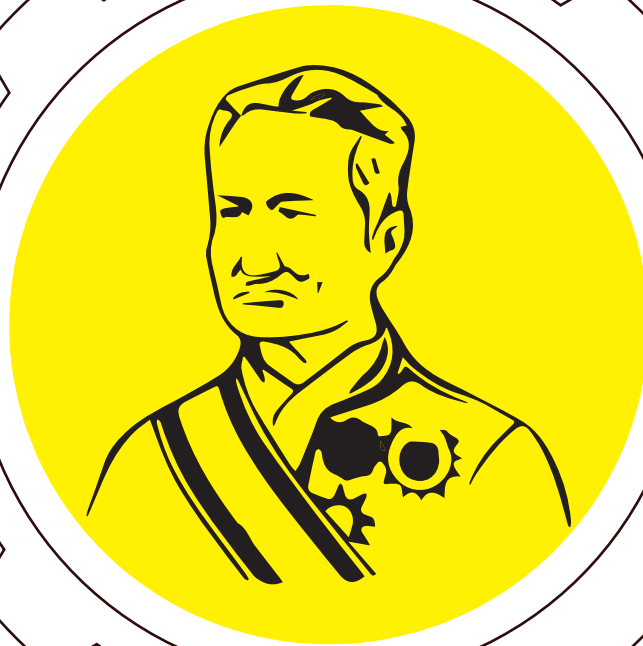




ปีที่ 3 ฉบับที่ 2

วารสารวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรมบ้านสมเด็จ
Journal of Bansomdej Engineering and Industrial Technology



เดือนกรกฎาคม - ธันวาคม 2565
Vol. 3 No. 2 July - December 2022
ISSN: 2730-2504

วารสารวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรมบ้านสมเด็จ
Journal of Bansomdej Engineering and Industrial
Technology

ปีที่ 3 ฉบับที่ 2 (กรกฎาคม – ธันวาคม 2565)

Vol. 3 No. 2 (July – December 2022)

วารสารวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรมบ้านสมเด็จ

Journal of Bansomdej Engineering and Industrial Technology

ปีที่ 3 ฉบับที่ 2 กรกฎาคม - ธันวาคม 2565 (ราย 6 เดือน)

ISSN: 2730-2504

วัตถุประสงค์

1. เพื่อเป็นแหล่งรวบรวมผลงานทางด้านบทความวิจัยและบทความวิชาการทางด้านวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรมที่น่าสนใจ และยกระดับวารสารให้เข้าสู่ฐานข้อมูล (TCI)
2. เพื่อเป็นสื่อในการนำเสนอสำหรับใช้อ้างอิงและแลกเปลี่ยนความคิดเห็นทางวิชาการด้านวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม ซึ่งเป็นการเสริมสร้างศักยภาพในเชิงวิชาการ อันจะเป็นประโยชน์แก่คณาจารย์ นักศึกษาและบุคคลผู้ให้ความสนใจ

เป้าหมายและขอบเขตของวารสาร

วารสารวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรมบ้านสมเด็จ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา มีขอบเขตผลงานทางวิชาการและงานวิจัยทางด้านเทคโนโลยีอุตสาหกรรม โลจิสติกส์ การจัดการอุตสาหกรรมและเทคโนโลยี การจัดการวิศวกรรมการผลิตและโลจิสติกส์ วิศวกรรมทุกศาสตร์ที่เกี่ยวข้อง เช่น วิศวกรรมพลังงาน วิศวกรรมอุตสาหกรรม วิศวกรรมไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ วิศวกรรมพอลิเมอร์และวัสดุ วิศวกรรมเคมี วิศวกรรมเครื่องกล วิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อม วิศวกรรมคอมพิวเตอร์และสารสนเทศและวิศวกรรมสาขาอื่นที่เกี่ยวข้อง ออกแบบผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม วิศวกรรมและเทคโนโลยีอุตสาหกรรมอาหาร พัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

ที่ปรึกษา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ลินดา เกณฑ์มา

อธิการบดี

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เผด็จ กำคำ

รองอธิการบดี

บรรณาธิการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. กฤติธฤต ทองสิน

คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จ
เจ้าพระยา

กองบรรณาธิการ

รองศาสตราจารย์ ดร. สมบัติ ทิมทรัพย์

ข้าราชการบำนาญ

รองศาสตราจารย์ ดร. วิชัย แหวนเพชร

ข้าราชการบำนาญ

รองศาสตราจารย์ ดร. ยุทธชัย บรรเทึงจิตร

มหาวิทยาลัยสยาม

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. กชศร หัสโรค์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล
รัตนโกสินทร์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วรกมล บุญโยธิน

มหาวิทยาลัยมหิดล

รองศาสตราจารย์ ดร. สุรียา พันธโกศล

มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จ
เจ้าพระยา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ปิยะ รนต์ละออง

มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จ
เจ้าพระยา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ จุฬาลักษณ์ จารุจุฑารัตน์

มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จ
เจ้าพระยา

คณะกรรมการประเมินบทความ

รองศาสตราจารย์ ดร. เกรียงศักดิ์ เขียวมั่ง

มหาวิทยาลัยบูรพา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุนทร สิทธิเจริญกุล

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี

พระจอมเกล้าพระนครเหนือ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ณรงค์ฤทธิ์ สนใจธรรม

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี

พระจอมเกล้าพระนครเหนือ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นิธิศ ปุณธนกรภัทร์

มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จ
เจ้าพระยา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ปิยะ รนต์ละออง

มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จ
เจ้าพระยา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นพนันต์ เมืองเหนือ	มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จ เจ้าพระยา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นพณัช พวงมาลี	มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จ เจ้าพระยา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ปัญญา สำราญพันธ์	มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จ เจ้าพระยา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชัยวัฒน์ สุวรรณอ่อน	มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จ เจ้าพระยา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภณวิสิษฐ์ นาถรังสรรค์	มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จ เจ้าพระยา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วทีญญ มีศรีสุข	มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เจนศักดิ์ เอกบุรณะวัฒน์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล รัตนโกสินทร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ วชิรศักดิ์ เขียนวงศ์	มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จ เจ้าพระยา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ เทอดศักดิ์ สายสุทธิ	มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ พูลพงษ์ พงษ์วิทย์ภานุ	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ จักฤษณ์ พนาลี	มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จ เจ้าพระยา
อาจารย์ ดร. โสภิตา ท่วมมี	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี พระจอมเกล้าพระนครเหนือ
อาจารย์ ดร. จุติพร อินทะนิน	มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี
อาจารย์ ดร. ธวัช ชูชิต	มหาวิทยาลัยทักษิณ

ออกแบบปก

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ราชนิรันดร์ ดวงชัย สาขาวิชาออกแบบผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา

กำหนดการเผยแพร่

ปีละ 2 ฉบับ คือ ฉบับที่ 1 (เดือนมกราคม – มิถุนายน) และ
ฉบับที่ 2 (เดือนกรกฎาคม – ธันวาคม) ของทุกปี

เจ้าของวารสาร

คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จ
เจ้าพระยา

ครั้งที่พิมพ์/ จำนวน 100 เล่ม จำนวน 128 หน้า

จัดพิมพ์โดย

คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา ชั้น M
1061 ซอยอิสรภาพ 15 ถนนอิสรภาพ แขวงทรีอูรูจี้ เขตธนบุรี กรุงเทพฯ 10600
โทร. 02-473-7000 ต่อ 5650-5655 เว็บไซต์: <http://eit.bsru.ac.th>
จดหมายอิเล็กทรอนิกส์: journal.en@bsru.ac.th

พิมพ์ที่

ห้างหุ้นส่วนจำกัดวารานนท์ เอ็นเตอร์ไพรส์
เลขที่ 6,8 ซอยสะแกงาม 13 สะแกงาม ตำบลเสม็ด อำเภอบางขุนเทียน
จังหวัดกรุงเทพมหานคร 10150 โทรศัพท์: 02-894-9050-3
จดหมายอิเล็กทรอนิกส์: k_varanon@hotmail.com

ราคาเล่มละ 130 บาท

วารสารวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรมบ้านสมเด็จ
คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา

ทุกบทความได้รับการพิจารณาจากคณะกรรมการกลั่นกรองบทความ (Peer review)
อย่างน้อย 3 ท่าน ก่อนลงตีพิมพ์ในวารสารวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
บ้านสมเด็จ มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา

ประเภทของการประเมินวารสารวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
บ้านสมเด็จ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้าน
สมเด็จเจ้าพระยา มีรูปแบบการประเมินโดยที่ผู้วิจัยจะไม่ทราบถึงข้อมูลคณะกรรมการ
กลั่นกรองบทความ (Peer review) และคณะกรรมการกลั่นกรองบทความจะไม่ทราบข้อมูล
ผู้วิจัยที่ส่งบทความได้ (Double blind peer review)

บทความหรือข้อคิดเห็นใดๆ ในวารสารวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรมบ้าน
สมเด็จ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จ
เจ้าพระยา เป็นวรรณกรรมของผู้เขียนโดยเฉพาะ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี
อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา และกองบรรณาธิการไม่จำเป็นต้องเห็น
ด้วย

กองบรรณาธิการไม่สงวนสิทธิ์ในการคัดลอกบทความเพื่อการศึกษาแต่ให้อ้างอิงแหล่งที่มา
ให้ครบถ้วนสมบูรณ์

บทบรรณาธิการ

วารสารวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรมบ้านสมเด็จ ฉบับนี้เป็นปีที่ 3 ฉบับที่ 2 (กรกฎาคม- ธันวาคม 2565) ของคณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา จัดทำขึ้นเพื่อเผยแพร่ผลงานทางวิชาการ บทความวิจัยและบทความวิชาการทางด้านวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม และยกระดับวารสารให้เข้าสู่ฐาน TCI และเป็นที่ยอมรับตามมาตรฐานวารสารวิชาการระดับชาติ ในวารสารฉบับนี้ประกอบด้วยบทความวิจัย 7 บทความ อันได้แก่ การออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์จากทุนชุมชนสู่ตลาดสากล กรณีศึกษา กลุ่มสตรีสหกรณ์ทอผ้าไหมมัดหมี่บ้านฝักหนอก จังหวัดมหาสารคาม, ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการให้บริการจุดผ่านแดนสะเดา จังหวัดสงขลา, การสังเคราะห์ซิลิกาจากเถ้าชีวมวลเพื่อใช้เป็นสารผสมเพิ่มสำหรับมอร์ตาร์และคอนกรีต, การผลิตน้ำมันชีวภาพจากไม้ไผ่โดยผ่านกระบวนการไพโรไลซิสแบบเร็วในเครื่องปฏิกรณ์แบบตกอิสระ, การศึกษาความเร็วของยานพาหนะที่ขับขี่ในพื้นที่กำหนดความเร็วเส้นทางศึกษา ถนนราชดำเนิน จังหวัดนครศรีธรรมราช, การออกแบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กที่เหมาะสมที่สุด และอินเวอร์เตอร์ 1 เฟสสองทิศทางแบบเชื่อมกริดที่ควบคุมกระแสด้วยฮิสเตอร์ซิสแบบดับเบิลแบนด์ เนื้อหาของบทความดังที่กล่าวมานี้ได้มาจากการเรียบเรียงผลการวิจัย นวัตกรรมใหม่และสามารถนำไปใช้ประโยชน์ต่อสังคมวิชาการได้ สำหรับวารสารฉบับต่อไป คือ วารสารปีที่ 4 ฉบับที่ 1 (มกราคม – มิถุนายน 2566) ได้เปิดรับบทความเพื่อการตีพิมพ์วารสารและยังมีพื้นที่ให้ผู้สนใจ คือ คณาจารย์ นักวิชาการและตลอดจนนักวิจัยสามารถส่งผลงานให้พิจารณาในรูปแบบบทความวิจัยหรือบทความวิชาการทางด้านวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม รวมทั้งศาสตร์ด้านการพัฒนาและอุตสาหกรรมวารสารยินดีเป็นสื่อกลางสำหรับการเผยแพร่ผลงาน โดยบทความจะได้รับการประเมินคุณภาพจากกองบรรณาธิการและพิจารณากลั่นกรอง (Peer review) โดยผู้ทรงคุณวุฒิตามสาขาที่เกี่ยวข้อง

ในนามของกองบรรณาธิการวารสารวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรมบ้านสมเด็จ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา ขอขอบคุณผู้เขียนบทความทุกท่านที่ส่งผลงานวิจัยและผลงานทางวิชาการเพื่อเผยแพร่ในวารสารฯ ฉบับนี้ อันจะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อวงการวิชาการ กองบรรณาธิการยินดีรับพิจารณาบทความและรับฟังความคิดเห็นอันจะเป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาและ

ปรับปรุงให้ดียิ่งๆ ขึ้นในโอกาสต่อไป ทางกองบรรณาธิการหวังเป็นอย่างยิ่งว่าวารสารฯ ฉบับนี้
จะเป็นประโยชน์สำหรับผู้สนใจทุกท่าน



ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. กฤติธฤต ทองสิน
บรรณาธิการ

จริยธรรมในการตีพิมพ์ผลงานวิจัย (Publication Ethics)
วารสารวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรมบ้านสมเด็จ
คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา

วารสารวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรมบ้านสมเด็จ เป็นวารสารที่มีวัตถุประสงค์หลักในการเผยแพร่องค์ความรู้ของบทความวิจัยและบทความวิชาการทางด้านวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม นอกจากนี้ยังเป็นสื่อกลางในการติดต่อสื่อสารงานวิชาการ งานวิจัย ข้อค้นพบใหม่ๆ ระหว่างนักวิจัยและคณาจารย์ นักศึกษาและบุคคลผู้สนใจโดยทั่วไป ดังนั้นเพื่อให้การสื่อสารของวารสารเป็นไปอย่างถูกต้อง มีคุณภาพและสอดคล้องกับมาตรฐานการตีพิมพ์วารสาร จึงกำหนดวิธีปฏิบัติหรือแนวดำเนินการที่เกี่ยวข้องกับ Publication Ethics รวมทั้งบทบาทหน้าที่สำหรับ ผู้นิพนธ์ (Author) บรรณาธิการวารสาร (Editor) และผู้ประเมินบทความ (Reviewer) ไว้เพื่อประโยชน์ต่อผู้ที่เกี่ยวข้องและเพื่อแจ้งให้ผู้เกี่ยวข้องได้ทราบทั่วกัน ดังนี้

บทบาทและหน้าที่ของผู้นิพนธ์ (Duties of Authors)

1. ผู้นิพนธ์ต้องทำการตรวจสอบและรับรองว่าผลงานที่ส่งมาเพื่อตีพิมพ์ในวารสารนั้นเป็นผลงานที่ไม่เคยตีพิมพ์ที่ใดมาก่อนหรือมีการส่งไปตีพิมพ์ที่อื่นในเวลาเดียวกัน
2. ผู้นิพนธ์ต้องนำเสนอข้อเท็จจริงที่เกิดขึ้นจากการทำวิจัยโดยไม่บิดเบือนข้อมูลหรือให้ข้อมูลที่เป็นเท็จ หรือตกแต่ง ปิดบังข้อมูลในการศึกษาวิจัย
3. ผู้นิพนธ์ต้องรับรองว่าผลงานที่นำมาตีพิมพ์ในวารสารนั้น ไม่มีการคัดลอกผลงานที่เป็นของผู้อื่นหรือผลงานของตนเองที่เคยเสนอไว้ก่อนหน้า หากมีการนำผลงานอื่นมาใช้ต้องทำการอ้างอิงอย่างถูกต้อง
4. ผู้นิพนธ์ต้องตรวจสอบ รูปภาพ ตาราง กราฟ ตลอดจนข้อมูลตัวเลขต่าง ๆ ที่ปรากฏในบทความ ให้ถูกต้อง โดยให้แสดงที่มาอย่างชัดเจนและให้มีการอ้างอิงอย่างถูกต้อง
5. ผู้นิพนธ์ต้องจัดเตรียมต้นฉบับบทความให้ถูกต้องตามรูปแบบของวารสารที่กำหนดไว้
6. ผู้นิพนธ์ที่มีชื่อปรากฏในบทความทุกคน ต้องเป็นผู้ที่มีส่วนในการดำเนินการวิจัยหรือมีส่วนร่วมในการศึกษาค้นคว้าเพื่อจัดทำบทความอย่างแท้จริง

7. ผู้นิพนธ์ต้องตระหนักถึงความสำคัญในการปรับแก้ไขบทความตามข้อเสนอแนะของผู้ประเมิน และกองบรรณาธิการ และปรับแก้ไขบทความภายในระยะเวลาที่กองบรรณาธิการกำหนด

8. ผู้นิพนธ์ต้องระบุแหล่งทุนที่ให้การสนับสนุนการวิจัย (ถ้ามี)

9. ผู้นิพนธ์ต้องระบุผลประโยชน์ทับซ้อน (หากมี)

บทบาทและหน้าที่ของบรรณาธิการ (Duties of Editors)

1. บรรณาธิการวารสารมีหน้าที่ในการพิจารณาบทความที่มีคุณภาพ สอดคล้องกับวัตถุประสงค์และขอบเขตของวารสาร

2. บรรณาธิการต้องไม่เปิดเผยข้อมูลของผู้นิพนธ์ และผู้ประเมินบทความ แก่บุคคลอื่นๆ ที่ไม่เกี่ยวข้องในช่วงระยะเวลาของการประเมินบทความ

3. บรรณาธิการต้องคัดเลือกบทความมาตีพิมพ์หลังจากผ่านกระบวนการประเมินบทความแล้ว โดยยึดความสอดคล้องของเนื้อหากับนโยบายของวารสารเป็นสำคัญ

4. บรรณาธิการต้องพิจารณาคัดเลือกบทความที่มีการดำเนินการที่ถูกต้อง และมีการนำเสนอผลข้อมูล หรือการวิจัยที่ถูกต้อง

5. หากบรรณาธิการตรวจสอบพบการคัดลอกผลงาน บรรณาธิการต้องหยุดกระบวนการประเมิน และติดต่อผู้นิพนธ์หลักทันทีเพื่อขอคำชี้แจง เพื่อประกอบการ “ตอบรับ” หรือ “ปฏิเสธ” การตีพิมพ์บทความความนั้น ๆ

6. บรรณาธิการต้องไม่มีผลประโยชน์ทับซ้อนกับผู้นิพนธ์ หรือผู้ประเมิน

บทบาทหน้าที่ของผู้ประเมินบทความ (Duties of Reviewers)

1. ผู้ประเมินบทความต้องดำเนินการให้เป็นไปตามกระบวนการ Double blind peer review

2. ผู้ประเมินบทความ ต้องไม่เปิดเผยข้อมูลของบทความที่ส่งมาเพื่อพิจารณาแก่บุคคลอื่น ๆ ที่ไม่เกี่ยวข้อง ในช่วงระยะเวลาของการประเมินบทความ

3. ผู้ประเมินมีความสงสัยหรือไม่แน่ใจว่า ตัวเองอาจมีผลประโยชน์ทับซ้อนกับผู้นิพนธ์ที่ทำให้ไม่สามารถให้ข้อคิดเห็นและข้อเสนอแนะอิสระได้อย่างอิสระไม่ว่ากรณีใด ๆ ผู้ประเมินควรแจ้งให้บรรณาธิการวารสารทราบและปฏิเสธการประเมินบทความนั้น ๆ

4. ผู้ประเมินบทความต้องไม่นำส่วนหนึ่งส่วนใดของบทความที่ประเมินไปใช้เพื่อประโยชน์ของตนเอง โดยไม่ได้รับอนุญาตจากผู้พิมพ์บทความ

5. ผู้ประเมินบทความ ต้องประเมินบทความในสาขาวิชาที่ตนเองมีความเชี่ยวชาญ โดยพิจารณาความสำคัญของเนื้อหาในบทความที่มีต่อสาขาวิชานั้นๆ คุณภาพของการวิเคราะห์ ไม่ควรใช้ความคิดเห็นส่วนตัวที่ไม่มีข้อมูลรองรับมาเป็นเกณฑ์ในการตัดสินบทความวิจัย

6. หากผู้ประเมินบทความพบมีส่วนใดของบทความ ที่มีความเหมือน หรือซ้ำซ้อนกับผลงานอื่น ๆ ผู้ประเมินบทความต้องแจ้งให้บรรณาธิการทราบด้วย

7. ผู้ประเมินควรตระหนักถึงระยะเวลาการตรวจอ่านบทความตามที่กองบรรณาธิการกำหนด หากมีเหตุที่ผู้ประเมินไม่สามารถทำการตรวจอ่านบทความได้ตามกำหนด ควรแจ้งให้กองบรรณาธิการทราบเพื่อให้สามารถจัดส่งบทความไปให้ผู้ประเมินอื่นได้

สารบัญ

	หน้า
การออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์จากทุนชุมชนสู่ตลาดสากล กรณีศึกษา กลุ่มสตรีสหกรณ์ทอผ้าไหมมัดหมี่บ้านผักหนอก จังหวัดมหาสารคาม Design and Development Product from Cultural Capital to International Market, A case study of Ban Phak Nok Mudmee Weaving Cooperative Women's Group, Maha Sarakham Province วุฒิพงษ์ โรจน์เขมศรี, อภิเชษฐ์ ตีคลี และสายฝน จำปาทอง	14
ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการให้บริการจุดผ่านแดนสะเดา จังหวัดสงขลา Influencing Service at the Sadao Border Crossing with in Province the Songkhla ประจักษ์ พรหมงาม, โชติมา โชติกเสถียร, ปัญญา สำนราญพันธ์, เสาวลักษณ์ นฤมนต์, ญัฐยา อีระกุลพิศุทธิ์ และสิทธิโชค คงพนัส	31
การสังเคราะห์ซิลิกาจากเถ้าชีวมวลเพื่อใช้เป็นสารผสมเพิ่ม สำหรับมอร์ตาร์และคอนกรีต The Synthesis of Silica from Biomass Ash for the Use as an Admixture for Mortar and Concrete ชรินทร์ นมรักษ์, สหรัฐ สมประชา, สันติภาพ ชากักดี และจตุรงค์ จุลเดช	47
การผลิตน้ำมันชีวภาพจากไม้ไผ่โดยผ่านกระบวนการไพโรไลซิสแบบเร็วใน เครื่องปฏิกรณ์แบบตกอิสระ Production of Bio-oil from Bamboo via Fast Pyrolysis Process in Free Fall Reactor อติกา จันทนปทุม, ชญานนท์ แสงมณี, กมลรัตน์ ตีสภา, ชยานนท์ ฮมแสน และสุนทร สุทธิบาท	63

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
การศึกษาความเร็วของยานพาหนะที่ขับขี่ในพื้นที่กำหนดความเร็ว เส้นทางศึกษา ถนนราชดำเนิน จังหวัดนครศรีธรรมราช A Study of Operating Speed Limits for Vehicles Driving on Ratchadamnoen Road Nakhon Si Thammarat วีรพล ปานศรีนวล, อนุรักษ์ ตรีเพชร และปิติ จันทร์ไทย	79
การออกแบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กที่เหมาะสมที่สุดด้วยวิธี Golden Section Search Design Optimization of Reinforced Concrete Slabs by Using Golden Section Search อนันต์ นิ่มทวัฒน์ และอรรถสิทธิ์ ชื่นใจ	93
อินเวอร์เตอร์ 1 เฟส สองทิศทางแบบเชื่อมกริดที่ควบคุมกระแส ด้วยฮิสเตอร์ซิสแบบดับเบิลแบนด์ Single-Phase Grid Connected Bidirectional Inverter with Double-band Hysteresis Current Control ตะวัน ลาเสือ, ธาดา ชวนาพิทักษ์, โกศล ชัยเจริญอุดมรุ่ง หัตถุระ สภาวะจันทร์ และพีรวัจน์ มีสุข	104

การออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์จากทุนชุมชนสู่ตลาดสากล กรณีศึกษา
กลุ่มสตรีสหกรณ์ทอผ้าไหมมัดหมี่บ้านผักนอก
จังหวัดมหาสารคาม

Design and Development Product from Cultural Capital to
International Market, A case study of Ban Phak Nok Mudmee
Weaving Cooperative Women's Group, Maha Sarakham Province

วุฒิพงษ์ โรจนเชชมศรี^{1*} อภิเชษฐ์ ติคลี² สายฝน จำปาทอง³

Vuthipong Roadkasemsri^{1*}, Apichet Teeklee², Saifon Jumpatong³

^{1,2} หลักสูตรการออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์ คณะศิลปกรรมศาสตร์และวัฒนธรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

^{1,2} Product Design and Development Program, Faculty of Fine and Applied Arts and Cultural
Science, Mahasarakham University

³ หลักสูตรนวัตกรรมการออกแบบ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ ผังเมืองและนฤมิตรศิลป์
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

³ Design innovation Program, Faculty of Architecture, Urban Design and Creative Arts,
Mahasarakham University

* Corresponding author email: wut_ap@hotmail.com

Received 12 Aug 2022 Revised 18 Oct 2022 Accepted 15 Nov 2022

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาทุนชุมชนนำสู่การออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์ให้สอดคล้องกับความต้องการของตลาดสากล กรณีศึกษา กลุ่มสตรีสหกรณ์ทอผ้าไหมมัดหมี่บ้านผักนอก จังหวัดมหาสารคาม ใช้วิธีการวิจัยและพัฒนา โดยบูรณาการความรู้ทางการออกแบบผลิตภัณฑ์ หลักการตลาด และวิทยาศาสตร์สีย้อม ภายใต้การปฏิบัติการวิจัยแบบมีส่วนร่วมกับชุมชน ผลการวิจัยพบว่าจากการสำรวจตลาดผู้บริโภคชาวอเมริกันจำนวน 215 คน และชาวจีน 74 คน มีความเห็นที่ค่อนข้างสอดคล้องกันในประเด็น สีย้อมธรรมชาติ โทนสีแดง เขียว น้ำเงิน น้ำตาล นิยมลายผ้าขนาดเล็ก โดยวางลายในบางตำแหน่งของผืนผ้า นิยมชุดเดรส สูท

จำลอง และกระโปรงสั้น รวมถึงมีช่องทางจำหน่ายในระบบออนไลน์ เมื่อนำข้อมูลมาวิเคราะห์ร่วมกับศักยภาพของชุมชน ทดลองพัฒนาการย้อมสีจากครั้ง ประดู และสบู่อืด ทดลองเทคนิคการใช้มอร์แดน จนได้สีย้อม 3 สี 9 เฉด ดำเนินการออกแบบลายผ้าลายผักหนอกจากชื่อชุมชน ให้เป็นเอกลักษณ์ของกิจการ นำสู่การแปรรูปตัดเย็บ เสื้อทำงาน ชุดเดรส สร้างแบรนด์ Silktella นำเสนอเข้าสู่ตลาด จากนั้นดำเนินการทดสอบผลิตภัณฑ์ใหม่ โดยผู้บริโภคกลุ่มเป้าหมาย ค่าคะแนนความพึงพอใจในภาพรวมเท่ากับ 4.65-4.72 หมายถึงระดับดีมาก ผู้บริโภคส่วนใหญ่มีความนิยมในผลิตภัณฑ์ผ้าทอมือ ที่มีความโดดเด่น มีเอกลักษณ์ เสริมภาพลักษณ์ที่ดีแก่ผู้สวมใส่ เหมาะกับการใช้ได้หลากหลายโอกาส สามารถใส่ร่วมกับรูปแบบเสื้อผ้าสมัยใหม่ได้อย่างกลมกลืน

คำสำคัญ: ผ้าทอพื้นบ้าน, ชุมชน, ออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์, ตลาดสากล

Abstract

The objective of this research is to study community funds leading to product design and development in line with international market demands. A case study of Ban Phak Nok Mudmee Weaving Cooperative Women's Group, Maha Sarakham Province. Research and development methods are used by integrating product design knowledge, marketing principles and dye science. Under the community participatory research practice the research found that in a market survey of 215 Americans and 74 Chinese, the opinions were quite consistent on the issue. Natural dyes, red, green, blue, brown tones, popular with small patterns by placing stripes in certain positions of the fabric, it is popular with dresses, casual suits, and short skirts. Including having an online distribution channel when the data were analyzed together with the potential of the community Experimenting with the development of dyeing from lac, padauk, and blood soap. Experimenting with the technique of using Mordan until the dye was obtained in 3 colors and 9 shades. to be unique to the business Leading to the processing of work clothes, dresses, creating the Silktella brand, presenting it to the market Then proceed to test new products. by target consumers the overall

satisfaction score was 4.65-4.72, meaning very good. Most consumers are fond of hand-woven fabrics. that is outstanding, unique, enhancing a good image for the cricketer suitable for use in a variety of occasions can be combined with modern clothing styles harmoniously.

Keywords : folk woven fabrics, cultural capital, product design, development, international market

บทนำ

ภายใต้แผนแม่บทยุทธศาสตร์ชาติ 20 ปี ประเด็นที่ 16 ได้ให้ความสำคัญกับการพัฒนาเศรษฐกิจฐานราก ซึ่งเป็นเครื่องมือสำคัญในการพัฒนาระดับเศรษฐกิจระดับประเทศ จึงมุ่งเน้นในการเสริมสร้างให้ชุมชนเข้มแข็งมีศักยภาพในการแข่งขันการพัฒนา ต่อยอดผลิตภัณฑ์ให้เติบโตขึ้น การส่งเสริมด้านการตลาดออนไลน์ ให้เกิดการหมุนเวียนเศรษฐกิจในชุมชน เพื่อให้กลไกทางการตลาดได้เริ่มดำเนินการต่อไป (สำนักงานเลขาธิการวุฒิสภา, 2565: 72) ใน การต่อยอดพัฒนาผลิตภัณฑ์ เพื่อให้สามารถแข่งขันทางการตลาดได้ ซึ่งจะต้องสร้างให้สินค้ามีอัตลักษณ์ที่ชัดเจน ส่งเสริมให้ผู้ประกอบการวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อมปรับปรุงแบบธุรกิจใหม่เพิ่มศักยภาพการแข่งขัน ตลอดจนสนับสนุนการพัฒนาสินค้าให้มีคุณภาพมาตรฐานสอดคล้องกับความต้องการของผู้บริโภค (สำนักงานการพัฒนา

เศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ, 2564: 4) กลุ่มสตรีสหกรณ์ทอผ้าบ้านฝักหนอก ตำบลยางน้อย อำเภอโกสุมพิสัย จังหวัดมหาสารคาม สืบทอดภูมิปัญญาการทอผ้า ผลิตและจำหน่ายสินค้าผืนผ้าไหมมัดหมี่มี จุดแข็งคือสมาชิกมีทักษะฝีมือในงานทอผ้ามัดหมี่และมีความพร้อมสำหรับการพัฒนา แหล่งผลิตมีพื้นที่ และเครื่องมือที่เพียงพอ ในด้านผลิตภัณฑ์ขาดเอกลักษณ์ และขาดทักษะในการพัฒนาสินค้า ให้เท่าทันต่อกระแสแฟชั่นที่มีการเปลี่ยนแปลงทุกปีเพื่อการแข่งขันในตลาดซึ่งเป็นจุดอ่อนที่สำคัญของกิจการแต่สินค้ามีโอกาสเติบโตทางการตลาดเนื่องด้วยมีปัจจัยทางด้านความนิยมของผู้บริโภคในผลิตภัณฑ์ทางวัฒนธรรม ผลิตจากวัสดุธรรมชาติซึ่งมีการขยายตัวทางการตลาดอย่างต่อเนื่อง แต่ทั้งนี้อุปสรรคที่สำคัญ คือ มีกิจการผ้าทอมือที่เป็นคู่แข่งทางการค้าอยู่มากมาย

จากการวิเคราะห์ปัญหาและสรุปแนวทางในการพัฒนาร่วมกับผู้ประกอบการ จึงได้กำหนดกรอบแนวทางในการดำเนินการวิจัยและพัฒนาสินค้าให้ได้มาตรฐานและนำสินค้าสู่ตลาดยุคใหม่ โดยการศึกษาทุนชุมชน ซึ่งเป็นสรรพสิ่งใด ๆ ก็ตามที่มีอยู่ในชุมชน ทั้งที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ และเกิดขึ้นจากฝีมือหรือมันสมองภูมิปัญญาที่มีมูลค่าทรัพย์สินทางวัฒนธรรมชาติสิ่งแวดล้อม คน วัฒนธรรม มาสร้างให้เกิดมูลค่า (สถาบันพัฒนาชุมชน, 2558: 7) ในสังคมปัจจุบันด้วยธุรกิจสามารถนำทุนวัฒนธรรม เช่น เรื่องราว (Story) เนื้อหา (Content) ของวัฒนธรรม มาสร้างความโดดเด่นให้กับผลิตภัณฑ์ของตน โดยผ่านการใช้ทุนวัฒนธรรมสร้างความแตกต่าง หรือจุดขายให้กับสินค้า (ไกรฤกษ์ ปิ่นแก้ว, 2554 : 36) การฝังตัวของวัฒนธรรมที่แตกต่างในสินค้าหรือบริการทำให้เกิดความแตกต่างของสินค้าซึ่งจะช่วยกระตุ้นให้เกิดความต้องการของสินค้าในกลุ่มผู้บริโภค (รังสรรค์ ณะพรพันธ์, 2539: 1) การศึกษาทุนชุมชน นำสู่การพัฒนาผลิตภัณฑ์ผ้าไหมให้มีเอกลักษณ์เฉพาะของชุมชนบ้านผักหนอก และสอดคล้องกับความต้องการของตลาด รวมถึงพัฒนาระดับสินค้า เพื่อการขยายฐานการตลาดในลูกค้ากลุ่มใหม่ โอกาสในการขายที่เพิ่มขึ้น ยกย่องระดับขีดความสามารถ

ในการแข่งขันและวางรากฐานทางเศรษฐกิจให้กับผู้ประกอบการชุมชน จะช่วยสร้างให้ธุรกิจชุมชนมีความมั่นคงและยั่งยืน

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาความต้องการ ทักษะคน ผู้บริโภคเกี่ยวกับรูปแบบผลิตภัณฑ์ผ้าไหมที่สอดคล้องกับสังคมปัจจุบัน
2. เพื่อศึกษาทุนชุมชน สังคม วัฒนธรรม ภูมิปัญญา รวมถึง สภาพแวดล้อมของชุมชน บ้านผักหนอกเพื่อนำไปสู่การวิเคราะห์แนวความคิดการพัฒนาผลิตภัณฑ์แบบชุมชนมีส่วนร่วม
3. เพื่อออกแบบ และพัฒนาผลิตภัณฑ์ผ้าไหมมัดหมี่ให้มีเอกลักษณ์ของชุมชนบ้านผักหนอก และมีรูปแบบที่สอดคล้องกับความต้องการของตลาด

กรอบแนวคิดการวิจัย

เป็นการดำเนินการวิจัยโดยการนำแนวคิดการแปลงวัฒนธรรมเป็นสินค้าแนวคิดพฤติกรรมผู้บริโภค และการวิเคราะห์สถานประกอบการ มาบูรณาการวิเคราะห์ข้อมูลซึ่งจะนำไปสู่แนวทางในการพัฒนาผลิตภัณฑ์โดยใช้ทุนชุมชนได้อย่างสร้างสรรค์ มีเอกลักษณ์และสอดคล้องกับความต้องการของตลาด

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การสำรวจตลาดต่างประเทศ (Market Survey) ผ่านแบบสอบถามออนไลน์ วิเคราะห์ความต้องการผู้บริโภคเกี่ยวกับรูปแบบผลิตภัณฑ์ผ้าไหม

2. การศึกษาและวิเคราะห์สถานประกอบการ ศักยภาพชุมชน และทุนชุมชน ด้านสังคม วัฒนธรรมและภูมิปัญญา รวมถึงทรัพยากรในสภาพแวดล้อมชุมชนผั๊กนอก

3. นำผลจากการศึกษาทุนวัฒนธรรมได้สำรวจตลาดสภาพสิ่งแวดล้อมสถานประกอบการมาวิเคราะห์ร่วมกันเพื่อกำหนดแนวทางพัฒนา

4. การปฏิบัติการทดลอง การย้อมสีจากวัตถุดิบในท้องถิ่น และลวดลายผ้าไหมมัดหมี่ เพื่อนำทุนชุมชนมาประกอบสร้างผืนผ้าไหมมัดหมี่ให้มีเอกลักษณ์

5. ดำเนินการออกแบบลายผ้าและรูปแบบผลิตภัณฑ์ใหม่และนำเสนอต่อชุมชนเพื่ออภิปราย ดูศักยภาพความเป็นไปได้ในการผลิต ปรับปรุงรูปแบบผลิตภัณฑ์ร่วมกัน

6. สร้างรูปแบบผลิตภัณฑ์ทั้งรูปแบบลายผ้าแบบใหม่ และแบบเสื้อผ้าแปรรูปและส่งมอบให้ผู้ประกอบการจัดทำผลิตภัณฑ์ต้นแบบโดยผู้วิจัยทำหน้าที่ให้คำปรึกษาในการผลิต

7. นำผลิตภัณฑ์ต้นแบบเข้าสู่การประเมินผลิตภัณฑ์ใหม่ทางการตลาด (Market Test) เพื่อสำรวจความคิดเห็นของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์ใหม่ นำผลการประเมินกลับไปสู่ชุมชนเพื่อการปรับปรุงรูปแบบผลิตภัณฑ์

8. สรุปผลการวิจัยและดำเนินการพร้อมจัดทำรายงานการวิจัย

ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากรในการวิจัยคือผู้บริโภคอเมริกันและชาวจีน กลุ่มตัวอย่างได้มาโดยการสุ่มแบบเจาะจง (Purposive Sampling) โดยกำหนดคุณลักษณะเป็นผู้บริโภควัยทำงาน มีรายได้ที่แน่นอนอายุ 35-50 ปี จำแนกเป็นกลุ่มตัวอย่างเพื่อการสำรวจตลาดไม่น้อยกว่า 100 คน และกลุ่มตัวอย่างเพื่อการประเมินผลิตภัณฑ์ใหม่ทางการตลาดไม่น้อยกว่า 100 คน เก็บข้อมูลโดยทำแบบสอบถามออนไลน์ และให้เครือข่ายผู้วิจัยที่อยู่ในประเทศกลุ่มเป้าหมายเป็นผู้ประสานงาน

เครื่องมือการวิจัย

ผู้วิจัยได้วิเคราะห์วัตถุประสงค์แล้วดำเนินการสร้างแบบสอบถามออนไลน์ โดยผสานวิธีวิจัยเชิงคุณภาพกับวิจัยเชิงปริมาณ

โดยจะใช้มาตราส่วนตามมาตรวัด Likert Scale ซึ่งแบ่งมาตราวัดระดับความพึงพอใจออกเป็น 5 ระดับ ตรวจสอบความตรงตามเนื้อหาโดยผู้เชี่ยวชาญ 3 ท่าน และผู้เชี่ยวชาญทางภาษา 2 ท่าน เพื่อให้คำแนะนำในด้านภาษา โดยแบบสอบถามจำแนกเป็น 2 แบบ ดังนี้

1) แบบสำรวจตลาด (Market Survey) ส่วนที่ 1 สอบถามเกี่ยวกับข้อมูลส่วนตัวของผู้ตอบแบบสอบถาม ประกอบด้วย เพศ อายุ ระดับการศึกษา อาชีพ รายได้เฉลี่ย และส่วนที่ 2 สอบถามเกี่ยวกับทัศนคติเกี่ยวกับลายผ้า องค์ประกอบการจัดวาง สี และผลิตภัณฑ์ผ้าแปรรูป

2) แบบประเมินผลิตภัณฑ์ทางการตลาด (Market Test) ส่วนที่ 1 เกี่ยวกับข้อมูลส่วนบุคคลของผู้ตอบแบบสอบถามในประเด็น เพศ อายุ ระดับการศึกษา อาชีพ รายได้เฉลี่ย และ ส่วนที่ 2 สอบถามเกี่ยวกับความคิดเห็นต่อผลิตภัณฑ์ต้นแบบโดยใช้ส่วนประสมการตลาด

การวิเคราะห์ข้อมูล

เป็นการศึกษาด้วยตัวเลขทางสถิติ เพื่อวิเคราะห์หาค่าเฉลี่ย (Mean) นำสู่การสรุปผลการวิเคราะห์ข้อมูล ดังนี้ (บุญชม ศรีสะอาด, 2543 : 100) จำแนกค่าคะแนนดังนี้ 4.51 – 5.00 หมายถึง เห็นด้วยมากที่สุด

3.51 – 4.50 หมายถึง เห็นด้วยมากคะแนน

2.51 – 3.50 หมายถึง เห็นด้วยปานกลาง

1.51 – 2.50 หมายถึง เห็นด้วยน้อย

1.00 – 1.50 หมายถึง เห็นด้วยน้อยที่สุด

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลนำไปสู่การกำหนดแนวทางในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ผ้าไหมมัดหมี่ให้สอดคล้องกับความต้องการของตลาด สรุปและอภิปรายผลการวิจัย

ผลการวิจัย

1) การสำรวจตลาดต่างประเทศผ่านระบบออนไลน์

คณะทำงานได้จัดทำแบบสำรวจออนไลน์ภาษาอังกฤษและภาษาจีน เพื่อสำรวจความคิดเห็นผู้บริโภคชาวต่างชาติเกี่ยวกับรูปแบบผลิตภัณฑ์หัตถกรรมผ้าทอมือของไทยเพื่อพัฒนารูปแบบให้สอดคล้องกับตลาดสากล สรุปผลดังนี้

จากการสำรวจผู้บริโภคชาวอเมริกันที่ตอบแบบสอบถาม จำนวน 215 คน ชายจำนวน 59 คน หญิง 156 คน ช่วงอายุ 35-50 ปี พบว่า ร้อยละ 100 มีความชื่นชอบผ้าไหมย้อมสีธรรมชาติ ในโทนสีแดง เขียว น้ำเงิน และน้ำตาลเข้ม ร้อยละ 80 นิยมลายผ้าขนาดเล็กโดยวางลายในบางตำแหน่งของผืนผ้า การนำใช้ร้อยละ 40 นำไปแปรรูป เป็นผ้านุ่ง ร้อยละ 20 นำไปตัดเย็บเป็นชุดเดรส สูทลำลอง และกระโปรงสั้น ในด้านช่องทาง

การตลาด ร้อยละ 60 ผู้บริโภคอยากให้
หัตถกรรมผ้าทอมือของไทยมีจำหน่ายใน
ระบบออนไลน์ และ ร้อยละ 40 จากเว็บไซต์
ของกิจการโดยตรง



ภาพที่ 1 บางส่วนของแบบสำรวจตลาดที่ใช้
ในการเก็บข้อมูล

จากการสำรวจผู้บริโภคชาวจีนที่ตอบ
แบบสอบถาม จำนวน 274 คน ช่วงอายุ 35-
50 ปี ชายจำนวน 83 คน หญิง 191 คน
พบว่า ร้อยละ 84 มีความชื่นชอบผ้าไหมย้อม
สีธรรมชาติ ในโทนสีแดง เขียว น้ำเงิน และ
น้ำตาลเข้ม ร้อยละ 86 นิยมลายผ้าขนาดเล็ก

โดยวางลายในบางตำแหน่งของผืนผ้า การนำ
ใช้ร้อยละ 50 นำไปแปรรูป เป็นชุดเดรส ร้อย
ละ 20 นำไปตัดเย็บเป็น สูทลำลอง และ
กระโปรงสั้น ในด้านช่องทางการตลาด ร้อย
ละ 62 ผู้บริโภคอยากให้หัตถกรรมผ้าทอมือ
ของไทยมีจำหน่ายในระบบออนไลน์ และ
ร้อยละ 38 จากเว็บไซต์ของกิจการโดยตรง

จากการสำรวจจะเห็นได้ว่า ความ
คิดเห็นของผู้บริโภคชาวจีนและชาวอเมริกัน
มีความเห็นที่ค่อนข้างสอดคล้องกันใน
ประเด็นเมื่อนำมาวิเคราะห์ร่วมกับศักยภาพ
การผลิตของชุมชนแล้ว จึงการกำหนด
แนวทางในการพัฒนา คือ ผลิตภัณฑ์ใหม่
ที่จะพัฒนาจะเป็นผ้าไหมย้อมสีธรรมชาติ
ในโทนสีแดง เขียว น้ำเงิน และน้ำตาลเข้ม
ดำเนินการออกแบบลายผ้าแบบใหม่ให้เป็น
เอกลักษณ์ของกิจการ กำหนดเป็นลายผ้า
ขนาดเล็ก วางลายในบางตำแหน่งของผืนผ้า
นำไปสู่การแปรรูปตัดเย็บ ชุดเดรส กระโปรง
รวมถึงการพัฒนาช่องทางการตลาดออนไลน์

2) การศึกษาและวิเคราะห์ทุนชุมชน บ้านผักหนอก

การศึกษาทุนชุมชนเพื่อการพัฒนา
ผ้าไหมมัดหมี่ที่เป็นเอกลักษณ์ของชุมชน โดย
นำผลการสำรวจตลาดมาเป็นแนวทาง ใน
การพัฒนาด้านสีย้อมธรรมชาติ โทนสี และ

ลายผ้า จึงแบ่งการศึกษาออกเป็น 2 ส่วน
ดังรายละเอียด ดังนี้

ส่วนที่ 1 เป็นการสำรวจข้อมูลวัตถุดิบ
ให้สีที่มีในสภาพแวดล้อมของชุมชน และจาก
การสัมภาษณ์ผู้ประกอบการพบว่าในละแวก
หมู่บ้านมีป่าชุมชน มีพืชวัตถุดิบที่นำมาใช้ในการ
สกัดสีย้อมได้ คือ ประดู่จะให้สีน้ำตาล
สบู่เลือดจะให้โทนสีเขียวอ่อน และครั้งที่ให้
โทนสีแดงจึงนำสู่กระบวนการทดลองร่วมกับ
ชุมชน



ต้นสบู่เลือด



เปลือกต้นประดู่



ครั่ง

ภาพที่ 2 วัตถุดิบธรรมชาติให้สีย้อมใน
สภาพแวดล้อมของชุมชน

สัดส่วนวัตถุดิบในการย้อมสี

- ต้นสบู่เลือด 5 กก.ต่อ ไหม 1 กก.
- เปลือกประดู่ 3 กก.ต่อ ไหม 1 กก.
- ครั่ง 1 กก.ต่อ ไหม 1 กก.

