

JOURNAL OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY AND

ENGINEERING

PIBULSONGKRAM RAJABHAT UNIVERSITY



วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและวิศวกรรม
มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม



ปีที่ 4 ฉบับที่ 2
พฤษภาคม - สิงหาคม

2565

ISSN 2697-5602(Print)
ISSN 2697-5629 (Online)



ข้อกำหนดมาตรฐาน วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและวิศวกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม

เพื่อให้วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและวิศวกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม เป็นวารสารที่มีคุณภาพได้มาตรฐานทางกองบรรณาธิการจึงมีข้อกำหนดของวารสารดังต่อไปนี้

1. วัตถุประสงค์

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและวิศวกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม เป็นวารสารที่มีวัตถุประสงค์เพื่อ ตีพิมพ์เผยแพร่บทความวิจัย บทความวิชาการ และบทความปริทรรศน์ที่มีคุณภาพโดยผ่านการพิจารณาจากคณะกรรมการผู้ทรงคุณวุฒิ โดยมีเนื้อหาครอบคลุมเกี่ยวข้องกับงานวิจัยในสาขา เทคโนโลยีอุตสาหกรรม วิศวกรรมศาสตร์ สหวิทยาการ วิทยาศาสตร์ นวัตกรรมและการออกแบบ รวมถึงงานวิจัยที่มีการบูรณาการศาสตร์ทางด้านวิศวกรรมและเทคโนโลยีอุตสาหกรรมในสาขาที่เกี่ยวข้อง อย่างไรก็ตามบทความที่ส่งเข้ามาเพื่อพิจารณาตีพิมพ์ในวารสารฯ จะต้องเป็นบทความที่ไม่เคยเผยแพร่ในวารสารหรือสิ่งพิมพ์ใดมาก่อน และจะต้องไม่อยู่ในระหว่างการพิจารณาตีพิมพ์ของวารสารหรือสิ่งพิมพ์อื่นๆ การละเมิดลิขสิทธิ์ถือเป็นการละเมิดลิขสิทธิ์ของผู้ส่งบทความโดยตรง

2. ครอบคลุมสาขาที่เกี่ยวข้อง

2.1 สาขาวิชาเทคโนโลยี เน้น เทคโนโลยีอุตสาหกรรมและนวัตกรรม ได้แก่ เทคโนโลยีไฟฟ้า เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์ เทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ เทคโนโลยีพลังงาน / พลังงานทดแทน เทคโนโลยีก่อสร้าง /โยธา เทคโนโลยีการผลิต มาตรฐาน วิศวกรรมซอฟต์แวร์ เทคโนโลยีเซรามิก การบริหารจัดการอุตสาหกรรมและเทคโนโลยี

2.2 สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ และวิทยาศาสตร์ประยุกต์

2.3 สาขาวิชาที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีอุตสาหกรรม และวิศวกรรม

3. การพิจารณาบทความ (Peer Review Process)

บทความที่ลงตีพิมพ์ในวารสารฯ จะต้องผ่านการพิจารณาให้ความเห็น ทบทวน และตรวจสอบวิพากษ์ วิจารณ์ ความถูกต้อง เหมาะสมทางวิชาการ จากผู้ทรงคุณวุฒิในสาขาวิชาที่เกี่ยวข้อง จำนวนอย่างน้อย 3 ท่าน ตอบบทความในรูปแบบพิชญพิจารณา (Peer-Reviewed) ก่อนลงตีพิมพ์ และเป็นการประเมินแบบการปกปิดสองทาง (Double blinded)



ขั้นตอนการประเมินบทความมีกระบวนการดังต่อไปนี้

1. ผู้เขียนส่งไฟล์บทความไปยังระบบวารสารอิเล็กทรอนิกส์ของวารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและวิศวกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม
2. กองบรรณาธิการดำเนินการแจ้งให้ผู้เขียนทราบ เมื่อกองบรรณาธิการได้รับไฟล์บทความเรียบร้อยแล้ว
3. กองบรรณาธิการดำเนินการตรวจสอบหัวข้อ บทคัดย่อ และเนื้อหาของบทความ รูปแบบการจัดพิมพ์บทความ ประเด็นทางจริยธรรม ตรวจสอบการคัดลอกบทความ (Plagiarism Checker) และความเหมาะสมและสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของวารสาร รวมถึงประโยชน์ในเชิงทฤษฎีและเชิงปฏิบัติ ในเบื้องต้น
4. ในกรณีที่กองบรรณาธิการพิจารณาเห็นควรรับไว้พิจารณาตีพิมพ์ กองบรรณาธิการจะดำเนินการจัดส่งบทความเพื่อทำการกลั่นกรองต่อไปโดย ส่งให้ผู้ทรงคุณวุฒิในสาขาที่เกี่ยวข้อง เพื่อตรวจสอบคุณภาพของบทความ ว่าอยู่ในระดับที่เหมาะสมที่จะลงตีพิมพ์หรือไม่ กระบวนการพิจารณากลั่นกรองนี้เป็นการประเมินแบบปกปิดสองทาง (Double blind review) กล่าวคือ จะไม่เปิดเผยชื่อผู้ส่งบทความให้ผู้ทรงคุณวุฒิทราบ และจะไม่เปิดเผยชื่อผู้ทรงคุณวุฒิให้ผู้เขียนทราบ และกองบรรณาธิการจะไม่เปิดเผยทั้งชื่อผู้เขียนและชื่อผู้ทรงคุณวุฒิให้บุคคลอื่น ทราบด้วยเช่นกัน
5. เมื่อบทความได้รับการทบทวน ประเมิน วิจัยแล้ว จากผู้ทรงคุณวุฒิ และมีความเห็นอย่างไร กองบรรณาธิการจะ ดำเนินการดังต่อไปนี้
 - กรณีมีความเห็นให้ ผู้เขียนแก้ไขบทความ (Revision Require) กองบรรณาธิการ จะจัดส่งผลการประเมิน รวมถึงคำแนะนำจากบรรณาธิการให้ผู้เขียน แก้ไขบทความ และเมื่อแก้ไขเสร็จแล้วให้ ส่งกลับคืนมายังบรรณาธิการ และพิจารณาใหม่อีกครั้งโดยอาจส่งให้ ผู้ทรงคุณวุฒิตรวจสอบผลการแก้ไข หรือ บรรณาธิการตรวจสอบ ด้วยตนเอง ซึ่งหากต้องมีการแก้ไขในรอบที่ สอง (round 2) ก็จะต้องดำเนินการส่งกลับไปยังผู้เขียนให้แก้ไข และตรวจสอบผลการแก้ไข จนกว่าจะมีเนื้อหาบทความสมบูรณ์
 - กรณีมีความเห็นให้ ปฏิเสธการรับตีพิมพ์ (Decline Submission) กองบรรณาธิการ จะส่งจดหมายแจ้งผลดังกล่าวให้ผู้เขียนรับทราบ พร้อมทั้งเหตุผลของการปฏิเสธการรับ
 - กรณีมีความเห็นให้ ตอรับการตีพิมพ์ (Accept Submission) กองบรรณาธิการ จะแจ้งผู้เขียนให้ทราบ และดำเนินการส่งไฟล์บทความเข้าสู่ขั้นตอนการปรับแก้ไขต้นฉบับ การพิสูจน์อักษร และการจัดรูปแบบเอกสารตามเทมเพลตบทความของวารสาร ก่อนนำไปเผยแพร่ โดยฝ่ายจัดการวารสาร

ทั้งนี้ กิจกรรมการพิจารณาบทความทั้งหมด ต้องดำเนินการผ่านทางระบบวารสารอิเล็กทรอนิกส์ของวารสาร ภายในระบบเว็บไซต์ Thai Journal Online (ThaiJO) URL: <https://www.tci-thaijo.org> ซึ่งรับผิดชอบดูแลระบบโดยศูนย์ TCI และ ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ (National Electronics and Computer Technology Center; NECTEC) เพื่อให้การทำงานเป็นระบบวารสารของวารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรมเป็นไปตามมาตรฐานสากล

4. กำหนดออกเล่มวารสาร

กำหนดออกวารสาร: ปีละ 3 ฉบับ คือ ฉบับที่ 1 ระหว่างเดือน มกราคม – เมษายน ฉบับที่ 2 ระหว่างเดือน พฤษภาคม – สิงหาคม และ ฉบับที่ 3 ระหว่างเดือน กันยายน-ธันวาคม

5. คำแนะนำสำหรับผู้ส่งบทความเพื่อตีพิมพ์

5.1 วิธีส่งบทความ เจ้าของบทความสามารถศึกษาข้อมูลเพิ่มเติม และส่งต้นฉบับบทความ ในรูปแบบไฟล์ word และรูปแบบไฟล์ PDF ได้ที่ระบบออนไลน์ของวารสารวิชาการ <https://www.tci-thaijo.org/index.php/psru-jite>

5.2 รูปแบบบทความที่ส่งกองบรรณาธิการเพื่อตีพิมพ์

6. จริยธรรมในการตีพิมพ์ผลงาน

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและวิศวกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม เป็นวารสารที่มีวัตถุประสงค์เพื่อ ตีพิมพ์เผยแพร่บทความวิจัย บทความวิชาการ และบทความปริทรรศน์ที่มีคุณภาพโดยผ่านการพิจารณาจากคณะกรรมการผู้ทรงคุณวุฒิ เพื่อนำเสนอแนวคิด นวัตกรรม และผลงานวิจัยใหม่ทางด้านเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและวิศวกรรม วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี โดยมีเนื้อหาครอบคลุมเกี่ยวข้องกับงานวิจัยในสาขาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม วิศวกรรมศาสตร์สาขาต่างๆ เช่น คอมพิวเตอร์ โลจิสติกส์ ไฟฟ้ากำลัง เครื่องกล โยธา อิเล็กทรอนิกส์ อุตสาหการ การผลิต การจัดการและโลจิสติกส์ เป็นต้น วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี นวัตกรรมเชรามิกส์ ออกแบบผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม และครุศาสตร์อุตสาหกรรม อีกทั้งยังรวมถึงงานวิจัยที่มีการบูรณาการศาสตร์ทางด้านวิศวกรรมและเทคโนโลยีอุตสาหกรรมในสาขาอื่นๆ มี 3 กลุ่ม คือ ผู้นิพนธ์ (Author) บรรณาธิการ (Editor) และผู้ประเมินบทความ (Reviewer) ซึ่งได้ปฏิบัติตามข้อกำหนดในบทบาทและหน้าที่อย่างเคร่งครัด โดยมีรายละเอียดดังนี้



7. บทบาทและหน้าที่ของผู้นิพนธ์ (Duties of Authors)

1. ผู้นิพนธ์ต้องได้รับความเห็นชอบในการส่งบทความจากผู้ร่วมนิพนธ์ (ถ้ามี)
2. ผู้นิพนธ์ต้องรับผิดชอบเกี่ยวกับลิขสิทธิ์ของต้นฉบับในทุกกรณี
3. ผู้นิพนธ์ที่มีชื่อปรากฏในบทความทุกคน ต้องเป็นผู้ที่มีส่วนในการดำเนินการวิจัยจริง
4. ผู้นิพนธ์ ต้องรับรองว่าผลงานที่ส่งมานั้นเป็นผลงานใหม่ และไม่เคยตีพิมพ์ที่ไหนมาก่อน
5. ผู้นิพนธ์ต้องรายงานข้อเท็จจริงที่เกิดขึ้นจากการทำวิจัย ไม่บิดเบือนข้อมูล หรือให้ข้อมูลที่เป็นเท็จ
6. ผู้นิพนธ์ต้องตรวจสอบจนมั่นใจว่ารายละเอียดทุกส่วนในบทความวิจัยที่จะตีพิมพ์ในวารสาร ถูกต้องและต้องเป็นไปตามหลักจริยธรรมสากลที่ได้รับการยอมรับ
7. ผู้นิพนธ์ต้องยอมรับคำวิจารณ์ และสามารถชี้แจงตอบกลับได้โดยมีข้อมูลสนับสนุนการวิจัยอย่างครบถ้วนสมบูรณ์
8. ผู้นิพนธ์ต้องอ้างอิงผลงานวิจัยของผู้อื่น หากมีการนำผลงานเหล่านั้นมาใช้ในผลงานของตัวเองจะต้องจัดทำรายการอ้างอิงท้ายบทความตามรูปแบบการเขียนเอกสารอ้างอิงใน “การเตรียมบทความ”
9. ผู้นิพนธ์ต้องเขียนบทความวิจัยให้ถูกต้องตามรูปแบบที่กำหนดใน “การเตรียมบทความ”

8. บทบาทและหน้าที่ของบรรณาธิการวารสาร (Duties of Editors)

1. บรรณาธิการวารสารมีหน้าที่พิจารณาคุณภาพของบทความ เพื่อตีพิมพ์เผยแพร่ในวารสาร
2. บรรณาธิการวารสารต้องดำเนินการทุกอย่างเพื่อให้มั่นใจในคุณภาพของบทความที่ตีพิมพ์ เพื่อรับรองคุณภาพของงานวิจัยที่ตีพิมพ์ และตระหนักว่าวารสารมีวัตถุประสงค์และมาตรฐานที่ชัดเจน
3. บรรณาธิการวารสารต้องชี้แจง หรือให้ข้อมูลเกี่ยวกับกระบวนการตรวจสอบประเมินบทความ (Peer review) อีกทั้งมีความพร้อมในการชี้แจงความเบี่ยงเบนต่าง ๆ จากกระบวนการตรวจสอบ
4. บรรณาธิการวารสารต้องดำเนินการเกี่ยวกับวารสารให้ได้ตามกำหนดการตีพิมพ์วารสารที่ระบุไว้
5. บรรณาธิการวารสารต้องตัดสินใจในการยอมรับหรือปฏิเสธบทความวิจัยเพื่อการตีพิมพ์
6. บรรณาธิการวารสารต้องมีช่องทางให้ผู้นิพนธ์อุทธรณ์ได้หากผู้นิพนธ์มีความคิดเห็นแตกต่างจากการตัดสินใจของบรรณาธิการ
7. บรรณาธิการวารสารต้องไม่เปิดเผยข้อมูลของผู้นิพนธ์ และผู้ประเมินบทความแก่บุคคลอื่น ๆ ที่ไม่เกี่ยวข้องในช่วงระยะเวลาของการประเมินบทความ

8. บรรณาธิการวารสารต้องไม่ปฏิเสธการตีพิมพ์บทความเพราะความสงสัยหรือไม่แน่ใจ โดยจะต้องหาหลักฐานมาพิสูจน์ข้อสงสัยนั้น ๆ ก่อน
9. บรรณาธิการวารสารต้องไม่เปลี่ยนแปลงการตัดสินใจในการตอบรับบทความที่ได้ปฏิเสธการตีพิมพ์ไปแล้ว
10. บรรณาธิการวารสารต้องพิจารณาตรวจสอบบทความในด้านการคัดลอกผลงานผู้อื่น
11. กรณีที่มีการปรับเปลี่ยนบรรณาธิการวารสาร ผู้ที่เข้ามารับตำแหน่งใหม่ต้องไม่กลับคำตัดสินใจเกี่ยวกับบทความที่บรรณาธิการวารสารคนก่อนตอบปฏิเสธไปแล้ว ยกเว้นมีการพิสูจน์ได้อย่างเหมาะสมและชัดเจน
12. หากบรรณาธิการวารสารตรวจพบการคัดลอกผลงานของผู้อื่นในกระบวนการประเมินบทความ บรรณาธิการวารสารต้องหยุดกระบวนการประเมิน และติดต่อผู้พิมพ์หลักทันทีเพื่อขอคำชี้แจง เพื่อประกอบการ ตอบรับ หรือ ปฏิเสธ การตีพิมพ์บทความนั้น ๆ
13. บรรณาธิการวารสารต้องไม่ตีพิมพ์บทความที่เคยตีพิมพ์ที่อื่นมาแล้ว
14. บรรณาธิการวารสารต้องมีระบบในการจัดการที่ไม่มีผลประโยชน์ทับซ้อนกับผู้พิมพ์และผู้ประเมินบทความรวมทั้งกองบรรณาธิการ
15. บรรณาธิการวารสารต้องสนับสนุนเสรีภาพในการแสดงความคิดเห็น และคงไว้ซึ่งความถูกต้องของผลงานทางวิชาการ อีกทั้งปกป้องมาตรฐานของทรัพย์สินทางปัญญา

9. บทบาทและหน้าที่ของผู้ประเมินบทความ (Duties of Reviewers)

1. ผู้ประเมินบทความต้องได้รับระบบปกป้องข้อมูลส่วนตัวของผู้ประเมินบทความ ยกเว้นกรณีที่มีการประเมินบทความแบบเปิด ซึ่งได้แจ้งให้ผู้พิมพ์และผู้ประเมินบทความรับทราบล่วงหน้า
2. ผู้ประเมินบทความต้องได้รับระบบที่ทำให้เกิดความมั่นใจได้ว่าบทความที่ส่งเข้ามาทำการประเมิน ได้รับการปกปิดความลับในระหว่างขั้นตอนการพิจารณาประเมิน
3. ผู้ประเมินบทความ ต้องรักษาความลับและไม่เปิดเผยข้อมูลของบทความที่ส่งมาเพื่อพิจารณาแก่บุคคลอื่น ๆ ที่ไม่เกี่ยวข้อง ในช่วงระยะเวลาของการประเมินบทความ
4. หลังจากได้รับบทความจากบรรณาธิการวารสาร และผู้ประเมินบทความตระหนักว่าตัวเองอาจมีผลประโยชน์ทับซ้อนกับผู้พิมพ์ เช่น เป็นผู้ร่วมโครงการ หรือรู้จักผู้พิมพ์เป็นการส่วนตัว หรือเหตุผลอื่น ๆ ที่ทำให้ไม่สามารถให้ข้อคิดเห็น และข้อเสนอแนะอย่างอิสระได้ ผู้ประเมินบทความควรแจ้งให้บรรณาธิการวารสารทราบ และปฏิเสธการประเมินบทความนั้น ๆ
5. ผู้ประเมินบทความต้องรับทราบคำแนะนำในทุกประเด็นที่บรรณาธิการวารสารคาดหวัง และต้องรับทราบการปรับปรุงคำแนะนำที่ทันสมัยอยู่เสมอ ซึ่งสามารถอ้างอิง หรือเชื่อมโยงกับระเบียบดังกล่าว

6. ผู้ประเมินบทความ ควรประเมินบทความในสาขาวิชาที่ตนมีความเชี่ยวชาญ โดยพิจารณาความสำคัญของเนื้อหาในบทความที่จะมีต่อสาขาวิชานั้น ๆ คุณภาพของการวิเคราะห์ และความเข้มข้นของผลงาน

7. ผู้ประเมินบทความไม่ควรใช้ความคิดเห็นส่วนตัวที่ไม่มีข้อมูลรองรับมาเป็นเกณฑ์ในการตัดสินบทความวิจัย

8. หากผู้ประเมินบทความทราบว่ามีส่วนใดของบทความที่มีความเหมือน หรือซ้ำซ้อนกับผลงานชิ้นอื่น ๆ ผู้ประเมินบทความต้องแจ้งให้บรรณาธิการวารสารทราบด้วย

10. ลิขสิทธิ์และสิทธิ (Copyright and Right)

- วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและวิศวกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม เป็นวารสารในรูปแบบเปิด (Open Access) ผู้ใช้ทั่วไปหรือระบบสารสนเทศของหน่วยงาน ฐานข้อมูลอัตโนมัติ ระบบห้องสมุดอัตโนมัติ สามารถเข้าถึง ดาวน์โหลด เอกสารไฟล์บทความบนเว็บไซต์วารสาร โดยไม่มีค่าใช้จ่ายแต่อย่างใด

- ข้อความภายในบทความที่ตีพิมพ์ในวารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและวิศวกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม ทั้งหมด รวมถึงรูปภาพประกอบ ตาราง เป็นลิขสิทธิ์ของวารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม การนำเนื้อหา ข้อความหรือข้อคิดเห็น รูปภาพ ตาราง ของบทความไปจัดพิมพ์เผยแพร่ในรูปแบบต่าง ๆ เพื่อใช้ประโยชน์ในเชิงพาณิชย์ ต้องได้รับอนุญาตจากกองบรรณาธิการวารสารอย่างเป็นลายลักษณ์อักษร

- มหาวิทยาลัยฯ อนุญาตให้สามารถนำไฟล์บทความไปใช้ประโยชน์และเผยแพร่ต่อได้ โดยอยู่ภายใต้เงื่อนไข สัญญาอนุญาตครีเอทีฟคอมมอน (Creative Commons License: CC) โดย ต้องแสดงที่มาจากวารสาร – ไม่ใช่เพื่อการค้า – ห้ามแก้ไขดัดแปลง, Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International (CC BY-NC-ND 4.0)

- ข้อความที่ปรากฏในบทความในวารสารเป็นความคิดเห็นส่วนตัวของผู้เขียนแต่ละท่านไม่เกี่ยวข้องกับมหาวิทยาลัย และบุคลากร คณาจารย์ท่านอื่น ๆ ในมหาวิทยาลัยฯแต่อย่างใด ความรับผิดชอบองค์ประกอบทั้งหมดของบทความแต่ละเรื่องเป็นของผู้เขียนแต่ละท่าน หากมีความผิดพลาดใด ๆ ผู้เขียนแต่ละท่านจะรับผิดชอบบทความของตนเอง ตลอดจนความรับผิดชอบด้านเนื้อหาและการตรวจร่างบทความเป็นของผู้เขียน ไม่เกี่ยวข้องกับกองบรรณาธิการ

11. นโยบายจริยธรรมการทดลอง (Research Integrity Policy) ในงานวิจัย

บทความจากงานวิจัยที่ส่งเข้ารับการตีพิมพ์และเกี่ยวข้องกับการทำวิจัยในมนุษย์ ต้องได้รับการอนุมัติจากคณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในคนจากสถาบันที่ผ่านการรับรองจากสำนักงานมาตรฐานการวิจัยในคน สำนักงานการวิจัยแห่งชาติ และเป็นไปตามมาตรฐานจริยธรรมและกฎหมายสากล สำหรับการทดลองในสัตว์ทดลองต้องผ่านการรับรองจากคณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการใช้สัตว์เพื่องานทางวิทยาศาสตร์ เช่นกัน และอยู่ภายใต้หลักพระราชบัญญัติสัตว์เพื่องานทางวิทยาศาสตร์ พ.ศ. 2558

นอกจากนี้วารสารคาดหวังให้ผู้เขียนเคารพสิทธิความเป็นส่วนตัว (privacy) ของผู้เข้าร่วมการวิจัย และได้รับความยินยอมที่จะนำข้อมูลมาเผยแพร่ก่อนที่จะส่งบทความมายังวารสาร สำหรับข้อมูลและเอกสารต่าง ๆ ผู้เขียนจะต้องส่งหลักฐาน แนบมาพร้อมกับบทความ หรือส่งมาภายหลังเมื่อบทความได้รับการรับพิจารณาตีพิมพ์และกองบรรณาธิการร้องขอไป โดยจัดส่งเป็นไฟล์หลักฐานผ่านระบบวารสารออนไลน์

12. นโยบายการจัดการผลประโยชน์ทับซ้อน (Conflict of Interest/Competing Interest Policy)

วารสารมีนโยบายที่จะหลีกเลี่ยงต่อการขัดกันของผลประโยชน์ ในกลุ่มกองบรรณาธิการ ผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาบทความ ผู้เขียนทุกท่าน เพื่อให้การตีพิมพ์บทความมีความโปร่งใสทางวิชาการ ดังนั้นในกรณีที่ ฝ่ายใดฝ่ายหนึ่งมีความเกี่ยวข้องทั้งทางตรงและทางอ้อมต่อบทความ ผู้เขียนหลัก (Corresponding Author) ต้องแจ้งให้กับบรรณาธิการทราบถึงเหตุความสัมพันธ์ดังกล่าว อย่างเป็นทางการลายลักษณ์อักษร หรือผ่านทาง การส่งข้อความผ่านระบบเว็บไซต์วารสาร

สำหรับผู้เขียน ต้องมีการใช้ข้อมูลในการเขียนงานวิจัยโดยไม่มีส่วนเกี่ยวข้องที่อาจทำให้เกิดความโน้มเอียงในงานวิจัย ในผลการศึกษา สรุปผล หรือ การอภิปรายผล โดยเฉพาะผลประโยชน์ทางตรงหรือทางอ้อมต่อการทำงานวิจัย

สำหรับผู้ทรงคุณวุฒิประเมินบทความ ควรให้ข้อมูลต่อบรรณาธิการผู้รับผิดชอบบทความ หากมีผลประโยชน์เกี่ยวข้องกับงานวิจัยหรือมีความเกี่ยวข้องอย่างใดอย่างหนึ่ง ให้แจ้งบรรณาธิการ เพื่อยืนยันความโปร่งใสต่อการประเมินบทความ ทั้งนี้การเกี่ยวข้องย่อมมีโอกาสเกิดขึ้นได้เสมอ บรรณาธิการจะเป็นผู้พิจารณาให้ความเห็นในการยอมรับต่อการประเมินบทความอีกครั้ง

บทบรรณาธิการ

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและวิศวกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม (Industrial Technology and Engineering Pibulsongkram Rajabhat University) Print ISSN : 2697-5602, E-ISSN : 2697-5629 ฉบับนี้เป็นปีที่ 4 ฉบับที่ 1 มีเนื้อหาที่เน้นด้านทางด้านเทคโนโลยี อุตสาหกรรมและวิศวกรรม วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี โดยมีเนื้อหาครอบคลุมเกี่ยวข้องกับงานวิจัย ในสาขาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม วิศวกรรมศาสตร์สาขาต่างๆ โดยบทความทั้งหมดได้ผ่านการประเมิน โดยผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาบทความ (Peer Review) ในสาขานั้นๆ เพื่อให้ได้ผลงานที่มีคุณภาพก่อน การตีพิมพ์และสามารถดาวน์โหลดได้จากเว็บไซต์ <https://ph02.tci-thaijo.org/index.php/psru-jite/issue/view/16508> ภายใต้ระบบ ThaiJo ของศูนย์ดัชนีการอ้างอิงวารสารไทย

กองบรรณาธิการและคณะกรรมการจัดทำวารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและ วิศวกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม ขอขอบคุณผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาคุณภาพบทความ และ ผู้สนใจที่กรุณาช่วยกัน สนับสนุนและให้ความไว้วางใจผลงานของวารสารฉบับนี้ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง จากนักวิจัยที่ได้กรุณาเผยแพร่ผลงานใน วารสารนี้ กองบรรณาธิการหวังเป็นอย่างยิ่งว่าจะได้รับเกียรติ และความอนุเคราะห์จากท่านในโอกาสต่อไป



รองศาสตราจารย์ ดร.สนธิ ปิ่นสกุล
บรรณาธิการ



สารบัญ

เรื่อง	หน้า
การประยุกต์ใช้การจำลองสถานการณ์จราจรสำหรับการวิเคราะห์การจัดการจราจรบริเวณสถานีรถไฟกรุงเทพไกล่รุ่ง พรอนันต์, มัลลิกา สีฟอง, เจษฎา โพธิ์จันทร์, ศิริกาญจน์ จันทรสมบัติ	138-155
การพัฒนาระบบสารสนเทศเพื่อการบริหารองค์การโดยใช้หลักการจัดการการไหลของสารสนเทศโลจิสติกส์ กรณีศึกษาคณะโลจิสติกส์และดิจิทัลซัพพลายเชนมหาวิทยาลัยนเรศวรเจษฎา โพธิ์จันทร์, สุนันท์ ธาติ, ณัฐชยา ปันชุม, สุดาร์ตน์ จันทิมา	156-170
การปรับปรุงการจัดการโลจิสติกส์ในการช่วยเหลือผู้ประสบอุทกภัยด้วยการประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ในการวิเคราะห์พื้นที่เสี่ยงอุทกภัยจังหวัดพิษณุโลกธัญญาภรณ์ รูปทิมเทียน, ปุริม ศรีสวัสดิ์, ไกล่รุ่ง พรอนันต์	171-186
การเพิ่มสมรรถนะเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ศิริชัย ศิริชนะ, อภินันต์ นามเขต, อำไพศักดิ์ ทิบุญมา, ประพันธ์พงษ์ สมศิลา, ทรงสุภา พุ่มชุมพล	187-205
การกำจัดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ในเชื้อเพลิงไฮโดรเจนด้วยโลหะออกไซด์ผสมคอปเปอร์ ซีเรียมและ อลูมิเนียม ที่เตรียมด้วยวิธีโซลเจล และโซลเจลชั้นตอนเดียวพรไพบูลย์ พุทธคุณ, มาลัย วงศ์วรรณกานต์, คมกฤษ สว่างกาญจน์, เอกรัตน์ วงษ์แก้ว	206-222
การศึกษาสมรรถนะเครื่องขึ้นรูปเตาซูเปอร์อั้งโล่ประพันธ์พงษ์ สมศิลา, ธนกร หอมจำปา, เอกภูมิ บุญธรรม, กฤษฎา อันอ้าย, อำไพศักดิ์ ทิบุญมา	223-241
เครื่องคัดแยกขยะรีไซเคิลด้วยการประมวลผลภาพธนโชติ ภาชนะชัย, จักรกริช ปานเงิน, กรรณิการ์ คนงาม, วรชัย ศรีสมุดคำ, วาสนา วงศ์ษา	242-253



การเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการผลิตมะพร้าว น้ำหอม
ด้วยแบบจำลองสถานการณ์
.....ปกรณ์ แสนจิตต์, อลงกรณ์ เมืองไหว, นพดล อ่ำดี

254-265

การประยุกต์ใช้การจำลองสถานการณ์จราจรสำหรับการวิเคราะห์
การจัดการจราจรบริเวณสถานีรถไฟกรุงเทพ
THE APPLING TRAFFIC SIMULATION FOR ANALYZING TRAFFIC
MANAGEMENT IN BANGKOK RAILWAY STATION

ไกลรุ่ง พรอนันต์^{1*}, มลลิกา สีฟอง¹, เจษฎา โพธิ์จันทร์¹, ศิริกาญจน์ จันทร์สมบัติ¹

Klairung Ponanan^{1*}, Manlika Seefong¹, Jessada Pochan¹, Sirikarn Chansombat¹

¹คณะโลจิสติกส์และดิจิทัลซัพพลายเชน มหาวิทยาลัยนเรศวร อ.เมือง จ.พิษณุโลก ประเทศไทย 65000

¹Faculty of Logistics and Digital Supply Chain, Naresuan University, Muang, Phitsanulok, Thailand, 65000

*Corresponding author e-mail: klairungp@nu.ac.th

วันที่เข้าระบบ 9 มิถุนายน 2565

วันที่แก้ไขบทความ 10 สิงหาคม 2565

วันที่ตอบรับบทความ 9 กันยายน 2565

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการศึกษาผลกระทบการจัดการจราจรกรณีปรับเปลี่ยนผังพื้นที่ภายในสถานีรถไฟกรุงเทพ เนื่องจากสถานีรถไฟกรุงเทพจะถูกลดบทบาทการเป็นศูนย์กลางการคมนาคมขนส่ง แต่จะยังคงไว้ซึ่งร่องรอยประวัติศาสตร์ของการรถไฟไทย โดยการศึกษาครั้งนี้ได้นำแนวคิดการออกแบบผังพื้นที่ทั้ง 3 รูปแบบมาใช้ในการจำลองสถานการณ์ด้านการจราจร ซึ่งทำการประเมินด้วยแบบจำลองความต้องการการเดินทางที่พัฒนาโดยใช้โปรแกรม CUBE voyager เพื่อประเมินประสิทธิภาพและศักยภาพของโครงข่ายถนนรูปแบบต่าง ๆ ในการรองรับสภาพการจราจรที่จะเกิดขึ้นหลังจากการปรับเปลี่ยนผังพื้นที่ของสถานีรถไฟกรุงเทพ ผลการศึกษาพบว่า รูปแบบการจัดการจราจรในแต่ละรูปแบบแบบนั้นให้ประสิทธิภาพการจราจรที่แตกต่างกัน ซึ่งรูปแบบทางเลือกที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด ได้แก่ การจัดการจราจรภายในสถานีรถไฟกรุงเทพตามการออกแบบผังพื้นที่รูปแบบที่ 2 ประกอบไปด้วยการจัดการจราจรทั้งในรูปแบบการเดินรถ 1 ทิศทาง และการเดินรถ 2 ทิศทาง ซึ่งขนาดของช่องจราจรของถนนโครงข่ายบริเวณสถานีรถไฟกรุงเทพกรณีนี้มีขนาด 2 ช่องจราจรทั้งหมด โดยผลการวิเคราะห์ระดับการให้บริการของถนนโครงข่ายภายในพื้นที่สถานีรถไฟกรุงเทพส่วนใหญ่อยู่ในระดับ A สภาพอิสระ (Free flow) รองลงมาอยู่ในระดับ B สภาพอยู่ตัว (Stable flow) และสัดส่วนโครงข่ายถนนส่วนน้อยที่สุดอยู่ในระดับการให้บริการ C ยังอยู่ในสภาพอยู่ตัว (Stable flow) โดยรวมการเคลื่อนที่ของยานพาหนะสะดวก และผู้ขับขี่สามารถเลือกใช้ความเร็วที่ค่อนข้างอิสระ และปริมาณจราจรน้อยในเกือบทุกช่วงโครงข่ายถนน

คำสำคัญ: ระดับการให้บริการ, การวิเคราะห์ผลกระทบการจราจร, แบบจำลองความต้องการในการเดินทาง

Abstract

This paper presents the study of traffic management in the case of an adjusted layout plan of the Bangkok Railway Station, because based on the government plan the roles of the station as the center of transportation will be reduced to a secondary station to keep the history of Thai railways. In this study, 3 layout plans were applied to simulate traffic situations. The Travel Demand Modelling (CUBE voyager) was used to evaluate the efficiency and potential of various traffic management plans. The results showed that 3 scenarios with proposed traffic management and controls based on 3 new layout plans had different efficiency and potential. However, the second scenario based on the second layout plan was the most efficient in terms of traffic management. The traffic management of the second scenario consisted of one-way and two-way traffic modes with 2 traffic lanes all over the road network in the Bangkok Railway Station. In terms of the Level of service (LOS), most of the road network in the Bangkok Railway Station was at Level A (Free flow) and Level B level (Stable flow), respectively. A little of the road network was at Level C (Stable flow). As a whole, the movement of vehicles was quite free flow, so drivers could choose the speed freely due to a few traffic volumes.

Keywords: Level of service (LOS), Traffic impact analysis, Travel demand modelling

1. บทนำ

สถานีรถไฟกรุงเทพสร้างขึ้นตั้งแต่ปี พ.ศ. 2453 ชาวบ้านเรียกกันว่า "หัวลำโพง" ตามชื่อคลองและถนนในบริเวณใกล้เคียง สถานีรถไฟกรุงเทพ หรือสถานีหัวลำโพงถือเป็นสถานีรถไฟหลักในกรุงเทพมหานครที่เป็นจุดเชื่อมต่อของการรับและส่งทั้งผู้โดยสารและสินค้าสำหรับรถไฟ เนื่องจากมีตำแหน่งที่ตั้งอยู่ใจกลางกรุงเทพมหานคร และอยู่ใกล้ถนนประวัติศาสตร์สายสำคัญ เช่น ถนนเจริญกรุง ถนนเยาวราช ซึ่งเป็นถนนเส้นแรกของประเทศไทย ในปัจจุบันมีขบวนรถเข้า-ออกสถานีรถไฟกรุงเทพ ประมาณ 200 ขบวน ต่อ วัน โดยมีเส้นทางการเดินรถไฟจำนวน 4 สาย ได้แก่ ทางรถไฟสายเหนือ ทางรถไฟสายตะวันออกเฉียงเหนือ ทางรถไฟสายตะวันออก และทางรถไฟสายใต้ (การรถไฟแห่งประเทศไทย, 2558)

แผนพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานของประเทศไทยใน พ.ศ. 2558 - พ.ศ. 2565 มีการวางแผนการย้ายศูนย์กลางการคมนาคมขนส่งระบบรางจากสถานีรถไฟกรุงเทพไปยังสถานีกลางบางซื่อ เนื่องจากกรุงเทพมหานครได้มีการเติบโตและขยายตัวอย่างต่อเนื่องในทุกๆ ด้าน รวมถึงเกิดการพัฒนาด้านการ

คมนาคมขนส่งระบบรางอย่างต่อเนื่อง ดังนั้นจึงมีการพัฒนาศูนย์กลางการคมนาคมขนส่งระบบรางแห่งใหม่ คือ สถานีกลางบางซื่อ บริเวณเขตจตุจักร ทำให้สถานีรถไฟกรุงเทพจะถูกกลบขบตาการเป็นศูนย์กลางการคมนาคมขนส่งระบบรางลงกลายเป็นสถานีรองที่มีการเดินทางเพียงบางสายและยังคงไว้ซึ่งร่องรอยประวัติศาสตร์ของการรถไฟไทย รวมถึงความสัมพันธ์กับพื้นที่โดยรอบในย่านหัวลำโพง ซึ่งการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวส่งผลกระทบต่อพื้นที่ย่านหัวลำโพงบริเวณสถานีรถไฟกรุงเทพเป็นอย่างมาก ได้แก่ ผลกระทบด้านกิจกรรมทางการคมนาคมขนส่ง การค้าและบริการ รวมไปถึงการพักอาศัย ประกอบกับสภาพปัญหาและสภาพความเสื่อมโทรมของย่านที่เป็นผลมาจากการเป็นศูนย์กลางการคมนาคมขนส่งระบบรางที่มีระยะเวลาการเปิดใช้งานมาอย่างยาวนานโดยขาดการวางแผนที่ดี

งานวิจัยนี้นำเสนอแนวทางการประยุกต์ใช้แบบจำลองความต้องการในการเดินทาง ในการศึกษาผลกระทบการเปลี่ยนแปลงรูปแบบการจัดการจราจรภายในสถานีรถไฟหัวลำโพง ภายใต้โครงสร้างทางปัจจุบัน โดยทำการศึกษาผลกระทบที่เกิดขึ้นจาก 1) แนวทางการวางผังสถานีรถไฟกรุงเทพที่สอดคล้องกับบทบาทและระบบกิจกรรมที่เปลี่ยนแปลงไป 2) ปริมาณการจราจรที่เพิ่มขึ้นจากการขยายตัวของเมือง และปริมาณการจราจรภายในสถานีรถไฟกรุงเทพภายหลังมีการวางผังพื้นที่สถานีใหม่ และ 3) การเปลี่ยนรูปแบบการจัดระบบการจราจร

2. วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

2.1 เพื่อจำลองสถานการณ์การจราจรภายในสถานีรถไฟกรุงเทพภายหลังมีการวางผังพื้นที่สถานีที่สอดคล้องกับบทบาทและระบบกิจกรรมที่เปลี่ยนแปลงไป

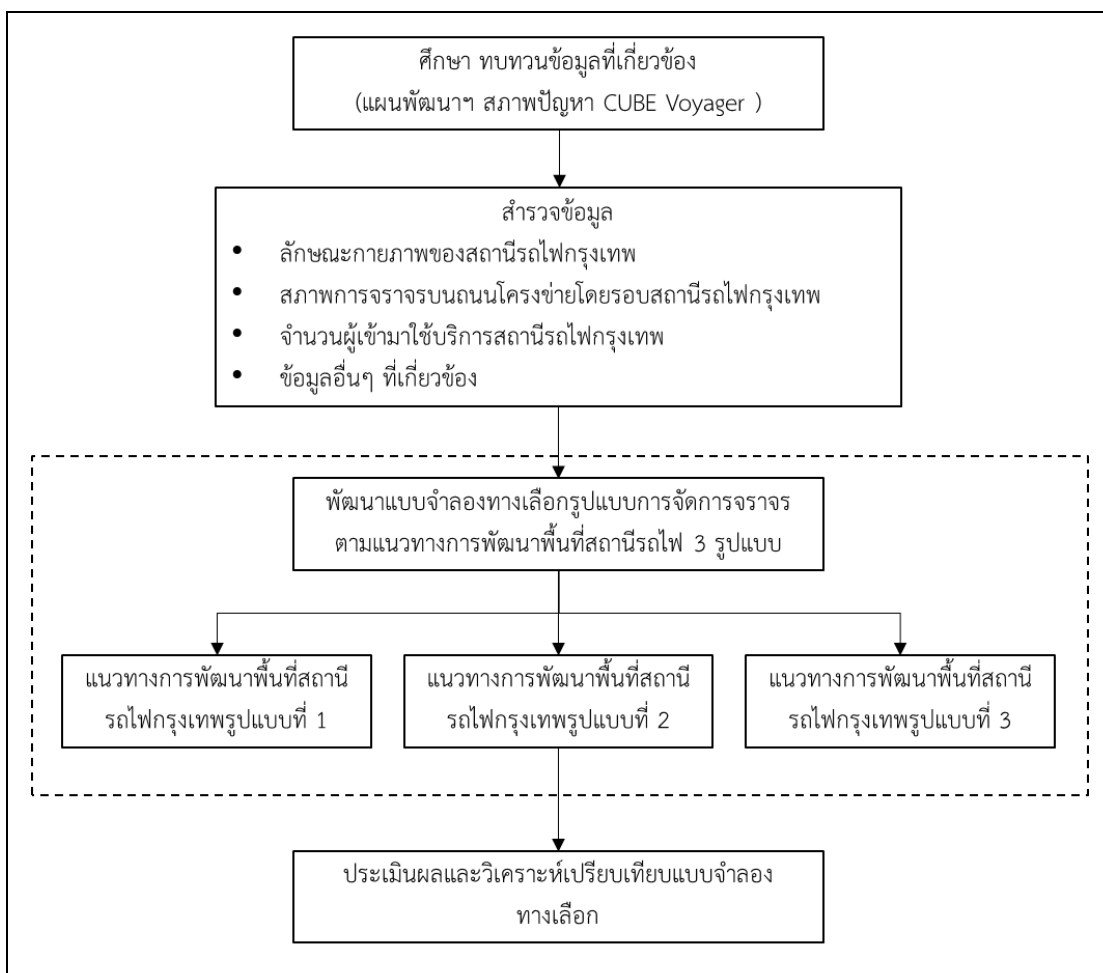
2.2 เพื่อเสนอแนวทางการจัดการจราจรภายในสถานีรถไฟกรุงเทพภายหลังมีการวางผังพื้นที่สถานีที่สอดคล้องกับบทบาทและระบบกิจกรรมที่เปลี่ยนแปลงไป

3. วิธีดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยนี้จำลองสถานการณ์การจราจรในช่วงวันทำงาน (จันทร์ – ศุกร์) ภายในสถานีรถไฟกรุงเทพ และวิเคราะห์เปรียบเทียบรูปแบบการจัดการจราจรรูปแบบต่างๆ เพื่อประเมินประสิทธิภาพรูปแบบการจัดการจราจรที่เหมาะสม งานวิจัยได้พัฒนาแบบจำลองการจราจรโครงข่ายถนนภายในและโดยรอบสถานีรถไฟกรุงเทพ ซึ่งโครงข่ายถนนประกอบด้วยประตูหลักเข้า-ออกสถานีรถไฟกรุงเทพ และถนนโครงข่ายโดยรอบสถานีรถไฟหัวลำโพง ได้แก่ ถนนพระราม 4 และถนนรองเมือง โดยการศึกษาคุณค่าเชิงอัตลักษณ์ และความต้องการทางสังคมในการอนุรักษ์พัฒนาสถานีรถไฟหัวลำโพง (ธิป และคณะ, 2563) ได้มีการแสดงผังแนวความคิดการอนุรักษ์ และพัฒนาสถานีรถไฟกรุงเทพ (หัวลำโพง) ประกอบด้วย สิ่งอำนวยความสะดวกโดยรอบสถานี แผนการพัฒนาพื้นที่ต่าง ๆ ในอนาคตของสถานีรถไฟกรุงเทพ อาทิเช่น Art gallery พิพิธภัณฑ์รถไฟ โรงแรม ทางรถไฟสายท่องเที่ยว ทาง

ลดได้ดินเพื่อเชื่อมถนนทั้งสองฝั่ง สถานีเรียนรู้วิศวกรรม พื้นที่ที่มีแนวโน้มในการพัฒนาเป็นย่านพาณิชยกรรมใหม่ รวมถึงพื้นที่ที่คาดว่าจะถูกพัฒนาเป็นที่พักอาศัย เป็นต้น

การศึกษาในครั้งนี้ประกอบไปด้วยขั้นตอนในการดำเนินการวิจัย ดังแสดงในภาพที่ 1 โดยมีรายละเอียด ดังนี้



ภาพที่ 1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

3.1 ทบทวนการศึกษาและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ข้อมูลต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้ แผนการพัฒนาพื้นที่สถานีรถไฟฟ้ากรุงเทพ ลักษณะทางกายภาพของสถานีรถไฟฟ้ากรุงเทพ โครงข่ายถนนโดยรอบสถานีรถไฟฟ้ากรุงเทพ แนวทางการจัดการจราจรภายในสถานีรถไฟฟ้ากรุงเทพ และแบบจำลองความต้องการในการเดินทาง เป็นต้น

3.2 สำรวจสภาพการจราจรในพื้นที่ศึกษา

3.2.1 การสำรวจลักษณะทางกายภาพของเส้นทาง ได้แก่ จำนวนและขนาดช่องจราจร ลักษณะทางแยก เป็นต้น

3.2.2 การสำรวจปริมาณจราจร ได้แก่ ข้อมูลปริมาณจราจรเข้า-ออกสถานีหัวลำโพง ข้อมูลปริมาณจราจรบริเวณถนนโครงข่ายที่เชื่อมโยงกับสถานีรถไฟกรุงเทพในแต่ละทิศทาง สัดส่วนประเภทยานพาหนะบนโครงข่ายถนน

3.3 พัฒนาแบบจำลองจราจร การพัฒนาแบบจำลองสถานการณ์สภาพการจราจรโดยอาศัยโปรแกรม CUBE voyager ในการวิเคราะห์และประเมินผลรูปแบบการจัดการจราจร โดยนำข้อมูลที่ได้จากการสำรวจมาทำการสร้างแบบจำลองความต้องการในการเดินทางตามรูปแบบการจัดการจราจรทั้งหมด 3 ทางเลือก ตามแนวทางการพัฒนาพื้นที่รถไฟหัวลำโพง 3 รูปแบบ ดังแสดงในภาพที่ 2 ซึ่งการประเมินด้วยแบบจำลองความต้องการการเดินทางที่พัฒนาโดยใช้โปรแกรม CUBE voyager สามารถวิเคราะห์รูปแบบความต้องการในการเดินทางที่เป็นการศึกษาผลกระทบต่อการใช้ประโยชน์ที่ดินและการกำหนดแผนระยะยาว นอกจากนั้นยังสามารถนำผลที่ได้จากแบบจำลองความต้องการในการเดินทางดังกล่าวไปประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์การจำลองระดับจุลภาคได้อีกด้วย





(ข) แนวทางการพัฒนาพื้นที่สถานีรถไฟกรุงเทพ: ผังพื้นที่รูปแบบที่ 2



(ค) แนวทางการพัฒนาพื้นที่สถานีรถไฟกรุงเทพ: ผังพื้นที่รูปแบบที่ 3

ที่มา: เพ็ญอรุณ และคณะ, 2564

ภาพที่ 2 ทางเลือกแนวทางการพัฒนาพื้นที่สถานีรถไฟกรุงเทพ

3.4 ประเมินและวิเคราะห์ผลสภาพการจราจร วิเคราะห์เปรียบเทียบดัชนีชี้วัดประสิทธิภาพของกระแสจราจรของรูปแบบทางเลือกแต่ละรูปแบบ โดยวิเคราะห์หาความจุของโครงข่ายถนนภายในและพื้นที่โดยรอบสถานีรถไฟกรุงเทพตามแนวทางการออกแบบผังพื้นที่ในแต่ละรูปแบบ ซึ่งการประเมินและวิเคราะห์ผลสภาพการจราจรได้อ้างอิงตัวเลขจำนวนผู้ใช้งานพื้นที่หลังการปรับเปลี่ยนการใช้พื้นที่สถานีรถไฟกรุงเทพจากจากการสำรวจและสรุปรูปแบบของกิจกรรมรวมถึง



สัดส่วนของการใช้งานของพื้นที่ เพื่อมีความเป็นไปได้ในการลงทุนการเงินและผลประโยชน์ทางสังคม โดยมีการกำหนดลักษณะการใช้งานและประโยชน์ใช้สอยของพื้นที่และอาคารต่าง ๆ รวมถึงการวางผังแนวคิดในการอนุรักษ์และพัฒนาพื้นที่ เพื่องอรุณ และคณะ (2564) ได้ทำการคาดการณ์ปริมาณผู้เข้าใช้พื้นที่และอาคารต่าง ๆ เฉลี่ยต่อเดือน หลังมีการปรับเปลี่ยนการใช้พื้นที่ของสถานีรถไฟกรุงเทพ (หัวลำโพง) ตามแนวทางการออกแบบผังพื้นที่รูปแบบที่ 1 – 3 โดยมีรายละเอียดดังตารางที่ 1 – 3 ดังนี้

ตารางที่ 1 จำนวนผู้เข้าใช้พื้นที่หลังการปรับการใช้พื้นที่ของสถานีรถไฟกรุงเทพ: ผังพื้นที่รูปแบบที่ 1

ลำดับ	พื้นที่	ผู้เข้าใช้พื้นที่เฉลี่ยต่อเดือน
1	อาคารสถานีกรุงเทพฯ	9,000 คน
2	หอสัญญาณ	2,000 คน
3	อาคารโรงตีเหล็ก	8,000 คน
4	ตึกขาว Hotel & Healthcare	7,000 คน
5	ตึกแดง	3,000 คน
6	อาคาร Medical & Office	6,000 คน
7	อาคาร Farmer Market & Restaurant	10,000 คน
8	อาคาร Warehouse & Shop (Creative Zone)	6,000 คน
9	อาคาร Museum Zone (อาคารสถานี)	1,500 คน
10	ลานเอนกประสงค์	20,000 คน
11	พื้นที่โล่งใน Zone Commercial	15,000 คน
รวม		87,500 คน

ที่มา: เพื่องอรุณ และคณะ, 2564

ตารางที่ 2 จำนวนผู้เข้าใช้พื้นที่หลังการปรับการใช้พื้นที่ของสถานีรถไฟกรุงเทพ: ผังพื้นที่รูปแบบที่ 2

ลำดับ	พื้นที่	ผู้เข้าใช้พื้นที่เฉลี่ยต่อเดือน
1	อาคารสถานีกรุงเทพฯ	5,000 คน
2	หอสัญญาณ	4,000 คน
3	อาคารโรงตีเหล็ก (ศูนย์ปั๊มเพาะ)	9,000 คน
4	ตึกขาว Creative Workshop & Gallery	6,000 คน
5	ตึกแดง Aging Society Program	7,500 คน
6	อาคาร Hotel & Department Store	12,000 คน
7	อาคาร Start Up	8,000 คน
8	อาคาร Retail & Showcase	8,000 คน

ลำดับ	พื้นที่	ผู้เข้าใช้พื้นที่เฉลี่ยต่อเดือน
9	อาคาร Rental Office & Retail	13,000 คน
10	อาคาร CEA & OKMD	8,000 คน
11	ลานเอนกประสงค์	6,000 คน
12	พื้นที่โล่งใน Zone Commercial	20,000 คน
รวม		106,500 คน

ที่มา: เฟื่องอรุณ และคณะ, 2564

ตารางที่ 3 จำนวนผู้เข้าใช้พื้นที่หลังการปรับการใช้พื้นที่ของสถานีรถไฟกรุงเทพ: ผังพื้นที่รูปแบบที่ 3

ลำดับ	พื้นที่	ผู้เข้าใช้พื้นที่เฉลี่ยต่อเดือน
1	อาคารสถานีกรุงเทพฯ	5,000 คน
2	หอสัญญาณ	3,000 คน
3	อาคารโรงดีเซล (ศูนย์ซ่อมเฉพาะ)	9,000 คน
4	ตึกขาว Creative Workshop & Gallery	6,000 คน
5	ตึกแดง Aging Society Program	7,500 คน
6	อาคาร Hotel & Department Store	12,000 คน
7	อาคาร Start Up	9,000 คน
8	อาคาร Rental Office & Retail	16,000 คน
9	อาคาร Retail & Showcase	7,000 คน
10	อาคาร CEA & OKMD	8,000 คน
11	ลานเอนกประสงค์	6,000 คน
12	พื้นที่โล่งใน Zone Commercial	22,000 คน
รวม		110,500 คน

ที่มา: เฟื่องอรุณ และคณะ, 2564

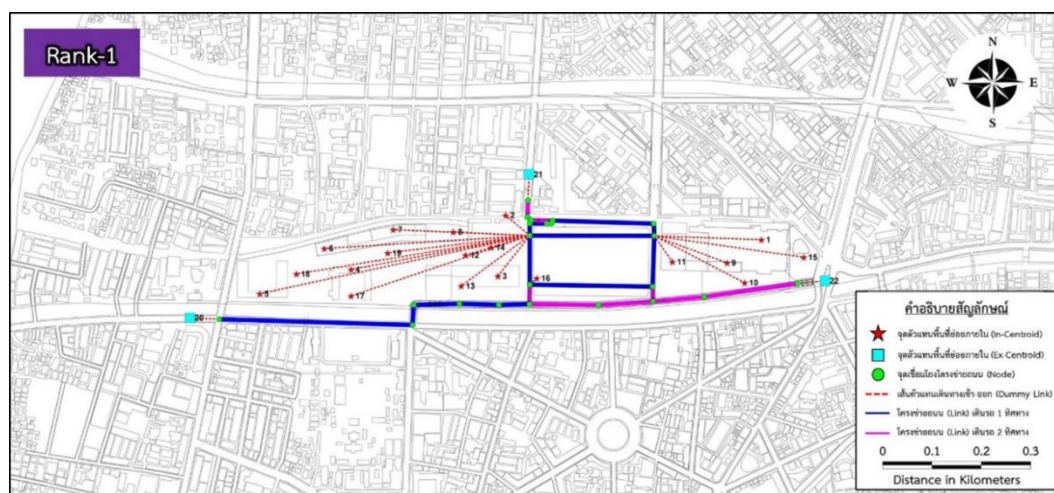
4. ผลการวิจัย

งานวิจัยในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์หลักในการพัฒนาแบบจำลองสถานการณ์จราจรด้วยการประยุกต์ใช้โปรแกรม Cube voyager ในการวิเคราะห์และประเมินผลรูปแบบการจัดการจราจร โดยทำการคาดการณ์ปริมาณจราจรที่จะเข้ามาใช้บริการถนนโครงข่ายบริเวณสถานีรถไฟกรุงเทพ (สถานีหัวลำโพง) ในการคาดการณ์ปริมาณจราจรในการศึกษาครั้งนี้ ได้ทำการคาดการณ์ปริมาณจราจรบนพื้นฐานของการออกแบบผังการใช้ประโยชน์ของพื้นที่สถานีรถไฟกรุงเทพ เพื่อนำปริมาณจราจรที่เข้ามาใช้บริการโครงข่ายถนนภายในสถานีรถไฟกรุงเทพดังกล่าวมาทำการประเมินสภาพการจราจรของ

ถนนโครงข่ายภายในสถานีรถไฟกรุงเทพตามหลักทฤษฎีทางด้านวิศวกรรมจราจร ในกรณี มีการกำหนดลักษณะการใช้งานและประโยชน์ใช้สอยของพื้นที่และอาคารต่าง ๆ รวมถึงการวางแผนแนวคิดในการอนุรักษ์และพัฒนาพื้นที่ออกเป็น 3 แนวทางในภาพที่ 2 ได้แก่ ผังพื้นที่รูปแบบที่ 1 ผังพื้นที่รูปแบบที่ 2 และผังพื้นที่รูปแบบที่ 3 ตามลำดับ โดยมีรายละเอียดผลการวิเคราะห์ ดังนี้

4.1 การจัดการจราจรบนโครงข่ายถนนภายในสถานีรถไฟกรุงเทพ: ผังพื้นที่รูปแบบที่ 1

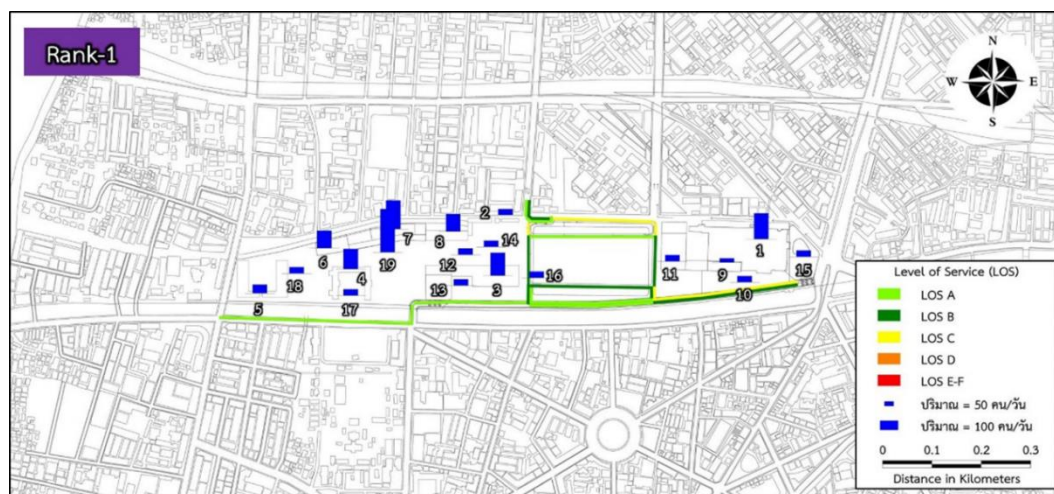
การจัดการจราจรภายในสถานีรถไฟกรุงเทพตามการออกแบบผังพื้นที่รูปแบบที่ 1 ประกอบไปด้วยการจัดการจราจรทั้งในรูปแบบการเดินรถ 1 ทิศทาง และการเดินรถ 2 ทิศทาง (สวนทางกัน) ซึ่งขนาดของช่องจราจรของถนนโครงข่ายบริเวณสถานีรถไฟกรุงเทพกรณีนี้จะมีขนาด 2 ช่องจราจรทั้งหมด โดยปริมาณจราจรที่มาจากพื้นที่ย่อยภายนอกสถานีมาจาก 3 พื้นที่ย่อย ได้แก่ ปริมาณจราจรบนถนนจรัลเมือง เข้าสู่ถนนรองเมืองด้านทิศตะวันออกของสถานีรถไฟกรุงเทพ ปริมาณจราจรบนถนนพระรามที่ 4 เข้าสู่ถนนเรียบคลองผดุงกรุงเกษมด้านทิศใต้ของสถานีรถไฟกรุงเทพ และปริมาณจราจรบนถนนพระรามที่ 1 เข้าสู่ถนนรองเมืองด้านทิศเหนือของสถานีรถไฟกรุงเทพ นอกจากนั้นยังมีตัวแทนปริมาณจราจรจากพื้นที่ย่อยภายในสถานีรถไฟกรุงเทพ จำนวน 19 พื้นที่ย่อยภายในสถานีตามการออกแบบผังพื้นที่รูปแบบที่ 1 โดยโครงข่ายถนนภายในสถานีรถไฟกรุงเทพในการออกแบบผังพื้นที่รูปแบบที่ 1 นี้ มีจุดเชื่อมต่อโครงข่ายถนน (Node) ครอบคลุมพื้นที่สถานีรถไฟกรุงเทพ รายละเอียดแสดงดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 การจัดการจราจรภายในสถานีรถไฟกรุงเทพ: ผังพื้นที่รูปแบบที่ 1

หลังจากที่ได้มีการกำหนดรูปแบบการจัดการจราจรถนนโครงข่ายภายในสถานีรถไฟกรุงเทพตามการออกแบบผังพื้นที่รูปแบบที่ 1 ได้ทำการวิเคราะห์สภาพการจราจร ได้แก่ ปริมาณจราจรและอัตราการไหลซึ่งเป็นตัวแปรที่อธิบายสภาพการจราจร โดยวัดในรูปของจำนวนยานพาหนะ

ที่เคลื่อนผ่านตำแหน่งใด ๆ บนถนน ในช่องจราจรหรือทิศทางจราจร ในช่วงเวลาหนึ่ง ๆ และดัชนีระดับการให้บริการ (Level of service, LOS) ของถนนในโครงข่ายภายในสถานีรถไฟกรุงเทพ ซึ่งผลการวิเคราะห์สภาพการจราจรบนถนนโครงข่ายภายในสถานีรถไฟกรุงเทพตามการออกแบบผังพื้นที่รูปแบบที่ 1 แสดงดังภาพที่ 4



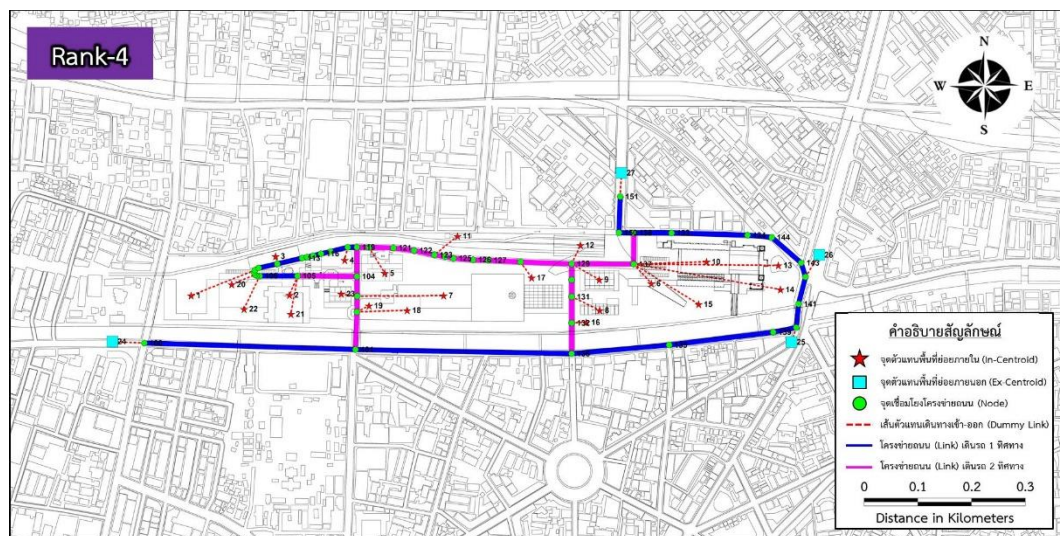
ภาพที่ 4 สภาพการจราจรบนถนนโครงข่ายภายในสถานีรถไฟกรุงเทพ: ผังพื้นที่รูปแบบที่ 1

