



วารสารวิชาการ

นวัตกรรมเทคโนโลยีอุตสาหกรรม

Academic Journal of Industrial Technology Innovation

ISSN: 2822-1125 (Print)

ISSN: 3027-8090 (Online)

ปีที่ 2 ฉบับที่ 2 พฤษภาคม - สิงหาคม 2567 Vol. 2 No. 2 May - August 2024

วารสารวิชาการกลุ่มสาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี



หลักสูตรปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชานวัตกรรมเทคโนโลยีอุตสาหกรรม และคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม

มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช

Doctor of Philosophy Program in Innovation of Industrial Technology and Faculty of Industrial Technology

Nakhon Si Thammarat Rajabhat University



วารสารวิชาการนวัตกรรมเทคโนโลยีอุตสาหกรรม

หลักสูตรปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชานวัตกรรมเทคโนโลยีอุตสาหกรรม และคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช
Academic Journal of Industrial Technology Innovation, Doctor of Philosophy Program in Innovation of Industrial Technology and
Faculty of Industrial Technology Nakhon Si Thammarat Rajabhat University

ปีที่ 2 ฉบับที่ 2 พฤษภาคม – สิงหาคม 2567, Vol. 2 No. 2 May - August 2024, ISSN: 2822-1125 (Print), ISSN: 3027-8090 (Online)

เจ้าของ หลักสูตรปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชานวัตกรรมเทคโนโลยีอุตสาหกรรม และคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช

บรรณาธิการ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อภิศันย์ ศิริพันธ์

วัตถุประสงค์

วารสารวิชาการนวัตกรรมเทคโนโลยีอุตสาหกรรม เป็นวารสารวิชาการสาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เพื่อเป็นสื่อกลางเผยแพร่ผลงานวิชาการ ผลงานวิจัยของบุคลากร วิทยานิพนธ์ ดุษฎีนิพนธ์ ของนักศึกษา คณาจารย์ บุคลากร นักวิชาการ ตลอดจนผู้สนใจทั้งภายในและภายนอก โดยมุ่งเน้นเผยแพร่บทความวิชาการทางด้านนวัตกรรมเทคโนโลยีอุตสาหกรรม และสาขาอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง

1.

คณะที่ปรึกษา

นายกสภามหาวิทยาลัย	ที่ปรึกษา
อธิการบดีมหาวิทยาลัย	ที่ปรึกษา
รองอธิการบดี (ฝ่ายวิชาการและนวัตกรรมการศึกษา)	ที่ปรึกษา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ฉัตรชัย แก้วดี	ที่ปรึกษา

นโยบาย

- สนับสนุนการเผยแพร่ผลงานทางวิชาการของสถาบันการศึกษา บุคลากรในมหาวิทยาลัย นักศึกษา นักวิจัย และบุคคลทั่วไป
- สนับสนุนการสร้างความรู้และองค์ความรู้ที่ถูกต้อง การพัฒนานวัตกรรมทางเทคโนโลยีอุตสาหกรรม การศึกษาทางเทคโนโลยีอุตสาหกรรม อุตสาหกรรม เทคนิคและอาชีวศึกษา อุตสาหกรรมจากภูมิปัญญาชุมชน การจัดการและบริหารภูมิปัญญาด้านการผลิตเชิงอุตสาหกรรมชุมชนเพื่อก้าวสู่สากล
- ส่งเสริมธรรมาภิบาลในการเผยแพร่ผลงานทางวิชาการ เช่น การไม่คัดลอกผลงาน การตีพิมพ์ซ้ำซ้อน การปลอมแปลงหรือสร้างข้อมูลอันเป็นเท็จเพื่อประโยชน์ของตนเองและองค์กร

ขอบเขตบทความ

เป็นวารสารที่ครอบคลุมสาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี บทความมีเนื้อหาที่เกี่ยวข้องกับสาขาวิชาทางด้านนวัตกรรมเทคโนโลยีอุตสาหกรรม อาทิ เทคโนโลยีอุตสาหกรรม วิศวกรรมศาสตร์ วิทยาศาสตร์ประยุกต์ อุตสาหกรรมศึกษา เทคนิคและอาชีวศึกษา อุตสาหกรรมศิลป์ สถาปัตยกรรมและการออกแบบ และสาขาอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องสัมพันธ์กับเทคโนโลยีอุตสาหกรรม โดยนำเสนอในรูปแบบบทความวิจัย บทความวิชาการ บทความวิจารณ์/บทความปริทัศน์

กระบวนการพิจารณาบทความ

บทความจะผ่านขั้นตอนการประเมินเบื้องต้นถึงคุณภาพและขอบเขตของเนื้อหา ความถูกต้องของรูปแบบการเตรียมบทความ ความซ้ำซ้อน และการคัดลอกวรรณกรรม (Duplication and Plagiarism) โดยกองบรรณาธิการวารสารฯ จากนั้นบทความจะได้รับการประเมินคุณภาพทางวิชาการจากผู้ทรงคุณวุฒิทางสาขาที่เกี่ยวข้องไม่น้อยกว่า 3 ท่านซึ่งผู้ต้นฉบับ (Author) และผู้ประเมิน (Reviewer) จะไม่ทราบข้อมูลของกันและกัน (Double-Blinded Peer Reviews) โดยบทความที่ผ่านการปรับปรุงตามผลการประเมินจะได้รับการพิจารณาอนุมัติให้ตีพิมพ์บทความ ขั้นตอนสุดท้าย กองบรรณาธิการจะดำเนินการตรวจสอบบทความและพิสูจน์อักษรก่อนที่จะเผยแพร่บทความแบบออนไลน์ และจัดพิมพ์บทความทั้งหมดรวมเล่มเพื่อดำเนินการเผยแพร่ต่อไป

อนึ่งผลงานวิจัยและผลงานทางวิชาการที่ปรากฏเผยแพร่ในวารสารวิชาการนวัตกรรมเทคโนโลยีอุตสาหกรรม เป็นความคิดเห็นอิสระของผู้แต่ง โดยผู้แต่งเป็นผู้รับผิดชอบต่อผลทางกฎหมายใด ๆ ที่อาจจะเกิดขึ้นจากบทความเผยแพร่นั้น ซึ่งกองบรรณาธิการและคณะผู้จัดทำวารสารฯ ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป

ภาษาที่รับตีพิมพ์ : ภาษาไทย หรือ ภาษาอังกฤษ

กำหนดเผยแพร่ : เผยแพร่ปีละ 3 ฉบับ ของทุกปี ดังนี้

ฉบับที่ 1 ระหว่างเดือน มกราคม – เมษายน

ฉบับที่ 2 ระหว่างเดือน พฤษภาคม – สิงหาคม

ฉบับที่ 3 ระหว่างเดือน กันยายน – ธันวาคม

กองบรรณาธิการ ประกอบด้วย

ศาสตราจารย์ ดร.ปรัชญนันท์ นิลสุข	คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ศาสตราจารย์เกียรติคุณเสริมศักดิ์ นาคบัว	ศิลปินแห่งชาติ สาขาออกแบบอุตสาหกรรม
ศาสตราจารย์ ดร.ผดุงศักดิ์ รัตนเดโช	ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
ศาสตราจารย์ ดร.ประยุทธ์ อัครเอกพาลิน	ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ศาสตราจารย์ ดร.สุขสันต์ หอพิบูลสุข	สำนักวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
รองศาสตราจารย์ ดร.สิทธิชัย แก้วเกื้อกุล	ภาควิชาครุศาสตร์อุตสาหกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
รองศาสตราจารย์ ดร.อัศรินทร์ พูลกระจำง	ภาควิชาครุศาสตร์อุตสาหกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
รองศาสตราจารย์ ดร.สรวิธ จริตงาม	ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
รองศาสตราจารย์ ดร.ธเนศ ธนิตย์ธีรพันธ์	ภาควิชาครุศาสตร์ไฟฟ้า คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าธนบุรี
รองศาสตราจารย์ ดร.กนกทิพย์ บุญเกิด	ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
รองศาสตราจารย์เรวัต สุขสิกาญจน์	สำนักวิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์และการออกแบบ มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์
รองศาสตราจารย์ ดร.ปณิดา วรรณพิรุณ	คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

ฝ่ายประสานงานและเผยแพร่

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วีระยุทธ สุดสมบูรณ์	สาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช
---	---

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธรรมสันต์ สุวรรณโรจน์	สาขาวิชานวัตกรรมคอมพิวเตอร์และอุตสาหกรรมดิจิทัล คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช
ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุนทร ปลื้มสง	สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้ากำลัง คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช
ดร.วิลาวัลย์ จินวรรณ	สาขาวิชาการจัดการอุตสาหกรรมและโลจิสติกส์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช
รองศาสตราจารย์ ดร.พงศ์เทพ วีระพงศ์	สาขาวิชาอุตสาหกรรมและการผลิต คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช
ผู้ช่วยศาสตราจารย์รัตยากร ไทยพันธ์	สาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช
ฝ่ายจัดการ	
อาจารย์วัสสา รวยรวย	สาขาวิชาอุตสาหกรรมศิลป์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช
อาจารย์วิศรุต ช่วยจันทร์	สาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมโยธา คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช
ดร.วรการณ สารีซา	สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช
อาจารย์อังกรสิริ อนุมณี	สาขาวิชานวัตกรรมการออกแบบ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช
อาจารย์เปรมิกา แซ่เตียว	สาขาวิชาอุตสาหกรรมและการผลิต คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช
อาจารย์ชญญาภัค ไชยพรรณ	สาขาวิชาการจัดการอุตสาหกรรมและโลจิสติกส์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช
ผู้ช่วยศาสตราจารย์อรพรรณ อำนวยศิลป์	สาขาวิชานวัตกรรมคอมพิวเตอร์และอุตสาหกรรมดิจิทัล คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช
อาจารย์ประภัสสร กุลทอง	สาขาวิชาการจัดการนวัตกรรมอุตสาหกรรมเพื่อสิ่งแวดล้อม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช

ดร.วีรพล ปานศรีนวล	สาขาวิชานวัตกรรมเทคโนโลยีอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช
คณะผู้เชี่ยวชาญในการตรวจสอบภาษาอังกฤษ	
ดร.ไพบี ตรีภูมิตินันท์	สาขาวิชาการจัดการอุตสาหกรรมและjisติกส์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช
ดร.ธานี จินตสุทธศักดิ์	สาขาวิชานวัตกรรมคอมพิวเตอร์และอุตสาหกรรมดิจิทัล คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช
ดร.ปิสุตา สังข์ศรี	สาขาวิชาการจัดการนวัตกรรมอุตสาหกรรมเพื่อสิ่งแวดล้อม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช
ดร.จิราพร สุขกรร	สาขาวิชาภาษาอังกฤษธุรกิจ คณะมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช
ผู้ช่วยศาสตราจารย์คณาพร แก้วแกมจันทร์	สาขาวิชาภาษาอังกฤษธุรกิจ คณะมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช
Asst.Dr. Mohammed Yassin Mohammed Aba Sha'ar สำนักวิทยบริการ และเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช	
ผู้จัดการวารสาร	
นางเกวณีน เกื้อสุข	นักวิชาการศึกษา คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช
นายโพธิ์เศรษฐ์ โพธิ์ปลอด	นักวิชาการโสตทัศนศึกษา คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช
นางสาวชาลิสา พรหมณัฐ	นักวิเคราะห์นโยบายและแผน คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช
นางสาวพัชณีย์ณี แก้วคงจันทร์	นักวิชาการเงินและบัญชี คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช
นายศวีระ วิเศษโชค	นักวิชาการโสตทัศนศึกษา บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช

ปก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ฉัตรชัย แก้วดี

สำนักงาน 1812 อาคาร 18 คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช
เลขที่ 1 หมู่ที่ 4 ตำบลท่าจี่ อำเภอมะนัง นครศรีธรรมราช จังหวัดนครศรีธรรมราช 80280
โทรศัพท์: 075-377-439 e-mail: technstru.editorjournal@gmail.com

เว็บไซต์วารสาร <https://ph03.tci-thaijo.org/index.php/AJITI>

พิมพ์ที่ สำนักงานหลักสูตรปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏ
นครศรีธรรมราช 1812 อาคาร 18
เลขที่ 1 หมู่ที่ 4 ตำบลท่าจี่ อำเภอมะนัง นครศรีธรรมราช จังหวัดนครศรีธรรมราช 80280
โทรศัพท์บรรณาธิการ: 089-729-2549 e-mail editor: technstru.editorjournal@gmail.com

ข้อกำหนดเฉพาะของวารสาร

1. บทความที่ลงตีพิมพ์ทุกเรื่องได้รับการตรวจสอบทางวิชาการ โดยผู้ประเมินอิสระหรือพิชญพิจารณ์ (Peer review) ที่มีความเชี่ยวชาญจำนวนบทความละ 3 ท่าน
2. ข้อคิดเห็นใด ๆ ของบทความที่ลงตีพิมพ์ในวารสารวิชานี้เป็นของผู้เขียน คณะผู้จัดทำวารสารไม่จำเป็นต้องเห็นด้วย
3. กองบรรณาธิการวารสารวิชาไม่ได้สงวนสิทธิ์การคัดลอกแต่ให้อ้างอิงแสดงที่มา

ค่าธรรมเนียมการตีพิมพ์บทความ :

ไม่มีการเรียกเก็บค่าธรรมเนียมการตีพิมพ์บทความ ฉบับที่ 1-12 และเก็บค่าธรรมเนียมตั้งแต่ ฉบับที่ 13 เป็นต้นไป บทความละ 3,000 บาท สำหรับบุคลากร/นักศึกษา ในสังกัดมหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช และ 4,000 บาท สำหรับบุคคลทั่วไป

บทบรรณาธิการ

“วารสารวิชาการนวัตกรรมอุตสาหกรรมและเทคโนโลยี” ปัจจุบันเป็นฉบับที่ 2 ของปีที่ 2 โดยเป็นวารสารของหลักสูตรปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช ซึ่งจัดทำขึ้นเพื่อส่งเสริมและสนับสนุนให้นักศึกษา คณาจารย์ บุคลากร นักวิชาการ ตลอดจนผู้สนใจทั้งภายในและภายนอกในการพัฒนางานวิจัย บทความวิชาการ บทความวิจารณ์ และบทความปริทัศน์ ได้มีช่องทางในการนำเสนอความคิด และผลผลิตจากการพัฒนางานวิจัยในระดับสูง สื่อสารผลงานวิชาการสู่ภายนอกอย่างเป็นระบบในช่องทางวิชาการ โดยการจัดทำวารสารมีเป้าหมายสู่การรับรองในกลุ่มภายในประเทศและวางกรอบสูงระดับนานาชาติในอนาคต

ขอบเขตของผลงานในวารสาร “วารสารวิชาการนวัตกรรมอุตสาหกรรมและเทคโนโลยี” เน้นเผยแพร่บทความวิจัย บทความวิชาการ บทความวิจารณ์ และบทความปริทัศน์ สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี บทความมีเนื้อหาที่เกี่ยวข้องอาทิเทคโนโลยีอุตสาหกรรม วิศวกรรมศาสตร์ วิทยาศาสตร์ประยุกต์ อุตสาหกรรมศึกษา เทคนิคและอาชีวศึกษา อุตสาหกรรมศิลป์ สถาปัตยกรรมและการออกแบบ และสาขาอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องสัมพันธ์กับเทคโนโลยีอุตสาหกรรม เพื่อในกรอบความคิดและการนำเสนอเป็นศาสตร์เดียวกัน โดยมีการจัดพิมพ์ฉบับนี้เป็นบทความวิจัยจำนวน 5 เรื่อง ในศาสตร์ทางเทคโนโลยีวัสดุอุตสาหกรรม เทคโนโลยีการผลิต เทคโนโลยีโลจิสติกส์ เทคโนโลยีโยธาและการจราจร

ขอขอบคุณความร่วมมือในการเผยแพร่ผลงานในรูปแบบของวารสารทางวิชาการในครั้งนี้ จากผู้เกี่ยวข้องหลากหลายฝ่าย ผู้สนใจตีพิมพ์เผยแพร่ผลงานทางวิชาการ กองบรรณาธิการ กรรมการผู้ทรงคุณวุฒิที่ตรวจประเมินบทความ (Peer reviewers) ทีมงานจัดทำวารสารทุกท่าน บรรณาธิการหวังเป็นอย่างยิ่งว่าวารสารฉบับนี้จะเป็นช่องทางใหม่ให้กับทุกคนที่สนใจและเป็นแหล่งสืบค้น เรียนรู้และอ้างอิงให้กับนักศึกษา คณาจารย์ บุคลากร นักวิชาการ ตลอดจนผู้สนใจทั้งภายในและภายนอก เพื่อประโยชน์แก่การพัฒนางานทางวิชาการให้มีคุณภาพต่อไป

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อภิศันย์ ศิริพันธ์

บรรณาธิการ

สารบัญ

	หน้า
วัตถุประสงค์ (Objectives)	A
กองบรรณาธิการวารสารวิชาการนวัตกรรมเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (Editorial Board of The Journal of Industrial Technology)	B
บทบรรณาธิการ	F
บทความวิจัย	
การเปรียบเทียบประสิทธิภาพวิธีค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่และการปรับเรียบเอกโพเนนเชียลอย่างง่าย ในการทำนายความต้องการเปลี่ยนถ่ายน้ำมันเครื่องรถบรรทุก: กรณีศึกษาในจังหวัดสงขลา A Comparison of Moving Average and Simple Exponential Smoothing Methods for Predicting Engine Oil Change Demand in Trucks: A Case Study in Songkhla Province <i>Rapatporn Phuchittrasin, Tanarat Rattanakool, Kantamon Sukkrajang, Chatchai Kaewdee, Weeraphol Pansrinual, and Weerayute Sudsomboon</i>	1-12
การเลือกทำเลที่ตั้งด้วยกระบวนการวิเคราะห์เชิงลำดับชั้น กรณีศึกษา: สถานตรวจสภาพรถเอกชน อำเภอเมือง จังหวัดสงขลา Location Selection Using the Analytic Hierarchy Process: A case study of private vehicle inspection centers, Mueang, Songkhla <i>Kantamon Sukkrajang and Tanarat Rattanakool</i>	13-23
การวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณแบบขั้นตอนของปัจจัยที่ส่งผลต่อการตัดสินใจในการเลือกใช้บริการ บริษัทขนส่งสินค้า A Stepwise Multiple Regression Analysis of Factors Influencing the Decision to Choose Freight Companies' Services <i>Chananan Sukkrajang, Kantamon Sukkrajang and Tanarat Rattanakool</i>	24-31
ถ่านกัมมันต์จากเหง้ามันสำปะหลังเพื่อการออกแบบผลิตภัณฑ์ดูดซับกลิ่น Activated Carbon from Cassava Rhizomes to Design Odor Absorbing Products <i>Kriangsak Khiaomang</i>	32-43
การศึกษาพฤติกรรมการกัดกร่อน-สึกกร่อนของเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำและสูงในสภาวะกรดและทราย โดยใช้การออกแบบการทดลองทางสถิติ A Study of Corrosion-Erosion Behavior of Low and High Carbon Steels in Acid and Sand Environments Using Taguchi's Experimental Design <i>Tanarat Rattanakool, Kantamon Sukkrajang, Chatchai Kaewdee, Weeraphol Pansrinual, and Weerayute Sudsomboon</i>	44-58

คำแนะนำในการเตรียมต้นฉบับ	59-66
จริยธรรมในการตีพิมพ์ผลงานวิจัยในวารสาร (Publication Ehtics)	67-68
แบบฟอร์มการส่งต้นฉบับ	69-70
รายนามผู้ทรงคุณวุฒิตรวจและพิจารณาบทความวารสารวิชาการนวัตกรรมเทคโนโลยีอุตสาหกรรม ปีที่ 2 ฉบับที่ 2 (พฤษภาคม – สิงหาคม พ.ศ. 2567)	71
แบบประเมินคุณภาพตามความคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิสำหรับการตีพิมพ์บทความวิจัย/บทความ วิชาการวารสารนวัตกรรมอุตสาหกรรมและเทคโนโลยี หลักสูตรปรัชญาดุษฎีบัณฑิตและคณะเทคโนโลยี อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช	72
แบบสรุปผลการประเมินบทความเพื่อตีพิมพ์ในวารสารนวัตกรรมอุตสาหกรรมและเทคโนโลยี หลักสูตรปรัชญาดุษฎีบัณฑิตและคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช	73

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพวิธีค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่และการปรับเรียบเอกโพเนนเชียลอย่างง่าย
ในการทำนายความต้องการเปลี่ยนถ่ายน้ำมันเครื่องรถบรรทุก: กรณีศึกษาในจังหวัดสงขลา

A Comparison of Moving Average and Simple Exponential Smoothing
Methods for Predicting Engine Oil Change Demand in Trucks: A Case Study
in Songkhla Province

รภัทร ภูชิตตราสิน¹, ธนะรัตน์ รัตนกุล^{2*}, กันต์ธมน สุขกระจ่าง², ฉัตรชัย แก้วดี³, วีรพล ปานศรีนวล³
และ วีระยุทธ สุตสมบุญ³

Rapatporn Phuchittrasin¹, Tanarat Rattanakool^{2*}, Kantamon Sukkrajang²,
Chatchai Kaewdee³, Weeraphol Pansrinual³, and Weerayute Sudsomboon³

¹ SFS Clinic อำเภอกะสมุย จังหวัดสุราษฎร์ธานี

² คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา

³ หลักสูตรปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชานวัตกรรมเทคโนโลยีอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช

* ผู้ประสานงานเผยแพร่ (Corresponding Author), E-mail: tanarat.ra@skru.ac.th

วันที่รับบทความ: 31 กรกฎาคม 2567; วันที่ทบทวนบทความ: 10 สิงหาคม 2567; วันที่ตอบรับบทความ: 12 สิงหาคม 2567

วันที่เผยแพร่ออนไลน์: 20 สิงหาคม 2567

บทคัดย่อ: การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทำนายความต้องการเปลี่ยนถ่ายน้ำมันเครื่องสำหรับรถบรรทุกขนาดใหญ่ โดยใช้ข้อมูลรายเดือนจากศูนย์บริการกรณีศึกษา ระหว่างปี พ.ศ. 2562 - พ.ศ. 2564 การศึกษาใช้ข้อมูลรายเดือนจำนวน 36 เดือน การศึกษานี้มุ่งเน้นการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการทำนายต่าง ๆ เพื่อหาแนวทางที่เหมาะสมที่สุดในการคาดการณ์ความต้องการบริการในอนาคต วิธีการทำนายที่นำมาใช้ในการวิจัยประกอบด้วยสองวิธีหลัก ได้แก่ การทำนายแบบค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ (Moving Average - MA) โดยใช้ช่วงเวลา 3 และ 5 เดือน และการปรับเรียบเอกโพเนนเชียลอย่างง่าย (Exponential smoothing) โดยใช้ค่าอัลฟา (α) เท่ากับ 0.1 และ 0.5 แต่ละวิธีถูกนำมาใช้กับชุดข้อมูลเดียวกันเพื่อสร้างการทำนาย และประเมินประสิทธิภาพของแต่ละวิธีการ การวิจัยนี้ใช้เกณฑ์การวัดความแม่นยำสามประการ ได้แก่ Mean Absolute Percentage Error (MAPE), Mean Absolute Error (MAE) และ Mean Squared Error (MSE) ซึ่งแต่ละเกณฑ์ให้มุมมองที่แตกต่างกันในการประเมินความถูกต้องของการทำนาย ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่า วิธี SES ที่ค่า $\alpha = 0.5$ ให้ค่า MAPE ต่ำที่สุดที่ 4.90 % วิธีการปรับเรียบเอกโพเนนเชียลอย่างง่าย (Exponential Smoothing) ที่มีค่าอัลฟาเท่ากับ 0.5 ให้ผลการทำนายที่มีความแม่นยำสูงสุดเมื่อประเมินด้วย MAE, MSE และ MAPE ซึ่งบ่งชี้ถึงความสามารถในการคาดการณ์ที่ใกล้เคียงกับค่าจริงมากที่สุดสำหรับการวางแผนต้องการความน้ำมันเครื่องสำหรับรถบรรทุกขนาดใหญ่ของบริษัทกรณีศึกษา ผลการวิจัยสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการวางแผนการจัดการสต็อกและการให้บริการของศูนย์บริการได้

คำสำคัญ: การทำนายความต้องการ, น้ำมันเครื่อง, รถบรรทุก

Abstract: The objective of this research is to predict the demand for engine oil changes in large trucks using monthly data from a case study service center between 2019 and 2021. The study utilizes 36 months of monthly data. This study focuses on comparing the performance of various prediction methods to determine the most suitable approach for forecasting future service demands. The prediction methods employed in this research comprise two main approaches: Moving Average (MA) with 3 and 5-month periods, and Exponential Smoothing with alpha (α) values of 0.1 and 0.5. Each method was applied to the same dataset to generate predictions, followed by a performance evaluation. To assess prediction accuracy, three criteria were utilized: Mean Absolute Percentage Error (MAPE), Mean Absolute Error (MAE), and Mean Squared Error (MSE). The results show that the SES method with an α value of 0.5 yields the lowest MAPE value of 4.90% and provides the most accurate predictions based on MAE, MSE, and MAPE, indicating its superior ability to predict values closely aligned with actual figures. This method is recommended for planning engine oil demand in large trucks at the case study company. This method is therefore recommended for planning engine oil demand for large trucks at the case study company. These findings can be applied to improve inventory management and service provision at the service center.

Key words: Demand prediction, Engine oil, Trucks

1. บทนำ

ปัจจุบันการบริหารจัดการทรัพยากรและการให้บริการอย่างมีประสิทธิภาพถือเป็นปัจจัยสำคัญในการดำเนินธุรกิจ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับการขนส่งที่ต้องอาศัยรถบรรทุกในการขับเคลื่อนธุรกิจ สิ้นปี 2563 จำนวนรถบรรทุกจดทะเบียนในประเทศไทยมีจำนวนกว่า 1.2 ล้านคัน [1] ซึ่งมีความต้องการในการบำรุงรักษาและดูแลรักษายานพาหนะอย่างต่อเนื่อง การเปลี่ยนถ่ายน้ำมันเครื่องสำหรับรถบรรทุก เป็นหนึ่งในกิจกรรมสำคัญที่ต้องมีการวางแผนล่วงหน้าอย่างรอบคอบ เพื่อให้สามารถตอบสนองต่อความต้องการของลูกค้าได้อย่างทันท่วงที และลดปัญหาการเสียหายที่อาจเกิดขึ้นจากการใช้งาน ศูนย์บริการกรณีศึกษาได้ดำเนินการเก็บข้อมูลการเปลี่ยนถ่ายน้ำมันเครื่องของรถบรรทุกขนาดใหญ่ย้อนหลังรายเดือน ตั้งแต่ปีพ.ศ. 2562 - พ.ศ. 2564 ข้อมูลเหล่านี้เป็นแหล่งข้อมูลสำคัญที่สามารถนำมาใช้ในการวิเคราะห์และทำนายความต้องการในอนาคตได้ โดยเฉพาะในพื้นที่

ภาคใต้ที่มีการขนส่งอย่างหนาแน่นและมีความต้องการบริการที่สูง การวิจัยนี้มุ่งเน้นไปที่การพัฒนาวิธีการทำนายที่มีความแม่นยำสูง เพื่อให้ศูนย์บริการกรณีศึกษาสามารถบริหารจัดการสต็อกและการให้บริการได้อย่างมีประสิทธิภาพในพื้นที่ภาคใต้ของประเทศไทย ในยุคของอุตสาหกรรม 4.0 การใช้เทคโนโลยีการวิเคราะห์ข้อมูลขั้นสูงเพื่อทำนายความต้องการได้กลายเป็นปัจจัยสำคัญในการเพิ่มความสามารถในการแข่งขันของธุรกิจ การศึกษานี้นำวิธีการค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ (Moving Average: MA) และการปรับเรียบเอกโพเนนเชียล (Exponential Smoothing) อย่างง่ายมาใช้ในการทำนาย ซึ่งเป็นเทคนิคที่ได้รับการพิสูจน์แล้วว่ามีความมีประสิทธิภาพในการทำนายข้อมูลอนุกรมเวลาในหลายสถานการณ์ งานวิจัยที่เกี่ยวข้องได้แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของวิธีการเหล่านี้ในบริบทต่าง ๆ เช่น Hwang และ Lee ได้แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของวิธีการ MA ในการทำนายความต้องการสินค้าในห่วงโซ่อุปทาน [2] ในขณะที่ Harly และคณะ ได้นำเสนอการ

ประยุกต์ใช้วิธีการปรับเรียบเอกโพเนนเชียล ในการทำนายยอดขายในอุตสาหกรรมค้าปลีก [3] นอกจากนี้ Budiarto, Miftahudin, และ Riwurahi ได้ศึกษาการใช้เทคนิค MA และเอกโพเนนเชียล ในการทำนายความต้องการชิ้นส่วนอะไหล่ในอุตสาหกรรมยานยนต์ [4] ซึ่งมีความเกี่ยวข้องอย่างใกล้ชิดกับการศึกษาครั้งนี้ โดยรวมเอาทั้งวิธีการ MA และการปรับเรียบเอกโพเนนเชียลกับวิธีการอื่น ๆ เพื่อปรับปรุงความแม่นยำในการทำนายความต้องการบริการซ่อมบำรุงยานพาหนะ ซึ่งมีความใกล้เคียงกับบริบทของการศึกษาครั้งนี้ การนำวิธีการเหล่านี้มาใช้ในบริบทของการเปลี่ยนถ่ายน้ำมันเครื่องสำหรับรถบรรทุกขนาดใหญ่จะไม่เพียงแต่ช่วยปรับปรุงการให้บริการของศูนย์บริการกรณีศึกษาเท่านั้น แต่ยังนำไปสู่การประยุกต์ใช้ในสถานการณ์อื่น ๆ ในอุตสาหกรรมขนส่งและโลจิสติกส์ เช่น การทำนายความต้องการอะไหล่ การวางแผนการซ่อมบำรุงเชิงป้องกัน หรือการจัดการคลังสินค้า ผลการวิจัยนี้จึงมีความสำคัญในการเลือกใช้วิธีการทำนายที่เหมาะสมต่อการวางแผนการบริหารจัดการทรัพยากรและการให้บริการของศูนย์บริการกรณีศึกษา ให้สามารถตอบสนองความต้องการของลูกค้าในพื้นที่ภาคใต้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ และทันเวลา นอกจากนี้ ยังนำไปสู่การพัฒนากระบวนการสนับสนุนการตัดสินใจที่ช่วยให้ผู้บริหารสามารถวางแผนเชิงกลยุทธ์ได้ดียิ่งขึ้น เช่น การขยายศูนย์บริการหรือการปรับเปลี่ยนรูปแบบการให้บริการ โดยรวมแล้วการศึกษานี้ไม่เพียงแต่จะช่วยปรับปรุงการให้บริการของศูนย์บริการกรณีศึกษาเท่านั้น แต่ยังอาจส่งผลในวงกว้างต่อการพัฒนาอุตสาหกรรมขนส่งและโลจิสติกส์ในภูมิภาค ซึ่งจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพ ลดต้นทุน และสนับสนุนการเติบโตทางเศรษฐกิจอย่างยั่งยืนในระยะยาว

2. วัตถุประสงค์การวิจัย

2.1 ทำนายความต้องการเปลี่ยนถ่ายน้ำมันเครื่อง โดยใช้ข้อมูลรายเดือนย้อนหลัง 3 ปี (พ.ศ. 2562-พ.ศ. 2564) จากศูนย์บริการ กรณีศึกษา ด้วยวิธีค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่และการปรับเรียบเอกโพเนนเชียลอย่างง่าย

2.2 เปรียบเทียบความแม่นยำของวิธีการทำนายต่าง ๆ โดยใช้เกณฑ์ MAPE, MAE และ MSE

3. ขอบเขตการวิจัย

3.1 **พื้นที่การศึกษา** โดยการศึกษาครั้งนี้จะดำเนินการศึกษาเฉพาะที่ศูนย์บริการ เปลี่ยนถ่ายน้ำมันเครื่องรถบรรทุกในพื้นที่จังหวัดสงขลาซึ่งเป็นพื้นที่ที่มีการขนส่งสินค้าผ่านทางรถบรรทุกขนาดใหญ่เป็นจำนวนมาก

3.2 **ข้อมูลที่ใช้ในการวิจัย** ข้อมูลที่ใช้ในการทำนายเป็นข้อมูลย้อนหลังรายเดือนเกี่ยวกับการเปลี่ยนถ่ายน้ำมันเครื่องสำหรับรถบรรทุกขนาดใหญ่ โดยรวบรวมข้อมูลตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2562 ถึง เดือนธันวาคม พ.ศ. 2564

3.3 **วิธีการทำนาย** การวิจัยนี้จะใช้วิธีการทำนายสองแบบหลัก ได้แก่ การทำนายแบบค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ (MA) ทดสอบกับช่วงเวลาที่แตกต่างกันแบบ 3 และ 5 เดือน [5] และการปรับเรียบเอกโพเนนเชียลอย่างง่ายที่ค่าอัลฟาแตกต่างกัน คือ อัลฟา 0.1 และ 0.5 [6]

3.4 **การประเมินผล** ผลการทำนายจะถูกประเมินโดยใช้เกณฑ์ดังนี้

3.4.1 ค่าเฉลี่ยร้อยละของความคลาดเคลื่อนแบบสัมบูรณ์ (Mean Absolute Percentage Error: MAPE)

3.4.2 ค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนแบบสัมบูรณ์ (Mean Absolute Error: MAE)

3.4.3 ค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนยกกำลังสอง (Mean Squared Error: MSE) เพื่อวัดความแม่นยำของแต่ละวิธีการทำนาย

4. วิธีดำเนินการวิจัย

การทำนายความต้องการเปลี่ยนถ่ายน้ำมันเครื่องสำหรับรถบรรทุกขนาดใหญ่ ด้วยวิธีค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ (MA) และการปรับเรียบเอกโพเนนเชียลอย่างง่าย กรณีศึกษา มีขั้นตอนการดำเนินการ ดังนี้

4.1 **การเก็บรวบรวมข้อมูล** การวิจัยนี้จะเริ่มด้วยการรวบรวมข้อมูลย้อนหลังรายเดือนเกี่ยวกับการเปลี่ยนถ่ายน้ำมันเครื่องสำหรับรถบรรทุกขนาดใหญ่จากศูนย์บริการกรณีศึกษา ที่ให้บริการรถบรรทุกหลากหลายประเภท ทั้งรถบรรทุก 6 ล้อ 10 ล้อ รถหัวลาก รถ NGV

และทางฟ่งทั้งใหม่และมือสอง โดยข้อมูลจะครอบคลุมตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2562 จนถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2564 รวมระยะเวลา 3 ปี ข้อมูลถูกรวบรวมจากระบบฐานข้อมูลของศูนย์บริการ โดยผ่านการตรวจสอบความถูกต้องและความสมบูรณ์หลังจากรวบรวมข้อมูลแล้ว จะมีการตรวจสอบความสมบูรณ์และความถูกต้องของข้อมูลอย่างละเอียด เพื่อให้มั่นใจว่าข้อมูลที่ให้นำไปใช้ในการวิเคราะห์และทำนายนั้นมีคุณภาพและน่าเชื่อถือ การตรวจสอบนี้อาจรวมถึงการระบุและจัดการกับค่าผิดปกติหรือข้อมูลที่ขาดหายไป เพื่อให้ผลการวิเคราะห์มีความแม่นยำมากที่สุด

4.2 การสร้างกราฟอนุกรมเวลา การสร้างกราฟอนุกรมเวลาเพื่อวิเคราะห์ข้อมูลความต้องการเปลี่ยนถ่ายน้ำมันเครื่องสำหรับรถบรรทุกทุกขนาดใหญ่ตลอดช่วงเวลาที่ศึกษา กราฟอนุกรมเวลานี้จะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนการเปลี่ยนถ่ายน้ำมันเครื่องและเวลา โดยใช้ข้อมูลรายเดือนตั้งแต่มกราคม พ.ศ. 2562 ถึงธันวาคม พ.ศ. 2564 การสร้างกราฟอนุกรมเวลาจะช่วยให้เห็นภาพรวมของแนวโน้ม ความเป็นฤดูกาล และความผันผวนของข้อมูลได้อย่างชัดเจน ทำให้สามารถระบุรูปแบบหรือพฤติกรรมที่เกิดขึ้นซ้ำ ๆ ในช่วงเวลาต่าง ๆ รวมถึงการเปลี่ยนแปลงที่ผิดปกติหรือเหตุการณ์พิเศษที่อาจส่งผลกระทบต่อความต้องการ

4.3 การทำนาย โดยใช้สมการการทำนายแบบค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ (MA) และการปรับเรียบเอกโพเนนเชียลอย่างง่าย โดย MA ถูกเลือกทำนายข้อมูลในครั้งนี้เนื่องจากความง่ายในการใช้งาน ส่วน SES ถูกเลือกเพราะความสามารถในการให้น้ำหนักข้อมูลล่าสุด

4.3.1 การทำนายแบบค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ (Moving Average - MA) มีสมการและตัวแปร ดังนี้ [5]

$$MA_t = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^{n-1} Y_{t-i} \dots \dots \dots (1)$$

เมื่อ

MA_t คือ ค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่สำหรับช่วงเวลา t

n คือ ช่วงเวลาที่ใช้ในการคำนวณค่าเฉลี่ย

Y_{t-i} คือ ค่าจริงของข้อมูลในช่วงเวลา $t - i$

4.3.2 การปรับเรียบเอกโพเนนเชียลอย่างง่าย (SES) มีสมการและตัวแปร ดังนี้ [6]

$$F_{t+1} = \alpha Y_t + (1 - \alpha) F_t \dots \dots \dots (2)$$

เมื่อ

F_{t+1} คือ ค่าทำนายสำหรับช่วงเวลา $t + 1$

Y_t คือ ค่าจริงของข้อมูลในช่วงเวลา t

F_t คือ ค่าทำนายสำหรับช่วงเวลา t

α คือ ค่าพารามิเตอร์การปรับเรียบ

4.4 การประเมินประสิทธิภาพการทำนาย โดยใช้เกณฑ์ MAPE, MAE และ MSE ดังสมการและตัวแปร ดังนี้

ค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เชิงร้อยละ (Mean Absolute Percentage Error: MAPE) [7]

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \left| \frac{Y_t - F_t}{Y_t} \right| \times 100 \dots \dots \dots (3)$$

ค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ (Mean Absolute Error: MAE) [8]

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n |Y_t - F_t| \dots \dots \dots (4)$$

ค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนยกกำลังสอง (Mean Squared Error: MSE) [9]

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (Y_t - F_t)^2 \dots \dots \dots (5)$$

เมื่อ

n คือ จำนวนของการสังเกตหรือข้อมูล

Y_t คือ ค่าจริงของตัวแปรเป้าหมาย
ในช่วงเวลาที่ t

F_t คือ ค่าที่ทำนายของตัวแปรเป้าหมาย
ในช่วงเวลาที่ t

5. ผลการวิจัย

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการทำนายความต้องการเปลี่ยนถ่ายน้ำมันเครื่องสำหรับรถบรรทุกขนาดใหญ่ ด้วยวิธีค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ และการปรับเรียบเอกโพเนนเชียลอย่างง่าย เลือกใช้ค่า k เท่ากับ 3 และ 5 เดือน สำหรับวิธีค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ (MA) โดยพิจารณาจากช่วงเวลาที่เหมาะสมในการสะท้อนถึงแนวโน้มความต้องการในอดีต และเลือกใช้ค่า α เท่ากับ 0.1 และ 0.5 สำหรับวิธีการปรับเรียบเอกโพเนนเชียล (SES) เพื่อ

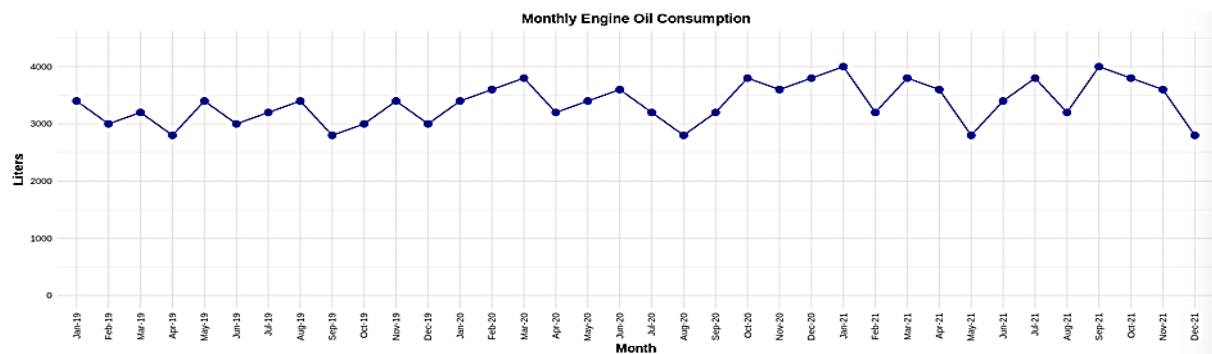
เปรียบเทียบผลลัพธ์จากการให้น้ำหนักที่แตกต่างกันกับข้อมูลล่าสุด มีผลการวิจัยดังนี้

5.1 ผลการเก็บรวบรวมข้อมูล นำเสนอการผ่านการสร้างกราฟแบบอนุกรมเวลา (Times Series Plot) ดังตารางที่ 1 และภาพที่ 1