การเตรียมน้ำย้อม

- ต้มใบหมือดแ่ หรือใบพลองหมือดในน้ำ
เดือด ปริมาณมากเพื่อใช้เป็นน้ำต่างผสมใน
กระบวนการย้อมสี

- เปลือกต้นประดู่ ทำการสับหรือผ่าให้เป็น
ชิ้นเล็ก ๆ และแช่น้ำหมือดแ่ไว้ข้ามคืน
เพื่อให้เนื้อไม้นุ่มคายสีออกมาได้ง่าย จนได้น้ำ
เป็นสีน้ำตาลแดง

- ต้นสบู่เลือดล้างให้สะอาดแล้วนำมาต้มใน
น้ำใบหมือดแ่ได้น้ำเป็นสีเหลือง

- ครั่ง ตำครั่งให้ละเอียดเป็นผง การสกัดสี
โดยใช้น้ำหมือดแ่ต้มเดือดเทลงในครั่งผง
ละเอียดจะได้น้ำครั่งที่มีสีแดงเข้มออกมาแล้ว
นำมาเจือจางในน้ำหมือดแ่ แล้วจึงนำมาขง
ครั่งเพื่อเพิ่มความสามารถในการยึดติดกับ
เส้นใยได้ดี โดยผสมกับน้ำมะขามเปียก น้ำสี
ครั่ง 10 ลิตร : มะขามเปียก 1 ชีด ในการนี้สี
ของน้ำครั่งจะเปลี่ยนเป็นสีแดงส้ม จะต้อง
ปรับให้กลับมาเป็นสีแดงเข้ม นำเส้นด้ายไหม
ที่เตรียมไว้ลงย้อมในน้ำสีนานประมาณ 1
ชั่วโมง ต้องหมั่นพลิกเส้นด้ายให้ถูกน้ำย้อม
เสมอกันทุก ๆ 10 นาที นำเส้นด้ายที่กินเนื้อ
สีแล้วแล้วมาซักในน้ำสะอาดจนน้ำใส แล้ว
นำไปตากในที่ร่ม



1. ต่ำครั้งให้ละเอียด



2. การสกัดให้ได้น้ำครั้ง



3. กรองเอาแต่น้ำสี



4. การขงครั้ง

ภาพที่ 3 กระบวนการเตรียมสีย้อมครั้ง

การปรับเฉดสีด้วยมอร์ตแดน

สารช่วยย้อมจะเป็นตัวช่วยในการทำให้เส้นด้ายดูดซับสีได้ดี มีความคงทนต่อแสง และการขัดถู สร้างเฉดสีเพิ่มขึ้น จึงนำเส้นไหมที่ย้อมสีแล้วมาทดลองแช่ในสารละลาย 3 ชนิดที่มีคุณสมบัติของสารช่วยย้อม ได้แก่ สารส้ม น้ำปูนใสและน้ำขี้เถ้า



เส้นไหมย้อม
สบู่เลือดในน้ำ
ขี้เถ้า



เส้นไหมย้อม
สบู่เลือดในน้ำ
สารส้ม



เส้นไหมย้อม
สบู่เลือดในน้ำ
ปูนใส

ภาพที่ 4 เปรียบเทียบผลที่เกิดกับสีเส้นไหมเมื่อแช่ในสารช่วยย้อมที่แตกต่าง

ผลจากการทดลอง พบว่า สารช่วยย้อมสามารถนำมาใช้ในการสร้าง 9 เฉดสีเพิ่มเติม

จากสีย้อมตั้งต้น 3 สี เนื้อสีย้อมถูกดูดซึมและเกาะเส้นด้ายไหมได้ดี หลังล้างน้ำสะอาดแล้วตากในร่มให้แห้งสียังคงสภาพเดิม

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบผลที่เกิดกับสีเส้นไหมที่ผ่านการแช่ในสารช่วยย้อม

ที่	สีย้อม ธรรมชาติ	สาร ย้อม	ผลการทดลอง ย้อม
1	เส้นไหม ย้อม สบู่เลือด	น้ำ ขี้เถ้า	
2	เส้นไหม ย้อม สบู่เลือด	น้ำ สารส้ม	
3	เส้นไหม ย้อม สบู่เลือด	น้ำปูน ใส	
4	เส้นไหม ย้อมประดู่	น้ำ ขี้เถ้า	
5	เส้นไหม ย้อมประดู่	น้ำ สารส้ม	
6	เส้นไหม ย้อมประดู่	น้ำปูน ใส	
7	เส้นไหม ย้อมครั้ง	น้ำ ขี้เถ้า	

8	เส้นไหม ย้อมครั่ง	น้ำ สารส้ม	
9	เส้นไหม ย้อมครั่ง	น้ำปูน ใส	

จากตารางที่ 1 สารช่วยติดสีจะปรับโทนสีให้เปลี่ยนไปกล่าวคือ สารส้มจะช่วยให้สีมีความสดเข้มมากขึ้น น้ำปูนใสและน้ำขี้เถ้าจะปรับสีให้อ่อนลง หรือโทนสีเปลี่ยนไป



ภาพที่ 5 กลุ่มเส้นไหมที่ได้จากการทดลองย้อมสีธรรมชาติ

ส่วนที่ 2 เป็นการศึกษาทุนชุมชน เพื่อดำเนินการออกแบบลายผ้าที่เป็นเอกลักษณ์ของชุมชน เพื่อผลิตผืนผ้าต้นแบบ จากการศึกษาข้อมูลพบว่า บ้านผักหนอก เป็นชุมชนหนึ่งใน อำเภอโกสุมพิสัยจากข้อมูลทางประวัติศาสตร์ เดิมชื่อบ้าน “หอขวาง” ต่อมา พ.ศ. 2425 พระบาทสมเด็จพระจุลจอมเกล้าเจ้าอยู่หัวได้โปรดยกฐานะเป็นเมือง นามว่าเมืองโกสุมพิสัย แปลว่า เมือง

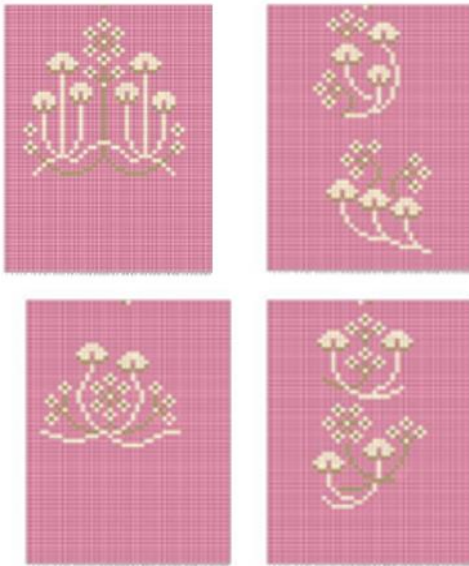
แห่ง “ดอกประจำป่า” สำหรับชุมชนบ้านผักหนอกไม่ได้มีเอกลักษณ์ที่ชัดเจนเฉพาะทางวัฒนธรรม มีเพียงชื่อเรียกหมู่บ้าน “ผักหนอก”ซึ่งหมายถึง “ต้นใบบัวบก”



ภาพที่ 6 ผักหนอกหรือต้นใบบัวบก ซึ่งเป็นชื่อของหมู่บ้าน

ผู้วิจัยนำเสนอข้อมูลกับผู้ประกอบการได้ข้อสรุปร่วมกัน คือ หอขวางและดอกประจำป่า สำหรับชุมชนบ้านผักหนอก ไม่มีใครรู้จักไม่เคยพบเห็นมาก่อนจึงไม่สามารถระบุได้ว่ามีรูปลักษณ์เป็นอย่างไร แต่ทั้งนี้ผู้ประกอบการและสมาชิกให้ความสนใจเป็นอย่างมากกับ ผักหนอกซึ่งยังไม่เคยเห็นใครนำมาทำเป็นลายผ้ามาก่อน ดังนั้นจึงนำใบบัวบก มาออกแบบลายผ้า โดยนำมาวิเคราะห์ร่วมกับผลการสำรวจความคิดเห็นผู้บริโภค เพื่อการออกแบบลายผ้าให้มีเอกลักษณ์ของท้องถิ่นและสอดคล้องกับความต้องการของตลาด นำเสนอแบบแบบลายผ้าและเครื่องแต่งกายให้ชุมชนได้อภิปราย แสดงความคิดเห็นเพื่อการแก้ไข

ปรับปรุง คัดเลือกแบบที่เหมาะสมนำสู่การผลิตงานต้นแบบ เมื่อได้ภาพร่างลายผ้าฝักหนอก ที่บรรจุลงตารางกราฟแล้วจึงนำเสนอให้เพื่อให้ สมาชิกของกิจการที่เป็นช่างทอได้มีการอภิปราย ประเมินความเป็นไปได้ในการผลิต ซึ่งจะมีการปรับปรุง ลดหรือเพิ่มตามศักยภาพของช่างทอ



ภาพที่ 7 ส่วนหนึ่งของการออกแบบลายผ้ามัดหมี่ ชุด “ฝักหนอก”

เมื่อได้ข้อสรุปเกี่ยวกับแบบลาย ร่วมกับชุมชนแล้ว จึงได้ส่งมอบแบบเพื่อให้ชุมชนดำเนินการผลิตผืนผ้าต้นแบบ ในการผลิตงานต้นแบบจะใช้กระบวนการทอผ้ามัดหมี่ใช้ด้ายไหม 3 สี สีน้ำตาลเปลือกประดู่ เส้นทางยืน สีแดงครึ่งเส้นทางพุ่ง สีเขียวอ่อน เส้นพุ่งแซมตัวลาย



ภาพที่ 8 ส่วนหนึ่งของงานต้นแบบผ้าไหมมัดหมี่ ลายฝักหนอก ที่จะนำสู่การแปรรูป

การออกแบบเสื้อผ้าเครื่องแต่งกายในรูปแบบสินค้าที่ทันสมัยสอดคล้องกับความต้องการของตลาด

หลังจากได้ศึกษาข้อมูลทางการตลาด ศึกษาพฤติกรรมผู้บริโภคข้อมูลดังกล่าวได้นำมาเป็นส่วนหนึ่งของการกำหนดแนวความคิดในการออกแบบเสื้อผ้าเครื่องแต่งกาย โดยกำหนดเป้าหมายหลักที่กลุ่มผู้บริโภควัยทำงาน มีรายได้เป็นของตนเอง ช่วงอายุ 30 - 50 ปี นิยมชุดเดรส เสื้อเชิ้ตที่ใส่ได้หลากหลายโอกาส ดูทันสมัย สีผ้าใช้คู่

สีกลมกลืน แสดงความงามของผิวผ้า ลายผ้า และการจัดองค์ประกอบส่วนต่าง ๆ ของชุด ดังนั้นแนวทางในการพัฒนาผลิตภัณฑ์จะเป็น ในแนวทางการพัฒนารูปแบบลายผ้าโดยใช้อัตลักษณ์ของชุมชน แล้วจึงนำมาแปรรูปเป็น เสื้อผ้าเครื่องแต่งกาย ให้มีความสวยงามที่เสริมให้ผู้ผู้ใช้มีความโดดเด่น เป็นภาพลักษณ์ของผู้มีรสนิยมความงามและส่งเสริมคุณค่าทางวัฒนธรรม สำหรับสำหรับภาพลักษณ์สินค้า Content จะมุ่งเน้นในประเด็น “โมเดิร์นไต้หวัน” สื่อไปถึงกลุ่มเป้าหมายมีพฤติกรรมชอบซื้อสินค้าที่มีความคิดสร้างสรรค์ และมีเอกลักษณ์ ชื่อเพื่อเป็นของฝาก ของที่ระลึกหรือซื้อไว้ใช้เอง ซึ่งกลุ่มผู้บริโภคสินค้าเหล่านี้จะมีทั้งชาวไทยและนักท่องเที่ยวชาวต่างประเทศ เป็นตลาดกลุ่มใหญ่และมีการขยายตัวของตลาดอย่างต่อเนื่อง หลังจากกำหนดแนวความคิดจึงได้จัดทำภาพร่างดังนี้



ภาพที่ 9 ส่วนหนึ่งของงานออกแบบ

หลังจากชุมชนได้ผลิตงานผ้าต้นแบบเป็นที่เรียบร้อยแล้ว ได้จัดกิจกรรมอบรมเชิงปฏิบัติการให้ความรู้ในการตัดเย็บแปรรูปเสื้อผ้าเครื่องแต่งกาย เพื่อให้ความรู้เพิ่มเติมให้แก่ชุมชน เกี่ยวกับ ขั้นตอนการสร้างแบบ และแยกแบบ การคำนวณผ้า เทคนิคการตัดเย็บ การตรวจสอบคุณภาพ เพื่อให้คนในชุมชนสามารถตัดเย็บแปรรูปเองได้ และได้ส่งมอบแบบให้ชุมชนตัดเย็บจนแล้วเสร็จ



ภาพที่ 10 งานต้นแบบ เสื้อสตรี แบบที่ 1



ภาพที่ 11 งานต้นแบบ เสื้อสตรี แบบที่ 2



ภาพที่ 12 งานต้นแบบ เดรสสตรี

จากกระบวนการพัฒนาตั้งแต่การย้อมสีธรรมชาติ การวางคู่สีในการทอผ้า การออกแบบลาย ทั้งนี้เพื่อให้ตัวลายและผ้าอยู่ในโครงสร้างสีที่กลมกลืนกันแต่เมื่อกระทบแสงแดดความเงาของเส้นไหมจะเหลือสะท้อนตัวลายออกมา ทำให้มีความงามที่แตกต่างจากผ้าชนิดอื่น ๆ เมื่อนำสู่การตัดเย็บเป็นเสื้อผ้าจะเห็นได้ว่าความกลมกลืนของสีและลายผ้า สามารถนำชุดผ้าไหมไปใส่ร่วมกับชุดผ้าชนิดอื่น ๆ ได้ สามารถสวมใส่ได้หลายโอกาส

การสร้างแบรนด์

เพื่อการขายสินค้าผ่านตลาดออนไลน์จึงต้องสร้างแบรนด์ให้ง่ายต่อการจดจำ สร้างและสื่อสารภาพลักษณ์ภาพลักษณ์องค์กร และสร้างการรับรู้ให้กับตัวแบรนด์ผ่านสื่อสังคมออนไลน์ ดังนั้นสินค้าใหม่ของกิจการกลุ่มทอผ้าบ้านฝักหนอก จะเปิดตัวสู่ตลาด

ภายใต้แบรนด์ “Silktella” ซึ่งเกิดจากการผสมกันของ Silk (ผ้าไหม) กับ Centella (ผักหนอกหรือใบบัวบก) มีการจัดทำเพจ Facebook ของกลุ่มทอผ้าบ้านฝักหนอก ซึ่งช่วงแรกคณะผู้วิจัยทำหน้าที่เป็นผู้จัดการเพจร่วมกับผู้ประกอบการ เพื่อคอยเป็นที่ปรึกษาและพัฒนา





ภาพที่ 11 ตราสัญลักษณ์แบรนด์ใหม่ของกลุ่มทอผ้าบ้านฝักหนอก

การประเมินผลิตภัณฑ์ (Market Test)

เป็นการนำผลงานต้นแบบเข้าสู่การประเมินผลิตภัณฑ์ทางการตลาดเพื่อดูผลตอบรับข้อคิดเห็นของกลุ่มเป้าหมาย มีผู้ตอบแบบสอบถาม จำนวน 135 คน โดยเป็นเพศชาย 24 คน 17.7 % เพศหญิง 111 คน 82.2 % ช่วงอายุ 30-40 ปี 34 คน อายุ 41-50 ปี 72 คน และอายุ 51-60 ปี 29 คน อาชีพเป็นเจ้าหน้าที่รัฐ 34 คน พนักงานบริษัทเอกชน 57 คน และอาชีพอิสระ/ธุรกิจส่วนตัว 44 คน ผลการประเมินดังนี้

ตารางที่ 2 การประเมินผลิตภัณฑ์ใหม่ทางการตลาด (Market Test)

	ระดับความคิดเห็น		
	\bar{x}	S.D.	ความพึงพอใจ
1. ผลิตภัณฑ์โดดเด่นน่าสนใจ	4.61	0.28	มากที่สุด
2. ผลิตภัณฑ์มีเอกลักษณ์	4.64	0.29	มากที่สุด
3. มีความคิดสร้างสรรค์	4.70	0.31	มากที่สุด
4. ความสวยงามของผลิตภัณฑ์	4.81	0.35	มากที่สุด
5. มีประโยชน์ใช้สอยที่เหมาะสม	4.72	0.31	มากที่สุด
6. ความเหมาะสมของวัสดุที่ใช้ผลิต	4.71	0.31	มากที่สุด
7. มีมูลค่า ขายได้เมื่อเข้าสู่ตลาด	4.85	0.37	มากที่สุด
ผลในภาพรวม	4.72	0.32	

	ระดับความคิดเห็น		
	\bar{x}	S.D.	ความพึงพอใจ
1. ผลิตภัณฑ์โดดเด่นน่าสนใจ	4.22	0.65	มากที่สุด
2. ผลิตภัณฑ์มีเอกลักษณ์	4.01	0.72	มากที่สุด
3. มีความคิดสร้างสรรค์	4.34	0.78	มากที่สุด

4. ความสวยงามของผลิตภัณฑ์	3.95	0.83	มากที่สุด
5. มีประโยชน์ใช้สอยที่เหมาะสม	4.37	0.84	มากที่สุด
6. ความเหมาะสมของวัสดุที่ใช้ผลิต	4.24	0.76	มากที่สุด
7. มีมูลค่า ขายได้เมื่อเข้าสู่ตลาด	4.52	0.73	มากที่สุด
ผลในภาพรวม	4.70	0.74	

	ระดับความคิดเห็น		
	\bar{x}	S.D.	ความพึงพอใจ
1. ผลิตภัณฑ์โดดเด่นน่าสนใจ	4.62	0.29	มากที่สุด
2. ผลิตภัณฑ์มีเอกลักษณ์	4.64	0.29	มากที่สุด
3. มีความคิดสร้างสรรค์	4.49	0.26	มากที่สุด
4. ความสวยงามของผลิตภัณฑ์	4.60	0.28	มากที่สุด
5. มีประโยชน์ใช้สอยที่เหมาะสม	4.67	0.30	มากที่สุด
6. ความเหมาะสมของวัสดุที่ใช้ผลิต	4.73	0.32	มากที่สุด
7. มีมูลค่า ขายได้เมื่อเข้าสู่ตลาด	4.80	0.35	มากที่สุด
ผลในภาพรวม	4.65	0.29	มากที่สุด

จากตารางจะเห็นได้ถึงการตอบรับของผู้บริโภคที่ดีขึ้นในด้านรูปแบบความเป็นเอกลักษณ์ของผลิตภัณฑ์เมื่อเปรียบเทียบกับ

ผลการสำรวจตลาดก่อนหน้านี้ การประเมิน ในภาพรวมค่าคะแนน 4.65-4.72 ซึ่งหมายถึงทัศนคติและความพึงพอใจต่อรูปแบบผลิตภัณฑ์ อยู่ในระดับดีมาก เมื่อวิเคราะห์รายละเอียด พบว่า ผู้บริโภคส่วนใหญ่มีความนิยมในผลิตภัณฑ์ผ้าทอมือ ที่มีความโดดเด่น มีเอกลักษณ์ เสริมภาพลักษณ์ที่ดีแก่ผู้สวมใส่ เหมาะกับการใช้ได้หลากหลายโอกาส สามารถใส่ร่วมกับรูปแบบเสื้อผ้าสมัยใหม่ได้อย่างกลมกลืน

อภิปรายผลการวิจัย

สาระสำคัญของงานวิจัยฉบับนี้มุ่งเน้นไปที่การศึกษาทุนในด้านต่าง ๆ ที่ในแต่ละชุมชนมีเป็นของตนเองเพื่อนำมาสู่การสร้างเอกลักษณ์ให้กับสินค้าของชุมชนเอง ในการศึกษาที่มุ่งเน้นทุนวัฒนธรรมอาจจะไม่สามารถมองเห็นถึงทุนอื่น ๆ ที่มีอยู่ในชุมชนที่นำมาใช้ในการพัฒนาตัวชุมชนเองได้ เพราะในชุมชนนบพมี ทุนทางกายภาพ สภาพแวดล้อม ทรัพยากรธรรมชาตินำมาสร้างมูลค่า สร้างเอกลักษณ์ให้กับชุมชนเจ้าของทุนได้ ดังที่สถาบันพัฒนาชุมชนได้ให้ความหมายว่า การศึกษาทุนชุมชน ซึ่งเป็นสรรพสิ่งใด ๆ ก็ตามที่มีอยู่ในชุมชน ทั้งที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ และเกิดขึ้นจากฝีมือหรือมันสมองภูมิปัญญาที่มีมูลค่า ทรัพยากรธรรมชาติสิ่งแวดล้อม คน

วัฒนธรรม มาสร้างให้เกิดมูลค่า (สถาบันพัฒนาชุมชน, 2558: 7) ดังนั้นจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมองบริบทอันเป็นทุนของชุมชนนั้น ๆ ร่วมด้วย เพื่อค้นหาความเป็นเอกลักษณ์เฉพาะที่จะเติมเต็มคุณค่าของผลิตภัณฑ์ให้สมบูรณ์ที่สุด

ทั้งนี้การออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ให้กับชุมชนจะต้องคำนึงถึงศักยภาพและการยอมรับของช่างทอผู้ผลิตร่วมด้วยเป็นสิ่งสำคัญ ผู้วิจัยจึงได้ใช้แนวทางการวิจัยเชิงปฏิบัติการแบบมีส่วนร่วม (PAR) ซึ่ง อุทัยทิพย์ เจียวิวรรธน์กุล ที่กล่าวว่า การวิจัยเชิงปฏิบัติการอย่างมีส่วนร่วมต่อยอดมาจากการวิจัยเชิงปฏิบัติการที่นักวิจัยเป็นผู้คิดค้นแนวทางแก้ไขปัญหให้กับชุมชนที่ยังไม่สามารถแก้ไขปัญหาของตนเองอย่างยั่งยืนได้ การวิจัยเชิงปฏิบัติการอย่างมีส่วนร่วมจึงมุ่งเน้นให้ผู้มีส่วนได้ส่วนเสียกับปัญหานั้น ๆ ได้เข้ามามีส่วนร่วมในกระบวนการวิจัยและทำการเสริมพลัง พัฒนาศักยภาพที่มีอยู่แล้วให้เพิ่มขึ้นจนสามารถสร้างความรู้ในการแก้ไขปัญหา พัฒนาชุมชนได้ด้วยกลุ่มของตนเอง โดยนักวิจัยจะเป็นผู้มีบทบาทสำคัญในการอำนวยความสะดวกให้เกิดการเรียนรู้แก่ผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย เพื่อนำไปสู่การเปลี่ยนแปลงวิถีคิดและการปฏิบัติได้อย่างถาวร (อุทัยทิพย์ เจียวิวรรธน์กุล, 2553 : 17) ดังนั้นการให้

ชุมชนมาเป็นส่วนหนึ่งของการตัดสินใจ การอภิปราย แลกเปลี่ยน ปรับลดและเพิ่มงาน ที่ไม่เกินทักษะความสามารถและความต้องการของชุมชน จะทำให้เกิดการยอมรับและความร่วมมือทำให้มีการผลิตและพัฒนาต่อยอดจากชิ้นงานต้นแบบอย่างต่อเนื่อง จากการศึกษาพฤติกรรมผู้บริโภคผ่านการสำรวจตลาด จะเห็นว่าผลการศึกษาจะช่วยให้ผู้วิจัยวิเคราะห์เห็นถึง ความต้องการความรู้สึคนึกคิด ทันคติ รสนิยมการแต่งกาย แบบเสื้อสมัยใหม่ ทำให้สามารถกำหนดคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ผ้าไหม นำไปสู่การออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์ที่ รวมถึงการประเมินผลิตภัณฑ์ทางการตลาดที่นำผลมาสู่การปรับปรุงให้สมบูรณ์ตอบสนองต่อความต้องการและความพึงพอใจของผู้บริโภคมากยิ่งขึ้น จะเห็นได้ว่าวิธีการเหล่านี้จะเป็นเครื่องมือที่ช่วยให้ผู้ประกอบการกำหนดแนวทางในการพัฒนาสินค้า สอดคล้องกับการวิเคราะห์พฤติกรรมผู้บริโภคของตามแนวคิดของ ฟิลิป คอตเลอร์ ซึ่งเป็นการค้นหาพฤติกรรมการซื้อของผู้บริโภคเพื่อที่จะทราบถึงลักษณะความต้องการของผู้บริโภค โดยการตั้งคำถามและคำตอบที่ได้จะช่วยให้นักการตลาดสามารถจัดกลยุทธ์ทางการตลาดที่สามารถตอบสนองความพึงพอใจของผู้บริโภคได้อย่างเหมาะสม (Philip

Kolter, 1997:171 อ้างถึงใน ศิริวรรณ เสรีรัตน์, 2541 : 194)

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสำนักงานปลัดกระทรวงอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม ที่ให้การสนับสนุนการดำเนินงานวิจัยการพัฒนายกระดับผ้าไหมมัดหมี่ กลุ่มสตรีสหกรณ์ทอผ้าบ้านผักหนอกสู่สากลประจำปีงบประมาณ พ.ศ.2565 ฉบับนี้จนสำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์

เอกสารอ้างอิง

- ไกรฤกษ์ ปิ่นแก้ว. (2554). เศรษฐกิจสร้างสรรค์ ทุนวัฒนธรรมและโอกาสทางธุรกิจ. วารสารนักบริหาร, ปีที่31 ฉบับที่ 1, 32-37.
- บุญชม ศรีสะอาด. (2553). การวิจัยเบื้องต้น. กรุงเทพฯ: สุวีริยาสาส์น.
- รังสรรค์ ธนะพรพันธุ์. (2539). ปาฐกถา “ทุนวัฒนธรรม”(พิมพ์ครั้งที่2). กรุงเทพฯ: มูลนิธิไชยย์ ลี้มทองกุล.
- ศิริวรรณ เสรีรัตน์. (2541). การบริหารการตลาดยุคใหม่. กรุงเทพฯ: บริษัทธีระฟิล์ม และไซเท็กซ์ จำกัด
- สถาบันพัฒนาชุมชน. (2558). คู่มือสนับสนุนการพัฒนาระบบเศรษฐกิจและทุนชุมชน. สำนักสนับสนุนชบวนองค์กร

ชุมชน สถาบันพัฒนาองค์กรชุมชน

(องค์กรมหาชน). กรุงเทพฯ

สำนักงานการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคม

แห่งชาติ. (2564). โครงการการพัฒนา

ระบบสถิติข้อมูลและตัวชี้วัดเพื่อใช้ใน

การบริหารราชการแผ่นดินตาม

ยุทธศาสตร์ชาติ. กรุงเทพฯ:

ศูนย์บริการวิชาการแห่งจุฬาลงกรณ์

มหาวิทยาลัย

อุทัยทิพย์ เจียวิวรรณกุล, (2553). การวิจัย

เชิงปฏิบัติการอย่างมีส่วนร่วม:แนวคิด

หลักกसार และบทเรียน” พิมพ์ครั้งที่ 2.

กรุงเทพฯ: บริษัท พี.เอ.ลีฟวิ่ง จำกัด

ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการให้บริการจุดผ่านแดนสะเดา จังหวัดสงขลา Influencing Service at the Sadao Border Crossing with in Province the Songkhla

ประจักษ์ พรหมงาม¹, โชติมา โชติกเสถียร², ปัญญา สำราญหันต์^{3*},

เสาวลักษณ์ นฤมนต์⁴, ณัฐยา ธีระกุลพิศุทธิ์⁵, สิทธิโชค คงพนัส⁶

Prachak Promngam¹, Chotima Jotikasthira², Panya Sumranhun^{3*},

Saowaluk Naruemon⁴, Nattaya Teerakulpisuth⁵, Sittichok Kongphanat⁶

¹ สาขาวิชาการจัดการโลจิสติกส์และโซ่อุปทาน คณะโลจิสติกส์และเทคโนโลยีการบิน
มหาวิทยาลัยเซาธ์อีสท์บางกอก กรุงเทพมหานคร

² สาขาวิชาการเงินและเศรษฐศาสตร์ คณะบริหารธุรกิจ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ปทุมธานี

^{3, 4, 5, 6}ภาควิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม สาขาวิชาเทคโนโลยีโลจิสติกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ และ
เทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา กรุงเทพมหานคร

¹ Logistics and Supply Chain Management, Faculty of Logistics and Aviation Technology,
Southeast Bangkok University, Bangkok

² Faculty of Business Administration, Rajamangala University of Technology Thanyaburi,
PathumThani

^{3, 4, 5, 6} Department of Industrial Technology, Logistics Technology Program, Faculty of
Engineering and Industrial Technology, Bangkok

*Corresponding author email: sumranhun@gmail.com

Received 14 Aug 2022 Revised 20 Oct 2022 Accepted 15 Nov 2022

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาปัจจัยและสร้างเกณฑ์ในการประเมินประสิทธิภาพการให้บริการจุดผ่านแดนสะเดาจังหวัดสงขลา โดยใช้แบบสอบถามในการเก็บรวบรวมข้อมูลจากผู้ใช้บริการและผู้ให้บริการ ณ จุดผ่านแดนสะเดา จำนวน 400 ชุด จากข้อคำถาม 16 ข้อ แบ่งออกเป็น 3 ด้านได้แก่ ด้านกระบวนการให้บริการ ด้านเจ้าหน้าที่ผู้ให้บริการ และด้านสำนักงานสถานที่ หลังจากนั้นข้อมูลจะถูกนำมาวิเคราะห์เพื่อสร้างเกณฑ์การประเมินประสิทธิภาพการให้บริการจุดผ่านแดนสะเดาจังหวัดสงขลา ด้วยวิธีการถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ และทดสอบค่าความคลาดเคลื่อนด้วยเปอร์เซ็นต์ค่าคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย ผลการวิจัย

พบว่า เกณฑ์ที่มีความสำคัญต่อประสิทธิภาพของจุดผ่านแดนสะเดา จังหวัดสงขลา ภาพรวม มีระดับความคิดเห็นในระดับมาก ($\bar{x} = 4.03$) และเมื่อพิจารณารายด้าน ด้านที่มีค่าเฉลี่ยระดับความคิดเห็นสูงสุดคือ ด้านเจ้าหน้าที่ผู้ให้บริการ ($\bar{x} = 4.26$) รองลงมาประสิทธิภาพด้านกระบวนการ ($\bar{x} = 3.96$) และประสิทธิภาพด้านสำนักงาน สถานที่ ($\bar{x} = 3.87$) โดยการทดสอบความแม่นยำในการวัดประสิทธิภาพการให้บริการจุดผ่านแดนสะเดา จากแบบสอบถามจำนวน 30 ชุด พบว่าเปอร์เซ็นต์ค่าคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย เท่ากับร้อยละ 2.33 ซึ่งสรุปได้ว่าเกณฑ์การประเมินที่สร้างขึ้นมานี้ มีความแม่นยำเท่ากับร้อยละ 97.67 จากการวิจัยแสดงให้เห็นว่าการดำเนินงานมีความจำเป็นที่พัฒนาปรับปรุงด้านสำนักงาน อาคาร สถานที่ รวมทั้งด้านกระบวนการเพื่อให้สามารถตอบสนองต่อผู้มาใช้บริการให้เกิดความสะดวกรวดเร็ว ทั้งนี้การนำเทคโนโลยีสารสนเทศประยุกต์ใช้ให้เกิดความยืดหยุ่นตลอดโซ่อุปทานเพื่อลดการหยุดชะงักการดำเนินงานเพื่อสร้างความไว้วางใจที่ส่งผลต่อความสำเร็จ

คำสำคัญ: ประสิทธิภาพ การให้บริการ จุดผ่านแดน

Abstract

The purpose of this research was to study the factors and criteria the efficiency assessment of service of Sadoa Border in Songkhla Province. Whereas the questionnaire was use for collecting data from 400 questionnaires for customers and service provider in the service of Sadoa Border in Songkhla Province, from 16 questions were subdivided into 3 aspects terms of process service, service staff, and office and place. After that, analysis data for criteria the efficiency assessment of service of Sadoa Border in Songkhla Province by multiple regression analysis and test of measuring errors the assessment of service by mean absolute percent error (MAPE).

The result was found that, the criteria that are important to the efficiency of service of Sadoa Border in Songkhla Province. Overall, the level of agreement at the high level ($\bar{x} = 4.03$). When considering each aspect, the efficiency of the service staff was highest level ($\bar{x} = 4.26$), the of process service was moderate level ($\bar{x} = 3.96$), and the efficiency of office and place was lowest level ($\bar{x} = 3.87$). Then took the criteria the efficiency assessment of the service of

Sadoa Border analyze by the reliability was tried out by 30 questionnaires by mean absolute percent error (MAPE) were 2.33 percentage and the reliability were 97.67 percentage According to research, in order to serve clients swiftly and conveniently, offices, structures, and procedures must all be improved. To decrease operational disruptions and increase trust, which is the key to success, information technology is used to give flexibility throughout the supply chain.

Keywords: Efficiency, Service, Cross border

บทนำ

การเชื่อมโยงการค้าระหว่างประเทศ นอกจากต้องอาศัยระบบขนส่งที่มีความต่อเนื่อง ด้วยระยะเวลาการส่งมอบที่รวดเร็ว และมีต้นทุนที่ต่ำแล้ว ยังต้องอาศัยประสิทธิภาพในการให้บริการของด่านชายแดนระหว่างประเทศอีกด้วย สำหรับประเทศไทยแล้วมีอาณาเขตที่มีพรมแดนติดต่อกับประเทศเพื่อนบ้านหลายประเทศ โดยได้รับความร่วมมือทวิภาคีกับประเทศเพื่อนบ้านเพื่อสร้างเครือข่ายการขนส่งเชื่อมโยงทางบกผ่านจุดผ่านแดนถาวร เพื่อให้มีการสัญจรทั้งบุคคล สิ่งของ ยานพาหนะแต่ต้องมีพิธีการตรวจคนเข้าเมืองและพิธีการศุลกากรตามกฎหมายของทั้งสองประเทศ ส่วนจุดผ่านแดนชั่วคราว จุดผ่อนปรน และช่องทางตามกฎหมายศุลกากร เป็นจุดที่เปิดให้เป็นการเฉพาะกิจตามระยะเวลาที่กำหนดเท่านั้น นอกจากนี้ช่องทางตามธรรมชาติ ที่เป็นช่องทางเดินเข้า ออกของประชาชนที่เดิน

ไปมาหาสู่กันตั้งแต่สมัยโบราณ ไม่ได้ประกาศให้เป็นจุดผ่านแดนประเภทใด ซึ่งกล่าวได้ว่าการเข้า ออกด้วยเส้นทางดังกล่าวเป็นการผิดกฎหมาย (นพรัตน์ วงศ์วิทยาพาณิชย์ และคณะ, 2554) ในแต่ละจุดผ่านแดนจำเป็นต้องมีหน่วยงานภาครัฐในการควบคุมการตรวจบุคคลและยานพาหนะ ที่เดินทางเข้า-ออกในราชอาณาจักร ซึ่งจากรายงานสรุปสถิติการเดินทางเข้าออกจุดผ่านแดนของไทยกับประเทศเพื่อนบ้านในพื้นที่ 27 จังหวัด จำนวน 97 ช่องทาง (กองการต่างประเทศ สำนักงานปลัดกระทรวงมหาดไทย, 2662)

การค้าชายแดน นับว่ามีความสำคัญต่อระบบเศรษฐกิจของประเทศ โดยในปี 2564 พบว่า การค้าชายแดนรวมของไทยมีมูลค่าสูงกว่า 9 แสนล้านบาท คิดเป็นร้อยละ 62.8 ของมูลค่าการค้าระหว่างประเทศของไทย ซึ่งประเทศไทยมีด่านที่สำคัญที่มีมูลค่าทางการค้าระหว่างประเทศสูง คือ

ด้านศุลกากรสะเดา จังหวัดสงขลา ที่ติดกับประเทศมาเลเซีย ซึ่งมีมูลค่าการค้าในปี 2564 สูงถึง 278,681 ล้านบาท (อรรรรณ นักปราชญ์, 2565)

จากการสำรวจปัญหาจุดผ่านแดนสะเดาเบื้องต้นพบว่า มีความไม่เป็นระเบียบของการจัดการพื้นที่ ที่ส่งผลต่อการให้บริการ โดยเฉพาะการใช้พื้นที่การค้าบริเวณรอบด่าน มีแผงลูกล้าพื้นที่ด้าน และมีการจอตกริมทางทำให้การจราจรติดขัด และปัญหาเรื่องความสามารถในการรองรับปริมาณของสินค้าเข้า-ออก เนื่องจากปริมาณของสินค้า และผู้เดินทาง รวมถึงการบริหารจัดการพื้นที่ด้านยังไม่เป็นระบบเท่าที่ควร โดยเฉพาะการสับสน ปะปนของผู้เดินทาง และยานพาหนะ ถึงแม้ว่าด่านสะเดาจะมีแผนการสร้างจุดผ่านแดนแห่งใหม่ซึ่งจะทำให้สามารถรองรับการให้บริการที่มีประสิทธิภาพและเพียงพอกับปริมาณการค้าด้าน (ยุพาวดี สมบูรณ์กุล และคณะ, 2556) แต่อย่างไรก็ตามในการรองรับกับการพัฒนาด่านชายแดนทั้งปัจจุบันและอนาคตจึงมีความสำคัญอย่างยิ่งในการวางแผนรองรับ และการพัฒนาต่างๆ ต้องเริ่มต้นจากการประเมินประสิทธิภาพข้อดี ข้อเสียของการจัดการนั้นๆ เพื่อที่จะสามารถกำหนดทิศทางในการพัฒนาได้อย่างถูกต้อง ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพ

การบริการของด่านชายแดน เพื่อการวัดประสิทธิภาพด้านระบบบริการของจุดผ่านแดนสะเดาให้เป็นมาตรฐานต่อไป

วัตถุประสงค์

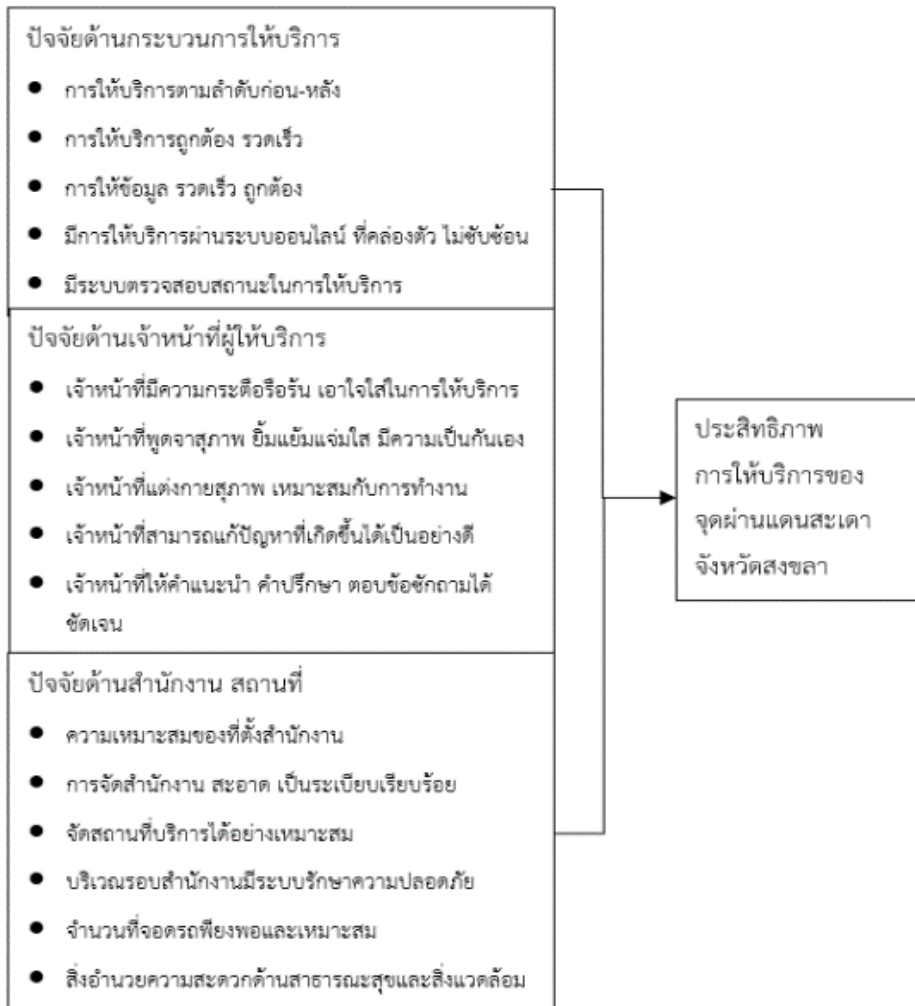
เพื่อศึกษาปัจจัยการให้บริการที่มีประสิทธิภาพและสร้างเกณฑ์ในการประเมินประสิทธิภาพสำหรับการให้บริการจุดผ่านแดนสะเดา จังหวัดสงขลา

