected chemical and biological substances by semipermeable membranes at high driving pressure with aided dosing chemical solutions. Product or RO water has lower ionic content than feeding water referred in term of conductivity. Chemical solutions are Antiscalant for controlling scale precipitation and Microbiocide for inhibiting the growth of microorganism on membrane [6,7]. After operating for a period of time, scale and slime could be formed on RO membrane. This effect could result in decreasing in flux, operation performance, and RO water quality. To mitigate this effect, the concerned factors are reasonable design, proper treatment and correct operation [8]. In this study RO water treatment with chemical dosing solution, Antiscalant and Microbiocide were implied to evaluated.

The objective of the research is to explore the effects of dosing concentration of Antiscalant and Microbiocide with respect to quality of RO water which defined in the term of conductivity ($\mu\text{S}/\text{cm}$) and correspondingly optimize the appropriated chemical dosing concentration for process improvement and cost reduction. Conductivity and pH of feeding water and RO water are monitored with automatically driving pressure from RO unit. The

experimental results were evaluated by using Design of Experiment concept.

II. EXPERIMENT AND METHOD

The actual operation of RO Unit was investigated. Factory's Treatment Plant consumes water from the industrial estate reservoir as feeding water to the system. The measurement of feed water and RO water was daily conducted, concerned parameter are pH and conductivity. pH was measured by pH meter (Yokogawa brand, model: PH72), and Conductivity was measured by Conductivity meter (Oakton brand, model: CON400). RO Membrane used for this study was a brackish water RO Membrane from Dow Filmtec. Commercial Antiscalant (pH range: 2.2 – 4) and Microbicide solution (pH range: 8.5-9.5) were prepared and adjusted at 5%,10%,15%,20%,25% and 30% concentration by volume. Supplied feed water had pH in the range of 6.15-8.56 and conductivity at 216-369 $\mu\text{S}/\text{cm}$, the system was controlled driving pressure at 4 Bar by RO Unit controller. A schematic diagram of the experiment is shown in Fig.1

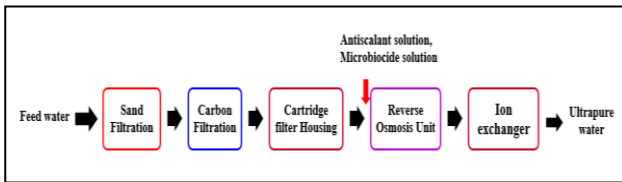


Fig. 1 Experimental apparatus

A. The Study of % Antiscalant dosing concentration variation

The experiment was conducted by varying dosing concentration of Antiscalant into 5%,10%,15%,20%,25% and 30% by volume with dosing constant concentration of Microbicide at 20% by volume. Analysis of Variance (ANOVA) was used to analyse the test result by Minitab 16 software as shown in Fig.2 and Fig.3.

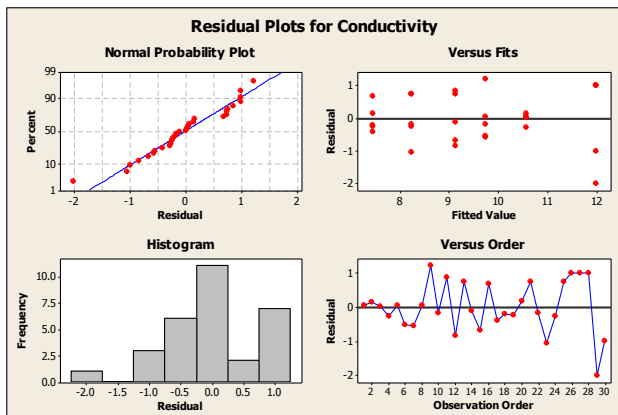


Fig. 2 The Residual Plot for Conductivity Value with respectively to variation concentration of % Antiscalant dosing solution.

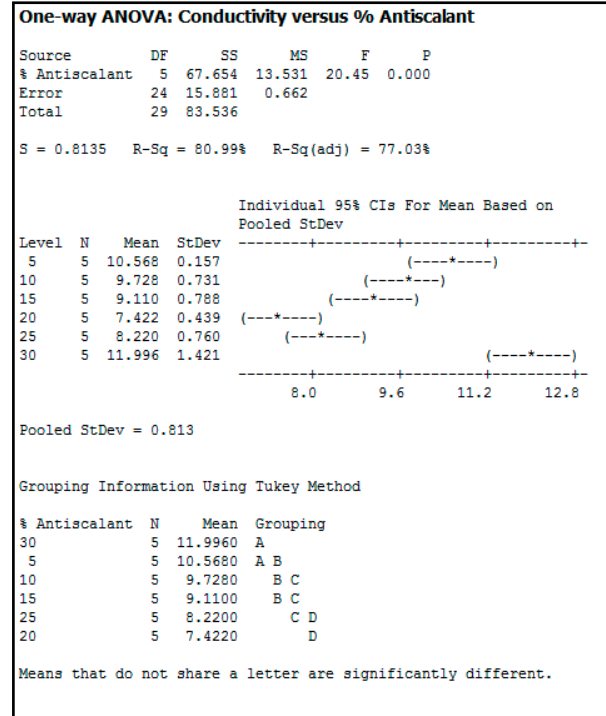


Fig. 3 Result from ANOVA for %Antiscalant dosing concentration variation.

According to the result of Fig.2 and Fig.3, it was found that at significance level of 0.05, % Antiscalant dosing concentration was significantly affected conductivity of RO water (P-value < 0.05). The residual plot was distributed nearly in left-skewed and independently fitted.

B. The Study of % Microbicide dosing concentration variation result

The experiment was conducted by varying dosing concentration of Microbicide into 5%,10%,15%,20%,25% and 30% by volume with dosing constant concentration of Antiscalant at 20% by volume. Analysis of Variance (ANOVA) was used to analyse the test result by Minitab 16 software as shown in Fig.4 and Fig.5.

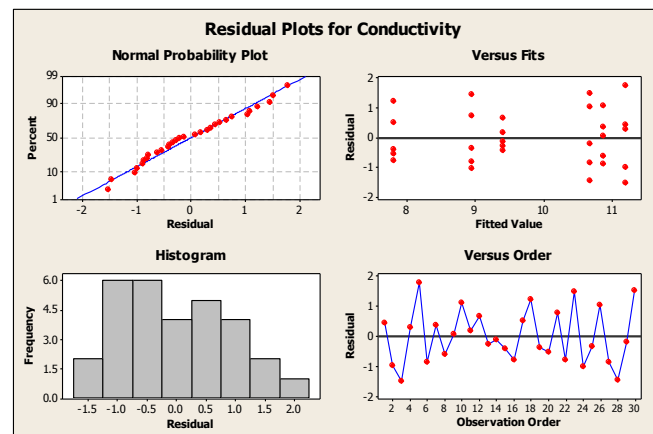


Fig. 4 The Residual Plot for Conductivity Value with respectively to variation concentration of % Microbicide dosing solution.

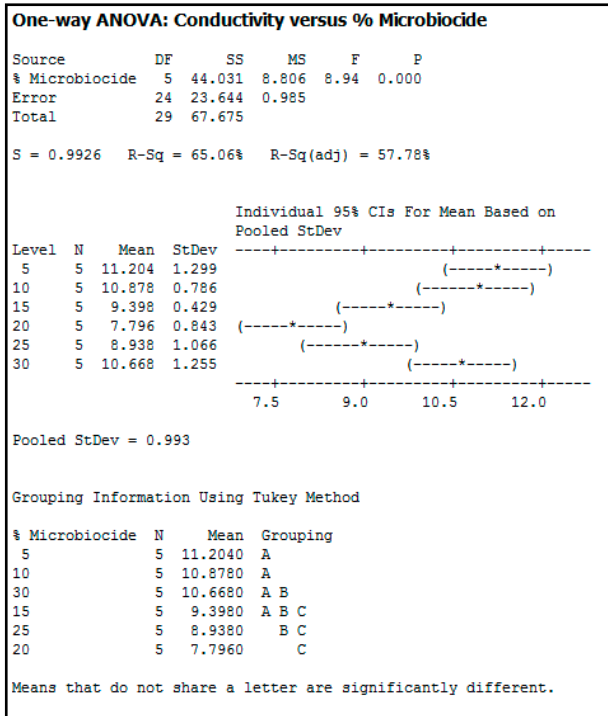


Fig. 5 Result from ANOVA for %Microbiocide dosing concentration variation.

According to the result of Fig.4 and Fig.5, it was found that at significance level of 0.05, % Microbiocide dosing concentration was significantly affected conductivity of RO water (P-value < 0.05). The residual plot was distributed nearly in right-skewed and independently fitted.

Referred to the results from Experiment No.1 and No.2 implied the residual distribution, the plots were not normally distributed and tended to be skewed. To investigate this phenomena, Experiment No.3 was conducted.

C. The Study of the combination of % Antiscalant and % Microbiocide dosing concentration variation

The experiment was conducted by varying dosing concentration of Antiscalant 10%, 15%, 20%, 25% and 30% by volume with dosing constant concentration of Microbiocide at 10%, and 15% by volume. General Linear Model was used to analyse the test result by Minitab 16 software as shown in Fig.6 and Fig.7.

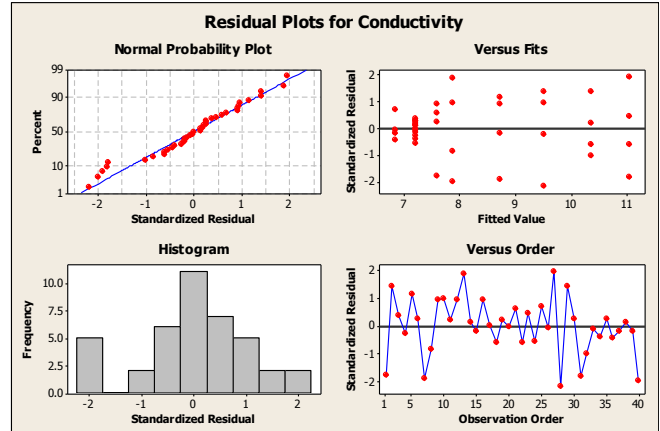


Fig. 6 The Residual Plot for Conductivity Value with respectively to variation concentration of % Microbiocide and % Antiscalant dosing solution.

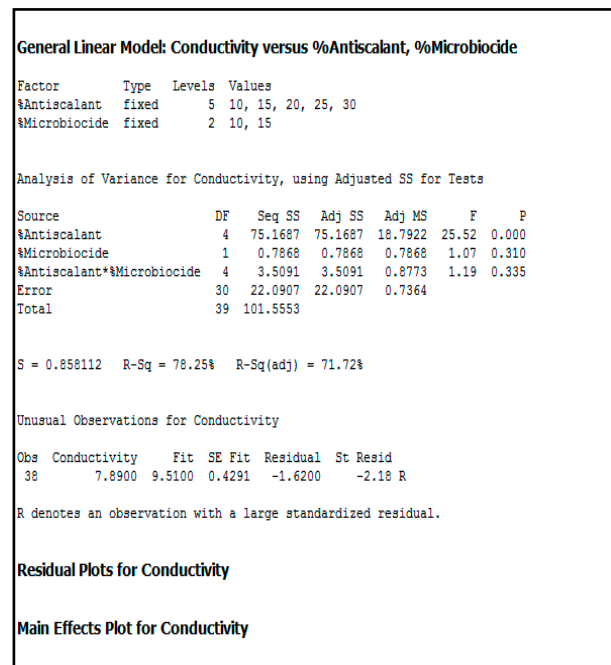


Fig. 7 Result from General Linear Model Simulation for %Microbiocide dosing concentration variation

According to the result of Fig.6 and Fig.7, it was found that at significance level of 0.05, % Antiscalant dosing concentration was significantly affected conductivity of RO water (P-value < 0.05), whereas % Microbiocide dosing concentration and interaction between % Antiscalant and % Microbiocide dosing concentration was not significantly affected conductivity of RO water (P-value > 0.05). In addition to the residual plot in Fig.6, the residuals were normally distributed with zero mean and nearly constant variance and independently fitted. To prove the relation among these factors, Main Effects Plot and Interaction Plot were shown in Fig.8 and Fig.9.

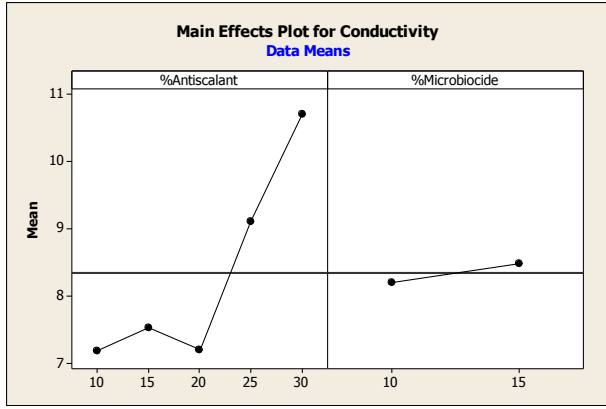


Fig. 8 Main Effects Plot for Conductivity with respectively to % Antiscalant and % Microbiocide.

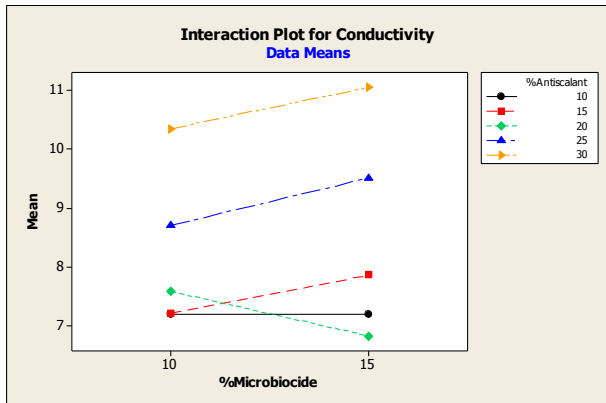


Fig. 9 Interaction Plot for Conductivity with respectively to % Antiscalant and % Microbiocide.

D. Response Function

To develop the response function, Regression Analysis was used with the deducting the non significant factor. The model was showned in Fig.10.

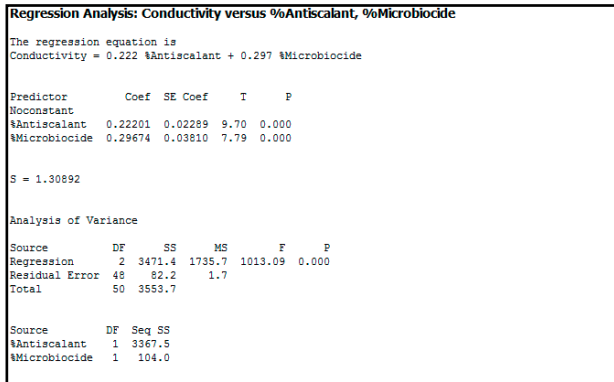


Fig. 10 Response Function of Conductivity with respectively to % Antiscalant and % Microbiocide by Regression Analysis.

The regression equation is

$$Conductivity = 0.222\% \text{ Antiscalant} + 0.297\% \text{ Microbiocide}$$

E. Optimal Condition of the Parameters

To determine the optimal condition by optimizing the parameter in RO Water Treatment, Excel Solver in

Microsoft Excel Program was simulated. The optimal condition of these factors are summarized in Table I.

TABLE I: Result of Optimal Condition of Factors in Reverse Osmosis Process

Factors	Optimal Level
% Antiscalant	10
%Microbiocide	10

The dosing of Antiscalant and Microbiocide at 10% concentration by volume are optimal value and could yield RO water conductivity at 5.19 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

III. CONCLUSION

To confirm the result, 30 samples were performed under the optimal condition at 10% concentration for Microbiocide and Antiscalant with the 2 results of standard concentration of 20% Microbiocide and Antiscalant at pH 6.15-8.56, conductivity at 216-369 $\mu\text{S}/\text{cm}$ of feed water and controlled driving pressure at 4 Bar by RO Unit controller. Conductivity and % Salt rejection of RO water are the key performance indicators, the results are shown in Fig.11 and Fig.12.

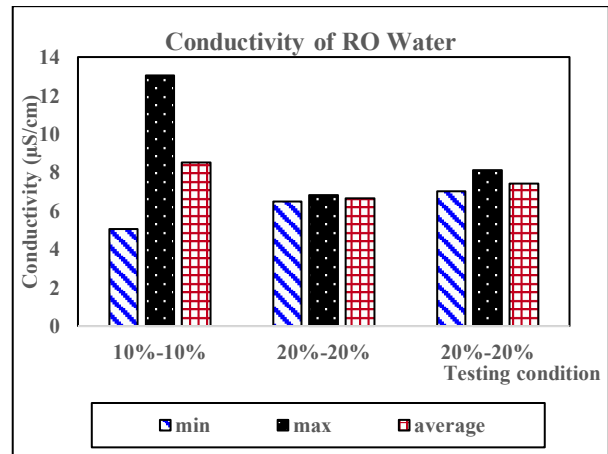


Fig. 11 The comparative Result of RO Water Conductivity between optimal condition and standard condition

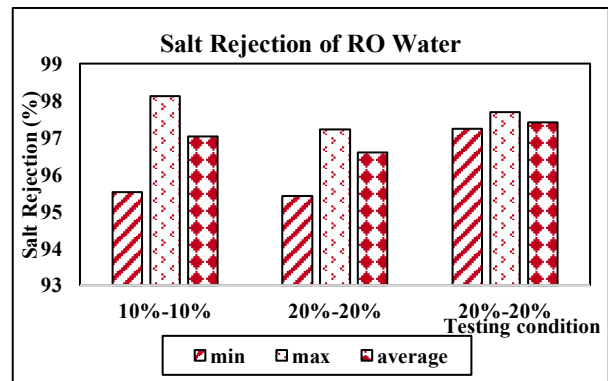


Fig. 12 The comparative Result of Salt Rejection of RO Water between optimal condition and standard condition

According to the result in Fig.11 and Fig.12, conductivity of RO water in optimal dosage concentration in the range 5.05-8.51 $\mu\text{S}/\text{cm}$ with % Salt rejection in the range 95.12-98.52, whereas the standard condition yield conductivity in the range of 6.49-6.80 $\mu\text{S}/\text{cm}$ and 7.01-8.11 $\mu\text{S}/\text{cm}$ with % Salt Rejection in the range of 95.42-97.22 and 97.23-97.68. The optimal condition could operate approximately to the calculated value from Excel Solver. This condition could reduce chemical consumption amount and help monitoring performance of RO unit.

REFERENCES

- [1] S. Tan, "Method for Cleaning Semiconductor fabrication equipment parts," Patent 6810887 B2, 02-Nov-2004.
- [2] A. Bennett, "Water processes and production: High and ultra-high purity water," *Filtration & Separation*, vol. 46, no. 2, pp. 24–27, Mar. 2009.
- [3] "ASTM D5127 - 13 - Standard Guide for Ultra-Pure Water Used in the Electronics and Semiconductor Industries." [Online]. Available: <https://shop.bsigroup.com/ProductDetail/?pid=000000000030284606>. [Accessed: 14-Jan-2016].
- [4] I. Sutzkover-Gutman and D. Hasson, "Feed water pretreatment for desalination plants," *Desalination*, vol. 264, no. 3, pp. 289–296, Dec. 2010.
- [5] L. Henthorne and B. Boysen, "State-of-the-art of reverse osmosis desalination pretreatment," *Desalination*, vol. 356, pp. 129–139, Jan. 2015.
- [6] B. Zhou, J. Liu, L. Li, X. Chen, and W. Sun, "Evaluation Method for Performance of Reverse Osmosis Antiscalants Based on the Turbidity," in *2010 International Conference on Electrical and Control Engineering*, 2010, pp. 926–929.
- [7] D. Kim, S. Jung, J. Sohn, H. Kim, and S. Lee, "Biocide application for controlling biofouling of SWRO membranes — an overview," *Desalination*, vol. 238, no. 1, pp. 43–52, Mar. 2009.
- [8] M. Al-Shammiri, M. Safar, and M. Al-Dawas, "Evaluation of two different antiscalants in real operation at the Doha research plant," *Desalination*, vol. 128, no. 1, pp. 1–16, Mar. 2000.
- [9] E. E. A. Ghafour, "Enhancing RO system performance utilizing antiscalants," *Desalination*, vol. 153, no. 1, pp. 149–153, Feb 2003.

ผลกระทบของคุณลักษณะของผู้ใช้ไฟฟ้าต่อค่าความสูญเสียทางเทคนิค ในระบบจำหน่ายไฟฟ้า

Impact of Customer Characteristics on Technical Loss in Distribution System

กรวิชัย จริตรัมย์¹ ณกมล โสภายิ่ง² นันทิยา ชัยบุตร³

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยกรุงเทพ จังหวัดปทุมธานี 12120

¹koravit.jari@bumail.net

²nakamon.sopa@bumail.net

³nuntiya.c@bu.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอผลกระทบต่อกำลังสูญเสียไฟฟ้าจริงในระบบจำหน่ายไฟฟ้าเนื่องจากความแตกต่างของรูปแบบการกระจายตัวและคุณลักษณะของผู้ใช้ไฟฟ้าในแต่ละจุดโหลดซึ่งได้ศึกษาผ่านกรณีศึกษา 7 กรณี โดยมุ่งเน้นการศึกษาไปที่การรวมคุณลักษณะผู้ใช้ไฟฟ้าทุกประเภทก่อนกระจายไปยังทุกจุดโหลดและการแบ่งคุณลักษณะผู้ใช้ไฟฟ้าให้กระจายตามรูปแบบที่กำหนดตามกรณีศึกษา ในบทความนี้ได้ดำเนินการทดสอบผ่านแบบจำลองระบบจำหน่ายไฟฟ้าที่ประกอบไปด้วย 9 จุดโหลด ผลลัพธ์ที่ได้แสดงให้เห็นว่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียจริงตลอดทั้งวันของส่วนแรกของสายส่งหรือส่วนที่ใกล้กับแหล่งจ่ายไฟฟ้าต้นทางมีลักษณะของกราฟคล้ายกันในทุกกรณี แต่มีขนาดที่แตกต่างกัน ในขณะที่การใช้คุณลักษณะผู้ใช้ไฟฟ้ารวมทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนในการคำนวณค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียจริงได้ถ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้ามีการกระจายของผู้ใช้ไฟฟ้าตามแต่ละจุดโหลดที่แตกต่างกัน

คำสำคัญ: กำลังไฟฟ้าสูญเสียทางเทคนิค, ระบบจำหน่ายไฟฟ้า, คุณลักษณะของผู้ใช้ไฟฟ้า, การจัดสรรโหลด

ABSTRACT

This paper proposes the impact to a technical loss in a distribution system because of the difference of distribution pattern and customer characteristics that customer characteristics are set at each load point on 7 case studies. The study focuses on the integration of all types of consumer characteristics before spreading to all load points and distributing the customer characteristics in the case study patterns. In this paper, the proposed idea is tested on the distribution system that consists of 9 load points. The results are shown the daily technical loss of the first section of a transmission line or the section next to the source, all case studies are the same graph characteristics. If each load point of the distribution system has the different type of customer characteristics, technical losses which were calculated by the integration of all types of consumer characteristics was not accurate.

Keywords: Technical Loss, Distribution System, Customer Characteristics, Load allocation

1) บทนำ

ในปัจจุบันพลังงานไฟฟ้าได้กลายเป็นปัจจัยที่สำคัญอย่างหนึ่งในชีวิตประจำวันของมนุษย์ ไม่ว่าจะเป็นภาคอุตสาหกรรมที่ต้องใช้พลังงานไฟฟ้าเพื่อเดินเครื่องจักรในโรงงาน ภาคธุรกิจต่างๆ ในการดำเนินกิจการและภาคครัวเรือน ล้วนแต่มีความเกี่ยวข้องกับพลังงานไฟฟ้าทั้งสิ้น โดยพลังงานไฟฟ้าจะถูกผลิตจากโรงไฟฟ้าขนาดใหญ่ของการไฟฟ้าฝ่ายผลิต ก่อนที่จะส่งกำลังไฟฟ้าผ่านระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าเพื่อที่จะทำการส่งต่อไปในพื้นที่เป้าหมาย หรือเรียกได้ว่าเป็นผู้ใช้ไฟฟ้า โดยกำลังไฟฟ้าโดยรวมที่ผู้บริโภคได้รับนั้นจะมีค่าน้อยกว่าค่ากำลังไฟฟ้ายรวมที่โรงไฟฟ้าผลิตได้ เนื่องจากในระหว่างที่กำลังไฟฟ้าถูกส่งผ่านระบบส่งจ่ายและจำหน่ายไฟฟ้า ซึ่งประกอบด้วยหม้อแปลงไฟฟ้าสายส่ง และอุปกรณ์ต่างๆ จะทำให้เกิดการสูญเสียของกำลังไฟฟ้าในส่วนต่างๆ ของระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า หรือพิจารณาได้อีกอย่างหนึ่งที่เราเรียกว่าหน่วยสูญเสียในระบบไฟฟ้า (Loss Unit) [1] ปัจจุบันการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคได้จัดทำแผนการดำเนินงาน (Road map) สำหรับการผลิตไฟฟ้าในช่วงปี 2018-2022 ซึ่งจากข้อมูลของการไฟฟ้าทำให้ทราบถึงแผนการจัดตั้งโรงงานผลิตไฟฟ้า การประมาณค่าความต้องการใช้ไฟฟ้าในอนาคต [2] ดังนั้นควรให้ความสนใจกับประสิทธิภาพในการจ่ายไฟฟ้าที่ดี เพื่อไม่ให้เกิดค่าหน่วยสูญเสียในระบบไฟฟ้าที่มากเกินไป ซึ่งในแต่ละครั้งที่มีการผลิตไฟฟ้าและจ่ายไฟฟ้าให้กับผู้ใช้ไฟฟ้าในส่วนต่างๆ ในประเทศ ไม่ว่าจะเป็นภาคอุตสาหกรรม ภาคธุรกิจหรือภาคครัวเรือน จะทำให้เกิดกำลังไฟฟ้าสูญเสียที่ทำให้เกิดความสิ้นเปลืองทางค่าใช้จ่าย (Cost) เป็นอย่างมาก โดยได้มีการทำการศึกษากำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบจำหน่ายไฟฟ้าของเมือง Kirkuk ซึ่งได้ใช้แบบจำลองทางไฟฟ้าของเมือง Kirkuk เพื่อเป็นต้นแบบในการหาค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสีย โดยการใช้ข้อมูลจากการวัดค่ากำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้ระบบและกำลังไฟฟ้าที่เรียกเก็บจากใบเสร็จจ่ายไฟฟ้า นำมาวิเคราะห์เป็นข้อมูลที่ใช้ในโปรแกรมเพื่อหาค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสีย [3] นอกจากนี้ใน [4] ได้มีการศึกษาการประมาณค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียโดยอาศัยค่าแพคเตอร์ของกำลังไฟฟ้าสูญเสียและค่าความต้องการไฟฟ้าสูงสุดในแต่ละชั่วโมงเพื่อใช้ประมาณค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสีย ใน [5] ได้อาศัยการ

จัดสรรโหลดโดยใช้พิกัดหม้อแปลงไฟฟ้าและแปดเตอร์การของจัดสรรโหลด (allocation factor) โดยแปดเตอร์นี้สามารถคำนวณได้จากค่าความต้องการไฟฟ้าที่วัดได้และพิกัดหม้อแปลงไฟฟ้าทั้งหมดในระบบ

การศึกษาใน [6] ได้ศึกษาการบริหารจัดการพลังงานไฟฟ้าในระบบจำหน่ายแบบสมาร์ตกริดอย่างมีประสิทธิภาพ โดยใช้แบบจำลองของระบบจำหน่ายไฟฟ้าในการศึกษา ในงานวิจัยนี้ได้มีการกำหนดให้โหลดในระบบมีลักษณะเหมือนกันทุกโหลดหรือกล่าวได้ว่าเป็นการจัดสรรโหลดจากต้นทางไปยังจุดโหลดต่างๆ ในระบบอย่างเท่าๆ กัน ซึ่งในความเป็นจริงในแต่ละจุดโหลดอาจมีความแตกต่างกันในเรื่องของลักษณะการใช้ไฟฟ้าก็เป็นได้

ดังนั้น บทความนี้จึงสนใจศึกษาผลกระทบที่จะเกิดขึ้นกับค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียจริง (real power of technical loss) เมื่อคุณลักษณะของผู้ใช้ไฟฟ้าในแต่ละจุดโหลดแตกต่างกันเพื่อให้มีความใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากยิ่งขึ้น โดยดำเนินการวิเคราะห์ค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียจริงผ่านการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าโดยใช้โปรแกรม DigSILENT ผ่านแบบจำลองระบบจำหน่ายไฟฟ้าที่มีกรณีศึกษาทั้งหมด 7 กรณีศึกษา

2) วัตถุประสงค์ของการวิจัย

ศึกษากำลังไฟฟ้าสูญเสียทางเทคนิคในระบบไฟฟ้าที่เกิดขึ้นเนื่องจากคุณลักษณะของผู้ใช้ไฟฟ้าที่แตกต่างกัน รวมถึงการนำเสนอความแตกต่างของกำลังไฟฟ้าสูญเสีย เนื่องจากการใช้ค่าคุณลักษณะของผู้ใช้ไฟฟ้าที่สถานีไฟฟ้าและคุณลักษณะของผู้ใช้ไฟฟ้าที่จุดโหลดในแต่ละจุดโหลด ซึ่งจะได้เสนอเป็นแนวทางในการวิเคราะห์ระบบไฟฟ้าให้เกิดความคลาดเคลื่อนต่ำที่สุด

3) วิธีดำเนินการวิจัย

วิธีการวิจัยของการศึกษานี้แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ การประเมินค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียทางเทคนิคในระบบไฟฟ้า (technical loss evaluation) การพิจารณาคูณลักษณะของผู้ใช้ไฟฟ้า (customer characteristics) และแบบจำลองและกรณีศึกษา

3.1) การประเมินค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียทางเทคนิค

กำลังไฟฟ้าส่งผ่านในระบบจำหน่ายไฟฟ้าสามารถพิจารณาได้จากสมการสมดุลกำลังไฟฟ้า ซึ่งกำลังไฟฟ้าที่ส่งผ่านต้องมีค่าเท่ากับกำลังไฟฟ้าที่โหลดได้รับรวมกับค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียที่เกิดขึ้นระหว่างส่งผ่านกำลังไฟฟ้า ดังสมการที่ (1) - (2) ซึ่งแสดงสมการสมดุลกำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้าเสมือนตามลำดับ [7]

กำลังไฟฟ้าสูญเสียที่จะได้ดำเนินการประเมินค่าในบทความนี้จะไดกล่าวถึงเฉพาะกำลังไฟฟ้าสูญเสียจริงทางเทคนิคเท่านั้น โดยการคำนวณค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียจะเริ่มดำเนินการผ่านการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้า ดังสมการที่ (3) - (4) ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้นั้นจะได้กำลังไฟฟ้าจริง (real power) และกำลังไฟฟ้าเสมือน (reactive power) ในแต่ละบัส และสามารถนำไปหาค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียจริงทางเทคนิคได้ดังสมการที่ (5)

สำหรับเงื่อนไขในการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าสามารถแสดงได้ดังสมการที่ (6) - (8) ซึ่งเป็นสมการเพื่อกำหนดเงื่อนไขหรือ

ขอบเขตทางด้านแรงดันไฟฟ้า ความจุของสายส่งไฟฟ้า และค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า ตามลำดับ

$$P_s = P_r + P_{tech} + P_{ntech} \quad (1)$$

$$Q_s = Q_r + Q_{tech} + Q_{ntech} \quad (2)$$

$$P_i = \sum_{j=1}^n |V_i| |Y_{ij}| |V_j| \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (3)$$

$$Q_i = - \sum_{j=1}^n |V_i| |Y_{ij}| |V_j| \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (4)$$

$$P_{L,ij} = P_{ij} - P_{ji} \quad (5)$$

$$V_{min} < V_i < V_{max} \quad (6)$$

$$PF_s \leq PF_d \quad (7)$$

$$FC_s \leq FC_d \quad (8)$$

เมื่อ

P_s	คือ	กำลังไฟฟ้าจริงที่บัสส่งกำลังไฟฟ้า
Q_s	คือ	กำลังไฟฟ้าเสมือนที่บัสส่งกำลังไฟฟ้า
P_r	คือ	กำลังไฟฟ้าจริงที่บัสรับกำลังไฟฟ้า
Q_r	คือ	กำลังไฟฟ้าเสมือนที่บัสรับกำลังไฟฟ้า
P_{tech}	คือ	กำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียทางเทคนิค
Q_{tech}	คือ	กำลังไฟฟ้าเสมือนสูญเสียทางเทคนิค
P_{ntech}	คือ	กำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียที่ไม่ใช่ทางเทคนิค
Q_{ntech}	คือ	กำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียที่ไม่ใช่ทางเทคนิค
V_i	คือ	แรงดันไฟฟ้าที่บัส i
V_j	คือ	แรงดันไฟฟ้าที่บัส j
Y_{ij}	คือ	แอดมิแตนซ์ระหว่างบัส i และ j
θ_{ij}	คือ	มุมของแอดมิแตนซ์ระหว่างบัส i และ j
δ_i	คือ	มุมของแรงดันไฟฟ้าที่บัส i
δ_j	คือ	มุมของแรงดันไฟฟ้าที่บัส j
n	คือ	จำนวนของบัสในระบบไฟฟ้า
$P_{L,ij}$	คือ	กำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียระหว่างบัส i และ j
P_{ij}	คือ	กำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียส่งผ่านจากบัส i ไป j
P_{ji}	คือ	กำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียส่งผ่านจากบัส j ไป i
V_{min}	คือ	แรงดันไฟฟ้าต่ำสุดที่บัส
V_{max}	คือ	แรงดันไฟฟ้าสูงสุดที่บัส
PF_s	คือ	ตัวประกอบกำลังที่บัสส่งกำลังไฟฟ้า
PF_d	คือ	ตัวประกอบกำลังที่ยอมรับได้
FC_s	คือ	ความจุของสายส่ง
FC_d	คือ	พิกัดความจุของสายส่ง

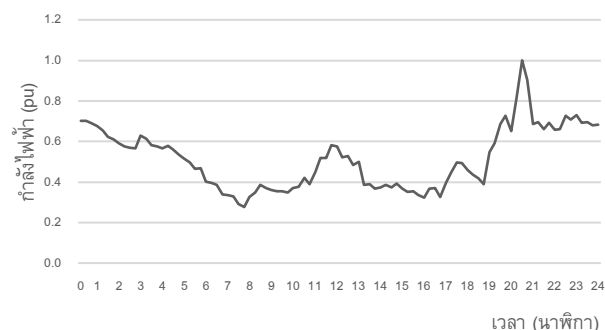
3.2) คุณลักษณะของผู้ใช้ไฟฟ้า

การจะวางแผนและดำเนินการผลิตพลังงานไฟฟ้าให้เพียงพอและเหมาะสมต่อความต้องการมีความจำเป็นที่ต้องศึกษาคุณลักษณะการใช้ไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้า ซึ่งเป็นองค์ประกอบการพิจารณาการผลิต การส่งจ่าย และการจำหน่ายพลังงานไฟฟ้าให้มีประสิทธิภาพและลดค่าใช้จ่ายที่ไม่จำเป็น โดยสามารถจัดสรรการเดินทางของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าภายในโรงไฟฟ้าได้อย่างเหมาะสม นอกจากนี้การศึกษาคำนวณความต้องการกำลังไฟฟ้าเชิงสถิติยังสามารถพยากรณ์ล่วงหน้าได้ว่าความต้องการไฟฟ้าจะมีโอกาสของการขยายตัวปีละกี่เปอร์เซ็นต์ซึ่งจะส่งผลต่อการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าไปยังผู้ใช้ไฟฟ้า

