SciTech

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช

JOURNAL OF SCIENCE AND TECHNOLOGY
SUKHOTHAI THAMMATHIRAT OPEN UNIVERSITY

ปีที่ 5 ฉบับที่ 2 ประจำเดือนกรกฎาคม - ธันวาคม 2568

ISBN 2773-9600 (Online)

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช

Journal of Science and Technology Sukhothai Thammathirat Open University

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช

ปีที่ 5 ฉบับที่ 2 กรกฎาคม – ธันวาคม 2568

Journal of Science and Technology Sukhothai Thammathirat Open University

ที่ปรึกษากองบรรณธิการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภูมิ เจือศิริภักดี	ประธานกรรมการประจำสาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

บรรณาธิการ

อาจารย์ ดร.ชูตระกูล ศิริไพบูลย์	มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช

ผู้ช่วยบรรณาธิการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ฐากร พฤกษวันประสุต	มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช

กองบรรณาธิการ

ศาสตราจารย์ ดร.ปิยะ โควินท์ทวีวัฒน์	มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม
รองศาสตราจารย์ ดร.สมชาย ปราการเจริญ	มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เปรมพร เขมาวุฒฒ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัทณรงค์ จตุรัส	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
รองศาสตราจารย์ ดร.วฤษาย์ ร่มสายหยุด	มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธนกฤต โชติภาวริศ	มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อิทธิเดช มูลมั่งมี	มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ฐากร พฤกษวันประสุต	มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช

รายนามคณะกรรมการผู้ทรงคุณวุฒิ (Peer Review) ประจำฉบับ

รองศาสตราจารย์ ดร.ชินธันย์ อารีประเสริฐ	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
รองศาสตราจารย์ ดร.วฤษาย์ ร่มสายหยุด	มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช
รองศาสตราจารย์ ดร.อรรณพ มนสกุล	สถาบันการจัดการปัญญาภิวัฒน์
รองศาสตราจารย์ ดร.อรวินท์ พร่างแสงทอง	มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธนกฤต โชติภาวริศ	มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ขจิตพรรณ กฤตพลวิมาน	มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรลักษณ์ วงศ์โดยหวังศิริเจริญ	มหาวิทยาลัยศิลปากร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชัยพร ศิลาวัชนาไนย	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จีรัฐติกุล กล้าหาญ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กรีฑา สมเกียรติกุล	สถาบันการจัดการปัญญาภิวัฒน์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นาราวดี สิทธิเดชธรรมรงค์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ภิรมย์ คงเลิศ	มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ศุภพัฒน์ ปิงตา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร
อาจารย์ ดร.พรชนก พิเรนทร	สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย
อาจารย์ ดร.จารุเดช อาสิงสมานันท์	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
อาจารย์ ดร.ปิยะนุช มีธรรม	มหาวิทยาลัยสยาม
อาจารย์ ดร.ณัชชา ธานีพานิชสกุล	มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช
อาจารย์ ดร.ศรายุทธ นนท์ศิริ	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
อาจารย์ ดร.อุษณีย์ ภักดีตระกูลวงศ์	มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม
อาจารย์ ดร.ศุภรัฐ ดำยศ	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
อาจารย์วุฒิกรณ์ จริยตันติเวทย์	มหาวิทยาลัยสยาม
ดร.เกียรติ ยวงทอง	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ดร.ศัณสนีย์ เขียวจันทร์	สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ

ฝ่ายบริหารจัดการประจำฉบับ

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช

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

โทรศัพท์ : 02-504 8192

วัตถุประสงค์

1. เพื่อเผยแพร่ผลงานการวิจัยและผลงานวิชาการให้ทันสมัยและเป็นไปอย่างต่อเนื่อง
2. เพื่อเป็นสื่อกลางและแลกเปลี่ยนความคิดเห็นทางวิชาการให้เกิดความก้าวหน้าทางวิชาการ
3. เพื่อส่งเสริมและพัฒนาศักยภาพทางวิชาการของบุคลากรทั้งภายในและภายนอกมหาวิทยาลัย

กำหนดการออกวารสาร

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

ลักษณะของบทความ

1. ครอบคลุมในหัวเรื่องวิชาการและวิจัย
2. บทความที่นำเสนอต้องมีแนวทางสร้างสรรค์ ก่อให้เกิดประโยชน์ต่อการพัฒนาความ เจริญก้าวหน้าของการศึกษา เศรษฐกิจ และสังคมองค์รวม
3. บทความที่นำเสนอต้องไม่เคยตีพิมพ์ในวารสารวิชาการอื่นใดมาก่อน
4. ผู้เขียนจะต้องรับผิดชอบในข้อเขียน ข้อคิดเห็นของผู้เขียนต่อข้อกฎหมายใดๆ ที่อาจเกิดขึ้นต่อบทความนั้น

บทบรรณาธิการ

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช ฉบับนี้เป็นปีที่ 5 ฉบับที่ 2 เดือน กรกฎาคม – ธันวาคม 2568 ซึ่งเป็นฉบับที่สองของปีที่ 5 ของสาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี โดยมีวัตถุประสงค์ สำคัญคือการเป็นพื้นที่ในการเผยแพร่ผลงานทางวิชาการ รวมถึงเป็นเวทีในการแลกเปลี่ยนแนวคิดให้กับ คณาจารย์และนักวิชาการทั่วไป เพื่อส่งเสริมและพัฒนาศักยภาพทางวิชาการ ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี โดยฉบับนี้ได้มีการเผยแพร่ผลงานทางวิจัยจำนวนทั้งสิ้น 8 บทความ ซึ่งบทความได้ผ่านการประเมิน คุณภาพ อย่างเข้มข้นจากผู้ทรงคุณวุฒิตามศาสตร์สาขาที่เกี่ยวข้องจากหลากหลายสถาบัน ทำให้มั่นใจได้ว่า ผลงานทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ดังกล่าวมีคุณภาพสามารถนำไปศึกษาค้นคว้า อ้างอิง รวมถึง นำไปใช้ประโยชน์ในทางปฏิบัติได้ต่อไป

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช ขอขอบพระคุณผู้ทรงคุณวุฒิจากหลากหลายสถาบัน ที่ได้กรุณาสละเวลาอันมีค่าในการประเมินคุณภาพของบทความเพื่อตีพิมพ์เผยแพร่ ขอขอบคุณนักวิชาการที่ให้ความไว้วางใจส่งผลงานเข้ารับการเผยแพร่ หวังเป็นอย่างยิ่งว่า วารสารฉบับนี้จะเป็นเวทีทางวิชาการที่จะกระตุ้นความคิดและการแลกเปลี่ยนเรียนรู้อันจะนำมาซึ่งกระบวนทัศน์ทางความคิด รวมถึงให้องค์ความรู้ดังกล่าวทำหน้าที่ในการพัฒนาสังคมและประเทศชาติต่อไป

อาจารย์ ดร.ชูตระกูล ศิริไพบูลย์

บรรณาธิการ

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช
ปีที่ 5 ฉบับที่ 2 กรกฎาคม – ธันวาคม 2568
Journal of Science and Technology Sukhothai Thammathirat Open University
Vol.5, No.2, July - December 2025

สารบัญ

หน้า

1. การพัฒนาระบบรายงานข้อมูล และ Dashboard เพื่อสนับสนุนการตัดสินใจของผู้บริหาร กรณีศึกษา: สถาบันเวชศาสตร์สมเด็จพระสังฆราชญาณสังวรเพื่อผู้สูงอายุ..... 1
จุฑาทิพย์ เปล่งผิว นัศพ์ชาณัณ ชินปัญช์ธนะ และสุภัคพงศ์ จินารัตน์
2. การประเมินวัฏจักรชีวิตเชิงเปรียบเทียบของบรรจุภัณฑ์อาหารนำกลับไปบริโภคที่ใช้อยู่ในสหราชอาณาจักร..... 15
ณัชชา ฐานีพานิชสกุล
3. การพัฒนากระบวนการวางแผนการขนส่งด้วยเทคนิคปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่ง กรณีศึกษาผู้ประกอบการธุรกิจโลจิสติกส์..... 30
ธนิดา สุนารักษ์
4. การปรับปรุงกระบวนการผลิตบรรจุภัณฑ์กระดาษด้วยการบูรณาการข้อมูลและเทคโนโลยีระบบวางแผนทรัพยากรองค์กร (ERP)..... 49
ธนกฤต นิ่มลอง และบุญเลิศ วงศ์เจริญแสงสิริ
5. การประยุกต์ใช้ชุดเครื่องมือโอเพนซอร์สและโพรโทคอล SNMP เพื่อการวิเคราะห์และการบริหารจัดการเครือข่ายไร้สาย กรณีศึกษาวิทยาลัยการสาธารณสุขสิรินธร จังหวัดอุบลราชธานี..... 68
อัษฎาวุธ ควรนาม และขจิตพรรณ กฤตพลวิมาน
6. การพัฒนาแอปพลิเคชันแชทบอท แนะนำสถานที่ท่องเที่ยวและผลิตภัณฑ์ชุมชน สำหรับพื้นที่การท่องเที่ยวเชิงอนุรักษ์ภูป่าเปาะ จังหวัดเลย..... 89
ชรินทร์ญา หวังวัชรกุล
7. การพัฒนาแบบจำลองเชิงผสมระหว่างการเรียนรู้ของเครื่องและอนุกรมเวลา เพื่อพยากรณ์ปริมาณผู้ป่วยรายวันในแผนกฉุกเฉินจำแนกตามระดับความเร่งด่วน..... 110
ชนาธิป ฉัตรวิไลลักษณ์ และวฤษาย์ ร่มสายหยุด
8. การพัฒนาเครื่องตัดกล้วยกวนอัตโนมัติควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์..... 128
อลงกรณ์ ฉัตรเมืองปัก ชลาลัย วงเวียน และศุภกิจ พยายาม

การพัฒนาระบบรายงานข้อมูล และ Dashboard เพื่อสนับสนุนการตัดสินใจของผู้บริหาร กรณีศึกษา: สถาบันเวชศาสตร์สมเด็จพระสังฆราชญาณสังวรเพื่อผู้สูงอายุ

Development of A Data Reporting and Dashboard System to Support Executive Decision-Making: A Case Study of The Institute of Geriatric Medicine

จุฑาทิพย์ เปล่งผิว[1] นัศพ์ชาณัณ ชินปัญช์ธนะ[2] และ สุภัคพงศ์ จินารัตน์[3]

[1] วิทยาลัยวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์, 66130241@dpu.ac.th

[2] วิทยาลัยวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์, nutchanun.cha@dpu.ac.th

[3] วิทยาลัยวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์, supakpong.jin@dpu.ac.th

Jutatip Plangphiw[1], Nutchanun Chinpanthana[2] and Supakpong Jinarat[3]

[1] College of Engineering and Technology Dhurakig Pundit University, 66130241@dpu.ac.th

[2] College of Engineering and Technology Dhurakig Pundit University, nutchanun.cha@dpu.ac.th

[2] College of Engineering and Technology Dhurakig Pundit University, supakpong.jin@dpu.ac.th

วันที่รับบทความ 29 มิถุนายน 2568

วันแก้ไขบทความ 21 กรกฎาคม 2568

วันตอบรับบทความ 28 พฤศจิกายน 2568

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาระบบรายงานข้อมูลและแดชบอร์ด เพื่อสนับสนุนการตัดสินใจของผู้บริหารในสถาบันเวชศาสตร์สมเด็จพระสังฆราชญาณสังวรเพื่อผู้สูงอายุ ซึ่งเดิมมีระบบจัดการข้อมูลแบบแมนนวลและกระจัดกระจาย ทำให้การวิเคราะห์และตัดสินใจขาดประสิทธิภาพ งานวิจัยได้ประยุกต์ใช้เทคโนโลยีจาก Google Workspace เช่น Google Forms, Sheets, Looker Studio และ Sites ในการจัดเก็บ วิเคราะห์ และแสดงผลข้อมูลแบบเรียลไทม์ โดยใช้แนวคิด PDCA และ CRISP-DM เป็นกรอบแนวทางการพัฒนา โดยการดำเนินงานเริ่มจากการวิเคราะห์ความต้องการของผู้ใช้งาน และศึกษาระบบงานเดิม จากนั้นจึงออกแบบระบบรายงานข้อมูลโดยใช้ Use Case Diagram เพื่อกำหนดกระบวนการสำคัญ เช่น การบันทึกข้อมูล การตรวจสอบ และการแสดงผล ก่อนดำเนินการสร้างต้นแบบระบบด้วยเครื่องมือดิจิทัล และนำไปทดสอบกับกลุ่มเป้าหมาย พร้อมปรับปรุงตามข้อเสนอแนะ ซึ่งผลการทดลองใช้งานแสดงให้เห็นว่าระบบสามารถลดระยะเวลาการทำงานจาก 5 วัน เหลือเพียง 1 วัน และได้คะแนนความพึงพอใจเฉลี่ยอยู่ที่ 4.73 จาก 5.00 อยู่ในระดับ “ดีมาก” โดยเฉพาะในด้านประสิทธิภาพการทำงานและการสนับสนุนการตัดสินใจของผู้บริหาร งานวิจัยนี้ชี้ให้เห็นว่าการใช้เทคโนโลยีดิจิทัลสามารถยกระดับการบริหารจัดการข้อมูลในหน่วยงานด้านสาธารณสุขให้มีความแม่นยำ สะดวก และมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น

คำสำคัญ: ระบบรายงานข้อมูล, แดชบอร์ด, การตัดสินใจของผู้บริหาร, Looker Studio, ผู้สูงอายุ

ABSTRACT

This research aims to develop a data reporting and dashboard system to support executive decision-making at the Institute of Geriatric Medicine, where the current manual and fragmented data management practices hinder efficient analysis and decision-making. The study utilized digital tools from Google Workspace including Google Forms, Sheets, Looker Studio, and Sites to collect, process, and visualize data in real time. The development process followed the PDCA cycle and the CRISP-DM framework. The methodology began with analyzing user requirements and existing workflows. A new system design was proposed using use case diagrams to outline key processes such as data entry, verification, and real-time reporting. A prototype was developed using digital tools and tested by target users, followed by iterative improvements based on feedback. The results showed a significant improvement in efficiency, reducing data processing time from 5 days to just 1 day. User satisfaction scored an average of 4.73 out of 5.00, indicating a "very good" level, particularly in terms of operational efficiency and decision support. This study demonstrates that digital transformation can enhance health data management accuracy, accessibility, and support timely decision-making for executive planning in public health institutions.
KEYWORDS: Data Reporting System, Dashboard, Executive Decision-making, Looker Studio, Elderly Care

1. บทนำ

ประเทศไทยได้ก้าวเข้าสู่สังคมผู้สูงอายุอย่างสมบูรณ์ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2567 โดยมีสัดส่วนประชากรอายุ 60 ปีขึ้นไปมากกว่า 20% และคาดว่าจะเพิ่มขึ้นเป็นกว่า 28% ภายในปี พ.ศ. 2578 ซึ่งจะทำให้ประเทศไทยกลายเป็น "สังคมสูงวัยระดับสุดยอด" (Super-Aged Society) (Department of Older Persons, 2024) การเปลี่ยนแปลงทางโครงสร้างประชากรดังกล่าวส่งผลให้หน่วยงานด้านสาธารณสุขต้องเผชิญกับความท้าทายในการให้บริการ การวางแผนทรัพยากร และการตัดสินใจเชิงนโยบายที่ซับซ้อนและต้องการข้อมูลที่ถูกต้องและทันเวลา

ในปัจจุบัน เทคโนโลยีสารสนเทศได้กลายเป็นกลไกสำคัญในการสนับสนุนการบริหารจัดการองค์กร การนำระบบรายงานข้อมูลและแดชบอร์ด (Dashboard) มาใช้ในการแสดงผลข้อมูลเชิงภาพ และเรียลไทม์ เป็นแนวทางที่ได้รับความนิยมเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง เนื่องจากช่วยให้ผู้บริหารสามารถเข้าถึงข้อมูล วิเคราะห์สถานการณ์ และตัดสินใจได้อย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น งานวิจัยของสุวรรณหงษ์ (2561) พบว่าแดชบอร์ดที่ออกแบบให้เรียบง่าย ใช้สีอย่างจำกัด และมีการผสมผสานระหว่างตารางและกราฟ สามารถช่วยให้ผู้ใช้งานเข้าใจข้อมูลได้ดีขึ้น ในขณะที่ ผดุงเกียรติ (2564) รายงานว่าการพัฒนาแดชบอร์ดเพื่อจัดการฐานข้อมูลนักเรียนช่วยลดขั้นตอนในการจัดการข้อมูล และทำให้การสื่อสารภายในองค์กรมีความชัดเจนและเป็นระบบมากขึ้น

สถาบันเวชศาสตร์สมเด็จพระสังฆราชญาณสังวรเพื่อผู้สูงอายุเป็นหน่วยงานที่ให้บริการด้านเวชศาสตร์ฟื้นฟูและส่งเสริมสุขภาพสำหรับผู้สูงวัย อย่างไรก็ตาม ระบบการจัดเก็บและรายงานข้อมูลของสถาบันยังคงพึ่งพาวิธีการแบบแมนนวลหรือเครื่องมือพื้นฐาน เช่น Microsoft Excel ซึ่งส่งผลให้เกิดความซ้ำซ้อนของข้อมูล ความล่าช้าในการรวบรวม และความยากลำบากในการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อใช้ในการตัดสินใจ จากการศึกษาโดย ขนบธรรม เนตรสา (2565) พบว่าระบบที่ไม่เชื่อมโยงและไม่มีศูนย์กลางข้อมูลกลาง จะทำให้การสื่อสารในองค์กรขาดประสิทธิภาพ และลดความน่าเชื่อถือของข้อมูลในระดับนโยบาย

การพัฒนาระบบรายงานข้อมูลและแดชบอร์ดจึงเป็นแนวทางสำคัญที่สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการบริหารจัดการข้อมูลภายในสถาบัน โดยเฉพาะหากสามารถออกแบบระบบให้รองรับการป้อนข้อมูลได้จากหลายแผนก วิเคราะห์ข้อมูลอัตโนมัติ และแสดงผลแบบโต้ตอบได้ในทันที งานวิจัยของวราภรณ์ ธนะเกียรติ และคณะ (2566) ได้เสนอแนวทางการออกแบบระบบ Dashboard

เพื่อการบริหารจัดการข้อมูลการเรียนการสอน ซึ่งแสดงให้เห็นว่าแดชบอร์ดสามารถช่วยติดตามข้อมูลที่สำคัญได้แบบ real-time และลดภาระงานของเจ้าหน้าที่ในการจัดทำรายงานซ้ำซ้อน

จากปัญหาและแนวโน้มที่กล่าวมา งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาระบบรายงานข้อมูลและแดชบอร์ดที่สามารถช่วยให้ผู้บริหารของสถาบันเวชศาสตร์สมเด็จพระสังฆราชญาณสังวรเพื่อผู้สูงอายุ เข้าถึงข้อมูลที่สำคัญได้สะดวก แม่นยำ และทันเวลา โดยใช้เครื่องมือของ Google Workspace ได้แก่ Google Forms, Sheets, Looker Studio และ Sites ผ่านกรอบการพัฒนาตามวงจร PDCA และ CRISP-DM เพื่อให้เกิดระบบที่มีประสิทธิภาพ และตอบสนองต่อการตัดสินใจเชิงยุทธศาสตร์ขององค์กรด้านสุขภาพอย่างแท้จริง

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อพัฒนาระบบรายงานข้อมูลและแดชบอร์ดของสถาบันฯ
2. เพื่อสนับสนุนการตัดสินใจของผู้บริหารในการบริหารจัดการและวางแผน

3. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การพัฒนาระบบรายงานข้อมูลและแดชบอร์ดเพื่อสนับสนุนการตัดสินใจของผู้บริหาร จำเป็นต้องอ้างอิงแนวคิดและทฤษฎีหลายแขนง เพื่อสร้างระบบที่มีคุณภาพ ใช้งานง่าย และสามารถตอบสนองต่อความต้องการของผู้บริหารได้อย่างแท้จริง โดยทฤษฎีที่เกี่ยวข้องประกอบด้วย

3.1 วงจรการปรับปรุงคุณภาพ PDCA (Plan–Do–Check–Act)

แนวคิดของ Deming (1986) ได้เสนอวงจร PDCA ซึ่งเป็นกระบวนการที่มุ่งเน้นการปรับปรุงคุณภาพอย่างต่อเนื่อง โดยแบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอน ได้แก่

- Plan วางแผนเพื่อแก้ไขหรือพัฒนาปัญหา
- Do ลงมือดำเนินการตามแผน
- Check ตรวจสอบผลลัพธ์ที่ได้
- Act ปรับปรุงหรือกำหนดมาตรฐานใหม่

วงจร PDCA นี้นำมาประยุกต์ใช้ในขั้นตอนการพัฒนาระบบแดชบอร์ด เพื่อให้สามารถปรับปรุงระบบตามผลลัพธ์ที่ได้จากการใช้งานจริง

3.2 แบบจำลองความสำเร็จของระบบสารสนเทศ (IS Success Model)

แบบจำลองนี้ถูกพัฒนาโดย DeLone และ McLean (2003) โดยใช้ประเมินคุณภาพของระบบสารสนเทศในหลายมิติ ได้แก่

- คุณภาพของข้อมูล (Information Quality) ข้อมูลต้องถูกต้อง ครบถ้วน ทันสมัย และตรงกับความต้องการของผู้ใช้
- คุณภาพของระบบ (System Quality) ระบบต้องใช้งานง่าย มีความเสถียรภาพ รวดเร็ว และปลอดภัย
- คุณภาพของการบริการ (Service Quality) การสนับสนุนการให้บริการ ส่งผลต่อความพึงพอใจในการใช้งานระบบ
- ความพึงพอใจของผู้ใช้ (User Satisfaction) ผู้ใช้งานรู้สึกพึงพอใจกับการใช้งาน และเต็มใจใช้งานระบบต่อไป
- ผลประโยชน์จากการใช้ระบบ (Net Benefit) ระบบช่วยให้การทำงานมีประสิทธิภาพ ตัดสินใจดีขึ้น และเกิดผลดีต่อองค์กร

แบบจำลองนี้ใช้ในการประเมินความสำเร็จของระบบแดชบอร์ดที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัย โดยเฉพาะด้านความพึงพอใจและผลที่มีต่อการตัดสินใจของผู้บริหาร

3.3 กระบวนการทำเหมืองข้อมูล CRISP-DM

CRISP-DM (Cross Industry Standard Process for Data Mining) (Chapman et al., 2000) เป็นกระบวนการมาตรฐานที่นิยมใช้ในงานวิเคราะห์ข้อมูล ซึ่งประกอบด้วย 6 ขั้นตอน ได้แก่:

- เข้าใจธุรกิจ (Business Understanding) ขั้นตอนแรกคือการทำความเข้าใจวัตถุประสงค์ขององค์กรหรือหน่วยงาน เช่น เป้าหมายในการตัดสินใจหรือปัญหาที่ต้องการแก้ไข เพื่อกำหนดขอบเขตของระบบให้ตอบโจทย์ความต้องการได้อย่างชัดเจน
- เข้าใจข้อมูล (Data Understanding) เป็นการสำรวจแหล่งข้อมูลที่มีอยู่ วิเคราะห์โครงสร้างของข้อมูล และตรวจสอบคุณภาพของข้อมูล เช่น ความครบถ้วน ความถูกต้อง และความสอดคล้องของข้อมูลในแต่ละฟิลด์
- เตรียมข้อมูล (Data Preparation) เป็นขั้นตอนที่ใช้เวลาและทรัพยากรมากที่สุด โดยรวมถึงการจัดรูปแบบข้อมูล การกรองข้อมูลที่ไม่เกี่ยวข้อง การรวมชุดข้อมูลจากหลายแหล่ง และการแปลงข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบที่เหมาะสมต่อการวิเคราะห์
- การสร้างแบบจำลอง (Modeling) เป็นการเลือกเทคนิคหรือวิธีการวิเคราะห์ที่เหมาะสม เช่น การสร้างสูตรการคำนวณ การตั้งกฎการกรองข้อมูล หรือการเลือกวิธีการแสดงผลบนแดชบอร์ด เพื่อให้สามารถสร้างผลลัพธ์ที่สะท้อนตามวัตถุประสงค์ของระบบ
- การประเมินผล (Evaluation) หลังจากได้แบบจำลองหรือระบบต้นแบบแล้ว จะต้องประเมินผลลัพธ์ว่าตรงตามเป้าหมายหรือไม่ โดยใช้เกณฑ์ต่าง ๆ ที่กำหนดไว้ในขั้นตอนแรก และพิจารณาว่าผลลัพธ์มีความน่าเชื่อถือหรือมีข้อจำกัดใดที่ต้องแก้ไข
- การนำไปใช้งาน (Deployment) ขั้นตอนสุดท้ายคือการนำแบบจำลองหรือระบบที่ผ่านการประเมินไปใช้งานจริง เช่น นำเสนอผ่านแดชบอร์ด สร้างระบบรายงานอัตโนมัติ หรือส่งต่อให้ผู้บริหารใช้ประกอบการตัดสินใจในเชิงกลยุทธ์

ในงานวิจัยนี้ ได้นำกระบวนการ CRISP-DM มาเป็นกรอบในการพัฒนาระบบรายงานข้อมูลและแดชบอร์ด เพื่อให้แน่ใจว่าระบบที่พัฒนาขึ้นสามารถตอบสนองต่อความต้องการของผู้ใช้งานในทุกมิติ ทั้งในด้านข้อมูลและการตัดสินใจของผู้บริหาร

3.4 ระบบสนับสนุนการตัดสินใจ (Decision Support System: DSS)

DSS เป็นระบบที่ช่วยให้ผู้บริหารสามารถวิเคราะห์ทางเลือกต่าง ๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Power, 2002; Turban, Sharda, & Delen, 2010) โดยเน้นที่การรวบรวมข้อมูล การประมวลผล และการนำเสนอข้อมูลในลักษณะที่ช่วยให้เข้าใจได้ง่าย เช่น การแสดงผลด้วยกราฟหรือแดชบอร์ด

Kittakorn Inpang (2025) ได้ทำการพัฒนาระบบธุรกิจอัจฉริยะโดยใช้ Microsoft Power BI ร่วมกับแนวคิดคุณภาพการให้บริการ (SERVQUAL) เพื่อวิเคราะห์ข้อมูลและสนับสนุนการตัดสินใจด้านงบประมาณเงินรายได้ให้เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ ผลการประเมินความพึงพอใจ มีค่าเฉลี่ยภาพรวมอยู่ที่ 4.27 และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.66 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์พึงพอใจมากที่สุด ซึ่งสะท้อนถึงประสิทธิภาพและประโยชน์ของระบบธุรกิจอัจฉริยะที่พัฒนาขึ้นในการเพิ่มประสิทธิภาพการบริหารจัดการงบประมาณเงินรายได้ของมหาวิทยาลัย

Weerada Chomcherd et al. (2024) กล่าวถึง ทำการศึกษาการพัฒนาระบบการติดตามการดำเนินโครงการด้วยจินตทัศน์ข้อมูล เพื่อสนับสนุนการตัดสินใจในการบริหารจัดการองค์กร ผลการวิจัยพบว่า ระบบการติดตามการดำเนินโครงการด้วยจินตทัศน์ข้อมูลเพื่อสนับสนุนการตัดสินใจในการบริหารจัดการองค์กรที่พัฒนาขึ้นมีการแสดงรายงานภาพรวมของโครงการ งบประมาณที่ได้รับอนุมัติ และงบประมาณที่คงเหลือเพื่อบริหารจัดการให้ดำเนินโครงการได้ทันตามระยะเวลาในแผนการดำเนินงาน และใช้เงินงบประมาณได้อย่างมีประสิทธิภาพ ผลการประเมินประสิทธิภาพของระบบที่พัฒนาภาพรวมและความพึงพอใจด้านการใช้งานภาพรวมอยู่ในระดับมาก

จากงานของผดุงเกียรติ (2564) พบว่าแดชบอร์ดสำหรับการจัดการข้อมูลนักเรียนช่วยให้ผู้บริหารสามารถเข้าถึงข้อมูลสำคัญได้ทันทีและลดความล่าช้าในการตัดสินใจ ซึ่งสอดคล้องกับแนวทางที่งานวิจัยนี้เลือกใช้ในการพัฒนาระบบรายงานข้อมูลในด้านสุขภาพ รวมถึงงานของ ปิยะวดี สุวรรณหงษ์ (2561) ซึ่งมีหัวข้อเรื่อง “การศึกษาการออกแบบ Dashboard เพื่อใช้แสดงผลการวิเคราะห์ข้อมูลด้านการส่งเสริมธุรกิจการขาย” โดยใช้เป็นกรณีศึกษาจากธนาคารพาณิชย์แห่งหนึ่ง งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเชิงคุณภาพโดยใช้วิธีการสัมภาษณ์เชิงลึกกับผู้บริหาร 5 ราย และกลุ่มสนทนากับพนักงาน 15 ราย เพื่อรวบรวมแนวคิดเชิงออกแบบแดชบอร์ดที่ตอบโจทย์ผู้ใช้จริง พบว่า การออกแบบ Dashboard ควรหลีกเลี่ยงการใช้รูปแบบหรือสีที่หลากหลายจนเกินไป เพราะอาจทำให้ผู้ใช้งานสับสน นอกจากนี้ การนำเสนอข้อมูลด้วยกราฟเพียงอย่างเดียวไม่เพียงพอสำหรับงานธุรกิจธนาคาร เนื่องจากจำเป็นต้องมีตัวเลขเปรียบเทียบอย่างละเอียด ดังนั้น การประยุกต์ใช้ กราฟควบคู่ตารางข้อมูล จึงเป็นแนวทางที่เหมาะสมสำหรับ Dashboard ของธุรกรรมทางการเงิน

ในงานวิจัยของ ยุพาพรรณ คนกระโทก, Rathavann Phally และ Yaowaret Jantakat (2566) ได้ศึกษาการนำ Power BI มาใช้ในการสร้างแดชบอร์ดเพื่อรายงานการใช้ทุนการศึกษาในสถาบันอุดมศึกษา โดยใช้ผู้ใช้กลุ่มทดลองจำนวน 200 คนในการประเมินการรับรู้ระบบ พบว่าการออกแบบแดชบอร์ดในรูปแบบภาพรวมข้อมูลทุน เช่น กราฟการแจกจ่าย ค่าใช้จ่าย และจำนวนผู้รับทุน ช่วยให้ผู้บริหารและเจ้าหน้าที่สามารถตรวจสอบสถานการณ์ทุนได้อย่างรวดเร็วและเข้าใจง่ายมากขึ้น

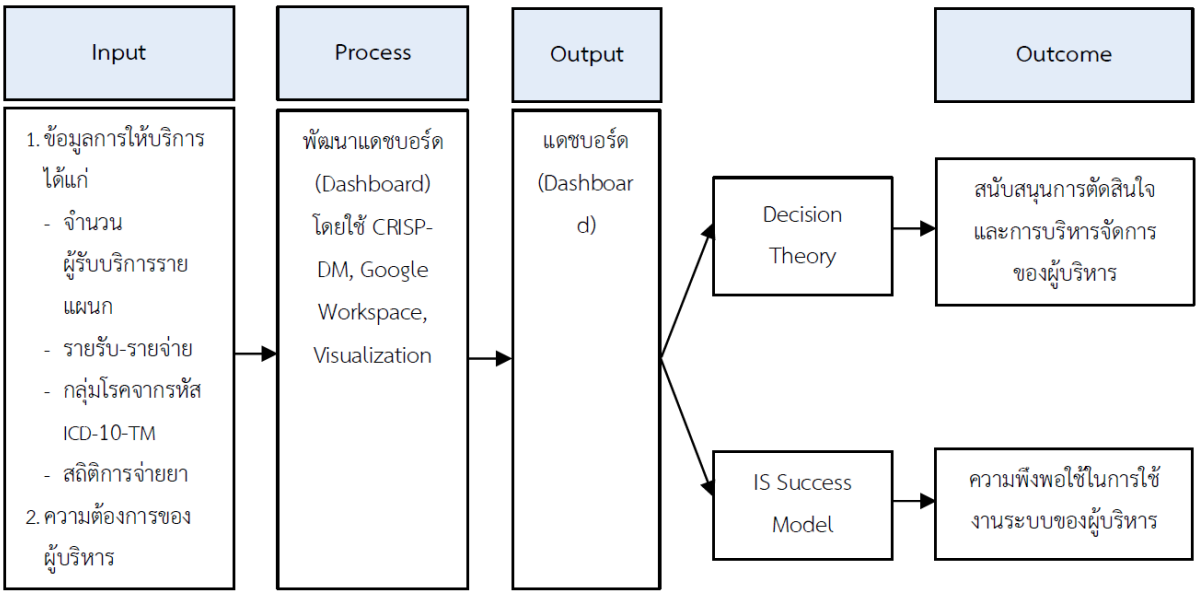
ในงานวิจัยนี้ ได้พัฒนาแดชบอร์ดที่สามารถนำเสนอข้อมูลสำคัญ เช่น จำนวนผู้ใช้บริการ รายรับ–รายจ่าย กลุ่มโรคที่พบบ่อย และรายการจ่ายยา เพื่อช่วยให้ผู้บริหารสามารถตัดสินใจได้อย่างแม่นยำและทันท่วงที

ในการพัฒนาระบบสารสนเทศ การใช้ Use Case Diagram ถือเป็นแนวทางเชิงทฤษฎีที่สำคัญในการวิเคราะห์และออกแบบระบบ โดยเฉพาะในกระบวนการเก็บรวบรวมและนิยามความต้องการของผู้ใช้งาน (requirements elicitation) Diagram ดังกล่าวเป็นส่วนหนึ่งของ UML (Unified Modeling Language) ซึ่งใช้แสดงพฤติกรรมของระบบในเชิงฟังก์ชัน โดยมุ่งเน้นการปฏิสัมพันธ์ระหว่างผู้ใช้งาน (actors) กับระบบผ่านกิจกรรมหรือกรณีการใช้งาน (use cases) ซึ่งช่วยให้สามารถระบุขอบเขตของระบบได้อย่างชัดเจน ทั้งยังสนับสนุนการสื่อสารระหว่างนักพัฒนาระบบและผู้มีส่วนได้ส่วนเสียในโครงการ (stakeholders) อย่างมีประสิทธิภาพ ส่งผลให้การออกแบบระบบมีความครอบคลุมความต้องการของผู้ใช้มากขึ้น (Booch, Rumbaugh, & Jacobson, 2005; Sommerville, 2016) นอกจากนี้ยังสามารถนำมาใช้เป็นเครื่องมือในการตรวจสอบความครบถ้วนของความต้องการระบบก่อนลงมือพัฒนา (validation) ซึ่งเป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญต่อความสำเร็จของโครงการพัฒนาระบบสารสนเทศ

4. วิธีดำเนินการวิจัย

การพัฒนาระบบรายงานข้อมูลและแดชบอร์ดเพื่อสนับสนุนการตัดสินใจของผู้บริหารกรณีศึกษา: สถาบันเวชศาสตร์สมเด็จพระสังฆราชญาณสังวรเพื่อผู้สูงอายุ เป็นการวิจัย และพัฒนา (Research and Development) เพื่อพัฒนาการนำเสนอข้อมูลในรูปแบบแดชบอร์ดโดยใช้โปรแกรม Looker Studio มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.1 กรอบแนวคิดและขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย



รูปที่ 1 กรอบแนวคิดการวิจัย

ผู้วิจัยได้นำแนวคิดการบริหารจัดการด้วยวงจรคุณภาพ PDCA หรือวงจร Deming มาใช้เป็นแนวทางหลักในการพัฒนาระบบรายงานข้อมูลและแดชบอร์ด เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดในการใช้งานและสามารถตอบสนองต่อความต้องการของผู้ใช้งานได้อย่างแท้จริง โดยกระบวนการพัฒนาระบบเริ่มต้นที่ขั้นตอน **Plan (การวางแผน)** ซึ่งประกอบด้วยการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง แนวทางปฏิบัติที่ได้รับการยอมรับ รวมถึงการกำหนดประเด็นการศึกษาและการออกแบบแบบสอบถาม เพื่อสำรวจความต้องการและความคิดเห็นของผู้บริหารและเจ้าหน้าที่ที่เกี่ยวข้อง จากนั้นจึงสรุปผลความต้องการและศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับเครื่องมือและเทคโนโลยีที่เหมาะสมกับบริบทการใช้งาน

ในขั้นตอน **Do (การปฏิบัติ)** ผู้วิจัยได้ดำเนินการวิเคราะห์และพัฒนาระบบรายงานข้อมูล พร้อมทั้งสร้างแบบจำลองแดชบอร์ดที่สามารถใช้งานได้จริง โดยนำแบบจำลองที่พัฒนาแล้วไปให้กลุ่มเป้าหมายทดลองใช้งาน เพื่อให้ได้ข้อเสนอแนะสำหรับการปรับปรุงระบบให้เหมาะสมยิ่งขึ้น ต่อมาในขั้นตอน **Check (การตรวจสอบ)** ได้ทำการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งานที่มีต่อระบบรายงานข้อมูลและแดชบอร์ด พร้อมทั้งเก็บรวบรวมความคิดเห็นและวิเคราะห์ปัญหาที่เกิดขึ้นจากการใช้งานจริง

สุดท้ายคือขั้นตอน **Act (การปรับปรุงแก้ไข)** ซึ่งผู้วิจัยได้สรุปผลการวิจัยและแนวทางในการพัฒนาระบบต่อยอดจากข้อเสนอแนะที่ได้รับ เพื่อปรับปรุงระบบให้มีประสิทธิภาพและตอบโจทย์ผู้ใช้งานมากยิ่งขึ้น ทั้งในด้านความแม่นยำของข้อมูล ความสะดวกในการเข้าถึง และความสามารถในการสนับสนุนการตัดสินใจของผู้บริหาร

4.2 การวิเคราะห์และออกแบบขั้นตอนการรายงานผลการวิเคราะห์ข้อมูล

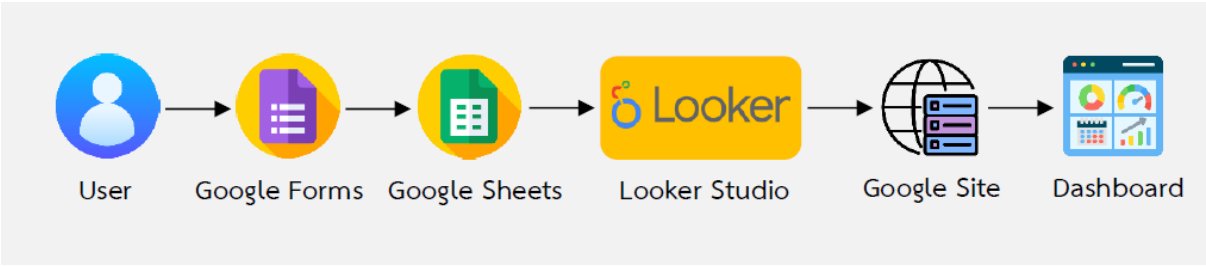
4.2.1 การศึกษากระบวนงานเดิม

สถาบันเวชศาสตร์สมเด็จพระสังฆราชญาณสังวรเพื่อผู้สูงอายุ มีภารกิจสำคัญในการให้บริการทางการแพทย์เฉพาะทางหรือในระดับตติยภูมิที่มีความซับซ้อน เพื่อยกระดับคุณภาพชีวิตของผู้สูงอายุและสร้างความพึงพอใจให้แก่ผู้รับบริการ การให้บริการดังกล่าวจำเป็นต้องมีการจัดเก็บข้อมูลที่หลากหลาย เช่น จำนวนผู้รับบริการรายแผนก รายรับ-รายจ่าย กลุ่มโรคจากรหัส ICD-10-TM และข้อมูลการจ่ายยา อย่างไรก็ตาม ระบบการจัดการข้อมูลเดิมของสถาบันยังคงเป็นการทำงานแบบแมนนวล โดยอาศัยการบันทึกลงในกระดาษหรือใช้โปรแกรมพื้นฐานอย่าง Microsoft Excel ซึ่งทำให้ไม่สามารถเข้าถึงข้อมูลได้แบบเรียลไทม์ อีกทั้งยังขาดระบบจัดการข้อมูลอย่างเป็นระบบ ส่งผลให้เกิดข้อมูลซ้ำซ้อน ไม่ครบถ้วน หรือไม่สอดคล้องกัน และมีโอกาสเกิดความผิดพลาดสูง

ขั้นตอนการทำงานเดิมยังมีลักษณะการบันทึกข้อมูลแบบแยกส่วน ไม่สอดคล้องกัน ทำให้ยากต่อการสืบค้นย้อนหลัง และไม่สามารถรายงานข้อมูลในเชิงสถิติได้แบบเรียลไทม์ แม้ระบบเดิมจะมีข้อดีในแง่ของความสะดวกและความคุ้นเคยในการใช้งานของบุคลากร เนื่องจากไม่ต้องผ่านการอบรมเพิ่มเติมและสามารถแก้ไขข้อมูลได้โดยตรง แต่ก็ยังมีข้อจำกัดสำคัญ โดยเฉพาะในด้านความแม่นยำ ประสิทธิภาพในการรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูล ซึ่งเป็นอุปสรรคต่อการนำข้อมูลไปใช้ประกอบการตัดสินใจของผู้บริหารได้อย่างมีประสิทธิภาพและทันเวลา

4.2.2 การวิเคราะห์และออกแบบกระบวนงานใหม่

จากการศึกษากระบวนงานเดิม ผู้วิจัยจึงได้ออกแบบระบบใหม่ (System Design) ที่สามารถตอบสนองต่อความต้องการของผู้ใช้งาน และเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดการข้อมูลให้เป็นระบบมากยิ่งขึ้นดังแสดงในรูป 2 โดยเลือกใช้เครื่องมือหลักจาก Google Workspace ซึ่งประกอบด้วย 4 ส่วนสำคัญ ได้แก่ Google Forms สำหรับกรอกข้อมูลจำนวนผู้รับบริการรายแผนก รายรับ-รายจ่าย กลุ่มโรคตามรหัส ICD-10-TM และการจ่ายยา โดยออกแบบให้ใช้งานง่ายและรองรับทั้งคอมพิวเตอร์และอุปกรณ์พกพา มีระบบการตรวจสอบความถูกต้องการนำข้อมูลไปบันทึก ถัดมา Google Sheets ทำหน้าที่เป็นฐานข้อมูลกลางของระบบที่รับข้อมูลจาก Google Forms และสามารถคำนวณข้อมูลโดยใช้สูตรที่กำหนดไว้ล่วงหน้า พร้อมปรับเปลี่ยนได้ตามความต้องการของผู้ใช้งาน ต่อมาใช้ Looker Studio สำหรับสร้างแดชบอร์ด เพื่อแสดงผลข้อมูลแบบภาพรวม ไม่ว่าจะเป็นจำนวนผู้รับบริการ รายรับ-รายจ่ายจากทั้งเงินสด QR Code และการเบิกจาก สปสช. รวมถึงกลุ่มโรคตาม ICD-10-TM และสถิติการจ่ายยา โดยสามารถแสดงผลรายวัน รายเดือน และรายปี พร้อมเปรียบเทียบกับข้อมูลช่วงเดียวกันของปีก่อนหรือเทียบกับเป้าหมายได้ และสุดท้ายใช้ Google Sites ในการสร้างเว็บไซต์สำหรับรวบรวมรายงานการแสดงผลข้อมูลในรูปแบบต่าง ๆ ซึ่งสามารถปรับแต่งรูปแบบได้อย่างยืดหยุ่นและรองรับข้อมูลหลากหลายประเภท



รูปที่ 2 กระบวนการทำงานใหม่ของระบบรายงานข้อมูลและแดชบอร์ด โดยใช้เครื่องมือจาก Google Workspace

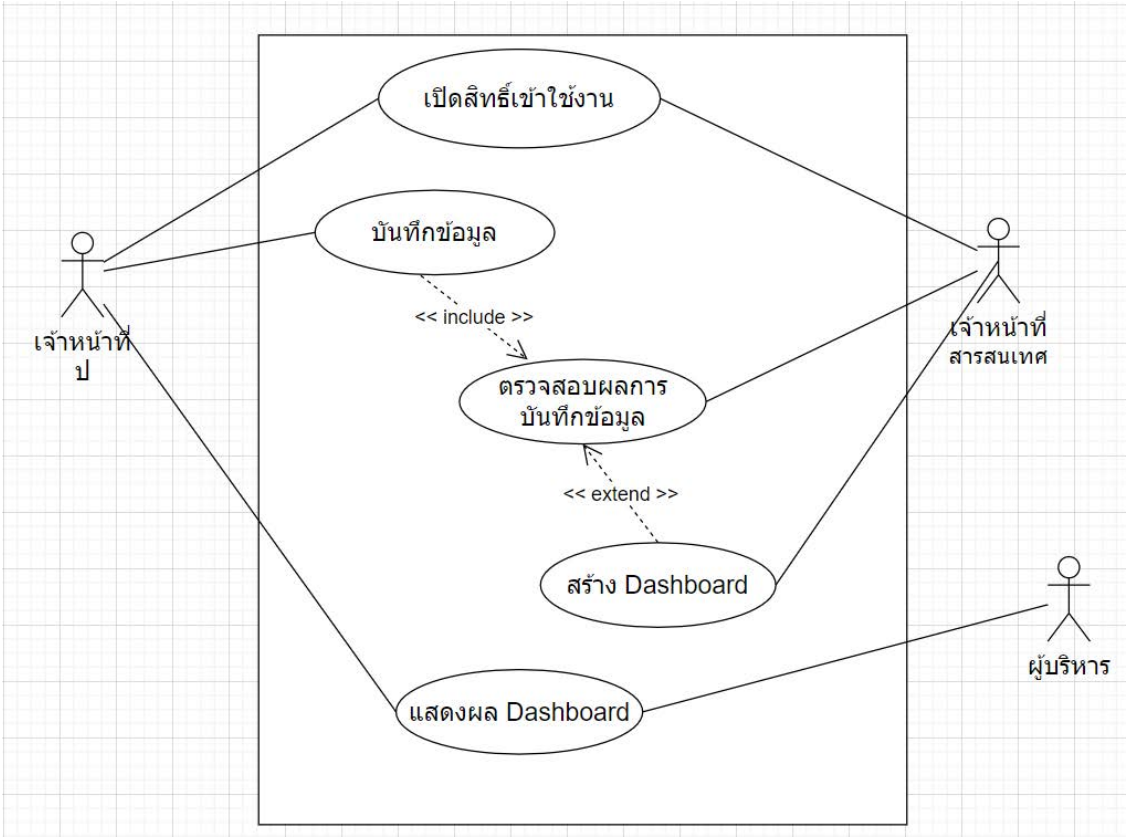
ตารางที่ 1 แสดงการเปรียบเทียบกระบวนงานเดิม และกระบวนงานใหม่

ขั้นตอน	กระบวนงานเดิม	กระบวนงานใหม่
1. การบันทึกข้อมูล	1. บันทึกข้อมูลแบบแยกส่วน ใช้การบันทึกข้อมูลลงในกระดาษ หรือใช้โปรแกรมพื้นฐานอย่าง Microsoft Excel 2. ข้อมูลไม่เป็นไปในทิศทางเดียวกัน 3. ขาดการจัดการข้อมูลอย่างเป็นระบบ	ใช้ Google Forms ในการลงบันทึกข้อมูล เชื่อมต่อโปรแกรม Microsoft Excel
2. การรวบรวมข้อมูล	1. ขาดความแม่นยำและประสิทธิภาพในการรวบรวมข้อมูล 2. มีความซ้ำซ้อนในการรวบรวมข้อมูล	ใช้ Google Forms เชื่อมต่อฐานข้อมูลกลางอัตโนมัติ

ขั้นตอน	กระบวนงานเดิม	กระบวนงานใหม่
3. การวิเคราะห์ข้อมูล	1. การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติไม่มีความสอดคล้องของข้อมูล ทำให้ข้อมูลมีความซ้ำซ้อนและไม่ครบถ้วน	คำนวณอัตโนมัติโดยใช้สูตรใน Google Sheets
4. การเข้าถึงข้อมูล	1. ต้องขอข้อมูลจากเจ้าหน้าที่ผู้รับผิดชอบโดยตรง ทำให้เกิดความล่าช้า 2. ไม่สามารถดูข้อมูลเรียลไทม์ (Real-Time Data)	ข้อมูลมีความทันสมัยและสามารถตอบสนองต่อความต้องการได้อย่างเต็มที่ สามารถเข้าถึงข้อมูลได้แบบเรียลไทม์ (Real-Time)
5. ความถูกต้องของข้อมูล	เกิดความผิดพลาดของข้อมูลสูง เนื่องจากกระบวนการทำงานเป็นการทำงานแบบแมนนวล (Manual)	มีการตั้งค่าบังคับฟิลด์หรือขอบเขตข้อมูลที่จำเป็น มีการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลและ คำนวณอัตโนมัติ
6. การแสดงผลข้อมูล	1. ไม่สามารถดูข้อมูลเรียลไทม์ (Real-Time Data) 2. ขาดหน้าจอการแสดงรายงานแบบเรียลไทม์ (Real-Time)	มีแดชบอร์ดแสดงผลแบบ Interactive
7. ความสะดวกในการใช้งาน	ในแต่ละขั้นตอนใช้ระยะเวลานาน เนื่องจากในแต่ละขั้นตอนกระบวนการทำงานเป็นการทำงานแบบแมนนวล (Manual)	ใช้งานง่าย สามารถเข้าถึงได้ทุกที่ผ่านอินเทอร์เน็ต

4.2.3 การออกแบบและจัดทำระบบรายงานข้อมูล

ผู้วิจัยได้ดำเนินการจำลองการทำงานของระบบแดชบอร์ดโดยใช้แผนภาพ Use Case Diagram (รูปที่ 3) เพื่อวิเคราะห์และอธิบายโครงสร้างการทำงานของระบบ รวมถึงแสดงบทบาทของผู้มีส่วนเกี่ยวข้องในแต่ละกระบวนการ



รูปที่ 3 Use Case Diagram สำหรับการสร้างแดชบอร์ด

Use Case: **เปิดสิทธิ์เข้าใช้งานระบบรายงานข้อมูล**

กระบวนการนี้เกี่ยวข้องกับเจ้าหน้าที่บันทึกข้อมูลที่ต้องการเข้าถึงระบบรายงานข้อมูล โดยเริ่มจากการกรอกข้อมูลผ่าน Google Form ซึ่งรวมถึงชื่อ-นามสกุล แผนก และบัญชีอีเมล Gmail จากนั้นเจ้าหน้าที่สารสนเทศจะดำเนินการเปิดสิทธิ์การเข้าถึงระบบรายงานข้อมูลให้ตามแผนกที่ระบุไว้ โดยมีเงื่อนไขเบื้องต้นว่าผู้ขอใช้งานต้องมีบัญชี Gmail จึงจะสามารถเข้าถึงระบบได้

Use Case: **การบันทึกข้อมูลจำนวนผู้รับบริการแต่ละแผนก**

กระบวนการนี้เริ่มจากเจ้าหน้าที่บันทึกข้อมูลที่ได้รับสิทธิ์การเข้าใช้งานระบบจากเจ้าหน้าที่สารสนเทศ โดยเจ้าหน้าที่จะเลือกเมนูแผนกตามสิทธิ์ที่ได้รับ จากนั้นดำเนินการบันทึกข้อมูลจำนวนผู้รับบริการในแต่ละห้อง/คลินิกของแผนกที่ดูแล ซึ่งข้อมูลที่ต้องกรอกประกอบด้วยวันที่ และจำนวนผู้รับบริการแยกตามประเภทห้องหรือคลินิก เช่น ห้องตรวจผู้ป่วยนอก กิจกรรมบำบัด กายภาพบำบัด Smart Medical Gym คลินิกผู้สูงอายุ ศัลยกรรมกระดูก ธาราบำบัด ห้อง Day Service นักจิตวิทยาคลินิก โภชนาการ เวชศาสตร์ฟื้นฟู คลินิกจิตใจ คลินิกวัคซีน และ Life Station รวมถึงกรณีคลินิกส่งต่อจากศูนย์สิรินธร โดยระบบรายงานข้อมูลจะจัดเก็บข้อมูลเหล่านี้เพื่อใช้แสดงผลในแดชบอร์ด และเป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับการวิเคราะห์และตัดสินใจของผู้บริหาร

Use Case: **การบันทึกข้อมูลรายรับ**

ในกระบวนการนี้ เจ้าหน้าที่บันทึกข้อมูลที่ได้รับสิทธิ์เข้าใช้งานระบบตามแผนกจะดำเนินการกรอกข้อมูลรายรับเข้าสู่ระบบรายงานข้อมูล โดยเริ่มจากการเลือกเมนูแผนกที่ตนมีสิทธิ์ จากนั้นจึงกรอกข้อมูลรายรับ-รายจ่ายในแต่ละวัน ซึ่งประกอบด้วย วันที่ รายรับจากเงินสดที่ฝากเข้าบัญชี รายรับจากการชำระผ่าน QR Code และยอดที่ยังไม่ได้รับจากลูกหนี้ที่รอเรียกเก็บจากสำนักงานหลักประกันสุขภาพแห่งชาติ (สปสช.) ข้อมูลเหล่านี้จะได้รับการตรวจสอบความถูกต้องก่อนที่จะถูกจัดเก็บเข้าสู่ระบบเพื่อใช้วิเคราะห์ผลทางการเงินและจัดแสดงในแดชบอร์ดเพื่อสนับสนุนการบริหารจัดการ

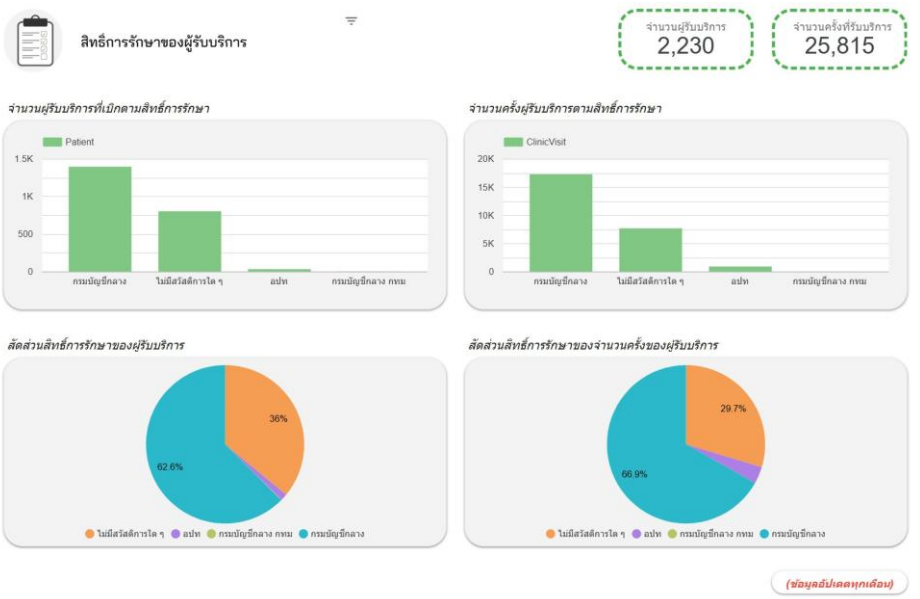
Use Case: **การบันทึกข้อมูลรายจ่าย**

กระบวนการนี้เริ่มจากเจ้าหน้าที่บันทึกข้อมูลที่ได้รับสิทธิ์เข้าใช้งานระบบตามแผนกที่กำหนด โดยเจ้าหน้าที่จะเลือกเมนูแผนกตามสิทธิ์ที่ได้รับ จากนั้นดำเนินการกรอกข้อมูลรายจ่ายลงในระบบรายงานข้อมูล ซึ่งประกอบด้วย วันที่ ค่าจ้างลูกจ้างเงินบำรุง ค่าตอบแทน ค่าใช้สอย ค่าวัสดุ ค่าครุภัณฑ์ ค่าที่ดินและสิ่งก่อสร้าง และค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานโครงการ ข้อมูลเหล่านี้จะถูกจัดเก็บเป็นระบบ เพื่อการวิเคราะห์ทางการเงิน การควบคุมงบประมาณ และการแสดงผลในแดชบอร์ดเพื่อสนับสนุนการตัดสินใจของผู้บริหาร

Use Case: **การตรวจสอบผลการบันทึกข้อมูล**

กระบวนการนี้เกี่ยวข้องกับเจ้าหน้าที่สารสนเทศซึ่งมีสิทธิ์ในการตรวจสอบและรับรองความถูกต้องของข้อมูลที่ถูกบันทึกไว้ในระบบรายงานข้อมูล โดยต้องดำเนินการหลังจากที่เจ้าหน้าที่บันทึกข้อมูลได้กรอกข้อมูลเรียบร้อยแล้ว ขั้นตอนเริ่มจากเจ้าหน้าที่สารสนเทศเลือกหัวข้อหรือรายการข้อมูลที่ต้องการตรวจสอบ จากนั้นดำเนินการตรวจสอบรายละเอียดข้อมูลในระบบ โดยกำหนดมาตรการควบคุมคุณภาพข้อมูล (Data Quality Assurance) ประกอบด้วย การใช้สูตรตรวจสอบความผิดพลาดใน Google Sheets การจัดทำแบบฟอร์มควบคุมความครบถ้วนของข้อมูล การกำหนดผู้รับผิดชอบในการบันทึกข้อมูล และการใช้ Version History เพื่อติดตามการแก้ไขข้อมูลย้อนหลัง เพื่อลดความคลาดเคลื่อนของข้อมูลและป้องกันความสูญหายของข้อมูลในกระบวนการจัดเก็บและวิเคราะห์ และสุดท้ายบันทึกผลการตรวจสอบพร้อมทั้งรับรองผลการดำเนินงาน เพื่อให้มั่นใจว่าข้อมูลมีความครบถ้วน ถูกต้อง ทันสมัย และสามารถตอบสนองต่อความต้องการได้อย่างเต็มที่ เพื่อนำไปใช้ในการวิเคราะห์หรือตัดสินใจได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ในการออกแบบส่วนการแสดงผลข้อมูลของระบบรายงานข้อมูล ผู้วิจัยได้เลือกใช้เครื่องมือ Looker Studio เพื่อสร้างแดชบอร์ด รายงานผลแบบโต้ตอบ (Interactive Dashboard) ที่สามารถแสดงผลข้อมูลได้อย่างเข้าใจง่าย มีความทันสมัย ตอบสนองต่อความต้องการของผู้ใช้ได้อย่างรวดเร็วเนื่องจากข้อมูลจะถูกมาแสดงผลแบบเรียลไทม์ และสามารถเข้าถึงได้จากทุกที่ผ่านอินเทอร์เน็ต ระบบแดชบอร์ดนี้สามารถแสดงข้อมูลที่สำคัญ ที่สามารถกรอง และเรียงลำดับตามเงื่อนไขได้ข้อมูลทั้งหมดจะถูกดึงมาจากฐานข้อมูลหลักซึ่งจัดเก็บไว้ใน Google Sheets ที่เชื่อมต่อกับแบบฟอร์มกรอกข้อมูลที่พัฒนาขึ้นโดยใช้ Google Apps Script เพื่ออำนวยความสะดวกในการรายงานข้อมูล แสดงดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 แดชบอร์ดแสดงสิทธิการรักษาของผู้รับบริการ

5. ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

5.1 ผลการวิจัย

จากการพัฒนาระบบรายงานข้อมูล และ Dashboard เพื่อสนับสนุนการตัดสินใจของผู้บริหาร กรณีศึกษา: สถาบันเวชศาสตร์สมเด็จพระสังฆราชญาณสังวรเพื่อผู้สูงอายุ ผู้วิจัยได้ทำการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งานระบบที่มีต่อระบบรายงานข้อมูล และ Dashboard จำนวน 6 ราย ประกอบด้วยข้อมูล 3 ส่วน ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไป ส่วนที่ 2 ข้อมูลความพึงพอใจในการใช้ระบบรายงานข้อมูล และแดชบอร์ด และส่วนที่ 3 ข้อคิดเห็นหรือข้อเสนอแนะ ในการปรับปรุงระบบรายงานข้อมูล และ Dashboard โดยสรุปผลการประเมิน ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 สรุปความพึงพอใจของผู้ใช้งานระบบที่มีต่อระบบรายงานข้อมูลและแดชบอร์ด

หัวข้อ	ระดับความพึงพอใจ					ค่าเฉลี่ย	SD	แปลผล
	5	4	3	2	1			
	จำนวน/ร้อยละ	จำนวน/ร้อยละ	จำนวน/ร้อยละ	จำนวน/ร้อยละ	จำนวน/ร้อยละ			
1. คุณภาพของระบบ (System Quality)								
1.1 การออกแบบระบบง่ายต่อการใช้งาน (User Friendly)	4 (66.67)	2 (33.33)				4.67	0.52	ดีมาก
1.2 ระบบมีความพร้อมใช้งานอยู่เสมอ (Availability)	4 (66.67)	2 (33.33)				4.67	0.52	ดีมาก
1.3 ระบบมีความปลอดภัย (Security)	3 (50.00)	2 (33.33)	1 (16.67)			4.33	0.82	ดีมาก
2. คุณภาพข้อมูล (Information Quality)								
2.1 ระบบสามารถประมวลผลข้อมูลได้ถูกต้อง (Accuracy)	5 (83.33)	1 (16.67)				4.83	0.41	ดีมาก
2.2 ข้อมูลในระบบมีความครบถ้วนสมบูรณ์ (Completeness)	1 (16.67)	5 (83.33)				4.17	0.41	ดี
2.3 ข้อมูลในระบบความทันสมัย (Timeliness)	3 (50.00)	3 (50.00)				4.50	0.55	ดีมาก
2.4 ความสามารถในการเข้าถึงข้อมูลในระบบ (Accessibility)	5 (83.33)	1 (16.67)				4.83	0.41	ดีมาก
3. คุณภาพบริการ (Service Quality)								
3.1 ผู้ให้บริการตอบสนองการให้ บริการได้อย่างดี (Responsiveness)	5 (83.33)	1 (16.67)				4.83	0.41	ดีมาก

หัวข้อ	ระดับความพึงพอใจ					ค่าเฉลี่ย	SD	แปลผล
	5	4	3	2	1			
	จำนวน/ร้อยละ	จำนวน/ร้อยละ	จำนวน/ร้อยละ	จำนวน/ร้อยละ	จำนวน/ร้อยละ			
3.2 ผู้ให้บริการมีการสนับสนุนการใช้งานเชิงเทคนิค (Technical Support)	5 (83.33)	1 (16.67)				4.83	0.41	ดีมาก
4. การใช้งาน (Use)								
4.1 ความสะดวกในการใช้งาน (Ease of Use)	5 (83.33)	1 (16.67)				4.83	0.41	ดีมาก
4.2 ช่วยลดเวลาทำงาน (Reduce working time)	5 (83.33)	1 (16.67)				4.83	0.41	ดีมาก
4.3 เพิ่มประสิทธิภาพในการทำงาน (Operational Efficiency)	6 (100.00)					5.00	0.00	ดีมาก
5. ความพึงพอใจของผู้ใช้ (User Satisfaction) และประโยชน์เชิงเนื้อหา (Net Benefits)								
5.1 ผู้ใช้งานยอมรับ และการใช้งานต่อเนื่อง (User Acceptance and Continued Use)	5 (83.33)	1 (16.67)				4.83	0.41	ดีมาก
5.2 ผู้ใช้งานมีประสบการณ์ที่ดีต่อการใช้งานระบบ (Positive Experience)	5 (83.33)	1 (16.67)				4.83	0.41	ดีมาก
5.3 ระบบสามารถช่วยสนับสนุนการตัดสินใจในการทำงาน (Decision Support)	6 (100.00)					5.00	0.00	ดีมาก
ค่าเฉลี่ยรวม						**4.73**		

จากตารางที่ 2 ผลการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งานระบบที่มีต่อระบบรายงานข้อมูลและแดชบอร์ด พบว่ามีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.73 และความพึงพอใจอยู่ในระดับดีมาก โดยหากพิจารณาแต่ละข้อพบว่า ความพึงพอใจอยู่ในระดับดีมาก ยกเว้น ข้อมูลในระบบมีความครบถ้วนสมบูรณ์ (Completeness) ความพึงพอใจอยู่ในระดับดี

ทั้งนี้ ผู้ประเมินความพึงพอใจ ยังให้ข้อเสนอแนะ และแนวทางการปรับปรุงระบบรายงานข้อมูล และแดชบอร์ด โดยมีข้อสรุปดังนี้

1) ควรพัฒนาการเชื่อมโยงข้อมูลร่วมกับฐานข้อมูลอื่น ๆ เช่น ระบบ HIS (Hospital Information Systems) หรือข้อมูลด้านการบริการอื่น ๆ และ

2) ควรเปิดเผยข้อมูลบางส่วน ที่สามารถเปิดเผยได้ ให้ผู้รับบริการสามารถเข้ามาดูข้อมูลได้

5.2 อภิปรายผล

จากการวิจัยพบว่าการใช้แพลตฟอร์ม Google Workspace เป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพในการจัดเก็บ วิเคราะห์ และรายงานข้อมูล โดยเฉพาะ Looker Studio ที่สามารถแสดงผลข้อมูลในรูปแบบที่เข้าใจง่าย ช่วยให้ผู้บริหาร และผู้ที่เกี่ยวข้องสามารถเข้าถึงข้อมูลที่มีคุณภาพ เพื่อช่วยในการวางแผน และกำหนดนโยบายได้อย่างมีประสิทธิภาพ ระบบที่พัฒนาขึ้นช่วยลดข้อผิดพลาดที่เกิดจากการจัดเก็บข้อมูลแบบเดิม และทำให้ข้อมูลสามารถเข้าถึงได้สะดวกมากขึ้น

อย่างไรก็ตาม การนำระบบไปใช้งานยังต้องพบกับความท้าทายบางประการ เช่น ความต้องการในการเชื่อมต่อระบบกับแหล่งข้อมูลอื่น ๆ เพื่อให้การบริหารจัดการข้อมูลมีความครอบคลุม และแม่นยำยิ่งขึ้น นอกจากนี้ แม้ว่าผลการประเมินความพึงพอใจจะอยู่ในระดับดีมาก แต่ยังมีข้อเสนอแนะเกี่ยวกับการพัฒนาฟังก์ชันเพิ่มเติมเพื่อให้ระบบสามารถรองรับต่อความต้องการของผู้ใช้งานได้อย่างครอบคลุม และมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

6. สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้พัฒนาระบบรายงานข้อมูล และ Dashboard เพื่อสนับสนุนการตัดสินใจของผู้บริหารกรณีศึกษา: สถาบันเวชศาสตร์สมเด็จพระสังฆราชญาณสังวรเพื่อผู้สูงอายุ โดยใช้เทคโนโลยีดิจิทัลผ่านแพลตฟอร์ม Google Workspace ช่วยในการจัดเก็บ วิเคราะห์ และแสดงผลข้อมูลเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ โดยอาศัยหลักการ PDCA (Plan-Do-Check-Act) เป็นกระบวนการในการพัฒนา ซึ่งครอบคลุมการศึกษาระบบงานเดิม การวิเคราะห์ การออกแบบ การทดสอบ และการประเมินผลอย่างเป็นระบบ ผลการศึกษาพบว่า ระบบที่พัฒนาขึ้นสามารถยกระดับประสิทธิภาพของการรายงาน และวิเคราะห์ข้อมูลของสถาบันเวชศาสตร์สมเด็จพระสังฆราชญาณสังวรเพื่อผู้สูงอายุ ช่วยให้หน่วยงานสามารถทำงานร่วมกันได้ดีขึ้น และช่วยในด้านการสื่อสารภายในหน่วยงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ลดความซ้ำซ้อนในการทำงาน และสนับสนุนการตัดสินใจเชิงนโยบายของผู้บริหารอย่างมีประสิทธิภาพ ระบบยังช่วยลดจำนวนวันทำงานในการรวบรวม และประมวลผลข้อมูลได้อย่างมีนัยสำคัญ

โดยจากเดิมที่ต้องใช้เวลาประมาณ 5 วัน สามารถลดลงเหลือเพียง 1 วัน นอกจากนี้ ผลการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้ระบบพบว่ามีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 4.73 อยู่ในระดับ "ดีมาก" โดยเฉพาะการเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงาน (Operational Efficiency) และระบบสามารถช่วยสนับสนุนการตัดสินใจในการทำงาน (Decision Support) มีค่าเฉลี่ยสูงสุดที่ 5.00 อยู่ในระดับ "ดีมาก" ผลการประเมินดังกล่าวสะท้อนให้เห็นว่า ระบบสามารถตอบสนองความต้องการของผู้ใช้งานได้เป็นอย่างดี โดยช่วยให้สามารถเข้าถึง และใช้ข้อมูล เพื่อสนับสนุนการตัดสินใจของผู้บริหารได้อย่างสะดวก และรวดเร็ว ทั้งนี้ การพัฒนาระบบในอนาคตควรมุ่งเน้นในด้านคุณภาพข้อมูล (Information Quality) โดยเฉพาะความครบถ้วนสมบูรณ์ (Completeness) ของข้อมูล ซึ่งได้รับคะแนนเฉลี่ย 4.17 เพื่อช่วยสนับสนุนการตัดสินใจของผู้บริหารได้อย่างแม่นยำ และมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

7. ข้อเสนอแนะ

การพัฒนาเชื่อมโยงกับฐานข้อมูลอื่น ๆ เช่นระบบ HIS (Hospital Information Systems) หรือข้อมูลด้านการบริการอื่น ๆ เพื่อให้สามารถรองรับการแลกเปลี่ยนข้อมูลได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยที่ผู้ที่เกี่ยวข้องในทุกระดับ สามารถเข้าถึง และนำข้อมูลไปใช้ประโยชน์ได้จากเว็บไซต์เดียว (One Stop Service) เพื่อให้การบริหารจัดการข้อมูลมีความครอบคลุม และแม่นยำยิ่งขึ้น

8. กิตติกรรมประกาศ

บทความนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาค้นคว้าอิสระสำหรับหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ วิทยาลัยวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์ และขอขอบพระคุณอย่างยิ่งสำหรับคณาจารย์สาขาเทคโนโลยีสารสนเทศที่ให้คำปรึกษาและคำแนะนำ

9. เอกสารอ้างอิง

ขนบธรรม เนตรสา. (2565). ระบบรายงานผลแบบเรียลไทม์ในองค์กรการศึกษา. มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม.

ผดุงเกียรติ เกิดทรัพย์. (2564). แดชบอร์ดเพื่อการจัดการฐานข้อมูลนักเรียน. วารสารการบริหารและพัฒนาการศึกษา, 2(2), 1–10.

ยุพาพรรณ คนกระโทก, Rathavann Phally, เยาวเรศ จันทะคัต. (2566). การประยุกต์ใช้แดชบอร์ดบนเพาเสอร์บีไอสำหรับการรายงานทุนการศึกษา. วารสารนวัติกรรมการเรียนรู้และเทคโนโลยี, 3(1), 35-46.

วราภรณ์ ธนะเกียรติ, ปรียานุช ศิริรัตน์, & พิชญาภา พรมมา. (2566). การพัฒนาระบบแดชบอร์ดสำหรับติดตามผลการเรียน. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน.

สุวรรณหงษ์, ป. (2561). การศึกษาการออกแบบ Dashboard เพื่อใช้แสดงผลการวิเคราะห์ข้อมูลด้านการส่งเสริมธุรกิจการขาย (วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

Booch, G., Rumbaugh, J., & Jacobson, I. (2005). The unified modeling language user guide (2nd ed.). Boston, MA: Addison-Wesley.

Chapman, P., Clinton, J., Kerber, R., Khabaza, T., Reinartz, T., Shearer, C., & Wirth, R. (2000). *CRISP-DM 1.0: Step-by-step data mining guide*. SPSS Inc.

DeLone, W. H., & McLean, E. R. (2003). The DeLone and McLean model of information systems success: A ten-year update. *Journal of Management Information Systems*, 19(4), 9–30.

Deming, W. E. (1986). *Out of the crisis*. Cambridge, MA: MIT Press.

Department of Older Persons. (n.d.). *Situation of the Thai Older Persons 2023* (Vol. 2024). Gogoprint (Thailand) Co., Ltd.

Kittakorn Inpang. (n.d.). Business Intelligence Design to Data Analytics and Decision Making of Revenue Prince of Songkla University. *Journal of Academic Information and Technology*, *2025*(1), 57–70. (In Thai)

Power, D. J. (2002). *Decision support systems: Concepts and resources for managers*. Westport, CT: Quorum Books.

Weerada Chomcherd, Natkamon Homyamyen, Siwaporn Linthaluek, & Wanpen Plisorn. (n.d.). Development of a Project Monitoring System with Data Visualization to Support Decision-Making in Organizational Management. *Savant Journal of Social Sciences*, *2024*(5), 1–11. (In Thai)

Sommerville, I. (2016). Software engineering (10th ed.). Boston, MA: Pearson Education.

Turban, E., Sharda, R., & Delen, D. (2010). *Decision support and business intelligence systems* (9th ed.). Upper Saddle River, NJ: Pearson Education.

การประเมินวัฏจักรชีวิตเชิงเปรียบเทียบของบรรจุภัณฑ์อาหารนำกลับไปบริโภคที่ใช้อยู่ในสหราชอาณาจักร

Comparative Life Cycle Assessment of Takeaway Packaging Currently Used in United Kingdom

ณัชชา ฐานีพานิชสกุล[1]

[1]สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช 9/9 หมู่ 9 ถ.แจ้งวัฒนะ ต.บางพูด อ.ปากเกร็ด จ.นนทบุรี 11120, E-Mail nutcha.tan@stou.ac.th

Nutcha Taneepanichskul[1]

[1]School of science and technology , Sukhothai Thammathirat University, 9/9 Moo 9 Bang Phut, Pak Kret District, Nonthaburi 11120 , E-Mail nutcha.tan@stou.ac.th

วันที่รับบทความ 15 กรกฎาคม 2568

วันแก้ไขบทความ 12 กันยายน 2568

วันตอบรับบทความ 17 กันยายน 2568

บทคัดย่อ

การเปลี่ยนแปลงรูปแบบการดำรงชีวิตในสหราชอาณาจักรที่เน้นความสะดวกรวดเร็วส่งผลให้ความต้องการบรรจุภัณฑ์ใช้ครั้งเดียวเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ซึ่งก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในหลายมิติ ทั้งการปล่อยก๊าซเรือนกระจก การใช้ทรัพยากร และมลภาวะจากของเสียพลาสติก การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินและเปรียบเทียบผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมของบรรจุภัณฑ์อาหารแบบนำกลับบ้าน 2 ประเภท ได้แก่ บรรจุภัณฑ์ PET พร้อมฝาปิด และบรรจุภัณฑ์กระดาษเคลือบกันน้ำพร้อมฝาปิด โดยใช้การวิเคราะห์วัฏจักรชีวิต (LCA) ตามมาตรฐาน ISO 14040 ครอบคลุมระบบแบบต้นน้ำยังปลายน้ำ (cradle-to-grave) และหน่วยหน้าที่ (functional unit) ของภาชนะขนาด 750 มิลลิลิตร โดยใช้ฐานข้อมูล Ecoinvent เวอร์ชั่น 3 และซอฟต์แวร์ SimaPro แบบ EF (Environmental Footprint) ร่วมกับการวิเคราะห์จุดวิกฤติ (Hotspot Analysis) เพื่อระบุกระบวนการที่ก่อให้เกิดผลกระทบสูงสุดในแต่ละประเภทของบรรจุภัณฑ์ ผลการศึกษาพบว่าบรรจุภัณฑ์ PET พร้อมฝาปิด ส่งผลกระทบสิ่งแวดล้อมสูงสุดในหมวดหมู่การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ การใช้ทรัพยากรด้านยูโทรฟิเคชัน และความเป็นกรด ขณะที่บรรจุภัณฑ์กระดาษส่งผลต่อการใช้ที่ดินมากที่สุด การวิเคราะห์จุดวิกฤติแสดงให้เห็นว่าขั้นตอนการผลิตวัสดุ PET และกระดาษเป็นกระบวนการที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุด ผลการศึกษานี้เป็นแนวทางให้ผู้ผลิตและผู้ประกอบการปรับปรุงกระบวนการผลิต เลือกวัตถุดิบอย่างยั่งยืน และลงทุนในระบบรีไซเคิลที่มีประสิทธิภาพ รวมทั้งช่วยสร้างความตระหนักแก่ผู้บริโภคในการคัดแยกและเลือกใช้บรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสม

คำสำคัญ: การวิเคราะห์วัฏจักรชีวิต (LCA) , บรรจุภัณฑ์ใช้ครั้งเดียว , การกำจัดขยะยั่งยืน , ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

ABSTRACT

Contemporary lifestyle changes in the United Kingdom emphasizing convenience and speed have resulted in a continuous increase in single used packaging demand, generating multidimensional environmental

impacts including greenhouse gas emissions, resource consumption, and plastic waste pollution. This study aims to evaluate and compare the environmental impacts of two types of takeaway food packaging: PET containers with lids and water-resistant coated paper packaging. The research employed Life Cycle Assessment (LCA) methodology in accordance with ISO 14040 standards covering a cradle-to-grave system boundary and a functional unit of a 750-milliliter container. The assessment employed the Ecoinvent version 3 database and the SimaPro software with the Environmental Footprint (EF) method. A hotspot analysis was also conducted to identify the processes generating the highest environmental impacts for each packaging type. The results show that PET packaging demonstrates the highest environmental impact across climate change, resource use, eutrophication, and acidification categories, while paper packaging exhibits the greatest impact on land use. Hotspot analysis reveals that the material production stage of both packaging types represents the most significant environmental impact. The results serve as a guideline for producers and businesses to improve production processes, adopt sustainable raw materials, and invest in closed-loop recycling systems, while also raising consumer awareness on responsible packaging use and waste separation

KEYWORDS: Life Cycle Assessment , Single-use packaging , Sustainable waste management , Environmental impacts

1. บทนำ

การเปลี่ยนแปลงของบริบททางสังคมและเศรษฐกิจในศตวรรษที่ 21 โดยเฉพาะการดำเนินชีวิตที่เน้นความสะดวกและรวดเร็ว ส่งผลให้พฤติกรรมการบริโภคของประชาชนในสหราชอาณาจักรเปลี่ยนแปลงไปอย่างมีนัยสำคัญ หนึ่งในปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นชัดเจนคือ การใช้บรรจุภัณฑ์พลาสติกแบบใช้ครั้งเดียวจำนวนมาก (Besco, 2024) ปรากฏการณ์ดังกล่าวมีส่วนในการก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในหลากหลายมิติ อาทิ การปล่อยก๊าซเรือนกระจก การใช้ทรัพยากรธรรมชาติที่ไม่สามารถหมุนเวียนได้ ตลอดจนการสะสมของขยะพลาสติกในระบบนิเวศ เพื่อลดผลกระทบเชิงลบต่อสิ่งแวดล้อมหน่วยงานภาครัฐและภาคเอกชนได้พัฒนาและส่งเสริมการใช้บรรจุภัณฑ์ทางเลือกที่มีความยั่งยืนมากยิ่งขึ้น อาทิเช่น บรรจุภัณฑ์ที่ผลิตจากเยื่อกระดาษธรรมชาติ (Gerassimidou et al., 2022) อย่างไรก็ดี แม้ทางเลือกเหล่านี้จะมีภาพลักษณ์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม แต่กระบวนการผลิต การใช้งาน และการจัดการในช่วงปลายวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ยังอาจส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในด้านอื่น ๆ ได้เช่นกัน

จากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า ได้มีการพัฒนาแบบจำลองการวิเคราะห์การไหลของวัสดุ (Material Flow Analysis: MFA) และการประเมินวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment: LCA) เพื่อใช้เป็นเครื่องมือในการประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมของวัสดุพลาสติกในหลากหลายภาคอุตสาหกรรม อาทิ อุตสาหกรรมก่อสร้างและอุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์อาหาร โดยในปี ค.ศ. 1969 บริษัทโคคาโคลาได้ริเริ่มการประยุกต์ใช้ LCA เพื่อเปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมระหว่างบรรจุภัณฑ์ชนิดใช้ครั้งเดียวและบรรจุภัณฑ์ชนิดนำกลับมาใช้ซ้ำ ผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่าบรรจุภัณฑ์ชนิดนำกลับมาใช้ซ้ำมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยกว่า เนื่องจากมีอายุการใช้งานที่ยาวนานและสามารถนำกลับมารีไซเคิลได้ในสัดส่วนที่สูง ต่อมา Huang and Ma (2004) ได้ดำเนินการศึกษาที่ผสานการวิเคราะห์เชิงปริมาณและเชิงคุณภาพเพื่อประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของบรรจุภัณฑ์หลาก หลายประเภท ได้แก่ ภาชนะโลหะ (เหล็กและอะลูมิเนียม) ขวดแก้ว กล่องกระดาษแข็ง และกระดาษเคลือบสำหรับบรรจุของเหลว (Liquid Paperboards: LBP) โดยผลการวิเคราะห์เชิงปริมาณระบุว่าพลาสติกเป็นวัสดุที่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด ในขณะที่ผลการวิเคราะห์เชิงคุณภาพกลับแสดงผลในทางตรงกันข้าม (Huang & Ma,

2004) ในปี ค.ศ. 2009 บริษัทเนสท์เล่ได้ดำเนินการประเมิน LCA เพื่อเปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อมระหว่างขวดแก้วและถ้วยพลาสติก ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าถ้วยพลาสติกมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยกว่า เนื่องจากมีน้ำหนักเบากว่า ซึ่งส่งผลให้การใช้พลังงานและทรัพยากรในกระบวนการผลิตมีค่าน้อยกว่าขวดแก้ว (Humbert et al., 2009)

อย่างไรก็ตาม งานวิจัยข้างต้นยังคงมีข้อจำกัดสำคัญ กล่าวคือ มุ่งเน้นเฉพาะการเปรียบเทียบบรรจุภัณฑ์แบบดั้งเดิมเท่านั้น และยังมิได้รวมถึงการประเมินบรรจุภัณฑ์ที่สามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ ซึ่งในปัจจุบันได้รับความนิยมเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องในฐานะทางเลือกที่ยั่งยืนกว่า ดังนั้น งานวิจัยฉบับนี้จึงเปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของบรรจุภัณฑ์สองประเภท ได้แก่ บรรจุภัณฑ์ PET พร้อมฝาปิด ซึ่งเป็นบรรจุภัณฑ์ดั้งเดิมที่เป็นที่นิยม และบรรจุภัณฑ์กระดาษเคลือบกันน้ำพร้อมฝาปิด ซึ่งเป็นบรรจุภัณฑ์ที่ย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ โดยใช้การประเมินวัฏจักรชีวิต (LCA) ในการวิเคราะห์และประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของบรรจุภัณฑ์ตลอดช่วงชีวิต ตั้งแต่การจัดหาวัตถุดิบ การผลิต การขนส่ง การใช้งาน จนถึงการจัดการเมื่อหมดอายุการใช้งาน

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

งานวิจัยฉบับนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินและเปรียบเทียบผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมของบรรจุภัณฑ์ ได้แก่ บรรจุภัณฑ์ PET พร้อมฝาปิด, บรรจุภัณฑ์กระดาษเคลือบกันน้ำพร้อมฝาปิด โดยใช้กรอบแนวทางการประเมินวัฏจักรชีวิต (LCA) เพื่อตรวจวัดผลกระทบในแต่ละหมวดหมู่ของผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม (Impact categories) พร้อมทั้งดำเนินการวิเคราะห์จุดวิกฤต (Hotspot Analysis) เพื่อระบุขั้นตอนหรือกระบวนการที่มีผลต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุดของแต่ละบรรจุภัณฑ์ โดยวิธีการประเมินผลกระทบที่ใช้ในงานวิจัยนี้คือ Environmental Footprint (EF) ซึ่งเป็นวิธีการตามมาตรฐานสากลในด้านการจัดการสิ่งแวดล้อม

3. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

3.1 บรรจุภัณฑ์อาหารที่ได้รับความนิยมในปัจจุบัน

3.1.1 กระดาษและกระดาษลูกฟูก (Paper/ Paper board)

กระดาษและกระดาษลูกฟูกเป็นวัสดุแผ่นที่ประกอบจากเส้นใยเซลลูโลส ซึ่งได้จากไม้ผ่านกระบวนการซัลไฟต์หรือซัลเฟต เพื่อผลิตเยื่อกระดาษ ฟอกขาว และปรับปรุงคุณสมบัติด้วยสารเคมี สำหรับบรรจุภัณฑ์อาหาร มักเคลือบผิวด้วยสารกันน้ำหรือไขเพื่อเพิ่มความทนทานและป้องกันความชื้น โดยกระดาษที่นิยมใช้ ได้แก่ กระดาษคราฟท์ ชิปบอร์ด และบอร์ดแข็ง กระดาษคราฟท์เป็นที่นิยมมากที่สุดในปัจจุบัน โดยเฉพาะชนิดสีน้ำตาลธรรมชาติที่มีความแข็งแรงสูง มักใช้ในการห่อหรือทำถุงบรรจุอาหารแห้ง เช่น น้ำตาล แป้ง และผลไม้อบแห้ง โดยมักเคลือบด้วยพลาสติก PE หรือ PLA ผ่านกระบวนการลามิเนตหรือโคเอ็กซ์ทรูชัน เพื่อเพิ่มคุณสมบัติกันน้ำและความสามารถในการซีลความร้อน (Marsh & Bugusu, 2007)

3.1.2 พลาสติกชนิดพอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต (Polyethylene terephthalate: PET, PETE)

พอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต (PET) และพอลิคาร์บอเนตจัดอยู่ในกลุ่มพอลิเอสเตอร์ ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากปฏิกิริยาระหว่างแอลกอฮอล์และกรดคาร์บอกซิลิก พอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลตถือเป็นวัสดุหลักที่มีความสำคัญในอุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์อาหาร โดยมีคุณสมบัติในการป้องกันความชื้นและแก๊สได้อย่างมีประสิทธิภาพ อันเป็นผลมาจากปฏิกิริยาระหว่างกรดเทเรฟทาลิกและเอทิลีนไกลคอล นอกจากนี้ PET ยังมีคุณสมบัติในการต้านทานความร้อน ตัวทำละลาย กรด และน้ำมันแร่ได้เป็นอย่างดี ในปัจจุบัน PET ได้รับการยอมรับว่าเป็นวัสดุพลาสติกที่ได้รับความนิยมสูงสุดสำหรับการผลิตบรรจุภัณฑ์เครื่องดื่มและน้ำแร่ ปัจจัยหลักที่ทำให้ PET ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลาย ได้แก่ คุณสมบัติความใสคล้ายแก้ว ความต้านทานต่อการแตกหัก และน้ำหนักเบา ทั้งนี้ PET ยังมีคุณสมบัติทางกลที่โดดเด่น อันได้แก่ ความเหนียว ความแข็งแรง

3.2 ระเบียบวิธีวิจัยโดยใช้การประเมินวัฏจักรชีวิต (LCA)

การประเมินวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment: LCA) เป็นวิธีการวิเคราะห์ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์หรือกระบวนการในทุกช่วงของวงจรชีวิต ตั้งแต่การได้มาของวัตถุดิบ การผลิต การใช้งาน ไปจนถึงการกำจัดของเสีย LCA ช่วยให้เข้าใจภาพรวมของผลกระทบสะสมในแต่ละขั้นตอนและใช้เป็นแนวทางในการตัดสินใจเพื่อเลือกทางเลือกที่ยั่งยืนมากขึ้น แนวทางนี้อ้างอิงตามมาตรฐาน ISO 14040 ซึ่งแบ่งกระบวนการ LCA ออกเป็น 4 ขั้นตอนหลัก ได้แก่ ขั้นตอนที่หนึ่ง การกำหนดวัตถุประสงค์และขอบเขต เป็นการระบุเป้าหมายของการศึกษา พร้อมกำหนดขอบเขตของระบบ หน่วยหน้าที่ และข้อสมมติในการวิเคราะห์ ขั้นตอนที่สอง คือการวิเคราะห์ข้อมูล คือการรวบรวมข้อมูลนำเข้า เช่น วัตถุดิบ พลังงาน และข้อมูลส่งออก เช่น ของเสียและการปล่อยมลพิษ โดยอาจใช้ฐานข้อมูลสากล เช่น Ecoinvent ชั้นตอนที่สาม คือ การประเมินผลกระทบ การจัดกลุ่มและคำนวณผลกระทบจากข้อมูล LCI โดยใช้ปัจจัยการแปลง เช่น ศักยภาพในการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อน (Global Warming Potential – GWP) และ ขั้นตอนสุดท้าย คือ การแปลผลและสรุปผล (Interpretation) เพื่อระบุขั้นตอนที่ส่งผลกระทบสูง วิเคราะห์ข้อจำกัด และเสนอแนวทางปรับปรุงกระบวนการให้มีความยั่งยืนมากขึ้น (Dervishaj & Gudmundsson, 2024) ดังนั้น LCA จึงเป็นเครื่องมือสำคัญที่ช่วยให้ภาคอุตสาหกรรมและผู้มีส่วนเกี่ยวข้องตัดสินใจได้อย่างมีข้อมูลรองรับในมิติด้านสิ่งแวดล้อม (Jerald, 2013)

3.3 วิธีการกำจัดบรรจุภัณฑ์อาหาร

3.3.1 กระบวนการรีไซเคิล (Recycle)

กระบวนการรีไซเคิลคือการนำวัสดุที่ใช้แล้วกลับมาใช้ใหม่หรือแปรรูปเพื่อนำไปผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ โดยประกอบด้วยสามขั้นตอนหลัก ได้แก่ การเก็บรวบรวมวัสดุเหลือใช้ การแปรรูปวัสดุนั้นให้กลายเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ และการนำผลิตภัณฑ์เหล่านั้นกลับมารีไซเคิลอีกครั้ง วัสดุที่นิยมรีไซเคิล ได้แก่ ขวดแก้ว กระป๋องอลูมิเนียม พลาสติก กระดาษ และไม้ ซึ่งการรีไซเคิลช่วยลดปริมาณของเสียที่ต้องฝังกลบและลดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมทั้งทางน้ำ อากาศ และดิน การรีไซเคิลแบ่งออกเป็นสองประเภท คือ การรีไซเคิลแบบวงจรเปิด (Open Loop Recycling) ซึ่งวัสดุจะถูกแปรสภาพและนำไปใช้ในรูปแบบใหม่ที่ต่างจากเดิม โดยมักเกิดการเสื่อมคุณสมบัติของวัสดุ และการรีไซเคิลแบบวงจรปิด (Closed Loop Recycling) ซึ่งวัสดุสามารถนำกลับมาใช้ซ้ำในผลิตภัณฑ์ชนิดเดิมได้ โดยมีการเสื่อมสภาพน้อยหรือแทบไม่มีของเสียเกิดขึ้น ส่งผลให้ระบบมีความยั่งยืนมากกว่า (Huysman et al., 2015)

3.3.2 การเผาขยะ (Incineration)

การเผาขยะ เป็นกระบวนการจัดการของเสียที่เกี่ยวข้องกับการเผาไหม้ของสารอินทรีย์ที่มีอยู่ในวัสดุของเสีย กระบวนการนี้สามารถจัดอยู่ในประเภทของการบำบัดด้วยความร้อน (thermal treatment) การกำจัดของเสียด้วยวิธีนี้จะเปลี่ยนของเสียให้กลายเป็นก๊าซไอเสีย (flue gas) เถ้า (ash) และความร้อน เถ้าที่เกิดขึ้นมาจากองค์ประกอบอนินทรีย์ของของเสีย ซึ่งอาจอยู่ในรูปของก้อนของแข็งหรืออนุภาคละเอียดที่ลอยมากับก๊าซไอเสีย ก๊าซไอเสียที่เกิดจากกระบวนการเผาจะต้องได้รับการบำบัดเพื่อกำจัดมลพิษทั้งในรูปของอนุภาคและก๊าซก่อนที่จะปล่อยออกสู่บรรยากาศ (Knox, 2005)

3.3.3 การฝังกลบ (landfill)

กระบวนการกำจัดของเสียโดยการฝังกลบในพื้นที่ที่จัดเตรียมไว้โดยเฉพาะ โดยของเสียจะถูกนำไปถมและกดทับเป็นชั้น ๆ พร้อมมีระบบควบคุมเพื่อป้องกันผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เช่น ระบบรองพื้นด้วยพลาสติกหรือดินเหนียวเพื่อกันน้ำชะขยะไม่ให้รั่วลงสู่ชั้นดินและแหล่งน้ำใต้ดิน รวมถึงระบบจัดการก๊าซมีเทนที่เกิดจากการย่อยสลายของขยะอินทรีย์ในสภาพไร้ออกซิเจน (Marsh & Bugusu, 2007)

3.4 งานวิจัยด้านการประเมินวัฏจักรชีวิตของบรรจุภัณฑ์อาหารที่ผ่านมา

การประเมินวัฏจักรชีวิต (LCA) ของบรรจุภัณฑ์อาหารในงานวิจัยที่ผ่านมา มักมุ่งเน้นไปที่บรรจุภัณฑ์ที่บรรจุอาหารที่มีความเน่าเสียง่ายและมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมสูง เช่น เนื้อสัตว์ ผลิตภัณฑ์นม ผัก และผลไม้ โดยศึกษาบรรจุภัณฑ์พลาสติกมากที่สุด เช่น polyethylene terephthalate (PET), polyethylene (PE), polypropylene (PP) และฟิล์มหลายชั้น เนื่องจากเป็นวัสดุที่ใช้กันอย่างแพร่หลายและมีประสิทธิภาพในการยืดอายุการเก็บรักษาอาหาร (Bremenkamp & Gallagher, 2024; Desole et al., 2024) งานวิจัยหลายชิ้นยืนยันว่าประโยชน์ด้านสิ่งแวดล้อมจากการยืดอายุการเก็บรักษาอาหารด้วยบรรจุภัณฑ์ที่มีคุณภาพสูง สามารถชดเชยหรือลดทอนผลกระทบที่เกิดจากการผลิตบรรจุภัณฑ์ได้ (Kumari et al., 2024)
PET ถือเป็นพลาสติกที่ได้รับการศึกษา LCA มากที่สุด เนื่องจากถูกนำมาใช้ในหลากหลายรูปแบบ เช่น ขวด ถาด และฟิล์ม งานวิจัยส่วนใหญ่พบว่าการผลิตและการจัดการเมื่อหมดอายุการใช้งานของ PET ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมสูง ทั้งด้านการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (GHG) ความต้องการใช้พลังงาน และการใช้ทรัพยากรฟอสซิล (Desole et al., 2022) อย่างไรก็ตาม งาน LCA หลายชิ้นได้ชี้ให้เห็นว่า เมื่อ PET ถูกใช้เพื่อยืดอายุการเก็บรักษาอาหารสดหรืออาหารที่เสียง่าย ประโยชน์ที่เกิดจากการลดการสูญเสียอาหารสามารถชดเชยผลกระทบเชิงลบจากการผลิตบรรจุภัณฑ์ได้ (Rasines Elena et al., 2023) นอกจากนี้ PET ยังมีศักยภาพในการรีไซเคิล โดยเฉพาะในระบบแบบปิด (close loop recycling) ซึ่งช่วยลดทั้งการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและการใช้ทรัพยากร เมื่อเทียบกับการผลิตจากวัตถุดิบใหม่ (Caelli et al., 2024) งานวิจัยด้าน LCA ส่วนใหญ่มุ่งเน้นไปที่บรรจุภัณฑ์แบบดั้งเดิมโดยเฉพาะพลาสติก PET ตามที่ได้กล่าวไปข้างต้น บรรจุภัณฑ์ที่ย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ เช่น กระดาษเคลือบกันน้ำ ยังถูกศึกษาอย่างจำกัด ดังนั้น งานวิจัยฉบับนี้จึงเปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของบรรจุภัณฑ์สองประเภท ได้แก่ บรรจุภัณฑ์ PET พร้อมฝาปิด ซึ่งเป็นบรรจุภัณฑ์ดั้งเดิมที่เป็นที่นิยม และบรรจุภัณฑ์กระดาษเคลือบกันน้ำพร้อมฝาปิด ซึ่งเป็นบรรจุภัณฑ์ที่ย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ โดยใช้การประเมินวัฏจักรชีวิต (LCA) ในการวิเคราะห์และประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของบรรจุภัณฑ์ตลอดช่วงชีวิต ตั้งแต่การจัดหาวัตถุดิบ การผลิต การขนส่ง การใช้งาน จนถึงการจัดการเมื่อหมดอายุการใช้งาน

4. วิธีดำเนินการวิจัย/ระเบียบวิธีวิจัย/Research Methodology

กรอบการศึกษาครั้งนี้ใช้มาตรฐาน ISO 14040 ซึ่งประกอบด้วย 4 ขั้นตอนหลักในการดำเนินการประเมินวัฏจักรชีวิตด้านสิ่งแวดล้อม ซอฟต์แวร์ LCA ที่เลือกใช้ในโครงการนี้คือ SimaPro ซึ่งออกแบบมาเพื่อเป็นแหล่งข้อมูลทางวิทยาศาสตร์ที่มีความโปร่งใสในการประมวลผล และหลีกเลี่ยงกระบวนการแบบกล่องดำ (black-box) SimaPro เป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพสำหรับการรวบรวม วิเคราะห์ และติดตามข้อมูลด้านความยั่งยืนของผลิตภัณฑ์และบริการ โดยสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในหลายรูปแบบ เช่น การออกแบบผลิตภัณฑ์ การรายงานด้านความยั่งยืน และการกำหนดตัวชี้วัดด้านประสิทธิภาพหลัก สำหรับฐานข้อมูลพื้นฐาน (inventory data) ที่ใช้คือ Ecoinvent เวอร์ชั่น 3 ซึ่งครอบคลุมกระบวนการมากกว่า 1,000 รายการ

อย่างไรก็ตาม ฐานข้อมูล Ecoinvent เวอร์ชัน 3 มีข้อจำกัดบางประการ กล่าวคือ การใช้ข้อมูลเฉลี่ยระดับยุโรปอาจไม่สะท้อนสภาพบริบทเฉพาะของสหราชอาณาจักร อีกทั้งข้อมูลบางส่วนมีความล้าสมัย โดยเฉพาะด้านการจัดการของเสียและเทคโนโลยีการผลิตบรรจุภัณฑ์รุ่นใหม่ ซึ่งอาจส่งผลต่อความถูกต้องและความน่าเชื่อถือของการแปลผล

4.1 การกำหนดวัตถุประสงค์, ขอบเขต และ หน่วยหน้าที่ (Definition of goal , scope and functional unit)

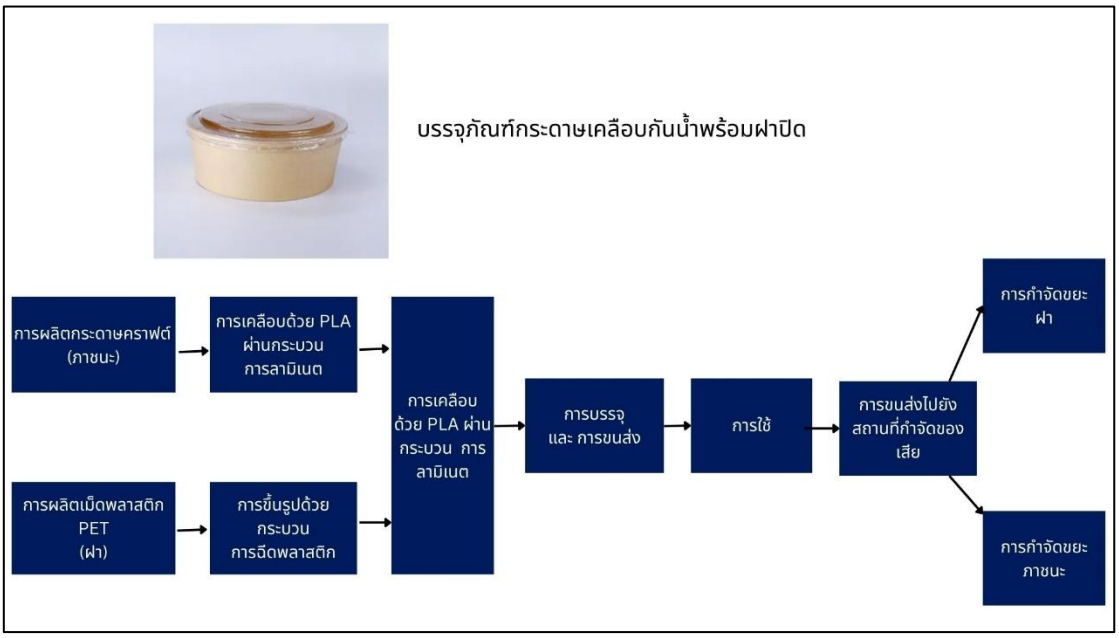
วัตถุประสงค์หลักของการศึกษาครั้งนี้ คือการเปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของบรรจุภัณฑ์ที่เป็นที่นิยมในปัจจุบัน ได้แก่ บรรจุภัณฑ์กระดาษเคลือบกันน้ำพร้อมฝาปิด และ บรรจุภัณฑ์ PET พร้อมฝาปิด ขนาด 750 ml ขอบเขตของการศึกษานี้ครอบคลุมการประเมินวัฏจักรชีวิตแบบตั้งแต่เริ่มต้นจนถึงจุดจบ (cradle to grave) โดยเริ่มตั้งแต่ขั้นตอนการผลิตวัสดุที่ใช้ในบรรจุภัณฑ์แต่ละประเภท ไปจนถึงกระบวนการกำจัดหลังการใช้งาน การศึกษาครั้งนี้พิจารณา 5 ขั้นตอนหลัก ได้แก่ การผลิต

วัสดุ การผลิตบรรจุภัณฑ์ การประกอบ การขนส่ง การใช้งาน และการกำจัดในขั้นสุดท้าย ส่วนหน่วยหน้าที่ (Functional Unit) ที่กำหนดไว้ คือบรรจุภัณฑ์ที่ขนาด 750 ml และ สามารถบรรจุคาโบนาราได้ปริมาณ 515 กรัม

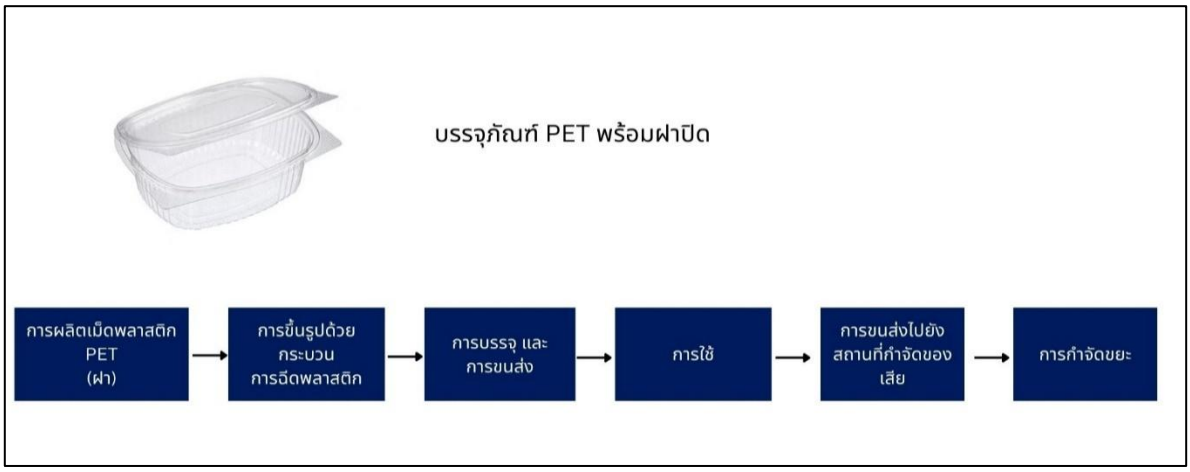
คาร์โบนาร่าถูกเลือกเป็นผลิตภัณฑ์ตัวอย่างในการศึกษาครั้งนี้เนื่องจากเป็นอาหารสำเร็จรูปที่มีความนิยมสูง ซึ่งทำให้เป็นตัวแทนที่ดีของกลุ่มผลิตภัณฑ์อาหารพาสต้า นอกจากนี้ คาร์โบนาร่ายังมีคุณสมบัติทางกายภาพที่เหมาะสมสำหรับการทดสอบประสิทธิภาพของบรรจุภัณฑ์ทั้งสองประเภท โดยมีความชื้นปานกลางและส่วนผสมของไขมันที่สามารถประเมินความสามารถในการป้องกันการซึมผ่านของความชื้นและน้ำมัน

4.2 ขอบเขตของระบบ (System Boundary)

ในการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของบรรจุภัณฑ์กระดาษเคลือบกันน้ำพร้อมฝาปิด และ บรรจุภัณฑ์ PET พร้อมฝาปิด จำเป็นต้องพิจารณา 5 ขั้นตอนหลัก ได้แก่ การผลิตวัสดุ การผลิต/ประกอบบรรจุภัณฑ์ การขนส่ง ขั้นตอนการใช้งาน และขั้นตอนการกำจัดหลังใช้งาน รูปที่ 1 และ 2 แสดงขอบเขตของระบบของบรรจุภัณฑ์ที่พิจารณา



รูปที่ 1 : ขอบเขตของระบบของบรรจุภัณฑ์กระดาษเคลือบกันน้ำพร้อมฝาปิด



รูปที่ 2 : ขอบเขตของระบบของบรรจุภัณฑ์บรรจุภัณฑ์ PET พร้อมฝาปิด

4.3 ข้อมูลและข้อกำหนดด้านคุณภาพของข้อมูล

การศึกษานี้ใช้ข้อมูลการผลิตวัตถุดิบจากฐานข้อมูล Ecoinvent เวอร์ชัน 3 ซึ่งครอบคลุมวัสดุหลักที่ใช้ในบรรจุภัณฑ์ ได้แก่ เม็ดพลาสติก PET กระดาษคราฟท์ และเม็ดพลาสติก PLA โดยรายละเอียดน้ำหนักของวัตถุดิบแต่ละประเภทแสดงในตารางที่ 1 สำหรับกระบวนการผลิต บรรจุภัณฑ์ PET และฝา PET ผลิตโดยกระบวนการฉีดขึ้นรูป (injection molding) ขณะที่บรรจุภัณฑ์กระดาษเคลือบกันน้ำผลิตโดยกระบวนการรีดเคลือบด้วยพลาสติก PLA (PLA extrusion laminating) เมื่อบรรจุภัณฑ์ถูกจัดส่งถึงร้านอาหารในเขตใจกลางกรุงลอนดอน อาหารที่ปรุงสุกแล้วจะถูกบรรจุลงในบรรจุภัณฑ์นั้นในขั้นตอนการใช้งาน

ตารางที่ 1 : น้ำหนักของวัสดุดิบที่ใช้ในการผลิตบรรจุภัณฑ์

ประเภทบรรจุภัณฑ์	บรรจุภัณฑ์กระดาษเคลือบกันน้ำพร้อมฝาปิด (เคลือบ PLA)	บรรจุภัณฑ์ PET พร้อมฝาปิด
ภาชนะหลัก	17.5 กรัม	34.6 กรัม
ฝา PET	4.2 กรัม	-
น้ำหนักรวมของบรรจุภัณฑ์	21.7 กรัม	34.6 กรัม

สำหรับการขนส่ง แบ่งออกเป็นสองช่วงหลัก โดยช่วงแรกคือการขนส่งบรรจุภัณฑ์ที่ผลิตเสร็จแล้วจากโรงงานในเมืองเชฟฟีลด์ไปยังร้านอาหารในกรุงลอนดอน ซึ่งมีระยะทาง 268.7 กิโลเมตร โดยใช้รถบรรทุกดีเซล 10 ล้อ เป็นพาหนะ หลังจากใช้งานแล้ว บรรจุภัณฑ์จะถูกขนส่งต่อไปยังสถานที่จัดการของเสีย โดยเฉลี่ยอยู่ห่างจากใจกลางลอนดอนประมาณ 10 กิโลเมตร โดยใช้รถบรรทุกขยะเป็นพาหนะในการขนส่ง ส่วนในขั้นตอนสุดท้ายของวัฏจักรชีวิตหรือการกำจัดของเสีย การศึกษานี้ สมมติว่าผู้บริโภคแยกภาชนะหลักออกจากฝาปิดก่อนทิ้ง และระบบคัดแยกสามารถส่งองค์ประกอบแต่ละชนิดวัสดุเข้าสู่เส้นทางจัดการที่สอดคล้องกัน (เช่น รีไซเคิล/เผาทำลาย/ฝังกลบ) ตารางที่ 2 รายงานเป็น สัดส่วนปลายทางสุดท้าย (final end-of-life fate)ของแต่ละชนิดบรรจุภัณฑ์ หลังหักการสูญเสียระหว่างการเก็บรวบรวม–คัดแยก–แปรรูปรีไซเคิลแล้ว

ตารางที่ 2: สัดส่วนการจัดการของเสียของบรรจุภัณฑ์แต่ละประเภท

ประเภทการจัดการ	ฝังกลบ	เผาทำลาย	รีไซเคิล
กระดาษเคลือบกันน้ำ	5%	22%	73%
บรรจุภัณฑ์ PET และ ฝาปิด PET	70%	17%	13%

4.4 การประเมินผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Impact Assessment: LCIA)

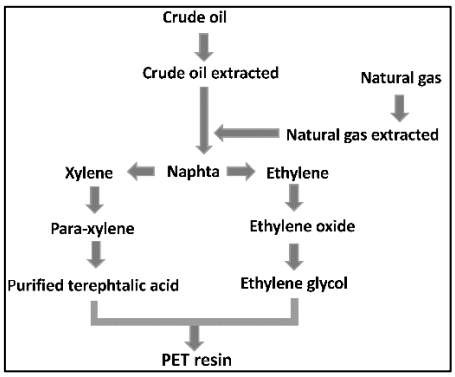
หลังจากรวบรวมข้อมูลนำเข้าแล้ว ข้อมูลเหล่านี้จะถูกป้อนเข้าสู่ซอฟต์แวร์ Simapro เพื่อดำเนินการประเมินผลกระทบวัฏจักรชีวิต (LCIA) ข้อมูลนำเข้าทั้งหมดจะถูกใช้เพื่อสร้างกระแสของกระบวนการ (process flows) ที่จำเป็น และจัดสร้างระบบผลิตภัณฑ์ (product systems) เมื่อระบบผลิตภัณฑ์ถูกสร้างขึ้นแล้ว จะใช้ Simapro เพื่อคำนวณผลการประเมินผลกระทบ ซอฟต์แวร์ Simapro มีแบบจำลองหลายรูปแบบ ซึ่งใช้จัดหมวดหมู่ข้อมูล (inventory data) และระบุว่ากิจกรรมในการผลิตบรรจุภัณฑ์ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในหมวดหมู่ใดบ้าง เมื่อระบุได้แล้ว Simapro จะประมวลผลการประเมินผลกระทบ โดยแสดงผลกระทบที่เกิดจากการปล่อยมลพิษตลอดวัฏจักรชีวิตของบรรจุภัณฑ์ ผลลัพธ์เหล่านี้จะแสดงในรูปแบบของร้อยละที่แต่ละกระบวนการมีส่วนร่วมในแต่ละหมวดหมู่ผลกระทบที่ระบุไว้ หลังจากนั้นข้อมูลจะถูกถ่วงน้ำหนักและทำการทำ

ให้เป็นมาตรฐาน (normalized) เพื่อใช้ในการแปลผลต่อไป ในการศึกษานี้ ได้เลือกใช้วิธีการประเมินผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิต (LCIA) แบบ EF (Environmental Footprint) ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้วิเคราะห์หมวดหมู่ของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากกระบวนการผลิตและการใช้งานผลิตภัณฑ์

5. ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

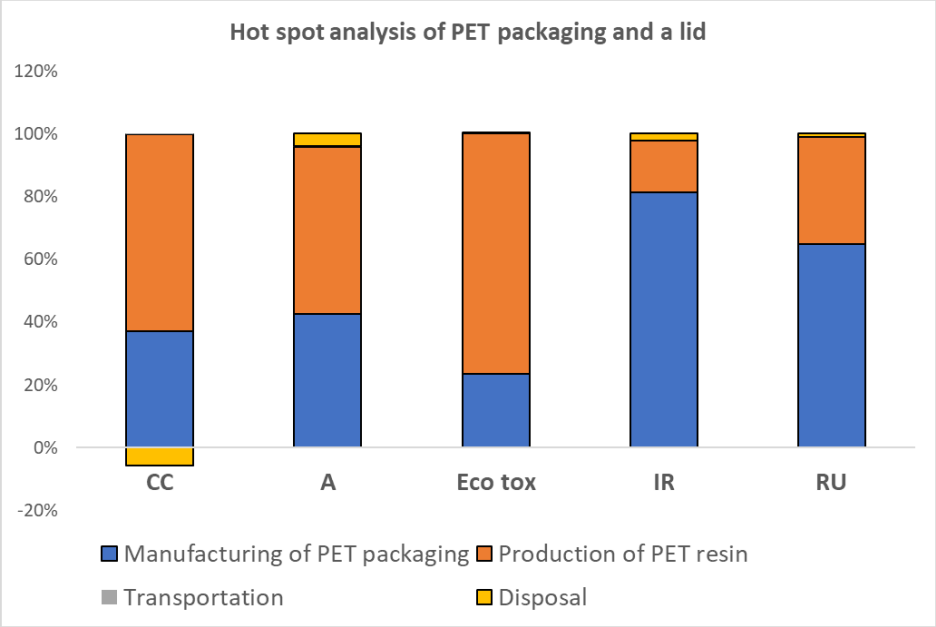
ผลการประเมินผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิต (LCIA) ที่ใช้วิธี EF แสดงผลโดยอ้างอิงข้อมูลสินค้าคงคลังจากฐานข้อมูล Ecoinvent 3 และแสดงผลการประเมินผลกระทบสำหรับ 2 รูปแบบของบรรจุภัณฑ์ที่เป็นที่นิยมในปัจจุบัน ได้แก่ บรรจุภัณฑ์กระดาษเคลือบกันน้ำพร้อมฝาปิด และ บรรจุภัณฑ์ PET พร้อมฝาปิด

5.1 ผลการประเมิน LCIA ของบรรจุภัณฑ์ PET พร้อมฝาปิด โดยใช้วิธี EF



รูปที่ 3 : กระบวนการผลิต PET Resin ที่มา : Bustamante et al (2022)

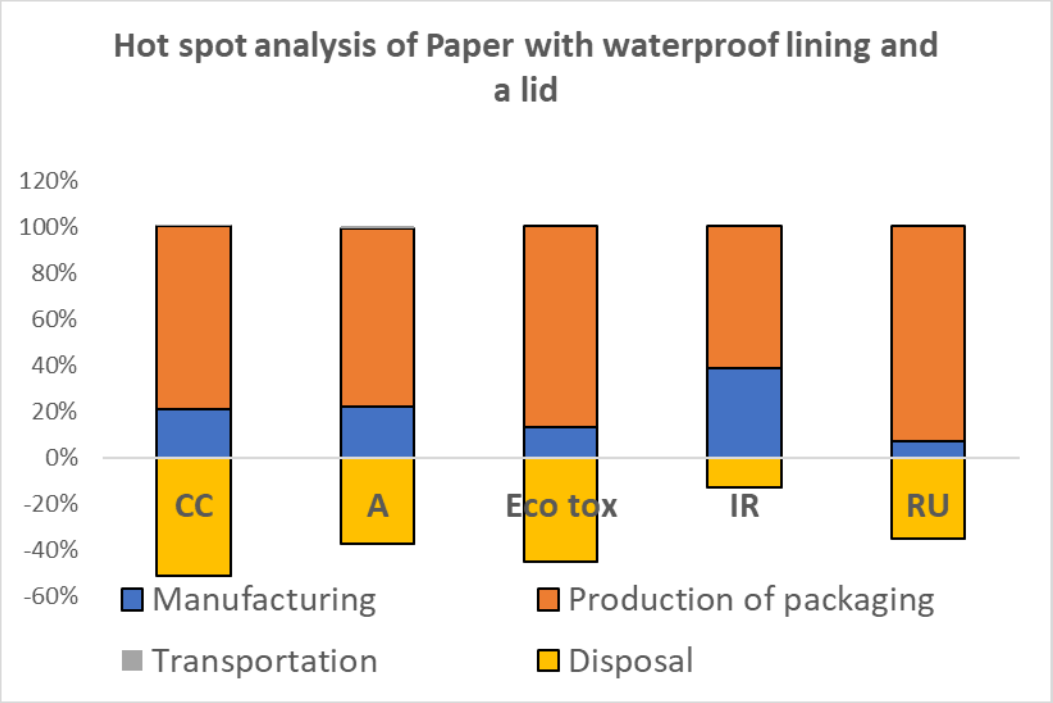
จากรูปที่ 4 แสดงให้เห็นว่าการผลิต PET resin (Production of PET resin) มีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญต่อหลายหมวดหมู่ของสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะในด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (climate change), ความเป็นพิษต่อระบบนิเวศ (ecotoxicity) และ การใช้ทรัพยากรประเภทแร่ธาตุ (resource use) ข้อมูลสำหรับการผลิต PET resin มาจากฐานข้อมูล Ecoinvent 3 โดยกระบวนการผลิตเริ่มต้นจากการสกัดน้ำมันดิบและกระบวนการแตกตัว (cracking) เพื่อให้ได้ก๊าซที่สามารถเปลี่ยนเป็นสารตั้งต้น เช่น เอทิลีน นาฟทา เบนซีน และเอทิลีนออกไซด์ ซึ่งในขั้นสุดท้ายจะได้ PET เรซินเป็นวัตถุดิบหลัก (รูปที่ 3) (Bustamante et al., 2022) การผลิตนี้ต้องใช้ทรัพยากรธรรมชาติและเชื้อเพลิงฟอสซิลจำนวนมาก จึงเป็นสาเหตุที่กระบวนการผลิต PET resin มีส่วนร่วมสูงที่สุดในหมวดหมู่ผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมแทบทั้งหมด ขั้นตอนการผลิตบรรจุภัณฑ์ PET (Manufacturing of PET packaging) ยังมีผลกระทบมากในบางหมวดหมู่ เช่น การแผ่รังสีไอออไนซ์ ในขั้นตอนการกำจัดบรรจุภัณฑ์ PET พร้อมฝาปิด ให้ผลที่น่าสนใจในหมวดการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (climate change) เนื่องจากพบว่าค่าผลกระทบของ disposal phase มีค่าเป็นลบ แสดงถึง ประโยชน์ต่อสิ่งแวดล้อม เนื่องจากเกิดจากการรีไซเคิล กล่าวคือ เมื่อกระบวนการรีไซเคิลสามารถสร้างผลิตภัณฑ์พลอยได้ในระดับที่สูงกว่าผลกระทบจากการกำจัดของเสีย ระบบจะให้ เครดิต ในรูปของค่าลบ ในกรณีของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ค่าลบหมายถึงไม่มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจก เช่น CO_2 ซึ่งถือว่ามีผลดีต่อสิ่งแวดล้อมและสุขภาพมนุษย์ สำหรับการขนส่ง ถือว่ามีผลกระทบต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับขั้นตอนอื่น ๆ ประมาณ 0%–0.5%



รูปที่ 4 : การวิเคราะห์ Hot spot ของบรรจุภัณฑ์ PET พร้อมฝาปิด ; CC = climate change , A = acidification , ECO Tox – ecotoxicity, IR – ionic radiation , RU = resource use

5.2 ผลการประเมิน LCIA ของบรรจุภัณฑ์กระดาษเคลือบกันน้ำพร้อมฝาปิด โดยใช้วิธี EF

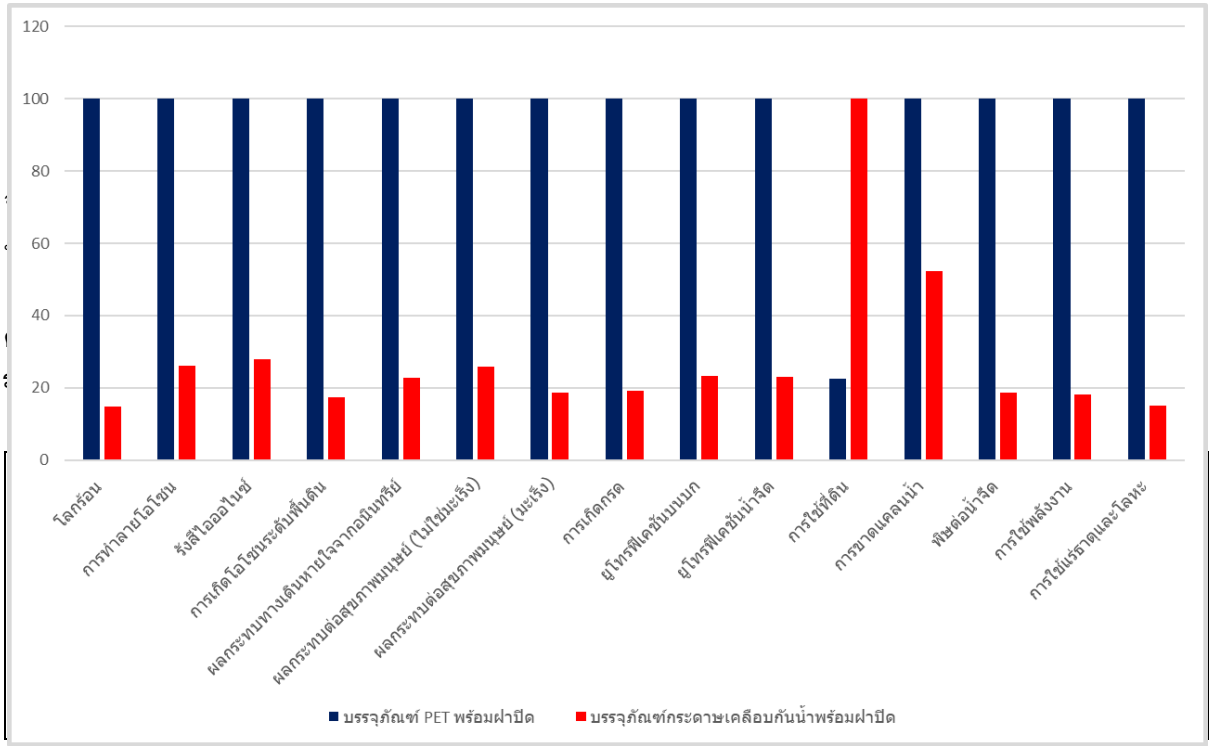
จากรูปที่ 5 การผลิตกระดาษเคลือบกันน้ำพร้อมฝาปิดส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอย่างมากเมื่อเปรียบเทียบกับขั้นตอนอื่น ๆ โดยเฉพาะในหมวดหมู่ เช่น การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (climate change) , การแผ่รังสีไอออไนซ์ (ionic radiation) , ความเป็นพิษในน้ำจืด (ecotoxicity) และการใช้ทรัพยากรอื่น (resource use) สำหรับการผลิตบรรจุภัณฑ์ประเภทนี้ แบ่งออกเป็นสองกระบวนการหลัก ได้แก่ การผลิตกระดาษคราฟท์เคลือบ PLA และการผลิตฝา PET โดยกระดาษคราฟท์มีผลกระทบสูงต่อมลพิษในดิน น้ำ และอากาศ ซึ่งผลิตจากกระบวนการคราฟท์หรือซัลไฟต์ที่แปรสภาพไม้ให้เป็นเยื่อไม้ที่มีเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบหลัก กระบวนการนี้ปล่อย NOx และ SOx ซึ่งเป็นสาเหตุของฝนกรด และ CO_2 ซึ่งเป็นก๊าซเรือนกระจกที่มีผลต่อภาวะโลกร้อน ส่วนการผลิตฝา PET มีลักษณะกระบวนการคล้ายกับการผลิตบรรจุภัณฑ์ PET พร้อมฝาปิดตามที่กล่าวไว้ในหัวข้อก่อนหน้า แม้จะมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม แต่ก็อยู่ในระดับต่ำเมื่อเทียบกับภาชนะหลัก เนื่องจากน้ำหนักวัสดุมีสัดส่วนที่น้อยกว่า สำหรับขั้นตอนการกำจัดบรรจุภัณฑ์กระดาษเคลือบกันน้ำพร้อมฝาปิดให้ผลลัพธ์เป็นค่าลบในทุกหมวดหมู่ของผลกระทบ ซึ่งเป็นผลมาจากอัตราการรีไซเคิลของกระดาษที่สูง โดยเฉพาะในหมวดหมู่การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศซึ่งพบค่าลบถึง -51% แสดงให้เห็นว่าไม่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ด้านการขนส่งมีผลกระทบต่ำมากเช่นเดียวกับบรรจุภัณฑ์ PET พร้อมฝาปิด ตามที่กล่าวไว้ก่อนหน้า



รูปที่ 5 : การวิเคราะห์ Hot spot ของ บรรจุภัณฑ์กระดาษเคลือบกันน้ำพร้อมฝาปิด; CC = climate change , A = acidification , ECO Tox = ecotoxicity, IR = ionic radiation , RU = resource use

5.3 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของแต่ละสถานการณ์

การประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของบรรจุภัณฑ์ทั้ง 2 ประเภท ประกอบด้วย บรรจุภัณฑ์ PET พร้อมฝาปิด และบรรจุภัณฑ์กระดาษเคลือบกันน้ำพร้อมฝาปิด ได้นำเสนอผลการวิเคราะห์ในรูปแบบกราฟเปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (รูปที่ 6) และตารางเปรียบเทียบข้อมูล (ตารางที่ 3)



หมวดหมู่ผลกระทบ	หน่วย	บรรจุภัณฑ์ PET พร้อมฝาปิด	กระดาษเคลือบกันน้ำ พร้อมฝาปิด
รังสีไอออไนซ์ (Ionising Radiation, Human Health)	กิโลเบคเคอเรล ยูเรเนียม-235 เทียบเท่า	**0.033443363**	**0.009299433**
การเกิดโอโซนระดับพื้นดิน (Photochemical ozone formation)	กิโลกรัม NMVOC เทียบเท่า	**0.000470553**	**0.000082108**
ผลกระทบทางเดินหายใจจากอนินทรีย์ (Respiratory inorganics)	อัตราการเกิดโรค	**6.0589E-09**	**1.3849E-09**
ผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์ (ไม่ใช่มะเร็ง)	CTUh (หน่วยผลกระทบต่อมนุษย์)	**1.46199E-08**	**3.79092E-09**
ผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์ (มะเร็ง)	CTUh	**2.09015E-09**	**3.90352E-10**
การเกิดกรด (Acidification)	โมล H^+ เทียบเท่า	**0.000886615**	**0.000169489**
ยูโทรฟิเคชันบนบก (Eutrophication terrestrial)	โมล N เทียบเท่า	**0.001637103**	**0.000381459**
ยูโทรฟิเคชันน้ำจืด (Eutrophication freshwater)	กิโลกรัม P เทียบเท่า	**6.05831E-05**	**1.39001E-05**
การใช้ที่ดิน (Land Use)	คะแนน (Pt)	**1.64579721**	**7.34112082**
การขาดแคลนน้ำ (Water Scarcity)	ลูกบาศก์เมตรเทียบเท่าระดับโลก (m^3 world eq)	**0.063599456**	**0.033202015**
พิษต่อน้ำจืด (Ecotoxicity freshwater)	CTUe (หน่วยพิษต่อระบบนิเวศ)	**0.087011026**	**0.016258199**
การใช้พลังงาน (ทรัพยากรพลังงาน)	เมกะจูล (MJ)	**3.731402118**	**0.680103137**
การใช้แร่ธาตุและโลหะ (Resource use – minerals and metals)	กิโลกรัม Sb เทียบเท่า	**4.57619E-07**	**6.89015E-08**

จากตารางที่ 3 ในด้าน ภาวะโลกร้อน (Global warming) บรรจุภัณฑ์ PET พร้อมฝาปิดปล่อยก๊าซเรือนกระจกสูงกว่ากระดาษถึง 7 เท่า (0.1592 kg CO_2 eq เทียบกับ 0.0235 kg CO_2 eq) ซึ่งสอดคล้องกับการใช้พลังงานฟอสซิลในกระบวนการผลิตของบรรจุภัณฑ์ PET พร้อมฝาปิดที่มากกว่า โดยในหมวด Resource use, energy carriers บรรจุภัณฑ์ PET พร้อมฝาปิดใช้พลังงานสูงถึง 3.73 MJ ขณะที่บรรจุภัณฑ์กระดาษเคลือบกันน้ำพร้อมฝาปิดใช้เพียง 0.68 MJ เท่านั้น ผลกระทบด้าน Ozone depletion และ Photochemical ozone formation ของ บรรจุภัณฑ์ PET พร้อมฝาปิด ก็สูงกว่ามาก แสดงให้เห็นถึงความเข้มข้นของมลพิษทางอากาศและสารระเหยที่เกิดจากกระบวนการผลิตและขนส่ง อีกด้านหนึ่งที่ บรรจุภัณฑ์ PET พร้อมฝาปิดส่งผลกระทบสูงกว่าชัดเจน คือ สุขภาพมนุษย์ ทั้งในด้านผลกระทบต่อระบบทางเดินหายใจ (Respiratory inorganics), โรคที่ไม่ใช่มะเร็ง (Non-cancer effects), และโรคมะเร็ง (Cancer effects) ซึ่งล้วนมีค่ามากกว่าบรรจุภัณฑ์

กระดาษเคลือบกันน้ำพร้อมฝาปิดหลายเท่าตัว โดยเฉพาะ ค่าความเสี่ยงต่อมะเร็ง ซึ่ง บรรจุภัณฑ์ PET พร้อมฝาปิด สูงกว่าบรรจุภัณฑ์กระดาษเคลือบกันน้ำพร้อมฝาปิดถึง 5 เท่า แสดงถึงสารอันตรายที่ปล่อยในวงจรชีวิตของพลาสติกที่เกี่ยวข้องกับสารเคมีและโลหะหนัก ในประเด็น Ecotoxicity freshwater ซึ่งสะท้อนผลกระทบต่อสัตว์น้ำและระบบนิเวศน้ำจืด บรรจุภัณฑ์ PET พร้อมฝาปิด ก็ส่งผลร้ายมากกว่ากระดาษกว่า 5 เท่า เช่นเดียวกับด้าน Water scarcity ซึ่ง บรรจุภัณฑ์ PET พร้อมฝาปิดใช้น้ำในรูปแบบที่มีผลต่อความขาดแคลนน้ำมากกว่า (0.0636 m^3 world eq เทียบกับ 0.0332 m^3 world eq) แสดงถึงภาระเชิงทรัพยากรน้ำที่มากกว่า อย่างไรก็ตาม ในหมวด การใช้ที่ดิน (Land Use) บรรจุภัณฑ์กระดาษเคลือบกันน้ำพร้อมฝาปิดกลับมีผลกระทบสูงกว่ามาก (7.34 Pt เทียบกับ 1.65 Pt) ซึ่งสะท้อนถึงการใช้พื้นที่เพาะปลูกและการจัดการทรัพยากรที่ดินในกระบวนการผลิตกระดาษ เช่น การปลูกต้นไม้ การแปรรูปเยื่อไม้ และ ระบบโลจิสติกส์ที่อิงกับปัจจัยเชิงภูมิศาสตร์

การตัดสินใจเลือกใช้วัสดุบรรจุภัณฑ์ควรมองในลักษณะการถ่วงดุลระหว่างผลกระทบสิ่งแวดล้อมในมิติต่างๆ โดยบรรจุภัณฑ์กระดาษเคลือบกันน้ำพร้อมฝาปิดมีข้อได้เปรียบในด้านการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและมลพิษทางอากาศ ในขณะที่บรรจุภัณฑ์ PET พร้อมฝาปิด มีประสิทธิภาพดีกว่าในการลดแรงกดดันต่อการใช้ที่ดินและผลกระทบต่อระบบนิเวศบนบก ความเหมาะสมของแต่ละทางเลือกขึ้นอยู่กับระบบการจัดการปลายทาง (end-of-life management) และโครงสร้างพื้นฐานด้านการรีไซเคิล ซึ่งแตกต่างกันในแต่ละประเทศหรือภูมิภาค (Bustamante et al., 2022) การพัฒนาระบบรีไซเคิล PET ที่มีประสิทธิภาพสูงสามารถลดผลกระทบในหลายหมวดได้อย่างมีนัยสำคัญ (Caelli et al., 2024) ส่วนการผลิตกระดาษจากวัตถุดิบที่มาจากป่าไม้ที่ได้รับการรับรองความยั่งยืนก็สามารถลดแรงกดดันจากการใช้ที่ดินได้เช่นกัน

การกำหนดนโยบายและการออกแบบเชิงอุตสาหกรรมควรให้ความสำคัญกับการลดผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิต พร้อมทั้งส่งเสริมระบบเศรษฐกิจหมุนเวียนที่เน้นการยืดอายุการใช้งานวัสดุและเพิ่มอัตราการนำกลับมาใช้ใหม่ (Dervishaj & Gudmundsson, 2024) งานวิจัยนี้สะท้อนให้เห็นว่าการเลือกใช้วัสดุบรรจุภัณฑ์ที่ยั่งยืนต้องมีการวิเคราะห์แบบบูรณาการ โดยพิจารณาผลกระทบสิ่งแวดล้อมหลายมิติควบคู่กัน มิใช่การมุ่งเน้นเพียงตัวชี้วัดเดียว เช่น คาร์บอนฟุตพริ้นท์ แนวทางนี้จึงเป็นการเปิดมุมมองใหม่สำหรับการพัฒนานโยบายและกลยุทธ์ด้านการบริหารจัดการวัสดุบรรจุภัณฑ์ที่ยั่งยืนในอนาคต

5.4 การวิเคราะห์ความไวเชิงคุณภาพ (Qualitative Sensitivity Analysis)

แม้ว่าการศึกษานี้จะไม่ได้ทำการวิเคราะห์ความไวเชิงปริมาณ (quantitative sensitivity analysis) แต่ได้พิจารณาเชิงคุณภาพถึงความเป็นไปได้ที่ผลลัพธ์อาจเปลี่ยนแปลงได้หากมีการปรับสมมติฐานหรือค่าพารามิเตอร์หลักบางประการ โดยเฉพาะตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมของบรรจุภัณฑ์

ประการแรก อัตราการรีไซเคิล (recycling rate) ถือเป็นปัจจัยสำคัญที่สุด เนื่องจากมีผลโดยตรงต่อผลการประเมินสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะในหมวดการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและการใช้ทรัพยากรพลังงาน (Bustamante et al., 2022) หากสมมติว่าอัตราการรีไซเคิลของบรรจุภัณฑ์ PET เพิ่มขึ้นผลกระทบด้านการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและการใช้พลังงานฟอสซิลจะลดลงอย่างชัดเจน และอาจทำให้ผลลัพธ์ใกล้เคียงกับบรรจุภัณฑ์กระดาษมากขึ้น (Creadore & Castaldi, 2023) ในประเด็นการขนส่ง (transportation) แม้ว่าผลการวิเคราะห์ hotspot จะพบว่ามีส่วนร่วมเพียง 0–0.5% ของผลกระทบทั้งหมด แต่การปรับเปลี่ยนระยะทางหรือประเภทพาหนะก็ยังอาจมีผลในเชิงเปรียบเทียบได้บ้าง หากโรงงานผลิตตั้งอยู่ใกล้พื้นที่ใช้งานมากขึ้น จะช่วยลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนจากการขนส่งลง แม้ไม่ใช่ตัวแปรหลัก แต่ก็สะท้อนความสำคัญของการเลือกทำเลโรงงานผลิต (Jørgensen et al., 1996)

สำหรับเทคโนโลยีการผลิต (production technology) หากโรงงานสามารถปรับใช้กระบวนการที่มีประสิทธิภาพด้านพลังงานมากขึ้น เช่น การใช้หม้อไอน้ำชีวมวลแทนเชื้อเพลิงฟอสซิลในการผลิตเยื่อกระดาษ หรือการพัฒนาเทคโนโลยี polymerization ที่ใช้พลังงานต่ำในการผลิต PET ก็จะสามารถลดผลกระทบได้อย่างชัดเจนในหลายหมวดหมู่

สุดท้าย ปัจจัยที่มีความสำคัญมากในปัจจุบันคือประสิทธิภาพของระบบคัดแยก (sorting technologies) เนื่องจากการรีไซเคิลที่มีประสิทธิภาพต้องพึ่งพาการคัดแยกที่แม่นยำ เทคโนโลยีใหม่ เช่น Near-Infrared (NIR) sorting,

Hyperspectral Imaging (HSI) และการคัดแยกอัตโนมัติที่ใช้ปัญญาประดิษฐ์ ช่วยเพิ่มอัตราการแยก PET จากของเสียผสมได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Taneepanichskul et al., 2025) หากระบบเหล่านี้ถูกนำมาใช้ในเมืองใหญ่ เช่น ลอนดอน อัตราการรีไซเคิล PET อาจสูงกว่าค่าที่กำหนดไว้ในการศึกษานี้อย่างมาก ซึ่งจะทำให้ผลกระทบด้าน Climate change, Resource use, Ecotoxicity freshwater และ Human health ลดลงอย่างชัดเจน ในทางกลับกัน หากระบบคัดแยกยังเป็นแบบ manual หรือมีอัตราการปนเปื้อนสูง ประสิทธิภาพการรีไซเคิลจริงอาจต่ำกว่าที่คาด ทำให้ PET ยังคงมีผลกระทบสูงกว่า (Schwarz et al., 2021)

6. สรุปผลการวิจัย

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินและเปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของบรรจุภัณฑ์อาหารแบบนำกลับบ้าน 2 ประเภท ได้แก่ บรรจุภัณฑ์ PET พร้อมฝาปิด และบรรจุภัณฑ์กระดาษเคลือบกันน้ำพร้อมฝาปิด โดยใช้ระเบียบวิธีการประเมินวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment: LCA) ตามมาตรฐาน ISO 14040 และการวิเคราะห์จุดวิกฤต (Hotspot Analysis) ผลการประเมินพบว่า บรรจุภัณฑ์ PET พร้อมฝาปิด มีผลกระทบสิ่งแวดล้อมสูงในหมวด การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (0.1592 kg CO_2-eq), การใช้พลังงาน (3.73 MJ) และ การใช้ทรัพยากรแร่ธาตุ รวมถึงส่งผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์ทั้งแบบก่อมะเร็งและไม่ก่อมะเร็งมากกว่าบรรจุภัณฑ์กระดาษเคลือบกันน้ำพร้อมฝาปิดอย่างมีนัยสำคัญ โดยเป็นผลจากกระบวนการผลิตที่ใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล อย่างไรก็ตาม ในขั้นตอนการกำจัดบรรจุภัณฑ์ PET พร้อมฝาปิด พบว่าผลกระทบในหมวดภาวะโลกร้อนเป็นลบ ซึ่งสะท้อนถึงประโยชน์ที่ได้รับจากกระบวนการรีไซเคิลที่มีประสิทธิภาพ โดยการรีไซเคิลสามารถทดแทนการผลิตเม็ดพลาสติกบริสุทธิ์ (virgin PET) ที่มีความเข้มข้นทั้งด้านการใช้พลังงานและการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสูง อีกทั้งยังช่วยหลีกเลี่ยงผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นจากการกำจัดแบบดั้งเดิม เช่น การฝังกลบหรือการเผา ซึ่งมักก่อให้เกิดการปลดปล่อยมลพิษสู่ดิน น้ำ และอากาศ สำหรับ บรรจุภัณฑ์กระดาษเคลือบกันน้ำ แม้จะมีผลกระทบสูงในขั้นตอนการผลิตโดยเฉพาะในหมวด เช่น การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (79%), การทำลายชั้นโอโซน (81%), และสุขภาพมนุษย์ (มากกว่า 80%) แต่กลับแสดงผลกระทบต่ำในภาพรวมและปรากฏค่าลบเมื่อพิจารณาขั้นตอนการกำจัด ซึ่งสามารถรีไซเคิลได้ดีโดยเฉพาะในหมวดโลกร้อนที่พบค่าลบสูงถึง -51% สะท้อนศักยภาพในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ทั้งนี้ กระดาษมีข้อจำกัดด้านการใช้ที่ดินที่สูงกว่า บรรจุภัณฑ์ PET พร้อมฝาปิดอย่างมีนัยสำคัญ (7.34 Pt เทียบกับ 1.65 Pt) เนื่องจากต้องใช้พื้นที่เพาะปลูกในการผลิตวัตถุดิบ

โดยสรุป แม้ว่าบรรจุภัณฑ์ PET พร้อมฝาปิด จะมีความได้เปรียบในด้านความแข็งแรงและการใช้งาน แต่ผลกระทบสิ่งแวดล้อมในกระบวนการผลิตยังคงสูง ในขณะที่บรรจุภัณฑ์กระดาษเคลือบกันน้ำ แม้ใช้ที่ดินมาก แต่โดยรวมแล้วมีแนวโน้มส่งผลกระทบสิ่งแวดล้อมน้อยกว่า โดยเฉพาะในบริบทของเมืองที่มีระบบรีไซเคิลที่มีประสิทธิภาพ งานวิจัยนี้จึงให้ข้อมูลสำคัญสำหรับผู้กำหนดนโยบายและผู้ประกอบการในการตัดสินใจเลือกใช้บรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสมกับแนวทางการพัฒนาอย่างยั่งยืนในอนาคต

7. ข้อเสนอแนะ

ด้านผู้บริโภค บรรจุภัณฑ์ PET พร้อมฝาปิด แม้จะมีผลกระทบสูงในกระบวนการผลิต แต่กลับแสดงศักยภาพในการลดผลกระทบสิ่งแวดล้อมเมื่อเข้าสู่กระบวนการรีไซเคิล ในขณะที่บรรจุภัณฑ์กระดาษแม้ใช้ที่ดินมาก แต่เมื่อเข้าสู่ระบบการกำจัดกลับให้ค่าผลกระทบเชิงลบสูง (โดยเฉพาะการลดโลกร้อน) ดังนั้น ผู้บริโภคจึงควรมีบทบาทสำคัญในการคัดแยกขยะบรรจุภัณฑ์ให้ถูกต้องและเลือกใช้บรรจุภัณฑ์ที่สามารถเข้าสู่ระบบรีไซเคิลได้อย่างมีประสิทธิภาพ การส่งเสริมความรู้ ความเข้าใจและพฤติกรรมที่รับผิดชอบต่อสิ่งแวดล้อมของผู้บริโภคจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของระบบรีไซเคิลและลดผลกระทบโดยรวมได้จริง

ด้านผู้ผลิต ผลกระทบหลักของ บรรจุภัณฑ์ PET เกิดจากการพึ่งพาเชื้อเพลิงฟอสซิลและกระบวนการผลิตที่เข้มข้นด้านพลังงาน ในขณะที่บรรจุภัณฑ์กระดาษมีข้อจำกัดด้านการใช้ที่ดินจากการเพาะปลูกวัตถุดิบ ดังนั้น ผู้ผลิตควรปรับปรุงกระบวนการผลิต PET เพื่อลดการใช้พลังงานและสารเคมีที่เป็นอันตราย รวมถึงลงทุนในระบบรีไซเคิลแบบปิด (closed-loop) เพื่อให้ PET หมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่ได้มากขึ้น สำหรับผู้ผลิตบรรจุภัณฑ์กระดาษ ควรเน้นการใช้เยื่อไม้หรือวัตถุดิบจากแหล่งที่ยั่งยืนที่ได้รับการรับรองมาตรฐานสิ่งแวดล้อม เพื่อลดผลกระทบจากการใช้ที่ดิน

ด้านนโยบาย พบว่าระบบจัดการหลังการบริโภค โดยเฉพาะการรีไซเคิล มีบทบาทสำคัญในการชดเชยผลกระทบสิ่งแวดล้อมของบรรจุภัณฑ์ทั้งสองประเภท ดังนั้น ภาครัฐควรสนับสนุนการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานด้านการรีไซเคิลในเขตเมืองให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น พร้อมทั้งจัดทำฉลากแสดงประเภทวัสดุและแนวทางจัดการที่เหมาะสมเพื่อเพิ่มคุณภาพการคัดแยกขยะ นอกจากนี้ รัฐยังสามารถออกมาตรการจูงใจ เช่น การลดหย่อนภาษีหรือเงินอุดหนุนแก่ผู้ประกอบการที่ลงทุนในเทคโนโลยีรีไซเคิลและการผลิตที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม เพื่อสนับสนุนการเปลี่ยนผ่านสู่บรรจุภัณฑ์ที่สอดคล้องกับเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน

8. เอกสารอ้างอิง

Besco, L. (2024). The opening of the single-use plastics policy window in the United Kingdom: societal interest and corporate action align. In *Research Handbook on Plastics Regulation* (pp. 354-373). Edward Elgar Publishing.

Bremenkamp, I., & Gallagher, M. J. S. (2024). Life cycle assessment methods for investigating novel food packaging systems. *Environmental Science: Advances*, *3*(10), 1337-1350.

Bustamante, G., Giannetti, B. F., Agostinho, F., Liu, G., & Almeida, C. M. (2022). Prioritizing cleaner production actions towards circularity: Combining LCA and emergy in the PET production chain. *Sustainability*, *14*(11), 6821.

Caelli, C., Arfelli, F., Caraceni, F., Cespi, D., Cordara, M., Brondi, C., & Ballarino, A. (2024). Implementation of LCA in the Circular Economy context: methodological issues for application in PET packaging. *Procedia CIRP*, *122*, 719-724.

Creadore, L. T., & Castaldi, M. J. (2023). Quantitative comparison of life cycle assessments of advanced recycling technologies for end-of-life plastics. *Journal of Energy Resources Technology*, *145*(4), 042201.

Dervishaj, A., & Gudmundsson, K. (2024). From LCA to circular design: A comparative study of digital tools for the built environment. *Resources, Conservation and Recycling*, *200*, 107291.

Desole, M. P., Aversa, C., Barletta, M., Gisario, A., & Vosooghnia, A. (2022). Life cycle assessment (LCA) of PET and PLA bottles for the packaging of fresh pasteurised milk: The role of the manufacturing process and the disposal scenario. *Packaging Technology and Science*, *35*(2), 135-152.

Desole, M. P., Gisario, A., Fedele, L., & Barletta, M. (2024). Life Cycle Assessment (LCA) and Multi Criteria Decision Analysis (MCDA) of eco-friendly packaging for dairy products and fourth range. *Procedia CIRP*, *122*, 927-932.

Gerassimidou, S., Lovat, E., Ebner, N., You, W., Giakoumis, T., Martin, O. V., & Iacovidou, E. (2022). Unpacking the complexity of the UK plastic packaging value chain: A stakeholder perspective. *Sustainable Production and Consumption*, *30*, 657-673.

Huang, C.-C., & Ma, H.-W. (2004). A multidimensional environmental evaluation of packaging materials. *Science of the Total Environment*, *324*(1-3), 161-172.

Humbert, S., Rossi, V., Margni, M., Jolliet, O., & Loerincik, Y. (2009). Life cycle assessment of two baby food packaging alternatives: glass jars vs. plastic pots. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, *14*, 95-106.

Huysman, S., Debaveye, S., Schaubroeck, T., De Meester, S., Ardente, F., Mathieux, F., & Dewulf, J. (2015). The recyclability benefit rate of closed-loop and open-loop systems: A case study on plastic recycling in Flanders. *Resources, Conservation and Recycling*, *101*, 53-60.

Jerald, A. L. (2013). Life Cycle Assessment for Food Processing. *indicators*, *6*(7), 8.

Jørgensen, A.-M. M., Ywema, P. E., Frees, N., Exner, S., & Bracke, R. (1996). Transportation in LCA: a comparative evaluation of the importance of transport in four LCAs. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, *1*(4), 218-220.

Knox, A. (2005). An overview of incineration and EFW technology as applied to the management of municipal solid waste (MSW). *ONEIA Energy Subcommitte*.

Kumari, S., Debbarma, R., Nasrin, N., Khan, T., Taj, S., & Bhuyan, T. (2024). Recent advances in packaging materials for food products. *Food Bioengineering*, *3*(2), 236-249.

Marsh, K., & Bugusu, B. (2007). Food packaging—roles, materials, and environmental issues. *Journal of food science*, *72*(3), R39-R55.

Rasines Elena, L., Castillejo Montoya, N., San Miguel Alfaro, G., & Aguayo Giménez, E. (2023). Can household storage conditions reduce food waste and environmental impact? A broccoli case study.

Schwarz, A., Ligthart, T., Bizarro, D. G., De Wild, P., Vreugdenhil, B., & van Harmelen, T. (2021). Plastic recycling in a circular economy; determining environmental performance through an LCA matrix model approach. *Waste management*, *121*, 331-342.

Taneepanichskul, N., Hailes, H. C., & Miodownik, M. (2025). Using hyperspectral imaging and machine learning to identify food-contaminated compostable and recyclable plastics. *UCL Open Environment*, *7*, e3237.

อาจารย์ ดร.ณัชชา ฐานีพานิชสกุล

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช 9/9 หมู่ 9 ถ.แจ้งวัฒนะ ต.บางพูด อ.ปากเกร็ด จ.นนทบุรี 1112

E-Mail nutcha.tan@stou.ac.th , โทรศัพท์ : 02 5048191 – 3

การพัฒนากระบวนการวางแผนการขนส่งด้วยเทคนิคปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่ง: กรณีศึกษาผู้ประกอบการธุรกิจโลจิสติกส์

Development of Transport Planning Processes Using Vehicle Routing Problem: A Case Study of Logistics Business Operator

ธนิดา สุนารักษ์
สาขาวิชาการจัดการ คณะบริหารธุรกิจ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์, thanida.sun@rmutr.ac.th

Thanida Sunarak
Department of Management, Faculty of Business Administration,
Rajamangala University of Technology Rattanakosin, thanida.sun@rmutr.ac.th

วันที่รับบทความ 2 พฤศจิกายน 2568
วันแก้ไขบทความ 6 พฤศจิกายน 2568
วันตอบรับบทความ 28 พฤศจิกายน 2568

บทคัดย่อ

บริษัทกรณีศึกษาดำเนินงานธุรกิจโลจิสติกส์ ประสบปัญหาด้านต้นทุนการขนส่งในการกระจายสินค้าให้กับลูกค้า จากการวิเคราะห์ด้วยแผนภาพแสดงเหตุและผล พบว่าสาเหตุหลักมาจากขาดการวางแผนการขนส่งอย่างมีระบบ งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนากระบวนการวางแผนการขนส่งและลดต้นทุนการขนส่ง โดยการประยุกต์ใช้ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่ง ด้วยวิธีเซฟวิ่งอัลกอริทึม ในการกำหนดลูกค้าให้กับยานพาหนะและจัดลำดับเส้นทาง นอกจากนี้ยังประยุกต์ใช้แนวคิดเข้าหลังออกก่อน ในการจัดเรียงสินค้าเข้ายานพาหนะ เพื่อช่วยให้การขนถ่ายสินค้าสะดวก และไม่สับสน ผลจากดำเนินงานวิจัยพบว่าจำนวนเที่ยวรถการขนส่งเฉลี่ยต่อเดือนลดลงร้อยละ 43.68 ระยะทางเฉลี่ยต่อเดือนลดลงร้อยละ 26.35 และต้นทุนการขนส่งเฉลี่ยต่อเดือนลดลงร้อยละ 43.69

คำสำคัญ: ปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะ, เซฟวิ่งอัลกอริทึม, เข้าหลังออกก่อน, ต้นทุนการขนส่ง, ธุรกิจโลจิสติกส์

ABSTRACT

The case study company, operating in the logistics business, encountered challenges related to high transportation costs in product distribution. A cause-and-effect diagram analysis identified the primary factor as the absence of systematic transportation planning. Accordingly, this study aimed to develop a transportation planning process and reduce transportation costs. The Vehicle Routing Problem was applied with the Saving Algorithm to assign customers to vehicles and determine the delivery route sequencing. Furthermore, the Last In First Out principle was implemented to organize product loading into vehicles, improve convenience of goods handling operation and eliminating confusion. The findings revealed that

the proposed approaches reduced the average number of delivery trips per month by 43.68%, the average transportation distance per month by 26.35%, and the average transportation cost per month by 43.69%.
KEYWORDS: Vehicle Routing Problem, Saving Algorithm, Last In First Out, Transportation Cost, Logistics Business Operator.

1. บทนำ

ในยุคที่การแข่งขันทางเศรษฐกิจขับเคลื่อนด้วยความรวดเร็วของข้อมูลและการเคลื่อนย้ายสินค้า ระบบโลจิสติกส์จึงเป็นหัวใจสำคัญที่สะท้อนศักยภาพของประเทศและองค์กรธุรกิจ ในปี 2568 มีการลงทุนจากต่างชาติในธุรกิจโลจิสติกส์ไทยกว่า 2.5 พันล้านบาท ธุรกิจขนส่งและขนถ่ายสินค้าเติบโตขึ้นร้อยละ 38.6 เมื่อเทียบกับปีก่อน (ฐานเศรษฐกิจ, 2568) โดยภาคการขนส่งทางบกยังคงเป็นภาคหลักที่รองรับการกระจายสินค้าในประเทศ คิดเป็นสัดส่วนมากกว่าครึ่งหนึ่งของต้นทุนโลจิสติกส์ทั้งหมด การขยายตัวของภาคอุตสาหกรรม การค้าออนไลน์ และการส่งออก ทำให้ความต้องการขนส่งเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง แต่ในทางกลับกัน ต้นทุนการดำเนินงานกลับสูงขึ้นตามราคาน้ำมัน ค่าจ้างแรงงาน และการบำรุงรักษายานพาหนะ ปัญหาต้นทุนขนส่งสูง จึงกลายเป็นอุปสรรคสำคัญต่อการเติบโตของธุรกิจ โดยเฉพาะในกลุ่มผู้ประกอบการขนาดกลางและขนาดย่อมที่มีทรัพยากรจำกัด

หนึ่งในแนวทางสำคัญที่ภาคธุรกิจหันมาให้ความสนใจ คือ การบริหารจัดการเส้นทางการขนส่ง (Transportation Routing Management) ซึ่งเป็นศาสตร์ที่มุ่งหาวิธีจัดลำดับการเดินรถให้มีประสิทธิภาพมากที่สุด เพื่อลดระยะทางรวม ลดเวลาในการขนส่ง และลดการใช้พลังงาน การวางแผนเส้นทางที่ดีไม่เพียงช่วยลดต้นทุนโดยตรงเท่านั้น แต่ยังส่งผลต่อการเพิ่มประสิทธิภาพการให้บริการลูกค้า การลดความเสียหายของสินค้า และการใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่า แนวคิดนี้กลายเป็นพื้นฐานของระบบขนส่งอัจฉริยะ (Smart Transportation) ที่หลายองค์กรเริ่มนำมาใช้ในปัจจุบัน เทคนิคหนึ่งที่ได้รับการยอมรับอย่างแพร่หลายในการออกแบบเส้นทางขนส่ง คือ เทคนิคการประหยัดเส้นทาง (Saving Matrix Technique) ซึ่งมีแนวคิดหลักคือการคำนวณค่าการประหยัด (saving) ที่เกิดจากการรวมเส้นทางของลูกค้าหลายรายไว้ในเที่ยวเดียวกัน แทนการวิ่งส่งแยกทีละราย การคำนวณนี้ช่วยให้สามารถกำหนดลำดับการจัดส่งที่ใช้ระยะทางรวมสั้นที่สุด ลดจำนวนเที่ยวรถ และลดการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงได้อย่างมีระบบ วิธีนี้จึงได้รับความนิยมในองค์กรที่ต้องจัดการกับการกระจายสินค้าหลายจุด โดยเฉพาะในภาคอุตสาหกรรมผลิตสินค้าอุปโภคบริโภคและอุตสาหกรรมชิ้นส่วน ซึ่งต้องอาศัยการส่งสินค้าหลายรอบต่อวัน

ธุรกิจโลจิสติกส์ในประเทศไทยมีการเจริญเติบโตอย่างต่อเนื่อง ซึ่งมีผลมาจากการขยายตัวทางเศรษฐกิจ ทำให้เกิดการแข่งขันในด้านโลจิสติกส์เพิ่มมากขึ้น โดยช่วงไตรมาสแรกของปี 2567 ธุรกิจโลจิสติกส์มีจำนวนนิติบุคคลรวม 42,649 ราย โดยเปิดกิจการใหม่ 321 ราย ลดลงร้อยละ 12.5 และปิดกิจการ 34 ราย ลดลงร้อยละ 17.1 เมื่อเทียบกับช่วงเดียวกับของปีก่อน ธุรกิจโลจิสติกส์หลัก คือ การขนส่งและขนถ่ายสินค้ารวมถึงคนโดยสาร ซึ่งเปิดกิจการใหม่ จำนวน 154 ราย คิดเป็นร้อยละ 48.0 ของกิจการเปิดใหม่ทั้งหมด โดยธุรกิจที่มีสัดส่วนการเปิดกิจการใหม่รองลงมา คือ การขนส่งสินค้าอื่น ๆ ทางถนนและกิจกรรมตัวแทน รับจัดการส่งสินค้าและตัวแทนออกของ ตามลำ ดับ และหากพิจารณาเฉพาะธุรกิจขนส่งทางถนน ในปี 2567-2569 มีแนวโน้มเติบโตเฉลี่ยร้อยละ 2-3 ต่อปี (วิจัยกรุงศรี, 2567) สำหรับบริบทของประเทศไทย ธุรกิจโลจิสติกส์หลายแห่งยังคงใช้วิธีการจัดส่งแบบรายเที่ยวต่อรายลูกค้า โดยไม่ได้คำนวณหรือจัดกลุ่มลูกค้าที่อยู่ในพื้นที่ใกล้เคียงกัน ทำให้เกิดการใช้รถขนส่งมากเกินไป เสียเวลาในการวิ่งซ้ำเส้นทาง และมีพื้นที่บรรทุกว่างในแต่ละเที่ยวจำนวนมาก ปัญหาเหล่านี้ไม่เพียงเพิ่มต้นทุนเชื้อเพลิง แต่ยังทำให้บริษัทไม่สามารถจัดการกำลังคนและเวลาทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ การใช้เทคนิคการประหยัดเส้นทางจึงเป็นแนวทางที่ช่วยให้ธุรกิจสามารถจัดเส้นทางส่งสินค้าได้อย่างเหมาะสมในเที่ยวเดียว โดยลดจำนวนรถที่ใช้ และเพิ่มปริมาณสินค้าที่ส่งได้ต่อเที่ยว

บริษัทกรณีศึกษาเป็นผู้ประกอบการธุรกิจโลจิสติกส์ด้านการบริหารคลังสินค้าและศูนย์กระจายสินค้า และเป็นตัวแทนการนำเข้า-การส่งออก ที่มีสาขาหลัก 3 สาขา ในเขตนิคมอุตสาหกรรม 3 แห่ง ซึ่งเป็นพื้นที่ยุทธศาสตร์ทางเศรษฐกิจของประเทศ ปัญหาหลักที่บริษัทเผชิญคือต้นทุนการขนส่งที่สูง อันเกิดจากการจัดเส้นทางขนส่งแบบรายเที่ยวและการขาดระบบรวมกลุ่มลูกค้าที่อยู่ในพื้นที่ใกล้เคียงกัน ผลลัพธ์คือจำนวนเที่ยวรถที่มากเกินไป การใช้น้ำมันเชื้อเพลิงสูง และการมีพื้นที่บรรทุกว่างในแต่ละเที่ยวจำนวนมาก ปัญหานี้ไม่เพียงเพิ่มภาระต้นทุน แต่ยังลดขีดความสามารถในการแข่งขันของธุรกิจในตลาดโลจิสติกส์ที่มีการแข่งขันสูง ด้วยเหตุนี้ งานวิจัยจึงมีวัตถุประสงค์เพื่อ พัฒนาแนวทางการวางแผนเส้นทางขนส่งสินค้าที่มีประสิทธิภาพสูงสุด โดยใช้เทคนิคการประหยัดเส้นทางเป็นเครื่องมือหลัก เพื่อให้สามารถจัดเส้นทางการส่งสินค้าจากคลังสินค้าไปยังลูกค้าหลายรายได้อย่างเหมาะสมในเที่ยวเดียว ลดระยะทางรวม ลดการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง และลดเวลาในการดำเนินงาน ทั้งนี้การใช้เทคนิคดังกล่าวร่วมกับระบบฐานข้อมูลพิกัดจริงจะช่วยให้บริษัทสามารถคาดการณ์ต้นทุนล่วงหน้า วางแผนรอบการจัดส่งและการจัดเรียงสินค้าได้อย่างเป็นระบบ อีกทั้งได้นำหลักการเข้าหลังออกก่อน (Last In First Out : LIFO) มาใช้ในการจัดเรียงสินค้า เนื่องจากการกำหนดเส้นทางการขนส่ง ทำให้เกิดการรวมกลุ่มของลูกค้าบนรถขนส่งสินค้าหนึ่งคัน ส่งผลให้ต้องมีการจัดเรียงสินค้าเข้ามาเกี่ยวข้องด้วย โดยการจัดเรียงนั้นจะต้องคำนึงถึงลูกค้าแต่ละรายด้วยว่ารายใดจะถูกนำจัดส่งหรือหลัง เพื่อที่จะได้จัดอันดับในการเรียงสินค้าของลูกค้าแต่ละรายได้อย่างเหมาะสม

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1) เพื่อพัฒนากระบวนการวางแผนการขนส่ง กรณีศึกษาผู้ประกอบการโลจิสติกส์
2) เพื่อลดต้นทุนและเพิ่มประสิทธิภาพในการขนส่ง กรณีศึกษาผู้ประกอบการโลจิสติกส์

3. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

3.1 ต้นทุนการดำเนินงานกิจกรรมขนส่ง

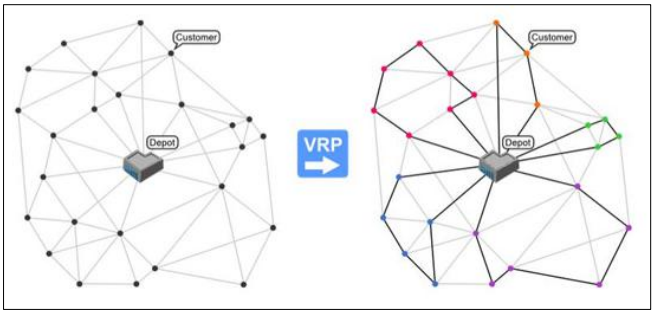
ต้นทุนการดำเนินงานขนส่ง คือ ต้นทุนที่มีค่าใช้จ่ายในการการขนส่ง เช่น ค่าเชื้อเพลิง ค่าเสื่อมสภาพ ของรถ ค่าทางด่วน ค่าซ่อมบำรุงเป็นต้น ต้นทุนการดำเนินงานขนส่ง สามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ดังนี้

ต้นทุนคงที่ (Fixed Cost) หมายถึง ค่าใช้จ่ายที่ไม่เปลี่ยนแปลงตามระดับของการผลิตหรือการให้บริการ ไม่ว่าจะมีการดำเนินงานหรือไม่ก็ตาม ค่าใช้จ่ายประเภทนี้จะเกิดขึ้นในจำนวนที่คงที่อย่างต่อเนื่อง โดยสามารถจำแนกออกเป็น ต้นทุนคงที่รวมของกองยานพาหนะ และ ต้นทุนคงที่เฉพาะต่อคัน ซึ่งเป็นค่าใช้จ่ายที่ต้องรับภาระเท่ากันในทุกช่วงเวลา

ต้นทุนผันแปร (Variable Cost) หมายถึง ค่าใช้จ่ายที่เปลี่ยนแปลงไปตามจำนวนการให้บริการ สามารถแบ่งได้เป็น ต้นทุนผันแปรต่อเที่ยววิ่ง และ ต้นทุนผันแปรต่อระยะทาง ต้นทุนแปรผันนี้ยังขึ้นอยู่กับปัจจัยอื่น ๆ เช่น ลักษณะของเส้นทางที่ใช้ ระยะทาง ลักษณะของสินค้าและบริการที่จะทำการขนส่ง และลักษณะภูมิประเทศที่จะทำการขนส่ง เป็นต้น

3.2 ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่ง (Vehicle Routing Problem : VRP)

ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่ง เป็นปัญหาการจัดเส้นทางรถ การขนส่งจากศูนย์กระจายสินค้าไปยังลูกค้าตามจุดต่างๆแล้ววนกลับมาที่จุดเริ่มต้น กำหนดกลุ่มลูกค้าที่มีเส้นทางใกล้กันเป็นกลุ่มเดียวกัน โดยคำนึงถึงเส้นทางที่สั้นที่สุด อาจมีเงื่อนไขต่างๆของลูกค้า เช่น เวลา ความจุของรถบรรทุก เป็นต้น รูปแบบปัญหา Vehicle Routing Problem (VRP) แสดงดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ปัญหาหารขนส่งแบบ VRP

ปัญหา VRP จากบทความของ Dantzing and Ramser (1959) นั้นได้รับความสนใจเป็นอย่างมากเนื่องจากเป็นปัญหาที่พบได้บ่อยในชีวิตประจำวัน และเป็นปัญหาที่มีความน่าสนใจเชิงทฤษฎีเนื่องจากไม่ง่ายในการที่จะหาคำตอบ จึงทำให้มีนักวิจัยสนใจและพัฒนาวิธีการหาคำตอบต่อๆ กันเรื่อยมา โดยในงานวิจัยของ Larsen (2000) ได้แบ่งปัญหา VRP ออกเป็น 2 กลุ่ม คือ

1. ปัญหาแบบกำหนดแน่นอน (Deterministic VRP) ซึ่งข้อมูลทั้งหมดเป็นที่ทราบล่วงหน้า
2. ปัญหาแบบพลวัต (Dynamic VRP) ซึ่งข้อมูลที่เกี่ยวข้องจะค่อย ๆ ปรากฏขึ้นระหว่างการดำเนินงาน

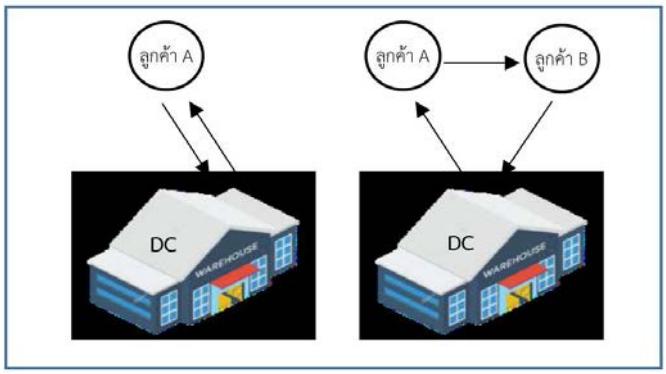
หนึ่งในเทคนิคที่นิยมใช้ในการแก้ปัญหา VRP คือ วิธีเซฟวิ่งอัลกอริทึม (Saving Algorithm) ที่พัฒนาโดย Clarke & Wright (1964) ซึ่งอาศัยแนวคิดการเปรียบเทียบต้นทุนที่สามารถลดลงได้จากการรวมเส้นทางของลูกค้าหลายรายเข้าไว้ด้วยกัน วิธีนี้มีขั้นตอนที่เข้าใจง่าย ไม่ซับซ้อน และมักนำมาใช้ในกรณีศึกษาที่มีขนาดเล็กและขนาดกลาง โดยมุ่งเน้นการจัดเส้นทางให้ยานพาหนะมีระยะทางสั้นที่สุดและมีประสิทธิภาพสูงสุด โดยมีขั้นตอนหลักๆ 4 ขั้นตอน ซึ่ง 3 ขั้นตอนแรกจะเป็นการกำหนดลูกค้าให้กับยานพาหนะและขั้นตอน 4 ใช้ในการกำหนดเส้นทางให้ยานพาหนะแต่ละคัน เพื่อให้เส้นทางในการขนส่งมีระยะที่สั้นที่สุด มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. ระบุเมตริกซ์ระยะทาง (Distance Matrix) เป็นการบ่งชี้ระยะทางระหว่างทุก ๆ คู่ของสถานีที่จะต้องส่งสินค้าและระยะทางที่ใช้ในการประเมินต้นทุนการเดินทางระหว่างสถานที่คู่หนึ่งๆ ระยะทาง Dist (A, B) บนเส้นทางเดินรถระหว่างจุด A ซึ่งมีพิกัด (X_A , Y_A) และจุด B ซึ่งมีพิกัด (X_B , Y_B) สามารถหาได้จากสมการที่ 1 ซึ่งในปัจจุบันสามารถประยุกต์ใช้แอพพลิเคชั่นสำหรับการระบุระยะทางได้

$$\text{Dist (A,B)} = \sqrt{(X_A - X_B)^2 + (Y_A - Y_B)^2} \qquad (1)$$

2. ระบุเมตริกซ์การประหยัด (Saving Matrix) เป็นการแทนที่การประหยัดที่เกิดจากการรวมลูกค้าสองรายในรถบรรทุกคันเดียว การประหยัดอาจสามารถประมาณให้อยู่ในรูปแบบของระยะทาง เวลา หรือเงิน การประหยัดนี้สามารถแสดงดังรูปที่ 2 และคำนวณได้จากสมการที่ 2

$$S(x , y) = \text{Dist (DC , A)} + \text{Dist (DC , B)} - \text{Dist (A , B)} \qquad (2)$$



รูปที่ 2 แบบจำลองการประหยัดการขนส่งสินค้า 1 เที่ยวต่อ 1 ลูกค้า

3. การกำหนดลูกค้าให้กับรถบรรทุกหรือเส้นทาง เริ่มจากลูกค้าแต่ละรายจะถูกกำหนดให้อยู่ในเส้นทางที่แยกจากกัน หลังจากนั้นจะพยายามรวมสองเส้นทางใด ๆ เข้าด้วยกันเป็นเส้นทางเดียวที่เป็นไปได้ หรือรวมกันให้เป็นเที่ยว ถ้าการส่งสินค้าของทั้งสองเส้นทางไม่เกินความสามารถของรถบรรทุกในการกำหนดครั้งนี้ จะทำการรวมเส้นทางให้เกิดการประหยัดที่สุดเพื่อสร้างเส้นทางที่เป็นไปได้เป็นเส้นทางใหม่

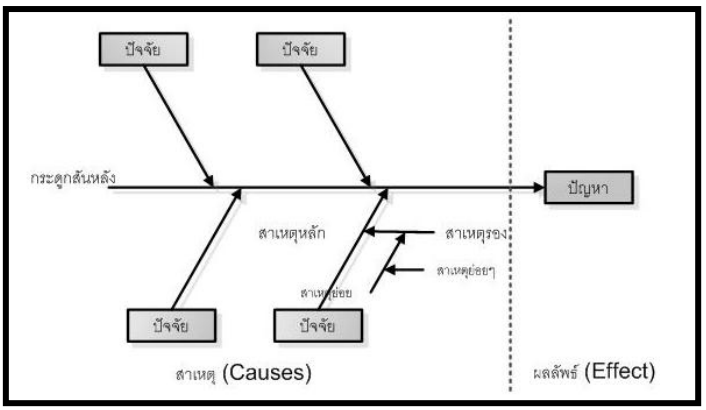
4. ลำดับของลูกค้าในแต่ละเส้นทาง ในการจัดลำดับลูกค้าในแต่ละเส้นทาง เป้าหมายคือเพื่อลดระยะทางที่รถบรรทุกแต่ละคันต้องเดินทาง การเปลี่ยนลำดับของการขนส่งสินค้านั้นจะมีผลกระทบต่อเส้นทางที่รถบรรทุกจะต้องเดินทางอย่างมาก สามารถใช้การจัดลำดับเส้นทางเพื่อให้ได้เส้นทางประหยัดที่สุด โดยกระบวนการจัดเส้นทางนี้คือ กระบวนการกวาด (Sweep) ขั้นตอนการกวาดนี้ จุดใด ๆ ในเส้นทางจะถูกเลือกและกวาดไปตามเข็มนาฬิกาหรือทวนเข็มนาฬิกา

3.3 แนวคิดการเข้าหลังออกก่อน (Last In First Out : LIFO)

หลักการเข้าหลังออกก่อน หรือ Last In First Out (LIFO) หมายถึงแนวทางการจัดการสินค้าคงคลังที่สินค้าที่เข้ามาทีหลังจะถูกจ่ายออกก่อน ตัวอย่างเช่น วัตถุดิบในการผลิตหรือสินค้าที่มีอายุการใช้งานจำกัด ระบบคลังสินค้าที่ใช้แนวคิดนี้มักออกแบบให้จุดรับเข้าและจ่ายออกอยู่บริเวณเดียวกัน เพื่อลดระยะทางในการเคลื่อนย้ายสินค้า ช่วยให้การปฏิบัติงานง่ายขึ้น เข้าใจไม่ยาก และเพิ่มประสิทธิภาพของการจัดเก็บและเบิกจ่ายสินค้า

3.4 แผนภาพแสดงเหตุและผล (Cause and effect diagram)

แผนภาพสาเหตุและผลลัพธ์ หรือที่รู้จักกันว่า ผังก้างปลา (Fishbone Diagram) เป็นเครื่องมือวิเคราะห์ที่แสดงความเชื่อมโยงระหว่างคุณลักษณะของคุณภาพกับปัจจัยที่เป็นต้นเหตุของปัญหานั้นตามนิยามของญี่ปุ่น ผังนี้ช่วยให้สามารถมองเห็นความสัมพันธ์เชิงเหตุผลของปัจจัยต่าง ๆ ที่นำไปสู่ผลลัพธ์สุดท้ายได้อย่างชัดเจน โดยมักใช้ในการระดมความคิดของกลุ่มควบคุมคุณภาพ (Quality Control Circle) เพื่อค้นหาสาเหตุที่แท้จริงของปัญหา โครงสร้างของผังประกอบด้วยส่วนโครงกระดูกปลา ซึ่งแสดงสาเหตุย่อย และส่วนหัวปลา ซึ่งเป็นผลหรือปัญหาหลักที่ต้องการวิเคราะห์ โดยทั่วไปหัวปลาจะอยู่ทางขวามือ ส่วนหางปลาอยู่ทางซ้ายมือ ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 โครงสร้างแผนภาพแสดงเหตุและผล

3.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การจัดเส้นทางการขนส่ง (Vehicle Routing Problem: VRP) เป็นเทคนิคสำคัญที่อยู่เบื้องหลังการบริหารจัดการโลจิสติกส์ในทุกระดับ ตั้งแต่การขนส่งสินค้าระหว่างคลังไปยังผู้ค้าปลีก จนถึงการกระจายสินค้าสู่ผู้บริโภคขั้นสุดท้าย แนวทางแก้ไข VRP ที่ได้รับความนิยมสูงและสามารถประยุกต์ใช้ได้จริง คือ วิธีเซฟวิ่งอัลกอริทึม หรือ Clarke–Wright Saving Matrix ซึ่งมุ่งลดระยะทางรวมและต้นทุนขนส่งโดยการคำนวณค่าการประหยัดระหว่างคู่จุดส่ง เพื่อจัดลำดับการรวมเส้นทางอย่างมีประสิทธิภาพ วิธีนี้ได้รับการยอมรับในฐานะอัลกอริทึมที่ให้คำตอบรวดเร็วและมีความยืดหยุ่นสูง จึงเป็นรากฐานของการพัฒนาแนวทาง VRP เชิงปฏิบัติจำนวนมากทั้งในและต่างประเทศ (Clark & Wright,1964) เทคนิคนี้กลายเป็นแกนกลางของการพัฒนาแนวทางแก้ปัญหา VRP ทั้งในงานวิจัยเชิงทฤษฎีและการประยุกต์ใช้งานจริง (กวี ศรีเมือง, 2550; ชินภัทร อ่อนฉิม, 2555) โดยลักษณะเด่นคือการคำนวณค่าการประหยัดระหว่างคู่จุดส่งแล้วนำค่าดังกล่าวมาเรียงลำดับเพื่อตัดสินใจรวมเส้นทางอย่างมีระบบ (ทิพย์สุดา กุมผัน, ธัญญาเรศ ศรียงยศ, อริสา บุญหวาน และ อุบลวรรณ จันทร์เต็ม, 2566) ซึ่งช่วยลดระยะทางรวมและต้นทุนเชื้อเพลิงอย่างชัดเจน (อุษา สถิตมั่น, เป็นหนึ่ง บัวเทศ, ศศิธร สามนคร และ หทัยรัตน์ รอดเงิน, 2566)