ระเบียบวิธีวิจัย

รูปแบบงานวิจัยนี้เป็นวิจัยเชิงปริมาณแบบสอบถามถูกนำมาใช้เป็นเครื่องมือในการเก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อตรวจสอบตามกรอบแนวคิดด้านปัจจัยภายในที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการให้บริการงานวิจัยนี้

ตัวแปรอิสระ

ตัวแปรตาม



ภาพที่ 1.1 กรอบแนวคิดการวิจัย

วิธีการดำเนินการวิจัย

1. เครื่องมือการวิจัย แบบสอบถามที่ถูกพัฒนาขึ้นมาจากการทบทวนแนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ข้อคำถามมีมาตรวัดแบบ Likert Scale 5 ระดับ โดยแบบสอบถามสามารถนำมาใช้เป็นเครื่องมือในการรวบรวมข้อมูล จากการ

ประเมินความตรงของเนื้อหาด้วยผู้เชี่ยวชาญจำนวน 5 ท่าน ซึ่งมีค่าดัชนีความสอดคล้องข้อคำถามแบบรายชื่อ และแบบรวม (Index of Consistency: IOC) มากกว่า 0.5 ขึ้นไป (ปัจจัย อินทรน้อย และณัฐพัชร์ อารีรัชกุลกานต์, 2565) โดยนำแบบสอบถามที่ผ่านการปรับปรุงแล้วไป

ทดสอบกับตัวอย่างที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับกลุ่มตัวอย่างจริง จำนวน 30 ตัวอย่าง เพื่อตรวจสอบความสอดคล้องภายในด้วยสูตรสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค (Cronbach's coefficient alpha; α) พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาคทั้งฉบับมีค่า 0.882 ซึ่งมากกว่า 0.70 เมื่อพิจารณาตามข้อเสนอของ Hair et al. (2014) แสดงว่าแบบสอบถามมีความเชื่อมั่นสูง สามารถนำไปใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูลได้

2. ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากรที่ใช้ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้คือ ผู้ให้บริการ และผู้รับบริการของจุดผ่านแดนสะเตา จังหวัดสงขลา ทั้งนี้กลุ่ม

ตัวอย่าง ของงานวิจัยนี้ได้แก่ ตัวแทนผู้ให้บริการและผู้รับบริการจุดผ่านแดนสะเตา จังหวัดสงขลา จำนวน 400 ชุด ได้มาจากการกำหนดตัวอย่างของประชากรที่มีขนาดใหญ่และไม่ทราบจำนวนประชากรที่แน่นอน ดังนั้นจำนวนขนาดตัวอย่างจึงคำนวณจากสูตรที่ไม่ทราบขนาดตัวอย่างของ W.G.Cochran ที่ค่าความเชื่อมั่นร้อยละ 95 และระดับค่าความคลาดเคลื่อนร้อยละ 5 (กัลยา วาณิชย์บัญชา, 2549)

3. การรวบรวมข้อมูล

ผู้วิจัยได้ทำการเก็บรวมข้อมูลด้วยตนเอง โดยแบ่งสอบถามสำหรับผู้ใช้บริการ และให้บริการฝั่งขาเข้า จำนวน 200 ชุด และอีก 200 ชุดสำหรับผู้ให้บริการ และให้บริการฝั่งขาออกด่านชายแดน แบบไม่เจาะจงผู้ตอบแบบสอบถาม หลังจากที่ได้รับแบบสอบถามกลับคืน ผู้วิจัยได้ตรวจสอบความสมบูรณ์ครบถ้วนของแบบสอบถามก่อนนำไปวิเคราะห์ผล

ผลการศึกษา

1. สภาพแวดล้อมทั่วไปของจุดผ่านแดนสะเตา จังหวัดสงขลาในปัจจุบันจุดผ่านแดนสะเตา ประกอบด้วยด่านศุลกากรด่านตรวจคนเข้าเมือง ด่านตรวจพืช และด่านตรวจคนหางาน เป็นการนำหน่วยงานทุกหน่วยมาไว้ ณ จุดเดียวกัน ซึ่งแต่ละหน่วยจะมีหน้าที่และภารกิจที่แตกต่างกันออกไป โดยผู้วิจัยได้ทำการสำรวจแนวทางปฏิบัติงานของด่านตรวจคนเข้าเมืองทั้งบริเวณขาเข้า และขาออกพบว่า บริเวณขาออก คือบริเวณที่ทำการตรวจบุคคล และยานพาหนะที่ต้องการเดินทางออกนอกประเทศไทยไปยังฝั่งประเทศมาเลเซีย โดยต้องมีการยื่นเอกสารเพื่อทำการตรวจสอบทำการบันทึกข้อมูลเอกสารการเดินทางออกหมายเลขบัตรขาออก หมายเลขยานพาหนะ (ถ้ามี) และบันทึกภาพถ่ายลงในระบบคอมพิวเตอร์ พร้อมกับประทับตรา

ลงในเอกสารเดินทางก่อนคืนเอกสาร ใช้เวลาโดยประมาณ 45 นาที เมื่อตรวจเอกสารผ่านแล้วจึงจะสามารถเดินทางข้ามไปฝั่งประเทศมาเลเซียได้ และบริเวณขาออก ผู้รับบริการต้องยื่นคำร้องเพื่อให้เจ้าหน้าที่ตรวจสอบเอกสารคำร้องในการขอเข้าประเทศ และทำการบันทึกข้อมูลพร้อมกับชำระค่าธรรมเนียม หลังจากนั้นเจ้าหน้าที่จะประทับตราและให้ผู้มีอำนาจลงนาม ทำการคืนเอกสาร รวมแล้วใช้เวลาประมาณ 50 นาที ก่อนจะเดินทางกลับเข้าประเทศไทยได้

2. ข้อมูลทั่วไปผู้ตอบแบบสอบถาม โดยหลังจากได้รับแบบสอบถามกลับคืนทั้ง 400 ชุด คิดเป็นร้อยละ 100 ของจำนวนแบบสอบถามที่เก็บข้อมูล พบว่า เป็นผู้ตอบแบบสอบถามขาเข้า จำนวน 200 ชุด และผ่านแดนขาออกจำนวน 200 ชุดเช่นกัน โดยผู้ตอบแบบสอบถามส่วนมากเป็นเพศหญิง จำนวน 231 คน ร้อยละ 57.75 เป็นเพศชายจำนวน 169 คน ร้อยละ 42.25 โดยเป็นบุคคลทั่วไป จำนวน 360 คนคิดเป็นร้อยละ 90 รองลงมาเป็นพ่อค้า-แม่ค้า จำนวน 29 คน คิดเป็นร้อยละ 7.25 นอกจากนั้นเป็นบุคลากรของจุดผ่านแดนสะเดา จำนวน 10 คน ร้อยละ 2.50 และอื่นๆ 1 คน ร้อยละ 0.25 ตามลำดับ

นอกจากนี้การใช้บริการจุดผ่านแดนส่วนมากอยู่ 2 ครั้ง/เดือนจำนวน 178 คน

ร้อยละ 44.50 รองลงมา คือ 1 ครั้งต่อเดือน จำนวน 90 คน ร้อยละ 22.50 และ 3 ครั้งต่อเดือน และอื่นๆ เท่ากันที่จำนวน 66 คน ร้อยละ 16.50 วัตถุประสงค์ในการผ่านแดนเพื่อท่องเที่ยวสูงสุด จำนวน 206 คน ร้อยละ 51.50 รองลงมาคือข้ามแดนพบญาติ ทำงาน จำนวน 143 คน ร้อยละ 35.75 รองลงมาคือ ทำการค้าขาย จำนวน 43 คน ร้อยละ 10.75 และอื่นๆ น้อยที่สุด จำนวน 8 คน ร้อยละ 2.00

3. ประสิทธิภาพการให้บริการ ซึ่งระดับความคิดเห็นต่อจุดผ่านแดนที่มีต่อประสิทธิภาพการให้บริการจุดผ่านแดน โดยภาพรวมมีประสิทธิภาพการให้บริการระดับมาก ($\bar{x} = 4.029$) เมื่อพิจารณารายด้าน รายละเอียด ดังนี้

ตารางที่ 1 ประสิทธิภาพการให้บริการจุดผ่านแดนสะเดา

รายการ	ระดับความคิดเห็น	
	\bar{x}	S.D.
ด้านกระบวนการให้บริการ	3.959	0.794
ด้านเจ้าหน้าที่ผู้ให้บริการ	4.258	0.672
ด้านสำนักงาน สถานที่	3.870	0.746
ค่าเฉลี่ย	4.029	0.737

จากตารางที่ 1 พบว่า ระดับความคิดเห็นประเด็นที่มีต่อประสิทธิภาพการให้บริการจุดผ่านแดนสะเดาที่มีค่าเฉลี่ยสูงสุดคือ ประสิทธิภาพด้านเจ้าหน้าที่ผู้ให้บริการ ($\bar{x} = 4.258$) รองลงมาคือ ประสิทธิภาพด้านกระบวนการให้บริการ ($\bar{x} = 3.959$) น้อยที่สุดคือ ประสิทธิภาพด้านสำนักงาน สถานที่ ($\bar{x} = 3.870$) และเมื่อพิจารณาระดับความคิดเห็นประเด็นที่มีต่อประสิทธิภาพการให้บริการจุดผ่านแดนสะเดาของแต่ละปัจจัยแบบรายข้อ มีรายละเอียดตามตารางที่ 2 ซึ่งพบว่า

ตัวแปรที่มีระดับความคิดเห็นประเด็นที่มีต่อประสิทธิภาพการให้บริการจุดผ่านแดนสะเดา ด้านกระบวนการให้บริการมากที่สุดคือ การให้บริการตามลำดับก่อน-หลัง ($\bar{x} = 4.432$) รองลงมาคือ การให้บริการถูกต้อง รวดเร็ว ($\bar{x} = 4.430$) และการให้ข้อมูล รวดเร็ว ถูกต้อง ($\bar{x} = 4.417$) มีการให้บริการผ่านระบบออนไลน์ ที่คล่องตัว ไม่ซับซ้อน ($\bar{x} = 3.275$) และระบบตรวจสอบสถานะในการให้บริการ ($\bar{x} = 3.240$) ตามลำดับ ดังนี้

ตารางที่ 2 ประสิทธิภาพการให้บริการจุดผ่านแดนสะเดา ด้านกระบวนการให้บริการ

รายการ	ระดับความคิดเห็น	
	\bar{x}	S.D.
(1.1) การให้บริการตามลำดับก่อน-หลัง	4.432	0.625
(1.2) การให้บริการถูกต้อง รวดเร็ว	4.430	0.609
(1.3) การให้ข้อมูล รวดเร็ว ถูกต้อง	4.417	0.666
(1.4) มีการให้บริการผ่านระบบออนไลน์ที่คล่องตัว ไม่ซับซ้อน	3.275	1.016
(1.5) มีระบบตรวจสอบสถานะในการให้บริการ	3.240	1.054
ค่าเฉลี่ย	3.959	0.794

สำหรับระดับความคิดเห็นประเด็นที่มีต่อประสิทธิภาพการให้บริการจุดผ่านแดนสะเดา ด้านเจ้าหน้าที่ผู้ให้บริการมากที่สุดคือ เจ้าหน้าที่ที่สามารถแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นได้เป็นอย่างดี ($\bar{x} = 4.460$) อันดับสองคือเจ้าหน้าที่พูดจาสุภาพ ยิ้มแย้มแจ่มใส มีความเป็นกันเอง ($\bar{x} = 4.365$) และ

เจ้าหน้าที่ที่สามารถแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นได้เป็นอย่างดี ($\bar{x} = 4.200$) มีคะแนนใกล้เคียงกับ เจ้าหน้าที่ที่มีความกระตือรือร้น เอาใจใส่ในการให้บริการ ($\bar{x} = 4.195$) และเจ้าหน้าที่ให้คำแนะนำ คำปรึกษา ตอบข้อซักถามได้ชัดเจน ($\bar{x} = 4.070$) เป็นลำดับสุดท้าย รายละเอียดตาม ตารางที่ 3 ดังนี้

ตารางที่ 3 ประสิทธิภาพการให้บริการจุดผ่านแดนสะเดา ด้านเจ้าหน้าที่ผู้ให้บริการ

รายการ	ระดับความคิดเห็น	
	\bar{x}	S.D.
(2.1) เจ้าหน้าที่ที่มีความกระตือรือร้น เอาใจใส่ในการให้บริการ	4.195	0.654
(2.2) เจ้าหน้าที่พูดจาสุภาพ ยิ้มแย้มแจ่มใสมีความเป็นกันเอง	4.365	0.684
(2.3) เจ้าหน้าที่แต่งกายสุภาพ เหมาะสมกับการทำงาน	4.460	0.651
(2.4) เจ้าหน้าที่สามารถแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นได้เป็นอย่างดี	4.200	0.664
(2.5) เจ้าหน้าที่ให้คำแนะนำ คำปรึกษาตอบข้อซักถามได้ชัดเจน	4.070	0.704
ค่าเฉลี่ย	4.258	0.672

ในขณะที่ตัวแปรที่มีระดับความคิดเห็นประเด็นที่มีต่อประสิทธิภาพการให้บริการจุดผ่านแดนสะเดา ด้านสำนักงาน สถานที่สูงที่สุดคือ การจัดสำนักงาน สะอาด เป็นระเบียบเรียบร้อย ($\bar{x} = 4.295$) รองลงมาคือ จัดสถานที่บริการได้อย่างเหมาะสม ($\bar{x} = 4.285$) ต่อไปได้แก่ ความเหมาะสมของสถานที่ตั้งสำนักงาน ($\bar{x} = 4.187$) นอกจากนี้ สำหรับบริเวณรอบสำนักงาน มีระบบรักษาความปลอดภัย ($\bar{x} = 3.920$)

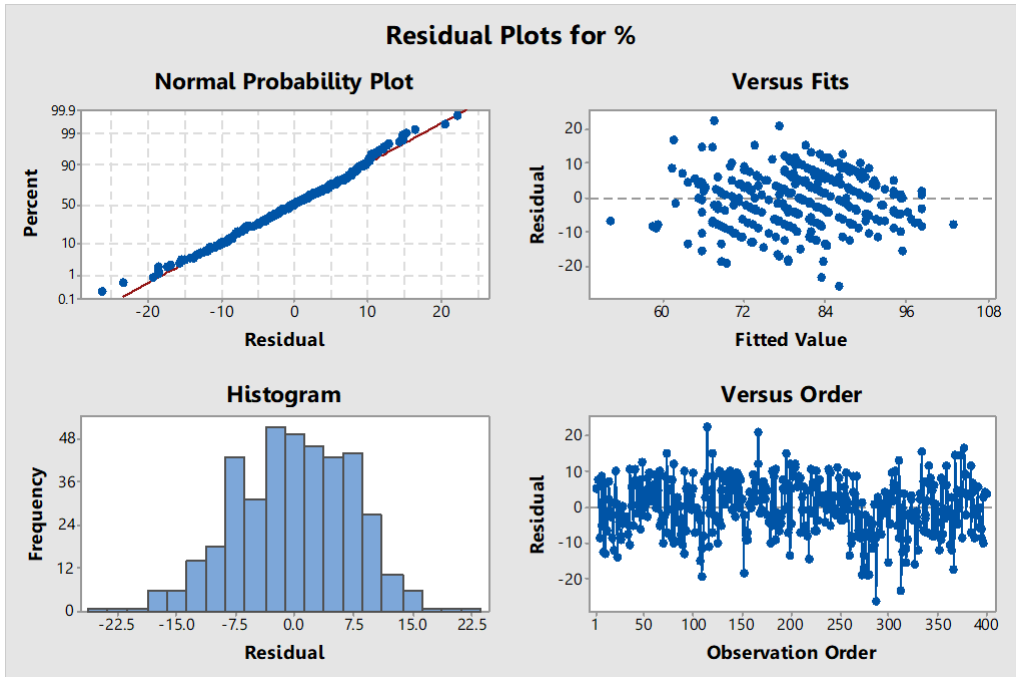
สิ่งอำนวยความสะดวกด้านสาธารณสุข และสิ่งแวดล้อม ($\bar{x} = 3.320$) การให้บริการตามลำดับมีประสิทธิภาพและจำนวนที่จอดรถเพียงพอและเหมาะสม ($\bar{x} = 3.212$) มีประสิทธิภาพน้อยที่สุด รายละเอียดตามตารางที่ 4 ดังนี้

ตารางที่ 4 ประสิทธิภาพการให้บริการจุดผ่านแดนสะเดา ด้านสำนักงาน สถานที่

รายการ	ระดับความคิดเห็น	
	\bar{x}	S.D.
(3.1) ความเหมาะสมของที่ตั้งสำนักงาน	4.187	0.635
(3.2) การจัดสำนักงาน สะอาด เป็นระเบียบเรียบร้อย	4.295	0.738
(3.3) จัดสถานที่บริการได้อย่างเหมาะสม	4.285	0.685
(3.4) บริเวณรอบสำนักงานมีระบบรักษาความปลอดภัย	3.920	0.678
(3.5) จำนวนที่จอดรถเพียงพอและเหมาะสม	3.212	0.827
(3.6) สิ่งอำนวยความสะดวกด้านสาธารณสุขและสิ่งแวดล้อม	3.320	0.911
ค่าเฉลี่ย	3.870	0.746

4. สมการวัดประสิทธิภาพการให้บริการจุดผ่านแดนสะเดา จากแบบสอบถามที่ได้รับการคืนจากกลุ่มตัวอย่างการวิจัยจำนวน 400 ชุด ทางผู้วิจัยแบ่งแบบสอบถามออกเป็น 370 ชุด สำหรับการวิเคราะห์สมการถดถอยพหุคูณ สุ่มแบบสอบถามจำนวน 30 ชุด สำหรับทดสอบค่าความคลาดเคลื่อนสมการวัดประสิทธิภาพการให้บริการจุดผ่านแดนสะเดา โดยรูปแบบการกระจายตัวของข้อมูลจากแบบสอบถามจำนวน 400 ชุด

ได้ถูกนำมาวิเคราะห์ residual plot พบว่าข้อมูลมีการกระจายตัวที่สมมาตร ไม่มีข้อมูลที่กระจายตัวผิดปกติจากกลุ่ม ดังภาพที่ 2 และนอกจากนั้นจากการวิเคราะห์สมการถดถอยพหุคูณด้วยรูปแบบวิธีแบบ stepwise สามารถเขียนสมการเพื่อทดสอบประสิทธิภาพการให้บริการจุดผ่านแดนสะเดา ได้ดังตารางที่ 5 ต่อไปนี้



ภาพที่ 2 residual plot ข้อมูลแบบสอบถามจำนวน 400 ชุด

ตารางที่ 5 ผลการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณประสิทธิภาพการให้บริการจุดผ่านแดนสะเดา

ตัวแปร	Unstandardized Coefficients		t	P-Value
	B	Std. Error		
1.1	0.732	0.917	0.80	0.426
1.2	2.22	1.14	1.96	0.050*
1.3	-0.16	1.08	-0.14	0.885
1.4	-2.592	0.763	-3.40	0.001*
1.5	1.630	0.763	2.14	0.033*
2.1	3.313	0.925	3.58	0.000*
2.2	1.12	1.09	1.03	0.306
2.3	-3.69	1.07	-3.47	0.001*
2.4	2.010	0.984	2.04	0.042*
2.5	4.043	0.875	4.62	0.000*
3.1	1.524	0.979	1.56	0.120
3.2	2.61	1.10	2.37	0.018*
3.3	-0.65	1.20	-0.54	0.586
3.4	-0.743	0.773	-0.96	0.337
3.5	0.180	0.793	0.23	0.820
3.6	5.007	0.721	6.95	0.000*

N =30, R = 0.76, R² = 0.582, R²(adj) = 0.564

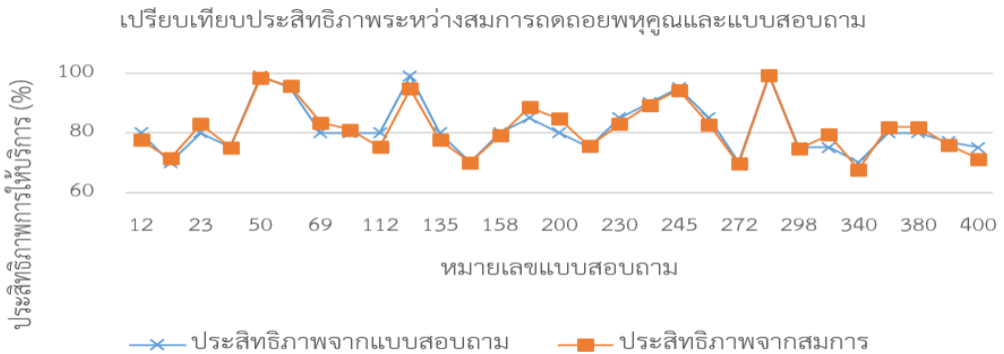
หมายเหตุ * มีระดับนัยสำคัญที่ 0.05

สมการประสิทธิภาพการให้บริการจุดผ่านแดนสะเดา = 16.53 + 2.546 (1.2) - 2.356 (1.4) + 1.444 (1.5)
 + 3.815 (2.1) - 3.156 (2.3) + 2.002 (2.4) +
 4.225 (2.5) + 2.801 (3.2) + 5.048 (3.6)

5. การทดสอบค่าความคลาดเคลื่อนของสมการผลการทดสอบค่าความคลาดเคลื่อนของสมการวัดประสิทธิภาพการให้บริการจุดผ่านแดนสะเดา ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบกันระหว่างสมการถดถอยพหุคูณกับประสิทธิภาพการให้บริการในผู้ตอบแบบสอบถามประเมินไว้ โดยมีรายละเอียดผลการเปรียบเทียบภาพที่ 3 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการให้บริการจุดผ่านแดนสะเดาระหว่างสมการถดถอยพหุคูณและแบบสอบถามจำนวน 30 ข้อมูลพบว่าแต่ละแบบสอบถาม

การวัดประสิทธิภาพจากทั้งสองรูปแบบมีความใกล้เคียงกันทุกจุด โดยมีเปอร์เซ็นต์ค่าความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (Mean Absolute Percent Error: MAPE) โดยผลการวิเคราะห์ข้อมูลได้ร้อยละ 2.33 ซึ่งแสดงถึงความถูกต้องของการพยากรณ์ในรูปแบบของร้อยละของค่าคลาดเคลื่อน (Hwang, H. B., & Ang, H. T., 2001) รายละเอียดดังสมการ ต่อไปนี้

$$MAPE = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^N \frac{|e_t|}{X_t} \times 100\%$$



ภาพที่ 3 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการให้บริการจุดผ่านแดนสะเดา ระหว่างสมการถดถอยพหุคูณและแบบสอบถาม

สรุปผลการศึกษา

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัจจัยการให้บริการที่มีประสิทธิภาพ และสร้างเกณฑ์ในการประเมินประสิทธิภาพ

การให้บริการจุดผ่านแดนสะเดา จังหวัดสงขลา ผลจากการศึกษาพบว่าปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการให้บริการจุดผ่านแดนสะเดามากที่สุด คือประสิทธิภาพด้านเจ้าหน้าที่ ผู้ให้บริการ รองลงมาคือ

ประสิทธิภาพด้านกระบวนการให้บริการ และน้อยที่สุดคือ ประสิทธิภาพด้านสำนักงาน สถานที่ โดยผลจากการรวบรวมข้อมูลของงานวิจัยนี้ได้ใช้สมการถดถอยพหุคูณในการกำหนดสมการสำหรับการวัดประสิทธิภาพการให้บริการจุดผ่านแดนสะเดา จังหวัดสงขลา ที่มีความแม่นยำถึงร้อยละ 87.67 เมื่อเทียบกับคะแนนประสิทธิภาพในแบบสอบถามที่ทางผู้ตอบแบบสอบถามระบุไว้

อภิปรายผล

ปัจจัยด้านกระบวนการให้บริการ ปัจจัยด้านเจ้าหน้าที่ผู้ให้บริการ และปัจจัยด้านสำนักงาน สถานที่ ที่งานวิจัยนี้ได้นำมาพิจารณา มีความสอดคล้องและส่งผลกับประสิทธิภาพในการให้บริการจุดผ่านแดนสะเดา โดยเมื่อพิจารณาแบบแต่ละปัจจัยพบว่า ปัจจัยด้านเจ้าหน้าที่ผู้ให้บริการ เป็นปัจจัยที่ส่งผลมาจากประสิทธิภาพของบุคลากรที่ให้บริการ โดยเจ้าหน้าที่ที่มีความกระตือรือร้น เอาใจใส่ในการให้บริการ พุดจาสุภาพ ยิ้มแย้มแจ่มใส มีความเป็นกันเอง แต่งกายสุภาพเหมาะสมกับการทำงาน สามารถแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นได้เป็นอย่างดี ให้คำแนะนำ คำปรึกษา ตอบข้อซักถามได้ชัดเจน สอดคล้องกับงานวิจัยของ วรรณญา มณฑา

และสุธาสินี โพธิ์ชาธาร, (2565) ที่บุคลากรผู้ให้บริการเป็นปัจจัยที่กำหนดคุณภาพการให้บริการสูงสุด ดังนั้นการพัฒนาบุคลากร ภาพลักษณ์ บุคลิกภาพ และความสามารถในการทำงานที่หลากหลายช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการให้บริการได้ นอกจากนั้นยังสอดคล้องกับปัจจัยด้านด้านสำนักงาน สถานที่ ที่ควรมีความพร้อมที่เพียงพอและพร้อมให้บริการ เช่น ห้องน้ำ ที่นั่งรอรับบริการ น้ำดื่ม รวมถึงระบบการรักษาความปลอดภัยที่ดีและได้มาตรฐาน สถานที่ให้บริการมีความกว้างขวางเพียงพอ และมีความสะอาด สวยงาม สร้างบรรยากาศที่ดีให้กับผู้รับบริการ สุดท้ายปัจจัยด้านกระบวนการให้บริการสอดคล้องงานวิจัยของ ปาริชาติ ดอนบรรจง (2562) กล่าวถึงกระบวนการให้บริการส่งผลต่อการรับรู้ถึงคุณภาพการให้บริการอย่างมีนัยสำคัญ ประกอบด้วย การสื่อสาร การบริการ และเวลาในการรับบริการที่มีประสิทธิภาพ ยิ่งไปกว่านั้นผลของงานวิจัยนี้ยังเสนอให้มีระบบมีการให้บริการผ่านระบบออนไลน์ ที่คล่องตัว ไม่ซับซ้อน และมีรูปแบบที่ใช้งานง่ายเพื่อช่วยในการให้บริการล่วงหน้า และลดระยะเวลา ในการติดต่อประสานงานได้อีกช่องทางเพื่อรองรับกับวิถีชีวิตสมัยใหม่

ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะในการนำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์ สำหรับผู้เกี่ยวข้องที่สามารถนำปัจจัยด้านด้านกระบวนการให้บริการด้านเจ้าหน้าที่ผู้ให้บริการด้านสำนักงานสถานที่ ใช้กำหนดเป็นแผนการพัฒนาประสิทธิภาพการให้บริการจุดผ่านแดนอื่น และสามารถนำสมการวัดประสิทธิภาพการให้บริการไปใช้วัดประสิทธิภาพการให้บริการจุดผ่านแดนอื่นๆ ได้

ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยครั้งต่อไปงานวิจัยครั้งต่อไปสามารถนำปัจจัยภายนอกที่เกี่ยวกับ สังคม เศรษฐกิจ เทคโนโลยี สภาพแวดล้อม และกฎหมายของจุดผ่านแดนที่แตกต่างกัน เนื่องจากจุดผ่านแดนแต่ละจุดติดกับประเทศเพื่อนบ้านที่มีปัจจัยภายนอกแตกต่างกัน นอกจากนั้นงานวิจัยนี้ได้นำเสนอเกี่ยวกับตัวแปรที่เกี่ยวกับระบบมีการให้บริการผ่านระบบออนไลน์ที่มีความสำคัญต่อวิถีชีวิตสมัยใหม่ งานวิจัยครั้งต่อไปสามารถศึกษาข้อมูลเชิงลึกเกี่ยวกับการรับรู้ถึงเทคโนโลยีที่มีประสิทธิภาพในการเพิ่มประสิทธิภาพต่อการให้บริการจุดผ่านแดนได้

เอกสารอ้างอิง

- กองการต่างประเทศ สำนักงานปลัดกระทรวงมหาดไทย. (2562). รายงานสรุปสถิติการเดินทางเข้า ออกจุดผ่านแดนของไทยกับประเทศเพื่อนบ้าน ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2562 (ระหว่างวันที่ 1 ต.ค. 2561 – 30 ก.ย. 2562).
- กัลยา วาณิชย์บัญชา. (2549). *สถิติสำหรับงานวิจัย*. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- นพรัตน์ วงศ์วิทยาพาณิชย์ จิตรา โรจน์ประเสริฐกุล และเสริมสิทธิ์ สร้อยสอดศรี. (2554). *รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ โครงการ การพัฒนาตลาดการค้าชายแดนไทย กรณีศึกษาตลาดโรงเกลือ จังหวัดสระแก้ว*. สำนักงานกองทุนสนับสนุนการสร้างเสริมสุขภาพ (สสส.).
- ปาริชาติ ดอนบรรจง กิตติชัย เจริญชัย และเขมิกา แสนโสสม. (2562). ปัจจัยกระบวนการ ให้บริการที่ส่งผลต่อการรับรู้คุณภาพบริการของผู้รับบริการแผนกผู้ป่วยนอกโรงพยาบาลสุทธาเวช จังหวัดมหาสารคาม. *วารสารสหวิทยาการวิจัย*, 8(2), 424-433.

- ปัจจัย อินทรน้อย และณัฐพัชร์ อารีรัชกุล กานต์. (2565). สมรรถนะด้าน โลจิสติกส์ และโซ่อุปทานที่ส่งผลต่อการดำเนินงานการขนส่งสินค้าทางอากาศของบริษัทการบินไทยจำกัด (มหาชน). *วารสารวิทยาลัยโลจิสติกส์ และซัพพลายเชน*, 8(2), 50-64.
- ยุพาวดี สมบูรณ์กุล, สมแก้ว รุ่งเลิศเกรียงไกร, สมมาตร จุลิกพงศ์, เสาวณี จุฬิรัชนิกร, อิศศักดิ์ จินดาบถ, กุลวดี ลิ้มอุสันโน, สิริชัชย ศุภผล และ นูรี มานต์ หลงหนี. (2556). *รายงานวิจัย ฉบับสมบูรณ์โครงการรูปแบบระบบ การจัดการด้านพรมแดนสะเดา จังหวัดสงขลา*. สำนักงาน คณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม.
- วรัญญา มณฑา และสุชาสินี โพธิ์ชาธาร. (2565). ปัจจัยที่ส่งผลต่อคุณภาพการ ให้บริการของ สำนักงานอัยการ จังหวัดจันทบุรี. *วารสารราชพฤกษ์*, 20(2), 139-152.
- อรวรรณ นักปราชญ์. (2565). การค้า ขยายแดนด้านสิงขรกับการพัฒนา เศรษฐกิจจังหวัด ประจวบคีรีขันธ์ และเศรษฐกิจไทย. *วารสารสุทธิ ปริทัศน์*, 36(3), 43-64.
- Hair, Joseph F., Black, W. C., Babin, B. J., & Anderson, R. E. (2014). *Multivariate Data Analysis* (7th ed.). Pearson New International.
- Hwang, H. B., & Ang, H. T. (2001). A simple neural network for ARMA (p, q) time series. *Omega*, 29(4), 319-333.

การสังเคราะห์ซิลิกาจากเถ้าชีวมวลเพื่อใช้เป็นสารผสมเพิ่ม สำหรับมอร์ตาร์และคอนกรีต

The Synthesis of Silica from Biomass Ash for the Use as an Admixture for Mortar and Concrete

ชรินทร์ นมรัช^{1*}, สหรัฐ สมประชา², สันติภาพ ชามักดี³, จตุรงค์ จุลเดช⁴

^{1,2,3,4}สาขาวิชาเทคโนโลยีธาตสถาปัตยกรรม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏหมู่บ้าน
จอมบึง จังหวัดราชบุรี

^{1,2,3,4}Bachelor of Technology Program in Civil Architecture, Faculty of Industrial technology,
Muban Chombueng Rajabhat University,

*Corresponding author E-mail: charin999@hotmail.com

Received 10 Aug 2022 Revised 16 Oct 2022 Accepted 15 Nov 2022

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาการสังเคราะห์ซิลิกาจากเถ้าชีวมวลซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร 3 ชนิด ได้แก่ เถ้าแกลบ เถ้าปาล์ม และเถ้าชานอ้อย ด้วยการใช้วิธีโซลเจลและการตกตะกอน ศึกษาอิทธิพลของซิลิกาจากเถ้าชีวมวลต่อกำลังอัดของมอร์ตาร์และการแทรกซึมคลอไรด์ของคอนกรีต โดยการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยซิลิกาที่ได้จากการสังเคราะห์ที่ร้อยละ 5 10 และ 15 ทดสอบกำลังอัดมอร์ตาร์ที่อายุ 14 28 60 90 และ 300 วัน และทดสอบการแทรกซึมคลอไรด์ของคอนกรีตแบบแรง ที่อายุ 28 วัน ผลจากการสังเคราะห์ซิลิกาพบว่า เถ้าแกลบให้ปริมาณซิลิกามากกว่าเถ้าชานอ้อย ส่วนเถ้าปาล์มเกิดซิลิกาในปริมาณน้อยมาก โดยเถ้าแกลบและเถ้าชานอ้อยสังเคราะห์ซิลิกาได้ร้อยละ 24.6 และ 16.6 ตามลำดับ การแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยซิลิกา ส่งผลให้ซิลิกามอร์ตาร์มีความต้องการน้ำมากกว่าซีเมนต์มอร์ตาร์ และพบว่ากำลังอัดของซิลิกามอร์ตาร์ที่อายุ 14 28 60 และ 90 วัน มีค่าต่ำกว่าซีเมนต์มอร์ตาร์ ในขณะที่อายุปลายคือที่อายุ 300 วัน ซิลิกามอร์ตาร์สามารถพัฒนากำลังอัดจนมีค่าใกล้เคียงกับซีเมนต์มอร์ตาร์ นอกจากนี้การแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยซิลิกาให้ค่าการต้านทานคลอไรด์ได้ใกล้เคียงกับคอนกรีตควบคุม โดยซิลิกาที่สังเคราะห์จากเถ้าแกลบให้ค่าการต้านทานคลอไรด์ได้

ดีกว่าซิลิกาที่สังเคราะห์จากเถ้าชานอ้อย ผลจากงานวิจัยนี้สามารถใช้เป็นแนวทางสำหรับการพัฒนาคอนกรีตจากวัสดุที่เหลือใช้ทางการเกษตรต่อไป

คำสำคัญ : ซิลิกา เถ้าชีวมวล มอร์ตาร์ คอนกรีต

Abstract

The objectives of this research were to examine the synthesis of silica from biomass ash which consisted of 3 types of agricultural waste material: rice husk ash, palm oil fuel ash, and bagasse ash, by using the sol-gel method and precipitation; to investigate the influence of the silica from biomass ash on the compressive strength of mortar and the chloride penetration of concrete by cement replacing with synthetic silica at 5, 10 and 15%. The compressive strengths of mortars were measured at ages of 14, 28, 60, 90, and 300 days and the rapid chloride penetration of concrete was tested at the age of 28 days. With regard to the silica synthesis, it was found that the rice husk ash and the bagasse ash could produce silica by 24.6% and 16.6% respectively, while the palm oil fuel ash produced silica at a very low level. As a result of the replacement of cement with silica, the silica mortar had a higher water demand than the cement mortar. The compressive strength of the silica mortar at the ages of 14, 28, 60 and 90 days were lower than those of cement mortar, while, at the late age of 300 days, the silica mortar could develop its compressive strength in the same as the cement mortar, as shown that their compressive strength were close to each other. Furthermore, the replacement of cement with silica provided a similar chloride resistance value to controlled concrete. The silica synthesized from rice husk ash had a higher capacity of chloride resistance than the silica synthesized from bagasse ash. The findings of this research can be applied as a guideline for the further development of concrete from agricultural waste materials.

Keywords: silica, biomass ash, mortar, concrete

บทนำ

อาคารหรือสิ่งปลูกสร้างโดยส่วนใหญ่ มีคอนกรีตเป็นองค์ประกอบหลัก ทั้งนี้อาจเป็นเพราะคอนกรีตเสริมเหล็กมีข้อได้เปรียบวัสดุอื่นหลายด้านเช่น มีความคงทนถาวร ทนต่อสภาวะอากาศได้ดี ทนไฟ มีความแข็งแรง ราคาต่ำกว่าที่ถูกลง ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาต่ำ จากความต้องการใช้คอนกรีตจำนวนมากส่งผลให้ปริมาณการใช้ปูนซีเมนต์สูงขึ้นตามไปด้วย ซึ่งกระบวนการในการผลิตปูนซีเมนต์ต้องใช้ความร้อนในการเผาวัตถุดิบสูงถึง 1500°C โดยในการผลิตปูนซีเมนต์ 1 ตันปล่อย CO_2 ออกสู่บรรยากาศสูงถึง 900 kg (P.K. Mehta.,2009) ซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดภาวะโลกร้อน นอกจากนี้การผลิตปูนซีเมนต์ยังก่อให้เกิดฝุ่นละอองส่งผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมบริเวณใกล้เคียง ทรัพยากรธรรมชาติที่มีอยู่อย่างจำกัดก็ลดปริมาณลงทุกปี ความต้องการใช้งานคอนกรีตยังคงมากขึ้นอย่างต่อเนื่องแต่ในขณะเดียวกันวัสดุที่จะนำมาผลิตคอนกรีตก็มีแนวโน้มลดลงเรื่อย ๆ จึงมีความจำเป็นอยู่ดีที่จะต้องหาวัสดุอื่นมาทดแทนในการผลิตคอนกรีต ไม่ว่าจะเป็นปูนซีเมนต์หรือมวลรวม ซึ่งการได้มาซึ่งวัสดุทั้งสอง

ชนิดนั้น ส่งผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมในอดีตที่ผ่านมาการใช้มวลรวมรีไซเคิลและวัสดุทดแทนปูนซีเมนต์ได้มีการศึกษาและนำมาใช้เพื่อลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากการใช้คอนกรีต

ในช่วงหลายปีที่ผ่านมาได้มีการศึกษาถึงความเป็นไปได้ในการนำวัสดุปอซโซลานได้แก่ เถ้าถ่านหิน และเถ้าชีวมวลซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งจากการเผาเชื้อเพลิงชีวมวลเพื่อผลิตกระแส เช่น เถ้าชานอ้อย เถ้าปาล์มน้ำมัน เถ้ากลบ เป็นต้น ซึ่งวัสดุเหล่านี้มีซิลิกา (SiO_2) เป็นองค์ประกอบหลักสามารถทำปฏิกิริยา มาใช้เป็นวัสดุประสานแทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วนในคอนกรีต โดยมีงานวิจัยหลายชิ้นที่ได้ศึกษาในเรื่องนี้ (D.F. Aponte, M. Barra, E. Vázquez.,2012) and L. Turanlı, B. Uzal, F. Bektas. ,2005). ซึ่งพบว่ามีความศักยภาพที่จะสามารถใช้ในการคอนกรีตได้ โดยสามารถปรับปรุงคุณสมบัติของคอนกรีตได้ทั้งด้านคุณสมบัติทางกลและด้านความทนทาน ซิลิกาฟูมก็เป็นวัสดุปอซโซลานอีกชนิดหนึ่งที่นิยมนำมาใช้เป็นวัสดุผสมเพิ่มสำหรับงานคอนกรีตในต่างประเทศแต่สำหรับประเทศไทยราคาค่อนข้างสูงเนื่องจากต้องนำเข้า จึงได้มี

การศึกษาการใช้เถ้าชีวมวลมาเป็นวัสดุพอลิโซลันอีกทางหนึ่ง อย่างไรก็ตามจากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าการใช้เถ้าชีวมวลมาใช้เป็นวัสดุพอลิโซลันโดยไม่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพให้ผลไม่ดึ้นักโดยเฉพาะในช่วงอายุต้น เนื่องจากขนาดอนุภาคมีขนาดใหญ่เกิดปฏิกิริยาได้ช้า

ในช่วง 10 กว่าปีที่ผ่านมาได้มีการศึกษาการใช้นาโนซิลิกาในงานคอนกรีตในต่างประเทศโดยในปี 2004 W. Zhu Zhu, W., Bartos, P. J., & Porro, A., 2004 ได้ประยุกต์ใช้วัสดุนาโนมาใช้ในอุตสาหกรรมก่อสร้าง หลังจากนั้นในปีต่อๆ มาก็ได้มีการประยุกต์ใช้นาโนซิลิกามาแทนที่ปูนซีเมนต์ในมอร์ตาร์และคอนกรีต กล่าวคือ Lin และคณะ ปี 2008 Madani, H., Bagheri, A., Parhizkar, T. and Raisghasemi, A., (2014) ได้ศึกษาคุณสมบัติทางกล Nazari, A., & Riahi, S. ปี 2011 และภทรินทร์ ทวดอาจ. (2561) ได้ศึกษาการต้านทานการขัดสีและการหดตัวแห้ง Madani, H. และคณะปี 2014 ปกป้อง รัตนชู. (2557) ได้ใช้นาโนซิลิกาเพื่อศึกษาการต้านทานคลอไรด์ของคอนกรีตพบว่าการใช้นาโนซิลิกาส่งผลให้คอนกรีตมีการต้านทานคลอไรด์ได้ดีกว่าคอนกรีตควบคุม จากงานวิจัยที่ผ่านมา

พบว่างานวิจัยส่วนใหญ่มีการศึกษาในต่างประเทศ โดยเฉพาะการสังเคราะห์นาโนซิลิกาจากเถ้าชีวมวลในประเทศยังมีการศึกษาไม่มากนัก โดย เจริญ ปัญญา, (2560) และภทรินทร์ ทวดอาจ, 2561 ได้ทำการศึกษาการสังเคราะห์นาโนซิลิกาจากของเหลือทิ้งทางการเกษตร สำหรับเมืองไทยซึ่งเป็นประเทศเกษตรกรรมจึงมีความเป็นไปได้ที่จะประยุกต์ใช้นาโนซิลิกาจากเถ้าชีวมวลซึ่งมีเหลือทิ้งในปริมาณสูงมาใช้ในงานคอนกรีต

