

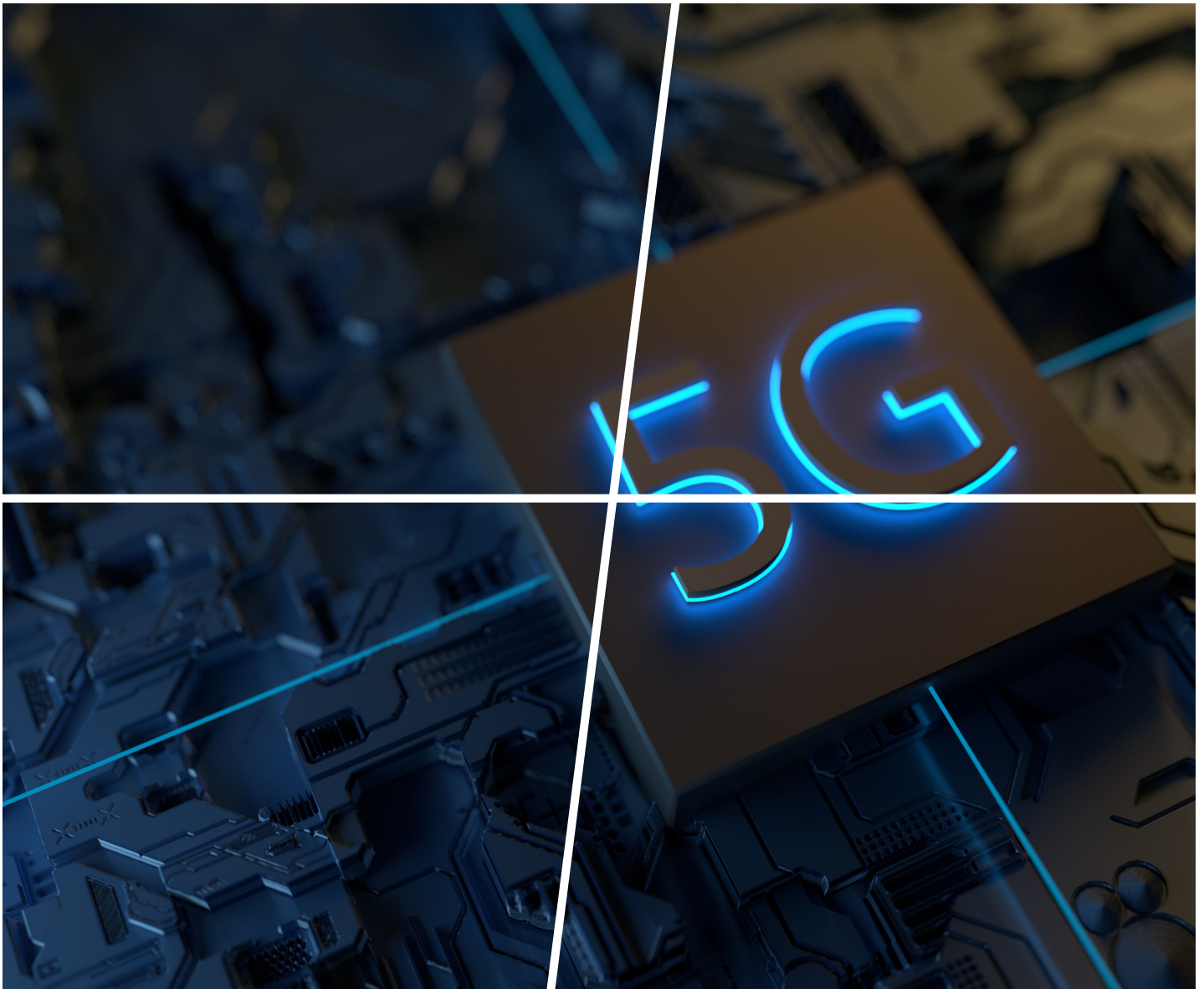


วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมมาธิราช

JOURNAL OF SCIENCE AND TECHNOLOGY
SUKHOTHAI THAMMATHIRAT OPEN UNIVERSITY

ปีที่ 1 ฉบับที่ 2 ประจำเดือนกรกฎาคม - ธันวาคม 2564





สารบัญ

	หน้า
1. การศึกษาที่ครอบคลุมด้านการออกแบบและประสิทธิภาพของรหัสแอสดีพีซีสำหรับมาตรฐาน 5G.....	1
จตุพร ต้วทอง และ เวธิต ภาคย์พิสุทธิ์	
2. การลดน้ำสูญเสียในระบบจ่ายน้ำประปาภายในสนามบินโดยใช้วัสดุทดแทนท่อประปา.....	13
ศิริพันธุ์ พุ่มจันทร์ และ ศักดิ์ชาย รักการ	
3. การศึกษาที่ครอบคลุมด้านการออกแบบและประสิทธิภาพของรหัสโพลาร์สำหรับมาตรฐาน 5G.....	27
อนุสรณ์ วงศ์ษา และ เวธิต ภาคย์พิสุทธิ์	
4. การเพิ่มประสิทธิภาพด้านพลังงานไฟฟ้าภายในอาคารกรณีศึกษาอาคารโรงแรมขนาดใหญ่ (2,000 KVA).....	40
ไพรวัด อินชิต, ศักดิ์ชาย รักการ และ จีรวัฒน์ ป้องใหม่	
5. การเพิ่มประสิทธิภาพระบบงานพัสดุไปรษณีย์ของนิติบุคคลอาคารชุด.....	54
จุมพล กิจสุขกาย, ภาวัต ไชยชาณวาทิก, ศักดิ์ชาย รักการ และ จีรวัฒน์ ป้องใหม่	
6. การศึกษาอุณหภูมิและโครงสร้างจุลภาคของกระบวนการเคลือบอลูมิเนียมลงบนเซรามิกด้วยแรงเสียดทาน.....	70
ธรรมะสุข มิ่งเมือง และ สุขอังคณา แกล่งกันท์	
7. การลดข้อร้องเรียนและสร้างความพึงพอใจแก่ผู้พักอาศัยในอาคารชุดต่อนิติบุคคลกรณีศึกษา อาคารชุดระดับสูงใน พื้นที่เขตกรุงเทพมหานคร.....	82
อาภาพร เพ็ธธงสา, ศักดิ์ชาย รักการ และ ภาวัต ไชยชาณวาทิก	



วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช

Journal of Science and Technology Sukhothai Thammathirat Open University



วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช

ปีที่ 1 ฉบับที่ 2 กรกฎาคม 2564 – ธันวาคม 2564

Journal of Science and Technology Sukhothai Thammathirat Open University

ที่ปรึกษากองบรรณาธิการ

ดร.สิทธิชัย รัชยศโยธิน

ประธานกรรมการประจำ

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

บรรณาธิการ

ดร.ศรัณย์ นาคณอม

มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช

ผู้ช่วยบรรณาธิการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศรีสิทธิ์ เจียรบุตร

มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช

กองบรรณาธิการ

ศาสตราจารย์ ดร.ปิยะ โควินท์ทวีวัฒน์

มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม

รองศาสตราจารย์ ดร.สมชาย ปราการเจริญ

มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เปรมพร เขมวูฒม์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฏฐรงค์ จตุรัส

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

รองศาสตราจารย์ ดร.สุภาวดี อีธรรมมาร

มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บุญชัย วลีธรรมพิสวัสดิ์

มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิมพา ประเสริฐศิลป์

มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช

ดร.เดชรัฐศิลป์ เพี้ยชัย

มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช

รายนามคณะกรรมการผู้ทรงคุณวุฒิ (Peer Review) ประจำฉบับ

ศาสตราจารย์ ดร.ปิยะ โควินท์ทวีวัฒน์	มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม
รองศาสตราจารย์ ดร.สุชาดา สิทธิจงสภาพร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร
รองศาสตราจารย์ ดร.สมชาย ปราการเจริญ	มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม
รองศาสตราจารย์ ดร.บุญเลิศ สี่อเนย	มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์
รองศาสตราจารย์ ดร.จุมพล บำรุงวงศ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศรีสิทธิ์ เจริญบุตร	มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมมาธิราช
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จีรานุช บุคตจีจัน	มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมมาธิราช
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธารชуда พันธนิกุล	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รุ่งทิวา เสาร์สิงห์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
ดร.เดชรัฐสินธุ์ เพี้ยชัย	มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมมาธิราช
ดร.สิทธิชัย รัชชโยธิน	มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมมาธิราช
ดร.ศรัณย์ นาคณอม	มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมมาธิราช
ดร.ศักดิ์ชาย รักการ	มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต
ดร.ธรรมะสุข มิ่งเมือง	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ดร.อัศวิน เสนิชัย	มหาวิทยาลัยกรุงเทพสุวรรณภูมิ
ดร.ลดาวรรณ สว่างอารมณ์	นักวิชาการอิสระ

ฝ่ายบริหารจัดการประจำปี

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช

9/9 หมู่ 9 ถ.แจ้งวัฒนะ ต.บางพลี อ.ปากเกร็ด จ.นนทบุรี 11120

โทรศัพท์ : 02-5048191 – 3 โทรสาร : 02-5034932

วัตถุประสงค์

1. เพื่อเผยแพร่ผลงานการวิจัยและผลงานวิชาการให้ทันสมัยและเป็นไปอย่างต่อเนื่อง
2. เพื่อเป็นสื่อกลางและแลกเปลี่ยนความคิดเห็นทางวิชาการให้เกิดความก้าวหน้าทางวิชาการ
3. เพื่อส่งเสริมและพัฒนาศักยภาพทางวิชาการของบุคลากรทั้งภายในและภายนอกมหาวิทยาลัย

กำหนดการออกวารสาร

ปีละ 2 ฉบับ (มกราคม – มิถุนายน, กรกฎาคม– ธันวาคม) ของทุกปี

ลักษณะของบทความ

1. ครอบคลุมในหัวเรื่องวิชาการและวิจัย
2. บทความที่นำเสนอต้องมีแนวทางสร้างสรรค์ ก่อให้เกิดประโยชน์ต่อการพัฒนาความเจริญก้าวหน้าของการศึกษา เศรษฐกิจ และสังคมโดยรวม
3. บทความที่นำเสนอต้องไม่เคยตีพิมพ์ในวารสารวิชาการอื่นใดมาก่อน
4. ผู้เขียนจะต้องรับผิดชอบในข้อเขียน ข้อคิดเห็นของผู้เขียนต่อข้อกฎหมายใดๆ ที่อาจเกิดขึ้นต่อบทความนั้น

บทบรรณาธิการ

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช ฉบับนี้เป็นปีที่ 1 ฉบับที่ 2 เดือนกรกฎาคม- ธันวาคม 2564 ซึ่งเป็นที่ 2 ของสาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี โดยมีวัตถุประสงค์สำคัญคือการเป็นพื้นที่ในการเผยแพร่ผลงานทางวิชาการ รวมถึงเป็นเวทีในการแลกเปลี่ยนแนวคิดให้กับคณาจารย์และนักวิชาการทั่วไป เพื่อส่งเสริมและพัฒนาศักยภาพทางวิชาการ ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี โดยฉบับนี้ได้มีการเผยแพร่ผลงานทางวิชาการจำนวนทั้งสิ้น 7 บทความ ซึ่งทุกบทความได้ผ่านการประเมินคุณภาพ อย่างเข้มข้นจากผู้ทรงคุณวุฒิตามศาสตร์สาขาที่เกี่ยวข้องจากหลากหลายสถาบัน ทำให้มั่นใจได้ว่าผลงานทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่นี้มีคุณภาพสามารถนำไปศึกษาค้นคว้า อ้างอิง รวมถึงนำไปใช้ประโยชน์ในทางปฏิบัติได้ต่อไป

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช ขอขอบพระคุณผู้ทรงคุณวุฒิจากหลากหลายสถาบัน ที่ได้กรุณาสละเวลาอันมีค่าในการประเมินคุณภาพของบทความเพื่อตีพิมพ์เผยแพร่ ขอขอบคุณนักวิชาการที่ให้ความไว้วางใจส่งผลงานเข้ารับการเผยแพร่ หวังเป็นอย่างยิ่งว่า วารสารฉบับนี้จะเป็นเวทีทางวิชาการที่จะกระตุ้นความคิดและการแลกเปลี่ยนเรียนรู้อันจะนำมาซึ่งกระบวนการทัศน์ทางความคิด รวมถึงให้องค์ความรู้ดังกล่าวทำหน้าที่ในการพัฒนาสังคมและประเทศชาติต่อไป

ดร.ศรันย์ นาคณอม

บรรณาธิการ

การศึกษาที่ครอบคลุมด้านการออกแบบและประสิทธิภาพของรหัสแอลดีพีซีสำหรับมาตรฐาน 5G

A COMPREHENSIVE STUDY ON THE DESIGN AND PERFORMANCE OF LDPC CODES FOR 5G STANDARD

จตุพร ด่วงทอง¹ และ เวธิต ภาคย์พิสุทธิ์²

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพฯ,

E-Mail: {¹58601143, ²watid.ph}@kmitl.ac.th

Chatuporn Duangthong¹ and Watid Phakphisut²

School of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok,

E-Mail: {¹58601143, ²watid.ph}@kmitl.ac.th

วันรับบทความ วันที่ 4 กรกฎาคม 2564

วันแก้ไขบทความ วันที่ 14 สิงหาคม 2564

วันตอบรับบทความ วันที่ 17 สิงหาคม 2564

บทคัดย่อ

สหภาพโทรคมนาคมระหว่างประเทศ (ITU: International Telecommunication Union) ได้กำหนดรูปแบบการสื่อสารไร้สายยุคที่ 5 หรือ 5G ไว้ 3 ประเภท ได้แก่ enhanced mobile broadband (eMBB), ultra-reliable and low latency communications (URLLC) และ massive machine-type communications (mMTC) อย่างไรก็ตาม การสื่อสารไร้สายจะมีปัญหาความผิดพลาดของข้อมูลเนื่องจากสัญญาณรบกวนในสิ่งแวดล้อม เพื่อให้การใช้งานการสื่อสารไร้สายมีความถูกต้อง ข้อมูลจึงถูกเข้ารหัสช่องสัญญาณ ในมาตรฐาน 5G รหัสที่ถูกนำมาพิจารณาใช้งานในส่วนของผู้ใช้ข้อมูล คือรหัสแอลดีพีซี (LDPC: Low-Density Parity-Check Codes) เนื่องจากรหัสแอลดีพีซีเป็นรหัสที่มีสมรรถนะในการแก้ไขความผิดพลาดที่ดี ดังนั้นบทความนี้จึงศึกษาและจำลองสมรรถนะอัตราความผิดพลาดบิตของรหัสแอลดีพีซีตามมาตรฐาน 5G

คำสำคัญ: รหัสแอลดีพีซี, การสื่อสารไร้สายในยุคที่ 5

ABSTRACT

International Telecommunication Union (ITU) has defined three usage scenarios for the 5th generation mobile communication, such as enhanced mobile broadband (eMBB), ultra-reliable and low latency communications (URLLC), and massive machine-type communications (mMTC). However, the data corruption can occur to the noise from the environment. To improve the reliability of communication network, the data must be encoded by channel codes. In 5G standard, Low-Density Parity-Check (LDPC) codes are the channel codes of the user data. Since the LDPC code performs well in terms of error correction, the bit error rate (BER) performance of LDPC codes based on the 5G standard is investigated and simulated in this study.

KEYWORDS: LDPC code, 5th generation mobile communication

1. บทนำ

สหภาพโทรคมนาคมระหว่างประเทศ (ITU: International Telecommunication Union) ได้แบ่งรูปการสื่อสารไร้สายในยุคที่ 5 หรือ 5G ไว้ 3 ประเภท (Series, M., 2017) ได้แก่ enhanced mobile broadband (eMBB), ultra-reliable and low latency communications (URLLC) และ massive machine type communications (mMTC) สำหรับการใช้งานแบบ eMBB จะมุ่งเน้นการใช้งานการส่งข้อมูลความเร็วสูงในระดับกิกะบิตต่อวินาที ตัวอย่างเช่น การรับชมวิดีโอความละเอียด 4K เป็นต้น สำหรับการใช้งานแบบ URLLC มุ่งเน้นการส่งข้อมูลที่มีความเสถียรและมีความหน่วงของการส่งข้อมูลต่ำ ตัวอย่างเช่น การรับส่งข้อมูลระหว่างรถยนต์ที่ต้องการรับส่งข้อมูลที่มีการหน่วงเวลาต่ำเพื่อตอบสนองเหตุการณ์ต่าง ๆ สำหรับการใช้งานแบบ mMTC จะมุ่งเน้นการเชื่อมต่ออุปกรณ์จำนวนมากในบริเวณพื้นที่จำกัด ตัวอย่างเช่น การรับส่งข้อมูลของอุปกรณ์ IoT

รูปแบบการใช้งานในข้างต้น จะสังเกตได้ว่าการสื่อสารไร้สายยุค 5G ถูกคาดหวังเป็นยุคของการสื่อสารของทุกสรรพสิ่ง ไม่ว่าจะเป็นการสื่อสารระหว่างมนุษย์กับมนุษย์ มนุษย์กับเครื่องจักร หรือเครื่องจักรกับเครื่องจักร การสื่อสารของสรรพสิ่งเหล่านี้ต่างก็เรียกร้องคุณภาพในการสื่อสารที่ดี กล่าวคือปราศจากความผิดพลาดในการส่งข้อมูล อย่างไรก็ตาม เนื่องจากในช่องสัญญาณการสื่อสารไร้สายมีสิ่งรบกวนจำนวนมาก เช่น การรบกวนจากฝน สัญญาณรบกวนแบบจางหาย รวมถึงความร้อนจากวงจรอิเล็กทรอนิกส์ในอุปกรณ์ ดังนั้น โดยปกติแล้วในการส่งข้อมูลผ่านช่องสัญญาณจะอาศัยรหัสช่องสัญญาณ (Channel Codes) เพื่อแก้ไขความผิดพลาดของข้อมูล รหัสช่องสัญญาณจะทำหน้าที่เข้ารหัสข้อมูลเพิ่มบิตตรวจสอบหรือที่เรียกกันว่า บิตพาริตี (Parity Bits) เข้าไปกับข้อมูลต้นฉบับก่อนดำเนินการส่งข้อมูลเหล่านั้นไปยังภาครับ หน้าที่ของภาครับคือการถอดรหัสข้อมูล โดยอาศัยบิตพาริตีในการตรวจสอบแก้ไขความผิดพลาดที่เกิดขึ้น

ในเทคโนโลยี 5G การสื่อสารระหว่างสถานีฐานและโทรศัพท์เคลื่อนที่จะประกอบไปด้วยข้อมูลอยู่ 2 ชนิด ชนิดแรกคือ User data ซึ่งเป็นข้อมูลของผู้ใช้งานที่ต้องการส่งไปหาผู้รับปลายทาง ชนิดที่สองคือ Control data ซึ่งเป็นข้อมูลของอุปกรณ์ เช่น โทรศัพท์เคลื่อนที่ส่งข้อมูลไปยังสถานีฐานว่าได้รับข้อมูลถูกต้อง หรือโทรศัพท์เคลื่อนที่ส่งข้อมูลแจ้งปริมาณสัญญาณรบกวนในบริเวณนั้นเป็นเช่นไร รหัสช่องสัญญาณที่จะถูกนำมาใช้ใน 5G ต้องมีความเหมาะสมสำหรับการใช้งานทั้ง 3 ด้าน ไม่ว่าจะเป็น eMBB, mMTC และ URLLC ซึ่งรหัสที่ถูกนำมาพิจารณาใช้งานในส่วนของผู้ใช้ User data ได้แก่ รหัสพาริตีเชิงความหนาแน่นต่ำ หรือ รหัสแอลดีพีซี (LDPC: Low-Density Parity-Check Codes) ซึ่งเป็นรหัสที่มีสมรรถนะเข้าใกล้ทฤษฎีความจุช่องสัญญาณ รหัสแอลดีพีซีถูกคิดค้นโดย Robert Gallager (Gallager, R., 1962) เมื่อ ค.ศ. 1962 ในปัจจุบัน รหัสแอลดีพีซีได้รับการพัฒนาให้วงจรเข้ารหัสและถอดรหัสมีความซับซ้อนต่ำ ทำให้รหัสแอลดีพีซีถูกนำมาใช้งานในระบบสื่อสารมาตรฐานต่าง ๆ เช่น ระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์ไร้สายมาตรฐาน IEEE 802.11 (IEEE Computer Society LAN/MAN Standards Committee, 2007) ระบบโทรทัศน์ดิจิทัลมาตรฐาน DVB-S2 และ DVB-T2 (Morello, A., & Mignone, V., 2006)

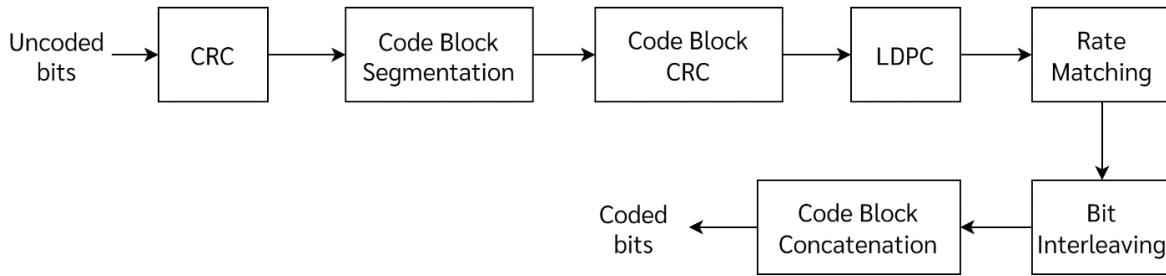
ในบทความนี้จะศึกษาการเข้ารหัสแอลดีพีซีในมาตรฐานการสื่อสารไร้สายยุคที่ 5 โดยกระบวนการเข้ารหัสแอลดีพีซีประกอบด้วยโมดูลที่สำคัญทั้งหมด 7 ส่วน ได้แก่ 1. การเข้ารหัสขีวาร์ซี 2. การแบ่งข้อมูลเป็นบล็อกย่อย 3. การเข้ารหัสขีวาร์ซี ของบล็อกข้อมูลย่อย 4. การเข้ารหัสแอลดีพีซีของบล็อกข้อมูลย่อย 5. การปรับอัตรารหัสโดยการเลือกบิตที่จะส่ง 6. การแทรกสลับบิตข้อมูลของบล็อกข้อมูลย่อย และ 7. การนำบล็อกข้อมูลย่อยมาจัดเรียงและส่งออก

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและจำลองการเข้ารหัสแอลดีพีซีในมาตรฐานการสื่อสารไร้สายยุคที่ 5 โดยอาศัยเครื่องมือที่สำคัญคือโปรแกรมแมทแลบ (MATLAB) ซึ่งจะจำลองระบบการสื่อสารตามมาตรฐานการสื่อสารไร้สายยุคที่ 5 ประกอบไปด้วย การเข้ารหัสขีวาร์ซี การแบ่งส่วนข้อมูล การเข้ารหัสขีวาร์ซี บล็อกย่อย การเข้ารหัสแอลดีพีซี การปรับอัตรารหัส การแทรกสลับบิต และการต่อเรียงบล็อกรหัส

3. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

3.1 ภาพรวมการเข้ารหัสแอลดีพีซีมาตรฐาน 5G



รูปที่ 1 แผนภาพการเข้ารหัสแอลดีพีซีมาตรฐาน 5G (3rd Generation Partnership Project (3GPP), 2018)

รูปที่ 1 แสดงแผนภาพบล็อกของกระบวนการเข้ารหัสช่องสัญญาณของรหัสแอลดีพีซีตามเอกสาร 3GPP 38.212 (3rd Generation Partnership Project (3GPP), 2018) โดยการทำงานจะเริ่มต้นจากการนำข้อมูลที่ต้องการส่งไปเข้ารหัสด้วยรหัสตรวจจับความผิดพลาด ที่เรียกว่าซีอาร์ซี (CRC: Cyclic Redundancy Check) ก่อนจะนำผลลัพธ์ที่ได้ไปผ่านกระบวนการแบ่งส่วนข้อมูล (Segmentation) เพื่อแบ่งข้อมูลให้มีขนาดของข้อมูลตามมาตรฐานของการสื่อสาร 5G โดยข้อมูลจะถูกแบ่งออกเป็นบล็อกย่อย ๆ ที่มีขนาดเท่ากัน หลังจากนั้นแต่ละบล็อกย่อยจะถูกนำไปเข้ารหัสซีอาร์ซี ซ้ำอีกครั้ง จากนั้น นำผลลัพธ์ที่ได้ไปเข้ารหัสแอลดีพีซี โดยการแทรกบิตพาริตีกับข้อมูล เพื่อให้ภาครับสามารถแก้ไขความผิดพลาดของข้อมูลได้อย่างถูกต้อง ผลลัพธ์ที่ได้จากการเข้ารหัสแอลดีพีซี จะถูกเรียกว่าคำรหัส (Codeword) โดยคำรหัสจะถูกส่งต่อไปยังวงจรปรับอัตรารหัส (Rate Matching) เพื่อปรับความยาวของคำรหัสให้เหมาะสมกับการส่ง จากนั้นวงจรแทรกสลับบิต (Bit Interleaving) จะถูกใช้งานเพื่อแทรกสลับบิตข้อมูลในคำรหัสเพื่อป้องกันความผิดพลาดแบบติดกัน (Burst Error) และสุดท้ายจะมีการจัดเรียงบล็อกรหัสเพื่อส่งต่อไปมอดูเลตและส่งข้อมูลออกไปตามลำดับ

3.2 การเข้ารหัสซีอาร์ซี

การเข้ารหัสแบบซีอาร์ซี (CRC: Cyclic Redundancy Check) ในมาตรฐาน 5G (Wu, H., 2020) สำหรับแบบอัปลิงก์ (Uplink) และดาวนลิงก์ (Downlink) ใช้ การเข้ารหัสซีอาร์ซีที่มีความยาว (L) เท่ากับ 24, 16, 11 และ 6 บิต โดยมีการกำหนดโพลิโนเมียลโพลิโนเมียลตัวกำเนิด (Generator Polynomial) สำหรับการเข้ารหัสซีอาร์ซี 24 บิตได้แก่

$$g_{\text{CRC24A}}(X) = X^{24} + X^{23} + X^{18} + X^{17} + X^{14} + X^{11} + X^{10} + X^7 + X^6 + X^5 + X^4 + X^3 + X + 1 \quad (1)$$

$$g_{\text{CRC24B}}(X) = X^{24} + X^{23} + X^6 + X^5 + X + 1 \quad (2)$$

$$g_{\text{CRC24C}}(X) = X^{24} + X^{23} + X^{21} + X^{20} + X^{17} + X^{15} + X^{13} + X^{12} + X^8 + X^4 + X^2 + X + 1 \quad (3)$$

เมื่อ $g_{\text{CRC24A}}(X)$, $g_{\text{CRC24B}}(X)$ และ $g_{\text{CRC24C}}(X)$ คือโพลิโนเมียลตัวกำเนิดตามมาตรฐาน 5G สำหรับบล็อกข้อมูลที่มีความยาว (L) 24 บิตแบบที่ A, B และ C ตามลำดับ, X^n คือตำแหน่งที่โพลิโนเมียลมีสัมประสิทธิ์เป็น 1 สำหรับการเข้ารหัสซีอาร์ซีที่มีความยาว (L) เท่ากับ 16 บิต โพลิโนเมียลตัวกำเนิดตามมาตรฐาน 5G คือ

$$g_{\text{CRC16}}(X) = X^{16} + X^{12} + X^5 + 1 \quad (4)$$

เมื่อ $g_{\text{CRC16}}(X)$ คือโพลิโนเมียลตัวกำเนิดตามมาตรฐาน 5G สำหรับบล็อกข้อมูลที่มีความยาว (L) 16 บิต สำหรับการเข้ารหัสซีอาร์ซีที่มีความยาว (L) เท่ากับ 11 บิต โพลิโนเมียลตัวกำเนิดตามมาตรฐาน 5G คือ

$$g_{\text{CRC11}}(X) = X^{11} + X^{10} + X^9 + X^5 + 1 \quad (5)$$

เมื่อ $g_{\text{CRC11}}(X)$ คือโพลิโนเมียลตัวกำเนิดตามมาตรฐาน 5G สำหรับบล็อกข้อมูลที่มีความยาว (L) 11 บิต สำหรับการเข้ารหัสซีอาร์ซีที่มีความยาว (L) เท่ากับ 6 บิต โพลิโนเมียลตัวกำเนิดตามมาตรฐาน 5G คือ

$$g_{\text{CRC6}}(X) = X^6 + X^5 + 1 \quad (6)$$

เมื่อ $g_{\text{CRC6}}(X) = X^6 + X^5 + 1$ คือโพลิโนเมียลตัวกำเนิดตามมาตรฐาน 5G สำหรับบล็อกข้อมูลที่มีความยาว (L) 6 บิต

ในมาตรฐาน 5G ประกอบด้วยการเข้ารหัสซีอาร์ซี 2 ส่วนได้แก่ การเข้ารหัสซีอาร์ซีในส่วนของบล็อกการขนส่ง (Transport Block) และการเข้ารหัสซีอาร์ซีในส่วนของบล็อกรหัส โดยการเข้ารหัสซีอาร์ซีในส่วนของบล็อกการขนส่ง เป็นการเข้ารหัสซีอาร์ซีของข้อมูลทั้งหมดที่ต้องการส่งไปยังภาครับซึ่งมีการแบ่งออกเป็น 2 กรณีได้แก่ กรณีที่บล็อกข้อมูลมีความยาวมากกว่า 3824 บิต กำหนดให้ใช้การเข้ารหัสซีอาร์ซีที่มีความยาว (L) เท่ากับ 24 บิต โดยมีโพลิโนเมียลเป็น $g_{\text{CRC24A}}(X)$ หากเป็นกรณีอื่น กำหนดให้ใช้การเข้ารหัสซีอาร์ซีที่มีความยาว (L) เท่ากับ 16 บิต มีโพลิโนเมียลเป็น $g_{\text{CRC16}}(X)$ และการเข้ารหัสซีอาร์ซีในส่วนของบล็อกรหัสเป็นการเข้ารหัสซีอาร์ซีของข้อมูลแต่ละบล็อกย่อยหลังจากกระบวนการการแบ่งส่วนข้อมูล (Segmentation) การเข้ารหัสข้อมูลแต่ละบล็อกย่อยจะทำให้กระบวนการส่งข้อมูลซ้ำ สามารถดำเนินการส่งเฉพาะบล็อกข้อมูลย่อยเท่านั้น โดยมีการกำหนดให้ใช้การเข้ารหัสซีอาร์ซีที่มีความยาว (L) เท่ากับ 24 บิต มีโพลิโนเมียลเป็น $g_{\text{CRC24B}}(X)$

3.3 การแบ่งส่วนข้อมูล (Segmentation)

การแบ่งส่วนข้อมูล (Segmentation) (Gao, X., Ma, L., Jin, J., Li, J., Ma, Z., Zhai, Y., & Li, X., 2020) เป็นกระบวนการแบ่งบล็อกข้อมูลให้เป็นบล็อกย่อย เมื่อบล็อกข้อมูลมีขนาดมากเกินขอบเขตของการเข้ารหัสแอสซิงโครนัสตามมาตรฐาน 5G บล็อกข้อมูลจะถูกแบ่งเป็นบล็อกรหัส (Code Block) แต่ละบล็อกรหัสจะถูกส่งไปเข้ารหัสด้วยรหัสซีอาร์ซีตามที่อธิบายในหัวข้อก่อนหน้านี้ ซึ่งจำนวนบิตข้อมูลสูงสุดต่อบล็อก (K_{cb}) ของมาตรฐาน 5G จะขึ้นอยู่กับกราฟฐาน (Base Graph) ที่เลือกใช้ ในกรณีที่ใช้กราฟฐาน 1 ขนาดบิตสูงสุดต่อบล็อก $K_{cb} = 8448$ บิต และกรณีที่ใช้กราฟฐาน 2 ขนาดบิตสูงสุดต่อบล็อก $K_{cb} = 3840$ บิต

กระบวนการการแบ่งส่วนข้อมูลเริ่มต้นจากการพิจารณาจำนวนบิตอินพุต (B) ที่เข้ามาซึ่งเป็นบิตข้อมูลที่ผ่านการเข้ารหัสซีอาร์ซีแล้ว 1 ครั้ง หาก B มีขนาดมากกว่า K_{cb} จะทำการแบ่งบิตข้อมูลออกเป็นจำนวน C บล็อกรหัส และทำการส่งข้อมูลแต่ละบล็อกไปเข้ารหัสซีอาร์ซีที่มีความยาว (L) เท่ากับ 24 บิตอีกครั้ง และจำนวนบิตในบล็อกรหัสทั้งหมด (B') จะเท่ากับ $B + C \cdot L$ บิต แต่หาก B น้อยกว่าหรือเท่ากับ K_{cb} จะไม่มีการเข้ารหัสซีอาร์ซีอีกครั้ง ในกรณีนี้จะมีบล็อกข้อมูลเพียงหนึ่งบล็อกเท่านั้น และจำนวนบิตในบล็อกรหัสทั้งหมด (B') จะเท่ากับ B บิตเท่าเดิม การกำหนดค่าพารามิเตอร์สำหรับทั้ง 2 กรณี แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การกำหนดพารามิเตอร์ของการแบ่งส่วนข้อมูล (3rd Generation Partnership Project (3GPP), 2018)

กรณี $B \leq K_{cb}$	กรณี $B > K_{cb}$
$L = 0$	$L = 24$
$C = 1$	$C = \lceil B / K_{cb} - L \rceil$
$B' = B$	$B' = B + C \cdot L$

หลังจากผ่านกระบวนการการแบ่งส่วนข้อมูลบิตข้อมูลจะถูกแบ่งออกเป็นบล็อกรหัสขนาด K บิต ซึ่งแต่ละบล็อกประกอบด้วย $C_{r0}, C_{r1}, \dots, C_{r(K_r-1)}$ เมื่อ $0 \leq r < C$ โดยที่ r คือลำดับบล็อกรหัสและ K_r คือ จำนวนบิตทั้งหมดในบล็อกที่ r โดยในแต่ละบล็อกจะถูกแบ่งให้มีจำนวนบิตข้อมูลเท่ากันทุกบล็อก หรือ $K_r = K$ โดยจำนวนบิตในแต่ละบล็อกจะมีขนาด K' บิต ซึ่งสามารถหาได้จาก

$$K' = B' / C \quad (7)$$

มาตรฐาน 5G มีการกำหนดการขยายขนาดของกราฟฐาน (Z_c) เมื่อค่า Z_c คือค่า Z จากตารางที่ 3 ที่น้อยที่สุดที่ทำให้เงื่อนไข $K_b \cdot Z_c \geq K'$ เป็นจริง จากนั้นแทนค่า Z_c ที่ได้จากเงื่อนไขดังกล่าวเพื่อหาค่า K โดยมีข้อกำหนดดังนี้ หากเลือกใช้กราฟฐาน 1 จะใช้ $K = 22Z_c$ และหากเลือกใช้กราฟฐาน 2 จะใช้ $K = 10Z_c$ ทำให้ต้องมีการปรับขนาดของบิตข้อมูลที่แบ่งในตอนต้น จากเดิมขนาด K' บิต เป็นขนาดบิตข้อมูลตามมาตรฐานกำหนดขนาด K บิต ส่วน K_b จะขึ้นกับกราฟฐานที่เลือกใช้ โดยมีเงื่อนไขการพิจารณาดังนี้ กรณีใช้กราฟฐาน 1 จะใช้ $K_b = 22$ บิต, กรณีใช้กราฟฐาน 2 และ $B > 640$ บิต จะใช้ $K_b = 10$ บิต, กรณีใช้กราฟฐาน 2 และ $B > 560$ บิต จะใช้ $K_b = 9$ บิต, กรณีใช้กราฟฐาน 2 และ $B > 192$ บิต จะใช้ $K_b = 8$ บิต และกรณีอื่น จะใช้ $K_b = 6$ บิต

หลังจากการแบ่งข้อมูลเป็นบล็อกย่อย แต่ละบล็อกจะมีองค์ประกอบ 2 ส่วน ได้แก่ บิตข้อมูล และบิตว่าง (Null Bits) บิตข้อมูลอินพุตจะถูกใส่เข้าไปในตำแหน่งที่ 0 ถึง $K' - L - 1$ ของบล็อก ในกรณีที่ $C < 1$ หรือมีจำนวนบล็อกย่อยมากกว่า 1 บล็อก ข้อมูลภายในบล็อกจะถูกเข้ารหัสตรงจบความผิดพลาด หรือซีอาร์ซี โดยทำการคำนวณหาซีอาร์ซีที่มีความยาว (L) เท่ากับ 24 บิต ด้วยโพลีโนเมียล $g_{CRC24B}(D)$ และถูกเติมเข้าไปในตำแหน่งที่ $K' - L$ ถึง $K' - 1$ จากนั้นจะมีการเติมบิตว่างในตำแหน่งที่ K' ถึง $K - 1$ เพื่อให้บิตข้อมูลในแต่ละบล็อกครบจำนวน K บิต

3.4 กระบวนการเข้ารหัสแอลดีพีซี

กระบวนการการเข้ารหัสแอลดีพีซี สำหรับช่องสัญญาณข้อมูลในมาตรฐาน 5G เริ่มต้นจากการพิจารณาค่าเอ็มซีเอส (MCS: Modulation and Coding Scheme) เพื่อให้ทราบอัตรารหัสที่ต้องใช้ในการเข้ารหัส แล้วทำการเลือกกราฟฐานของรหัสแอลดีพีซี ซึ่งกราฟฐาน 1 ใช้สำหรับบล็อกข้อมูลขนาดใหญ่ ($44 \leq K \leq 8448$) และอัตรารหัสสูงในช่วง ($1/3 \leq R \leq 8/9$) ในขณะที่กราฟฐาน 2 ใช้สำหรับบล็อกข้อมูลขนาดเล็ก ($20 \leq K \leq 3840$) และอัตรารหัสที่ต่ำในช่วง ($1/5 \leq R \leq 10/13$) โดยมีเงื่อนไขในการพิจารณาเลือกดังนี้ กรณีข้อมูลเท่ากับ $K \leq 308$ บิต ใช้กราฟฐาน 2, กรณีอัตรารหัสเท่ากับ $R < 1/4$ ใช้กราฟฐาน 2, กรณีอัตรารหัสเท่ากับ $R < 2/3$ และขนาดข้อมูล $K < 3840$ บิต ใช้กราฟฐาน 2, กรณีอื่นใช้กราฟฐาน 1

โครงสร้างของรหัสแอลดีพีซี มาตรฐาน 5G (3rd Generation Partnership Project (3GPP), 2018) แสดงได้โดยใช้เมทริกซ์พาริตีเช็กของกราฟฐาน 1 และกราฟฐาน 2 ดังรูปที่ 2 (ก) และ (ข) ตามลำดับ ซึ่งรายละเอียดของเมทริกซ์ฐานของกราฟฐาน 1 และ

กราฟฐาน 2 แสดงดังตารางที่ 2 โดยช่องสีขาวคือเมทริกซ์ศูนย์ขนาด $Z_c \times Z_c$ และช่องสีอื่นๆ คือเมทริกซ์ที่มีการสลับเปลี่ยนแบบเวียนหมุน (Circular Permutation Matrix) ขนาด $Z_c \times Z_c$ การเลือกค่า Z_c จากตารางที่ 3 สามารถหาได้ตามสมการที่ (8) และ (9)

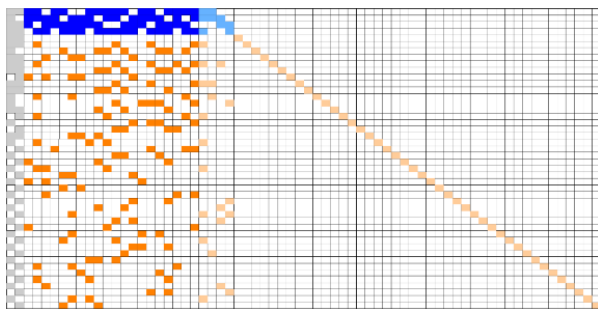
$$Z_c = K / 22 \text{ สำหรับกราฟฐาน 1} \quad (8)$$

$$Z_c = K / 10 \text{ สำหรับกราฟฐาน 2} \quad (9)$$

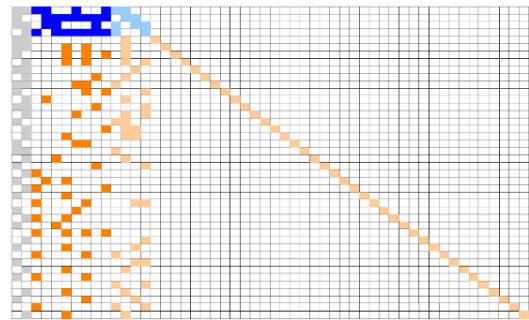
เมื่อทราบค่า Z_c แล้วจึงสามารถสร้างเมทริกซ์ที่มีการสลับเปลี่ยนแบบเวียนหมุนได้จากการนำเมทริกซ์เอกลักษณ์มาดำเนินการหมุนแบบวนกลับ โดยจำนวนครั้งของการหมุนสามารถหาได้ตามสมการที่ (10)

$$P_{i,j} = V_{i,j} \oplus Z_c \quad (10)$$

เมื่อ $P_{i,j}$ คือจำนวนการหมุนวนของเมทริกซ์เอกลักษณ์ที่สอดคล้องกับขนาดของเมทริกซ์เอกลักษณ์ในแถวที่ i และหลักที่ j ของกราฟฐาน, ค่า $V_{i,j}$ คือจำนวนการหมุนวนที่ได้จากตารางที่ 5.3.2-2 กราฟฐาน 1 และเมทริกซ์พาริตี และ 5.3.2-3 กราฟฐาน 2 และเมทริกซ์พาริตี ใน (3rd Generation Partnership Project (3GPP), 2018) โดยขึ้นอยู่กับค่าดัชนีเซต (Set Index) และกราฟฐานของรหัสแอลดีพีซี และ $\oplus$ คือตัวดำเนินการมอดูโล



(ก) กราฟฐาน 1



(ข) กราฟฐาน 2

รูปที่ 2 กราฟฐานในมาตรฐาน 5G

ตารางที่ 2 รายละเอียดเมทริกซ์ฐาน (Bae, J. H., Abotabl, A., Lin, H. P., Song, K. B., & Lee, J., 2019)

รายละเอียดของเมทริกซ์ฐาน	กราฟฐาน 1	กราฟฐาน 2
อัตรารหัส (R) ต่ำสุด	1/3	1/5
ขนาดของเมทริกซ์	44x68	42x52
หลักที่เกี่ยวข้องกับบิตข้อมูล	1-22	1-10
หลักที่เกี่ยวข้องกับบิตพาริตี	23-68	11-52
หลักที่เกี่ยวข้องกับบิต puncture	1-2	1-2

ตารางที่ 3 เซตของการขยายขนาดกราฟฐาน (Lifting) ของรหัสแอลดีพีซีด้วยค่าปัจจัยการขยายขนาดกราฟฐาน Z (Lifting Factor)

(Bae, J. H., Abotabl, A., Lin, H. P., Song, K. B., & Lee, J., 2019)

ดัชนีเซต (Set Index) i_{LS}	เซตของค่าปัจจัยการขยายขนาดกราฟฐาน (Z)
0	{2, 4, 8, 16, 32, 64, 128, 256}
1	{3, 6, 16, 24, 48, 96, 192, 384}
2	{5, 10, 20, 40, 80, 160, 320}
3	{7, 14, 28, 56, 112, 224}
4	{9, 18, 36, 72, 144, 288}
5	{11, 22, 44, 88, 176, 352}
6	{13, 26, 52, 104, 208}
7	{15, 30, 60, 120, 240}

3.5 การปรับอัตรารหัส (Rate Matching)

การปรับอัตรารหัส (Rate matching) คือกระบวนการปรับขนาดคำรหัสให้มีขนาดเท่ากับขนาดบล็อกการขนส่ง (Transport Block) สำหรับดาวนลิงก์ และอัปลิงก์ เนื่องจากในมาตรฐาน 5G ได้มีการนำเทคนิค Incremental Redundancy - Hybrid Automatic Repeat request (IR- HARQ) (Avranas, A., Kountouris, M., & Ciblat, P., 2019) มาใช้งานในการแก้ไขความผิดพลาด (Correct Errors) ในการส่งข้อมูลระหว่างโหนด เมื่อตัวอุปกรณ์มีการร้องขอการส่งข้อมูลซ้ำ โหนดจะมีการส่งข้อมูลเฉพาะในส่วนบิตพาริตีที่เพิ่มขึ้นจากการส่งครั้งก่อนหน้า แต่เนื่องจากปัญหาของขนาดบัฟเฟอร์ของกระบวนการ HARQ ที่จำกัด กระบวนการปรับอัตรารหัสจึงเป็นเทคนิคที่ถูกนำมาใช้ในการแก้ปัญหา โดยจำเป็นต้องประมาณค่าทราฟฟิคสูงสุด (Maximum Throughput) ซึ่งสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$\text{กรณี } j \leq C' - ((G / (N_L \cdot Q_m)) \oplus C') - 1$$

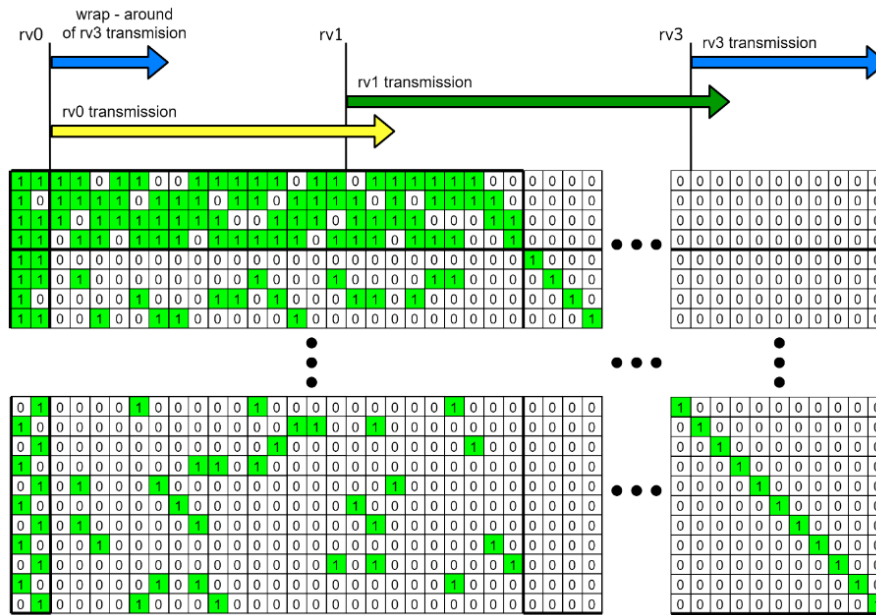
$$E_r = N_L \cdot Q_m \cdot \left\lfloor \frac{G}{N_L \cdot Q_m \cdot C'} \right\rfloor \quad (11)$$

กรณีอื่น

$$E_r = N_L \cdot Q_m \cdot \left\lceil \frac{G}{N_L \cdot Q_m \cdot C'} \right\rceil \quad (12)$$

เมื่อ j คือหมายเลขของบล็อกจากการแบ่งส่วนข้อมูล (Segmentation), E_r คือความยาวเอาต์พุตของการปรับอัตรารหัส (Rate Matching), N_L คือลำดับของชั้นการขนส่ง (Transport layer) มีค่าเป็น 1, 2, 3 หรือ 4, Q_m คือลำดับการมอดูเลต มีค่า 1 สำหรับ BPSK, ค่า 2 สำหรับ QPSK, ค่า 4 สำหรับ 16-QAM, ค่า 6 สำหรับ 64-QAM หรือ ค่า 8 สำหรับ 256-QAM, G คือจำนวนบิตทั้งหมดที่สามารถใช้ได้สำหรับการส่งของบล็อกการขนส่ง, C' คือจำนวนบิตทั้งหมดที่ผ่านการแบ่งส่วนข้อมูล

การปรับอัตรารหัสสำหรับรหัสแอลดีพีซีตามมาตรฐาน 5G จะมีการกำหนดค่า Redundancy Version (rv) ซึ่ง rv จะมีความสอดคล้องกับตำแหน่งคอลัมน์ของกราฟฐาน โดยกราฟฐานจะถูกแบ่งออกเป็น 4 ส่วนโดยไม่รวมบิต puncture ใน 2 คอลัมน์แรก บิตข้อมูลที่ส่งออกจะประกอบไปด้วยคำรหัสที่ได้จากการเข้ารหัสเริ่มต้นจากตำแหน่งคอลัมน์ต่าง ๆ ดังรูปที่ 3 โดยสามารถคำนวณตำแหน่งคอลัมน์เริ่มต้น (k_0) ของแต่ละ rv ได้จากตารางที่ 4 ตามค่าของ rv_{new} และกราฟฐานของรหัสแอลดีพีซี



รูปที่ 3 การปรับอัตราสำหรับรหัสแอลดีพีซีตามมาตรฐาน 5G (Bae, J. H., Abotabl, A., Lin, H. P., Song, K. B., & Lee, J., 2019)

ตารางที่ 4 ตำแหน่งเริ่มต้น k_0 ของ rv ที่แตกต่างกัน (Bae, J. H., Abotabl, A., Lin, H. P., Song, K. B., & Lee, J. 2019)

rv_{id}	k_0	
	กราฟฐาน 1	กราฟฐาน 2
0	0	0
1	$\left\lfloor \frac{17N_{cb}}{66Z_c} \right\rfloor Z_c$	$\left\lfloor \frac{13N_{cb}}{50Z_c} \right\rfloor Z_c$
2	$\left\lfloor \frac{33N_{cb}}{66Z_c} \right\rfloor Z_c$	$\left\lfloor \frac{25N_{cb}}{50Z_c} \right\rfloor Z_c$
3	$\left\lfloor \frac{56N_{cb}}{66Z_c} \right\rfloor Z_c$	$\left\lfloor \frac{43N_{cb}}{50Z_c} \right\rfloor Z_c$

เมื่อ rv_{id} คือหมายเลข rv สำหรับการส่งข้อมูลมีค่าเป็น 0, 1, 2 หรือ 3, k_0 คือตำแหน่งเริ่มต้นในการส่งในแต่ละ rv

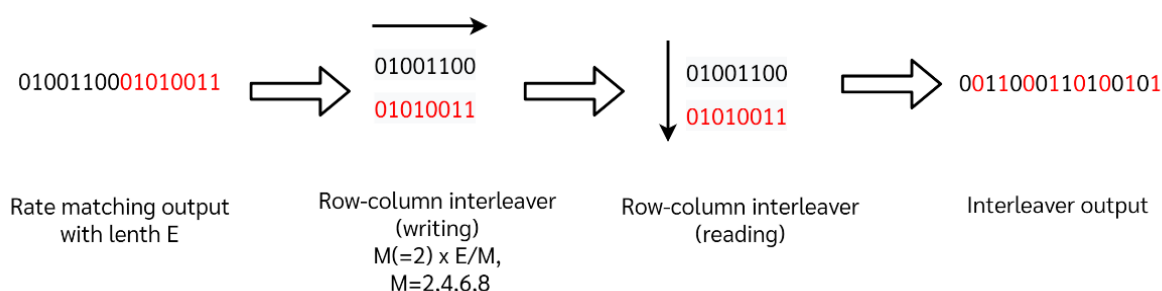
การส่งครั้งแรกจะต้องเริ่มต้นด้วย rv_0 ซึ่งคือตำแหน่งคอลัมน์ที่ 3 โดยในการส่งข้อมูลซ้ำแต่ละครั้งอาจมีคอลัมน์ที่ทับซ้อนกันหรือไม่ก็ได้ดังรูปที่ 3

3.6 การแทรกสลับบิต (Bit Interleaving)

เทคนิคการแทรกสลับ (interleaving) (Li, X., & Ritcey, J. A., 1999) คือการป้องกันความผิดพลาดของข้อมูลที่ส่งไปบนช่องสัญญาณด้วยการสลับบิตหรือไบนารีข้อมูลทีละบิต หากมีสัญญาณรบกวนเกิดขึ้นบนช่องสัญญาณเป็นผลให้ข้อมูลที่ส่งนั้นมีความผิดพลาดติดกัน เมื่อทำการสลับบิตกลับ (De-Interleaving) จะทำให้บิตผิดพลาดที่ติดกันมีการกระจายตัวออก หลักการของการแทรกสลับบิต คือจะแบ่งบิตข้อมูลออกเป็นบล็อกย่อย ๆ ขนาด $r \times c$ บิต โดย r คือ จำนวนแถว และ c คือ จำนวนคอลัมน์ จากนั้นก็จะทำการสลับตำแหน่งของแต่ละบิต ภายในบล็อกเดียวกันก่อนการส่งออก โดยอาศัยวิธีการคือ นำข้อมูลที่จะส่งมา

เขียนลงในหน่วยความจำทีละแถวตามลำดับข้อมูลที่เข้ามาจนครบหนึ่งบล็อก จากนั้นทำการอ่านข้อมูลในแนวตั้งเพื่อส่งออกทีละคอลัมน์จนหมด และเมื่อบิตข้อมูลเหล่านี้ถึงที่ภาครับแล้วก็จะทำการสลับตำแหน่งของบิตให้กลับเป็นปกติโดยอาศัยกระบวนการย้อนกลับ

รหัสแอลดีพีซีสำหรับมาตรฐาน 5G (Bae, J. H., Abotabl, A., Lin, H. P., Song, K. B., & Lee, J., 2019) กระบวนการแทรกสลับบิตจะถูกนำไปใช้หลังจากการเลือกบิตในการส่งซึ่งทำโดยการแทรกห้วงแถวและคอลัมน์ดังรูปที่ 4 ซึ่งขนาดแถวขึ้นอยู่กับลำดับการมอดูเลต 4/16/64/256 ของการมอดูเลตเชิงตัวเลขทางขนาดและเฟส (Quadrature Amplitude Modulation: QAM)



รูปที่ 4 กระบวนการแทรกสลับบิตสำหรับรหัสแอลดีพีซีตามมาตรฐาน 5G

3.7 การจัดเรียงบล็อกรหัส (Code Block Concatenation)

การต่อเรียงบล็อกรหัสประกอบไปด้วยการต่อเรียงบล็อกรหัสที่ได้จากการปรับอัตรารหัสซึ่งมีการทำงานโดยกำหนดให้ลำดับอินพุตบิตสำหรับกระบวนการจัดเรียงบล็อกรหัสคือลำดับ f_k สำหรับ $r=0, \dots, C-1$ และ $k=0, \dots, E_r-1$ เมื่อ E_r คือจำนวนบิตหลังมีการปรับอัตรารหัสแล้วสำหรับบล็อกรหัสลำดับที่ r จะได้ลำดับเอาต์พุตของบิตจากกระบวนการต่อเรียงบล็อกรหัสคือลำดับ g_k สำหรับ $k=0, \dots, G-1$