วิวัฒนาการของการประยุกต์ใช้วิธีเซฟวิ่งอัลกอริทึมในประเทศไทยสะท้อนพัฒนาการจากการแก้ปัญหาเชิงปริมาณพื้นฐานสู่การเชื่อมโยงกับข้อมูลจริงและระบบสารสนเทศ เริ่มจากงานศึกษาที่มุ่งหาจำนวนรถที่เหมาะสมในธุรกิจค้าปลีก (กวี ศรีเมือง, 2550) และการประยุกต์กับระบบของผู้ค้ารายใหญ่ซึ่งเน้นการปรับปรุงเวลาและความต่อเนื่องของการส่งสินค้า ชี้ให้เห็นว่าการออกแบบลำดับการรวมเส้นทางตามค่าการประหยัด สามารถลดเที่ยวรถได้ถึงร้อยละ 40 (ชินภัทร อ่อนฉิม, 2555) งานเหล่านี้ชี้ให้เห็นว่าการออกแบบเส้นทางตั้งต้นด้วยหลักการ saving ช่วยลดความซับซ้อนของปัญหาและลดทรัพยากรที่ต้องใช้ในขั้นปฏิบัติ ในระดับผู้ประกอบการขนาดกลางและเล็ก มีปรากฏให้เห็นว่าเมื่อนำวิธีเซฟวิ่งอัลกอริทึมมาจัดกลุ่มลูกค้าตามโซนแล้วประมวลผลด้วยปัญหาพนักงานขายเดินทาง (Traveling Salesman Problem: TSP) ในแต่ละโซน จะได้ผลลัพธ์ที่สมดุลระหว่างประสิทธิผลและเวลาในการคำนวณ กล่าวคือ TSP อาจให้เส้นทางย่อยที่สั้นกว่าเล็กน้อย แต่การใช้ saving เป็นขั้นตอนเตรียมข้อมูลช่วยลดขนาดปัญหาและทำให้การแก้ปัญหาโดยเครื่องมือเชิงเส้นหรือ Solver ธรรมดาเป็นไปได้จริงในบริบทหน้างาน (นคร ไชยวงศักดา และคณะ, 2558) ในลักษณะเดียวกันพบว่าการประยุกต์วิธีนี้กับบริษัทจำหน่ายอุปกรณ์ประดับยนต์ ช่วยให้เกิดการถัวเฉลี่ยระหว่างต้นทุนเชื้อเพลิงและเวลาการจัดส่ง ทำให้ผู้ประกอบการสามารถบริหารเส้นทางได้อย่างมีประสิทธิผล (ศิวพร สุกสี และ ธาริณี มีเจริญ, 2562) อย่างไรก็ดีแม้ว่าวิธีเซฟวิ่งอัลกอริทึมจะให้ความรวดเร็วและความยืดหยุ่น แต่ในบางกรณีปัญหาพนักงานขายเดินทาง ยังคงให้ระยะทางรวมที่สั้นกว่าและต้นทุนต่ำกว่าเมื่อพิจารณาเพียงมิติระยะทางเท่านั้น (ศิรดา หัสนันท์, สุริยันต์ จอมธนชัย, ธัญดา แสงวิไล และ วชิราภรณ์ จันทร์โพธนุกุล, 2563) ข้อ

ค้นพบนี้ชี้ว่าวิธีเซฟวิ่งอัลกอริทึมเหมาะเป็นเครื่องมือเริ่มต้น ซึ่งต่อยอดด้วยกระบวนการค้นหาเฉพาะที่ (Local search) หรือเมตาฮิวริสติก (Meta Heuristic Method) เพื่อในการใช้งานจริง งานวิจัยที่เน้นสินค้าที่ต้องควบคุมความสดหรือเงื่อนไขพิเศษเสริมความมั่นใจในศักยภาพของวิธีนี้ได้เป็นอย่างดี โดยมีการศึกษาการขนส่งปลาดุกภายใต้ข้อจำกัดความจุรถ พบว่าสามารถลดระยะทางรวมจาก 203 กิโลเมตรเหลือ 183 กิโลเมตร คิดเป็นการลดร้อยละ 9.9 และลดต้นทุนน้ำมันเชื้อเพลิงตามไปด้วย (ณัฐวุฒิ พลศรี, กนกกาญจน์ จิรศิริเลิศ และ ธาริณี มีเจริญ, 2564) ผลนี้สนับสนุนมุมมองที่ว่าแม้ข้อจำกัดด้านเวลาและการเก็บรักษาจะเพิ่มความซับซ้อน แต่การปรับใช้เมตริกซ์การประหยัดอย่างรอบคอบยังคงให้ประโยชน์เชิงปฏิบัติที่จับต้องได้

ในบริบทสากล แนวทางเมตริกซ์การประหยัดถูกพัฒนาให้สอดรับกับเทคโนโลยีสมัยใหม่และปัญหาที่เพิ่มความซับซ้อนขึ้น เช่น การผสม VRP กับการรับและส่งพร้อมกัน (Vehicle Routing Problem with Simultaneous Pickup and Delivery : VRPSPD) หรือการรวมข้อมูล IoT/GPS เพื่อยกระดับความแม่นยำของเมทริกซ์ระยะทาง โดยมีการนำเสนอการพัฒนาแบบจำลอง VRP สำหรับการขนส่งอาหารสดที่ต้องควบคุมอุณหภูมิ พบว่าการใช้วิธีเซฟวิ่งอัลกอริทึมสามารถลดทั้งระยะทาง ต้นทุน และการปล่อยมลพิษได้พร้อมกันอย่างมีนัยสำคัญ (Stellingwerf, Laporte, Kanellopoulos, Bloemhof, & Behdani, 2021) หรือ การนำเมตริกซ์การประหยัดมาประยุกต์ร่วมกับระบบโลจิสติกส์อัจฉริยะ (Smart Logistics) ที่ใช้ข้อมูลจาก IoT และระบบ GPS เพื่อปรับปรุงความแม่นยำในการคำนวณระยะทางและเวลาเดินรถ ทำให้สามารถลดต้นทุนรวมได้ในระดับโครงสร้างสำหรับการกระจายสินค้าไปยังกลุ่มร้านค้าปลีกต่าง ๆ (Cortes & Suzuki, 2020) หรือ การประยุกต์เชิงคณิตศาสตร์ที่ผสานวิธีเซฟวิ่งอัลกอริทึมกับกรอบ VRPSPD ส่งผลให้ระยะทางในการกระจายก๊าซ LPG ลดลงถึงร้อยละ 20.03 (Tunnisaki & Sutarman, 2023) ในบริบทปัจจุบันของประเทศไทยช่วงหลังมานี้ยังมีงานวิจัยที่ตอกย้ำบทบาทของวิธีนี้ในระดับปฏิบัติจริง อาทิงานวิจัยที่พัฒนาระบบวางแผนการขนส่งสินค้าด้วยวิธีเซฟวิ่งอัลกอริทึม ร่วมกับฐานข้อมูลพิกัดจาก Google Maps ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าระยะทางลดลงร้อยละ 13.60 ค่าใช้จ่ายลดลงร้อยละ 34.65 และเวลาเฉลี่ยในการทำงานลดลงถึงร้อยละ 78 (อุษา สถิตมั่น และคณะ, 2566) และงานวิจัยที่ศึกษาการขนส่งน้ำดื่มชุมชน พบว่าการประยุกต์ใช้วิธีเซฟวิ่งอัลกอริทึมสามารถลดระยะทางได้ร้อยละ 11.88 และลดต้นทุนเชื้อเพลิงได้เฉลี่ย 1,438 บาทต่อเดือน (ทิพย์สุดา กุมผัน และคณะ, 2566) ซึ่งเป็นผลลัพธ์ที่สะท้อนถึงความเหมาะสมของวิธีนี้ในการประยุกต์กับธุรกิจขนาดย่อมและการบริหารจัดการในพื้นที่จริง โดยการนำข้อมูลจริงและระบบสารสนเทศมาสนับสนุนการคำนวณเมตริกซ์การประหยัดทำให้ผลลัพธ์มีความใกล้เคียงกับความต้องการเชิงปฏิบัติมากขึ้นและลดภาระแรงงานที่ต้องอาศัยประสบการณ์เป็นหลัก

นอกจากนี้ยังปรากฏตัวอย่างงานวิจัยการประยุกต์ใช้ LIFO เช่น การใช้บรรจุภัณฑ์แบบย้อนกลับเพื่อช่วยลดต้นทุนในการขนส่ง สำหรับกระบวนการบรรทุกสินค้าของเรือที่เดินทางจากกรุงเทพฯ ไปยังสิงคโปร์และต่อไปยังจาการ์ตา ก่อนกลับมาที่ประเทศไทย ในกรณีนี้ สินค้าที่จะขนถ่ายที่สิงคโปร์ต้องจัดวางให้อยู่ด้านบนของสินค้าทั้งหมด เพื่อให้สามารถขนถ่ายได้โดยไม่ต้องรบกวนสินค้าของจาการ์ตา ดังนั้นสินค้าของจาการ์ต้าจึงต้องถูกบรรทุกก่อน และสินค้าของสิงคโปร์บรรทุกทีหลัง (กนกวรรณ สกุลทรงเดช, 2559) และยังมีงานวิจัยที่เสนอแนะว่าการจัดลำดับสินค้าขึ้นลงด้วยรูปแบบการหยิบสินค้าแบบเข้าหลังออกก่อน ควบคู่กับหลักการ VRP จะสามารถลดเวลาการค้นหาสินค้าและเวลาส่งสินค้าได้มากขึ้น (วราพรรณ นาวารักษ์, 2566)

4. วิธีดำเนินการวิจัย

4.1 ศึกษาข้อมูลบริษัทกรณีศึกษา

4.1.1 ข้อมูลบริษัทและลูกค้า

บริษัทกรณีศึกษาเป็นผู้ประกอบการธุรกิจโลจิสติกส์ด้านการบริหารคลังสินค้าและศูนย์กระจายสินค้า และเป็นตัวแทนการนำเข้า-การส่งออก ที่มีสาขาหลัก 3 สาขา ในเขตนิคมอุตสาหกรรม 3 แห่ง โดยงานวิจัยนี้มุ่งเน้นดำเนินการกับ 1

สาขา เพื่อเป็นการนำร่อง ซึ่งสาขานี้ทำการจัดเก็บสินค้าประเภทชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ และพิจารณาจากลูกค้าหลัก 1 ราย ที่ต้องทำการกระจายสินค้าไปยังลูกค้ารายย่อยทั้งหมด 22 ราย

4.1.2 ข้อมูลรถขนส่ง

ในการขนส่งสินค้าไปให้ลูกค้าทางบริษัทจะจัดจ้างรถขนส่งสินค้ามาจากบริษัทเอาท์ซอร์ส โดยทางบริษัทเอาท์ซอร์สจะมีรถพร้อมให้บริการเพียงพอต่อความต้องการของทางบริษัทอยู่เสมอ ในส่วนการคิดต้นทุนการขนส่งของบริษัทเอาท์ซอร์สจะคิดค่าขนส่งเป็นเที่ยวรวมกับระยะทางที่ไกลที่สุดตามสัญญาที่ตกลงกันไว้ ซึ่งในการขนส่งสินค้าจะเลือกใช้เพียงแค่รถกระบะ 4 ล้อเท่านั้น ในการการกระจายสินค้า ซึ่งรถจะสามารถมีน้ำหนักบรรทุกรวมสูงสุดได้ 2.5 ตัน โดยถ้าเป็นตัวรถเปล่าจะหนัก 1.5 ตัน จึงทำให้เหลือน้ำหนักที่สามารถใช้ในการขนสินค้าได้อีก 1 ตัน

4.1.3 กระบวนการทำงานในปัจจุบัน

บริษัทกรณีศึกษามีการบริหารงานคลังสินค้าด้วยตัวเอง ซึ่งได้ใช้ระบบ WMS (Warehouse Management System) มาช่วยในการบริหารคลังสินค้า แต่ในส่วนของการขนส่งสินค้านั้นได้ทำการจัดจ้างบริษัทเอาท์ซอร์สมาทำการขนส่งให้ โดยมีขั้นตอนการดำเนินงานดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 พนักงานบริษัททำการรับใบสั่งซื้อของลูกค้าผ่านทาง E-Mail จากนั้นพิมพ์ (print) ใบสั่งซื้อออกมาก่อนเพื่อทำการตรวจสอบสินค้าในสต๊อกผ่านทางเอกสาร ซึ่งนำข้อมูลส่วนนี้ออกมาจากระบบ WMS

ขั้นตอนที่ 2 หลังจากตรวจสอบข้อมูลในระบบเสร็จเรียบร้อยแล้ว พนักงานจะทำการจัดสินค้าตามใบสั่งซื้อของลูกค้า

ขั้นตอนที่ 3 ตรวจสอบสินค้าที่ได้ทำการจัดเสร็จแล้วว่าครบถ้วนและตรงตามใบสั่งซื้อหรือไม่ ด้วยการใช้ RF Scan ในการยิงบาร์โค้ดที่ตัวสินค้า ซึ่งเป็นการตัดรายการสินค้าออกจากในระบบอีกด้วยว่าได้ถูกนำไปรอจ่ายแล้ว

ขั้นตอนที่ 4 พนักงานทำการโทรจองรถขนส่งสินค้าจากบริษัทเอาท์ซอร์ส โดยทำการโทรจองล่วงหน้าหนึ่งวันก่อนวันจัดส่ง ซึ่งรถหนึ่งคันจะใช้สำหรับจัดส่งสินค้าให้ลูกค้าเพียงรายเดียว

ขั้นตอนที่ 5 เมื่อถึงกำหนดวันส่งสินค้า รถที่จัดจ้างไว้จากบริษัทเอาท์ซอร์สจะมารอรับสินค้าที่บริษัท ซึ่งพนักงานขับรถของบริษัทเอาท์ซอร์สจะเป็นผู้จัดเรียงสินค้าขึ้นบนรถขนส่งสินค้า

ขั้นตอนที่ 6 ทำการจัดส่งสินค้าไปให้ลูกค้า

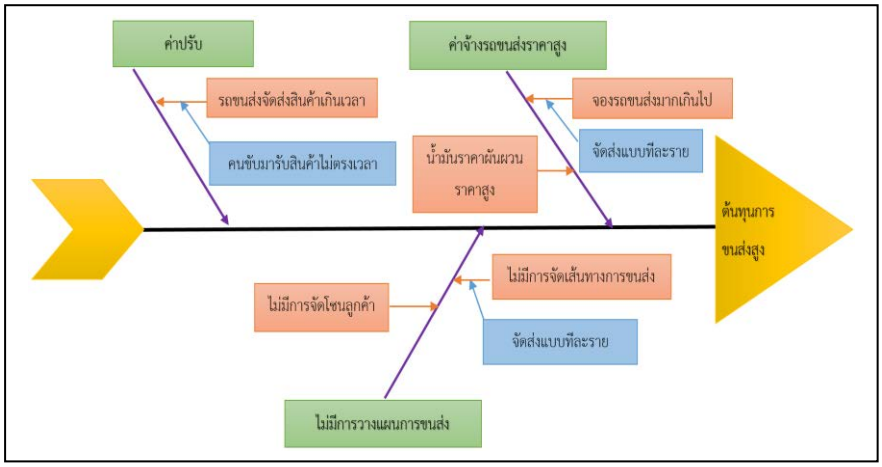
4.2 วิเคราะห์สาเหตุของปัญหา

ปัจจุบันบริษัทกรณีศึกษามีต้นทุนการขนส่งที่สูง เป็นผลมาจากขั้นตอนในการทำงานที่ขาดการวางแผน โดยส่วนใหญ่จะเป็นขั้นตอนด้านการขนส่งที่ไม่มีการจัดโซนลูกค้ารวมไปถึงการจัดเส้นทางการขนส่งที่ไม่เป็นระบบ มีการจัดส่งให้ลูกค้าแบบทีละราย จึงทำให้เกิดการจัดจ้างรถขนส่งสินค้ามากเกินไป ส่งผลให้ต้นทุนในด้านการขนส่งสูง โดยข้อมูลจำนวนเที่ยวรถการขนส่ง ระยะทาง และต้นทุนการขนส่ง ย้อนหลัง 4 เดือน แสดงดังตารางที่ 1 จึงนำมาทำการวิเคราะห์เพื่อหาสาเหตุของปัญหาด้วยแผนภาพสาเหตุและผล (Cause and Effect Diagram) แสดงดังรูปที่ 4

ตารางที่ 1 จำนวนเที่ยวรถการขนส่ง ระยะทาง และต้นทุนการขนส่ง

เดือน	จำนวนเที่ยวรถการขนส่ง (เที่ยว)	ระยะทาง (กิโลเมตร)	ต้นทุนการขนส่ง (บาท)
1	85	5,469	160,000
2	98	7,351	185,000
3	76	5,296	140,000
4	89	5,127	165,000
รวม	**348**	**23,243**	**650,000**

เฉลี่ยต่อเดือน	87	5,810.75	162,500



รูปที่ 4 แผนภาพสาเหตุและผล

จากรูปที่ 4 สามารถวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาได้ดังนี้

สาเหตุที่ 1 : ไม่มีการวางแผนการขนส่ง เนื่องจากบริษัทไม่มีการจัดโซนลูกค้าเพื่อรวมกลุ่มในการขนส่ง อีกทั้งไม่มีการจัดเส้นทางการขนส่งเนื่องจากแบบดั้งเดิมเป็นลักษณะการจัดส่งแบบทีละราย

สาเหตุที่ 2 : เกิดค่าปรับในการขนส่งจากการที่รถขนส่งจัดส่งสินค้าเกินเวลา เนื่องจากคนขับรถมารับสินค้าไม่ตรงเวลาทำให้การจัดส่งล่าช้ากว่ากำหนด

สาเหตุที่ 3 : ค่าจ้างรถขนส่งราคาสูง เนื่องจากราคาน้ำมันผันผวนมีความแน่นอนและแนวโน้มมีราคาสูงขึ้น รวมถึงการจองรถขนส่งมากเกินไปจากการจัดส่งแบบทีละราย ส่งผลให้ต้นทุนในการจ้างรถเพิ่มสูงขึ้น

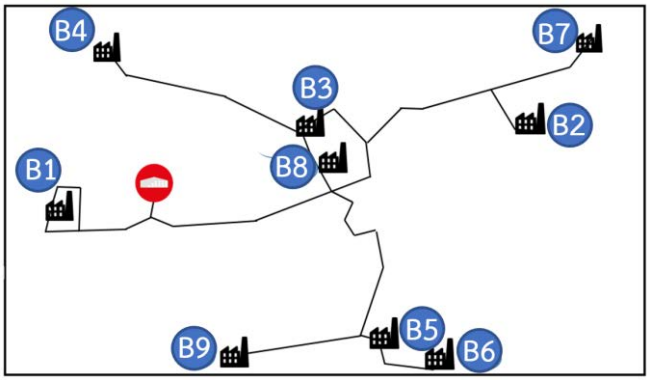
โดยในงานวิจัยนี้จะมุ่งเน้นแก้ปัญหาโดยพิจารณาจากสาเหตุเรื่องของการไม่มีการวางแผนการขนส่ง เนื่องจากเป็นสาเหตุทางระบบการจัดการที่สามารถปรับปรุงได้

4.3 การดำเนินการปรับปรุง

จากปัญหาข้างต้นได้กำหนดแนวทางในการปรับปรุงการวางแผนการขนส่งโดยเริ่มจากการแบ่งโซน จากนั้นทำการจัดเส้นทางการขนส่ง โดยจะรวมกลุ่มลูกค้าเอาไว้ด้วยกันและจัดเรียงสินค้า

4.3.1 การจัดโซนลูกค้า

ก่อนเริ่มทำการจัดเส้นทางนั้น เนื่องจากมีลูกค้าเป็นจำนวนมากทำให้ต้องทำการแบ่งโซน ซึ่งในการกำหนดโซนลูกค้าว่าจะอยู่โซนใดนั้นจะพิจารณาตามระยะทางของกลุ่มลูกค้า โดยสิ่งสำคัญที่ต้องพิจารณา คือ การใช้รถขนส่งจำนวนน้อยที่สุด ซึ่งรถขนส่งแต่ละคันควรวิ่งไปส่งสินค้าให้ลูกค้าจำนวนมากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ในแต่ละวัน ดังนั้นควรจัดให้ลูกค้าเกาะกลุ่มอยู่ใกล้ ๆ กัน จะทำให้โอกาสที่รถจะวิ่งส่งสินค้าได้หลาย ๆ แห่งในเส้นทางเดียวกันก็จะเป็นไปได้มากขึ้น โดยแบ่งออกเป็น 3 โซน ได้แก่ ภาคกลาง ภาคตะวันออก และภาคตะวันออกเฉียงเหนือ แสดงตัวอย่างโซนภาคตะวันออกดังรูปที่ 5 อย่างไรก็ตามมีข้อจำกัดของลูกค้าบางรายที่ไม่สามารถไปรถคันเดียวกันได้ แสดงดังตารางที่ 2 อีกทั้งหากในโซนเดียวกันเส้นทางและปริมาณการขนส่งยังไม่เต็มความสามารถของการบรรทุกสินค้าสามารถจัดข้ามโซนที่ใกล้เคียงได้



รูปที่ 5 กลุ่มลูกค้าโซนภาคตะวันออก

ตารางที่ 2 โซนลูกค้า รหัสลูกค้า ข้อจำกัดการจัดเส้นทาง

โซน	ลูกค้าที่สามารถไปด้วยกันได้	ลูกค้าที่ไม่สามารถไปด้วยกันได้	หมายเหตุ
ภาคกลาง	A1-A7	D1- D4	D1-D4 เป็นลูกค้าในเขตฟรีเทรดโซน ซึ่งมิให้นำสินค้าอื่นเข้ามาปน จึงต้องทำการจัดส่งทีละราย
ภาคตะวันออก	B1, B3-B9	B2	B2 มีข้อจำกัดว่าสินค้านั้นห้ามวางทับกัน จึงทำให้ต้องแยกจัดส่งทีละราย
ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	C1-C2	-	-

4.3.2 การจัดเส้นทางการขนส่ง

ในการกำหนดเส้นทางจะใช้การแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่ง (VRP) ด้วยวิธีเซฟวิ่งอัลกอริทึม ประกอบด้วยขั้นตอนการหาคำตอบ 4 ขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 จัดทำเมตริกซ์ระยะทาง โดยหาระยะทางมาจากแอปพลิเคชั่น Google maps

ขั้นตอนที่ 2 จัดทำเมตริกซ์การประหยัด ของแต่ละโซน

ขั้นตอนที่ 3 กำหนดลูกค้าให้กับยานพาหนะและเส้นทาง เพื่อกำหนดลูกค้ากับรถบรรทุกหรือเส้นทาง โดยการรวมเส้นทางใด ๆ เข้าด้วยกันเป็นเส้นทางเดียวที่เป็นไปได้ถ้าการส่งสินค้าของเส้นทางไม่เกินความสามารถของรถบรรทุก

ขั้นตอนที่ 4 จัดลำดับลูกค้าในเส้นทาง โดยใช้วิธีการกวาด (Sweep) โดยจุดใด ๆ ในเส้นทางจะถูกเลือก และกวาดไปตามทางเข็มนาฬิกาหรือทวนเข็มนาฬิกา

การดำเนินการกำหนดเส้นทางทั้ง 4 ขั้นตอนดังกล่าวข้างต้น จะพิจารณาตามรายชื่อของลูกค้าที่รับออเดอร์มาในแต่ละวัน แสดงตัวอย่างดังต่อไปนี้

รายชื่อลูกค้าทั้งหมดของวันที่ 1 แสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 รายชื่อลูกค้าทั้งหมด

ลูกค้า	จำนวนกล่อง	น้ำหนัก (กิโลกรัม)
A1	8	64.0
B1	5	22.5

B4	12	126.0
B5	36	309.6
B6	27	283.5
B7	75	337.5
C1	17	144.5
C2	55	577.5

ขั้นตอนที่ 1: จัดทำเมตริกซ์ระยะทาง โซนภาคตะวันออก แสดงดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 เมตริกซ์ระยะทาง โซนภาคตะวันออก

	DC	B5	B7	B6	B4	B1
B5	111	0				
B7	100	37	0			
B6	113	9	34	0		
B4	28	112	97	109	0	
B1	26	89	73	94	40	0

ขั้นตอนที่ 2: จัดทำเมตริกซ์การประหยัด โซนที่ 1 ตามสมการที่ 2 แสดงตัวอย่างการคำนวณดังข้างล่างนี้ และผลลัพธ์ที่ได้แสดงดังตารางที่ 5

S(x , y) = Dist (DC, x) + Dist (DC, y) - Dist (x , y) สามารถคำนวณได้ดังนี้

S(B5, B7) = Dist (DC, B5) + Dist (DC, B7) - Dist (B5 , B7)

=111+100-37 = 174 กิโลเมตร

ตารางที่ 5 เมตริกซ์การประหยัด โซนภาคตะวันออก

	B5	B7	B6	B4	B1
B5	0				
B7	174	0			
B6	215	179	0		
B4	27	31	32	0	
B1	48	53	32	99	0

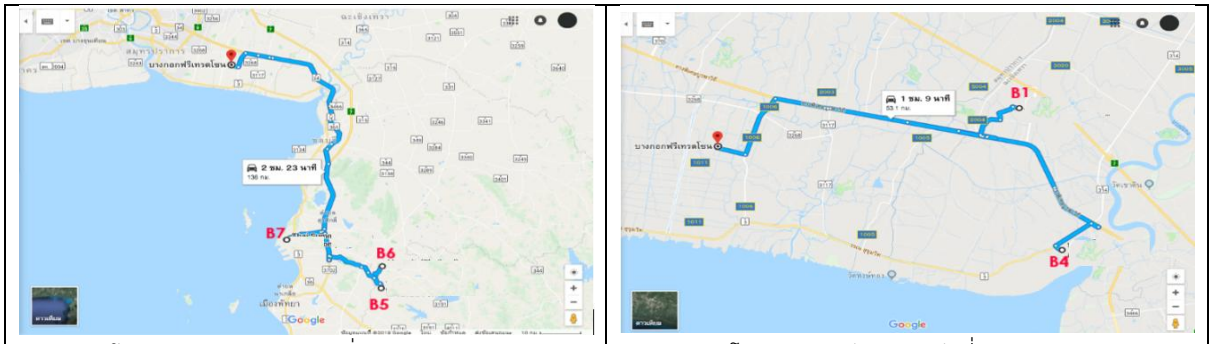
ขั้นตอนที่ 3: กำหนดลูกค้าให้กับยานพาหนะและเส้นทาง ในการที่จะรวมลูกค้าเข้าด้วยกันได้นั้นจะต้องคำนึงถึงน้ำหนักของสินค้าทั้งหมดของลูกค้าแต่ละราย หากว่าบรรทุกรวมกันแล้วจะต้องไม่เกินขีดความสามารถบรรทุกของรถขนส่ง ซึ่งน้ำหนัก

สินค้าที่บรรทุกจะต้องไม่เกิน 1,000 กิโลกรัม โดยเริ่มจากการดูค่าการประหยัด ดังตารางที่ 5 ที่มีค่ามากที่สุดก่อน และทำวนซ้ำ แสดงตัวอย่างการคำนวณดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ขั้นตอนกำหนดลูกค้าให้กับยานพาหนะและเส้นทาง

1) การประหยัดสูงสุดคือ 215 - ลูกค้า B5 และ B6 - น้ำหนักบรรทุกรวมคือ 309.6 + 283.5 = 593.1 (<1000) - ลูกค้า B5 และ B6 รวมกันได้ (B5-B6) คันที่ 1	2) การประหยัดสูงสุดคือ 179 - ลูกค้า B6 และ B7 - น้ำหนักบรรทุกรวมคือ 593.1 + 337.5 = 930.6 (<1000) - ลูกค้า B5 และ B6 รวมกันได้ (B5-B6-B7) คันที่ 1
3) การประหยัดสูงสุดคือ 174 - ลูกค้า B5 และ B7 (ไม่พิจารณา เพราะรวมอยู่ในเส้นทางที่ B5-B6-B7 ไปแล้ว)	4) การประหยัดสูงสุดคือ 99 - ลูกค้า B1 และ B4 - น้ำหนักบรรทุกรวมคือ 22.5+ 126.0 = 148.5 (<1000) - ลูกค้า B1 และ B4 รวมกันได้ (B1-B4) คันที่ 2 (เพราะถ้ารวมในคันที่ 1 น้ำหนักบรรทุกรวมจะเกิน
สรุปได้ดังนี้ คันที่ 1 : เส้นทาง DC-B5-B6-B7-DC น้ำหนักบรรทุกรวม = 309.6+283.5+337.5 = 930.6 กิโลกรัม คันที่ 2 : เส้นทาง DC-B4-B1-DC น้ำหนักบรรทุกรวม = 126+22.5 = 148.5 กิโลกรัม	

ขั้นตอนที่ 4: จัดลำดับลูกค้าในเส้นทาง โดยใช้วิธีการกวาด (Sweep) จุดใด ๆ ในเส้นทางจะถูกเลือกและกวาดไปตามเข็มนาฬิกาหรือทวนเข็มนาฬิกา แสดงดังรูปที่ 6



โซนภาคตะวันออก คันที่ 1 : B6-B5-B7 | โซนภาคตะวันออก คันที่ 2 : B1-B4

รูปที่ 6 การ Sweep เพื่อจัดลำดับลูกค้าโซนที่ 1 คันที่ 1 : DC-B6-B5-B7-DC

4.3.3 การจัดเรียงสินค้า

จากการกำหนดเส้นทางการขนส่ง จึงทำให้เกิดการรวมกลุ่มของลูกค้าบนรถขนส่งสินค้าหนึ่งคัน ส่งผลให้ต้องมีการจัดเรียงสินค้าเข้ามาเกี่ยวข้องด้วย โดยการจัดเรียงนั้นจะต้องคำนึงถึงลูกค้าแต่ละรายด้วยว่ารายใดจะถูกนำจัดส่งก่อนหรือหลัง เพื่อการจัดเรียงสินค้าของลูกค้าแต่ละรายได้อย่างมีระบบ จึงได้นำหลักการเข้าก่อนออกก่อนมาประยุกต์ใช้ โดยจัดเรียงลูกค้าที่อยู่ไกลขึ้นไปก่อน ส่วนลูกค้าที่อยู่ใกล้ก็จะเรียงถัดกันมาตามลำดับ ในส่วนของการแบ่งแยกสินค้าของลูกค้าแต่ละรายออกจากกันนั้นจะมีการนำกระดาษลูกฟูกแผ่นใหญ่มาใช้กั้นไว้ระหว่างลูกค้า แต่ในลูกค้าบางรายก็จะทำการซีลกล่องไว้บนพาเลทจึงทำให้แยกได้ง่ายและสะดวกต่อการขนลง แสดงดังรูปที่ 7 อีกหนึ่งเหตุผลสำคัญที่ทำให้ต้องมีการจัดเรียงสินค้าคือเพื่อช่วยลดระยะเวลาขณะทำการจัดส่งได้ เนื่องจากหากไม่มีการจัดเรียงแบ่งแยกลูกค้าใด ๆ ก็อาจจะเกิดการจัดส่งที่ล่าช้าได้ เพราะต้อง

มาคอยหาว่าสินค้านั้นจัดวางไว้ตำแหน่งไหน ซึ่งทำให้ไปส่งสินค้ารายต่อ ๆ ไปได้ช้าเกินเวลาที่กำหนด ส่งผลให้ต้นทุนการขนส่งสูงขึ้น เนื่องจากทางลูกค้าจะการคิดค่าปรับกับทางบริษัทเพิ่มเติม

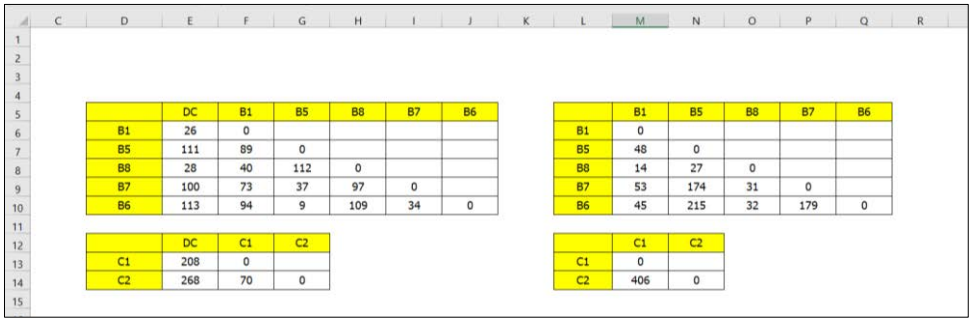
ตัวอย่างการจัดเรียงสินค้าจากเส้นทางรถคันที่ 2 ในตารางที่ 6 ซึ่งมีลำดับการส่งดังนี้ DC-B1-B4-DC ด้วยการจัดเรียงลูกค้าที่จัดส่งลำดับสุดท้ายไว้ด้านในสุดของรถขนส่ง และเรียงลำดับไล่ถัดกันออกมาตามที่ได้ทำการจัดลำดับไว้ โดยในที่นี้จะจัด B4-B1 ตามลำดับ

รูปที่ 7 การจัดเรียงสินค้า การใช้ลูกฟูกแบ่งลำดับลูกค้า

5. ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

5.1 ผลด้านกระบวนการปฏิบัติงาน

การดำเนินงานวิจัยนี้ส่งผลการวางแผนการขนส่งมีการปรับปรุงกระบวนการปฏิบัติงานโดยมีการรวมกลุ่มลูกค้า การแบ่งโซนที่อยู่เดียวกันหรือโซนที่ใกล้เคียงกันรวมไปด้วยกัน การวางแผนด้วยวิธีการทำวิธีเซฟวิ่งอัลกอริทึม โดยการหาค่าเมตริกซ์ระยะทางและเมตริกซ์การประหยัดนั้น ได้พัฒนาโปรแกรม Excel ขึ้นมาเพื่อช่วยในการคำนวณ ดังรูปที่ 8 และทำการจัดเรียงสินค้าแบบ LIFO โดยสามารถสรุปเป็นขั้นตอนการปฏิบัติงานก่อนและหลังปรับปรุงดังรูปที่ 9



	DC	B1	B5	B8	B7	B6
B1	26	0				
B5	111	89	0			
B8	28	40	112	0		
B7	100	73	37	97	0	
B6	113	94	9	109	34	0

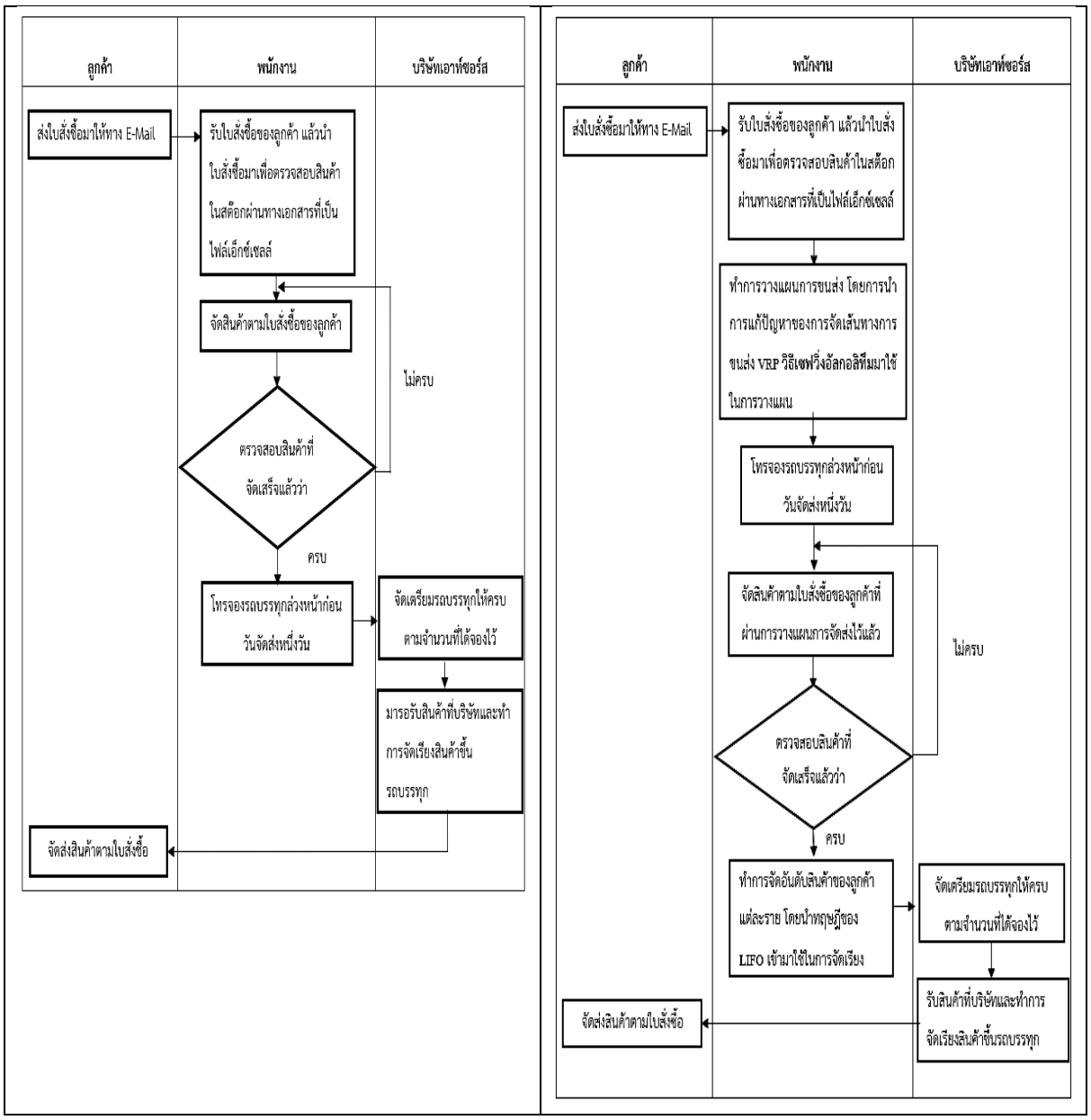
	B1	B5	B8	B7	B6
B1	0				
B5	48	0			
B8	14	27	0		
B7	53	174	31	0	
B6	45	215	32	179	0

	DC	C1	C2
C1	208	0	
C2	268	70	0

	C1	C2
C1	0	
C2	406	0

รูปที่ 8 โปรแกรมหาค่า เมตริกซ์ระยะทางและเมตริกซ์การประหยัด

ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง



รูปที่ 9 กระบวนการปฏิบัติงานก่อนและหลังปรับปรุง

5.2 ผลด้านต้นทุนการขนส่ง

หลังจากการดำเนินการปรับปรุงกระบวนการวางแผนกางขนส่งดังหัวข้อ 4.3.2 ได้ทำการเก็บรวบรวมข้อมูล เส้นทางการขนส่ง น้ำหนักที่บรรทุก และระยะทางทั้งหมด ในแต่ละวันเป็นเวลา 2 เดือน แสดงตัวอย่างดังตารางที่ 7 โดยสามารถสรุปผลต้นทุนการขนส่งรวมได้ดังตารางที่ 8 และสรุปข้อมูลเปรียบเทียบผลด้านต่าง ๆ ได้ดังตารางที่ 9 และรูปที่ 10

ตารางที่ 7 ผลการดำเนินงาน เส้นทาง น้ำหนัก ระยะทาง

วัน	ลำดับ	เส้นทาง (ตามลูกค้า)	น้ำหนัก (Kg)	ระยะทาง (Km)
วันที่ 1	1.	DC-A5-B1-B6-A3	502.9	248.0
	2.	DC-B7	904.8	1,000.0
	3.	DC-C1-A1-A2	615.0	253.0
วันที่ 2	1.	DC-B6-B5-B7	930.6	136.0
	2.	DC-B1-B4	148.5	53.1
	3.	DC-C1-C2-A1	786.0	253.0
วันที่ 3	1.	DC-A5-B8-B1-B7	819.0	234.0
	2.	DC-A3	1045.0	35.0
	3.	DC-D3	620.5	23.0
วันที่ 4	1.	DC-A1-A2-C1	885.5	239.0
	2.	DC-D1	33.0	123.0
	3.	DC-D3	637.5	23.0
วันที่ 5	1.	DC-B8-B6-B5	520.5	271.0
	2.	DC-A7	896.5	66.0
วันที่ 6	1.	DC-B1-B4	955.0	61.1
	2.	DC-B6-B5-B7	861.0	150.0
	3.	DC-D1	38.5	26.0
วันที่ 7	1.	DC-A5-A3-B7	948.0	144.0
	2.	DC-C1-A1	596.5	299.0
	3.	DC-B2	850.0	83.0
วันที่ 8	1.	DC-C1-A2-A1	541.5	239.0
	2.	DC-B6-B5	317.5	111.0
	3.	DC-D1	59.5	123.0
วันที่ 9	1.	DC-A3-B8-B1-B7	253.0	332.0
	2.	DC-A7	962.0	66.0
	3.	DC-B2	220.0	83.0
วันที่ 10	1.	DC-B8-B7-B6-B5	553.0	292.0
	2.	DC-C1-C2-A1	841.0	39.0
	3.	DC-D1	73.5	123.0

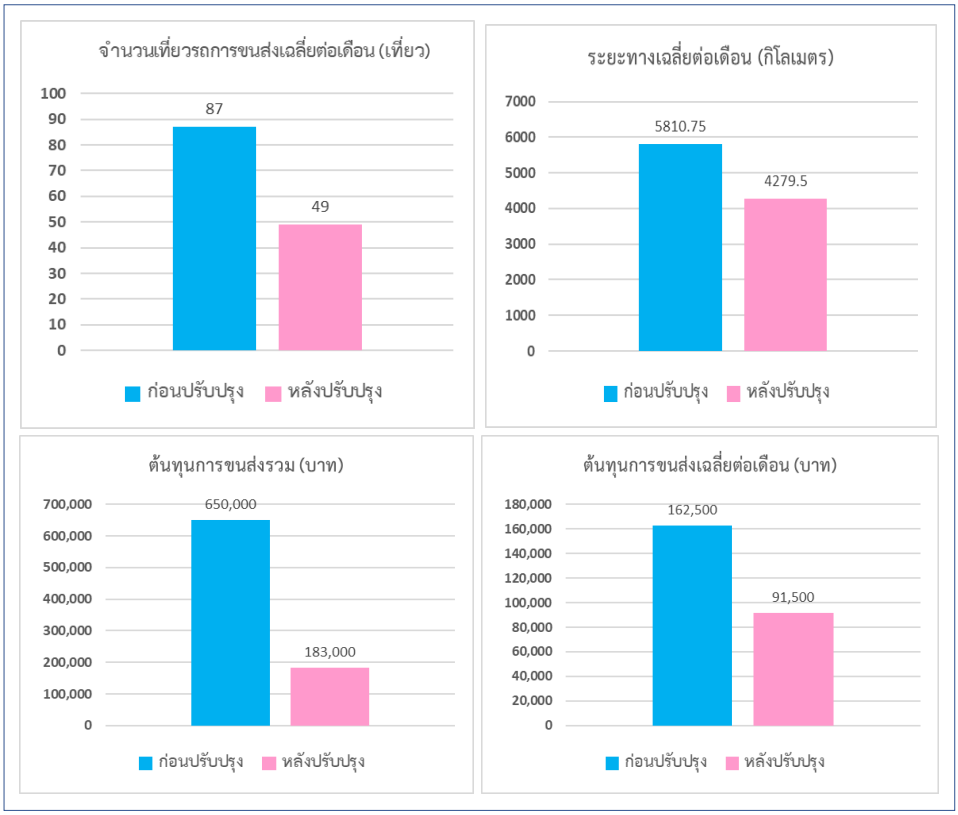
ตารางที่ 8 ผลการดำเนินงานต้นทุนการขนส่งรวม

เดือน	จำนวนเที่ยวรถการขนส่ง (เที่ยว)	ระยะทาง (กิโลเมตร)	ต้นทุนการขนส่ง (บาท)
5	45	4,297	83,000
6	53	4,262	100,000
รวม	**98**	**8,559**	**183,000**
เฉลี่ยต่อเดือน	**49**	**4,279.50**	**91,500**

ตารางที่ 9 การเปรียบเทียบผลการดำเนินงานมิติต่าง ๆ

	ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง	ลดลง	ลดลง (%)
จำนวนเที่ยวรถการขนส่งเฉลี่ยต่อเดือน (เที่ยว)	87	49	38	43.68
ระยะทางเฉลี่ยต่อเดือน (กิโลเมตร)	5,810.75	4,279.50	1,531.25	26.35
ต้นทุนการขนส่ง รวม (บาท)	650,000	183,000	-	-
ต้นทุนการขนส่ง เฉลี่ยต่อเดือน (บาท)	162,500	91,500	71,000	43.69

หมายเหตุ ก่อนปรับปรุง เก็บข้อมูล 4 เดือน หลังปรับปรุง เก็บข้อมูล 2 เดือน



รูปที่ 10 ผลการดำเนินงานก่อนและหลังปรับปรุง

จากการดำเนินการวิจัยผลการปรับปรุง ดังตารางที่ 9 และ รูปที่ 10 พบว่า จำนวนเที่ยวรถการขนส่งเฉลี่ยต่อเดือน จากก่อนปรับปรุง 87 เที่ยว เหลือ 49 เที่ยว ลดลง 38 เที่ยว หรือคิดเป็นร้อยละ 43.68 ระยะทางเฉลี่ยต่อเดือน จากก่อนปรับปรุง 5,810.75 กิโลเมตร เหลือ 4,279.50 กิโลเมตร ลดลง 1,531.25 กิโลเมตร หรือคิดเป็นร้อยละ 26.35 ต้นทุนการขนส่งรวม 4 เดือน ก่อนปรับปรุง 650,000 บาท และต้นทุนการขนส่งรวม 2 เดือน หลังปรับปรุง 183,000 บาท ต้นทุนการขนส่งเฉลี่ยต่อเดือน จากก่อนปรับปรุง 162,500 บาท เหลือ 91,500 บาท ลดลง 71,000 บาท หรือคิดเป็นร้อยละ 43.69

ผลการดำเนินการวิจัยในครั้งนี้ได้แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของการประยุกต์ใช้เทคนิคเมตริกซ์การประหยัดเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการวางแผนการขนส่งได้อย่างเป็นรูปธรรม สอดคล้องกับงานของ ทิพย์สุดา กุมผัน และคณะ (2566) ที่ศึกษาในโรงงานน้ำดื่มชุมชนโดยใช้วิธีเซฟวิ่งอัลกอริทึม สามารถลดระยะทางได้ร้อยละ 11.88 และลดต้นทุนเชื้อเพลิงลง 1,438.2 บาทต่อเดือน ขณะที่ อุษา สถิตมั่น และคณะ (2566) พบว่าการใช้วิธีนี้สามารถลดระยะทางได้ร้อยละ 13.60 และ

ลดค่าใช้จ่ายได้ร้อยละ 34.65 นอกจากนี้ยังสอดคล้องกับแนวคิดของ Tunnisaki & Sutarman (2023) ที่ประยุกต์ใช้วิธีเซฟวิ่งอัลกอริทึม เพื่อจัดเส้นทางขนส่งก๊าซ LPG และสามารถลดระยะทางรวมได้ร้อยละ 20.03 รวมทั้งงานของ ณัฐวุฒิ พลศรี และคณะ (2564) ที่ประยุกต์ใช้วิธีเดียวกันเพื่อลดระยะทางขนส่งปลาดุกลงร้อยละ 9.9 และลดต้นทุนน้ำมันลงร้อยละ 9.87 ซึ่งชี้ให้เห็นว่าวิธีเซฟวิ่งอัลกอริทึม สามารถประยุกต์ใช้ได้อย่างหลากหลายตามลักษณะของสินค้าและข้อจำกัดของยานพาหนะ อย่างไรก็ตาม งานวิจัยในครั้งนี้ได้ต่อยอดแนวคิดดังกล่าวให้ครอบคลุมยิ่งขึ้น โดยนำการจัดเรียงสินค้าและการกำหนดโซนพื้นที่ร่วมวิเคราะห์ ส่งผลให้ประสิทธิภาพโดยรวมสูงขึ้น ในส่วนของการเปรียบเทียบกับ ศิรดา หัสนันท์ และคณะ (2563) ที่ใช้วิธีเซฟวิ่งอัลกอริทึมและปัญหาพนักงานขายเดินทาง เพื่อหาทางเลือกเส้นทางที่ดีที่สุด พบว่าสามารถลดระยะทางได้ร้อยละ 17.26 และลดต้นทุนได้ 203.44 บาทต่อเที่ยว เช่นเดียวกับ นคร ไชยวงศ์ศักดา และคณะ (2558) ที่นำวิธีวิธีเซฟวิ่งอัลกอริทึมมาประยุกต์ใช้กับการจัดเส้นทางน้ำดื่ม พบว่าสามารถลดระยะทางได้ร้อยละ 4.16 ผลลัพธ์เหล่านี้ยังอยู่ในระดับการปรับปรุงที่จำกัดเมื่อเทียบกับงานวิจัยฉบับนี้ ซึ่งสามารถบูรณาการแนวคิดเชิงพื้นที่และการจัดเรียงสินค้าเข้าด้วยกัน จึงทำให้เกิดผลลัพธ์เชิงปริมาณที่มากกว่า ในเชิงแนวคิด ผลลัพธ์ของการวิจัยนี้ยังสอดคล้องกับแนวทางของ Clark and Wright (1964) ที่เป็นต้นแบบของวิธีเซฟวิ่งอัลกอริทึมซึ่งชี้ให้เห็นว่าการคำนวณค่าการประหยัดระหว่างการเชื่อมโยงคู่จุดลูกค้าสามารถลดจำนวนเที่ยวรถและระยะทางได้จริง เพียงแต่การศึกษานี้ได้พัฒนาต่อยอดแนวคิดดังกล่าวให้สอดคล้องกับบริบทปัจจุบันของการขนส่งในประเทศไทย โดยไม่เพียงมุ่งลดระยะทางหรือจำนวนเที่ยวรถ แต่ยังสร้างระบบวางแผนการขนส่งที่ตอบสนองต่อข้อจำกัดเชิงปฏิบัติได้จริง ทั้งด้านน้ำหนักบรรทุก การจัดลำดับการขนถ่าย และการจัดกลุ่มลูกค้า ส่งผลให้ต้นทุนรวมลดลงถึงร้อยละ 43.69 ซึ่งสามารถนำไปเป็นต้นแบบสำหรับการพัฒนาแผนการขนส่งในธุรกิจอื่น ๆ ทั้งภาคการผลิต การค้าปลีก และโลจิสติกส์ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการดำเนินงานอย่างยั่งยืนต่อไป

6. สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยดำเนินการเพื่อพัฒนากระบวนการวางแผนการขนส่งและลดต้นทุนการขนส่งให้กับบริษัทกรณีศึกษา โดยได้ทำการวิเคราะห์หาสาเหตุที่ด้วยแผนภาพแสดงเหตุและผล พบว่าสาเหตุหลักเกิดจากการขาดการวางแผนการขนส่ง ซึ่งการทำงานในปัจจุบันทางบริษัทได้ทำการจัดส่งสินค้าไปให้ลูกค้าแบบรายต่อราย โดยไม่ได้มีการรวมกลุ่มลูกค้าที่สามารถไปในเส้นทางเดียวกันได้ จึงดำเนินการโดยเริ่มจากการดูข้อมูลลูกค้าแต่ละรายเพื่อทำการแบ่งแยกโซน โดยลูกค้าที่อยู่โซนเดียวกันหรืออยู่ใกล้โซนดังกล่าว จะให้ขนส่งไปในเส้นทางเดียวกันได้ จากนั้นเข้าสู่ขั้นตอนในการใช้วิธีเซฟวิ่งอัลกอริทึม โดยขั้นตอนแรกจะทำการระบุเมตริกซ์ระยะทางเพื่อให้ทราบระยะทางของลูกค้าแต่ละราย ขั้นตอนที่สองระบุเมตริกซ์การประหยัดคือการคำนวณระยะทางที่ประหยัดได้เพื่อใช้ในการรวมเส้นทางในขั้นตอนต่อไป ขั้นตอนที่สามการกำหนดลูกค้าและเส้นทาง เป็นการทำให้ทราบว่าลูกค้ารายใดสามารถรวมกันไปได้โดยต้องคำนึงถึงน้ำหนักบรรทุกของรถขนส่ง ซึ่งจะต้องไม่เกินความสามารถของรถขนส่งสินค้าและตามที่กฎหมายกำหนด และขั้นตอนที่สี่ทำการจัดลำดับของลูกค้าในแต่ละเส้นทาง ซึ่งจะใช้การกวาด (Sweep) โดยการดูลำดับของลูกค้าด้วยกวาดจุดใด ๆ บนเส้นทางไปตามเข็มนาฬิกาหรือทวนเข็มนาฬิกา จากนั้นทำการจัดเรียงสินค้าขึ้นรถขนส่งด้วยหลักการเข้าหลังออกก่อน (Last In First Out) เพื่อความสะดวกในการขนสินค้าลง

จากการดำเนินงานวิจัยส่งผลให้มีการปรับปรุงกระบวนการการวางแผนการขนส่ง โดยเพิ่มขั้นตอนการวางแผนด้วยวิธีการทำวิธีเซฟวิ่งอัลกอริทึม และจัดเรียงสินค้าขึ้นรถขนส่งด้วยหลักการเข้าหลังออกก่อน (Last In First Out) โดยการหาค่าเมตริกซ์ระยะทางและเมตริกซ์การประหยัดนั้น ได้ทำการพัฒนาโปรแกรม Excel ขึ้นมาเพื่อช่วยในการคำนวณ ผลการปรับปรุงพบว่า จำนวนเที่ยวรถการขนส่งเฉลี่ยต่อเดือน จากก่อนปรับปรุง 87 เที่ยว เหลือ 49 เที่ยว ลดลง 38 เที่ยว หรือคิดเป็นร้อยละ 43.68 ระยะทางเฉลี่ยต่อเดือน จากก่อนปรับปรุง 5,810.75 กิโลเมตร เหลือ 4,279.50 กิโลเมตร ลดลง 1,531.25 กิโลเมตร หรือคิดเป็นร้อยละ 26.35 ต้นทุนการขนส่งรวม 4 เดือน ก่อนปรับปรุง 650,000 บาท และต้นทุนการขนส่งรวม 2 เดือน หลัง

ปรับปรุง 183,000 บาท ต้นทุนการขนส่งเฉลี่ยต่อเดือน จากก่อนปรับปรุง 162,500 บาท เหลือ 91,500 บาท ลดลง 71,000 บาท หรือคิดเป็นร้อยละ 43.69

7. ข้อเสนอแนะ

7.1 บริษัทกรณีศึกษาสามารถนำผลการวิจัยนี้ไปต่อยอดใช้กับสาขาอีก 2 แห่ง และลูกค้าหลักรายอื่น ๆ ได้ โดยอาจพัฒนาเป็นโปรแกรมสำเร็จรูปเพื่อให้ใช้งานง่าย สะดวกและรวดเร็วมากขึ้น

7.2 ควรจัดอบรมพนักงานขนส่งและฝ่ายวางแผนให้เข้าใจหลักการของวิธีเซฟวิ่งอัลกอริทึม และวิธีใช้เครื่องมือเพื่อให้เกิดการนำไปใช้ได้อย่างต่อเนื่องและยั่งยืน

7.3 บริษัทสามารถต่อยอดระบบให้มีการคำนวณค่าใช้จ่ายเชื้อเพลิงและเวลาการส่งสินค้าจริง เพื่อใช้ประเมินประสิทธิภาพการดำเนินงานในแต่ละรอบการขนส่ง

7.4 ควรศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีเซฟวิ่งอัลกอริทึมกับเทคนิคอื่น เช่น ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm) หรือ ขั้นตอนวิธีอาณานิคมมด (Ant Colony Optimization) เพื่อหาวิธีที่ให้ผลดีที่สุด

7.5 งานวิจัยนี้วัดผลจากจำนวนเที่ยวรถการขนส่ง ระยะทางการขนส่ง และต้นทุนการขนส่ง ไม่ได้พิจารณาผลด้านระยะเวลาการขนส่ง ดังนั้นงานวิจัยในอนาคตสามารถพิจารณาผลทางด้านระยะเวลาการขนส่งเพิ่มเติมได้

8. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณบริษัทกรณีศึกษาที่ให้เข้าทำการศึกษาวิจัย ขอขอบคุณ คุณสกุลรัตน์ สมันเรือง คุณชนิตา บอนสิทธิ์ และ คุณอัครพล ครึบกระโทก ผู้ช่วยในการดำเนินโครงการวิจัย และขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ที่สนับสนุนทุนอุดหนุนการวิจัยจากเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ 2568

9. เอกสารอ้างอิง

กนกวรรณ สกุลทรงเดช. (2559). *การใช้บรรจุภัณฑ์ย้อนกลับเพื่อลดต้นทุนอย่างมีประสิทธิภาพ*. (วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต). ชลบุรี: มหาวิทยาลัยบูรพา.

กวี ศรีเมือง. (2550). *การหาจำนวนรถบรรทุกที่เหมาะสมในการขนส่งสินค้าในธุรกิจค้าปลีก: กรณีศึกษาท็อปส์ซุปเปอร์มาร์เก็ต*. (วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต). กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ. (2550). หลักการการควบคุมคุณภาพ. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์ ส.ส.ท.

คำนาย อภิปรัชญาสกุล. (2556). การบริหารเส้นทางขนส่งสินค้า (Goods transportation routes management). กรุงเทพฯ: โฟกัสมีเดีย แอนด์ พับลิชชิ่ง.

คำนาย อภิปรัชญาสกุล. (2559). การจัดการขนส่งและการกระจายสินค้าเชิงกลยุทธ์ (Strategic transport and distribution management). กรุงเทพฯ: โฟกัสมีเดีย แอนด์ พับลิชชิ่ง.

ชินภัทร อ่อนฉิม. (2555). *การเพิ่มประสิทธิภาพการขนส่งสินค้าภายในเขตกรุงเทพและปริมณฑล: กรณีศึกษาบริษัท เซ็นทรัลมาร์เก็ตติ้ง กรุ๊ป*. (วิทยานิพนธ์บริหารธุรกิจมหาบัณฑิต). กรุงเทพฯ:มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย.

ฐานเศรษฐกิจ. (2566). *โลจิสติกส์ไทย ต่างชาติแห่ลงทุน 2.5 พันล้าน หนุนธุรกิจขนส่งโตแรง*. เข้าถึงได้จาก https://www.facebook.com/thansettakij/posts

ณัฐวุฒิ พลศรี, กนกกาญจน์ จิรศิริเลิศ และ ธาริณี มีเจริญ. (2564). การประยุกต์ใช้วิธีการแบบประหยัดสำหรับแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่ง: กรณีศึกษาฟาร์มเลี้ยงปลาดุก. *วารสารข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหกรรมไทย*, 7(2), 51–58.

ทิพย์สุดา กุมผัน, ธัญญาเรศ ศรียงยศ, อริสา บุญหวาน และ อุบลวรรณ จันทร์เต็ม. (2566). การจัดเส้นทางรถขนส่งน้ำดื่มโดยใช้วิธีเซฟวิ่งอัลกอริทึม โรงงานผลิตน้ำดื่มชุมชน. *วารสารข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหกรรมไทย*, 9(2), 50–57.

นคร ไชยวงศ์ศักดา, ประเวช อนันเอื้อ, นิเวศ จีนะบุญเรือง, เสกสรรค์ วินยางค์กูล, ขวัญเรือน สินณรงค์, ธนากร จักรแก้ว, วุฒิชัย ใจบาล และ ณัฐวุฒิ ศรีสว่าง. (2558). การจัดเส้นทางการขนส่งโดยใช้เซฟวิ่งอัลกอริทึมและตัวแบบปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย: กรณีศึกษาโรงงานน้ำดื่ม. *วารสารไทยการวิจัยดำเนินงาน*, 3(1), 1–15.

วราพรรณ นาวารักษ์. (2566). การเพิ่มประสิทธิภาพด้านการขนส่งสินค้าประเภทอุปกรณ์และเครื่องใช้ในสำนักงาน : กรณีศึกษาบริษัท สหออฟฟิศ จำกัด. *วารสารวิจัยวิทยาการจัดการ มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์*, 7(1), 155–169.

วิจัยกรุงศรี. (2567). *แนวโน้มธุรกิจ/อุตสาหกรรมปี 2567-2569: บริการขนส่งสินค้าทางถนน*. เข้าถึงได้จาก https://www.krungsri.com/th/research/industry/industry

ศิรดา หัสนันท์, สุริยันต์ จอมธนชัย, ธัญดา แสงวิไล และ วชิราภรณ์ จันทร์โพธนุกุล. (2563). การจัดเส้นทางการเดินรถ: กรณีศึกษาบริษัทแปรรูปอาหารทะเล. *รายงานการประชุม การประชุมวิชาการระดับนานาชาติและระดับชาติด้านบริหารธุรกิจและการบัญชี ครั้งที่ 2* (หน้า 139–149). เชียงใหม่: ศูนย์ประชุมนานาชาติเอ็มเพรส โรงแรม ดิ เอ็มเพรส,.

ศิวพร สุกสี, และ ธาริณี มีเจริญ. (2562). การลดต้นทุนการขนส่งโดยการประยุกต์ใช้ปัญหาการจัดเส้นทางการเดินรถ: กรณีศึกษาบริษัทจำหน่ายอุปกรณ์ประดับยนต์. *วิศวกรรมสารเกษมบัณฑิต*, 9(1), 69–84.

อุษา สถิตมั่น, เป็นหนึ่ง บัวเทศ, ศศิธร สามนคร และ หทัยรัตน์ รอดเงิน. (2566). การวิเคราะห์เส้นทางและพัฒนาระบบการจัดการขนส่งสินค้าด้วยวิธีอัลกอริทึมแบบประหยัด: กรณีศึกษาห้างหุ้นส่วนจำกัด ชานนท์ ทรานสปอร์ต. *วารสารสังคมศาสตร์และวัฒนธรรม*, 7(11), 64–74.

Clarke, G., & Wright, J. V. (1964). Scheduling of vehicles from a central depot to a number of delivery points. *Operations Research*, 12(4), 568–581.

Cortes, J. D., & Suzuki, Y. (2020). Vehicle routing with shipment consolidation. *International Journal of Production Economics*, 227.

Stellingwerf, H. M., Laporte, G., Kanellopoulos, A., Bloemhof, J. M., & Behdani, B. (2021). The quality-driven vehicle routing problem: Model and application to a case of cooperative logistics. *International Journal of Production Economics*, 231, 1–11.

Tunnisaki, F., & Sutarman. (2023). Clarke and Wright Savings Algorithm as solutions vehicle routing problem with simultaneous pickup and delivery (VRPSPD). *Journal of Physics: Conference Series*, 2421, 1-7.

ประวัติผู้เขียนบทความ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธนิดา สุนารักษ์

อาจารย์สาขาวิชาการจัดการ คณะบริหารธุรกิจ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

โทร 061-951-5392, Email: thanida.sun@rmutr.ac.th

ความเชี่ยวชาญ : Industrial and Logistics Engineering/ Management

การปรับปรุงกระบวนการผลิตบรรจุภัณฑ์กระดาษด้วยการบูรณาการข้อมูลและเทคโนโลยีระบบวางแผนทรัพยากรองค์กร (ERP)

Improving the Paper Packaging Production Process through Data Integration and Enterprise Resource Planning (ERP) Technology.

ธนกฤต นิ่มลอง และบุญเลิศ วงศ์เจริญแสงสิริ
สาขานวัตกรรมธุรกิจและการจัดการ สถาบันการจัดการปัญญาภิวัฒน์, Tanakritnimlong@gmail.com
สาขานวัตกรรมธุรกิจและการจัดการ สถาบันการจัดการปัญญาภิวัฒน์, boonlertwon@pim.ac.th

Tanakrit Nimlong and Boonlert Wongcharoensangsiri
Business Innovation and Management Panyapiwat Institute of Management, Tanakritnimlong@gmail.com
Business Innovation and Management Panyapiwat Institute of Management, boonlertwon@pim.ac.th

วันที่รับบทความ 30 กรกฎาคม 2568
วันแก้ไขบทความ 27 สิงหาคม 2568
วันตอบรับบทความ 2 ตุลาคม 2568

บทคัดย่อ

งานวิจัยเชิงปฏิบัติการนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการปรับปรุงกระบวนการผลิตบรรจุภัณฑ์กระดาษด้วยการบูรณาการข้อมูลผ่านระบบ Enterprise Resource Planning (ERP) โดยมุ่งเน้นไปที่การลดความผิดพลาดที่เกิดจากการจัดการข้อมูลที่ไม่บูรณาการระหว่างหน่วยงานภายในองค์กร ซึ่งส่งผลให้เกิดของเสียและต้นทุนที่ไม่จำเป็น งานวิจัยได้ดำเนินการในโรงงานผลิตบรรจุภัณฑ์กระดาษแห่งหนึ่งในประเทศไทย โดยเก็บข้อมูลปัญหาการสื่อสารผิดพลาด ความซ้ำซ้อนในการจัดเก็บข้อมูล และผลกระทบที่เกิดขึ้นจากระบบงานเดิม โดยผู้วิจัยได้พัฒนาและนำระบบ ERP ที่บูรณาการเทคโนโลยี OCR และ AI มาประยุกต์ใช้ร่วมกับกระบวนการวางแผนการผลิต การควบคุมวัตถุดิบ และการจัดซื้อ โดยเชื่อมโยงข้อมูลในกระบวนการผลิตทั้งหมดแบบเรียลไทม์ พร้อมกำหนดเกณฑ์ในการประเมินผลจากต้นทุนของเสียที่เกิดจากข้อมูลผิดพลาดก่อนและหลังการใช้งานระบบ ผลการศึกษาพบว่าระบบที่พัฒนาขึ้นสามารถลดของเสียจากปัญหาการจัดการข้อมูลที่ไม่บูรณาการได้ถึงร้อยละ 83.21 จากของเสียเดิมมูลค่า 845,789.94 บาท ลดเหลือประมาณ 142,008.13 บาท ภายในระยะเวลา 6 เดือน อีกทั้งยังช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการสื่อสาร ลดความซ้ำซ้อน และเพิ่มความถูกต้องในการวางแผนการผลิตอย่างมีนัยสำคัญ ผลลัพธ์ดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าการบูรณาการระบบสารสนเทศอย่างเป็นระบบสามารถเพิ่มประสิทธิภาพของอุตสาหกรรมการผลิตบรรจุภัณฑ์กระดาษได้อย่างมีประสิทธิผล ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในภาคอุตสาหกรรมอื่นที่ใกล้เคียงกันได้

คำสำคัญ: บรรจุภัณฑ์กระดาษ, กระบวนการผลิตของเสีย, การเพิ่มประสิทธิภาพ, ระบบ ERP

ABSTRACT

This action research aims to improve the paper packaging production process by integrating data through an Enterprise Resource Planning (ERP) system. The objective is to reduce errors from disconnected data management among internal departments, which cause waste and unnecessary costs. The study was conducted in a paper packaging factory in Thailand, analyzing communication issues, data duplication, and workflow impacts. An ERP system integrated with OCR and AI was implemented to connect real-time data across production planning, raw

material control, and procurement. Evaluation was based on waste costs before and after system adoption. Results showed a waste reduction of 83.21%, from 845,789.94 baht to 142,008.13 baht within six months. The system also enhanced communication, reduced redundancy, and improved planning accuracy. This demonstrates that integrated information systems can effectively boost efficiency in paper packaging manufacturing and related industries.

KEYWORDS: Paper packaging, Production process, Waste, Efficiency Enhancement, ERP System

1. บทนำ

บรรจุภัณฑ์กระดาษเป็นวัสดุที่สามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติและมีความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม จึงได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายในหลากหลายอุตสาหกรรม เช่น อาหาร เครื่องดื่ม เครื่องสำอาง และสินค้าอุปโภคบริโภค การออกแบบและการพิมพ์บรรจุภัณฑ์กระดาษสามารถปรับเปลี่ยนได้หลากหลายรูปแบบ ทำให้สามารถตอบสนองต่อการใช้งานในโอกาสต่าง ๆ ได้อย่างเหมาะสม อุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์กระดาษในประเทศไทยมีแนวโน้มเติบโตอย่างต่อเนื่อง โดยข้อมูลจากศูนย์วิเคราะห์เศรษฐกิจทีทีบี (ttb analytics, 2566) ระบุว่า ในช่วงปี 2564–2565 ธุรกิจบรรจุภัณฑ์กระดาษในไทยเติบโตอย่างต่อเนื่องจากพฤติกรรมผู้บริโภคที่หันมาใช้บริการเดลิเวอรีและซื้อสินค้าออนไลน์เพิ่มขึ้น โดยในปี 2565 บรรจุภัณฑ์กระดาษมีอัตราการเติบโต 8.7% และคาดว่าจะเติบโตเพิ่มเป็น 7.0% ในปี 2566 คิดเป็นมูลค่าตลาด 222,000 ล้านบาท ปัจจัยสำคัญมาจากการเติบโตของธุรกิจ E-Commerce และการรณรงค์ลดใช้ถุงพลาสติกของภาครัฐ ส่งผลให้ความต้องการใช้บรรจุภัณฑ์กระดาษ เช่น กล่องพัสดุและห่ออาหาร เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ นอกจากนี้ บรรจุภัณฑ์กระดาษยังเติบโตเฉลี่ย 5.6% ต่อปีในช่วง 5 ปีที่ผ่านมา และมีแนวโน้มเติบโตต่อเนื่องในระยะยาว จากการเปลี่ยนแปลงของผู้บริโภคและนโยบายด้านสิ่งแวดล้อมที่เข้มข้นขึ้น

จากการศึกษาในบริษัทกรณีศึกษา ผู้วิจัยพบว่ามีการเกิดของเสียในกระบวนการผลิตกล่องบรรจุภัณฑ์กระดาษ โดยปริมาณของเสียในช่วงเดือนมกราคมถึงมิถุนายน 2567 คิดเป็น 6.57% ของยอดสั่งผลิตทั้งหมด ซึ่งปริมาณของเสียที่สูงที่สุดเกิดขึ้นในเดือนกุมภาพันธ์ คิดเป็น 8.07% ของยอดผลิตในเดือนนั้น จากการวิเคราะห์สาเหตุ พบว่าปัญหาหลักเกิดจากการตั้งเครื่องจักรในกระบวนการผลิตที่ไม่เหมาะสม และการจัดการข้อมูลที่ไม่บูรณาการ ส่งผลให้เกิดการตัดสินใจที่คลาดเคลื่อนในกระบวนการผลิต เช่น การเลือกใช้วัตถุดิบผิดประเภท ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นการปรับปรุงกระบวนการผลิตโดยการประยุกต์ใช้ระบบการวางแผนทรัพยากรองค์กร (Enterprise Resource Planning: ERP) ซึ่งสามารถเชื่อมโยงข้อมูลจากหลายฝ่ายในองค์กรให้เป็นระบบเดียวกัน เพื่อช่วยลดของเสียที่เกิดจากการจัดการข้อมูลที่ไม่บูรณาการและเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการผลิตให้มีความแม่นยำและประสิทธิผลมากยิ่งขึ้น

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อออกแบบและพัฒนาระบบจัดการข้อมูลโดยใช้แนวคิด ERP ที่มีประสิทธิภาพให้สามารถลดของเสียที่เกิดจากความผิดพลาดในการจัดการข้อมูลที่ไม่บูรณาการลงไม่น้อยกว่า 80%

3. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ระบบการวางแผนทรัพยากรขององค์กร (ERP)

ERP (Enterprise Resource Planning) คือ ระบบซอฟต์แวร์ที่ช่วยในการบริหารจัดการทรัพยากรและกระบวนการทางธุรกิจขององค์กร โดยการรวมข้อมูลจากแผนกต่าง ๆ เช่น การเงิน บัญชี ทรัพยากรบุคคล การผลิต การขาย และการตลาดไว้ในฐานข้อมูลส่วนกลางเดียวกัน ทำให้สามารถอัปเดตข้อมูลได้ทันทีแบบเรียลไทม์และใช้ได้โดยแผนกอื่น ๆ ซึ่งช่วยลดความซ้ำซ้อนและข้อผิดพลาดในการทำงานด้วยมือ พร้อมทั้งช่วยให้ผู้บริหารสามารถมองเห็นภาพรวมขององค์กรได้อย่างชัดเจน ประโยชน์หลักของ ERP

ได้แก่ การเพิ่มประสิทธิภาพการดำเนินงาน, การตัดสินใจที่แม่นยำ, การลดต้นทุน, และการเพิ่มความสามารถในการแข่งขัน โดยทำให้กระบวนการทำงานเป็นอัตโนมัติและตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของตลาดได้อย่างรวดเร็ว. (คำนาย อภิปรัชญาสกุล, 2557)

ปัญญาประดิษฐ์ (AI)

AI (Artificial Intelligence) หรือ ปัญญาประดิษฐ์ คือศาสตร์ที่พัฒนาเครื่องจักรให้มีความสามารถคล้ายมนุษย์ในด้านต่าง ๆ เช่น การเรียนรู้ การให้เหตุผล และการรับรู้ภาพ ซึ่งในธุรกิจมีประเภทที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ Narrow AI (Weak AI) เป็น 1 ใน 3 ของประเภทของ AI ที่แบ่งตามระดับความสามารถ โดย Narrow AI นี้ออกแบบมาเพื่อทำงานเฉพาะด้านในขอบเขตที่จำกัด โดยมีความชำนาญสูงในเฉพาะงานนั้นๆ เช่น ระบบแนะนำสินค้าและ Chatbot, Machine Learning (ML) ที่ระบบสามารถเรียนรู้และปรับปรุงจากข้อมูลโดยไม่ต้องมีการโปรแกรมใหม่, และ Natural Language Processing (NLP) ที่ช่วยให้คอมพิวเตอร์เข้าใจและใช้ภาษามนุษย์ได้ การประยุกต์ใช้ AI ในระบบ ERP ช่วยยกระดับให้เป็น Intelligent ERP (i-ERP) ที่สามารถวิเคราะห์ข้อมูลและให้ข้อมูลเชิงลึก เช่น การพยากรณ์แนวโน้มความต้องการลูกค้า การทำงานอัตโนมัติที่ซับซ้อน และการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อค้นหารูปแบบหรือความผิดปกติในข้อมูลจำนวนมากได้อย่างมีประสิทธิภาพ (สำนักงานพัฒนารัฐบาลดิจิทัล, 2564)

ระบบลีน (LEAN) และความสูญเปล่า (Waste) 8 ประการ

LEAN เน้นลดกระบวนการที่ไม่สร้างมูลค่า โดยมีหลักคือ การมองจากลูกค้า การตัดสิ่งที่ไม่จำเป็น และการปรับปรุงอย่างต่อเนื่อง (สหธร เพชรวิโรจน์ชัย, 2564) ส่วนความสูญเปล่า 8 ประการ ได้แก่ งานผิดพลาด ผลิตเกิน รอคอย ศักยภาพบุคลากรไม่ได้ใช้ ขนย้ายไม่จำเป็น สต็อกเกิน การเคลื่อนไหวเกินจำเป็น และกระบวนการซ้ำซ้อน (Biz in Thai Team, 2565)

แผนผังสาเหตุและผล (Cause and Effect Diagram) และหลักการ ECRS

แผนผังก้างปลาใช้วิเคราะห์ปัญหาโดยแยกปัจจัยเป็น 4M 1E ได้แก่ คน เครื่องจักร วัตถุดิบ วิธีการ และสภาพแวดล้อม (วันรัตน์ จันทกิจ, 2566) ส่วน ECRS ช่วยปรับปรุงกระบวนการ ได้แก่ Eliminate (ตัดทิ้ง), Combine (รวมขั้นตอน), Rearrange (จัดเรียงใหม่), และ Simplify (ทำให้ง่าย) (ศศิพร ทิพประมวล, 2567)

การรู้จำอักขระด้วยแสง (OCR)

OCR (Optical Character Recognition) คือเทคโนโลยีที่แปลงรูปภาพของตัวอักษรจากเอกสารสแกน, ไฟล์ PDF หรือภาพถ่ายให้กลายเป็นข้อความดิจิทัลที่คอมพิวเตอร์สามารถเข้าใจและประมวลผลได้ โดยซอฟต์แวร์ OCR จะวิเคราะห์รูปภาพเพื่อระบุตำแหน่งตัวอักษรและแปลงเป็นรหัสดิจิทัล เช่น ASCII หรือ Unicode โดยมักทำงานร่วมกับ AI เพื่อเพิ่มความแม่นยำในการจดจำตัวอักษรที่หลากหลายรูปแบบ การบูรณาการ OCR เข้ากับระบบ ERP และ AI ช่วยปฏิวัติกระบวนการนำเข้าข้อมูล เช่น ในระบบบัญชีเจ้าหนี้อัตโนมัติที่ OCR สามารถดึงข้อมูลจากใบแจ้งหนี้และส่งเข้าสู่ ERP หรือในกระบวนการจัดการคำสั่งซื้อและทรัพยากรบุคคลที่ OCR สามารถดึงข้อมูลจากเอกสารและนำเข้าสู่ระบบ ERP ได้ทันที (ธวัชชัย, 2558)

รอบการทำงาน (Cycle Time)

ธวัชชัย สุวรรณบุตรวิกา (2552) กล่าวถึง Cycle Time คือเวลาที่ใช้ทำงานให้ครบ 1 รอบ ตั้งแต่เริ่มจนจบ โดยสามารถคำนวณประสิทธิภาพสายการผลิตผ่านเวลาทำงานและจุดคอขวด เพื่อวางแผนปรับปรุงกระบวนการผลิต โดยการคำนวณสูตรคือ

$$\text{รอบการทำงาน} = \frac{\text{เวลาในการทำงานต่อวัน}}{\text{ผลิตผลที่ต้องการต่อวัน}}$$

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ฉัฐสรัช (2563) ศึกษาและเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการให้บริการเอกสารระหว่างระบบดั้งเดิมกับระบบอิเล็กทรอนิกส์ในบริษัทโลจิสติกส์ในกรุงเทพมหานคร พบว่าระบบอิเล็กทรอนิกส์มีประสิทธิภาพสูงกว่าระบบดั้งเดิม โดยสามารถลดต้นทุนการบริการเอกสารลงได้ 4.02% และลดระยะเวลาในการให้บริการลงได้ 42.55% รวมถึงลดความผิดพลาดได้ 54.19% และระยะเวลาในการแก้ไขข้อผิดพลาดได้ถึง 79.37% ซึ่งแสดงให้เห็นว่าระบบอิเล็กทรอนิกส์ช่วยลดต้นทุน ลดระยะเวลา และลดความผิดพลาดได้อย่างมี

ประสิทธิภาพ แต่การนำระบบดังกล่าวมาใช้ต้องคำนึงถึงปัจจัยแวดล้อม เช่น ความพร้อมของบุคลากรและโครงสร้างพื้นฐานเทคโนโลยีขององค์กร เพื่อการเปลี่ยนผ่านที่ราบรื่นและเกิดประโยชน์สูงสุด.

สันติและกฤษดา (2566) กล่าวถึงการประยุกต์ใช้ระบบธุรกิจอัจฉริยะ (BI) เพื่อสร้างสารสนเทศจากข้อมูลขนาดใหญ่ โดยสามารถสนับสนุนการตัดสินใจของผู้บริหารได้อย่างมีประสิทธิภาพ การประสบความสำเร็จในการใช้งานระบบ BI ยังต้องมีการเปลี่ยนแปลงวัฒนธรรมขององค์กรและการสนับสนุนจากผู้บริหาร รวมถึงการพัฒนาทักษะของบุคลากรในการใช้เทคโนโลยีและการสร้างความร่วมมือภายในและภายนอกองค์กร.

Gamido (2566) ศึกษาการออกแบบระบบจัดการเอกสารอิเล็กทรอนิกส์ (EDMS) ซึ่งช่วยในการแปลงเอกสารกระดาษเป็นดิจิทัล เพื่อจัดเก็บและจัดระเบียบเอกสารอย่างมีประสิทธิภาพ ทำให้การแบ่งปันข้อมูลและการรักษาความปลอดภัยเป็นไปได้อย่างสะดวกและรวดเร็ว.

กนกพร พลคชา (2566) ศึกษาความพร้อมขององค์การบริหารส่วนจังหวัดสมุทรปราการในการนำเทคโนโลยีดิจิทัลมาใช้ พบว่า ปัจจัยที่มีผลต่อการนำเทคโนโลยีดิจิทัลมาใช้ ได้แก่ ผู้นำ ความพร้อมทางดิจิทัลของบุคลากร และโครงสร้างพื้นฐานด้านเทคโนโลยี โดยเสนอแนะให้มีการจัดทำแผนปฏิบัติการดิจิทัลเพื่อให้การเปลี่ยนแปลงเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ.

