

วิศวกรรมสาร **เกษมบัณฑิต**

ISSN 2630-0346

KASEM BUNDIT

Engineering Journal



คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต

ปีที่ 13 ฉบับที่ 3 กันยายน - ธันวาคม 2566
Vol.13 No.3 September - December 2023

วิศวกรรมสารเกษมบัณฑิต

ปีที่ 13 ฉบับที่ 3 กันยายน-ธันวาคม 2566

Kasem Bundit Engineering Journal (KBEJ)

Volume 13 No.3 September-December 2023

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต

วิศวกรรมสารเกษมบัณฑิต

Kasem Bundit Engineering Journal (KBEJ)

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต

วิศวกรรมสารเกษมบัณฑิตจัดทำขึ้นเพื่อเผยแพร่ผลงานวิจัยและพัฒนา ผลงานวิชาการ ตลอดจนองค์ความรู้ทางด้านวิศวกรรมศาสตร์ของอาจารย์ นักวิชาการอิสระ และวิศวกรทั่วไป และเป็นสื่อกลางระหว่างมหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิตกับสังคมภายนอกในการเผยแพร่ความรู้ต่างๆ ด้านวิศวกรรมศาสตร์ เพื่อให้เป็นฐานความรู้จะนำไปสู่การพัฒนาด้านวิศวกรรมต่อไป โดยมีกำหนดตีพิมพ์ปีละ 3 ฉบับ ออกเป็นราย 4 เดือน (ประจำเดือนมกราคม-เมษายน พฤษภาคม-สิงหาคม และ กันยายน-ธันวาคม)

วัตถุประสงค์

- เพื่อเป็นเอกสารเผยแพร่งานวิจัยของคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต
- เพื่อเป็นแหล่งเผยแพร่งานวิจัยและพัฒนา และผลงานวิชาการของคณาจารย์ทั้งในและนอกสถาบัน ตลอดจนนักวิชาการอิสระและวิศวกรทั่วไป
- เพื่อส่งเสริมและกระตุ้นให้เกิดการวิจัยทั้งภายในและภายนอกสถาบัน ส่งผลให้มีการต่อยอดงานวิจัยและการพัฒนาองค์ความรู้ทางวิศวกรรม เพื่อให้เกิดความเชื่อมโยงระหว่างวิชาการและวิชาชีพ อันจะเป็นประโยชน์แก่ชุมชนและสังคมโดยรวม
- เพื่อสร้างกลไกสนับสนุนการเผยแพร่รวมถึงระบบการรวบรวมและคัดสรรผลงานวิจัยและงานสร้างสรรค์เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ทั้งในวงวิชาการและวิชาชีพ ซึ่งถือเป็นส่วนหนึ่งของการประกันคุณภาพการศึกษา

บทความที่สามารถตีพิมพ์ลงในวิศวกรรมสารเกษมบัณฑิต

บทความที่สามารถตีพิมพ์ลงในวิศวกรรมสารเกษมบัณฑิตจะเน้นเป็นบทความวิจัย (Research Article) หรืออาจจะเป็นบทความวิชาการ (Academic Article) ได้ เช่น บทความปริทัศน์ (Review Article) บทความทางเทคนิค (Technical Article) บทความเชิงปฏิบัติในวิชาชีพ (Professional Practice) เป็นต้น หรือในบางครั้งจะเป็นบทความรับเชิญ (Invited Article) หรือบทความอื่นๆ (Other Article) ด้วย ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับดุลยพินิจของกองบรรณาธิการ โดยทุกบทความควรมีลักษณะดังนี้

- เป็นบทความวิจัยหรือบทความทางวิชาการ ในลักษณะที่จะนำไปสู่ความก้าวหน้าทางวิชาการและวิชาชีพ
- เป็นบทความที่ไม่เคยได้รับการตีพิมพ์มาก่อนทั้งภายในประเทศหรือต่างประเทศ
- เป็นบทความที่ไม่ได้อยู่ในระหว่างการพิจารณาของสื่อสิ่งพิมพ์อื่นๆ
- เป็นบทความที่ไม่ละเมิดลิขสิทธิ์ของผู้อื่น เนื้อหาในบทความไม่ได้ลอกเลียนหรือตัดทอนมาจากผลงานวิจัยของผู้อื่นหรือจากบทความอื่นโดยไม่ได้รับอนุญาต หรือปราศจากการอ้างอิงที่เหมาะสม
- ผู้เขียนได้แก้ไขบทความตามข้อเสนอแนะของผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาบทความ (Peer Reviewer) หรือกองบรรณาธิการแล้ว
- บทความในลักษณะอื่นๆ นอกเหนือจากรายละเอียดข้างต้นจะได้รับการพิจารณาจากกองบรรณาธิการเป็นกรณีเฉพาะ

การประเมินบทความ

การประเมินบทความที่ดีมีพลังในวิศวกรรมสารเกษมบัณฑิตมีรายละเอียดดังนี้

- บทความทุกฉบับจะได้รับการอ่านและตรวจสอบโดยผู้ทรงคุณวุฒิที่มีความเชี่ยวชาญเฉพาะในสาขาวิชานั้นๆ จำนวนไม่น้อยกว่า 3 ท่าน ในระบบ Double-blind Review โดยผู้ทรงคุณวุฒิและผู้เขียนบทความจะถูกปกปิดชื่อระหว่างกระบวนการพิจารณาบทความ
- กองบรรณาธิการจะพิจารณาบทความเบื้องต้นเกี่ยวกับความถูกต้องของรูปแบบบทความ ถ้าไม่ผ่านการพิจารณา จะส่งกลับไปแก้ไข ถ้าผ่านจะเข้าสู่การพิจารณาโดยผู้ทรงคุณวุฒิ เมื่อผลการประเมินผ่านหรือไม่ผ่านหรือมีการแก้ไขจะแจ้งผลให้ผู้เขียนทราบ เมื่อผู้เขียนดำเนินการแก้ไขบทความตามคำแนะนำของผู้ทรงคุณวุฒิ และ/หรือ กองบรรณาธิการแล้ว จากนั้นจึงจะแจ้งให้ทราบกำหนดการตีพิมพ์บทความนั้นต่อไป
- กองบรรณาธิการขอสงวนสิทธิในการตรวจแก้ไขรูปแบบบทความที่ส่งมาตีพิมพ์และอาจจะส่งเรื่องคืนมายังผู้เขียนให้เพิ่มเติมหรือพิมพ์ต้นฉบับใหม่แล้วแต่กรณี
- การยอมรับการตีพิมพ์หรือปฏิเสธการตีพิมพ์บทความเป็นสิทธิของกองบรรณาธิการ และกองบรรณาธิการจะไม่รับผิดชอบในเนื้อหาหรือความถูกต้องของบทความที่ส่งมาตีพิมพ์ทุกเรื่อง ความถูกต้องของเนื้อหา การใช้ภาษาและรูปแบบการเขียนถือเป็นความรับผิดชอบของผู้เขียน

การส่งบทความ

ผู้เขียนจะต้องจัดเตรียมบทความต้นฉบับที่พิมพ์ตามข้อกำหนดของรูปแบบวารสาร จำนวน 1 ชุด และผู้เขียนบทความกรอกข้อมูลใบนำส่งบทความ พร้อมสแกนใบนำส่งบทความและแนบไฟล์

ต้นฉบับบทความส่งมาที่ E-Mail: engkasemjournal@kbu.ac.th หรือ ผู้เขียนสามารถส่งบทความผ่านระบบ Online Journal System ได้ที่ <https://www.tci-thaijo.org/index.php/kbej/user/register>

หากมีปัญหาในการส่งบทความผ่านระบบ Online Journal System โปรดติดต่อกองบรรณาธิการ ที่ 02-320-2777 ต่อ 1211

ลิขสิทธิ์

บทความที่ได้รับการตีพิมพ์ในวิศวกรรมสารเกษมบัณฑิต ถือเป็นกรรมสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต ห้ามนำข้อความทั้งหมดไปตีพิมพ์ซ้ำ ยกเว้นได้รับอนุญาตจากมหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิตแล้ว หากบทความที่ได้รับการตีพิมพ์นั้นเป็นบทความที่ละเมิดลิขสิทธิ์ของผู้อื่นหรือมีความไม่ถูกต้องในเนื้อหาของบทความ ผู้เขียนบทความนั้นต้องเป็นผู้รับผิดชอบ

กำหนดตีพิมพ์

ปีละ 3 ฉบับ ออกเป็นราย 4 เดือน (ประจำเดือนมกราคม-เมษายน พฤษภาคม-สิงหาคม และ กันยายน-ธันวาคม)

จัดพิมพ์โดย คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต

คณะที่ปรึกษา:

ดร.วัลลภ สุวรรณดี	อธิการบดี มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต
ดร.สุวัฒน์ สุวรรณดี	รองอธิการบดีฝ่ายบริหาร มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต
ดร.เสนีย์ สุวรรณดี	รองอธิการบดีฝ่ายวางแผนและพัฒนา มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต
ดร.อริศ สุวรรณดี	รองอธิการบดีฝ่ายทรัพยากรบุคคล มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต
รศ.ดร.ประสาร มาลากุล ณ อยุธยา	รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการ มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต
ผศ.อิงอร ตันพันธ์	ผู้ช่วยอธิการบดีฝ่ายวิชาการ มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต
รศ.ดร.สุนิติ สุภาพ	หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อม
	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

บรรณาธิการ:

รศ.ดร.ชัยฤทธิ์ สัตยาประเสริฐ	คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต
------------------------------	--

รองบรรณาธิการ:

ผศ.อนุชิต เจริญ	รองคณบดีฝ่ายวิจัย คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต
-----------------	---

กองบรรณาธิการ:

ศ.ดร.โกสินทร์ จำนงไทย	ภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ศ.ดร.โจเซฟ เคดาร์	สาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีและ นวัตกรรม มหาวิทยาลัยกรุงเทพธนบุรี
ศ.ดร.ต่อกุล กาญจนาลัย	ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ศ.ดร.ปราโมทย์ เดชะอำไพ	ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Prof. Dr.Belkacem Zeghami	Laboratoire de Mathematiques et Physique des Systeme- Groupe de Mecanique Energetique, Universite de Perpignan, France
รศ.ดร.จิรนุช เสี่ยงมศักดิ์	ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รศ.ดร.บุญเลิศ สือเจย	ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์
รศ.ดร.พิภพ สุนทรสมัย	ที่ปรึกษาคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต
รศ.ดร.มนตรี คำเงิน	ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม สถาบันเทคโนโลยีพระจอม เกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
รศ.ดร.มนตรี ศิริปรัชญานันท์	ภาควิชาครุศาสตร์ไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า พระนครเหนือ

รศ.ดร.ยุทธชัย บรรเทึงจิตร	ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
รศ.ดร.รัตติกกร วรากุลศิริพันธุ์	คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น
รศ.ดร.วิทยา ทิพย์สุวรรณพร	สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
รศ.ดร.เวทิน ปิยรัตน์	ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ องค์กรักษ์
รศ.ดร.สมิตร ส่งพิริยะกิจ	ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
รศ.ดร.อิทธิพงศ์ ชัยสายัณห์	บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์
รศ.ศันสนีย์ สุภาภา	ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
อ.ดร.ชาญยุทธ กฤตสุนันท์กุล	ภาควิชาทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร
อ.ดร.ชาญวิทย์ อุดมศักดิ์กุล	สำนักงานสภานโยบายการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรมแห่งชาติ
อ.ดร.วสิน มหัตนรินทร์กุล	วิศวกร ที่ปรึกษาโรงงาน อาจารย์พิเศษ ภาควิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

ผู้ช่วยกองบรรณาธิการ:

รศ.วิญญู แสงสินกสิกิจ	อ.ดร.ศักดิ์ชาย รักการ
อ.ธีรยุทธ จันท์แจ่ม	ผศ.ดร.หนึ่งฤทัย ทิมย้ายงาม
ผศ.วรารกร เกิดทรัพย์	อ.อุบลรัตน์ วาริชวัฒนะ

ฝ่ายเลขานุการ:

คุณยุพิน ไชยโคตร	คุณรุ่งนภาพร ภูธรธราช
------------------	-----------------------

บทบรรณาธิการ

“วิศวกรรมสารเกษมบัณฑิต” เป็นวารสารที่ดำเนินการมาอย่างต่อเนื่องกว่า 13 ปี และปัจจุบันได้ถูกจัดให้เป็น “วารสารกลุ่มที่ 1” กองบรรณาธิการยังคงมุ่งมั่นในการดำเนินงาน ปรับปรุงตลอดจนพัฒนา และยกระดับคุณภาพด้านวิชาการ และด้านงานวิจัยของประเทศไทย ให้มีความก้าวหน้าและเติบโตมาอย่างต่อเนื่อง ในนามกองบรรณาธิการขอถือโอกาสกล่าวขอพระคุณคณะกรรมการสภา ผู้บริหารมหาวิทยาลัยที่ให้การสนับสนุนด้านต่าง ๆ ขอขอบคุณคณะผู้ทรงคุณวุฒิ และคณะนักวิจัย ที่สนับสนุนร่างกายและแรงใจ ในการผลักดันวารสารฉบับนี้ให้ประสบความสำเร็จดังกล่าว

หนึ่งในวาระขึ้นปีใหม่พุทธศักราช 2567 ที่กำลังจะมาถึงนี้ กองบรรณาธิการใคร่ขออำนาจสิ่งศักดิ์สิทธิ์ทั้งหลายในสากลโลก โปรดดลบันดาลให้คณะกรรมการสภา ผู้บริหารมหาวิทยาลัย คณะผู้ทรงคุณวุฒิ และคณะนักวิจัยทุกท่านมีสุขภาพพลานามัยแข็งแรง ปลอดภัย สามารถดำเนินกิจกรรมด้านการวิจัยและสร้างสรรค์ผลงานวิจัยและวิชาการ เพื่อเป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาประเทศได้อย่างต่อเนื่อง และสัมฤทธิ์ผลในสิ่งอันพึงปรารถนาทุกประการนี้เทอญ

รองศาสตราจารย์ ดร.ชัยฤทธิ์ สัตยาประเสริฐ
บรรณาธิการวิศวกรรมสารเกษมบัณฑิต

บทความวิจัย (Research Article)

การศึกษาปัจจัยที่มีศักยภาพต่อการสนับสนุนการจัดตั้งเขตพัฒนาพิเศษภาคใต้
THE STUDY OF POTENTIAL FACTORS SUPPORTING THE ESTABLISHING
OF A SPECIAL DEVELOPMENT ZONE IN THE SOUTHERN REGION

1

ชลัท ทิพาการเกียรติ ฐนฐิณภรณ์ น้อยแสงี่ยม สมจิตร จันทราภรณ์ และ นรวดี บัวขวัญ

การเพิ่มสมบัติไฮโดรโฟบิกของอะลูมิเนียมด้วยวิธีทางกลและเคมีเพื่อเพิ่ม
ความสามารถในการทำความสะอาดตนเองได้

IMPROVING THE HYDROPHOBIC PROPERTY OF ALUMINUM BY MECHANICAL
AND CHEMICAL METHODS TO ENHANCE ITS SELF-CLEANING ABILITY

21

พีรวัส คงสง กนกอร น้อยเล็ก และ มาหามะสุไฮมี มะแซ

การศึกษากระบวนการผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงจากขยะพลาสติกด้วยเครื่องปฏิกรณ์แบบ
หุ้มฉนวนใยเซรามิกและไม่มีฉนวนหุ้ม

STUDY OF FUEL OIL PRODUCTION PROCESS FROM PLASTIC WASTE
WITH REACTOR CERAMIC FIBER INSULATED AND NON-INSULATED

33

สุพัตรา บุตรเสรีชัย และ วรเชษฐ์ แสงสีดา

การสกัดแคโรทีนอยด์จากเนื้อสีเหลืองของพริกขี้หนู: สภาวะที่เหมาะสมในการสกัดด้วย
เอนไซม์และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของสารสกัด

CAROTENOID EXTRACTION FROM YELLOW PULP OF GAC FRUIT:
OPTIMUM EXTRACTION CONDITION BY ENZYMATIC TREATMENT AND
ANTIOXIDANT CAPACITIES OF EXTRACT

48

วรารกร เกิดทรัพย์ พิสุทธิ หนักแน่น และ ปริมาภรณ์ เกิดทรัพย์

การประยุกต์ใช้เทคนิคการวิเคราะห์ตามลำดับชั้นในระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์
(กรณีศึกษาการเลือกซื้อรถยนต์ที่ดีที่สุด)

APPLICATION OF HIERARCHICAL ANALYSIS TECHNIQUES IN AN ANDROID
OPERATING SYSTEM (THE BEST AUTOMOBILE PURCHASING CASE STUDY)

63

วรังกูร อิศรางกูร ณ อยุธยา

บทความวิจัย (Research Article) (ต่อ)

- EXPERIMENTAL STUDY ON HEAT TRANSFER ENHANCEMENT OF FLUID
FLOW INSIDE INTERNALLY FINNED PIPE BY THE USE OF MAGNETIC
PARTICLE SUSPENSIONS IN PULSATING FLOW 80

Varut Emudom and Apiwat Suyabodha

- การศึกษาประสิทธิภาพเนิ่นชะลอความเร็ว พื้นที่อำเภอบางเสาธง จังหวัดสมุทรปราการ
EFFICIENCY STUDY OF SPEED HUMP IN BANG SAO THONG DISTRICT
AREA SAMUT PRAKAN PROVINCE 98

สุวิมล เจียรรรวานิช และ ธรรมมา เจียรรรวานิช

- ความว่องไวทางชีวภาพของเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 304 และ AISI 316 ที่เคลือบผิว
ด้วยไฮดรอกซีอะพาไทต์
BIOACTIVITY OF STRAINLESS STEEL AISI 304 AND AISI 316 COATED WITH
HYDROXYAPATITE 115

วรรณ หอมจะบก และ นวลละออง สระแก้ว

การศึกษาปัจจัยที่มีศักยภาพต่อการสนับสนุนการจัดตั้ง
เขตพัฒนาพิเศษภาคใต้

THE STUDY OF POTENTIAL FACTORS SUPPORTING
THE ESTABLISHING OF A SPECIAL DEVELOPMENT ZONE IN
THE SOUTHERN REGION

ชลัท ทิพากรเกียรติ¹ ณัฐนีภรณ์ น้อยเสียงม² สมจิตร์ จันทราภรณ์³ และ นราวดี บัวขวัญ⁴
¹อาจารย์, สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

2/4 ถ.ราชดำเนินนอก ต.บ่อয়ง อ.เมือง จ.สงขลา 90000, chalat.t@rmutsv.ac.th

²อาจารย์, สาขาวิชาสถาปัตยกรรมและผังเมือง คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย 2/6 ถ.ราชดำเนินนอก ต.บ่อয়ง

อ.เมือง จ.สงขลา 90000, nattaneeporn.n@rmutsv.ac.th

³นักวิจัย, มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา 160 หมู่ 4 ต.เขารูปช้าง อ.เมือง จ.สงขลา 90000,
somtaan@hotmail.com

⁴อาจารย์, มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา 160 หมู่ 4 ต.เขารูปช้าง อ.เมือง จ.สงขลา 90000,
bnarawadee@gmail.com

Chalat Tipakornkiat¹, Nattaneeporn Noisangiam², Somjit Chantraporn³
and Narawadee Buakhwan⁴

¹Lecturer, Department of Civil Engineering Faculty of Engineering, Rajamangala University of
Technology Srivijaya Songkhla Campus 2/4 Ratchadamnoennok Rd. Boyang Sub-district,
Muang District, Songkhla 90000, Thailand, chalat.t@rmutsv.ac.th

²Lecturer, Department of Architecture and Urban Planning, Faculty of Architecture,
Rajamangala University of Technology Srivijaya Songkhla Campus 2/6 Ratchadamnoennok Rd.
Boyang Sub-district, Muang District, Songkhla 90000, Thailand,
nattaneeporn.n@rmutsv.ac.th

³Researcher, Songkhla Rajabhat University 160 Moo 4, Khoa-Roob-Chang Sub-district,
Muang District, Songkhla 90000, Thailand, somtaan@hotmail.com

⁴Lecturer, Songkhla Rajabhat University 160 Moo 4, Khoa-Roob-Chang Sub-district,
Muang District, Songkhla 90000, Thailand, bnarawadee@gmail.com

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ความสำคัญระหว่างการขนส่งสินค้าและการขนส่งผู้โดยสาร และเปรียบเทียบความสำคัญของปัจจัยด้านการขนส่งสินค้าและด้านการขนส่งผู้โดยสารของเขตพัฒนาพิเศษ 5 จังหวัดภาคใต้ ประกอบด้วยจังหวัดสงขลา จังหวัดพัทลุง จังหวัดนครศรีธรรมราช จังหวัดตรัง และจังหวัดกระบี่ ด้วยวิธีการเปรียบเทียบลำดับชั้น (AHP) โดยผลการวิจัยพบว่า ในภาพรวมทั้ง 5 จังหวัดจะให้น้ำหนักการขนส่งสินค้าและขนส่งผู้โดยสารที่ใกล้เคียงกัน ยกเว้นจังหวัดนครศรีธรรมราชที่ให้ความสำคัญกับการขนส่งผู้โดยสาร และจังหวัดสงขลาให้ความสำคัญกับการขนส่งสินค้ามากกว่าเกือบสองเท่า เมื่อเปรียบเทียบปัจจัยด้านการขนส่งสินค้าทั้ง 5 จังหวัดจะให้ความสำคัญกับปัจจัยเรื่องการขนส่งทางถนน และระบบโทรคมนาคมและเทคโนโลยีสารสนเทศตามลำดับ ส่วนการเปรียบเทียบความสำคัญของปัจจัยด้านการขนส่งผู้โดยสาร ในภาพรวมให้ความสำคัญกับการขนส่งทางอากาศมากที่สุด เนื่องจากพื้นที่ตั้งอยู่ในแหล่งท่องเที่ยวที่ค่อนข้างไกลจากกรุงเทพมหานครผู้โดยสารจึงนิยมเดินทางทางอากาศมากกว่า ในขณะที่การขนส่งทางรางจะเน้นให้บริการรถไฟท้องถิ่นเนื่องจากราคาไม่สูงมาก สำหรับการขนส่งทางน้ำจะเน้นให้บริการนักท่องเที่ยวที่เดินทางระยะทางไกล

คำสำคัญ: เขตพัฒนาพิเศษภาคใต้, การขนส่ง, การวิเคราะห์เปรียบเทียบลำดับชั้น

ABSTRACT

This research aims to analyze the importance of both freight transportation and passenger transportation, and to compare the significance of factors in freight transportation and passenger transportation in the special development zone which consists of Songkhla, Phatthalung, Nakhon Si Thammarat, Trang and Krabi, using the Analytical Hierarchy Process (AHP). The research findings indicate that, overall, the five provinces have similar importance placed on both freight transportation and passenger transportation, except for Nakhon Si Thammarat, which gives higher priority to passenger transportation. On the other hand, Songkhla gives significantly more emphasis on freight transportation compared to passenger transportation, almost twice as much. When comparing the factors related to freight transportation in all five provinces, they prioritize transportation by road, followed by telecommunications and information technology respectively. When comparing the importance of factors in passenger transportation overall, it is observed that air transportation is given the highest priority. This is because the area is relatively far from Bangkok, and passengers tend to prefer air travel. Meanwhile, rail transportation focuses on providing local

train services due to the lower pricing. As for water transportation, it primarily caters to travelers covering shorter distances. In practice, this area places more emphasis on water transportation for short-distance travel and provides a competitive advantage in this regard.

KEYWORDS: Special Development Zone, Transportation, Analytical Hierarchy Process

1. บทนำ

การพัฒนาเขตเศรษฐกิจพิเศษเป็นการส่งเสริมการกระจายความเจริญทางเศรษฐกิจและสังคมทั้งในระดับภาคและระดับพื้นที่อย่างทั่วถึง โดยสอดคล้องกับศักยภาพของพื้นที่และความต้องการของประชาชนที่แตกต่างกัน มีการบูรณาการดำเนินงานและงบประมาณของทุกหน่วยงานที่เกี่ยวข้องทั้งในระดับภาคและระดับพื้นที่เพื่อให้การบริหารและการพัฒนาเขตเศรษฐกิจพิเศษแต่ละแห่งเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ โปร่งใส อันจะนำไปสู่การพัฒนาอย่างยั่งยืน โดยมีความกระตือรือร้นในการพัฒนาเขตเศรษฐกิจพิเศษเสนอแนะต่อคณะรัฐมนตรีเพื่อกำหนดพื้นที่ที่มีความเหมาะสมให้เป็นเขตเศรษฐกิจพิเศษ และสิทธิประโยชน์ที่จะให้แก่ผู้ประกอบการ [1]

โดยที่ในปัจจุบันมีร่างพระราชบัญญัติระเบียบเขตเศรษฐกิจพิเศษภาคใต้ จำนวน 2 ร่าง และร่างพระราชบัญญัติเขตพัฒนาเศรษฐกิจพิเศษชายแดนใต้ จำนวน 1 ร่าง ดังนี้ 1) กำหนดให้พื้นที่จังหวัดชุมพร ระนอง สุราษฎร์ธานี และนครศรีธรรมราช ตลอดจนพื้นที่อื่นใดในภาคใต้ให้เป็นเขตเศรษฐกิจพิเศษเพื่อดำเนินการพัฒนาระเบียบเขตเศรษฐกิจพิเศษภาคใต้ [2] 2) กำหนดให้พื้นที่จังหวัดปัตตานี ยะลา และนราธิวาส เป็นเขตพัฒนาเศรษฐกิจพิเศษชายแดนภาคใต้ [3] และ 3) กำหนดให้พื้นที่จังหวัดกระบี่ ตรัง นครศรีธรรมราช พัทลุง สงขลาและพื้นที่อื่นใด ที่อยู่ในภาคใต้ที่กำหนดเพิ่มเติมโดยพระราชกฤษฎีกาให้เป็นเขตพัฒนาพื้นที่ระเบียบเศรษฐกิจภาคใต้ [4]

เมื่อพิจารณาพื้นที่ 5 จังหวัดซึ่งประกอบด้วย จังหวัดสงขลา พัทลุง นครศรีธรรมราช ตรัง และกระบี่ ดังแสดงในรูปที่ 1 จะมีพื้นที่ตั้งเชื่อมภาคใต้ตอนบนและตอนล่าง รวมทั้งมีศักยภาพที่ในการพัฒนาในอนาคตทั้งการค้า การลงทุน คมนาคมขนส่งและโลจิสติกส์ การท่องเที่ยว และเกษตรกรรม ดังแสดงรายละเอียดในร่างพรบ.ที่กล่าวมาข้างต้น

สำหรับในการศึกษานี้จึงทำการวิเคราะห์ศักยภาพพื้นฐานเฉพาะด้านโครงข่ายโลจิสติกส์เชื่อมโยงที่สนับสนุนการจัดตั้งเขตพัฒนาพิเศษภาคใต้ด้วยวิธีการเปรียบเทียบตามลำดับชั้น (Analytical Hierarchy Process: AHP) โดยมีวัตถุประสงค์ ดังนี้

1) วิเคราะห์ความสำคัญระหว่างการแข่งขันสินค้าและการขนส่งผู้โดยสารของเขตพัฒนาพิเศษ 5 จังหวัดภาคใต้

2) วิเคราะห์เปรียบเทียบความสำคัญของปัจจัยด้านการขนส่งสินค้า และด้านการขนส่งผู้โดยสาร ของพื้นที่ศึกษา 5 จังหวัดภาคใต้



รูปที่ 1 พื้นที่ศึกษา

2. ทบทวนวรรณกรรม

2.1 ยุทธศาสตร์การพัฒนา

ความเชื่อมโยงของเขตเศรษฐกิจพิเศษกับยุทธศาสตร์ชาติและแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติจะมีความสัมพันธ์ ได้แก่ ยุทธศาสตร์ชาติ 20 ปี (พ.ศ.2561–2580) ยุทธศาสตร์ที่ 2 การสร้างความสามารถในการแข่งขัน ที่มีจุดประสงค์ในการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานของประเทศทั้งทางถนน ทางราง ทางน้ำ และทางอากาศ [5] แผนแม่บทภายใต้ยุทธศาสตร์ชาติ ประเด็นที่ 9 เขตเศรษฐกิจพิเศษ ในส่วนแผนย่อย: การพัฒนาระเบียงเศรษฐกิจพิเศษ และสอดคล้องกับแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 13 หมุดหมายที่ 8 ไทยมีพื้นที่และเมืองอัจฉริยะที่น่าอยู่ปลอดภัย เติบโตอย่างยั่งยืน [6]

กระทรวงคมนาคมได้กำหนดยุทธศาสตร์การพัฒนาระบบคมนาคมขนส่งของไทย ระยะ 20 ปี (พ.ศ.2560–2579) และแผนยุทธศาสตร์กระทรวงคมนาคม (พ.ศ.2560–2564) ซึ่งสอดคล้องกับยุทธศาสตร์ชาติและแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 12 (พ.ศ.2560–2564) อาทิ การลดสัดส่วนต้นทุนค่าขนส่ง การเพิ่มสัดส่วนการขนส่งทางรางและทางน้ำ เป็นต้น [7]

กรมทางหลวงได้ศึกษาการพัฒนาโครงข่ายทางหลวงพิเศษระหว่างเมืองและระบบรางร่วมกัน (MR-MAP) เพื่อพัฒนาความเจริญไปสู่พื้นที่ใหม่ ปรับปรุงการเชื่อมต่อโครงข่ายระหว่างทางพิเศษระหว่างเมืองและระบบราง การเพิ่มความสะดวก คล่องตัว และความปลอดภัย การปรับปรุงการเชื่อมต่อระหว่างประเทศ จำนวน 10 เส้นทาง ได้แก่ MR 1: เชียงราย-นราธิวาส MP2: กรุงเทพฯ/ชลบุรี-หนองคาย MR3: บึงกาฬ-สุรินทร์ MR4: ตาก-นครพนม MR5: นครสวรรค์-อุบลราชธานี MR6: กาญจนบุรี-สระแก้ว MR7: กรุงเทพฯ-ระยอง/ตราด MR8: ชุมพร-ระนอง MR9: สุราษฎร์ธานี-ภูเก็ต และ MR10: เส้นทางเชื่อมต่อกรุงเทพมหานครและปริมณฑล [8]

สำนักงานนโยบายและแผนการขนส่งและจราจร (สนข.) ได้ศึกษาโครงการสะพานเศรษฐกิจเชื่อมทะเลอ่าวไทย-อันดามัน หรือ Land Bridge ซึ่งจะประกอบด้วยการสร้างท่าเรือน้ำลึก มอเตอร์เวย์และรถไฟทางคู่ เป็นเชื่อมการค้าระหว่างภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ไปสู่เอเชียใต้ ตะวันออกกลาง และแอฟริกา ซึ่งครอบคลุมพื้นที่จังหวัดระนอง ชุมพร นครศรีธรรมราช และสุราษฎร์ธานี [9]

สำนักงานสภาพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ได้ศึกษาความเป็นไปได้ในการเชื่อมโยงเส้นทางขนส่งทางทะเลฝั่งอ่าวไทยและอันดามันของประเทศไทย โดยนำเสนอว่าการพัฒนาพื้นที่ระเบียงเศรษฐกิจภาคใต้อย่างยั่งยืนตามคณะรัฐมนตรีให้ความเห็นชอบเมื่อปี 2561 โดยไม่มีการพัฒนาสะพานเศรษฐกิจและไม่มีการขุดคลองลัดหรือโครงสร้างพื้นฐานการขนส่งอื่นเพื่อเชื่อมสองฝั่งอ่าวไทยและอันดามันจะมีความเหมาะสมที่สุด ตามด้วยการพัฒนาสะพานเศรษฐกิจตอนใต้ตามกรอบอนุภูมิภาคกลุ่มแม่น้ำโขง [10]

2.2 ข้อมูลโครงสร้างพื้นฐานที่สำคัญของพื้นที่ศึกษา

หากพิจารณารายละเอียดโครงสร้างพื้นฐานที่สำคัญของกลุ่มจังหวัดภาคใต้ พบโดยมีจะรายละเอียดดังนี้

จากตารางที่ 1 พบว่า จังหวัดนครศรีธรรมราชจะมีระยะทางของโครงข่ายถนนมากที่สุด ส่วนจังหวัดพัทลุงมีระยะทางของโครงข่ายถนนน้อยที่สุด ซึ่งทั้งคู่มีความสอดคล้องกับขนาดพื้นที่ของจังหวัดเอง คือ ขนาดใหญ่และเล็กที่สุดภายในกลุ่มพื้นที่ศึกษา ด้านการขนส่งทางรางนั้น จังหวัดสงขลาและจังหวัดนครศรีธรรมราชมีจำนวนสถานีรถไฟมากกว่าจังหวัดอื่นในพื้นที่ศึกษา ซึ่งจะมีสถานีรถไฟชุมทางหาดใหญ่และสถานีรถไฟชุมทางทุ่งสงเป็นสถานีชุมทางสำคัญทั้งในด้านการขนส่งผู้โดยสารและการขนส่งสินค้า