เป้าหมายของงานวิจัยนี้เพื่อศึกษาการสังเคราะห์ซิลิกาจากเถ้าชีวมวล 3 ชนิด ได้แก่ เถ้าแกลบ เถ้าชานอ้อย และเถ้าปาล์ม เพื่อนำมาใช้เป็นสารผสมเพิ่มร่วมกับปูนซีเมนต์โดยเปรียบเทียบผลที่ได้กับมอร์ตาร์และคอนกรีตที่ใช้ปูนซีเมนต์ล้วน ทำการศึกษาผลกระทบของซิลิกาต่อสมบัติด้านกำลังอัดของมอร์ตาร์และการต้านทานการแทรกซึมของคลอไรด์ต่อคอนกรีต ทั้งนี้สมมติฐานของการศึกษาคือซิลิกาจากเถ้าชีวมวลสามารถปรับปรุงคุณภาพของมอร์ตาร์และคอนกรีตได้ ทั้งด้านกำลังและความทนทาน ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับเป็นการลดปัญหาวัสดุเหลือทิ้งและลดค่าใช้จ่ายในการจัดการของเสียซึ่งเกิดจากกระบวนการผลิตในโรงงานอุตสาหกรรม

เป็นการสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับเก้าอี้มวอลซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้ง อีกทั้งยังลดปริมาณการใช้ปูนซีเมนต์ได้อีกทางหนึ่งด้วย แม้ว่าปูนซีเมนต์จะเป็นวัสดุหลักและมีบทบาทสำคัญในงานคอนกรีต แต่ในการผลิตปูนซีเมนต์ ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและปริมาณคาร์บอนในชั้นบรรยากาศ ซึ่งการลดปริมาณการใช้ปูนซีเมนต์นอกจากจะทำให้ต้นทุนในการผลิตคอนกรีตถูกลงแล้ว ยังเป็นการลดค่าใช้จ่ายในการกำจัดวัสดุเหลือทิ้ง ลดปัญหาสุขภาพและปัญหาสิ่งแวดล้อมจากวัสดุที่ใช้เป็นส่วนผสมคอนกรีต เป็นวัสดุทางเลือกสำหรับวัสดุก่อสร้าง เป็นผลให้ประหยัดการใช้วัสดุก่อสร้างเพื่อใช้ในอนาคตได้ยาวนานขึ้น การใช้ปูนซีเมนต์น้อยลงก็จะช่วยลดปริมาณ CO₂ ในชั้นบรรยากาศได้อีกทางหนึ่งด้วย

วัตถุประสงค์

เพื่อสังเคราะห์ซิลิกาจากเก้าอี้มวอล และศึกษาผลกระทบต่อซิลิกาจากเก้าอี้มวอลและเก้าอี้มวอลต่อกำลังอัดของมอร์ตาร์และความทนทานของคอนกรีต

วิธีดำเนินการวิจัย

1. วัสดุในการศึกษาและสังเคราะห์ซิลิกา

1.1 เก้าอี้มวอลจากโรงงานไฟฟ้า บริษัท อุ๋ทองไปโอแมส จำกัด อ.อุ๋ทอง จ.สุพรรณบุรี

1.2 เก้าอี้มวอลจากโรงงานน้ำตาลอุตสาหกรรมอุ๋ทอง อ.อุ๋ทอง จ.สุพรรณบุรี

1.3 เก้าอี้มวอลจากบริษัทเสถียรปาล์ม จำกัด อ.ท่ามะกา จ.กาญจนบุรี ซึ่งไม่ได้คัดแยกทะลายและกะลา ก่อนเผา

1.4 โซดาไฟ (NaOH)

1.5 ปูนซีเมนต์ประเภทที่ 1

1.6 กรดไฮโดรคลอริก

2. วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้ใช้เก้าอี้มวอลซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้ง 3 ชนิด คือ เก้าอี้มวอล เก้าอี้มวอล และเก้าอี้มวอล นำมาสังเคราะห์ซิลิกาด้วยวิธีโซลเจลและการตกตะกอน เพื่อใช้แทนที่ปูนซีเมนต์ในอัตราส่วนต่างๆ คือ ร้อยละ 5, 10 และ 15 โดยน้ำหนักปูนซีเมนต์ เพื่อหล่อเป็นตัวอย่างมอร์ตาร์และคอนกรีต ทำการทดสอบคุณสมบัติด้านต่าง ๆ ได้แก่ กำลังอัดของมอร์ตาร์ตามมาตรฐาน ASTM C109 การต้านทานการแทรกซึมคลอไรด์ของคอนกรีต ผลที่ได้นำมาเปรียบเทียบกับตัวอย่างคอนกรีตที่ใช้ปูนซีเมนต์ล้วนเป็นวัสดุประสาน

2.1 วิธีการในการสังเคราะห์ซิลิกา ด้วยวิธีการโซลเจลและตกตะกอนตามลำดับ ดังนี้

1. นำน้ำเชื่อมวลผสมกับสารละลายโซดาไฟที่มีอัตราความเข้มข้น 3 mol/L ในอัตราส่วนโซดาไฟต่อน้ำต่อเอาซิ่วมวลเท่ากับ 240 : 2000 : 200

2. หลังจากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 90±5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

3. นำตัวอย่างที่ผ่านการอบไปกรองด้วยเครื่องกรองสุญญากาศเพื่อเอาตะกอนออก

4. นำตัวอย่างที่ผ่านการกรองแล้วไปทำปฏิกิริยากับกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 3 mol/L เพื่อให้เกิดการตกตะกอนของซิลิกา

5. นำตะกอนซิลิกาที่ได้มากรองเอาเฉพาะส่วนที่เป็นของแข็ง

6. นำซิลิกาที่ได้นำไปอบแห้งเป็นเวลา 24 ชั่วโมง

7. นำซิลิกาที่ผ่านการอบแห้งมาบดจนละเอียดผ่านตะแกรงเบอร์ 100 เพื่อนำมาใช้ในการศึกษาอัตราการและคอนกรีตในลำดับต่อไป

2.2 วิธีการหลอมอร์ตาร์

หลังจากหาปริมาณน้ำที่เหมาะสมในการผสมมอร์ตาร์ได้แล้วจึงนำซิลิกา ทรา

ปูนซีเมนต์ ผสมด้วยกันโดยใช้ปริมาณน้ำต่อวัสดุประสานจากการทดสอบความชื้นเหลวปกติเท่ากับ 0.7 โดยน้ำหนัก และแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยซิลิกาที่ร้อยละ 5, 10 และ 15 โดยน้ำหนัก ซึ่งพบว่าการแทนที่ซิลิกาในปริมาณที่สูงขึ้นส่งผลให้ค่าการไหลแผ่ลดลง นั่นคือมีความต้องการน้ำที่มากขึ้น ตารางที่ 1แสดงสัดส่วนผสมมอร์ตาร์ โดยหล่อเป็นตัวอย่างมอร์ตาร์มาตรฐานขนาด 5×5×5 ซม. บ่มในน้ำที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 14, 28, 60, 90 และ 300 วัน เพื่อรอทดสอบกำลังอัดที่อายุต่างๆ เมื่อครบอายุนำตัวอย่างมอร์ตาร์ฝั่งลมให้แห้งจากนั้นบันทึกน้ำหนักทดสอบหาลังอัด

ตารางที่ 1 สัดส่วนผสมมอร์ตาร์

MIX	Mix Proportion (Weight)							
	Cement		Silica		Sand		W/C	
	ratio	(g)	ratio	(g)	ratio	(g)	ratio	(g)
CT	1.00	500	0.00	0	2.75	1375	0.70	350
RS5	0.95	475	0.05	25	2.75	1375	0.70	350
RS10	0.90	450	0.10	50	2.75	1375	0.70	350
RS15	0.85	425	0.15	75	2.75	1375	0.70	350
BS5	0.95	475	0.05	25	2.75	1375	0.70	350
BS10	0.90	450	0.10	50	2.75	1375	0.70	350
BS15	0.85	425	0.15	75	2.75	1375	0.70	350

CT (control) = มอร์ตาร์ควบคุม (ใช้ปูนซีเมนต์ล้วน)

RS5, RS10, RS15 = มอร์ตาร์ที่ผสมกับซิลิกาที่สังเคราะห์มาจากเถ้าแกลบร้อยละ 5, 10 และ 15 ตามลำดับ

BS5, BS10, BS15 = มอร์ตาร์ที่ผสมกับซิลิกาที่สังเคราะห์มาจากเถ้าอ้อยร้อยละ 5, 10 และ 15 ตามลำดับ

2.3 การทดสอบการแทรกซึมคลอไรด์แบบเร่ง (Rapid chloride penetration test, RCPT or Coulomb charge)

โดยวัดปริมาณประจุไฟฟ้า (the total charge passed value) ที่เคลื่อนที่ผ่านตัวอย่างคอนกรีต เพื่อเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างการซึมผ่านของคลอไรด์และปริมาณประจุไฟฟ้า (charge passed coulombs) ที่ไหลผ่านตามมาตรฐาน ASTM C1202 ซึ่งกำหนดระดับการซึมผ่านของคลอไรด์ตามจำนวนประจุที่เคลื่อนที่ผ่านขึ้นตัวอย่างคอนกรีต เริ่มจากหล่อตัวอย่างตาม

สัดส่วนในตารางที่ 2 นำตัวอย่างคอนกรีตขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 cm สูง 20 cm มาตัดตามขวางที่ตำแหน่งตรงกลางของแท่งตัวอย่างโดยให้มีขนาดความสูง 50 ± 3 mm ทำการวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ความหนา และชั่งน้ำหนัก (ที่สถานะ saturated surface dry) จากนั้นเคลือบผิวด้านข้างตัวอย่างโดยรอบด้วย epoxy ยกเว้นส่วนผิวหน้าด้านบนและด้านล่าง นำขึ้นตัวอย่างประกอบเข้ากับชุดทดสอบแสดงในภาพที่ 1(a) โดยจัดเตรียมลักษณะการทดสอบในห้องที่มีอุณหภูมิควบคุม 23 ± 2 °C ทำการวัด

บันทึกอุณหภูมิ และกระแสไฟฟ้า (I) ที่ไหล ผ่านทุก ๆ 30 นาที ต่อเนื่องกันจนครบ 6 ชั่วโมง ดังภาพที่ 1(b)

ตารางที่ 2 สัดส่วนผสมคอนกรีต

MIX	Mix Proportion (Weight)							
	Cement		Silica		Sand	Stone	W/C	
	ratio	(kg)	ratio	(kg)	(kg)	(kg)	ratio	(kg)
CCT	1	350	0	0	775	1000	0.55	195
CRS10	0.9	35	0.10	220	775	1000	0.55	195
CBS10	0.9	35	0.10	220	775	1000	0.55	195

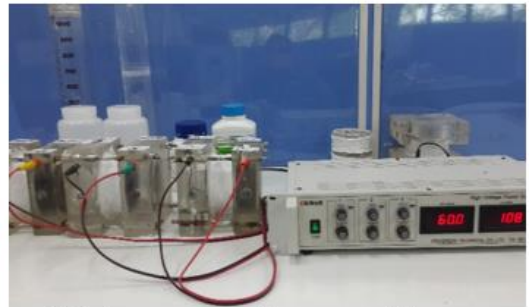
CCT (control) = คอนกรีตควบคุม (ใช้ปูนซีเมนต์ล้วน)

CRS10 = คอนกรีตที่ผสมกับซิลิกาที่สังเคราะห์มาจากเถ้าแกลบร้อยละ 10

CBS10 = คอนกรีตที่ผสมกับซิลิกาที่สังเคราะห์มาจากเถ้าอ้อยร้อยละ 10



a) นำชิ้นตัวอย่างประกอบเข้ากับชุดทดสอบ



b) บันทึกค่าทุก ๆ 30 นาที จนครบ 6 ชั่วโมง

ภาพที่ 1 การทดสอบการแทรกซึมคลอไรด์แบบแรง

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

1. ผลการสังเคราะห์ซิลิกา

ผลการสังเคราะห์ซิลิกาจากเถ้าแกลบ เถ้าขานอ้อยและเถ้าปาล์ม โดยหลังจากนำมาเข้าสู่กระบวนการสังเคราะห์พบว่าซิลิกาจากเถ้าแกลบ เถ้าขานอ้อยและ

เถ้าปาล์ม ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 3 และลักษณะดังภาพที่ 2 จะเห็นได้ว่าหลังจากนำเถ้าชีวมวลทั้ง 3 ชนิดจำนวน 1000 กรัม ผ่านกระบวนการสังเคราะห์โดยวิธีโซเจลให้ผลการเกิดซิลิกาในปริมาณที่แตกต่างกัน โดยพบว่าปริมาณซิลิกาที่สังเคราะห์จากเถ้าแกลบให้

ปริมาณซิลิกามากที่สุดคือร้อยละ 24.6 ในขณะที่ซิลิกาที่สังเคราะห์จากเถาขานอ้อย พบว่าได้ร้อยละ 16.6 ส่วนเถาปาล์มสังเคราะห์ซิลิกาได้ปริมาณน้อยมากซึ่งต่างจากงานวิจัยของหลายท่าน เช่น ปกป้อง รัตนชู [10] ที่รายงานองค์ประกอบทางเคมี

ว่าเถาปาล์มมีซิลิกาเป็นองค์ประกอบหลัก ทั้งนี้อาจเป็นเพราะแหล่งเถาปาล์ม ขึ้นส่วน และวิธีการเผาที่นำไปใช้ในครั้งนี้อาจต่างกัน ดังนั้นจึงไม่ได้ใช้ซิลิกาจากเถาปาล์มมาใช้เป็นส่วนผสมในการศึกษานี้

ตารางที่ 3 ผลการสังเคราะห์ซิลิกาจากเถาขี้มวบ

เถาขี้มวบ	เถา (กรัม)	NaOH (กรัม)	HCL (กรัม)	Silica (%)
เถาแกลบ	1,000	1,000	1,000	24.6
เถาขานอ้อย	1,000	1,000	1,000	16.6
เถาปาล์ม	1,000	1,000	1,000	น้อยมาก



a) ซิลิกาที่ผ่านการกรอง



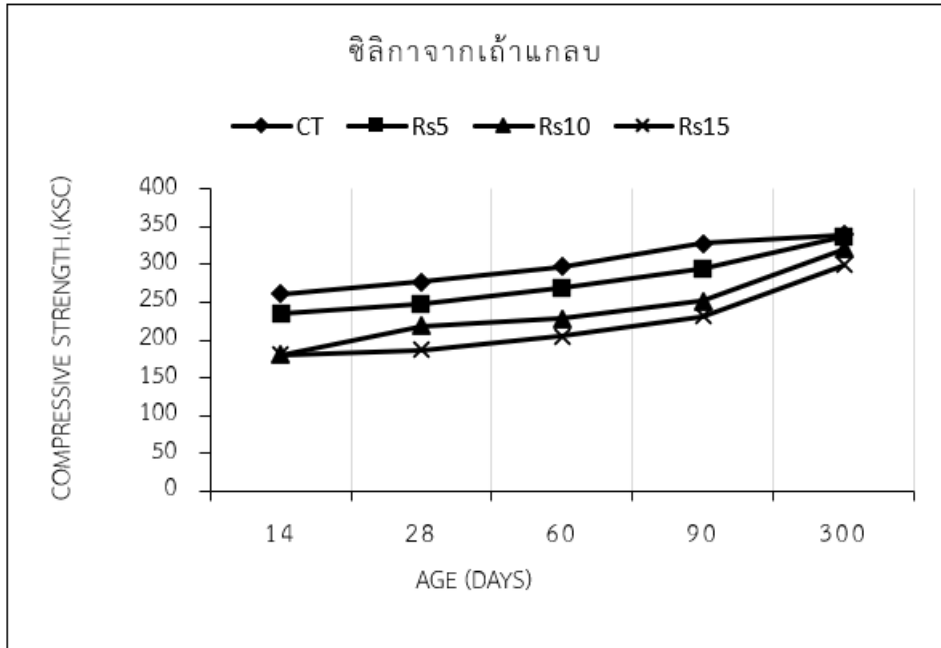
b) ซิลิกาที่ผ่านการอบ



c) ซิลิกาที่ผ่านการบด

ภาพที่ 2 ลักษณะของซิลิกาที่สังเคราะห์ได้

2. อิทธิพลของอัตราส่วนซิลิกาที่สังเคราะห์จากเถ้าแกลบต่อกำลังอัดของมอร์ตาร์



ภาพที่ 3 เปรียบเทียบค่ากำลังอัดของซิลิการ์มอร์ตาร์จากเถ้าแกลบ กับอายุการบ่ม

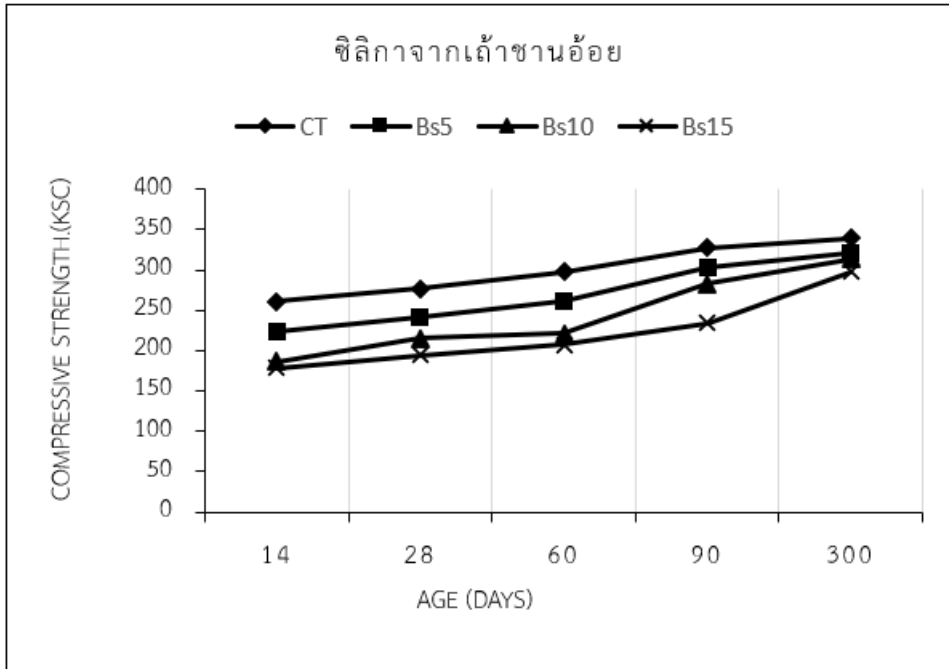
ภาพที่ 3 แสดงค่ากำลังอัดของมอร์ตาร์ ซึ่งแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยซิลิกาที่สังเคราะห์จากเถ้าแกลบ จะเห็นได้ว่ากำลังอัดของทั้งมอร์ตาร์ควบคุมและซิลิกามอร์ตาร์มากขึ้นตามอายุของมอร์ตาร์ โดยที่มอร์ตาร์ควบคุม (CT) มีกำลังอัดมากที่สุดคือ 260.55, 277.00, 297.25, 327.29 และ 338.97 กก/ชม² ที่อายุ 14, 28, 60, 90 และ 300 วันตามลำดับ สำหรับมอร์ตาร์ซึ่งแทนที่ซิลิกาที่สังเคราะห์จากเถ้าแกลบที่ร้อยละ 5 (RS5) มีกำลังอัดคือ

234.18, 248.05, 268.57, 294.80 และ 336.26 กก/ชม² ที่อายุ 14, 28, 60, 90 และ 300 วันตามลำดับ สำหรับมอร์ตาร์ซึ่งแทนที่ซิลิกาที่สังเคราะห์จากเถ้าแกลบที่ร้อยละ 10 (RS10) มีกำลังอัดคือ 180.09, 219.10, 227.79, 251.99 และ 320.63 กก/ชม² ที่อายุ 14, 28, 60, 90 และ 300 วันตามลำดับ และสำหรับมอร์ตาร์ซึ่งแทนที่ด้วยซิลิกาที่สังเคราะห์จากเถ้าแกลบที่ร้อยละ 15 (RS15) มีกำลังอัดคือ 180.63, 187.02, 204.55,

231.74 และ 298.88 กก/ชม² ที่อายุ 14, 28, 60, 90 และ 300 วันตามลำดับ พบว่า การเพิ่มซิลิกาซึ่งสังเคราะห์จากแก้วกลบในปริมาณที่มากขึ้นจะส่งผลให้กำลังอัดของมอร์ตาร์ลดลงตามปริมาณซิลิกาที่เพิ่มขึ้น เช่น กำลังอัดที่อายุ 90 วันสำหรับมอร์ตาร์ซึ่งแทนที่ด้วยซิลิกาที่ร้อยละ 5 (RS) มีกำลังอัดเท่ากับ 294.8 กก/ชม² แต่เมื่อแทนที่ซิลิกาจากแก้วกลบที่ร้อยละ 10 (RS10) และร้อยละ 15 (RS15) กลับทำให้กำลังอัดลดลงเหลือ 251.99 และ 231.74 กก/ชม² ตามลำดับ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากขนาดอนุภาคของซิลิกาที่ใช้แทนที่ปูนซีเมนต์ยังมีขนาดไม่เล็กพอที่จะเกิดปฏิกิริยาปอซโซลานได้ดี ซึ่งจากการศึกษาของ Cordeiro และคณะ Cordeiro, G. C., Toledo Filho, R. D., Tavares, L. M., Fairbairn, E. D. M. R., & Hempel, S., (2011) พบว่าวัสดุปอซโซลานจะเกิดปฏิกิริยาได้ดีเมื่ออนุภาคมีขนาดเล็ก

แม้ว่าการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยซิลิกาซึ่งสังเคราะห์จากแก้วกลบในปริมาณสูง (ร้อยละ 15) จะทำให้มอร์ตาร์มีกำลังอัดน้อยกว่ามอร์ตาร์ควบคุมก็ตาม แต่เมื่อเวลาเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะในช่วงอายุปลาย (60, 90 และ 300 วัน) ค่ากำลังอัดของซิลิกามอร์ตาร์จะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นในอัตราที่สูงกว่ามอร์ตาร์ควบคุม ซึ่งสังเกตได้จากเส้นกราฟที่มีความชันมากกว่า ในขณะที่มอร์ตาร์ควบคุมซึ่งใช้ปูนซีเมนต์เป็นหลักเริ่มมีกำลังอัดที่เปลี่ยนแปลงไม่มากนัก ในช่วง 90 ถึง 300 วัน แต่ซิลิกามอร์ตาร์สามารถเพิ่มกำลังอัดได้มากขึ้นเกือบเทียบเท่ากับมอร์ตาร์ควบคุมที่อายุปลาย โดยที่อายุ 300 วัน มอร์ตาร์ที่แทนที่ด้วยซิลิกาซึ่งสังเคราะห์จากแก้วกลบร้อยละ 5 (RS5) ให้ค่ากำลังอัดมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับระหว่างซิลิกามอร์ตาร์ด้วยกัน และมีค่ากำลังอัดที่มากขึ้นเกือบเทียบเท่ากับมอร์ตาร์ควบคุม ทั้งนี้ปฏิกิริยาปอซโซลานจะให้ผลชัดเจนในช่วงอายุปลาย

3. อิทธิพลของอัตราส่วนซิลิกาที่สังเคราะห์จากเถ้าชานอ้อยต่อกำลังอัดของมอร์ตาร์



ภาพที่ 4 เปรียบเทียบค่ากำลังอัดของซิลิกามอร์ตาร์จากเถ้าชานอ้อย กับอายุการบ่ม

จากภาพที่ 4 จะเห็นได้ว่ากำลังอัดของมอร์ตาร์เพิ่มขึ้นตามอายุ โดยที่มอร์ตาร์ควบคุม (CT) มีกำลังอัดที่มากที่สุดคือ 260.55, 277.00, 297.25, 327.29 และ 338.97 กก/ชม² ที่อายุ 14, 28, 60, 90 และ 300 วันตามลำดับ สำหรับมอร์ตาร์ที่แทนที่ซิลิกาซึ่งสังเคราะห์จากเถ้าอ้อยที่ร้อยละ 5 (BS5) มีกำลังอัดคือ 224.40, 241.25, 262.18, 303.36 และ 321.44 กก/ชม² ที่อายุ 14, 28, 60, 90 และ 300

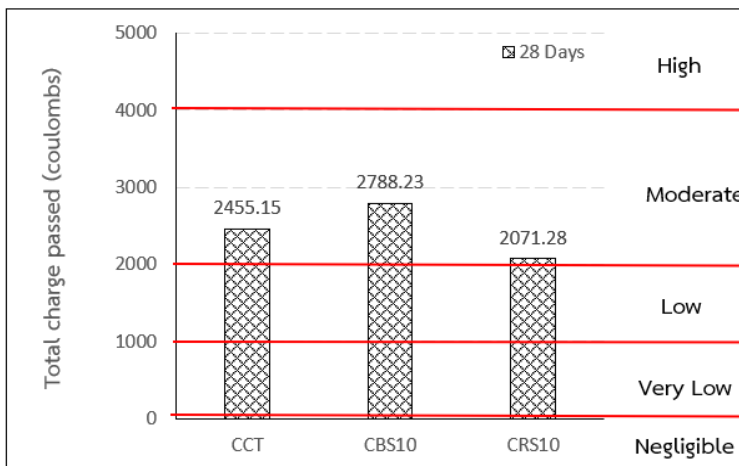
วันตามลำดับ สำหรับมอร์ตาร์ที่แทนที่ซิลิกาซึ่งสังเคราะห์จากเถ้าอ้อยที่ร้อยละ 10 (BS10) มีกำลังอัดคือ 186.20, 215.43, 221.00, 282.57 และ 313.15 กก/ชม² ที่อายุ 14, 28, 60, 90 และ 300 วันตามลำดับ สำหรับมอร์ตาร์ที่แทนที่ซิลิกาซึ่งสังเคราะห์จากเถ้าอ้อยที่ร้อยละ 15 (BS15) มีกำลังอัดคือ 178.59, 194.22, 207.27, 234.32 และ 297.38 กก/ชม² ที่อายุ 14, 28, 60, 90 และ 300 วัน

ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าการแทนที่ซิลิกาที่ได้จากเถ้าขานอ้อยในปริมาณที่มากขึ้นจะส่งผลให้กำลังอัดของมอร์ตาร์ลดลงตามปริมาณซิลิกาที่แทนที่เพิ่มขึ้น เช่นกำลังอัดที่อายุ 90 วัน ของซิลิกามอร์ตาร์ที่แทนที่ด้วยซิลิการ้อยละ 5 (BS5) มีกำลังอัดเท่ากับ 303.36 กก/ซม² แต่เมื่อแทนที่ซิลิกาที่ร้อยละ 10 (BS10) และร้อยละ 15 (BS15) กลับทำให้กำลังอัดลดลงเหลือ 282.57 และ 234.32 กก/ซม² ตามลำดับ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากขนาดอนุภาคของซิลิกาที่ใช้แทนที่ปูนซีเมนต์ยังมีขนาดที่ไม่เล็กพอที่จะเกิดปฏิกิริยาปอซโซลานได้ดี

แม้ว่าการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยซิลิกาซึ่งสังเคราะห์จากเถ้าขานอ้อยในปริมาณสูง (ร้อยละ 15) จะทำให้มอร์ตาร์มีกำลังอัด

น้อยกว่ามอร์ตาร์ควบคุม แต่เมื่อเวลาเพิ่มขึ้นโดยเฉพาะในช่วงอายุปลาย (60, 90 และ 300 วัน) ค่ากำลังอัดของซิลิกามอร์ตาร์จะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นในอัตราที่สูงกว่ามอร์ตาร์ควบคุม ซึ่งสังเกตได้จากเส้นกราฟที่มีความชันมากกว่า ในขณะที่มอร์ตาร์ควบคุมซึ่งใช้ปูนซีเมนต์เป็นหลักเริ่มมีกำลังอัดที่เปลี่ยนแปลงไม่มากนักในช่วง 90 ถึง 300 วัน แต่ซิลิกามอร์ตาร์สามารถเพิ่มกำลังอัดได้มากขึ้นเกือบเทียบเท่ากับมอร์ตาร์ควบคุมที่อายุปลาย โดยที่อายุ 300 วัน มอร์ตาร์ที่แทนที่ด้วยซิลิการ้อยละ 5 (BS5) ให้ค่ากำลังอัดมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับระหว่างซิลิกามอร์ตาร์ด้วยกัน และมีค่ากำลังอัดเกือบเท่ากับมอร์ตาร์ควบคุม

4. การแทรกซึมคลอไรด์ของคอนกรีต



ภาพที่ 5 เปรียบเทียบค่าการต้านทานคลอไรด์ในคอนกรีตที่มีอายุ 28 วัน

ผลจากการทดสอบปริมาณประจุไฟฟ้าที่ไหลผ่านหลังจากการทดสอบการแทรกซึมของคลอไรด์แบบเร่งแสดงดังภาพที่ 5 พบว่าคอนกรีตทั้ง 3 กลุ่ม ให้ค่าการต้านทานคลอไรด์อยู่ในระดับเดียวกันคือระดับปานกลางหรือระดับปกติ (Moderate) โดยคอนกรีตควบคุม (CCT) มีค่าการไหลผ่านของประจุไฟฟ้าอยู่ที่ 2455.15 คูลอมป์ ในขณะที่คอนกรีตที่แทนที่ด้วยซิลิกาที่สังเคราะห์มาจากแก้วกลบปริมาณร้อยละ 10 (CRS10) มีค่าการไหลผ่านของประจุไฟฟ้าอยู่ที่ 2071.28 คูลอมป์ และคอนกรีตที่ถูกแทนที่ด้วยซิลิกาที่สังเคราะห์มาจากแก้วอ้อยปริมาณร้อยละ 10 (CBS10) มีค่าการไหลผ่านของประจุไฟฟ้าอยู่ที่ 2788.23 คูลอมป์ ซึ่งจากภาพจะเห็นได้ว่าคอนกรีตที่แทนที่ด้วยซิลิกาที่ได้มาจากแก้วกลบร้อยละ 10 (CRS10) ให้ค่าการต้านทานคลอไรด์ได้ดีกว่าคอนกรีตที่แทนที่ด้วยซิลิกาที่ได้มาจากแก้วชานอ้อยร้อยละ 10 (CBS10)

เมื่อพิจารณาการต้านทานคลอไรด์ของคอนกรีตควบคุมกับคอนกรีตที่แทนที่ด้วยซิลิกาที่สังเคราะห์มาจากแก้วกลบร้อยละ 10 (CRS10) จะเห็นได้ว่าคอนกรีต

CRS10 สามารถให้ค่าการต้านทานคลอไรด์ที่ดีกว่า ทั้งนี้เพราะผลิตภัณฑ์จาก C-S-H ที่ได้จากปฏิกิริยาปอซโซลานทำให้ไอออนของคลอไรด์ถูกจำกัดไม่ให้เข้าไปแทรกตัวในคอนกรีต [12] จึงทำให้การไหลของอิเล็กโทรไลต์ลดลงก่อนที่จะเข้าไปถึงเหล็กเมื่อเปรียบเทียบผลของซิลิกาต่อการแทรกซึมของคลอไรด์และผลต่อกำลังอัดจะเห็นได้ว่าซิลิกาที่สังเคราะห์จากแก้วกลบให้ผลดีต่อคอนกรีตในด้านการต้านทานคลอไรด์มากกว่าด้านกำลังอัด ดังนั้นแม้ว่าที่อายุ 28 วัน คอนกรีตควบคุมจะมีกำลังอัดที่สูงกว่า คอนกรีต CRS10 แต่ไม่ได้หมายความว่าคอนกรีตควบคุมจะมีการต้านทานคลอไรด์ที่ดีกว่า

สรุปผลการศึกษา

1. การสังเคราะห์ซิลิกาพบว่าแก้วกลบ ให้ซิลิกามากที่สุดที่ร้อยละ 24.6 แก้วชานอ้อยสังเคราะห์ซิลิกาได้ร้อยละ 16.6 ส่วนแก้วปาล์มสังเคราะห์ซิลิกาได้น้อยมาก
2. การแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยซิลิกาในปริมาณสูงส่งผลให้มอร์ตาร์และคอนกรีตมีความต้องการน้ำมากกว่ามอร์ตาร์และคอนกรีตจากซีเมนต์ล้วน

3. กำลังอัดของซิลิกาอมอร์ตาร์ที่อายุ 14, 28, 60 และ 90 วันมีกำลังอัดที่ต่ำกว่าซีเมนต์อมอร์ตาร์ โดยการแทนที่ซิลิกาในปริมาณที่สูงขึ้นคือเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 5 ร้อยละ 10 และ ร้อยละ 15 จะส่งผลให้กำลังอัดลดลง โดยกำลังอัดของซิลิกาอมอร์ตาร์แปรผกผันกับปริมาณซิลิกาที่ใช้แทนที่ปูนซีเมนต์ และพบว่าที่อายุปลายคือ 300 วันกำลังอัดของซิลิกาอมอร์ตาร์สามารถพัฒนาจนมีค่าใกล้เคียงกับซีเมนต์อมอร์ตาร์

4. การแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยซิลิกาให้ผลการต้านทานคลอไรด์ได้ไม่ชัดเจนมากนัก โดยคอนกรีตที่แทนที่ด้วยซิลิกา ให้ค่าการต้านทานคลอไรด์ได้ใกล้เคียงกับคอนกรีตควบคุม สำหรับซิลิกาที่สังเคราะห์จากเถ้าแกลบให้ค่าการต้านทานคลอไรด์ได้ดีกว่าซิลิกาที่สังเคราะห์จากเถ้าขานอ้อย

ข้อเสนอแนะ

1. ควรใช้สารลดน้ำเพื่อให้ได้ค่าการไหลแม่ที่เหมาะสมทั้งนี้เนื่องจากการแทนที่ซีเมนต์ด้วยซิลิกาทำให้มอร์ตาร์มีค่าการดูดน้ำสูงกว่าซีเมนต์อมอร์ตาร์

2. ควรเพิ่มอายุการบ่มเพื่อให้เห็นผลของซิลิกามีความชัดเจนมากขึ้น

3. ควรสังเคราะห์ซิลิกาให้ถึงขั้นระดับนาโนซิลิกา ทั้งนี้เนื่องจากผลการทดลองยังไม่เห็นผลของซิลิกาที่ชัดเจน เนื่องจากความละเอียดของซิลิกาที่ใช้ยังไม่สูงพอ

ทั้งนี้หากสามารถสังเคราะห์นาโนซิลิกาจากเถ้าขี้มวลได้ ก็จะช่วยลดการนำเข้านาโนซิลิกาจากต่างประเทศซึ่งมีราคาสูง

เอกสารอ้างอิง

เจริญ ปัญญ. (2560). การสังเคราะห์

นาโนซิลิกาจากขี้เถ้าขานอ้อยและการตัดแปรพื้นผิวให้ไม่ชอบน้ำ.

วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเคมีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

ภัทรนันท์ ทวดอาจ. (2561). การศึกษานาโนซิลิกาจากของเหลือทิ้งทางการเกษตรสู่วัสดุเชิงพาณิชย์. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี*, 20(1).

ปกป้อง รัตนชู. (2557). การศึกษาคุณสมบัติของคอนกรีตผสมเถ้าปาล์มน้ำมันจากแหล่งนิคมบาเจาะ จังหวัดนราธิวาส. *วารสารมหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์*, (6)3.

Cordeiro, G. C., Toledo Filho, R. D., Tavares, L. M., Fairbairn, E. D. M. R., & Hempel, S. (2011).

Influence of particle size and specific surface area on the pozzolanic activity of residual rice husk ash. *Cement and*

- Concrete Composites*, 33(5), 529-534.
- D.F. Aponte, M. Barra, E. Vázquez. (2012). Durability and cementing efficiency of fly ash in concretes. *Construction and Building Materials* 30, 537-546.
- Lin, O.H., Mohd Ishak, Z.A. and Akil, H.M., (2009). Preparation and Properties of Nanosilica-Filled Polypropylene Composites with Pp-Methyl Poss as Compatibiliser. *Materials & Design*, 30(3), 748-751.
- L. Turanli, B. Uzal, F. Bektas. (2005). Effect of large amounts of natural pozzolan addition on properties of blended cements. *Cement and Concrete Research*, 35(6), 1106-1111.
- Madani, H., Bagheri, A., Parhizkar, T. and Raisghasemi, A., (2014). Chloride Penetration and Electrical Resistivity of Concretes Containing Nanosilica Hydrosols with Different Specific Surface Areas. *Cement and Concrete Composites*, 53, 18-24.
- M.H. Tadayon, M. Shekarchi, M. Tadayon. (2016). Long-term field study of chloride ingress in concretes containing pozzolans exposed to severe marine tidal zone. *Construction and Building Materials*, 123 (Supplement C), 611-616.
- Nazari, A., & Riahi, S. (2011). The effects of SiO₂ nanoparticles on physical and mechanical properties of high strength compacting concrete. *Composites Part B: Engineering*, 42(3), 570-578.
- P.K. Mehta. Global concrete industry sustainability. (2009). *Concrete International*, 31(2), 45-48.
- Zhu, W., Bartos, P. J., & Porro, A. (2004). Application of nanotechnology in construction. *Materials and structures*, 37(9), 649-658.

การผลิตน้ำมันชีวภาพจากไม้ไผ่โดยผ่านกระบวนการไพโรไลซิสแบบเร็ว ในเครื่องปฏิกรณ์แบบตกอิสระ

Production of Bio-oil from Bamboo via Fast Pyrolysis Process in Free Fall Reactor

อติกา จันทนปุม¹, ชญานนท์ แสงมณี², กมลรัตน์ ดีสภา³, ชยานนท์ สมแสน⁴
และ สุนทร สุทธิบาท^{5*}

^{1,2,3,4,5*}สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี อุดรธานี

^{1,2,3,4,5*}Department of Mechanical Engineering, Udonthani Rajabhat University

*Corresponding author email: suntorn_su@hotmail.com

Received 3 Aug 2022 Revised 9 Oct 2022 Accepted 15 Nov 2022

บทคัดย่อ

บทความวิจัยนี้เป็นการศึกษาการผลิตน้ำมันชีวภาพจากไม้ไผ่โดยผ่านกระบวนการไพโรไลซิสแบบเร็วในหน่วยผลิตที่ใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบตกอิสระ ขนาดอัตราป้อนประมาณ 200 g/h วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อศึกษาผลของอุณหภูมิที่ทำปฏิกิริยาไพโรไลซิสที่มีต่อปริมาณและคุณสมบัติของน้ำมันชีวภาพที่ได้ อุณหภูมิไพโรไลซิสที่ทำการศึกษามี 4 ระดับ ได้แก่ 400, 450, 500 และ 550°C เลือกใช้ขนาดอนุภาคไม้ไผ่ 150 - 250 μm จากผลการทดลอง พบว่าอุณหภูมิที่ทำปฏิกิริยาไพโรไลซิสที่เหมาะสมที่สุดอยู่ที่ 500°C ได้ปริมาณน้ำมันชีวภาพสูงสุดประมาณ 65.46 wt.% (ฐานแห้ง) และจากผลการวิเคราะห์คุณสมบัติพื้นฐานของตัวอย่างน้ำมันชีวภาพ พบว่า มีปริมาณน้ำ 32.52 wt.% ปริมาณของแข็ง 0.40 wt.% ปริมาณเถ้า 0.01 wt.% ความหนาแน่น 1.12 g/ml ค่า pH 3.71 ค่าความร้อนต่ำ 20.30 MJ/kg (ฐานแห้ง) และความหนืดจลน์ 17.92 cSt

คำสำคัญ : ไพโรไลซิสแบบเร็ว, เครื่องปฏิกรณ์แบบตกอิสระ, น้ำมันชีวภาพ, ไม้ไผ่

Abstract

This paper presents a study of bio-oil production via fast pyrolysis of bamboo in a free fall reactor unit with feed rate of 200 g/h. The purpose of this work is to investigate the influence of pyrolysis temperature on bio-oil yields and properties. Fast pyrolysis experiments were conducted using four pyrolysis setting temperatures (400, 450, 500 and 550°C) using a bamboo as the sample with particle size of 150 - 250 μm . Results showed that the optimum pyrolysis temperature for obtaining highest bio-oil yields was around 500°C. The highest bio-oil yields was 65.46 wt.% on biomass dry basis. The bio-oil products were also tested for their basic properties. Results showed that the water, solids and ash contents of the bio-oil were 32.52 wt.%, 0.40 wt.% and 0.01 wt.%, respectively. Moreover, the density, pH value, lower heating value (LHV) and the viscosity of the bio-oil were 1.12 g/ml, 3.71, 20.30 MJ/kg and 17.92 cSt, respectively.