ตารางที่ 1 ข้อมูลการปริมาณน้ำเครื่องระหว่าง พ.ศ. 2562-พ.ศ. 2564

เดือน	ลิตร	เดือน	ลิตร	เดือน	ลิตร
ม.ค.-62	3,400	ม.ค.-63	3,400	ม.ค.-64	4,000
ก.พ.-62	3,000	ก.พ.-63	3,600	ก.พ.-64	3,200
มี.ค.-62	3,200	มี.ค.-63	3,800	มี.ค.-64	3,800
เม.ย.-62	2,800	เม.ย.-63	3,200	เม.ย.-64	3,600

เดือน	ลิตร	เดือน	ลิตร	เดือน	ลิตร
พ.ค.-62	3,400	พ.ค.-63	3,400	พ.ค.-64	2,800
มิ.ย.-62	3,000	มิ.ย.-63	3,600	มิ.ย.-64	3,400
ก.ค.-62	3,200	ก.ค.-63	3,200	ก.ค.-64	3,800
ส.ค.-62	3,400	ส.ค.-63	2,800	ส.ค.-64	3,200
ก.ย.-62	2,800	ก.ย.-63	3,200	ก.ย.-64	4,000
ต.ค.-62	3,000	ต.ค.-63	3,800	ต.ค.-64	3,800
พ.ย.-62	3,400	พ.ย.-63	3,600	พ.ย.-64	3,600
ธ.ค.-62	3,000	ธ.ค.-63	3,800	ธ.ค.-64	2,800

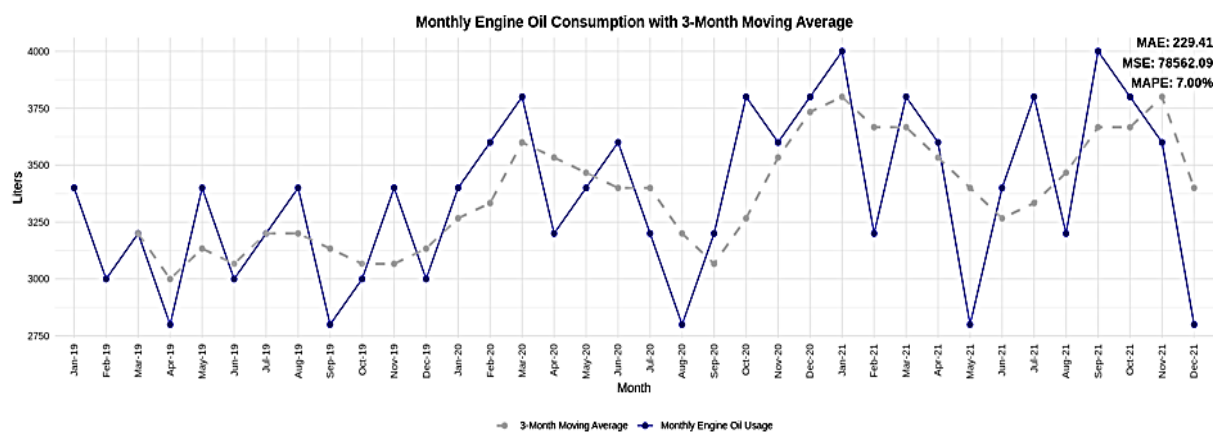


ภาพที่ 1 ปริมาณเปลี่ยนถ่ายน้ำมันเครื่องสำหรับรถบรรทุกขนาดใหญ่

จากตารางที่ 1 และภาพที่ 1 พบแนวโน้มการเปลี่ยนถ่ายน้ำมันเครื่องเพิ่มขึ้นในปี พ.ศ. 2564 เมื่อเทียบกับปี พ.ศ. 2562-พ.ศ. 2563 โดยเฉพาะเดือนมกราคม มีปริมาณ 4,000 ลิตร ซึ่งสูงกว่าปี พ.ศ. 2562-พ.ศ. 2563 ปริมาณ 3,400 ลิตร แสดงถึงความเป็นไปได้ในการใช้วิธี แนวโน้ม เช่น การปรับเรียบเอกโพเนนเชียล อย่างง่าย (SES) ในการทำนายปริมาณน้ำเครื่องในอนาคต อย่างไรก็ตาม บางเดือนในปี พ.ศ. 2564 มีปริมาณน้ำเครื่องลดลง เช่น พฤษภาคมและธันวาคม

บ่งชี้ถึงปัจจัยอื่น ๆ นอกเหนือจากแนวโน้ม จำเป็นต้องใช้วิธีแบบค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ (MA) มาร่วมในการทำนายข้อมูลในอดีตให้มีความแม่นยำมากขึ้น ช่วยในการพัฒนาวิธีและวางแผนการบริหารจัดการเปลี่ยนถ่ายน้ำมันเครื่องได้อย่างมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้นดังผลที่จะกล่าวถึงในขั้นตอนถัดไป

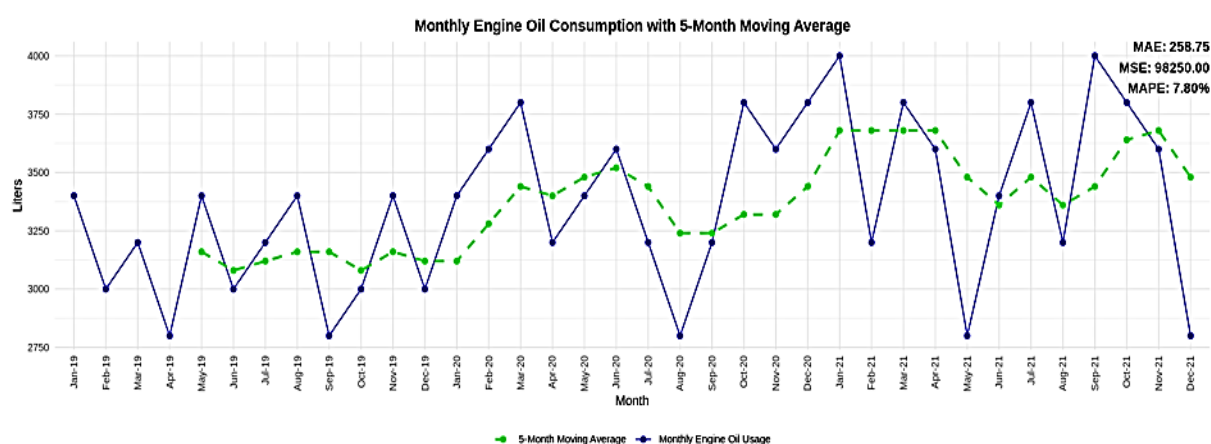
5.2 ผลการทำนาย โดยใช้วิธีการทำนายแบบค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ (MA) และการปรับเรียบเอกโพเนนเชียล อย่างง่าย ดังภาพที่ 2 ถึง 6



ภาพที่ 2 ผลการทำนายปริมาณเปลี่ยนถ่ายน้ำมันเครื่องสำหรับรถบรรทุกขนาดใหญ่ วิธีค่าเฉลี่ยที่ 3 เดือน (MA 3)

ภาพที่ 2 แสดงปริมาณการใช้น้ำมันเครื่องต่อเดือน เปรียบเทียบระหว่างปริมาณการใช้งานจริง (เส้นสีน้ำเงิน) กับปริมาณที่ทำนายโดยวิธี MA 3 (เส้นประสีเทา) พบว่าวิธี MA 3 สามารถทำนายปริมาณการใช้น้ำมันเครื่องได้ใกล้เคียงกับค่าจริงในช่วงเดือนมกราคม พ.ศ. 2562 ถึง

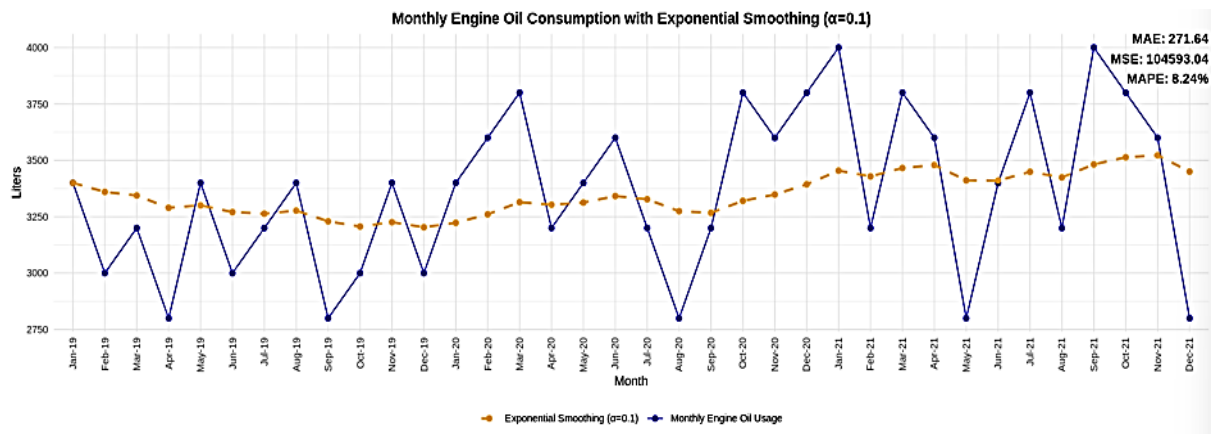
พฤษภาคม พ.ศ. 2563 อย่างไรก็ตาม ในช่วงเดือนมิถุนายน พ.ศ. 2563 ถึง พฤษภาคม พ.ศ. 2564 จะเห็นได้ว่าค่าที่ทำนายด้วย MA 3 มีค่าต่ำกว่า ค่าจริงอย่างเห็นได้ชัด และในช่วงเดือนกันยายนถึงพฤศจิกายน พ.ศ. 2564 ค่าที่ทำนายกลับสูงกว่าค่าจริงอย่างชัดเจน



ภาพที่ 3 ผลการทำนายปริมาณเปลี่ยนถ่ายน้ำมันเครื่องสำหรับรถบรรทุกขนาดใหญ่ วิธีค่าเฉลี่ยที่ 5 เดือน (MA 5)

จากภาพที่ 3 แสดงปริมาณการใช้น้ำมันเครื่องต่อเดือน เปรียบเทียบระหว่างปริมาณการใช้งานจริง (เส้นสีน้ำเงิน) กับปริมาณที่ทำนายโดยวิธี MA 5 (เส้นประสีเขียว) พบว่าวิธี MA 5 สามารถทำนายปริมาณการใช้น้ำมันเครื่องได้ใกล้เคียงกับค่าจริงในบางช่วงเวลา

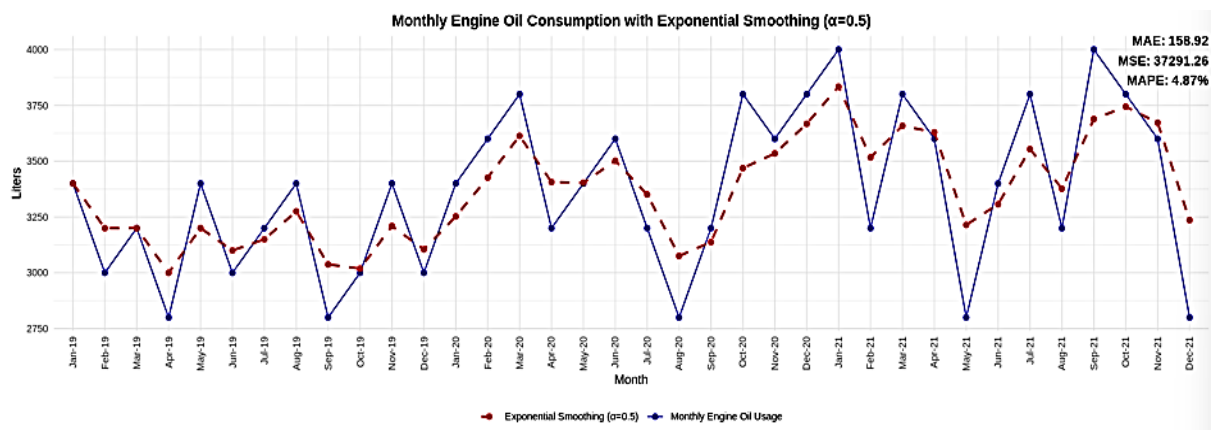
อย่างไรก็ตาม ในช่วงเดือนมิถุนายน พ.ศ. 2563 ถึง พฤษภาคม พ.ศ. 2564 จะเห็นได้ว่าค่าที่ทำนายมีค่าต่ำกว่าค่าจริงอย่างเห็นได้ชัด ในขณะที่ช่วงเดือนมิถุนายน พ.ศ. 2564 ถึง ตุลาคม พ.ศ. 2564 ค่าที่ทำนายกลับสูงกว่าค่าจริง



ภาพที่ 4 ผลการทำนายปริมาณเปลี่ยนถ่ายน้ำมันเครื่องสำหรับรถบรรทุกขนาดใหญ่ ด้วย SES 0.1

จากภาพที่ 4 แสดงปริมาณการใช้น้ำมันเครื่องต่อเดือน เปรียบเทียบระหว่างปริมาณการใช้งานจริง (เส้นสีน้ำเงิน) กับปริมาณที่ทำนายโดยวิธี SES 0.1 (เส้นประสีส้ม) พบว่าวิธี SES 0.1 มีแนวโน้มทำนายค่าใกล้เคียงกับค่าจริงในช่วงมกราคม พ.ศ. 2562 ถึง พฤษภาคม พ.ศ. 2563 และมีช่วงที่ทำนายต่ำกว่าค่าจริง

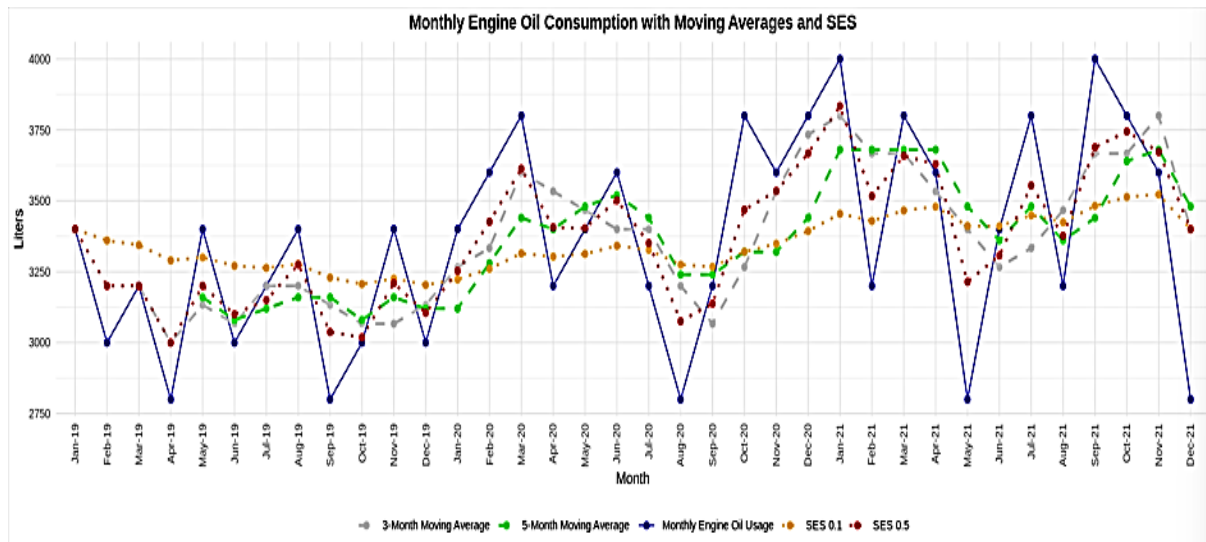
ชัดเจนในช่วงเดือนมิถุนายน พ.ศ. 2563 ถึง พฤษภาคม พ.ศ. 2564 ส่วนช่วงที่เหลือของข้อมูล ระหว่างมิถุนายน พ.ศ. 2564 ถึง ธันวาคม พ.ศ. 2564 ค่าทำนายมีทั้งสูงและต่ำกว่าค่าจริงสลับกัน



ภาพที่ 5 ผลการทำนายปริมาณเปลี่ยนถ่ายน้ำมันเครื่องสำหรับรถบรรทุกขนาดใหญ่ ด้วยการปรับเรียบเอกโพเนนเชียลอย่างง่าย ที่ค่าอัลฟา (α) เท่ากับ 0.5 (SES 0.5)

จากภาพที่ 5 แสดงปริมาณการใช้น้ำมันเครื่องต่อเดือน เปรียบเทียบระหว่างปริมาณการใช้งานจริง (เส้นสีน้ำเงิน) กับปริมาณที่ทำนายโดยวิธี SES 0.5 (เส้นประสีแดง) พบว่าวิธี SES 0.5 สามารถทำนายปริมาณการใช้น้ำมันเครื่องได้ใกล้เคียงกับค่าจริงในช่วงเดือนมกราคม พ.ศ. 2562 ถึง พฤษภาคม พ.ศ. 2563 และช่วง

เดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2564 ถึง ธันวาคม พ.ศ. 2564 อย่างไรก็ตาม ในช่วงเดือนมิถุนายน พ.ศ. 2563 ถึง มิถุนายน พ.ศ. 2564 พบว่าค่าที่ทำนายมีค่าทั้งสูงและต่ำกว่าค่าจริงสลับกันไป แสดงให้เห็นว่าวิธี SES 0.5 มีช่วงที่ทำนายได้ใกล้เคียงกับค่าจริงเป็นบางช่วง



ภาพที่ 6 ผลการทำนายปริมาณเปลี่ยนถ่ายน้ำมันเครื่องสำหรับรถบรรทุกขนาดใหญ่ทุกวิธี

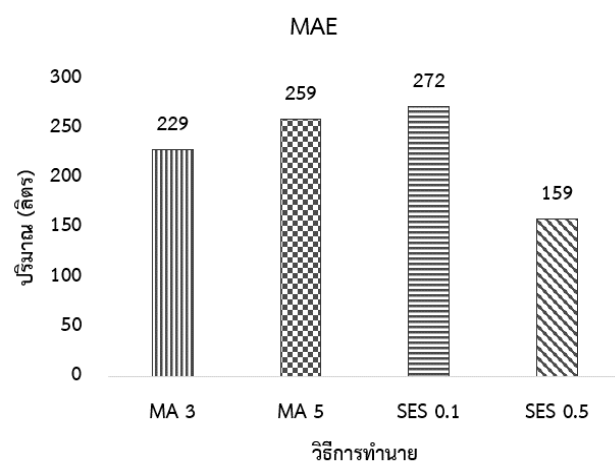
จากภาพที่ 6 แสดงปริมาณการใช้ น้ำมันเครื่องต่อเดือน เปรียบเทียบระหว่างปริมาณการใช้งานจริง (เส้นสีน้ำเงิน) กับปริมาณที่ทำนายด้วยวิธีการทำนายแบบต่าง ๆ พบว่าวิธี SES 0.5 (เส้นประสีแดง) ทำนายค่าได้ใกล้เคียงกับค่าจริงมากที่สุด ในภาพรวม โดยเฉพาะช่วงเดือนมกราคม พ.ศ. 2563 ถึง กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2564 รองลงมาคือ SES 0.1 (เส้นประสีส้ม) ที่ทำนายได้ใกล้เคียงกับค่าจริงเช่นกัน แต่มีลักษณะแล็กกิง (Lagging) ของข้อมูล หมายความว่า ค่าที่ทำนายได้จะตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของข้อมูลจริงช้ากว่า ส่วนวิธี MA ไม่สามารถทำนายได้ใกล้เคียงกับค่าจริงเท่าวิธี SES

5.3 ผลการประเมินประสิทธิภาพการทำนาย ด้วยค่าเฉลี่ยร้อยละของความคลาดเคลื่อนแบบสัมบูรณ์ (MAPE) ค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนแบบสัมบูรณ์ (MAE) และค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนยกกำลังสอง (MSE) ดังตารางที่ 2 และภาพที่ 7 ถึง 9

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบประสิทธิภาพ

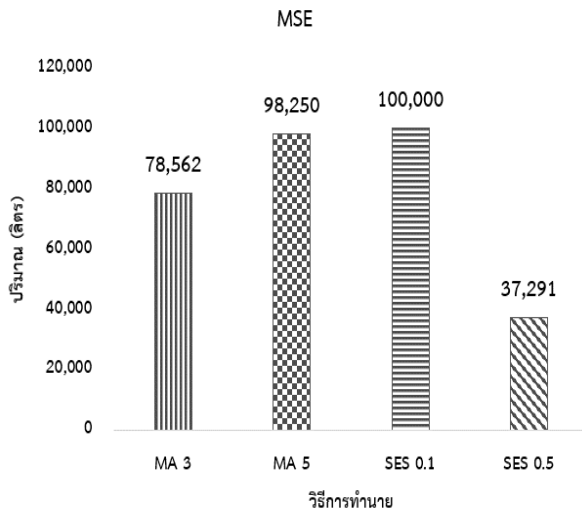
วิธีการ	MAE	MSE	MAPE
MA 3	229	78,562	7.00%
MA 5	259	98,250	7.80%
SES 0.1	272	100,000	8.20%
SES 0.5	159	37,291	4.90%

จากตารางที่ 2 เปรียบเทียบวิธีการพยากรณ์ต่าง ๆ เราพบว่าวิธี SES 0.5 มีประสิทธิภาพสูงที่สุดโดยรวมมีค่า MAE ต่ำที่สุดที่ 159 ค่า MSE ต่ำที่สุดที่ 37,291 และค่า MAPE ต่ำที่สุดที่ 4.9 % วิธี MA 3 หรือ Moving Average 3 เดือน มีประสิทธิภาพรองลงมาเป็นอันดับสอง โดยมีค่า MAE MSE และ MAPE ที่ต่ำกว่า MA 5 และ SES 0.1 ส่วนวิธี MA 5 หรือ Moving Average 5 เดือน มีประสิทธิภาพปานกลาง มีค่าความคลาดเคลื่อนสูงกว่า MA 3 แต่ต่ำกว่า SES 0.1 ในขณะที่วิธี SES 0.1 มีประสิทธิภาพต่ำที่สุดในกลุ่ม โดยมีค่า MAE สูงที่สุดที่ 272 ค่า MSE สูงที่สุดที่ 100,000 และค่า MAPE สูงที่สุดที่ 8.2 %



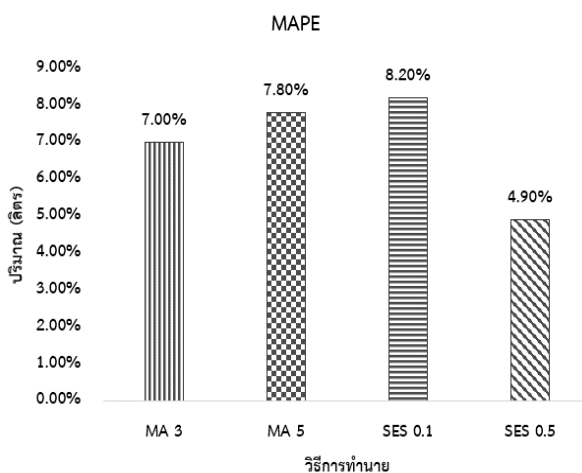
ภาพที่ 7 เปรียบเทียบค่า MAE ของแต่ละวิธี

จากภาพที่ 7 เปรียบเทียบค่า MAE ของวิธีการทำนายปริมาณน้ำ พบว่าวิธี SES ที่ใช้ค่า α 0.5 มีค่า MAE ต่ำที่สุด 159 รองลงมา คือ MA 3 มีค่าเท่ากับ 229 MA 5 มีค่าเท่ากับ 259 และ SES ที่ใช้ค่า α 0.1 มีค่าเท่ากับ 272 ตามลำดับ



ภาพที่ 8 เปรียบเทียบค่า MSE ของแต่ละวิธี

ภาพที่ 8 เปรียบเทียบค่า MSE ของวิธีการทำนายปริมาณน้ำ พบว่าวิธี SES ที่ใช้ค่า α 0.5 มีค่า MSE ต่ำที่สุด 37,291 รองลงมา คือ MA 3 มีค่าเท่ากับ 78,562 MA 5 มีค่าเท่ากับ 98,250 และ SES ที่ใช้ค่า α 0.1 มีค่าเท่ากับ 100,000 ตามลำดับ



ภาพที่ 9 เปรียบเทียบค่า MAPE ของแต่ละวิธี

ภาพที่ 9 เปรียบเทียบค่า MAPE ของวิธีการทำนายปริมาณน้ำ พบว่าวิธี SES ที่ใช้ค่า α 0.5 มีค่า MAPE ต่ำที่สุด 4.90 % รองลงมา คือ SES ที่ใช้ค่า α 0.1 มีค่าเท่ากับ 8.20% MA 5 มีค่าเท่ากับ 7.80 % และ MA 3 มีค่าเท่ากับ 7.00 % ตามลำดับ

จากภาพที่ 7 ถึง 9 แสดงให้เห็นแนวโน้มที่สอดคล้องกันระหว่างค่า MAE MSE และ MAPE สำหรับแต่ละวิธีการพยากรณ์ กล่าวคือ เมื่อค่าหนึ่งมีค่าต่ำ ค่าอื่น ๆ ก็มักจะมีค่าต่ำด้วย ในทำนองเดียวกัน เมื่อค่าหนึ่งสูง ค่าอื่น ๆ ก็มีแนวโน้มที่จะสูงตามไปด้วย

6. สรุปและอภิปรายผล

ผลการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการทำนายปริมาณความต้องการเปลี่ยนถ่ายน้ำมันเครื่องสำหรับรถบรรทุกขนาดใหญ่ โดยใช้ข้อมูลรายเดือนจากศูนย์บริการกรณีศึกษา ระหว่างปี พ.ศ. 2562 ถึง พ.ศ. 2564 แสดงให้เห็นว่าวิธีการปรับเรียบเอ็กซ์โปเนนเชียลอย่างง่าย (SES) ที่ค่า α 0.5 ให้ผลการทำนายที่มีความแม่นยำสูงที่สุด เมื่อพิจารณาจากค่า MAE และ MSE ที่ต่ำที่สุด ผลลัพธ์นี้สอดคล้องกับหลักการของ SES ที่ค่า α ที่สูงขึ้นจะให้ความสำคัญกับข้อมูลล่าสุดมากขึ้น ซึ่งในกรณีนี้ ข้อมูลความต้องการเปลี่ยนถ่ายน้ำมันเครื่องอาจมีความผันผวนในระยะสั้นค่า α 0.5 จึงสามารถปรับตัวตามการเปลี่ยนแปลงของข้อมูลได้ดีกว่าค่า α ที่ต่ำกว่า อย่างไรก็ตาม การเลือกค่า α ที่เหมาะสมใน SES นั้นขึ้นอยู่กับลักษณะของข้อมูล จากผลลัพธ์ที่ SES ที่ค่า α 0.1 ให้ผลลัพธ์ความแม่นยำต่ำที่สุด เนื่องจากค่า α ที่ต่ำเกินไปทำให้ไม่สามารถตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของข้อมูลได้อย่างรวดเร็ว ผลการศึกษานี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Karmaker [10] และ Salim [11] ที่ทดลองทำนายโดยใช้ SES ด้วยค่า α ที่แตกต่างกัน และพบว่าค่า α ที่เหมาะสมนั้นขึ้นอยู่กับข้อมูล โดยใน

งานวิจัยของ Karmaker [10] พบว่าค่าอัลฟา (α) ที่เหมาะสมคือ 0.14 สำหรับค่า MSE ต่ำสุด และ 0.31 สำหรับค่า MAD ต่ำสุด ในขณะที่งานวิจัยของ Salim [11] พบว่า ค่าอัลฟา (α) 0.8 ให้ผลลัพธ์ MAPE ต่ำสุด แสดงให้เห็นว่าการเลือก ค่าอัลฟา (α) ต้องพิจารณาข้อมูลและเกณฑ์วัดประสิทธิภาพที่ใช้ สำหรับวิธีการค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ (MA) นั้น พบว่า MA ที่ช่วงเวลา 3 เดือน (MA 3) มีประสิทธิภาพดีกว่า MA ที่ช่วงเวลา 5 เดือน (MA 5) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าช่วงเวลาที่ยาวของ MA เหมาะสมกับข้อมูลที่มีความผันผวนในระยะสั้นมากกว่า เนื่องจาก MA คำนวณค่าเฉลี่ยจากช่วงเวลาที่กำหนด ช่วงเวลาที่สั้นลงจึงทำให้สามารถจับการเปลี่ยนแปลงของข้อมูลได้รวดเร็วกว่า ผลลัพธ์นี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Rahayu [12] ที่ใช้ MA ในการทำนายยอดขายข้าวสาร และพบว่า MA สามารถทำนายยอดขายได้ในระดับที่น่าพอใจ อย่างไรก็ตามข้อจำกัดของ MA คือ ไม่สามารถพิจารณาแนวโน้มหรือรูปแบบฤดูกาล ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อความแม่นยำในการทำนาย ดังเช่นที่ Khairina และคณะ [13] พบว่า SES ให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่า MA ในการทำนายรายได้ภาษีน้ำบาดาล เนื่องจากข้อมูลมีความผันผวนตามฤดูกาล ถึงแม้ SES ที่ ค่าอัลฟา (α) 0.5 จะให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุด แต่การทำนายความต้องการเปลี่ยนถ่านน้ำมันเครื่องนั้นยังมีปัจจัยอื่น ๆ ที่ควรพิจารณาเพิ่มเติม เช่น ช่วงฤดูฝนอาจมีความต้องการเปลี่ยนถ่านน้ำมันเครื่องมากขึ้น และสภาพเศรษฐกิจ เช่น ภาวะเศรษฐกิจถดถอยอาจส่งผลให้ความต้องการลดลง ดังนั้น การนำวิธีการทำนายแบบอื่น ๆ เช่น ARIMA หรือ Holt-Winters ซึ่งสามารถพิจารณาแนวโน้มและรูปแบบฤดูกาลมาใช้เปรียบเทียบกับ SES อาจช่วยเพิ่มความแม่นยำในการทำนายได้ นอกจากนี้ การพัฒนาระบบสนับสนุนการตัดสินใจโดยใช้ผลการทำนายจาก SES หรือวิธีการอื่น ๆ ร่วมกับข้อมูลปัจจัยภายนอก เช่น ฤดูกาล สภาพเศรษฐกิจ และข้อมูลโปรโมชั่น จะช่วยให้ศูนย์บริการสามารถวางแผนและ

บริหารจัดการทรัพยากรได้อย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น เช่น การจัดเตรียมน้ำมันเครื่องให้เพียงพอต่อความต้องการ การจัดสรรพนักงานให้เหมาะสมกับปริมาณงาน และการวางแผนการตลาดเพื่อกระตุ้นยอดขายในช่วงเวลาที่เหมาะสม การศึกษาครั้งนี้แสดงให้เห็นว่า SES เป็นวิธีการทำนายที่มีประสิทธิภาพสำหรับข้อมูลที่มีความผันผวน

อย่างไรก็ตามการศึกษานี้จำกัดอยู่ในพื้นที่จังหวัดสงขลา ซึ่งอาจไม่สามารถเป็นตัวแทนของทั้งประเทศได้ รวมถึงการเลือกค่าอัลฟา (α) ที่เหมาะสมและการพิจารณาปัจจัยภายนอกเป็นสิ่งสำคัญ การนำวิธีการทำนายแบบอื่น ๆ มาใช้เปรียบเทียบ และการพัฒนาระบบสนับสนุนการตัดสินใจจะช่วยเพิ่มความแม่นยำในการทำนายและประสิทธิภาพในการบริหารจัดการทรัพยากรของศูนย์บริการได้ดียิ่งขึ้น

7. ข้อเสนอแนะการนำไปใช้งาน

7.1 ข้อเสนอแนะจากการวิจัย

ศูนย์บริการกรณีศึกษาสามารถนำ SES ที่ค่าอัลฟา (α) = 0.5 ไปประยุกต์ใช้ในการคาดการณ์ความต้องการใช้น้ำมันเครื่องสำหรับรถบรรทุกขนาดใหญ่ เพื่อช่วยในการวางแผนสั่งซื้อสินค้าคงคลัง บริหารจัดการสต็อกน้ำมันเครื่องให้เพียงพอต่อความต้องการ ลดปัญหาสินค้าขาดหรือสินค้าล้นคลัง อันจะนำไปสู่การลดต้นทุนและเพิ่มประสิทธิภาพในการดำเนินงานของศูนย์บริการ

7.2 ข้อเสนอแนะเพื่อเป็นแนวทางการพัฒนาเพื่อขยายผลต่อไปประโยชน์ทางสาธารณะ

ผลการวิจัยนี้เป็นประโยชน์ต่อการนำไปประยุกต์ใช้ในการวางแผนการใช้น้ำมันเครื่องในระดับที่ใหญ่ขึ้น เช่น การบริหารจัดการสต็อกน้ำมันเครื่องให้เพียงพอต่อความต้องการของประชาชน การวางแผนการผลิตและนำเข้าน้ำมันเครื่องให้สอดคล้องกับปริมาณการใช้ในแต่ละช่วงเวลา ช่วยป้องกันปัญหาการขาดแคลนหรือมีสต็อกล้นเกิน อันจะส่งผลกระทบต่อเศรษฐกิจและสังคมในวงกว้าง

นอกจากนี้ผลการวิจัยยังเป็นประโยชน์ต่อกลุ่มธุรกิจ ที่มีความเกี่ยวข้องกับน้ำมันเครื่อง เช่น กลุ่มธุรกิจยานยนต์ อุตสาหกรรมหนัก หรือแม้แต่ธุรกิจค้าปลีกน้ำมันเครื่อง โดยสามารถนำวิธีที่เหมาะสมไปประยุกต์ใช้ในการคาดการณ์ความต้องการของลูกค้าวางแผนการสั่งซื้อสินค้าและบริหารจัดการสต็อกสินค้าให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้นต่อไป

7.3 ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยในอนาคต

ได้นอกจากนี้ การนำวิธีการทำนายแบบอื่น ๆ เช่น ARIMA [13] หรือ Machine Learning [15] มาใช้เปรียบเทียบ และการพัฒนาระบบสนับสนุนการตัดสินใจ โดยใช้ผลการทำนายร่วมกับปัจจัยภายนอก จะช่วยเพิ่มความแม่นยำและประสิทธิภาพในการวางแผนและบริหารจัดการทรัพยากรของศูนย์บริการได้ดียิ่งขึ้น

8. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณศูนย์บริการกรณีศึกษาที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลในการวิจัยครั้งนี้ และขอขอบคุณผู้วิจัยทุกท่านที่ได้มีส่วนร่วมในการศึกษา

9. เอกสารอ้างอิง

- [1] Sathapongpakdee, P., 2022. *Industry Outlook 2022-2024: Road Freight Transportation Service*. [Online]. Available: <https://www.krungsri.com/en/research/industry/industry-outlook/logistics/road-freight-transportation/io/road-freight-transportation-2022-2024>. Accessed 10 August 2024.
- [2] Hwang, W. and Lee, J., 2014. "A new forecasting scheme for evaluating long-term prediction performances in supply chain management," *Int Trans Operational Res.* 21(6): pp. 1045–1060.
- [3] Harly, J., Nababan, M., Bintang, L. H., Rizal, R. A., and -, A., 2023. "Comparison of Single Exponential Smoothing Method with Double Exponential Smoothing Method Prediction of Salt," *JUSIKOM PRIMA.* 6(2): pp. 1–5.
- [4] Budiarto, D. D., Miftahudin, M., and Riwurohi, J. E., 2024. "Application of Exponential Smoothing Method for Forecasting Spare Parts Inventory at Heavy Equipment Distributor Company," *Eduvest.* 4(3): pp. 959–976.
- [5] Huriati, P., Erianda, A., Alanda, A., Meidelfi, D., and Suryani, A. I., 2022. "Implementation of The Moving Average Method for Forecasting Inventory in CV. Tre Jaya Perkasa," *International Journal of Advanced Science Computing and Engineering.* 4(2): pp. 67–75.
- [6] Rachmat, R. and Suhartono, S., 2020. "Comparative analysis of single exponential smoothing and holt's method for quality of hospital services forecasting in general hospital," *Bulletin of Computer Science and Electrical Engineering.* 1(2): pp. 80–86.
- [7] Ahmar, A. S., 2020. "Forecast Error Calculation with Mean Squared Error (MSE) and Mean Absolute Percentage Error (MAPE)," *jinav j. inf. vis.* 1(2): pp. 94–96.
- [8] Robeson, S. M. and Willmott, C. J., 2023. "Decomposition of the mean absolute error (MAE) into systematic and unsystematic components," *PLoS One.* 18(2): pp. 1–8.
- [9] Hodson, T. O., Over, T. M., and Foks, S. S., 2021. "Mean Squared Error, Deconstructed," *J Adv Model Earth Syst.* 13(12): pp. 1–10.

- [10] Karmaker, C. L., 2017. "Determination of optimum smoothing constant of single exponential smoothing method: a case study," *International Journal of Research in Industrial Engineering*. 6(3): pp. 184–192.
- [11] Marpaung, N. L., Salim, K. R., Amri, R., and Ervianto, E., 2019. "Application of Single Exponential Smoothing in Forecasting Number of New Students Acceptance," *Int. J. Technol. Eng. Stud.* 5(6): pp. 169–182.
- [12] Rahyul, A., 2016. "Forecasting sales at widodo makmur rice shop using the moving average method," M.S. thesis. Nusantara Univ., Jakarta, Indonesia.
- [13] Khairina, D. M., Muaddam, A., Maharani, S., and Rahmania, H., 2019. "Forecasting of groundwater tax revenue using single exponential smoothing method," In *Proceedings of E3S Web of Conferences*, 2019, 125, p. 23006. [Online]. Available: https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/abs/2019/51/e3sconf_icenis2019_23006/e3sconf_icenis2019_23006.html. Accessed: 15 July 2024.
- [14] Dey, B., Roy, B., Datta, S., and Ustun, T. S., 2023. "Forecasting ethanol demand in India to meet future blending targets: A comparison of ARIMA and various regression models," *Energy Reports*. 9(1): pp. 411–418.
- [15] Chelliah, B. J., Latchoumi, T. P., and Senthilselvi, A., 2024. "Analysis of demand forecasting of agriculture using machine learning algorithm," *Environ Dev Sustain.* 26(1): pp. 1731–1747.

การเลือกทำเลที่ตั้งด้วยกระบวนการวิเคราะห์เชิงลำดับชั้น

กรณีศึกษา: สถานตรวจสภาพรถเอกชน อำเภอเมือง จังหวัดสงขลา

Location Selection Using the Analytic Hierarchy Process:

A case study of private vehicle inspection centers, Mueang, Songkhla

กันต์ธมน สุขกระจ่าง¹ และ ธนะรัตน์ รัตนกุล^{1*}

Kantamon Sukkrajang¹ and Tanarat Rattanakool^{1*}

¹ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา

* ผู้ประสานงานเผยแพร่ (Corresponding Author), E-mail: tanarat.ra@skru.ac.th

วันที่รับบทความ: 1 สิงหาคม 2567; วันที่ทบทวนบทความ: 9 สิงหาคม 2567; วันที่ตอบรับบทความ: 12 สิงหาคม 2567

วันที่เผยแพร่ออนไลน์: 20 สิงหาคม 2567

บทคัดย่อ: กระบวนการเลือกทำเลที่ตั้งโดยใช้กระบวนการวิเคราะห์เชิงลำดับชั้น (Analytic Hierarchy Process: AHP) กรณีศึกษาสถานตรวจสภาพรถเอกชน (ตรอ.) โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) กำหนดปัจจัยที่มีผลต่อการเลือกทำเลที่ตั้ง 2) วิเคราะห์ระดับความสำคัญของปัจจัย และ 3) วิเคราะห์ค่าความสอดคล้องของการตัดสินใจ ผู้วิจัยได้รวบรวมข้อมูลจากผู้บริหารหรือผู้มีอำนาจตัดสินใจในการเลือกทำเลที่ตั้งของสถานตรวจสภาพรถเอกชน จำนวน 7 ศูนย์ ในอำเภอเมือง จังหวัดสงขลา โดยใช้แบบสัมภาษณ์ที่สร้างขึ้นจากการทบทวนวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการเลือกทำเลที่ตั้ง ผลการศึกษาพบว่า ปัจจัยหลักที่มีผลต่อการเลือกทำเลที่ตั้งของสถานตรวจสภาพรถเอกชนจากความสำคัญมากไปน้อย คือ ด้านสิ่งอำนวยความสะดวก ด้านแหล่งลูกค้า ด้านแหล่งวัตถุดิบ และด้านรายละเอียดของสถานประกอบการ ตามลำดับ ส่วนปัจจัยรองที่สำคัญในแต่ละด้าน คือ ราคาที่ดิน การลดค่าขนส่งของวัตถุดิบ การจำหน่ายสินค้า และความสะดวกในการขนส่งตามลำดับ นอกจากนี้ปัจจัยทุกปัจจัยมีความสอดคล้องกัน โดยที่ค่า Consistency Ratio: C.R. มีค่าน้อยกว่า 0.10

คำสำคัญ: การเลือกทำเลที่ตั้ง, กระบวนการวิเคราะห์เชิงลำดับชั้น, สถานตรวจสภาพรถเอกชน

Abstract: This study employed the Analytic Hierarchy Process (AHP) to examine the location selection process for private vehicle inspection centers (PVICs). The research aims to (1) identify factors influencing location selection, (2) assess the relative importance of these factors, and (3) evaluate decision consistency. Data were collected through interviews with executives or decision-makers from seven PVICs in Mueang District, Songkhla Province, Thailand. An interview instrument was developed based on a comprehensive literature review of location selection research. The findings reveal four primary factors affecting the PVIC location selection, ranked in descending order of importance: facilities, customer base, raw material sources, and business premises details. Within these categories, land price, reduction of raw material transportation costs, product sales, and transportation convenience emerged as the most critical sub-factors, respectively.