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบโครงสร้างพื้นฐานในเขตพัฒนาพิเศษภาคใต้

โครงสร้างพื้นฐานที่สำคัญ	สงขลา	พัทลุง	นครศรีธรรมราช	กระบี่	ตรัง
1. ถนน [11, 12]					
1.1 กรมทางหลวง (กม.)	664.943	421.989	1,097.317	539.685	544.307
1.2 กรมทางหลวงชนบท (กม.)	735.602	520.507	996.262	488.376	358.449
2. น้ำ [13-15]					
2.1 ทำเรือสินค้า	8	-	5	3	3
2.2 ทำเรือประมง	2	1	24	12	18
2.3 ทำเรือโดยสาร	3	1	1	6	3
3. อากาศ [16, 17]					
3.1 ระยะทางจากตัวเมืองถึงท่าอากาศยาน (กม.)	12	ไป จ.ตรัง 63 กม. ไป จ.สงขลา 101 กม. ไป จ.นครฯ 113 กม.	16	13	7
3.2 สนามบินนานาชาติ	✓	-	-	✓	-
3.3 ปริมาณสินค้าปี 2564 (ตัน)	3,606	-	240	196	135.5
3.4 ปริมาณผู้โดยสารปี 2564 (เที่ยว)	1,613,994	-	618,816	405,619	221,431
4. ขนส่งทางราง [18]					
4.1 จำนวนสถานีรถไฟ	14	9	22	-	3
5. การเชื่อมโยงการค้าชายแดน [19]	ด้านปาดังเบซาร์ ด้านสะเดา ด้านประกอบ- ทำเรื่อน้ำลึก	-	-	-	ทำเรือ กันตัง

ด้านการขนส่งทางน้ำ จังหวัดพัทลุงมีจำนวนท่าเรือน้อยสุดเนื่องจากไม่มีพื้นที่ติดกับทะเลโดยตรง รวมถึงประชากรให้ความสำคัญกับการขนส่งทางน้ำน้อยลง ในขณะที่จังหวัดสงขลา มีจำนวนท่าเรือสินค้ามากที่สุดกลุ่มพื้นที่ศึกษา ด้านการขนส่งสินค้าข้ามแดนมีท่าเรื่อน้ำลึกสงขลาและท่าเรือกันตังในจังหวัดตรังเท่านั้น ด้านการขนส่งทางอากาศ ในพื้นที่ศึกษาจะมีเพียงจังหวัดพัทลุง ซึ่งไม่มีสนามบินพาณิชย์ของตนเอง จึงอาศัยสนามบินพาณิชย์ของจังหวัดข้างเคียง ได้แก่ จังหวัดตรัง

สงขลา และนครศรีธรรมราช ตามลำดับ นอกจากนี้ในพื้นที่ศึกษามีสนามบินนานาชาติ 2 แห่ง คือ จังหวัดกระบี่และสงขลา

2.3 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับ AHP

การวิเคราะห์เปรียบเทียบลำดับชั้น (Analytical Hierarchy Process: AHP) เป็นวิธีการวิเคราะห์เพื่อตัดสินใจเมื่อมีหลายเกณฑ์ภายใต้ทางเลือกและเกณฑ์การตัดสินใจ ซึ่งเป็นวิธีที่นำวิจรรณญาณส่วนบุคคลของผู้ตัดสินใจแต่ละคนเข้ามาในกระบวนการตัดสินใจ โดยการเปรียบเทียบความสำคัญของเกณฑ์เพื่อหาน้ำหนักของแต่ละเกณฑ์ที่ใช้ในการตัดสินใจ แล้วจึงนำทางเลือกที่มีอยู่มาประเมินตามเกณฑ์เหล่านั้น ได้เป็นลำดับความสำคัญของทางเลือกเพื่อนำไปสู่การตัดสินใจต่อไป ลำดับชั้นดังกล่าวนี้ประกอบด้วยชั้นแรกสุดเป็นเป้าหมาย และชั้นรองลงมา เป็นเกณฑ์หลัก และเกณฑ์ย่อยการตัดสินใจ จนถึงชั้นสุดท้าย คือทางเลือกที่จะนำมาพิจารณาด้วยเกณฑ์ตามลำดับชั้นนั้น [20]

ขั้นตอนในการแก้ปัญหา AHP แบ่งได้เป็น 8 ขั้นตอน คือ 1) สร้างตารางเมทริกซ์การเปรียบเทียบเป็นคู่สำหรับปัจจัยทั้งหมด และสำหรับทางเลือกที่มีเมื่อเปรียบเทียบกับแต่ละปัจจัย 2) สร้างตารางเมทริกซ์ที่ได้ normalization แล้ว 3) คำนวณเวกเตอร์ลำดับความสำคัญ (Eigen Vector) โดยใช้เป็นค่าถ่วงน้ำหนัก (weight) สำหรับปัจจัยและสำหรับทางเลือกเมื่อเทียบกับปัจจัยใด ๆ 4) คำนวณค่าสูงสุดจาก Eigen Vector ที่เรียกว่า Maximum Eigne Vector (λ_{max}) 5) คำนวณดัชนีความสอดคล้อง (Consistency Index: CI) 6) เลือกค่าที่เหมาะสมจากตารางดัชนีความสอดคล้องแบบสุ่ม (Random Consistency Index: RI) เมื่อเทียบกับขนาดเมทริกซ์ 7) ประเมินอัตราส่วนความสม่ำเสมอ (Consistency Ratio: CR) ของแต่ละเมทริกซ์ และ 8) ประเมินการจัดลำดับของแต่ละทางเลือก [21]

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (1)$$

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (2)$$

ตารางที่ 2 ค่า RI สำหรับวิธีการคำนวณ CR ในวิธี AHP

<i>n</i>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<i>RI</i>	0	0	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49

โดยงานวิจัยที่ผ่านมามีการใช้ AHP วิเคราะห์เพื่อการตัดสินใจในด้านโครงสร้างพื้นฐาน เช่น การคัดเลือกรูปแบบทางแยกต่างระดับโดยใช้ AHP ร่วมกับแบบจำลอง Microsimulation [22] การวิเคราะห์พื้นที่ที่เหมาะสมในการก่อสร้างสถานีสันติสุขในประเทศไทยโดยวิธี AHP [23] การกำหนดเส้นทางขนส่งสินค้าระหว่างประเทศไทยกับสาธารณรัฐอินเดียโดยใช้ AHP ร่วมกับการโปรแกรมเป้าหมายแบบศูนย์หนึ่ง [24] การจัดลำดับความสำคัญของการพัฒนาถนนผังเมืองในจังหวัดนครราชสีมา [25] การกำหนดหลักเกณฑ์คัดเลือกตำแหน่งที่เหมาะสมในการตั้งสถานีตรวจสอบน้ำหนักรถบรรทุก [26] เป็นต้น

ส่วนการใช้ AHP ในการวิเคราะห์พื้นที่เขตพัฒนาพิเศษนั้นมีการค้นพบในงานวิจัยของ Kraisee [27] เพื่อเลือกทำเลที่ตั้งสถานีสินค้าของจังหวัดที่ถูกประกาศเป็นเขตเศรษฐกิจพิเศษ ได้แก่ สงขลา สระแก้ว กาญจนบุรี นครพนม หนองคาย มุกดาหาร ตาก และตราด พบว่าจังหวัดสงขลาเป็นทำเลที่เหมาะสม เนื่องจากจุดเด่นด้านขนาดเศรษฐกิจ โครงสร้างพื้นฐานที่เป็นศูนย์กลางการขนส่งทางถนน ทางน้ำ ทางอากาศ และทางราง รวมถึงมีการค้าชายแดนที่เชื่อมโยงไปประเทศมาเลเซีย เป็นต้น และ Buchain [28] ได้วิเคราะห์ศักยภาพทำเลที่เหมาะสมสำหรับที่ตั้งกลุ่มแปรรูปอาหารในเขตพัฒนาพิเศษภาคตะวันออกและจังหวัดจันทบุรี พบว่า ระยะเวลา สถานที่สำคัญ และเส้นทางคมนาคมขนส่ง เป็นตัวแปรสำคัญสำหรับการตัดสินใจ

ซึ่งจะเห็นได้ว่าวิธี AHP มีความเหมาะสมเป็นที่ยอมรับในการใช้ตัดสินใจกำหนดทางเลือกภายใต้หลักเกณฑ์ที่กำหนดในงานด้านโครงสร้างพื้นฐาน

3. วิธีการดำเนินงาน

1) ศึกษาทฤษฎี AHP และการรวบรวมข้อมูลข้อมูลทุติยภูมิ (Secondary Data) ที่เกี่ยวข้องกับวิเคราะห์และจัดทำแนวทางการพัฒนาศักยภาพ เพื่อสนับสนุนการจัดตั้งเขตพัฒนาพิเศษภาคใต้ ตลอดจนงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง รวมถึงการศึกษาแนวคิดและงานวิจัยจากต่างประเทศ ส่วนข้อมูลปฐมภูมิ (Primary Data) คือ การเก็บข้อมูลจากผู้ให้ข้อมูลหลักในพื้นที่ที่ใช้ในการศึกษา โดยดำเนินการเก็บข้อมูลจากการสัมภาษณ์เชิงลึก (In-depth Interview) การจัดประชุมกลุ่มย่อย (Focus Group Discussion) กับผู้ให้ข้อมูลหลัก (Key Informants) จากหน่วยงานภาครัฐ ภาคเอกชน และผู้มีส่วนเกี่ยวข้องที่มีต่อประเด็นด้านแนวทางการพัฒนาแนวศักยภาพที่สนับสนุนการจัดตั้งเขตพัฒนาพิเศษภาคใต้

2) ประชากร และผู้ให้ข้อมูล

2.1) หน่วยงานภาครัฐในพื้นที่ อาทิ แขวงทางหลวงจังหวัด สำนักงานและโยธาธิการและผังเมืองจังหวัด ขนส่งจังหวัด พาณิชยจังหวัด อุตสาหกรรมจังหวัด นักวิชาการ/ผู้เชี่ยวชาญด้านโครงข่ายโลจิสติกส์ในพื้นที่เขตพัฒนาพิเศษภาคใต้ (จังหวัดสงขลา จังหวัดพัทลุง จังหวัดนครศรีธรรมราช จังหวัดกระบี่ จังหวัดตรัง)

2.2) หน่วยงานภาคเอกชนที่เกี่ยวข้อง อาทิ หอการค้าจังหวัด สมาอุตสาหกรรม การท่องเที่ยวจังหวัด ผู้ประกอบการที่เกี่ยวข้อง เป็นต้น

ผู้วิจัยเลือกตัวแทนที่มีความเชี่ยวชาญของแต่ละหน่วยงาน ๆ ละ 2 คนเพื่อเพิ่มความ แม่นยำ และลดอคติในการเลือกเปรียบเทียบน้ำหนักปัจจัย กับการเลือกตัวแทนเพียง 1 คนต่อ หน่วยงาน

3) กำหนดปัจจัยด้านความสำคัญระหว่าง การขนส่งสินค้าและการขนส่งผู้โดยสารของทั้ง 5 จังหวัดในพื้นที่เขตพัฒนาพิเศษภาคใต้ โดยมีปัจจัยรองจำนวน 6 ปัจจัย ได้แก่ การขนส่งทาง ถนน การขนส่งทางน้ำ การขนส่งทางราง การขนส่งทางอากาศ สถานีขนส่งและสิ่งอำนวยความสะดวก และระบบโทรคมนาคมและเทคโนโลยีสารสนเทศ

4) จัดทำเครื่องมือแบบสำรวจศักยภาพโครงข่ายโลจิสติกส์ที่สนับสนุนการจัดตั้งเขตพัฒนา พิเศษภาคใต้

5) การสัมภาษณ์กลุ่มตัวอย่าง การดำเนินกระบวนการมีส่วนร่วม และวิเคราะห์ข้อมูล

4. ผลการวิจัย

จากเครื่องมือแบบสำรวจศักยภาพโครงข่ายโลจิสติกส์ที่สนับสนุนการจัดตั้งเขตพัฒนาพิเศษ ภาคใต้ ซึ่งได้แบ่งเป็น 3 ส่วน โดยส่วนแรก คือ การวิเคราะห์ความสำคัญระหว่าง การขนส่งสินค้า และการขนส่งผู้โดยสาร ส่วนถัดมา คือ การวิเคราะห์เปรียบเทียบความสำคัญของปัจจัยด้านการ ขนส่งสินค้า และส่วนสุดท้าย คือ การวิเคราะห์เปรียบเทียบความสำคัญของปัจจัยด้านการขนส่ง ผู้โดยสาร ผู้วิจัยได้วิเคราะห์ทั้ง 3 ส่วนด้วยวิธีการวิเคราะห์ตามลำดับชั้น (Analysis Hierarchy Process: AHP) ซึ่งเป็นกระบวนการวัดค่าระดับจากผู้เชี่ยวชาญในด้านที่กำลังศึกษา โดยอาศัย หลักการเปรียบเทียบแต่ละคู่ปัจจัยซึ่งเสมือนการตัดสินใจของมนุษย์โดยทั่วไปทำให้ง่ายต่อการทำ ความเข้าใจ ให้ผลการวิเคราะห์ที่น่าเชื่อถือ ผลลัพธ์ออกมาเป็นตัวเลขซึ่งจะทำให้ง่ายต่อ การจัดลำดับความสำคัญ ผลการวิเคราะห์แสดงดังต่อไปนี้

4.1 วิเคราะห์ความสำคัญระหว่าง การขนส่งสินค้าและการขนส่งผู้โดยสารของเขตพัฒนา พิเศษ 5 จังหวัดภาคใต้

ผู้วิจัยได้สัมภาษณ์ตัวแทนหน่วยงาน จำนวน 61 คน จากทั้ง 5 จังหวัด ที่เกี่ยวข้องกับการ ขนส่งสินค้าและขนส่งผู้โดยสาร จากตารางที่ 3 ผู้วิจัยได้พิจารณาในภาพรวมของการกำหนด น้ำหนักความสำคัญของวัตถุประสงค์ด้านการขนส่งสินค้าและการขนส่งผู้โดยสารของทั้ง 5 จังหวัด พบว่า ค่าน้ำหนักของการขนส่งผู้โดยสารจะมากกว่าค่าน้ำหนักของการขนส่งสินค้าเล็กน้อย โดย

กลุ่มตัวอย่างทั้ง 5 จังหวัด ให้ค่าน้ำหนักของการขนส่งผู้โดยสาร ร้อยละ 51.02 และให้ค่าน้ำหนักของการขนส่งสินค้า ร้อยละ 48.98 ซึ่งมีความแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย คือ ร้อยละ 2.04 เท่านั้น

จากทั้ง 5 จังหวัด จะพบว่า มี 2 จังหวัดที่มีค่าน้ำหนักแตกต่างกันอย่างชัดเจน คือ จังหวัดนครศรีธรรมราชให้ค่าน้ำหนักของการขนส่งผู้โดยสารมากกว่าการขนส่งสินค้าเกือบสองเท่า ในทางตรงกันข้ามนั้นจังหวัดสงขลาให้ค่าน้ำหนักของการขนส่งสินค้ามากกว่าการขนส่งผู้โดยสารเกือบสองเท่าเช่นเดียวกัน สอดคล้องกับ Department of Foreign Trade [19] ว่ามูลค่าการค้ารวมสูงสุดที่จังหวัดสงขลาได้แก่ ด้านศุลกากรสะเดา ร้อยละ 49.97 และด้านศุลกากรปาดังเบซาร์ ร้อยละ 33.81 ส่วนจังหวัดอีก 3 จังหวัดจะให้น้ำหนักการขนส่งสินค้าและขนส่งผู้โดยสารใกล้เคียงกัน

ตารางที่ 3 ภาพรวมผลการวิเคราะห์น้ำหนักความสำคัญของวัตถุประสงค์การขนส่ง

จังหวัด	ขนส่งสินค้า	ขนส่งผู้โดยสาร
กระบี่	50.06	49.94
ตรัง	41.50	58.50
นครศรีธรรมราช	37.22	62.78
พัทลุง	52.57	47.43
สงขลา	63.54	36.46
เฉลี่ย	48.98	51.02

4.2 วิเคราะห์เปรียบเทียบความสำคัญของปัจจัยด้านการขนส่งสินค้า ของเขตพัฒนาพิเศษ 5 จังหวัดภาคใต้

จากรูปที่ 2 กลุ่มตัวอย่างในจังหวัดกระบี่พิจารณาว่าควรให้ความสำคัญกับการขนส่งสินค้าทางถนนเป็นลำดับแรก ตามด้วยการขนส่งทางอากาศ เนื่องจากจังหวัดกระบี่ไม่มีการขนส่งทางรางจึงได้ลดน้ำหนักความสำคัญของการขนส่งทางราง ในด้านการขนส่งทางน้ำนั้นจะเน้นการขนส่งนักท่องเที่ยวเป็นหลัก จึงถูกลดความสำคัญของการขนส่งสินค้าทางน้ำเช่นกัน ซึ่งสอดคล้องกับข้อมูลจาก Sukdanon [13] ว่าท่าเรือในจังหวัดกระบี่เป็นท่าเรือโดยสารเพื่อการท่องเที่ยวเป็นหลัก

กลุ่มตัวอย่างจังหวัดตรังให้ความสำคัญกับการขนส่งสินค้าทางถนนเป็นหลัก และให้ความสำคัญกับการขนส่งสินค้าทางอากาศน้อยที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณการขนส่งสินค้าทางอากาศของจังหวัดตรังที่มีปริมาณน้อยที่สุดในพื้นที่ศึกษา [16, 17]



(ก) จังหวัดกระบี่



(ข) จังหวัดตรัง



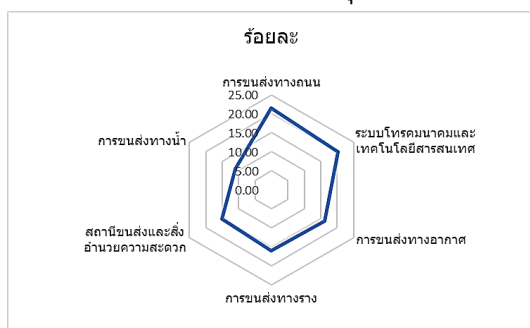
(ค) จังหวัดนครศรีธรรมราช



(ง) จังหวัดพัทลุง



(จ) จังหวัดสงขลา



(ฉ) ภาพรวมการวิเคราะห์ทั้ง 5 จังหวัด

รูปที่ 2 หน้าหลักปัจจัยด้านการขนส่งสินค้า

กลุ่มตัวอย่างจังหวัดนครศรีธรรมราชให้ความสำคัญเรื่องการสื่อสาร การใช้เทคโนโลยีมาช่วยบริหารจัดการการขนส่งสินค้าเป็นอันดับแรกมากกว่าการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานที่เป็นงานก่อสร้าง เช่น การก่อสร้างถนน ทางราง และทางน้ำ นอกจากนี้จากการสัมภาษณ์กลุ่มตัวอย่างในจังหวัดนครศรีธรรมราชยังมีจุดเด่นเรื่องการขนส่งทางที่สถานีรถไฟชุมทางทุ่งสง ซึ่งเป็นจุดรวบรวมและกระจายสินค้า จากตอนบนไปยังตอนล่างของภาคใต้ฝั่งอ่าวไทยและฝั่งอันดามัน ซึ่งที่เส้นทางขนส่งที่สถานีรถไฟชุมทางทุ่งสงจะแบ่งออกเป็น 2 สาย คือ เส้นทางไปจังหวัดตรัง (ฝั่งอันดามัน) และเส้นทางไปจังหวัดสงขลา (ฝั่งอ่าวไทย) ซึ่งจะเชื่อมโยงการขนส่งสินค้าข้ามแดน

ณ สถานีรถไฟปางดงเบซาร์ อำเภอสะเดา จังหวัดสงขลา โดยพิจารณาจากตัวเลขการคำนวณ ประกอบจะเห็นว่ากลุ่มตัวอย่างให้ความสำคัญของสถานีขนส่งและสิ่งอำนวยความสะดวก และการขนส่งทางรางที่ใกล้เคียงกัน ซึ่งสอดคล้องกับ Office of the National Economics and Social Development Council [10] ด้านการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานทางรางในจังหวัดนครศรีธรรมราช ว่าควรพัฒนาเส้นทางรถไฟเชื่อมโยงระหว่างศูนย์กระจายสินค้าทางรางที่เทศบาลนครทุ่งสงกับท่าเรือกันตัง ซึ่งปัจจุบันเส้นทางรางยังขาดส่วนต่อขยายไปยังท่าเรือฝั่งอันดามัน

กลุ่มตัวอย่างจังหวัดพัทลุง ให้ความสำคัญของการขนส่งทางถนนมากถึงร้อยละ 31.10 ในขณะที่การขนส่งทางน้ำถูกให้ความสำคัญเพียงร้อยละ 7.50 เท่านั้น เนื่องจากจังหวัดพัทลุงมีอาณาเขตที่ติดแหล่งน้ำ คือ ทะเลสาบสงขลา ซึ่งไม่ได้เป็นอาณาเขตที่ติดกับอ่าวไทยโดยตรง จึงเป็นสาเหตุที่การขนส่งทางน้ำไม่ค่อยมีความสำคัญมากเท่ากับการขนส่งทางถนน สอดคล้องกับ Phattalung Provincial Office [15] ว่าประชาชนส่วนใหญ่ให้ความสำคัญกับการขนส่งทางน้ำน้อยลงกว่าในอดีต ส่วนปัจจัยที่มีความสำคัญรองลงมา คือ ระบบโทรคมนาคมและเทคโนโลยีสารสนเทศ และการขนส่งราง ส่วนปัจจัยอีก 2 ปัจจัยที่เหลือ คือ การขนส่งทางอากาศและสถานีขนส่งและสิ่งอำนวยความสะดวกจะมีความสำคัญใกล้เคียงกัน เนื่องจากจังหวัดพัทลุงเป็นจังหวัดเดียวในพื้นที่ศึกษาที่ไม่มีสนามบินภายในจังหวัดของตนเอง แต่ก็มีระยะทางไปยังสนามบินข้างเคียง ภายในเวลาประมาณ 1 ชั่วโมง คือ สนามบินหาดใหญ่ และสนามบินตรัง สอดคล้องกับ Office of the National Economics and Social Development Council [10] ว่าประชาชนในจังหวัดพัทลุงจะเลือกใช้ท่าอากาศยานข้างเคียง พร้อมทั้งได้แนะนำว่าถ้าหากมีท่าอากาศยานเกิดขึ้นจะสามารถเชื่อมต่อการเดินทางทั้งทางอากาศ ทางถนน และทางน้ำ รวมถึงช่วยการขนส่งสินค้าและนักท่องเที่ยวได้ดีขึ้น

กลุ่มตัวอย่างจังหวัดสงขลา ให้ความสำคัญของการขนส่งทางรางกับระบบโทรคมนาคมและเทคโนโลยีสารสนเทศที่ใกล้เคียงกัน กลุ่มตัวอย่างให้ความสำคัญสำหรับการขนส่งประเภทอื่น ๆ คือ การขนส่งทางน้ำ ทางถนน และทางอากาศ ในน้ำหนักที่เท่า ๆ กัน เนื่องจากว่าจังหวัดสงขลา มีเส้นทางรถไฟที่เชื่อมโยงไปยังประเทศมาเลเซียผ่านทางด่านปางดงเบซาร์ อำเภอสะเดา และการรับส่งสินค้าไปยังสถานีทุ่งสง จังหวัดนครศรีธรรมราช และจังหวัดปายทาง ในด้านปัจจัยระบบโทรคมนาคมและเทคโนโลยีสารสนเทศนั้น ซึ่งแสดงว่าปัจจุบันกลุ่มตัวอย่างให้ความสำคัญในการลดต้นทุนและการขนส่งจำนวนมากด้วยการขนส่งทางรางพร้อมกับเพิ่มคุณภาพการจัดการด้วยระบบโทรคมนาคมและเทคโนโลยีสารสนเทศของการขนส่งสินค้า

จากภาพรวมทั้ง 5 จังหวัดนั้นพบว่า กลุ่มตัวอย่างให้ความสำคัญกับการขนส่งทางถนนในจำนวนที่ใกล้เคียงกับระบบโทรคมนาคมและเทคโนโลยีสารสนเทศ คือ ร้อยละ 21.49 และ 20.14 ตามลำดับ ซึ่งอธิบายได้ว่าถนนยังคงเป็นปัจจัยหลักการขนส่งสินค้าที่กลุ่มตัวอย่างพิจารณาในการดำเนินกิจการ สอดคล้องกับ Office of the National Economics and Social Development

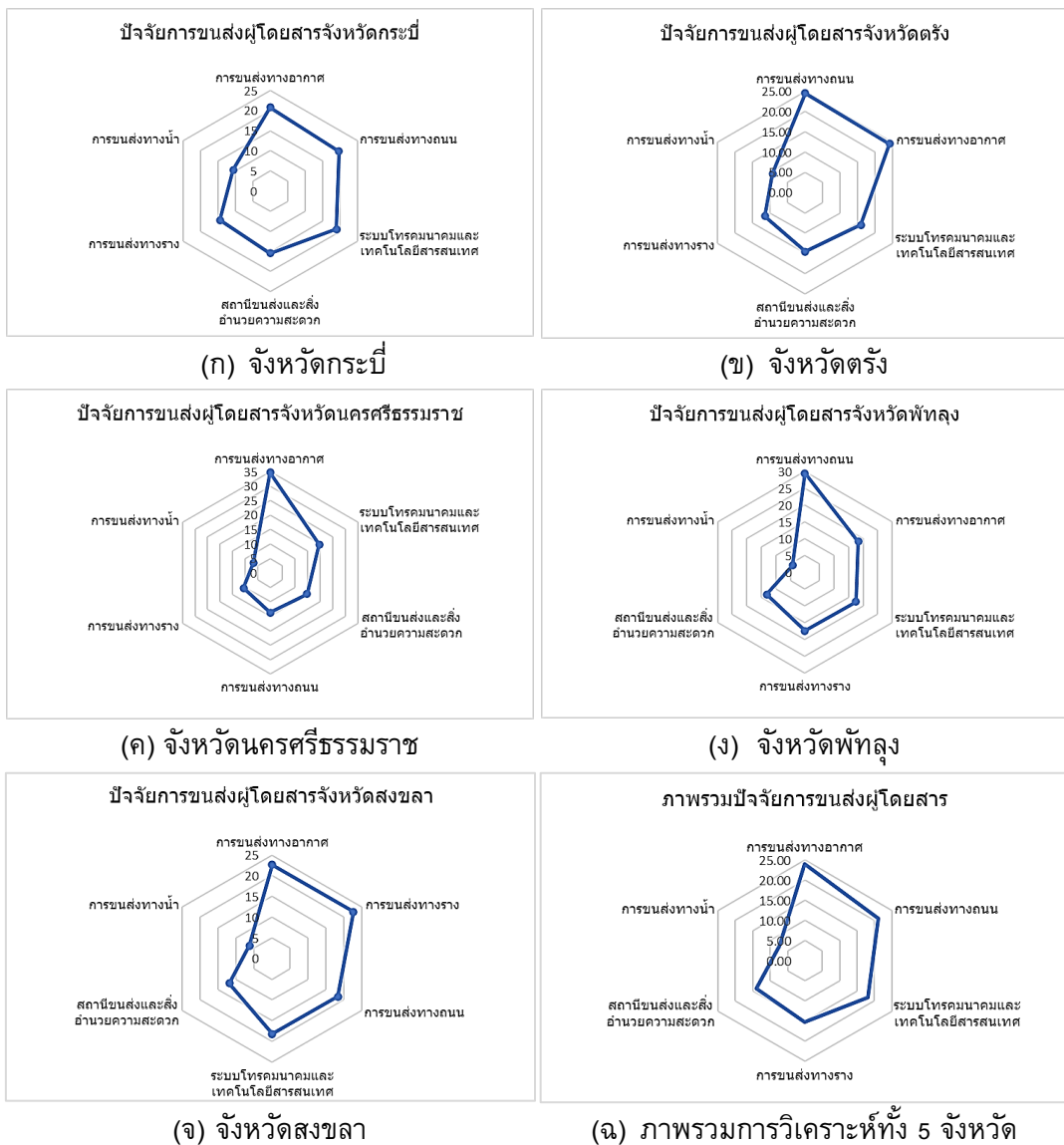
Council [10] ว่าการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานโดยเฉพาะทางถนนเป็นสิ่งสำคัญในการเชื่อมต่อระหว่างจังหวัด ประกอบกับการนำระบบการจัดการจราจรด้วยเทคโนโลยีมาช่วยเพิ่มศักยภาพของผู้ประกอบการเอง เมื่อพิจารณาเฉพาะรูปแบบการขนส่งจะพบว่าทางอากาศและการขนส่งทางรางมีความสำคัญใกล้เคียงกับการขนส่งทางถนนเป็นอย่างมาก โดยการขนส่งทางถนนมีน้ำหนักร้อยละ 21.49 การขนส่งทางอากาศ ร้อยละ 16.22 และการขนส่งทางราง ร้อยละ 16.02 ซึ่งอาจกล่าวได้ว่ากลุ่มตัวอย่างมองเห็นถึงศักยภาพที่ของรูปแบบการขนส่งทั้งคู่ว่าใกล้เคียงกับการขนส่งทางถนน สำหรับการขนส่งทางน้ำนั้นจะมีความสำคัญน้อยที่สุด เนื่องจากท่าเรือส่วนใหญ่ในกลุ่มพื้นที่ศึกษาจะเป็นท่าเรือเพื่อการท่องเที่ยวเป็นหลัก มีเพียงจังหวัดสงขลาที่มีท่าเรือน้ำลึก ส่วนจังหวัดตรังและนครศรีธรรมราชจะเป็นการขนส่งสินค้าด้วยเรือบارج (Barge) จึงทำให้การขนส่งสินค้าทางน้ำมีน้ำหนักของการขนส่งน้อยที่สุด

4.3 วิเคราะห์เปรียบเทียบความสำคัญของปัจจัยด้านการขนส่งผู้โดยสารของเขตพัฒนาพิเศษ 5 จังหวัดภาคใต้

จากรูปที่ 3 การวิเคราะห์หาปัจจัยที่มีน้ำหนักสำคัญของการขนส่งผู้โดยสารในจังหวัดกระบี่ กลุ่มตัวอย่างให้ความสำคัญของการขนส่งทางอากาศมากเป็นลำดับแรก คิดเป็นร้อยละ 20.79 แต่อย่างไรก็ตามความสำคัญของการขนส่งทางอากาศก็ไม่ได้แตกต่างกับการขนส่งทางถนนและระบบโทรคมนาคมและเทคโนโลยีสารสนเทศมากนัก ซึ่ง 2 ปัจจัยดังกล่าว มีค่าน้ำหนัก ร้อยละ 19.74 และ 19.02 ซึ่งเมื่อพิจารณาจากตัวเลขทั้ง 3 ตัว ประกอบกับการสัมภาษณ์ในขั้นตอนกระบวนการมีส่วนร่วม สรุปได้ว่า กลุ่มตัวอย่างให้ความสำคัญด้านปัจจัยการขนส่งทางอากาศ การขนส่งทางถนน และระบบโทรคมนาคมและเทคโนโลยีสารสนเทศ

ส่วนปัจจัยที่มีความสำคัญน้อยสุด คือ การขนส่งผู้โดยสารทางน้ำ ร้อยละ 10.59 ซึ่งเป็นรูปแบบการเดินทางที่เกิดขึ้นภายในแหล่งท่องเที่ยวเป็นหลัก โดยปัจจุบันจังหวัดกระบี่มีศักยภาพในการให้บริการนักท่องเที่ยวทางทะเลอยู่แล้ว กลุ่มตัวอย่างจึงพิจารณาว่าเป็นปัจจัยที่มีความพร้อมในการดำเนินกิจกรรม สอดคล้องกับจำนวนท่าเรือโดยสารที่มีจำนวนมากที่สุดในพื้นที่ศึกษา [13-15]

ในทางกลับกันกลุ่มตัวอย่างมองว่าควรมีการพัฒนาการเชื่อมต่อระหว่างจังหวัดกระบี่กับทางจังหวัดอื่น ๆ และต่างประเทศที่มีความต้องการเดินทางมายังกระบี่ จึงมองว่าการพัฒนาควรเน้นไปที่การขนส่งทางอากาศ และการขนส่งทางถนน



รูปที่ 3 หน้าหนักปัจจัยด้านการขนส่งผู้โดยสาร

สำหรับจังหวัดตรัง กลุ่มตัวอย่างให้ความสำคัญของการขนส่งทางถนนและการขนส่งทางอากาศเป็นลำดับแรก ๆ คิดเป็นร้อยละ 24.51 และ 24.15 ตามลำดับ ซึ่งสะท้อนถึงความต้องการเดินทางระหว่างภูมิภาคของจังหวัดตรังกับจังหวัดในภูมิภาคอื่น ๆ จึงทำให้ปัจจัยการขนส่งผู้โดยสารทางอากาศมีน้ำหนักทัดเทียมกับการขนส่งทางถนนมาก ส่วนปัจจัยที่มีความสำคัญน้อยที่สุด คือ การขนส่งผู้โดยสารทางน้ำ ร้อยละ 9.27 เนื่องจากกลุ่มตัวอย่างพิจารณาว่าในพื้นที่ให้ความสำคัญกับการขนส่งผู้โดยสารทางน้ำน้อย โดยจะเน้นการประมงเป็นสำคัญ