4. วิธีดำเนินการวิจัย

ในงานวิจัยนี้จะจำลองสมรรถนะของการเข้ารหัสแอลดีพีซีตามมาตรฐาน 5G เพื่อทดสอบสมรรถนะอัตราบิดเบิดของการใช้งานกราฟฐาน 1 และ 2 ทั้งนี้ งานวิจัยจะพิจารณาเฉพาะการเข้ารหัสแอลดีพีซีเท่านั้น โดยจะปราศจากกระบวนการเข้ารหัสซีอาร์ซี กระบวนการแบ่งส่วนข้อมูล การสลับบิตข้อมูลในบล็อก เนื่องจากกระบวนการดังกล่าวไม่มีผลต่อสมรรถนะอัตราบิดเบิดของรหัสแอลดีพีซีในช่องสัญญาณเกาส์เซียน (AWGN: Additive White Gaussian Noise) (Richardson, T., & Kudekar, S., 2018) ดังนั้น การจำลองระบบจะเริ่มจากสร้างลำดับบิตข้อมูลแบบไบนารีแบบสุ่มซึ่งมีความน่าจะเป็นในการส่งบิต 1 และบิต 0 เท่ากันนั่นคือ 0.5 หลังจากนั้นบิตข้อมูลถูกนำไปเข้าสู่กระบวนการเข้ารหัสแอลดีพีซี ก่อนจะมีการส่งข้อมูลออกไปจะมีการมอดูเลชันข้อมูลโดยกำหนดให้เป็นการมอดูเลชันแบบบีพีเอสเค (BPSK: Binary Phase Shift Keying) ข้อมูลที่ผ่านการมอดูเลชันแล้วจะถูกส่งผ่านช่องสัญญาณเกาส์เซียนซึ่งมีค่าเฉลี่ยเป็น 0 และค่าความแปรปรวนของช่องสัญญาณกำหนดด้วยค่าเอสเอ็นอาร์ $SNR(dB)$ (SNR: Signal-to-Noise Ratio) ซึ่งนิยามโดย

$$SNR(dB) = 10 \log \left(\frac{E_b}{2\sigma^2 R} \right) \quad (13)$$

เมื่อ E_b คือพลังงานเฉลี่ยของบิต, σ^2 คือความแปรปรวนของช่องสัญญาณ และ R คืออัตราหัส

ที่ภาครับสัญญาณใช้การถอดรหัสแบบกระจายความเชื่อมั่น (Belief Propagation Decoder) (Bae, J. H., Abotabl, A., Lin, H. P., Song, K. B., & Lee, J. 2019) เมื่อถอดรหัสเสร็จบิตข้อมูลที่ประมาณได้ที่ภาครับจะถูกนำไปเปรียบเทียบกับบิตข้อมูลที่ส่งมาเพื่อวัดสมรรถนะอัตราความผิดพลาดบิต

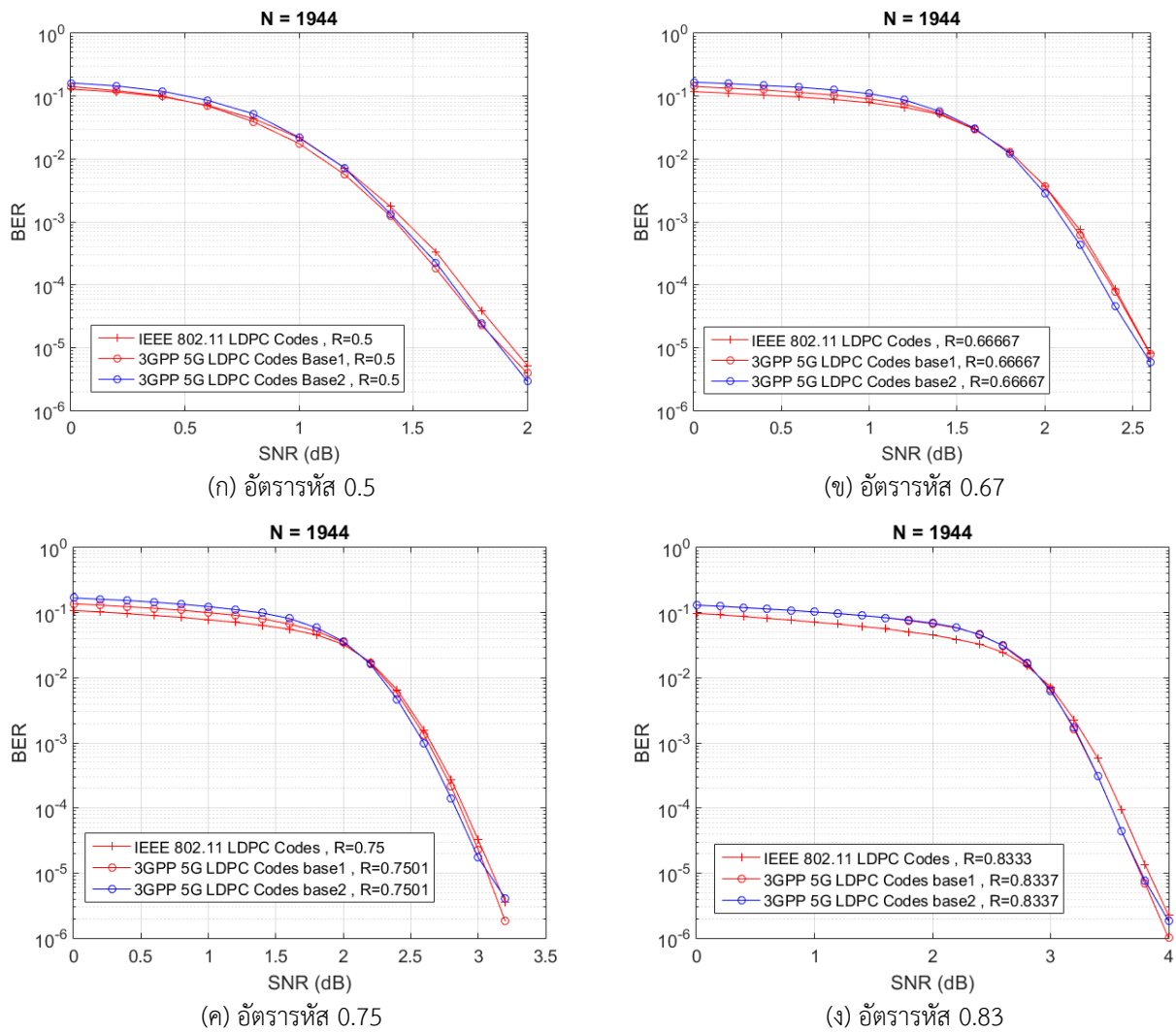
การเปรียบเทียบสมรรถนะอัตราความผิดพลาดบิตของงานวิจัยนี้จะเปรียบเทียบกราฟฐาน 1 กราฟฐาน 2 ในมาตรฐาน 5G และเมทริกซ์พาริตีเช็คในมาตรฐาน IEEE 802.11 (IEEE Computer Society LAN/MAN Standards Committee, 2007) ที่อัตราหัสแตกต่างกัน

5. ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

ผลการจำลองสมรรถนะอัตราบิตผิดพลาดแสดงในรูปที่ 5 มีการเปรียบเทียบการใช้งานเมทริกซ์พาริตีเช็ค 3 แบบได้แก่ เมทริกซ์พาริตีเช็คที่ได้จากกราฟฐาน 1 และกราฟฐาน 2 ในมาตรฐาน 5G และ เมทริกซ์พาริตีเช็คในมาตรฐาน IEEE 802.11 (IEEE Computer Society LAN/MAN Standards Committee, 2007) รูปที่ 5 (ก) เปรียบเทียบที่อัตราหัส 0.5 พบว่ากราฟฐาน 2 มีสมรรถนะที่ต่ำกว่ากราฟฐาน 1 และ IEEE 802.11 ในช่วงเอสเอ็นอาร์ต่ำกว่า 1 dB และกราฟฐาน 1 และกราฟฐาน 2 มีสมรรถนะที่ดีกว่า IEEE 802.11 ในช่วงเอสเอ็นอาร์มากกว่า 1.3 dB รูปที่ 5 (ข) เปรียบเทียบที่อัตราหัส 0.67 พบว่า IEEE 802.11 มีสมรรถนะที่ดีกว่ากราฟฐาน 1 และ 2 ในช่วงเอสเอ็นอาร์ต่ำกว่า 1.5 dB และกราฟฐาน 2 มีสมรรถนะที่ดีกว่า IEEE 802.11 และกราฟฐาน 1 ในช่วงเอสเอ็นอาร์มากกว่า 2 dB รูปที่ 5 (ค) เปรียบเทียบที่อัตราหัส 0.75 พบว่ากราฟฐาน 2 มีสมรรถนะที่ต่ำกว่ากราฟฐาน 1 และ IEEE 802.11 ในช่วงเอสเอ็นอาร์ต่ำกว่า 1.8 dB และกราฟฐาน 1 และกราฟฐาน 2 มีสมรรถนะที่ดีกว่า IEEE 802.11 ในช่วงเอสเอ็นอาร์มากกว่า 2.4 dB รูปที่ 5 (ง) เปรียบเทียบที่อัตราหัส 0.83 พบว่ากราฟฐาน 2 และกราฟฐาน 1 มีสมรรถนะที่ต่ำกว่า IEEE 802.11 ในช่วงเอสเอ็นอาร์ต่ำกว่า 2.5 dB และกราฟฐาน 1 และกราฟฐาน 2 มีสมรรถนะที่ดีกว่า IEEE 802.11 ในช่วงเอสเอ็นอาร์มากกว่า 3.2 dB

6. สรุปผลการวิจัย

บทความนี้ได้มีการศึกษารหัสแอลดีพีซีในมาตรฐาน 5G ซึ่งประกอบไปด้วยโมดูลที่สำคัญทั้งหมด 7 ส่วน ได้แก่ 1. การเข้ารหัสซีอาร์ซี 2. การแบ่งข้อมูลเป็นบล็อกย่อย 3. การเข้ารหัสซีอาร์ซีให้บล็อกข้อมูลย่อย 4. การเข้ารหัสแอลดีพีซีให้บล็อกข้อมูลย่อย 5. การปรับอัตราหัสโดยการเลือกบิตที่จะส่ง 6. การแทรกสลับบิตข้อมูลของบล็อกข้อมูลย่อย และ 7. การนำบล็อกข้อมูลย่อยมาต่อเรียงและส่งออก ผลการจำลองเปรียบเทียบสมรรถนะของรหัสแอลดีพีซีเมื่อใช้เมทริกซ์พาริตีเช็คที่ได้จากกราฟฐาน 1 และกราฟฐาน 2 ของมาตรฐาน 5G และ เมทริกซ์พาริตีเช็คของมาตรฐาน IEEE 802.11 (IEEE Computer Society LAN/MAN Standards Committee, 2007) พบว่าในช่วงค่าเอสเอ็นอาร์ต่ำ IEEE 802.11 มีสมรรถนะที่ดีกว่ากราฟฐาน 1 และกราฟฐาน 2 ที่อัตราหัส 0.67 0.75 และ 0.83 สำหรับช่วงเอสเอ็นอาร์สูง กราฟฐาน 1 และกราฟฐาน 2 ในมาตรฐาน 5G มีสมรรถนะที่ดีกว่า IEEE 802.11 ที่อัตราหัส 0.5 0.75 และ 0.83



รูปที่ 5 การเปรียบเทียบสมรรถนะอัตราบิตผิดพลาดของกราฟฐาน 1 กราฟฐาน 2 และ IEEE 802.11 (IEEE Computer Society LAN/MAN Standards Committee, 2007)

7. เอกสารอ้างอิง

- 3rd Generation Partnership Project (3GPP). (2018). Multiplexing and channel coding. 3GPP 38.212 V.15.2.0.
- Avranas, A., Kountouris, M., & Cibat, P. (2019, May). Throughput maximization and IR-HARQ optimization for URLLC traffic in 5G systems. In ICC 2019-2019 IEEE International Conference on Communications (ICC) (pp. 1-6). IEEE.
- Bae, J. H., Abotabl, A., Lin, H. P., Song, K. B., & Lee, J. (2019). An overview of channel coding for 5G NR cellular communications. APSIPA Transactions on Signal and Information Processing, 8.
- Gallager, R. (1962). Low-density parity-check codes. IRE Transactions on information theory, 8(1), 21-28.
- Gao, X., Ma, L., Jin, J., Li, J., Ma, Z., Zhai, Y., & Li, X. (2020, April). Glioma Segmentation Strategies in 5G Teleradiology. In 2020 IEEE Wireless Communications and Networking Conference Workshops (WCNCW) (pp. 1-6). IEEE.

- IEEE Computer Society LAN/MAN Standards Committee. (2007). IEEE Standard for Information technology-Telecommunications and information exchange between systems-Local and metropolitan area networks-Specific requirements Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications. IEEE Std 802.11[^].
- Li, X., & Ritcey, J. A. (1999, June). Bit-interleaved coded modulation with iterative decoding. In 1999 IEEE International Conference on Communications (Cat. No. 99CH36311) (Vol. 2, pp. 858-863). IEEE.
- Morello, A., & Mignone, V. (2006). DVB-S2: The second generation standard for satellite broad-band services. Proceedings of the IEEE, 94(1), 210-227.
- Richardson, T., & Kudekar, S. (2018). Design of low-density parity check codes for 5G new radio. IEEE Communications Magazine, 56(3), 28-34.
- Series, M. (2017). Minimum requirements related to technical performance for IMT-2020 radio interface (s). Report, 2410-0.
- Wu, H. (2020). A Brief Overview of CRC Implementation for 5G NR. Moving Broadband Mobile Communications Forward-Intelligent Technologies for 5G and Beyond.

ประวัติผู้เขียนบทความ



จตุพร ตังทอง

คณะวิศวกรรมศาสตร์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

โทรศัพท์ 065-923-5542 E-mail: 586011433@kmitl.ac.th

กำลังศึกษาระดับปริญญาเอก งานวิจัยที่สนใจได้แก่รหัสช่องสัญญาณในการสื่อสารและอุปกรณ์บันทึกข้อมูล



ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เวทิต ภาคย์พิสุทธิ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

อีเมล watid.ph@kmitl.ac.th

งานวิจัยที่สนใจ รหัสช่องสัญญาณและปัญหาประดิษฐ์ในระบบสื่อสารไร้สายและระบบบันทึกข้อมูล

การลดน้ำสูญเสียในระบบจ่ายน้ำประปาภายในสนามบินโดยใช้วัสดุทดแทนท่อประปา REDUCING WATER LOSS IN WATER DISTRIBUTION SYSTEM IN THE AIRPORT USING SUBSTITUTES MATERIALS OF WATER PIPES

ศิริพันธ์ พุ่มจันทร์¹ และ ศักดิ์ชาย รักษการ²

¹คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต, E-Mail siriphanc.96955@gmail.com

²คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต, E-Mail sakchai.rak@kbu.ac.th

Siriphan Poomchan¹ and Sakchai Rakkharn²

¹Faculty of Engineering, Kasembundit University, E-Mail siriphanc.96955@gmail.com

²Faculty of Engineering, Kasembundit University, E-Mail sakchai.rak@kbu.ac.th

วันรับบทความ วันที่ 9 กรกฎาคม 2564

วันแก้ไขบทความ วันที่ 14 สิงหาคม 2564

วันตอบรับบทความ วันที่ 17 สิงหาคม 2564

บทคัดย่อ

การศึกษาวิจัยฉบับนี้ได้ทำการศึกษาปัญหาการลดน้ำสูญเสียในระบบจ่ายน้ำประปาภายในสนามบินนานาชาติแห่งหนึ่ง จากสถิติอัตราน้ำสูญเสียที่ไม่ก่อให้เกิดรายได้ ในช่วงระยะเวลาเดือนกันยายนถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2563 พบว่า มีค่าเฉลี่ยที่ร้อยละ 38.84 จากวิเคราะห์ปัญหาพบว่า ผลมาจากการสูญเสียน้ำสูญเสียเชิงกายภาพ (physical losses) ร้อยละ 31.88 และน้ำที่ใช้ไปกับการบริการสาธารณะ (unbilled authorized consumption) ร้อยละ 6.96 ซึ่งนอกจากนี้ยังมีน้ำสูญเสียเชิงพาณิชย์ (commercial losses) ที่เกิดจากการคำนวณปริมาณที่คาดเคลื่อนจากมาตรวัดอีกด้วยโดยใช้วิธีการแก้ปัญหาด้วยการใช้วัสดุทดแทนท่อประปา และการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมในการจัดการลดน้ำสูญเสียให้มีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้น จากการดำเนินการปรับปรุงซ่อมแซมโดยเปลี่ยนท่อจ่ายน้ำประปาภายในสนามบิน โดยใช้วัสดุทดแทนท่อประปาแบบ Polypropylene Random Copolymer: PPR และแบบ High Density Polyethylene: HDPE เปลี่ยนมาตรวัดน้ำประปา และเก็บบันทึกข้อมูลสถิติการใช้น้ำเพื่อสาธารณะประโยชน์ ดังนั้นผลการศึกษพบว่าวัสดุทดแทนท่อประปามีคุณสมบัติที่ดีและมีความเหมาะสมสำหรับนำมาใช้ในระบบจ่ายน้ำประปาทั้งในอาคารและใต้ดิน ส่วนด้านผลการวิเคราะห์การลงทุนพบว่าการใช้วัสดุท่อประปา แบบ Polypropylene Random Copolymer: PPR และแบบ High Density Polyethylene: HDPE มีความเหมาะสมในการลงทุนมากกว่าการใช้ท่อประปาแบบท่อเหล็กกล้าไนซ์ (Galvanized Steel Pipe) และสัดส่วนโดยเฉลี่ยของน้ำสูญเสียหลังดำเนินการลดลงตามเป้าหมาย โดยจากเดิมมีปริมาณร้อยละ 31.88 เหลือปริมาณร้อยละ 13.73

คำสำคัญ: การลดน้ำสูญเสีย, วัสดุทดแทนท่อประปา, การจัดการงานวิศวกรรม

ABSTRACT

This research is investigated the problem of reducing water loss in the water supply system in an international airport. From the statistics of the water loss rate has found the total average 38.84% that does not generate to value income for September 2020 to December 2020. The problem analysis of the water losses has categorized

including, 31.88% of physical, 6.96% of unbilled authorized consumption, in addition to commercial losses arising from the gauge's is estimated volume calculations. The problems have been solved by using materials instead of plumbing and engineering economic analysis to manage water loss to be more effective. The operation is replaced the water supply pipes in the airport by using materials the water pipes Polypropylene Random Copolymer: PPR and High Density Polyethylene: HDPE and replaced new water meters in commercial area. And then collecting statistical data on water usage for public benefits. Therefore, the results of the study are revealed that the replacement material of the water pipes has appropriate properties for using in water supply systems both of buildings and underground. Aspect of the investment analysis results is found that the water supply pipe materials of Polypropylene Random Copolymer: PPR and High Density Polyethylene: HDPE is more suitable for investment than using galvanized steel pipes. Moreover, the average proportion of the water loss after the operation is decreased by the original volume of 31.88% to 13.73%.

KEYWORDS: water loss reduction, substitutes materials of water pipes, engineering management

1. บทนำ

ประเทศไทยมีการดำเนินการผลิตน้ำจืดเพื่อการอุปโภคและบริโภคเองมาอย่างยาวนาน นับตั้งแต่ครั้งเมื่อ พ.ศ. 2440 มีการจัดตั้ง กรมสุขาภิบาลขึ้น โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อผลิตน้ำประปาให้บริการแก่ประชาชน ซึ่งถือเป็นจุดเริ่มต้นของการให้บริการน้ำประปาส่วนภูมิภาค นอกจากนี้ยังพบว่า ในปี พ.ศ. 2510 รัฐบาลได้ออกพระราชบัญญัติการประปานครหลวง โดยโอนกิจการการประปาในสังกัด เป็นกิจการเดียวกันภายใต้ชื่อหน่วยงานการประปานครหลวง จากการศึกษาข้อมูลการผลิตน้ำประปาในประเทศไทย พบว่า ในอดีต ประเทศไทยเคยมีอัตราการสูญเสียเกินร้อยละ 50 โดยในปัจจุบันหน่วยงานของการประปาส่วนภูมิภาค (กปภ.) และการประปานครหลวง (กปน.) ได้ลดระดับน้ำสูญเสียลงมาในระดับที่ต่ำกว่าร้อยละ 30 เพื่อควบคุมปัจจัยที่จะก่อให้เกิดต่อการดำเนินงานขององค์กรในแง่ของการลดต้นทุนของรายจ่าย และการเพิ่มรายได้ของหน่วยงาน ตลอดจนมีการส่งเสริมการปลูกจิตสำนึกในเรื่องการเห็นคุณค่าของการใช้น้ำอีกด้วย จากข้างต้นพบว่า การประปาไทยได้ให้ความสำคัญทั้งในด้านการผลิตน้ำและการบริหารจัดการน้ำ ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องวางแผนการจัดการน้ำสูญเสีย (Water Losses) ทั้งในระยะยาวและระยะสั้น เพื่อให้มีความสมดุลและเพียงพอ (อมรเทพ ทองชีว, 2556: 1-5)

การจากศึกษานำร่อง (pilot study) พบว่า ภายในอาคารของสนามบินแห่งหนึ่ง มีจำนวนผู้โดยสารที่มาใช้บริการและผู้ประกอบการที่เข้าพื้นที่ประกอบการภายในอาคารเป็นจำนวนมาก ซึ่งมีปริมาณน้ำสูญเสียที่เกิดขึ้นภายในตัวอาคารจากหลายสาเหตุ ได้แก่ 1) สาเหตุในเชิงกายภาพ ซึ่งมาจากปัจจัยของการเสื่อมของท่อจ่ายน้ำ ซึ่งเป็นท่อเหล็กกล้าไนท์ ทั้งภายในตัวอาคารและบริเวณใต้ดิน พบว่า มีอายุการใช้งานมาแล้ว 14 ปี 2) สาเหตุในเชิงพาณิชย์ ซึ่งมาจากการบันทึกข้อมูลการใช้น้ำ คลาดเคลื่อนและมาตรวัดน้ำเกิดการชำรุด 3) สาเหตุจากการใช้น้ำเพื่อบริการสาธารณะประโยชน์ อาทิ ตู้กดน้ำดื่ม ห้องน้ำสาธารณะ และการใช้น้ำในการดับเพลิง จากรายละเอียดการใช้น้ำประปาที่มีปริมาณน้ำสูญเสียเฉลี่ยร้อยละ 31.88 คิดเป็นจำนวนเงินประมาณ 21 ล้านบาท

จากเหตุผลและความสำคัญในข้างต้นผู้วิจัยจึงเล็งเห็นถึงความสำคัญของการลดน้ำสูญเสียในระบบจ่ายน้ำประปาภายในสนามบิน โดยใช้วิธีสุดุดแทนท่อประปา โดยเลือกศึกษาแบบเจาะจง (purposive sampling) ภายในสนามบินแห่งหนึ่ง โดยประยุกต์ใช้ทฤษฎีและหลักการด้านการจัดการงานวิศวกรรมการวิเคราะห์ผลทางเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมรวมถึงปัจจัยต่าง ๆ ที่ส่งผลในการแก้ปัญหาการลดน้ำสูญเสียในการดำเนินงานอย่างเหมาะสม ซึ่งคาดว่าจะสามารถลดน้ำสูญเสียในระบบจ่ายน้ำประปาได้โดยรวมไม่น้อยกว่าร้อยละ 20 และสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานขององค์กรภายในพื้นที่สนามบินแห่งหนึ่งให้ดียิ่งขึ้น

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

2.1 เพื่อศึกษาหาสาเหตุการสูญเสียในระบบจ่ายน้ำประปาภายในสนามบินโดยใช้วัสดุทดแทนท่อประปา

2.2 เพื่อลดการสูญเสียในระบบจ่ายน้ำประปาภายในสนามบินโดยใช้วัสดุทดแทนท่อประปาซึ่งคาดว่าจะสามารถลดการสูญเสียเชิงกายภาพ (Physical Losses) ในระบบจ่ายน้ำประปาได้โดยรวมไม่น้อยกว่าร้อยละ 20

2.3 เพื่อประยุกต์ใช้หลักการและทฤษฎีการจัดการงานวิศวกรรมและเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมมาเพื่อเป็นแนวทางในการจัดการลดการสูญเสียให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น

3. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาเรื่องการลดการสูญเสียในระบบจ่ายน้ำประปาภายในสนามบินโดยใช้วัสดุทดแทนท่อประปา ผู้วิจัยทบทวนแนวคิด ทฤษฎี วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง โดยแบ่งเป็นหัวข้อดังต่อไปนี้

3.1 น้ำสูญเสีย

ระบบประปาโดยทั่วไปย่อมมีการสูญเสียน้ำเกิดขึ้น ซึ่งปริมาณของน้ำสูญเสียนั้นจะมากหรือน้อยก็ขึ้นกับองค์ประกอบที่สำคัญ ดังนี้ 1) ขนาดของการให้บริการ 2) อายุของระบบประปา และ 3) ลักษณะของพื้นที่ โดยระบบประปาขนาดเล็กโดยทั่ว ๆ ไปจะมีอัตราการสูญเสียที่ต่ำ เพราะโครงข่ายการให้บริการไม่ซับซ้อน ซึ่งสามารถดูแลได้ง่ายและทั่วถึง ในขณะที่ระบบประปาขนาดใหญ่จะมีความยุ่งยากซับซ้อนมากขึ้น การบริหารและการจัดการก็จะยากขึ้นตามกัน เป็นสาเหตุให้อัตราการสูญเสียสูงขึ้น โดยในระบบประปาที่สร้างขึ้นใหม่สามารถใช้เทคโนโลยีสมัยใหม่ช่วยในการบริหารและจัดการ จึงทำให้ควบคุมและป้องกันความสูญเสียได้ดีกว่า แต่ในระบบประปาเก่าซึ่งใช้เทคโนโลยีแบบเก่า การที่จะพัฒนาและนำเทคโนโลยีสมัยใหม่มาใช้แทนนั้นทำได้ยากและมีข้อจำกัดมากมาย (อรนุช ธารรัตน์สุทธิกุล, 2544: 1-4)

3.2 สาเหตุของการสูญเสียในระบบประปา

สาเหตุของการสูญเสียในระบบประปา ออกเป็น 2 ลักษณะ ดังนี้ 1) การสูญเสียที่เกิดจากการบริหารและการจัดการ และ 2) การสูญเสียจากงานด้านเทคนิค ออรนุช ธารรัตน์สุทธิกุล (2544: 2) นอกจากนี้ยังสามารถจำแนกสาเหตุของการเกิดน้ำสูญเสีย (Non-Revenue Water: NRW) ในระบบประปา ได้ออกเป็นอีก 3 ลักษณะ ประกอบด้วย 1) น้ำที่ใช้ไปกับการบริการสาธารณะ (Unbilled Authorized Consumption) 2) น้ำสูญเสียเชิงพาณิชย์ (Commercial Losses) และ 3) น้ำสูญเสียเชิงกายภาพ (Physical Losses)

3.3 การควบคุมการสูญเสีย

ระบบประปาโดยทั่วไปจะเกิดการสูญเสียในระยะเริ่มต้นน้อยมาก แต่เมื่ออายุของท่อและอุปกรณ์หมดอายุการใช้งาน การสูญเสียจะเริ่มเกิดเพิ่มมากขึ้นแปรผันในอัตราที่ก้าวหน้ากับอายุการใช้งานของท่อและอุปกรณ์การบริหารและการจัดการเพื่อควบคุมการสูญเสียทำได้ดังนี้ 1) บริหารจัดการด้านการขยายและการจ่ายน้ำให้มีประสิทธิภาพ และ 2) ปรับปรุงระบบทางด้านเทคนิคให้อัตราการสูญเสียต่ำสุด

3.4 การจัดการทั่วไป

การจัดการ (Management) คือ การดำเนินงานให้บรรลุ วัตถุประสงค์ตามที่กำหนดไว้โดยอาศัยปัจจัยต่าง ๆ ได้แก่ คน เงิน วัสดุ เป็นอุปกรณ์ในการปฏิบัติงาน เพื่อให้การดำเนินงานมีประสิทธิภาพ บรรลุวัตถุประสงค์ที่ต้องการภายใต้เงื่อนไข 3 ประการ คือ งบประมาณ ระยะเวลาทำงาน และคุณภาพของงาน (ประกอบ บำรุงผล, 2541: 5)

3.5 การจัดการทางวิศวกรรม

การจัดการทางวิศวกรรม Garold (1993: 55) ระบุว่า การจัดการในด้านการก่อสร้าง (Construction Management) คือ หลักหรือวิธีการหรือเทคนิคที่มีกฎเกณฑ์ และกระบวนการดำเนินงานในอันที่จะผสมผสานทรัพยากรในการผลิตให้เกิดเป็นงานหรือผลผลิตที่เหมาะสมขึ้น กระบวนการดำเนินงานในการจัดการงานก่อสร้างแบ่งไว้เป็น 4 ขั้นตอน ประกอบด้วย 1) การวางแผน

(Planning) 2) การจัดการและการเตรียมการ (Organizing) 3) การควบคุมและปฏิบัติงาน (Controlling) และ 4) การประเมินผล (Evaluating)

3.6 เครื่องมือคุณภาพ 7 ชนิด (7 QC Tools)

เครื่องมือคุณภาพ 7 ชนิด นับได้ว่าเป็นสิ่งที่ช่วยพัฒนาและแก้ไขปัญหาต่าง ๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ เครื่องมือเหล่านี้เป็นการรวบรวมและประยุกต์ใช้วิธีการทางสถิติ การใช้หลักการทางด้านเหตุผล และศาสตร์ความรู้ในด้านต่าง ๆ มารวบรวม และเลือกใช้ในการจัดการกับปัญหาแต่ละชนิด เครื่องมือคุณภาพ 7 ชนิดนี้ มีที่มาจากองค์กรหนึ่งในประเทศญี่ปุ่น ชื่อว่า Union of Japanese Scientists and Engineers และกลุ่ม Quality Control Research Group ซึ่งได้ถูกจัดตั้งขึ้น ในปี ค.ศ. 1946 เพื่อค้นคว้าและทำการศึกษา ตลอดจนเผยแพร่ความรู้ความเข้าใจในเรื่องระบบการควบคุมคุณภาพให้กับอุตสาหกรรมภายในประเทศของญี่ปุ่น โดยมีจุดหมายเพื่อพัฒนาคุณภาพสินค้าของญี่ปุ่นให้สามารถเข้าสู่การแข่งขันในตลาดโลกได้อย่างทัดเทียมประเทศผู้นำทางเศรษฐกิจในสมัยนั้นอย่างอเมริกา และกลุ่มประเทศยุโรปตะวันตก จากนั้นได้มีการกำหนดมาตรฐานอุตสาหกรรมของประเทศญี่ปุ่น (Japanese Industrial Standards) หรือ JIS marking system ได้นำมาบังคับใช้เป็นกฎหมายในปี ค.ศ. 1950 และยังได้มีการเปิดสัมมนาทางวิชาการด้านการควบคุมคุณภาพให้แก่ผู้บริหารระดับต่าง ๆ และวิศวกรในประเทศ โดยมีผู้เชี่ยวชาญระดับโลกอย่าง Dr. W. E. Deming เป็นผู้นำในโครงการ นับเป็นจุดเริ่มต้นของการพัฒนาคุณภาพ ซึ่งต่อมาก็ได้มีการตั้งรางวัล Deming Prize อันมีชื่อเสียงทั่วโลก เพื่อมอบให้กับองค์กรอุตสาหกรรมหรือโรงงานที่มีการพัฒนาด้านคุณภาพดีเด่นของญี่ปุ่นต่อมาในปี ค.ศ. 1954 ทางญี่ปุ่นได้เชิญ Dr. J. M. Juran มาทำการฝึกอบรมเกี่ยวกับหลักการควบคุมคุณภาพ เพื่อสร้างรากฐานความรู้ความเข้าใจแก่ผู้บริหารระดับสูงขององค์กรในการนำเทคนิคเหล่านี้มาใช้งาน โดยได้รับความร่วมมือจากพนักงานทุกฝ่าย นับเป็นจุดเริ่มต้นของการพัฒนาและรวบรวมเครื่องมือที่ใช้ในการควบคุมคุณภาพ ทั้ง 7 ชนิด ที่เรียกกันว่า 7 QC Tools มาใช้อย่างแพร่หลายจนทุกวันนี้ เครื่องมือคุณภาพทั้ง 7 ชนิด ที่ได้รับการยอมรับและนิยมใช้ทั่วโลก มีดังต่อไปนี้ (Nutvipa, 2016)

3.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

อรนุช ธนารัตน์สุทธิกุล (2544: 43-48) ศึกษาทางเลือกเพื่อลดปริมาณน้ำสูญเสียของการประปานครหลวง โดยแบ่งทางเลือกในการลดน้ำสูญเสียเป็น 2 ทางเลือก ประกอบด้วย การซ่อมหรือการปรับปรุงระบบประปา และการสร้างหรือขยายกำลังการผลิตเพื่อชดเชยความสูญเสียที่เพิ่มขึ้น ซึ่งมุ่งศึกษาในแง่ของความสัมพันธ์ทางด้านเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม และความเชื่อถือต่อองค์กรภายนอก

สุชาติ เตชะอุดมเดช (2547: 69-78) ศึกษาการจัดการโครงการลดน้ำสูญเสีย กรณีศึกษาพื้นที่สำนักงานประปาสาขาภาษีเจริญ โดยมุ่งศึกษา 6 ประเด็น ได้แก่ ด้านการวางแผน ด้านการจัดองค์กร ด้านการควบคุม ด้านการประสานงาน ด้านการประเมิน และด้านการจูงใจ เก็บรวบรวมข้อมูลด้วยแบบสอบถาม ในกลุ่มพนักงานของบริษัทที่ทำงานในโครงการลดน้ำสูญเสีย

ณัฐพล หวังประดิษฐ์ (2553: 66-69) ศึกษาการปรับปรุงการบริหารจัดการน้ำสูญเสีย กรณีศึกษาสำนักงานประปา สาขาบางเขน โดยมุ่งศึกษาแนวทางการปรับปรุงการบริหารจัดการน้ำสูญเสียของการประปานครหลวง

มรุตพร จานงค์วงศ์ (2559: 525-532) ศึกษาการลดน้ำสูญเสียในระบบจ่ายน้ำประปา พบว่าสาเหตุของน้ำสูญเสียแบ่งออกเป็น 1) การลดน้ำสูญเสียเชิงกายภาพมีกลยุทธ์เชิงตั้งรับ ใช้เมื่อเกิดเหตุต่อแตก/รั่วแล้ว และ 2) การลดน้ำสูญเสียเชิงพาณิชย์

ประหยัด สัจจาธรรม (2560: 69-72) ได้ศึกษาแนวทางในการลดน้ำสูญเสียในระบบจำหน่ายน้ำประปาของการประปาสวนภูมิภาควิทยาพนมสารคาม โดยวิธีการในการลดน้ำสูญเสียในระบบจำหน่ายน้ำประปาใช้วิธีการในการแก้ปัญหาวิธีการวางแผน เพื่อคนหาจุดรั่ว (Action control) เป็นวิธีการแนวทางที่เหมาะสมของสาเหตุต่อแตก/รั่วที่เกิดขึ้นกับการประปาสวนภูมิภาควิทยาพนมจากสาเหตุของน้ำสูญเสียเชิงกายภาพ

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ผู้วิจัยมุ่งศึกษาข้อมูลเพื่อให้ได้มาซึ่งหลักการ แนวคิด ข้อมูลและสารสนเทศ ทั้งในด้านสภาพปัญหา ด้านการวิเคราะห์ปัญหา และด้านวิธีการปรับปรุง เพื่อใช้สำหรับวิธิดำเนินการวิจัย การวิเคราะห์ข้อมูล และการอภิปรายผล ตามวัตถุประสงค์หลักของงานวิจัย โดยพบดังนี้ 1) ด้านสภาพปัญหา พบว่า ผลการศึกษาของสุชาติ เตชะอุดมเดช (2547) และมรุตพร จานงค์วงศ์ (2559) เป็นการสำรวจกระบวนการต่าง ๆ เพื่อสะท้อนให้เห็นถึงสภาพปัญหา กระบวนการ และการประเมินผล

ซึ่งผลการวิจัยดังกล่าวนี้ ผู้วิจัยได้ใช้เป็นข้อมูลเพื่อศึกษาสภาพปัญหาที่เกิดขึ้นในขั้นตอนของวิธีดำเนินการวิจัย อีกทั้งยังเป็นกรอบแนวทางของการเก็บข้อมูลในขั้นตอนต่าง ๆ อีกด้วย 2) แนวทางการวิเคราะห์ปัญหา พบว่า ผลการศึกษาของอรนุช ธนารัตน์สุทธิกุล (2544) ผู้วิจัยใช้เป็นข้อมูลเพื่อศึกษาและวิเคราะห์ปัญหา เพื่อให้ได้มาซึ่งแนวทางการลดปริมาณน้ำสูญเสีย และหลักการประเมินความคุ้มค่าตามหลักเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม และ 3) ด้านวิธีการปรับปรุง พบว่า ผลการศึกษาของณัฐพล หวังประดิษฐ์ (2553) และประหยัด สัจจาธรรม (2560) ผู้วิจัยได้มาซึ่งแนวทางและวิธีการในการดำเนินการปรับปรุงและแก้ไขของสาเหตุต่อแตก อีกทั้งยังเป็นวิธีการและแนวทางการปฏิบัติที่เกิดขึ้นจากผลการศึกษาจริงอีกด้วย ดังนั้นสรุปได้ว่าการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องทำให้ได้มาซึ่งหลักการ แนวคิด ข้อมูลและสารสนเทศในด้านสภาพปัญหา ด้านการวิเคราะห์ปัญหา และด้านวิธีการปรับปรุง เพื่อใช้ประกอบการศึกษาวิจัยในครั้งนี้

4. วิธีดำเนินการวิจัย/ระเบียบวิธีวิจัย/Research Methodology

วิธีดำเนินการขั้นตอนและรายละเอียดดังนี้

4.1 กระบวนการดำเนินงาน

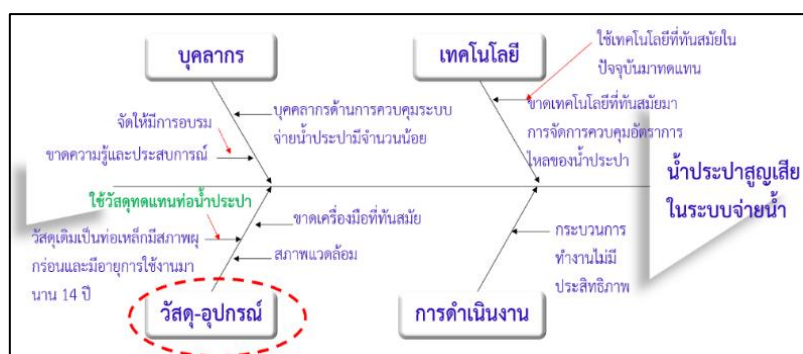
ในกระบวนการดำเนินการวิจัยนี้ได้เริ่มจากการทำการศึกษาปัญหา ค้นคว้าข้อมูล ศึกษาสภาพปัญหา วิเคราะห์ปัญหาหาสาเหตุ กำหนดวิธีการในการแก้ปัญหาและวิเคราะห์ผล โดยประยุกต์ใช้หลักการและทฤษฎีการจัดการงานวิศวกรรม เศรษฐศาสตร์ วิศวกรรมมาใช้เป็นแนวทางในการจัดการเพื่อลดน้ำสูญเสียในระบบจ่ายน้ำประปาภายในสนามบินโดยใช้วัสดุทดแทนท่อประปา

4.2 การศึกษาสภาพปัญหา

จากการศึกษาสภาพปัญหาโดยการเก็บข้อมูลสถิติของอัตราน้ำสูญเสียที่ไม่ก่อให้เกิดรายได้ ในช่วงระยะเวลาเดือนกันยายน - เดือนธันวาคม พ.ศ. 2563 พบว่ามีปริมาณค่าเฉลี่ยของน้ำสูญเสียที่ร้อยละ 38.84 โดยเกิดจากสาเหตุหลักดังนี้ 1) การเกิดน้ำสูญเสียเชิงกายภาพ (Physical Losses) ปริมาณร้อยละ 31.88 ซึ่งนับว่าเป็นปริมาณของการเกิดน้ำสูญเสียมากที่สุดของสาเหตุหลักทั้งหมด 2) การเกิดน้ำสูญเสียจากการใช้น้ำเพื่อบริการสาธารณะ (Unbilled Authorized Consumption) ปริมาณร้อยละ 6.96 และนอกจากนี้ยังพบว่า มีการเกิดน้ำสูญเสียเชิงพาณิชย์ (Commercial Losses) ที่เกิดจากการคำนวณปริมาณการใช้น้ำเพื่อผู้ประกอบการที่คาดเคลื่อนจากมาตรวัด ซึ่งถือเป็นอีกหนึ่งสาเหตุของการเกิดน้ำสูญเสียอีกด้วย

4.3 การวิเคราะห์ปัญหา

จากที่ทราบถึงปัญหาของการเกิดน้ำสูญเสียเสียแต่ละสาเหตุแล้วผู้วิจัยจึงได้นำข้อมูลที่ได้มาทำการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาของน้ำสูญเสียแต่ละประเภทที่เกิดจากสาเหตุน้ำสูญเสียเชิงกายภาพและน้ำสูญเสียเชิงพาณิชย์โดยการระดมความคิดกับหน่วยงานที่เกี่ยวข้องโดยการวิเคราะห์หาสาเหตุ 4 ประการ (4M) มาช่วยวิเคราะห์ แล้วใส่ลงในแผนภูมิแก๊งปลา เพื่อนำมาวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างปัญหาและสาเหตุของปัญหาโดยวิเคราะห์ปริมาณการใช้น้ำประปาของผู้ประกอบการน้ำเพื่อสาธารณะประโยชน์และน้ำสูญเสีย ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 การวิเคราะห์ปัญหาโดยใช้แผนภูมิแก๊งปลา

4.4 วิธีการปรับปรุง

โดยมุ่งเน้นการลดน้ำสูญเสียเชิงกายภาพ (physical losses) โดยใช้วัสดุท่อแทนท่อประปาแบบ Polypropylene Random Copolymer: PPR และแบบ High Density Polyethylene: HDPE และดำเนินการเปลี่ยนมาดรวัดน้ำให้มีความสมบูรณ์และแม่นยำต่อการวัดและคำนวณปริมาณการใช้น้ำที่ถูกต้องเพื่อลดน้ำสูญเสียเชิงพาณิชย์ (commercial losses) และทำการจดบันทึกเพื่อวัดปริมาณน้ำที่ใช้เพื่อการบริการสาธารณะ ซึ่งจะสามารถทราบถึงปริมาณของการใช้น้ำที่แท้จริง เพื่อทำไปใช้เป็นข้อมูลในการวิเคราะห์และคำนวณปริมาณน้ำสูญเสียที่จะเกิดขึ้นได้

4.4.1 รายละเอียดวิธีการแก้ไขปัญหาการสูญเสียเชิงกายภาพ (physical losses)

ผู้วิจัยใช้แนวทางการแก้ไขปัญหาโดยทำการสำรวจและซ่อมแซมท่อน้ำประปาบริเวณที่เกิดการชำรุด รั่ว แตก และซึม โดยใช้วัสดุทดแทนท่อน้ำประปา แบบ Polypropylene Random Copolymer: PPR และแบบ High Density Polyethylene: HDPE ซึ่งพบว่าวัสดุดังกล่าวมีคุณสมบัติที่ดีและมีความเหมาะสมสำหรับนำมาใช้ในระบบจ่ายน้ำประปาทั้งในอาคารและใต้ดิน เนื่องจากมีการติดตั้งที่สะดวกรวดเร็ว มีน้ำหนักเบากว่าท่อน้ำประปาแบบท่อเหล็กกล้าไนซ์ (Galvanized Steel Pipe) มีความคงทนและอายุการใช้งานที่ยาวนาน 50 ปี สามารถทนอุณหภูมิได้ถึง 95 องศาเซลเซียส การซ่อมแซมสะดวกรวดเร็ว ราคาใกล้เคียงกับท่อน้ำประปาแบบท่อเหล็กกล้าไนซ์ (Galvanized Steel Pipe) สภาพผิวภายในมีความราบเรียบกว่าท่อน้ำประปาแบบท่อเหล็กกล้าไนซ์ (Galvanized Steel Pipe) ท่อน้ำประปาแบบ Polypropylene Random Copolymer: PPR และแบบ High Density Polyethylene: HDPE มีความยืดหยุ่นสูงกว่าท่อน้ำประปาแบบท่อเหล็กกล้าไนซ์ (Galvanized Steel Pipe) และไม่เกิดสนิมภายในตลอดอายุการใช้งาน ดังข้อมูลในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การเปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของท่อน้ำประปา แบบ Polypropylene Random Copolymer: PPR

และแบบ High Density Polyethylene: HDPE กับท่อน้ำประปาแบบท่อเหล็กกล้าไนซ์ (Galvanized Steel Pipe)

ประเด็นที่ใช้ในการเปรียบเทียบ	ท่อน้ำประปาแบบ PPR และ HDPE		ท่อน้ำประปาแบบท่อเหล็กกล้าไนซ์	
	ข้อดี	ข้อเสีย	ข้อดี	ข้อเสีย
ด้านการใช้งาน	ใช้เป็นท่อน้ำร้อนได้	มีความอ่อนตัวกว่า	มีความแข็งแรงกว่า	ใช้เป็นท่อน้ำร้อนไม่ได้
ด้านอายุการใช้งาน	ยาวนาน 50 ปี			ประมาณ 10 ปี
ด้านความแข็งแรง	มีความยืดหยุ่นสูง			ต้องใช้อุปกรณ์เชื่อมต่อจำนวนมาก
ด้านการซ่อมแซม	ซ่อมแซมได้ง่ายกว่า			ซ่อมบริเวณงานรั่วยากกว่า
ด้านการทดสอบ	สามารถทดสอบได้ทันทีเมื่อติดตั้งเสร็จ			ต้องรอให้น้ำยาทาเกลียวแห้งก่อน

จากตารางที่ 1 การเปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของท่อน้ำประปาแบบ Polypropylene Random Copolymer: PPR และแบบ High Density Polyethylene: HDPE กับท่อน้ำประปาแบบท่อเหล็กกล้าไนซ์ (Galvanized Steel Pipe) พบว่าท่อน้ำประปา แบบ Polypropylene Random Copolymer: PPR และแบบ High Density Polyethylene: HDPE มีข้อดีมากกว่าท่อน้ำประปาแบบท่อเหล็กกล้าไนซ์ (Galvanized Steel Pipe) อาทิ มีความยืดหยุ่นสูง สามารถใช้เป็นท่อน้ำร้อนได้ ซ่อมแซมได้ง่ายกว่า สามารถทดสอบได้เมื่อติดตั้งเสร็จ และมีอายุการใช้งานที่ยาวนานกว่าท่อน้ำประปาแบบท่อเหล็กกล้าไนซ์ (Galvanized Steel Pipe)



ก่อนดำเนินการ

หลังดำเนินการ

รูปที่ 2 การเปรียบเทียบก่อนและหลังดำเนินการใช้ท่อทดแทนแบบ Polypropylene Random Copolymer: PPR

จากรูปที่ 2 เป็นการแสดงเปรียบเทียบผลการดำเนินการเปลี่ยนท่อน้ำประปา ก่อนและหลัง จากท่อน้ำประปาแบบท่อเหล็กกล้าไนซ์ (Galvanized Steel Pipe) สีเงิน ซึ่งมีสภาพพุงและเป็นคราบสนิม เป็นวัสดุทดแทนท่อน้ำประปาแบบ Polypropylene Random Copolymer: PPR สีเขียว



ก่อนดำเนินการ



หลังดำเนินการ

รูปที่ 3 การเปรียบเทียบก่อนและหลังดำเนินการใช้ท่อทดแทนแบบ High Density Polyethylene: HDPE

จากรูปที่ 3 เป็นการแสดงเปรียบเทียบผลการดำเนินการเปลี่ยนท่อน้ำประปา ก่อนและหลังจากท่อน้ำประปาแบบท่อเหล็กกล้าไนซ์ (Galvanized Steel Pipe) ซึ่งมีสภาพพุงและเป็นคราบสนิม เป็นวัสดุทดแทนท่อน้ำประปาแบบ High Density Polyethylene: HDPE สีดำ

4.4.2 รายละเอียดวิธีการแก้ปัญหาสูญเสียเชิงพาณิชย์ (Commercial Losses)

ผู้วิจัยใช้แนวทางการแก้ไขปัญหาโดยทำการเปลี่ยนมาตรวัดน้ำเพื่อให้มีความสมบูรณ์และแม่นยำต่อการวัดและคำนวณปริมาณการใช้น้ำที่ถูกต้อง



รูปที่ 4 มาตรวัดน้ำที่มีสภาพสมบูรณ์และพร้อมต่อการใช้งาน

จากรูปที่ 4 ดำเนินการเปลี่ยนและติดตั้งมาตรวัดน้ำใหม่ และตรวจสอบคุณภาพในการใช้งาน ให้อยู่ในสภาพที่สมบูรณ์และพร้อมใช้งาน

4.4.3 รายละเอียดวิธีการแก้ไขปัญหาน้ำที่ไหลไปกับการบริการสาธารณะ (Unbilled Authorized Consumption)

ผู้วิจัยใช้แนวทางการแก้ไขโดยทำการจดบันทึกเพื่อวัดปริมาณน้ำที่ใช้เพื่อการบริการสาธารณะ ซึ่งจะสามารถทราบถึงปริมาณของการใช้น้ำที่แท้จริง เพื่อทำไปใช้เป็นข้อมูลในการวิเคราะห์และคำนวณปริมาณน้ำสูญเสียที่จะเกิดขึ้นได้

4.4.4 การวิเคราะห์ต้นทุนทางเศรษฐศาสตร์และความคุ้มค่าต่อการลงทุน

การวิเคราะห์ต้นทุนเปรียบเทียบท่อน้ำประปาแบบท่อเหล็กกล้าไนซ์ (Galvanized Steel Pipe) กับท่อน้ำประปาแบบ Polypropylene Random Copolymer: PPR และแบบ High Density Polyethylene: HDPE พบว่า

1) การติดตั้งท่อน้ำประปาแบบท่อเหล็กกล้าไนซ์ มีค่าวัสดุอุปกรณ์จำนวน 628,750 บาท และมีค่าแรงจำนวน 188,625 บาท โดยรวมเป็นค่าใช้จ่ายทั้งสิ้นจำนวน 817,375 บาท

2) การติดตั้งท่อน้ำประปา แบบ Polypropylene Random Copolymer: PPR มีค่าวัสดุอุปกรณ์จำนวน 936,900 บาท และมีค่าแรงจำนวน 281,070 บาท โดยรวมเป็นค่าใช้จ่ายทั้งสิ้นจำนวน 1,217,970 บาท

3) การติดตั้งท่อน้ำประปาแบบ High Density Polyethylene: HDPE มีค่าวัสดุอุปกรณ์จำนวน 295,800 บาท และมีค่าแรงจำนวน 88,740 บาท รวมทั้งสิ้น 384,540 บาท

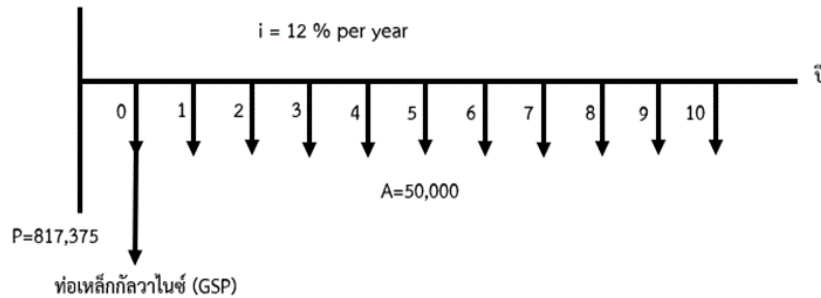
โดยสามารถเปรียบเทียบส่วนต่างของต้นทุนในการติดตั้งท่อน้ำประปา แบบท่อเหล็กกล้าไนซ์ (Galvanized Steel Pipe) กับ Polypropylene Random Copolymer: PPR และ High Density Polyethylene: HDPE พบว่า มีส่วนต่างจำนวนทั้งสิ้น 785,135 บาท พบว่า ในด้านระยะเวลาในการใช้งานของท่อน้ำประปา แบบ Polypropylene Random Copolymer: PPR และ High Density Polyethylene: HDPE มีความแตกต่างจากท่อน้ำประปาแบบท่อเหล็กกล้าไนซ์ (Galvanized Steel Pipe) มากกว่าถึง 5 เท่า

ตารางที่ 2 การเปรียบเทียบต้นทุนในการติดตั้งท่อน้ำประปาแบบท่อเหล็กกล้าไนซ์ (Galvanized Steel Pipe) กับ Polypropylene Random Copolymer: PPR และ High Density Polyethylene: HDPE

คิดอัตราดอกเบี้ย 12% (i)	ท่อ GSP	ท่อ PPR	ท่อ HDPE
เงินลงทุนเริ่มต้น (บาท)	817,375	1,217,970	384,540
ค่าดำเนินการต่ออายุงาน (บาท/ปี)	50,000	30,000	30,000
มูลค่าซาก (บาท)	0	0	0
อายุการใช้งาน (ปี)	10	50	50

จากตารางที่ 2 การเปรียบเทียบต้นทุนในการติดตั้งท่อน้ำประปาแบบท่อเหล็กกล้าไนซ์ (Galvanized Steel Pipe) กับ Polypropylene Random Copolymer: PPR และ High Density Polyethylene: HDPE สามารถเปรียบเทียบต้นทุนด้วยการวิเคราะห์เปรียบเทียบ PW (มูลค่าปัจจุบัน) ของการลงทุนในโครงการของท่อน้ำประปา เพื่อกำหนดแบบของท่อน้ำประปาที่นำลงทุนมากที่สุด ซึ่งท่อน้ำประปาแต่ละแบบมีระยะเวลาการใช้งานที่แตกต่างกัน จึงกำหนดให้เทียบระยะเวลาของทุกแบบของท่อน้ำประปาเท่ากับท่อน้ำประปาที่มีระยะเวลายาวที่สุด ดังผังกระแสเงินสด (Cash Flow) ดังต่อไปนี้