The analysis confirms decision consistency across all factors, with the Consistency Ratio (CR) below 0.10.

Key words: Location selection, Analytic hierarchy process, Private vehicle inspection center

1. บทนำ

การเลือกทำเลที่ตั้งที่เหมาะสมถือเป็นปัจจัยสำคัญอย่างยิ่งต่อความสำเร็จของธุรกิจ ซึ่งจำเป็นต้องคำนึงถึงปัจจัยหลากหลายด้าน ไม่ว่าจะเป็นความสะดวกในการเข้าถึงของลูกค้า ศักยภาพของตลาด ต้นทุนการดำเนินงาน รวมถึงแหล่งวัตถุดิบ และสิ่งอำนวยความสะดวกต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง การตัดสินใจเลือกทำเลที่ตั้งจึงเป็นกระบวนการที่ซับซ้อน และต้องการการประเมินอย่างรอบคอบ ผู้วิจัยจึงนำกระบวนการวิเคราะห์เชิงลำดับชั้น (Analytic Hierarchy Process: AHP) เข้ามาเป็นเครื่องมือช่วยในการวิเคราะห์ข้อมูล เนื่องจากกระบวนการวิเคราะห์เชิงลำดับชั้นเป็นที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายในการแก้ปัญหาการตัดสินใจ [1] ในเรื่องต่าง ๆ เช่น การเลือกสถานที่ตั้งโรงงานสำหรับอุตสาหกรรมเฟอร์นิเจอร์ [2] การเลือกสถานที่ตั้งคลังสินค้า [3] การเลือกสถานที่ตั้งโรงไฟฟ้าพลังงานลม [4] การเลือกสถานที่ตั้งโรงพยาบาล [5] การเลือกสถานที่ตั้งศูนย์กลางเมือง [6] เป็นต้น กระบวนการวิเคราะห์เชิงลำดับชั้นช่วยให้ผู้ตัดสินใจสามารถจัดลำดับความสำคัญของเกณฑ์ต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องได้อย่างเป็นระบบ รวมถึงสามารถเปรียบเทียบทางเลือกต่าง ๆ ได้อย่างชัดเจนและเป็นรูปธรรม ผลการศึกษาจะนำไปสู่ข้อเสนอแนะเชิงนโยบายสำหรับผู้ประกอบการสถานตรวจสภาพรถเอกชน ในการเลือกทำเลที่ตั้งที่มีศักยภาพสูงสุด อีกทั้งยังลดความเสี่ยง เพิ่มโอกาสทางธุรกิจ และสร้างความได้เปรียบในการแข่งขัน และยังเป็นประโยชน์ต่อหน่วยงานภาครัฐในการกำหนดนโยบายส่งเสริมและสนับสนุนธุรกิจสถานตรวจสภาพรถเอกชนอีกด้วย ทั้งนี้ ข้อมูลสำหรับการเลือกสถานที่สำหรับสถานตรวจสภาพรถ (ตรอ) มีองค์ประกอบที่แตกต่างจากการเลือกทำเลที่ตั้งสำหรับดำเนินธุรกิจทั่วไป เช่น ร้านอาหารหรือ

โรงงานอุตสาหกรรม โดยต้องคำนึงถึงปัจจัยเฉพาะ เช่น ความสะดวกในการเข้าถึงของรถยนต์ ขนาดพื้นที่ที่เพียงพอสำหรับการตรวจสภาพรถ ระยะห่างจากสถานตรวจสภาพรถอื่น ๆ ความสอดคล้องกับกฎระเบียบของกรมการขนส่งทางบก และความเหมาะสมด้านสิ่งแวดล้อมและชุมชนโดยรอบ การพิจารณาปัจจัยเหล่านี้รอบคอบจะช่วยให้การเลือกทำเลที่ตั้งสำหรับสถานตรวจสภาพรถมีประสิทธิภาพและตอบสนองต่อความต้องการของผู้ใช้บริการได้อย่างเหมาะสม

2. วัตถุประสงค์การวิจัย

- 2.1 เพื่อกำหนดปัจจัยที่ผลต่อการเลือกทำเลที่ตั้ง สถานตรวจสภาพรถเอกชน อำเภอเมือง จังหวัดสงขลา
- 2.2 เพื่อวิเคราะห์ระดับปัจจัยที่มีผลต่อการเลือกทำเลที่ตั้งสถานตรวจสภาพรถเอกชน อำเภอเมือง จังหวัดสงขลา
- 2.3 เพื่อวิเคราะห์ค่าความสอดคล้องของแต่ละปัจจัย

3. วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย

ผู้วิจัยใช้วิธีการวิเคราะห์เชิงลำดับชั้นวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาปัจจัย และน้ำหนักของปัจจัยที่ใช้ในการพิจารณาเลือกทำเลที่ตั้ง โดยการศึกษาจากเอกสารแนวคิดทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

3.2 ขอบเขตของการวิจัย

3.2.1 ขอบเขตด้านประชากร คือ ผู้บริหารหรือผู้มีอำนาจในการตัดสินใจในการเลือกทำเลที่ตั้ง (สถานตรวจสภาพรถเอกชน) จำนวน 7 ศูนย์ ศูนย์ละ 2 ท่าน ด้วยวิธีการเจาะจง [7]

3.2.1 ขอบเขตด้านกลุ่มตัวอย่าง คือ ผู้บริหารหรือผู้มีอำนาจในการตัดสินใจในการเลือกทำเลที่ตั้ง (สถานตรวจ

สภาพรถเอกชน) จำนวน 5 ศูนย์ ศูนย์ละ 2 ท่าน) ซึ่งเป็นกลุ่มตัวอย่างที่ให้ความร่วมมือในการตอบแบบสัมภาษณ์

3.2.3 ขอบเขตด้านพื้นที่ คือ สถานตรวจสภาพรถเอกชนที่มีประสบการณ์มากกว่า 5 ปี ในพื้นที่อำเภอเมืองจังหวัดสงขลา โดยแบ่งออกเป็น ตำบลย่อยจำนวน 2 สถานประกอบการ และตำบลพะวงจำนวน 5 สถานประกอบการ)

3.3 วิธีการสร้างแบบสัมภาษณ์

3.3.1 ศึกษาจากเอกสาร บทความ และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในการเลือกทำเลที่ตั้ง และเก็บรวบรวมปัจจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อแบ่งกลุ่มจัดทำโครงสร้างปัจจัยหลักและปัจจัยรองได้ปัจจัย ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ปัจจัยหลักและปัจจัยรอง

ปัจจัยหลัก	ปัจจัยรอง
ด้านรายละเอียดของสถานประกอบการ [9]	- ราคาที่ดิน [8],[9]
ด้านแหล่งวัตถุดิบ [13], [12], [3]	- ความมีชื่อเสียงของพื้นที่[9],[10]
ด้านแหล่งลูกค้า[13]	- การจัดหาวัตถุดิบ[11], [12]
ด้านสิ่งอำนวยความสะดวก [15]	- ราคาวัตถุดิบ [14]
	- การลดค่าขนส่งของวัตถุดิบ [11]
	- ทรัพยากรน้ำและดิน [15]
	- การจำหน่ายสินค้า [10]
	- ระยะทางของค่าขนส่งสินค้า[9], [11]
	- สถานที่ใกล้แหล่งผู้บริโภค [15]
	- ความสะดวกในการขนส่ง [8], [9], [15]
	- การเดินทาง[10],[13]
	- ระบบสาธารณูปโภค[8], [9], [13], [15]
	- อุปกรณ์/เครื่องมือ [10]

3.3.2 จัดทำโครงสร้างของปัจจัยหลักและปัจจัยรองตามกระบวนการวิเคราะห์เชิงลำดับชั้น ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 โครงสร้างของปัจจัยหลักและปัจจัยรอง

จากภาพที่ 1 แสดงโครงสร้างของปัจจัยหลักและปัจจัยรอง ดังนี้

- 1) ด้านรายละเอียดของสถานประกอบการ (ราคาที่ดิน ความมีชื่อเสียงของพื้นที่)
- 2) ด้านแหล่งวัตถุดิบ (การจัดหาวัตถุดิบ ราคาวัตถุดิบ การลดค่าขนส่งของวัตถุดิบ ทรัพยากรน้ำและดิน)
- 3) ด้านแหล่งลูกค้า (การจำหน่ายสินค้าระยะทางของค่าขนส่งสินค้า สถานที่ใกล้แหล่งผู้บริโภค)
- 4) ด้านสิ่งอำนวยความสะดวก (ความสะดวกในการขนส่ง การเดินทาง ระบบสาธารณูปโภค อุปกรณ์/เครื่องมือ)

3.3.3 ขั้นตอนการสร้างแบบสัมภาษณ์ ดังนี้

- 1) นำแบบสอบถามที่ผู้วิจัยได้สร้างขึ้น (ตอนที่ 1 การเปรียบเทียบน้ำหนักความสำคัญของปัจจัยหลักแต่ละคู่) โดยให้ผู้บริหารหรือผู้ที่มีอำนาจในการตัดสินใจในการเลือกทำเลที่ตั้ง และตอนที่ 2 การเปรียบเทียบน้ำหนักความสำคัญของปัจจัยรองแต่ละคู่) โดยให้ผู้บริหารหรือผู้ที่มีอำนาจในการตัดสินใจในการเลือกทำเลที่ตั้งให้ข้อมูลและนำข้อมูลที่ได้มาเปรียบเทียบทีละคู่ในแต่ละปัจจัย เพื่อจะนำมา

คำนวณหาน้ำหนักทีละคู่ ของแต่ละปัจจัยหลัก และ ปัจจัยรอง

2) คำนวณค่าน้ำหนักของปัจจัยรอง โดยที่ ค่าเฉลี่ยของปัจจัยรอง = น้ำหนักค่าเฉลี่ยปัจจัยหลัก $\times$ น้ำหนักค่าเฉลี่ยปัจจัยรองที่อยู่ภายใต้ปัจจัยหลัก จะได้ค่าน้ำหนักของปัจจัยหลักและปัจจัยรองที่มีผลต่อการตัดสินใจในการเลือกทำเลที่ตั้ง

3.3.4 ลำดับชั้นในการวิเคราะห์เชิงลำดับชั้น มีขั้นตอนดังนี้

1) การกำหนดปัญหาและการแยกองค์ประกอบของปัญหา การแบ่งองค์ประกอบของปัญหาทั้งส่วนที่เป็นนามธรรมและรูปธรรม

2) สร้างแผนภูมิลำดับชั้น หลังจากแยกย่อยองค์ประกอบของปัญหาทั้งหมดแล้วจึงจัดระบบใหม่ให้องค์ประกอบเหล่านั้นอยู่ในรูปของแผนภูมิลำดับชั้น ดังภาพที่ 1 ซึ่งลักษณะของแผนภูมิจะแสดงถึงความสัมพันธ์และความเชื่อมโยงกันของปัจจัยต่าง ๆ กับตัวอย่างซึ่งผลจากโครงสร้างของแบบจำลองและความเชื่อมโยงของปัจจัยจะทำให้ผู้ตัดสินใจสามารถมองเห็นปัญหาได้อย่างทั่วถึงและชัดเจน

3) การวินิจฉัยหาลำดับความสำคัญ ขั้นตอนในการหาลำดับความสำคัญของปัจจัยต่าง ๆ คือวินิจฉัยเปรียบเทียบปัจจัยต่าง ๆ เป็นคู่ ๆ ภายใต้เกณฑ์การตัดสินใจแต่ละเกณฑ์ เครื่องมือที่เหมาะสมในการเปรียบเทียบในลักษณะเป็น โดยใช้ตารางเมตริกซ์ทดสอบความสอดคล้องของการวินิจฉัยและวิเคราะห์ถึงความอ่อนไหวของลำดับความสำคัญ เขียนหลักเกณฑ์ในรูปแบบทางคณิตศาสตร์ได้ โดยกำหนดให้

$C_1, C_2, C_3, \dots, C_n$ แทนตัวแทนของเกณฑ์การตัดสินใจ

$A_1, A_2, A_3, \dots, A_n$ แทนปัจจัยหรือองค์ประกอบต่าง ๆ ในลำดับชั้นที่จะทำการวินิจฉัย โดยทำการวินิจฉัยทีละคู่ปัจจัย C_i กับ A_j

ดังนั้น การวินิจฉัยจะทำในรูปแบบของตารางเมตริกซ์ขนาด $N \times N$ จะได้นิยามเมตริกซ์ $A = [A_{ij}]$ ($i = 1, 2,$

$3, \dots, N$) กฎเกณฑ์การนำค่า A_{ij} จากการเปรียบเทียบทีละคู่ปัจจัยไปใส่ในตารางเมตริกซ์ มีกฎอยู่ 2 คู่ ดังนี้

$$(1) \text{ ถ้า } A_{ij} = \alpha \text{ จะทำให้ } A_{ji} = \frac{1}{\alpha} = A \neq 0$$

โดย α คือ การให้คะแนนความสำคัญระหว่างสองปัจจัยในกระบวนการเปรียบเทียบรายคู่

(2) ปัจจัยที่ C_i ถูกตัดสินให้มีความสำคัญเท่าเทียมกันกับปัจจัย C_j จะทำให้ค่าของ $A_{ij} = A_{ji}$

ดังนั้น ตารางเมตริกซ์ A สามารถเขียนได้ดังภาพที่ 2

	C_1	C_2	C_3	$\dots C_n$	เกณฑ์
$A =$	1	a_{12}	a_{13}	$\dots a_{1n}$	A_1
	$1/a_{12}$	1	a_{23}	$\dots a_{2n}$	A_2
	$1/a_{1n}$	$1/a_{2n}$	1	$\dots a_{3n}$	A_3
	:	:	:	$\dots :$	:
	$1/a_{1n}$	$1/a_{2n}$	$1/a_{3n}$	$\dots 1$	A_n

ภาพที่ 2 เกณฑ์การตัดสินใจ

ภาพที่ 2 แสดงเกณฑ์การตัดสินใจ $C_1, C_2, C_3, \dots, C_n$ ปัจจัย เพื่อการวินิจฉัยเปรียบเทียบทีละคู่ปัจจัยระหว่าง C_i กับ C_j

ผู้ทำการวินิจฉัยจะต้องทราบว่าปัจจัยที่ทำการพิจารณานั้นมีความสำคัญส่งผลมีอิทธิพลหรือมีประโยชน์มากกว่าปัจจัยอื่นที่ถูกนำมาเปรียบเทียบในระดับใด ซึ่งการเปรียบเทียบผู้ทำการตัดสินใจจะต้องแสดงการวินิจฉัยหรือต้องออกความคิดเห็นให้ออกมาในรูปแบบของคำพูดง่าย ๆ เช่น มากกว่า น้อยกว่า มากที่สุด ก่อนแล้วจึงใช้ค่าตัวเลขแทนการวินิจฉัย [16] ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 มาตรฐานในการวินิจฉัยเปรียบเทียบคู่

ระดับความเข้มข้นของความสำคัญ	ความหมาย	คำอธิบาย
1	สำคัญเท่ากัน	ทั้งสองปัจจัยส่งผลกระทบต่อวัตถุประสงค์เท่า ๆ กัน
3	สำคัญกว่าปานกลาง	ประสบการณ์และการวินิจฉัยแสดงถึงความพึงพอใจในปัจจัยหนึ่งมากกว่าอีกปัจจัยหนึ่งปานกลาง
5	สำคัญกว่ามาก	ประสบการณ์และการวินิจฉัยแสดงถึงความพึงพอใจในปัจจัยหนึ่งมากกว่าอีกปัจจัยหนึ่งมาก

ระดับความเข้มข้น ของความสำคัญ	ความหมาย	คำอธิบาย
7	สำคัญกว่า มากที่สุด	ปัจจัยหนึ่งได้รับความพึงพอใจมาก ที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับอีกปัจจัย หนึ่ง ในทางปฏิบัติปัจจัยนั้นได้มี อิทธิพลเหนือกว่าอย่างเห็นได้ชัด
9	สำคัญกว่าสูงสุด	มีหลักฐานยืนยันความพึงพอใจใน ปัจจัยหนึ่งมากกว่าอีกปัจจัยหนึ่ง ในระดับที่สูงสุดเท่าที่จะเป็นไปได้
2, 4, 6, 8	สำหรับในกรณี ประนีประนอม เพื่อลดช่องว่าง ระหว่างระดับ ความรู้สึกร	บางครั้งผู้ทำการตัดสินใจต้องการ วินิจฉัยในลักษณะที่ก้ำกึ่งกันและ ไม่สามารถอธิบายด้วยคำพูดที่ เหมาะสมได้
1.1-1.9	ปัจจัยที่เสมอกัน	เมื่อปัจจัยถูกเลือกขึ้นมานั้นมี ความสำคัญใกล้เคียงกันและเกือบ หาความแตกต่างไม่ได้เลย 1.3 คือ ระดับกลาง ๆ 1.9 คือระดับสูงสุด

จากตารางที่ 2 แสดงค่ามาตรฐานในการวินิจฉัย
เปรียบเทียบคู่ โดยมีมาตราส่วนในการวินิจฉัย
เปรียบเทียบเป็นคู่ ๆ ช่วยเสนอแนะแนวทางการวินิจฉัย
ในเรื่องของมาตรฐานในการวินิจฉัยเปรียบเทียบคู่

3.4 การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิจัยครั้งนี้ใช้กลุ่มตัวอย่างจำนวน 5 ศูนย์
ศูนย์ละ 2 ท่าน ในการหาค่าน้ำหนักของแต่ละปัจจัย และ
นำค่าน้ำหนักที่ได้มาหาค่าเฉลี่ย และนำค่าน้ำหนักที่ได้
ใส่ลงในเมตริกซ์แล้วทำการเปรียบเทียบทีละคู่ จะได้
ลำดับความสำคัญของปัจจัย โดยผู้บริหารหรือผู้มีอำนาจ
ในการตัดสินใจ มีขั้นตอนการคัดเลือกดังนี้

ขั้นที่ 1 เปรียบเทียบลำดับความสำคัญทีละคู่
แล้วนำค่าที่ได้ใส่ลงในตารางเมตริกซ์ A

ขั้นที่ 2 คำนวณหาค่า Normalized Matrix
ของเมตริกซ์ A ในแต่ละแถวโดยที่ค่า Normalized ที่ได้
นี้จะแทนค่าลำดับความสำคัญของแต่ละปัจจัยในแต่ละ
ลำดับขั้นนั้น ๆ การหาค่า Normalized หาได้จาก
ค่าเฉลี่ยของความสำคัญในแต่ละแถว

ขั้นที่ 3 การหาลำดับความสำคัญในลำดับขั้นถัด
มา ทำได้โดยการทำย้อนกลับไปในขั้นตอนที่ 1 และ
ขั้นตอนที่ 2 จากนั้นนำค่าเกณฑ์การตัดสินใจที่คำนวณได้
จากลำดับขั้นที่อยู่สูงกว่า 1 ขึ้นมาเป็นตัวคูณ

ค่า Normalized ของลำดับขั้นที่ 2 ที่ได้จากการคำนวณ
ก็จะได้ค่าลำดับความสำคัญในลำดับขั้นรองลงมาตาม
เกณฑ์ของปัจจัยนั้น ๆ ทำเช่นนี้ จนครบ

ขั้นที่ 4 คำนวณหาความสอดคล้องกันของ
เหตุผล (Consistency Ratio: C.I.) เพื่อเป็นการทดสอบ
ว่าผลของการเปรียบเทียบคู่ที่ได้ดำเนินมาในขั้นที่ 2
นั้นมีความสอดคล้องกันของเหตุผลหรือไม่ซึ่งมีขั้นตอน
ดังนี้

ขั้นที่ 4.1 การคำนวณหา λ_{max} (แลมด้า
แมกซ์) ซึ่งก็คือ การนำเอาผลรวมของค่าวินิจฉัยของ
ปัจจัยในแต่ละแถวตั้ง แต่ละแถวมาคูณด้วยผลรวมของ
ค่าเฉลี่ย ในแถวอนแต่ละแถว แล้วนำผลคูณที่ได้มา
รวมกัน ผลลัพธ์ที่ได้จะเท่ากับจำนวนปัจจัยทั้งหมดที่
ถูกนำมาเปรียบเทียบ ซึ่งในกรณีที่ทำการวินิจฉัยในปัจจัย
นั้นมีความสอดคล้องกันอย่างสมบูรณ์ จะทำให้
ค่า $\lambda_{Max} = N$

ขั้นที่ 4.2 คำนวณหาค่าดัชนีวัดค่าความ
สอดคล้อง หาได้จากสูตรที่ 1

$$C.I. = \frac{(\lambda_{Max}N)}{(N-1)} \dots \dots \dots (1)$$

ขั้นที่ 4.3 คำนวณหาค่าดัชนีความ
สอดคล้องเชิงสุ่ม (Random Consistency Index: R.I.)
โดยที่ค่า R.I. ได้จากการรวบรวมของ Oak Ridge
National Laboratory และคณะทำงาน เป็นค่าที่ขึ้นกับ
ขนาดของเมตริกซ์ ตั้งแต่ 1x1 จนถึง 15x15 ผลของ R.I.
[16] ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ค่าของดัชนีความสอดคล้อง (R.I.) ตามตาราง
ของเมตริกซ์

N	1	2	3	4	5	6	7	8	9
R.I.	0.00	0.00	0.52	0.89	1.11	1.25	1.35	1.40	1.45

จากตารางที่ 3 แสดงค่าของดัชนีความสอดคล้อง
(R.I.) ซึ่งเป็นค่าดัชนีความสอดคล้องเชิงสุ่ม

ขั้นที่ 4.4 คำนวณหาค่าความสอดคล้องของเหตุผล (Consistency Ratio : C.R.) คือ การหาสัดส่วนเปรียบเทียบระหว่างค่า C.I. ที่คำนวณจากตารางเมตริกซ์ กับค่า R.I. ที่ได้จากการสุ่มตัวอย่างจากตารางค่า C.R. หาได้จากสูตรที่ 2

$$C.R. = \frac{C.I.}{R.I.} \dots \dots \dots (2)$$

ถ้าผลจากการคำนวณได้ค่า $C.R. \leq 0.10$ (หรือ 10%) ถือว่ายอมรับได้ ค่า $C.R. > 0.10$ (หรือ 10%) ถือว่ายอมรับไม่ได้ ผู้ตัดสินใจจะต้องทบทวนการให้ผลการเปรียบเทียบใหม่อีกครั้ง

4. ผลการวิจัย

4.1 ส่วนที่ 1 การวิเคราะห์ปัจจัยในการเลือกทำเลที่ตั้งสถานตรวจสภาพรถเอกชน (ตารางที่ 4-8)

ตารางที่ 4 การวิเคราะห์น้ำหนักของปัจจัยหลักในการเลือกทำเลที่ตั้ง

ปัจจัยหลัก	Normalized เมตริกซ์ A				น้ำหนัก
ด้านสิ่งอำนวยความสะดวก					
สะดวก	0.537	0.484	0.570	0.442	0.508
ด้านแหล่งลูกค้า	0.233	0.368	0.248	0.204	0.263
ด้านแหล่งวัตถุดิบ	0.123	0.111	0.074	0.265	0.143
ด้านรายละเอียดของ					
สถานประกอบการ	0.107	0.037	0.108	0.088	0.085

จากตารางที่ 4 ค่าน้ำหนักความสำคัญของปัจจัยหลักในการเลือกทำเลที่ตั้งของสถานตรวจสภาพรถเอกชน ได้น้ำหนักความสำคัญเรียงลำดับจากมากไปน้อย คือ สิ่งอำนวยความสะดวก แหล่งลูกค้า แหล่งวัตถุดิบ และรายละเอียดของสถานประกอบการ ตามลำดับ

ตารางที่ 5 ผลการวิเคราะห์น้ำหนักของปัจจัยรองด้านรายละเอียดของสถานประกอบการ

ปัจจัยหลัก	Normalized เมตริกซ์ A		น้ำหนัก
ราคาที่ดิน	0.750	0.750	0.750
ความมีชื่อเสียงของพื้นที่	0.250	0.250	0.250

จากตารางที่ 5 ค่าน้ำหนักความสำคัญของปัจจัยรองด้านรายละเอียดของสถานประกอบการ ได้น้ำหนักความสำคัญเรียงลำดับจากมากไปน้อย คือ ราคาที่ดินและความมีชื่อเสียงของพื้นที่ ตามลำดับ

ตารางที่ 6 ผลการวิเคราะห์น้ำหนักของปัจจัยรองด้านแหล่งวัตถุดิบ

ปัจจัยหลัก	Normalized เมตริกซ์ A					น้ำหนัก
การลดค่าขนส่งของ						
วัตถุดิบ	0.531	0.418	0.442	0.310	0.425	
ราคาวัตถุดิบ	0.274	0.292	0.310	0.199	0.269	
การจัดหาวัตถุดิบ	0.164	0.175	0.137	0.413	0.223	
ทรัพยากรน้ำและดิน	0.031	0.114	0.111	0.078	0.083	

จากตารางที่ 6 ค่าน้ำหนักความสำคัญของปัจจัยรองด้านแหล่งวัตถุดิบ ได้น้ำหนักความสำคัญเรียงลำดับจากมากไปน้อย คือ การลดค่าขนส่งของวัตถุดิบ ราคาวัตถุดิบ การจัดหาวัตถุดิบ และทรัพยากรน้ำและดิน ตามลำดับ

ตารางที่ 7 ผลการวิเคราะห์น้ำหนักของปัจจัยรองด้านแหล่งลูกค้า

ปัจจัยหลัก	Normalized เมตริกซ์ A				น้ำหนัก
การจำหน่ายสินค้า	0.531	0.418	0.442	0.425	
ระยะทางของค่าขนส่งสินค้า	0.164	0.175	0.137	0.223	
สถานที่ใกล้แหล่งผู้บริโภค	0.031	0.114	0.111	0.083	

จากตารางที่ 7 ค่าน้ำหนักความสำคัญของปัจจัยรองด้านแหล่งลูกค้า ได้น้ำหนักความสำคัญเรียงลำดับจากมากไปน้อย คือ การจำหน่ายสินค้า ระยะทางของค่าขนส่งสินค้า และสถานที่ใกล้แหล่งผู้บริโภค ตามลำดับ

ตารางที่ 8 ผลการวิเคราะห์น้ำหนักของปัจจัยรอง
ด้านสิ่งอำนวยความสะดวก

ปัจจัยหลัก	Normalized เมตริกซ์ A				น้ำหนัก
ความสะดวกใน					
การขนส่ง	0.361	0.367	0.440	0.304	0.368
อุปกรณ์/ เครื่องมือ	0.361	0.203	0.275	0.304	0.286
การเดินทาง	0.180	0.331	0.220	0.243	0.244
ระบบ					
สาธารณูปโภค	0.098	0.099	0.066	0.149	0.103

จากตารางที่ 8 ค่าน้ำหนักความสำคัญของปัจจัยรองด้านสิ่งอำนวยความสะดวก ได้น้ำหนักความสำคัญเรียงลำดับจากมากไปน้อย คือ ความสะดวกในการขนส่ง อุปกรณ์/เครื่องมือ การเดินทาง และระบบสาธารณูปโภค

4.2 ส่วนที่ 2 การวิเคราะห์ค่าความสอดคล้องในการเลือกทำเลที่ตั้งสถานตรวจสภาพรถเอกชน (ตารางที่ 9-13)

ตารางที่ 9 ผลการวิเคราะห์การตรวจสอบค่าความสอดคล้องของปัจจัยหลักในการเลือกทำเลที่ตั้ง

ตรวจสอบความถูกต้อง		
AW (Average Weight)	สัดส่วนความสัมพันธ์	
2.167	4.262	
0.594	4.145	
1.158	4.396	
0.349	4.101	4.226*
C.I.	0.075	
C.I./R.I. (C.R.)	0.084	

* ค่าเฉลี่ยของสัดส่วนความสัมพันธ์

จากตารางที่ 9 ผลการตรวจสอบค่าความสอดคล้องค่า C.R. มีค่า 0.084 แสดงว่า ค่าความสอดคล้องมีค่าน้อยกว่า 0.10 ผลลัพธ์ที่ได้จึงมีความสอดคล้องกัน

ตารางที่ 10 ผลการวิเคราะห์การตรวจสอบค่าความสอดคล้องของปัจจัยรองด้านรายละเอียดของสถานประกอบการ

ตรวจสอบความถูกต้อง		
AW (Average Weight)	สัดส่วนความสัมพันธ์	
1.545	2.000	
0.455	2.000	2.000*
C.I.	0.000	
C.I./R.I. (C.R.)	0.000	

* ค่าเฉลี่ยของสัดส่วนความสัมพันธ์

จากตารางที่ 10 ผลการตรวจสอบค่าความสอดคล้องค่า C.R. มีค่า 0.000 แสดงว่า ค่าความสอดคล้องมีค่าน้อยกว่า 0.10 ผลลัพธ์ที่ได้จึงมีความสอดคล้องกัน

ตารางที่ 11 ผลการวิเคราะห์การตรวจสอบค่าความสอดคล้องของปัจจัยรองด้านแหล่งวัตถุดิบ

ตรวจสอบความถูกต้อง		
AW (Average Weight)	สัดส่วนความสัมพันธ์	
0.960	4.311	
1.151	4.282	
1.861	4.375	
0.336	4.037	4.251*
C.I.	0.084	
C.I./R.I. (C.R.)	0.093	

* ค่าเฉลี่ยของสัดส่วนความสัมพันธ์

จากตารางที่ 11 ผลการตรวจสอบค่าความสอดคล้องค่า C.R. มีค่า 0.093 แสดงว่า ค่าความสอดคล้องมีค่าน้อยกว่า 0.10 ผลลัพธ์ที่ได้จึงมีความสอดคล้องกัน

ตารางที่ 12 ผลการวิเคราะห์การตรวจสอบค่าความสอดคล้องของปัจจัยรองด้านแหล่งลูกค้า

ตรวจสอบความถูกต้อง		
AW (Average Weight)	สัดส่วนความสัมพันธ์	
2.194	3.069	
0.564	3.020	
0.295	3.009	3.033*
C.I.	0.016	
C.I./R.I. (C.R.)	0.028	

* ค่าเฉลี่ยของสัดส่วนความสัมพันธ์

จากตารางที่ 12 ผลการตรวจสอบค่าความสอดคล้อง ค่า C.R. มีค่า 0.028 แสดงว่า ค่าความสอดคล้องมีค่าน้อยกว่า 0.10 ผลลัพธ์ที่ได้จึงมีความสอดคล้องกัน

ตารางที่ 13 ผลการวิเคราะห์การตรวจสอบค่าความสอดคล้องของปัจจัยรองด้านสิ่งแวดล้อมและความสะดวก

ตรวจสอบความถูกต้อง		
AW (Average Weight)	สัดส่วนความสัมพัทธ์	
1.521	4.135	
0.415	4.036	
0.999	4.102	
1.168	4.090	4.091*
C.I.	0.030	
C.I./R.I. (C.R.)	0.034	

* ค่าเฉลี่ยของสัดส่วนความสัมพัทธ์

จากตารางที่ 13 ผลการตรวจสอบค่าความสอดคล้อง ค่า C.R. มีค่า 0.034 แสดงว่า ค่าความสอดคล้องมีค่าน้อยกว่า 0.10 ผลลัพธ์ที่ได้จึงมีความสอดคล้องกัน

5. สรุปผลการวิจัย

5.1 ค่าน้ำหนักความสำคัญของปัจจัยหลัก ในการเลือกทำเลที่ตั้งของสถานตรวจสภาพรถเอกชนได้น้ำหนักความสำคัญเรียงลำดับจากมากไปน้อย คือ สิ่งอำนวยความสะดวก แหล่งลูกค้า แหล่งวัตถุดิบ และรายละเอียดของสถานประกอบการ ตามลำดับ

5.2 ค่าน้ำหนักความสำคัญของปัจจัยรอง พบว่า

5.2.1 ด้านรายละเอียดของสถานประกอบการ ค่าน้ำหนักที่มากที่สุด คือ ราคาที่ดินและความมีชื่อเสียงของพื้นที่ ตามลำดับ

5.2.2 ด้านแหล่งวัตถุดิบ ค่าน้ำหนักที่มากที่สุด คือ การลดค่าขนส่งของวัตถุดิบ ราคาวัตถุดิบ การจัดหาวัตถุดิบ และทรัพยากรน้ำและดิน ตามลำดับ

5.2.3 ด้านแหล่งลูกค้า ค่าน้ำหนักที่มากที่สุด คือ การจำหน่ายสินค้า ระยะทางของค่าขนส่งสินค้า และสถานที่ใกล้แหล่งผู้บริโภค ตามลำดับ

5.2.4 รองด้านสิ่งแวดล้อมและความสะดวก ค่าน้ำหนักที่มากที่สุด คือ ความสะดวกในการขนส่ง อุปกรณ์/เครื่องมือ การเดินทาง และระบบสาธารณูปโภค

5.3 การวิเคราะห์การตรวจสอบความสอดคล้องมีรายละเอียดดังนี้

5.3.1 ปัจจัยหลักมีค่าความสอดคล้องมีค่าน้อยกว่า 0.1 ดังนั้นผลลัพธ์ที่ได้จึงมีความสอดคล้องกัน

5.3.2 ปัจจัยรองในทุกด้าน (ด้านรายละเอียดของสถานประกอบการ ด้านแหล่งวัตถุดิบ ด้านแหล่งลูกค้า และด้านสิ่งแวดล้อมและความสะดวก) มีค่าความสอดคล้อง มีค่าน้อยกว่า 0.10 ดังนั้นผลลัพธ์ที่ได้จึงมีความสอดคล้องกัน

6. การอภิปรายผล

การเลือกทำเลที่ตั้งด้วยกระบวนการวิเคราะห์เชิงลำดับชั้น กรณีศึกษา สถานตรวจสภาพรถเอกชน อำเภอเมือง จังหวัดสงขลา พบว่า ค่าน้ำหนักความสำคัญของปัจจัยหลัก ในการเลือกทำเลที่ตั้งของสถานตรวจสภาพรถเอกชน ค่าน้ำหนักที่มากที่สุด คือ สิ่งอำนวยความสะดวก แหล่งลูกค้า แหล่งวัตถุดิบ และรายละเอียดของสถานประกอบการ ตามลำดับ

ผลการวิเคราะห์ค่าความสอดคล้องของการตัดสินใจ พบว่าค่า Consistency Ratio (C.R.) ของทุกปัจจัยมีค่าน้อยกว่า 0.10 แสดงให้เห็นว่าการตัดสินใจมีความสอดคล้องกันสูง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยเรื่อง Facility location selection for the furniture industry of Bangladesh: Comparative AHP and FAHP analysis [12] พบว่า สิ่งอำนวยความสะดวกด้านโครงสร้างพื้นฐาน เช่น การคมนาคมขนส่ง ระบบสาธารณูปโภค และความพร้อมของแรงงาน มีผลต่อการเลือกทำเลที่ตั้งโรงงานในอุตสาหกรรมเฟอร์นิเจอร์ในบังคลาเทศ และสอดคล้องการศึกษาเรื่อง Application of AHP method for the selection of pharmaceutical warehouse location [17] พบว่า ปัจจัยด้านการขนส่ง ความสะดวกในการเข้าถึง และ

ความใกล้ชิดกับลูกค้า มีผลต่อการเลือกทำเลที่ตั้ง คลังสินค้า นอกจากนี้ยังสอดคล้องกับเรื่อง Using the AHP method to evaluate laundromat store location selection: a case study in Bangkok Metropolitan Region [18] พบว่า ความใกล้ชิดกับแหล่งชุมชน และ สิ่งอำนวยความสะดวก เช่น ที่จอดรถ มีผลต่อการเลือกทำเลที่ตั้งร้านสะดวกซื้อในกรุงเทพมหานคร ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่า การวิเคราะห์เชิงลำดับชั้นสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในเชิงปฏิบัติได้ดีสำหรับผู้ประกอบการสถานตรวจสภาพรถเอกชน รวมถึงหน่วยงานภาครัฐในการกำหนดนโยบายส่งเสริมธุรกิจหรือลดต้นทุนในส่วนต่าง ๆ ขององค์กร

7. ข้อเสนอแนะ

7.1 ข้อเสนอแนะจากการวิจัย

7.1.1 ผลการศึกษาสามารถใช้เป็นแนวทางในการตัดสินใจเลือกทำเลที่ตั้งของสถานประกอบการอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องได้

7.1.2 ควรให้ความสำคัญกับปัจจัยด้านสิ่งอำนวยความสะดวกและการเข้าถึงลูกค้าเป็นอันดับแรก เนื่องจากเป็นปัจจัยที่มีระดับความสำคัญสูง

7.1.3 ควรส่งเสริมการพัฒนาระบบสารสนเทศยุคใหม่และการคมนาคม เพื่อเอื้อต่อการประกอบอาชีพ

7.2 ข้อเสนอแนะเพื่อเป็นแนวทางการพัฒนาเพื่อขยายผลต่อไป

7.2.1 ควรทำการศึกษาปัจจัยอื่น ๆ ที่อาจมีผลต่อการเลือกทำเลที่ตั้ง เช่น กฎระเบียบของภาครัฐ การแข่งขันในตลาด และความเสี่ยงจากภัยธรรมชาติ

7.2.2 ควรมีการศึกษาเชิงลึกเพิ่มเติมเกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยต่าง ๆ และศึกษาเปรียบเทียบปัจจัยในการเลือกทำเลที่ตั้งของสถานตรวจสภาพรถเอกชน ในพื้นที่อื่นๆ เพื่อนำข้อมูลมาใช้ในการวางแผนและพัฒนาธุรกิจ สถานตรวจสภาพรถเอกชน ให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น

8. เอกสารอ้างอิง

- [1] Tansirikongkorn, W. 2014. *AHP advanced decisions making for the advancement of organization the happiness and happiness of the public*. Bangkok: Amarin Printing & Publishing. (in Thai)
- [2] Suman, M. N. H., Md Sarfaraj, N., Chyon, F. A., and Fahim, M. R. I. 2021. "Facility location selection for the furniture industry of Bangladesh: Comparative AHP and FAHP analysis," *International Journal of Engineering Business Management*. 13(1): pp. 1-15.
- [3] Arslan, M. 2020. "Application of AHP method for the selection of pharmaceutical warehouse location," *Journal of faculty of pharmacy of ankara university*. 44(2): pp. 253-264.
- [4] Eroğlu, H. 2021. "Multi-criteria decision analysis for wind power plant location selection based on fuzzy AHP and geographic information systems," *Environ Dev Sustain*. 23(12): pp. 18278-18310.
- [5] Tripathi, A. K., Agrawal, S., and Gupta, R. D. 2022. "Comparison of GIS-based AHP and fuzzy AHP methods for hospital site selection: a case study for Prayagraj City, India," *Geo Journal*. 87(5): pp. 3507-3528.
- [6] Anderluh, A., Hemmelmayr, V. C., and Rüdiger, D. 2020. "Analytic hierarchy process for city hub location selection-The Viennese case," *Transportation Research Procedia*. 46: pp. 77-84.

- [7] Wanitbancha, K. 2002. *Principles of statistics. 7th ed.* Bangkok: Chulalongkorn University Printing House. (in Thai).
- [8] Jaitiya, C., Lekhavat, S. 2022. "Application of Analytical Hierarchy Process to New Office Location Selection: A Case Study of Maintenance Service Company for Petrochemical Industry.," *Thai Journal of Operations Research: TJOR*. 10(1): pp. 42-51. (in Thai)
- [9] Arar, T., Karaoğlu, S., and Dirik, C. 2019. "Office location selection by fuzzy AHP and VIKOR," *IJIDS*. 11(1): pp. 36-54.
- [10] Yap, J. Y., Ho, C. C., and Ting, C.-Y. 2018. "Analytic Hierarchy Process (AHP) for business site selection," In *Proceedings of the 3rd International conference on applied science and technology (icast'18)*, 10–12 April 2018. Penang, Malaysia, pp. 1-7.
- [11] Vongpatchim, P. 2019. "The Study of Factors Affecting Location Selection According to the Opinions of Entrepreneurs of Medium-Sized Manufacturing Industries In the Upper Northeastern Region 1," *Rajabhat Maha Sarakham University Journal*. 13(3): pp. 281–293. (in Thai)
- [12] Suman, M. N. H., MD Sarfaraj, N., Chyon, F. A., and Fahim, M. R. I. 2021. "Facility location selection for the furniture industry of Bangladesh: Comparative AHP and FAHP analysis," *International Journal of Engineering Business Management*. 13(1): pp. 18479790-211030851.
- [13] Homsri, P. 2021. "Selecting The Ethanol Production Plant Location From Cassava In Nakhon Ratchasima Province By Using Fuzzy Analytic Hierarchy Process Technique.," *Psru Journal Of Industrial Technology And Engineering*. 3(3): pp. 253-270. (in Thai)
- [14] Musaeus, S. 2014. "Prioritizing offshore vendor selection criteria for the North American geospatial industry," PhD. dissertation, Walden Univ. Minneapolis, USA [Online]. Available: <https://search.proquest.com/openview/365c231873008b11a955b160cd140f67/1?pq-origsite=gscholar&cbl=18750>. Accessed 17 July 2024.
- [15] Suman, M. N. H., Md Sarfaraj, N., Chyon, F. A., and Fahim, M. R. I. 2021. "Facility location selection for the furniture industry of Bangladesh: Comparative AHP and FAHP analysis," *International Journal of Engineering Business Management*. 13(1): pp. 1-15.
- [16] Saaty, T. L. 2004. "Decision making-the Analytic Hierarchy and Network Processes (AHP/ANP)," *J. Syst. Sci. Syst. Eng.* 13(1): pp. 1–35.
- [17] Arslan, M. 2020. "Application of Ahp Method for The Selection of Pharmaceutical Warehouse Location," *Journal of Faculty of Pharmacy of Ankara university*. 44(2): pp. 253–264.