ด้านจังหวัดนครศรีธรรมราช กลุ่มตัวอย่างให้ความสำคัญของการขนส่งทางอากาศมากถึงร้อยละ 34.66 ซึ่งมีความแตกต่างกับการขนส่งผู้โดยสารรูปแบบอื่นอย่างชัดเจน โดยการขนส่งผู้โดยสารทางถนน มีน้ำหนักร้อยละ 13.77 การขนส่งผู้โดยสารทางราง มีน้ำหนักร้อยละ 10.56 และการขนส่งผู้โดยสารทางน้ำ มีน้ำหนักร้อยละ 6.63 ซึ่งอธิบายได้ถึงความต้องการเดินทางระหว่างภูมิภาคที่มีการเติบโตอย่างมาก เช่น กรุงเทพฯ-นครศรีธรรมราช สอดคล้องกับปริมาณผู้โดยสารที่เดินทางโดยเครื่องบินมากเป็นลำดับที่ 2 ในพื้นที่ศึกษา [16, 17]

ส่วนจังหวัดพัทลุง กลุ่มตัวอย่างให้ความสำคัญของการขนส่งผู้โดยสารทางถนน ร้อยละ 29.41 และให้ความสำคัญกับการขนส่งผู้โดยสารทางน้ำเพียงร้อยละ 4.20 เนื่องจากไม่ใช่ภาคการขนส่งผู้โดยสารหลักในจังหวัดพัทลุง ซึ่งการขนส่งผู้โดยสารทางน้ำในจังหวัดพัทลุงจะเป็นลักษณะเรือนำเที่ยวขนาดเล็กในทะเลสาบสงขลา ส่วนปัจจัยที่มีความสำคัญรองจากการขนส่งทางถนนคือการขนส่งทางอากาศ ซึ่งกลุ่มตัวอย่างมองว่าควรให้ความสำคัญในการพัฒนาท่าอากาศยานพัทลุง เนื่องจากผู้โดยสารที่ต้องการเดินทางด้วยเครื่องบินนั้นต้องเดินทางไปใช้บริการท่าอากาศยานที่จังหวัดใกล้เคียง คือ จังหวัดสงขลา และจังหวัดตรัง จึงเป็นปัจจัยที่กลุ่มตัวอย่างให้ความสำคัญในการพัฒนาศักยภาพ สอดคล้องกับ Office of the National Economics and Social Development Council [10] ที่แนะนำว่าควรมีท่าอากาศยานในจังหวัดพัทลุง

ส่วนจังหวัดสงขลา นั้น พบว่า กลุ่มตัวอย่างให้ความสำคัญการขนส่งทางอากาศทัดเทียมกับการขนส่งทางราง คือ ร้อยละ 22.63 และ 22.61 เนื่องจากท่าอากาศยานหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา ได้รองรับเที่ยวบินทั้งจากภายในและต่างประเทศเป็นจำนวนมาก รวมถึงเป็นจุดเชื่อมโยงการเดินทาง (Transit) ต่อไปยังแหล่งท่องเที่ยวฝั่งอันดามันและฝั่งอ่าวไทย และจังหวัดสงขลายังมีชุมทางรถไฟหาดใหญ่ซึ่งเป็นจุดศูนย์รวมการเดินทางจากจังหวัดชายแดนภาคใต้ จังหวัดภาคใต้ตอนบน และกรุงเทพมหานคร ในขณะที่ตัวกันผู้โดยสารสามารถเดินทางด้วยรถไฟไปยังประเทศมาเลเซียผ่านทางด่านปาดังเบซาร์ อำเภอสะเดาได้อีกเช่นกัน

ปัจจัยที่มีความสำคัญรองลงมาได้แก่ ขนส่งทางถนนและระบบโทรคมนาคมและเทคโนโลยีสารสนเทศ ซึ่งมีความสำคัญใกล้เคียงกันมากเช่นเดียวกับสองปัจจัยที่กล่าวมาแล้ว คือ มีความสำคัญร้อยละ 18.36 และ 18.16 เนื่องจากกลุ่มตัวอย่างมองว่าจังหวัดสงขลาที่มีโครงข่ายถนนที่ครอบคลุมทุกตำบลในจังหวัดสงขลา โดยเมื่อมองจากภาพถ่ายทางอากาศจะเห็นว่าโครงข่ายถนนจะเสมือนกับเส้นเลือดหลักและเส้นเลือดฝอยที่กระจายทั่วทั้งจังหวัดสงขลา จึงทำให้กลุ่มตัวอย่างมองว่าจังหวัดสงขลามีความพร้อมด้านการคมนาคมทางถนน

ปัจจัยที่มีความสำคัญน้อยที่สุด คือ การขนส่งผู้โดยสารทางน้ำ เนื่องจากจังหวัดสงขลา มีการขนส่งทางน้ำหลัก ๆ คือ แพขนานยนต์ข้ามฟากที่อำเภอสิงหนคร จังหวัดสงขลา โดยมีเรือข้ามฟากให้บริการประมาณวันละ 2 ลำ และในปี พ.ศ.2564 ได้มีการบริการเรือเฟอร์รี่ระหว่างจังหวัดสงขลา-จังหวัดชลบุรี โดยการให้บริการเรือเฟอร์รี่เส้นทางชลบุรี (สัตหีบ)-สงขลา จะออกให้บริการ

ระหว่างเส้นทางสัดหีบ-สงขลา ในทุกวันอังคาร และเส้นทางสงขลา-สัดหีบ ในทุกวันพุธ สำหรับเดือนธันวาคม พ.ศ.2566 ซึ่งปัจจุบันในปี 2566 ได้ยกเลิกบริการเรือเฟอร์รี่เส้นทางสงขลา-ชลบุรีแล้ว

เมื่อมองในภาพรวมของการขนส่งของทั้ง 5 จังหวัด พบว่า กลุ่มตัวอย่างทั้งหมดให้น้ำหนักกับปัจจัยการขนส่งผู้โดยสารทางอากาศมากที่สุด ร้อยละ 24.11 ตามด้วยการขนส่งทางถนน ร้อยละ 21.16 การขนส่งทางราง ร้อยละ 15.31 และการขนส่งทางน้ำ ร้อยละ 7.40 เนื่องจากกลุ่มตัวอย่างให้ความสำคัญกับการเดินทางระหว่างภูมิภาคด้วยเครื่องบินเป็นอันดับแรก เพราะว่าพื้นที่ที่ศึกษาตั้งอยู่ในแหล่งท่องเที่ยวทางทะเลและพื้นที่ทางเศรษฐกิจแต่ทว่ายังมีระยะทางไกลจากกรุงเทพมหานคร การเดินทางมาท่องเที่ยวด้วยรถยนต์หรือรถไฟจะใช้เวลาอย่างมาก ผู้โดยสารที่ตั้งใจมาท่องเที่ยวจากภูมิภาคอื่นจึงใช้การเดินทางด้วยเครื่องบินเป็นหลักเนื่องจากความสะดวกรวดเร็ว ส่วนการเดินทางทางถนนนั้น ถ้าเป็นการเดินทางเพื่อการท่องเที่ยวมักจะเป็นกลุ่มนักท่องเที่ยวจากจังหวัดในภาคใต้ด้วยตนเอง เนื่องจากความสะดวกในการเข้าถึงแหล่งท่องเที่ยว การแวะสถานที่ท่องเที่ยวตามรายการ การจัดเก็บสัมภาระ และการมาท่องเที่ยวทั้งครอบครัว

สำหรับการโดยสารทางรางนั้นจะให้บริการทั้งสายรถไฟท้องถิ่น และรถไฟทางไกล ซึ่งยังเป็นการเดินทางที่คนภาคใต้นิยมใช้อยู่เช่นกัน เนื่องจากราคาค่าโดยสารไม่สูงเกินไป การพกพาสัมภาระส่วนตัว และการเข้าถึงสถานที่ตั้งอยู่ใจกลางเมือง ทำให้มีความสะดวกในการเดินทาง ส่วนการเดินทางทางน้ำนั้น จะเน้นให้บริการบริเวณชายหาดแก่นักท่องเที่ยวไปยังหมู่เกาะต่าง ๆ ในฝั่งทะเลอันดามันและทะเลสาบสงขลาเป็นหลัก

5 สรุปและอภิปรายผลการวิจัย

สรุปได้ว่า พื้นที่ทั้ง 5 จังหวัดภาคใต้ มีการขนส่งเกือบทุกรูปแบบโดยเฉพาะจังหวัดสงขลาซึ่งสามารถเชื่อมโยงได้ตั้งแต่ระดับชุมชนถึงระดับนานาชาติ การเปรียบเทียบการให้ความสำคัญระหว่างการขนส่งสินค้ากับการขนส่งผู้โดยสารพบว่า ในภาพรวมทั้ง 5 จังหวัดจะให้น้ำหนักการขนส่งสินค้าและผู้โดยสารที่ใกล้เคียงกัน แต่เมื่อมองในรายจังหวัดจะพบว่าจังหวัดนครศรีธรรมราชจะให้น้ำหนักการขนส่งผู้โดยสารมากกว่าการขนส่งสินค้าสองเท่า ในขณะที่จังหวัดสงขลาให้น้ำหนักการขนส่งสินค้ามากกว่าการขนส่งผู้โดยสารเกือบสองเท่าเช่นเดียวกัน

สำหรับการเปรียบเทียบความสำคัญของปัจจัยด้านการขนส่งสินค้า ในภาพรวมทั้ง 5 จังหวัดให้ความสำคัญกับปัจจัยเรื่องการขนส่งทางถนน และระบบโทรคมนาคมและเทคโนโลยีสารสนเทศ เป็นหลัก เนื่องจากถนนเป็นปัจจัยหลักในการขนส่ง ประกอบเทคโนโลยีจะช่วยเพิ่มศักยภาพของผู้ประกอบการเอง

สุดท้ายการเปรียบเทียบความสำคัญของปัจจัยด้านการขนส่งผู้โดยสาร ในภาพรวมทั้ง 5 จังหวัด กลุ่มตัวอย่างให้ความสำคัญกับการขนส่งทางอากาศมากที่สุด เนื่องจากพื้นที่ดังกล่าว

ตั้งอยู่ในแหล่งท่องเที่ยวที่ค่อนข้างไกลจากกรุงเทพมหานคร การเดินทางทางอากาศจึงเป็นที่นิยมมากกว่า ส่วนการขนส่งทางรางจะเน้นให้บริการรถไฟท้องถิ่น และรถไฟทางไกลตามลำดับ เนื่องจากค่าโดยสารไม่สูงเกินไป ในด้านการขนส่งทางน้ำจะเน้นให้บริการนักท่องเที่ยวที่เดินทางระยะใกล้เป็นหลัก

กิตติกรรมประกาศ

บทความนี้เป็นส่วนหนึ่งของโครงการวิจัยการวิเคราะห์และจัดทำแนวทางการพัฒนาศักยภาพเพื่อสนับสนุน การจัดตั้งเขตพัฒนาพิเศษภาคใต้ (จังหวัดสงขลา จังหวัดพัทลุง จังหวัดนครศรีธรรมราช จังหวัดกระบี่ จังหวัดตรัง) ได้รับการสนับสนุนโดยสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สกสว.) ปีงบประมาณ 2564

References

- [1] Office of the Prime Minister. Government gazette. No.138 Section 27E: Bangkok: Office of the Prime Minister; 2021. p.1–4. (In Thai)
- [2] The Secretariat of the House of Representatives. Draft of the special economic zone for the southern economic corridor act, B.E... [Internet]. 2023 [cited 2023 Oct 5]. Available from: https://www.parliament.go.th/section77/survey_detail.php?id=307. (In Thai)
- [3] The Secretariat of the House of Representatives. Draft of the southern border special economic zone act B.E... [Internet]. 2019 [cited 2023 Oct 5]. Available from https://www.parliament.go.th/section77/survey_detail.php?id=35. (In Thai)
- [4] The Secretariat of the House of Representative. Draft of the southern special economic zone corridor act, B.E... [Internet]. 2022 [cited 2023 Oct 5]. Available from https://www.parliament.go.th/section77/survey_detail.php?id=127. (In Thai)
- [5] Office of the National Economic and Social Development Board. National strategy 2018–2037. Bangkok: Office of the National Economic and Social Development Board; 2018. (In Thai)
- [6] Office of the National Economic and Social Development Council. The thirteenth national economic and social development plan (2023–2027). Bangkok: Office of the National Economic and Social Development Council; 2022. (In Thai)
- [7] Ministry of Transport. Thailand's transport infrastructure development strategy 2018–2037. Bangkok: Ministry of Transport.; 2019. (In Thai)

- [8] Department of Highways. Motorway railway master plan: MR-MAP. Bangkok: Department of Highways; 2023. (In Thai)
- [9] Royal Thai Government. Thailand's new investment promotion measures [Internet]. 2023 [cited 2023 Oct 4]. Available from: <https://www.thaigov.go.th/news/contents/details/71921>. (In Thai)
- [10] Office of the National Economics and Social Development Council. The pre-feasibility study on the maritime transportation linkage between the gulf of Thailand and Andaman [Internet]. 2022 [cited 2023 Oct 4]. Available from: <https://thailandbridge.com/category/work-on-process/>. (In Thai)
- [11] Department of Highways. Control distance summary account [Internet]. 2023 [cited 2023 Oct 4]. Available from: <http://bmm.doh.go.th/website/index.php/road-maintenance-statistics/control-distance-summary-account>. (In Thai)
- [12] Department of Rural Roads. Rural road network summary account 2022 [Internet]. 2022 [cited 2023 Oct 4]. Available from: https://maintenance.drr.go.th/wp-content/uploads/2022/12/Road_Network_2565.pdf. (In Thai)
- [13] Sukdanon S. Pier on the Andaman side [Internet]. 2018 [cited 2023 Oct 4]. Available from: <http://www.cuti.chula.ac.th/articles/482/>. (In Thai)
- [14] Sukdanon S. Pier on the western gulf of Thailand [Internet]. 2019. [cited 2023 Oct 4]. Available from: <http://www.cuti.chula.ac.th/articles/483/>. (In Thai)
- [15] Phattalung Provincial Office. Phatthalung province 5-year development plan (2023 - 2027) [Internet]. 2022. [cited 2023 Oct 4]. Available from: http://www.phatthalung.go.th/2022/files/com_news_develop/2022-04_677cac2c26c2239.pdf (In Thai)
- [16] Office of Transport and Traffic Policy and Planning. Transport infrastructure annual report 2021 [Internet]. 2022. [cited 2023 Oct 4]. Available from: https://www.otp.go.th/uploads/tiny_uploads/PDF/2565-10/25651011-TransportInfrastructureAnnualReport2021.pdf. (In Thai)
- [17] National Statistical Office Thailand. Air transport statistics classified by international airports fiscal year 2012-2022 [Internet]. 2023. [Cited 2023 Oct 4]. Available from: statbbi.nso.go.th/staticreport/page/sector/th/15.aspx (In Thai)
- [18] Data Innovation and Governance Institute. Train station in Thailand [Internet]. 2023 [cited 2023 Oct 4]. Available from; <https://digi.data.go.th/showcase/train-station-thailand/>

- [19] Department of Foreign Trade. Overview of border trade and cross - border trade in Thailand [Internet]. 2021 [cited 2023 Oct 4]. Available from: <https://www.dft.go.th/Portals/3/ภาพรวมชายแดนผ่านแดน%20มีนาคม%2064pdf.pdf>. (In Thai)
- [20] Suksumek S. Optimization modeling with Excel (solver). Bangkok: SE-ED Publishing; 2014. (In Thai)
- [21] Ransikarbum K. Decision analysis for engineering. Bangkok: Chulalongkorn University Press; 2022. (In Thai)
- [22] Sonsupo P, Chaipanha W, Kaewwichien P, Pomraksak T. Application of analytical hierarchy process and the traffic micro-simulation model on highway interchange selection: case study of highway no.12 and rural road no. morhor 4040. The 27th national convention on civil engineering; 2022 Aug 24-26; Chiang Rai, Thailand. (In Thai)
- [23] Satirasetthavee D, Suwannahoi R, Kitthamkesorn S, Leungvichcharoen S. The determination criteria of appropriate location for the construction of truck terminal in Thailand by using analytic hierarchy process (AHP). Naresuan University Engineering Journal 2018;13:54-65. (In Thai)
- [24] Meethom W, Chimmanee S. The decision making of the freight route between Thailand and north east India by AHP and ZOGP. MUT Journal of Business Administration 2014;11:21-42. (In Thai)
- [25] Seehamart M, Tamapan P. The prioritization guidelines for the city plan road developments: the case study of mueang Nakhon Ratchasima. Kasem Bundit Engineering Journal 2020;10:195-217. (In Thai)
- [26] Eursiriwan N, Panichgarn V, Rangson D, Warichwattana U. The selection criteria of suitable locations for weigh station establishment using the analytical hierarchy process (AHP). Kasem Bundit Engineering Journal 2017;7:17-33. (In Thai)
- [27] Kraisee K. Site selection of SEZ-based freight village: a case study of border provinces in Thailand. Nida Business Journal 2020;27:136-61. (In Thai)
- [28] Buchain R. Assessment of the potential of suitable location and market potential of small and medium enterprises in seafood and fruit processing in the eastern economic corridor and Chanthaburi province (EEC+1). Journal of Science and Technology, Ubon Ratchathani University 2021;23:47-57. (In Thai)

ประวัติผู้เขียนบทความ



ชลัท ทิพากรเกียรติ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
2/4 ถ.ราชดำเนินนอก ต.ป้อมยาง อ.เมืองสงขลา จ.สงขลา 90000 E-mail:
ninechalat14@hotmail.com
งานวิจัยที่สนใจ: วิศวกรรมขนส่งและจราจร วิศวกรรมความปลอดภัยทาง
ถนน วัสดุวิศวกรรม



ณัฐนิภรณ์ ห้อยเสงี่ยม สาขาวิชาการผังเมือง คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย 1 ถ.ราชดำเนินนอก ต.ป้อมยาง
อ.เมืองสงขลา จ.สงขลา 90000 E-mail: nattaneeporn.n@rmutsv.ac.th
งานวิจัยที่สนใจ: งานอนุรักษ์สถาปัตยกรรมและชุมชน, การมีส่วนร่วม, การ
ออกแบบพื้นที่สาธารณะ และการจัดการสิ่งแวดล้อมเมือง



สมจิตร จันทรภรณ์ มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา 160 หมู่ 4 ต.เขารูปช้าง
อ.เมืองสงขลา จ.สงขลา 90000 E-mail: somtaan@hotmail.com
งานวิจัยที่สนใจ: การพัฒนาพื้นที่ชุมชน, การท่องเที่ยว, เศรษฐกิจชุมชน



นราวดี บัวขวัญ มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา 160 หมู่ 4 ต.เขารูปช้าง
อ.เมืองสงขลา จ.สงขลา 90000 E-mail: bnarawadee@gmail.com
งานวิจัยที่สนใจ: การพัฒนาพื้นที่ชุมชน, การท่องเที่ยว, เศรษฐกิจชุมชน

Article History:

Received: July 21, 2023

Revised: November 10, 2023

Accepted: November 18, 2023

การเพิ่มสมบัติไฮโดรโฟบิกของอะลูมิเนียมด้วยวิธีทางกลและเคมี
เพื่อเพิ่มความสามารถในการทำความสะอาดตนเองได้
**IMPROVING THE HYDROPHOBIC PROPERTY OF ALUMINUM BY
MECHANICAL AND CHEMICAL METHODS TO ENHANCE ITS
SELF-CLEANING ABILITY**

พีรวัส คงสง¹ กนกอร น้อยเล็ก² และ มาหามะสุไฮมี มะแซ³

^{1,2}อาจารย์, สาขาวิชาวิศวกรรมวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี
ราชมงคลอีสาน 744 ถ. สุรนารายณ์ ต. ในเมือง อ. เมือง จ. นครราชสีมา 30000,

¹physics_psu@windowsslive.com, ²kanokon.nu@rmu.ac.th

³อาจารย์, สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
1 ถ. ราชดำเนินนอก ต. บ่อหย่าง อ. เมือง จ. สงขลา 90000, susumeme1983@yahoo.com

Peerawas Kongsong¹, Kanokon Nuilek² and Mahamasuhaimi Masae³

^{1,2}Lecturer, Department of Materials Engineering, Faculty of Engineering and Technology,
Rajamangala University of Technology Isan, 744, Suranarai Rd., Muang,
Nakhon Ratchasima, 30000 Thailand,

¹physics_psu@windowsslive.com, ²kanokon.nu@rmu.ac.th

³Lecturer, Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala
University of Technology University 1, Ratchadamnoennok Rd., Bo Yang, Muang
Songkhla, Songkhla, 90000 Thailand, susumeme1983@yahoo.com

บทคัดย่อ

การศึกษาค้นคว้าวัสดุประสงค์เพื่อพัฒนาพื้นผิวอะลูมิเนียมที่มีสมบัติไฮโดรโฟบิกของพื้นผิวโดย
วิธีทางกลและเคมี ขัดแผ่นอะลูมิเนียมด้วยกระดาษทรายเบอร์ 600, 800, 1000 และขัดมัน และแช่
ในกรดไฮโดรคลอริกและกรดออกซาลิกเป็นเวลา 14 ชั่วโมง และวิเคราะห์คุณลักษณะของผิว
อะลูมิเนียมด้วยเทคนิคต่าง ๆ ได้แก่ SEM, AFM, XPS และการทดสอบสมบัติความไม่ชอบน้ำ
โดยการวัดมุมสัมผัส จากเทคนิค AFM พบว่า ตัวอย่างที่ขัดด้วยกระดาษทรายเบอร์ 800 มี
ค่าความขรุขระสูงสุดที่ 851.77 nm การทดสอบความไม่ชอบน้ำ พบว่า มุมสัมผัสของหยดน้ำบน

พื้นผิวอะลูมิเนียมมีค่าสูงสุดที่ 140.92° จะเห็นได้ว่าความขรุขระของพื้นผิวที่สูงขึ้นนำไปสู่มุมสัมผัสที่มากขึ้นและแสดงสมบัติไฮโดรโฟบิกที่ดี

คำสำคัญ: ไฮโดรโฟบิก, อะลูมิเนียม, การทำความสะอาดตัวเอง, การปรับสภาพผิวด้วยวิธีทางกลและเคมี

ABSTRACT

The objectives of this study is to develop an aluminum surface with hydrophobic properties of the surface by mechanical and chemical methods. The aluminum plate was polished with the sandpaper number 600, 800, 1000, and polishing and it was soaked in hydrochloric acid and oxalic acid for 14 hours, and the aluminum surface characteristics were analyzed using various techniques, including SEM, AFM, XPS and hydrophobic testing by measuring the contact angle. The AFM technique revealed that the sample that had been polished with number 800 sandpaper had the highest surface roughness of 851.77 nanometers. The hydrophobicity testing showed that the contact angle of water droplets on the aluminum surface was the highest at 140.92° . This indicates that a higher surfaces roughness leads to a larger contact angle and better hydrophobic properties.

KEYWORDS: hydrophobic, aluminum, self-cleaning, mechanical method and chemical etching

1. บทนำ

อะลูมิเนียมถูกนำมาใช้งานอย่างหลากหลายโดยเฉพาะภาคอุตสาหกรรม การขนส่ง งานก่อสร้าง อิเล็กทรอนิกส์และภาชนะในครัวเรือน เนื่องจากอะลูมิเนียมผสมมีความแข็งแรง น้ำหนักเบา รับน้ำหนักได้สูง ขึ้นรูปได้ง่าย ด้านงานการกัดกร่อนได้ดี จึงนิยมนำมาผลิตเป็นชิ้นส่วนต่าง ๆ แต่เมื่อชิ้นส่วนต่าง ๆ ที่ทำมาจากอะลูมิเนียมมีการใช้งานเป็นเวลานานจะเกิดคราบดำสกปรกจากการสะสมของฝุ่นละออง ทำความสะอาดยาก ต้องขัดถูหรือใช้สารเคมีในการทำทำความสะอาด ซึ่งอาจทำให้เกิดรอยขีดข่วนเสียหายบริเวณพื้นผิวของชิ้นส่วนนั้นได้ ปัจจุบันเทคโนโลยีนาโนมีบทบาทสำคัญต่อการพัฒนาพื้นผิวให้มีความพิเศษสามารถนำมาใช้ประโยชน์โดยอาศัยปรากฏการณ์ทางธรรมชาติที่คล้ายกับใบบัว [1]

น้ำกลิ้งบนใบบัว เป็นลักษณะพิเศษที่ทำให้ใบบัวมีสมบัติทำความสะอาดพื้นผิวตัวเองได้ (Self-cleaning) ดังนั้นใบบัวจึงเป็นตัวอย่างทางธรรมชาติที่ทำให้เกิดแนวคิดเพื่อพัฒนาพื้นผิวให้มีความสามารถในการทำความสะอาดตัวเอง จากการศึกษาโครงสร้างระดับจุลภาคของใบบัว พบว่า มีตุ่มขนาด

ประมาณ 5-20 ไมโครเมตร จำนวนมากกระจายอยู่ทั่วไป แต่ละตุ่มอยู่ห่างกันราว 20-40 ไมโครเมตร ตุ่มเหล่านี้มีสารลักษณะเป็นไขหรือขี้ผึ้ง (Wax) ปกคลุมอยู่ด้านบน โดยธรรมชาติของสารประเภทขี้ผึ้งหรือไขจะมีสมบัติไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic) สังเกตได้จากรูปทรงหยดน้ำที่ถูกหยดลงไป หยดน้ำจะมีลักษณะนูน เมื่อสารที่มีสมบัติไม่ชอบน้ำรวมกับพื้นผิววัสดุที่มีโครงสร้างตุ่มขนาดเล็กจำนวนมาก จึงทำให้พื้นผิวใบบัวกลายเป็นผิวที่มีสมบัติไม่ชอบน้ำยิ่งยวด (Super-hydrophobic) โดยหยดน้ำจะปรากฏรูปทรงลักษณะเม็ดกลมนูนสามารถกลิ้งจากตำแหน่งหนึ่งไปตำแหน่งอื่นได้ง่าย ซึ่งเกิดจากโครงสร้างทางกายภาพของใบบัว โดยผิวหน้าของใบบัวจะมีลักษณะที่ขรุขระมาก เนื่องจากโครงสร้างที่มีขนาดเล็กมากในระดับนาโนเมตร ไมโครเมตร ทำให้แรงที่อนุภาคฝุ่นกระทำต่อผิวของใบบัวน้อย เมื่อเทียบกับแรงดึงดูดระหว่างอนุภาคฝุ่นกับของเหลวจึงทำให้เกิดการทำความสะอาดตัวเองได้ [2-3] การทำให้พื้นผิวโลหะมีสมบัติในการทำความสะอาดตัวเองได้เหมือนใบบัว จะต้องทำให้พื้นผิวมีความขรุขระของโครงสร้างในระดับนาโนและไมโคร ซึ่งปัจจุบันมีด้วยกันหลายวิธี เช่น กระบวนการโซล-เจล (Sol-gel) [4] การกัดด้วยกรด (Chemical etching) [5-7] กระบวนการไฟฟ้าเคมี (Electrochemical method) [8] และวิธีทางกล (Mechanical method) [9]

ดังนั้นผู้จัดทำจึงได้มีแนวคิดที่จะพัฒนาปรับผิวของอะลูมิเนียมผสมให้มีลักษณะคล้ายกับผิวของใบบัว ด้วยการขัดกระดาษทรายให้มีความขรุขระที่ต่างกันและกัดด้วยกรดอีกครั้ง ซึ่งเป็นการรวมกันระหว่างวิธีทางกลและการกัดด้วยสารเคมี เพื่อให้มีผิวที่ขรุขระของโครงสร้างในระดับนาโนและระดับไมโคร โดยจะศึกษาความขรุขระที่มีผลต่อคุณสมบัติของหยดน้ำ เพื่อที่จะทำให้พื้นผิวอะลูมิเนียมเกิดผิวที่มีสมบัติไฮโดรโฟบิกที่สามารถทำความสะอาดตัวเองได้

2. วิธีดำเนินการวิจัย

2.1 ขั้นตอนการปรับสภาพผิวอะลูมิเนียม

ตัดเตรียมอะลูมิเนียมเกรด 6061 (Mg: 1.1%, Si: 0.41%, Fe: 0.19%, Cu: 0.21%, Cr: 0.01%, Al-balance, wt%) ให้มีขนาด 20 mm x 20 mm x 1 mm แล้วนำไปขัดด้วยกระดาษทรายเบอร์ 120, 180, 240, 320, 600, 800 และ 1000 โดยไล่ระดับความขรุขระของผิวจากกระดาษทรายเบอร์ 120 จนถึงกระดาษทรายเบอร์ 600, 800, 1000 และ ขัดมันด้วยผ้าสักหลาดกับผงอลูมินา (Polishing, ผงอลูมินาขนาด 0.05 μm) ซึ่งชิ้นงานจะมีความขรุขระที่แตกต่างกัน 4 ระดับ แล้วนำชิ้นงานไปล้างด้วยน้ำกลั่นและเอทานอลด้วยเครื่องอัลตราโซนิก เป็นเวลา 15 นาที อบให้แห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที นำชิ้นงานไปแช่ในสารละลายกรด ที่ประกอบด้วยกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้นที่ 1 mol L⁻¹ และ กรดออกซาลิกความเข้มข้นที่ 0.08 mol L⁻¹ ที่ผสมกันในอัตราส่วน 1:1 [10] โดยแช่ไว้ในสารละลายเป็นเวลา 14 ชั่วโมง หลังจากนั้นก็นำชิ้นงานด้วย

น้ำกลั่นและเอทานอล แล้วอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ในการทดลองนี้ได้เตรียมตัวอย่าง 3 ชิ้น ต่อ 1 สภาวะทดสอบ

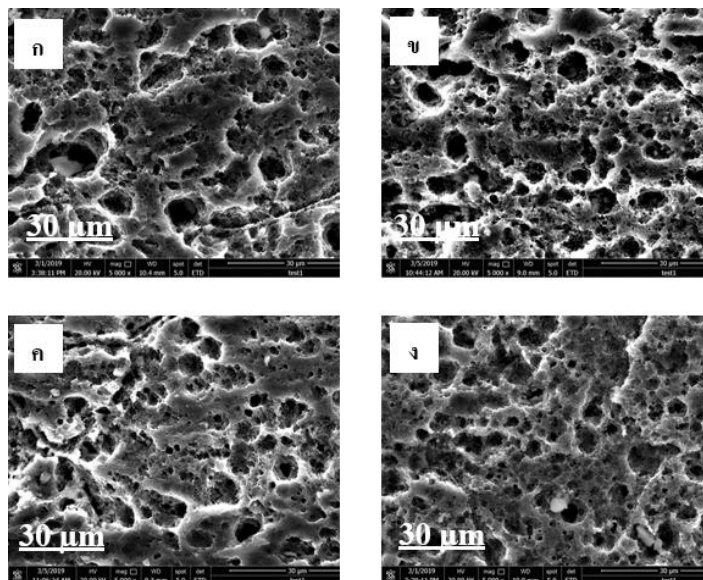
2.2 การตรวจสอบคุณลักษณะพื้นผิวอะลูมิเนียม

ตรวจสอบลักษณะพื้นผิวของอะลูมิเนียมด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM; Jsm-5800LV) วิเคราะห์ความขรุขระของพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์แรงอะตอม (Atomic Force Microscope, AFM) ยี่ห้อ Nanosurf C3000 ทดสอบส่วนประกอบทางเคมีที่พื้นผิวด้วยสเปกโตรสโคปีของอนุภาคอิเล็กตรอนที่ถูกปลดปล่อยด้วยรังสีเอกซ์ (X-ray photoelectron spectroscopy: XPS) รุ่น XPS, AXIS ULTRADLD และทดสอบหามุมสัมผัสของของเหลวบนพื้นผิวของอะลูมิเนียมด้วยเครื่องวัดมุมสัมผัส (Contact angle meter) รุ่น OCA 15EC โดยใช้ปริมาตรหยดน้ำ 5 ไมโครลิตร