4. วิธีดำเนินการวิจัย/ระเบียบวิธีวิจัย/Research Methodology

ขอบเขตการวิจัย

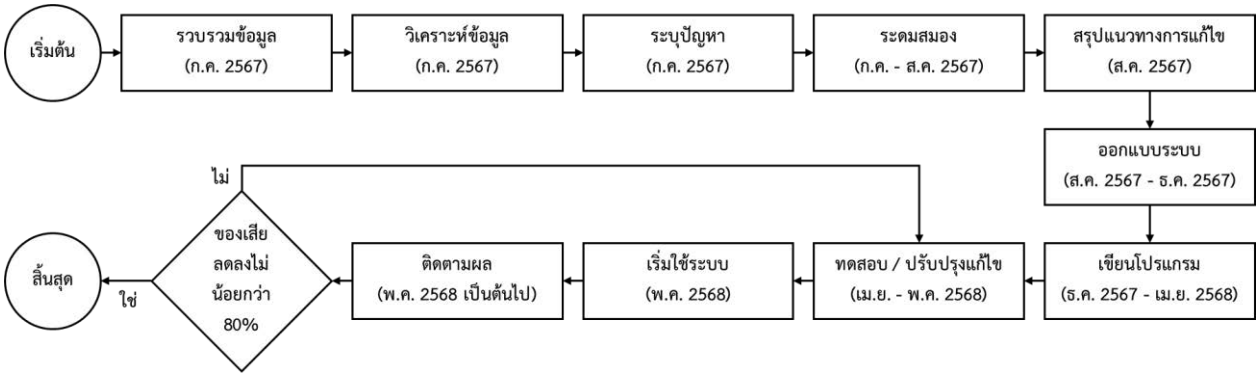
ขอบเขตด้านเนื้อหาของงานวิจัยนี้ประกอบด้วยการศึกษากระบวนการผลิตบรรจุภัณฑ์กระดาษ โดยเน้นการวิเคราะห์และปรับปรุงกระบวนการทำงานที่เกี่ยวข้องกับการผลิตบรรจุภัณฑ์กระดาษ รวมถึงการศึกษามูลค่าของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตและการระบุสาเหตุของความสูญเสีย เพื่อลดของเสียและเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิต โดยของเสียที่เกิดขึ้นในการผลิตบรรจุภัณฑ์กระดาษแบ่งได้เป็น 2 ประเภทหลัก ได้แก่

1. ของเสียจากการตั้งเครื่องจักร ซึ่งเกิดขึ้นในช่วงการเตรียมและปรับตั้งเครื่องจักรให้พร้อมต่อการผลิตจริง ทำให้มีวัตถุดิบบางส่วนสูญเปล่า

2. ของเสียจากการจัดการข้อมูลไม่บูรณาการ เกิดจากปัญหาการจัดเก็บและใช้ข้อมูลที่ไม่เป็นระบบ ทำให้เกิดความล่าช้า ความผิดพลาดในการสื่อสาร และกระทบต่อการผลิต

นอกจากนี้ ยังศึกษาระบบการจัดการและการวางแผนทรัพยากรทางธุรกิจขององค์กร (Enterprise Resource Planning: ERP) ซึ่งมีบทบาทสำคัญในการปรับปรุงกระบวนการผลิตและการจัดการทรัพยากรในองค์กร การดำเนินการวิจัยจะใช้ระยะเวลา 11 เดือน ตั้งแต่เดือนกรกฎาคม 2567 ถึงพฤษภาคม 2568 เพื่อให้การศึกษามีความละเอียดและสามารถนำไปปรับใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

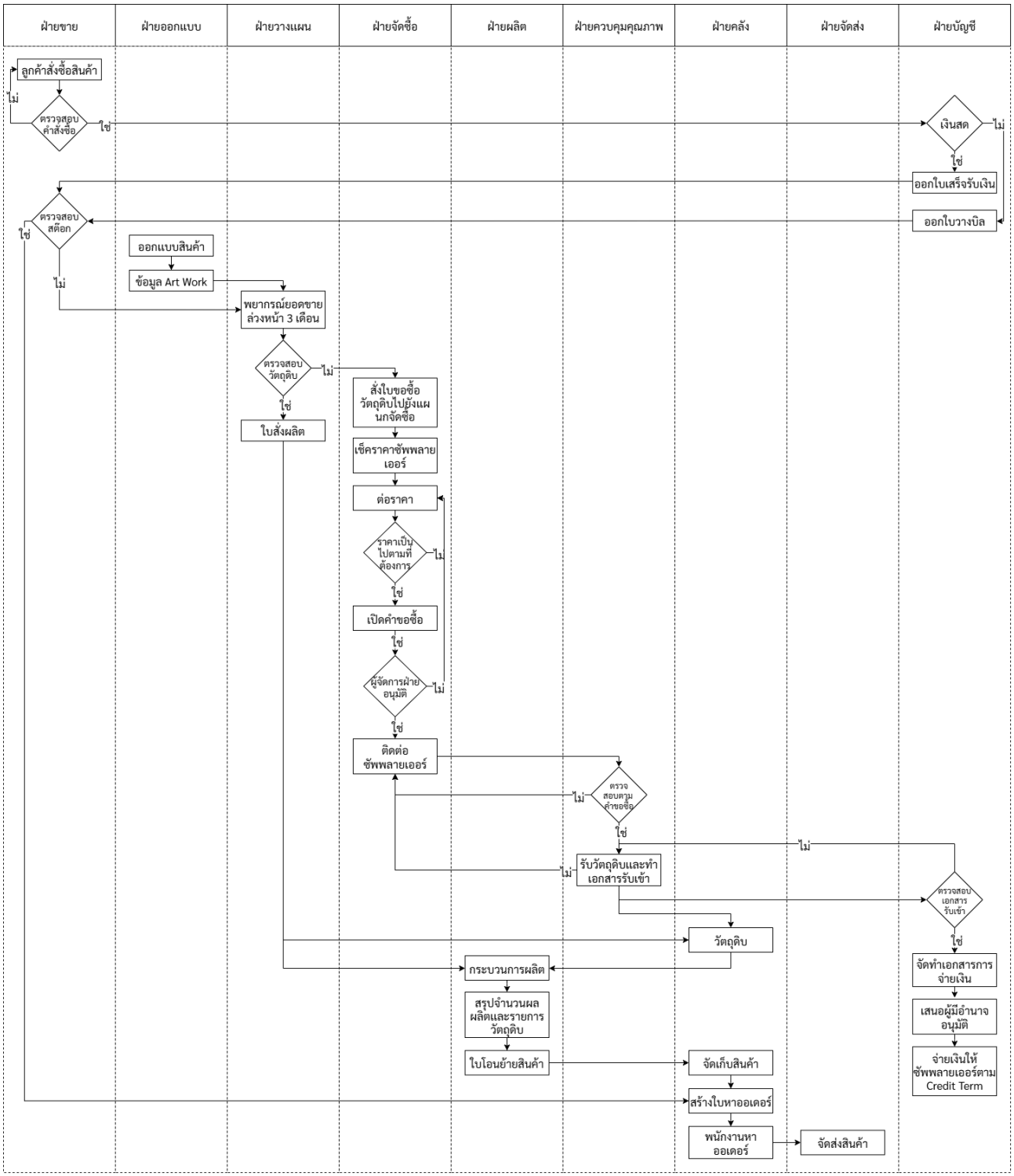
ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย



รูปที่ 1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

จากรูปที่ 1 ผู้วิจัยเริ่มต้นจากการรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องในเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2567 และทำการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อระบุปัจจัยที่เป็นสาเหตุหลักของการเกิดของเสียในกระบวนการผลิต จากนั้นจึงจัดกิจกรรมระดมสมองเพื่อรวบรวมแนวทางการแก้ไขจากผู้มีส่วนเกี่ยวข้องในองค์กร ภายหลังการระดมสมอง จะสรุปแนวทางการแก้ไขปัญหาและดำเนินการออกแบบระบบใหม่ในช่วงเดือนสิงหาคมถึงธันวาคม พ.ศ. 2567 โดยเน้นการออกแบบให้ระบบสามารถรองรับการเชื่อมโยงข้อมูลข้ามฝ่ายได้อย่างมีประสิทธิภาพ ต่อมาจะมีการพัฒนาระบบจริงผ่านการเขียนโปรแกรมตั้งแต่เดือนธันวาคม พ.ศ. 2567 ถึงเมษายน พ.ศ. 2568 เพื่อรองรับการจัดการข้อมูลที่ถูกต้องและลดข้อผิดพลาดจากการจัดการข้อมูลที่ขาดการเชื่อมโยง เมื่อการพัฒนาระบบเสร็จสิ้น จะมีการทดสอบระบบในช่วงเดือนเมษายนถึงพฤษภาคม พ.ศ. 2568 ผ่านการทดสอบหน่วย การทดสอบการเชื่อมโยงระบบ และการทดสอบการใช้งานจริง เพื่อประเมินความถูกต้องและความพร้อมของระบบ ก่อนนำไปใช้งานจริง สุดท้ายจะมีการติดตามผลการดำเนินงานในเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2568 โดยวัดผลสัมฤทธิ์ของโครงการจากข้อมูลของเสียที่เกิดจากความผิดพลาดลดลง 80% เพื่อยืนยันถึงความสำเร็จในการนำระบบไปใช้และวางแผนการขยายผลในระยะยาวอย่างยั่งยืน โดยมีการใช้เครื่องมือหรือเทคนิคเฉพาะในการดำเนินงานวิจัย เช่น การวิเคราะห์ SWOT การวิเคราะห์ TOWS Matrix การประยุกต์ใช้หลักการระบบลีน (LEAN) ความสูญเปล่า (Waste) 8 ประการ และ ECRS รวมถึงการทดลองใช้ระบบ Enterprise Resource Planning (ERP) ในลักษณะของการสร้างต้นแบบ ร่วมกับการทดสอบประสิทธิภาพก่อนใช้งานจริง เพื่อประเมินผลกระทบที่มีต่อการลดของเสีย

จากการศึกษากระบวนดำเนินงานของบริษัทกรณีศึกษาจะเริ่มต้นจากการรับคำสั่งซื้อจากลูกค้า โดยทำการตรวจสอบเงื่อนไขการชำระเงินว่าเป็นการชำระเงินสดหรือการให้เครดิต จากนั้นระบบจะตรวจสอบปริมาณสินค้าคงคลัง หากมีสินค้าเพียงพอจะดำเนินการจัดส่งสินค้าให้แก่ลูกค้าทันที แต่หากสินค้าคงคลังไม่เพียงพอ จะมีการแจ้งไปยังฝ่ายวางแผนเพื่อจัดทำแผนการผลิตเพิ่มเติม หากเป็นสินค้าใหม่จากฝ่ายออกแบบ ฝ่ายวางแผนจะพยากรณ์ปริมาณความต้องการสินค้า หากวัตถุดิบมีเพียงพอจะสั่งผลิตทันที แต่หากวัตถุดิบไม่เพียงพอ จะมีการส่งข้อมูลไปยังฝ่ายจัดซื้อเพื่อดำเนินการจัดซื้อวัตถุดิบ พร้อมทั้งแจ้งกำหนดวันจัดส่งกลับมายังฝ่ายวางแผน ฝ่ายจัดซื้อจะทำการออกคำสั่งซื้อไปยังซัพพลายเออร์ ในกรณีที่ซัพพลายเออร์ไม่สามารถจัดส่งสินค้าได้ตามวันที่กำหนด จะมีการแจ้งกลับมายังฝ่ายวางแผนเพื่อปรับเปลี่ยนกำหนดวันเริ่มต้นผลิตใหม่ เมื่อสินค้ามาถึงคลังสินค้า เจ้าหน้าที่คลังสินค้าจะตรวจรับสินค้าและจัดทำเอกสารประกอบการรับสินค้า จากนั้นจะนำข้อมูลเข้าสู่ระบบโปรแกรม Business Plus เพื่อยืนยันการรับสินค้าและดำเนินการผลิตตามแผนงานที่กำหนด เมื่อผลิตสินค้าสำเร็จแล้ว จะดำเนินการคำนวณต้นทุนการผลิต จากนั้นนำสินค้าเข้าสู่คลังสินค้าเพื่อรอการจัดส่งให้แก่ลูกค้าต่อไป แสดงดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 Swim Lane Diagram ของบริษัทกรณีศึกษา (ก่อนปรับปรุง)

ทั้งนี้ผู้วิจัยได้ดำเนินการวิเคราะห์กระบวนการตั้งแต่การรับคำสั่งซื้อจนถึงการจัดส่งสินค้า โดยจำแนกกิจกรรมตามหลักการการกำหนดคุณค่า ซึ่งสามารถจำแนกได้ 3 กิจกรรม ได้แก่

1. กิจกรรมที่เพิ่มมูลค่า (Value Added: VA) เป็นการสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับผลิตภัณฑ์ในกระบวนการ
2. กิจกรรมที่ไม่เพิ่มมูลค่า (Non Value Added: NVA) เป็นความสูญเปล่าและจำเป็นต้องกำจัดออกไป

3. กิจกรรมที่ไม่เพิ่มมูลค่าแต่จำเป็น (Necessary but Non Value Added: NNVA) เป็นความสูญเปล่าแต่จำเป็นต้องยอมให้เกิดขึ้น

ซึ่งจากการวิเคราะห์ข้อมูลจากการสังเกตการณ์จริงในสถานที่ปฏิบัติงานเป็นเวลา 2 สัปดาห์ และอ้างอิงข้อมูลจากคู่มือการปฏิบัติงานของแต่ละหน่วยงาน เพื่อคำนวณเป็นเวลามาตรฐานในการทำงาน (Cycle Time) ของแต่ละขั้นตอน พบว่า แต่ละฝ่ายใช้ระยะเวลาแตกต่างกันตามบทบาทหน้าที่ โดยฝ่ายขายใช้เวลา 33 นาทีในการรับคำสั่งซื้อและตรวจสอบเงื่อนไขการชำระเงิน ฝ่ายบัญชีและการเงินใช้เวลา 50.6 นาทีในการตรวจสอบสถานะการชำระเงิน ฝ่ายวางแผนการผลิตใช้เวลา 63 นาทีในการตรวจสอบสินค้าคงคลังและวางแผนการผลิต ฝ่ายออกแบบใช้เวลา 351.7 นาทีในการจัดทำแบบและพยากรณ์ความต้องการสินค้า ฝ่ายจัดซื้อใช้เวลา 107 นาทีในการดำเนินการจัดหาวัตถุดิบ ฝ่ายควบคุมคุณภาพใช้เวลา 71 นาทีในการตรวจสอบวัตถุดิบที่ได้รับ ฝ่ายคลังสินค้าใช้เวลา 50 นาทีในการรับและบันทึกข้อมูลสินค้า ฝ่ายผลิตใช้เวลา 70 นาทีในการผลิต และฝ่ายจัดส่งใช้เวลา 5 นาทีในการจัดส่งสินค้าถึงมือลูกค้า รวมระยะเวลาดำเนินการทั้งสิ้น 801.3 นาที แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การวิเคราะห์กิจกรรมตามแนวคิดการจัดการลีนในแผนกต่าง ๆ ก่อนการปรับปรุง

หน่วยงาน	VA	NVA	NNVA	รวม
ฝ่ายขาย	0.00	0.00	33.00	33.00
ฝ่ายบัญชีและการเงิน	0.00	0.00	50.60	50.60
ฝ่ายออกแบบ	300.00	51.70	0.00	351.70
ฝ่ายวางแผนการผลิต	53.00	0.00	10.00	63.00
ฝ่ายจัดซื้อ	0.00	0.00	107.00	107.00
ฝ่ายควบคุมคุณภาพ	70.00	0.00	1.00	71.00
ฝ่ายคลังสินค้า	0.00	15.00	35.00	50.00
ฝ่ายผลิต	62.00	6.00	2.00	70.00
ฝ่ายจัดส่ง	5.00	0.00	0.00	5.00
รวม	490.00	72.70	238.60	801.30

การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูลในงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทำความเข้าใจสาเหตุของการเกิดของเสียในกระบวนการผลิต โดยมุ่งเน้นที่ปัญหาด้านการจัดการข้อมูลที่ไม่บูรณาการภายในองค์กร ซึ่งพบว่าเป็นสาเหตุหลักที่สามารถลดได้อย่างมีนัยสำคัญ การวิเคราะห์ข้อมูลดำเนินการทั้งในแหล่งข้อมูลปฐมภูมิและทุติยภูมิ โดยใช้เทคนิคการเก็บข้อมูลเวลาเชิงปฏิบัติและเทคนิคการวิเคราะห์ระบบคุณภาพควบคู่กัน ดังนี้

การวิเคราะห์ข้อมูลปฐมภูมิ

จากการเก็บรวบรวมข้อมูลจากการสังเกตการณ์ในพื้นที่ปฏิบัติงานจริง ผู้วิจัยพบปัญหาหลักที่ส่งผลให้เกิดของเสียจากการจัดการข้อมูลที่ขาดการเชื่อมโยง ซึ่งประกอบด้วย

1. การส่งข้อมูลผ่านไฟล์ Excel โดยไม่มีการตรวจสอบซ้ำ ทำให้เกิดความคลาดเคลื่อน เช่น การกำหนดจำนวนผลิตไม่ตรงกับวัตถุดิบที่มีในคลัง หรือการเบิกวัตถุดิบผิดรุ่น

2. การเปลี่ยนแปลงข้อมูลการผลิตที่ใช้การสื่อสารผ่านการพูดปากเปล่าหรือกลุ่มไลน์ โดยไม่มีการบันทึกทางการ ซึ่งทำให้ไม่สามารถตรวจสอบย้อนกลับได้

ตารางที่ 2 จำนวนข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากการจัดการข้อมูลที่ไม่บูรณาการในกระบวนการผลิต

เป้าหมาย	เดือน / ปี	ผลลัพธ์ (หน่วย: ครั้ง)
ลดความผิดพลาดเรื่องงานออกแบบ AW, ออกเพลท, ออกบล็อก ที่เกิดจากการขาดการสื่อสารระหว่างกัน	มกราคม 2567	0
	กุมภาพันธ์ 2567	1
	มีนาคม 2567	1
	เมษายน 2567	2
	พฤษภาคม 2567	1
	มิถุนายน 2567	1
รวมทั้งหมด		6

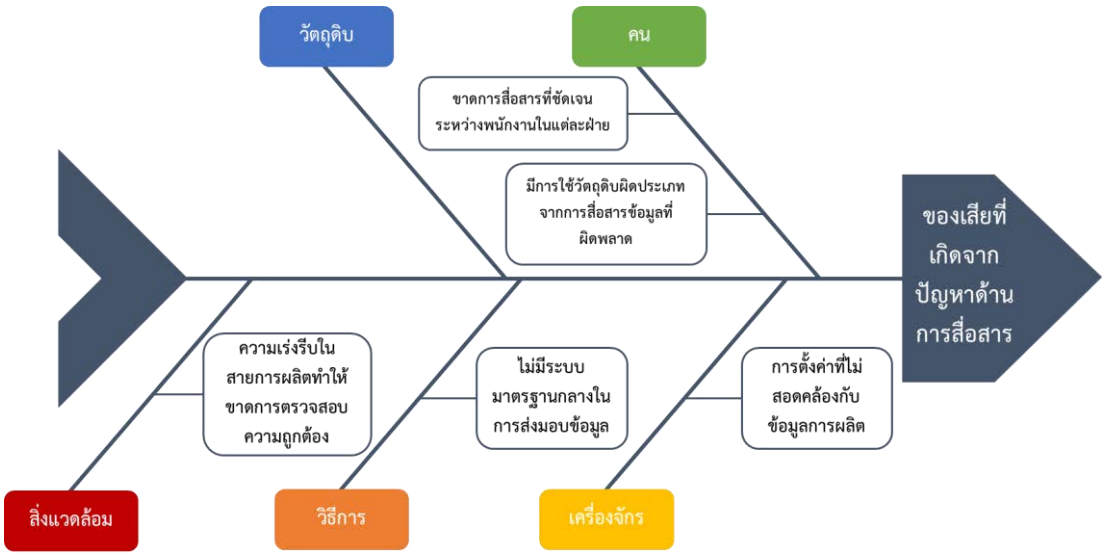
จากการสังเกตการณ์ข้างต้น ผู้วิจัยสันนิษฐานได้ว่า การจัดการข้อมูลที่ไม่บูรณาการในกระบวนการผลิตไม่ได้เกิดจากระบบการทำงานเพียงอย่างเดียว แต่เกิดจากพฤติกรรมของบุคลากรและการขาดมาตรฐานการส่งต่อข้อมูล จึงส่งผลให้เกิดของเสียในกระบวนการผลิตอย่างต่อเนื่อง.

การวิเคราะห์ข้อมูลทุติยภูมิ

การเก็บรวบรวมข้อมูลจากแต่ละหน่วยงานขององค์กรและการวิเคราะห์ข้อมูลพบว่าในช่วงเดือนมกราคมถึงมิถุนายน พ.ศ. 2567 บริษัทกรณีศึกษามีมูลค่าของเสียรวมทั้งสิ้น 2,267,911.52 บาท หรือคิดเป็นอัตราเฉลี่ยประมาณ 6.34% ของยอดผลิตรวม ซึ่งถือว่าเป็นระดับที่สูงเมื่อพิจารณาในเชิงต้นทุนต่อหน่วย โดยสามารถจำแนกสาเหตุของของเสียได้ดังนี้

1. เกิดจากการตั้งเครื่องจักรไม่เหมาะสม จำนวน 1,422,121.58 บาท หรือ 62.71% ของของเสียทั้งหมด ซึ่งเป็นสาเหตุหลักที่หลีกเลี่ยงได้ยากเนื่องจากเป็นส่วนหนึ่งของกระบวนการเตรียมเครื่องจักรก่อนเริ่มงาน

2. เกิดจากการจัดการข้อมูลที่ไม่บูรณาการ จำนวน 845,789.94 บาท หรือ 37.29% ของของเสียรวม ซึ่งสามารถลดได้ผ่านการปรับปรุงระบบสื่อสารภายใน โดยเฉพาะในเดือนกุมภาพันธ์ ซึ่งมีของเสียจากปัญหาดังกล่าวมากที่สุดถึง 219,994.60 บาท คิดเป็น 3.57% ของยอดผลิตเดือนนั้น แสดงให้เห็นถึงความเชื่อมโยงโดยตรงระหว่างประสิทธิภาพการสื่อสารและมูลค่าของเสียที่เกิดขึ้นและนำมาวิเคราะห์แผนผังสาเหตุและผล (Fishbone Diagram) แสดงดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 แผนผังสาเหตุและผลของเสียที่เกิดจากปัญหาด้านการจัดการข้อมูลที่ไม่บูรณาการ

จากรูปที่ 3 ปัญหาการจัดการข้อมูลที่ไม่บูรณาการ เกิดจาก 4 ปัจจัย ได้แก่ ในด้านคน เกิดจากการขาดสื่อสารระหว่างกันทั้งภายในฝ่ายและระหว่างฝ่ายที่เกี่ยวข้อง ทำให้เกิดความผิดพลาดในการปฏิบัติงานจากการได้รับข้อมูลที่ไม่ชัดเจนหรือเข้าใจคลาดเคลื่อน ในด้านเครื่องจักร เมื่อขาดการอัปเดตข้อมูลแบบเรียลไทม์และขาดการสื่อสารระหว่างกัน ส่งผลให้เกิดการตั้งค่าเครื่องจักรให้พร้อมใช้งานไม่ตรงกับแผนการผลิตเกิดการตั้งค่าเครื่องจักรใหม่หลายครั้ง สำหรับด้านวิธีการ ไม่มีระบบในการจัดการข้อมูลในที่เดียว ส่งผลให้แต่ละหน่วยงานอาศัยการสื่อสารกันเองระหว่างกัน เกิดข้อมูลหลายชุด ทำให้มีโอกาสเกิดความคลาดเคลื่อนได้สูง และด้านสิ่งแวดล้อม ที่เกิดจากความเร่งรีบในการปฏิบัติงานในกระบวนการผลิตที่จะต้องผลิตงานอย่างต่อเนื่อง เพื่อให้ได้งานตามแผนการผลิต ส่งผลให้ขาดการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลก่อนเริ่มการผลิต

นอกจากนี้ ผู้วิจัยได้ดำเนินการศึกษาและวิเคราะห์เชิงลึกเกี่ยวกับศักยภาพขององค์กรโดยรวม ผ่านการวิเคราะห์ SWOT เพื่อพิจารณาจุดแข็ง, จุดอ่อน, โอกาส และภัยคุกคามที่มีผลต่อศักยภาพขององค์กรและมีผลต่อของเสียที่เกิดจากการจัดการข้อมูลไม่บูรณาการ แสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 การวิเคราะห์ SWOT

จุดแข็ง (Strengths)	**จุดอ่อน (Weaknesses)**
- องค์กรมี วิสัยทัศน์และเป้าหมายที่ชัดเจน ในการควบคุมคุณภาพและลดของเสียในกระบวนการผลิต โดยมีการกำหนดเป้าหมายในการลดของเสียที่เกิดจากความผิดพลาดของการจัดการข้อมูลที่ไม่บูรณาการข้อมูลงานผลิตลง 80% - มีการจัดเก็บข้อมูลย้อนหลังอย่างเป็นระบบ และใช้เครื่องมือวิเคราะห์ เพื่อระบุสาเหตุที่แท้จริงของของเสีย - ฝ่ายบริหารสนับสนุนนในการลงทุนเครื่องมือเสริมเพื่อนำมาช่วยในการปรับปรุงประสิทธิภาพ เช่น OCR และ ERP - มีทีมงานที่พร้อมให้ความร่วมมือ เช่น ฝ่ายจัดซื้อ วางแผนการผลิต ฝ่ายผลิต และคลังสินค้า	- ปัจจุบันยังไม่มีระบบกลางที่สามารถเชื่อมโยงข้อมูลได้แบบเรียลไทม์ระหว่างแผนก ทำให้เกิดความซ้ำซ้อน การส่งข้อมูลล่าช้า หรือการสื่อสารผิดพลาด - ยังพึ่งพาการส่งข้อมูลด้วยเอกสารกระดาษหรือไฟล์แนบที่แยกกันในแต่ละฝ่าย - ไม่มีระบบตรวจสอบย้อนหลัง (Audit Trail) ว่าใครเป็นผู้เปลี่ยนแปลงข้อมูลหรือสั่งผลิตอะไร - ขาดเครื่องมือวิเคราะห์ข้อมูลและรายงานผลการผลิตอย่างเป็นภาพรวมแบบอัตโนมัติ
โอกาส (Opportunities)	**อุปสรรค (Threats)**
- การเติบโตขึ้นของ AI และธุรกิจ Start up ที่พัฒนาเครื่องมือที่สามารถเข้ามาช่วยในการปรับปรุงให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น เช่น ระบบ OCR, ระบบ ERP, AI และการเชื่อมโยง Big Data	- พนักงานบางส่วนยังขาดความมั่นใจหรือขาดความรู้เกี่ยวกับการใช้งานระบบใหม่ จึงอาจเกิดความลังเลหรือปฏิเสธการใช้งาน - การเปลี่ยนระบบจำเป็นต้องใช้เวลาในการฝึกอบรม และการปรับเปลี่ยนพฤติกรรมการทำงาน - องค์กรอาจต้องใช้ทรัพยากรเพิ่มเติม เช่น งบประมาณและเวลาสำหรับการสื่อสาร การฝึกอบรม และการสร้างแรงจูงใจให้พนักงานยอมรับ

จากตารางที่ 3 พบว่า ปัญหาสำคัญที่มีผลต่อศักยภาพขององค์กรและมีผลต่อของเสียที่เกิดจากการจัดการข้อมูลไม่บูรณาการนั้นเกิดจากระบบการทำงานที่ไม่สามารถเชื่อมโยงข้อมูลได้แบบเรียลไทม์ระหว่างแผนก ทำให้เกิดความซ้ำซ้อน การส่งข้อมูลล่าช้า หรือการสื่อสารผิดพลาด ทำให้ตัดสินใจคลาดเคลื่อน รวมถึงการไม่มีระบบตรวจสอบย้อนหลัง ทำให้ไม่สามารถสอบกลับข้อมูลย้อนหลังได้ จึงเป็นสาเหตุหลักที่ส่งผลให้เกิดของเสียในกระบวนการผลิตอย่างต่อเนื่อง คิดเป็น 35.98% ของของเสียทั้งหมดในครึ่งปีแรก พ.ศ. 2567 ซึ่งจากการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงลึกในข้างต้น ผู้วิจัยได้ตัดสินใจแก้ไขปัญหาดังกล่าวด้วย กลยุทธ์การลดต้นทุน (Cost

Reduction Strategy) ควบคู่กับกลยุทธ์ SO (Strength–Opportunity) แสดงดังตารางที่ 4 โดยมุ่งเน้นการพัฒนาระบบ ERP เพื่อจัดการข้อมูลแบบเรียลไทม์ วางแผนล่วงหน้า และลดค่าใช้จ่ายที่ไม่จำเป็นในห่วงโซ่คุณค่าโดยไม่กระทบคุณภาพสินค้า เพื่อป้องกันปัญหาก่อนเกิด และลดของเสียอย่างยั่งยืน

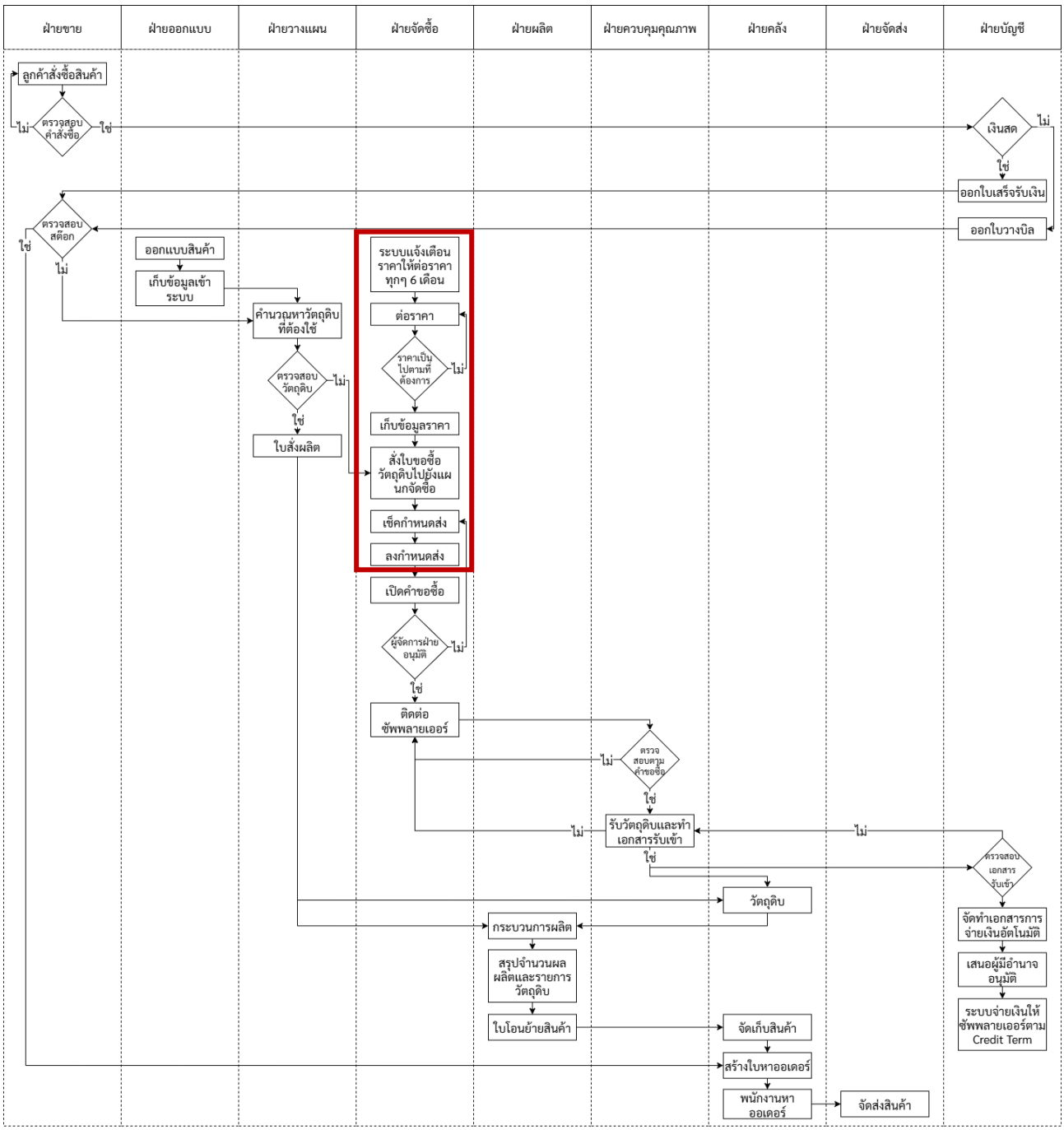
ตารางที่ 4 การวิเคราะห์ TOWS matrix

SO (Strengths – Opportunities)	WO (Weaknesses – Opportunities)
SO-1 พัฒนาระบบ ERP พร้อมกับประยุกต์เทคโนโลยี OCR และ AI - ใช้วิสัยทัศน์/เป้าหมายที่ชัดเจนขององค์กร การสนับสนุนจากผู้บริหารและทีมงาน และฐานข้อมูลย้อนหลังมาต่อยอดทางด้านเทคโนโลยีเพื่อเชื่อมโยงข้อมูลระหว่างหน่วยงานแบบเรียลไทม์ ลดการสื่อสารคลาดเคลื่อนและความซ้ำซ้อน **SO-2 กลยุทธ์ลดต้นทุนในห่วงโซ่คุณค่าโดยไม่กระทบคุณภาพ** - ใช้ความพร้อมด้านข้อมูล/ทีมงาน/ผู้บริหาร ผสาน ECRS เพื่อตัดงานซ้ำและลดขั้นตอน manual เพื่อป้องกันปัญหาก่อนเกิดและลดความสูญเปล่าอย่างยั่งยืน	**WO-1 แก้ไขปัญหาการไม่มีระบบกลางที่สามารถเชื่อมโยงข้อมูลได้แบบเรียลไทม์ด้วยระบบ ERP** - การเปลี่ยนจากการส่งไฟล์เป็นการบันทึกฐานข้อมูลกลางที่ตรวจสอบย้อนกลับได้ สามารถเชื่อมโยงข้อมูลอัตโนมัติระหว่างหน่วยงาน และใช้ AI Forecasting สนับสนุนการตัดสินใจด้านการผลิต เพื่อลดความผิดพลาดซ้ำซ้อนและเร่งการตัดสินใจ **WO-2 ลด manual entry ด้วยเทคโนโลยี OCR, IoT, AI** - เริ่มจากใช้ OCR แปลงเอกสารเป็นดิจิทัลเพื่อให้ตรวจสอบได้โดยอัตโนมัติ และประยุกต์ใช้ IoT ต่อเข้าระบบ ERP เพื่อดึงข้อมูลเครื่องจักรหน้างานอัตโนมัติ ลดการคีย์ด้วยมือบนอุปกรณ์พกพา เพิ่มความแม่นยำ/ความทันท่วงทีของข้อมูล
ST (Strengths – Threats)	**WT (Weaknesses – Threats)**
ST-1 บริหารการเปลี่ยนแปลงเชิงรุกโดยอาศัยการสนับสนุนจากผู้บริหารและทีมงาน - รับมือกับความลังเล/การขาดความรู้ของพนักงานด้วยแผนการสื่อสาร การฝึกอบรม พร้อมทั้งคู่มือการใช้งาน เพื่อยกระดับการยอมรับระบบใหม่ตามแผน 11 เดือน **ST-2 จัดการความเสี่ยงเชิงระบบ** - ใช้ Risk Matrix ระบุความเสี่ยงที่มีโอกาสเกิดขึ้น และกำหนดวิธีรับมือกับความเสี่ยงในระหว่างการพัฒนา การทดสอบ และการใช้งานจริง เพื่อลดผลกระทบต่อเสถียรภาพของระบบ	**WT-1 การดำเนินการปรับใช้ระบบแบบเป็นระยะ พร้อมการสนับสนุนทรัพยากรและการจัดทำมาตรการสำรอง** - ใช้กลยุทธ์การปรับใช้ระบบในลักษณะเป็นระยะ (Prototype – Pilot – ขยายผล) ควบคู่กับการจัดสรรทรัพยากรที่เพียงพอ ทั้งด้านงบประมาณ เวลา และการฝึกอบรมบุคลากร พร้อมวางระบบสำรองเพื่อรองรับปัญหาที่อาจเกิดขึ้น **WT-2 ติดตามและควบคุมด้วยตัวชี้วัดรายเดือน** - กำหนดตัวชี้วัดความสำเร็จ เช่น การลดของเสียจากการจัดการข้อมูลที่ไม่บูรณาการไม่น้อยกว่าร้อยละ 80 ภายใน 6 เดือน และติดตามผลการดำเนินงานรายเดือนอย่างต่อเนื่อง เพื่อให้มั่นใจว่าการปรับเปลี่ยนสู่ระบบ ERP เป็นไปอย่างราบรื่นและสามารถสร้างผลลัพธ์ที่ยั่งยืนต่อไปในอนาคต

การสร้างหรือประยุกต์ใช้นวัตกรรม

การแก้ปัญหาทางธุรกิจ (Solutions)

จากกลยุทธ์ดังกล่าว ผู้วิจัยได้นำมาประยุกต์ใช้เพื่อปรับปรุงแผนภาพ Swim Lane Diagram ให้สะท้อนการจัดการข้อมูลแบบใหม่ที่สอดคล้องกับระบบ ERP ให้สามารถลดของเสียจากความคลาดเคลื่อนของข้อมูลได้อย่างเป็นรูปธรรม แสดงดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 Swim Lane Diagram ของบริษัทกรณีศึกษา (หลังปรับปรุง)

จากรูปที่ 4 แสดงให้เห็นการพัฒนากระบวนการโดยการบูรณาการระบบ ERP ในการจัดเก็บและบริหารจัดการข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิต วัตถุดิบ/สินค้า ตลอดจนซัพพลายเออร์ ทำให้สามารถลดความซ้ำซ้อนของขั้นตอน เพิ่มความถูกต้องของข้อมูล และสนับสนุนการตัดสินใจในการเปิดใบสั่งซื้อได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น นอกจากนี้ การปรับปรุงดังกล่าวยังช่วยให้การ

ประสานงานระหว่างฝ่ายต่าง ๆ มีความคล่องตัว ลดระยะเวลาในการดำเนินงาน และลดความผิดพลาดที่เกิดจากการพึ่งพาการปฏิบัติงานแบบ manual ได้อย่างมีนัยสำคัญ โดยในการดำเนินการปรับปรุงกระบวนการ ผู้วิจัยได้ประยุกต์ใช้หลักการ ECRS ซึ่งเป็นหลักการที่ช่วยให้สามารถปรับปรุงกระบวนการทำงาน เพิ่มประสิทธิภาพ และลดความสูญเสียในการดำเนินงานด้วย 2 ขั้นตอนหลักในการปรับปรุงกระบวนการ ดังนี้

1. การกำจัด (Eliminate)

ปรับปรุงในขั้นตอนการดึงรายงานยอดขายและพยากรณ์ยอดขาย โดยจากเดิมต้องดึงข้อมูลจาก Power BI และวิเคราะห์ด้วย Minitab เปลี่ยนเป็นให้ระบบดึงข้อมูลย้อนหลังและส่งต่ออัตโนมัติให้ My GPTs พยากรณ์ยอดผลิต ใช้ข้อมูลอดีตและปัจจุบันร่วมกับข้อมูลจากเซลล์

รวมถึงปรับปรุงในขั้นตอนการดาวน์โหลด PDF คำสั่งซื้อและส่งอีเมล จากเดิมต้องดาวน์โหลดจาก Business Plus แล้วส่งอีเมล เปลี่ยนเป็นให้ระบบส่งข้อมูลไปยังเว็บไซต์สำหรับซัพพลายเออร์โดยตรง พร้อมข้อมูลครบถ้วนและประวัติย้อนหลัง

2. การทำให้ง่ายขึ้น (Simplify)

ปรับปรุงในขั้นตอนการตรวจสอบคำสั่งซื้อ โดยใช้ OCR ตรวจสลิปอัตโนมัติ แทนการตรวจด้วยมือ

ปรับปรุงในขั้นตอนการกำหนดวัตถุดิบ โดยให้ฝ่ายออกแบบกรอกข้อมูลลงฐานข้อมูลกลาง แล้วฝ่ายอื่นสามารถนำข้อมูลไปใช้ได้ทันที

ปรับปรุงในขั้นตอนการตรวจสต๊อกวัตถุดิบ โดยเช็คสต็อกผ่านระบบหลังอัตโนมัติได้แบบเรียลไทม์

ปรับปรุงในขั้นตอนการออกใบสั่งผลิต โดยให้ระบบดึงข้อมูลและส่งให้ฝ่ายผลิตอัตโนมัติ พร้อมเก็บข้อมูลผลิตย้อนกลับ

ปรับปรุงในขั้นตอนการขอซื้อวัตถุดิบ โดยให้ระบบเปิดใบสั่งซื้ออัตโนมัติ พร้อมกำหนดการผลิตและแจ้งเตือน

ปรับปรุงในขั้นตอนการตรวจวัตถุดิบ โดยให้ระบบคำนวณอัตโนมัติ ตรวจสอบและส่งข้อมูลเข้าสู่ระบบบัญชีล่วงหน้า

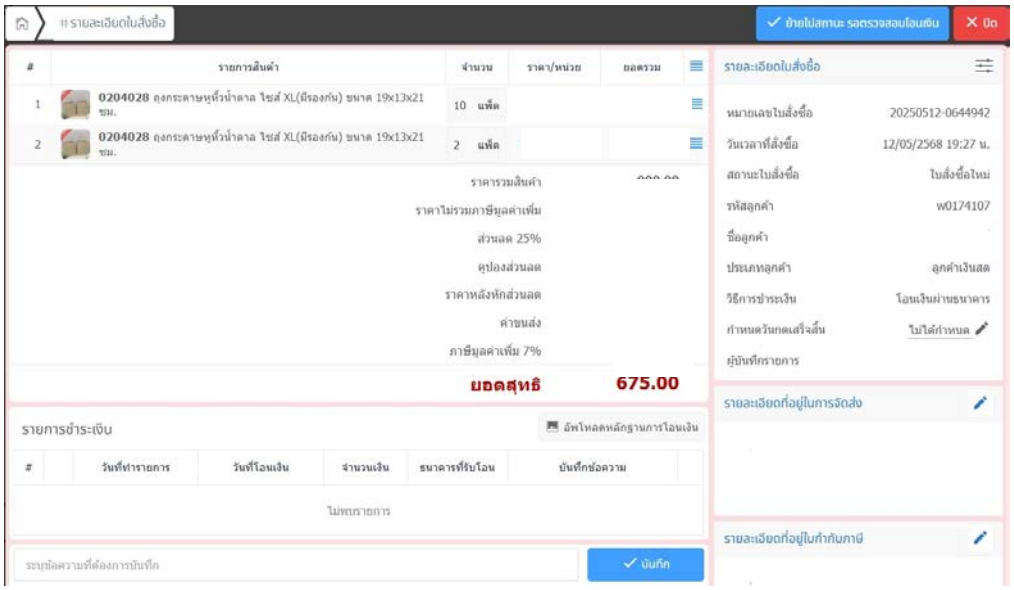
แผนปฏิบัติการเพื่อให้เกิดผลลัพธ์

ผู้วิจัยได้กำหนดแผนปฏิบัติการที่ครอบคลุมทั้งด้านกรอบเวลา ขอบเขตการดำเนินงาน ทรัพยากร และการบริหารความเสี่ยง เพื่อให้การนำนวัตกรรมการจัดการข้อมูลด้วยระบบ Enterprise Resource Planning (ERP) ไปใช้งานจริงภายในองค์กรได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยมีเป้าหมายหลักในการลดของเสียที่เกิดจากการจัดการข้อมูลที่ไม่บูรณาการในกระบวนการผลิตให้ได้ไม่น้อยกว่า 80% ภายใน 6 เดือนหลังจากการใช้งานระบบ ERP โดยแผนปฏิบัติการประกอบด้วยการกำหนดขอบเขตและผลลัพธ์ที่ต้องการ ซึ่งได้แก่ การพัฒนาระบบนำร่อง (Prototype) สำหรับกระบวนการผลิต, การเชื่อมโยงข้อมูลระหว่างหน่วยงานหลัก, การทดสอบระบบและการประเมินผลสัมฤทธิ์, และการฝึกอบรมบุคลากรเพื่อให้สามารถใช้งานระบบได้อย่างถูกต้อง โดยเน้นการฝึกอบรมทั้งในรูปแบบ Workshop และ Online Training สำหรับบุคลากรในแต่ละฝ่าย การพัฒนากรอบเวลาของโครงการกำหนดระยะเวลา 11 เดือน ตั้งแต่กรกฎาคม 2567 ถึงพฤษภาคม 2568 โดยแบ่งออกเป็น 4 ระยะ ได้แก่ การศึกษาปัญหาและเก็บข้อมูล, การออกแบบระบบและจัดทำต้นแบบ, การทดสอบระบบ, และการประเมินผลการใช้งานระบบ นอกจากนี้ การจัดสรรทรัพยากรได้ถูกพิจารณาอย่างรอบคอบทั้งในด้านงบประมาณ บุคลากร และเทคโนโลยีที่ใช้ในการพัฒนา เช่น ระบบ ERP, OCR, AI และ Cloud Platform ในส่วนของการบริหารความเสี่ยง ผู้วิจัยได้ใช้ Risk Matrix เพื่อประเมินความเสี่ยงและกำหนดแนวทางในการจัดการความเสี่ยงที่เกิดขึ้นในแต่ละขั้นตอน โดยมีการวิเคราะห์ความเสี่ยงจากหลายปัจจัย เช่น ความล่าช้าในการประสานงานและความผิดพลาดของระบบ OCR และได้กำหนดวิธีการจัดการความเสี่ยงให้เหมาะสมกับแต่ละระดับความเสี่ยง พร้อมทั้งผู้วิจัยได้กำหนดตัวชี้วัดความสำเร็จ โดยมุ่งเน้นที่การลดของเสียจากการจัดการข้อมูลที่ไม่บูรณาการให้ได้ไม่น้อยกว่า 80% ภายในระยะเวลา 6 เดือนหลังจากใช้งานระบบ ERP ซึ่งคาดว่าจะสามารถคืนทุน

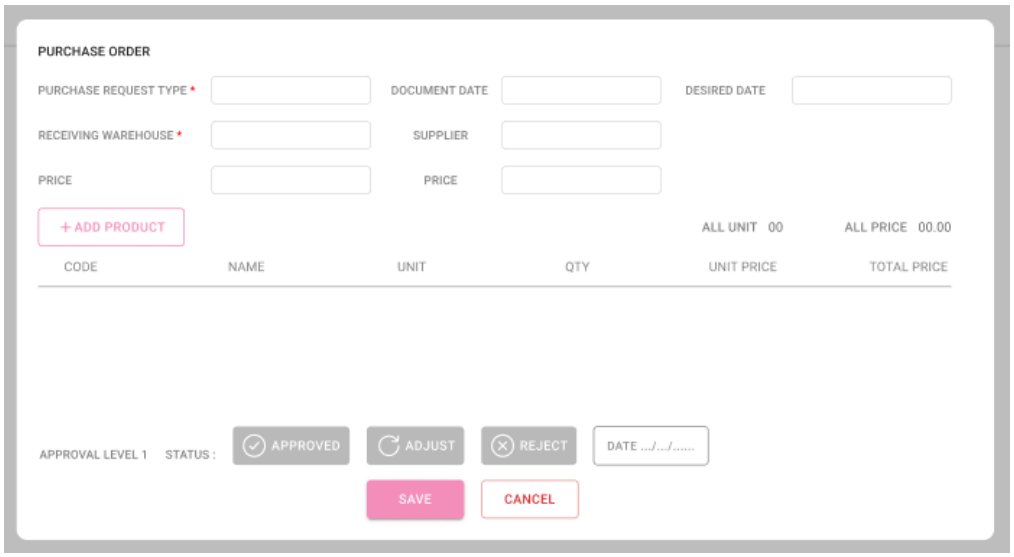
จากการลงทุนภายในระยะเวลา 1.14 ปี โดยผู้วิจัยได้อ้างอิงข้อมูลให้มูลค่าการลงทุนสามารถคืนทุนได้ภายใน 1 ปี (คิดจากงบประมาณที่ใช้เทียบกับมูลค่าของเสียที่เกิดขึ้นใน 6 เดือน) โดยจากเงินลงทุนทั้งหมด 1,548,800 บาท และมูลค่าของเสียจากปัญหาการจัดการข้อมูล (ก่อนปรับปรุง) เป็นระยะเวลา 6 เดือนอยู่ที่ 845,789.94 บาท ซึ่งมีเป้าหมายในการลดของเสียลงไม่น้อยกว่าร้อยละ 80 จะส่งผลให้ลดของเสียได้อยู่ที่ 676,631.95 บาท ในระยะเวลา 6 เดือน ซึ่งจะสามารถสรุปได้ว่า Payback Period = 1,548,800 ÷ 1,353,263.90 = 1.14 ปี (เผื่อค่าใช้จ่ายอื่นๆ 30%)

5. ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

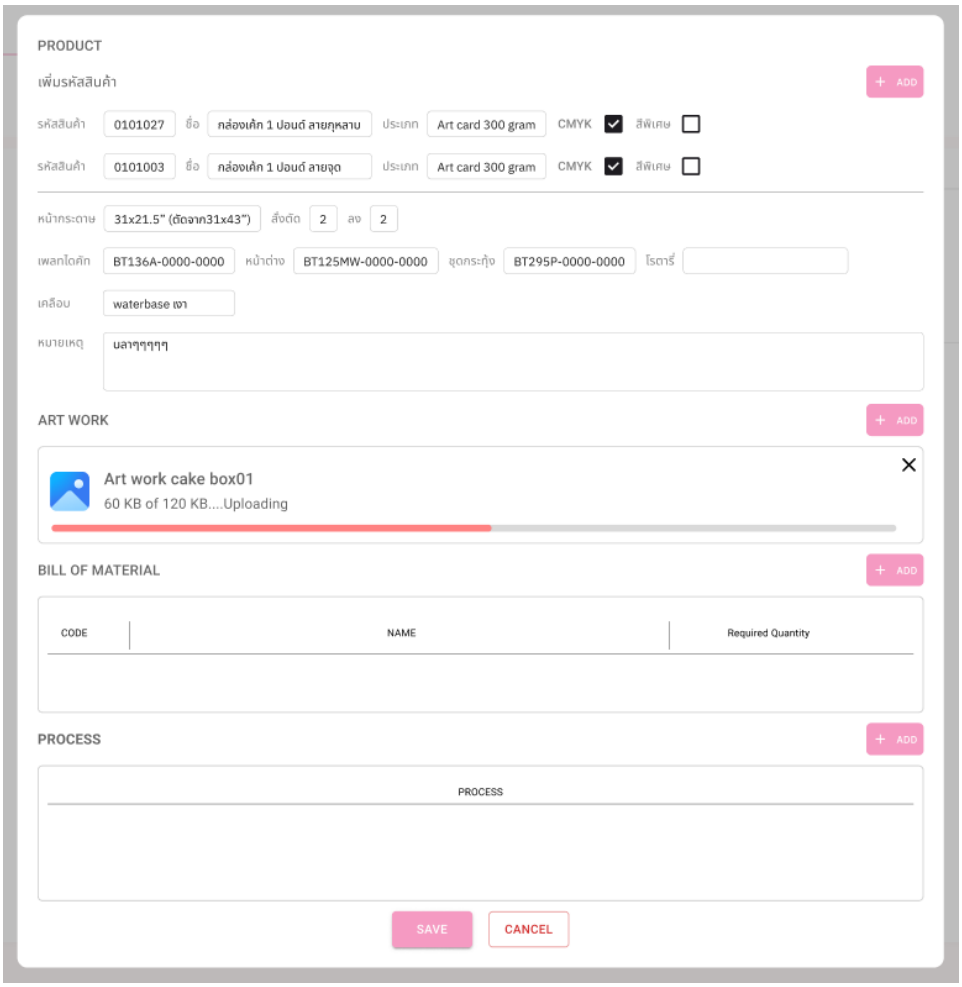
ในการวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้นำเสนอ Process Innovation โดยมุ่งเน้นการออกแบบและพัฒนาระบบสารสนเทศที่ทำหน้าที่เป็นศูนย์กลางการจัดเก็บและส่งต่อข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิตภายในองค์กร เพื่อแก้ไขปัญหาการจัดการข้อมูลที่ไม่บูรณาการระหว่างหน่วยงาน ซึ่งส่งผลต่อการเกิดของเสียในการผลิตโดยนวัตกรรมที่ใช้ในโครงการนี้มีจุดมุ่งหมายหลักเพื่อเสริมสร้างการจัดการที่มีประสิทธิภาพ โปร่งใส และสามารถตรวจสอบย้อนกลับได้อย่างเป็นระบบ โดยเทคโนโลยีหลักที่ใช้ในการพัฒนา ได้แก่ ระบบ Enterprise Resource Planning (ERP) ซึ่งถือเป็นหัวใจของนวัตกรรมในโครงการนี้ เนื่องจากสามารถเชื่อมโยงข้อมูลระหว่างฝ่ายต่าง ๆ เช่น ฝ่ายออกแบบ, ฝ่ายวางแผนการผลิต, ฝ่ายจัดซื้อ, ฝ่ายคลังสินค้า และฝ่ายผลิตได้อย่างมีประสิทธิภาพและทันเวลาในรูปแบบเรียลไทม์ ซึ่งช่วยลดข้อผิดพลาดในการจัดการข้อมูล เช่น การสั่งซื้อวัตถุดิบผิดประเภท การจัดเก็บข้อมูลคำสั่งผลิตไม่ครบถ้วน หรือการตั้งเครื่องจักรไม่สอดคล้องกับสเปกของสินค้า ระบบ ERP จะทำหน้าที่เป็นแพลตฟอร์มกลางในการรวบรวมข้อมูลทั้งหมด และยังสามารถจัดทำรายงาน วิเคราะห์แนวโน้ม และแสดงผลผ่านแดชบอร์ดที่ผู้บริหารและหน่วยงานที่เกี่ยวข้องสามารถเข้าถึงได้แบบทันที ทำให้การตัดสินใจเป็นไปอย่างแม่นยำและทันต่อสถานการณ์ นอกจากนี้ ผู้วิจัยยังได้เสริมเทคโนโลยี OCR (Optical Character Recognition) เพื่อสนับสนุนการทำงานของระบบ ERP ให้มีความยืดหยุ่นและสะดวกมากขึ้น โดย OCR จะถูกใช้ในกรณีที่ยังมีการใช้เอกสารกระดาษภายในองค์กร เช่น ใบสั่งผลิตจากลูกค้า หรือใบสั่งซื้อภายใน ที่ต้องการแปลงเป็นข้อมูลดิจิทัลอย่างรวดเร็ว โดยไม่ต้องกรอกข้อมูลซ้ำด้วยมือ ซึ่งช่วยลดภาระงานของบุคลากรและลดข้อผิดพลาดจากการป้อนข้อมูล โดยระบบ ERP ที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้มีหลายฟังก์ชันที่ช่วยเสริมประสิทธิภาพการทำงานภายในองค์กร แสดงดังต่อไปนี้

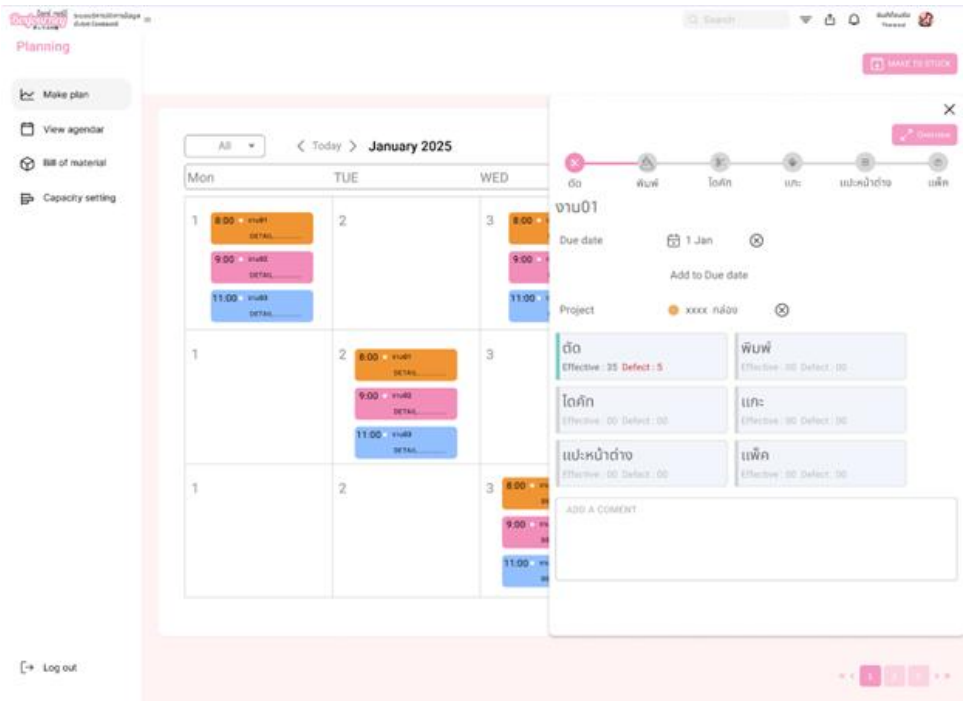


รูปที่ 5 ใบสั่งซื้อและใบจัดออเดอร์

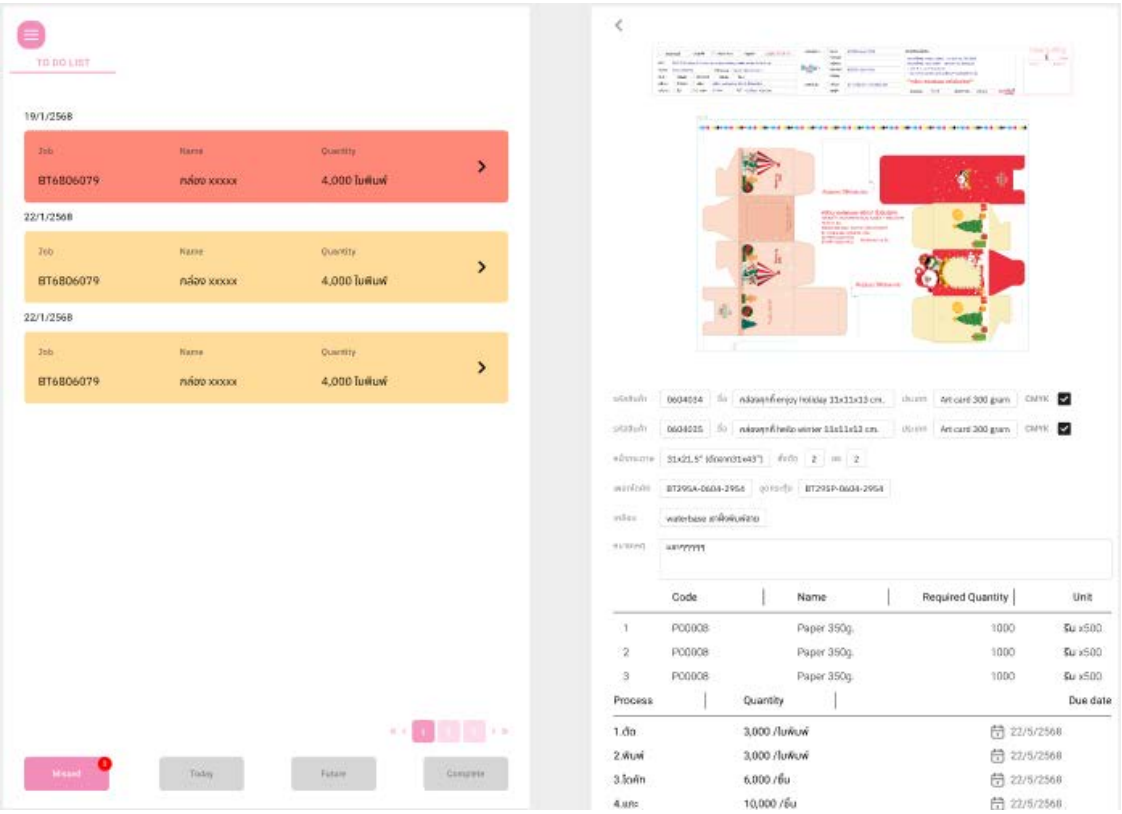


รูปที่ 6 Purchase Order

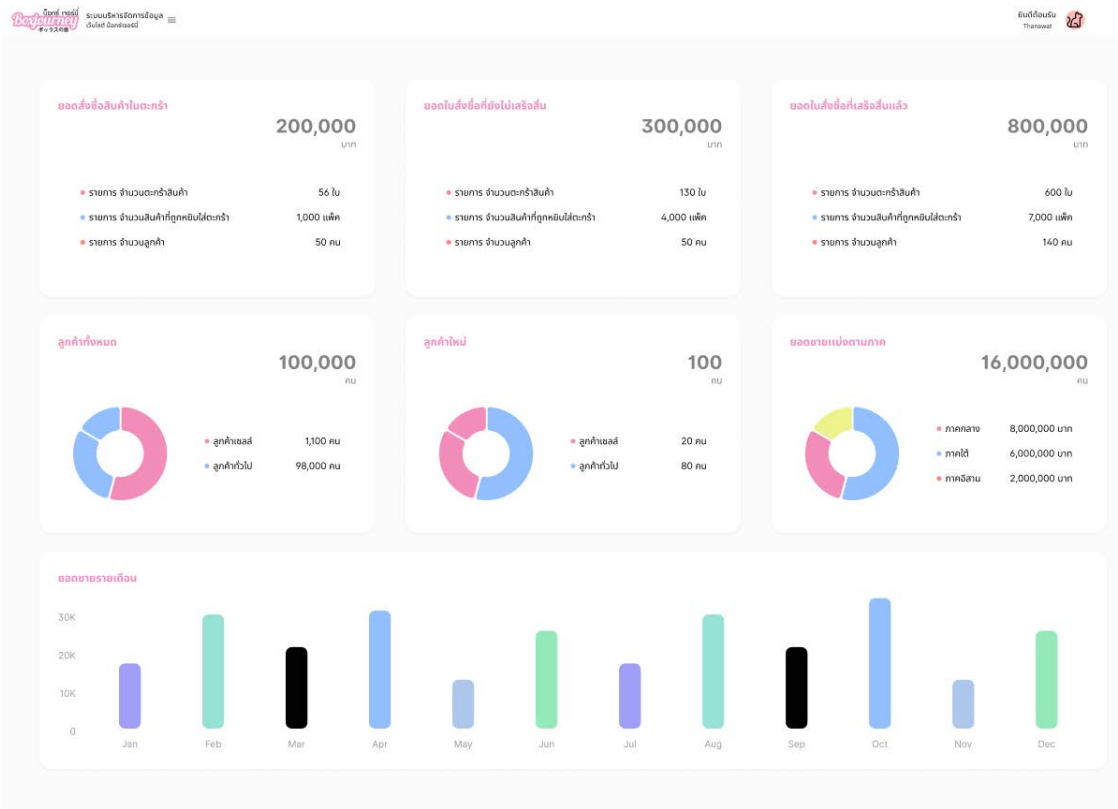




รูปที่ 7 ระบบ Bill of Material และระบบการวางแผนการผลิต



รูปที่ 8 ระบบ Production สำหรับใช้ในการเก็บข้อมูลหน้างานผ่าน Handheld



รูปที่ 9 หน้าจอแสดงผลข้อมูลภาพรวมภายในองค์กร

จากการวิเคราะห์กระบวนหลังการปรับปรุงพบว่าระยะเวลาในกระบวนการดำเนินงานรวมระหว่างข้อมูลก่อนปรับปรุงและหลังปรับปรุง ลดลงจาก 801.3 นาที เหลือเพียง 625.4 นาที คิดเป็นการลดลงประมาณ 21.96% ของระยะเวลาเดิม แสดงดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 การวิเคราะห์กิจกรรมตามแนวคิดการจัดการลีนในแผนกต่าง ๆ หลังการปรับปรุง

หน่วยงาน	VA	NVA	NNVA	รวม
ฝ่ายขาย	0.00	0.00	33.00	33.00
ฝ่ายบัญชีและการเงิน	0.00	0.00	25.70	25.70
ฝ่ายออกแบบ	270.00	0.00	56.70	326.70
ฝ่ายวางแผนการผลิต	0.00	0.00	65.00	65.00
ฝ่ายจัดซื้อ	9.00	0.00	5.00	14.00
ฝ่ายควบคุมคุณภาพ	45.00	0.00	1.00	46.00
ฝ่ายคลังสินค้า	0.00	2.00	25.00	27.00
ฝ่ายผลิต	62.00	6.00	2.00	70.00
ฝ่ายจัดส่ง	5.00	0.00	0.00	5.00
รวม	391.00	8.00	213.40	612.40

จากตารางที่ 5 พบว่า ฝ่ายออกแบบมีค่า VA สูงที่สุดที่ 270.00 หน่วย ซึ่งแสดงถึงการทำกิจกรรมที่สร้างคุณค่าโดยตรงต่อลูกค้า โดยเฉพาะในด้านการออกแบบสินค้าที่ตอบสนองความต้องการของลูกค้า ขณะที่ฝ่ายบัญชีและฝ่ายจัดซื้อไม่มีกิจกรรม VA และมีกิจกรรม NNVA ซึ่งเป็นกระบวนการที่จำเป็นต้องทำตามข้อกำหนดภายในองค์กร เช่น การตรวจสอบเอกสารการเงินและการจัดการ

การซื้อวัสดุ ส่วนฝ่ายคลังมี NVA ที่ 2.00 หน่วย ซึ่งบ่งชี้ว่ามีกิจกรรมที่ไม่สร้างคุณค่าและอาจใช้ทรัพยากรที่ไม่จำเป็น ทั้งนี้ จากผลรวมในตารางพบว่า VA รวมทั้งหมด 391.00 หน่วย, NVA รวมทั้งหมด 8.00 หน่วย, และ NNVA รวมทั้งหมด 213.40 หน่วย ซึ่งแสดงให้เห็นว่ามีการทำกิจกรรมที่สร้างคุณค่าค่อนข้างมาก แต่ยังมี NNVA ที่ต้องการการพัฒนาหรือปรับปรุง โดยเฉพาะในแผนกที่เกี่ยวข้องกับการซื้อและบัญชีที่มีภาระภายในองค์กร จากการเปรียบเทียบ ฝ่ายวางแผนมีการปรับปรุงที่ดีที่สุด รองลงมาคือฝ่ายจัดซื้อและฝ่ายออกแบบ ขณะที่ฝ่ายอื่น ๆ มีการลดลงในระดับที่น้อยกว่า หรือมีระยะเวลาเท่าเดิม

อภิปรายผล (Discussion)

จากการศึกษางานวิจัยเกี่ยวกับการปรับปรุงกระบวนการผลิตบรรจุภัณฑ์กระดาษผ่านการบูรณาการข้อมูลและการใช้เทคโนโลยี Enterprise Resource Planning (ERP) พบว่า ปัญหาหลักที่ก่อให้เกิดความสูญเสียในการผลิตมาจากสองสาเหตุหลัก คือ การตั้งเครื่องจักรในกระบวนการผลิตที่ไม่เหมาะสมและการจัดการข้อมูลที่ไม่บูรณาการ การใช้ระบบ ERP ร่วมกับเทคโนโลยี OCR (Optical Character Recognition) และ AI (Artificial Intelligence) ได้ช่วยในการเชื่อมโยงข้อมูลระหว่างฝ่ายต่างๆ ภายในองค์กรอย่างมีประสิทธิภาพ, ลดข้อผิดพลาดจากการป้อนข้อมูลด้วยมือ และทำให้กระบวนการผลิตสามารถทำงานได้แบบเรียลไทม์ การปรับปรุงกระบวนการนี้ส่งผลให้ระยะเวลาการดำเนินงานลดลงประมาณ 21.96% โดยเฉพาะในฝ่ายวางแผนและฝ่ายจัดซื้อที่สามารถลดระยะเวลาในการดำเนินงานได้อย่างมีนัยสำคัญ

นอกจากนี้ การนำเทคโนโลยี OCR เข้ามาช่วยในการแปลงเอกสารกระดาษเป็นข้อมูลดิจิทัล ยังช่วยลดความผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นจากการจัดการข้อมูลแบบเดิมที่ใช้เอกสารกระดาษหรือไฟล์ Excel ในการส่งข้อมูลระหว่างฝ่ายต่างๆ และการใช้ AI Forecasting ในการพยากรณ์ยอดการผลิตยังทำให้การตัดสินใจเกี่ยวกับปริมาณการผลิตมีความแม่นยำและเหมาะสมกับความต้องการของตลาด การประยุกต์ใช้กลยุทธ์การลดต้นทุน (Cost Reduction Strategy) และแนวคิดการปรับปรุงกระบวนการ (LEAN) ส่งผลให้สามารถลดของเสียและเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตได้อย่างชัดเจน อย่างไรก็ตาม การดำเนินโครงการนี้ยังพบความท้าทายในด้านการบริหารการเปลี่ยนแปลง เช่น การฝึกอบรมบุคลากรให้คุ้นเคยกับระบบใหม่ และการปรับตัวขององค์กรในการใช้เทคโนโลยีใหม่ๆ รวมถึงการเชื่อมโยงข้อมูลระหว่างฝ่ายต่างๆ ให้มีความสอดคล้องกัน ซึ่งต้องใช้เวลาในการปรับเปลี่ยนพฤติกรรมการทำงานและการพัฒนาทักษะทางเทคนิคให้พร้อมรองรับการใช้งานระบบ ERP อย่างเต็มที่ ผลจากการดำเนินโครงการนี้คาดว่าจะสามารถลดของเสียจากปัญหาการจัดการข้อมูลที่ไม่บูรณาการได้ถึงร้อยละ 83.21 จากของเสียเดิมมูลค่า 845,789.94 บาท ลดเหลือประมาณ 142,008.13 บาท ภายในระยะเวลา 6 เดือนหลังจากเริ่มใช้งานระบบ

6. สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยฉบับนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อยกระดับประสิทธิภาพกระบวนการผลิตบรรจุภัณฑ์กระดาษ โดยลดความสูญเสียที่เกิดจากการจัดการข้อมูลที่ไม่บูรณาการ ด้วยการออกแบบและพัฒนาระบบ ERP ที่ผสานการทำงานร่วมกับเทคโนโลยี OCR และ AI ซึ่งระบบดังกล่าวถูกนำไปทดลองใช้จริงในหน่วยงานผ่านโครงการนำร่อง (Pilot Project) เป็นระยะเวลา 6 เดือน เพื่อประเมินผลในเชิงประจักษ์ โดยผลการวิจัยพบว่า ระบบ ERP ที่พัฒนาขึ้นสามารถลดของเสียที่เกิดจากปัญหาการจัดการข้อมูลที่ไม่บูรณาการได้สูงถึง ร้อยละ 83.21 เมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลพื้นฐานก่อนการใช้งาน โดยลดลงจากมูลค่าความเสียหายเดิม 845,789.94 บาท เหลือเพียงประมาณ 142,008.13 บาท นอกจากนี้ จำนวนคำสั่งผลิตที่เกิดจากการวางแผนผิดพลาดยังลดลงมากกว่า ร้อยละ 80 ซึ่งส่งผลให้การใช้วัตถุดิบและการบริหารสต็อกมีความแม่นยำมากยิ่งขึ้น อีกทั้งยังสามารถลดระยะเวลาในการวางแผนและประสานงานคำสั่งผลิตลงได้เฉลี่ย ร้อยละ 40 ทำให้กระบวนการตอบสนองต่อความต้องการของลูกค้าเป็นไปอย่างรวดเร็วและยืดหยุ่นมากยิ่งขึ้น นอกจากนี้ในด้านบุคลากรที่เกี่ยวข้อง คิดเป็นร้อยละ 90 บุคลากรมีความสามารถในการปรับตัวและใช้งานระบบได้อย่างมีประสิทธิภาพ ภายหลังการฝึกอบรมและสนับสนุนด้วยคู่มือการใช้งานอย่างเป็นระบบ โดยรวมแล้ว ระบบ ERP ที่บูรณาการเทคโนโลยีดังกล่าวสามารถยกระดับประสิทธิภาพการจัดการภายในองค์กรได้อย่างเป็นรูปธรรม ลดต้นทุนความสูญเสีย และเพิ่มศักยภาพในการแข่งขันของอุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์กระดาษ ซึ่งสามารถประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตอื่นที่มีโครงสร้างการทำงานคล้ายคลึงกันได้อย่างเหมาะสม

7. ข้อเสนอแนะ

การใช้ระบบปัจจุบันที่ให้พนักงานคีย์ข้อมูลการผลิตผ่านไอแพด แม้จะช่วยอำนวยความสะดวกในการป้อนข้อมูล แต่ยังคงมีข้อจำกัดในเรื่องของความแม่นยำและเวลา เนื่องจากการคีย์ข้อมูลด้วยมืออาจทำให้เกิดข้อผิดพลาดจากการพิมพ์ผิดหรือการตีความคำสั่งไม่ชัดเจน อีกทั้งยังเป็นกระบวนการที่ใช้เวลาค่อนข้างมาก ซึ่งอาจส่งผลให้กระบวนการผลิตล่าช้าและไม่สามารถติดตามสถานะการผลิตได้ทันที การปรับไปใช้ Internet of Things (IoT) จะช่วยแก้ไขปัญหานี้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ เพราะ IoT สามารถเชื่อมโยงข้อมูลจากอุปกรณ์ต่าง ๆ ในกระบวนการผลิตไปยังระบบ ERP โดยอัตโนมัติ ไม่ต้องมีการป้อนข้อมูลด้วยมือ ซึ่งจะช่วยลดข้อผิดพลาดจากการป้อนข้อมูลผิดพลาด เพิ่มความแม่นยำ และทำให้ข้อมูลถูกส่งตรงไปยังระบบในเวลาจริง ลดเวลาการคีย์ข้อมูลที่ใช้มือในการป้อน และทำให้กระบวนการผลิตรวดเร็วขึ้น นอกจากนี้ การใช้ IoT ยังช่วยให้สามารถติดตามสถานะการผลิต, เครื่องจักร, หรือวัตถุดิบได้ทันที เพิ่มความโปร่งใส และช่วยให้ผู้บริหารตัดสินใจได้อย่างรวดเร็วและแม่นยำ.

8. เอกสารอ้างอิง

Biz in Thai Team. (2565). *The 8 Wastes*. [ภาพ]. สืบค้นวันที่ 19 สิงหาคม 2567, จาก https://www.bizinthai.com/16428282/ความสูญเปล่า-waste

Bussaracum Smith. (2565). *Kotter's 8 Step of change*. [ภาพ]. สืบค้นวันที่ 19 สิงหาคม 2567, จาก https://medium.com/@smithywow/leadership-and-change-ความท้าทายของผู้นำกับการเปลี่ยนแปลง-cb81ec35307a

Mandala Team. (2567). *6 วิธีการเขียนแผนธุรกิจหรือ Business Plan ในปี 2024*. สืบค้นวันที่ 27 สิงหาคม 2567, จาก https://blog.mandalasystem.com/th/business-plan

Gamido, M. V., Gamido, H. V., & Macaspac, D. J. P. (2566). *Electronic document management system for local area network-based organizations*. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, 31(2), 1154-1163.

จิตติพงศ์ เลิศประดิษฐ์. (2562). *Digital Transformation Roadmap*. [ภาพ]. สืบค้นวันที่ 19 สิงหาคม 2567, จาก https://martechmafia.net/technology/digital-transformation-roadmap

จิตติพงศ์ เลิศประดิษฐ์. (2562). *Digital Transformation คืออะไร 4 Steps สำคัญในการ Roadmap องค์กร*. สืบค้นวันที่ 19 สิงหาคม 2567, จาก https://martechmafia.net/technology/digital-transformation-roadmap/

ฉัฐสรัช หอวรางกูร. (2563). *การศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการให้บริการด้านเอกสารระหว่างระบบดั้งเดิมกับระบบอิเล็กทรอนิกส์* (ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต). กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ซีบีอาร์อี. (2566). *ทำความรู้จักกับการบริหารการเปลี่ยนแปลง*. สืบค้นวันที่ 27 สิงหาคม 2567, จาก https://www.cbre.co.th/th-th/insights/articles/brief-introduction-to-change-management

บริษัท บีแทสก์ คอนซัลติ้ง จำกัด. (2566). *วิเคราะห์ SWOT Analysis พร้อมยกตัวอย่างการใช้งานสำหรับทุกธุรกิจ*. สืบค้นวันที่ 16 สิงหาคม 2567, จาก https://betaskthai.com/swot-analysis-strengths-weaknesses-opportunities-threats/

ปรัชญนันท์ นิลสุข. (2556). *การบริหารการเปลี่ยนแปลงในองค์กร*. สืบค้นวันที่ 23 สิงหาคม 2567, จาก https://www.gotoknow.org/posts/251828

พลอยไพลิน สกลอรรจน์. (2563). *Risk Matrix ตารางประเมินความเสี่ยง*. [ภาพ]. สืบค้นวันที่ 22 สิงหาคม 2567, จาก https://www.roadsafetythai.org/edoc/doc_20200408135426.pdf

วันรัตน์ จันทกิจ. (2566). *แผนผังก้างปลา (Fish Bone Diagram)*. [ภาพ]. สืบค้นวันที่ 24 สิงหาคม 2567, จาก http://www.prachasan.com/mindmapknowledge/fishbonemm.htm

วันรัตน์ จันทกิจ. (2566). *หลักการ 4M 1E*. [ภาพ]. สืบค้นวันที่ 24 สิงหาคม 2567, จาก http://www.prachasan.com/mindmapknowledge/fishbonemm.htm

วิชัย ลิมปิติกรานนท์. (2567). *4 ขั้นตอนในการวางแผนกลยุทธ์องค์กร*. สืบค้นวันที่ 16 สิงหาคม 2567, จาก https://www.okr-thai.com/ork-talk/ep-81/

ศศิพร ทิพประมวล. (2567). *หลักการ ECRS*. [ภาพ]. สืบค้นวันที่ 21 สิงหาคม 2567, จาก https://factorium.tech/article-ecrs/

สหธร เพชรวิโรจน์ชัย. (2564). *5 หลักการระบบลีน (LEAN) วิธีการใช้งานเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพองค์กร*. สืบค้นวันที่ 21 สิงหาคม 2567, จาก https://th.hrnote.asia/orgdevelopment/lean-management-210621/

สันติ เติมผล และกฤษดา เชียรวัฒนสุข. (2565). *การประยุกต์ใช้ระบบธุรกิจอัจฉริยะ: เครื่องมือเพิ่มประสิทธิภาพการดำเนินงานขององค์การ. วารสารวิชาการสถาบันเทคโนโลยีแห่งสุวรรณภูมิ*, 9(1), 302-315

สุขพิชัย คณะช่าง. (2566). *6 Change Management Models (โมเดล การบริหารการเปลี่ยนแปลง) ที่ช่วยชีวิตองค์กรมาแล้วทั่วโลก*. สืบค้นวันที่ 18 สิงหาคม 2567, จาก https://www.brightsidepeople.com/6-change-management-models

ธนกฤต นิ่มลอง นักศึกษาหลักสูตรปริญญาโทบริหารธุรกิจ สาขานวัตกรรมธุรกิจและการจัดการ สถาบันการจัดการปัญญาภิวัฒน์ 88/30 วีคอนโด แจ้งวัฒนะ ตำบลบางตลาด อำเภอปากเกร็ด จังหวัดนนทบุรี 11120 หมายเลขโทรศัพท์ 064-0406357 E-mail: Tanakritnimlong@gmail.com

งานวิจัยที่สนใจ: การพัฒนากระบวนการผลิตด้วยการนำเทคโนโลยีเข้ามาช่วย การปรับปรุงกระบวนการด้วยระบบลีน ปัญญาประดิษฐ์

บุญเลิศ วงศ์เจริญแสงสิริ รองผู้อำนวยการหลักสูตรบริหารธุรกิจมหาบัณฑิต คณะบริหารธุรกิจ สถาบันการจัดการปัญญาภิวัฒน์ 85/1 หมู่ 2 ถนนแจ้งวัฒนะ ตำบลบางตลาด อำเภอปากเกร็ด จังหวัดนนทบุรี 11120 หมายเลขโทรศัพท์ 02-8551407 Email:boonlertwon@gmail.com

งานวิจัยที่สนใจ: Digital Transformation, Operations Management, Supply Chain and Logistics Management, Business Technology Management, and Process Analysis and Improvement

การประยุกต์ใช้ชุดเครื่องมือโอเพนซอร์สและโพรโทคอล SNMP เพื่อการวิเคราะห์และการบริหารจัดการเครือข่ายไร้สาย กรณีศึกษาวิทยาลัยการสาธารณสุขสิรินธร จังหวัดอุบลราชธานี

Application of Open-Source Tools and SNMP Protocol for Wireless Network Analysis and Management: Case Study of Sirindhorn College of Public Health, Ubon Ratchathani

อัษฎาวุธ ควรนาม[1] และ ขจิตพรรณ กฤตพลวิมาน[2]*

[1]กลุ่มวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศและนวัตกรรมดิจิทัล แขนงวิชาเทคโนโลยีดิจิทัล สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช, Email: aussadavut@scphub.ac.th

[2]กลุ่มวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศและนวัตกรรมดิจิทัล แขนงวิชาเทคโนโลยีดิจิทัล สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช, Email: Khajitpan.Mak@stou.ac.th

Aussadavut Kuannam[1] and Khajitpan Kritpolviman[2]*

[1]Information Technology and Digital Innovation Program, Digital Technology Department, School of Science and Technology, Sukhothai Thammathirat Open University, Nonthaburi, Thailand **Email:** aussadavut@scphub.ac.th

[2]Information Technology and Digital Innovation Program, Digital Technology Department, School of Science and Technology, Sukhothai Thammathirat Open University, Nonthaburi, Thailand **Email:** Khajitpan.Mak@stou.ac.th

วันที่รับบทความ 8 ตุลาคม 2568
วันแก้ไขบทความ 13 ธันวาคม 2568
วันตอบรับบทความ 16 ธันวาคม 2568

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) ประยุกต์ชุดเครื่องมือโอเพนซอร์สสำหรับพัฒนาระบบตรวจสอบและวิเคราะห์ปริมาณการใช้งานข้อมูลเครือข่ายไร้สาย 2) วิเคราะห์ปริมาณการใช้งานข้อมูลเครือข่ายบนอุปกรณ์กระจายสัญญาณไร้สายโดยใช้โพรโทคอล SNMP (Simple Network Management Protocol) และ 3) จัดการและปรับปรุงประสิทธิภาพเครือข่ายไร้สาย ดำเนินการวิจัยโดยประยุกต์ชุดเครื่องมือโอเพนซอร์สสำหรับตรวจสอบ จัดเก็บข้อมูลจากโพรโทคอล SNMP จากอุปกรณ์กระจายสัญญาณไร้สาย แล้ววิเคราะห์ปริมาณการใช้งานข้อมูลเครือข่ายขาเข้าและขาออกด้วยซอฟต์แวร์ Prometheus ร่วมกับ snmp_exporter เป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ แล้วนำข้อมูลออกด้วยซอฟต์แวร์ Grafana เข้าสู่ฐานข้อมูลเชิงสัมพันธ์ MariaDB และพัฒนาโปรแกรมประมวลผลด้วย PHP Laravel Framework เพื่อประมวลผลการวิจัยแสดงปริมาณการใช้งานสูงสุดขาเข้า 6.13TB และขาออก 1.28TB ค่าเฉลี่ยการใช้งานแต่ละสัปดาห์ อุปกรณ์กระจายสัญญาณไร้สายที่มีปริมาณการใช้งานสูงสุดขาเข้า 3.54GB และอาคารที่มีปริมาณการใช้งานสูงสุดขาเข้า 714.63GB ข้อมูลที่วิเคราะห์ได้ถูกนำไปใช้ในการจัดการและปรับปรุงเครือข่ายไร้สายของสถาบันในทางปฏิบัติได้แก่ 1) จัดทำแผนจัดซื้ออุปกรณ์และปรับปรุงสัญญาณ 2) จัดทำการประกันคุณภาพการบริการสำหรับไฟร์วอลล์ และ 3) ปรับปรุงการตั้งค่าอุปกรณ์กระจายสัญญาณไร้สาย ผลการประเมินประสิทธิภาพและความน่าเชื่อถือของระบบและความพึงพอใจต่อประโยชน์และการนำข้อมูลไปใช้ในการบริหารจัดการเครือข่ายไร้สายมีค่าเฉลี่ยโดยรวมอยู่ในระดับมากที่สุด

คำสำคัญ: การวิเคราะห์การจราจรเครือข่ายไร้สาย, การจัดการเครือข่ายไร้สาย, เครือข่ายแลนไร้สาย, แอกเซสพอยต์

ABSTRACT

This study aimed to (1) develop a wireless network traffic monitoring and analysis system using open-source tools, (2) analyze traffic volume on wireless access points (APs) via the SNMP: Simple Network Management Protocol protocol, and (3) manage and enhance wireless network performance — a case study at Sirindhorn College of Public Health, Ubon Ratchathani. An open-source stack comprising Prometheus with snmp_exporter, Grafana, MariaDB, and PHP Laravel Framework was deployed to collect and process SNMP data from 20 Cisco Meraki APs over eight consecutive weeks. Key findings revealed peak inbound traffic of 6.13TB, outbound traffic of 1.28TB, an AP with the highest weekly inbound average of 3.54 GB, and a building consuming 714.63 GB inbound. The analyzed data directly informed practical network improvements that (1) equipment procurement and signal improvement planning, (2) Quality of Service (QoS) policy implementation on the firewall, and (3) configuring wireless APs. Evaluation by IT officers from 11 affiliated institutions yielded the highest overall satisfaction scores.
KEYWORDS: Wireless Network Traffic Analysis, Wireless Network Management, Wireless LAN, Access Points

1. บทนำ

เครือข่ายไร้สายเป็นโครงสร้างพื้นฐานดิจิทัลที่จำเป็นอย่างยิ่งต่อการขับเคลื่อนการศึกษายุคใหม่ สำหรับวิทยาลัยการสาธารณสุขสิรินธร จังหวัดอุบลราชธานี เครือข่ายไร้สายไม่ได้เป็นเพียงสิ่งอำนวยความสะดวก แต่เป็นเครื่องมือสำคัญที่สนับสนุนภารกิจหลักในการผลิตบุคลากรด้านสาธารณสุข ผ่านกระบวนการเรียนการสอนทั้งในและนอกห้องเรียน รวมถึงรองรับนโยบาย Cloud University ของสถาบันพระบรมราชชนก อย่างไรก็ตาม การใช้งานที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจากนักศึกษา อาจารย์ และบุคลากร ได้ก่อให้เกิดความท้าทายในการบริหารจัดการเครือข่ายอย่างมีประสิทธิภาพ

ความสำคัญของงานวิจัยนี้มาจากประเด็นปัญหาหลัก 3 ประการที่ส่งผลกระทบโดยตรงต่อการดำเนินงานของวิทยาลัยฯ ได้แก่ 1) การขาดแคลนข้อมูลการใช้งานจริง (Lack of Usage Data) ทำให้การวางแผนจัดสรรงบประมาณจัดซื้อและติดตั้งอุปกรณ์กระจายสัญญาณ (Access Point: AP) ขาดความแม่นยำและไม่สอดคล้องกับความต้องการที่แท้จริง 2) 2) ปัญหาปริมาณความหนาแน่นการใช้งานข้อมูล (High-density Usage) สูงในบางพื้นที่ ส่งผลให้ประสิทธิภาพเครือข่ายลดลงและกระทบต่อประสบการณ์การเรียนรู้ของนักศึกษาและประสิทธิภาพการสอนของอาจารย์โดยตรง และ 3) การจัดสรรทรัพยากรเครือข่ายที่ขาดประสิทธิภาพ (Inefficient-Resource Allocation) ปัญหาเหล่านี้ไม่เพียงเป็นประเด็นท้าทายทางเทคนิค แต่ยังส่งผลให้เกิดความสูญเปล่าทางงบประมาณ และเป็นอุปสรรคต่อการบรรลุเป้าหมายการจัดการการศึกษาในยุคดิจิทัลของสถาบัน

จากการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง พบว่างานวิจัยส่วนใหญ่มุ่งเน้นการเฝ้าระวัง (monitoring) และการแจ้งเตือน (alerting) เมื่อระบบเกิดปัญหา แต่ยังขาดการนำข้อมูลการใช้งานเชิงลึกมาวิเคราะห์เพื่อการบริหารจัดการเชิงรุก (proactive management) ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมุ่งแก้ปัญหาดังกล่าวโดยการนำเสนอแนวทางการรวบรวมและวิเคราะห์ปริมาณการใช้งานข้อมูลจากอุปกรณ์กระจายสัญญาณไร้สาย ด้วยการประยุกต์ใช้ชุดเครื่องมือโอเพนซอร์ส ได้แก่ Prometheus และ Grafana ร่วมกับโพรโทคอลการจัดการเครือข่ายอย่างง่าย (Simple Network Management Protocol: SNMP) เพื่อเก็บรวบรวมและแสดงผลข้อมูลจากอุปกรณ์ Cisco Meraki MR20 จำนวน 20 เครื่อง ที่ติดตั้งในพื้นที่การเรียนการสอนหลัก

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

2.1 ประยุกต์ชุดเครื่องมือโอเพนซอร์สสำหรับพัฒนาระบบตรวจสอบและวิเคราะห์ปริมาณการใช้งานข้อมูลเครือข่ายไร้สาย

2.2 วิเคราะห์ปริมาณการใช้งานข้อมูลเครือข่ายบนอุปกรณ์กระจายสัญญาณไร้สายโดยใช้โพรโทคอล SNMP กรณีศึกษาวิทยาลัยการสาธารณสุขสิรินธร จังหวัดอุบลราชธานี

2.3 นำผลการวิเคราะห์ปริมาณการใช้ข้อมูลเครือข่ายที่ได้ไปเป็นแนวทางในการจัดการและปรับปรุงประสิทธิภาพของเครือข่ายไร้สายให้เหมาะสม

3. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยนี้เกี่ยวข้องกับการทำงานของเครือข่ายไร้สาย และโพรโทคอลการจัดการเครือข่ายอย่างง่าย (Simple Network Management Protocol: SNMP) ซึ่งเป็นโพรโทคอลมาตรฐานทำหน้าที่เป็นสะพานเชื่อมระหว่างระบบจัดการเครือข่าย (Network Management System: NMS) และอุปกรณ์เครือข่ายต่าง ๆ เช่น อุปกรณ์กระจายสัญญาณ หรือ APs โดยสนับสนุนให้ NMS สามารถดึงข้อมูลจาก APs เกี่ยวกับปริมาณการใช้งานข้อมูล สถานะการทำงาน และตัวชี้วัดประสิทธิภาพอื่น ๆ ได้ผู้ดูแลระบบสามารถส่ง query และรวบรวมข้อมูลสถานะที่สำคัญของอุปกรณ์เครือข่าย เช่น ปริมาณข้อมูลเข้า-ออก (data volume) และสถานะการทำงานของอุปกรณ์ได้ ข้อมูลต่างๆ ที่ได้จาก APs ถูกนำมาวิเคราะห์เพื่อการบริหารจัดการเครือข่ายเชิงรุกต่อไป

จากการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องดังนำเสนอในตารางที่ 1 พบว่ามีงานวิจัยต่างๆ วิเคราะห์ข้อมูลเชิงลึกของอุปกรณ์ต่าง ๆ บนเครือข่ายโดยใช้ SNMP เช่น ชัชวาล พานวงษ์ และคณะ (2563) ใช้โปรแกรมประยุกต์ PRTG Network Monitor รวบรวมข้อมูลจากอุปกรณ์เครือข่ายต่างๆ เช่น เราเตอร์ และสวิตช์ โดยใช้ SNMP แล้วนำมาตรวจสอบและวิเคราะห์ประสิทธิภาพของระบบเครือข่ายแล้วนำมาปรับปรุงและเพิ่มประสิทธิภาพของระบบเครือข่ายได้ตามความต้องการ Espinel Villalobos และคณะ (2023) ได้พัฒนาระบบตรวจสอบเครือข่ายในวิทยาเขตโดยใช้ซอฟต์แวร์ตัวแทนและระบบหลายตัวแทน (multi-agent system) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการจัดการโครงสร้างพื้นฐาน และ Alhilali และคณะ (2023) ได้นำเสนอการใช้ SNMP เพื่อจัดการทราฟฟิกหรือการจราจรเครือข่ายและปิดพอร์ตที่มีการใช้งานเกินขีดจำกัดโดยอัตโนมัติ ซึ่งเป็นการจัดการเชิงรุก นอกจากนี้มีหลายงานวิจัยได้ประยุกต์ซอฟต์แวร์โอเพนซอร์สสำหรับพัฒนาเครื่องมือในการบริหารจัดการเครือข่าย เช่น จันตพงษ์ บุตรลักษณ์ (2567) ได้พัฒนาระบบแสดงผลสำหรับศูนย์ปฏิบัติการเครือข่ายเพื่อตรวจสอบและแจ้งเตือนปัญหาเครือข่ายซึ่งอุปกรณ์แต่ละชนิดจะมีระบบจัดการเฉพาะของตนเอง ทำให้การเฝ้าระวังและแก้ไขปัญหาไม่ทันเวลา จึงมีจำเป็นต้องมีการเฝ้าระวังและบริหารจัดการให้มีประสิทธิภาพ ผู้วิจัยได้เลือกใช้โปรแกรม Zabbix และ Grafana ในการเฝ้าระวังและแสดงผลข้อมูลเครือข่าย ขณะที่ Saputra และคณะ (2024) ได้พัฒนาระบบเฝ้าระวังและแจ้งเตือนปัญหาเซิร์ฟเวอร์แบบเรียลไทม์โดยใช้เครื่องมือชุดเดียวกับงานวิจัยนี้คือ Prometheus, Grafana และ Docker ร่วมกับการแจ้งเตือนผ่าน Telegram ผลการวิจัยพบว่า ระบบสามารถแสดงข้อมูลเมตริกของเซิร์ฟเวอร์ได้อย่างแม่นยำผ่าน Node Exporter และสามารถส่งการแจ้งเตือนผ่าน Telegram ได้ภายในเวลาไม่เกิน 30 วินาทีเมื่อเกิดปัญหา ขึ้นอยู่กับคุณภาพของเครือข่ายอินเทอร์เน็ต ซึ่งเป็นการยืนยันถึงประสิทธิภาพและความน่าเชื่อถือของเครื่องมือโอเพนซอร์สเหล่านี้ นอกจากนี้ ณัฐพล ศรีรอดบาง (2563) ได้ใช้ซอฟต์แวร์โอเพนซอร์ส พัฒนาระบบติดตามสถานภาพเครื่องแม่ข่ายเสมือน และกู้คืนเว็บแอปพลิเคชัน โดยใช้ Telegraf Agent และ Zabix Agent และมีการติดตั้ง Grafana เป็นระบบติดตามสถานะบน Docker และ Namrata และคณะ (2019) ยังได้แสดงให้เห็นถึงความสามารถของ Grafana ในการนำข้อมูล SNMP ที่จัดเก็บในฐานข้อมูลมาแสดงผลเป็นสถิติที่เข้าใจง่าย ซึ่งเป็นแนวทางสำคัญที่ถูกนำมาปรับใช้ในงานวิจัยนี้