จากภาพที่ 4 จะเห็นได้ว่าระดับการให้บริการของถนนโครงข่ายภายในพื้นที่สถานีรถไฟกรุงเทพส่วนใหญ่อยู่ในระดับ B สภาพอยู่ตัว (Stable flow) รองลงมาอยู่ในระดับ A สภาพอิสระ (Free flow) และโครงข่ายถนนบางส่วนอยู่ในระดับการให้บริการ C ยังอยู่ในสภาพอยู่ตัว (Stable flow) ซึ่งการจัดการจราจรตามการออกแบบผังพื้นที่รูปแบบที่ 1 นี้ โดยรวมการเคลื่อนที่ของยานพาหนะค่อนข้างสะดวก และผู้ขับขี่สามารถเลือกใช้ความเร็วที่ค่อนข้างอิสระ และปริมาณจราจรน้อย แต่ในอนาคตหากมีปริมาณจราจรที่เพิ่มมากยิ่งขึ้น หรือพื้นที่ภายในสถานีรถไฟกรุงเทพสามารถดึงดูดให้เกิดปริมาณการเดินทางที่เพิ่มมากยิ่งขึ้นจะต้องมีการขยายขนาดและจำนวนช่องจราจรบางช่วงของโครงข่ายถนนเพิ่มขึ้น หรือมีการจัดรูปแบบการเดินรถทิศทางเดียวในบางช่วงของโครงข่ายถนน

4.2 การจัดการจราจรบนโครงข่ายถนนภายในสถานีรถไฟกรุงเทพ: ผังพื้นที่รูปแบบที่ 2

การจัดการจราจรภายในสถานีรถไฟกรุงเทพการออกแบบผังพื้นที่รูปแบบที่ 2 ประกอบไปด้วยการจัดการจราจรทั้งในรูปแบบการเดินรถ 1 ทิศทาง และการเดินรถ 2 ทิศทาง (สวนทางกัน) ซึ่งขนาดของช่องจราจรของถนนโครงข่ายบริเวณสถานีรถไฟกรุงเทพกรณีนี้จะมีขนาด 2 ช่องจราจรทั้งหมด โดยปริมาณจราจรที่มาจากพื้นที่ย่อยภายนอกสถานีมาจาก 2 พื้นที่ย่อย ได้แก่ ปริมาณจราจรบนถนนพระรามที่ 4 เข้าสู่ถนนเรียบคลองผดุงกรุงเกษมด้านทิศใต้ของสถานีรถไฟกรุงเทพ และ

ปริมาณจราจรบนถนนพระรามที่ 1 เข้าสู่ถนนรองเมืองด้านทิศเหนือของสถานีรถไฟกรุงเทพ นอกจากนั้นยังมีตัวแทนปริมาณจราจรจากพื้นที่ย่อยภายในสถานีรถไฟกรุงเทพ จำนวน 22 พื้นที่ย่อยภายในสถานีฯ ตามการออกแบบผังพื้นที่รูปแบบที่ 2 โดยโครงข่ายถนนภายในสถานีรถไฟกรุงเทพในการออกแบบผังพื้นที่รูปแบบที่ 2 นี้ มีจุดเชื่อมโยงโครงข่ายถนน (Node) ครอบคลุมพื้นที่สถานีรถไฟกรุงเทพ รายละเอียดแสดงดังภาพที่ 5

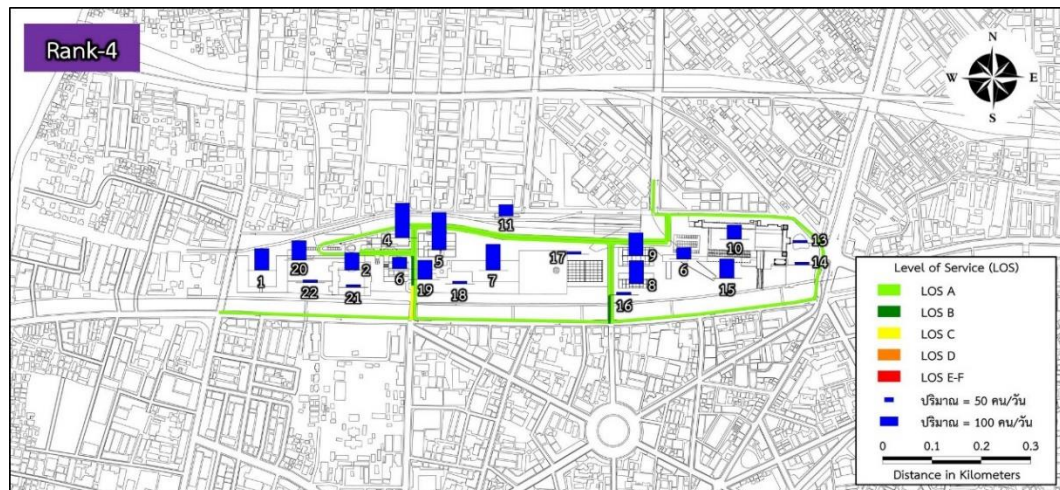


ภาพที่ 5 การจัดการจราจรภายในสถานีรถไฟกรุงเทพ: ผังพื้นที่รูปแบบที่ 2

หลังจากที่ได้มีการกำหนดรูปแบบการจัดการจราจรถนนโครงข่ายภายในสถานีรถไฟกรุงเทพตามการออกแบบผังพื้นที่รูปแบบที่ 2 ได้ทำการวิเคราะห์สภาพการจราจร ได้แก่ ปริมาณจราจรและอัตราการไหลซึ่งเป็นตัวแปรที่อธิบายสภาพการจราจร โดยวัดในรูปของจำนวนยานพาหนะที่เคลื่อนผ่านตำแหน่งใด ๆ บนถนน ในช่องจราจรหรือทิศทางจราจร ในช่วงเวลาหนึ่ง ๆ และดัชนีระดับการให้บริการ (Level of service, LOS) ของถนนในโครงข่ายภายในสถานีรถไฟกรุงเทพ ซึ่งผลการวิเคราะห์สภาพการจราจรบนถนนโครงข่ายภายในสถานีรถไฟกรุงเทพตามการออกแบบผังพื้นที่รูปแบบที่ 2 แสดงดังภาพที่ 6

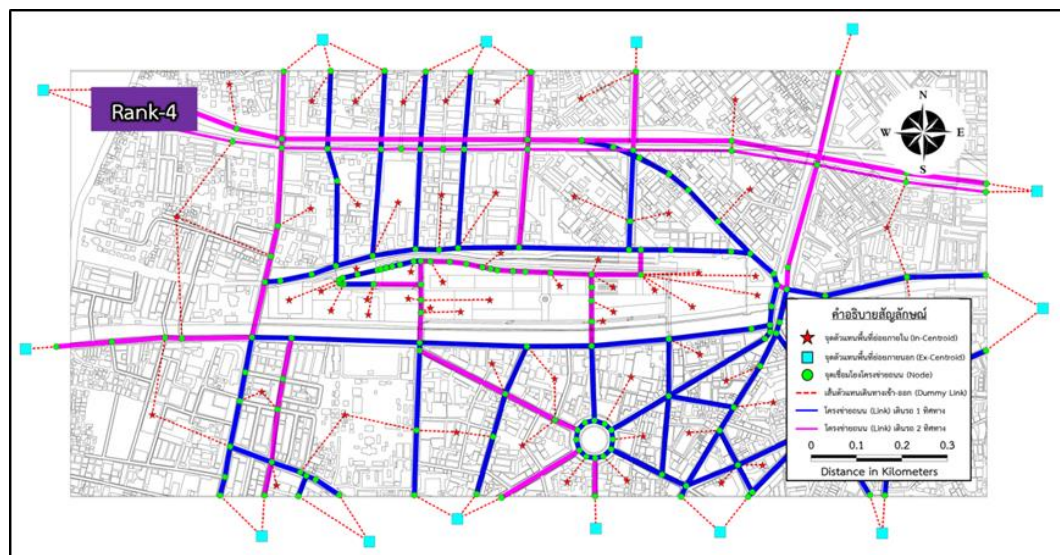
จากภาพที่ 6 จะเห็นได้ว่าระดับการให้บริการของถนนโครงข่ายภายในพื้นที่สถานีรถไฟกรุงเทพส่วนใหญ่อยู่ในระดับ A สภาพอิสระ (Free flow) รองลงมาอยู่ในระดับ B สภาพอยู่ตัว (Stable flow) และสัดส่วนโครงข่ายถนนส่วนน้อยที่สุดอยู่ในระดับการให้บริการ C ยังอยู่ในสภาพอยู่ตัว (Stable flow) ซึ่งการจัดการจราจรตามการออกแบบผังพื้นที่รูปแบบที่ 2 นี้ โดยรวมการเคลื่อนที่ของยานพาหนะสะดวก และผู้ขับขี่สามารถเลือกใช้ความเร็วที่ค่อนข้างอิสระ และปริมาณจราจรน้อยในเกือบทุกช่วงของโครงข่ายถนน แต่ในอนาคตหากมีปริมาณจราจรที่เพิ่มมากยิ่งขึ้น หรือพื้นที่ภายในสถานีรถไฟกรุงเทพสามารถดึงดูดให้เกิดปริมาณการเดินทางที่เพิ่มมากยิ่งขึ้นจะต้องมีการ

ขยายขนาดและจำนวนช่องจราจรบางช่วงของโครงข่ายถนนเพิ่มขึ้น หรือมีการจัดรูปแบบการเดินรถ
ทิศทางเดียวในบางช่วงของโครงข่ายถนน



ภาพที่ 6 สภาพการจราจรบนถนนโครงข่ายภายในสถานีรถไฟกรุงเทพ: ผังพื้นที่รูปแบบที่ 2

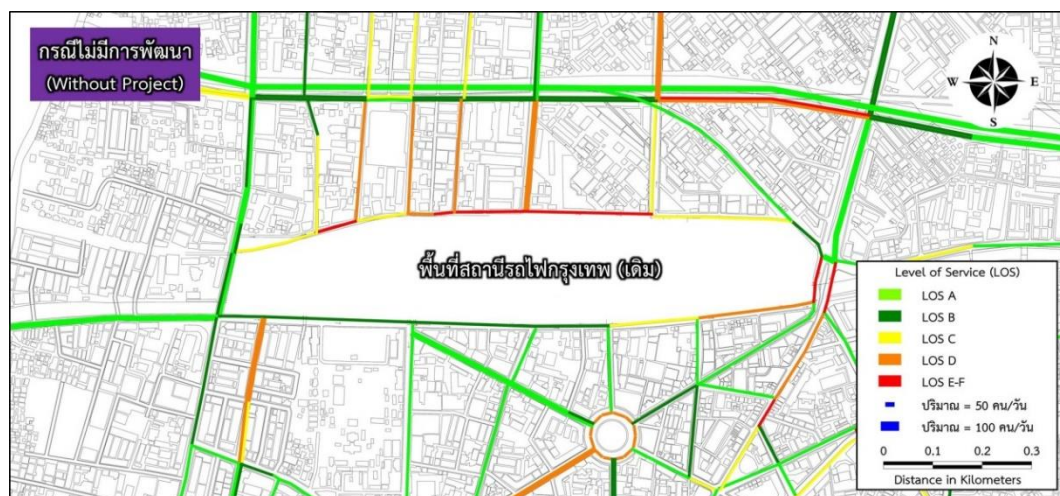
แต่อย่างไรก็ตามเพื่อให้ผลวิเคราะห์คาดการณ์สภาพการจราจรและระดับการให้บริการของ
ถนนโครงข่ายในพื้นที่ศึกษามีความครอบคลุมมากยิ่งขึ้น จึงต้องมีการพิจารณาในภาพรวม คือ ถนน
โครงข่ายทั้งภายในและบริเวณโดยรอบสถานีรถไฟกรุงเทพ แสดงดังในภาพที่ 7



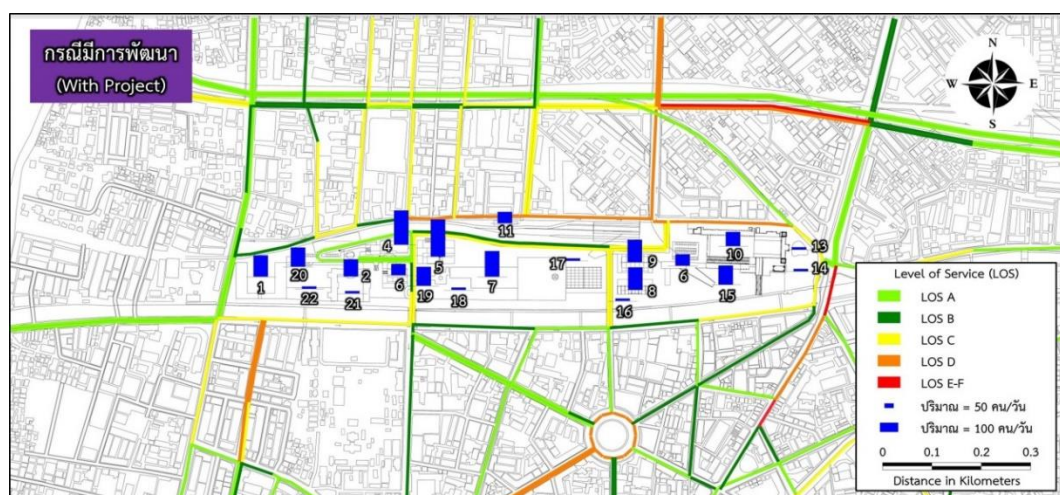
ภาพที่ 7 ถนนโครงข่ายทั้งภายในและบริเวณโดยรอบสถานีรถไฟกรุงเทพ: ผังพื้นที่รูปแบบที่ 2

โดยผลการวิเคราะห์สภาพการจราจรบนถนนโครงข่ายของพื้นที่ศึกษาในกรณีไม่มีการ
พัฒนาโครงการ (Without project) พบว่า มีระดับการให้บริการถนนโครงข่ายของพื้นที่ศึกษาใน

ภาพรวมอยู่ในระดับ C ถึง D แสดงดังในภาพที่ 8 และเมื่อทำการวิเคราะห์สภาพการจราจรในกรณีมีการพัฒนาโครงการ (With project) พบว่า ภาพรวมถนนโครงข่ายของของพื้นที่ศึกษาจะมีสภาพการจราจรที่ดีขึ้น โดยจะมีระดับการให้บริการอยู่ในระดับ B ถึง ระดับ C ดังแสดงในภาพที่ 9 ทั้งนี้ เนื่องจาก เมื่อมีการพัฒนาถนนโครงข่ายภายในสถานีรถไฟกรุงเทพจะสามารถช่วยลดปริมาณการจราจรจากเส้นทางเดิม หรือ ถนนโครงข่ายอื่น ๆ ที่อยู่บริเวณโดยรอบฯ บางส่วนให้หันมาใช้บริการในเส้นทางที่ถูกพัฒนาใหม่นี้ จึงส่งผลให้ระดับการให้บริการภายในสถานีกรุงเทพมีระดับที่สูงขึ้น



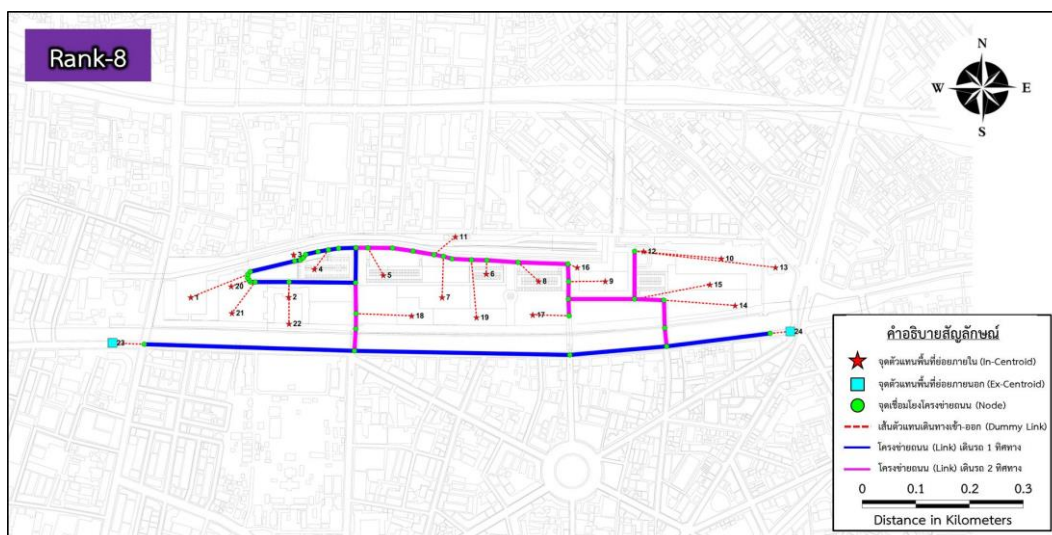
ภาพที่ 8 สภาพการจราจรบนถนนโครงข่ายทั้งภายในและภายนอกสถานีรถไฟกรุงเทพ:
กรณีไม่มีการพัฒนา (Without project)



ภาพที่ 9 สภาพการจราจรบนถนนโครงข่ายทั้งภายในและภายนอกสถานีรถไฟกรุงเทพ:
กรณีมีการพัฒนา (With project) ตามการออกแบบผังพื้นที่รูปแบบที่ 2

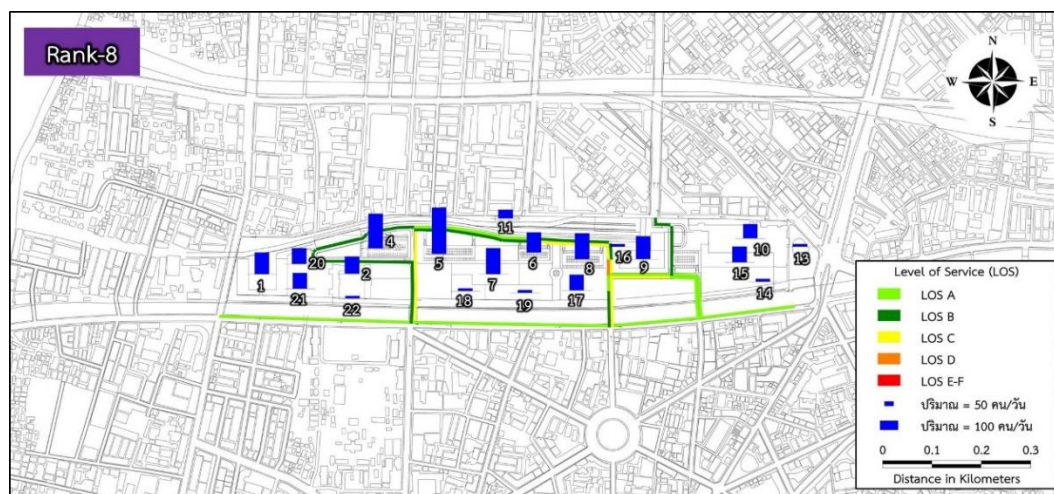
4.3 การจัดการจราจรบนโครงข่ายถนนภายในสถานีรถไฟกรุงเทพ: ผังพื้นที่รูปแบบที่ 3

การจัดการจราจรภายในสถานีรถไฟกรุงเทพการออกแบบผังพื้นที่กรณีรูปแบบที่ 3 ประกอบไปด้วยการจัดการจราจรทั้งในรูปแบบการเดินรถ 1 ทิศทาง และการเดินรถ 2 ทิศทาง (สวนทางกัน) ซึ่งขนาดของช่องจราจรของถนนโครงข่ายบริเวณสถานีรถไฟกรุงเทพกรณีนี้จะมีขนาด 2 ช่องจราจรทั้งหมด โดยปริมาณจราจรที่มาจากพื้นที่ย่อยภายนอกสถานีมาจาก 2 พื้นที่ย่อย ได้แก่ ปริมาณจราจรบนถนนพระรามที่ 4 เข้าสู่ถนนเรียบคลองผดุงกรุงเกษมด้านทิศใต้ของสถานีรถไฟกรุงเทพ และปริมาณจราจรบนถนนพระรามที่ 1 เข้าสู่ถนนรองเมืองด้านทิศเหนือของสถานีรถไฟกรุงเทพ นอกจากนั้นยังมีตัวแทนปริมาณจราจรจากพื้นที่ย่อยภายในสถานีรถไฟกรุงเทพ จำนวน 22 พื้นที่ย่อยภายในสถานีฯ ตามการออกแบบผังพื้นที่รูปแบบที่ 3 โดยโครงข่ายถนนภายในสถานีรถไฟกรุงเทพในการออกแบบผังพื้นที่รูปแบบที่ 3 นี้ มีจุดเชื่อมโยงโครงข่ายถนน (Node) ครอบคลุมพื้นที่สถานีรถไฟกรุงเทพ รายละเอียดแสดงดังภาพที่ 10



ภาพที่ 10 การจัดการจราจรภายในสถานีรถไฟกรุงเทพ: ผังพื้นที่รูปแบบที่ 3

หลังจากที่ได้มีการกำหนดรูปแบบการจัดการจราจรบนโครงข่ายภายในสถานีรถไฟกรุงเทพตามการออกแบบผังพื้นที่รูปแบบที่ 3 คณะผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์สภาพการจราจร ได้แก่ ปริมาณจราจรและอัตราการไหลซึ่งเป็นตัวแปรที่อธิบายสภาพการจราจร โดยวัดในรูปของจำนวนยานพาหนะที่เคลื่อนผ่านตำแหน่งใด ๆ บนถนน ในช่วงจราจรหรือทิศทางจราจร ในช่วงเวลาหนึ่ง ๆ และดัชนีระดับการให้บริการ (Level of service, LOS) ของถนนในโครงข่ายภายในสถานีรถไฟกรุงเทพ ซึ่งผลการวิเคราะห์สภาพการจราจรบนโครงข่ายภายในสถานีรถไฟกรุงเทพตามการออกแบบผังพื้นที่รูปแบบที่ 3 แสดงดังภาพที่ 11



ภาพที่ 11 สภาพการจราจรบนถนนโครงข่ายภายในสถานีรถไฟกรุงเทพ: ผังพื้นที่รูปแบบที่ 3

จากภาพที่ 11 จะเห็นได้ว่าระดับการให้บริการของถนนโครงข่ายภายในพื้นที่สถานีรถไฟกรุงเทพส่วนใหญ่อยู่ในระดับ B สภาพอยู่ตัว (Stable flow) รองลงมาอยู่ในระดับ A สภาพอิสระ (Free flow) โครงข่ายถนนบางส่วนอยู่ในระดับการให้บริการ C ยังอยู่ในสภาพอยู่ตัว (Stable flow) และสัดส่วนโครงข่ายถนนส่วนน้อยที่สุดอยู่ในระดับการให้บริการ D ใกล้สภาพไม่อยู่ตัว (Approach unstable flow) ซึ่งการจัดการจราจรตามการออกแบบผังพื้นที่รูปแบบที่ 3 นี้ โดยรวมการเคลื่อนที่ของยานพาหนะค่อนข้างสะดวก และผู้ขับขี่สามารถเลือกใช้ความเร็วที่ค่อนข้างอิสระ และปริมาณจราจรน้อยในเกือบทุกช่วงของโครงข่ายถนน มีเพียงส่วนน้อยที่ผู้ขับขี่จำเป็นต้องขับตามรถคันหน้าไปด้วยความเร็วต่ำ มีความสะดวกสบายต่ำ ซึ่งทางหลวงในเมืองอาจยอมให้มีปริมาณจราจรสูงสุดถึงระดับนี้ แต่ในอนาคตหากมีปริมาณจราจรที่เพิ่มมากยิ่งขึ้น หรือพื้นที่ภายในสถานีรถไฟกรุงเทพสามารถดึงดูดให้เกิดปริมาณการเดินทางที่เพิ่มมากยิ่งขึ้นจะต้องมีการขยายขนาด และจำนวนช่องจราจรบางช่วงของโครงข่ายถนนเพิ่มขึ้น หรือมีการจัดรูปแบบการเดินรถทิศทางเดียวในบางช่วงของโครงข่ายถนน

5. สรุปผลและการอภิปรายผล

งานวิจัยนี้สามารถสรุปผลการจำลองสถานการณ์การจราจรภายในสถานีรถไฟกรุงเทพภายหลังมีการวางผังพื้นที่สถานีที่สอดคล้องกับบทบาทและระบบกิจกรรมที่เปลี่ยนแปลงไปและเสนอรูปแบบการจัดการจราจรภายในสถานีรถไฟกรุงเทพ ซึ่งสรุปได้ดังนี้

5.1 ผลการเปรียบเทียบรูปแบบการจัดการจราจรภายในสถานีรถไฟกรุงเทพ

จากรูปแบบการจัดการจราจรตามแนวคิดการออกแบบผังพื้นที่ทั้ง 3 รูปแบบ พบว่ารูปแบบการจัดการจราจรในแต่ละรูปแบบแบบนั้นให้ผลประสิทธิภาพการจราจรที่แตกต่างกัน ซึ่ง

รูปแบบทางเลือกที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด ได้แก่ การจัดการจราจรภายในสถานีรถไฟกรุงเทพการออกแบบผังพื้นที่รูปแบบที่ 2 ประกอบไปด้วยการจัดการจราจรทั้งในรูปแบบการเดินรถ 1 ทิศทางและการเดินรถ 2 ทิศทาง (สวนทางกัน) ซึ่งขนาดของช่องจราจรของถนนโครงข่ายบริเวณสถานีรถไฟกรุงเทพกรณีนี้จะมีขนาด 2 ช่องจราจรทั้งหมด โดยผลการวิเคราะห์ระดับการให้บริการของถนนโครงข่ายภายในพื้นที่สถานีรถไฟกรุงเทพส่วนใหญ่อยู่ในระดับ A สภาพอิสระ (Free flow) รองลงมาอยู่ในระดับ B สภาพอยู่ตัว (Stable flow) และสัดส่วนโครงข่ายถนนส่วนน้อยที่สุดอยู่ในระดับการให้บริการ C ยังอยู่ในสภาพอยู่ตัว (Stable flow) ซึ่งการจัดการจราจรตามการออกแบบผังพื้นที่รูปแบบที่ 2 นี้ โดยรวมการเคลื่อนที่ของยานพาหนะสะดวก และผู้ขับขี่สามารถเลือกใช้ความเร็วที่ค่อนข้างอิสระ และปริมาณจราจรน้อยในเกือบทุกช่วงของโครงข่ายถนน แต่ในอนาคตหากมีปริมาณจราจรที่เพิ่มมากยิ่งขึ้น หรือพื้นที่ภายในสถานีรถไฟกรุงเทพสามารถดึงดูดให้เกิดปริมาณการเดินทางที่เพิ่มมากยิ่งขึ้นจะต้องมีการขยายขนาดและจำนวนช่องจราจรบางช่วงของโครงข่ายถนนเพิ่มขึ้น หรือมีการจัดรูปแบบการเดินรถทิศทางเดียวในบางช่วงของโครงข่ายถนน

5.2 เสนอแนวทางการจัดการจราจรภายในสถานีรถไฟกรุงเทพภายหลังมีการวางผังพื้นที่สถานีที่สอดคล้องกับบทบาทและระบบกิจกรรมที่เปลี่ยนแปลง

5.2.1 ด้านการพัฒนาระบบการขนส่งทางถนนภายในพื้นที่สถานีรถไฟกรุงเทพ จากการประเมินสภาพการจราจรของถนนโครงข่ายภายในสถานีรถไฟกรุงเทพตามหลักทฤษฎีทางด้านวิศวกรรมจราจรทั้ง 3 รูปแบบพบว่า โดยรวมการเคลื่อนที่ของยานพาหนะค่อนข้างสะดวก และผู้ขับขี่สามารถเลือกใช้ความเร็วที่ค่อนข้างอิสระ แต่ในอนาคตหากมีปริมาณจราจรที่เพิ่มมากยิ่งขึ้น หรือพื้นที่ภายในสถานีรถไฟกรุงเทพสามารถดึงดูดให้เกิดปริมาณการเดินทางที่เพิ่มมากยิ่งขึ้นจะต้องมีการขยายขนาดและจำนวนช่องจราจรบางช่วงของโครงข่ายถนนเพิ่มขึ้น หรือมีการจัดรูปแบบการเดินรถทิศทางเดียวในบางช่วงของโครงข่ายถนน

5.2.2 ด้านการพัฒนาระบบทางการเดินทางที่ไม่ใช้เครื่องยนต์ (Non-motorized transport: NMT) การเดินทางที่ไม่ใช้เครื่องยนต์ถือเป็นหนึ่งในระบบขนส่งที่ยั่งยืน (Sustainable transport system) และเป็นระบบการขนส่งที่เหมาะสมกับบริบทของสถานีรถไฟกรุงเทพ (หัวลำโพง) หลังการปรับเปลี่ยนการใช้พื้นที่ เนื่องจากการเดินทางที่ไม่ใช้เครื่องยนต์เป็นอีกหนึ่งมาตรการในการบริหารจัดการปริมาณการเดินทาง (Travel demand management: TDM) สำหรับการควบคุมปริมาณจราจรบนท้องถนน เพื่อแก้ปัญหาการจราจร ช่วยลดมลภาวะที่เกิดขึ้นจากการเผาผลาญเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม จากที่กล่าวมาข้างต้นควรจัดให้มีแผนการรองรับดังนี้

พัฒนาเส้นทางจักรยานให้ครอบคลุมโครงข่ายการสัญจรภายในสถานีรถไฟฟ้ากรุงเทพเพิ่มสิ่งอำนวยความสะดวกสำหรับผู้ใช้งานจักรยานโดยการเพิ่มจุดจอดสำหรับจักรยาน เพื่อให้เกิดการส่งเสริมการใช้อุปกรณ์มากขึ้น

ปรับปรุงทางเท้าเพื่ออำนวยความสะดวกแก่ผู้เดินเท้าและผู้พิการ เช่น การติดตั้งป้ายบอกทางสัญลักษณ์บนทางเท้าให้ชัดเจน ปรับปรุงผิวทางเดินเท้า ก่อสร้างหลังคาคลุมทางเท้า จากสิ่งที่กล่าวมาขั้นต้นนั้นจะสอดคล้องกับแผนดำเนินการปรับปรุงภูมิทัศน์คลองผดุงกรุงเกษมของกรุงเทพมหานคร (กทม.)

6. กิตติกรรมประกาศ

การศึกษานี้สำเร็จลุล่วงเป็นอย่างดี เนื่องจากได้รับทุนสนับสนุนโดยหน่วยบริหารและจัดการทุนด้านการเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันของประเทศ (บพข.) ประจำปีงบประมาณ 2563 ทุนวิจัยสัญญาเลขที่ C10F630207

7. เอกสารอ้างอิง

กมลพรรณ พยับ. (2557). การเพิ่มประสิทธิภาพในการจัด Layout กรณีศึกษา บริษัทพลาสติก AAA อันต์สตรี จำกัด. (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ). มหาวิทยาลัยหอการค้า, บริหารธุรกิจมหาบัณฑิต.

การรถไฟแห่งประเทศไทย. (2563). รายงานข้อมูลปริมาณผู้โดยสารและปริมาณสินค้า โครงการการศึกษาและบริหารจัดการการเดินรถทั้งระบบตามพื้นที่โครงการระบบรถไฟฟ้าขนส่งมวลชน (สายสีแดง). (รายงานประจำปี).

กิตติพงศ์ ชัยกิตติกรณ์ และ อุบลวรรณ ภาวนันท์ (2559). การพัฒนาการให้บริการรถโดยสารประจำทางขององค์การขนส่งมวลชนกรุงเทพ (ขสมก.). Thai Journal of Public Administration, 14(1), 155-180.

ธิป ศรีสกุลไพย์รัก และคณะ (2563). การศึกษาคุณค่าเชิงอัตลักษณ์ และความต้องการทางสังคมในการอนุรักษ์พัฒนาสถานีรถไฟฟ้าหัวลำโพง. (รายงานการวิจัย). กรุงเทพฯ: สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.).

เฟื่องอรุณ ปรีดีติลล และคณะ (2564). การศึกษาเพื่อวางกรอบในการอนุรักษ์และพัฒนาพื้นที่สถานีรถไฟฟ้ากรุงเทพ (หัวลำโพง). (รายงานการวิจัย).

วิรัช หิรัญ. (2558). วิศวกรรมจราจร. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สำนักงานนโยบาย แผน วิจัยและพัฒนาแผนวิสาหกิจการรถไฟแห่งประเทศไทย (2563). แผนวิสาหกิจการรถไฟแห่งประเทศไทย พ.ศ. 2560 -2564 ประจำปีงบประมาณ 2563.

สำนักงานนโยบายและแผนการขนส่งและจราจร (2553). **โครงการศึกษาปรับแผนแม่บทระบบขนส่ง
มวลชนทางรางในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล.**

สำนักยุทธศาสตร์และประเมินผล กรุงเทพมหานคร (2552). **แผนพัฒนากรุงเทพมหานคร ระยะ 12
ปี (พ.ศ. 2552-2563) กรุงเทพฯ มหานครแห่งความน่าอยู่อย่างยั่งยืน, บริษัท ดาวฤกษ์
คอมมูนิเคชั่นส์ จำกัด.**

สุรเมศวร์ พิริยะวัฒน์. (ม.ป.ป.). **ระบบขนส่งสาธารณะ.** ชลบุรี: คณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัย
บูรพา.

อนาวิต เวชชานกร และกฤตพร ห้าวเจริญ. (2565). การพัฒนาพื้นที่ย่านหัวลำโพง กรุงเทพมหานคร.
วารสารสิ่งแวดล้อมสรรค์สร้างวิจัย คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น,
12(1), 1-19.

Pignataro, L. J., Cantilli, E. J., Falcocchio, J. C., Crowley, K. W., McShane, W. R., Roess,
R. P., & Lee, B. (1973). **Traffic engineering: theory and practice.** (n.d.)

Wolshon, B., & Pande, A. (2016). **Traffic engineering handbook.** UAS.: John Wiley &
Sons.



การพัฒนาระบบสารสนเทศเพื่อการบริหารองค์การ
โดยใช้หลักการจัดการการไหลของสารสนเทศโลจิสติกส์
กรณีศึกษาคณะโลจิสติกส์และดิจิทัลซัพพลายเชน มหาวิทยาลัยนเรศวร
THE DEVELOPMENT OF ORGANIZATION MANAGEMENT
INFORMATION SYSTEM BY USING PRINCIPLES OF
LOGISTICS INFORMATION FLOW MANAGEMENT:
A CASE STUDY OF FACULTY OF LOGISTICS AND
DIGITAL SUPPLY CHAIN, NARESUAN UNIVERSITY

เจษฎา โพธิ์จันทร์^{1*}, สุนันท์ ธาติ¹, ณัฐชยา ปันชุม¹, สударัตน์ จันทิมา¹
Jessada Pochan^{1*}, Sunun Tati¹, Natchaya Punchum¹, Sudarat Chantima¹

¹คณะโลจิสติกส์และดิจิทัลซัพพลายเชน มหาวิทยาลัยนเรศวร อ.เมือง จ.พิษณุโลก ประเทศไทย 65000

¹Faculty of Logistics and Digital Supply Chain, Naresuan University, Muang, Phitsanulok, Thailand, 65000

*Corresponding author e-mail: jessadapo@nu.ac.th

วันที่เข้ารับ 31 กรกฎาคม 2565

วันที่แก้ไขบทความ 16 สิงหาคม 2565

วันที่ตอบรับบทความ 9 กันยายน 2565

บทคัดย่อ

บทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำเสนอกรอบแนวคิดการพัฒนาระบบสารสนเทศเพื่อการบริหารองค์การ โดยใช้หลักการจัดการการไหลของสารสนเทศโลจิสติกส์ โดยวิธีการดำเนินการแบ่งออกเป็น 7 ขั้นตอน ประกอบด้วย 1) การทบทวนเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 2) การรวบรวมข้อมูล การสำรวจ และการสัมภาษณ์เชิงลึก 3) การศึกษาและวิเคราะห์การไหลของสารสนเทศ 4) การวิเคราะห์และออกแบบระบบสารสนเทศ 5) การพัฒนาระบบสารสนเทศ 6) การจัดทำคู่มือและจัดฝึกอบรมการใช้งานระบบสารสนเทศ และ 7) การสรุปผลการวิจัย อย่างไรก็ตามการวิจัยนี้ได้ประยุกต์กรอบแนวคิดการพัฒนาระบบสารสนเทศเพื่อการบริหารองค์การกับคณะโลจิสติกส์และดิจิทัลซัพพลายเชน มหาวิทยาลัยนเรศวร โดยผลการศึกษา พบว่า กรอบแนวคิดการพัฒนาระบบสารสนเทศเพื่อการบริหารองค์การที่เหมาะสมจะต้องประกอบด้วย 2 ส่วนหลักได้แก่ 1) ฐานข้อมูลกลาง เพื่อทำหน้าที่จัดเก็บข้อมูลจากการบริการ และ 2) ระบบการจัดการข้อมูล เพื่อทำหน้าที่ให้บริการ/อำนวยความสะดวกในการดำเนินการด้านต่างๆ ของบุคลากร โดยระบบ MIS_NU-Logistics (ต้นแบบ) ที่ถูกพัฒนาขึ้นสามารถช่วยให้การจัดการเวลาขององค์กรมีประสิทธิภาพมากขึ้น ซึ่งลดระยะเวลาจาก 1-3 วัน เหลือเพียงครึ่งวันเท่านั้น นอกจากนี้ระบบฯ ยังช่วยให้การบริหารจัดการทรัพยากรขององค์กรมี

ประสิทธิภาพมากขึ้นอีกด้วย ซึ่งลดการใช้กระดาษได้ประมาณ 2,400 แผ่นต่อปี หรือเฉลี่ยประมาณ 2% ของการใช้กระดาษทั้งหมด

คำสำคัญ: ระบบสารสนเทศเพื่อการบริหาร, การจัดการการไหลของสารสนเทศโลจิสติกส์, วงจรการพัฒนาระบบ, แผนผังก้างปลา

Abstract

This article proposed a conceptual framework to develop organization management information system by using principles of logistics information flow management. The method was divided into seven steps: literature review, data collection, surveys and in-depth interviews, study and analysis of information flow, analysis and design of information systems, development of information systems, manuals preparation and training of information systems, and research conclusion. However, this research applied the conceptual framework to develop organization management information system with Faculty of Logistics and Digital Supply Chain, Naresuan University. The results showed that the conceptual framework consisted of 2 main parts: the central database system to collect information from the service and the information management system to provide services and facilitate the operation of personnel. The developed MIS_NU-Logistics system (Prototype) was able to help organizational time management to be more efficient, reducing the operation period from 1-3 days to only half a day. Moreover, the system could help organizational resource management to be more efficient, reducing the paper usage by approximately 2,400 sheets per year, or an average of about 2% of total paper usage.

Keywords: Management information system, Logistics information flow management, System development life cycle, Fish bone diagram

1. บทนำ

ปัจจุบันทุกองค์กรไม่ว่าจะขนาดเล็กหรือขนาดใหญ่ต่างก็มีจุดมุ่งหมายเพื่อการบริหารจัดการองค์กรให้สามารถดำเนินการได้อย่างเป็นระบบและก้าวไปข้างหน้าได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด โดยที่ผ่านมามีแนวคิดและทฤษฎีการบริหารจัดการต่างๆ เริ่มต้นขึ้นตั้งแต่ช่วงที่เริ่มปฏิวัติอุตสาหกรรม ตั้งแต่ปี ค.ศ.1760 เรื่อยมา ซึ่งเป็นยุคที่เริ่มเปลี่ยนจากแรงงานคนมาเป็นแรงงานจากเครื่องจักร ทำให้มีการขยายอัตราการผลิตแบบก้าวกระโดด และเกิดระบบโรงงานอุตสาหกรรมขึ้นมากมาย จนเกิดการ

จัดการบริหารการทำงานให้เป็นระบบมากขึ้น อย่างไรก็ตามแนวคิดและทฤษฎีการบริหารจัดการได้มีการพัฒนาเรื่อยมาตามยุคตามสมัย โดยสามารถแบ่งออกเป็น 3 ลักษณะใหญ่ ได้แก่ 1) แบบดั้งเดิม (Classical theory) ที่มุ่งเน้นไปยังผลผลิตที่มีประสิทธิภาพและประสิทธิผล (Effective and efficient productivity) เป็นหลัก มากกว่าการใส่ใจบุคคล 2) แบบดั้งเดิมแบบสมัยใหม่ (Neo – classical theory) ที่มุ่งเน้นการบริหารงานบุคคลในเชิงมนุษยสัมพันธ์ โดยความสนใจในด้านความต้องการของมนุษย์ที่สามารถส่งผลต่อกระบวนการทำงานและพัฒนาตนเอง และ 3) แบบสมัยปัจจุบัน (Modern theory) ที่มุ่งเน้นการปฏิบัติงานที่ถูกต้องและผลลัพธ์ที่มีประสิทธิภาพ การบริหารจัดการองค์การจึงมีการผสมผสานโดยการนำเอาหลักคณิตศาสตร์เข้ามาใช้ในกระบวนการคำนวณต่างๆ เพื่อให้การบริหารงานมีประสิทธิภาพสูงสุด (HR Note.asia, 2019)

ระบบสารสนเทศเพื่อการบริหาร (Management information system: MIS) ถูกนำมาใช้เป็นเครื่องมือหนึ่งในการบริหารจัดการและการตัดสินใจในองค์การตามแนวทางการบริหารจัดการตามแนวความคิดแบบสมัยปัจจุบัน (วีระชัย, 2562) โดยเป็นระบบที่ให้ข้อมูลสารสนเทศที่เป็นประโยชน์แก่ผู้บริหารขององค์การในสามระดับ คือ ผู้บริหารระดับต้น ผู้บริหารระดับกลาง และผู้บริหารระดับสูง ซึ่งสามารถให้ข้อมูลสนับสนุนการตัดสินใจแก่ผู้บริหารในการวางแผนการควบคุมและการปฏิบัติการขององค์การได้อย่างถูกต้องและมีประสิทธิภาพ โดยระบบสารสนเทศเพื่อการบริหารจะให้รายงานที่สรุปข้อมูลสารสนเทศซึ่งรวบรวมจากฐานข้อมูลทั้งหมดขององค์การที่ประกอบด้วยข้อมูลสารสนเทศทั้งภายในและภายนอกที่เกี่ยวข้องกับองค์การทั้งในอดีต ปัจจุบัน และสิ่งที่คาดว่าจะจะเป็นในอนาคต ซึ่งมีจุดประสงค์เพื่อมุ่งเน้นให้ผู้บริหารสามารถมองเห็นแนวโน้มและภาพรวมขององค์การในปัจจุบัน รวมทั้งสามารถควบคุมและตรวจสอบงานของระดับปฏิบัติการด้วยแต่อย่างไรก็ตามในปัจจุบันกระบวนการพัฒนาระบบสารสนเทศเพื่อการบริหาร (MIS) เป็นการเก็บรวบรวมสารสนเทศขององค์การ แล้วนำสารสนเทศที่รวบรวมได้มาทำการวิเคราะห์ข้อมูลก่อนที่จะส่งไปประมวลผลข้อมูลด้วยระบบคอมพิวเตอร์ และรายงานผลในรูปแบบของข้อมูลสารสนเทศ โดยในขั้นตอนของการวิเคราะห์ข้อมูลเป็นการวิเคราะห์กระบวนการทำงานและการไหลของสารสนเทศที่เป็นข้อมูลการนำเข้าในการประมวลผลข้อมูลอย่างเป็นระบบและถือว่าเป็นหัวใจสำคัญในการที่จะช่วยให้การประมวลผลของระบบมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น (Jarupun, 2019)

ดังนั้นในการวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อเสนอกรอบแนวคิดในการพัฒนาระบบสารสนเทศเพื่อการบริหารองค์การ โดยประยุกต์ใช้หลักการจัดการการไหลของสารสนเทศโลจิสติกส์ (Logistics information flow management) ซึ่งเป็นหลักการจัดการข้อมูลสารสนเทศในการบริหารกิจกรรมในโลจิสติกส์ ตั้งแต่การวางแผน การจัดซื้อ การควบคุมการปฏิบัติการ การไหลเวียนของสินค้า และการจัดเก็บวัสดุสินค้า เพื่อตอบสนองความต้องการของลูกค้าและลดค่าใช้จ่ายในองค์การ ด้วยการใช้ทรัพยากรให้มีคุณค่าที่สุด และถือว่าเป็นหัวใจสำคัญในการปลดปล่อย การตอบสนอง และการเพิ่ม

ประสิทธิภาพในการจัดการโลจิสติกส์เพื่อตอบสนองต่อความต้องการของลูกค้า (Magan *et al.*, 2008) นอกจากการวิจัยนี้ยังได้ประยุกต์กรอบแนวคิดการพัฒนาระบบสารสนเทศเพื่อการบริหารองค์การที่ใช้หลักการจัดการการไหลของสารสนเทศโลจิสติกส์กับคณะโลจิสติกส์และดิจิทัลซัพพลายเชน มหาวิทยาลัยนเรศวร ในการศึกษาและวิเคราะห์การไหลของสารสนเทศ และพัฒนาระบบสารสนเทศ (ต้นแบบ) ขององค์การ ซึ่งจะทำให้คณะโลจิสติกส์และดิจิทัลซัพพลายเชน มหาวิทยาลัยนเรศวร มีเครื่องมือในการวิเคราะห์ข้อมูลสำหรับการวางแผนการบริหารจัดการ และการตัดสินใจขององค์การได้อย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

2. วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

2.1 เพื่อเสนอกรอบแนวคิดการพัฒนาระบบสารสนเทศเพื่อการบริหารองค์การ

2.2 เพื่อประยุกต์กรอบแนวคิดการพัฒนาระบบสารสนเทศเพื่อการบริหารองค์การกับคณะโลจิสติกส์และดิจิทัลซัพพลายเชน มหาวิทยาลัยนเรศวร

3. วิธีดำเนินงานวิจัย

บทความนี้ได้แบ่งวิธีการดำเนินการวิจัยออกเป็น 7 ขั้นตอน ดังแสดงในภาพที่ 1 โดยมีรายละเอียดแต่ละขั้นตอนดังนี้

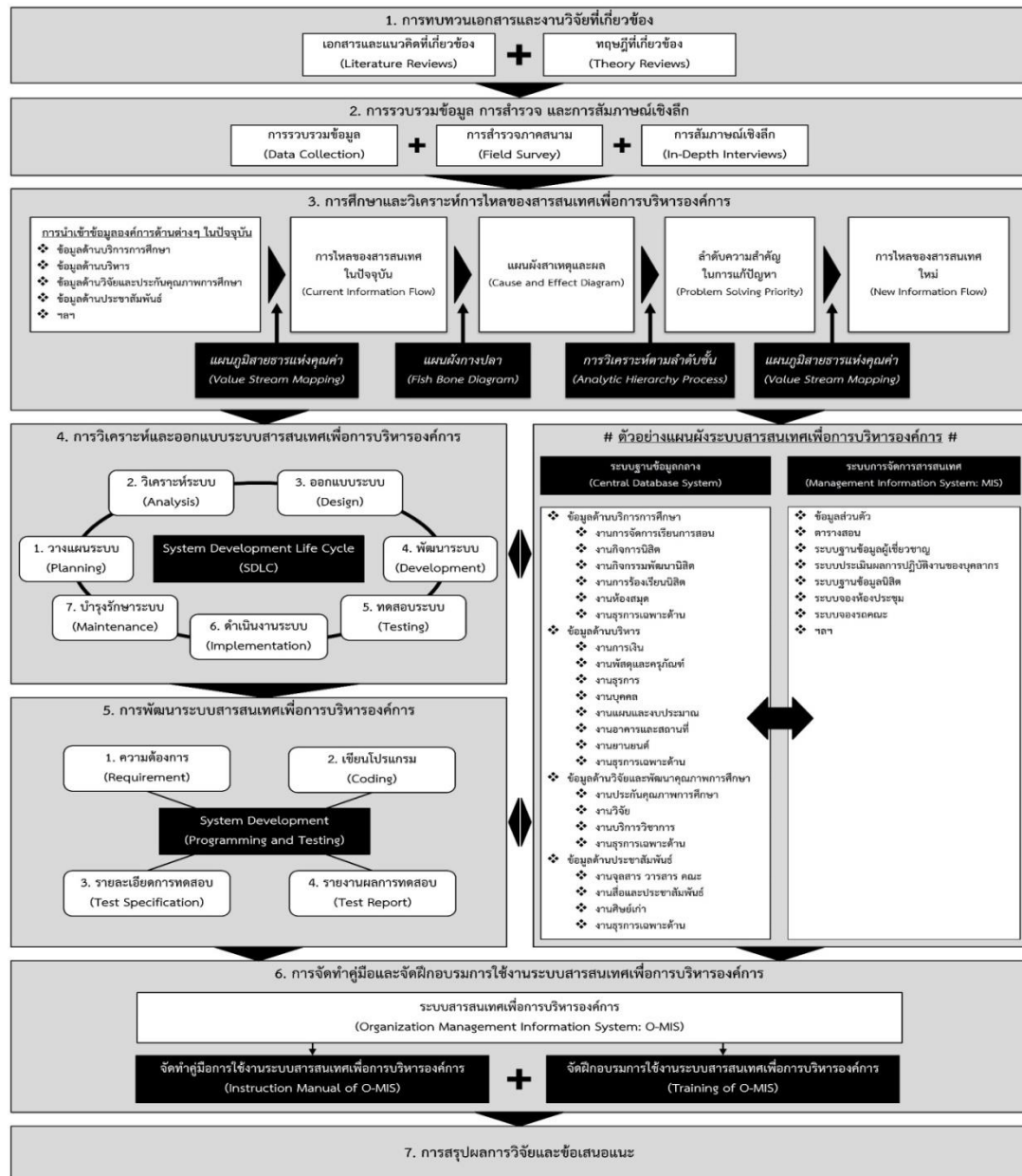
3.1 การทบทวนเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เป็นการศึกษาและทบทวนข้อมูลวรรณกรรมและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง ประกอบด้วย ระบบสารสนเทศเพื่อการบริหาร (Jarupun, 2019) การจัดการการไหลของสารสนเทศโลจิสติกส์ (Magan *et al.*, 2008) วงจรการพัฒนาระบบ (Rattanat, 2019) แผนภูมิสายธารแห่งคุณค่า (รมิตา, 2558) แผนผังก้างปลา (Ishikawa, 1968) และการวิเคราะห์ตามลำดับชั้น (Saaty, 2008)

3.2 การรวบรวมข้อมูล การสำรวจ และการสัมภาษณ์เชิงลึก เป็นการรวบรวมข้อมูล การสำรวจ และการสัมภาษณ์เชิงลึกที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาระบบสารสนเทศเพื่อการบริหารองค์การ โดยแบ่งการเก็บรวบรวมออกเป็น 3 ส่วน โดยมีรายละเอียดดังนี้

3.2.1 การรวบรวมข้อมูล เป็นการรวบรวมข้อมูลทุติยภูมิที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาระบบสารสนเทศเพื่อการบริหารองค์การ โดยมีการรวบรวมข้อมูลการบริหารจัดการองค์การและการไหลของสารสนเทศในด้านต่างๆ ประกอบด้วย ข้อมูลด้านบริการการศึกษา ข้อมูลด้านบริหาร ข้อมูลด้านวิจัยและประกันคุณภาพการศึกษา ข้อมูลด้านประชาสัมพันธ์

3.2.2 การสำรวจข้อมูล เป็นการลงพื้นที่สำรวจข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาระบบสารสนเทศเพื่อการบริหารองค์การในภาคสนาม ด้วยแบบสอบถาม (Questionnaire form) โดยมีการรวบรวม ข้อมูลการบริหารจัดการองค์การและการไหลของสารสนเทศในด้านต่างๆ ประกอบด้วย

ข้อมูลด้านบริการการศึกษา ข้อมูลด้านบริหาร ข้อมูลด้านวิจัยและประกันคุณภาพการศึกษา ข้อมูลด้านประชาสัมพันธ์



ภาพที่ 1 วิธีดำเนินงานวิจัย

3.2.3 การสัมภาษณ์เชิงลึก เป็นการสัมภาษณ์เชิงลึกผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย (Stakeholders) ด้วยแบบสัมภาษณ์ (Interview form) โดยสัมภาษณ์เชิงลึก 5 กลุ่ม ประกอบด้วย 1) กลุ่มผู้บริหารองค์การ ได้แก่ คณบดี รองคณบดี ผู้ช่วยคณบดี ประธานหลักสูตร และหัวหน้างาน 2) กลุ่มบุคลากร

สายวิชาการ 3) กลุ่มบุคลากรสายสนับสนุน 4) กลุ่มนิสิตนักศึกษา 5) กลุ่มผู้ให้บริการข้อมูลจากภายนอกองค์กร อาทิเช่น ผู้ประกอบการที่เกี่ยวข้อง ผู้ปกครองนักเรียน ศิษย์เก่า เป็นต้น โดยการสัมภาษณ์เชิงลึกมีประเด็นคำถาม ได้แก่ มุมมองและแนวคิดที่มีต่อระบบสารสนเทศเพื่อการบริหาร องค์กร ความต้องการพัฒนาระบบสารสนเทศเพื่อการบริหารองค์กร ปัญหาและอุปสรรคในการพัฒนาระบบสารสนเทศเพื่อการบริหารองค์กร

3.3 การศึกษาและวิเคราะห์การไหลของสารสนเทศเพื่อการบริหารองค์กร เป็นการศึกษาและวิเคราะห์การไหลของสารสนเทศเพื่อการบริหารองค์กร โดยแบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอนย่อย ดังนี้

3.3.1 การวิเคราะห์การไหลของสารสนเทศในปัจจุบัน (Current information flow) เป็นการนำข้อมูลองค์กรด้านต่างๆ ในปัจจุบันมาทำการวิเคราะห์หาการไหลของสารสนเทศภายในองค์กร ด้วยแผนภูมิสายธารแห่งคุณค่า (Value stream mapping) โดยผลการศึกษาที่ได้จะแสดงให้เห็นถึงความเชื่อมโยงของกระบวนการทำงาน และทิศทางการไหลของสารสนเทศแต่ละแผนกในองค์กร

3.3.2 การวิเคราะห์แผนผังสาเหตุและผล (Cause and effect diagram) เป็นการนำแผนภูมิแสดงความเชื่อมโยงของกระบวนการทำงาน และทิศทางการไหลของสารสนเทศแต่ละแผนกในองค์กรมาทำการวิเคราะห์หาสาเหตุและผลของปัญหาในปัจจุบัน ด้วยแผนผังก้างปลา (Fish bone diagram)

3.3.3 การวิเคราะห์ลำดับความสำคัญในการแก้ปัญหา (Problem solving priority)

เป็นการนำสาเหตุหลักและสาเหตุย่อยของปัญหาในการไหลของสารสนเทศเพื่อการบริหารองค์กรมาทำการวิเคราะห์หาแนวทางการแก้ไขปัญหาและจัดลำดับความสำคัญในการแก้ปัญหาการไหลของสารสนเทศเพื่อการบริหารองค์กร ด้วยการวิเคราะห์ตามลำดับชั้น (Analytic hierarchy process) ซึ่งผลการวิเคราะห์ที่ได้จะถูกใช้เป็นข้อมูลนำเข้าในขั้นตอนการวิเคราะห์การไหลของสารสนเทศใหม่ต่อไป

3.3.4 การวิเคราะห์การไหลของสารสนเทศใหม่ (New information flow)

เป็นการนำข้อมูลแนวทางการแก้ไขปัญหาการไหลของสารสนเทศเพื่อการบริหารองค์กรที่จัดเรียงตามลำดับความสำคัญ มาดำเนินการปรับปรุงและวิเคราะห์หาการไหลของสารสนเทศใหม่ที่เหมาะสม ด้วยแผนภูมิสายธารแห่งคุณค่า (Value stream mapping) โดยผลการศึกษาที่ได้จะแสดงแผนภูมิความเชื่อมโยงของกระบวนการทำงานและทิศทางการไหลของสารสนเทศใหม่ของแต่ละแผนกในองค์กรที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น

3.4 การวิเคราะห์และออกแบบระบบสารสนเทศเพื่อการบริหารองค์กร เป็นการนำแผนภูมิความเชื่อมโยงของกระบวนการทำงานและทิศทางการไหลของสารสนเทศใหม่ของแต่ละแผนกใน

องค์การมาทำการวิเคราะห์และออกแบบระบบสารสนเทศเพื่อการบริหารองค์การ ด้วยวิธีวงจรการพัฒนาระบบ (System development life cycle: SDLC)

3.5 การพัฒนาระบบสารสนเทศเพื่อการบริหารองค์การ เป็นการนำผลการวิเคราะห์และออกแบบระบบสารสนเทศเพื่อการบริหารองค์การมาทำการพัฒนาระบบสารสนเทศเพื่อการบริหารองค์การ (ต้นแบบ) ด้วยวิธีการพัฒนาระบบ (System development)

3.6 การจัดทำคู่มือและจัดฝึกอบรมการใช้งานระบบสารสนเทศเพื่อการบริหารองค์การ เป็นการนำระบบสารสนเทศเพื่อการบริหารองค์การ (ต้นแบบ) มาดำเนินการจัดทำเป็นคู่มือการใช้งาน พร้อมทั้งจะมีการจัดฝึกอบรมการใช้งานระบบให้กับผู้บริหารและบุคลากรในองค์การเพื่อให้สามารถใช้งานระบบได้อย่างถูกต้องและมีประสิทธิภาพ

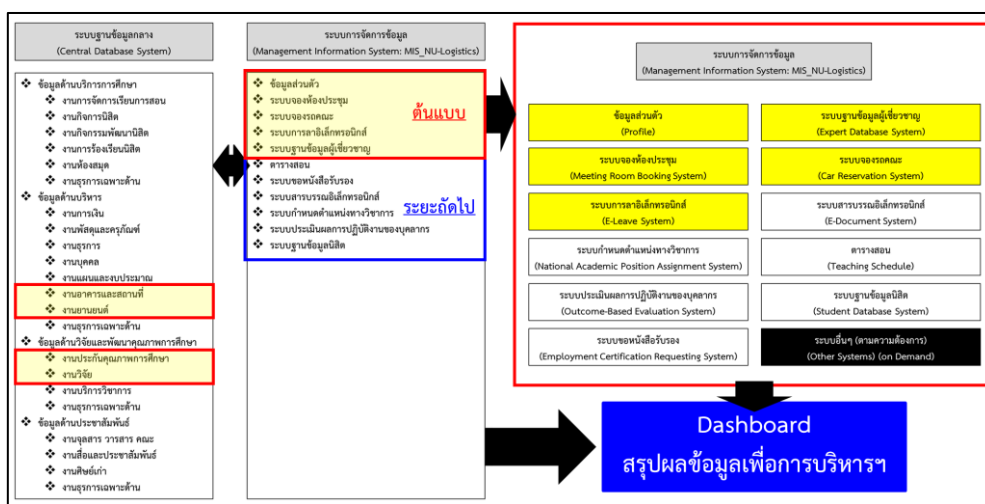
3.7 การสรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ เป็นการนำผลการศึกษาที่ได้ ประกอบด้วย ผลการศึกษาและวิเคราะห์การไหลของสารสนเทศเพื่อการบริหารองค์การ ผลการวิเคราะห์และออกแบบระบบสารสนเทศเพื่อการบริหารองค์การ ผลการพัฒนาระบบสารสนเทศเพื่อการบริหารองค์การ และข้อคิดเห็นและข้อเสนอแนะของผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย มาทำการสรุปผลการวิจัย

4. ผลการวิจัย

ผลการวิจัยสามารถแบ่งออกเป็น 4 ส่วน โดยแต่ละส่วนมีรายละเอียดดังนี้

4.1 ผลการเก็บรวบรวมข้อมูล การสำรวจและการสัมภาษณ์เชิงลึก สามารถแบ่งออกเป็น 3 ประเด็นหลัก ประกอบด้วย 1) มุมมองและแนวคิดที่มีต่อระบบสารสนเทศเพื่อการบริหารองค์การ พบว่า การพัฒนาระบบสารสนเทศเพื่อการบริหารองค์การจะสามารถช่วยให้มีเครื่องมือในการอำนวยความสะดวกให้บุคลากรและช่วยให้ผู้บริหารองค์การมีข้อมูลประกอบการบริหารงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ รวดเร็ว ไม่ซับซ้อน และยังสามารถพัฒนาต่อเนื่องกับด้านอื่นๆ ได้ในระยะยาว 2) ความต้องการพัฒนาระบบสารสนเทศเพื่อการบริหารองค์การ พบว่า ในภาพรวมมีความประสงค์ที่อยากให้มีการพัฒนาระบบสารสนเทศ เนื่องจากการบริหารงานในปัจจุบันยังไม่มีประสิทธิภาพเท่าที่ควร เกิดความล่าช้า และการทำงานที่ซับซ้อนในกระบวนการของบุคลากร การจองรถ การจองห้องประชุม และ ระบบฐานข้อมูลด้านงานวิจัยของบุคลากรภายในองค์การ ประกอบกับยังไม่มีข้อมูลหรือเครื่องมือที่ช่วยให้ข้อมูลในการกำหนดนโยบายการบริหารจัดการองค์การ โดยมองว่าข้อดีของการพัฒนาระบบสารสนเทศเพื่อการบริหารองค์การนั้นจะส่งผลที่ดีในระยะยาวสำหรับองค์การ และบุคลากรในองค์การ และ 3) ปัญหาและอุปสรรคในการพัฒนาระบบสารสนเทศเพื่อการบริหารองค์การ พบว่า ข้อมูลที่จะนำไปพัฒนาระบบสารสนเทศเพื่อการบริหารองค์การที่อาจจะต้องใช้ระยะเวลาในการรวบรวม เพื่อให้สามารถมีข้อมูลเพียงพอต่อการนำไปใช้ในการกำหนดนโยบายต่างๆ ขององค์การได้อย่างมีประสิทธิภาพ

นอกจากนี้จากการวิเคราะห์และสังเคราะห์ข้อมูล พบว่า สามารถกำหนดกรอบแนวคิดการพัฒนาระบบสารสนเทศเพื่อการบริหารองค์การได้ดังแสดงในภาพที่ 2 ซึ่งในเบื้องต้นคณะโลจิสติกส์และดิจิทัลซัพพลายเชน มหาวิทยาลัยนเรศวรได้มีการเสนอให้ดำเนินการพัฒนาระบบต้นแบบ ภายใต้ชื่อ “MIS_NU-Logistics” ที่ประกอบด้วย 5 ระบบย่อย ได้แก่ 1) ข้อมูลส่วนตัว 2) ระบบฐานข้อมูลผู้เชี่ยวชาญ 3) ระบบจองห้องประชุม 4) ระบบจองรถคณะ และ 5) ระบบการลาอิเล็กทรอนิกส์