Keywords : Fast pyrolysis, Free fall reactor, Bio-oil, Bamboo

บทนำ

กระบวนการไพโรไลซิสแบบเร็ว (Fast pyrolysis) หมายถึง กระบวนการเปลี่ยนรูปชีวมวลโดยใช้ความร้อนสูง (ประมาณ 400-600°C) ในเวลาอันรวดเร็วโดยไม่ใช้ออกซิเจน (Nomura et al., 2021) เพื่อทำการย่อยสลายโครงสร้างทางเคมีของชีวมวลให้เล็กลง ผลิตภัณฑ์ในขั้นนี้จะได้ ไอปิโรไลซิส (Pyrolysis vapour) และถ่าน (Char) ถ่านจะถูกแยกออกโดยอุปกรณ์ที่เรียกว่า ไซโคลน (Cyclone) และจากนั้นไอปิโรไลซิสส่วนหนึ่งจะถูกควบแน่นที่

อุปกรณ์ควบแน่น (Condenser unit) และผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการควบแน่นจะเป็นของเหลวหนืดสีน้ำตาลเข้ม เรียกว่า น้ำมันชีวภาพ หรือไบโอออยล์ (Bio-oil) ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์หลักที่ได้จากกระบวนการนี้ น้ำมันชีวภาพสามารถผลิตได้สูงสุดประมาณร้อยละ 75 ของน้ำหนักชีวมวลเริ่มต้น (ฐานแห้ง) ค่าความร้อนของของน้ำมันชีวภาพประมาณครึ่งหนึ่งของเชื้อเพลิงจากฟอสซิล (Bridgwater, 2012) ส่วนผลิตภัณฑ์อื่นที่ได้จากกระบวนการ

ได้แก่ ถ่าน (Char) และแก๊สที่ไม่สามารถควบแน่นได้ (Non-condensable gas) ซึ่งประกอบด้วย แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) และแก๊สไฮโดรคาร์บอน C₁-C₄ (Jahirul et al., 2012; Bridgwater et al., 1999)

การผลิตน้ำมันชีวภาพจากชีวมวลโดยผ่านกระบวนการไพโรไลซิสแบบเร็วมีปัจจัยหลายประการที่มีผลต่อปริมาณและคุณสมบัติของน้ำมันชีวภาพที่ได้ นอกเหนือจากชนิดของเครื่องปฏิกรณ์ที่ใช้ในการผลิตปัจจัยที่สำคัญดังกล่าวประกอบด้วย อุณหภูมิที่ทำปฏิกิริยาไพโรไลซิส (Pyrolysis temperature) ขนาดอนุภาคของชีวมวล (Biomass particle size) เวลาคงอยู่ของไอ (Vapour residence time) การถ่ายโอนความร้อนและแหล่งจ่ายความร้อน (Heat transfer and Heat supply) วัสดุตัวกลางในการถ่ายโอนความร้อน (Heat transfer medium) และการเตรียมชีวมวลป้อน (Biomass feedstock) (Kenney et al., 2013; Bridgwater, 2012)

ไม้ไผ่ ภาษาอังกฤษ เรียกว่า “Bamboo” เป็นวัสดุธรรมชาติที่หาได้ง่าย และราคาถูก นิยมใช้ในการก่อสร้างและการตกแต่ง สามารถนำมาประยุกต์ใช้

ประโยชน์ได้หลากหลาย เพราะไม้ไผ่เป็นเนื้อไม้แข็ง ลำต้นแข็งแรง มีความเหนียว มีน้ำหนักเบา ยืดหยุ่น และตัดโค้งงอได้ จึงเป็นที่นิยมและถูกประยุกต์ต่อยอดให้เกิดเป็นการออกแบบใหม่ๆ ในทุกแขนง ตั้งแต่การนำไปทำเป็นอาหาร วัสดุบรรจุอาหาร เครื่องจักสาน เฟอร์นิเจอร์ รวมไปถึงใช้ประกอบประกอบหนึ่งของที่อยู่อาศัย เช่น พื้นบ้าน เสา หน้าต่าง และหลังคาสำหรับกันแดดกันฝน ส่วนที่เหลือจะการนำมาใช้งานหรือแปรรูป เช่น ชี้อเลื่อย หรือเศษชิ้นส่วนต่างๆ จะถูกนำไปเผาทำลายทิ้ง ซึ่งก่อให้เกิดมลพิษทางสิ่งแวดล้อม สำหรับในประเทศไทยที่ผ่านมามีการศึกษาและนำเอาเศษวัสดุเหลือทิ้งจากกระบวนการแปรรูปผลิตภัณฑ์จากไม้ไผ่มาใช้ในรูปแบบของพลังงานแทนน้อยมาก ส่วนใหญ่จะนำลำต้นมาทำการเป็นพลังงานหรือสารทดแทน อาทิเช่น สมมาส แก้วล้วน และคณะ (2564) ได้ศึกษาการผลิตถ่านและน้ำส้มควันไม้จากไม้ไผ่เพื่อใช้ในชุมชนและใช้ในเชิงพาณิชย์ สำหรับการศึกษารูปแบบของการนำมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงเหลว หรือน้ำมันชีวภาพไม้ไผ่เพื่อเป็นพลังงานทดแทนพบว่า ยังมีการศึกษาน้อยมาก

ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาการนำเอาไม้ไผ่ หรือวัสดุเหลือทิ้งจากกระบวนการแปรรูปผลิตภัณฑ์จากไม้ไผ่ในชุมชนมาทำการเปลี่ยนรูปด้วยกระบวนการทางเคมีความร้อนให้เป็นพลังงานทดแทน โดยผ่านกระบวนการไพโรไลซิสแบบเร็วที่ใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบตกอิสระ เพื่อเป็นแนวทางการแก้ปัญหามลพิษในชุมชน และสอดคล้องกับนโยบายการขับเคลื่อนชุมชนด้วยโมเดลเศรษฐกิจ BCG ของรัฐบาล

วิธีการดำเนินการวิจัย

1. ตัวอย่างชีวมวล

ตัวอย่างชีวมวลที่ใช้ในการศึกษาจะใช้เศษวัสดุเหลือทิ้งจากไม้ไผ่ในกระบวนการแปรรูปผลิตภัณฑ์ของชุมชนในพื้นที่อำเภอกุมภวาปี จังหวัดอุดรธานี โดยทำการบดย่อยและคัดแยกขนาดโดยเลือกใช้ขนาดอนุภาค 150 - 250 μm เนื่องจากเป็นช่วงอนุภาคที่เล็กที่สุดที่สามารถคัดแยกได้ และสอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านมาซึ่งพบว่าขนาดอนุภาคของชีวมวลที่เล็กจะทำให้เกิดการแตกตัวได้ดีทำให้ได้ปริมาณน้ำมันชีวภาพที่สูงกว่า และขนาดอนุภาคที่เล็กเกินไปหรือเป็นฝุ่นจะทำให้คุณภาพของน้ำมันชีวภาพไม่ดีเท่าที่ควร และมีปริมาณของแข็งที่สูง (Pattiya and

Sutiibak, 2012)ก่อนการทดลองจะนำไปอบในเตาอบที่ 105°C นาน 24 ชั่วโมง เพื่อลดปริมาณความชื้นให้เหลือน้อยกว่า 10 wt.% ตัวอย่างอนุภาคไม้ไผ่จะทำการวิเคราะห์พื้นฐาน ได้แก่ การวิเคราะห์แบบประมาณ (Proximate analysis) ซึ่งเป็นการวิเคราะห์หาปริมาณความชื้น (Moisture) สารระเหยได้ (Volatile matter) และปริมาณเถ้า (Ash content) ตามวิธีมาตรฐาน ASTM E1756-01, E872-82 และ E1755-01 ตามลำดับ สำหรับคาร์บอนคงตัว (Fixed carbon) จะคำนวณหาจากค่าความแตกต่าง (Pattiya and Suttiibak, 2012) การวิเคราะห์แบบแยกธาตุ (Ultimate analysis) เป็นการวิเคราะห์หาปริมาณแร่ธาตุพื้นฐานในตัวอย่างชีวมวล ประกอบด้วย ปริมาณคาร์บอน (Carbon) ไฮโดรเจน (Hydrogen) ไนโตรเจน (Nitrogen) กำมะถัน (Sulfur) และออกซิเจน (Oxygen) โดยทำการวิเคราะห์ที่ห้องปฏิบัติการศูนย์เครื่องมือกลางทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (CSTE) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา และค่าความร้อน (Heating value) จะใช้ข้อมูลจากการวิเคราะห์แบบแยกธาตุมาคำนวณหา โดยค่าความร้อนสูง

(Higher heating value, HHV) ของชีวมวล จะคำนวณโดยใช้สมการของ Sheng and Azevedo. (2005) ดังสมการที่ (1) ส่วนค่า ความร้อนต่ำ (Lower heating value, LHV) ของชีวมวลจะคำนวณจาก HHV และ ปริมาณไฮโดรเจนโดยใช้สมการของ ECN. (2015) ดังสมการที่ (2)

$$HHV \left(\frac{MJ}{kg} \right) = -1.3675 + 0.3137C + 0.7009H + 0.0318O^* \quad (1)$$

เมื่อ C และ H คือ ร้อยละของคาร์บอน และไฮโดรเจนตามลำดับ (พื้นฐานแบบแห้ง)

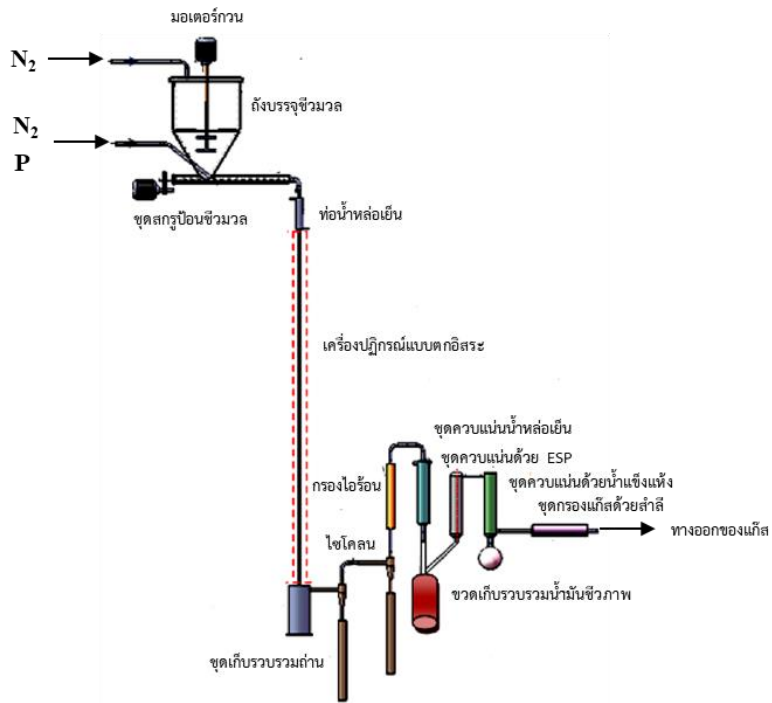
$$\text{ส่วน } O^* = 100 - C - H - \text{Ash}$$

$$LHV \left(\frac{MJ}{kg} \right) = HHV - 2.442 \times 8.936 \left(\frac{H}{100} \right) \quad (2)$$

2. หน่วยผลิตไพโรไลซิสแบบเร็ว

หน่วยผลิตไพโรไลซิสแบบเร็วที่ใช้ในการผลิตน้ำมันชีวภาพจากไม้ไผ่จะใช้ เครื่องปฏิกรณ์แบบตกอิสระ ขนาดอัตรา บ้อนประมาณ 200 g/h ที่พัฒนาขึ้น ส่วนประกอบของอุปกรณ์ในหน่วยผลิตจะ แสดงไว้ดังไดอะแกรมในภาพที่ 1 ประกอบด้วย มอเตอร์กวน (Stirrer) ถัง บรรจุชีวมวล (Hopper) ชุดสกรูป้อนชีวมวล (Screw feeder) ท่อน้ำหล่อเย็น

(Water cooling jacket) เครื่องปฏิกรณ์ แบบตกอิสระ (Free fall reactor) ชุดไซโคลน (Cyclone) ชุดเก็บถ่าน (Char pot) ชุดกรองไอร้อน (Hot filter) ชุดควบแน่นน้ำหล่อเย็น (Water-cooled condenser) ชุดควบแน่นด้วยเครื่อง ตกตะกอนไฟฟ้าสถิต (Electrostatic precipitator condenser, ESP) ชุดกักเก็บน้ำมันชีวภาพ (Bio-oil bottle) ชุดอะซิโตนควบแน่นด้วยน้ำแข็งแห้ง (Dry-ice/Acetone condenser) ชุดกักเก็บของเหลว (Oil pot) และชุดกรองแก๊สด้วยสำลี (Cotton wool filter) ก่อนที่แก๊สที่ไม่สามารถควบแน่นได้จะถูกปล่อยออกสู่ภายนอกที่ท่อทางออก (Vent) หน่วยผลิตที่ใช้ในการศึกษาจะแสดงไว้ในภาพที่ 2



ภาพที่ 1 ไดอะแกรมของหน่วยผลิตไพโรไลซิสแบบเร็วที่ใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบตกอิสระ



ภาพที่ 2 หน่วยผลิตไพโรไลซิสแบบเร็วที่ใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบตกอิสระสำหรับการใช้ใ้ในการศึกษา

3. เงื่อนไขการทดลอง

เงื่อนไขการทดลองไพโรไลซิสแบบเร็วของอนุภาคไม้ไผ่ ตัวแปรหลักที่ทำการศึกษา คือ อุณหภูมิที่ทำปฏิกิริยาไพโรไลซิส ซึ่งมีทั้งหมด 4 ระดับ ได้แก่ 400,

450, 500 และ 550°C เลือกใช้ขนาดชีวมวล อัตราการป้อนชีวมวล อัตราการไหลของแก๊สไนโตรเจน และเวลาในการทดลองคงที่เท่ากันทุกการทดลอง ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 เงื่อนไขการทดลอง

ตัวแปร	การทดลอง			
	1	2	3	4
อุณหภูมิที่ทำปฏิกิริยาไพโรไลซิส (°C)	400	450	500	550
ขนาดอนุภาคชีวมวล (μm)	150 - 250			
อัตราการป้อนชีวมวล (g/h)	200			
อัตราการไหลของแก๊สไนโตรเจน (L/min)	6			
เวลาที่ใช้ในการทดลอง (h)	1			

4. การวิเคราะห์น้ำมันชีวภาพที่ได้

ตัวอย่างน้ำมันชีวภาพที่ได้จากไพโรไลซิสแบบเร็วของไม้ไผ่ที่ทำการวิเคราะห์จะเลือกจากการทดลองที่ได้ปริมาณน้ำมันชีวภาพสูงสุด โดยคุณสมบัติของน้ำมันชีวภาพที่ทำการวิเคราะห์ประกอบด้วย องค์ประกอบแร่ธาตุพื้นฐาน ปริมาณน้ำ ปริมาณของแข็ง ปริมาณเถ้า ความหนาแน่น ค่า pH ความหนืด และค่าความร้อน โดยทุกการวิเคราะห์จะทำการทดลอง 3 ครั้ง

4.1 องค์ประกอบแร่ธาตุพื้นฐาน

องค์ประกอบแร่ธาตุพื้นฐาน (Elemental composition) ในน้ำมันชีวภาพเป็นการวิเคราะห์หาปริมาณแร่ธาตุพื้นฐานที่อยู่ในน้ำมันชีวภาพ ประกอบด้วย คาร์บอน ไฮโดรเจน ไนโตรเจน กำมะถัน และออกซิเจน โดยใช้เทคนิคเช่นเดียวกับการวิเคราะห์ตัวอย่างชีวมวล

4.2 ปริมาณน้ำ

ปริมาณน้ำ (Water content) ในน้ำมันชีวภาพจะทำการวิเคราะห์หาโดย

ใช้เทคนิค Karl-Fischer titration ทำการวัดที่ห้องปฏิบัติการวิศวกรรมพลังงาน คณะเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี

4.3 ปริมาณของแข็ง

ปริมาณของแข็ง (Solids content) ในน้ำมันชีวภาพจะทำการวิเคราะห์โดยใช้เทคนิคการกรองด้วยสุญญากาศ (Vacuum filtration technique) ดูดของเหลวผ่านกระดาษกรอง ตัวอย่างไบโอดีเซลที่ใช้ในการทดลองประมาณ 2-3 กรัม ละลายผ่านกระดาษกรองโดยใช้เอทานอลเป็นสารทำละลาย ส่วนที่ไม่สามารถผ่านกระดาษกรองได้จะเป็นปริมาณของแข็งที่อยู่ในน้ำมันชีวภาพ โดยก่อนทำการทดลองจะทำการอบกระดาษกรองเพื่อไล่ความชื้นในเตาอบที่อุณหภูมิ 105°C นานประมาณ 30 นาที และทำการชั่งน้ำหนัก และหลังการทดลองกระดาษกรองจะปล่อยให้แห้งประมาณ 15 นาที จากนั้นนำไปอบในเตาอบที่อุณหภูมิ 105°C นานประมาณ 30 นาที และทำการชั่งน้ำหนัก ความแตกต่างที่ได้จะเป็นปริมาณของแข็งในน้ำมันชีวภาพ การวิเคราะห์นี้จะทำตามวิธีมาตรฐานของ Oasmaa and Peacocke. (2010)

4.4 ปริมาณเถ้า

ปริมาณเถ้า (Ash content) ในน้ำมันชีวภาพจะเป็นการวัดสิ่งที่เหลืออยู่จากการนำน้ำมันชีวภาพไปเผาในเตาเผาที่อุณหภูมิสูงประมาณ 775°C นาน 24 ชั่วโมง โดยเริ่มต้นอบไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 105°C นานประมาณ 1 ชั่วโมง จากนั้นทำการให้ความร้อนเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจนถึงอุณหภูมิ 775°C (Oasmaa and Peacocke, 2010 ; Lu et al., 2009)

4.5 ความหนาแน่น

ความหนาแน่น (Density) ของน้ำมันชีวภาพจะทำการหาโดยใช้ขวดวัดความหนาแน่น ขนาด 25 ml ทำการวัดที่อุณหภูมิห้อง

4.6 ค่า pH

ค่า pH (pH value) ของน้ำมันชีวภาพจะทำการวัดโดยใช้เครื่องมือวัดค่า pH (pH meter) ทำการวัดที่อุณหภูมิห้อง โดยทำการปรับเทียบที่ค่า pH 4 และ 7 กับของเหลวมาตรฐานก่อนการวัดทุกครั้ง (Oasmaa and Peacocke, 2010)

4.7 ความหนืด

ความหนืด (Viscosity) ของน้ำมันชีวภาพจะทำการวิเคราะห์โดยใช้เครื่องมือทดสอบความหนืด (Cannon-Fenske Routine Viscometer) ที่อุณหภูมิ

40°C ตามวิธีมาตรฐาน ASTM D445 หน่วยของความหนืดน้ำมันชีวภาพจะเป็น mm^2/s (cSt) (Pattiya and Suttibak, 2012)

4.8 ค่าความร้อน

ค่าความร้อน (Heating value) ของน้ำมันชีวภาพจะทำการคำนวณหาโดยใช้ข้อมูลการวิเคราะห์องค์ประกอบแร่ธาตุพื้นฐานของน้ำมันชีวภาพ ค่าความร้อนสูงของน้ำมันชีวภาพโดยพื้นฐานแบบแห้ง (HHV_{dry}) จะทำการคำนวณหาโดยใช้สมการของ Channiwala and Parikh. (2002) ดังสมการที่ (3) ค่าความร้อนต่ำของน้ำมันชีวภาพโดย

พื้นฐานแบบแห้ง (LHV_{dry}) จะทำการคำนวณหาดังสมการที่ (2)

$$\text{HHV}_{\text{dry}} \left(\frac{\text{MJ}}{\text{kg}} \right) = 0.3491C + 1.1783H + 0.1005S - 0.10340O - 0.0151N - 0.0211A \quad (3)$$

เมื่อ C, H, S, O, N และ A ในสมการที่ (3) คือ ร้อยละของปริมาณคาร์บอน ไฮโดรเจน กำมะถัน ออกซิเจน ไนโตรเจน และเถ้าในน้ำมันชีวภาพ (ฐานแห้ง)

ผลการทดลอง และอภิปรายผล

1. ผลการวิเคราะห์พื้นฐาน ตัวอย่างไม้ไผ่

ตารางที่ 2 คุณสมบัติพื้นฐานของตัวอย่างไม้ไผ่

การวิเคราะห์	ไม้ไผ่
การวิเคราะห์แบบประมาณ (wt.%, ฐานแห้ง)	
ความชื้น (ฐานเปียก)	5.41±0.24
สารระเหยได้	82.48±0.22
คาร์บอนคงตัว*	13.72±0.04
เถ้า	2.62±0.18
การวิเคราะห์แบบแยกธาตุ (wt.%, ฐานแห้ง)	
คาร์บอน (C)	45.69±0.15
ไฮโดรเจน (H)	5.48±0.07
ไนโตรเจน (N)	0.48±0.03
กำมะถัน (S)	0.08±0.02
ออกซิเจน* (O*)	44.45±0.48
อัตราส่วน H/C	1.44±0.01
อัตราส่วน O/C	0.75±0.01
สูตรโมเลกุล (Molecular formula)	CH _{1.44} O _{0.75}
การวิเคราะห์ค่าความร้อน โดยวิธีการคำนวณ (MJ/kg, ฐานแห้ง)	
ค่าความร้อนสูง (HHV)	18.22±0.08
ค่าความร้อนต่ำ (LHV)	17.02±0.07

* คำนวณหาจากค่าความแตกต่าง

คุณสมบัติพื้นฐานของไม้ไผ่ที่ทำการศึกษาจะแสดงไว้ในตารางที่ 2 จากผลการวิเคราะห์แบบประมาณ พบว่าตัวอย่างไม้ไผ่ที่ทำการศึกษามีปริมาณความชื้น ประมาณ 5.41 wt.% (ฐานเปียก) และมีปริมาณสารระเหยได้ ประมาณ 82.48 wt.% (ฐานแห้ง) ปริมาณสารระเหย

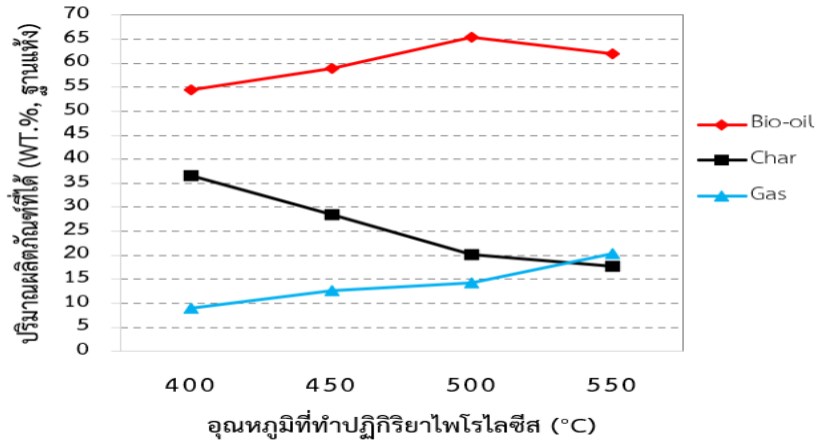
ได้จะมีผลโดยตรงกับการนำไปผลิตน้ำมันชีวภาพ ซึ่งชีวมวลที่มีปริมาณสารระเหยได้สูงจะทำให้ได้ปริมาณน้ำมันชีวภาพสูงตามไปด้วย จากผลการวิเคราะห์แบบแยกธาตุพบว่า ตัวอย่างไม้ไผ่จะมีปริมาณคาร์บอนประมาณ 45.69 wt.% (ฐานแห้ง) ปริมาณคาร์บอนของชีวมวลจะมีผลโดยตรงกับค่า

ความร้อนของชีวมวล ซึ่งปริมาณคาร์บอนที่สูงจะทำให้ได้ค่าความร้อนที่สูงตามไปด้วย และจากผลการวิเคราะห์ค่าความร้อน โดยวิธีการคำนวณ พบว่า ตัวอย่างไม้ไผ่มีค่าความร้อนต่ำ (LHV) ประมาณ 17.02 MJ/kg เมื่อเปรียบเทียบกับค่าความร้อนของชีวมวลประเภทไม้ไผ่จากงานวิจัยของ Jung et al. (2008) พบว่า มีค่าใกล้เคียงกัน (17.7 MJ) และเมื่อเปรียบเทียบกับชีวมวลประเภทขานอ้อยจากงานวิจัยของ Suttibak and Loengbudnark. (2018) ซึ่งเป็นตัวอย่างชีวมวลมีลักษณะโครงสร้างคล้ายกันพบว่ามีค่าใกล้เคียงกัน (17.97 MJ/kg)

2. ผลของอุณหภูมิที่ทำปฏิกิริยาไพโรไลซิสที่มีต่อปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ได้

ผลของอุณหภูมิที่ทำปฏิกิริยาไพโรไลซิสที่มีต่อปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ได้จากไพโรไลซิส

แบบเร็วของไม้ไผ่ในเครื่องปฏิกรณ์แบบตกอิสระจะแสดงไว้ดังภาพที่ 3 จากผลการทดลอง พบว่า อุณหภูมิที่ทำปฏิกิริยาไพโรไลซิสที่เหมาะสมที่สุดอยู่ที่ 500°C ได้ปริมาณน้ำมันชีวภาพสูงสุดประมาณ 65.46 wt.% (ฐานแห้ง) และจะเห็นว่าอุณหภูมิไพโรไลซิสที่สูงขึ้นจะทำให้ได้ปริมาณถ่านลดลง ในทางตรงกันข้ามปริมาณแก๊สที่ไม่สามารถควบแน่นได้จะมีแนวโน้มที่สูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยที่ผ่านมาจะเห็นว่าไม้ไผ่มีคุณลักษณะพื้นฐานที่คล้ายกับชีวมวลประเภทขานอ้อย ดังนั้น อุณหภูมิที่ทำปฏิกิริยาไพโรไลซิสที่เหมาะสมและได้ปริมาณน้ำมันชีวภาพสูงสุดจึงสอดคล้องกับงานวิจัยไพโรไลซิสของขานอ้อยของ Suttibak. (2017)



ภาพที่ 3 ผลของอุณหภูมิที่ทำปฏิกิริยาไพโรไลซิสที่มีต่อปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ได้จากไพโรไลซิสแบบเร็วของไม้ไผ่ในเครื่องปฏิกรณ์แบบตกอิสระ

3. ผลการวิเคราะห์น้ำมันชีวภาพที่ได้

ลักษณะของตัวอย่างน้ำมันชีวภาพที่ได้จากการควบแน่นไอน์ไพโรไลซิสในเครื่องปฏิกรณ์แบบตกอิสระ ซึ่งมีลักษณะเป็นของเหลวหนืดสีน้ำตาลเข้ม ดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 ลักษณะของตัวอย่างน้ำมันชีวภาพที่ได้จากการควบแน่นไอน์ไพโรไลซิสในเครื่องปฏิกรณ์แบบตกอิสระ

ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติพื้นฐานทางเคมีและทางกายภาพของน้ำมันชีวภาพที่ได้จากไพโรไลซิสแบบเร็วของไม้ไผ่จะแสดงไว้ในตารางที่ 3 ประกอบด้วย องค์ประกอบแร่ธาตุพื้นฐาน ปริมาณน้ำ ปริมาณของแข็ง ปริมาณเถ้า ความหนาแน่น ค่า pH ความหนืดจลน์ และค่าความร้อน จากผลการวิเคราะห์องค์ประกอบแร่ธาตุพื้นฐานพบว่า น้ำมันชีวภาพที่ได้มีปริมาณคาร์บอน 62.35 wt.% อัตราส่วน H/C และ O/C มีค่าเท่ากับ 0.40 และ 0.41 ตามลำดับ ปริมาณน้ำ 32.52 wt.% ซึ่งมีค่าสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานทั่วไปของน้ำมันชีวภาพที่ยอมรับได้เล็กน้อย (ไม่เกิน 30 wt.%) (Oasmaa et al, 2009) ปริมาณเถ้าใน

น้ำมันชีวภาพจะมีค่าต่ำประมาณ 0.01 wt.% เนื่องจากหน่วยผลิตไพโรไลซิสแบบเร็วที่ใช้ในการทดลองได้ใช้หน่วยกรองไอร้อนเพื่อดักจับอนุภาคของถ่านที่มีขนาดเล็กไว้ได้ จึงทำให้โอไพโรไลซิสมีความบริสุทธิ์ขึ้น ความหนาแน่น และค่า pH ของน้ำมันชีวภาพมีค่าประมาณ 1.12 g/ml และ 3.71 ตามลำดับ ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานทั่วไปของน้ำมันชีวภาพที่ยอมรับ

ได้ (Oasmaa et al, 2009) ค่าความร้อนต่ำ (LHV) ของน้ำมันชีวภาพมีค่าประมาณ 20.30 MJ/kg (ฐานแห้ง) เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยไพโรไลซิสแบบเร็วจากชี้เลี้ยงไม้ไผ่ของ Jung et al. (2008) พบว่า มีค่าสูงกว่า (17.4 MJ/kg) ซึ่งมีผลมาจากปริมาณน้ำของน้ำมันชีวภาพที่ต่ำกว่า และปริมาณคาร์บอนที่สูงกว่า

ตารางที่ 3 คุณลักษณะของน้ำมันชีวภาพที่ได้จากไพโรไลซิสแบบเร็วของไม้ไผ่

การวิเคราะห์	ไม้ไผ่	เกณฑ์มาตรฐาน ^a
อุณหภูมิที่ทำปฏิกิริยาไพโรไลซิส (°C)	500	N/A
องค์ประกอบแร่ธาตุพื้นฐาน (wt.%, ฐานแห้ง)		
คาร์บอน (C)	62.35±1.85	55 - 58
ไฮโดรเจน (H)	2.06±0.47	5.5 - 7.0
ไนโตรเจน (N)	1.20±0.12	0.0 - 0.4
กำมะถัน (S)	0.63±0.88	0.0 - 0.05
ออกซิเจน* (O*)	33.73±2.10	35 - 40
อัตราส่วน H/C	0.40±0.10	N/A
อัตราส่วน O/C	0.41±0.04	N/A
สูตรโมเลกุล (Molecular formula)	CH _{0.40} O _{0.41}	N/A
ปริมาณน้ำ (wt.%)	32.52±2.09	ไม่เกิน 30
ปริมาณของแข็ง (wt.%)	0.40±0.06	ไม่เกิน 2.5
ปริมาณเถ้า (wt.%)	0.01±0.01	ไม่เกิน 0.25
ความหนาแน่น (g/ml)	1.12±0.01	1.1 - 1.3
ค่า pH	3.71±0.17	2 - 4

ความหนืดจลน์ ที่ 40°C (cSt)	17.92±0.93	ไม่เกิน 125
การวิเคราะห์ค่าความร้อน โดยวิธีการคำนวณ (MJ/kg, ฐานแห้ง)		
ค่าความร้อนสูง (HHV)	20.75±0.42	16 - 19
ค่าความร้อนต่ำ (LHV)	20.30±0.50	N/A

* คำนวณจากค่าความแตกต่าง

^aKrutof & Hawboldt, (2016); Oasmaa et al. (2009).

สรุปผลการทดลอง

จากผลการศึกษาการผลิตน้ำมันชีวภาพจากไม้ไผ่โดยผ่านกระบวนการไพโรไลซิสแบบเร็วในเครื่องปฏิกรณ์แบบตกอิสระพบว่า อุณหภูมิที่ทำให้ปฏิกิริยาไพโรไลซิสที่เหมาะสมที่สุดอยู่ที่ 500°C ได้ปริมาณน้ำมันชีวภาพสูงสุดประมาณ 65.46 wt.% (ฐานแห้ง) และจากผลการวิเคราะห์คุณสมบัติพื้นฐานทางเคมีและกายภาพของตัวอย่างน้ำมันชีวภาพที่ได้ พบว่า มีปริมาณคาร์บอน 62.35 wt.% ปริมาณน้ำ 32.52 wt.% ปริมาณของแข็ง 0.40 wt.% ปริมาณเถ้า 0.01 wt.% ความหนาแน่น 1.12 g/ml ค่า pH 3.71 ความหนืดจลน์ 17.92 cSt และค่าความร้อนต่ำ 20.30 MJ/kg (ฐานแห้ง) น้ำมันชีวภาพที่ได้ถือว่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานทั่วไปของน้ำมันชีวภาพที่ยอมรับได้ จากผลการศึกษาสามารถใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับผู้สนใจจะศึกษาไพโรไลซิสแบบเร็วของชีวมวลในประเทศไทยได้ และ

นำไปต่อยอดในการนำไปประยุกต์ใช้งานได้ในอนาคต

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณทุนอุดหนุนจากสำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน (EPPO) กระทรวงพลังงาน และห้องปฏิบัติการศูนย์กลางทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (CSTE) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา ที่อนุเคราะห์เครื่องมือสำหรับใช้ทำวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

สมมาส แก้วล้วน, ภรณี ศรีมรินทร์, สุรัชย์ ณรัฐ จันทร์ตร, พิชัย อัมภมมงคล และสินศุภา จุ้ยจุลเจิม. (2564). การผลิตถ่านและน้ำส้มควันไม้จากไม้ไผ่เลี้ยงด้วยเตาเผาถ่านชุมชนขนาด 200 ลิตร ที่ทำงานร่วมกับหัวเผาแก๊สเชื้อเพลิงสังเคราะห์. วารสาร

- วิจัยราชภัฏเชียงใหม่, ปีที่ 22 (ฉบับที่ 2) , 229-245.
- Bridgwater, A.V. (2012). Review of fast pyrolysis of biomass and product upgrading, *Biomass and Bioenergy* 38(0): 68-94.
- Bridgwater, A.V., Meier, D., and Radlein, D. (1999). An overview of fast pyrolysis of biomass, *Organic Geochemistry* 30(0): 1479-1493.
- Channiwala, S.A. and Parikh, P.P. (2002). A unified correlation for estimating HHV of solid, liquid and gaseous fuels, *Fuel* 81(8): 1051-1063.
- ECN. (2015). Phyllis, database for biomass and waste, Energy research Centre of the Netherlands. Energy research Centre of the Netherlands [database on the internet], Energy research Centre of the Netherlands. URL: <http://www.ecn.nl/phyllis>, access on 10/03/2015.
- Jajirul, M.I., Raul, M.G., Chowdhury, A.A., and Ashwath, N. (2012). Biofuels Production through Biomass Pyrolysis - A Technological Review, *Energies* 5: 4952-5001.
- Jung, S.H., Kang, B.S. and Kim, J.S. (2008). Production of bio-oil from rice straw and bamboo sawdust under various reaction conditions in a fast pyrolysis plant equipped with a fluidized bed and a char separation system, *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis* 82(2): 240-247.
- Kenney, K.L., Smith, W.A., Gresham, G.L., Westover, T. L. (2013). Understanding biomass feedstock variability, *Biofuels* 4: 111-127.
- Krutof, A., and Hawboldt, K. (2016). Blends of pyrolysis oil, petroleum, and other bio-based fuels: a review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 59: 406-419.

- Lu, Q., Li, W.Z. and Zhu, X.F. (2009). Overview of fuel properties of biomass fast pyrolysis oils, *Energy Conversion and Management* 50(5): 1376-1383.
- Nomura, T., Mizuno, H., Minami, E., and Kawamoto, H. (2021). Fast Pyrolysis of Cellulose by Infrared Heating, *Energies* 14: 1842-1855.
- Oasmaa, A., Elliott, D.C. and Muller, S. (2009). Quality control in fast pyrolysis bio-oil production and use, *Environmental Progress & Sustainable Energy* 28(3): 404-409.
- Oasmaa, A. and Peacocke, C. (2010). Properties and fuel use of biomass-derived fast pyrolysis liquids: A guide, VTT Technical Research Centre of Finland, Espoo 2010. p. 134.
- Pattiya, A. and Suttibak, S. (2012). Production of bio-oil via fast pyrolysis of agricultural residues from cassava plantations in a fluidised-bed reactor with a hot vapour filtration unit, *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis* 95: 227-235.
- Sheng, C.D. and Azevedo, J.L.T. (2005). Estimating the higher heating value of biomass fuels from basic analysis data, *Biomass & Bioenergy* 28(5): 499-507.
- Suttibak, S. (2017). Influence of reaction temperature on yields of bio-oil from fast pyrolysis of sugarcane residues, *Engineering and Applied Science Research* 44(3): 142-147.
- Suttibak, S. and Loengbudnark, W. (2018). Production of Charcoal Briquettes from Biomass for Community Use, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (297) 012001.

การศึกษาความเร็วของยานพาหนะที่ขับขี่ในพื้นที่กำหนดความเร็ว เส้นทาง
ศึกษา ถนนราชดำเนิน จังหวัดนครศรีธรรมราช

A Study of Operating Speed Limits for Vehicles Driving
on Ratchadamnoen Road Nakhon Si Thammarat

วีรพล ปานศรีนวล¹ อนรรักษ์ ตรีเพชร² และปิติ จันทฤทธิ์³

Weeraphol Pansrinual¹ Anurak Tripetch² Piti Chantruthai³

¹ หลักสูตรปรัชญาดุษฎีบัณฑิต คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช

² สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช

³ ข้าราชการบำนาญ

¹ Doctor of Philosophy Program, Faculty of Industrial Technology, Nakhon Si Thammarat Rajabhat University

² Department of Mechanical Engineering, Faculty of Industrial Technology, Nakhon Si Thammarat Rajabhat University

³ Pensioner

*Corresponding author email: dr.werapol@gmail.com

Received 7 JUL 2022 Revised 17 Oct 2022 Accepted 15 Nov 2022

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการสำรวจและประเมินความเร็วของยานพาหนะที่ขับขี่ในพื้นที่เขตกำหนดความเร็ว เส้นทางถนนราชดำเนิน จังหวัดนครศรีธรรมราช ความเร็วของยานพาหนะถูกแบ่งตามประเภทของ 4 ประเภท ได้แก่ ประเภทที่ 1 รถบรรทุกที่มีน้ำหนักบรรทุกรวมทั้งน้ำหนักบรรทุกไม่เกิน 1,200 กก. หรือรถบรรทุกผู้โดยสาร ให้ใช้ความเร็วไม่เกิน 60 กม./ชม. ประเภทที่ 2 รถยนต์อื่นขณะที่ลากจูงรถพ่วงรถยนต์บรรทุกที่มีน้ำหนักบรรทุกรวมทั้งน้ำหนักบรรทุกไม่เกิน 1,200 กก. หรือรถยนต์สามล้อให้ใช้ความเร็วไม่เกิน 45 กม./ชม. และประเภทที่ 3 รถยนต์อื่น ๆ นอกจากที่ระบุไว้ในประเภทที่ 1 และประเภทที่ 2 หรือรถจักรยานยนต์ ให้ใช้ความเร็วไม่เกิน 60 กม./ชม. โดยทำการตรวจวัดความเร็วของยานพาหนะที่ผ่านเส้นทางถนนราชดำเนิน จังหวัดนครศรีธรรมราช เพื่อหาความเร็วเฉลี่ยของรถยนต์ทั้ง 4 ประเภท มาเปรียบเทียบกับความเร็วที่กำหนด ผลการวิจัยพบว่า ยานพาหนะประเภทที่ 1 และประเภทที่ 2 มีการใช้ความเร็วเฉลี่ยเดินทางบนถนนราชดำเนินต่ำกว่าความเร็วที่กำหนด ในขณะที่

ยานพาหนะประเภทที่ 3 และประเภทที่ 4 มีการใช้ความเร็วเฉลี่ยเดินทางบนถนนเส้นเดียวกันนี้ไม่เกินความเร็วที่กำหนด และ ความเร็วที่เสนอแนะยานพาหนะประเภทที่ 1-3 กำหนดความเร็วไม่เกิน 50 กม./ชม. ยานพาหนะประเภทที่ 4 กำหนดความเร็วไม่เกิน 45 กม./ชม.

คำสำคัญ: ยานพาหนะ, เขตกำหนดความเร็ว, ถนนราชดำเนิน, นครศรีธรรมราช

Abstract

The paper purposes to evaluate the effectiveness the speed limits of vehicles driving within speed limits areas on Ratchadamnoen road Nakhon Si Thammarat. Category 1: the speed limit at 60 kph was identified for the truck in which the total of self-weight of truck and truckload is over 1,200 kgs or passenger bus. Category 2: the speed limit at 45 kph was identified for trailer truck in which the total of self-weight of truck and truckload is over 1,200 kgs or tricycle. Category 3: the other vehicles or motorcycle out of category 1 and category 2 were identified to driving with the speed limit at 60 kph. By measuring the speed of vehicles on Ratchadamnoen road. The research result showed that the category 1 and category 2 is the average speed traveled on Rome roads is higher than the specified speed. The category 3 and category 4 is the average speed traveled on this same road is not more than the specified speed. And suggested speed category 1-3 the speed limit at 50 kph. Category 4: the speed limit at 45 kph.