จากการทบทวนวรรณการงานวิจัยดังกล่าวข้างต้นซึ่งแสดงถึงความสำเร็จในเชิงเทคนิคของการใช้เครื่องมือโอเพนซอร์สเพื่อการเฝ้าระวัง (monitoring) และ การแจ้งเตือน (alerting) แต่ยังคงมีช่องว่างในการนำข้อมูลเชิงลึกที่ได้จากการวิเคราะห์ไปใช้เพื่อการวางแผนเชิงกลยุทธ์ในองค์กรในทางปฏิบัติ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงพัฒนาขึ้นโดยอ้างอิงแนวคิดดังกล่าวและมุ่งเน้นการประยุกต์ใช้ชุดเครื่องมือโอเพนซอร์ส (Prometheus, snmp_exporter, Grafana) เพื่อติดตามสถานะและวิเคราะห์ปริมาณการใช้งานข้อมูลเครือข่าย

แล้ววิเคราะห์หาตำแหน่งที่เหมาะสมในการติดตั้งอุปกรณ์กระจายสัญญาณในห้องเรียนที่รองรับกับกิจกรรมการเรียนการสอนเหมาะสมที่สุด โดยการนำเสนอเป็นข้อมูลเชิงลึกที่นำไปปฏิบัติได้จริง สำหรับการจัดสรรทรัพยากรและวางแผนปรับปรุงเครือข่ายของวิทยาลัยการสาธารณสุขสิรินธร จังหวัดอุบลราชธานี ให้มีประสิทธิภาพสูงสุด

จากความสำคัญของปัญหาและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง ผู้วิจัยจึงได้ประยุกต์ใช้ชุดเครื่องมือโอเพนซอร์สได้แก่ snmp_exporter, Prometheus, Grafana, MariaDB, PHP Laravel Framework และ Navicat Premium Lite สำหรับพัฒนาระบบตรวจสอบ เก็บรวบรวม วิเคราะห์ปริมาณการใช้งานข้อมูลเครือข่ายบน APs ด้วยโพรโทคอล SNMP และนำเสนอข้อมูลการใช้งานเครือข่ายไร้สายเป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ ผลจากการวิเคราะห์จะถูกนำไปใช้ในการจัดการและปรับปรุงเครือข่ายไร้สายเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้งานให้เหมาะสมสำหรับวิทยาลัยการสาธารณสุขสิรินธร จังหวัดอุบลราชธานี

การประยุกต์ใช้ SNMP เพื่อการบริหารจัดการเครือข่ายไม่ได้จำกัดอยู่แค่การเฝ้าระวัง แต่ให้สามารถขยายขีดความสามารถไปสู่การควบคุมเชิงรุกได้โดยตรง ดังที่แสดงในงานวิจัยของ Alhilali และคณะ (2023) ซึ่งเป็นตัวอย่างสำคัญของการใช้ศักยภาพของโปรโตคอล SNMP อย่างเต็มรูปแบบ แนวทางของพวกเขามุ่งเน้นไปที่การใช้ความสามารถพื้นฐานของโปรโตคอล โดยอ่านค่า MIB object อย่าง ifHCInOctets และ ifHCOutOctets เพื่อคำนวณทราฟฟิก และเมื่อตรวจพบความผิดปกติ ก็จะใช้คำสั่ง SNMP SET ซึ่งเป็นมาตรฐานของโปรโตคอล ในการสั่งปิดพอร์ตชั่วคราวทันที วิธีการนี้แสดงให้เห็นว่า เพียงแค่ใช้โปรโตคอล SNMP อย่างเดียวก็สามารถทำงานได้ ขณะที่ Saputra และคณะ (2024) ได้พัฒนาระบบเฝ้าระวังและแจ้งเตือนปัญหาเซิร์ฟเวอร์แบบเรียลไทม์โดยใช้เครื่องมือชุดเดียวกับงานวิจัยนี้คือ Prometheus, Grafana และ Docker โดยเป็นการใช้งาน Grafana ที่ดึงค่าจาก Prometheus มาแสดงผลที่ต้องการได้ซึ่งเป็นการยืนยันถึงประสิทธิภาพและความน่าเชื่อถือของเครื่องมือโอเพนซอร์สเหล่านี้ ซึ่งเป็นแนวทางสำคัญที่ถูกนำมาปรับใช้ในงานวิจัยนี้

แม้ว่างานวิจัยดังกล่าวแสดงถึงความสำเร็จในเชิงเทคนิคของการใช้เครื่องมือโอเพนซอร์สเพื่อการเฝ้าระวังและ การแจ้งเตือน ดังเช่นงานของ ณัฐพล ศรีรอดบาง (2563) ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงพัฒนาขึ้นตามแนวคิดดังกล่าว โดยมุ่งเน้นการประยุกต์ใช้ชุดเครื่องมือโอเพนซอร์ส (Prometheus, snmp_exporter, Grafana) ไม่ใช่เพียงเพื่อติดตามสถานะ แต่เพื่อวิเคราะห์หารูปแบบการใช้งานจริงที่สัมพันธ์กับกิจกรรมการเรียนการสอน และนำเสนอเป็นข้อมูลเชิงลึกที่นำไปปฏิบัติได้จริง สำหรับการจัดสรรทรัพยากรและวางแผนปรับปรุงเครือข่ายของวิทยาลัยการสาธารณสุขสิรินธร จังหวัดอุบลราชธานี ให้มีประสิทธิภาพสูงสุด

ตารางที่ 1 ตารางสรุปงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยที่อ้างอิง	ใช้ Zabbix / Cacti	ใช้ Prometheus + Grafana	เน้นการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงลึก	เครื่องมืออื่นๆ	ช่องว่างงานวิจัย (Research Gap)
ชัชวาล พานวงษ์ และคณะ (2563)			✓	PRTG Monitor	ขาดการวิเคราะห์ปริมาณข้อมูลเครือข่ายบน wireless APs สำหรับ จัดการในสถานศึกษา
Espinel-Villalobos และคณะ (2022)			✓	Multi-agent System	เน้นสถาปัตยกรรมการตรวจสอบ ไม่มีการวิเคราะห์ปริมาณการใช้ข้อมูลระยะยาวเพื่อวางแผนเพิ่ม AP หรือ QoS

Alhilali และคณะ (2023)			✓		ไม่มีการเก็บข้อมูลต่อเนื่อง 8 สัปดาห์ ไม่มีแผนปรับปรุงเชิงรุก เช่น เพิ่ม AP, QoS policy, RF tuning
Saputra และคณะ (2024)		✓		Telegram API	ใช้กับเซิร์ฟเวอร์ ไม่ใช่ wireless APs ไม่มีการวิเคราะห์ปริมาณการใช้ข้อมูลของผู้ใช้จริง
จันตพงษ์ บุตรลักษณ์ (2567)	✓	✓	✓		ยังไม่ครอบคลุมการวิเคราะห์เชิงลึกข้อมูลใช้งาน แบบไร้สายในบริบทการใช้งานปริมาณข้อมูล
ณัฐพล ศรีรอดบาง (2563)	✓	✓	✓	Telegraf, Docker	ขาดการประยุกต์กับการวิเคราะห์ปริมาณข้อมูลเครือข่ายไร้สาย สำหรับการเพิ่มประสิทธิภาพเครือข่าย
งานวิจัยฉบับนี้		✓	✓	Docker, Laravel, MariaDB, Navicat Premium Lite	พัฒนาระบบฯ โดยประยุกต์โอเพนซอร์สสำหรับบริหารจัดการเครือข่ายไร้สายอย่างครบวงจรที่นำข้อมูลระยะยาวไปปรับปรุงเครือข่ายจริงในสถานศึกษาอย่างเป็นรูปธรรม

4. ระเบียบวิธีวิจัย

งานวิจัยนี้พัฒนาระบบตรวจสอบและวิเคราะห์ปริมาณการใช้งานข้อมูลเครือข่ายไร้สายบริเวณพื้นที่ให้บริการการเรียนการสอนของวิทยาลัยการสาธารณสุขสิรินธร จังหวัดอุบลราชธานี โดยใช้ซอฟต์แวร์โอเพนซอร์สเพื่อเก็บและประมวลผลข้อมูลจากอุปกรณ์กระจายสัญญาณไร้สายด้วยโพรโทคอล SNMP แล้วทำการวิเคราะห์ปริมาณการใช้งานข้อมูลเครือข่ายไร้สายเพื่อใช้สำหรับจัดการและปรับปรุงเครือข่ายไร้สายของพื้นที่ที่ศึกษาได้อย่างเหมาะสม และมีการประเมินประสิทธิภาพและความน่าเชื่อถือของระบบและการประเมินความพึงพอใจต่อประโยชน์และการนำข้อมูลไปใช้ในการบริหารจัดการเครือข่ายไร้สายจากกลุ่มเจ้าหน้าที่ด้านสารสนเทศของสถาบัน

4.1 อุปกรณ์และเครื่องมือ

4.1.1 อุปกรณ์กระจายสัญญาณไร้สาย

งานวิจัยนี้ติดตั้งอุปกรณ์กระจายสัญญาณไร้สาย หรือ APs รุ่น Cisco Meraki MR20 รองรับมาตรฐาน 802.11ac Wave 2 (MU-MIMO 2×2:2) ความถี่ 2.4 GHz (ความเร็วข้อมูลสูงสุด 400 Mbps) และ 5 GHz (ความเร็วข้อมูลสูงสุด 866 Mbps) โดยติดตั้งใน 5 อาคาร ได้แก่ อาคาร 10 ชั้น (4 เครื่องได้แก่ B10_3-1, B10_3-2, B10_4-1, B10_4-2), อาคารปฏิบัติการทันตกรรม (3 เครื่องได้แก่ Den_1-1,

Den_2-1, Den_2-2), อาคารปฏิบัติการเภสัชกรรม (5 เครื่องได้แก่ Op_2-1, Op_2-2, Op_2-3, Op_3-1, Op_4-1), อาคารเรียนรวม (4 เครื่องได้แก่ C_3201, C_Entry, C_S, C_W), และอาคารกิจการนักศึกษา (4 เครื่องได้แก่ G_01, G_02, G_F, G_R) รวม 20 เครื่อง

4.1.2 เครื่องแม่ข่ายเสมือนและระบบสนับสนุน

ผู้วิจัยสร้างเครื่องแม่ข่ายเสมือนโดยใช้ระบบปฏิบัติการ Linux Ubuntu 22.04 (CPU 4 core, RAM 8 GB, Storage 200 GB) และติดตั้ง Docker สำหรับจัดการ container ของซอฟต์แวร์ Prometheus, snmp_exporter, Grafana, MariaDB และ Nginx เพื่อประมวลผลและแสดงผลข้อมูล

4.1.3 ซอฟต์แวร์สำหรับพัฒนาระบบตรวจสอบและวิเคราะห์ และแสดงผลข้อมูลเครือข่ายไร้สาย

ในการพัฒนาระบบตรวจสอบและวิเคราะห์ข้อมูลเครือข่ายไร้สายครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ประยุกต์ใช้ชุดเครื่องมือโอเพนซอร์ส (open source stack) ที่ทำงานร่วมกันอย่างเป็นระบบ โดยมีกระบวนการเริ่มจากการใช้ snmp_exporter เป็นเครื่องมือในการสอบถามและรวบรวมข้อมูล (query) จากอุปกรณ์กระจายสัญญาณไร้สายผ่านโพรโทคอล SNMP โดยกำหนดค่าในไฟล์ snmp.yml เพื่อดึงเฉพาะ OID ที่จำเป็นสำหรับการวัดปริมาณการใช้งานข้อมูล ตัวนับ 64-bit ได้แก่ ifHCInOctets (.1.3.6.1.2.1.31.1.1.1.6) และ ifHCOutOctets (.1.3.6.1.2.1.31.1.1.1.10) ซึ่งเป็นมาตรฐานสำหรับอินเทอร์เฟซความเร็วสูง โดยข้อมูลทั้งหมดถูกเก็บจาก interface แบบ uplink (พอร์ตที่เชื่อมต่อกับสวิตช์หลัก) ของแต่ละ AP เพื่อสะท้อนปริมาณการใช้งานจริงของผู้ใช้ที่เชื่อมต่อผ่าน AP นั้น ๆ ปัญหาทางเทคนิคที่สำคัญที่สุดในการวัดปริมาณการจราจรเครือข่ายความเร็วสูงด้วย SNMP คือปรากฏการณ์ Counter Wrap หรือ Counter Reset (McCloghrie & Kastenholz, 2000) ที่เกิดจากการวัดปริมาณการจราจรเครือข่ายความเร็วสูงแล้ว Counter Reset ยังอาจเกิดจากการรีบูตอุปกรณ์หรือกระแสไฟตก ดังนั้นเพื่อยืนยันความถูกต้องของข้อมูล Prometheus ซึ่งเป็น ฐานข้อมูลแบบอนุกรมเวลา (time-series database) จึงใช้ฟังก์ชัน increase() (Pivotto & Brazil, 2023) สำหรับคำนวณผลรวมของการเพิ่มขึ้นของค่า Counter ภายในช่วงเวลาที่กำหนด ฟังก์ชันนี้สามารถจัดการกรณี Counter ลดลงเพราะเกิดการ wrap หรือถูก reset โดยจะชดเชยด้วยค่าตัวอย่างสุดท้ายก่อนการรีเซ็ตทำให้ผลรวมมีความถูกต้องต่อเนื่อง โดยการเลือกใช้ 64-bit counter ร่วมกับกลไกการชดเชยของ Prometheus เป็นหลักการทางเทคนิคที่ช่วยให้มั่นใจได้ถึงความสมบูรณ์และความถูกต้องของข้อมูลปริมาณการจราจรที่เก็บรวบรวมได้ จากนั้นจึงส่งต่อข้อมูลเมทริกซ์ (metrics) ที่ได้ไปยัง Prometheus ซึ่งทำหน้าที่เป็นฐานข้อมูลอนุกรมเวลา สำหรับการจัดเก็บข้อมูลปริมาณการใช้งานที่มีประสิทธิภาพสูง โดยตั้งค่า scrape_interval = 15 วินาที เพื่อให้ได้ความละเอียดของข้อมูลที่เหมาะสมกับการวิเคราะห์แนวโน้มรายวันและรายสัปดาห์ สำหรับการแสดงผลและการวิเคราะห์ข้อมูล ผู้วิจัยได้ใช้ Grafana ในการสร้างแดชบอร์ด (dashboard) เพื่อแสดงผลข้อมูลในรูปแบบกราฟเชิงโต้ตอบ (interactive graph) และสนับสนุนการส่งออกข้อมูลในรูปแบบไฟล์ CSV เพื่อการวิเคราะห์เพิ่มเติม นอกจากนี้ ระบบยังใช้ฐานข้อมูลเชิงสัมพันธ์ MariaDB ซึ่งจัดการผ่านเครื่องมือ Navicat Premium Lite เพื่อจัดเก็บข้อมูลที่ผ่านการประมวลผลแล้ว และพัฒนาโปรแกรมด้วย PHP Laravel Framework สำหรับแสดงผลรายงานสรุปและผลการวิเคราะห์ในรูปแบบที่เข้าใจง่ายสำหรับผู้ใช้งาน

ตารางที่ 2 รายการ Hardware และ Software Stack ที่ใช้ในระบบ

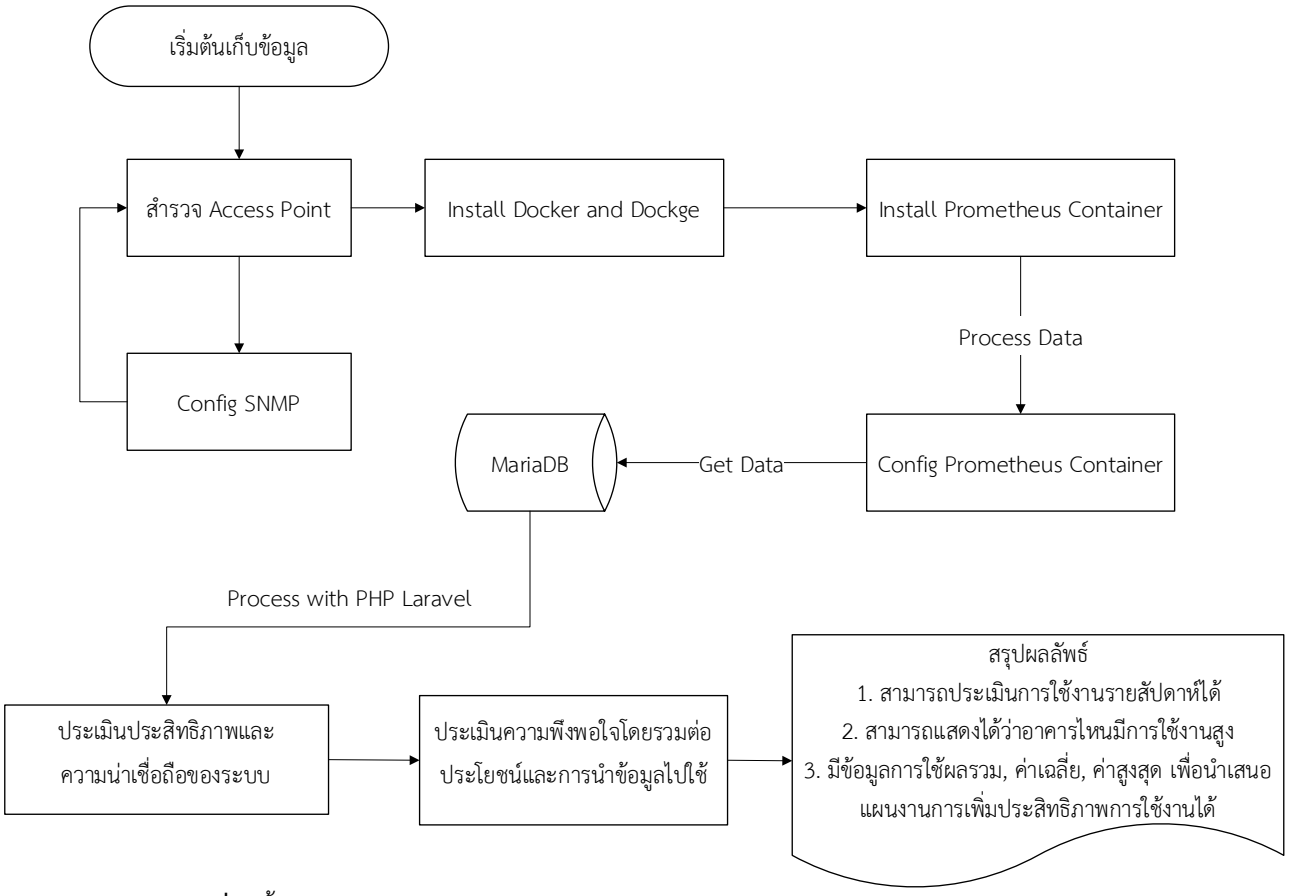
ประเภท	รายการ	รุ่น/ชื่อ	เวอร์ชัน/สเปก	รายละเอียด/หมายเหตุ
Network Hardware	Wireless Access Point	Cisco Meraki MR20	Firmware 29. 4. 1 (อัปเดตอัตโนมัติผ่าน Cloud)	จำนวน 20 เครื่อง IEEE 802.11ac Wave 2 (MU-MIMO 2×2:2)
Server Hardware	Monitoring Server	VMware	CPU 4 vCPUs, RAM 8 GB, Storage 200 GB	สามารถใช้เครื่องเซิร์ฟเวอร์ที่ความสามารถเทียบเท่าได้

Operating System	Server OS	Ubuntu Server	22.04 LTS	-
Containerization	Container Platform	Docker + Dockge	Docker 24.0.7 Dockge v1.4.0	Dockge ใช้จัดการ container (Prometheus, Grafana, snmp_exporter, MariaDB)
Monitoring Stack	Time- Series Database & Monitoring	Prometheus	2.48.1	scrape_interval: 15 วินาที retention: 8 สัปดาห์
Visualization	SNMP Exporter	snmp_exporter	V1.8.1	-
Visualization	Dashboard Tool	Grafana	11.0.0	ใช้ export ข้อมูลจาก Prometheus
Database	Relational Database	MariaDB	11.2.2	เก็บข้อมูลระยะยาวหลัง export จาก Prometheus
Application	Web Application Framework	PHP Laravel Framework	10.28.0	Backend web application สำหรับวิเคราะห์และแสดงผลเชิงลึก ใช้ Navicat Premium Lite เป็น tool จัดการ DB

4.2 วิธีการวิจัย

การพัฒนาระบบตรวจสอบและวิเคราะห์ปริมาณการใช้งานข้อมูลเครือข่ายไร้สายแสดงดังรูปที่ 1 มีขั้นตอนดำเนินการดังนี้ กระบวนการวิจัยเริ่มต้นจากการสำรวจ (survey) และระบุตำแหน่งของอุปกรณ์กระจายสัญญาณไร้สาย (access point) หรือ APs ทั้งหมดที่เป็นกลุ่มตัวอย่าง จากนั้นจึงดำเนินการตั้งค่า (configuration) เปิดใช้งานโพรโทคอล SNMP บนอุปกรณ์เหล่านั้นเพื่อให้พร้อมสำหรับการส่งข้อมูลสถานะ ขั้นตอนต่อมาคือการติดตั้งและตั้งค่าสภาวะแวดล้อมของระบบบนเซิร์ฟเวอร์ โดยเริ่มจากการติดตั้ง Docker และ Dockge โดย Dockge เป็นเครื่องมือ Web-based GUI (graphical user interface) ทำหน้าที่เป็นตัวจัดการไฟล์ docker-compose.yaml โดยเฉพาะ ช่วยให้สามารถ สร้าง แก้ไข ติดตั้ง (deploy) และ ควบคุมสถานะ (start/stop/restart) ของคอนเทนเนอร์ทั้งหมดในระบบ (อาทิ Prometheus และ Grafana) ได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพผ่านหน้าจอเว็บเบราว์เซอร์ แทนการใช้งานคำสั่งผ่าน Command Line Interface (CLI) ตามด้วยการติดตั้ง Prometheus Container ซึ่งทำหน้าที่หลักในการดึงและจัดเก็บข้อมูล (data collection) จาก APs ตามรอบเวลาที่กำหนด หลังจากที่ Prometheus เก็บรวบรวมข้อมูลจาก snmp_exporter ได้แล้ว ซึ่งเป็นข้อมูลเชิงอนุกรมเวลา (time-series data) จะถูกดึงออกจาก Prometheus และนำเข้าสู่ฐานข้อมูล MariaDB เพื่อจัดเก็บอย่างถาวร ในขั้นตอนสุดท้าย ข้อมูลที่จัดเก็บไว้จะถูกนำมาประมวลผลด้วยเว็บแอปพลิเคชันที่พัฒนาขึ้นโดยใช้ PHP Laravel Framework เพื่อวิเคราะห์และสังเคราะห์ข้อมูลออกมาเป็นผลลัพธ์เชิงสถิติที่สำคัญ ได้แก่ ค่าเฉลี่ย, ค่าสูงสุด, และค่าผลรวม ของปริมาณการใช้งาน ซึ่งเป็นข้อมูลสำคัญในการสรุปและอภิปรายผลต่อไป ข้อมูลที่ได้จะถูกนำมาใช้สำหรับจัดการและ

ปรับปรุงเครือข่ายไร้สาย ดำเนินการประเมินประสิทธิภาพและความน่าเชื่อถือของระบบวิเคราะห์ปริมาณการใช้งานเครือข่ายไร้สาย และดำเนินการประเมินความพึงพอใจโดยรวมต่อประโยชน์และการนำข้อมูลไปใช้ในการบริหารจัดการเครือข่ายไร้สาย



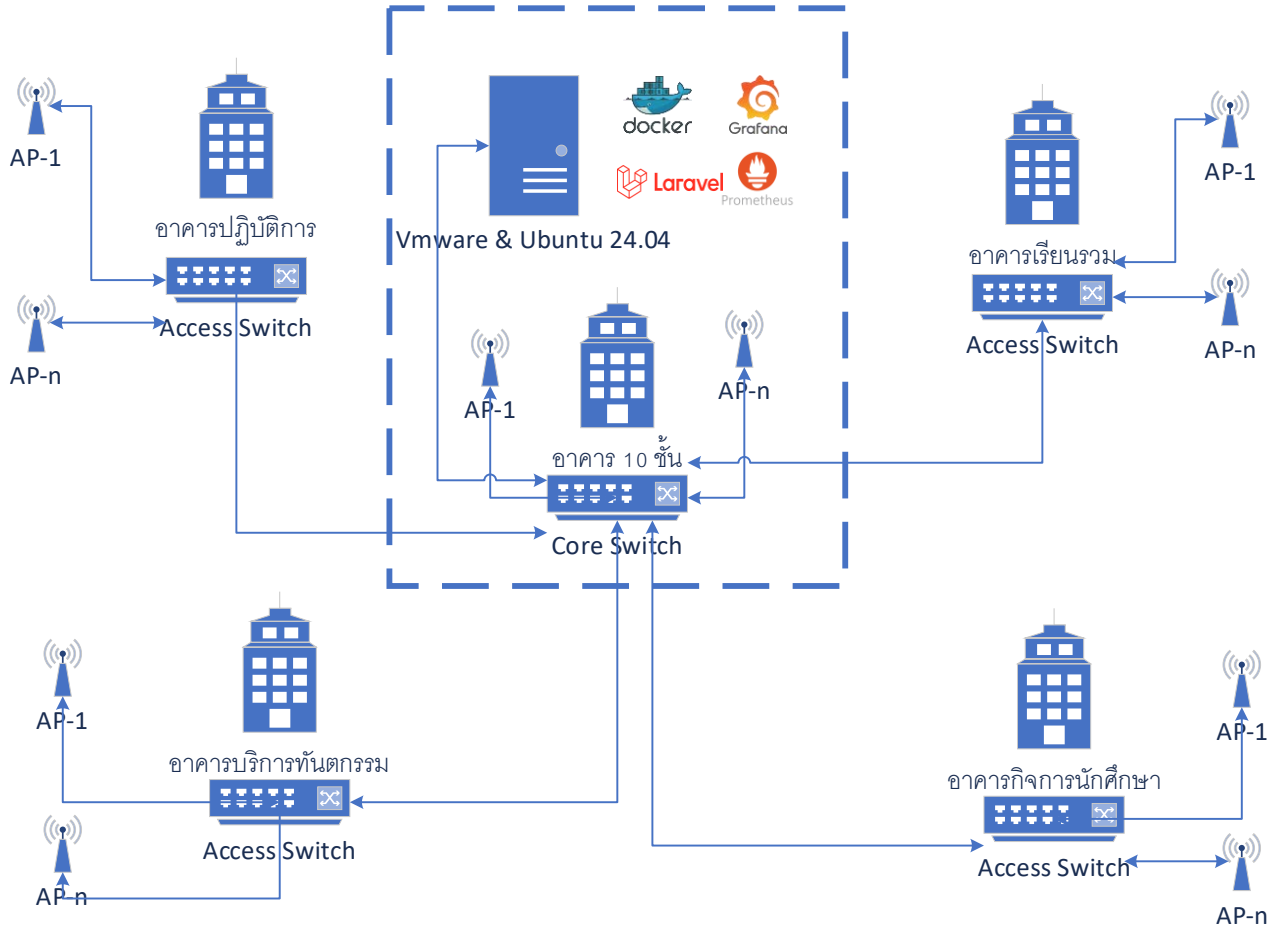
รูปที่ 1 ขั้นตอนการพัฒนาระบบตรวจสอบและวิเคราะห์ปริมาณการใช้งานข้อมูลเครือข่ายไร้สาย

4.2.1 สำรวจและเลือกอุปกรณ์

เลือก APs จำนวน 20 เครื่องใน 5 อาคารที่ให้บริการการเรียนการสอนรายละเอียดแสดงในตารางที่ 3 เพื่อเก็บข้อมูลการใช้งานที่สะท้อนพฤติกรรมของนักศึกษาและบุคลากร โดยแผนภาพการเชื่อมต่อเครือข่าย (network topology diagram) แสดงดังรูปที่ 2

ตารางที่ 3 อาคารที่ติดตั้ง access point

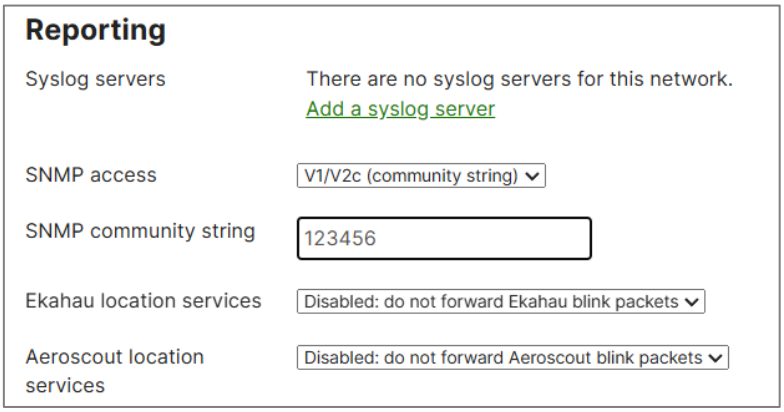
ลำดับ	ชื่ออาคาร	ชื่อ AP	จำนวน (เครื่อง)
1	อาคาร 10 ชั้น	B10_xx	4
2	อาคารปฏิบัติการเภสัชกรรมทันตกรรม	Dent_xx	2
3	อาคารปฏิบัติการเภสัชกรรม	Op_xx	5
4	อาคารเรียนรวม	C_xx	4
5	อาคารกิจการนักศึกษา	G_xx	4



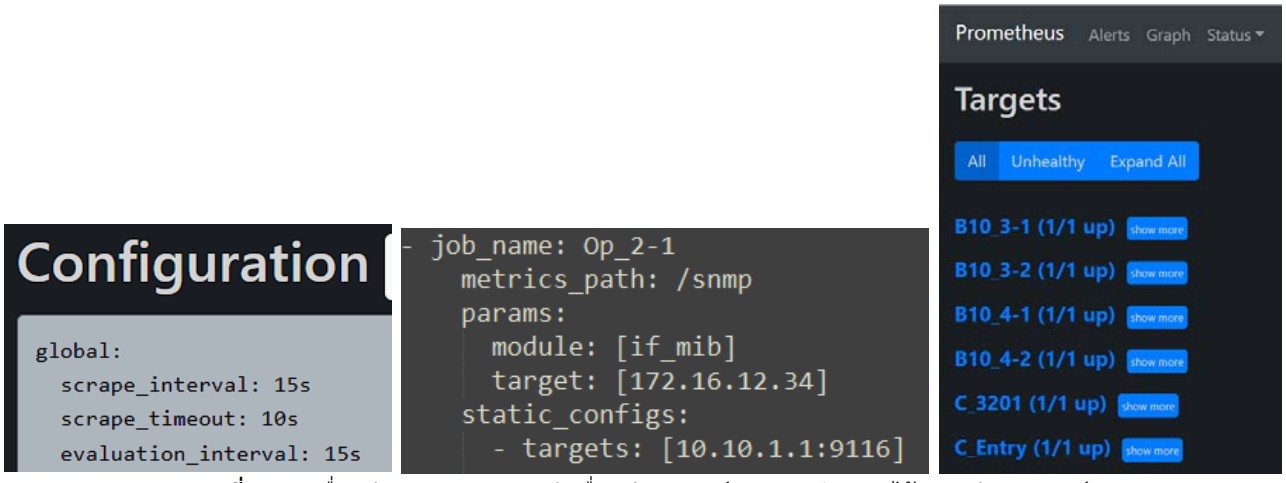
รูปที่ 2 แผนภาพการเชื่อมต่อเครือข่าย

4.2.2 ตั้งค่าและเก็บข้อมูลด้วย SNMP

งานวิจัยนี้ประยุกต์ใช้แนวทางการเฝ้าระวังและจัดการเครือข่ายตามหลักการของ Alhilali และคณะ (2023) โดยเริ่มต้นจากการเปิดใช้งานโปรโตคอล SNMP บนอุปกรณ์กระจายสัญญาณ เพื่อดึงข้อมูลเชิงปริมาณการใช้งานเครือข่าย ได้แก่ ปริมาณข้อมูลขาเข้า (ifHCInOctets) และขาออก (ifHCOutOctets) ซึ่งเป็นตัวชี้วัดสำคัญ ข้อมูลนี้จะถูกส่งผ่าน snmp_exporter ไปยังระบบ Prometheus โดยมีการเก็บค่าทุก ๆ 15 วินาที ตามการกำหนดค่าในรูปที่ 3 และรูปที่ 4 โดยเก็บข้อมูลระหว่างวันที่ 26 สิงหาคม 2567 ถึง 18 ตุลาคม 2567 (จันทร์-ศุกร์, 8:00-20:00 น.) รวม 8 สัปดาห์ เพื่อนำไปวิเคราะห์ประสิทธิภาพต่อไป



รูปที่ 3 การตั้งค่าเปิดการใช้งาน SNMP



รูปที่ 4 การเชื่อมต่อและการกำหนดค่าเชื่อมต่ออุปกรณ์กระจายสัญญาณไร้สายแต่ละอุปกรณ์

4.2.3 วิเคราะห์และนำเสนอข้อมูล

ข้อมูลอนุกรมเวลา (time-series data) ที่จัดเก็บโดย Prometheus ซึ่งเป็นค่าตัวนับสะสมของ ifHCInOctets และ ifHCOutOctets ถูกนำมาประมวลผลเพื่อหาทรูพุต (throughput) ตามสมการที่ (1) และ (2) และใช้ฟังก์ชัน rate() ในการคำนวณอัตราการรับส่งข้อมูลเฉลี่ยในช่วงเวลา 30 วินาที และแสดงผลเป็นกราฟผ่านซอฟต์แวร์ Grafana ดังแสดงใน รูปที่ 4

$$Throughput(t) = \frac{\Delta Octets \times 8}{\Delta t} \tag{1}$$

ดังนั้น อัตราการรับส่งข้อมูลที่วัดได้จริงตามช่วงเวลาการเก็บข้อมูล (Sampling Interval) คือ

$$R_{bps} = \frac{(C(t_2) - C(t_1)) \times 8}{t_2 - t_1} \tag{2}$$

โดยที่

R_{bps} = อัตราการรับส่งข้อมูลที่วัดได้จริง (throughput) มีหน่วยเป็น บิตต่อวินาที (bits per second)

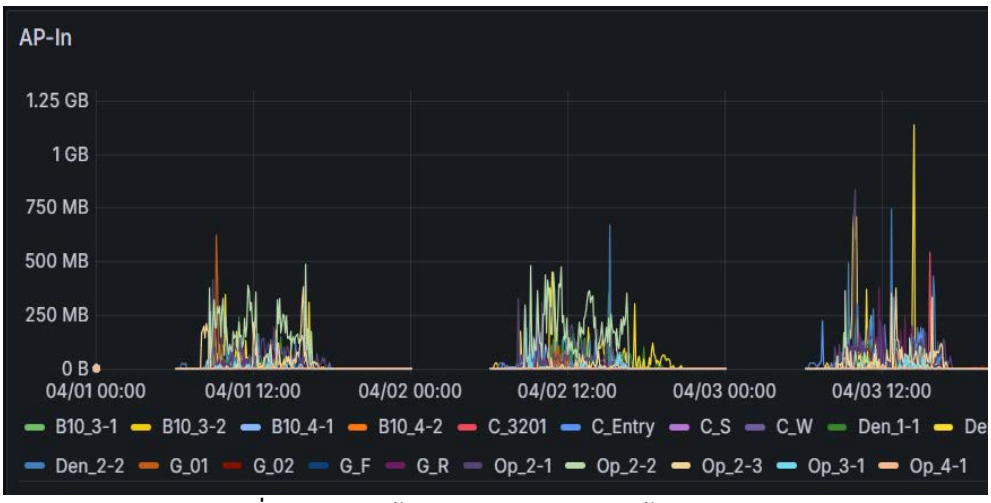
$C(t_2)$ = ค่าของตัวนับ (counter value) ณ เวลาปัจจุบัน

$C(t_1)$ = ค่าของตัวนับ (counter value) ณ เวลาที่เก็บข้อมูลครั้งก่อนหน้า

$t_2 - t_1$ = ระยะห่างของเวลาในการเก็บข้อมูล (polling interval) ซึ่งในงานวิจัยนี้กำหนดไว้ที่ 15 วินาที

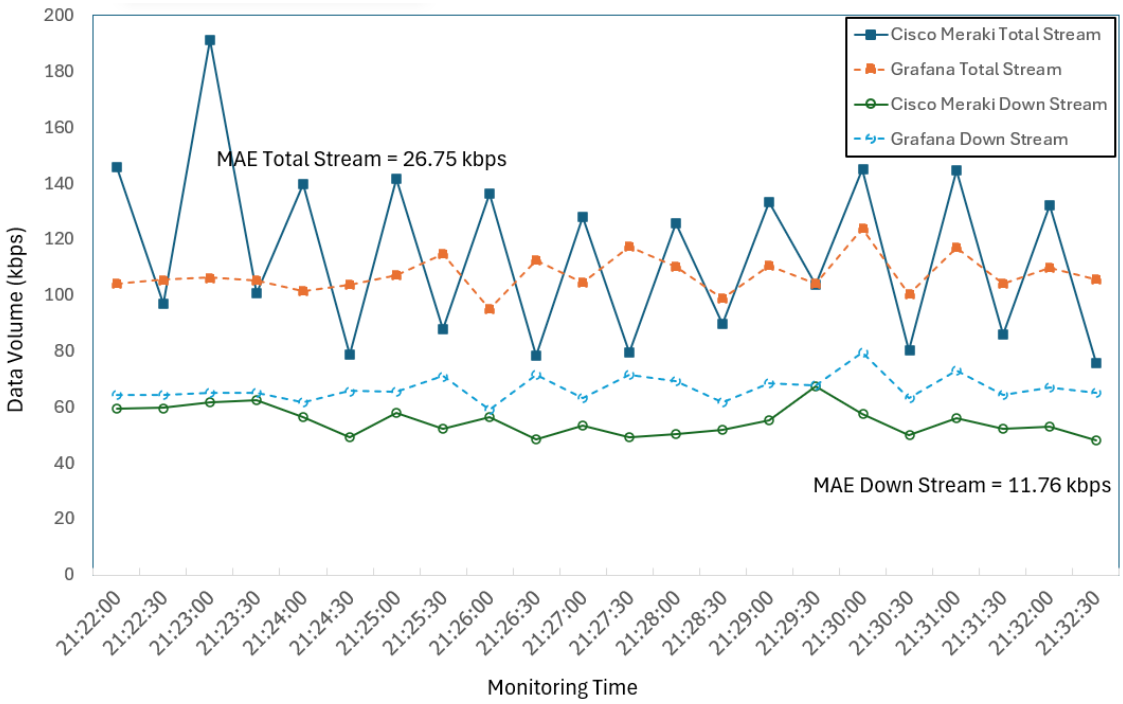
8 = ค่าคงที่สำหรับแปลงหน่วยจาก ไบต์ (octets) ไปเป็น บิต (Bits)

ข้อมูลจาก Prometheus นำมาแสดงผลเป็นกราฟด้วย Grafana ดังแสดงในรูปที่ 4 และส่งออกเป็นไฟล์ CSV เพื่อนำเข้า MariaDB แล้วประมวลผลด้วย PHP Laravel Framework โดยใช้ query เพื่อวิเคราะห์และคำนวณค่าเฉลี่ย ค่าสูงสุด และผลรวมปริมาณข้อมูลขาเข้าและขาออกแสดงผลผ่านหน้า dashboard ดังแสดงในรูปที่ 5 ซึ่งเป็นการเก็บรวบรวมข้อมูลที่ต้องการจากชุดเครื่องมือโอเพนซอร์ส



รูปที่ 5 การแสดงข้อมูลจาก Prometheus ด้วย Grafana

เพื่อเป็นการทดสอบความถูกต้องของปริมาณข้อมูลเครือข่ายที่ตรวจสอบได้จากชุดเครื่องมือที่พัฒนาขึ้น ผู้วิจัยได้เปรียบเทียบการตรวจสอบข้อมูลจาก SNMP และ dashboard ของซอฟต์แวร์บริหารจัดการเครือข่ายสำเร็จรูปเฉพาะผลิตภัณฑ์ Cisco Meraki ช่วงเวลา 10 นาทีระหว่าง 21:22.00 น.-21:32.30 น. ซึ่งเป็นช่วงที่มีการจราจรเครือข่ายไม่คับคั่ง โดยเทียบกับปริมาณข้อมูลเครือข่ายที่ตรวจสอบได้จากชุดเครื่องมือโอเพนซอร์สที่พัฒนาขึ้นดังแสดงในรูปที่ 6 พบว่ารูปแบบปริมาณข้อมูลเครือข่ายคล้ายคลึงกัน และมีค่าความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (Mean Absolute Error: MAE) ระหว่างปริมาณข้อมูลทั้งหมด (total stream) ที่วัดได้จากทั้งสองเครื่องมือเป็น 26.75 kbps และค่า MAE สำหรับปริมาณข้อมูลขาเข้า (down stream) เป็น 11.76 kbps ความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นมีสาเหตุจากความหน่วงของการเก็บข้อมูล หรือ การรวมแพ็กเก็ตข้อมูลด้วยบัฟเฟอร์ (buffer aggregation) ของเครื่องมือทั้งสองมีความแตกต่างกัน แต่อย่างไรก็ตามค่า MAE อยู่ในระดับที่ยอมรับได้สำหรับการใช้งานเครือข่ายไร้สายความเร็วสูงในระดับเมกะบิต



รูปที่ 6 การเปรียบเทียบปริมาณข้อมูลเครือข่ายที่ตรวจสอบได้จาก Cisco Meraki และ จากชุดเครื่องมือโอเพนซอร์ส

4.2.4 การจัดการและปรับปรุงเครือข่ายไร้สาย

ข้อมูลที่วิเคราะห์ได้ได้แก่ APs และอาคารที่มีการใช้งานสูงสุด พื้นที่ที่มีการใช้งานหนาแน่น รูปแบบและช่วงเวลาการใช้งาน ถูกนำมาแสดงผลและสรุปข้อมูลในลักษณะของ Data Visualization โดสร้างแดชบอร์ดแสดงผลผ่าน Grafana และจัดทำรายงานสรุปเชิงสถิติ แล้วนำมาแปลผลข้อมูลเพื่อนำผลการวิเคราะห์ที่ได้นำมาจัดการและปรับปรุงเครือข่ายไร้สายในทางปฏิบัติ 1) ด้านทรัพยากรใช้เป็นแนวทางสำหรับวางแผนจัดซื้อหรือย้ายจุดติดตั้ง APs หรือการเสนอปรับปรุงโครงสร้างพื้นฐาน และ 2) ด้านเทคนิค โดยการปรับแต่งค่า Config ของ APs และการจัดลำดับความสำคัญตามเกณฑ์ประกันคุณภาพการบริการ (quality of service: QoS)

4.2.5 การประเมินประสิทธิภาพและความน่าเชื่อถือของระบบวิเคราะห์ปริมาณการใช้งานเครือข่ายไร้สาย

ภายหลังการพัฒนาระบบวิเคราะห์ปริมาณการใช้งานเครือข่ายไร้สายเสร็จสิ้น ผู้วิจัยได้จัดทำการประเมินประสิทธิภาพและความน่าเชื่อถือของระบบวิเคราะห์ปริมาณการใช้งานเครือข่ายไร้สายใน โดยมีกลุ่มเป้าหมายเป็นเจ้าหน้าที่ฝ่ายเทคโนโลยีสารสนเทศของวิทยาลัยเครือข่ายในสังกัดสถาบันพระบรมราชชนกจำนวน 11 คน ผลลัพธ์ชี้ชัดว่าระบบได้รับการยอมรับในระดับมากที่สุด ($\bar{X}$ = 4.91) โดยผู้เชี่ยวชาญพึงพอใจสูงในทุกมิติ ทั้งด้านความเสถียรของสถาปัตยกรรมบน Docker, ข้อมูลที่จัดเก็บได้ ตลอดจนประสิทธิภาพในการรองรับข้อมูลปริมาณมากได้อย่างดีเยี่ยม ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) ที่ต่ำเพียง 0.284 บ่งชี้ว่าผู้ประเมินทั้งหมดมีความเห็นที่สอดคล้องกันอย่างยิ่ง ซึ่งเป็นการยืนยันความพร้อมใช้งานของระบบ

4.2.6 การประเมินความพึงพอใจโดยรวมต่อประโยชน์และการนำข้อมูลไปใช้ในการบริหารจัดการเครือข่ายไร้สาย

เพื่อให้ผลลัพธ์ของงานวิจัยสะท้อนถึงคุณค่าในเชิงปฏิบัติ ผู้วิจัยได้ประเมินความพึงพอใจในการนำข้อมูลไปใช้งานจริงกับกลุ่มผู้ดูแลระบบเครือข่าย ผลการประเมินพบว่าความพึงพอใจโดยรวมอยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{X}$ = 4.91, S.D. = 0.30) ซึ่งค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ต่ำสะท้อนถึงความเห็นที่เป็นเอกฉันท์ของผู้ใช้งาน ในรายละเอียด ผู้ใช้งานพึงพอใจอย่างยิ่งต่อความสามารถของระบบในการช่วยให้เข้าใจรูปแบบการใช้งาน เพื่อนำไปวางแผนจัดซื้ออุปกรณ์และปรับแต่งค่า Config รายจุดได้อย่างเหมาะสม นอกจากนี้ ระบบยังสนับสนุนการตัดสินใจด้านการวางแผนและปรับแต่ง QoS ได้เป็นอย่างดี และคุณค่าที่สำคัญที่สุดคือการที่ระบบช่วยลดเวลาและภาระงานในการบำรุงรักษาเครือข่ายได้อย่างมีนัยสำคัญยืนยันว่าระบบนี้เป็นเครื่องมือที่ตอบโจทย์การใช้งานจริง

ผู้วิจัยวัดระดับการประเมินประสิทธิภาพและการประเมินความพึงพอใจด้วยมาตรวัดแบบประมาณค่า 5 ระดับ (5-point Likert Scale) และมีการแปลผลและปรับปรุงเกณฑ์คะแนนโดย บุญชม ศรีสะอาด (2560) ดังนี้

ระดับคะแนนเฉลี่ย 4.51 – 5.00 ระดับมากที่สุด

ระดับคะแนนเฉลี่ย 3.51 – 4.50 ระดับมาก

ระดับคะแนนเฉลี่ย 2.51 – 3.50 ระดับปานกลาง

ระดับคะแนนเฉลี่ย 1.51 – 2.50 ระดับน้อย

ระดับคะแนนเฉลี่ย 1.00 – 1.50 ระดับน้อยที่สุด

5. ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

การวิจัยนี้เก็บข้อมูลปริมาณการใช้งานเครือข่ายไร้สายจากอุปกรณ์กระจายสัญญาณไร้สาย หรือ APs รุ่น Cisco Meraki MR20 จำนวน 20 เครื่อง ใน 5 อาคารของวิทยาลัยการสาธารณสุขสิรินธร จังหวัดอุบลราชธานี 8 สัปดาห์ระหว่างวันที่ 26 สิงหาคม 2567 ถึง 18 ตุลาคม 2567 วันจันทร์-ศุกร์ เวลา 08:00-20:00 น. โดยใช้โพรโทคอล SNMP และเครื่องมือ Prometheus, snmp_exporter, Grafana, และ PHP Laravel สำหรับพัฒนาเครื่องมือวิเคราะห์ปริมาณการใช้งานข้อมูลเครือข่ายบน APs ผลการวิเคราะห์ปริมาณการใช้งานข้อมูล ผลการจัดการและปรับปรุงเครือข่ายไร้สาย และผลการประเมินประสิทธิภาพและความพึงพอใจต่อระบบที่พัฒนาและกระบวนการที่เกี่ยวข้องเป็นดังนี้

5.1 ผลรวมปริมาณการใช้งานเครือข่ายไร้สายทั้ง 8 สัปดาห์

จากการเก็บรวบรวมข้อมูลปริมาณการจราจรเครือข่ายไร้สายตลอดระยะเวลา 8 สัปดาห์ (ระหว่างวันที่ 26 สิงหาคม 2567 ถึง 18 ตุลาคม 2567) ผู้วิจัยได้จำแนกผลการศึกษาออกเป็น 2 ส่วนหลัก ได้แก่ ผลรวมปริมาณการใช้งาน (Total Volume) และ การวิเคราะห์ค่าพิกัดเปอร์เซ็นไทล์ที่ 95 (95th Percentile) ดังนี้

1) ผลรวมปริมาณการใช้งาน (total volume) จากรูปที่ 7 พบว่าปริมาณการใช้งานข้อมูลรวมทั้งหมดมีแนวโน้มการใช้งานขาเข้า (Inbound/Download) สูงกว่าขาออก (Outbound/Upload) อย่างมีนัยสำคัญ โดยมีปริมาณข้อมูลขาเข้าสะสมรวมทั้งสิ้น 6.13TB และขาออกรวม 1.28TB คิดเป็นสัดส่วนการใช้งานขาเข้าต่อขาออกประมาณ 4.8 ต่อ 1

รูปที่ 7 แสดงกราฟอนุกรมเวลาและค่า 95th Percentile ของปริมาณข้อมูลขาเข้าและขาออก

2) การวิเคราะห์ค่าพิกัดเปอร์เซ็นไทล์ที่ 95 เพื่อให้ได้ข้อมูลที่สะท้อนขีดความสามารถในการรองรับการใช้งานจริง (effective capacity) ผู้วิจัยได้นำข้อมูลมาวิเคราะห์หาค่า 95th Percentile เพื่อตัดข้อมูลส่วนที่เป็นค่าสูงสุดชั่วคราว (bursts) หรือสัญญาณรบกวน (noise) ออกไป 5% ซึ่งเป็นมาตรฐานสากลในการวัดแบนด์วิดท์ ผลการวิเคราะห์ดังแสดงในรูปที่ 7 พบว่า

ขาเข้า (inbound) มีค่า 95th Percentile อยู่ที่ 2.71GB (ต่อช่วงเวลาเก็บข้อมูล) ซึ่งกราฟ time series แสดงให้เห็นลักษณะการใช้งานที่มีความผันผวนสูงในช่วงเวลาราชการ แต่เมื่อพิจารณาผ่านกราฟ CDF (Cumulative Distribution Function) พบว่าเส้นกราฟมีความชันสูงในช่วงต้น แสดงให้เห็นว่าปริมาณการใช้งานส่วนใหญ่ยังอยู่ภายใต้ขีดความสามารถของระบบ

ขาออก (outbound) มีค่า 95th Percentile อยู่ที่ 1,004.67 MB (หรือประมาณ 1.00 GB) ซึ่งต่ำกว่าขาเข้าอย่างชัดเจน และกราฟมีความหนาแน่นน้อยกว่า สะท้อนให้เห็นว่าพฤติกรรมการใช้งานหลักของนักศึกษาและบุคลากรเป็นการบริโภคสื่อข้อมูลมากกว่าการส่งข้อมูลออก

5.2 ผลการวิเคราะห์ปริมาณข้อมูลขาเข้าและขาออกตามอาคาร

ตารางที่ 4 และตารางที่ 5 แสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณข้อมูลขาเข้าและขาออกของอาคารต่าง ๆ ตามลำดับ โดยพบว่า

ตารางที่ 4 ปริมาณข้อมูลขาเข้า

สัปดาห์ที่	ค่าเฉลี่ย (GB)	ค่าสูงสุด (GB)	ผลรวม(GB)	AP สูงสุด
1	0.69	0.99	500.13	Den_1_1
2	1.05	0.99	761.62	Op_2_2
3	1.26	2.30	915.96	Den_1_1
4	1.30	3.54	939.61	Op_2_1
5	1.11	2.71	803.84	G_F
6	1.15	2.75	831.40	Den_1_1
7	1.06	3.41	761.43	Den_1_1
8	1.09	2.53	792.37	C_W

ตารางที่ 5 ปริมาณข้อมูลขาออก

สัปดาห์ที่	ค่าเฉลี่ย (GB)	ค่าสูงสุด (GB)	ผลรวม(GB)	AP สูงสุด
1	0.073	0.939	53.2	C_S
2	0.149	0.98	108.15	Den_2_1
3	0.196	1.35	142.78	C_W
4	0.143	1.95	103.79	B10_3_1
5	0.176	1.43	127.89	G_R
6	0.15	1.31	108.83	Den_2_1
7	0.144	1.88	104.01	B10_3_2
8	0.788	2.38	571.13	C_W

1) อาคารเรียนรวม มีปริมาณข้อมูลขาเข้าสูงสุดที่ 2.21TB และขาออก 0.46TB คิดเป็น 35% ของการใช้งานรวมทั้งหมด เนื่องจากเป็นอาคารที่ใช้จัดการเรียนการสอนของทุกหลักสูตร

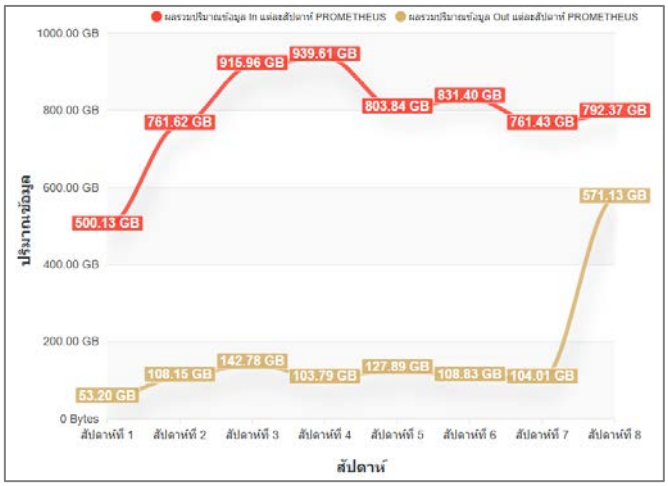
2) อาคารบริการทันตกรรม มีปริมาณข้อมูลขาเข้าสูงสุดที่ 1.52TB และขาออก 0.32TB คิดเป็น 24% ซึ่งเป็นการใช้งานที่เกี่ยวข้องกับสื่อการเรียนการสอนและภาพทางการแพทย์

3) อาคารปฏิบัติการเภสัชกรรม มีปริมาณข้อมูลขาเข้าสูงสุดที่ 1.26TB และขาออก 0.26TB คิดเป็น 20% สำหรับการเรียนปฏิบัติการและห้องเรียนทั่วไป

4) อาคารกิจการนักศึกษา มีปริมาณข้อมูลขาเข้าสูงสุดที่ 0.76TB และขาออก 0.16TB คิดเป็น 12% สำหรับกิจกรรมสันทนาการ

5) อาคาร 10 ชั้น มีปริมาณข้อมูลขาเข้าสูงสุดที่ 0.56TB และขาออก 0.12TB คิดเป็น 9% สำหรับจัดการเรียนการสอนหลักสูตรการแพทย์ฉุกเฉิน

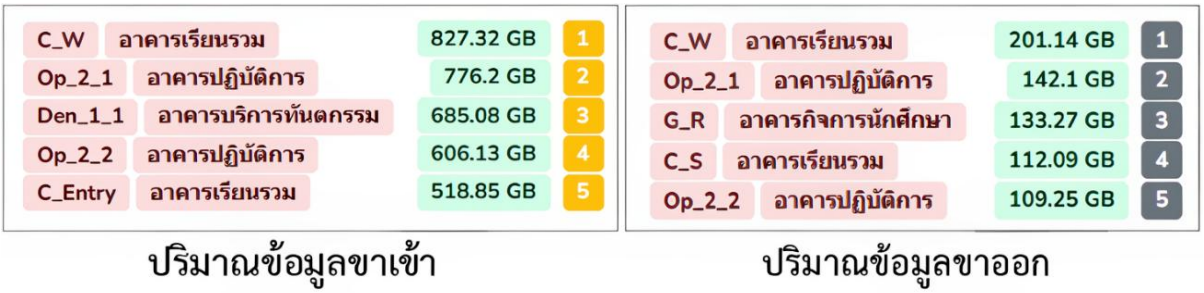
เมื่อพิจารณาแนวโน้มรายสัปดาห์ (ดังรูปที่ 8) พบว่าข้อมูลขาเข้ามีปริมาณสูงกว่าขาออกในทุกสัปดาห์ โดยช่วงที่มีการใช้งานหนาแน่นที่สุดคือ สัปดาห์ที่ 5 (23-27 กันยายน 2567) ซึ่งมีการใช้งานขาเข้าสูงสุดที่ 0.92 TB และขาออกสูงสุดที่ 0.19 TB สอดคล้องกับช่วงเวลาที่มีการจัดการเรียนการสอนและการสอบปฏิบัติการคอมพิวเตอร์ที่ต้องใช้ทรัพยากรเครือข่ายสูง



รูปที่ 8 แดชบอร์ดแสดงการเปรียบเทียบปริมาณการใช้งานข้อมูลขาเข้าและขาออกด้วย PHP Laravel

5.3 ผลการประมวลผลตามอุปกรณ์กระจายสัญญาณไร้สาย

อุปกรณ์กระจายสัญญาณไร้สายที่มีปริมาณการใช้งานสูงสุดขาเข้าและขาออก 5 อันดับแรก แสดงดังนี้



ปริมาณข้อมูลขาเข้า ปริมาณข้อมูลขาออก

รูปที่ 9 ปริมาณข้อมูลรวมขาเข้าและขาออก 5 อันดับแรก

จากรูปที่ 9 พบว่าอุปกรณ์ในอาคารเรียนรวมและอาคารปฏิบัติการมีการใช้งานเครือข่ายไร้สายสูงสุดในทุกกลุ่มข้อมูล ซึ่งอาจเกี่ยวข้องกับการเรียนการสอน การสืบค้นข้อมูล การส่งงาน และการอัพโหลดข้อมูลวิจัย โดยเฉพาะอุปกรณ์ C_W ในอาคารเรียนรวมที่มีปริมาณการใช้งานสูงสุดทั้งในด้านการดาวน์โหลดและอัพโหลดข้อมูล ข้อมูลนี้ช่วยให้สามารถระบุอุปกรณ์ที่อาจต้องได้รับการปรับปรุงหรือดูแลเป็นพิเศษเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้งานเครือข่ายไร้สายของวิทยาลัยฯ ใส่คำอธิบายตรงนี้เพิ่ม พร้อมผลรวม

5.4 ผลการจัดการและปรับปรุงเครือข่ายไร้สาย

จากผลการวิเคราะห์ปริมาณการใช้งานข้อมูลเครือข่ายไร้สายของพื้นที่ที่ศึกษา ผู้วิจัยจึงได้ดำเนินการจัดการอุปกรณ์กระจายสัญญาณไร้สาย และอุปกรณ์เครือข่ายอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง โดยมีการจัดการและปรับปรุงเครือข่ายไร้สายดังนี้

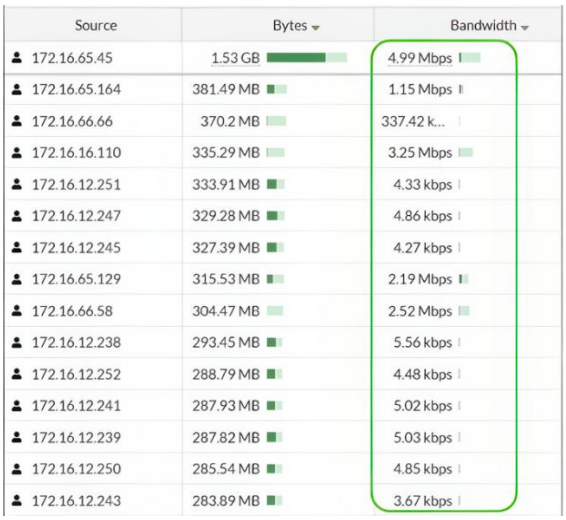
5.4.1 จัดทำแผนจัดซื้ออุปกรณ์กระจายสัญญาณและปรับปรุงสัญญาณ

เสนอแผนติดตั้งอุปกรณ์กระจายสัญญาณไร้สาย Cisco Meraki ความถี่ 2.4GHz, 5GHz และ 6GHz โดยในแผนได้เพิ่มการติดตั้งอุปกรณ์กระจายสัญญาณไร้สายในชั้น 2 อาคารบริการทันตกรรมจากเดิม 2 เครื่อง เพิ่มเป็น 4 เครื่อง ในห้องเรียนและห้องเจ้าหน้าที่ อีกจุดได้แก่ห้องเรียน C_3201 ของอาคารเรียนรวม จากเดิม 1 เครื่อง ขยายเป็น 4 เครื่องเพื่อรองรับนักศึกษาจำนวน 200 คน ให้สามารถใช้งานอินเตอร์เน็ตเกี่ยวกับกิจกรรมการเรียนการสอนและกิจกรรมอื่นได้สะดวกขึ้น และจัดทำแผนเปลี่ยนจากสายทองแดง CAT6 เป็นติดตั้งสายใยแก้วนำแสงในแต่ละอาคารเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์กระจายสัญญาณเลเยอร์ 2 (Switch Layer 2) กับสวิตช์หลัก (Core Switch Layer3) ทำให้สามารถปรับปรุงเพิ่มแบนด์วิดท์ข้อมูลได้ถึง 2.5Gbps

5.4.2 จัดทำการประกันคุณภาพการบริการ

มีการออกแบบและบังคับใช้นโยบาย QoS โดยแบ่งผู้ใช้งานออกเป็นกลุ่มและกำหนดปริมาณแบนด์วิดท์สูงสุด ตามความต้องการใช้งาน โดยกำหนดให้กลุ่มนักศึกษา และกลุ่มบุคลากรทางการศึกษา สามารถใช้งานแบนด์วิดท์ข้อมูลที่ 40Mbps และ กลุ่มสำนักงานที่ 60Mbps ผลลัพธ์ที่ได้ ดังรูปที่ 10 แสดงให้เห็นว่านโยบาย QoS ที่นำมาใช้ สามารถควบคุมปริมาณการใช้งานเครือข่ายไร้สาย โดยสามารถจำกัดความเร็วข้อมูลของผู้ใช้งานปริมาณมากไม่ให้เกินขีดจำกัดที่ตั้งไว้ สามารถป้องกันการดึงทรัพยากรเครือข่ายไร้สายไปทั้งหมด ผู้ใช้งานคนอื่นๆ ยังคงสามารถเข้าถึงเครือข่ายไร้สายได้อย่างเสถียร และเป็นการประกันคุณภาพการบริการว่าทรัพยากรเครือข่ายไร้สายในภาพรวมถูกจัดสรรและสอดคล้องกับนโยบายขององค์กร

การตั้งค่า QoS



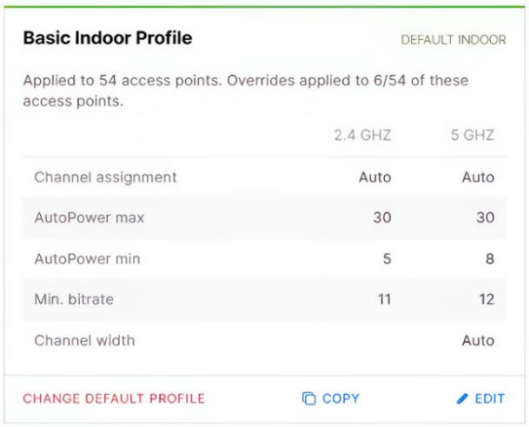
Source	Bytes	Bandwidth
172.16.65.45	1.53 GB	4.99 Mbps
172.16.65.164	381.49 MB	1.15 Mbps
172.16.66.66	370.2 MB	337.42 k...
172.16.16.110	335.29 MB	3.25 Mbps
172.16.12.251	333.91 MB	4.33 kbps
172.16.12.247	329.28 MB	4.86 kbps
172.16.12.245	327.39 MB	4.27 kbps
172.16.65.129	315.53 MB	2.19 Mbps
172.16.66.58	304.47 MB	2.52 Mbps
172.16.12.238	293.45 MB	5.56 kbps
172.16.12.252	288.79 MB	4.48 kbps
172.16.12.241	287.93 MB	5.02 kbps
172.16.12.239	287.82 MB	5.03 kbps
172.16.12.250	285.54 MB	4.85 kbps
172.16.12.243	283.89 MB	3.67 kbps

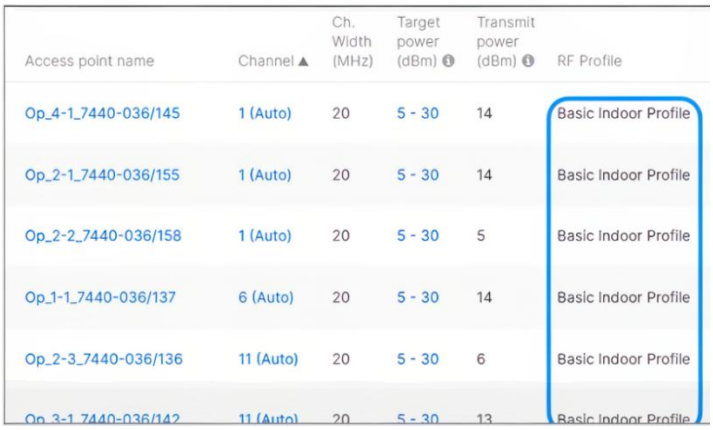
ผลการกำหนดค่าแบนด์วิดท์

รูปที่ 10 ผลจัดทำการประกันคุณภาพการบริการ

5.4.3 ปรับปรุงการตั้งค่าอุปกรณ์กระจายสัญญาณไร้สาย

มีการปรับปรุงการตั้งค่าอุปกรณ์กระจายสัญญาณไร้สายบน Meraki Cloud Management เพื่อบริหารจัดการทรัพยากรคลื่นความถี่วิทยุแบบอัตโนมัติให้มีประสิทธิภาพและเครือข่ายโดยรวมมีความเสถียรในสภาพแวดล้อมที่มีความหนาแน่นของ APs สูง แทนการปรับค่ากำลังส่งสูงสุดเพียงอย่างเดียว โดยกำหนดค่าช่องสัญญาณของอุปกรณ์กระจายสัญญาณไร้สายในอาคารแยกแต่ละ Profile ให้สัมพันธ์กับปริมาณการใช้งานข้อมูลเครือข่าย และเหมาะสมในแต่ละอุปกรณ์กระจายสัญญาณไร้สาย ดังแสดงในรูปที่ 11 มีการตั้งค่า RF Profile เป็น "Basic Indoor Profile" และกำหนดเลือกช่องสัญญาณอัตโนมัติ (auto channel) เพื่อลดสัญญาณรบกวน มีการควบคุมกำลังส่ง (transmit power) เพื่อกำหนดขนาดเซลล์สัญญาณที่เหมาะสม และมีการกำหนดอัตราบิตเรตขั้นต่ำ (min. bitrate) เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้ช่องสัญญาณ ซึ่งทั้งหมดนี้ดำเนินการปรับปรุงการตั้งค่าร่วมกันเพื่อให้เครือข่ายไร้สายมีความน่าเชื่อถือสูงและรองรับผู้ใช้จำนวนมากได้อย่างมีประสิทธิภาพ





การกำหนดค่า Profile ของแต่ละ APs การกำหนดค่าช่องสัญญาณของแต่ละ APs

รูปที่ 11 ผลการปรับปรุงการตั้งค่าอุปกรณ์กระจายสัญญาณไร้สาย

5.5 ผลการประเมินประสิทธิภาพระบบตรวจสอบและวิเคราะห์ปริมาณการใช้งานข้อมูลเครือข่ายไร้สายด้วยซอฟต์แวร์โอเพนซอร์ส

ผู้วิจัยได้ประเมินประสิทธิภาพและความน่าเชื่อถือของระบบวิเคราะห์ปริมาณการใช้งานเครือข่ายไร้สายและประเมินความพึงพอใจโดยรวมต่อประโยชน์และการนำข้อมูลไปใช้ในการบริหารจัดการเครือข่ายไร้สาย โดยสำรวจความพึงพอใจของกลุ่มเจ้าหน้าที่ด้านสารสนเทศจากวิทยาลัยการพยาบาลและวิทยาลัยการสาธารณสุข จำนวน 11 แห่งที่อยู่ในสังกัดสถาบันพระบรมราชชนกที่เป็นหน่วยงานหลัก จำนวน 11 คน ได้ผลการประเมินประสิทธิภาพและความน่าเชื่อถือต่อการนำเครื่องมือ Opensource มาใช้วิเคราะห์ปริมาณการใช้งานเครือข่ายไร้สายในภาพรวมอยู่ในระดับมากที่สุด โดยมีค่าเฉลี่ย $\bar{X}$= 4.91 และ S.D.= 0.30 และผลการประเมินความพึงพอใจโดยรวมต่อประโยชน์และการนำข้อมูลไปใช้ในการบริหารจัดการเครือข่ายไร้สายในภาพรวมอยู่ในระดับมากที่สุด โดยมีค่าเฉลี่ย $\bar{X}$= 4.89 และ S.D.= 0.22 แสดงดังตารางที่ 6 และ ตารางที่ 7 ตามลำดับ

ตารางที่ 6 การประเมินประสิทธิภาพและความน่าเชื่อถือของระบบวิเคราะห์ปริมาณการใช้งานเครือข่ายไร้สาย

รายการประเมินประสิทธิภาพและความน่าเชื่อถือของระบบ	$\bar{X}$	S.D.	ระดับ
1. ความง่ายในการติดตั้งและบำรุงรักษาเครื่องมือหลัก (Prometheus, Grafana, snmp_exporter) บน Docker	4.91	0.30	มากที่สุด
2. ความเสถียรและความน่าเชื่อถือของระบบโดยรวม (Docker, Prometheus, Grafana, snmp_exporter)	4.91	0.30	มากที่สุด
3. ความถูกต้องแม่นยำของข้อมูลปริมาณการใช้งานเครือข่าย (traffic volume) ที่เก็บรวบรวมได้	4.91	0.30	มากที่สุด
4. ความสมบูรณ์และครบถ้วนของข้อมูลที่ระบบสามารถจัดเก็บได้จากอุปกรณ์กระจายสัญญาณไร้สาย (access points)	4.91	0.30	มากที่สุด
5. ความสามารถของระบบในการประมวลผลข้อมูลปริมาณมากได้โดยไม่เกิดปัญหาด้านประสิทธิภาพ	4.91	0.30	มากที่สุด
รวม	4.91	0.30	มากที่สุด

ตารางที่ 7 การประเมินความพึงพอใจโดยรวมต่อประโยชน์และการนำข้อมูลไปใช้ในการบริหารจัดการเครือข่ายไร้สาย

รายการความพึงพอใจโดยรวม	$\overline{X}$	S.D.	ระดับ
1. ข้อมูลปริมาณการใช้งานเครือข่ายช่วยให้เข้าใจรูปแบบการใช้งาน (usage patterns) ของผู้ใช้ในแต่ละอาคาร/ช่วงเวลา	4.91	0.30	มากที่สุด
2. ข้อมูลที่ได้จากระบบเป็นประโยชน์ในการวางแผนจัดซื้ออุปกรณ์กระจายสัญญาณไร้สายเพิ่มเติม หรือปรับปรุงโครงสร้างเครือข่าย	4.91	0.30	มากที่สุด
3. ความสามารถในการใช้ข้อมูลที่ได้มาประกอบการตัดสินใจในการปรับแต่งค่า QoS เพื่อจัดลำดับความสำคัญของปริมาณการใช้งานข้อมูลเครือข่ายไร้สาย	4.82	0.40	มากที่สุด
4. การใช้ข้อมูลจากระบบเพื่อปรับแต่งค่า Config ของอุปกรณ์กระจายสัญญาณไร้สายในแต่ละจุดให้เหมาะสม	4.91	0.30	มากที่สุด
5. ความพึงพอใจต่อการที่ระบบนี้ช่วยลดเวลาและภาระงานในการตรวจสอบและบำรุงรักษาเครือข่ายไร้สาย	4.91	0.30	มากที่สุด
รวม	4.89	0.22	มากที่สุด

5.6 อภิปรายผลการทดลอง

การพัฒนาระบบโดยประยุกต์ใช้ชุดเครื่องมือโอเพนซอร์สได้พิสูจน์ให้เห็นถึงประสิทธิภาพในการสร้างเครื่องมือบริหารจัดการเครือข่ายที่ยั่งยืน ซึ่งความสำเร็จนี้ได้รับการยืนยันจากผลการประเมินโดยเจ้าหน้าที่ไอที 11 แห่ง ที่ให้คะแนนในระดับมากที่สุด งานวิจัยนี้ต่อยอดจากแนวทางของงานวิจัยส่วนใหญ่ที่ใช้ SNMP เป็นพื้นฐาน และสอดคล้องกับแนวทางงานวิจัยของ ณัฐพล ศรีรอดบาง (2563) และ Saputra และคณะ (2024) ในการใช้ Prometheus และ Grafana อย่างไรก็ตาม จุดเด่นที่แตกต่างของงานวิจัยฉบับนี้คือการผสาน Docker เข้ากับเว็บเฟรมเวิร์ก Laravel และฐานข้อมูล MariaDB เพื่อสร้างเป็นเว็บแอปพลิเคชันสำหรับการวิเคราะห์เชิงลึกโดยเฉพาะ ซึ่งต่างจากงานวิจัยอื่นที่เน้นการแจ้งเตือนผ่าน Telegram API ตามงานวิจัยของ Saputra และคณะ (2024) หรือใช้เครื่องมือเฉพาะทางอื่น การผสานเทคโนโลยีนี้ทำให้ได้ระบบที่ครอบคลุมและเป็นที่ยอมรับในทางปฏิบัติอย่างแท้จริง

ผลการวิเคราะห์ปริมาณข้อมูลแสดงถึงลักษณะการใช้งานเครือข่ายที่สำคัญ โดยการที่ปริมาณข้อมูลขาเข้า (6.13TB) สูงกว่าข้อมูลขาออก (1.28 TB) อย่างมีนัยสำคัญนั้น เป็นการยืนยันรูปแบบการใช้งานที่เน้นการใช้งานปริมาณข้อมูลเครือข่ายไร้สาย ซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะที่พบได้ทั่วไปในเครือข่ายของสถานศึกษา การที่ระบบสามารถระบุพื้นที่ใช้งานหนาแน่นได้อย่างเฉพาะเจาะจง นอกจากนี้พบว่ามีความสัมพันธ์โดยตรงระหว่างปริมาณการใช้งานที่เพิ่มสูงขึ้นในวันศุกร์สัมพันธ์กับตารางเรียนวิชาเฉพาะที่ใช้สื่อ

คุณค่าสำคัญของงานวิจัยนี้คือการเปลี่ยนข้อมูลเชิงวิเคราะห์ให้กลายเป็นองค์ความรู้ที่นำไปปฏิบัติได้จริง (Actionable Intelligence) ผลลัพธ์ที่ได้ไม่เพียงแค่เป็นรายงานระบุพื้นที่และอุปกรณ์ที่ต้องการการดูแลเป็นพิเศษ แต่ยังเป็นข้อมูลเชิงประจักษ์ที่สนับสนุนการตัดสินใจเชิงรุก ซึ่งเป็นหัวใจสำคัญของการบริหารจัดการเครือข่ายสมัยใหม่

โดยผลลัพธ์ที่ได้จากงานวิจัยนี้จะเป็นข้อมูลเชิงประจักษ์ที่มีคุณค่าสำหรับผู้บริหารและผู้ดูแลระบบ เพื่อใช้ในการตัดสินใจวางแผนปรับปรุงเครือข่าย จัดสรรทรัพยากรอย่างคุ้มค่า และยกระดับคุณภาพการให้บริการเครือข่ายไร้สายให้สามารถสนับสนุนภารกิจหลักของวิทยาลัยฯ ได้อย่างเต็มศักยภาพ

6. สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้พัฒนาระบบตรวจสอบและวิเคราะห์ปริมาณการใช้งานข้อมูลเครือข่ายไร้สายโดยใช้โพรโทคอล SNMP และใช้เครื่องมือที่เป็นซอฟต์แวร์โอเพนซอร์สเป็นหลัก แสดงถึงความเป็นไปได้ในการวิเคราะห์และจัดการเครือข่ายไร้สายอย่างมีประสิทธิภาพในงบประมาณจำกัด ผลการวิเคราะห์ปริมาณการใช้งานข้อมูลเครือข่ายไร้สายด้วยระบบที่พัฒนาขึ้นสอดคล้องกับพฤติกรรมการใช้งานข้อมูลเครือข่ายไร้สายสำหรับการเรียนการสอนและสัมพันธ์กับกิจกรรมตารางเรียน แสดงถึงความน่าเชื่อถือของการพัฒนาระบบด้วยเครื่องมือที่เป็นซอฟต์แวร์โอเพนซอร์ส ผลการวิจัยนำไปใช้ประโยชน์ในทางปฏิบัติสำหรับการเพิ่มจำนวนอุปกรณ์กระจายสัญญาณไร้สายในอาคารที่มีผู้ใช้หนาแน่น และปรับนโยบายควบคุมแบนด์วิดท์ข้อมูลและการให้บริการเครือข่ายไร้สายตามลำดับความสำคัญของความต้องการใช้ปริมาณข้อมูลในการเรียนการสอน ข้อมูลที่วิเคราะห์ได้สามารถนำไปใช้ในการวางแผนจัดสรรงบประมาณเพื่อปรับปรุงโครงสร้างพื้นฐาน และยกระดับการสนับสนุนการเรียนการสอนในสถานศึกษาที่มีทรัพยากรจำกัดได้ จากการประเมินประสิทธิภาพและความพึงพอใจนี้แสดงถึงผลลัพธ์จากงานวิจัยไม่เพียงตอบโจทย์ในเชิงทฤษฎี แต่ยังเป็นเครื่องมือที่ใช้งานได้จริง มีประโยชน์ และสามารถเป็นต้นแบบให้สถาบันอื่นนำไปปรับใช้เพื่อยกระดับการบริหารจัดการเครือข่ายของตนเองได้อย่างยั่งยืนและประหยัดค่าใช้จ่าย

7. ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะในการพัฒนางานวิจัยนี้สามารถดำเนินการโดยพัฒนาเครื่องมือหรือระบบที่รองรับการวิเคราะห์ปริมาณข้อมูลเครือข่ายไร้สายเชิงลึก เช่น การตรวจสอบสถานะทรัพยากรเครือข่ายอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง การวิเคราะห์รูปแบบการใช้งานตามช่วงเวลาต่างๆ การวิเคราะห์การใช้งานรายบุคคล และการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างการใช้งานเครือข่ายไร้สายกับปัจจัยทางงบประมาณ ทรัพยากร และนโยบายของวิทยาลัยฯ เพื่อนำไปสู่การจัดการเครือข่ายไร้สายได้อย่างมีประสิทธิภาพและตรงตามสภาพโครงสร้างพื้นฐานของวิทยาลัยฯ ข้อเสนอแนะในการพัฒนางานวิจัยเพิ่มเติมเป็นดังนี้

7.1 ควรทำการเปรียบเทียบการปรับปรุงคุณภาพเครือข่ายเชิงเมตริกซ์ภายหลังดำเนินการปรับปรุงตามข้อแนะนำ โดยตรวจจับปริมาณข้อมูลเพิ่มเติมในภาคการศึกษาหรือปีการศึกษาถัดไป ที่มีตารางการจัดการเรียนการสอนตรงกันกับช่วงดำเนินการวิจัยก่อนการปรับปรุงที่ผ่านมา แล้ววิเคราะห์ความสัมพันธ์เชิงเมตริกซ์ของทรูพุต ความหน่วง (latency) และการสูญเสียแพ็กเก็ตข้อมูล (packet loss) เพื่อให้เห็นถึงคุณภาพของเครือข่ายที่ดีขึ้นภายใต้สถานการณ์หรือพฤติกรรมการใช้งานเครือข่ายที่คล้ายคลึงกัน

7.2 ศึกษาเปรียบเทียบผลลัพธ์กับรูปแบบการใช้งานที่แตกต่าง งานวิจัยนี้ศึกษาในบริบทของวิทยาลัยการสาธารณสุข ซึ่งมีรูปแบบการใช้งานเครือข่ายเฉพาะ การนำงานวิจัยนี้ไปศึกษาในสถานศึกษาประเภทอื่น เช่น มหาวิทยาลัย หรือสถานศึกษาที่มีหลักสูตรที่แตกต่างกัน จะช่วยให้ได้ข้อมูลและแนวทางที่หลากหลายยิ่งขึ้น เนื่องจากรูปแบบการเรียนการสอน กิจกรรม และความต้องการใช้งานเครือข่ายของแต่ละสถานศึกษาอาจแตกต่างกัน

7.3 พัฒนาเครื่องมือหรือระบบที่รองรับการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงลึก เช่น การวิเคราะห์รูปแบบการใช้งานตามช่วงเวลา การวิเคราะห์การใช้งานรายบุคคล หรือการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างการใช้งานกับปัจจัยอื่นๆ จะช่วยให้เข้าใจพฤติกรรมการใช้งานเครือข่ายได้อย่างละเอียดมากยิ่งขึ้น และนำไปสู่การบริหารจัดการเครือข่ายที่แม่นยำและมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

7.4 ประยุกต์ใช้ SNMP ในการตรวจสอบสถานะฮาร์ดแวร์สำหรับตรวจสอบสถานะของอุปกรณ์เชิงรุกได้ เช่น อุณหภูมิ CPU, การใช้งานหน่วยความจำ, แรงดันไฟฟ้า, สถานะพัดลมระบายความร้อน, หรือสถานะของ Port ต่าง ๆ การตรวจสอบเหล่านี้ จะช่วยให้สามารถตรวจจับความผิดปกติของอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์เครือข่ายได้ และนำไปสู่การบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (Preventive Maintenance) ทั้งนี้ต้องศึกษา MIB (Management Information Base) ที่เกี่ยวข้องกับฮาร์ดแวร์เพิ่มเติม

8. เอกสารอ้างอิง

กันตวุธ กันยานุช. (2565). การพัฒนาระบบตรวจสอบการทำงานของคอมพิวเตอร์แม่ข่ายและอุปกรณ์เครือข่าย สำนักงานป้องกันควบคุมโรคที่ 8 จังหวัดอุดรธานี. กรมควบคุมโรค, สำนักงานป้องกันควบคุมโรคที่ 8 จังหวัดอุดรธานี.

จันตพงษ์ บุตรลักษณ์. (2563). การพัฒนาระบบแสดงผลสำหรับศูนย์ปฏิบัติการเครือข่ายเพื่อเฝ้าระวังและแจ้งเตือนปัญหาระบบเครือข่าย. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, สำนักคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ.

ชัชวาล พานวงษ์. (2563). ระบบเครือข่ายสำรองสาขาที่มีสภาพพร้อมใช้งานสูงโดยใช้เทคโนโลยีเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ 4G. (วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร). มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช.

ณัฐพล ศรีรอดบาง. (2563). การออกแบบระบบติดตามสถานภาพเครื่องแม่ข่ายเสมือน และกู้คืนเว็บแอปพลิเคชัน ภายในระบบการประมวลผลแบบกลุ่มเมฆ ด้วยซอฟต์แวร์โอเพนซอร์ซ. สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น, สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ (สารนิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต).

Alhilali, A. H., Al Farawn, A., & Mjhool, A. Y. (2023). *Design and implement a real-time network traffic management system using SNMP protocol*. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5(9), 35–44. https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.286528

Brenner, B., Fabini, J., Offermanns, M., Semper, S., & Zseby, T. (2024). *Malware communication in smart factories: A network traffic data set.*

Espinel-Villalobos, R. I., Ardila-Triana, E., Zarate-Ceballos, H., & Ortiz-Triviño, J. E. (2022). *Design and Implementation of Network Monitoring System for Campus Infrastructure Using Software Agents*. Ingeniería e Investigació.

McCloghrie, K., & Kastenholz, F. (2000). *The Interfaces Group MIB (RFC 2863). Internet Engineering Task Force (IETF).* https://doi.org/10.17487/RFC2863

Pivotto, J., & Brazil, B. (2023). *Prometheus: Up & running: Infrastructure and application performance monitoring (2nd ed.)*. O'Reilly Media.

Saputra, M. Y. E., Noprianto, Arief, S. N., Wijayaningrum, V. N., & Syaifudin, Y. W. (2024). *Real-Time Server Monitoring and Notification System with Prometheus, Grafana, and Telegram Integration*. 2024 ASU International Conference in Emerging Technologies for Sustainability and Intelligent Systems (ICETSIS).