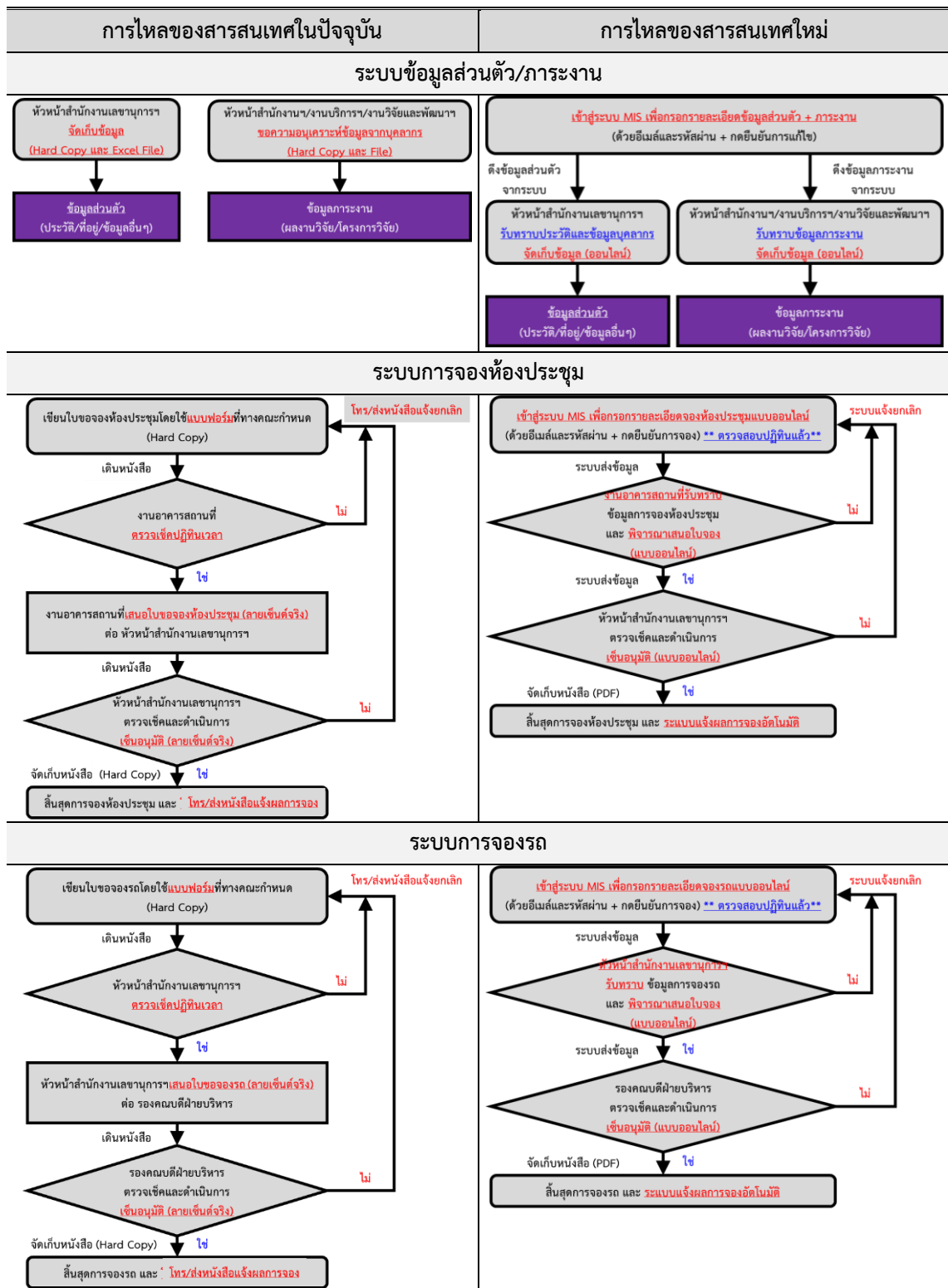


ภาพที่ 2 กรอบแนวคิดการพัฒนาระบบสารสนเทศเพื่อการบริหารองค์การ

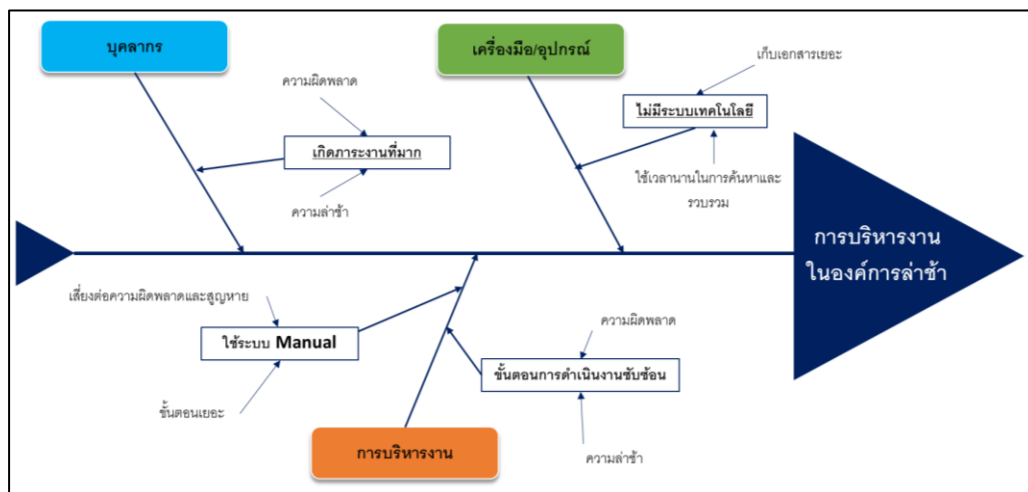
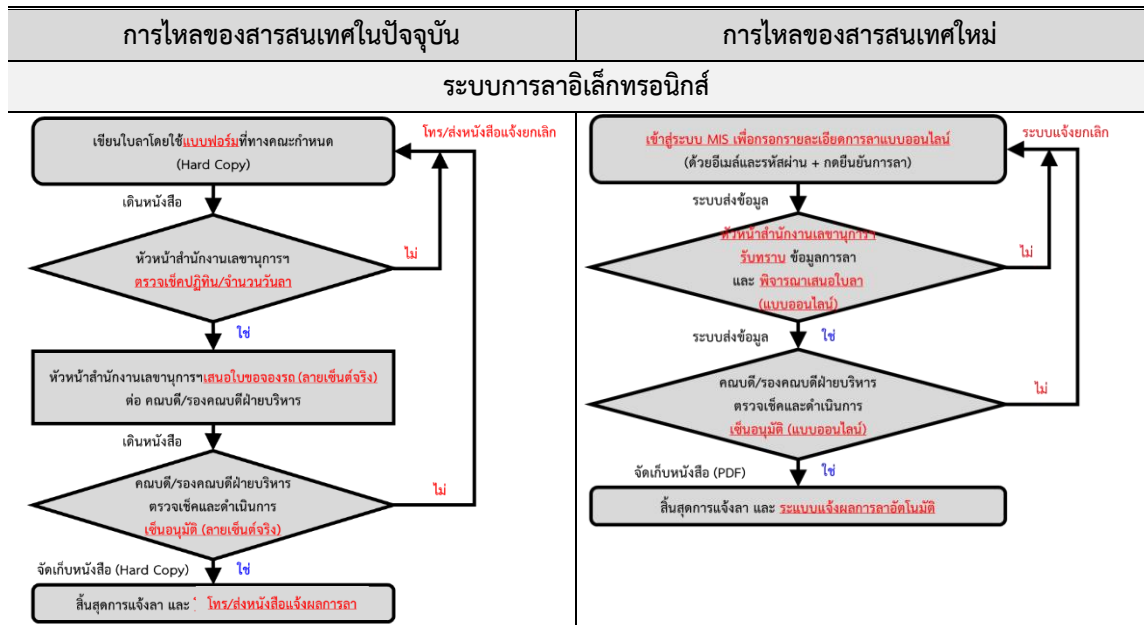
4.2 ผลการวิเคราะห์การไหลของสารสนเทศเพื่อการบริหารองค์การของกรอบแนวคิดการพัฒนาระบบต้นแบบ “MIS_NU-Logistics” พบว่า การไหลของสารสนเทศในปัจจุบัน และการไหลของสารสนเทศใหม่ สามารถแสดงในตารางที่ 1

นอกจากนี้จากการวิเคราะห์แผนผังสาเหตุและผล (Cause and effect diagram) ทำให้ทราบถึงสาเหตุและผลของปัญหาของการไหลของสารสนเทศในปัจจุบัน ดังแสดงในภาพที่ 3 โดยปัญหาหลักในปัจจุบันคือ เกิดการบริหารงานในองค์การล่าช้า โดยมีสาเหตุรองมาจาก 3 ส่วน ได้แก่ 1) บุคลากร โดยในปัจจุบันมีระบบการบริหารงานที่ส่งผลต่อภาระงานรายบุคคลที่มาก อันส่งผลต่อความล่าช้าและความผิดพลาดที่จะเกิดขึ้น 2) การบริหารงาน ในปัจจุบันมีการบริหารงานแบบเดินเอกสารด้วยตัวคน (Manual) ส่งผลให้เกิดภาระงานที่มาก ขั้นตอนการดำเนินงานซับซ้อน หลากหลาย ต้องเก็บเอกสารเยอะ ใช้เวลานานในการค้นหาเอกสาร และเสี่ยงต่อความผิดพลาดและสูญหายอันจะส่งผลต่อความล่าช้าในที่สุด และ 3) เครื่องมือ/อุปกรณ์ ในปัจจุบันไม่มีเทคโนโลยีที่เข้ามาช่วยในการบริหารงาน ส่งผลต่อการจัดเก็บเอกสารข้อมูลในรูปแบบของกระดาษ (Hard copy) ที่มาก และใช้ระยะเวลาที่นานในการค้นหาเอกสาร

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบระหว่างการไหลของสารสนเทศในปัจจุบันและการไหลของสารสนเทศใหม่



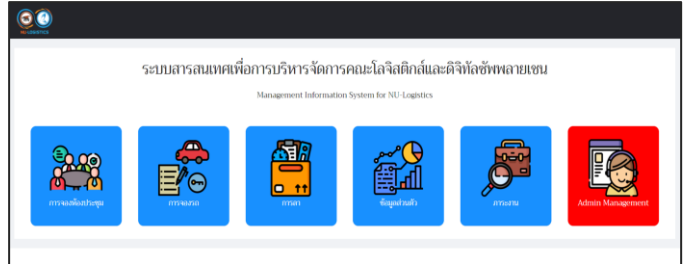
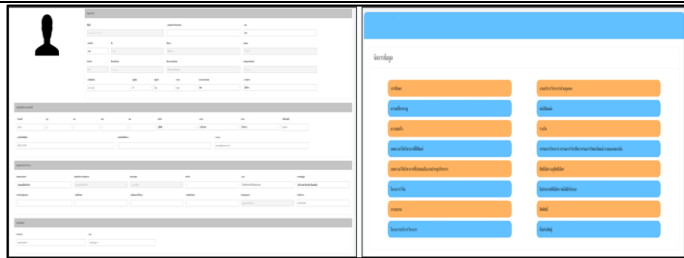
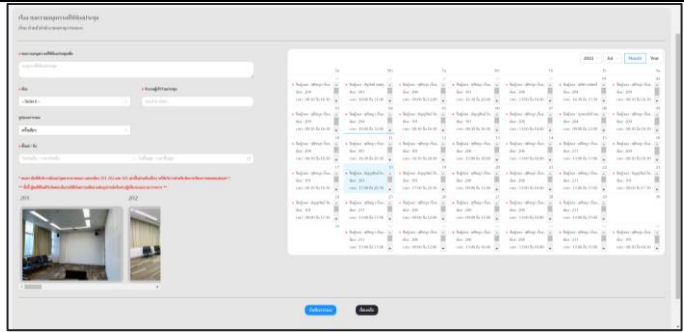
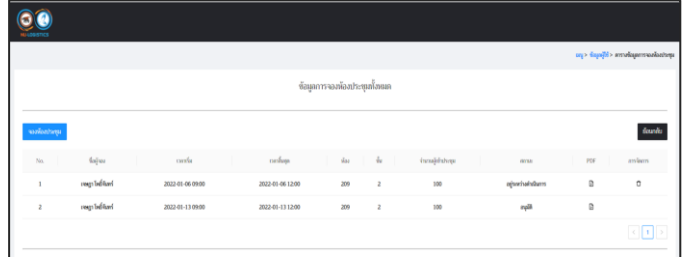
ตารางที่ 1 (ต่อ) เปรียบเทียบระหว่างการไหลของสารสนเทศในปัจจุบันและการไหลของสารสนเทศใหม่



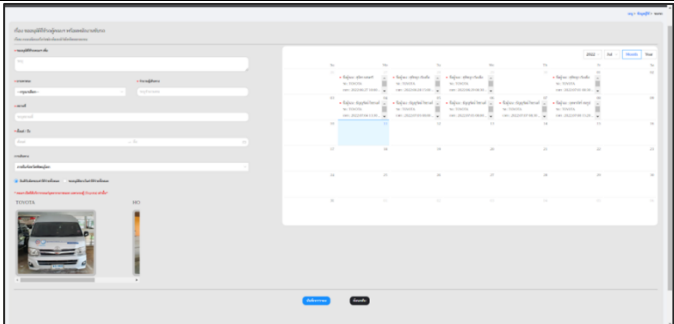
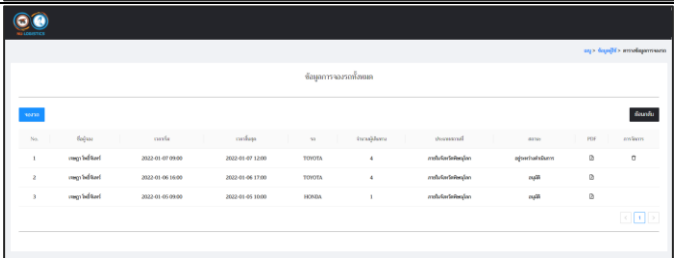
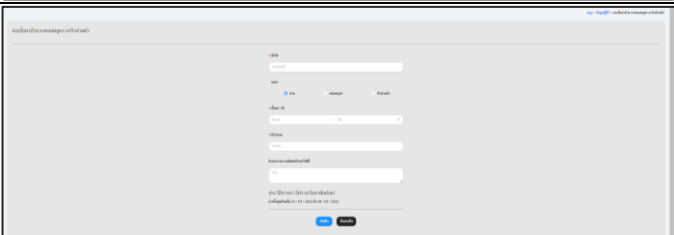
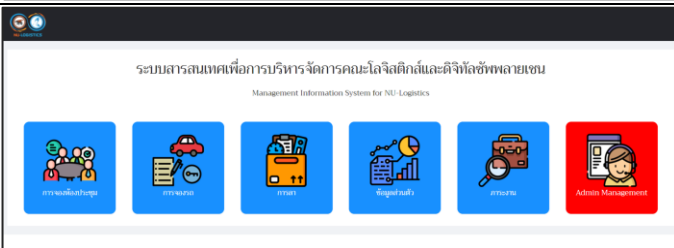
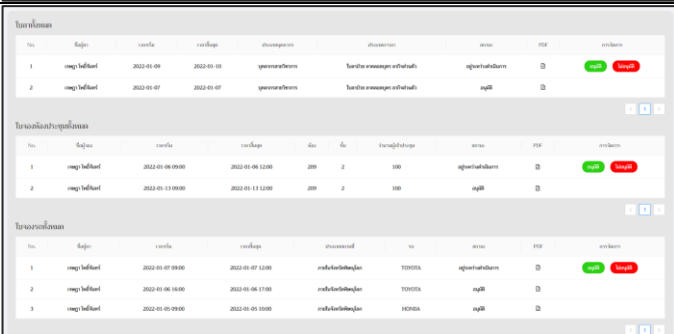
ภาพที่ 3 แผนผังสาเหตุและผล (Cause and effect diagram)

4.3 ผลการออกแบบและการพัฒนาระบบสารสนเทศเพื่อการบริหารองค์กร (ต้นแบบ) ด้วยวิธีวงจรการพัฒนาแบบ (System development life cycle: SDLC) และการพัฒนาระบบ (System development) ทำให้ได้แบบของระบบสารสนเทศ (ต้นแบบ) เพื่อการบริหารองค์กรสำหรับคณะโลจิสติกส์และดิจิทัลซัพพลายเชน มหาวิทยาลัยนเรศวร (MIS_NU-Logistics) ดังแสดงใน ตารางที่ 2 โดยมีการออกแบบให้สอดคล้องและเป็นเอกลักษณ์ขององค์กร และสามารถใช้งานง่าย คลอบคลุมรายละเอียด ขั้นตอนที่สอดคล้องกับกระบวนการไหลของสารสนเทศใหม่ที่กำหนดขึ้น จึงสามารถช่วยให้การบริหารงานสามารถดำเนินการได้รวดเร็วขึ้น ลดความผิดพลาดที่จะเกิดขึ้นได้

ตารางที่ 2 ผลการออกแบบและการพัฒนาระบบสารสนเทศเพื่อการบริหารองค์กร (ต้นแบบ)

การออกแบบ	ระบบ MIS_NU-Logistics
การเข้าสู่ระบบ MIS_NU-Logistics	 
ระบบข้อมูลส่วนตัว/ภาระงาน	
ระบบการจองห้องประชุม	 

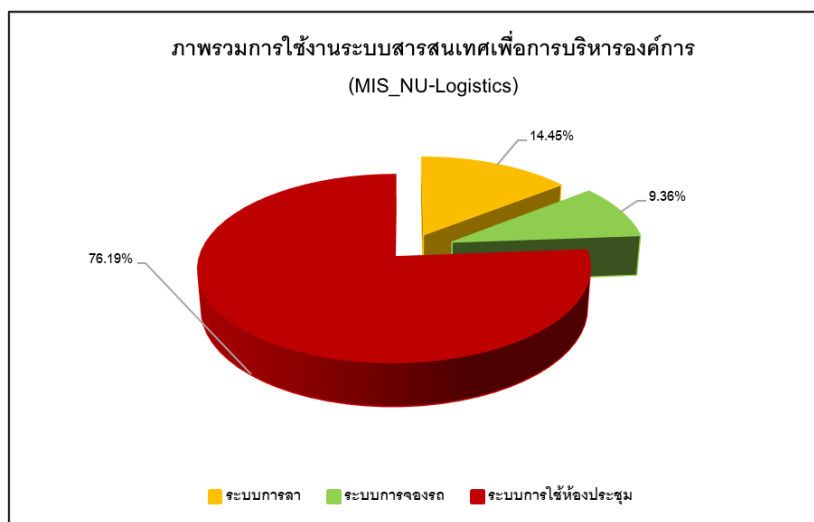
ตารางที่ 2 (ต่อ) ผลการออกแบบและการพัฒนาระบบสารสนเทศเพื่อการบริหารองค์การ (ต้นแบบ)

การออกแบบ	ระบบ MIS_NU-Logistics
ระบบการจองรถ	
	
ระบบการลาอิเล็กทรอนิกส์	
	
ระบบ Admin Management	
	

ตารางที่ 2 (ต่อ) ผลการออกแบบและการพัฒนาระบบสารสนเทศเพื่อการบริหารองค์การ (ต้นแบบ)

การออกแบบ	ระบบ MIS_NU-Logistics
เอกสารอิเล็กทรอนิกส์ ตามแบบฟอร์มราชการ	ตัวอย่าง PDF ที่สมบูรณ์ (การจองห้องประชุม) ตัวอย่าง PDF ที่สมบูรณ์ (การรถ) ตัวอย่าง PDF ที่สมบูรณ์ (การลา)

นอกจากนี้ยังสามารถสรุปสถิติการใช้งานระบบสารสนเทศเพื่อการบริหารองค์การ (ต้นแบบ) MIS_NU-Logistics ในช่วง 6 เดือน (มกราคม – มิถุนายน พ.ศ. 2565) พบว่า มีการใช้บริการทางด้านระบบมากที่สุดคือ การจองใช้ห้องประชุมมากที่สุด จำนวน 464 ครั้ง คิดเป็น 76.19% รองลงมาคือ ระบบการลา จำนวน 88 ครั้ง คิดเป็น 14.45% และ ระบบการจองรถ จำนวน 57 ครั้ง คิดเป็น 9.36% ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 4



ภาพที่ 4 ภาพรวมสถิติการใช้งานระบบสารสนเทศเพื่อการบริหารองค์การ

4.4 ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของระบบสารสนเทศเพื่อการบริหารองค์การ (ต้นแบบ) พบว่า การนำระบบ MIS_NU-Logistics (ต้นแบบ) มาใช้ในการบริหารจัดการคณะโลจิสติกส์และดิจิทัลซัพพลายเชน มหาวิทยาลัยนเรศวร สามารถอำนวยความสะดวกให้กับบุคลากรได้ทั้งในเรื่องการลา การจองห้องประชุม การจองรถ และข้อมูลส่วนตัวและฐานข้อมูลงานวิจัยของบุคลากร ที่สามารถ

ทำทุกอย่างได้บนแพลตฟอร์มออนไลน์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งส่งผลให้การจัดการเวลาขององค์กรมีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยสามารถช่วยลดระยะเวลาในการดำเนินการจาก 1-3 วัน เหลือเพียงครึ่งวันเท่านั้น เนื่องจากระบบฯ ช่วยลดขั้นตอนการดำเนินการที่ก่อให้เกิดความล่าช้าออกไปได้ อันได้แก่ การเดินหนังสือให้ผู้บริหารแต่ละลำดับชั้นลงนามอนุมัติ (2-3 รอบ) การตรวจเช็คปฏิทินการจอง (Manual) การจัดเก็บหนังสือ (Hard copy) และ การโทร/ส่งหนังสือแจ้งยกเลิกหนังสือ นอกจากนี้ระบบฯ ยังช่วยให้การบริหารจัดการทรัพยากรขององค์กรมีประสิทธิภาพมากขึ้นอีกด้วย (ลดการใช้แรงงานคนและกระดาษ) โดยสามารถลดการใช้กระดาษได้ประมาณ 2,400 แผ่นต่อปี (6 เดือนมีการใช้งานระบบ 609 ครั้ง) หรือเฉลี่ยประมาณ 2% ของการใช้กระดาษทั้งหมดขององค์กร

5. สรุปผลและการอภิปรายผล

การพัฒนาระบบสารสนเทศเพื่อการบริหารองค์กรโดยใช้หลักการจัดการการไหลของสารสนเทศโลจิสติกส์ สามารถเสนอกรอบแนวคิดการพัฒนาระบบสารสนเทศเพื่อการบริหารองค์กรที่เหมาะสมได้ โดยระบบจะต้องประกอบด้วย 2 ส่วนหลักได้แก่ 1) ระบบฐานข้อมูลกลาง (Central data base system) เพื่อทำหน้าที่จัดเก็บข้อมูลจากการบริการ และ 2) ระบบการจัดการข้อมูล (Management information system: MIS) เพื่อทำหน้าที่ให้บริการ/อำนวยความสะดวกในการดำเนินการด้านต่างๆ ของบุคลากร โดยควรจะต้องมีระบบย่อย 11 ตามความต้องการขององค์กร ได้แก่ 1) ระบบข้อมูลส่วนตัว 2) ระบบฐานข้อมูลผู้เชี่ยวชาญ 3) ระบบจองห้องประชุม 4) ระบบจองรถคณะ 5) ระบบการลาอิเล็กทรอนิกส์ 6) ระบบสารบรรณอิเล็กทรอนิกส์ 7) ระบบติดตามการขอตำแหน่งทางวิชาการ 8) ระบบตารางสอน 9) ระบบการประเมินผลการปฏิบัติงานของบุคลากร 10) ระบบฐานข้อมูลนิสิต และ 11) ระบบขอหนังสือรับรอง นอกจากนี้เมื่อประยุกต์ใช้กรอบแนวคิดการพัฒนาระบบสารสนเทศเพื่อการบริหารองค์กรกับคณะโลจิสติกส์และดิจิทัลซัพพลายเชน มหาวิทยาลัยนเรศวร โดยพัฒนาเป็นระบบ MIS_NU-Logistics (ต้นแบบ) ที่ประกอบด้วย ระบบข้อมูลส่วนตัว/ภาระงาน ระบบการจองห้องประชุม ระบบการจองรถ และระบบการลาอิเล็กทรอนิกส์ พบว่า ระบบฯ สามารถให้ข้อมูลที่สามารถนำไปใช้ในการวางแผน/กำหนดมาตรการ/นโยบายในการบริหารจัดการองค์กรได้ อาทิเช่น การวางแผนการบริหารจัดการในการใช้ห้องประชุมให้มีประสิทธิภาพ เป็นต้น โดยระบบสามารถช่วยให้การจัดการเวลาขององค์กรมีประสิทธิภาพมากขึ้น (ลดจาก 1-3 วัน เหลือเพียงครึ่งวัน) เนื่องจากระบบฯ ช่วยลดขั้นตอนการดำเนินการที่ก่อให้เกิดความล่าช้าออกไปได้ นอกจากนี้ระบบฯ ยังช่วยให้การบริหารจัดการทรัพยากรขององค์กรมีประสิทธิภาพมากขึ้นอีกด้วย (ลดการใช้แรงงานคนและกระดาษ) โดยสามารถลดการใช้กระดาษได้ประมาณ 2,400 แผ่นต่อปี หรือเฉลี่ยประมาณ 2% ของการใช้กระดาษทั้งหมดขององค์กร

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนจากกองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม และงบประมาณรายได้ของมหาวิทยาลัยนเรศวร ประจำปี 2564-2565 ผู้วิจัยขอขอบพระคุณผู้มีส่วนเกี่ยวข้องในการดำเนินการศึกษานี้ ประกอบด้วย กองการวิจัยและนวัตกรรม มหาวิทยาลัยนเรศวร ตลอดจนผู้บริหาร บุคลากรสายวิชาการ บุคลากรสายสนับสนุน และนิสิตของคณะโลจิสติกส์ และดิจิทัลซัพพลายเชน ที่ช่วยสนับสนุนการให้ข้อมูลและให้ความร่วมมือตลอดระยะเวลาการศึกษา โครงการจนสำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์ด้วยดี

7. เอกสารอ้างอิง

- รมิตา มุสิกพงศ์. (2558). การประยุกต์ใช้แผนภูมิสายธารแห่งคุณค่าในการปรับปรุงกระบวนการผลิตของ ธุรกิจพลาสติกฟิล์ม กรณีศึกษา บริษัท TPK. (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ). มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, สงขลา.
- วีระชัย จิตสุวรรณา (2562). รู้จัก MIS (Management Information System). Retrieved from <https://it-grads.nida.ac.th/mis-management-ไอที/>.
- HR Note.asia (2019). การพัฒนาองค์กร (Organization Development : OD) ให้ก้าวสู่ความสำเร็จ. Retrieved from <https://th.hrnote.asia/orgdevelopment/190610-organization-development-od/>.
- Ishikawa, K. (1968). **Guide to Quality Control**. Tokyo: JUSE.
- Jarupun (2019). ระบบสารสนเทศเพื่อการจัดการ (Management Information System : MIS). Retrieved from <https://sites.google.com/site/jarupun6005/sarsnthes/rabb-sarsnthes-pheux-kar-cadkar-management-information-system-mis>.
- Magan, J., Lalwani, C. & Butchor, T. (2008). Chapter 9 Information flows and Technology. **Global Logistics and Supply Chain Management**. p.150.
- Rattanatat (2019). วงจรการพัฒนากระบวนการ (System Development Life Cycle: SDLC). Retrieved from <https://dol.dip.go.th/th/category/2019-02-08-08-57-30/2019-03-15-11-06-29>.
- Saaty, T. L. (2008). Decision making with the analytic hierarchy process. **International Journal of Services Sciences**. 1, 83-98.

การปรับปรุงการจัดการโลจิสติกส์ในการช่วยเหลือผู้ประสบอุทกภัยด้วยการ
ประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ในการวิเคราะห์พื้นที่เสี่ยงอุทกภัย
จังหวัดพิษณุโลก

THE IMPROVEMENT OF LOGISTICS MANAGEMENT FOR FLOOD
RELIEF WITH THE APPLICATION OF GEOGRAPHIC INFORMATION
SYSTEM (GIS) FOR FLOOD RISK AREA ANALYSIS
IN PHITSANULOK PROVINCE

ธัญญาภรณ์ ธูปทิมเทียน¹, ปุริม ศรีสวัสดิ์², ไกลรุ่ง พรอนันต์^{1*}

Thunyaporn Thooptimthean¹, Purim Srisawat², Klairung Pornanan^{1*}

¹ คณะโลจิสติกส์และดิจิทัลซัพพลายเชน มหาวิทยาลัยนเรศวร อ.เมือง จ.พิษณุโลก ประเทศไทย 65000

² คณะบริหารธุรกิจ มหาวิทยาลัยรามคำแหง แขวงหัวหมาก เขตบางกะปิ กรุงเทพฯ ประเทศไทย 10240

¹ Faculty of Logistics and Digital Supply Chain, Naresuan University, Muang, Phitsanulok, Thailand, 65000

² Faculty of Business Administration, Ramkhamhaeng University, Hua Mak, Bangkok, Thailand, 10240

*Corresponding author e-mail: klairung@nu.ac.th

วันที่เข้ารับ 3 สิงหาคม 2565

วันที่แก้ไขบทความ 28 สิงหาคม 2565

วันที่ตอบรับบทความ 13 กันยายน 2565

บทคัดย่อ

จังหวัดพิษณุโลกประสบปัญหาอุทกภัยเกือบทุกปี ดังนั้นการวางแผนและการบริหารจัดการ
สำหรับเหตุอุทกภัยจึงมีความสำคัญ ในปัจจุบันการกระบวนกรในการเข้าช่วยเหลือผู้ประสบอุทกภัย
ยังคงมีความล่าช้า เนื่องจากอุปสรรคในการเข้าถึงพื้นที่ของหน่วยงานช่วยเหลือขณะเกิดเหตุอุทกภัย
และยังขาดระบบการประเมินพื้นที่เสี่ยงอุทกภัย ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ 1) เพื่อศึกษา
ระบบการจัดการและการเตรียมความพร้อมสำหรับการช่วยเหลือผู้ประสบอุทกภัยในปัจจุบันของ
หน่วยงานที่เกี่ยวข้องในจังหวัดพิษณุโลก 2) เพื่อสร้างแบบจำลองในการพยากรณ์สถานการณ์อุทกภัย
ในพื้นที่เสี่ยงภัยของจังหวัดพิษณุโลกด้วยการประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS) โดยการ
สร้างแบบจำลองสถานการณ์พื้นที่เสี่ยงอุทกภัยได้กำหนดระดับน้ำออกเป็น 6 ระดับ ได้แก่ ระดับ 0.5,
1, 1.5, 2, 2.5 และ 3 เมตร ซึ่งการทราบถึงบริเวณของพื้นที่เสี่ยงอุทกภัยที่เกิดขึ้นจากระดับน้ำแต่ละ
ระดับจะเป็นประโยชน์ต่อการแจ้งเตือนสถานการณ์อุทกภัยบนพื้นฐานของระยะทาง และระยะเวลา
ในการเข้าถึงพื้นที่เสี่ยงภัยของหน่วยงานช่วยเหลือผู้ประสบอุทกภัย ผลจากการประเมินสถานการณ์
พื้นที่เสี่ยงภัยในจังหวัดพิษณุโลก และระยะทางของหน่วยงานช่วยเหลือต่าง ๆ พบว่า ขอบเขตการ
ให้บริการในการเข้าถึงพื้นที่เพื่อช่วยเหลือของหน่วยงานที่เกี่ยวข้องยังไม่ครอบคลุมพื้นที่ที่เกิดเหตุ
ดังนั้นการศึกษานี้จึงได้เสนอการจัดตั้งศูนย์ช่วยเหลือและประเมินสถานการณ์อุทกภัยเบื้องต้น ทั้งหมด

6 แห่ง ในบริเวณอำเภอบางกระทุ่ม อำเภอบางระกำ และอำเภอพรหมพิราม นอกจากนี้แบบจำลองสถานการณ์ยังจะช่วยให้กระบวนการวางแผนในการเข้าช่วยเหลือของหน่วยงานที่เกี่ยวข้องเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

คำสำคัญ: การจัดการโลจิสติกส์เพื่อบรรเทาทุกข์, ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์, พื้นที่เสี่ยงอุทกภัย

Abstract

Phitsanulok Province always faces the problem of floods almost every year; therefore, planning and management for flooding are needed. In addition, the process of helping flood victims is still slow because of the difficulty in accessing the flooding areas and lack of flood risk area assessment. The purpose of this study were to investigate the management process and preparation of helping flood victims of related sectors in Phitsanulok Province, and develop a simulation model for flood risk area prediction in Phitsanulok Province by using the Geographic Information System (GIS). Based on the prediction model, six levels of water when flooding were divided: 0.5 m, 1.0 m, 1.5 m, 2.0 m, 2.5 m, and 3.0 m. Knowing the flood risk areas through levels of water could be useful for warning of floods in terms of the distance and time for the rescuers to reach the areas. The results of the assessment of related sectors to have access to the flood risk areas showed that their service areas did cover all risk areas in Phitsanulok Province. Thus, it was suggested that six flood relief operation centers should be established to help flood victims efficiently in Bangkrathum District, Bangrakam District, and Phromphiram District. In addition, the prediction model will help to improve the planning process to help flood victims efficiently.

Keywords: Relief logistics, Geographic information systems, Flood risk area

1. บทนำ

ประเทศไทยเป็นประเทศหนึ่งที่ต้องเผชิญกับปัญหาภัยพิบัติธรรมชาติเป็นประจำทุกปี โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเกิดอุทกภัย ที่มีสาเหตุจากธรรมชาติ ได้แก่ ฝนตกหนักต่อเนื่อง ฝนตกหนักบริเวณภูเขา น้ำทะเลหนุนสูง หรือภัยธรรมชาติอื่นก็เป็นสาเหตุให้เกิดอุทกภัยได้ และสาเหตุจากฝีมือมนุษย์ ได้แก่ การตัดไม้ทำลายป่า การสร้างสิ่งกีดขวางทางไหลของน้ำ (กรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย, 2562) จังหวัดพิษณุโลกเป็นจังหวัดหนึ่งที่ประสบปัญหาอุทกภัยเป็นประจำเกือบทุกปี โดยเฉพาะช่วงฤดูฝนระหว่างเดือนพฤษภาคม - กันยายนของทุกปี ซึ่งในช่วงนี้เป็นช่วงที่เกิดฝนตกชุก

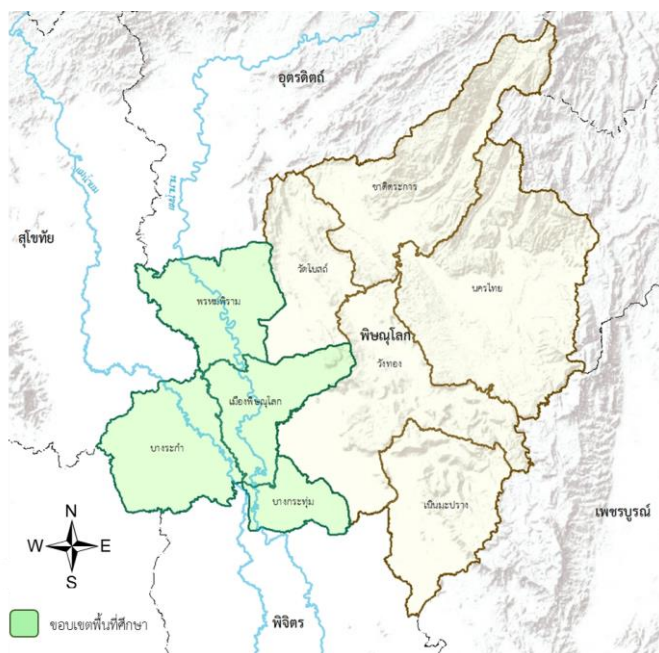
ติดต่อกันเป็นเวลานาน ส่งผลให้ปริมาณน้ำฝนในพื้นที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ประกอบกับจังหวัดพิษณุโลกเป็นพื้นที่รองรับน้ำที่ไหลลงมาจากพื้นที่จังหวัดทางภาคเหนือส่งผลให้มีปริมาณน้ำไหลบ่าเข้าท่วมพื้นที่ และเกิดอุทกภัยขึ้นในหลายพื้นที่ เนื่องจากบางพื้นที่ระบบระบายน้ำไม่สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ จึงสร้างความเสียหายแก่ที่อยู่อาศัย ทรัพย์สินต่าง ๆ และพื้นที่ทำการเกษตรของประชาชนที่อยู่ในพื้นที่เสี่ยง โดยการศึกษาครั้งนี้ได้คัดเลือกพื้นที่ศึกษา 4 อำเภอ จากพื้นที่ที่ประสบการเกิดอุทกภัยบ่อยครั้งและเป็นพื้นที่น้ำท่วมซ้ำซากซึ่ง ได้แก่ อำเภอเมืองพิษณุโลก อำเภอบางระกำ อำเภอบางกระทุ่ม และอำเภ�푼ทรพิราม (แผนเผชิญเหตุป้องกันและแก้ไขปัญหามลพิษและดินถล่ม จังหวัดพิษณุโลก, 2562) ดังแสดงในภาพที่ 1 เนื่องจากลักษณะภูมิประเทศของพื้นที่ศึกษาเป็นที่ราบลุ่มติดกับแม่น้ำสายหลัก ได้แก่ แม่น้ำน่าน และแม่น้ำยม รวมถึงแหล่งน้ำอื่น ๆ ภายในพื้นที่

ในกรณีที่เกิดเหตุการณ์อุทกภัยขึ้นในพื้นที่จังหวัดพิษณุโลก การบริหารจัดการกระบวนการเข้าช่วยเหลือผู้ประสบภัยในพื้นที่จะต้องดำเนินไปได้อย่างรวดเร็วและทั่วถึง ซึ่งหน่วยงานภาครัฐจะเป็นหน่วยงานหลักในการควบคุมดูแล นอกจากนี้หน่วยงานภาคเอกชน รวมถึงองค์กรที่ไม่แสวงหาผลกำไรมีส่วนสำคัญอย่างยิ่งในการให้การสนับสนุนช่วยเหลือผู้ประสบอุทกภัย สำหรับระบบการบริหารจัดการทั้งในด้านข้อมูลและทรัพยากรที่เกี่ยวข้องต่อการช่วยเหลือผู้ประสบภัยต้องเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ เพื่อให้เกิดมูลค่าความเสียหายจากเหตุการณ์อุทกภัยน้อยที่สุด จากเหตุการณ์อุทกภัยที่ผ่านมาสะท้อนให้เห็นถึงปัญหาและอุปสรรคในการเข้าช่วยเหลือที่เกิดขึ้นระหว่างเกิดอุทกภัย เนื่องด้วยกระบวนการวางแผนสำหรับการประเมินสถานการณ์อุทกภัยของหน่วยงานที่เกี่ยวข้องยังไม่มีประสิทธิภาพเท่าที่ควร จึงส่งผลให้การเข้าช่วยเหลือเกิดความล่าช้า และทำความเสียหายที่เกิดขึ้นในพื้นที่ที่ประสบอุทกภัยขยายเป็นบริเวณกว้าง ประกอบกับการขาดแคลนทรัพยากรในการเข้าไปช่วยเหลือ และการจัดสรรกำลังในการช่วยเหลือที่ยังไร้ประสิทธิภาพ ดังนั้น งานวิจัยนี้ จึงได้นำองค์ความรู้การบริหารจัดการระบบโลจิสติกส์และโซ่อุปทาน มาใช้ในการจัดการโลจิสติกส์เพื่อช่วยเหลือผู้ประสบอุทกภัย (Relief logistics) ประกอบกับการนำระบบภูมิสารสนเทศภูมิศาสตร์ (Geographic information system: GIS) เข้ามาช่วยในการวิเคราะห์เพื่อจำลองสถานการณ์อุทกภัยในพื้นที่จังหวัดพิษณุโลก เพื่อเป็นข้อมูลที่หน่วยงานที่เกี่ยวข้องสามารถนำไปใช้เพื่อประเมินหรือวางแผนการจัดการเหตุอุทกภัยได้อย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

2. วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

2.1 เพื่อศึกษาระบบการจัดการและการเตรียมความพร้อมสำหรับการช่วยเหลือผู้ประสบอุทกภัยในปัจจุบันของหน่วยงานที่เกี่ยวข้องในจังหวัดพิษณุโลก

2.2 เพื่อสร้างแบบจำลองในการพยากรณ์สถานการณ์อุทกภัยในพื้นที่เสี่ยงภัยของจังหวัดพิษณุโลก



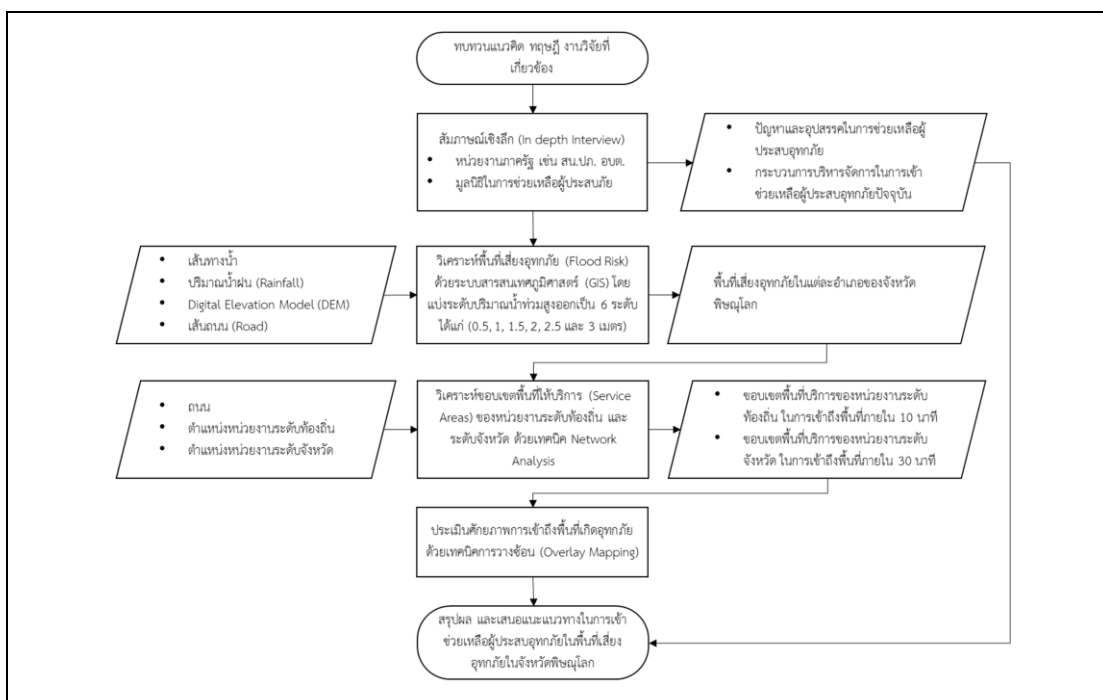
ภาพที่ 1 ขอบเขตพื้นที่ศึกษา

3. วิธีดำเนินงานวิจัย

การปรับปรุงการจัดการโลจิสติกส์ในช่วยเหลือผู้ประสบอุทกภัยด้วยการประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (Geographic information system: GIS) ในการวิเคราะห์พื้นที่เสี่ยงอุทกภัย จังหวัดพิษณุโลก มีวิธีการดำเนินการศึกษา ดังแสดงในภาพที่ 2 โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.1 ศึกษา ทบทวนแนวคิด ทฤษฎี และข้อมูลที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ ศึกษาข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับสถานการณ์การเกิดอุทกภัยในพื้นที่จังหวัดพิษณุโลก แนวคิดเกี่ยวกับการบริหารจัดการด้านการบรรเทาอุทกภัย (Flood relief approach) แนวคิดด้านการบริหารจัดการโลจิสติกส์เพื่อมนุษยธรรม (Humanitarian logistics) การประเมินพื้นที่เสี่ยงภัยอุทกภัย (Flood risk assessment) และระบบภูมิสารสนเทศภูมิศาสตร์ (Geographic information systems: GIS) รวมถึงทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

3.2 ศึกษารูปแบบการบริหารจัดการ และการเตรียมความพร้อมในการรับมือด้านอุทกภัยของหน่วยงานที่เกี่ยวข้องในช่วยเหลืออุทกภัย โดยทำการสัมภาษณ์เชิงลึก (In depth interview) ซึ่งวัตถุประสงค์ในการสัมภาษณ์หน่วยงานที่เกี่ยวข้อง คือ ต้องการทราบแนวคิด แผนการในการป้องกันและบรรเทาอุทกภัย ภาพรวมของการดำเนินงานของหน่วยงานที่เข้าช่วยเหลือด้านอุทกภัยปัจจุบัน รวมไปถึงปัญหาและอุปสรรคที่เกิดขึ้นระหว่างการเข้าไปช่วยเหลือผู้ประสบอุทกภัย



ภาพที่ 2 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

3.3 การสร้างแบบจำลองเพื่อประเมินพื้นที่เสี่ยงภัยอุทกภัยในจังหวัดพิษณุโลก ได้การกำหนดระดับปริมาณน้ำ 6 ระดับ คือ 0.5, 1, 1.5, 2, 2.5, และ 3 เมตร โดยใช้ข้อมูลที่มีอิทธิพลต่อการเกิดอุทกภัย (Flooding hazard factors) เข้ามาประกอบการวิเคราะห์ในการจำลองสถานการณ์อุทกภัย ได้แก่ ข้อมูลเส้นทางน้ำ ข้อมูลถนน ข้อมูล Digital elevation model (DEM) ข้อมูลพื้นฐานของสถานีวัดน้ำ และปริมาณน้ำฝน ด้วยระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (Geographic information system: GIS) ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้ คือ ขนาดพื้นที่เสี่ยงอุทกภัยที่เกิดขึ้นจากระดับความสูงของน้ำทั้ง 6 ระดับข้างต้น

3.4 เมื่อทราบขนาดพื้นที่ในการเกิดอุทกภัย จากแบบจำลองสถานการณ์เกิดอุทกภัย ในข้อ 3.3 ขั้นตอนนี้จะดำเนินการวิเคราะห์โครงข่าย (Network analysis) ด้วยระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ GIS สำหรับการวิเคราะห์พื้นที่ขอบเขตการให้บริการ (Service area) ของหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง เพื่อให้ทราบว่าขณะที่เกิดอุทกภัยจากระดับความสูงของน้ำในแต่ละระดับ ขอบเขตพื้นที่ในการให้บริการของหน่วยงานที่เกี่ยวข้องมีพื้นที่ลดลงเท่าใด และสามารถครอบคลุมพื้นที่ที่เกิดอุทกภัยหรือไม่? ประกอบกับข้อมูลที่ได้จากการสัมภาษณ์เชิงลึกกับหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง พบว่า ปัจจุบันมีการแบ่งหน่วยงานในการให้บริการออกเป็น 2 ประเภท คือ (1) หน่วยงานระดับท้องถิ่น ได้แก่ เทศบาลเมือง เทศบาลตำบล และองค์การบริหารส่วนตำบล ซึ่งหน่วยงานระดับนี้จะมีผลใกล้เคียงกับท้องที่ในพื้นที่ที่เกิดเหตุมากที่สุด ดังนั้นควรเข้าถึงพื้นที่ในระยะเวลา 10 นาที (2) หน่วยงานระดับจังหวัด ได้แก่

องค์การบริหารส่วนจังหวัด และศูนย์ป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย เขต 9 จังหวัดพิษณุโลก โดยเป็นหน่วยงานที่ต้องให้การสนับสนุนความช่วยเหลือขณะที่ได้รับแจ้งขอความช่วยเหลือขอเกิดอุทกภัย ดังนั้นควรเข้าถึงพื้นที่ภายในระยะเวลา 30 นาที

3.5 เสนอแนะแนวทางสำหรับการปรับปรุงการจัดการโลจิสติกส์ในการช่วยเหลือผู้ประสบอุทกภัยในพื้นที่ศึกษา ด้วยการเสนอแนะพื้นที่ในการจัดตั้งศูนย์ช่วยเหลือและประเมินสถานการณ์อุทกภัยเบื้องต้น จากการวิเคราะห์จากพื้นที่ที่เกิดอุทกภัยร่วมกับขอบเขตการให้บริการของหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง รวมถึงการปรับปรุงด้านกระบวนการบริหารจัดการโลจิสติกส์สำหรับการช่วยเหลือผู้ประสบอุทกภัยของหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง เพื่อช่วยให้ระบบการบริหารจัดการเหตุมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น โดยเฉพาะด้านระยะเวลา (Time) ในการดำเนินการ เพื่อลดการสูญเสีย (Waste) ที่อาจจะเกิดขึ้น

4. ผลการวิจัย

4.1 การบริหารจัดการเมื่อเกิดเหตุการณ์อุทกภัยขึ้นในพื้นที่จังหวัดพิษณุโลก

ผลการศึกษาการบริหารจัดการเมื่อเกิดเหตุการณ์อุทกภัยขึ้นในพื้นที่จังหวัดพิษณุโลก จากการสัมภาษณ์เชิงลึก พบว่า ในการบริหารจัดการเหตุอุทกภัยหน่วยงานจะประเมินระดับความรุนแรงโดยแบ่งออกเป็น 4 ระดับ ได้แก่ ระดับ 1 อุทกภัยขนาดเล็ก ระดับ 2 อุทกภัยขนาดกลาง ระดับ 3 อุทกภัยขนาดใหญ่ และระดับ 4 อุทกภัยขนาดรุนแรง ดังแสดงในภาพที่ 3 โดยมีรายละเอียด ดังนี้

ระดับ 1 กรณีเกิดอุทกภัยขนาดเล็ก ในกรณีที่เกิดอุทกภัยขนาดเล็ก เบื้องต้นกองอำนวยการป้องกันและบรรเทาสาธารณภัยเทศบาลนคร/เมือง เทศบาลตำบล องค์การบริหารส่วนท้องถิ่นจะดำเนินการจัดตั้งศูนย์ปฏิบัติการฉุกเฉินท้องถิ่นขึ้นในพื้นที่รับผิดชอบ โดยมีผู้อำนวยการท้องถิ่นเป็นผู้บัญชาการ ให้การสนับสนุนช่วยเหลือ และแจ้งให้ผู้อำนวยการอำเภอทราบทันที เพื่อการจัดตั้งศูนย์บัญชาการเหตุการณ์อำเภอ โดยมีผู้อำนวยการอำเภอเป็นผู้บัญชาการ ในการให้การสนับสนุนช่วยเหลือ เพื่อเป็นศูนย์กลางในการระดมกำลังพลและทรัพยากรในการจัดการอุทกภัยจากส่วนงานราชการ และหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง รวมถึงอำนาจการและประสานการเผชิญเหตุระหว่างหน่วยงานต่าง ๆ ทั้งฝ่ายพลเรือนและฝ่ายทหาร ตลอดจนองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นและองค์การสาธารณกุศล อีกทั้งดำเนินการติดตามสถานการณ์อุทกภัยที่เกิดขึ้นในเขตพื้นที่รับผิดชอบอย่างต่อเนื่องจนกว่าสถานการณ์จะคลี่คลาย

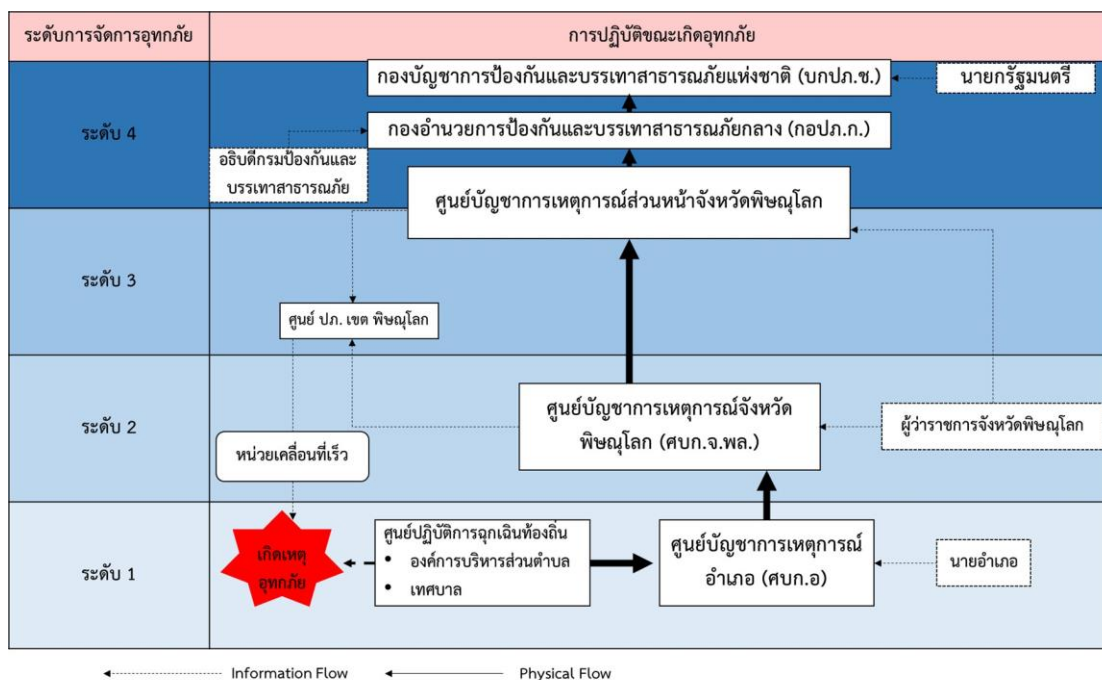
ระดับ 2 กรณีเกิดอุทกภัยขนาดกลาง ในกรณีนี้ทางกองอำนวยการป้องกันและบรรเทาสาธารณภัยจังหวัดพิษณุโลก จะดำเนินการจัดตั้งศูนย์บัญชาการเหตุการณ์จังหวัดพิษณุโลกขึ้น โดยมีผู้ว่าราชการจังหวัดพิษณุโลกเป็นผู้บัญชาการ สั่งการ ควบคุม และบัญชาการ ในการจัดการเหตุอุทกภัยในพื้นที่จนกว่าสถานการณ์จะเข้าสู่ภาวะปกติ พร้อมทั้งเป็นศูนย์กลางในการระดมสรรพกำลัง

และทรัพยากรในการจัดการเหตุอุทกภัยจากส่วนงานราชการ และหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง รวมถึงอำนาจการและประสานการเผชิญเหตุระหว่างหน่วยงานต่าง ๆ ทั้งฝ่ายพลเรือนและฝ่ายทหาร ตลอดจนองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นและองค์การสาธารณกุศล อีกทั้งดำเนินการติดตามสถานการณ์อุทกภัยที่เกิดขึ้นในเขตพื้นที่รับผิดชอบอย่างต่อเนื่องจนกว่าสถานการณ์จะคลี่คลาย

ระดับ 3 กรณีเกิดอุทกภัยขนาดใหญ่ ในกรณีที่เกิดเหตุการณ์อุทกภัยขนาดใหญ่ ศูนย์บัญชาการเหตุการณ์จังหวัดพิษณุโลกจะแปรสภาพเป็น ศูนย์บัญชาการส่วนหน้าจังหวัดพิษณุโลก ซึ่งอยู่ภายใต้การบังคับบัญชาโดยกองบัญชาการป้องกันและบรรเทาสาธารณภัยแห่งชาติ โดยจะทำหน้าที่อำนาจการ ควบคุม ปฏิบัติงาน และประสานงานที่เกี่ยวข้องกับการป้องกันและบรรเทาสาธารณภัยในเขตจังหวัดพิษณุโลก พร้อมทั้งเป็นศูนย์กลางในการระดมสรรพกำลังและทรัพยากรในการจัดการเหตุอุทกภัยจากส่วนงานราชการ และหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง รวมถึงอำนาจการและประสานการเผชิญเหตุระหว่างหน่วยงานต่าง ๆ ทั้งฝ่ายพลเรือนและฝ่ายทหาร ตลอดจนองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นและองค์การสาธารณกุศลในเขตพื้นที่รับผิดชอบ

ระดับ 4 กรณีเกิดเหตุอุทกภัยขนาดรุนแรง ในกรณีที่เกิดเหตุการณ์อุทกภัยขนาดรุนแรง ศูนย์บัญชาการเหตุการณ์จังหวัดพิษณุโลกจะแปรสภาพเป็น ศูนย์บัญชาการส่วนหน้าจังหวัดพิษณุโลก โดยจะปฏิบัติงานตามการบัญชาการของนายกรัฐมนตรี หรือรองนายกรัฐมนตรีซึ่งนายกรัฐมนตรีมอบหมาย ซึ่งจะทำหน้าที่อำนาจการ ควบคุม ปฏิบัติงาน และประสานงานที่เกี่ยวข้องกับการป้องกันและบรรเทาสาธารณภัยในเขตจังหวัดพิษณุโลก พร้อมทั้งเป็นศูนย์กลางในการระดมสรรพกำลังและทรัพยากรในการจัดการเหตุอุทกภัยจากส่วนงานราชการ และหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง รวมถึงอำนาจการและประสานการเผชิญเหตุระหว่างหน่วยงานต่าง ๆ ทั้งฝ่ายพลเรือนและฝ่ายทหาร ตลอดจนองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นและองค์การสาธารณกุศลในเขตพื้นที่รับผิดชอบ

จากระดับการจัดการเหตุอุทกภัยข้างต้น ในภาพรวมกรณีที่เกิดเหตุอุทกภัยขึ้นในพื้นที่ เบื้องต้นผู้นำระดับท้องถิ่น ได้แก่ นายกเทศมนตรี และ/หรือนายกองการบริหารส่วนท้องถิ่น จะดำเนินการแจ้งข้อมูลสถานการณ์ให้ทางนายอำเภอทราบทันที หลังจากนั้นจึงได้ดำเนินการจัดตั้งศูนย์ปฏิบัติการฉุกเฉินท้องถิ่น และศูนย์บัญชาการเหตุการณ์อำเภอขึ้นในเขตพื้นที่รับผิดชอบ ในกรณีที่ความรุนแรงอุทกภัยอยู่ในระดับ 1 หรือเหตุอุทกภัยขนาดเล็ก ในการเข้าควบคุมสถานการณ์ในพื้นที่ ทางผู้อำนวยการศูนย์ฉุกเฉินท้องถิ่น และศูนย์บัญชาการเหตุการณ์อำเภอ จะดำเนินการควบคุมดูแลในการเข้าช่วยเหลือ และสนับสนุนในส่วนของการกำลังพล รวมถึงทรัพยากรต่าง ๆ นอกจากนี้ยังทำหน้าที่เป็นศูนย์กลางในการประสานงานส่วนราชการและหน่วยงานที่เกี่ยวข้องเพื่อเข้าคลี่คลายสถานการณ์จนเข้าสู่ภาวะปกติ



ภาพที่ 3 แผนภาพการจัดการโลจิสติกส์ในการช่วยเหลือผู้ประสบอุทกภัยในปัจจุบัน

แต่หากเหตุการณ์อุทกภัยเพิ่มความรุนแรงขึ้นจนศูนย์ปฏิบัติการฉุกเฉินท้องถิ่นไม่สามารถควบคุมสถานการณ์ได้ ทางศูนย์บัญชาการเหตุการณ์อำเภอจะดำเนินการแจ้งขอความช่วยเหลือไปยังหน่วยงานระดับจังหวัดทันที โดยจะดำเนินการยกระดับความรุนแรงอุทกภัยขึ้นเป็นระดับ 2 คือ เหตุการณ์อุทกภัยขนาดกลาง ทางจังหวัดจะดำเนินการจัดตั้งศูนย์บัญชาการเหตุการณ์จังหวัดขึ้น โดยมีผู้ว่าราชการจังหวัดเป็นผู้อำนวยการ ในการบัญชาการหน่วยงานราชการท้องถิ่น รวมถึงหน่วยงานส่วนอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง เมื่อได้รับแจ้งเหตุเบื้องต้นทางศูนย์บัญชาการเหตุการณ์จังหวัด จะดำเนินการแจ้งไปยังศูนย์ป้องกันและบรรเทาสาธารณภัยเขต 9 จังหวัดพิษณุโลก ให้ดำเนินการในการประเมินสถานการณ์และจัดเตรียมทรัพยากรในการให้การช่วยเหลือ โดนทางศูนย์ป้องกันและบรรเทาสาธารณภัยเขต 9 จะจัดส่งกำลังหน่วยเคลื่อนที่เร็วเข้าไปยังพื้นที่ภายในระยะเวลา 1 ชั่วโมงเพื่อประเมินสถานการณ์เบื้องต้นก่อน แล้วจึงรายงานกลับมายังศูนย์ฯ ผ่านระบบ Application line เพื่อให้เจ้าหน้าที่ศูนย์ฯดำเนินการจัดเตรียมอุปกรณ์ และทรัพยากรที่จำเป็นสำหรับการเข้าช่วยเหลือ และเดินทางไปยังพื้นที่เกิดเหตุประมาณ 1 ชั่วโมง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับระยะทาง และอุปสรรคในการเดินทาง

หากเหตุการณ์อุทกภัยในพื้นที่ยังคงทวีความรุนแรงขึ้นอย่างต่อเนื่อง และมีพื้นที่ที่ได้รับ ความเสียหายเป็นบริเวณกว้าง ทางผู้อำนวยการจังหวัดหรือหน่วยงานที่เกี่ยวข้องไม่สามารถเข้าควบคุมสถานการณ์ได้ และต้องอาศัยความร่วมมือจากหน่วยงานนอกพื้นที่ เหตุการณ์ดังกล่าวจะถูกยกระดับเป็นเหตุการณ์ระดับ 3 คือ เหตุการณ์อุทกภัยขนาดใหญ่ โดยจะบัญชาการจากผู้อำนวยการกลาง