- [18] Manowan, D., Manowan, V., and Hengmeechai, P. 2022. "Using the AHP method to evaluate laundromat store location selection: a case study in Bangkok Metropolitan Region," *ABAC Journal*. 42(1): pp. 121–141.

การวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณแบบขั้นตอนของปัจจัยที่ส่งผลต่อการตัดสินใจ ในการเลือกใช้บริการบริษัทขนส่งสินค้า

A Stepwise Multiple Regression Analysis of Factors Influencing the Decision to Choose Freight Companies' Services

ชนานันท์ สุขกระจ่าง¹, กันต์ธมน สุขกระจ่าง^{2*} และ ธนะรัตน์ รัตนกุล²

Chananan Sukkrajang¹, Kantamon Sukkrajang^{2*} and Tanarat Rattanakool²

¹ SFS CLINIC อำเภอเกาะสมุย จังหวัดสุราษฎร์ธานี

² คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา

* ผู้ประสานงานเผยแพร่ (Corresponding Author), E-mail: kantamon.su@skur.ac.th

วันที่รับบทความ: 1 สิงหาคม 2567; วันที่ทบทวนบทความ: 8 สิงหาคม 2567; วันที่ตอบรับบทความ: 12 สิงหาคม 2567

วันที่เผยแพร่ออนไลน์: 20 สิงหาคม 2567

บทคัดย่อ: การวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณแบบขั้นตอนของปัจจัยที่ส่งผลต่อการตัดสินใจเลือกใช้บริการบริษัทขนส่งสินค้ามีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างของปัจจัยเชิงกลยุทธ์ทางการตลาดที่ส่งผลต่อการตัดสินใจเลือกใช้บริการบริษัทขนส่งสินค้าของผู้บริโภคในจังหวัดสงขลา และเพื่อสร้างสมการพยากรณ์ด้วยวิธีการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณแบบขั้นตอนที่มีนัยสำคัญต่อการตัดสินใจในการเลือกใช้บริการบริษัทขนส่งสินค้า โดยเก็บข้อมูลจากผู้ใช้บริการบริษัทขนส่งสินค้า ในพื้นที่จังหวัดสงขลา จำนวน 404 ตัวอย่าง โดยใช้สถิติสหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน (Pearson correlation coefficient) เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างกลยุทธ์ทางการตลาดในการตัดสินใจในการเลือกใช้บริการบริษัทขนส่งสินค้ากับปัจจัยที่ส่งผลต่อการตัดสินใจในการเลือกใช้บริการบริษัทขนส่งสินค้า และสถิติสหสัมพันธ์ความถดถอยพหุคูณแบบขั้นตอน (Stepwise multiple regression analysis) เพื่อสร้างสมการพยากรณ์ ผลการศึกษาพบว่าระดับกลยุทธ์ทางการตลาดในการตัดสินใจในการเลือกใช้บริการบริษัทขนส่งสินค้า ในภาพรวมอยู่ในระดับปานกลาง ($\bar{X} = 3.345$) ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างกลยุทธ์ทางการตลาดในการตัดสินใจในการเลือกใช้บริการบริษัทขนส่งสินค้ามีความสัมพันธ์ทางบวกกับปัจจัยที่ส่งผลต่อการตัดสินใจในการเลือกใช้บริการบริษัทขนส่งสินค้าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 ปัจจัยด้านการบริการสินค้าและปัจจัยด้านสถานที่ เป็นปัจจัยที่สามารถพยากรณ์กลยุทธ์ทางการตลาดในการตัดสินใจในการเลือกใช้บริการบริษัทขนส่งสินค้าได้

คำสำคัญ: การถดถอยพหุคูณแบบขั้นตอน, ปัจจัยเชิงกลยุทธ์ทางการตลาด

Abstract: A stepwise multiple regression analysis was conducted to examine the factors influencing consumers' decisions in choosing freight forwarding companies. The objectives were to investigate the relationships between marketing strategy factors and consumers' decisions in choosing freight forwarding companies in Songkhla province, Thailand; and to develop a predictive equation using stepwise multiple regression analysis. Data were collected from 404 consumers who used freight forwarding services in Songkhla province. Pearson's correlation coefficient was used to determine the relationship between marketing strategies and other factors influencing the decision to use freight

forwarding services. Stepwise multiple regression analysis was employed to create a predictive equation. The study found that the overall level of marketing strategy in influencing the decision to use freight forwarding services was moderate ($\bar{X} = 3.345$). The correlation coefficient analysis revealed a statistically significant positive relationship at the .01 level between marketing strategies and other factors influencing the decision to use freight forwarding companies. The location factor and the product service factor were identified as significant predictors of marketing strategy in the decision to use freight forwarding services.

Key words: Stepwise multiple regression, Strategic factors in marketing

1. บทนำ

ในโลกธุรกิจที่การแข่งขันสูงเช่นปัจจุบัน การส่งมอบสินค้าอย่างรวดเร็ว กลยุทธ์ทางการตลาด ความปลอดภัย และมีประสิทธิภาพของการขนส่งถือเป็นหัวใจสำคัญที่ช่วยขับเคลื่อนธุรกิจให้ก้าวไปข้างหน้า และปัจจัยสำคัญที่อยู่เบื้องหลังความสำเร็จของการขนส่งสินค้า ก็คือการเลือกใช้บริการบริษัทขนส่งที่ตอบโจทย์ธุรกิจของผู้บริโภคอย่างแท้จริง การเลือกบริษัทขนส่งสินค้า ไม่ใช่เพียงแค่การมองหาราคาที่ถูกที่สุด แต่เป็นการหาบริษัทขนส่งที่เชื่อถือได้ มีการจัดการสินค้าอย่างมืออาชีพ และส่งมอบสินค้าถึงมือลูกค้าอย่างปลอดภัย ตรงเวลา ตลอดจนการบริการที่ดีของพนักงานขนส่งอีกด้วย ดังนั้นในผู้บริโภคจึงให้ความสำคัญในการเลือกใช้บริการบริษัทขนส่งสินค้า เพื่อให้มั่นใจได้ว่าผู้รับบริการหรือผู้บริโภคมีความพึงพอใจต่อการบริการขนส่งให้สินค้าคุณภาพที่ดีต่อไป การวิจัยนี้มุ่งศึกษาปัจจัยส่วนประสมทางการตลาดที่ส่งผลต่อการตัดสินใจเลือกใช้บริการบริษัทขนส่งสินค้า โดยใช้การวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณแบบขั้นตอนเพื่อนำเสนอแนวทางในการพัฒนากลยุทธ์ทางธุรกิจและปรับปรุงคุณภาพการบริการของบริษัทขนส่งสินค้า ผู้วิจัยจึงได้ศึกษาการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณแบบขั้นตอนโดยการศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อการตัดสินใจในการเลือกใช้บริการบริษัทขนส่งสินค้า โดยพิจารณาส่วนผสมทางการตลาด ซึ่งมีอิทธิพลต่อการตัดสินใจของผู้บริโภคเป็นอย่างมาก ซึ่งมีนักวิจัยหลายท่านศึกษากลยุทธ์ทางการตลาด เช่น การศึกษากลยุทธ์ด้านราคา [1] พฤติกรรม

ของผู้บริโภค [2] ปัจจัยของกลยุทธ์ทางการตลาดที่ประสบความสำเร็จ [3] และกลยุทธ์ทางการตลาดด้านอาหารและเครื่องดื่ม [4] เป็นต้น เพื่อนำไปเป็นแนวทางในการวางแผนและพัฒนาอย่างต่อเนื่อง ปรับปรุงคุณภาพการบริการ พัฒนากลยุทธ์ทางธุรกิจเพิ่มความพึงพอใจของลูกค้า และสร้างความสัมพันธ์ระยะยาวกับลูกค้า ทำให้ธุรกิจสามารถแข่งขันและเติบโตได้อย่างยั่งยืนในตลาดที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วต่อไป

2. วัตถุประสงค์การวิจัย

2.1 เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างของปัจจัยเชิงกลยุทธ์ทางการตลาดที่ส่งผลต่อการตัดสินใจเลือกใช้บริการบริษัทขนส่งสินค้าของผู้บริโภคในจังหวัดสงขลา

2.2 เพื่อสร้างสมการพยากรณ์ด้วยวิธีการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณแบบขั้นตอนที่มีนัยสำคัญต่อการตัดสินใจของผู้บริโภค

3. ขอบเขตการวิจัย

3.1 ขอบเขตด้านประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

3.1.1 ประชากร คือ ผู้ใช้บริการบริษัทขนส่งสินค้า ในพื้นที่จังหวัดสงขลา ช่วงเวลาเดือนกรกฎาคม ถึงสิงหาคม 2566

3.1.2 กลุ่มตัวอย่าง คือ ผู้ใช้บริการบริษัทขนส่งสินค้าซึ่งไม่ทราบจำนวนที่แน่นอน ผู้วิจัยใช้สูตรการคำนวณขนาดกลุ่มตัวอย่างที่ไม่ทราบค่าประชากร [5] มี

ค่าความผิดพลาดในการเลือกตัวอย่างร้อยละ 5 คำนวณได้จากสูตรดังนี้

$$n = \frac{Z^2}{4(e)^2} \dots\dots\dots (1)$$

โดยที่ n = ขนาดกลุ่มตัวอย่าง
Z = ระดับความเชื่อมั่น คือ 1.96 (95%)
e = ความผิดพลาดที่ยอมรับได้ คือ 0.05

แทนค่าในสูตร $n = \frac{(1.96)^2}{4(0.05)^2} = 385$ ตัวอย่าง

ดังนั้น ผู้วิจัยเก็บกลุ่มตัวอย่างจำนวน 404 ตัวอย่าง เนื่องจากได้กำหนดค่าความผิดพลาดจากการเก็บข้อมูลไว้ร้อยละ 5 ของกลุ่มตัวอย่างที่คำนวณได้

3.2 ขอบเขตด้านเนื้อหา การวิจัยนี้ มุ่งศึกษาการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณแบบขั้นตอนของปัจจัยที่ส่งผลต่อการตัดสินใจในการเลือกใช้บริการบริษัทขนส่งสินค้า

3.3 ขอบเขตด้านตัวแปร มีดังนี้

3.3.1 กลยุทธ์ทางการตลาดในการตัดสินใจในการเลือกใช้บริการบริษัทขนส่งสินค้า ประกอบด้วย ด้านการบริการสินค้า ด้านราคา ด้านสถานที่ และด้านการส่งเสริม

3.3.2 ปัจจัยที่ส่งผลต่อการตัดสินใจในการเลือกใช้บริการบริษัทขนส่งสินค้า ประกอบด้วย ด้านพนักงาน ด้านสิ่งที่น่าสนใจ ด้านกระบวนการ ด้านรูปแบบการให้บริการ

3.4 ขอบเขตด้านพื้นที่ คือ บริษัทขนส่งสินค้าแห่งหนึ่งในตำบลเขารูปช้าง อำเภอเมือง จังหวัดสงขลา

4. วิธีดำเนินการวิจัย

4.1 การสร้างแบบสอบถาม

4.1.1 ผู้วิจัยได้สร้างแบบสอบถามจากเอกสารแนวคิดทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง โดยแบ่งออกเป็น 3 ตอน ดังนี้

ตอนที่ 1 กลยุทธ์ทางการตลาดในการตัดสินใจในการเลือกใช้บริการบริษัทขนส่งสินค้า 4 ด้าน (ด้านการบริการสินค้า ด้านราคา ด้านสถานที่ ด้านการส่งเสริมการขาย)

ตอนที่ 2 ปัจจัยที่ส่งผลต่อการตัดสินใจในการเลือกใช้บริการบริษัทขนส่งสินค้า มี 4 ด้าน (ด้านพนักงาน ด้านสิ่งที่น่าสนใจ ด้านกระบวนการ และ ด้านรูปแบบการให้บริการ)

ตอนที่ 3 ข้อเสนอแนะอื่นๆ

4.1.2 นำแบบสอบถามที่ได้จากการทดสอบค่าความเชื่อมั่น (Reliability) โดยใช้สูตรสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แอลฟา (Alpha Coefficients) ของครอนบาช (Cronbach) ได้ค่าความเชื่อมั่นมากกว่า 0.7 และนำมาเก็บข้อมูล

4.2 การวิเคราะห์ข้อมูล มีการดำเนินการด้านต่าง ๆ ดังนี้

4.2.1 วิเคราะห์ข้อมูลเชิงพรรณนา เพื่ออธิบาย ข้อมูลระดับกลยุทธ์ทางการตลาดในการตัดสินใจในการเลือกใช้บริการบริษัทขนส่งสินค้า และปัจจัยที่ส่งผลต่อการตัดสินใจในการเลือกใช้บริการบริษัทขนส่งสินค้า โดยนำเสนอในรูปแบบการแจกแจงค่าเฉลี่ย (Mean) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation) สำหรับการแปลความหมายระดับคะแนนเฉลี่ยในช่วงคะแนนตามเกณฑ์ 5 ระดับแทน 5 ความหมายคือ มากที่สุด มาก ปานกลาง น้อย และน้อยที่สุดในรายงานฉบับนี้ใช้ทฤษฎีการแปลความหมายของลิเคิร์ตสเกล (Likert scale) โดยการคำนวณอันตรภาคชั้นของค่าเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 0.5 มี 5 ระดับ ดังนี้

$$\text{ความกว้างของอันตรภาคชั้น} = \frac{(\text{คะแนนสูงสุด} - \text{คะแนนต่ำสุด})}{\text{จำนวนชั้น}} \dots\dots (2)$$

เกณฑ์การแปลความหมายดังนี้

4.50-5.00	มากที่สุด
3.50-4.49	มาก
2.50-3.49	ปานกลาง

1.50-2.49 น้อย
1.00-1.49 น้อยที่สุด

4.2.2 ความสัมพันธ์ ระหว่างกลยุทธ์ทางการตลาดในการตัดสินใจในการเลือกใช้บริการบริษัทขนส่งสินค้ากับปัจจัยที่ส่งผลต่อการตัดสินใจในการเลือกใช้บริการบริษัทขนส่งสินค้า โดยหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน (Pearson correlation coefficient)

4.2.3 สร้างสมการพยากรณ์ด้วยวิธีการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณแบบขั้นตอน โดยหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ความถดถอยพหุคูณแบบขั้นตอน (Stepwise multiple regression analysis) [6] โดยมีรูปแบบของสมการที่ 2 ดังนี้ ในรูปของคะแนนดิบ

$$Y'_i = a + b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_kx_k \dots \dots \dots (3)$$

โดยที่ Y'_i = ค่าที่ต้องการพยากรณ์
a = ค่าคงที่
 b_1 ถึง b_k = สัมประสิทธิ์ถดถอย
 ในรูปคะแนนดิบของ
 ตัวแปรพยากรณ์แต่ละตัว
 x_1 ถึง x_k = คะแนนของตัวแปร
 พยากรณ์ (ตัวแปร
 ภูมิหลังแต่ละตัว)

ในรูปของคะแนนมาตรฐาน

$$Z'_i = \beta_1Z_1 + \beta_2Z_2 + \dots + \beta_k \dots \dots \dots (4)$$

โดยที่ Z'_i = ค่าที่ต้องการพยากรณ์ใน
 รูปแบบคะแนนมาตรฐาน
 β_1 ถึง β_k = สัมประสิทธิ์ถดถอย
 ในรูปคะแนนมาตรฐาน
 ของตัวแปรพยากรณ์
 แต่ละตัว

Z_1 ถึง Z_k = คะแนนมาตรฐาน
 ของตัวแปร
 พยากรณ์ (ตัวแปร
 ภูมิหลังแต่ละตัว)

5. ผลการวิจัย

การศึกษาเรื่อง การวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณแบบขั้นตอนของปัจจัยที่ส่งผลต่อการตัดสินใจในการเลือกใช้บริการบริษัทขนส่งสินค้า ผู้วิจัยนำเสนอผลการวิจัยเป็น 3 ตอน ดังนี้

5.1 ตอนที่ 1 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลระดับกลยุทธ์ทางการตลาดในการตัดสินใจในการเลือกใช้บริการบริษัทขนส่งสินค้า และปัจจัยที่ส่งผลต่อการตัดสินใจในการเลือกใช้บริการบริษัทขนส่งสินค้า ซึ่งมีผลปรากฏดังตารางที่ 1-2 ดังนี้

ตารางที่ 1 การวิเคราะห์ข้อมูลระดับกลยุทธ์ทางการตลาดในการตัดสินใจในการเลือกใช้บริการบริษัทขนส่งสินค้า

ปัจจัย	$\bar{x}$	S.D.	ความหมาย
ด้านการบริการสินค้า	3.690	0.570	มาก
ด้านราคา	3.323	0.732	ปานกลาง
ด้านสถานที่	3.468	0.688	ปานกลาง
ด้านการส่งเสริมการขาย	2.898	0.682	ปานกลาง
ค่าเฉลี่ย	3.345	0.668	ปานกลาง

จากตารางที่ 1 พบว่า ระดับกลยุทธ์ทางการตลาดในการตัดสินใจในการเลือกใช้บริการบริษัทขนส่งสินค้าโดยภาพรวมอยู่ในระดับปานกลาง ($\bar{x} = 3.345$, S.D. = 0.668) เมื่อพิจารณารายด้าน พบว่า ผู้รับบริการให้ระดับความพึงพอใจมากที่สุดคือ ด้านการบริการสินค้า ($\bar{x} = 3.690$, S.D. = 0.570) ด้านสถานที่ ($\bar{x} = 3.468$, S.D. = 0.688) ด้านราคา ($\bar{x} = 3.323$, S.D. = 0.732) และด้านการส่งเสริมการขาย ($\bar{x} = 2.898$, S.D. = 0.682) ตามลำดับ

ตารางที่ 2 การวิเคราะห์ข้อมูลระดับปัจจัยที่ส่งผลต่อการตัดสินใจในการเลือกใช้บริการบริษัทขนส่งสินค้า

ปัจจัย	$\bar{X}$	S.D.	ความหมาย
ด้านพนักงาน	3.823	0.526	มาก
ด้านสิ่งที่น่าสนใจ	3.683	0.487	มาก
ด้านกระบวนการ	3.580	0.576	มาก
ด้านรูปแบบการให้บริการ	3.232	0.667	ปานกลาง
ค่าเฉลี่ย	3.580	0.564	มาก

จากตารางที่ 2 พบว่า ระดับปัจจัยที่ส่งผลต่อการตัดสินใจในการเลือกใช้บริการบริษัทขนส่งสินค้าโดยภาพรวมอยู่ในระดับมาก ($\bar{X} = 3.580$, S.D. = 0.564) เมื่อพิจารณารายด้านพบว่า ผู้รับบริการให้ระดับความพึงพอใจมากที่สุด คือ ด้านพนักงาน ($\bar{X} = 3.823$, S.D. = 0.526) ด้านสิ่งที่น่าสนใจ ($\bar{X} = 3.683$, S.D. = 0.487) ด้านกระบวนการ ($\bar{X} = 3.580$, S.D. = 0.576) และด้านรูปแบบการให้บริการ ($\bar{X} = 3.232$, S.D. = 0.667) ตามลำดับ

5.2 ตอนที่ 2 ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างกลยุทธ์ทางการตลาดในการตัดสินใจในการเลือกใช้บริการบริษัทขนส่งสินค้ากับปัจจัยที่ส่งผลการตัดสินใจในการเลือกใช้บริการบริษัทขนส่งสินค้า ซึ่งมีผลปรากฏดังตารางที่ 3 ดังนี้

ตารางที่ 3 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างกลยุทธ์ทางการตลาดในการตัดสินใจในการเลือกใช้บริการบริษัทขนส่งสินค้ากับปัจจัยที่ส่งผลการตัดสินใจในการเลือกใช้บริการบริษัทขนส่งสินค้า

ตัวแปร	X ₂	X ₃	X ₄	Y ₁
X ₁ Pearson				
	Correlation	.397**	.349**	.386**
	Sig. (2-tailed)	.000	.000	.000
X ₂ Pearson				
	Correlation	-	.839**	.689**
	Sig. (2-tailed)	.000	.000	.000

ตัวแปร	X ₂	X ₃	X ₄	Y ₁
X ₃ Pearson				
	Correlation	-	.626**	.655**
	Sig. (2-tailed)	.000	.000	.000
X ₄ Pearson				
	Correlation		-	.489**
	Sig. (2-tailed)	.000	.000	.000

** มีความสัมพันธ์กันที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ .01

จากตาราง 3 จะแสดงค่าตัวเลขสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน (Pearson Correlation) ซึ่งบอกถึงความสัมพันธ์ของแต่ละปัจจัย พบว่าค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างกลยุทธ์ทางการตลาดในการตัดสินใจในการเลือกใช้บริการบริษัทขนส่งสินค้าด้านการบริการสินค้า (X₁) ด้านราคา (X₂) ด้านสถานที่ (X₃) ด้านการส่งเสริมการขาย (X₄) มีความสัมพันธ์ทางบวกกับปัจจัยที่ส่งผลการตัดสินใจในการเลือกใช้บริการบริษัทขนส่งสินค้า (Y₁) ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ .01

5.3 ตอนที่ 3 สมการพยากรณ์ด้วยวิธีการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณแบบขั้นตอน ซึ่งมีผลปรากฏดังตารางที่ 4-5 ดังนี้

ตารางที่ 4 การวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณแบบขั้นตอน ด้วยวิธี Stepwise

ตัวแปร	B	Std. Error	Beta	t	p-value
X ₁	.192	.060	.257	3.184	.002
X ₂	-.090	.085	-.155	-1.058	.293
X ₃	.932	.084	.631	4.677	.000
X ₄	.064	.064	.102	.994	.323
R = .704		R ² = .495		R ² Adjusted = .474	
SE _{cas} = .310		F = 23.291			

จากตารางที่ 4 พบว่า ปัจจัยด้านการบริการสินค้า (X₁) ด้านราคา (X₂) ด้านสถานที่ (X₃) ด้านการส่งเสริมการขาย (X₄) มีความสัมพันธ์กับปัจจัยที่ส่งผลการตัดสินใจในการเลือกใช้บริการบริษัทขนส่งสินค้า (Y₁) ระดับค่อนข้างสูง โดยมีค่าสัมประสิทธิ์

สหสัมพันธ์พหุคูณเป็น 0.495 และสามารถพยากรณ์ตัวแปรได้ร้อยละ 70.40 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01

ตารางที่ 5 การวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณแบบขั้นตอนด้วยวิธี Stepwise

ตัวแปร	B	Std. Error	Beta	t	p-value
X_3	.932	.084	.631	4.677	.000
X_1	.192	.060	.257	3.184	.002
a = 1.625 R = .704 R ² = .495					
R ² Adjusted = .474 SE _{cas} = .310 F = 23.291					

จากตารางที่ 5 จะเห็นว่าเพื่อพิจารณาความสัมพันธ์การถดถอยของตัวพยากรณ์ พบว่า มี 2 ปัจจัยเท่านั้นที่สามารถพยากรณ์กลยุทธ์ทางการตลาดในการตัดสินใจในการเลือกใช้บริการบริษัทขนส่งสินค้าได้ คือ ปัจจัยด้านสถานที่ (X_3) และปัจจัยด้านการบริการสินค้า (X_1) สามารถเขียนสมการทำนายได้ ดังนี้

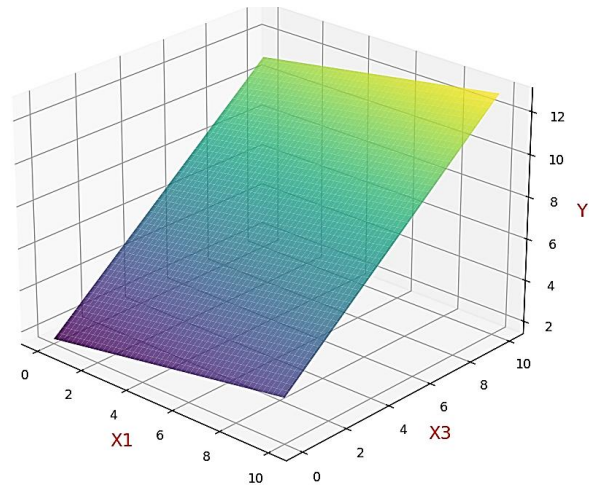
สมการในรูปแบบคะแนนดิบ

$$Y = 1.625 + 0.932(X_3) + 0.192(X_1)$$

สมการในรูปแบบคะแนนมาตรฐาน

$$Z = 0.631(Z_3) + 0.257(Z_1)$$

จากสมการรูปแบบคะแนนดิบ บ่งชี้ว่าปัจจัยทั้งสองมีอิทธิพลเชิงบวกต่อระดับการตัดสินใจเลือกใช้บริการ เพื่อให้เห็นภาพความสัมพันธ์นี้ชัดเจนยิ่งขึ้น ผลลัพธ์ของสมการดังกล่าวถูกนำเสนอแผนภาพสามมิติ ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยด้านการบริการสินค้า (X_1) ปัจจัยด้านสถานที่ (X_3) และระดับการตัดสินใจในการเลือกใช้บริการบริษัทขนส่งสินค้า (Y)

จากรูปที่ 1 แสดงสมการการทำนายระดับของการตัดสินใจในการเลือกใช้บริการบริษัทขนส่งสินค้า (แกน Y) จากปัจจัยด้านการบริการสินค้า (แกน X_1) และปัจจัยด้านสถานที่ (แกน X_3) ผ่านการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณแบบขั้นตอน ด้วยวิธี Stepwise ระบายแสดงถึงสมการทำนาย $Y = 1.625 + 0.932(X_3) + 0.192(X_1)$ ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์ของ X_3 และ X_1 บ่งชี้ว่าปัจจัยทั้งสองมีอิทธิพลเชิงบวกต่อระดับการตัดสินใจเลือกใช้บริการ โดยที่ X_3 (ปัจจัยด้านสถานที่) มีอิทธิพลมากกว่า X_1 (ปัจจัยด้านการบริการสินค้า) เล็กน้อย อย่างไรก็ตาม สมการนี้สามารถอธิบายความแปรผันของ Y ได้เพียง 49.5% ($R^2 = 0.495$) ซึ่งบ่งชี้ว่ายังมีปัจจัยอื่น ๆ ที่ส่งผลต่อการตัดสินใจเลือกใช้บริการบริษัทขนส่งสินค้าที่ไม่ได้ถูกรวมอยู่ในสมการนี้

6. การสรุปผลและอภิปรายผล

6.1 การสรุปผล

6.1.1 ระดับกลยุทธ์ทางการตลาดในการตัดสินใจในการเลือกใช้บริการบริษัทขนส่งสินค้า โดยภาพรวมอยู่ในระดับปานกลาง ($\bar{X} = 3.345$, S.D. = 0.668)

6.1.2 ระดับปัจจัยที่ส่งผลต่อการตัดสินใจในการเลือกใช้บริการบริษัทขนส่งสินค้า โดยภาพรวมอยู่ในระดับมาก ($\bar{X} = 3.580$, S.D. = 0.564)

6.1.3 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างกลยุทธ์ทางการตลาดในการตัดสินใจในการเลือกใช้บริการบริษัทขนส่งสินค้าด้านการบริการสินค้า ด้านราคา ด้านสถานที่ ด้านการส่งเสริมการขาย มีความสัมพันธ์ทางบวกกับปัจจัยที่ส่งผลต่อการตัดสินใจในการเลือกใช้บริการบริษัทขนส่งสินค้า ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ .01

6.1.4 ปัจจัยที่สามารถพยากรณ์กลยุทธ์ทางการตลาดในการตัดสินใจในการเลือกใช้บริการบริษัทขนส่งสินค้าได้ คือ ปัจจัยด้านการบริการสินค้า (X_1) และปัจจัยด้านสถานที่ (X_3)

6.2 อภิปรายผล

จากการศึกษาเรื่องการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณแบบขั้นตอนของปัจจัยที่ส่งผลต่อการตัดสินใจในการเลือกใช้บริการบริษัทขนส่งสินค้า พบว่า ระดับกลยุทธ์ทางการตลาดในการตัดสินใจในการเลือกใช้บริการบริษัทขนส่งสินค้า โดยภาพรวมอยู่ในระดับปานกลาง และระดับปัจจัยที่ส่งผลต่อการตัดสินใจในการเลือกใช้บริการบริษัทขนส่งสินค้าสินค้า โดยภาพรวมอยู่ในระดับมาก ในส่วนของกลยุทธ์ทางการตลาด พบว่า การตัดสินใจในการเลือกใช้บริการบริษัทขนส่งสินค้าด้านการบริการสินค้า ด้านราคา ด้านสถานที่ และด้านการส่งเสริมการขาย มีความสัมพันธ์ทางบวกกับปัจจัยที่ส่งผลต่อการตัดสินใจในการเลือกใช้บริการบริษัทขนส่งสินค้าที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ .01 และปัจจัยที่สามารถพยากรณ์กลยุทธ์ทางการตลาดในการตัดสินใจในการเลือกใช้บริการบริษัทขนส่งสินค้าได้ คือ ปัจจัยด้านสถานที่ และปัจจัยด้านการบริการสินค้า ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาเรื่อง A decision-support system to analyze customer satisfaction applied to a tourism transport service [7] กล่าวว่า ความประทับใจแรกเป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุดต่อประสบการณ์ที่ดีของลูกค้า และยังสอดคล้องกับงานวิจัยเรื่อง The effect

of service quality, promotion strategy and company image on word of mouth in mediation by online transport customer satisfaction Jakarta region [8] กล่าวว่า ภาพลักษณ์ของบริษัทที่ดีและกลยุทธ์ส่งเสริมการขายที่น่าสนใจ สามารถเพิ่มความพึงพอใจของลูกค้าได้ อีกทั้งยังคุณภาพการบริการที่ดีมีผลต่อทั้งความพึงพอใจของลูกค้าอีกด้วย และยังสอดคล้องกับการศึกษาเรื่อง Transportation service satisfaction—case study of shipping contractor of “Agro-Fish” company [9] กล่าวว่า การดูแลลูกค้าที่ดี การสื่อสารที่มีประสิทธิภาพ และคุณภาพการบริการที่ดีนั้น เป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อความพึงพอใจของลูกค้า

7. ข้อเสนอแนะ

7.1 การนำไปใช้งาน

7.1.1 ผลการวิจัยนี้สามารถเป็นแนวทางในการกำหนดกลยุทธ์ทางการตลาดที่เหมาะสมของบริษัทขนส่งสินค้า หรือสถานประกอบการอื่น ๆ ได้

7.1.2 บริษัทขนส่งสินค้าควรให้ความสำคัญกับการพัฒนาปัจจัยด้านสถานที่ตั้ง และการบริการสินค้าอย่างต่อเนื่อง เพื่อสร้างความได้เปรียบในการแข่งขัน และตอบสนองความต้องการของผู้บริโภคในยุคปัจจุบัน

7.1.3 เนื่องจากงานวิจัยนี้เป็นการเก็บข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่างในพื้นที่จังหวัดสงขลา ผลการวิจัยไม่สามารถนำไปใช้กับบริบทอื่น ๆ ได้อย่างสมบูรณ์ เนื่องจากมีความแตกต่างหลายประการ เช่น ฤดูกาล วัฒนธรรม และศาสนา เป็นต้น

7.2 ข้อเสนอแนะเพื่อเป็นแนวทางการพัฒนาเพื่อขยายผลต่อไป

ควรมีการนำปัจจัยอื่น ๆ ที่ส่งผลต่อการตัดสินใจเลือกใช้บริการบริษัทขนส่งสินค้าที่ไม่ได้ถูกนำมาพิจารณาในการวิจัยนี้ เพื่อความน่าเชื่อถือและความแม่นยำมากยิ่งขึ้น

8. เอกสารอ้างอิง

- [1] Ali, B. J. and Anwar, G., 2021. "Marketing Strategy: Pricing strategies and its influence on consumer purchasing decision," *Ali, BJ, & Anwar, G. (2021). Marketing Strategy: Pricing strategies and its influence on consumer purchasing decision. International journal of Rural Development, Environment and Health Research*, 5(2): pp. 26–39.
- [2] Chou, S.-F., Horng, J.-S., Liu, C.-H. S., and Lin, J.-Y., 2020. "Identifying the critical factors of customer behavior: An integration perspective of marketing strategy and components of attitudes," *Journal of retailing and consumer services*. 55: pp.102-113.
- [3] Duralia, O., 2022. "Consumer Behavior and Competition-Factors of a Successful Marketing Strategy," *Studies in Business and Economics*, 17(3): pp. 70–79.
- [4] Hecht, A. A., Perez, C. L., Polascek, M., Thorndike, A. N., Franckle, R. L., and Moran, A. J., 2020. "Influence of food and beverage companies on retailer marketing strategies and consumer behavior," *International journal of environmental research and public health*, 17(20): pp. 73-81.
- [5] Wanitbanha, K., 2002. *Principles of statistics*. Bangkok: Chulalongkorn University. (in Thai)
- [6] Taesombat, S., 2005. *Regression analysis*. Bangkok: Kasetart University Publishing. (in Thai)
- [7] Ramos, C. M., Cardoso, P. J., Fernandes, H. C., and Rodrigues, J. M., 2022. "A decision-support system to analyse customer satisfaction applied to a tourism transport service," *Multimodal Technologies and Interaction*, 7(1): pp. 5.
- [8] Tecoalu, M., 2021. "The effect of service quality, promotion strategy and company image on word of mouth in mediation by online transport customer satisfaction Jakarta region", *Revista geintec-gestao inovacao e tecnologias*, 11(3): pp. 93–102.
- [9] Parlinska, M., Górecka, A., and Misiejuk, M., 2012. "Transportation service satisfaction–case study of shipping contractor of "Agro-Fish" company", *Electronic Journal of Polish Agricultural Universities*, 15(3): pp. 15050297.

ถ่านกัมมันต์จากเหง้ามันสำปะหลังเพื่อการออกแบบผลิตภัณฑ์ดูดซับกลิ่น

Activated Carbon from Cassava Rhizomes to Design Odor Absorbing Products

เกรียงศักดิ์ เขียวมั่ง^{1*}Kriangsak Khiaomang^{1*}¹ สาขาวิชาการออกแบบผลิตภัณฑ์ คณะศิลปกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

* ผู้ประสานงานเผยแพร่ (Corresponding Author), E-mail: Kraingsak_k@yahoo.com

วันที่รับบทความ: 3 สิงหาคม 2567; วันที่ทบทวนบทความ: 4 สิงหาคม 2567; วันที่ตอบรับบทความ: 9 สิงหาคม 2567

วันที่เผยแพร่ออนไลน์: 20 สิงหาคม 2567

บทคัดย่อ: การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ คือ 1) เพื่อใช้ประโยชน์จากเศษเหลือทิ้งจากการเกษตร ประเภทเหง้ามันสำปะหลังในภาคตะวันออก 2) เพื่อศึกษากระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์ (Activated carbon) การใช้ประโยชน์ที่ตรงตามสมบัติของวัสดุ และ 3) เพื่อเพิ่มมูลค่าด้วยกระบวนการออกแบบผลิตภัณฑ์ประเภทดูดซับกลิ่นจำนวน 3 แบบ วิธีการดำเนินการวิจัยในครั้งนี้เป็นแบบเชิงคุณภาพ โดยการวิจัยและพัฒนาในห้องทดลองแล้ววิเคราะห์สรุปผล ทดลองผลิตต้นแบบผลิตภัณฑ์ ผลการวิจัยพบว่า 1) เศษเหลือทิ้งจากการเกษตร ประเภทเหง้ามันสำปะหลังมีความเป็นไปได้ที่จะสามารถนำไปใช้ให้เกิดประโยชน์มูลค่าเพิ่ม 2) กระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์แบ่งออกเป็นขั้นตอน คือ การเตรียมถ่าน และการกระตุ้นเพื่อให้เกิดรูพรุนขนาดไมโคร วิธีกระตุ้นที่ดีที่สุดคือการกระตุ้นด้วยสารเคมีจะทำให้เนื้อถ่านกัมมันต์มีรูพรุนจำนวนมากและมีสมบัติในการดูดซับกลิ่นอย่างมีประสิทธิภาพ และ 3) ผลิตภัณฑ์ดูดซับกลิ่นในรถยนต์ใช้อัตราส่วนผสมถ่านกัมมันต์ผง ร้อยละ 60 ใช้ปูนปลาสเตอร์เป็นตัวประสานในอัตราส่วนร้อยละ 40 ขึ้นรูปต้นแบบเป็นรูปทรงธรรมชาติ กระบองเพชร ขนาด 50x50x80 มิลลิเมตร ผลิตภัณฑ์ดูดซับกลิ่นในห้องครัวใช้อัตราส่วนผสมถ่านกัมมันต์ผง ร้อยละ 70 ใช้ปูนปลาสเตอร์เป็นตัวประสานในอัตราส่วน ร้อยละ 30 ขึ้นรูปต้นแบบเป็นรูปทรงเรขาคณิต 6 เหลี่ยม 150x125x40 มิลลิเมตร และผลิตภัณฑ์สบู่อัดกลิ่นใช้อัตราส่วนผสมถ่านกัมมันต์ผง ร้อยละ 20 ใช้เบสสบู่กลีเซอรีนในอัตราส่วน ร้อยละ 80 ขึ้นรูปต้นแบบเป็นรูปทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 50x50x20 มิลลิเมตร

คำสำคัญ: ถ่านกัมมันต์จากเหง้ามันสำปะหลัง, ผลิตภัณฑ์ดูดซับกลิ่น

Abstract: Objective of this research is to: 1) utilize agricultural waste, specifically cassava rhizome types in the eastern region, 2) study the production process of activated carbon with suitable material properties, and 3) create value-added odor-absorbing products through three different design processes. The research methodology is qualitative, involving laboratory research and development, data analysis, summarization, product prototype testing, and production. The research findings are as follows: 1) Cassava rhizome types, a form of agricultural waste, have potential for value-added applications. 2) The activated carbon production process consists of two steps: charcoal preparation and subsequent stimulation to create micropores. Chemical stimulation is the most effective method, resulting in activated carbon with high porosity and strong odor-absorption

capabilities. 3) Odor-absorbing products were developed: car air fresheners containing 60 % activated carbon powder and 40 % plaster, molded into a cactus shape (50x50x80 mm); kitchen deodorizers containing 70 % activated carbon powder and 30 % plaster, molded into a hexagonal shape (150x125x40 mm); and deodorizing soap containing 20 % activated carbon powder and 80 % glycerin soap base, molded into a square shape (50x50x20 mm).