นายอัษฎาวุธ ควรนาม นักศึกษาหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต แขนงวิชาเทคโนโลยีดิจิทัล สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช

โทรศัพท์ 0-4521-0270

E-mail: aussadavut@scphub.ac.th

งานวิจัยที่สนใจ: Cyber Security, Wireless Network System, Wireless Management System

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ขจิตพรรณ กฤตพลวิมาน อาจารย์ประจำหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชา วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช

โทรศัพท์ 0-2504-8274

E-mail: Khajitpan.Mak@stou.ac.th

ความเชี่ยวชาญ: Ultra Wideband Technology, Indoor Wireless Communication, and Communication Technology and Applications

การพัฒนาแอปพลิเคชันแชทบอท แนะนำสถานที่ท่องเที่ยวและผลิตภัณฑ์ชุมชน สำหรับพื้นที่การท่องเที่ยวเชิงอนุรักษ์ภูป่าเปาะ จังหวัดเลย

Development of a Chatbot Application for Recommending Tourist Attractions and Community Products in the Eco-Tourism Area of Phu Pa Po, Loei Province

ชรินทร์ญา หวังวัชรกุล[1]

[1] สาขาวิชาคอมพิวเตอร์ธุรกิจดิจิทัล คณะวิทยาการจัดการ มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย,charinya.wan@lru.ac.th

Charinya Wangwatcharakul[1]

[1] Digital Business Computer Program, Faculty of Management Science, Loei Rajabhat University, charinya.wan@lru.ac.th

วันที่รับบทความ 13 ตุลาคม 2568

วันแก้ไขบทความ 13 ธันวาคม 2568

วันตอบรับบทความ 16 ธันวาคม 2568

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) พัฒนาแอปพลิเคชันแชทบอท แนะนำสถานที่ท่องเที่ยวและผลิตภัณฑ์ชุมชน สำหรับพื้นที่การท่องเที่ยวเชิงอนุรักษ์ภูป่าเปาะ จังหวัดเลย 2) ประเมินประสิทธิภาพของแอปพลิเคชันแชทบอท 3) ประเมินความพึงพอใจของแอปพลิเคชันแชทบอท มีกลุ่มตัวอย่าง ประกอบด้วย ผู้เชี่ยวชาญด้านเทคโนโลยีและการท่องเที่ยว จำนวน 5 คน สำหรับการประเมินคุณภาพ และกลุ่มนักท่องเที่ยว ผู้ประกอบการ รวมถึงเจ้าหน้าที่ จำนวน 400 คน สำหรับการประเมินความพึงพอใจ เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ แบบประเมินประสิทธิภาพและแบบประเมินความพึงพอใจ การวิเคราะห์ข้อมูลใช้สถิติพื้นฐาน ได้แก่ ค่าความแม่นยำ ค่าร้อยละ ค่าเฉลี่ย และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ผลการวิจัย พบว่าการประเมินประสิทธิภาพของแชทบอทพบว่าภาพรวม อยู่ในระดับมากที่สุด ระบบมีความถูกต้องของการตอบคำถาม ผลการประสิทธิภาพโดยมีค่าความแม่นยำเฉลี่ย 97.0% ขณะที่ค่า Precision, Recall และ F1-score เท่ากับ 0.914, 0.859 และ 0.885 ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าระบบสามารถให้ข้อมูลได้ถูกต้อง ครอบคลุม และรวดเร็ว ในส่วนของการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งาน พบว่าภาพรวมอยู่ในระดับดีมาก โดยเฉพาะด้านเนื้อหาการท่องเที่ยวได้รับความพึงพอใจสูงสุด แสดงให้เห็นว่าแชทบอทที่พัฒนาขึ้นมีศักยภาพในการตอบโจทย์ด้านข้อมูลเพื่อสนับสนุนการท่องเที่ยวเชิงอนุรักษ์ในพื้นที่อย่างมีประสิทธิผล

คำสำคัญ: แอปพลิเคชันแชทบอท, การท่องเที่ยวเชิงอนุรักษ์, ภูป่าเปาะ, การท่องเที่ยว

ABSTRACT

This research aimed to 1) develop a chatbot application to provide information on tourist attractions and community products for the Phu Pa Po Ecotourism area in Loei Province, 2) evaluate the efficiency of the chatbot application, and 3) assess user satisfaction with the system. The samples consisted of five experts in technology and tourism for quality assessment, and 400 participants including tourists, entrepreneurs, and local officers—for satisfaction evaluation. The research instruments included an efficiency evaluation form and a user satisfaction

questionnaire. Data were analyzed using basic statistical methods, including accuracy, percentage, mean, and standard deviation. The results revealed that the chatbot's overall efficiency was rated at the highest level, with an average accuracy of 97.0%. The precision, recall, and F1-score were 0.914, 0.859, and 0.885, respectively, indicating that the system provided information accurately, comprehensively, and promptly. Overall user satisfaction was also rated at a very high level, particularly regarding the tourism content, which received the highest satisfaction score. These findings suggested that the developed chatbot effectively supported ecotourism information services in the Phu Pa Po area with high performance and strong user satisfaction.

KEYWORDS: Chatbot Application, Eco-Tourism, Phu Pa Po, Tourism

1. บทนำ

การท่องเที่ยวเชิงอนุรักษ์เป็นรูปแบบการท่องเที่ยวที่มุ่งเน้นการรักษาทรัพยากรธรรมชาติ วัฒนธรรม และสิ่งแวดล้อมของท้องถิ่น ควบคู่ไปกับการพัฒนาเศรษฐกิจและคุณภาพชีวิตของชุมชนอย่างยั่งยืน ถือเป็นแนวทางการท่องเที่ยวที่ได้รับความนิยมเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยเน้นการสร้างสมดุลระหว่างการอนุรักษ์และการใช้ประโยชน์อย่างยั่งยืนในทางเศรษฐกิจและสังคม แนวคิดนี้ได้รับการยอมรับในระดับสากล ว่าเป็นกลไกสำคัญในการสนับสนุนการพัฒนาชุมชนท้องถิ่นผ่านการเพิ่มรายได้และการส่งเสริมความมีส่วนร่วมของชุมชนในกระบวนการอนุรักษ์ทรัพยากร (วรดาภา พันธุ์เพ็ง, 2568; นพดล ธีระวงศ์ภิญโญ, 2567)

จังหวัดเลยเป็นสถานที่ที่มีแหล่งท่องเที่ยวทางธรรมชาติและวัฒนธรรมที่งดงาม ดึงดูดนักท่องเที่ยวให้มาสัมผัสบรรยากาศของภาคอีสานตลอดทั้งปี โดยเฉพาะ "ภูป่าเปาะ" หรือที่รู้จักกันในนาม "ฟูจิเมืองเลย" ซึ่งเป็นแลนด์มาร์กสำคัญของจังหวัด ภูป่าเปาะซึ่งมีจุดชมวิว 4 จุด ไฮไลท์อยู่ที่จุดที่ 4 ที่สามารถมองเห็นวิว 360 องศา รวมถึงภูหอที่มีรูปร่างคล้ายภูเขาไฟฟูจิ การเดินทางขึ้นภูใช้บริการรถอีแต๊กจากวิสาหกิจชุมชนบ้านผาหวาย ทำให้เกิดทั้งการท่องเที่ยวเชิงอนุรักษ์และการสร้างรายได้แก่ชุมชน ปัจจุบันมีการจัดตั้งศูนย์บริการนักท่องเที่ยวภูป่าเปาะ เพื่ออำนวยความสะดวกและให้ความช่วยเหลือแก่นักท่องเที่ยว โดยมีเจ้าหน้าที่ให้บริการข้อมูลการท่องเที่ยว แต่เนื่องจากมีจำนวนนักท่องเที่ยวที่ติดต่อสอบถามผ่านช่องทางออนไลน์เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง และมีการติดต่อในลักษณะตลอดเวลา ทำให้เกิดปัญหาความล่าช้าในการตอบคำถาม เนื่องจากเจ้าหน้าที่มีจำนวนน้อย ไม่สามารถตอบคำถามได้ครบถ้วนในทันทีส่งผลให้การบริการเกิดความล่าช้า และสร้างความไม่สะดวกแก่นักท่องเที่ยว (สำนักงานพื้นที่พิเศษเพื่อการท่องเที่ยวอย่างยั่งยืนเลย, 2568)

เทคโนโลยีแชทบอท (Chatbot) เป็นระบบสนทนาอัตโนมัติที่ตอบสนองผู้ใช้ผ่านข้อความเสียง ภาพ และวิดีโอ ตลอด 24 ชั่วโมง โดยใช้เทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence: AI) และการประมวลผลภาษาธรรมชาติ (Natural Language Processing: NLP) ที่พัฒนาขึ้นเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการให้บริการข้อมูลที่รวดเร็วและตรงตามความต้องการของผู้ใช้ (Xu & Chen, 2025; Majid et al., 2024; ธัญญรัตน์ ไชยวงศ์ และคณะ, 2568) แพลตฟอร์ม LINE ซึ่งเป็นหนึ่งในแพลตฟอร์มหลักในประเทศไทยถือเป็นช่องทางที่มีศักยภาพสูงในการใช้แชทบอทเพื่ออำนวยความสะดวกในการให้บริการข้อมูลด้านการท่องเที่ยว เช่น การนำเสนอข้อมูลสถานที่ท่องเที่ยว กิจกรรมแนะนำ บริการที่พัก และผลิตภัณฑ์ชุมชน ส่งผลให้การบริหารจัดการข้อมูลและการตอบสนองต่อนักท่องเที่ยวมีความมีประสิทธิภาพและสามารถรองรับปริมาณการติดต่อที่เพิ่มขึ้นได้ นอกจากนี้ Dialogflow เป็นแพลตฟอร์มสำหรับสร้างและพัฒนาแชทบอทและแอปพลิเคชันเสมือนคนที่สามารถทำงานกับ ผู้ใช้ผ่านการสนทนาหรือการสื่อสารแบบข้อความ ขั้นตอนการทำงานของ Dialogflow ประกอบด้วย การรับข้อความจากผู้ใช้ (User Input) การจับคู่วัตถุประสงค์ของข้อความ (Intent Matching) และการสร้างข้อความตอบกลับ (Response) ทำให้แชทบอทสามารถตอบคำถามและโต้ตอบกับผู้ใช้ได้อย่างเป็นธรรมชาติและมีประสิทธิภาพ (เดช ธรรมศิริ และคณะ, 2568; ธีรพงษ์ สังข์ศรี และคณะ, 2564)

อย่างไรก็ตาม แม้ว่าการท่องเที่ยวเชิงอนุรักษ์ของจังหวัดเลยจะมีความโดดเด่นและเป็นที่สนใจ แต่ปัญหาการให้บริการข้อมูลต่อนักท่องเที่ยวด้วยจำนวนเจ้าหน้าที่จำกัดและการตอบสนองที่ล่าช้าผ่านช่องทางออนไลน์ยังคงเป็นอุปสรรคที่สำคัญ ขาดการใช้เทคโนโลยีสารสนเทศที่มีประสิทธิภาพมาช่วยจัดการข้อมูลและสื่อสารกับนักท่องเที่ยวอย่างทันทีทันใด

จากบริบทและปัญหาดังกล่าว ผู้วิจัยจึงได้ศึกษาและพัฒนาแชทบอทสำหรับการท่องเที่ยวเชิงอนุรักษ์ในจังหวัดเลย โดยใช้เทคโนโลยี Dialogflow ซึ่งเป็นแพลตฟอร์มสำหรับสร้างระบบสนทนาอัตโนมัติที่สามารถประมวลผลภาษาธรรมชาติได้อย่างมีประสิทธิภาพ ร่วมกับ Line Messaging API เพื่อเชื่อมต่อระบบแชทบอทกับแพลตฟอร์ม LINE โดยมีเป้าหมายเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการสื่อสารระหว่างนักท่องเที่ยวและผู้ให้บริการข้อมูลในพื้นที่ สนับสนุนการตอบสนองข้อมูลได้ทันที ลดปัญหาความล่าช้า และส่งเสริมภาพลักษณ์ของการท่องเที่ยวเชิงอนุรักษ์ที่ยั่งยืนในจังหวัดเลย ตลอดจนสนับสนุนการพัฒนาทางเศรษฐกิจและสังคมของชุมชนท้องถิ่นในระยะยาว

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

2.1 เพื่อพัฒนาแอปพลิเคชันแชทบอท สำหรับพื้นที่การท่องเที่ยวเชิงอนุรักษ์ภูป่าเปาะ จังหวัดเลย

2.2 เพื่อประเมินประสิทธิภาพของแอปพลิเคชันแชทบอท สำหรับพื้นที่การท่องเที่ยวเชิงอนุรักษ์ภูป่าเปาะ จังหวัดเลย

2.3 เพื่อประเมินความพึงพอใจของแอปพลิเคชันแชทบอท สำหรับพื้นที่การท่องเที่ยวเชิงอนุรักษ์ภูป่าเปาะ จังหวัดเลย

3. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

3.1 แนวคิดการท่องเที่ยวเชิงอนุรักษ์

ผู้วิจัยได้ศึกษางานวิจัยและแนวคิดการท่องเที่ยวเชิงอนุรักษ์พบว่า

แนวคิดพื้นฐานและหลักการของการท่องเที่ยวเชิงอนุรักษ์ มีรายละเอียดดังนี้ 1) เป็นการท่องเที่ยวในแหล่งท่องเที่ยวธรรมชาติรวมถึงแหล่งวัฒนธรรมและประวัติศาสตร์ ซึ่งมีความเป็นเอกลักษณ์เฉพาะถิ่น และทรงคุณค่าในพื้นที่นั้น 2) เป็นการท่องเที่ยวที่มีการจัดการอย่างยั่งยืน ไม่ก่อให้เกิดผลกระทบ หรือส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม รักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมของแหล่งท่องเที่ยวให้ยั่งยืน 3) เป็นการท่องเที่ยวที่มีกระบวนการเรียนรู้และการให้การศึกษา เกี่ยวกับระบบนิเวศ และ สิ่งแวดล้อมของแหล่งท่องท่องเที่ยวเพิ่มพูนความรู้ ความประทับใจ และประสบการณ์ที่มีคุณค่าเพื่อ สร้างความตระหนักและจิตสำนึกที่ถูกต้องต่อนักท่องเที่ยวประชาชนท้องถิ่นตลอดจนผู้ประกอบการที่เกี่ยวข้อง 4) เป็นการท่องเที่ยวที่นำไปสู่การกระจายรายได้ทั้งในระดับท้องถิ่นและระดับประเทศ โดยคำนึงถึงการมีส่วนร่วมของชุมชนท้องถิ่นในภาคบริการต่างๆ เพื่อก่อให้เกิดประโยชน์ต่อท้องถิ่น มากกว่าการท่องเที่ยวที่เคยส่งเสริมกันมาตั้งแต่อดีต (สำนักงานพื้นที่พิเศษเพื่อการท่องเที่ยวอย่างยั่งยืนเลย, 2568; เดช ธรรมศิริ และคณะ, 2568; Majid et al., 2024)

สรุปได้ว่า การท่องเที่ยวเชิงอนุรักษ์หรือการท่องเที่ยวเชิงนิเวศ หมายถึง การท่องเที่ยวที่คำนึงถึงแหล่งธรรมชาติ หรือแหล่งวัฒนธรรมอันมีความเกี่ยวเนื่องกับระบบนิเวศของสถานที่นั้น โดยที่ไม่ก่อให้เกิดการรบกวน หรือความเสียหายต่อธรรมชาติหรือระบบนิเวศ ในขณะเดียวกันยังเป็นการช่วยส่งเสริมวิถีชุมชนโดยรอบให้มีคุณภาพชีวิต หรือคุณภาพสิ่งแวดล้อมที่ดียิ่งขึ้น นับเป็นกระแสการท่องเที่ยวที่ได้รับความนิยมในปัจจุบัน โดยมีจุดเด่นตรงที่นอกจากจะเป็นรูปแบบการท่องเที่ยวลักษณะหนึ่งแล้ว ยังช่วยส่งเสริมให้คุณภาพชีวิตและคุณภาพสิ่งแวดล้อมของท้องถิ่นได้เป็นอย่างดี ไม่ว่าจะเป็นธรรมชาติ วัฒนธรรมท้องถิ่น หรือกลุ่มคนในท้องถิ่น ให้มีความมั่นคง และยั่งยืนมากยิ่งขึ้น

3.2 แนวคิดเทคโนโลยีแชทบอท

ผู้วิจัยได้ศึกษางานวิจัยและแนวคิดของเทคโนโลยีแชทบอท พบว่า

แชทบอท (Chatbot) คือโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ถูกสร้างขึ้นเพื่อทำหน้าที่ในการสื่อสารกับมนุษย์ผ่านช่องทางการสื่อสารแบบข้อความ มักจะใช้ปัญญาประดิษฐ์และเทคโนโลยีการประมวลผลภาษาธรรมชาติ (Natural Language Processing - NLP)

เพื่อให้สามารถเข้าใจและตอบสนองต่อคำถามหรือคำขอของผู้ใช้ได้อย่างถูกต้องและมีประสิทธิภาพ แชทบอทมักถูกใช้ในหลายสถานการณ์ เช่น ในธุรกิจ เพื่อการบริการลูกค้าอัตโนมัติ การตอบคำถามเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์หรือบริการ หรือในการช่วยในกระบวนการการขาย นอกจากนี้ ยังมีการใช้แชทบอทในการท่องเที่ยว เพื่อให้ข้อมูลเกี่ยวกับสถานที่ท่องเที่ยว การจองที่พัก หรือแนะนำกิจกรรมท่องเที่ยว รวมถึงการใช้ในการศึกษา เพื่อให้ข้อมูลเกี่ยวกับหลักสูตรการศึกษา หรือคำแนะนำในการเรียนรู้ เป็นต้น (Xu & Chen, 2025; เดช ธรรมศิริ และคณะ, 2568; สุมนา บุษบก และคณะ, 2568)

การทำงานของแชทบอทด้วยไดอะล็อกโฟร์ว (Dialog flow) เป็นเทคโนโลยีจาก Google ที่เป็นแพลตฟอร์มสำหรับสร้างระบบสนทนาอัจฉริยะ (Conversational AI) ที่มีความสามารถในการเข้าใจและประมวลผลภาษาธรรมชาติ (NLP) ช่วยให้บอทสามารถโต้ตอบ สนทนา และเข้าใจความต้องการของผู้ใช้ได้อย่างแม่นยำและเป็นธรรมชาติ การใช้งานสามารถประยุกต์ใช้บนแพลตฟอร์มไลน์ โดยเชื่อมต่อกับ Line Messaging API ทำให้ผู้ใช้สามารถพูดคุย ถามข้อมูล หรือใช้บริการต่าง ๆ ผ่านไลน์ได้โดยตรง ตัวอย่างเช่น การสอบถามข้อมูลสถานที่ท่องเที่ยว การจองบริการ หรือรับคำแนะนำอัตโนมัติ โดย Dialogflow จะทำหน้าที่วิเคราะห์ข้อความ รับรู้ Intent (จุดมุ่งหมาย) และตอบกลับหรือประมวลผลข้อมูลตามที่กำหนดไว้ ประกอบกับความสามารถ Fulfillment ซึ่งช่วยให้แชทบอทดึงข้อมูลภายนอกหรือดำเนินการกับระบบอื่น ๆ ได้ทันที (อัคริมา สุ่มมาตย์ และคณะ, 2567)

ในด้านการท่องเที่ยว พบว่างานวิจัยเรื่อง การพัฒนาระบบสารสนเทศเพื่อส่งเสริมการท่องเที่ยวจังหวัดนครปฐมผ่านแอปพลิเคชันไลน์แชทบอท มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาระบบสารสนเทศที่ช่วยให้นักท่องเที่ยวสามารถสืบค้นข้อมูลแหล่งท่องเที่ยวชุมชนช่างศิลป์และได้รับคำตอบอัตโนมัติ โดยมีกลุ่มตัวอย่างนักท่องเที่ยวจำนวน 423 คน ผลการประเมินพบว่าความพึงพอใจโดยรวมอยู่ในระดับมาก โดยด้านที่ได้รับความพึงพอใจสูงสุดคือความง่ายต่อการใช้งาน ซึ่งสะท้อนถึงศักยภาพของแชทบอทในการตอบสนองความต้องการของนักท่องเที่ยวและสนับสนุนการให้บริการด้านการท่องเที่ยวได้อย่างมีประสิทธิภาพ อีกทั้งยังชี้ให้เห็นถึงบทบาทสำคัญของการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีดิจิทัลในการยกระดับคุณภาพการบริการและการส่งเสริมการท่องเที่ยวในระดับชุมชน อันเป็นแนวทางสำคัญต่อการพัฒนาการท่องเที่ยวอย่างยั่งยืน (เดช ธรรมศิริ และคณะ, 2568)

การประยุกต์ใช้แชทบอทในการตอบคำถามแทนเจ้าหน้าที่ได้รับความสนใจอย่างต่อเนื่อง เนื่องจากสามารถตอบสนองผู้ใช้ได้อย่างรวดเร็วและทำงานตลอด 24 ชั่วโมง จากงานวิจัยเรื่องการพัฒนาระบบแชทบอทเพื่อสนับสนุนการให้บริการศูนย์สหกิจศึกษาและพัฒนาอาชีพ โดยใช้เทคโนโลยี Official LINE Account, Line Bot Designer, Line Messaging API, Dialogflow, Webhook และ Flex Message ตามกระบวนการพัฒนาระบบ SDLC ผลการวิจัยพบว่าแชทบอทสามารถตอบกลับการสนทนาแบบอัตโนมัติ ให้ข้อมูลและตอบคำถามได้อย่างมีประสิทธิภาพ ช่วยลดระยะเวลาในการสื่อสาร และผู้ใช้มีความพึงพอใจในระดับสูง (ค่าเฉลี่ย = 4.55, S.D. = 0.45) สะท้อนให้เห็นว่าแชทบอทสามารถตอบโจทย์การให้บริการในภาคการศึกษาและพัฒนาประสิทธิภาพการสื่อสารกับผู้ใช้ได้อย่างมีคุณภาพ (อาทิตยา อรุณศรี และคณะ, 2566)

นอกจากนี้ ยังมีงานวิจัยเรื่องการพัฒนาระบบแชทบอทเพื่อส่งเสริมการจำหน่ายผลิตภัณฑ์ OTOP ของวิสาหกิจชุมชนจังหวัดประจวบคีรีขันธ์ผ่านสื่อสังคมออนไลน์ มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาระบบแชทบอทและศึกษาความพึงพอใจของผู้ใช้งานบนแพลตฟอร์ม Facebook Messenger, LINE Official Account และเว็บไซต์ โดยกลุ่มตัวอย่างคือผู้ใช้อินเทอร์เน็ตจำนวน 401 คน ผลการวิจัยพบว่า แชทบอทสามารถตอบสนองการสื่อสารกับลูกค้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทั้งการทักทาย แนะนำสินค้า การสั่งซื้อ และแจ้งการชำระเงิน ผู้ใช้มีความพึงพอใจในระดับสูงที่สุด แสดงให้เห็นว่าแชทบอทช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการประชาสัมพันธ์และการตลาดของชุมชน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยปัจจุบันที่มุ่งพัฒนาแชทบอทเพื่อสนับสนุนการท่องเที่ยวเชิงอนุรักษ์ภูป่าเปาะ จังหวัดเลย ในการให้ข้อมูลและบริการที่สะดวก รวดเร็ว และส่งเสริมเศรษฐกิจท้องถิ่นอย่างยั่งยืน (อัชฌาพร กว้างสวัสดิ์ และคณะ, 2566)

ดังนั้นจากแนวคิดดังกล่าว จะเห็นได้ว่าการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีแชทบอทมีบทบาทสำคัญในการสนับสนุนการสื่อสารและการให้บริการข้อมูลแก่นักท่องเที่ยวอย่างมีประสิทธิภาพ ทั้งในด้านความสะดวก รวดเร็ว และการเข้าถึงข้อมูลที่ตรงตามความต้องการ ซึ่งงานวิจัยที่ผ่านมาได้สะท้อนถึงศักยภาพของแชทบอทในการยกระดับคุณภาพการบริการและส่งเสริมการท่องเที่ยวในระดับ

ชุมชน อันเป็นรากฐานสำคัญสู่การพัฒนาการท่องเที่ยวอย่างยั่งยืน ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมุ่งพัฒนาแอปพลิเคชันแชทบอทสำหรับให้คำแนะนำข้อมูลพื้นที่การท่องเที่ยวเชิงอนุรักษ์ภูป่าเปาะ จังหวัดเลย เพื่อให้ข้อมูลและบริการที่ครอบคลุม ตอบสนองความต้องการของนักท่องเที่ยว และมีส่วนช่วยในการส่งเสริมเศรษฐกิจและคุณภาพชีวิตของชุมชนในท้องถิ่นอย่างยั่งยืน

3.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ธัญญรัตน์ ไชยวงศ์ และคณะ (2568) ได้พัฒนาระบบตอบโต้สนทนาอัตโนมัติ (Chatbot) เพื่ออำนวยความสะดวกด้านข้อมูลการท่องเที่ยวในจังหวัดสุโขทัยสำหรับผู้สูงอายุ ซึ่งเป็นกลุ่มที่มักประสบปัญหาในการเข้าถึงข้อมูลผ่านช่องทางดิจิทัล โดยใช้ LINE Official Account เป็นแพลตฟอร์มหลักและเชื่อมต่อกับ Google Sheets และ Apps Script ในการจัดเก็บและเรียกคืนข้อมูล ระบบถูกออกแบบให้สามารถให้ข้อมูลด้านสถานที่ท่องเที่ยว การเดินทาง ที่พัก และสิ่งอำนวยความสะดวก จากนั้นทำการทดสอบกับผู้สูงอายุจำนวน 86 คนในอำเภอสวรรคโลก ผลการประเมินพบว่าระบบสามารถให้ข้อมูลได้ถูกต้อง รวดเร็ว และทำให้ผู้สูงอายุมีความพึงพอใจในระดับสูง พร้อมทั้งช่วยลดอุปสรรคด้านการเข้าถึงข้อมูล อย่างไรก็ตาม ข้อเสนอแนะจากผู้ใช้ระบุว่าควรปรับปรุงความสามารถในการตอบคำถามที่ซับซ้อนและพัฒนาอินเทอร์เฟซให้เหมาะสมกับผู้สูงอายุมากยิ่งขึ้น

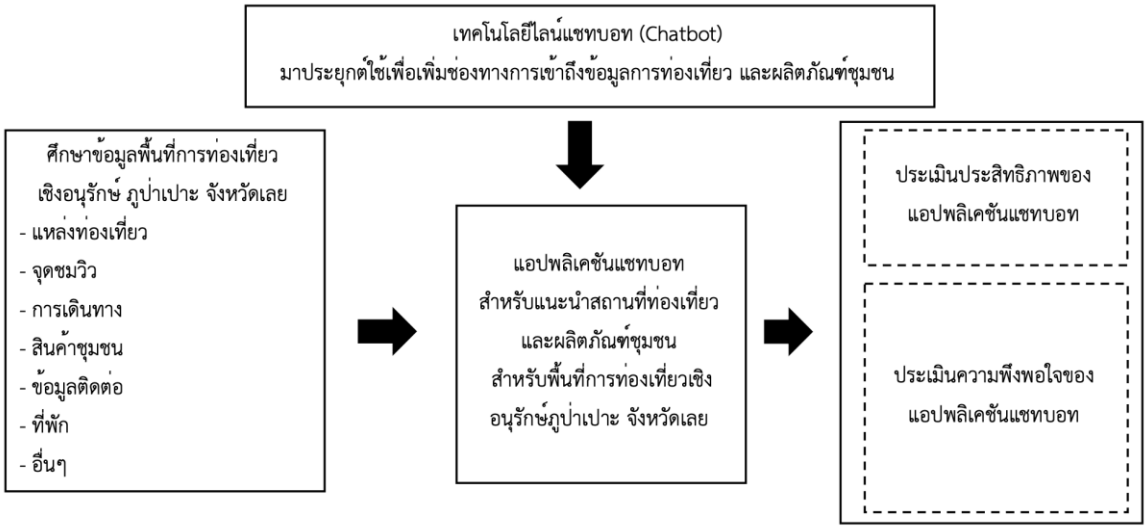
เดช ธรรมศิริ และคณะ (2568) ได้ดำเนินการวิจัยเพื่อพัฒนาระบบสารสนเทศในรูปแบบแชทบอทบนแพลตฟอร์ม LINE เพื่อส่งเสริมการท่องเที่ยวชุมชนช่างศิลป์จังหวัดนครปฐม โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาแอปพลิเคชันแชทบอทและศึกษาความพึงพอใจของนักท่องเที่ยวต่อการใช้งานระบบดังกล่าว ระบบแชทบอทถูกพัฒนาด้วยภาษาไพทอนและออกแบบให้สามารถตอบคำถามและให้ข้อมูลเกี่ยวกับแหล่งท่องเที่ยวชุมชนได้แบบอัตโนมัติ จากการประเมินความพึงพอใจของกลุ่มตัวอย่างนักท่องเที่ยวจำนวน 423 คน ซึ่งเป็นสมาชิกกลุ่มสังคมออนไลน์ที่ใช้ระบบ พบว่าแชทบอทมีประสิทธิภาพและตรงตามความต้องการของผู้ใช้งานในระดับมาก โดยมีค่าเฉลี่ยความพึงพอใจรวม 4.20 โดยด้านที่ได้รับคะแนนสูงที่สุดคือด้านความง่ายต่อการใช้งาน รองลงมาคือด้านตรงตามความต้องการและด้านประสิทธิภาพของระบบ ด้านความสามารถทำงาน สะท้อนว่าแชทบอทสามารถตอบสนองต่อการให้ข้อมูลท่องเที่ยวได้อย่างมีประสิทธิภาพและเป็นประโยชน์ต่อผู้ใช้งาน

อัคริมา สุ่มมาตย์ และคณะ (2567) ได้พัฒนางานวิจัยเรื่อง การพัฒนา Chatbot AI ด้วยเครื่องมือ Dialogflow เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงาน ด้านการตอบคำถามผู้ใช้บริการห้องสมุด โดยประยุกต์ใช้เครื่องมือ Dialogflow มาพัฒนา Chatbot AI สำหรับตอบคำถามผู้ใช้บริการผ่าน LINE Official Account ของสำนักหอสมุด มหาวิทยาลัยขอนแก่น โดย KKU Library Chatbot เริ่มใช้งานตั้งแต่เดือนพฤศจิกายน 2565 และมีจำนวนการใช้งานรวม 2,485 ครั้งภายใน 9 เดือน ผลการดำเนินงานพบว่า Chatbot สามารถรับหน้าที่ตอบคำถามแทนเจ้าหน้าที่ได้ทั้งหมด ช่วยลดเวลาการทำงานของบุคลากรจากเดิมวันละหลายชั่วโมง เหลือเพียงการตรวจสอบข้อมูลเพียงเล็กน้อยต่อเดือน นอกจากนี้ เมื่อเปรียบเทียบจำนวนการตอบคำถามระหว่างปี 2565 และ 2566 พบว่า Chatbot ตอบคำถามได้มากกว่าการให้บริการโดยมนุษย์เดิมถึงสามเท่า สะท้อนถึงประสิทธิภาพของระบบในการรองรับคำถามซ้ำ ๆ และให้บริการได้ตลอด 24 ชั่วโมง ทั้งยังสอดคล้องกับผลการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้บริการที่อยู่ในระดับสูงถึงร้อยละ 89.7 แสดงให้เห็นว่า Chatbot AI สามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการให้บริการของห้องสมุดได้อย่างมีนัยสำคัญ

อัชฌาพร กว้างสวัสดิ์ และคณะ (2566) ดำเนินการวิจัยเพื่อพัฒนาระบบแชทบอทสำหรับส่งเสริมการขายสินค้าโอทอปของวิสาหกิจชุมชนในจังหวัดประจวบคีรีขันธ์ผ่านสื่อสังคมออนไลน์ โดยออกแบบให้แชทบอทสามารถโต้ตอบกับผู้ใช้งานได้ เช่น การทักทาย นำเสนอสินค้า การสั่งซื้อ และการแจ้งชำระเงิน อีกทั้งได้นำระบบไปใช้งานบนเว็บไซต์ เฟซบุ๊กเมสเซนเจอร์ และไลน์พร้อมประเมินความพึงพอใจจากผู้ใช้งานจำนวน 401 คนที่สุ่มคัดเลือกแบบเจาะจง ผลการวิจัยพบว่าแชทบอทช่วยอำนวยความสะดวกและตอบสนองต่อการใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ผู้ใช้มีความพึงพอใจในระดับสูงในด้านความง่ายในการใช้งาน ความสะดวก และคุณภาพของข้อมูล แสดงให้เห็นว่าระบบแชทบอทสามารถสนับสนุนการสื่อสารทางการตลาดและช่วยเพิ่มโอกาสในการส่งเสริมการขายสินค้าโอทอปได้อย่างมีประสิทธิผล

4. วิธีดำเนินการวิจัย

4.1 กรอบแนวคิดงานวิจัย



รูปที่ 1 กรอบแนวคิดงานวิจัย

จากรูปที่ 1 แสดงกรอบแนวคิดการพัฒนาแอปพลิเคชันแชทบอทสำหรับพื้นที่ท่องเที่ยวเชิงอนุรักษ์ภูป่าเปาะ จังหวัดเลย เพื่อเพิ่มช่องทางการเข้าถึงข้อมูลการท่องเที่ยวและผลิตภัณฑ์ชุมชน โดยเริ่มจากการรวบรวมข้อมูลพื้นฐานด้านแหล่งท่องเที่ยว การเดินทาง สินค้าชุมชน และข้อมูลที่เกี่ยวข้อง เพื่อนำมาพัฒนาเป็นแชทบอทให้ข้อมูลและให้คำแนะนำสถานที่ท่องเที่ยวและผลิตภัณฑ์ชุมชนในพื้นที่ จากนั้นจึงประเมินประสิทธิภาพและความพึงพอใจของผู้ใช้งาน เพื่อพิจารณาความเหมาะสมและประสิทธิผลของระบบที่พัฒนาขึ้น

4.2 ขอบเขตงานวิจัย

งานวิจัยเรื่องการพัฒนาแอปพลิเคชันแชทบอท สำหรับพื้นที่การท่องเที่ยวเชิงอนุรักษ์ภูป่าเปาะ จังหวัดเลย ผู้วิจัยได้กำหนดขอบเขตไว้ดังนี้

4.2.1 ขอบเขตด้านเนื้อหา

การพัฒนาแอปพลิเคชันแชทบอท สำหรับพื้นที่การท่องเที่ยวเชิงอนุรักษ์ภูป่าเปาะ จังหวัดเลย จะครอบคลุมข้อมูลสำคัญ ที่จำเป็นสำหรับนักท่องเที่ยว และจะมีการออกแบบชุดคำถามและคำตอบให้ครอบคลุมประเด็นเนื้อหาที่หลากหลาย ในรูปแบบภาษาไทย โดยมีรายละเอียดดังนี้

- ข้อมูลแหล่งท่องเที่ยวเชิงอนุรักษ์: รายละเอียดของสถานที่สำคัญ เช่น ภูป่าเปาะ ซึ่งมีจุดชมวิวทั้งหมด 4 จุด โดยแต่ละจุดจะมีข้อมูลเกี่ยวกับลักษณะเด่นและทัศนียภาพที่สามารถชมได้
- ข้อมูลการเดินทาง: เส้นทางการเดินทางไปยังภูป่าเปาะ
- ข้อมูลผลิตภัณฑ์ชุมชน: ข้อมูลเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์พื้นบ้านที่สามารถหาซื้อได้ในชุมชน

- ข้อมูลการติดต่อ: ข้อมูลการติดต่อกับศูนย์บริการนักท่องเที่ยวภูป่าเปาะ
- แผนที่การเดินทาง: แผนที่แสดงเส้นทางการเดินทางจากจุดเริ่มต้นไปยังสถานที่ท่องเที่ยวต่าง ๆ
- ข้อมูลที่พัก: รายละเอียดเกี่ยวกับที่พักในบริเวณใกล้เคียง เช่น โฮมสเตย์ หรือที่พักที่มีอยู่ในชุมชน
- ข้อมูลอื่นๆ: ข้อมูลเพิ่มเติมที่อาจจำเป็นสำหรับนักท่องเที่ยว เช่น สภาพอากาศในแต่ละฤดู กิจกรรมท่องเที่ยว

4.2.2 ขอบเขตด้านประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากร

- นักท่องเที่ยว จากข้อมูลสถิตินักท่องเที่ยวจากการบันทึกข้อมูลของชมรมการท่องเที่ยวเชิงอนุรักษ์ภูป่าเปาะ ระบุว่าในปี 2559-2564 มีนักท่องเที่ยวท่องเที่ยว ประมาณ 500-1000 คนต่อปี แต่ไม่ทราบประชากรแน่ชัด (สำนักงานพื้นที่พิเศษเพื่อการท่องเที่ยวอย่างยั่งยืนเลย, 2568)
- ตัวแทนชุมชน ประกอบด้วยเจ้าหน้าที่ ผู้ประกอบการในพื้นที่
- ผู้เชี่ยวชาญ ที่มีคุณวุฒิ ความรู้ประสบการณ์ทางด้านเทคโนโลยีดิจิทัล และการท่องเที่ยว

กลุ่มตัวอย่าง

กลุ่มตัวอย่างสำหรับประเมินความพึงพอใจของระบบจำนวน 400 คน (คำนวณด้วยสูตร W.G. Cochran, 1953) ได้มาด้วยการสุ่มตัวอย่างแบบหลายขั้นตอน (Multi-stage Random Sampling) โดยแบ่งประชากรออกเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ นักท่องเที่ยว ตัวแทนชุมชน/เจ้าหน้าที่ และผู้ประกอบการในพื้นที่ จากนั้นกำหนดจำนวนตัวอย่างตามสัดส่วนของประชากรแต่ละกลุ่ม แล้วสุ่มภายในกลุ่มด้วยการสุ่มอย่างง่าย (Simple Random Sampling) ตามสัดส่วนที่กำหนดกับผู้ให้ข้อมูลที่พบและมีคุณสมบัติตรงตามเกณฑ์ที่กำหนด

กลุ่มตัวอย่างสำหรับการประเมินประสิทธิภาพของระบบ จำนวน 5 คน ได้แก่ ผู้เชี่ยวชาญ ที่มีคุณวุฒิ ความรู้ประสบการณ์ทางด้านเทคโนโลยีดิจิทัล และการท่องเที่ยว เลือกกลุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง (Purposive sampling)

4.3 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยนี้ได้พัฒนาเชิงพัฒนา (Developmental research) ใช้วงจรการพัฒนาระบบแบบ SDLC (System Development Life Cycle) โดยรวบรวมข้อมูลในการศึกษาและพัฒนาแอปพลิเคชันแชทบอท สำหรับพื้นที่การท่องเที่ยวเชิงอนุรักษ์ภูป่าเปาะ จังหวัดเลย ดังนี้

ระยะที่ 1 : ศึกษาและสำรวจข้อมูล จากการลงพื้นที่เก็บข้อมูลโดยการสัมภาษณ์และสอบถามเจ้าหน้าที่ นักท่องเที่ยว และผู้ประกอบการ พบว่าการให้บริการข้อมูลท่องเที่ยวยังไม่ครบถ้วนและไม่ทันสมัย การตอบคำถามล่าช้าเพราะเจ้าหน้าที่ไม่สามารถให้บริการได้ตลอดเวลา อีกทั้งช่องทางการสื่อสารส่วนใหญ่ยังจำกัดอยู่ที่การติดต่อโดยตรงหรือโทรศัพท์ ซึ่งไม่สะดวกต่อนักท่องเที่ยว ขณะที่นักท่องเที่ยวมีความต้องการเข้าถึงข้อมูลได้ตลอด 24 ชั่วโมงผ่านแพลตฟอร์มออนไลน์อย่างไลน์

ระยะที่ 2 : การออกแบบและพัฒนาแอปพลิเคชันแชทบอท สำหรับพื้นที่การท่องเที่ยวเชิงอนุรักษ์ภูป่าเปาะ จังหวัดเลย

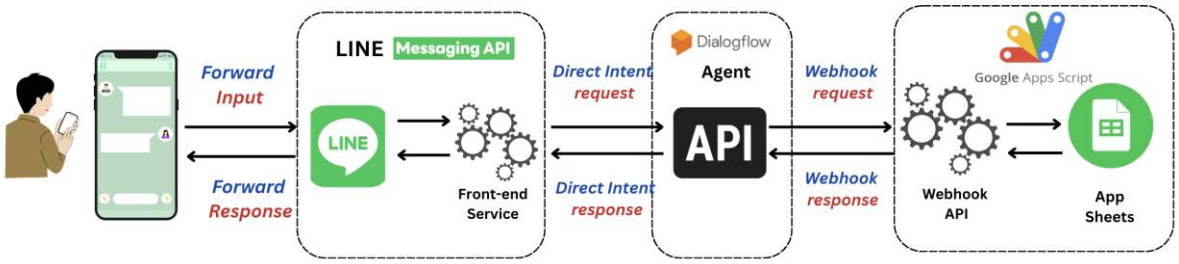
1) ผู้วิจัยได้นำข้อมูลจากการสำรวจและสัมภาษณ์มาจัดหมวดหมู่เพื่อออกแบบชุดคำถามและคำตอบ (FAQ) ที่ครอบคลุมประเด็นสำคัญและตรงกับความต้องการของนักท่องเที่ยว โดยพิจารณาจากคำถามที่พบบ่อยเพื่อให้แชทบอทสามารถตอบสนองได้อย่างถูกต้อง รวดเร็ว และเข้าใจง่าย ทั้งนี้ได้ออกแบบรูปแบบคำตอบทั้งข้อความสั้น ข้อความพร้อมรูปภาพ วิดีโอ หรือแผนที่ เพื่อเพิ่มความน่าสนใจและความชัดเจนแก่ผู้ใช้งาน โดยได้วิเคราะห์ข้อมูลออกมาได้ชุดคำถาม-คำตอบ จำนวน 7 กลุ่ม ได้แก่ 1. ข้อมูลแหล่งท่องเที่ยวเชิงอนุรักษ์ 2. ข้อมูลการเดินทาง 3. ข้อมูลผลิตภัณฑ์ชุมชน 4. ข้อมูลการติดต่อ 5. แผนที่การเดินทาง 6. ข้อมูลที่พัก7. ข้อมูลอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง รวมจำนวน 100 ชุดคำถาม จำนวนคำถามในแต่ละหมวดไม่เท่ากัน เนื่องจากปริมาณข้อมูล ความสำคัญ

ของเนื้อหา และความจำเป็นในการให้บริการข้อมูลในแต่ละด้านแตกต่างกัน โดยเลือกใช้เทคโนโลยีที่เหมาะสม ได้แก่ LINE Messaging API และ Dialogflow โดยมีการรวบรวมชุดคำถาม-คำตอบ เพื่อนำไปให้แชทบอทเรียนรู้ข้อมูล ตัวอย่างแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงตัวอย่างชุดคำถาม – คำตอบในการออกแบบการทำงานของแชทบอท

หมวดหมู่	คำถามคำถาม	คำตอบตัวอย่าง	รูปแบบคำตอบ
1) ข้อมูลแหล่งท่องเที่ยวเชิงอนุรักษ์	ภูป่าเปาะมีจุดชมวิวอะไรบ้าง ?	ภูป่าเปาะมีจุดชมวิวทั้งหมด 4 จุด โดยจุดที่ 4 เป็นไฮไลท์ ซึ่งมีวิวภูเขาไฟฟูจิเมืองเลย	ข้อความสั้น อธิบายข้อมูลแหล่งท่องเที่ยวที่มีจุดเด่นแต่ละจุด
	วิวที่จุดชมวิวที่ 4 เป็นอย่างไร ?	ที่จุดชมวิวที่ 4 คุณจะสามารถชมวิว 360 องศาของทิวทัศน์โดยรอบ รวมถึงภูเขาไฟฟูจิเมืองเลย	ข้อความพร้อมแผนที่การเดินทาง และเส้นทางหลักที่ใช้
2) ข้อมูลการเดินทาง	เดินทางไปภูป่าเปาะได้อย่างไร ?	คุณสามารถขับรถไปถึงบ้านผาหวาย จากนั้นต่อรถอีแต๊กขึ้นไปยังจุดชมวิวภูป่าเปาะ	ข้อความพร้อมแผนที่การเดินทาง และเส้นทางหลักที่ใช้
	รถอีแต๊กให้บริการกี่โมง ?	รถอีแต๊กให้บริการทุกวัน ตั้งแต่ 8:00น.ถึง17:00น. และมีรอบทุก ๆ 30 นาที	ข้อความสั้นและแผนผังตารางเวลาให้บริการ
3) ข้อมูลผลิตภัณฑ์ชุมชน	นักท่องเที่ยวสามารถซื้อผลิตภัณฑ์จากชุมชนได้ที่ไหน	ซื้อได้ที่จุดบริการนักท่องเที่ยวและร้านค้าชุมชนใกล้ทางขึ้นค่ะ	ข้อความ และการ์ดรูปภาพ
4) ข้อมูลการติดต่อ	เบอร์โทรศัพท์ติดต่อ ?	098-6423291 หรือ ติดต่อ องค์การบริหารส่วนตำบลปวนพุ 042-870-046	ข้อความและภาพประกอบ
5) แผนที่การเดินทาง	ภูป่าเปาะตั้งอยู่ห่างจากตัวเมืองเลยกี่กิโลเมตร ?	ที่ตั้งของภูป่าเปาะ ตั้งอยู่ที่บ้านผาหวาย ตำบลปวนพุ อำเภอหนองหิน จังหวัดเลย ห่างจากตัวเมืองเลยประมาณ 60 กิโลเมตร	ข้อความพร้อมแผนที่การเดินทาง และเส้นทางหลักที่ใช้
6) ข้อมูลที่พัก	มีสถานที่กางเต็นท์ใกล้ภูป่าเปาะหรือไม่	มีค่ะ ใกล้กับ "คุนหมิงเมืองเลย" และ "สวนหินผางาม	ข้อความ และการ์ดรูปภาพ
7) ข้อมูลอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง	มีห้องน้ำบริการนักท่องเที่ยวหรือไม่?	มีค่ะ มีห้องน้ำให้บริการที่ ศูนย์บริการนักท่องเที่ยวด้านล่างทางขึ้น	ข้อความ

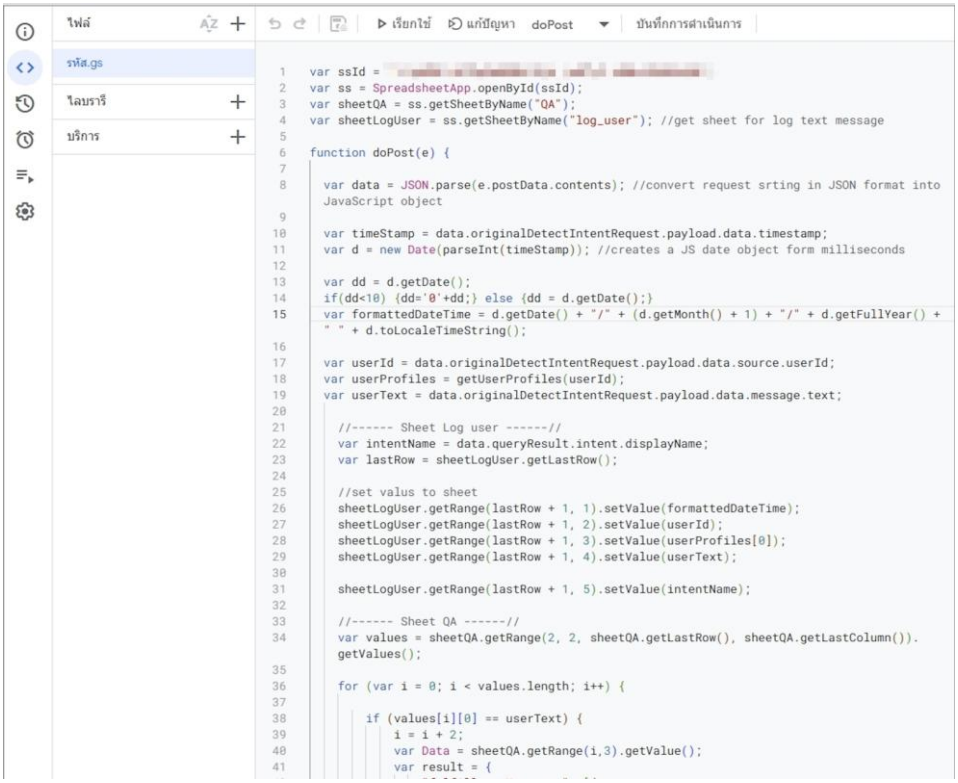
2) ออกแบบระบบ มีการกำหนดรายละเอียดการทำงานของแชทบอท โดยนำผลการวิเคราะห์ระบบ ออกแบบโฟลว์ของคำถามและคำตอบตามหมวดหมู่ เพื่อกำหนดลำดับขั้นของการสนทนาตั้งแต่ข้อมูลทั่วไปจนถึงรายละเอียดเชิงลึก ให้สามารถตอบสนองได้อย่างแม่นยำ นอกจากนี้ยังได้ออกแบบหน้าจอแชทบอทในรูปแบบ Rich Menu โดยจัดหมวดหมู่ข้อมูลสำคัญ เพื่อให้นักท่องเที่ยวเข้าถึงข้อมูลได้สะดวกโดยไม่จำเป็นต้องพิมพ์ข้อความ ทั้งนี้ได้มีการนำเสนอและตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลร่วมกับตัวแทนชุมชนและศูนย์บริการนักท่องเที่ยวก่อนเข้าสู่กระบวนการพัฒนาระบบต่อไป



รูปที่ 2 การออกแบบและพัฒนาแชทบอทผ่านไลน์แอปพลิเคชัน

3) พัฒนาระบบแชทบอทดำเนินการโดยใช้ LINE Messaging API เป็นช่องทางหลักในการสื่อสารกับผู้ใช้งาน โดยประยุกต์ร่วมกับ Dialogflow สำหรับการประมวลผลภาษาธรรมชาติ (NLP) ซึ่งได้มีการสร้าง Intents และ Entities เพื่อจำแนกเจตนาของข้อความและดึงข้อมูลที่เกี่ยวข้อง พร้อมทั้งกำหนดการเรียนรู้ Training Phrases เพื่อเพิ่มความแม่นยำในการตอบสนอง นอกจากนี้ได้ออกแบบฐานข้อมูลด้วย Google Sheet จำแนกเป็น 7 หมวดหมู่ ได้แก่ แหล่งท่องเที่ยว จุดชมวิว การเดินทาง ผลิตภัณฑ์ชุมชน การติดต่อ แผนที่ และที่พัก โดยเชื่อมโยงกับระบบผ่าน Webhook และ Google Apps Script ทำให้แชทบอทสามารถประมวลผลและตอบคำถามทั้งในรูปแบบข้อความ ภาพ วิดีโอ และแผนที่ได้อย่างถูกต้อง รวดเร็ว และมีประสิทธิภาพ

ในการกำหนด Training Phrases ได้ดำเนินการรวบรวมรูปแบบประโยคที่ผู้ใช้งานมีแนวโน้มจะใช้ในการสอบถามข้อมูลแต่ละหมวดหมู่ โดยออกแบบประโยคให้มีความหลากหลายทั้งด้านโครงสร้างภาษา คำศัพท์ที่ใช้ และลักษณะการตั้งคำถาม เช่น ประโยคบอกเล่า ประโยคคำถาม หรือประโยคสั้นแบบภาษาพูด จากนั้นจึงบันทึกประโยคเหล่านี้ลงในแต่ละ Intent ของ Dialogflow เพื่อใช้เป็นตัวอย่างในการฝึกโมเดล ทำให้ระบบสามารถเรียนรู้รูปแบบภาษาที่หลากหลายและสามารถตีความคำถามที่มีเนื้อหาใกล้เคียงแม้จะไม่ตรงกับประโยคตัวอย่าง ทำให้การจำแนกเจตนาของข้อความมีความแม่นยำและครอบคลุมมากยิ่งขึ้น



รูปที่ 3 การเชื่อมต่อแชทบอทการเขียนโค้ด ผ่าน Line Developer มีการเชื่อมต่อกับ Google Sheet

ระยะที่ 3 : การประเมินประสิทธิภาพและความพึงพอใจของพัฒนาแอปพลิเคชันแชทบอท สำหรับพื้นที่การท่องเที่ยวเชิงอนุรักษ์ภูป่าเปาะ จังหวัดเลย ได้ดำเนินการโดยการใช้แบบสอบถามที่ให้คะแนนในระดับ 5 ระดับ ตามมาตรฐานลิเคิร์ท (Likert Scale) โดยการแปลผลใช้ค่าเฉลี่ยตามเกณฑ์ของ Best (1981) แบบสอบถามได้รับการตรวจสอบความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหาผ่านดัชนีความสอดคล้องระหว่างข้อคำถามและจุดประสงค์ (IOC) โดยเลือกข้อคำถามที่มีค่า IOC มากกว่า 0.50 เนื่องจากแสดงถึงความสอดคล้องกับเนื้อหาและวัตถุประสงค์ของการวิจัย การประเมินผลได้แบ่งออกเป็นสองส่วนหลัก ได้แก่การประเมินความพึงพอใจจากผู้ใช้งาน และการประเมินประสิทธิภาพในการทำงานของแอปพลิเคชัน โดยมีการประเมินผล 2 ส่วนได้แก่

1) แบบประเมินประสิทธิภาพของระบบ โดยผู้เชี่ยวชาญ แบ่งออกเป็น 4 ด้าน ประกอบด้วย 1) การทดสอบด้านการออกแบบของระบบ (Design Test) ซึ่งตรวจสอบความเหมาะสมและความสอดคล้องกับความต้องการของผู้ใช้ 2) การทดสอบด้านการใช้งาน (Usability Test) ที่เน้นความสะดวกในการใช้งาน 3) การทดสอบด้านประสิทธิภาพ (Efficacy Test) เพื่อประเมินการทำงานที่ถูกต้องและมีประสิทธิภาพ และ 4) การทดสอบด้านการติดตามและการประมวลผลข้อมูล (Tracking and Processing Test)

2) การประเมินประสิทธิภาพด้วยค่าความแม่นยำ ด้วยตัวชี้วัดค่า Accuracy, Precision, Recall และ F1-score ซึ่งจะแสดงผลความสามารถของแอปพลิเคชันในการจำแนกคำตอบ ตามหมวดหมู่ได้อย่างถูกต้องและมีประสิทธิภาพ สามารถแสดงสมการ (1) – (4) ดังนี้

$$\text{Precision} = \frac{TP}{TP + FP} \tag{1}$$

$$\text{Recall} = \frac{TP}{TP + FN} \tag{2}$$

$$F1 = 2 \times \frac{\text{Precision} \times \text{Recall}}{\text{Precision} + \text{Recall}} \tag{3}$$

$$\text{Accuracy} = \frac{TP + TN}{TP + TN + FN + FP} \tag{4}$$

โดยที่

TP (True Positive) หมายถึง กรณีที่แบบจำลองทำนายว่าข้อมูลอยู่ในหมวดหมู่ที่ถูกต้อง ตรงกับคำเฉลยจริง

TN (True Negative) หมายถึง แบบจำลองทำนายว่าข้อมูลไม่อยู่ในหมวดหมู่ และคำเฉลยก็ไม่อยู่ในหมวดหมู่นั้นเช่นกัน

FP (False Positive) หมายถึง แบบจำลองทำนายผิดว่าเป็นหมวดหมู่ ทั้งที่คำเฉลยจริงไม่ใช่หมวดนั้น

FN (False Negative) หมายถึง แบบจำลองทำนายผิดว่าไม่ใช่หมวดหมู่ ทั้งที่คำเฉลยจริงเป็นหมวดนั้น

3) แบบประเมินความพึงพอใจของระบบ โดยผู้ใช้งาน แบ่งออกเป็น 4 ด้าน ประกอบด้วย ด้านการเนื้อหาการท่องเที่ยว ด้านเนื้อหาผลิตภัณฑ์ ด้านประสิทธิภาพการทำงาน ด้านความง่ายต่อการใช้งาน

การวิเคราะห์ความพึงพอใจของระบบ ค่าสถิติที่ใช้ ได้แก่ ค่าความถี่ ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ซึ่งกำหนดค่าเฉลี่ยและแปลความหมายของค่าเฉลี่ย โดยอาศัยการปรับปรุงเกณฑ์ของบุญชม ศรีสะอาด (2560) กำหนดเกณฑ์การประเมินความพึงพอใจ ดังนี้

ค่าเฉลี่ย 4.51 – 5.00 หมายถึง มีความพึงพอใจมากที่สุด

ค่าเฉลี่ย 3.51 – 4.50 หมายถึง มีความพึงพอใจมาก

ค่าเฉลี่ย 2.51 – 3.50 หมายถึง มีความพึงพอใจปานกลาง

ค่าเฉลี่ย 1.51 – 2.50 หมายถึง มีความพึงพอใจน้อย

ค่าเฉลี่ย 1.00 – 1.50 หมายถึง มีความพึงพอใจน้อยที่สุด

5. ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

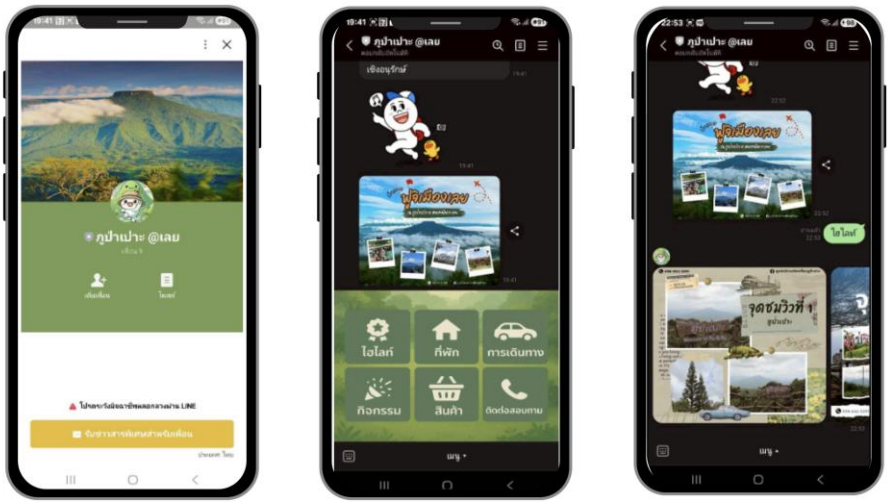
5.1 ผลการวิจัย

การพัฒนาแอปพลิเคชันแชทบอท สำหรับพื้นที่การท่องเที่ยวเชิงอนุรักษ์ภูป่าเปาะ จังหวัดเลย แบ่งออกเป็น 3 ส่วน ดังนี้

5.1.1 ผลการพัฒนาแอปพลิเคชันแชทบอท สำหรับพื้นที่การท่องเที่ยวเชิงอนุรักษ์ภูป่าเปาะ จังหวัดเลย

รูปที่ 4 ประชาสัมพันธ์ช่องทางการเข้าถึงแอปพลิเคชันแชทบอท "น้องป่าเปาะ"

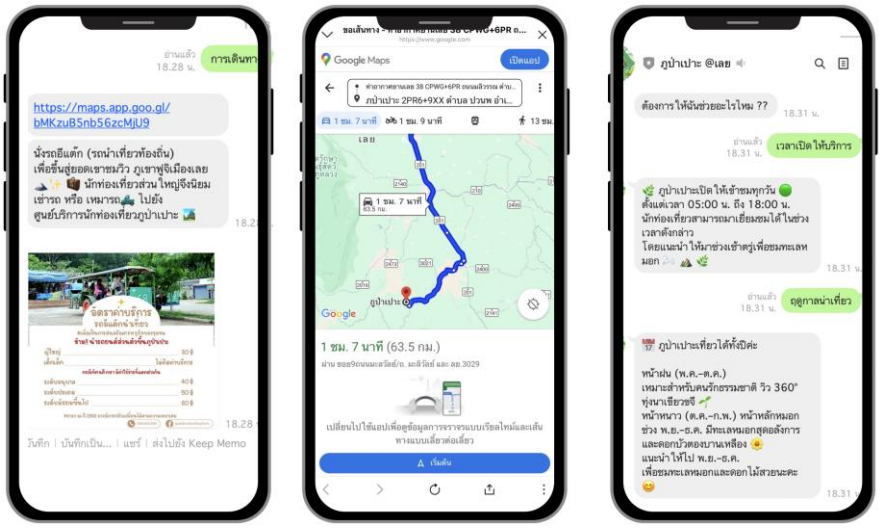
จากรูปที่ 4 แสดงข้อมูลการประชาสัมพันธ์ช่องทางการเข้าถึงแอปพลิเคชันแชทบอท "น้องป่าเปาะ" สำหรับการท่องเที่ยวเชิงอนุรักษ์ภูป่าเปาะ จังหวัดเลย ผ่านแอปพลิเคชัน LINE บนสมาร์ทโฟนหรือแท็บเล็ต โดยผู้ใช้สามารถสแกนคิวอาร์โค้ดเพื่อเพิ่มเพื่อนด้วยบัญชี LINE ส่วนตัว



(1) (2) (3)

รูปที่ 5 แอปพลิเคชันแชทบอท “น้องป่าเปาะ” หน้าแรก หน้าริชเมนู และไฮไลท์

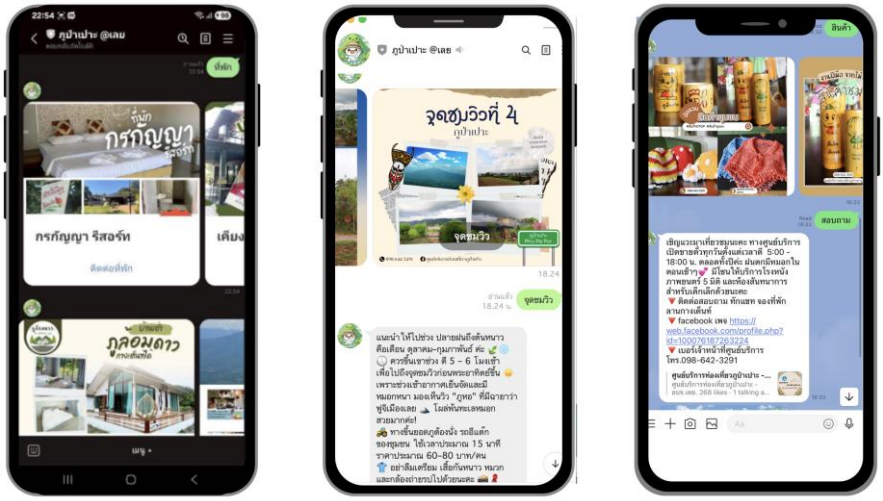
จากรูปที่ 5 แอปพลิเคชันแชทบอท “น้องป่าเปาะ” ประกอบด้วย (1) หน้าแรก หลังจากสแกนคิวอาร์โค้ดจะแสดงไอคอนน้องป่าเปาะเพื่อกดเพิ่มเพื่อน (2) หน้าริชเมนู แสดงตัวเลือกสำหรับเข้าถึงข้อมูล ได้แก่ ไฮไลท์ ที่พัก การเดินทาง กิจกรรม สินค้า และการติดต่อสอบถาม และ (3) หน้าข้อมูลไฮไลท์การท่องเที่ยว นำเสนอรายละเอียดจุดเด่นของสถานที่ท่องเที่ยวในรูปแบบการ์ดข้อความ (Card Message)



(1) (2) (3)

รูปที่ 6 แอปพลิเคชันแชทบอท “น้องป่าเปาะ” ข้อมูลการเดินทาง แผนที่ เวลาเปิดให้บริการ

จากรูปที่ 6 แสดงแอปพลิเคชันแชทบอท “น้องป่าเปาะ” ประกอบด้วย การให้ข้อมูลด้านการเดินทางสำหรับนักท่องเที่ยว โดยมีการแสดง เส้นทางและแผนที่ เพื่อช่วยให้ผู้ใช้สามารถวางแผนการเดินทางได้สะดวกยิ่งขึ้น นอกจากนี้ยังมีการแสดง เวลาเปิด–ปิดให้บริการ ของสถานที่ท่องเที่ยว เพื่อให้ผู้ใช้สามารถจัดตารางการเดินทางได้อย่างเหมาะสม ฟังก์ชันดังกล่าวช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการสื่อสารข้อมูลด้านการท่องเที่ยว และสนับสนุนการเข้าถึงข้อมูลที่ถูกต้องและทันเวลาแก่ผู้ใช้บริการ



(1) (2) (3)

รูปที่ 7 แอปพลิเคชันแชทบอท “น้องป่าเปาะ” ข้อมูลที่พัก จุดชมวิว ผลิตภัณฑ์สินค้า

จากรูปที่ 7 แสดงแอปพลิเคชันแชทบอท “น้องป่าเปาะ” ประกอบด้วย การให้ข้อมูลที่พัก เพื่อช่วยนักท่องเที่ยววางแผนการเข้าพักอย่างสะดวก ข้อมูลจุดชมวิว ที่บรรยายลักษณะเด่นและทัศนียภาพของแต่ละจุด ซึ่งในภูป่าเปาะมีจุดชมวิว 4 จุดหลัก รวมถึง ข้อมูลผลิตภัณฑ์และสินค้า จากชุมชนท้องถิ่น ซึ่งนักท่องเที่ยวดูข้อมูลก่อนจะตัดสินค้าเลือกซื้อเป็นของฝาก ข้อมูลเหล่านี้ได้มีการรวบรวมข้อมูลด้านการท่องเที่ยวและเศรษฐกิจชุมชนให้ผู้ใช้เข้าถึงได้ภายในแพลตฟอร์มเดียว

5.1.2 ผลการวัดค่าความแม่นยำ (Accuracy) ของแอปพลิเคชันแชทบอท สำหรับพื้นที่การท่องเที่ยวเชิงอนุรักษ์ภูป่าเปาะ จังหวัดเลย

ตารางที่ 2 แสดงตัวอย่าง Confusion metrix ข้อมูลแหล่งท่องเที่ยวเชิงอนุรักษ์

	ทำนายว่าเป็นหมวดนี้ (Predicted Positive)	**ทำนายว่าไม่ใช่หมวดนี้ (Predicted Negative)**
คำตอบจริงเป็นหมวดนี้ (Actual Positive)	TP = 17	FN = 2
คำตอบจริงไม่ใช่หมวดนี้ (Actual Negative)	FP = 1	TN = 80

จากตารางที่ 2 แสดงให้เห็นว่า ค่า True Positive (TP) = 17 หมายถึงระบบสามารถทำนายข้อมูลที่อยู่ในหมวดนี้ได้ถูกต้อง ขณะที่ค่า False Negative (FN) = 2 แสดงว่ามีข้อมูลที่เป็นหมวดนี้จริงแต่ระบบทำนายผิดว่าไม่ใช่หมวดนี้ นอกจากนี้ค่า False Positive (FP) = 1 แสดงถึงกรณีที่ระบบทำนายผิดว่าข้อมูลเป็นหมวดนี้ ทั้งที่ความจริงไม่ใช่หมวดดังกล่าว และค่า True Negative (TN) = 80 ชี้ให้เห็นว่าระบบสามารถทำนายถูกต้องว่าข้อมูลไม่อยู่ในหมวดนี้เป็นจำนวนมาก ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความแม่นยำของระบบในการจำแนกข้อมูลในภาพรวมในหมวดหมู่นี้ได้ดี

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบประสิทธิภาพของแอปพลิเคชันแชทบอท แบ่งตามหมวดหมู่

หมวดหมู่	*n*	*TP*	*FP*	*FN*	*TN*	*Accuracy (%)*	*Precision*	*Recall*	*F1-score*
1. ข้อมูลแหล่งท่องเที่ยวเชิงอนุรักษ์	20	17	1	2	80	97.0	0.944	0.895	0.919
2. ข้อมูลการเดินทาง	15	13	1	2	84	97.0	0.929	0.867	0.897
3. ข้อมูลผลิตภัณฑ์ชุมชน	15	12	2	3	83	95.0	0.857	0.800	0.828
4. ข้อมูลการติดต่อ	10	10	0	0	90	100.0	1.000	1.000	1.000
5. แผนที่การเดินทาง	15	12	2	3	83	95.0	0.857	0.800	0.828
6. ข้อมูลที่พัก	15	13	1	2	84	97.0	0.929	0.867	0.897
7. ข้อมูลอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง	10	8	1	2	89	97.0	0.889	0.800	0.842
รวมทั้งหมด	***100***	***85***	***8***	***14***	***593***	***97.0***	***0.914***	***0.859***	***0.885***

**n = จำนวนคำถาม*

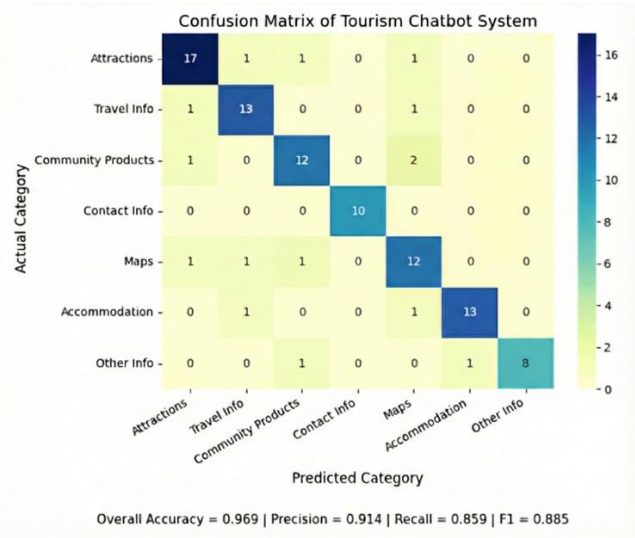
จากตารางที่ 3 จะเห็นว่าจำนวนคำถามในแต่ละหมวดมีความแตกต่างกัน การคำนวณค่า TP, FP, FN และ TN ของแต่ละหมวดใช้วิธี One-vs-Rest โดยกำหนดให้หมวดที่กำลังประเมินเป็นกลุ่มบวก (Positive) และหมวดอื่นทั้งหมดเป็นกลุ่มลบ (Negative) จากตัวอย่าง ข้อมูลในหมวด “ข้อมูลแหล่งท่องเที่ยวเชิงอนุรักษ์” ซึ่งมีคำถาม n= 20 ข้อ (Positive) ข้อมูลจากหมวดอื่นเท่ากับ 80 ข้อ (Negative) ดังนั้นค่า TN ซึ่งหมายถึง จำนวนครั้งที่ระบบทำนายถูกว่า “ไม่ใช่หมวดนี้” จะมาจากชุดข้อมูลจำนวน 80 ข้อ (สรุป 80+20=100) และกรณีของหมวด “ข้อมูลการเดินทาง” ซึ่งมีคำถาม 15 ข้อ (Positive) และมีข้อมูลจากหมวดอื่นรวม 85 ข้อ (Negative) ทำให้ TN และ FP ต้องรวมกันเท่ากับ 85 โดยจากข้อมูลในตารางพบว่า FP = 1 (ระบบทำนายผิด), และ TN = 84 ระบบทำนายถูก) (สรุป84+1+15=100)

นอกจากนี้ แสดงผลการทดสอบประสิทธิภาพของแอปพลิเคชันแชทบอทใน 7 หมวดหมู่ ในภาพรวมพบว่า แชทบอทสามารถตอบคำถามได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยมีค่า Accuracy โดยรวมอยู่ที่ 97.0% และค่า Precision, Recall และ F1-score อยู่ในระดับสูง (0.914, 0.859 และ 0.885 ตามลำดับ) สะท้อนถึงความสามารถของระบบในการตอบสนองต่อคำถามของผู้ใช้งานได้อย่างถูกต้องและครอบคลุม ทั้งนี้หมวดที่มีผลลัพธ์สูงสุดคือ ข้อมูลการติดต่อ ซึ่งมีค่า Accuracy, Precision และ Recall เท่ากับ 1.00 แสดงถึงความถูกต้องสมบูรณ์ ขณะที่หมวด ข้อมูลผลิตภัณฑ์ชุมชน และ แผนที่การเดินทาง มีค่าตัวชี้วัดต่ำกว่าหมวดอื่นเล็กน้อย แต่ยังคงอยู่ในระดับที่สูง แสดงให้เห็นว่าระบบมีศักยภาพในการให้ข้อมูลที่ถูกต้องและสนับสนุนการท่องเที่ยวเชิงอนุรักษ์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

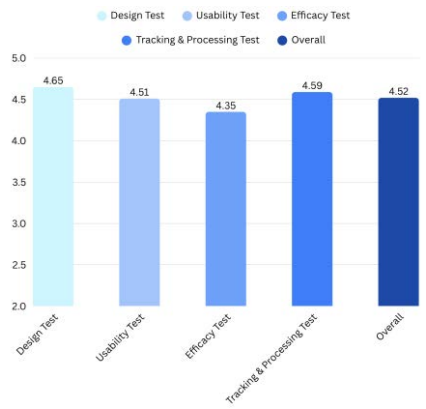
ตัวอย่างการคำนวณ “ข้อมูลแหล่งท่องเที่ยวเชิงอนุรักษ์” มีจำนวนข้อมูลทดสอบทั้งหมด 20 รายการ โดยผลการทำนายของระบบปรากฏค่าในตารางที่ 3 TP = 17, FP = 1, FN = 2 และ TN = 80 ซึ่งสามารถคำนวณค่าตัวชี้วัด ได้ดังนี้

$$\text{Accuracy} = \frac{17+80}{17+1+80+2} = \frac{97}{100} = 97$$

$$\text{Precision} = \frac{17}{17+1} = \frac{17}{18} = 0.944$$



รูปที่ 8 ประสิทธิภาพของแชทบอทด้วย Confusion Matrix



รูปที่ 9 ประสิทธิภาพของแชทบอท โดยผู้เชี่ยวชาญ

จากรูปที่ 8 แสดงประสิทธิภาพของแชทบอทด้วย Confusion Matrix สำหรับการแนะนำข้อมูลการท่องเที่ยวและผลิตภัณฑ์ชุมชนในพื้นที่ภูป่าเปาะ โดยแยกตามประเภท 7 หมวดคำถาม โดยแกนแนวตั้งแทนค่าหมวดที่เป็นจริง (Actual) และแกนแนวนอนแทนค่าหมวดที่ระบบตอบคำถาม (Predicted) ค่าที่อยู่บนเส้นทแยงหลักแสดงจำนวนที่ระบบตอบได้ถูกต้อง (True Positive: TP) ขณะที่ค่าที่อยู่นอกเส้นทแยงเป็นจำนวนข้อที่ระบบทำนายผิดพลาด (False Positive: FP และ False Negative: FN) ซึ่งสะท้อนให้เห็นถึงลักษณะการสับสนระหว่างหมวด เช่น ระบบมีแนวโน้มสับสนคำถามหมวดผลิตภัณฑ์ชุมชน กับหมวดแผนที่การเดินทาง

จากรูปที่ 9 แสดงผลการประเมินประสิทธิภาพของแชทบอท โดยผู้เชี่ยวชาญด้านเทคโนโลยีและการท่องเที่ยว จำนวน 5 คน พบว่า ภาพรวมอยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{x}$ =4.52, S.D. = 0.57) เมื่อพิจารณาเป็นรายด้านพบว่า ด้านการออกแบบของระบบ (Design Test) อยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{x}$ =4.65, S.D. = 0.51) รองลงมา ด้านการติดตามและการประมวลผลของระบบ (Tracking and Processing Test) อยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{x}$ =4.59, S.D. = 0.61) ด้านการใช้งานของระบบ (Usability Test) อยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{x}$ =4.51, S.D. = 0.68) และด้านประสิทธิภาพของระบบ (Efficacy Test) ($\bar{x}$ =4.35, S.D. = 0.49) อยู่ในระดับมาก ตามลำดับ

ทั้งนี้การวัดประเมินประสิทธิภาพของแชทบอท โดยผู้เชี่ยวชาญในด้านการติดตามและการประมวลผลของระบบ ผู้เชี่ยวชาญได้ใช้แบบประเมินประสิทธิภาพระบบจาก Test Case ของชุดคำถามคำตอบ เพื่อตรวจสอบความสามารถของแชทบอทในการวิเคราะห์คำถาม ติดตามบริบทการสนทนา ประมวลผลอย่างถูกต้อง และตอบกลับได้อย่างรวดเร็ว

5.1.3 ผลการศึกษาความพึงพอใจของการพัฒนาแอปพลิเคชันแชทบอท

ตารางที่ 4 ข้อมูลทั่วไปของกลุ่มตัวอย่าง (n = 400)

หัวข้อ	รายการ	จำนวน (คน)	ร้อยละ
เพศ	ชาย	160	40.0
	หญิง	240	60.0
ช่วงอายุ	18–30 ปี	180	45.0
	31–50 ปี	160	40.0
	51 ปีขึ้นไป	60	15.0
สถานภาพ	นักท่องเที่ยว	300	75.0
	ตัวแทนชุมชน/เจ้าหน้าที่	60	15.0
	ผู้ประกอบการในพื้นที่	40	10.0
ประสบการณ์ใช้งานไลน์ (ในการถาม-ตอบข้อมูล)	1–3 ปี	80	20.0
	3–5 ปี	120	30.0
	มากกว่า 5 ปี	200	50.0

จากตารางที่ 4 แสดงข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม จำนวน 400 คน พบว่า กลุ่มตัวอย่าง ส่วนใหญ่เป็นเพศหญิง และอยู่ในช่วงอายุ 18–30 ปี มากที่สุด ด้านสถานภาพพบว่าส่วนใหญ่เป็นนักท่องเที่ยว รองลงมาคือ ตัวแทนชุมชน/เจ้าหน้าที่ และผู้ประกอบการในพื้นที่ตามลำดับ ส่วนประสบการณ์ใช้งานไลน์พบว่ากลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่มีประสบการณ์ใช้งานมากกว่า 5 ปี แสดงให้เห็นว่ากลุ่มตัวอย่างมีความคุ้นเคยกับการใช้เทคโนโลยีและสื่อดิจิทัลในระดับที่ดี

ทั้งนี้ผู้วิจัยได้แจกแบบสอบถามจำนวน 450 คน ได้รับแบบสอบถามตอบกลับจำนวน 420 คน คิดเป็นอัตราการตอบกลับร้อยละ 93.33 โดยตัดแบบสอบถามที่มีข้อมูลไม่ครบถ้วนจำนวน 20 ฉบับ ส่งผลให้แบบสอบถามที่นำมาวิเคราะห์มีจำนวนทั้งสิ้น 400 ฉบับ

ตารางที่ 5 ผลการประเมินความพึงพอใจของแอปพลิเคชันแชทบอท ด้านการเนื้อหาการท่องเที่ยว

รายการประเมิน	$\bar{x}$	S.D.	แปลผล
ข้อมูลสถานที่ท่องเที่ยวครบถ้วนและชัดเจน	4.62	0.55	มากที่สุด
การแสดงข้อมูลข้อความและรูปภาพ	4.72	0.47	มากที่สุด
การแนะนำเส้นทางเดินทางสะดวกและใช้งานง่าย	4.51	0.67	มากที่สุด
เนื้อหาคำตอบการท่องเที่ยวมีความถูกต้อง	4.47	0.44	มาก
รวม	**4.58**	**0.53**	**มากที่สุด**

จากตารางที่ 5 ผลการศึกษาความพึงพอใจของระบบด้านการเนื้อหาการท่องเที่ยว ภาพรวมอยู่ในระดับพึงพอใจมากที่สุด ($\bar{x}$ =4.58, S.D. = 0.53) เมื่อพิจารณาเป็นรายด้าน โดยเรียงจากความพึงพอใจสูงสุดพบว่า การแสดงข้อมูลข้อความและรูปภาพ อยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{x}$ =4.72, S.D. = 0.47) รองลงมา ข้อมูลสถานที่ท่องเที่ยวครบถ้วนและชัดเจน อยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{x}$ =4.62, S.D. = 0.55) รองลงมา การแนะนำเส้นทางเดินทางสะดวกและใช้งานง่าย ($\bar{x}$ =4.51, S.D. = 0.67) อยู่ในระดับมากที่สุด ตามลำดับ

ตารางที่ 6 ผลการประเมินความพึงพอใจของแอปพลิเคชันแชทบอท ด้านเนื้อหาผลิตภัณฑ์

รายการประเมิน	$\bar{x}$	S.D.	แปลผล
ช่องทางการเข้าถึงผลิตภัณฑ์ (Rich Menu)	4.54	0.43	มากที่สุด
การแสดงข้อมูลข้อความและรูปภาพผลิตภัณฑ์	4.65	0.45	มากที่สุด
การให้ข้อมูลผลิตภัณฑ์ครบถ้วน (ราคา, รายละเอียด, แหล่งผลิต)	4.48	0.66	มาก
ช่องทางการติดต่อ	4.41	0.71	มาก
รวม	**4.52**	**0.56**	**มากที่สุด**

จากตารางที่ 6 ผลการศึกษาความพึงพอใจของแอปพลิเคชันแชทบอท ด้านเนื้อหาผลิตภัณฑ์ ภาพรวมอยู่ในระดับพึงพอใจมากที่สุด ($\bar{x}$ =4.52, S.D. = 0.56) เมื่อพิจารณาเป็นรายด้าน โดยเรียงจากค่าเฉลี่ยความพึงพอใจสูงสุดพบว่า การแสดงข้อมูลข้อความและรูปภาพผลิตภัณฑ์ อยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{x}$ =4.65, S.D. = 0.45) รองลงมา ช่องทางการเข้าถึงผลิตภัณฑ์ (Rich Menu) อยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{x}$ =4.54, S.D. = 0.43) รองลงมา การให้ข้อมูลผลิตภัณฑ์ครบถ้วน (ราคา, รายละเอียด, แหล่งผลิต) ($\bar{x}$ =4.48, S.D. = 0.66) อยู่ในระดับมาก ตามลำดับ

ตารางที่ 7 ผลการประเมินความพึงพอใจของแอปพลิเคชันแชทบอท ด้านประสิทธิภาพการทำงาน

รายการประเมิน	$\bar{x}$	S.D.	แปลผล
แชทบอทเข้าใจคำถามหรือคำสั่งของท่าน	4.71	0.57	มากที่สุด
ความเร็วในการตอบคำถามและค้นหาข้อมูล	4.62	0.56	มากที่สุด
ความสามารถของแชทบอทในการรับมือกับคำถามที่ไม่คาดคิด	4.44	0.45	มาก
การแนะนำของแชทบอทมีความกระชับและตรงประเด็น	4.51	0.44	มากที่สุด
รวม	**4.57**	**0.51**	**มากที่สุด**

จากตารางที่ 7 ผลการศึกษาความพึงพอใจของแอปพลิเคชันแชทบอท ด้านประสิทธิภาพการทำงาน ภาพรวมอยู่ในระดับพึงพอใจมากที่สุด ($\bar{x}$ =4.57, S.D. = 0.51) เมื่อพิจารณาเป็นรายด้าน โดยเรียงจากค่าเฉลี่ยความพึงพอใจสูงสุดพบว่า แชทบอทเข้าใจคำถามหรือคำสั่งของท่าน อยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{x}$ =4.71, S.D. = 0.57) รองลงมา ความเร็วในการตอบคำถามและค้นหาข้อมูล อยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{x}$ =4.62, S.D. = 0.56) และ การแนะนำของแชทบอทมีความกระชับและตรงประเด็น อยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{x}$ =4.51, S.D. = 0.44) ตามลำดับ

ตารางที่ 8 ผลการประเมินความพึงพอใจของระบบแอปพลิเคชันแชทบอท ด้านความง่ายต่อการใช้งาน

รายการประเมิน	$\bar{x}$	S.D.	แปลผล
การเริ่มต้นใช้งานแชทบอทเข้าใจง่าย	4.56	0.66	มากที่สุด
ข้อความและปุ่มโต้ตอบมีขนาดและภาษาชัดเจน	4.82	0.48	มากที่สุด
การอธิบายด้วยข้อมูล และรูปภาพเข้าใจง่าย	4.71	0.23	มากที่สุด

รายการประเมิน	$\overline{x}$	S.D.	แปลผล
แสดงข้อมูลการติดต่ออื่นๆ ชัดเจน	4.52	0.56	มากที่สุด
รวม	**4.65**	**0.48**	**มากที่สุด**

จากตารางที่ 8 ผลการศึกษาความพึงพอใจของแอปพลิเคชันแชทบอท ด้านความง่ายต่อการใช้งาน ภาพรวมอยู่ในระดับพึงพอใจมากที่สุด ($\overline{x}$ =4.65, S.D. = 0.48) เมื่อพิจารณาเป็นรายด้าน โดยเรียงจากค่าเฉลี่ยความพึงพอใจสูงสุดพบว่า ข้อความและปุ่มโต้ตอบมีขนาดและภาษาชัดเจน อยู่ในระดับมากที่สุด ($\overline{x}$ =4.82, S.D. = 0.48) รองลงมา การอธิบายด้วยข้อมูล และรูปภาพเข้าใจง่าย อยู่ในระดับมากที่สุด ($\overline{x}$ =4.71, S.D. = 0.23) ตามลำดับ

5.2 อภิปรายผลการวิจัย

จากผลการวิจัยการพัฒนาแอปพลิเคชันแชทบอท จังหวัดเลย สามารถอภิปรายผลได้ดังนี้

1) ประเด็นประสิทธิภาพของระบบ

การพัฒนาแอปพลิเคชันแชทบอท สำหรับพื้นที่การท่องเที่ยวเชิงอนุรักษ์ภูป่าเปาะ จังหวัดเลย ได้ผลการประเมินประสิทธิภาพของระบบภาพรวมอยู่ในระดับดีมาก เมื่อพิจารณาเป็นรายด้าน พบว่าด้านการออกแบบระบบ ได้รับผลการประเมินประสิทธิภาพเฉลี่ยสูงสุด ซึ่งสะท้อนว่าการออกแบบส่วนติดต่อผู้ใช้งาน (User Interface) และการจัดวางเมนูการใช้งานมีความเหมาะสม ใช้งานง่าย และสื่อสารข้อมูลได้อย่างชัดเจน ตรงตามความต้องการของผู้ใช้ โดยเฉพาะการนำเสนอข้อมูลผ่านริชเมนู (Rich Menu) ที่ช่วยให้ผู้ใช้งานเข้าถึงข้อมูลสถานที่ท่องเที่ยว ที่พัก การเดินทาง และผลิตภัณฑ์ชุมชนได้อย่างสะดวก สอดคล้องการงานวิจัยของ อาทิตยา อรุณศรี และคณะ (2566) ที่ได้ออกแบบและการพัฒนาระบบแชทบอทสนับสนุนการให้บริการศูนย์สหกิจศึกษาและพัฒนาอาชีพ ซึ่งได้ออกแบบและพัฒนาระบบแชทบอทด้วยเครื่องมือ Official LINE Account, Line Bot Designer, Line Messaging API, Dialogflow, Webhook และ Flex Message ตามกระบวนการพัฒนาระบบ SDLC ผลการวิจัยพบว่าผู้ใช้มีความพึงพอใจต่อระบบในระดับดีมากเช่นกัน โดยเฉพาะด้านการออกแบบและการใช้งานที่สะดวก ส่งผลให้ผู้ใช้สามารถเข้าถึงข้อมูลบริการได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ ยังสอดคล้องกับงานวิจัยของเดช ธรรมศิริ และคณะ (2568) ที่ได้พัฒนาระบบสารสนเทศเพื่อส่งเสริมการท่องเที่ยวผ่านแชทบอทในจังหวัดนครปฐม โดยสร้างระบบไลน์แชทบอทเพื่อให้นักท่องเที่ยวสามารถสอบถามข้อมูลแหล่งท่องเที่ยวในพื้นที่ได้อย่างสะดวก ผลการประเมินพบว่าผู้ใช้มีความพึงพอใจต่อระบบในระดับมาก โดยเฉพาะด้านความง่ายต่อการใช้งานและด้านประสิทธิภาพของระบบ ซึ่งสอดคล้องกับผลการพัฒนาแชทบอท “น้องป่าเปาะ” ที่มุ่งเน้นการออกแบบระบบให้ใช้งานง่าย รองรับการตอบคำถามอัตโนมัติ และให้ข้อมูลตรงตามความต้องการของนักท่องเที่ยว

จากผลการเปรียบเทียบดังกล่าว สามารถสรุปได้ว่า การออกแบบระบบแชทบอทที่ให้ความสำคัญกับความสะดวกในการใช้งาน ความชัดเจนของข้อมูล และความสอดคล้องกับความต้องการของผู้ใช้ เป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้ผู้ใช้งานเกิดความพึงพอใจสูงสุด ซึ่งสอดคล้องกับแนวคิดของ Davis (1989) ใน Technology Acceptance Model ที่ระบุว่าการยอมรับเทคโนโลยีขึ้นอยู่กับการรับรู้ประโยชน์และการใช้งานง่าย โดยผลการวิจัยครั้งนี้สะท้อนให้เห็นว่าแชทบอท “น้องป่าเปาะ” สามารถตอบสนองทั้งสองปัจจัยดังกล่าวได้อย่างมีประสิทธิภาพ ผลการทดสอบประสิทธิภาพของแอปพลิเคชันแชทบอท ใน 7 หมวดหมู่ พบว่าระบบสามารถตอบคำถามได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยมีค่า Accuracy รวม 97.0% และค่าประสิทธิภาพอื่น ๆ ได้แก่ Precision 0.914, Recall 0.859 และ F1-score 0.885 อยู่ในระดับสูง สะท้อนถึงความสามารถของระบบในการตอบสนองต่อคำถามของผู้ใช้งานได้อย่างถูกต้องและครอบคลุม โดยเฉพาะหมวด ข้อมูลการติดต่อ ที่ได้ค่าความถูกต้องสูงสุด (Accuracy, Precision และ Recall เท่ากับ 1.00) แสดงถึงความสมบูรณ์ของข้อมูล ส่วนหมวด ผลิตภัณฑ์ชุมชน และ แผนที่การเดินทาง มีค่าต่ำกว่าหมวดอื่นเล็กน้อยแต่ยังอยู่ในระดับดีมาก ผลการประเมินนี้สะท้อนถึงความสามารถของโมเดลแชทบอทที่พัฒนาโดยใช้ Dialogflow API ในการประมวลผลภาษาธรรมชาติ (Natural Language Processing: NLP) ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่าการพัฒนาแชทบอทโดยใช้เทคโนโลยี NLP