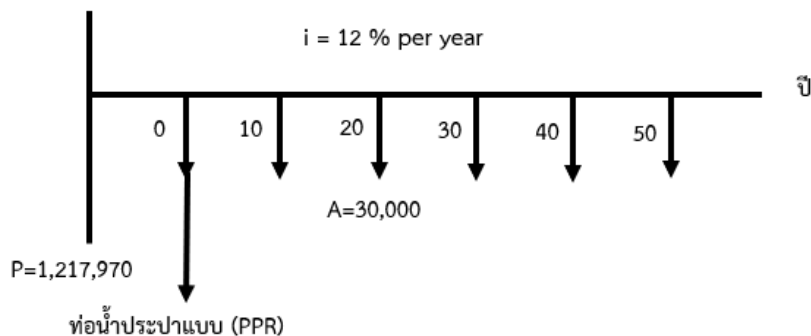
1. ท่อน้ำประปาแบบท่อเหล็กกล้าไนซ์ (Galvanized Steel Pipe)



$$\begin{aligned} NPV(GSP) = & -817,375 - 5,000 (P/A, 12\%, 10) - 817,375 (P/F, 12\%, 10) - 5,000 (P/A, 12\%, 10) (P/F, \\ & 12\%, 10) - 817,375 (P/F, 12\%, 20) - 5,000 (P/A, 12\%, 10) (P/F, 12\%, 20) - 817,375 \\ & (P/F, 12\%, 30) - 5,000 (P/A, 12\%, 10) (P/F, 12\%, 30) - 817,375 (P/F, 12\%, 40) - 5,000 \\ & (P/A, 12\%, 10) (P/F, 12\%, 40) \end{aligned}$$

$$NPV(GSP) = -1,483,889$$

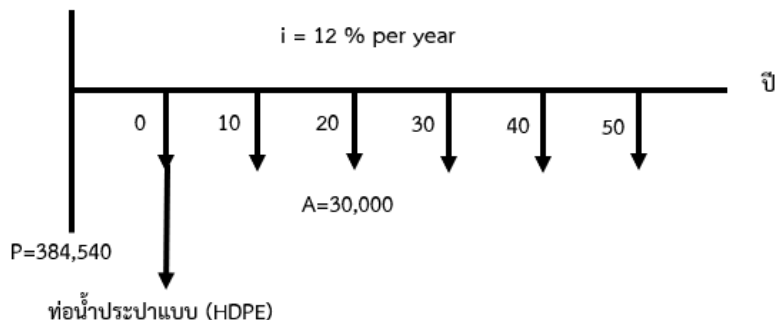
2. ท่อน้ำประปาแบบ Polypropylene Random Copolymer: PPR



$$NPV(PPR) = -1,217,900 - 30,000 (P/A, 12\%, 50)$$

$$NPV(PPR) = -1,466,900$$

3. ท่อน้ำประปาแบบ High Density Polyethylene: HDPE



$$NPV(HDPE) = -384,540 - 30,000 (P/A, 12\%, 50)$$

$$NPV(HDPE) = -633,540$$

จากการวิเคราะห์ พบว่า ท่อน้ำประปาแบบท่อเหล็กกล้าไนซ์ (Galvanized Steel Pipe) มีต้นทุนค่าใช้จ่ายที่ 1,483,889 บาท ในขณะที่ท่อน้ำประปาแบบ Polypropylene Random Copolymer: PPR มีต้นทุนค่าใช้จ่ายที่ 1,466,900 บาท และท่อน้ำประปาแบบ High Density Polyethylene: HDPE มีต้นทุนค่าใช้จ่ายที่ 633,540 บาท ซึ่งพบว่าท่อน้ำประปาที่มีค่าใช้จ่ายในการลงทุนต่ำที่สุด คือ ท่อน้ำประปาแบบ Polypropylene Random Copolymer: PPR และท่อน้ำประปาแบบ High Density Polyethylene: HDPE จึงมีความเหมาะสมในการลงมากที่สุด

4.4.5 การเปรียบเทียบคุณสมบัติท่อน้ำประปาแบบท่อเหล็กกล้าไนซ์ (Galvanized Steel Pipe) กับท่อน้ำประปาแบบ Polypropylene Random Copolymer: PPR และแบบ High Density Polyethylene: HDPE พบว่า ท่อ PPR และ HDPE มีคุณสมบัติที่ดีและมีความเหมาะสมสำหรับนำมาใช้ในระบบจ่ายน้ำประปาทั้งในอาคารและใต้ดิน เนื่องจากมีการติดตั้งที่สะดวกรวดเร็ว มีน้ำหนักเบากว่าท่อน้ำประปาแบบท่อเหล็กกล้าไนซ์ (Galvanized Steel Pipe) มีความคงทนและอายุการใช้งานที่ยาวนาน 50 ปี สามารถทนอุณหภูมิได้ถึง 95 องศาเซลเซียส นอกจากนี้ในด้านการซ่อมบำรุงยังมีความสะดวกและรวดเร็วกว่าอีกด้วย อีกทั้งยังมีราคาถูกเพียงกับท่อน้ำประปาแบบท่อเหล็กกล้าไนซ์ (Galvanized Steel Pipe) โดยสภาพผิวภายในมีความเรียบกว่าท่อน้ำประปาแบบท่อเหล็กกล้าไนซ์ (Galvanized Steel Pipe) และในด้านความยืดหยุ่น พบว่า ท่อน้ำประปาแบบ Polypropylene Random Copolymer: PPR และแบบ High Density Polyethylene: HDPE มีความยืดหยุ่นสูงกว่าท่อน้ำประปาแบบท่อเหล็กกล้าไนซ์ (Galvanized Steel Pipe) และไม่เกิดสนิมภายในท่อตลอดอายุการใช้งาน

5. ผลลัพธ์

จากสภาพปัญหาการเสื่อมสภาพของท่อจ่ายน้ำประปา ซึ่งวัสดุเป็นแบบท่อเหล็กกล้าไนซ์ (Galvanized Steel Pipe) ทั้งภายในบริเวณของตัวอาคารและบริเวณใต้ดิน พบว่า มีอายุการใช้งานมาแล้วกว่า 14 ปี ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้เกิดปริมาณน้ำสูญเสีย ซึ่งเป็น 1 ในสาเหตุของการเกิดปริมาณน้ำสูญเสีย คือ การสูญเสียเชิงกายภาพ (physical losses) นอกจากนี้จากการศึกษาสภาพปัญหายังพบถึงสาเหตุของการเกิดน้ำสูญเสียในด้านพาณิชย์ (commercial losses) และในด้านการบริการสาธารณะ (unbilled authorized consumption) โดยผู้วิจัยได้ใช้วิธีการแก้ไข โดยประยุกต์ใช้ทฤษฎีและหลักการด้านการจัดการงานวิศวกรรมเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมในการวิเคราะห์ต้นทุนความคุ้มค่าต่อการลงทุน และเครื่องมือคุณภาพที่ผู้วิจัยได้ศึกษามาช่วยในการปรับปรุง และวิเคราะห์ปัญหาเพื่อปรับเปลี่ยนวัสดุทดแทนท่อน้ำประปาเป็นท่อน้ำประปา แบบ Polypropylene Random Copolymer: PPR และแบบ High Density Polyethylene: HDPE ซึ่งคาดว่าจะสามารถลดน้ำสูญเสียเชิงกายภาพ (physical losses) ในระบบจ่ายน้ำประปาได้โดยรวมไม่น้อยกว่าร้อยละ 20 และสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานขององค์กรให้ดียิ่งขึ้น ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

5.1 ช่วงก่อนดำเนินการปรับปรุง

ปริมาณและมูลค่าของการใช้น้ำประปาภายในสนามบินช่วงก่อนดำเนินการปรับปรุง ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ปริมาณและมูลค่าของการใช้น้ำประปาภายในสนามบินช่วงก่อนดำเนินการปรับปรุง

รายละเอียด	การประปานครหลวง	ผู้ประกอบการ	ส่วนกลางสาธารณะ	น้ำสูญเสีย
	หน่วยที่ใช้ (ลบ.ม)	หน่วยที่ใช้ (ลบ.ม)	หน่วยที่ใช้ (ลบ.ม)	หน่วยที่ใช้ (ลบ.ม)
กันยายน 2563	710,315	324,814	88,687	296,814
ตุลาคม 2563	681,162	381,130	45,274	254,758
พฤศจิกายน 2563	597,557	388,647	30,528	178,382
ธันวาคม 2563	655,660	522,811	19,654	113,195
รวม	2,644,694	1,617,402	184,143	843,149

จากตารางที่ 3 ปริมาณและมูลค่าของการใช้น้ำประปาภายในสนามบินช่วงก่อนดำเนินการปรับปรุง พบว่า ปริมาณน้ำที่ใช้ทั้งหมดในระยะเวลา 4 เดือน (กันยายน-ธันวาคม 2563) ปริมาณ 2,644,694 ลูกบาศก์เมตร โดยสนามบินขายให้ผู้ประกอบการ ปริมาณ 1,617,402 ลูกบาศก์เมตร ปริมาณของน้ำเพื่อส่วนสาธารณะ 184,143 ลูกบาศก์เมตร และปริมาณน้ำสูญเสีย 843,149 ลูกบาศก์เมตร

ตารางที่ 4 ปริมาณและอัตราร้อยละการใช้น้ำประปาและน้ำสูญเสียช่วงก่อนดำเนินการปรับปรุง

ข้อมูล	หน่วยที่ใช้ (ลบ.ม)	อัตราร้อยละ
การประปานครหลวง	2,644,694	100
ผู้ประกอบการ	1,617,402	61.16
ส่วนกลางสาธารณะ	184,143	6.96
น้ำสูญเสีย	843,149	31.88

จากตารางที่ 4 ปริมาณและอัตราร้อยละการใช้น้ำประปาและน้ำสูญเสียช่วงก่อนดำเนินการปรับปรุง พบว่า มีการใช้น้ำประปาทั้งหมด 2 ส่วน ประกอบด้วย การใช้น้ำประปาของผู้ประกอบการ ปริมาณ 1,617,402 ลูกบาศก์เมตร คิดเป็นร้อยละ 61.16 และการใช้น้ำประปาเพื่อส่วนกลางสาธารณะ ปริมาณ 184,143 ลูกบาศก์เมตร คิดเป็นร้อยละ 6.96 โดยพบว่ามีอัตราน้ำสูญเสียในช่วงก่อนดำเนินการปรับปรุง ปริมาณ 843,149 ลูกบาศก์เมตร คิดเป็นร้อยละ 31.88

สรุปได้ว่าสัดส่วนโดยเฉลี่ยของอัตราร้อยละในการใช้น้ำประปาและน้ำสูญเสียก่อนการดำเนินการปรับปรุง มีปริมาณน้ำประปาที่ใช้ที่อัตราร้อยละ 68.12 และมีปริมาณน้ำสูญเสียที่มีอัตราร้อยละ 31.88

5.2 ภายหลังการดำเนินการปรับปรุง

ปริมาณและมูลค่าของการใช้น้ำประปาภายในสนามบินภายหลังดำเนินการปรับปรุง ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ปริมาณการใช้น้ำประปาภายในสนามบินภายหลังดำเนินการปรับปรุง

รายละเอียด	การประปานครหลวง	ผู้ประกอบการ	ส่วนกลางสาธารณะ	น้ำสูญเสีย
	หน่วยที่ใช้ (ลบ.ม)	หน่วยที่ใช้ (ลบ.ม)	หน่วยที่ใช้ (ลบ.ม)	หน่วยที่ใช้ (ลบ.ม)
มกราคม 2564	422,070	332,436	63,751	25,883
กุมภาพันธ์ 2564	337,943	201,470	50,438	86,035
มีนาคม 2564	268,376	214,756	26,720	26,900
เมษายน 2564	304,504	230,632	29,730	44,142
รวม	1,332,893	979,294	170,639	182,960

จากตารางที่ 5 ปริมาณการใช้น้ำประปาภายในสนามบินภายหลังดำเนินการปรับปรุง พบว่า ปริมาณน้ำที่ใช้ทั้งหมดในระยะเวลา 4 เดือน (มกราคม-เมษายน 2564) ปริมาณ 1,332,893 ลูกบาศก์เมตร โดยสนามบินขายให้ผู้ประกอบการ ปริมาณ 979,294 ลูกบาศก์เมตร และน้ำประปาเพื่อส่วนกลางสาธารณะปริมาณ 170,639 ลูกบาศก์เมตร และปริมาณน้ำสูญเสีย 182,960 ลูกบาศก์เมตร

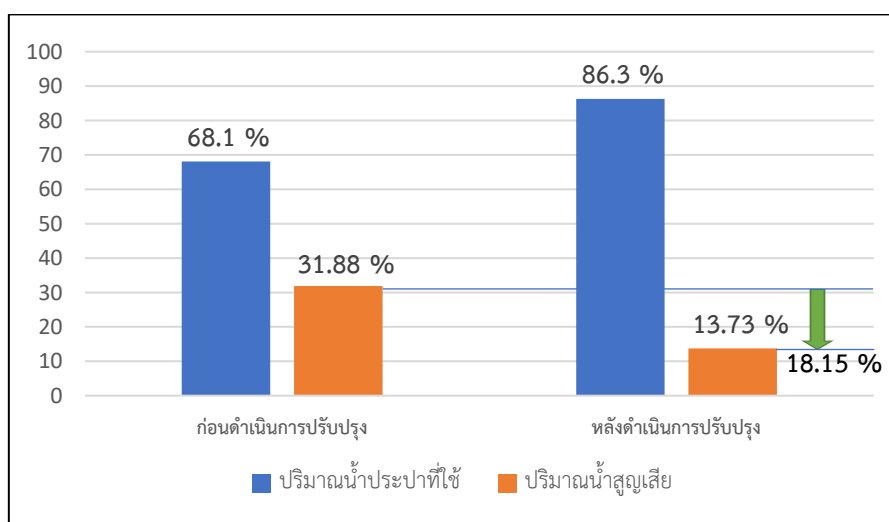
ตารางที่ 6 ปริมาณและอัตราการย่อยละการใช้น้ำประปาและน้ำสูญเสียภายหลังดำเนินการปรับปรุง

ข้อมูล	หน่วยที่ใช้ (ลบ.ม)	อัตราการย่อยละ
การประปานครหลวง	1,332,893	100
ผู้ประกอบการ	979,294	73.47
ส่วนกลางสาธารณะ	170,639	12.80
น้ำสูญเสีย	182,960	13.73

จากตารางที่ 6 ปริมาณและอัตราการย่อยละการใช้น้ำประปาและน้ำสูญเสียภายหลังดำเนินการปรับปรุง พบว่า มีการใช้น้ำประปาทั้งหมด 2 ส่วน ประกอบด้วย การใช้น้ำประปาของผู้ประกอบการ ปริมาณ 979,294 ลูกบาศก์เมตร คิดเป็นร้อยละ 73.47 และการใช้น้ำประปาเพื่อส่วนกลางสาธารณะ ปริมาณ 170,639 ลูกบาศก์เมตร คิดเป็นร้อยละ 12.80 โดยพบว่ามียอดร่น้ำสูญเสียภายหลังดำเนินการปรับปรุง ปริมาณ 182,960 ลูกบาศก์เมตร คิดเป็นร้อยละ 13.73

สรุปได้ว่าสัดส่วนโดยเฉลี่ยของอัตราการย่อยละในการใช้น้ำประปาและน้ำสูญเสียภายหลังดำเนินการปรับปรุง มีปริมาณน้ำประปาที่ใช้ที่อัตราการย่อยละ 86.27 และมีปริมาณน้ำสูญเสียที่มีที่อัตราการย่อยละ 13.73

ผลการเปรียบเทียบคุณสมบัติท่อน้ำประปาแบบท่อเหล็กกล้าไนซ์ (Galvanized Steel Pipe) กับท่อน้ำประปาแบบ Polypropylene Random Copolymer: PPR และแบบ High Density Polyethylene: HDPE ก่อนและหลังการปรับปรุง พบว่า มีความแตกต่างกัน ซึ่งสัดส่วนโดยเฉลี่ยของอัตราการย่อยละในการใช้น้ำประปาและน้ำสูญเสียก่อนการดำเนินการปรับปรุง มีปริมาณน้ำประปาที่ใช้ที่อัตราการย่อยละ 68.1 และมีปริมาณน้ำสูญเสียที่มีที่อัตราการย่อยละ 31.88 ในขณะที่สัดส่วนโดยเฉลี่ยของอัตราการย่อยละในการใช้น้ำประปาและน้ำสูญเสียภายหลังดำเนินการปรับปรุง มีปริมาณน้ำประปาที่ใช้ที่อัตราการย่อยละ 86.3 และมีปริมาณน้ำสูญเสียที่มีที่อัตราการย่อยละ 13.73 โดยปริมาณน้ำสูญเสียจากอัตราการย่อยละ 31.88 เหลืออัตราการย่อยละ 13.73 ลดลงร้อยละ 18.15

**รูปที่ 5** แผนภูมิอัตราการย่อยละในการใช้น้ำประปาและน้ำสูญเสียก่อนและหลังการดำเนินการปรับปรุง

6. สรุปผลการวิจัย

6.1 ผลการเปรียบเทียบคุณสมบัติท่อน้ำประปาแบบท่อเหล็กกล้าไนซ์ (Galvanized Steel Pipe) กับท่อน้ำประปาแบบ Polypropylene Random Copolymer: PPR และแบบ High Density Polyethylene: HDPE พบว่า ท่อ PPR และ HDPE

มีคุณสมบัติที่ดีและมีความเหมาะสมสำหรับนำมาใช้ในระบบจ่ายน้ำประปาทั้งในอาคารและใต้ดิน เนื่องจากมีการติดตั้งที่สะดวกรวดเร็ว มีน้ำหนักเบากว่าท่อน้ำประปา แบบท่อเหล็กกล้าไนซ์ (Galvanized Steel Pipe) มีความคงทนและอายุการใช้งานที่ยาวนาน 50 ปี สามารถทนอุณหภูมิได้ถึง 95 องศาเซลเซียส การซ่อมแซมสะดวกรวดเร็ว ราคาใกล้เคียงกับท่อน้ำประปา แบบท่อเหล็กกล้าไนซ์ (Galvanized Steel Pipe) สภาพผิวภายในมีความราบเรียบกว่าท่อน้ำประปา แบบท่อเหล็กกล้าไนซ์ (Galvanized Steel Pipe) ท่อน้ำประปา แบบ Polypropylene Random Copolymer: PPR และแบบ High Density Polyethylene: HDPE มีความยืดหยุ่นสูงกว่าท่อน้ำประปาแบบท่อเหล็กกล้าไนซ์ (Galvanized Steel Pipe) และไม่เกิดสนิมภายในท่อตลอดอายุการใช้งาน

6.2 จากการเปรียบเทียบทางด้านต้นทุนจากการใช้วัสดุทดแทนท่อน้ำประปา แบบท่อเหล็กกล้าไนซ์ (Galvanized Steel Pipe) ในการวิเคราะห์หาต้นทุนตามหลักเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม พบว่า ท่อน้ำประปา แบบท่อเหล็กกล้าไนซ์ (Galvanized Steel Pipe) มีต้นทุนค่าใช้จ่ายที่ 1,483,889 บาท ในขณะที่ท่อน้ำประปา แบบ Polypropylene Random Copolymer: PPR มีต้นทุนค่าใช้จ่ายที่ 1,466,900 บาท และท่อน้ำประปาแบบ High Density Polyethylene: HDPE มีต้นทุนค่าใช้จ่ายที่ 633,540 บาท โดยสรุปจากการวิเคราะห์ได้ว่า ท่อน้ำประปา แบบ Polypropylene Random Copolymer: PPR และแบบ High Density Polyethylene: HDPE มีความเหมาะสมในการลงทุนมากกว่าการใช้ท่อน้ำประปาแบบท่อเหล็กกล้าไนซ์ (Galvanized Steel Pipe) เนื่องจากมีค่าใช้จ่ายในการลงทุนที่ต่ำกว่า

6.3 จากผลลัพธ์และผลการดำเนินการเปรียบเทียบก่อนและหลังการปรับปรุง พบว่า หลังการปรับปรุงมีความแตกต่าง โดยสัดส่วนโดยเฉลี่ยของน้ำสูญเสียภายหลังดำเนินการลดลงตามเป้าเหลืออัตราร้อยละ 13.73 จากเดิมร้อยละ 31.88 ลดลงร้อยละ 18.15

7. ข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาพบว่า สาเหตุของการเกิดน้ำสูญเสียมี 3 สาเหตุหลัก ซึ่งประกอบด้วย 1) การสูญเสียเชิงกายภาพ (physical losses) 2) การสูญเสียในด้านพาณิชย์ (commercial losses) และ 3) การสูญเสียในด้านการบริการสาธารณะ (unbilled authorized consumption) ซึ่งผู้วิจัยมีข้อเสนอแนะโดยไล่เรียงตามสาเหตุหลักของการเกิดน้ำสูญเสียดังนี้

1) การสูญเสียเชิงกายภาพ (physical losses) ควรสำรวจและตรวจสอบสภาพและคุณภาพของท่อประปาบริเวณต่าง ๆ ที่ดำเนินการติดตั้งตามกรอบระยะเวลาที่เหมาะสม หากพบการชำรุดหรือเสียหายควรดำเนินการซ่อมแซม แก้ไข และปรับปรุง ซึ่งจากการศึกษาพบว่า การนำวัสดุทดแทนท่อน้ำประปามาดำเนินการปรับปรุงซ่อมแซมเพื่อลดน้ำสูญเสียในระบบจ่ายน้ำประปาภายในสนามบิน ซึ่งคำนึงถึงคุณสมบัติของวัสดุและต้นทุนตามหลักเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม พบว่า ท่อน้ำประปา แบบ Polypropylene Random Copolymer: PPR และแบบ High Density Polyethylene: HDPE มีความเหมาะสมมากกว่าท่อน้ำประปา แบบท่อเหล็กกล้าไนซ์ (Galvanized Steel Pipe) ดังนั้นจึงสามารถนำแนวทางการลดการเกิดน้ำสูญเสียเชิงกายภาพ (physical losses) นี้ไปประยุกต์ใช้เพื่อดำเนินการแก้ไขปรับปรุง หรือซ่อมแซม ในงานด้านวิศวกรรมของบริษัทต่าง ๆ ได้

2) การสูญเสียในเชิงพาณิชย์ (commercial losses) ควรสำรวจและตรวจสอบสภาพและคุณภาพของมาตรวัดน้ำประปาที่ดำเนินการติดตั้งตามกรอบระยะเวลาอันสมควร หากพบการชำรุดหรือเสียหายควรดำเนินการซ่อมแซม แก้ไข และปรับปรุง เพื่อให้มาตรวัดน้ำประปามีประสิทธิภาพสมบูรณ์ สภาพที่พร้อมใช้งาน สามารถวัดและคำนวณปริมาณของการใช้น้ำประปาได้เที่ยงตรงและแม่นยำ

3) การสูญเสียในการบริการสาธารณะ (unbilled authorized consumption) ควรดำเนินการบันทึกและจัดเก็บข้อมูลในการใช้น้ำประปาเพื่อการบริการสาธารณะ เพื่อเป็นฐานข้อมูลและสถิติของปริมาณการใช้น้ำประปา โดยสามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลและสารสนเทศในการดำเนินการและวางแผนร่วมกับการควบคุมปริมาณน้ำสูญเสียจากสาเหตุอื่น ๆ เพื่อลดปริมาณการเกิดน้ำสูญเสียในภาพรวมได้

8. เอกสารอ้างอิง

- ณัฐพล หวังประดิษฐ์. (2553). การปรับปรุงการบริหารจัดการน้ำสูญเสีย กรณีศึกษาสำนักงานประปา สาขาบางเขน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจบัณฑิต, มหาวิทยาลัยบูรพา, ชลบุรี.
- ประกอบ บำรุงผล. (2541). การบริหารและควบคุมงานก่อสร้าง. กรุงเทพฯ: ศูนย์ส่งเสริมวิชาการ.
- ประหยัด สัจจาธรรม. (2560). แนวทางในการลดน้ำสูญเสียในระบบจำหน่ายน้ำประปาของประปาส่วนภูมิภาค สาขาพนมสารคาม. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจบัณฑิต, มหาวิทยาลัยบูรพา, ชลบุรี.
- มรุตพร จานงค์วงศ์. (2559). การลดน้ำสูญเสียในระบบจ่ายน้ำประปา. วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 26(3), 525-532.
- สุชาติ เตชะอุดมเดช. (2547). การศึกษาการจัดการโครงการลดน้ำสูญเสีย กรณีศึกษาพื้นที่สำนักงานประปาสาขาภาษีเจริญ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจบัณฑิต, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, กรุงเทพฯ.
- อมรเทพ ทองชีว. (2556). ความท้าทายในการจัดการน้ำสูญเสียของประเทศไทย. กรุงเทพฯ: IRDP มูลนิธิสถาบันวิจัยและพัฒนาองค์กรภาครัฐ.
- อรนุช ธนารัตน์สุทธิกุล. (2544). การศึกษาทางเลือกเพื่อลดปริมาณน้ำสูญเสียของการประปานครหลวง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจบัณฑิต, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.
- Garold, D. Oberlender. (1993). *Project Management for Engineering and Construction*. New York: MC Graw – Hill.
- Nutvipa. (2016). *เครื่องมือคุณภาพ 7 ชนิด (7 QC Tools)*. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: <http://econs.coth/index.php/2016/07/29/7-qc-tools/>. (วันสืบค้นข้อมูล: 14 ธันวาคม 2563).

ประวัติผู้เขียนบทความ



ศิริพันธุ์ พุ่มจันท์ นักศึกษาหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการงานวิศวกรรม
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต 1761 ถนนพัฒนาการ สวนหลวง กรุงเทพมหานคร 10250
Email: phun5555@hotmail.com



ดร. ศักดิ์ชาย รักการ ผู้อำนวยการหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการงาน
วิศวกรรม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต 1761 ถนนพัฒนาการ สวนหลวง กรุงเทพมหานคร
10250 การศึกษา Ph.D. Systems and Control Engineering, Case Western Reserve University,
Ohio, U.S.A., วศ.ม. วิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และ วศ.บ. วิศวกรรมอุตสาหการ
(เกียรตินิยมอันดับ 1) มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต Email: sakchai.rak@kbu.ac.th

การศึกษาที่ครอบคลุมด้านการออกแบบและประสิทธิภาพของรหัสโพลาร์สำหรับมาตรฐาน 5G

A COMPREHENSIVE STUDY ON THE DESIGN AND PERFORMANCE OF POLAR CODES FOR 5G STANDARDS

อนุสรณ์ วงศ์ษา¹ และ เวธิต ภาคย์พิสุทธิ²

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520 ประเทศไทย

¹62601094@kmitl.ac.th, ²watid.ph@kmitl.ac.th

Anusorn Wongsas¹ and Watid Phakphisut²

School of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand

¹62601094@kmitl.ac.th, ²watid.ph@kmitl.ac.th

วันรับบทความ วันที่ 4 กรกฎาคม 2564

วันแก้ไขบทความ วันที่ 14 สิงหาคม 2564

วันตอบรับบทความ วันที่ 17 สิงหาคม 2564

บทคัดย่อ

มาตรฐานการสื่อสารไร้สายยุคที่ 5 หรือมาตรฐาน 5G มีรหัสช่องสัญญาณที่ถูกเลือกใช้งานอยู่ 2 ชนิด ได้แก่ รหัสแอลดีพีซี (LDPC) ใช้ในช่องสัญญาณข้อมูล และรหัสโพลาร์ ใช้ในช่องสัญญาณควบคุม ทั้งนี้ รหัสโพลาร์ได้ให้สมรรถนะการแก้ไขบิตผิดพลาดที่ต่ำกว่ารหัสแอลดีพีซีกรณีข้อมูลที่ใช้สื่อสารมีขนาดสั้น จึงถูกเลือกใช้สำหรับช่องสัญญาณควบคุมในมาตรฐาน 5G ในบทความนี้จึงสนใจการศึกษาการเข้ารหัสโพลาร์ในมาตรฐาน 5G โดยบทความได้นำเสนอรายละเอียดของกระบวนการเข้ารหัสโพลาร์ตามมาตรฐาน 5G และอธิบายถึงเหตุผลและข้อกำหนดของการออกแบบกระบวนการเข้ารหัส นอกจากนี้บทความยังศึกษาถึงสมรรถนะของรหัสโพลาร์ตามมาตรฐาน 5G โดยทำการเปรียบเทียบสมรรถนะของรหัสโพลาร์สำหรับช่องสัญญาณอัปลิงก์และดาวนลิงก์ ที่มีความยาวคำรหัส ความยาวเพย์โหลด และอัตรารหัสที่เท่ากัน ภายใต้การถอดรหัสหากล้างต่อเนื่องแบบลิสต์ที่มีขนาดลิสต์ที่เท่ากัน ผลลัพธ์แสดงให้เห็นถึงรหัสสำหรับช่องสัญญาณอัปลิงก์ที่ให้สมรรถนะที่ดีกว่า ซึ่งอาจลดเซกซ์การสื่อสารที่สามารถถูกรบกวนด้วยสัญญาณรบกวนได้โดยง่าย

คำสำคัญ: 5G, รหัสโพลาร์, ช่องสัญญาณควบคุม, มาตรฐานการสื่อสารไร้สายในยุคที่ 5

ABSTRACT

The 5th generation of mobile communication (5G standard) has chosen two channel codes: low-density parity-check (LDPC) codes and polar codes, which are used in the data and control channels, respectively. Since the control channel uses the short-length data and polar codes have provided a better performance for the short-length data. Therefore, polar codes are selected for the control channel. In this work, we will provide a detail of polar encoding processes as it is specified in the 5G standard. This work also analyzes the 5G polar code performances for uplink and downlink communication channels with the same codeword length, payload length and code rate under successive cancellation list decoding at the same list size. According to the results, the 5G

polar code for uplink provides superior performance, which may compensate for the communication channel easily disrupted by noise.

KEYWORDS: 5G, polar code, control channel, 5th generation mobile communication standard

1. บทนำ

มาตรฐานการสื่อสารไร้สายยุคที่ 5 หรือมาตรฐาน 5G ถูกกำหนดโดยสมาคม 3rd generation partnership project หรือ 3GPP สมาคมดังกล่าวได้มีบทบาทในการกำหนดมาตรฐานการสื่อสารไร้สายตั้งแต่ช่วงปีพ.ศ. 2542 ซึ่งการสื่อสารไร้สายกำลังเริ่มเข้าสู่ยุคที่ 3 หรือ 3G ในช่วงเวลาดังกล่าว สมาคม 3GPP ได้จัดทำรายละเอียดเทคนิคหรือมาตรฐาน release 1999 (3rd Generation Partnership Project [3GPP], 1999) เพื่อเป็นแนวทางการพัฒนาอุปกรณ์สื่อสารไร้สายในยุคที่ 3 และในปีพ.ศ. 2550 การสื่อสารไร้สายได้เข้าสู่ยุคที่ 4 หรือ 4G สมาคม 3GPP ได้จัดทำมาตรฐาน release 8 (3rd Generation Partnership Project [3GPP], 2007) ซึ่งเป็นรากฐานสำคัญของการสื่อสารไร้สายที่มุ่งเน้นการสื่อสารข้อมูลความเร็วสูง ทั้งนี้ จะสังเกตได้ว่า การพัฒนามาตรฐานการสื่อสารไร้สายในยุค 3G ถือเป็นจุดเริ่มต้นของการใช้งานอุปกรณ์สมาร์ตโฟนที่สามารถสืบค้นข้อมูลในโลกอินเทอร์เน็ต ต่อมาในยุค 4G จัดเป็นยุคที่มีการใช้งานอุปกรณ์สมาร์ตโฟนอย่างแพร่หลาย เนื่องจากความเร็วในการเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตเพิ่มสูงขึ้น ทำให้ผู้ใช้งานสามารถดูวิดีโอความละเอียดสูง ดูการถ่ายทอดสดผ่านทางสมาร์ตโฟนได้ อีกทั้ง การบูรณาการระหว่างโครงข่ายการสื่อสารแบบมีสายและไร้สาย ทำให้อุปกรณ์สามารถเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตได้ตลอดเวลาและอย่างต่อเนื่อง

การใช้งานยุค 4G มุ่งเน้นการรองรับการเชื่อมต่อความเร็วสูงของอุปกรณ์สื่อสารจำพวกโทรศัพท์เคลื่อนที่เท่านั้น ทำให้ยุค 5G จึงมีเป้าหมายการเพิ่มรูปแบบการใช้งานมากขึ้น โดยหน่วยงานสหภาพโทรคมนาคมระหว่างประเทศ (international telecommunications union) หรือ ITU ได้กำหนดรูปแบบการใช้งานการสื่อสารไร้สายยุค 5G จำนวน 3 รูปแบบ (IMT-2020 TECH PERFREQ, 2016) รูปแบบแรกคือ enhanced mobile broadband หรือ eMBB ซึ่งมีลักษณะการใช้งานที่เน้นการสื่อสารที่มีความเร็วสูงมาก เช่น การส่งข้อมูลดิจิทัลขนาดใหญ่หรือการถ่ายทอดสัญญาณโทรทัศน์ผ่านโครงข่ายอินเทอร์เน็ต รูปแบบที่สองคือ massive machine type communications หรือ mMTC มีลักษณะการใช้งานที่ต้องการการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์หลากหลายชนิด เช่น อุปกรณ์ Internet of things หรือ IoT รูปแบบสุดท้ายคือ ultra-reliable and low latency communications หรือ URLLC มีลักษณะการใช้งานที่ต้องการการสื่อสารอย่างทันท่วงทีหรือ real-time เช่น รถยนต์ไร้คนขับหรือปฏิบัติการทางการแพทย์

ในปีพ.ศ. 2560 หน่วยงาน 3GPP ออกแบบมาตรฐาน release 15 (3rd Generation Partnership Project [3GPP], 2017) ซึ่งครอบคลุมถึงองค์ประกอบในการสื่อสารต่าง ๆ ทั้งระบบโครงข่าย การประมวลผลสัญญาณ และการเข้ารหัสข้อมูล โดยการออกแบบแต่ละองค์ประกอบ เพื่อให้บรรลุเป้าหมายการใช้งานทั้ง 3 รูปแบบ ตามที่กล่าวในข้างต้น หนึ่งในองค์ประกอบย่อยที่จะพูดถึงในบทความนี้ก็คือ การเข้ารหัสโพลาไรซ์ (polar encoding) สมาคม 3GPP ได้เลือกการเข้ารหัสช่องสัญญาณอยู่ 2 ชนิด ได้แก่ รหัสแอลดีพีซี (low-density parity-check code :LDPC) และรหัสโพลาไรซ์ (polar code) โดยมาตรฐานจะกำหนดเฉพาะกระบวนการเข้ารหัสเท่านั้น ทำให้ในภาครับสามารถออกแบบกระบวนการถอดรหัสรูปแบบใดก็ได้ ช่วยเพิ่มความความยืดหยุ่นสำหรับการพัฒนาอุปกรณ์ เช่น การเลือกใช้ตัวถอดรหัสที่มีความหน่วงต่ำสำหรับการใช้งานการสื่อสารอย่างทันท่วงทีหรือ URLLC การเลือกใช้ตัวถอดรหัสที่มีความซับซ้อนต่ำ สำหรับการใช้งานบนอุปกรณ์ราคาถูกหรือ mMTC การสื่อสารยังสามารถแบ่งเป็นช่องสัญญาณข้อมูล (data channel) ซึ่งใช้ส่งข้อมูลของผู้ใช้งาน และช่องสัญญาณควบคุม (control channel) ที่ใช้ส่งข้อมูลสำหรับการควบคุมการสื่อสาร เช่น คุณภาพของช่องสัญญาณ การจัดการทรัพยากร และอื่น ๆ รหัสโพลาไรซ์ได้ถูกเลือกให้ใช้ในช่องสัญญาณควบคุม เนื่องจากรหัสโพลาไรซ์ให้สมรรถนะที่ดีกว่ารหัสแอลดีพีซีสำหรับข้อมูลขนาดสั้น ซึ่งเป็นขนาดข้อมูลที่ใช้ในช่องสัญญาณควบคุม ส่วนรหัสแอลดีพีซีถูกเลือกให้ใช้งานสำหรับช่องสัญญาณข้อมูล เนื่องจากรหัสแอลดีพีซีให้สมรรถนะที่ดีกว่ารหัสโพลาไรซ์สำหรับข้อมูลขนาดยาว และสามารถรองรับการส่งข้อมูลซ้ำด้วยวิธี incremental redundancy-hybrid automatic repeat request หรือ IR-HARQ ซึ่งเป็นการส่งข้อมูลซ้ำใน

กรณีที่เกิดการสื่อสารเกิดความผิดพลาด โดยการใช้ IR-HARQ จะใช้การส่งข้อมูลเพิ่มเติมเพียงเล็กน้อย ซึ่งเป็นเทคนิคที่สำคัญที่ช่วยเพิ่มทราฟฟิคสำหรับการใช้งาน eMBB ของมาตรฐาน 5G

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1) บทความมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษากระบวนการเข้ารหัสโพลาร์มาตรฐาน 5G ซึ่งประกอบไปด้วย 11 ขั้นตอนหลัก
- 2) ศึกษาสมรรถนะของรหัสโพลาร์มาตรฐาน 5G ในช่องสัญญาณรบกวนเกาส์เซียนขาวบวก (additive white Gaussian noise :AWGN) และสัญญาณถูกมอดูเลตแบบ binary phase shift keying หรือ BPSK

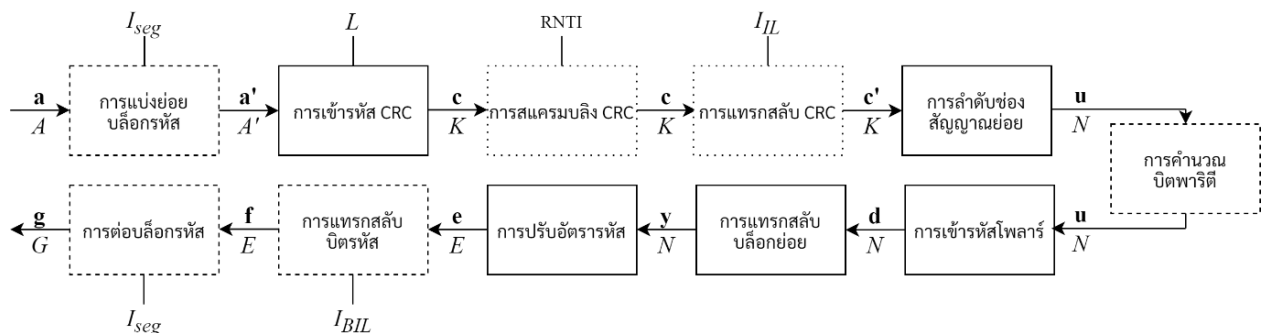
3. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

3.1 ภาพรวมการเข้ารหัสโพลาร์มาตรฐาน 5G

การเข้ารหัสช่องสัญญาณในมาตรฐาน 5G ประกอบด้วยการเข้ารหัสแอลดีพีซี รหัสโพลาร์ และรหัสสลับ ซึ่งรหัสดังกล่าวจะถูกใช้ในช่องสัญญาณสื่อสารที่ต่างกันดังตารางที่ 1 พิจารณาการเข้ารหัสโพลาร์จะพบว่ามีการใช้งานในช่องสัญญาณ broadcast channel (BCH) downlink control information (DCI) ซึ่งจัดได้เป็นช่องสัญญาณดาวนลิงก์ (downlink) และ uplink control information (UCI) ซึ่งจัดได้เป็นช่องสัญญาณอัปลิงก์ (uplink) รูปที่ 1 แสดงขั้นตอนการเข้ารหัสโพลาร์มาตรฐาน 5G ตามเอกสาร 3GPP TS 38.212 (3GPP, 2017)

ตารางที่ 1 การเข้ารหัสช่องสัญญาณของแต่ละประเภทช่องสัญญาณ

ช่องสัญญาณข้อมูล (data channel)	การเข้ารหัสช่องสัญญาณ
uplink shared channel (UL-SCH)	รหัสแอลดีพีซี
downlink shared channels (DL-SCH)	
paging channel (PCH)	
broadcast channel (BCH)	รหัสโพลาร์
ช่องสัญญาณควบคุม (control channel)	การเข้ารหัสช่องสัญญาณ
downlink control information (DCI)	รหัสโพลาร์
uplink control information (UCI)	



รูปที่ 1 กระบวนการเข้ารหัสโพลาร์มาตรฐาน 5G โดยขั้นตอนในกล่องเส้นทึบจะถูกใช้งานในทุกช่องสัญญาณ
กล่องเส้นประจะถูกใช้งานเฉพาะช่องสัญญาณ UCI และกล่องเส้นประจุดใช้งานเฉพาะช่องสัญญาณ BCH และ DCI

จากรูปที่ 1 กระบวนการเข้ารหัสกรณีช่องสัญญาณ uplink จะมีกระบวนการที่เพิ่มเติมจากกรณีช่องสัญญาณดาวนลิงก์ ได้แก่ การแบ่งย่อยบล็อกรหัส (code block segmentation) การคำนวณพาริตี (parity calculation) การแทรกสลับบิตรหัส (coded bit interleaving) และการต่อบล็อกรหัส (code block concatenation) และกรณีช่องสัญญาณดาวนลิงก์ จะมีกระบวนการเกี่ยวกับการตรวจสอบด้วยส่วนซ้ำซ้อนแบบวน (cyclic redundancy check) หรือ CRC เพิ่มเติม เช่น กระบวนการสแครมเบิล CRC (CRC scrambling) และการแทรกสลับ CRC (CRC interleaving) เพิ่มเติมจากกรณีช่องสัญญาณอัปลิงก์ กระบวนการเข้ารหัสจะทำงานตามค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ แทนตัวแปรเวกเตอร์ด้วยตัวอักษรหนาและแทนค่าคงที่หรือตัวแปรสเกลาร์ด้วยตัวอักษรบางเอียง ซึ่งพารามิเตอร์ที่สำคัญสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 2 โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1) เพย์โหลด (payload) แทนด้วย a และความยาวเพย์โหลดแทนด้วย A มีความยาวสูงสุด $A \leq 1706$

2) การเข้ารหัส CRC ในช่องสัญญาณ UCI ใช้พหุนาม g_{CRC6} ความยาว $L = 6$ บิตและ g_{CRC11} ความยาว $L = 11$ บิตและช่องสัญญาณ DCI ใช้พหุนาม g_{CRC24C} ความยาว $L = 24$ บิต

ตารางที่ 2 พารามิเตอร์ของรหัสโพลาร์สำหรับช่องสัญญาณต่าง ๆ (Bioglio, Condo, & Land, 2020)

		UCI				DCI	BCH
		$A > 20$		$12 \leq A \leq 19$			
		$(A \geq 1013) \vee$ $(A \geq 360 \wedge G \geq 1088)$	$(A < 360) \vee$ $(A < 1013 \wedge G < 1088)$	$E - A \leq 175$	$E - A > 175$		
เลขชี้กำลังสูงสุดความยาวคำรหัสแม่	$n_{\max}$	10				9	
ตัวบ่งชี้การแทรกสลับ CRC	I_{IL}	0				1	
ตัวบ่งชี้การแทรกสลับบิตรหัส	I_{BIL}	1				0	
ตัวบ่งชี้การแบ่งย่อยบล็อกรหัส	I_{seg}	1	0			0	
ความยาวเพย์โหลดขาเข้าสูงสุด	$A_{\max}$	1706				140	32
ความยาวเพย์โหลดขาเข้าต่ำสุด	$A_{\min}$	12				1	32
ความยาวบิต CRC	L	11		6		24	
ความยาวบิตพาริตีตรวจสอบ	n_{PC}	0		3		0	
ความยาวบิตพาริตีตรวจสอบโดยเลือกจากน้ำหนักแถวที่ต่ำสุด	n_{PC}^{wm}	0		0	1	0	

3) บิตข้อมูลที่ถูกระบุดำเนินการเข้ารหัสโพลาร์จะมีขนาดเท่ากับ K บิต ประกอบไปด้วยเพย์โหลดขาเข้า บิต CRC รวมถึงบิตพาริตี โดยที่ $K < N$ บิต

4) ความยาวคำรหัสแม่ (mother code length) มีขนาดเท่ากับ $N = 2^n$ บิต ซึ่งค่า n จะถูกคำนวณโดยสมการที่ 1

$$n = \max(\min(n_1, n_2, n_{\max}), n_{\min}) \quad (1)$$

โดยช่องสัญญาณดาวนลิงก์ จะมีค่า $n_{\min} = 5$ และ $n_{\max} = 9$ สำหรับช่องสัญญาณอัปลิงก์ จะมีค่า $n_{\min} = 5$ และ $n_{\max} = 10$ สำหรับ n_1 และ n_2 คำนวณได้จากสมการที่ 2 และ 3

$$n_1 = \begin{cases} \lfloor \log_2 E \rfloor & \text{หาก } E \leq (9/8) \cdot 2^{\lfloor \log_2 E \rfloor} \text{ และ } K/E < 9/16 \\ \lceil \log_2 E \rceil & \text{อื่น ๆ} \end{cases} \quad (2)$$

$$n_2 = \lceil \log_2 (K/R_{\min}) \rceil \quad \text{โดยที่ } R_{\min} = 1/8 \quad (3)$$

5) ความยาว E บิต คือความยาวคำรหัสหลังดำเนินการปรับอัตรารหัส เพื่อให้ได้อัตรารหัส R ที่ต้องการ โดยความยาวสูงสุดมีค่าเท่ากับ $E \leq 8192$ บิต

6) อัตรารหัส $R = A/E$ คืออัตราส่วนระหว่างความยาวเพย์โหลดขาเข้าต่อความยาวคำรหัสที่ผ่านการปรับอัตรารหัส

7) ความยาว U คือจำนวนบิตที่ตัดออกกรณีการปรับอัตรารหัสด้วยการฟังก์ชันเซอร์ (puncturing) และการชอร์ตเทน (shortening) ซึ่งจะอธิบายในหัวข้อ 3.2.9

8) ตำแหน่งบิตแช่แข็ง (frozen bit) ที่ต้องคำนวณเพิ่มเติม เมื่อใช้การปรับอัตรารหัสด้วยการฟังก์ชันเซอร์จะมีความยาว T บิต หากเป็นวิธีการชอร์ตเทนจะมีความยาว U บิต

9) ความยาวบิตข้อมูลและบิตแช่แข็งจะแทนด้วย $|Q_I|$ และ $|Q_F|$ ตามลำดับ โดยให้ n_{PC} คือความยาวบิตพาริตี

3.2 รายละเอียดกระบวนการเข้ารหัสโพลาร์มาตรฐาน 5G

3.2.1 การแบ่งย่อยบล็อกรหัส

การแบ่งย่อยบล็อกรหัสเป็นการแบ่งข้อมูลเพย์โหลด a ออกเป็น 2 ส่วน เพื่อทำการเข้ารหัสแยกกัน ไม่ให้เกิดความซับซ้อนในการเข้ารหัสมากเกินไป โดยความซับซ้อนในการถอดรหัสจะเพิ่มขึ้นตามความยาวคำรหัส โดยความยาวคำรหัสในช่องสัญญาณ UCI จะมากกว่าช่องสัญญาณอื่น ๆ เนื่องจากช่องสัญญาณ UCI จำเป็นต้องส่งข้อมูลคุณภาพช่องสัญญาณจากอุปกรณ์ของผู้ใช้ (user equipment) หรือ UE ขึ้นไปยัง radio access network หรือ RAN ซึ่งจัดเป็นข้อมูลที่มีขนาดใหญ่

กรณีช่องสัญญาณ UCI และมีเงื่อนไข $(A \geq 360 \wedge E \geq 1088) \vee A \geq 1013$ กระบวนการแบ่งย่อยบล็อกรหัสจะทำงาน โดยกำหนดตัวบ่งชี้การแบ่งย่อยบล็อกรหัส $I_{seg} = 1$ นอกจากนั้นกำหนดให้ $I_{seg} = 0$ เวกเตอร์ $\mathbf{a}$ ความยาว A จะถูกแบ่งเป็น 2 เวกเตอร์ $\mathbf{a}'$ ความยาว $A' = A/2$ หากความยาว A เป็นจำนวนคี่ เวกเตอร์ $\mathbf{a}'$ จะถูกแบ่งเป็น 2 เวกเตอร์ โดยเวกเตอร์ $\mathbf{a}'$ ชุดแรกมีความยาว $\lfloor A/2 \rfloor$ บิต และเติมบิต 0 ไว้ด้านหน้า เวกเตอร์ $\mathbf{a}'$ ชุดที่สองมีความยาว $\lceil A/2 \rceil$ บิต

สำหรับช่องสัญญาณ BCH และ DCI และกรณีอื่น ๆ กระบวนการนี้จะไม่ทำงานและกำหนดให้ $I_{seg} = 0$ เวกเตอร์ $\mathbf{a}$ จะผ่านไปยังกระบวนการเข้ารหัส CRC ถัดไป

3.2.2 การเข้ารหัส CRC

การเข้ารหัส CRC จะทำการคำนวณบิต CRC จำนวน L บิต จากนั้นจะนำบิต CRC ที่คำนวณได้ต่อท้ายกับเวกเตอร์ $\mathbf{a}$ ความยาว A จากอินพุต (หรือ $\mathbf{a}'$ ความยาว A' ในกรณีที่ $I_{seg} = 1$) โดยจะได้เวกเตอร์ $\mathbf{c}$ ที่มีความยาว $K = A + L$ (หรือ $\mathbf{c}'$ ความยาว $K = A' + L$ ในกรณีที่ $I_{seg} = 1$) การคำนวณบิต CRC ในมาตรฐาน 5G จะใช้พหุนามกำเนิด (generator polynomial) ตาม (3GPP, 2017, หัวข้อที่ 5.1) ประกอบด้วยพหุนาม g_{CRC6} g_{CRC11} และ g_{CRC24C} สำหรับรหัสโพลาร์

รหัสโพลาร์ที่มีรหัส CRC สามารถเพิ่มสมรรถนะของรหัสโพลาร์ได้อย่างมีนัยสำคัญ โดยการถอดรหัสโพลาร์ด้วยตัวถอดรหัสหักล้างต่อเนื่องแบบลิส (successive cancellation list) หรือ SCL (Tal & Vardy, 2015) (Niu & Chen, 2012) จะทำงานร่วมกับรหัส CRC โดยจะช่วยเลือกบิตจากการถอดรหัสแบบลิส ช่วยลดความผิดพลาดของตัวถอดรหัสได้อย่างมาก

กรณีช่องสัญญาณ UCI จะใช้พหุนาม g_{CRC6} ในการคำนวณบิต CRC ความยาว $L=6$ บิต กรณีที่เวกเตอร์ $\mathbf{a}$ มีความยาว $12 \leq A \leq 19$ หากเป็นกรณี $A \geq 20$ จะใช้พหุนาม g_{CRC11} ในการคำนวณบิต CRC ความยาว $L=11$ บิต ได้ผลลัพธ์เป็นเวกเตอร์ $\mathbf{c}$

กรณีช่องสัญญาณ BCH พหุนามที่ใช้คำนวณบิต CRC คือ g_{CRC24C} ซึ่งจะได้บิต CRC ความยาว $L=24$ บิต เวกเตอร์ $\mathbf{a}$ ความยาว $A=A_{\min}=A_{\max}=32$ บิต จะถูกสแครมเบิลก่อนหน้ากระบวนการเข้ารหัสช่องสัญญาณ โดยการสแครมเบิลคือการนำสองเวกเตอร์มาทำกระบวนการเอ็กซ์คลูซีฟออร์ จากนั้นจะเข้ารหัส CRC ตามปกติ ซึ่งจะได้ผลลัพธ์เป็นเวกเตอร์ $\mathbf{c}$ ความยาว $K=56$ บิต

กรณีช่องสัญญาณ DCI พหุนามที่ใช้คำนวณ CRC คือ g_{CRC24C} ซึ่งจะได้บิต CRC ความยาว $L=24$ บิต การเข้ารหัส CRC จะแตกต่างจากการเข้ารหัส CRC แบบทั่วไป โดยตัวตั้งของการคำนวณ CRC จะนำเวกเตอร์ 1 ขนาดเท่ากับ ความยาวของบิต CRC ไว้ด้านหน้าและตามด้วยเวกเตอร์ $\mathbf{a}$ ความยาว A บิต (ซึ่งต่างจากวิธีทั่วไปที่จะนำเวกเตอร์ $\mathbf{a}$ ไว้ด้านหน้าและตามหลังด้วยเวกเตอร์ 0 ขนาดเท่ากับ ความยาวบิต CRC) เมื่อคำนวณบิต CRC จะนำบิต CRC ต่อด้านหลังเวกเตอร์ $\mathbf{a}$ ตามปกติ เวกเตอร์ $\mathbf{a}$ สามารถมีความยาวตั้งแต่ $A_{\min}=1$ ถึง $A_{\max}=140$ ซึ่งจะได้ผลลัพธ์เป็นเวกเตอร์ $\mathbf{c}$

3.2.3 การสแครมเบิล CRC

เวกเตอร์ $\mathbf{c}$ จากกระบวนการก่อนจะถูกสแครมเบิลเพื่อให้มีคุณสมบัติ (blind detection หรือ blind decoding) (Condo, Hashemi, & Gross, 2017) ของการส่งข้อมูลระหว่าง radio access network (RAN) และอุปกรณ์ผู้ใช้งาน (user equipment: UE) ในการส่งข้อมูลควบคุมผ่านช่องสัญญาณ DCI อุปกรณ์ฝั่ง RAN จะไม่มีการใส่ข้อมูลส่วนหัว (header) เพื่อระบุตัวตนของอุปกรณ์ผู้ใช้งาน แต่จะมีการสแครมเบิลด้วยรหัสเฉพาะตัว ซึ่งเป็นรหัสเฉพาะตัวของอุปกรณ์ที่ต้องการสื่อสาร จากนั้นอุปกรณ์ RAN จะส่งข้อมูลไปยังอุปกรณ์ผู้ใช้งาน จากนั้นอุปกรณ์ของผู้ใช้งานจะทำการถอดรหัสข้อมูลแบบ blind detection การสแครมเบิลจะทำให้ข้อมูลที่ไมตรงกันกับอุปกรณ์ที่ต้องการสื่อสารมีโอกาสถอดรหัสผิดพลาด และข้อมูลที่ตรงกับอุปกรณ์ที่ต้องการสื่อสารสามารถถอดรหัสถูกต้อง ซึ่งรหัสเฉพาะดังกล่าวจะถูกกำหนดโดย radio network temporary identifier (RNTI) โดยเทคนิค blind detections ดังกล่าวมีการใช้งานตั้งแต่มาตรฐาน 4G

กรณีช่องสัญญาณ DCI เวกเตอร์ $\mathbf{a}$ ที่มีการเข้ารหัส CRC 24 บิต $\mathbf{c}_{A+8}^{A+L-1}$ (บิต CRC 16 บิตท้ายสุด) จะถูกสแครมเบิลด้วยบิต RNTI ความยาวที่เท่ากัน 16 บิต ซึ่งบิต RNTI จะถูกเลือกจากประเภทของช่องสัญญาณและประเภทหน้าที่ของข้อมูล สำหรับช่องสัญญาณ BCH และ UCI กระบวนการสแครมเบิลนี้จะไม่ทำงาน โดยเวกเตอร์ $\mathbf{c}$ จะส่งต่อไปยังกระบวนการแทรกสลับ CRC ในลำดับถัดไป

3.2.4 การแทรกสลับ CRC

เวกเตอร์ $\mathbf{c}$ ที่ผ่านกระบวนการก่อนหน้าจะถูกแทรกสลับตามลำดับ (3GPP, 2017, ดังตารางที่ 5.3.1.1-1) เพื่อลดระยะเวลาในการถอดรหัสด้วยเทคนิค early termination (Chen, Chen, Jayasinghe, Du, & Tan, 2017) ซึ่งจะหยุดการถอดรหัสระหว่างทาง หากพบความผิดพลาดระหว่างการถอดรหัส