Keywords: Category, Speed limits areas, Ratchadamnoen road, Nakhon Si Thammarat

บทนำ

จากนโยบายการป้องกันและลดอุบัติเหตุทางถนนแห่งชาติ (นปถ.) ให้หน่วยงานที่เกี่ยวข้องให้กำหนดความเร็วและติดตั้งป้ายควบคุมความเร็ว โดยให้กระทรวงมหาดไทยแจ้งศูนย์อำนวยความสะดวกปลอดภัยทางถนนจังหวัดดำเนินการ

ร่วมกับคณะกรรมการจราจรทางบกจังหวัดในการกำหนดอัตราความเร็วที่สอดคล้องตามบริบทของพื้นที่ เพื่อให้การดำเนินการกำหนดความเร็วและติดตั้งป้ายควบคุมความเร็วสำหรับเขตชุมชนเมือง เป็นมาตรฐานเดียวกัน หน่วยงานที่เกี่ยวข้องได้แก่ ศูนย์อำนวยความสะดวกปลอดภัยทาง

ถนน กรมทางหลวง ศูนย์วิชาการเพื่อความ
ปลอดภัยทางถนน สำนักงานตำรวจ
แห่งชาติ และภาคีเครือข่าย และองค์การ
อนามัยโลกประจำประเทศไทย จึงได้
จัดการประชุมสัมมนาเชิงปฏิบัติการ เรื่อง
แนวทางการกำหนดความเร็วในเขตเมือง
และการติดตั้งป้ายจำกัดความเร็ว เพื่อให้
หน่วยงานในระดับจังหวัดสามารถคัดเลือก
พื้นที่กำหนดความเร็ว และกำหนดความเร็ว
ที่เหมาะสมในพื้นที่ได้ ซึ่งการกำหนดอัตรา
ความเร็วในพื้นที่ชุมชนรถแต่ละประเภท
ในทางให้เป็นไปตามพระราชบัญญัติจราจร
ทางบก พ.ศ. 2522 กล่าวคือ

1) รถบรรทุกที่มีน้ำหนักรถ รวมทั้ง
น้ำหนักบรรทุกเกิน 1,200 กิโลกรัม หรือ
รถบรรทุกโดยสาร ให้ใช้ความเร็วไม่เกิน 50
กิโลเมตรต่อชั่วโมง

2) รถยนต์อื่น นอกเหนือจากรถที่
ระบุไว้ใน (1) ขณะที่ลากจูงรถพ่วง รถยนต์
บรรทุกที่มีน้ำหนักรถ รวมทั้งน้ำหนัก
บรรทุกเกิน 1,200 กิโลกรัม หรือรถยนต์
สามล้อ ให้ใช้ความเร็วไม่เกิน 45 กิโลเมตร
ต่อชั่วโมง

3) รถยนต์อื่นนอกเหนือจากรถที่
ระบุไว้ใน (1) และ (2) หรือรถจักรยานยนต์
ให้ใช้ความเร็วไม่เกิน 50 กิโลเมตรต่อ
ชั่วโมง

Hallmark S., Hawkins N. and
Knickerbocker S. (2013) จากศูนย์วิจัย

และศึกษาการขนส่ง สถาบันการขนส่ง
มหาวิทยาลัยแห่งรัฐโอไอโอวา ได้
ทำการศึกษาเครื่องมือที่ใช้ในการจัดการ
ความเร็วในชุมชนนอกเมือง โดยมี
วัตถุประสงค์ที่มุ่งเน้นในการจัดการ
ความเร็วในทางปฏิบัติ ในเขตพื้นที่ชุมชน
นอกเมืองและพื้นที่รอยต่อเขตเมือง
การศึกษาเขตรอยต่อก่อนเข้าสู่ชุมชน
พบว่าบางชุมชนมีการออกแบบระยะทาง
เขตรอยต่อสั้นเกินไปทำให้รถที่วิ่งเข้าสู่เขต
รอยต่อไม่สามารถลดความเร็วลงได้เท่ากับ
ความเร็วที่กำหนดในเขตชุมชนนั้นๆ
เนื่องจากการกำหนดการจำกัดความเร็วใน
แต่ละชุมชนไม่เหมือนกัน ในประเทศ
สหรัฐอเมริกา ความเร็วที่กำหนดให้วิ่งบน
ทางหลวงนอกเมืองเท่ากับ 90 กม./ชม.
หรือมากกว่า ในขณะที่ความเร็วในเขต
ชุมชนถูกกำหนดไว้แตกต่างกันในแต่ละ
พื้นที่ตั้งแต่ไม่เกิน 70 กม./ชม. จนถึง 40
กม./ชม. ในการศึกษาเปรียบเทียบพื้นที่
กำหนดเขตรอยต่อก่อนเขตชุมชน กับพื้นที่
ที่มีการกำหนดเขตชุมชนพบว่าไม่มี
นัยสำคัญทางสถิติของความแตกต่างของ
การใช้ความเร็วของทั้งสองพื้นที่ และ
ปัญหาที่เกิดขึ้นในเขตพื้นที่รอยต่อคือ การ
กระจายค่าความเร็วของรถยนต์ บางคันขับ
ด้วยความเร็วต่อเนื่องจากทางหลวงนอก
เมืองเข้าสู่เขตรอยต่อ บางคันขับช้าลงเพื่อ
ลดความเร็วให้เท่ากับความเร็วที่กำหนด

ของชุมชนนั้น ซึ่งสาเหตุดังกล่าวก่อให้เกิดอุบัติเหตุการชนท้ายขึ้นได้

Stamatiadis N., Kirk A., Cull A. and Dahlem A. (2014) ได้ทำรายงานวิจัยหัวข้อเรื่อง การออกแบบเขตรอยต่อชุมชน (Transition Zone Design) พื้นที่ศึกษา 4 แห่งในรัฐเคนทักกี ได้แก่ Brownsville ตั้งอยู่ริมทางหลวง KY 259, Bowling Green ตั้งอยู่ริมทางหลวง KY 185, Hawesville ตั้งอยู่ริมทางหลวง KY 69 และ Wilmore ตั้งอยู่ริมทางหลวง KY 3433 โดยมีวัตถุประสงค์ในการศึกษา เพื่อประเมินประสิทธิภาพในทางปฏิบัติ 16 รูปแบบ เช่น การติดตั้งวงเวียน การติดตั้งเกาะกลาง การตีเส้นตั้งฉากกับขอบทาง การติดตั้งป้ายลดความเร็ว การทำเขตพื้นที่ลดความเร็วก่อนเข้าเขตชุมชน เป็นต้น ผลการประเมินประสิทธิภาพของพื้นที่คัดเลือกพบว่า กรณี Brownsville และ Wilmore ประสิทธิภาพการประเมินในการปฏิบัติในพื้นที่ มีผลในเชิงบวกในกรณีการติดตั้งป้ายเตือนลดความเร็วในช่วงพื้นที่ก่อนเข้าเขตชุมชน ทำให้ความเร็วลดลง 2 ไมล์/ชั่วโมง ถึงแม้ว่าการดำเนินมาตรการดังกล่าวจะไม่สามารถลดความเร็วในการเดินทางได้มาก แต่เมื่อพิจารณาในด้านการใช้งบประมาณและการดูแลรักษาที่ใช้ในการลงทุนต่ำ ก็เพียงพอในด้านความคุ้มค่าในด้านประสิทธิภาพ กรณี Hawesville ความคุ้มค่า

ประสิทธิภาพในการดำเนินการในด้านการทำเครื่องหมายจราจรบนผิวทางในเขตพื้นที่รอยต่อก่อนเข้าเขตชุมชน สามารถลดความเร็วในการเดินทางได้ 4 ไมล์/ชั่วโมง ช่วงก่อนถึงสะพาน และลดความเร็วได้ 9 ไมล์/ชั่วโมง ในช่วงทางโค้ง กรณี Bowling Green พบว่าไม่มีมาตรการใดที่มีประสิทธิภาพ รวมถึง การติดตั้งป้ายลดความเร็ว และการทำเครื่องหมายจราจรบนผิวทางปติ จันทรุไทย และคณะ (2559) ได้ทำการวิจัยเรื่อง การศึกษาการลดความเร็วบนทางหลวงบริเวณรอยต่อเขตชุมชน มีวัตถุประสงค์เพื่อสำรวจความเร็วการเดินทางของยานพาหนะบนทางหลวงก่อนเข้าสู่ชุมชนและความเร็วของยานพาหนะในเขตชุมชน เพื่อกำหนดระยะพื้นที่รอยต่อก่อนเข้าเขตชุมชน และเพื่อประเมินประสิทธิภาพของมาตรการกำหนดความเร็วที่เหมาะสมบริเวณรอยต่อชุมชนก่อนและหลังการดำเนินการบริเวณพื้นที่ศึกษา ชุมชนบ้านปายาง และชุมชนบ้านนอกท่า ถูกคัดเลือกเป็นพื้นที่ศึกษา เนื่องจากชุมชนตั้งอยู่ริมทางหลวงหมายเลข 4016 ทั้งสองชุมชน ความเร็วที่ใช้ในการเดินทางที่ 85 เปอร์เซ็นต์ไทม์ก่อนเข้าสู่ชุมชนสูงกว่าความเร็วที่กำหนด และมีผู้เสียชีวิตจากอุบัติเหตุจราจรเกิดขึ้นในช่วงย้อนหลัง 3 ปี ผลการศึกษาพบว่า การประเมินการใช้ความเร็วที่ 85 เปอร์เซ็นต์

ไทม์หลังมาตรการดำเนินการซึ่งถูกแบ่งเป็น 2 ช่วง เมื่อมาตรการติดตั้งแล้วเสร็จ และเมื่อเวลาผ่านไปประมาณ 1 เดือน สถิติโครสแคร์ และสถิติฟรีดแมนถูกใช้เพื่อประเมินประสิทธิผลของมาตรการผลการศึกษา ก่อน และหลังการดำเนินการมาตรการทั้งสองครั้ง พบว่า ผลจากการประเมินโดยสถิติโครสแคร์ ร้อยละของความเร็วที่ 85 เปอร์เซ็นต์ไทม์ที่ใช้ความเร็วเกินความเร็วที่กำหนด ไม่มีความแตกต่างจากการสำรวจก่อนดำเนินการและภายหลังดำเนินการทั้งสองครั้ง ของทั้งสองชุมชนศึกษา ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ผลจากการประเมินโดยสถิติฟรีดแมน พบว่า ความเร็วเฉลี่ยที่ 85 เปอร์เซ็นต์ไทม์ของการสำรวจทั้งสามครั้งของชุมชนบ้านป่าอย่างไม่มีความแตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 แต่พบว่า มีความแตกต่างของความเร็วเฉลี่ยที่ 85 เปอร์เซ็นต์ไทม์ ระหว่างการสำรวจภายหลังการดำเนินการมาตรการครั้งที่ 1 และการสำรวจในครั้งที่ 2 ของชุมชนบ้านนอกทำในปัจจุบันได้มีการกำหนดอัตราความเร็วในพื้นที่ชุมชนและติดตั้งป้ายจำกัดความเร็วในหลายจังหวัด รวมถึงในจังหวัดนครศรีธรรมราช ซึ่งทางจังหวัดนครศรีธรรมราชมีการกำหนดเขตจำกัดความเร็ว ตามประกาศของเจ้าพนักงานจราจรของจังหวัดนครศรีธรรมราช (ราช

กิจจานุเบกษา, ประกาศเจ้าพนักงานจราจรทางบกจังหวัดนครศรีธรรมราช, 2561) มีเส้นทางที่กำหนดเขตจำกัดความเร็วจำนวน 3 เส้นทาง ได้แก่ ถนนราชดำเนิน ถนนกะโรม และถนนพัฒนาการคูขวาง เมื่อพิจารณาทั้ง 3 เส้นทางที่กำหนดเขตจำกัดความเร็วแล้วนั้น เส้นทางถนนราชดำเนินปี พ.ศ. 2561 มีสถิติการเกิดอุบัติเหตุรวมทั้งสิ้น 165 ครั้งเสียชีวิต 6 ราย บาดเจ็บ 159 ราย (ศูนย์ข้อมูลอุบัติเหตุ เพื่อเสริมสร้างวัฒนธรรมความปลอดภัยทางถนน, 2562) จากสถิติการเกิดอุบัติเหตุมีความรุนแรงจนถึงขั้นเสียชีวิตบนถนนราชดำเนินมีจำนวนมากที่สุดของถนนทั้ง 3 เส้นทางที่กำหนดเขตจำกัดความเร็ว ซึ่งทางผู้วิจัยจึงเห็นถึงประเด็นหนึ่งของการเกิดอุบัติเหตุทางถนนมากที่สุดคือประเด็นของการใช้ความเร็วเกินกำหนดในเขตจำกัดความเร็ว จึงได้มีการศึกษาความเร็วของยานพาหนะที่ขับขี่ในพื้นที่กำหนดความเร็ว โดยใช้เส้นทางศึกษาถนนราชดำเนิน จังหวัดนครศรีธรรมราช เพื่อเป็นแนวทางในการแก้ไขความเร็วที่บังคับใช้ในเขตจำกัดความเร็ว ซึ่งเป็นแนวทางการลดการเกิดอุบัติเหตุทางถนนของจังหวัดนครศรีธรรมราช หรือเป็นแนวทางทางการลดการเกิดอุบัติเหตุทางถนนในระดับประเทศต่อไป

วัตถุประสงค์

1. เพื่อสำรวจความเร็วของยานพาหนะที่ขับขี่ผ่าน/เข้าสู่พื้นที่เขตกำหนดความเร็ว และตำแหน่งติดตั้งป้ายจำกัดความเร็วบนเส้นทางที่กำหนดความเร็วตามประกาศของเจ้าพนักงานจราจร เส้นทางถนนราชดำเนิน จังหวัดนครศรีธรรมราช

2. เพื่อประเมินความเร็วของยานพาหนะที่ขับขี่ผ่าน/เข้าสู่พื้นที่เขตกำหนดความเร็ว และตำแหน่งติดตั้งป้ายจำกัดความเร็วบนเส้นทางที่กำหนดความเร็วตามประกาศของเจ้าพนักงานจราจร เส้นทางถนนราชดำเนิน จังหวัดนครศรีธรรมราช

กำหนดนิยามและมาตรฐานความเร็ว

ศูนย์อำนวยการความปลอดภัยทางถนนได้จัดทำเอกสารแนวทางการบริหารจัดการความเร็วในพื้นที่ชุมชน (เขตกรุงเทพมหานคร เขตเมืองพัทยา และเขตเทศบาล) (สำนักงานป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย, 2559) โดยมีประเด็นการขับรถเร็วกว่าที่กฎหมายกำหนด ที่จะมีการกำหนดความเร็วที่เหมาะสม

การกำหนดนิยาม คำว่า “พื้นที่ชุมชน” หมายถึง บริเวณที่มีบ้านเรือนอาคาร และการพัฒนาของพื้นที่ข้างเขต

ทาง หรือสถาบันการศึกษา หรือสถานพยาบาล มีการสัญจรของประชาชนในพื้นที่ เช่น การเข้า-ออก จากตรอก ซอกซอย หรือทางเชื่อม การข้ามทาง การจอดรถ การใช้จักรยานโดยที่ไม่มีพื้นที่หรืออุปกรณ์กันมีกิจกรรมที่ทำให้ประชาชนมาชุมนุมกันเป็นจำนวนมากข้างเขตทาง เช่น ตลาดนัด หรือตลาดชุมชนท้องถิ่น และย่านการค้า บริเวณ หรือสถานที่อื่น คณะกรรมการอนุกรรมการจัดการระบบจราจรทางบกจังหวัด มีความเห็นเป็นกรณีพิเศษ

การกำหนดมาตรฐานความเร็วที่ประชุมได้จัดทำข้อเสนอการควบคุมความเร็วในพื้นที่ชุมชน ในเขตกรุงเทพมหานคร เขตเมืองพัทยา หรือเขตเทศบาล โดยจัดตามประเภทของรถยนต์ และจำนวนช่องจราจร ข้อเสนอการควบคุมความเร็วในพื้นที่ชุมชน ในเขตกรุงเทพมหานคร เขตเมืองพัทยา หรือเขตเทศบาล ตาม พรบ. จราจรทางบก พ.ศ. 2522 และจัดทำป้ายกำหนดความเร็วโดยจำแนกความเร็วตามประเภทของรถ และจำนวนช่องจราจร แต่ทั้งนี้ ความเร็วนอกเขตกรุงเทพมหานคร เขตเมืองพัทยา หรือเขตเทศบาล ยังคงใช้ความเร็วคงเดิมตามตามกฎกระทรวงฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2522) ออกตามความในพระราชบัญญัติจราจรทางบก พ.ศ. 2522 และกฎกระทรวงฉบับ

ที่ 10 (พ.ศ. 2524) ออกตามความในพระราชบัญญัติจราจรทางบก พ.ศ. 2522 โดยรถบรรทุกที่มีน้ำหนักกรรณ รวมทั้งน้ำหนักบรรทุกเกิน 1,200 กิโลกรัม หรือรถบรรทุกโดยสาร ให้ใช้ความเร็วไม่เกิน 50 กิโลเมตรต่อชั่วโมง รถยนต์อื่น นอกเหนือจากรถที่ระบุไว้ใน ขณะที่กำลังจูงรถพ่วง รถยนต์บรรทุกที่มีน้ำหนักกรรณ รวมทั้งน้ำหนักบรรทุกเกิน 1,200 กิโลกรัม หรือรถยนต์สามล้อ ให้ใช้ความเร็วไม่เกิน 45 กิโลเมตรต่อชั่วโมง รถยนต์อื่นนอกเหนือจากรถที่ระบุไว้ หรือรถจักรยานยนต์ให้ใช้ความเร็วไม่เกิน 50 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

ในการกำหนดพื้นที่จำกัดความเร็วดำเนินการโดยนำเข้าที่ประชุมคณะกรรมการนโยบายการป้องกันและลดอุบัติเหตุทางถนนแห่งชาติ ซึ่งให้กระทรวงคมนาคมจัดทำข้อเสนอแนะความเร็วที่เหมาะสมในพื้นที่ชุมชนให้สอดคล้องกับถนนแต่ละประเภท และแจ้งไปยังคณะกรรมการจัดระบบการจราจรทางบกจังหวัด เพื่อใช้เป็นข้อมูลแนวทางในการดำเนินการและให้เจ้าพนักงานจราจรออกประกาศข้อบังคับกำหนดความเร็วโดยต้องผ่านความเห็นชอบจากคณะกรรมการจัดระบบการจราจรทางบกจังหวัด โดยนำข้อเสนอแนะความเร็วในเขตชุมชนประยุกต์ใช้กับพื้นที่ที่เหมาะสมกระทรวงมหาดไทยแจ้งศูนย์อำนวยการ

ความปลอดภัยทางถนนจังหวัดดำเนินการร่วมกับคณะอนุกรรมการจัดระบบการจราจรทางบกจังหวัดในการกำหนดอัตราความเร็วที่สอดคล้องตามบริบทของพื้นที่ องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น และหน่วยงานผู้รับผิดชอบกำกับดูแลสายทางจัดทำและติดตั้งป้ายกำหนดความเร็วในแต่ละจุดให้พอเพียงและชัดเจนตามมาตรฐานเพื่อประชาสัมพันธ์ผู้ใช้รถใช้ถนนให้ทราบและถือปฏิบัติ เพื่อควบคุมความเร็ว ความปลอดภัยในการขับขี่

วิธีการดำเนินการวิจัย

1. ขั้นตอนการดำเนินการวิจัยประกอบด้วย 4 ขั้นตอน ดังนี้

1) รวบรวมข้อมูลอุบัติเหตุในพื้นที่บนเส้นทางที่ประกาศจากเจ้าพนักงานจราจรโดยดูข้อมูลอุบัติเหตุจากศูนย์ข้อมูลอุบัติเหตุทางถนน (ศูนย์ข้อมูลอุบัติเหตุเพื่อเสริมสร้างวัฒนธรรมความปลอดภัยทางถนน, 2562)

2) การคัดเลือกพื้นที่ศึกษาในสำหรับเก็บข้อมูล คือถนนราชดำเนิน จังหวัดนครศรีธรรมราช

3) สสำรวจความเร็ว ของผู้ใช้ทางบนเส้นทางที่ประกาศควบคุมความเร็วของเจ้าพนักงานจราจร และตำแหน่งติดตั้งป้ายเขตควบคุมความเร็ว โดยใช้เครื่องตรวจวัดความเร็ววัดความเร็วของยานพาหนะ

4) วิเคราะห์ค่าความเร็วเฉลี่ยเพื่อเปรียบเทียบกับค่าจำกัดความเร็วในพื้นที่เขตกำหนดความเร็ว

เครื่องมือการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยมีดังต่อไปนี้

1. แบบสำรวจและบันทึกความเร็วของรถประเภทต่าง ๆ ที่เข้าสู่พื้นที่เขตจำกัดความเร็ว

2. ใช้เครื่องตรวจวัดความเร็ววัดความเร็วของยานพาหนะแต่ละประเภทที่เข้าสู่พื้นที่เขตจำกัดความเร็ว

สถิติที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ ค่าเฉลี่ยความเร็วเปรียบเทียบความเร็วที่กำหนดจากประกาศเจ้าพนักงานจราจร

ผลการศึกษา

ผลการศึกษาความเร็วยานพาหนะ

ผลการศึกษาความเร็วของยานพาหนะถูกแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ การสำรวจความเร็วที่เข้าสู่เขตพื้นที่กำหนดเขตควบคุมจำกัดความเร็วของถนนราชดำเนิน จังหวัดนครศรีธรรมราช การประเมินความเร็วยานพาหนะที่ขับขึ้นในพื้นที่กำหนดเขตควบคุมจำกัดความเร็ว โดยมีรายละเอียด ดังนี้

ผลการสำรวจความเร็วยานพาหนะบนถนนราชดำเนินจังหวัดนครศรีธรรมราช

ผลสำรวจความเร็วบนถนนราชดำเนินโดยพิจารณายานพาหนะที่ทิศทางขาเข้าสู่

พื้นที่กำหนดเขตควบคุมจำกัดความเร็วบนถนนราชดำเนิน จำนวนรวมไม่น้อยกว่า 400 คัน/จุดสำรวจ โดยทำการสำรวจความเร็วของยานพาหนะก่อนถึงป้ายกำหนดความเร็วป้ายแรกระยะทาง 500 เมตร โดยจุดสำรวจอยู่ห่างกันทุก 100 เมตร และทำการสำรวจเป็นระยะทาง 500 เมตร จากระยะป้ายกำหนดความเร็วเข้าสู่พื้นที่กำหนดเขตควบคุมจำกัดความเร็วและที่ตำแหน่งป้ายกำหนดความเร็วโดยจำแนกประเภทยานพาหนะ ได้แก่ ประเภทที่ 1) รถยนต์นั่งส่วนบุคคล รถกระบะ รถเอสยูวี รถตู้ ประเภทที่ 2) รถจักรยานยนต์ ประเภทที่ 3) รถบรรทุก 6 ล้อ รถบรรทุก 10 ล้อ รถโดยสารขนาดกลาง/ใหญ่ และประเภทที่ 4) รถบรรทุกพ่วง รถสามล้อ ความเร็วที่สำรวจจะถูกนำมาคำนวณเพื่อหาค่าความเร็วที่ 85 เปอร์เซ็นต์ไทล์ของยานพาหนะแต่ละประเภท/จุดสำรวจ

จำนวนยานพาหนะที่ทำการสำรวจพิจารณาจากสัดส่วนปริมาณจราจรของยานพาหนะที่สำรวจ โดยคิดเป็นค่าเฉลี่ย/จุดสำรวจ มีดังนี้ ยานพาหนะประเภทที่ 1 จำนวนไม่น้อยกว่า 306 คัน/จุดสำรวจ ยานพาหนะประเภทที่ 2 จำนวนไม่น้อยกว่า 84 คัน/จุดสำรวจ ยานพาหนะประเภทที่ 3 จำนวนไม่น้อยกว่า 9 คัน/จุดสำรวจ และยานพาหนะประเภทที่ 4 จำนวนไม่น้อยกว่า 1 คัน/จุดสำรวจ ผลการ

สำรวจความเร็วที่ 85 เปอร์เซ็นต์ไทล์แต่ละจุดสำรวจ แสดงในตารางที่ 1

จากตารางที่ 1 ผลการศึกษาพบว่า ยานพาหนะประเภทที่ 1 ความเร็วที่ 85 เปอร์เซ็นต์ไทล์ ก่อนเข้าเขตควบคุมจำกัดความเร็วมีขนาดสูงกว่า 60 กม./ชม. และมีความเร็วขนาด 65 กม./ชม. ณ ตำแหน่งป้ายกำหนดความเร็ว (0+000) และยังคงมีความเร็วสูงกว่าความเร็วกำหนด (60 กม./

ชม.) เมื่อพิจารณาจากเส้นแนวโน้มการใช้ความเร็วลักษณะเป็นโค้งพาราโบลาคว่ำ (Quadratic curve) ซึ่งแปลความได้ว่าความเร็วของยานพาหนะจะค่อยๆเพิ่มขึ้น ก่อนเข้าสู่ตำแหน่งป้ายกำหนดความเร็ว และความเร็วจะค่อยๆลดลง ภายหลังจากเข้าสู่พื้นที่เขตควบคุมจำกัดความเร็ว แต่ยังคงมีความเร็วสูงกว่าความเร็วที่กำหนด

ตารางที่ 1 ความเร็วที่ 85 เปอร์เซ็นต์ไทล์ ของยานพาหนะแต่ละประเภทบนถนนราชดำเนิน

จุดสำรวจ	พิกัด		ความเร็วที่ 85 เปอร์เซ็นต์ไทล์ของแต่ละประเภทยานพาหนะ (กม./ชม.)			
	E	N	ประเภท 1	ประเภท 2	ประเภท 3	ประเภท 4
0-500	8.3826605	99.9724045	32	33	25	25
0-400	8.3835718	99.9721773	37	40	28	30
0-300	8.3838405	99.9722845	32	60	28	26
0-200	8.3844550	99.9718521	45	68	33	29
0-100	8.3847723	99.9718976	43	55	38	38
0+000	8.3852834	99.9717148	47	50	32	34
0+100	8.3856452	99.9715577	51	65	31	35
0+200	8.3861529	99.9715240	30	69	31	35
0+300	8.3867225	99.9712891	40	50	35	30
0+400	8.3871472	99.9714788	31	65	23	24
0+500	8.3874917	99.9711489	44	70	25	8

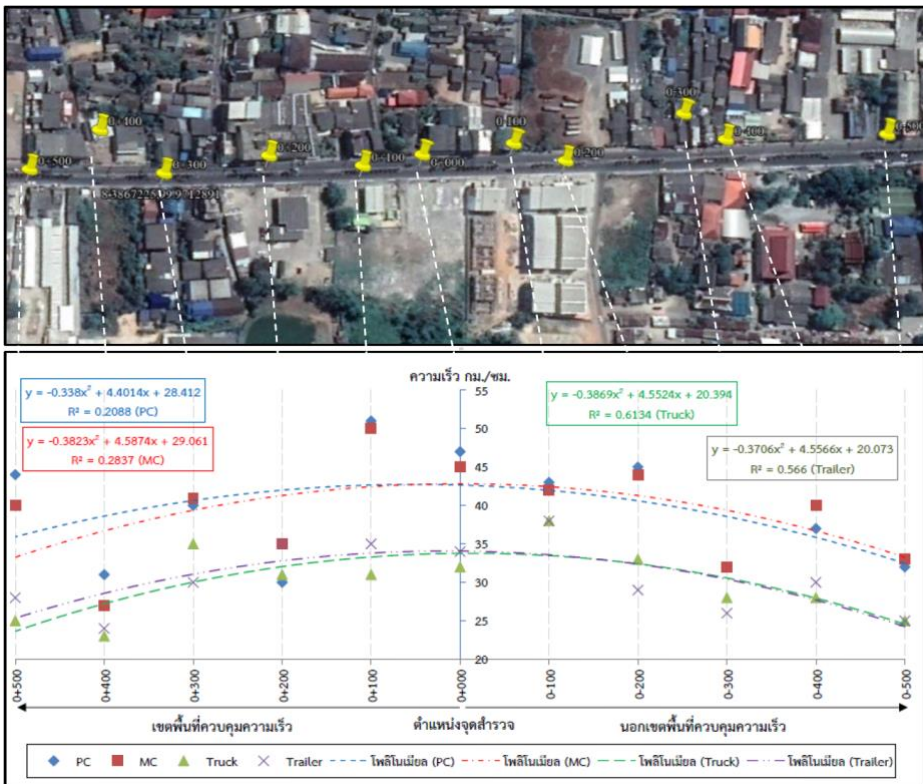
พิจารณาผลสำรวจความเร็วของยานพาหนะประเภทที่ 2 รถจักรยานยนต์พบว่า ความเร็วที่ 85 เปอร์เซ็นต์ไทล์ ลดลง

เมื่อถึงป้ายกำหนดความเร็วโดยมีความเร็วขนาด 50 กม./ชม. และเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเข้าเขตพื้นที่เขตควบคุมจำกัดความเร็ว

แนวโน้มการใช้ความเร็วมีลักษณะเป็นโค้งพาราโบลาแบบหงาย กล่าวคือ แนวโน้มความเร็วจะค่อยๆ ช้าลงเมื่อเข้าใกล้ป้ายกำหนดความเร็วและค่อยๆ เพิ่มขึ้นหลังจากผ่านป้ายกำหนดความเร็ว โดยมีขนาดความเร็วสูงกว่าความเร็วที่กำหนดเล็กน้อย

พิจารณาการใช้ความเร็วของยานพาหนะประเภทที่ 3 พบว่า ความเร็วที่ 85 เปอร์เซ็นต์ไทล์เมื่อเข้าสู่พื้นที่เขตควบคุมจำกัดความเร็วสูงกว่าความเร็วที่

กำหนด แนวโน้มการใช้ความเร็วเป็นรูปแบบคล้ายคลึงกับยานพาหนะประเภทที่ 1 คือ แนวโน้มการใช้ความเร็วค่อยๆ เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจนถึงตำแหน่งป้ายกำหนดความเร็ว และค่อยๆ ลดลงเมื่อเข้าสู่พื้นที่เขตควบคุมจำกัดความเร็ว โดยพบว่ามีการใช้ความเร็วสูงเกินกว่าความเร็วกำหนดที่ 60 กม./ชม.



ภาพที่ 1 แนวโน้มการใช้ความเร็วของยานพาหนะบนถนนราชดำเนิน

ความเร็วที่ 85 เปอร์เซ็นต์ไทม์เมื่อเข้าสู่พื้นที่เขตควบคุมจำกัดความเร็วของยานพาหนะประเภทที่ 4 มีขนาดสูงกว่าความเร็วที่กำหนด (45 กม./ชม.) เมื่อพิจารณาแนวโน้มการใช้ความเร็วในการขับขี่ มีลักษณะเป็นโค้งพาราโบลาแบบหงายความเร็วที่ใช้ในการขับขี่การก่อนเข้าสู่พื้นที่เขตควบคุมจำกัดความเร็ว ค่อนข้างช้า แต่ความเร็วค่อยๆเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเข้าสู่พื้นที่เขตควบคุมจำกัดความเร็ว และสูงกว่าความเร็วที่กำหนด (45 กม./ชม.) รายละเอียดแสดงในภาพที่ 1

ผลการประเมินความเหมาะสมของความเร็วที่กำหนดตามประกาศของเจ้าพนักงานจราจร

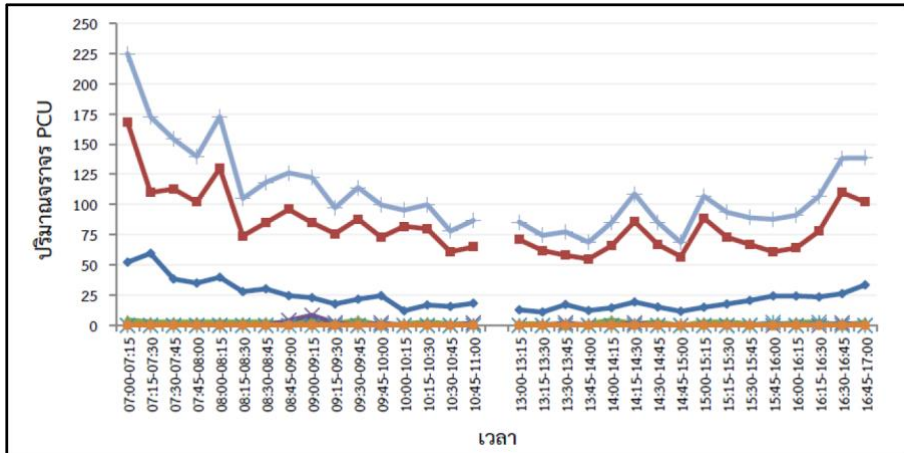
พิจารณาความเร็วของยานพาหนะที่เดินทางบนถนนราชดำเนิน ที่ระยะ 300-500 เมตร ระยะห่างจากป้ายกำหนด

ความเร็วในพื้นที่เขตกำหนดความเร็วพบว่า ยานพาหนะที่เดินทางบนถนนราชดำเนินเลือกใช้ความเร็วเฉลี่ยความเร็วที่ 85 เปอร์เซ็นต์ไทม์ที่ระยะทางดังกล่าวสูงกว่าความเร็วที่กำหนดสำหรับทุกประเภทยานพาหนะ และพบว่ายานพาหนะประเภทที่ 1 และประเภทที่ 2 มีการใช้ความเร็วเฉลี่ยของความเร็วที่ 85 เปอร์เซ็นต์ไทม์เดินทางบนถนนถนนราชดำเนิน สูงกว่าความเร็วที่กำหนดในขณะที่ยานพาหนะประเภทที่ 3 และประเภทที่ 4 มีการใช้ความเร็วเฉลี่ยของความเร็วที่ 27 เปอร์เซ็นต์ไทม์เดินทางบนถนนเส้นเดียวกันนี้ไม่เกินความเร็วที่กำหนด ดังแสดงรายละเอียดในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ค่าเฉลี่ยความเร็วบนถนนราชดำเนิน

ประเภทยานพาหนะ	ความเร็วกำหนด (กม./ชม.)	ความเร็วเฉลี่ย (กม./ชม.)	ความเร็วที่ 85 เปอร์เซ็นต์ ไทม์ (กม./ชม.)
ประเภทที่ 1	60	43	51
ประเภทที่ 2	60	39	50
ประเภทที่ 3	60	38	43
ประเภทที่ 4	45	27	27*

หมายเหตุ : * ใช้ค่าความเร็วเฉลี่ยเนื่องจากยานพาหนะมีน้อย ไม่สามารถหาค่า 85 เปอร์เซ็นต์ไทม์ได้



ภาพที่ 2 ปริมาณจราจรบนถนนราชดำเนินขาเข้า

ตารางที่ 2 แสดงค่าเฉลี่ยความเร็วของยานพาหนะที่ใช้ความเร็วในการขับขี่ในพื้นที่เขตควบคุมจำกัดความเร็ว พบว่ายานพาหนะประเภทที่ 1 มีค่าเฉลี่ยความเร็วสูงสุดในฝั่งขาเข้า 43 กม./ชม. ซึ่งต่ำกว่าความเร็วกำหนดที่ 60 กม./ชม. และพบว่าค่าเฉลี่ยความเร็วของยานพาหนะประเภทที่ 4 มีค่าสูงสุดที่ 27 กม./ชม. ซึ่งต่ำกว่าความเร็วกำหนดที่ 45 กม./ชม. ซึ่งสามารถยอมรับได้ว่าความเร็วที่กำหนดในพื้นที่เขตกำหนดความเร็วมีความเหมาะสมสอดคล้องกับความเร็วที่ประกาศของพนักงานจราจร และเมื่อพิจารณาการใช้ความเร็วที่ 85 เปอร์เซ็นต์ไทม์ พบว่ากลุ่มผู้ขับขี่ยานพาหนะประเภทที่ 1 ส่วนใหญ่ที่ 85 เปอร์เซ็นต์ไทม์เลือกใช้ความเร็วสูงสุดที่ 51 กม./ชม. ซึ่งเป็นขนาดความเร็วที่ไม่เกิน

ค่าความเร็วที่กำหนด และมีขนาดความเร็วที่ใกล้เคียงกับยานพาหนะประเภทที่ 7 มีการใช้อัตราความเร็ว 50 กม./ชม.

อภิปรายผลการวิจัย

1. พื้นที่ควบคุมจำกัดความเร็วของเส้นทางถนนราชดำเนิน จังหวัดนครศรีธรรมราช โดยกำหนดความเร็วจำแนกตามประเภทการบรรทุกน้ำหนักของยานพาหนะ โดยติดตั้งป้ายจำกัดความเร็วระยะห่างทุก ๆ 500 เมตร (ปิติ จันทฤทธิ์ และคณะ, 2559) ส้ารวจความเร็วในการเดินทางของรถยนต์ที่มีทิศทางเข้าสู่ชุมชนนอกช่วงเวลาเร่งด่วน โดยสำรวจหาความเร็วเปอร์เซ็นต์ไทม์ที่ 85 และค่าความเร็วเฉลี่ย พบว่าความเร็วของยานพาหนะบนถนนราชดำเนิน ยานพาหนะประเภท

ที่ 1 และ 3 มีความเร็วก่อนเข้าเขตจำกัดความเร็วสูงกว่าความเร็วที่กำหนด เมื่อถึงตำแหน่งป้ายป้ายจำกัดความเร็วมีความเร็วที่สูงกว่าความเร็วที่กำหนด และความเร็วค่อย ๆ ลดลงหลังเข้าสู่พื้นที่จำกัดความเร็ว แต่ความเร็วที่สูงกว่าความเร็วที่กำหนด ยานพาหนะประเภทที่ 2 มีความเร็วลดลงเมื่อถึงป้ายจำกัดความเร็ว และความเร็วค่อย ๆ เพิ่มขึ้นหลังจากผ่านป้ายจำกัดความเร็ว โดยมีความเร็วสูงกว่ากำหนดเล็กน้อย ยานพาหนะประเภทที่ 4 มีความเร็วก่อนเข้าเขตจำกัดความเร็วสูงกว่าที่กำหนด และความเร็วเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเข้าสู่พื้นที่ควบคุมความเร็วและใช้ความเร็วสูงกว่ากำหนด

2. แนวโน้มการใช้ความเร็วเข้าสู่พื้นที่เขตควบคุมกำหนดความเร็วบนถนนราชดำเนิน มีขนาดความเร็วที่ 85 เปอร์เซ็นต์ที่ใกล้เคียงกว่าความเร็วที่กำหนด

3. ความเร็วที่เสนอแนะบนถนนราชดำเนิน ยานพาหนะประเภทรถยนต์ส่วนบุคคลและรถจักรยานยนต์ กำหนดความเร็วที่ไม่เกิน 50 กม./ชม. ยานพาหนะประเภทรถบรรทุก รถโดยสารขนาดใหญ่ กำหนดความเร็วไม่เกิน 50 กม./ชม. และ ยานพาหนะประเภทรถพ่วง รถสามล้อ จำกัดไม่เกิน 45 กม./ชม.

ข้อเสนอแนะ

ท้องถิ่นต้องมีการส่งเสริม จัดทำบุคลากรที่มีความรู้ด้านวิศวกรรมจราจร เพื่อทำงานด้านวิชาการในท้องถิ่นหรือร่วมมือกับสถาบันบันการศึกษาที่มีบุคลากรด้านวิศวกรรมจราจรเป็นที่ปรึกษาหน่วยงานท้องถิ่น หน่วยงานที่เกี่ยวข้อง อาทิเช่น แขวงทางหลวง แขวงทางหลวงชนบท เทศบาล ควรหามาตรการเพื่อลดความเร็วของยานพาหนะที่ขับขึ้นถึงช่วงรอยต่อก่อนเข้าเขตชุมชน (Transition Zone) เพื่อขับขึ้นยานพาหนะเข้าเขตชุมชนด้วยความเร็วตามที่กฎหมายกำหนด

เอกสารอ้างอิง

ปิติ จันทร์ไทย และคณะ. (2559).

การศึกษาการลดความเร็วบนทางหลวงบริเวณรอยต่อเขตชุมชน.
รายงานวิจัย. มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช.

ราชกิจจานุเบกษา. (2561). ประกาศเจ้าพนักงานจราจรทางบกจังหวัดนครศรีธรรมราช เรื่องกำหนดถนนควบคุมจำกัดความเร็วในพื้นที่เทศบาลนครนครศรีธรรมราช. เล่ม 135 ตอนพิเศษ 72ง 27 มีนาคม 2561.

ศูนย์ข้อมูลอุบัติเหตุ เพื่อเสริมสร้าง

วัฒนธรรมความปลอดภัยทางถนน.

- (2562). รายงานอุบัติเหตุทางถนน จังหวัดนครศรีธรรมราช. ศูนย์รับแจ้งเหตุปริช้ทกลางคุ้มครองผู้ประสบกัยจากรถจ้ก้ดและครือช้ย. สื่บค้ันเมื่อ 5 ธันวาคม 2565, จาก <http://www.thairsc.com/p77/index/80>.
- ศูนย์อ้ำนวยกการค้ความปลอดภัยทางถนน. (2559). แนวทงการบรหิรจ้ดการค้เร็วในพ้ันที่ชุ้มชน. กรมบ้องก้ันและบรรทสาธาณกัยกระทรวงมหาดไทย. สื่บค้ันเมื่อ 5 ธันวาคม 2565, จาก http://www.dla.go.th/upload/document/type2/2016/12/17610_2_1482216732476.pdf?time=1482362458982
- Hallmark S., Hawkins N. and Knickerbocker S. (2018). Speed Management Toolbox for Rural Communities, Final Report. Center for Transportation Research and Education Institute for Transportation, Iowa State University, USA.
- Stamatiadis N., Kirk A., Cull A. and Dahlem A. (2019). Transition Zone Design, Final Report. Kentucky Transportation Center, University of Kentucky, USA.

การออกแบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กที่เหมาะสมที่สุดด้วยวิธี

Golden Section Search

Design Optimization of Reinforced Concrete Slabs by Using

Golden Section Search

อนันต์ นิมทวัฒน์^{1*} และอรรถสิทธิ์ ชื่นใจ²

^{1,2} สาขาวิชาโยธาสถาปัตยกรรม คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี

^{1,2} School of Civil Architecture, Faculty of Technology, UdonThani Rajabhat University

*Corresponding author email: anannimt@gmail.com

Received 12 Aug 2022 Revised 18 Aug 2022 Accepted 15 Nov 2022

บทคัดย่อ

การศึกษานี้เสนอระเบียบวิธีการออกแบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กที่เหมาะสมที่สุด เมื่อกำหนดขนาดกว้าง ขนาดยาว น้ำหนักบรรทุกจร กำลังอัดประลัยคอนกรีต และกำลังคลากของเหล็ก โดยพิจารณาข้อกำหนดการออกแบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กชนิดสองทาง และใช้ระเบียบวิธี Golden Section Search ในการค้นหาค่าตอบที่ดีที่สุด ระเบียบวิธีที่เสนอถูกพัฒนาขึ้นเป็นรหัสโปรแกรมย่อยที่ทำงานในโปรแกรม MATLAB จากผลตัวอย่างการทดสอบปัญหาที่ 1 ค่าตอบที่ได้แสดงให้เห็นการลดลงของราคาต่อหน่วยจาก 793.90 บาทเหลือ 434.90 บาท คิดเป็นราคาลดลงร้อยละ 45.21 และจากผลตัวอย่างการทดสอบปัญหาที่ 2 ค่าตอบที่ได้แสดงให้เห็นการลดลงของราคาต่อหน่วยจาก 793.90 บาทเหลือ 471.89 บาท คิดเป็นราคาลดลงร้อยละ 40.56

คำสำคัญ: การออกแบบ, พื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก, วิธีที่เหมาะสมที่สุด

Abstract

This study proposed an algorithm for optimum design of reinforced concrete slabs. The concrete section design of two-way slabs. The Golden Section Search method is modified to the proposed algorithm and tested by implementing in MATLAB. The results of problem 1 show that the unit price of the last search is decreased 45.21% from the initial price 793.90 baht to the final price 434.90

baht. The results of problem 1 show that the unit price of the last search is decreased 40.56% from the initial price 793.90 baht to the final price 471.89 baht.