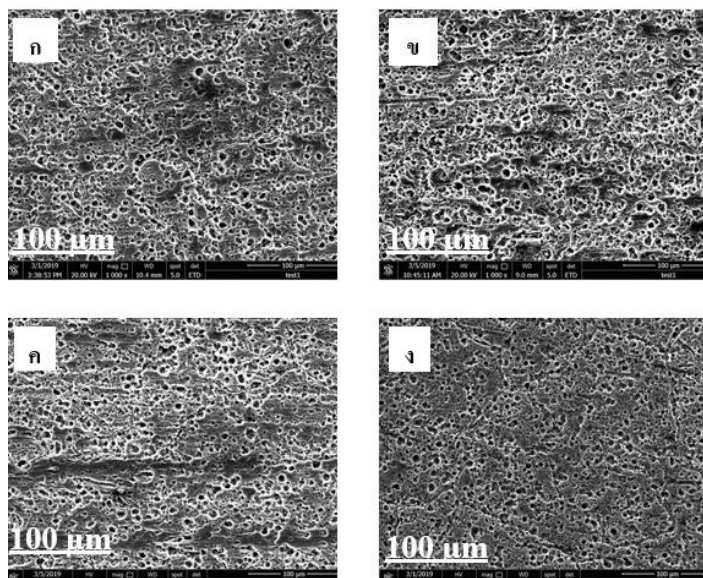
3 ผลการวิจัย

3.1 ผลการวิเคราะห์คุณลักษณะของผิวอะลูมิเนียมด้วยเทคนิค SEM

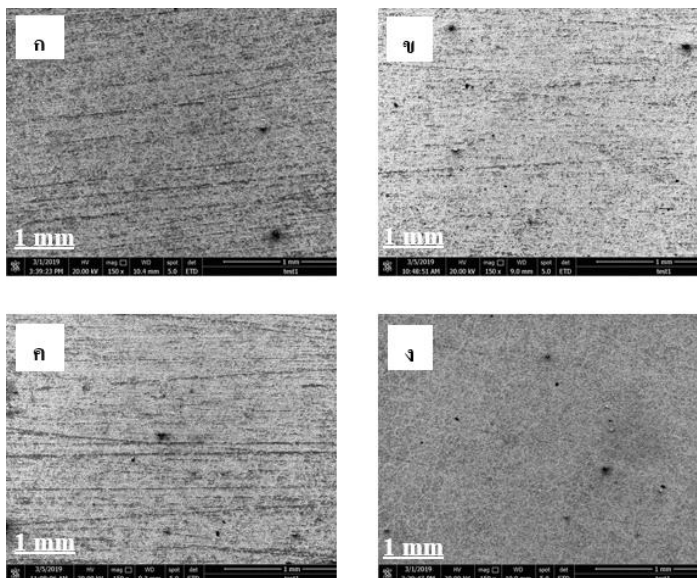
จากรูปที่ 1 รูปที่ 2 และ รูปที่ 3 เป็นผลการวิเคราะห์พื้นผิวของอะลูมิเนียมด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ที่กำลังขยาย 5000, 1000 และ 150 เท่า ตามลำดับ ซึ่งเป็นภาพถ่ายของอะลูมิเนียมที่ขัดด้วยกระดาษทรายเบอร์ 600 (ก), 800 (ข), 1000 (ค) และขัด Polishing (ง) ตามด้วยการกัดกรด ซึ่งจะเห็นได้ว่า ชิ้นงานที่ขัดด้วยกระดาษทรายเบอร์ 600, 800, 1000 และขัด Polishing ที่กำลังขยาย 5000 เท่า พื้นผิวของชิ้นงานจะเกิดเป็นหลุมขนาดที่ใกล้เคียงกัน ไม่แตกต่างกันมากนัก ซึ่งเป็นผลมาจากการกัดกรด ทำให้ไม่เห็นรอยขัด ส่วนที่กำลังขยาย 1000 เท่า พื้นผิวของชิ้นงานบางส่วนจะเห็นรอยขัดที่เกิดจากกระดาษทราย และที่กำลังขยาย 150 เท่า พบว่า ชิ้นงานที่ขัดด้วยกระดาษทรายเบอร์ 600, 800 และ 1000 จะปรากฏรอยขัดของกระดาษทรายบนพื้นผิวของชิ้นงานชัดเจน ซึ่งรอยขัดที่ปรากฏนั้นจะขึ้นอยู่กับความละเอียดของกระดาษทราย ทำให้พื้นผิวของชิ้นงานมีความขรุขระที่ต่างกัน และชิ้นงานที่ขัด Polishing พบว่า มีพื้นผิวที่ละเอียด ไม่มีรอยของกระดาษทรายบนพื้นผิวของชิ้นงาน เนื่องจากการขัด Polishing จะขัดเพื่อลบรอยของกระดาษทราย จึงส่งผลให้พื้นผิวชิ้นงานที่ขัด Polishing มีพื้นผิวที่เรียบกว่าชิ้นงานที่ขัดด้วยกระดาษทรายเบอร์ 600, 800 และ 1000



รูปที่ 1 ภาพ SEM (ก) ชิ้นงานที่ขัดด้วยกระดาษทรายเบอร์ 600 (ข) ชิ้นงานที่ขัดด้วยกระดาษทรายเบอร์ 800 (ค) ชิ้นงานที่ขัดด้วยกระดาษทรายเบอร์ 1000 และ (ง) ชิ้นงานที่ขัด Polishing กำลังขยาย 5000X



รูปที่ 2 ภาพ SEM (ก) ชิ้นงานที่ขัดด้วยกระดาษทรายเบอร์ 600 (ข) ชิ้นงานที่ขัดด้วยกระดาษทรายเบอร์ 800 (ค) ชิ้นงานที่ขัดด้วยกระดาษทรายเบอร์ 1000 และ (ง) ชิ้นงานที่ขัด Polishing กำลังขยาย 1000X

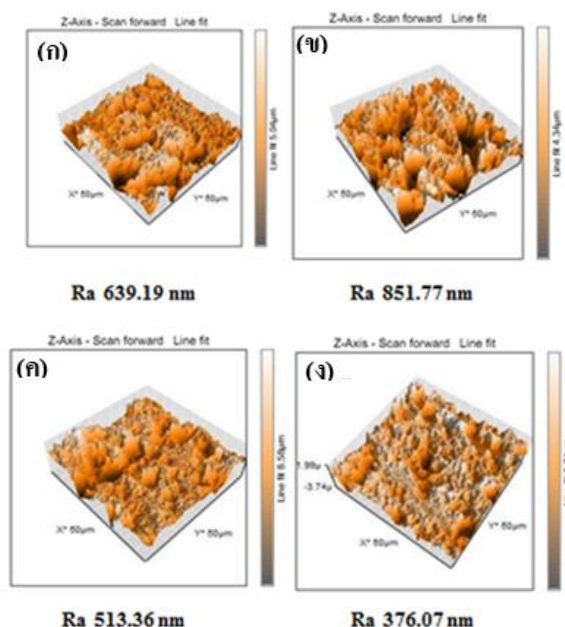


รูปที่ 3 ภาพ SEM (ก) ชิ้นงานที่ขัดด้วยกระดาษทรายเบอร์ 600 (ข) ชิ้นงานที่ขัดด้วยกระดาษทรายเบอร์ 800 (ค) ชิ้นงานที่ขัดด้วยกระดาษทรายเบอร์ 1000 และ (ง) ชิ้นงานที่ขัด Polishing กำลังขยาย 150X

3.2 ผลการวิเคราะห์ความขรุขระของพื้นผิวด้วยเทคนิค AFM

ค่าความขรุขระ (Ra: The roughness average) ของพื้นผิวอะลูมิเนียมที่ผ่านกระบวนการขัดด้วยกระดาษทรายและกัดกรด แสดงดังรูปที่ 4 จากผลการวิเคราะห์ AFM พบว่า ตัวอย่างชิ้นงานที่ขัดด้วยกระดาษทรายเบอร์ 600 (ก), 1000 (ค) และขัด Polishing (ง) มีค่าความขรุขระของพื้นผิวน้อยกว่าตัวอย่างชิ้นงานที่ผ่านการขัดด้วยกระดาษทรายเบอร์ 800 (ข) ซึ่งมีค่าความขรุขระของพื้นผิวที่มากที่สุด ซึ่งมีค่าเท่ากับ 851.77 nm เมื่อเทียบกับชิ้นงานที่ขัดด้วยกระดาษทรายที่เบอร์ 600, 1000 และขัด Polishing ซึ่งมีค่าความขรุขระเท่ากับ 639.19, 513.36 และ 376.07 nm ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบระหว่างการขัดด้วยกระดาษทรายที่เบอร์ 800 กับ 1000 และขัด Polishing ตามด้วยการกัดกรด จะเห็นว่าการขัดด้วยกระดาษทรายเบอร์ 800 จะมีความขรุขระมากกว่า เนื่องจากกระดาษทรายเบอร์ 1000 และการขัด Polishing จะทำให้ผิวชิ้นงานเรียบเนื่องจากมีอนุภาคทราย และผงอลูมินาที่มีขนาดเล็ก จะเห็นได้ว่าการใช้กระดาษทรายขัดอย่างเดียวถ้าเรียงตามเบอร์ที่มีตัวเลขต่ำจะให้ผิวหยาบกว่ากระดาษทรายที่มีเบอร์สูง [11] แต่อย่างไรก็ตามเมื่อทำการขัดผิวอะลูมิเนียมด้วยกระดาษทรายแล้ว ตามด้วยการกัดกรดในการศึกษานี้ และดำเนินการทำซ้ำ 3 ครั้ง ให้ผลว่า การขัดด้วยกระดาษทรายเบอร์ 800 และตามด้วยการกัดกรดให้ผิวขรุขระมากที่สุด โดยสามารถพิสูจน์ได้ด้วยภาพพื้นผิวชิ้นงานจาก SEM และ AFM ซึ่งการกัด

ด้วยกรดทำให้เพิ่มรอยขรุขระเล็ก ๆ บนผิวเพิ่ม ซึ่งจะส่งผลต่อค่าพลังงานพื้นผิวที่ต่ำลง ทำให้หยดน้ำทำมุมกับพื้นผิวได้มากขึ้น [12]



รูปที่ 4 ภาพ AFM ลักษณะความขรุขระของผิวอะลูมิเนียมที่ผ่านกระบวนการขัดหยาบด้วย (ก) กระดาษทรายเบอร์ 600 (ข) กระดาษทรายเบอร์ 800 (ค) กระดาษทรายเบอร์ 1000 และ (ง) ขัด Polishing

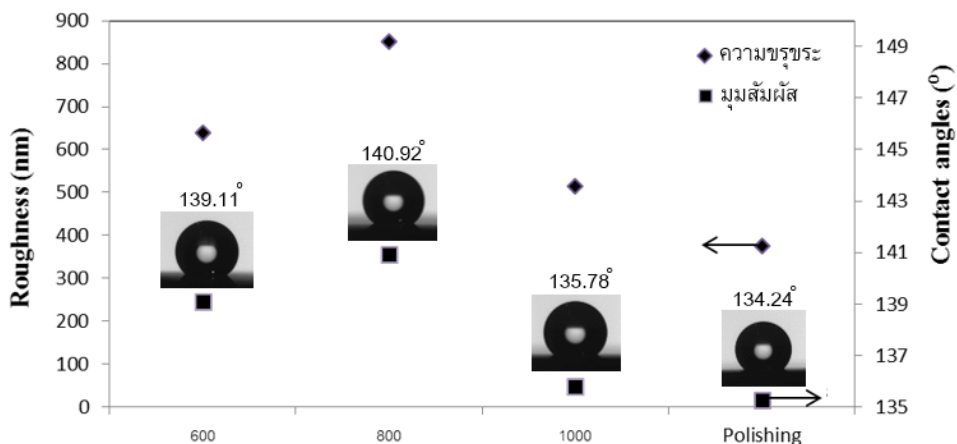
3.3 ผลการวัดมุมสัมผัสของหยดน้ำบนพื้นผิวของอะลูมิเนียม

ผลการวิเคราะห์การวัดมุมสัมผัสของหยดน้ำบนพื้นผิวของอะลูมิเนียม แสดงในรูปที่ 5 จากผลการทดสอบการวัดมุมสัมผัสของหยดน้ำบนพื้นผิวของอะลูมิเนียม ชิ้นงานที่ขัดด้วยกระดาษทรายจนถึงเบอร์ 600, 800, 1000 และขัด Polishing พบว่า มีค่ามุมสัมผัสเฉลี่ย 139.11° , 140.92° , 135.78° และ 134.24° ตามลำดับ จากผลจากการวัดมุมสัมผัสของชิ้นงาน จะเห็นได้ว่าชิ้นงานที่ขัดด้วยกระดาษทรายเบอร์ 600, 1000 และขัด Polishing มีค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำน้อยกว่าชิ้นงานที่ขัดด้วยกระดาษทรายเบอร์ 800 จึงส่งผลให้ค่ามุมสัมผัสของพื้นผิวอะลูมิเนียมมีค่าสูงที่สุด ดังตารางที่ 1 และจากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำกับค่าความขรุขระของพื้นผิวของตัวอย่างที่มีการขัดด้วยกระดาษทรายเบอร์ต่าง ๆ และการขัด Polishing ในรูปที่ 5 จะเห็นได้ว่าเมื่อค่าความขรุขระของพื้นผิวมีค่ามากขึ้น จะส่งผลให้มุมสัมผัสของหยดน้ำมีค่ามากขึ้นด้วย เนื่องจากความขรุขระที่มากขึ้นจะส่งผลให้พลังงานพื้นผิวลดลง [2, 12] โดยพื้นผิวของอะลูมิเนียมที่มีมุมสัมผัสของหยดน้ำที่สูง จะแสดงสมบัติไฮโดรโฟบิกที่ดี ถ้ามุมสัมผัสระหว่างพื้นผิว

กับหยดน้ำมีค่า 90° - 150° ผิวหน้าของวัสดุจะเป็นผิวหน้าที่ไม่ชอบน้ำ และมุมสัมผัสระหว่างพื้นผิวกับหยดน้ำมีค่ามากกว่า 150° ผิวหน้าของวัสดุจะเป็นผิวหน้าที่ไม่ชอบน้ำแบบยิ่งยวด จากการศึกษาครั้งนี้มุมสัมผัสระหว่างพื้นผิวกับหยดน้ำที่ได้มีค่า 140.92° จึงส่งผลให้พื้นผิวของอะลูมิเนียมแสดงสมบัติไม่ชอบน้ำ จากค่ามุมสัมผัสดังกล่าว พื้นผิวที่ได้จะมีสมบัติที่สามารถทำความสะอาดตัวเองได้ [13]

ตารางที่ 1 ค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำกับค่าความขรุขระของพื้นผิวอะลูมิเนียม

ตัวอย่าง	Contact angle ($^{\circ}$)	Roughness (nm)
600	139.11 ± 0.79	639.19 ± 12.05
800	140.92 ± 0.42	851.77 ± 13.39
1000	135.78 ± 1.21	513.36 ± 7.06
Polishing	134.24 ± 0.31	376.07 ± 12.58

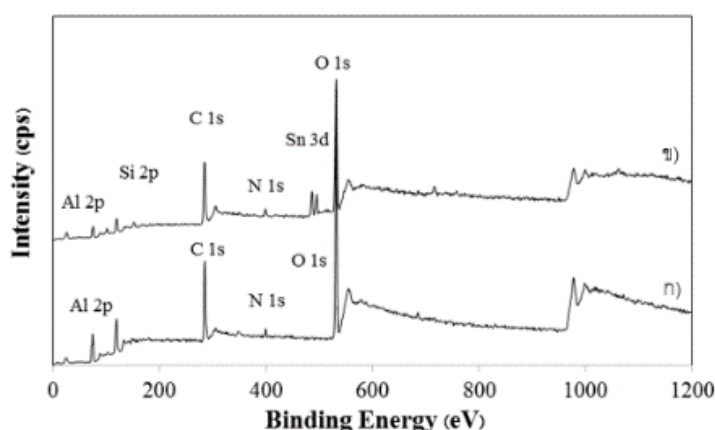


รูปที่ 5 การวัดมุมสัมผัสของน้ำบนพื้นผิวอะลูมิเนียมที่ขัดด้วยกระดาษทรายเบอร์ 600, 800, 1000 และขัด Polishing

3.4 ผลการวิเคราะห์คุณลักษณะของผิวอะลูมิเนียมด้วยเทคนิค XPS

รูปที่ 6 แสดงผลการวิเคราะห์พื้นผิวอะลูมิเนียมที่ไม่ผ่านกระบวนการกัดกรดและอะลูมิเนียมที่ผ่านการขัดด้วยกระดาษทรายเบอร์ 800 และกัดกรด ด้วยเทคนิค XPS ซึ่งจะพบสเปกตรัมของธาตุ O, N, C, Si และ Al บนพื้นผิวอะลูมิเนียมที่ไม่ผ่านกระบวนการกัดกรด (ก) การวิเคราะห์ปริมาณอะตอมของธาตุ พบว่า มีธาตุ O, N, C และ Al ปริมาณ 39.60, 1.74, 38.50 และ 19.63 เปอร์เซ็นต์อะตอม ตามลำดับ โดยปรากฏพีค O 1s, N 1s C 1s และ Al 2p ที่พลังงานยึดเหนี่ยวเท่ากับ

531.10, 399.10, 285.10 และ 74.10 อิเล็กตรอนโวลต์ ตามลำดับ การวิเคราะห์ปริมาณอะตอมของธาตุบนพื้นผิวอะลูมิเนียมที่ผ่านกระบวนการกัดกรด (ข) พบว่า มีธาตุ O, Sn, N, C, Si และ Al ปริมาณ 32.48, 0.92, 3.14, 50.22, 2.90 และ 10.33 เปอร์เซ็นต์อะตอม ตามลำดับ โดยปรากฏพีค O 1s, Sn 3d, N 1s, C 1s, Si 2p และ Al 2p ที่พลังงานยึดเหนี่ยวเท่ากับ 523, 486, 399, 284, 101 และ 75 อิเล็กตรอนโวลต์ ตามลำดับ จากกราฟสเปกตรัม XPS ของอะลูมิเนียมที่กัดด้วยกรดและไม่ได้กัดกรด พบว่า กรดออกซาลิกและกรดไฮโดรคลอริกไม่มีการทำปฏิกิริยาที่พื้นผิวอะลูมิเนียมที่ทำให้เกิดสารประกอบเกิดขึ้นมาใหม่ที่มีส่วนประกอบของธาตุที่ใช้ในการกัดกรด [10]



รูปที่ 6 กราฟสเปกตรัม XPS ของ (ก) อะลูมิเนียมที่ไม่ผ่านกระบวนการกัดกรด และ (ข) อะลูมิเนียมที่ผ่านกระบวนการกัดกรด

4. สรุปผลการวิจัย

การปรับพื้นผิวอะลูมิเนียม เกรด 6061 ให้มีพื้นผิวที่สามารถทำความสะอาดตัวเองได้ ด้วยวิธีทางกลและทางเคมี วิธีทางกลทำโดยการขัดด้วยกระดาษทรายเบอร์ต่าง ๆ จนถึงเบอร์ 600, 800, 1000 และขัด Polishing และวิธีทางเคมีทำโดยการกัดด้วยกรดไฮโดรคลอริกและกรดออกซาลิกเป็นเวลา 14 ชั่วโมง ซึ่งสรุปผลการวิเคราะห์ได้ ดังนี้

4.1 การวิเคราะห์พื้นผิวอะลูมิเนียมด้วยเทคนิค SEM พบว่า ที่กำลังขยาย 5000 เท่า พื้นผิวของชิ้นงานจะเกิดเป็นหลุมขนาดที่ใกล้เคียงกัน ไม่แตกต่างกัน ที่กำลังขยาย 1000 และ 150 เท่า พบว่า ชิ้นงานที่ขัดด้วยกระดาษทรายเบอร์ 600, 800, และ 1000 จะปรากฏรอยขีดของกระดาษทรายบนพื้นผิวของชิ้นงาน ส่วนชิ้นงานที่ขัด Polishing พบว่า มีพื้นผิวที่ละเอียด ไม่มีรอยของกระดาษทรายบนพื้นผิวของชิ้นงาน

4.2 ผลการวิเคราะห์ความขรุขระของพื้นผิวด้วยเทคนิค AFM พบว่า พื้นผิวชิ้นงานมีค่าความขรุขระมาก ทำให้หยตน้ำทำมุมกับพื้นผิวได้มากขึ้นและสอดคล้องกับผลการวัดมุมสัมผัส

ของหยดน้ำบนพื้นผิวอะลูมิเนียม ซึ่งจะเห็นได้ว่าตัวอย่างที่ขัดด้วยกระดาษทรายเบอร์ 800 มีค่าความขรุขระของพื้นผิวที่มากที่สุด ทำให้หยดน้ำทำมุมกับพื้นผิวอะลูมิเนียมมากที่สุด จึงแสดงสมบัติไฮโดรโฟบิกที่ดีที่สุด และผลการวิเคราะห์คุณลักษณะของผิวอะลูมิเนียมด้วยเทคนิค XPS พบว่า ชั้นงานที่ผ่านการกัดกรดไม่เกิดสารประกอบที่เกิดจากการแช่ในกรดออกซาลิกและกรดไฮโดรคลอริก

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยเรื่อง การปรับสภาพผิวอะลูมิเนียมให้สามารถทำความสะอาดตัวเองได้ด้วยวิธีทางกลและกัดด้วยสารเคมี ตามสัญญาเลขที่ FF66-P1-063 ได้รับการสนับสนุนจากกองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ สาขาวิศวกรรมวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน ที่สนับสนุนเอื้อเฟื้อสถานที่และอุปกรณ์ต่าง ๆ ในการวิจัย ขอขอบคุณนางสาวทัศนีย์ ดวงกระโทก และนางสาวปาริชาติ จันทร์กลาง ที่ช่วยดำเนินการและรวบรวมผลในการวิจัยครั้งนี้ จึงขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้ด้วย

References

- [1] Kamaraj AB, Shaw V, Sundaram MM. Novel fabrication of un-coated super-hydrophobic aluminum via pulsed electrochemical surface modification. *Procedia Manufacturing* 2015;1:892-903.
- [2] Solga A, Cerman Z, Striffler BF, Spaeth M, Barthlott W. The dream of staying clean: Lotus and biomimetic surfaces. *Bioinspiration & Biomimetics* 2007;2(4):S126-34.
- [3] Bhushan B, Biomimetics: lessons from nature—an overview. *Philosophical Transaction of the Royal Society A* 2009;367:1445-86.
- [4] Basso M, Colusso E, Tancon M, Bortolin S, Mirafiori M, Guglielmi M, et al. Hydrophobic hybrid silica sol-gel coating on aluminium: Stability evaluation during saturated vapour condensation. *Journal of Non-Crystalline Solids: X* 2023;17:100143.
- [5] Varshney P, Mohapatra SS, Kumar A. Superhydrophobic coatings for aluminium surfaces synthesized by chemical etching process. *International Journal of Smart and Nano Materials* 2016;7(4):248-64.
- [6] Esmaeilirad A, Rukosuyev MV, Jun MB, Veggel FC. A cost- effective method to create physically and thermally stable and storable super-hydrophobic aluminum alloy surfaces. *Surface and Coatings Technology* 2016;285:227-34.

- [7] Wang H, Wei Y, Liang M, Hou L, Li Y, Guo C. Fabrication of stable and corrosion-resisted super-hydrophobic film on Mg alloy. Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects 2016;509:351-8.
- [8] Gnedenkov SV, Sinebryukhov SL, Egorkin VS, Vyaliy IE. Wettability and electrochemical properties of the highly hydrophobic coatings on PEO-pretreated aluminum alloy. Surface and Coatings Technology 2016;307(Pt C):1241-8.
- [9] Zhu J, Hu XF. A novel and facile fabrication of superhydrophobic surfaces on copper substrate via machined operation. Materials Letters 2017;190:115-8.
- [10] Wu R, Liang S, Pan A, Yuan Z, Tang Y, Tan X, et al. Fabrication of nano-structured super-hydrophobic film on aluminum by controllable immersing method. Applied Surface Science 2012;258(16):5933-7.
- [11] Tabrizi SS. Effect of mechanical abrasion on oil/water contact angle in metals [thesis]. Milwaukee, Wisconsin: University of Wisconsin–Milwaukee; 2012.
- [12] Fu X, He X. Fabrication of super-hydrophobic surfaces on aluminum alloy substrates. Applied Surface Science 2008;255(5Pt1):1776-81.
- [13] Kongsong P, Hasook C, Changpru C, Sangchay W, Konkunhot N. Effect of different chemical etching solutions on physical and chemical surface properties of commercially pure titanium grade 2. Journal of Materials Engineering and Performance 2023;32:5060-71.

ประวัติผู้เขียนบทความ



ผศ.ดร. พีรวัส คงสง สาขาวิศวกรรมวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน เลขที่ 744 ต.ในเมือง อ.เมือง จ.นครราชสีมา 30000 หมายเลขโทรศัพท์ 044-233-073 ต่อ 3352 โทรศัพท์มือถือ 085-7884988 โทรสาร 044-233074 E-Mail: physics_psu@windowslive.com

คุณวุฒิ: วศ.ด. วิศวกรรมวัสดุ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ 2558, วศ.ม. วิศวกรรมวัสดุ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ 2554, วท.บ. ฟิสิกส์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ 2551

งานที่สนใจ : Superhydrophobicity/Superhydrophilicity, Micro/Nano particles, Droplet, spray and sol-gel technologies, Photocatalytic Materials, Nano-Materials, Self-Cleaning Materials, Surface Engineering



ดร. กนกอร นัยเล็ก สาขาวิศวกรรมวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน เลขที่ 744 ต.ในเมือง อ.เมือง จ.นครราชสีมา 30000 หมายเลขโทรศัพท์ 044-233-073 ต่อ 3352 โทรศัพท์มือถือ 086-2843427 โทรสาร 044-233074 E-Mail: kanokon.nu@rmuti.ac.th

คุณวุฒิ: Ph. D. Materials Sciences and Technologies, University of Miskolc, Hungary 2564, วศ.ม. วิศวกรรมวัสดุ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ 2551, วศ.บ. วิศวกรรมวัสดุ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ 2548 งานที่สนใจ: การสังเคราะห์วัสดุด้วยเทคนิคทาง เคมี/ความร้อน วัสดุผสม วัสดุนาโน โลหะวิทยา การวิเคราะห์และทดสอบ สมบัติทางเคมี/กายภาพ/เชิงกลของวัสดุ



รศ.ดร.มาหามะฮ์ไฮมี มะแซ สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย เลขที่ 1 ต. บ่อยาง อ. เมือง จ. สงขลา 90000 หมายเลขโทรศัพท์ 074-324246, 074-316260-3 ต่อ 1205 โทรศัพท์มือถือ 089-6540828, 088-3590728 โทรสาร 074-326492 E-Mail: susumeme1983@yahoo.com

คุณวุฒิ: วศ.ด. วิศวกรรมวัสดุ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ 2554, วศ.ม. วิศวกรรมวัสดุ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ 2550, วศ.บ. วิศวกรรมวัสดุ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ 2549

งานที่สนใจ: Experimental diagnostics in micro/nanoscale systems, Multifunctional ceramic composite coatings, Nanoparticle colloidal suspensions, Conventional and advanced ceramic, Superhydrophobicity/ Superhydrophilicity, Micro/Nano particles, Droplet, spray and sol-gel technologies, Recycle material, Fluid/particle intercalation in molecular structure

Article History:

Received: June 15, 2023

Revised: December 1, 2023

Accepted: December 4, 2023

การศึกษากระบวนการผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงจากขยะพลาสติก
ด้วยเครื่องปฏิกรณ์แบบหุ้มฉนวนใยเซรามิกและไม่มีฉนวนหุ้ม
STUDY OF FUEL OIL PRODUCTION PROCESS FROM PLASTIC WASTE
WITH REACTOR CERAMIC FIBER INSULATED AND NON-INSULATED

สุพัตรา บุตรเสรีชัย¹ และ วรเชษฐ์ แสงสีดา²

^{1,2}อาจารย์, โครงการจัดตั้งคณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม

มหาวิทยาลัยราชภัฏชัยภูมิ 167 ต.นาฝาย อ.เมือง จ.ชัยภูมิ 36000,

¹pla.supattra.cpru@gmail.com, ²w.sangsida@hotmail.com

Supattra Budsareechai¹ and Worachate Sangsida²

^{1,2}Lecturer, Establishment Project of The Faculty of Engineering, Chaiyaphum Rajabhat

University, 167 Nafai Subdistrict, Mueang District, Chaiyaphum, 36000, Thailand,

¹pla.supattra.cpru@gmail.com, ²w.sangsida@hotmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเขียนแบบ ปรับปรุง และสร้างเครื่องเผาขยะพลาสติก เพื่อผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงด้วยเครื่องปฏิกรณ์แบบหุ้มฉนวนใยเซรามิก และไม่มีฉนวนหุ้ม โดยใช้ระบบการให้ความร้อนด้วยแก๊สหุงต้ม LPG ซึ่งผลการวิจัยแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ 1) สมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ 2) ผลของเตาปฏิกรณ์ที่หุ้มและไม่หุ้มฉนวนกันความร้อนชนิดเซรามิกไฟเบอร์ เพื่อวิเคราะห์ผลของอุณหภูมิ ปริมาณ ความหนาแน่น ค่าความร้อนที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงจากขยะพลาสติก พร้อมกับศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในกระบวนการผลิตเชื้อเพลิงจากขยะพลาสติก ซึ่งพบว่า สีของน้ำมันจากพลาสติกชนิด PP, LDPE และ HDPE มีสีเหลือง สำหรับสีของน้ำมันจาก PS มีสีส้ม โดยที่น้ำมันเชื้อเพลิงจาก PS, PP, LDPE และ HDPE คือ 2.14, 2.19, 2.20 และ 2.21 โดยมีอุณหภูมิระหว่างการเกิดเปลวไฟ คือ 390.3, 385.6, 431.7 และ 422.9 องศาเซลเซียส ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันเชื้อเพลิงตามท้องตลาดทั่วไป พบว่า น้ำมันดีเซล ไม่สามารถจุดติดไฟได้ และ น้ำมันแก๊สโซฮอล์ 91 เกิดเปลวไฟได้สั้นที่สุด อุณหภูมิไฟโรไลซิสที่เกิดอัตราการให้ความร้อนเฉลี่ยที่เหมาะสมอยู่ในช่วงระหว่าง 2.75–6 °C/min ซึ่งทำให้เกิดปฏิกิริยาการสลายโครงสร้างพลาสติกได้อย่างสมบูรณ์ ผลิตภัณฑ์เกิดเป็นเชื้อเพลิงเหลวมากที่สุด ความหนาแน่นของน้ำมันเชื้อเพลิงอยู่ในช่วงระหว่าง 0.698–0.811 g/cm³ และสีของน้ำมันที่ได้มีค่าใกล้เคียง แต่ปริมาตรน้ำมันที่ได้ และค่าความร้อนของน้ำมันเชื้อเพลิงจากเตาที่หุ้มฉนวน

ด้วยเซรามิกไฟเบอร์ความหนา 1 นิ้ว นั้น มีค่าสูงกว่าเตาที่ไม่หุ้มฉนวนซึ่งปริมาณเชื้อเพลิงแก๊ส LPG ที่สูญเสียไปในการให้ความร้อนของเตาน้อยสุดเพียง 0.75 kg เท่านั้น โดยปริมาตรน้ำมันที่ได้ และค่าความร้อน จากขยะพลาสติก PS มีสูงที่สุด คือ 895 ml หรือร้อยละผลผลิตที่ได้ คือ 89.5% และ 43.67 MJ/kg ตามลำดับ ซึ่งพบว่า องค์ประกอบแบบประมาณต่าง ๆ เหล่านี้ มีค่าอยู่ใน ช่วงเดียวกับงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ดังนั้น กระบวนการผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงจากขยะพลาสติก ด้วย เครื่องปฏิกรณ์แบบหุ้มฉนวนใยเซรามิก มีความเหมาะสมที่นำมาเป็นเครื่องมือในการผลิตน้ำมัน เชื้อเพลิงจากขยะพลาสติก เนื่องจากประหยัดพลังงานมากกว่า และได้ผลิตภัณฑ์น้ำมันเชื้อเพลิง เพิ่มขึ้น เพื่อเป็นเชื้อเพลิงทางเลือกหรือทดแทนน้ำมันเชื้อเพลิงที่จำหน่ายตามท้องตลาดทั่วไป

คำสำคัญ: เชื้อเพลิงเหลว, เครื่องปฏิกรณ์, ขยะพลาสติก, ไพโรไลซิส, เตาเผาขยะพลาสติก

ABSTRACT

The purpose of this research is to draw up a design, improve and construct a plastic waste incinerator. To produce fuel with a ceramic insulated reactor and not insulated the research results were divided into 2 parts: 1) physical properties of the product, 2) the effect of ceramic fiber insulated and non-insulated reactors. To analyze the effect of temperature, quantity, density, heat generated in the production process of fuel from plastic waste. along with studying the optimum conditions in the production process of fuel from plastic waste. It was found that the color of oil from PP, LDPE and HDPE was yellow, and the color of PS oil was orange. The fuel from PS, PP, LDPE and HDPE were 2.14, 2.19, 2.20 and 2.21, with the temperature between the formation of the flame is 390.3, 385.6, 431.7 and 422.9 degrees Celsius respectively, when compared to general market fuel. Diesel was found to be incapable of igniting and Gasohol 91 had the shortest flame duration. The pyrolysis temperature at the optimum average heating rate was between 2.75–6 °C/min, which resulted in complete degradation of the plastic structure. The product is most liquid fuel. The density of the fuel was in the range of 0.698–0.811 g/cm³ and the color of the obtained oil was similar, But the amount of oil and the calorific value of fuel from a furnace insulated with 1inch thick ceramic fiber was only slightly higher than that of a non-insulated furnace where LPG wasted in heating the furnace 0.75 kg by the volume of oil obtained and heat value Of PS plastic waste, the highest was 895 or the percentage of yield was 89.5% and 43.67 MJ/kg, respectively. It was found that these approximate components were in the same range as the relevant research. Therefore, the production process of fuel from plastic waste

with ceramic fiber insulated reactor. It is suitable as a tool to produce fuel from plastic waste, because it saves more energy and obtain more fuel products, to be an alternative fuel or to replace the fuel sold in the general market.