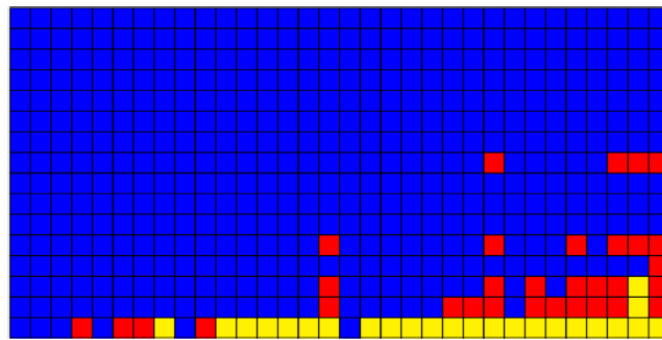
กรณีช่องสัญญาณ BCH และ DCI กระบวนการนี้จะทำงานและกำหนดให้ $I_L=1$ เนื่องจากเวกเตอร์ $\mathbf{a}$ สามารถมีความยาวได้หลากหลาย ดังนั้นเวกเตอร์ $\mathbf{c}$ จึงไม่จำเป็นต้องมีขนาดเท่ากับ $K_L^{\max}=164$ บิต วิธีการแทรกสลับจะนำเวกเตอร์ $\mathbf{c}$ ต่อท้ายด้วยบิตว่าง (null) จนมีความยาวเท่ากับ $K_L^{\max}$ จากนั้นทำการแทรกสลับตามลำดับตามเอกสาร (3GPP, 2017, ดังตารางที่ 5.3.1.1-1) และนำ

บิตว่างออกจากเวกเตอร์แทรกสลับเพื่อจะได้ผลลัพธ์เป็นเวกเตอร์ c' สำหรับช่องสัญญาณ UCI กระบวนการนี้จะไม่ทำงานและกำหนดให้ $I_{LL} = 0$ เวกเตอร์ c จะผ่านไปยังกระบวนการลำดับถัดไป

3.2.5 การลำดับช่องสัญญาณย่อย

ระบบจะทำการสร้างรหัสโพลาร์ ซึ่งเป็นเวกเตอร์ u ความยาว N บิต โดยการเลือกตำแหน่งของบิตซ้ำแข็ง Q_F และบิตข้อมูล Q_I บิตข้อมูลหรือเวกเตอร์ c (หรือ c') จากกระบวนการก่อนจะถูกวางไว้ในตำแหน่งบิตข้อมูล ส่วนตำแหน่งบิตซ้ำแข็งจะถูกกำหนดค่าเป็นบิต 0 การเลือกความยาว N จะมีใช้สมการที่ 1 2 และ 3 โดยจะเลือกค่า n สุดท้ายเพื่อให้ได้ความยาว $N = 2^n$ การเลือกตำแหน่งของบิตซ้ำแข็งจะสอดคล้องกับเงื่อนไขการปรับอัตราหัส รูปที่ 2 แสดงตัวอย่างการลำดับช่องสัญญาณย่อยของช่องสัญญาณ BCH ซึ่งสามารถมีความยาว A หรือ K ได้เพียงค่าเดียวตามตารางที่ 2

การเลือกลำดับช่องสัญญาณจากพิจารณาจากการปรับอัตราหัสและลำดับความน่าเชื่อถือช่องสัญญาณ โดยลำดับความน่าเชื่อถือของช่องสัญญาณจะเป็นลำดับคองที่ (He et al., 2017) ซึ่งแตกต่างจากรหัสโพลาร์ทั่วไปที่ลำดับความน่าเชื่อถือของช่องสัญญาณแตกต่างกันออกไปในแต่ละคุณภาพช่องสัญญาณหรือสัญญาณรบกวน ข้อดีของลำดับความน่าเชื่อถือช่องสัญญาณที่เป็นลำดับคองที่จะช่วยลดความซับซ้อนในการเข้ารหัสโพลาร์ได้เป็นอย่างมาก



รูปที่ 2 ตัวอย่างการลำดับช่องสัญญาณย่อยสำหรับช่องสัญญาณ BCH ของเวกเตอร์ c' ความยาว $K = 56$ และเวกเตอร์ u ความยาว $N = 2^n = 512$ โดยการปรับอัตราหัส $E = N$ สี่น้ำเงิน สีแดงและสีเหลืองคือบิตซ้ำแข็ง บิตข้อมูลและบิต CRC ตามลำดับ

1) การเลือกตำแหน่งบิตซ้ำแข็งสำหรับทุกช่องสัญญาณ สรุปขั้นตอนได้ 2 ขั้นตอนดังนี้

1.1) เลือกตำแหน่งบิตซ้ำแข็งสำหรับการปรับอัตราหัส หาก $K/E \leq 7/16$ จะปรับอัตราหัสด้วยการฟังก์เจอร์ ซึ่งจะกำหนดบิตซ้ำแข็งที่ T ตำแหน่งแรก ในกรณีอื่นจะปรับอัตราหัสด้วยการช็อดเทน ซึ่งจะกำหนดบิตซ้ำแข็งที่ $U = N - E$ ตำแหน่งสุดท้าย T คำนวณได้ดังสมการที่ 4

$$T = \begin{cases} \left\lceil \frac{3}{4}N - \frac{E}{2} \right\rceil - 1 & \text{หาก } E \geq \frac{3}{4}N \\ \left\lceil \frac{9}{16}N - \frac{E}{4} \right\rceil - 1 & \text{อื่น ๆ} \end{cases} \quad (4)$$

สาเหตุที่ใช้ความยาว T เพิ่มเติมจาก U เพื่อป้องกันไม่ให้บิตข้อมูลถูกฟังก์เจอร์ไปในการปรับอัตราหัส

1.2) หากจำนวนบิตซ้ำแข็งสำหรับการปรับอัตราหัสยังมีขนาดไม่เกินจำนวนบิตซ้ำแข็งที่ควรมี จะทำการกำหนดตำแหน่งบิตซ้ำแข็งเพิ่มเติมตามจำนวนที่เหลือและกำหนดตามลำดับความน่าเชื่อถือช่องสัญญาณตามเอกสาร (3GPP, 2017, ดังตารางที่ 5.3.1.2-1) ซึ่งสามารถสรุปขั้นตอนการเลือกตำแหน่งบิตซ้ำแข็งตามลำดับความน่าเชื่อถือได้ 2 ขั้นตอนดังนี้

1.2.1) เลือกลำดับช่องสัญญาณ Q จากต่ำ (ค่าน้อย) ไปสูง (ค่ามาก) (ลำดับตามตารางไม่จำเป็นต้องติดกัน) ตามความยาวคาร์หัสแม่ N ซึ่งจะได้ลำดับความน่าเชื่อถือ $w(Q)$ ที่คู่กับลำดับช่องสัญญาณ

1.2.2) ตำแหน่งของบิตแชนจ์จะอยู่ในตำแหน่งของช่องสัญญาณที่คู่กับลำดับความน่าเชื่อถือที่ต่ำที่สุดตามจำนวนบิตแชนจ์ $|Q_F|$ ที่ต้องการ

2) การเลือกจำนวนช่องสัญญาณย่อย

กรณีช่องสัญญาณ UCI ที่มีเงื่อนไข $12 \leq A \leq 19$ จะมีการใช้งานบิตพาริตี ซึ่งตำแหน่งของบิตพาริตี Q_{PC} จะถูกแทรกไปในบิตข้อมูลจำนวน $n_{PC} = 3$ บิต หากรหัสมีเงื่อนไข $E - A \leq 175$ จะเลือกจากตำแหน่งที่ลำดับความน่าเชื่อถือต่ำที่สุด 3 บิตตามเอกสาร (3GPP, 2017, ดังตารางที่ 5.3.1.2-1) ภายในตำแหน่งของบิตข้อมูล แต่หากรหัสมีเงื่อนไข $E - A > 175$ จะเลือกจากตำแหน่งที่ลำดับความน่าเชื่อถือต่ำที่สุดเพียง 2 บิต โดยอีก 1 บิตพาริตีจะเลือกตำแหน่งจากตำแหน่งที่มีน้ำหนักแถวของเมทริกซ์ G_N ต่ำที่สุด ซึ่งหากมีตำแหน่งดังกล่าวมากกว่าหนึ่งตำแหน่ง จะเลือกตำแหน่งดังกล่าวที่ความน่าเชื่อถือสูงที่สุดด้วย ทำให้จำนวนของบิตแชนจ์จะลดลงเหลือ $|Q_F| = N - (K + 3)$

สำหรับช่องสัญญาณ BCH DCI และ UCI ที่มีเงื่อนไข $A \geq 20$ จะไม่ใช้งานบิตพาริตี ซึ่งจะเลือกบิตแชนจ์ตามจำนวน $|Q_F| = N - K$

3.2.6 การคำนวณบิตพาริตี

กรณีช่องสัญญาณ UCI หากช่องสัญญาณ UCI มีการใช้งานบิตพาริตี (Zhang et al., 2018) หลังจากการเลือกตำแหน่งของบิตพาริตีจำนวน 3 บิตแล้ว การคำนวณบิตพาริตีสามารถทำได้โดยใช้ปริมาตรวนซ้ำขนาด 5 บิต โดยตั้งค่าบิตเริ่มต้นเป็นบิต 0 โดยบิตพาริตีจะคำนวณโดยการเอ็กซ์คลูซีฟกับบิตลำดับหน้าเว้นครั้งละ 5 บิต โดยทำกระบวนการเอ็กซ์คลูซีฟเฉพาะบิตข้อมูลซึ่งไม่รวมบิตพาริตีลำดับก่อนและไม่รวมบิตแชนจ์ สามารถสรุปการคำนวณบิตพาริตี u_i ได้ดังสมการที่ 5

$$u_i = \bigoplus_{j=\lfloor i_{PC}/5 \rfloor}^{q-1} u_{5j+p} \quad (5)$$

โดยที่ $q = \lfloor i/5 \rfloor$ $p = \text{mod}(i, 5)$ และ $i_{PC} \in Q_{PC}$ คือค่าตำแหน่งบิตพาริตีสูงสุดที่น้อยกว่า i เมื่อ $\text{mod}(i_{PC}, 5) = p$ หากไม่มีค่าของตำแหน่งพาริตีจะกำหนดให้ $i_{PC} = 0$ จากนั้นเวกเตอร์ $\mathbf{u}$ จะถูกส่งผ่านไปยังกระบวนการเข้ารหัสโพลาร์ในลำดับถัดไป

สำหรับช่องสัญญาณ BCH และ DCI กระบวนการนี้จะไม่ทำงาน เวกเตอร์ $\mathbf{u}$ จากกระบวนการก่อนหน้าจะถูกส่งผ่านไปยังกระบวนการเข้ารหัสโพลาร์ในลำดับถัดไป

3.2.7 การเข้ารหัสโพลาร์

การเข้ารหัสโพลาร์ (Arıkan, 2009, pp 3051-3073) สามารถดำเนินการทางคณิตศาสตร์โดยสมการที่ 6

$$\mathbf{d} = \mathbf{uG}_N \quad (6)$$

โดยที่เมทริกซ์กำเนิด (generator matrix) แทนด้วย $\mathbf{G}_N = \mathbf{G}_2^{\otimes n}$ เป็นผลคูณไครเน็กเกอร์ (Kronecker product) และ $\mathbf{G}_2 = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 1 & 1 \end{bmatrix}$

มีนัยคือ $\mathbf{u}$ ความยาว N บิต เมื่อดำเนินการเข้ารหัสจะได้ผลลัพธ์เป็นคาร์หัสแม่ $\mathbf{d}$ ความยาว N ในทางปฏิบัติสามารถดำเนินการได้โดยตัวดำเนินการเอ็กซ์คลูซีฟ โครงสร้างการเข้ารหัสสามารถขยายได้ในลักษณะเรียกซ้ำ (recursive) จำนวนสองเท่าได้เรื่อย ๆ ซึ่งเป็นสาเหตุที่ความยาวคาร์หัสแม่ต้องมีขนาด $N = 2^n$ บิต

3.2.8 การแทรกสลับบล็อกย่อย

เวกเตอร์ $\mathbf{d}$ ความยาว N บิต จากกระบวนการก่อนหน้าจะถูกแบ่งเป็น 32 บล็อกย่อย แต่ละบล็อกย่อยมีความยาวเท่ากับ $N/32$ บิต กำหนดให้แทนลำดับบิตในการแทรกสลับด้วย $J(j)$ ผลลัพธ์จะได้เวกเตอร์ $\mathbf{y}$ ความยาว N บิต โดยที่ $y_j = d_{J(j)}$ และ $j = 0, 1, \dots, N-1$ สามารถคำนวณลำดับบิตของการแทรกสลับดังสมการที่ 7

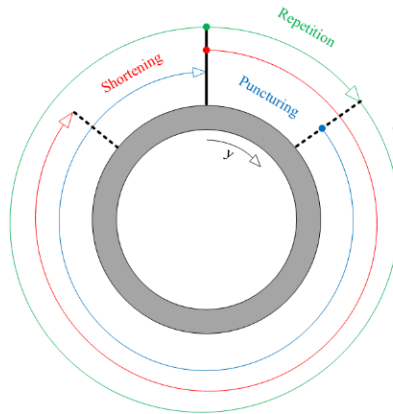
$$J(j) = \left(P \left(\left\lfloor 32 \frac{j}{N} \right\rfloor \right) \cdot \frac{N}{32} \right) + \text{mod} \left(j, \frac{N}{32} \right) \quad (7)$$

ลำดับการแทรกสลับ $P(i)$ แสดงในเอกสาร (3GPP, 2017, ตารางที่ 5.4.1.1-1) การแทรกสลับเกิดขึ้นเพื่อเรียงลำดับบิตในเวกเตอร์ $\mathbf{d}$ ความยาว N บิต เพื่อให้มั่นใจว่าบิตที่สำคัญยังคงอยู่หลังจากการตัดบิตออกในขั้นตอนการปรับอัตราหัส (Samsung, 2017)

3.2.9 การปรับอัตราหัส

การปรับอัตราหัสถูกกำหนดโดยค่ารหัส $\mathbf{e}$ ที่มีความยาว E บิต ซึ่งเป็นความยาวที่ถูกกำหนดจากการสื่อสารชั้นถัดไป กระบวนการนี้จะทำการตัดบิตออกจากเวกเตอร์ $\mathbf{y}$ ในกรณีที่ใช้การปรับอัตราหัสด้วยวิธีการพังก์เจอร์หรือการช็อตเทน หรือส่งบิตเวกเตอร์ $\mathbf{y}$ เข้าในกรณีที่ใช้การส่งซ้ำ รายละเอียดของการปรับอัตราหัสทั้ง 3 รูปแบบ สรุปได้ดังรูปที่ 3 โดยมีรายละเอียดดังนี้

1) การพังก์เจอร์ (puncturing) จะทำเมื่อ $E < N$ และ $K/E \leq 7/16$ โดยจะไม่ทำการส่งบิต $U = N - E$ แรก จะได้ผลลัพธ์เวกเตอร์ $\mathbf{e}$ ที่ความยาว E โดยที่ $e_i = y_{i+U}$ และ $i = 0, 1, \dots, E-1$



รูปที่ 3 บัฟเฟอร์วงกลมสำหรับการปรับอัตราหัส โดยให้วงกลมสีเทาเป็นความยาวของเวกเตอร์ $\mathbf{y}$ และลูกศรสีต่าง ๆ เป็นเวกเตอร์ $\mathbf{e}$ ที่จะเลือกบิตในเวกเตอร์ $\mathbf{y}$ ส่งไปยังกระบวนการถัดไป (Bioglio et al., 2020)

2) การช็อตเทน (shortening) จะทำเมื่อ $E < N$ และ $K/E > 7/16$ โดยจะไม่ทำการส่งบิต $U = N - E$ สุดท้าย จะได้ผลลัพธ์เวกเตอร์ $\mathbf{e}$ ที่ความยาว E โดยที่ $e_i = y_i$ และ $i = 0, 1, \dots, E-1$

3) การส่งซ้ำ (repetition) จะทำเมื่อ $E > N$ โดยจะส่งบิต $U = N - E$ แรกซ้ำ จะได้ผลลัพธ์เวกเตอร์ $\mathbf{e}$ ที่ความยาว E โดยที่ $e_i = y_{\text{mod}(i, N)}$ และ $i = 0, 1, \dots, E-1$

3.2.10 การแทรกสลับบิตรหัส

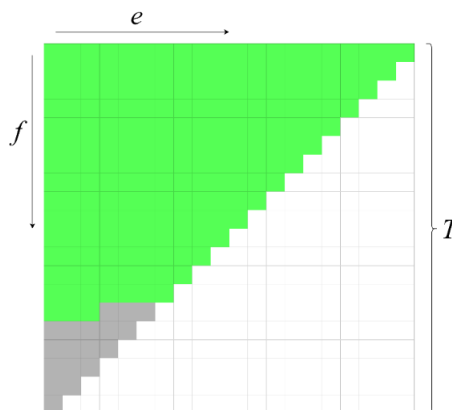
ก่อนการนำรหัสที่ผ่านการปรับอัตรารหัสส่งไปยังการสื่อสารชั้นถัดไปเพื่อทำการมอดูเลชัน เวกเตอร์ **e** จะถูกแทรกสลับอีกครั้งโดยการแทรกสลับแบบสามเหลี่ยมขั้นบันได การแทรกสลับนี้ถือมีความสำคัญเนื่องจากสามารถทำให้มีอัตราบิตผิดพลาดลดลงในการมอดูเลชันลำดับสูง (Chen, Niu, & Lin, 2013)

กรณีช่องสัญญาณ UCI การแทรกสลับจะทำงานและกำหนดให้ I_{BIL} รูปแบบการแทรกสลับจะสร้างจากโครงสร้างสามเหลี่ยมขั้นบันไดที่มีความกว้าง-ยาวขนาด $T \times T$ ดังรูปที่ 4 โดย T จะมีความยาวเท่ากับจำนวนเต็มค่าน้อยสุดที่ทำให้ $T(T+1)/2 \geq E$ เวกเตอร์ **e** แต่ละบิตจะถูกเขียนลงในโครงสร้างสามเหลี่ยมสามเหลี่ยมคว่ำดังรูปที่ 4 จากซ้ายไปขวาและมีทิศทางจากบนลงล่าง จากนั้นจะสร้างรหัสที่ผ่านการแทรกสลับบิตรหัส **f** โดยการอ่านค่าจากโครงสร้างสามเหลี่ยมจากทิศทางบนลงล่างและมีทิศทางจากซ้ายไปขวา ส่วนที่ว่างของโครงสร้างสามเหลี่ยมสามารถแทนค่าด้วย null ทำให้สามารถเขียนการแทรกสลับบิตรหัสได้ดังสมการที่ 8

$$v_{i,j} = \begin{cases} \text{null} & \text{หาก } i+j \geq T \text{ หรือ } j+iT-i((i+1)/2) \geq E \\ e_{j+iT-i((i+1)/2)} & \text{อื่น ๆ} \end{cases} \quad (8)$$

โดยที่ $i = 0, 1, \dots, T-1$ และ $j = 0, 1, \dots, T-1$

สำหรับช่องสัญญาณ BCH และ DCI กระบวนการนี้จะไม่ทำงานและกำหนดให้ $I_{BIL} = 0$ เวกเตอร์ **e** จากกระบวนการปรับอัตรารหัสจะถูกส่งไปยังการสื่อสารชั้นถัดไป



รูปที่ 4 รูปแบบการแทรกสลับแบบสามเหลี่ยมขั้นบันได (Bioglio et al., 2020)

3.2.11 การต่อบิตรหัส

กรณีช่องสัญญาณ UCI หากกระบวนการข้างต้นมีการแบ่งบิตรหัส หรือมีเงื่อนไขว่า $(A \geq 360 \wedge E \geq 1088) \vee A \geq 1013$ และ $I_{seg} = 1$ เวกเตอร์ **f** จำนวนสองเวกเตอร์จะถูกต่อกันตามลำดับเดิมและส่งไปยังการสื่อสารชั้นถัดไป

สำหรับช่องสัญญาณ BCH และ DCI กระบวนการนี้จะไม่ทำงานและมีตัวบ่งชี้ $I_{seg} = 0$ เวกเตอร์ **e** จากกระบวนการปรับอัตรารหัสจะถูกและส่งไปยังการสื่อสารชั้นถัดไป

4. วิธีดำเนินการวิจัย/ระเบียบวิธีวิจัย/Research Methodology

บทความนี้จะจำลองระบบการเข้าและถอดรหัสโพลาร์ตามมาตรฐาน 5G ด้วยหลักการสุ่มชุดบิตข้อมูลซ้ำ ๆ หรือมอนเตคาร์โล (Monte Carlo) เพื่อทดสอบสมรรถนะอัตราบิตและเฟรมผิดพลาดในช่องสัญญาณ DCI และ UCI โดยอัตราบิตและเฟรมผิดพลาดถือเป็นตัวบ่งชี้ถึงความสามารถในการแก้ไขความผิดพลาดของรหัสช่องสัญญาณทั่วไปที่ดี โดยทำการสุ่มข้อมูลแบบไบนารีเป็นบิตข้อมูล

เวกเตอร์ **a** และถูกเข้ารหัสตามกระบวนการของแต่ละช่องสัญญาณดังรูปที่ 1 จากนั้นระบบจะถอดรหัสด้วยตัวถอดรหัส SCL ที่ขนาดลิสแตกต่างกัน

การจำลองจะกำหนดให้ใช้การมอดูเลตแบบ BPSK เนื่องจากการมอดูเลตแบบ BPSK เป็นวิธีที่เรียบง่ายและสามารถบ่งบอกสมรรถนะของรหัสช่องสัญญาณได้โดยไม่ต้องแปลงค่าพลังงานเฉลี่ยของบิต แทนด้วย E_b ซึ่งการมอดูเลตแบบอื่นก็สามารถทำให้สมรรถนะของรหัสช่องสัญญาณสอดคล้องกันได้ด้วยการปรับพลังงานต่อบิตให้เท่ากันได้ โดยข้อมูลที่ผ่านการมอดูเลชันแล้วจะถูกส่งผ่านช่องสัญญาณเกาส์เซียนขาวววก ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเป็น 0 และค่าความแปรปรวนของช่องสัญญาณกำหนดด้วยค่าเอสเอ็นอาร์ (Signal-to-Noise Ratio :SNR) แทนด้วย $SNR(dB)$ ซึ่งนิยามโดย

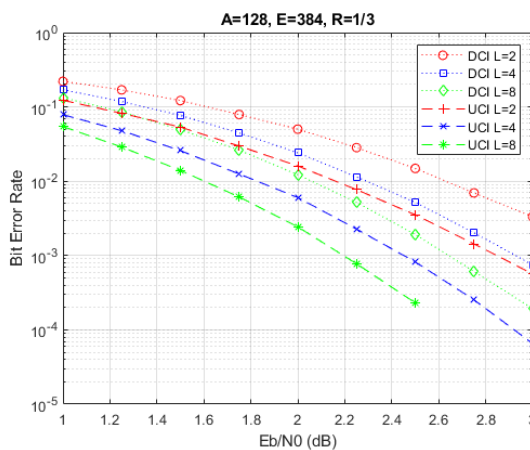
$$SNR(dB) = 10 \log_{10} \left(\frac{E_b}{2\sigma^2 R} \right) \quad (9)$$

เมื่อ σ^2 คือความแปรปรวนของช่องสัญญาณ และ R คืออัตรารหัส

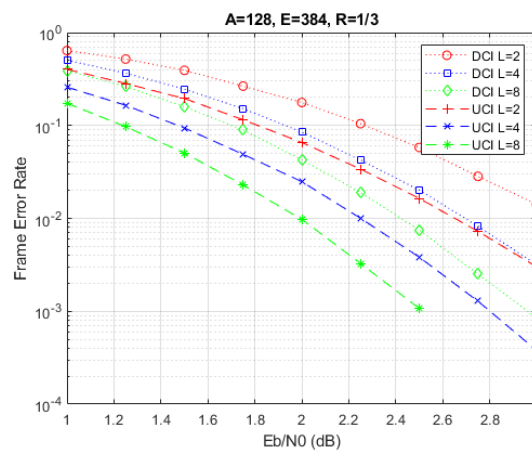
5. ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

รูปที่ 5 แสดงผลการจำลองสมรรถนะการแก้ไขความผิดพลาดทั้งในรูปแบบอัตราบิตผิดพลาดในรูป 5 (ก) และรูปแบบอัตราเฟรมผิดพลาดในรูป 5 (ข) และทั้งสองรูปมีสมรรถนะการแก้ไขความผิดพลาดของรหัสโพลาร์ในช่องสัญญาณ DCI และ UCI ผ่านการถอดรหัสด้วยตัวถอดรหัส SCL ขนาดลิส 2 4 และ 8 รหัสโพลาร์ของทั้งสองช่องสัญญาณมีความยาวเพย์โหลด $A=128$ และความยาวคำรหัส $E=384$ ที่อัตรารหัส $R=1/3$ ซึ่งเป็นค่าที่ทั้งสองช่องสัญญาณสามารถใช้ร่วมกันได้ เพื่อเปรียบเทียบสมรรถนะของรหัสโพลาร์ของทั้งสองช่องสัญญาณ

รูปที่ 5 (ก) เปรียบเทียบอัตราบิตผิดพลาดของช่องสัญญาณ DCI และ UCI โดยรหัสโพลาร์ของช่องสัญญาณ UCI ให้สมรรถนะที่ดีกว่ารหัสโพลาร์ของช่องสัญญาณ DCI 0.5 dB ที่อัตราบิตผิดพลาด 10^{-3} รูปที่ 5 (ข) เปรียบเทียบอัตราเฟรมผิดพลาดของช่องสัญญาณ DCI และ UCI ซึ่งให้แนวโน้มไปในทิศทางเดียวกับอัตราบิตผิดพลาด โดยรหัสโพลาร์ของช่องสัญญาณ UCI ให้สมรรถนะที่ดีกว่ารหัสโพลาร์ของช่องสัญญาณ DCI 0.5 dB ที่อัตราเฟรมผิดพลาด 10^{-3}



(ก) อัตราบิตผิดพลาด



(ข) อัตราเฟรมผิดพลาด

รูปที่ 5 การเปรียบเทียบสมรรถนะการแก้ไขความผิดพลาดของช่องสัญญาณ DCI และ UCI ที่อัตรารหัส 1/3

6. สรุปผลการวิจัย

บทความนี้ได้นำเสนอการออกแบบรหัสโพลาร์-ในมาตรฐาน 5G บทความได้สรุปขั้นตอนการเข้ารหัสโพลาร์มาตรฐาน 5G ประกอบด้วย กระบวนการจำนวน 11 กระบวนการซึ่งแตกต่างกันตามเงื่อนไขของแต่ละช่องสัญญาณ รวมถึงบทความได้ให้เหตุผลของการออกแบบการเข้ารหัสขั้นตอนต่าง ๆ นอกจากนี้ บทความได้เปรียบเทียบสมรรถนะการแก้ไขความผิดพลาดของรหัสโพลาร์ในช่องสัญญาณ DCI และ UCI ซึ่งพบว่ารหัสโพลาร์ของช่องสัญญาณ UCI มีสมรรถนะที่ดีกว่าช่องสัญญาณ DCI ที่ความยาวคำรหัส อัตรารหัส และขนาดลิสต์เดียวกัน

7. เอกสารอ้างอิง

- 3rd Generation Partnership Project. (1999, April). Multiplexing and channel coding (FDD). 3GPP TS 25.212 V.1.0.0. Author.
- 3rd Generation Partnership Project. (2007, Mar). Multiplexing and channel coding. 3GPP TS 36.212 V.1.0.0. Author.
- 3rd Generation Partnership Project. (2017, Sep). Multiplexing and channel coding. 3GPP TS 38.212 V.1.0.0. Author.
- Arikan, E. (2009). Channel polarization: A method for constructing capacity-achieving codes for symmetric binary-input memoryless channels. *IEEE Transactions on information Theory*, 55(7), 3051-3073.
- Bioglio, V., Condo, C., & Land, I. (2020). Design of polar codes in 5G new radio. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 23(1), 29-40.
- Chen, J., Chen, Y., Jayasinghe, K., Du, D., & Tan, J. (2017, December). Distributing CRC bits to aid polar decoding. In 2017 IEEE Globecom Workshops (GC Wkshps) (pp. 1-6). IEEE.
- Chen, K., Niu, K., & Lin, J. R. (2013, September). An efficient design of bit-interleaved polar coded modulation. In 2013 IEEE 24th Annual International Symposium on Personal, Indoor, and Mobile Radio Communications (PIMRC) (pp. 693-697). IEEE.
- Condo, C., Hashemi, S. A., & Gross, W. J. (2017). Blind detection with polar codes. *IEEE Communications Letters*, 21(12), 2550-2553.
- He, G., Beliore, J. C., Land, I., Yang, G., Liu, X., Chen, Y., ... & Tong, W. (2017, December). Beta-expansion: A theoretical framework for fast and recursive construction of polar codes. In GLOBECOM 2017-2017 IEEE Global Communications Conference (pp. 1-6). IEEE.
- IMT-2020 TECH PERFREQ. (2016, Oct). Minimum Requirements Related to Technical Performance for IMT2020 Radio Interface(s). ITU-R M. Author.
- Niu, K., & Chen, K. (2012). CRC-aided decoding of polar codes. *IEEE communications letters*, 16(10), 1668-1671.
- Samsung. (2017, June). Design of Unified Rate-Matching for Polar Codes. Qingdao, China: 3GPP TSG RAN WG1 NR Ad-Hoc2, R1-1710750.
- Tal, I., & Vardy, A. (2015). List decoding of polar codes. *IEEE Transactions on Information Theory*, 61(5), 2213-2226.
- Zhang, H., Li, R., Wang, J., Dai, S., Zhang, G., Chen, Y., ... & Wang, J. (2018, May). Parity-check polar coding for 5G and beyond. In 2018 IEEE International Conference on Communications (ICC) (pp. 1-7). IEEE.

ประวัติผู้เขียนบทความ



อนุสรณ์ วงศ์ษา

คณะวิศวกรรมศาสตร์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

โทรศัพท์ 080 212 0235 E-mail: 62601094@kmitl.ac.th

กำลังศึกษาระดับปริญญาโท งานวิจัยที่สนใจได้แก่รหัสช่องสัญญาณในการสื่อสารและอุปกรณ์เคลื่อนที่



ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เวธิต ภาคย์พิสุทธิ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

อีเมล watid.ph@kmitl.ac.th

งานวิจัยที่สนใจ รหัสช่องสัญญาณและปัญญาประดิษฐ์ในระบบสื่อสารไร้สายและระบบบันทึกข้อมูล

การเพิ่มประสิทธิภาพด้านพลังงานไฟฟ้าภายในอาคารกรณีศึกษาอาคารโรงแรมขนาดใหญ่ (2,000 KVA)

INCREASING CAPABILITY ELECTRICITY INSIDE BUILDING, A BIG HOTEL CASE (2,000 KVA)

ไพรวล อินชิต ศักดิ์ชัย รักการ และ จีรวัฒน์ ป้องใหม่

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการงานวิศวกรรม

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต วิทยาเขตพัฒนาการ 1761 ถนนพัฒนาการ แขวงสวนหลวง เขตสวนหลวง

กรุงเทพมหานคร 10250

Praiwan Inchid, Sakchai Rakkan and Jeerawat Pongmai

Master of Engineering in Engineering Management Program

Graduate School Kasem Bundit University Phatthanakan Campus 1761 Phatthanakan Road, Suan Luang

Subdistrict, Suan Luang District, Bangkok 10250

วันรับบทความ วันที่ 23 สิงหาคม 2564

วันแก้ไขบทความ วันที่ 20 กันยายน 2564

วันตอบรับบทความ วันที่ 30 กันยายน 2564

บทคัดย่อ

การศึกษาวิจัยฉบับนี้ได้ทำการศึกษาปัญหา การเพิ่มประสิทธิภาพด้านพลังงานไฟฟ้าภายในอาคารกรณีศึกษาอาคารโรงแรมขนาดใหญ่ (2,000 KVA) การศึกษาข้อมูลการใช้พลังงานในช่วงเวลา On Peak (09.00-22.00) จากการเก็บข้อมูลจาก TOU Power Meter ก่อนมีการปรับปรุงค่าการใช้พลังงานสูงสุดของเดือนที่ 559 หน่วย/เดือน การใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบภายในอาคารในช่วงเวลา on peak ซึ่งพบเจอปัญหาระบบภายในอาคารยังไม่มีอุปกรณ์ตรวจสอบการใช้พลังงาน และยังไม่มีการควบคุมการทำงานของระบบในช่วงเวลาที่มีราคาสูง ดังนั้นจึงนำอุปกรณ์ TOU Power Meter มาช่วยวิเคราะห์ในการใช้พลังงานไฟฟ้าในช่วงเวลา On Peak และนำอุปกรณ์ Timer Switch Relay เข้ามาใช้ในการควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ เพื่อลดการใช้พลังงานในช่วงเวลาที่มีราคาสูง on peak 09.00-22.00 หลังจากมีการดำเนินการติดตั้ง Timer Switch Relay เข้ามาใช้ในการควบคุมเวลาการทำงานของระบบภายในอาคาร และเก็บข้อมูลจาก TOU Power Meter หลังมีการปรับปรุง ค่าการใช้พลังงานสูงสุดของเดือนที่ 390 หน่วย/เดือน ค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าในช่วงเวลาที่มีราคาสูงของระบบภายในอาคาร ที่สามรถได้ 169 หน่วย/เดือน คิดเป็นร้อยละ 30 % ต่อเดือน

ABSTRACT

This research study investigated the problem of increasing capability electricity inside the building, a big hotel case. (2,000 KVA) The information studied spending electricity energy on specific period time (9.00 a.m. – 10 p.m.) by collecting data from TOU Power Meter before this happened, there was improvement spending electricity unit which the highest of the month was 559 unit per month. Spending electricity inside the building at that time led to the problem of the inside building system that there was no checking machine how much electricity was spent and there was no controlling the way of the machine working so as to reduce the electricity

on specific period time. (9.00 a.m. – 10 p.m.) After the Timer Switch Relay was set inside the building, it helped to control the way the electricity timer worked and collected the data from TOU Power Meter. After trying many times, it showed that spending electricity inside the building decreased to 390 units per month. Electricity inside the building was spent in that time saving money 169 baht per month which is 30 percent in a month.

1. บทนำ

“ธุรกิจโรงแรม” เนื่องจากประเทศไทยในปัจจุบันมีความเจริญก้าวหน้าทางด้านเศรษฐกิจเป็นอย่างมาก รวมไปถึงธุรกิจโรงแรมและอาคารคอนโด (Thai Hotels Association สมาคมโรงแรมไทย (2554: [ออนไลน์]) ซึ่งทำให้มีการแข่งขันทางด้านธุรกิจเกิดขึ้น จึงทำให้มีอาคารตึกสูงเกิดขึ้นมากมายอย่างรวดเร็ว ซึ่งมีการใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคารเพื่ออำนวยความสะดวก ให้แก่ผู้ที่อยู่อาศัยและการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องจักรที่อยู่ภายในแต่ละหน่วยงานต่าง ๆ ทั้งภาครัฐและเอกชนในแต่ละหน่วยงานมีความจำเป็นอย่างมากที่ต้องใช้พลังงานไฟฟ้าในการปฏิบัติงาน และอำนวยความสะดวกแก่ผู้อยู่อาศัย ผู้ใช้จึงต้องตระหนักถึงภาระการจ่ายค่าไฟฟ้าที่เพิ่มมากขึ้น ดังนั้นการที่จะหาวิธีประหยัดพลังงานไฟฟ้าของระบบภายในอาคาร จึงเป็นเรื่องสำคัญที่ทุกคนต้องให้ความสนใจโดยทำให้ไม่ก่อให้เกิดผลเสียต่อความสุขสบายของผู้ใช้และประหยัดค่าใช้จ่าย เพื่อประโยชน์ต่อผู้ใช้เองและต่อประเทศชาติ โดยส่วนรวมที่ผ่านมามาตรฐบาลและเอกชนได้มีการรณรงค์ให้ประหยัดพลังงานหรือการใช้พลังงานทดแทน มีข้อเสนอแนะตามสื่อต่าง ๆ มากมายจึงทำให้หลายหน่วยงานเริ่มให้ความสนใจและใส่ใจในการจัดหาอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ประหยัดพลังงานกันมากขึ้นหรือการจัดหาพลังงานทดแทน เพื่อลดการใช้ค่าพลังงานไฟฟ้า รวมไปถึงลดภาระค่าใช้จ่ายของไฟฟ้าไปอีกด้วย ในส่วนของอาคารจะมีระบบต่าง ๆ ที่อำนวยความสะดวกกับผู้ที่อยู่อาศัย เช่น ระบบแสงสว่าง ระบบทำความเย็น และรวมไปถึงเครื่องจักรต่าง ๆ ภายในอาคารทุกระบบจำเป็นต้องใช้พลังงานไฟฟ้าเพื่อให้อุปกรณ์ใช้งานได้ตามปกติ เนื่องจากทุกวันนี้มีการใช้พลังงานไฟฟ้ากันอย่างแพร่หลายและเพิ่มขึ้นทุกวัน จึงทำให้วัตถุดิบที่นำมาผลิตพลังงานไฟฟ้าของโลกเริ่มลดน้อยลงทุกวัน ทั้งภาครัฐและเอกชนจึงให้ความสำคัญในลดใช้พลังงานไฟฟ้า และหันมาใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าที่ประหยัดไฟกันมากยิ่งขึ้น หรืออุปกรณ์ไฟฟ้าเบอร์ 5

ปัจจุบันอาคารกรณีศึกษาของอาคารโรงแรมขนาดใหญ่ (2,000 KVA) มีความสูง 18 ชั้น มีห้องพัก จำนวน 90 ห้อง โดยอุปกรณ์ที่ใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคาร สามารถแบ่งได้เป็นระบบหลัก ๆ ดังนี้ ระบบแสงสว่าง ระบบเครื่องทำความเย็น ระบบหม้อต้มน้ำขนาดเล็ก ระบบมอเตอร์ปั้มน้ำ พัดลมดูดอากาศ และระบบอื่น ๆ เป็นต้น ปัจจุบันยังไม่มีมีการจัดการและควบคุมในการใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคารที่ดีพอสมควร ผู้ศึกษาจึงให้ความสำคัญในการใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบภายในอาคาร จึงต้องการที่จะพัฒนาระบบภายในอาคาร โดยการนำเทคโนโลยีเข้ามาช่วยในการบริหารจัดการระบบภายในอาคาร และยังสามารถเพิ่มประสิทธิภาพให้กับระบบในอาคารอีกด้วย

ดังนั้นผู้ศึกษาจึงสนใจปัญหาของค่าใช้จ่ายในการใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบภายในอาคารขนาดใหญ่ (2,000 KVA) ที่สูญเสียที่สามารถลดได้คือ ค่า On Peak ที่เกิดขึ้นในการใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบภายในอาคาร ผู้ศึกษาจึงให้ความสำคัญในการลดการใช้พลังงานไฟฟ้าจากระบบต่าง ๆ ภายในอาคารขนาดใหญ่ (2,000 KVA) ค่าใช้จ่ายในการใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบภายในอาคาร มีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นทุกปี ในปี 2562 ค่าใช้จ่ายในการใช้พลังงาน จำนวน 10,278,325 บาท และค่า On Perk ในปี 2562 จำนวน 6,176 หน่วย คิดเป็นมูลค่า 820,975 บาท ประมาณ 7.9% ของค่าใช้จ่ายการใช้พลังงานทั้งหมด โดยผู้ที่ศึกษาได้ให้ความสำคัญในศึกษาค้นคว้า และนำทฤษฎีด้านวิศวกรรมมาใช้ในการวิเคราะห์และแก้ไขปัญหา โดยการนำเอาอุปกรณ์ TOU Power Meter เข้ามาช่วยตรวจสอบการใช้ค่าพลังงานไฟฟ้าโดยควบคุมค่า On Peak ในระบบภายในอาคารและนำเทคโนโลยีมาควบคุมการใช้พลังงานเข้ามาช่วยในการวิเคราะห์เพื่อหาแนวทางลดค่า On Peak ของการใช้พลังงานของระบบภายในอาคาร เพื่อลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานในอาคาร และเพิ่มประสิทธิภาพให้ระบบภายในอาคารที่ศึกษา

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

2.1 เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของระบบภายในอาคาร

2.2 เพื่อกำหนดแนวทางในการลดค่าใช้จ่ายจากการใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคารอย่างน้อย 10%

3. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษา “การเพิ่มประสิทธิภาพด้านพลังงานไฟฟ้าภายในอาคารขนาดใหญ่ (2,000 KVA)” โดยการนำหลักการแนวคิดทางด้านงานวิศวกรรมและการจัดการพลังงานไฟฟ้าของอาคารขนาดใหญ่ กรณีศึกษาว่าสามารถเพิ่มประสิทธิภาพให้กับระบบภายในอาคาร และช่วยลดต้นทุนค่าใช้จ่ายในการใช้พลังงานของระบบภายในอาคาร ผู้ศึกษาได้ทำการศึกษาแนวคิด ทฤษฎี วรรณกรรม เทคโนโลยี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับเครื่องวิเคราะห์พลังงาน TOU Power Meter เครื่องวัดการใช้พลังงานไฟฟ้าแบบดิจิทัล (บริษัท มัลติพลัส พาวเวอร์ จำกัด, 2559) TOU Power Meter อุปกรณ์ตรวจวัดการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมถึงค่าทางไฟฟ้าอื่น ๆ แบบ Real Time สามารถอ่านข้อมูลที่วัดได้ที่หน้าจอแสดงผลและสามารถส่งข้อมูลที่วัดได้ไปยังระบบประมวลผลบริหารจัดการพลังงานโดยผ่านระบบสื่อสารข้อมูล ด้านพลังงานทดแทนและการอนุรักษ์พลังงาน (ไชยยันต์ บุญมี, 2559) ได้ศึกษาเรื่อง “ต้นแบบการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานในอาคารเรียน” รวมไปถึงการอนุรักษ์พลังงานภายในอาคารประเภทโรงแรม (เกรียงไกร อินตานำ, 2558) ได้ศึกษาเรื่อง “การอนุรักษ์พลังงานภายในอาคารประเภทโรงแรม กรณีศึกษา โรงแรมริชมอนด์สไตลิส คอนเวนชั่น” เทคนิคการลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าในกระบวนการผลิต (เบญจพร อภิวงศ์งาม, 2559) ได้ศึกษาเรื่อง “เทคนิคการลดค่าใช้จ่ายด้านไฟฟ้าในกระบวนการผลิตถั่วและถั่วป่นแช่แข็ง” ในส่วนการจัดการพลังงานไฟฟ้าแสงสว่าง (ฤกษ์ณ วิวัฒน์ชีวิน, 2560) ได้ศึกษาเรื่อง “การจัดการพลังงานไฟฟ้าแสงสว่าง สำหรับอุตสาหกรรมการผลิตเครื่องสำอาง” การอ่านค่าและจัดเก็บข้อมูลของดิจิทัลเพาเวอร์มิเตอร์ (ศิวตล เหมะประไพพันธุ์, 2561) ได้ศึกษาเรื่อง “การอ่านและจัดเก็บข้อมูลจากดิจิทัลเพาเวอร์มิเตอร์ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค” การจัดการพลังงานไฟฟ้าในด้านแหล่งจ่ายไฟฟ้า (Afua Mohamed, Mohamed Tariq Khan, 2552) ได้ศึกษาเรื่อง “การทบทวนเทคนิคการจัดการพลังงานไฟฟ้าด้านแหล่งจ่ายไฟและผู้บริโภค (อุตสาหกรรม)” และสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการเพิ่มด้านพลังงานไฟฟ้าภายในอาคารกรณีศึกษาอาคารโรงแรมขนาดใหญ่ (2,000 KVA) โดยการนำอุปกรณ์วิเคราะห์พลังงาน TOU POWER METER มาวิเคราะห์การใช้พลังงานไฟฟ้าในช่วงเวลา On Peak 09.00-22.00 น. และนำอุปกรณ์ Timer Switch Relay มาช่วยควบคุมการทำงานของระบบภายในอาคาร เพื่อหลีกเลี่ยงการใช้พลังงานไฟฟ้าสูงในช่วงเวลา On Peak ซึ่งเป็นประโยชน์ในการนำมาใช้ในการศึกษาได้เป็นอย่างดี

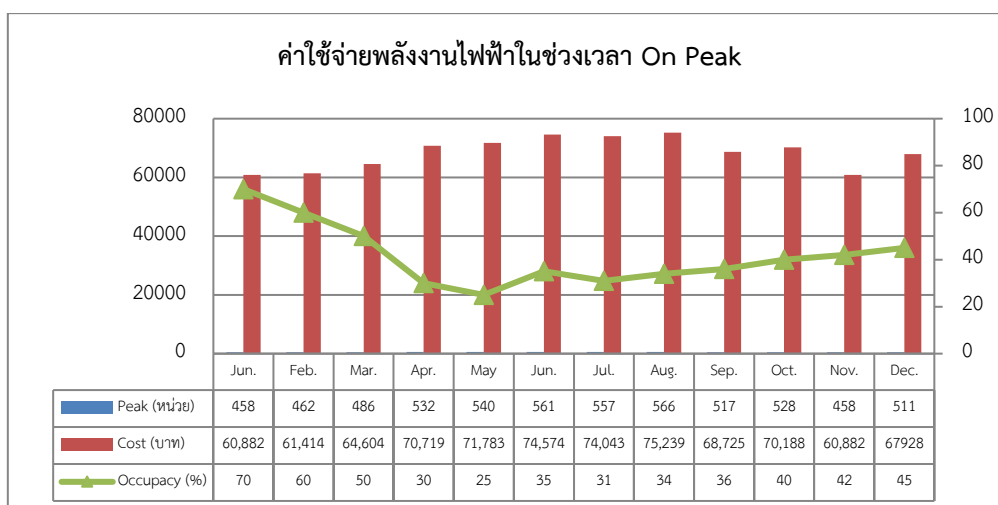
4. วิธีดำเนินการวิจัย

ศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานของระบบภายในอาคารโรงแรม ซึ่งเป็นการวิเคราะห์หาค่าศักยภาพผลของการประหยัดพลังงานที่เกิดจากมาตรการเพิ่มประสิทธิภาพในระบบต่าง ๆ และมาตรการควบคุมค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าในช่วงเวลา On Peak ของการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในอาคารโรงแรม โดยอาคารดำเนินงานธุรกิจโรงแรมขนาดใหญ่ (2,000 KVA) มีความสูง 18 ชั้นมีจำนวนห้องพัก 90 ห้อง โดยอุปกรณ์ที่ใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคาร สามารถแบ่งได้เป็นระบบหลัก ๆ ที่ใช้พลังงานไฟฟ้าในช่วงเวลา On Peak ดังนี้ระบบแสงสว่าง ระบบเครื่องทำความเย็นแบบแยกส่วน ระบบหม้อต้มน้ำขนาดเล็ก ระบบมอเตอร์ปั้มน้ำ และระบบอื่น ๆ เป็นต้น

ตารางที่ 1 ข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าในช่วงเวลา On Peak ของระบบภายในอาคารโรงแรมขนาดใหญ่ (2,000 KVA) Year 2020

Month	Peak (หน่วย)	Cost (km)	Occupancy (%)
January	458	60,882	70
February	462	61,414	60
March	486	64,604	50
April	532	70,719	30
May	540	71,782	25
June	561	74,574	35
July	557	74,042	31
August	566	75,238	34
September	517	68,725	36
October	528	70,187	40
November	458	60,882	42
December	511	67,927	45

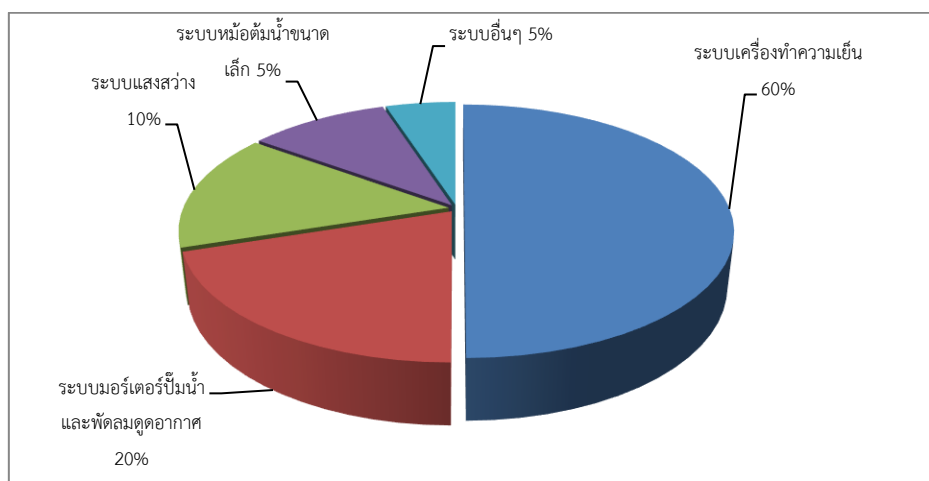
จากตารางที่ 1 ค่าใช้จ่ายในการใช้พลังงานของระบบภายในอาคาร ที่เกิดจากการใช้กำลังงานไฟฟ้าช่วงที่ค่าไฟฟ้ามีราคาสูง (ค่า Peak) ของระบบภายในอาคารที่ไม่มีประสิทธิภาพและขาดการควบคุมการใช้งานของอุปกรณ์



รูปที่ 1 ค่าใช้จ่ายพลังงานไฟฟ้าจากค่า Peak

4.1 การวิเคราะห์ปัญหา จากอุปกรณ์ที่ใช้พลังงานของระบบภายในอาคาร

การวิเคราะห์ปัญหาโดยแบ่งตามระบบที่ใช้กำลังงานไฟฟ้าที่ทำให้เกิดค่า On Peak สูงสุดของระบบภายในอาคาร



รูปที่ 2 กราฟการแบ่งการใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบที่ค่า On Peak สูง

จากรูปที่ 2 แสดงอัตราส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบภายในอาคาร ซึ่งระบบที่ใช้พลังงานไฟฟ้าหลักในอาคารมีอยู่ 5 ระบบด้วยกัน ประกอบด้วย ระบบแสงสว่าง ระบบหม้อต้มน้ำขนาดเล็ก ระบบมอเตอร์ปั๊มน้ำ พัดลมดูดอากาศ ระบบเครื่องทำความเย็นแบบแยกส่วน และระบบอื่น ๆ จะมีอยู่สองระบบด้วยกันที่ใช้พลังงานไฟฟ้าในช่วงเวลา On Peak สูง คือ ระบบมอเตอร์ปั๊มน้ำ พัดลมดูดอากาศ และระบบเครื่องทำความเย็นแบบแยกส่วน อัตราการใช้พลังงานทั้งสองระบบที่ใช้พลังงานเท่ากับ 80% ของระบบภายในอาคารทั้งหมด

4.2 การวิเคราะห์ปัญหา จากช่วงเวลาการใช้พลังงาน

ตาราง 2 อุปกรณ์ที่ใช้งานในช่วงที่ไฟฟ้ามีราคาสูง

รายการอุปกรณ์	ขนาด/KW	จำนวน/เครื่อง	เวลาในการทำงานของอุปกรณ์
มอเตอร์ปั๊มน้ำดี	11	2	Auto
มอเตอร์ปั๊มน้ำสระว่ายน้ำ	2.4	2	24 ชม.
มอเตอร์ปั๊มน้ำบ่อน้ำตก	2.8	1	06.00-21.00
มอเตอร์พัดลมดูดอากาศห้องพัก	2.2	4	24 ชม.
เครื่องทำความเย็น Lobby (100,000 btu)	30	2	24 ชม.
เครื่องทำความเย็น Offic1 (50,000 btu)	15	1	08.00-18.00
เครื่องทำความเย็น Offic2 (35,000 btu)	11	5	24 ชม.