Key words: Activated carbon from cassava rhizomes, Odor-absorbing products

1. บทนำ

แปลงใหญ่มันสำปะหลัง หนองใหญ่ จังหวัดชลบุรี มีพื้นที่ประมาณ 1,240 ไร่ หลังกระบวนการเก็บเกี่ยวหัวมันสำปะหลังไปจำหน่ายให้กับโรงงานผลิตแป้งมันแล้วจะเหลือเหง้ามันซึ่งเป็นเศษวัสดุทางการเกษตร จากข้อมูลกลุ่มเกษตรกรผู้ปลูกเบ๊องตันพบว่า เศษเหลือทิ้งไม่สามารถสร้างมูลค่าเพิ่มได้แต่กลับเป็นภาระรายจ่ายในกระบวนการกำจัด ซึ่งส่วนใหญ่ใช้วิธีเผาทำลายซึ่งก่อให้เกิดมลภาวะทางอากาศ ดังนั้นผู้วิจัยจึงเชื่อมโยงบูรณาการศาสตร์โดยเชื่อมโยง Area base กับเศรษฐกิจชุมชน ในการพัฒนาห่วงโซ่ (Supply chain) ให้เกิดในกระบวนการผลิตเน้นกระบวนการ Waste to Value และเพื่อสร้างความเข้มแข็งสู่เศรษฐกิจฐานรากที่มั่นคงและยั่งยืนให้กับชุมชนโดยใช้หลักการ Green Economy ในกระบวนการวิจัย โดยถ่านกัมมันต์เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำวัตถุดิบจากธรรมชาติหรืออินทรีย์วัตถุที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลักมาผ่านกระบวนการ Activation process จนได้ผลิตภัณฑ์สีดำมีรูพรุนระดับไมโคร มีความสามารถและสมบัติในการดูดซับสารต่าง ๆ ได้ดี กรรมวิธีการเตรียม Activated carbon ในปัจจุบันมีหลายวิธีขึ้นอยู่กับวัสดุที่จะนำมาใช้เป็นวัตถุดิบและสมบัติที่ต้องการ โดยทั่วไปประกอบด้วย 2 ขั้นตอนหลัก คือ การคาร์บอนไนซ์ (Carbonization) เป็นการใช้ความร้อนทำให้สารระเหยแตกตัวและแทรกออกจากวัตถุดิบทำให้เกิดเป็นผลิตภัณฑ์ของแข็งสีดำ เรียกว่า ถ่าน (Charcoal) ส่วนขั้นตอนที่สอง การก่อกัมมันต์ (Activation) เป็นกระบวนการทำให้ถ่านเกิดรูพรุนในขนาดต่าง ๆ ซึ่งวิธีการก่อกัมมันต์โดยทั่วไปมี 2 วิธี ได้แก่

การก่อกัมมันต์ทางกายภาพ การก่อกัมมันต์ทางเคมี เมื่อได้คัดเลือกถ่านกัมมันต์ เกรดอุตสาหกรรมที่มีสมบัติตามต้องการ จากนั้นจึงเริ่มกระบวนการแปรรูปเพื่อการออกแบบเป็นต้นแบบผลิตภัณฑ์ประเภทดูดซับกลิ่นจำนวน 3 แบบ เป็นต้นแบบผลิตภัณฑ์ใหม่จากเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรสำหรับเป็นแนวทางในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ทางเลือกและเป็นนวัตกรรมชุมชนในอนาคต

2. วัตถุประสงค์การวิจัย

- 2.1 เพื่อใช้ประโยชน์จากเศษเหลือทิ้งจากการเกษตรประเภทเหง้ามันสำปะหลัง ในภาคตะวันออก
- 2.2 เพื่อศึกษากระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์และการใช้ประโยชน์ที่ตรงตามสมบัติของวัสดุ
- 2.3 เพื่อเพิ่มมูลค่าด้วยกระบวนการออกแบบผลิตภัณฑ์ประเภทดูดซับกลิ่นจำนวน 3 แบบ

3. ขอบเขตการวิจัย

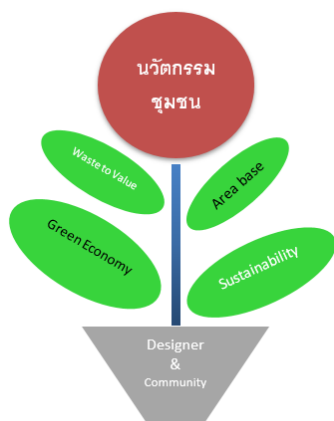
3.1 ขอบเขตทางด้านเนื้อหา/เรื่องราว เป็นการออกแบบผลิตภัณฑ์เชิงนวัตกรรมสร้างสรรค์โดยใช้เหง้ามันสำปะหลังที่เป็นเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร ของจังหวัดชลบุรี นำมาหาแนวทางในการใช้ประโยชน์ด้วยการศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตเป็นถ่านกัมมันต์ซึ่งมีสมบัติด้านกำลังการดูดซับ นำมาทดสอบทดลองศึกษาหาความเป็นไปได้ในการนำมาเพิ่มมูลค่า คุณค่าด้วยกระบวนการออกแบบผลิตภัณฑ์ผลิตภัณฑ์ประเภทดูดซับสำหรับเป็นต้นแบบสำหรับชุมชนได้เพื่อการพัฒนาต่อยอดในเชิงพาณิชย์ จำนวน 3 แบบ ได้แก่

- 1) ลักษณะ เป็นผลิตภัณฑ์ดูดซับกลิ่น

2) เทคนิค เป็นการออกแบบผลิตภัณฑ์เชิงนวัตกรรมสร้างสรรค์

3) ขนาด มีขนาดประมาณ 10 x 15 เซนติเมตร จำนวน 3 แบบ ได้แก่ ผลิตภัณฑ์ดัดกลิ้งในรถยนต์ ผลิตภัณฑ์ดัดกลิ้งในห้องครัว และผลิตภัณฑ์สับขจัดกลิ้ง

3.2 ขอบเขตด้านแนวคิดการวิจัย เป็นไปดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ไตรแกรมแนวคิดของการวิจัย

4. วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยและพัฒนา (Research and Development) โดยเป็นการศึกษาข้อมูล วิเคราะห์ คัดเลือกถ่านกัมมันต์ ที่มีสมบัติที่เหมาะสมนำมาใช้เป็นส่วนผสมในการผลิตต้นแบบผลิตภัณฑ์ เพื่อเป็นแนวทางในการสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับเศษวัสดุทางการเกษตร โดยมีกระบวนการวิจัยดังนี้

- 1) กำหนดปัญหาการดำเนินการวิจัย
- 2) กำหนดวัตถุประสงค์การวิจัย
- 3) ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง
- 4) กำหนดกรอบแนวคิด
- 5) กำหนดประชากรกลุ่มตัวอย่าง
- 6) การรวบรวมข้อมูล วิเคราะห์ข้อมูล
- 7) การผลิตต้นแบบผลิตภัณฑ์
- 8) การนำเสนอผล

โดยในการศึกษาวิจัยให้บรรลุตามวัตถุประสงค์ของการวิจัย ผู้วิจัยจึงได้กำหนดขั้นตอน ในการดำเนินการออกเป็น 3 ขั้นตอน ประกอบด้วย

ขั้นตอนที่ 1 การศึกษาทบทวนวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อศึกษาแนวทางการนำไปได้ในการนำเศษวัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตรมาผลิตเป็นถ่านกัมมันต์

ขั้นตอนที่ 2 การศึกษาและคัดเลือกถ่านกัมมันต์ที่มีสมบัติเหมาะสมในการนำมาใช้ในการผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ต้นแบบ

ขั้นตอนที่ 3 การผลิตต้นแบบผลิตภัณฑ์ดัดขจัดกลิ้ง

5. ผลการวิจัย

5.1 ขั้นตอนที่ 1 การศึกษาทบทวนวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อศึกษาแนวทางการนำไปได้ในการนำเศษวัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตรมาผลิตเป็นถ่านกัมมันต์ จากการทบทวนวรรณกรรมพบว่า มีความเป็นไปได้ที่จะนำเศษวัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตรมาผลิตเป็นถ่านกัมมันต์ซึ่งวัสดุจากการเกษตรที่มีการนำมาทดลองผลิต เช่น เปลือกมังคุด ไม้ไผ่ เปลือกทุเรียน ไม้ยางพารา และเห้งามันสำปะหลัง ปรากฏผลดังนี้

5.1.1 เปลือกมังคุด [1] ผลจากการศึกษาพบว่า เปลือกมังคุดเป็นชีวมวลที่มีศักยภาพเหมาะสมสำหรับการผลิต ถ่านกัมมันต์ เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของรูพรุนอย่างชัดเจน สภาวะที่เหมาะสมสำหรับการเตรียมถ่านกัมมันต์จากเปลือกมังคุดคืออัตราส่วน 1:1 (ถ่าน: ซิงค์คลอไรด์) ใช้เวลาให้ความร้อน 3 ชั่วโมง ผลการทดลองได้ค่าไอโอดีนนัมเบอร์ เท่ากับ 820 มิลลิกรัม ต่อกรัม ส่วนค่าความชื้น ร้อยละ 1.07 ปริมาณเถ้า ร้อยละ 5.68 ปริมาณสารระเหย ร้อยละ 47.75 ปริมาณคาร์บอนคงตัว ร้อยละ 46.57 จากสเปกตรัม IR พบว่าแถบการสั่นของหมู่ -OH, C-H, C=O และ C C ของถ่านเปลือกมังคุดเข้มข้นกว่าสเปกตรัมของถ่านกัมมันต์ แสดงว่าในถ่านเปลือกมังคุดยังมีองค์ประกอบอินทรีย์เหลืออยู่หลายชนิด ส่วนในถ่านกัมมันต์การกระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์ทำให้สารอินทรีย์ต่าง ๆ สลายตัวในรูปของสารระเหยและหมู่ฟังก์ชันต่าง ๆ สลายไปเช่นกัน

ดังนั้นเปลือกมังคุดซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งสามารถนำมาผลิตเป็นถ่านกัมมันต์ได้โดยมีสถานะในการผลิต คือ เเผาเปลือกที่ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 120 นาที และสถานะที่เหมาะสมในการกระตุ้นคือใช้กรดฟอสฟอริกความเข้มข้น ร้อยละ 5 (v/v) เวลาแช่กรด 180 นาที โดยมีเวลาและอุณหภูมิการกระตุ้นที่ 700 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที ถ่านกัมมันต์ที่ได้มีคุณภาพเทียบเท่ากับถ่านกัมมันต์เกรดการค้า นอกจากนี้ ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้ยังมีความสามารถในการดูดซับน้ำเสียจากโลหะหนัก เช่น ตะกั่ว และโครเมียมสังเคราะห์ได้ดี

5.1.2 ไม้ไผ่ [2] ผลการศึกษาพบว่าลำไผ่มีคาร์บอน 47.43 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นไผ่จึงมีสมบัติที่จะผลิตผงคาร์บอนได้ดี สมควรที่จะมีการศึกษาวิจัยพัฒนาให้เป็นพืชคาร์บอน ด้วยเหตุผลอย่างน้อย 4 ประการ คือ 1) ไผ่มีองค์ประกอบของธาตุคาร์บอนอยู่ใน เกณฑ์มาตรฐาน 2) ไผ่เติบโตเร็ว สามารถใช้ผลิตคาร์บอนได้เมื่อปลูก 1-2 ปี สามารถหมุนเวียน ตัดสางลำแก่ไปใช้เผาถ่านได้อย่างต่อเนื่องยาวนาน 3) ไผ่สามารถบริหารจัดการเร่งอัตราส่วนในการสร้างของคาร์บอนได้ดี และ 4) ไผ่มีเส้นใยและรพุนมากกว่าต้นไม้ปกติ 4 เท่า ดังนั้นช่องว่างในเนื้อผงคาร์บอนย่อมมากกว่าผลิตจากไม้ชนิดอื่น ซึ่งเป็นสิ่งที่ต้องการและเหมาะสมกับการนำมาผลิตเป็นถ่านกัมมันต์มากที่สุด

5.1.3 ไม้ยางพารา [3] จากการทดลองเพื่อศึกษาหาสถานะที่เหมาะสมในการนำผงถ่านไม้มาใช้เป็นวัตถุดิบในการ เตรียมถ่านกัมมันต์ที่มีพื้นที่ผิวสูงด้วยวิธีการก่อกัมมันต์ทางเคมีแบบแห้ง พบว่าสถานะที่เหมาะสมสำหรับการเตรียมถ่านกัมมันต์จากผงถ่านไม้ใช้ NaOH เป็นสาร กระตุ้นอัตราส่วนระหว่างปริมาณผงถ่านไม้ต่อสารกระตุ้น คือ 1:3 อุณหภูมิ และเวลาที่ใช้ในการกระตุ้น คือ 600 องศาเซลเซียส และ 2 ชั่วโมง ตามลำดับ ที่สภาวะดังกล่าวได้ถ่านกัมมันต์ที่มีค่าไอโอดีนนัมเบอร์สูงสุดเท่ากับ 1,247 mg/g และพื้นที่ผิว BET เท่ากับ 1,214.52 m²/g ผงถ่านไม้มีสมบัติเพียงพอที่จะนำมา

ผลิตเป็นถ่านกัมมันต์พื้นที่ผิวสูงได้ เนื่องจากมีค่าไอโอดีนนัมเบอร์สูงกว่า 600 mg/g ตามมาตรฐาน มอก. 900-2547 จากการหากลุ่มฟังก์ชันนัลของถ่านกัมมันต์ พบว่า จะมีสารประกอบอินทรีย์โดยที่องค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นคาร์บอน อีลึฐานปนกับผลึกกราฟไฟต์ซึ่งสอดคล้องกับผลของสเปกตรัม XRD ส่วนลักษณะทางอีลึฐานวิทยาจากภาพ SEM พบรูพรุนขนาดต่าง ๆ กระจายตัวบนถ่านกัมมันต์และมีสิ่งปนเปื้อนน้อยกว่าผงถ่านไม้ และจากการวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตถ่านกัมมันต์ที่ก่อกัมมันต์ทางเคมีแบบแห้งจะมีต้นทุนการผลิตที่ต่ำ คือ เท่ากับ 97.48 บาทต่อกิโลกรัม ขณะที่ราคาขายของห้องตลาดถ่านกัมมันต์ที่มีพื้นที่ผิวสูงกว่า 1,000 m²/g ราคาประมาณ 210 บาทต่อกิโลกรัม ทำให้มีส่วนต่างกำไรจากค่าการตลาดถึง 53.58 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นผงถ่านไม้ จึงเป็นวัตถุดิบที่เหมาะสมสำหรับการเตรียมถ่านกัมมันต์ที่มีพื้นที่ผิวสูง

5.1.4 เปลือกทุเรียน [4] การเตรียมถ่านกัมมันต์โดยนำเปลือกทุเรียนมาแช่ในสารละลายเกลือแกงในอัตราส่วน 1 กิโลกรัมต่อน้ำ 2 ลิตรเป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำไปตากแดดเป็นเวลา 2 วันจึงนำมาเผาในเตาเผาอุณหภูมิ 300-500 องศาเซลเซียส นำเปลือกทุเรียนที่ผ่านการเผาแล้วมาเข้าสู่กระบวนการกระตุ้นด้วยวิธีทางกายภาพคือการใช้ไอน้ำเป็นตัวกระตุ้นด้วยเครื่องนึ่งความดันไอน้ำ (Autoclave) ที่ความดัน 10 กิโล-พาสคัล อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ใช้น้ำล้างถ่านเพื่อชะล้างเถ้าที่หลงเหลืออยู่ตามรูพรุนของถ่านออก บดและร่อนด้วยตะแกรกร่อนขนาด 300 ไมโครเมตร จะได้ ถ่านกัมมันต์เพื่อใช้ในการเป็นวัสดุดูดซับหลักแทนถ่านคาร์บอนในเครื่องกรองน้ำ ซึ่งหลักในการพิจารณาเลือกวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรที่จะนำมาผลิตถ่านกัมมันต์ คือ ปริมาณ คาร์บอนสูง และปริมาณเถ้าต่ำ โดยวัสดุตั้งต้นที่มีปริมาณคาร์บอนสูงจะส่งผลให้ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้มีความบริสุทธิ์ของคาร์บอนที่สูงเช่นกัน อีกทั้งปริมาณเถ้าที่ต่ำในวัสดุตั้งต้นเป็นสิ่งที่แสดงให้เห็นว่าสิ่งปนเปื้อนในวัสดุตั้งต้นก็น้อย

วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรที่ศึกษาจากงานวิจัยต่าง ๆ พบว่า มีปริมาณคาร์บอนสูงมี ค่าประมาณ ร้อยละ 40–50 และปริมาณเถ้าต่ำประมาณ ร้อยละ 0.20–10.00 โดยน้ำหนัก สำหรับเปลือกทุเรียนนั้นจากการทบทวนวรรณกรรมพบว่าจะมีเถ้าประมาณ 4.10 เปอร์เซ็นต์ และค่าคาร์บอน 44.50 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีความเหมาะสมในการนำมาผลิตเป็นถ่านกัมมันต์

5.1.5 เหมำมันสำปะหลัง [5] การผลิตถ่านกัมมันต์จากเหมำมันสำปะหลัง เมื่อพิจารณาจากค่าไอโอดีนัมเบอร์ พบว่า เหมำมันสำปะหลัง ก่อนและหลังกระตุ้นด้วยสารละลาย โซเดียมคลอไรด์และสารละลายเถ้าลอยมีค่าไอโอดีนัมเบอร์สูงที่สุดเมื่อเผาด้วยอุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส แสดงว่าถ่านที่เผาด้วยอุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส เหมาะสมสำหรับการเตรียมถ่านกัมมันต์ เพื่อนำไปใช้ในประโยชน์ในการดูดซับสารโมเลกุลขนาดเล็กมากที่สุด และเมื่อพิจารณาจากค่าโมลาสนัมเบอร์ พบว่า เหมำมันสำปะหลังก่อนกระตุ้นมีค่าโมลาสนัมเบอร์สูงที่สุด เมื่อเผาด้วยอุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส ดังนั้นจึงเหมาะสมสำหรับเตรียมถ่านกัมมันต์เพื่อนำไปใช้ในการดูดซับสารโมเลกุลขนาดใหญ่

สรุปคุณลักษณะของถ่านกัมมันต์

1) ไอโอดีนัมเบอร์ (Iodine number) เป็นค่าสำคัญใช้บอกประสิทธิภาพของถ่านกัมมันต์และเป็นตัวบ่งชี้พื้นที่ผิวทั้งหมดโดยการดูดซับไอโอดีนจากสารละลายเทียบกับพื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์ จำนวนมิลลิกรัมของไอโอดีนที่ถูกดูดซับไว้ด้วย ถ่านกัมมันต์ 1 กรัม เมื่อความเข้มข้นของสารละลายไอโอดีน หลังถูกดูดซับเป็น 0.01 โมลต่อลูกบาศก์เดซิเมตร

2) ความหนาแน่นปรากฏ (Apparent density) ถ่านกัมมันต์ที่มีค่าความหนาแน่นสูงจะเป็นถ่านที่มีคุณภาพดีสามารถดูดซับได้ดี

3) ค่าความแข็ง (Hardness) เป็นค่าความต้านทานการสึกกร่อนของถ่านกัมมันต์ค่านี้ จะบอกถึงความสามารถในการทนต่อแรงเสียดสีและความสามารถ

ในการคงสภาพของถ่านกัมมันต์ที่มีต่อกระบวนการล้างวัสดุกรองซึ่งค่านี้จะแตกต่างกันอย่างชัดเจนตามชนิดวัตถุดิบและระดับที่ถ่านถูกกระตุ้น

4) ค่าการกระจายตัวของขนาดอนุภาค (Particle size distribution) ถ่านที่มีขนาดอนุภาคละเอียดมากเท่าใดก็จะยิ่งเพิ่มพื้นที่ผิวของถ่านให้มากขึ้นซึ่งมีผลให้โมเลกุลก๊าซดูดซับเข้าไปในโครงสร้างถ่านได้เร็วขึ้น

5) ปริมาณเถ้า (Ash content) หากปริมาณเถ้ามากประสิทธิภาพของถ่านกัมมันต์จะลดลงและลดประสิทธิภาพการนำถ่านไปกระตุ้นซ้ำ

6) เมทิลีนบลู (Methylene blue) ถ่านกัมมันต์ที่โครงสร้างมีรูพรุนจะดูดซับโมเลกุลขนาดกลาง สีย้อมเมทิลีนบลู สารที่ให้สีนี้ถูกใช้เป็นตัวแทนของสารที่มีโมเลกุลขนาดกลาง ค่าเมทิลีนบลูมีหน่วย มิลลิกรัมต่อกรัม

เมื่อใช้งานถ่านกัมมันต์ไประยะหนึ่ง พบว่าประสิทธิภาพในการกรองหรือดูดซับสารจะต่ำลงเนื่องจากที่ว่างภายในโครงสร้างถ่านมีน้อยลงจึงต้องทำการเปลี่ยนถ่ายถ่านเก่าออกและใส่ถ่านใหม่เข้าไปทดแทนโดยถ่านที่ถูกใช้งานแล้วสามารถนำกลับมาใช้งานใหม่ ด้วยการนำไปผ่านกระบวนการกระตุ้นซ้ำ (Re-activated) เพื่อกำจัดสารต่าง ๆ ที่ถ่านดูดซับไว้ออกไปให้หมดก่อน

สรุปผลจากขั้นตอนที่ 1 แนวทางความเป็นไปได้ในการนำเศษวัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตรมาผลิตเป็นถ่านกัมมันต์มีความเป็นไปได้ และสอดคล้องกับนโยบายยุทธศาสตร์ แผนพัฒนาเศรษฐกิจของประเทศทั้งนี้ต้องผ่านการทดลอง ทดสอบ เพื่อศึกษาความคุ้มค่าในการลงทุนด้านกระบวนการผลิตการเตรียมถ่านกัมมันต์ การตลาดที่รองรับเป็นปัจจัยร่วมด้วย

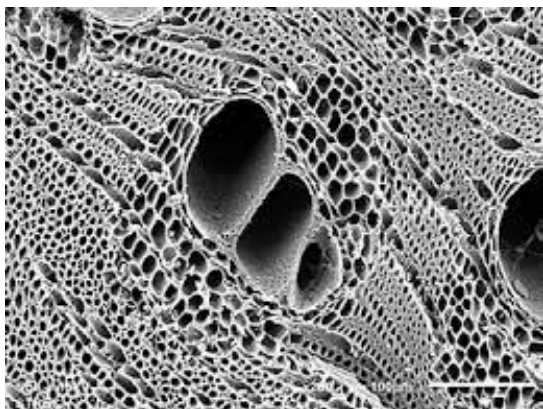
5.2 ขั้นตอนที่ 2 การศึกษาและคัดเลือกถ่านกัมมันต์ที่มีสมบัติเหมาะสมในการนำมาใช้ในการผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ต้นแบบ พบว่า ถ่านกัมมันต์จากการศึกษาข้อมูลมีการผลิต เพื่อจำหน่ายในเชิงพาณิชย์ จำแนก

ออกเป็น 3 ชนิดด้วยกันคือ ชนิดผง ชนิดเกร็ด และแบบอัดแท่งดังปรากฏในภาพที่ 2-4 ตามลำดับ



ภาพที่ 2 แสดงถ่านกัมมันต์ ชนิดผง ชนิดเกร็ด และชนิดอัดแท่ง

ที่มา: Khamdejsak, P. and Yuangchan, S., 2018. [6]



ภาพที่ 3 ลักษณะรูพรุนและพื้นผิวของ ถ่านกัมมันต์จากเหง้ามันสำปะหลังถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน

ที่มา: Photantimongkol, T., 2017. [7]



ภาพที่ 4 ถ่านกัมมันต์ชนิดผง

การวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยเลือกถ่านกัมมันต์ชนิดผงมาใช้ในการผลิตเป็นต้นแบบผลิตภัณฑ์ดูดซับกลิ่นเนื่องจากมีลักษณะทางกายภาพคือ เนื้อละเอียด มีการกระจายตัวของรูพรุนดีเมื่อผสมกับวัสดุดิบประเภทอื่น

5.3 ขั้นตอนที่ 3 การผลิตต้นแบบผลิตภัณฑ์ดูดซับกลิ่น มีรายละเอียดดังนี้

5.3.1 ผลิตภัณฑ์ดูดซับกลิ่นในรถยนต์ ผู้วิจัยได้ใช้ถ่านกัมมันต์ในอัตราส่วน ร้อยละ 60 และใช้ปูนปลาสเตอร์เป็นตัวประสานในอัตราส่วนร้อยละ 40 ผสมผงถ่านกัมมันต์และปูนปลาสเตอร์ให้เข้ากัน จากนั้นผสมน้ำเทลงในแบบพิมพ์ซิลิโคนที่ได้เตรียมไว้ดังปรากฏในภาพที่ 5-8 ดังนี้



ภาพที่ 5 ถ่านกัมมันต์ ชนิดผง ปูนปลาสเตอร์ และเครื่องชั่งดิจิทัล



ภาพที่ 6 การผสมถ่านกัมมันต์กับน้ำกาวผสมให้ เข้ากันแล้วใส่ปูนปลาสเตอร์ที่เหลือ



ภาพที่ 7 เทส่วนผสมลงในแบบพิมพ์ซิลิโคน

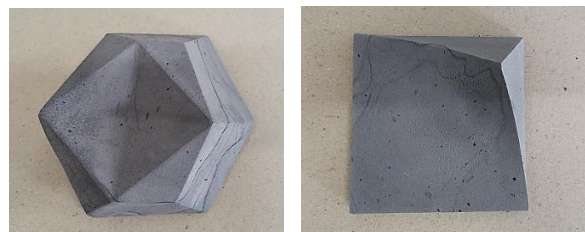


ภาพที่ 8 ต้นแบบผลิตภัณฑ์ดูดซับกลิ่นในรถยนต์ รูปทรงจากธรรมชาติ

5.3.2 ผลิตภัณฑ์ดูดซับกลิ่นในห้องครัว ผู้วิจัยได้ใช้ถ่านกัมมันต์ในอัตราส่วน ร้อยละ 70 และใช้ปูนปลาสเตอร์เป็นตัวประสานในอัตราส่วนร้อยละ 30 ผสมผงถ่านกัมมันต์และปูนปลาสเตอร์ให้เข้ากัน จากนั้นผสมน้ำเทลงในแบบพิมพ์ซิลิโคนที่ได้เตรียมไว้ดังปรากฏในภาพที่ 9 - 11 สำหรับผลิตภัณฑ์ ดูดกลิ่นห้องครัวใช้วัสดุอุปกรณ์ และกระบวนการเหมือนกับการผลิตผลิตภัณฑ์ดูดซับกลิ่นในรถยนต์แต่ปรับอัตราส่วนผสมเป็นใช้ ถ่านกัมมันต์ ชนิดผง ร้อยละ 70 และใช้ปูนปลาสเตอร์ ร้อยละ 30



ภาพที่ 9 เทส่วนผสมลงในแบบพิมพ์ซิลิโคน



ภาพที่ 10 ต้นแบบผลิตภัณฑ์ดูดซับกลิ่นสำหรับติดผนังในห้องครัว แบบหกเหลี่ยม



ภาพที่ 11 ต้นแบบผลิตภัณฑ์ที่ทดสอบอัตราส่วนผสมที่แตกต่างกัน

5.3.3 ผลิตภัณฑ์สบู่อัดกลิ่น ผู้วิจัยได้ใช้ถ่านกัมมันต์ ในอัตราส่วนร้อยละ 20 ใช้เบสสบู่กลีเซอรีน ในอัตราส่วนร้อยละ 80 ผสมให้เข้ากันด้วยความร้อน จากนั้นเทลงในแบบพิมพ์ซิลิโคนที่ได้เตรียมไว้โดยมีวัสดุและอุปกรณ์ ประกอบด้วย 1) ถ่านกัมมันต์ชนิดผง 2) เบสสบู่ กรีเซอรีนชนิดเนื้อใส 3) กลีเซอรีน 4) หัวน้ำหอมกลิ่นลาเวนเดอร์ 5) ปีกเกอร์ (แก้ว) 6) เครื่องชั่งดิจิทัล 7) เต้าไฟฟ้า 8) แบบพิมพ์ซิลิโคน 9) ตราประทับ และ 10) ซ้อนสแตนเลส โดยใช้สูตรอัตราส่วนผสม: ถ่านกัมมันต์ ร้อยละ 20 ต่อ เบสสบู่กลีเซอรีน ร้อยละ 80 ดังปรากฏในภาพที่ 12 - 19 ดังนี้



ภาพที่ 12 วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิต จากซ้าย ถ่านกัมมันต์ ชนิดผง เบสสบูร์กิริเซอริน กลีเซอริน และ หัวน้ำหอมกลิ่นลาเวนเดอร์



ภาพที่ 13 ชั่งเบสสบูร์กิริเซอรินน้ำหนัก 500 กรัม



ภาพที่ 14 ให้ความร้อนด้วยเตาไฟฟ้า ใช้ความร้อน 120 องศาเซลเซียส (อุ่นผ่านความร้อน จากน้ำ)



ภาพที่ 15 ผสมถ่านกัมมันต์ น้ำหนัก 100 กรัม กลีเซอริน 2 กรัม หัวน้ำหอม 1 กรัม กวนผสมให้เข้ากัน ตั้งพักไว้ประมาณ 3 นาที เพื่อลดปริมาณฟองอากาศก่อนเทลงแบบพิมพ์



ภาพที่ 16 เทลงในแบบพิมพ์ซิลิโคน พักไว้ให้เย็นประมาณ 1 ชั่วโมง



ภาพที่ 17 เนื้อสบู่ที่ถอดจากแบบพิมพ์



ภาพที่ 18 ตราประทับ Natural Soap



ภาพที่ 19 ต้นแบบผลิตภัณฑ์สบู่ขจัดกลิ่น

6. สรุปและอภิปรายผล

6.1 สรุปผลการวิจัย จากการดำเนินการวิจัยในครั้งนี้ ผลการดำเนินการวิจัยเรื่อง ถ่านกัมมันต์จากเหง้ามันสำปะหลังเพื่อการออกแบบผลิตภัณฑ์ดูดซับกลิ่น สามารถสรุปได้เป็น 3 ขั้นตอน ดังต่อไปนี้

6.1.1 ขั้นตอนที่ 1 การศึกษาทบทวนวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อศึกษาแนวทางการเป็นไปได้ในการนำเศษวัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตรมาผลิตเป็นถ่านกัมมันต์ จากการศึกษาเศษวัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตรด้วยการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องพบว่าเศษวัสดุเหลือทิ้งหลากหลายประเภทที่นักวิจัยให้ความสนใจนำมาใช้ประโยชน์ ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้ผู้วิจัยได้ทำการคัดเลือกเศษวัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตร 5 ชนิด มาวิเคราะห์หาแนวทางการเป็นไปได้ในการนำไปผลิตเป็นถ่านกัมมันต์ ดังตาราง 1

ตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์ความเป็นไปได้ในการนำไปผลิตถ่านกัมมันต์

รายการ	รายละเอียดทางเทคนิค	หมายเหตุ	เป็นไปได้
เปลือก มังคุด	เมื่อนำมากระดุนพบว่า มีการเพิ่มขึ้นของรูพรุน อย่างชัดเจน สภาวะที่เหมาะสมสำหรับการเตรียมถ่านกัมมันต์จากเปลือกมังคุดคือ อัตราส่วน 1:1 (ถ่าน: ซิงค์คลอไรด์) มีคุณภาพ เทียบเท่ากับถ่านกัมมันต์เกรดการค้า สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการดูดซับสารโลหะหนักในน้ำได้เป็นอย่างดี	ต้องมีเครือข่ายความร่วมมือกับอุตสาหกรรมแปรรูปผลไม้ เนื่องจากต้องใช้ปริมาณเปลือกมังคุดในปริมาณมาก	เป็นไปได้ ปานกลาง
ไม้ไผ่	ลำไผ่มีคาร์บอน 47.43 เปอร์เซ็นต์ มีเส้นใยไฟเบอร์เรียงตัวอย่างเป็นระเบียบมีความหนาแน่นของเนื้อไม้และรูพรุนมากกว่าต้นไม้ปกติ 4 เท่า มีองค์ประกอบของธาตุคาร์บอนอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน	ในกรณีผลิตเป็นถ่านกัมมันต์ ต้องพิจารณาต้นทุน การเพิ่มมูลค่าของผลิตภัณฑ์แปรรูปให้มีมูลค่าที่เหมาะสม เนื่องจากไม้ไผ่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลากหลายโดยไม่ต้องนำไปผลิตเป็นถ่านกัมมันต์	เป็นไปได้สูง แต่ควร วิเคราะห์ ความคุ้มค่า ของการ ผลิตให้มี ความ ชัดเจนและ คุ้มค่ากับ การลงทุน
ไม้ยางพารา	มีความเหมาะสมในการนำผงถ่านไม้ยางพารา มาใช้เป็นวัตถุดิบในการเตรียมถ่านกัมมันต์ที่มีพื้นที่ผิวสูงด้วยวิธีการถ่านกัมมันต์ทางเคมีแบบแห้ง สภาวะที่เหมาะสมสำหรับการเตรียมถ่านกัมมันต์จากผงถ่านไม้ใช้ NaOH เป็นสารกระตุ้นอัตราส่วนระหว่างปริมาณผงถ่านไม้ต่อสารกระตุ้นคือ 1:3	ควรผลิตถ่านกัมมันต์ที่ถ่านกัมมันต์ทางเคมีแบบแห้งจะมีต้นทุนการผลิตที่ต่ำ คือเท่ากับ 97.48 บาท ต่อโลกรัม ขณะที่ราคาขายของห้องตลาดถ่านกัมมันต์ที่มีพื้นที่ผิวสูงกว่า 1,000 m ² /g ราคาประมาณ 210 บาท ทำให้มีส่วนต่างกำไรจากค่าการตลาดถึง 53.58 เปอร์เซ็นต์	เป็นไปได้สูง

รายการ	รายละเอียดทางเทคนิค	หมายเหตุ	เป็นไป ได้
เปลือก ทุเรียน	เปลือกทุเรียน พบว่าจะ มีเถ้าประมาณ 4.1 เปอร์เซ็นต์ และค่า คาร์บอน 44.5 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีความ เหมาะสมในการนำมา ผลิตเป็นถ่านกัมมันต์ ใช้ กระบวนการกระตุ้น ด้วยวิธีทางกายภาพคือ การใช้ไอน้ำเป็น ตัวกระตุ้นด้วยเครื่องนี้ ความดันไอน้ำ (Autoclave) ที่ความ ดัน 10 กิโลพาสคัล อุณหภูมิ 120 องศา เซลเซียส	ต้องมีเครือข่ายในการ รวบรวมเก็บสะสม เปลือกทุเรียนจำนวน มาก และมีช่วงระยะ ฤดูทุเรียนเป็นตัวแปร ที่สำคัญ	เป็นไปได้ ปานกลาง
เห้งจัน สำหรับ	เห้งจันสำหรับหลัง กระตุ้นด้วยสารละลาย โซเดียมคลอไรด์และ สารละลายแอลกอฮอล์ และ เผาด้วยอุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส เหมาะสมสำหรับการ เตรียมถ่านกัมมันต์	ควรมีความร่วมมือกับ กลุ่มวิสาหกิจชุมชน แปลงใหญ่มัน สำหรับ มี การศึกษาและพัฒนา โครงการนำร่อง ร่วมกับภาครัฐ	เป็นไปได้สูง

6.1.2 ขั้นตอนที่ 2 การศึกษาและคัดเลือกถ่านกัมมันต์ ที่มีสมบัติเหมาะสมในการนำมาใช้ในการผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ต้นแบบการดำเนินงานในขั้นตอนที่ 1 พบว่า เห้งจันสำหรับหลังที่เหลือทิ้งจากกระบวนการหลังการเก็บเกี่ยว เป็นเศษวัสดุทางการเกษตรที่มีโอกาสนำไปเพิ่มมูลค่าโดยการผลิตเป็นถ่านกัมมันต์ และจากการดำเนินงานขั้นตอนที่ 2 พบว่าถ่านกัมมันต์แบบผงมีสมบัติลักษณะทางกายภาพคือ เนื้อละเอียด มีการกระจายตัวของรูพรุนดีเมื่อผสมกับวัตถุดิบประเภทอื่น ๆ

6.1.3 ขั้นตอนที่ 3 การผลิตต้นแบบผลิตภัณฑ์ดูดซับกลิ่น ดำเนินการดังนี้

1) ผลิตภัณฑ์ดูดกลิ่นในรถยนต์ ใช้รูปทรงจากธรรมชาติ กระบองเพชร ขนาด 50x50x80 มิลลิเมตร ใช้ถ่านกัมมันต์ชนิดผงต่อปูนปลาสเตอร์

ในอัตราส่วน ร้อยละ 60 มีลักษณะทางกายภาพ สีเทา น้ำหนักหลังผลิตภัณฑ์แห้งสนิท 120 กรัม ผลการทดลองใช้งาน พบว่าประสิทธิภาพในการดูดกลิ่นได้ดี โดยต้องใช้เวลาประมาณ 4 ชั่วโมง

2) ผลิตภัณฑ์ดูดกลิ่นในห้องครัว ใช้รูปทรงเรขาคณิต รูป 6 เหลี่ยม สำหรับติดผนัง ขนาด 150x125x40 มิลลิเมตร ใช้ถ่านกัมมันต์ชนิดผงต่อปูนปลาสเตอร์ ในอัตราส่วนร้อยละ 70 มีลักษณะทางกายภาพ สีเทา ผิวเรียบน้ำหนักหลังผลิตภัณฑ์แห้งสนิท 480 กรัม ผลการทดลองใช้งาน พบว่าประสิทธิภาพการดูดกลิ่นได้ดี โดยต้องใช้เวลาน้อย 6 ชั่วโมง

3) ผลิตภัณฑ์สบู่ขจัดกลิ่น ใช้รูปทรงเรขาคณิต รูป 4 เหลี่ยมด้านเท่า ขนาด 50x50x20 มิลลิเมตร ใช้ถ่านกัมมันต์ชนิดผงต่อเบสสบู่กลีเซอรีน ในอัตราส่วน ร้อยละ 20 มีลักษณะทางกายภาพ สีดำเงา ผิวเรียบ น้ำหนัก 78 กรัม/ก้อน ผลการทดลองการใช้งานสามารถชำระสิ่งสกปรกบนผิวหนัง และมือได้เป็นอย่างดี

6.2 อภิปรายผล

ด้านการใช้ประโยชน์จากเศษวัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตร มีแนวทาง ความเป็นไปได้ในการนำมาผลิตเป็นถ่านกัมมันต์ โดยเฉพาะเห้งจันสำหรับหลังที่เหลือจากกระบวนการเก็บเกี่ยวสามารถนำมาแปรรูปผลิตเป็นถ่านกัมมันต์ สอดคล้องกับผลการวิจัยเรื่องประสิทธิภาพของถ่านกัมมันต์จากขาน้อยและเห้งจันสำหรับหลังในการบำบัดน้ำเสียจากการย้อมไหม [8] พบว่า ถ่านที่กระตุ้นด้วยโซเดียมคลอไรด์มีรูพรุนมาก เรียงตัวเป็นระเบียบหนาแน่น และสอดคล้องกับงานวิจัยเรื่อง สมบัติพื้นผิวของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากลำตัน เห้งจ และเปลือกมันสำหรับหลัง [5] พบว่า เห้งจันสามารถนำมาผลิตเป็นถ่านกัมมันต์ที่มีสมบัติด้านการดูดซับได้เป็นอย่างดี

ด้านแปรรูปเพื่อการออกแบบและพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ต้นแบบ พบลักษณะทางกายภาพของถ่านกัมมันต์มาใช้ในการครั้งนี้ เป็นถ่านกัมมันต์ชนิดผง เนื่องจาก

สามารถนำไปผสมวัสดุอื่น ๆ เพื่อขึ้นรูปด้วยกระบวนการเทแบบลงในแบบพิมพ์ได้เป็นอย่างดี ในการทดลองครั้งนี้ ผู้วิจัยใช้ ปูนปลาสเตอร์ และ เบสสบูกลีเซอริน ด้านรูปทรงผลิตภัณฑ์ใช้รูปทรงจากธรรมชาติและรูปทรงเรขาคณิตมาทดลองผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ต้นแบบ

7. ข้อเสนอแนะ

จากการดำเนินการวิจัยในครั้งนี้ ผู้วิจัยสามารถสรุปประเด็นปัญหาและข้อเสนอแนะรายละเอียดดังต่อไปนี้

7.1 ปัญหาที่พบในกระบวนการวิจัย

ด้านงบประมาณในการวิจัยมีจำกัด จึงทำให้ไม่สามารถประสานงานและลงพื้นที่ภาคสนามเพื่อดำเนินงานร่วมกับกลุ่มเกษตรกรแปลงใหญ่มันสำปะหลังได้อย่างเต็มรูปแบบ

7.2 ข้อเสนอแนะในการนำไปใช้งาน

7.2.1 ผลิตภัณฑ์ดูดซับกลิ่นในรถยนต์ และ ผลิตภัณฑ์แผ่นดูดซับกลิ่นสำหรับติดตั้งห้องครัว ควรมีการนำผลิตภัณฑ์ไปตากแดดเพื่อลดความชื้นในผลิตภัณฑ์ จะทำให้ผลิตภัณฑ์ดูดซับกลิ่นในอากาศได้อย่างมีประสิทธิภาพที่สุด ผลิตภัณฑ์สามารถแตกหักได้ การประกอบ หีบจับควรกระทำอย่างระมัดระวัง

7.2.2 ผลิตภัณฑ์สบู่อัดกลิ่น ขณะใช้งานจะมีฟองสบู่สีดำจากส่วนผสมของถ่านกัมมันต์ ซึ่งไม่เป็นอันตรายต่อผู้ใช้ เพียงชำระล้างออกด้วยน้ำสะอาด

7.3 ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

7.3.1 สามารถนำถ่านกัมมันต์ไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ชนิดอื่น ๆ ได้อย่างหลากหลาย

7.3.2 หาเครือข่ายความร่วมมือกับภาครัฐและภาคเอกชนในการสนับสนุนส่งเสริมให้เป็นหมู่บ้าน/ชุมชนนวัตกรรม ตามแผนพัฒนาเศรษฐกิจในระดับฐานราก

7.3.3 ควรศึกษาวัสดุผสมอื่น ๆ เพิ่มเติมเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความเหมาะสมและหลากหลาย

8. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณคณะศิลปกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา เป็นอย่างสูงที่สนับสนุนทุนวิจัยในครั้งนี้ และขอขอบคุณสาขาวิชาการออกแบบผลิตภัณฑ์ ที่ให้ใช้สถานที่ห้องปฏิบัติการ รวมถึงขอบพระคุณผู้บริหาร ผู้ทรงคุณวุฒิ คณาจารย์ที่อำนวยความสะดวกในเรื่องที่เกี่ยวข้อง และให้ข้อเสนอแนะ จนงานวิจัยแล้วเสร็จตามวัตถุประสงค์

9. เอกสารอ้างอิง

- [1] Soiklom, S., et al. 2016. "Production of activated carbon from mangosteen peel biomass to remove heavy metals," *Agricultural innovation for a global value chain*, Bangkok: Kasetsart University. (in Thai)
- [2] Phuangjick, T. 2015. "Activated carbon from bamboo: the market still has high demand," *Journal of Science and Technology* (Special Issue). 23(6): pp. 945-954. (in Thai)
- [3] Chansiripon C., Kaewpradit P., and Phongyila, P. 2016. "Production of activated carbon from rubber wood charcoal from biomass power plants for water filters," Research Report. Songkhla, Prince of Songkla University. (in Thai)
- [4] Phumphon, P., & Phongthonphruek, S. 2019. "Utilization of durian peels for producing water filters to absorb iron," *Journal of Science and Applied Science*. 20(2): pp. 33-44. (In Thai)

- [5] Thammee, N., Kegnguan, M. and Mopuang, S. 2012. "Surface properties of activated carbon prepared from stems. Cassava rhizomes and peels," *Naresuan University Journal: Science and Technology*. 9(1): pp. 80-90. (in Thai)
- [6] Khamdejsak, P. and Yuangchan, S. 2018. "Treatment of mercury contamination in the air with activated carbon," *Environmental Journal Chulalongkorn University*. 22(1): pp. 44-52. (in Thai)
- [7] Photantimongkol, T. 2017. "Activated carbon from agricultural waste by chemical activation for application to eliminate pollutants in water," *Journal of the Science, Technology and Environment for Learning Research Unit*. 8(1): pp. 196-214. (in Thai)
- [8] Uparee, O. and Siriwittayapakorn, S. 2016. "Efficiency of activated carbon from bagasse and cassava rhizomes in treating wastewater from silk dyeing," *Industrial Technology Academic Journal: Suan Sunandha Rajabhat University*. 4(2): pp. 37-50. (in Thai)

การศึกษาพฤติกรรมการกัดกร่อน-สึกกร่อนของเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำและสูงในสภาวะกรด และทรายโดยใช้การออกแบบการทดลองทากูชิ

A Study of Corrosion-Erosion Behavior of Low and High Carbon Steels in Acid and Sand Environments Using Taguchi's Experimental Design

ธนรัตน์ รัตนกุล¹, กันต์ธมน สุขกระจ่าง^{1*}, ฉัตรชัย แก้วดี², วีรพล ปานศรีนวล²
และ วีระยุทธ สุตสมบุญ²

Tanarat Rattanakool¹, Kantamon Sukkrajang^{1*}, Chatchai Kaewdee², Weeraphol Pansrinual²,
and Weerayute Sudsomboon²

¹ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา

² หลักสูตรปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเทคโนโลยีอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช

* ผู้ประสานงานเผยแพร่ (Corresponding Author), E-mail: tanarat.ra@skru.ac.th

วันที่รับบทความ: 31 กรกฎาคม 2567; วันที่ทบทวนบทความ: 10 สิงหาคม 2567; วันที่ตอบรับบทความ: 14 สิงหาคม 2567

วันที่เผยแพร่ออนไลน์: 20 สิงหาคม 2567

บทคัดย่อ: งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบพฤติกรรมการกัดกร่อน-สึกกร่อนของเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ (AISI 1018) และเหล็กกล้าคาร์บอนสูง (AISI 1060) ภายใต้สภาวะแวดล้อมที่แตกต่างกัน โดยใช้เทคนิคทากูชิเพื่อออกแบบการทดลองอย่างมีประสิทธิภาพ การทดลองถูกออกแบบโดยใช้ orthogonal array อาร์เรย์ L9 ด้วยชุดทดสอบโรเตตติ้งไซลินเดอร์อิเล็กโทรด (Rotating Cylinder Electrode) เพื่อศึกษาผลกระทบของความเร็วรอบ (1,800, 3,600 และ 5,400 RPM) และสภาวะการทดลองสามสภาวะ ได้แก่ น้ำกลั่นผสมทราย สารละลายกรดซัลฟิวริก ความเป็นกรดต่างเท่ากับ 4 และสารละลายกรดซัลฟิวริก ความเป็นกรดต่างเท่ากับ 4 ผสมทราย โดยแบ่งชุดการทดลองตามประเภทของเหล็กกล้า (เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำและเหล็กกล้าคาร์บอนสูง) เพื่อศึกษาการสูญเสียน้ำหนักของเหล็กกล้า ผลลัพธ์ของการวิจัยแสดงให้เห็นว่าทั้งเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำและเหล็กกล้าคาร์บอนสูงมีประสิทธิภาพในการทนทานต่อสภาวะแวดล้อมที่แตกต่างกันได้ดี โดยเฉพาะอย่างยิ่งในสภาวะ การทดลองที่เป็นสารละลายกรดซัลฟิวริก ความเป็นกรดต่างเท่ากับ 4 โดยไม่มีทราย การวิเคราะห์อัตราส่วนสัญญาณต่อสิ่งรบกวน (Signal-to-Noise Ratio; S/N) แสดงให้เห็นว่าเหล็กกล้าคาร์บอนสูงมีอัตราส่วนสัญญาณต่อสิ่งรบกวน สูงกว่าเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำเล็กน้อย (53.9 เทียบกับ 52.4) ผลการวิจัยนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการเลือกวัสดุที่เหมาะสมสำหรับการใช้งานในกระบวนการทางเทคนิคที่ต้องการความทนทานต่อสภาวะแวดล้อมที่หลากหลาย โดยเฉพาะอย่างยิ่งในสภาวะที่มีความเป็นกรดสูง การใช้เทคนิค Taguchi ช่วยให้สามารถประเมินผลกระทบของปัจจัยต่าง ๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ และนำไปสู่ การเลือกวัสดุที่เหมาะสมสำหรับการใช้งานที่ต้องการ

คำสำคัญ: การกัดกร่อน-สึกกร่อน, ทากูชิ, ระดับอัตราส่วนสัญญาณต่อสิ่งรบกวน

Abstract: This research aims to investigate and compare the corrosion-erosion behavior of low carbon steel (AISI 1018) and high carbon steel (AISI 1060) under different environmental conditions. A Taguchi experimental design was employed to efficiently evaluate the effects of rotational speed (1,800, 3,600, and 5,400 RPM) and three environmental conditions: distilled water with sand, sulfuric acid solution at pH 4, and sulfuric acid solution at pH 4 with sand on weight loss. An L9 orthogonal array and a rotating cylinder electrode (RCE) setup were utilized for the experiments. Both steel types exhibited good corrosion-erosion resistance, particularly in the sulfuric acid solution at pH 4 without sand. Signal-to-noise ratio (S/N) analysis indicated slightly better performance for high carbon steel (S/N = 53.9) compared to low carbon steel (S/N = 52.4). These findings can be applied to select suitable materials for applications demanding resistance to diverse environments, especially those with high acidity. The application of Taguchi methodology facilitated efficient experimental planning and analysis, enabling informed material selection.