Keywords: Optimization, Design, Slab, Golden Section Search

บทนำ

โดยทั่วไปในการก่อสร้างอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก ปริมาณเนื้องานพื้นจะมีปริมาณมากที่สุดเมื่อเทียบกับองค์อาคารอื่นๆ เช่น เสา หรือคาน ดังนั้นราคาก่อสร้างอาคารจะมากหรือน้อย จึงมักถูกกำหนดโดยราคางานก่อสร้างพื้น วิศวกรผู้ออกแบบจึงมักต้องการออกแบบหน้าตัดพื้นให้มีความประหยัดที่สุด ในการออกแบบหน้าตัดพื้นคอนกรีตที่มีความประหยัดที่สุด มีความจำเป็นที่ต้องใช้วิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดมาช่วยในการหาขนาดที่เหมาะสมที่สุด ร่วมกับการพิจารณาข้อจำกัดในการออกแบบ วิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดหลายวิธีได้ถูกนำมาใช้ในการศึกษาออกแบบหน้าตัดองค์อาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก เช่น วิธี lagrangian multipliers method ได้ถูกนำมาใช้ในการหาหน้าตัดพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กทางเดียวที่ประหยัดที่สุด (Rabi M. Najem, 2010) วิธี charged system search algorithm ได้ถูกนำมาใช้ในการออกแบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก (A. Kaveh and A.F. Behnam, 2012) วิธีอัลกอริทึมจำลอง

การอบเหนียวได้ถูกนำมาใช้ออกแบบเหมาะสมของเสาคอนกรีตเสริมเหล็กหน้าตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้ารับแรงดัดสองทาง (อัศนัย ทาเถา และคณะ, 2556) เป็นต้น

วิธี Golden Section Search (J. S. Arora, 2016) เป็นหนึ่งวิธีหาค่าที่เหมาะสมที่สุด ที่สามารถนำมาใช้การศึกษาออกแบบหน้าตัดองค์อาคารคอนกรีตเสริมเหล็กได้ เพราะมีระเบียบวิธีที่เข้าใจง่ายและสามารถประยุกต์ได้ง่าย ดังนั้นการศึกษาค้นคว้าจึงได้เสนอวิธีการประยุกต์ใช้วิธีดังกล่าวในการออกแบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กสองทาง

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาระเบียบวิธีพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กชนิดพื้นสองทาง พิเคราะห์เฉพาะรับน้ำหนักแนวตั้ง และวิเคราะห์หน้าตัดตามข้อกำหนดการออกแบบคอนกรีตโดยวิธีกำลัง (วินิต ช่อวิเชียร, 2540) โดยพิจารณาเฉพาะแรงดัด

2. เพื่อพัฒนาระเบียบวิธี Golden Section Search เพื่อออกแบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กที่ประหยัดที่สุด โดยพัฒนารหัสโปรแกรมด้วย MATLAB

ระเบียบวิจัย

ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

1. ศึกษาระเบียบวิธีการออกแบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กชนิดสองทาง

2. พัฒนาระเบียบวิธีการหาค่าเหมาะสมที่สุดของพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก

3. พัฒนารหัสโปรแกรมสำหรับออกแบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กที่เหมาะสมที่สุด

4. ทดสอบรหัสโปรแกรมสำหรับออกแบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กที่เหมาะสมที่สุด

5. วิเคราะห์ผลการออกแบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กที่เหมาะสมที่สุด

6. สรุปผลการออกแบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กที่เหมาะสมที่สุด

วิธีการดำเนินการวิจัย

1. วิธีการวิเคราะห์โมเมนต์ดัดพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กชนิดสองทาง

1.1 ข้อมูลเบื้องต้นของพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กที่กำหนดให้ ประกอบด้วย 4 อย่างดังนี้

- 1) ความยาวด้านสั้นของพื้น
- 2) ความยาวด้านยาวของพื้น
- 3) น้ำหนักบรรทุกทุกจร
- 4) ลักษณะความต่อเนื่องของพื้น

1.2 การคำนวณความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกทุกจรของหน้าตัดพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กชนิดสองทาง

$$W_R = W_{LM}/W_{LR} \quad (1)$$

เมื่อ

W_R = อัตราส่วนระหว่างน้ำหนักบรรทุกทุกจรที่มากที่สุดที่รับได้ต่อน้ำหนักบรรทุกทุกจรที่กำหนดให้

W_{LM} = น้ำหนักบรรทุกทุกจรที่มากที่สุดที่รับได้ ซึ่งคำนวณได้จากสมการที่ (2) (kg/m^2)

W_{LR} = น้ำหนักบรรทุกทุกจรที่กำหนดให้ (kg/m^2)

$$W_{LM} = \min(W_L^i)$$

$$; i = 1,2,3,4(2)$$

เมื่อ

$$W_L^1 = (W_{us-} - 1.4W_D)/1.7$$

$$W_L^2 = (W_{us+} - 1.4W_D)/1.7$$

$$W_L^3 = (W_{uL-} - 1.4W_D)/1.7$$

$$W_L^4 = (W_{uL+} - 1.4W_D)/1.7$$

$$W_D = 2400h$$

$$W_{us-} = \frac{M_{us-}}{c_s - s^2}$$

$$W_{us+} = \frac{M_{us+}}{c_s + s^2}$$

$$W_{uL-} = \frac{M_{uL-}}{c_L - s^2}$$

$$W_{uL+} = \frac{M_{uL+}}{c_L + s^2}$$

c_{s-} = สัมประสิทธิ์ของโมเมนต์ลบด้านสั้น

c_{s+} = สัมประสิทธิ์ของโมเมนต์บวกด้านสั้น

c_{L-} = สัมประสิทธิ์ของโมเมนต์ลบด้านยาว

c_{L+} = สัมประสิทธิ์โมเมนต์บวกด้านยาว

s = ความยาวด้านสั้นของพื้น

$$M_{us-} = 0.9d_{s-}^2 R_{ns-}$$

$$M_{us+} = 0.9d_{s+}^2 R_{ns+}$$

$$M_{uL-} = 0.9d_{L-}^2 R_{nL-}$$

$$M_{uL+} = 0.9d_{L+}^2 R_{nL+}$$

$$R_{ns-} = \frac{0.85f'_c}{2} \left[\frac{2.0p_{s-}f_y}{0.85f'_c} - \left(\frac{p_{s-}f_y}{0.85f'_c} \right)^2 \right]$$

$$R_{ns+} = \frac{0.85f'_c}{2} \left[\frac{2.0p_{s+}f_y}{0.85f'_c} - \left(\frac{p_{s+}f_y}{0.85f'_c} \right)^2 \right]$$

$$R_{nL-} = \frac{0.85f'_c}{2} \left[\frac{2.0p_{L-}f_y}{0.85f'_c} - \left(\frac{p_{L-}f_y}{0.85f'_c} \right)^2 \right]$$

$$R_{nL+} = \frac{0.85f'_c}{2} \left[\frac{2.0p_{L+}f_y}{0.85f'_c} - \left(\frac{p_{L+}f_y}{0.85f'_c} \right)^2 \right]$$

$$d_{s-} = h - 2 - 0.05D_{s-}$$

$$d_{s+} = h - 2 - 0.05D_{s+}$$

$$d_{L-} = h - 2 - 0.05D_{L-}$$

$$d_{L+} = h - 2 - 0.05D_{L+}$$

$$p_{s-} = \left[\frac{\pi D_{s-}^2}{4} \right] \left[\frac{N_{s-}}{100} \right]$$

$$p_{s+} = \left[\frac{\pi D_{s+}^2}{4} \right] \left[\frac{N_{s+}}{100} \right]$$

$$p_{L-} = \left[\frac{\pi D_{L-}^2}{4} \right] \left[\frac{N_{L-}}{100} \right]$$

$$p_{L+} = \left[\frac{\pi D_{L+}^2}{4} \right] \left[\frac{N_{L+}}{100} \right]$$

h = ความหนาของพื้น (cm)

D_{s-} = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเหล็กเสริมด้านสั้นรับโมเมนต์ลบ (mm)

D_{s+} = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเหล็กเสริมด้านสั้นรับโมเมนต์บวก (mm)

D_{L-} = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเหล็กเสริมด้านยาวรับโมเมนต์ลบ (mm)

D_{L+} = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเหล็กเสริมด้านยาวรับโมเมนต์บวก (mm)

N_{s-} = จำนวนเหล็กเสริมด้านสั้นรับโมเมนต์ลบต่อระยะ 1 เมตร

N_{s+} = จำนวนเหล็กเสริมด้านสั้นรับโมเมนต์บวกต่อระยะ 1 เมตร

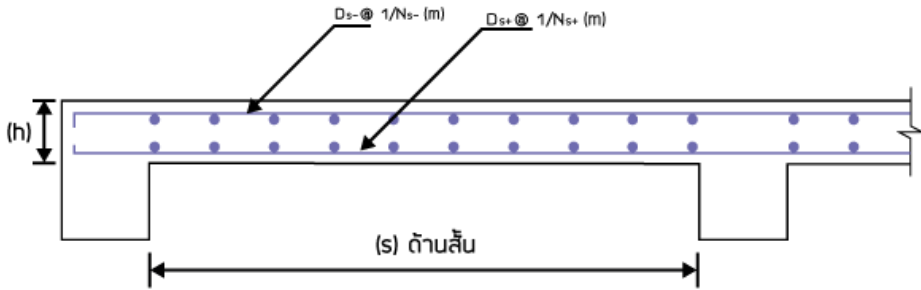
N_{L-} = จำนวนเหล็กเสริมด้านยาวรับโมเมนต์ลบต่อระยะ 1 เมตร

N_{L+} = จำนวนเหล็กเสริมด้านยาวรับโมเมนต์บวกต่อระยะ 1 เมตร

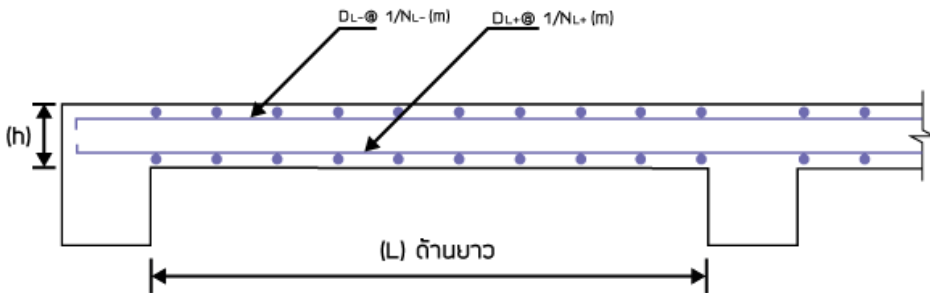
f_y = กำลังของดึงจุกครากของเหล็ก (ksc)

f'_c = กำลังอัดประลัยของคอนกรีต (ksc)

ภาพที่ 1 และ ภาพที่ 2 แสดงตัวอย่างการเสริมเหล็กของพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก



ภาพที่ 1 แสดงการเสริมเหล็กด้านสั้น



ภาพที่ 2 แสดงการเสริมเหล็กด้านยาว

2. วิธีการออกแบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กชนิดสองทางที่เหมาะสมที่สุด

2.1 ฟังก์ชันวัตถุประสงค์

คือ การหาค่าที่น้อยที่สุดของ

$$f = C_C + C_S(3)$$

เมื่อ

$C_C = 100 x/h$ = ราคาคอนกรีตต่อพื้นที่ 1 ตารางเมตร

h = ความหนาของพื้น (cm)

$x = 1750$ เมื่อกำลังอัดประลัยของคอนกรีต f'_c เท่ากับ 210 ksc

= 1850 เมื่อกำลังอัดประลัยของคอนกรีต f'_c เท่ากับ 240 ksc

= 1950 เมื่อกำลังอัดประลัยของคอนกรีต f'_c เท่ากับ 280 ksc

= 2050 เมื่อกำลังอัดประลัยของคอนกรีต f'_c เท่ากับ 320 ksc

$C_S = C_{S-} + C_{S+} + C_{L-} + C_{L+}$ = ราคาเหล็กเสริมต่อพื้นที่ 1 ตารางเมตร

$C_{S-} = 100p_{s-}DB$ = ราคาเหล็กเสริมด้านสั้นรับโมเมนต์ลบ

$C_{S+} = 100p_{s+}DB$ = ราคาเหล็กเสริมด้านสั้นรับโมเมนต์บวก

$C_{L-} = 100p_{L-}DB$ = ราคาเหล็กเสริม
ด้านยาวรับโมเมนต์ลบ

$C_{L+} = 100p_{L+}DB$ = ราคาเหล็กเสริม
ด้านยาวรับโมเมนต์บวก

D = หน่วยน้ำหนักรวมของเหล็ก

B = ราคาเหล็กต่อน้ำหนัก

2.2 ตัวแปรการออกแบบ

ประกอบด้วย 11 ตัวแปร คือ

- 1) ความหนาของพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก (h)
- 2) จำนวนเหล็กเสริมด้านสั้นรับโมเมนต์ลบต่อระยะ 1 เมตร (N_{s-})
- 3) จำนวนเหล็กเสริมด้านสั้นรับโมเมนต์บวกต่อระยะ 1 เมตร (N_{s+})
- 4) จำนวนเหล็กเสริมด้านยาวรับโมเมนต์ลบต่อระยะ 1 เมตร (N_{L-})
- 5) จำนวนเหล็กเสริมด้านยาวรับโมเมนต์บวกต่อระยะ 1 เมตร (N_{L+})
- 6) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเหล็กเสริมด้านสั้นรับโมเมนต์ลบ (D_{s-})
- 7) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเหล็กเสริมด้านสั้นรับโมเมนต์บวก (D_{s+})
- 8) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเหล็กเสริมด้านยาวรับโมเมนต์ลบ (D_{L-})
- 9) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเหล็กเสริมด้านยาวรับโมเมนต์บวก (D_{L+})
- 10) กำลังอัดประลัยคอนกรีต (f_c')
- 11) กำลังครากของเหล็กเสริม (f_y)

2.3 ข้อจำกัดการออกแบบ

ประกอบด้วย 4 สมการดังต่อไปนี้

$$h \geq \frac{10}{9}(S + L) \quad (4)$$

$$A_s \geq 100h\alpha(5)$$

$$d_1 < 3h \quad (6)$$

$$d_1 < 45 \text{ cm} \quad (7)$$

เมื่อ

h = ความหนาของพื้น (cm)

S = ความกว้างของพื้น (cm)

L = ความยาวของพื้น (cm)

A_s = พื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริม (cm²)

α = 0.0025 เมื่อกำลังครากของเหล็กเสริมเท่ากับ 2,400 ksc

= 0.0020 เมื่อกำลังครากของเหล็กเสริมเท่ากับ 3,000 ksc

d_1 = ระยะห่างของเหล็กเสริม (cm)

3. ระเบียบวิธีการออกแบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กชนิดสองทางที่เหมาะสมที่สุดด้วยวิธี Golden Section Search

ในการศึกษานี้ได้เสนอวิธีการประยุกต์ใช้วิธี Golden Section Search เพื่อค้นหาค่าที่เหมาะสมที่สุดกับการออกแบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กชนิดสองทาง โดยมีขั้นตอนดังนี้

1) กำหนดข้อมูลป้อนเข้าของปัญหาการออกแบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กชนิดสองทาง

2) กำหนดข้อมูลค่าคลาดเคลื่อนที่ยอมรับให้ของวิธี Golden Section Search ในการศึกษานี้กำหนดให้เท่ากับ 0.05

3) กำหนดค่าความหนาพื้นตำแหน่งที่ 1 (ความหนาพื้นเริ่มต้น) และทำการค้นหาปริมาณเหล็กเสริม ชนิดเหล็กเสริม และกำลังอัดคอนกรีต ที่ทำให้ได้พื้นคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีความประหยัดที่สุด

4) ทำการหาค่าตำแหน่งที่ 2 ที่มีค่าความหนาพื้นน้อยกว่าค่าความหนาพื้นเริ่มต้น แล้วทำการค้นหาปริมาณเหล็กเสริม ชนิดเหล็กเสริม และกำลังอัดคอนกรีต ที่ทำให้ได้พื้นคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีความประหยัดที่สุด และประหยัดกว่ากรณีพื้นที่มีค่าความหนาพื้นตำแหน่งที่ 1

5) ทำการหาค่าตำแหน่งที่ 4 ที่มีค่าความหนาพื้นน้อยกว่าค่าตำแหน่งที่ 2 แล้วทำการค้นหาปริมาณเหล็กเสริม ชนิดเหล็กเสริม และกำลังอัดคอนกรีต ที่ทำให้ได้พื้นคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีความประหยัดที่สุด แต่แพงกว่ากรณีพื้นที่มีค่าความหนาพื้นตำแหน่งที่ 2

6) ทำการหาค่าตำแหน่งที่ 3 ที่มีค่าความหนาพื้นน้อยกว่าค่าตำแหน่งที่ 2 แต่มากกว่าตำแหน่งที่ 4 แล้วทำการค้นหาปริมาณเหล็กเสริม ชนิดเหล็กเสริม และกำลังอัดคอนกรีต ที่ทำให้ได้พื้นคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีความประหยัดที่สุด และ

ประหยัดกว่ากรณีพื้นที่มีค่าความหนาพื้นตำแหน่งที่ 2

7) เปลี่ยนเลขกำหนดลำดับที่ของตำแหน่งที่ 2 เดิม ให้เป็นเลขลำดับที่ตำแหน่งที่ 1 และเลขกำหนดลำดับที่ของตำแหน่งที่ 3 เดิม ให้เป็นเลขลำดับที่ตำแหน่งที่ 2

8) ทำข้อ 6-7 ซ้ำ จนกว่าจะถึงข้อกำหนดค่าคลาดเคลื่อนที่ยอมรับให้ของวิธี Golden Section Search ในข้อ 2

9) จะได้ความหนาพื้นในตำแหน่งที่ 2 เป็นความหนาพื้นที่น้อยที่สุด และปริมาณเหล็กเสริม ชนิดเหล็กเสริม และกำลังอัดคอนกรีต ที่หาได้เป็นรายละเอียดพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กชนิดสองทางที่ประหยัดที่สุด

ผลการศึกษา

จากระเบียบวิธีการออกแบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กที่ประหยัดที่สุดที่เสนอในการศึกษาครั้งนี้ได้ทำการทดสอบตามตัวอย่างที่ 1 และ 2 ดังต่อไปนี้ โดยที่ตารางที่ 1 แสดงตัวแปรการออกแบบสำหรับตัวอย่างที่ 1 และ 2 โดยกำหนดความละเอียดของตัวแปรความหนาพื้นที่เท่ากับทศนิยม 2 ตำแหน่ง จำนวนเหล็กเสริมเป็นจำนวนเต็ม

1. ตัวอย่างที่ 1

พื้นคอนกรีตเสริมเหล็กชนิดสองทาง ขนาดด้านสั้นเท่ากับ 3 m ขนาดด้านยาว เท่ากับ 5 m ลักษณะความต่อเนื่องแบบที่ 1 กำหนดให้น้ำหนักบรรทุกที่รับได้ไม่น้อยกว่า 500 kg/m^2 จำนวนโอกาสที่จะเป็นไปได้ทั้งหมดจากตัวแปรการออกแบบที่

กำหนดให้ เท่ากับ 12,800,000 จากตาราง ที่ 2 แสดงผลการทดสอบพบคำตอบที่ดีที่สุดในการค้นหารอบที่ 9 พบว่าพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กที่ประหยัดที่สุดมีความหนาเท่ากับ 11.11 cm ราคาต่อตารางเมตร เท่ากับ 434.90 บาท

ตารางที่ 1 ตัวแปรการออกแบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กชนิดสองทาง

ตัวแปร ออกแบบ	ความหมาย	ค่าตัวแปร
h	ความหนาของพื้น	1 – 20
N_{s-}	จำนวนเหล็กเสริมด้านสั้นรับโมเมนต์ลบต่อระยะ 1 เมตร	1,2,3,...,10
N_{s+}	จำนวนเหล็กเสริมด้านสั้นรับโมเมนต์บวกต่อระยะ 1 เมตร	1,2,3,...,10
N_{L-}	จำนวนเหล็กเสริมด้านยาวรับโมเมนต์ลบต่อระยะ 1 เมตร	1,2,3,...,10
N_{L+}	จำนวนเหล็กเสริมด้านยาวรับโมเมนต์บวกต่อระยะ 1 เมตร	1,2,3,...,10
D_{s-}	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเหล็กเสริมด้านสั้นรับโมเมนต์ลบ	9, 10
D_{s+}	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเหล็กเสริมด้านสั้นรับโมเมนต์บวก	9, 10
D_{L-}	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเหล็กเสริมด้านยาวรับโมเมนต์ลบ	9, 10
D_{L+}	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเหล็กเสริมด้านยาวรับโมเมนต์บวก	9, 10
f_c'	กำลังอัดประลัยคอนกรีต	210, 240, 280, 320
f_y	กำลังครากของเหล็กเสริม	2,400, 3,000

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบตัวอย่างที่ 1

การค้นหารอบที่	h (cm)	f_c' (ksc)	N_{S-}, D_{S-} N_{S+}, D_{S+} (Nos, mm), (Nos, mm)	N_{L-}, D_{L-} N_{L+}, D_{L+} (Nos, mm), (Nos, mm)	f (บาท)	f'
1	20	210	6,10,6,10	6,10,6,10	793.90	100.00
2	19	210	5,10,5,10	5,10,5,10	702.42	88.48
3	17.38	210	5,10,5,10	5,10,5,10	647.10	84.91
4	14.76	210	4,10,4,10	4,10,4,10	554.30	69.82
5	13.15	210	4,10,4,10	4,10,4,10	525.99	66.25
6	12.15	210	4,10,4,10	4,10,4,10	508.49	64.05
7	11.53	210	4,10,3,10	3,10,3,10	442.18	55.70
8	11.15	210	4,10,3,10	3,10,3,10	435.50	54.86
9	11.11	210	4,10,3,10	3,10,3,10	434.90	54.78

2. ตัวอย่างที่ 2

พื้นที่คอนกรีตเสริมเหล็กชนิดสองทางขนาดด้านสั้น เท่ากับ 3 m ขนาดด้านยาว เท่ากับ 5 m ลักษณะความต่อเนื่องแบบที่ 2 กำหนดให้น้ำหนักบรรทุกที่รับได้ไม่น้อยกว่า 500 kg/m^2 ตารางที่ 1 แสดงตัวแปรการออกแบบของตัวอย่างที่ 2 จำนวนโอกาสที่จะเป็นไปได้ทั้งหมดจากตัวแปรการออกแบบที่กำหนดให้ เท่ากับ 12,800,000 จากตารางที่ 3 แสดงผลการทดสอบคำตอบที่ดีที่สุดในการค้นหารอบที่ 9 พบว่าพื้นที่คอนกรีตเสริมเหล็กที่ประหยัด

ที่สุดมีความหนาเท่ากับ 11.11 cm ราคาต่อตารางเมตรเท่ากับ 471.89 บาท

สรุปและอภิปรายผลการศึกษา

การวิจัยนี้กล่าวถึงการออกแบบพื้นที่คอนกรีตเสริมเหล็กชนิดสองทาง โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาระเบียบการออกแบบพื้นที่คอนกรีตเสริมเหล็กที่ประหยัดที่สุด โดยใช้ระเบียบวิธีการ Golden section search ในการหาชนิดหน้าตัดพื้นที่ประหยัดที่สุด ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าจากโอกาสของคำตอบที่เป็นไปได้ทั้งหมดจากตัวแปรการออกแบบที่กำหนด

เท่ากับ 12,800,000 ตัวอย่าง แต่ระเบียบวิธีที่เสนอสามารถลดจำนวนตัวอย่างในการออกแบบเหลือโอกาสที่จะเกิดเท่ากับ 400,000 ตัวอย่าง และสามารถหาคำตอบที่ดีที่สุดได้ (ประหยัดที่สุด) สรุปได้ว่า

ระเบียบวิธีการ Golden section search สามารถหาค่าที่เหมาะสมที่สุดในการออกแบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก ทำให้ช่วยลดเวลาในการออกแบบได้อย่างมีนัยสำคัญ

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบตัวอย่างที่ 2

การค้นห รอบที่	h (cm)	f_c' (ksc)	N_{s-}, D_{s-} N_{s+}, D_{s+} (Nos, mm, Nos, mm)	N_{L-}, D_{L-} N_{L+}, D_{L+} (Nos, mm, Nos, mm)	f (บาท)	f'
1	20	210	6,10,6,10	6,10,6,10	793.90	100.00
2	19	210	5,10,5,10	5,10,5,10	702.42	88.48
3	17.38	210	5,10,5,10	5,10,5,10	674.10	84.91
4	14.76	210	4,10,4,10	4,10,4,10	554.30	69.82
5	13.15	210	4,10,4,10	4,10,4,10	525.99	66.25
6	12.15	210	4,10,4,10	4,10,4,10	508.49	64.05
7	11.53	210	5,10,5,10	3,10,3,10	479.17	60.36
8	11.15	210	5,10,5,10	3,10,3,10	472.49	59.52
9	11.11	210	5,10,5,10	3,10,3,10	471.89	59.44

ข้อเสนอแนะ

การนำระเบียบวิธีการหาค่าที่ดีที่สุดมาใช้ในการหาค่าที่ดีที่สุดของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่มีข้อจำกัด เช่น ปัญหาการออกแบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก จำเป็นต้องมีการปรับปรุงระเบียบวิธี

เพื่อให้สามารถหาคำตอบที่ดีที่สุดได้ ดังตัวอย่างที่งานวิจัยนี้ได้นำเสนอกับการออกแบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กที่ละเอียด อย่างไรก็ตามงานวิจัยต่อไปอาจพิจารณาพร้อมกันหลายๆพื้น หรือพิจารณาออกแบบพื้นพร้อมกันที่ละชั้นของอาคาร เพื่อ

ทดสอบความสัมพันธ์กันของตัวแปรอื่นๆ
ของการออกแบบ เช่น สติฟเนสของคาน
และพื้น ความต่อเนื่องพื้นแต่ละผืน เป็นต้น

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ มหาวิทยาลัยราช
ภัฏอุดรธานี ที่ให้การสนับสนุนในการทำ
วิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- Arora, J. S. (2016). Introduction to
Optimum Design. USA:
Academic Press.
- Najem, Rabi M. (2010). Optimum
cost design of R.C. one way
slabs. Al-Rafidain Engineering
Journal, 18(6): 15-27.
- Kaveh, A., Behnam, A. F. (2012). Cost
optimization of a composite

floor system, one-way waffle
slab, and concrete slab
formwork using a charged
system search algorithm.

Scientia Iranica, 9(3): 410-416.

- อัศนัย ทาเกา จักรพันธ์, วงษ์พา อลงกรณ์
ละม่อม และ เรืองรุชดี ซีระโรจน์.
(2556). การออกแบบเหมาะสมของ
เสาคอนกรีตเสริมเหล็กหน้าตัด
สี่เหลี่ยมผืนผ้ารับแรงดัดสองทาง
ด้วยอัลกอริทึมการจำลองการอบ
เหนียว. วารสารวิจัยและพัฒนา
มจร., ปีที่ 36 (ฉบับที่ 1), 33-50.

วินิต ช่อวิเชียร. (2540). การออกแบบ
โครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก : โดย
วิธีกำลัง. กรุงเทพฯ: ภาควิชา
วิศวกรรมโยธา คณะ
วิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์
มหาวิทยาลัย.

อินเวอร์เตอร์ 1 เฟสสองทิศทางแบบเชื่อมกริดที่ควบคุมกระแส ด้วยฮิสเตอร์ซิสแบบดับเบิลแบนด์

Single-Phase Grid Connected Bidirectional Inverter with Double-band Hysteresis Current Control

ตะวัน ลาเสือ¹, ธาดา ชวนาพิทักษ์¹, โกศล ชัยเจริญอุดมรุ่ง^{1*}

หัตถุระ สภาวะจันทร์¹ และ พีรวัฒน์ มีสุข²

Tawan Lasue¹, Tada Chawanapitak¹, Koson Chaicharoenaudomrung^{1*}

Hatta Sawachan¹ and Peerawat Meesuk²

¹ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมไฟฟ้า วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ กรุงเทพมหานคร

²สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและระบบควบคุมอัตโนมัติ ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา กรุงเทพมหานคร

¹Department of Electrical Engineering Technology, College of Industrial Technology, King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Bangkok

²Electrical Engineering and Automation Control System Program, Department of Engineering, Faculty of Engineering and Industrial Technology, Bansomdejchaopraya Rajabhat University, Bangkok

*Corresponding author email: koson.c@cit.kmutnb.ac.th

Received 7 Aug 2022 Revised 14 Oct 2022 Accepted 15 Nov 2022

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนออินเวอร์เตอร์ 1 เฟสแบบเชื่อมกริดที่ควบคุมกระแสด้วยฮิสเตอร์ซิสแบบดับเบิลแบนด์ ซึ่งมีโหมดการทำงาน 2 โหมด ได้แก่ โหมดเรียงกระแสและโหมดอินเวอร์เตอร์ โครงสร้างการควบคุมประกอบด้วยวงรอบการควบคุมแรงดันไฟฟ้าที่ใช้ตัวควบคุมพีไอและอาศัยการควบคุมแบบฮิสเตอร์ซิสแบบดับเบิลแบนด์ควบคุมกระแสไฟฟ้าในวงรอบกระแส สมรรถนะการควบคุมด้วยวิธีที่นำเสนอถูกตรวจสอบด้วยการจำลองสถานการณ์ด้วยโปรแกรม MATLAB/Simulink และชุดทดสอบต้นแบบพิกัด 300 วัตต์ จาก

ผลการจำลองสถานการณ์และผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่ามีความสอดคล้องกัน ผลการทดสอบการทำงานในโหมดเรียงกระแสแสดงให้เห็นได้ว่ากริดจ่ายกำลังไฟฟ้า 355 วัตต์ ผ่านวงจรอินเวอร์เตอร์ไปยังโหลดตัวต้านทาน สำหรับการทำงานในโหมดอินเวอร์เตอร์กำลังไฟฟ้าที่ถ่ายโอนเข้าสู่กริดมีค่าเท่ากับ 281 วัตต์ โดยแรงดันไฟฟ้าด้านไฟฟ้ากระแสตรงของทั้ง 2 โหมดยังคงถูกรักษาไว้ที่ 400 โวลต์ นอกจากนี้ยังมีผลการทดสอบผลตอบสนองในสภาวะชั่วขณะ que แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพการควบคุมแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง โดยระบบควบคุมสามารถรักษาระดับแรงดันทางด้านเอาต์พุตคงที่ 400 โวลต์

คำสำคัญ: อินเวอร์เตอร์ 1 เฟส, อินเวอร์เตอร์กริดไทน์, วงจรแปลงผันสองทิศทาง

Abstract

This article presents a single-phase grid connected bidirectional inverter with hysteresis current control. It can operate in two modes: rectifier mode and inverter mode. The control consists of a voltage control loop that uses a PI controller and double-band hysteresis controls the current in the current loop. The control performance of the proposed method was verified by simulation using MATLAB/Simulink program and a 300 W single-phase bidirectional inverter prototype. The simulation results and experimental results show that is consistent. The experimental results of the rectifier mode show that the grid supplies 355 watts of power through the bidirectional inverter to the resistive load. Operating in inverter mode, the power transferred to the grid is 281 watts, with the DC voltage in both modes was still regulated at 400 V. In addition, there are transient responses showing the efficiency of DC voltage regulation.

Keywords: Single-phase inverter, Grid tie inverter, Bidirectional power converter

บทนำ

ในปัจจุบันมีแหล่งพลังงานทดแทนมากขึ้น ไม่ว่าจะเป็น โซลาร์เซลล์ หรือแหล่งกักเก็บพลังงานจำพวกแบตเตอรี่ (Khezri, Mahmoudi and Haque ,2020)

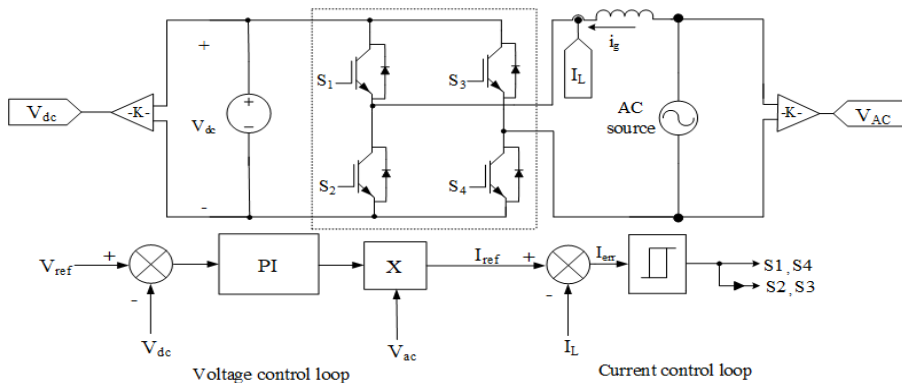
(Sangwongwanich, Yang, and Blaabjerg,2016) (Zhang, Sun, Li, Lu, and Zhao, 2018) โดยตั้งที่กล่าวมาเป็นแหล่งจ่ายกระแสตรง ซึ่งหากต้องการแปลงเป็นแหล่งจ่ายกระแสสลับเพื่อจ่าย

ให้กับกริดการไฟฟ้าหรือจำเป็นต้องการแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสสลับจำเป็นต้องอาศัยวงจรอินเวอร์เตอร์แบบสองทิศทาง โดยบทความนี้จะกล่าวถึงอินเวอร์เตอร์ 1 เฟสสองทิศทางแบบเชื่อมกริดที่ทำงานในโหมดเรียงกระแสและโหมดอินเวอร์เตอร์ (เจตน บัญญัติเรก และรัชชานนท์ แชมป์บัณฑิตย์, 2564) (เซตุพล อิมทิม และธงชัย ผ่องแผ้ว, 2562) (ชินวัตร มีช้าง และสะกาวเดือน สันธิवास, 2560)

อินเวอร์เตอร์ 1 เฟสแบบเชื่อมกริดเป็นคอนเวอร์เตอร์แบบมีสวิตช์ไอจีบีทีที่ทั้ง 4 ตัว การทำงานโดยทำหน้าที่แปลงไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับได้ โดยการทำงานของคอนเวอร์เตอร์จะต้องมีการควบคุมกระแสที่ออกจากคอนเวอร์เตอร์ (i_g) และแรงดันที่ตีชีบัส (V_{dc}) ดังรูปที่ 1 ตัวควบคุมแบบฮิสเตอร์รีซิส ในคอนเวอร์เตอร์นี้วงรอบควบคุมแรงดัน (V_{dc}) ใช้ตัวควบคุมแบบพีไอ และวงรอบการควบคุม

กระแส (i_g) ใช้ตัวควบคุมแบบฮิสเตอร์รีซิสแบบซิงเกิลแบนด์ ซึ่งเป็นวิธีที่เรียบง่ายเมื่อเทียบกับวิธีการพีดับเบิลยูเอ็มหรือวิธีเวกเตอร์การสวิตช์ อย่างไรก็ตามการควบคุมกระแสด้วยฮิสเตอร์รีซิสแบบซิงเกิลแบนด์จะมีความถี่สวิตช์สูง ทำให้เกิดการสูญเสียจากการสลับสวิตช์ (Switching Loss) เฉลี่ยมากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับตัวควบคุมแบบฮิสเตอร์รีซิสแบบดับเบิลแบนด์ (Komurcugil, 2015) (Komurcugil and Kukrer, 2015)

ดังนั้นบทความนี้ จึงนำเสนอการควบคุมกระแสด้วยฮิสเตอร์รีซิสแบบดับเบิลแบนด์สำหรับอินเวอร์เตอร์ 1 เฟสสองทิศทางแบบเชื่อมกริด โดยดำเนินการจำลองการทำงานด้วยโปรแกรม MATLAB/Simulink จากนั้นจึงทำการออกแบบและสร้างชุดต้นแบบขนาดพิกัด 300 W ดำเนินการทดสอบเพื่อยืนยันสมรรถนะของการควบคุมที่นำเสนอ



ภาพที่ 1 อินเวอร์เตอร์ 1 เฟสแบบเชื่อมกริดที่ควบคุมด้วยฮิสเตอร์รีซิสแบบซิงเกิลแบนด์

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

1. วงจรฟูลบริดจ์อินเวอร์เตอร์ 1 เฟส

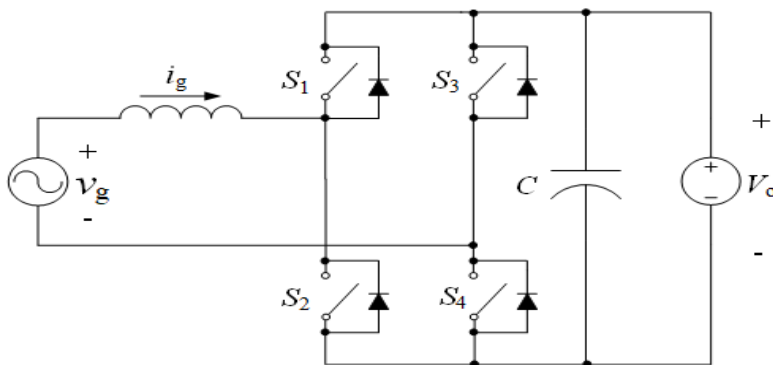
โดยทั่วไปวงจรฟูลบริดจ์ ประกอบด้วย สวิตซ์ 4 ตัว ดังรูปที่ 2 ซึ่งปกติจะนิยมขับ นำสวิตซ์ให้ตัดต่อวงจรไขว้กัน เพื่อสร้าง แรงดันออกเป็นรูปคลื่นสี่เหลี่ยมสวิตซ์ของ วงจรฟูลบริดจ์อินเวอร์เตอร์ทำงานพร้อม กันเป็นคู่ ซึ่งจะได้สัญญาณขาออกเป็น รูปคลื่นสี่เหลี่ยม

1. ผลตอบสนองของกระแสที่กริด (i_g) ในสภาวะคงตัวกับการสับสวิตซ์ของ วงจรฟูลบริดจ์อินเวอร์เตอร์

การสับสวิตซ์ของวงจรฟูลบริดจ์ อินเวอร์เตอร์ที่แสดงในรูปที่ 2 นั้นการ เปิด/ปิด สวิตซ์แต่ละรูปแบบนั้นจะส่งผลให้ เกิดการเปลี่ยนแปลงต่อกระแสที่กริด (i_g) ที่ แตกต่างกันได้โดยสามารถวิเคราะห์ ผลกระทบได้เป็นกรณีที่แรงดันที่กริด (v_g) เป็นบวกและเป็นลบ ในกรณีที่แรงดันกริด

เป็นบวก ($+v_g$) และแรงดันที่กริดเป็นลบ ($-v_g$) รูปแบบการสับสวิตซ์สามารถเป็นไปได้หลายรูปแบบสำหรับในบทความนี้ได้ทำ การวิเคราะห์ในเงื่อนไขดังต่อไปนี้

- ในการพิจารณาถือว่าสวิตซ์เป็นอุดมคติและไม่มีค่าความต้านทานแฝงในตัวเหนี่ยวนำ
- รูปแบบการสับสวิตซ์จะไม่ทำให้เกิด การลัดวงจรที่แรงดันกระแสตรงขาออก
- การสับสวิตซ์ของวงจรฟูลบริดจ์จะสับ สวิตซ์เป็นคู่
- การพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของ กระแสที่กริดเป็นการพิจารณาในสภาวะคงตัว
- พิจารณา V_g เท่ากับค่ายอดของแรงดัน ที่กริด (311 V) และ แรงดันของเอาต์พุตของ คอนเวอร์เตอร์ (V_o) เป็นค่าคงที่ (400 โวลต์) ไม่มีการกระเพื่อม



ภาพที่ 2 วงจรฟูลบริดจ์อินเวอร์เตอร์ 1 เฟสที่พิจารณา

การพิจารณากระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ โดยพิจารณาจากแรงดันที่ตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำ (V_L) โดยความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันที่ตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำกับกระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำสามารถเขียนสมการได้ดังสมการที่ (1)

$$V_L = L \frac{di}{dt} \quad (1)$$

จัดสมการใหม่ได้

$$\Delta i_L = \frac{1}{L} V_L \Delta T \quad (2)$$

โดย

Δi_L คือ การเปลี่ยนแปลงของกระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ

L คือ ค่าความเหนี่ยวนำ

V_L คือ แรงดันตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำ

ΔT คือ ช่วงเวลาการสับสวิตซ์

เพื่อให้ง่ายต่อการพิจารณาไม่นำค่าความเหนี่ยวนำ (L) และช่วงเวลาการสับสวิตซ์ (ΔT) มาพิจารณาด้วยเนื่องจากเป็นค่าคงที่และกำหนดให้ช่วงเวลาการสับสวิตซ์เท่ากันทุกช่วงเวลา กำหนดให้กระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ (i_L) คือกระแสที่กริด (i_g) จึงสามารถเขียนสมการใหม่ได้ดังสมการที่ (3)

$$\Delta i_g = \Delta i_L \alpha V_L \quad (3)$$

ตารางที่ 1 รูปแบบการสับสวิตซ์เพื่อใช้ควบคุมกระแสที่กริดขณะแรงดันกริดเป็นบวก

สวิตซ์ รูปแบบ	S_1	S_3	S_2	S_4	$i_g / \Delta i_g$
1	on	off	off	on	ลดลง (-)
	on	on	off	off	เพิ่มขึ้น (+)
2	on	off	off	on	ลดลง (-)
	off	off	on	on	เพิ่มขึ้น (+)

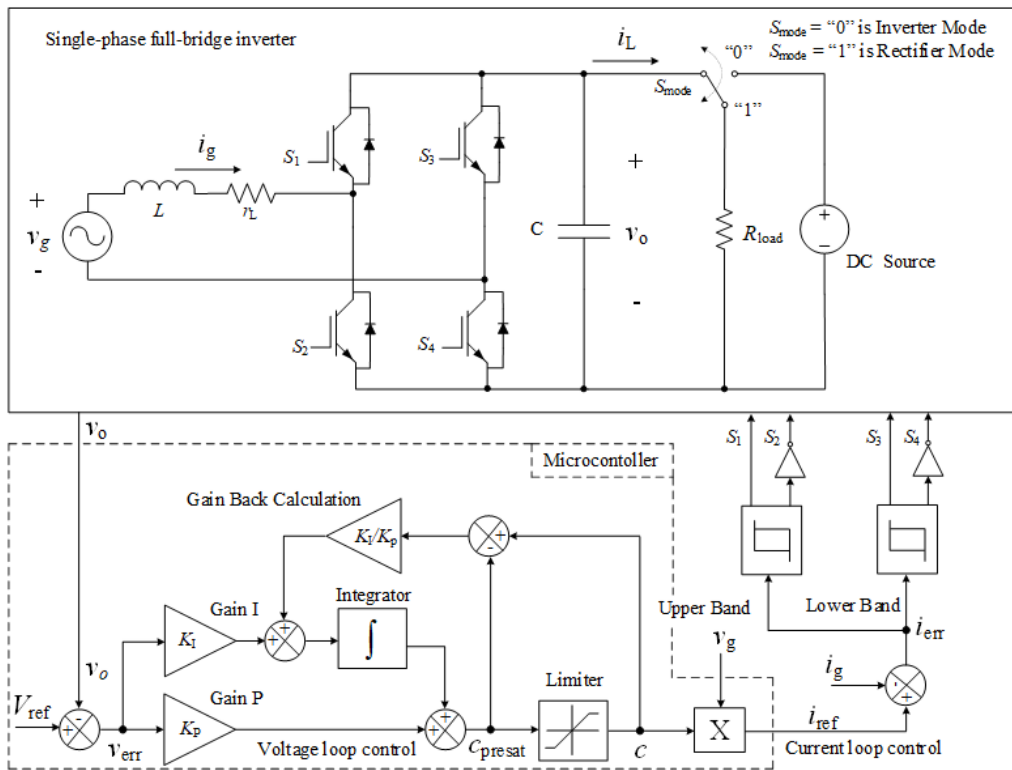
ตารางที่ 2 รูปแบบการสับสวิตซ์เพื่อใช้ควบคุมกระแสที่กริดขณะแรงดันกริดเป็นลบ

สวิตซ์ รูปแบบ	S_1	S_3	S_2	S_4	$i_g / \Delta i_g$
1	off	on	on	off	เพิ่มขึ้น (+)
	on	on	off	off	ลดลง (-)
2	off	on	on	off	เพิ่มขึ้น (+)
	off	off	on	on	ลดลง (-)

จากการพิจารณาตามตารางที่ 1 และคุณลักษณะที่กำหนดมาข้างต้นทำให้ทราบได้ว่าการเปลี่ยนแปลงของกระแสที่กริดเป็นขณะแรงดันกริดเป็นบวกและเป็นลบดังตารางที่ 2

2. หลักการควบคุมของอินเวอร์เตอร์ 1 เฟส สองทิศทางแบบเชื่อมกริด

โครงสร้างการควบคุมของอินเวอร์เตอร์ 1 เฟสสองทิศทางแบบเชื่อมกริดแสดงในภาพที่ 3



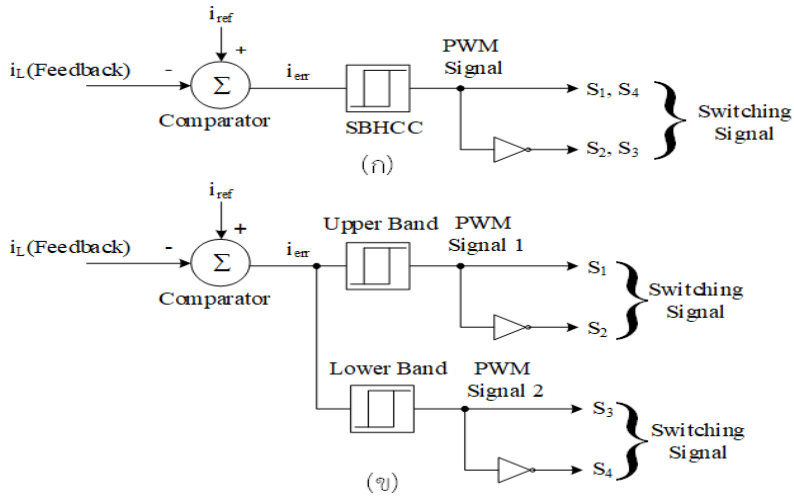
ภาพที่ 3 อินเวอร์เตอร์ 1 เฟสสองทิศทางแบบเชื่อมกริดที่ควบคุมด้วยวิธีซีเอสแบบดับเบิลแบนด์

การควบคุมแบ่งออกเป็น 2 ส่วนสำคัญ ประกอบด้วย ส่วนของวงรอบนอก (วงรอบแรงดัน) และวงรอบใน (วงรอบกระแส) โดยสองวงรอบสำคัญนี้มีไว้เพื่อการควบคุมแรงดันที่เอาต์พุต (V_o) และวงรอบกระแสมี

ไว้เพื่อควบคุมกระแสที่กริด (i_g) ให้เป็นไซน์ (Sinusoidal) โดยภายในวงรอบแรงดันจะใช้เทคนิคการควบคุมแบบแปรผันตรง (P) และแบบอินทิเกรต (I) ร่วมกัน อย่างไรก็ตามหากไม่มีลิมิตเตอร์ไว้จำกัดกระแสที่