จากการขอมูลการใช้ไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟในแต่ละประเภทตามการแบ่งประเภทของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค [8] จะพบว่า ผู้ใช้ไฟฟ้าแบ่งออกเป็น 8 ประเภท ประกอบด้วย

1. บ้านที่พักอาศัยขนาดน้อยกว่า 150 หน่วย
2. บ้านที่พักอาศัยขนาดมากกว่า 150 หน่วย
3. กิจการขนาดเล็ก
4. กิจการขนาดกลาง
5. กิจการขนาดใหญ่
6. กิจการเฉพาะอย่าง
7. ส่วนทางราชการ
8. สูบน้ำเพื่อการเกษตร

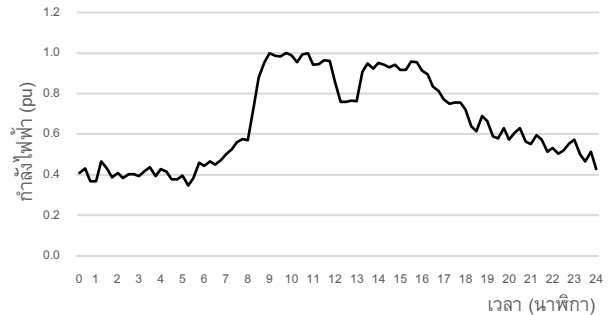
สำหรับบทความนี้ได้นำคุณลักษณะของผู้ใช้ไฟฟ้าในเดือนเมษายน ปี 2559 ประเภทที่พักอาศัยขนาดน้อยกว่าและมากกว่า 150 หน่วย กิจการขนาดเล็ก กลาง และ ใหญ่ รวมกันทั้งหมดจำนวน 5 ประเภท นำมาดำเนินการจัดการใหม่โดยรวมคุณลักษณะของผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทกิจการขนาดเล็กและกิจการขนาดใหญ่เข้าด้วยกัน และรวมผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทที่พักอาศัยขนาดน้อยกว่าและมากกว่า 150 หน่วยเข้าด้วยกันโดยเรียกชื่อใหม่ว่า ผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทที่พักอาศัย ดังนั้นบทความนี้จะวิเคราะห์ระบบจำหน่ายไฟฟ้าโดยใช้กราฟคุณลักษณะของผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทที่พักอาศัย กิจการขนาดกลาง และกิจการที่รวมขนาดเล็กและใหญ่ ดังรูปที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ



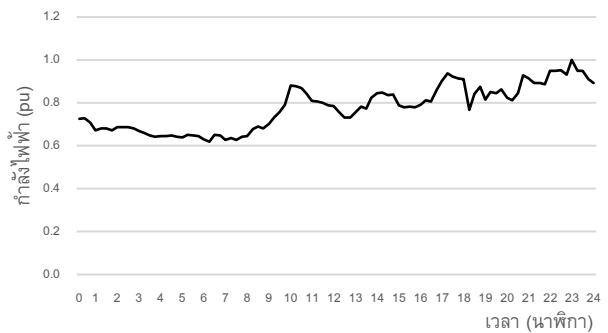
รูปที่ 1 : คุณลักษณะของผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทที่พักอาศัย

การขอมูลการใช้ไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้าทั้ง 3 ประเภท จะพบว่า ผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทที่อยู่อาศัยมีค่าการใช้ไฟฟ้าสูงสุดอยู่ในช่วงเวลาประมาณ 20.00 -21.30 น. ในขณะที่ผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทกิจการขนาดกลางมีการใช้ไฟฟ้าสูงสุดอยู่ในช่วงเวลา 09.00-11.30 น. และ ผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทกิจการขนาดเล็กและใหญ่มีค่าสูงสุดอยู่ที่ช่วงเวลา

ประมาณ 22.30-23.30 น. ซึ่งลักษณะกราฟของการใช้ไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้าทั้ง 3 ประเภท จะมีความแตกต่างกันโดยผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทกิจการขนาดเล็กและใหญ่มีการใช้ไฟฟ้าค่อนข้างคงที่ตลอด 24 ชั่วโมง ในขณะที่ผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทกิจการขนาดกลางและที่พักอาศัยมีการใช้ไฟฟ้าที่แกว่งกว่าผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทกิจการขนาดเล็กและใหญ่



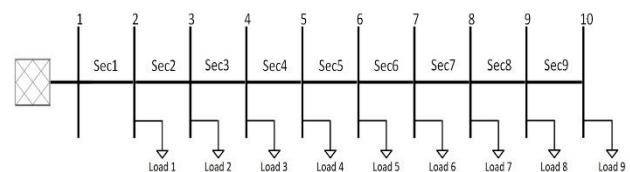
รูปที่ 2 : คุณลักษณะของผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทกิจการขนาดกลาง



รูปที่ 3 : คุณลักษณะของผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทกิจการขนาดเล็กและใหญ่

3.3) แบบจำลองและกรณีศึกษา

สำหรับการศึกษาในบทความนี้ได้กำหนดแบบจำลองในการคำนวณค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียจริง ซึ่งใช้เป็นตัวแทนของระบบจำหน่ายไฟฟ้าที่ระดับแรงดันไฟฟ้า 22 kV ประกอบด้วย 10 บัส 9 ส่วนของสายส่ง และ 9 จุดโหลด ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 : แบบจำลองระบบจำหน่ายไฟฟ้า

โดยระบบจำหน่ายไฟฟ้านี้มีความยาวของสายส่งทั้งสิ้น 39.24 km ซึ่งใช้สายประเภท Space Aerial Cable (SAC) ขนาด 185 mm² เช่นเดียวกันตลอดความยาวสายส่ง

การศึกษาค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียจริงที่เกิดขึ้นกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าเนื่องจากความแตกต่างของรูปแบบการกระจายตัวและคุณลักษณะของผู้ใช้ไฟฟ้าในแต่ละจุดโหลด ซึ่งจะได้ศึกษาผ่านกรณีศึกษาทั้ง 7 กรณี คือ

- กรณีศึกษาที่ 1 การใช้คุณลักษณะของผู้ใช้ไฟฟ้ารวมที่สถานีไฟฟ้า
- กรณีศึกษาที่ 2 การกระจายคุณลักษณะของผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทที่พักอาศัย กิจการขนาดกลาง และกิจการขนาดเล็กและใหญ่
- กรณีศึกษาที่ 3 การกระจายคุณลักษณะของผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทที่พักอาศัย กิจการขนาดกลาง และกิจการขนาดเล็กและใหญ่ และกิจการขนาดกลาง
- กรณีศึกษาที่ 4 การกระจายคุณลักษณะของผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทกิจการขนาดกลาง ที่พักอาศัย และกิจการขนาดเล็กและใหญ่
- กรณีศึกษาที่ 5 การกระจายคุณลักษณะของผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทกิจการขนาดกลาง กิจการขนาดเล็กและใหญ่ และ ที่พักอาศัย
- กรณีศึกษาที่ 6 การกระจายคุณลักษณะของผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทกิจการขนาดเล็กและใหญ่ ที่พักอาศัย และ กิจการขนาดกลาง
- กรณีศึกษาที่ 7 การกระจายคุณลักษณะของผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทกิจการขนาดเล็กและใหญ่ กิจการขนาดกลาง และ ที่พักอาศัย

โดยกรณีศึกษาที่ 1 นี้ คือ การนำคุณลักษณะการใช้ไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้าทั้ง 3 ชนิดตั้งที่กล่าวไปแล้วข้างต้นมารวมกัน ซึ่งเปรียบเสมือนการนำค่าของโหลดที่สถานีไฟฟ้ามาพิจารณาคำนวณ โดยกระจายคุณลักษณะของผู้ใช้ไฟฟ้ารวมที่สถานีไฟฟ้าไปยังจุดโหลดทุกจุดเท่าๆ กัน ในส่วนของกรณีศึกษาที่ 2-7 คือ การระบุประเภทของคุณลักษณะการใช้ไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้าลงในแต่ละจุดโหลดของแบบจำลอง โดยแบ่งจุดโหลดของแบบจำลองออกเป็น 3 กลุ่มๆ ละ 3 จุดโหลด ประกอบด้วย กลุ่มต้นสาย กลุ่มกลางสาย และกลุ่มปลายสาย ตัวอย่างเช่น กลุ่มที่ 2 มีจุดโหลด 3 จุดแรกเป็นผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทที่พักอาศัย จุดโหลดที่ 4-6 เป็นผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทกิจการขนาดกลาง และ จุดโหลดที่ 7-9 เป็นผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทกิจการขนาดเล็กและใหญ่ เป็นต้น

ขั้นตอนการศึกษาในแต่ละกรณีศึกษาผ่านแบบจำลองข้างต้นสามารถพิจารณาได้จากขั้นตอนการศึกษาดังนี้

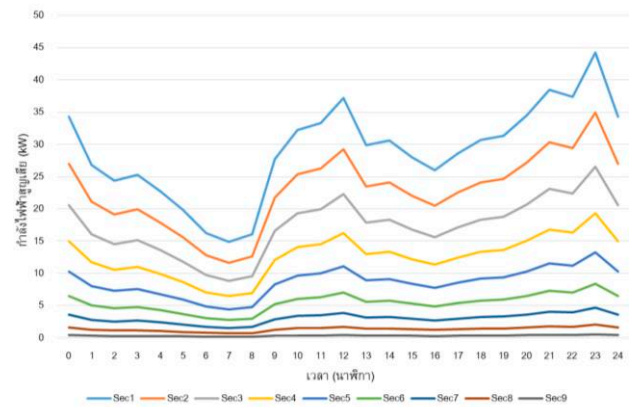
- ขั้นตอนที่ 1 สร้างแบบจำลองที่ต้องการศึกษา
- ขั้นตอนที่ 2 บ้อนข้อมูลเบื้องต้นของแบบจำลอง
- ขั้นตอนที่ 3 ตั้งค่าข้อกำหนดของแบบจำลอง
- ขั้นตอนที่ 4 บ้อนค่าความต้องการไฟฟ้าของผู้บริโภคแต่ละจุดโหลดตามกรณีศึกษา
- ขั้นตอนที่ 5 คำนวณค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียจริง
- ขั้นตอนที่ 6 เปลี่ยนกรณีศึกษา
- ขั้นตอนที่ 7 ตรวจสอบกรณีศึกษา ครบทุกกรณีหรือไม่
- ขั้นตอนที่ 8 ถ้าไม่ครบ ให้ไปดำเนินการขั้นตอนที่ 5 ถ้าครบ ให้หยุดการคำนวณ

4) ผลการวิจัย

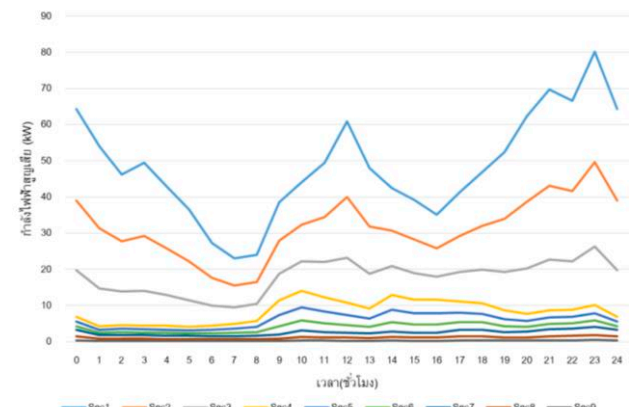
จากการทดสอบการไหลของกำลังไฟฟ้าในแบบจำลอง ซึ่งสามารถแยกประเด็นการพิจารณาออกเป็น 2 ส่วน คือ กำลังไฟฟ้าสูญเสียจริงตลอด 24 ชั่วโมง และ กำลังไฟฟ้าสูญเสียจริงสูงสุด

4.1) กำลังไฟฟ้าสูญเสียจริงตลอด 24 ชั่วโมง

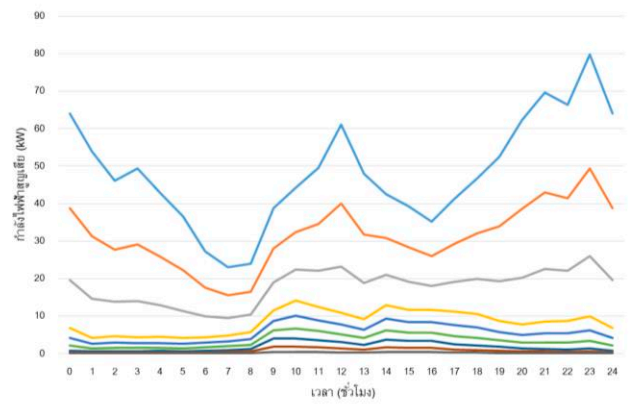
กำลังไฟฟ้าสูญเสียจริงในแต่ละส่วนของสายส่งของแบบจำลองระบบจำหน่ายไฟฟ้าที่เกิดขึ้นตลอด 24 ชั่วโมงของกรณีศึกษาที่ 1-7 สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 5-11 ซึ่งพบว่า ลักษณะของกำลังไฟฟ้าสูญเสียจริงที่เกิดขึ้นแต่ละกรณีมีค่าแตกต่างกันในแต่ละเวลาตามลักษณะความต้องการไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้าในระบบ เมื่อพิจารณาส่วนที่ 1 ของสายส่ง (กราฟเส้นบนสุด) ของทุกกรณี จะพบว่า กำลังไฟฟ้าสูญเสียจริงมีค่าต่ำสุดและสูงสุดเกิดขึ้นในเวลาเดียวกัน คือ 07.00 น. และ 23.00 น. ตามลำดับ และรูปร่างลักษณะของกราฟนั้นมีลักษณะที่คล้ายกันจะมีความแตกต่างกันในเรื่องของขนาดกำลังไฟฟ้าสูญเสียจริงที่เกิดขึ้น



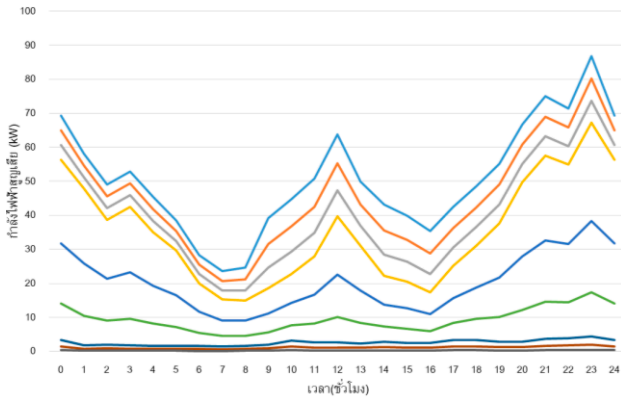
รูปที่ 5 : กำลังไฟฟ้าสูญเสียจริง 24 ชั่วโมง สำหรับกรณีศึกษาที่ 1



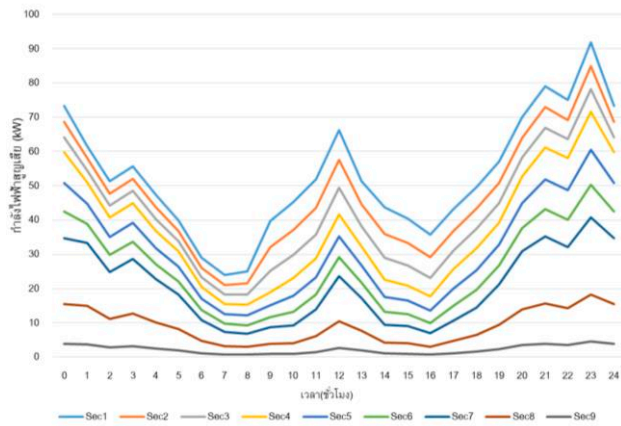
รูปที่ 6 : กำลังไฟฟ้าสูญเสียจริง 24 ชั่วโมง สำหรับกรณีศึกษาที่ 2



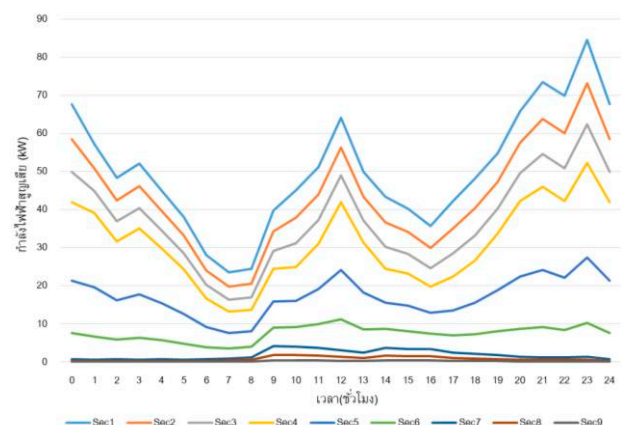
รูปที่ 7 : กำลังไฟฟ้าสูญเสียจริง 24 ชั่วโมง สำหรับกรณีศึกษาที่ 3



รูปที่ 8 : กำลังไฟฟ้าสูญเสียจริง 24 ชั่วโมง สำหรับกรณี ที่ 4



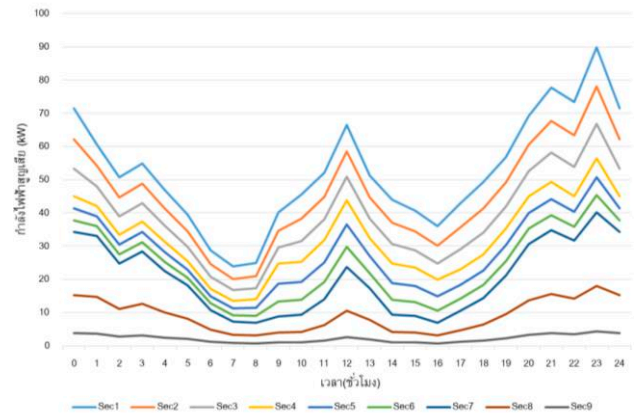
รูปที่ 9 : กำลังไฟฟ้าสูญเสียจริง 24 ชั่วโมง สำหรับกรณี ที่ 5



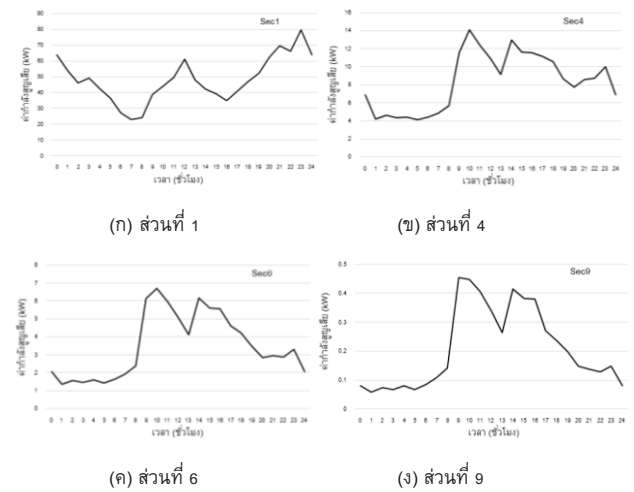
รูปที่ 10 : กำลังไฟฟ้าสูญเสียจริง 24 ชั่วโมง สำหรับกรณี ที่ 6

พิจารณาค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียจริงที่แสดงดังกราฟในกรณี ที่ 1-7 ค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียจริงของส่วนที่ 9 (Sec9) ของสายส่งจะมีค่าน้อยที่สุด เนื่องจากอยู่ไกลจากแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ามากที่สุด ความต้องการของผู้ใช้ไฟฟ้าที่ส่วนของสายส่งนี้รองรับจะน้อยกว่าส่วนของสายส่งส่วนอื่นซึ่งค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียจริงนี้จะมีค่าเพิ่มขึ้นจนกระทั่งมีค่าสูงที่สุดในส่วนที่ 1 (Sec1) ของสายส่ง และเป็นเช่นนี้เหมือนกันหมดทุกช่วงเวลาและทุกกรณีศึกษา นอกจากนี้ พบว่า กราฟแสดงกำลังไฟฟ้าสูญเสียจริงของแต่ละส่วนของสายส่งมีลักษณะรูปร่างคล้ายกันหมดทุกส่วนของสายส่งเฉพาะกรณี ที่ 1 เท่านั้น เนื่องจากกรณี ที่ 1 นี้เป็นการ

กระจายคุณลักษณะของผู้ใช้ไฟฟ้ารวมไปยังทุกจุดโหลดในปริมาณเท่ากัน สำหรับกรณี ที่ 2-7 นั้น ลักษณะรูปร่างของกราฟในแต่ละจุดโหลดจะมีลักษณะที่แตกต่างกัน ซึ่งจะมีความแตกต่างกันมากหรือน้อยนั้นขึ้นอยู่กับว่ากรณี นั้น ๆ มีการกระจายคุณลักษณะของผู้ใช้ไฟฟ้าอย่างไร เช่น กรณี ที่ 3 จะสังเกตเห็นว่า กราฟของส่วนที่ 1 และ 2 ของสายส่งมีลักษณะคล้ายกันมาก และเริ่มมองเห็นความแตกต่างเพิ่มขึ้นตั้งแต่ส่วนของสายส่งส่วนที่ 3 หรือ ในกรณี ที่ 7 จะสังเกตเห็นได้ว่า ส่วนของสายส่งส่วนที่ 1-7 มีความแตกต่างกันน้อยมาก ในขณะที่ความแตกต่างเริ่มสังเกตเห็นได้อย่างชัดเจนที่ส่วนของสายส่งส่วนที่ 7 และ 8 เพื่อให้เห็นถึงความแตกต่างของกราฟในแต่ละส่วนของสายส่งสามารถแสดงความแตกต่างนั้นได้ดังรูปที่ 12



รูปที่ 11 : กำลังไฟฟ้าสูญเสียจริง 24 ชั่วโมง สำหรับกรณี ที่ 7



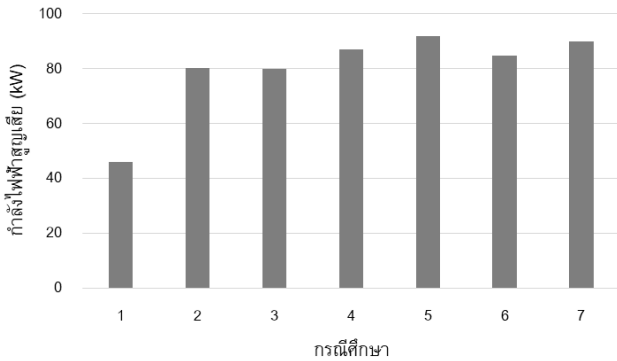
รูปที่ 12 : กำลังไฟฟ้าสูญเสียจริง 24 ชั่วโมงของส่วนที่ 1, 4, 6 และ 9

จากรูปที่ 12 ซึ่งแสดงกำลังไฟฟ้าสูญเสียจริงของกรณี ที่ 3 ในส่วนของสายส่งส่วนที่ 1, 4, 6 และ 9 มีลักษณะที่แตกต่างกัน โดยเหตุผลที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากกรณี นี้มีการกระจายคุณลักษณะของผู้ใช้ไฟฟ้าแบบประเภทที่พักอาศัย กิจกรรมขนาดเล็กและใหญ่ และ กิจกรรมขนาดกลาง ดังนั้นจึงประมาณการได้ว่าที่ส่วนที่ 7-9 มีลักษณะคล้ายกับลักษณะของผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทกิจกรรมขนาดกลาง ส่วนที่ 4-6 จะมีการผสมกันระหว่างคุณลักษณะของผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทกิจกรรมขนาดกลางและขนาดเล็กและใหญ่ ซึ่งกราฟของส่วนที่ 6 และ 4 นั้นมีความแตกต่างกันเนื่องจากส่วนที่ 6 มีผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทกิจกรรมขนาดกลางเพียงจุดโหลด

เดียวไม่เหมือนกับส่วนที่ 4 ที่มีถึง 3 จุดโหลด ในขณะที่ส่วนที่ 1-3 นั้นจะเป็นผลของการรวมกันของคุณลักษณะของผู้ใช้ไฟฟ้าทุกประเภท

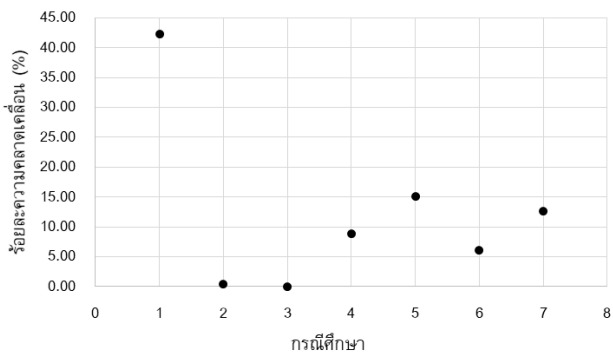
4.2) กำลังไฟฟ้าสูญเสียจริงสูงสุด

กำลังไฟฟ้าสูญเสียจริงสูงสุดสำหรับทุกกรณีจะเกิดขึ้นที่เวลาเดียวกัน คือ เวลา 23.00 น. ซึ่งสามารถแสดงค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียจริงสูงสุดของทุกกรณีได้ดังรูปที่ 13

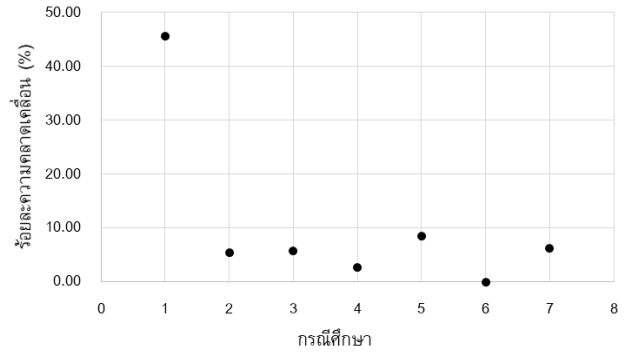


รูปที่ 13 : กำลังไฟฟ้าสูญเสียจริงสูงสุดทุกกรณี

จากรูปที่ 13 จะพบว่า กรณีที่ 1 มีค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียจริงสูงสุดต่ำกว่ากรณีอื่นๆ ในขณะที่กรณีที่ 5 มีค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียจริงสูงสุดสูงที่สุด ถ้าในระบบไฟฟ้าจริงมีลักษณะการกระจายตัวของผู้ใช้ไฟฟ้าเหมือนกรณีที่ 3 แล้วการคำนวณหาค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียสูงสุดเนื่องจากการกระจายตัวของผู้ใช้ไฟฟ้ากรณีที่ 1, 2, 4, 5, 6 และ 7 จะทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนขึ้นร้อยละ 42.34, 0.42, 8.91, 15.14, 6.08 และ 12.66 ตามลำดับ ดังรูปที่ 14 หรือถ้าระบบไฟฟ้าจริงมีลักษณะการกระจายตัวของผู้ใช้ไฟฟ้าเหมือนกรณีที่ 6 จะได้ค่าร้อยละความคลาดเคลื่อนของกำลังไฟฟ้าสูญเสียจริงสูงสุดที่คำนวณได้ของกรณีที่ 1, 2, 3, 4, 5 และ 7 คือ 45.64, 5.34, 5.73, 2.66, 8.54 และ 6.21 ตามลำดับ ดังรูปที่ 15



รูปที่ 14 : ร้อยละความคลาดเคลื่อนกำลังไฟฟ้าสูญเสียสูงสุดเมื่อใช้กรณีที่ 3 เป็นฐาน



รูปที่ 15 : ร้อยละความคลาดเคลื่อนกำลังไฟฟ้าสูญเสียสูงสุดเมื่อใช้กรณีที่ 6 เป็นฐาน

จากการพิจารณาความคลาดเคลื่อนของกำลังไฟฟ้าสูญเสียจริงสูงสุด จะพบว่า การนำโหลดรวมอันเกิดขึ้นจากผลรวมของประเภทผู้ใช้ไฟฟ้าที่แตกต่างกันของสายส่งนั้นๆ มาเป็นตัวแทนหรือนำมาใช้เป็นค่าโหลดในทุกจุดโหลดจะส่งผลให้เกิดความคลาดเคลื่อนในการคำนวณค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียจริงในระดับที่ค่อนข้างสูง คือ ร้อยละ 42.34 และ 45.64 สำหรับการสมมติให้ระบบจริงมีการกระจายตัวของประเภทผู้ใช้ไฟฟ้าในกรณี 3 และ 6 ตามลำดับ

5) สรุปและอภิปรายผล

จากการศึกษาผลกระทบของคุณลักษณะผู้ใช้ไฟฟ้าต่อกำลังไฟฟ้าสูญเสียจริงทางเทคนิค พบว่า ความคลาดเคลื่อนของการคำนวณค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียจริงนั้นเกิดขึ้นเนื่องจากการใช้ประเภทของผู้ใช้ไฟฟ้าในแต่ละจุดโหลดไม่ตรงกับความเป็นจริง ซึ่งถ้าใช้การกระจายโหลดจากสถานีไฟฟ้าไปยังจุดโหลดจะทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนดังที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น แต่ถ้าใช้ข้อมูลแต่ละจุดโหลดจะต้องมีการติดตั้งมิเตอร์เพิ่มขึ้นทำให้เกิดการลงทุนที่สูงขึ้น ซึ่งจะคุ้มค่าต่อการลงทุนหรือไม่ต้องขึ้นกับค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้และความสำคัญของระบบจำหน่ายไฟฟ้านั้น นอกจากนี้ กำลังไฟฟ้าสูญเสียจริงตลอด 24 ชั่วโมงมีค่าแตกต่างกันไปในแต่ละเวลาตามความต้องการของผู้ใช้ไฟฟ้าแต่ละประเภท ในขณะที่สายส่งส่วนที่ใกล้กับแหล่งจ่ายไฟฟ้าต้นทางจะมีลักษณะของกราฟคล้ายกันในทุกกรณีแต่มีขนาดที่แตกต่างกัน

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณไฟฟ้าส่วนภูมิภาคที่ให้การสนับสนุนด้านข้อมูลและโปรแกรมในการวิเคราะห์ระบบไฟฟ้า

เอกสารอ้างอิง

[1] B. Kriengkrai, H. Jamnarn, and K. Pakorn, *Power Loss Estimation in Distribution System a Case Study of PEA Central Area*. Bangkok: King Mongkut's University of Technology Thonburi, 2556.
 [2] "PEA DIGITAL ROADMAP 2018-2022," *การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค*. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: https://www.pea.co.th/Portals/0/Document/PEA_DIGITAL_ROADMAP_Del5_Executive%20Summary_Thai_20180226_VFF.pdf. [เข้าถึงเมื่อ: 16 มีนาคม 2561].



- [3] M. H. Yaseen and S. S. Mustafa, "Evaluation of electric energy losses in Kirkuk distribution electric system area," in *2010 1st International Conference on Energy, Power and Control (EPC-IQ)*, 2010, pp. 339–344.
- [4] L. M. O. Queiroz, M. A. Roselli, C. Cavellucci, and C. Lyra, "Energy Losses Estimation in Power Distribution Systems," *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 27, no. 4, pp. 1879–1887, Nov. 2012
- [5] William H. Kersting, *Distribution System Modeling and Analysis*, 3rd ed. Boca Raton: CRC Press, 2017.
- [6] เพลด็จ ชัยมงคล, วิชัย สุระพัฒน์, คมสันต์ หงษ์สมบัติ, "การจัดการพลังงานไฟฟ้าระบบจำหน่ายแบบสมาร์ต กริดอย่างมีประสิทธิภาพ," *วิศวกรรมสาร มก*, ปีที่ 27, ฉบับที่ 88, 2557.
- [7] U. H. Bezerra *et al.*, "Non-technical losses estimation in distribution feeders using the energy consumption bill and the load flow Power Summation Method," in *2016 IEEE International Energy Conference (ENERGYCON)*, 2016, pp. 1–6.
- [8] "Load Profile : การศึกษาลักษณะการใช้ไฟฟ้า," *การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค*. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: <http://peaoc.pea.co.th/loadprofile/>. [เข้าถึงเมื่อ: 16-ม.ค.-2561].

Improving Web Application Security by Virtual Password Authentication

Kamthorn Sarawan

Computer Science Department, Faculty of Agro-Industrial, Kalasin University
Kalasin University 62/1 Kasetsomboon Rd., Muang Kalasin, 4600, Thailand
kamthorn.sa@ksu.ac.th

Abstract— Developing web application that handles valuable information requires an authentication using user identifications (IDs) to control the system access. An ID may contain a username and password. One of the security issues that often occur is that the ID can be stolen by a malicious user for abusive purposes which negatively causes damage to the ID owner. Today, there are many techniques and methods presented to prevent the theft. One of them is to use virtual password. The researcher has proposed a new strategy to enhance system security using the principle of virtual password by creating a virtual character set to randomly matches the real character set and then the output is sent to the server for system-access right verification. The researcher tested the proposed strategy by developing a PHP-language system and analyzed the system security. The finding revealed that the system was secure and was able to prevent itself from various threats i.e. sniffing, phishing, key-logger, and shoulder-surfing. Finally, system performance of the proposed strategy was evaluated and compared against the traditional system. The comparison indicated that the proposed strategy was suitable for use on small to medium systems.

Keywords— Web Security, Session, Web Authentication, Virtual Password, Password Sniffing

I. INTRODUCTION

Evolution of information technology and the internet has allowed many organizations to incorporate web applications into their operations to improve organizational efficiency and competitiveness. These systems are designed to be used over an internet network accessible anytime and anywhere for the convenience of customers. Examples of such system include; E-Mail, E-Banking, E-Document, E-Salary, E-Payment, E-Commerce, and other systems. The operational principle of these systems contains user identification (IDs) authentication, where the ID consists of username and password to prove the system access authentication. Since these web applications handle highly secure information and property, perpetrators tend to feel attracted and attempt steal the IDs through various abusive misconducts such as packet sniff [1] using simple tools where the attack infiltrates like a man in the middle [3] of the ongoing communication which intercepts the communication between user and the server. Other misconducts include fake webpage creation which lures the victim to input ID information (web phishing) [4], keystrokes logging or key-logger [5], and one of the

simplest ways which is to literally sneak peek at the victim while inputting the ID data, shoulder-surfing [6]. Losing an ID may cause damages to the owner from information, reputation, to property. However, there are currently several ways to enhance security to prevent such theft e.g. virtual password [7], dynamic password [8], and HTTPS [9]. Nevertheless, each method still contains its own problematic limitations and conditions.

This study has proposed a new strategy to enhance security to system user using the virtual password principle and it is simple. What it does is that it creates a set of randomized virtual characters stored in a form of session variable then the set is used to match with the real password character set. Users input their password through the randomized virtual character set and then the input is used to match with real password from database. The designed strategy can be realistically developed and applied without requiring infrastructural upgrade nor addition installation budget. Later, designed system was developed and security analysis against various attacks was conducted. System performance was evaluated and compared with traditional system to indicate suitability for actual implementation.