Key words: Corrosion-Erosion, Taguchi, Signal-to-Noise Ratio

1. บทนำ

เหล็กเป็นวัสดุที่ได้รับความนิยมอย่างกว้างขวางทั้งในภาคอุตสาหกรรมและภาคการเกษตรด้วยคุณสมบัติที่แข็งแรง ราคาถูก และหาได้ง่าย อย่างไรก็ตามข้อจำกัดของเหล็ก คือ ความอ่อนไหวต่อการเกิดสนิม โดยเฉพาะอย่างยิ่งในสภาพแวดล้อมที่เป็นกรดหรือด่างสูง ตัวอย่างเช่น ในอุตสาหกรรมปิโตรเคมี ท่อส่งก๊าซและน้ำมันที่อยู่ใต้ทะเลต้องเผชิญกับสภาวะที่รุนแรง ทั้งความเค็มของน้ำทะเล แรงดันสูง และสารประกอบที่มีฤทธิ์กัดกร่อน ส่งผลให้เกิดการกัดกร่อนที่รุนแรง การศึกษาพฤติกรรมการกัดกร่อนของทั้งเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำและสูงจึงมีความสำคัญอย่างยิ่ง เนื่องจากเหล็กทั้งสองชนิดนี้ถูกใช้อย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมต่างๆ และมีความแตกต่างกัน เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำมีราคาถูก ขึ้นรูปง่าย และมีความเหนียวสูง เหมาะสำหรับการใช้งานทั่วไป เช่น โครงสร้างอาคาร ชิ้นส่วนรถยนต์ และภาชนะบรรจุ ในขณะที่เหล็กกล้าคาร์บอนสูง มีความแข็งแรงและความทนทานต่อการสึกกร่อนสูงกว่า แต่มีความเหนียวน้อยกว่า เหมาะสำหรับการใช้งานที่ต้องการความแข็งแรงสูง เช่น เครื่องมือ ไขควง และชิ้นส่วนเครื่องจักร การศึกษาเปรียบเทียบพฤติกรรมการกัด

กร่อนของเหล็กกล้าคาร์บอนทั้งสองชนิด จะช่วยในการเลือกใช้วัสดุที่เหมาะสมกับการใช้งาน ซึ่งรวมถึงการใช้งานทางการเกษตรที่อุปกรณ์อย่างรถไถอุปกรณ์อย่างใบไถและจานไถของรถไถต้องสัมผัสกับดินที่มีความเป็นกรด เช่น ดินเปรี้ยว ซึ่งมีค่าความเป็นกรดต่าง (pH) ต่ำถึง 4.5-3.0 หรือต่ำกว่า ปัญหาการกัดกร่อนของเหล็กจึงเป็นอุปสรรคสำคัญที่ส่งผลกระทบต่ออายุการใช้งานและประสิทธิภาพของอุปกรณ์ แม้ว่าเหล็กจะมีความสามารถในการทนต่อการกัดกร่อนได้ในระดับหนึ่ง โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อมีการเติมคาร์บอนหรือธาตุอื่น ๆ เพื่อเพิ่มความแข็งแรง แต่การสัมผัสกับสภาพแวดล้อมที่เป็นกรดอย่างต่อเนื่อง ย่อมนำไปสู่การกัดกร่อนที่รุนแรงขึ้น ส่งผลให้อุปกรณ์เหล็กมีอายุการใช้งานสั้นลง เกษตรกรต้องแบกรับภาระค่าใช้จ่ายในการซ่อมแซมหรือเปลี่ยนอุปกรณ์บ่อยครั้ง เพื่อแก้ไขปัญหานี้การศึกษาเพื่อยืดอายุการใช้งานและลดการกัดกร่อนของเหล็กในสภาพแวดล้อมที่เป็นกรดจึงมีความสำคัญอย่างยิ่งการศึกษาพฤติกรรมการกัดกร่อนในสภาวะกรดซัลฟิวริกมีความสำคัญอย่างยิ่ง เนื่องจากกรดซัลฟิวริกเป็นสารเคมีที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น อุตสาหกรรมปิโตรเคมี ปุ๋ย แบตเตอรี่ และโลหะ

การสัมผัสกับกรดซัลฟิวริกเป็นสาเหตุสำคัญของการกัดกร่อนในอุปกรณ์และโครงสร้างต่างๆ เช่น ท่อส่ง ถึงเก็บ และชิ้นส่วนเครื่องจักร ยิ่งไปกว่านั้น กรดซัลฟิวริกยังเป็นองค์ประกอบสำคัญในดินเปรี้ยว ซึ่งเป็นปัญหาสำคัญในภาคการเกษตร ส่งผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของพืชและอายุการใช้งานของอุปกรณ์การเกษตร การทำความเข้าใจถึงกลไกการกัดกร่อนในสภาวะกรดซัลฟิวริกจึงช่วยในการเลือกวัสดุ ออกแบบอุปกรณ์ และพัฒนาเทคนิคการป้องกันการกัดกร่อนได้อย่างมีประสิทธิภาพทั้งในภาคอุตสาหกรรมและภาคการเกษตร ส่วนการเลือกใช้ทรายในการทดลอง เป็นการจำลองสภาวะการกัดกร่อน-สึกกร่อน ซึ่งเกิดจากการเสียดสีของอนุภาคของแข็งกับพื้นผิวโลหะ ในสภาพแวดล้อมจริง อนุภาคของแข็งเหล่านี้ เช่น ทราย ตะกอน หรือผงฝุ่น มักพบในของไหล เช่น น้ำ น้ำมัน หรือก๊าซ การเสียดสีของอนุภาคเหล่านี้ ร่วมกับสภาวะกัดกร่อน เช่น สภาพความเป็นกรด จะเร่งกระบวนการกัดกร่อน ทำให้เกิดความเสียหายรุนแรงและรวดเร็วยิ่งขึ้น การศึกษาผลของทรายต่ออัตราการกัดกร่อน จึงช่วยในการประเมินความทนทานของวัสดุในสภาวะการใช้งานจริง โดยเฉพาะในอุตสาหกรรมปิโตรเคมี ท่อส่งน้ำมันดิบและก๊าซธรรมชาติมักมีทรายและตะกอนปะปนอยู่ ส่งผลให้เกิดการกัดกร่อน-สึกกร่อนอย่างรุนแรง หรือในอุตสาหกรรมเหมืองแร่ อุปกรณ์ต่าง ๆ เช่น เครื่องจักร สายพานลำเลียง และท่อ ต้องสัมผัสกับแร่ที่มีความแข็งและมีฤทธิ์กัดกร่อน ทำให้เกิดการสึกกร่อนและการกัดกร่อน

การศึกษาผลของความเร็วยรอบต่อการกัดกร่อนมีความสำคัญอย่างยิ่ง เนื่องจากความเร็วยรอบสัมพันธ์โดยตรงกับสภาพการไหลของของไหลในระบบท่อหรือเครื่องจักร ความเร็วยรอบที่สูงขึ้นหมายถึงอัตราการไหลที่เร็วขึ้น ซึ่งส่งผลต่อกระบวนการกัดกร่อนในหลายด้าน อัตราการถ่ายโอนมวลจะสูงขึ้น ทำให้สารกัดกร่อน เช่น ออกซิเจน หรือไอออน ถูกพัดพาไปยังพื้นผิวโลหะได้เร็วขึ้น เร่งปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้าและเพิ่มอัตราการกัดกร่อน นอกจากนี้ การไหลที่ความเร็วสูงยังสร้างแรงเฉือน

ที่พื้นผิวโลหะ ซึ่งอาจทำให้ชั้นป้องกันของโลหะหลุดออกเปิดเผยพื้นผิวโลหะให้กับสารกัดกร่อน และในสภาวะที่มีอนุภาคของแข็ง เช่น ทราย ความเร็วยรอบสูงจะเพิ่มแรงกระทำของอนุภาคเหล่านี้กับพื้นผิวโลหะ ส่งผลให้เกิดการสึกกร่อน ดังนั้น การทำความเข้าใจถึงผลของความเร็วยรอบจึงเป็นสิ่งสำคัญในการออกแบบระบบท่อหรือเลือกวัสดุที่เหมาะสมกับอัตราการไหล เพื่อลดปัญหาการกัดกร่อน-สึกกร่อน เช่น การเลือกวัสดุที่ทนทานต่อการกัดกร่อนสูง หรือการออกแบบท่อให้มีการไหลที่ราบเรียบ ลดการปั่นป่วน การออกแบบการทดลองแบบทาคุชิ (Taguchi) เป็นเทคนิคทางสถิติที่ช่วยระบุและควบคุมปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของวัสดุหรือกระบวนการในการศึกษาผลของความเร็วยรอบและปัจจัยอื่น ๆ ต่อการกัดกร่อน เทคนิคทาคุชิจึงเป็นวิธีการที่เหมาะสมอย่างยิ่ง เทคนิคนี้ช่วยให้สามารถออกแบบการทดลองที่มีประสิทธิภาพ โดยใช้จำนวนการทดลองที่น้อยลง แต่ยังคงครอบคลุมปัจจัยและระดับปัจจัยที่สำคัญ นำไปสู่การประหยัดเวลาและทรัพยากรเมื่อเทียบกับวิธีการออกแบบการทดลองแบบดั้งเดิม เช่น แฟคทอเรียล (Factorial design) ซึ่งต้องใช้จำนวนการทดลองที่มากขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อมีปัจจัยและระดับปัจจัยจำนวนมาก นอกจากนี้เทคนิคทาคุชิยังช่วยในการวิเคราะห์ผลกระทบของปัจจัยต่างๆ ทั้งแบบเดี่ยวและแบบปฏิสัมพันธ์ พร้อมทั้งสามารถระบุค่าที่เหมาะสมของปัจจัยต่างๆ เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่ต้องการ และประเมินผลลัพธ์โดยใช้อัตราส่วนสัญญาณต่อสิ่งรบกวน (Signal-to-Noise Ratio, S/N) ซึ่งเป็นการวัดประสิทธิภาพของกระบวนการโดยพิจารณาอัตราส่วนระหว่างผลลัพธ์ที่ต้องการกับความผันแปรที่ไม่ต้องการแม้ว่าจะมีงานวิจัยจำนวนมากที่ศึกษาการกัดกร่อน-สึกกร่อนของเหล็กกล้าคาร์บอน แต่ยังคงมีช่องว่างในองค์ความรู้เกี่ยวกับผลกระทบของปัจจัยต่างๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการศึกษาที่มุ่งเน้นการเปรียบเทียบพฤติกรรมของเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำและสูงภายใต้สภาวะแวดล้อมที่หลากหลายและการประยุกต์ใช้เทคนิคทาคุชิในการออกแบบการ

ทดลอง งานวิจัยนี้ จึงมุ่งเน้นเติมเต็มช่องว่างดังกล่าว โดยศึกษาผลของความเร็วยรอบ สภาพแวดล้อม และชนิดของเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำและสูง ต่ออัตราการกัดกร่อน-สึกกร่อน เพื่อให้ได้ข้อมูลเชิงลึกเกี่ยวกับกลไกการกัดกร่อน และเพื่อหาค่าที่เหมาะสมของปัจจัยต่างๆ ที่ช่วยลดอัตราการกัดกร่อน-สึกกร่อน ผลการวิจัยนี้ จะเป็นประโยชน์ต่อการเลือกใช้วัสดุ การออกแบบอุปกรณ์ และการพัฒนาเทคนิคการป้องกันการกัดกร่อนในอุตสาหกรรมต่างๆ รวมถึงการพัฒนาองค์ความรู้ด้านการกัดกร่อนของเหล็กกล้าคาร์บอน โดยประสิทธิภาพของวิธีทางสถิติ ได้รับการยอมรับอย่างกว้างขวาง และถูกนำไปประยุกต์ใช้อย่างแพร่หลายในงานวิจัยในหลากหลายสาขา เช่น อุตสาหกรรมการผลิต ปรับปรุงกระบวนการผลิตลดของเสียเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องจักร เช่น การใช้ทางสถิติในการปรับปรุงคุณภาพของงานเชื่อมโลหะ [1] การขึ้นรูปพลาสติก [2] การตัดเฉือนโลหะ [3] การผลิตวัสดุนาโน [4] ออกแบบการทดลองเพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของเซลล์ [5] การผลิตยา [6] และการพัฒนาวัคซีน [7] ด้วยการประยุกต์ใช้หลักการออกแบบการทดลองแบบทางสถิติ เราสามารถระบุปัจจัยที่มีผลต่อการกัดกร่อนของเหล็กในสภาพแวดล้อมที่เป็นกรดและหาค่าที่เหมาะสมของปัจจัยเหล่านั้น เพื่อเพิ่มความต้านทานการกัดกร่อน จากปัญหาการกัดกร่อนของเหล็กจึงเป็นอุปสรรคสำคัญที่ส่งผลต่ออายุการใช้งานและประสิทธิภาพของอุปกรณ์ การทำความเข้าใจถึงปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการกัดกร่อน และการระบุค่าที่เหมาะสมของปัจจัยเหล่านี้ เป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่งต่อการพัฒนาเหล็กกล้าคาร์บอนที่ทนทานต่อการกัดกร่อนได้ดียิ่งขึ้น หากปราศจากงานวิจัยเช่นนี้ เราอาจไม่สามารถยืดอายุการใช้งานของอุปกรณ์เหล็ก ลดต้นทุนการผลิต และลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

งานวิจัยนี้จึงมุ่งเป้าไปที่การศึกษาและเปรียบเทียบพฤติกรรมการกัดกร่อน-สึกกร่อนของเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำและสูง ภายใต้สภาวะแวดล้อมที่แตกต่างกัน รวมถึงการวิเคราะห์ผลกระทบของความเร็วยรอบ โดยใช้เทคนิค

ทางสถิติ เพื่อหาแนวทางในการลดอัตราการกัดกร่อนยืดอายุการใช้งาน และลดต้นทุนในการบำรุงรักษา ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่ออุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้อง เช่น อุตสาหกรรมปิโตรเคมี การเกษตร และการผลิต รวมถึงเป็นการเพิ่มพูนองค์ความรู้เกี่ยวกับการกัดกร่อนของเหล็กกล้าคาร์บอนต่อไป

2. วัตถุประสงค์การวิจัย

2.1 เพื่อศึกษาพฤติกรรมการกัดกร่อน-สึกกร่อนของเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำและเหล็กกล้าคาร์บอนสูงภายใต้สภาวะแวดล้อมที่แตกต่างกัน

2.2 เพื่อศึกษาผลกระทบของปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อพฤติกรรมการกัดกร่อน-สึกกร่อน ด้วยการออกแบบการทางสถิติ

3. ขอบเขตการวิจัย

การศึกษานี้มีขอบเขตที่มุ่งศึกษาพฤติกรรมการกัดกร่อน-สึกกร่อนของเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำโดยใช้การออกแบบการทดลองทางสถิติ มีขอบเขตของการวิจัย ดังนี้

3.1 วัสดุที่ศึกษา เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ และเหล็กกล้าคาร์บอนสูง

3.2 สภาวะการทดลอง น้ำกลั่นผสมทราย สารละลายกรดซัลฟิวริก ความเป็นกรดต่างเท่ากับ 4 และสารละลายกรดซัลฟิวริก ความเป็นกรดต่างเท่ากับ 4 ผสมทราย

3.3 ตัวแปรที่ศึกษา ความเร็วยรอบ ได้แก่ 1,800 3,600 และ 5,400 รอบต่อนาที

3.4 วิธีการทดลอง ใช้ชุดทดสอบโรเทตติ้งโซลินเดอร์ อิเล็กโทรด (RCE) และออกแบบการทดลองโดยใช้ orthogonal array L9 ตามเทคนิคทางสถิติ

4. วิธีดำเนินการวิจัย

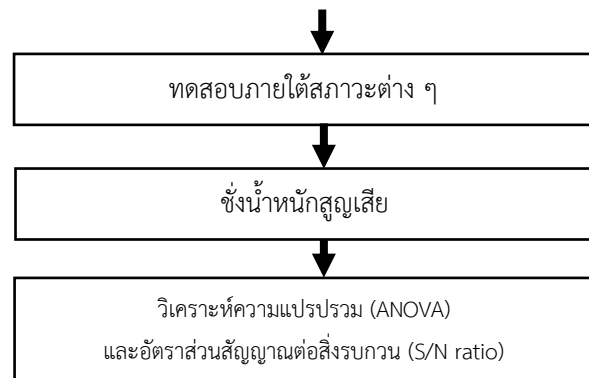
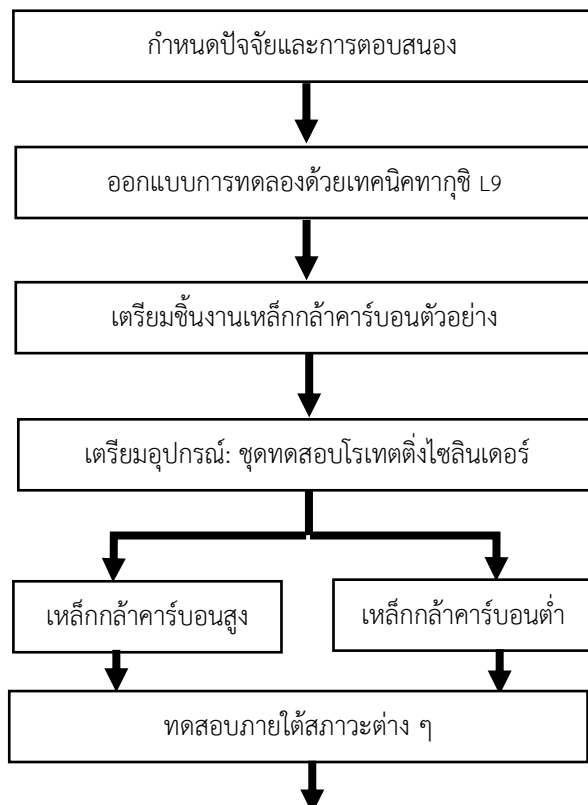
การศึกษานี้มีขอบเขตที่มุ่งศึกษาพฤติกรรมการกัดกร่อน-สึกกร่อนของเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำโดยใช้การออกแบบการทดลองทางสถิติ โดยเลือกใช้เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ ชนิด AISI 1018 และเหล็กกล้าคาร์บอนสูง ชนิด AISI 1060 มีขั้นตอนการดำเนินงาน ดังภาพที่ 1 และมีรายละเอียดดังนี้

4.1 ผลการกำหนดปัจจัยและการตอบสนองต่อพฤติกรรมการกัดกร่อน-สึกกร่อนของเหล็กกล้าคาร์บอน
โดยใช้การออกแบบการทดลองทางสถิติ ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 กำหนดปัจจัยและการตอบสนอง

ลำดับ	ปัจจัย		การตอบสนอง (Responds)
	ความเร็ว รอบ (RPM)	สภาวะ (Condition)	
1	1,800	น้ำกลั่นผสมทราย	การสูญเสีย
2	3,600	ซัลฟิวริก	น้ำหนักของ
3	5,400	ซัลฟิวริกทราย	เหล็ก (%)

จากตารางที่ 1 แสดงรายละเอียดของการทดลองตามการจัดระดับที่กำหนดไว้ในการศึกษาเกี่ยวกับพฤติกรรมการกัดกร่อนของเหล็กกล้าคาร์บอนในสภาพแวดล้อมต่าง ๆ ที่กำหนดไว้ ปัจจัยที่ 1 ความเร็วในการหมุน มีระดับทั้งหมด 3 ระดับ คือ 1,800 [8], 3,600 [9] และ 5,400 RPM [10] ปัจจัยที่ 2 สภาพแวดล้อม มีระดับทั้งหมด 3 ระดับ คือ น้ำกลั่นผสมทราย [11] กรดซัลฟิวริก ความเป็นกรดต่างเท่ากับ 4 [12] และ กรดซัลฟิวริก ความเป็นกรดต่างเท่ากับ 4 ผสมทราย [13] โดยมีร้อยละการสูญเสียน้ำหนักของเหล็กเป็นการตอบสนอง



ภาพที่ 1 แสดงขั้นตอนวิธีการดำเนินวิจัย

จากภาพที่ 1 อธิบายรายละเอียดภาพขั้นตอนวิธีดำเนินการการศึกษาพฤติกรรมการกัดกร่อน-สึกกร่อนของเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำและสูงในสภาวะกรดและทราย โดยใช้การออกแบบการทดลองทางสถิติ

4.2 ผลออกแบบการทดลองด้วยเทคนิคทากูชิ L9
สำหรับ 2 ปัจจัยและแต่ละปัจจัยมี 3 ระดับ ซึ่งมีการทดลอง ทั้งหมด 9 ครั้ง เพื่อตรวจสอบผลกระทบของปัจจัยต่าง ๆ ดังตารางที่ 2 และ 3

ตารางที่ 2 การออกแบบการทดลองเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ

การทดลอง	ความเร็ว รอบ	สภาวะ	เหล็ก
1	1,800	น้ำกลั่นผสมทราย	คาร์บอนต่ำ
2	1,800	ซัลฟิวริก	คาร์บอนต่ำ
3	1,800	ซัลฟิวริกทราย	คาร์บอนต่ำ
4	3,600	น้ำกลั่นผสมทราย	คาร์บอนต่ำ
5	3,600	ซัลฟิวริก	คาร์บอนต่ำ
6	3,600	ซัลฟิวริกผสมทราย	คาร์บอนต่ำ
7	5,400	น้ำกลั่นผสมทราย	คาร์บอนต่ำ
8	5,400	กรดซัลฟิวริก	คาร์บอนต่ำ
9	5,400	ซัลฟิวริกผสมทราย	คาร์บอนต่ำ

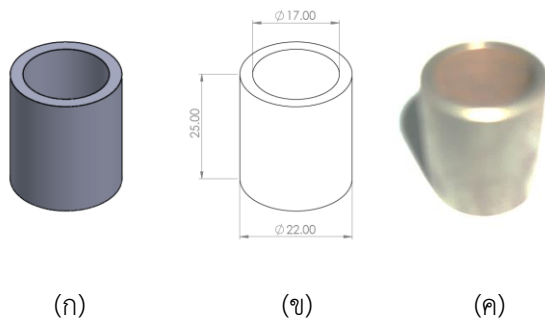
ตารางที่ 3 การออกแบบการทดลองเหล็กกล้าคาร์บอนสูง

การทดลอง	ความเร็ว รอบ	สภาวะ	เหล็ก
1	1,800	น้ำกลั่นผสมทราย	คาร์บอนสูง
2	1,800	ซัลฟิวริก	คาร์บอนสูง
3	1,800	ซัลฟิวริกทราย	คาร์บอนสูง
4	3,600	น้ำกลั่นผสมทราย	คาร์บอนสูง
5	3,600	ซัลฟิวริก	คาร์บอนสูง

การทดลอง	ความเร็ว รอบ	สภาวะ	เหล็ก
6	3,600	ซัลฟิวริกผสมทราย	คาร์บอนสูง
7	5,400	น้ำกลั่นผสมทราย	คาร์บอนสูง
8	5,400	กรดซัลฟิวริก	คาร์บอนสูง
9	5,400	ซัลฟิวริกผสมทราย	คาร์บอนสูง

จากตารางที่ 2 และ 3 จากตารางนี้แสดงการออกแบบการทดลองสำหรับศึกษาผลของความเร็วยรอบและสภาวะที่มีต่อเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำและคาร์บอนสูง โดยทำการทดลองทั้งหมด 9 รูปแบบ ด้วยการทดสอบที่ความเร็วยรอบ 3 ระดับ ได้แก่ 1,800 3,600 และ 5,400 รอบต่อนาที และใน 3 สภาวะ ได้แก่ น้ำกลั่นผสมทราย กรดซัลฟิวริก และกรดซัลฟิวริกผสมทราย

4.3 การเตรียมชิ้นงานเหล็กกล้าคาร์บอน ตัวอย่างดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 (ก) แบบจำลองสามมิติ (ข) แบบร่างสองมิติ (ค) ชิ้นงานทดลองจริง

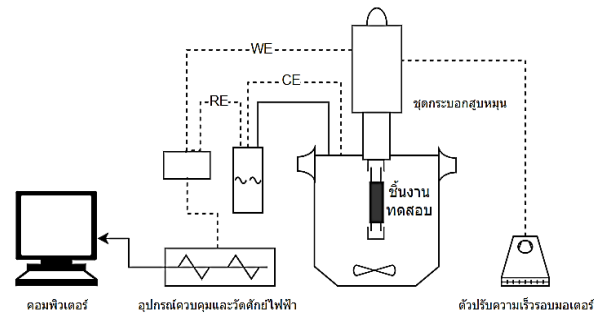
จากภาพที่ 2 แสดงการเตรียมชิ้นงานจากการตัดให้มีขนาด 25 มม. x 22 มม. x 17 มม. จากนั้นนำไปขัดผิวด้วยกระดาษทรายเบอร์ 600 ร่วมกับเครื่องขัดชิ้นงานทดสอบ โดยคุณสมบัติทางเคมีของเหล็ก ทั้ง 2 ชนิดดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของชิ้นงานทดสอบเหล็กกล้าคาร์บอน

เหล็ก	องค์ประกอบทางเคมี (% น้ำหนัก)							
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo
สูง	0.21	0.24	0.58	0.01	0.01	-	-	-
ต่ำ	0.47	0.24	0.67	0.01	0.01	-	-	-

จากตารางที่ 4 เป็นผลการตรวจสอบองค์ประกอบทางเคมีด้วยเครื่องสเปกโทรสโกปีการแผ่รังสีของอะตอม (Atomic emission spectroscopy)

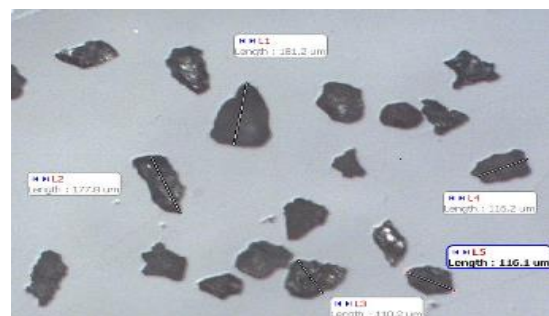
4.4 การเตรียมชุดทดสอบโรเตตติ้งไซลินเดอร์ แสดงดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 ส่วนประกอบชุด RCE

ภาพที่ 4 เป็นแผนผังการทดสอบการกัดกร่อนแบบไฟฟ้าเคมีด้วยชุดโรเตตติ้งไซลินเดอร์อิเล็กทรอนิกส์ แสดงให้เห็นถึงการเชื่อมต่อของอุปกรณ์ต่าง ๆ ในระบบ ได้แก่ ชิ้นงานทดสอบที่ทำหน้าที่เป็นขั้วไฟฟ้าทำงาน (Working Electrode: WE) ขั้วไฟฟ้าเปรียบเทียบ (Reference Electrode: RE) ขั้วไฟฟ้าเสริม (Counter Electrode: CE) มอเตอร์สำหรับควบคุมความเร็วยรอบ เครื่องโพเทนทิโอสแตต (Potentiostat) สำหรับควบคุมศักย์ไฟฟ้า และวัดกระแสไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์สำหรับบันทึกและประมวลผลข้อมูล

4.5 ผลการทดสอบภายใต้สภาวะต่าง ๆ
การทดสอบภายใต้สภาวะต่าง ๆ มีการใช้สารเคมี ได้แก่ กรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) น้ำกลั่น และทรายอนุภาคประมาณ 100 ไมครอน ดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 ภาพทรายสำหรับการทดสอบการสึกกร่อน

จากภาพที่ 3 ภาพทรายละเอียดที่ใช้ในการทดลอง โดยภาพซ้าย แสดงถึงทรายละเอียดที่เตรียมไว้สำหรับการทดลอง และภาพขวา แสดงภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์ของทรายละเอียด ซึ่งมีขนาดเฉลี่ยประมาณ 100 ไมครอน โดยเริ่มจากนำชิ้นงานมาขัด ล้างชิ้นงานด้วยน้ำกลั่น แช่ชิ้นงานด้วยอะซิโตน เป่าให้แห้งด้วยลมร้อน ทิ้งไว้ให้เย็นแล้วนำไปชั่งด้วยเครื่องชั่งน้ำหนัก 4 ตำแหน่ง นำชิ้นงานมาประกอบเข้ากับชุดโรตารี-ไซลินเดอร์อิเล็กโทรด นำภาชนะใส่สเลอรี (Slurry) ที่มีน้ำกลั่นผสมทรายละเอียด ทำการหมุนปั่นชิ้นงานด้วยความเร็วรอบ 1,800 รอบต่อนาที นำชิ้นงานออกจากเครื่องเมื่อทดลองครบครึ่งชั่วโมง นำชิ้นงานล้างด้วยน้ำกลั่นและอะซิโตน (Acetone) ทำให้แห้งและชั่งทำซ้ำอีก 2 ครั้ง ทำเช่นเดียวกันกับวิธีเดิมแต่เปลี่ยนความเร็วรอบเป็น 3,600 รอบต่อนาที ทำเช่นเดียวกับวิธีเดิมแต่เปลี่ยนความเร็วรอบเป็น 5,400 รอบต่อนาที

4.6 การชั่งน้ำหนักสูญเสีย

โดยใช้เครื่อง ชั่งน้ำหนักแบบดิจิทัลความละเอียด 0.0001 กรัม ในการวัดน้ำหนักที่สูญเสีย Matsumura และคณะ เสนอว่าความสูญเสียทั้งหมด (Wt) ของโลหะ ภายใต้การกระทำร่วมกันของการสึกกร่อนและการกัดกร่อนเป็นไปตามสมการ ดังนี้ [14]

$$Wt = W' + F' \dots\dots\dots(1)$$

เมื่อ

W' คือ ปริมาณความสูญเสียเนื่องจากการสึกกร่อน

F' คือ ปริมาณความสูญเสียเนื่องจากการกัดกร่อน

4.7 วิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และอัตราส่วนสัญญาณต่อสิ่งรบกวน (S/N ratio) หลังจากได้ข้อมูลการทดลองแล้ว จะทำการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) เพื่อตรวจสอบอิทธิพลของความเร็วรอบ สภาพแวดล้อม และชนิดของเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำและเหล็กกล้าคาร์บอนสูง ที่มีต่ออัตราการกัดกร่อน-สึกกร่อน โดยจะใช้ระดับนัยสำคัญที่ 0.05 และวิเคราะห์อัตราส่วนสัญญาณต่อสิ่งรบกวน เป็นการวัดความเสถียร

และความไวของระบบต่อปัจจัยรบกวน โดยมีสมการที่แตกต่างกันระดับอัตราส่วนสัญญาณต่อสิ่งรบกวนสามารถแบ่งได้เป็น 3 กรณี คือ ยิ่งน้อยยิ่งดี (Smaller-the-Better) ยิ่งมากยิ่งดี (Larger-the-Better) [15] และค่าตรงเป้าหมายดีที่สุด (Target-the-Better) [16] ในงานวิจัยนี้ เรามุ่งหาค่าร้อยละการสูญเสียน้ำหนักของเหล็กกล้าคาร์บอนที่น้อยที่สุด ซึ่งเป็นกรณียิ่งน้อยยิ่งดี (Smaller-the-Better) สมการนี้ [17]

$$S/N \text{ Ratio} = -10 \log_{10} \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right) \dots\dots(2)$$

เมื่อ

y_i คือ ค่าผลลัพธ์จากการทดลองที่ i

n คือ จำนวนการทดลอง

5. ผลการวิจัย

การศึกษาพฤติกรรมการกัดกร่อน-สึกกร่อนของเหล็กกล้าคาร์บอนโดยใช้การออกแบบการทดลองทากูชิ มีผลการวิจัยดังนี้

5.1 ผลการชั่งน้ำหนักสูญเสีย

โดยร้อยละการสูญเสียน้ำหนักของเหล็กกล้าคาร์บอนทั้ง 2 ชนิด แสดงดังตารางที่ 5 และ 6

ตารางที่ 5 ร้อยละน้ำหนักสูญเสียเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ

การทดลอง	ความเร็ว	สภาวะ	น้ำหนัก (%)
1	1,800	น้ำกลั่นผสมทราย	0.0680
2	1,800	ซัลฟิวริก	0.1150
3	1,800	ซัลฟิวริกผสมทราย	0.0640
4	3,600	น้ำกลั่นผสมทราย	0.0016
5	3,600	ซัลฟิวริก	0.0035
6	3,600	ซัลฟิวริกผสมทราย	0.0016
7	5,400	น้ำกลั่นผสมทราย	0.1280
8	5,400	ซัลฟิวริก	0.1680
9	5,400	ซัลฟิวริกผสมทราย	0.0860

จากตารางที่ 5 แสดงให้เห็นถึงพฤติกรรมการกัดกร่อน-สึกกร่อนของเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำในสภาวะแวดล้อมที่แตกต่างกัน โดยในสภาวะน้ำกลั่นผสมทรายการกัดกร่อนเกิดขึ้นจากการเสียดสีของอนุภาคทรายกับผิวโลหะ (Erosion) เป็นหลัก กลไกการกัดกร่อนแบบนี้

ไม่ได้เกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้ามากนัก แต่เป็นการสึกกร่อนเชิงกล สังเกตได้จากการสูญเสียน้ำหนักที่สูงขึ้นเมื่อความเร็วรอบเพิ่มขึ้น (การทดลองที่ 1, 4, และ 7) เนื่องจากแรงกระแทกของทรายที่รุนแรงขึ้น ในสภาวะสารละลายกรดซัลฟิวริกความเป็นกรดต่าง 4 การกัดกร่อน (Corrosion) กรดซัลฟิวริกจะทำปฏิกิริยากับเหล็กเกิดเป็นไอออนของเหล็กที่ละลายในสารละลาย และเกิดก๊าซไฮโดรเจน การสูญเสียน้ำหนักในสภาวะนี้สูงกว่าในน้ำกลั่นผสมทราย โดยเฉพาะที่ความเร็วรอบต่ำ (การทดลองที่ 2) เนื่องจากการกัดกร่อนเคมีไฟฟ้ามีผลมากกว่าการสึกกร่อนเชิงกล อย่างไรก็ตาม เมื่อความเร็วรอบสูงขึ้น (การทดลองที่ 5 และ 8) การสึกกร่อนเชิงกลจากการไหลของสารละลาย ก็มีส่วนร่วมในการกัดกร่อนมากขึ้น ส่วนในสภาวะสารละลายกรดซัลฟิวริกความเป็นกรดต่าง 4 ผสมทราย เป็นการกัดกร่อนแบบผสมผสาน (Erosion-Corrosion) เกิดทั้งการสึกกร่อนเชิงกลจากทราย และการกัดกร่อนจากกรดซัลฟิวริก สังเกตได้จากการสูญเสียน้ำหนักที่สูงกว่าในน้ำกลั่นผสมทราย แต่ต่ำกว่าในกรดซัลฟิวริกอย่างเดียว (เปรียบเทียบการทดลองที่ 1, 2 และ 3 หรือ 4, 5 และ 6 หรือ 7, 8 และ 9) แสดงให้เห็นว่า ทั้งการสึกกร่อนและการกัดกร่อน มีส่วนร่วมในการสูญเสียน้ำหนัก สรุปได้ว่า น้ำกลั่นผสมทรายทำให้เกิดการกัดกร่อนแบบสึกกร่อน (Erosion) กรดซัลฟิวริกค่าความเป็นกรดต่าง 4 ทำให้เกิดการกัดกร่อน (Corrosion) และกรดซัลฟิวริกค่าความเป็นกรดต่าง 4 ผสมทรายทำให้เกิดการกัดกร่อนแบบผสมผสาน (Erosion-corrosion) โดยมีข้อสังเกตว่า ผลของความเร็วรอบต่อการกัดกร่อน มีความชัดเจนในสภาวะที่มีทราย เนื่องจากการสึกกร่อนเชิงกล มีความสัมพันธ์โดยตรงกับความเร็วของการไหล และสารละลายกรดซัลฟิวริกมีผลต่อการกัดกร่อนมากกว่าน้ำกลั่น แสดงให้เห็นถึงอิทธิพลของปฏิกิริยากัดกร่อน ทั้งนี้ การกัดกร่อนแบบผสมผสานเป็นรูปแบบการกัดกร่อนที่พบได้บ่อยในสภาวะการใช้งานจริง ซึ่งมักมีทั้งสารกัดกร่อนและอนุภาคของแข็ง