การทำงานของระบบภายในอาคาร ในช่วงเวลา On Peak จะเห็นได้ว่าในแต่ละช่วงเวลายังไม่มีการควบคุมการทำงานของระบบ ส่วนใหญ่ทำงานตลอด 24 ชั่วโมง

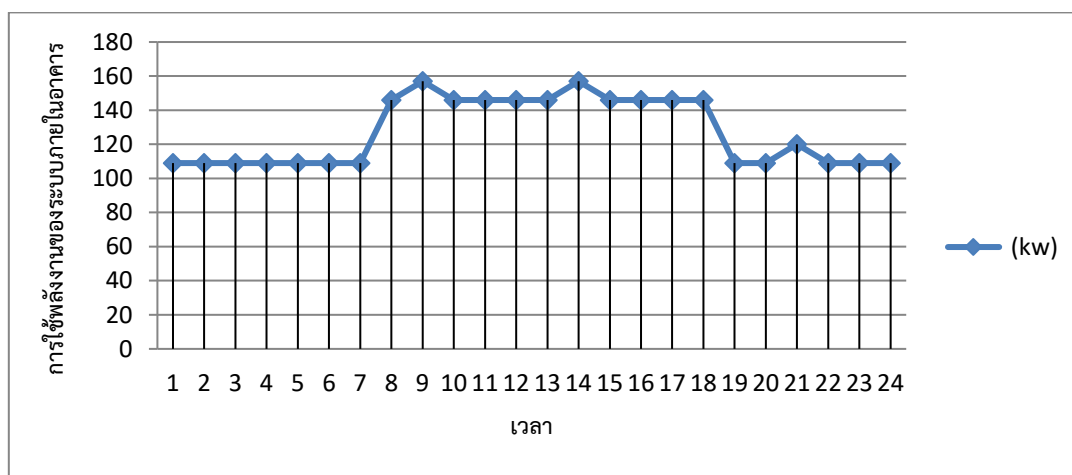
4.3 แนวทางการแก้ไขปัญห

4.3.1 การติดตั้งอุปกรณ์วิเคราะห์การใช้พลังงาน (TOU Power Meter)

การนำอุปกรณ์ (TOU Power Meter) ติดตั้งที่แหล่งหลักของอุปกรณ์ไฟฟ้าในอาคารเพื่อเก็บข้อมูลแล้วนำมาวิเคราะห์ หาค่าการใช้พลังงานของระบบภายในอาคารในช่วงเวลาที่มีราคาสูง On Peak ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 การดำเนินงานติดตั้งติดตั้งอุปกรณ์วิเคราะห์การใช้พลังงาน (TOU Power Meter) เพื่อตรวจสอบการใช้พลังงานของระบบภายในอาคาร



รูปที่ 4 กราฟการใช้พลังงานภายในอาคารรวม (ก่อนปรับปรุง)

จากรูปที่ 4 อุปกรณ์ที่ทำงานในช่วงเวลาที่มีราคาสูง พบว่า มีการใช้พลังงานไฟฟ้าสูงของระบบภายในอาคาร ตั้งแต่เวลา 09.00-18.00 น. และค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าสูงสุดของระบบในสองช่วงเวลา คือ 09.00 น. และ เวลา 14.00 น. ค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าสูงสุดทั้งสองช่วงเวลาที่ 157 KW

ตารางที่ 3 ตารางตรวจการทำงานของอุปกรณ์ภายในอาคารในช่วงเวลา On Peak (ก่อนปรับปรุง)

รายการอุปกรณ์/เวลา	KW	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
มอเตอร์ปั๊มน้ำดี	11									11					11							11			
มอเตอร์ปั๊มน้ำสระว่ายน้ำ (1)	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4
มอเตอร์ปั๊มน้ำสระว่ายน้ำ (2)	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4
มอเตอร์ปั๊มน้ำบ่อน้ำตก	2.8						2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8			
พัดลมดูดอากาศห้องพัก (1)	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2
พัดลมดูดอากาศห้องพัก (2)	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2
พัดลมดูดอากาศห้องพัก (3)	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2
พัดลมดูดอากาศห้องพัก (4)	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2
Air Lobby (1) (100,000 btu)	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
Air Lobby (2) (100,000 btu)	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
Air Office Sales (50,000 btu)	15								15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15						
Air Office Financial (35,000 btu) 2 เครื่อง	22								22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22						
Air Office ENG (35,000 btu)	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11
Air Office HK (35,000 btu) 2 เครื่อง	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22
กำลังการใช้ไฟฟ้ารวม (KW)		107	107	107	107	107	109	109	146	157	146	146	146	146	157	146	146	146	146	109	109	120	107	107	107

4.3.2 การดำเนินการนำอุปกรณ์ควบคุมการทำงานของระบบ

การศึกษาการใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบภายในอาคารในช่วงเวลา On Peak ซึ่งยังไม่มี การควบคุมดูแลเวลาการทำงานของระบบภายในอาคาร เพื่อลดค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าในช่วงเวลา On Peak ผู้จัดทำจึงได้กำหนดเวลาการทำงานของระบบต่าง ๆ ภายในอาคาร โดยใช้ Timer Switch Relay ที่นำมาใช้งานกับระบบมีสอปประเภทคือ ประเภท Digital และประเภท Analog เพื่อนำมาควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ในการเปิด-ปิดการทำงานของระบบ ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 Timer Switch Relay (Sirichai Electric, 2559)

ตารางที่ 4 การทำงานอุปกรณ์ของระบบภายในอาคารโรงแรม (หลังปรับปรุง)

รายการอุปกรณ์	ขนาด/KW	จำนวน	เวลาในการทำงานของอุปกรณ์			
			ช่วงเวลาที่ 1	ช่วงเวลาที่ 2	ช่วงเวลาที่ 3	ช่วงเวลาที่ 4
มอเตอร์ปั๊มน้ำดี	11	2		09.00-09.30	14.00-14.30	21.00-21.30
มอเตอร์ปั๊มน้ำสรวายน้ำ (1)	2.4	1	01.00-06.00	06.00-12.00	-	-
มอเตอร์ปั๊มน้ำสรวายน้ำ (2)	2.4	1	-	-	12.00-18.00	18.00-24.00
มอเตอร์ปั๊มน้ำบ่อน้ำตก	2.8	1	-	06.00-11.00	13.00-18.00	19.00-21.00
พัดลมดูดอากาศห้องพัก (1)	2.2	1	01.00-06.00	-	12.00-18.00	-
พัดลมดูดอากาศห้องพัก (2)	2.2	1	-	06.00-12.00	-	18.00-24.00
พัดลมดูดอากาศห้องพัก (3)	2.2	1	01.00-06.00	-	12.00-18.00	-
พัดลมดูดอากาศห้องพัก (4)	2.2	1	-	06.00-12.00	-	18.00-24.00
Air Lobby (1) (100,000 btu)	30	1	01.00-06.00	-	12.00-18.00	-
Air Lobby (2) (100,000 btu)	30	1	-	06.00-12.00	-	18.00-24.00
Air Office Sales (50,000 btu)	15	1	-	08.00-11.00	13.00-14.00 14.00-18.00	
Air Office Financial(35,000 btu) 2 เครื่อง	11	2		08.00-12.00	13.00-18.00	
Air Office ENG (35,000 btu)	11	1	01.00-06.00	08.00-11.00	13.00-18.00	19.00-24.00
Air Offiec2 HK(35,000 btu) 2 เครื่อง	11	2	01.00-06.00	08.00-09.00 10.00-12.00	13.00-18.00	19.00-24.00

จากตารางที่ 4 การนำอุปกรณ์ Timer Switch Relay มาควบคุมการทำงานของระบบภายในอาคาร เพื่อให้อุปกรณ์เปิด-ปิดตามเวลาที่กำหนดและเป็นการลดการใช้พลังงานในช่วงเวลา On Peak

4.4 ติดตั้งอุปกรณ์ Timer Switch Relay ในการควบคุม

ติดตั้งอุปกรณ์ Timer ในการควบคุมการ เปิด-ปิดของระบบพัดลมดูดอากาศ



ก่อนปรับปรุง



หลังปรับปรุง

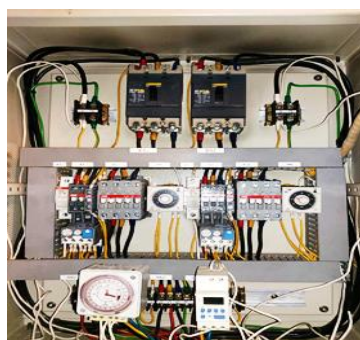
รูปที่ 6 การติดตั้ง Timer Switch Relay ดูดอากาศภายในอาคาร

จากรูปที่ 6 ติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมของพัดลมดูดอากาศภายในอาคาร ขนาด 2.2 KW มีทั้งหมดสี่ตัวเดิมทำงานตลอด 24 ชั่วโมง ได้ปรับปรุงมาเป็นสลับเวลาการทำงานโดยตัวที่ 1 กับตัวที่ 3 ทำงานเวลา 01.00-06.00 น. 12.00-18.00 น. และตัวที่ 2 กับตัวที่ 4 ทำงานเวลา 06.00-12.00 น. 18.00-01.00 น.

4.4.1 ติดตั้งอุปกรณ์ Timer ในการควบคุมระบบเครื่องทำความเย็น Lobby



ก่อนปรับปรุง



หลังปรับปรุง

รูปที่ 7 การติดตั้ง Timer Switch Relay ระบบเครื่องทำความเย็น Lobby

จากรูปที่ 7 ติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมการเปิด-ปิดของเครื่องทำความเย็น Lobby ขนาด 30 KW มีจำนวนสองตัวโดยกำหนดเวลาการทำงานตัวที่ทำงานเวลา 06.00-12.00 น. 18.00-24.00 น. และตัวที่ 2 ทำงานเวลา 24.00-06.00 น. 12.00-18.00 น. เพื่อลดการใช้พลังงาน

5 ผลการดำเนินการ

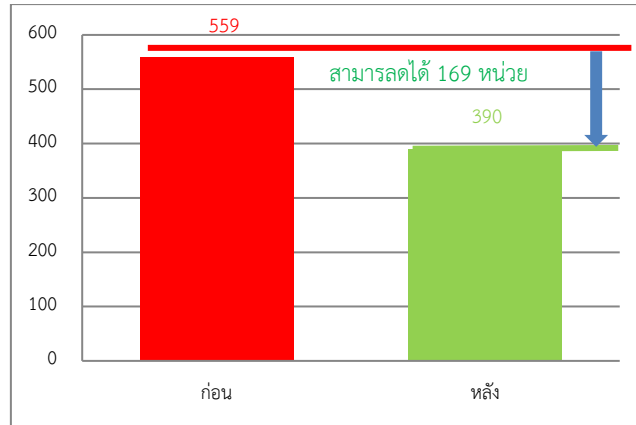
5.1 สรุปผลการวิจัย

บันทึกค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าในช่วงเวลา On Peak ของระบบภายในอาคารจาก TOU Power Meter

ตารางที่ 5 ค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าในช่วงเวลา On Peak

ข้อมูลก่อนปรับปรุง			ข้อมูลหลังปรับปรุง		
Date	Peak (หน่วย)	Occupancy (%)	Date	Peak (หน่วย)	Occupancy (%)
1/2/64	460	34	1/3/64	336	42
2/2/64	462	34	2/3/64	328	40
3/2/64	459	33	3/3/64	332	43
4/2/64	458	34	4/3/64	345	44
5/2/64	510	38	5/3/64	334	45
6/2/64	515	39	6/3/64	347	49
7/2/64	553	40	7/3/64	349	50
8/2/64	558	42	8/3/64	342	47
9/2/64	556	41	9/3/64	348	49
10/2/64	556	41	10/3/64	345	49
11/2/64	553	40	11/3/64	347	48
12/2/64	557	40	12/3/64	346	51
13/2/64	547	41	13/3/64	357	53
14/2/64	544	43	14/3/64	350	50
15/2/64	554	40	15/3/64	347	49
16/2/64	545	38	16/3/64	349	49
17/2/64	559	40	17/3/64	351	51
18/2/64	547	39	18/3/64	348	50
19/2/64	554	40	19/3/64	345	50
20/2/64	543	39	20/3/64	368	60
21/2/64	551	42	21/3/64	364	58
22/2/64	557	40	22/3/64	390	60
23/2/64	542	37	23/3/64	387	59
24/2/64	557	42	24/3/64	389	59
25/2/64	554	43	25/3/64	378	58
26/2/64	557	42	26/3/64	379	58
27/2/64	559	45	27/3/64	377	57
28/2/64	550	45	28/3/64	375	58
			29/3/64	386	59
			30/3/64	364	56
			31/3/64	367	56

จากตารางที่ 5 การใช้พลังงานไฟฟ้าในช่วงเวลา On Peak หลังจากได้ดำเนินการติดตั้ง TOU Power Meterแล้วทำการบันทึกข้อมูลเพื่อนำมาวิเคราะห์หาช่วงเวลาที่ใช้พลังงานไฟฟ้าในช่วงเวลา On Peak จากการเก็บข้อมูลของ เดือน ก.พ. พ.ศ. 2564



รูปที่ 8 การใช้พลังงานไฟฟ้าในช่วงเวลาที่มีราคาสูงก่อนและหลังปรับปรุง

จากรูปที่ 8 ค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าในช่วงเวลา On Peak สูงสุดของเดือนที่ 559 หน่วย หลังจากการดำเนินการแก้ไขระบบภายในอาคารโดยการติดตั้ง Timer ควบคุมการทำงานของระบบภายในอาคาร เพื่อหลีกเลี่ยงการทำงานของระบบที่พร้อมกันหลาย ๆ ตัวเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดค่า On Peak ในระบบ จากข้อมูลของเดือนมีนาคม พ.ศ. 2564 ที่ได้บันทึกหลังติดตั้ง Timer ควบคุมการทำงานของระบบค่าการใช้พลังงานในช่วงเวลา On Peak สูงสุดของเดือนที่ 390 หน่วย หลังการปรับปรุงลดการใช้พลังงานในช่วงเวลา On Peak สามารถลดได้ 169 หน่วยต่อเดือน คิดเป็นร้อยละ 30% ต่อเดือน

5.2 อภิปรายผลการวิจัย

การศึกษา การเพิ่มประสิทธิภาพด้านพลังงานไฟฟ้าของระบบภายในอาคารขนาดใหญ่ (2,000 KVA) ในครั้งนี้สามารถนำไปปรับใช้การกิจการอื่นได้ โดยการทำอุปกรณ์ TOU Power Meterมาช่วยในการวิเคราะห์ผลการใช้พลังงานในรูปแบบต่าง ๆ ได้ และการนำ Timer Switch Relay เข้ามาใช้ในการควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ เพื่อลดการใช้พลังงานในช่วงเวลาที่มีราคาสูง On Peak 09.00-22.00 น. ผลของการลดการใช้พลังงานขึ้นอยู่กับปรับเปลี่ยนการทำงานของอุปกรณ์ในช่วงเวลา On Peak หลังจากมีการควบคุมปรับเปลี่ยนเวลาการทำงานของอุปกรณ์ของระบบแล้ว สามารถลดค่าการใช้พลังงานในช่วงเวลา On Peak 09.00-22.00 น. ได้ถึง 30% ต่อเดือน แสดงว่างานวิจัยมีความสอดคล้องกับงานวิจัยของ เบญจพร อภิวงค์งาม (2559) ได้ศึกษาเรื่อง “เทคนิคการลดค่าใช้จ่ายด้านไฟฟ้าในกระบวนการผลิตถั่วแปะแป๊ะ” บริษัทลานนาเกษตรอุตสาหกรรม จำกัด เชียงใหม่ ผลิตและส่งออกผักผลไม้แช่แข็ง และผลิตภัณฑ์อาหาร พร้อมรับประทาน โดยถั่วแป๊ะแป๊ะแช่แข็งถือเป็นสินค้าหลัก มีสัดส่วนการผลิตเพื่อส่งออกประมาณ 65% ซึ่งมีปริมาณการส่งออกมากกว่าผลิตภัณฑ์อื่น ๆ ดังนั้นเมื่อกำลังการผลิตสูง และมีความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าในปริมาณที่สูงจึงทำให้เกิดผลกระทบต่อการบริหารจัดการด้านพลังงานไฟฟ้า ส่งผลให้ค่าไฟฟ้าสูงขึ้น ทั้งนี้บริษัทฯ จัดอยู่ในข่ายการคิดค่าไฟฟ้าแบบอัตราตามช่วงเวลาของการใช้ (Time of Use Rate: TOU) ได้มีการศึกษาเทคนิคการลดค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงสุดในช่วงที่มีค่าไฟฟ้าแพง (On Peak) เทคนิคการเพิ่มเวลาการทำงานในช่วงที่มีความต้องการพลังงานไฟฟ้าต่ำ (Off peak) และเทคนิคการย้ายเวลาการทำงานที่มีความต้องการไฟฟ้าสูงสุดไปทำงานในช่วง Off Peak แทน สามารถลดค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้าในช่วง On Peak และทำให้ค่า

ไฟฟ้าลดลง ได้ศึกษาการจัดการพลังงาน เพื่อลดการใช้พลังงานไฟฟ้าในโรงงานรีดอลูมิเนียม โดยการควบคุมการทำงานในช่วงเวลาที่มีการใช้โหลดมาก โดยจัดเครื่องจักรและอุปกรณ์ไฟฟ้าต่าง ๆ ไม่ให้ทำงานพร้อม ๆ กัน สามารถลดค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงสุด 80% ผลของการปรับเปลี่ยนเวลาในการเดินเครื่องจักร และควบคุมอัตราการผลิต สามารถลดค่าไฟฟ้าทั้งหมดของโรงงาน ในเดือนมิถุนายน จำนวน 851,036.33 บาท คิดเป็น 13.92% และในเดือนกรกฎาคม จำนวน 1,278,702.99 บาท คิดเป็น 18.41% ส่งผลให้ต้นทุนในการผลิตถ้วยแฉะญี่ปุ่นแข่งขันลดลง อีกทั้งสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับอุตสาหกรรมอื่น ๆ ได้ ซึ่งเป็นไปตามเป้าหมายที่กำหนดไว้

6. สรุปผลการวิจัย

การศึกษา เรื่อง การเพิ่มประสิทธิภาพด้านพลังงานไฟฟ้าของระบบภายในอาคารขนาดใหญ่ (2,000 KVA) กรณีศึกษา อาคารโรงแรม โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อลดค่าใช้จ่ายในการใช้พลังงาน ในช่วงเวลา On Peak จากการศึกษาอาคารโรงแรมขนาดใหญ่แห่งหนึ่ง ซึ่งพบปัญหาของระบบที่ใช้พลังงานไฟฟ้าในช่วงเวลาที่มีราคาสูงอยู่สองระบบที่ทำให้ค่า On Peak ในระบบอาคารมีค่าสูง ได้แก่ ระบบเครื่องทำความเย็นแบบแยกส่วน และระบบมอเตอร์ ซึ่งทั้งสองระบบยังไม่มีมาตรการควบคุมเวลาการทำงานในช่วงเวลาที่มีราคาสูง หลังจากการศึกษาศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพด้านพลังงานไฟฟ้าของระบบภายในอาคารขนาดใหญ่ (2,000 KVA) ได้นำอุปกรณ์ TOU Power Meter มาใช้ในการวิเคราะห์การใช้พลังงาน และนำข้อมูลการใช้พลังงานมาวิเคราะห์ในการปรับลดการใช้พลังงานภายในอาคารโรงแรม

จากการดำเนินการติดตั้ง TOU Power Meter เพื่อตรวจสอบการใช้พลังงานของระบบ ภายในอาคารมาวิเคราะห์ หาค่าการใช้พลังงานในช่วงเวลา On Peak และกำหนดมาตรการปรับลดปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในช่วงเวลาที่มีราคาสูง โดยนำอุปกรณ์ Timer Switch Relay มาควบคุมการเปิด-ปิดทำงานของระบบภายในอาคาร เพื่อไม่ให้อุปกรณ์ภายในอาคารทำงานพร้อมกันหลาย ๆ ตัวในช่วงเวลาที่มีราคาสูง (On Peak 09.00-22.00 น.) เป็นต้นเหตุที่ทำให้ค่าการใช้พลังงานในช่วงเวลา On Peak สูงหลังจากการปรับปรุงได้นำอุปกรณ์ Timer Switch Relay มาควบคุมการเปิด-ปิดทำงานของระบบภายในอาคาร สามารถสรุปผลการดำเนินการของข้อมูลการใช้พลังงานจาก TOU Power Meter ก่อนการดำเนินการค่าการใช้พลังงานในช่วงเวลา On Peak 09.00-22.00 น. ค่าการใช้พลังงานสูงสุด 157 KW หลังจากได้ดำเนินการนำอุปกรณ์ Timer เข้ามาควบคุมการเปิด-ปิดของระบบภายในอาคารสามารถลดค่าการใช้พลังงานในช่วงเวลา On Peak ลดลงที่ 110 KW สามารถลดได้ 47 KW คิดเป็นเปอร์เซ็นต์อยู่ที่ 29.93% หรือ 30% ของการใช้พลังงานของระบบเกินกว่าเป้าหมายที่กำหนด

7. ข้อเสนอแนะ

7.1 ควรมีการตรวจสอบอุปกรณ์ที่ใช้งานมาเป็นเวลานาน และเปรียบเทียบอุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพสูง เพื่อนำมาทดแทนอุปกรณ์เดิม

7.2 ควรติดตั้งโปรแกรมในการบริหารจัดการและควบคุมพลังงานไฟฟ้าเพื่ออ่านข้อมูลจาก Digital Power Meter ผ่านช่องทางการสื่อสารต่าง ๆ ในตรวจสอบควบคุมค่า Demand โดยอัตโนมัติได้ เพื่อควบคุมการทำงานของโหลดในกรณีที่มีความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงสุดเกินกว่าที่ตั้งเป้าหมายไว้

7.4 ควรมีมาตรการอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้า โดยการดูแลบำรุงรักษาอุปกรณ์ต่าง ๆ ให้มีประสิทธิภาพอยู่เสมอ

7.5 การนำไปปรับใช้กับสถานที่ประกอบการ ควรศึกษาข้อมูลให้ละเอียด และมีผู้เชี่ยวชาญคอยดูแลในการนำไปต่อยอดเพื่อลดการใช้พลังงานขององค์กรต่อไป

8. เอกสารอ้างอิง

- กฤษณะ วิวัฒน์ชีวิน. (2560). การจัดการพลังงานไฟฟ้าแสงสว่าง สำหรับอุตสาหกรรมการผลิตเครื่องสำอาง. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: <https://ph01.tci-thaijo.org/index.php/kbej/article/view/76503/85933>. (วันสืบค้นข้อมูล: 8 มกราคม 2564).
- เกรียงไกร อินตานำ. (2558). การอนุรักษ์พลังงานภายในอาคารประเภทโรงแรม กรณีศึกษา โรงแรมริชมอนด์สไตลิส คอนเวนชัน. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: http://ethesisarchive.library.tu.ac.th/thesis/2015/TU_2015_5510036386_2974_2672.pdf. (วันสืบค้นข้อมูล: 8 มกราคม 2564).
- ไชยยันต์ บุญมี. (2559). ต้นแบบการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานในอาคารเรียน. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: <https://research.rmutsb.ac.th/fullpaper/2559/research.rmutsb2559-20171028140320153.pdf>. (วันสืบค้นข้อมูล: 8 มกราคม 2564).
- บริษัท มัลติพลัส พาวเวอร์ จำกัด (2559): TOU POWER METERSFERE200 [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: <https://www.nanasupplier.com/multipluspower/p-184835> (วันสืบค้นข้อมูล: 6 มกราคม 2564)
- เบญจพร อภิวงค์งาม. (2559). เทคนิคการลดค่าใช้จ่ายด้านไฟฟ้าในกระบวนการผลิตถั่วแปะญี่ปุ่นแช่แข็ง. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: <https://erp.mju.ac.th/openFile.aspx?id=MjI5MjE3&method=inline> (วันสืบค้นข้อมูล: 8 มกราคม 2564).
- ศิวดล เหมาะประไพพันธุ์. (2561). การอ่านและจัดเก็บข้อมูลจากดิจิทัลเพาเวอร์มิเตอร์ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: <http://libdoc.dpu.ac.th/thesis/Siwadon.Mor.pdf>. (วันสืบค้นข้อมูล: 8 มกราคม 2564).
- Afua Mohamed, Mohamed Tariq Khan. (2552). การทบทวนเทคนิคการจัดการพลังงานไฟฟ้าด้านแหล่งจ่ายไฟและผู้บริโภค (อุตสาหกรรม). [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: https://www.researchgate.net/publication/298896084_A_review_of_electrical_energy_management_techniques_Supply_and_consumer_side_industries. (วันสืบค้นข้อมูล: 8 มกราคม 2564).
- elecfield.blogspot. (2559). ตัวปรับความเร็วรอบของมอเตอร์เหนี่ยวนำไฟฟ้ากระแสสลับ (VSD: Variable Speed Drive for AC induction motor) [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: <http://elecfield.blogspot.com/2016/07/variable-speed-drive-for-ac-induction-motor.html> (วันสืบค้นข้อมูล: 6 มกราคม 2564)

ประวัติผู้เขียน



ไพรวล อินชิต นักศึกษาหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการงานวิศวกรรมบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต 1761 ถนนพัฒนาการ สวนหลวง กรุงเทพมหานคร
Email Address: Priwaninchid@outlook.co.th



ดร. ศักดิ์ชาย รักการ ผู้อำนวยการหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาการจัดการงานวิศวกรรม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต
1761 ถนนพัฒนาการ สวนหลวง กรุงเทพมหานคร 10250

การศึกษา

Ph.D. Systems and Control Engineering, Case Western Reserve University, Ohio, U.S.A.,
วศ.ม. วิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
วศ.บ. วิศวกรรมอุตสาหการ (เกียรตินิยมอันดับ 1) มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต

Email Address: sakchai.rak@kbu.ac.th



จิรวัดน์ ปล้องไหม หัวหน้าสาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต 1761 ถนนพัฒนาการ สวนหลวง กรุงเทพมหานคร 10250

การศึกษา

วศ.ม. สาขาวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
บริหารธุรกิจมหาบัณฑิต สาขาการจัดการ
อส.บ. วิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต

Email Address: jeerawat2556p@gmail.com

การเพิ่มประสิทธิภาพระบบงานพัสดุไปรษณีย์ของนิติบุคคลอาคารชุด IMPROVEMENT OF POSTAL PARCEL MANAGEMENT SYSTEM OF A CONDOMINIUM JURISTIC PERSONS

จุมพล กิจสุขกาย¹ ภาวัด ไชยชาณวาทิก², ศักดิ์ชาย รักการ³ และ จีรวัดน์ ปล้องไหม⁴

¹นักศึกษาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการงานวิศวกรรม

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต วิทยาเขตพัฒนาการ

^{2,3,4}อาจารย์คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต วิทยาเขตพัฒนาการ 1761 ถนนพัฒนาการ

แขวงสวนหลวง เขตสวนหลวง กรุงเทพฯ 10250

Jumpon Kitsukkai¹, Bhawat Chaichannawatik², Sakchai Rakkran³ and Jeerawat Plongmai⁴

¹Student, Graduate School, Master of Engineering Program in Engineering Management

Kasem Bundit University, Pattanakran Campus 1761 Pattanakarn Rd.,

Suanluang Bangkok 10250, Thailand

E-Mail: jumpon62@gmail.com

^{2,3,4}Lecturer, Faculty of Engineering, Kasem Bundit University, Pattanakran Campus 1761 Pattanakarn Rd.,

²Email: bhawat.cha@kub.ac.th, ³Email: sakchai.rak@kub.ac.th, ⁴Email: jeerawat.plo@kub.ac.th

วันรับบทความ วันที่ 23 กรกฎาคม 2564

วันแก้ไขบทความ วันที่ 18 สิงหาคม 2564

วันตอบรับบทความ วันที่ 31 สิงหาคม 2564

บทคัดย่อ

บทความนี้เป็นการศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพระบบงานพัสดุไปรษณีย์ของนิติบุคคลอาคารชุดแห่งหนึ่ง ซึ่งประสบกับปัญหาปริมาณพัสดุไปรษณีย์ล้นทะเปียน และสินค้าจำนวนมาก การจัดเก็บพัสดุไม่เป็นระเบียบ กระบวนการปฏิบัติงานใช้เวลานาน เกิดข้อร้องเรียน ส่งผลต่อความเชื่อมั่นการบริหารจัดการของนิติบุคคลอาคารชุด การศึกษาได้เริ่มจากการทบทวนถึงรายละเอียดของปัญหาเพื่อทำการปรับปรุงกระบวนการงานพัสดุโดยการประยุกต์องค์ความรู้และเทคนิคการจัดการงานวิศวกรรม โดยตั้งเป้าหมายที่จะลดจำนวนพัสดุดักค้างในสำนักงานนิติบุคคล โดยรวมไม่น้อยกว่าร้อยละ 30 และเพิ่มระดับความพึงพอใจในงานบริการด้านพัสดุไปรษณีย์ ผลจากการศึกษาปัญหาในกระบวนการทำงาน นำไปสู่การกำหนดวิธีการเพิ่มประสิทธิภาพ โดยได้ดำเนินการพัฒนาโปรแกรมสำหรับใช้งานบนมือถือ การออกแบบและปรับปรุงห้องจัดเก็บพัสดุไปรษณีย์ ซึ่งผลจากการปรับปรุงได้ผลลัพธ์ ดังนี้ 1) ด้านขั้นตอนการทำงาน พบว่า การพัฒนาโปรแกรมที่ใช้งานบนมือถือ ทำให้สามารถลดขั้นตอนในกระบวนการจาก 8 เหลือ 6 ขั้นตอน ส่งผลให้ลดเวลาการทำงานส่วนนี้ได้ 2 ชั่วโมงต่อวัน 2) ด้านเวลาที่ใช้ในการให้บริการ พบว่า เวลาในการทำงานพัสดุก่อนและหลังการปรับปรุงใช้เวลาเท่ากับ 68 วินาทีต่อชิ้น และ 41 วินาทีต่อชิ้น ตามลำดับ คิดเป็นการลดลงเท่ากับ 27 วินาทีต่อชิ้น หรือร้อยละ 39.71 3) ด้านการลดพัสดุดักค้างสะสม พบว่า ค่าเฉลี่ยสต็อกสะสมลดลงร้อยละ 35.32 4) ด้านความพึงพอใจของผู้พักอาศัย พบว่า ความพึงพอใจที่มีต่อระบบการจัดการงานพัสดุไปรษณีย์ของนิติบุคคลอาคารชุด มีค่าเพิ่มขึ้นเท่ากับร้อยละ 25.16

คำสำคัญ: ระบบงานพัสดุไปรษณีย์, ความพึงพอใจ, นิติบุคคลอาคารชุด, การเพิ่มประสิทธิภาพ, การจำลองสถานการณ์

ABSTRACT

This paper was the study the efficiency of the postal parcel system of a condominium juristic person (CJP). According to the managing of this condominium juristic person which faced with problems of the too many registered postal parcels and goods, the storage space is disorganized, the operation process takes a long time lead to complaints, lead to lacking of confidence in the management of the condominium juristic person. The study started from reviewing of the detail of the problems to improve the parcel service process by applying the knowledge and technic of engineering management. The goal of this study was to reduce the number of residual parcels remaining in the juristic person office at least 30 percent and increase the level of satisfaction in postal parcel services. Results of the assessment on problems in the working process as well as improvement of the efficiency of parcel service by mobile applications development and the parcel storage room design and improvement. The results from the improvement were results as follows; 1) On working process, it found that the development of mobile applications lead to the process reduction from 8 to 6 steps, and resulting in a reduction of the working time of this part by 2 hours per day. 2) In terms of service time, it found that the parcel service time before and after of improvement were 68 and 41 seconds per piece respectively which was 27 seconds per piece or 39.71 percent of time saving. 3) On the reduction of accumulated remained parcels, it found that the average cumulative stock decrease by 35.32 percent. 4) For the residents satisfaction, it found that the satisfaction on the postal parcel management system of this condominium juristic person adjustment, increased by 25.16 percent.

KEYWORDS: Postal Parcel Management System, Satisfaction, Condominium Juristic Persons, Improvement of Efficiency, Simulation

1. บทนำ

จากพฤติกรรมการเลือกซื้อสินค้าของผู้บริโภคที่เปลี่ยนแปลงไป ซึ่งผู้บริโภคหันมาสั่งซื้อสินค้าออนไลน์ และสั่งซื้อสินค้าจากผู้ผลิตโดยตรงมากขึ้น อีกทั้งการพัฒนาระบบโลจิสติกส์ในการให้บริการรับส่งสินค้าที่สะดวกรวดเร็วมากขึ้น เนื่องมาจากเทคโนโลยีที่มีความก้าวหน้า ทำให้การเข้าถึงของผู้บริโภคสะดวก และรวดเร็ว ไม่จำเป็นต้องเดินทางไปที่หน้าร้านเช่นเดิม โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงที่มีสถานการณ์การระบาดของโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนาสายพันธุ์ใหม่ (COVID-19) ซึ่งประชาชนส่วนใหญ่ต้องทำงานจากที่บ้าน (work from home) ประกอบกับห้างร้านต่าง ๆ ปิดการให้บริการ ส่งผลให้ผู้บริโภคจำเป็นต้องสั่งซื้อสินค้าออนไลน์มากขึ้น ดังจะเห็นได้จากผลการดำเนินงานส่วนของผู้ให้บริการ เช่น ทาง Kerry Express ซึ่งมีอัตราเพิ่มขึ้นจาก 4 ปีก่อนที่ส่งของวันละ 10,000 ชิ้น ปัจจุบันมียอดของที่ส่งผ่าน Kerry Express วันละ 800,000 ชิ้นทั่วประเทศ โดยมีรายได้จากการดำเนินการสุทธิที่สูงขึ้นในแต่ละปี (Supattha Marketteer, 2020) จากการสั่งซื้อสินค้า จัดส่งเอกสาร หรือพัสดุ ที่ได้รับความนิยมอย่างต่อเนื่อง ทำให้การบริหารงานของนิติบุคคลอาคารชุด ต้องเผชิญกับปัญหาปริมาณจดหมาย และพัสดุที่มีจำนวนมาก เกิดการตกค้างของพัสดุในสำนักงานนิติบุคคล เนื่องจากยังไม่มีเจ้าของมาแจ้งรับพัสดุ ส่งผลกระทบต่อพื้นที่การจัดเก็บ ใช้เวลานานในการค้นหาพัสดุ อาจทำให้พัสดุสูญหาย หรือชำรุดเสียหาย ทำให้เกิดข้อร้องเรียน และขาดความเชื่อมั่นต่อการบริหารจัดการของนิติบุคคลอาคารชุด ปัญหาหลักที่พบเห็นได้บ่อยสุด คือ นิติบุคคลลืมนำพัสดุมาส่ง ทิ้งพัสดุเสียหายหรืออยู่ในสภาพไม่สมบูรณ์ และพัสดุสูญหาย (SILVERMAN, 2021) ดังนั้น ผู้ศึกษาจึงได้ทำการศึกษาระบบการจัดการงานพัสดุไปรษณีย์ของนิติบุคคลอาคารชุด เพื่อหาแนวทางการบริหารจัดการให้มีประสิทธิภาพ โดยเลือกนิติบุคคลอาคารชุดแห่งหนึ่ง ย่านพระราม 3 เป็นกรณีศึกษา โดยอาคารชุดดังกล่าวเป็นอาคารชุดพักอาศัย จำนวน 4 อาคาร

สูง 36 ชั้น จำนวนห้องชุด 2,405 ห้องชุด จำนวนผู้พักอาศัย 3,607 คน พบว่า จำนวนพัสดุนำเข้าโดยเฉลี่ยต่อเดือนอยู่ที่ 9,083 ชิ้น มีการจ่ายพัสดุนำออกโดยเฉลี่ยต่อเดือนอยู่ที่ 8,481 ชิ้น และมีพัสดุดังค้างสะสมเฉลี่ย จำนวน 602 ชิ้น คิดเป็น 6.33% ของพัสดุทั้งหมด ผู้ศึกษาจึงได้ทำการศึกษาและวิเคราะห์ปัญหาด้านการจัดการพัสดุของนิติบุคคลอาคารชุดดังกล่าว โดยประยุกต์ใช้ทฤษฎีและหลักการจัดการคลังสินค้า (Warehouse Management) (คำนาย อภิปรัชญาสกุล, 2556) รวมทั้งการวิเคราะห์เส้นทางของผู้รับบริการ (Customer Journey) (Ourgreenfish, 2018) มาใช้เป็นแนวทางในการปรับปรุงกระบวนการจัดการงานพัสดุของนิติบุคคลอาคารชุดอย่างเป็นระบบ เพื่อลดจำนวนพัสดุดังค้างในสำนักงานนิติบุคคล ส่งผลต่อความพึงพอใจให้กับผู้พักอาศัย ลดข้อร้องเรียน และสร้างความเชื่อมั่นให้กับองค์กรได้ (Affinity Solution, 2017) โดยมีเป้าหมายของการวิจัย เพื่อศึกษาและวิเคราะห์ปัญหาด้านการจัดการพัสดุของนิติบุคคลอาคารชุด ลดจำนวนพัสดุดังค้างในสำนักงานนิติบุคคล โดยรวมไม่น้อยกว่า 30% และเพิ่มความพึงพอใจในการใช้บริการจากการปรับปรุง

2. แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการเพิ่มประสิทธิภาพ

การจัดการงานพัสดุไปรษณีย์ของนิติบุคคลอาคารชุดมีลักษณะคล้ายคลึงกับการจัดการคลังสินค้า จึงสามารถใช้หลักการและแนวคิดจากการงานวิจัยที่เกี่ยวกับการเพิ่มประสิทธิภาพและการจัดการคลังสินค้า มาประยุกต์ใช้ในการดำเนินงานปรับปรุงประสิทธิภาพระบบงานพัสดุของนิติบุคคลอาคารชุดอย่างเป็นระบบ โดยพิจารณารายละเอียดดังนี้

2.1 การวิเคราะห์สภาพปัญหา การเพิ่มประสิทธิภาพของงาน ควรวิเคราะห์สภาพงานปัจจุบัน ผู้วิจัยสำรวจสภาพปัญหาปัจจุบันโดยการออกแบบสอบถามกับผู้พักอาศัยและผู้ปฏิบัติงาน ซึ่งตรงกับแนวคิดของ สุภารัตน์ อ่ำชุม (2559) ทำการสำรวจปัญหาการบริหารงานพัสดุของสำนักงาน ก.ค.ศ. ของผู้ปฏิบัติงานพัสดุ มีค่าเฉลี่ยระดับของปัญหาจากการทำงานพัสดุเท่ากับ 2.78 และ ธัญดา ใจใหม่คราม (2558) ทำการประเมินการให้บริการรับ-จัดเก็บ-ส่งมอบสินค้า พื้นที่วางสินค้า มีระดับความพึงพอใจของผู้ใช้บริการเฉลี่ยเท่ากับ 3.21 การสำรวจปัญหาจากการปฏิบัติงาน ด้วยการเก็บข้อมูลและวิเคราะห์ผลแบบสถิติเชิงพรรณนาที่ใช้ค่าร้อยละ ค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ทำให้ทราบปัญหาการจัดการงานพัสดุและวางแนวทางการปรับปรุงให้ชัดเจนมากขึ้น

2.2 ระบบการจัดการงานพัสดุ การจัดการงานพัสดุไปรษณีย์ ควรมีระบบโปรแกรมที่ใช้ในการทำงานและควบคุมการทำงาน ประภากร อุ่นอินทร์ (2552) ได้นำโปรแกรม MFG/PRO มาบริหารจัดการคลังสินค้าสามารถลดขั้นตอนการทำงาน จาก 48 ขั้นตอน เหลือ 15 ขั้นตอน และลดเวลาการทำงานจาก 2,920 วินาที เหลือ 144 วินาที และงานวิจัยของ สุริยัน นิลทะราช และ สมบูรณ์ ขาวชายโขง (2563) ทำการพัฒนากระบวนการบริหารงานพัสดุ เพื่อการควบคุมวัสดุ ผลการประเมินประสิทธิภาพของระบบสารสนเทศอยู่ในระดับดีที่สูงสุด แนวคิดนี้ สามารถนำไปพัฒนาเป็นโปรแกรมที่ใช้งานบนอุปกรณ์สื่อสาร เพื่อให้เหมาะสมกับยุคปัจจุบัน และสามารถใช้งานร่วมกับโปรแกรมบริหารจัดการงานพัสดุเดิมได้

2.3 การจัดกลุ่มประเภทพัสดุ เพื่อให้ง่ายต่อการจัดการพัสดุหรือสินค้า จากงานวิจัยของ อชิระ เมธารัตกุล (2557) ปรับปรุงระบบการจัดเก็บสินค้าคงคลังตามหลัก ABC รวมถึงทำการกำหนดรหัสระบบตำแหน่งการจัดเก็บ ทำให้ข้อมูลสินค้าคงคลังมีความแม่นยำมากขึ้น และเวลาเฉลี่ยของขั้นตอนการเบิกจ่ายลดลง ประสิทธิภาพการส่งมอบลูกค้าเพิ่มขึ้น วรณวิภา ชื่นเพชร (2560) ใช้เทคนิค ABC Analysis ในการปรับปรุงประสิทธิภาพการจัดการคลังสินค้าทำให้พนักงานใช้เวลาในการเดินทางหยิบสินค้าน้อยลง และ ชรินทร์พร นนท์ศิลา และจิตรา รู้กิจการพานิช (2558) ได้นำ ABC Classification มาใช้ในการจัดการและควบคุมพัสดุในคลังสินค้า ทำให้อัตราการหมุนเวียนพัสดุดังค้างมีค่าเพิ่มขึ้น ต้นทุนการจัดเก็บพัสดุมูลค่าลดลง 380,000 บาทต่อปี และเวลาเฉลี่ยในการให้บริการเบิกจ่ายพัสดุลดลง เมื่อปรับปรุงพื้นที่คลังพัสดุและการกำหนดตำแหน่งการจัดเก็บอย่างชัดเจนจากการแยกพัสดุเป็นหมวดหมู่ทำให้เวลาในการปฏิบัติงานลดลง

2.4 การออกแบบพื้นที่จัดเก็บพัสดุ เพื่อให้พื้นที่การจัดวางเพียงพอต่อปริมาณพัสดุ ค้นหาพัสดุได้รวดเร็ว ควรมีการออกแบบพื้นที่จัดเก็บที่ดี ซึ่ง สุนันทา ศิริเจริญวัฒน์ (2558) ทำการจัดผังคลังสินค้าใหม่ พบว่า เวลาเฉลี่ยในการเบิกจ่ายอะไหล่ให้ช่างลดลง และอัตราส่วนความผิดพลาดในการตรวจนับสินค้าลดลง และอชิระ เมธารัตกุล (2557) ได้ทำการออกแบบพื้นที่

การจัดเก็บพัสดุใหม่ ส่งผลให้การหยิบพัสดุ (Picking) รวดเร็วขึ้น ลดเวลาการทำงานให้กับพนักงานของขั้นตอนการเบิกจ่ายต่อ 1 ใบเบิกลดลง และพัสดุศักดิ์ ภาวนาภิญโญ (2552) ทำการปรับปรุงพื้นที่จัดวางในคลังสินค้า พบว่า สัดส่วนพื้นที่จัดวางสินค้า ได้เพิ่มขึ้น จากแนวคิดทั้ง 4 ข้างต้นผู้ศึกษาจึงใช้แนวคิดการออกแบบคลังสินค้าไปใช้ในการออกแบบคลังเก็บพัสดุไปรษณีย์ของ นิติบุคคลอาคารชุด

3. วิธีดำเนินการวิจัย/ระเบียบวิธีวิจัย

การดำเนินการวิจัยนี้ได้เริ่มจากการทำการศึกษาสภาพปัญหาระบบงานปัจจุบัน วิเคราะห์ภาพปัญหาหาสาเหตุใน กระบวนการงานพัสดุ กำหนดวิธีการในการแก้ปัญหาและวิเคราะห์ผล โดยสามารถแสดงรายละเอียดต่อไปนี้

3.1 การวิเคราะห์ระบบงานพัสดุในปัจจุบัน

สภาพปัญหาในกระบวนการงานพัสดุไปรษณีย์ของนิติบุคคลอาคารชุด พบปัญหาจากปัจจัยด้านขั้นตอนปฏิบัติงาน ด้านบุคลากรและหน้าที่ความรับผิดชอบ ด้านสภาพแวดล้อมของคลังพัสดุและการจัดเก็บ ดังนี้

3.1.1 ปัญหาด้านขั้นตอนปฏิบัติงานการบริหารจัดการพัสดุไปรษณีย์ของนิติบุคคลอาคารชุด จะขอจำแนกปัญหาในแต่ละกระบวนการ คือ 1) กระบวนการรับพัสดุ แต่ละวันจะมีพัสดุถูกส่งมาจากไปรษณีย์ไทยและบริษัทเอกชน ซึ่งมีเวลาจัดส่งไม่แน่นอน และมีจำนวนมาก ทำให้พื้นที่ในการจัดวางก่อนการนำเข้าระบบไม่เพียงพอ มีการส่งพัสดุหลังสำนักงานนิติบุคคล ปิดทำการ ไม่มีผู้รับพัสดุ เกิดการสูญหาย 2) กระบวนการตรวจแยกประเภท ทำการคัดแยกประเภท โดยจะใช้วิธีการแยกประเภทตามลักษณะภายนอกของพัสดุ ได้แก่ ประเภทกล่อง ประเภทซอง ประเภทห่อ ซึ่งในแต่ละประเภทยังแยกออกไปตามขนาดของพัสดุอีกด้วย ในขั้นตอนนี้จะพบปัญหาคัดแยกมีการกำหนดรหัสประเภทพัสดุและจัดเก็บไม่ชัดเจนทำให้การค้นหาใช้เวลานาน ดังนั้นควรมีการจัดกลุ่มประเภทและกำหนดรหัสอ้างอิง เพื่อใช้ในการกำหนดประเภทและระบุตำแหน่งการวางพัสดุ 3) กระบวนการจัดเก็บ เมื่อทำการคัดแยกประเภทของพัสดุแล้ว เจ้าหน้าที่จะทำการบันทึกเข้าระบบบันทึกด้วยการสแกนบาร์โค้ด และสร้างรหัสเพื่อกำหนดให้เป็นหมายเลขรับพัสดุ จากนั้นนำเข้าสโตร์ซึ่งใช้เวลาเฉลี่ย 2 นาทีต่อชิ้น ปัจจัยปัญหาที่พบหลังจากบันทึกเข้าระบบแล้ว คือ การจัดเก็บพัสดุไม่เป็นระเบียบ และพื้นที่ไม่เพียงพอต่อการจัดวาง ส่งผลถึงความยุ่งยากในการหยิบออก เกิดความล่าช้าในการค้นหา จึงควรมีการออกแบบ และกำหนดพื้นที่ในการจัดวางพัสดุให้สามารถหยิบออกได้ง่ายขึ้น 4) กระบวนการแจ้งเตือน เป็นการแจ้งให้ผู้พักอาศัยทราบว่า มีพัสดุส่งมาถึง และมารับพัสดุ ปัจจุบันใช้วิธีการปรีนเอกสารใบแจ้งเตือนออกจากกระบบ แล้วนำไปหย่อนใน Mail box ของแต่ละห้องชุด โดยในการจัดทำเอกสาร แบ่งเป็น 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนที่ 1 เป็นใบแจ้งรับพัสดุไปรษณีย์ และส่วนที่ 2 ใบบันทึกรับพัสดุจากนั้นนำเอกสารใบแจ้งรับพัสดุไปหย่อนในตู้ Mail box การนำเอกสารใบแจ้งรับพัสดุไปหย่อนในตู้ Mail box วันละ 2 ช่วงเวลา คือ ช่วงบ่ายและช่วงเย็น ใช้เวลาในการดำเนินการเฉลี่ยอาคารละ 30 นาทีต่ออาคาร จำนวน 4 อาคาร รวมเฉลี่ย 2 ชั่วโมงต่อวัน ในบางครั้งเกิดข้อผิดพลาดผู้พักอาศัยแจ้งว่าไม่ได้รับใบแจ้งรับพัสดุ ส่งผลทำให้มีพัสดุดกค้างในสต็อกเช่นกัน 5) กระบวนการรับพัสดุ การที่พัสดุดกค้างมีสาเหตุจากช่วงเวลาสำนักงานนิติปิดทำการ ไม่สอดคล้องกับความต้องการของผู้รับพัสดุ ซึ่งผู้พักอาศัยเขียนข้อเสนอแนะส่งให้ฝ่ายจัดการ อยากให้มีเจ้าหน้าที่อยู่รอจ่ายพัสดุให้ ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งที่ต้องมีการปรับเวลาการให้บริการของสำนักงานนิติบุคคลฯ 6) กระบวนการค้นหาและหยิบพัสดุ เมื่อผู้พักอาศัยนำเอกสารแจ้งรับมาติดต่อขอรับพัสดุไปรษณีย์ เจ้าหน้าที่จะทำการตรวจสอบในระบบทะเบียน และชื่อผู้รับตรงกับผู้รับหรือไม่ หากตรงตามที่ระบุ เจ้าหน้าที่จะทำการเข้าไปในสโตร์เพื่อค้นหาและหยิบพัสดุจากชั้นวาง นำส่งให้ผู้รับตรวจสอบและลงชื่อรับพัสดุในเอกสารบันทึกการรับพัสดุ ใช้เวลาในการค้นหาพัสดุ ประมาณ 40 วินาทีต่อชิ้น จำนวนพัสดุเฉลี่ยวันละ 303 ชิ้น ดังนั้น พนักงานจะใช้เวลาค้นหาและหยิบพัสดুরวม วันละ 202 นาที คิดเป็น 3 ชั่วโมง 22 นาที 7) การตัดสต็อกพัสดุ หลังจากผู้พักอาศัยตรวจสอบและรับพัสดุเรียบร้อยแล้ว ขั้นตอนต่อไปเจ้าหน้าที่จะทำการตัดรายการพัสดุที่รับไปแล้วออกจากกระบบทะเบียนพัสดุ แสดงหน้าต่างโปรแกรมระบบตัดพัสดุ เจ้าหน้าที่ทำการกรอกรหัสพัสดุ ระบบจะ

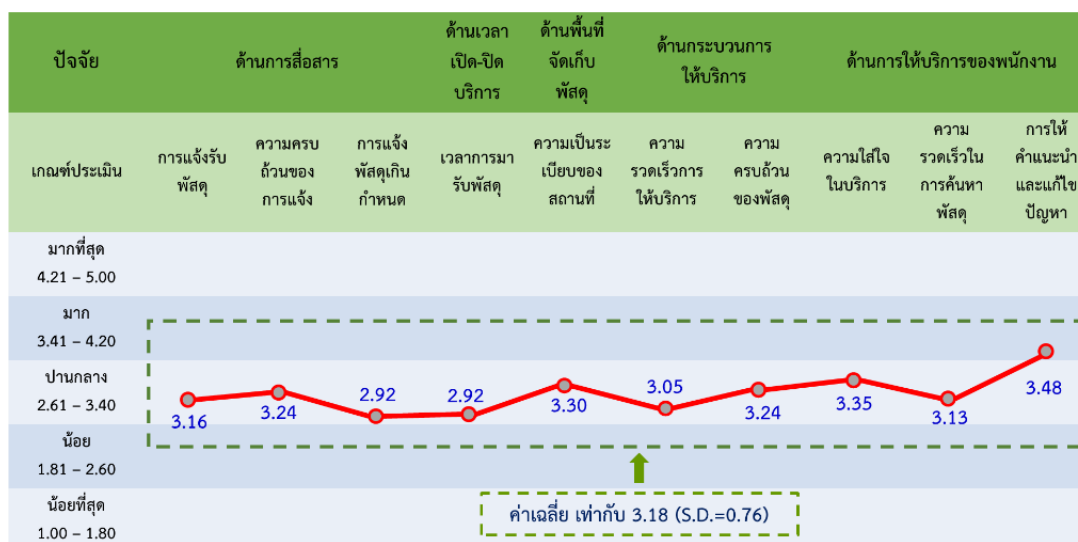
แสดงรายการพัสดุขึ้นนั้นออกมา ทำการเลือกรายการพัสดุที่ต้องการตัดออกจากสต็อก ทำการยืนยันระบบก็จะทำการตัดรายการออกไป แสดงถึงรายการนั้นได้มีการรับไปเรียบร้อยแล้ว

3.1.2 ปัญหาด้านบุคลากรและหน้าที่ความรับผิดชอบ ในการทำงานของผู้เจ้าหน้าที่นิติบุคคล ไม่ได้กำหนดหน้าที่หน้าที่รับผิดชอบไว้โดยเฉพาะ โดยทั่วไปจะถือว่าเจ้าหน้าที่คนใดว่างในขณะนั้น จะเข้าไปดำเนินการแทนที่ในช่วงเวลาที่ผู้พักอาศัยเข้าติดต่อกับนิติบุคคลในเรื่องอื่น ๆ เป็นจำนวนมาก จะไม่มีเจ้าหน้าที่ไปดูแลงานพัสดุ เบื้องต้นทางผู้จัดการจึงกำหนดและจัดทำตารางการทำงานด้านพัสดุ โดยจัดเจ้าหน้าที่ธุรการ จำนวน 3 คน สลับหมุนเวียนคนละ 2 วันต่อสัปดาห์ ส่วนในวันอาทิตย์กำหนดให้ผู้ช่วยผู้จัดการสลับกันดูแลคนละสัปดาห์ แต่การกำหนดรูปแบบการดูแลลักษณะนี้ส่งผลกระทบต่อการให้บริการกับส่วนงานอื่น ๆ

3.1.3 สภาพแวดล้อมของคลังพัสดุและการจัดเก็บ นิติบุคคลอาคารชุด จัดเตรียมพื้นที่ทำงาน จุดกองพัสดุก่อนนำเข้าระบบทะเบียน โดยพื้นที่ในการจัดเก็บพัสดุมีพื้นที่เท่ากับ 10.50 ตารางเมตร เท่านั้น ซึ่งไม่เพียงพอต่อการจัดวางพัสดุ

3.2 การวิเคราะห์สภาพปัญหา

3.2.1 การจัดเก็บข้อมูลสำหรับวิเคราะห์ระบบงานพัสดุ การจัดเก็บข้อมูลจากการสัมภาษณ์ สำหรับศึกษา และวิเคราะห์ระบบงานปัจจุบัน (As-Is System) ได้ดำเนินการจัดเก็บข้อมูลด้วยวิธีการออกแบบสอบถามกลุ่มเป้าหมายที่เกี่ยวข้องในลักษณะที่แตกต่าง ดังนี้ 1) ผู้พักอาศัย 2) ผู้ปฏิบัติงาน การสัมภาษณ์กลุ่มผู้พักอาศัย กลุ่มตัวอย่างในพื้นที่ศึกษา จำนวน 100 คน โดยใช้แบบสอบถามเป็นเครื่องมือในการศึกษา ผู้ศึกษาแบ่งการนำเสนอเป็นส่วนต่าง ๆ พบว่า กลุ่มตัวอย่างทั้งหมดจำนวน 100 คน ส่วนใหญ่เป็นเพศหญิงมากที่สุด คือ ร้อยละ 54 และเพศชาย เท่ากับร้อยละ 46 จำแนกตามช่วงอายุ พบว่า ช่วงอายุ 41-50 ปีร้อยละ 36 มากที่สุด รองลงมาช่วงอายุ 31-40 ปี มีจำนวนร้อยละ 26 ช่วงอายุ 21-30 ปี มีจำนวนร้อยละ 23 ช่วงอายุ 51-60 ปี มีจำนวนร้อยละ 13 และช่วงอายุน้อยกว่า 20 ปี มีจำนวนร้อยละ 2 น้อยที่สุด จำแนกตามช่วงระดับการศึกษา พบว่า การศึกษาระดับปริญญาตรีมีจำนวนสูงที่สุด เท่ากับร้อยละ 76 รองลงมาคือ ปริญญาโทขึ้นไป เท่ากับร้อยละ 16 ระดับการศึกษาที่น้อยที่สุดคือ ระดับอาชีวศึกษา/พาณิชย์ มีจำนวนเท่ากับร้อยละ 8 จำแนกตามอาชีพ พบว่า กลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่มีอาชีพเป็นพนักงานบริษัทสูงที่สุด เท่ากับร้อยละ 58 รองลงมาคือ อาชีพข้าราชการ/รัฐวิสาหกิจ เท่ากับร้อยละ 16 ถัดลงมาคือ อาชีพอิสระ มีจำนวนเท่ากับร้อยละ 13 ประกอบธุรกิจส่วนตัว มีปริมาณเท่ากับร้อยละ 7 และเป็นนักเรียน/นักศึกษา มีปริมาณร้อยละ 6 จำแนกตามสถานะการพักอาศัย เป็นเจ้าของห้องชุด มีปริมาณมากที่สุด คือ ร้อยละ 66 รองลงมาคือ ผู้พักอาศัยร่วม ร้อยละ 24 ถัดลงมาเป็นผู้เช่า มีปริมาณ ร้อยละ 10 จากการสำรวจความพึงพอใจของผู้พักอาศัยต่อการให้บริการรับพัสดุไปรษณีย์ โดยกำหนดระดับการให้คะแนน เป็น 5 ระดับ ได้แก่ ระดับ 5 = พอใจมากที่สุด ระดับ 4 = พอใจมาก ระดับ 3 = พอใจปานกลาง ระดับ 2 = พอใจน้อย ระดับ 1 = ไม่พอใจอย่างมาก เมื่อนำผลค่าเฉลี่ยเกณฑ์การประเมินจากแบบสอบถามการสำรวจความพึงพอใจของผู้ใช้บริการงานพัสดุไปรษณีย์ ประชากรกลุ่มตัวอย่าง จำนวน 100 คน มาพิจารณาในรูปแบบของเส้นทางการใช้บริการ (Customer journey) จะได้ระดับความพึงพอใจ ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ความพึงพอใจต่องานพัสดุไปรษณีย์ของผู้พักอาศัยต่องานพัสดุของนิติบุคคลอาคารชุดก่อนปรับปรุง