II. RELATED STUDY

A. Virtual Password

Virtual password [7] refers to the data set input into the system to prevent revealing the real password. Such data was created through various measures such as encryption, hashing, and randomization and, depending on the method, when the data set is sent to the server, it is decrypted and reveal the real password which the server further uses to verify with its database.

B. Session

Web application development essentially requires the use of a variable called session [11] to temporarily store user data who is accessing the system. Session data is stored on the host while the session ID number is stored on both the client and host and it is used as data reference. Session usage is commonly found to store temporary data on circumstances like while users stay logged in, to store account information that logs into the system, or other cases unrelated to signing in such as website traffic analytics. Session variables can be applied in various web application

development strategies and suitable for temporary data storage in PHP.

C. Relevant Study

Many studies paid attention to security or password theft protection using the principle of virtual password as well as dynamic password. Most studies proposed strategies to enhance password protection. Some studies proposed untested algorithmic designs or designs too complex for web application [13,14,15,17,18] Some studies incorporated session technique in web application implementation and design however, their complicated designs had made them impractical. [17, 19] Some other studies were flawed due to being vulnerable to other attacks such as key-logger or phishing. While the study the researcher had earlier presented contained some drawback due to being only compatible with touchscreen computer [20].

III. DESIGN

This study employed the principle of virtual password with the help of session variable. For the purpose of testing, the system was designed using PHP-language. Operational steps were tested as explained in Figure 1.

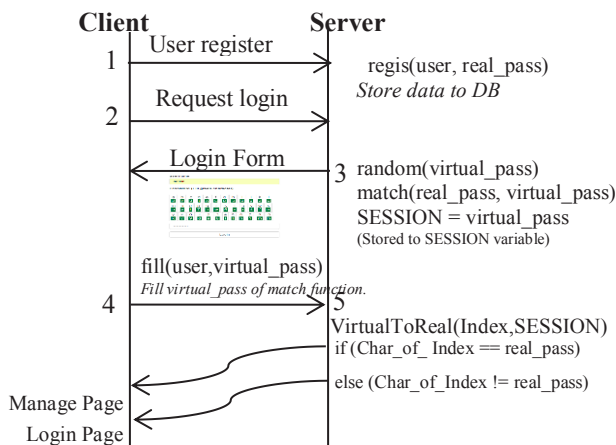


Fig. 1 Design of Virtual Password Authentication

According to Figure 1, operations could be explained as following:

A. Registration (Number 1)

User fills in the registration information as usual which is entering user account information via an HTML form. The system then records username and password in the database.

B. Sign-in (Number 2-3)

When the user access the login page, the system will generate a form prompting to input the username and password, however in the password section, the system will generate a table of character matching between real

password from a-z and 0-9 and the virtual password character from a-z and 0-9. (Character variables can be increased however both sets should exactly match.) Every time the log-in form is generated, the virtual character set always randomizes its character positions while still matches those of the real password characters. The user is required to input the password through such randomized character set for instance, if the username is admin and the password is **abcd**, and assume that the randomization is generated as: | a,f | b,3 | c,y | d,b | ... | 9,r |, the user must enter **f3yb** as password.

C. Method of randomization (Number 3)

The conditions are firstly, the same character between two sets will never be matched for instance, | a,a | will never occur, and secondly, the used character will never repeat i.e. if a character is paired, it will never be used again in any other pair for example, | a,x | b,r | c,x | is not supposed to occur since x has already been randomly assigned to the first pair thus must not again be used in the third pair. Randomization method can be elaborated step-by-step as following:

1. k = random(virtual_pass)
2. if (virtual_pass[k] == real_pass[i]) new random (exclude virtual_pass[k]) k = knew
3. print real_pass[i], virtual_pass[k]
4. virtual_passrandom = virtual_pass[k]
5. unset(virtual_pass[k]) and GO 1
6. SESSION["virtual_pass"] = virtual_passrandom

The steps above can be explained below:

1. Position randomization employed mt_rand function to select the character position for the virtual character set.
2. If the random character matches the same character of the real password, execute re-randomization by excluding the previous character.
3. Match the randomized virtual character with the real character and display the result in the login page.
4. Create a variable to store position value for each randomized character.
5. Remove the already-used characters out of the virtual character set so that they are not used again.

D. Authentication (Number 4-5)

When a user fills out the username and password (the virtual password), the system sends both data sets to the server for verification. In terms of virtual password, the data is first to be decrypted into real password using character matching between the virtual and real ones. When real password is extracted, the system then checks against its database. For example, when a user enters a password, **f3yb**, the system compares each character of the obtained data back to the real password character set to find out which matches which. Assuming that the randomization at that time is generated as: | a,f | b,3 | c,y | d,b | ... | 9,r |, the decryption would result **abcd** as the real password result. Such result is then used to check against the data in the

database and if the data matches with the database the user is then redirected to the dashboard or otherwise returned to the login landing page once more.

IV. TESTING

Design test was conducted through a PHP web application environment where user data was stored in MySQL database. The test was designed by running the web application on Apache Web Server the following server specifications: CPU Intel Xeon E5606 2.13GHz 4 Core, 4Gb memory, with CentOS 7.0 64bit operating system installed. The designed strategy was tested for operational accuracy through user ID input, comprising of username and virtual password, during the login. In addition, the researcher has conducted a performance test of the system compared to a web application using traditional password input method using HTTP request simulation via Apache JMeter [12]. Users were simulated and the response time was measured. The test was conducted 9 rounds and each round was designed to generate 10, 20, 50, 100, 150, 200, 300, 500, and 1000 requests/second respectively. Each round was tested 10 times to find average response time. In terms of data sniffing/interception prevention test, the researcher employed Wireshark [2] with test diagram as displayed in Figure 2.

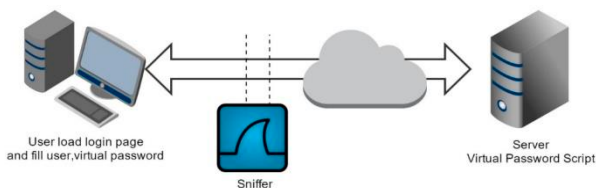


Fig. 2 Test Diagram

The figure indicates the system test design on data sniffing/interception which requests the login page handled by the host and then sniff the ID data using Wireshark program.

V. PERFORMANCE

Design test was conducted through a PHP web application environment where user data was stored in MySQL database. The test was designed by running the web application on Apache Web Server the following server specifications: CPU Intel Xeon E5606 Performance results are divided into two parts i.e. firstly, system performance and security analysis against various attacks; sniffing, phishing, key-logger, and shoulder-surfing and secondly, the efficiency test of system performance when compared to the normal/traditional system.

A. Security Analysis

After a performance test of the developed system from the designed strategy, the test result indicated that the developed system could function properly i.e. the system was able to conduct authentication and the system could

generate virtual passwords. During the test, the researcher created a test ID with the username: **admin** and password: **passwd1234** and experimented 10 times. The finding revealed that there was no duplication in virtual password generations. As exhibited in Figure 3.1-A and 3.2-A which were the first and second test sequence respectively, there was no duplication in virtual password generations. When the user input the username: admin and the password using the virtual password (green characters) by inputting the characters that matched real password (black characters) as previously registered. The results indicated that the user was required to input **jlkk3q98ig** during the first test and **7266fjde8l** during the second test. Once the user pressed login button, the system sent virtual passwords to verify user identity with the host which the host responded appropriately with access permissions. Since the system always compared the character set of real password with matched character position of virtual password and the data was stored in session variables, every time data interception test was conducted from the same ID data, it was found that the intercept data came in different values due to the fact that the intercepted data were the values of virtual password. The test results of password interceptions are exhibited in Figure 3.1-B and 3.2-B.

username

admin

PassWord (Fill green character)

a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l
l	p	x	q	f	m	v	z	4	y	d	r
m	n	o	p	q	r	s	t	u	v	w	x
w	b	0	j	5	2	k	u	a	o	3	c
y	z	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
7	t	n	9	8	i	g	e	1	s	h	6

.....

Login

3.1-A) Login page 1st time.

```

> Transmission Control Protocol, Src Port:
> Hypertext Transfer Protocol
v HTML Form URL Encoded: application/x-www-
  > Form item: "username" = "admin"
  > Form item: "password" = "jlkk3q98ig"

```

3.1-B) Password Sniffing 1st time.

username

PassWord (Fill green character)

a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l
2	y	3	j	x	c	b	5	0	g	z	q
m	n	o	p	q	r	s	t	u	v	w	x
u	p	i	7	s	w	6	a	r	4	f	o
y	z	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
k	v	9	d	e	8	l	t	n	1	m	h

.....

Login

3.2-A) Login page 2nd time.

```
> Transmission Control Protocol, Src Port: 23269 (2326
> Hypertext Transfer Protocol
v HTML Form URL Encoded: application/x-www-form-urlencoded
  > Form item: "username" = "admin"
  > Form item: "password" = "7266fjde81"
```

3.2-B) Password Sniffing 2nd time.

Fig. 3 Password Sniffing

Security analysis of test for vulnerabilities covers the following areas:

1) Sniffing: The developed and designed system could prevent theft from sniffing. Though sniffing could intercept virtual password data, the intercepted data was of no use since it did not help with further authentication due to the fact that each login generated new randomized character positions and matches between virtual and real passwords therefore there was literally no point intercepting such data for it being unusable nor decodable as the host always offered newly unpredictable randomization of matching patterns.

2) Phishing: The developed and designed system could prevent theft from phishing since the stolen password through this method is a virtual one and thus inapplicable in practicality and it is no use in decoding either.

3) Key-logger: The developed and designed system could prevent theft from key-logger since each login required the user to input different virtual passwords with uncertain randomized characters depending on generation pattern of each request.

4) Shoulder-surfing: Stealing passwords by sneak peeking through the shoulder-surfing works well with graphic authentication because the perpetrator can easily visualize the graphic however, when it comes to typing in keyboard characters especially with randomized required input where user is not to type different sets of character on every login makes it extremely hard for the perpetrator to memorize.

B. System Performance Compared to Traditional System

To compare the designed system with a regular one to find out whether the designed strategy is suitably practical, the researcher conducted an experiment simulating HTTP requests examine the response time. The result is shown in Figure 4.

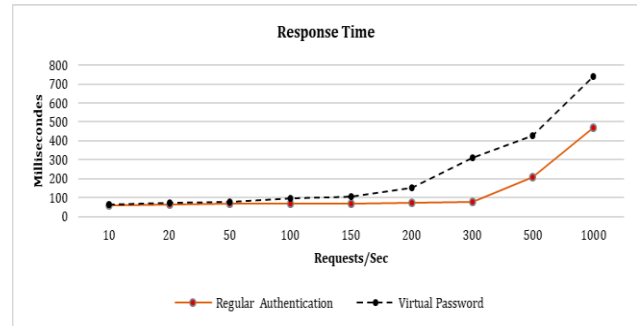


Fig. 4 Response Time

Figure 4 exhibits the comparative results of both system performances, the proposed system versus normal system. The finding indicated that response time of both systems were very similar when handling less than 100 requests/sec however when more requests/sec were simulated, the proposed system had longer response time than the normal system.

VI. CONCLUSION

This study proposed a solution according to the principle of virtual password to enhance security against password stealing through web application. The virtual password design employed matching method between real password and virtual password. Users were required to input virtual password instead of the real one and virtual password character locations were always randomized whenever the login page was requested. The system used session variables to store the randomized values each time which would later be used to track back and verify user identity on the server end. The researcher developed a system to test the proposed strategy using PHP language environment and the performance result indicated that the system was able to accurately authenticate. Further security analysis on various vulnerabilities issues was conducted i.e. sniffing, phishing, key-logger, and shoulder-surfing attacks and the finding revealed that the proposed system was able to prevent password theft from all the mentioned methods because each login, users were required to enter different virtual passwords, which made the system invulnerable from such attacks. Eventually, system performance test was conducted and the results were used in a comparison analysis between the performance of the proposed system and other regular system. The comparison indicated that the proposed system encountered longer response time when more requests/sec were generated since the proposed system was required to process the character location randomization and matching between virtual and real password characters as well as session back tracing. This can be concluded that the proposed system is more suitable to medium-sized web applications. Though, the proposed system may create difficulties to users during first uses for the requirement to always input virtual passwords, it is friendly to further development and actual implementation. In addition, it is secure against attacks due to password theft.

REFERENCES

- [1] "Packet analyzer," *Wikipedia*, [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Packet_analyzer. [Accessed: 15-Sep-2017].
- [2] "Wireshark Go Deep," [Online]. Available: <https://www.wireshark.org/>. [Accessed: 15-Sep-2017].
- [3] "Man-in-the-middle attack – OWASP," [Online]. Available: https://www.owasp.org/index.php/Man-in-the-middle_attack. [Accessed: 20-Sep-2017].
- [4] "Phishing – OWASP," [Online]. Available: <https://www.owasp.org/index.php/Phishing>. [Accessed: 25-Sep-2017].
- [5] O. Zaitsev, "Skeleton keys: the purpose and applications of key loggers," *Network Security*, vol. 2010, no. 10, pp. 12–17, Oct. 2010.
- [6] "Shoulder surfing (computer security)," *Wikipedia*. [Online]. Available: [https://en.wikipedia.org/wiki/Shoulder_surfing_\(computer_security\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Shoulder_surfing_(computer_security)). [Accessed: 15-Jun-2017].
- [7] S. Harris, *CISSP All-in-One Exam Guide*, 6th ed. New York: McGraw-Hill Education, 2012.
- [8] X. Gao and P. Hu, "Dynamic Password Authentication System and Method thereof," US20070186115A1, 09-Aug-2007.
- [9] E. Rescorla, "HTTP Over TLS," [Online]. Available: <https://tools.ietf.org/html/rfc2818>. [Accessed: 15-Jun-2017].
- [10] "Session Management Cheat Sheet – OWASP," [Online]. Available: https://www.owasp.org/index.php/Session_Management_Cheat_Sheet. [Accessed: 17-Sep-2017].
- [11] Lei M, Xiaoy Y, Vrbsky S V, and Li C C, "Virtual Password Using Random Linear Function for Online Service," *Computer Communications*, vol. 31, no. 18, pp. 4367–4375, Dec. 2008.
- [12] "Apache JMeter - Apache JMeter™," [Online]. Available: <http://jmeter.apache.org/>. [Accessed: 14-Oct-2017].
- [13] S. Kanagaraj, S. M. Javith Ibram, K. D. Madhan, and D. Rajkumar, "Differentiated virtual passwords for protecting users from password theft," *International Journal of Engineering Research and Science & Technology*, vol. 2, no. 2, pp. 94–100, May 2013.
- [14] R. Balaji and V. Roopak, "DPASS - Dynamic password authentication and security system using grid analysis," in *3rd International Conference on Electronics Computer Technology*, 2011, vol. 2, pp. 250–253.
- [15] D. Pansa, T. Chomsiri, "Dynamic Password Authentication: Designing step and security analysis," in *7th International Conference on Computing and Convergence Technology*, 2012, pp. 518–523.
- [16] S. Prabhu and V. Shah, "Authentication Using Session Based Passwords," *Procedia Computer Science*, vol. 45, pp. 460–464, Jan. 2015.
- [17] N. R. Rekha, Y. V. S. Rao, K. V. S. S. R. Sarma, "Enhanced Key Life in Online Authentication Systems Using Virtual Password", *Eighth International Conference on Information Technology: New Generations (ITNG)*, 2011, pp. 366–369.
- [18] M. Lei, Y. Xiao, S. V. Vrbsky, C. C. Li, and L. Liu, "A Virtual Password Scheme to Protect Passwords," in *2008 IEEE International Conference on Communications*, 2008, pp. 1536–1540.
- [19] Kamthorn Sarawan and Sarayut Kornwirat, "Dynamic Password using Session Technique for Web Application," in *7th National Conference on Information Technology*, 2015, pp.259–264.



LAF Chat: A Message Encrypting Application Utilizing RSA Algorithm for Android-Based Mobile Device

Rowe-Ann Antenor¹, Robert Bautista², Francis Paolo Lesaca³, Raychelou Valencia⁴

Department of Computer Science, Don Bosco Technical College, Mandaluyong City, Philippines

¹rfantenor@donbosco.edu.ph

²rvbautista@donbosco.edu.ph

³fpflesaca@donbosco.edu.ph

⁴rtvalencia@donbosco.edu.ph

Abstract— The researchers have decided to create an application for the sole purpose of protecting once private information even as small as a basic text message. Using the Rivest Shamir Adleman algorithm (RSA). It is an algorithm used to encrypt and decrypt messages. It uses an asymmetric cryptography algorithm which means it has 2 different keys. Algorithm involves a public key and a private key. The public key could be shared to anyone; it used to encrypt the message. Message encrypted using the public key can only be decrypted with the private key. The use of the RSA Algorithm is mainly used in banks for security purposes; the researchers have proposed and developed a program that would use the algorithm, combining it in a mobile messaging application in Android and also using Google Cloud Messaging (GCM). Security, especially when it comes to phones is a problem. Private information is something one poses in their everyday lives, and people all over the world have tried to increase security but there are also those numbers of people that have tried stealing information to use for their personal gain. Security is almost slowly becoming impossible since the rapid improvement of technology.

Keywords— Rivest Shamir Adleman algorithm (RSA), Cryptography, Assymmetric Encryption, Android, Google Cloud Messaging (GCM), Security

I. INTRODUCTION

A. Background of the Study

With the cutting-edge computer technology and the existing capability of Internet telecommunications today, there are many possible ways of relaying a message to someone for something important, confidential or even just a simple conversation. However, security is one of the common problems in forwarding a message online, either through web or a mobile device. A study stated that “Out of the numerous people who are aware and using the World Wide Web, 40% of these people are still using unsafe browsing facility”. [1] It can be said that the Internet is one of the most public places to communicate; During this time when the Internet provides essential communication between tens of millions of people and is being increasingly used as a tool for commerce, security becomes a tremendously important issue to deal with [2]; transmitting information to another is

dangerous, especially if that information is something that is extremely confidential.

A way to secure ones messages is through encryption. To make sure that they do safe transactions every time, there must be some technology, which assures and safeties of usage. This is known to be Encryption. [1] Encryption is the conversion of electronic data into another form using an algorithm, called ciphertext, which cannot be easily understood by anyone except the authorized parties. A ciphertext is the result of encryption performed on plaintext using an algorithm, called a cipher. Decryption, the inverse of encryption, is the process of turning ciphertext into readable plaintext. The primary purpose of encryption is to protect the confidentiality of digital data stored on computer systems or transmitted via the Internet or other computer networks.

B. Significance of the Study

This section will provide description on the various significances of the study given the three categories; users, programmers and future researchers. Nowadays, there are many ways to relay a message to someone for something important, confidential or even just a simple conversation. The proposed study will serve as one of the ways to deliver a message through an android device to another android device but is more secured. Users of android device who are sending messages online will be one of those who will benefit from the study. The application will take their message’s confidentiality to the next level. By using the application, the user can now encrypt/decrypt his messages. Another target beneficiary of the study are the programmers and future researchers for the abstraction of the same topics as the study, related to Rivest Shamir Adleman algorithm, message encryption, mobile application, or other related studies, like cryptology, and threats concerns of mobile internet safety.

C. Scope and Limitations

1) Scope

The coverage of this study is to implement the Rivest Shamir Adleman (RSA) algorithm in encrypting

a personal text message from a user of an android device to a receiver on another android device that is connected to the same network. The study involves developing a message encrypting application that is capable of receiving/sending a message and is able to transform that message from plain text to a cipher text using an asymmetric encryption. The application should be installed on each of the android device to be able to use the program. All the users that is connected to the server is considered online and will be visible to all other users using the application.

2) Limitations

The study is limited to user to user encryption; there will not be a group message encryption available in the study. The user cannot use the application without internet connection and must be connected to the same network. The mobile application is fully reliable to the speed of the internet connection and the server. The encryption can only work with all the letters and symbols that could be found on a regular keyboard but all symbols can be encrypted as well as emoticons.

II. REVIEW OF RELATED LITERATURE

A. Cryptography

Cryptography is basically the science that employs mathematical logic to keep the information secure. It enables someone to securely store sensitive information or transmit information securely through insecure networks to keep it from being hacked, masqueraded, or altered [3]. The purpose of Cryptography is the science of writing in secret code and is an ancient art; the first documented use of cryptography was written to date from circa 1900 B.C. when an Egyptian scribbled non-standard hieroglyphs in an inscription but people argued that Cryptography was invented during the time of war. Cryptography is necessary when communicating with anyone using the internet in case someone would intercept your messages.

When it comes to communication of any application to application, there are specific security requirements that need to be meant. They are Authentication, Privacy, Integrity, and Non-repudiation. Authentication is the process of providing your identity. Privacy is ensuring that no one could read the message except the person intended to receive it. Integrity is assuring the receiver that the message has not been changed or modified and Non-repudiation is a mechanism to prove that the source of message or composer of the message is legit [2]

The program “obfuscation” has been around for at least decades, but no one has ever developed a mathematical framework for the idea. Over the years commercial software companies have created different ways for garbling a computer program so that it will be

harder to understand while still processing or doing its purpose but hackers have defeated every single attempt. At best, these obfuscators offer a “speed bump” said by Sahai, now a computer science professor at the University of California. A hacker would now take a few days to unlock the information of the software instead of just taking a few minutes.

Secure program obfuscation would be useful for many possible applications, such as protecting software patches, chips that read encrypted DVDs or even encrypting military equipment’s like drones. More futuristically, it would allow us people to create automated virtual agents that we could use to send out into the computing “cloud” to act on our behalf. Your valued information from credit card numbers, pass codes and password would be safe hidden inside that program.

Currently the program doesn’t exist. As Sahai pondered program obfuscation, however, he and other of his colleagues quickly realized that its potential far surpassed any specific application. If ever a program as obfuscator would ever be created, it could solve many of the problems that have been driven cryptography for the past years, problems about how to conduct secure interactions with people at, say, the other end of an internet connection, whom you may not know or even trust for that fact [4].

B. Asymmetric Encryption

Asymmetric cryptography or public-key cryptography is cryptography in which a pair of keys is used to encrypt and decrypt a message so that it arrives securely. Initially, a network user receives a public and private key pair from a certificate authority. Any other user who wants to send an encrypted message can get the intended recipient's public key from a public directory. They use this key to encrypt the message, and they send it to the recipient. When the recipient gets the message, they decrypt it with their private key, which no one else should have access to. [5]

An asymmetric algorithm, as outlined in the Diffie-Hellman paper, is a *trap door* or *one-way* function. Such a function is easy to perform in one direction, but difficult or impossible to reverse. For example, it is easy to compute the product of two given numbers, but it is computationally much harder to find the two factors given only their product. Given both the product and one of the factors, it is easy to compute the second factor, which demonstrates the fact that the hard direction of the computation can be made easy when access to some secret key is given. Public-key algorithms are based on mathematical problems which currently admit no efficient solution that are inherent in certain integer factorization, discrete logarithm, and elliptic curve relationships. [6]



This allows for the exchanging of securely signed and one-to-one messages. The sender encrypts the message using the common algorithm and his own secret key. They then sign the result, encrypt it again (with their signature in cleartext) using the recipient's public key, and send it. The recipient decrypts the received message using their own secret key, identifies the sender from their now-cleartext signature, and then decrypt the result using the sender's public key. This ensures the recipient that whoever composed the message had access to the sender's private key, and that nobody tampered with the message or read it along the way. [5]

In symmetric cryptography, the same key is used for both encryption and decryption. This approach is simpler in dealing with each message, but less secure since the key must be communicated to and known at both sender and receiver locations.

That is why the researchers decided to use asymmetric encryption instead of symmetric encryption. Asymmetric encryption is much harder to break rather than symmetric because it has a private and a public key.

C. Google Cloud Messaging

In order to connect the applications we will be using GCM in our Message encryption application. According to developer.android.com, Google Cloud Messaging (GCM) for Android is a service that allows you to send data from your server to your users' Android-powered device, and also to receive messages from devices on the same connection. The GCM service handles all aspects of queuing of messages and delivery to the target Android application running on the target device, and it is completely free.

According to Google, The service provides a simple, lightweight mechanism that servers can use to tell mobile applications to contact the server directly, to fetch updated application or user data. The service handles all aspects of queuing of messages and delivery to the target application running on the target device. The free service has the ability to send a lightweight message informing the Android application of new data to be fetched from the server. Larger messages can be sent with up to 4 KB of payload data. Each notification message size is limited to 1024 bytes. [7]

Applications on an Android device don't need to be running to receive messages. The system will wake up the application via a mechanism called Intent Broadcast when the message arrives, as long as the application is set up with the proper broadcast receiver and permissions. GCM does not provide any built-in user interface or other handling for message data. Instead, it simply passes raw message data received straight to the application, which has full control of how to handle it. For example, the application might post a notification, display a custom user interface, or silently sync data.

D. Java Programming Language

Java Programming Language is a general-purpose computer programming language that is concurrent, class-based, object-oriented, and specifically designed to have as few implementation dependencies as possible. It is also intended to let application developers "write once, run anywhere", meaning that code that runs on one platform does not need to be recompiled to run on another. Java applications are typically compiled to byte-code that can run on any Java virtual machine regardless of computer architecture. Java is, as of 2014, one of the most popular programming languages in use, particularly for client-server web applications, with a reported 9 million developers

Java was originally developed by James Gosling at Sun Microsystems which has since merged into Oracle Corporation and released in 1995 as a core component of Sun Microsystems' Java platform. The language derives much of its syntax from C and C++, but it has fewer low-level facilities than either of them. Sun Microsystems released the first public implementation as Java 1.0 in 1995. The language was initially called Oak after an oak tree that stood outside Gosling's office. Later the project went by the name Green and was finally renamed Java, from Java coffee that is said to be consumed in large quantities by the language's creators. Gosling designed Java with a C/C++-style syntax that system and application programmers would find familiar. [8]

E. Rivest Shamir Adleman Algorithm

RSA is an algorithm used to encrypt and decrypt messages. It uses an asymmetric cryptography algorithm which means it has 2 different keys. RSA was announced publicly in 1978 and stands for Ron Rives, Adi Shamir and Leonard Adleman. The algorithm involves a public key and a private key. The public key could be shared to anyone; it used to encrypt the message. Message encrypted using the public key can only be decrypted with the private key [9]. The algorithm can be used for both public key encryption and for digital signatures. Its security is based on the difficulty of factoring the large integers.

III. SYSTEM ARCHITECTURE

A. System Architecture

The researchers will be using Android Studio and java programming language for making the system. It includes features like Live Layout: WYSIWYG Editor, Live Coding, Real-Time App Rendering, rich layout editor that allows users to drag-and-drop UI components, option to preview layouts on multiple screen configurations and other tools for mobile development.

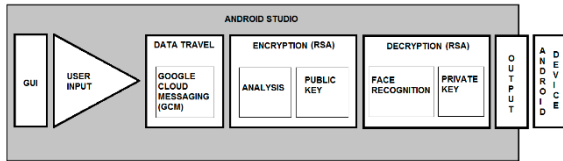


Fig. 1 System Architecture

Generally, the primary part of the Message Encryption Application will be assembled inside the Android Studio integrated development environment including but not limited to; Graphical User Interface, overall design, buttons, text and images that will be used or be implemented in the Application. The RSA algorithm will be used for message encryption of the application, it includes the generation of the public key and private key for the sender and recipient. Most Android apps need to save data, even if only to save information about the app state during onPause() so the user's progress is not lost. Most non-trivial apps also need to save user settings, and some apps must manage large amounts of information in files and databases. For this we will use internal storage for saving data. This introduces the principal data storage options in Android, including; saving key-value pairs of simple data types in a Shared Preferences file.

B. Algorithm

1) RSA

The Rivest-Shamir-Adleman (RSA) algorithm is one of the most popular and secure public-key encryption methods. The algorithm capitalizes on the fact that there is no efficient way to factor very large (100-200 digit) numbers. RSA is a cryptosystem for public-key encryption, and is widely used for securing sensitive data, particularly when being sent over an insecure network such as the Internet.

As stated in the book by Rivest, R.L., Shamir, A., and Adleman, L. (February 1978), entitled "A Method for Obtaining Digital Signatures and Public-Key Cryptosystems", *Communications of the ACM*, Vol 21, No. 2 using an encryption key (e, n), the algorithm is as follows:

1. Represent the message as an integer between 0 and $(n-1)$. Large messages can be broken up into a number of blocks. Each block would then be represented by an integer in the same range.
2. Encrypt the message by raising it to the e th power modulo n . The result is a ciphertext message C .
3. To decrypt ciphertext message C , raise it to another power d modulo n

The encryption key (e, n) is made public. The decryption key (d, n) is kept private by the user. Rivest, Shamir, and Adleman provide efficient algorithms for each required operation.

How to Determine Appropriate Values for e, d , and n

1. Choose two very large (100+ digit) prime numbers. Denote these numbers as p and q .
2. Set n equal to $p * q$.
3. Choose any large integer, d , such that $GCD(d, ((p-1) * (q-1))) = 1$
4. Find e such that $e * d = 1 \pmod{((p-1) * (q-1))}$

The question of how secure is a communication using RSA is secure still remains. In line with the statement on the website courses.cs.vt.edu entitled "Cryptography: RSA algorithm", it is said that Cryptographic methods cannot be proven secure. Instead, the only test is to see if someone can figure out how to decipher a message without having direct knowledge of the decryption key. The RSA method's security rests on the fact that it is extremely difficult to factor very large numbers. If 100 digit numbers are used for p and q , the resulting n will be approximately 200 digits. The fastest known factoring algorithm would take far too long for an attacker to ever break the code. Other methods for determining d without factoring n are equally as difficult. Any cryptographic technique which can resist a concerted attack is regarded as secure. At this point in time, the RSA algorithm is considered secure.

The encryption using the public key generated by the RSA algorithm is as follows. Let's say you want to send the message "BAD CHEF" and encrypt it using the public keys 5, 14 and assuming that you still don't know the private keys that will be used to decrypt it.

2) Encryption Process

Public Key: 5, 14

Private Key: 11, 14

(1)The first step to do this is to convert the letters into numbers (A is to 1, B is to 2, C is to 3....).

B	A	D	C	H	E	F	→ Original Text
2	1	4	3	8	5	6	→ Equivalent number

(2)The second step is to raise the converted text to the power of 5.

B	A	D	C	H	E	F	→ Original Text
2	1	4	3	8	5	6	→ Equivalent number
32	1	1024	243	32768	3125	7776	→ raise to the power of 5

(3)The third step is to get the %14.

B	A	D	C	H	E	F	→ Original Text
2	1	4	3	8	5	6	→ Equivalent number

32 1 1024 243 32768 3125 7776 → raise to the power of 5
4 1 2 5 8 3 6 → %14, and the encrypted Text

3) Decryption Process

Now, for the decryption process we need to use the private key which is 11, 14.

(1) The first step is to get the encrypted message and raise it to the power of 11

Public Key: 5, 14
Private Key: 11, 14

4 1 2 5 8 3 6 → encrypted text
4194304 1 2048 48828125 177147
8589934592 362797056 → raised to 11

(2) The second step is to get the %14.

4 1 2 5 8 3 6 → encrypted text
4194304 1 2048 48828125 177147
8589934592 362797056 → raised to 11
2 1 4 3 8 5 6 → %14

(3) After getting the %14, you can now convert it to its original text.

4 1 2 5 8 3 6 → encrypted text
4194304 1 2048 48828125 177147
8589934592 362797056 → raised to 11
2 1 4 3 8 5 6 → %14

B A D C H E F → Decrypted Text

Note that the private key and public key that is given on the example is for explaining purposes only. The public and private keys on the LAF chat application consists of very large numbers for higher security.

C. Data Collection Methodology

- Survey Questionnaire

A survey would be used by the researchers to give to random individuals for them to gather information on how much big is the population that would play or use their software. It is when a person or a group would have different individuals answer different questions that would provide information to the group about their certain product or project, in this case, a study entitled “LAF CHAT: A Message Encrypting Application Utilizing Rsa Algorithm For Android-Based Mobile Device.”

- Software Evaluation

Software evaluation is a type of assessment that looks to determine if the software is the best possible fit for the client. The idea is look at the resources and tools given by the software that it either currently in use or is

being tested as a possible addition to programs used by the client.

D. System Development

- Iterative method

It is developed to overcome the weaknesses of the waterfall model. It starts with an initial planning and ends with deployment with the cyclic interactions in between. The basic idea behind this method is to develop a system through repeated cycles.

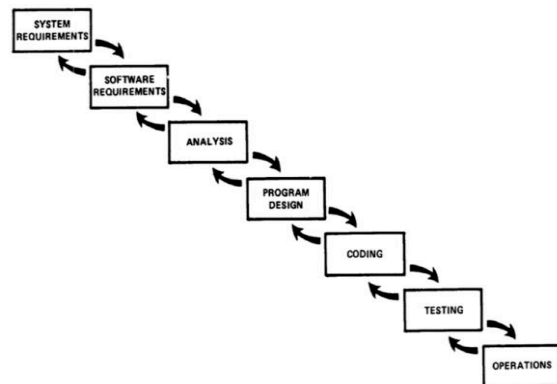


Fig. 2 Iterative Method

On the first phase, the researchers were to identify the system requirements on the application to be developed. Specifically, the following were to be identified: What version of android phones will be able to use the product? What specific algorithm should the researchers use to fully guarantee the security of the system? What methods are to be used? Then follows the software requirements and the analysis of the data gathered. From that the researchers came up with the program design. The researchers will use the Google Cloud Messaging and the Android studio for coding/programming the mobile message encrypting application. The good thing about this method is that once the researchers ended a phase and started another one is that one could always go back and do it twice, unlike the waterfall model.

IV. RESULTS AND DISCUSSIONS

A. Testing Encryption and Decryption

TABLE I : Sample Input and Output

Input	Decrypted Output	Match?
A Chip on Your Shoulder.	A Chip on Your Shoulder.	YES
An Arm and a Leg.	An Arm and a Leg.	YES
Fisherman's friends.	Fisherman's friends.	YES
Back to the Future.	Back to the Future.	YES
A Million ways to Die IN the WEST.	A Million ways to Die IN the WEST.	YES
"This is it!"	"This is it!"	YES
Get to the point, leaving out all of the unnecessary details.	Get to the point, leaving out all of the unnecessary details.	YES
Remember KIDS!	Remember KIDS!	YES
!@#%\$%^&*()	!@#%\$%^&*()	YES
+	+	YES
[]\;',./	[]\;',./	YES
{ } : " < > ?	{ } : " < > ?	YES
>ghgd	>ghgd	YES
:) :D ;) ;D :3 ;3	:) :D ;) ;D :3 ;3	YES
Emoticons	blank	NO
<3	blank	NO
<	blank	NO
</3	blank	NO

Table I shows the sample input and output of the application. The researchers did not include samples of encrypted text input for the reason that each and every user of the application have their own unique private and public key which means that each will have different results in the ciphertext.

The application will only be able to encrypt and decrypt successfully if the text is less than or equal to 64 characters, this is because the KeyPairGenerator is only 512 bit long. We can use longer KeyPair and make the system more secure and allow for longer messages but will sacrifice on longer time for decrypting the message.