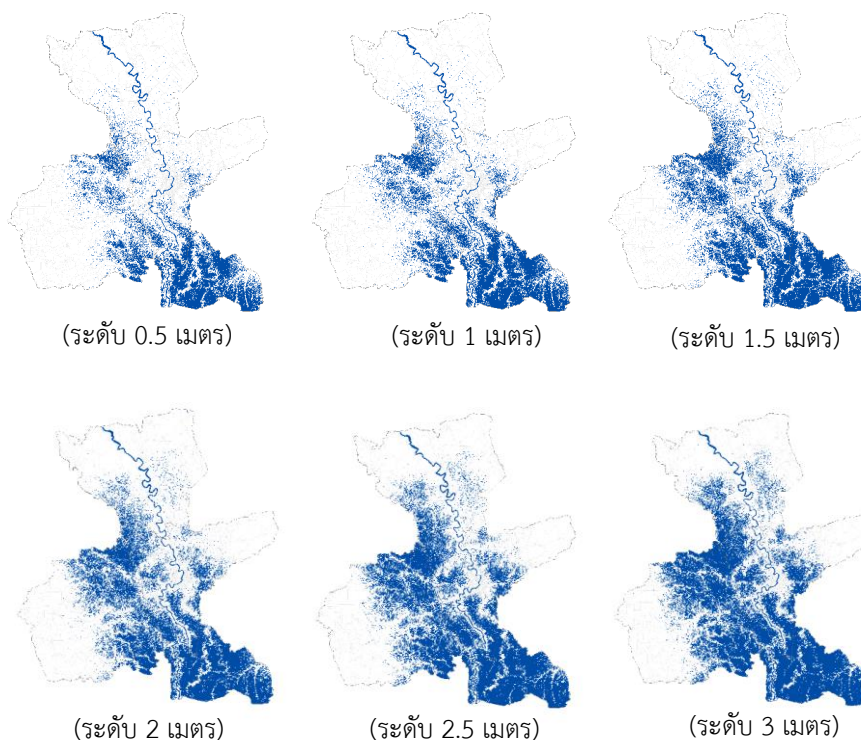
หรือกรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัยแห่งชาติ แต่หากเหตุการณ์ยังทวีความรุนแรงยิ่งขึ้นไปอีกจะถูกจัดอยู่ระดับ 4 คือ เหตุอุทกภัยขนาดรุนแรง ซึ่งจะมีนายกรัฐมนตรี หรือรองนายกรัฐมนตรีที่มอบหมาย เป็นผู้บัญชาการ จนกว่าเหตุการณ์จะกลับเข้าสู่ภาวะปกติ

จากการวิเคราะห์ขั้นตอนและกระบวนการในการจัดการสำหรับช่วยเหลือเหตุอุทกภัยข้างต้น พบว่า มีการสูญเสียเวลาในกระบวนการหรือขั้นตอนในส่วนของการเข้าประเมินสถานการณ์ในพื้นที่เกิดเหตุอุทกภัย ของขั้นตอนในการจัดส่งเจ้าหน้าที่หน่วยเคลื่อนที่เร็วเข้าไปประเมินสถานการณ์ เนื่องจากมีอุปสรรคในการเดินทาง จึงส่งผลให้เกิดความล่าช้าในการเข้าไปยังพื้นที่ อีกทั้งการประเมินสถานการณ์เป็นเป็นการประเมินสถานการณ์เฉพาะหน้า ส่งผลให้ยังขาดความแม่นยำของสถานการณ์อุทกภัยที่เกิดขึ้นในภาพรวม ไม่ว่าจะเป็น ขนาดพื้นที่ที่ได้รับความเสียหาย เส้นทาง การสัญจรเพื่อเข้าให้การช่วยเหลือ หรือการจัดเตรียมทรัพยากรในการให้การช่วยเหลือ เป็นต้น ด้วยการช่วยเหลือผู้ประสบภัยถือได้ว่าเป็นเหตุการณ์ฉุกเฉินที่ควรดำเนินการอย่างทันท่วงที จึงกล่าวได้ว่าการบริหารจัดการทางด้านเวลาจึงเป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่งสำหรับเจ้าหน้าที่ และหน่วยงานที่มีส่วนเกี่ยวข้องในการเผชิญเหตุการณ์ในตอนต้น เพื่อลดความสูญเสียทั้งชีวิตและทรัพย์สินของประชาชนที่ประสบอุทกภัย ซึ่งแบบจำลองในการพยากรณ์พื้นที่เสี่ยงอุทกภัยจะช่วยลดขั้นตอนในการเดินทางสำหรับเจ้าหน้าที่ในการเข้าไปประเมินสถานการณ์อุทกภัย ซึ่งเป็นส่วนในการช่วยแจ้งเตือนระดับน้ำท่วมได้อีกทางหนึ่งด้วย สำหรับผลของการพยากรณ์พื้นที่เสี่ยงอุทกภัยด้วยด้วยระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS) สำหรับพื้นที่ 4 อำเภอ ในจังหวัดพิษณุโลก ได้แก่ อำเภอเมืองพิษณุโลก อำเภอพรหมพิราม อำเภอบางระกำ และอำเภอบางกระทุ่ม ซึ่งเป็นพื้นที่ที่เกิดเหตุอุทกภัยซ้ำซาก และเกิดอุทกภัยขึ้นบ่อยครั้ง

4.2 การจำลองสถานการณ์พื้นที่เสี่ยงอุทกภัยในจังหวัดพิษณุโลก

การสร้างแบบจำลองสถานการณ์อุทกภัย เป็นการจำลองสถานการณ์อุทกภัยที่เกิดจากน้ำล้นตลิ่งของเส้นทางน้ำ โดยใช้ข้อมูลเส้นทางน้ำ ข้อมูล Digital elevation model (DEM) ความละเอียด 30 เมตร ร่วมกับข้อมูลสถานีวัดระดับน้ำ 5 สถานี ในพื้นที่ศึกษา 4 อำเภอ ของจังหวัดพิษณุโลก ได้แก่ สถานี N.5A สถานี N.27A สถานี N.74 สถานี Y.16 และสถานี Y.64 ปี 2564 เพื่อคำนวณระดับน้ำที่มีโอกาสเกิดการล้นตลิ่งสูงสุด จากนั้นวิเคราะห์พื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดอุทกภัยจากระดับน้ำ 6 ระดับ ที่กำหนด ได้แก่ 0.5, 1, 1.5, 2, 2.5 และ 3 เมตร พบว่า แบบจำลองสถานการณ์ระดับน้ำขณะเกิดอุทกภัยในพื้นที่ 4 อำเภอ ดังแสดงในภาพที่ 4 สามารถอธิบายได้ว่า ในระดับน้ำ 0.5 – 2 เมตร ขนาดพื้นที่ที่เกิดอุทกภัยจากระดับความสูงของน้ำในพื้นที่มากที่สุด ได้แก่ อำเภอบางกระทุ่ม อำเภอบางระกำ อำเภอเมืองพิษณุโลก และอำเภอพรหมพิราม ตามลำดับ ส่วนระดับความสูงน้ำ 2.5 และ 3 เมตร ที่ขนาดพื้นที่ที่เกิดอุทกภัยจากระดับความสูงของน้ำในพื้นที่มาก

ที่สุด คือ อำเภอบางระกำ อำเภอบางกระพุ่ม อำเภอเมืองพิษณุโลก และอำเภoprหมพิราม ตามลำดับ
ดังข้อมูลในตารางที่ 1



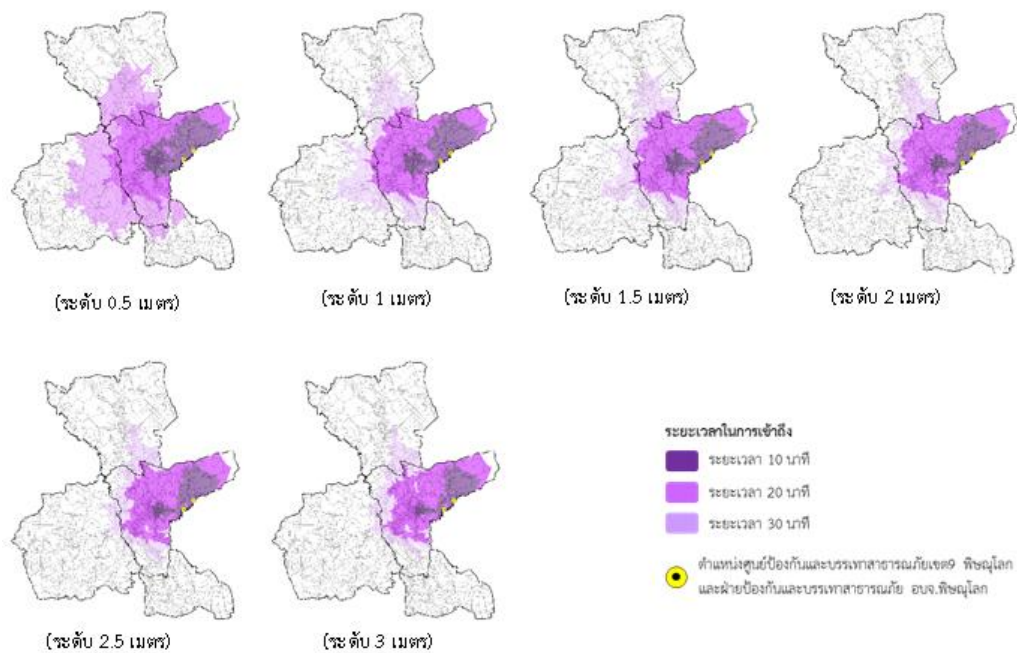
ภาพที่ 4 แบบจำลองสถานการณ์ระดับน้ำขณะเกิดอุทกภัย

ตารางที่ 1 ขนาดพื้นที่ที่เกิดอุทกภัยจากระดับความสูงของน้ำแต่ละระดับของพื้นที่ทั้ง 4 อำเภอ

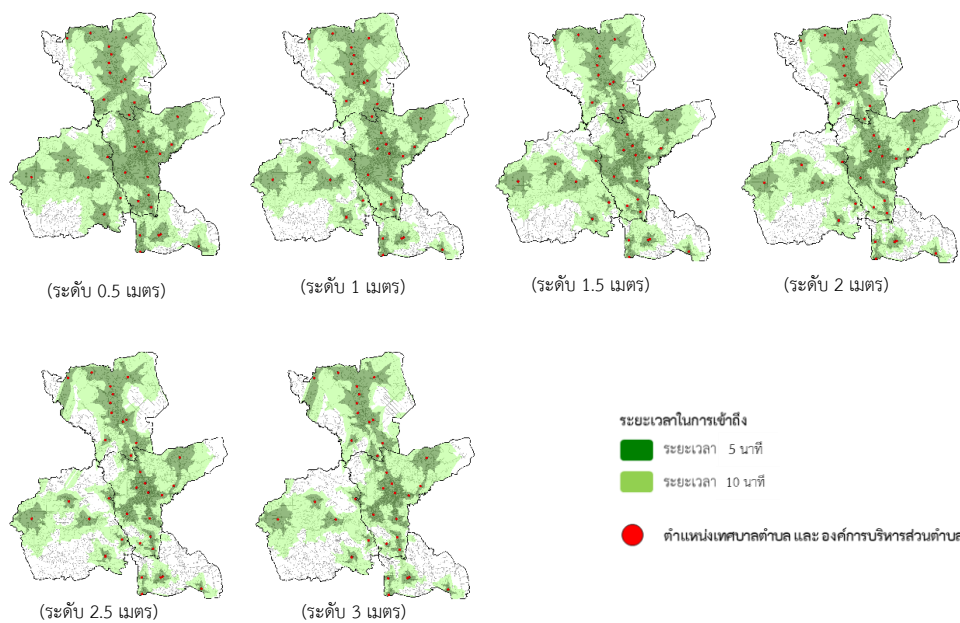
อำเภอ	ขนาดพื้นที่ที่เกิดอุทกภัย (ตารางกิโลเมตร)					
	ระดับ 0.5 เมตร	ระดับ 1 เมตร	ระดับ 1.5 เมตร	ระดับ 2 เมตร	ระดับ 2.5 เมตร	ระดับ 3 เมตร
เมืองพิษณุโลก	84.05	114.69	153.74	194.57	238.50	279.23
บางระกำ	116.75	162.05	216.37	272.26	329.12	380.84
บางกระพุ่ม	226.48	248.28	268.66	283.19	296.71	307.06
พรหมพิราม	27.79	35.94	48.31	65.71	89.47	118.63

เมื่อทราบขนาดพื้นที่ของการเกิดอุทกภัยในแต่ละระดับดังกล่าวข้างต้น หลังจากนั้นจึง
ดำเนินการวิเคราะห์ขอบเขตการให้บริการของหน่วยงานที่เกี่ยวข้องในการเข้าช่วยเหลืออุทกภัยใน
พื้นที่ สำหรับแสดงขอบเขตของระยะเวลาการเข้าถึงพื้นที่ที่เกิดเหตุอุทกภัย ของหน่วยงาน

ระดับท้องถิ่น และหน่วยงานระดับจังหวัดเพื่อวิเคราะห์ความครอบคลุมในการเข้าถึงของหน่วยงาน และสามารถใช้พิจารณาในการวางแผนบริหาร จัดการขณะที่เกิดเหตุอุทกภัย แสดงดังภาพที่ 5 และ ภาพที่ 6



ภาพที่ 5 ระยะเวลาในการเข้าถึงพื้นที่ซึ่งขณะเกิดอุทกภัยของศูนย์ฯ ปภ.เขต 9 และ อบจ. พิจิตรโลก

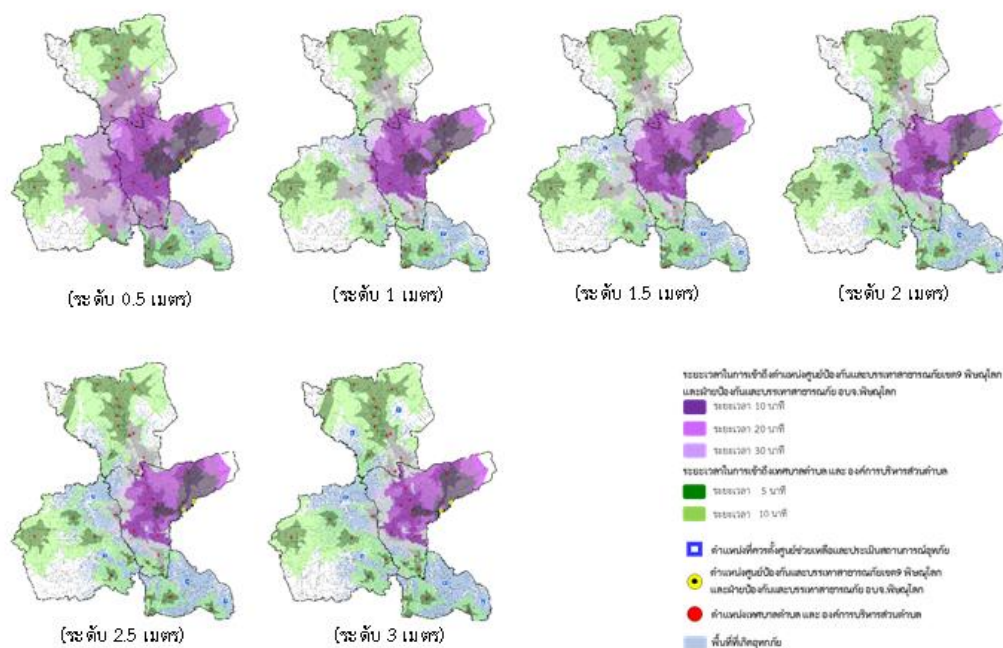


ภาพที่ 6 ระยะเวลาในการเข้าถึงพื้นที่ซึ่งขณะเกิดอุทกภัยของเทศบาลตำบล และ อบต.

ผลการวิเคราะห์เมื่อพิจารณาระยะเวลาในการเข้าถึงพื้นที่ที่เกิดอุทกภัยของหน่วยงานทั้ง 2 ประเภท พบว่า ขอบเขตการให้บริการของหน่วยงานดังกล่าวยังไม่ครอบคลุมพื้นที่ที่เกิดอุทกภัยที่เกิดขึ้นจากการจำลองสถานการณ์อุทกภัยด้วยการกำหนดระดับน้ำทั้ง 6 ระดับ ดังนั้นจึงเสนอแนะให้จัดตั้งศูนย์ช่วยเหลือและประเมินสถานการณ์อุทกภัย เพื่อให้การเข้าช่วยเหลือผู้ประสบภัยในพื้นที่เป็นไปอย่างทั่วถึง และสามารถให้การช่วยเหลือภายใต้ระยะเวลาที่เหมาะสม ในงานวิจัยนี้ได้รับจำนวนและตำแหน่งที่ตั้งในการจัดตั้งศูนย์ช่วยเหลือและประเมินสถานการณ์เบื้องต้น โดยแบ่งตามระดับน้ำ 6 ระดับ ดังนี้

- (1) ระดับน้ำ 0.5 เมตร ควรเพิ่มศูนย์ช่วยเหลือและประเมินสถานการณ์อุทกภัย จำนวน 1 แห่ง บริเวณตำบลนครป่าหมาก อำเภอบางกระทุ่ม
- (2) ระดับน้ำ 1 เมตร ควรเพิ่มศูนย์ช่วยเหลือและประเมินสถานการณ์อุทกภัย 2 แห่ง ได้แก่ (1) ตำบลนครป่าหมาก (2) ตำบลวัดตายม อำเภอบางกระทุ่ม
- (3) ระดับน้ำ 1.5 เมตร ควรเพิ่มศูนย์ช่วยเหลือและประเมินสถานการณ์อุทกภัย 3 แห่ง คือ (1) ตำบลนครป่าหมาก (2) ตำบลวัดตายม อำเภอบางกระทุ่ม (3) ตำบลชุมแสงสงคราม อำเภอบางระกำ
- (4) ระดับน้ำ 2 เมตร ควรเพิ่มศูนย์ช่วยเหลือและประเมินสถานการณ์อุทกภัย 3 แห่ง คือ (1) ตำบลนครป่าหมาก (2) ตำบลวัดตายม อำเภอบางกระทุ่ม (3) ตำบลชุมแสงสงคราม อำเภอบางระกำ
- (5) ระดับน้ำ 2.5 เมตร ควรเพิ่มศูนย์ช่วยเหลือและประเมินสถานการณ์อุทกภัย 4 แห่ง คือ (1) ตำบลนครป่าหมาก (2) ตำบลวัดตายม อำเภอบางกระทุ่ม (3) ตำบลชุมแสงสงคราม (4) ตำบลปลักแรด อำเภอบางระกำ
- (6) ระดับน้ำ 3 เมตร ควรเพิ่มศูนย์ช่วยเหลือและประเมินสถานการณ์อุทกภัย 4 แห่ง คือ (1) ตำบลนครป่าหมาก (2) ตำบลวัดตายม อำเภอบางกระทุ่ม (3) ตำบลชุมแสงสงคราม (4) ตำบลปลักแรด อำเภอบางระกำ (5) ตำบลหนองแขม (6) ตำบลทับยายเชียง อำเภอพรหมพิราม

ในการระบุตำแหน่งการจัดตั้งศูนย์ช่วยเหลือและประเมินสถานการณ์อุทกภัยแต่ละแห่งทางผู้วิจัยได้พิจารณาจากการเลือกพื้นที่ของหน่วยงานภาครัฐที่ตั้งอยู่บริเวณศูนย์กลางของขอบเขตพื้นที่ระดับตำบล ดังแสดงในภาพที่ 7

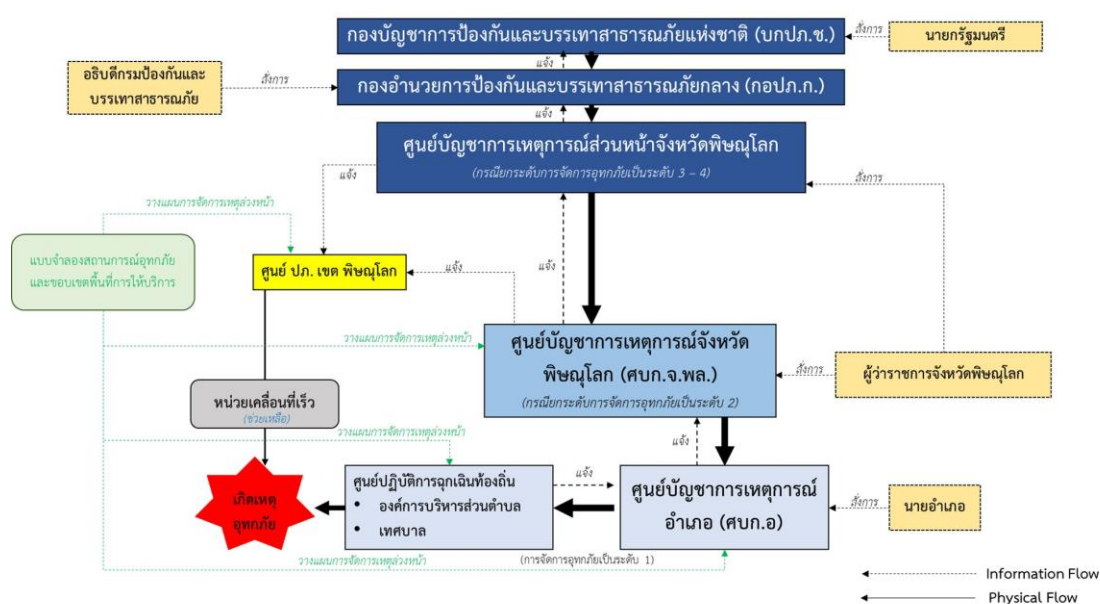


ภาพที่ 7 ตำแหน่งที่ควรจัดตั้งศูนย์ช่วยเหลือและประเมินสถานการณ์อุทกภัย

จากผลการศึกษาข้างต้น ในส่วนของข้อมูลแบบจำลองสถานการณ์การเกิดอุทกภัยและขอบเขตพื้นที่การให้บริการของหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง สามารถนำไปใช้เพื่อปรับปรุงกระบวนการวางแผนสำหรับการบริหารจัดการเหตุอุทกภัยตามระดับความรุนแรงของสถานการณ์อุทกภัย ทั้งในระดับท้องถิ่น และระดับจังหวัด หรือแม้แต่ในระดับประเทศ ดังแสดงในภาพที่ 8 ในการปรับปรุงกระบวนการดังกล่าวจะช่วยร่นระยะเวลาในการประเมินสถานการณ์อุทกภัย เพื่อที่จะสามารถให้การช่วยเหลือผู้ประสบภัยได้อย่างทันทั่วถึงที่ ภายใต้ระยะเวลาที่เหมาะสม

5. สรุปผลและการอภิปรายผล

การประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์พยากรณ์พื้นที่เสี่ยงอุทกภัย ได้ทำการศึกษาพื้นที่ 4 อำเภอ ในจังหวัดพิษณุโลก ได้แก่ อำเภอเมืองพิษณุโลก อำเภอพรหมพิราม อำเภอบางระกำ และอำเภอบางกระทุ่ม ซึ่งเป็นพื้นที่ที่เกิดเหตุอุทกภัยซ้ำซาก และเกิดอุทกภัยขึ้นบ่อยครั้งจังหวัดพิษณุโลก ซึ่งปัญหา และอุปสรรคในกระบวนการจัดการสำหรับเข้าช่วยเหลือเหตุอุทกภัย คือ การสูญเสียเวลาในกระบวนการหรือขั้นตอนในส่วนของการเข้าประเมินสถานการณ์ในพื้นที่เกิดเหตุอุทกภัย อีกทั้งมีอุปสรรคในการเดินทางเข้าช่วยเหลือ ด้วยเหตุการณ์อุทกภัยถือได้ว่าเป็นเหตุฉุกเฉินที่หน่วยงานระดับท้องถิ่น และระดับจังหวัดควรดำเนินการอย่างทันทั่วถึง เพื่อลดความสูญเสีย ทั้งชีวิต และทรัพย์สินของประชาชนที่ประสบภัย



ภาพที่ 8 แผนภาพการปรับปรุงการจัดการโลจิสติกส์ในการช่วยเหลือผู้ประสบภัย

การศึกษานี้จึงได้ดำเนินการสร้างแบบจำลองการพยากรณ์พื้นที่เสี่ยงอุทกภัยโดยประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS) โดยแบ่งความสูงของระดับน้ำออกเป็น 6 ระดับ คือ ระดับ 0.5, 1, 1.5, 2, 2.5 และ 3 เมตร (บุญยงสุข, 2558) เพื่อประเมินขนาดพื้นที่เสี่ยงอุทกภัยใน 4 อำเภอดังกล่าว ผลจากแบบจำลอง พบว่า เมื่อเกิดน้ำท่วมที่ระดับน้ำ 0.5 – 2 เมตร อำเภอบางกระทุ่ม มีขนาดพื้นที่ที่เกิดน้ำท่วมมากที่สุด รองลงมาคือ อำเภอบางระกำ อำเภอเมืองพิษณุโลก และอำเภอพรหมพิราม ตามลำดับ ขณะที่เกิดน้ำท่วมที่ระดับน้ำ 2.5 และ 3 เมตร อำเภอบางระกำ มีขนาดพื้นที่ที่เกิดน้ำท่วมมากที่สุด รองลงมาคือ อำเภอบางกระทุ่ม อำเภอเมืองพิษณุโลก และอำเภอพรหมพิราม ตามลำดับ ผลการศึกษาขอบเขตพื้นที่การให้บริการของหน่วยงานระดับท้องถิ่น และระดับจังหวัดที่เกี่ยวข้องในการช่วยเหลือผู้ประสบอุทกภัย ภายใต้ระยะเวลาที่เหมาะสม คือ 10 นาที และ 30 นาที ตามลำดับ พบว่า ขณะที่เกิดเหตุอุทกภัยขอบเขตการให้บริการของหน่วยงานดังกล่าวยังไม่สามารถให้การช่วยเหลือผู้ประสบอุทกภัยได้ครอบคลุมพื้นที่ที่เกิดเหตุทั้งหมดภายใต้เงื่อนไขของระยะเวลาที่กำหนด ดังนั้น ในการปรับปรุงเพื่อให้การช่วยเหลือผู้ประสบอุทกภัยเป็นไปได้อย่างทัน่วงที และมีครอบคลุมพื้นที่เกิดเหตุ ในการศึกษาครั้งนี้จึงได้เสนอให้มีการจัดตั้งศูนย์ช่วยเหลือและประเมินสถานการณ์อุทกภัยเพิ่มเติม ซึ่งเห็นว่า หากเกิดน้ำท่วมในระดับ 0.5 เมตร ควรเพิ่มศูนย์ฯ 1 แห่ง คือ ตำบลนครป่าหมาก อำเภอบางกระทุ่ม ระดับ 1 เมตร ควรเพิ่มศูนย์ฯ 2 แห่ง คือ (1) ตำบลนครป่าหมาก (2) ตำบลวัดตายม อำเภอบางกระทุ่ม ระดับ 1.5 เมตร และ 2 เมตร ควรเพิ่มศูนย์ฯ 3 แห่ง คือ (1) ตำบลนครป่าหมาก (2) ตำบลวัดตายม อำเภอบางกระทุ่ม (3) ตำบลชุมแสงสงคราม อำเภอบางระกำ ระดับ 2.5 เมตร ควรเพิ่มศูนย์ฯ 4 แห่ง คือ (1) ตำบลนครป่าหมาก (2) ตำบลวัดตายม

อำเภอบางกระทุ่ม (3) ตำบลชุมแสงสงคราม (4) ตำบลปลักแรด อำเภอบางระกำ และระดับ 3 เมตร
ควรเพิ่มศูนย์ฯ 6 แห่ง คือ (1) ตำบลนครป่าหมาก (2) ตำบลวัดตายม อำเภอบางกระทุ่ม (3) ตำบล
ชุมแสงสงคราม (4) ตำบลปลักแรด อำเภอบางระกำ (5) ตำบลหนองแขม (6) ตำบลทับยายเชียง
อำเภอพรหมพิราม ทั้งนี้ขอขอบเขตการวิจัยครั้งนี้พิจารณาขอบเขตพื้นที่บริการของหน่วยงานระดับ
ท้องถิ่น และระดับจังหวัดเพื่อแสดงให้เห็นถึงความครอบคลุมของพื้นที่ในการเข้าช่วยเหลืออุทกภัย
จากผลการวิจัยจึงได้เสนอแนะตำแหน่งในการจัดตั้งศูนย์ช่วยเหลืออุทกภัยและประเมินสถานการณ์ใน
พื้นที่เสี่ยงอุทกภัยแต่ขอขอบเขตการให้บริการของหน่วยงานยังไม่สามารถเข้าถึงได้ โดยงานวิจัยนี้ยังไม่ได้
พิจารณาถึงขอบเขตด้านต้นทุนในการจัดตั้ง และระยะทาง หากต้องการจัดตั้งศูนย์ช่วยเหลือและ
ประเมินสถานการณ์ในอนาคตจึงควรมีการวิเคราะห์ถึงปัจจัยที่เกี่ยวข้องต่อไป

6. กิตติกรรมประกาศ

ทางผู้วิจัยขอขอบคุณศูนย์ป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย เขต 9 จังหวัดพิษณุโลกที่
อนุเคราะห์ข้อมูลและการสัมภาษณ์ และอาจารย์ที่ปรึกษาทุกท่านที่มีส่วนช่วยเหลืองานวิจัย
สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ผู้วิจัยจึงขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้

7. เอกสารอ้างอิง

- คมสันต์ โสมณวัตร. (2559). ระบบการจัดการโลจิสติกส์เพื่อช่วยเหลือผู้ประสบอุทกภัย กรณีศึกษา
อำเภวารินชำราบ จังหวัด อุบลราชธานี. **วารสารวิชาการเศรษฐศาสตร์อุตสาหกรรม พระจอม
เกล้าพระนครเหนือ**, 7(1), 164-172.
- บุญยง รุธิโร, พชรินทร์ เสริมการดี, จิตนพา วุ่นบัว, เพ็ญประไพ ภูทอง และนัฐพงษ์ พวงแก้ว.,
(2558, มิถุนายน). **การจัดทำประมวลภาพจำลองสามมิติและภาพจำลองเหตุการณ์เกิด
อุทกภัยในแต่ละระดับในพื้นที่เทศบาลเมืองเสเดา ตำบลเสเดา อำเภอสเดา จังหวัด
สงขลา. การประชุมมหาดใหญ่วิชาการระดับชาติครั้งที่ 6, มหาวิทยาลัยหาดใหญ่, สงขลา.**
- พรชัย เอกศิริพงษ์, และสุเพชร จิระจกุล. (2557). การประยุกต์ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เพื่อการ
วิเคราะห์ พื้นที่เสี่ยงภัยน้ำท่วมในเขตเทศบาลนครเชียงใหม่. **Thai Journal of Science
and Technology**, 3(3), 148-159. Doi: [10.14456/tjst.2014.9](https://doi.org/10.14456/tjst.2014.9)
- วิศรุต ช่วยจันทร์, (2560). **การพัฒนาแบบจำลองระบบหลายตัวแทนเพื่อการประเมินนโยบาย
กระจายสินค้าและโลจิสติกส์ในเขตเมือง.** (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ),
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, สงขลา.
- วีรชัย อุสมบุญ. (2561). **การศึกษาพัฒนาการด้านโลจิสติกส์เพื่อมนุษยธรรมในประเทศไทย.**
(วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ), จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

- สุพิชฌาย์ ชนารุณ และจินตนา อมรสงวนสิน. (2553). การประยุกต์ใช้ระบบภูมิสารสนเทศภูมิศาสตร์
ในการกำหนดพื้นที่อุทกภัยจังหวัดอ่างทอง. **วารสารการจัดการสิ่งแวดล้อม**, 6(2), 19-34.
- สำนักงานป้องกันและบรรเทาสาธารณภัยจังหวัดพิษณุโลก. (2563). **แผนการป้องกันและบรรเทาสา
ธารณภัยจังหวัดพิษณุโลก พ.ศ. 2558 (ฉบับปรับปรุง ประจำปีงบประมาณ พ.ศ.2563)**.
- อดิศักดิ์ วรรณะภุติ, (2562). การรับรู้ด้านโลจิสติกส์และการเตรียมความพร้อมในการรับมือภัยพิบัติ
ของประชาชนจังหวัดพระนครศรีอยุธยา. **Veridian E-Journal Humanities, Social
Sciences and arts**, 12(1), 1369-1390.
- Díaz-Delgado, C., & Iniestra, J. G. (2014). Flood Risk Assessment in Humanitarian Logistics
Process Design. **Journal of Applied Research and Technology**, 12, 976-984. Doi:
0.1016/S1665-6423(14)70604-2
- Kovács, G., Jahre, M., & Spens, K. M. (2007). Humanitarian logistics in disaster relief
operations. **International Journal of Physical Distribution & Logistics
Management**, 37(2), 99-114. Doi: 10.1108/09600030710734820
- Overstreet, R. E., Hall, D., Hanna, J. B., & Kelly Rainer, R. (2011). Research in humanitarian
logistics. **Journal of Humanitarian Logistics and Supply Chain Management**,
1(2), 114-131. Doi: 10.1108/20426741111158421
- Pérez-Morales, A., Gomariz-Castillo, F., & Pardo-Zaragoza, P. (2019). Vulnerability of
Transport Networks to Multi-Scenario Flooding and Optimum Location of
Emergency Management Centers. **Water**, 11(6), 1-19. Doi: 10.3390/w11061197
- Waghwal, R. K., & Agnihotri, P. G. (2019). Flood risk assessment and resilience strategies
for flood risk management: A case study of Surat City. **International Journal of
Disaster Risk Reduction**, 40, 101155. Doi: 10.1016/j.ijdr.2019.101155
- Wu, Z., Shen, Y., Wang, H., & Wu, M. (2020). Urban flood disaster risk evaluation based
on ontology and Bayesian Network. **Journal of Hydrology**, 583, 124596. Doi:
10.1016/j.jhydrol.2020.124596



การเพิ่มสมรรถนะเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ PERFORMANCE ENHANCEMENT OF SOLAR DRYER

ศิริชัย ศิริชนะ¹, อภินันต์ นามเขต¹, อำไพศักดิ์ ทีบุญมา¹,
ประพันธ์พงษ์ สมศิลา², ทรงสุภา พุ่มชุมพล^{1*}

Sirichai Sirichana¹, Apinunt Namkhat¹, Umphisak Teeboonma¹,
Prapphanpong Somsila², Songsupa Pumchumpol^{1*}

¹คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี อ.วารินชำราบ จ.อุบลราชธานี ประเทศไทย 34190

²คณะเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสุรินทร์
อ.เมือง จ.สุรินทร์ ประเทศไทย 32000

¹Faculty of Engineering, Ubon Ratchathani University, Warin Chamrap, Ubon Ratchathani, Thailand, 34190

²Faculty of Agriculture and Technology, Rajamangala University of Technology Isan Surin Campus,
Muang, Surin, Thailand, 32000

*Corresponding author e-mail: pumchumpol.s@gmail.com

วันที่เข้าระบบ 19 กันยายน 2565

วันที่แก้ไขบทความ 28 กันยายน 2565

วันที่ตอบรับบทความ 4 ตุลาคม 2565

บทคัดย่อ

การอบแห้งเป็นกระบวนการลดความชื้นผลิตภัณฑ์เพื่อยืดอายุการเก็บรักษาและสร้างมูลค่าเพิ่ม ซึ่งเป็นที่ทราบกันดีว่ากระบวนการอบแห้งมีการใช้พลังงานค่อนข้างสูง ดังนั้นการพัฒนาเครื่องอบแห้งที่ใช้พลังงานทดแทนเป็นแหล่งผลิตความร้อนจึงมีความจำเป็น ด้วยเหตุผลดังกล่าวงานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาการเพิ่มสมรรถนะเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยการควบคุมพัดลมระบายอากาศ ซึ่งมีเกณฑ์ที่ใช้ในการควบคุมการเปิด-ปิดพัดลมระบายอากาศคือผลต่างความชื้นสัมพัทธ์อากาศที่ทางเข้าและทางออกห้องอบแห้ง เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีเทคนิคการอบแห้งแตกต่างกัน 4 รูปแบบได้ถูกสร้างขึ้นเพื่อทดสอบสมรรถนะเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ไหลเวียนอากาศแบบธรรมชาติ (PSD) และเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งชุดควบคุมความแตกต่างความชื้นสัมพัทธ์อากาศ 5% (SD-RH5), 10% (SD-RH10) และ 15% (SD-RH15) ตามลำดับ และได้เลือกเนื้อหมูที่มีความชื้นเริ่มต้นเท่ากับ $265 \pm 2\% \text{d.b.}$ เป็นตัวอย่างในการทดลอง ซึ่งมีเกณฑ์ที่ใช้ในการประเมินสมรรถนะเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ ได้แก่ อัตราการอบแห้ง ประสิทธิภาพเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ และความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ ผลการศึกษาสามารถสรุปได้ดังนี้ 1) การควบคุมพัดลมระบายอากาศสามารถเพิ่มสมรรถนะเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ 2) สมรรถนะ SD-RH10 สูงกว่า SD-RH5, SD-RH15 และ PSD 3) อัตราการอบแห้ง SD-RH10 สูงกว่า SD-RH5, SD-RH15 และ PSD โดยเฉลี่ยประมาณ 1.93%, 3.38% และ 3.38% ตามลำดับ 4) ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ SD-RH10 ต่ำกว่า SD-RH5, SD-RH15 และ PSD เฉลี่ยประมาณ 7.54%,

2.16% และ 1.86% ตามลำดับ และสุดท้ายประสิทธิภาพเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ PSD, SD-RH5, SD-RH10 และ SD-RH15 มีค่าเฉลี่ยประมาณ 8.47%, 8.11%, 8.68% และ 8.46% ตามลำดับ

คำสำคัญ: การควบคุมความชื้นสัมพัทธ์, เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์, ประสิทธิภาพ

Abstract

Drying is a process of reducing moisture content of a product to extend shelf life and increase product value. It is generally known that energy consumption of drying is rather high; therefore, a development of dryer using renewable energy as a heating source is necessary. For this reason, the performance enhancement of solar dryer using ventilation fan control was studied in this research. The criterion used for turning on-off the ventilation fan was the difference between relative humidity of the air at the inlet and outlet of the drying chamber. The four models of solar dryers were constructed by using four different drying techniques to assess the performance of the passive solar dryer (PSD) and solar dryers equipped with relative humidity difference control of 5% (SD-RH5), 10% (SD-RH10) and 15% (SD-RH15), respectively. Pork with the initial moisture content of $265 \pm 2\%$ dry basis was selected as the sampling material. The criteria used to evaluate the solar dryer performance are drying rate, solar dryer efficiency and specific energy consumption. The experimental results showed that the performance of solar dryer could be improved by using ventilation fan control technique. Also, the SD-RH10 performance was higher than that of SD-RH5, SD-RH15 and PSD. In addition, the drying rate of SD-RH10 was higher than that for SD-RH5, SD-RH15 and PSD by approximately 1.93%, 3.38% and 3.38%, respectively. Moreover, the specific energy consumption of SD-RH10 was lower than that for SD-RH5, SD-RH15 and PSD by around 7.54%, 2.16% and 1.86%, respectively. Finally, solar dryer efficiencies of PSD, SD-RH5, SD-RH10 and SD-RH15 were about 8.47%, 8.11%, 8.68% and 8.46%, respectively.

Keywords: Relative humidity control, Solar dryer, Efficiency

1. บทนำ

ประชาชนส่วนใหญ่ในประเทศไทยโดยเฉพาะเขตพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือประกอบอาชีพเกษตรกรรม เช่น ทำนา ทำไร่ ทำสวนผลไม้ และเลี้ยงสัตว์ เป็นต้น ดังนั้นจึงมีผลผลิตออกสู่ตลาดเป็นจำนวนมากในช่วงฤดูการเก็บเกี่ยว ส่งผลให้ราคาผลผลิตต่ำกว่าที่ควรจะเป็นและยังมีส่วนเกิดความเสียหายจากการเก็บเกี่ยวไม่ทันหรือเน่าเสียเนื่องจากความชื้นผลผลิตสูง จากผลการศึกษาที่ผ่านมา (El-sebaili & Shalaby, 2012; Ahmed, 2013) พบว่าประเทศที่กำลังพัฒนาจะมีผลผลิตเสียหายจากการเก็บเกี่ยวมากกว่า 40% ของผลผลิตทั้งหมด และเกิดการเน่าเสียเนื่องจากการเก็บรักษาที่ไม่ดีเท่าที่ควรมากกว่า 80% ของผลผลิตทั้งหมด (Ahmed, 2010) ซึ่งสาเหตุหลักของผลผลิตเน่าเสียเกิดจากน้ำหรือความชื้นที่มีอยู่ในผลิตภัณฑ์สูงเกินไป ส่งผลให้จุลินทรีย์ที่อยู่ในผลิตภัณฑ์ใช้น้ำดังกล่าวในการเจริญเติบโตจึงเกิดการเน่าเสีย ดังนั้นหากต้องการเก็บรักษาผลผลิตให้นานขึ้นโดยไม่เกิดการเน่าเสียจะต้องลดความชื้นของผลิตภัณฑ์ (Nwajinka & Onuegbu, 2014; Okoroigwe *et al.*, 2013; Janjai & Bala, 2012; Gutti *et al.*, 2012) วิธีการลดความชื้นที่เกษตรกรปฏิบัติกันมาอย่างต่อเนื่องคือการนำผลิตภัณฑ์ตากแดดโดยตรง ซึ่งความเข้มของพลังงานแสงอาทิตย์จะเป็นสิ่งกำหนดระยะเวลาในการทำให้ผลิตภัณฑ์แห้ง และจากงานวิจัยที่ผ่านมา (Janjai & Bala, 2012; Gutti *et al.*, 2012; Hajar *et al.*, 2018) พบว่าการนำผลิตภัณฑ์ตากแดดโดยตรงจะมีปัญหาหลายด้าน เช่น ฝุ่นหรือสิ่งสกปรกปนเปื้อน แมลงรบกวน สัตว์แทะเล็ม ใช้พื้นที่ในการตากมาก หรือแม้แต่ปัญหาเรื่องกลิ่น เป็นต้น ดังนั้นเพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาและผลกระทบที่กล่าวมาข้างต้น จึงมีการพัฒนาเครื่องอบแห้งสำหรับใช้ในการลดความชื้นของผลิตภัณฑ์ ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้พบว่าผลิตภัณฑ์มีความสะอาดและมีคุณภาพดีขึ้น (Muruganantham *et al.*, 2021) อย่างไรก็ตามการใช้งานเครื่องอบแห้งต้องพึ่งพาความร้อนในการไล่ความชื้นออกจากผลิตภัณฑ์ โดยแหล่งพลังงานที่ใช้ในการสร้างความร้อนมีหลายรูปแบบ เช่น ก๊าซธรรมชาติ น้ำมัน ไฟฟ้า เป็นต้น (Ankur *et al.*, 2022) พลังงานความร้อนที่กล่าวมาข้างต้นนั้นมีแหล่งต้นกำเนิดมาจากเชื้อเพลิงฟอสซิล ซึ่งมีความผันผวนทางด้านราคาเป็นอย่างมากเนื่องจากเชื้อเพลิงฟอสซิลมีปริมาณลดลง ทำให้เกษตรกรมีภาระจากต้นทุนเชื้อเพลิงในการผลิตและส่งผลให้กำไรลดลง ดังนั้นหลายภาคส่วนจึงส่งเสริมและสนับสนุนให้เกษตรกรใช้พลังงานทดแทนจากก๊าซชีวภาพ หรือเชื้อเพลิงชีวมวล อย่างไรก็ตามก็ยังประสบปัญหาของกลิ่นก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์หรือแม้กระทั่งฝุ่นควัน จากผลกระทบทางด้านมลภาวะและต้นทุนที่กล่าวมา เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์จึงได้รับความสนใจจากเกษตรกรเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากไม่มีต้นทุนด้านพลังงาน ไร้ซึ่งมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม อีกทั้งประเทศไทยอยู่ใกล้แนวเส้นศูนย์สูตรจึงได้รับพลังงานแสงอาทิตย์เต็มที่ตลอดทั้งปี ซึ่งถือเป็นแหล่งพลังงานที่มีศักยภาพสูงอย่างมาก (Chaianong & Pharino, 2015; Chimres & Wongwises, 2016) จากงานวิจัยที่ผ่านมา (El-sebaili & Shalaby, 2012; Shrivastava *et al.*, 2014; Kapadiya & Desai, 2014; Kumar *et al.*, 2014; Narendra & Piyush, 2017; Ortiz-

Rodríguez *et al.*, 2022) เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์สามารถจำแนกตามการประยุกต์ใช้ได้ 3 รูปแบบ คือ 1) การตากแดดโดยตรง ผลิตภัณฑ์ที่ต้องการลดความชื้นจะถูกนำมาตากแดดโดยตรง 2) เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ไหลเวียนอากาศแบบธรรมชาติ (Passive solar dryer, PSD) ผลิตภัณฑ์ที่ต้องการไล่ความชื้นจะถูกนำเข้าไปในเครื่องอบแห้ง อุณหภูมิภายในเครื่องอบแห้งจะสูงกว่าอุณหภูมิแวดล้อม เป็นผลให้ความหนาแน่นของอากาศที่อยู่ภายในห้องอบแห้งลดลง จึงเกิดการลอยตัวของอากาศและขณะเดียวกันอากาศที่มีความหนาแน่นมากกว่าก็จะเลื่อนตัวเข้ามาแทนที่เป็นผลให้เกิดการไหลเวียนอากาศตามธรรมชาติ

จากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าวิธีการนี้จะใช้เวลาในการอบแห้งสั้นกว่าการตากแดดโดยตรง (Gutti *et al.*, 2012; Hajar *et al.*, 2018; Muruganantham *et al.*, 2021) อย่างไรก็ตามปัญหาที่พบจากการใช้งานเครื่องอบแห้งรูปแบบนี้คือ ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในห้องอบแห้งค่อนข้างสูง เนื่องจากการไหลเวียนอากาศเป็นไปตามธรรมชาติ ทำให้อากาศที่ไหลผ่านห้องอบแห้งเพื่อพาความชื้นออกจากห้องอบแห้งในบางช่วงเวลาไม่เพียงพอจึงเกิดความชื้นสะสมที่ผิวผลิตภัณฑ์นานเกินไปจนเป็นสาเหตุให้จุลินทรีย์สามารถใช้ประโยชน์จากความชื้นในการเจริญเติบโตจนเกิดการเน่าเสียได้ (Ahmed, 2010) และ 3) เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ไหลเวียนอากาศแบบบังคับ ลักษณะการทำงานของเครื่องอบแห้งจะคล้ายคลึงกับเครื่องอบแห้งรูปแบบที่ 2 แต่จะมีพัดลมระบายอากาศเพื่อใช้ในการสร้างการไหลเวียนอากาศสำหรับพาความชื้นออกจากห้องอบแห้ง ข้อดีของรูปแบบนี้คือความชื้นสะสมในห้องอบแห้งจะต่ำกว่าการไหลเวียนอากาศแบบธรรมชาติ แต่ข้อด้อยคืออุณหภูมิในห้องอบแห้งจะต่ำกว่าการไหลเวียนอากาศแบบธรรมชาติ เนื่องจากพัดลมระบายอากาศจะพาทั้งความชื้นและความร้อนออกไปพร้อมกันส่งผลให้อุณหภูมิภายในห้องอบแห้งลดลง จากงานวิจัยที่ผ่านมา (Aymen *et al.*, 2015; Avesahemad *et al.*, 2018; Baher *et al.*, 2018; Semwanga *et al.*, 2020; Aprajeeta & Tripathy, 2021) พบว่าเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ไหลเวียนอากาศแบบบังคับจะมีอัตราการอบแห้งสูงกว่าการตากแดดโดยตรง และการใช้เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ไหลเวียนอากาศแบบธรรมชาติ และหากต้องการเพิ่มสมรรถนะการอบแห้ง เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ไหลเวียนอากาศแบบบังคับให้มีอัตราการอบแห้งที่ดีขึ้นต้องควบคุมอัตราการระบายอากาศให้เหมาะสม

ด้วยเหตุผลที่กล่าวมา งานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาการเพิ่มสมรรถนะเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยการควบคุมการระบายอากาศโดยใช้เทคนิคการควบคุมผลต่างความชื้นสัมพัทธ์อากาศทางเข้าและทางออกห้องอบแห้ง เรียกว่าเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งชุดควบคุมความชื้นสัมพัทธ์อากาศ (Solar dryer equipped with relative humidity control, SD-RH) โดยได้สร้างชุดควบคุมการทำงานพัดลมระบายอากาศของห้องอบแห้ง ซึ่งพัดลมระบายอากาศจะทำงานก็ต่อเมื่อผลต่างความชื้นสัมพัทธ์อากาศระหว่างทางออกและทางเข้าห้องอบแห้งมากกว่าค่าที่ตั้งไว้

นอกจากนั้นงานวิจัยนี้ยังได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบสมรรถนะเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่พัฒนาขึ้นกับเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์โหลเวียนอากาศแบบธรรมชาติ โดยเลือกใช้เนื้อหมูเป็นตัวอย่างในการทดลอง เนื่องจากเนื้อหมูแดดเดียวได้รับความนิยมในการบริโภค และราคาที่ย่อมเยาก็แปรผันตามคุณภาพผลิตภัณฑ์ ดังนั้นหากสามารถนำเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ไปประยุกต์ใช้ในกระบวนการผลิตเนื้อหมูแดดเดียวก็จะเป็นทางเลือกในการสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับผลิตภัณฑ์

2. วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

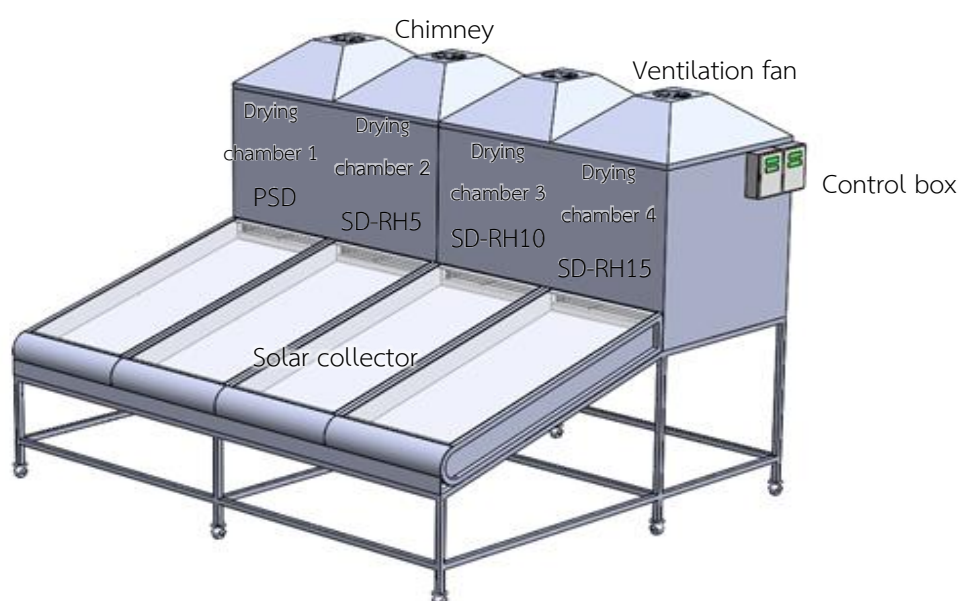
2.1 เพื่อศึกษาการเพิ่มสมรรถนะเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยการควบคุมการระบายอากาศโดยใช้เทคนิคการควบคุมผลต่างความชื้นสัมพัทธ์อากาศที่ตำแหน่งทางเข้าและทางออกห้องอบแห้ง

2.2 เพื่อศึกษาเปรียบเทียบสมรรถนะระหว่างเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่ควบคุมการระบายอากาศและเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์โหลเวียนอากาศแบบธรรมชาติ

3. วิธีดำเนินงานวิจัย

3.1 เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

การศึกษาในงานวิจัยนี้ได้สร้างเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์จำนวน 1 เครื่อง จำนวน 4 ห้องอบแห้ง ซึ่งแต่ละห้องอบแห้งมีแผงเก็บรังสีแสงอาทิตย์และขนาดห้องอบแห้งเท่ากัน โดยห้องอบแห้งเรียงชิดติดกันดังแสดงในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

เครื่องอบแห้งประกอบด้วย 3 ส่วนหลักที่สำคัญคือ 1) ชุดแผงเก็บรังสีแสงอาทิตย์ โครงสร้างทำจากเหล็กกล่องผนังด้านข้างและด้านล่างปิดด้วยแผ่นสังกะสีภายในบุด้วยฉนวนกันความร้อนชนิดโพลียูรีเทนความหนา 10 mm ด้านบนปิดทับด้วยกระจกใสหนา 5 mm ใช้สำหรับสร้างสภาวะเรือนกระจกและป้องกันความร้อนสูญเสียออกจากแผงเก็บรังสีแสงอาทิตย์ โดยกระจกมีพื้นที่รับพลังงานแสงอาทิตย์ตกกระทบ 0.68 m^2 แผงเก็บรังสีแสงอาทิตย์ถูกติดตั้งให้เอียงรับแสงอาทิตย์โดยทำมุมเท่ากับ 15 องศา และหันหน้าแผงเก็บรังสีแสงอาทิตย์ไปทางทิศใต้ 2) ห้องอบแห้งซึ่งเป็นส่วนที่รับพลังงานความร้อนจากแผงเก็บรังสีแสงอาทิตย์เพื่ออบแห้งลดความชื้นของผลิตภัณฑ์ ผนังทุกด้านห่อหุ้มด้วยสังกะสีภายในบุด้วยฉนวนกันความร้อนหนา 10 mm เพื่อป้องกันการสูญเสียความร้อนให้กับสิ่งแวดล้อมและป้องกันการถ่ายเทความร้อนระหว่างห้องอบแห้งทั้ง 4 ห้อง ด้านบนห้องอบแห้งสร้างเป็นปล่องระบายอากาศ และทำการติดตั้งพัดลมไว้ที่ด้านบนของห้องอบแห้งที่ 2-4 (SD-RH5, SD-RH10 และ SD-RH15) 3) ชุดควบคุมการทำงานของพัดลมระบายอากาศสำหรับพาความชื้นออกจากห้องอบแห้ง ชุดควบคุมจะทำหน้าที่ตรวจวัดค่าความชื้น ซึ่งเมื่อถึงเกณฑ์ที่กำหนดชุดควบคุมจะสั่งให้พัดลมทำงานเพื่อระบายอากาศออกจากห้องอบแห้ง ในการทดลองได้กำหนดให้พัดลมระบายอากาศห้องอบแห้งที่ 2, 3 และ 4 ทำงานเมื่อผลต่างความชื้นสัมพัทธ์อากาศที่ทางเข้าและทางออกห้องอบแห้งมากกว่า 5% (SD-RH5), 10% (SD-RH10) และ 15% (SD-RH15) ตามลำดับ ยกตัวอย่างการทำงาน เช่น กรณี SD-RH5 พัดลมระบายอากาศจะทำงานเมื่อผลต่างความชื้นสัมพัทธ์อากาศทางเข้าและทางออกห้องอบแห้งมากกว่าเกิน 5% ($RH_{do} - RH_{di} = \Delta RH > 5\%$) โดยพัดลมระบายอากาศจะทำงานต่อเนื่องไปจนกระทั่งผลต่างความชื้นสัมพัทธ์อากาศน้อยกว่าหรือเท่ากับ 5% ($\Delta RH \leq 5\%$) ก็จะหยุดทำงาน และจะเริ่มทำงานใหม่อีกครั้งเมื่อเงื่อนไขสอดคล้องตามค่าที่ตั้งไว้ สำหรับพัดลมระบายอากาศที่ใช้มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 15 cm ให้อัตราการไหลสูงสุดเท่ากับ $0.17 \text{ m}^3/\text{s}$ และมีกำลังไฟฟ้าสูงสุดเท่ากับ 40 W เหมือนกันทั้ง 3 ห้องอบแห้ง (ห้องอบแห้งที่ 2-4) โดยก่อนดำเนินการติดตั้งพัดลมระบายอากาศได้ทดสอบเครื่องอบแห้งทั้ง 4 ห้องในเงื่อนไขการระบายอากาศแบบธรรมชาติและสภาพภูมิอากาศจริง เพื่อให้เชื่อมั่นว่าเครื่องอบแห้งสามารถเพิ่มอุณหภูมิและมีประสิทธิภาพเท่ากัน ซึ่งในการทดสอบพบว่าห้องอบแห้งทุกห้องสามารถสร้างอุณหภูมิและมีประสิทธิภาพเท่ากัน หลังจากนั้นจึงติดตั้งพัดลมระบายอากาศเพิ่มเข้าไปในห้องอบแห้งที่ 2-4

3.2 วิธีการทดลอง

3.2.1 ผลลัพธ์ที่ใช้ในการทดลอง

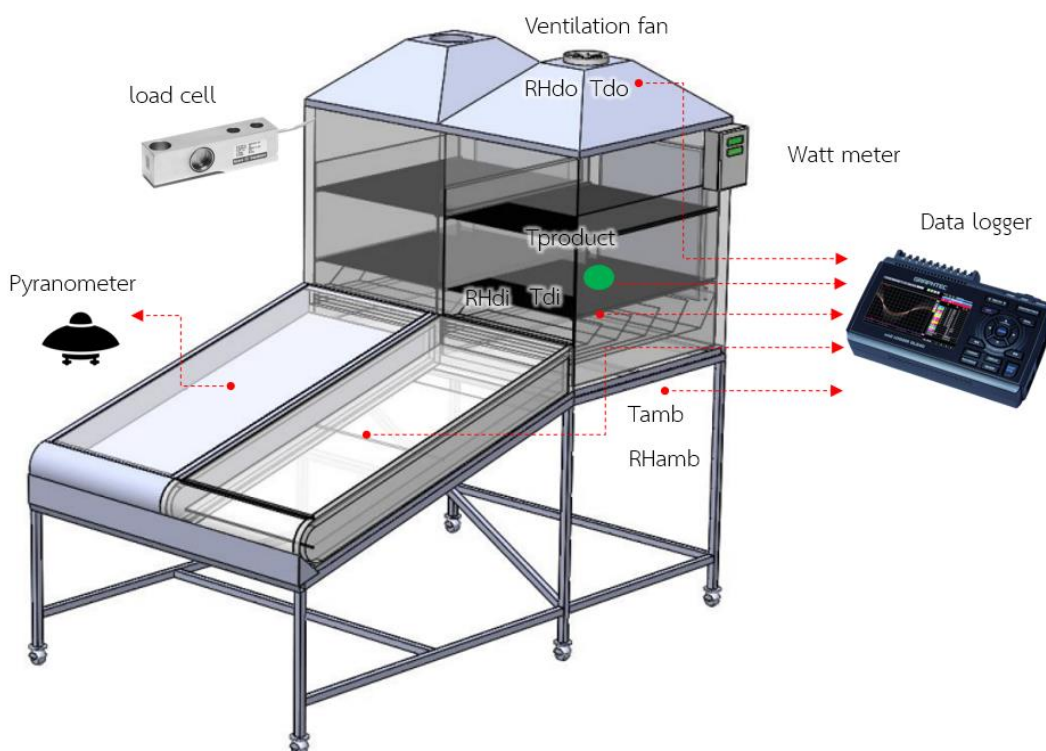
ในการศึกษานี้ได้เลือกใช้เนื้อหมูส่วนสันนอกสำหรับทดลอง ซึ่งมีค่าความชื้นเริ่มต้นเฉลี่ยเท่ากับ $265 \pm 2\% \text{ d.b.}$ โดยหั่นเนื้อหมูตัดขวางแนวเส้นใยกล้ามเนื้อให้ได้ขนาดความยาวและความหนาเฉลี่ยเท่ากับ 10 cm และ 1.5 cm ตามลำดับ ซึ่งเป็นขนาดที่ใกล้เคียงกับขนาดเนื้อหมูแดดเดียวที่มีจำหน่ายตามท้องตลาด

3.2.2 เงื่อนไขการทดลอง

การศึกษานี้ได้ดำเนินการทดลองภายใต้พลังงานแสงอาทิตย์ตกกระทบตามสภาพแวดล้อมจริง เพื่อทดสอบสมรรถนะเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ไหลเวียนอากาศแบบธรรมชาติ และเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่ควบคุมการระบายอากาศด้วยผลต่างความชื้นสัมพัทธ์อากาศทางเข้า (RHdi) และทางออกห้องอบแห้ง (RHdo) 3 ระดับ คือ 5% (SD-RH5), 10% (SD-RH10) และ 15% (SR-RH15) ตามลำดับ

3.2.3 ขั้นตอนการทดลอง

การทดลองเริ่มต้นจากการเตรียมเนื้อหมูและชุดทดลองพร้อมทั้งติดตั้งเครื่องมือวัดแต่ละประเภทดังแสดงในภาพที่ 2 ได้แก่ อุปกรณ์วัดและบันทึกอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์อากาศ น้ำหนักผลิตภัณฑ์ และพลังงานแสงอาทิตย์ตกกระทบ ทำการวัดและบันทึกค่าทุก 5 นาที โดยเริ่มดำเนินการทดลองในช่วงเวลา 09.00-16.00 น. รวม 7 ชั่วโมง และทำการวัดความสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าที่จ่ายให้กับพัดลมระบายอากาศของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ในแต่ละห้องอบแห้ง



ภาพที่ 2 การติดตั้งอุปกรณ์และเครื่องมือวัด

3.3 การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูลในงานวิจัยนี้ประกอบไปด้วยค่าสัดส่วนความชื้นของผลิตภัณฑ์ อัตราการอบแห้ง สัดส่วนการทำงานพัลลภระบายอากาศ ประสิทธิภาพเครื่องอบแห้ง และความสัมพันธ์พลังงานจำเพาะ ซึ่งมีรายละเอียดความสัมพันธ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ดังต่อไปนี้

สัดส่วนความชื้นของผลิตภัณฑ์ (Moisture ratio, MR) คือ ดัชนีบ่งชี้ปริมาณความชื้นที่แต่ละช่วงเวลาต่อความชื้นเริ่มต้น ซึ่งสามารถวิเคราะห์ได้จากสมการที่ (1)

$$MR = \frac{M_t - M_{eq}}{M_{in} - M_{eq}} \quad (1)$$

เมื่อ	MR	คือ	สัดส่วนความชื้น, ไร้มิติ
	M_{in}	คือ	ความชื้นเริ่มต้น, %d.b.
	M_{eq}	คือ	ความชื้นสมดุล, %d.b.
	M_t	คือ	ความชื้นที่แต่ละช่วงเวลา, %d.b.