KEYWORDS: liquid fuels, reactors, plastic waste, pyrolysis, plastic waste incinerators

1. บทนำ

พลาสติกเป็นสิ่งที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน รวมทั้งผู้ประกอบการนิยมใช้เป็นบรรจุภัณฑ์สำหรับสินค้าต่าง ๆ เนื่องจากพลาสติกมีคุณสมบัติและรูปทรงที่เอื้อประโยชน์ในการใช้งานได้ตามต้องการ รวมทั้งมีราคาถูกและน้ำหนักเบา ทำให้เกิดความสะดวกต่อการใช้งาน แต่ขยะพลาสติกใช้เวลาในการย่อยสลายตามธรรมชาติจึงก่อให้เกิดมลภาวะกับสิ่งแวดล้อม นอกจากนี้พลาสติกเมื่อเกิดการชำรุดแล้วจะไม่สามารถนำกลับมาใช้ได้อีก ทำให้เกิดความสิ้นเปลืองในการใช้วัตถุดิบ การรีไซเคิลพลาสติกเพื่อนำกลับมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตอีกครั้งจึงเป็นทางเลือกหนึ่งในการลดปัญหาสิ่งแวดล้อมและใช้ทรัพยากรที่มีอยู่มีประสิทธิภาพมากที่สุด อย่างไรก็ตามการนำขยะพลาสติกมารีไซเคิล เพื่อนำมาแปรรูปเป็นเม็ดพลาสติก ซึ่งในกระบวนการเตรียมพลาสติกเพื่อรีไซเคิลต้องผ่านกระบวนการคัดเลือก แยก ตัด บดย่อย ล้าง และการผึ่งแห้ง ซึ่งมีของเสียจากกระบวนการที่เป็นตะกอนพลาสติก ซึ่งไม่สามารถนำกลับไปใช้ได้อีกจำนวนมาก เป็นสาเหตุนำไปสู่การเกิดมลพิษของขยะจำพวกไมโครพลาสติกที่มีขนาดเล็กกว่า 5 มิลลิเมตร และไม่สามารถย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติ เมื่อปนเปื้อนลงสู่แหล่งน้ำส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตรวมถึงสุขภาพของมนุษย์ เนื่องจากสิ่งมีชีวิตใต้น้ำกินไมโครพลาสติกเข้าไปจะทำให้เกิดการสะสมสารเคมีในร่างกายของสิ่งมีชีวิต ซึ่งเป็นอาหารมนุษย์ ส่งผลต่อการสะสมของสารเคมีในร่างกายมนุษย์เช่นกันเมื่อบริโภคสิ่งมีชีวิตเหล่านั้น หรือวิธีการจัดการโดยการเผาพร้อมกับขยะชุมชน ทำให้เกิดมลพิษทางอากาศ ฝุ่นผง และโลหะหนักต่าง ๆ โดยเฉพาะถ้าตะกอนพลาสติกเหล่านั้นมีการปนเปื้อน ซึ่งส่งผลกระทบต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อมโดยตรง การกำจัดขยะพลาสติกด้วยวิธีการฝังกลบหรือการนำไปเผาทำลายแล้วจะส่งผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมได้โดยตรงต่อระบบนิเวศโดยทั่วไป ดังนั้น การค้นหาวิธีการที่สามารถจัดการกับขยะพลาสติกโดยก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด จะเป็นแนวทางของการแก้ปัญหาขยะพลาสติกในปัจจุบันและในอนาคต ซึ่งการจัดการกับขยะพลาสติกด้วยองค์ความรู้ทางวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์ในการแปรรูปขยะพลาสติกให้กลายเป็นพลังงานทดแทนในรูปแบบของก๊าซเชื้อเพลิงและน้ำมันเชื้อเพลิงได้ ด้วยกระบวนการที่เรียกว่ากระบวนการพีจีแอล (PGL Process) โดยย่อมาจากกระบวนการย่อย 3 กระบวนการ คือ กระบวนการไพโรไลซิส (Pyrolysis Process) กระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน (Gasification Process) และ กระบวนการลิกวิแฟกชัน (Liquefaction Process) โดยทั้ง

3 กระบวนการมีรูปแบบของหลักการที่คล้ายคลึงกันก็คือ เป็นกระบวนการที่ให้ความร้อนแก่พลาสติก เพื่อเป็นการย่อยสลายโมเลกุลของพลาสติกนั้นให้มีขนาดเล็กลง โดยปราศจากออกซิเจนหรือมีออกซิเจนน้อย ซึ่งแต่ละกระบวนการผลิตนั้นจะมีรายละเอียดของกระบวนการที่มีสภาวะต่าง ๆ ที่แตกต่างกันออกไป

กระบวนการไพโรไลซิสจะให้ก๊าซและน้ำมันเป็นผลิตภัณฑ์ กระบวนการแก๊สซิฟิเคชันจะให้ก๊าซสังเคราะห์และกระบวนการทำลิกวิแฟรชันนั้นน่าจะจะมีการเติมตัวทำละลายเข้าไปในเครื่องปฏิกรณ์ด้วย เพื่อวัตถุประสงค์ในการผลิตน้ำมันเป็นผลิตภัณฑ์หลัก ดังนั้นเป็นแนวทางในการกำจัดขยะพลาสติก และเกิดประโยชน์จากการกำจัดขยะพลาสติกจึงได้เลือกกระบวนการไพโรไลซิส ซึ่งเป็นกระบวนการที่ให้ก๊าซและน้ำมันเป็นผลิตภัณฑ์ มาใช้ในกระบวนการกำจัดขยะพลาสติก และผลจากกระบวนการดังกล่าวจะได้น้ำมันเชื้อเพลิงและลดปริมาณขยะพลาสติกลงรวมทั้งลดความยุ่งยากในการหาหลุมทิ้งขยะแหล่งใหม่ โดยทำการสร้างเครื่องผลิตน้ำมันดิบจากขยะพลาสติก

ดังนั้นผู้วิจัยจึงเล็งเห็นความสำคัญดังกล่าว จึงได้ทำการศึกษา เขียนแบบ และสร้างเครื่องผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงจากขยะพลาสติก พร้อมกับเปรียบเทียบกระบวนการผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงจากขยะพลาสติก ด้วยเครื่องปฏิกรณ์แบบหุ้มฉนวนใยเซรามิคและไม่มีฉนวนหุ้ม เพื่อนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนน้ำมันเชื้อเพลิงที่จำหน่ายตามท้องตลาด เดิมที่มีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิตที่หลากหลาย [1–5] แต่ผู้วิจัยมีความประสงค์ที่พัฒนาให้เกิดความคุ้มค่า ลดเวลาและประหยัดค่าใช้จ่ายให้ได้มากที่สุด มีการปรับปรุงพัฒนาเครื่อง ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีประสิทธิภาพและปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงมากยิ่งขึ้น ใช้งานได้อย่างสะดวกสบาย ลดต้นทุนการผลิตซึ่งสามารถลดค่าใช้จ่ายในส่วนค่าพลังงานโดยใช้วัสดุที่นำมาเป็นฉนวนหุ้มกันความร้อนทำให้ประหยัดพลังงาน เนื่องจาก เตาเผาปฏิกรณ์ที่หุ้มด้วยฉนวนเซรามิคไฟเบอร์มีคุณสมบัติที่ดี คือ เส้นใยมีความยืดหยุ่นดี น้ำหนักเบา สามารถต้านทานความร้อนได้ดีและมีค่าสภาพการนำความร้อนต่ำ แต่ไม่สามารถถูกเปลวไฟได้จึงมีการนำแผ่นสังกะสีมาหุ้มเพื่อไม่ให้ถูกเปลวไฟโดยตรง [6] รวมทั้งให้ความร้อนที่สม่ำเสมอทั่วทุกจุดในเตาปฏิกรณ์มีการกระจายของอุณหภูมิ ภายในเตาเป็นไปอย่างสม่ำเสมอ มีความแตกต่างกันไม่เกิน 20 องศาเซลเซียส มีการสูญเสียความร้อนน้อยกว่าอิฐทนไฟและเตาแบบไม้ฉนวนหุ้ม [7] ส่งผลให้ลดเวลาในกระบวนการผลิตและได้ผลิตภัณฑ์มากขึ้น และได้ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงที่ใกล้เคียงกับน้ำมันเชื้อเพลิงที่จำหน่ายตามท้องตลาด ซึ่งวัตถุดิบหรือขยะพลาสติกที่นำมาใช้ในงานวิจัยคือ เศษขยะพลาสติกที่ไม่สามารถรีไซเคิลได้ ชนิด PP, PS, LDPE และ HDPE ซึ่งเป็นวัตถุดิบที่หาได้ง่ายในกระบวนการผลิตเม็ดพลาสติกรีไซเคิลหรือขยะพลาสติกทั่วไป เพื่อเป็นการส่งเสริมรายได้ให้กับชุมชนหรือผู้ประกอบการผลิตเม็ดพลาสติกรีไซเคิล ตอบสนองนโยบายการใช้พลังงานทดแทนเพื่อความมั่นคงทางด้านพลังงานในประเทศต่อไป

2. อุปกรณ์และวิธีดำเนินการวิจัย

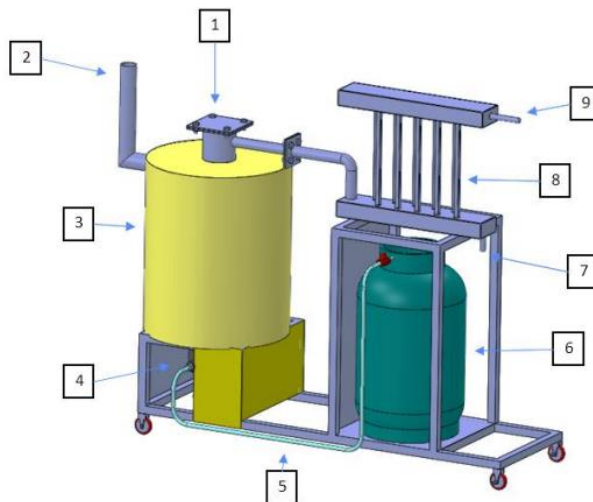
งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษา เขียนแบบ สร้าง และเปรียบเทียบกระบวนการผลิตเชื้อเพลิงจากขยะพลาสติกด้วยเครื่องปฏิกรณ์แบบหุ้มฉนวนใยเซรามิกและไม่มีฉนวนหุ้ม เพื่อนำผลิตภัณฑ์ที่ได้ไปใช้เป็นเชื้อเพลิงทางเลือกหรือทดแทนน้ำมันเชื้อเพลิงที่จำหน่ายตามท้องตลาดทั่วไป ซึ่งมีรายละเอียดของการเขียนแบบเครื่อง การเตรียมวัตถุดิบ อุปกรณ์และวิธีดำเนินการวิจัย ดังนี้

2.1 การเขียนแบบเครื่อง

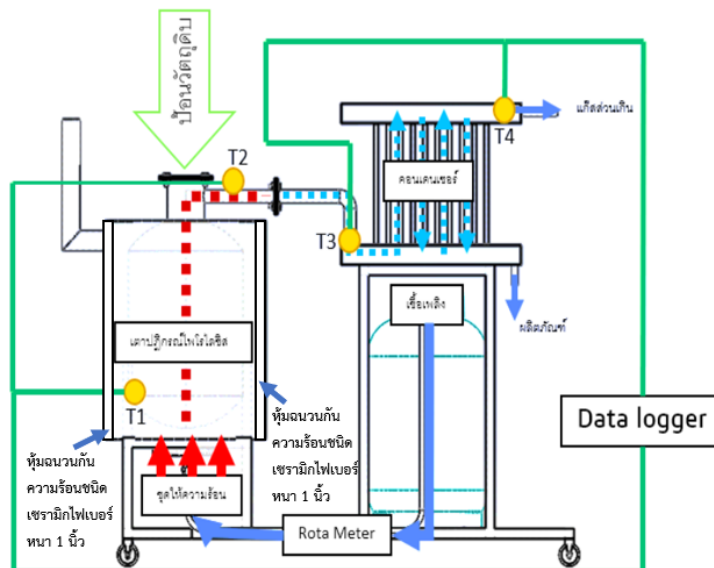
คณะผู้วิจัยได้ดำเนินการเขียนแบบและสร้างเครื่องเผาขยะพลาสติกเพื่อผลิตน้ำมัน โดยใช้โปรแกรม SOLIDWORKS ซึ่ง ในการเขียนแบบและสร้างนั้นทางผู้จัดทำเน้นในส่วนของคุณภาพลดภัยมาเป็นอันดับแรก ความแข็งแรงโครงสร้าง ทนทาน ใช้งานได้ง่าย และทำการเขียนแบบให้เหมาะสมกับชุมชน เพื่อให้ชุมชน หรือผู้ที่สนใจเข้าใจวิธีการสร้างเครื่องและหลักการของระบบได้ง่าย ดังรูปที่ 1 เมื่อหมายเลข 1 คือ ทางป้อนวัตถุดิบ หมายเลข 2 คือ ท่อระบายความร้อน หมายเลข 3 คือ เตาปฏิกรณ์ไพโรไลซิสทำจากถังเหล็กหนาและหุ้มด้วยถังเหล็กหนาอีกชั้น โดยชั้นกลางหุ้มฉนวนกันความร้อนด้วยเซรามิกไฟเบอร์ หมายเลข 4 คือ ชุดให้ความร้อน หมายเลข 5 คือ โครงสร้าง หมายเลข 6 คือ ถังเชื้อเพลิงโดยใช้แก๊ส LPG เป็นเชื้อเพลิงในการเผาไหม้ หมายเลข 7 คือ จุ๊ตรับผลิตภัณฑ์ที่ควบแน่นเป็นของเหลว หมายเลข 8 คือ การหล่อเย็น และ หมายเลข 9 คือ ช่องระบายแก๊สที่ไม่สามารถควบแน่นได้

สำหรับหลักการทำงานของเครื่องเผาขยะพลาสติกเพื่อผลิตน้ำมันเชื้อเพลิง ดังรูปที่ 2 คือ กระบวนการในการไพโรไลซิสด้วยเครื่องเผาขยะพลาสติกเพื่อผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงนั้น เครื่องต้นแบบเครื่องเผาขยะพลาสติกเพื่อผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงแบบประหยัดพลังงาน โดยเตาชั้นกลางถูกหุ้มด้วยฉนวนเซรามิกไฟเบอร์เพื่อลดการสูญเสียความร้อน ซึ่งเริ่มต้นจากนำไมโครขยะพลาสติก ขยะพลาสติกที่ผ่านการสับ หรือตัดละเอียดแล้ว บรรจุลงในถังชั้นในที่เป็นถังเตาปฏิกรณ์ไพโรไลซิสโดยวัตถุดิบมีปริมาณ 1 กิโลกรัม หลังจากนั้นปิดฝาเตาปฏิกรณ์ไพโรไลซิสชั้นนอกล้างให้สนิทตรวจสอบความเรียบร้อย แล้วจุดแก๊ส LPG ให้ความร้อน เพื่อให้เกิดกระบวนการไพโรไลซิสด้วยอุณหภูมิสูง ที่อัตราการให้ความร้อนเฉลี่ยประมาณ $3-6^{\circ}\text{C}/\text{min}$ ซึ่งจะทำให้เกิดการสลายและแตกตัวของพอลิเมอร์ที่เหมาะสม [5] โดยไอร้อนจากเตาปฏิกรณ์ระเหยขึ้นมาถูกควบแน่นในส่วนคอนเดนเซอร์ ซึ่งกระบวนการหล่อเย็นนั้นจะใช้น้ำที่อุณหภูมิห้อง และใช้ปั๊มน้ำในการไหลเวียนของน้ำอย่างต่อเนื่อง เพื่อให้เกิดการควบแน่นได้อย่างมีประสิทธิภาพ สำหรับการจัดการแก๊สที่ควบแน่นไม่ได้ ได้นั้นทำการปล่อยผ่านช่องระบายแก๊สตามหมายเลข 9 โดยต่อท่อเหล็กขึ้นไปในแนวตั้งที่มีความสูง 3 เมตร เพื่อปล่อยแก๊สออกสู่บรรยากาศ ด้วยความปลอดภัย

โดยมีการพาความร้อนแบบธรรมชาติของอากาศที่อุณหภูมิห้อง ทำการบันทึกอุณหภูมิการไพโรไลซิสภายใน ถึงปฏิกรณ์ไพโรไลซิส (T_1 - T_4) อุณหภูมิการไพโรไลซิสเฉลี่ย 400–500 °C ด้วย Data logger ตามที่ระบุไว้ดังรูปที่ 2 หลังจากนั้นเก็บผลิตภัณฑ์ตัวอย่างของเหลวที่ควบแน่นได้นำไปวิเคราะห์ผลต่อไป



รูปที่ 1 แบบเครื่องเผาขยะพลาสติกเพื่อผลิตน้ำมัน



รูปที่ 2 กระบวนการในการไพโรไลซิสด้วยเครื่องเผาขยะพลาสติกเพื่อผลิตน้ำมัน

2.2 การเตรียมวัตถุดิบ

ทำความสะอาดขยะพลาสติก และล้างน้ำหนักพลาสติกชนิดที่จะนำมาทดลอง ในที่นี้จะทดลองด้วยน้ำหนักขยะพลาสติก 1 กิโลกรัม โดยวัตถุดิบที่ใช้ในการทดลองเพื่อผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงนั้นต้องทำการตัดหรือเข้าเครื่องสับพลาสติกให้มีขนาดเฉลี่ยประมาณ 5×5 cm ขยะพลาสติกที่ผ่านการย่อยและเป็นพลาสติก ดังรูปที่ 3 ตัวอย่างขยะพลาสติก ได้แก่ (ก) พลาสติกชนิด HDPE เป็นพลาสติกที่สามารถพบได้ในชีวิตประจำวัน เช่น ถังดัก ถังหิ้ว ขวดต่างๆที่มีลักษณะเป็นสีขุ่น เช่น ขวดแชมพู ขวดนม ขวดน้ำกรด เป็นต้น รวมไปถึง ฝาขวดน้ำดื่ม (ข) พลาสติกชนิด LDPE เป็นพลาสติกที่สามารถพบเห็นได้ทั่วไปในชีวิตประจำวันเช่น ขวด บิบ फिल्मหัด หรือจะเป็นถุง เป็นต้น (ค) พลาสติกชนิด PP เป็นพลาสติกที่สามารถพบได้ในชีวิตประจำวัน เช่น แก้วพลาสติกชนิด PP ถ้วยร้อนขนาดต่างๆ กล่องข้าวอุ่นร้อน ช้อนช้อมพลาสติก หลอด เป็นต้น (ง) พลาสติกชนิด PS เป็นพลาสติกที่สามารถพบได้ในชีวิตประจำวัน เช่น แก้วพลาสติกที่ใช้แล้วทิ้ง จานหรือถาดพลาสติกใส่อาหาร เป็นต้น



(ก) พลาสติกชนิด HDPE



(ข) พลาสติกชนิด LDPE



(ค) พลาสติกชนิด PP



(ง) พลาสติกชนิด PS

รูปที่ 3 ตัวอย่างขยะพลาสติก

2.3 วิธีการศึกษาคุณสมบัติและเปรียบเทียบกระบวนการผลิตเชื้อเพลิงจากขยะพลาสติก ด้วยเครื่องปฏิกรณ์แบบหุ้มฉนวนใยเซรามิกและไม่มีฉนวนหุ้ม

2.3.1 ทำการบรรจุขยะพลาสติกชนิด HDPE ที่เตรียมไว้ตามรูปที่ 3(ก) จำนวน 1 กิโลกรัม ลงไปในเตาปฏิกรณ์ไพโรลิสแบบไม่หุ้มฉนวนกันความร้อน ที่ช่องป้อนวัตถุดิบหมายเลข 1 ดังรูปที่ 1 แล้ว ปิดฝาให้สนิท

2.3.2 ทำการชั่งปริมาณแก๊ส LPG ก่อนการทดลองเพื่อเก็บข้อมูลเชื้อเพลิงที่ใช้ไปทั้งหมด โดยให้ความร้อนด้วยแก๊สหุงต้ม LPG เป็นเวลา 240 นาที

2.3.3 นำผลิตภัณฑ์ที่ได้ไปวิเคราะห์ผลทางกายภาพและเคมี วิเคราะห์ค่าความร้อน ด้วยเครื่องวิเคราะห์ค่าความร้อนโดยเครื่อง BOMB CALORIMETER (GALLENKAMP Auto bomb) และจุดวาบไฟ ด้วยเครื่องวิเคราะห์จุดวาบไฟ Pensky-Martens Flash Point Tester

2.3.4 ทำการทดลองซ้ำลำดับที่ 1-3 โดยเปลี่ยนขยะพลาสติกเป็นชนิด LDPE PP และ PS ตามลำดับ

2.3.5 ทำการทดลองซ้ำลำดับที่ 1-4 โดยเพิ่มการหุ้มฉนวนกันความร้อนด้วยเซรามิกไฟเบอร์ ความหนา 1 นิ้ว ดังรูปที่ 2 คลุมพื้นผิวภายนอกถึงเตาปฏิกรณ์ไพโรลิส เพื่อทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการใช้เตาปฏิกรณ์ไพโรลิสแบบไม่หุ้มฉนวนกันความร้อน

2.4 วิเคราะห์คุณสมบัติต่าง ๆ ของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการไพโรไลซิส

2.4.1 เก็บตัวอย่างผลิตภัณฑ์ของแข็ง และผลิตภัณฑ์ของเหลวที่ได้จากกระบวนการไพโรไลซิส มาชั่งน้ำหนักเพื่อหาร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ (Yield) โดยสำหรับผลิตภัณฑ์ก๊าซหาได้จากสมการที่ (1) คือ [8, 9]

$$\% \text{ผลิตภัณฑ์ก๊าซ} = 100 - \% \text{ผลิตภัณฑ์ของแข็ง} - \% \text{ผลิตภัณฑ์ของเหลว} \quad (1)$$

2.4.2 การวิเคราะห์ความหนาแน่นของน้ำมันเชื้อเพลิงจากขยะพลาสติก (Density) ทำได้โดยการนำไปชั่งน้ำหนักเป็นกรัมต่อหน่วยปริมาตรมิลลิลิตร โดยการเติมผลิตภัณฑ์ลงในขวดวัดความหนาแน่นขนาด 25 มิลลิลิตร จากนั้นนำมาชั่งเพื่อหาน้ำหนักที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส [10]

2.4.3 ค่าความร้อน (Heating value) ของผลิตภัณฑ์ ซึ่งวิเคราะห์ตามมาตรฐาน DIN 51900 โดยใช้เครื่อง Art.2060/2070 Bomb calorimeter (GALLENKAMP Auto bomb) เริ่มต้นจากการชั่งน้ำหนักผลิตภัณฑ์ 1 กรัมต่อการทดลอง ซึ่งการทดลองแสดงผลออกมาเป็นหน่วยเมกะจูลต่อกิโลกรัม

3. ผลการศึกษา

ผลการวิจัยแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ 1) สมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ 2) ผลของเตาปฏิกรณ์ที่หุ้มและไม่หุ้มฉนวนกันความร้อนชนิดเซรามิคไฟเบอร์ เพื่อวิเคราะห์ผลของอุณหภูมิ ปริมาณ ความหนาแน่น ค่าความร้อนที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงจากขยะพลาสติก โดยมีรายละเอียดดังนี้

3.1 สมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์

จากตารางที่ 1 พบว่าน้ำมันที่ได้จาก PP, LDPE และ HDPE ที่มีสีเหลือง และน้ำมันที่ได้จาก PS มีสีส้ม นั้นมีเวลาที่เกิดเปลวไฟที่ใกล้เคียงกัน เนื่องจากจุดวาบไฟมีค่าใกล้เคียงกัน แต่ลักษณะสีที่แตกต่างกันนั้นเนื่องมาจาก องค์ประกอบของน้ำมันจาก PP, LDPE และ HDPE มีหมู่ฟังก์ชันที่ใกล้เคียงกัน สอดคล้องและใกล้เคียงกับงานวิจัยของ Budsareechai et al [1] การจุดติดไฟที่อุณหภูมิห้อง โดยปริมาตรของผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในการทดสอบ คือ 1 มิลลิลิตร พบว่า น้ำมันดีเซลไม่สามารถติดไฟได้ และ น้ำมันแก๊สโซฮอล์ 91 เกิดเปลวไฟได้สั้นที่สุด ตามด้วย PS, PP, LDPE และ HDPE คือ 0.44, 2.14, 2.19, 2.20 และ 2.21 ตามลำดับ โดยมีอุณหภูมิระหว่างการเกิดเปลวไฟ คือ 242, 390.3, 385.6, 431.7 และ 422.9 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ซึ่งอุณหภูมิที่จุดติดไฟ คือ อุณหภูมิซึ่งความร้อนที่เกิดจากการเผาไหม้มากกว่า ความร้อนที่สูญเสียไปกับสิ่งแวดล้อม สำหรับการเกิดควันทัน้ำมันนั้น พบว่า พลาสติกชนิด PS และ น้ำมันแก๊สโซฮอล์ 91 จะเกิดควันทันมากกว่า PP, HDPE, LDPE และจุดวาบไฟ (Flash Point) ของผลิตภัณฑ์ อยู่ในช่วง 40–54 องศาเซลเซียส โดยจุดวาบไฟ คือ อุณหภูมิต่ำสุด ที่ทำให้ของเหลวกลายเป็นไอระเหยออกมา พร้อมทั้งจะเริ่มตันลุกไหม้ขึ้นเมื่อไอระเหยนี้ผสมกับอากาศในสัดส่วนที่พอดี และมีแหล่งกำเนิดไฟจะสามารถจุดติดไฟได้ นั้นซึ่งจุดวาบไฟของน้ำมันดีเซล น้ำมันแก๊สโซฮอล์ 91 น้ำมันจากพลาสติก PS, PP, LDPE, และ HDPE คือ 54, 40, 47, 48, 48 และ 48 ตามลำดับ ซึ่งน้ำมันดีเซลมีค่าสูงที่สุดคือ 54 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่สูงกว่าอุณหภูมิห้องที่จะทำให้ติดไฟได้ โดยอุณหภูมิห้องที่ทำการทดลองการจุดติดไฟอยู่ในช่วง 38-40 องศาเซลเซียส จึงทำให้น้ำมันดีเซลดังกล่าวไม่สามารถจุดติดไฟที่อุณหภูมิห้องได้ ซึ่งมีค่าสอดคล้องกับ ประกาศกรมธุรกิจ เรื่องการกำหนดลักษณะคุณภาพของน้ำมันดีเซล [11] ซึ่งมีค่าความร้อนเทียบเท่าน้ำมันเชื้อเพลิงและในเบื้องต้นกากไขพลาสติกที่ได้มีความปลอดภัย โดยเมื่อตั้งทิ้งไว้ในห้องปฏิบัติการ พบว่า ไม่สามารถติดไฟได้เอง ซึ่งค่าที่ได้สอดคล้องและใกล้เคียงกับงานวิจัยของ Budsareechai et al [1]

ตารางที่ 1 สมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ ปริมาณที่นำมาทดสอบคือ 1 มิลลิลิตร

ตัวอย่าง ผลิตภัณฑ์	ลักษณะสีของ น้ำมันที่ได้	เวลาที่เกิด เปลวไฟ (วินาที)	อุณหภูมิ ระหว่างเกิด เปลวไฟ (°C)	ลักษณะของเปลวไฟ	จุดวาบ ไฟ (°C)
น้ำมันจาก พลาสติก HDPE	เหลือง 	2.21	422.9	 เกิดควัน ติดไฟได้ดี เปลวไฟมีสีส้ม	50
น้ำมันจาก พลาสติก LDPE	เหลือง 	2.20	431.7	 เกิดควัน ติดไฟได้ดี เปลวไฟมีสีส้ม	50
น้ำมันจาก พลาสติก PP	เหลือง 	2.19	385.6	 เกิดควัน ติดไฟได้ดี เปลวไฟมีสีส้ม	50
น้ำมันจาก พลาสติก PS	ส้ม 	2.14	390.3	 เกิดควันมากกว่า PP HDPE LDPE แต่ติดไฟ ได้ดีมาก เปลวไฟมีสีส้ม	47

ตารางที่ 1 สมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ ปริมาตรที่นำมาทดสอบคือ 1 มิลลิลิตร (ต่อ)

ตัวอย่าง ผลิตภัณฑ์	ลักษณะสีของ น้ำมันที่ได้	เวลาที่เกิด เปลวไฟ (วินาที)	อุณหภูมิ ระหว่างเกิด เปลวไฟ (°C)	ลักษณะของเปลวไฟ	จุดวาบ ไฟ (°C)
น้ำมัน แก๊สโซฮอล์ 91		0.44	242	 มีควันมากกว่า PP HDPE LDPE แต่น้อย กว่า PS ติดไฟดีมาก เปลวไฟมีสีส้ม	40
น้ำมันดีเซล	ไม่สามารถจุดติดไฟที่อุณหภูมิห้องได้				54

3.2 ผลของเตาปฏิกรณ์ที่หุ้มและไม่หุ้มฉนวนกันความร้อนชนิดเซรามิคไฟเบอร์ในกระบวนการผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงจากขยะพลาสติก

จากตารางที่ 2 ผลของการหุ้มและไม่หุ้มฉนวนกันความร้อนชนิดเซรามิคไฟเบอร์หนา 1 นิ้ว ในเตาปฏิกรณ์ โดยใช้ขยะพลาสติกเริ่มต้น 1 กิโลกรัมต่อรอบ ทดลองที่เวลา 240 นาที พบว่า อุณหภูมิไฟโรไลซิสเกิดอัตราการให้ความร้อนเฉลี่ยที่เหมาะสมอยู่ในช่วงระหว่าง 2.75–6 °C/min ทำให้เกิดปฏิกิริยาการสลายโครงสร้างพลาสติกได้อย่างสมบูรณ์ [5] มีปริมาณ ความหนาแน่นที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงจากขยะพลาสติกที่ไม่สามารถรีไซเคิล มีสีของน้ำมันที่ได้มีค่าใกล้เคียงกัน ซึ่งปริมาณน้ำมันที่ได้ และค่าความร้อนของน้ำมันเชื้อเพลิงจากเตาที่หุ้มฉนวนด้วยเซรามิคไฟเบอร์ความหนา 1 นิ้ว มีค่าสูงกว่าเตาที่ไม่หุ้มฉนวนด้วยเซรามิคไฟเบอร์ความหนา 1 นิ้ว เนื่องจากฉนวนกันความร้อน สามารถกักเก็บความร้อน ลดการสูญเสียความร้อน [12] ส่งผลให้ใช้ปริมาณเชื้อเพลิงแก๊ส LPG ในการให้ความร้อนของเตาน้อยที่สุดเพียง 0.75 kg โดยปริมาตรน้ำมันที่ได้ และค่าความร้อน จากขยะพลาสติก PS มีสูงที่สุด คือ 895 หรือร้อยละผลผลิตที่ได้ คือ 89.5% และ 43.67 MJ/kg ตามลำดับ ซึ่งพบว่า องค์ประกอบแบบประมาณต่าง ๆ เหล่านี้ มีค่าอยู่ในช่วงเดียวกับงานวิจัย [1–5]

ตารางที่ 2 ผลของเตาปฏิกรณ์ที่หุ้มและไม่หุ้มฉนวนกันความร้อนชนิดเซรามิคไฟเบอร์ในกระบวนการผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงจากขยะพลาสติก เมื่อน้ำหนักพลาสติก 1 กิโลกรัมต่อรอบ ที่เวลา 240 นาที

รายการทดสอบ	เตาหุ้มฉนวนกันความร้อนชนิดเซรามิคไฟเบอร์หนา 1 นิ้ว							
	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒
	ไม่ใช้	ใช้	ไม่ใช้	ใช้	ไม่ใช้	ใช้	ไม่ใช้	ใช้
	น้ำมัน จากHDPE		น้ำมัน จาก LDPE		น้ำมัน จาก PP		น้ำมัน จาก PS	
อุณหภูมิที่เริ่มเกิดน้ำมัน (°C)	475	400	440	343	438	347	445	344
heating rate (°C /min)	2.75	3.75	4.35	4.45	3.6	4.2	5.3	5.9
ปริมาตรน้ำมันที่ได้ (ml)	700	850	750	830	785	885	775	895
ร้อยละน้ำมันที่ได้โดยปริมาตร	70.0	85.0	75.0	83.0	78.5	88.5	77.5	89.5
ผลิตภัณฑ์ที่เหลือโดยประมาณ (g)	195	145	164	115	0	0	80	50
ความหนาแน่น (g/cm ³)	0.695	0.689	0.685	0.673	0.725	0.698	0.830	0.811
ค่าความร้อน (MJ/kg)	38.15	39.45	41.26	42.46	41.52	42.28	42.75	43.63
เชื้อเพลิงแก๊ส LPG ที่ใช้ (kg)	1.25	0.85	1.15	0.80	0.95	0.8	0.95	0.75