As you can see in the bottom part of the table, that some output after decryption is blank. What happens here is that it can encrypt the data and send it to the recipient but when decryption is applied on the part of the recipient's device, it is read to be blank and displays nothing. Emoticons built into the phone is not supported also.

B. Time Consumed

TABLE II : Time for the message to be delivered

Time to Complete (ms)	Internet Speed	
3242ms	2.95Mbps down	1.04Mbps up
3676ms	2.95Mbps down	1.04Mbps up
1025ms	2.95Mbps down	1.04Mbps up
1054ms	2.95Mbps down	1.04Mbps up
484ms	2.95Mbps down	1.04Mbps up
710ms	2.95Mbps down	1.04Mbps up
632ms	2.95Mbps down	1.04Mbps up
1060ms	2.95Mbps down	1.04Mbps up
571ms	2.95Mbps down	1.04Mbps up
1229ms	2.95Mbps down	1.04Mbps up
1349ms	2.95Mbps down	1.04Mbps up
609ms	2.95Mbps down	1.04Mbps up
1060ms	2.95Mbps down	1.04Mbps up
6501ms	2.95Mbps down	1.04Mbps up
N/A	N/A	
1273ms	2.95Mbps down	1.04Mbps up
3791ms	2.95Mbps down	1.04Mbps up
1242ms	2.95Mbps down	1.04Mbps up

Table II shows the time consumed for the message from the sender to be delivered to the recipient. We included the speed of the internet that we are using to serve as a baseline. Because having different speeds affect the time needed for the data to be sent. We can see from the table that our fastest message is delivered in 0.484sec and the slowest was 6.501sec.

The researchers included the internet speed because it affects the time of completion process in addition to how many characters are used. But as you can see the slowest was still running the same as others internet speed. This can be due to the phone's Wi-Fi capability and obstructions that results in weak signal or just plain signal loss.

V. CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS

A. Conclusions

The research paper tackles about the possibility of using RSA algorithm as a security measure for a messaging application for Android OS. The researchers used Google cloud messaging for a path way for users to interact with their messages, programmed using java; the researchers have created a message encryption application utilizing RSA algorithm. The applications would allow its users to message different people while having RSA algorithm as their number 1 source of security since it will encrypt the user's message and only the receiver would have the capability to decrypt the encrypted message.

As a conclusion the researchers have achieved the following

- 1) The researchers have successfully implemented the RSA algorithm in a mobile application and use it as

the main tool for security for communication via messaging. RSA is usually used for pins usually found in ATMs and the researchers successfully made use of RSA as encryption tool for longer number of characters then its purpose for shorten number of characters such as pins.

- 2) The researchers created an application that could send and receive encrypted messages and decrypted by the receiver. The message would be encrypted with use of algorithm and passed through the Google cloud, then would be delivered to the designated receiver.
- 3) The researchers were able to add more security to the application. The researchers were able to add security questions and pin number security for added security of the application itself since the message is still accessible via the phone but to add more security the researchers placed more security measure to assure the user that even if the phone is stolen, their information would be secured.

B. Recommendations

Based from the different errors and limitations that the researchers have encountered, the researchers recommend that:

- 1) For future use of the creating a messaging application that the future developers would consider using a faster possible internet since the transaction of messages depends on how fast the internet connection is.
- 2) The future developers would also consider using a different path way other then Google's Cloud Messaging since the researchers have this during its pre release and was given permission to test Google's product. Since it was pre release it is possible that it might not be available to use o could require paying for the use of Google cloud messaging.
- 3) Improve the interface for possible new users since people have different understandings and it might not be easy for new users to understand the interface of the application.
- 4) Adding face recognition for a possible security measure since it's a more reliable when it comes to security. It would require the user's exact facial features and it would be impossible for anyone to gain access or by pass the security
- 5) Add also Finger print scanning as another source of security since face recognition now a day aren't that advance yet and don't deliver amazing results. Finger print scanning is currently advancing and getting good result. It is used as one of the main security of current smartphones.

REFERENCES

- [1] K. I. Lakhtaria, "Protecting Computer Network with Encryption Technique: A Study," in *Ubiquitous Computing and Multimedia Applications*, 2011, pp. 381–390.
- [2] K. Gary C., "An Overview of Cryptography." [Online]. Available: <https://www.garykessler.net/library/crypto.html>. [Accessed: 4-Jan-2016].
- [3] *Practical Cryptography: Algorithms and Implementations Using C++*, Boca Raton: CRC Press, 2015.
- [4] "Cryptography Breakthrough Could Make Software Unhackable," *WIRED*. [Online]. Available: <https://www.wired.com/2014/02/cryptography-breakthrough/>. [Accessed: 8-Feb-2016].
- [5] "What is asymmetric cryptography (public key cryptography)? - Definition from WhatIs.com," *SearchSecurity*. [Online]. Available: <https://searchsecurity.techtarget.com/definition/asymmetric-cryptography>. [Accessed: 18-Jul-2016].
- [6] W. Diffie and M. Hellman, "New Directions in Cryptography," *IEEE Trans. Inf. Theor.*, vol. 22, no. 6, pp. 644–654, Sep. 2006.
- [7] "Google Cloud Messaging: Overview | Cloud Messaging," *Google Developers*. [Online]. Available: <https://developers.google.com/cloud-messaging/gcm>. [Accessed: 24-Jun-2016].
- [8] "History of Java Technology," *Oracle*. [Online]. Available: <http://www.oracle.com/technetwork/java/javase/overview/javahistory-index-198355.html>. [Accessed: 25-Jan-2016].
- [9] "What is RSA algorithm (Rivest-Shamir-Adleman)? - Definition from WhatIs.com," *SearchSecurity*. [Online]. Available: <https://searchsecurity.techtarget.com/definition/RSA>. [Accessed: 16-Aug-2016].

Multi-Objective Planning and Optimization for WiMAX Multi-Hop Site Placement: Case Study in Nakhon Ratchasima City, Thailand

Chitapong Wechtaisong^{#1}, Chutima Prommak^{*2}, Ekkaluk Eaksook^{@3}

[#]Faculty of Industrial Technology, Nakhon Ratchasima Rajabhat University
340 Suranarhai Rd., Naimuang, Muang, Nakhon Ratchasima, 30000, Thailand
¹chitapong@nrnu.ac.th

^{*}Institute of Engineering, Suranaree University of Technology
111 University Rd., Suranaree, Muang, Nakhon Ratchasima, 30000, Thailand
²cprommak@g.sut.ac.th

[@]Advanced Info Service PLC. (Regional Operation North-East)
399 Moo 3, Mittraphap Rd., Bankoh, Muang, Nakhon Ratchasima, 30000, Thailand
³ekkaluke@ais.co.th

Abstract— Wireless Interoperability for Microwave Access (WiMAX) is the interesting wireless broadband technology which has not ever been commercially operated in Thailand. This paper presents a simulation of planning and optimization for WiMAX multi-hop access network which deploys relay station (RS) to extend the coverage area of base station (BS) in a real area. Site placement is an important process for designing wireless access networks in order to optimize the investment cost and quality of services. The proposed multi-objective planning and optimization model aims to assign the optimal number and location of base stations and relay stations considering co-location sites with existing GSM mobile site. The city area of Nakhon Ratchasima, Thailand is chosen for being study area. Integer Linear Programming is used for formulating the planning and optimization model which aims to minimize the BSes and RSes installation cost and maximize the service coverage under signal strength guarantee constraints simultaneously. Numerical network planning results demonstrate that the proposed model can achieve overall service area with economical implementation cost. In addition, it can efficiently serve users in the target service area under the specified budget limitation.

Keywords— WiMAX, multi-objective optimization, multi-hop access network, site placement

I. INTRODUCTION

WiMAX (Wireless Interoperability for Microwave Access) network technology has become potential solutions to bring broadband internet access to people in the remote area where a wired network infrastructure cannot reach. With the support of the IEEE 802.16j standard, one can deploy the network topology using multi-hop relay station (RS) to enhance services of the base station (BS). As illustrated in Figure 1, RSes can provide coverage extension to the cell boundary area, the shadowing area and the coverage-hole area. To enable network operators to provide low-cost coverage with the quality of services guarantee, there is a need for an efficient network design.

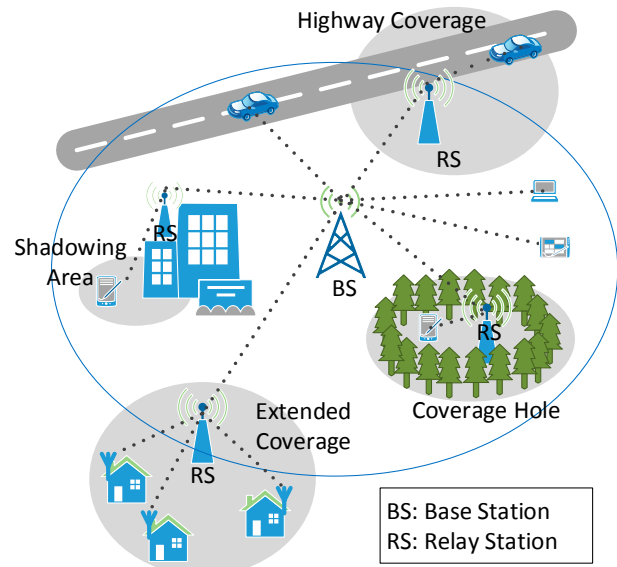


Fig. 1 Relay station deployment

In WiMAX network planning, base station and relay station placement is an important process to optimize investment cost and quality of services. If the objective of the planning is to increase the network coverage and the signal strength [1], many sites would be placed close to each other. This can improve the quality of services. However, it is not good in terms of investment cost. In contrast, the economical objective can be attained by restricting distances between sites [2, 3] but signal strength problem can occur. Hence, there is a tradeoff between investment cost and the quality of services in which many research groups are interested.

Our existing paper presents the multi-objective planning and optimization problem for BSes placement in a simulated study area [4]. For more economical investment of the access network installation cost, the multi-hop relay station topology should be incorporated into the network structure. Therefore, the multi-objective planning and optimization model that includes both BSes and RSes placement is needed.

In this study, we examined the planning of WiMAX access network in Nakhon Ratchasima city area in which the site placement for BSes and RSes are considered. The proposed optimization model was formulated as an integer linear programming (ILP) problem which is usually adopted by other existing research works when dealing with the facility location problems. Specifically, the weighted sum method (WSM) was proposed here to solve the multi-objective optimization problem by combining two objectives and transforming them to one function to simplify the solution of searching process.

The rest of paper is organized as follows. We review existing research works in Section II. Section III presents the problem definition and mathematical formulation. We present the numerical experiment in Section IV and conclude the paper in Section V.

II. RELATED WORKS

There are many existing studies on the network planning and performance improvement for wireless networks. In [5], focus on adaptive cross-layer bandwidth scheduling strategy for hierarchical cellular networks. In addition, WiMAX baseband transceiver was implemented on multi-core software define radio platform [6]. Furthermore, there are several research works paid attention to wireless network planning schemes. For example, the studies on the wireless network planning for mobile cellular networks are presented in [7] and [8]. The practical network planning and implementation of WiMAX along with performance evaluation and analysis are presented in [9-11]. However, these research studies interested in real network performances. The network planning was done manually and lack of mathematical formulation to optimize the network configuration.

Recent research works formulated mathematical equations for optimizing WiMAX access network planning. In [2] and [3] presented network design and optimization model for WiMAX access networks which effectively minimize investment cost by reducing the number of BS and relay station while guaranteed quality of receive signal strength for user's equipment. Moreover, [1] presented planning and optimization in WiMAX access network that can enhance network service coverage under budget limitation. Although, each of these literature works considered one side of network optimization problem and cannot support whole network planning problem. Therefore, multi-objective planning and optimization problem is needed.

Our previous research work focused on multi-objective planning and optimization problem for only BSes placement [12]. Besides BSes installation, implementing RSes is the significant option which can increase the quality of service in the planning area with optimal cost. This research considers both BSes and RSes implementation in WiMAX access network. Our multi-objective mathematical model is developed from the existing mathematical model for support both BSes and RSes installation.

III. MULTI-OBJECTIVE-OBJECTIVE OPTIMIZATION

A. Problem Definition

This research presents the method for considering locations for BSes and RSes placement from candidate sites along with the effect of weighted value with optimization result from two opposite objectives. The first objective was minimizing investment cost that considers from [2, 3] and another one was enhancing network service coverage from [1]. ILP was applied to formulate network planning problem. We used WSM to combine two opposite ILP objective function for easier calculation.

In the network design model, we considered that every BSes have the same infrastructure and transmitting power. In addition, every RSes are considered same as each other too. Demand points (DPs) were represented demand of users in the study area. The DPs can connect with the network through BS directly or via only one RS that mean maximum hop from DPs to BSes is not more than two. We guarantee the quality of service in terms of receive signal strength by threshold (P_t).

B. Problem Formulation

The WiMAX network planning problem in this research was formulated as an ILP model which consisted of three necessary parts. There were decision variables, objective functions and constraints. This model is popular to use as optimization tools for many research works. Table I describes the notation used in the proposed model.

There were five binary decision variables in our study. Installation of BS and RS sites were represented by β_j and γ_i respectively. They equal 1 if BS or RS was installed at candidate position j or i . In contrast, they equal 0 if candidate position j or i were not chosen to install site. In addition, connection of DPs to BSes, DPs to RSes and RSes to BSes were represented by u_{hj} , v_{hi} and w_{ij} respectively. They equal 1 if connections between their pairs were established and equal 0 if there were no connection.

We considered two different objective functions for effectively cover many perspectives of network design problem. The first objective function aimed to minimize the network cost in terms of BS and RS installation cost which can be written as objective function [1]. The second objective function aimed to maximize coverage in terms of number of DPs as show in the objective function [2]. These objective functions would be collaborated with each other by WSM that would be explained in next topic.

TABLE I : Definition of Notation Used in Proposed Model

Notations	Definitions
<i>Sets:</i>	
B	A set of candidate sites to install base stations (BSes); $(1,2,3,\dots,b) \square B$
R	A set of candidate sites to install relay stations (RSes); $(1,2,3,\dots,r) \square R$
T	A set of demand points (DPs); $(1,2,3,\dots,t) \square T$

TABLE I : Definition of Notation Used in Proposed Model (continued)

Notations	Definitions
<i>Decision variables:</i>	
β_j	A binary $\{0, 1\}$ variable that equals 1 if the BS is installed at site $j, j \in B$; 0 otherwise
γ_i	A binary $\{0, 1\}$ variable that equals 1 if the RS is installed at site $i, i \in R$; 0 otherwise
u_{hj}	A binary $\{0, 1\}$ variable that equals 1 if the DP h is assigned to BS $j, h \in T$ and $j \in B$; 0 otherwise
v_{hi}	A binary $\{0, 1\}$ variable that equals 1 if the DP h is assigned to RS $i, h \in T$ and $i \in R$; 0 otherwise
w_{ij}	A binary $\{0, 1\}$ variable that equals 1 if the RS i is assigned to BS $j, i \in R$ and $j \in B$; 0 otherwise
<i>Constant parameters:</i>	
C_b	Cost to install one base station
C_r	Cost to install one relay station
P_{hj}	The signal strength that a DP h receives from BS $j, h \in T$ and $j \in B$
P_{hi}	The signal strength that a DP h receives from RS $i, h \in T$ and $i \in R$
P_{ij}	The signal strength that a RS i receives from BS $j, i \in R$ and $j \in B$
Pt	The received signal strength threshold for DPs

We defined the network design requirement to a set of constraints. There were two groups of mathematical equations that represent the purpose of radio network planning. The first group is the constraints that guarantee network service coverage. Equation (3) and (4) are the constraints that ensure DPs connect with only installed BSes and RSes. The guarantee of receive signal strength from installed BSes and RSes for each DPs defined in equation (5) and (6) respectively. The second group was constraints that enforce connection between BSes and RSes. Equation (7) ensures RSes connect with only one parent BS. Equation (8) is the constraint that ensures RSes connect with only installed BSes. The guarantee of received signal strength for each RSes defined in equation (9).

Objective functions:

$$\text{minimize } \sum_{j=1}^b C_b \times \beta_j + \sum_{i=1}^r C_r \times \gamma_i \quad (1)$$

$$\text{maximize } \sum_{j=1}^b u_{hj} + \sum_{i=1}^r v_{hi} \quad , \forall h \in T \quad (2)$$

Subject to:

C1: Network service coverage

$$u_{hj} \leq \beta_j \quad , \forall h \in T, j \in B \quad (3)$$

$$v_{hi} \leq \gamma_i \quad , \forall h \in T, i \in R \quad (4)$$

$$u_{hj}(P_{hj} - Pt) \geq 0 \quad , \forall h \in T, j \in B \quad (5)$$

$$v_{hi}(P_{hi} - Pt) \geq 0 \quad , \forall h \in T, i \in R \quad (6)$$

C2: BS-RS connections

$$\sum_{j=1}^b w_{ij} = \gamma_i \quad , \forall i \in R \quad (7)$$

$$w_{ij} \leq \beta_j \quad , \forall i \in R, j \in B \quad (8)$$

$$v_{hi}(P_{hi} - Pt) \geq 0 \quad , \forall i \in R, j \in B \quad (9)$$

C. Combination of Objective Functions

In this topic, we developed multi-objective optimization mathematical equation for ILP. The tradeoff between two opposite objective function is considered. There were objectives that minimize network implementation cost and increase network coverage. The WSM is the necessary tool for study tradeoff between two different objective functions.

TABLE II : Notation Used in weighted Sum Method

Notations	Definitions
W_1	Weighted value of objective function 1; $W_1 \in [0,1]$
W_2	Weighted value of objective function 2; $W_2 \in [0,1]$
$F_1(x)$	Normalized objective function 1
$F_2(x)$	Normalized objective function 2
f_1^{\min}	Minimize value of objective function 1
f_1^{\max}	Maximize value of objective function 1
f_2^{\min}	Minimize value of objective function 2
f_2^{\max}	Maximize value of objective function 2

Two objectives were transformed to one objective format as shown in equation (10). Normalization equation is represented by equation (11) and (12). We normalize both objective functions before collaborating each other because of releasing different units [13]. The weighted values were used for comparing the tradeoff results. To divisibly combine two different objectives, the maximization objective of equation (2) was reversed to minimization objective in equation (13) which t was the amount of total DPs in study area however it still be same as original meaning. The final equation of multi objective optimization by WSM is shown in (14).

Weighted sum method functions:

$$\text{minimize } Z = W_1 F_1(x) + W_2 F_2(x) \quad (10)$$

Normalize functions:

$$F_1(x) = \frac{f_1(x) - f_1^{\min}}{f_1^{\max} - f_1^{\min}} \quad (11)$$

$$F_2(x) = \frac{f_2(x) - f_2^{\min}}{f_2^{\max} - f_2^{\min}} \quad (12)$$

Reverse form of equation (2):

$$\text{minimize } t - \left(\sum_{j=1}^b u_{hj} + \sum_{i=1}^r v_{hi} \right) \quad , \forall h \in T \quad (13)$$

Final WSM multi-objective function:

$$\begin{aligned} & \text{minimize } W_1 \left[\frac{(\sum_{j=1}^b C_b \times \beta_j + \sum_{i=1}^r C_r \times \gamma_j) - f_1^{\min}}{f_1^{\max} - f_1^{\min}} \right] \\ & + W_2 \left[\frac{(t - (\sum_{j=1}^b u_{hj} + \sum_{i=1}^r v_{hj})) - f_2^{\min}}{f_2^{\max} - f_2^{\min}} \right] \\ & , \forall h \in T \quad (14) \end{aligned}$$

IV. NUMERICAL EXPERIMENTS

A. Parameter Setup

TABLE III : Parameters Used in Numerical Experiments

Parameters	Value
Height of BSes	40 m
Height of RSes	12 m
Height of DPs	1.5 m
Transmitted Power (BS)	43 dBm
Transceived antenna gain (BS)	15 dBi
Transceived antenna gain (RS)	7 dBi
Transceived antenna gain (DP)	0 dBi
Frequency	3.5 GHz
Terrain type	A
Bandwidth	10 MHz
Cost of base station installation	120,000 \$
Cost of relay station installation	48,000 \$

In numerical experiments, we considered 8.7km × 5.3km area of Nakhon Ratchasima city as shown in Figure 2. There are 53 candidate positions represent by blue triangles. The number of DPs was 207 which located many users such as academic institutes, department stores, offices and temples. We used the Stanford University Interim (SUI) model which was recommended by the IEEE 802.16 to obtain the path loss in WiMAX networks [14]. Received signal threshold at DPs was set at -91 dBm [15]. Table III shows the parameters used in numerical experiments [16]. We considered existing GSM sites for being positions of candidate BS and RS sites over the service area. Using the existing infrastructures of GSM sites, it can save the investment cost such as radio tower, electricity system, transmission system and rental fee.

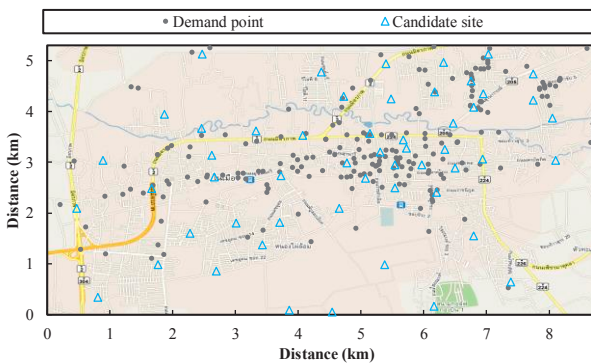


Fig. 2 Candidate sites and demand points on Nakhon Ratchasima city map. [12]

B. Numerical Results

The numerical experiments were implemented with the ILOG-OPL development studio. The ILP problems were solved with CPLEX 12.7 optimization solver. The computation was run on an Intel Core i5-6600 3.30 GHz and 16 GB of RAM.

TABLE IV : Results of Network Planning Experiments

Scenario	W ₁	W ₂	BS Site	RS Site	Coverage DPs (%)	Cost (M\$)
0	0.00	1.00	11	5	100.00	1.56
1	0.05	0.95	11	5	100.00	1.56
2	0.10	0.90	9	5	98.55	1.32
3	0.15	0.85	8	4	96.62	1.15
4	0.20	0.80	8	2	92.27	1.06
5	0.25	0.75	6	2	90.34	0.81
6	0.30	0.70	5	3	86.96	0.74
7	0.35	0.65	5	1	85.51	0.65
8	0.40	0.60	4	1	80.68	0.53
9	0.45	0.55	4	1	74.40	0.53
10	0.50	0.50	4	0	74.88	0.48
11	0.55	0.45	4	0	76.81	0.48
12	0.60	0.40	3	0	66.18	0.36
13	0.65	0.35	2	0	52.17	0.24
14	0.70	0.30	1	0	52.17	0.24
15	0.75	0.25	1	0	33.82	0.12
16	0.80	0.20	1	0	33.82	0.12
17	0.85	0.15	0	0	0.00	0.00
18	0.90	0.10	0	0	0.00	0.00
19	0.95	0.05	0	0	0.00	0.00
20	1.00	0.00	0	0	0.00	0.00
[12]	0.05	0.95	15	-	100.00	1.80

W₁ and W₂ represent weighted values of objective function 1 and objective function 2 respectively. Weighted values were set to change 0.05 for each step, W₁ increases from 0.0 to 1.0 and W₂ decreases from 1.0 to 0.0, to consider the tradeoff results between conflict objectives. The numerical results of WiMAX network planning in terms of site placement by ILP and WSM are shown in Table IV. To compare with the existing work, we added the planning result of [12] at the last line of Table IV. In addition, Figure 3 shows the result of scenario 1 when set W₁ and W₂ at 0.05 and 0.95 respectively which can guarantee 100% received signal to DPs in the service area.

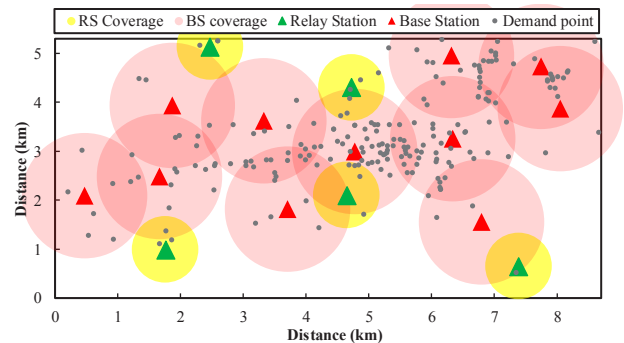


Fig. 3 100% coverage of DPs from installed sites.

C. Analysis and Discussion

In Table IV, from 53 candidate sites for installing BSes and RSes, our purposed scheme with weighted value of scenario 1 uses only 11 BSes and 5 RSes to serve WiMAX signal for overall DPs in service area. It can save 13.3% of installation budget comparing with the existing [12] scheme which install only BSes (15 BSes installed from co-location with existing GSM sites). Installation cost and percent coverage of DPs are related with W_2 . In the other hand, they are inversely related with W_1 .

Figure 4 shows percent coverage of DPs versus investment cost in each scenario. The trend of percent coverage is decreasing related to decreasing of installation cost. When considering scenario 5, service coverage can support 90.34% of DPs by saving 45% of investment cost when comparing with scenario 1. For this reason, this can be an option for a network planner who has the limitation in terms of investment budget.

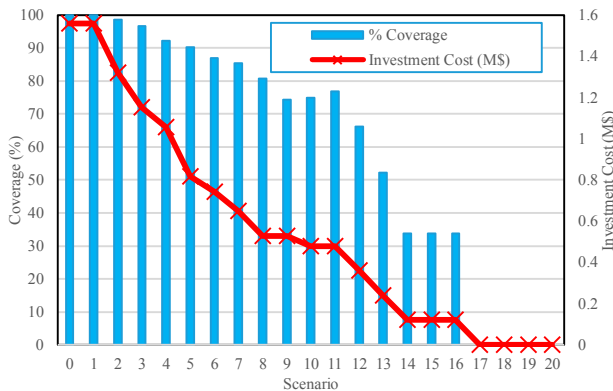


Fig. 4 Coverage and investment cost of each weighted scenario.

Figure 5 shows cumulative distribution functions (CDF) graph of received signal strength at DPs. We select scenario 1, 5, 10 and 15 and the existing single-hop access network [12] which W_1, W_2 were set at (0.05,0.95), (0.25,0.75), (0.5,0.5), (0.75,0.25) and (0.05,0.95) to compare effect of deploying multi-hop access network using RSes and weighted value with network planning result in terms of received signal strength. Scenario 1 can serve the highest received signal strength to DPs in service area which its signal level is similar to the existing single-hop network [12] under the same weighted value (0.05,0.95). Received signal strength of scenario 5, 10 and 15 are lower from that in scenario 1 respectively. As a result, we concluded that the weighted values can be chosen depending on desire of network planner which focuses on quality of service or limitation of installation budget.

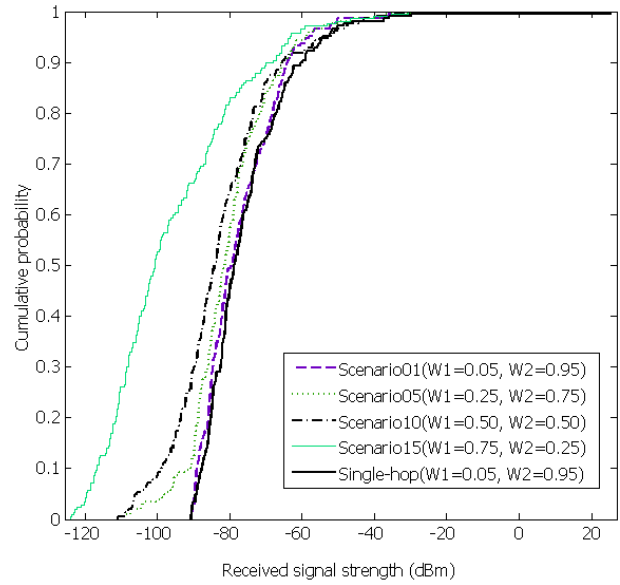


Fig. 5 CDF graph of received signal strength.

V. CONCLUSIONS

This study presents a novel mathematical model for an efficient optimization planning of WiMAX multi-hop access network site placement for the real area. We formulate the problem as integer linear programming problem with consideration of two opposite objectives which are to minimize the installation cost and maximize service coverage. In particular, we use weighted sum method to transform two objectives into single objective and compare the effect of weighting value in each one. We consider city area of Nakhon Ratchasima, Thailand, for doing the experiment. In addition, the proposed model can determine optimal numbers and locations for BSes and RSes installation. The numerical results illustrate that our WiMAX site placement planning model can achieve overall coverage in the study area and save 13.3% of installation budget compared to the existing research work. In case of limited budget, our model can produce optimized configuration which still achieves most of coverage. Our future research will consider the optimal position for site placement to increase average received signal for users in the study area.

ACKNOWLEDGEMENT

The authors would like to thank Dr. Saromporn Charoenpit and Dr. Don Kaewdook at Thai-Nichi Institute of Technology for their useful advices. We also would like to extend our gratitude to the Wireless communication laboratory, Suranaree University of Technology for their support. A part of this study was supported by the Faculty of Industrial Technology, Nakhon Ratchasima Rajabhat University.

REFERENCES

- [1] C. Prommak and C. Wechtaison, "On the Quality of Service Optimization for WiMAX Networks Using Multi-hop Relay Stations," in *Digital Information Processing and Communications*, Springer, Berlin, Heidelberg, 2011, pp. 93–106.
- [2] C. Prommak and C. Wechtaison, "WiMAX Network Design and Optimization Using Multi-hop Relay Stations," in *Proceedings of the 10th WSEAS International Conference on Applied Informatics and Communications, and 3rd WSEAS International Conference on Biomedical Electronics and Biomedical Informatics*, Stevens Point, Wisconsin, USA, 2010, pp. 75–80.
- [3] C. Prommak and C. Wechtaison, "WiMAX wimax network design for cost minimization and access data rate guarantee using multi-hop relay stations.," *International Journal of Communications*, vol. 4, no. 2, pp. 39–46, 2010.
- [4] C. Wechtaison, T. Sutthitep, and C. Prommak, "Multi-objective planning and optimization for base station placement in WiMAX network," in *2014 11th International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON)*, 2014, pp. 1–4.
- [5] V. B. Upase and V. M. Hunukumbure, "Dimensioning and cost analysis of multichip-relay-enabled WiMAX networks," *Fujitsu Scientific & Technical Journal*, vol. 44, no. 3, pp. 303–317, Jul. 2008.
- [6] M. A. Kadhim and W. ISMAIL, "Implementation of WIMAX IEEE802.16d Baseband Transceiver on Multi-Core Software-Defined Radio Platform," *WSEAS Transactions on Communications*, vol. 9, no. 5, May 2010.
- [7] J. Garcia-Fragoso and G. M. Galvan-Tejada, "Cell planning based on the WiMax standard for home access: a practical case," in *2005 2nd International Conference on Electrical and Electronics Engineering*, 2005, pp. 89–92.
- [8] P. Neves *et al.*, "WiMAX for Emergency Services: An Empirical Evaluation," in *The 2007 International Conference on Next Generation Mobile Applications, Services and Technologies (NGMAST 2007)*, 2007, pp. 340–345.
- [9] Lannoo, B., S. Verbrugge, J. Van Qoteghein, B. Quinart, D. Colle, M. Pickavet, and others, 'Business Scenarios for a WiMAX Deployment in Belgium', in *2007 IEEE Mobile WiMAX Symposium*, 2007, pp. 132–37
- [10] M. Marques *et al.*, "Design and Planning of IEEE 802.16 Networks," in *2007 IEEE 18th International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications*, 2007, pp. 1–5.
- [11] T. Tsourakis and K. Voudouris, "WiMax network planning and system's performance evaluation," in *2007 IEEE Wireless Communications and Networking Conference*, 2007, pp. 1948–1953.
- [12] C. Wechtaison, C. Prommak, and E. Eksook, "Multi-objective planning and optimization for wimax site placement: case study in Nakhon Ratchasima city, Thailand," presented at *The 10th South East Asia Technical University Consortium (SEATUC) Symposium*, Shibaura Institute of Technology, Tokyo, Japan, 2016.
- [13] O. Grodzevich and O. Romanko, "Normalization and Other Topics in Multi-Objective Optimization," Study Group Report, 2006.
- [14] "Channel Models for Fixed Wireless Applications," 2001. [Online]. Available: http://www.ieee802.org/16/tg3/contrib/802163c-01_29r4.pdf. [Access: 18-Feb-2017]
- [15] A. J. Rodrigues and J. Pedro Eira, "Analysis of WiMAX data rate performance," 2007. [Online]. Available: <https://pdfs.semanticscholar.org/f558/96d51f5c628de0c390296981622c4fe26c51.pdf>. [Access: 10-Feb-2017]
- [16] "Requirement and Recommendations for Multichip Relay profile of WiMAX networks," 2015. [Online]. Available: <http://wimaxforum.org/>. [Access: 15-Feb-2017]

Performance Evaluation of Location-Based Advertising using Web Application Performance Testing (WAPT)

ILia Kachalin^{#1}, Chanintorn Jittawiriyanukoon^{*2}

[#] Graduate School of Business, Assumption Universtiy, Bangkok

¹opahopa@gmail.com

^{*} Graduate School of eLearning, Assumption University, Samutprakarn

²chanintornjtt@au.edu

Abstract—Marketers around the globe are certain of location-based advertising which is the most exciting mobile marketing for 2016, according to a recent Internet Advertising Bureau (IAB) UK [1] study cited by digital marketing stats round-up. Location-based advertising technology can help the customers understand the classified ads, location-based advertising web forums and customer's behavior. On the other hand this technology develops a new approach to individual advertisements-oriented websites design and implementation. Moreover the technology can also be beneficial to the classified ads websites niche market research, particularly in order to understand the main competitive characteristics and current market situation. The research outcomes can provide recommendations on how to evaluate and increase the performance or access time of the location-based advertising technology compare to traditional classified ads technology. For the purpose of the performance evaluation, the LoadComplete framework [2] based on Selenium Web-Driver API is employed. Performance metrics are then collected using WAPT simulation [3]. Location-based advertising achieves better results by reducing item-search time to half compare to the legacy ads. It helps to save network bandwidth as well as beneficial to a faster-improving mobile marketing turn-around time.

Keywords—location-based advertising; mobile marketing; performance evaluation; WAPT simulation; LoadComplete framework.

I. INTRODUCTION

The study of location-based advertising technology can, from one side, help us understand the classified ads/ location-based advertising web boards customer's/user's behavior and from other side, to develop a new approach to individual advertisements-oriented websites (location-based) design and technologies. Location-based services are set to be a national strategic plan as described in [4]. Query execution over location-based services has been optimized for the execution using data mining theory [5]. Customer behavior analysis in Internet marketing using GPS-based mobile applications had been investigated as written in [6]. Customer analytics in [6] have adopted GPS-based applications into their accounts, which are different perspective from location-based ads on the

website. The study of location-based orientation somehow can also be beneficial in the classified ads websites niche market understanding, particularly in understanding of the main competitive characteristics and current market situation overview. Moreover, the research can provide recommendations on how to evaluate and increase the performance and access time of the location-based advertising technology as well as traditional classified ads technology. The research can also be useful for understanding the technical difficulties which can probably be faced by the developer teams during the similar projects developing, particularly in applying the modern frameworks technologies. The assumptions and results of simulations can be useful for future researches on the similar and related topics as well. Furthermore, researcher proposes that the location-based individual-oriented advertisements technology can be a community-forming factor, as it will increase the amount of personal contacts within particular location. If the model of location-based individual advertising can prove its potential and can be successful on market, it can form a basis for another study related to that. The user behavior for location-based social media can be found in [7].