ตารางที่ 6 ร้อยละน้ำหนักสูญเสียเหล็กคาร์บอนสูง

การทดลอง	ความเร็ว	สภาวะ	น้ำหนัก (%)
1	1,800	น้ำกลั่นผสมทราย	0.0980
2	1,800	ซัลฟิวริก	0.0450
3	1,800	ซัลฟิวริกผสมทราย	0.0690
4	3,600	น้ำกลั่นผสมทราย	0.0027
5	3,600	ซัลฟิวริก	0.0010
6	3,600	ซัลฟิวริกผสมทราย	0.0020
7	5,400	น้ำกลั่นผสมทราย	0.1450
8	5,400	ซัลฟิวริก	0.0650
9	5,400	ซัลฟิวริกผสมทราย	0.0930

จากตารางที่ 6 พฤติกรรมการกัดกร่อน-สึกกร่อนของเหล็กกล้าคาร์บอนสูงในสภาวะแวดล้อมที่แตกต่างกัน โดยการกัดกร่อนในสภาวะน้ำกลั่นผสมทรายเน้นไปที่การสึกหรือเชิงกลเป็นหลัก อนุภาคทรายเสียดสีกับผิวเหล็กกล้าคาร์บอนสูง ทำให้เกิดการสูญเสียน้ำหนัก สังเกตได้จากการทดลองที่ 1, 4, และ 7 ที่ความเร็วรอบสูงขึ้น การสูญเสียน้ำหนักก็สูงขึ้นตาม เนื่องจากแรงกระแทกจากทรายที่รุนแรงขึ้น ในสภาวะสารละลายกรดซัลฟิวริก ค่าความเป็นกรดต่าง 4 การกัดกร่อนเกิดจากปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้า โดยกรดซัลฟิวริกทำปฏิกิริยากับเหล็ก ก่อให้เกิดไอออนเหล็กที่ละลายในสารละลาย และปล่อยก๊าซไฮโดรเจน สิ่งที่น่าสนใจคือ เหล็กกล้าคาร์บอนสูงแสดงความต้านทานต่อการกัดกร่อนในกรดซัลฟิวริกได้ดีกว่า สังเกตได้จากการสูญเสียน้ำหนักที่ต่ำกว่า เมื่อเทียบกับน้ำกลั่นผสมทราย (เปรียบเทียบการทดลองที่ 1 กับ 2, 4 กับ 5, และ 7 กับ 8) ส่วนสภาวะสารละลายกรดซัลฟิวริกค่าความเป็นกรดต่าง 4 ผสมทราย เป็นการกัดกร่อนแบบผสมผสาน เกิดทั้งการสึกหรือเชิงกลจากทราย และการกัดกร่อนเคมีไฟฟ้าจากกรดซัลฟิวริก การสูญเสียน้ำหนักจะอยู่ระหว่างน้ำกลั่นผสมทรายและกรดซัลฟิวริกอย่างเดียว (เปรียบเทียบการทดลองที่ 1, 2, และ 3 หรือ 4, 5, และ 6 หรือ 7, 8, และ 9) มีข้อสังเกตว่า เหล็กกล้าคาร์บอนสูง แสดงความต้านทานต่อการกัดกร่อนเคมีไฟฟ้าในกรดซัลฟิวริก ได้ดีกว่าเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ อาจเนื่องจากปริมาณคาร์บอนที่สูงขึ้น

ช่วยเพิ่มความต้านทานต่อการกัดกร่อน นอกจากนี้ ผลของความเร็วยังคงมีความสำคัญในสภาวะที่มีทราย เนื่องจากการสึกหรอเชิงกล ขึ้นอยู่กับความเร็วของการไหล และการกัดกร่อนแบบผสมผสาน เป็นรูปแบบการกัดกร่อนที่ซับซ้อน และต้องพิจารณาถึงทั้งปัจจัยเชิงกลและเคมีไฟฟ้า เหล็กกล้าคาร์บอนสูงแสดงพฤติกรรมการกัดกร่อนที่แตกต่างจากเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในสภาวะกรดซัลฟิวริก ซึ่งมีความต้านทานต่อการกัดกร่อนสูงกว่า อย่างไรก็ตาม การกัดกร่อนแบบสีกหรือ และแบบผสมผสาน ยังคงเป็นปัจจัยที่ต้องคำนึงถึง โดยเฉพาะในสภาวะที่มีการไหล และมีอนุภาคของแข็ง เช่น ทราย

5.2 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA)

ทำการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) เพื่อประเมินอิทธิพลของปัจจัยต่างๆ ได้แก่ ความเร็วยรอบ สภาวะแวดล้อม และชนิดของเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำและเหล็กกล้าคาร์บอนสูง ที่มีต่อร้อยละการสูญเสียน้ำหนักของเหล็ก ผลการวิเคราะห์ ANOVA แสดงในตารางที่ 6 และ 7 แยกตามชนิดของเหล็กกล้าคาร์บอน โดยใช้ระดับนัยสำคัญที่ 0.05

ตารางที่ 6 แสดงผลการวิเคราะห์ ANOVA ของเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ

ปัจจัย	sum_sq	df	F	P-value
ความเร็วยรอบ	0.024091	2	26.207351	0.005027
สภาวะ	0.003135	2	3.410670	0.136634
Error	0.001838	4		

$\alpha = 0.05$

จากตารางที่ 6 พบว่าผลการวิเคราะห์ ANOVA สำหรับเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างระหว่างปัจจัยที่ศึกษา โดยเฉพาะ ความเร็วยรอบ ที่มีค่า p-value เท่ากับ 0.005027 ซึ่งน้อยกว่า $\alpha = 0.05$ แสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างกลุ่มความเร็วยรอบที่แตกต่างกัน นั่นหมายความว่าความเร็วยรอบมีผลกระทบต่ออัตราการสูญเสียน้ำหนักของเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำอย่างมีนัยสำคัญ โดยค่า F-statistic

ที่สูงถึง 26.207351 ยืนยันถึงความแปรปรวนระหว่างกลุ่มความเร็วยรอบที่มีมากกว่าความแปรปรวนภายในกลุ่ม ในขณะที่ สภาวะ มีค่า p-value เท่ากับ 0.136634 ซึ่งสูงกว่า $\alpha = 0.05$ แสดงว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างกลุ่มสภาวะที่แตกต่างกัน นั่นหมายความว่าสภาวะไม่มีผลต่อการสูญเสียน้ำหนักของเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำอย่างมีนัยสำคัญค่า F-statistic ที่ได้คือ 3.410670 แสดงให้เห็นว่าความแปรปรวนระหว่างกลุ่มสภาวะมีน้อยกว่าความแปรปรวนภายในกลุ่ม

ตารางที่ 7 แสดงผลการวิเคราะห์ ANOVA ของเหล็กกล้าคาร์บอนสูง

ปัจจัย	sum_sq	df	F	P-value
ความเร็วยรอบ	0.01547	2	18.907648	0.009151
สภาวะ	0.00307	2	3.751977	0.1209
Error	0.001636	4		

$\alpha = 0.05$

จากตารางที่ 7 จากตาราง ANOVA ข้างต้น พบว่าความเร็วยรอบ มีค่า p-value เท่ากับ 0.009151 ซึ่งน้อยกว่า 0.05 แสดงให้เห็นว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างกลุ่มความเร็วยรอบที่แตกต่างกัน นั่นหมายความว่าความเร็วยรอบมีผลต่อการสูญเสียน้ำหนักของเหล็กกล้าคาร์บอนสูงอย่างมีนัยสำคัญ โดยค่า F-statistic ที่สูงถึง 18.907648 ยังยืนยันถึงความแปรปรวนระหว่างกลุ่มความเร็วยรอบที่มีมากกว่าความแปรปรวนภายในกลุ่มในทางกลับกัน สำหรับสภาวะ ค่า p-value เท่ากับ 0.120900 ซึ่งสูงกว่า 0.05 แสดงว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างกลุ่มสภาวะที่แตกต่างกัน นั่นหมายความว่าสภาวะไม่มีผลต่อการสูญเสียน้ำหนักของเหล็กกล้าคาร์บอนสูงอย่างมีนัยสำคัญ โดยค่า F-statistic ที่ได้คือ 3.751977 แสดงให้เห็นว่าความแปรปรวนระหว่างกลุ่มสภาวะมีน้อยกว่าความแปรปรวนภายในกลุ่ม

ผลจากทั้งตารางที่ 6 และ 7 การวิเคราะห์ ANOVA ชี้ให้เห็นถึงอิทธิพลที่แตกต่างกันของปัจจัยต่าง ๆ ที่มีต่อ

อัตราการกัดกร่อน-สึกกร่อนของเหล็กกล้าคาร์บอนทั้งสองชนิด โดยความเร็รรอบแสดงให้เห็นถึงนัยสำคัญทางสถิติที่มีต่อการสูญเสียน้ำหนักของเหล็กกล้าทั้งชนิดคาร์บอนต่ำและสูง ($p\text{-value} < 0.05$) ผลลัพธ์นี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Asmara และคณะ [8] ซึ่งพบว่าอัตราการกัดกร่อนของเหล็กกล้าไร้สนิม 316 เพิ่มขึ้นตามความเร็รรอบที่สูงขึ้นเช่นกัน ความสัมพันธ์เชิงบวกนี้สามารถอธิบายได้ด้วยกลไกการถ่ายโอนมวลที่เพิ่มขึ้นจากการไหลของของไหล

5.3 ผลการวิเคราะห์อัตราส่วนสัญญาณต่อสิ่งรบกวน (S/N ratio)

โดยร้อยละการสูญเสียน้ำหนักและความเสถียรของระบบต่อปัจจัยรบกวนของเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำและเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ แสดงดังตารางที่ 8 และ 9

ตารางที่ 8 การสูญเสียน้ำหนักและความเสถียรของเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ

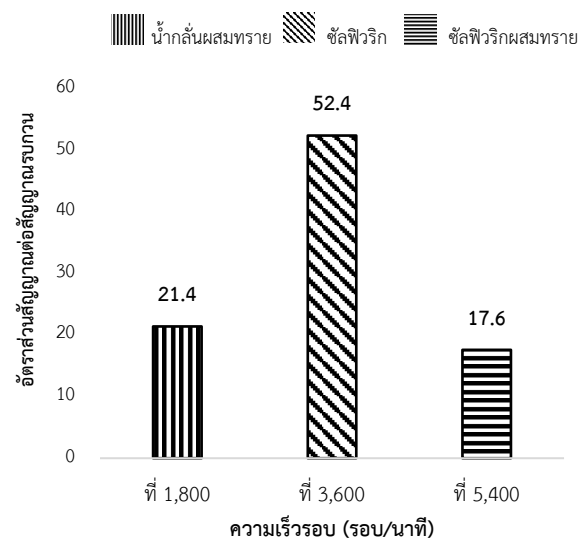
ความเร็รรอบ (RPM)	สถานะ	ค่าเฉลี่ย น้ำหนักสูญเสีย (%)	S/N ratio
1,800	น้ำกลั่นทราย	0.08230	21.4
3,600	ซัลฟิวริก	0.00223	52.4
5,400	ซัลฟิวริกผสมทราย	0.12700	17.6

จากตารางที่ 6 แสดงค่าเฉลี่ยร้อยละของน้ำหนักที่สูญเสีย และอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน ซึ่งบ่งชี้ถึงความเสถียรของกระบวนการ ของเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำภายใต้ความเร็รรอบและสถานะที่แตกต่างกัน พบว่าที่ความเร็รรอบ 3,600 รอบต่อนาที ในกรดซัลฟิวริก ให้ค่าเฉลี่ยการสูญเสียน้ำหนักต่ำที่สุด และมีความเสถียรของกระบวนการสูงที่สุด ในขณะที่ความเร็รรอบ 5,400 รอบต่อนาที ในกรดซัลฟิวริกผสมทราย ให้ค่าเฉลี่ยการสูญเสียน้ำหนักสูงที่สุด และมีความเสถียรของกระบวนการต่ำที่สุด

ตารางที่ 9 การสูญเสียน้ำหนักและความเสถียรของเหล็กกล้าคาร์บอนสูง

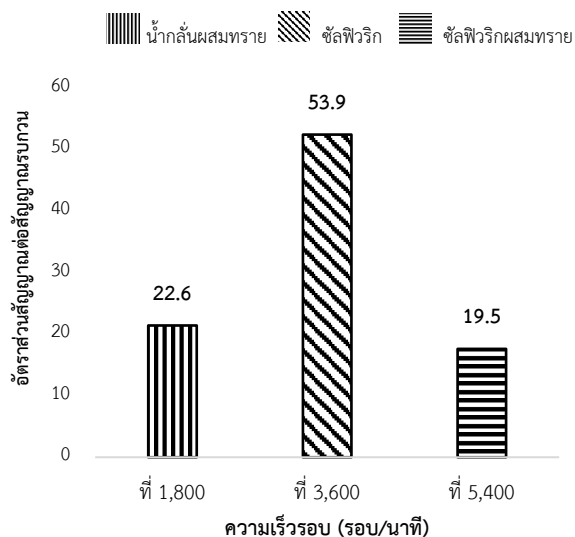
ความเร็รรอบ (RPM)	สถานะ	ค่าเฉลี่ย น้ำหนักสูญเสีย (%)	S/N ratio
1,800	น้ำกลั่นทราย	0.07070	22.6
3,600	ซัลฟิวริก	0.00190	53.9
5,400	ซัลฟิวริกผสมทราย	0.10100	19.5

จากตารางที่ 9 ผลการทดลองแสดงให้เห็นแนวโน้มที่คล้ายคลึงกับเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ โดยที่ความเร็รรอบ 3,600 รอบต่อนาที ในกรดซัลฟิวริก ให้ค่าเฉลี่ยร้อยละการสูญเสียน้ำหนักต่ำที่สุด และมีความเสถียรของกระบวนการสูงที่สุดเช่นเดียวกัน ความเร็รรอบ 5,400 รอบต่อนาที ในกรดซัลฟิวริกผสมทราย ให้ค่าเฉลี่ยการสูญเสียน้ำหนักสูงที่สุด และมีความเสถียรของกระบวนการต่ำที่สุด



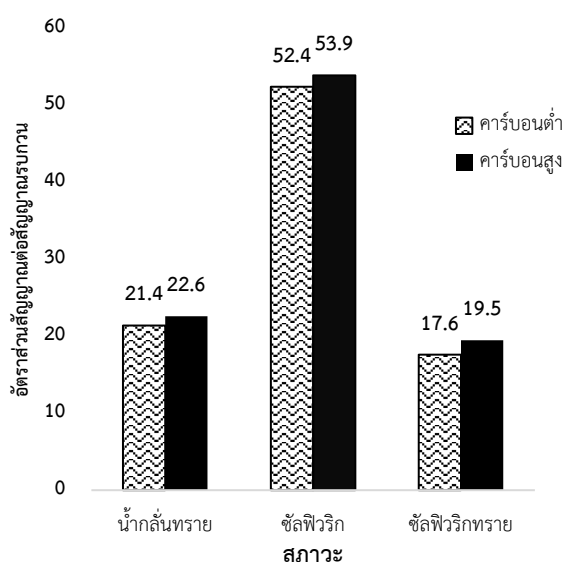
ภาพที่ 5 ระดับปัจจัยกับอัตราสัญญาณสิ่งรบกวนเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ

จากภาพที่ 5 แสดงให้เห็นว่า อัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนของเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำมีค่าสูงที่สุดที่ความเร็รรอบ 3,600 รอบต่อนาที ในสถานะกรดซัลฟิวริก รองลงมา คือ ความเร็รรอบ 1,800 รอบต่อนาทีในสถานะน้ำกลั่นผสมทราย



ภาพที่ 6 ระดับปัจจัยกับอัตราสัญญาณสิ่งรบกวนเหล็กคาร์บอนสูง

จากภาพที่ 6 แสดงให้เห็นว่า อัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนของเหล็กกล้าคาร์บอนสูงมีค่าสูงที่สุดในที่ความเร็วรอบ 3,600 รอบต่อนาที ในสภาวะกรดซัลฟิวริกเช่นเดียวกัน รองลงมาคือ ความเร็วรอบ 1,800 รอบต่อนาที ในสภาวะน้ำกลั่นผสมทราย



ภาพที่ 7 เปรียบเทียบระดับปัจจัยกับอัตราสัญญาณสิ่งรบกวนที่แบ่งตามประเภทชนิดเหล็กกล้าคาร์บอน

จากภาพที่ 7 เปรียบเทียบอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนของเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำและเหล็กกล้าคาร์บอนสูง ในสภาวะต่าง ๆ พบว่าโดยรวมเหล็กกล้าคาร์บอนสูงมีอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนสูงกว่าเล็กน้อยในทุกสภาวะ และทั้งเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำและเหล็กกล้าคาร์บอนสูงมีอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนสูงที่สุดในสภาวะกรดซัลฟิวริก รองลงมาคือ สภาวะน้ำกลั่นผสมทราย

6. สรุปและอภิปรายผล

ศึกษาพฤติกรรมการกัดกร่อน-สึกกร่อนของเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ (AISI 1018) และเหล็กกล้าคาร์บอนสูง (AISI 1060) ภายใต้สภาวะแวดล้อมที่แตกต่างกัน 3 สภาวะ ได้แก่ น้ำกลั่นผสมทราย, สารละลายกรดซัลฟิวริก ความเข้มข้นต่างเท่ากับ 4 และสารละลายกรดซัลฟิวริก ความเข้มข้นต่างเท่ากับ 4 ผสมทราย โดยใช้เทคนิคการออกแบบการทดลองแบบทากูชิ ร่วมกับชุดทดสอบโรเตตติ้งไซลินเดอร์อิเล็กโทรด ที่ความเร็วรอบ 1,800 3,600 และ 5,400 รอบต่อนาที เพื่อจำลองสภาวะการไหล ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าเหล็กกล้าคาร์บอนทั้งสองชนิดแสดงความต้านทานต่อการกัดกร่อน-สึกกร่อนที่ดีในทุกสภาวะแวดล้อมที่ทำการทดสอบ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในสภาวะสารละลายกรดซัลฟิวริก ความเข้มข้นต่างเท่ากับ 4 ที่ไม่มีทรายผสม ซึ่งเหล็กกล้าคาร์บอนทั้งสองชนิดมีค่าเฉลี่ยการสูญเสียน้ำหนักต่ำที่สุด อย่างไรก็ตาม เหล็กกล้าคาร์บอนสูงมีอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนสูงกว่าเล็กน้อย (53.9) เมื่อเทียบกับเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ (52.4) ซึ่งบ่งชี้ถึงความทนทานต่อการกัดกร่อน-สึกกร่อนที่ดีกว่าเล็กน้อย ผลการวิจัยนี้สอดคล้องกับทฤษฎีการกัดกร่อนแบบไหลวน (Flow-induced corrosion) [18] ที่อธิบายว่าความเร็วของของไหลมีผลต่ออัตราการกัดกร่อน จากผลการวิเคราะห์ ANOVA ยืนยันความสัมพันธ์นี้ โดยแสดงให้เห็นถึงอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญของความเร็วรอบต่ออัตราการกัดกร่อน-สึกกร่อนทั้งในเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำและสูง

การเพิ่มขึ้นของความเร็วรอบส่งผลให้เกิดการไหลที่ปั่นป่วนมากขึ้น ซึ่งเร่งการถ่ายโอนมวลของสารกัดกร่อนไปยังพื้นผิวโลหะและการกำจัดผลิตภัณฑ์กัดกร่อนออกจากพื้นผิว ส่งผลให้อัตราการกัดกร่อนโดยรวมเพิ่มขึ้น ทั้งนี้ผลการวิจัยมีความสอดคล้องกับงานวิจัยของ Asmara และ คณะ [8], Evans และ คณะ [9], Musabikha และ คณะ [10] ที่พบว่าอัตราการไหลที่สูงขึ้น ส่งผลให้อัตราการกัดกร่อนของวัสดุสูงขึ้นเช่นกัน นอกจากนี้ Eduok และ Szpunar [12] ยังรายงานว่าการเคลือบคาร์บอนมีความไวต่อการกัดกร่อนในสภาวะ CO₂ ซึ่งเป็นสภาวะที่มีความเป็นกรด ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองในบทความนี้ที่พบว่าเหล็กกล้าคาร์บอนทนทานต่อการกัดกร่อน-สึกกร่อนได้ดีในสภาวะกรดซัลฟิวริก ความเป็นกรดต่างเท่ากับ 4 Wood and Cook [11] ยังเน้นย้ำถึงบทบาทของอนุภาคแขวนลอย เช่น ทราย ในการกัดกร่อน-สึกกร่อน ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองในบทความนี้ที่พบว่าการผสมทรายในน้ำกลั่นและสารละลายกรดซัลฟิวริกส่งผลให้อัตราการกัดกร่อน-สึกกร่อนสูงขึ้น งานวิจัยนี้และงานวิจัยของ Asmara และ คณะ [8] แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของเทคนิคทางกลในการออกแบบการทดลอง เพื่อวิเคราะห์ผลกระทบของปัจจัยต่าง ๆ อย่างมีประสิทธิภาพ อย่างไรก็ตามงานวิจัยนี้มุ่งเน้นศึกษาผลกระทบของความเร็วรอบและสภาวะแวดล้อมต่อการกัดกร่อน-สึกกร่อนของเหล็กกล้าคาร์บอนเป็นหลัก การทดลองนี้จำกัดอยู่ที่อุณหภูมิห้อง ซึ่งอาจไม่สะท้อนสภาวะการใช้งานจริงในบางอุตสาหกรรม ในอนาคตควรมีการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับผลกระทบของปัจจัยอื่นๆ เช่น ชนิดของเหล็กกล้าคาร์บอน การเคลือบผิว อุณหภูมิ รวมถึงทดสอบในสภาวะแวดล้อมที่ใกล้เคียงกับสภาวะการใช้งานจริงมากขึ้น เช่น สภาวะที่มี CO₂, H₂S นอกจากนี้ การนำเทคนิคการจำลองเชิงตัวเลข (Numerical simulation) มาใช้เพื่อทำนายพฤติกรรมการกัดกร่อน-สึกกร่อนในสภาวะที่ซับซ้อนมากขึ้นจะเป็นประโยชน์อย่างยิ่ง แสดงให้เห็นว่าเหล็กกล้าคาร์บอนทั้งชนิดคาร์บอนต่ำและคาร์บอนสูง

มีศักยภาพในการใช้งาน ในกระบวนการหรืออุตสาหกรรมที่ต้องเผชิญกับสภาวะแวดล้อมที่หลากหลาย โดยเฉพาะอย่างยิ่งในสภาวะที่มีความเป็นกรดสูง ผลการวิจัยนี้สามารถนำไปใช้ในการออกแบบระบบท่อส่งในอุตสาหกรรมเคมีที่ต้องเผชิญกับสภาวะกรดและการไหลที่รุนแรง การประยุกต์ใช้เทคนิคทางกลช่วยให้สามารถประเมินผลกระทบของปัจจัยต่าง ๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ และช่วยในการเลือกใช้วัสดุที่เหมาะสมกับการใช้งานมากที่สุด

7. ข้อเสนอแนะการนำไปใช้งาน

7.1 ข้อค้นพบสำคัญ

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นศึกษาพฤติกรรมการกัดกร่อน-สึกกร่อนของเหล็กกล้าคาร์บอนทั้งชนิดคาร์บอนต่ำและสูง ภายใต้สภาวะแวดล้อมที่หลากหลาย โดยใช้เทคนิคการออกแบบการทดลองแบบทางกลและชุดทดสอบโรเตตติ้งไซลินเดอร์อิเล็กโทรด เพื่อจำลองสภาวะการไหล ผลการวิจัยเผยให้เห็นข้อค้นพบที่น่าสนใจหลายประการ ประการแรก ความเร็วรอบของของไหลมีอิทธิพลอย่างชัดเจนต่ออัตราการกัดกร่อน-สึกกร่อนของเหล็กกล้าคาร์บอนโดยความเร็วที่สูงขึ้นส่งผลให้เกิดการกัดกร่อนมากขึ้น สอดคล้องกับทฤษฎีการกัดกร่อนแบบไหลวน (Flow induced corrosion) ซึ่งอธิบายว่าการไหลที่เร็วขึ้นทำให้เกิดการปั่นป่วนและการเสียดสีกับพื้นผิวโลหะ เร่งกระบวนการกัดกร่อน อย่างไรก็ตาม ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่าสภาวะแวดล้อมที่แตกต่างกันไม่ได้ส่งผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญต่ออัตราการกัดกร่อน-สึกกร่อน แม้ว่าจะมีการทดสอบในสารละลายกรดซัลฟิวริก น้ำกลั่นผสมทราย และสารละลายกรดซัลฟิวริกผสมทราย แต่อัตราการกัดกร่อน-สึกกร่อนไม่ได้แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่น่าสนใจ คือ ผลการวิจัยพบว่าเหล็กกล้าคาร์บอนสูงแสดงความทนทานต่อการกัดกร่อน-สึกกร่อนได้ดีกว่าเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำเล็กน้อย แม้ว่าความแตกต่างจะไม่มากนัก แต่ผลลัพธ์นี้แสดงให้เห็นถึงศักยภาพของเหล็กกล้า

คาร์บอนสูงในการใช้งานในสภาวะแวดล้อมที่ต้องการความทนทานต่อการกัดกร่อนสูง นอกจากนี้งานวิจัยนี้ยังยืนยันถึงประสิทธิภาพของเทคนิคทากูชิในการออกแบบการทดลอง ซึ่งช่วยลดจำนวนการทดลองที่ต้องทำแต่ยังคงให้ข้อมูลที่เพียงพอต่อการวิเคราะห์ผลกระทบของปัจจัยต่าง ๆ และช่วยให้สามารถหาค่าที่เหมาะสมเพื่อลดอัตราการกัดกร่อน-สึกกร่อนได้ ข้อค้นพบเหล่านี้มีประโยชน์อย่างยิ่งต่อการเลือกใช้วัสดุเหล็กกล้าคาร์บอนที่เหมาะสมกับการใช้งาน และต่อการออกแบบและพัฒนาอุปกรณ์ที่ทนทานต่อการกัดกร่อน-สึกกร่อน เช่น ระบบท่อส่งในอุตสาหกรรมเคมีหรืออุปกรณ์ทาง

7.2 ข้อเสนอแนะ

นอกจากนี้ควรมีการศึกษาค้นคว้าของอุณหภูมิต่อการกัดกร่อน-สึกกร่อนของเหล็กกล้าคาร์บอนในช่วง 50-100 องศาเซลเซียส เพื่อจำลองสภาวะการใช้งานในอุตสาหกรรมปิโตรเคมี อีกทั้งยังสามารถใช้ผลการวิจัยนี้เป็นแนวทางในการพัฒนาเทคโนโลยีการเคลือบผิวเพื่อเพิ่มความทนทานต่อการกัดกร่อน-สึกกร่อนของเหล็กกล้าคาร์บอน เช่น การพัฒนาสารเคลือบผิวชนิดใหม่ ที่มีความทนทานต่อการกัดกร่อน-สึกกร่อนในสภาวะที่รุนแรงมากขึ้น หรือการพัฒนาเทคนิคการเคลือบผิว ที่สามารถสร้างชั้นเคลือบผิวที่มีความหนาสม่ำเสมอ และยึดเกาะกับผิวโลหะได้ดี การนำข้อเสนอแนะเหล่านี้ไปประยุกต์ใช้จะช่วยยืดอายุการใช้งานของอุปกรณ์ ลดค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาและเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานของอุตสาหกรรมต่าง ๆ ต่อไป

8. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณห้องปฏิบัติการภาควิชาเคมีอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์ประยุกต์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือเป็นอย่างสูง ที่ให้ความช่วยเหลือในการดำเนินงานวิจัย คณะผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่า ผลงานวิจัยชิ้นนี้จะเป็นประโยชน์ต่อวงการวิชาการ และการพัฒนาอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องต่อไป

9. เอกสารอ้างอิง

- [1] Huang, Y. *et al.* 2021. "Optimization of weld strength for laser welding of steel to PMMA using Taguchi design method," *Optics & Laser Technology*. 136(1): pp. 1–11.
- [2] Minh, P. S., Dang, H.-S., and Ha, N. C. 2023. "Optimization of 3D cooling channels in plastic injection molds by Taguchi-integrated principal component analysis (PCA)," *Polymers*. 15(5): pp. 1–23.
- [3] Aman, A., Bhardwaj, R., Gahlot, P., and Phanden, R. K. 2023. "Selection of cutting tool for desired surface finish in milling Machine using Taguchi optimization methodology," *Materialstoday: Proceedings*. 78: pp. 444–448.
- [4] Doubi, Y. *et al.* 2022. "Optimization with Taguchi Approach to Prepare Pure TiO₂ Thin Films for Future Gas Sensor Application," *J. Electron. Mater.* 51(7): pp. 3671–3683.
- [5] Lv, B. and Cai, J. 2023. "Simulation and analysis of geometric parameters based on Taguchi method in YY microfluidic device for circulating tumor cell separation by alternating current dielectrophoretic," *Journal of Chromatography*. A1693: pp. 463894.
- [6] Mansour, N. M., El-Sherbiny, D. T., Ibrahim, F. A., and El-Subbagh, H. I. 2022. "Taguchi Approach for Optimization of a Green Quantitative ¹H-NMR Practice for Characterization of Levettiracetam and Brivaracetam in Pharmaceuticals," *Journal of AOAC International*. 105(6): pp. 1516–1527.

- [7] Romdhane, I. B., Jemmali, A., Kaziz, S., Echouchene, F., Alshahrani, T., and Belmabrouk, H. 2023. "Taguchi method: artificial neural network approach for the optimization of high-efficiency microfluidic biosensor for COVID-19," *The European Physical Journal Plus*. 138(4): pp. 138–359.
- [8] Asmara, Y. P., Raman, J. G., Suparjo, Herlina, F., and Wei, Y. C. 2024. "Empirical Study of the Effect of Nano coolant Particles on Corrosion Rate of 316 Stainless Steel," *International Journal of Corrosion*. 2024: pp. 1–8.
- [9] Evans, K. J., Vera, J., and Mendez, C. 2024. "Effect of Dissolved Oxygen on Carbon Steel Corrosion and Particulate Formation. Part 1: Rotating Cylinder Electrode Experiments," In *Proceedings of the AMPP Annual Conference + Expo*. 3-7 March 2024. New Orleans, U.S. state of Louisiana, pp. C2024-20718.
- [10] Musabikha, S. et al. 2024. "The effects of flow rate on impedance measurements of marine coatings using a rotating cylinder electrode," *J Coat Technol Res*. pp. 1–12.
- [11] Wood, R. J. and Cook, A. D., 2022. "Erosion-Corrosion in Pipe Flows of Particle-Laden Liquids," in *Advances in Slurry Technology, Intech Open*. [Online]. Available: <https://www.intechopen.com/chapters/83676>. Accessed: 12 July 2024.
- [12] Eduok, U. and Szpunar, J. 2020. "Corrosion Inhibitors for Sweet Oilfield Environment (CO₂ Corrosion)," in *Corrosion Inhibitors in the Oil and Gas Industry*. 1st ed., V. S. Saji and S. A. Umoren, Eds. Wiley, pp. 177–227.
- [13] He, D. D., Jiang, X. X., Li, S. Z., and Guan, H. R. 2005. "Erosion-corrosion of stainless steels in aqueous slurries-a quantitative estimation of synergistic effects," *Corrosion*. 61(1): pp. 30–36.
- [14] Matsumura, M. 1994. "Erosion-Corrosion of Metallic Materials in Slurries," *Corrosion Reviews*. 12(3–4): pp. 321–340.
- [15] Yelamasetti, B., G. V. R., Manikyam, S., and Saxena, K. K. 2022. "Multi-response Taguchi grey relational analysis of mechanical properties and weld bead dimensions of dissimilar joint of AA6082 and AA7075," *Advances in Materials and Processing Technologies*. 8(sup3): pp. 1474–1484.
- [16] Caputo, A. C., Federici, A., Pelagagge, P. M., and Salini, P. 2022. "On the design of shell-and-tube heat exchangers under uncertain operating conditions," *Applied Thermal Engineering*. 212: pp.118541: 1–18.
- [17] Hussain, Z. 2021. "Comparative Study on Improving the Ball Mill Process Parameters Influencing on the Synthesis of Ultrafine Silica Sand: A Taguchi Coupled Optimization Technique," *Int. J. Precis. Eng. Manuf.* 22(4): pp. 679–688.

- [18] da Silva, C. A., Pereira, H. B., Taqueda, M. E. S., and Panossian, Z. 2021. "Prediction models for multiphase-flow-induced corrosion of API X80 steel in CO₂/H₂S environment," *Materials and Corrosion*. 72(11): pp. 1796–1807.

คำแนะนำในการเตรียมต้นฉบับ

“วารสารนวัตกรรมเทคโนโลยีอุตสาหกรรม” เป็นวารสารที่ครอบคลุมสาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี บทความมีเนื้อหาที่เกี่ยวข้องกับสาขาวิชาทางด้านนวัตกรรมเทคโนโลยีอุตสาหกรรม อาทิ เทคโนโลยีอุตสาหกรรม วิศวกรรมศาสตร์ วิทยาศาสตร์ประยุกต์ อุตสาหกรรมศึกษา เทคนิคและอาชีพศึกษา อุตสาหกรรมศิลป์ สถาปัตยกรรมและการออกแบบ และสาขาอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องสัมพันธ์กับเทคโนโลยีอุตสาหกรรม โดยนำเสนอในรูปแบบบทความวิจัย บทความวิชาการ บทความวิจารณ์/บทความปริทัศน์ ซึ่งผู้นำเสนอบทความเป็นนักศึกษา คณาจารย์ บุคลากร นักวิชาการ ตลอดจนผู้สนใจทั้งภายในและภายนอก

ทั้งนี้ บทความจะผ่านขั้นตอนการประเมินเบื้องต้นถึงคุณภาพและขอบเขตของเนื้อหา ความถูกต้องของรูปแบบการเตรียมบทความ ความซ้ำซ้อน และการคัดลอกวรรณกรรม (Duplication and Plagiarism) โดยกองบรรณาธิการวารสารฯ จากนั้นบทความจะได้รับการประเมินคุณภาพทางวิชาการจากผู้ทรงคุณวุฒิทางสาขาที่เกี่ยวข้องไม่น้อยกว่า 3 ท่านซึ่งผู้ปริทัศน์ (Author) และผู้ประเมิน (Reviewer) จะไม่ทราบข้อมูลของกันและกัน (Double-Blinded Peer Reviews) โดยบทความที่ผ่านการปรับปรุงตามผลการประเมินจะได้รับพิจารณาอนุมัติให้ตีพิมพ์บทความ ขั้นตอนสุดท้าย กองบรรณาธิการจะดำเนินการตรวจสอบบทความและพิสูจน์อักษรก่อนที่จะเผยแพร่บทความแบบออนไลน์ และจัดพิมพ์บทความทั้งหมดรวมเล่มเพื่อดำเนินการเผยแพร่ต่อไป

อนึ่งผลงานวิจัยและผลงานทางวิชาการที่ปรากฏเผยแพร่ในวารสารฯ เป็นความคิดเห็นอิสระของผู้แต่ง โดยผู้แต่งเป็นผู้รับผิดชอบต่อผลทางกฎหมายใด ๆ ที่อาจจะเกิดขึ้นจากบทความเผยแพร่นั้น ซึ่งกองบรรณาธิการและคณะผู้จัดทำวารสารฯ ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป

1. ประเภทของเรื่องที่จะลงตีพิมพ์

1.1 บทความวิจัย (Research articles or Original article) เป็นบทความที่ผู้เขียนเรียบเรียงขึ้นจากงานวิจัยของตนซึ่งเป็นผลมาจากการศึกษาวิจัยเรื่องใดเรื่องหนึ่ง ได้แก่ บทความวิจัยทางสังคมศาสตร์ รวมทั้งสาขาวิชาต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องและจะเป็นประโยชน์กับวิชาชีพต่าง ๆ

1.2 บทความวิชาการ (Academic article) เป็นบทความที่ผู้เขียนมุ่งนำเสนอเนื้อหาสาระเรื่องใดเรื่องหนึ่งเพียงเรื่องเดียว ได้จากการศึกษาค้นคว้าเอกสารสิ่งพิมพ์ต่าง ๆ และนำมาถ้อยแถลง เรียบเรียงขึ้นโดยผู้เขียน

1.3 บทความวิจารณ์/บทความปริทัศน์ (Review article) เป็นบทความที่ผู้เขียนวิเคราะห์ สังเคราะห์ วิพากษ์ วิจารณ์ เรื่อง/ประเด็นใดประเด็นหนึ่งเพื่อนำเสนอแนวคิดใหม่ หรือองค์ความรู้ใหม่

2. เงื่อนไขในการส่งเรื่องเพื่อลงตีพิมพ์ในวารสารอื่น ๆ

2.1 เป็นเรื่องที่ไม่เคยลงตีพิมพ์หรือกำลังรอตีพิมพ์ในวารสารอื่น ๆ

2.2 ต้นฉบับ ทุกเรื่องจะต้องผ่านการประเมินหรือได้รับความเห็นชอบจากผู้ทรงคุณวุฒิ เพื่อตรวจสอบเนื้อหา (Peer review) ถ้าได้รับคำแนะนำในการปรับปรุงแก้ไข กองบรรณาธิการจะส่งเรื่องที่จะลงตีพิมพ์ที่ได้รับคำแนะนำให้ปรับปรุงแก้ไข หรือเพิ่มเติมไปยังเจ้าของต้นฉบับ (ผู้เขียน) ซึ่งเจ้าของต้นฉบับจะต้องส่งต้นฉบับที่ปรับปรุงแก้ไขแล้วกลับคืนให้กับกองบรรณาธิการภายใน 2 สัปดาห์ กองบรรณาธิการจะตอบรับการตีพิมพ์ก็ต่อเมื่อต้นฉบับได้รับการแก้ไขจนครบถ้วนสมบูรณ์จากเจ้าของต้นฉบับแล้วเท่านั้น

2.3 ให้ผู้เขียนส่งต้นฉบับมายังกองบรรณาธิการวารสารฯ ไม่เกิน 40 วันก่อนการตีพิมพ์แต่ละฉบับ เพื่อเรื่องที่จะลงตีพิมพ์จะได้รับการดำเนินการตามขั้นตอนการวินิจฉัยและพิจารณาตีพิมพ์ในวารสารต่อไป

2.4 ต้นฉบับที่ส่งมาเพื่อพิจารณาตีพิมพ์ ต้องเป็นไปตามข้อกำหนด คำแนะนำในการตีพิมพ์ต้นฉบับ

2.5 เรื่องที่ได้รับพิจารณาตีพิมพ์ ผู้เขียนสามารถดาวน์โหลดจากเว็บไซต์ของคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรมมหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช

3. การเตรียมต้นฉบับ

3.1 ต้นฉบับพิมพ์ เป็นภาษาไทยหรือภาษาอังกฤษก็ได้ องค์ประกอบต่าง ๆ ของบทความ วิจัยหรือบทความวิชาการให้จัดทำตามคำแนะนำการเตรียมต้นฉบับนี้ การใช้ภาษาไทยให้ยึดหลักการใช้คำศัพท์และการเขียนทับศัพท์ภาษาอังกฤษตามหลักของราชบัณฑิตยสถาน ควรหลีกเลี่ยงการเขียนภาษาอังกฤษปนภาษาไทยในข้อความ ยกเว้นกรณีจำเป็น เช่น ศัพท์ทางวิชาการที่ไม่มีคำแปลหรือคำที่ใช้แล้วทำให้เข้าใจง่ายขึ้น คำศัพท์ภาษาอังกฤษที่เขียนปนภาษาไทยให้ใช้ตัวเล็กทั้งหมด ยกเว้นชื่อเฉพาะ สำหรับต้นฉบับภาษาอังกฤษควรได้รับการตรวจสอบความถูกต้องด้านการใช้ภาษาจากผู้เชี่ยวชาญด้านภาษาเป็นเบื้องต้นก่อน

3.2 การพิมพ์ ให้จัดพิมพ์ด้วยโปรแกรม Microsoft Word ขนาดของต้นฉบับใช้กระดาษขนาด Executive (18.8 X 26.6 เซนติเมตร) ตั้งค่าน้ำกระดาษสำหรับการพิมพ์ ห่างจากขอบกระดาษด้านบน ด้านล่าง ด้านขวา ด้านละ 2.5 เซนติเมตร ด้านซ้าย 2.3 เซนติเมตร จัดเป็นคอลัมน์เดียวกระจายเต็มบรรทัด การลำดับหัวข้อของเนื้อเรื่อง หัวข้อหลักหรือหัวข้อใหญ่ พิมพ์ชิดซ้าย เป็นหัวข้อลอย ไม่มีภาษาอังกฤษหรือข้อความใด ๆ ต่อท้าย เป็นหัวข้อที่ใช้ตัวเลขกำกับข้อ หากมีหัวข้อย่อย หัวข้อย่อย และหัวข้อย่อย ๆ ให้ใช้เลขระบบทศนิยมกำกับ หัวข้อดังกล่าว เช่น หัวข้อย่อย หมายเลข 1.1 หัวข้อย่อย หมายเลข 1.1.1 หัวข้อย่อย ๆ หมายเลข 1.1.1.1 และ 1) เป็นต้น