4. สรุปผลการวิจัย

การศึกษาของงานวิจัยนี้ได้เขียนแบบ และสร้างเครื่องเผาขยะพลาสติก เพื่อผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงด้วยเครื่องปฏิกรณ์แบบหุ้มฉนวนใยเซรามิก และไม่มีฉนวนหุ้ม โดยใช้ระบบการให้ความร้อนด้วยแก๊สหุงต้ม LPG พร้อมกับศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในกระบวนการผลิตเชื้อเพลิงจากขยะพลาสติก ซึ่งพบว่า สีของน้ำมันจากพลาสติกชนิด PP, LDPE และ HDPE มีสีเหลือง สำหรับสีของน้ำมันจาก PS มีสีส้ม โดยที่น้ำมันเชื้อเพลิงจาก PS, PP, LDPE และ HDPE คือ 2.14, 2.19, 2.20 และ 2.21 โดยมีอุณหภูมิระหว่างการเกิดเปลวไฟ คือ 390.3, 385.6, 431.7 และ 422.9 องศาเซลเซียส ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันเชื้อเพลิงตามท้องตลาดทั่วไป พบว่า น้ำมันดีเซลไม่สามารถจุดติดไฟได้ และน้ำมันแก๊สโซฮอล์ 91 เกิดเปลวไฟได้สั้นที่สุด อุณหภูมิไฟโรไลซิสที่เกิดอัตราการให้ความร้อนเฉลี่ยที่เหมาะสมอยู่ในช่วงระหว่าง 2.75–6 °C/min ซึ่งทำให้เกิดปฏิกิริยาการสลายโครงสร้างพลาสติกได้อย่างสมบูรณ์ ผลิตภัณฑ์เกิดเป็นเชื้อเพลิงเหลวมากที่สุด ความหนาแน่นของน้ำมันเชื้อเพลิงอยู่ในช่วงระหว่าง 0.698–0.811 g/cm³ และสีของน้ำมันที่ได้มีค่าใกล้เคียงกัน แต่ปริมาณน้ำมันที่ได้ และค่าความร้อนของน้ำมันเชื้อเพลิงจากเตาที่หุ้มฉนวนด้วยเซรามิกไฟเบอร์ความหนา 1 นิ้ว มีค่าสูงกว่าเตาที่ไม่หุ้มฉนวนด้วยเซรามิกไฟเบอร์ความหนา 1 นิ้ว ปริมาณเชื้อเพลิงแก๊ส LPG ที่สูญเสียไปในการให้ความร้อนของเตาน้อยสุดเพียง 0.75 kg โดยปริมาตรน้ำมันที่ได้ และค่าความร้อน จากขยะพลาสติก PS มีสูงที่สุด คือ 895 หรือร้อยละผลผลิตที่ได้ คือ 89.5% และ 43.67 MJ/kg ตามลำดับ จุดวาบไฟของน้ำมันดีเซล น้ำมันแก๊สโซฮอล์ 91 น้ำมันจากพลาสติก PS PP LDPE และ HDPE คือ 54, 40, 47, 48, 48, และ 48 ตามลำดับ ซึ่งน้ำมันดีเซลมีค่าสูงที่สุดคือ 54 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่สูงกว่าอุณหภูมิห้องที่จะทำให้ติดไฟได้ โดยอุณหภูมิห้องที่ทำการทดลองการจุดติดไฟอยู่ในช่วง 38-40 องศาเซลเซียส จึงทำให้น้ำมันดีเซลดังกล่าวไม่สามารถจุดติดไฟที่อุณหภูมิห้องได้ โดยองค์ประกอบแบบประมาณต่าง ๆ เหล่านี้ มีค่าอยู่ในช่วงเดียวกับงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง [1–5] ดังนั้น กระบวนการผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงจากขยะพลาสติก ด้วยเครื่องปฏิกรณ์แบบหุ้มฉนวนใยเซรามิก มีความเหมาะสมที่นำมาเป็นเครื่องมือในการผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงจากขยะพลาสติก ประหยัดพลังงาน และได้ผลิตภัณฑ์น้ำมันเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้น เพื่อเป็นเชื้อเพลิงทางเลือกหรือทดแทนน้ำมันเชื้อเพลิงที่จำหน่ายตามท้องตลาดทั่วไป

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณทุนอุดหนุนจากสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม สนับสนุนงานวิจัยงบประมาณแผ่นดิน (สกว.) ประจำปีงบประมาณ 2565 และ

ขอขอบคุณสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยขอนแก่น และโครงการจัดตั้งคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏชัยภูมิ ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้เครื่องมือต่างๆ

References

- [1] Budsareechai S, Hunt AJ, Ngernyen Y. Catalytic pyrolysis of plastic waste for the production of liquid fuels for engines. RSC Advances 2019;9:5844-57.
- [2] Budsareechai S, Lanugphairojana A, Ngernyen Y. Oil productions from catalytic and non-catalytic pyrolysis of plastic packaging wastes. The 6th International Thai Institute of Chemical Engineering and Applied Science Conference; 2016 Oct 26-28; Thailand Science Park Conventional Center, Bangkok, Thailand. (In Thai)
- [3] Kumar S, Prakash R, Murugan S, Singh RK. Performance and emission analysis of blends of waste plastic oil obtained by catalytic pyrolysis of waste HDPE with diesel in a CI engine. Energy Conversion and Management 2013;74:323-31.
- [4] Kalargaris L, Tian G, Gu S. The utilisation of oils produced from plastic waste at different pyrolysis temperatures in a DI diesel engine. Energy 2017;131:179-85.
- [5] Mueanmas C, Nikhom R. Liquid fuel production from polyethylene plastic waste by pyrolysis process. Rajamangala University of Technology Srivijaya Research Journal 2022;14(2):405-17.
- [6] Charoensuk N, Sripha Y. An investigation on the effect of heat transfer in waste vegetable oil burner [Internet]. Phra Nakhon Si Ayutthaya, Thailand: Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi; 2013 [cited 2023 Oct 4]. Available from: <https://research.rmutsb.ac.th/fullpaper/2556/2556239509841.pdf>. (In Thai)
- [7] Department of Alternative Energy Development and Efficiency. Improving the efficiency of ceramic kilns by using insulation [Internet]. Pathum Thani, Thailand: Department of Alternative Energy Development and Efficiency; 2004 [cited 2023 Oct 4]. Available from: <http://www2.dede.go.th/bhrd/old/Download/CaseStudy/Case%20Study%20022.pdf>. (In Thai)
- [8] Budsareechai S, Chanwiang W, Klongvaja T. Study and modification of the solid fuel of char pellets from cow manure. Kasem Bundit Engineering Journal 2018;8(1):135-47. (In Thai)
- [9] Lhapoon C, Srisakultew P. Solid fuel of biomass and char pellets from pig and chicken manure [Bachelor of Chemical Engineering]. KhonKaen: KhonKaen University; 2016. (In Thai)

- [10] Oasmaa A, Peacock C. Properties and Fuel Use of Biomass Derived Fast Pyrolysis Liquids. Espoo, Finland: VTT Publication; 2010.
- [11] Thailand's regulation high speed diesel 2013 [Internet]. 2013 [cited 2023 Oct 4]. Available from: <https://www.doeb.go.th/dtanotice/candle- diesel 25-01-56.pdf> (In Thai)
- [12] Jongmee T. Reuse of disposed natural fibers as heat insulator [Master's degree of Textile Engineering]. Bangkok: Rajamangala University of Technology Thanyaburi; 2010. (In Thai)

ประวัติผู้เขียนบทความ



สุพัตรา บุตรเสรีชัย ปัจจุบันดำรงตำแหน่ง อาจารย์ประจำหลักสูตรสาขา วิศวกรรมเครื่องกล โครงการจัดตั้งคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัย ราชภัฏชัยภูมิ 167 ต.นาฝาย อ.เมือง จ.ชัยภูมิ 36000 โทรศัพท์ 08-0929-5499 E-Mail: pla.supattra.cpru@gmail.com



วรเชษฐ์ แสงสีดา ปัจจุบันดำรงตำแหน่ง อาจารย์ประจำหลักสูตรสาขา วิศวกรรมเครื่องกล โครงการจัดตั้งคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัย ราชภัฏชัยภูมิ 167 ต.นาฝาย อ.เมือง จ.ชัยภูมิ 36000 โทรศัพท์ 06-2905-4555 E-Mail: w.sangsida@hotmail.com

Article History:

Received: July 3, 2023

Revised: December 7, 2023

Accepted: December 9, 2023

การสกัดแคโรทีนอยด์จากเนื้อสีเหลืองของฟักข้าว: สภาวะที่เหมาะสมในการสกัดด้วยเอนไซม์และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของสารสกัด

CAROTENOID EXTRACTION FROM YELLOW PULP OF GAC FRUIT: OPTIMUM EXTRACTION CONDITION BY ENZYMATIC TREATMENT AND ANTIOXIDANT CAPACITIES OF EXTRACT

วรากร เกิดทรัพย์¹ พิสุทธิ นกน่าน² และ ปริมาภรณ์ เกิดทรัพย์³

¹อาจารย์, ภาควิชาคณิตศาสตร์และวิทยาศาสตร์สำหรับวิศวกร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ เขตสวนหลวง กรุงเทพฯ 10250, warakorn.ker@kbu.ac.th

²อาจารย์, สาขาวิทยาศาสตร์การอาหารและโภชนาการ คณะเทคโนโลยีและนวัตกรรมผลิตภัณฑ์การเกษตร มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เขตวัฒนา กรุงเทพฯ 10110, phisut@g.swu.ac.th

³อาจารย์, สาขาเทคโนโลยีชีวภาพและผลิตภัณฑ์การเกษตร คณะเทคโนโลยีและนวัตกรรมผลิตภัณฑ์การเกษตร มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เขตวัฒนา กรุงเทพฯ 10110, paramapornk@g.swu.ac.th

Warakorn Kerdsup¹, Phisut Naknaen² and Paramaporn Kerdsup³

¹Lecturer, Faculty of Engineering, Kasem Bundit University, Suan Luang, Bangkok 10250, Thailand, warakorn.ker@kbu.ac.th

² Lecturer, Division of Food Science and Nutrition, Faculty of Agricultural Product Innovation and Technology, Srinakharinwirot University, Wattana, Bangkok 10110, Thailand, phisut@g.swu.ac.th

³ Lecturer, Division of Biotechnology and Agricultural Product, Faculty of Agricultural Product Innovation and Technology, Srinakharinwirot University, Wattana, Bangkok 10110, Thailand, paramapornk@g.swu.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดแคโรทีนอยด์จากเนื้อสีเหลืองของฟักข้าวโดยใช้เอนไซม์ Rapidase Ex Color และประเมินความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของสารสกัด โดยเริ่มต้นศึกษาระดับความเข้มข้นของเอนไซม์ในช่วงร้อยละ 0.25–3.0 พบว่าความเข้มข้นของเอนไซม์ร้อยละ 1 ให้ปริมาณลูทีน ไลโคพีนและเบต้าแคโรทีนสูงสุด ดังนั้นจึงเลือก

ความเข้มข้นของเอนไซม์ร้อยละ 1 ไปศึกษาผลของระยะเวลาในการสกัดต่อปริมาณแคโรทีนอยด์ที่สกัดได้ พบว่าระยะเวลาที่เหมาะสมในการสกัดคือ 3 ชั่วโมงโดยให้ปริมาณปริมาณลูทีน ไลโคพีน และเบต้าแคโรทีนเท่ากับ 40, 33 และ 48 มิลลิกรัม/กรัม ตามลำดับ จากนั้นนำสารสกัดที่เตรียมได้มาทำการวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH-RSA, FRAP และ Reducing powder พบว่าสารสกัดจากเนื้อสีเหลืองของฟักข้าวที่ใช้เอนไซม์ในกระบวนการสกัดมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าชุดการทดลองที่ไม่มีการใช้เอนไซม์ในกระบวนการสกัดประมาณ 2 เท่าเมื่อวิเคราะห์ด้วยวิธี DPPH-RSA และ Reducing power และประมาณ 1.5 เท่าเมื่อวิเคราะห์ด้วยวิธี FRAP ดังนั้นการใช้เอนไซม์ Rapidase Ex Color สามารถช่วยในการเพิ่มประสิทธิภาพการสกัดแคโรทีนอยด์จากเนื้อสีเหลืองของฟักข้าวและส่งผลให้ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้นเช่นกัน

คำสำคัญ: ฟักข้าว, Rapidase Ex Color, แคโรทีนอยด์, เนื้อสีเหลือง

ABSTRACT

The aims of the current research were to optimize conditions of Rapidase Ex Color-assisted carotenoid extraction from yellow pulp of Gac fruit and to evaluate the antioxidant capacities of its extract. First, the proper Rapidase Ex Color concentrations (0.25–3.0%) were investigated. It was found that the highest lutein, lycopene and β -carotene contents was observed for the sample treated with 1% of enzyme. Thus, 1% of enzyme was selected for further study relating to the effect of pretreatment time on the carotenoid contents. The result showed that the pretreatment time with enzymatic treatment for 3 h gave the highest lutein (40 mg/g), lycopene (33 mg/g) and β -carotene (48 mg/g) contents. Furthermore, the extract, prepared by applying 1% of enzyme and 3 h of pretreatment time, was accessed its antioxidant capacities by DPPH-RSA, FRAP and reducing power methods. The data revealed that the antioxidant capacities of the enzyme-treated sample was higher approximately 2 times for DPPH-RSA and reducing power methods and 1.5 times for FRAP methods when compared to that of the enzyme without enzymatic treatment. Therefore, the utilization of Rapidase Ex Color could assist for increasing yield of carotenoid extraction as well as antioxidant capacities.

KEYWORDS: Gac fruit, Rapidase Ex Color, carotenoid, yellow pulp

1. บทนำ

แคโรทีนอยด์จัดเป็นสารกลุ่มไฟโตเคมีคอล (Phytochemical) ที่พบในธรรมชาติทั้งพืชและสัตว์ สารประกอบในกลุ่มแคโรทีนอยด์ส่วนใหญ่มีสีแดงและเหลือง มีคุณสมบัติละลายได้ในไขมัน โดยสารประกอบในกลุ่มนี้มีมากกว่า 600 ชนิด ซึ่งล้วนมีคุณสมบัติที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกายมนุษย์ โดยบางส่วนมีคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ และมีคุณสมบัติในการทำหน้าที่เป็นโปรวิตามินเอ (provitamin A) โดยโปรวิตามินเอที่รู้จักกันดีคือ เบต้า-แคโรทีน (β -carotene) และแอลฟา-แคโรทีน (α -carotene) ซึ่งพืชหลายชนิดจัดว่าอุดมไปด้วยสารประกอบแคโรทีนอยด์ ได้แก่ มะเขือเทศ ฟักทอง แครอท มะละกอ เป็นต้น โดยผักท้องถิ่นของประเทศไทยอีกหนึ่งชนิดที่มีรายงานการวิจัยว่าเป็นแหล่งของแคโรทีนอยด์คือฟักข้าวมีชื่อวิทยาศาสตร์คือ *Momordica cochinchinensis* Spreng. มีถิ่นกำเนิดในประเทศจีน พม่า ไทย ลาว บังกลาเทศ มาเลเซีย และฟิลิปปินส์ ฟักข้าวเป็นพืชที่อุดมไปด้วยสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพกลุ่มแคโรทีนอยด์ โดยมีลูทีน ไลโคปีน และเบต้าแคโรทีน ซึ่งมีคุณสมบัติในการช่วยลดความเสี่ยงของการเกิดโรคมะเร็ง โรคหัวใจ และโรคเบาหวาน เป็นกลุ่มสารหลัก อีกทั้งยังมีกรดไขมันชนิดที่ช่วยในการดูดซึมสารไลโคปีน และเบต้าแคโรทีน [1] โดยเยื่อเมล็ดของฟักข้าวมีปริมาณเบต้าแคโรทีนสูงกว่าแครอทถึง 10 เท่า และมีไลโคปีนมากกว่ามะเขือเทศถึง 12 เท่า [2-3] สอดคล้องกับรายงานการวิจัยของ Kubola and Siriamornpun [4] พบว่าฟักข้าวบริเวณเยื่อหุ้มเมล็ดสีแดงมีปริมาณไลโคปีน 7.02 mg/g extract ปริมาณเบต้าแคโรทีน 8.90 mg/g และมีปริมาณลูทีน 6.50 mg/g อย่างไรก็ตามเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวมีการนำมาใช้ประโยชน์มากกว่าเนื้อสีเหลืองของฟักข้าวซึ่งมีรายงานการวิจัยพบว่าเนื้อสีเหลืองของฟักข้าวมีปริมาณไลโคปีนประมาณ 4 mg/g ปริมาณเบต้าแคโรทีนประมาณ 3 mg/g และปริมาณลูทีนโดยประมาณ 2 mg/g โดยมีงานวิจัยพบว่าไลโคปีนสามารถช่วยลดอัตราเสี่ยงในการเกิดมะเร็งได้บางชนิด เช่น มะเร็งต่อมลูกหมาก มะเร็งใน ระบบทางเดินอาหาร และมะเร็งปอด ส่วนเบต้าแคโรทีนนั้นสามารถเปลี่ยนเป็นวิตามินเอได้ในร่างกายของมนุษย์ซึ่งมีความจำเป็นต่อสุขภาพและการพัฒนาของเนื้อเยื่อเซลล์ และลูทีนมีประโยชน์ต่อสุขภาพของดวงตา มีส่วนช่วยลดความเสี่ยงการเกิดโรคหลายชนิดด้วยกัน ที่สำคัญคือ โรคต้อกระจก และโรคจอรับภาพเสื่อม [5]

การสกัดสารกลุ่มไฟโตเคมีคอลจากพืชสามารถทำได้หลายวิธีได้แก่ การสกัดโดยใช้ตัวทำละลาย (solvent extraction) เช่น เอทานอล เมทานอล และอะซิโตน อย่างไรก็ตามมีรายงานว่า การสกัดด้วยตัวทำละลายอินทรีย์เพียงอย่างเดียวทำให้ได้ร้อยละผลผลิตที่ได้ค่อนข้างต่ำ ทั้งนี้ อาจเนื่องมาจากโครงสร้างเนื้อเยื่อของพืชมีการเรียงตัวที่แน่นทำให้ยากต่อการแทรกซึมเข้าไปของตัวทำละลายอินทรีย์ ดังนั้นเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการสกัด การใช้เอนไซม์กลุ่มที่ย่อยผนังเซลล์ของพืช เช่น เอนไซม์เซลลูเลส และเอนไซม์เพคตินเนสในกระบวนการ pretreatment ก่อนการสกัดด้วยตัวทำละลายจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่ได้รับการนิยมนำมาใช้เพื่อให้ปริมาณร้อยละผลผลิตที่สูงขึ้น โดยจากงานวิจัยของ Sangkasanya et al [6] ศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพการสกัดแคโรทีนอยด์จาก

เนื้อสีเหลืองของพริกขี้หนูโดยใช้เอนไซม์ Rapidase Pineapple พบว่าการใช้เอนไซม์ดังกล่าวทำให้แคโรทีนอยด์ที่สกัดได้เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับการใช้ตัวทำละลายสกัดเพียงอย่างเดียวซึ่งจะเห็นได้ว่าเอนไซม์มีความสามารถในการช่วยการสกัดเพื่อให้ได้สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพได้โดยสภาวะที่เหมาะสมคือการใช้เอนไซม์ Rapidase Pineapple ความเข้มข้นร้อยละ 1–2 ได้ปริมาณของสารแคโรทีนอยด์ ได้แก่ ลูทีน ไลโคปีน และเบต้าแคโรทีนประมาณ 16, 15 และ 30 mg/g ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการใช้เอนไซม์เพคตินเอสทางการค้าที่มีคุณสมบัติในการสกัดรงควัตถุจากพืชซึ่งก็คือ Rapidase Ex Color ที่ระดับความเข้มข้นและระยะเวลาในการสกัดแตกต่างกันในการเพิ่มประสิทธิภาพการสกัดแคโรทีนอยด์จากเนื้อสีเหลืองของพริกขี้หนูและประเมินความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของสารสกัด

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1) เพื่อศึกษาผลของความเข้มข้นและระยะเวลาของการใช้เอนไซม์ Rapidase Ex Color ในกระบวนการ pretreatment ก่อนการสกัดด้วยตัวทำละลายต่อประสิทธิภาพการสกัดสารแคโรทีนอยด์จากเนื้อสีเหลืองของพริกขี้หนู
- 2) เพื่อประเมินคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดจากเนื้อสีเหลืองของพริกขี้หนูที่มีการใช้เอนไซม์ในกระบวนการ pretreatment

3. วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 วัตถุดิบและเอนไซม์

พริกขี้หนูระยะสุกเต็มที่ที่มีความสมบูรณ์จากตลาดไท นำพริกขี้หนูที่ได้มาล้างทำความสะอาด ปอกเปลือก แยกเอาเฉพาะส่วนเนื้อสีเหลือง จากนั้นนำตัวอย่างที่ได้บรรจุในถุงอลูมิเนียมฟอยล์ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส เพื่อรอการวิเคราะห์ในขั้นตอนต่อไป และในการวิจัยครั้งนี้จะใช้เอนไซม์เพคตินเอสทางการค้า หรือ Rapidase Ex Color จากบริษัทสยามวิคตอรี จำกัด

3.2 การศึกษาผลของเอนไซม์เพคตินเอสทางการค้า (Rapidase Ex Color) ต่อการเพิ่มประสิทธิภาพในการสกัดสารแคโรทีนอยด์จากเนื้อสีเหลืองของพริกขี้หนู

3.2.1 การศึกษาผลของความเข้มข้นของเอนไซม์ Rapidase Ex Color ในการ pretreatment ต่อปริมาณสารแคโรทีนอยด์จากเนื้อสีเหลืองของพริกขี้หนูที่สกัดได้

สกัดสารแคโรทีนอยด์จากเนื้อสีเหลืองของพริกขี้หนูที่เตรียมได้จากขั้นตอนที่ 1 โดยมีปัจจัยในการศึกษา คือ ความเข้มข้นของเอนไซม์ Rapidase Ex Color ในช่วงร้อยละ 0.25–3 มีชุดการทดลองควบคุมคือ ชุดการทดลองที่ไม่มีการใช้เอนไซม์ในการช่วยสกัด โดยวิธีการสกัดจะใช้

วิธีการและสภาวะของการใช้เอนไซม์ตามวิธีการของ Sangkasanya et al [6] ซึ่งเริ่มต้นจากเนื้อสีเหลืองของผักขาว 2 กรัม ผสมกับน้ำกลั่นปริมาตร 28 มิลลิลิตร ใส่บีกเกอร์ที่มีการห่อด้วยอะลูมิเนียมฟอยล์และนำไปไฮโมจิไนซ์ 1 นาที เตรียมเอนไซม์ Rapidase Ex Color ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.25, 0.5, 1, 2, และ 3 (ปริมาตร/ปริมาตร) 5 มิลลิลิตร จากนั้นนำมาผสมกับตัวอย่างเนื้อสีเหลืองของผักขาวที่เตรียมไว้ ในระหว่างทำการสกัดจะเป่าก๊าซไนโตรเจนเพื่อไล่ก๊าซออกซิเจนออกจากภาชนะสกัดเป็นเวลา 20 วินาที พร้อมทั้งเขย่าโดยใช้ orbital shaker เป็นเวลา 30 นาที เมื่อครบเวลาเติมตัวละลายผสมระหว่าง เฮกเซน : อะซิโตน : เอทานอล (50 : 25 : 25) ที่ผสมด้วย BHT (เข้มข้นร้อยละ 0.05) ปริมาตร 50 มิลลิลิตร และนำไปเขย่าซ้ำอีก 30 นาที ถ่ายตัวอย่างลงในกรวยแยก เขย่าเป็นเวลา 3 นาที รอให้แยกชั้น เก็บส่วนใสชั้นบน ทำการสกัดซ้ำ นำส่วนที่สกัดได้ทั้งหมดเก็บรักษาในภาชนะป้องกันแสง และนำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส เพื่อรอการวิเคราะห์ชนิดและปริมาณแคโรทีนอยด์ต่อไป

การวิเคราะห์ชนิดและปริมาณแคโรทีนอยด์ด้วยเทคนิค High Performance Liquid Chromatography (HPLC) ที่ความยาวคลื่น 450 nm ระบบตัวทำละลายเคลื่อนที่ (mobile phase) คือ acetonitrile (ACN), dichloromethane (DCM) and methanol (MeOH) ในอัตราส่วน 5 : 4 : 1 (โดยปริมาตร) โดยมีการเติมสาร BHT 0.1% ในตัวทำละลายเคลื่อนที่ อัตราเร็วของตัวทำละลายเคลื่อนที่ 1 mL/min ปริมาตรในการฉีดตัวอย่าง 20 μ L และใช้สารมาตรฐานของเบต้าแคโรทีน ไลโคปีน และลูทีน ทำกราฟมาตรฐานเพื่อคำนวณปริมาณเบต้าแคโรทีน ไลโคปีน และลูทีน [7]

3.2.2 การศึกษาผลของระยะเวลาใน pretreatment โดยใช้เอนไซม์ Rapidase Ex Color ต่อปริมาณสารแคโรทีนอยด์จากเนื้อสีเหลืองของผักขาวที่สกัดได้

เลือกความเข้มข้นของเอนไซม์ที่ให้ปริมาณแคโรทีนอยด์สูงสุดจากการทดลองในตอนต้นที่ 2.1 มาศึกษาผลของระยะเวลาในการสกัดได้แก่ 0.5, 1, 2, 3, 4 และ 5 ชั่วโมงต่อปริมาณแคโรทีนอยด์ที่ได้ โดยใช้วิธีการสกัดและการวิเคราะห์เดียวกับการทดลองในตอนต้นที่ 3.2.1

3.3 การวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดแคโรทีนอยด์ที่สกัดโดยใช้เอนไซม์ Rapidase Ex Color จากเนื้อสีเหลืองของผักขาว

เลือกสภาวะการสกัดที่ให้ปริมาณแคโรทีนอยด์สูงสุดจากการทดลองในตอนต้นที่ 3.2.2 โดยนำสารสกัดที่เตรียมได้มาวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธีการที่แตกต่างกัน 3 วิธี คือ การวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl) radical scavenging activity (DPPH-RSA) วิธี Ferric reducing antioxidant power (FRAP) และวิธี Reducing power โดยมีวิธีการวิเคราะห์ดังนี้

3.3.1 การวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH-RSA (ดัดแปลงจาก Phakawat et al [8])

เจือจางสารสกัดในระดับความเข้มข้นที่เหมาะสม แล้วนำสารสกัดที่เจือจางได้ปริมาตร 1.5 มิลลิลิตร มาเติม 0.15 mM DPPH reagent 1.5 มิลลิลิตร นำมาบ่มในห้องมืดเป็นเวลา 30 นาที จากนั้นนำมาวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 nm นำค่าที่ได้ไปเทียบกับกราฟมาตรฐานที่มีสารมาตรฐานคือ โทรลิกซ์ (6-hydroxy-2,5,7,8-tetramethylchroman-2-carboxylic acid, Trolox)

3.3.2 การวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี FRAP (ดัดแปลงจาก Phakawat et al [8])

เจือจางสารสกัดในระดับความเข้มข้นที่เหมาะสม แล้วนำสารสกัดที่เจือจางได้ปริมาตร 90 ไมโครลิตร ผสมสารผสมของ FRAP Reagent 2.7 ml (เตรียมจาก 300 mM Sodium acetate trihydrate pH 3.6 25 มิลลิลิตร, 10 mM 2,4,6-Tris(2-pyridyl)-s-triazine (TPTZ) 2.5 มิลลิลิตร, 1 M Ferric chloride hexahydrate 2.5 มิลลิลิตร) และเติมน้ำกลั่น 0.27 มิลลิลิตร นำมาบ่มในห้องมืดเป็นเวลา 30 นาที จากนั้นนำมาวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 593 nm นำค่าที่ได้ไปเทียบกับกราฟมาตรฐานที่มีสารมาตรฐานคือ โทรลิกซ์

3.3.3 การวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี Reducing power (ดัดแปลงจาก Intarasirisawat et al [9])

เจือจางสารสกัดในระดับความเข้มข้นที่เหมาะสม แล้วนำสารสกัดที่เจือจางได้ปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร จากนั้นเติม 0.2 M Monosodium phosphate pH 6.6 0.5 มิลลิลิตร และ 1% Potassium ferricyanide 0.5 มิลลิลิตร นำมาบ่มที่อุณหภูมิ 50°C เป็นเวลา 20 นาที จากนั้นเติมด้วย 10% Tri-chloro acetic acid 0.5 มิลลิลิตร และ 0.1% Ferric chloride Hexahydrate 0.2 มิลลิลิตร นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 700 nm นำค่าที่ได้ไปเทียบกับกราฟมาตรฐานที่มีสารมาตรฐานคือ โทรลิกซ์

4. การวิเคราะห์ทางสถิติ

วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) และวิเคราะห์ค่าความแปรปรวน (Analysis of variance, ANOVA) โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS version 12.0 และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างชุดการทดลองโดยใช้ Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

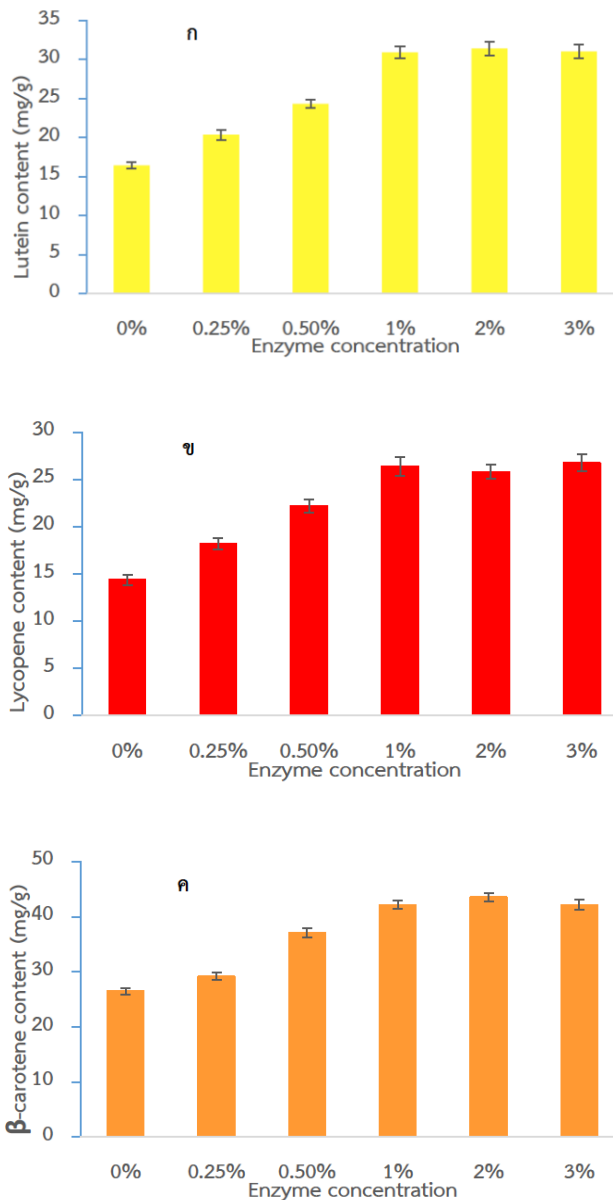
5. ผลและอภิปรายผลการวิจัย

5.1 ผลของความเข้มข้นของเอนไซม์ Rapidase Ex Color ในการ pretreatment ต่อปริมาณสารแคโรทีนอยด์จากเนื้อสีเหลืองของฟักข้าวที่สกัดได้