The current situation on the existing advertising websites and mobile projects leads the researcher to make this study and apply the new approach to the market: location-based advertising website. Currently, the main players on the worldwide individual advertisements-oriented web-boards market, such as <http://craigslist.org>, <https://www.classifiedads.com/> and <http://ebay.com> are using the classified ads/auction approach as a method of individual advertisement on web-sites. Also, there are a lot of local projects such as (for Thailand): <http://www.bangkokpost.com/classifieds/>, <http://classifieds.thai-visa.com/>, <http://www.bahtsold.com/>, etc., using the same approach. Moreover, we can mention about the local social-networks groups (such as Facebook groups, twitter groups, etc.) created for the individual users advertisements placement. However, these groups are also non-location-based search methods.

The researcher proposes that current approach to the technology of the individual advertisements placement has an existing lack of time-efficiency for the location-oriented search needs of those web-boards projects users. It is suggested that the location-based individual advertising system can help fulfill this lack. As the foundation for the location-based individual user search process, Google maps API is proposed.



II. LOCATION-BASED-ADVERTISING

As the concept of location-based individual-oriented advertising web-service is new, not much scientific/market research has been done covering this topic, but a short overview on those, can still be provided. There are a number of existing academic researches and market-analyzing articles describing the abstract possibility and possible implementation of the location-based advertising for smart devices i.e. smartphones, tablet pc, etc. Thereby, to support this study and to get deeper understanding of the concept of location-based advertising, the researcher wants to start from the mobile-devices based implementations researches. The analytical media articles, such as [8] and many others gives a better understanding about the possible benefits the private & non-private companies and organizations can get from mobile location-based advertising. The study of location-aware content [9] analyzed that a possible implementation of the method providing a location-based advertising for mobile devices is comprising of receiving content and metadata associated with the content from the mobile device, the metadata comprising a geographical identification of the content; and sending location-based information to the mobile device based on the geographical identification of the content. The study and method described in [10] which is implementing a method for automatically notifying a user of an offer, the method comprising: analyzing the first electronic message contains information related to the offer, automatically determining a description of the offer from the first electronic message; automatically determining a geographic location associated with the offer; automatically sending a second electronic message to the user, which is contains at least a portion of the description of the offer. However, the concept of location-based individual advertisements working as a website, which was implemented by the researcher and available for public access [11], seems not to be covered by the previous academic researches or industry-related media.

III. WAPT SIMULATION

As the methodological framework for tests and simulations, WAPT [3] has been chosen. According to it, following activities list was executed:

A. Identify Test Environment

For the purpose of the performance testing and data evaluation, the researcher chooses a "LoadComplete" testing framework [2] which is based on Selenium Web-Driver API as the test environment.

B. Identify Performance Acceptance Criteria

Following by the main criteria of this research, the scenario's execution result's 'Errors Count' parameter value = 0 is identified as the only one significantly required performance acceptance criteria.

C. Plan and Design Tests

As the technical performance evaluation, the following tests were configured and executed:

- scenario 1. Location-based search (search for advertisements related to particular location).
- scenario 2. Particular existed item search.
- scenario 3. Area search (search for advertisements in wider range. i.e. district).
- scenario 4. Individual advertisement publishing.

As the location-based advertisements oriented model is new for the individual advertisement market and doesn't have a known implementation as a web-service, the researcher created a web-service, implementing a model of location-based individual-oriented classified advertisements. The created web-service is available at [11]. To create this web-service, a researcher used "Spring MVC" framework for building the back-end side of the service and "Spring Security" for its security/authentication service, "AngularJS" framework for the front-end interface creation. The researcher suggests comparing the created service to the current big players on the local market of Thailand's online individual advertisements. <http://bangkok.craigslist.org> and <http://bathsold.com> was chosen for the comparison.

The following abbreviations will be used in future:

- website a. <http://plimpa.com>
- website b. <http://bangkok.craigslist.org>
- website c. <http://bathsold.com>

The following testing scenarios was configured and executed to perform each of the tests:

Website:	Testing scenario:	Testing scenario algorithm:
website a	Scenario 1.	1. Open http://plimpa.com main page 2. Navigate to /map page 3. Zoom to the random existing location 4. Examine the list of the items bounded to randomly chosen location
	Scenario 2.	1. Open http://plimpa.com main page 2. Navigate to /map page 3. Zoom to the random existing location

		<ol style="list-style-type: none"> Open 'search around' modal dialog Form the request with the random existing item's name Examine the search results 		Scenario 4.	<ol style="list-style-type: none"> Open http://bangkok.craigslist.org main page Navigate to login page Fill the login form with the existing account data and submit the login request Navigate to advertisement posting page Choose and submit the random advertisement posting type Choose and submit the random advertisement posting category Fill the advertisement data such as title, description, and price. Submit the advertisement request
	Scenario 3.	<ol style="list-style-type: none"> Open http://plimpa.com main page Navigate to /map page Zoom to the random existing location Open 'search around' modal dialog Form the request with the random existing item's name Examine the search results 			
	Scenario 4.	<ol style="list-style-type: none"> Open http://plimpa.com main page Navigate to /login page Fill the login form with the existing account data and submit the login request Navigate to /map page Chose random location on the map and open the advertisement publishing modal window Fill the advertisement information and submit the request to publish an advertisement. 			
			website c	Scenario 1.	<ol style="list-style-type: none"> Open http://bathsold.com main page Select the random category name and region name (i.e. 'Bangkok') Form the search request containing random existing item name Form the search request containing random district name Examine the resulting list.
				Scenario 2.	<ol style="list-style-type: none"> Open http://bathsold.com main page Form the search request containing random existing item name Examine the search results
				Scenario 3.	<ol style="list-style-type: none"> Open http://bathsold.com main page Form and submit the search request containing random existing item name and random category name Form and submit the search request parameters specifying the random existing region name and the random existing district's name. Examine the search results
				Scenario 4.	<ol style="list-style-type: none"> Open http://bathsold.com main page Navigate to login page Fill the login form with the existing account data and submit the login request Navigate to advertisement posting page Choose and submit the random advertisement posting type Choose and submit the random advertisement posting category
website b	Scenario 1.	<ol style="list-style-type: none"> Open http://bangkok.craigslist.org main page Navigate random existing category page Form the search request containing random existing location name Examine the list of the items resulted from search 			
	Scenario 2.	<ol style="list-style-type: none"> Open http://bangkok.craigslist.org main page Form the request with the random existing item's name Examine the search results 			
	Scenario 3.	<ol style="list-style-type: none"> Open http://bangkok.craigslist.org main page Form the request with the random existing item's name Form the request with the random existing item's name and region parameter Specify the random existing district in the search request and submit it. Examine the search results 			



		<p>7. Fill the advertisement data such as title, description, and price</p> <p>8. Submit the advertisement request</p>
--	--	--

D. Configure Test Environment

Following testing environment configuration has been used for the testing scenarios execution:

Hardware:

- Intel(R) Core(TM) i7-2600 CPU @ 3.40GHz (8 CPUs), ~3.4GHz
- Memory: 8192MB RAM
- NVIDIA GeForce GTX 560
- 60GB SSD drive

Software:

- Windows 7 Ultimate 64-bit
- “LoadComplete 4” software as the Selenium-Web Driver based testing environment.

E. Implement Test Design

The researcher ensured that the test environment is correctly configured for metrics collection. Any active virus-scanning on load-generating machines during testing is turned off to minimize the likelihood of unintentionally skewing results data. Simple usage scenarios were executed firstly to validate the Web server. The problems and performance bottlenecks which were identified during simple usage scenarios executions were identified and fixed.

F. Execute Tests

All the test scenarios mentioned above were executed successfully and the tests results data has been stored in the format supported by the test environment software (Win 7 OS, LoadComplete 4), which became available for analytical purposes afterwards.

G. Analyze, Report, and Retest

The following data is resulted from the executed tests:

Scenario 1:

Project: plimpa Test: location-based search plimpa Result: Warning(s) occurred	
Date / Time	Scenario Completion Time
Date	3/20/2016
Start Time of the Test	5:33:30 PM
End Time of the Test	5:33:47 PM
Initialization Time	1.37 s
Page Load Time	
Average 17.13 s	
Maximum 17.13 s	
Minimum 17.13 s	
Errors / Warnings	
Average 3.43 s	
Total Warnings 10	
Maximum 6.01 s	
Total Errors 0	
Minimum 721 ms	
Load Profile (Steady load)	
Time to First Byte	
Average 170 ms	
Maximum 1.53 s	
Minimum 34 ms	
Maximum Number of Virtual Users	1
Minimum Number of Virtual Users	1
Test Duration	17.13 s
Requests	198
Pages	5
Scenarios	1

Website A.

Project: plimpa Test: location-based search craigslist Result: Success	
Date / Time	Scenario Completion Time
Date	3/20/2016
Start Time of the Test	5:07:29 PM
End Time of the Test	5:08:05 PM
Initialization Time	1.54 s
Page Load Time	
Average 35.72 s	
Maximum 35.72 s	
Minimum 35.72 s	
Errors / Warnings	
Average 5.30 s	
Total Warnings 0	
Maximum 12.10 s	
Total Errors 0	
Minimum 512 ms	
Load Profile (Steady load)	
Time to First Byte	
Average 364 ms	
Maximum 1.31 s	
Minimum 56 ms	
Maximum Number of Virtual Users	1
Minimum Number of Virtual Users	1
Test Duration	35.72 s
Requests	64
Pages	6
Scenarios	1

Website B.

Project: plimpa Test: location-based search bathsold Result: Warning(s) occurred	
Date / Time	Scenario Completion Time
Date	3/20/2016
Start Time of the Test	9:34:51 PM
End Time of the Test	9:35:55 PM
Initialization Time	1.39 s
Page Load Time	
Average 1 m 4.02 s	
Maximum 1 m 4.02 s	
Minimum 1 m 4.02 s	
Errors / Warnings	
Average 1.49 s	
Total Warnings 11	
Maximum 5.34 s	
Total Errors 0	
Minimum 149 ms	
Load Profile (Steady load)	
Time to First Byte	
Average 448 ms	
Maximum 1.55 s	
Minimum 3 ms	
Maximum Number of Virtual Users	1
Minimum Number of Virtual Users	1
Test Duration	1 m 4.02 s
Requests	211
Pages	38
Scenarios	1

Website C.

Scenario 2:

Project: plimpa Test: item search plimpa.com Result: Warning(s) occurred	
Date / Time	Scenario Completion Time
Date	3/21/2016
Start Time of the Test	11:49:49 AM
End Time of the Test	11:50:22 AM
Initialization Time	1.39 s
Page Load Time	
Average 32.59 s	
Maximum 32.59 s	
Minimum 32.59 s	
Errors / Warnings	
Average 1.68 s	
Total Warnings 14	
Maximum 6.94 s	
Total Errors 0	
Minimum 88 ms	
Load Profile (Steady load)	
Time to First Byte	
Average 166 ms	
Maximum 1.38 s	
Minimum 3 ms	
Maximum Number of Virtual Users	1
Minimum Number of Virtual Users	1
Test Duration	32.59 s
Requests	217
Pages	18
Scenarios	1

Website A.

Project: plimpa Test: item search craigslist Result: Success	
Date / Time	Scenario Completion Time
Date	3/21/2016
Start Time of the Test	12:02:09 PM
End Time of the Test	12:02:22 PM
Initialization Time	1.31 s
Page Load Time	
Average 12.53 s	
Maximum 12.53 s	
Minimum 12.53 s	
Errors / Warnings	
Average 2.68 s	
Total Warnings 0	
Maximum 3.83 s	
Total Errors 0	
Minimum 1.55 s	
Load Profile (Steady load)	
Time to First Byte	
Average 126 ms	
Maximum 700 ms	
Minimum 36 ms	
Maximum Number of Virtual Users	1
Minimum Number of Virtual Users	1
Test Duration	12.53 s
Requests	56
Pages	4
Scenarios	1

Website B.

Project: plimpa
Test: item search bathsold
Result: Success

Date / Time		Scenario Completion Time	
Date	3/21/2016	Average	35.54 s
Start Time of the Test	12:05:16 PM	Maximum	35.54 s
End Time of the Test	12:05:52 PM	Minimum	35.54 s
Initialization Time	1.41 s		
Errors / Warnings		Page Load Time	
Total Warnings	0	Average	1.74 s
Total Errors	0	Maximum	5.92 s
		Minimum	162 ms
Load Profile (Steady load)		Time to First Byte	
Maximum Number of Virtual Users	1	Average	292 ms
Minimum Number of Virtual Users	1	Maximum	2.18 s
Test Duration	35.54 s	Minimum	32 ms
Requests	274		
Pages	18		
Scenarios	1		

Website C.

Scenario 3:

Project: plimpa
Test: item search plimpa.com
Result: Warning(s) occurred

Date / Time		Scenario Completion Time	
Date	3/21/2016	Average	32.59 s
Start Time of the Test	11:49:49 AM	Maximum	32.59 s
End Time of the Test	11:50:22 AM	Minimum	32.59 s
Initialization Time	1.39 s		
Errors / Warnings		Page Load Time	
Total Warnings	14	Average	1.68 s
Total Errors	0	Maximum	6.94 s
		Minimum	88 ms
Load Profile (Steady load)		Time to First Byte	
Maximum Number of Virtual Users	1	Average	166 ms
Minimum Number of Virtual Users	1	Maximum	1.38 s
Test Duration	32.59 s	Minimum	3 ms
Requests	217		
Pages	18		
Scenarios	1		

Website A.

Project: plimpa
Test: area search craigslist
Result: Success

Date / Time		Scenario Completion Time	
Date	3/21/2016	Average	17.19 s
Start Time of the Test	12:15:24 PM	Maximum	17.19 s
End Time of the Test	12:15:41 PM	Minimum	17.19 s
Initialization Time	1.34 s		
Errors / Warnings		Page Load Time	
Total Warnings	0	Average	1.51 s
Total Errors	0	Maximum	4.14 s
		Minimum	540 ms
Load Profile (Steady load)		Time to First Byte	
Maximum Number of Virtual Users	1	Average	111 ms
Minimum Number of Virtual Users	1	Maximum	499 ms
Test Duration	17.19 s	Minimum	32 ms
Requests	19		
Pages	4		
Scenarios	1		

Website B.

Project: plimpa
Test: area search bathsold
Result: Warning(s) occurred

Date / Time		Scenario Completion Time	
Date	3/21/2016	Average	45.70 s
Start Time of the Test	12:22:08 PM	Maximum	45.70 s
End Time of the Test	12:22:54 PM	Minimum	45.70 s
Initialization Time	1.38 s		
Errors / Warnings		Page Load Time	
Total Warnings	9	Average	1.11 s
Total Errors	0	Maximum	3.28 s
		Minimum	95 ms
Load Profile (Steady load)		Time to First Byte	
Maximum Number of Virtual Users	1	Average	425 ms
Minimum Number of Virtual Users	1	Maximum	1.45 s
Test Duration	45.70 s	Minimum	2 ms
Requests	120		
Pages	30		
Scenarios	1		

Website C.

Scenario 4:

Project: plimpa
Test: advertisement posting plimpa
Result: Warning(s) occurred

Date / Time		Scenario Completion Time	
Date	3/21/2016	Average	1 m 47.07 s
Start Time of the Test	12:59:09 PM	Maximum	1 m 47.07 s
End Time of the Test	1:00:56 PM	Minimum	1 m 47.07 s
Initialization Time	1.45 s		
Errors / Warnings		Page Load Time	
Total Warnings	19	Average	2.46 s
Total Errors	0	Maximum	9.45 s
		Minimum	9 ms
Load Profile (Steady load)		Time to First Byte	
Maximum Number of Virtual Users	1	Average	131 ms
Minimum Number of Virtual Users	1	Maximum	1.41 s
Test Duration	1 m 47.07 s	Minimum	5 ms
Requests	243		
Pages	10		
Scenarios	1		

Website A.

Project: plimpa
Test: advertisement posting craigslist
Result: Warning(s) occurred

Date / Time		Scenario Completion Time	
Date	3/23/2016	Average	4 m 22.49 s
Start Time of the Test	3:53:22 PM	Maximum	4 m 22.49 s
End Time of the Test	3:56:36 PM	Minimum	4 m 22.49 s
Initialization Time	1.42 s		
Errors / Warnings		Page Load Time	
Total Warnings	18	Average	7.45 s
Total Errors	0	Maximum	57.44 s
		Minimum	383 ms
Load Profile (Steady load)		Time to First Byte	
Maximum Number of Virtual Users	1	Average	568 ms
Minimum Number of Virtual Users	1	Maximum	1.93 s
Test Duration	4 m 22.49 s	Minimum	26 ms
Requests	347		
Pages	34		
Scenarios	1		

Website B.

Project: plimpa
Test: advertisement posting bathsold
Result: Warning(s) occurred

Date / Time		Scenario Completion Time	
Date	3/23/2016	Average	3 m 14.27 s
Start Time of the Test	3:53:22 PM	Maximum	3 m 14.27 s
End Time of the Test	3:56:36 PM	Minimum	3 m 14.27 s
Initialization Time	1.42 s		
Errors / Warnings		Page Load Time	
Total Warnings	18	Average	4.89 s
Total Errors	0	Maximum	57.44 s
		Minimum	383 ms
Load Profile (Steady load)		Time to First Byte	
Maximum Number of Virtual Users	1	Average	259 ms
Minimum Number of Virtual Users	1	Maximum	1.93 s
Test Duration	3 m 14.27 s	Minimum	26 ms
Requests	347		
Pages	34		
Scenarios	1		

Website C.

IV. RESULTS AND ANALYSIS

All the test scenarios were executed using the single user actions emulation mode. As the Key factors for the results comparison, the researcher decided to use "average scenario completion time". The following table represents a comparison between the testing scenarios executions results for each of the individual-oriented advertisements web services.

Based on the data which is presented in the performance evaluation comparison table (Table 1), in this research results are divided into 2 groups:

1. location-based individual-oriented advertisement service (<http://plimpa.com>)
2. non-location-based individual-oriented advertisement service (<http://bangkok.craigslist.org>, <http://bathsold.com>)



After this, the comparison between location-based individual-oriented advertisement service and non-location-based individual-oriented advertisement service has been made.

TABLE I: AVERAGE WEB-SERVICE'S SCENARIO COMPLETION TIME (SECONDS)

SCENARIO WEB-SERVICE	LOCATION-BASED SEARCH	PARTICULAR EXISTED ITEM SEARCH	AREA SEARCH	INDIVIDUAL ADVERTISE MENT PUBLISHING
PLIMPA.COM	17.13	32.59	32.59	107.07
BANGKOK. CRAIGLIST.ORG	35.72	12.53	17.19	263.49
BATHSOLD.COM	64.02	35.54	45.70	194.27

TABLE II : AVERAGE WEB-SERVICE'S CATEGORIES SCENARIO COMPLETION TIME (SECONDS)

SCENARIO WEB-SERVICE	LOCATION-BASED SEARCH	PARTICULAR EXISTED ITEM SEARCH	AREA SEARCH	INDIVIDUAL ADVERTISE MENT PUBLISHING
LOCATION-BASED	17.13	32.59	32.59	107.07
NON-LOCATION-BASED	49.87	24.03	31.44	228.88

V. CONCLUSION

From the data represented in Table 2, the researcher defined following conclusions:

- Location-based individual-oriented advertisement online services are providing significantly (65.6%) faster location-based search efficiency than the traditional ones
- Location-based individual-oriented advertisement online services are performing similar results for the purposes of particular existed item search (8.6%) slower.
- Location-based individual-oriented advertisement online services and the traditional ones are having almost the same results for the area search scenario execution
- Location-based individual-oriented advertisement online services are shown significantly faster performance of

the Individual advertisement publishing (53.2%) faster. For this particular result, the researcher has to mention that based on the researcher's subjective expertise knowledge and experience in research subject, the data may be different for this performance index, as if it were more Location-based individual-oriented advertisement online services and the traditional ones to test, because this index significantly depends on the particular project's posting algorithms and the load/performance optimization.

As the result of this research article on performance evaluation of location-based individual-oriented advertisement board, the researcher suggests, that the concept of location-based individual-oriented advertisement board has been proven from the side of its performance viability, especially for the case of location-based search purposes. The researcher also continues this study by implementing the model to the current market of the individual-oriented advertisement boards.

The concept of location-based individual-oriented advertisement board can also be a base for further studies of its performance evaluation and optimization, marketing and technological implementations. The researcher suggests that different technological implementations of the model may increase the key performance of location-based search. Also, the researcher suggests that the product and its marketing strategies implementations may be significantly different applying to different countries local markets.

REFERENCES

- [1] "Building a sustainable future for digital advertising," *iabuk*. [Online]. Available: <http://www.iabuk.net>. [Accessed: 20-Mar-2016].
- [2] "Load Test Your Apps With LoadComplete," *smart bear*. [Online]. Available: <http://smartbear.com/product/loadcomplete/overview/>. [Accessed: 22-May-2017].
- [3] "CodePlex Archive," *CodePlex Archive*. [Online]. Available: <https://archive.codeplex.com/>. [Accessed: 10-Jan-2016].
- [4] R. Felts, M. Leh, T. A. McElvaney, and D. R. Orr, "Public Safety Communications Research (PSCR) Program Location-Based Services R&D Roadmap," *Technical Note (NIST TN) - NIST TN 1883*, May 2015.
- [5] G. Ghinita, P. Kalnis, A. Khoshgozaran, C. Shahabi, and K.-L. Tan, "Private Queries in Location Based Services: Anonymizers Are Not Necessary," in *Proceedings of the 2008 ACM SIGMOD International Conference on Management of Data*, New York, NY, USA, 2008, pp. 121-132.
- [6] "Using Location-Based Services to increase consumer engagement - PDF." [Online]. Available: <http://docplayer.net/10580314-Using-location-based-services-to-increase-consumer-engagement.html>. [Accessed: 26-Jun-2016].
- [7] E. Cho, S. A. Myers, and J. Leskovec, "Friendship and Mobility: User Movement in Location-based Social Networks," in *Proceedings of the 17th ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining*, New York, NY, USA, 2011, pp. 1082-1090.
- [8] "Telegraph Connect," *The telegraph*. [Online]. Available: <https://www.telegraph.co.uk/>. [Accessed: 12-Mar-2016].
- [9] L. Aalto, N. Göthlin, J. Korhonen, and T. Ojala, "Bluetooth and WAP Push Based Location-aware Mobile Advertising System," in *Proceedings of the 2nd International Conference on Mobile Systems, Applications, and Services*, New York, NY, USA, 2004, pp. 49-58.
- [10] T. H. N. Vu, K. H. Ryu, and N. Park, "A Method for Predicting Future Location of Mobile User for Location-based Services System," *Computers & Industrial Engineering*, vol. 57, no. 1, pp. 91-105, Aug. 2009.
- [11] "Plimpa classified ADS," *Plimpa*, 2016. [Online]. Available: <http://plimpa.com/>. [Accessed: 12-Mar-2016].

เครื่องตัดสับสำหรับลดขนาดทางกายภาพของฟางและตอซังข้าวแบบลากจูง

Shredder for Physical Reduction of Straw and Stubble

ไพโรจน์ นะเที่ยง*¹ จันทร์เพ็ญ ชุมแสง#² ก็นต์ อินทวงศ์³

*คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์
¹Pairote.n@gmail.com
³inchgun@hotmail.com

#คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์
²Chanphen_ch@hotmail.com

บทคัดย่อ

เครื่องตัดสับฟางและตอซังข้าวแบบลากจูงเป็นเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวสำหรับลดขนาดทางกายภาพของฟางและตอซังข้าวให้มีความยาวเฉลี่ย 50-100 มิลลิเมตร ซึ่งจะทำให้การคลุกเคล้าลงไปในดินนาเกิดขึ้นอย่างสม่ำเสมอช่วยลดอุปสรรคในการไถเตรียมดินทำให้ย่อยสลายกลายเป็นอินทรีย์วัตถุได้เร็วขึ้นก่อนให้เกิดการหมุนเวียนธาตุอาหารในดินนา การออกแบบชุดใบมีดสำหรับตัดสับฟางและตอซังข้าวเป็นแบบหัวสับ (Cutter head) ชนิดทรงกระบอก (Cylinder Type) ทำงานในลักษณะสับและเหวี่ยง (Direct throw) โดยใช้ชุดเพลลาของใบมีดเป็นเหล็กเพลลา ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 38 mm ยาว 600 mm ใบมีดที่ทำจากเหล็กกล้าขนาดความกว้าง 32 mm ความยาว 136 mmหนา 3 mm จำนวน 4 ใบ ทำหน้าที่เป็นดัดตัดสับฟางและตอซังข้าวด้วยความเร็วรอบสูงสุด 1,800 รอบ/นาที ผลการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานโดยใช้ความเร็วรอบของชุดเกลิยวดูดฟางเข้าไปตัดสับที่ความเร็วรอบต่างกันที่ 68, 84 และ 102 รอบ/นาที ด้วยปริมาณฟางป้อนเข้าที่ต่างกันที่ 3, 5 และ 8 กิโลกรัม พบว่าสามารถตัดสับฟางได้ความยาวเฉลี่ย 2-5 เซนติเมตร ปริมาณเฉลี่ย 2.4 กิโลกรัม/นาที คิดเป็นร้อยละ 80 ของปริมาณฟางป้อนเข้า ได้ความยาวเฉลี่ย 5-6 เซนติเมตร ปริมาณเฉลี่ย 4.4 กิโลกรัม/นาที คิดเป็นร้อยละ 88 ของปริมาณฟางป้อนเข้า และได้ความยาวเฉลี่ย 8-10 เซนติเมตร ปริมาณเฉลี่ย 7.5 กิโลกรัม/นาที คิดเป็นร้อยละ 93 ของปริมาณฟางป้อนเข้า ตามลำดับ

คำสำคัญ: เครื่องตัดสับ, ฟางและตอซัง

ABSTRACT

Straw shredded rice straw and postharvest rice straw are postharvest technologies for reducing the physical size of straw and rice stubble to an average length of 50-100 millimeters. This helps to reduce the barriers to soil tilling, decomposing into organic matter faster, contributing to nutrient turnover in the soil. The cutter head design for cutting straw and rice stubble is a Cylinder Type work in the style of chop and direct throw. The axle of the blade is 38 mm long, 600 mm diameter steel blade. The blade is made of steel, 32 mm wide, 136 mm long, 3mm thick, 4 units. Serves as a cutter, straw and rice stubble with a maximum speed of 1,800 rpm. Performance tests were performed at different speeds at 68, 84 and 102 rpm with varying input straws at 3, 5 and 8 kg. The average length of cuttings was 2-5 cm, average 2.4 kg / min. 80% of the input straw The average length is 5-6 cm, average 4.4 kg / min.

88 percent of the input straw. The average length is 8-10 cm. The average volume is 7.5 kg / min. 93% of the input straw intake.

Keywords: Shredder, Straw

1) บทนำ

ฟางและตอซังคือส่วนลำต้นแห้งของข้าวซึ่งเป็นผลพลอยได้ในขั้นตอนสุดท้ายของกระบวนการทำนา แต่เนื่องจากฟางและตอซังข้าวเป็นวัสดุที่ย่อยสลายได้แต่ค่อนข้างช้าเพราะมีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเฉลี่ย 99:1 [1] จึงทำให้เป็นปัญหาต่อการไถกลบเนื่องจากไถไถไม่สามารถตัดชั้นฟางให้ขาดและพลิกกลับไปในดินได้จึงเป็นเหตุให้ฟางสะสมบนใบไถจนไม่สามารถทำงานได้ ดังนั้นเกษตรกรจึงแก้ปัญหาโดยการเผาฟางและตอซังข้าวทิ้งหลังจากเก็บเกี่ยว เนื่องจากการเผาทำได้ง่ายและต้นทุนต่ำ จึงเป็นสาเหตุที่ทำให้เกษตรกรทำนาเลือกวิธีการกำจัดฟางและตอซังด้วยการเผามากกว่าการกำจัดด้วยวิธีการอื่น ๆ ซึ่งการเผาตอซังและฟางข้าวหลังการเก็บเกี่ยวส่วนใหญ่พบในกรณีที่มีการทำนาปรังมากกว่าการปลูกข้าวนาปี สำหรับการเผาทำลายฟางข้าวที่ประเทศไทยผลิตออกมาแต่ละปีนั้นสร้างก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกสู่โลกมากถึง 27 ล้านตันกิโลกรัมคาร์บอน ไนโตรเจนที่สูญเสียไปจากการเผาทำลาย 462 ล้านกิโลกรัมและ ไนโตรเจนฟูละอองที่เกิดขึ้น 100700 ล้านกิโลกรัม [2] แต่จากการศึกษาพบว่า ในฟางและตอซังข้าว 485 กิโลกรัม ที่ได้ในพื้นที่หนึ่งไร่จะมีธาตุไนโตรเจน 2.3 กิโลกรัม ฟอสฟอรัส 0.3 กิโลกรัม และโพแทสเซียม 5.7 กิโลกรัม ซึ่งธาตุเหล่านี้มีความสำคัญต่อความอุดมสมบูรณ์ของดินในด้านธาตุอาหารของพืช [5] อีกทั้งยังเป็นแหล่งของคาร์บอนอินทรีย์ที่สำคัญต่อการปรับปรุงดิน [8] ซึ่งโดยปกติสัดส่วนของฟางและตอซังข้าวที่เป็นเศษวัสดุเหลือทิ้งหลังการเก็บเกี่ยวในอัตราเฉลี่ย 700-800 กิโลกรัม/ไร่ แต่เมื่อพิจารณาถึงผลกระทบที่เกิดจากการเผาฟางและตอซังข้าวจะทำให้เกิดการสูญเสียไนโตรเจน 93 เปอร์เซ็นต์ ฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมสูญเสียไป 20 เปอร์เซ็นต์ และยังคงทำให้เสียค่าใช้จ่ายในการซื้อปุ๋ยเคมีมากขึ้น นอกจากนี้การเผาฟางและตอซังยังทำให้เกิดความร้อนขึ้นในดินซึ่งจะไปทำลายจุลินทรีย์ในดินให้สูญเสียชีวิตและความสมดุลส่งผลให้คุณสมบัติทางกายภาพของดินลดลง สำหรับในประเทศไทยพบว่ามีธาตุไนโตรเจนสะสมในฟางและตอซังข้าว 0.4-0.69 เปอร์เซ็นต์ ฟอสฟอรัส

0.08-0.28 เปอร์เซ็นต์ และโพแทสเซียม 0.38-0.69 เปอร์เซ็นต์ [2] ทั้งนี้เนื่องจากในประเทศไทยนิยมปลูกข้าวที่มีต้นสูง จึงทำให้มีโอกาสดันข้าวจะสะสมธาตุอาหารไว้ในฟางข้าวในปริมาณมาก หากประเมินปริมาณของธาตุอาหารพืชในฟางข้าวทั้งประเทศจะประกอบด้วยไนโตรเจน 212,220 ตัน ฟอสฟอรัส 159,165 ตัน และโพแทสเซียม 1,278,762 ตัน ประเมินเป็นมูลค่ารวมประมาณ 20,375 ล้านบาท ซึ่งนับว่าเป็นการทำลายทรัพยากรที่มีคุณค่าไปโดยเปล่าประโยชน์

การจัดการฟางและตอซังข้าวที่ถูกต้องวิธีการหนึ่งก็คือการไถกลบ (Crop Residue Incorporation) คือการนำเอาเศษพืชหรือวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรที่ได้หลังจากการเก็บเกี่ยวผลผลิตไถกลบลงดินระหว่างการเตรียมพื้นที่เพาะปลูกและปล่อยให้สลายไปเพื่อให้เกิดการย่อยสลายในช่วงระยะเวลาหนึ่งแล้วจึงดำเนินการเพาะปลูกต่อไป การไถกลบมีจุดมุ่งหมายเพื่อช่วยปรับปรุงโครงสร้างของดินให้เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืชเพิ่มปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินและหมุนเวียนธาตุอาหารคืนสู่ดินเพิ่มปริมาณจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ในดินและรักษาระดับความเป็นกรด-ด่างให้เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช ช่วยระบายอากาศและช่วยให้ดินดูดซับและกักเก็บน้ำมากขึ้น รวมทั้งทดแทนธาตุอาหารบางส่วนที่พืชนำไปใช้และติดไปกับผลผลิต นอกจากนี้ การไถกลบฟางและตอซังข้าวลงไปไถในดินนาจะช่วยเติมธาตุอาหารลงไปในดินโดยตรง [2] แม้ว่าฟางและตอซังจะมีปริมาณธาตุอาหารน้อยแต่จะมีธาตุอาหารครบถ้วนตามที่พืชต้องการทั้งธาตุอาหารหลักและธาตุอาหารรองและจุลธาตุต่างๆ ที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช โดยฟางและตอซังข้าวที่ถูกฝังกลบลงไปในดินนาจะค่อยๆ ปลดปล่อยธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อพืชอย่างช้าๆ ฟางและตอซังข้าวจึงเป็นวัสดุอินทรีย์ที่สำคัญต่อการอนุรักษ์และปรับปรุงดินนาได้เป็นอย่างดี โดยเฉพาะการไถกลบตอซังหลังการเก็บเกี่ยวติดต่อกันทำให้อินทรีย์วัตถุในดินนาเพิ่มขึ้น และยังช่วยลดความเป็นพิษของเหล็กและแมงกานีส และดินเค็มได้อีกด้วย ซึ่งการไถกลบวัสดุอินทรีย์ในนาข้าวติดต่อกันเป็นระยะเวลา 10 ปี มีผลในการที่ช่วยลดค่าความแข็งของดิน (Soil Hardness) จาก 29.27 mm. เป็น 24.90 mm. [9] , [10] ส่วนการไถกลบฟางและตอซังหลังการเก็บเกี่ยวในอัตราส่วน 2,000 กิโลกรัม/ไร่ ติดต่อกันเป็นระยะเวลา 4 ปี ยังมีผลต่อความอุดมสมบูรณ์ของดินและทำให้ผลผลิตข้าวสูงขึ้นเฉลี่ย 580 กิโลกรัม/ไร่ เมื่อเทียบกับการเผาฟางและตอซังทั้งทำให้ผลผลิตข้าวต่ำลงมาเฉลี่ย 461 กิโลกรัม/ไร่ [4] แต่เนื่องจากปัจจุบันในขั้นตอนการเก็บเกี่ยวนั้นเกษตรกรทำนานิยมเก็บเกี่ยวโดยใช้เครื่องเกี่ยวขนาดข้าวเป็นหลัก โดยเครื่องเกี่ยวขนาดข้าวจะฟันฟางที่ผ่านการนวดเพื่อปลีเมล็ดข้าวออก แล้วฟันลงพื้นทีนั้นเป็นแถวอยู่ด้านหลังของเครื่องเกี่ยวขนาดข้าว ฟางที่ถูกทิ้งไว้ในแปลงนาจะมีขนาดความยาวตามขนาดที่ถูกเครื่องเกี่ยวขนาดข้าวตัดซึ่งโดยปกติจะมีขนาดความยาวมากกว่า 100 มิลลิเมตร โดยจะรวมตัวและสะสมกันเป็นชั้นอยู่บนผิวดินทำให้ไม่สามารถเตรียมดินโดยใช้รถไถได้ตามปกติ ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ [6] ที่พบว่าฟางที่ถูกสับให้มีความยาวเฉลี่ย 50-100 มิลลิเมตร เป็นขนาดความยาวที่ทำให้การย่อยสลายได้อย่างเหมาะสมรวมทั้งทำให้การคลุกเคล้าในดินเกิดขึ้นอย่างสม่ำเสมอด้วย อีกทั้งยังสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Gilbertson และ Knight, 1986 ที่ได้แบ่งความยาวของฟางออกเป็น 3 ช่วง ซึ่งจะมีผลทำให้เกิดปัญหาในการคลุกเคล้าในดินว่า ฟางที่มีขนาดความยาว 0-50