ริดจะทำให้ช่วงเริ่มต้นจะมีกระแสที่กริดสูงเกินกว่าที่สวิตช์ไอจีบีทีจะทนได้ จึงมีความจำเป็นต้องมีลิ้มิตเตอร์และแอนติไววัพ (Anti-Windup) ช่วยในการป้องกันจำกัดกระแสที่กริดและป้องกันการสะสมของอินทิเกรตเตอร์ (I) เพื่อให้แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่เอาต์พุต (V_o) มีค่าเท่ากับหรือใกล้เคียงกับแรงดันอ้างอิง (V_{ref}) โดยหลักการทำงานไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำการแรงดันอ้างอิง เปรียบเทียบกับแรงดันกระแสตรงขาออกเพื่อหาความผิดพลาด (V_{err}) นำไปขยายความผิดพลาดด้วยตัวควบคุมและส่งเข้าสู่วงรอบควบคุมกระแสต่อไป สำหรับวงรอบควบคุมกระแสเป็นการควบคุมปริมาณกระแสสลับ จึงยากต่อการควบคุมด้วยพีไอ จึงใช้เทคนิคฮิสเตอร์ซิสเปิด/ปิด การทำงานไอจีบีทีเป็นลำดับตามการเคลื่อนตัวของปริมาณกระแสขอบเขตที่กำหนด กระแสอ้างอิง (i_{ref}) ได้มาจากเอาต์พุตของคอนโทรลเลอร์คูณด้วยแรงดันกริด เพื่อให้เป็นปริมาณกระแสสลับ จากนั้นค่ากระแสผิดพลาด (i_{err}) คือผลต่างระหว่างกระแสที่กริด (i_g) และกระแสอ้างอิง (i_{ref}) จะถูกนำไปเปรียบเทียบขอบเขตกระแสบน (HB) และ

ขอบเขตศูนย์ (HO) และขอบล่าง (HL) ผลที่ได้จะเป็นรูปแบบของการ ปิด-เปิดสวิตช์ไอจีบีทีโดยมีลักษณะกระแสที่กริด เทคนิคการควบคุมกระแสโดยใช้ฮิสเตอร์ซิสโดยทั่วไปในวงรอบควบคุมกระแสจะใช้เทคนิคการควบคุมกระแสโดยใช้ฮิสเตอร์ซิสแบบซิงเกิลแบนด์ (Single band hysteresis current control ; SBHCC) ซึ่งกำหนดความกว้างของแบนด์ที่ดังแสดงในภาพที่ 4 (ก) สำหรับเทคนิคการควบคุมกระแสโดยใช้ฮิสเตอร์ซิสแบบดับเบิลแบนด์ (Double band hysteresis current control ; DBHCC) ดังแสดงในรูปที่ 4 (ข) เทคนิคนี้มีการสลับสวิตช์ที่น้อยกว่าเมื่อเทียบกับการควบคุมกระแสแบบซิงเกิลแบนด์ ตารางที่ 3 และตารางที่ 4 แสดงรูปแบบการสวิตช์ของการควบคุมกระแสด้วยฮิสเตอร์ซิสแบบซิงเกิลแบนด์และแบบดับเบิลแบนด์ตามลำดับ



ภาพที่ 4 การควบคุมกระแสด้วยฮิสเตอร์ซิส

(ก) Single-Band Hysteresis Current Control

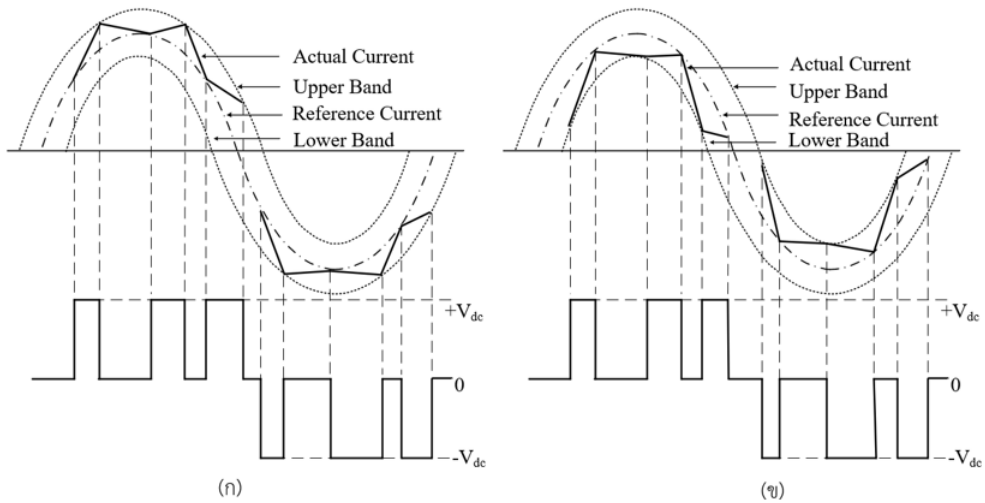
(ข) Double-band Hysteresis Current Control

ตารางที่ 3 Single-Band Hysteresis Current Control

สวิตช์ รูปแบบ	S_1	S_3	S_2	S_4	$i_g / \Delta i_g$
แรงดันกริดเป็นบวก (vg)	off	on	on	off	เพิ่มขึ้น (+)
	on	off	off	on	ลดลง (-)
แรงดันกริดเป็นลบ (-vg)	off	on	on	off	เพิ่มขึ้น (+)
	on	off	off	on	ลดลง (-)

ตารางที่ 4 Double-band Hysteresis Current Control

สวิตช์ รูปแบบ	S_1	S_3	S_2	S_4	$i_g / \Delta i_g$
แรงดันกริดเป็นบวก (vg)	on	off	off	on	เพิ่มขึ้น (+)
	on	on	off	off	ลดลง (-)
แรงดันกริดเป็นลบ (-vg)	off	on	on	off	เพิ่มขึ้น (+)
	on	on	off	off	ลดลง (-)



ภาพที่ 5 การทำงานของฮิสเตอรีซิสแบบดับเบิลแบนด์

(ก) โหมดเรียงกระแส

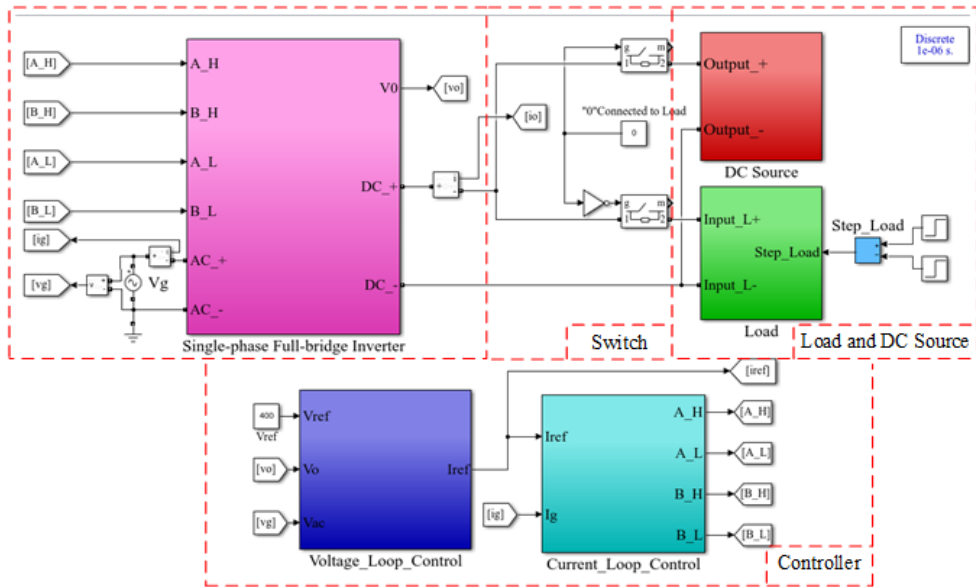
(ข) โหมดอินเวอร์เตอร์

ผลที่ได้จากรูปแบบของการ ปิด-เปิด สวิตช์ไอจีบีทีของอินเวอร์เตอร์ 1 เฟส สองทิศทางแบบเชื่อมกริดที่ควบคุมด้วยฮิสเตอรีซิสแบบดับเบิลแบนด์ มีลักษณะ กระแสที่กริด ขณะควบคุมในโหมดเรียง กระแสและโหมดอินเวอร์เตอร์แสดงใน ภาพที่ 5

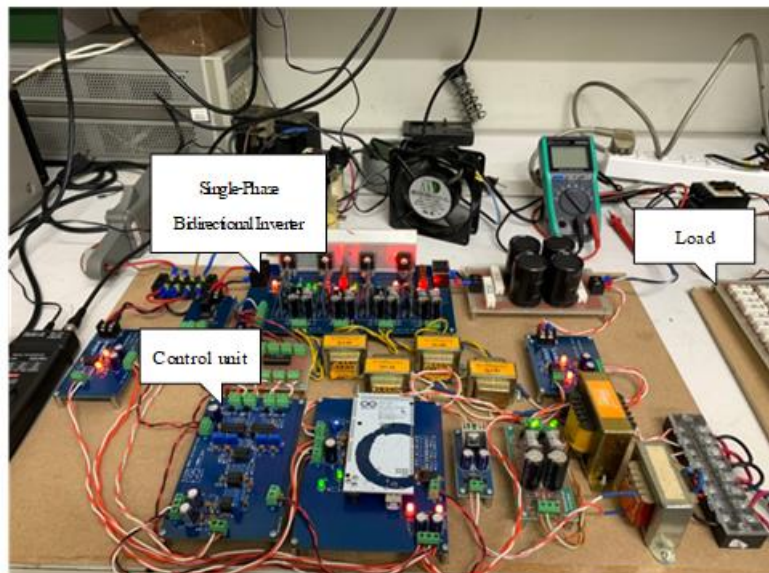
ผลการดำเนินงาน

การจำลองสถานการณ์อินเวอร์เตอร์ 1 เฟสสองทิศทางแบบเชื่อมกริดแสดงในภาพ ที่ 6 โดยจะจำลองการทำงานในโหมดเรียง กระแสและโหมดอินเวอร์เตอร์โดยเมื่อปรับ

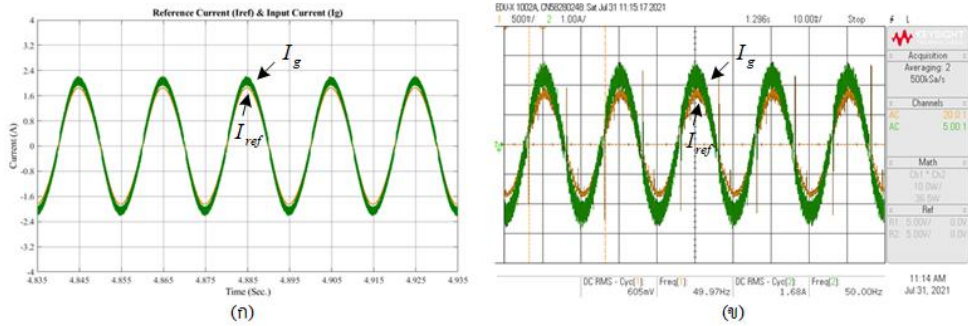
ลอจิกที่สวิตช์ (Switch) เท่ากับศูนย์จะทำให้ เบรกเกอร์เชื่อมต่อวงจรฟูลบริดจ์ อินเวอร์เตอร์ 1 เฟสสองทิศทาง กับโหลด ความต้านทานและเมื่อหากปรับลอจิกสวิตช์ เท่ากับหนึ่งจะทำให้เบรกเกอร์เชื่อมต่อวงจร ฟูลบริดจ์อินเวอร์เตอร์ 1 เฟส กับแหล่งจ่าย กระแสตรง ในภาพที่ 7 แสดงภาพรวมของ อุปกรณ์ทดสอบอินเวอร์เตอร์ 1 เฟส สองทิศทางต้นแบบพิกัด 300 W โดยมี แรงดันกริด 230 V 50 Hz ตัวเหนี่ยวนำ 10.8 mH โหลดตัวต้านทาน 500 Ω และ ควบคุมด้วยบอร์ด Arduino Mega 2560



ภาพที่ 6 การจำลองวงจรอินเวอร์เตอร์ 1 เฟสสองทิศทาง



ภาพที่ 7 ชุดทดสอบอินเวอร์เตอร์ 1 เฟสสองทิศทางแบบเชื่อมกริด



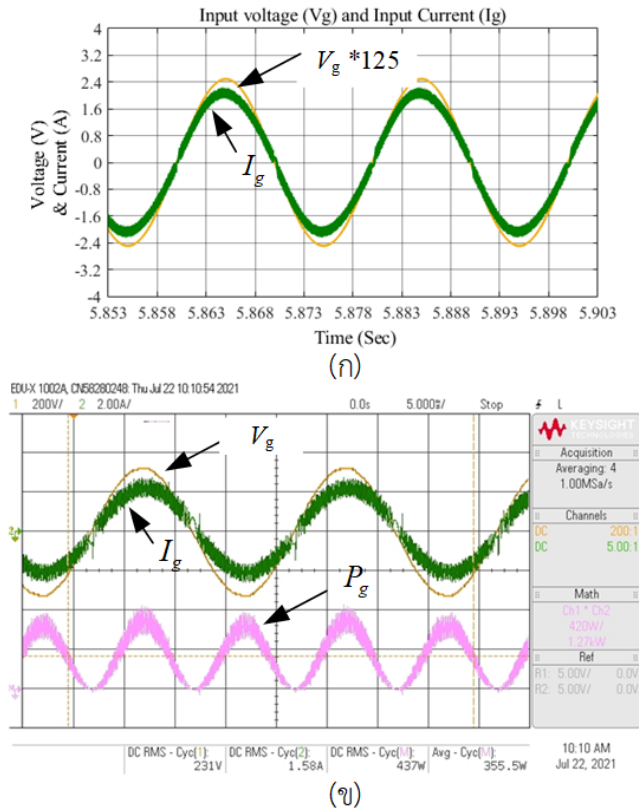
ภาพที่ 8 กระแสที่กริดในโหมดเรียงกระแส

(ก) ผลการจำลองสถานการณ์

(ข) ผลการทดสอบ

จากภาพที่ 8 (ก) เป็นผลการจำลองสถานการณ์อินเวอร์เตอร์ 1 เฟสทำงานในโหมดเรียงกระแสโดยจะเห็นว่าเมื่อกระแสอ้างอิง (I_{ref}) เป็นบวก (แรงดันที่กริดเป็นบวก) การแกว่งของกระแสที่กริด (I_g) จะอยู่ระหว่างแบนบน ($I_{ref} + H$) กับกระแสอ้างอิง (I_{ref}) และเมื่อกระแสอ้างอิง (I_{ref}) เป็นลบ (แรงดันที่กริดเป็นลบ) การแกว่งของกระแสที่กริด (I_g) จะอยู่ระหว่างแบนล่าง ($I_{ref} - H$) กับกระแสอ้างอิง (I_{ref}) ใน

ภาพที่ 8 (ข) แสดงผลทดสอบกระแสที่กริดในโหมดเรียงกระแสภาพที่ 9 (ก) แสดงผลการจำลองสถานการณ์กระแสและแรงดันไฟฟ้าที่กริดในโหมดเรียงกระแส จะเห็นได้ว่ามีเฟสตรงกัน ซึ่งหมายถึงกระแสไหลออกจากกริด ในภาพที่ 9 (ข) แสดงผลการทดสอบกระแสและแรงดันกริดในโหมดเรียงกระแส จะเห็นได้ว่ากริดจ่ายกำลังไฟฟ้าเท่ากับ 355 วัตต์



ภาพที่ 9 กระแสและแรงดันกริดในโหมดเรียงกระแส

(ก) ผลการจำลองสถานการณ์

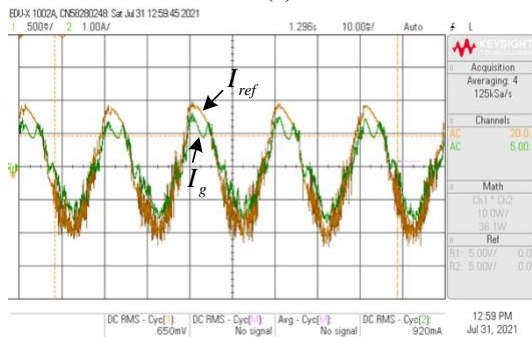
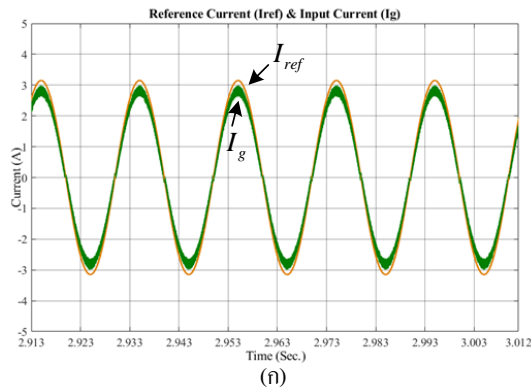
(ข) ผลการทดสอบ

สำหรับผลการจำลองสถานการณ์ วงจรอินเวอร์เตอร์ 1 เฟสสองทิศทางใน โหมดอินเวอร์เตอร์แสดงในภาพที่ 10 (ก) ซึ่งการควบคุมกระแสที่กริดจะเหมือนกับการทำงานงานในโหมดเรียงกระแสเพียงแต่ จะต่างกันเล็กน้อยกล่าวคือ เมื่อกระแส อ้างอิง (I_{ref}) เป็นบวก (แรงดันที่กริดเป็น ลบ) การแกว่งของกระแสที่กริด (I_g) จะอยู่

ระหว่างแบนล่าง ($I_{ref} - H$) กับกระแสอ้างอิง (I_{ref}) และเมื่อกระแสอ้างอิง (I_{ref}) เป็นลบ (แรงดันที่กริดเป็นบวก) การแกว่งของ กระแสที่กริด (I_g) จะอยู่ระหว่างแบนล่าง ($I_{ref} + H$) กับกระแสอ้างอิง (I_{ref}) ในภาพ ที่ 10 (ข) เป็นผลการทดสอบเปรียบเทียบ ระหว่างกระแสที่กริดกับกระแสอ้างอิงที่ เป็นไปในแนวทางเดียวกัน จากผลการ

ทดสอบดังกล่าวพบว่ากระแสมีความผิดเพี้ยนเนื่องจากกำลังสูญเสียที่หม้อแปลงของหม้อแปลงที่ใช้สำหรับแยกกราวด์

(Isolated transformer) โดยขนาดพิกัดของหม้อแปลงดังกล่าวมีค่าใกล้เคียงกับพิกัดของระบบที่ทดสอบ



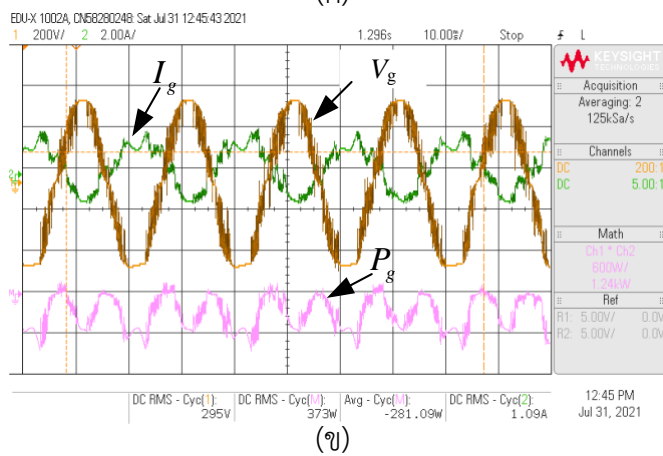
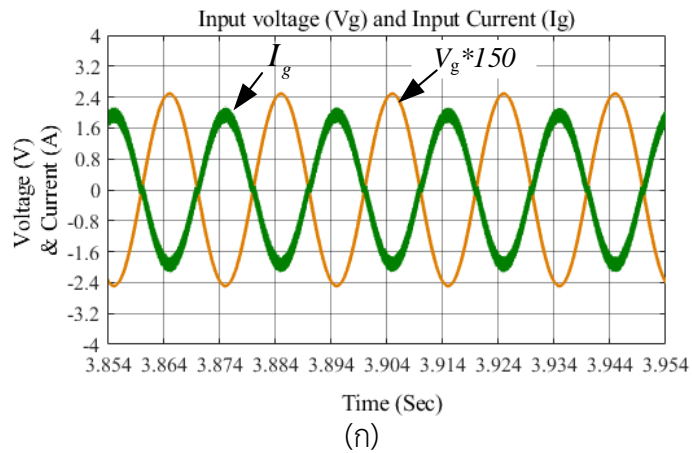
ภาพที่ 10 กระแสที่กริดในโหมดอินเวอร์เตอร์

(ก) ผลการจำลองสถานการณ์

(ข) ผลการทดสอบ

ภาพที่ 11 (ก) แสดงผลการจำลองสถานการณ์เปรียบเทียบสัญญาณกระแสและแรงดันที่กริด โดยจะสังเกตเห็นว่ามีความต่างเฟสกัน 180° ซึ่งหมายถึงกระแสไหลเข้ากริด ผลการทดสอบกระแสและแรงดันกริดในโหมดอินเวอร์เตอร์แสดงใน

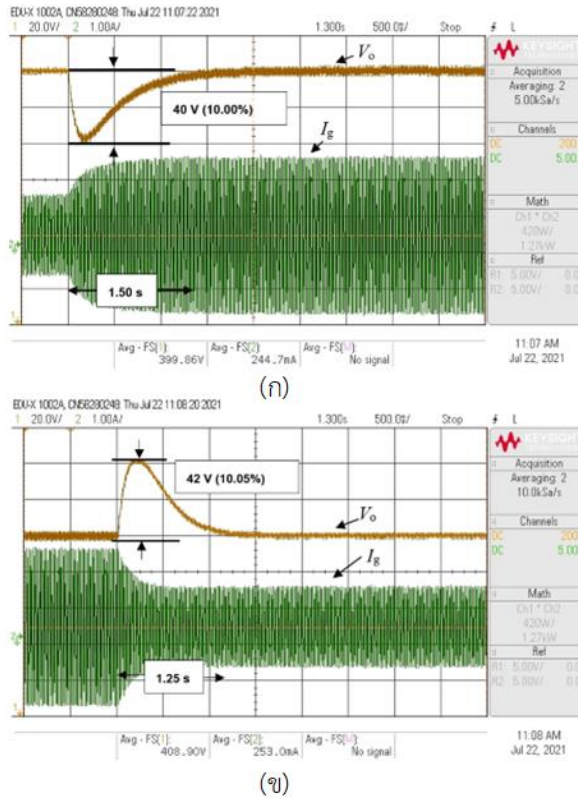
ภาพที่ 11 (ข) จะสังเกตเห็นว่ารูปคลื่นสัญญาณกระแสทางด้านอินพุต (I_g) จะมีลักษณะเป็นรูปคลื่นไซน์ที่มีการติดตามกระแสอ้างอิง (I_{ref}) โดยมีกำลังไฟฟ้าที่กริด (P_g) เท่ากับ -281.09 วัตต์



ภาพที่ 11 กระแสและแรงดันกริดในโหลดอินเวอร์เตอร์

(ก) ผลการจำลองสถานการณ์

(ข) ผลการทดสอบ



ภาพที่ 12 ผลการทดสอบสภาวะชั่วขณะ

(ก) กรณีโหลดเพิ่มจาก 50% โหลดเป็น 100% โหลด

(ข) กรณีโหลดลดจาก 100% โหลด เป็น 50% โหลด

ในภาพที่ 12 (ก) แสดงผลการทดสอบที่สภาวะชั่วขณะ โดยมีการเปลี่ยนแปลงโหลดจาก 50% โหลดเป็น 100% โหลด ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่า ตัวควบคุมกระแสและแรงดันมีเสถียรภาพที่สภาวะชั่วขณะ โดยสามารถรักษาระดับแรงดันทางด้านเอาต์พุตให้คงที่ไม่ต่ำกว่า 400 โวลต์ โดยแรงดันด้านเอาต์พุตมีการพุ่งต่ำลงขณะเปลี่ยนแปลงโหลดที่ 40 โวลต์ หรือ 10 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้เวลาในการเข้าสู่สภาวะคงตัว (Steady State) ที่เวลา 1.50 วินาที สำหรับผลการทดสอบที่สภาวะ

ชั่วขณะโดยมีการเปลี่ยนแปลงโหลดจาก 100% โหลด เป็น 50% แสดงในภาพที่ 12 (ข) ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่า ตัวควบคุมกระแสและแรงดันมีเสถียรภาพที่สภาวะชั่วขณะ โดยสามารถรักษาระดับแรงดันทางด้านเอาต์พุตให้คงที่ไม่ต่ำกว่า 350 โวลต์ โดยแรงดันด้านเอาต์พุตมีการพุ่งขึ้นขณะเปลี่ยนแปลงโหลดที่ 42 โวลต์ หรือ 10.05 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้เวลาในการเข้าสู่สภาวะคงตัว (Steady State) ที่เวลา 1.25 วินาที

สรุปผลการศึกษา

บทความนี้นำเสนออินเวอร์เตอร์ 1 เฟส สองทิศทางแบบเชื่อมกริดที่ควบคุมกระแสด้วยฮิสเตอร์ซิสแบบดับเบิ้ลแบนด์ การทำงานของวงจรแบ่งออกเป็น 2 โหมด คือ โหมดเรียงกระแส และโหมดอินเวอร์เตอร์ โดยเมื่อวงจรทำงานในโหมดเรียงกระแส กำลังไฟฟ้าที่กริดมีค่าเป็นบวก และเมื่อวงจรทำงานในโหมดอินเวอร์เตอร์ กำลังไฟฟ้าที่กริดมีค่าเป็นลบ การจำลองสถานการณ์แสดงให้เห็นถึงสมรรถนะของการควบคุมที่นำเสนอและยืนยันด้วยชุดทดสอบต้นแบบพิกัด 300 วัตต์ จากผลการจำลองสถานการณ์และผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่ามีความสอดคล้องกัน สำหรับในโหมดเรียงกระแสวงจรสามารถควบคุมแรงดันไฟฟ้าด้านเอาต์พุตได้ที่ 400 โวลต์ และกริดจ่ายกำลังไฟฟ้าเท่ากับ 355 วัตต์ ซึ่งมีประสิทธิภาพอยู่ที่ 97.80 เปอร์เซ็นต์ ส่วนในโหมดอินเวอร์เตอร์สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าไปยังกริดได้เท่ากับ -281 วัตต์ นอกจากนี้ยังมีการทดสอบผลตอบแทนในสถานะชั่วขณะกรณีเพิ่มและลดโหลดจากครึ่งหนึ่งของพิกัดไปยังค่าพิกัดพบว่าการควบคุมที่นำเสนอยังคงสามารถรักษาระดับแรงดันไฟฟ้าและควบคุมกระแสได้อย่างมีประสิทธิภาพ

เอกสารอ้างอิง

- เจตน์ บุญญติเรก และรัชชานนท์ แซ่มบัณฑิตย์. “วงจรฟูลบริดจ์อินเวอร์เตอร์ 1 เฟส ที่มีการแก้ไขค่าตัวประกอบกำลังและควบคุมกระแสแบบฮิสเตอร์ซิส.” ปรินญาณิพนธ์อุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์กำลัง ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมไฟฟ้า วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรมมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2564.
- ชินวัตร มีช้าง และสะกาวเดือน สันธิवास. “ชุดวงจรแปลงผันพลังงานสองทิศทาง 1 เฟส ควบคุมโดยวิธีฮิสเตอร์ซิส.” ปรินญาณิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์กำลัง ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมไฟฟ้า วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรมมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2560.
- เชตุพล อิมทิม และธงชัย ผ่องแผ้ว. “วงจรแปลงผันระดับแรงดันสำหรับปรับปรุงตัวประกอบกำลัง.” ปรินญาณิพนธ์อุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์กำลัง ภาควิชาเทคโนโลยี

- วิศวกรรมไฟฟ้าวิทยาลัยเทคโนโลยี
อุตสาหกรรมมหาวิทยาลัยเทคโนโลยี
พระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2562.
- Ariya Sangwongwanich, Yongheng
Yang, and Frede Blaabjerg,
“Sensorless reserved power
control strategy for two-stage
grid-connected Photovoltaic
systems”, IEEE 7th International
Symposium on Power
Electronics for Distributed
Generation Systems (PEDG),
2016.
- Geon-Hong Min, Kyung-Hwan Lee,
Jung-Ik Ha and Myong Hwan
Kim, “Design and Control of
Single-Phase Grid-Connected
Photovoltaic Microinverter with
Reactive Power Support
Capability”, International Power
Electronics Conference (IPEC-
Niigata 2018 -ECCE Asia), 2018.
- Hasan Komurcugil, “Double-band
hysteresis current-controlled
single-phase shunt active filter
for switching frequency
mitigation”, International
Journal of Electrical Power &
Energy Systems, 2015, pp. 131-
140.
- Hasan Komurcugil and Osman
Kukrer, “Double-band hysteresis
current-controlled single-phase
shunt active filter for switching
frequency mitigation”,
International Journal of
Electrical Power & Energy
Systems, 2015, pp. 131-140.
- Li Zhang; Kai Sun, Yun Wei Li,
Xiaonan Lu, and Jinqun Zhao,
“A Distributed Power Control of
Series-Connected Module-
Integrated Inverters for PV Grid-
Tied Applications”, IEEE
Transactions on Power
Electronics, 2018, pp. 7698 -
7707.
- Minsoo Jang, Mihai Ciobotaru and
Vassilios G. Agelidis, “A Single-
Phase Grid-Connected Fuel Cell
System Based on a Boost-
Inverte”, IEEE Transactions on
Power Electronics, 2013, pp.
279 - 288.
- Rahmat Khezri, Amin Mahmoudi and
Mohammed H. Haque,
“Optimal Capacity of Solar PV

and Battery Storage for
Australian Grid-Connected
Households”, IEEE Transactions
on Industry Applications, 2020,
pp. 5319 - 5329.

Vitor F. Barbosa, Antônio O. Costa
Neto, Gustavo B. Lima, and Luiz
C. G. Freitas, “Analysis of a

Single-Phase Hybrid
Bidirectional Rectifier with
Series Voltage Compensation in
a Grid-Connected DC
Microgrid”, IEEE PES Innovative
Smart Grid Technologies
Conference - Latin America
(ISGT Latin America), 2019

คำแนะนำการเตรียมต้นฉบับ

1. ประเภทผลของผลงานที่จะตีพิมพ์ มีบทความวิจัยและบทความวิชาการทางด้านวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
2. ต้นฉบับของบทความที่จัดส่งจำนวนหน้ามีทั้งหมดไม่เกิน 15 หน้า แบบตัวอักษรใช้ TH Sarabun PSK ขนาดกระดาษ 18.5 x 25.5 ซม.
3. การตั้งค่าน้ำกระดาษ ด้านบน 2.54 ซม. ด้านล่าง 2.54 ซม. ด้านซ้าย 2.54 ซม. ด้านขวา 2.0 ซม.
4. ชื่อเรื่อง (Title) ใช้อักษรตัวหนาขนาด 18 pt จัดกึ่งกลางหน้ากระดาษทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษตัวพิมพ์ใหญ่
5. ชื่อผู้เขียน (Author) ใช้อักษรขนาด 16 pt จัดต่อจากชื่อเรื่องกึ่งกลาง ระบุข้อมูลชื่อนามสกุลของผู้เขียน หากมีผู้เขียนร่วมต้องระบุให้ครบถ้วนถัดจากชื่อของผู้เขียน
6. ที่อยู่และสังกัดของผู้เขียน (Affiliation) ใช้อักษรปกติขนาด 14 pt ประกอบด้วย สาขาวิชา ภาควิชา คณะ มหาวิทยาลัย จังหวัดของผู้เขียนและนักวิจัย จัดริมซ้ายของหน้ากระดาษและใส่หมายเลขด้านหน้าบนที่อยู่ เช่น 1 ภาควิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม สาขาวิชา คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา
7. บทคัดย่อ (Abstract) ใช้อักษรปกติ ขนาด 18 pt (ตัวหนา) จัดกึ่งกลางหน้ากระดาษ ส่วนเนื้อหาในบทคัดย่อ ขนาดอักษร 16 ไม่เกิน 300 คำ พิมพ์ 1 คอลัมน์
8. เนื้อหา (Content) ใช้อักษรปกติขนาด 16 pt ตัวหนา ประกอบด้วยหัวข้อต่างๆของบทความ ได้แก่ บทนำ วัตถุประสงค์ วิธีการดำเนินการวิจัย ผลการวิจัย สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล ข้อเสนอแนะ กิตติกรรมประกาศ (ถ้ามี) เอกสารอ้างอิง การพิมพ์ส่วนเนื้อหาขนาดตัวอักษร 16 pt พิมพ์ 2 คอลัมน์
9. บรรณานุกรม (Bibliography) ใช้อักษรขนาด 16 pt จัดพิมพ์แบบชิดซ้าย โดยมีรายการอ้างอิงในเนื้อหาตรงกับรายการอ้างอิงท้ายบทความทุกรายการ โดยเรียงลำดับตามตัวอักษรภาษาไทยและภาษาอังกฤษ
10. การเขียนบรรณานุกรมตามรูปแบบเอพีเอ (APA-American Psychological Association: APA 6th Edition)

11. ชื่อตาราง ชื่อตาราง/แผนภูมิ/รูปภาพ ขนาดอักษร 16 pt ควรมีภาพที่ชัดเจน ระบุชื่อไฟล์และเรียงลำดับหมายเลขชื่อไฟล์ตรงกับรูปในบทความ ไฟล์รูปชนิด TIFF หรือ JPEG ความละเอียดไม่น้อยกว่า 300 dpi ขนาดไฟล์ไม่เกิน 2 MB

ชื่อเรื่องวิจัยภาษาไทย (18 pt กึ่งกลาง ตัวหนา)

ชื่อเรื่องวิจัยภาษาอังกฤษ (18 pt กึ่งกลาง ตัวหนา)

ชื่อ นามสกุล^{1*}, ชื่อ นามสกุล² (16 pt กึ่งกลาง)

¹ สาขาวิชาxxxxxxxxxx คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราช
ภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา

² สาขาวิชา xxxxxxxxxxxx คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราช
ภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา

¹Major in.....Faculty of.....University.....

²Major in.....Faculty of.....University.....

* Corresponding author: engineering@bsru.ac.th (14 pt ชิดซ้าย)

Received Revised Accepted

บทคัดย่อ (18 pt กึ่งกลาง ตัวหนา)

บทคัดย่อไม่เกิน 300 คำ พิมพ์ 1 คอลัมน์ (16 Pt ตัวปกติ)

คำสำคัญ: คำสำคัญไม่เกิน 5 คำ

Abstract (18 pt กึ่งกลาง ตัวหนา)

Abstract should not be more than 300 words or in 1 paragraph (16 Pt ตัวปกติ)

Keywords: Keyword are not exceed 5 words

เนื้อหาในส่วนเนื้อหาประกอบด้วยรายละเอียด ดังนี้

หัวข้อขนาด 16 pt ชิดซ้าย ตัวหนา พิมพ์ 2 คอลัมน์เนื้อหา (Content) ใช้อักษรปกติขนาด 16 pt

1. บทนำ
2. วัตถุประสงค์
3. วิธีการดำเนินการวิจัย
4. ผลการศึกษา

5. สรุปผลการศึกษา
6. อภิปรายผล
8. ข้อเสนอแนะ
9. กิตติกรรมประกาศ (ถ้ามี)
10. เอกสารอ้างอิง



ภาพที่ 1 แสดงกระบวนการออกแบบผลิตภัณฑ์ (ขนาด 16 pt ตัวหนาและ คำอธิบายภาพ ขนาด 16 pt ตัวปกติ)

ตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลก่อนการบำรุงรักษาเชิงป้องกันประจำวัน (16 pt ตัวหนาที่ ตารางที่ 1)

อุปกรณ์	หน้าที่การทำงาน	จำนวนครั้ง/วัน
คอป้อน	ลำเลียงเม็ดพลาสติก	6
หัวฉีด	ฉีดพลาสติกที่ออกจากกระบอกลูกสูบเข้าสู่แม่พิมพ์	7
สกรูมอเตอร์	หมุนพาให้พลาสติกเคลื่อนที่และคลุกเคล้าพลาสติกให้เป็นเนื้อเดียวกัน	8

เอกสารอ้างอิง

(ใช้ตามรูปแบบ เอพีเอ (APA-American Psychological Association: APA 6th Edition))

เจษฎา เมธาธีรวุฒิ. (2556). การลดของเสียจากสิ่งปนเปื้อนในกระบวนการอบยางรถยนต์ กรณีศึกษาโรงงานผลิตยางรถยนต์แห่งหนึ่งในจังหวัดระยอง. วิทยานิพนธ์วิทยาศาตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการอุตสาหกรรม, มหาวิทยาลัยราชภัฏราชชนรินทร์.

ญาณิศา พรหมบุตร และสุนิตรา สมศักดิ์ดี. (2561). การปรับปรุงกระบวนการผลิตสิ่งพิมพ์ของห้างหุ้นส่วนจำกัด เอสพีรีน ซัพพลาย (2002) โดย เทคนิค QC Story. วารสารงานวิจัยสาขาวิชาการจัดการอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา, ปีที่ 6 (ฉบับที่ 6), 40-47.

ฤดี นิยมรัตน์. (2551). สถิติเพื่อการวิจัยในงานอุตสาหกรรม. กรุงเทพฯ: คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรมมหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา.

ประเสริฐ อัครประดมพงศ์. (2552). การลดความสูญเปล่าด้วยหลักการ ECRS. สืบค้นเมื่อ วันที่ 22 มกราคม 2563 จาก <https://cpico.wordpress.com>

Lee, S. and Lye, S. (2002). Design for Manual Packaging, International Journal of Physical Distribution and Logistics Management 33(2): 163-89.

Lorence, M. and Peshed, P. (2009). Development of Packaing and Products for use in microwave ovens. USA: Woodhead Publishing Limited.

แบบฟอร์มขอส่งบทความเพื่อพิจารณาตีพิมพ์ในวารสารวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี
อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา

ข้าพเจ้า(นาย/นาง/นางสาว/อื่นๆ)

(ภาษาไทย).....

(ภาษาอังกฤษ).....

สถานะผู้เขียน อาจารย์ นักศึกษา บุคลากร/เจ้าหน้าที่ อื่นๆ

(โปรดระบุ).....

ตำแหน่งทางวิชาการ

ศาสตราจารย์ รองศาสตราจารย์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ อาจารย์

อื่นๆ (โปรดระบุ).....

วุฒิการศึกษาสูงสุด.....สาขาวิชา.....

สถานที่ทำงาน.....

ที่อยู่ที่สามารถติดต่อได้.....

โทรศัพท์.....โทรศัพท์มือถือ.....

โทรสาร.....อีเมลล์.....

ชื่อเรื่อง

(ภาษาไทย).....

(ภาษาอังกฤษ).....

มีความประสงค์ขอส่ง

บทความวิจัย บทความวิชาการ บทความสร้างสรรค์

อื่นๆ(โปรดระบุ).....

ทั้งนี้ข้าพเจ้าได้ส่งบทความ จำนวน 2 ชุด พร้อมแผ่นดิสก์ข้อมูลบทความมาด้วย

ข้าพเจ้าขอรับรองว่าบทความที่ส่งมานี้

เป็นผลงานที่ข้าพเจ้าเขียนแต่เพียงผู้เดียว

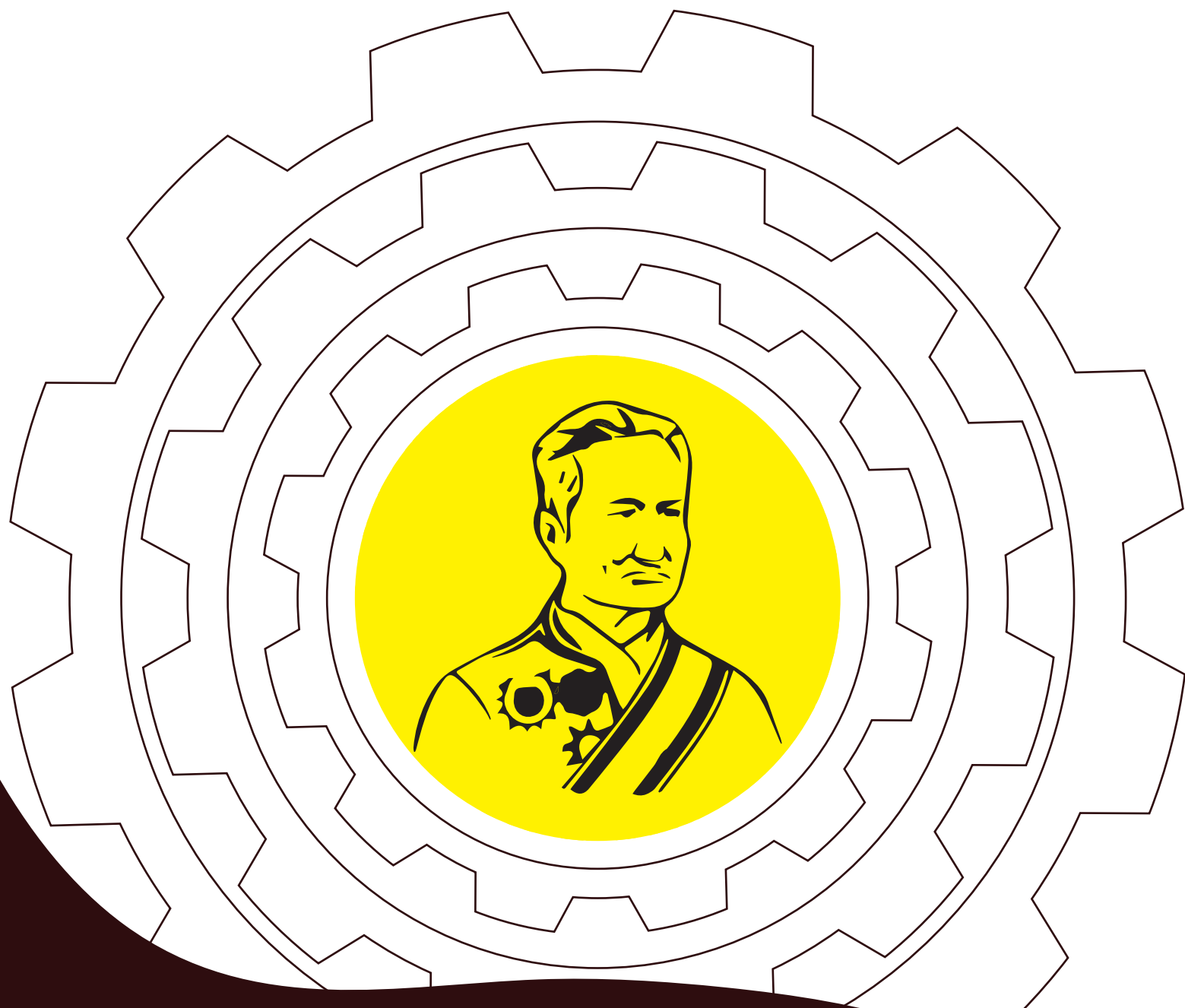
เป็นผลงานของข้าพเจ้าและผู้ร่วมงานตามที่ระบุชื่อไว้จริง

และข้าพเจ้าขอรับรองว่าบทความนี้ไม่เคยลงตีพิมพ์ในวารสารใดมาก่อน และไม่อยู่ระหว่างการพิจารณาของวารสารอื่น หากข้าพเจ้าขอเพิกถอนบทความ ข้าพเจ้ายินยอมรับผิดชอบในค่าใช้จ่ายต่างๆที่เกิดขึ้น

ลงชื่อ.....ผู้ส่งบทความ

(.....)

วันที่.....



คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา
Faculty of Engineering and Industrial Technology, Bansomdejchaopraya Rajabhat University
เลขที่ 1061 ซอยอิสรภาพ 15 ถนนอิสรภาพ แขวงหิรัญรูจี เขตธนบุรี กรุงเทพมหานคร 10600
อาคารสมเด็จพระพุทธาจารย์ (นวม) (อาคาร 24) โทร. 02-473-7000 ต่อ 5650-5655
<http://eit.bsru.ac.th> FB: คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มบส.

journalen@bsru.ac.th