จากการศึกษาผลของความเข้มข้นของเอนไซม์ Rapidase Ex Color ร้อยละ 0, 0.25, 0.5, 1, 2 และ 3 ในขั้นตอนการ pretreatment ก่อนกระบวนการสกัดแคโรทีนอยด์จากเนื้อสีเหลืองของฟักข้าวได้ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 1 พบว่าทุกชุดการทดลองที่มีการใช้เอนไซม์ในกระบวนการ pretreatment ก่อนการสกัดมีปริมาณลูทีน ไลโคปีน และเบต้าแคโรทีนมากกว่าชุดการทดลองที่สกัดด้วยตัวทำละลายเพียงอย่างเดียว (ชุดควบคุม) และเมื่อความเข้มข้นของเอนไซม์เพิ่มขึ้นในช่วงร้อยละ 0-1 ส่งผลให้ปริมาณแคโรทีนอยด์ที่สกัดได้ทั้ง 3 ชนิดเพิ่มขึ้น ($P < 0.05$) อย่างไรก็ตามเมื่อความเข้มข้นของเอนไซม์เพิ่มขึ้นในช่วงร้อยละ 1-3 ปริมาณลูทีน ไลโคปีนและเบต้าแคโรทีนเพิ่มขึ้นไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P \geq 0.05$) ดังนั้นความเข้มข้นของเอนไซม์ Rapidase Ex Color ที่เหมาะสมในการสกัดแคโรทีนอยด์จากเนื้อส่วนสีเหลืองของฟักข้าวคือร้อยละ 1 จึงเลือกความเข้มข้นดังกล่าวมาใช้ในการศึกษาผลของระยะเวลาที่เหมาะสมในการสกัดในการศึกษาต่อไป

การใช้เอนไซม์ Rapidase Ex Color ในการ pretreatment ก่อนกระบวนการสกัดสามารถเพิ่มปริมาณแคโรทีนอยด์ที่สกัดได้เนื่องจาก เอนไซม์ Rapidase Ex color เป็นเอนไซม์ผสมระหว่างเอนไซม์เพคติเนสและเอนไซม์เฮมิเซลลูเลสซึ่งเป็นเอนไซม์ในกลุ่มที่มีคุณสมบัติย่อยผนังเซลล์พืชโดยปกติโครงสร้างเนื้อเยื่อของพืชมีการเรียงตัวที่แข็งแรงทำให้ยากต่อการเข้าถึงของตัวทำละลายที่ใช้ในการสกัดเพียงอย่างเดียว ดังนั้นการใช้เอนไซม์กลุ่มที่ย่อยผนังเซลล์ของพืช จึงส่งผลให้ผนังเซลล์ถูกทำลายและตัวทำละลายสามารถซึมเข้าสู่ผนังเซลล์ได้ง่ายขึ้นส่งผลให้เป็น การเพิ่มประสิทธิภาพในการสกัดสารในกลุ่มแคโรทีนอยด์ โดยผลการทดลองสอดคล้องกับงานวิจัยของ Choudhari and Ananthanarayan [10] ศึกษาการใช้เอนไซม์เพคติเนสในช่วงความเข้มข้นร้อยละ 0.5-4 พบว่าการเพิ่มความเข้มข้นของเอนไซม์เพคติเนสสามารถเพิ่มปริมาณร้อยละผลได้ (% yield) ของสารไลโคปีนที่สกัดจากมะเขือเทศทั้งผลได้เพิ่มขึ้นโดยความเข้มข้นของเอนไซม์เพคติเนสที่เหมาะสมในการสกัดคือร้อยละ 2 และสามารถเพิ่มปริมาณไลโคปีนได้สูงถึง 90.6 $\mu\text{g/g}$ (188%) เมื่อเทียบกับชุดการทดลองที่ไม่มีการใช้เอนไซม์ อย่างไรก็ตามพบว่าเมื่อความเข้มข้นของเอนไซม์เพคติเนสเพิ่มขึ้นในช่วงร้อยละ 2-4 พบว่าปริมาณไลโคปีนมีแนวโน้มคงที่และลดลงเล็กน้อย และจากงานวิจัยของ Ranveer et al [11] สกัดไลโคปีนจากมะเขือเทศโดยใช้ความเข้มข้นของเอนไซม์เพคติเนสที่แตกต่างกันพบว่าการใช้เอนไซม์ทำให้ไลโคปีนที่สกัดได้เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับการใช้ตัวทำละลายสกัดเพียงอย่างเดียว เอนไซม์เพคติเนสที่ 2.0% สามารถสกัดสารไลโคปีนเพิ่มจาก 200 $\mu\text{g/g}$ เป็น 1000 $\mu\text{g/g}$ และจากงานวิจัยของ Lombardelli et al [12] ทำการสกัด

แคโรทีนอยด์จากมะเขือเทศโดยใช้เอนไซม์ผสมระหว่าง polygalacturonase, pectate lyase, cellulase และ xylanase พบว่าการใช้เอนไซม์ดังกล่าวช่วยในเพิ่มปริมาณแคโรทีนอยด์ที่สกัดได้เช่นกัน



รูปที่ 1 ผลของความเข้มข้นของเอนไซม์ **Rapidase Ex Color** ต่อปริมาณลูทีน (ก) ไลโคพีน (ข) และเบต้าแคโรทีน (ค) ที่สกัดได้จากส่วนเนื้อสีเหลืองของฟักข้าว

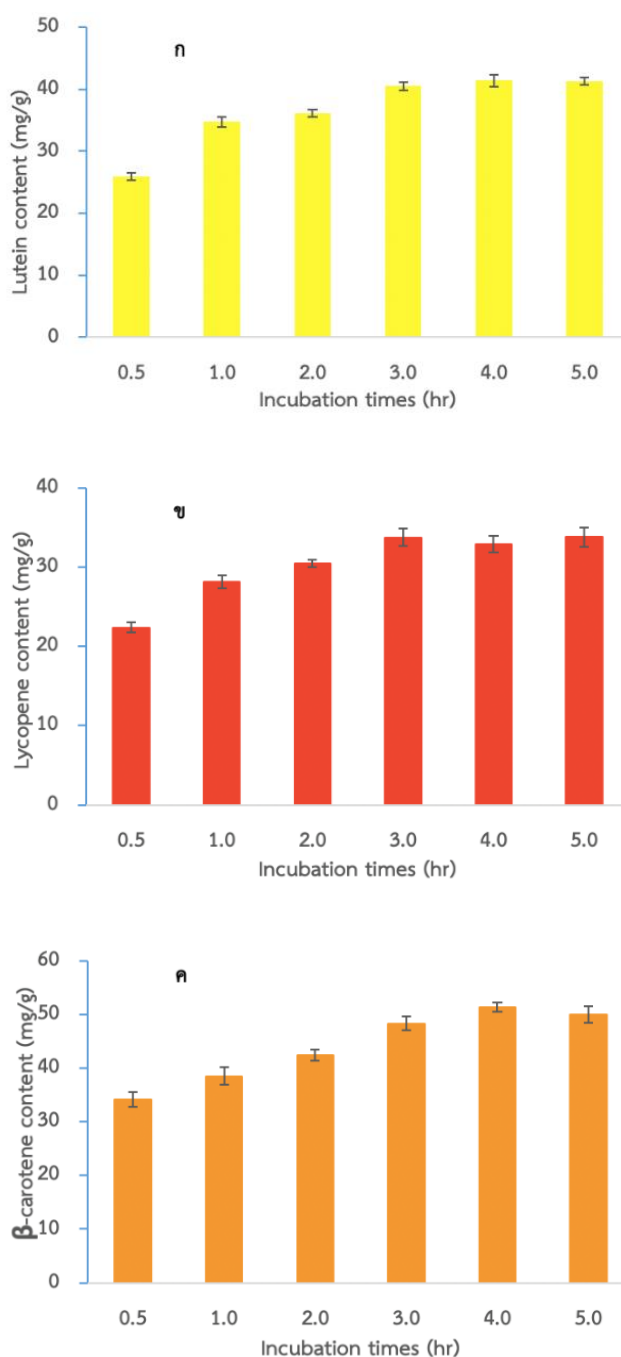
5.2 ผลของระยะเวลาใน pretreatment โดยใช้เอนไซม์ Rapidase Ex Color ต่อปริมาณสารแคโรทีนอยด์จากเนื้อสีเหลืองของผักขาวที่สกัดได้

จากการศึกษาผลของระยะเวลาใน pretreatment ได้แก่ 0.5, 1, 2, 3, 4 และ 5 ชั่วโมงโดยใช้เอนไซม์ Rapidase Ex Color ต่อปริมาณแคโรทีนอยด์ที่สกัดได้จากเนื้อสีเหลืองของผักขาวได้ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 2 จากผลการทดลองพบว่าเมื่อระยะเวลาในการ pretreatment ด้วยเอนไซม์เพิ่มขึ้นส่งผลให้ปริมาณแคโรทีนอยด์ที่สกัดได้เพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน ($P < 0.05$) โดยระยะเวลาในการสกัดที่ให้ปริมาณลูทีน ไลโคปีนและเบต้าแคโรทีนสูงสุดคือ 3 ชั่วโมง อย่างไรก็ตามเมื่อระยะเวลาในการสกัดเพิ่มขึ้นหลังจาก 3 ชั่วโมงพบว่าปริมาณแคโรทีนอยด์ที่สกัดได้มีแนวโน้มไม่เปลี่ยนแปลง ผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Kha et al [7] ได้ศึกษาผลของระยะเวลาในการ pretreatment ด้วยเอนไซม์เพคตินเนส ในช่วง 0–180 นาทีต่อปริมาณน้ำมันที่อุดมไปด้วยสารแคโรทีนอยด์จากผักขาวที่สกัดได้โดยจากการทดลองพบว่าเมื่อระยะเวลาในการ pretreatment เพิ่มขึ้นส่งผลให้ปริมาณน้ำมันผักขาวมีค่าเพิ่มขึ้นจนกระทั่งถึงนาทีที่ 120 จากนั้นเมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้น ปริมาณน้ำมันผักขาวที่สกัดได้ไม่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญและจากงานวิจัยของ Strati et al [13] ศึกษาการใช้เอนไซม์เพคตินเนสและเอนไซม์เซลลูเลสในการสกัดแคโรทีนอยด์จากส่วนเหลือทิ้งจากมะเขือเทศโดยมีการแปรระยะเวลาในการบ่มแตกต่างกันในช่วง 30–240 นาที โดยผลการทดลองพบว่าเมื่อระยะเวลาในการ pretreatment ด้วยเอนไซม์เพิ่มขึ้นส่งผลให้ปริมาณแคโรทีนอยด์ทั้งหมดเพิ่มขึ้นเช่นกันโดยระยะเวลาที่ให้ปริมาณแคโรทีนอยด์รวมสูงสุดคือ 180 นาที หลังจากนั้นปริมาณแคโรทีนอยด์รวมมีแนวโน้มลดลง

ดังนั้นสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดแคโรทีนอยด์จากเนื้อสีเหลืองของผักขาวคือการใช้ความเข้มข้นของเอนไซม์ Rapidase Ex Color ร้อยละ 1 และใช้ระยะเวลาในการบ่ม 3 ชั่วโมง โดยจะให้สารลูทีน ไลโคปีนและเบต้าแคโรทีนเพิ่มขึ้น เป็น 40, 33 และ 48 mg/g ตามลำดับ (ชุดควบคุมให้ปริมาณสารลูทีน ไลโคปีนและเบต้าแคโรทีน 16, 14 และ 26 mg/g ตามลำดับ)

5.3 ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดแคโรทีนอยด์จากเนื้อสีเหลืองของผักขาว

แคโรทีนอยด์เป็นสารที่พบได้ในธรรมชาติพบมากในพืชที่มีสีแดง ส้ม และเหลือง มีคุณสมบัติเป็นทั้งสารต้านอนุมูลอิสระ สารก่อมะเร็งในสิ่งแวดล้อมและช่วยป้องกันการก่อตัวของอนุมูลอิสระที่เป็นอันตราย โดยเนื้อสีเหลืองของผักขาวเป็นส่วนที่อุดมไปด้วยแคโรทีนอยด์ซึ่งมีคุณสมบัติสำคัญในการต้านอนุมูลอิสระ [4, 14] ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้วัดความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธีที่แตกต่างกัน 3 วิธีได้ผลการศึกษาดังแสดงในตารางที่ 1



รูปที่ 2 ผลของระยะเวลาการ pretreatment ด้วยเอนไซม์ Rapidase Ex Color ต่อปริมาณ ลูทีน (ก) ลิโคพีน (ข) และเบต้าแคโรทีน (ค) ที่สกัดได้จากส่วนเนื้อสีเหลืองของ พักข่า

ตารางที่ 1 ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดแคโรทีนอยด์จากเนื้อ
สีเหลืองของฟักข้าวที่สกัดด้วยเอนไซม์เปรียบเทียบกับไม่ใช้เอนไซม์

วิธีวัดความสามารถ ในการต้านอนุมูลอิสระ	ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ (mmol Trolox equivalent /g extract)	
	สารสกัดที่ใช้เอนไซม์ใน กระบวนการ pretreatment	สารสกัดที่ไม่ใช้เอนไซม์ใน กระบวนการ pretreatment
DPPH-RSA	474.76 ± 3.45	233.49 ± 2.31
FRAP	762.17 ± 2.52	567.75 ± 3.89
Reducing powder	6.30 ± 0.78	2.23 ± 0.31

การวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH เป็นการวัดความสามารถของสารต้านอนุมูลอิสระในการให้อิเล็กตรอนอิสระกับอนุมูลอิสระ โดย DPPH คืออนุมูลอิสระที่มีความเสถียร (stable free radical) เป็นสารที่นิยมนำไปใช้เป็นตัวชี้วัดความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของสารที่สนใจใช้หลักการของ DPPH ในรูปของอนุมูลอิสระที่อยู่ในสารละลายจะมีสีม่วงเข้ม เมื่อได้รับอิเล็กตรอนจากสารที่มีคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระจะเปลี่ยนแปลงไปอยู่ในรูปออกซิไดซ์ (DPPH) ซึ่งการลดลงของอนุมูลอิสระดังกล่าวจะสังเกตได้จากการจางลงของสีม่วงในสารละลาย สามารถวัดการค่าการดูดกลืนคลื่นแสงที่ลดลง [15] โดยจากการทดลองพบว่าเมื่อเปรียบเทียบความสามารถในการให้อิเล็กตรอนแก่อนุมูลอิสระ DPPH ของสารสกัดจากเนื้อสีเหลืองของฟักข้าวที่ผ่านกระบวนการใช้เอนไซม์พบว่ามีความสูงกว่าประมาณ 2 เท่า เมื่อเปรียบเทียบกับสารสกัดที่ไม่ได้มีการใช้เอนไซม์

การวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี FRAP เป็นวิธีวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระที่ทำหน้าที่ให้อิเล็กตรอน (ตัวรีดิวซ์) ซึ่งจะมีผลทำให้ ferric ion (Fe^{3+}) ในสารจะถูกรีดิวซ์โดยสารต้านอนุมูลอิสระจากสารประกอบเชิงซ้อนเหล็ก Fe^{3+} -TPTZ ได้เป็น ferrous ion (Fe^{2+}) คือเป็น Fe^{2+} -TPTZ ซึ่งสามารถดูดกลืนแสงที่มีความยาวคลื่น 593 นาโนเมตร [15] โดยจากการทดลองพบว่าเมื่อเปรียบเทียบความสามารถในการรีดิวซ์ไอออนเหล็กของสารสกัดจากส่วนเนื้อสีเหลืองของฟักข้าวพบว่าสารสกัดที่มีการใช้เอนไซม์ในกระบวนการสกัดมีความสามารถในการรีดิวซ์ไอออนเหล็กได้ 762.17 mmol Trolox equivalent /g extract โดยสูงกว่าสารสกัดที่ไม่ได้ใช้เอนไซม์ในกระบวนการสกัดซึ่งความสามารถในการรีดิวซ์ไอออนเหล็กได้ 567.74 mmol Trolox equivalent /g extract

การวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี Reducing power อาศัยหลักการที่สารต้านออกซิเดชันในตัวอย่างสามารถรีดิวซ์ Fe^{3+} ในสารประกอบ potassium ferricyanide ทำให้

สีของสารประกอบนี้เปลี่ยนจากสีเหลืองเป็นสีเขียว และจะมีค่าการดูดกลืนแสงที่ 700 นาโนเมตร สูงขึ้น โดยเมื่อเปรียบเทียบความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดจากผักข่าที่สกัดโดยใช้เอนไซม์เมื่อวัดด้วยวิธี reducing power พบว่ามีค่าสูงกว่าสารสกัดจากผักข่าที่สกัดโดยวิธีไม่ใช้เอนไซม์ถึงเกือบ 3 เท่า

ดังนั้นจะเห็นได้ว่าการใช้เอนไซม์ในกระบวนการ pretreatment ก่อนการสกัดสามารถเพิ่มความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดจากเนื้อสีเหลืองของผักข่าได้ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองที่วิเคราะห์ได้ข้างต้น ทั้งนี้เนื่องมาจากการใช้เอนไซม์ช่วยให้ปริมาณแคโรทีนอยด์ที่สกัดได้มีค่าเพิ่มขึ้นซึ่งแคโรทีนอยด์มีคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Phan-Thi et al [1] และ Kha et al [7] ซึ่งได้ทำการศึกษาฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี ABTS-RSA (2,2'-azinobis-(3-ethyl-benzothiazoline-6- sulfonic acid)) ในเยื่อหุ้มเมล็ดผักข่า พบว่าแคโรทีนอยด์โดยเฉพาะ lycopene มีคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ Chuyen et al [16] ได้รายงานว่สารสกัดแคโรทีนอยด์จากเปลือกผักข่ามีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระเช่นกัน นอกจากนี้ แคโรทีนอยด์จากพืชแหล่งอื่นได้แก่ ไลโคปีนจากแตงโม [14] ไลโคปีนจากฝรั่งสีชมพู [17] ก็พบรายงานฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระเมื่อตรวจวัดด้วยวิธี DPPH-RSA และ FRAP เช่นกัน

6. สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาการสกัดสารกลุ่มแคโรทีนอยด์โดยใช้เอนไซม์กลุ่มย่อยผนังเซลล์พืชคือ Rapidase Ex color พบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดแคโรทีนอยด์จากเนื้อสีเหลืองของผักข่า คือการใช้ความเข้มข้นของเอนไซม์ Rapidase Ex Color ร้อยละ 1 และใช้ระยะเวลาในการบ่ม 3 ชั่วโมง โดยให้ปริมาณลูทีน ไลโคปีนและเบต้าแคโรทีนสูงที่สุดซึ่งเพิ่มขึ้นจากเดิมประมาณ 2 เท่า และส่งผลให้ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดเพิ่มขึ้นประมาณ 2 เท่าเมื่อตรวจวัดด้วยวิธี DPPH-RSA และ Reducing power และประมาณ 1.5 เท่าเมื่อตรวจวัดด้วยวิธี FRAP เมื่อเปรียบเทียบกับชุดการทดลองที่ไม่มีการใช้เอนไซม์ในกระบวนการสกัด

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ปีการศึกษา 2561

References

- [1] Phan-Thi H, Wache Y. Isomerization and increase in the antioxidant properties of lycopene from *Momordica cochinchinensis* (gac) by moderate heat treatment with UV-Vis spectra as a marker. Food Chemistry 2014;156:58-63.

- [2] Nhung DT, Bung PN, Ha NT, Phong TK. Changes in lycopene and beta carotene contents in aril and oil of gac fruit during storage. *Food Chemistry* 2010;121:326-31.
- [3] Vuong LT, Franke AA, Custer LJ, Murphy SP. *Momordica cochinchinensis* Spreng. (gac) fruit carotenoids reevaluated. *Journal of Food Composition and Analysis* 2006;19:664-8.
- [4] Kubola J, Siriamornpun S. Physicochemicals and antioxidant activity of different fractions (peel, pulp, aril and seed) of Thai Gac (*Momordica cochinchinensis* Spreng). *Food Chemistry* 2011;127:1138-45.
- [5] Becerra MO, Contreras LM, Lo MH, Diaz JM, Herrera GC. Lutein as a functional food ingredient: Stability and bioavailability. *Journal of Functional Foods* 2020;66:1033771-91.
- [6] Sangkasanya S, Naknaen P, Suntikul N, Lertpitakthum S. Enhancing Extraction Efficiency of Carotenoids from Yellow Pulp of Gac Fruit (*Momordica cochinchinensis* (Lour.) Spreng) by Biological Process: Effect of Rapidase Concentration. *Proceeding of The 28th Annual Meeting of the Thai Society for Biotechnology and International Conference*; 2016 November 28-30, Thailand.
- [7] Kha TC, Phan-Tai H, Nguyen MH. Effects of pre-treatments on the yield and carotenoid content of Gac oil using supercritical carbon dioxide extraction. *Journal of Food Engineering* 2014;120:44-9.
- [8] Phakawat T, Soottawat B, Thummanoon P. Effects of oxygen and antioxidants on the lipid oxidation and yellow discolouration of film from red tilapia mince. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 2012;92:2507-17
- [9] Intarasirisawat R, Benjakul S, Visessanguan W, Wu J. Antioxidative and functional properties of protein hydrolysate from defatted skipjack (*Katsuwonus pelamis*) roe. *Food Chemistry* 2012;135:3039-48.
- [10] Choudhari SM, Anathanarayan L. Enzyme aided extraction of lycopene from tomato tissues. *Food Chemistry* 2007;102:77-81.
- [11] Ranveer RC, Patil SN, Sahoo A K. Effect of different parameters on enzyme-assisted extraction of lycopene from tomato processing waste. *Food and Bioproducts Processing* 2013;91:370-5.
- [12] Lombardelli C, Liburdi K, Benucci I, Esti M. Tailored and synergistic enzyme-assisted extraction of carotenoid-containing chromoplasts from tomatoes. *Food and Bioproducts Processing* 2020;121:43-53.

- [13] Strati IF, Gogou E, Oreopoulou V. Enzyme and high pressure assisted extraction of carotenoids from tomato waste. Food and Bioproducts Processing 2015;94:668-74.
- [14] Kim CH, Park MK, Kim SK, Cho YH. Antioxidant capacity and anti-inflammatory activity of lycopene in watermelon. International Journal of Food Science and Technology 2014;49:2083-91.
- [15] Kittipat Sopittummakhun and Panthip Rattanasinganchan. Extraction and determination of antioxidant activity in herbal plant. Huachiew Chalermprakiat Science and Technology Journal 2017;1:86-94 (In Thai)
- [16] Chuyen HV, Roach PD, Golding JB, Park SE, Nguyen MH. Encapsulation of carotenoid-rich oil from Gac peel: Optimisation of the encapsulating process using a spray drier and the storage stability of encapsulated powder. Powder Technology 2019;344:373-9.
- [17] Kong KW, Ismail A. Lycopene content and lipophilic antioxidant capacity of by-products from *Psidium guajava* fruits produced during puree production industry. Food and Bioproducts Processing 2011;89:53-61.

ประวัติผู้เขียนบทความ



วรากร เกิดทรัพย์ ตำแหน่งผู้ช่วยศาสตราจารย์หมวดคณิตศาสตร์และวิทยาศาสตร์สำหรับวิศวกร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ E-mail: warakorn.ker@kbu.ac.th
สนใจงานวิจัยด้านการใช้จุลินทรีย์โปรไบโอติกในผลิตภัณฑ์อาหาร ผลิตภัณฑ์อาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระสูง



พิสุทธิ หั่นแก่น ตำแหน่งผู้ช่วยศาสตราจารย์ สาขาวิทยาศาสตร์การอาหารและโภชนาการ คณะเทคโนโลยีและนวัตกรรมผลิตภัณฑ์การเกษตร มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ E-mail: phisit@g.swu.ac.th
สนใจงานวิจัยด้านการแปรรูปผลิตภัณฑ์อาหารจากตาลโตนด ผลิตภัณฑ์อาหารพลังงานต่ำ ผลิตภัณฑ์อาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระสูง สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในอาหาร



ปรมาภรณ์ เกิดทรัพย์ ตำแหน่งผู้ช่วยศาสตราจารย์ สาขา
เทคโนโลยีชีวภาพและผลิตภัณฑ์การเกษตร คณะเทคโนโลยีและ
นวัตกรรมผลิตภัณฑ์การเกษตร มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
E-mail: paramapornk@g.swu.ac.th

สนใจงานวิจัยด้านการใช้จุลินทรีย์โปรไบโอติกในผลิตภัณฑ์อาหาร และ
การพัฒนาบรรจุภัณฑ์ที่ใช้กับผลิตภัณฑ์อาหาร

Article History:

Received: April 20, 2023

Revised: December 8, 2023

Accepted: December 13, 2023

การประยุกต์ใช้เทคนิคการวิเคราะห์ตามลำดับชั้น
ในระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ (กรณีศึกษาการเลือกซื้อรถยนต์ที่ดีที่สุด)

**APPLICATION OF HIERARCHICAL ANALYSIS TECHNIQUES
IN AN ANDROID OPERATING SYSTEM (THE BEST AUTOMOBILE
PURCHASING CASE STUDY)**

วารงกูร อิศรางกูร ณ อยุธยา

อาจารย์, สาขาวิชาการจัดการโลจิสติกส์และโซ่อุปทาน คณะบริหารธุรกิจ
มหาวิทยาลัยราชภัฏวชิรญาณ 39 หมู่ที่ 1 ถนนรังสิต-นครนายก ตำบลคลองหก
อำเภอคลองหลวง ปทุมธานี 12110, varangkoon_i@rmutt.ac.th

Varangkoon Issaragura Na Ayuthaya

Lecture, Division of Logistics and Supply Chain Management, Faculty of Business
Administration, Rajamangala University of Technology Thanyaburi 39 Moo 1, Klong 6,
Klong Luang Pathum Thani 12110, Thailand, varangkoon_i@rmutt.ac.th

บทคัดย่อ

การดำเนินการวิจัยในบทความนี้ ได้ทำการศึกษาและพัฒนากระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ในระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ (Android Operation System) โดยทำการพัฒนาระบบแอปพลิเคชันบนมือถือเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการตัดสินใจแบบกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ (Analytical Hierarchy Process : AHP) การพัฒนาแอปพลิเคชันบนมือถือระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์นี้มีส่วนงาน 8 ส่วนประกอบด้วย 1) ส่วนของการกำหนดทางเลือก 2) ส่วนของระดับเกณฑ์ต่ำสุด (Threshold Level) 3) ส่วนของการคัดเลือกทางเลือกเบื้องต้นจากทางเลือกที่กำหนดในขั้นที่หนึ่ง 4) ส่วนการระบุเกณฑ์ (Criteria) 5) ส่วนการสร้างลำดับชั้นของการตัดสินใจ (Develop Decision Hierarchy) 6) ส่วนการเปรียบเทียบเกณฑ์ที่ละคู่ 7) ส่วนการคำนวณความสำคัญทางเลือกของน้ำหนัก (Weight) 8) ส่วนการวิเคราะห์ความอ่อนไหว (Sensitivity Analysis) ทั้งนี้ บทความนี้จะนำเสนอเฉพาะส่วนงานสนับสนุนการตัดสินใจ โดยการนำเอาเทคนิคการวิเคราะห์ลำดับชั้น (AHP) มาประยุกต์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการตัดสินใจ และมีขั้นตอนการดำเนินงานที่ไม่ซับซ้อนสามารถเข้าใจได้ง่าย มีลักษณะที่สามารถใช้ได้ทั้งการพิจารณาที่ได้ค่าของทางเลือกที่เป็นตัวเลข สามารถตรวจสอบย้อนหลังกลับถึงเหตุผลของการตัดสินใจ ทำให้ผู้ตัดสินใจสามารถลำดับความคิดได้อย่าง

ครบถ้วนและไม่สับสน เป็นเทคนิคที่ถูกนำมาใช้ เนื่องจากช่วยในเรื่องของการประหยัดเวลา เพิ่มความเที่ยงตรงในการประเมิน ลดความลำเอียงและส่งผลให้การวิจัยที่ได้นั้นมีความน่าเชื่อถือมากยิ่งขึ้น เนื่องจากระบบแอปพลิเคชันที่น่าเสนอนี้ ได้ทำการพัฒนาขึ้นเพื่อใช้ในสมาร์ทโฟนที่ใช้ในระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ ทำการเผยแพร่ไว้ใน Google Play Store เพื่อให้ผู้สนใจสามารถดาวน์โหลดแอปพลิเคชันซอฟต์แวร์ไปใช้ได้โดยไม่มีค่าใช้จ่ายใดๆ

คำสำคัญ: การตัดสินใจโดยกระบวนการวิเคราะห์ลำดับชั้น, ระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์

ABSTRACT

This article's research has created an analytical hierarchy process on the android operating system by creating a mobile application system to optimize analytical hierarchy process decision making (Analytical Hierarchy Process: AHP). This android operating system comprises eight areas for designing mobile apps, which include 1) The optional assignment portion 2) The low threshold part (Threshold Level) 3) The component for picking the first option from the possibilities shown in the first layer. 4) The section for setting the criteria (Criteria) 5) The section for developing the decision hierarchy (Develop Decision Hierarchy) 6) The section Comparison of criteria per pair. 7) Section for estimating the alternative importance of weight (Weight) 8) Section for Sensitivity Analysis. By employing a sequence analysis approach (AHP) to Increase the effectiveness of decision-making. It features a distinct working technique that is simple to grasp there are features that may be utilized to determine the value of numerical alternatives as well as to determine the value of numerical alternatives. Can determine the rationale for the choice this enables decision-makers to organize their thoughts thoroughly and without ambiguity. Is a method that has been utilized because it aids in the saving of time. Improve the assessment's accuracy reduced prejudice leads to more credible research. Because the application system shown here was created for usage on smartphones running the android operating system. It is available for free download on the "Google Play Store" for those who are interested.