มิลลิเมตร โดยทั่วไปเป็นที่ยอมรับว่าไม่ก่อให้เกิดปัญหาในการคลุกเคล้าลงดิน ส่วนฟางที่มีขนาดความยาว 50-120 มิลลิเมตร อาจก่อให้เกิดปัญหาบ้างทำให้จำนวนของวิธีการเตรียมดินลดลง และฟางที่มีขนาดความยาวมากกว่า 120 มิลลิเมตร ไม่เหมาะสมกับวิธีการเตรียมดินวิธีการใดๆ นอกจากการไถด้วยต้นกำลังและอุปกรณ์เตรียมดินขนาดใหญ่เพียงวิธีการเดียวเท่านั้น

ดังนั้น การพัฒนาเทคโนโลยีเครื่องตัดสับสำหรับลดขนาดทางกายภาพของฟางและตอซังข้าวแบบลากจูง จึงเป็นเทคโนโลยีเครื่องจักรกลการเกษตรหลังการเก็บเกี่ยวที่สามารถทำให้ฟางและตอซังข้าวมีขนาดสั้นลงโดยมีความยาวเฉลี่ย 50-100 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นขนาดความยาวที่ทำให้การคลุกเคล้าลงไปในดินนาเกิดขึ้นอย่างสม่ำเสมอ ช่วยลดอุปสรรคในการไถเตรียมดินและสามารถลดการเผาฟางและตอซังข้าวหลังการเก็บเกี่ยวของเกษตรกรทำนาลงได้ต่อไป นอกจากนี้ยังทำให้ฟางและตอซังข้าวย่อยสลายกลายเป็นอินทรีย์วัตถุได้เร็วมากขึ้น อีกทั้งยังเป็นการสนับสนุนและเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการทำนาแบบไถกลบฟางและตอซังหลังการเก็บเกี่ยวให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น เพื่อลดปัญหาการเผาทำลายฟางและตอซังหลังการเก็บเกี่ยวเพื่อการหมุนเวียนธาตุอาหารในดินนาและยังก่อให้เกิดการพัฒนาความอุดมสมบูรณ์ของดินนาด้วยการใช้เศษวัสดุที่เหลือทิ้งหลังจากการเก็บเกี่ยวมาใช้ประโยชน์ได้อย่างยั่งยืนต่อไป

2) วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อออกแบบและพัฒนาเครื่องตัดสับฟางและตอซังข้าวแบบลากจูงที่มีประสิทธิภาพในการลดขนาดทางกายภาพให้มีความยาวที่เหมาะสมกับการคลุกเคล้าลงไปในดินนา
2. เพื่อศึกษาความเหมาะสมของค่าความเร็วรอบที่มีความสัมพันธ์กับค่าความเร็วตัดของใบมีดที่ใช้สำหรับการตัดสับฟางและตอซังข้าว

3) วิธีดำเนินการวิจัย

การดำเนินงานเพื่อการออกแบบและพัฒนาเครื่องตัดสับฟางและตอซังข้าวแบบลากจูงที่มีประสิทธิภาพในการลดขนาดทางกายภาพให้มีความยาวที่เหมาะสมกับการคลุกเคล้าลงไปในดินนามีขั้นตอนในการดำเนินการวิจัยดังนี้

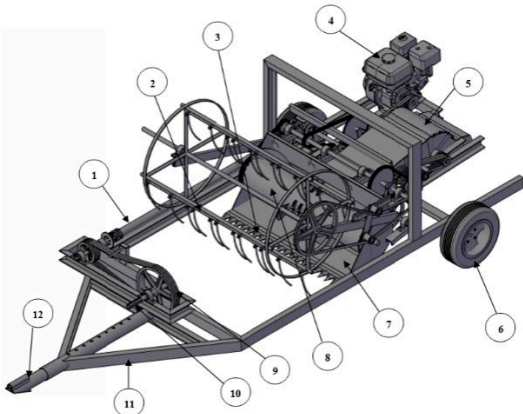
3.1) ศึกษารวบรวมข้อมูลเบื้องต้นเพื่อใช้ในการออกแบบ

ในการออกแบบเครื่องตัดสับฟางและตอซังข้าวแบบลากจูง ผู้วิจัยได้ทำการลงพื้นที่เพื่อสัมภาษณ์เกษตรกรที่ทำนา ซึ่งเป็นผู้ใช้งานเครื่องเก็บ-สับย่อยฟางและตอซังข้าวหลังการเก็บเกี่ยวแบบลากจูง โดยได้ศึกษารายละเอียดลักษณะการตัดสับฟางและตอซังข้าวหลังการเก็บเกี่ยวและนำมาสังเคราะห์ความคิดเพื่อออกแบบเครื่องเก็บ-สับย่อยฟางและตอซังข้าวหลังการเก็บเกี่ยวแบบลากจูง

3.2) การออกแบบและพัฒนาเครื่องตัดสับฟางและตอซังข้าวแบบลากจูง

ในการออกแบบและพัฒนาเครื่องตัดสับฟางและตอซังข้าวแบบชักจูง ที่ทำหน้าที่ตัดตอซังข้าว และลำเลียงฟางเพื่อสับย่อยละเอียด มีส่วนประกอบที่สำคัญดังนี้

3.2.1) ชุดโครงสร้างและส่วนประกอบของเทคโนโลยีเครื่องตัดสับฟางและตอซังแบบลากจูง ดังรูปที่ 1 ประกอบด้วยเพลาส่งกำลังจากเฟืองท้าย PTO รถแทรกเตอร์(1) ชุดลูกกวักรับเก็บฟางลอยและตอซัง(2) ชุดใบมีดสำหรับตัดตอซัง(3) เครื่องยนต์ดีเซลรอบต่ำขนาด 10 แรงม้า(4) ชุดใบมีดสำหรับตัด-สับ(5) ล้อยางรับน้ำหนัก(6) ชุดปากเก็บฟางข้าวและตอซังข้าว(7) ชุดเกลิยวสำหรับดูดเศษฟางและตอซังข้าว(8) มู่เล่-สายพานส่งกำลังจากเฟืองท้ายเพอร์รี่โรทรถแทรกเตอร์(9) แกนเพลาส่งกำลังต่อกับเฟืองท้ายเพอร์รี่โรทรถแทรกเตอร์(10) โครงสร้างเหล็กตัวไอซิ่งรูป(11) และชุดตอพงติดกับรถแทรกเตอร์(12)



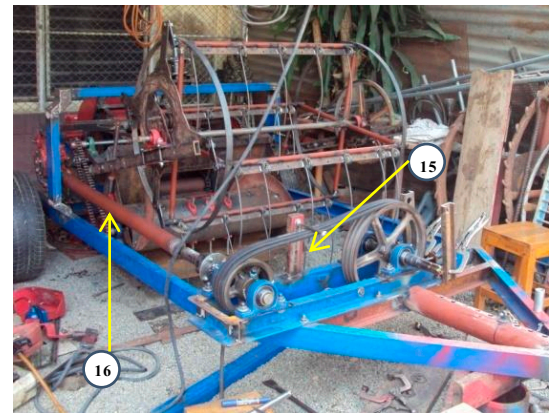
รูปที่ 1: โครงสร้างและส่วนประกอบของเทคโนโลยีเครื่องตัดสับฟางและตัดตอซังแบบลากจูง

3.2.2) ชุดต้นกำลังมีแกนเพลาราวทำหน้าที่รับกำลังจากเครื่องยนต์ต้นกำลังดีเซลรอบต่ำ 4 จังหวะขนาด 14 แรงม้าใช้ชุดสายพานวี รหัส B-92(13) ส่งกำลังจากเครื่องยนต์ไปยังชุดพูลเลย์ โดยใช้อัตราทดของล้อยางขนาด 3.5 นิ้ว และล้อยางตาม 10 นิ้ว ใช้สายพานวี รหัส B- 52(14) เพื่อส่งกำลังไปยังชุดลูกกวักรับมีดตัดตอซัง เกลิยวดูดฟางและตอซังข้าว ชุดลำเลียงและกตริตฟางและตอซัง และชุดใบมีดสำหรับสับย่อยฟางและตอซังข้าว ส่วนล้อยางทำหน้าที่ส่งกำลังระหว่างเพลานี้ไปยังอีกเพลานึง สายพานใช้สำหรับส่งกำลังจากล้อยางหนึ่งไปยังอีกล้อยางหนึ่งชุดส่งกำลังจะรับกำลังมาจากเครื่องยนต์ โดยส่งกำลังผ่านเพลาราวโดยที่เพลาราวมีล้อยางยึดติดอยู่ที่ปลายเพลาทั้งสองข้าง และส่งกำลังไปยังชุดใบมีดตัดสับโดยใช้สายพานร่อง B ขนาด B 91 เป็นตัวส่งกำลัง โดยมีอัตราทด 1:4 ใช้ล้อยางขนาด 304.5 mm จากเพลาราวเป็นตัวขับ และล้อยางที่ชุดโครงใบมีดใช้ล้อยางขนาด 406.4 mm จากนั้นที่ปลายเพลาส่งกำลังใช้ล้อยางขนาด 76.2 mm เป็นตัวขับไปยังล้อยางที่ติดกับชุดลูกกวักรับ โดยใช้ล้อยางร่อง B ขนาด B51 เป็นตัวส่งกำลัง ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2: ชุดต้นกำลังขับเคลื่อนเครื่องตัดสับฟางและตอซังแบบลากจูง

3.2.3) ชุดส่งกำลังจากเฟืองท้าย PTO ของรถแทรกเตอร์ขนาด 30 แรงม้า ใช้ชุดสายพานวี รหัส B-92 (15) และเพลาลูก(16) ทำหน้าที่ในการส่งกำลังจากชุดเฟืองท้าย PTO ของรถแทรกเตอร์ไปยังชุดพูลเลย์ โดยใช้อัตราทดของล้อยางขนาด 3.5 นิ้ว และล้อยางตามเท่ากับ 10 นิ้ว ใช้สายพานวี รหัส B- 52 ดังรูปที่ 3



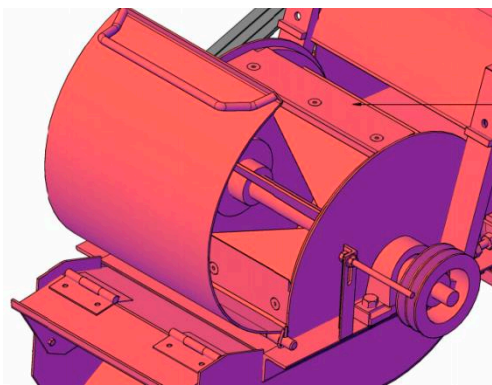
รูปที่ 3: ระบบส่งกำลังจากเฟืองท้าย PTO ของเครื่องตัดสับฟางและตอซังแบบลากจูง

3.2.4) ชุดลำเลียงและกตริตฟางและตอซังทำจากเหล็กฉากกว้าง 1 นิ้ว เชื่อมติดกับชุดโซ่ลำเลียงสำหรับนำเศษฟางและตอซังเข้าไปสู่ชุดสับย่อยความเร็วรอบของชุดลำเลียงและกตริตฟางและตอซังเท่ากับ 72 รอบต่อนาทีดังรูปที่ 4



รูปที่ 4: ชุดลำเลียงและกตริตฟางและตอซัง

3.2.5) ชุดไ้มัดสำหรับตัดสับฟางและตอซังข้าว การออกแบบหัวสับ(Cutter head) เป็นลักษณะของหัวสับชนิดทรงกระบอก (Cylinder Type) ทำงานในลักษณะสับและเหวี่ยง (Direct throw) โดยใช้ชุดเพลลาของไ้มัดเป็นหลักเพลลาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 38 mm ยาว 600 mm ทำหน้าที่รองรับไ้มัดทำจากเหล็กแผ่นหนา 6 mm ตัดเป็นวงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 250 mm จำนวน 2 แผ่น ใช้เป็นที่ยึดไ้มัดเหล็กยึดไ้มัดใช้เหล็กมีขนาดความกว้าง 25 mm ความยาว 300 mm หนา 6 mm เจาะรู 8 รู ขนาด 6 mm 2 อัน ใช้ยึดไ้มัดที่ทำจากเหล็กขนาดความกว้าง 32 mm ความยาว 136 mm หนา 3mm เจาะรู 6 mm จำนวน 4 รู จำนวน 4 ใบ เพื่อยึดกับเหล็กยึดไ้มัด ทำหน้าที่เป็นตัวตัดสับฟางและตอซังข้าว โดยชุดแบร์ริงขนาด 38.1 mm 2 ตัว ทำหน้าที่รองรับเพลลาชุดไ้มัด ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5: ชุดไ้มัดของไ้มัดสำหรับตัดสับฟางและตอซังข้าว

4) ผลการวิจัย

4.1) คุณลักษณะฟางและตอซังข้าวจากการสับย่อย

ในการหาคุณลักษณะฟางและตอซังข้าวที่เหมาะสมต่อการย่อยสลายเป็นอินทรีย์วัตถุ ผู้วิจัยได้กำหนดค่าความเร็วของเครื่องยนต์ต้นกำลังที่ขับเคลื่อนชุดไ้มัด 3 ระดับ คือ ที่ความเร็ว 1400 1600 และ 1800 รอบต่อนาที ตามรูปที่ 6 พบว่าค่าความเร็วรอบของชุดไ้มัดที่ใช้สำหรับการสับย่อยฟางและตอซังข้าวมีความเหมาะสมอยู่ที่ 1800 รอบต่อนาที ซึ่งเป็นความเร็วรอบที่สูงสุดของชุดไ้มัดจะทำได้ลักษณะของรอยตัดที่มีความสมบูรณ์มากที่สุดเนื่องจากมีรอยตัดที่เรียบและขาดออกจากกันเมื่อเทียบกับความเร็วรอบของไ้มัดที่ต่ำกว่า ดังรูปที่ 6



(ก) (ข) (ค)

หมายเหตุ :

- (ก) ความเร็วในการตัด 1400 rpm
- (ข) ความเร็วในการตัด 1600 rpm
- (ค) ความเร็วในการตัด 1800 rpm

รูปที่ 6: ลักษณะการตัดสับฟางและตอซังข้าวที่ความเร็วต่างๆ

4.2) ผลการวัดความยาวฟางและตอซังข้าวจากการสับย่อย

การวิเคราะห์คุณลักษณะฟางข้าวและตอซังข้าวจากการสับย่อยพบว่าความเร็วรอบของชุดไ้มัดที่เหมาะสม คือที่ 1800 รอบต่อนาที สามารถตัดได้อย่างสมบูรณ์ และมีแนวตัดที่เรียบ ผู้วิจัยจึงใช้ความเร็วรอบของชุดไ้มัดที่ 1800 รอบต่อนาที ในการตัดฟางและตอซังข้าว และทำการปรับเปลี่ยนความเร็วของชุดเกลิยวดูด ที่ทำหน้าที่ในการลำเลียงฟางและตอซังข้าวเข้าสู่ชุดไ้มัดโดยกำหนดความเร็วรอบของชุดเกลิยวดูดที่ 68, 84 และ 102 รอบต่อนาที ผลการทดสอบพบว่าที่ความเร็ว 68 รอบต่อนาที ฟางที่ถูกตัดมีขนาด 3-4 เซนติเมตร ความเร็ว 84 รอบต่อนาที ฟางที่ถูกตัดมีขนาด 4-6 เซนติเมตร และความเร็วที่ 102 รอบต่อนาที ฟางที่ถูกตัดมีขนาด 5-10 เซนติเมตร ดังรูปที่ 7



(ก)



(ข)



(ค)

หมายเหตุ :

- (ก) ความเร็วรอบ 68 rpm
- (ข) ความเร็วรอบ 84rpm
- (ค) ความเร็วรอบ 102rpm

รูปที่ 7: ขนาดฟางที่ถูกตัด ที่ความเร็วของชุดลำเลียงทั้ง 3 ระดับ

4.3) ผลการวัดประสิทธิภาพของเครื่องจักร

ในการวัดกำลังการผลิตและปริมาณการสิ้นเปลืองน้ำมันของเครื่องเก็บ-สับย่อยฟางและตอซังข้าวที่ความเร็วรอบชุดลำเลียงทั้ง 3 ระดับ โดยทำการทดสอบซ้ำจำนวน 5 ครั้งต่อการทดลอง ซึ่งแสดงผลดังตารางที่ 1 และจากตารางที่ 2 วิเคราะห์ค่าความแปรปรวนปริมาณฟางและตอซังข้าวที่ความเร็วรอบชุดลำเลียงต่างๆ พบว่าที่ความเร็วรอบของชุดลำเลียงที่แตกต่างกันส่งผลต่อปริมาณฟางและตอซังข้าว อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยที่ความเร็วรอบ 102 รอบต่อนาที จะทำให้สามารถสับย่อยฟางและตอซังข้าวได้มากที่สุด คือ 450 กิโลกรัมต่อชั่วโมงและสิ้นเปลืองน้ำมัน 16.2 มิลลิลิตรต่อนาที และเมื่อใช้ความเร็วรอบของชุดดูดต่ำ คือ 68 รอบต่อนาที จะสับย่อยเศษฟางและตอซังข้าวได้น้อยที่สุด คือ 145.20 กิโลกรัมต่อชั่วโมง และสิ้นเปลืองน้ำมัน 13 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง

ตารางที่ 1 : ผลการวัดกำลังการผลิตและปริมาณการใช้น้ำมันของเครื่องเก็บ-สับย่อยฟางและตอซังข้าว

Evolution	Replicate					Average	
	1	2	3	4	5		
68 rpm	Capacity(kg/Hr.)	150	144	138	150	144	145.2
	Oil (ml/min)	12	13	14	13	13	13
84 rpm	Capacity(kg/Hr.)	270	258	264	270	264	265.2
	Oil (ml/min)	14	14	15	16	15	14.8
102 rpm	Capacity(kg/Hr.)	450	450	456	444	450	450.0
	Oil (ml/min)	17	16	15	17	16	16.2

ตารางที่ 2 : ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนปริมาณฟางและตอซังข้าวที่ความเร็วรอบชุดลำเลียงต่าง ๆ

Evolution	Capacity (kg/Hr.)	Oil (ml/min)
68 รอบ/นาที	145.20 ± 5.02 a	13.00 ± 0.71 c
84 รอบ/นาที	265.20 ± 5.02 b	14.80 ± 0.83 b
102 รอบ/นาที	450.00 ± 4.24 c	16.20 ± 0.83 a
F-test	**	**
%cv	45.27	10.52

หมายเหตุ

- ค่าที่แสดงในตาราง หมายถึง ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการทดลอง 5 ซ้ำ
- ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อยู่ในคอลัมน์เดียวกันที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษแตกต่างกัน จะมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

5) สรุปและอภิปรายผล

ในการออกแบบและพัฒนาเครื่องตัดสับฟางและตอซังแบบลากจูง ทำให้เกิดข้อสรุปจากงานวิจัยที่นำไปสู่การพัฒนาเทคโนโลยีเครื่องจักรกลการผลิตหลังการเก็บเกี่ยวที่มีประสิทธิภาพในด้านการจัดการเศษเหลือทิ้งจากการทำนาที่เหมาะสม และสามารถใช้ประโยชน์จากฟางข้าวสำหรับการบำรุงดิน พบว่าเครื่องตัดสับฟางและตอซังแบบลากจูงที่ได้พัฒนาขึ้นจะมีประสิทธิภาพสูงสุด เมื่อใช้ความเร็วรอบในการตัด 1800 รอบต่อนาที ซึ่งเป็นความเร็วรอบที่สูงที่สุด และทำให้รอยตัดเศษฟางและตอซังข้าวมีรอยตัดที่สมบูรณ์มากที่สุด เนื่องจากลักษณะของรอยตัดมีแนวที่เรียบและสมบูรณ์กว่ารอยตัดที่ตัดด้วยความเร็วรอบของใบมีดที่ต่ำกว่าความเร็วรอบของใบมีดที่เคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 1800 รอบต่อนาที ต้องสัมพันธ์กับความเร็วรอบของชุดลำเลียงฟางและตอซังข้าวที่ตัด ซึ่งจากการทดสอบพบว่าความเร็วของชุดลำเลียงที่เหมาะสม คือ 102 รอบต่อนาที โดยจะสามารถตัดฟางให้มีขนาดความยาว 5-10 เซนติเมตร ได้จำนวน 450 กิโลกรัมต่อชั่วโมง และสิ้นเปลืองน้ำมัน 16.2 มิลลิลิตรต่อนาที ขนาดความยาวของฟางที่ได้ 5-10 เซนติเมตร เป็นขนาดความยาวที่ทำให้การคลุกเคล้าลงไปในดินนาเกิดขึ้นอย่างสม่ำเสมอช่วยลดอุปสรรคในการไถเตรียมดิน

6) ข้อเสนอแนะเชิงวิชาการ

1. เนื่องจากเครื่องต้นแบบนี้เป็นแบบลากจูงจึงต้องติดพวงเข้ากับรถแทรกเตอร์จึงมีข้อจำกัดด้านความคล่องตัวโดยเฉพาะเวลาเลี้ยวหักมุมที่อาจจะต้องใช้พื้นที่เลี้ยวเพื่อการกลับตัว

2. ควรมีการพัฒนาระบบการยกขึ้น-ลงของปากเกี่ยว (ปากตัดตอซัง) โดยใช้ระบบไฮดรอลิกส์ที่บังคับด้วยคนขับรถแทรกเตอร์ เพื่อให้การการยกขึ้น-ลงได้ง่ายขึ้นในขณะที่ทำการเก็บและตัดตอซัง เนื่องจากเครื่องจักรต้นแบบใช้ระบบเกี่ยวหมุนสำหรับการยกขึ้น-ลงจึงไม่สะดวกในขณะที่มีการใช้งาน

3. ควรมีการติดตั้งระบบการฉีดพ่นสารอินทรีย์ชีวภาพรวมเข้ากับเครื่องเก็บ-สับย่อยฟางและตอซังข้าว หลังการเก็บเกี่ยวแบบลากจูงสำหรับช่วยในการย่อยสลายฟางและตอซังข้าวหลังจากที่ถูกตัดสับ

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณอธิการบดี และคณบดีคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตต์ ที่สนับสนุนงานวิจัยอย่างจริงจังและต่อเนื่องมาโดยตลอด และขอขอบคุณผู้ที่เกี่ยวข้องอื่นๆ ที่ไม่ได้กล่าวนามที่มีส่วนช่วยให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ขอขอบคุณกลุ่มเกษตรกรทำนาที่อยู่ในพื้นที่ อำเภอตรอน จังหวัดอุดรดิตต์ ที่ให้ความร่วมมือ เอื้อเฟื้อสถานที่และสละเวลาในการให้ข้อมูลต่างๆ ซึ่งมีความสำคัญในการทำงานวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยเชื่อมั่นเป็นอย่างยิ่งว่างานวิจัยนี้จะเอื้อประโยชน์ต่อกลุ่มเกษตรกรทำนาสำหรับการเพิ่มระดับความอุดมสมบูรณ์ของดินได้ต่อไปในอนาคต

เอกสารอ้างอิง

- [1] "คู่มือจดเผาตอซังสร้างดินยั่งยืนพื้นที่สิ่งแวดล้อม," *กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์*, 2548. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: [HTTP://WWW.LDD.GO.TH/MANUAL_STUMP/STUMP.PDF](http://www.LDD.GO.TH/MANUAL_STUMP/STUMP.PDF). [เข้าถึงเมื่อ: 07-ธ.ค.-2016].
- [2] กรมพัฒนาที่ดิน, *การผลิตเมล็ดพันธุ์พืชปุ๋ยสดและการใช้ประโยชน์เพื่อการปรับปรุงบำรุงดิน (เอกสารประกอบการส่งเสริมการเกษตร)*, กรุงเทพฯ: สำนักเทคโนโลยีชีวภาพทางดิน, 2556
- [3] "เกษตรกรไทยร่วมใจไม่เผาฟาง," *กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม*, 2547. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: [HTTP://WWW.PCD.GO.TH/INFO_SERV/AIR_STRAW.HTM](http://www.PCD.GO.TH/INFO_SERV/AIR_STRAW.HTM). [เข้าถึงเมื่อ: 26-มี.ย.-2016].
- [4] ชุตติวัฒน์ วรรณสาย และ ดิเรก อินตาพรหม, "ผลของการจัดฟางข้าวต่อความอุดมสมบูรณ์ของดินและผลผลิตข้าว," *วารสารเกษตรนเรศวร*, ปีที่ 3, ฉบับที่ 1, หน้า 30-35, 2540.
- [5] บรูค ลินคิส และเพง แซ็งซ้อ, "การจัดการกับธาตุอาหารสำหรับข้าวนาพื้นที่ราบใน ส.ป.ป. ลาว," สถาบันวิจัยเกษตรกรรมและป่าไม้ กระทรวงเกษตรและป่าไม้ (ภาษาลาว): ม.ป.ท., 2548
- [6] W. A. Kondinin, "Kondinin & Districts Farm Improvement Group," *Reader's digest*, vol. 10, no. 2, pp. 384-388, 1982.
- [7] G.H. Gilbertson, and A.C. Knight, "Straw chopping," *Agricultural Engineering*, vol.41, no.4, pp. 120-125, 1986.
- [8] "Methane Emissions from Rice Cultivation: Flooded Rice Fields," *Intergovernmental Panel on Climate Change*, 1996. [Online]. Available: <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gl/guidelin/ch4ref5.pdf>. [Accessed: 15-Jun-2017].
- [9] W. Kaewpradit et al., "Mixing groundnut residues and rice straw to improve rice yield and n use efficiency," *Field crops research*, vol. 110, no. 2, pp. 130-138, Feb. 2009.
- [10] K. Surekha, K. P. C. Reddy, A. P. P. Kumari, and P. C. S. Cruz, "Effect of Straw on Yield Components of Rice (*Oryza sativa* L.) Under Rice-Rice Cropping System," *Journal of Agronomy and Crop Science*, vol. 192, no. 2, pp. 92-101.

การจัดกลุ่มเพลงโดยอาศัยความคล้ายคลึงของลายนิ้วมือทางเสียง

Song Clustering Using Similarity of Audio Fingerprint

สุนันท์ ธาติ¹ พงศ์พันธ์ กิจสนาโยธิน² วรลักษณ์ คงเด่นฟ้า³

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร พิษณุโลก

¹ sununt56@email.nu.ac.th

² kphongph@nu.ac.th

³ woralakk@gmail.com

บทคัดย่อ

วิธีการทั่วไปในการตรวจสอบการละเมิดลิขสิทธิ์ หรือการระบุข้อมูลเพลง คือการฟังโดยคน แต่การฟังมีข้อจำกัดในกรณีที่ต้องวิเคราะห์ข้อมูลเพลงจำนวนมากๆ อีกทั้งความถูกต้องแม่นยำขึ้นอยู่กับความเชี่ยวชาญของผู้ฟังแต่ละคน ด้วยข้อจำกัดดังกล่าว จึงมีการประยุกต์ใช้หลักการการรู้จำดนตรี (Music recognition) ในการแก้ไขปัญหาที่แทนและคุณลักษณะของข้อมูลที่ถูกนำมาใช้ในการวิเคราะห์อย่างกว้างขวาง คือลายนิ้วมือทางเสียง (Audio fingerprint) การวิเคราะห์ลายนิ้วมือทางเสียงมีประสิทธิภาพมากในการตรวจสอบว่าข้อมูลเสียงใดเป็นเพลงเดียวกัน ในกรณีที่มีเนื้อหาตรงกัน (Exactly match) แต่ยังไม่สามารถตรวจสอบได้ในกรณีที่เนื้อหาคล้ายคลึงกัน (Similar) งานวิจัยฉบับนี้นำเสนอวิธีการหาความคล้ายคลึงกันของเพลงโดยใช้ฟังก์ชันความสัมพันธ์ (Relation function) สำหรับการเปรียบเทียบลายนิ้วมือทางเสียงแทนการเปรียบเทียบข้อมูลเสียงขนาดใหญ่ที่ละเอียดและทดลองใช้วิธีการที่นำเสนอเพื่อระบุเพลงต้นฉบับจากเพลงคัฟเวอร์ ผลการทดลองพบว่าวิธีการดังกล่าวสามารถระบุเพลงต้นฉบับได้อย่างมีประสิทธิภาพครอบคลุมกลุ่มเพลงทุกประเภท (Genre) โดยมีพื้นที่ใต้กราฟเฉลี่ย (Average AUC) เป็น 0.790

คำสำคัญ: การทำเหมืองข้อมูล, การจัดกลุ่มข้อมูล, การรู้จำข้อมูลดนตรี, สเปกโตรแกรม, ลายนิ้วมือทางเสียง

ABSTRACT

Listening is the most common way to detect copyright infringement or identify unknown music data, but it is difficult to analyze a large amount of music data. The accuracy also depends on the listener's level of expertise. As mentioned earlier, music recognition is applied to solve this problem and the audio fingerprint is a widely used as data feature. Audio fingerprint analysis is effective at finding audio tracks which are duplicate content (exactly match) however it cannot detect in the case of similar content. This research proposes a method for finding the similarity between two songs using relation functions for comparing audio fingerprints instead of comparing bigger music content. For a case study, we try to find the original song from the cover song to assess the efficiency of our approach. The findings of this study indicate that proposed approach can be use effectively to identify the original song covered with many genres. Overall average area under curve (Average AUC) is 0.790.