วิเคราะห์ผลจากแบบสอบถาม ได้ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของแต่ละปัจจัย โดยปัจจัยที่มีค่าเฉลี่ยน้อยที่สุด คือ การแจ้งเตือนพัสดุเกินกำหนด และช่วงเวลาการเปิด-ปิด สำนักงานนิติบุคคล มีค่าเฉลี่ยความพึงพอใจเท่ากับ 2.92 ค่าเฉลี่ยของความพึงพอใจโดยรวมเท่ากับ 3.18 (S.D.=0.76) อยู่ในเกณฑ์ปานกลาง (2.61–3.40) ดังนั้น ควรมีการปรับปรุงในทุกด้านเพื่อตอบสนองให้ลูกค้าเกิดความพึงพอใจสูงขึ้น

3.2.2 ผลการวิเคราะห์สภาพปัญหาในปัจจุบันของกลุ่มผู้ปฏิบัติงาน การสัมภาษณ์กลุ่มผู้ปฏิบัติงาน เป็นการสัมภาษณ์ผู้ปฏิบัติงานในคลังพัสดุ จำนวน 5 คน โดยสัมภาษณ์เกี่ยวกับระบบงานบริหารจัดการพัสดุไปรษณีย์ของนิติบุคคลอาคารชุด พนักงานได้แสดงความเห็นในปัญหาในการปฏิบัติงาน ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 รายละเอียดของปัญหาโดยสังเขปในขั้นตอนการรับเข้าและเบิกจ่ายพัสดุของผู้ปฏิบัติงาน

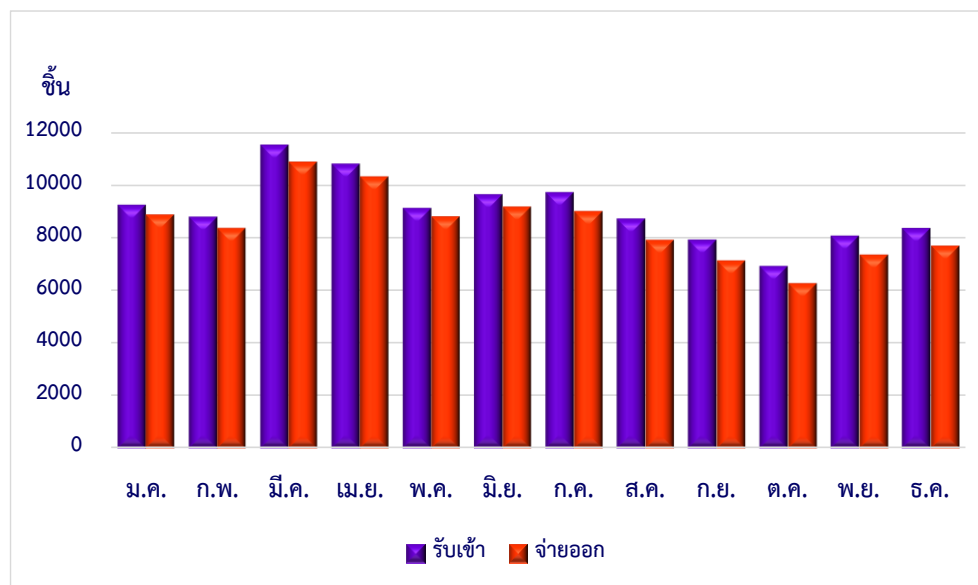
ขั้นตอนการทำงาน	รายละเอียด
1. การรับพัสดุ	- ไปรษณีย์ หรือผู้ให้บริการส่งพัสดุเอกชน นำพัสดุมาส่งที่สำนักงานนิติบุคคลอาคารชุดฯ ไม่เป็นเวลา - การรับพัสดุจากไปรษณีย์ ไม่พินิจพิจารณาอย่างเป็นระเบียบ
2. การตรวจแยกประเภท	- คัดแยกประเภทพัสดุ ระบุประเภทพัสดุตามลักษณะของพัสดุ - การตั้งรหัสพัสดุ แยกเป็นอาคาร ไม่ได้กำหนดพื้นที่จัดเก็บ
3. การจัดเก็บเข้าระบบ	การบันทึกพัสดุเข้าระบบทะเบียนพัสดุ ชื่อไม่ตรงกับผู้พักอาศัยในฐานข้อมูล
4. การแจ้งเตือน	การพิมพ์ใบแจ้งรับพัสดุ โดยมีเอกสาร 2 ส่วน โดยส่วนแรกจะเป็นใบแจ้งเตือนที่จะหย่อนใน Mail box ใช้เวลาเฉลี่ยประมาณ 30 นาที-1 ชั่วโมง ต่อครั้ง
5. การหย่อนเอกสารใน Mail box	เจ้าหน้าที่นำเอกสารหย่อนใน Mail box ให้ผู้พักอาศัยแต่ละห้องชุด ใช้เวลาเฉลี่ยประมาณ 30 นาที-1 ชั่วโมงต่ออาคาร

ตารางที่ 1 (ต่อ)

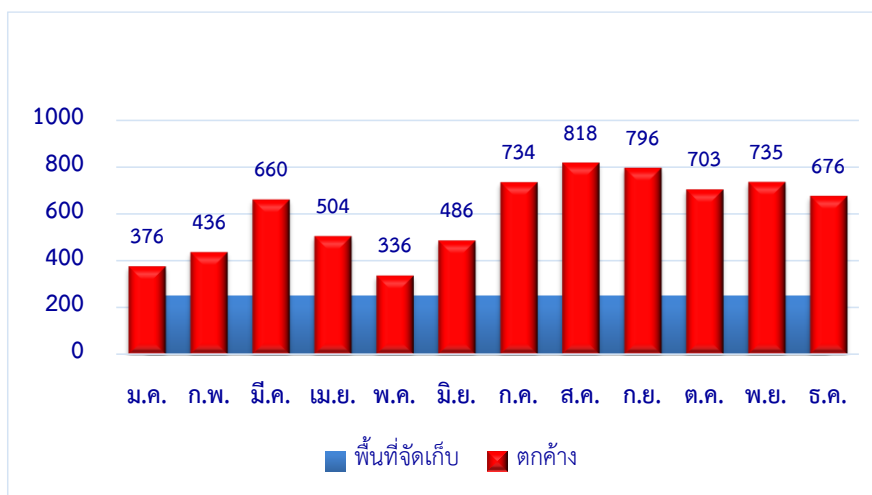
ขั้นตอนการทำงาน	รายละเอียด
6. การขอรับพัสดุ	• ขอรับหลังเวลานิติบุคคล ปิดทำการ (18:00 น.) ไม่มีเจ้าหน้าที่ • ไม่มารับตามเวลาที่กำหนด (เกิน 15 วัน) • ชื่อผู้มาขอรับพัสดุ ไม่ตรงกับพัสดุ
7. การค้นหาหีบพัสดุ	• เจ้าหน้าที่ค้นหาและหีบพัสดุ ใช้เวลา 1-3 นาทีต่อชิ้น
8. การตัดสต็อกพัสดุ	• ไม่มีเวลาในการตัดสต็อกพัสดุ

จากการสัมภาษณ์พนักงาน พบว่า ขั้นตอนการปฏิบัติงาน ทั้งในส่วนของระบบงานย่อย การรับเข้าพัสดุ การคัดแยก การบันทึกเข้าระบบ การออกเอกสารแจ้งรับพัสดุ รวมถึงการเบิกพัสดุไปรษณีย์ ในส่วนของระบบงานอื่นที่เกี่ยวข้อง พื้นที่ในการเก็บข้อมูลจากระบบงานบริหารพัสดุ การวางอัตรากำลังพนักงานผู้ให้บริการ ควรมีการปรับปรุงระบบงานเพื่อให้ทำงานได้สะดวกรวดเร็ว

3.2.3 การจัดเก็บข้อมูลจากเอกสารข้อมูลและเอกสาร (Data and Documentation) ผู้ศึกษาได้ดำเนินการจัดเก็บข้อมูลรายการพัสดุประจำเดือน และกิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับระบบงานด้านพัสดุไปรษณีย์ จากการดำเนินการของนิติบุคคล อาคารชุด รวมถึงเอกสารและรายงานต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ รายงานประจำวัน ประจำเดือน โดยการเก็บข้อมูลการรับเข้าจ่ายออก และพัสดุดกค้าง ดังรูปที่ 2 และรูปที่ 3 ตามลำดับ



รูปที่ 2 สถิติปริมาณการรับเข้า-จ่ายออก ปริมาณพัสดุดกค้างต่อเดือน ตั้งแต่เดือนมกราคม-ธันวาคม พ.ศ. 2563



รูปที่ 3 ปริมาณพัสดุตักค้ำ เดือนมกราคม - ธันวาคม พ.ศ. 2563

จากข้อมูลการรับเข้า และจ่ายออกพัสดุของนิติบุคคลอาคารชุด ตั้งแต่เดือนมกราคม-ธันวาคม 2563 พบว่า จำนวนพัสดุรับเข้าโดยเฉลี่ยต่อเดือน เท่ากับ 9,083 ชิ้น มีการจ่ายพัสดุดังกล่าวโดยเฉลี่ยต่อเดือน เท่ากับ 8,481 ชิ้น และเมื่อนำข้อมูลมาวิเคราะห์เชิงสถิติ จำนวนพัสดุรับเข้าโดยเฉลี่ยต่อวัน เท่ากับ 303 ชิ้น มีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 54.86 มีการจ่ายพัสดุดังกล่าวโดยเฉลี่ยต่อวัน เท่ากับ 283 ชิ้นต่อวัน มีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 52.53 นำค่าดังกล่าวมาทำการจำลองสถานการณ์ (Simulation) โดยกำหนดให้มีรูปแบบการแจกแจงแบบปกติ แล้วทำการจำลองการเข้ามาและจ่ายพัสดุด้วยฟังก์ชัน (Norm.inv) โดยทำซ้ำ 10,000 ครั้ง เพื่อมาคำนวณจำนวนพัสดุที่ตักค้ำ ซึ่งกำหนดให้เก็บสต็อกสูงสุดที่ 15 วัน พบว่า ผลลัพธ์หากจ่ายพัสดุไปรษณีย์ต่อวัน เท่ากับ 283 ชิ้น จะทำให้มีพัสดุตักค้ำสะสม เท่ากับ 620 ชิ้น

ตารางที่ 2 การจำลองสถานการณ์ปริมาณสต็อกสะสมพัสดุสะสมเฉลี่ย

พัสดุดังกล่าวออก (ชิ้น)	พัสดุตักค้ำสะสม (ชิ้น)	ลดลง (ชิ้น)	% ลดลง
283	620	-	0
290	558	62	10.00
300	476	144	23.23
310	401	219	35.32
320	340	280	45.16
330	281	339	54.68
↓	↓	↓	↓
530	0	620	100.00

จากตารางที่ 2 พบว่า ถ้าสามารถเพิ่มปริมาณการจ่ายพัสดุดต่อวัน เท่ากับ 310 ชิ้น สามารถลดปริมาณพัสดุดค้างสะสม 401 ชิ้น ลดลง 219 ชิ้น คิดเป็นร้อยละ 35.32 เป็นไปตามเป้าหมายที่ตั้งไว้ จากการจำลองสถานการณ์นี้ ผู้ศึกษาได้กำหนดกลยุทธ์และแนวทางในการปรับปรุงระบบงานพัสดุดซึ่งจะกล่าวในหัวข้อต่อไป

3.3 กลยุทธ์การพัฒนาระบบงานพัสดุด

การบริหารระบบงานพัสดุดไปรษณีย์ของนิติบุคคลอาคารชุดที่ทำการศึกษากำหนดแนวทางการดำเนินการปรับปรุงเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพในการให้บริการที่ดีขึ้น ดังนี้ 1) การพัฒนาระบบสารสนเทศของงานพัสดุดไปรษณีย์ 2) การจัดกลุ่มประเภทและการสร้างรหัสพัสดุด 3) การออกแบบสร้างห้องเก็บพัสดุด 4) การปรับระเบียบงานพัสดุด มีรายละเอียดดังนี้

3.3.1 การพัฒนาระบบสารสนเทศของงานพัสดุดไปรษณีย์

3.3.1.1 การจัดการข้อมูลในระบบพัสดุดไปรษณีย์ของนิติบุคคล การนำเข้าข้อมูลในโปรแกรมงานพัสดุดไปรษณีย์ของนิติบุคคลอาคารชุด จะใช้ฐานข้อมูลตามการเป็นเจ้าของห้องชุดเป็นหลัก เริ่มต้นจะใช้ข้อมูลจากทะเบียนหนังสือการถือครองกรรมสิทธิ์ห้องชุดนำมาบันทึกเข้าระบบก่อน ซึ่งโปรแกรมที่ถูกเขียนขึ้นมาสามารถเปลี่ยนแปลงและแก้ไขข้อมูลประชากรได้ตลอดเวลา เป็นโปรแกรมสำหรับการนำเข้าข้อมูลของผู้พักอาศัยในอาคารชุด โดยมีการกำหนดหน้าที่ของเจ้าหน้าที่ให้มีการ Update ของข้อมูลผู้พักอาศัยทุก 3 เดือน เพื่อให้ข้อมูลถูกต้อง รวมทั้งความปลอดภัยด้านข้อมูล

3.3.1.2 การออกแบบระบบงานพัสดุดไปรษณีย์ของนิติบุคคลอาคารชุด

การบริหารงานการสื่อสารเป็นเรื่องสำคัญ เพราะผู้พักอาศัยต้องการความรวดเร็วในการรับข่าวสาร ดังนั้นบริษัทที่ดูแลนิติบุคคลอาคารชุด จึงต้องทำการพัฒนาช่องทางการสื่อสารให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น ในการจัดการพัสดุดไปรษณีย์ของนิติบุคคลอาคารชุดก็เช่นกัน ต้องมีช่องทางการสื่อสารที่มีประสิทธิภาพ ตอบสนองได้อย่างรวดเร็ว และลดเวลาในการทำงานของเจ้าหน้าที่ได้ แนวคิดในการปรับปรุงช่องทางการสื่อสารสำหรับงานพัสดุดไปรษณีย์ขึ้นโดยการออกแบบระบบงานพัสดุดไปรษณีย์ โดยพัฒนาโปรแกรมที่ใช้งานบนอุปกรณ์สื่อสาร เชื่อมโยงผ่าน line @/line OA เพราะสามารถเข้าถึงได้ง่าย การออกแบบระบบงานพัสดุดไปรษณีย์ก่อน ต้องกำหนดเงื่อนไขต่าง ๆ และรูปแบบของการใช้งานให้สอดคล้องกับกระบวนการทำงานของนิติบุคคลอาคารชุด การจัดการฐานข้อมูล การส่งต่อข้อมูลในการลงทะเบียนการเข้าใช้ระบบไปยังฐานข้อมูลของโปรแกรมพัสดุดที่สร้างไว้ก่อนหน้านี้ ทำให้ข้อมูลผู้พักอาศัยมีการ Update และผู้ดูแลสามารถตรวจสอบได้ตลอดเวลา โดยผู้วิจัยทำงานร่วมกับฝ่าย IT และกำหนดฟังก์ชันการใช้งานออกเป็น 4 ฟังก์ชันหลัก คือ 1) ระบบทะเบียนบ้าน การใช้บริการระบบพัสดุด มีการกำหนดเงื่อนไขการใช้งาน เพื่อให้สามารถระบุตัวตนของผู้ใช้งานระบบ และตรวจสอบทะเบียนว่าเป็นผู้พักอาศัยในอาคารชุด โดยจะต้องมีชื่ออยู่ในทะเบียนบ้าน มีสถานะใดในการพักอาศัย เช่น เจ้าของห้องชุด ผู้พักอาศัยร่วม หรือเป็นผู้เช่า และกำหนดสิทธิ์ในการที่จะเพิ่มชื่อในทะเบียนบ้าน ได้แก่ ผู้จัดการอาคาร เจ้าหน้าที่นิติบุคคล เจ้าของห้องชุด เพื่อให้ข้อมูลมีความถูกต้อง 2) การบันทึกรับพัสดุด เป็นการนำพัสดุดไปรษณีย์และสินค้าเข้าระบบพัสดุด ผ่านการสแกน QR Code และ BAR Code จากนั้นตั้งรหัสอ้างอิงในการรับพัสดุด ให้สะดวกต่อการค้นหา 3) การแจ้งรับพัสดุด เมื่อเจ้าหน้าที่ทำการบันทึกรับเข้าระบบเรียบร้อยแล้ว ระบบจะส่งข้อความแจ้งเตือนผ่านเครื่องมือสื่อสารถึงเจ้าของพัสดุดรับทราบ และสามารถนำเลขที่อ้างอิงมาติดต่อขอรับพัสดุดได้ทันที โดยเงื่อนไขการแจ้งรับพัสดุด คือ ชื่อ-นามสกุล ผู้รับพัสดุด ตรงกับที่อยู่ในทะเบียนบ้าน 4) การบันทึกการจ่ายพัสดุด เป็นตัดสต็อกการจ่ายพัสดุดไปรษณีย์และสินค้า ให้กับผู้มารับพัสดุดหลังจากมีการรับพัสดุดเรียบร้อยแล้ว

3.3.2 การจัดกลุ่มประเภทและการตั้งรหัสพัสดุด

3.3.2.1 การแยกประเภทพัสดุด จากพัสดุดที่รับจากไปรษณีย์และผู้ให้บริการขนส่ง จะมีรูปแบบลักษณะที่หลากหลาย มีขนาดที่แตกต่างกัน ดังนั้นเจ้าหน้าที่จะนำเข้าทะเบียนระบบพัสดุดจะต้องคำนึงถึงลักษณะของพัสดุดแต่ขึ้น จากการสำรวจข้อมูลพัสดุดรับเข้า ค่าเฉลี่ยของปริมาณพัสดุดไปรษณีย์ตั้งแต่เดือนมกราคม-ธันวาคม 2563 จำนวน 9,083 ชิ้นต่อเดือน จะได้ปริมาณและสัดส่วนของพัสดุดแต่ละประเภท ดังตารางที่ 3

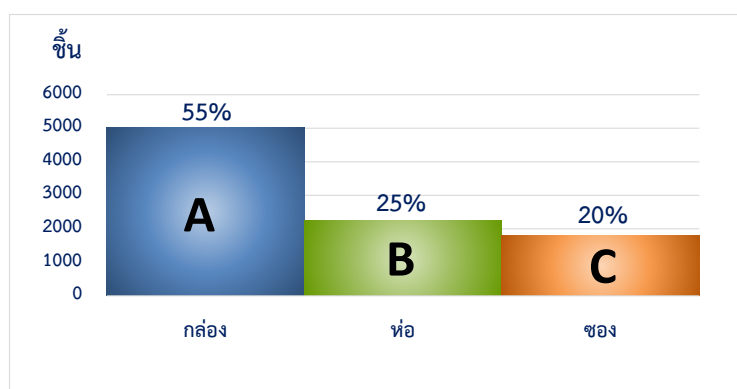
ตารางที่ 3 ประเภทและจำนวนของพัสดุของนิติบุคคลอาคารชุด (ก่อนปรับปรุง)

ประเภทพัสดุ	กล่องเล็ก	กล่องใหญ่	กล่องกลาง	ห่อใหญ่	ซองใหญ่	ซองเล็ก	ห่อกลาง	ห่อเล็ก	ซองจดหมาย	ห่อเล็กพิเศษ
จำนวน (ชิ้น)	2,688	1,537	807	729	672	595	576	557	538	384
ร้อยละ	29.60	16.91	8.88	8.03	7.40	6.55	6.34	6.13	5.92	4.23

จากตารางที่ 3 หากนำหลักการของ ABC Analysis ในการจัดประเภทพัสดุไปรษณีย์ ประยุกต์ใช้ โดยกำหนดให้กลุ่มพัสดุประเภทกล่อง ที่มีปริมาณมากที่สุดมีจำนวน 5,032 ชิ้น คิดเป็น 55% เป็นกลุ่ม A ถัดมาคือ กลุ่มพัสดุประเภทห่อ มีจำนวน 2,246 ชิ้น คิดเป็น 25% เป็นกลุ่ม B และกลุ่มสุดท้ายคือ กลุ่มพัสดุประเภทซอง มีจำนวน 1,805 ชิ้น คิดเป็น 20% เป็นกลุ่ม C ดังตารางที่ 4 และรูปที่ 4

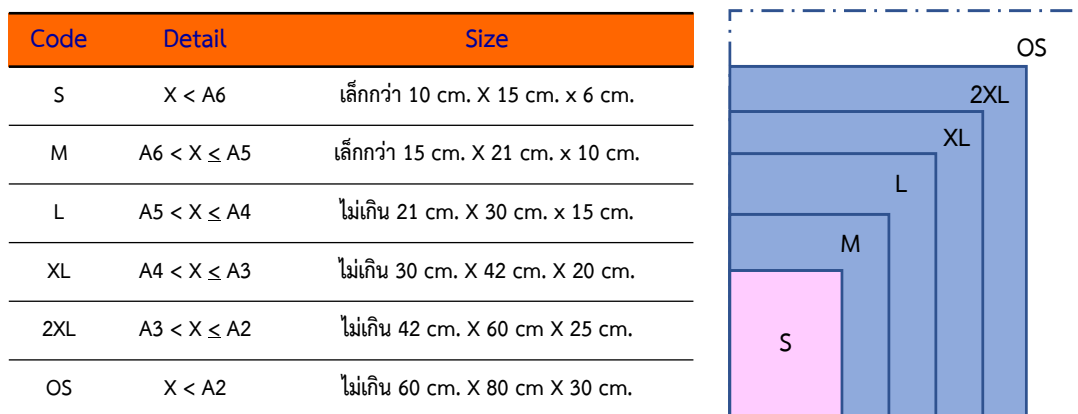
ตารางที่ 4 การแบ่งกลุ่มประเภทพัสดุไปรษณีย์ของนิติบุคคล

ประเภท	ประเภท	จำนวน	%	จำนวน (ชิ้น)	% กลุ่ม	กลุ่ม
กล่อง	1. กล่องเล็ก	2,688	29.60	5,032	55	A
	2. กล่องใหญ่	1,537	16.91			
	3. กล่องกลาง	807	8.88			
ห่อ	4. ห่อใหญ่	729	8.03	2,246	25	B
	5. ห่อกลาง	576	6.34			
	6. ห่อเล็ก	557	6.13			
	7. ห่อเล็กพิเศษ	384	4.23			
ซอง	8. ซองใหญ่	672	7.40	1,805	20	C
	9. ซองเล็ก	595	6.56			
	10. ซองจดหมาย	538	5.92			



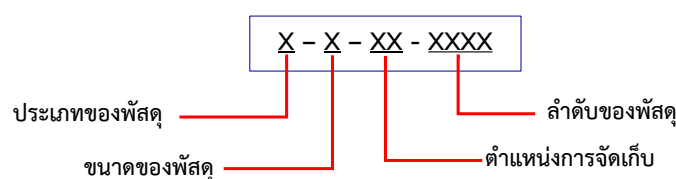
รูปที่ 4 ประเภทพัสดุไปรษณีย์ โดยใช้หลักการของ ABC Analysis

3.3.2.2 การแยกขนาดพัสดุ นอกจากนี้อีกพัสดุแต่ละประเภท มีหลายขนาด ผู้วิจัยจึงใช้มาตรฐานของขนาดกระดาษ เป็นแนวทางการกำหนดขนาดพัสดุที่จะทำการบันทึกเข้าระบบพัสดุ ทำให้การกำหนดขนาดพัสดุ โดยนำมาตรฐานของกระดาษ ISO 216 : 2007 มาเทียบเป็นขนาด S, M, L, XL, 2XL, OS เพื่อให้ผู้ปฏิบัติงานมีความเข้าใจตรงกัน และจัดทำเครื่องมือการวัดขนาดพัสดุไว้บนโต๊ะรับพัสดุ หรือบนพื้น เพื่อให้ง่ายต่อการแยกขนาดพัสดุ ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 การกำหนดขนาดและเครื่องมือสำหรับการแยกขนาดพัสดุ

3.3.2.3 การตั้งรหัสพัสดุ การตั้งรหัสของพัสดุเพื่อให้สะดวกในการจัดหมวดหมู่ ซึ่งพัสดุในคลังพัสดุต้องมีการกำหนดรหัส โดยมีหลักเกณฑ์ และ รายละเอียดในการตั้งรหัสพัสดุ ดังต่อไปนี้ 1) ประเภทของพัสดุ กำหนดให้เป็น A, B และ C 2) ขนาดของพัสดุ กำหนดขนาด โดยนำมาตรฐานของกระดาษ มาเทียบให้เป็น S, M, L, XL, 2XL, OS 3) ตำแหน่งการจัดวางพัสดุ กำหนดรหัสสำหรับสามารถใช้ในการบ่งชี้ว่าพัสดุวางอยู่ในชั้นวางที่เท่าไร และวางอยู่ชั้นไหน จะทำให้เจ้าหน้าที่สามารถค้นหาพัสดุได้รวดเร็วขึ้น 4) ลำดับของพัสดุ กำหนดให้เป็นตัวเลข 4 หลัก เช่น 0001 จากข้อกำหนดนี้ นำมาใช้ในการตั้งรหัสอ้างอิงในการรับพัสดุ รวมทั้งใช้เพื่อค้นหาพัสดุ ซึ่งจะบอกได้ว่าพัสดุนั้นวางอยู่ในตำแหน่งใด หรือชั้นวางไหน



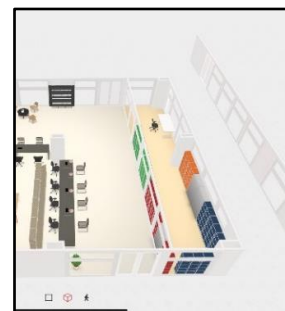
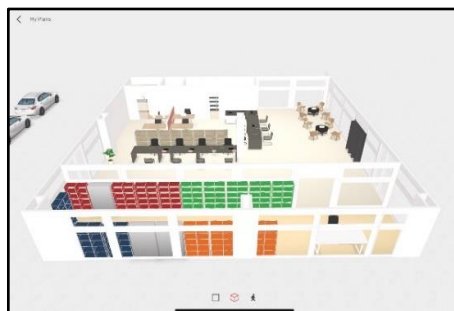
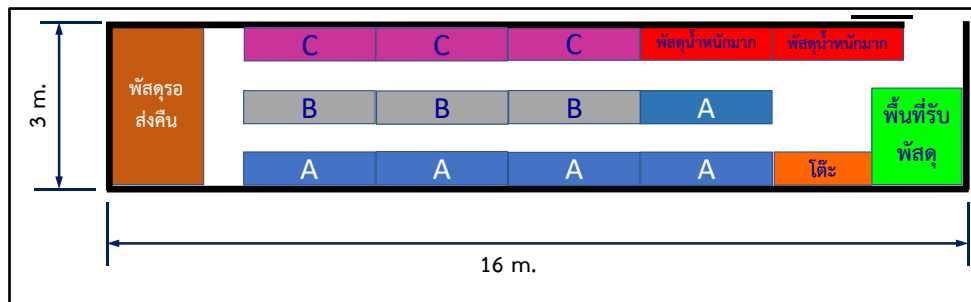
รูปที่ 6 การกำหนดวิธีการตั้งรหัสพัสดุอ้างอิง

3.3.5 การออกแบบพื้นที่จัดเก็บพัสดุไปรษณีย์

จากการจำแนกประเภทกลุ่มของพัสดุ ทำให้ทราบจำนวนและขนาดของพัสดุคร่าว ๆ ว่าจะต้องใช้อุปกรณ์ใดในการจัดเก็บ หรือพัสดุชิ้นใดต้องจัดเก็บช่องไหน วางในจุดใด และต้องคำนึงถึงความเสี่ยงในการจัดเก็บที่จะก่อให้เกิดความเสียหายกับพัสดุ โดยเฉพาะพัสดุที่มีขนาดใหญ่ และมีน้ำหนักมาก ควรหาตำแหน่งที่เหมาะสม เคลื่อนย้ายได้สะดวก รวมทั้งความปลอดภัยในการทำงานของพนักงาน ดังนั้นการออกแบบพื้นที่จัดเก็บพัสดุ ต้องคำนึงถึงขนาดพื้นที่ ขนาดและน้ำหนักของพัสดุ ชั้นสำหรับจัดเก็บ เครื่องมือในการเคลื่อนย้าย

3.3.5.1 การออกแบบชั้นวางพัสดุ สำหรับบริเวณจัดเก็บพัสดุ จะอยู่ในห้องสต็อกเท่านั้น โดยการจัดเก็บ จะแบ่งเป็น 2 บริเวณ คือ บริเวณจัดเก็บพัสดุในชั้นวาง (Shelf) และบริเวณบนพื้นห้อง (Floor) ส่วนสภาพการจัดเก็บ พบว่าพัสดุบางรายการไม่มีการเคลื่อนไหว จึงควรเน้นที่ประสิทธิภาพการใช้พื้นที่ในการจัดเก็บให้เกิดประโยชน์สูงสุด จากการ Simulation ได้ผลค่าสต็อกเฉลี่ยสะสม เท่ากับ 620 ชิ้น เมื่อจัดสัดส่วนที่จะนำมากำหนดพื้นที่และชั้นวางพัสดุในสต็อก จะได้กลุ่ม A คือ พัสดุประเภทกล่อง ต้องจัดให้มีชั้นวาง 55% กลุ่ม B คือ พัสดุประเภทห่อต้องจัดให้มีชั้นวาง 25% และกลุ่ม C พัสดุประเภทซอง ต้องจัดให้มีชั้นวาง เท่ากับ 20% ดังนั้น จึงสามารถจัดเตรียมพื้นที่และชั้นวาง สำหรับจัดเก็บพัสดุไปรษณีย์ มีรายละเอียดดังนี้ 1) ชั้นวางพัสดุ แบบ 4 ชั้น ขนาด กว้าง 0.60 m. ยาว 2.40 m. สูง 2.00 m. จำนวน 10 ชุด สำหรับพัสดุประเภท A และประเภท B 2) ตู้บานเลื่อน ขนาดกว้าง 0.45 m. ยาว 0.92 m. สูง 1.85 m. จำนวน 3 ตู้ สำหรับพัสดุประเภท C

3.3.5.2 ขนาดพื้นที่จัดเก็บ บริเวณพื้นห้อง ลักษณะการจัดวางพัสดุนบนพื้นไม่มีการกำหนดพื้นที่จัดเก็บที่แน่นอน โดยขนาดพื้นที่จัดเก็บบริเวณพื้นจะคิดจากพื้นที่ทั้งหมดในห้องสต็อก ลบด้วยพื้นที่ชั้นวางและตู้เก็บพัสดุ และโต๊ะ คำนวณได้ดังนี้ 1) พื้นที่ชั้นวาง ขนาด 0.60 m. X 2.40 m จำนวน 10 ชุด คิดเป็นพื้นที่ 14.40 m² 2) พื้นที่ตู้บานเลื่อน ขนาด 0.45 m. X 0.92 m. จำนวน 3 ตู้ คิดเป็นพื้นที่ 1.24 m² 3) พื้นที่โต๊ะทำงานขนาด 0.80 m. X 1.60 m. จำนวน 1 ชุด คิดเป็นพื้นที่ 1.28 m² 4) พื้นที่วางพัสดुरอส่งคืน กว้าง 2 m. ยาว 3 m. คิดเป็นพื้นที่รวม เท่ากับ 6 m² 5) พื้นที่บริเวณพื้น และทางเดิน คิดเป็นพื้นที่รวม เท่ากับ 25.08 m² พื้นที่ห้องสต็อก = 14.40 m² + 1.24 m² + 1.28 m² - 6 m² + 25.08 m² = 48.00 m² ดังนั้น จึงกำหนดขนาดของห้องสต็อก ให้มีความกว้าง 3.00 m. และยาว 16.00 m. คิดเป็นพื้นที่ 48.00 m² ดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 ผังการจัดพื้นที่คลังพัสดุไปรษณีย์

3.3.6 การกำหนดนโยบายด้านระบบพัสดุไปรษณีย์ของนิติบุคคลอาคารชุด

จากที่ได้ดำเนินการแก้ปัญหาในด้านกระบวนการเรียบร้อยแล้ว ฝ่ายบริหารจัดการอาคาร ต้องนำมาพิจารณาเพิ่มเติม คือ เรื่องของระเบียบปฏิบัติ และนโยบายในการบริหารระบบงานพัสดุไปรษณีย์ โดยปรับปรุง ระเบียบว่าด้วยเรื่องการใช้ระบบตู้จดหมาย และการรับพัสดุไปรษณีย์ลงทะเบียน โดยกำหนดเงื่อนไขเพิ่มเติม สำหรับการเก็บรักษาพัสดุเกิน

กำหนด คือ ผู้พักอาศัย ต้องรับพัสดุภายใน 15 วัน หลังจากได้รับการแจ้งเตือนรับพัสดุ หากเกินกำหนดระบบจะคิดค่าบริการรับฝาก หรือการเก็บรักษาพัสดุ ในอัตราตามขนาดพัสดุต่อวัน ฝ่ายจัดการทำการเก็บรักษาพัสดุไม่เกิน 15 วัน นับจากวันที่รับพัสดุ โดยคิดค่าฝาก หรือค่าเก็บรักษา ซึ่งอัตราค่าบริการคิดตามขนาดของพัสดุ คือ ขนาด S, M คิดอัตรา 1 บาทต่อชิ้นต่อวัน, ขนาด L คิดอัตรา 2 บาทต่อชิ้นต่อวัน, ขนาด XL ขึ้นไป คิดอัตรา 3 บาทต่อชิ้นต่อวัน การขยายเวลาให้บริการ จากแบบสอบถามความเห็นผู้พักอาศัย ที่ต้องการให้ขยายการให้บริการงานพัสดุ โดยต้องการให้ขยายเวลาถึง 21:00 น. จากเวลา 18:00 น. คือ เพิ่มเวลาอีก 3 ชั่วโมง ซึ่งจำเป็นต้องจัดจ้างพนักงานเสริมในช่วงเวลา 1 อัตรา ทำให้สามารถระบายพัสดุได้เพิ่มขึ้น ซึ่งการกำหนดระเบียบเพิ่มเติม จะต้องจัดทำร่างระเบียบขึ้นมา จากนั้นเสนอที่ประชุมคณะกรรมการนิติบุคคลอาคารชุด เพื่อขออนุมัติคณะกรรมการก่อน แล้วนำไปเสนอพิจารณารับรองในที่ประชุมใหญ่สามัญประจำปี เพื่อให้ประกาศใช้ระเบียบดังกล่าว

4. ผลลัพธ์การวิจัย

จากที่ทำการจำลองสถานการณ์ (Simulation) โดยกำหนดให้มีรูปแบบการแจกแจงแบบปกติ แล้วทำการจำลองการรับเข้าและจ่ายพัสดุ สามารถกำหนดกลยุทธ์และแนวทางในการปรับปรุงระบบงานพัสดุไปรษณีย์ของนิติบุคคลอาคารชุด เกิดประสิทธิภาพในการให้บริการที่ดีขึ้น ดังนี้

4.1 การพัฒนาระบบสารสนเทศของงานพัสดุไปรษณีย์ การปรับปรุงช่องทางการสื่อสารสำหรับงานพัสดุไปรษณีย์โดยการออกแบบระบบงานพัสดุไปรษณีย์ โดยพัฒนาโปรแกรมที่ใช้งานบนอุปกรณ์สื่อสาร เชื่อมผ่าน line OA เพราะสามารถเข้าถึงได้ง่าย และรูปแบบของการใช้งานสอดคล้องกับกระบวนการทำงานของนิติบุคคลอาคารชุด

4.2 การจัดกลุ่มประเภทและการตั้งรหัสพัสดุ เมื่อกำหนดการจัดกลุ่มประเภทของพัสดุ และการออกแบบวิธีการตั้งรหัสอ้างอิงของพัสดุ ทำให้ผู้ปฏิบัติงานสามารถบันทึกพัสดุเข้าระบบทะเบียนได้รวดเร็วขึ้น และสามารถลดเวลา Picking ลงได้

4.3 การออกแบบพื้นที่จัดเก็บพัสดุไปรษณีย์ สามารถออกแบบพื้นที่สำหรับรองรับการจัดเก็บพัสดุไปรษณีย์ เท่ากับ 48 ตารางเมตร และกำหนดชั้นวางพัสดุ แบบ 4 ชั้น จำนวน 10 ชุด สำหรับพัสดุประเภท A และประเภท B และ ตู้บานเลื่อน จำนวน 3 ตู้ สำหรับพัสดุประเภท C ทำให้พื้นที่จัดเก็บพัสดุเป็นระเบียบเรียบร้อย และ Picking ได้ง่ายขึ้น

4.4 การกำหนดนโยบายด้านระบบพัสดุไปรษณีย์ของนิติบุคคลอาคารชุด โดยกำหนดการเก็บรักษาพัสดุเกินกำหนด คือ ผู้พักอาศัย ต้องรับพัสดุภายใน 15 วัน หากเกินกำหนดระบบจะคิดค่าบริการรับฝาก หรือการเก็บรักษาพัสดุ ในอัตราตามขนาดพัสดุต่อวัน ซึ่งอัตราค่าบริการคิดตามขนาดของพัสดุ คือ ขนาด S, M คิดอัตรา 1 บาทต่อชิ้นต่อวัน, ขนาด L คิดอัตรา 2 บาทต่อชิ้นต่อวัน, ขนาด XL ขึ้นไป คิดอัตรา 3 บาทต่อชิ้นต่อวัน นอกจากนี้ขยายเวลาให้บริการ จากเดิม 18:00 น. เป็น 21:00 น. เพิ่มเวลาอีก 3 ชั่วโมง ซึ่งจัดจ้างพนักงานเสริมในช่วงเวลา 1 อัตรา ทำให้สามารถระบายพัสดุได้เพิ่มขึ้น

5. สรุปผล

ผลการศึกษาสภาพปัญหาและดำเนินการเพิ่มประสิทธิภาพระบบงานพัสดุใหม่ ทำให้สรุปผลดังต่อไปนี้

5.1 ด้านขั้นตอนการทำงาน ในการพัฒนาโปรแกรมที่ใช้งานบนมือถือ ทำให้สามารถลดขั้นตอนในกระบวนการ จาก 8 ขั้นตอน ลดเหลือ 6 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนการหย่อนเอกสารใบแจ้งเตือนที่ Mail box ได้ และจากการลดขั้นตอนนี้ออกไป ส่งผลให้ลดเวลาการทำงานส่วนนี้ได้ 2 ชั่วโมงต่อวัน

5.2 ด้านเวลาที่ใช้ในการให้บริการ จากการระบบงาน และจัดพื้นที่ ชั้นวาง การแยกประเภทพัสดุ และการสร้างรหัสอ้างอิง ที่ป้องกันตำแหน่งการวางพัสดุ ทำให้เวลาในการทำงานพัสดुरวดเร็วขึ้น สามารถลดเวลาในการทำงานพัสดุ ก่อนการปรับปรุงใช้เวลา เท่ากับ 68 วินาทีต่อชิ้น หลังการปรับปรุงใช้เวลา เท่ากับ เหลือ 41 วินาทีต่อชิ้น ใช้เวลาลดลง เท่ากับ 27 วินาทีต่อชิ้น คิดเป็นร้อยละ 39.71

5.3 ด้านการลดพัสดุตกค้างสะสม สามารถเพิ่มค่าเฉลี่ยการจ่ายพัสดุให้มากขึ้นได้ทีจำนวน 310 ชิ้นต่อวัน จะทำให้ค่าเฉลี่ยสต็อกสะสมลดลงเหลือ 210 ชิ้นต่อ 15 วัน คิดเป็นร้อยละ 35.32 เป็นไปตามเป้าหมายที่วางไว้

5.4 ด้านความพึงพอใจของผู้พักอาศัย หลังจากทำการปรับปรุงระบบงานพัสดุไปรษณีย์ไปแล้วประมาณ 2 เดือน ทำการออกแบบสอบถามความคิดเห็นของผู้พักอาศัยในอาคารชุดจากกลุ่มประชากร จำนวน 100 คน พบว่า ความพึงพอใจที่มีต่อระบบงานพัสดุไปรษณีย์ของนิติบุคคลอาคารชุด ก่อนปรับปรุงมีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 3.18 (S.D.=0.76) และหลังการปรับปรุง ผลของความพึงพอใจเฉลี่ย เท่ากับ 3.98 (S.D.= 0.82) มีค่าสูงขึ้น คิดเป็นร้อยละ 25.16 อยู่ในช่วง 3.41 – 4.20 หรือในระดับ “มาก” การดำเนินการเพิ่มประสิทธิภาพระบบงานพัสดุไปรษณีย์ครั้งนี้ สามารถนำไปประยุกต์ใช้ ให้กับนิติบุคคลอาคารชุดอื่น ๆ ที่บริษัทได้รับจ้างบริหารงานนิติบุคคลอาคารชุดต่อไป

6. ข้อเสนอแนะ

ข้อจำกัดของการศึกษาในครั้งนี้ 1) ระยะเวลาการดำเนินการปรับปรุงระบบงานพัสดุไปรษณีย์ของนิติบุคคลอาคารชุด มีระยะเวลาดำเนินการเพียง 3 เดือน จึงยังไม่สามารถเห็นผลที่ชัดเจน และยังพบกลุ่มผู้พักอาศัยที่ไม่สะดวกต่อการใช้งานระบบบนอุปกรณ์มือถือ จึงต้องใช้ช่องทางการสื่อสารอื่นร่วมกับระบบใหม่อีก 2) การบริหารงบประมาณ ต้องผ่านการพิจารณาจากคณะกรรมการนิติบุคคลก่อนดำเนินการ งบประมาณที่เป็นค่าใช้จ่ายรายปี ต้องบรรจุในงบประมาณประจำปีของนิติบุคคลฯ 3) จำนวนโครงการนำร่อง เนื่องจากการศึกษาครั้งนี้ได้ทดลองใช้งานเพียงโครงการเดียว ซึ่งหากจะนำไปใช้กับโครงการอื่น ๆ จำเป็นต้องศึกษาปัจจัยของโครงการนั้น ๆ เพิ่มเติมต่อไป

การพัฒนาในอนาคต 1) ด้านเทคโนโลยี ด้วยเทคโนโลยีที่มีการพัฒนาขึ้นอย่างต่อเนื่อง ในอนาคตอาจมีระบบใหม่ที่จะพัฒนาขึ้นเพื่อใช้งานบนโทรศัพท์มือถือ และอุปกรณ์อื่น ๆ มากขึ้น ทำให้ระบบที่ใช้งานปัจจุบันล้าสมัย การพัฒนาต่อยอดควรพิจารณาในส่วนนี้ 2) การบริหารจัดการกระบวนการรับพัสดุนอกเวลาทำการ ถึงแม้ว่าจะมีการขยายเวลาทำการของนิติบุคคลแล้วยังมีผู้พักอาศัยที่ต้องการรับพัสดุหลังช่วงเวลาที่ดินบุคคลปิดอีก ดังนั้นถ้าต้องการเพิ่มระดับความพึงพอใจให้มากขึ้นควรศึกษาวิธีการจัดการเพิ่มเติม เพื่อตอบสนองต่อผู้พักอาศัยในอาคารชุด 3) ผู้พัฒนาโครงการควรมีการออกแบบอาคารชุด ให้มีพื้นที่ห้องเก็บพัสดุไปรษณีย์ โดยนำแนวคิดนี้ไปใช้งาน และหวังเป็นอย่างว่านิติบุคคลอาคารชุด หรือผู้ที่สนใจ นำแนวคิดนี้ไปแก้ปัญหา และพัฒนาต่อยอดในการจัดการระบบพัสดุไปรษณีย์ต่อไป

7.เอกสารอ้างอิง

- คำนาย อภิปรัชญาสกุล. (2556). การจัดการคลังสินค้าและการกระจายสินค้า. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: โฟกัสมีเดีย แอนด์พับลิชชิง.
- ชรินทร์พร นนท์ศิลา และ จิตรา ฐักิจการพานิช. (2558). การปรับปรุงการบริหารคลังพัสดุสำหรับหน่วยบริการซ่อมรถฟอร์กลิฟต์. วารสารวิศวกรรมสารฉบับวิจัยและพัฒนา, เล่มที่ 3, ปีที่ 26, หน้า 63–70.
- ธิญาดา ไชยธรรม. (2558). การเพิ่มประสิทธิภาพการจัดการคลังสินค้า กรณีศึกษาคลังสินค้า 2 ราษฎร์บูรณะ กรุงเทพมหานคร. การค้นคว้าอิสระบริหารธุรกิจมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยกรุงเทพ.
- พัชรศักดิ์ ภาวนาภิญญ. (2552). การปรับปรุงระบบควบคุมการจัดวางพัสดุของคลังพัสดุหลัก การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค จังหวัดสมุทรสาคร. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาการจัดการโซ่อุปทานแบบบูรณาการ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต.
- ประภากร อุ่นอินทร์. (2552). การปรับปรุงระบบการจัดการคลังสินค้าสำหรับโรงงานอิเล็กทรอนิกส์. สารนิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาการจัดการโซ่อุปทานแบบบูรณาการ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต.
- วรรณวิภา ชื่นเพชร. (2560). การวางแผนคลังสินค้าสำเร็จรูปด้วยเทคนิค ABC ANALYSIS กรณีศึกษา บริษัท AAA จำกัด. การค้นคว้าอิสระวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาการจัดการโลจิสติกส์และโซ่อุปทาน วิทยาลัยโลจิสติกส์และซัพพลายเชน มหาวิทยาลัยศรีปทุม.

- สุนันทา ศิริเจริญวัฒน์. (2558). การเพิ่มประสิทธิภาพการจัดการคลังสินค้า กรณีศึกษา บริษัท ภูมิไทย คอมซีส์ จำกัด. การศึกษาค้นคว้าด้วยตนเองบริหารธุรกิจมหาบัณฑิต, สาขาวิชาการจัดการโลจิสติกส์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย.
- สุภารัตน์ อ่ำชุม. (2559). ปัญหาการบริหารงานพัสดุของสำนักงานคณะกรรมการข้าราชการครูและบุคลากรทางการศึกษา. การค้นคว้าอิสระบริหารธุรกิจมหาบัณฑิต, คณะบริหารธุรกิจ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร.
- สุริยัน นิลทะราช และ สมบูรณ์ ขาวชายโง. (2563, 1 เมษายน). การพัฒนาระบบสารสนเทศการบริหารงานพัสดุ เพื่อการควบคุมวัสดุ. วารสารบัณฑิตศึกษา, เล่มที่ 76, ปีที่ 17, หน้า 191–201.
- อชิระ.เมธารัตตกุล. (2557). การเพิ่มประสิทธิภาพการจัดการคลังสินค้า กรณีศึกษาบริษัทผลิตชิ้นส่วนรถยนต์. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาการจัดการโลจิสติกส์และโซ่อุปทาน คณะโลจิสติกส์ มหาวิทยาลัยบูรพา.
- Affinity Solution. (2017, พฤศจิกายน). Customer Journey Map สำคัญอย่างไร. Affinity Solution. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: <https://affinity.co.th/customer-journey-map-สำคัญอย่างไร/?lang=th>. [วันที่ค้นข้อมูล: 27 มกราคม 2564].
- Ourgreenfish. (2018, กันยายน). Customer Journey คืออะไร ประกอบด้วย 5 ขั้นตอน. Ourgreenfish. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: <https://blog.ourgreenfish.com/th/customer-journey-คืออะไร>. (วันที่ค้นข้อมูล: 27 มกราคม 2564).
- SILVERMAN. (2021, มกราคม). รวมปัญหาพัสดุ เรื่องไม่เล็กของชาวคอนโด. SILVERMAN. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: <https://affinity.co.th/customer-journey-map-สำคัญอย่างไร/?lang=th>. (วันที่ค้นข้อมูล: 6 มกราคม 2564).
- Supattha Marketteer. (2020, มกราคม). Kerry กับการเติบโตก้าวกระโดดในเมืองไทย ... จนใครๆ ก็อยากลงทุน. Marketteer. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: <https://marketeeronline.co/archives/140913>. (วันที่ค้นข้อมูล: 27 มกราคม 2564).

ประวัติผู้เขียนบทความ



จุมพล กิจสุขกาย นักศึกษาหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการงานวิศวกรรม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต 1761 ถนนพัฒนาการ สวนหลวง กรุงเทพมหานคร 10250 email: jumpon62@gmail.com



ภาวัด ไชยชวนวาทิก รองคณะบดีฝ่ายวิจัยและผู้อำนวยการศูนย์นวัตกรรมทางเทคโนโลยีและการขนส่งอย่างยั่งยืน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต 1761 ซอยพัฒนาการ 37 แขวงสวนหลวง เขตสวนหลวง กรุงเทพมหานคร 10250, จบการศึกษาหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต และหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิตและ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี และ Ph.D. Transportation Engineering, Asian Institute of Technology, Email: bhawat.cha@kbu.ac.th



ดร.ศักดิ์ชาย รักการ ผู้อำนวยการหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการงานวิศวกรรม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต 1761 ถนนพัฒนาการ สวนหลวง กรุงเทพมหานคร 10250 การศึกษา Ph.D. Systems and Control Engineering, Case Western Reserve University, Ohio, U.S.A., วศ.ม.วิศวกรรมอุตสาหการมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และ วศ.บ.วิศวกรรมอุตสาหการ (เกียรตินิยมอันดับ 1) มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต Email: sakchai.rak@kbu.ac.th



จิรววัฒน์ ปล้องใหม่ หัวหน้าสาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต 1761 ถนนพัฒนาการ สวนหลวง กรุงเทพมหานคร 10250 การศึกษา วศ.ม.วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ บริหารธุรกิจมหาบัณฑิต สาขาการจัดการ และอส.บ. วิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต Email: jeerawat.plo@kbu.ac.th

การศึกษาอุณหภูมิและโครงสร้างจุลภาคของกระบวนการเคลือบอลูมิเนียมลงบนเซรามิกด้วย แรงเสียดทาน

A study on microstructure and process temperature of aluminium coating on ceramic by friction surfacing process

ธรรมะสุข มิ่งเมือง¹ และ สุขอังคณา แกล่งกันท์²

¹ภาควิชาเครื่องกลและการผลิต, คณะวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตเฉลิมพระ
เกียรติ จังหวัดสกลนคร 59 หมู่ 1 ตำบลเชียงเครือ อำเภอเมือง จังหวัดสกลนคร 47000, E-mail:

Dhammasook.m@ku.ac.th

²ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ, คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ตำบลในเมือง อำเภอเมืองขอนแก่น ขอนแก่น

E-mail: sukangkana@kku.ac.th

Dhammasook Mingmuang¹ and Assoc. Prof. Dr. Sukangkana Talangkun²

¹Department of Mechanical and Manufacturing Engineering, Faculty of Science and Engineering, Kasetsart
University Chalermphrakiat Sakon Nakhon Province Campus, Muang Sakon Nakhon 47000

²Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Khon Kaen University, Thailand

วันรับบทความ วันที่ 24 สิงหาคม 2564

วันแก้ไขบทความ วันที่ 30 กันยายน 2564

วันตอบรับบทความ วันที่ 10 ตุลาคม 2564

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาโครงสร้างจุลภาคและอุณหภูมิที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการเคลือบอลูมิเนียม AA1100 ลงบนแผ่นเซรามิกที่ผลิตจากดินขาวด้วยกระบวนการเคลือบด้วยแรงเสียดทาน โดยทำการเคลือบที่ความเร็วรอบมีค่าเท่ากับ 8000 รอบต่อนาที อัตราป้อนตามแนวแกนของวัสดุเดิมมีค่าเท่ากับ 0.6 มิลลิเมตรต่อนาที, ระยะป้อนปรัณภูมิมีค่าเท่ากับ 0.5 มิลลิเมตร, อัตราป้อนในแนวระนาบมีค่าเท่ากับ 3 มิลลิเมตรต่อนาที และมุมในการเคลือบมีค่าเท่ากับ 11 องศา โดยผลการทดลองแสดงให้เห็นความประสบความสำเร็จในการเคลือบ โดยไม่เกิดการแตกร้าวระหว่างกระบวนการ ชั้นผิวเคลือบอลูมิเนียมสามารถยึดติดกับแผ่นเซรามิกได้อย่างแข็งแรงไม่เกิดการหลุดลอก ผลจากการศึกษาขนาดและพฤติกรรมของอุณหภูมิที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการเคลือบพบว่าอุณหภูมิเฉลี่ยของกระบวนการเคลือบมีค่าเท่ากับ 170.3 องศาเซลเซียสซึ่งอุณหภูมิดังกล่าวอยู่ในช่วงอุณหภูมิขึ้นรูปเย็น พฤติกรรมของอุณหภูมิมีลักษณะขึ้นลงอย่างรวดเร็วและต่อเนื่องไปจนกระทั่งสิ้นสุดกระบวนการ อันเป็นผลจากปรากฏการณ์ติดลื่น จากการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคพบว่าหลักฐานแสดงให้เห็นถึงเนื้อของวัสดุเดิมที่ผ่านกระบวนการเลื่อนหลุดและสะสมตัวกันจนกลายเป็นชั้นผิวเคลือบ นอกจากนี้เมื่อพิจารณาความหนาของชั้นผิวเคลือบพบว่าชั้นผิวเคลือบมีความหนาเฉลี่ยเท่ากับ 1.168 ไมโครเมตร

คำสำคัญ: การเคลือบด้วยแรงเสียดทาน, อลูมิเนียม, เซรามิก

ABSTRACT

The objective of this article was to study microstructure and process temperature of aluminium AA1100 coating on kaolin substrate by friction surfacing process with 8000 rpm of rotation speed, 0.6 mm/min of axial feed rate, 0.5 mm of primary depth of cut, 3 mm/min of horizontal feed rate and 11 degree of coating angle. It was successfully to coat aluminium AA1100 on ceramic substrate by friction surfacing process. Cracks of ceramic substrate and peeling of aluminium coating layer were not observed. It was founded that coating temperature increased and decreased rapidly and continuously until the end of coating process due to stick-slip phenomenon. The average coating temperature was 170.3 degree Celsius. So, this condition of coating process was classified as cold working process. Furthermore, the evidence of slippage and deposition of aluminium on coating layer was occurred. In addition, the average thickness of coating layer was 1.168 micrometres.