สำหรับการคำนวณสัดส่วนความชื้นในงานวิจัยนี้เป็นการคำนวณค่าโดยประมาณ ซึ่งมีสมมติฐาน คือ ค่าความชื้นสมดุลมีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับค่าความชื้นเริ่มต้น ดังนั้นสมการที่ (1) (Vijayan *et al.*, 2016; Karthikeyan & Murugavelh, 2018; Khuthadzo & Tilahun, 2021) สามารถเขียนความสัมพันธ์ใหม่ได้ดังสมการที่ (2)

$$MR = \frac{M_t}{M_{in}} \quad (2)$$

อัตราการอบแห้ง (Drying rate, DR) คือ ปัจจัยสำคัญที่แสดงถึงค่าสมรรถนะการอบแห้งหรือความสามารถในการลดความชื้นของผลิตภัณฑ์ต่อช่วงเวลาอบแห้ง โดยสามารถวิเคราะห์ได้จากสมการที่ (3) (Vijayan *et al.*, 2016; Karthikeyan & Murugavelh, 2018)

$$DR = \frac{\Delta m}{\Delta t} \quad (3)$$

เมื่อ	DR	คือ	อัตราการอบแห้ง, kg/h
	Δm	คือ	มวลผลิตภัณฑ์ที่เปลี่ยนแปลง, kg



Δt คือ เวลาที่เปลี่ยนแปลง, h

สัดส่วนการทำงานพัดลมระบายอากาศ (Working ratio of ventilation fan, WR) คือ พารามิเตอร์ที่ใช้บ่งชี้ชั่วโมงทำงานของพัดลมระบายอากาศ ซึ่งเขียนความสัมพันธ์ในการวิเคราะห์ได้ ดังสมการที่ (4)

$$WR = \frac{E_F}{P_F \times DT} \quad (4)$$

เมื่อ	WR	คือ	สัดส่วนการทำงานพัดลมระบายอากาศ, ไร้นิหน่วย
	E_F	คือ	พลังงานไฟฟ้าที่จ่ายให้พัดลมระบายอากาศ, Wh
	P_F	คือ	กำลังไฟฟ้าพัดลมระบายอากาศ, W
	DT	คือ	ระยะเวลาอบแห้ง, h

ประสิทธิภาพเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ (Solar dryer efficiency, η) คือ พารามิเตอร์บ่งชี้ประสิทธิภาพการใช้พลังงานสำหรับการระเหยน้ำออกจากผลิตภัณฑ์ของเครื่องอบแห้งต่อพลังงานทั้งหมดที่เครื่องอบแห้งใช้ ซึ่งวิเคราะห์โดยใช้สมการที่ (5) (Wei *et al.*, 2018; Aprajeeta & Tripathy, 2021; Ortiz-Rodríguez *et al.*, 2022)

$$\eta = \frac{m_w h_{fg}}{AI + 0.0036E_F} \times 100\% \quad (5)$$

เมื่อ	η	คือ	ประสิทธิภาพเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์, %
	m_w	คือ	ปริมาณน้ำระเหย, kg
	h_{fg}	คือ	ความร้อนแฝงการระเหยกลายเป็นไอที่อุณหภูมิอบแห้ง, MJ/kg
	A	คือ	พื้นที่แผงเก็บรังสีแสงอาทิตย์, m^2
	I	คือ	พลังงานแสงอาทิตย์ตกกระทบตลอดการทดลอง, MJ/m^2

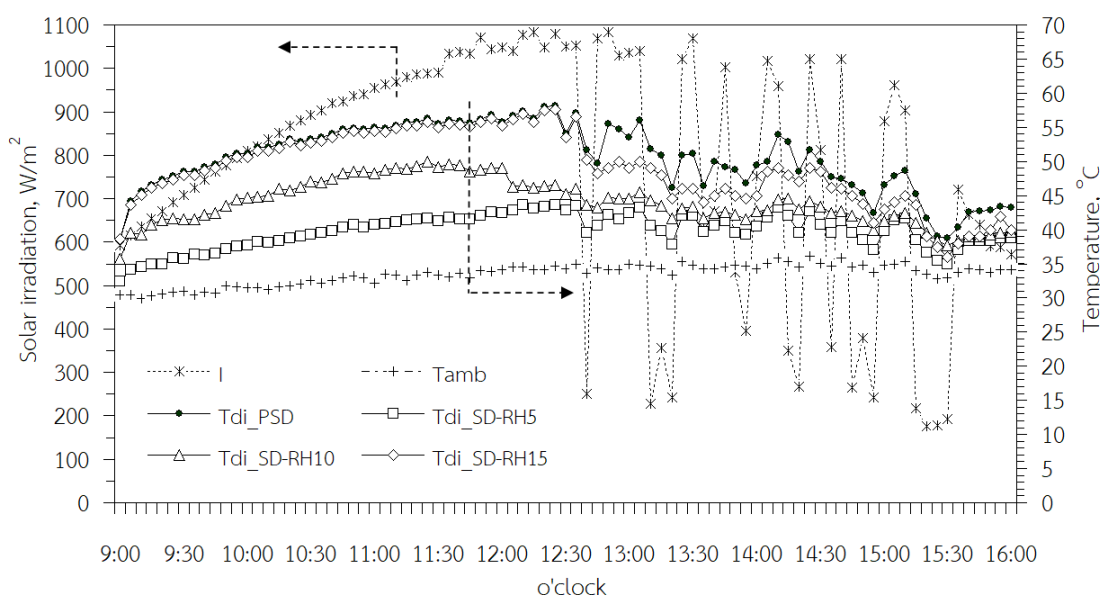
ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (Specific energy consumption, SEC) คือ ค่าที่แสดงถึงปริมาณพลังงานที่ใช้ในการอบแห้งต่อปริมาณน้ำที่ระเหยออกจากผลิตภัณฑ์ที่อบแห้ง โดยมีความสัมพันธ์ในการวิเคราะห์ดังสมการที่ (6) (Wei *et al.*, 2018; Aprajeeta & Tripathy, 2021; Ortiz-Rodríguez *et al.*, 2022)

$$SEC = \frac{0.0036E_F + AI}{m_w} \quad (6)$$

เมื่อ SEC คือ ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ, MJ/kg evap-water

4. ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

การทดลองในงานวิจัยนี้ได้ดำเนินการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง โดยผลการทดลองที่นำเสนอประกอบด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ตกกระทบ อุณหภูมิแวดล้อม อุณหภูมิทางเข้าห้องอบแห้ง อุณหภูมิผลิตภัณฑ์ สัดส่วนความชื้นของผลิตภัณฑ์ และอัตราการอบแห้ง ซึ่งมีรายละเอียดกรณีตัวอย่างการทดลองครั้งที่ 1 ดังแสดงในภาพที่ 3-5 โดยปัจจัยที่เลือกนำเสนอข้อมูลการทดลองครั้งที่ 1 เนื่องจากมีช่วงการเปลี่ยนแปลงพลังงานแสงอาทิตย์ตกกระทบให้เห็นชัดเจนในช่วงบ่าย ซึ่งจะทำให้สังเกตเห็นพฤติกรรมของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิได้ชัดเจน โดยข้อมูลการทดลองทั้ง 3 ครั้ง มีรายละเอียดสรุปในตารางที่ 1



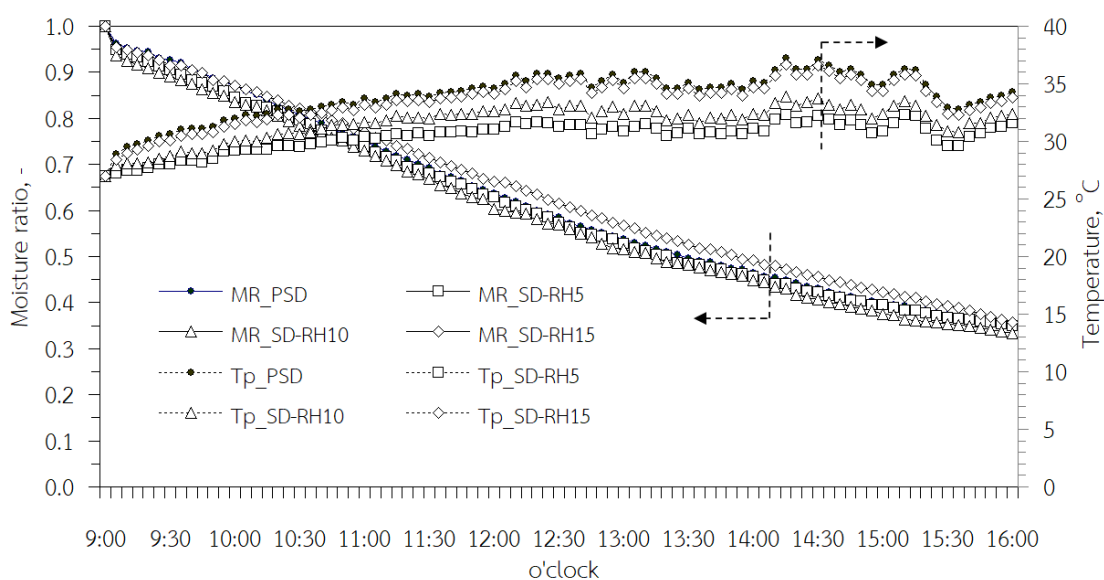
ภาพที่ 3 พลังงานแสงอาทิตย์ตกกระทบและอุณหภูมิทางเข้าห้องอบแห้งในแต่ละช่วงเวลา
ในการทดลองครั้งที่ 1

ภาพที่ 3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานแสงอาทิตย์ตกกระทบ (I) อุณหภูมิแวดล้อม (Tamb) และอุณหภูมิทางเข้าห้องอบแห้ง (Tdi) ที่แต่ละช่วงเวลา จากข้อมูลพบว่าพลังงานตกกระทบมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในช่วงเช้า ซึ่งในช่วงเวลา 9:00-12:00 น. เป็นช่วงที่ท้องฟ้าแจ่มใสทำให้สามารถสังเกต

ผลต่างอุณหภูมิทางเข้าห้องอบแห้งของแต่ละห้องอบแห้งได้อย่างชัดเจน สำหรับในช่วงบ่ายเป็นช่วงที่สภาพภูมิอากาศเปลี่ยนแปลงเป็นระยะ คือ มีเมฆบดบังรังสีดวงอาทิตย์ ซึ่งในการทดลองครั้งที่ 1 พบว่ามีค่าเฉลี่ยของพลังงานแสงอาทิตย์ตกกระทบบนพื้นผิวการทดลองเท่ากับ 774.93 W/m^2 ในส่วนของอุณหภูมิแวดล้อมก็เปลี่ยนแปลงตามสภาพภูมิอากาศเช่นกัน โดยมีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิแวดล้อมตลอดช่วงการทดลองเท่ากับ 33.45°C สำหรับอุณหภูมิอากาศที่ตำแหน่งทางเข้าห้องอบแห้งก็เปลี่ยนแปลงตามพลังงานแสงอาทิตย์ตกกระทบบนพื้นผิวการทดลอง นั่นคือเมื่อพลังงานแสงอาทิตย์ตกกระทบบนแผงเก็บรังสีมากขึ้นก็จะส่งผลให้อุณหภูมิทางเข้าห้องอบแห้งเพิ่มขึ้นตาม โดยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ไหลเวียนอากาศแบบธรรมชาติ (PSD) มีอุณหภูมิทางเข้าห้องอบแห้งเฉลี่ยสูงที่สุดเท่ากับ 50.40°C ในขณะที่เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่ควบคุมการระบายอากาศโดยตั้งค่าผลต่างความชื้นสัมพัทธ์อากาศทางเข้าและทางออกห้องอบแห้งเท่ากับ 5% (SD-RH5), 10% (SD-RH10) และ 15% (SD-RH15) มีอุณหภูมิทางเข้าห้องอบแห้งเฉลี่ยเท่ากับ 39.70°C , 44.00°C และ 48.50°C ตามลำดับ โดย SD-RH15 จะมีอุณหภูมิเฉลี่ยทางเข้าห้องอบแห้งใกล้เคียง PSD มากที่สุด ทั้งนี้เนื่องจากการทำงาน SD-RH15 มีการระบายอากาศค่อนข้างน้อยซึ่งสังเกตได้จากค่าสัดส่วนการทำงานพัดลมระบายอากาศ (WR เท่ากับ 0.046) ที่นำเสนอไว้ในตารางที่ 1 นอกจากนั้นจากการวิเคราะห์ข้อมูลจะพบว่า PSD มีอุณหภูมิมอบแห้งสูงกว่า SD-RH5, SD-RH10 และ SD-RH15 เท่ากับ 21.23%, 12.69% และ 3.77% ตามลำดับ ซึ่งเมื่อพิจารณาตามสมการพลังงาน คือ $Q = \rho V C_p (T_{di} - T_{amb})$ หรือเขียนสมการใหม่ได้ว่า $T_{di} = T_{amb} + [Q / (\rho V C_p)]$ ก็จะพบว่าตัวแปรที่ห้องอบแห้งทั้ง 4 ห้องมีค่าเท่ากันประกอบด้วย พลังงานแสงอาทิตย์ตกกระทบบนพื้นผิว (Q) อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม (T_{amb}) ค่าความจุความร้อนอากาศ (C_p) และความหนาแน่นอากาศ (ρ) โดยมีตัวแปรที่ไม่เท่ากัน คือ อัตราการระบายอากาศ (V) ของแต่ละห้องอบแห้ง ด้วยเหตุผลนี้จึงส่งผลให้ SD-RH5 มีอุณหภูมิทางเข้าห้องอบแห้งต่ำที่สุด เนื่องจากพัดลมระบายอากาศทำงานค่อนข้างบ่อย ซึ่งจากการทดลองพบว่ามีสัดส่วนการทำงานพัดลมระบายอากาศ (WR) เท่ากับ 0.954 ถัดมาคือ SD-RH10 (WR = 0.236) และสุดท้ายคือ SD-RH15 (WR = 0.041) ซึ่งพัดลมระบายอากาศทำงานน้อยมาก ดังข้อมูลที่น่าสนใจในตารางที่ 1 ดังนั้นจากที่กล่าวมาข้างต้นจึงเป็นเหตุผลทำให้ PSD มีอุณหภูมิทางเข้าห้องอบแห้งสูงที่สุด รองลงมาคือ SD-RH15, SD-RH10 และ SD-RH5 ตามลำดับ

ภาพที่ 4 นำเสนอความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนความชื้นผลิตภัณฑ์ และอุณหภูมิภายในผลิตภัณฑ์ในแต่ละช่วงเวลา จากข้อมูลพบว่า สัดส่วนความชื้นของผลิตภัณฑ์ลดลงตามเวลา และเมื่อสิ้นสุดการทดลองจะพบว่า SD-RH10 จะให้ค่าสัดส่วนความชื้นต่ำที่สุดเท่ากับ 0.33 โดยมีค่าความชื้นผลิตภัณฑ์สุดท้ายเท่ากับ 87.59% d.b. ซึ่งต่ำกว่าความชื้นสุดท้ายของ PSD, SD-RH15 และ SD-RH5 เท่ากับ 6.67%, 6.67% และ 4.17% ตามลำดับ จากข้อมูลในกรณีที่ SD-RH10 มีความชื้นสุดท้ายต่ำที่สุดหรือกล่าวในอีกความหมาย คือ สามารถระเหยน้ำออกจากผลิตภัณฑ์ได้มากที่สุดภายใต้เงื่อนไขพลังงาน

แสงอาทิตย์ตกกระทบและระยะเวลาอบแห้งเท่ากัน ซึ่งเมื่อวิเคราะห์จากข้อมูลผลการทดลองจะพบว่า อุณหภูมิผลิตภัณฑ์ของ SD-RH10 จะมีลักษณะคงที่คล้ายคลื่นขึ้นบันได โดยมีช่วงอุณหภูมิคงที่และเพิ่มขึ้นเป็นระยะซึ่งเกิดจากการระบายอากาศที่ไม่ต่อเนื่อง โดยสิ่งที่เกิดขึ้นนี้ทำให้มีช่วงเวลาเพียงพอสำหรับการถ่ายเทความร้อนให้กับผลิตภัณฑ์และการแพร่ของน้ำที่อยู่ภายในผลิตภัณฑ์ออกมายังบริเวณผิวนอก หลังจากนั้น เมื่อพัดลมระบายอากาศทำงานก็จะทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนและถ่ายเทมวลที่บริเวณผิวนอกผลิตภัณฑ์ได้อย่างรวดเร็ว ส่งผลให้มีอัตราการอบแห้งสูงเป็นช่วงๆ เช่นกัน ดังข้อมูลที่แสดงในภาพที่ 5



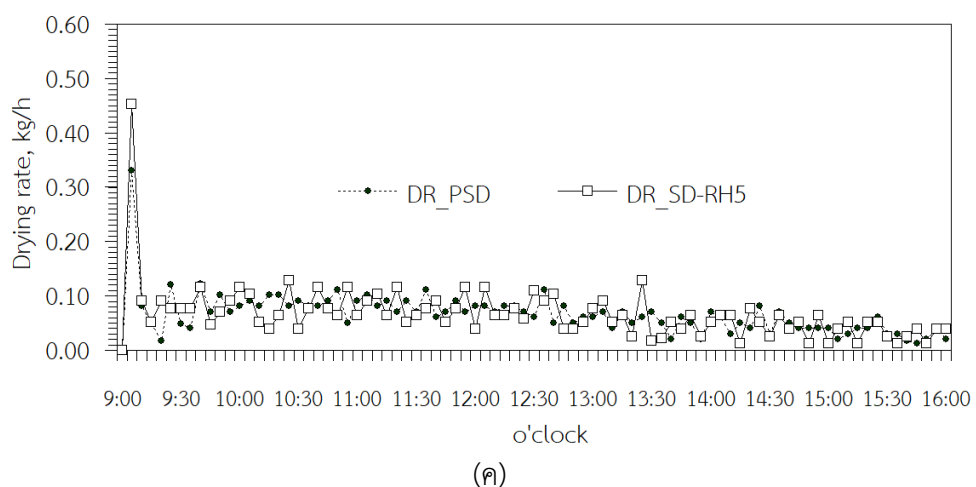
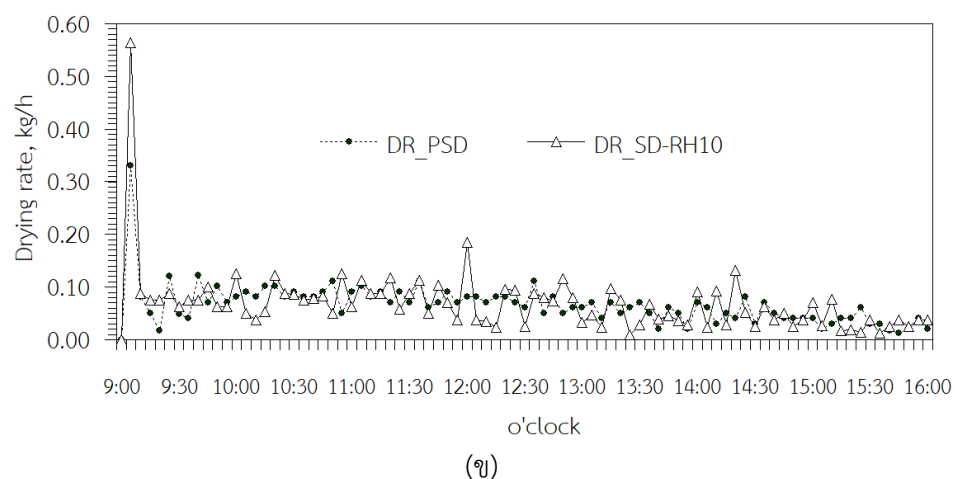
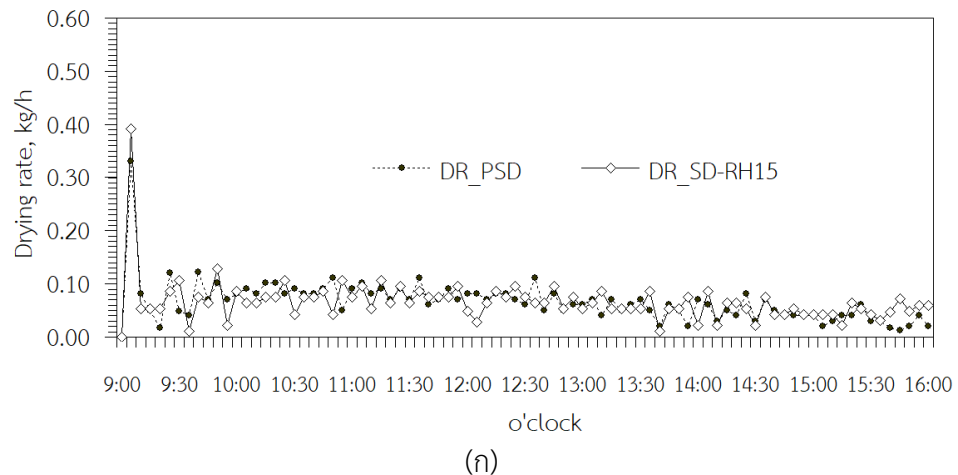
ภาพที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนความชื้นและอุณหภูมิภายในผลิตภัณฑ์ในแต่ละช่วงเวลา
ในการทดลองครั้งที่ 1

จากข้อมูลที่นำเสนอในภาพที่ 5(ก-ค) จะสังเกตได้ชัดเจนว่า ทุกเงื่อนไขการทดลองจะมีอัตราการอบแห้งสูงในช่วงแรกของการอบแห้ง ทั้งนี้เนื่องจากเป็นช่วงที่ผลิตภัณฑ์มีความชื้นสูงจึงทำให้เกิดการระเหยของน้ำในผลิตภัณฑ์ได้ค่อนข้างดี และเมื่อพิจารณาข้อมูลอุณหภูมิผลิตภัณฑ์ที่นำเสนอในภาพที่ 4 ควบคู่ไปด้วยจะพบว่า ช่วงแรกของการอบแห้งเป็นช่วงเพิ่มอุณหภูมิ (Heat up) ของผลิตภัณฑ์ นั่นคือในช่วงเริ่มต้นอุณหภูมิผลิตภัณฑ์จะต่ำกว่าอุณหภูมิลมร้อนดังนั้นจึงเกิดการถ่ายเทความร้อนให้กับผลิตภัณฑ์เป็นหลัก หลังจากนั้นเมื่อเวลาผ่านไปผลิตภัณฑ์จะมีอุณหภูมิใกล้เคียงกับอุณหภูมิกระเปาะเปียกของลมร้อนที่ใช้ในการอบแห้งก็จะทำให้เกิดการถ่ายเทมวลหรือระเหยน้ำที่บริเวณผิวนอกของผลิตภัณฑ์ ซึ่งในช่วงนี้อัตราการอบแห้งจะสูง หลังจากนั้นก็จะลดลงเมื่อน้ำที่บริเวณผิวนอกของผลิตภัณฑ์แห้งหรือเข้าสู่ช่วงที่เรียกว่า ช่วงอัตราการอบแห้งลดลง (Falling rate period) (Sun et

al., 2019) ซึ่งจากข้อมูลที่น่าเสนอในภาพที่ 4 และ 5 จะพบว่าช่วงอัตราการรอบแหว่งคงที่ (Constant rate period) ไม่ปรากฏให้สังเกตเห็นได้อย่างชัดเจน และเมื่อพิจารณาพฤติกรรมการรอบแหว่งเปรียบเทียบกันระหว่าง PSD และ SD-RH15 ดังภาพที่ 5 (ก) จะพบว่าอัตราการรอบแหว่งของทั้งสองกรณีมีค่าใกล้เคียงกันมาก โดยอัตราการรอบแหว่งในช่วงเวลา 30 นาทีแรกของระบบ SD-RH15 จะสูงกว่า PSD เล็กน้อย ทั้งนี้เนื่องจากพัฒนาการของ SD-RH15 ทำงานในช่วงนี้หลังจากนั้นอัตราการรอบแหว่งของทั้งสองกรณีจะมีค่าใกล้เคียงกันมาก เนื่องจากพัฒนาการของ SD-RH15 ไม่ทำงาน ซึ่งเกิดจากผลต่างค่าความชื้นสัมพัทธ์อากาศ (ΔRH) ไม่สอดคล้องตามเงื่อนไขการทำงานของพัฒนาการอากาศ และเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบระหว่าง PSD และ SD-RH10 (ภาพที่ 5 (ข)) จะพบว่าอัตราการรอบแหว่งของ SD-RH10 ในช่วงเวลา 30 นาทีแรกจะสูงกว่า PSD หลังจากนั้นอัตราการรอบแหว่งของ SD-RH10 จะมีลักษณะเพิ่มขึ้นและลดลงเป็นช่วงๆ ในขณะที่อัตราการรอบแหว่งของ PSD มีแนวโน้มลดลงช้าๆ อย่างต่อเนื่อง ทั้งนี้ลักษณะพฤติกรรมดังกล่าวเป็นผลมาจาก SD-RH10 มีพัฒนาการช่วยระบายอากาศ โดยมีสัดส่วนการทำงานพัฒนาการอากาศเท่ากับ 0.236 ในขณะที่ PSD ไม่มีพัฒนาการช่วยในการระบายอากาศ และเมื่อพิจารณาเพิ่มเติมสำหรับกรณีที่ระบบมีพัฒนาการช่วยระบายอากาศเกือบตลอดเวลา คือ SD-RH5 ซึ่งมี WR เท่ากับ 0.954 จะพบว่ามีลักษณะพฤติกรรมอัตราการรอบแหว่งคล้ายคลึงกับกรณี SD-RH10 อย่างไรก็ตาม SD-RH5 จะมีความถี่การเพิ่มขึ้นและลดลงของอัตราการรอบแหว่งถี่กว่า SD-RH10 ดังรายละเอียดปรากฏในภาพที่ 5 (ค)

ตารางที่ 1 นำเสนอข้อมูลผลการทดลองครั้งที่ 1-3 และค่าเฉลี่ยทั้ง 3 การทดลอง จากข้อมูลในตารางจะพบว่าเมื่อดำเนินการทดลองภายใต้สภาวะเดียวกัน SD-RH10 จะมีอัตราการรอบแหว่งสูงที่สุดถัดมาจะเป็น SD-RH5 ในขณะที่ PSD และ SD-RH15 จะอยู่ในลำดับสุดท้ายและมีค่าใกล้เคียงหรือมีค่าเท่ากัน ซึ่งปัจจัยที่ทำให้ PSD และ SD-RH15 มีค่าใกล้เคียงกันเนื่องจาก SD-RH15 มีลักษณะการทำงานใกล้เคียงกับ PSD คือ ระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติเป็นหลัก ซึ่งสามารถพิจารณาได้จากค่าสัดส่วนการทำงานพัฒนาการอากาศ (WR) เฉลี่ยเท่ากับ 0.041 หรือใน 7 ชั่วโมงของการรอบแหว่งพัฒนาการอากาศทำงานประมาณ 17 นาที ด้วยเหตุนี้จึงทำให้อัตราการรอบแหว่งมีค่าใกล้เคียงกัน นอกจากนั้นเมื่อวิเคราะห์ข้อมูลจะพบว่า SD-RH10 มีอัตราการรอบแหว่งสูงกว่า SD-RH5, SD-RH15 และ PSD เฉลี่ยเท่ากับ 1.93%, 3.38% และ 3.38% ตามลำดับ นอกจากนั้นเมื่อพิจารณาในด้านประสิทธิภาพเครื่องรอบแหว่งจะพบว่า SD-RH10 มีประสิทธิภาพสูงกว่า SD-RH5, SD-RH15 และ PSD เฉลี่ยเท่ากับ 6.60%, 2.61% และ 2.45% ตามลำดับ และสุดท้ายยังพบว่า SD-RH10 มีความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะต่ำกว่า SD-RH5, SD-RH15 และ PSD เฉลี่ยเท่ากับ 7.54%, 2.16% และ 1.86% ตามลำดับ จากข้อมูลการทดลองจะพบว่าถึงแม้อัตราการรอบแหว่ง SD-RH5 จะสูงกว่า SD-RH15 และ PSD แต่เมื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพและความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะแล้วจะพบว่า SD-RH15 และ PSD มีสมรรถนะสูงกว่า SD-RH5 ทั้งนี้เกิดจาก SD-RH5 ใช้พลังงานในส่วนของการพัฒนา

ระบายอากาศมากกว่า SD-RH15 ในขณะที่ PSD ไม่มีการใช้พลังงานในส่วนนี้ ดังนั้นเมื่อวิเคราะห์ผลโดยใช้ความสัมพันธ์ตามสมการที่ (5) และ (6) จึงทำให้ SD-RH10 มีสมรรถนะสูงที่สุดและเหมาะสมในการเลือกไปประยุกต์ใช้งานต่อไปในอนาคต



ภาพที่ 5 อัตราการอบแห้งที่แต่ละช่วงเวลาในการทดลองครั้งที่ 1



ตารางที่ 1 สรุปข้อมูลการทดลองครั้งที่ 1-3

รายการ	การทดลองครั้งที่ 1				การทดลองครั้งที่ 2				การทดลองครั้งที่ 3				เฉลี่ย			
	PSD	SD-RH5	SD-RH10	SD-RH15	PSD	SD-RH5	SD-RH10	SD-RH15	PSD	SD-RH5	SD-RH10	SD-RH15	PSD	SD-RH5	SD-RH10	SD-RH15
พลังงานแสงอาทิตย์เฉลี่ย, W/m^2	774.93	774.93	774.93	774.93	785.50	785.50	785.50	785.50	740.25	740.25	740.25	740.25	766.89	766.89	766.89	766.89
อุณหภูมิแวดล้อมเฉลี่ย, $^{\circ}C$	33.45	33.45	33.45	33.45	34.55	34.55	34.55	34.55	32.27	32.27	32.27	32.27	33.42	33.42	33.42	33.42
อุณหภูมิทางเข้าห้องอบแห้งเฉลี่ย, $^{\circ}C$	50.40	39.70	44.00	48.50	51.07	40.80	45.30	50.65	49.20	38.15	42.90	47.65	50.22	39.55	44.07	48.93
มวลหมูเริ่มต้น, kg^*	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
มวลหมูสุดท้าย, kg	0.530	0.524	0.514	0.530	0.525	0.518	0.510	0.524	0.543	0.540	0.524	0.544	0.533	0.527	0.516	0.533
ปริมาณน้ำที่ระเหย, kg	0.470	0.476	0.486	0.470	0.475	0.482	0.490	0.476	0.457	0.460	0.476	0.456	0.467	0.473	0.484	0.467
ความชื้นหมูเริ่มต้น, %d.b.	264.96	264.96	264.96	264.96	266.30	266.30	266.30	266.30	266.97	266.97	266.97	266.97	266.08	266.08	266.08	266.08
ความชื้นหมูสุดท้าย, %d.b.	93.43	91.24	87.59	93.43	92.31	89.74	86.81	91.94	99.27	98.17	92.29	99.63	95.00	93.05	88.90	95.00
สัดส่วนความชื้นสุดท้าย, -	0.35	0.34	0.33	0.35	0.35	0.34	0.33	0.35	0.37	0.37	0.35	0.37	0.36	0.35	0.34	0.36
เวลาในการอบแห้ง, h^*	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00
กำลังไฟฟ้าพัฒนาระบายอากาศ, W^*	0.00	37.00	37.00	37.00	0.00	37.00	37.00	37.00	0.00	37.00	37.00	37.00	0.00	37.00	37.00	37.00
พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ให้พัดลม, Wh	0.00	247.00	60.00	12.00	0.00	248.00	61.00	10.00	0.00	246.00	62.00	10.00	0.00	247.00	61.00	10.67
สัดส่วนการทำงานพัฒนาระบายอากาศ, -	0.000	0.954	0.232	0.046	0.000	0.958	0.236	0.039	0.000	0.950	0.239	0.039	0.000	0.954	0.236	0.041
พลังงานแสงอาทิตย์รวม, MJ	13.279	13.279	13.279	13.279	13.460	13.460	13.460	13.460	12.685	12.685	12.685	12.685	13.141	13.141	13.141	13.141
อัตราการอบแห้ง, kg/h	0.067	0.068	0.069	0.067	0.068	0.069	0.070	0.068	0.065	0.066	0.068	0.065	0.067	0.068	0.069	0.067
ประสิทธิภาพเครื่องอบแห้ง, %	8.427	8.086	8.630	8.416	8.397	8.073	8.573	8.396	8.588	8.171	8.847	8.559	8.471	8.110	8.683	8.457
ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ, MJ/kg	28.253	29.765	27.767	28.345	28.337	29.778	27.918	28.353	27.757	29.501	27.118	27.897	28.116	29.681	27.601	28.198

* มีค่าเท่ากับทุกการทดลอง

5. สรุปผล

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาการเพิ่มสมรรถนะเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยการควบคุมการระบายอากาศโดยใช้เทคนิคการควบคุมผลต่างความชื้นสัมพัทธ์อากาศที่ทางเข้าและทางออกห้องอบแห้ง ซึ่งในการศึกษานี้ได้เลือกใช้เนื้อหมูส่วนสันนอกเป็นตัวอย่างในการทดลอง นอกจากนั้นในการศึกษาได้ทำการเปรียบเทียบสมรรถนะเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีการไหลเวียนอากาศแบบธรรมชาติ และแบบที่ติดตั้งชุดควบคุมการระบายอากาศโดยใช้ผลต่างความชื้นสัมพัทธ์อากาศเป็นตัวกำหนด ผลจากการศึกษาพบว่า การควบคุมการทำงานพัดลมระบายอากาศสามารถช่วยเพิ่มสมรรถนะเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ได้ และยังพบว่าเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่ควบคุมพัดลมระบายอากาศโดยใช้ผลต่างความชื้นสัมพัทธ์อากาศระหว่างทางเข้าและทางออกห้องอบแห้งเท่ากับ 10% (SD-RH10) จะมีอัตราการอบแห้ง และประสิทธิภาพเครื่องอบแห้งสูงกว่าเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ในกรณีอื่น นอกจากนั้นยังพบว่า SD-RH10 มีค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะต่ำกว่ากรณีอื่นเช่นกัน

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ที่สนับสนุนทุนและอุปกรณ์ในการวิจัยในครั้งนี้

7. เอกสารอ้างอิง

- Ahmed, A.G. (2010). Design, construction and performance evaluation of solar maize dryer. **Journal of Agricultural Biotechnology and Sustainable Development**, 23, 39-46.
- Ahmed, A.G. (2013). Drying characteristic of apple slices undertaken the effects of passive shelf solar dryer and open sun drying. **Pakistan Journal of Nutrition**, 12(3), 250-254.
- Ankur, G.B., Das, A.B., & Jayanta, D.M. (2022). Sustainability and 4E analysis of novel solar photovoltaic-thermal solar dryer under forced and natural convection drying. **Renewable Energy**, 188, 1008-1021.
- Aprajeeta, J., & Tripathy, P.P. (2021). Recent advancements in design, application, and simulation studies of hybrid solar drying technology. **Food Engineering Reviews**, 13, 375-410.

- Avesahemad, S.N., Husainy, S.P., & Gouri, W. (2018). Experimental investigation of mixed mode forced convection solar dryer for turmeric (*Curcuma Longa*). **Asian Review of Mechanical Engineering**, 7(1), 1-6.
- Aymen, E., Sami, K., Ilhem, H., & Abdelhamid, F. (2015). Experimental investigation and economic evaluation of a new mixed-mode solar greenhouse dryer for drying of red pepper and grape. **Renewable Energy**, 77, 1-8.
- Baher, M.A.A, Klaus, G., & Hossain, M.A. (2018). Integrated hybrid solar drying system and its drying kinetics of chamomile. **Renewable Energy**, 121, 539-547.
- Chaianong, A., & Pharino, C. (2015). Outlook and challenges for promoting solar photovoltaic rooftops in Thailand. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 48, 356-372.
- Chimres, N., & Wongwises, S. (2016). Critical review of the current status of solar energy in Thailand. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 58, 198-207.
- El-sebaili, A.A., & Shalaby, S.M. (2012). Solar drying of agricultural products: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 16, 37-43.
- Gutti, B., Kiman, S., & Mustafa, B.G. (2012). Design and construction of forced/natural convection solar vegetable dryer with heat storage. **ARP Journal of Engineering and Applied Sciences**, 7(10), 1213-217.
- Hajar, E., Mohammed, B., Rachid, T., & Bargach, M.N. (2018). Experimental and theoretical analysis of drying grapes under an indirect solar dryer and in open sun. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, 49, 58-64.
- Janjai, S., & Bala, B.K. (2012). Solar drying technology. **Food Engineering Review**, 4, 16-54.
- Kapadiya, S., & Desai, M.A. (2014). Solar drying of natural and food products: A review. **International Journal of Agriculture and Food Science Technology**, 5(6), 565-576.
- Karthikeyan, A.K., & Murugavelh, S. (2018). Thin layer drying kinetics and exergy analysis of turmeric (*Curcuma longa*) in a mixed mode forced convection solar tunnel dryer. **Renewable Energy**, 128, 305-312.

- Khuthadzo, M., & Tilahun S.W. (2021). The kinetics of thin-layer drying and modelling for mango slices and the influence of differing hot-air drying methods on quality. **Heliyon**, 7, 1-15.
- Kumar, A., Singh, R., & Prakash, O. (2014). Review on global solar drying status. **Agricultural Engineering International: CIGR Journal**, 16(4), 161-177.
- Muruganantham, P.K., Kamalakannan, R.S., & Mohana, S. (2021). Performance analysis of a tubular solar dryer for drying mexican mint (*Plectranthus amboinicus*) - An experimental approach. **Energy Reports**, 7, 7-12.
- Narendra, K.M., & Piyush, N. (2017). Review on solar energy dryer for drying the agricultural products. **International Journal for Scientific Research & Development**, 5(8), 198-203.
- Nwajinka, C.O., & Onuegbu, C.U. (2014). Development of a solar cabinet dryer for root crops chips in Nigeria. **Journal of Agricultural Engineering and Technology**, 22(2), 47-58.
- Okoroigwe, E.C., Eke, M.N., & Ugwu, H. U. (2013). Design and evaluation of combined solar and biomass dryer for small and medium enterprises for developing countries. **International Journal of Physical Sciences**, 8(25), 1341-1349.
- Ortiz-Rodríguez, N.M, Condorí, M., Duran, G., & García-Valladares, O. (2022). Solar drying Technologies: A review and future research directions with a focus on agroindustrial applications in medium and large scale. **Applied Thermal Engineering**, 215, 1-31.
- Semwanga, M., Nakiguli, F., & Nasejje, S. (2020). Drying performance and economic analysis of novel hybrid passive-mode and active-mode solar dryers for drying fruits in East. **Journal of Stored Products Research**, 88, 1-11.
- Shrivastava, V., Kumar, A., & Baredar, P. (2014). Developments in indirect solar dryer: A review. **International Journal of wind and Renewable Energy**, 3(4), 67-74.
- Sun, Y., Zhang, M., & Mujumdar, A. (2019), Berry drying: Mechanism, pretreatment, drying technology, nutrient preservation, and mathematical models. **Food Engineering Reviews**, 11, 61-77.



- Vijayan, S., Arjunan, T.V., & Kumar, A. (2016). Mathematical modeling and performance analysis of thin layer drying of bitter gourd in sensible storage based indirect solar dryer. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, 36, 59–67.
- Wei, W., Ming, L., Reda, H.E., Yunfeng, W., & Luwei. Y. (2018). Thermal performance of indirect forced convection solar dryer and kinetics analysis of mango. **Applied Thermal Engineering**, 134, 310–321.

การกำจัดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ในเชื้อเพลิงไฮโดรเจนด้วยโลหะออกไซด์
ผสมคอปเปอร์ ซีเรียมและ อลูมิเนียม ที่เตรียมด้วยวิธีโซลเจล
และโซลเจลขั้นตอนเดียว

REMOVAL OF CO CONTAMINATION IN HYDROGEN FUELS WITH
MIXED OXIDE OF $\text{CuO-CeO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ PREPARED BY SOL GEL
AND SINGLE-STEP SOL GEL METHODS

พรไพบุณย์ พุทธคุณ, มาลัย วงศ์วรรณกานต์, คมกฤษ สว่างกาญจน์, เอกรัตน์ วงษ์แก้ว*
Pornpaiboon Phutthakoon, Malai Wongwanakan, Komgrit Sawangkan,
Akkarat Wongkaew*

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา อ.เมือง จ.ชลบุรี ประเทศไทย 20131

Faculty of Engineering, Burapha University, Mueang, Chonburi, Thailand, 20131

*Corresponding author e-mail: akkarat@eng.buu.ac.th

วันที่เข้ารับ 28 สิงหาคม 2565

วันที่แก้ไขบทความ 14 ตุลาคม 2565

วันที่ตอบรับบทความ 19 ตุลาคม 2565

บทคัดย่อ

การกำจัดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ปริมาณน้อยออกจากรีฟอร์มก๊าซ ก่อนนำไปใช้กับเซลล์เชื้อเพลิงแบบเยื่อเมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอนเป็นเรื่องสำคัญที่ต้องปฏิบัติ เพื่อเพิ่มอายุการใช้งานให้กับเซลล์เชื้อเพลิง เนื่องจากก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์มีความเป็นพิษต่อแพลทินัมที่ขั้วแอโนดของเซลล์เชื้อเพลิง ในงานวิจัยนี้ศึกษาความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาของโลหะออกไซด์ผสมคอปเปอร์ ซีเรียม และอลูมิเนียม เพื่อกำจัดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ในสภาวะที่มีก๊าซไฮโดรเจนในปริมาณมาก ด้วยปฏิกิริยาการเลือกเกิดการเผาไหม้ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ โดยศึกษาผลกระทบวิธีการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาต่อโครงสร้าง และความสามารถในการเร่งปฏิกิริยา ตัวเร่งปฏิกิริยาถูกเตรียมด้วยวิธีโซลเจล และวิธีโซลเจลขั้นตอนเดียว และถูกนำไปวิเคราะห์คุณสมบัติเฉพาะได้แก่ โครงสร้างและขนาดผลึกเฉลี่ยด้วยวิธีเอ็กซ์เรย์ดิฟแฟรคชัน พื้นที่ผิวจำเพาะด้วยวิธีการดูดซับ-คายก๊าซไนโตรเจน ในการทดสอบความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาพบว่าในสภาวะที่ไม่มีก๊าซไฮโดรเจน ตัวเร่งปฏิกิริยาทั้งสองให้ผลการเร่งปฏิกิริยาที่ใกล้เคียงกัน และเมื่อกระแสป้อนมีก๊าซไฮโดรเจนในปริมาณร้อยละ 50 โดยปริมาตร ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เตรียมด้วยวิธีโซลเจล ให้ผลการเร่งปฏิกิริยาที่ดีกว่าทั้งในค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ และค่าร้อยละการเลือกเกิดคาร์บอนมอนอกไซด์ออกซิเดชัน โดยก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ถูกกำจัดอย่างสมบูรณ์ที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส ที่ค่าร้อยละการเลือกเกิดคาร์บอนมอนอกไซด์ออกซิเดชัน เท่ากับ 65.0 นอกจากนี้พบว่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำส่งผลกระทบต่อความสามารถในการเร่งปฏิกิริยา โดยทำให้การเร่งปฏิกิริยาเกิดช้าลง

คำสำคัญ: โซลเจลชั้นตอนเดียว, อลูมิเนียมออกไซด์, คอปเปอร์ออกไซด์, ซีเรียมออกไซด์, ปฏิกริยาการเลือกเกิดคาร์บอนมอนอกไซด์ออกซิเดชัน

Abstract

Removal of a small amount of carbon monoxide from reformed gas before feeding it to proton exchange membrane fuel cells (PEMFC) is crucial to be done in order to prolong the lifetime of PEMFC because carbon monoxide is poisonous to platinum-based anode of PEM fuel cell. The objective of this study was to investigate the ability of catalytic activities of $\text{CuO/CeO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ catalysts prepared by sol gel and single-step sol gel methods get rid of the carbon monoxide when there is too much nitrogen by means of burning carbon monoxide. The impact of the preparation of the catalytic activities on the structure, the ability to catalyze activities and the catalyst formed by sol gel, single-step sol gel was used to analyze the certain characteristics, that is, the structure and average crystalline size by X-ray diffraction technique and specific surface areas by nitrogen-adsorption desorption technique. The test results of the ability of catalytic activities indicated that, under the condition where there is no hydrogen, both catalysts performed the similar activity to carbon monoxide oxidation reaction. Under the presence of 50% H_2 in the gas stream, the catalyst prepared by sol gel performed the higher catalytic activity to the reaction than that prepared by single-step sol gel method. carbon monoxide was completely converted to carbon dioxide at 180°C with selectivity of 65.0. The presence of CO_2 and H_2O was also studied. Both have a negative effect to the reaction.

Keywords: Single-step sol gel, Al_2O_3 , CuO , CeO_2 , Selective CO oxidation reaction

1. บทนำ

ในการใช้ก๊าซไฮโดรเจนที่ผลิตมาจากปิโตรเลียม เป็นเชื้อเพลิงของเซลล์เชื้อเพลิงแบบเยื่อเมมเบรน แลกเปลี่ยนโปรตอน พบว่าทำให้ประสิทธิภาพการทำงานของระบบเซลล์เชื้อเพลิงจะลดลง หากมีก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ปะปนในเชื้อเพลิงไฮโดรเจน โดยปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ดังกล่าวมาจากการบวนการผลิตไฮโดรเจนด้วยวิธีการปฏิรูปเชื้อเพลิงด้วยไอน้ำ และ เปลี่ยนก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ให้เป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ผ่านปฏิกิริยา Water gas shift จะมีก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์เจือปนร้อยละ 0.5–1.0 โดยปริมาตร (Ebrahimi *et al.*, 2020) ก๊าซ

คาร์บอนมอนอกไซด์เพียง 100 พีพีเอ็ม สามารถลดประสิทธิภาพการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงแบบเยื่อเมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอน (Qi *et al.*, 2020) ดังนั้นการกำจัดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ที่ปะปนมากับก๊าซไฮโดรเจนก่อนที่จะนำก๊าซไฮโดรเจนนี้ไปใช้กับเซลล์เชื้อเพลิงจึงเป็นสิ่งที่จำเป็น เพื่อเพิ่มอายุการใช้งานให้กับเซลล์เชื้อเพลิง Ratnasamy *et al.* (2004) ศึกษาการกำจัดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์โดยการเติมก๊าซออกซิเจน และมีการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเพื่อเร่งปฏิกิริยาการเผาไหม้ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ โดยตัวเร่งปฏิกิริยาประเภทโลหะทรานซิชัน ซึ่งโลหะจำพวกนี้มีความว่องไวในการเร่งปฏิกิริยาคาร์บอนมอนอกไซด์ออกซิเดชันสูง ราคาถูก แต่มีการสูญเสียประสิทธิภาพ เมื่อใช้เป็นเวลานาน (Sarma *et al.*, 2020) ดังนั้นจึงมีการนำโลหะเหล่านี้ไปใช้ร่วมกับโลหะประเภทอื่น Bae *et al.* (2005) การศึกษาปฏิกิริยาเลือกเผาไหม้ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโลหะผสมคอปเปอร์ออกไซด์ ซีเรียมออกไซด์ พบว่าปริมาณคอปเปอร์ออกไซด์มีความสามารถในการช่วยเร่งปฏิกิริยาการเผาไหม้ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ให้ดีขึ้น โดยปริมาณที่เหมาะสมในการใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในช่วงร้อยละ 10-20 โดยน้ำหนัก Huber *et al.* (2008) พบว่า ซีเรียมออกไซด์มีคุณสมบัติในการเพิ่มความว่องไวในการเกิดปฏิกิริยาเมื่อใช้ร่วมกับโลหะชนิดอื่น เพิ่มการกระจายตัวของโลหะที่ทำหน้าที่เป็นบริเวณเร่งปฏิกิริยาให้ดีขึ้น สามารถกักเก็บออกซิเจนในปฏิกิริยาออกซิเดชันและปล่อยออกซิเจนในปฏิกิริยารีดักชัน เมื่อคอปเปอร์ออกไซด์ และซีเรียมออกไซด์มีการกระจายตัวได้ดี มีขนาดผลึกเล็ก ในปฏิกิริยาการกำจัดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ด้วยการเผาไหม้ในสภาวะที่มีก๊าซไฮโดรเจนในปริมาณมาก จะทำให้การเลือกเกิดปฏิกิริยาเผาไหม้ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์เกิดได้ดีกว่าปฏิกิริยาเผาไหม้ก๊าซไฮโดรเจน โดยคอปเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 15-20 โดยน้ำหนักให้ผลการเร่งปฏิกิริยาที่ดี (Cortés *et al.*, 2008) นอกจากนี้ซีเรียมออกไซด์ขนาดเล็กจะส่งผลให้คอปเปอร์ออกไซด์เร่งปฏิกิริยาคาร์บอนมอนอกไซด์ออกซิเดชันได้ดีที่อุณหภูมิต่ำลง (Zang *et al.*, 2020) และ การมีปริมาณการสัมผัสระหว่างซีเรียมและคอปเปอร์ที่หนาแน่นก็ส่งผลดีต่อการเร่งปฏิกิริยาด้วย (Xu *et al.*, 2019) การเพิ่มการกระจายตัวของคอปเปอร์ออกไซด์และซีเรียมออกไซด์สามารถทำได้ด้วยการเติมสารออกไซด์ที่ทนต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ เช่น อลูมิเนียมออกไซด์ ให้กับตัวเร่งปฏิกิริยา วิธีการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลกระทบต่อความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาของตัวเร่งปฏิกิริยาโดยวิธีการโซลเจล เป็นวิธีการสังเคราะห์โลหะออกไซด์ผ่านปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส และปฏิกิริยาการควบแน่นที่อุณหภูมิต่ำ สามารถควบคุมโครงสร้างในรูปแบบโครงสร้างร่างตาข่ายหรือโครงสร้างแบบโพลิเมอร์สายตรงได้ โดยโลหะออกไซด์สุดท้ายจะมีความพรุนสูงเนื่องจากในระหว่างการเตรียมมีการเปลี่ยนรูปแบบโซลเป็นเจลที่มีน้ำหรือตัวทำละลายแทรกอยู่ระหว่างช่องว่าง เมื่อทำการอบ เปรอย่างช้าๆ ตัวทำละลายเหล่านี้ระเหยออกไปจากโครงสร้าง เหลือรูพรุนจำนวนมากไว้ จึงเหมาะในการนำมาใช้เตรียมตัวรองรับที่ต้องการพื้นผิวจำเพาะสูง (Brinker & Scherer, 1990) Manasilp & Gulari (2002) ได้ศึกษาการเตรียมอลูมิเนียมออกไซด์ด้วยวิธีโซลเจล

พบว่าทำให้พื้นที่ผิวจำเพาะมีค่ามากถึง 200 ตารางเมตรต่อกรัม และเมื่อแพลทินัมถูกใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาแพลทินัมบนตัวรองรับอลูมิเนียมตัวเร่งปฏิกิริยามีความสามารถในการกำจัดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ได้ดีมากคือ อุณหภูมิลดลงมากกว่า 30 องศาเซลเซียส และแพลทินัมกระจายตัวเป็นอย่างดี นอกจากนี้ Kakuta *et al.* (1997) พบว่าอลูมิเนียมออกไซด์ยังช่วยเพิ่มคุณสมบัติการกักเก็บออกซิเจนของซีเรียออกไซด์ด้วยซึ่งเป็นผลดีกับการเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันที่อุณหภูมิต่ำ (Chen *et al.*, 2008)

2. วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

งานวิจัยนี้จึงมีจุดประสงค์เพื่อศึกษาผลกระทบของวิธีการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาต่อคุณสมบัติและความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาของโลหะออกไซด์ผสมคอปเปอร์ ซีเรีย และอลูมิเนียม ($\text{CuO-CeO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$) โดยตัวเร่งปฏิกิริยาถูกเตรียมด้วยวิธีโซลเจล และโซลเจลขั้นตอนเดียว และ ศึกษาผลกระทบของน้ำและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ต่อความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาการเลือกเกิดคาร์บอนมอนอกไซด์ออกซิเดชัน เพื่อนำไปใช้ในการกำจัดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ในเชื้อเพลิงไฮโดรเจนก่อนที่จะนำเชื้อเพลิงไฮโดรเจนไปใช้กับเซลล์เชื้อเพลิงแบบเยื่อเมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอน

3. วิธีดำเนินงานวิจัย

3.1 การเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยา

โลหะออกไซด์ผสมคอปเปอร์ ซีเรีย และอลูมิเนียม ถูกเตรียมด้วยวิธีโซลเจล และ โซลเจลขั้นตอนเดียว องค์ประกอบของโลหะออกไซด์ผสมประกอบด้วยคอปเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 20 ซีเรียออกไซด์ร้อยละ 74 และอลูมิเนียมออกไซด์ร้อยละ 6 โดยน้ำหนัก เริ่มจากละลายอลูมิเนียมไอโซโพรพอกไซด์ ที่ทราบปริมาณลงในน้ำกลั่น ที่อุณหภูมิประมาณ 80 องศาเซลเซียส กวนสารละลาย 30 นาที จากนั้นเติมกรดไนตริก เพื่อให้สารละลายเปลี่ยนจากขุ่นเป็นใส แล้วกวนสารละลายต่อไปอีก 24 ชั่วโมง ทำสารละลายให้เป็นเจลด้วยความร้อน จากนั้นบ่มเจลเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง นำเจลที่ได้ไปอบที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส 10 ชั่วโมง และเผาที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 ชั่วโมง บดของแข็งที่ได้ให้ละเอียดและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 80-100 เมช ได้เป็นตัวรองรับโลหะออกไซด์ผสมซีเรีย อลูมิเนียม จากนั้นนำคอปเปอร์ไนเตรตเติมลงในตัวรองรับที่เตรียมได้ด้วยวิธีผึ่งเคลือบแบบแห้ง นำของแข็งที่ได้อบและเผาที่อุณหภูมิข้างต้น นำไปบดและร่อนผ่านตะแกรงร่อนของแข็งที่ได้เป็นโลหะออกไซด์ผสมคอปเปอร์ ซีเรีย และอลูมิเนียม

สำหรับวิธีโซลเจลขั้นตอนเดียว มีขั้นตอนการทดลองเหมือนกับวิธีโซลเจล โดยหลังจากการเติมซีเรียไนเตรต และกวนสารละลายประมาณ 30 นาที ให้เติมคอปเปอร์ไนเตรตลงในสารละลาย

และกวนสารละลายต่อไปเป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นทำสารละลายที่ได้ไปทำให้เป็นเจล บ่มเจล อบ และเผาที่อุณหภูมิเดียวกับกรณีโซลเจลจะได้สารประกอบโลหะออกไซด์ผสมคอปเปอร์ ซีเรียม อลูมิเนียม

3.2 การวิเคราะห์คุณสมบัติตัวเร่งปฏิกิริยา

การวิเคราะห์ขนาดผลึกของวัสดุด้วยเครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรกชัน (X-ray diffractometer, XRD) เพื่อวิเคราะห์โครงสร้าง องค์ประกอบทางเคมี และขนาดผลึกของตัวเร่งปฏิกิริยา เป็นเทคนิคที่อาศัยหลักการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ โดยใช้คอปเปอร์ (Cu) เป็นแหล่งกำเนิดรังสีเอ็กซ์ ทำการวิเคราะห์ที่มุม 2θ ระหว่าง 20-80 องศา ความดันไฟ 40 กิโลโวลต์ กระแส 30 มิลลิแอมแปร์ เก็บข้อมูลความเข้มการเลี้ยวเบนรังสีทุกๆ 0.02 องศา และใช้สมการ Scherrer ในการประมาณค่าขนาดผลึกเฉลี่ย (Hargreaves, 2016) โดยเลือกจากตำแหน่งพีคที่มีความชัดเจนที่สุด

การวิเคราะห์ด้วยพื้นที่ผิวจำเพาะและขนาดรูพรุนเฉลี่ยด้วยวิธีการดูดซับ-คายก๊าซไนโตรเจน (N_2 -adsorption-desorption method) ด้วยเครื่อง Autosorption 1C บริษัท Quantachrome ใช้สารตัวอย่างประมาณ 100 มิลลิกรัม ก่อนการทดสอบต้องให้ความร้อนวัสดุตัวอย่างเพื่อไล่ความชื้นและโมเลกุลของสารดูดซับชนิดอื่นให้ออกจากผิวหน้าของวัสดุตัวอย่างที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส ข้อมูลที่เครื่องบันทึกผลคือค่าความดันสัมพัทธ์ (P/Po) และปริมาตรของแก๊สไนโตรเจนที่ถูกดูดซับลงบนวัสดุตัวอย่าง (V) ค่าความดันสัมพัทธ์และปริมาตรของแก๊สไนโตรเจนที่ถูกดูดซับที่ได้ และใช้สมการ Brunauer-Emmett-Teller (BET) surface area analysis ในการคำนวณพื้นที่ผิวจำเพาะ (Walton & Snurr, 2007)

3.3 การทดสอบการเร่งปฏิกิริยา

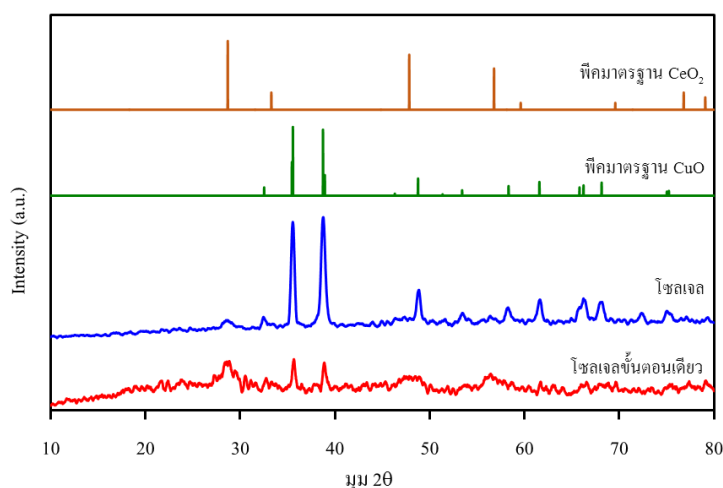
การทดสอบความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาจะทำในเครื่องปฏิกรณ์แก้ว อุณหภูมิในการเกิดปฏิกิริยาวัดได้ด้วยเทอร์โมคัปเปิลชนิดเคที่สัมผัสผิวหน้าของตัวเร่งปฏิกิริยา ควบคุมอุณหภูมิระหว่างการทำปฏิกิริยาด้วยตัวควบคุมอุณหภูมิ ปฏิกริยาที่สนใจทดสอบได้แก่ ปฏิกริยาคาร์บอนมอนอกไซด์ออกซิเดชัน และปฏิกิริยาการเลือกเกิดคาร์บอนมอนอกไซด์ออกซิเดชัน ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา 80 มิลลิกรัม และอัตราการไหลเชิงปริมาตรรวม 100 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาที่ โดยสถานะที่ใช้ในการทดสอบสำหรับปฏิกิริยาแรกคือ ก๊าซผสมประกอบด้วยก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ร้อยละ 1 โดยปริมาตร ก๊าซออกซิเจนร้อยละ 1 โดยปริมาตร และ ก๊าซฮีเลียมร้อยละ 98 โดยปริมาตร และสำหรับปฏิกิริยาหลัง ก๊าซผสมประกอบด้วยก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ร้อยละ 1 โดยปริมาตร ก๊าซออกซิเจนร้อยละ 1 โดยปริมาตร ก๊าซไนโตรเจนร้อยละ 50 โดยปริมาตร และที่เหลือคือก๊าซฮีเลียม เครื่องแก๊สโครมาโตกราฟฟีถูกใช้ในการวิเคราะห์องค์ประกอบของก๊าซผสมที่ทางเข้า และทางออกของเครื่องปฏิกรณ์ โดยใช้ตัวตรวจวัดแบบ TCD และคอลัมน์ที่ใช้ในการแยกองค์ประกอบและปริมาณก๊าซ คือ โมเลกุลลาซีฟ ที่ทางเข้าเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟฟี จะมีตัวดักน้ำเพื่อป้องกัน

ไม่ให้น้ำเข้าไปในคอลัมน์ระหว่างการวิเคราะห์ ค่าร้อยละการเลือกเกิดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ออกซิเดชันคำนวณจากค่าร้อยละการใช้ออกซิเจนในปฏิกิริยาคาร์บอนมอนอกไซด์ออกซิเดชันต่อร้อยละการใช้ออกซิเจนในปฏิกิริยารวมทั้งหมด ทั้งนี้พิจารณาว่าไม่มีปฏิกิริยาข้างเคียงเกิดขึ้น โดยเฉพาะปฏิกิริยาการเกิดก๊าซมีเทน

4. ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

4.1 คุณสมบัติจำเพาะของตัวเร่งปฏิกิริยา

การผลวิเคราะห์โครงสร้างและองค์ประกอบทางเคมีของสารตัวอย่างด้วยเทคนิคเอ็กซ์เรย์ดิฟแฟรคชัน แสดงดังภาพที่ 1

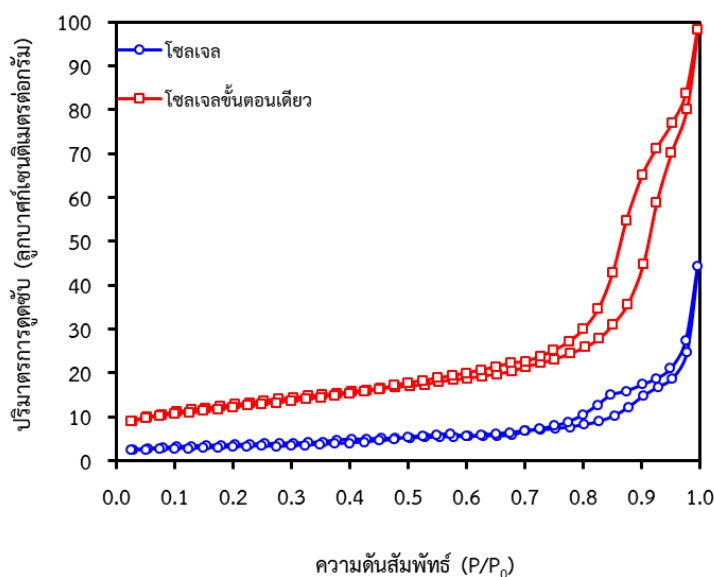


ภาพที่ 1 รูปแบบ XRD ของตัวเร่งปฏิกิริยาที่เตรียมด้วยวิธีโซลเจล และวิธีโซลเจลชั้นคอนเตียว

ภาพที่ 1 เป็นผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคเอ็กซ์เรย์ดิฟแฟรคชัน โดยตัวเร่งปฏิกิริยาทั้งสองมีรูปแบบ XRD ที่คล้ายกันคือมีพีคปรากฏที่ตำแหน่งมุม 2θ เดียวกันซึ่งตรงกับรูปแบบพีคมาตรฐานของคอปเปอร์ออกไซด์ในรูปแบบ CuO ที่มีโครงสร้างผลึกแบบ Base-centered monoclinic (JCPDS:00-002-1040) โดยพีคปรากฏที่ตำแหน่ง 2θ เท่ากับ 32.5, 35.5, 38.7, 48.7, 53.4, 58.3, 61.6, 65.8, 68.1 และ 75.2 ตามลำดับ และพบพีคตรงตามพีคมาตรฐานของซีเรียมออกไซด์ในรูปแบบ CeO₂ โครงสร้างผลึกแบบ Face-centered cubic (JCPDS:00-001-0800) ที่ตำแหน่งมุม 2θ เท่ากับ 28.5, 33.1, 47.5, 56.3, 59.9 และ 69.4 และ Al₂O₃ ในรูปแบบบอสนันฐาน (JCPDS:00-037-140) ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่า CuO-CeO₂-Al₂O₃ ที่เตรียมด้วยวิธีโซลเจล และวิธีโซลเจลแบบ