ผ่าน Dialogflow API และการจัดการฐานข้อมูลแบบเรียลไทม์ด้วย Google Sheet ส่งผลให้ระบบสามารถตอบสนองต่อผู้ใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทั้งในด้านความถูกต้องของข้อมูล ความรวดเร็วในการตอบสนอง และความเหมาะสมของเนื้อหา ซึ่งเป็นองค์ประกอบสำคัญของระบบสนับสนุนการท่องเที่ยวเชิงดิจิทัลในยุคปัจจุบัน

แม้ว่าภาพรวมผลการประเมินจะอยู่ระดับที่ดี แต่จะพบว่าหมวด “ข้อมูลผลิตภัณฑ์ชุมชน” และ “แผนที่การเดินทาง” มีค่า Accuracy ต่ำกว่าหมวดอื่น เนื่องจากเนื่องจากข้อมูลที่ใช้สอนแชทบอทยังมีความละเอียดไม่เพียงพอ โดยในหมวดข้อมูลผลิตภัณฑ์ชุมชน ข้อมูลเกี่ยวกับสินค้า ประเภทสินค้า จุดจำหน่าย และรายละเอียดประกอบอื่น ๆ ยังมีความจำกัด ทำให้ระบบไม่สามารถจำแนกคำถามที่มีความคล้ายคลึงกันได้อย่างถูกต้อง ขณะที่หมวดแผนที่การเดินทางยังมีข้อมูลเชิงพื้นที่ไม่ละเอียดมากพอ เช่น เส้นทางย่อย จุดสังเกต ระยะทาง หรือวิธีการเดินทางในสถานการณ์ต่าง ๆ ส่งผลให้ระบบเกิดความคลาดเคลื่อนในการตอบคำถามที่ต้องการข้อมูลเชิงลึกมากขึ้น ทั้งสองกรณีนี้สะท้อนว่าการเพิ่มข้อมูลพื้นฐานให้ครบถ้วนและละเอียดกว่านี้จะช่วยให้ระบบเรียนรู้และจำแนกคำถามได้แม่นยำขึ้นในอนาคต สอดคล้องกับงานวิจัยของเดช ธรรมศิริ และคณะ (2568) ที่ได้นำเสนองานวิจัยแชทบอทเพื่อส่งเสริมการท่องเที่ยวในจังหวัดนครปฐม มีค่าความพึงพอใจของผู้ใช้ในด้านความถูกต้องและประสิทธิภาพของระบบ อยู่ในระดับสูงมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.20 ระบบสามารถทำงานได้ตามหน้าที่และตอบสนองได้ตรงตามความต้องการของนักท่องเที่ยว มีการใช้ชุดคำถามและคำตอบที่ละเอียดชัดเจนมีความถูกต้องสูง และสามารถให้คำตอบได้อย่างเหมาะสมในบริบทของการท่องเที่ยวเชิงอนุรักษ์

2) ประเด็นผลการประเมินความพึงพอใจที่มีต่อการใช้งานระบบ

ผลการประเมินความพึงพอใจของระบบของแอปพลิเคชันแชทบอท ด้านการเนื้อหาการท่องเที่ยว มีความพึงพอใจสูงสุดเป็นอันดับหนึ่ง แสดงให้เห็นว่าผู้ใช้เห็นว่าเนื้อหามีความครบถ้วน ถูกต้อง และเป็นประโยชน์ต่อการวางแผนท่องเที่ยว ข้อมูลที่นำเสนอมีความทันสมัยและเชื่อถือได้ ผลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าการออกแบบเนื้อหาให้สอดคล้องกับลักษณะของพื้นที่และความสนใจของนักท่องเที่ยว มีส่วนช่วยเพิ่มความน่าสนใจและความพึงพอใจในการใช้งานของระบบ ผลการวิจัยนี้ สอดคล้องกับแนวคิดของ อัชฌาพร กว้างสวัสดิ์ และคณะ (2566) ที่ได้พัฒนาระบบแชทบอทเพื่อส่งเสริมการขายสินค้าโอทอปของวิสาหกิจชุมชนจังหวัดประจวบคีรีขันธ์ ผ่านสื่อสังคมออนไลน์ เช่น Facebook Messenger และ LINE Official โดยพบว่าผู้ใช้มีความพึงพอใจต่อระบบในระดับมาก โดยเฉพาะในด้านการรับรู้ประโยชน์ ความง่ายในการใช้งาน และความสะดวกสบาย ซึ่งสอดคล้องกับผลการประเมินของแชทบอท ที่ผู้ใช้ให้ความเห็นว่าระบบใช้งานง่าย ให้ข้อมูลที่มีคุณภาพ และช่วยเพิ่มความสะดวกในการเข้าถึงข้อมูลการท่องเที่ยว ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่า ความพึงพอใจของผู้ใช้งานระบบแชทบอทขึ้นอยู่กับคุณภาพของเนื้อหา ความครบถ้วนของข้อมูล และความง่ายในการใช้งาน ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญในการสร้างประสบการณ์เชิงบวกและการยอมรับเทคโนโลยี โดยเฉพาะในระบบที่พัฒนาขึ้นเพื่อสนับสนุนการท่องเที่ยวเชิงอนุรักษ์ ที่จำเป็นต้องนำเสนอข้อมูลที่ถูกต้อง เข้าใจง่าย และเชื่อมโยงกับความต้องการของผู้ใช้ในพื้นที่จริง

นอกจากนี้ยังสอดคล้องกับงานของ สุมนา บุษบก และคณะ (2568) ที่ได้ศึกษาการพัฒนาแชทบอทปัญญาประดิษฐ์เพื่อแนะนำข้อมูลการท่องเที่ยวในจังหวัดภูเก็ต ประเทศไทย โดยระบบดังกล่าวสามารถให้ข้อมูลที่ถูกต้อง รวดเร็ว และใช้งานง่ายผ่านแพลตฟอร์ม LINE ประกอบด้วยฟีเจอร์หลัก ได้แก่ เมนูแนะนำสถานที่ท่องเที่ยว ร้านอาหาร ที่พัก และโปรแกรมท่องเที่ยวแบบรายวัน พร้อมระบบแสดงแผนที่และลิงก์สถานที่จริง ผู้ใช้งานมีความพึงพอใจโดยรวมในระดับสูง โดยเฉพาะในด้านความเร็วและเสถียรภาพของระบบ และงานวิจัยของธีรพงษ์ สังข์ศรีและคณะ (2564) ที่ได้มีการศึกษาและออกแบบระบบสนับสนุนการให้ข้อมูลแหล่งท่องเที่ยวโคราชจีโอพาร์ค ด้วยโครงสร้างบทสนทนาแชทบอทและแพลตฟอร์มข้อมูล มีการประเมินประสิทธิภาพการทำงานระหว่างระบบกับผู้ใช้ และใช้แบบประเมินความพึงพอใจการใช้งานของชุมชนและนักท่องเที่ยว มีผลการวิจัยที่สอดคล้องกันคือ แชทบอทสามารถตอบข้อมูลแหล่งท่องเที่ยวของผู้ใช้งานและสนับสนุนการเข้าไปมีส่วนร่วมของชุมชนได้ดีขึ้น

นอกจากนี้ ในการพัฒนาแอปพลิเคชันแชทบอทสำหรับการท่องเที่ยว ควรคำนึงถึงหลักจริยธรรมด้านการใช้ข้อมูลและผลกระทบต่อผู้ใช้งาน โดยเฉพาะการรักษาความปลอดภัยของข้อมูลส่วนบุคคลที่ผู้ใช้ให้กับระบบ เช่น ข้อมูลการติดต่อหรือพฤติกรรมการใช้งาน ทั้งนี้ ระบบควรใช้เฉพาะข้อมูลที่จำเป็นและไม่ละเมิดสิทธิส่วนบุคคล นอกจากนี้ ควรตรวจสอบความถูกต้องของ

ข้อมูลท่องเที่ยวที่เผยแพร่ผ่านแชทบอทเพื่อลดความเสี่ยงในการให้ข้อมูลผิดพลาด รวมถึงการออกแบบระบบให้สื่อสารอย่างเหมาะสม ไม่ชี้นำหรือสร้างความเข้าใจผิดแก่ผู้ใช้ การให้ผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบเนื้อหาและการทำงานของระบบจึงเป็นส่วนสำคัญเพื่อให้แน่ใจว่าเทคโนโลยีที่พัฒนามีความโปร่งใส ปลอดภัย และเป็นประโยชน์ต่อชุมชนและผู้ใช้บริการอย่างแท้จริง

6. สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาวิจัยและพัฒนาการวิจัยเรื่อง การพัฒนาแอปพลิเคชันแชทบอทสำหรับพื้นที่การท่องเที่ยวเชิงอนุรักษ์ภูป่าเปาะ จังหวัดเลย มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาแอปพลิเคชันแชทบอทและประเมินประสิทธิภาพรวมถึงความพึงพอใจของผู้ใช้งาน ผลการพัฒนาพบว่าแชทบอท พัฒนาด้วยเทคโนโลยี Dialogflow API สามารถตอบสนองต่อการใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยระบบมีความถูกต้องของการตอบคำถามในภาพรวมอยู่ในระดับสูง แสดงให้เห็นว่าระบบสามารถให้ข้อมูลได้อย่างถูกต้อง ครอบคลุม และรวดเร็ว เหมาะสมต่อการให้บริการข้อมูลการท่องเที่ยว ในส่วนของการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งาน พบว่าภาพรวมอยู่ในระดับดีมาก โดยเฉพาะ ด้านเนื้อหาการท่องเที่ยว ที่ได้รับความพึงพอใจสูงสุด แสดงให้เห็นว่าผู้ใช้งานเห็นว่าเนื้อหาที่ระบบนำเสนอมีความครบถ้วน ถูกต้อง และเป็นประโยชน์ต่อการวางแผนท่องเที่ยว ทั้งนี้ระบบยังถูกออกแบบให้ใช้งานง่าย ผ่านเมนูและการสื่อสารที่เข้าใจได้ชัดเจน ทำให้ผู้ใช้สามารถเข้าถึงข้อมูลได้สะดวกและเกิดความพึงพอใจต่อการใช้งานโดยรวม จากผลการวิจัยสามารถสรุปได้ว่า แชทบอทสำหรับพื้นที่การท่องเที่ยวเชิงอนุรักษ์ภูป่าเปาะ จังหวัดเลย เป็นระบบที่มีประสิทธิภาพและตอบโจทย์การส่งเสริมการท่องเที่ยวเชิงอนุรักษ์ได้อย่างเหมาะสม ทั้งในด้านการให้ข้อมูลที่ถูกต้อง ความสะดวกในการใช้งาน และการสร้างประสบการณ์เชิงบวกแก่ผู้ใช้งาน ซึ่งสามารถนำไปต่อยอดในการพัฒนาระบบแชทบอทเพื่อสนับสนุนการท่องเที่ยว ในพื้นที่อื่น ๆ ได้ในอนาคต ทั้งนี้งานวิจัยนี้ยังมีข้อจำกัดในด้านข้อมูลที่ใช้สำหรับพัฒนาแชทบอท โดยเฉพาะในหมวดข้อมูลผลิตภัณฑ์ชุมชนและแผนที่การเดินทาง ซึ่งมีจำนวนข้อมูลและระดับรายละเอียดค่อนข้างจำกัด ส่งผลให้โมเดลเรียนรู้รูปแบบคำถามได้ไม่ครอบคลุมเท่าที่ควร และทำให้ค่าประสิทธิภาพบางตัวชี้วัดต่ำกว่าหมวดอื่น นอกจากนี้ กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ทดสอบระบบและประเมินความพึงพอใจมีขอบเขตเฉพาะพื้นที่ อาจยังไม่สามารถสะท้อนประสบการณ์ของผู้ใช้ทุกกลุ่มได้อย่างหลากหลาย อีกทั้งระบบยังรองรับเฉพาะคำถามที่อยู่ในชุดข้อมูลฝึก เมื่อพบคำถามที่มีโครงสร้างภาษาหรือบริบทต่างไปจากที่กำหนด ระบบอาจตอบได้ไม่สมบูรณ์ ซึ่งเป็นประเด็นที่ควรพัฒนาให้ดีขึ้นในงานวิจัยครั้งต่อไป

7. ข้อเสนอแนะ

7.1 ข้อเสนอแนะในการนำผลการวิจัยไปใช้

ควรนำไปประยุกต์ใช้เป็นต้นแบบสำหรับการพัฒนาระบบแนะนำข้อมูลท่องเที่ยวในพื้นที่อื่น ๆ โดยปรับเนื้อหาและฐานข้อมูลให้สอดคล้องกับแหล่งท่องเที่ยวในแต่ละจังหวัด หน่วยงานด้านการท่องเที่ยวหรือชุมชนสามารถนำระบบแชทบอทไปใช้เป็นช่องทางประชาสัมพันธ์กิจกรรมและผลิตภัณฑ์ท้องถิ่น เพื่อเพิ่มการเข้าถึงและส่งเสริมเศรษฐกิจชุมชนอย่างยั่งยืน

7.2 ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยครั้งต่อไป

ควรพิจารณานำเทคโนโลยีใหม่ มาปรับใช้โดยผสานเทคโนโลยี AI Generative Model เช่น ChatGPT API หรือ Gemini เพื่อให้สามารถโต้ตอบได้อย่างเป็นธรรมชาติมากขึ้น และเข้าใจภาษาท้องถิ่นหรือคำถามที่ซับซ้อนได้ดียิ่งขึ้น ควรเพิ่มระบบวิเคราะห์ข้อมูลผู้ใช้งาน เพื่อประเมินพฤติกรรมการใช้งานของนักท่องเที่ยว และนำข้อมูลไปปรับปรุงการสื่อสารของแชทบอทให้เหมาะสมกับกลุ่มเป้าหมาย

8. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณกองทุนสนับสนุนการวิจัย มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย สำหรับการสนับสนุนทุนวิจัย และขอขอบคุณศูนย์บริการนักท่องเที่ยวภูป่าเปาะและองค์การบริหารส่วนจังหวัดเลย สำหรับความอนุเคราะห์ในการให้ข้อมูลและความร่วมมือในการลงพื้นที่ดำเนินการวิจัย

9. เอกสารอ้างอิง

ธัญญรัตน์ ไชยวงศ์, วศิน เหลี่ยมปรีชา, และใกล้รุ่งพร อนันต์. (2568). การพัฒนาระบบตอบโต้สนทนาอัตโนมัติเพื่อให้ข้อมูลการท่องเที่ยว ในจังหวัดสุโขทัยสำหรับกลุ่มผู้สูงอายุ. *วารสารวิทยาการจัดการ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี,* 7(2), 1–13.

ธีรพงษ์ สังข์ศรี, อุษานาฎ เอื้ออภิสิทธิ์วงศ์, สิริกร กรมโพธิ์, จารุวรรณ พนมจีระสวัสดิ์, โกสินทร์ ชำนาญพล, เมธี ทองดี, และอภิสิทธิ์ เดิมสันเทียะ. (2564). การพัฒนาระบบสนับสนุนการให้ข้อมูลสำหรับแหล่งท่องเที่ยวบนเส้นทางท่องเที่ยวโคราชจีโอพาร์คด้วยเทคโนโลยีดิจิทัล. *วารสารวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา,* 6(2), 19–28.

เดช ธรรมศิริ, ปริพัส ศรีสมบูรณ์, กิตติพงษ์ ภู่พัฒน์วิบูลย์, พิมพ์ประวีร์ รอดอุมา, และพันธิการ์ วัฒนกุล. (2568). การพัฒนาแชทบอทเพื่อส่งเสริมการท่องเที่ยวชุมชนช่างศิลป์ จังหวัดนครปฐม. *วารสารเทคโนโลยีสารสนเทศ มจพ.*, 21(1), 69–77.

นพดล ธีระวงศ์ภิญโญ. (2567). แนวทางการพัฒนาพื้นที่อุทยานแห่งชาติเป็นแหล่งท่องเที่ยวเชิงอนุรักษ์อย่างยั่งยืน. *วารสารนวัตกรรมการบริหารรัฐกิจและท้องถิ่น มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์*, 1(1), 1-14.

บุญชม ศรีสะอาด. (2560). *หลักการวิจัยเบื้องต้น* (พิมพ์ครั้งที่ 10). กรุงเทพฯ: สุวีริยาสาสน์.

วรดาภา พันธุ์เพ็ง. (2568). นวัตกรรมเพื่อการท่องเที่ยวเชิงอนุรักษ์: การผสมผสานแนวคิดชุมชนสู่การพัฒนาอย่างยั่งยืน. *วารสารครุศาสตร์ปัญญา, 4*(4), 202–213.

สุมนา บุษบก, กิตติยา ปัญญาเยาว์, ศศิประภา บุญเลิศ, และปวันนพัสตร์ ศรีทรงเมือง. (2568). การพัฒนาแชทบอทปัญญาประดิษฐ์เพื่อแนะนำข้อมูลการท่องเที่ยวในจังหวัดภูเก็ต ประเทศไทย. *วารสารแอนิเมชัน เกม ดิจิทัล มีเดีย และเทคโนโลยี,* 68–85.

สำนักงานพื้นที่พิเศษเพื่อการท่องเที่ยวอย่างยั่งยืนเลย. (2568). *รายงานข้อมูลการท่องเที่ยวเชิงอนุรักษ์จังหวัดเลย*. กรุงเทพมหานคร: สำนักงานพื้นที่พิเศษเพื่อการท่องเที่ยวอย่างยั่งยืน (องค์การมหาชน).

อาทิตยา อรุณศรี, ธิดานุช พุทธสิมมา, อดิเทพ สภาพักตร์, อนาวิล คำเพ็ชร, ภูชิต ภูบาลชื่น, และศักดินนท์ หาญพนม. (2566). การพัฒนาระบบแชทบอทสนับสนุนการให้บริการศูนย์สหกิจศึกษาและพัฒนาอาชีพ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา. *วารสารเทคโนโลยีสารสนเทศประยุกต์*, 9(2), 88–96.

อัคริมา สุ่มมาตย์, นิติยา ศรีวรเดชไพศาล, ระพีพัฒน์ ปิยะนาจ, พีรณัฐ จันทรนิยม, วิศรุต คิละลาย, และกานดา สายแก้ว. (2567). การพัฒนา Chatbot AI ด้วยเครื่องมือ Dialogflow เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานด้านการตอบคำถามผู้ใช้บริการห้องสมุด. *วารสาร PULINET*, 11(2), 91–104.

อัชฌาพร กวางสวาสดิ์, อมรทิพย์ อุทิศ, ฤทัยรัตน์ ทองฉาย, กัญญาพิชญ์ ชื่นตา, และอังคณา จัตตามาศ. (2566). การพัฒนาระบบแชทบอทสำหรับส่งเสริมการขายสินค้าโอทอปของวิสาหกิจชุมชนในจังหวัดประจวบคีรีขันธ์ผ่านสื่อสังคมออนไลน์. *Journal of Science Innovation for Sustainable Development*, 4(2), 52–65.

Best, J. W. (1981). *Research in education* (3rd ed.). Prentice-Hall.

Cochran, W. G. (1953). *Sampling techniques*. John Wiley & Sons.

Davis, F. D. (1989). *Perceived usefulness, perceived ease of use and user acceptance of information technology. MIS Quarterly, 13*(3), 319–339.

Majid, G. M., Tussyadiah, I., & Kim, Y. R. (2024). Exploring the Potential of Chatbots in Extending Tourists' Sustainable Travel Practices. *Journal of Travel Research*, 64(6), 1292-1317.

Xu, X., & Chen, Y. (2025). Exploring customer intention of chatbot in tourism and hospitality sectors: A systematic review and way forward. *Tourism Recreation Research*, 1–14.

การพัฒนาแบบจำลองเชิงผสมระหว่างการเรียนรู้ของเครื่องและอนุกรมเวลาเพื่อพยากรณ์ปริมาณผู้ป่วยรายวันในแผนกฉุกเฉินจำแนกตามระดับความเร่งด่วน

Development of Hybrid Machine Learning and Time-Series Models for Forecasting Daily Emergency Department Patient Volumes by Triage Level

ชนาธิป ฉัตรวิไลลักษณ์[1] และ วฤษาย์ ร่มสายหยุด[2]

[1]แขนงวิชาเทคโนโลยีดิจิทัล, สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช

บางพูด ปากเกร็ด นนทบุรี 11120, n.chanatip@hotmail.com

[2]แขนงวิชาเทคโนโลยีดิจิทัล, สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช

บางพูด ปากเกร็ด นนทบุรี 11120, walisa.rom@stou.ac.th

Chanatip Chatvelailuk[1] and Walisa Romsaiyud [2]

[1] Digital Technology, School of Science and Technology, Sukhothai Thammathirat Open University

Bang Phut, Pak Kret, Nonthaburi 11120, Thailand, n.chanatip@hotmail.com

[2] Digital Technology, School of Science and Technology, Sukhothai Thammathirat Open University

Bang Phut, Pak Kret, Nonthaburi 11120, Thailand, walisa.rom@stou.ac.th

วันที่รับบทความ 17 มิถุนายน 2568

วันแก้ไขบทความ 25 มิถุนายน 2568

วันตอบรับบทความ 19 ธันวาคม 2568

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) พัฒนาแบบจำลองเชิงผสมผสานระหว่างการเรียนรู้ของเครื่องและการวิเคราะห์อนุกรมเวลาสำหรับการพยากรณ์ปริมาณผู้ป่วยรายวันในแผนกฉุกเฉิน และ 2) ประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองโดยใช้ตัวชี้วัดค่าความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์ในผู้ป่วย 6 ระดับความเร่งด่วน ได้แก่ ผู้ป่วยวิกฤต ผู้ป่วยฉุกเฉิน ผู้ป่วยเร่งด่วน ผู้ป่วยกึ่งเร่งด่วน ผู้ป่วยไม่เร่งด่วน และผู้ป่วยที่ไม่สามารถกำหนดระดับความเร่งด่วนได้ โดยใช้ข้อมูลการมารับบริการในช่วงเดือนมกราคม พ.ศ. 2563 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2565 รวมทั้งสิ้น 1,096 ระเบียน ซึ่งประกอบด้วยตัวแปรด้านจำนวนผู้ป่วยและปัจจัยด้านเวลา ข้อมูลถูกแบ่งเป็นชุดฝึกและชุดทดสอบเพื่อพัฒนาและเปรียบเทียบแบบจำลอง 4 วิธี ได้แก่ การถดถอยเชิงเส้นหลายตัวแปร การถดถอยเชิงเส้นพหุนาม อาริมาและซาริมา ผลการวิจัยพบว่าแบบจำลองการถดถอยเชิงเส้นพหุนามให้ผลการพยากรณ์ที่มีความแม่นยำและเสถียรภาพโดยรวมดีที่สุด โดยมีค่า RMSE (รากของค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย) ต่ำในทุกระดับความเร่งด่วน ได้แก่ ผู้ป่วยวิกฤตเท่ากับ 0.4699 ผู้ป่วยฉุกเฉินเท่ากับ 1.5568 ผู้ป่วยเร่งด่วนเท่ากับ 4.8947 ผู้ป่วยกึ่งเร่งด่วนเท่ากับ 5.3972 ผู้ป่วยไม่เร่งด่วนเท่ากับ 4.9101 และผู้ป่วยที่ไม่สามารถกำหนดระดับความเร่งด่วนได้เท่ากับ 0.5225 ขณะที่แบบจำลองอาริมาและซาริมาให้ผลเหมาะสมในกลุ่มข้อมูลที่มีรูปแบบเชิงเวลาค่อนข้างคงที่ แต่ยังมีค่าความคลาดเคลื่อนสูงในกลุ่มที่มีความผันผวนมาก สรุปได้ว่าแบบจำลองการถดถอยเชิงเส้นพหุนามเป็นแบบจำลองที่เหมาะสมที่สุดสำหรับบริบทข้อมูลของงานวิจัยนี้ และสามารถนำไปใช้สนับสนุนการวางแผนทรัพยากรและการบริหารจัดการในแผนกฉุกเฉินได้อย่างมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ: การพยากรณ์อนุกรมเวลา แผนกฉุกเฉิน การถดถอยเชิงเส้นพหุตัวแปร การถดถอยเชิงพหุนาม อาริมา ซาริมา

ABSTRACT

This research aimed to (1) develop a hybrid model integrating machine learning and time series analysis for forecasting daily patient volumes in the emergency department, and (2) evaluate the performance of the model using forecasting error metrics across six triage levels, namely critical, emergency, urgent, semi-urgent, non-urgent, and unspecified urgency. The study employed emergency department visit data collected between January 2020 and December 2022, comprising a total of 1,096 records that included patient volume variables and temporal factors. The data were divided into training and testing sets to develop and compare four forecasting models: Multiple Linear Regression, Polynomial Regression, Autoregressive Integrated Moving Average (ARIMA), and Seasonal ARIMA (SARIMA). The results showed that Polynomial Regression provided the highest overall forecasting accuracy and stability, with the lowest root mean squared error (RMSE) observed across all triage levels, including critical (RMSE = 0.4699), emergency (RMSE = 1.5568), urgent (RMSE = 4.8947), semi-urgent (RMSE = 5.3972), non-urgent (RMSE = 4.9101), and unspecified urgency (RMSE = 0.5225). In contrast, ARIMA and SARIMA models produced acceptable results for triage groups with relatively stable temporal patterns but exhibited higher forecasting errors in groups with high volatility. It can therefore be concluded that Polynomial Regression is the most appropriate model for the characteristics of the dataset used in this study and can be effectively applied to support resource planning and management in emergency departments.

KEYWORDS: Time- series forecasting, Emergency department, Multiple Linear Regression, Polynomial Regression, ARIMA, SARIMA

1. บทนำ

การบริการในแผนกฉุกเฉินของโรงพยาบาลเป็นหนึ่งในส่วนที่มีความสำคัญอย่างยิ่ง เนื่องจากเป็นจุดแรกที่ผู้ป่วยจะได้รับการรักษาในกรณีฉุกเฉิน การสามารถทำนายปริมาณผู้มารับบริการและจำแนกตามระดับความรุนแรงหรือ “Triage” จะช่วยให้โรงพยาบาลสามารถจัดสรรทรัพยากรได้อย่างเหมาะสมและเพิ่มประสิทธิภาพในการให้บริการ (คชาภรณ์ ศรีพารัตน์ และวัฒนา ชยธวัช, 2567) จากงานวิจัยในต่างประเทศพบว่า ความแออัดในแผนกฉุกเฉินเป็นปัญหาหลักที่ส่งผลให้ระยะเวลารอคอยเพิ่มสูงขึ้น และนำไปสู่การลดคุณภาพของการให้บริการ (Boyle et al., 2012) ดังนั้น จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งในการพัฒนาเครื่องมือที่สามารถคาดการณ์ปริมาณผู้ป่วยล่วงหน้า เพื่อรองรับความไม่แน่นอนของภาระงานในแต่ละวัน ซึ่งสอดคล้องกับแนวโน้มการบริหารจัดการแผนกฉุกเฉินในระดับสากล จากสถิติการมารับบริการในแผนกฉุกเฉินในปี พ.ศ. 2565 พบว่ามีผู้มารับบริการจำนวน 16,829 ราย โดยเป็นผู้ป่วยรีบด่วน (Urgency) ที่ต้องได้รับการรักษาภายใน 30 นาที จำนวน 6,391 ราย คิดเป็นร้อยละ 37.98 และเป็นผู้ป่วยเร่งด่วน (Emergency) ที่ต้องได้รับการรักษาภายใน 10 นาที จำนวน 1,010 ราย คิดเป็นร้อยละ 6 ของผู้มารับบริการทั้งหมด ซึ่งหากสามารถคาดการณ์จำนวนผู้มารับบริการตามระดับความรุนแรงได้อย่างแม่นยำ จะช่วยสนับสนุนการวางแผนจัดการทรัพยากรทางการแพทย์และบุคลากรให้มีความพร้อม และลดระยะเวลาในการเข้าช่วยเหลือผู้ป่วยได้อย่างทันท่วงที ข้อมูลดังกล่าวสะท้อนให้เห็นถึงความจำเป็นในการมีระบบคาดการณ์ที่มีประสิทธิภาพ เพื่อจัดการกับความผันผวนของจำนวนผู้ป่วยซึ่งเป็นปัญหาที่พบในแผนกฉุกเฉินของโรงพยาบาลทั่วประเทศ

ในปัจจุบันกระทรวงสาธารณสุขได้ผลักดันนโยบายโรงพยาบาลอัจฉริยะ (Smart Hospital) โดยมีแนวคิดในการนำเทคโนโลยีดิจิทัลมาประยุกต์ใช้ในการบริการทางการแพทย์ เพื่อลดขั้นตอนการปฏิบัติงานและอำนวยความสะดวกรวดเร็วให้แก่ผู้รับบริการ

(กระทรวงสาธารณสุข, 2566) ตัวอย่างการนำเทคโนโลยีดิจิทัลมาประยุกต์ใช้งาน ได้แก่ การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการทำนายผลการเป็นโรคเบาหวาน (สายชล สินสมบูรณ์ทอง, 2561) และการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแบบจำลองการทำนายความเสี่ยงโรคหัวใจและหลอดเลือดโดยใช้อัลกอริทึมเหมืองข้อมูล (นงเยาว์ ในอรุณ, 2564) นอกจากนี้ งานวิจัยในระดับสากลยังพบว่าการนำเทคนิคการเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning) มาใช้ในโรงพยาบาลสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการคาดการณ์ภาระงานผู้ป่วย การทำนายความเสี่ยงการเสียชีวิต และการวางแผนจัดสรรทรัพยากรได้อย่างมีประสิทธิภาพ (James et al., 2013) ซึ่งสอดคล้องกับแนวทางการพัฒนาด้านสาธารณสุขของประเทศไทยที่มุ่งเน้นการเพิ่มความแม่นยำในการวางแผนและลดภาระงานของบุคลากรทางการแพทย์

จากการศึกษาการนำเทคโนโลยีสารสนเทศมาประยุกต์ใช้ในการสนับสนุนทางการแพทย์พบว่ามีหลากหลายแนวทาง รวมถึงการนำปัญญาประดิษฐ์มาประยุกต์ใช้ในการทำนายและวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อช่วยในการวางแผน เช่น การประยุกต์เทคนิคการพยากรณ์สำหรับการวางแผนความต้องการเตียงผู้ป่วย กรณีศึกษาแผนกอายุรกรรม โรงพยาบาลศรีสะเกษ (ณัฏฐ์พัชร์ วณิชย์กุล, 2566) ซึ่งจากการศึกษางานวิจัยดังกล่าวพบว่า การวางแผนความต้องการใช้อุปกรณ์ทางการแพทย์เป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลโดยตรงต่อความปลอดภัยและชีวิตของผู้ป่วย โดยการพยากรณ์จำนวนผู้ป่วยตามระดับความรุนแรงไว้ล่วงหน้าสามารถช่วยให้บุคลากรทางการแพทย์วางแผนและเตรียมอุปกรณ์เพื่อรองรับผู้ป่วยในแต่ละระดับความรุนแรงได้อย่างทันท่วงที นอกจากนี้ งานวิจัยในระดับสากลยังแสดงให้เห็นว่าการพยากรณ์ภาระงานในโรงพยาบาลสามารถช่วยลดต้นทุน เพิ่มประสิทธิภาพการดำเนินงาน และลดระยะเวลารอคอยของผู้ป่วยได้อย่างมีนัยสำคัญ (Montgomery et al., 2012)

ระดับความรุนแรงหรือ "Triage" เป็นการประเมินสภาพของผู้ป่วยอย่างรวดเร็ว เพื่อตัดสินความเร่งด่วนของอาการสำคัญที่เป็นปัญหาและจัดให้ได้รับการรักษาพยาบาลตามความเหมาะสม โดยหลักการประเมินอาการจะแบ่งเป็น 2 ระดับ คือ 1. Primary Triage โดยจะประเมินจากข้อมูลทางกายภาพของผู้ป่วย อาการสำคัญ และอาการที่แสดงความคุกคามต่อชีวิตเช่น หยุดหายใจ หัวใจหยุดเต้น เหนื่อยหอบ เป็นต้น 2. Secondary Triage เป็นการประเมินผู้ป่วยอย่างละเอียดโดยรวบรวมข้อมูลจากการประเมินทางกายภาพ Vital Signs ผลLab X-ray และผลการตรวจพิเศษอื่นๆ โดยสามารถแบ่งระจากการคัดกรองผู้ป่วยตามความเร่งด่วนได้เป็น 5 ระดับได้แก่ 1.ผู้ป่วยวิกฤต (Immediately Lift-threatening หรือ Resuscitation) เป็นผู้ป่วยที่ได้รับอาการบาดเจ็บหรือมีอาการป่วยกะทันหัน ซึ่งมีภัยคุกคามต่อชีวิต ซึ่งหากไม่ได้รับการช่วยเหลือทางการแพทย์ในทันทีผู้ป่วยมีโอกาสเสียชีวิตได้สูง หรือทำให้เกิดภาวะแทรกซ้อนขึ้นได้อย่างรวดเร็ว 2.ผู้ป่วยเร่งด่วน (Emergency) เป็นผู้ป่วยที่ได้รับบาดเจ็บหรือมีอาการป่วยที่มีภาวะเฉียบมาก หรือเจ็บป่วยรุนแรงจึงจำเป็นต้องได้รับการช่วยเหลือทางการแพทย์อย่างเร่งด่วนภายใน 10 นาที มิฉะนั้นจะทำให้อาการบาดเจ็บหรืออาการป่วยของผู้ป่วยรุนแรงขึ้นหรือเกิดภาวะแทรกซ้อนขึ้นซึ่งส่งผลให้เสียชีวิตหรือพิการในระยะต่อมาได้ 3.ผู้ป่วยรีบด่วน (Urgency) เป็นผู้ป่วยที่ได้รับบาดเจ็บหรือมีอาการป่วยซึ่งมีภาวะเฉียบพลันไม่รุนแรง อาจรอรับการช่วยเหลือทางการแพทย์ได้ในช่วงระยะเวลา 30 นาที แต่จำเป็นต้องใช้ทรัพยากรและหากปล่อยไว้เกินเวลาอันสมควรแล้วจะทำให้อาการบาดเจ็บหรืออาการของผู้ป่วยฉุกเฉินนั้นรุนแรงขึ้น หรือเกิดภาวะแทรกซ้อนขึ้นได้ 4.ผู้ป่วยกึ่งรีบด่วน (Semi-urgency) เป็นผู้ป่วยที่ไม่ใช่ผู้ป่วยฉุกเฉิน ซึ่งสามารถรอรับบริการได้โดยไม่ก่อให้เกิดอาการที่รุนแรงขึ้น หรือเกิดภาวะแทรกซ้อนตามมาสามารถรอรับบริการได้ 1 ชม. 5.ผู้ป่วยไม่รีบด่วน (Non-urgency) เป็นผู้มารับบริการทางด้านสาธารณสุขหรือบริการอื่นๆ โดยไม่จำเป็นต้องใช้ทรัพยากรสามารถรอได้มากกว่า 1 ชม. (สุรัตน์ รุ่งสว่าง, 2561)

ดังนั้นในงานวิจัยนี้ขอนำเสนอการพัฒนาแบบจำลองการพยากรณ์ปริมาณผู้ป่วยรายวันในแผนกฉุกเฉินโดยใช้การเรียนรู้ของเครื่อง เพื่อสนับสนุนความเชื่อมั่นในการวางแผนจัดการทรัพยากรทางการแพทย์และบุคลากรในการรับมือผู้มารับบริการตามระดับความรุนแรงของการมารับบริการ นอกจากนี้การใช้ข้อมูลเชิงสถิติควบคู่กับอัลกอริทึม Machine Learning ยังช่วยเพิ่มความแม่นยำในการวิเคราะห์แนวโน้ม ลดความคลาดเคลื่อน และสนับสนุนระบบบริการฉุกเฉินให้มีความพร้อมรับมือกับสถานการณ์ที่ไม่คาดคิด ซึ่งเป็นความสำคัญหลักของการบริหารจัดการแผนกฉุกเฉินในยุคดิจิทัล

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อพัฒนาแบบจำลองการพยากรณ์ปริมาณผู้ป่วยรายวันในแผนกฉุกเฉินโดยใช้การเรียนรู้ของเครื่อง
2. เพื่อประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลอง โดยใช้ค่าความคลาดเคลื่อนในการวัดผลพยากรณ์ตามระดับความเร่งด่วน

3. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

3.1 การวิเคราะห์เชิงคาดการณ์ (Predictive Analysis)

เป็นกระบวนการทางสถิติและการวิเคราะห์ข้อมูลที่ใช้ข้อมูลในอดีตและข้อมูลปัจจุบันเพื่อทำนายเหตุการณ์ที่อาจเกิดขึ้นในอนาคต หรือเพื่อระบุรูปแบบและแนวโน้มที่สำคัญเพื่อนำไปใช้ประกอบการตัดสินใจเชิงกลยุทธ์ โดยเฉพาะในระบบสาธารณสุข การวิเคราะห์เชิงคาดการณ์มีบทบาทสำคัญในการวางแผนจัดสรรทรัพยากร เช่น บุคลากรทางการแพทย์ เวชภัณฑ์ อุปกรณ์ทางการแพทย์ รวมถึงการบริหารจัดการเตียงผู้ป่วยในโรงพยาบาล เพื่อให้สามารถรองรับผู้ป่วยได้อย่างเพียงพอและลดความเสี่ยงจากความแออัดในการให้บริการ ทั้งนี้ การทำนายปริมาณผู้มารับบริการจำเป็นต้องคำนึงถึงปัจจัยด้านเวลา เช่น ฤดูกาล วันหยุดนักขัตฤกษ์ หรือเหตุการณ์พิเศษ ซึ่งมีผลโดยตรงต่อจำนวนผู้ป่วยที่เข้ารับบริการ ตัวอย่างเช่น งานวิจัยด้านการพยากรณ์ภาระงานในโรงพยาบาลได้ชี้ให้เห็นว่าการนำข้อมูลเชิงเวลามาวิเคราะห์ร่วมกับเทคนิคการพยากรณ์สามารถเพิ่มความแม่นยำของการทำนายได้อย่างมีนัยสำคัญ (Boyle et al., 2012) การคาดการณ์ภาระงานอย่างแม่นยำช่วยให้โรงพยาบาลสามารถวางแผนการใช้งานอุปกรณ์ทางการแพทย์ได้อย่างทันเวลาและเพียงพอต่อความต้องการจริง โดยแนวคิดดังกล่าวสอดคล้องกับงานวิจัยเรื่อง การประยุกต์เทคนิคการพยากรณ์สำหรับการวางแผนความต้องการเตียงผู้ป่วย กรณีศึกษาแผนกอายุรกรรม โรงพยาบาลศรีสะเกษ ซึ่งมุ่งพัฒนาแบบจำลองการพยากรณ์ความต้องการเตียงผู้ป่วยโดยใช้ข้อมูลทางสถิติร่วมกับเทคนิคการวิเคราะห์เชิงทำนาย (ณัฏฐ์พัชร์ วณิชย์กุล, 2566) ผลการศึกษาพบว่าการใช้ข้อมูลเชิงเวลาและการพยากรณ์เชิงสถิติสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการวางแผนทรัพยากรได้อย่างเหมาะสม ทำให้โรงพยาบาลสามารถเตรียมความพร้อมด้านอุปกรณ์และบุคลากรได้ดียิ่งขึ้น นอกจากนี้ แนวทางการวิเคราะห์เชิงคาดการณ์ยังถูกนำไปใช้ในหลายบริบททางการแพทย์ เช่น การทำนายจำนวนผู้ป่วยนอกในแต่ละวัน การประเมินความเสี่ยงของการเกิดโรคเรื้อรัง และการคาดการณ์ความต้องการระบบสนับสนุนทางการแพทย์ ซึ่งสะท้อนถึงศักยภาพของวิธีการนี้ในการสนับสนุนการตัดสินใจในระดับองค์กรและเพิ่มประสิทธิภาพในการให้บริการของโรงพยาบาล (Montgomery et al., 2012)

ดังนั้น การวิเคราะห์เชิงคาดการณ์จึงเป็นพื้นฐานสำคัญสำหรับงานวิจัยด้านการพยากรณ์ปริมาณผู้ป่วยในแผนกฉุกเฉินของโรงพยาบาลในครั้งนี้ โดยเฉพาะเมื่อข้อมูลมีความผันผวนสูงและมีปัจจัยด้านเวลาที่ส่งผลต่อจำนวนผู้มารับบริการ การเลือกวิธีการวิเคราะห์ที่เหมาะสมช่วยให้สามารถคาดการณ์ได้แม่นยำและสนับสนุนการวางแผนจัดการทรัพยากรของโรงพยาบาลได้อย่างมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น

3.2 เทคนิคการถดถอยเชิงเส้นหลายตัวแปร (Multiple Linear Regression)

เป็นการขยายต้นแบบจากการถดถอยเชิงเส้นเบื้องต้น (Simple Linear Regression) ให้สามารถรองรับตัวแปรอิสระหลายตัว โดยมีเป้าหมายเพื่อทำนายค่าของตัวแปรตามจากค่าของตัวแปรอิสระหลายตัว และวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรเหล่านั้น การถดถอยเชิงเส้นหลายตัวแปรเป็นเทคนิคที่ใช้ได้กับข้อมูลที่มีความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างตัวแปรตามและตัวแปรอิสระหลายตัว แต่หากข้อมูลมีความสัมพันธ์ที่ซับซ้อนหรือไม่เป็นเชิงเส้น การถดถอยเชิงเส้นหลายตัวแปรอาจไม่ให้ผลลัพธ์ที่แม่นยำ และอาจต้องใช้เทคนิคการวิเคราะห์ที่ซับซ้อนขึ้น (Montgomery et al., 2012) เช่นความสัมพันธ์ระหว่างคุณภาพการให้บริการกับความพึงพอใจของผู้ป่วยในโรงพยาบาลเอกชนในประเทศอิหร่าน โดยเก็บข้อมูลจากผู้ป่วยจำนวน 969 รายผ่านแบบสอบถาม SERVPERF และวิเคราะห์ด้วยวิธี Multiple Linear Regression ผลการศึกษาพบว่า ตัวแปรคุณภาพการบริการสามารถอธิบายความแปรผันของความพึงพอใจได้ร้อยละ 45 ($R^2 = 0.45$) โดยตัวแปรที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญ ได้แก่ กระบวนการบริการ (Process Quality), การปฏิสัมพันธ์ระหว่างผู้

ให้บริการกับผู้ป่วย (Interaction Quality) และ ค่าใช้จ่ายในการรักษา (Cost) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าทั้งด้านประสบการณ์การรับบริการและปัจจัยด้านเศรษฐกิจมีผลต่อระดับความพึงพอใจของผู้ป่วย (Zarei et al., 2015)

สมการที่ 2 การถดถอยเชิงเส้นหลายตัวแปร

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3 + \ldots + \beta_n x_n + \varepsilon \qquad (2)$$

โดยที่ y คือ ตัวแปรตาม (Dependent Variable)

$x_1, x_2, x_3, \ldots, x_n$ คือ ตัวแปรต้น (Independent Variables)

β_0 คือ ค่าคงที่ (Intercept)

$\beta_1, \beta_2, \beta_3, .., \beta_n$ คือ ค่าสัมประสิทธิ์ (Coefficients) ที่โมเดลจะประมาณค่า

ε คือ ข้อผิดพลาด (Error Term)

3.3 เทคนิคการถดถอยเชิงเส้นพหุนาม (Polynomial Regression)

เป็นการขยายต้นแบบจากการถดถอยเชิงเส้น (Linear Regression) โดยการยกกำลังของตัวแปรอิสระเพื่อรองรับความสัมพันธ์ที่ไม่เป็นเชิงเส้นระหว่างตัวแปรตามและตัวแปรอิสระ การถดถอยเชิงเส้นพหุนามเป็นเทคนิคที่ใช้ได้กับข้อมูลที่มีความสัมพันธ์ที่ซับซ้อนและไม่เป็นเชิงเส้นระหว่างตัวแปรตามและตัวแปรอิสระ แต่หากมีการยกกำลังของตัวแปรอิสระมากเกินไป อาจทำให้เกิดปัญหาการเกินปรับ (Overfitting) ซึ่งแบบจำลองจะพยายามที่จะรองรับข้อมูลทุกจุด ทำให้ไม่สามารถทำนายข้อมูลใหม่ที่ไม่เคยเห็นมาก่อนได้ดี (James et al., 2013) เช่นงานวิจัย “การพยากรณ์อัตราผู้สูงอายุที่มีปัญหาความเครียดในจังหวัดลพบุรี” (คชาภรณ์ ศรีพารัตน์ และวัฒนา ชยธวัช, 2567) โดยพัฒนาแบบจำลองการถดถอยเชิงพหุนามในการทำนายอัตราผู้สูงอายุที่มีปัญหาความเครียดเพื่อช่วยในการวางแผนจัดการการแก้ปัญหาความเครียดของผู้สูงอายุต่อไป

สมการที่ 3 การถดถอยเชิงเส้นพหุนาม

$$y = \beta^0 + \beta^1 x + \beta^2 x^2 + \beta^3 x^3 + \ldots + \beta_n x^n \qquad (3)$$

โดยที่ y คือ ตัวแปรตาม (Dependent Variable)

X คือ ตัวแปรต้น (Independent Variable)

$\beta_0, \beta_1, .., \beta_n$ คือ ค่าสัมประสิทธิ์ (Coefficients) ที่โมเดลจะประมาณค่า

n คือ ระดับของพหุนาม (Degree of Polynomial)

3.4 เทคนิคการถดถอยอัตโนมัติแบบผสมกับค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ (Autoregressive Integrated Moving Average: ARIMA)

เป็นเทคนิคในการวิเคราะห์ข้อมูลอนุกรมเวลา (Time Series Analysis) ที่มักถูกใช้ในการทำนายค่าในอนาคตของข้อมูลที่มีความสัมพันธ์กับเวลา โดย ARIMA ประกอบด้วยสามส่วนหลัก ได้แก่ 1.Autoregressive (AR) ส่วนนี้เกี่ยวข้องกับการถดถอยของค่าในอดีต (lagged values) ของตัวแปรตามเอง ซึ่งเป็นการระบุว่าค่าปัจจุบันของข้อมูลมีความสัมพันธ์กับค่าในอดีตเพียงใด 2.Integrated (I) ส่วนนี้เกี่ยวข้องกับการต่าง (differencing) ของข้อมูล เพื่อทำให้ข้อมูลมีความเสถียร (stationary) ซึ่งการทำให้ข้อมูลเป็น stationary จะช่วยในการประมาณค่าค่าสัมประสิทธิ์ของแบบจำลองให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น 3.Moving Average (MA) ส่วนนี้

เกี่ยวข้องกับค่าคลาดเคลื่อน (error terms) ของการทำนายในอดีต ซึ่งเป็นการระบุว่าค่าคลาดเคลื่อนปัจจุบันมีความสัมพันธ์กับค่าคลาดเคลื่อนในอดีตเพียงใด (Montgomery et al., 2012) ซึ่งนิยมนำมาใช้เกี่ยวกับการพยากรณ์สภาพอากาศ เช่น “การพยากรณ์ปริมาณน้ำฝนโดยใช้เทคนิคการปรับให้เรียบ เทคนิค ARIMA และเทคนิค Support Vector Machine” (ณพฐ์ โสภีพันธ์ และคณะ, 2567) โดยนำข้อมูลจากศูนย์อุทกวิทยาและบริหารน้ำภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนล่าง กรมชลประทาน มาใช้ในการวิเคราะห์เปรียบเทียบประสิทธิภาพเพื่อหาวิธีที่เหมาะสมที่สุดในการพยากรณ์จาก 3 วิธีได้แก่ Winter’s Method Box-Jenkins หรือ ARIMA และSupport Vector Machine (SVM) พบว่า ARIMA เหมาะสำหรับข้อมูลอนุกรมเวลาที่มีความเสถียรและฤดูกาล

สมการที่ 4 เทคนิคการถดถอยอัตโนมัติแบบผสมกับค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่

$$Y_t = c + \phi_{1Y_{\{t-1\}}} + \ldots + \theta_{qe_{\{t-q\}}} + \epsilon_t \qquad (4)$$

โดยที่	Y_t	คือ ค่าปัจจุบันของตัวแปรตาม
	ϕ_1, ϕ_2, ..., ϕ_p	คือ ค่าสัมประสิทธิ์ของ Autoregressive
	θ_1,θ_2,..,θ_q	คือ ค่าสัมประสิทธิ์ของ Moving Average
	e_{t-1} ,e_{t-2} ,...,e_{t-q}	คือ ข้อผิดพลาดในช่วงเวลาที่ผ่านมา
	ϵ_t	คือ ค่าคลาดเคลื่อน (error term)

3.5 เทคนิคการพยากรณ์แบบ SARIMA (Seasonal ARIMA)

เป็นแบบจำลองที่พัฒนาต่อยอดจาก ARIMA เพื่อรองรับข้อมูลอนุกรมเวลาที่มีลักษณะเป็นวัฏจักรหรือฤดูกาล โดย SARIMA ประกอบด้วยสองส่วนหลัก ได้แก่ ส่วนไม่เป็นฤดูกาล (*p,d,q*) และส่วนฤดูกาล (*P,D,Q,s*) ซึ่ง *p* คือจำนวนตัวแปรอิสระจากค่าของอดีตที่ใช้มาทำนายค่าปัจจุบัน, *d* คือจำนวนครั้งที่ทำการหาค่าความต่าง (differencing) เพื่อลดความไม่คงที่ของข้อมูล, และ *q* คือจำนวนตัวแปรจากค่าความคลาดเคลื่อนในอดีตที่ใช้มาอธิบายค่าปัจจุบัน ส่วนฤดูกาล (*P,D,Q,s*) มีโครงสร้างคล้ายกัน แต่ใช้กับข้อมูลที่มีรอบฤดูกาล โดยที่ P คือจำนวนค่าของตัวแปรในอดีตตามฤดูกาล, *D* คือจำนวนครั้งที่ทำ differencing เฉพาะส่วนฤดูกาล, *Q* คือจำนวนค่าความคลาดเคลื่อนตามฤดูกาล และ *s* คือความยาวของรอบฤดูกาล เช่น 7 วันสำหรับข้อมูลรายสัปดาห์ หรือ 12 เดือนสำหรับข้อมูลรายปี นอกจากนี้ SARIMA ยังสามารถเพิ่มตัวแปรอธิบายภายนอก (exogenous variables) เพื่อสะท้อนปัจจัยบริบท เช่น วันในสัปดาห์ (week_day) และวันหยุด (holiday) ที่มีผลต่อจำนวนผู้มารับบริการ อีกทั้งยังสามารถเสริมด้วย Fourier terms ซึ่งเป็นการใช้ฟังก์ชันไซน์ (sine) และโคไซน์ (cosine) มาแทนรูปแบบวัฏจักรที่ซับซ้อนหรือมีหลายความถี่พร้อมกัน เช่น ลวดลายรายสัปดาห์ซ้อนกับผลของวันหยุดยาว ทำให้แบบจำลองสามารถอธิบายความผันผวนและฤดูกาลที่ซับซ้อนได้อย่างมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น

4. วิธีดำเนินการวิจัย/ระเบียบวิธีวิจัย/Research Methodology

4.1 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ประกอบด้วย ฐานข้อมูลการมารับบริการในแผนกฉุกเฉิน ตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2563 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2565 รวมทั้งสิ้น 1,096 ระเบียน ซึ่งเป็นข้อมูลรายวันของจำนวนผู้ป่วยแยกตามระดับความเร่งด่วน (Triage) รวมถึงข้อมูลประกอบด้านเวลา เช่น วัน เดือน วันในสัปดาห์ และสถานะวันหยุด ในการประมวลผลข้อมูลและพัฒนาแบบจำลอง โดยใช้โปรแกรม PyCharm Community Edition ซึ่งเป็นโปรแกรม สำหรับภาษา Python ที่พัฒนาโดยบริษัท JetBrains และสามารถดาวน์โหลดใช้งานได้ฟรี โปรแกรมดังกล่าวถูกใช้ในการสร้างแบบจำลองด้วยเทคนิคการเรียนรู้ของเครื่องแบบมีผู้สอน (Supervised Learning) การพยากรณ์เชิงอนุกรมเวลา (Time-Series Forecasting) และการประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองด้วยตัวชี้วัดทาง

สถิติ รวมไปถึงการพัฒนา Dashboard แบบ Interactive เพื่อแสดงผลการพยากรณ์จำนวนผู้ป่วยในแต่ละระดับความรุนแรง และช่วยให้ผู้ใช้งานสามารถนำข้อมูลที่ได้ไปสนับสนุนการวางแผนจัดสรรทรัพยากร การบริหารบุคลากร และการเตรียมพร้อมรับมือปริมาณผู้ป่วยที่คาดการณ์ในอนาคตได้อย่างมีประสิทธิภาพ

4.2 การเก็บรวบรวมข้อมูล

การเก็บรวบรวมข้อมูลจากฐานข้อมูลการมารับบริการในแผนกฉุกเฉินในโรงพยาบาลแห่งหนึ่งตั้งแต่เดือนแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2563 - เดือนธันวาคม พ.ศ. 2565 จำนวน 1,096 ระเบียน โดยข้อมูลประกอบด้วย วันที่มารับบริการ จำนวนผู้ป่วยวิกฤต (Immediately Lift-threatening หรือ Resuscitation) จำนวนผู้ป่วยเร่งด่วน (Emergency) จำนวนผู้ป่วยรีบด่วน (Urgency) จำนวนผู้ป่วยกึ่งรีบด่วน (Semi-urgency) จำนวนผู้ป่วยไม่รีบด่วน (Non-urgency) ผู้ป่วยไม่ถูกระบุระดับ (Undefine)วันในสัปดาห์ และสถานะวันหยุด

การจัดประเภทผู้ป่วยในแผนกฉุกเฉินตามระบบ Triage เป็นการจัดลำดับความสำคัญของผู้ป่วยตามระดับความรุนแรงของอาการ และความจำเป็นในการได้รับการรักษาในทันที เพื่อจัดการทรัพยากรทางการแพทย์อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งแบ่งออกเป็น 5 ระดับหลักได้แก่ 1.ผู้ป่วยวิกฤต (Immediately Lift-threatening หรือ Resuscitation) เป็นผู้ป่วยที่ได้รับอาการบาดเจ็บหรือมีอาการป่วยกะทันหัน ซึ่งมีภัยคุกคามต่อชีวิต ซึ่งหากไม่ได้รับการช่วยเหลือทางการแพทย์ในทันทีผู้ป่วยมีโอกาสเสียชีวิตได้สูง หรือทำให้เกิดภาวะแทรกซ้อนขึ้นได้อย่างรวดเร็ว 2.ผู้ป่วยเร่งด่วน (Emergency) เป็นผู้ป่วยที่ได้รับบาดเจ็บหรือมีอาการป่วยที่มีภาวะเฉียบมาก หรือเจ็บป่วยรุนแรงจึงจำเป็นต้องได้รับการช่วยเหลือทางการแพทย์อย่างเร่งด่วนภายใน 10 นาที มิฉะนั้นจะทำให้อาการบาดเจ็บหรืออาการป่วยของผู้ป่วยรุนแรงขึ้นหรือเกิดภาวะแทรกซ้อนขึ้นซึ่งส่งผลให้เสียชีวิตหรือพิการในระยะต่อมาได้ 3.ผู้ป่วยรีบด่วน (Urgency) เป็นผู้ป่วยที่ได้รับบาดเจ็บหรือมีอาการป่วยซึ่งมีภาวะเฉียบพลันไม่รุนแรง อาจรอรับการช่วยเหลือทางการแพทย์ได้ในช่วงระยะเวลา 30 นาที แต่จำเป็นต้องใช้ทรัพยากรและหากปล่อยไว้เกินเวลาอันสมควรแล้วจะทำให้อาการบาดเจ็บหรืออาการของผู้ป่วยฉุกเฉินนั้นรุนแรงขึ้น หรือเกิดภาวะแทรกซ้อนขึ้นได้ 4.ผู้ป่วยกึ่งรีบด่วน (Semi-urgency) เป็นผู้ป่วยที่ไม่ใช่ผู้ป่วยฉุกเฉิน ซึ่งสามารถรอรับบริการได้โดยไม่ก่อให้เกิดอาการที่รุนแรงขึ้น หรือเกิดภาวะแทรกซ้อนตามมาสามารถรอรับบริการได้ 1 ชม. 5.ผู้ป่วยไม่รีบด่วน (Non-urgency) เป็นผู้มารับบริการทางด้านสาธารณสุขหรือบริการอื่นๆ โดยไม่จำเป็นต้องใช้ทรัพยากรสามารถรอได้มากกว่า 1 ชม.

4.3 การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้จัดข้อมูลเป็น 2 ชุด โดยที่ข้อมูลในชุดที่ 1 ใช้ข้อมูล 80 % ของข้อมูลทั้งหมดในการสร้างตัวแบบจำลอง และ ส่วนที่ 2 ใช้ข้อมูล 20 % ของข้อมูลทั้งหมดในการตรวจสอบความถูกต้องของตัวแบบ โดยข้อมูลทั้งหมดจะถูกแปลงไฟล์เป็นนามสกุล *.csv เพื่อนำมาใช้ในการวิเคราะห์แบบจำลองที่สร้างขึ้นด้วยภาษา Python ในโปรแกรม PyCharm Community โดยผู้วิจัยได้เลือกอัลกอริทึมที่เกี่ยวข้องกับการทำนายมาใช้งานดังนี้

1.เทคนิคการถดถอยเชิงเส้นหลายตัวแปร (Multiple Linear Regression) เป็นเทคนิคการถดถอยที่รองรับตัวแปรอิสระหลายตัว เพื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์เชิงเส้นและทำนายค่าตัวแปรตามจากปัจจัยหลายด้าน เช่น วันในสัปดาห์ เดือน หรือสถานะวันหยุด ซึ่งมีผลต่อจำนวนผู้ป่วยที่มารับบริการในแต่ละวัน

2.เทคนิคการถดถอยเชิงเส้นพหุนาม (Polynomial Regression) เป็นการขยายความสามารถของ เทคนิคการถดถอยเชิงเส้นหลายตัวแปร ให้รองรับความสัมพันธ์ที่ไม่เป็นเชิงเส้น โดยเพิ่มพจน์กำลังของตัวแปรอิสระทำให้โมเดลสามารถจับความแปรผันที่ซับซ้อนของข้อมูล เช่น ความผันผวนของจำนวนผู้ป่วยรายวันได้ดียิ่งขึ้น

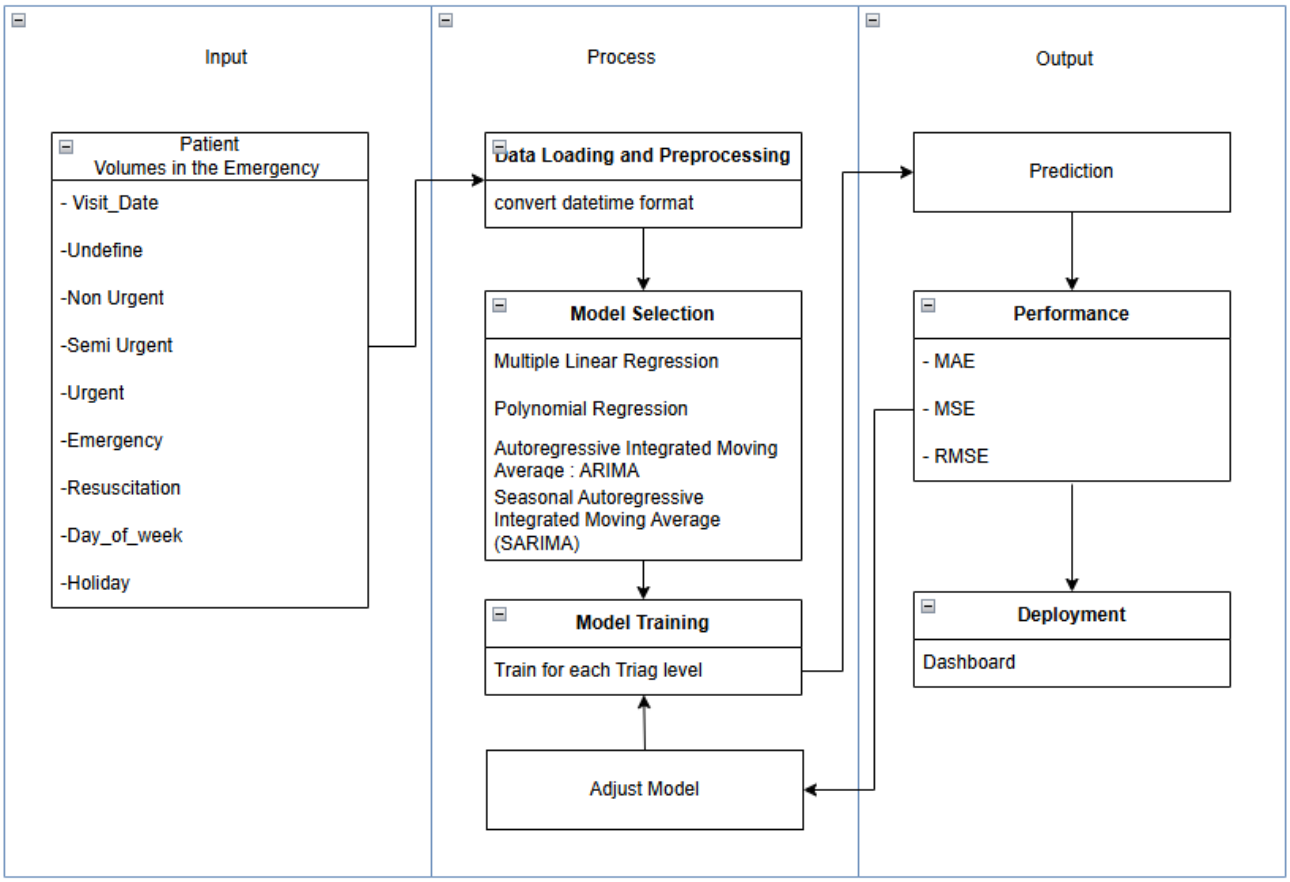
3.เทคนิคการถดถอยอัตโนมัติแบบผสมกับค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ (Autoregressive Integrated Moving Average: ARIMA) เป็นแบบจำลองที่ใช้ความสัมพันธ์ภายในข้อมูลของตัวเองเมื่อเวลาผ่านไป (lagged values) เพื่อทำนายค่าในอนาคต เหมาะกับข้อมูลที่มีความต่อเนื่องทางเวลา แต่ไม่มีฤดูกาลเด่นชัด

4.เทคนิคการพยากรณ์แบบ SARIMA (Seasonal ARIMA) เป็นการขยาย ARIMA เพื่อรองรับข้อมูลที่มีฤดูกาล (Seasonality) เช่น รอบสัปดาห์หรือวันหยุดราชการ ซึ่งพบได้ในข้อมูลจำนวนผู้ป่วยของแผนกฉุกเฉิน โมเดล SARIMA มีพารามิเตอร์ (p,d,q)(P,D,Q)s ที่ช่วยจับทั้งความสัมพันธ์เชิงเวลาและความเป็นฤดูกาล ทำให้โมเดลนี้เป็นแบบจำลองที่ให้ความแม่นยำสูงที่สุดในงานวิจัยนี้

5.การนำผลการวิเคราะห์ข้อมูลมาประมวลผลเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการทำนายผลจำนวนผู้มารับบริการโดยใช้วิธีการถดถอยเชิงเส้นในการนำข้อมูลมาวิเคราะห์เปรียบเทียบว่าวิธีการไหนที่มีค่าความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (mean absolute error, MAE) และค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (mean square error, MSE) ที่มีค่าน้อยที่สุด จะทำให้มีประสิทธิภาพในการทำนายที่ดีที่สุด

4.4 การสร้างและประเมินแบบประเมิน

จากการวิเคราะห์ข้อมูลผู้มารับบริการที่นำมาวิจัยมาเข้ากระบวนการจัดเตรียมข้อมูล เพื่อนำมาสร้างแบบจำลองและประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองด้วยการเรียนรู้ของเครื่อง โดยมีผลลัพธ์เป็นแบบจำลองและผลการประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลอง ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ภาพรวมการทำงานของแบบจำลองการพยากรณ์ปริมาณผู้ป่วยรายวันในแผนกฉุกเฉินโดยใช้การเรียนรู้ของเครื่อง

จากรูปที่ 1 แสดงกระบวนการทำงานของแบบจำลองการพยากรณ์ปริมาณผู้ป่วยรายวันในแผนกฉุกเฉิน โดยเริ่มจากการนำข้อมูลผู้มารับบริการในแต่ละวันเข้าสู่กระบวนการเตรียมข้อมูล (Data Loading and Preprocessing) ซึ่งประกอบด้วยการแปลงรูปแบบวันที่ การสร้างตัวแปรที่จำเป็น เช่น วันในสัปดาห์และวันหยุดราชการ ตลอดจนการจัดรูปแบบข้อมูลให้พร้อมสำหรับนำไปใช้สร้างแบบจำลองทางสถิติและการเรียนรู้ของเครื่อง หลังจากนั้นจึงเข้าสู่ขั้นตอนการคัดเลือกแบบจำลอง (Model Selection) โดยพิจารณาอัลกอริทึมที่เหมาะสม ได้แก่ Multiple Linear Regression, Polynomial Regression, ARIMA และ SARIMA แล้วทำการฝึกสอน

แบบจำลอง (Model Training) แยกตามระดับความรุนแรงของผู้ป่วย (Triage Levels) เพื่อให้สามารถทำนายจำนวนผู้ป่วยได้อย่างเฉพาะเจาะจงมากที่สุด เมื่อได้ผลลัพธ์แล้วจึงประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองด้วยตัวชี้วัดความแม่นยำ ได้แก่ ค่า Mean Absolute Error (MAE), Mean Squared Error (MSE) และ Root Mean Squared Error (RMSE) เพื่อใช้ในการปรับปรุงและเลือกแบบจำลองที่ให้ค่าความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด แบบจำลองที่ผ่านการประเมินแล้วจะนำไปใช้งานจริงผ่านระบบแดชบอร์ด (Dashboard Deployment) เพื่อแสดงผลการพยากรณ์ปริมาณผู้มารับบริการในแต่ละวัน ซึ่งสามารถใช้เป็นข้อมูลประกอบการวางแผนทรัพยากรด้านบุคลากรและอุปกรณ์ทางการแพทย์ในแผนกฉุกเฉิน

1.การเก็บรวมรวมข้อมูล (data collection)

ทำการรวบรวมข้อมูลปัจจัยที่ส่งผลต่อการพยากรณ์ปริมาณผู้ป่วยรายวันในแผนกฉุกเฉิน โดยแบ่งตามระดับความรุนแรงของผู้ป่วย (Triage Levels) และปัจจัยภายนอก เช่น วันในสัปดาห์ และวันหยุดราชการ เพื่อใช้เป็นข้อมูลนำเข้าในการสร้างแบบจำลอง

2.นำเข้าชุดข้อมูล

กำหนดสัดส่วนการแบ่งข้อมูลสำหรับฝึกสอนและทดสอบแบบจำลองไว้ที่ 80:20 ตามลำดับ จากนั้นดำเนินการปรับรูปแบบวันที่และจัดรูปแบบข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบที่สามารถประมวลผลผ่านแบบจำลองได้อย่างเหมาะสม

3.การทดสอบประสิทธิภาพแบบจำลอง

ทำการทดสอบแบบจำลองหลายประเภทสำหรับการพยากรณ์ปริมาณผู้ป่วย โดยนำค่าความคลาดเคลื่อน เช่น MAE, MSE และ RMSE ของแต่ละแบบจำลองมาเปรียบเทียบ เพื่อคัดเลือกแบบจำลองที่ให้ค่าความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด

5. ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

5.1 การทำนายปริมาณผู้ป่วยรายวันในแผนกฉุกเฉิน

งานวิจัยนี้ดำเนินการพยากรณ์ปริมาณผู้มารับบริการรายวันในแผนกฉุกเฉินโดยใช้ข้อมูลตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2563 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2565 รวมทั้งสิ้น 1,096 ระเบียน โดยจำแนกผู้ป่วยตามระดับความเร่งด่วน (Triage) ออกเป็น 6 กลุ่ม ได้แก่ Undefine, Non-Urgent, Semi-Urgency, Urgent, Emergency และ Resuscitation รายละเอียดตัวแปรและคุณลักษณะของข้อมูลแสดงในตารางที่ 1 ซึ่งประกอบด้วยตัวแปรวันที่มารับบริการและจำนวนผู้ป่วยในแต่ละระดับความเร่งด่วน

ตารางที่ 1 ข้อมูลและคุณลักษณะ

ลำดับ	ชื่อคุณลักษณะ	ประเภทข้อมูล	คำอธิบาย
1	visit_date	C	วันที่มารับบริการ (วัน/เดือน/ปี)
2	Undefine	N	จำนวนผู้ป่วยไม่ถูกระบุระดับ (Undefine)
3	Non_Urgent	N	จำนวนผู้ป่วยไม่รีบด่วน (Non-urgency)
4	Semi_Urgency	N	จำนวนผู้ป่วยกึ่งรีบด่วน (Semi-urgency)
5	Urgent	N	จำนวนผู้ป่วยรีบด่วน (Urgency)
6	Emergency	N	จำนวนผู้ป่วยเร่งด่วน (Emergency)
7	Resuscitation	N	จำนวนผู้ป่วยวิกฤต (Immediately Lift-threatening หรือ Resuscitation)

หมายเหตุ N = Numerical, C = Categorical

แบบจำลองที่นำมาเปรียบเทียบประกอบด้วย เทคนิคการถดถอยเชิงเส้นหลายตัวแปร (Multiple Linear Regression), เทคนิคการถดถอยเชิงเส้นพหุนาม (Polynomial Regression), เทคนิคการถดถอยอัตโนมัติแบบผสมกับค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ (Autoregressive Integrated Moving Average: ARIMA) และเทคนิคการพยากรณ์แบบ SARIMA (Seasonal ARIMA) โดยแบ่งข้อมูลออกเป็นชุดฝึก

และชุดทดสอบในอัตราส่วน 80:20 และประเมินประสิทธิภาพด้วยตัวชี้วัดค่าความคลาดเคลื่อน ได้แก่ MAE, MSE และ RMSE ผลการคำนวณค่าความคลาดเคลื่อนของ MLR แสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ค่าความคลาดเคลื่อนจากการทำนายจำนวนผู้มารับบริการโดยใช้เทคนิคการถดถอยเชิงเส้นหลายตัวแปร

Triage	MAE	MSE	RMSE
Resuscitation	0.4067	0.4220	0.6496
Emergency	1.3281	2.7202	1.6493
Urgent	3.9282	24.7174	4.9717
Semi_Urgency	5.0402	43.7662	6.6156
Non_Urgent	4.0315	24.9197	4.9920
Undefine	0.2850	0.2301	0.4797

จากตารางที่ 2 พบว่า เทคนิคการถดถอยเชิงเส้นหลายตัวแปร ให้ค่าความคลาดเคลื่อนค่อนข้างสูงในหลายกลุ่ม โดยเฉพาะกลุ่ม Semi-Urgency และ Urgent ซึ่งมีลักษณะข้อมูลผันผวนสูง สะท้อนให้เห็นว่าความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต้นกับตัวแปรตามไม่เป็นเชิงเส้น ทำให้แบบจำลองเชิงเส้นพื้นฐานไม่สามารถอธิบายรูปแบบข้อมูลได้อย่างครบถ้วน

5.2 การเพิ่มตัวแปรด้านเวลาและ Polynomial Regression

เพื่อเพิ่มศักยภาพในการอธิบายรูปแบบข้อมูลเชิงเวลา จึงเพิ่มตัวแปรวันในสัปดาห์และสถานะวันหยุด (ดังตารางที่ 3) เข้าเป็นตัวแปรอธิบาย และพัฒนาแบบจำลองด้วย Polynomial Regression ซึ่งมีความยืดหยุ่นในการเรียนรู้ความสัมพันธ์ไม่เป็นเชิงเส้น ผลการประเมินแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 3 ด้านอนุกรมเวลา

ลำดับ	ชื่อคุณลักษณะ	ประเภทข้อมูล	คำอธิบาย
1	week_day	C	วันในสัปดาห์ (1=จันทร์, 7=อาทิตย์)
2	holiday	C	สถานะวันหยุด (1=ใช่, 0=ไม่ใช่)

หมายเหตุ N = Numerical, C = Categorical

ผลลัพธ์ชี้ให้เห็นว่า Polynomial Regression ให้ค่า MSE และ RMSE ลดลงจาก MLR ในเกือบทุกระดับความเร่งด่วน โดยเฉพาะกลุ่ม Semi-Urgency, Urgent และ Non-Urgent แสดงให้เห็นว่าโมเดลสามารถจับรูปแบบความโค้งและโครงสร้างข้อมูลที่ซับซ้อนกว่าได้อย่างมีประสิทธิภาพ กลุ่ม Undefine แม้มีค่า RMSE เพิ่มขึ้นเล็กน้อย แต่โดยรวมยังอยู่ในระดับต่ำเมื่อเทียบกับกลุ่มอื่น

ตารางที่ 4 ค่าความคลาดเคลื่อนจากการทำนายจำนวนผู้มารับบริการโดยใช้เทคนิคการถดถอยเชิงเส้นพหุนาม

Items	MAE	MSE	RMSE
Resuscitation	0.221	0.221	0.470
Emergency	1.205	2.371	1.540
Urgency	3.746	23.958	4.895
Semi-urgency	3.748	26.001	5.099
Non-urgency	3.802	23.683	4.867
Undefine	0.273	0.237	0.523

5.3 การเปรียบเทียบกับแบบจำลองอนุกรมเวลา (ARIMA และ SARIMA)

เมื่อใช้ ARIMA กับชุดข้อมูลเดียวกัน (ดังตารางที่ 5) พบว่าสามารถให้ผลการพยากรณ์ที่ดีในกลุ่มที่มีความผันผวนต่ำ เช่น Resuscitation และ Undefine อย่างไรก็ตาม ในกลุ่มที่มีความผันผวนสูง เช่น Urgent และ Semi-Urgency ค่า RMSE ยังอยู่ในระดับสูง สะท้อนว่า ARIMA มีข้อจำกัดเมื่อเผชิญข้อมูลที่ไม่สม่ำเสมอหรือมีการเปลี่ยนแปลงรวดเร็ว

ตารางที่ 5 ค่าความคลาดเคลื่อนจากการทำนายจำนวนผู้มารับบริการโดยใช้เทคนิคการถดถอยอัตโนมัติแบบผสมกับค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่

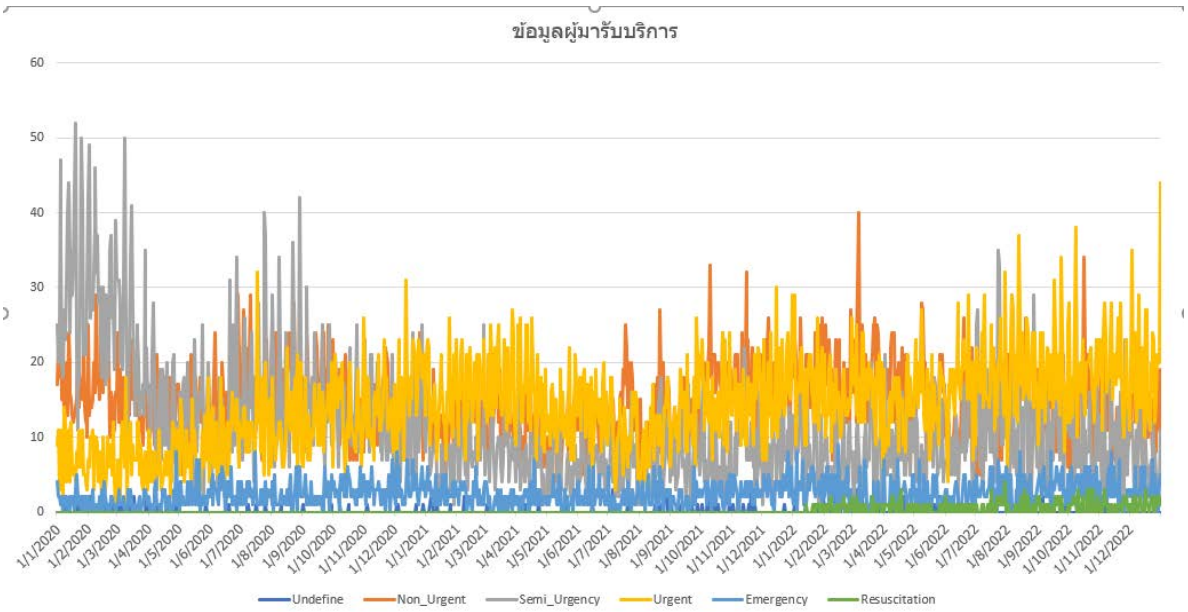
Items	MAE	MSE	RMSE
Resuscitation	0.7664	0.9368	0.9679
Emergency	1.5647	3.9661	1.9915
Urgent	4.4625	32.7507	5.7228
Semi-Urgency	4.3531	32.6188	5.7113
Non-Urgent	3.6040	20.2860	4.5040
Undefine	0.6512	0.6763	0.8224

สำหรับ SARIMA (ตารางที่ 6) ซึ่งเพิ่มโครงสร้างฤดูกาลรายสัปดาห์เข้าไป พบว่าสามารถลด RMSE ได้เล็กน้อยในบางกลุ่ม เช่น Resuscitation และ Undefine อย่างไรก็ตาม ผลลัพธ์ไม่ได้ปรับดีขึ้นอย่างสม่ำเสมอทุกกลุ่ม โดยเฉพาะ Semi-Urgency และ Non-Urgent ที่ค่า RMSE ยังสูงกว่า ARIMA ในบางช่วง นอกจากนี้ยังพบปัญหาการประมาณค่าพารามิเตอร์ไม่เสถียรในบางรูปแบบ ทำให้การพยากรณ์ไม่สม่ำเสมอเท่าที่ควร

ตารางที่ 6 ค่าความคลาดเคลื่อนจากการทำนายจำนวนผู้มารับบริการโดยใช้เทคนิคการถดถอยอัตโนมัติแบบผสมกับค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่เชิงฤดูกาล

Items	MAE	MSE	RMSE
Resuscitation	0.7508	0.8823	0.9393
Emergency	1.5884	4.0253	2.0063
Urgent	4.3248	31.1339	5.5798
Semi-Urgency	4.4357	34.0597	5.8361
Non-Urgent	3.7893	21.9736	4.6876
Undefine	0.5987	0.5339	0.7307

5.4 ความผันผวนของข้อมูลและผลต่อความแม่นยำของแบบจำลอง



รูปที่ 2 กราฟแสดงข้อมูลการมารับบริการ

จากรูปที่ 2 แสดงจำนวนผู้มารับบริการในแผนกฉุกเฉินรายวันในแต่ละระดับความรุนแรงของระบบ Triage ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2563 ถึง พ.ศ. 2565 พบว่ากลุ่มผู้ป่วยแต่ละระดับมีรูปแบบความผันผวนของข้อมูลแตกต่างกันอย่างชัดเจน กลุ่ม Resuscitation และ Undefine มีความผันผวนของข้อมูลค่อนข้างต่ำ เนื่องจากเป็นกลุ่มที่มีปริมาณผู้ป่วยต่อวันค่อนข้างคงที่และมีจำนวนไม่มาก ขณะที่กลุ่มที่มีปริมาณผู้ป่วยสูง เช่น Semi-Urgency, Urgency และ Non-Urgent มีจำนวนผู้มารับบริการต่อวันที่แปรผันสูง ทำให้กราฟปรากฏการแกว่งตัวอย่างต่อเนื่องตลอดช่วงเวลา เพื่อประเมินระดับความผันผวนของข้อมูลในเชิงปริมาณ ผู้วิจัยได้คำนวณค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation; SD) ของข้อมูลในแต่ละระดับความรุนแรงโดยใช้โปรแกรม Microsoft Excel ด้วยคำสั่ง =STDEV.S() ผลลัพธ์สรุปในตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ตารางแสดงค่าความผันผวนของข้อมูล

Items	Volatility
Resuscitation	0.553
Emergency	1.715
Urgency	5.939
Semi-urgency	8.036
Non-urgency	4.862
Undefine	0.494

จากตารางที่ 7 จะเห็นได้ว่าระดับความผันผวนของข้อมูลในแต่ละกลุ่มผู้ป่วยมีความแตกต่างกันอย่างชัดเจน โดยเฉพาะกลุ่ม Semi-urgency และ Urgency ซึ่งมีค่า Volatility สูงที่สุด สะท้อนให้เห็นว่าจำนวนผู้มารับบริการในกลุ่มดังกล่าวมีการแกว่งตัวสูงและยากต่อการคาดการณ์ ส่งผลให้การทำนายด้วยแบบจำลองทางสถิติมีความคลาดเคลื่อนมากกว่ากลุ่มอื่น ในทางกลับกัน กลุ่ม Resuscitation และ Undefine มีค่าความผันผวนต่ำ ทำให้ผลการทำนายของแบบจำลองมีแนวโน้มแม่นยำมากกว่า อย่างไรก็ตาม แม้

ระดับความผันผวนจะช่วยอธิบายความยากง่ายในการพยากรณ์ได้ดี แต่ยังพบว่าจำนวนตัวอย่างในแต่ละกลุ่มไม่เท่ากัน โดยเฉพาะกลุ่ม Resuscitation และ Undefine ที่มีจำนวนข้อมูลน้อยเมื่อเทียบกับกลุ่มอื่น ทำให้แบบจำลองเกิดอคติ (Bias) ต่อกลุ่มที่มีข้อมูลมากกว่า เช่น Semi-urgency และ Non-Urgent ส่งผลให้ค่าความคลาดเคลื่อนในภาพรวมยังคงอยู่ในระดับสูง แม้จะเลือกใช้แบบจำลองที่เหมาะสมกับลักษณะของข้อมูลแล้วก็ตาม

เพื่อจัดการกับความซับซ้อนของความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรด้านเวลาและจำนวนผู้ป่วยในแต่ละระดับความรุนแรง ผู้วิจัยจึงประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองเชิงเส้นสองประเภทเพิ่มเติม ได้แก่ เทคนิคการถดถอยเชิงเส้นหลายตัวแปร (Multiple Linear Regression) และเทคนิคการถดถอยเชิงเส้นพหุนาม (Polynomial Regression) โดยทั้งสองโมเดลได้รับการฝึกและทดสอบภายใต้โครงสร้างข้อมูลอนุกรมเวลาเดียวกัน และใช้ตัวแปรด้านเวลา เช่น วันในสัปดาห์ วันหยุด และค่า lag ของจำนวนผู้ป่วยเป็นตัวแปรอธิบายร่วม ผลลัพธ์ของ Multiple Linear Regression แสดงในตารางที่ 8 ซึ่งพบว่าแบบจำลองให้ค่าความคลาดเคลื่อนในระดับปานกลาง โดยเฉพาะในกลุ่มผู้ป่วยที่มีความผันผวนสูง เช่น Semi-Urgency และ Urgent ส่วนผลลัพธ์ของ Polynomial Regression แสดงในตารางที่ 9 ซึ่งพบว่าแบบจำลองสามารถลดค่าความคลาดเคลื่อนในหลายระดับความรุนแรงได้ดีกว่า Multiple Linear Regression โดยเฉพาะในกลุ่มที่มีรูปแบบข้อมูลซับซ้อนหรือมีความไม่เป็นเชิงเส้น ตัวแบบสามารถเรียนรู้ความโค้งหรือรูปแบบที่ซับซ้อนมากขึ้น ส่งผลให้ความแม่นยำโดยรวมดีขึ้น สะท้อนถึงศักยภาพของแบบจำลองพหุนามในการจับรูปแบบข้อมูลที่ซับซ้อนมากกว่าแบบจำลองเชิงเส้นพื้นฐาน

ตารางที่ 8 ผลการประเมินแบบจำลอง Multiple Linear Regression (MLR)

Triage	RMSE	MAE	MSE
Emergency	2.0200	1.5811	4.0803
Non_Urgent	5.6448	4.5879	31.8636
Resuscitation	1.0527	0.7834	1.1083
Semi_Urgency	5.9275	4.4927	35.1348
Undefine	0.4313	0.2526	0.1860
Urgent	6.1720	4.7854	38.0937

ตารางที่ 9 ผลการประเมินแบบจำลอง Polynomial Regression

Triage	RMSE	MAE	MSE
Emergency	2.4057	1.8655	5.7873
Non-Urgent	4.7511	3.8690	22.5725
Resuscitation	1.6981	1.4373	2.8837
Semi-Urgency	6.0549	4.9189	36.6619
Undefine	1.1324	0.9834	1.2824
Urgent	8.5137	6.8411	72.4827

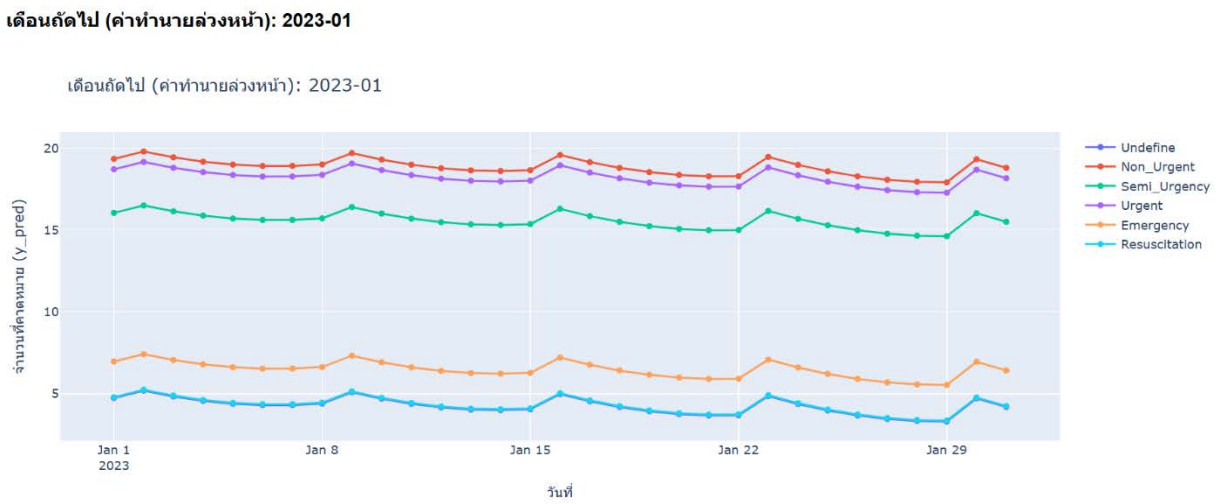
จากตารางที่ 8 และตารางที่ 9 ซึ่งเป็นผลการประเมินแบบจำลองเชิงเส้น ได้แก่ Multiple Linear Regression และ Polynomial Regression พบว่าแบบจำลองทั้งสองยังคงให้ค่าความคลาดเคลื่อนในระดับปานกลาง โดยเฉพาะในกลุ่มผู้ป่วยที่มีความผันผวนสูง เช่น Semi-Urgency และ Urgent ซึ่งทำให้แบบจำลองเชิงเส้นไม่สามารถจับความสัมพันธ์ที่ซับซ้อนของข้อมูลได้อย่างครบถ้วน แม้ Polynomial Regression จะช่วยลดความคลาดเคลื่อนได้ในบางกลุ่ม แต่ประสิทธิภาพโดยรวมยังมีความผันผวนระหว่าง