KEYWORDS: friction surfacing process, aluminum, ceramic

1. บทนำ

เทคโนโลยีการเคลือบโลหะลงบนเซรามิกถูกประยุกต์ใช้อย่างมากมายในการผลิตอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลัง ดังปรากฏในรายงานของ Hong He, et al. (2007) และ B. Mouawad, et al. (2014) รวมไปถึงการนำไปประยุกต์ใช้ในการผลิตอุปกรณ์แลกเปลี่ยนทางความร้อนอย่างวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก ดังปรากฏในรายงานของ Zheng, X. F., et al. (2014)

ด้วยคุณสมบัติในการนำไฟฟ้าและความร้อนได้ดี รวมไปถึงจุดหลอมเหลวที่ค่อนข้างสูงของทองแดง ด้วยเหตุนี้แผ่นเซรามิกเคลือบด้วยทองแดง (Direct bond copper: DBC) จึงได้ถูกประยุกต์ใช้อย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมที่ได้กล่าวมาในข้างต้น ดังปรากฏในรายงานของ Schulz-Harder, J. (2003), K. Arai, et al. (2019) และ Wang, Y. T., et al. (2020)

แต่อย่างไรก็ตาม เมื่อเร็ว ๆ นี้ได้มีรายงานถึงการเกิดความเสียหายของแผ่น DBC อันเนื่องมาจากผลของความเค้นร้อนแบบเป็นคาบ (Thermal cyclic load) ส่งผลให้เกิดการแตกร้าวของเซรามิกและเกิดการหลุดลอกของแผ่นทองแดงภายหลังจากการใช้งานไปได้ชั่วเวลาหนึ่ง ดังปรากฏในรายงานของ Dong, G., et al. (2010) และ Camilleri, D., et al. (2012)

นอกจากนี้ Hsueh, C. H., (1985) ได้รายงานถึงกลไกการเกิดความเค้นร้อน (Thermal stress) ที่เกิดขึ้นระหว่างการเชื่อมต่อทองแดงเข้ากับอลูมินา ผลจากค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวทางความร้อนที่แตกต่างกันระหว่างทองแดงและอลูมินา หลังจากการเย็นตัวของวัสดุทั้งสอง การหดตัวของอลูมินาและทองแดงจะเกิดขึ้น แต่การหดตัวจะไม่สามารถเกิดขึ้นได้อย่างอิสระเป็นผลสืบเนื่องมาจากบริเวณที่เกิดการเชื่อมต่อกันระหว่างทองแดงและอลูมินา ดังนั้นจึงทำให้มีความเค้นตกค้าง (Residual stress) เกิดขึ้น

เพื่อที่จะลดปริมาณความเค้นร้อนที่เกิดขึ้น การพิจารณาเลือกใช้โลหะที่มีความเค้นที่จุดครากต่ำจึงถูกนำมาพิจารณาในการประยุกต์ใช้ในการเชื่อมต่อโลหะเข้ากับเซรามิก ดังปรากฏในรายงานของ Yamada, T., et al. (1990) และ Suganuma, K. (2013)

ด้วยเหตุนี้จึงมีการพัฒนาแผ่นเซรามิกเคลือบด้วยอลูมิเนียม (Direct bond aluminium: DBA) ขึ้นมา ด้วยสาเหตุจากค่าความเค้นที่จุดครากของอลูมิเนียมที่ต่ำกว่าทองแดง จึงส่งผลให้ค่าความเค้นร้อนที่เกิดขึ้นระหว่างการใช้งานที่อุณหภูมิสูงของ DBA มีค่าต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับแผ่น DBC ดังปรากฏในรายงานของ Kraft, S. et al., (2012) และ Lei, T.G., et al. (2009)

แต่อย่างไรก็ตามกระบวนการสร้างพันธะเชื่อมระหว่างโลหะและเซรามิกด้วยกระบวนการบัดกรีที่สถานะของเหลว (Soldering) ค่อนข้างทำได้ยากและค่อนข้างมีความซับซ้อนหลายกระบวนการ เนื่องจากต้องมีการเตรียมชิ้นผิวโลหะบางบนผิวเซรามิก (Metalizing) ก่อนการบัดกรี และได้การเชื่อมต่อที่ไม่ค่อยมีความแข็งแรงมากนัก ดังปรากฏในรายงานของ Lee, S. K., et al. (2007) และ Md Arshad, M. K., et al. (2006)

Mel. M. Schwartz, (1990) ได้รายงานถึงกระบวนการสร้างชั้นผิวเคลือบโลหะบนผิวเซรามิกด้วยกระบวนการเคลือบไอสารทางฟิสิกส์และทางเคมี (Physical/Chemical vapor deposition) โดยกระบวนการดังกล่าวสามารถสร้างชั้นผิวเคลือบโลหะบนเซรามิกได้ แต่อย่างไรก็ตาม กระบวนการดังกล่าวมีต้นทุนอุปกรณ์ที่ค่อนข้างสูง

จากรายงานของ Wang, Y. T., et al. (2020) ได้กล่าวถึงกระบวนการเคลือบที่สถานะของแข็งด้วยวิธีการกดด้วยความร้อน (Hot press bonding) ซึ่งเป็นกระบวนการสร้างพันธะระหว่างโลหะและเซรามิกที่สถานะของแข็ง (Solid state bonding) โดยนำแผ่นฟิล์มโลหะไปทำการให้กดลงบนเซรามิกที่อุณหภูมิสูง กระบวนการแพร่ในสถานะของแข็ง (Diffusion bonding) จะทำให้พันธะระหว่างโลหะและเซรามิกเกิดขึ้น วิธีการดังกล่าวให้การเชื่อมต่อที่ค่อนข้างแข็งแรง แต่อย่างไรก็ตาม กระบวนการดังกล่าวมีต้นทุนอุปกรณ์และพลังงานที่ค่อนข้างสูงรวมถึงใช้เวลาค่อนข้างนานในการเชื่อมต่อ

จากรายงานข้างต้นแสดงให้เห็นว่า กระบวนการสร้างพันธะระหว่างโลหะและเซรามิกที่สถานะของแข็งจะให้พันธะระหว่างโลหะและเซรามิกที่ค่อนข้างแข็งแรง และจากรายงานของ Noh, M. Z., et al (2008) และ Seli, H., (2010) แสดงให้เห็นถึงกลไกการสร้างพันธะระหว่างโลหะและเซรามิกในสถานะของแข็งด้วยกระบวนการเชื่อมด้วยแรงเสียดทาน (friction welding) ซึ่งเป็นกระบวนการสร้างพันธะระหว่างโลหะและเซรามิกที่สถานะของแข็ง การเชื่อมต่อที่แข็งแรงและหลักฐานของการแพร่ในสถานะของแข็งระหว่างโลหะและเซรามิกได้ปรากฏขึ้นบริเวณพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างโลหะและเซรามิก

นอกจากนี้ Gandra, J., et al (2014) ได้รายงานถึงการพัฒนาระบบการเคลือบด้วยแรงเสียดทาน (Friction surfacing) ซึ่งกระบวนการดังกล่าวเป็นกระบวนการที่ต่อยอดมาจากกระบวนการเชื่อมด้วยแรงเสียดทาน แต่ได้ทำการปรับเปลี่ยนวิธีการป้อนแรงเข้าสู่ชิ้นงานจนสามารถเคลือบผิวโลหะลงบนชิ้นงานเป้าหมายได้ โดยนอกจากข้อดีในเรื่องความแข็งแรงของรอยเชื่อมที่ได้จากกระบวนการเชื่อมต่อวัสดุด้วยแรงเสียดทานแล้ว กระบวนการดังกล่าวมีข้อดีคือมีต้นทุนอุปกรณ์ที่ค่อนข้างต่ำและมีกระบวนการที่ไม่ซับซ้อน ด้วยเหตุนี้งานวิจัยนี้จึงมีจุดประสงค์ในการประยุกต์ใช้กระบวนการเคลือบด้วยแรงเสียดทานนำมาใช้ในการเคลือบโลหะลงบนเซรามิก

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

2.1 เพื่อศึกษาอุณหภูมิที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการเชื่อมอลูมิเนียมลงบนเซรามิกด้วยแรงเสียดทาน

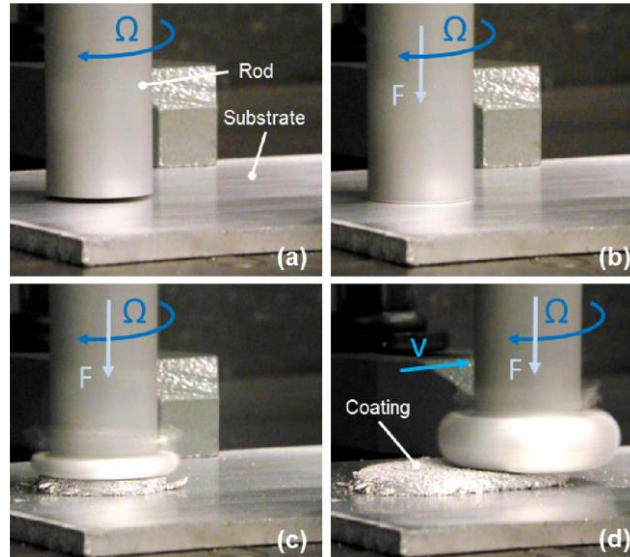
2.2 เพื่อศึกษาโครงสร้างจุลภาคของชั้นผิวเคลือบโลหะที่ผ่านการเคลือบลงบนเซรามิกด้วยกระบวนการเคลือบด้วยแรงเสียดทาน

3. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

3.1 กระบวนการเคลือบผิวด้วยแรงเสียดทาน (Friction surfacing)

จากรายงานของ Gandra, J., et al (2014) ได้อธิบายถึงรายละเอียดของกระบวนการเคลือบด้วยแรงเสียดทาน โดยกระบวนการดังกล่าว เป็นกระบวนการเคลือบวัสดุหนึ่งลงบนอีกวัสดุหนึ่งโดยอาศัยการเกิดความร้อนเนื่องจากแรงทางกลและกระบวนการแพร่ในสถานะของแข็ง โดยกระบวนการดังกล่าวได้แบ่งออกเป็นสองส่วนย่อยคือกระบวนการเสียรูปเริ่มต้น (Initial deformation state) และกระบวนการสะสมชั้นผิวเคลือบ (Deposition state) โดยเหมือนทำการหมุนวัสดุเติม (Consumable rod) และกดด้วยความเค้นลงบนแผ่นวัสดุเป้าหมาย (Substrate) ที่ต้องการเคลือบดังแสดงในรูปที่ 1(a) และ 1(b) ความร้อนอันเนื่องมาจากแรงเสียดทานบริเวณพื้นที่ผิวสัมผัสจะทำให้วัสดุเติมเกิดการเสียรูปและมีคุณสมบัติไหลตัวได้

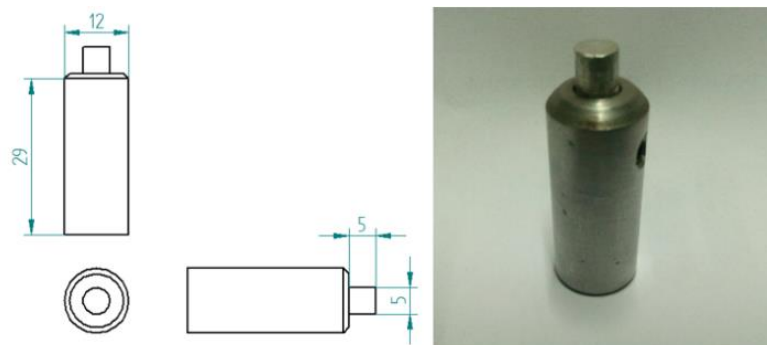
โดยคุณสมบัติดังกล่าวเรียกว่าการไหลตัวแบบพลาสติก (Viscoplasticity) ดังแสดงในรูปที่ 1(c) และเมื่อถึงจุดหนึ่งวัสดุเดิมจะเกิดการหลุดร่อนออกมาจากวัสดุเดิม ผลของความเค้นกดและอุณหภูมิที่เกิดขึ้นจะทำให้เกิดกระบวนการขัดประสานทางกล (Mechanical interlocking) โดยวัสดุเดิมที่สามารถไหลตัวได้จะแทรกตัวไปตามผิวของแผ่นวัสดุเป้าหมายและเกิดกระบวนการแพร่ในสถานะของแข็ง โดยกระบวนการดังกล่าวจะเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องจนเกิดการสะสมตัวเป็นชั้นผิวเคลือบ ดังแสดงในรูปที่ 1(d)



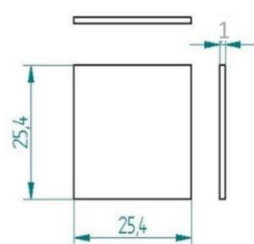
รูปที่ 1 กระบวนการเคลือบอลูมิเนียม AA6082-T6 ลงบน แผ่นอลูมิเนียม AA2024-T3 ด้วยแรงเสียดทาน (a) เริ่มการหมุนวัสดุเดิม (b) วัสดุเดิมสัมผัสกับแผ่นวัสดุเป้าหมาย (c) กระบวนการเสียรูปเริ่มต้น (d) กระบวนการสะสมชั้นผิวเคลือบ ที่มา : Gandra, J., et al (2014)

4. วิธีดำเนินการวิจัย

4.1 วัสดุเดิมที่ใช้คืออลูมิเนียมบริสุทธิ์ AA1100 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร โดยผ่านการกลึงและจับยึดเข้ากับอุปกรณ์จับยึดดังแสดงในรูปที่ 2 ในขณะที่เซรามิกที่ใช้จะมีความหนา 1 มิลลิเมตรและมีขนาดความกว้างและความยาวเท่ากับ 1 นิ้ว วัสดุที่ใช้ทำเซรามิกเป็นดินขาวที่ผ่านกระบวนการเผาที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 10 ชั่วโมง ดังแสดงในภาพที่ 3 โดยคุณสมบัติทางเคมีของอลูมิเนียมและเซรามิกได้ถูกแสดงในตารางที่ 1 และตารางที่ 2



รูปที่ 2 อลูมิเนียม AA1100 ที่ผ่านการกลึงและจับยึดเข้ากับอุปกรณ์จับยึด ที่มา : ผู้จัดทำ



รูปที่ 3 แผ่นเซรามิกดินขาวที่ยังไม่ผ่านกระบวนการเคลือบ ที่มา : ผู้จัดทำ

ตารางที่ 1 ส่วนประกอบทางเคมีของวัสดุเดิม

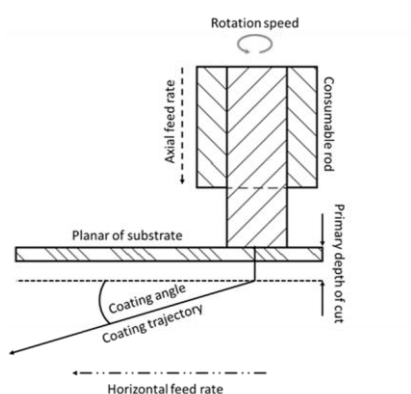
Element	Al	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Ti	Cr	Ni
%	98.8364	0.1247	0.60723	0.02801	0.13132	0.00044	0.013	0.008	0.16843	0.04281

Element	Sb	Pb	Sn	Na	Ca	Bi	Zr	V	Co	Cd
%	0.01196	0.01427	0.00313	0.00042	0.00062	0.00052	0.001	0.00463	0.00178	0.00069

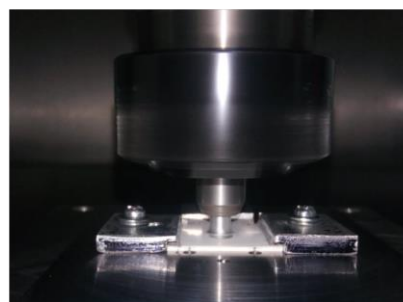
ตารางที่ 2 ส่วนประกอบทางเคมีของแผ่นเซรามิก

Element	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	Loss of ignition
%	54.5	33.9	0.24	0.25	0.65	1.66	1.96	0.02	6.09

4.2 กระบวนการเคลือบจะทำการเคลือบโดยใช้เครื่อง CNC milling machine รุ่น MIKRON HAAS VCE 750 โดยกำหนดให้ความเร็วรอบในการเคลือบ(Rotation speed) มีค่าเท่ากับ 8000 รอบต่อนาที อัตราป้อนตามแนวแกนของวัสดุเดิม (Axial feed rate) มีค่าเท่ากับ 0.6 มิลลิเมตรต่อนาที, ระยะป้อนปฐมภูมิ (Primary depth of cut) มีค่าเท่ากับ 0.5 มิลลิเมตร อัตราป้อนในแนวระนาบ (Horizontal feed rate) มีค่าเท่ากับ 3 มิลลิเมตรต่อนาที และมุมในการเคลือบ (Coating angle) มีค่าเท่ากับ 11 องศา โดยทำการเคลือบเป็นระยะทาง 6 มิลลิเมตรจากจุดเริ่มต้น จากรูปที่ 4(a) แสดงปัจจัยที่เกี่ยวข้องในการเคลือบ และภาพที่ 4(b) แสดงกระบวนการเคลือบ



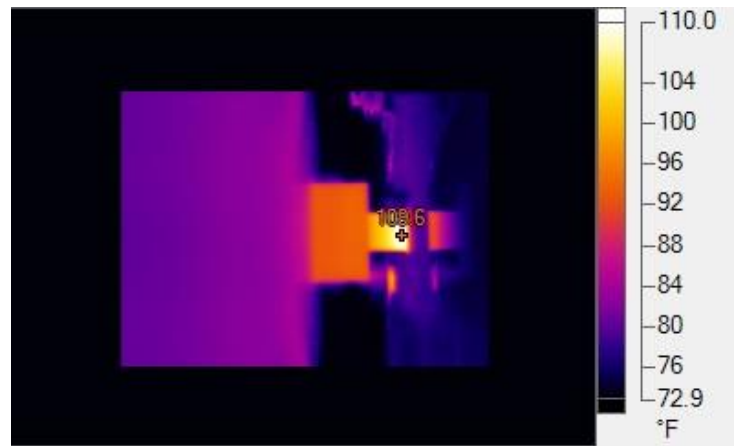
(a)



(b)

รูปที่ 4 (a) ภาพแสดงปัจจัยในการเคลือบ (b) กระบวนการเคลือบอลูมิเนียมลงบนเซรามิกด้วยแรงเสียดทาน

4.3 การตรวจสอบอุณหภูมิที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการเคลือบจะทำการตรวจสอบโดยใช้กล้องถ่ายภาพอินฟราเรด Fluke Ti400 ในการตรวจจับความร้อน และทำการประมวลผลโดยใช้โปรแกรม smart view ดังแสดงในรูปที่ 5



รูปที่ 5 การบันทึกภาพอุณหภูมิที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการเคลือบ ที่มา : ผู้จัดทำ

4.4 การตรวจสอบโครงสร้างมหภาคของชั้นผิวเคลือบตรวจสอบโดยใช้กล้อง Stereo microscope OLYMPUS-SZX9 ในขณะที่การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคของชั้นผิวเคลือบโดยใช้ กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Field Emission Scanning Electron Microscope) รุ่น FEI, Model: Helios NanoLab G3 CX ในการวิเคราะห์

5. ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

5.1 การตรวจสอบอุณหภูมิที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการเคลือบ

จากการตรวจสอบอุณหภูมิที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการเคลือบพบว่าอุณหภูมิที่เกิดขึ้นมีพฤติกรรมขึ้นลงสลับไปมาอย่างต่อเนื่องตั้งแต่เริ่มคั้นจนจบกระบวนการ โดยพฤติกรรมดังกล่าวเกิดขึ้นทั้งในช่วงกระบวนการเสียรูปเริ่มต้นและกระบวนการสะสมชั้นผิวเคลือบดังแสดงในรูปที่ 6 โดยพฤติกรรมของอุณหภูมิดังกล่าวได้เรียกว่าปรากฏการณ์ติดลิ้น (stick-slip Phenomenon) ซึ่งปรากฏในรายงานของ Jiménez, A. E., & Bermúdez, M. D., (2011) โดยความแตกต่างของแรงแรงเสียดทานจลน์ที่เกิดขึ้นบนพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างกระบวนการเคลือบจะแสดงผลออกมาในรูปเสียง, อุณหภูมิและความร้อน ซึ่งในที่นี้แสดงให้เห็นถึงความร้อนที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการเคลือบ โดยในช่วงที่อุณหภูมิมีพีคที่สูงขึ้นแสดงถึงค่าแรงเสียดทานจลน์ที่สูงขึ้น ในขณะที่อุณหภูมิลดลงค่าแรงเสียดทานจลน์ที่เกิดขึ้นระหว่างพื้นที่ผิวสัมผัสจึงลดลงตามไปด้วย

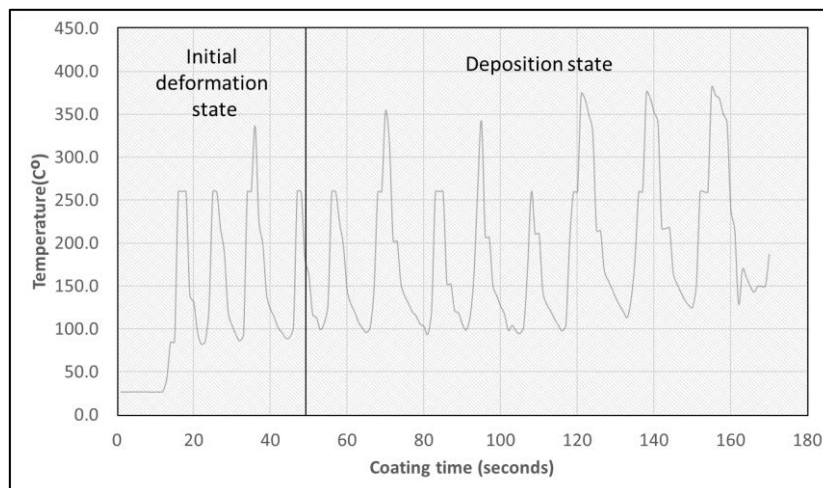
จากรายงานของ Rafi, H. K., et al (2011), Bedford, G. M., et al (2001), Fukakusa, K. (1996) และ Gandra, J., et al (2012) ได้กล่าวถึงผลของแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการเคลือบทำให้เกิดกระบวนการทางความร้อนเชิงกล (Thermomechanical process) โดยเมื่อวัสดุเดิมได้รับอิทธิพลจากความเค้นเฉือนและความเค้นกดจะทำให้ให้วัสดุบริเวณดังกล่าวมีอุณหภูมิสูงขึ้นและมีพฤติกรรมการไหลตัวแบบพลาสติก โดยพฤติกรรมดังกล่าวจะอยู่ในช่วงการติด (Stick) ของกระบวนการติดลิ้น (Stick-slip phenomenon) ดังที่ได้กล่าวมาในข้างต้น

เมื่อถึงจุดหนึ่งที่อุณหภูมิสูงมากพอวัสดุเดิมที่มีคุณสมบัติการไหลตัวแบบพลาสติกจะเกิดการเลื่อนหลุดและเชื่อมต่อกับเซรามิกจนเกิดเป็นชั้นผิวเคลือบ ด้วยเหตุนี้แรงเสียดทานบริเวณพื้นที่ผิวสัมผัสจะลดลง ส่งผลให้อุณหภูมิที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการเคลือบลดลงด้วยเช่นกัน โดยพฤติกรรมดังกล่าวจะอยู่ในช่วงการติด (Slip) ของกระบวนการติดลิ้น (Stick-slip phenomenon) ดังที่ได้กล่าวมาในข้างต้น พลังงานความร้อนที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการเคลือบส่วนมากได้ถูกถ่ายเทไปยังชั้นผิวเคลือบ ดังปรากฏในรายงานของ Rafi, H. K., et al (2011) ประกอบกับข้อมูลนิยามมีความสามารถในการนำความร้อนได้ดี ($\lambda = 222 \text{ W/m-K}$) จึงทำให้กระบวนการถ่ายเทความร้อนเกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็ว ในขณะที่เดียวกัน เนื้อวัสดุบางส่วนจะถูกดัน

ไปยังบริเวณขอบของลวดเดิมทำให้เกิดเป็นครีบก้นขึ้นมา และเมื่อเนื้อวัสดุชุดใหม่ถูกความเค้นกดดันเข้ามา กระบวนการเคลื่อนจะเกิดขึ้นซ้ำอีกครั้งอย่างต่อเนื่องจนกระทั่งจบกระบวนการเคลือบ

ขนาดของอุณหภูมิที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการเคลือบทำให้ทราบคุณสมบัติของวัสดุ โดยอุณหภูมิที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการเคลือบข้างต้นส่วนมากจะอยู่ในช่วงจะอยู่ในช่วงอุณหภูมิขึ้นรูปเย็น (Cold working temperature) หรือช่วงอุณหภูมิที่ต่ำกว่าอุณหภูมิตกผลึกใหม่ (Recrystallisation temperature) โดยช่วงอุณหภูมิตกผลึกใหม่ของอลูมิเนียมมีค่าประมาณ 300 องศาเซลเซียส แต่อย่างไรก็ตาม บางช่วงเวลาของกระบวนการเคลือบ อุณหภูมิของกระบวนการได้เพิ่มขึ้นไปถึงอุณหภูมิขึ้นรูปร้อน (Hot working temperature) แต่เป็นเพียงช่วงเวลาไม่นานพอที่จะเกิดกระบวนการตกผลึกใหม่ โดยอุณหภูมิเฉลี่ยของกระบวนการเคลือบมีค่าเท่ากับ 170.3 °C ประกอบกับอลูมิเนียมมีโครงสร้างแบบ FCC จึงมีช่วงการบกพร่องของผลึกแบบสแตคกิ้งฟอลต์ (stacking fault defect) ที่ค่อนข้างกว้างทำให้อลูมิเนียมมีค่าพลังงานสแตคกิ้งฟอลต์ (Stacking fault energy) ที่ค่อนข้างสูง ($\sim 170 \text{ mJ m}^{-2}$) ดังปรากฏในรายงานของ Polmear, I., et al (2017) ทำให้กระบวนการคืนตัวของดิสโลเคชัน (Dislocation recovery) เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง ทำให้โอกาสที่จะเกิดการสะสมพลังงานอันเนื่องมาจากการเสียรูปของวัสดุ (Internal strained energy) เกิดขึ้นได้ยาก ดังนั้นอลูมิเนียมจึงมีโอกาสเกิดการตกผลึกใหม่จากการเสียรูปได้ค่อนข้างยาก แต่อย่างไรก็ตาม ในกรณีที่อัตราการเสียรูป (Strain rate) มีค่าสูงมากพอจนเกิดปรากฏการณ์เสียรูปแบบพลาสติกอย่างรุนแรง (Severe plastic deformation) ดังปรากฏในรายงานของ Sakai, T., et al (2014) อลูมิเนียมจะมีโอกาสเกิดการตกผลึกใหม่ได้เช่นกัน

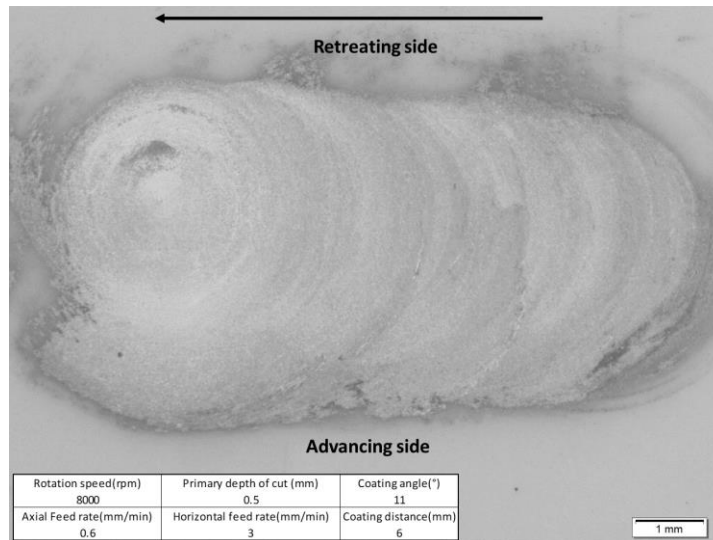
ผลของกระบวนการขึ้นรูปเย็นจะทำให้ค่าความหนาแน่นของดิสโลเคชัน (Dislocation densities) ของอลูมิเนียมที่ขึ้นผิวเคลือบมีค่าสูงกว่าอลูมิเนียมที่ยังไม่ผ่านกระบวนการเคลือบและส่งผลต่อเนื่องให้ค่าความแข็งแรงของชั้นผิวเคลือบมีความแข็งแรงสูงกว่าอลูมิเนียมที่ยังไม่ผ่านกระบวนการเคลือบด้วยเช่นกัน ซึ่งพฤติกรรมดังกล่าวของอลูมิเนียมส่งผลต่อระดับของความเค้นร้อนที่จะเกิดขึ้นในกรณีที่น่าขึ้นงานไปใช้งานที่อุณหภูมิสูง นอกจากนี้ค่าความหนาแน่นของดิสโลเคชันที่เพิ่มขึ้นจะทำให้ความสามารถในการนำไฟฟ้าของวัสดุลดลงดังปรากฏในรายงานของ Kovács-Csetényi, E. (1964) ดังนั้นการลดความหนาแน่นของดิสโลเคชันลงด้วยกระบวนการอบคลายตัว (Anneal) หรือการปรับระดับของปัจจัยให้เกิดปรากฏการณ์เสียรูปแบบพลาสติกอย่างรุนแรง เพื่อให้เกิดกระบวนการตกผลึกใหม่ จึงเป็นเรื่องที่ควรพิจารณา



รูปที่ 6 พฤติกรรมของอุณหภูมิที่เกิดขึ้นระหว่างการเคลือบโลหะลงบนเซรามิกด้วยแรงเสียดทาน ที่มา : ผู้จัดทำ

5.2 การตรวจสอบโครงสร้างมหภาคของชั้นผิวเคลือบ

จากรูปที่ 7 แสดงให้เห็นรูปแบบของการกระจายตัว (Advancing side) และการหมุนวนซ้ำ (Retreating side) ซึ่งเป็นผลจากการไหลตัวของวัสดุเติมระหว่างทำการเคลือบ ดังปรากฏในรายงานของ Sakihama, H., et al (2003) และ Rafi, H. K., et al (2011) โดยวัสดุเติมที่มีคุณสมบัติการไหลตัวแบบพลาสติกเมื่อหลุดร่อนออกจากลวดเติมแล้วบางส่วนหมุนวนซ้ำไปมาจะกระจุกตัวอยู่ฝั่งเดียว ในขณะที่วัสดุเติมที่หลุดร่อนบางส่วนจะกระจายตัวเต็มพื้นที่ของชั้นผิวเคลือบ โดยอุณหภูมิที่เกิดขึ้นในฝั่งหมุนวนซ้ำจะต่ำกว่าฝั่งกระจายตัวเล็กน้อย แต่อย่างไรก็ตาม โครงสร้างจุลภาคของของชั้นผิวเคลือบทั้งสองฝั่งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยยะสำคัญ



รูปที่ 7 โครงสร้างมหภาคของชั้นผิวเคลือบ ที่มา : ผู้จัดทำ

รูปที่ 7 แสดงให้เห็นโครงสร้างมหภาคของชั้นผิวเคลือบ โดยชั้นผิวเคลือบอลูมิเนียมสามารถยึดติดแน่นกับแผ่นเซรามิกได้เป็นอย่างดี ไม่ปรากฏการหลุดลอกของชั้นผิวเคลือบ ในขณะที่ทำการเคลือบไม่ปรากฏการแตกร้าวขึ้นระหว่างกระบวนการเคลือบ

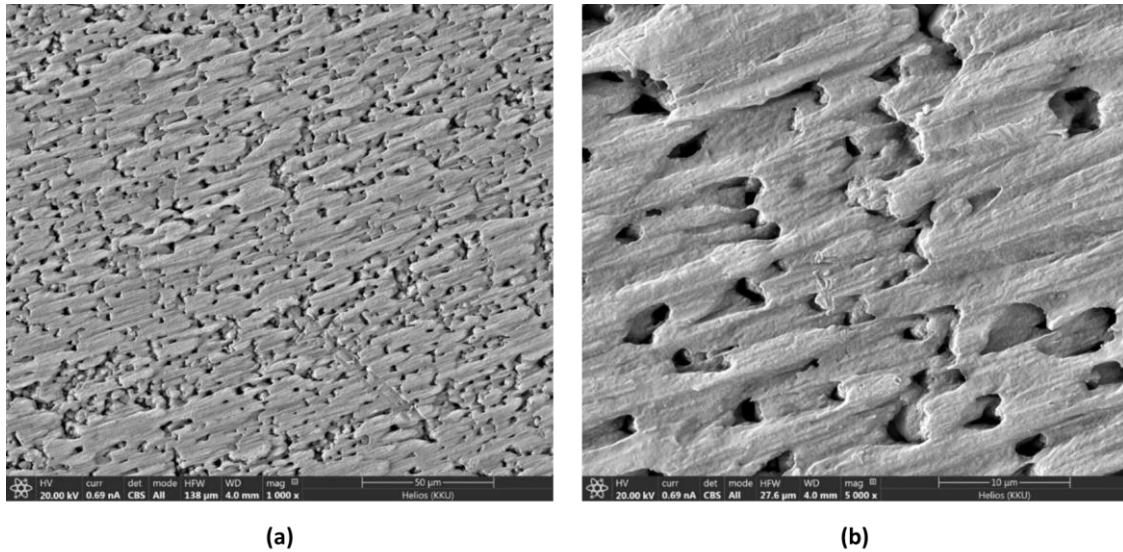
5.3 การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคของชั้นผิวเคลือบ

จากรูปที่ 8(a) และ 8(b) แสดงให้เห็นถึงภาพถ่ายโครงสร้างจุลภาคของชั้นผิวเคลือบอลูมิเนียมที่ผ่านการเคลือบลงบนแผ่นเซรามิกด้วยแรงเสียดทาน โดยทำการบันทึกภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (FE-SEM) โดยทำการบันทึกที่กำลังขยาย 1000X และ 5000X จากรูปแสดงให้เห็นถึงเนื้อวัสดุเติมที่ถูกกระทำด้วยความเค้นกดและความเค้นเฉือนจนมีพฤติกรรมการไหลตัวแบบพลาสติกที่ผ่านการหลุดร่อนและเชื่อมต่อกับเซรามิกซ้อนทับกันอย่างต่อเนื่องจนกลายเป็นชั้นผิวเคลือบ

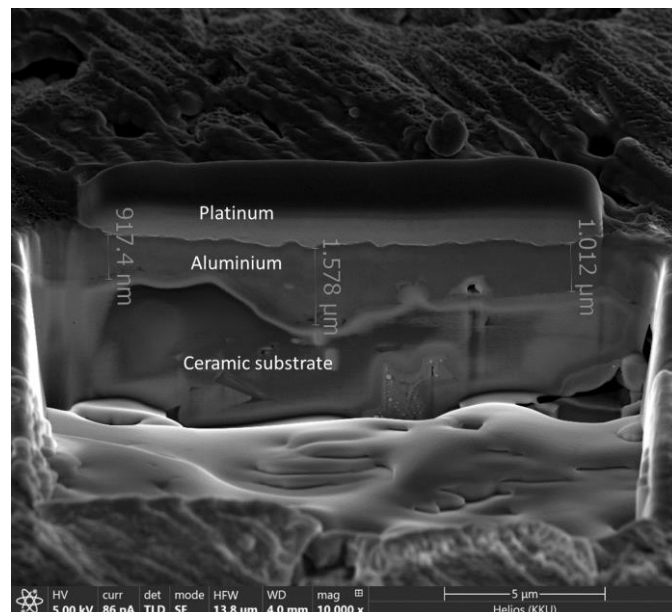
จากรูปที่ 9 แสดงให้เห็นถึงภาพถ่ายโครงสร้างจุลภาคของพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างเซรามิกและชั้นผิวเคลือบอลูมิเนียม ซึ่งผ่านการเตรียมชิ้นงานด้วยเทคนิคโฟกัสไอออนบีม(Focused Ion Beam : FIB) และทำการบันทึกภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (FE-SEM) กำลังขยาย 10000x ชั้นผิวของวัสดุอ้างอิง(Platinum) และ เซรามิก(Ceramic substrate) โดยจากภาพแสดงให้เห็นถึงพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างชั้นผิวเคลือบอลูมิเนียมและเซรามิกที่มีความแนบชิดกัน จากรายงานของ Uday, M. B., et al (2016) และ Fauzi, M. A., et al (2010) ได้กล่าวถึงกระบวนการเชื่อมต่ออลูมิเนียมเข้ากับเซรามิกด้วยแรงเสียดทานเป็นการเชื่อมต่อในสถานะของแข็ง โดยอาศัยกลไกการแพร่ในสถานะของแข็ง

จากภาพที่ 9 ได้แสดงให้เห็นถึงขอบเขตความหนาของชั้นผิวเคลือบอลูมิเนียมอย่างชัดเจน โดยค่าความหนาของเซรามิกมีผลกับความหนาของชั้นผิวเคลือบ ซึ่งสังเกตได้จากพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างชั้นผิวเคลือบอลูมิเนียมกับวัสดุอ้างอิงค่อนข้างมีความสม่ำเสมอ ในขณะที่พื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างชั้นผิวเคลือบอลูมิเนียมกับเซรามิกค่อนข้างมีความแปรปรวนซึ่งเป็นผลจากความหนาของเซรามิกก่อนการเคลือบ

จะเห็นได้ว่าความหนาของชั้นผิวเคลือบค่อนข้างมีความบาง โดยค่าความหนาของชั้นผิวเคลือบที่วัดได้มีค่าเท่ากับ 1.012 ไมโครเมตร, 1.578 ไมโครเมตร และ 917.4 นาโนเมตร โดยค่าความหนาเฉลี่ยของชั้นผิวเคลือบมีความหนาเท่ากับ 1.168 ไมโครเมตร ซึ่งชั้นผิวเคลือบที่มีความบางจะช่วยสนับสนุนให้นำไฟฟ้าและถ่ายเทความร้อนได้ดียิ่งขึ้น



รูปที่ 8 (a) โครงสร้างจุลภาคของชั้นผิวเคลือบที่กำลังขยาย 1000X (b) โครงสร้างจุลภาคของชั้นผิวเคลือบที่กำลังขยาย 5000X ที่มา : ผู้จัดทำ



รูปที่ 9 โครงสร้างจุลภาคแสดงความหนาของชั้นผิวเคลือบอลูมิเนียมที่กำลังขยาย 10000x ที่มา : ผู้จัดทำ

6. สรุปผลการวิจัย

6.1 จากผลการทดลองแสดงให้เห็นถึงการประสบความสำเร็จในการประยุกต์ใช้กระบวนการเคลือบด้วยแรงเสียดทานในการเคลือบอลูมิเนียม AA1100 เคลือบลงบนแผ่นเซรามิกดินขาวเผา โดยทำการเคลือบที่ความเร็วรอบ (Rotation speed) มีค่าเท่ากับ 8000 รอบต่อนาที อัตราป้อนตามแนวแกนของวัสดุเดิม (Axial feed rate) มีค่าเท่ากับ 0.6 มิลลิเมตรต่อนาที, ระยะป้อนปฐมภูมิ (Primary depth of cut) มีค่าเท่ากับ 0.5 มิลลิเมตร อัตราป้อนในแนวระนาบ (Horizontal feed rate) มีค่าเท่ากับ 3 มิลลิเมตรต่อนาที และมุมในการเคลือบ (Coating angle) มีค่าเท่ากับ 11 องศา โดยผลที่ได้คือชั้นผิวเคลือบอลูมิเนียมสามารถยึดติดกับแผ่นเซรามิกได้อย่างแข็งแรงไม่หลุดลอกออกจากกัน และสามารถควบคุมกระบวนการให้เซรามิกไม่เกิดการแตกร้าวระหว่างกระบวนการเคลือบ

6.2 จากผลการตรวจสอบระดับและพฤติกรรมของอุณหภูมิที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการเคลือบพบว่า พฤติกรรมของอุณหภูมิมีลักษณะขึ้นลงอย่างรวดเร็วอันเป็นผลมาจากปรากฏการณ์ติดสลิป (Stick-slip Phenomenon) นอกจากนี้ ณ เงื่อนไขในการทดลองที่กล่าวมาในข้างต้น โดยอุณหภูมิเฉลี่ยของกระบวนการเคลือบมีค่าเท่ากับ 170.3 องศาเซลเซียส อุณหภูมิที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการเคลือบอยู่ในช่วงอุณหภูมิขึ้นรูปเย็น ซึ่งผลจากช่วงอุณหภูมิดังกล่าวทำให้ชั้นผิวเคลือบมีความแข็งเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับค่าความแข็งของวัสดุเดิมก่อนการเคลือบ

6.3 จากการตรวจสอบโครงสร้างมหภาคของชั้นผิวเคลือบมีหลักฐานแสดงให้เห็นถึงรูปแบบของการกระจายตัว (Advancing side) และการหมุนวนซ้ำ (Retreating side) บนชั้นผิวเคลือบ ซึ่งรูปแบบดังกล่าวเป็นลักษณะเฉพาะของชั้นผิวเคลือบที่ได้จากกระบวนการเคลือบด้วยแรงเสียดทาน

6.4 จากการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคของชั้นผิวเคลือบ มีหลักฐานแสดงให้เห็นถึงเนื้อของวัสดุเดิมที่ผ่านกระบวนการเลื่อนหลุดและสะสมตัวกันจนกลายเป็นชั้นผิวเคลือบ นอกจากนี้เมื่อพิจารณาถึงความหนาของชั้นผิวเคลือบ พบว่าชั้นผิวเคลือบมีความหนาเฉลี่ยเพียง 1.168 ไมโครเมตร ซึ่งชั้นผิวเคลือบที่มีความบางจะช่วยสนับสนุนให้นำไฟฟ้าและถ่ายเทความร้อนได้ดียิ่งขึ้น

7. ข้อเสนอแนะ

7.1 เพื่อที่จะลดโอกาสที่จะเกิดความเค้นตกค้างเนื่องจากความร้อนและเพิ่มความสามารถในการนำไฟฟ้าของชั้นผิวเคลือบ กระบวนการตกผลึกใหม่ของชั้นผิวเคลือบเป็นประเด็นหนึ่งที่ควรมองมาพิจารณา โดยกระบวนการตกผลึกใหม่สามารถทำได้ 2 วิธี คือเพิ่มกระบวนการทางความร้อนภายหลังกระบวนการเคลือบโดย นำชิ้นงานที่ผ่านการเคลือบแล้วไปทำการอบคลายตัว (Anneal) เพื่อลดความหนาแน่นของดิสโลเคชันบนชั้นผิวเคลือบลง และวิธีที่สองคือการปรับระดับปัจจัยในการเคลือบให้เกิดกระบวนการเสียรูปอย่างรุนแรง ซึ่งนำไปสู่การเกิดกระบวนการตกผลึกใหม่ระหว่างการเคลือบ

7.2 การปรับปรุงกระบวนการจับยึดให้สามารถจับยึดชิ้นงานได้ครั้งละเป็นจำนวนมากเป็นประเด็นหนึ่งที่น่าสนใจพิจารณา

8. เอกสารอ้างอิง

- Arai, K., Nishimoto, S., Romanjek, K., Komasaki, M., Nagatomo, Y., & Kuromitsu, Y. (2019). Development of High-Durability Substrates for Thermoelectric Modules. *Journal of Electronic Materials*, 48(4), 1976-1980.
- Bedford, G. M., Vitanov, V. I., & Voutchkov, I. I. (2001). On the thermo-mechanical events during friction surfacing of high-speed steels. *Surface and Coatings Technology*, 141(1), 34-39.

- Camilleri, D. (2012). Thermo-mechanical behaviour of DBC substrate assemblies subject to soldering fabrication processes. *Soldering & surface mount technology*.
- Dong, G., Chen, X., Zhang, X., Ngo, K. D., & Lu, G. Q. (2010). Thermal fatigue behaviour of Al₂O₃-DBC substrates under high temperature cyclic loading. *Soldering & surface mount technology*.
- Fukakusa, K. (1996). On the characteristics of the rotational contact plane—a fundamental study of friction surfacing. *Welding International*, 10(7), 524-529.
- Gandra, J., Miranda, R. M., & Vilaça, P. (2012). Performance analysis of friction surfacing. *Journal of Materials Processing Technology*, 212(8), 1676-1686.
- Gandra, J., Krohn, H., Miranda, R. M., Vilaça, P., Quintino, L., & Dos Santos, J. F. (2014). Friction surfacing—A review. *Journal of Materials Processing Technology*, 214(5), 1062-1093.
- He, H., Fu, R., Wang, D., Song, X., & Jing, M. (2007). A new method for preparation of direct bonding copper substrate on Al₂O₃. *Materials Letters*, 61(19-20), 4131-4133.
- Hsueh, C. H., & Evans, A. G. (1985). Residual stresses in meta/ceramic bonded strips. *Journal of the American Ceramic Society*, 68(5), 241-248.
- Jiménez, A. E., & Bermúdez, M. D. (2011). Friction and wear. In *Tribology for Engineers* (pp. 33-63). Woodhead Publishing.
- Kovács-Csetényi, E. (1964). Electrical resistivity change in cold-worked tungsten wires during recovery and recrystallization. *Acta Physica Academiae Scientiarum Hungaricae*, 18(1), 11-18.
- Kraft, S., Schletz, A., & Maerz, M. (2012, March). Reliability of silver sintering on DBC and DBA substrates for power electronic applications. In *2012 7th International Conference on Integrated Power Electronics Systems (CIPS)* (pp. 1-6). IEEE.
- Lee, S. K., Lee, J. H., & Kim, Y. H. (2007). Nucleation and growth of zinc particles on an aluminum substrate in a zincate process. *Journal of electronic materials*, 36(11), 1442-1447.
- Lei, T. G., Calata, J. N., Ngo, K. D., & Lu, G. Q. (2009). Effects of large-temperature cycling range on direct bond aluminum substrate. *IEEE Transactions on Device and Materials Reliability*, 9(4), 563-568.
- Md Arshad, M. K., Ahmad, I., Jalar, A., Omar, G., & Hashim, U. (2006). The effects of multiple zincation process on aluminum bond pad surface for electroless nickel immersion gold deposition.
- Mouawad, B., Thollin, B., Buttay, C., Dupont, L., Bley, V., Fabregue, D., ... & Crebier, J. C. (2014). Direct copper bonding for power interconnects: Design, manufacturing, and test. *IEEE transactions on Components, Packaging and Manufacturing Technology*, 5(1), 143-150.
- Noh, M. Z., Hussain, L. B., & Ahmad, Z. A. (2008). Alumina–mild steel friction welded at lower rotational speed. *Journal of materials processing technology*, 204(1-3), 279-283.
- Polmear, I., StJohn, D., Nie, J. F., & Qian, M. (2017). *Light alloys: metallurgy of the light metals*. Butterworth-Heinemann.
- Rafi, H. K., Balasubramaniam, K., Phanikumar, G., & Rao, K. P. (2011). Thermal profiling using infrared thermography in friction surfacing. *Metallurgical and Materials transactions A*, 42(11), 3425-3429.

- Sakai, T., Belyakov, A., Kaibyshev, R., Miura, H., & Jonas, J. J. (2014). Dynamic and post-dynamic recrystallization under hot, cold and severe plastic deformation conditions. *Progress in materials science*, 60, 130-207.
- Sakihama, H., Tokisue, H., & Katoh, K. (2003). Mechanical properties of friction surfaced 5052 aluminum alloy. *Materials Transactions*, 44(12), 2688-2694.
- Schwartz, M. M. (1990). *Ceramic joining*. Materials Park, Ohio: Asm International.
- Seli, H., Noh, M. Z., Ismail, A. I. M., Rachman, E., & Ahmad, Z. A. (2010). Characterization and thermal modelling of friction welded alumina-mild steel with the use of Al 1100 interlayer. *Journal of Alloys and Compounds*, 506(2), 703-709.
- Suganuma, K. (2013). *Handbook of Advanced Ceramics: Chapter 10.1. Joining Ceramics and Metals*. Elsevier Inc. Chapters.
- Wang, Y. T., Cheng, Y. H., Lin, C. C., & Lin, K. L. (2020). Direct bonding of aluminum to alumina using a nickel interlayer for power electronics applications. *Results in Materials*, 6, 100093.
- Yamada, T., Yokoi, K., & Kohno, A. (1990). Effect of residual stress on the strength of alumina-steel joint with Al-Si interlayer. *Journal of materials science*, 25(4), 2188-2192.
- Zheng, X. F., Liu, C. X., Boukhanouf, R., Yan, Y. Y., & Li, W. Z. (2014). Experimental study of a domestic thermoelectric cogeneration system. *Applied thermal engineering*, 62(1), 69-79.

ประวัติผู้เขียนบทความ



ธรรมะสุข มิ่งเมือง อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลและการผลิต
คณะวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์วิทยาเขตเฉลิมพระเกียรติ
จังหวัดสกลนคร 59 หมู่ 1 ตำบลเชียงเครือ อำเภอเมือง จังหวัดสกลนคร 47000,
หมายเลขโทรศัพท์ 088581097 E-mail: Dhammasook.m@ku.ac.th
งานวิจัยที่สนใจ กรรมวิธีการผลิต โลหะวิทยา การเชื่อมต่อวัสดุต่างชนิด

**การลดข้อร้องเรียนและสร้างความพึงพอใจแก่ผู้พักอาศัยในอาคารชุดต่อนิติบุคคล
กรณีศึกษา อาคารชุดระดับสูงในพื้นที่เขตกรุงเทพมหานคร**
**Complaints and Satisfaction Management of the Condominium Juristic person in case
study of high - class condominiums in the Bangkok area**

อาภาพร เพ็ธธงสา¹, ศักดิ์ชัย รักการ², ภาวัด ไชยชาณวาทิก³

¹นักศึกษาวិชาการวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการงานวิศวกรรม

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต วิทยาเขตพัฒนาการ 1761 ถนนพัฒนาการ

แขวงสวนหลวง เขตสวนหลวง กรุงเทพฯ 10250

^{2,3}อาจารย์คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต วิทยาเขตพัฒนาการ

Apaporn Phouthongsa and Sakchai Rakkran, Bhawat Chaichannawatik
Master of Engineering Program in Engineering Management, Graduate School
Kasem Bundit University, Pattanakarn Campus 1761 Pattanakarn Rd.,
Suanluang Bangkok 10250, Thailand
E-Mail: apaporn.mlp@gmail.com

วันรับบทความ วันที่ 6 กันยายน 2564

วันแก้ไขบทความ วันที่ 1 ตุลาคม 2564

วันตอบรับบทความ วันที่ 15 ตุลาคม 2564

บทคัดย่อ

การศึกษาปัญหา การลดข้อร้องเรียนและสร้างความพึงพอใจแก่ผู้พักอาศัยในอาคารชุดต่อนิติบุคคล กรณีศึกษา อาคารชุดกลุ่มราคาสูงในพื้นที่เขตกรุงเทพมหานคร โดยใช้แอปพลิเคชันออนไลน์ในการจัดเก็บข้อมูลข้อร้องเรียน จากอาคารชุดตัวอย่าง 4 อาคาร จำนวน 2,506 ห้องชุด จัดเก็บข้อมูลระหว่างเดือนมิถุนายน – ธันวาคม 2563 ได้รับข้อมูลข้อร้องเรียน ทั้งสิ้นจำนวน 46 ครั้ง จำนวน 8 ประเด็น ประกอบด้วย 1.) เรื่องที่จอดรถไม่เพียงพอ การจอดรถซ้อนคัน จอดรถในช่องจอดของห้องชุดอื่น 2) เรื่องการส่งเสียงดัง ทะเลาะวิวาท 3) การทำอาหาร ส่งเสียงดัง และส่งกลิ่น รบกวนเจ้าของห้องชุดห้องอื่น 4) คู่สัญญานิติบุคคลปฏิบัติงานบกพร่อง 5) ปัญหาน้ำรั่วซึมอันเนื่องมาจากข้อบกพร่องจากงานก่อสร้าง 6) การซ่อมแซมทรัพย์สินส่วนกลางชำรุดเสียหาย 7) เจ้าหน้าที่นิติบุคคลที่ปฏิบัติงานไม่มีประสิทธิภาพ 8) เรื่องการสูบบุหรี่ เป็นต้น โดยประเด็นการซ่อมแซมทรัพย์สินส่วนกลางชำรุดเสียหาย ได้รับข้อร้องเรียนมากที่สุด จำนวน 13 ครั้ง ในรอบ 6 เดือน คิดเป็นร้อยละ 28.26 ของจำนวนข้อร้องเรียนทั้งหมด โดยใช้เครื่องมือในการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาการซ่อมแซมทรัพย์สินส่วนกลางชำรุดเสียหายโดย ทำการแก้ปัญหาโดยการวางแผนการจัดการและงบประมาณ ระยะสั้น กลาง ยาว พร้อมแผนปฏิบัติการที่สอดคล้องกับงบประมาณ และงานด้านวิศวกรรม ผลลัพธ์หลังปรับปรุง พบว่า ข้อร้องเรียนเรื่องทรัพย์สินส่วนกลางชำรุดเสียหาย จาก 13 ครั้ง ลดลง เหลือ 4 ครั้ง คิด เป็นร้อยละ 8.69 ลดลงร้อยละ 19.57

คำสำคัญ: การลดข้อร้องเรียน , นิติบุคคลอาคารชุด , การสร้างความพึงพอใจ , ทรัพย์สินส่วนกลาง

ABSTRACT

This research studies the problem of the complaints and satisfaction for residents of condominiums juristic person in case study of high- Class condominiums in Bangkok area. By using an online application to collect complaints out of 4 sample condominium buildings, total of 2,506 units for during June - December 2020. We have received all complaints 46 times in 8 issues, which consist of 1.) Insufficient parking slots, blocking parking and parking in another apartment parking slot 2) Loud noise and quarrels, 3) Cooking noises and smell that's disturbing the other rooms 4) The juristic contract parties work defectively 5) Water leakage problems due to construction defects 6) Repairing the damaged in common property 7) Inefficient juristic officers. 8) Smoking. The issue of repairing the damaged in common area is the highest complaints with 13 times in the past 6 months as a percentage 28.26% of the total complaints. of the agency by using a tool to analyze the cause of the problem of repairing damaged common area. Solve problems are applied by planning management and budget, short, medium and long term with action plans aligned, the budget and engineering. The result after improvement has been found that complaints about damaged common area from 13 cases decreased to 4 times, representing 8.69 percent, a decrease of 19.57 percent.