ขั้นตอนเดียว ต่างได้โลหะออกไซด์ในรูปแบบโครงสร้างและองค์ประกอบทางเคมีเดียวกัน คือ CuO CeO_2 และ Al_2O_3

ผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค N_2 adsorption-desorption เพื่อพิจารณาไอโซเทอร์มการดูดซับของ $\text{CuO-CeO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ ที่เตรียมด้วยวิธีโซล เจล และวิธีโซล เจลแบบขั้นตอนเดียว แสดงดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 ไอโซเทอร์มการดูดซับก๊าซไนโตรเจนของตัวเร่งปฏิกิริยา $\text{CuO-CeO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ ที่เตรียมด้วยวิธีโซล เจล และวิธีโซล เจลแบบขั้นตอนเดียว

รูปแบบไอโซเทอร์มในภาพที่ 2 ตรงกับลักษณะของกระบวนการดูดซับรูปแบบที่ IV (Type IV) แสดงว่าตัวเร่งปฏิกิริยา $\text{CuO-CeO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ ที่เตรียมได้มีขนาดรูพรุนอยู่ในระดับเมโซ (Mesoporous) คือมีเส้นผ่านศูนย์กลางระหว่าง 2-50 นาโนเมตร มีการดูดซับแก๊สไนโตรเจนแบบหลายชั้น (Multiple layers) และมี Capillary condensation เกิดขึ้นในรูพรุนจึงเกิด Hysteresis loop แบบ H3 คือเป็นวัสดุที่มีลักษณะ Non-rigid aggregates of plate-like particles (Thommes, 2010) ผลการวิเคราะห์ทั้งสองเทคนิคสามารถนำมาคำนวณขนาดผลึกเฉลี่ย CuO และ CeO_2 ที่คำนวณจากรูปแบบ XRD ที่ระนาบ (111) ด้วยสมการ Scherrer ค่าพื้นที่ผิวจำเพาะตามสมการ Brunauer-Emmett-Teller และเทลเลอร์ (Brunauer, Emmett and Teller, BET) และวิเคราะห์ขนาดรูพรุนเฉลี่ยด้วยวิธี Barrett, Joyner and Halenda (BJH method) ผลการคำนวณแสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงผลการวิเคราะห์ขนาดผลึกของคอปเปอร์ออกไซด์ ซีเรียออกไซด์ พื้นที่ผิวจำเพาะ และขนาดรูพรุนเฉลี่ยของตัวเร่งปฏิกิริยาที่เตรียมด้วยวิธีโซลเจลและโซลเจลขั้นตอนเดียว ผลการวิเคราะห์ พบว่า ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ถูกเตรียมด้วยวิธีโซลเจลขั้นตอนเดียวมีขนาดผลึกของคอปเปอร์

ออกไซด์ใหญ่กว่าคอปเปอร์ออกไซด์ที่ถูกเตรียมด้วยวิธีโซลเจล ขณะที่ซีเรียมออกไซด์มีขนาดใกล้เคียงกัน และพื้นที่ผิวจำเพาะของตัวเร่งปฏิกิริยาทั้งสองใกล้เคียงกัน คือตัวเร่งปฏิกิริยาที่เตรียมด้วยวิธีโซลเจลชั้นตอนเดียวมีพื้นที่ผิวจำเพาะเท่ากับ 53.9 ตารางเมตรต่อกรัม ซึ่งสูงกว่าตัวเร่งปฏิกิริยาที่เตรียมด้วยวิธีโซลเจลที่มีพื้นที่ผิวจำเพาะ 48.5 ตารางเมตรต่อกรัม และขนาดรูพรุนเฉลี่ยมีค่าใกล้เคียงกัน (Esposito, 2019)

ตารางที่ 1 ขนาดของผลึก พื้นที่ผิวจำเพาะ และขนาดรูพรุนเฉลี่ยของตัวเร่งปฏิกิริยาที่เตรียมด้วยวิธีโซลเจล และวิธีโซลเจลชั้นตอนเดียว

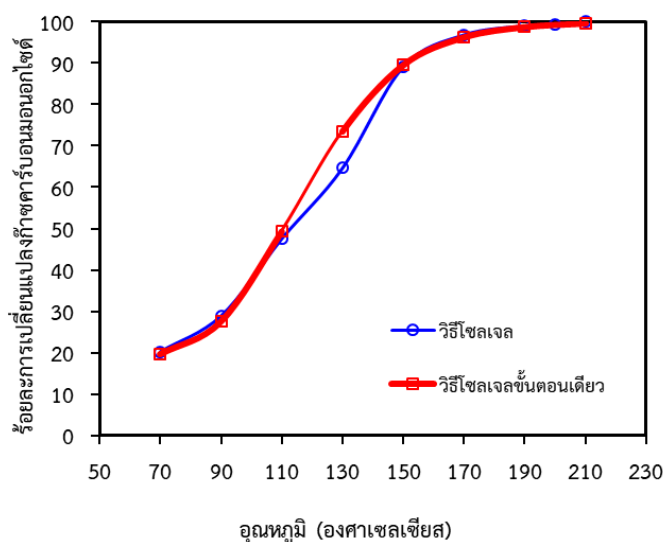
วิธีการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยา	ขนาดของผลึก (นาโนเมตร)		พื้นที่ผิวจำเพาะ (ตารางเมตรต่อกรัม)	ขนาดรูพรุนเฉลี่ย (นาโนเมตร)
	CeO ₂	CuO		
โซลเจล	7.4	15.6	48.5	6.5
โซลเจลชั้นตอนเดียว	6.0	22.4	53.9	6.0

4.2 การทดสอบการเร่งปฏิกิริยาคาร์บอนมอนอกไซด์ออกซิเดชัน

ผลการทดสอบความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาคาร์บอนมอนอกไซด์ออกซิเดชัน ในสภาวะไร้ก๊าซไฮโดรเจน สำหรับตัวเร่งปฏิกิริยา CuO-CeO₂-Al₂O₃ ที่เตรียมด้วยวิธีโซลเจล และวิธีโซลเจลชั้นตอนเดียว แสดงดังภาพที่ 3

ภาพที่ 3 แขนงตั้งแสดงค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ และแกนนอนแสดงอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา พบว่า ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เตรียมด้วยวิธีโซลเจล และโซลเจลชั้นตอนเดียว แสดงแนวโน้มในการเร่งปฏิกิริยาใกล้เคียงกัน คือ ค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์มีค่าเพิ่มขึ้น เมื่ออุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาสูงขึ้น โดยตัวเร่งปฏิกิริยาโลหะออกไซด์ผสมที่เตรียมด้วยวิธีโซลเจล ให้ค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์เป็นร้อยละ 100 ที่อุณหภูมิ 210 องศาเซลเซียส ส่วนตัวเร่งปฏิกิริยาโลหะออกไซด์ผสมที่เตรียมด้วยวิธีโซลเจลชั้นตอนเดียว ให้ค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์เป็น 100 ที่อุณหภูมิ 220 องศาเซลเซียส ซึ่งการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยวิธีโซลเจล และโซลเจลชั้นตอนเดียว เป็นวิธีที่ให้พื้นที่ผิวจำเพาะสูง เนื่องจากโครงสร้างของของแข็งอยู่ในรูปโครงผลึกร่างตาข่ายที่มีตัวทำละลายอยู่ในโครงตาข่ายนั้น เมื่อทำการอบและเผา ตัวทำละลายจะระเหยออกไปจากโครงผลึก เหลือเป็นรูพรุนจึงทำให้มีพื้นที่ผิวจำเพาะสูง โดย Vazquez *et al.*, 2001: และ Sreethawong *et al.* (2009) ทำการศึกษาคุนสมบัติเฉพาะของตัวเร่งปฏิกิริยา ที่เตรียมโดยวิธีโซลเจล และโซลเจลชั้นตอนเดียว พบว่าตัวเร่งปฏิกิริยาทั้งสองให้ค่าพื้นที่ผิวจำเพาะสูง โดยวิธีโซลเจลให้พื้นที่ผิวจำเพาะสูงกว่าโซลเจลชั้นตอนเดียว

สำหรับงานวิจัยนี้พื้นที่ผิวจำเพาะของตัวเร่งปฏิกิริยาทั้งสองต่างกันน้อยมากอาจจะเป็นเพราะปริมาณอลูมิเนียมออกไซด์น้อยจึงส่งผลให้เกิดการพังทลายของผนังออกไซด์ในขั้นตอนการเผา (Gu *et al.* 2020)



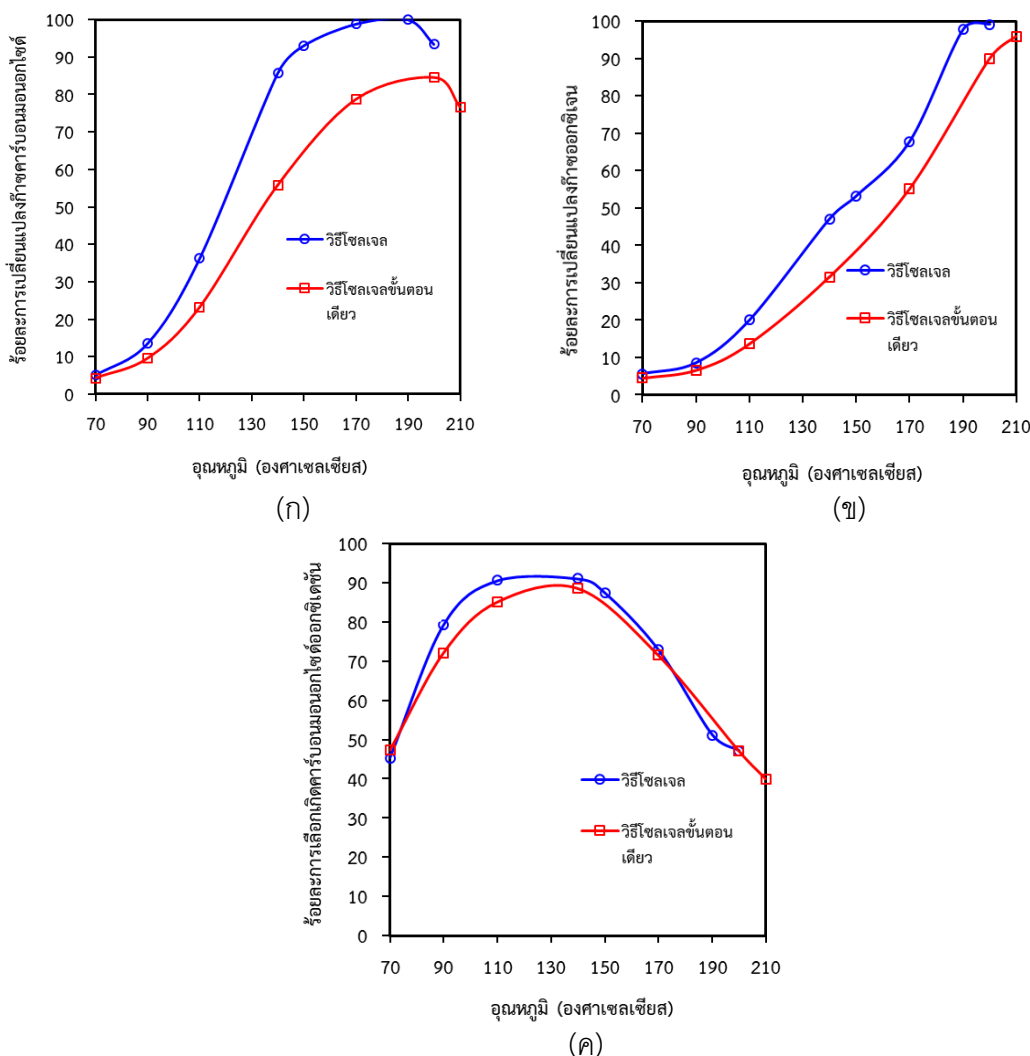
ภาพที่ 3 ร้อยละการเปลี่ยนแปลงคาร์บอนมอนอกไซด์เป็นฟังก์ชันกับอุณหภูมิสำหรับปฏิกิริยา
คาร์บอนมอนอกไซด์ออกซิเดชัน

4.3 ปฏิกิริยาการเลือกเกิดคาร์บอนมอนอกไซด์ออกซิเดชัน

ในการทดสอบการเร่งปฏิกิริยาเลือกเกิดคาร์บอนมอนอกไซด์ออกซิเดชัน ในสภาวะที่มีก๊าซไฮโดรเจนในปริมาณมากเกินไป องค์ประกอบของก๊าซผสมจะมีก๊าซไฮโดรเจนเพิ่มเข้ามาในปริมาณร้อยละ 50 โดยปริมาตร ผลการทดสอบแสดงดังภาพที่ 4

พิจารณาภาพที่ 4 (ก) พบว่าแนวโน้มการดำเนินไปของปฏิกิริยาของตัวเร่งปฏิกิริยาทั้งสองเป็นไปในทิศทางเดียวกัน คือการเพิ่มอุณหภูมิส่งผลให้ปฏิกิริยาคาร์บอนมอนอกไซด์ออกซิเดชันเกิดได้ดี และเข้าสู่ค่าสูงสุดที่อุณหภูมิหนึ่ง เมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาต่อไปค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงคาร์บอนมอนอกไซด์มีค่าลดลง ขณะที่ร้อยละการเลือกเกิดคาร์บอนมอนอกไซด์ออกซิเดชันมีค่าต่ำที่อุณหภูมิสูง หมายความว่าที่อุณหภูมิสูงปฏิกิริยาไฮโดรเจนออกซิเดชันเกิดได้ดีกว่าปฏิกิริยาคาร์บอนมอนอกไซด์ออกซิเดชันนั่นเอง โดยตัวเร่งปฏิกิริยาที่เตรียมด้วยวิธีโซลเจลขั้นตอนเดียว จะให้ค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงคาร์บอนมอนอกไซด์ต่ำกว่าตัวเร่งปฏิกิริยาที่เตรียมด้วยวิธีโซลเจลเสมอ เมื่อพิจารณาค่าร้อยละการเลือกเกิดคาร์บอนมอนอกไซด์ออกซิเดชัน (ภาพที่ 4 (ค)) พบว่าตัวเร่งปฏิกิริยาทั้งสองให้ค่าร้อยละการเลือกเกิดคาร์บอนมอนอกไซด์ออกซิเดชันใกล้เคียงกัน ผลการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่าตัวเร่งปฏิกิริยาที่เตรียมด้วยวิธีโซลเจลขั้นตอนเดียว สามารถเร่งปฏิกิริยา

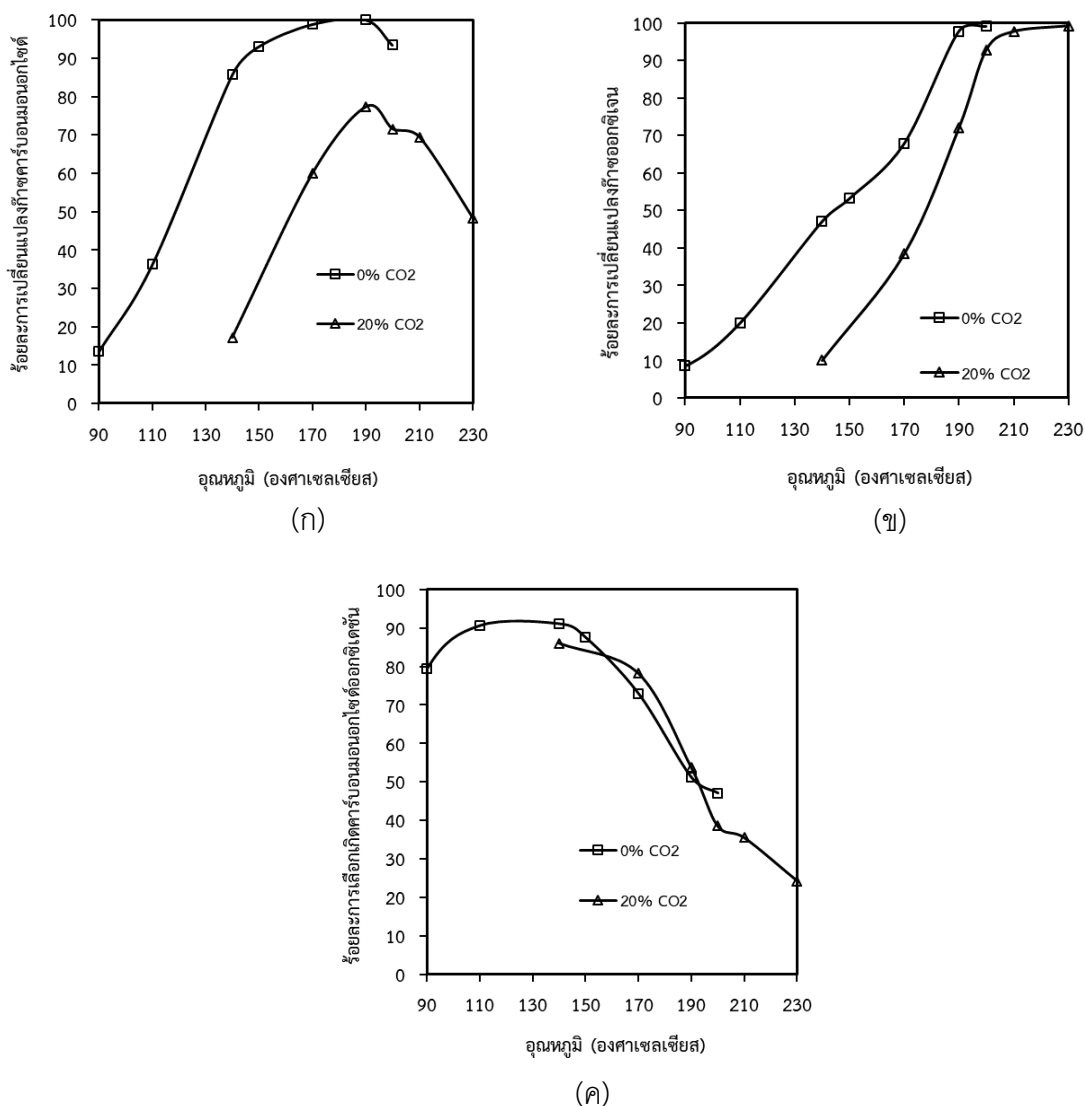
ไฮโดรเจนออกไซด์ได้ดีกว่าปฏิกิริยาคาร์บอนมอนอกไซด์ออกไซด์ขึ้น สาเหตุที่ตัวเร่งปฏิกิริยาทั้งสองที่มีองค์ประกอบในตัวเร่งปฏิกิริยาเดียวกัน แต่เร่งปฏิกิริยาได้แตกต่างกัน อาจเป็นเพราะวิธีการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยา ส่งผลกระทบต่อขนาดผลึกของโลหะออกไซด์ในตัวเร่งปฏิกิริยา เป็นที่ทราบว่าตัวเร่งปฏิกิริยาที่เตรียมด้วยวิธีโซลเจลขั้นตอนเดียว จะให้ขนาดผลึกโลหะออกไซด์ที่ใหญ่กว่าตัวเร่งปฏิกิริยาที่เตรียมโดยวิธีโซลเจล (Moretti *et al.*, 2014) งานวิจัยนี้ขนาดผลึกคอป-เปอร์ออกไซด์ ที่เตรียมวิธีโซลเจลขั้นตอนเดียวมีขนาดผลึกของโลหะใหญ่กว่าตัวเร่งปฏิกิริยาที่เตรียมด้วยโซลเจล ขณะที่ขนาดผลึกซีเรียมออกไซด์ของทั้งสองใกล้เคียงกัน ดังนั้นผลการเร่งปฏิกิริยาที่ดีขึ้นสืบเนื่องจากขนาดผลึกของคอปเปอร์ออกไซด์นั่นเอง (Zang *et al.*, 2020)



ภาพที่ 4 ผลการทดสอบตัวเร่งปฏิกิริยาในสถานะที่มีก๊าซไฮโดรเจนมากเกินไป

(ก) ร้อยละการเปลี่ยนแปลงก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (ข) ร้อยละการเปลี่ยนแปลงก๊าซออกซิเจน

(ค) ร้อยละค่าการเลือกเกิดปฏิกิริยาคาร์บอนมอนอกไซด์ออกไซด์



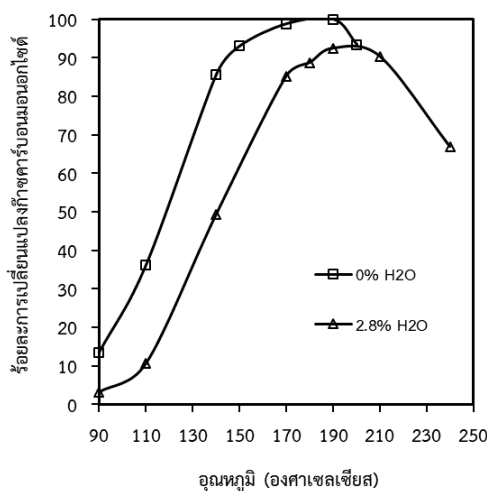
ภาพที่ 5 ผลกระทบของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในกระแสน้ำต่อการเร่งปฏิกิริยาของตัวเร่งปฏิกิริยาที่เตรียมด้วยวิธีโซลเจล (ก) ร้อยละการเปลี่ยนแปลงก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (ข) ร้อยละการเปลี่ยนแปลงก๊าซออกซิเจน (ค) ร้อยละค่าการเลือกเกิดปฏิกิริยาคาร์บอนมอนอกไซด์ออกซิเดชัน

ภาพที่ 5 พบว่า การเติมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในกระแสน้ำส่งผลกระทบบนทางลบต่อการเร่งปฏิกิริยา โดยค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงคาร์บอนมอนอกไซด์มีค่าลดลงที่อุณหภูมิเดียวกัน เมื่อเปรียบเทียบกับ กรณีที่ไม่มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในกระแสน้ำ สาเหตุที่ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ส่งผลกระทบบนทางลบ อาจจะเนื่องมาจากที่อุณหภูมิต่ำกว่า 190 องศาเซลเซียส โมเลกุลของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ดูดซับบนตำแหน่งกัมมันต์ ส่งผลให้อัตราการใช้ก๊าซออกซิเจนและก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ลดลง (Polster *et al.*, 2006) อย่างไรก็ตามเมื่ออุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาสูงกว่า 190 องศาเซลเซียส ค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ยังคงลดลงทั้ง 2 กรณี

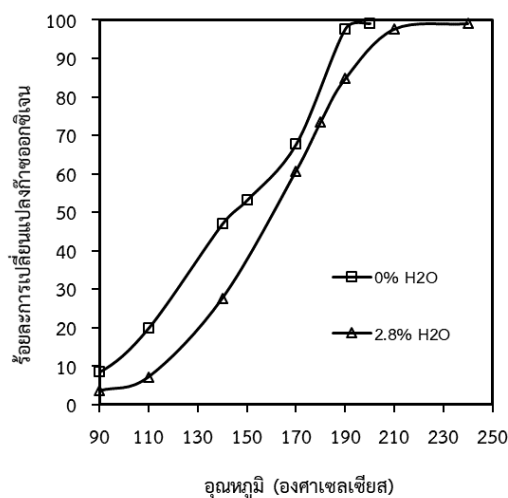
ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากในกระแสน้ำมีก๊าซไฮโดรเจนร้อยละ 50 และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 20 โดยปริมาตร ก๊าซทั้งสองสามารถทำปฏิกิริยาตามปฏิกิริยาย้อนกลับของการซิฟน้ำ ($\text{CO}_2 + \text{H}_2 \leftrightarrow \text{H}_2\text{O} + \text{CO}$, Reverse water gas shift reaction) และผลการทดสอบพบว่าตัวเร่งปฏิกิริยาดังกล่าวพบว่า สามารถเร่งปฏิกิริยาการซิฟกลับของน้ำได้ที่อุณหภูมิ 210 องศาเซลเซียส มีก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์เกิดขึ้น 131.5 พีพีเอ็ม ที่อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาเป็น 240 องศาเซลเซียส มีก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์เกิด 592.4 พีพีเอ็ม และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาเป็น 270 องศาเซลเซียส มีก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์เกิด 2068.0 พีพีเอ็ม เมื่อมีการเพิ่มอุณหภูมิสูงขึ้นทำให้ปฏิกิริยาดังกล่าวสามารถเกิดได้ดีขึ้น แต่สำหรับที่อุณหภูมิต่ำกว่า 190 องศาเซลเซียส พบว่าไม่มีก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์เกิดขึ้น ดังนั้นการลดลงของค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ที่อุณหภูมิมีสาเหตุจากปฏิกิริยาย้อนกลับของการซิฟของน้ำนั่นเอง

นอกจากนั้นแล้วรีฟอร์มก๊าซยังมีน้ำเป็นองค์ประกอบประมาณร้อยละ 10-15 โดยปริมาตรของก๊าซผสมรวม น้ำบางส่วนถูกใช้ไปในปฏิกิริยาซิฟน้ำ และบางส่วนถูกดึงออกจากระบบ การศึกษาผลกระทบของน้ำจึงมีข้อมูลสำคัญที่จะใช้ในการตัดสินใจสถานะการทำงานของตัวเร่งปฏิกิริยาในระบบจริง ในการทดลองนี้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เตรียมด้วยวิธีโซลเจลจะถูกนำมาทดสอบความว่องไวในการเร่งปฏิกิริยา ภายใต้สภาวะก๊าซผสมที่ประกอบ ด้วยก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ร้อยละ 1 โดยปริมาตร ก๊าซไฮโดรเจนร้อยละ 50 โดยปริมาตร ก๊าซออกซิเจนร้อยละ 1 โดยปริมาตร น้ำร้อยละ 2.8 โดยปริมาตร และก๊าซฮีเลียมร้อยละ 45.2 โดยปริมาตร ผลการทดลองแสดงดังภาพที่ 6

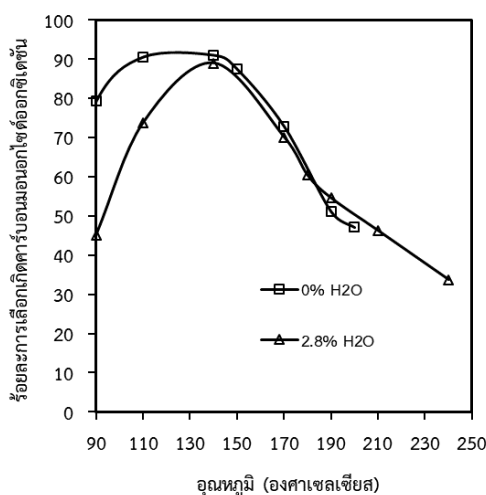
ภาพที่ 6 (ก) และ (ข) แสดงให้เห็นว่าเมื่อน้ำร้อยละ 2.8 โดยปริมาตรในกระแสน้ำส่งผลกระทบต่อความสามารถในการเร่งปฏิกิริยา โดยค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงคาร์บอนมอนอกไซด์ลดลงในทุกช่วงอุณหภูมิ และค่าร้อยละการใช้ก๊าซออกซิเจน เพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีที่ไม่มีน้ำในกระแสน้ำ ซึ่งสาเหตุอาจจะเกิดได้จากที่อุณหภูมิต่ำ โมเลกุลของน้ำมีการดูดซับเชิงกายภาพบนตำแหน่งกัมมันต์ที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาของก๊าซออกซิเจนกับก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ส่งผลให้ก๊าซออกซิเจนทำปฏิกิริยากับก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ลดลง แต่ที่อุณหภูมิสูงขึ้นโมเลกุลของน้ำมีการระเหยออกจากตำแหน่งกัมมันต์ ส่งผลให้ค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์มีค่าใกล้เคียงกับกรณีที่ไม่มีน้ำ (Zou *et al.*, 2005) ทั้งนี้ได้ทดสอบปฏิกิริยาการซิฟของน้ำ กำหนดให้กระแสน้ำประกอบด้วย ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ร้อยละ 1 โดยปริมาตร น้ำร้อยละ 2.8 โดยปริมาตร และที่เหลือเป็นก๊าซฮีเลียม พบว่าในช่วงอุณหภูมิ 70-190 องศาเซลเซียส ไม่มีปฏิกิริยาดังกล่าวเกิดขึ้น



(ก)



(ข)



(ค)

ภาพที่ 6 ผลกระทบของน้ำต่อความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาของตัวเร่งปฏิกิริยาที่เตรียมด้วยวิธีโซล เจล (ก) ร้อยละการเปลี่ยนแปลงก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (ข) ร้อยละการเปลี่ยนแปลงก๊าซออกซิเจน (ค) ร้อยละค่าการเลือกเกิดปฏิกิริยาคาร์บอนมอนอกไซด์ออกซิเดชัน

5. สรุปผล

ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เตรียมด้วยวิธีโซล เจล และโซล เจล ขึ้นตอนเดียว ให้ผลการเร่งปฏิกิริยาคาร์บอน มอ-นออกไซด์ออกซิเดชันได้ใกล้เคียงกัน เมื่อมีก๊าซไฮโดรเจนร้อยละ 50 โดยปริมาตรในสายป้อน พบว่า การเร่งปฏิกิริยาของตัวเร่งปฏิกิริยาทั้งสองจะแตกต่างกัน โดยตัวเร่งปฏิกิริยาที่เตรียมด้วยวิธีโซล เจล มีความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาที่ดีกว่า โดยสามารถกำจัดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ได้สมบูรณ์ที่ อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส ที่ค่าร้อยละการเลือกเกิดคาร์บอนมอนอกไซด์ออกซิเดชัน 65.0 ทั้งนี้สืบ เนื่องจากวิธีโซล เจล ให้ขนาดผลึกของคอปเปอร์ออกไซด์เล็กกว่าวิธีโซล เจล ขึ้นตอนเดียว นอกจากนี้

ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำส่งผลกระทบบนทางลบต่อการเร่งปฏิกิริยา โดยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เกิดการดูดซับเชิงกายภาพบนตำแหน่งกัมมันต์ ส่งผลให้สูญเสียพื้นที่ผิวในการดูดซับเชิงเคมีของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์และก๊าซออกซิเจนในช่วงอุณหภูมิต่ำกว่า 190 องศาเซลเซียส ส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาข้างลง ที่อุณหภูมิสูงกว่า 190 องศาเซลเซียส การลดลงของค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์เกิดจากการเกิดปฏิกิริยา Reverse water gas shift และปฏิกิริยาไฮโดรเจนออกไซด์เช่น ดังนั้นการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโลหะออกไซด์ผสมคอปเปอร์ ซีเรียม และอลูมิเนียม ที่เตรียมด้วยวิธีการโซล เจล จึงมีความเหมาะสมหรือเป็นตัวเลือกที่ดีในการนำมาใช้กำจัดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ในไฮโดรเจนก่อนนำไปใช้กับเซลล์เชื้อเพลิง

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากคณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยบูรพา สัญญาเลขที่ 19/2553

7. เอกสารอ้างอิง

- Bae, C.M., Ko, J.B. & Kim, D.H. (2005). Selective catalytic oxidation of carbon monoxide with carbon dioxide, water vapor and excess hydrogen on CuO-CeO₂ mixed oxide catalyst. **Catalysis communication**, 6, 507-511. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.catcom.2005.04.017>
- Brinker, C.J. & Scherer, G.W. (1990). **Sol-Gel Science: The Physics and Chemistry of Sol-Gel Processing**. New York: ACADEMIC PRESS, INC.
- Chen, Y.Z., Liaw, B.J., Wang, J.M. & Huang, C.T. (2008). Selective removal of CO from hydrogen rich stream over CuO/Ce_xSn_{1-x}O₂-Al₂O₃ catalysts. **International Journal of hydrogen energy**, 33, 2389-2399. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2008.02.056>
- Cortés, A.G., Márquez, Y., Alatorre, J.A. & Díaz, G. (2008). Selective CO oxidation in excess of H₂ over high surface area CuO/CeO₂ catalysts. **Catalysis Today**, 133-135, 734-740. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.cattod.2007.12.083>
- Ebrahimi, P., Kumar, A. & Khraisheh, M. (2020). A review of recent advances in water-gas shift catalysis for hydrogen production. **Emergent Materials**, 3, 881-917. Doi: <https://doi.org/10.1007/s42247-020-00116-y>

- Esposito, S. (2019). "Traditional" sol-gel chemistry as a powerful tool for the preparation of supported metal and metal oxide catalysts. **Materials**, 12, 668. Doi: <https://doi.org/10.3390/ma12040668>
- Gu, C., Liu, R., Wang, C., Sun, Y., & Zhang, S. (2020). Effect of aluminum on microstructure and high-temperature oxidation resistance of austenitic heat-resistant steel. **Metals**, 10(2), 176. Doi: <https://doi.org/10.3390/met10020176>
- Hargreaves, J.S.J. (2016). Some considerations related to the use of the Scherrer equation in powder X-ray diffraction as applied to heterogeneous catalysts. **Catalysis, Structure & Reactivity**, 2, 33-37.
- Huber, F., Venvik H., Ronning M., Walmsley J., & Holmen A. (2008). Preparation and characterization of nanocrystalline, high-surface area Cu Ce Zr mixed oxide catalysts from homogeneous coprecipitation. **Chemical Engineering Journal** 137, 686-702. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2007.07.025>
- Kakuta N., Morishima N., Kotobuki M., Iwase T., Mizushima T., Sato Y. & Matsuura S. (1997). Oxygen storage capacity (OSC) of aged Pt/CeO₂/Al₂O₃ catalysts: roles of Pt and CeO₂ supported on Al₂O₃. **Applied Surface Science**, 121-122, 408-412. Doi: [https://doi.org/10.1016/S0169-4332\(97\)00346-2](https://doi.org/10.1016/S0169-4332(97)00346-2)
- Manasilp, A. & Gulari, E. (2002). Selective oxidation of Pt/alumina catalysts for fuel cell application, **Applied Catalysis B: Environmental**, 37, 17-25. Doi: [https://doi.org/10.1016/S0926-3373\(01\)00319-8](https://doi.org/10.1016/S0926-3373(01)00319-8)
- Qi Z., He C. & Kaufman A. (2020). Effect of CO in the anode fuel on the performance of PEM fuel cell cathode. **Journal of Power Sources**, 111, 239-247. Doi: [https://doi.org/10.1016/S0378-7753\(02\)00300-2](https://doi.org/10.1016/S0378-7753(02)00300-2)
- Moretti, E., Lenarda, M., Storaro, L., Talon, A., Montanari, T., Busca, G., Rodriguez-Castellon, E., Jimenez-Lopez, A., Turco, M., Bagnasco, G. & Frattini, R. (2008). One-step synthesis of a structurally organized mesoporous CuO-CeO₂-Al₂O₃ system for the preferential CO oxidation. **Applied Catalysis A: General**, 335, 46-55. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.apcata.2007.11.009>
- Polster, C.S., Nair, H. & Baertsch, C.D. (2006). Study of active sites and mechanism responsible for highly selective CO oxidation in Hydrogen rich atmospheres on a

- mixed Cu and Ce oxide catalyst. **Journal of Catalysis**, 266, 308-319.
Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jcat.2009.06.021>
- Qi Z., He C. & Kaufman A. (2020). Effect of CO in the anode fuel on the performance of PEM fuel cell cathode. **Journal of Power Sources**, 111, 239- 247.
Doi: [https://doi.org/10.1016/S0378-7753\(02\)00300-2](https://doi.org/10.1016/S0378-7753(02)00300-2)
- Ratnasamy, P., Srinivas, D., Satyanarayana, C.V.V., Manikandan, P., Kumaran, R.S.S., Sachin, M. & Shetti, V.N. (2004). Influence of the support on the preferential oxidation of CO in hydrogen-rich steam reformats over the CuO-CeO₂-ZrO₂ system. **Journal of catalysis**, 221, 454 - 465 .
Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jcat.2003.09.006>
- Sarma, B.B., Plessow, P.N., Agostini, G., Concepción, P., Pfänder, N., Kang, L., Wang, F.R., Studt, F. & Prieto, G. (2020). Metal-specific reactivity in single-atom Catalysts: CO Oxidation on 4d and 5d Transition Metals Atomically Dispersed on MgO. **Journal of American Chemical Society**, 142(35), 14890-14902.
Doi: <https://doi.org/10.1021/jacs.0c03627>
- Sreethawong, T., Suzuki, Y. & Yoshikawa, S. (2009). Platinum-loaded mesoporous titania by single-step sol-gel process with surfactant template: photocatalytic activity for hydrogen evolution. **Comptes Rendus Chimie**, 9, 307 - 314 .
Doi: <https://doi.org/10.1016/j.crci.2005.05.015>
- Thommes, M. (2010). Physical adsorption characterization of nanoporous materials, **Chemie Ingenieur Technik**, 82(7), 1059-1071.
- Vazquez, A., Lopez, T., Gomez, R. & Bokhimi, X. (2001). Synthesis, characterization and catalytic properties of Pt/ CeO₂-Al₂O₃ and Pt/ La₂O₃-Al₂O₃ sol-gel derived catalysts. **Journal of Molecular Catalysis A: Chemical**, 167, 91 - 99 .
Doi: [https://doi.org/10.1016/S1381-1169\(00\)00495-7](https://doi.org/10.1016/S1381-1169(00)00495-7)
- Walton, K.S. & Snurr, R.Q. (2007). Applicability of the BET method for determining surface areas of microporous metal-organic frameworks. **Journal of American Chemical Society**, 129(27), 8552-8556.
- Xu C., Li S., Zhang Y., Li Y., Zhou J., & Qin G. (2019). Synthesis of CuO_x-CeO₂ catalyst with high-density interfaces for selective oxidation of CO in H₂-rich stream.



International Journal of Hydrogen Energy, 44 (8) , 4156 - 4166 .

Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2018.12.152>

Zhang X. , Su L. , Kong Y. , Ma D. , Ran Y. , Peng S. , Wang L. & Wang Y. (2020). CeO₂ nanoparticles modified by CuO nanoparticles for low-temperature CO oxidation with high catalytic activity. **Journal of Physics and Chemistry of Solids**, 147 , 109651. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jpcs.2020.109651>

Zou, H., Dong, X. & Lin, W. (2005). CO Selective oxidation in hydrogen-rich gas over Cu-Ce Catalyst. **Journal of natural gas chemistry**, 14, 43-53.



การศึกษาสมรรถนะเครื่องขึ้นรูปเตาซูเปอร์อั้งโล่ PERFORMANCE STUDY OF SUPER-ANGLO STOVE MOLDING MACHINE

ประพันธ์พงษ์ สมศิลา^{1*}, ธนกร หอมจำปา¹, เอกภูมิ บุญธรรม²,

กฤษฎา อ้นอ้าย², อำไพศักดิ์ ทิบุญมา³

Praphanpong Somsila^{1*}, Tanakorn Homejumpa¹, Eakapoom Buntham²,

Kritsada On-ai², Umphisak Teeboonma³

¹คณะเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสุรินทร์ อ.เมือง จ.สุรินทร์ ประเทศไทย 32000

²คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม อ.เมือง จ.พิษณุโลก ประเทศไทย 65000

³ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี อ.วารินชำราบ จ.อุบลราชธานี ประเทศไทย 34190

¹Faculty of Agriculture and Technology, Rajamangala University of Technology Isan Surin Campus,
Mueang, Surin, Thailand, 32000

²Faculty of Industrial Technology, Pibulsongkram Rajabhat University, Muang, Phitsanulok, Thailand, 65000

³Faculty of Engineering, Ubon Ratchathani University, Warin Chamrap, Ubon Ratchathani, Thailand, 34190

*Corresponding author e-mail: praphanpong.so@rmu.ac.th

วันที่เข้ารับ 29 สิงหาคม 2565

วันที่แก้ไขบทความ 25 ตุลาคม 2565

วันที่ตอบรับบทความ 25 ตุลาคม 2565

บทคัดย่อ

ปัจจุบันการปั้นเตาซูเปอร์อั้งโล่หรือที่เรียกว่า เตาหุงต้มประสิทธิภาพสูง นั้นทั้งหมดมีการปั้นด้วยมือ ปัญหาที่เกิดขึ้นพบว่ามาตรฐานของขนาดเตาไม่คงที่ส่งผลต่อการประกอบส่วนต่างๆ ของเตาและชาวบ้านหรือเกษตรกรมีความเมื่อยล้าจนกลายเป็นกล้ามเนื้ออักเสบ ประกอบกับไม่สามารถผลิตได้ทันกับความต้องการของตลาด ด้วยเหตุผลดังกล่าวงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสมรรถนะเครื่องขึ้นรูปเตาซูเปอร์อั้งโล่ ซึ่งเครื่องขึ้นรูปเตาซูเปอร์อั้งโล่ประกอบด้วยส่วนของโครงสร้างทำจากเหล็ก ส่วนของแม่พิมพ์ตัวผู้และแม่พิมพ์ตัวเมียทำจากอลูมิเนียมอัลลอยด์ ส่วนของชุดสร้างความดันลมพร้อมอุปกรณ์ และส่วนสุดท้ายคือส่วนของการควบคุมการทำงาน โดยความดันลมที่ใช้ในการศึกษาประกอบด้วย 6 bar, 7 bar และ 8 bar ซึ่งมีเกณฑ์ที่ใช้ในการประเมินสมรรถนะเครื่องขึ้นรูปเตาซูเปอร์อั้งโล่ ได้แก่ เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของการขึ้นรูป อัตราการผลิตเตาซูเปอร์อั้งโล่ ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ ประสิทธิภาพเชิงความร้อน และความต้านทานแรงกด ผลที่ได้จากการศึกษาสามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้ 1) ความดันลมมีผลต่อสมรรถนะเครื่องขึ้นรูปเตาซูเปอร์อั้งโล่ 2) สมรรถนะเครื่องขึ้นรูปเตาซูเปอร์อั้งโล่กรณีความดันลมเท่ากับ 8 bar สูงกว่า 7 bar และ 6 bar 3) เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดในการขึ้นรูปกรณีความดันเท่ากับ 8 bar ต่ำกว่า 7 bar และ 6 bar โดยเฉลี่ยประมาณ 92.75% และ 96.71% ตามลำดับ 4) อัตราการผลิตเตาซูเปอร์อั้งโล่กรณีความดันลมเท่ากับ 8 bar สูงกว่า 7 bar และ 6 bar โดยเฉลี่ยประมาณ 25% และ 66.67% ตามลำดับ 5) ความ

สิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะกรณีความดันลมเท่ากับ 8 bar น้อยกว่า 7 bar และ 6 bar โดยเฉลี่ยประมาณ 10.30% และ 22.91% 6) ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาซูเปอร์อั้งโล่กรณีความดันลมเท่ากับ 8 bar มากกว่า 7 bar, 6 bar และการปั้นด้วยมือ โดยเฉลี่ยประมาณ 2.74%, 5.58% และ 15.77% ตามลำดับ และ 7) ความต้านทานแรงกดของผนังกรณีความดันลมเท่ากับ 8 bar มากกว่า 7 bar, 6 bar และการปั้นด้วยมือ โดยเฉลี่ยประมาณ 7.54%, 16.77% และ 31.46% ตามลำดับ

คำสำคัญ: ความดันลมในการอัดขึ้นรูป, เครื่องขึ้นรูปเตาซูเปอร์อั้งโล่, สมรรถนะ

Abstract

At present, the molding of the Super-Anglo stoves, also known as high efficiency cooking stoves, are molded by hand. Also, the problem found is that the standard of the furnace size is not stable, affecting the assembly of various parts of the furnace, and the villagers or farmers are fatigued and become myositis. In addition, they are not able to produce the stoves to meet the market demand. For that reason, this research aimed to study the performance of the Super-Anglo molding machine. The Super-Anglo molding machine consisted of a structure made of steel, the parts of the male mold and the female mold made of aluminum alloy, the part of the air pressure generating set with accessories, and the operation control section. The air pressure used in the study consisted of 6 bar, 7 bar and 8 bar. The criteria used to assess the performance of the Super-Anglo molding machine were the percentage of forming error, Super-Anglo stove production rate, specific energy consumption, thermal efficiency of stove and compression pressure resistance. The results can be summarized as follows. First, compression pressure resistance affected the performance of the Super-Anglo molding machine. Second, the performance of the Super-Anglo molding machine in case of compression pressure was 8 bar higher than 7 bar and 6 bar. Third, percentage of forming error in case of compression pressure was 8 bar, below 7 bar and 6 bar, on average about 92.75% and 96.71%, respectively. Fourth, the production rate of Super-Anglo stove in case of compression pressure was 8 bar, about 25% and 66.67 higher than 7 bar and 6 bar, respectively. Fifth, specific energy consumption in case of compression pressure was 8 bar, less than 7 bar and 6 bar, average about 10.30% and 22.91%. Sixth, thermal efficiency of Super-Anglo stove in case of compression pressure was 8 bar greater than 7 bar, 6 bar and hand molding

on average, about 2.74%, 5.58% and 15.77%, respectively, and finally, the compression pressure resistance of the wall in case of compression pressure was 8 bar, rather than 7 bar, 6 bar and hand molding, on average, about 7.54%, 16.77% and 31.46%, respectively.

Keywords: Moulding pressure, Super-Anglo molding machine, Performance

1. บทนำ

ความต้องการพลังงานที่เพิ่มขึ้นพร้อมกับจำนวนประชากรมนุษย์ที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง เป็นหนึ่งในความท้าทายที่สำคัญของโลกกำลังเผชิญอยู่ในปัจจุบัน โดยพบว่าประชากรในหลายประเทศคิดเป็นประมาณ 41% ของครัวเรือนทั้งหมดทั่วโลกหรือมากกว่า 2.8 พันล้านคนที่ต้องพึ่งพาเชื้อเพลิงชีวมวลสำหรับการประกอบอาหารและให้ความร้อน (Hakam *et al.*, 2022; Ayele & Eneyew, 2022; Mekonnen *et al.*, 2022; Neka *et al.*, 2021; Duong *et al.*, 2022; Tumutegereize *et al.*, 2021; Bonsu *et al.*, 2020; Hailu, 2022; Sakdanuphab & Sakulkalavek, 2017) ซึ่งความต้องการถ่านและฟืนยังคงมีอยู่อย่างต่อเนื่องนั้นหมายถึงผลเสียที่ส่งผลกระทบต่อทรัพยากรป่าไม้ที่ถือได้ว่าเป็นแหล่งเชื้อเพลิงชีวมวล ด้วยเหตุผลดังกล่าวนักวิจัยจึงได้พัฒนางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับประเด็นของทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมด้วยกัน 3 แนวคิดคือ แนวคิดแรกนักวิจัยจะมุ่งเน้นทำการศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อนเตาหุงต้ม เพื่อมุ่งเน้นผลประหยัดเชื้อเพลิงชีวมวลและสมรรถนะของเตาหุงต้มที่สูงมากขึ้น อันประกอบด้วยการออกแบบเตาหุงต้มที่มีความสามารถในการให้ความร้อนสูงโดยการเพิ่มวัสดุ อุปกรณ์ หรือปรับเปลี่ยนรูปร่างของเตาหุงต้มให้สามารถสร้างอุณหภูมิสูงได้ที่ตำแหน่งห้องเผาไหม้ ประกอบกับการสร้างการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ในเวลาดังกล่าวด้วยเช่นกัน และยังออกแบบเตาหุงต้มในด้านของการลดการสูญเสียความร้อนไปยังบริเวณโดยรอบให้ได้มากที่สุดนั้นหมายถึง หากสามารถลดการสูญเสียความร้อนไปยังพื้นที่ภายนอกได้มากเท่าไรแล้วนั้นความร้อนก็จะสามารถส่งถ่ายไปยังพื้นที่ผิวของอุปกรณ์สำหรับการประกอบอาหารได้มากขึ้น (Ayele & Eneyew, 2022; Mekonnen *et al.*, 2022; Neka *et al.*, 2021; Bentson *et al.*, 2022; Wassie & Adaramola, 2022; Kshirsagar & Kalamkar, 2020; Tumutegereize *et al.*, 2021; Yayeh *et al.*, 2021) สำหรับแนวคิดอันดับสองคือ การวิจัยเพื่อพัฒนาเตาหุงต้มที่สามารถลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เป็นที่ทราบกันดีว่าเชื้อเพลิงชีวมวลเป็นหนึ่งในเหตุปัจจัยที่ทำให้ปริมาณฝุ่นในอากาศ (PM_{2.5}) เพิ่มขึ้น โดยพบว่าไม้ฟืนสามารถสร้างฝุ่นจากการเผาไหม้ได้มากที่สุดเท่ากับ 116.60 mg/MJ และถ่าน (Charcoal) สามารถสร้างฝุ่นที่เกิดจากการเผาไหม้ได้มากถึง 84.40 mg/MJ และเมื่อเทียบกับก๊าซแอลพีจีที่มีความสามารถในการสร้างฝุ่นได้เพียง 5.4 mg/MJ เท่านั้น ประกอบกับผลดังกล่าวยังส่งผลต่อการเร่งให้เกิดภาวะโลกร้อนเพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน จากปัญหาดังกล่าว

นักวิจัยจึงได้มีการศึกษาค้นคว้าเพื่อพัฒนาเตาหุงต้มให้สามารถลดปริมาณการปล่อยฝุ่น และก๊าซที่ทำให้มีผลเสียกับบรรยากาศ เช่น ปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) เป็นต้น (Hakam *et al.*, 2022; Ayele & Eneyew, 2022; Mekonnen *et al.*, 2022; Bentson *et al.*, 2022; Das *et al.*, 2021; Aziz *et al.*, 2022; Wassie & Adaramola, 2022; Roubik & Mazancova, 2019; Kshirsagar & Kalamkar, 2020) จากแนวคิดดังกล่าวพบว่า งานวิจัยที่ผ่านมาสามารถลดปริมาณการปล่อยฝุ่น ($\text{PM}_{2.5}$) และลดการปล่อยก๊าซที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและชั้นบรรยากาศได้ชัดเจน และสำหรับแนวคิดสุดท้ายคือ การศึกษาวิจัยในส่วนของการพัฒนาคุณสมบัติของเชื้อเพลิงชีวมวลให้มีความสามารถในการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ประกอบด้วย การพัฒนาส่วนผสมของถ่านเพื่อให้ได้ถ่านที่มีคุณสมบัติค่าความร้อนในระดับสูง (HHV) ประกอบกับความสามารถในการลดการปล่อยมลพิษทางอากาศให้อยู่ในปริมาณค่ามาตรฐาน (Mantura, 2021; Bonsu *et al.*, 2020; Hailu, 2022; Otieno *et al.*, 2022) และมีการวิจัยเพื่อพัฒนาในส่วนของการใช้เชื้อเพลิงชนิดเม็ด (Pellet) ทั้งในส่วนของคุณสมบัติการเผาไหม้ที่ดีขึ้น และการลดปริมาณการปล่อยฝุ่น $\text{PM}_{2.5}$ และก๊าซที่เป็นมลพิษกับอากาศด้วยเช่นกัน (Duong *et al.*, 2022) นอกจากงานวิจัยที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้นยังพบอีกว่าได้นักวิจัยที่ได้มีศึกษาเกี่ยวกับการนำความร้อนทิ้งที่เกิดขึ้นบริเวณใต้รังผึ้งของเตาหุงต้มไปใช้อ้างอิงมาใช้ประโยชน์ เช่น ศักดานุภาพ และสกุลการเวก (Sakdanuphab & Sakulkalavek, 2017) พบว่าประสิทธิภาพโดยรวมของระบบการนำความร้อนทิ้งที่ช่องเตาด้านล่างรังผึ้งมาใช้ประโยชน์ (Waste Heat Recovery: WHR) มากกว่า 80% และประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาหุงต้มลดลงน้อยกว่า 5% เมื่อ WHR แบนระบบแล้ว

นอกจากนั้นยังได้ทำการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบและสร้างเครื่องอัดขึ้นรูปประกอบด้วย เคิร์ท และคณะ (Kurth *et al.*, 2021) ได้ศึกษาเกี่ยวกับรูปทรงของอุปกรณ์จับยึดสำหรับการตรวจสอบการเสียรูปของกระบวนการอัดขึ้นรูป ผลจากการศึกษาพบว่ารูปร่างที่เหมาะสมของอุปกรณ์จับยึดคือ T-slot ประกอบเข้ากับอุปกรณ์ตรวจการรับรู้ (Sensor) จะสามารถตรวจสอบการเสียรูปของกระบวนการอัดขึ้นรูปได้เป็นอย่างดี ลำดับถัดมา ราช และคณะ (Raz *et al.*, 2015) ได้ศึกษาเกี่ยวกับพฤติกรรมแบบไดนามิกส์ของเครื่องไฮดรอลิกส์สำหรับการขึ้นรูปด้วยการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ พบว่าการออกแบบชนิดแท่นพิมพ์เพื่อใช้วัสดุให้เกิดประโยชน์สูงสุด ควรออกแบบแท่นพิมพ์ 4 คอลัมน์ที่มีความถี่ธรรมชาติของการก่อกวนเท่ากับ 5 - 6.5 Hz และการก่อกวนสำหรับ 2 คอลัมน์ควรมีความถี่ธรรมชาติเท่ากับ 2-3 Hz และถัดมา โอโกรี (Okolie *et al.*, 2020) ได้ออกแบบและสร้างเครื่องอัดไฮดรอลิกส์ด้วยการทำงานมอเตอร์ที่อุณหภูมิ 40 °C พบว่า การออกแบบและสร้างเครื่องอัดไฮดรอลิกส์สามารถทำงานได้อย่างแม่นยำ ด้วยการเลือกใช้สปริงที่มีความเหมาะสมต่อการใช้งาน โดยที่ผลของเวลาการก่อกวน อุณหภูมิ และความดันในการก่อกวนมีผลต่อการทำงานของระบบที่สอดคล้องกัน

จากงานวิจัยที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้นจะพบได้ว่า ไม่พบงานวิจัยที่ทำการศึกษาศมรรถนะเครื่องขึ้นรูปเตาซูปเปอร์อั้งโล่ ด้วยเหตุผลดังกล่าวงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาศมรรถนะเครื่องขึ้นรูปเตาซูปเปอร์อั้งโล่ และเปรียบเทียบคุณสมบัติของเตาซูปเปอร์อั้งโล่ที่อัดขึ้นรูปด้วยเครื่องขึ้นรูปและการปั้นด้วยมือ เพื่อเป็นการเพิ่มศักยภาพการผลิตเตาซูปเปอร์อั้งโล่ให้กลุ่มผู้ผลิต ซึ่งส่วนมากเป็นกลุ่มวิสาหกิจชุมชน โดยพบว่าผลดังกล่าวจะสามารถช่วยสร้างรายได้ที่เพิ่มมากยิ่งขึ้น ลดภาระหนี้สิน และยังเป็นการสร้างอาชีพให้คนในพื้นที่ นอกจากนั้นยังเป็นการสร้างเศรษฐกิจที่ดีให้กับชุมชน

2. วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

2.1 เพื่อศึกษาศมรรถนะเครื่องขึ้นรูปเตาซูปเปอร์อั้งโล่

2.2 เพื่อศึกษาเปรียบเทียบคุณสมบัติของเตาซูปเปอร์อั้งโล่ที่อัดขึ้นรูปด้วยเครื่องขึ้นรูปและการปั้นด้วยมือ

3. วิธีดำเนินงานวิจัย

3.1 เครื่องขึ้นรูปเตาซูปเปอร์อั้งโล่

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการสร้างเครื่องขึ้นรูปเตาซูปเปอร์อั้งโล่ เพื่อใช้สำหรับการอัดขึ้นรูปเตาซูปเปอร์อั้งโล่จำนวน 1 เครื่อง ดังแสดงในภาพที่ 1 โดยเครื่องขึ้นรูปเตาซูปเปอร์อั้งโล่ประกอบด้วย 4 ส่วนหลักที่สำคัญคือ 1) โครงสร้างเครื่องขึ้นรูปเตาซูปเปอร์อั้งโล่ ทำจากเหล็กที่มีขนาด 5×5 cm หนา 0.50 mm ประกอบกันขึ้นให้เป็นรูปทรงสี่เหลี่ยมแนวตั้ง ประกอบเข้ากับส่วนของแผ่นยึดแม่พิมพ์ด้านบนและด้านล่าง และสร้างระบบป้องกันความปลอดภัยในส่วนของการติดตะแกรงรอบเครื่องขึ้นรูป 2) แม่พิมพ์ ทำมาจากอลูมิเนียมอัลลอยด์ โดยแม่พิมพ์ตัวผู้มีความสูงเท่ากับ $40 \times 40 \times 30$ cm และแม่พิมพ์ตัวเมียมีความสูงเท่ากับ $40 \times 40 \times 30$ cm โดยแม่พิมพ์ตัวผู้จะติดตั้งอยู่ด้านบนพร้อมเชื่อมต่อเข้ากับกระบอกนิวแมติกส์ขนาดความจุ 100 ลิตร และแม่พิมพ์ตัวเมียจะติดตั้งอยู่ด้านล่างซึ่งไม่สามารถเคลื่อนที่ได้พร้อมเชื่อมต่อเข้ากับกระบอกนิวแมติกส์ขนาดความจุ 50 ลิตร 3) ระบบนิวแมติกส์ เป็นระบบที่ทำหน้าที่ในการสร้างแรงดันในการอัดขึ้นรูปดินเหนียวให้เป็นตัวเตาตามแบบของแม่พิมพ์ที่กำหนด โดยมีส่วนประกอบคือ กระบอกนิวแมติกส์ขนาดความจุ 100 ลิตร กระบอกนิวแมติกส์ขนาดความจุ 50 ลิตร สายลมขนาด 10×6 mm ในการทดลองได้มีการกำหนดขนาดของความดันลมที่ใช้ในการกดอัดขึ้นรูปเตาซูปเปอร์อั้งโล่คือ 6 bar, 7 bar และ 8 bar ตามลำดับ เพื่อศึกษาศมรรถนะของเครื่องขึ้นรูปเตาซูปเปอร์อั้งโล่ทั้งในส่วนของการประสิทธิภาพการผลิต ความสิ้นเปลืองพลังงาน และคุณภาพของเตาซูปเปอร์อั้งโล่หลังปั้นขึ้นรูป 4) ชุดควบคุมระบบการทำงาน ทำหน้าที่ในการควบคุมการทำงานของเครื่องขึ้นรูปในการอัดขึ้นรูปเป็นเตาซูปเปอร์อั้งโล่ โดยมีส่วนประกอบคือ ถังเก็บลมอัดขนาด 100 ลิตร ตัวกรองอากาศและเกจปรับความดันสูงสุดขนาด 12

bar สายลมขนาด 10x6 mm วาล์วควบคุมการทำงานแบบคั่นโยกชนิด 4/2 จำนวน 2 ตัว และชุดตัด-ต่อการทำงานแบบลิมิตสวิตซ์ที่ทำงานร่วมกันกับระบบป้องกันความปลอดภัยโดยเชื่อมต่อเข้ากับประตูที่ตำแหน่งด้านหน้าเพื่อป้องกันการเกิดอุบัติเหตุจากการเคลื่อนที่ของแม่พิมพ์



ภาพที่ 1 เครื่องขึ้นรูปเตาซูบเปอร์อั้งโล่

3.2 วิธีการทดลอง

3.2.1 วัตถุประสงค์สำหรับการอัดขึ้นรูป

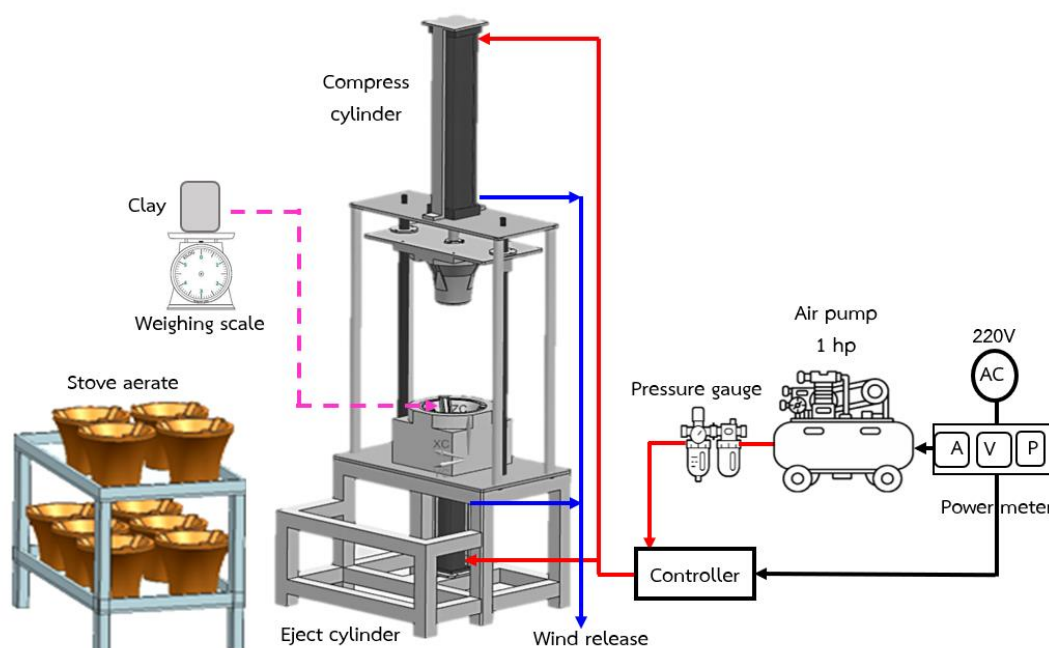
วัตถุประสงค์ที่ใช้ในการอัดขึ้นรูปคือ ดินเหนียวที่ผ่านการผสมกับแกลบดำ ทำการบ่มอย่างน้อย 1 คืน เพื่อให้ได้ดินเหนียวที่พร้อมสำหรับการใช้งาน โดยในทุกการทดลองจะทำการชั่งดินเหนียวที่มีน้ำหนักเท่ากับ 11 กิโลกรัม และดินเหนียวผสมนี้จะเป็นดินเหนียวที่มีการผสมเพียงครั้งเดียวในช่วงเช้าเพื่อใช้ตลอดทั้งช่วงเวลาการทดลอง โดยทำการรักษาความชื้นของดินเหนียวผสมดังกล่าวด้วยการหุ้มผ้าชุมน้ำ

3.2.2 เงื่อนไขการทดลอง

งานวิจัยนี้ได้ทำการแปรผันความดันลมสำหรับการเคลื่อนที่ในการอัดดินเหนียวของแม่พิมพ์ 3 ระดับคือ ความดันลมขนาด 6 bar, 7 bar และ 8 bar ตามลำดับ และเปรียบเทียบคุณสมบัติของเตาชุบเปอร์อั้งโล่ที่อัดขึ้นรูปด้วยเครื่องขึ้นรูปเตาชุบเปอร์อั้งโล่และการปั้นด้วยมือคือความต้านทานแรงกดของเตา และประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาชุบเปอร์อั้งโล่