3.3 รูปแบบตัวอักษร ทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษใช้ตัวอักษรแบบ TH Sarabun PSK ขนาดตัวอักษรทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษใช้ขนาดเดียวกัน ดังนี้ ชื่อ

เรื่องใช้ตัวอักษรขนาด 18 pt. ตัวพิมพ์หนา ชื่อผู้เขียน และหัวข้อหลักใช้ตัวอักษรขนาด 15pt. ตัวพิมพ์หนา หัวข้อย่อยใช้ตัวอักษรขนาด 15 pt. ตัวพิมพ์หนา เนื้อความทุกส่วนใช้ตัวอักษรขนาด 15 pt. ตัวพิมพ์ปกติ เชิงอรรถหน้าแรก ที่เป็นชื่อ-สกุล ตำแหน่งทางวิชาการ และที่อยู่ของผู้เขียนบทความใช้ตัวอักษรขนาด 13 pt. ตัวพิมพ์ปกติ

3.4 จำนวนหน้า ความยาวของบทความไม่ควรเกิน 15 หน้า รวมตาราง ภาพ และเอกสารอ้างอิง

3.5 ตารางและภาพ ให้จัดแทรกไว้ในเนื้อเรื่อง โดยคัดเลือกเฉพาะที่จำเป็นเท่านั้นและเรียงลำดับให้สอดคล้องกับเนื้อเรื่อง

3.5.1 ตาราง เมื่อวางรูปตารางข้อมูลเรียบร้อยแล้วต้อง “กำกับ” ไว้ที่ด้านบนของตารางด้วยข้อความที่เป็น “ตารางที่...(และชื่อตารางหรือคำอธิบายสั้น)” ส่วน “ที่มา” ของตาราง(ถ้ามี)ให้อยู่ด้านล่างของตาราง “ที่มา” ของตารางใช้รูปแบบเดียวกับการอ้างอิงทุกประการ คือ (ชื่อ-สกุล, ปี) หากเป็นตารางที่สร้างขึ้นเองอาจไม่ระบุ “ที่มา” ก็ได้

3.5.2 ภาพ เป็นภาพที่ใช้ประกอบเนื้อหาได้แก่ ภาพถ่าย ภาพวาด ภาพกราฟิก ภาพดิจิทัล แผนภูมิ แผนผัง ผังมโนทัศน์ แผนที่ ลายแทง ฯลฯ อาจจัดทำเป็นภาพขาวดำหรือภาพสีก็ได้ เมื่อจัดภาพเสร็จแล้วต้อง “กำกับ” ไว้ที่ได้ภาพด้วยข้อความที่เป็น ภาพที่....และชื่อภาพหรือคำอธิบายภาพสั้น ๆ และบรรทัดที่ถัดลงมาคือ “ที่มา:....” ของภาพ(ถ้ามี) ที่มาของภาพใช้รูปแบบเดียวกับที่มาของตารางทุกประการ

4. การเตรียมต้นฉบับแต่ละประเภท

4.1 บทความวิจัย (Research articles) เป็นการนำเสนอผลงานวิจัยที่เสร็จสมบูรณ์แล้วซึ่งผู้เขียนได้ดำเนินการด้วยตนเองมีองค์ประกอบดังนี้

4.1.1 ส่วนประกอบตอนต้น มีองค์ประกอบดังนี้

1) **ชื่อเรื่อง (Title)** ควรสั้นกะทัดรัด ไม่ยาวจนเกินไป ให้เขียนชื่อเรื่องเป็นภาษาไทยก่อนแล้ว ตามด้วยภาษาอังกฤษในบรรทัดถัดไป

2) **ชื่อผู้เขียนบทความ (Authors and co-authors/ Corresponding Author)** ระบุเฉพาะชื่อและนามสกุลเต็มทั้งชื่อภาษาไทยและภาษาอังกฤษ สำหรับภาษาอังกฤษใช้อักษรตัวพิมพ์ใหญ่เฉพาะอักษรตัวแรกของชื่อตัวและนามสกุล ถ้ามีผู้วิจัยหลายคนให้ใช้ตัวเลขยกกำกับ (¹) และใส่เครื่องหมายดอกจัน (*) สำหรับผู้ประสานงานเผยแพร่ (Corresponding Author) ที่อยู่ที่สามารถติดต่อได้ และชื่อหน่วยงานของผู้วิจัยที่ส่วนล่างของหน้าแรกพร้อม E-mail address (กรณีเป็นนักศึกษาให้ระบุระดับการศึกษา สาขาวิชา และสถาบันการศึกษา)

3) **บทคัดย่อ (Abstract)** ให้มีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ พิมพ์คอลัมน์เดียว ความยาวไม่เกินอย่างละ 15 บรรทัด บทคัดย่อที่เขียนควรเป็นแบบ Indicative abstract คือสั้น ตรงประเด็น และให้สาระสำคัญเท่านั้น ไม่ควรเขียนแบบ Informative abstract ตามแบบที่เขียนในวิทยานิพนธ์หรือรายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์ โดยให้ลำดับบทคัดย่อภาษาไทยขึ้นก่อนตามด้วยบทคัดย่อภาษาอังกฤษ

4) **คำสำคัญ (Keywords)** ให้ใช้คำที่ปรากฏอยู่ในเนื้อเรื่องซึ่งเป็นตัวแทนบอกวิธีการวิจัย ประเด็นที่วิจัย ผลการวิจัย การใช้ประโยชน์หรือสถานที่ที่ ทำวิจัย คำสำคัญนี้ให้เขียนทั้งในภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ใส่ไว้ท้ายบทคัดย่อของแต่ละภาษาอย่างละไม่เกิน 5 คำ

4.1.2 **เนื้อหาในบทความวิจัย** สาขา วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี โดยมุ่งเน้นเผยแพร่บทความ วิชาการทางด้านนวัตกรรมเทคโนโลยีอุตสาหกรรม อาทิ เทคโนโลยีอุตสาหกรรม วิศวกรรมศาสตร์ วิทยาศาสตร์ ประยุกต์ อุตสาหกรรมศึกษา เทคนิคและอาชีวศึกษา อุตสาหกรรมศิลป์ สถาปัตยกรรมและการออกแบบ และ

สาขาอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องสัมพันธ์กับเทคโนโลยีอุตสาหกรรม ซึ่งมีองค์ประกอบดังนี้

1) **บทนำ (Introduction)** อธิบายถึงที่มา ความสำคัญของปัญหา และเหตุผลที่นำไปสู่การ ศึกษาวิจัย ให้ข้อมูลทางวิชาการที่มีการตรวจสอบเอกสาร (literature review) โดยระบุถึงแหล่งที่มาของข้อมูล (อ้างอิง) และจุดมุ่งหมายที่เกี่ยวข้อง

2) **วัตถุประสงค์ (Research Objectives)** ระบุความมุ่งหมายที่ผู้วิจัยต้องการค้นหา ข้อเท็จจริงโดยวิธีการวิจัย

3) **ขอบเขตการวิจัย (Research Scopes)** (ถ้ามี) เป็นการขีดวงจำกัดให้แน่นอนว่าจะ ศึกษาพิจารณาในขอบเขตแค่ไหน เช่น ขอบเขตของ ประชากร กลุ่มตัวอย่าง ขอบเขตของตัวแปร ขอบเขต เนื้อหา ขอบเขตของช่วงเวลา (งานวิจัยเชิงทดลอง)

4) **วิธีดำเนินการวิจัย (Research methods)** อธิบายกระบวนการดำเนินการวิจัย โดย บอกรายละเอียดวัสดุ วิธีการศึกษา สิ่งที่น่าสนใจ ศึกษา จำนวน ลักษณะเฉพาะของตัวอย่างที่ศึกษา ตลอดจน เครื่องมือและอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการศึกษา อธิบาย แบบแผนการวิจัย การเลือกตัวอย่าง วิธีการเก็บข้อมูล การวิเคราะห์ข้อมูล และสถิติที่ใช้

5) **ผลการวิจัย (Results)** รายงาน ผลการวิจัยให้ได้ใจความชัดเจนและตรงประเด็นโดยยึด แนวทางตามวัตถุประสงค์เป็นหลักควรอธิบายผลการวิจัย ด้วยคำบรรยายเป็นหลักแต่ถ้ามีตัวเลขหรือตัวแปรมาก ควรนำเสนอเป็นภาพและตาราง แทรกในเนื้อหา พร้อม อธิบายผลการวิจัยให้ได้สาระครบถ้วนอย่างสั้น ๆ

6) **การอภิปรายผลหรือการวิจารณ์ และสรุป (Discussion and conclusion)** เป็นการ ชี้แจงผลการวิจัยว่าตรงกับวัตถุประสงค์/สมมติฐานของ การวิจัย สอดคล้องหรือขัดแย้งกับผลการวิจัยของผู้อื่นที่มีอยู่ก่อนหรือไม่อย่างไร เหตุผลใดจึงเป็นเช่นนั้น และให้ จบด้วยข้อเสนอแนะที่จะนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์

หรือทั้งประเด็นคำถามการวิจัย ซึ่งเป็นแนวทางสำหรับการวิจัยต่อไป

7) กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgements) (ถ้ามี) โดยให้ระบุสั้น ๆ ว่า งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนหรือความช่วยเหลือจากองค์กรใด และบุคคลใดบ้าง

8) เอกสารอ้างอิง (References) ให้ระบุเฉพาะเอกสารที่ผู้เขียนบทความได้นำมาอ้างอิงในบทความวิจัยอย่างครบถ้วน โดยระบุรายละเอียดและใช้รูปแบบการเขียนที่ถูกต้อง และครบถ้วน (ตามข้อ3) จัดเรียงลำดับตามตัวอักษร ถ้าเป็นบทความภาษาไทยนำโดยกลุ่มเอกสารภาษาไทยและตามด้วยกลุ่มเอกสารภาษาอังกฤษ

4.2 บทความทางวิชาการ บทความวิจารณ์ และบทความปริทัศน์ (Review articles) เป็นบทความที่ผู้เขียนได้เรียบเรียงโดยศึกษาค้นคว้าจากเอกสาร งานแปล และผลงานจากประสบการณ์ของผู้เขียนหรือได้รับการถ่ายทอดจากผู้อื่น มีวัตถุประสงค์เพื่อเผยแพร่ความรู้ องค์ความรู้ การเสนอความคิดเห็นที่มีคุณค่าและเป็นประโยชน์ทางวิชาการของสาขาต่าง ๆ

4.2.1 ส่วนประกอบตอนต้น มุ่งองค์ประกอบดังนี้

1) ชื่อเรื่อง (Title) ให้เป็นภาษาไทยก่อนและบรรทัดถัดลงมาเป็นภาษาอังกฤษ โดยภาษาอังกฤษใช้ตัวพิมพ์ใหญ่เฉพาะตัวแรก ยกเว้น Article และ Preposition ใช้ตัวพิมพ์เล็ก ส่วนชื่อวิทยาศาสตร์ (Scientific name) ให้พิมพ์ด้วยตัวเอนไม่ต้องขีดเส้นใต้ กรณีระบุชื่อภาษาไทยหรือชื่อสามัญของสิ่งมีชีวิต(เป็นภาษาอังกฤษ)ให้ใส่ชื่อวิทยาศาสตร์ด้วย

2) ชื่อผู้เขียน (Authors and co-authors) ระบุเฉพาะชื่อและนามสกุลเต็มทั้งชื่อภาษาไทยและภาษาอังกฤษ สำหรับภาษาอังกฤษใช้อักษรตัวพิมพ์ใหญ่เฉพาะอักษรตัวแรกของชื่อตัวและนามสกุล ถ้ามีผู้วิจัยหลายคนให้ใช้ตัวเลขยกกำกับ ⁽¹⁾ พร้อมระบุตำแหน่งทางวิชาการ (ถ้ามี) ที่อยู่ที่สามารถติดต่อได้ และ

ชื่อหน่วยงานของผู้วิจัยที่ส่วนล่างของหน้าแรก พร้อม E-mail address (กรณีเป็นนักศึกษาให้ระบุระดับการศึกษา สาขาวิชาและสถาบันการศึกษา)

3) สารสังเขป (Summary) เป็นการย่อเนื้อความของบทความทั้งเรื่องให้สั้นได้เนื้อหาสาระครบถ้วน

4) คำสำคัญ (Keywords) (ถ้ามี) ให้ใช้คำที่ปรากฏอยู่ในเนื้อเรื่องซึ่งเป็นตัวแทนบอกรหัสการ สิ่ง ที่ศึกษา ผลการศึกษา สาขา การใช้ประโยชน์และสถานที่ คำสำคัญให้เขียนทั้งคำสำคัญภาษาไทย และภาษาอังกฤษ แต่ละชุดไม่เกิน 5 คำ

4.2.2 เนื้อหา (Main texts) ในบทความทางวิชาการมีองค์ประกอบดังนี้

1) บทนำ (Introduction) กล่าวถึงความน่าสนใจของเรื่องที่น่าเสนอก่อนเข้าสู่เนื้อหา

2) เนื้อความ (Content) ควรนำเสนอพัฒนาการของเรื่องได้อย่างน่าสนใจ และเนื้อเรื่องมีเนื้อหาใหม่เหมาะสมกับสภาพปัจจุบัน

3) สรุป (Conclusion) เป็นการย่อเฉพาะข้อมูลจากเนื้อความให้สั้นได้เนื้อหาสาระของเนื้อความครบถ้วน

4) เอกสารอ้างอิง (References) ให้ระบุเฉพาะเอกสารที่ผู้เขียนบทความได้นำมาอ้างอิงในบทความวิชาการอย่างครบถ้วนรูปแบบของการเขียนเอกสารอ้างอิงให้จัดทำตามที่ระบุไว้ในข้อ 2.3 (เอกสารอ้างอิง)

4.3 การอ้างอิง (References)

การอ้างอิงในบทความวิจัยและบทความวิชาการสำหรับวารสารวิชาการนวัตกรรมเทคโนโลยีอุตสาหกรรม สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี กำหนดให้อ้างอิงตามรูปแบบ IEEE (อ้างอิงจาก<https://www.ieee.org/documents/ieeecitationref.pdf> หรือจาก http://www.ieee.org/documents/style_manual.pdf) โดยต้องเขียนอ้างอิงเป็นภาษาอังกฤษเท่านั้น หากบทความที่อ้างอิงมาจากบทความภาษาไทยต้องแปลเป็น

ภาษาอังกฤษให้ถูกต้อง สำหรับการใส่อ้างอิงในเนื้อเรื่อง (In-text citations) ให้ใช้เครื่องหมาย [] โดยมีตัวอย่าง การเขียน เช่น [1] หรือ [2] หรือ [1], [2] หรือ [1], [3]-[8] หรือ [9], [10], [15], [16] หากมีการอ้างอิงซ้ำ บทความเดิมให้ใช้หมายเลขเดิม ในส่วนของการอ้างอิง ส่วนท้าย (Reference list) จะต้องเรียงตามลำดับ บทความที่เขียนอ้างอิงในเนื้อเรื่อง เอกสารอ้างอิงที่เป็น ภาษาไทยให้แปลเป็นภาษาอังกฤษ ให้เพิ่มคำว่า (in Thai) ไว้ตอนท้ายการอ้างอิง

รายละเอียดของเอกสารประกอบด้วย ชื่อผู้เขียน ชื่อ หนังสือหรือชื่อของบทความ ชื่อของเอกสารที่พิมพ์ สำนักหรือสถานที่พิมพ์ ปีที่ (ฉบับที่) พิมพ์ และเลขหน้าที่ อ้างอิง และทุกเรื่องที่ปรากฏในรายการเอกสารอ้างอิง ต้องมีการอ้างอิง ในเนื้อเรื่อง โดยต้องเขียนเป็น ภาษาอังกฤษเท่านั้น

การเขียนชื่อผู้ร่วมแต่งบทความไม่เกิน 3 คน ให้ เขียน เรียงทุกคน และคั่นด้วย จุลภาค (,) คนสุดท้ายให้ เชื่อมด้วย “and” ในกรณีที่ร่วมแต่งบทความเกิน 3 คน ให้เขียนเฉพาะชื่อผู้เขียนคนแรกและตาม ด้วย “and et al.” ตัวอย่างเช่น

[1] Johnson, C. and Timothy F. 2002. “In the Eyes of the State: Negotiating a "Rights-Based Approach" to Forest Conservation in Thailand,” *World Development*. 30(9): 1591-1605.

[2] Martin, J. R. and et al. 1997. *Working with Functional Grammar*. London: Arnold.

รูปแบบการเขียนจากแหล่งอ้างอิงต่าง ๆ (Reference)

1) การอ้างอิงจากบทความในวารสาร (Journal Articles)

รูปแบบ: [1] Author. Year. “Title of Article,” *Title of Journal*, Volume(Issue): Pages.

ตัวอย่าง:

[3] Johnson, C. and Timothy F. 2002. “In the Eyes of the State: Negotiating a "Rights-Based Approach" to Forest Conservation in Thailand,” *World Development*. 30(9): pp. 1591-1605.

[4] Koolkalya, S., Matchakuea, U. and Jutagate, T. 2016. “Catch status and trend analysis of Brachyuran fisheries in the Gulf of Thailand,” *Burapha Science Journal*. 22(1): pp. 240-252. (in Thai)

2) การอ้างอิงจากการนำเสนอผลงานในการประชุมทางวิชาการ (Conference Technical Articles)

รูปแบบ: [1] Author. Year. “Title of paper,” in *Title of Conference*, Conference date, Editor, Ed. Location: Publisher, Country, Pages.

ตัวอย่าง:

[5] Jagacinski, N. and Gongjin, Z. 1990. “Agricultural Sacrifice and Village Culture of Dai People,” In *Proceedings of the 4th International Conference in Thai Studies*, 11-13 May 1990. Kunming, China, pp. 1150-1163.

[6] Ployyod, Y. and Porntrai, S. 2016. “Chromosome simulation: activity for teaching mitotic cell division,” In *Proceedings of the 10th National Research Conference of Ubon Ratchathani University*, 7-8 July 2016. Ubon Ratchathani, Thailand, pp. 279-291. (in Thai) Thesis / Dissertation

3) การอ้างอิงจากหนังสือ (Books)

รูปแบบ: [1] Author. Year. *Title of Book*, Editor, ed. Location: Publisher.

ตัวอย่าง:

- [7] Wyatt, D.K. 1984. *Thailand: A Short History*. New Haven: Yale University Press.
- [8] R. C. Hibbeler. 2013. *Mechanics of Materials*, 9th ed. Boston: Pearson.
- [9] R. M. Burton, B. Obel and G. DeSanctis. 2011. *Organizational Design: A Step-by-Step Approach*, 2nd ed. New York: Cambridge University Press.
- [10] Suvarnaraksha, A. 2013. *Ichthyology*. Chiangmai: Maejo University Press. (in Thai)

4) การอ้างอิงจากบทในหนังสือ (Edited Book Chapter)

รูปแบบ: [1] J. K. Author. Year. "Title of chapter in the book," in *Title of His Published Book*, xth ed. City of Publisher, Country if not USA: Abbrev. of Publisher, ch. x, sec. x, pp. xxx-xxx.

ตัวอย่าง:

- [11] Wambugu, F. 2002. "Why Africa needs agricultural biotech?" In M. Ruse and D. Castle (eds.) *Genetically Modified Foods: Debating Biotechnology*. NY: Prometheus Books, pp. 78-79.
- [12] L. Stein. 1994. "Random patterns," in *Computers and You*, J. S. Brake, Ed. New York: Wiley, pp. 55-70.
- [13] R. L. Myer. 1977. "Parametric oscillators and nonlinear materials," in *Nonlinear Optics*, vol. 4, P. G. Harper and B. S. Wherret, 1st ed. San Francisco, CA: Academic, pp. 47-160.

- [14] G. O. Young. 1964. "Synthetic structure of industrial plastics," in *Plastics*, vol. 3, Polymers of Hexadromicon, J. Peters, Ed., 2nd ed. New York: McGraw-Hill, pp. 15-64.
- [15] Sukosol, T. 1980. "Antigen and antibody," In *Sarasombat S. (ed.) Immunology*, Bangkok, K-T Printing, pp. 125. (in Thai)

5) การอ้างอิงจากวิทยานิพนธ์ (Theses and Dissertations)

รูปแบบ: [1] J. K. Author. year. "Title of dissertation," Ph.D. dissertation, Abbrev. Dept., Abbrev. Univ., City of Univ., Abbrev. State.

[2] J. K. Author. year. "Title of thesis," M.S. thesis, Abbrev. Dept., Abbrev. Univ., City of Univ., Abbrev. State.

ตัวอย่าง:

- [16] J. O. Williams. 1993. "Narrow-band analyzer," Ph.D. dissertation, Dept. Elect. Eng., Harvard Univ., Cambridge, MA.
- [17] N. Kawasaki. 1993. "Parametric study of thermal and chemical nonequilibrium nozzle flow," M.S. thesis, Dept. Electron. Eng., Osaka Univ., Osaka, Japan.
- [18] N. M. Amer. 1995. "The effects of homogeneous magnetic fields on developments of *tribolium confusum*," Ph.D. dissertation, Radiation Lab., Univ. California, USA.
- [19] Sidthilaw, S. 1996. "Impact Force and Kinematic Analysis of Roundhouse Kicks in Thai Boxing," Ph.D. Dissertation,

Department of Biomechanics, Oregon State Univ. Oregon, USA.

- [20] Hanmanop, S. 2010. *"The Therapeutic Effects of White Kwao Krua Pueraria mirifica Airy, Shaw & Suvatabandhu on Ovariectomy-induced Osteoporotic Rats,"* M.Sc. Thesis, Chulalongkorn Univ. Bangkok, Thailand. (in Thai)

6) การอ้างอิงจากรายงานวิจัย/รายงานโครงการ (Research report/Project report)

- รูปแบบ: [1] J. K. Author. year. *"Title of Research report,"* Research report. Location, Publisher.
- [2] [1] J. K. Author. year. *"Title of Research report,"* Project report. Location, Publisher.

ตัวอย่าง:

- [21] Niyom, S. 2021. *"Development of ready-to-drink pomelo juice products. Pasteurization and hot filling to increase the value of Tha Khoi pomelo,"* Research report. Bangkok: Promotion and Coordination Division for Scientific Benefits Research and innovation Office of the Permanent Secretary, Ministry of Higher Education, Science, Research and Innovation. (In Thai)
- [22] Chaengim, R., Saenbudda, W., and Thaoklang, P. 2022. *Community product development and upgrading Product standards Under the strategic plan of Rajabhat University for local development Fiscal year 2022.* Project report. Nakhon Ratchasima, Nakhon Ratchasima Rajabhat University. (In Thai)

7) การอ้างอิงจากเว็บไซต์ (Web site)

- รูปแบบ: [1] J. K. Author. Year. *Title (edition)* [Type of medium]. Available: [http://www.\(URL\)](http://www.(URL)). Accessed day month year.

ตัวอย่าง:

- [23] Buis, A. and Lynch, P. 2016. *NASA Releases New Eye-Popping View of Carbon Dioxide.* [Online]. Available: <https://www.jpl.nasa.gov/news/news.php?format=6701>. Accessed 14 January 2017.
- [24] J. Jones. 1991. *Networks (2nd ed.).* [Online]. Available: <http://www.atm.com>. Accessed 21 June 2016.
- [25] Pantoom, J. 2008. *Food from Corn.* [Online]. Available: <http://www.ku.ac.th/agricorn/corn/corn.html>. Accessed 14 February 2017. (in Thai)

8) การอ้างอิงจากสิทธิบัตร (Patents)

- รูปแบบ: [1] J. K. Author. year. *"Title of patent,"* U.S. Patent x xxx xxx, Abbrev. day month year.

ตัวอย่าง:

- [26] J. P. Wilkinson. 1990. "Nonlinear resonant circuit devices," U.S. Patent 3 624 125, 16 July 1996.

9) การอ้างอิงจากมาตรฐาน (Standards)

- รูปแบบ: [1] *Title of Standard*, Standard number, date.

ตัวอย่าง:

- [27] *IEEE Criteria for Class IE Electric Systems*, IEEE Standard 308, 1969.
- [28] *Letter Symbols for Quantities*, ANSI Standard Y10.5-1968.

10) การอ้างอิงจากคู่มือ (Handbooks)

รูปแบบ: [1] *Name of Manual/Handbook*, x Ed., Abbrev. Name of Co., City of Co., Abbrev. State, year, pp. xx-xx.

ตัวอย่าง:

[29] *Transmission Systems for Communications*, 3rd Ed., Western Electric Co., Winston-Salem, NC, 1985, pp. 44-60.

[30] *Motorola Semiconductor Data Manual*, Motorola Semiconductor Products Inc., Phoenix, AZ, 1989.

[31] *RCA Receiving Tube Manual*, Radio Corp. of America, Electronic Components and Devices, Harrison, NJ, Tech. Ser. RC-23, 1992.

11) การอ้างอิงจากการสัมภาษณ์ (Handbooks)

รูปแบบ: [1] Interviewee name. Year, Date.

Interview. City, Country. Interview.

ตัวอย่าง:

[32] Thongsom, S. 2020, April 21. *Benefits of tourism in Thailand*. Bangkok, Thailand. Bangkok, Thailand. Interview. (In Thai)

5. ข้อเสนอแนะเพิ่มเติม

การเขียนหน่วยต่าง ๆ ควรใช้ระบบ SI และเป็นสากล ถ้าหากต้องการย่อหน่วย ควรใช้ตัวย่อเป็นภาษาอังกฤษที่ถูกต้องและเป็นสากลการใช้ศัพท์วิทยาศาสตร์ให้ยึดคำบัญญัติของราชบัณฑิตยสถาน ชื่อสถานที่ต่าง ๆ ให้ใช้ตามประกาศของสำนักนายกรัฐมนตรี การเขียนคำที่มาจากภาษาต่างประเทศ หากต้องการทับศัพท์เป็นภาษาไทยหรือต้องการแปลเป็นภาษาไทย การแปลหรือเขียนทับศัพท์ครั้งแรกควรใส่คำศัพท์ เดิมไว้ในวงเล็บต่อท้ายคำแปลด้วย ซึ่งถ้าคำศัพท์ใดที่ไม่ใช่ คำศัพท์เฉพาะก็ไม่จำเป็นต้องขึ้นต้นด้วยตัวใหญ่เช่น “การเหนี่ยวนำ (induction)” “เวเบอร์ (weber)” และเมื่อต้องการ ใช้คำแปลเดิมซ้ำอีก ให้ใช้ภาษาไทยโดยไม่ต้องใส่ภาษาอังกฤษกำกับ

จริยธรรมในการตีพิมพ์ผลงานวิจัยในวารสาร (Publication Ethics)

หน้าที่และความรับผิดชอบของผู้เขียนบทความ (Author Ethical Responsibilities)

- บทความที่ส่งให้พิจารณาตีพิมพ์ในวารสารจะต้องเป็นบทความที่ไม่เคยตีพิมพ์ที่ไหนมาก่อนและไม่ส่งต้นฉบับบทความซ้ำซ้อนกับวารสารอื่น
- บทความที่ส่งให้พิจารณาตีพิมพ์จะต้องไม่มีส่วนใดที่เป็นการคัดลอกผลงานวิชาการ ทั้งของตนเองและผู้อื่น และมีการอ้างอิงผลงานอย่างถูกต้องและครบถ้วน
- ผู้เขียนต้องตรวจสอบความถูกต้องของรายการเอกสารอ้างอิง ทั้งในด้านรูปแบบและเนื้อหา
- ผู้เขียนจะต้องเขียนบทความตามรูปแบบและขนาดตัวอักษรตามแบบฟอร์ม (template) ที่วารสารกำหนดไว้
- ผู้เขียนที่มีชื่อปรากฏในบทความทุกคน ต้องเป็นผู้ที่มีส่วนในการดำเนินการบทความจริง
- ผู้เขียนต้องระบุแหล่งทุนที่สนับสนุนในการทำวิจัยนี้ และ/หรือมีผลประโยชน์ทับซ้อนจะต้องระบุในบทความ และแจ้งให้บรรณาธิการทราบ
- ผู้เขียนจะต้องไม่รายงานข้อมูลที่คลาดเคลื่อนจากความเป็นจริง ไม่ว่าจะเป็นการสร้างข้อมูลเท็จ หรือการปลอมแปลง บิดเบือน รวมไปถึงการตกแต่ง หรือ เลือกแสดงข้อมูลเฉพาะที่สอดคล้องกับข้อสรุป
- ผู้เขียนต้องยินยอมโอนลิขสิทธิ์ให้แก่วารสารก่อนการตีพิมพ์ และไม่นำผลงานไปเผยแพร่หรือตีพิมพ์กับแหล่งอื่น ๆ หลังจากที่ได้รับการตีพิมพ์กับวารสารธรรมศาสตร์แล้ว
- กรณีที่ผลงานเป็นการศึกษาวิจัยและทำการทดลองในคนหรือสัตว์ทดลอง โดยการทดลองในคนอาจส่งผลกระทบต่อศักดิ์ศรี สิทธิ ความปลอดภัย และสุขภาพของคน ขอให้แนบหนังสือรับรองจริยธรรมจากคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์หรือสัตว์ทดลอง ทั้งนี้ การอนุมัติให้ลงตีพิมพ์ขึ้นอยู่กับพิจารณาจากกองบรรณาธิการวารสารฯ ถือเป็นขั้นสุดท้าย

หน้าที่และความรับผิดชอบของบรรณาธิการวารสาร (Editor Roles and Responsibility)

- บรรณาธิการมีหน้าที่พิจารณาและตรวจสอบบทความที่ส่งเข้ารับการพิจารณาตีพิมพ์เผยแพร่ในวารสารของตนเอง โดยพิจารณาเนื้อหาบทความที่สอดคล้องกับเป้าหมายและขอบเขตของวารสาร รวมถึงการตรวจสอบคุณภาพบทความในกระบวนการประเมินและคุณภาพบทความก่อนการตีพิมพ์
- บรรณาธิการมีหน้าที่ตรวจสอบบทความในด้านความซ้ำซ้อนหรือในด้านการคัดลอกผู้อื่น (Plagiarism) โดยใช้โปรแกรมตรวจสอบความซ้ำซ้อน หากตรวจสอบพบความซ้ำซ้อนหรือการคัดลอกผลงานของผู้อื่นในกระบวนการประเมินบทความ บรรณาธิการต้องหยุดกระบวนการประเมิน และติดต่อผู้พิมพ์หลักทันทีเพื่อขอคำชี้แจง เพื่อประกอบการ “ตอบรับ” หรือ “ปฏิเสธ” การตีพิมพ์บทความนั้น
- บรรณาธิการต้องไม่เปิดเผยข้อมูลของผู้เขียน และผู้ประเมินบทความแก่ผู้ที่ไม่เกี่ยวข้องในระยะเวลาของการประเมินคุณภาพผลงานวิชาการ และจนกว่าบทความได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่
- บรรณาธิการมีหน้าที่พิจารณาตีพิมพ์เผยแพร่ผลงานวิจัยที่มีระเบียบวิธีวิจัยที่ถูกต้อง ใช้เหตุผลทางวิชาการในการพิจารณาบทความทุกครั้งโดยปราศจากอคติที่มีต่อบทความและผู้พิมพ์ในด้านเชื้อชาติ เพศ ศาสนา วัฒนธรรม การเมือง และสังกัดของผู้พิมพ์

- บรรณาธิการต้องไม่มีส่วนได้ส่วนเสียกับผู้พิมพ์หรือผู้ทรงคุณวุฒิ ไม่นำบทความหรือวารสารไปใช้ประโยชน์ในเชิงธุรกิจหรือนำไปเป็นผลงานทางวิชาการของตนเอง
- บรรณาธิการต้องไม่แก้ไขหรือเปลี่ยนแปลงเนื้อหาบทความและผลประโยชน์ของผู้ทรงคุณวุฒิ รวมถึงไม่ปิดกั้นหรือแทรกแซงข้อมูลที่ใช้แลกเปลี่ยนระหว่างผู้ทรงคุณวุฒิและผู้พิมพ์
- บรรณาธิการต้องไม่ตีพิมพ์บทความที่เคยตีพิมพ์ในวารสารอื่นมาแล้ว

หน้าที่และความรับผิดชอบของผู้ประเมินบทความ (Reviewer Roles and Responsibilities)

- ผู้ประเมินบทความต้องไม่เปิดเผยข้อมูลของบทความที่พิจารณาแก่บุคคลอื่นๆ ที่ไม่เกี่ยวข้องในช่วงระยะเวลาของการประเมินบทความ และจนกว่าบทความจะได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่
- หากผู้ประเมินบทความมีผลประโยชน์ทับซ้อนกับผู้เขียนผู้ประเมินบทความจะต้องแจ้งให้บรรณาธิการวารสารทราบและปฏิเสธการประเมินบทความนั้น
- ผู้ประเมินบทความควรรับประเมินบทความเฉพาะสาขาวิชาที่ตนมีความเชี่ยวชาญ และหากมีส่วนใดของบทความที่มีความเหมือนกัน หรือซ้ำซ้อนกับผลงานชิ้นอื่นๆ ผู้ประเมินบทความต้องแจ้งให้บรรณาธิการทราบ
- ต้องรักษาระยะเวลาประเมินตามกรอบเวลาประเมินที่กำหนด รวมถึงไม่เปิดเผยข้อมูลของบทความให้ผู้ที่ไม่มีส่วนเกี่ยวข้องได้รับรู้
- ผู้ประเมินบทความควรประเมินด้วยความซื่อตรง ปราศจากอคติ และไม่มีเจตนาอื่นแอบแฝง

แบบฟอร์มการส่งต้นฉบับ

1. ชื่อบทความ

(ภาษาไทย).....

(ภาษาอังกฤษ).....

2. ประเภทบทความ

☐ บทความวิจัย ☐ บทความวิชาการ ☐ บทความวิจารณ์ ☐ บทความปริทรรศน์

3. ผู้เขียนบทความ หรือผู้แทนส่งบทความ

ชื่อ – สกุล (นาย/นาง/นางสาว/ตำแหน่งทางวิชาการ(ถ้ามี)/อื่น ๆ)

.....

4. สถานที่ติดต่อของเจ้าของบทความหรือผู้ส่งแทนบทความ

ที่อยู่.....

โทรศัพท์.....โทรสาร.....อีเมล.....

5. รายชื่อและที่อยู่ของผู้ร่วมบทความ (สามารถเพิ่มรายชื่อได้ในเอกสารแนบเพิ่มเติม)

ชื่อ-สกุล (ภาษาไทย-ตัวบรรจง)	ชื่อ-สกุล (ภาษาอังกฤษ-ตัวบรรจง)	หน่วยงาน	โทรศัพท์	E-mail

6. เสนอรายชื่อผู้ประเมิน

1. โทรศัพท์ E-mail

2. โทรศัพท์ E-mail

3. โทรศัพท์ E-mail

7. สิ่งที่มาด้วย (ประกอบด้วยไฟล์ Microsoft Word และ PDF)

☐ ส่งต้นฉบับ ทางเว็บไซต์ <https://ph03.tci-thaijo.org/index.php/AJITI>☐ ส่งต้นฉบับ ทางอีเมล technstru.editorjournal@gmail.com☐ ส่งต้นฉบับ ด้วยตนเองหรือทางไปรษณีย์ พร้อมแผ่นซีดีบันทึกข้อมูลต้นฉบับ

“ข้าพเจ้าขอรับรองว่าข้อความดังกล่าวข้างต้นเป็นจริงทุกประการ และบทความที่เสนอนี้ไม่เคยตีพิมพ์เผยแพร่มาก่อน ไม่อยู่ระหว่างการเสนอขอตีพิมพ์ในวารสารอื่น ข้าพเจ้ายอมรับและยินดีปฏิบัติตามหลักเกณฑ์การพิจารณาต้นฉบับ และยินยอมให้กองบรรณาธิการตรวจแก้ต้นฉบับได้ตามสมควร”

ลงชื่อ.....เจ้าของบทความหรือผู้แทนส่งบทความ

(.....)

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

Manuscript Submission Form

1. Article title

(Thai).....

(English).....

2. Article type

☐ Research Article ☐ Academic Article ☐ Review Article ☐ Periscope Article

3. Corresponding Author Name (Mr./Mrs./Miss/Academic Position (if any)/Other)

.....

4. Affiliation.....

Tel.....Fax.....E-mail.....

5. List of co-author(s) and address

Name	Affiliation	Telephone	E-mail

6. Suggested reviews (Author must suggest the reviewer at least three people in the field of research presented in manuscript including name, organization, contact address and e-mail)

1. Tel. E-mail

2. Tel. E-mail

3. Tel. E-mail

7. Together with this form, I (we) have been attached other documents included Microsoft Word and PDF files:

☐ Manuscript submission by system online at <https://ph03.tci-thaijo.org/index.php/AJITI>☐ Manuscript submission by e-mail at technstru.editorjournal@gmail.com☐ Manuscript submission by self or post-mail with original data CD

"I hereby certify that the above statements are true in all respects, this proposed article has never been published before, and not in the process of submitting a request for publication in another journal. I accept and agree to comply with the original review criteria. and allow the editorial team to edit the manuscript as appropriate."

Signature..... Corresponding author

(.....)

Date.....Month.....Year.....

รายนามผู้ทรงคุณวุฒิตรวจและพิจารณาบทความวารสารวิชาการนวัตกรรมเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
ฉบับปีที่ 2 เล่มที่ 2 (พฤษภาคม – สิงหาคม 2567)

- | | |
|--|---------------------------------------|
| 1. รองศาสตราจารย์ ดร.สันติรัฐ นันสะอาง | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี |
| 2. รองศาสตราจารย์ ดร.วีระชัย แสงฉาย | มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา |
| 3. รองศาสตราจารย์ ดร.สิทธิชัย แก้วเกื้อกุล | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี |
| 4. รองศาสตราจารย์ ดร.อัศครันท์ พูลกระจ่าง | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี |
| 5. รองศาสตราจารย์ ดร.พงศ์เทพ วีระพงศ์ | มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช |
| 6. รองศาสตราจารย์ ดร.สุชาติ จันทรมณีย์ | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย |
| 7. รองศาสตราจารย์ ดร.จรัญ เจริญเนตรกุล | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย |
| 8. รองศาสตราจารย์ ดร.ภาณุ พร้อมพุดธางกูร | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย |
| 9. รองศาสตราจารย์ ดร.สราวุธ จิตตงาม | มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ |

รายนามผู้ทรงคุณวุฒิตรวจและพิจารณาภาษาอังกฤษวารสารวิชาการนวัตกรรมเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
ฉบับปีที่ 2 เล่มที่ 2 (พฤษภาคม – สิงหาคม 2567)

- | | |
|----------------------------|--------------------------------|
| 1. ดร.ธานี จินตสุพธิศักดิ์ | มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช |
| 2. ดร.ไยฟ้า ตระกูลสันติ | มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช |



แบบประเมินคุณภาพตามความคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิสำหรับการตีพิมพ์บทความวิจัย/บทความวิชาการ
วารสารนวัตกรรมอุตสาหกรรมและเทคโนโลยี หลักสูตรปรัชญาดุษฎีบัณฑิตและคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช

เรื่อง

หัวข้อ	รายละเอียดการแก้ไขบทความวิจัย/บทความวิชาการ		
	ข้อเสนอแนะ	คำชี้แจง/การแก้ไข	หมายเหตุ
1. ชื่อเรื่อง			
2. บทคัดย่อ			
3. บทนำ			
4. วิธีการวิจัย			
5. ผลการวิจัย			
6. อภิปรายผลและ สรุปผลการวิจัย			
7. ข้อค้นพบและ ข้อเสนอแนะ			
8. เอกสารอ้างอิง			

(ลงนาม).....

(.....)

ผู้ประเมิน



แบบสรุปผลการประเมินบทความเพื่อตีพิมพ์

ในวารสารนวัตกรรมอุตสาหกรรมและเทคโนโลยี หลักสูตรปรัชญาดุษฎีบัณฑิตและคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช

เรื่อง.....

1. ประเภทของบทความ ☐ บทความวิจัย ☐ บทความวิชาการ ☐ บทความวิจารณ์ และบทความปริทัศน์
2. ความคิดเห็นของผู้ประเมิน
- ☐ รับผิดชอบตามรูปแบบที่เสนอมาโดยไม่ต้องแก้ไข
- ☐ รับผิดชอบตามรูปแบบที่เสนอมาโดยปรับปรุงและแก้ไขตามคำแนะนำของผู้ทรงคุณวุฒิและไม่ต้องประเมินใหม่
- ☐ รับผิดชอบตามรูปแบบที่เสนอมาโดยปรับปรุงและแก้ไขตามคำแนะนำของผู้ทรงคุณวุฒิและต้องประเมินใหม่
- ☐ ไม่รับผิดชอบ

- ### 3. คำวิพากษ์และข้อเสนอแนะ

[illegible]

4. ระดับคุณภาพของบทความ (โปรดเลือกเพียงข้อเดียว)

☐ ปรับปรุง ☐ พอใช้ ☐ ดี ☐ ดีมาก ☐ ดีเด่น

(ลงนาม)

(.....)

ผู้ประเมิน



หลักสูตรปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเทคโนโลยีอุตสาหกรรม และคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช

พิมพ์ที่ สำนักงานหลักสูตรปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏ
นครศรีธรรมราช 1812 อาคาร 18
เลขที่ 1 หมู่ที่ 4 ตำบลท่าจี่ว อำเภอเมืองนครศรีธรรมราช จังหวัดนครศรีธรรมราช 80280
โทรศัพท์: 080-532-0512 e-mail: technstru.editorjournal@gmail.com