1. บทนำ

ที่พักอาศัย ถือว่าเป็นปัจจัย 4 ในการดำรงชีวิตของมนุษยชาติ ไม่ว่าจะอยู่ที่ใดในโลก ล้วนต้องการที่อยู่อาศัยและ จากสถานะเศรษฐกิจของประเทศไทยในปัจจุบันที่ที่ดินในแนวราบปัจจุบันมีราคาสูง เจ้าของโครงการต่าง ๆ จึงได้มีการพัฒนาที่อยู่อาศัยในแนวสูงมาเพื่อตอบสนองความต้องการของผู้ที่ยากมีบ้าน ทำให้อัตราการเจริญเติบโตของอาคารสูง เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว และยังมีพัฒนาอย่างต่อเนื่อง และในประเทศไทยมีแนวโน้มที่จะมีจำนวนประชากรเพิ่มขึ้นทุกปี และความต้องการที่อยู่อาศัยก็มากขึ้น (บริษัท ซีบีอาร์อี (ประเทศไทย) จำกัด, 2562) ซึ่งการเข้าพักอาศัยในอาคารชุดหรือคอนโดมิเนียม (Condominium) นั้น พื้นที่อยู่อาศัยที่มีลักษณะเป็นห้องพักหลาย ๆ ห้องในอาคารเดียวกัน โดยเจ้าของห้องชุดจะต้องแบ่งปันกรรมสิทธิ์หรือความเป็นเจ้าของร่วมกับเจ้าของห้องชุดอื่น ๆ เพื่อใช้สิทธิ์ในพื้นที่ส่วนกลาง โดยมีนิติบุคคลอาคารชุดเป็นผู้กำกับดูแล เพื่อให้การพักอาศัยเป็นไปตามข้อบังคับอาคารชุดนั้น (กรมที่ดิน, 2555) นิติบุคคลจะต้องดำเนินการจัดหาผู้ปฏิบัติงานที่มีความสามารถและกำกับควบคุมให้การดำเนินการเป็นไปตามแผนและมาตรการที่วางไว้ จัดให้มีการดำเนินงานดูแลอาคารและพื้นที่ส่วนกลางภายในอาคารชุดซึ่งการดูแลในส่วนนี้จะส่งผลต่อสภาพลักษณะ ความรู้สึก และความพึงพอใจในการอยู่อาศัยของเจ้าของ เมื่อมีจำนวนคนมาอยู่ร่วมกันมาก ๆ จึงทำให้เกิดปัญหาการร้องเรียนต่าง ๆ อันเนื่องมาจากการปฏิบัติผิดระเบียบพักอาศัยหรือข้อบังคับอาคารชุดของผู้พักอาศัยในอาคารชุด ดังนี้ 1) เรื่องที่จอดรถไม่เพียงพอ การจอดรถซ้อนคัน จอดรถทับที่ของห้องชุดอื่น 2) เรื่องการส่งเสียงดัง ทะเลาะวิวาท 3) การทำอาหาร ส่งเสียงดัง และส่งกลิ่น รบกวนเจ้าของห้องชุดห้องอื่น 4) คู่สัญญานิติบุคคลปฏิบัติงานบกพร่อง เช่น รปภ. หลับยาม แม่บ้านทำความสะอาดไม่ดี คนสวนทำต้นไม้แห้งตาย 5) ปัญหาน้ำรั่วซึมอันเนื่องมาจาก Defect จากงานก่อสร้าง 6) ทรัพย์สินส่วนกลางชำรุดเสียหาย 7) เจ้าหน้าที่นิติบุคคลที่ปฏิบัติงานไม่มีประสิทธิภาพ 8) เรื่องการสูบบุหรี่ ผู้ศึกษาจึงสนใจจะทำการศึกษาลดข้อร้องเรียนและสร้างความพึงพอใจแก่ผู้พักอาศัยในอาคารชุด โดยสุ่มตัวอย่างอาคารชุดระดับสูงภายในเขตพื้นที่กรุงเทพมหานคร จำนวน 4 อาคาร จำนวน 2,056 ห้องชุด โดยวิธีเก็บข้อมูลข้อร้องเรียนจากแอปพลิเคชันออนไลน์ ตั้งแต่เดือนมิถุนายน - ธันวาคม 2563 ซึ่งได้รับข้อร้องเรียนทั้งสิ้น 46 ครั้ง ในระยะเวลา 6 เดือน โดยประยุกต์ใช้ทฤษฎีและหลักการด้านการจัดการงานวิศวกรรม และเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม ซึ่งส่งผลให้การเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงาน และสร้างความพึงพอใจให้แก่เจ้าของร่วม

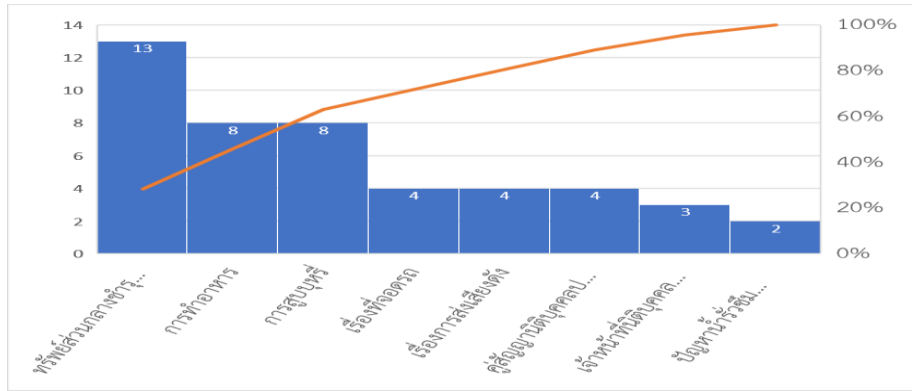
2. แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการลดข้อร้องเรียนและการสร้างความพึงพอใจ

การบริหารและจัดการทรัพยากรกายภาพภายในโครงการฯหรือทรัพย์สินกลางให้เป็นไปอย่างมีการวางแผนและการจัดการอย่างเป็นระบบ เพื่อให้ทรัพย์สินส่วนกลางอยู่ในสภาพพร้อมใช้งาน (เสรีชัย โชติพานิช, 2549) มีการใช้ประโยชน์อย่างคุ้มค่า และให้เกิดสุขและความพึงพอใจแก่เจ้าของร่วม ได้แก่ 1) งานดูแลและควบคุมการทำงานระบบประกอบอาคาร/ระบบสาธารณูปโภค 2) งานบำรุงรักษา สำหรับระบบฯ อาคาร ภูมิทัศน์ 3) งานรักษาความสะอาด 4) งานรักษาความปลอดภัย 5) งานกำจัดแมลงและควบคุมโรคสัตว์ 6) งานสุขอนามัย เช่น การกำจัดขยะ ของเสีย และป้องกันโรคระบาด (วรรณชัย เจริญศรี, 2562) การลดข้อร้องเรียนและสร้างความพึงพอใจแก่ผู้พักอาศัยในอาคารชุด มีวัตถุประสงค์เพื่อลดข้อร้องเรียนและสร้างความพึงพอใจแก่ผู้พักอาศัย โดยใช้เครื่องมือ ไคเซ็นถูกระบุไว้ว่ามี 7 ขั้นตอน เพื่อนำมาแก้ไขปัญหานี้ ในการค้นหาสาเหตุและเพื่อการปรับปรุงคุณภาพในการบริการ เก็บข้อมูลจำนวนข้อร้องเรียนจากเครื่องมือแอปพลิเคชันออนไลน์ และ แจกแจงปัญหาด้วยแผนภูมิพาเรโต (Pareto Chart) และแสดงความถี่ของปัญหา แล้วจึงนำไปวิเคราะห์ปัญหานั้นด้วยแผนภูมิและเหตุผล (Cause and Effect Diagram). การวิเคราะห์หาสาเหตุด้วยแผนภาพสาเหตุและผลของงานที่มีผลกับข้อร้องเรียนมากที่สุด แล้วจึงทำการคัดเลือกปัจจัย ปัจจัยที่มีความสำคัญมากเป็นอันดับแรกมาทำการพิจารณา (ธงชัย ทองมา และ ประสพชัย พสุนนท์, 2557) ปัจจัยที่ส่งผลต่อความพึงพอใจที่เกี่ยวข้องกับการจัดการการบริหารทรัพยากรกายภาพของอาคารสำนักงานให้เข้าระดับ เอ ในกรุงเทพมหานคร เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ แบบสอบถาม สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล คือ วิธีวิเคราะห์ถดถอยพหุคูณ และใช้การเลือกตัวแปรเข้าสมการแบบย้อนกลับ พบว่า ปัจจัยที่ส่งผลต่อความพึงพอใจต่อการจัดการการบริหารทรัพยากรกายภาพของผู้เช่าและผู้ใช้งานเป็นประจำที่เป็นตัวแปรอย่างเข้มข้น พบ 5 ปัจจัย ได้แก่ 1) ด้านการเป็นผู้นำ 2) ด้านผลิตภัณฑ์ 3) ด้านบุคลากร 4) ด้านการสร้างความและนำเสนอลักษณะทางกายภาพ และ 5) ด้านกระบวนการ ซึ่งสามารถนำผลที่ได้มาประยุกต์ใช้ในการวางกลยุทธ์ทางการจัดการ (มนธิรา ปกป้อง, 2560) ซึ่งเกี่ยวข้องกับการบริหารจัดการทางการเงิน (Financial Risk) มี 3 ปัจจัย คือ การเก็บค่าส่วนกลางไม่ตรงตามเป้าหมายที่วางไว้ การประมาณการค่าใช้จ่ายไม่ถูกต้อง ครบถ้วน ครบคลุม และการขึ้นค่าส่วนกลางไม่ได้ ย่อมส่งผลให้กระบวนการบริหารงานนิติ บุคคลอาคารชุดมีความล่าช้าหรือไม่เป็นไปตามกลยุทธ์องค์กรที่วางไว้ (อนงค์ เอื้อวัฒนา, 2542) ทำให้ลูกค้าเกิดความรู้สึกไม่พึงพอใจในการได้รับบริการ (ขวลิต ปานมา, 2548) หรือไม่ได้รับการตอบสนองได้ดีเท่าที่ควรจะเป็นจึงเป็นสาเหตุที่นำมาซึ่งข้อร้องเรียน (วิทย์ เทียงบุญธรรม, 2541) ดังนั้นจึงต้องสร้างพึงพอใจให้แก่ลูกค้าเพื่อให้ลูกค้าบรรลุในสิ่งที่ต้องการ

3. วิธีดำเนินการวิจัย/ระเบียบวิธีวิจัย

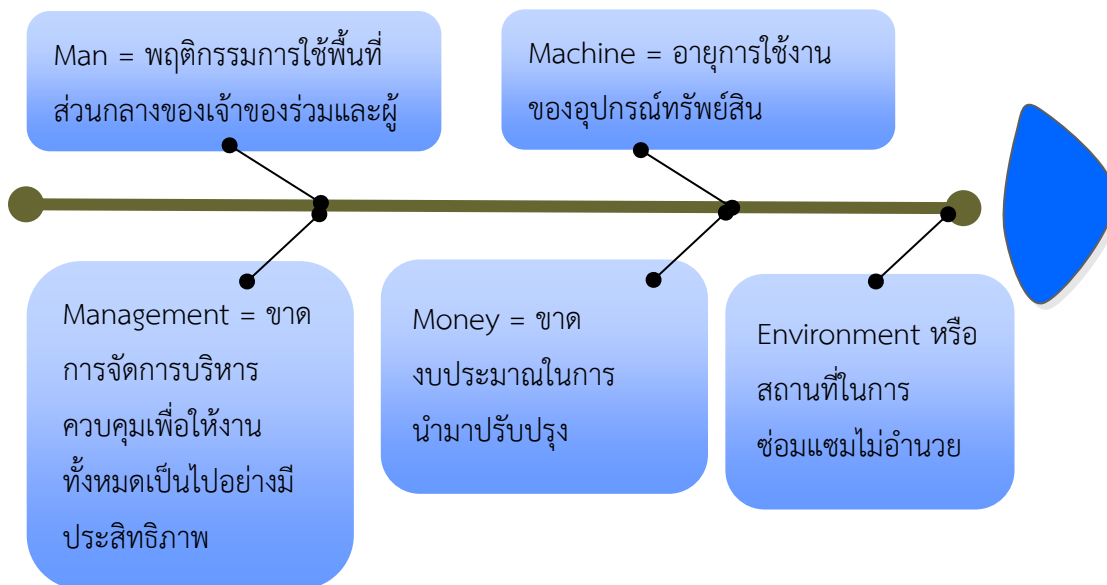
3.1 การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา

วิธีการแก้ไขและการทดลองในส่วนที่ได้วิเคราะห์สาเหตุโดยนำแนวคิดขั้นตอนในการปรับปรุงปรับปรุงงานแบบไคเซ็น 7 ขั้นตอนมาประยุกต์ใช้เพื่อเพื่อหาสาเหตุที่เกิดขึ้น ประกอบด้วย 1) ค้นหาปัญหาที่เกิดขึ้น 2) วิเคราะห์สภาพปัจจุบันโดยประเมินสถานการณ์ 3) วิเคราะห์ปัญหาหลักที่เกิดการร้องเรียน 4) กำหนดแนวทางการแก้ไขปัญหา 5) มอบหมายหน้าที่ใครทำอะไร ที่ไหน อย่างไร 6) ดำเนินการแก้ไขวิธีที่กำหนด 7) ตรวจสอบผลที่เกิดขึ้น และรักษาแนวทางการแก้ไขนั้น ๆ ไว้ จึงทำให้สามารถจำแนกประเภทของปัญหาออกมาได้ ข้อร้องเรียนจำนวน 8 เรื่อง ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ข้อร้องเรียนและความถี่ในการร้องเรียน

ใช้แผนผังสาเหตุและเหตุผล 4M 1E เพื่อหาปัจจัยที่มีผลที่ทำให้เกิดข้อร้องเรียนเรื่องสาเหตุการเกิดมั่วอยู่ด้วยกันทั้งหมด 5 สาเหตุหลักๆ ได้แก่ 1) พฤติกรรมการใช้พื้นที่ส่วนกลางของเจ้าของร่วมและผู้เช่า 2) อายุของอุปกรณ์ทรัพย์สินส่วนกลาง 3) คุณภาพของวัสดุอุปกรณ์ 4) ขาดงบประมาณในการนำมาปรับปรุง ซ่อมแซมแก้ไข 5) สถานที่หรือจุดที่ทรัพย์สินส่วนกลางตั้งอยู่อาจจะไม่เหมาะสมที่จะเข้าไปทำการปรับปรุงแก้ไข ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 ปัจจัยที่มีผลที่ทำให้เกิดข้อร้องเรียน

จากรูปที่ 1 หลังจากทราบปัญหาที่เกิดขึ้นแล้วเพื่อที่จะทราบว่าปัญหาใดเป็นปัญหาหลักที่ควรจะนำมาทำการแก้ไขก่อนปรับปรุงโดยทำการวิเคราะห์โดยอาศัยหลักการของพาเรโต และใช้กฎ 80:20 ในการจำแนกประเภทของปัญหา การวิเคราะห์ความถี่จำนวนครั้งของข้อร้องเรียนที่เกิดขึ้นระหว่างเดือน มิถุนายน - ธันวาคม 2563 ด้วยเครื่องมือพาเรโต โดยทำการศึกษาว่ามีข้อร้องเรียนทั้งหมดกี่ประเด็น และประเด็นใดที่ได้รับการร้องเรียนมากที่สุดลงมาตามลำดับ โดยแสดงเป็นจำนวนเปอร์เซ็นต์ พบว่าประเด็นเรื่องทรัพย์สินส่วนกลางชำรุดเสียหายได้รับการร้องเรียนมากที่สุดเป็นอันดับหนึ่ง

3.2 วิธีแก้ไขปัญห

โดยผู้ศึกษาได้นำข้อมูลค่าใช้จ่ายในส่วนค่าซ่อมแซมและบำรุงรักษาเฉลี่ยต่อเดือนหารด้วยพื้นที่ปฏิบัติงานส่วนกลาง เพื่อให้ข้อมูลแต่ละอาคารอยู่ในฐานเดียวกัน โดยนำค่าใช้จ่ายในการดำเนินการอาคาร (facility operating expenses) ในส่วนของการซ่อมแซมและบำรุงรักษาที่เกิดขึ้นแต่ละปีมาทำการวิเคราะห์และวางแผนทางการเงินแก้ไขปัญหาข้อร้องเรียนที่มาจากเรื่องทรัพย์สินส่วนกลางชำรุดเสียหาย โดยการจัดทำงบประมาณเพื่อนำมาซ่อมแซมหรือจัดซื้อใหม่ แบบระยะสั้น ระยะกลาง และระยะยาว ตามทฤษฎีเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม และการจัดการทางวิศวกรรม เพื่อลดข้อร้องเรียนให้เหลือน้อยที่สุดและสร้างความพึงพอใจให้แก่เจ้าของร่วมและผู้ว่าจ้าง ดังนี้ 1) การจัดทำแผนการงบประมาณ และงานบำรุงรักษาระยะสั้น เช่น แผนรายวัน แผนรายสัปดาห์ 2) การจัดทำแผนการงบประมาณและการซ่อมแซมทรัพย์สินส่วนกลาง ระยะกลาง งานที่ใช้ระยะเวลาในการเข้าดำเนินการแก้ไข ระหว่าง 1 สัปดาห์ ถึง 3 เดือน 3) การจัดทำแผนการงบประมาณ และการซ่อมแซมทรัพย์สินส่วนกลาง แบบระยะยาว (งานที่ใช้ระยะเวลาในการเข้าดำเนินการแก้ไข ระหว่าง 3 เดือนขึ้นไปจนถึง 1 ปี

3.3 ผลลัพธ์

ทำการเก็บข้อมูลจากการวิเคราะห์ปัญหาข้อมูลข้อร้องเรียน ตั้งแต่เดือนมิถุนายน-ธันวาคม 2563 โดยนำข้อมูลค่าใช้จ่ายในส่วนค่าซ่อมแซมและบำรุงรักษาเฉลี่ยต่อเดือนหารด้วยพื้นที่ปฏิบัติงานส่วนกลาง เพื่อให้ข้อมูลอยู่ในฐานเดียวกัน โดยนำค่าใช้จ่ายในการดำเนินการอาคาร (facility operating expenses) ในส่วนของการซ่อมแซมและบำรุงรักษาที่เกิดขึ้นแต่ละปีมาทำการวิเคราะห์และวางแผนทางการเงินแก้ไขปัญหาข้อร้องเรียนที่มาจากเรื่องทรัพย์สินส่วนกลางชำรุดเสียหาย โดยการจัดทำงบประมาณเพื่อนำมาซ่อมแซมหรือจัดซื้อใหม่ แบบระยะสั้น ระยะกลาง และระยะยาว ดังตารางที่ 1 – 3

ตารางที่ 1 รายการซ่อมแซม และวันที่ในการดำเนินการแบบระยะสั้น

ลำดับ	รายการซ่อมแซม	วันที่แจ้งซ่อม	ระยะเวลา (วัน)	วันที่ดำเนินการแล้วเสร็จ	งบประมาณ (บาท)
1	หลอดไฟชำรุด ลานจอดรถ ชั้นที่ 1- 6	17/1/2564	5	22/1/2564	7,500
2	งานปลั๊กไฟไม่ทำงาน	5/2/2564	1	6/2/2564	500
3	สายชำระชำรุด	6/2/2564	1	7/2/2564	450
4	การแก้ไขลู่วิ่ง มีเสียงดัง	12/3/2564	-	12/3/2564	0
5	แอร์ห้องออกกำลังกายน้ำหยด	19/3/2564	2	21/3/2564	1,500
6	การแก้ไขก๊อกน้ำชำรุด	25/3/2564	-	25/3/2564	250
7	แก้ไขป้ายทางหนีไฟ ชำรุด	6/4/2564	3	9/4/2564	500
8	การแก้ไขกระเบื้องแตก	11/4/2564	2	13/4/2564	2,500
9	แก้ไขลูกลอยชักโครกชำรุด	15/4/2564	-	15/4/2564	1,500

ตารางที่ 2 รายการซ่อมแซม และวันที่ในการดำเนินการแบบระยะกลาง

ลำดับ	รายการซ่อมแซม	วันที่แจ้งซ่อม	ระยะเวลา (วัน)	วันที่ดำเนินการ แล้วเสร็จ	งบประมาณ (บาท)
1	เปลี่ยนแบตเตอรี่ไฟฉุกเฉิน	10/10/2563	30	10/11/2563	37,557
2	แก้ไขระบบ Access control Fireman Lift	5/11/2563	30	5/12/2563	25,000
3	เปลี่ยนน้ำมัน Fire Pump	6/12/2563	30	6/1/2564	18,500
4	ติดตั้งหลอดไฟ Solar Cell เพื่อเพิ่ม แสงสว่างบริเวณด้านหลังของอาคาร	12/3/2564	30	12/4/2564	8,545
5	เปลี่ยนมิเตอร์น้ำประปาที่ชำรุด จำนวน 20 ห้องชุด	12/3/2564	30	12/4/2564	20,000
6	เปลี่ยนอุปกรณ์บูสเตอร์สัญญาณทีวี ดิจิตอล	18/3/2564	15	23/4/2564	2,500
7	เปลี่ยนแบตเตอรี่ลิฟต์ ที่ใกล้จะ เสื่อมสภาพ	3/3/2564	30	3/4/2564	70,000
8	เปลี่ยนแบตเตอรี่เครื่องสำรองไฟ (UPS	8/4/2564	15	23/4/2564	2,500
9	เปลี่ยนถ่านน้ำมันเครื่องของระบบ เครื่องดูดปั้มน้ำดับเพลิง	18/4/2564	30	18/5/2564	22,000

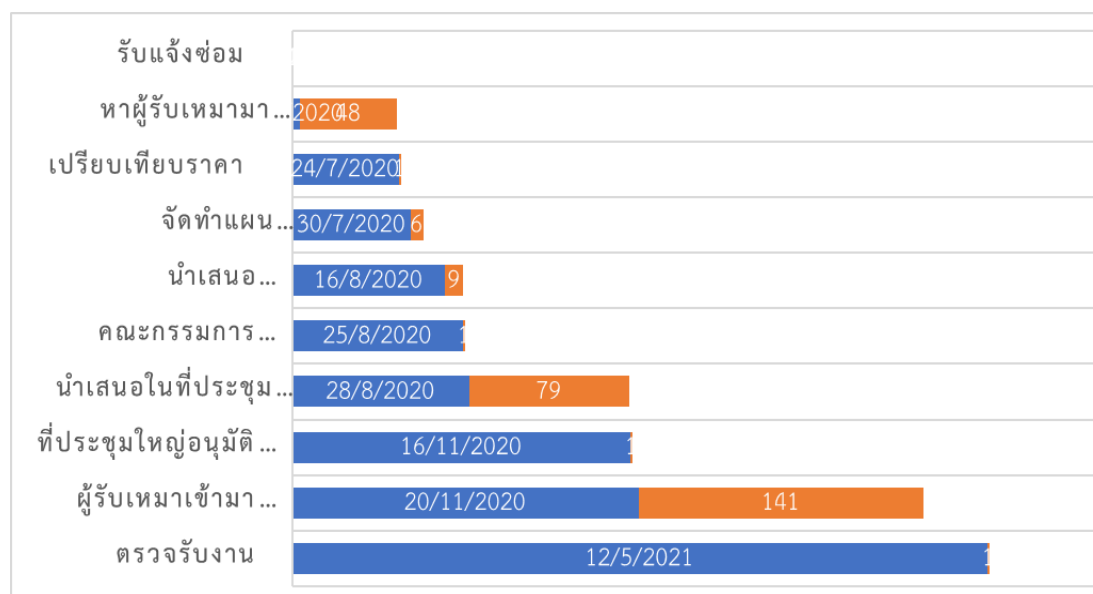
ตารางที่ 3 รายการซ่อมทรัพย์สินส่วนกลาง แบบระยะยาวที่ดำเนินการแล้วเสร็จ

รายการที่	รายการซ่อมแซม	งบประมาณ (บาท)	ผลการดำเนินงาน
1	ซ่อมสระว่ายน้ำที่มีการรั่วซึมและโคมไฟ สระว่ายน้ำชำรุด	500,000	ดำเนินการเสร็จสิ้น
2	งานเช็ดกระจกภายนอกอาคาร	200,000	ดำเนินการเสร็จสิ้น
3	การติดตั้งกล้อง CCTV เพิ่มเติมจำนวน 20 จุด บริเวณลานจอดรถชั้น 1-6	220,000	ดำเนินการเสร็จสิ้น
4	การจัดซื้อเครื่องออกกำลังกายลู่วิ่ง จำนวน 1 ตัว	170,000	ดำเนินการเสร็จสิ้น
5	งานซ่อมรอยรั่วภายนอกภายนอกอาคาร เฉพาะจุด จำนวน 25 จุด	160,000	ดำเนินการเสร็จสิ้น
6	งานทาสีศาลาไม้ระแนงบริเวณบ่อน้ำหน้า อาคาร	70,000	ดำเนินการเสร็จสิ้น

ตารางที่ 3 (ต่อ)

รายการที่	รายการซ่อมแซม	งบประมาณ (บาท)	ผลการดำเนินงาน
7	งานทาสีเหล็กพุงหลังคาคาปู ด้านหน้าล๊อบบี้	30,000	ดำเนินการเสร็จสิ้น
8	งานซ่อมแซม (ทาสีประตูห้องขยะ/เส้นจราจร/ซ่อมแซมที่กันรถยนต์)	80,000	ดำเนินการเสร็จสิ้น
รวม		1,430,000	

ตารางที่ 3 มีรายการทรัพย์สินส่วนกลางที่อยู่ในแผนการงบประมาณซ่อมทรัพย์สินส่วนกลาง จำนวนทั้งสิ้น 12 รายการ โดยมีรายการที่ดำเนินการแก้ไขซ่อมแซม ปรับปรุงแล้วเสร็จ จำนวน 8 รายการ ได้แก่ 1) ซ่อมแซมสรวายน้ำที่มีการรั่วซึมและแก้ไขคอมไฟในสรวายน้ำชุดชุด 2) งานเช็ดกระจกภายนอกอาคาร 3) การติดตั้งกล้อง CCTV เพิ่มเติมจำนวน 20 จุดบริเวณลานจอดรถชั้น 1-6 ของอาคาร 4) การจัดซื้อเครื่องออกกำลังกายลู่วิ่ง จำนวน 1 ตัว 5) งานซ่อมรอยร้าวภายนอกอาคารเฉพาะจุด จำนวน 25 จุด 6) งานทาสีศาลาไม้ระแนงบริเวณบ่อน้ำหน้าอาคาร 7) งานทาสีเหล็กพุงหลังคาคาปู ด้านหน้าล๊อบบี้ 8) งานซ่อมแซม (ทาสีประตูห้องขยะ/เส้นจราจร/ซ่อมแซมที่กันรถยนต์)



รูปที่ 3 แผนการดำเนินการซ่อมแซม แบบระยะยาว แบบกราฟ

4. สรุปผล

จากการวิเคราะห์ปัญหาข้อมูลข้อร้องเรียน ตั้งแต่เดือนมิถุนายน-ธันวาคม 2563 ซึ่งได้รับข้อร้องเรียน ทั้งสิ้น 46 ครั้ง จำนวน 8 เรื่อง และทรัพย์สินส่วนกลาง ได้รับข้อร้องเรียนมากที่สุด จำนวน 13 ครั้ง ในรอบ 6 เดือน คิดเป็นร้อยละ 28.26 ของจำนวนข้อร้องเรียนทั้งหมด ดังนั้นผู้ศึกษาจึงได้วางแผนการแก้ไขปัญหาข้อร้องเรียน จำนวนข้อร้องเรียนเรื่องทรัพย์สินส่วนกลางชำรุดเสียหายก่อนปรับปรุง ทั้งหมด 13 ครั้ง ได้แก่ เดือนกรกฎาคมและเดือนสิงหาคม 2563 มีข้อร้องเรียน จำนวน

3 ครั้ง รองลงมาคือ เดือนมิถุนายน 2563 และเดือนธันวาคม 2563 มีข้อร้องเรียน จำนวน 2 ครั้ง น้อยที่สุดคือ เดือนกันยายน ถึงเดือนพฤศจิกายน 2563 มีข้อร้องเรียน จำนวน 1 ครั้ง ดังรูปที่ 3



รูปที่ 4 จำนวนข้อร้องเรียนเรื่องทรัพย์สินส่วนกลางชำรุดเสียหายก่อนปรับปรุง

หลังจากที่ทำการซ่อมแซมและจัดซื้อทรัพย์สินส่วนกลางมาทดแทนที่ชำรุด หลังจากนั้นทำการเก็บสถิติข้อร้องเรียนหลัง การปรับปรุง ตั้งแต่เดือนมกราคม-เมษายน 2564 พบว่า ข้อร้องเรียนเรื่องการทรัพย์สินส่วนกลางชำรุดเสียหาย จาก 13 ครั้ง ลดลงเหลือ 4 ครั้ง ในระยะเวลา 4 เดือน คิดเป็นร้อยละ 8.69 ลดลงร้อยละ 19.57 ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ผลปรับปรุงข้อร้องเรียน

ข้อร้องเรียน	ก่อนปรับปรุง (ม.ย-ธ.ค. 63)	หลังปรับปรุง (ม.ค-เม.ย. 64)	ผลต่าง
ทรัพย์สินส่วนกลางชำรุดเสียหาย	13	4	9
%	28.26	8.69	19.75

5. ข้อเสนอแนะ

จากการวิเคราะห์เพื่อหาปัจจัยที่ส่งผลต่อข้อร้องเรียน เรื่องการทรัพย์สินส่วนกลางชำรุดเสียหาย ทำให้สามารถแบ่งประเภทของปัญหาออกมาได้ 4 ปัจจัย ดังนี้ ได้แก่ 1) พฤติกรรมการใช้พื้นที่ส่วนกลางของเจ้าของร่วมและผู้เช่า เมื่อเจ้าของร่วมหรือผู้เช่าใช้ทรัพย์สินส่วนกลางโดยขาดความระมัดระวังทำให้ทรัพย์สินเกิดความเสียหาย 2) อายุของอุปกรณ์ทรัพย์สินส่วนกลาง เนื่องจากทรัพย์สินส่วนกลางของอาคารชุดนั้น เมื่อมีการใช้งานมาอย่างยาวนานย่อมทำให้เกิดการชำรุดเสียหายตามอายุการใช้งาน 3) คุณภาพของวัสดุอุปกรณ์ ที่ทางเจ้าโครงการมอบให้ เจ้าของโครงการที่สร้างอาคารชุดสำหรับขายมีหลายประเภท หลายทัศนคติ บางเจ้ามีนโยบายที่มุ่งเน้นผลกำไรเป็นหลัก ใช้ระยะเวลาให้น้อยที่สุดเพื่อลดต้นทุน 4) ขาดงบประมาณในการนำมาปรับปรุง ซ่อมแซมแก้ไข เนื่องจากอาคารชุดมีรายได้มาจากการจัดเก็บค่าส่วนกลางเป็นหลักเพื่อนำไปใช้ในการบริหารจัดการ ซึ่งค่าส่วนกลางที่เรียกเก็บมาบางครั้งไม่เพียงพอต่อการนำพัฒนาและปรับปรุงพื้นที่ส่วนกลางภายในอาคารชุด ผู้ศึกษาจึงได้เสนอการอภิปรายผลและการแก้ไขปัญหา 3 แนวทาง ดังนี้

1) การบริหารจัดการด้านงบประมาณในการซ่อมแซมแก้ไขทรัพย์สินส่วนกลาง ชำรุดเสียหาย แบ่งเป็น ระยะสั้น ระยะกลาง และระยะยาว ซึ่งทำให้สามารถลดปัญหาการร้องเรียนเรื่อง ทรัพย์สินส่วนกลางชำรุดเสียหาย ด้วยการใช้หลักการและทฤษฎีด้านการจัดการงานวิศวกรรม และทางเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม มาร่วมกับการวางแผนงบประมาณในการซ่อมบำรุงประจำปีของอาคาร เพื่อทำเป็นแผนงบประมาณราย 3-5 ปี เพื่อเสนอคณะกรรมการในการอนุมัติงบประมาณต่อไป 2) การ

จัดทำแผนการซ่อมบำรุงรักษาและทดสอบการใช้งานอยู่เสมอรวมทั้งการจัดประวัติเครื่องจักรทุกตัว เพื่อให้ผู้รับผิดชอบทราบถึงสถานะของเครื่องจักร เพื่อสะดวกต่อการตรวจสอบประวัติการซ่อมบำรุง หรือให้ผู้รับผิดชอบจัดทำคู่มือการใช้งาน เพื่อป้องกันการใช้งานที่ผิดวิธี ทำให้เครื่องจักร หรือทรัพย์สินเกิดการชำรุด เสียหายได้ 3) การตรวจรับงานจากเจ้าของโครงการ หรือตรวจรับงานจากบริษัทบริหารเดิม ควรกำหนดเงื่อนไขในการตรวจรับมอบงานที่ชัดเจน โดยหากเครื่องจักรชำรุดให้ดำเนินการแก้ไขซ่อมแซมให้เรียบร้อยก่อนส่งมอบ เป็นต้น

การบริหารจัดการอาคารเนื่องจากความแตกต่างของสภาพและข้อจำกัดของการดูแลรักษา อาคารแตกต่างกันออกไปตามแต่ละอาคาร เพราะการบริหารงานนิติบุคคลอาคารชุดเป็นงานที่เกี่ยวข้องกับคนเป็นส่วนใหญ่จึงส่งผลให้ความพึงพอใจในการให้บริการล้นมาจากคนโดยทั้งสิ้น ปัญหาข้อร้องเรียนนั้นส่วนใหญ่จะมีหลายปัจจัยในการทำให้เกิดข้อร้องเรียน ซึ่งไม่สามารถแก้ไขได้เพียงหนึ่งหรือสองปัจจัย และในการแก้ไขปัญหา มักจะเกิดผลกระทบ ทำให้เกิดปัญหาอื่นขึ้นได้อีกด้วย และผู้จัดการอาคารหรือผู้บริหารนิติบุคคล จึงควรวางแผนกลยุทธ์ในการบริหารจัดการในอาคาร เพื่อที่จะได้มีผลกระทบน้อยที่สุด และสร้างความพึงพอใจที่สูงสุดกับเจ้าของหรือผู้พักอาศัย

ปัญหาข้อร้องเรียนของผู้พักอาศัยในอาคารชุด ควรจำแนกเป็นปัญหาที่สามารถบริหารจัดการโดยการนำหลักการด้านการบริหารจัดการมาผสมผสานกับการแก้ไขทางวิศวกรรม เช่น การนำข้อมูลทางสถิติมาเป็นเครื่องมือในการแก้ไขปัญหาข้อร้อง และ การนำเทคโนโลยีมาช่วยในการแก้ไขปัญหา เช่น การนำระบบ Service Level Agreement: SLA มาใช้ในการเป็นตัววัดและประเมินการปฏิบัติงาน และเพิ่มประสิทธิภาพของงานนิติบุคคลอย่างเป็นรูปธรรม เพื่อประเมินระยะเวลาในการให้บริการสามารถนำมาเป็นตัวชี้วัดความพึงพอใจของเจ้าของร่วมได้ เนื่องจากมีระยะเวลาที่ชัดเจนที่ตรวจสอบได้ โดยสามารถนำข้อมูลระยะเวลาในการดำเนินการมาวิเคราะห์หาความเหมาะสมในการแก้ไขงานในแต่ละประเภทว่าควรใช้เวลาในการเข้าซ่อมแซมแก้ไข ปรับปรุง ควรมีระยะเวลาเท่าใดจึงจะเหมาะสม และนำข้อมูลที่ได้มาฐานข้อมูลในการให้บริการต่อไป

6. เอกสารอ้างอิง

- กรมที่ดิน. (2555). พระราชบัญญัติอาคารชุด กฎกระทรวง ระเบียบกรมที่ดิน วารสารที่ดิน. ฉบับพิเศษ ปีที่ 58 ฉบับที่ 1 ครบรอบ 111 ปี กรมที่ดิน 17 กุมภาพันธ์ 2555.
- ชลิต ปานมา. (2548). ทรรศนะของประชาชนต่อบทบาทของสมาชิกสภาเทศบาลในการ พัฒนา ทองถิ่น ศึกษาเฉพาะกรณี ตำบลบางพลี จังหวัดสมุทรปราการ. วิทยานิพนธ์ปริญญารัฐประศาสนศาสตร, มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนดุสิต.
- ธงชัย ทองมา, ประสพชัย พสุนนท์. (2557). ปัจจัยที่ส่งผลต่อการจัดการ การบริหารทรัพยากรกายภาพ: อาคารสำนักงานให้เช่า ระดับ เอ ในบริเวณศูนย์กลางเขตธุรกิจกรุงเทพมหานคร กรณีศึกษาอาคารอับดุลราฮิม. ฉบับมนุษยศาสตร์ สังคมศาสตร์ และศิลปะ (พฤษภาคม - สิงหาคม 2557).
- บริษัท ซีบีอาร์อี (ประเทศไทย) จำกัด. (2562). อาคารชุด สามารถแบ่งโดยใช้เกณฑ์ระดับราคาขายต่อตารางเมตร. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: www.cbre.co.th. (วันสืบค้นข้อมูล: 10 มกราคม 2564).
- มนิธา ปกป้อง. (2560). แนวทางการบริหารความเสี่ยงนิติบุคคลอาคารชุด : กรณีศึกษา อาคารชุดพักอาศัยระดับราคาปานกลาง กรุงเทพฯ เขตดอนเหนือ. วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชานวัตกรรมการพัฒนาอสังหาริมทรัพย์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
- วรรณชัย เจริญศรี. (2562). การศึกษาการลดข้อร้องเรียนลูกค้าและความพึงพอใจของลูกค้าที่มีต่อสุวรรณ ริเวอร์ไซด์ รีสอร์ท. หลักสูตรบริหารธุรกิจมหาบัณฑิต กลุ่มวิชาการจัดการ, มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย.

วิทย์ เทียงบุญธรรม. (2541). ความพึงพอใจในการรับบริการขององค์การโทรศัพท์แห่งประเทศไทย. วิทยานิพนธ์
ศิลปศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนดุสิต.

เสรีชัย โชติพานิช (2549). แนวคิดการบริหารทรัพยากรกายภาพสำหรับโครงการที่อยู่อาศัยแบบรวม . ภาควิชาสถาปัตยกรรม
ศาสตร์.จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

อนงค์ เอื้อวัฒนา. (2542). ความพึงพอใจของ ผู้รับบริการแผนกผู้ป่วยนอก โรงพยาบาล อำนาจเจริญ. วิทยานิพนธ์ ปริญญา
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาการบริหารโรงพยาบาล. บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหิดล.

ประวัติผู้เขียนบทความ



อาภาพร เพ็ธธงสา นักศึกษาหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการงาน
วิศวกรรม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต 1761 ถนนพัฒนาการ สวนหลวง
กรุงเทพมหานคร 10250 email: apaporn.mlp@gmail.com



ดร.ศักดิ์ชาย รักการ ผู้อำนวยการหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาการจัดการงานวิศวกรรม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษม บัณฑิต 1761 ถนน
พัฒนาการ สวนหลวง กรุงเทพมหานคร 10250
การศึกษา Ph.D. Systems and Control Engineering, Case Western Reserve
University, Ohio, U.S.A., วศ.ม.วิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และ วศ.บ.
วิศวกรรมอุตสาหการ (เกียรตินิยมอันดับ 1) มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต Email:
sakchai.rak@kbu.ac.th



ภาวัต ไชยชาณวาทิก รองคณะบดีฝ่ายวิจัยและผู้อำนวยการศูนย์นวัตกรรมทางเทคโนโลยีและการ
ขนส่งอย่างยั่งยืน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต 1761 ซอยพัฒนาการ 37 แขวง
สวนหลวง เขตสวนหลวง กรุงเทพมหานคร 10250, จบการศึกษาหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
และหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิตและ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี
พระจอมเกล้าธนบุรี และ Ph.D. Transportation Engineering, Asian Institute of Technology,
Email: bhawat.cha@kbu.ac.th

คำแนะนำในการจัดเตรียมต้นฉบับสำหรับผู้เขียน
วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช

1. ข้อมูลเบื้องต้นของวารสาร

ขอบเขตเนื้อหา ประกอบด้วย

- 1.1 วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
- 1.2 วิศวกรรม
- 1.3 เทคโนโลยีอุตสาหกรรม
- 1.4 เทคโนโลยีสารสนเทศ
- 1.5 สหวิทยาการ

2. นโยบายการพิจารณาตีพิมพ์ผลงาน

2.1 คำแนะนำทั่วไป

2.1.1 ผลงานที่เสนอตีพิมพ์ต้องไม่เคยตีพิมพ์เผยแพร่ในวารสาร เอกสารการประชุม หรือสิ่งพิมพ์ใดมาก่อน (ยกเว้นรายงานวิจัย และวิทยานิพนธ์)

2.1.2 ผลงานที่เสนอตีพิมพ์ต้องไม่อยู่ในระหว่างการพิจารณาตีพิมพ์ในวารสารหรือสิ่งตีพิมพ์อื่นใด ทัศนะและข้อคิดเห็นใดๆ ในบทความถือเป็นทัศนะของผู้เขียน กองบรรณาธิการไม่จำเป็นต้องเห็นพ้องด้วยกับทัศนะเหล่านั้นและไม่ถือว่าเป็นความรับผิดชอบของกองบรรณาธิการ กรณีมีการฟ้องร้องเรื่องการละเมิดลิขสิทธิ์ถือเป็นความรับผิดชอบของผู้เขียนแต่เพียงฝ่ายเดียว

2.1.3 ลิขสิทธิ์บทความเป็นของผู้เขียน และสาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช ได้รับการสงวนสิทธิตามกฎหมาย การตีพิมพ์ซ้ำต้องได้รับอนุญาตโดยตรงจากผู้เขียนและสาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช เป็นลายลักษณ์อักษร

2.2 ประเภทผลงานที่รับตีพิมพ์

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช รับพิจารณาตีพิมพ์บทความทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ดังนี้

- 2.2.1 บทความวิชาการ (Academic Article)
- 2.2.2 บทความวิจัย (Research Article)
- 2.2.3 บทความปริทัศน์ (Review Article)
- 2.2.4 บทวิจารณ์หนังสือ (Book Review)

2.3 การพิจารณาถ้อยแถลงบทความ

2.3.1 บทความที่จะได้รับพิจารณาตีพิมพ์ ต้องเป็นบทความที่แสดงให้เห็นถึงคุณภาพทางวิชาการและมีประโยชน์ทั้งในเชิงทฤษฎีเพื่อให้นักวิจัยสามารถนำไปพัฒนาหรือสร้างองค์ความรู้ใหม่ และประโยชน์ในเชิงปฏิบัติที่นักปฏิบัติสามารถนำไปประยุกต์ใช้ทั้งในภาคส่วนต่างๆ ทั้งภาครัฐ ภาคธุรกิจ และภาคสังคมและชุมชน

2.3.2 บทความที่จะได้รับการตีพิมพ์ต้องผ่านกระบวนการกลั่นกรองจากผู้ทรงคุณวุฒิ (Peer Review) ในสาขาวิชาที่เกี่ยวข้อง จำนวน 3 ท่านและได้รับความเห็นชอบจากกองบรรณาธิการ

2.4 กระบวนการพิจารณาถ้อยแถลงบทความ (Peer Review)

2.4.1 กองบรรณาธิการจะแจ้งให้ผู้เขียนทราบเมื่อกองบรรณาธิการได้รับบทความเรียบร้อยแล้ว กองบรรณาธิการจะตรวจสอบบทความว่าอยู่ในขอบเขตเนื้อหาวารสารหรือไม่ รวมถึงคุณภาพทางวิชาการ และประโยชน์ทั้งในเชิงทฤษฎีและปฏิบัติ

2.4.2 ในกรณีที่กองบรรณาธิการพิจารณาเห็นควรรับบทความไว้พิจารณาตีพิมพ์ กองบรรณาธิการจะดำเนินการส่งบทความเพื่อกลั่นกรองต่อไป โดยจะส่งให้ผู้ทรงคุณวุฒิในสาขาวิชาที่เกี่ยวข้อง จำนวน 3 ท่าน ประเมินคุณภาพของบทความว่าอยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสมจะลงตีพิมพ์หรือไม่ โดยกระบวนการกลั่นกรองนี้ ทั้งผู้ทรงคุณวุฒิ และผู้เขียนจะไม่ทราบข้อมูลของกันและกัน เมื่อผู้ทรงคุณวุฒิประเมินคุณภาพบทความแล้ว กองบรรณาธิการจะตัดสินใจโดยอิงตามข้อเสนอแนะของผู้ทรงคุณวุฒิว่าบทความนั้น ๆ ควรนำลงตีพิมพ์ หรือควรส่งให้ผู้เขียนแก้ไขแล้วส่งให้ผู้ทรงคุณวุฒิประเมินอีกครั้งหนึ่ง หรือปฏิเสธ การตีพิมพ์

3. ข้อกำหนดต้นฉบับ

3.1 การจัดพิมพ์ต้นฉบับ

3.1.1 ผลงานที่เสนอพิจารณาตีพิมพ์ควรมีความยาวประมาณ 5 – 15 หน้ากระดาษ A4

3.1.2 บทความภาษาไทย พิมพ์ด้วย TH Sarabun New ขนาดตัวอักษร 14 Point บทความภาษาอังกฤษ พิมพ์ด้วย TH SarabunNew ขนาดตัวอักษร 14 Point

3.1.3 ระยะขอบกระดาษ 1 นิ้ว (เท่ากันทุกด้าน)

3.1.4 ชื่อเรื่องบทความ ขนาดตัวอักษร 18 Point (ตัวหนา) จัดชิดซ้ายของกระดาษ

3.1.5 ชื่อหัวข้อ ขนาดตัวอักษร 16 Point (ตัวหนา) จัดชิดซ้ายของกระดาษ

3.1.6 บทคัดย่อภาษาไทย ความยาว 1 ย่อหน้า (250 คำ) ขนาดตัวอักษร 14 Point พิมพ์ 1 คอลัมน์ และต้องพิมพ์คำสำคัญต่อท้าย

3.1.7 บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ความยาว 1 ย่อหน้า (250 คำ) ขนาดตัวอักษร 14 Point พิมพ์ 1 คอลัมน์ และต้องพิมพ์คำสำคัญต่อท้าย

3.1.8 เนื้อหาพิมพ์ 1 คอลัมน์ ขนาดตัวอักษร 14 Point

3.1.9 ชื่อและหมายเลขกำกับตาราง ขนาดตัวอักษร 14 Point (ตัวหนา) ให้พิมพ์ไว้บนตารางจัดชิดซ้าย ได้ตารางบอกแหล่งที่มา จัดชิดซ้าย

3.1.10 ชื่อภาพและหมายเลขกำกับภาพ ชื่อแผนภูมิและหมายเลขกำกับแผนภูมิ ขนาดตัวอักษร 14 Point (ตัวหนา) ให้พิมพ์ไว้ใต้ภาพ (ควรเป็นภาพที่ชัดเจน และควรแนบ File ภาพมาด้วย)

3.1.11 แผนภูมิ จัดกึ่งกลางหน้ากระดาษ ใต้ภาพ แผนภูมิบอกแหล่งที่มา จัดกึ่งกลางหน้ากระดาษ

3.1.12 ชื่อบรรณานุกรม/เอกสารอ้างอิง ขนาดตัวอักษร 14 Point (ตัวหนา) จัดชิดซ้าย ส่วนเนื้อหา บรรณานุกรม/เอกสารอ้างอิง ขนาดตัวอักษร 14 Point พิมพ์ 1 คอลัมน์

3.1.13 พิมพ์ชื่อและนามสกุลของผู้เขียนทุกคน พร้อมระบุคุณวุฒิสูงสุด ตำแหน่งทางวิชาการ (ถ้ามี) ตำแหน่งงาน และหน่วยงานที่สังกัด หรือสถานศึกษา และแนบ File .jpg ภาพถ่ายผู้เขียนมาด้วย

3.1.14 ผู้เขียนต้องตรวจสอบความถูกต้องของการพิมพ์ต้นฉบับ เช่น ตัวสะกด วรรคตอน และความ สละสลวยของการใช้ภาษา

3.2 ส่วนประกอบของบทความ

3.2.1 บทความวิชาการ หัวข้อและเนื้อหาควรชี้ประเด็นที่ต้องการนำเสนอให้ชัดเจนและมีลำดับ เนื้อหาที่เหมาะสมเพื่อให้ผู้อ่านสามารถเข้าใจได้ชัดเจน รวมถึงมีการใช้ทฤษฎีวิเคราะห์และเสนอแนะประเด็น อย่างสมบูรณ์ โดยควรมีองค์ประกอบดังต่อไปนี้ (สามารถมีหัวข้อหรือองค์ประกอบที่แตกต่างได้)

(1) ชื่อเรื่อง (Title)

(2) บทคัดย่อ (Abstract)

สรุปเนื้อหาของบทความให้ได้ใจความชัดเจน กำหนดให้มีทั้งบทคัดย่อภาษาไทยและ ภาษาอังกฤษ โดยเขียนเป็นภาษาไทยก่อน ความยาว 1 ย่อหน้า ไม่เกิน 250 คำ

(3) คำสำคัญ (Keyword)

ระบุคำที่เป็นคำสำคัญของเนื้อหาเหมาะสำหรับนำไปใช้เป็นคำค้นในระบบฐานข้อมูล

(4) บทนำ (Introduction)

เป็นส่วนแนะนำและปูพื้นเรื่องเพื่อให้ผู้อ่านทราบข้อมูลเบื้องต้นของเนื้อหา เป็นการจูงใจให้ ผู้อ่านเกิดความสนใจในเรื่องนั้น ๆ

(5) เนื้อหา (Body of Text)

เป็นส่วนหลักของเนื้อหาบทความ การจัดลำดับเนื้อหา ควรมีการวางแผนจัดโครงสร้างของ เนื้อหาที่นำเสนอให้เหมาะสมกับธรรมชาติของเนื้อหานั้น การนำเสนอเนื้อหาควรมีความต่อเนื่องเพื่อช่วยให้ ผู้อ่านเข้าใจสาระนั้นได้โดยง่าย

(6) สรุป (Conclusion)

เป็นการสรุปเนื้อหาในบทความทั้งหมดออกมาอย่างชัดเจน และกระชับโดยมีการสรุปปิดท้าย เนื้อหาที่เราได้นำเสนอไปแล้วว่ามีผลดี หรือผลเสียอย่างไร

(6) เอกสารอ้างอิง (Reference)

เขียนบรรณานุกรมในรูปแบบ APA (American Psychological Association)

3.2.2 บทความวิจัย ควรมีการนำเสนอผลการวิจัยที่ได้รับอย่างเป็นระบบ โดยควรมีองค์ประกอบดังต่อไปนี้ (สามารถมีหัวข้อหรือองค์ประกอบที่แตกต่างได้)

(1) ชื่อเรื่อง (Title)

ชื่อเรื่องควรมีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ โดยพิมพ์ชื่อเรื่องเป็นภาษาไทยและตามด้วยชื่อเรื่องภาษาอังกฤษในบรรทัดต่อมา

(2) บทคัดย่อ (Abstract)

กำหนดให้มีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ โดยเขียนเป็นภาษาไทยก่อน ความยาว 1 ย่อหน้าไม่เกิน 250 คำ (การเขียนบทคัดย่อ คือ การสรุปสาระสำคัญของเรื่องโดยเฉพาะวัตถุประสงค์ วิธีการ และผลการวิจัย)

(3) คำสำคัญ (Keyword)

ระบุคำที่เป็นคำสำคัญของเนื้อหาเหมาะสำหรับนำไปใช้เป็นตัวค้นในระบบฐานข้อมูล

(4) บทนำ (Introduction)

เป็นการอธิบายถึงที่มาและความสำคัญของปัญหา และเหตุผลที่นำไปสู่การวิจัยมีข้อมูลทางวิชาการสนับสนุนหรือโต้แย้ง รวมถึงแนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

(5) วัตถุประสงค์ (Research Objectives)

ระบุถึงวัตถุประสงค์และเป้าหมายของการวิจัย

(6) วิธีการวิจัย (Research Methodology)

อธิบายถึงกระบวนการดำเนินการวิจัยอย่างละเอียดและชัดเจน

(7) ผลการวิจัย (Results)

เสนอผลการวิจัยที่ตรงประเด็นตามลำดับขั้นของการวิจัย การใช้ตารางหรือแผนภูมิไม่ควรเกิน 5 ตารางหรือแผนภูมิโดยมีการแปลความหมายและวิเคราะห์ผลที่ค้นพบอย่างชัดเจน

(8) อภิปรายผลการวิจัย (Discussion)

ผสมผสานเปรียบเทียบและตีความผลการวิจัยให้เข้ากับหลักทฤษฎี แนวคิด และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง รวมทั้งเชื่อมโยงผลการวิจัยให้สอดคล้องกับประเด็นปัญหาการวิจัย

(9) สรุป (Conclusion)

สรุปสาระสำคัญของผลการวิจัย และให้ข้อเสนอแนะที่จะนำผลการวิจัยนั้นไปใช้ประโยชน์

(10) เอกสารอ้างอิง (Reference)

เขียนบรรณานุกรมในรูปแบบของ APA (American Psychological Association)

3.3 การอ้างอิง

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช ใช้รูปแบบการอ้างอิงของ APA (American Psychological Association)

3.3.1 การอ้างอิงในเนื้อหาให้ใช้รูปแบบ ดังนี้

(ชื่อ-นามสกุลผู้แต่ง, ปีที่พิมพ์, เลขหน้า)

ตัวอย่าง

(เกียรติศักดิ์ เจริญวงศ์ศักดิ์, 2546, 64)

3.3.2 บรรณานุกรมท้ายบทให้ใช้รูปแบบ ดังนี้

(1) หนังสือ

ชื่อผู้แต่ง. (ปีที่พิมพ์). **ชื่อหนังสือ**. สถานที่พิมพ์: สำนักพิมพ์.

ตัวอย่าง

Bolinger, Dwinght. (1977). **The Form of Language**. London: Longmans.

(2) บทความจากวารสาร

ชื่อผู้แต่ง. (ปีที่พิมพ์). ชื่อบทความ. **ชื่อวารสาร**, ปีที่(ฉบับที่), เลขหน้าที่อ้างอิงถึง

ตัวอย่าง

Klimoski, R., & Palmer, S. (1993). The ADA and the hiring process in organizations. **Consulting Psychology Journal: Practice and Research**, 45(2), 10-36.

(3) วิทยานิพนธ์

ชื่อผู้แต่ง. (ปีที่พิมพ์). **ชื่อวิทยานิพนธ์**. วิทยานิพนธ์ปริญมหาบัณฑิต, ชื่อมหาวิทยาลัย.

ตัวอย่าง

สรรพพงษ์ จันทเลิศ. (2546). **การสร้างเว็บไซต์ท่องเที่ยวของจังหวัดเชียงราย**. วิทยานิพนธ์ปริญมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

(4) เว็บไซต์

ชื่อผู้แต่งหรือหน่วยงานเจ้าของเว็บไซต์. (ปีที่จัดทำ). **ชื่อเรื่อง**. สืบค้นเมื่อจาก URL.

ตัวอย่าง

ชวนะ ภวานันท์. (2548). **ธุรกิจสปาไทยน่าก้าวไกลไปกว่านี้**. สืบค้นเมื่อ 25 ธันวาคม 2548, จาก <http://www.buesnestgai.co.th/content.php?data=407720-opinion>

4. ข้อพิจารณาทางด้านจริยธรรม

ผู้วิจัยต้องคำนึงหลักจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ เคารพในบุคคล (Respect to person) เช่น การขอคำยินยอม ความเป็นส่วนตัว การเก็บรักษาความลับ

5. การส่งต้นฉบับ

ผู้เขียนส่งต้นฉบับพร้อมไฟล์ (Microsoft Word) และแบบฟอร์มเสนอแนะบทความเพื่อพิจารณาตีพิมพ์ไปที่ <http://www.learnings.in.th/scitech/> เพื่อทำการลงทะเบียนสมาชิกวารสารและดำเนินการส่งบทความเข้าฐานข้อมูลระบบออนไลน์ของวารสารซึ่งสามารถดาวน์โหลดคำแนะนำการได้ที่ <http://www.learnings.in.th/scitech/index.php/stj/about/submissions>