3.2.4 ขั้นตอนการทดลอง

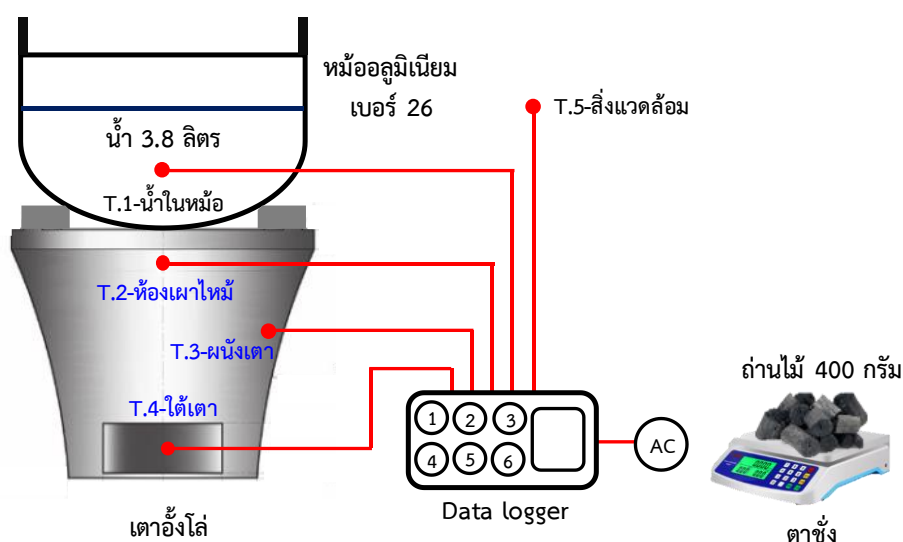
การทดลองเริ่มต้นจากการเตรียมดินที่ผ่านการผสมและชุดทดลองพร้อมติดตั้งอุปกรณ์การวัดดังแสดงในภาพที่ 2 ได้แก่ ความสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าที่จ่ายให้กับปั๊มลมขนาด 1 hp และชุดควบคุมการจ่ายลมให้กับกระบอกนิวเมติกส์ทั้ง 2 กระบอก และน้ำหนักของดินผสม ตลอดระยะเวลาการทำงานตั้งแต่ 8.00 – 16.00 น. รวม 7 ชั่วโมง (ไม่รวมเวลาพักเที่ยง) โดยตลอดระยะเวลาที่ทำการทดสอบการปั้นเตาด้วยเครื่อง จะทำการวัดขนาดที่ตำแหน่งต่างๆ เพื่อเปรียบเทียบกับขนาดมาตรฐาน



ภาพที่ 2 การติดตั้งอุปกรณ์และเครื่องมือวัด

จากนั้นนำเตาที่ผ่านการปั้นด้วยเครื่องขึ้นรูปเตาชุบเปอร์อั้งโล่ และเตาปั้นด้วยมือไปเผาเตาเผาที่อุณหภูมิ 800 – 900 °C เป็นระยะเวลา 12 ชั่วโมง และปล่อยให้เย็นภายในเตาอีก 24 ชั่วโมง จึงนำออกมาทำการทดสอบความต้านทานแรงกดด้วยเครื่องทดสอบแรงกด (Compression test) และยังนำเตาที่ผ่านการปั้นด้วยเครื่องขึ้นรูปเตาชุบเปอร์อั้งโล่ และเตาปั้นด้วยมือไปประกอบเป็นเตาชุบเปอร์อั้งโล่สำเร็จรูปซึ่งประกอบด้วยกระบวนการเผา การประกอบเสื่อเตา การอัดฉนวนกันความ

ร้อน และการปิดรูด้วยปูนซีเมนต์ เมื่อแล้วเสร็จนำมาทดสอบประสิทธิภาพเชิงความร้อนด้วยวิธีการต้ม
น้ำเดือด (Water Boiling Test: WBT) โดยทดสอบการต้มน้ำด้วยหม้ออลูมิเนียมเบอร์ 26 พร้อมฝา
ใช้น้ำ 3.8 ลิตร (ปริมาตรน้ำประมาณ 3/4 ของปริมาณความจุของหม้อ) และน้ำหนักถ่านที่ใช้ทดสอบ
เท่ากับ 400 กรัม ทำการทดสอบในห้องที่ไม่มีลมพัด ทำการวัดอุณหภูมิของน้ำจนกระทั่งเดือดแล้ว
บันทึกเวลาที่ใช้ไปพร้อมทำการเปิดฝามือ จากนั้นปล่อยให้ น้ำเดือดต่อไปอีก 30 นาที จึงหยุดการ
ทดสอบหลังจากนั้นทำการวัดปริมาณถ่านที่ใช้ และน้ำที่เหลือ โดยนำผลที่ได้จากการวัดค่าต่างๆ มา
ทำการคำนวณในลำดับถัดไป ดังแสดงวิธีการทดสอบในภาพที่ 4 ซึ่งการทดสอบประสิทธิภาพเชิง
ความร้อนของเตาซูปเปอร์อั้งโล่นั้นจะทำการทดสอบในเตาที่ปั้นด้วยเครื่องขึ้นรูปเตาซูปเปอร์อั้งโล่ทุก
ความดันลมที่ทำการศึกษา และเตาที่ปั้นด้วยมือ (Ayele & Eneyew, 2022; Bentson *et al.*, 2022)



ภาพที่ 3 ลักษณะของอุปกรณ์และตำแหน่งการวัด

3.3 การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูลสำหรับงานวิจัยนี้ประกอบด้วยเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของขนาดเตา
หลังปั้น อัตราการผลิตเตา ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ ความต้านทานแรงกด และประสิทธิภาพ
เชิงความร้อนของเตาหุงต้ม ซึ่งมีรายละเอียดความสัมพันธ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ดังต่อไปนี้

เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของขนาดเตาหลังปั้น (Percentage of mistake after
moulding: PM) คือ พารามิเตอร์ที่ใช้บ่งชี้ความผิดพลาดของขนาดตำแหน่งต่างๆ ของเตาซูปเปอร์
อั้งโล่หลังอัดขึ้นรูป ซึ่งเขียนความสัมพันธ์ในการวิเคราะห์ที่ได้ดังสมการที่ (1) (Tumutegyreize *et al.*, 2021)



$$PM = \frac{DP - STD}{STD} \times 100\% \quad (1)$$

เมื่อ	PM	คือ เปอร์เซนต์ความผิดพลาดของขนาดเตาหลังปั้น, %
	DP	คือ ตำแหน่งของขนาดจริงสำหรับเตาหลังปั้น, mm
	STD	คือ ตำแหน่งของขนาดมาตรฐาน, mm

อัตราการผลิตเตา (Stove production rate: SR) คือ ปัจจัยสำคัญที่แสดงสมรรถนะเครื่องขึ้นรูปเตาซูปเปอร์อั้งโล่ หรือดัชนีที่ใช้ในการบ่งชี้ความสามารถในการผลิตเตาซูปเปอร์อั้งโล่ต่อช่วงเวลาการผลิต ดังแสดงในสมการที่ (2)

$$SR = \frac{PD}{T} \quad (2)$$

เมื่อ	SR	คือ อัตราการผลิตเตาซูปเปอร์อั้งโล่, เตาต่อชั่วโมง
	PD	คือ จำนวนเตาซูปเปอร์อั้งโล่ที่สามารถผลิตได้ใน 1 วัน, เตา
	T	คือ เวลาที่ใช้ในการผลิตเตาซูปเปอร์อั้งโล่ใน 1 วัน, ชั่วโมง

ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (Specific energy consumption: SEC) คือ ค่าที่แสดงถึงปริมาณพลังงานที่ใช้ในการอัดขึ้นรูปเตาต่อปริมาณเตาที่สามารถผลิตได้ โดยมีความสัมพันธ์ในการวิเคราะห์ดังแสดงในสมการที่ (3)

$$SEC = \frac{3.6 \times E}{PD} \quad (3)$$

เมื่อ	SEC	คือ ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ, MJ/เตา
	E	คือ พลังงานที่ใช้ในการอัดขึ้นรูปเตาซูปเปอร์อั้งโล่, kWh

ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาหุงต้ม (Thermal efficiency of stove: η_h) คือ พารามิเตอร์ที่บ่งชี้ประสิทธิภาพของเตาซูปเปอร์อั้งโล่ในการใช้พลังงานสำหรับการระเหยน้ำที่บรรจุภายในหม้อต่อพลังงานทั้งหมดที่เตาซูปเปอร์อั้งโล่ใช้ ซึ่งสามารถวิเคราะห์โดยใช้สมการที่ (4) (Ayele & Eneyew, 2022; Neka *et al.*, 2021)

$$\eta_{th} = \frac{[M_{w,i} \times C_p \times (T_{boil} - T_i)] + (M_{w,evap} \times H_w)}{M_f \times H_f} \times 100\% \quad (4)$$

เมื่อ	η_{th}	คือ ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาซูปเปอร์อั้งโล่, %
	C_p	คือ ค่าความร้อนจำเพาะของน้ำ, kJ/kg. °C
	$M_{w,i}$	คือ มวลของน้ำ, kg
	$M_{w,evap}$	คือ มวลของน้ำที่ระเหยไป, kg
	M_f	คือ มวลของถ่าน, kg
	T_i	คือ อุณหภูมิน้ำเริ่มต้น, °C
	T_{boil}	คือ อุณหภูมิน้ำเดือด, °C
	H_w	คือ ค่าความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอของน้ำ, kJ/kg
	H_f	คือ ค่าความร้อนของถ่าน, kJ/kg

ความต้านทานแรงกด (Compression resistance: CR) คือ ดัชนีที่ใช้ในการบ่งชี้ความต้านทานแรงกด หรือความแข็งแรงของเตาซูปเปอร์อั้งโล่เมื่อได้รับแรงกดต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ โดยมีความสัมพันธ์ในการวิเคราะห์ดังแสดงในสมการที่ (5)

$$P = \frac{F}{A} \quad (5)$$

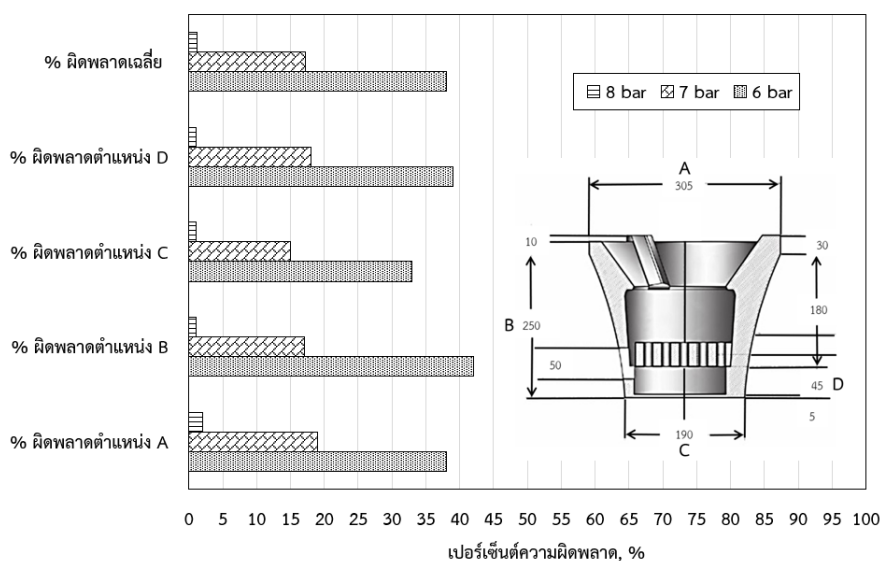
เมื่อ	P	คือ ความต้านทานแรงกดของเตาซูปเปอร์อั้งโล่, kg/cm ²
	F	คือ แรงที่ใช้ในการกด, kg
	A	คือ พื้นที่ที่ใช้ในการรับแรงกด, cm ²

4. ผลการวิจัย

การนำเสนอผลการทดลองในงานวิจัยครั้งนี้ประกอบด้วยเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของการขึ้นรูป อัตราการผลิตเตาซูปเปอร์อั้งโล่ พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการปั้นเตาซูปเปอร์อั้งโล่ ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ อุณหภูมิของน้ำและห้องเผาไหม้สำหรับการทดสอบการต้มน้ำเดือด (WBT) ความต้านทานแรงกดของเตาซูปเปอร์อั้งโล่ และประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาซูปเปอร์อั้งโล่ในแต่ละเงื่อนไขที่ศึกษา ดังแสดงในภาพที่ 4 – 9 ตามลำดับ

ภาพที่ 4 แสดงเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของการขึ้นรูปเตาซูปเปอร์อั้งโล่ด้วยเครื่องขึ้นรูปเตาซูปเปอร์อั้งโล่ ผลจากการทดลองพบว่า ความดันลมสำหรับการอัดขึ้นรูปส่งผลต่อเปอร์เซ็นต์ความ

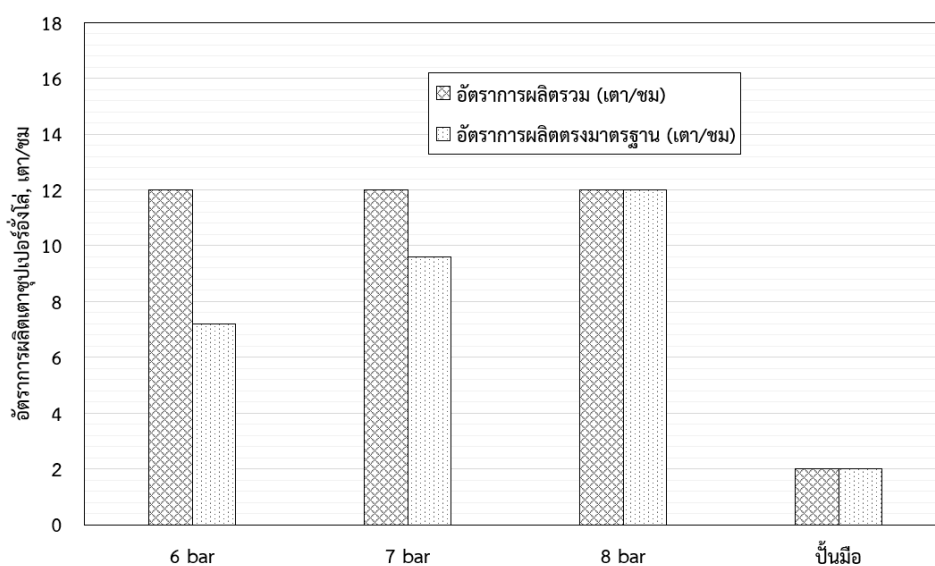
ผิดพลาดในตำแหน่งต่างๆ ของเตาชุบเปอร์อั้งโล่ กล่าวคือ ความดันลม 6 bar ทำให้เกิดเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดมากที่สุดเฉลี่ยเท่ากับ 38% รองลงมาคือ 17.25% และ 1.25% ที่ความดันลม 7 bar และ 8 bar ตามลำดับ ผลดังกล่าวเนื่องจากแรงดันที่ทำให้แม่พิมพ์ตัวผู้เคลื่อนที่ลงเพื่อกดดินเหนียวที่อยู่ในแม่พิมพ์ตัวเมียเพื่อให้ได้ตำแหน่งของระยะที่แนบชิดกันทั้งสองแม่พิมพ์ (Parting line) นั้นไม่สามารถเกิดขึ้นได้อย่างสนิทเท่าที่ควร ทำให้การไหลและการอัดตัวของดินเหนียวกระจายไม่ทั่วทั้งแม่พิมพ์ ประกอบกับเกิดการไหลออกของดินเหนียวที่ตำแหน่ง Parting line ทำให้ดินเหนียวไม่สามารถอยู่ในแม่พิมพ์เพื่อสร้างรูปเตาชุบเปอร์อั้งโล่ได้ทั้งหมด กรณีสำหรับการทดลองความดันลมที่ 6 bar จะพบปัญหาดังกล่าวมากที่สุด ส่วนกรณีการทดลองความดันลมที่ 7 bar พบว่า มีปัญหาความคลาดเคลื่อนไม่มากนักส่วนใหญ่อัปเดตขึ้นที่ตำแหน่งระยะด้านบนเตา (ตำแหน่ง A) และสำหรับกรณีการทดลองความดันลมที่ 8 bar พบปัญหาความคลาดเคลื่อนน้อยมาก ซึ่งในกระบวนการประกอบสามารถรับค่าความคลาดเคลื่อนดังกล่าวได้โดยพบว่าค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนมากที่สุดสำหรับการส่งต่อกระบวนการประกอบต้องไม่เกิน 5%



ภาพที่ 4 เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของการขึ้นรูป

ภาพที่ 5 แสดงอัตราการผลิตเตาชุบเปอร์อั้งโล่ของเครื่องขึ้นรูปเตาชุบเปอร์อั้งโล่ที่ได้สร้างขึ้นในงานวิจัยนี้ ซึ่งจะแสดงในส่วนของอัตราการผลิตรวมคือ ปริมาณการผลิตทั้งหมดนับรวมเตาที่ตรงตามแบบมาตรฐานและผิดขนาดที่ไม่สามารถใช้งานได้ต่อหนึ่งหน่วยเวลา และอัตราการผลิตตรงตามมาตรฐานคือ ปริมาณการผลิตเตาที่นับเฉพาะกรณีของเตาที่ตรงตามแบบมาตรฐานต่อหนึ่งหน่วยเวลา จากข้อมูลดังกล่าวจะพบว่า อัตราการผลิตรวมของทุกเงื่อนไขความดันลมเท่ากับ 12 เตาคต่อชั่วโมง และพบว่า การเพิ่มขึ้นของความดันลมทุก 15% จะทำให้อัตราการผลิตตรงตามมาตรฐานเพิ่มขึ้นเฉลี่ย

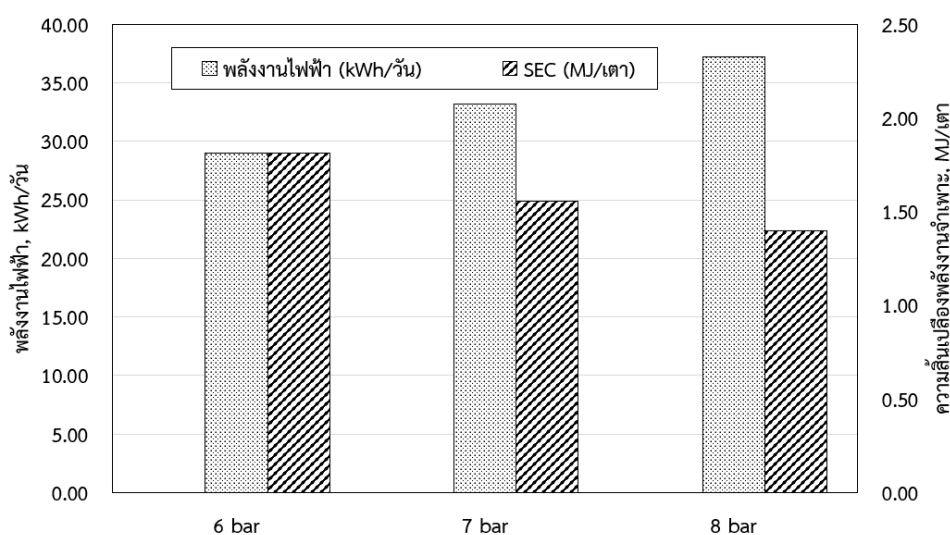
ประมาณ 30% โดยที่ความดันลมเท่ากับ 8 bar จะมีอัตราการผลิตตรงมาตรฐานเท่ากับอัตราการผลิตรวม และที่ความดันลมเท่ากับ 7 bar และ 6 bar จะมีค่าอัตราการผลิตตรงมาตรฐานเท่ากับ 9 เตาคือชั่วโมง และ 7 เตาคือชั่วโมง ตามลำดับ เนื่องด้วยเกิดจากความสัมพันธ์ของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของการขึ้นรูปที่ได้แสดงในภาพที่ 4 แล้วข้างต้น จากข้อมูลดังกล่าวสำหรับอัตราการผลิตตรงมาตรฐานถือเป็นดัชนีที่สามารถใช้บ่งชี้ถึงสมรรถนะของเครื่องขึ้นรูปเตาซูปเปอร์อั้งโล่ได้เป็นอย่างดี และเมื่อทำการเปรียบเทียบกับอัตราการผลิตจากการปั้นมือพบว่า การอัดขึ้นรูปเตาซูปเปอร์อั้งโล่ด้วยเครื่องจะมีอัตราการผลิตที่สูงมากกว่าการปั้นมือประมาณ 5 – 10 เตาคือชั่วโมงขึ้นอยู่กับความดันลม เนื่องด้วยการปั้นมือจะใช้ลักษณะของแม่พิมพ์ที่ทำด้วยไม้มีอยู่ด้วยกัน 2 ประเภทคือ ประเภทแม่พิมพ์ใน และประเภทแม่พิมพ์นอก โดยทั้งหมดจะต้องมีการนำดินเหนียวมาปะติดและใส่ในแม่พิมพ์ให้เต็มในทุกส่วนของเตาและทำการปาดขอบเพื่อสร้างให้เป็นผนังเตาด้วยมือในทุกกระบวนการจึงมีความล่าช้าค่อนข้างมาก



ภาพที่ 5 อัตราการผลิตเตาซูปเปอร์อั้งโล่

ภาพที่ 6 แสดงปริมาณของพลังงานไฟฟ้าและความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะที่ใช้ในการปั้นเตาซูปเปอร์อั้งโล่ในแต่ละเงื่อนไขของการศึกษา ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ในงานวิจัยนี้พบว่า การเพิ่มความดันลมส่งผลต่อปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าที่เพิ่มมากขึ้นเช่นกัน โดยการเพิ่มความดันลมทุก 15% จะเป็นการเพิ่มปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย 13.35% เนื่องจากการเพิ่มความดันลมสำหรับการอัดขึ้นรูปด้วยเครื่องขึ้นรูปเตาซูปเปอร์อั้งโล่นั้นเป็นการเพิ่มการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้าที่ใช้ในการหมุนปั๊มอัดอากาศทำให้ปริมาณอากาศภายในถังเก็บอากาศ (Storage tank) เพิ่มขึ้นในปริมาตรของถังเก็บอากาศเท่าเดิม ทำให้ความดันลมภายในถังเก็บอากาศเพิ่มมากขึ้นและระบบจะตัด

การทำงานของมอเตอร์เมื่อความดันอากาศในถังเก็บอากาศเท่ากับความดันใช้งานที่ได้ตั้งค่าไว้ โดยปริมาณการผลิตตรงมาตรฐานสามารถแสดงในรูปของความสัมพันธ์พลังงานจำเพาะซึ่งถือเป็นดัชนีที่ใช้สำหรับบ่งชี้สมรรถนะการใช้พลังงานต่อปริมาณการผลิตของเครื่องขึ้นรูปเตาชุบเปอร์อั้งโล่ได้เป็นอย่างดี ผลที่ได้จากการวิเคราะห์พบว่า ความดันลมที่ใช้ในอัดที่ 8 bar จะมีค่าความสัมพันธ์พลังงานจำเพาะน้อยที่สุดเท่ากับ 1.40 MJ/เตา ถัดมาคือ 1.60 MJ/เตา และ 1.80 MJ/เตา ที่ความดันลมเท่ากับ 7 bar และ 6 bar ตามลำดับ โดยการเพิ่มขึ้นของความดันลมทุก 15% จะสามารถเพิ่มปริมาณการผลิตเตาชุบเปอร์อั้งโล่ตรงตามมาตรฐานเฉลี่ยเท่ากับ 29.17% ด้วยเหตุนี้จึงส่งผลให้ความสัมพันธ์พลังงานจำเพาะในกรณีความดันลมเท่ากับ 8 bar จึงมีค่ามากที่สุด

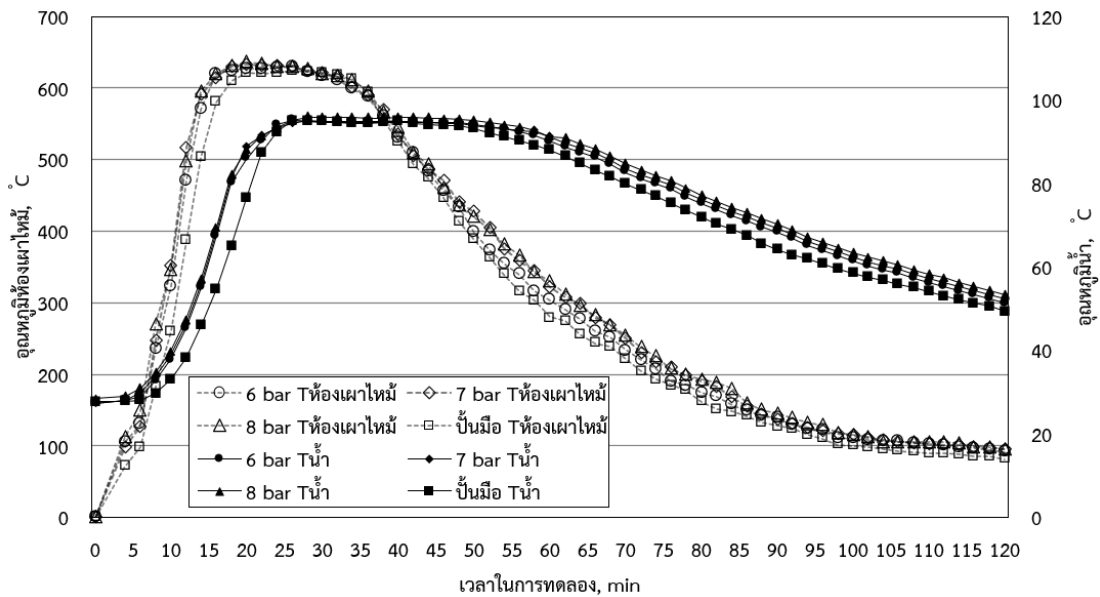


ภาพที่ 6 พลังงานไฟฟ้า และความสัมพันธ์พลังงานจำเพาะที่ใช้ในการปั้นเตาชุบเปอร์อั้งโล่

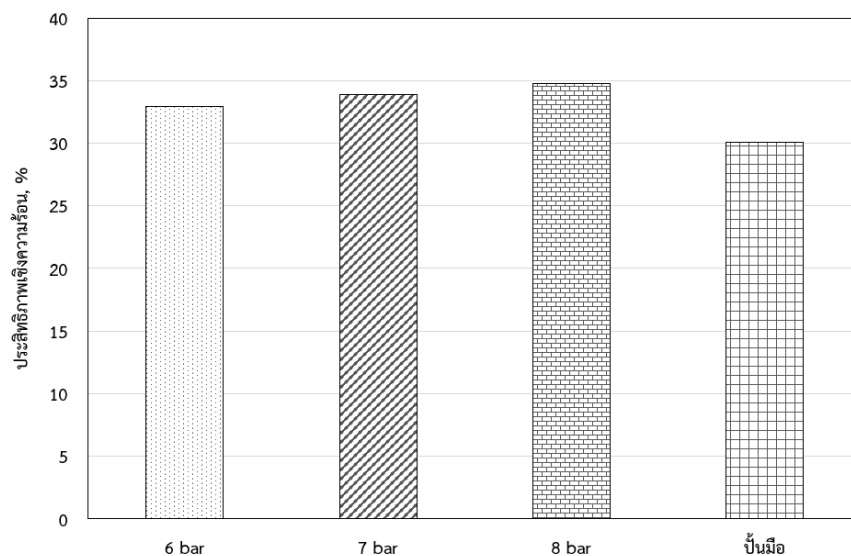
ภาพที่ 7 แสดงอุณหภูมิของน้ำและทองเผาไหม้ด้วยวิธีการต้มน้ำเดือด (WBT) ของเตาที่ปั้นด้วยเครื่องขึ้นรูปเตาชุบเปอร์อั้งโล่และปั้นมือ เมื่อพิจารณาอุณหภูมิของน้ำของทั้งสองกรณีจะพบว่า มีค่าค่อนข้างใกล้เคียงกันกล่าวคือ ลักษณะการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมของการเพิ่มขึ้นและลดลงของอุณหภูมิในแต่ละช่วงมีลักษณะที่คล้ายคลึงกัน แต่จะมีความแตกต่างเพียงเล็กน้อยสำหรับในตำแหน่งของการเปลี่ยนแปลงจากช่วงให้ความร้อน (Heating) เป็นช่วงระดับกำลังหรือช่วงการทำงานสูงสุด (High power) โดยพบว่ากรณีเตาชุบเปอร์อั้งโล่ที่อัดขึ้นรูปด้วยเครื่องจะมีการเปลี่ยนแปลงช่วงให้ความร้อนเป็นช่วงระดับกำลังเร็วกว่ากรณีการปั้นมือเฉลี่ยประมาณ 5 นาที กล่าวอีกนัยหนึ่งคือความสามารถในการให้ความร้อนเพื่อทำให้น้ำเดือด (Boil temperature) ของเตาชุบเปอร์อั้งโล่ที่ได้จากอัดขึ้นรูปด้วยเครื่องมากกว่ากรณีการปั้นด้วยมือ (Hailu, 2022) เนื่องด้วยการอัดขึ้นรูปเตาชุบเปอร์อั้งโล่ด้วยเครื่องจะเพิ่มความหนาแน่นดินเหนียวของเตามากกว่ากรณีการนำดินเหนียวปะติดแม่พิมพ์ด้วยมือ ส่งผลต่อความสามารถในการถ่ายเทความร้อนไปยังส่วนอื่นของเตากล่าวคือ กรณีอัด

ขึ้นรูปเตาด้วยเครื่องทำให้ผนังเตาในทุกส่วนมีความหนาแน่นของดินเหนียวในระดับสูงสังเกตได้จากปริมาณการหดตัวของเตาชุบเปอร์อั้งโล่หลังการเผาจะพบว่า กรณีการอัดขึ้นรูปเตาด้วยเครื่องจะมีการหดตัวน้อยกว่าการปั้นด้วยมือ โดยผลจากการศึกษาพบว่าค่าการหดตัวของเตากรณีอัดขึ้นรูปด้วยเครื่องเฉลี่ยประมาณ 5 – 8% และปั้นด้วยมือเฉลี่ยประมาณ 15 – 18% จากเหตุผลดังกล่าวสำหรับกรณีการปั้นด้วยมือทำให้ความสามารถในการถ่ายเทความร้อนจากห้องเผาไหม้ไปยังส่วนต่างๆ ของเตาและสูญเสียสู่ภายนอกมากกว่ากรณีการอัดขึ้นรูปด้วยเครื่อง จึงเป็นเหตุให้ผลที่ได้ดังแสดงในภาพที่ 8 ทั้งนี้เหตุผลดังกล่าวมีความเชื่อมโยงกับกรณีของอุณหภูมิห้องเผาไหม้ในภาพดังกล่าวด้วยเช่นกัน

จากผลที่เกิดขึ้นในภาพที่ 7 สามารถแสดงความสัมพันธ์ของประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาชุบเปอร์อั้งโล่ในแต่ละเงื่อนไขที่ศึกษาดังภาพที่ 8 จะพบได้ว่า ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาชุบเปอร์อั้งโล่มากที่สุดคือ 34.79% ในกรณีของการใช้เครื่องขึ้นรูปเตาชุบเปอร์อั้งโล่และความดันลมเท่ากับ 8 bar รองลงมาคือ 33.86%, 32.95% และ 30.05% ในกรณีของความดันลม 7 bar, 6 bar และปั้นด้วยมือ ตามลำดับ (Ayele & Eneyew, 2022; Neka *et al.*, 2021; Bentson *et al.*, 2022) ซึ่งเหตุผลเนื่องด้วยความหนาแน่นของดินเหนียวของเตาที่เกิดขึ้นจากกระบวนการอัดขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดที่มากกว่าการปั้นด้วยมือดังได้กล่าวแล้วข้างต้น ประกอบกับสามารถพิจารณาเพื่อให้เห็นความสอดคล้องของผลดังกล่าวเพิ่มมากยิ่งขึ้นด้วยสมการประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาหุงต้มสมการที่ 4 คือ $\eta = \frac{[M_{w,l} \times C_p \times (T_{boil} - T_i)] + M_{w,evap} \times H_w}{[M_f \times H_f]} \times 100\%$ จะพบได้ว่า พจน์ของสมการที่มีค่าที่มีค่าใกล้เคียงกันสำหรับกรณีของการใช้เครื่องขึ้นรูปและปั้นด้วยมือคือ พลังงานของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิน้ำ ($[M_{w,l} \times C_p \times (T_{boil} - T_i)]$) หรือเรียกว่า Sensible heat ส่วนพลังงานที่มีความแตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัดลำดับแรกคือ พลังงานของการระเหยกลายเป็นไอ ($M_{w,evap} \times H_w$) หรือเรียกว่า Latent heat เนื่องจากจะคำนวณจากปริมาณน้ำที่ยังคงเหลือในหม้อต้ม ซึ่งพบว่าปริมาณน้ำที่เหลือจากเตาที่อัดขึ้นรูปด้วยเครื่องขึ้นรูปเตาชุบเปอร์อั้งโล่มีค่าน้อยกว่าเตาชุบเปอร์อั้งโล่ที่ปั้นด้วยมือ ผลดังกล่าวแสดงให้เห็นถึงสมรรถนะของเตาที่มีความสามารถในการระเหยน้ำได้มากกว่า และส่วนของพลังงานที่มีความแตกต่างอย่างเห็นได้ชัดลำดับที่สองคือ พลังงานที่เกิดจากการเผาไหม้ถ่านเพื่อให้ความร้อนแก่หม้อต้ม ($M_f \times H_f$) ซึ่งจากการทดลองจะพบว่า ถ่านที่เหลือหลังจากการทดสอบ WBT ในกรณีของเตาที่อัดขึ้นรูปด้วยเครื่องขึ้นรูปเตาชุบเปอร์อั้งโล่จะเหลือมากกว่าเตาที่ปั้นด้วยมือ ผลดังกล่าวสามารถแสดงให้เห็นถึงสมรรถนะของเตาที่ใช้พลังงานสำหรับการต้มที่น้อยอย่างเห็นได้ชัด (Mekonnen *et al.*, 2022; Neka *et al.*, 2021) ด้วยเหตุผลที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้นจึงเป็นสาเหตุทำให้ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาชุบเปอร์อั้งโล่ที่อัดขึ้นรูปด้วยเครื่องขึ้นรูปเตาชุบเปอร์อั้งโล่ที่ใช้ความดันลมเท่ากับ 8 bar มีค่ามากที่สุด



ภาพที่ 7 อุณหภูมิของน้ำและห้องเผาไหม้สำหรับวิธีการต้มน้ำเดือด (WBT) ของเตาที่อัดขึ้นรูปด้วยเครื่องขึ้นรูปเตาซูเปอร์อัลลอยและปั๊มมือ

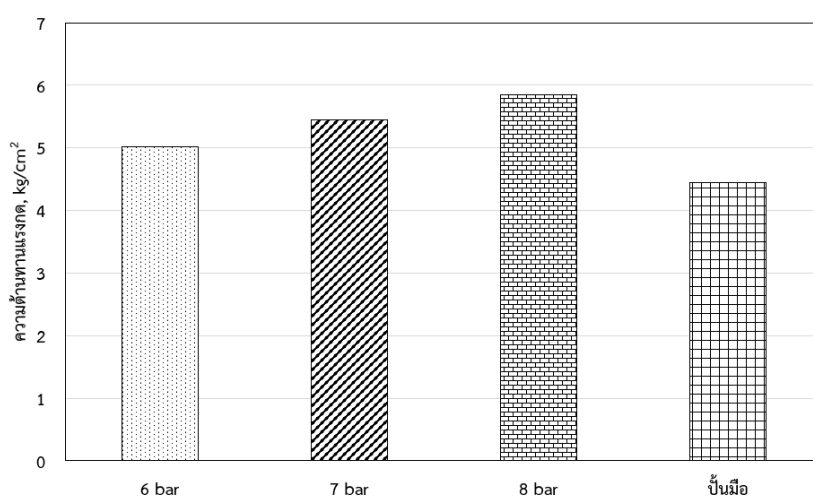


ภาพที่ 8 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาซูเปอร์อัลลอยในแต่ละเงื่อนไขที่ศึกษา

ภาพที่ 9 แสดงความต้านทานแรงกดของเตาซูเปอร์อัลลอยในแต่ละเงื่อนไขที่ศึกษา ผลที่ได้จากการศึกษาพบว่า การเพิ่มขึ้นของความดันในการอัดขึ้นรูปส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของความต้านทานแรงกดของเตาซูเปอร์อัลลอย หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งคือ ผนังเตาซูเปอร์อัลลอยที่อัดขึ้นรูปด้วยเครื่องขึ้นรูปเตาซูเปอร์อัลลอยที่มีความดัน 8 bar จะมีความแข็งแรงมากที่สุดเท่ากับ 5.85 kg/cm^2 รองลงมาคือ 5.44 kg/cm^2 , 5.01 kg/cm^2 และ 4.45 kg/cm^2 ในกรณีของการอัดขึ้นรูปด้วยเครื่องที่

ความดันลม 7 bar, 6 bar และป็นด้วยมือ ตามลำดับ เนื่องจากปริมาณความหนาแน่นของดินเหนียวที่อัดขึ้นด้วยเครื่อง

สำหรับภาพที่ 7 – 9 ที่ได้นำเสนอแล้วในข้างต้นพบว่าเป็นผลที่เกิดขึ้นจากการทดสอบเพื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติของเตาชุบเปอร์อั้งโล่ที่ได้จากการอัดขึ้นรูปด้วยเครื่องขึ้นรูปเตาชุบเปอร์อั้งโล่กับเตาชุบเปอร์อั้งโล่ที่ป็นด้วยมือ โดยผลที่ได้นี้มีความสอดคล้องกับสมรรถนะของเครื่องขึ้นรูปเตาชุบเปอร์อั้งโล่ที่ได้ทำการศึกษา กล่าวคือหากคุณสมบัติของเตาชุบเปอร์อั้งโล่ที่ได้ทดสอบอยู่ในระดับดีแล้วนั้นสามารถยังผลถึงสมรรถนะของเครื่องขึ้นรูปเตาชุบเปอร์อั้งโล่ที่อยู่ในระดับดีเช่นเดียวกัน



ภาพที่ 9 ความต้านทานแรงกดของเตาชุบเปอร์อั้งโล่ในแต่ละเงื่อนไขที่ศึกษา

5. สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาสมรรถนะการขึ้นรูปเตาชุบเปอร์อั้งโล่ที่ใช้เครื่องขึ้นรูปเตาชุบเปอร์อั้งโล่ และทำการศึกษาเพื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติของเตาชุบเปอร์อั้งโล่ที่อัดขึ้นรูปด้วยเครื่องขึ้นรูปเตาชุบเปอร์อั้งโล่และการป็นด้วยมือ ผลที่ได้จากการศึกษาพบว่า การเพิ่มความดันลมในการอัดขึ้นรูปสามารถเพิ่มสมรรถนะเครื่องขึ้นรูปเตาชุบเปอร์อั้งโล่ได้ และยังพบอีกว่าที่ความดันลมในการอัดขึ้นรูปเท่ากับ 8 bar จะมีอัตราการผลิตเตา ประสิทธิภาพเชิงความร้อน รวมทั้งคุณสมบัติของเตาชุบเปอร์อั้งโล่ที่ได้ทำการทดสอบประกอบด้วยความต้านทานแรงกดสูงที่สุด ในขณะที่ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะต่ำ

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสุรินทร์ ที่สนับสนุนทุนและอุปกรณ์ในการวิจัยในครั้งนี้

7. เอกสารอ้างอิง

- Ayele, L., & Eneyew, Y. (2022). Experimental investigation on renovation of locally manufactured electrical cooking stove. **Case Studies in Thermal Engineering**, 30, 101712. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.csite.2021.101712>
- Aziz, S., Barua, S. & Chowdhury, S.A. (2022). Cooking energy use in Bangladesh: Evidence from technology and fuel Choice. **Energy**, 250, 123696. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.123696>
- Bentson, S., Evitt, D., Still, D., Lieberman, D. & MacCarty, N. (2022). Retrofitting stoves with forced jets of primary air improves speed, emissions, and efficiency: Evidence from six types of biomass cookstoves. **Energy for Sustainable Development**, 71, 104–117.
- Bonsu, B.O., Takase, M. & Mantey, J. (2020). Preparation of charcoal briquette from palm kernel shells: case study in Ghana. **Heliyon**, 6, e05266. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e05266>
- Das, D.K., Islam, M.S., Dutta, C.B., Hassan., M.M. & Hossen, S.S. (2021). Is there any demand for improved cooking stoves? Evidence from Bangladesh. **Journal of Environmental Management**, 298, 113412. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113412>
- Duong, V.M., Flener, U., Hrbek, J., & Hofbauer, H. (2022). Emission characteristics from the combustion of Acacia Mangium in the automatic feeding pellet stove. **Renewable Energy**, 186, 183-194.
- Hailu, A. (2022). Development and performance analysis of top lit updraft: natural draft gasifier stoves with various feed stocks. **Heliyon**, 8, e10163. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e10163>
- Hakam, D.F., Nugraha, H., Wicaksono, A., Rahadi, R.A. & Kanugrahan, A.P. (2022). Mega conversion from LPG to induction stove to achieve Indonesia's clean energy transition. **Energy Strategy Reviews**, 41, 100856. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.esr.2022.100856>
- Kshirsagar, M.P., & Kalamkar, V.R. (2020). Application of multi-response robust parameter design for performance optimization of a hybrid draft biomass cook stove. **Renewable Energy**, 153, 1127-1139.

- Kurth, R., Bergmann, M., Tehel, R., Dix, M. & Putz, M. (2021). Cognitive clamping geometries for monitoring elastic deformation in forming machines and processes. **CIRP Annals - Manufacturing Technology**, 70, 235-238.
- Manatura, K. (2021). Novel performance study of recirculated pyro-gas carbonizer for charcoal production. **Energy for Sustainable Development**, 64, 8–14.
- Mekonnen, A., Beyene, A., Bluffstone, R., Gebreegziabher, Z., Martinsson, P., Toman, M., & Vieider, F. (2022). Do improved biomass cookstoves reduce fuelwood consumption and carbon emissions? Evidence from a field experiment in rural Ethiopia. **Ecological Economics**, 198, 107467. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2022.107467>
- Nega, D.T, Yirgu, B.M., & Demissie, S.W. (2021). Improved biogas ‘Injera’ bakery stove design, assemble and its baking pan floor temperature distribution test. **Energy for Sustainable Development**, 61, 65–73.
- Okolie, P.C., Obika, E.N., Oluwadare, B.S., Ezenwa, O.N. & Udensi, C.S. (2020). Steel work design and analysis of a 40-ton constant temperature hydraulic press. **Heliyon**, 6, e04783. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04783>
- Otieno, A.O., Home, P.G., Raude, A.M., Murunga, S.I. & Gachanja, A. (2022). Heating and emission characteristics from combustion of charcoal and co-combustion of charcoal with faecal char-sawdust char briquettes in a ceramic cook stove. **Heliyon**, 8, e10272. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e10272>
- Raz, K., Kubec, V. & Cechura, M. (2014). Dynamic Behavior of the Hydraulic Press for Free Forging. **Procedia Engineering**, 100, 885–890.
- Roubík, H., & Mazancova, J. (2019). Small-scale biogas plants in central Vietnam and biogas appliances with a focus on a flue gas analysis of biogas cook stoves. **Renewable Energy**, 131, 1138-1145.
- Sakdanuphab, R., & Sakulkalavek, A. (2017). Design, empirical modelling and analysis of a waste-heat recovery system coupled to a traditional cooking stove. **Energy Conversion and Management**, 139, 182–193.
- Tumutegyereize, P., Muwanguzi, S., Ayaa, F., Kizito, S. & Wanyama, J. (2021). Effect of thermal shock on the grates of improved charcoal cook-stoves made from different materials. **Energy for Sustainable Development**, 64, 59–64.



- Wassie, Y.T., & Adaramola, M.S. (2021). Analysis of potential fuel savings, economic and environmental effects of improved biomass cookstoves in rural Ethiopia. **Journal of Cleaner Production**, 280, 124700. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124700>
- Yayeh, T., Guadie, A. & Gatew, S. (2021). Adoption and fuel use efficiency of mirt stove in Dilla district, southern Ethiopia. **Cleaner Engineering and Technology**, 4, 100207. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.clet.2021.100207>

เครื่องคัดแยกขยะรีไซเคิลด้วยการประมวลผลภาพ RECYCLABLE WASTE SORTING MACHINE WITH IMAGE PROCESSING

ธนโชติ ภาชนะชัย¹, จักรกริช ปานเงิน¹, กรรณิการ์ คณงาม¹, วรชัย ศรีสมุดคำ¹, วาสนา วงศ์ษา^{1*}

Thanachot Phachanai¹, Chakkrit Panngoen¹, Kannika Khonngam¹,

Worachai Srisamoodkham¹, Wassana Wongs^{1*}

¹ คณะเทคโนโลยีการเกษตรและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ อ.เมือง จ.เพชรบูรณ์ ประเทศไทย 67000

¹Faculty of Agricultural Technology and Industrial Technology, Phetchabun Rajabhat University, Muang,
Phetchabun, Thailand, 67000

*Corresponding author e-mail: wassanaw@pcru.ac.th

วันที่เข้าระบบ 6 กันยายน 2565

วันที่แก้ไขบทความ 1 พฤศจิกายน 2565

วันที่ตอบรับบทความ 1 พฤศจิกายน 2565

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างและทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องคัดแยกขยะรีไซเคิลด้วยการประมวลผลภาพ ให้สามารถควบคุมการคัดแยกขยะรีไซเคิล 4 ประเภทได้แก่ กระป๋อง ขวดแก้ว กล่องกระดาษ และขวดพลาสติก พร้อมทำการแจ้งเตือนผ่านแอปพลิเคชันเมื่อถึงขยะใกล้เต็ม ระบบประกอบด้วยกล้อง IMILAB Webcam รับภาพวัตถุแบบเรียลไทม์เชื่อมต่อกับ Raspberry Pi4 Model B เพื่อทำการประมวลผลการจำแนกขยะด้วยโมเดลของ YOLOv5 ที่ผ่านการฝึกสอนด้วยชุดข้อมูลภาพ 1,321 ภาพ 250 รอบ มีค่า mAP50% 0.995, Recall 0.995, Precision 0.999 และค่า F-measure 0.997 โดยเชื่อมต่อกับ Module L298N ในการควบคุมตำแหน่งการหมุนของสเต็ปมอเตอร์ไปยังถังขยะเอาต์พุตและควบคุมเซอร์โวมอเตอร์ในการเทขยะลงถังขยะแต่ละประเภท ผลการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานพบว่าสามารถคัดแยกขยะได้ถูกต้องตามประเภทคิดเป็น 98.33% ผลลัพธ์ค่าช่วงความเชื่อมั่น (Confidence interval) อยู่ในช่วง 0.50 - 0.97 ผลทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของฮาร์ดแวร์ในการแยกขยะไปยังถังขยะเอาต์พุตแต่ละประเภทด้วยสเต็ปมอเตอร์และเซอร์โวมอเตอร์ และการแจ้งเตือนเมื่อถึงขยะใกล้เต็มถึงผ่านแอปพลิเคชันสามารถทำงานได้ถูกต้อง 100%

คำสำคัญ: เครื่องคัดแยกขยะ, การประมวลผลภาพ, การคัดแยกวัตถุ, โครงข่ายประสาทเทียมคอนโวลูชัน

Abstract

This research aimed to establish and test the performance of a recyclable waste sorting machine with image processing to provide control over the sorting of 4 types of recyclable waste: cans, glass bottles, carton boxes, and plastic bottles, and to give notification via LINE application when the bin was almost full. The system consisted of an IMILAB Webcam camera, receiving real-time images of objects, connected to the Raspberry Pi4 Model B to process waste classification with YOLOv5's model, which was trained with data sets of 1,321 images for 250 epochs. It had a mAP50% value of 0.995, recall 0.995, precision 0.999, and F-measure 0.997. This machine was connected to Module L298N to control the rotation position of the step motor to the output bin and control the servo motor to pour waste into each type of bin. The performance test results of the machines showed that the correct sorting of waste by type was with 98.33% accuracy, and the confidence interval results in the range of 0.50 - 0.97. Furthermore, the results of the test the performance of the hardware in separating waste to each type of output bin with step motor and servo motor and the notification system when the bin was nearly full via the LINE application could work 100% correctly.

Keywords: Waste sorting machine, Image processing, Object classification, Convolution neural networks

1. บทนำ

ขยะเป็นปัญหาที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ขยะสามารถแบ่งได้หลายประเภท โดยขยะแต่ละประเภทนั้นก็มีความแตกต่างกันออกไป ปัจจุบันประเทศไทยมีปริมาณขยะสูงขึ้นต่อเนื่องทุกปี จากรายงานสถานการณ์ขยะมูลฝอยชุมชนของประเทศไทยปี 2563 พบว่ามีปริมาณขยะพลาสติกเกิดขึ้นในช่วงสถานการณ์การแพร่ระบาดฯ ประมาณ 6,300 ตัน/วัน เพิ่มขึ้นประมาณร้อยละ 15 จากในช่วงสถานการณ์ปกติมีขยะพลาสติกประมาณ 5,500 ตัน/วัน (ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร, 2564) ปัจจุบันประเทศไทยมีการประดิษฐ์เครื่องคัดแยกขยะอัตโนมัติเป็นจำนวนมาก ซึ่งหนึ่งในเครื่องคัดแยกขยะที่พัฒนาขึ้นโดยคุณสรณ์ และคณะ (2562) เป็นต้นแบบเครื่องคัดแยกขวดอัตโนมัติที่ใช้สัญญาณเซนเซอร์วัดค่าน้ำหนักและเซนเซอร์ตรวจจับโลหะเพื่อแยกขยะขวดพลาสติก ขวดแก้ว และกระป๋อง จากงานวิจัยที่มีการนำเทคโนโลยีการรู้จำภาพวัตถุมาใช้ร่วมกับกล้องตามชุมชนของณัฐนันท์ และคณะ (2563) ได้พัฒนาเป็นระบบตรวจจับและคัดแยกขยะด้วยการประมวลผลภาพโดยใช้การ

ตรวจจับภาพถุงขยะสีดำ ปัจจุบันภายในมหาวิทยาลัยมีปริมาณขยะเพิ่มขึ้น จากการสังเกตขยะส่วนใหญ่เป็นบรรจุภัณฑ์ประเภทขวดและกล่องเครื่องดื่มที่ถูกทิ้งปะปนกับขยะอื่นๆ และยังไม่มีมีการใช้เทคโนโลยีในการคัดแยกประเภทของขยะเพื่อให้สามารถนำขยะกลับไปรีไซเคิลได้ ทางคณะผู้จัดทำจึงมีวิธีการที่แตกต่างจากวิธีดังที่กล่าวมาซึ่งจะใช้กระบวนการจัดการและวิเคราะห์รูปภาพให้เป็นข้อมูลในแบบดิจิทัล โดยใช้คอมพิวเตอร์ในการประมวลผลเพื่อให้ได้ข้อมูลที่เราต้องการในเชิงคุณภาพและปริมาณ ทั้งขนาดและรูปร่างเป็นการแยกขยะด้วยการประมวลผลภาพและการเรียนรู้ของเครื่องซึ่งมีการนำมาใช้ในปัจจุบันดังเช่น การสร้างระบบตรวจจับบุคคลแบบเวลาจริงราคาประหยัดบน Raspberry Pi โดยประยุกต์อัลกอริทึม Tiny YOLO V3 (ปราโมทย์ และคณะ, 2562). ซึ่งระบบมีประสิทธิภาพด้านความแม่นยำในการนับจำนวนเมื่อเทียบกับจำนวนบุคคลจริงทั้งหมด และการใช้โครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชันทำนายภาษากายของคนสำหรับควบคุมหุ่นยนต์ขับเคลื่อนสองล้อ (ดำรงศักดิ์ และคณะ, 2565). ใช้เวลาในการประมวลผลแต่ละภาพโดยเฉลี่ย 0.05 วินาที มีความถูกต้อง 80 เปอร์เซ็นต์ แนวทางการประยุกต์ใช้อัลกอริทึม YOLO ที่มีความสามารถในการจำแนกวัตถุอย่างแม่นยำและรวดเร็วมาพัฒนาระบบให้สามารถคัดแยกขยะที่จะนำไปรีไซเคิลแต่ละประเภทออกมา คือ ขวดพลาสติก ขวดแก้ว กระป๋องโลหะ และกล่องกระดาษ เพื่อตอบสนองความต้องการในการคัดแยกขยะภายในบริเวณอาคารเรียนของสาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์อย่างเป็นระบบ

ดังนั้นผู้จัดทำจึงได้มีแนวคิดที่จะจัดทำเครื่องคัดแยกขยะรีไซเคิลด้วยการประมวลผลภาพ โดยระบบคัดแยกขยะที่พัฒนาขึ้นประกอบไปด้วยซอฟต์แวร์การประมวลผลภาพโดยการประยุกต์ใช้เทคนิคของ YOLOv5 ในการคัดแยกวัตถุและฮาร์ดแวร์ส่วนที่เป็นอุปกรณ์รับภาพเป็นส่วนตรวจจับวัตถุที่ถูกหย่อนลงมาในกล่องรับขยะว่าเป็นขยะประเภทใด แล้วจึงใช้สเต็ปมอเตอร์หมุนและเซอร์โวมอเตอร์เทวัดวัตถุไปยังถังขยะรีไซเคิลที่ได้จัดเตรียมเอาไว้แต่ละประเภท เพื่อลดเวลาในการคัดแยกขยะด้วยมือและสามารถนำขยะกลับไปทำการรีไซเคิลได้ทันที ช่วยให้มีการคัดแยกขยะอย่างเป็นระบบปลอดภัยต่อผู้คัดแยกขยะ ส่งเสริมสิ่งแวดล้อม และลดเวลาในการคัดแยกขยะของสาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ได้

2. วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 2.1 เพื่อสร้างเครื่องคัดแยกขยะรีไซเคิลด้วยวิธีการประมวลผลภาพ
- 2.2 เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องคัดแยกขยะรีไซเคิลด้วยการประมวลผลภาพ

3. วิธีดำเนินงานวิจัย

คณะผู้จัดทำได้ทำการศึกษาและเก็บรวบรวมข้อมูลโดยมีทฤษฎีพื้นฐานดังนี้

3.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

3.1.1 ทฤษฎีการประมวลผลภาพ (Image processing) เป็นกระบวนการจัดการและวิเคราะห์รูปภาพให้เป็นข้อมูลในแบบดิจิทัล โดยการใช้คอมพิวเตอร์เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ต้องการทั้งในเชิงคุณภาพและปริมาณ (บุญธรรม, 2556) ในการกรองข้อมูลภาพ (Image filtering) เป็นการนำภาพต้นฉบับผ่านตัวกรองสัญญาณเพื่อให้ได้ภาพผลลัพธ์ออกมาโดยจะใช้วิธีการประมวลผลภาพแบบบริเวณเรียกว่า การคอนโวลูชัน ซึ่งคือการกระทำระหว่างภาพกับมาสก์ที่เป็นเมทริกซ์ขนาด $n \times m$ ของชุดตัวเลขเพื่อนำไปซ้อนทับภาพที่ตำแหน่งต่างๆ และหาผลลัพธ์ของการคอนโวลูชันได้จากผลรวมของผลคูณระหว่างค่าสัมประสิทธิ์ (Coefficients) ในมาสก์กับค่าระดับความเข้มเทาของแต่ละจุดภาพในตำแหน่งที่ตรงกันแบบจุดต่อจุดโดยให้มาสก์เคลื่อนผ่านตลอดทั้งภาพ (สมเกียรติ, 2554)

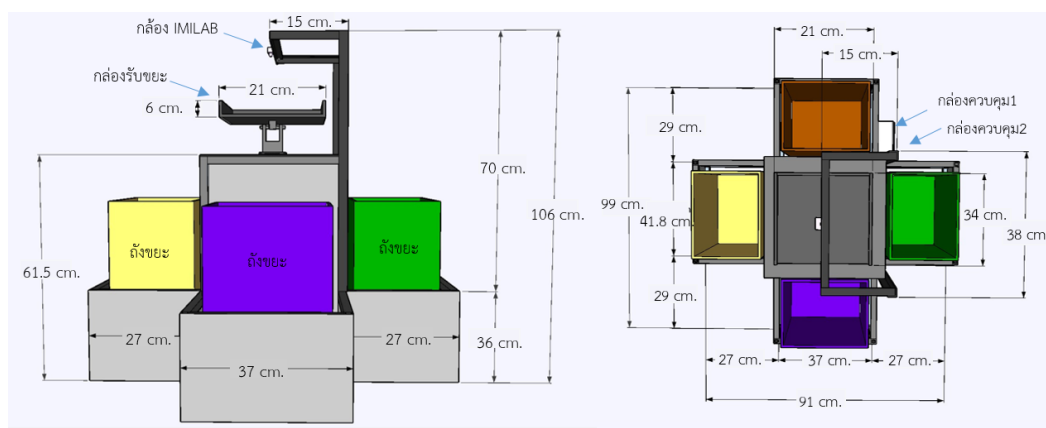
3.1.2 ทฤษฎี Machine learning คือ การเรียนรู้ของเครื่องเป็นองค์ประกอบหนึ่งของปัญญาประดิษฐ์ เป็นส่วนที่ใช้ในการคิดและตัดสินใจหรือเป็นอัลกอริทึมของ AI (ปัญญา, 2564) หลักการทํานายผลของ Machine learning คือ การทํานายผลเพื่อใช้ในการตัดสินใจโดยอาศัยการเรียนรู้แบบแนวคิดจากมนุษย์ โดยอาศัยวิธีการคิดทางคณิตศาสตร์และสถิติในการสร้างแบบจำลองหรือโมเดลจากการนำชุดข้อมูลตัวอย่าง (Data set) ที่มีอยู่เพื่อใช้ทำนายผลและตัดสินใจ ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จะมีความแม่นยำเพิ่มมากขึ้นหากจำนวนข้อมูลที่มีอยู่มากเพียงพอ โดยโมเดลแบ่งเป็น 3 ประเภทได้แก่ Supervised learning, Unsupervised learning และ Reinforcement learning

3.1.3 YOLO เป็นอัลกอริทึมที่ใช้หลักการโครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชันสามารถทำการสกัดคุณลักษณะพิเศษของรูปภาพ และการจำแนกประเภทของวัตถุ การประมวลผลภาพด้วย YOLO นั้นง่ายและตรงไปตรงมา (Redmon *et al.*, 2016) แนวคิดหลักคือการแบ่งภาพอินพุตออกเป็นตารางขนาด $S \times S$ และทำการตรวจจับในแต่ละเซลล์กริดเพื่อทำนายกล่องขอบเขต (Boundary box) ล้อมรอบวัตถุและแสดงค่าความเชื่อมั่น (Confidence score) ของกล่องขอบเขตนี้ ซึ่งสามารถสะท้อนได้ว่ามีวัตถุในคลาสนั้นๆ อยู่ในเซลล์กริดนี้หรือไม่ จากความน่าจะเป็นของวัตถุที่ปรากฏบนพื้นที่นั้นๆ โดยคำนวณจากค่า Intersection over union (IoU) ของอัตราส่วนระหว่างพื้นที่ซ้อนทับกับพื้นที่รวม (ปราโมทย์ และคณะ, 2562) ปัจจุบัน YOLOv5 มีหลายรุ่นซึ่งแตกต่างกันไปตามขนาดพารามิเตอร์ โดยได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่องทำการตรวจจับวัตถุได้อย่างมีประสิทธิภาพทั้งความเร็วและความแม่นยำ รวมทั้งไฟล์น้ำหนักที่มีขนาดเล็กสามารถนำไปใช้กับอุปกรณ์ระบบฝังตัวได้ง่ายมากขึ้น

3.2 การวางแผนและขั้นตอนการดำเนินการวิจัย มีดังนี้

3.2.1 การออกแบบด้านโครงสร้างของเครื่องคัดแยกขยะรีไซเคิล ในการออกแบบโครงสร้างเครื่องคัดแยกขยะรีไซเคิลด้วยการประมวลผลภาพ ซึ่งวัสดุที่ใช้ในการสร้างโครงสร้างของ

เครื่องคัดแยกขยะรีไซเคิลจะใช้เป็นวัสดุประเภทเหล็กกล่องขนาด 1 x 1 นิ้ว ในการขึ้นโครงและใช้แผ่นอะลูมิเนียมในการปิดโครงเหล็ก การออกแบบโครงสร้างแสดงดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 การออกแบบโครงสร้างเครื่องคัดแยกขยะรีไซเคิล

การออกแบบโครงสร้างเครื่องคัดแยกขยะรีไซเคิลด้วยการประมวลผลภาพ ในส่วนโครงสร้างตรงกลางที่ใช้รับน้ำหนักสเต็มมอเตอร์ เซอร์โวมอเตอร์ และกล่องรับขยะ มีความกว้าง 37 เซนติเมตร ความยาว 41 เซนติเมตร ความสูง 65.5 เซนติเมตร บริเวณด้านข้างเป็นโครงสร้างสำหรับบรรจุถังขยะขนาด 6 ลิตร จำนวน 4 โครง

การออกแบบส่วนกล่องควบคุมจำนวน 2 กล่อง กล่องแรกมีความกว้าง 15 เซนติเมตร ความยาว 15 เซนติเมตร ความสูง 7 เซนติเมตร ภายในประกอบด้วยพัดลมระบายความร้อน L298N Motor drive module raspberry Pi 4 model B และเบรคเกอร์ และกล่องที่สองมีความกว้าง 16 เซนติเมตร ความยาว 21 เซนติเมตร ความสูง 10 เซนติเมตร ประกอบด้วย NodeMCU ESP-32 และต่อกับเซนเซอร์อัลตราโซนิกติดตั้งบนขอบถังขยะเพื่อวัดปริมาณขยะ โดยกล่องควบคุมทั้ง 2 กล่องจะติดไว้ที่ด้านข้างของโครงที่บรรจุถังขยะ

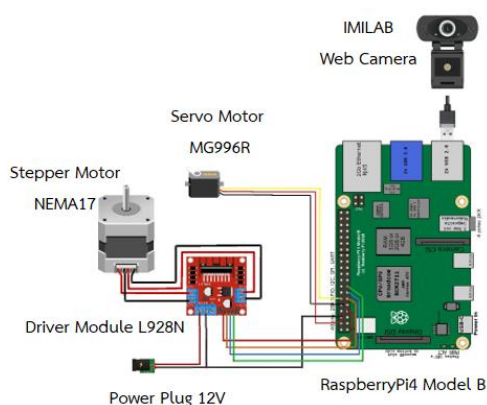
การออกแบบส่วนกล่องรับอินพุตขยะรีไซเคิลที่จะนำมาประมวลผล มีความกว้างขนาด 21 เซนติเมตร ความยาว 34 เซนติเมตร ความสูง 6 เซนติเมตร และติดตั้งกล่องในการรับภาพไปประมวลผลไว้ที่บริเวณด้านบนเหนือกล่องรับขยะ ความสูงของกล่องจากพื้น 106 เซนติเมตร