Keywords: Data mining, Data clustering, Music recognition, Spectrogram, Audio fingerprint

1) บทนำ

ในยุคดิจิทัลการละเมิดลิขสิทธิ์ทำได้ง่ายและก่อให้เกิดความเสียหายแก่ผู้เป็นเจ้าของผลงานเป็นมูลค่ามหาศาล ซึ่งอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องจำนวนมากได้รับผลกระทบนี้ อาทิ สิ่งประดิษฐ์ สื่อสิ่งพิมพ์ ภาพยนตร์ ดนตรี เป็นต้น สำหรับอุตสาหกรรมดนตรีนั้น การเผยแพร่ผลงานเพลงโดยผู้ที่ไม่ใช่เจ้าของผลงานถือเป็นปัญหาที่ส่งผลกระทบต่อวงกว้างอย่างมาก การตรวจสอบการละเมิดลิขสิทธิ์ทำได้หลายวิธี ซึ่งวิธีการทั่วไปใช้การสุ่มตรวจโดยการฟังของเจ้าหน้าที่ลิขสิทธิ์ แต่เนื่องด้วยข้อจำกัดหลายประการ อาทิ ความยากในการวิเคราะห์ข้อมูลจำนวนมากๆ โดยคนฟัง ประสบการณ์ของผู้ฟังที่ส่งผลต่อความถูกต้องของการวิเคราะห์ข้อมูลโดยตรง เป็นต้น ดังนั้นจึงมีการนำการสืบค้นข้อมูลดนตรี (Music information retrieval) [1] มาช่วยในการตรวจสอบการละเมิดลิขสิทธิ์แทนการฟัง

การสืบค้นข้อมูลดนตรีเป็นหนึ่งในกลุ่มการวิจัยที่บูรณาการความรู้จากหลายสาขาวิชา โดยอาศัยความรู้ในด้านต่างๆ อาทิ การประมวลผลสัญญาณดิจิทัล (Digital signal processing) การจดจำรูปแบบ (Pattern recognition) ทฤษฎีดนตรี (Music theory) เป็นต้น เทคนิคการรู้จำดนตรี (Music recognition technique) [2] ถูกนำมาประยุกต์ใช้เพื่อการดึงคุณลักษณะเฉพาะที่เป็นตัวแทนของเนื้อหาเสียงและการเปรียบเทียบเพื่อการตรวจสอบการทำซ้ำ คุณลักษณะเฉพาะที่ถูกเลือกเป็นตัวแทนของเนื้อหาเสียงมีหลากหลายรูปแบบทั้งนี้ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของระบบ ซึ่งหนึ่งในคุณลักษณะเฉพาะที่ถูกนำมาใช้อย่างกว้างขวางในการตรวจสอบการละเมิดลิขสิทธิ์ คือ ลายนิ้วมือทางเสียง (Audio fingerprint) [3]

ลายนิ้วมือทางเสียงคือคุณลักษณะของข้อมูล (Data feature) ที่สามารถระบุถึงเนื้อหาของเสียงเช่นเดียวกับลายนิ้วมือที่แตกต่างกันของแต่ละบุคคลที่สามารถช่วยในการระบุตัวตนของมนุษย์ได้ สัญญาณเสียงที่เป็นข้อมูลเข้าของระบบจะถูกนำมาสร้างเป็นลายนิ้วมือทางเสียงเพื่อนำไปเปรียบเทียบกับลายนิ้วมือทางเสียงที่มีอยู่ในฐานข้อมูลอ้างอิง หากพบว่าเนื้อหาตรงกันถือว่าตรวจพบการละเมิดลิขสิทธิ์หรือสามารถระบุได้ว่าเพลงเดียวกันที่ถูกทำซ้ำนั่นเอง การประยุกต์ใช้ลายนิ้วมือทางเสียงที่มีอยู่ในปัจจุบันสามารถตรวจสอบข้อมูลเสียงว่าเป็นเพลง

เดียวกันได้ในกรณีที่เนื้อหาตรงกัน (Exactly match) แต่ยังไม่สามารถตรวจสอบได้ในกรณีที่เนื้อหาทางเสียงคล้ายคลึงกัน (Similar) ทั้งที่การละเมิดลิขสิทธิ์ไม่ใช่เพียงการทำซ้ำโดยอ้างอิงตรงตามเนื้อหาเดิมเท่านั้น แต่การดัดแปลงรูปแบบของเพลงและนำมาเผยแพร่เพื่อแสวงหาผลกำไรโดยไม่จ่ายค่าลิขสิทธิ์แก่ผู้เป็นเจ้าของผลงานก็ถือเป็นการละเมิดลิขสิทธิ์รูปแบบหนึ่งเช่นกัน เนื่องด้วยกลุ่มเพลงดังกล่าวมีเนื้อหาคล้ายกันเท่านั้นจึงทำให้ไม่สามารถตรวจสอบได้เมื่อใช้วิธีการค้นหาเนื้อหาที่ซ้ำกัน เพลงคัฟเวอร์ (Cover song) ซึ่งเป็นเพลงที่ถูกนำมาร้องใหม่และบันทึกเสียงอีกครั้งโดยผู้ที่ไม่ใช่ศิลปินหรือนักแต่งที่เป็นเจ้าของถือเป็นตัวอย่างหนึ่งของการดัดแปลงรูปแบบของเพลงที่ไม่สามารถระบุข้อมูลเพลงที่เป็นต้นฉบับได้

2) วัตถุประสงค์ของการวิจัย

งานวิจัยนี้เสนอวิธีการในการหาความคล้ายกันของเพลงโดยหาระยะห่างระหว่างเพลงสองเพลงโดยการเปรียบเทียบลายนิ้วมือทางเสียง และนำวิธีการที่นำเสนอมาทดลองเพื่อค้นหาเพลงต้นฉบับจากเพลงคัฟเวอร์ โดยมีสมมติฐานตั้งต้นว่าระยะห่างระหว่างเพลงต้นฉบับและเพลงคัฟเวอร์ของเพลงเดียวกันจะมีค่าน้อยกว่าระยะห่างระหว่างเพลงคัฟเวอร์นั้นและเพลงต้นฉบับอื่นที่ไม่ใช่เพลงๆ นั้น นอกจากนี้ ยังออกแบบการทดลองโดยคำนึงถึงปัจจัยที่เกี่ยวข้องต่างๆ อาทิ ช่วงเวลาที่เวลาในการประมวลผล และความถูกต้องแม่นยำในการระบุเพลงต้นฉบับ เป็นต้น

งานวิจัยนี้อธิบายตามลำดับดังต่อไปนี้ ส่วนที่ 3 อธิบายวิธีดำเนินการวิจัย ส่วนที่ 4 แสดงผลการวิจัย ส่วนที่ 5 สรุปและอภิปรายผล และท้ายสุด ส่วนที่ 6 เป็นบทสรุปและข้อเสนอแนะทั้งหมดของงานวิจัย ฉบับนี้

3) วิธีดำเนินการวิจัย

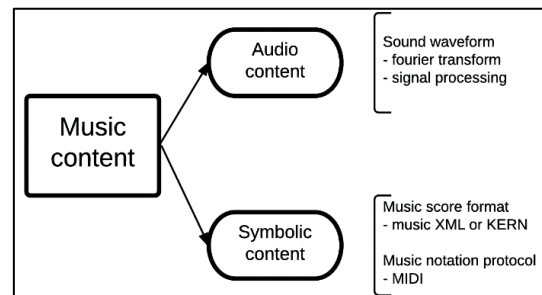
3.1) การทบทวนวรรณกรรม (Literature review)

การฟังโดยมนุษย์เป็นวิธีการดั้งเดิมในการวิเคราะห์ข้อมูลดนตรีซึ่งวิธีการดังกล่าวไม่สามารถทำได้ในกรณีที่มีข้อมูลจำนวนมาก อีกทั้งประสบการณ์ของผู้ฟังส่งผลต่อความถูกต้องของการวิเคราะห์ข้อมูลโดยตรง เนื่องด้วยข้อจำกัดที่กล่าวมาแล้ว วิธีการค้นหาข้อมูลเพลงด้วยเทคนิคทางคอมพิวเตอร์จึงถูกนำมาประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลดนตรีแทนการฟัง เทคนิคทางการรู้จำดนตรีสามารถช่วยจัดกลุ่ม แยกกลุ่ม และระบุลักษณะเฉพาะของงานดนตรีได้ โดยที่กระบวนการรู้จำดนตรีจะดึงข้อมูลจากเพลงเพื่อเป็นข้อมูลเข้าและหารูปแบบ (Pattern) ที่เหมือนหรือคล้ายกันของกลุ่มข้อมูลนั้นๆ เพื่อนำมาใช้ในการวิเคราะห์ตัวอย่างของการนำความรู้เรื่องการรู้จำดนตรีมาประยุกต์ใช้ เช่น การตรวจหาการละเมิดลิขสิทธิ์ การระบุข้อมูลเพลงในกรณีที่ไม่มีทราบแหล่งที่มา การระบุประเภทเครื่องดนตรีจากเสียง และการแยกประเภท เป็นต้น

งานวิจัยก่อนหน้าที่ได้ศึกษาผลการวัดประสิทธิภาพวิธีการฟังโดยคนที่เทียบกับการประยุกต์ใช้เทคนิคการรู้จำดนตรี จากการทดลองของ Perrot และ Gjerdingen [4] พบว่ากรณีการจำแนกประเภทดนตรีด้วยวิธีการฟังโดยคน หลังจากฟังสามวินาที ผู้ที่ไม่เชี่ยวชาญด้านดนตรีสามารถระบุประเภทดนตรีได้ถูกต้อง 72% และการฟังมากกว่า สาม

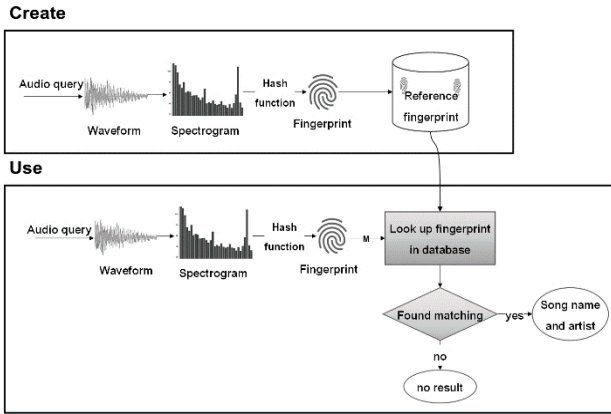
วินาทีไม่ส่งผลให้ความถูกต้องเพิ่มขึ้น ข้อจำกัดในการฟังโดยคนประการแรกในกรณีที่ต้องแยกประเภทเพลงจำนวนมาก เวลาในการฟังจะเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ประการที่สองความถูกต้องในการแยกประเภทขึ้นอยู่กับความเชี่ยวชาญและประสบการณ์ในการฟังเป็นหลัก ในขณะที่ Tzanetakis และ Cook [5] ได้ทดลองจำแนกประเภทดนตรีสิบประเภทโดยประยุกต์ใช้เทคนิคการรู้จำดนตรีเพื่อแยกประเภทเพลงจำนวนมากความถูกต้องที่ได้เป็น 61% และบ่งชี้ว่าปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อความถูกต้องมากที่สุดคือการเลือกข้อมูลที่เหมาะสมเพื่อเป็นข้อมูลเข้าของระบบ

เนื่องด้วยข้อมูลดนตรีถูกแสดงในรูปแบบที่แตกต่างกัน ดังนั้นการเลือกข้อมูล (Data feature extraction) จึงขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการนำข้อมูลนั้นไปใช้เป็นหลัก โดยการแสดงข้อมูลดนตรีมีสองประเภท ประการแรกการแสดงข้อมูลดนตรีด้วยสัญลักษณ์ (Symbolic representation) [1,6] ใช้สำหรับการอธิบายเนื้อหาทางดนตรีเพื่อให้นักดนตรีสามารถสื่อสารกันเพื่อบรรเลงเพลงได้ ตัวอย่างเช่น โน้ตสกอาร์เพลง และการเข้ารหัสคอมพิวเตอร์ (Music notation protocol) เป็นต้น ประการที่สองการแสดงข้อมูลดนตรีด้วยเสียง (Audio representation) [1] ใช้สำหรับการบันทึกเสียง ซึ่งก็คือข้อมูลสัญญาณเสียงที่แสดงในรูปแบบอนาล็อกหรือดิจิทัล ตัวอย่างเช่น แผ่นซีดี (CD) เทป แผ่นเสียงในรูปแบบอนาล็อก และไฟล์เสียงรูปแบบดิจิทัล เป็นต้น ประเภทของการแสดงข้อมูลดนตรีพร้อมด้วยตัวอย่าง ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1: การแสดงข้อมูลดนตรี (Music representation)

งานวิจัยนี้เน้นการศึกษาการใช้ข้อมูลดนตรีที่แสดงด้วยเสียงเพื่อการวิเคราะห์ข้อมูล ซึ่งกระบวนการดึงข้อมูล เริ่มต้นด้วยการนำเข้าข้อมูลตั้งต้นซึ่งก็คือไฟล์เสียง (Audio file) จากนั้นคุณลักษณะของข้อมูลจะถูกสร้างขึ้นหลังจากไฟล์เสียงถูกนำไปผ่านกระบวนการแปลงข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบที่สามารถนำไปวิเคราะห์ได้โดยพิจารณาลำดับเวลา ตัวอย่างของคุณลักษณะของข้อมูล อาทิ รูปแบบของคลื่น (Waveform) สเปกโตรแกรม (Spectrogram) ภาพไบนารี (Binary Image) ลายนิ้วมือทางเสียง เป็นต้น ลายนิ้วมือทางเสียงเกิดจากการแปลงรูปแบบของคลื่น โดยใช้หลักการทางคณิตศาสตร์ในการคิดคำนวณเพื่อใช้เป็นตัวแทนข้อมูลเสียงและเป็นหนึ่งในคุณลักษณะของข้อมูลที่ถูกนำไปใช้อย่างกว้างขวางในการตรวจสอบการละเมิดลิขสิทธิ์และการระบุข้อมูลเพลง (Song Identification) สำหรับขั้นตอนการใช้นิ้วมือทางเสียงที่กล่าวมาแล้วข้างต้นแสดงดังในรูปที่ 2

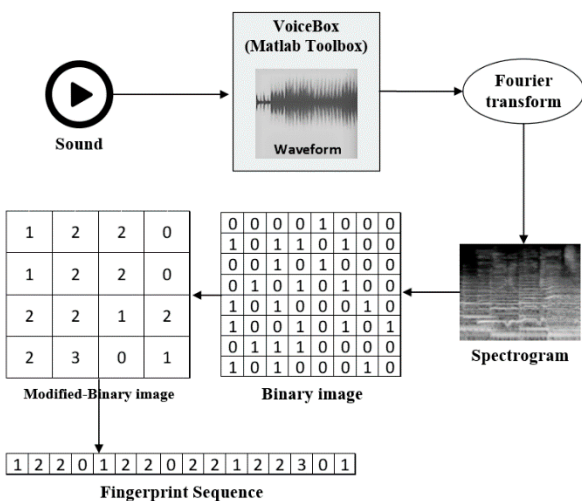


รูปที่ 2: ขั้นตอนการใช้ลายนิ้วมือทางเสียงในการตรวจสอบการละเมิดลิขสิทธิ์ และการระบุข้อมูลเพลง

ทั้งนี้ การใช้ลายนิ้วมือทางเสียงในการระบุข้อมูลเพลงที่ไม่ทราบแหล่งที่มา โดยใช้การค้นหาข้อมูลจากเนื้อหาบางส่วน (Query-by-Example) [7] และการตรวจสอบการทำซ้ำของเพลง [3] มีประสิทธิภาพสูงในการตรวจสอบแทร็กเสียงที่ผลิตจากแหล่งเดียวหรือเนื้อหาซ้ำกัน (Duplicate content) การใช้ลายนิ้วมือทางเสียงที่สร้างจากภาพไมนารีมีประสิทธิภาพดีกว่าการใช้ภาพไมนารีที่สร้างจากสเปกโตรแกรมของข้อมูลเพลงโดยตรง [8] แต่กลับไม่สามารถตรวจสอบกรณีที่มีข้อมูลเสียงมีเนื้อหาคล้ายคลึงกันแต่ไม่ตรงกันได้

3.2) กระบวนการเตรียมข้อมูล (Data pre-processing)

สำหรับงานวิจัยนี้การเตรียมข้อมูล (Data pre-processing) ประกอบด้วย (1) การสร้างสเปกโตรแกรม (2) การสร้างภาพไมนารี และ (3) การสร้างลายนิ้วมือทางเสียงจากภาพไมนารี ภาพรวมของกระบวนการเตรียมข้อมูลดังแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3: ภาพรวมของกระบวนการเตรียมข้อมูล (Data pre-processing)

เพลงที่มีความยาวเต็มทั้งเพลงในรูปแบบไฟล์เสียงเป็นข้อมูลตั้งต้นที่ถูกนำไปสร้างรูปคลื่นของสัญญาณเสียง ซึ่งแสดงลักษณะสัญญาณที่เปลี่ยนไปในช่วงเวลาต่างๆ ด้วยอัตราการสุ่มตัวอย่าง 44,100 ครั้งต่อ

วินาที โดยใช้ VOICEBOX [9] ที่เป็นกล่องเครื่องมือการประมวลผลเสียง (Speech processing toolbox) ในโปรแกรม MATLAB [10] หลังจากนั้นแบ่งรูปคลื่นของสัญญาณเสียงที่มีความยาวทั้งเพลงเป็นเฟรมเสียง (Spectrogram frame) และแปลงรูปคลื่นสัญญาณของเฟรมเสียงบนโดเมนเวลา (Time domain) ให้อยู่บนโดเมนความถี่ (Frequency domain) โดยการแปลงฟูเรียร์แบบเร็ว (FFT) รูปคลื่นสัญญาณเสียงที่ได้ของแต่ละเฟรมจะถูกนำไปสร้างสเปกโตรแกรมตั้งต้นตอนที่อธิบายในอัลกอริทึมที่ 1

Algorithm 1: Generate spectrogram

```

Data: x : matrix represent audio file
Result: y : matrix of spectrogram
Set initial value ;
Set frequency band  $i=1,2,3,\dots,8$ ;
Slice full length waveform to frame;
fftdata=fourier transform of each frame;
for  $j=1$  to length(fftdata) do
    currentSample=fftdata(j);
    if currentSample is in the  $i$  band then
         $y(j,i)=y(j,i)+$ currentSample;
    else
        do nothing;
    end
end

```

ในขั้นตอนต่อมาการสร้างภาพไมนารี เริ่มจากการสร้างหน้าต่างของสเปกโตรแกรม (Spectrogram window) โดยการนำแปดเฟรมของสเปกโตรแกรมที่ได้จากขั้นตอนก่อนหน้ามารวมเข้าด้วยกัน จากนั้นนำมาสร้างเป็นภาพไมนารีโดยการเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยเลขคณิต (Arithmetic mean) ซึ่งถูกคำนวณมาจากค่าของสมาชิกทุกตัวในหน้าต่างนั้นๆ [3] ภาพไมนารีจะถูกสร้างโดยกำหนดค่าศูนย์หรือหนึ่งแทนที่ค่าเดิมของสมาชิกแต่ละตัวในหน้าต่างตามเงื่อนไขดังอธิบายในอัลกอริทึมที่ 2

Algorithm 2: Generate binary image

```

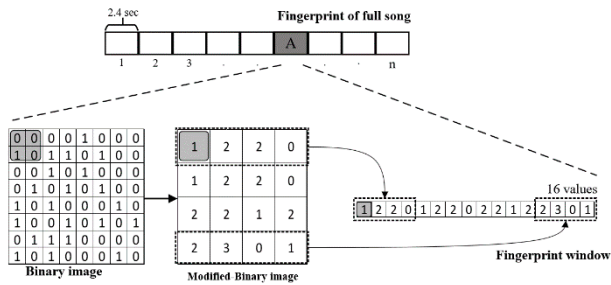
Data: x : matrix of spectrogram
Result: y : matrix of binary image
split spectrogram (x) to eight frames window (y);
for  $i=1$  to length(y) do
    if  $y(i) <$ mean of  $y$  window then
        replace  $y(i)$  by 0;
    else
        replace  $y(i)$  by 1;
    end
end

```

ในขั้นตอนสุดท้ายเป็นการสร้างลายนิ้วมือทางเสียงจากภาพไมนารี ซึ่งทำโดยการบวกรวมค่าของภาพไมนารีขนาดสองคูณสองเป็นค่าเดียว ดังนั้น หน้าต่างจะได้อัตราทั้งหมด 16 ค่าตามลำดับ เรียกลำดับดังกล่าวว่า ลายนิ้วมือทางเสียง

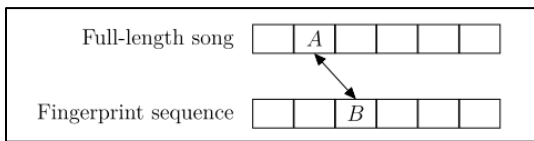
3.3) วิธีการที่นำเสนอ (Proposed Approach)

หลังจากที่ข้อมูลเพลงเต็มผ่านกระบวนการเตรียมข้อมูลแล้วจะถูกแบ่งเป็นหน้าต่างลายนิ้วมือทางเสียงขนาดเล็กที่ประกอบไปด้วย 16 ค่าข้อมูลต่อหนึ่งหน้าต่าง ดังแสดงรายละเอียดในรูปที่ 4



รูปที่ 4: หน้าต่างลายนิ้วมือทางเสียงของเพลงเต็มและลำดับค่าในแต่ละหน้าต่าง

การเปรียบเทียบเพื่อหาความคล้ายคลึงกันของแต่ละหน้าต่างเมื่อกำหนดให้ A และ B คือหน้าต่างลายนิ้วมือทางเสียงของเพลงสองเพลงที่แตกต่างกัน ดังแสดงในรูปที่ 5



รูปที่ 5: ตัวอย่างการเปรียบเทียบเพื่อหาความคล้ายคลึงกันของเพลงเต็ม

ความคล้ายคลึงกันของสองหน้าต่างลายนิ้วมือทางเสียงจะถูกคำนวณโดยการวัดคะแนนที่ตรงกัน (Matching score) เมื่อหน้าต่างลายนิ้วมือทางเสียง A และ B มีค่าตั้งสมการที่ (1) และ (2) จะสามารถนิยามค่า (A-B) ได้ตั้งสมการที่ (3) โดยที่ w_i เป็นค่าที่สอดคล้องกับเงื่อนไขในสมการที่ (4)

$$A = \langle a_1, a_2, \dots, a_n \rangle \quad (1)$$

$$B = \langle b_1, b_2, \dots, b_n \rangle \quad (2)$$

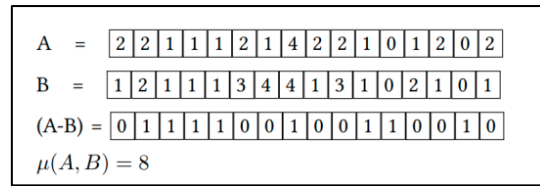
$$A - B = \langle w_1, w_2, \dots, w_n \rangle \quad (3)$$

$$w_i = \begin{cases} 1, & \text{if } (a_i - b_i) = 0 \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (4)$$

สำหรับคะแนนที่ตรงกันของหน้าต่างลายนิ้วมือทางเสียง A และ B เป็นผลรวมค่าของสมาชิกทุกตัวใน (A-B) ซึ่งคะแนนที่ตรงกันจะเพิ่มขึ้นทีละหนึ่งเมื่อค่าในลำดับเดียวกันของทั้งสองหน้าต่างเท่ากัน ดังสอดคล้องกับสมการที่ (5)

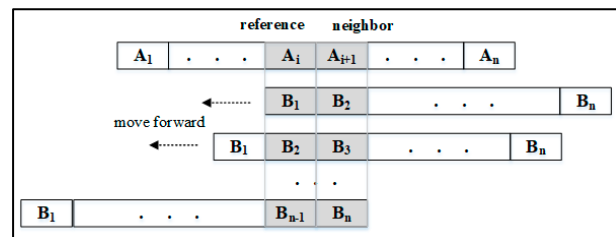
$$\mu(A - B) = \sum_{i=1}^n w_i \mid w_i = (A - B)_i \quad (5)$$

ตัวอย่างในการคำนวณคะแนนที่ตรงกันของหน้าต่างลายนิ้วมือทางเสียง A และ B แสดงไว้ดังรูปที่ 6



รูปที่ 6: ตัวอย่างการเปรียบเทียบหน้าต่างลายนิ้วมือทางเสียง A และ B

เนื่องด้วยเพลงหนึ่งประกอบไปด้วยหลายหน้าต่างลายนิ้วมือทางเสียง การวัดความคล้ายคลึงกันระหว่างเพลงสองเพลงนั้นจึงทำได้โดยการประเมินค่าคะแนนที่ตรงกันของทุกๆหน้าต่างลายนิ้วมือทางเสียงแต่องานวิจัยฉบับนี้ได้นำเสนอฟังก์ชันความสัมพันธ์ (Relation function) สำหรับการเปรียบเทียบลายนิ้วมือทางเสียงแทนการเปรียบเทียบข้อมูลขนาดใหญ่ที่ละคู่ ดังแสดงในรูปที่ 7



รูปที่ 7: การวัดความคล้ายคลึงกันของเนื้อหาทางเสียง

ฟังก์ชันความสัมพันธ์ (Relation function) ที่นำเสนอประกอบด้วยค่านัยสำคัญทางสถิติที่ถูกคำนวณคือค่าความคล้ายคลึงกัน (Sum of similarity: σ) และค่าความแตกต่าง (Degree of difference: δ) สำหรับค่าความคล้ายคลึงกันคือผลรวมของคะแนนที่ตรงกันของหน้าต่างอ้างอิง ($A_i - B_i$) และหน้าต่างเพื่อนบ้าน ($A_{i+1} - B_{i+1}$) ในขณะที่ค่าความแตกต่างคือสัมบูรณ์ของความแตกต่างระหว่างคะแนนที่ตรงกันของหน้าต่างอ้างอิงและหน้าต่างเพื่อนบ้านดังสมการที่ (6) และ (7)

$$\sigma_i = \mu(A_i - B_i) + \mu(A_{i+1} - B_{i+1}) \quad (6)$$

$$\delta_i = \left| \mu(A_i - B_i) - \mu(A_{i+1} - B_{i+1}) \right| \quad (7)$$

จากสมการข้างต้น σ_i และ δ_i หมายถึงค่าความคล้ายคลึงกันและความแตกต่างของหน้าต่างลายนิ้วมือทางเสียงที่ i เมื่อคำนวณค่าความคล้ายคลึงกันและค่าความแตกต่างแล้ว ทั้งนี้เพื่อวิเคราะห์ความคล้ายกันของทั้งเพลงจึงนิยามค่าสหสัมพันธ์ระหว่างสองเพลง (Correlation: C) ขึ้น โดยค่าสหสัมพันธ์ระหว่างเพลงสองเพลงถูกกำหนดให้เป็นเซตของข้อมูลที่มีสมาชิกเป็นคู่ลำดับของค่าความคล้ายคลึงกันและค่าความแตกต่าง ดังสมการที่ (8)

$$C_{A,B} = \left\{ (\sigma_{11}, \delta_{11}), (\sigma_{12}, \delta_{12}), \dots, (\sigma_{(n-1)(n-1)}, \delta_{(n-1)(n-1)}) \right\} \quad (8)$$

โดยที่ $C_{A,B}$ มีจำนวนสมาชิกเป็น $(n-1)^2$ เมื่อเปรียบเทียบเพลงที่ประกอบด้วยหน้าตาต่างลายนิ้วมือทางเสียงจำนวน n หน้าต่าง สมาชิกหนึ่งตัวที่มีค่าความคล้ายคลึงกันมากที่สุดโดยที่มีค่าความแตกต่างน้อยที่สุดด้วยจะถูกเลือกให้เป็นตัวแทนของคะแนนความคล้ายกันของเพลง A และ B รายละเอียดดังแสดงในสมการที่ (9) (10) และ (11)

$$\max(C_{A,B}) = \{(\sigma, \delta) \mid (\sigma, \delta), (\sigma', \delta') \in C_{A,B} \text{ and } \sigma \geq \sigma'\} \quad (9)$$

$$\min(C_{A,B}) = \{(\sigma, \delta) \mid (\sigma, \delta), (\sigma', \delta') \in C_{A,B} \text{ and } \delta \leq \delta'\} \quad (10)$$

$$\text{similarity}(A-B) \in \min(\max(C_{A,B})) \quad (11)$$

ตัวอย่างในการคำนวณค่าคล้ายทางสถิติที่เกี่ยวข้องกับฟังก์ชันความสัมพันธ์ (Relation function) เพื่อหาค่าความคล้ายกันของเพลงดังแสดงในรูปที่ 8

$$C_{A,B} = \{(20, 5), (28, 1), (28, 5), (28, 1)\}$$

$$\max(C_{A,B}) = \{(28, 1), (28, 5), (28, 1)\}$$

$$\min(\max(C_{A,B})) = \{(28, 1), (28, 1)\}$$

$$\text{similarity}(A-B) = (28, 1)$$

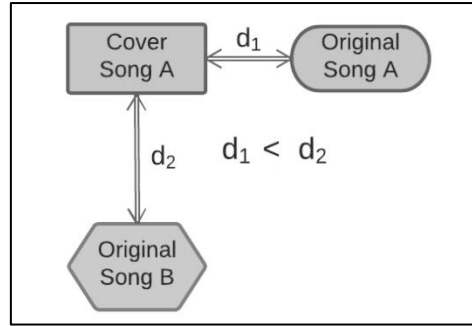
รูปที่ 8: ตัวอย่างในการคำนวณค่าคล้ายทางสถิติที่เกี่ยวข้อง

4) ผลการวิจัย

การทดลองประยุกต์ใช้วิธีการหาความคล้ายกันของเพลงเพื่อระบุเพลงต้นฉบับจากเพลงคัฟเวอร์ ข้อมูลที่ใช้สำหรับการทดลองเป็นไฟล์เสียงจำนวน 120 ข้อมูลตัวอย่าง ซึ่งประกอบด้วย 1) เพลงเวอร์ชันต้นฉบับ 20 ข้อมูลตัวอย่าง โดยเพลงที่ถูกเลือกเป็นเพลงที่มีจำนวนการถูกคัฟเวอร์จำนวนมากซึ่งประกอบด้วยเพลงสากลจำนวน 15 เพลงและเพลงเกาหลีจำนวน 5 เพลง และ 2) เพลงเวอร์ชันคัฟเวอร์จำนวนห้าข้อมูลตัวอย่างต่อหนึ่งเพลงต้นฉบับ รวมเป็น 100 ข้อมูลตัวอย่าง

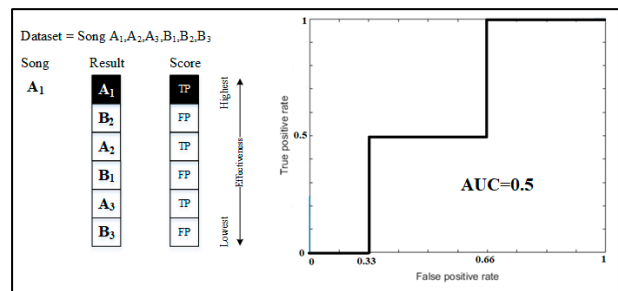
สำหรับกระบวนการเตรียมข้อมูลนั้น ข้อมูลตัวอย่างที่เป็นไฟล์เสียงถูกนำมาสร้างเป็นเฟรมของรูปคลื่นสัญญาณความยาว 0.3 วินาที จากนั้นนำไปสร้างสเปกโตรแกรมในช่วงความถี่ 40 ถึง 1200 Hz ซึ่งเป็นช่วงความถี่ของเสียงร้องต่ำที่สุดของผู้ชายถึงเสียงร้องสูงสุดของผู้หญิงในเพลง (Vocal frequency range) [11] ขั้นตอนถัดมานำเฟรมของสเปกโตรแกรมที่ละเอียดเฟรมมาสร้างเป็นภาพไบนารี และขั้นตอนสุดท้ายสร้างหน้าตาของลายนิ้วมือทางเสียงจากภาพไบนารีดังกล่าว

คะแนนความคล้ายกันระหว่างเพลงต้นฉบับและเพลงคัฟเวอร์ของเพลงเดียวกันจะมีค่ามากกว่าคะแนนความคล้ายกันระหว่างเพลงคัฟเวอร์นั้นและเพลงต้นฉบับอื่นที่ไม่ใช่เพลงๆ นั้น ซึ่งนั้นก็หมายความว่าในกรณีเพลงเดียวกันแต่คนละเวอร์ชันจะมีระยะห่างระหว่างกันน้อยกว่ากรณีที่เป็นคนละเพลง ซึ่งสอดคล้องกับตัวอย่างในรูปที่ 9

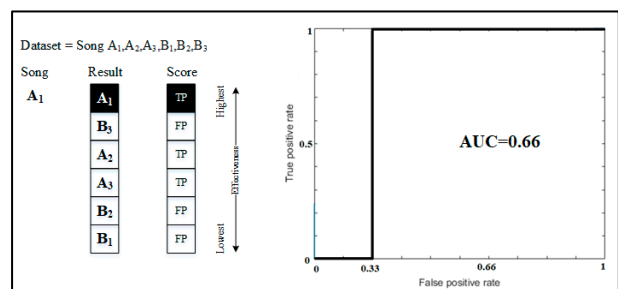


รูปที่ 9: การเปรียบเทียบข้อมูลเสียงเพื่อระบุเพลงต้นฉบับจากเพลงคัฟเวอร์

การประเมินประสิทธิภาพของวิธีการที่นำเสนอทำได้โดยการเปรียบเทียบข้อมูลขาเข้า (Input) กับข้อมูลทุกตัวในกลุ่มตัวอย่าง ซึ่งการเปรียบเทียบแต่ละครั้งจะมีการคำนวณค่าคะแนนความคล้ายกันของเพลงเพื่อจัดอันดับเพลงที่มีคะแนนจากมากไปหาน้อย ดังนั้นเพลงที่มีความคล้ายกับเพลงที่เป็นข้อมูลขาเข้ามากกว่าจะถูกจัดให้อยู่ในลำดับที่ต่ำกว่า อันดับความคล้ายของเพลง (Similarity rank) ที่ได้มาจะถูกนำไปสร้างกราฟเปรียบเทียบระหว่างอัตราผลบวกจริง (True positive rate) และอัตราผลบวกเท็จ (False positive rate) โดยที่เส้นกราฟจะขยับไปตามแนวแกน X เมื่อเพลงที่อยู่ในลำดับดังกล่าวเป็นเพลงต้นฉบับเพลงอื่นที่ไม่ถูกต้อง (False positive) และกราฟจะขยับไปตามแนวแกน Y เมื่อเพลงที่อยู่ในลำดับดังกล่าวเป็นเพลงต้นฉบับที่ต้องการ (True positive) ค่าของทั้งสองแกนอยู่ระหว่างศูนย์ถึงหนึ่งและประสิทธิภาพของการการจัดกลุ่มแปรผันตรงกับพื้นที่ใต้กราฟที่ได้ การจัดกลุ่มที่ถูกต้องสมบูรณ์จะมีพื้นที่ใต้กราฟเท่ากับหนึ่ง ตัวอย่างอันดับความคล้ายกันของเพลงและกราฟที่ถูกสร้างขึ้น รวมทั้งพื้นที่ใต้กราฟที่คำนวณได้ดังแสดงในรูปที่ 10 และ 11 ตามลำดับ



รูปที่ 10: อันดับความคล้ายกันและกราฟที่ถูกสร้างขึ้นของเพลงที่มี AUC เป็น 0.5



รูปที่ 11: อันดับความคล้ายกันและกราฟที่ถูกสร้างขึ้นของเพลงที่มี AUC เป็น 0.66

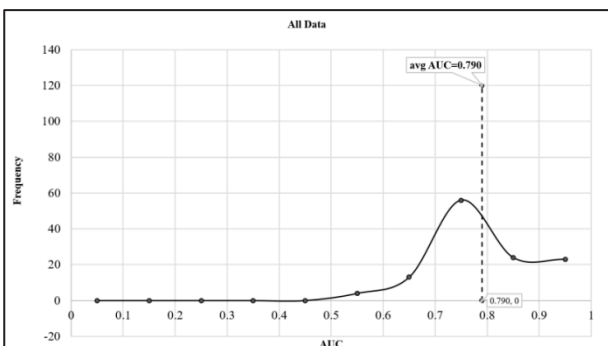
5) อภิปรายผล

พื้นที่ใต้กราฟเป็นตัวบ่งชี้สำคัญต่อประสิทธิภาพของวิธีการที่นำเสนอ ค่าเฉลี่ยของพื้นที่ใต้กราฟ (Average AUC) โดยรวมของทั้ง 20 เพลงในกลุ่มตัวอย่างอยู่ที่ 0.790 และค่าเฉลี่ยของพื้นที่ใต้กราฟของแต่ละเพลงดังแสดงไว้ในตารางที่ 1

ตารางที่ 1: แสดงค่าเฉลี่ยของพื้นที่ใต้กราฟของ 20 เพลงในกลุ่มตัวอย่าง

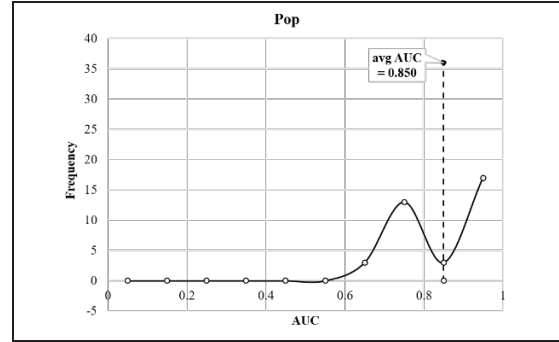
#Song	V1	V2	V3	V4	V5	V6	Avg AUC
1	0.779	0.737	0.818	0.626	0.804	0.812	0.763
2	0.756	0.725	0.796	0.651	0.753	0.743	0.737
3	0.746	0.723	0.675	0.751	0.791	0.732	0.736
4	0.975	0.963	0.904	0.967	0.940	0.988	0.956
5	0.967	0.981	0.784	0.923	0.916	0.930	0.917
6	0.991	0.995	0.993	0.974	0.995	0.993	0.990
7	0.789	0.807	0.654	0.819	0.737	0.547	0.726
8	0.707	0.739	0.747	0.701	0.793	0.725	0.735
9	0.893	0.695	0.896	0.781	0.696	0.935	0.816
10	0.746	0.746	0.807	0.795	0.754	0.888	0.789
11	0.911	0.826	0.904	0.814	0.791	0.704	0.825
12	0.791	0.626	0.715	0.701	0.774	0.702	0.718
13	0.717	0.678	0.690	0.718	0.802	0.774	0.730
14	0.870	0.830	0.754	0.721	0.589	0.812	0.763
15	0.826	0.893	0.805	0.828	0.821	0.637	0.802
16	0.733	0.720	0.589	0.696	0.703	0.547	0.665
17	0.781	0.833	0.774	0.746	0.720	0.699	0.759
18	0.739	0.781	0.809	0.788	0.795	0.763	0.779
19	0.754	0.746	0.772	0.668	0.712	0.782	0.739
20	0.925	0.904	0.809	0.916	0.868	0.707	0.855

จากตารางที่ 1 แต่ละแถวของตารางแสดงพื้นที่ใต้กราฟของเพลงหนึ่งเพลง ซึ่งประกอบไปด้วยหกเวอร์ชัน โดยที่ V1 เป็นเวอร์ชันต้นฉบับ (Original version) ของเพลงดังกล่าว V2-V6 เป็นเวอร์ชันคัฟเวอร์ (Cover version) ของเพลงดังกล่าวจำนวนห้าเวอร์ชันตามลำดับ และคอลัมน์สุดท้ายของตารางเป็นค่าเฉลี่ยของพื้นที่ใต้กราฟของเพลงนั้นๆ เมื่อนำค่าเฉลี่ยของพื้นที่ใต้กราฟของแต่ละเพลงมาจับความถี่ที่เกิดขึ้นโดยการแบ่งช่วงกว้าง (Range) ของค่าเฉลี่ยของพื้นที่ใต้กราฟออกเป็นช่วงๆ ดังนี้ 0-0.1, 0.1-0.2, 0.3-0.4, ..., 0.9-1.0 ตามลำดับจะได้กราฟแสดงการแจกแจงความถี่ของค่าเฉลี่ยของพื้นที่ใต้กราฟของทุกเพลงในกลุ่มตัวอย่างดังแสดงในรูปที่ 12