แต่ละระดับความรุนแรงของผู้ป่วย ส่วนผลลัพธ์ของ Polynomial Regression ก่อนการปรับสมดุลข้อมูลแสดงให้เห็นว่าโมเดลสามารถจับความสัมพันธ์ที่ไม่เป็นเชิงเส้นได้ดีในบางกลุ่ม โดยเฉพาะ Resuscitation และ Emergency ซึ่งมีลักษณะข้อมูลค่อนข้างคงที่และมีความผันผวนต่ำ ทำให้ค่าความคลาดเคลื่อน (RMSE) อยู่ในระดับต่ำ อย่างไรก็ตาม ในกลุ่มที่มีความผันผวนสูง เช่น Semi-Urgency และ Urgent โมเดลยังไม่สามารถอธิบายรูปแบบข้อมูลที่แปรเปลี่ยนรวดเร็วได้อย่างมีประสิทธิภาพ ส่งผลให้ค่าความคลาดเคลื่อนสูงกว่ากลุ่มอื่นอย่างชัดเจน แม้ผลลัพธ์ของกลุ่ม Emergency จะดีขึ้นเล็กน้อยเนื่องจากจำนวนข้อมูลเดิมค่อนข้างน้อย แต่ในหลายกลุ่ม เช่น Non-Urgent, Semi-Urgency และ Urgent ค่า RMSE กลับเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเทียบกับค่าเดิม สาเหตุสำคัญคือข้อมูลสังเคราะห์ที่ถูกสร้างขึ้นไม่ได้สะท้อนโครงสร้างของข้อมูลอนุกรมเวลาที่แท้จริง โดยเฉพาะในกลุ่มที่มีความผันผวนสูง ทำให้โมเดลเรียนรู้ข้อมูลที่มีลักษณะเป็น Noise มากขึ้นและส่งผลให้ความแม่นยำลดลงแทนที่จะดีขึ้น

สำหรับแบบจำลอง ARIMA และ SARIMA ซึ่งเป็นโมเดลเชิงอนุกรมเวลา แม้จะถูกออกแบบมาเพื่อรองรับลักษณะการเกิดซ้ำ (recurrence) และฤดูกาล (seasonality) แต่ผลลัพธ์ในงานวิจัยนี้พบว่าค่าความคลาดเคลื่อนในหลายกลุ่มกลับสูงกว่าแบบจำลองเชิงเส้น โดยเฉพาะ Semi-Urgency และ Urgent ซึ่งมีความผันผวนสูงมาก โมเดลอนุกรมเวลามีข้อจำกัดเมื่อข้อมูลมีรูปแบบฤดูกาลไม่ชัดเจน หรือมีความผันผวนสูงแบบไม่สม่ำเสมอ ทำให้ SARIMA ไม่สามารถประมาณค่าพารามิเตอร์ได้อย่างเสถียร และอาจเกิดปัญหาไม่ลู่เข้าสู่คำตอบ (Non-convergence) ส่งผลให้ค่าความคลาดเคลื่อนสูงขึ้นในบางระดับความรุนแรงของผู้ป่วย

5.5 การพัฒนา Dashboard เพื่อประยุกต์ใช้

จากผลการวิเคราะห์ทั้งหมด พบว่าแบบจำลอง Polynomial Regression ให้ผลการพยากรณ์ที่มีความแม่นยำและมีความเสถียรมากกว่าแบบจำลองอนุกรมเวลาในหลายระดับความรุนแรง โดยเฉพาะในกลุ่มที่มีความผันผวนปานกลางถึงต่ำ เช่น Resuscitation, Emergency และ Non-Urgent การใช้ข้อมูลจริงโดยไม่สร้างข้อมูลสังเคราะห์ช่วยให้โมเดลเก็บรักษาลักษณะเชิงเวลาและความต่อเนื่องของข้อมูลได้ดีกว่า ส่งผลให้ค่าความคลาดเคลื่อนต่ำกว่าและมีความเสถียรกว่าอย่างชัดเจน ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงเลือกใช้ Polynomial Regression แบบไม่ปรับสมดุลข้อมูล เป็นแบบจำลองหลักสำหรับการพยากรณ์ปริมาณผู้มารับบริการรายวัน และนำผลลัพธ์ไปใช้ในการพัฒนา Dashboard เพื่อสนับสนุนการวางแผนทรัพยากรทางการแพทย์ในเดือนถัดไป ดังแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 Dashboard แสดงข้อมูลการทำนายจำนวนผู้ป่วย

จากรูปที่ 3 จะเห็นได้ว่าแบบจำลองสามารถประมาณแนวโน้มจำนวนผู้ป่วยในแต่ละระดับความเร่งด่วนได้อย่างต่อเนื่อง โดยกลุ่มผู้ป่วย Non-Urgent และ Semi-Urgency ยังคงเป็นกลุ่มที่มีจำนวนผู้มารับบริการสูงกว่ากลุ่มอื่น ซึ่งสอดคล้องกับรูปแบบข้อมูลจริงในช่วงปีที่ผ่านมา ขณะที่กลุ่ม Emergency และ Resuscitation มีปริมาณผู้ป่วยน้อยและมีความผันผวนต่ำกว่า แนวโน้มของค่าพยากรณ์สะท้อนรูปแบบรายสัปดาห์ที่พบในข้อมูลจริง เช่น ปริมาณผู้ป่วยที่มักจะเพิ่มขึ้นในช่วงต้นสัปดาห์และลดลงเล็กน้อยในช่วง

ปลายสัปดาห์ รวมถึงความผันผวนเป็นบางช่วงในกลุ่ม Urgent ซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะของผู้ป่วยอาการเฉียบพลัน ผลการพยากรณ์ดังกล่าวสามารถช่วยให้แผนกฉุกเฉินคาดการณ์ภาระงานล่วงหน้า วางแผนจัดสรรบุคลากร เตียง และอุปกรณ์ทางการแพทย์ได้เหมาะสมมากขึ้น และช่วยลดปัญหาความแออัดในช่วงวันที่มีความต้องการสูงได้อย่างมีประสิทธิภาพ

6. สรุปผลการวิจัย

การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาแบบจำลองการพยากรณ์ปริมาณผู้มารับบริการรายวันในแผนกฉุกเฉิน โดยใช้ข้อมูลจำนวน 1,096 ระเบียน ครอบคลุมช่วงเดือนมกราคม พ.ศ. 2563 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2565 ซึ่งประกอบด้วยผู้ป่วย 6 ระดับความเร่งด่วน ได้แก่ ผู้ป่วยวิกฤต ผู้ป่วยฉุกเฉิน ผู้ป่วยเร่งด่วน ผู้ป่วยกึ่งเร่งด่วน ผู้ป่วยไม่เร่งด่วน และผู้ป่วยที่ไม่สามารถกำหนดระดับความเร่งด่วนได้ รวมถึงตัวแปรด้านเวลา ได้แก่ วันในสัปดาห์ เดือน และสถานะวันหยุด เพื่อใช้ในการสร้างแบบจำลองพยากรณ์และสนับสนุนการวางแผนทรัพยากรในแผนกฉุกเฉิน โดยมีการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแบบจำลอง 4 ประเภท ได้แก่ เทคนิคการถดถอยเชิงเส้นหลายตัวแปร (Multiple Linear Regression), เทคนิคการถดถอยเชิงเส้นพหุนาม (Polynomial Regression), เทคนิคการถดถอยอัตโนมัติแบบผสมกับค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ (Autoregressive Integrated Moving Average: ARIMA) และเทคนิคการพยากรณ์แบบ SARIMA (Seasonal ARIMA)

ผลการศึกษาพบว่า เทคนิคการถดถอยเชิงเส้นพหุนามให้ผลการพยากรณ์ที่มีความแม่นยำและเสถียรภาพโดยรวมดีที่สุด โดยเฉพาะในกลุ่มผู้ป่วยที่มีความผันผวนต่ำถึงปานกลาง เช่น ผู้ป่วยวิกฤต ผู้ป่วยฉุกเฉิน ผู้ป่วยไม่เร่งด่วน และผู้ป่วยเร่งด่วน ซึ่งสะท้อนถึงความสามารถของแบบจำลองในการจับความสัมพันธ์แบบไม่เป็นเชิงเส้นได้อย่างมีประสิทธิภาพ ขณะที่เทคนิคการถดถอยเชิงเส้นหลายตัวแปร แม้จะให้ผลในระดับยอมรับได้ แต่ยังให้ค่าความคลาดเคลื่อนสูงกว่าเทคนิคการถดถอยเชิงเส้นพหุนามในกลุ่มที่มีรูปแบบข้อมูลซับซ้อนหรือไม่เป็นเชิงเส้นอย่างชัดเจน

สำหรับแบบจำลองอนุกรมเวลาอย่าง ARIMA และ SARIMA พบว่าให้ผลการพยากรณ์ค่อนข้างดีในกลุ่มที่มีความผันผวนต่ำ เช่น ผู้ป่วยวิกฤตและผู้ป่วยที่ไม่สามารถกำหนดระดับได้ แต่มีค่าความคลาดเคลื่อนสูงในกลุ่มที่มีความผันผวนมาก เช่น ผู้ป่วยเร่งด่วนและผู้ป่วยกึ่งเร่งด่วน นอกจากนี้แบบจำลอง SARIMA ยังพบปัญหาการประมาณค่าพารามิเตอร์ไม่ลู่เข้าในบางกรณี ส่งผลให้แบบจำลองมีความไม่เสถียรและไม่สามารถให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่าเทคนิคการถดถอยเชิงเส้นพหุนามได้อย่างสม่ำเสมอ ดังตารางที่ 10

ตารางที่ 10 ตารางเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนกับค่าความผันผวนของข้อมูล

ระดับ Triage	MLR RMSE	Polynomial RMSE	ARIMA RMSE	SARIMA RMSE
Undefine	0.4797	0.5225	0.8224	0.7307
Non-Urgent	4.9920	4.9101	4.5040	4.6876
Semi-Urgency	6.6156	5.3972	5.7113	5.8361
Urgent	4.9717	4.8947	5.7228	5.5798
Emergency	1.6493	1.5568	1.9915	2.0063
Resuscitation	0.6496	0.4699	0.9679	0.9393

จากตารางที่ 10 แสดงการเปรียบเทียบแบบจำลองทั้งหมด พบว่าไม่สามารถระบุแบบจำลองเพียงวิธีเดียวที่เหมาะสมกับข้อมูลทุกระดับความเร่งด่วนได้ อย่างไรก็ตาม เทคนิคการถดถอยเชิงเส้นพหุนามแสดงศักยภาพสูงสุดในการพยากรณ์ข้อมูลที่มีความผันผวนและความไม่เป็นเชิงเส้นในระดับปานกลาง จึงสามารถสรุปได้ว่า Polynomial Regression เป็นแบบจำลองที่เหมาะสมที่สุด

สำหรับบริบทข้อมูลของงานวิจัยนี้ โดยผลลัพธ์สามารถนำไปใช้สนับสนุนการวางแผนทรัพยากรทางการแพทย์และการบริหารจัดการในแผนกฉุกเฉินได้อย่างมีประสิทธิภาพ

7. ข้อเสนอแนะ

7.1 การเพิ่มตัวแปรอธิบาย

งานวิจัยนี้ใช้ตัวแปรด้านเวลาเป็นหลัก ได้แก่ วัน เดือน วันในสัปดาห์ และสถานะวันหยุด ซึ่งสามารถสะท้อนรูปแบบเชิงเวลาได้ในระดับหนึ่ง อย่างไรก็ตาม ในอนาคตควรพิจารณาเพิ่มตัวแปรภายนอกที่อาจมีผลต่อจำนวนผู้ป่วย เช่น สภาพอากาศ อุณหภูมิ ฤดูกาล การระบาดของโรค หรือเหตุการณ์พิเศษ เพื่อเพิ่มความแม่นยำของแบบจำลอง โดยเฉพาะในกลุ่มที่มีความผันผวนสูง เช่น ผู้ป่วยเร่งด่วนและผู้ป่วยกึ่งเร่งด่วน

7.2 การพัฒนาแบบจำลองที่รองรับความผันผวนของข้อมูล

จากผลการศึกษาพบว่าความผันผวนของข้อมูลเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อความแม่นยำของการพยากรณ์ ดังนั้น ควรพิจารณาเทคนิคการสร้างแบบจำลองที่สามารถรองรับความแปรปรวนของข้อมูลได้ดียิ่งขึ้น เช่น การใช้แบบจำลองเชิงความน่าจะเป็น (Probabilistic Models), การถดถอยเชิงควอนไทล์ (Quantile Regression) หรือการวิเคราะห์ความแปรปรวนไม่คงที่ (Heteroscedasticity Modeling) เพื่อให้การพยากรณ์มีความยืดหยุ่นและสะท้อนความไม่แน่นอนของข้อมูลได้ดียิ่งขึ้น

7.3 การประยุกต์ใช้แบบจำลองเชิงลึก (Deep Learning)

แม้แบบจำลองที่ใช้ในงานวิจัยนี้สามารถให้ผลลัพธ์ในระดับที่น่าพอใจ แต่ยังมีข้อจำกัดในการรองรับรูปแบบข้อมูลที่มีความซับซ้อนและผันผวนสูง โดยเฉพาะในกลุ่มข้อมูลที่มีลักษณะไม่สม่ำเสมอ ดังนั้น การประยุกต์ใช้แบบจำลองเชิงลึก เช่น LSTM, GRU หรือ Transformer สำหรับข้อมูลอนุกรมเวลา ควบคู่กับการพัฒนาแบบจำลองเชิงผสมผสาน (Hybrid Models) เช่น SARIMA–LSTM หรือ CNN–LSTM อาจช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการพยากรณ์ได้ อย่างไรก็ตาม การใช้งานเทคนิคดังกล่าวจำเป็นต้องพิจารณาความพร้อมของข้อมูลและทรัพยากรคอมพิวเตอร์ให้เหมาะสมกับบริบทของโรงพยาบาล

8. กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอขอบคุณมหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช รวมทั้งคณาจารย์ในแขนงวิชาเทคโนโลยีดิจิทัล ที่ได้มอบองค์ความรู้ เครื่องมือ และแนวทางในการทำวิจัยอย่างเป็นระบบ อันเป็นพื้นฐานสำคัญที่ช่วยให้ข้าพเจ้าสามารถดำเนินการศึกษาค้นคว้าในครั้งนี้ได้อย่างถูกต้องและครบถ้วน

ข้าพเจ้าขอขอบคุณหน่วยงานด้านสาธารณสุขที่ได้อนุญาตให้นำข้อมูลทางสถิติที่เกี่ยวข้องมาใช้ในการวิเคราะห์และพัฒนาแบบจำลอง โดยข้อมูลทั้งหมดได้ผ่านการปกปิดข้อมูลส่วนบุคคล (de-identification) และดำเนินการตามหลักจริยธรรมในการใช้ข้อมูลอย่างเคร่งครัด เพื่อให้มั่นใจว่าข้อมูลที่ใช้ไม่สามารถระบุตัวบุคคลได้

9. เอกสารอ้างอิง

กระทรวงสาธารณสุข. (2566). คู่มือการประเมินโรงพยาบาลอัจฉริยะ (พิมพ์ครั้งที่ 4). กรุงเทพมหานคร: กระทรวงสาธารณสุข.

คชาภรณ์ ศรีพารัตน์, และวัฒนา ชยธวัช. (2567). การพยากรณ์อัตราผู้สูงอายุที่มีปัญหาความเครียดในจังหวัดลพบุรี. วารสารสถาบันจิตเวชศาสตร์สมเด็จเจ้าพระยา, 18(2), 30–38.

ณพฐ์ โสภีพันธ์. (2564). การประเมินมูลค่าความเสี่ยงในการลงทุนในทองคำโดยใช้แบบจำลอง ARIMA-GARCH. วารสารวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา, 6(2), 45–55.

ณพฐ์ โสภีพันธ์, นฤเบศ ลาภยิ่งยง, ขนิษฐา ชมภูวิเศษ, วิวรรณ กาญจนวจี, สุภาวดี สุวธิรรมา, และนิภาดา จรัสเอี่ยม. (2567). การพยากรณ์ปริมาณน้ำฝนโดยใช้เทคนิคการปรับให้เรียบ เทคนิค ARIMA และเทคนิค Support Vector Machine. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา, 9(1), 34–45.

ณัฏฐ์พัชร์ วณิชย์กุล. (2566). การประยุกต์เทคนิคการพยากรณ์สำหรับการวางแผนความต้องการเตียงผู้ป่วย: กรณีศึกษาแผนกอายุรกรรม โรงพยาบาลศรีสะเกษ. วารสารสหศาสตร์ศรีปทุม ชลบุรี, 9(2), 45–60.

นงเยาว์ ในอรุณ. (2564). การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแบบจำลองการทำนายความเสี่ยงโรคหัวใจและหลอดเลือดโดยใช้อัลกอริธึมเหมืองข้อมูล. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม, 40(2), 45–55.

พรทิวา วิศิษฎ์สรอรรถ. (2564). ระบบวิเคราะห์ข้อมูลอนุกรมเวลาด้วยเทคนิคทางสถิติและการเรียนรู้ของเครื่อง. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์.

สายชล สินสมบูรณ์ทอง. (2561). การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการทำนายผลการเป็นโรคเบาหวาน. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 26(2), 12–18.

สุรัตน์ รุ่งสว่าง. (2561). พยาบาลคัดแยกประเภทผู้ป่วย: จากกระบวนการหลักสู่การปฏิบัติ. วารสารวิชาการสุขภาพภาคเหนือ, 5(2), 45–55.

Boyle, J., Jessup, M., Crilly, J., Green, D., Lind, J., Wallis, M., & Fitzgerald, G. (2012). Predicting emergency department crowding using time-series analysis. American Journal of Emergency Medicine, 176(6), 540–548.

James, G., Witten, D., Hastie, T., & Tibshirani, R. (2013). An introduction to statistical learning. New York, NY: Springer.

Lawrance, A. J. (2013). Exploratory graphics for financial time series volatility. Journal of the Royal Statistical Society: Series C (Applied Statistics), 62(5), 669–686.

Montgomery, D. C., Peck, E. A., & Vining, G. G. (2012). Introduction to linear regression analysis (5th ed.). Hoboken, NJ: Wiley.

Sakchan, L., & Boonlueo, N. (2021). Studying characteristics of Huay Saneng and predicting water levels by comparison with regression models. Information Technology Journal, 17(2), 34–45.

Zarei, E., Daneshkohan, A., Pouragha, B., Marzban, S., & Arab, M. (2015). An empirical study of the impact of service quality on patient satisfaction in private hospitals. Global Journal of Health Science, 7(1), 1–9.

ประวัติผู้เขียนบทความ

นาย ชนาธิป ฉัตรวิไลลักษณ์
แขนงวิชาเทคโนโลยีดิจิทัล, สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช
บางพูด ปากเกร็ด นนทบุรี 11120
ที่อยู่ 80/5 ม.3 ต.ห้วยถั่วเหนือ อ.หนองบัว จ.นครสวรรค์ 60110
โทรศัพท์ 0894398647
E-mail n.chanatip@hotmail.com
งานวิจัยที่สนใจ เกี่ยวกับปัญญาประดิษฐ์(AI) และการเรียนรู้ของเครื่อง(Machine Learning)

รองศาสตราจารย์ ดร.วฤษาย์ ร่มสายหยุด
แขนงวิชาเทคโนโลยีดิจิทัล, สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช
บางพูด ปากเกร็ด นนทบุรี 11120
โทรศัพท์ 025048191-3
E-mail walisa.rom@stou.ac.th
งานวิจัยที่สนใจ เกี่ยวกับปัญญาประดิษฐ์(AI) และการเรียนรู้ของเครื่อง(Machine Learning)

การพัฒนาเครื่องตัดกล้วยกวนอัตโนมัติควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์
Design and Development of an Automatic Banana Chewy Cutting Machine Controlled by a Microcontroller

อลงกรณ์ ฉัตรเมืองปัก[1*] ชลาลัย วงเวียน[1] และ ศุภกิจ พยายาม[1]
[1]คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี

Alongkorn Chatmuangpak [1*] Chalalai Wongwian[1] and Supakit Payayam[1]
[1]Faculty of Engineering and Industrial Technology, Phetchaburi Rajabhat University

วันที่รับบทความ 10 กรกฎาคม 2568
วันแก้ไขบทความ 16 กรกฎาคม 2568
วันตอบรับบทความ 12 ธันวาคม 2568

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและพัฒนาเครื่องตัดกล้วยกวนอัตโนมัติควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิต ลดการใช้แรงงานคน และสร้างมาตรฐานขนาดของกล้วยกวนให้สม่ำเสมอ เครื่องต้นแบบที่พัฒนาขึ้นออกแบบให้สามารถตัดกล้วยกวนได้ทั้งแนวยาวและแนวกว้างในกระบวนการเดียว โดยใช้ชุดใบมีดตัด 2 ชุด และใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุมการทำงานของมอเตอร์และเซนเซอร์ทั้งหมด เพื่อให้ถาดกล้วยกวนสามารถเคลื่อนที่และหมุนเปลี่ยนทิศทางการตัดได้อย่างอัตโนมัติ ผลการทดสอบพบว่าเครื่องตัดกล้วยกวนอัตโนมัติสามารถผลิตกล้วยกวนได้ 136 ชิ้นต่อถาด ใช้เวลาในการทำงานต่อรอบ 54 วินาที หรือคิดเป็นอัตราการผลิต 8,976 ชิ้นต่อชั่วโมง (66 กิโลกรัม) และ 528 กิโลกรัมต่อวัน ซึ่งมีประสิทธิภาพสูงกว่าการตัดด้วยแรงงานคนถึงร้อยละ 121.25 ขนาดของชิ้นกล้วยกวนที่ได้มีความสม่ำเสมอ โดยแต่ละชิ้นมีขนาดกว้าง 1.5 เซนติเมตร ยาว 3 เซนติเมตร และสูง 1 เซนติเมตร ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพพลังงานจากการทำงานต่อเนื่อง 1 ชั่วโมง พบว่าปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าสะสม 0.4901 กิโลวัตต์-ชั่วโมง (kWh) คิดเป็นต้นทุนค่าไฟฟ้าเฉลี่ย 1.93 บาทต่อชั่วโมง และมีค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (Specific Energy Consumption: SEC) เท่ากับ 0.0074 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อกิโลกรัม (kWh/kg) หรือเทียบเท่า 0.0267 เมกะจูลต่อกิโลกรัม (MJ/kg) ซึ่งจัดอยู่ในระดับต่ำมากสำหรับเครื่องจักรขนาดเล็กในงานแปรรูปอาหาร ซึ่งจัดอยู่ในระดับต่ำสำหรับเครื่องจักรขนาดเล็กในงานแปรรูปอาหาร จากการวิเคราะห์ผลการทดสอบพบว่า ระบบควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถทำให้เครื่องจักรทำงานได้อย่างต่อเนื่องและมีความแม่นยำสูง สามารถลดความคลาดเคลื่อนของขนาดชิ้นงานและลดการสัมผัสโดยตรงระหว่างผู้ปฏิบัติงานกับผลิตภัณฑ์ ช่วยยกระดับคุณภาพและความปลอดภัยของกระบวนการผลิต เครื่องตัดกล้วยกวนอัตโนมัติที่พัฒนาขึ้นจึงมีศักยภาพในการนำไปประยุกต์ใช้กับอุตสาหกรรมแปรรูปอาหารขนาดย่อมและวิสาหกิจชุมชน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตและยกระดับมาตรฐานผลิตภัณฑ์

คำสำคัญ: เครื่องตัดกล้วยกวน ไมโครคอนโทรลเลอร์ กล้วยกวน ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ

ABSTRACT

The objective of this research was to design and develop an automatic banana chewy cutting machine controlled by a microcontroller to increase production efficiency, reduce manual labor, and standardize the product size. The prototype was designed to cut the product both longitudinally and transversely in a single process using two sets of cutting blades. A microcontroller controls the operation of all motors and sensors, enabling the product tray to move and rotate automatically to change cutting directions. The performance test results revealed that the automatic machine could produce 136 pieces per tray with a cycle time of 54 seconds. This corresponds to a production rate of 8,976 pieces per hour (66 kg/hr.) or 528 kg per day, representing a 121.25% increase in efficiency compared to manual labor. The cut pieces were consistent in size, with dimensions of 1.5 cm in width, 3 cm in length, and 1 cm in height. Energy efficiency analysis over one hour with a total accumulated energy consumption of 0.4901 kWh. The average electricity cost was calculated at 1.93 THB per hour. The Specific Energy Consumption (SEC) was determined to be 0.0074 kWh/kg, equivalent to 0.0267 MJ/kg, which is considered very low for small-scale food processing machinery. The analysis concluded that the microcontroller-based control system enables continuous and highly precise operation. It minimizes dimensional errors and reduces direct contact between operators and the product, thereby enhancing the quality and safety of the production process. Consequently, the developed automatic banana chewy cutting machine demonstrates significant potential for application in small-scale food processing industries and community enterprises to improve production efficiency and product standards.

Keywords: Automatic Banana Chewy Cutting Machine, Microcontroller, Banana Chewy, Specific Energy Consumption

1. บทนำ

กล้วยเป็นแหล่งของอาหารเสริมในชีวิตประจำวัน เพราะกล้วยอุดมด้วยโภชนาการ โดยมีองค์ประกอบของคาร์โบไฮเดรต ไวตามินต่าง ๆ เช่น บี 1 บี 2 บี 3 และบี 6 และแคโรทีน อีกทั้งยังเป็นแหล่งของธาตุอาหารโพแทสเซียมที่มีบทบาทสำคัญในการช่วยให้การทำงานของระบบต่าง ๆ ในร่างกายเป็นปกติ เช่น ระบบประสาทและกล้ามเนื้อ เป็นต้น ซึ่งผู้คนในอดีตของเอเชียตะวันออกเฉียงใต้และเอเชียใต้ได้ใช้กล้วยเป็นแหล่งที่มาของธาตุอาหารเพื่อโภชนาการ และรวมถึงการเป็นอาหารเสริมให้ทารกทดแทนนมแม่อีกด้วย (ดวงจันทร์ เฮงสวัสดิ์, 2557)

จังหวัดเพชรบุรีมีภูมิประเทศเป็นภูเขาและที่ราบสูง ที่ราบลุ่มแม่น้ำ และที่ราบชายฝั่งทะเล ส่งผลให้จังหวัดเพชรบุรีมีความอุดมสมบูรณ์ในการทำเกษตรกรรมและประมง ในปี 2565 เพชรบุรีมีพื้นที่เกษตรกรรม 825,612 ไร่ ผลิตผลที่สำคัญของเพชรบุรีในกลุ่มผักและผลไม้ ได้แก่ ตาลโตนด ชมพู่เพชรสายรุ้ง อ้อย กล้วย กล้วยหอมทอง มะพร้าว สับปะรด กลุ่มเมล็ดพืช เช่น ข้าว ข้าวโพด ถั่วเหลือง กลุ่มพืชใบพืชสมุนไพรและเครื่องเทศ ได้แก่ ยาสูบ หอมแดง กลุ่มประมง ได้แก่ ปลา กุ้ง หมึก ดังนั้นกระบวนการแปรรูปทางการเกษตรจึงมีความสำคัญต่อเศรษฐกิจและการประกอบอาชีพเกษตรกรรมและกสิกรรมในจังหวัดเพชรบุรีอย่างมาก สำหรับกล้วยซึ่งเป็นเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญ นิยมบริโภค หาได้ง่ายและมีตลอดปี แต่มีอายุการเก็บรักษาสั้น (จารุวรรณ กุลวิศว และคณะ, 2550: เจิมธง ปรารถนารักษ์ และคณะ, 2567) นอกเหนือจากการบริโภคในรูปกล้วย

สดแล้ว ส่วนใหญ่จะนิยมแปรรูปโดยการตากแห้ง เชื่อม และกวน กรณีของกล้วยกวน พบว่าในขั้นตอนการผลิตที่เป็นปัญหามากที่สุด คือ การตัดกล้วยกวนให้เป็นชิ้น ๆ เพื่อบรรจุห่อ โดยใช้กรรไกรตัดออกทีละชิ้น ทำให้ได้ขนาดที่ไม่ได้มาตรฐาน ใช้เวลานาน และมีการปนเปื้อนขณะตัด

จากการศึกษาข้อมูลผู้วิจัยพบว่า การผลิตขนมกล้วยกวนในขั้นตอนการตัดนั้น ต้องใช้คนงานจำนวนมากและการตัดด้วยมีดตัดเป็นระยะเวลานานอาจทำให้คนงานเกิดการบาดเจ็บสะสมได้เนื่องจากลักษณะของขนมกล้วยกวนจะมีความหนาและหนืดทำให้ตัดได้ยากอีกทั้งยังใช้เวลานาน รวมถึงในการตัดด้วยคนงานนั้นจะได้ขนาดที่ไม่เป็นมาตรฐานซึ่งจะส่งผลต่อขั้นตอนการห่อขนมต่อไป ทั้งนี้ปัจจุบันไมโครคอนโทรลเลอร์มักถูกนำมาใช้ในระบบ การหั่น สับ ปั่น หรือคัดแยกวัตถุดิบ ที่ต้องการความแม่นยำสูงในระดับมิลลิเมตร เช่น เครื่องตัดเนื้อ เครื่องหั่นผัก เครื่องป้อนวัตถุดิบแบบต่อเนื่อง ซึ่งล้วนใช้หลักการเดียวกันกับเครื่องตัดกล้วยกวนที่ต้องควบคุมทั้งการป้อนและแรงตัดพร้อมกัน โดยไมโครคอนโทรลเลอร์ทำหน้าที่เป็น “สมองกล” ของเครื่อง โดยควบคุมการทำงานของอุปกรณ์หลัก ดังนี้ ระบบขับเคลื่อนใบมีด (Cutting Motor Control) ระบบป้อนกล้วย (Feeding System) ระบบตรวจจับชิ้นงาน (Object Detection System) (Fellows, 2009) ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะทำการพัฒนาเครื่องตัดกล้วยกวนอัตโนมัติควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อเป็นการสนับสนุนผลผลิตจากการแปรรูปกล้วยให้มีมาตรฐานมากยิ่งขึ้น

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1) เพื่อพัฒนาเครื่องตัดกล้วยกวนควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์
2) หาประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องเทียบกับการทำงานโดยใช้คน
3) วิเคราะห์อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานของเครื่องตัดกล้วยกวนควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์

3. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

3.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller)

ไมโครคอนโทรลเลอร์ เป็นอุปกรณ์ควบคุมขนาดเล็กที่สามารถควบคุมอุปกรณ์ภายนอกได้ โดยมีความสามารถที่คล้ายคลึงกับระบบคอมพิวเตอร์ โครงสร้างโดยทั่วไปของไมโครคอนโทรลเลอร์นั้น สามารถแบ่งออกมาได้เป็น 5 ส่วนใหญ่ๆ ดังต่อไปนี้ 1. หน่วยประมวลผลกลางหรือซีพียู (Central Processing Unit) 2. หน่วยความจำ (Memory) สามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ หน่วยความจำที่มีไว้สาหรับเก็บโปรแกรมหลัก (Program Memory) และหน่วยความจำข้อมูล (Data Memory) 3. ส่วนติดต่อกับอุปกรณ์ภายนอก หรือพอร์ต (Port) มี 2 ลักษณะคือ พอร์ตอินพุต (Input Port) และพอร์ตส่งสัญญาณหรือพอร์ตเอาต์พุต (Output Port) 4. ช่องทางเดินของสัญญาณ หรือบัส (BUS) คือเส้นทางการแลกเปลี่ยนสัญญาณข้อมูลระหว่าง ซีพียู หน่วยความจำและพอร์ต และ 5. วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกา (พนัส นัถฤทธิ์, 2563)

การนำไมโครคอนโทรลเลอร์มาใช้ควบคุมระบบเครื่องตัดกล้วยกวนมีความสำคัญในหลายด้าน ทั้งในเชิงเทคโนโลยี ประสิทธิภาพการผลิต และการพัฒนาต่อยอดเชิงอุตสาหกรรม ดังนี้ 1. ด้านความแม่นยำและความสม่ำเสมอของการตัด ไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถควบคุมการทำงานของมอเตอร์และใบมีดด้วยสัญญาณดิจิทัลที่มีความละเอียดสูง ช่วยให้การตัดกล้วยมีขนาดชิ้นที่สม่ำเสมอ โดยสามารถตั้งค่าความเร็วรอบหรือความหนาชิ้นผ่านโปรแกรมได้ (Mazidi, Mazidi, & McKinlay, 2015) 2. ด้านความยืดหยุ่นและการปรับเปลี่ยนการทำงาน การใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ช่วยให้ผู้ใช้งานสามารถปรับพารามิเตอร์การทำงาน เช่น ความเร็วสายพาน, ความเร็วรอบใบมีด หรือความหนาชิ้นตัด ได้ง่ายผ่านโปรแกรมหรือแผงควบคุม (Banzi & Shiloh, 2014) ทำให้เครื่องสามารถใช้งานกับกล้วยที่มีความสุกต่างระดับ หรือขนาดผลต่างกันได้โดยไม่ต้องปรับทางกลบ่อยครั้ง 3. ด้านความปลอดภัยและการตรวจจับอัตโนมัติ ด้วยความสามารถของไมโครคอนโทรลเลอร์ในการ

อ่านค่าจากเซนเซอร์ เช่น เซนเซอร์ตรวจจับชิ้นงาน (infrared sensor) หรือสวิตช์จำกัดตำแหน่ง (limit switch) เครื่องสามารถหยุดทำงานอัตโนมัติเมื่อไม่มีวัตถุในสายพาน หรือเมื่อเกิดความผิดปกติ เช่น การติดขัดของกล้วยในระบบตัด ช่วยลดความเสี่ยงจากการบาดเจ็บและความเสียหายของอุปกรณ์ (Franklin, Powell, & Emami-Naeini, 2015) 4. ด้านประสิทธิภาพและการบันทึกข้อมูลการผลิต ไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถเชื่อมต่อกับอุปกรณ์เสริม เช่น หน้าจอ LCD, โมดูล SD Card หรือ Wi-Fi Module เพื่อบันทึกข้อมูลการทำงาน เช่น จำนวนชิ้นที่ตัดได้ต่อรอบ เวลาเฉลี่ยต่อการผลิตหนึ่งชุด และอัตราความผิดพลาด ซึ่งเป็นข้อมูลสำคัญในการปรับปรุงประสิทธิภาพและควบคุมคุณภาพในอนาคต (Mazidi et al., 2015) 5. ด้านการประหยัดพลังงานและลดต้นทุน ระบบควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถบริหารการทำงานของมอเตอร์และส่วนประกอบไฟฟ้าให้เหมาะสมกับภาระงานจริง เช่น การปรับลดรอบมอเตอร์เมื่อไม่มีการป้อนวัตถุดิบ ทำให้ประหยัดพลังงานและลดการสึกหรอของเครื่องจักร (Fellows, 2009)

3.2 การคำนวณเชิงวิศวกรรม (Engineering Computations)

งานวิจัยนี้ได้ทำการคำนวณเชิงวิศวกรรมในระบบส่งกำลังด้วยสายพาน ดังนี้

3.2.1 อัตราทดของระบบสายพาน (Speed Ratio)

$$i = \frac{D_2}{D_1} = \frac{N_1}{N_2} \tag{1}$$

โดย

i อัตราทดรอบ (Speed ratio)

D_1 เส้นผ่านศูนย์กลางล้อสายพาน ตัวขับ (Driver pulley) (นิ้ว)

D_2 เส้นผ่านศูนย์กลางล้อสายพาน ตัวตาม (Driven pulley) (นิ้ว)

N_1 ความเร็วรอบของล้อขับ (รอบต่อนาที)

N_2 ความเร็วรอบของล้อตาม (รอบต่อนาที)

3.2.2 ความเร็วรอบของล้อตาม (Driven Pulley Speed)

$$N_2 = N_1 \times \frac{D_1}{D_2} \tag{2}$$

โดย

D_1 เส้นผ่านศูนย์กลางล้อสายพาน ตัวขับ (Driver pulley) (นิ้ว)

D_2 เส้นผ่านศูนย์กลางล้อสายพาน ตัวตาม (Driven pulley) (นิ้ว)

N_1 ความเร็วรอบของล้อขับ (รอบต่อนาที)

N_2 ความเร็วรอบของล้อตาม (รอบต่อนาที)

3.2.3 ความเร็วเชิงเส้นของสายพาน (Belt Linear Speed)

$$v = \frac{\pi D_1 N_1}{60} \tag{3}$$

โดย

v ความเร็วเชิงเส้นของสายพาน (Belt linear speed) (เมตรต่อวินาที)

D_1 เส้นผ่านศูนย์กลางล้อขับ (เมตร)

N_1 ความเร็วรอบล้อขับ (รอบต่อนาที)

3.3.4 แรงบิด (Torque)

พลังงานสัมพันธ์กับความเร็วเชิงมุมโดย

$$T = \frac{P}{\omega} \text{ โดย } \omega = \frac{2\pi N}{60} \quad (4)$$

ดังนั้น

$$T = \frac{P\ (W)}{2\pi(N/60)} = \frac{30\ P}{\pi\ N} \quad (5)$$

โดย

T แรงบิด (N·m)

P กำลัง (W)

N ความเร็วรอบ (rpm)

ω ความเร็วเชิงมุม (rad/s)

3.3 ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (Specific Energy Consumption)

ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (Specific Energy Consumption, SEC) แสดงถึงค่าความสิ้นเปลืองพลังงานในกระบวนการใดๆ เทียบต่อหน่วยผลผลิตที่ได้ กรณีเครื่องตัดกล้วย ค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ คือ อัตราส่วนระหว่างปริมาณพลังงานที่ใช้ในกระบวนการตัดกล้วยเทียบกับหน่วยผลผลิตที่ได้ ดังสมการที่ 6

$$SEC = \frac{E_{total}}{M_p} \quad (6)$$

โดย

SEC ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (kWh/kg)

E_{total} พลังงานไฟฟ้ารวมที่ใช้ในกระบวนการ (kWh)

M_p มวลของผลิตภัณฑ์

3.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การพัฒนาเครื่องตัดกล้วยกวนอัตโนมัติควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ เป็นแนวทางสำคัญในการยกระดับกระบวนการผลิตขนมไทยพื้นบ้านให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น ลดการใช้แรงงานคน และเพิ่มความปลอดภัยในการทำงาน โดยมีงานวิจัยหลายฉบับที่ได้ศึกษาหรือออกแบบเครื่องจักรลักษณะนี้ ทั้งในประเทศและต่างประเทศ ดังรายละเอียดต่อไปนี้

จักรพงษ์ ทองแผน ได้พัฒนาเครื่องตัดกล้วยกวนที่ทำงานโดยใช้มอเตอร์ขับเคลื่อนเพลาที่ติดตั้งใบมีดจำนวน 2 ชุด ซึ่งจัดวางในแนวตั้งฉากกัน โดยมีการเว้นระยะห่างของใบมีดให้สอดคล้องกับขนาดของกล้วยกวนที่ต้องการตัด การทำงานเริ่มจากการดันถาดกล้วยกวนผ่านใบมีดชุดแรกเพื่อตัดในแนวยาว จากนั้นจึงกลับด้านถาดและดันผ่านใบมีดชุดที่สองเพื่อตัดในแนวขวาง ส่งผลให้ได้กล้วยกวนที่มีลักษณะเป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัส อย่างไรก็ตาม เครื่องดังกล่าวยังมีข้อจำกัดด้านความปลอดภัยต่อผู้ปฏิบัติงาน (จักรพงษ์ ทองแผน, 2551)

อนุสรณ์ สินสะอาด ได้ทำการวิจัยและสร้างเครื่องตัดกล้วยกวนขึ้นใหม่ เพื่อแก้ปัญหาความไม่สะอาดและขนาดชิ้นงานที่ไม่เท่ากันจากการตัดด้วยมือ โดยเครื่องนี้ใช้มอเตอร์กระแสสลับร่วมกับเฟืองทดและฐานใบมีด 2 ชุด ซึ่งจัดวางในแนวนอนและแนวตั้งตามลำดับ เครื่องสามารถตัดกล้วยกวนได้ 144 ชิ้นภายในเวลาเพียง 20 วินาที จุดเด่นของงานวิจัยนี้คือความปลอดภัยของผู้ใช้งาน มีระบบควบคุมด้วยสวิตช์แม่เหล็ก (Magnetic Switch) และรีเลย์ พร้อมติดตั้งเซนเซอร์เพื่อป้องกันอันตรายจากการทำงาน (อนุสรณ์ สินสะอาด, 2560)

รุ่งโรจน์ แก้วศรีงาม และจันทิมา หิรัญอ่อน ได้พัฒนาเครื่องตัดกล้วยกวนแบบกึ่งอัตโนมัติที่ใช้ระบบนิวแมติก (Pneumatic System) ร่วมกับชุดตัดแบบสองทิศทาง (Two-way Putty Banana Slicer) ซึ่งสามารถตัดได้ทั้งแนวตั้งและแนวนอน และปรับความหนาชิ้นได้ตั้งแต่ 3–10 มิลลิเมตร เครื่องดังกล่าวช่วยลดอาการเมื่อยล้าของผู้ปฏิบัติงาน ลดอุบัติเหตุจากการใช้แรงกดด้วยมือ และได้ขนาดของกล้วยกวนที่สม่ำเสมอมากขึ้น (รุ่งโรจน์ แก้วศรีงาม และจันทิมา หิรัญอ่อน, 2559)

นอกจากเครื่องตัดกล้วยกวนแล้ว ยังมีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้ระบบควบคุมอัตโนมัติในกระบวนการผลิตอาหาร โดย รัฐพล ดุลยะลา ได้ออกแบบและพัฒนาเครื่องตัดกระยาสารทแบบกึ่งอัตโนมัติ โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุมการทำงานหลักผ่านแมกเนติกคอนแทคเตอร์ (Magnetic Contactor) ผลการทดสอบพบว่าเครื่องสามารถลดเวลาในการตัดลงได้อย่างมีนัยสำคัญ และให้ชิ้นงานที่มีขนาดมาตรฐาน โดยมีประสิทธิภาพในการผลิตสูงถึง 68.29% เมื่อเทียบกับการทำงานของแรงงานคน (รัฐพล ดุลยะลา, 2563)

Sonawane และคณะ ได้ศึกษาการออกแบบและพัฒนาเครื่องหั่นกล้วยแบบโรตารี่สำหรับอุตสาหกรรมขนาดเล็ก โดยออกแบบให้สอดคล้องกับคุณสมบัติทางวิศวกรรมของพันธุ์กล้วย เช่น Nendran และ Dwarf Cavendish เครื่องดังกล่าวประกอบด้วยชุดป้อนวัตถุดิบ (Feeder Unit) ตลับใบมีดแบบโรตารี่ และระบบส่งกำลัง ผลการทดลองพบว่าเครื่องสามารถให้ความเร็วในการตัดที่สูงและได้ชิ้นกล้วยที่มีความสม่ำเสมอมากกว่าการตัดด้วยมือ อย่างไรก็ตาม ต้องมีการควบคุมความเร็วรอบและรูปแบบของระบบป้อนวัตถุดิบเพื่อป้องกันการติดขัดระหว่างการทำงาน (Sonawane et al., 2011)

Smith และ Jones ได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพของใบมีดตัดชนิดต่าง ๆ สำหรับการแปรรูปผลิตภัณฑ์อาหารที่มีลักษณะหนืดสูง (Viscoelastic Food) โดยพบว่าความเร็วเชิงเส้นของใบมีด (Linear Velocity) มีผลโดยตรงต่อคุณภาพของรอยตัด โดยแนะนำให้ใช้ความเร็วรอบที่เหมาะสมเพื่อลดแรงเสียดทานและการเกาะติดของผลิตภัณฑ์กับใบมีด ซึ่งเป็นแนวทางสำคัญในการกำหนดอัตราทดและรอบการทำงานของชุดใบมีดตัดในเครื่องตัดกล้วยกวนรุ่นใหม่ (Smith & Jones, 2020)

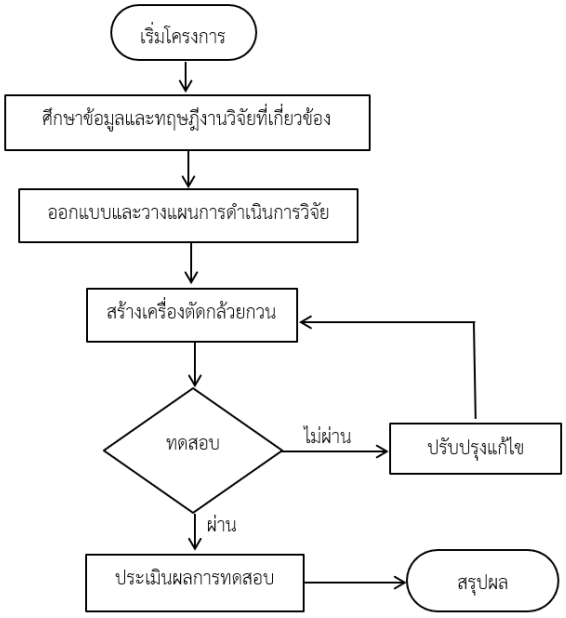
Sugiyanto และคณะ ได้ออกแบบและศึกษาประสิทธิภาพของเครื่องปอกและตัดมันฝรั่ง โดยมุ่งเน้นการคำนวณรอบการตัดและการประเมินกำลังของมอเตอร์ที่ใช้ขับเคลื่อน ซึ่งผลลัพธ์สามารถนำไปปรับใช้กับเครื่องตัดอาหารประเภทอื่น ๆ ได้เช่นกัน (Sugiyanto et al., 2022) ขณะที่ Mohamad และคณะ ได้ศึกษาการทดสอบเครื่องตัดกล้วยสำหรับผลิตกล้วยอบกรอบ โดยคำนวณความเร็วรอบและอัตราทดรอบของเครื่องจักร เพื่อให้ได้ความเร็วในการตัดที่เหมาะสมที่สุด ผลการทดลองยืนยันว่าการควบคุมรอบและอัตราทดเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของเครื่องตัดอย่างชัดเจน (Mohamad et al., 2023)

จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องทั้งหมด พบว่าการพัฒนาเครื่องตัดกล้วยกวนและเครื่องจักรในกระบวนการแปรรูปอาหารนั้นมีแนวโน้มมุ่งไปสู่การใช้ระบบอัตโนมัติและกึ่งอัตโนมัติมากขึ้น เพื่อเพิ่มความปลอดภัย ความแม่นยำ และประสิทธิภาพในการผลิต อีกทั้งยังมีการนำเทคโนโลยีควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ ระบบนิวแมติก และการคำนวณทางวิศวกรรม เช่น ความเร็วรอบและอัตราทด มาใช้ในการออกแบบเครื่องจักรอย่างแพร่หลาย ซึ่งแนวคิดเหล่านี้สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการพัฒนาเครื่องตัดกล้วยกวนในงานวิจัยปัจจุบันได้อย่างเหมาะสม

4. วิธีดำเนินการวิจัย

4.1 ขั้นตอนการดำเนินการ

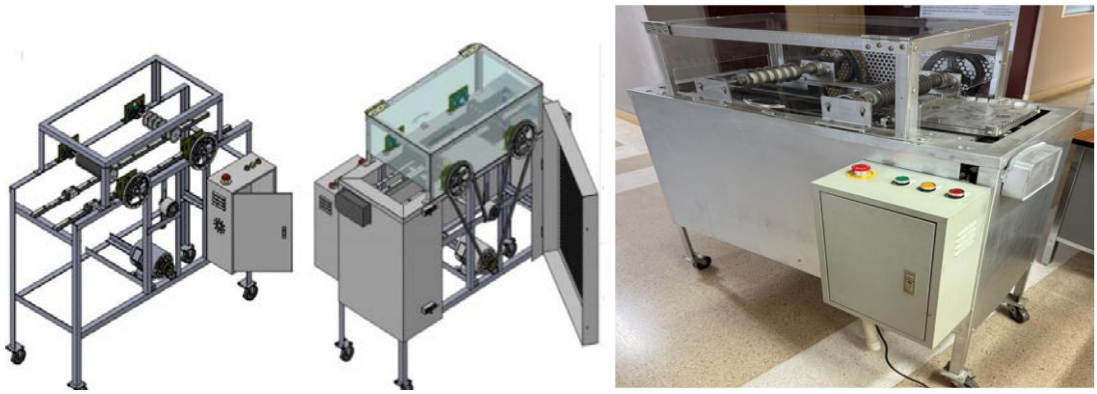
ขั้นตอนการดำเนินการแสดงดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 แสดงขั้นตอนการดำเนินการสร้างเครื่องตัดกล้วยกวน

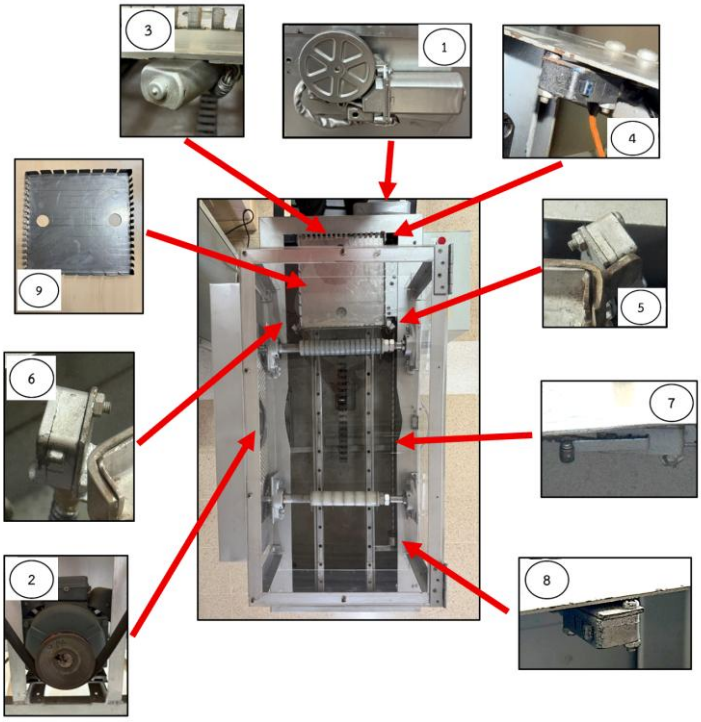
4.2 ออกแบบโครงสร้าง

แนวคิดในการออกแบบโครงสร้างและการทำงานของระบบ ผู้วิจัยมีความต้องการให้เครื่องตัดกล้วยกวนสามารถตัดกล้วยกวนทั้ง 2 แนว (ด้านกว้างและด้านยาว) โดยการสั่งงานเพียงครั้งเดียว และกล้วยกวนแต่ละชิ้นที่ถูกตัดจะต้องมีขนาดกว้าง 1.5 เซนติเมตร ยาว 3 เซนติเมตร และสูง 1 เซนติเมตร โดยการออกแบบและพัฒนาจะใช้มีดตัดจำนวน 2 ชุด ใช้ระบบสั่งการทำงานด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อให้ถาดหมุนเปลี่ยนทิศทางการตัด มีลิมิตสวิทซ์ จำนวน 5 ตัว เพื่อควบคุมตำแหน่งการเคลื่อนที่และการทำงานของมอเตอร์ ระบบการให้กำลังใช้มอเตอร์ขับขนาด 1 แรงม้า (HP) มีกำลัง 746 วัตต์ มีความเร็วรอบที่ 1,450 รอบต่อนาที (rpm) ล้อตัวขับขนาด 3.5 นิ้ว ใช้มู่เลย์ 2 ตัว ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 7 นิ้ว และสายพานเพื่อหมุนชุดใบมีด และมู่เลย์ปรับความตึงหย่อน (Idler Pulley) 1 ตัว อยู่ระหว่าง มู่เลย์หมุนใบมีด ซึ่งโครงสร้างการออกแบบเป็นดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 แบบโครงสร้างเครื่องตัดกล้วยกวน

4.3 หลักการทำงาน



รูปที่ 3 ตำแหน่งมอเตอร์ และลิมิตสวิทซ์

จากรูปที่ 3 แสดงตำแหน่งการติดตั้งอุปกรณ์ต่าง ๆ ของเครื่องได้ดังต่อไปนี้

หมายเลข 1 มอเตอร์ขับเคลื่อนถาด หมายเลข 2 มอเตอร์ขับชุดใบมีด

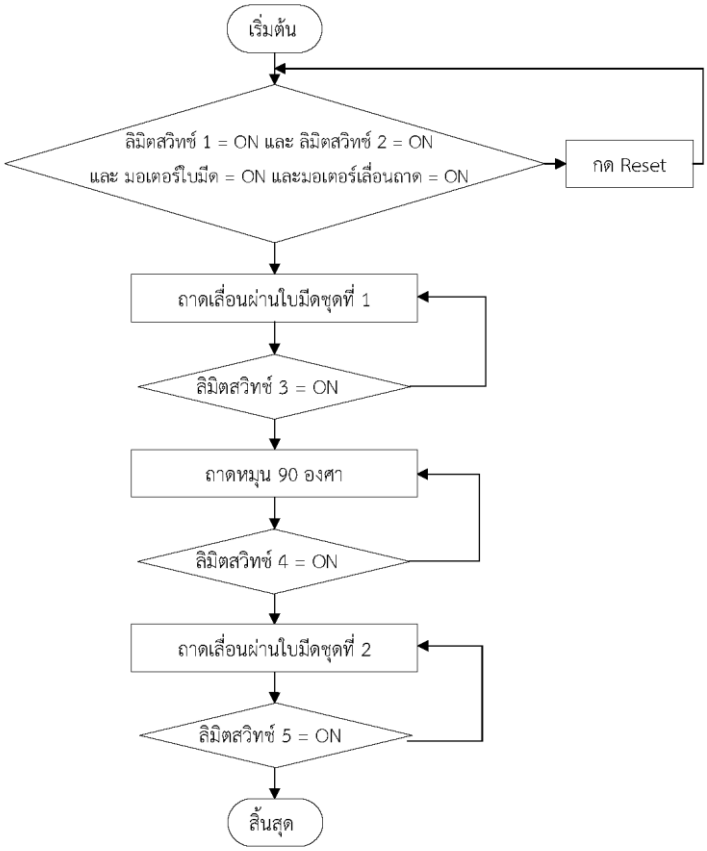
หมายเลข 3 มอเตอร์หมุนถาด หมายเลข 4 ลิมิตสวิทซ์ตัวที่ 1

หมายเลข 5 ลิมิตสวิทซ์ตัวที่ 2 หมายเลข 6 ลิมิตสวิทซ์ตัวที่ 3

หมายเลข 7 ลิมิตสวิทซ์ตัวที่ 4 หมายเลข 8 ลิมิตสวิทซ์ตัวที่ 5

หมายเลข 9 ถาดใส่ขนมกล้วยกวนขนาด 24 x 25 x 1 เซนติเมตร

จากรูปที่ 4 สามารถอธิบายการทำงานของเครื่องได้ดังต่อไปนี้ เมื่อกดปุ่ม start เครื่องจะทำงานโดยสถานะเริ่มทำงาน ถาดใส่ขนมกล้วยกวนจะแตะอยู่ที่ลิมิตสวิทซ์ตัวที่ 1 เพื่อสั่งให้มอเตอร์ใบมีดและมอเตอร์เลื่อนถาดทำงาน จากนั้นถาดจะเลื่อนผ่านใบมีดชุดที่ 1 และจะเลื่อนไปแตะลิมิตสวิทซ์ตัวที่ 2 เพื่อหยุดและหมุนถาด จากนั้นถาดที่หมดจะหมุนไปแตะลิมิตสวิทซ์ตัวที่ 4 เพื่อเลื่อนถาดผ่านใบมีดชุดที่ 2 เมื่อถาดเลื่อนผ่านใบมีดชุดที่ 2 ถาดจะเลื่อนไปแตะลิมิตสวิทซ์ตัวที่ 5 เพื่อสั่งให้ระบบหยุดทำงาน จากนั้นเมื่อกดปุ่ม restart ถาดจะเลื่อนกลับมาที่จุดเริ่มต้นโดยอัตโนมัติ



รูปที่ 4 Flowchart การทำงานของเครื่องตัดกล้วยกวน

4.4 การคำนวณหาปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้

การวัดค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ ดำเนินการโดยใช้เครื่องวัดและบันทึกสัญญาณคุณภาพไฟฟ้า (Power Quality Analyzer) ยี่ห้อ HIOKI รุ่น LR8401-20 (D) ดังแสดงในรูปที่ 5 โดยทำการตรวจวัดและบันทึกค่าตัวแปรทางไฟฟ้าที่สำคัญ ได้แก่ แรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้าจริง (Active Power) ที่เครื่องตัดกล้วยกวนใช้ในกระบวนการตัด ตลอดระยะเวลาการทดสอบ 1 ชั่วโมง การบันทึกข้อมูลกำหนดอัตราการสุ่มเก็บสัญญาณ (Data Logging Interval) ทุก ๆ 2 วินาที โดยเริ่มเดินเครื่องตัดกล้วยกวนพร้อมจับเวลา เมื่อสิ้นสุดระยะเวลาที่กำหนด จะทำการชั่งน้ำหนักผลิตภัณฑ์กล้วยกวนที่ตัดได้ทั้งหมด จากนั้นนำค่าพลังงานไฟฟ้าสะสมและปริมาณผลผลิตที่ได้ ไปคำนวณหาค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (Specific Energy Consumption: SEC)

รูปที่ 5 แสดงการวัดค่าสัญญาณคุณภาพไฟฟ้าด้วยเครื่อง HIOKI รุ่น LR8401-20 (D)

5. ผลการวิจัย

5.1 ผลการคำนวณเชิงวิศวกรรมในระบบส่งกำลังด้วยสายพาน

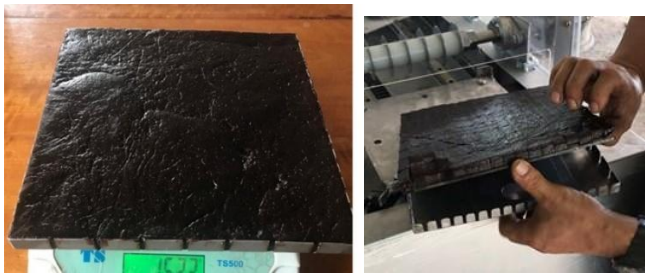
การออกแบบและพัฒนาเครื่องตัวกล้วยกวนใช้ชุดส่งกำลังซึ่งประกอบด้วยมอเตอร์ขนาด 1 แรงม้า มีกำลัง 746 วัตต์ ความเร็วรอบ 1,450 รอบต่อนาที ร่วมกับมู่เลย์ขับขนาด 3.5 นิ้ว และมู่เลย์ตามขนาด 7 นิ้ว โดยผลการวิเคราะห์ระบบส่งกำลังพบว่าเครื่องมีอัตราทดของระบบสายพานเท่ากับ 2 ส่งผลให้ความเร็วรอบของล้อตามลดลงเหลือ 725 รอบต่อนาที ซึ่งเหมาะสมสำหรับการเพิ่มแรงบิดให้เพียงพอต่อการตัดขนมกล้วยกวนที่มีความหนืดสูง ระบบดังกล่าวให้ความเร็วเชิงเส้นของสายพานเท่ากับ 6.75 เมตรต่อวินาที ซึ่งช่วยให้ชุดใบมีดหมุนด้วยความต่อเนื่อง

แรงบิดที่เพลามอเตอร์มีค่าประมาณ 5 นิวตันเมตร และเมื่อผ่านชุดส่งกำลังที่มีอัตราทดเท่ากับ 2 แรงบิดที่ล้อตามเพิ่มขึ้นเป็นประมาณ 10 นิวตันเมตร แสดงให้เห็นว่าระบบสามารถขยายแรงบิดให้เหมาะสมกับภาระงานจริง ลดภาระโหลดต่อมอเตอร์ และส่งผลให้มอเตอร์ทำงานในสภาวะที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อการลดปริมาณพลังงานที่ใช้โดยรวม

5.2 ผลการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องตัดกล้วยกวน

จากการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องตัดกล้วยกวนอัตโนมัติ โดยกำหนดให้ใช้วัตถุดิบกล้วยกวนที่มีขนาดตั้งต้นกว้าง 24 เซนติเมตร ยาว 25 เซนติเมตร และความหนา 1 เซนติเมตร เข้าสู่กระบวนการตัดตามรูปแบบที่กำหนด คือ การตัดแบ่งในแนวนอนจำนวน 17 แถว และแนวตั้งจำนวน 8 แถว พบว่าเครื่องสามารถตัดชิ้นงานได้ตามขนาดเป้าหมายที่ 3 x 1.5 x 1 เซนติเมตร ดังลักษณะชิ้นงานที่แสดงในรูปที่ 6

ผลการวิเคราะห์สมรรถนะด้านเวลาและกำลังการผลิตพบว่า เครื่องใช้เวลาในการตัดเฉลี่ย 54 วินาทีต่อถาด ได้ผลผลิตจำนวน 136 ชิ้นต่อถาด คิดเป็นน้ำหนัก 1 กิโลกรัมต่อถาด เมื่อคำนวณกำลังการผลิตสูงสุดต่อชั่วโมง (Capacity per Hour) พบว่าเครื่องสามารถรองรับการผลิตได้ 66 ถาดต่อชั่วโมง คิดเป็นปริมาณชิ้นงาน 8,976 ชิ้นต่อชั่วโมง หรือเทียบเท่าน้ำหนักรวม 66 กิโลกรัมต่อชั่วโมง รายละเอียดผลการทดสอบแสดงดังตารางที่ 1



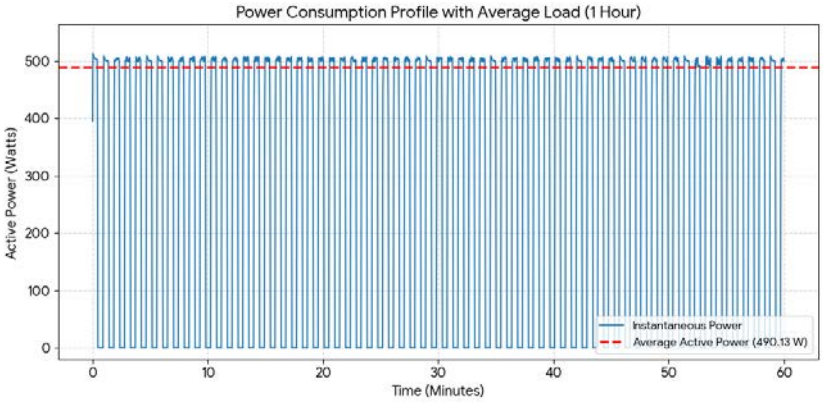
รูปที่ 6 แสดงผลการตัดกล้วยกวน

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบการตัดกล้วยกวนโดยใช้เครื่องตัดกล้วยกวนอัตโนมัติกับใช้คนตัด (ในระยะเวลา 1 ชั่วโมง)

การตัดชิ้นกล้วยกวน	จำนวน (ชิ้น)	น้ำหนักผลิตภัณฑ์ที่ได้ (kg)
คน	4,057	29.83
ต้นแบบเครื่องตัดชิ้นกล้วยอัตโนมัติ	8,976	66.14
ผลต่าง	4,919	36.31
ต้นแบบเครื่องตัดชิ้นกล้วยกวนอัตโนมัติมีประสิทธิภาพการทำงานมากกว่าคน คิดเป็น ร้อยละ 121.25		

5.3 ผลการวิเคราะห์ความสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้า

จากการตรวจวัดพฤติกรรมการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องตัดกล้วยกวนอัตโนมัติด้วยเครื่องวัดสัญญาณคุณภาพไฟฟ้า พบว่าลักษณะการใช้กำลังไฟฟ้า (Power Profile) แสดงดังรูปที่ 7 มีรูปแบบเป็นวัฏจักร (Cyclic Pattern) ที่สม่ำเสมอ สอดคล้องกับจังหวะการทำงานของระบบตัดอัตโนมัติ



รูปที่ 7 กราฟแสดงพฤติกรรมการใช้กำลังไฟฟ้า (Power Profile) ตลอดระยะเวลา 1 ชั่วโมง แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าที่ใช้จริง (เส้นทึบ) และค่าเฉลี่ยกำลังไฟฟ้าขณะทำงาน (เส้นประ)

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงตัวเลขจากค่าวัด พบว่า เครื่องมีอัตราการใช้กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยรวมอยู่ที่ 490.13 วัตต์ มีค่าเท่ากับ 0.4901 กิโลวัตต์-ชั่วโมง (kWh) มีสมรรถนะการผลิตเท่ากับ 66 กิโลกรัมต่อชั่วโมง สามารถคำนวณค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (Specific Energy Consumption: SEC) ได้เท่ากับ 0.0074 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อกิโลกรัม (kWh/kg) หรือเทียบเท่า 0.0267 เมกะจูลต่อกิโลกรัม (MJ/kg) โดยคำนวณต้นทุนพลังงานไฟฟ้าในการดำเนินงานของเครื่องตัดกล้วยกวน โดยอ้างอิงอัตราค่าไฟฟ้าประเภทบ้านพักอาศัยทั่วไปที่ 3.94 บาทต่อหน่วย (kWh) และพิจารณาจากปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่เครื่องใช้จริงตลอดกระบวนการผลิต 1 ชั่วโมง (0.4901 kWh) สามารถคิดต้นทุนพลังงานต่อเวลา (Energy Cost per Time) เมื่อเครื่องจักรทำงาน จะมีค่าใช้จ่ายด้านพลังงานเฉลี่ย ได้เท่ากับ 1.93 บาทต่อชั่วโมง

ความคุ้มค่าด้านต้นทุนพลังงาน โดยอ้างอิงอัตราค่าไฟฟ้าประเภทบ้านพักอาศัย (3.94 บาทต่อหน่วย) พบว่าเครื่องตัดกล้วยกวนมีค่าใช้จ่ายพลังงานเฉลี่ยเพียง 1.93 บาทต่อชั่วโมงเท่านั้น ซึ่งตัวเลขนี้ยืนยันได้ว่าเครื่องจักรที่พัฒนาขึ้นมีความประหยัดพลังงานสูงกว่าเครื่องจักรแปรรูปอาหารทั่วไปในท้องตลาดที่มีขนาดกำลังการผลิตใกล้เคียงกัน

สำหรับการวิเคราะห์ประสิทธิภาพพลังงานต่อหน่วยผลผลิต (Specific Energy Consumption: SEC) เมื่อเทียบกับกำลังการผลิตสูงสุดของเครื่องที่สามารถตัดกล้วยกวนได้ 8,976 ชิ้นต่อชั่วโมง หรือคิดเป็นน้ำหนักรวม 66 กิโลกรัมต่อชั่วโมง พบว่าค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (SEC) มีค่าเท่ากับ 0.0074 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อกิโลกรัม (kWh/kg) หรือเทียบเท่า 0.0267 เมกะจูลต่อกิโลกรัม (MJ/kg) ข้อมูลดังกล่าวชี้ให้เห็นว่า การนำระบบควบคุมอัตโนมัติมาประยุกต์ใช้ไม่เพียงแต่ช่วยเพิ่มกำลังการผลิตให้สูงกว่า 8,900 ชิ้นต่อชั่วโมง แต่ยังสามารถควบคุมต้นทุนพลังงานให้อยู่ในระดับที่ต่ำมาก (ประมาณ 2 บาทต่อชั่วโมง) ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญในการลดต้นทุนการผลิตรวมและเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันให้กับผู้ประกอบการวิสาหกิจชุมชนได้อย่างเป็นรูปธรรม

6. สรุปผลการวิจัย

เครื่องตัดกล้วยกวนที่พัฒนาขึ้นมีโครงสร้างหลักประกอบด้วยชุดใบมีดตัด 2 ชุด เพื่อให้สามารถตัดกล้วยกวนได้ทั้งแนวยาวและแนวกว้างภายในการสั่งงานเพียงครั้งเดียว ระบบขับเคลื่อนและหมุนถาดกล้วยกวนถูกควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยกำหนดโปรแกรมให้ควบคุมลำดับการทำงานของมอเตอร์และเซนเซอร์ต่าง ๆ อย่างเป็นระบบ ได้แก่ มอเตอร์ขับชุดใบมีด มอเตอร์เลื่อนถาด มอเตอร์หมุนถาด และลิมิตสวิตช์ควบคุมตำแหน่งการตัดทั้ง 5 จุด การออกแบบใช้หลักการคำนวณทางวิศวกรรม ได้แก่ การคำนวณอัตราทดรอบ ความเร็วเชิงเส้นของสายพาน และแรงบิดของมอเตอร์ โดยได้อัตราทด 2:1 ความเร็วเชิงเส้นของสายพาน 6.75 เมตรต่อวินาที แรงบิดที่เพลามอเตอร์ 5 นิวตันเมตร และแรงบิดที่ล้อตาม 10 นิวตันเมตร ซึ่งสอดคล้องกับการทำงานของเครื่องจักรขนาดเล็กที่ต้องการแรงบิดสูงในความเร็วต่ำ เพื่อให้การตัดเป็นไปอย่างต่อเนื่องและปลอดภัย เมื่อทดสอบการตัดกล้วยกวนขนาดแผ่น 24 × 25 × 1 เซนติเมตร พบว่าเครื่องใช้เวลาเฉลี่ย 54 วินาทีต่อการตัด 1 ถาด ได้จำนวนชิ้นกล้วยกวน 136 ชิ้น น้ำหนักรวม 1 กิโลกรัม หากทำงานต่อเนื่อง 1 ชั่วโมงสามารถผลิตได้ 66 ถาด คิดเป็น 8,976 ชิ้น หรือ 66 กิโลกรัมต่อชั่วโมง และเมื่อเปรียบเทียบกับแรงงานคนที่ตัดได้เพียง 4,057 ชิ้นต่อชั่วโมง (29.83 กิโลกรัม) พบว่าเครื่องต้นแบบมีประสิทธิภาพสูงกว่าการใช้แรงงานคนถึงร้อยละ 121.25 ในส่วนของผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพพลังงานจากการบันทึกข้อมูลการใช้งานจริง (Data Logging) ตลอด 1 ชั่วโมง พบว่าปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้สะสมมีค่าเพียง 0.4901 กิโลวัตต์-ชั่วโมง (kWh) คิดเป็นต้นทุนค่าใช้จ่ายไฟฟ้าเฉลี่ยประมาณ 1.93 บาทต่อชั่วโมง (อ้างอิงอัตรา 3.94 บาทต่อหน่วย) เมื่อนำมาคำนวณเป็นค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (Specific Energy Consumption: SEC) พบว่ามีค่าเท่ากับ 0.0074 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อกิโลกรัม (kWh/kg) หรือเทียบเท่า 0.0267 เมกะจูลต่อกิโลกรัม (MJ/kg) ซึ่งตัวเลขดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าเครื่องตัดกล้วยกวนต้นแบบมีการใช้พลังงานที่ต่ำมาก และมีประสิทธิภาพเชิงเศรษฐศาสตร์ที่สูง ซึ่งจะช่วยลดต้นทุนการผลิตต่อหน่วยให้กับผู้ประกอบการได้อย่างมีนัยสำคัญ

7. เอกสารอ้างอิง

Banzi, M., & Shiloh, M. (2014). Getting started with Arduino: The open-source electronics prototyping platform (3rd ed.). Maker Media, Inc.

Fellows, P. (2009). Food processing technology: Principles and practice (3rd ed.). Woodhead Publishing.

Franklin, G. F., Powell, J. D., & Emami-Naeini, A. (2015). Feedback control of dynamic systems (7th ed.). Pearson.

Mazidi, M. A., Mazidi, J. G., & McKinlay, R. D. (2015). The AVR microcontroller and embedded systems using assembly and C (2nd ed.). Pearson.

Mohamad, M., Onn, N., Arsam, M., Dzaid, H., & Rafie, M. (2023). Efficiency of Semi-Automatic Banana Horn Cutting Machine. Multidisciplinary Applied Research and Innovation, 4(2), 227–235.

Smith, D. R., & Jones, A. B. (2020). Cutting mechanism performance evaluation for viscoelastic food products. International Journal of Food Science and Technology, 55(3), 1145–1154.

Sonawane, S. P., Sharma, G. P., & Pandya, A. C. (2011). Design and development of power operated banana slicer for small scale food processing industries. Research in Agricultural Engineering, 57, 144–152.

Sugiyanto, D., Pangestu, R., Chan, Y., & Uyun, S. A. (2022). Design and Performance Testing of Semi-Automatic Machine for Potato Peeler-Cutter. Journal of Agricultural Engineering, 11(2), 325–338.

จารุวรรณ กุลวิศว, สมเกียรติ ปรัชญาวรากร, และ สมชาติ โสภณรณฤทธิ์. (2550). ผลของอุณหภูมิอบแห้งที่มีต่อสารระเหยง่ายและคุณภาพทางกายภาพของกล้วยแผ่น. วารสารวิจัยและพัฒนา มจธ., 30(4), 611–621.

จักรพงษ์ ทองแผน. (2551). เครื่องตัดกล้วยกวน. มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์: นครสวรรค์. DOI: https://doi.nrct.go.th/ListDoi/listDetail?Resolve_DOI=10.14457/NSRU.res.2008.24

เจิมธง ปรารถนารักษ์, จุติพร อินทะนิน, กชศร หัสโรค์, และ พรอริยา ฉิรินัง. (2567). ผลกระทบของห้องอบสองชั้นต่ออุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในกระบวนการอบแห้งกล้วยน้ำว้าด้วยโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์. วิศวกรรมสารเกษมบัณฑิต, 14(2), 1–24.

ดวงจันทร์ เฮงสวัสดิ์. (2557). กล้วย. วารสารอาหาร, 44(1), 15–18.

ถาวร อมตกิตต์. (2545). การส่งกำลังและการประหยัดพลังงานมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ. กรุงเทพฯ: เอ็มแอนด์อี.

พนัส นัถฤทธิ์. (2563). ไมโครคอนโทรลเลอร์และการประยุกต์ใช้ในงานควบคุมหุ่นยนต์. พิษณุโลก: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยนเรศวร.

รัฐพล ดุลยะลา. (2563). การออกแบบและพัฒนาเครื่องตัดกระยาสารทแบบกึ่งอัตโนมัติ. วารสารวิชาการ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์, 15(2), 117–131.

อนุสรณ์ สินสะอาด, และ คณะ. (2560). การพัฒนาศักยภาพผู้ประกอบการวิสาหกิจชุมชนกล้วยกวนกะทิสดแม่อุบล อำเภอเมือง จังหวัดนครสวรรค์ (รายงานการวิจัย). สำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัย และ นวัตกรรม.

อลงกรณ์ ฉัตรเมืองปัก อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี
38 หมู่ 8 ต.นาวุ้ง อ.เมือง จ.เพชรบุรี 76000
หมายเลขโทรศัพท์ 093-5199471 E-mail: alongkorn.cha@mail.pbru.ac.th
งานวิจัยที่สนใจ: การศึกษาการทำงาน ระบบอัตโนมัติ การยศาสตร์ วิศวกรรมความปลอดภัย

ชลาลัย วงเวียน อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี
38 หมู่ 8 ต.นาวุ้ง อ.เมือง จ.เพชรบุรี 76000
หมายเลขโทรศัพท์ 096-9429455 E-mail: chalalai.won@mail.pbru.ac.th
งานวิจัยที่สนใจ: สถิติวิศวกรรม เศรษฐศาสตร์วิศวกรรม การเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์

ศุภกิจ พยายาม สาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี
38 หมู่ 8 ต.นาวุ้ง อ.เมือง จ.เพชรบุรี 76000
หมายเลขโทรศัพท์ 090-7907592 E-mail: supakit5657@gmail.com
งานวิจัยที่สนใจ: ระบบอัตโนมัติ

คำแนะนำในการจัดเตรียมต้นฉบับสำหรับผู้เขียน

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช

1. ข้อมูลเบื้องต้นของวารสาร

ขอบเขตเนื้อหา ประกอบด้วย

1.1 วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

1.2 วิศวกรรม

1.3 เทคโนโลยีอุตสาหกรรม

1.4 เทคโนโลยีสารสนเทศ

1.5 สหวิทยาการ

2. นโยบายการพิจารณารับตีพิมพ์ผลงาน

2.1 คำแนะนำทั่วไป

2.1.1 ผลงานที่เสนอตีพิมพ์ต้องไม่เคยตีพิมพ์เผยแพร่ในวารสาร เอกสารการประชุม หรือสิ่งพิมพ์ใดมาก่อน (ยกเว้นรายงานวิจัย และวิทยานิพนธ์)

2.1.2 ผลงานที่เสนอตีพิมพ์ต้องไม่อยู่ในระหว่างการพิจารณารอตีพิมพ์ในวารสารหรือสิ่งตีพิมพ์อื่นใด ทัศนะและข้อคิดเห็นใดๆในบทความถือเป็นทัศนะของผู้เขียน กองบรรณาธิการไม่จำเป็นต้องเห็นพ้องด้วยกับทัศนะเหล่านั้นและไม่ถือว่าเป็นความรับผิดชอบของกองบรรณาธิการ กรณีมีการฟ้องร้องเรื่องการละเมิดลิขสิทธิ์ถือเป็นความรับผิดชอบของผู้เขียนแต่เพียงฝ่ายเดียว

2.1.3 ลิขสิทธ์บทความเป็นของผู้เขียนและสาขาวิทยาคาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช ได้รับการสงวนสิทธิตามกฎหมาย การตีพิมพ์ซ้ำต้องได้รับอนุญาตโดยตรงจากผู้เขียนและสาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสุขทัยธรรมาธิราช 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 การพิจารณากลั่นกรองบทความ

2.3.1 บทความที่จะได้รับพิจารณาตีพิมพ์ ต้องเป็นบทความที่แสดงให้เห็นถึงคุณภาพทางวิชาการและมีประโยชน์ทั้งในเชิงทฤษฎีเพื่อให้นักวิจัยสามารถนำไปพัฒนาหรือสร้างองค์ความรู้ใหม่ และประโยชน์ในเชิงปฏิบัติที่นักปฏิบัติสามารถนำไปประยุกต์ใช้ทั้งในภาคส่วนต่างๆ ทั้งภาครัฐ ภาคธุรกิจ และภาคสังคมและชุมชน

2.3.2 บทความที่จะได้รับการตีพิมพ์ต้องผ่านกระบวนการกลั่นกรองจากผู้ทรงคุณวุฒิ (Peer Reviewer) ในสาขาวิชาที่เกี่ยวข้อง จำนวน 3 ท่านและได้รับความเห็นชอบจากกองบรรณาธิการ

2.4 กระบวนการพิจารณากลั่นกรองบทความ (Peer Reviewer)

2.4.1 กองบรรณาธิการจะแจ้งให้ผู้เขียนทราบเมื่อกองบรรณาธิการได้รับบทความเรียบร้อยสมบูรณ์ กองบรรณาธิการจะตรวจสอบบทความว่าอยู่ในขอบเขตเนื้อหาวารสารหรือไม่ รวมถึงคุณภาพทางวิชาการและประโยชน์ทั้งในเชิงทฤษฎีและปฏิบัติ

2.4.2 ในกรณีที่กองบรรณาธิการพิจารณาเห็นควรรับบทความไว้พิจารณาตีพิมพ์ กองบรรณาธิการจะดำเนินการส่งบทความเพื่อกลั่นกรองต่อไป โดยจะส่งให้ผู้ทรงคุณวุฒิในสาขาวิชาที่เกี่ยวข้อง จำนวน 3 ท่าน ประเมินคุณภาพของบทความว่าอยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสมจะลงตีพิมพ์หรือไม่ โดยกระบวนการกลั่นกรองนี้ทั้งผู้ทรงคุณวุฒิ และผู้เขียนจะไม่ทราบข้อมูลของกันและกัน เมื่อผู้ทรงคุณวุฒิประเมินคุณภาพบทความแล้ว กองบรรณาธิการจะตัดสินใจโดยอิงตามข้อเสนอแนะของผู้ทรงคุณวุฒิว่าบทความนั้น 1 ควรนำลงตีพิมพ์ หรือควรจะส่งให้ผู้เขียนแก้ไขแล้วส่งให้ผู้ทรงคุณวุฒิประเมินอีกครั้งหนึ่ง หรือปฏิเสธ การตีพิมพ์

3. ข้อกำหนดต้นฉบับ

3.1 การจัดพิมพ์ต้นฉบับ

3.1.1 ผลงานที่เสนอพิจาณาตีพิมพ์ควรมีความยาวประมาณ 5 - 15 หน้ากระดาษ A4

3.1.2 บทความภาษาไทย พิมพ์ด้วย TH Sarabun New ขนาดตัวอักษร 14 Point บทความภาษาอังกฤษ พิมพ์ด้วย TH Sarabun New 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) ขนาคตัวอักษร 14 Point พิมพ์ 1 คอลัมน์ และต้องพิมพ์คำสำคัญต่อท้าย

3.1.7 บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ความยาว 1 ย่อหน้า (250 คำ) ขนาคตัวอักษร 14 P 1 คอลัมน์ และต้องพิมพ์คำสำคัญต่อท้าย

3.1.8 เนื้อหาพิมพ์ 1 คอลัมน์ ขนาดตัวอักษร 14 Point

3.1.9 ชื่อและหมายเลขกำกับตาราง ขนาดตัวอักษร 14 Point (ตัวหนา ให้พิมพ์ไว้บนตารางจัดชิดข้าย ใต้ตารางบอกแหล่งที่มา จัดชิดซ้าย

3.1.10 ชื่อภาพและหมายเลขกำกับภาพ ชื่อแผนภูมิและหมายเลขกำกับแผนภูมิ ขนาคตัวอักษร 14 Point (ตัวหนา) ให้พิมพ์ไว้ใต้ภาพ (ควรเป็นภาพที่ขัดเจน และควรแนบ File ภาพมาด้วย)

3.1.11 แผนภูมิ จัดกึ่งกลางหน้ากระดาษ ใต้ภาพ แผนภูมิบอกแหล่งที่มา จัดกึ่งกลางหน้ากระดาษ

3.1.12 ชื่อบรรณณุกรม/เอกสารอ้างอิง ขนาดตัวอักษร 14 Point (ตัวหนา) จัดชิดซ้าย ส่วนเนื้อหาบรรณาณุกรม/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 และความสละสลวยของการใช้ภาษา

3.2 ส่วนประกอบของบทความ

3.2.1 บทความวิชาการ หัวข้อและเนื้อหาควรชี้ประเด็นที่ต้องการนำเสนอให้ชัดเจนและมีลำดับเนื้อหาที่เหมาะสมเพื่อให้ผู้อ่านสามารถเข้าใจได้ชัดเจน รวมถึงมีการใช้ทฤษฎีวิเคราะห์และเสนอแนะประเด็นอย่างสมบูรณ์ โดยควรมีองค์ประกอบดังต่อไปนี้ (สามารถมีหัวข้อหรือองค์ประกอบที่แตกต่างได้)

(1) ชื่อเรื่อง (Title)

(2) บทคัดย่อ (Abstract)

สรุปเนื้อหาของบทความให้ได้ใจความชัดเจน กำหนดให้มีทั้งบทคัดย่อภาษาไทยและภาษาอังกฤษ โดยเขียนเป็นภาษาไทยก่อน ความยาว 1 ย่อหน้า ไม่เกิน 250 คำ

(3) คำสำคัญ (Keyword)

ระบุคำที่เป็นคำสำคัญของเนื้อหาเหมาะสำหรับนำไปใช้เป็นคำค้นในระบบฐานข้อมูล

(4) บทนำ (Introduction)

เป็นส่วนแนะนำและปูพื้นเรื่องเพื่อให้ผู้อ่านทราบข้อมูลเบื้องต้นของเนื้อหา เป็นการจูงใจให้ผู้อ่านเกิดความสนใจในเรื่องนั้น ๆ

(5) เนื้อหา (Body of Text)

เป็นส่วนหลักของเนื้อหาบทความ การจัดลำดับเนื้อหา ควรมีการวางแผนจัดโครงสร้างของเนื้อหาที่นำเสนอให้เหมาะสมกับธรรมชาติของเนื้อหานั้น การนำเสนอเนื้อหาควรมีความต่อเนื่องเพื่อช่วยให้ผู้อ่านเข้าใจสาระนั้นได้โดยง่าย

(6) สรุป (Conclusion)

เป็นการสรุปเนื้อหาในบทความทั้งหมดออกมาอย่างชัดเจน และกระชับโดยมีการสรุปปิดท้ายเนื้อหาที่เราได้นำเสนอไปแล้วว่ามีผลติ หรือผลเสียอย่างไร

(6) เอกสารอ้างอิง (Reference)

เขียนบรรณาณุกรมในรูปแบบ APA (American Psychological Association)

3.2.2 บทความวิจัย ควรมีการนำเสนอผลการวิจัยที่ได้รับอย่างเป็นระบบ โดยควรมีองค์ประกอบดังต่อไปนี้ (สามารถมีหัวข้อหรือองค์ประกอบที่แตกต่างได้)

(1) ชื่อเรื่อง (Title)

ชื่อเรื่องควรมีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ โดยพิมพ์ชื่อเรื่องเป็นภาษาไทยและตามด้วยชื่อเรื่องภาษาอังกฤษในบรรทัดต่อมา

(2) บทคัดย่อ (Abstract)

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

(3) คำสำคัญ (Keyword)

ระบุคำที่เป็นคำสำคัญของเนื้อหาเหมาะสำหรับนำไปใช้เป็นคำค้นในระบบฐานข้อมูล

(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)

ผสมผสานปรียบเทียบและตีความผลการวิจัยให้เข้ากับหลักทฤษฎี 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)

<u>ตัวอย่าง</u>

(เกียรติศักดิ์ เจริญวงศ์ศักดิ์, 2546, 64)

3.3.2 บรรณานุกรมท้ายบทให้ใช้รูปแบบ ดังนี้

(1) หนังสือ

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

<u>ตัวอย่าง</u>

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

(2) บทความจากวารสาร

ชื้อผู้แต่ง. (ปีที่พิมพ์). ชื่อบทความ. ชื่อวารสาร ปีที่(ฉบับที่), เลขหน้าที่อ้างถึง

<u>ตัวอย่าง</u>

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. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ชื่อมหาวิทยาลัย

<u>ตัวอย่าง</u>

สรรพงษ์ จันทเลิศ (2546) การสร้างเว็บไซต์ท่องเที่ยวของจังหวัดเชียงราย

วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

(4) เว็บเพจ

ชื่อผู้แต่งหรือหน่วยงานเจ้าของเว็บไซต์. (ปีที่จัดทำ). ชื่อเรื่อง. สืบค้นเมื่อจาก URL.

<u>ตัวอย่าง</u>

ชวนะ ภวภานันท์. (2548). ธุรกิจสปาไทยนำก้าวไกลไปกว่านี้. สืบค้นเมื่อ 25 ธันวาคม

2548, จาก https://www.businessthai.co.th/content.php?data=407720-Opinion

4. ข้อพิจารณาทางด้านจริยธรรม

คำนึงหลักจริยธรรมโดยเคารพในบุคคล (Respect to person) เช่น ยินยอม ความเป็นส่วนตัว การเก็บรักษาความลับ

5. การส่งต้นฉบับ

ผู้เขียนส่งต้นฉบับพร้อมไฟล์ (Microsoft Word) และแบบฟอร์มเสนอนำเสนอบทความเพื่อพิจารณาตีพิมพ์ไปที่ https://ph02.tci-thaijo.org/index.php/stouscitech เพื่อทำการลงทะเบียนสมาชิกวารสารและดำเนินการส่งบทความเข้าฐานข้อมูลระบบออนไลน์ของวารสาร จึงสามารถดาวน์โหลดคำแนะนำการได้ที่

https://ph02.tci-thaijo.org/index.php/stouscitech/about/submissions