3.2.2 การออกแบบการทำงานของระบบ

เมื่อนำขยะรีไซเคิลวางบนกล่องอินพุตรับขยะ กล้อง IMILAB webcam จะทำการรับภาพเพื่อส่งไปทำการประมวลผลภาพยัง Raspberry Pi 4 model B ทำการแยกประเภทของขยะ โดยการออกแบบวงจรระบบควบคุมแสดงดังภาพที่ 2 โปรแกรมจะทำการสร้างกรอบบริเวณที่ตรวจพบวัตถุ ติดป้ายชื่อคลาส และค่าแสดง Confidence score สเต็มมอเตอร์ก็จะหมุนไปยังถังขยะตาม

ประเภทที่ตรวจพบ ได้แก่ คลาส Cans คือกระป๋อง คลาส Glass bottle คือ ขวดแก้ว คลาส Paper Box คือกล่องกระดาษ และคลาส Plastic bottle คือ ขวดพลาสติก โดยสแต็ปมอเตอร์ทำการหมุน 0, 90, 180 และ -90 องศา ตามลำดับ เมื่อสแต็ปมอเตอร์หมุนไปถึงถึงขยะแต่ละชนิด เซอร์โวมอเตอร์จะถูกสั่งงานให้เอียงกล่องลงเพื่อเทขยะลงในถังขยะแต่ละประเภท แล้วกลับมายังตำแหน่งเดิมก่อนเท หลังจากนั้นสแต็ปมอเตอร์จะหมุนกลับมายังจุดตำแหน่งเริ่มต้นที่จุด 0 องศา เพื่อทำงานรอบต่อไป

ในส่วนการแจ้งเตือนเมื่อถึงขยะใกล้เต็มโดยการติดตั้งเซนเซอร์อัลตราโซนิกไว้บริเวณด้านบนของถังขยะเพื่อวัดระยะความสูงของปริมาณขยะ และทำการแจ้งเตือนเมื่อมีปริมาณขยะมีความสูงห่างจากขอบบนของถังขยะที่ระยะ 10 เซนติเมตร ระบบจะส่งข้อความแจ้งเตือนผ่าน Line Notify ไปยังกลุ่มแอปพลิเคชันไลน์ของผู้ใช้งาน



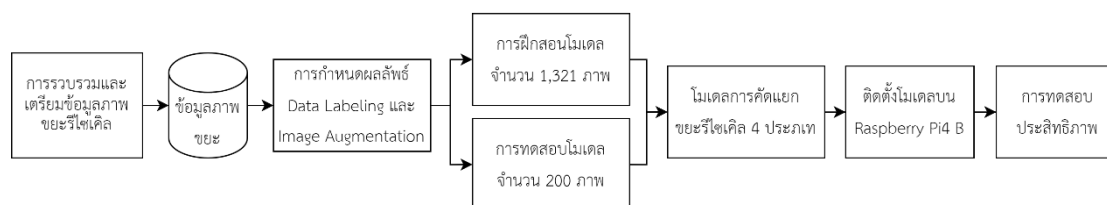
ภาพที่ 2 การออกแบบวงจรระบบควบคุมเครื่องคัดแยกขยะรีไซเคิล

3.2.3 การสร้างโมเดลของเครื่องคัดแยกขยะรีไซเคิลด้วยการประมวลผลภาพ

ในการสร้างโมเดลสำหรับประมวลผลคัดแยกประเภทของขยะรีไซเคิลด้วยอัลกอริทึม YOLOv5x ซึ่งเป็นโมเดลขนาดใหญ่ที่สุดและมีความแม่นยำเฉลี่ย (mAP) 50.7 สูงที่สุดในรุ่นของ YOLOv5 เปรียบเทียบจากการฝึกสอนแบบ Multi-GPU ด้วยชุดข้อมูลภาพ COCO สามารถให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่าและเหมาะสมต่อการใช้งานบนคลาวด์ (Glenn, 2020) กระบวนการสร้างโมเดลดังภาพที่ 3

ขั้นตอนที่ 1 การรวบรวมชุดข้อมูลและจัดเตรียมข้อมูล (Data gathering and collecting) การดึงข้อมูลของเครื่องคัดแยกขยะรีไซเคิล จะมีการดึงข้อมูลจาก Google images โดยใช้การค้นหาภาพขยะรีไซเคิลแต่ละประเภทที่ต้องการนำมาฝึกสอน ตัวอย่างเช่น ถ้าต้องการขยะรีไซเคิลประเภทกระป๋อง สามารถค้นหาคำว่า “กระป๋อง” “กล่องกระดาษ” “ขวดพลาสติก” หรือ “ขวดแก้ว” แล้วบันทึกที่ละรูปไว้ในโฟลเดอร์ของขยะรีไซเคิลแต่ละประเภท การเตรียมข้อมูลโดยชุด

ข้อมูลภาพที่ได้นำมาฝึกสอนทั้งหมด 4 ประเภท คือ กระป๋อง ขวดแก้ว กล่องกระดาษ ขวดพลาสติก รวมรูปภาพทั้งหมด 1,321 ภาพ ตัวอย่างภาพแสดงดังตารางที่ 1



ภาพที่ 3 กระบวนการสร้างโมเดลของเครื่องคัดแยกขยะรีไซเคิลด้วยการประมวลผลภาพ

ตารางที่ 1 แสดงตัวอย่างข้อมูลภาพที่นำมาฝึกสอน

ลำดับที่	ประเภทขยะ	ชื่อคลาส	ตัวอย่างภาพ
1	กระป๋อง	Cans	
2	ขวดแก้ว	Glass bottle	
3	กล่องกระดาษ	Paper box	
4	ขวดพลาสติก	Plastic bottle	

ขั้นตอนที่ 2 การกำหนดผลลัพธ์ (Data labeling) และการทำ Image augmentation ด้วยโปรแกรม Roboflow เมื่อทำการบันทึกภาพที่ต้องการนำมาฝึกสอนจาก Google images ลงในโฟลเดอร์ครบแล้ว จากนั้นจะทำการอัปโหลดไฟล์มาใน Roboflow เพื่อทำการติกรอบและติดป้ายชื่อให้กับภาพที่อัปโหลด จากนั้นทำการ Generating version จำนวน 4 Version จะได้ Image และ Label เพื่อจัดเตรียมไปใช้ในการฝึกสอน YOLOv5 ทำการ Export ไฟล์ที่ทำการ Generating ทั้ง 4 Version เลือก Format เป็น YOLOv5 PyTorch และคลิกเลือก Download zip to computer

ขั้นตอนที่ 3 การสร้างโมเดลและวัดผล (Modeling) การสร้างโมเดลจำแนกภาพขยะรีไซเคิล ขั้นตอนนี้เป็น การนำข้อมูลที่จัดเตรียมไว้มาทำการประมวลผลเพื่อฝึกสอน (Train data) และสร้างโมเดลเพื่อรู้จำและจำแนกภาพขยะรีไซเคิลจำนวน 4 ประเภท โดยประยุกต์ใช้เทคนิคการเรียนรู้เชิงลึกโครงข่ายประสาทเทียมคอนโวลูชัน เพื่อนำภาพไปประยุกต์ใช้ผ่านคอมพิวเตอร์แล็ปท็อป ASUS Vivo book14 Ryzen5 4500U RAM8 SSD512 ใช้เป็นเครื่องมือสำหรับฝึกสอนและสร้างโมเดล

ได้แก่ ไบรารี Open CV และภาษาไพทอน ทำการฝึกสอนด้วยชุดข้อมูลภาพทั้งหมด 1,321 ภาพ 250 รอบ กำหนด 4 คลาสได้แก่ Cans, Glass bottle, Paper box และ Plastic bottle ตามลำดับ และแสดงผลลัพธ์จากการฝึกสอนโมเดลทั้ง 4 คลาสพร้อมกันคือ ความแม่นยำเฉลี่ย (mAP50% all classes) ของทุกคลาส 0.995, ค่าความครบถ้วน (Recall) 0.995, ความแม่นยำ (Precision) 0.999 และค่าประสิทธิภาพโดยรวม (F-measure) 0.997 แสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ตารางแสดงค่า mAP, Recall, Precision และ F-measure ของโมเดล

หมายเลข คลาส	ชื่อคลาส	จำนวนภาพที่ ใช้ฝึกสอน	mAP 50%	mAP 50:95%	Recall	Precision	F-measure
0	Cans	375	0.995	0.956	0.995	0.999	0.997
1	Glass bottle	425	0.995	0.914	0.995	0.999	0.997
2	Paper box	251	0.995	0.927	0.995	0.999	0.997
3	Plastic bottle	270	0.995	0.918	0.995	0.999	0.997

ขั้นตอนที่ 4 การทดสอบโมเดลเครื่องคัดแยกขยะรีไซเคิลด้วยการประมวลผลภาพเมื่อทำการฝึกสอนโมเดลเสร็จแล้วนำภาพขยะรีไซเคิลมาทำการทดสอบซึ่งเป็นภาพชุดข้อมูลเดียวกับภาพที่นำมาฝึกสอนที่เตรียมไว้ทั้งหมด 200 ภาพ แบ่งเป็นประเภทคลาสละ 50 ภาพ มีสัดส่วนของจำนวนภาพระหว่าง Train : Test คือ 86.85 : 13.15 ผลลัพธ์ที่ได้โปรแกรมจะแสดงป้ายชื่อคลาสตามประเภทของขยะ และค่าความเชื่อมั่น (Confidence score) บนภาพเอาต์พุตดังภาพที่ 4 จากการทดสอบโมเดลด้วยภาพ 200 ภาพ จำนวนความถูกต้องแยกตามประเภทแสดงดังตารางที่ 3 มีค่าเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องของการคัดแยกของคลาส Cans 96%, Glass bottle 98%, Paper box 100%, Plastic bottle 100% ตามลำดับ



ภาพที่ 4 ตัวอย่างผลการคัดแยกภาพจากโมเดลที่ฝึกสอน

ตารางที่ 3 ตารางค่าการทดสอบการคัดแยกขยะรีไซเคิล

ประเภท	ชื่อคลาส	จำนวนภาพ ที่ทดสอบ	จำนวนภาพ ที่คัดแยก สำเร็จ	จำนวนภาพ ที่คัดแยกไม่ สำเร็จ	ความถูกต้อง (%)
กระป๋อง	Cans	50	48	2	96%
ขวดแก้ว	Glass bottle	50	49	1	98%
กล่องกระดาษ	Paper box	50	50	0	100%
ขวดพลาสติก	Plastic bottle	50	50	0	100%

4. ผลการวิจัย

การทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องคัดแยกขยะรีไซเคิลด้วยการประมวลผลภาพ โดยการทดลองใช้งานบริเวณอาคารเทคโนโลยีอุตสาหกรรม 18/1 สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ โดยแบ่งเป็นการทดสอบ 3 ส่วนดังนี้

4.1 การทดสอบประสิทธิภาพการคัดแยกขยะของเครื่องคัดแยกขยะรีไซเคิลด้วยการประมวลผลภาพ โดยนำขยะรีไซเคิลในบริเวณอาคารเรียนมาทดสอบครั้งละ 1 ชั้น จำนวน 60 ครั้ง พบว่าระบบสามารถคัดแยกขยะได้ถูกต้องจำนวน 59 ชิ้นจากขยะทั้งสิ้น 60 ชิ้น ค่าเฉลี่ยความถูกต้อง 98.33% และมีค่าช่วงความเชื่อมั่น (Confidence interval) อยู่ระหว่าง 0.50 – 0.97 ซึ่งขยะประเภทกระป๋องมีค่าความเชื่อมั่นมากที่สุดอยู่ที่ 0.97 และขยะประเภทขวดแก้วมีค่าความเชื่อมั่นน้อยที่สุดอยู่ที่ 0.50 คะแนนความเชื่อมั่น (Confidence score) เป็นมาตรฐานในการประเมินผลแสดงความน่าจะเป็นของภาพที่ตรวจพบว่าในขอบเขตนั้นมีวัตถุอยู่และความแม่นยำของการทำนายว่าเป็นวัตถุนั้นๆ ตัวอย่างผลการคัดแยกแสดงดังภาพที่ 5



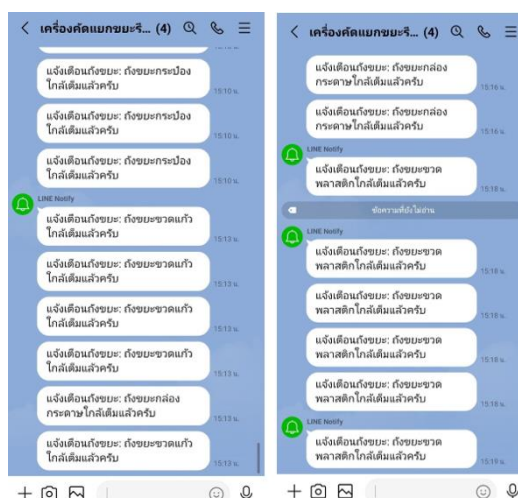
ภาพที่ 5 การทดสอบการคัดแยกขยะของเครื่องคัดแยกขยะรีไซเคิลทั้ง 4 ประเภท

4.2 การทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของสแตมป์มอเตอร์และเซอร์โว โดยการให้ผู้ใช้งานนำขยะรีไซเคิลไปวางบนถาดรับเพื่อทดสอบความถูกต้องของตำแหน่งการหมุนของสแตมป์มอเตอร์และการเทของเซอร์โวมอเตอร์แสดงดังภาพที่ 6 ผลการทดสอบการหมุนจากจุดเริ่มต้นเมื่อเครื่องทำงานของสแตมป์มอเตอร์โดยคลาส Cans หมุน 0 องศา, คลาส Glass bottle หมุน 90 องศา, คลาส Paper box หมุน 180 องศาและ คลาส Plastic bottle หมุน -90 องศา และผลการทดสอบการเทขยะลงถังทั้งหมด 20 ครั้ง มีค่าเฉลี่ยความถูกต้องทั้งหมดคิดเป็น 100%



ภาพที่ 6 การทดสอบการหมุนของของสแตมป์มอเตอร์และการเทของเซอร์โวมอเตอร์

4.3 ผลการทดสอบการแจ้งเตือนของเครื่องคัดแยกขยะรีไซเคิล โดยการติดตั้งเซนเซอร์อัลตราโซนิกตรวจจับความสูงของปริมาณขยะในถังที่ระยะ 10 เซนติเมตรจากขอบถังขยะด้านบน ให้ทำการส่งข้อความแจ้งเตือนเมื่อถึงขยะใกล้เต็มถึงไปยังกลุ่มการแจ้งเตือนในแอปพลิเคชันไลน์ของผู้ใช้งาน ดังภาพที่ 7 ทำการทดสอบทั้งหมด 12 ครั้ง ค่าเฉลี่ยความถูกต้องของระบบแจ้งเตือนเมื่อถึงขยะใกล้เต็มคิดเป็น 100%



ภาพที่ 7 การส่งข้อความแจ้งเตือนเมื่อถึงขยะใกล้เต็มไปยังแอปพลิเคชันไลน์ของผู้ใช้งาน

5. สรุปผลและการอภิปรายผล

5.1 สรุปผล

งานวิจัยนี้เป็นการสร้างเครื่องคัดแยกขยะรีไซเคิลด้วยการประมวลผลภาพ โดยสามารถรับอินพุตภาพจากกล้อง IMILAB camera เพื่อทำการประมวลผลภาพได้แบบเรียลไทม์โดยใช้เทคนิคการคัดแยกภาพด้วยอัลกอริทึม YOLOv5x ในการฝึกสอนโมเดลด้วยชุดข้อมูลภาพ 1,321 ภาพ 250 รอบ มีค่า mAP50% 0.995, Recall 0.995, Precision 0.999 และค่า F-measure 0.997 ซึ่งมีความรวดเร็วในการวิเคราะห์ข้อมูลและมีส่วนฮาร์ดแวร์ควบคุมการคัดแยกขยะแต่ละประเภทแบบอัตโนมัติให้พร้อมต่อการนำไปรีไซเคิล ระบบสามารถทำงานได้อย่างถูกต้องทุกฟังก์ชัน ผลการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องคัดแยกขยะรีไซเคิลด้วยการประมวลผลภาพ มีค่าเฉลี่ยความถูกต้อง 98.33% สามารถคัดแยกขยะรีไซเคิลได้ 4 ประเภทตามโมเดลที่ฝึกสอน สเต็ปมอเตอร์และเซอร์โวให้สามารถหมุนและเทขยะลงยังถังขยะแต่ละประเภทได้อย่างถูกต้อง และแจ้งเตือนเมื่อถังขยะใกล้เต็มผ่านแอปพลิเคชันไลน์ได้ ซึ่งช่วยลดเวลาในการคัดแยกขยะด้วยมือ สามารถนำขยะกลับไปทำการรีไซเคิลได้ทันที ช่วยให้มีการคัดแยกขยะอย่างเป็นระบบ

5.2 การอภิปรายผล

เครื่องคัดแยกขยะนี้เป็นการประยุกต์ใช้งานเทคโนโลยีการเรียนรู้ของเครื่องจักรร่วมกับอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ จากการทดสอบพบว่ายังมีผลการคัดแยกขยะไม่ถูกต้อง อาจเนื่องมาจากขดพลาสติกที่ทดสอบมีลักษณะสีขาวขุ่นซึ่งมีการสะท้อนของแสง ทำให้ระบบแสดงผลการคัดแยกเป็นประเภทขวดแก้ว การทดสอบทำในสภาวะแวดล้อมแบบเปิดซึ่งมีแสงสว่างที่มากหรืออาจน้อยเกินไปส่งผลกระทบต่อการตรวจจับและคัดแยกวัตถุได้ในบางครั้ง เมื่อมีวัตถุอื่นๆเข้ามาทดสอบระบบสามารถคัดแยกได้ในบางครั้งเท่านั้น หากวัตถุไม่ถูกตรวจพบว่ามีอยู่ใน 4 คลาสของโมเดลนี้ระบบจะไม่สามารถแสดงกรอบเพื่อทำนายส่วนของวัตถุและค่า Confidence score บนภาพได้ ซึ่งแนวทางการพัฒนาปรับปรุงคือเพิ่มส่วนควบคุมแสงในส่วนอินพุตและกล้องให้เหมาะสม จะช่วยให้การทำงานของเครื่องคัดแยกขยะรีไซเคิลนี้มีประสิทธิภาพมากขึ้น ช่วยลดภาระงานในการคัดแยกขยะโดยนำขยะที่เครื่องคัดแยกได้โดยอัตโนมัติไปทำการรีไซเคิลเพื่อลดปริมาณการเผาหรือทำลายขยะ และสามารถช่วยแก้ปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมได้

6. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ในการเอื้อเฟื้อสถานที่และห้องปฏิบัติการในดำเนินงาน และคณาจารย์ในสาขาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ที่กรุณาให้คำปรึกษาข้อเสนอแนะต่างๆและแนวทางการแก้ไขปัญหาให้งานสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

7. เอกสารอ้างอิง

- คนสรณ์ ผิวบาง, ศรีณยู พรหมยุทธนา, และการตรัณน์ ข้าดำ. (2562). **เครื่องคัดแยกขวดอัตโนมัติ**.
ค้นจาก http://mecha.sut.ac.th/project_file/project_00030.pdf
- ณัฐนันท์ รัตนยานนท์ และศุภวิชญ์ ฝอยทอง. (2563). ระบบตรวจจับและคัดแยกกล่องด้วยการ
ประมวลผลภาพ. **วารสารวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และนวัตกรรม**, 1(4), 20-23.
- ดำรงศักดิ์ กิจเดช และวีระพันธ์ ด้วงทองสุข. (2565). การใช้โครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชัน
ภาษากายของคนที่สำหรับการควบคุมหุ่นยนต์ขับเคลื่อนสองล้อ. **วารสาร SAU JOURNAL OF
SCIENCE & TECHNOLOGY**, 8(1), 28-39.
- ปัญญา ประสีละเตสัง. (2564). **สร้างการเรียนรู้สำหรับ AI ด้วย Python Machine Learning**.
กรุงเทพฯ: ซีเอ็ดดูเคชั่น.
- บุญธรรม ภัทราจารกุล. (2556). **การประมวลผลภาพดิจิทัลเบื้องต้น**. กรุงเทพฯ: ซีเอ็ดดูเคชั่น.
- ปราโมทย์ ปัญญาโต และนลิน สีดาห้าว. (2562). การสร้างระบบตรวจจับบุคคลแบบเวลาจริงราคา
ประหยัดบน Raspberry Pi โดยประยุกต์อัลกอริทึม Tiny YOLO V3. **วารสาร ENGINEERING
TRANSACTIONS**, 22(2), 72-78.
- สมเกียรติ อุดมहरราชกุล. (2554). **การประมวลผลภาพดิจิทัลเบื้องต้น**. กรุงเทพฯ: ท้อป.
- ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร. (2564). **สถานการณ์คุณภาพสิ่งแวดล้อมของประเทศ
ไทยปี 2563**. ค้นจาก https://www.pcd.go.th/pcd_news/11873
- Jocher, G. (2020). **YOLOv5 Documentation**. Retrieved from [https://docs.
ultralytics.com/tutorials/training-tips-best-results/#model-selection](https://docs.ultralytics.com/tutorials/training-tips-best-results/#model-selection)
- Redmon, J, Divvala, R., Girshick, R., & Farhadi, A. (2016, June). **You Only Look Once:
Unified, Real-Time Object Detection**. Paper presented at the 2016 IEEE
Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), Las Vegas, NV,
USA.



การเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการผลิตมะพร้าวน้ำหอม ด้วยแบบจำลองสถานการณ์

PROCESS IMPROVEMENT AND ANALYSIS OF THE AROMATIC COCONUT BY COMPUTER SIMULATION

ปกรณ์ แสนจิตต์^{1*}, อลงกรณ์ เมืองไหว², นพดล อ่ำดี¹

Pakorn Saenjit^{1*}, Alongkorn Muangwai², Noppadol Amdee¹

¹ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏหมู่บ้านจอมบึง อ.จอมบึง จ.ราชบุรี ประเทศไทย 70150

² คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม อ.เมือง จ.พิษณุโลก ประเทศไทย 65000

¹Faculty of Industrial Technology, Muban Chombueng Rajabhat University, Chom Bueng,
Ratchaburi, Thailand, 70150

²Faculty of Industrial Technology, Pibulsongkram Rajabhat University, Muang,
Phitsanulok, Thailand, 65000

*Corresponding author e-mail: pondpak@gmail.com

วันที่เข้ารับ 30 เมษายน 2565

วันที่แก้ไขบทความ 8 กันยายน 2565

วันที่ตอบรับบทความ 9 พฤศจิกายน 2565

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาและวิเคราะห์กระบวนการผลิตมะพร้าวน้ำหอมเพื่อปรับปรุงและเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตให้เหมาะสมกับสถานประกอบการ โดยศึกษาการผลิตตั้งแต่มะพร้าวมีการขนส่งมายังการผลิตกระบวนการแรกจนถึงกระบวนการสุดท้ายซึ่งมีทั้งหมด 12 สถานีงาน และศึกษาว่าสถานีงานใดควรมีการปรับปรุง โดยในงานวิจัยนี้ได้นำวิธีการจำลองสถานการณ์ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์เฟกซิม (FlexSim) มาใช้ในการคาดคะเนกระบวนการผลิตที่จะเกิดขึ้นในอนาคต ซึ่งสถานประกอบการไม่ต้องลงทุนทำการปรับปรุงหรือสร้างสถานการณ์จากการทำงานจริงในปัจจุบัน จากผลการวิเคราะห์และยกระดับประสิทธิภาพในงานวิจัยนี้พบว่ามียู 3 กระบวนการที่สามารถเพิ่มประสิทธิภาพให้กับสถานประกอบการได้และสามารถลดเวลาในการทำงานได้ถึงร้อยละ 39.58 จากการดำเนินงานในปัจจุบัน

คำสำคัญ: มะพร้าวน้ำหอม, กระบวนการผลิต, การจำลองสถานการณ์

Abstract

The objectives of this research were to study and analyze the production processes of aromatic coconuts in order to improve and enhance production efficiency suitable for businesses. The study began from transporting coconuts to the first production process through the final 12 workstations and examined which workstations should be adjusted and improved by simulating all 12 workstations with FlexSim Program. This program is used to estimate the production processes in the future. With this simulation program, factories do not have to invest their money to improve or develop future workstation model from the current one. The analysis and enhancement of this study revealed that three processes could increase the production efficiency and decrease working times by 39.58% compared with the present operation.

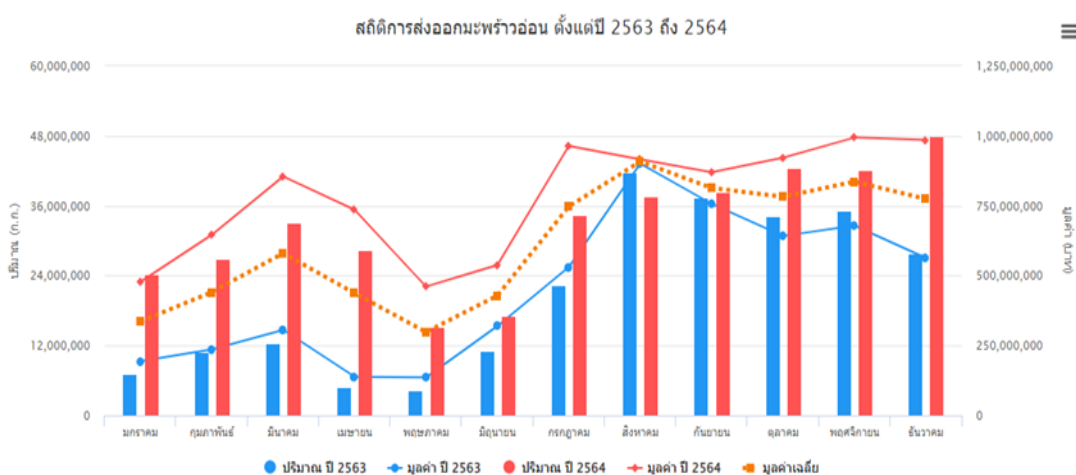
Keywords: Aromatic coconut, Production process, Simulation

1. บทนำ

ไทยเป็นผู้นำการผลิตและส่งออกผลไม้เมืองร้อนที่สำคัญและมีชื่อเสียงที่สุดในภูมิภาคอาเซียน มีมูลค่าการส่งออกผลไม้จำนวนมูลค่าเฉลี่ย 207,780,051,559 ล้านบาท (กรมการขนส่งทางบก, 2559) โดยเฉพาะมะพร้าวน้ำหอม ซึ่งเป็นพืชเศรษฐกิจที่มีความต้องการของเพิ่มสูงขึ้นในทุกปี โดยประเภทที่มีอัตราการนำเข้ามะพร้าวในปริมาณมาก อาทิเช่น สหรัฐอเมริกา แคนาดา ยุโรป จีน เป็นต้น (กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2565) จากการรวบรวมสถิติพบว่า ตลาดส่งออกของมะพร้าวมีการเติบโตในช่วงปีที่ผ่านมา มีมูลค่าการส่งออกในปี พ.ศ. 2564 เฉลี่ย 7,382,962,576 ล้านบาท และยังมีโอกาสเติบโตได้มากยิ่งขึ้นจากรูปแบบพฤติกรรมผู้บริโภคที่มุ่งเน้นการใส่ใจสุขภาพมากยิ่งขึ้น รายละเอียดแสดงดังภาพที่ 1

จากภาพรวมโดยการสังเคราะห์ความต้องการมะพร้าว น้ำหอม มีความนิยมซื้อมะพร้าวในรูปแบบมะพร้าวคั่ว น้ำมะพร้าวสด ไอศกรีมมะพร้าว ซึ่งสามารถพบได้ทั่วไปในตลาดสด และแหล่งชุมชนต่าง ๆ โดยมักมีความเกี่ยวข้องกับธุรกิจด้านการท่องเที่ยวของชาวไทยและต่างชาติ ก่อให้เกิดความต้องการสินค้าที่แปรรูปในปริมาณสูง ซึ่งในปัจจุบันประเทศไทยมีโรงงานผลิตมะพร้าว น้ำหอม สำหรับส่งออกที่ได้รับการรับรองจากกรมวิชาการเกษตร ในลักษณะการส่งออกของมะพร้าว น้ำหอม ตัดแต่ง เรียกว่า มะพร้าวคั่ว คือ มะพร้าวที่นำมาปอกเปลือกเขียวออกทั้งหมดหรือบางส่วน จากนั้น ตัดแต่งให้มีรูปทรงกระบอกและแต่งให้ด้านบนเป็นรูปฝาคี และอีกรูปแบบคือมะพร้าวเจีย

เป็นมะพร้าวที่นำมาปลูกเปลือกขาวจนหมด หรือเหลือไว้บางส่วนเป็นฐานแล้วเจียแต่งผิวกะลาให้เรียบ จะเห็นได้ว่าทั้งปัจจัยแรงงานฝีมือและกระบวนการแปรรูปจำเป็นต้องอาศัยบุคลากรที่สำคัญจำนวนมาก ซึ่งส่วนใหญ่เป็นแรงงานเป็นแรงงานจากประเทศเมียนมาร์ กัมพูชา และ ลาว ที่ปัจจุบันได้รับผลกระทบจากสถานการณ์ COVID-19 ส่งผลให้ปัญหาการขาดแคลนแรงงานจึงกลายเป็นปัญหาสำคัญสำหรับอุตสาหกรรมที่ใช้แรงงานจำนวนมาก



ภาพที่ 1 สถิติการส่งออกมะพร้าวของประเทศ

จากปัญหาที่กล่าวมาข้างต้นผู้วิจัยมีความสนใจที่จะวิเคราะห์และศึกษา โดยการประยุกต์ใช้แบบจำลองสถานการณ์ทางคอมพิวเตอร์มาใช้หาแนวทางการปรับปรุงกระบวนการผลิตมะพร้าวน้ำหอมและวิเคราะห์ต้นทุนเพื่อเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันมะพร้าวน้ำหอม ซึ่งเป็นเครื่องมือวิเคราะห์ที่มีประสิทธิภาพ สามารถช่วยวิศวกรและนักวางแผนในการตัดสินใจที่ถูกต้องในการออกแบบและการทำงานของระบบ (นิกร และคณะ, 2561) การจำลองครั้งนี้เลือกใช้ซอฟต์แวร์เฟลกซิม (Flexsim) ซึ่งเป็นการจำลองประเภทหนึ่ง โดยโปรแกรมให้ภาพรวมของระยะทาง เวลา และเป้าหมายการผลิตที่ต้องการ (Shannon, 1975) ทำให้แบบจำลองเฟลกซิมสามารถทำการจำลองได้เกือบทุกด้าน ตั้งแต่การผลิตไปจนถึงการขนส่ง การจัดการวัสดุ การวางแผนคลังสินค้าบริการด้านสุขภาพ การบริการลูกค้า และอื่นๆ (Bathini *et al.*, 2018) การสร้างแบบจำลองมักจะทำตามขั้นตอนพื้นฐาน: การสำรวจ ระบบ การเก็บข้อมูล การสร้างแบบจำลอง การตรวจสอบแบบจำลอง รวมถึงการจำลองและรันผล การแสดงเอาต์พุตและการวิเคราะห์ผลการจำลอง (Syahputri *et al.*, 2021) การทดสอบการกระจายความน่าจะเป็น การใช้เครื่องมือนี้ เราจะได้การแจกแจงความน่าจะเป็นที่ดีที่สุดของการแจกแจงทั้งหมดในเวลาที่รวดเร็วและแม่นยำ (Burdok *et al.*, 2019) สามารถสะท้อนการทำงานของระบบในปัจจุบันและผลที่คาดว่าจะเกิดขึ้นจากแนวทางการลดระยะเวลาและ

กระบวนการทำงาน รวมถึงเสนอแนะเพิ่มศักยภาพของกระบวนการผลิตของธุรกิจแปรรูปมะพร้าว น้ำหอมในอนาคต กระบวนการขั้นตอนดำเนินงานวิจัยจะประกอบไปด้วยการสำรวจและรวบรวม ข้อมูลจากการสัมภาษณ์เชิงลึก การวิเคราะห์กระบวนการไหลด้วยทฤษฎีความสูญเสียเปล่า 7 ประการ (7 waste) (Zhu *et al.*, 2014) และสร้างแบบจำลองสถานการณ์เพื่อวิเคราะห์สภาพในปัจจุบัน ซึ่งจะเป็นจะต้องมีการปรับเทียบแบบจำลอง (Calibration) และตรวจสอบความถูกต้อง (Validation) (Syahputri *et al.*, 2021) รวมถึงการเปรียบเทียบและวัดประสิทธิภาพของแนวคิดการปรับปรุง กระบวนการผลิตสินค้าจากมะพร้าวน้ำหอม เนื่องจากการสร้างแบบจำลองสถานการณ์นั้นจะสามารถช่วยจำลองและวิเคราะห์ระบบที่ซับซ้อนเพื่อช่วยในการศึกษาและพิจารณาความสัมพันธ์ ระหว่างระบบย่อยที่อยู่ภายใต้ระบบใหญ่ที่ซับซ้อน หรือช่วยวิเคราะห์ผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการ เปลี่ยนแปลงเชิงข้อมูลหรือลักษณะการดำเนินงานในรูปแบบที่แตกต่างกันได้เป็นอย่างดี เพื่อนำมา ศึกษากับบริษัทแห่งหนึ่งในอำเภอดำเนินสะดวก จังหวัดราชบุรี ตั้งแต่กระบวนการผลิต จนถึงการส่ง สินค้าให้กับลูกค้า เพื่อสามารถพัฒนาแก้ไขหรือปรับปรุงขั้นตอน หาแนวทางใหม่ให้สามารถเพิ่ม ประสิทธิภาพในการผลิตมะพร้าวน้ำหอมและเพิ่มอัตราผลผลิต (Productivity) ได้

2. วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

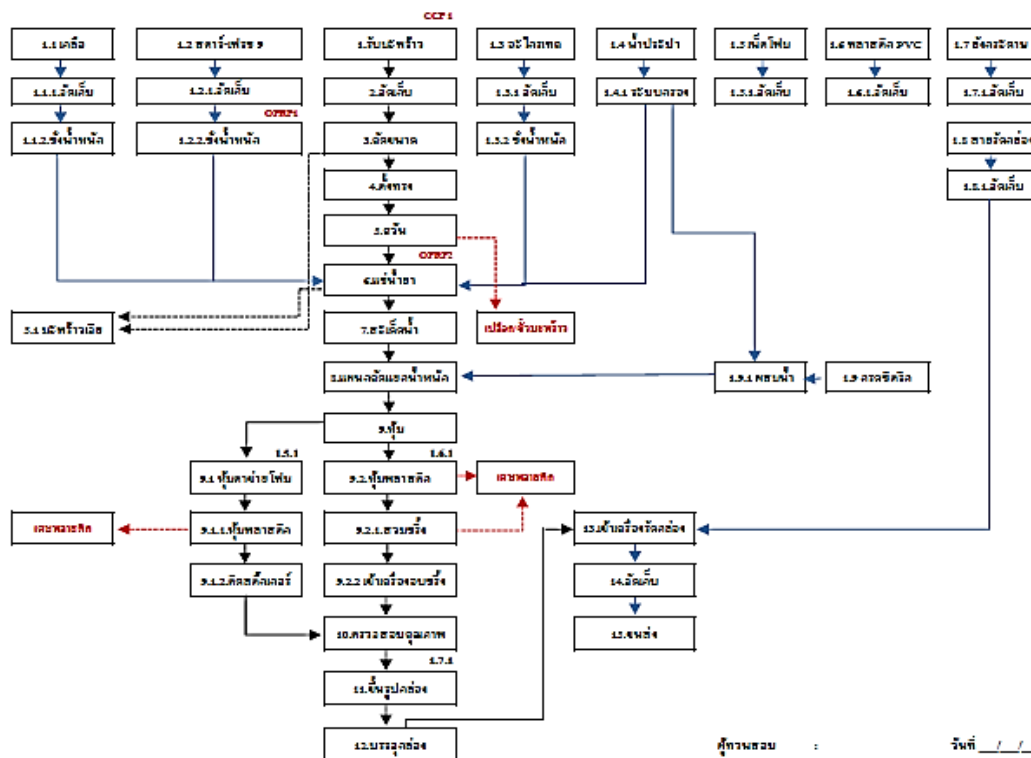
2.1 เพื่อสำรวจและวิเคราะห์กระบวนการการผลิตมะพร้าวน้ำหอม

2.2 เพื่อพัฒนาและประยุกต์ใช้แบบจำลองสำหรับการบริหารจัดการ รวมถึงเสนอแนะ แนวทางการยกระดับประสิทธิภาพกระบวนการผลิตมะพร้าวน้ำหอม

3. วิธีดำเนินงานวิจัย

สำหรับการศึกษานี้คัดเลือกบริษัทแปรรูปมะพร้าวน้ำหอม ตั้งอยู่ที่จังหวัดราชบุรี มีผลิตภัณฑ์หลัก 2 ชนิด ได้แก่ มะพร้าวควั่นและมะพร้าวเจียว ซึ่งปัจจุบันบริษัทกรณีศึกษากำลังประสบปัญหาการจัดการจำนวนแรงงานและเครื่องจักรที่ไม่เหมาะสมต่อกระบวนการผลิต ซึ่งต้องใช้แรงงานมากกว่า 120 คนต่อวัน โดยปัจจุบันมีกำลังการผลิตได้เพียง 26,000 ลูกต่อวัน จากกำลังการผลิตเป้าหมายที่ประมาณ 40,000 ลูกต่อวัน ซึ่งวิธีการดำเนินงานวิจัยมีรายละเอียดดังนี้

3.1 ศึกษากระบวนการทำงานในปัจจุบันของโรงงานผลิตมะพร้าวน้ำหอมควั่น ประกอบด้วย สถานีงานหลัก 12 สถานี ซึ่งแต่ละสถานีงานจะใช้แรงงานและเครื่องจักรทำงานร่วมกัน ดำเนินการ ประสานเป็นลำดับขั้นตอนอย่างต่อเนื่อง โดยรายละเอียดการทำงานแต่ละกระบวนการ แสดงดังภาพ ที่ 2 เริ่มตั้งแต่การรับมะพร้าวถึงกระบวนการบรรจุกล่องเพื่อจัดส่งให้ลูกค้า ปัจจุบันมีพนักงานทั้งสิ้น 14 คน และเครื่องจักรจำนวน 1 เครื่อง รายละเอียดกระบวนการดังแสดงในภาพที่ 2 และ 3



ภาพที่ 2 แผนผังกระบวนการและขั้นตอนการผลิตมะพร้าว น้ำหอมควั่น



ภาพที่ 3 แสดงกิจกรรมและขั้นตอนการผลิตมะพร้าว น้ำหอมควั่น



ซึ่งรายละเอียดในแต่ละสถานีนงานมีขั้นตอนการทำงาน และระยะเวลา ดังแสดงตารางที่ 1

1. รับวัตถุดิบ ตรวจสอบคุณลักษณะสภาพปรากฏทั่วไป สิ่งปลอมปนและสารพิษตกค้าง
2. จัดเก็บวัตถุดิบ จัดเก็บผลิตภัณฑ์โดยแยกตามประเภท ชนิด และความเสี่ยงจากการวางซ้อน
3. ควน ดำเนินการปอกเปลือกมะพร้าวตามรูปทรงที่กำหนด
4. ตัดแต่ง ตรวจสอบสภาพความสมบูรณ์และรูปทรงของมะพร้าวที่ควน ตามกำหนด
5. แขน้ำยา ตรวจสอบและการเตรียมน้ำยาใช้ในรายงานการซัง-เตรียมสารละลาย
6. สะเด็ดน้ำ นำวัตถุดิบที่ผ่านการแขนน้ำยา ตั้งทิ้งไว้
7. ซังน้ำหนัก ตรวจสอบคุณภาพน้ำหนักของสินค้าให้อยู่ในช่วงที่กำหนด
8. หุ้มพลาสติก จะต้องตรวจสอบสภาพความสมบูรณ์ ไม่ชำรุด เสียรูปทรงหรือปนเปื้อน
9. อบฟิล์ม นำวัตถุดิบที่ผ่านการซังน้ำหนักตามกำหนดผ่านเครื่องอบ
10. บรรจุลงกล่อง ให้ได้ขนาดและปริมาตรตามที่กำหนดไว้
11. จัดเก็บ ดำเนินการเคลื่อนย้ายไปยังบริเวณที่จุดพักสินค้าที่กำหนดไว้ ซึ่งควบคุมอุณหภูมิห้องเย็นไม่เกิน 7 องศาเซลเซียส
12. ขนส่ง จัดเรียงสินค้าพร้อมลำเลียงขึ้นรถ ตามลำดับการขนส่งเพื่อการบริหารจัดการที่สะดวก

ตารางที่ 1 ขั้นตอน ระยะเวลา และจำนวนเครื่องจักรที่ใช้ในกระบวนการแปรรูป

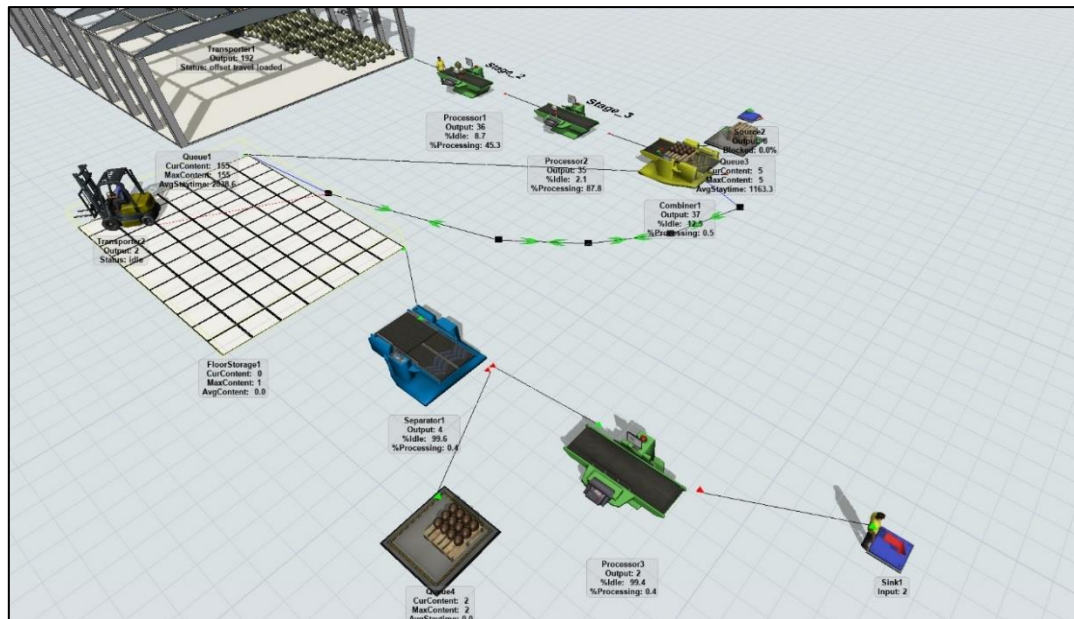
ลำดับที่	รายละเอียดกระบวนการ	ระยะเวลา (วินาที)	เครื่องจักร	จำนวน แรงงาน
1	รับมะพร้าว	600	-	1
2	จัดเก็บมะพร้าวในคลัง	60	รถโฟล์คลิฟ	1
3	ทะลายลูกมะพร้าว	60	มีดปลอก	1
4	ปอกเปลือก	120	มีดปลอก	1
5	ลำเลียงมะพร้าว (ระยะทาง 50 m.)	300	รถเข็น	1
6	แขนน้ำยา	60	-	1
7	สะเด็ดน้ำ ซับน้ำ	20	-	1
8	ตรวจสอบคุณภาพ	20	-	1
9	ซังน้ำหนัก	20	ตราซัง	1
10	ห่อหุ้มด้วยพลาสติก	20	-	1
11	บรรจุกล่อง	20	-	1
12	จัดเก็บ	60	-	1
รวม		1,360	-	12

3.2 กระบวนการสร้างแบบจำลองสถานการณ์

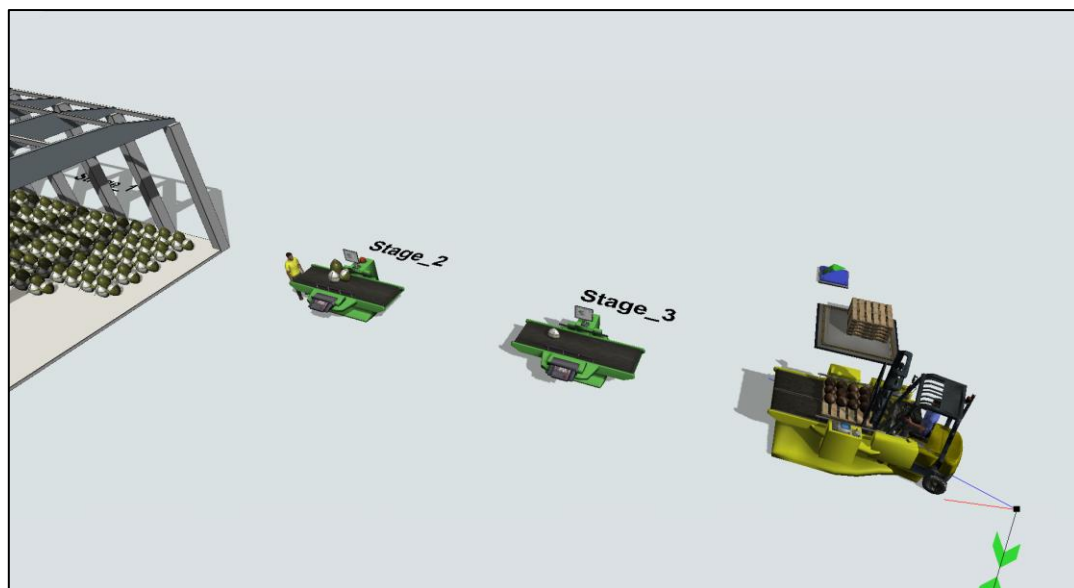
3.2.1 ดำเนินการสำรวจ รวบรวม และวิเคราะห์ข้อมูลการกระจายตัวและความสัมพันธ์ของแต่ละสถานงาน ดำเนินการกำหนดค่าพารามิเตอร์ในการสร้างแบบจำลอง นำเข้าข้อมูลด้านกำลังคนและเครื่องจักร รวมถึงเปรียบเทียบพารามิเตอร์ในด้านของจำนวนแรงงานที่ใช้ในแต่ละสถานงาน และเวลาที่เกิดขึ้นในแต่ละกระบวนการทำงานเพื่อให้ได้ข้อมูลด้านเวลาที่สามารถใช้ในการวิเคราะห์ได้จริงเฉลี่ยจำนวน 30 ชุดข้อมูลต่อกระบวนการทำงาน โดยยอมรับความคลาดเคลื่อนไม่เกินร้อยละ 5 จากนั้นนำข้อมูลเวลาการทำงานที่ได้จากการเก็บข้อมูลไปวิเคราะห์ค่าการแจกแจงด้วยโปรแกรมทางสถิติและมีการกำหนดค่าอื่น ๆ ที่จำเป็นในการสร้างแบบจำลองสถานการณ์ ดังนี้

1. กระบวนการนำเข้าของมะพร้าวน้ำหอม จากการสำรวจข้อมูลพบว่าการแจกแจงแบบ lognormal โดยกำหนดให้ยาพาหนะนำทะเลายมะพร้าวเข้ามาในระบบ เป็นช่วงเวลาที่สะท้อนกับการจัดส่งโดยปกติของโรงงานในรูปแบบของตารางเวลา (schedule) โดยมีจำนวนการเข้ามาของมะพร้าวน้ำหอม รวม 26,000 ลูก/วัน
2. กระบวนการจำลองระบบนำเข้า ระยะเวลารอ ระยะเวลาดำเนินการ เครื่องจักร ระหว่างดำเนินงานด้วยฟังก์ชัน Source, Queue, Transporter, Combine, Separator, และ Sink
3. พิจารณาจำนวนมะพร้าวที่ตกมาตรฐานการผลิต และที่สูญเสียระหว่างการผลิต จากข้อมูลการเข้ามาและจำนวนของอัตราของผลผลิตที่ได้จริง พบว่ามีของเสียคิดเป็นร้อยละ 5.10 ของมะพร้าวน้ำหอมทั้งหมดก่อนเข้าสู่กระบวนการวัน
4. การกำหนดเวลาในการประมวลผล (Run) แบบจำลอง โดยกระบวนการผลิตด้วยแบบจำลองทางสถานการณ์เริ่มที่เวลา 8.00 น. และสิ้นสุดที่เวลา 20.00 น. ซึ่งเป็นระยะเวลา (Replication length) 1 วันทำการ คิดเป็นเวลาการผลิตทั้งหมด 12 ชั่วโมง (รวมเวลาพักและเวลาในการทำงานล่วงหน้า) โดยกำหนดจำนวนรอบของการประมวลผล (Number of replication) เท่ากับ 30 รอบ

ภาพรวมกระบวนการสร้างแบบจำลองสถานการณ์ด้วยโปรแกรม Flexsim ดังแสดงในภาพที่ 4 และภาพที่ 5 โดยแบบจำลองสถานการณ์จะถูกแบ่งออกเป็น 12 สถานงาน ตามแผนภาพกระบวนการไหล โดยมีกระบวนการทำงานในสถานงานต่าง ๆ สอดคล้องกับกระบวนการทำงานจริง



ภาพที่ 4 แสดงแบบจำลองสถานการณ์กระบวนการผลิตมะพร้าว น้ำหอมควั่น



ภาพที่ 5 แสดงแบบจำลองสถานการณ์กระบวนการผลิตมะพร้าว น้ำหอมควั่น (ต่อ)

3.2.2 กระบวนการเปรียบเทียบและการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง (Verification and validation of simulation model)

กระบวนการจำลองสถานการณ์ที่มีความถูกต้องและเหมาะสมสำหรับนำไปใช้งาน จำเป็นต้องมีการเปรียบเทียบและตรวจสอบความถูกต้องให้มีค่าใกล้เคียงกับการปฏิบัติงานจริงมากที่สุด โดยการเปรียบเทียบด้วยโปรแกรม Flexsim verification ประกอบไปด้วยการทดสอบขั้นตอนการ

ทำงานของเครื่องจักรและพนักงานในกระบวนการต่าง ๆ ว่ามีลักษณะการทำงานใกล้เคียงสภาพการทำงานจริงหรือไม่ อาทิเช่น การเคลื่อนที่ของวัตถุที่สนใจ พฤติกรรมการทำงานของพนักงานและเครื่องจักร เป็นต้น ซึ่งในแบบจำลองจะกำหนดวัตถุที่สนใจ (Entity) เป็นข้อมูลงาน ได้แก่ การเคลื่อนที่ของมะพร้าวสด การปอกเปลือก การควั่น และการบรรจุหรือรูปแบบการดำเนินงานของพนักงานในงานย่อยแต่ละงาน โดยกำหนดความคาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ไว้ที่ร้อยละ 5 หลังจากนั้นนำค่าที่ได้จากแบบจำลองเปรียบเทียบกับจากการปฏิบัติงานจริงด้วยสมการที่ 1 พบว่า ภาพรวมอยู่ที่ร้อยละ 2.35 จึงสรุปได้ว่าแบบจำลองมีความใกล้เคียงผ่านเกณฑ์ที่ยอมรับได้ สามารถนำมาใช้ในการจำลองการปรับปรุงและแก้ไขปัญหาได้

$$\%Difference = \frac{[E-S]}{S} \times 100 \quad (1)$$

จากนั้นเป็นกระบวนการตรวจสอบความถูกต้องด้วยพารามิเตอร์ จำนวนมะพร้าวน้ำหอมควั่นที่ผลิตได้ (Number out) ในสถานการณ์จริงผลิตได้จำนวน 24,700 ลูก ผลจากแบบจำลองสถานการณ์ผลิตมะพร้าวน้ำหอมควั่นได้ 24,608 3) จำนวนของเสีย (Loss) ในสถานการณ์จริงเกิดของเสีย 1,326 ลูก (ร้อยละ 5.10) ผลจากแบบจำลองสถานการณ์เกิดของเสียเฉลี่ย 1,301 ลูก (ร้อยละ 5.28) 4) เวลาในการเคลื่อนที่ของชิ้นงานในระบบ (Through put time) เป็นเวลาที่มะพร้าวน้ำหอมเริ่มเข้าสู่กระบวนการผลิตจนกระทั่งออกจากกระบวนการผลิต ซึ่งจากรายงานการประมวลผลมีเวลาทั้งสิ้น 21.3 นาที สอดคล้องกับข้อมูลที่ผู้วิจัยได้ทำการเก็บรวบรวมจากสถานการณ์จริงคือ 22.12 นาที 5) สถานการณ์ที่ใช้เวลาในการผลิตแต่ละรอบสูงที่สุด คือสถานการณ์ การปอกเปลือก มีค่าอยู่ที่ 2 นาทีต่อคนต่อลูก โดยขั้นตอนการปอกเปลือกเป็นขั้นตอนที่ใช้มีด แต่เนื่องจากความบกพร่องของบุคลากร ถือเป็นอัตราการผลิตที่มีค่าแปรปรวนและประสิทธิภาพการทำงานต่ำที่สุดจากกระบวนการทั้งหมด จากรายงานการประมวลผลพบว่า สถานการณ์ที่เป็นคอขวด (Bottle neck) ของกระบวนการผลิต คือสถานการณ์การปอกเปลือก เนื่องจากเป็นขั้นตอนที่มีค่าเฉลี่ยของเวลารอคอย (Waiting time) และจำนวนแถวคอย (Number waiting) สูงที่สุด

4. ผลการวิจัย

การศึกษานี้ได้คัดเลือกแนวทางปรับปรุงและเพิ่มประสิทธิภาพสำหรับการผลิตได้ตั้งตัวแปรความคาดหวังในการประยุกต์ใช้แบบจำลองสถานการณ์เพื่อเปรียบเทียบผลลัพธ์กรณีปรับปรุงกระบวนการทำงาน ไว้ดังนี้

1. ระบบปัจจุบัน
2. ลดระยะเวลาดำเนินงานไม่เกิน 9 ชั่วโมง (รวมระยะเวลาพัก 8.00 – 17.00 น.)



- 2.1 ปรับเปลี่ยนกระบวนการดำเนินงานของพนักงานที่ประสิทธิภาพต่ำ
- 2.2 เพิ่มเติมเครื่องบอคมะพร้าว 1 เครื่อง ราคา 19,000 บาท
- 2.3 เพิ่มเติมสายพานลำเลียง 1 ชุด ราคา 40,000 บาท
3. ดำเนินการทั้งข้อ 2.1 + 2.2 + 2.3

จากการจำลองสถานการณ์โดยการปรับเปลี่ยน และเพิ่มเติมพารามิเตอร์ รวมถึงอุปกรณ์เครื่องจักร ในกระบวนการทำงานตามสถานการณ์ที่พิจารณาดังข้างต้น โดยปัจจัยที่นำมาพิจารณาเปรียบเทียบกับได้แก่ ระยะเวลาดำเนินงาน ความล่าช้ารวม จำนวนพนักงานรวม ซึ่งผลการวิเคราะห์แสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 การเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์โดยแบบจำลองสถานการณ์

ลำดับที่	รูปแบบการจำลองสถานการณ์	ระยะเวลา 1 รอบการทำงาน (นาท)	ระยะเวลาทำงานรวม (ชั่วโมง)	จำนวนพนักงาน (คน)	ร้อยละการเปลี่ยนแปลงระยะเวลา
1	ระบบปัจจุบัน	22.06	12.00	12	0
2.1	ปรับเปลี่ยนกระบวนการดำเนินงานของพนักงานที่ประสิทธิภาพต่ำ	20.32	10.25	12	ลดลง (14.58)
2.2	เพิ่มเติมเครื่องบอคมะพร้าว 1 เครื่อง มูลค่า 19,000 บาท	18.56	8.50	10	ลดลง (29.17)
2.3	เพิ่มเติมสายพานลำเลียง 1 ชุด มูลค่า 40,000 บาท	17.87	9.15	12	ลดลง (23.15)
3	กรณีดำเนินการทั้งข้อ 2.1 + 2.2 + 2.3	13.22	7.25	10	ลดลง (39.58)

จากแนวทางการแก้ไขปรับปรุงดังแนวทางดังกล่าว ผู้วิจัยได้ทำการสร้างแบบจำลองย่อย 12 สถานี ดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น เพื่อให้ได้ผลผลิตตามค่าคาดหวังคือ 26,000 ลูกต่อวัน โดยมีเวลาในการทำงานเท่ากับ 9 ชั่วโมง (รวมเวลาพัก) ตามค่ามาตรฐานโรงงานที่จะกำหนดขึ้นมาใหม่ ผลการวิเคราะห์พบว่า

1. ปรับเปลี่ยนกระบวนการดำเนินงานของพนักงานที่ประสิทธิภาพต่ำ โดยการโยกย้ายไปทำงานบุคลากรที่มีภาระงานต่ำ มาสนับสนุนกระบวนการควดควดที่เป็นสถานีนงาน ปอกเปลือก จำนวน 2 คน พบว่า ช่วยลดระยะเวลาการดำเนินงานได้ประมาณ 14.58
2. ปรับเปลี่ยนกระบวนการโดย เพิ่มเติมเครื่องบดมะพร้าว 1 เครื่อง ราคา 19,000 บาท ทำให้มีเครื่องจักรเข้ามาช่วยในกระบวนการทำงานเพิ่มขึ้น สามารถทำงานได้ตลอดระยะเวลา ไม่ต้องคำนึงถึงการหยุดพัก เทียบเท่ากับแรงงาน มีประสิทธิภาพทั้งความรวดเร็วและความแม่นยำในการทำงาน พบว่า ช่วยลดระยะเวลาการดำเนินงานได้ประมาณ 29.17
3. ปรับเปลี่ยนกระบวนการโดย เพิ่มเติมสายพานลำเลียง 1 ชุด ราคา 40,000 บาท ซึ่งเป็นกระบวนการที่ต้องใช้แรงงานคนขนย้ายด้วยรถเข็นลากจูง ในระยะทาง 50 เมตร ทำให้เกิดความล่าช้าในส่วนของการดำเนินงาน ทำให้เกิดความล่าช้าสะสมในสถานีนงานนี้เพิ่มเติม จากการปรับเปลี่ยนกระบวนการโดยใช้สายพานลำเลียง พบว่า ช่วยลดระยะเวลาการดำเนินงานได้ประมาณ 23.15
4. ปรับเปลี่ยนกระบวนการโดย ดำเนินการทั้งข้อ 2.1 + 2.2 + 2.3 ทำให้กระบวนการทำงานแต่ละสถานีนงานมีประสิทธิภาพเพิ่มสูงขึ้น มีเครื่องจักรเข้ามาช่วยในการดำเนินงาน เพิ่มความแม่นยำ ลดความล่าช้า และทำให้กระบวนการบริหารจัดการเพิ่มสูงขึ้น ระยะเวลาการทำงานแล้วเสร็จเร็วกว่ารูปแบบปัจจุบัน สามารถจัดสรรแรงงานไปทำกระบวนการอื่น หรือเพิ่มเพิ่มกำลังการผลิตได้ โดยหากมีการปรับปรุงแบบครบถ้วน พบว่า ช่วยลดระยะเวลาการดำเนินงานได้ประมาณ 39.58

5. สรุปผลและการอภิปรายผล

ในงานวิจัยนี้ได้้นำการจำลองสถานการณ์ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์เฟล็กซ์ซิม (FlexSim) มาใช้ในการจำลองกระบวนการผลิตมะพร้าวน้ำหอมของสถานประกอบการแห่งหนึ่ง ซึ่งโปรแกรมดังกล่าวจะลดต้นทุนในการนำทรัพยากร เช่น เครื่องจักร พนักงาน สถานีนงาน ฯลฯ มาดำเนินการปรับปรุงประสิทธิภาพจากการทำงานจริง และผลจากการใช้โปรแกรมดังกล่าวจะสามารถช่วยให้สถานประกอบการลดต้นทุนลงได้ถึงร้อยละ 39.58 ทั้งนี้ทั้งนั้นการวิจัยนี้ยังเป็นการวิจัยเฉพาะกระบวนการผลิตเท่านั้น ซึ่งในส่วนอื่นผู้ที่สนใจที่จะทำการต่อยอดงานวิจัยสามารถใช้เทคนิคหรือวิธีการอื่นมาช่วยในการเพิ่มประสิทธิภาพของสถานประกอบการแห่งนี้ได้อีก เช่น การศึกษาโซ่อุปทานทั้งระบบ การจัดวางผังโรงงานที่เหมาะสม เป็นต้น

6. เอกสารอ้างอิง

- กรมการขนส่งทางบก. (2559). **โครงการศึกษาต้นทุนการขนส่งและกระจายสินค้าเพื่อรองรับการพัฒนาศูนย์ขนส่งสินค้าทั่วประเทศ**. ค้นจาก <http://www.thaitruckcenter.com>
- กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. (2565). **สถิติการส่งออก สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร**. ค้นจาก http://impexp.oae.go.th/service/export.php?S_YEAR=2564
- นิกร จันภิรม, สุภาณี เสี่ยงศรี และกอบสุข คงมนัส. (2561). พัฒนคติของอาจารย์ และนักศึกษาพยาบาลต่อการเรียนการสอนแบบสถานการณ์จำลอง (Simulation). **วารสารวิทยาลัยพยาบาลบรมราชชนนี อุตรดิตถ์**, 10(2), 222-233.
- Bathini, S.K., Raju, G., & Janardhana, G. (2018). Simulation Modelling and Analysis of Flexible Manufacturing Systems with flexsim software. **Research Journal of Engineering and Technology**, 9, 85. Doi: 10.5958/2321-581X.2018.00013.2
- Burdak A, Chlebus, E., Nowakowski, T., & Tubis, A. (2019). **Intelligent Systems in Production Engineering and Maintenance**. New York: Springer.
- Shannon, R.E. (1975). **Systems Simulation the Art and Science**. n.p.
- Syahputri, K., Sari, R.M., Rizkya, I., Tarigan, U., & Agustina. (2021). Simulation of vise production process using Flexsim Software. IOP Conference Series: **Materials Science and Engineering**, 1122(1), 012036. Doi: 10.1088/1757-899x/1122/1/012036
- Zhu, X., Zhang, R., Chu, F., He, Z., & Li, J. (2014). A Flexsim-based Optimization for the Operation Process of Cold-Chain Logistics Distribution Centre. **Journal of Applied Research and Technology**, 12, 270-278. Doi: 10.1016/S1665-6423(14)72343-0