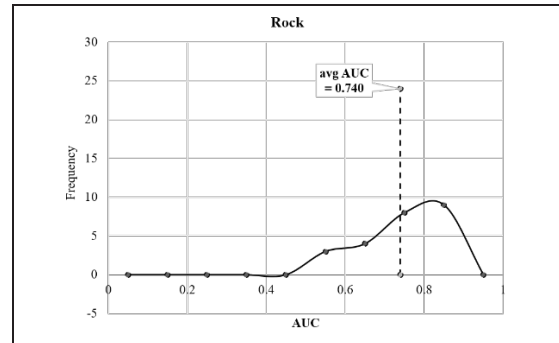


รูปที่ 12: กราฟแจกแจงความถี่ของค่าเฉลี่ยพื้นที่ใต้กราฟของทั้ง 20 เพลง

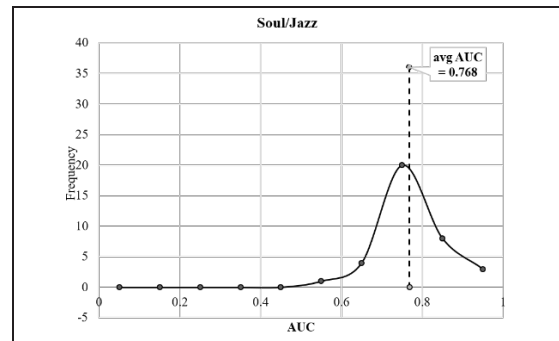
กลุ่มข้อมูลเพลงตัวอย่างถูกแบ่งเป็นสี่กลุ่มเมื่อตามประเภทของเพลง (Genre) ดังนี้ กลุ่มที่หนึ่งเพลงป๊อป (Pop) จำนวน 36 ข้อมูลตัวอย่าง กลุ่มที่สองเพลงร็อก (Rock) จำนวน 36 ข้อมูลตัวอย่าง กลุ่มที่สามเพลงโซลหรือแจ๊ส (Soul/Jazz) จำนวน 24 ข้อมูลตัวอย่าง และสุดท้ายกลุ่มที่สี่เพลงริทึมแอนด์บลูส์ (R&B) ฮิปฮอป (Hip-Hop) หรืออีดีเอ็ม (EDM) จำนวน 24 ข้อมูลตัวอย่าง เมื่อพิจารณาพื้นที่ใต้กราฟแยกตามกลุ่มจะได้กราฟแจกแจงความถี่ ดังแสดงในรูปที่ 13 ถึง 16



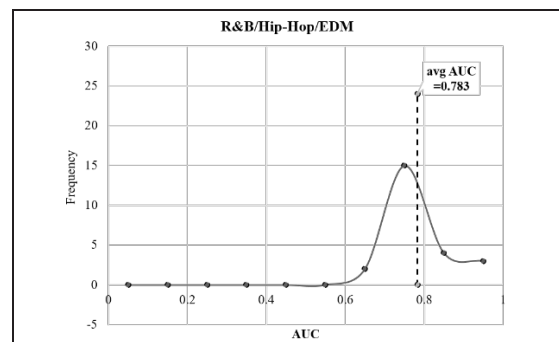
รูปที่ 13: กราฟแจกแจงความถี่ของพื้นที่ใต้กราฟของกลุ่มเพลงป๊อป



รูปที่ 14: กราฟแจกแจงความถี่ของพื้นที่ใต้กราฟของกลุ่มเพลงร็อก



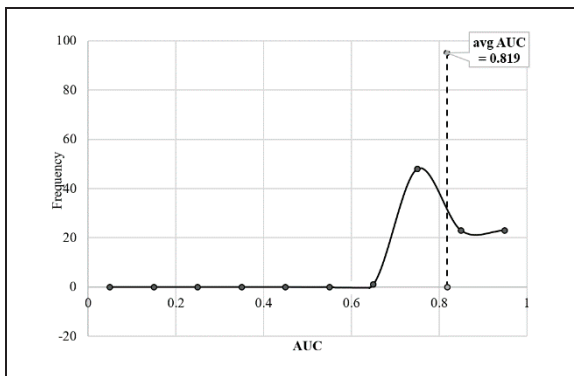
รูปที่ 15: กราฟแจกแจงความถี่ของพื้นที่ใต้กราฟของกลุ่มเพลงโซลหรือแจ๊ส



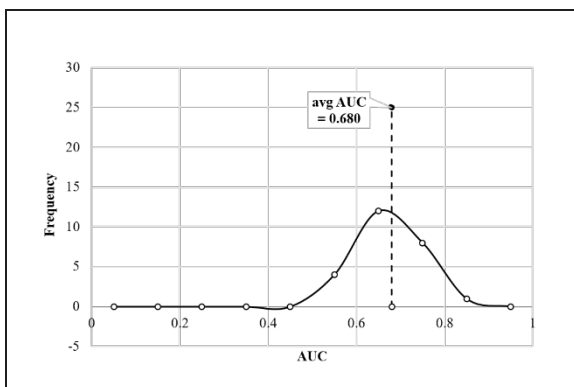
รูปที่ 16: กราฟแจกแจงความถี่ของพื้นที่ใต้กราฟของกลุ่มเพลงริทึมแอนด์บลูส์ ฮิปฮอป หรืออีดีเอ็ม

จากกราฟแจกแจงความถี่ของพื้นที่ใต้กราฟ กลุ่มเพลงป๊อปมีค่าเฉลี่ยพื้นที่ใต้กราฟมากที่สุดเมื่อเทียบกับเพลงในกลุ่มอื่นเป็น 0.85 และเพลงที่มีพื้นที่ใต้กราฟสูงที่สุดมีพื้นที่ใต้กราฟถึง 0.995 ซึ่งเกือบเป็นการจัดกลุ่มแบบสมบูรณ์แบบ ดังกราฟที่แสดงในรูปที่ 13 ในขณะที่อีกสามกลุ่มที่เหลือมีค่าเฉลี่ยพื้นที่ใต้กราฟใกล้เคียงกันอยู่ระหว่าง 0.74-0.78 ดังแสดงในรูปที่ 14 ถึง 16 จากผลการทดลองดังกล่าวบ่งชี้ว่า วิธีการที่นำเสนอสามารถจัดกลุ่มเพลงเดียวกันแต่คนละเวอร์ชันให้อยู่ในกลุ่มเดียวกันได้โดยไม่ขึ้นอยู่กับประเภทของเพลง

นอกจากการพิจารณาพื้นที่ใต้กราฟตามประเภทของเพลงแล้วยังมีการวิเคราะห์ผลการจัดกลุ่ม โดยพิจารณาลักษณะของการบันทึกเสียงใหม่จากต้นฉบับเดิม ซึ่งแบ่งออกเป็นสองกลุ่มตามลักษณะการบรรเลงดนตรี ลักษณะแรกเป็นเวอร์ชันคัฟเวอร์ที่เพียงแค่อัดเสียงซ้ำเดิมและร้องใหม่เท่านั้น ไม่ดัดแปลงการบรรเลงดนตรี ลักษณะที่สองมีการดัดแปลงการบรรเลงดนตรีเมื่อบันทึกเสียงอีกครั้งเพื่อสร้างเวอร์ชันคัฟเวอร์ ตัวอย่างเช่น การนำเพลงต้นฉบับที่เป็นเพลงป๊อปมาบรรเลงใหม่เป็นเพลงร็อกแทน ผลการทดลองพบว่า ลักษณะแรกที่ไม่ดัดแปลงการบรรเลงดนตรีมีพื้นที่ใต้กราฟมากกว่าลักษณะที่สองอย่างเห็นได้ชัด ดังแสดงในรูปที่ 17 และ 18 ตามลำดับ



รูปที่ 17: กราฟแจกแจงความถี่ของพื้นที่ใต้กราฟของเพลงที่ไม่ดัดแปลงดนตรี



รูปที่ 18: กราฟแจกแจงความถี่ของพื้นที่ใต้กราฟของเพลงที่ดัดแปลงดนตรี

6) บทสรุป และข้อเสนอแนะ

ข้อสรุปที่ได้จากการวิจัยบ่งชี้ว่า การหาความสัมพันธ์ของเพลงโดยใช้ฟังก์ชันความสัมพันธ์ (Relation function) สามารถระบุเพลงต้นฉบับจากเพลงคัฟเวอร์ได้อย่างมีประสิทธิภาพครอบคลุมเพลงทุกประเภท โดยมีพื้นที่ใต้กราฟอยู่ระหว่าง 0.74-0.85 และการจัดกลุ่มเพลงมีประสิทธิภาพในกรณีที่มีการบรรเลงดนตรีใหม่ในรูปแบบคล้าย

กับต้นฉบับเดิม ในขณะที่การบรรเลงโดยเปลี่ยนรูปแบบดนตรีส่งผลให้ความถูกต้องของการจัดกลุ่มน้อยลง ซึ่งข้อจำกัดดังกล่าวผู้วิจัยจะนำมาศึกษาและปรับปรุงวิธีการต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีด้วยความอนุเคราะห์ทุนสนับสนุนการศึกษา สำหรับนิสิตระดับปริญญาเอกจากคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนครสวรรค์ ผู้เขียนจึงขอกราบขอบพระคุณ ณ โอกาสนี้ ขอขอบคุณคณาจารย์ทุกท่านที่คอยให้คำปรึกษาและข้อเสนอแนะ สุดท้ายนี้ขอขอบคุณครอบครัวและคนรอบข้างที่เป็นแรงสนับสนุนสำคัญ

เอกสารอ้างอิง

- [1] J. S. Downie, "Music information retrieval," *Annual Review of Information Science and Technology*, vol. 37, pp. 295-340, 2003.
- [2] L. Tao and M. Oghara, "Toward intelligent music information retrieval," *IEEE Transactions on Multimedia*, vol. 8, no. 3, pp. 564-574, 2006.
- [3] C. Ouali, P. Dumouchel, and V. Gupta, "A spectrogram-based audio fingerprinting system for content-based copy detection," *Multimedia Tools and Application*, vol. 75, no. 15, pp. 9145-9165, 2016.
- [4] D. Perrott and R. Gjerdingen, "Scanning the dial: An exploration of factors in the identification of musical style.," in *The 8th international conference on music perception & cognition*, Evanston, Illinois, USA, 2004.
- [5] G. Tzanetakis and P. Cook, "Musical genre classification of audio signals," *IEEE Transactions on Speech and Audio Processing*, vol. 10, no. 15, pp. 293-302, 2002.
- [6] D. C. Correa and F. A. Rodrigues, "A survey on symbolic data-based music genre classification," *Expert Systems with Applications*, vol. 60, pp. 190-210, 2016.
- [7] V. Chandrasekhar, M. Sharifi, and D. A. Ross, "Survey and Evaluation of Audio Fingerprinting Schemes for Mobile Query-by-Example Applications.," in *the 12th International Society for Music Information Retrieval Conference*, Miami, Florida, USA, 2011, pp. 801-806.
- [8] C. Ouali, P. Dumouchel, and V. Gupta, "Efficient spectrogram-based binary image feature for audio copy detection," in *2015 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP)*, Brisbane Convention & Exhibition Centre Brisbane, Queensland, Australia, 2015, pp. 1792-1796.
- [9] "VOICEBOX: Speech Processing Toolbox for MATLAB." [Online]. Available: <http://www.ee.ic.ac.uk/hp/staff/dmb/voicebox/voicebox.html>. [Accessed: 24-Feb-2017].
- [10] "MATLAB," *MathWorks*. [Online]. Available: <https://www.mathworks.com/products/matlab.html>. [Accessed: 24-Jan-2017].
- [11] W. B. Snow, "Audible Frequency Ranges of Music, Speech and Noise," *The Journal of the Acoustical Society of America*, vol. 3, no. 10, pp. 10-10, 1931.

วารสารสถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น : วิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี

ปีที่ 6 ฉบับที่ 1 มกราคม – มิถุนายน 2561

คำแนะนำสำหรับผู้เขียนบทความเพื่อลงตีพิมพ์

วารสารสถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น : วิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี เป็นวารสารวิชาการทางด้านวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี ของสถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น บทความที่นำเสนอจะต้องพิมพ์เป็นภาษาไทย หรือภาษาอังกฤษ ตามรูปแบบที่กำหนด และพร้อมที่จะนำไปตีพิมพ์ได้ทันที การเสนอบทความเพื่อพิจารณาตีพิมพ์ในวารสาร มีรายละเอียดดังนี้

1. หลักเกณฑ์การพิจารณาบทความเพื่อตีพิมพ์

1.1 เป็นบทความที่ไม่ได้อยู่ระหว่างการพิจารณาตีพิมพ์ หรือไม่ได้อยู่ระหว่างการพิจารณาของสื่อสิ่งพิมพ์อื่น ๆ และไม่เคยตีพิมพ์ในวารสารใดมาก่อนทั้งในประเทศและต่างประเทศ หากตรวจสอบพบว่ามี การตีพิมพ์ซ้ำซ้อน ถือเป็นความรับผิดชอบของผู้เขียนแต่เพียงผู้เดียว

1.2 เป็นบทความที่แสดงให้เห็นถึงความคิดริเริ่มสร้างสรรค์ มีคุณค่าทางวิชาการ มีความสมบูรณ์ของเนื้อหา และมีความถูกต้องตามหลักวิชาการ

1.3 บทความที่ได้รับการตีพิมพ์จะต้องผ่านการประเมินคุณภาพจากผู้ทรงคุณวุฒิ (Peer review) อย่างน้อย 2 ท่านต่อบทความ จากจำนวนผู้ทรงคุณวุฒิที่ประเมินบทความทั้งหมด 3 ท่าน ซึ่งผู้ทรงคุณวุฒิอาจให้ผู้เขียนแก้ไขเพิ่มเติม หรือปรับปรุงบทความให้เหมาะสมยิ่งขึ้น

1.4 กองบรรณาธิการขอสงวนสิทธิ์ในการตรวจแก้ไขรูปแบบบทความที่ส่งมาตีพิมพ์ตามที่เห็นสมควร

1.5 บทความ ข้อความ ภาพประกอบ และตารางประกอบ ที่ตีพิมพ์ลงวารสารเป็นความคิดเห็นส่วนตัวของผู้เขียน กองบรรณาธิการไม่มีส่วนรับผิดชอบใดๆ ถือเป็นความรับผิดชอบของผู้เขียนแต่เพียงผู้เดียว

1.6 ต้องเป็นบทความที่ไม่ละเมิดลิขสิทธิ์ ไม่ลอกเลียน หรือตัดทอนข้อความของผู้อื่นโดยไม่ได้รับอนุญาต

1.7 หากเป็นงานแปลหรือเรียบเรียงจากภาษาต่างประเทศ ต้องมีหลักฐานการอนุญาตให้ตีพิมพ์เป็นลายลักษณ์อักษรจากเจ้าของลิขสิทธิ์

1.8 ต้องมีการอ้างอิงที่ถูกต้อง เหมาะสมก่อนการตีพิมพ์ ซึ่งเป็นความรับผิดชอบของเจ้าของผลงาน

1.9 บทความที่ส่งถึงกองบรรณาธิการ ขอสงวนสิทธิ์ที่จะไม่ส่งคืนผู้เขียน

2. ประเภทของบทความที่รับพิจารณาลงตีพิมพ์

2.1 นิพนธ์ต้นฉบับที่เป็นบทความวิจัย ประกอบด้วย บทความย่อ บทนำ วัตถุประสงค์ของการวิจัย วิธีดำเนินการวิจัย ผลการวิจัย สรุปและอภิปรายผล และเอกสารอ้างอิง

2.2 นิพนธ์ต้นฉบับที่เป็นบทความวิชาการ ประกอบด้วย บทความย่อ บทนำ เนื้อหา สรุปผล และเอกสารอ้างอิง

หมายเหตุ : บทความภาษาไทยต้องมีบทคัดย่อภาษาไทยและภาษาอังกฤษ โดยใช้บทคัดย่อภาษาไทยก่อนบทคัดย่อภาษาอังกฤษ บทความภาษาอังกฤษไม่ต้องมีบทคัดย่อภาษาไทย

* เอกสารอ้างอิง เป็นการบอกรายการแหล่งอ้างอิงที่มีการอ้างอิงในเนื้อหาของงานเขียน

วารสารสถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น : วิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี

ปีที่ 6 ฉบับที่ 1 มกราคม - มิถุนายน 2561

3. ข้อกำหนดการจัดพิมพ์ต้นฉบับบทความ

ผู้เขียนต้องจัดพิมพ์บทความตามข้อกำหนดเพื่อให้มีรูปแบบการตีพิมพ์เป็นมาตรฐานแบบเดียวกัน ดังนี้

3.1 **ขนาดของกระดาษ** ให้ใช้ขนาด A4

3.2 **จำนวนหน้า** ความยาวไม่น้อยกว่า 4 หน้ากระดาษ A4 และไม่เกิน 10 หน้ากระดาษ A4

3.3 **กรอบของข้อความ** ระยะห่างของขอบกระดาษด้านบน 2.5 ซม. (0.98") ด้านล่าง 2 ซม. (0.79") ด้านซ้าย 2 ซม. (0.79") ด้านขวา 2 ซม. (0.79") รูปแบบการพิมพ์เป็นแบบ 2 คอลัมน์ แต่ละคอลัมน์ กว้าง 8.2 ซม. (3.23") ระยะห่างระหว่างคอลัมน์ 0.6 ซม. (0.24")

3.4 **ระยะห่างระหว่างบรรทัด** หนึ่งช่วงบรรทัดของเครื่องคอมพิวเตอร์ (Single)

3.5 **ตัวอักษร** รูปแบบของตัวอักษรให้ใช้บราววัลเลีย นิว (Browalia New) สำหรับบทความที่มีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษร่วมกัน และบทความที่เป็นภาษาอังกฤษล้วนให้ใช้รูปแบบตัวอักษรไทมส์ นิว โรมัน (Times New Roman)

3.6 **รายละเอียดต่าง ๆ ของบทความ** กำหนดดังนี้

❖ ชื่อเรื่อง (Title)

- บทความภาษาไทย ขนาด 22 ตัวหนา กำหนดกึ่งกลาง
- บทความภาษาอังกฤษ ขนาด 16 ตัวหนา กำหนดกึ่งกลาง

❖ ชื่อผู้เขียน (Author)

- บทความภาษาไทย ขนาด 13 ตัวธรรมดา กำหนดกึ่งกลาง
- บทความภาษาอังกฤษ ขนาด 11 ตัวธรรมดา กำหนดกึ่งกลาง

❖ ที่ติดต่อผู้เขียน

- บทความภาษาไทย ขนาด 12 ตัวเอน กำหนดกึ่งกลาง
- บทความภาษาอังกฤษ ขนาด 10 ตัวเอน กำหนดกึ่งกลาง

❖ E-mail

- บทความภาษาไทย ใช้ตัวอักษร Courier ขนาด 9 ตัวธรรมดา กำหนดกึ่งกลาง
- บทความภาษาอังกฤษ ใช้ตัวอักษร Courier ขนาด 9 ตัวธรรมดา กำหนดกึ่งกลาง

❖ บทคัดย่อ (Abstract)

- ชื่อ "บทคัดย่อ" ขนาด 11 **ตัวหนาและเอน** กำหนดขีดซ้าย ข้อความในบทคัดย่อ ขนาด 11
- ชื่อ "Abstract" ขนาด 9 **ตัวหนาและเอน** กำหนดขีดซ้าย ข้อความใน Abstract ขนาด 9 **ตัวหนา**

❖ คำสำคัญ (Keywords)

ให้ใส่คำสำคัญ 4-5 คำ ซึ่งเกี่ยวข้องกับบทความที่นำเสนอ โดยให้จัดพิมพ์ใต้บทคัดย่อ

- ชื่อ "คำสำคัญ" ขนาด 11 **ตัวหนาและเอน** กำหนดขีดซ้าย ข้อความในคำสำคัญ ขนาด 11
- ชื่อ "Keywords" ขนาด 9 **ตัวหนาและเอน** กำหนดขีดซ้าย ข้อความใน Keywords ขนาด 9 **ตัวหนา**

❖ รูปแบบการพิมพ์เนื้อหาของบทความ

- **หัวข้อหลัก** ประกอบด้วย บทนำ (Introduction) วัตถุประสงค์ของการวิจัย (Objectives) วิธีดำเนินการวิจัย (Methods) ผลการวิจัย (Results) สรุปและอภิปรายผล (Conclusions and Discussion) เอกสารอ้างอิง (References) หรือบรรณานุกรม (Bibliography)

□ บทความภาษาไทย ขนาด 12 ตัวธรรมดา กำหนดกึ่งกลาง

□ บทความภาษาอังกฤษ ขนาด 10 ตัวธรรมดา กำหนดกึ่งกลาง

วารสารสถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น : วิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี

ปีที่ 6 ฉบับที่ 1 มกราคม – มิถุนายน 2561

- หัวข้อรอง ระดับที่ 1
 - บทความภาษาไทย ขนาด 12 ตัวเอน กำหนดขีดซ้าย
 - บทความภาษาอังกฤษ ขนาด 10 ตัวเอน กำหนดขีดซ้าย
- หัวข้อรอง ระดับที่ 2
 - บทความภาษาไทย ขนาด 12 ตัวเอน กำหนดขีดซ้ายและเลื่อนเข้ามา 0.5 cm
 - บทความภาษาอังกฤษ ขนาด 10 ตัวเอน กำหนดขีดซ้ายและเลื่อนเข้ามา 0.5 cm
- เนื้อเรื่อง
 - บทความภาษาไทย ขนาด 12 ตัวธรรมดา
 - บทความภาษาอังกฤษ ขนาด 10 ตัวธรรมดา
- ชื่อตาราง
 - บทความภาษาไทย ขนาด 12 ตัวธรรมดา กำหนดกึ่งกลาง และใส่ชื่อเหนือตาราง
 - บทความภาษาอังกฤษ ขนาด 10 ตัวธรรมดา กำหนดกึ่งกลาง และใส่ชื่อเหนือตาราง
- หัวข้อในตาราง
 - บทความภาษาไทย ขนาด 11 ตัวหนา กำหนดกึ่งกลาง
 - บทความภาษาอังกฤษ ขนาด 9 ตัวหนา กำหนดกึ่งกลาง
- เนื้อหาในตาราง
 - บทความภาษาไทย ขนาด 11 ตัวธรรมดา
 - บทความภาษาอังกฤษ ขนาด 9 ตัวธรรมดา
- ชื่อภาพประกอบ
 - บทความภาษาไทย ขนาด 10 ตัวธรรมดา กำหนดกึ่งกลาง และใส่ชื่อใต้ภาพ
 - บทความภาษาอังกฤษ ขนาด 8 ตัวธรรมดา กำหนดกึ่งกลาง และใส่ชื่อใต้ภาพ
- เนื้อหาในภาพประกอบ
 - บทความภาษาไทย ขนาด 11 ตัวธรรมดา
 - ภาษาอังกฤษ ขนาด 9 ตัวธรรมดา

3.7 เอกสารอ้างอิง

- ❖ การอ้างอิงในบทความใช้การอ้างอิงแบบตัวเลข ตามมาตรฐานสากล โดยใช้หมายเลขในเครื่องหมายก้ามปู [] โดยมีตัวอย่างการเขียน เช่น [1] หรือ [2] หรือ [1], [2] หรือ [1], [3]–[8] หรือ [9], [10], [15], [16] หากมีการอ้างอิงซ้ำบทความเดิมให้ใช้หมายเลขเดิม
- ❖ การอ้างอิงท้ายบทความ จะต้องเรียงตามลำดับบทความที่เขียนอ้างอิงในเนื้อเรื่อง และใช้การอ้างอิงตามรูปแบบของ IEEE สามารถศึกษาการเขียนเอกสารอ้างอิงตามรูปแบบที่กำหนดได้ที่ https://www.ieee.org/conferences_events/conferences/publishing/style_references_manual.pdf ซึ่งจำแนกรูปแบบการเขียนอ้างอิงส่วนท้ายบทความตามประเภทต่างๆ ดังตัวอย่างต่อไปนี้
 - **บทความภาษาไทย** ใช้ตัวอักษรบรรทัดเดียว นิว (Browalia New) ขนาด 10 ตัวธรรมดา
การอ้างอิงจากบทความในวารสาร
 - [1] ชื่อผู้แต่ง, “ชื่อบทความ,” *ชื่อวารสาร*, ปีที่, ฉบับที่, เลขหน้าบทความที่อ้างอิง, ปีที่พิมพ์.
 - [2] D. L. K. Tay and C. T. Tam, “In situ investigation of the strength of deteriorated concrete,” *Construction and Building Materials*, vol. 10, pp. 17-26, 1996.

- [3] นิตยา เงินประเสริฐศรี, “องค์การแนวนอน,” *วารสารสังคมศาสตร์และมนุษยศาสตร์*, ปีที่ 27, ฉบับที่ 15, หน้า 37-42, มกราคม-มิถุนายน, 2554

วิทยานิพนธ์/สารนิพนธ์

- [4] ชื่อผู้แต่ง, “ชื่อเรื่องวิทยานิพนธ์,” วิทยานิพนธ์หรือสารนิพนธ์ ชื่อย่อปริญญา (สาขา), ชื่อมหาวิทยาลัย, ชื่อเมือง, ชื่อประเทศ, ปีที่พิมพ์.
- [5] ปรีนทร เต็มญารศิลป์, “การเตรียมและการวิเคราะห์คุณลักษณะเฉพาะของถ่านกัมมันต์จากไผ่ตงและไผ่หมาจู้,” วิทยานิพนธ์ วท.บ. (เคมี), มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ, 2551.
- [6] J.O. Williams, “Narrow-band analyzer,” Ph.D. dissertation (Electrical Engineering), Harvard University, Cambridge, MA, USA, 1993.

การอ้างอิงจากการประชุมทางวิชาการ

- [7] ชื่อผู้แต่ง, “ชื่อบทความ,” *ชื่อการประชุมวิชาการ*, *ชื่อย่อการประชุมวิชาการ*, ชื่อสถานที่จัดงาน, วัน เดือน ปี ที่จัดงาน, เลขหน้า.
- [8] นิตยา เงินประเสริฐศรี, “ผลกระทบของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของขนาดรู Orifice และ Nozzle ต่อคุณสมบัติการวัดของแอร์เกจ,” *การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 28, MENETT 28*, จังหวัดขอนแก่น, 15-17 ตุลาคม 2557 หน้า 316.
- [9] S. Vinta, “Analysis of data to predict warranty cost for various regions,” *Proceedings of the Annual Reliability and Maintainability Symposium, RAM 2009*, Fort Worth, TX, USA, January 26-29, 2009, pp. 78-82.

- **บทความภาษาอังกฤษ** ใช้ตัวอักษรโรมัน นิว โรมัน (Times New Roman) ขนาด 8 ตัวธรรมดา

Books

- [1] J.K. Author, “Title of chapter in the book,” in *Title of His Published Book*, xth ed. City of Publisher, Country if not USA: Abbrev. of Publisher, year, ch. x, sec. x, pp. xxx-xxx
- [2] L. Stein, “Random patterns,” in *Computers and You*, J.S. Brake, Ed. New York: Wiley, 1994, pp. 55-70.

Conference Technical Articles

- [3] J.K. Author, “Title of paper,” in *Unabbreviated Name of Conf.*, City of Conf., Abbrev. State (if given), year, pp. xxx-xxx
- [4] J. K. Pink, “Article Title,” in *Proc. International Conference on Green Computing*, Paris, France, Jan. 2012, pp. 50-55.

Thesis and Dissertations

- [5] J.K. Author, “Title of Thesis,” M.S. thesis, Abbrev. Dept., Abbrev. Univ., City of Univ., Abbrev. State, year.
- [6] J.K. Author, “Title of dissertation,” Ph.D. dissertation, Abbrev. Dept., Abbrev. Univ., City of Univ., Abbrev. State, year.
- [7] N. Kawasaki, “Parametric Study of Thermal and chemical nonequilibrium nozzle flow,” M.S.thesis, Dept. Electron. Eng., Osaka Univ., Osaka, Japan, 1993.

วารสารสถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น : วิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี

ปีที่ 6 ฉบับที่ 1 มกราคม - มิถุนายน 2561

ตารางแสดงรูปแบบตัวอักษร

ภาษาไทย				รายการ	ภาษาอังกฤษ			
แบบอักษร	ขนาด	รูปแบบ	ตำแหน่ง		แบบอักษร	ขนาด	รูปแบบ	ตำแหน่ง
Browalia New	22	Bold	Center	ชื่อบทความ (Title)	Times New Roman	16	Bold	Center
Browalia New	13	-	Center	ชื่อ-นามสกุล ผู้เขียน (Author name and last name)	Times New Roman	11	-	Center
Browalia New	12	Italic	Center	ที่ติดต่อผู้เขียน (Address)	Times New Roman	10	Italic	Center
Courier	9	-	Center	e-mail	Courier	9	-	Center
Browalia New	11	Bold	Left	บทคัดย่อ (Abstract)	Times New Roman	9	Bold	Left
Browalia New	12	-	Center	หัวข้อหลัก (Main section)	Times New Roman	10	-	Center
Browalia New	12	Italic	Left	หัวข้อรอง ระดับที่ 1 (First-level sub section)	Times New Roman	10	Italic	Left
Browalia New	12	Italic	0.5 cm	หัวข้อรอง ระดับที่ 2 (Second-level sub section)	Times New Roman	10	Italic	0.5 cm
Browalia New	12	-	-	เนื้อเรื่อง (Body text)	Times New Roman	10	-	-
Browalia New	12	-	Center	ชื่อตาราง (เหนือตาราง) (Table name (above the table))	Times New Roman	10	-	Center
Browalia New	11	Bold	Center	หัวข้อในตาราง (Subjects in the table)	Times New Roman	9	Bold	Center
Browalia New	11	-	-	เนื้อหาในตาราง (Data in the table)	Times New Roman	9	-	-
Browalia New	10	-	Center	ชื่อรูปประกอบ (ใต้รูป) (Figure name (under the figure))	Times New Roman	8	-	Center
Browalia New	11	-	-	เนื้อหาในรูปประกอบ (Data in the figure)	Times New Roman	9	-	-
Browalia New	10	-	-	อ้างอิง (References)	Times New Roman	8	-	-

4. วิธีการจัดส่งบทความ

4.1 ผู้เขียนจะต้องจัดส่งบทความต้นฉบับจำนวน 1 ชุดด้วยไฟล์ .doc หรือ .docx และ .pdf พร้อมแนบแบบฟอร์มการส่งบทความ วารสารสถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น จำนวน 1 ชุด ทางอีเมล journal@tni.ac.th

4.2 สามารถดูรายละเอียดเพิ่มเติม และดาวน์โหลดแบบฟอร์มประกอบการส่งบทความได้ที่ <http://journal.tni.ac.th>

4.3 ส่งบทความออนไลน์ได้ที่ http://it.tni.ac.th/tni_conf/openconf.php

เมื่อกองบรรณาธิการได้รับบทความจะดำเนินการส่งบทความเสนอผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาบทความและแจ้งผลการพิจารณาให้ผู้เขียนบทความทราบ สำหรับบทความที่ผ่านการประเมินโดยผู้ทรงคุณวุฒิแล้วจะได้รับการตีพิมพ์ลงในวารสารเพื่อเผยแพร่ต่อไป

วารสารสถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น : วิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี
ปีที่ 6 ฉบับที่ 1 มกราคม - มิถุนายน 2561



แบบฟอร์มการส่งบทความ วารสารสถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น

ชื่อเรื่อง (ภาษาไทย) :

ชื่อเรื่อง (ภาษาอังกฤษ) :

ผู้เขียน (ลำดับที่ 1)

ชื่อ-สกุล :

ตำแหน่ง :

ที่อยู่หน่วยงาน :

โทรศัพท์.....โทรสาร.....e-mail.....

ผู้เขียน (ลำดับที่ 2)

ชื่อ-สกุล :

ตำแหน่ง :

ที่อยู่หน่วยงาน :

โทรศัพท์.....โทรสาร.....e-mail.....

ผู้เขียน (ลำดับที่ 3)

ชื่อ-สกุล :

ตำแหน่ง :

ที่อยู่หน่วยงาน :

โทรศัพท์.....โทรสาร.....e-mail.....

ประเภทบทความที่เสนอ

บทความวิชาการ

บทความวิจัย

“ข้าพเจ้าและผู้เขียนร่วม (ถ้ามี) ขอรับรองว่า บทความที่เสนอมานี้ ยังไม่เคยได้รับการตีพิมพ์และไม่ได้อยู่ระหว่างกระบวนการพิจารณาตีพิมพ์ในวารสารหรือสิ่งตีพิมพ์อื่นใด ข้าพเจ้าและผู้เขียนร่วม ขอมอบลิขสิทธิ์บทความที่ได้รับการตีพิมพ์ให้แก่สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น และยอมรับในหลักเกณฑ์การพิจารณาต้นฉบับ โดยยินยอมให้กองบรรณาธิการมีสิทธิ์พิจารณาตรวจแก้ไขต้นฉบับได้ตามที่เห็นสมควร ทั้งนี้หากในบทความมีข้อความ ตาราง หรือภาพประกอบ ที่ละเมิดลิขสิทธิ์ของบุคคลหรือหน่วยงานอื่น ให้ถือเป็นความรับผิดชอบของข้าพเจ้าและผู้เขียนร่วมแต่เพียงฝ่ายเดียว”

ลงชื่อ.....

()

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

วารสารสถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น : วิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี

ปีที่ 6 ฉบับที่ 1 มกราคม - มิถุนายน 2561

"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)

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)

หลักสูตรระดับปริญญาโท

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

คณะบริหารธุรกิจ

หลักสูตรระดับปริญญาตรี

- หลักสูตรการจัดการอุตสาหกรรม (Industrial Management, B.B.A. : IM)
- 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)

หลักสูตรระดับปริญญาโท

- หลักสูตรการจัดการอุตสาหกรรม (Industrial Management, M.B.A. : MIM)
- หลักสูตรการวางแผนและการจัดการเชิงกลยุทธ์สำหรับผู้ประกอบการ (Strategic Planning and Management for Entrepreneur, M.B.A. : SME)
- หลักสูตรบริหารธุรกิจญี่ปุ่น (Japanese Business Administration, M.B.A. : MBJ)

☀	Performance Evaluation of Location-Based Advertising using Web Application Performance Testing (WAPT) ILia Kachalin, Chanintorn Jittawiriyankoon	37
☀	Shredder for Physical Reduction of Straw and Stubble ไพโรจน์ นะเที่ยง, จันทร์เพ็ญ ชุมแสง, กัณฑ์ อินทวงศ์	43
☀	Song Clustering Using Similarity of Audio Fingerprint สุนันท์ ธาติ, พงศ์พันธ์ กิจสนาโยธิน, วรลักษณ์ คงเด่นฟ้า	49