KEYWORDS: Analytic Hierarchy Process, Android Operations

1. บทนำ

ในปัจจุบันการตัดสินใจที่ต้ออย่างฉับไวนั้นต้องใช้กระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้น (Analytic Hierarchy Process) หรือเรียกสั้น ๆ ว่า AHP เป็นวิธีการหนึ่งที่ใช้ในการวิเคราะห์เพื่อการศึกษ

การตัดสินใจเลือกทางเลือกที่ดีที่สุด (Best Alternative) พัฒนาขึ้นโดย Saaty ในปี ค.ศ. 1980 เพื่อใช้เป็นเครื่องมือสำหรับผู้บริหาร โดยมีหลักการง่าย ๆ คือแบ่งโครงสร้างของปัญหาออกเป็นชั้น ๆ ชั้นแรกคือการกำหนดเป้าหมาย (Goal) แล้วจึงกำหนดเกณฑ์ (Criteria) เกณฑ์ย่อย (Sub criteria) และทางเลือก (Alternative) ตามลำดับ [1] แล้วจึงวิเคราะห์หาทางเลือกที่ดีที่สุด โดยการวิเคราะห์เปรียบเทียบ (Trade Off) เกณฑ์ในการคัดเลือกทางเลือกทีละคู่ (Pairwise) เพื่อให้ง่ายต่อการตัดสินใจว่าเกณฑ์ไหนสำคัญกว่ากัน โดยการให้คะแนนตามความสำคัญหรือความชอบ หลังจากให้คะแนนเพื่อจัดลำดับความสำคัญของเกณฑ์แล้ว จึงค่อยพิจารณาวิเคราะห์ทางเลือกทีละคู่ตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้ทีละเกณฑ์จนครบทุกเกณฑ์ ถ้าให้คะแนนความสำคัญหรือความชอบนั้นสมเหตุสมผล (Consistency) จะสามารถจัดลำดับทางเลือกเพื่อหาทางเลือกที่ดีที่สุดได้ วิธี AHP เหมาะที่จะนำมาประยุกต์ใช้งานในมือถือสมาร์ทโฟน ระบบแอนดรอยด์ (Android) เพื่อให้ทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบทางเลือกที่ดีที่สุดจากหลาย ๆ ทางเลือกเป็นไปได้ง่ายและสะดวกรวดเร็วมากยิ่งขึ้น ปัจจุบัน AHP เป็นวิธีหนึ่งของกระบวนการตัดสินใจแบบหลายเกณฑ์ (Multicriteria Decision Making) ซึ่งผู้นิยมใช้กันมาก [2] มีการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อช่วยในการวิเคราะห์ตัดสินใจทำได้ง่ายและสะดวกขึ้น ซึ่งสะดวกต่อการจัดลำดับชั้นในการวิเคราะห์ (Structuring the Hierarchy) [3]

ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ทำงานวิจัยนี้เพื่อพัฒนารูปในกระบวนการวิเคราะห์การตัดสินใจในระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ซึ่งจะส่งผลให้เวลาที่ใช้ในการตัดสินใจดังกล่าวลดลง

2. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การวิเคราะห์การตัดสินใจในแต่ละชั้นผู้บริหารหรือผู้เชี่ยวชาญหรือผู้ที่เกี่ยวข้องจะเป็นผู้ให้คะแนนความสำคัญ หรือความชอบโดยการเปรียบเทียบของเกณฑ์หรือทางเลือกทีละคู่ โดยเริ่มจากชั้นบนสู่ชั้นล่าง โดยแบ่งระดับความสำคัญหรือความชอบออกเป็น 9 ระดับ ดังแสดงในตารางที่ 1 สเกลในการเปรียบเทียบความสำคัญหรือความชอบของสองสิ่ง (Pairwise Comparison Scale) [2]

ตารางที่ 1 ระดับความเข้มข้นของความสำคัญของการเลือก

ระดับความเข้มข้นของความสำคัญ	ความหมาย	คำอธิบาย
1	สำคัญเท่ากัน	ทั้ง 2 เกณฑ์ส่งผลกระทบต่อวัตถุประสงค์เท่า ๆ กัน
3	สำคัญกว่าปานกลาง	ผู้วิจัยให้ความคิดเห็นว่าเกณฑ์หนึ่งสำคัญกว่าอีกเกณฑ์หนึ่งอยู่ในระดับปานกลาง

ตารางที่ 1 ระดับความเข้มข้นของความสำคัญของการเลือก (ต่อ)

ระดับความเข้มข้น ของความสำคัญ	ความหมาย	คำอธิบาย
5	สำคัญกว่ามาก	ผู้วิจัยให้ความสำคัญเห็นว่าเกณฑ์หนึ่งสำคัญกว่าอีกเกณฑ์หนึ่งในระดับมาก
7	สำคัญกว่ามากเป็น สุด	ผู้วิจัยให้ความสำคัญเห็นว่าเกณฑ์หนึ่งสำคัญกว่าอีกเกณฑ์หนึ่งในระดับมากที่สุด
9	สำคัญกว่าสูงสุด	ผู้วิจัยให้ความสำคัญเห็นว่าเกณฑ์หนึ่งสำคัญกว่าอีกเกณฑ์หนึ่งในระดับสูงสุด
2, 4, 6, 8	อยู่ระหว่างระดับที่ได้ อธิบายมาแล้วข้างต้น	อยู่ระหว่างระดับที่ได้อธิบายมาข้างต้น

ค่าน้ำหนักความสำคัญของเกณฑ์หรือทางเลือกในแต่ละชั้น จะต้องทำการคำนวณจากสมการสแควร์เมตริกแสดงความเห็นของผู้บริหารหรือผู้เชี่ยวชาญหรือผู้เกี่ยวข้องในรูปของคะแนนความสำคัญซึ่งปรับค่าให้เป็น 1 แล้ว (Normalized) หาค่า Maximum eigenvalue หลังจากนั้นทำการตรวจสอบความสมเหตุสมผลของข้อมูล (Consistency) ของคะแนนความสำคัญ ซึ่งได้จากการเปรียบเทียบของเป็นคู่ บางครั้งอาจไม่สมเหตุสมผลหรือมีข้อผิดพลาด (error) ในการแสดงความเห็น โดยปกติขั้นตอนการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการวิเคราะห์ตามลำดับชั้น มีทั้งหมด 8 ขั้นตอน

- 1) กำหนดทางเลือก
- 2) ระบุระดับของเกณฑ์ต่ำสุด (Threshold Level)
- 3) คัดเลือกทางเลือกเบื้องต้นจากทางเลือกที่กำหนดในชั้นที่ 1
- 4) ระบุเกณฑ์ (Criteria) หรือเกณฑ์ย่อย (Sub criteria)
- 5) สร้างลำดับชั้นของการตัดสินใจ (Develop Decision Hierarchy)
- 6) เปรียบเทียบเกณฑ์ทีละคู่ (Pairwise)
- 7) คำนวณลำดับความสำคัญของทางเลือก โดยการนำค่าน้ำหนัก (weight) ของแต่ละทางเลือกในแต่ละเกณฑ์ คูณกับค่าน้ำหนักของเกณฑ์แล้วหาผลรวม
- 8) วิเคราะห์ความอ่อนไหว (Sensitivity Analysis)

Chirathitiporn [4] กล่าวว่า กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ (Analytical Hierarchy Process: AHP) ใช้หาเหตุผลช่วยตัดสินใจในประเด็นปัญหาที่ซับซ้อนให้ง่ายขึ้น โดยแบ่งองค์ประกอบของปัญหาทั้งที่เป็นรูปธรรมและนามธรรมออกเป็นแต่ละส่วน สร้างรูปแบบโครงสร้าง

ของปัญหาในรูปแบบแผนภูมิลำดับชั้น ต่อมาคือนำข้อมูลที่ได้จากความคิดเห็นของผู้ตัดสินใจมา กำหนดเป็นค่าวินิจฉัยเพื่อเปรียบเทียบหาค่าความสำคัญของแต่ละปัจจัย และคำนวณลำดับ ความสำคัญของปัจจัย เพื่อหาข้อสรุปและเลือกทางเลือกที่ดีที่สุดได้ เป็นกระบวนการที่ใช้สำหรับการ วัดค่าระดับของการตัดสินใจเรื่องต่าง ๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ และให้ผลการตัดสินใจที่ ถูกต้องตรงกับเป้าหมายของการตัดสินใจได้มากที่สุด โดยที่เป็นการหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุด มากกว่าการการหาว่า คำตอบไหนคือคำตอบที่ถูกต้องที่สุด ซึ่งจะทำให้ผู้ตัดสินใจเข้าใจปัญหา การตัดสินใจมากยิ่งขึ้นด้วย AHP เป็นการพัฒนาขึ้นจากพื้นฐานของความรู้ในด้านจิตวิทยาและ คณิตศาสตร์ โดยที่ AHP มีลักษณะโดยจะเริ่มจากการกำหนดกรอบงานของโครงสร้างการวิเคราะห์ ปัญหาที่ต้องมีการตัดสินใจ โดยแสดงองค์ประกอบเชิงปริมาณสำหรับสนับสนุนการตัดสินใจ ซึ่งจะ แสดงองค์ประกอบเชิงปริมาณสำหรับปัจจัยแต่ละอย่างที่เกี่ยวข้องกับเป้าหมายที่วางไว้ เพื่อประเมิน หาคำตอบในเชิงปริมาณการตัดสินใจ AHP มีการใช้งานในหลากหลายแบบทั่วโลก เช่น ในวงการ ธุรกิจ อุตสาหกรรม การแพทย์ รัฐบาล การศึกษา และงานวิจัย หลายหน่วยงานมีการนำซอฟต์แวร์ คอมพิวเตอร์มาช่วยให้การตัดสินใจมีความรวดเร็วและง่ายมากขึ้น

Monwiset [5] ได้ศึกษาเรื่อง การวิเคราะห์หาแนวทางในการเลือกซอฟต์แวร์ระบบสินค้า คงคลังโดยการใช้การตัดสินใจแบบ AHP เพื่อเป็นแนวทางในการเลือกซอฟต์แวร์ที่เหมาะสมกับ ความต้องการของผู้ใช้ระบบภายในองค์กร โดยทำการสัมภาษณ์กลุ่มประชากรจำนวน 20 คน ที่ ทำงานในฝ่ายสินค้าคงคลัง คลังสินค้า และฝ่ายจัดซื้อ และนำผลการให้คะแนนน้ำหนักไป ประมวลผลด้วยโปรแกรม Expert Choice ระหว่างยี่ห้อ WINSPEED และยี่ห้อ PDP และพบว่า ซอฟต์แวร์สำเร็จรูปสินค้าคงคลังที่มีค่าเฉลี่ยสูงเท่ากับ 0.694 คือยี่ห้อ WINSPEED ซึ่งแสดงให้เห็น ว่าซอฟต์แวร์ยี่ห้อ WINSPEED มีความเหมาะสมและตรงตามความต้องการของผู้ใช้มากที่สุด และ จากการคำนวณค่าความสม่ำเสมอของเหตุผล (Consistency Ratio: CR) ได้ค่าความสอดคล้อง ทั้งทั้งแผนภูมิ 0.03 แสดงว่าผลที่ได้จากการคำนวณมีความน่าเชื่อถือและยอมรับการตัดสินใจได้

Sundarajun [6] ทำการศึกษาเกณฑ์การตัดสินใจเลือกผู้ให้บริการจ้างงานเทคโนโลยี สารสนเทศภายนอกโดยใช้กระบวนการวิเคราะห์เชิงลำดับชั้นกรณีศึกษา บริษัท พูจิตีส ซีเอสเอ็ม บีสซีเนส (ประเทศไทย) จำกัด และได้้นำโปรแกรม Expert Choice มาวิเคราะห์ข้อมูลการเก็บข้อมูล ใช้วิธีการสัมภาษณ์ซึ่งจะสามารถอธิบายคำถามในส่วนที่ผู้ให้สัมภาษณ์ไม่เข้าใจหรือมีความซับซ้อน จากเกณฑ์ในการตัดสินใจหลักต่าง ๆ ได้แก่ ผู้ให้บริการจ้างงานเทคโนโลยีสารสนเทศภายนอก เทคโนโลยี ลูกค้า จากการศึกษาค้นคว้าพบว่าเกณฑ์ตัดสินใจที่มีความสำคัญมากที่สุดคือเทคโนโลยี สารสนเทศภายนอก และเกณฑ์ตัดสินใจหลักด้านลูกค้ามีความสำคัญน้อยที่สุด เกณฑ์ตัดสินใจรอง ที่มีความสำคัญมากที่สุดคือ ความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีและความรู้ความชำนาญทางเทคโนโลยี เกณฑ์สำคัญน้อยที่สุดคือด้านสถานะทางการเงินของผู้ให้บริการจ้างงานเทคโนโลยีสารสนเทศ ภายนอก

3. วิธีการดำเนินงานวิจัย

ศึกษาความเป็นไปได้ในด้านการเลือกใช้ซอฟต์แวร์สำหรับการเขียน Code ควบคุมเกณฑ์ในการสนใจคัดเลือกและทางเลือกใช้ โดยผู้ทำการวิจัยได้เลือกใช้ซอฟต์แวร์ “Android Studio” สำหรับการพัฒนากระบวนการตัดสินใจแบบ กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ (Analytical Hierarchy Process: AHP)

3.1 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1) เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการตัดสินใจแบบพหุเกณฑ์ และการประยุกต์ใช้เทคนิคกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ (Analytical Hierarchy Process: AHP) มาวิเคราะห์ตัดสินใจในการคัดเลือกตามวัตถุประสงค์ที่ดีที่สุดผ่านทางสมาร์ทโฟน ระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์

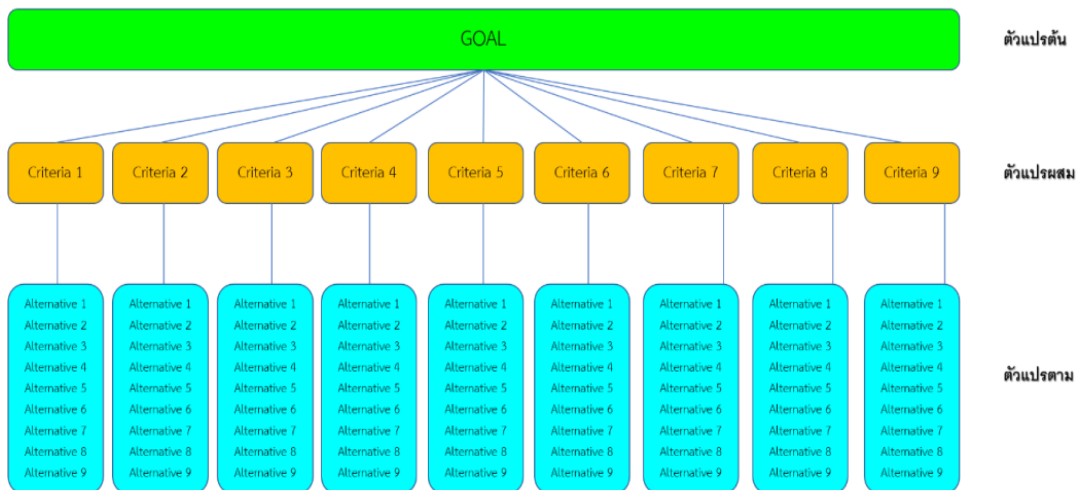
2) เพื่อพัฒนาโปรแกรมสำหรับการตัดสินใจและประยุกต์ใช้โปรแกรมผ่านทางสมาร์ทโฟน ระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์

3.2 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) สามารถทราบถึงปัจจัยที่มีความสำคัญต่อการตัดสินใจ
- 2) ได้ทราบถึงความเหมาะสมของระบบเทคโนโลยีสารสนเทศ
- 3) เป็นเครื่องมือและแนวทางในการตัดสินใจผ่านระบบเทคโนโลยีสารสนเทศที่เหมาะสม

3.3 กรอบแนวคิดการวิจัย

จากกรอบแนวคิดงานวิจัยการศึกษาลำดับปัจจัยทางเลือกในสมาร์ทโฟน ผ่านระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ โดยมีกรอบแนวความคิดในการวิจัย (Conceptual Framework) โดยที่กระบวนการวิเคราะห์ลำดับชั้นเป็นการนำเอาความคิดความรู้สึกที่เป็นนามธรรมนำมาให้ค่าน้ำหนัก โดยใช้ตัวเลขแทน เพื่อให้เป็นเป็นรูปธรรม โดยมีขั้นตอนการจัดโครงสร้างลำดับชั้นของการตัดสินใจ การวินิจฉัยเปรียบเทียบความสำคัญของเกณฑ์ในการตัดสินใจ การเปรียบเทียบเกณฑ์ต่าง ๆ การหาค่าน้ำหนักเกณฑ์ การตรวจสอบความสอดคล้องกันของเหตุผล และการตัดสินใจเลือกจากการใช้กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์เพื่อให้ได้ความสอดคล้องของเหตุผล (Consistency Ratio) ที่สามารถยอมรับได้ จากกรอบแนวคิดงานวิจัยได้กำหนดเป้าหมายในการตัดสินใจเอาไว้ที่การประยุกต์ใช้เทคนิคการวิเคราะห์ตามลำดับชั้นในระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ ใช้กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ (AHP) และระดับชั้นเกณฑ์ในการตัดสินใจหลักอยู่ทั้งสิ้น 9 เกณฑ์ในการตัดสินใจและมีการกำหนดระดับชั้นของทางเลือกอยู่ที่ 9 ลำดับชั้นในทางเลือก ดังรูปที่ 1 กรอบแนวคิดทฤษฎีทางการศึกษาลำดับปัจจัยทางเลือก



รูปที่ 1 กรอบแนวคิดทฤษฎีทางการศึกษาลำดับปัจจัยทางเลือก

3.4 สมมติฐานการวิจัย

H1: ปัจจัยของตัวแปรต้นที่มีอิทธิพลต่อตัวแปรผลของปัจจัยในเกณฑ์ของทางเลือก

H2: ปัจจัยของตัวแปรผลที่มีอิทธิพลต่อตัวแปรตามของปัจจัยของทางเลือก

3.5 การดำเนินการวิจัย

ในการศึกษารั้งนี้ ผู้ศึกษามีจุดมุ่งหมายเพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการคัดเลือกแบรนด์รถยนต์ที่ดีที่สุดการประยุกต์ใช้วิธีวิเคราะห์เชิงลำดับชั้น AHP โดยทำการวิเคราะห์ในด้านต่าง ๆ จะประกอบด้วยทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

1) บริษัทรถยนต์เลือกซื้อรถยนต์ที่ดีที่สุด

2) การกำหนดประชากร

3) การระบุปัจจัยที่ใช้ในการคัดเลือก

4) การออกแบบลำดับชั้น

5) ขอบเขตเนื้อหา

6) การเก็บรวบรวมข้อมูลวิเคราะห์ข้อมูลเชิงปริมาณและแปลความหมายให้อยู่ในสมาร์ตโฟนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์

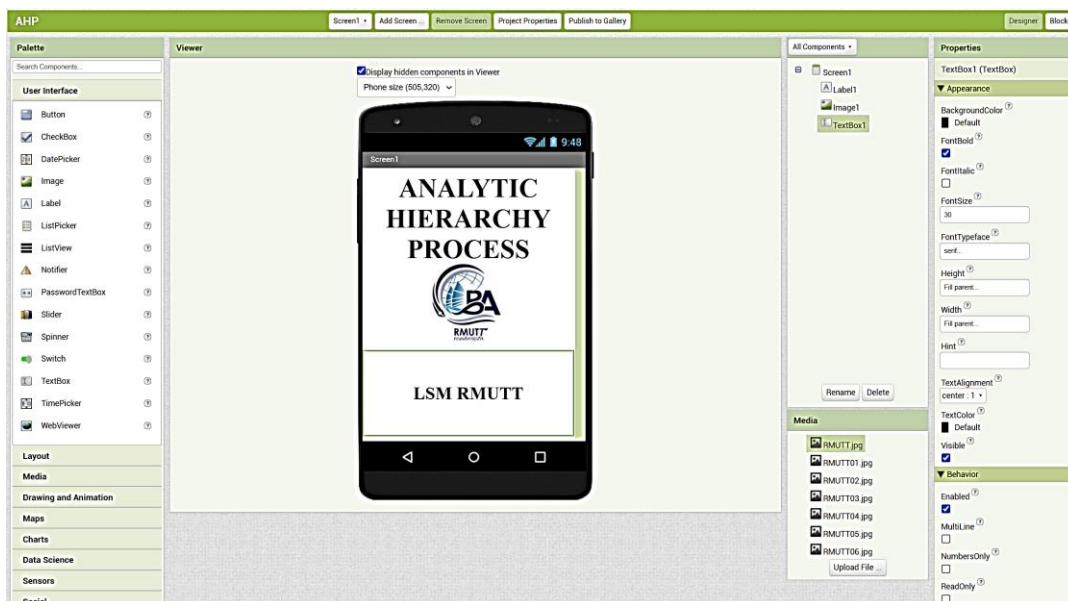
7) เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษา

8) การวิเคราะห์ข้อมูล

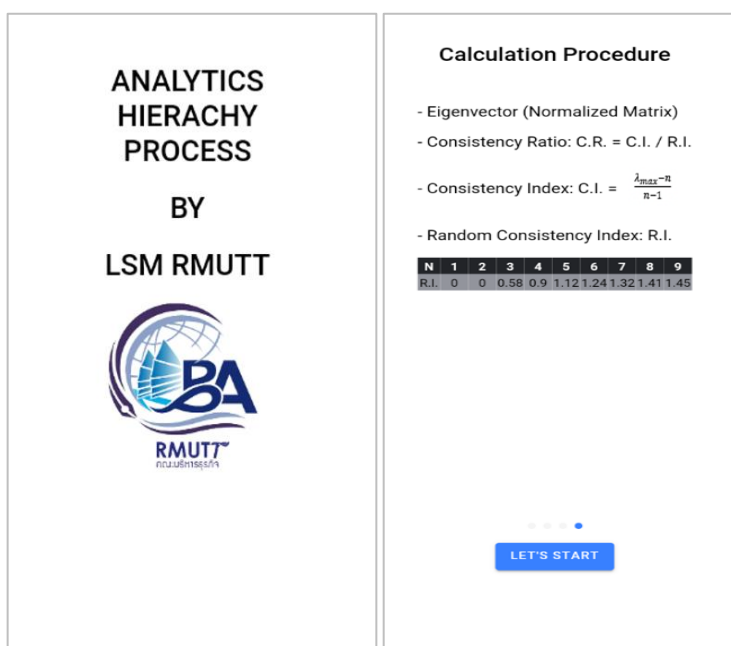
การกำหนดโทรศัพท์จำลอง (emulator) เพื่อการทดลองเรียกโปรแกรมทำงานการพัฒนาแอปฯ แอนดรอยด์นั้น ไม่จำเป็นต้องมีเครื่องแอนดรอยด์จริงเพื่อทดสอบการทำงานของแอปฯ

เนื่องจากเครื่องมือแอนดรอยด์ (SDK) ได้เตรียมโทรศัพท์แอนดรอยด์จำลอง (Android Virtual Device AVD) มาให้แล้ว มันคือโปรแกรมที่จำลองการทำงานของเครื่องแอนดรอยด์จริงขึ้นมาในคอมพิวเตอร์ของเรา [7] โดยเราสามารถกำหนดระบบปฏิบัติการของแอนดรอยด์รวมถึงคุณสมบัติอื่น ๆ ได้ เช่นหน้าจอ และความจุของ SD card ประเภทของระบบปฏิบัติการ (Android และ IOS) โดยก่อนที่จะทำการพัฒนาแอปฯ ด้วยโทรศัพท์จำลองนั้น เราจำเป็นต้องสร้างโทรศัพท์แอนดรอยด์จำลองขึ้นก่อน [8] ดังรูปที่ 2 การพัฒนาการจำลอง (emulator) เพื่อการทดลองเรียกโปรแกรมทำงานในระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ และดังรูปที่ 3 การเขียนโปรแกรม Visual Basic ในรูปแบบสมาร์ทโฟนในระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ผ่านการจำลอง

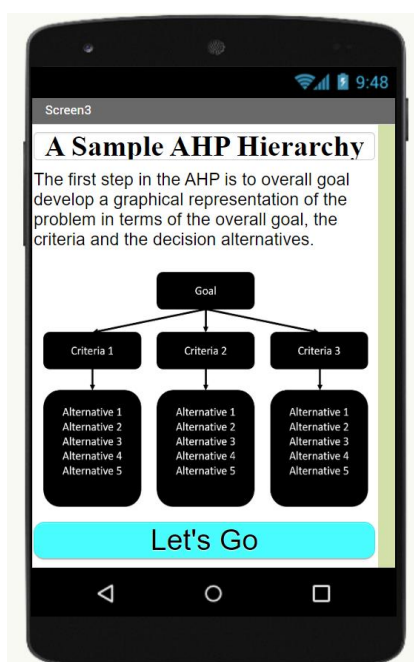
หลังจากผู้ใช้เข้าหน้าหลักของสมาร์ทโฟน ผ่านระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ จะแสดงให้เห็นถึงเกณฑ์ เป้าหมายและความหมายของการตัดสินใจในการเลือก ซึ่งในซอฟต์แวร์จะมีปัจจัยหลักอยู่ 3 ปัจจัย ดังรูปที่ 4 คือ Overall Goal, Criteria Lists และ Alternative Lists ผ่านเมนูหลักดังรูปที่ 5 และ รูปที่ 6 ปัจจัยในทางเลือก Alternative Lists และโครงสร้างทางระบบในการเลือก (Tree Diagram)



รูปที่ 2 การพัฒนาการจำลอง (emulator) เพื่อการทดลองเรียกโปรแกรมทำงานในระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์



รูปที่ 3 การเขียนโปรแกรม Visual Basic ในรูปแบบสมาร์ตโฟน ในระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ ผ่านการจำลอง



รูปที่ 4 การประกาศตัวแปรของเกณฑ์ในการตัดสินใจแบบลำดับขั้นผ่านสมาร์ตโฟน ในระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์

OVERALL GOAL

Goal
The best new car

Number of Criteria:

3

4

5

6

7

8

9

Number of Alternative:

3

4

5

6

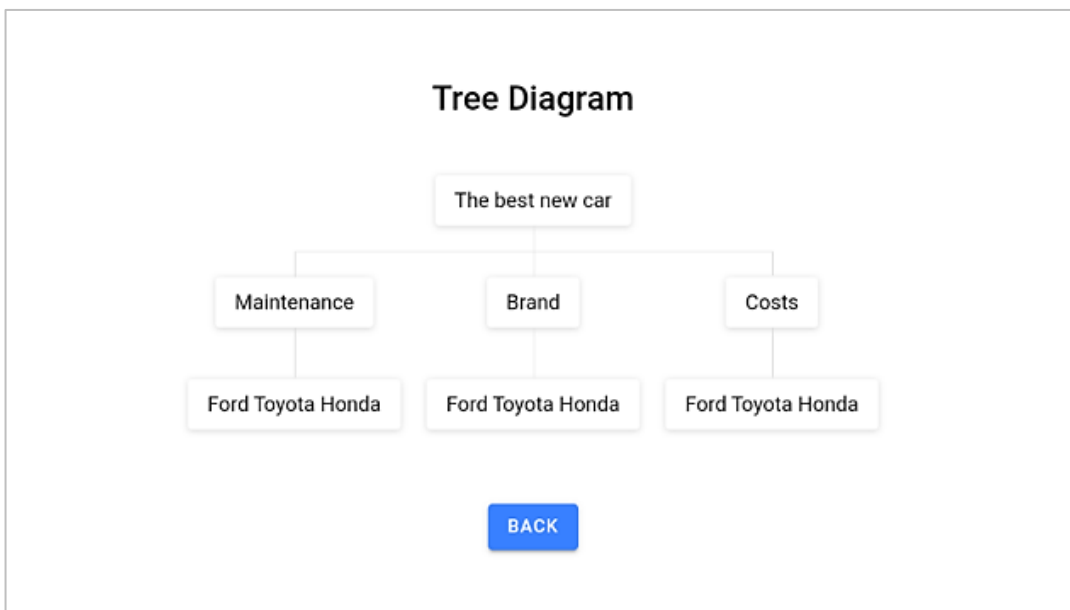
7

8

9

PROCEED

รูปที่ 5 ปัจจัยในทางเลือก Overall Goal และ ปัจจัยทางด้านเกณฑ์ในการเลือก Criteria



รูปที่ 6 ปัจจัยในทางเลือก Alternative Lists และโครงสร้างทางระบบในการเลือก (Tree Diagram)

หลังจากผู้ใช้งานได้ทำการเลือกวัตถุประสงค์หลัก เกณฑ์ในการตัดสินใจ และทางเลือกผ่านทางระบบซอฟต์แวร์แล้ว ระบบจะทำการจัดคู่ให้ค่าน้ำหนักความพึงพอใจในการเลือก ซึ่งจากกรณีศึกษานี้จะใช้วัตถุประสงค์หลักคือการเลือกซื้อรถยนต์ที่ดีที่สุด โดยทำการกำหนดตัวเลือกแบรนด์สินค้าของรถยนต์อยู่ 3 แบรนด์ คือ ฟอर्ड (Ford), โตโยต้า (Toyota) และฮอนด้า (Honda) เมื่อผ่านการเลือกในการเลือกแล้ว ผู้ใช้ระบบจะต้องทำการเลือกเกณฑ์ในการเลือกซื้อรถยนต์ที่ดีที่สุด จาก

กรณีศึกษานี้ได้ใช้เกณฑ์ในการเลือกซื้อรถยนต์ที่สุดอยู่ 3 เกณฑ์ จากการทดลองในการคำนวณการประยุกต์ใช้เทคนิคการวิเคราะห์ตามลำดับชั้นในระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ คือ 1) การซ่อมบำรุง (Maintenance) 2) แบรินด์สินค้า (Brand) และ 3) ราคาสินค้า (Cost) โดยทั้ง 3 เกณฑ์ที่ถูกเลือกขึ้นมาจากจำนวนประชากร (N) ที่ 400 ประชากรผ่านการออกแบบ แบบสอบถามเชิงปริมาณ เพื่อให้ทราบถึงปัจจัยหลัก 3 ประการของการเลือกซื้อรถยนต์ที่ดีที่สุด ดังรูปที่ 7 การจับคู่และให้น้ำหนักเปรียบเทียบ (Pairwise Comparison Scale) เป็นต้น

Pairwise Comparison

Matrix of Alternative

Maintenance

Number of Alternative:

☐	☒	5
Ford	Toyota	
☐	☒	4
Ford	Honda	
☒	☐	3
Toyota	Honda	

NOTE: Rate your choice on a scale at 1-9.

PROCEED
TREE DIAGRAM

รูปที่ 7 การจับคู่และให้น้ำหนักเปรียบเทียบ (Pairwise Comparison Scale)

จากตารางที่ 2 สรุปผลการประเมินความสำคัญของปัจจัยที่ส่งผลต่อการคัดเลือกแบรนด์รถยนต์จากการทดลอง ผ่านระบบแอปพลิเคชันที่ทางผู้วิจัยได้ทำการเขียนโปรแกรมขึ้นมา และได้ทำการเปรียบเทียบกับค่าคำนวณตามทฤษฎีแล้วนั้น ได้ค่าผลลัพธ์เท่ากันกับการใช้ระบบแอปพลิเคชัน ประเมินความสำคัญของปัจจัย โดยจากการคำนวณนั้นมีคะแนนความสำคัญของปัจจัยหลักทางด้านแบรนด์ของสินค้าอยู่ที่ 0.40 ปัจจัยหลักทางด้านราคาสินค้าอยู่ที่ 0.19 และปัจจัยหลักทางด้านค่าซ่อมบำรุงอยู่ที่ 0.07 ตามลำดับ เมื่อทำการวิเคราะห์หาปัจจัยที่ส่งผลต่อการคัดเลือกแบรนด์รถยนต์ที่ดีที่สุดนั้นจะพบว่า ลำดับความสำคัญของรถยนต์แบรนด์ฟอร์ดมีคะแนนความสำคัญของปัจจัยรองอยู่ที่ 68.48% มีลำดับความสำคัญเป็นอันดับที่ 1 และรถยนต์แบรนด์ฮอนดามีความสำคัญเป็นลำดับที่ 2 โดยมีค่าคะแนนความสำคัญของปัจจัยรองอยู่ที่ 22.70% และลำดับที่ 3 ของการเลือกแบรนด์รถยนต์ที่ดีที่สุดคือแบรนด์โตโยต้า โดยมีค่าคะแนนความสำคัญ

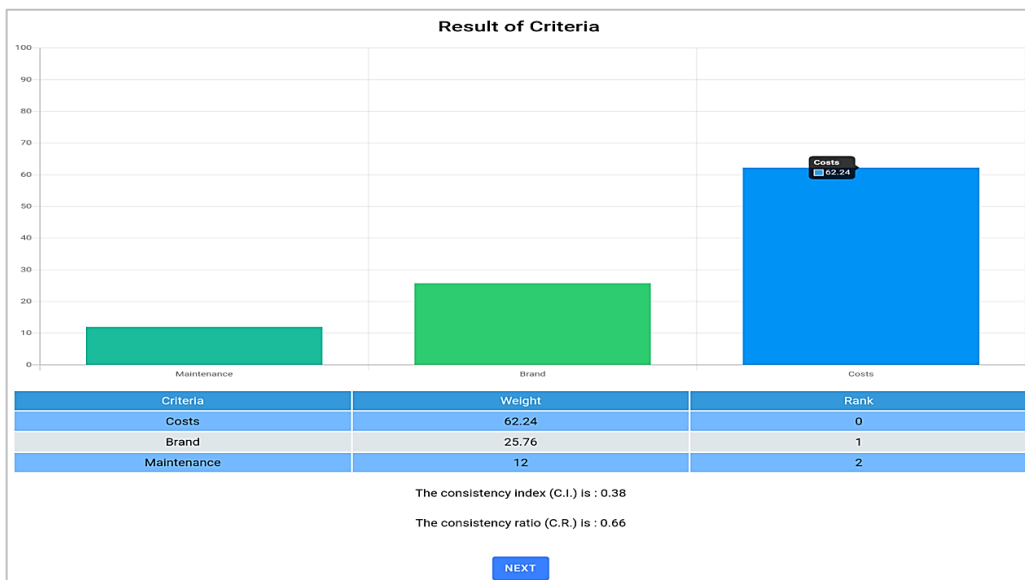
ของปัจจัยรองอยู่ที่ 8.82% ตามลำดับดังนี้ ตารางที่ 2 และ 3 เป็นการสรุปการประเมินความสำคัญของปัจจัยที่ส่งผลต่อการคัดเลือกแบรนด์รถยนต์ที่ดีที่สุด

ตารางที่ 2 สรุปผลการประเมินความสำคัญของปัจจัยที่ส่งผลต่อการคัดเลือกแบรนด์รถยนต์ที่ดีที่สุด

ปัจจัยหลัก	คะแนนความสำคัญ (ปัจจัยหลัก)	ปัจจัยรอง	คะแนนความสำคัญ (ปัจจัยรอง)	ลำดับ ความสำคัญ
Maintenance	0.07	Ford	9.65	3
		Toyota	61.98	1
		Honda	28.37	2
Brand	0.40	Ford	68.48	1
		Toyota	8.82	3
		Honda	22.70	2
Cost	0.19	Ford	13.79	3
		Toyota	25.84	1
		Honda	60.40	2

ตารางที่ 3 สรุปผลการประเมินความสำคัญของปัจจัยที่ส่งผลต่อเกณฑ์การคัดเลือกรถยนต์ที่ดีที่สุด

ปัจจัยหลัก	คะแนนความสำคัญ (ปัจจัยหลัก)	ปัจจัยรอง	คะแนนความสำคัญ (ปัจจัยรอง)	ลำดับ ความสำคัญ
Criteria	0.66	Cost	62.24	1
		Brand	25.76	2
		Maintenance	12.00	3



รูปที่ 8 ผลลัพธ์ที่ได้จากการเปรียบเทียบเชิงกราฟและค่าความกลมกลืนกันของน้ำหนักทางเลือก

ในการจำลองสถานการณ์ของการแอปพลิเคชันด้วยโปรแกรมก่อนนำไปใช้งานจริง เพื่อให้เกิดความมั่นใจและเชื่อมั่นว่าแบบจำลองดังกล่าวนั้นมีความถูกต้อง และให้ผลลัพธ์ที่ใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากที่สุด ดังแสดงผลลัพธ์ในรูปที่ 8 การเปรียบเทียบเชิงกราฟและค่าความกลมกลืนกันของน้ำหนักทางเลือก ซึ่งงานวิจัยนี้ได้ทำการเปรียบเทียบทางเลือกด้านการซ่อมบำรุง ด้านราคาสินค้า และทางด้านยี่ห้อของผลิตภัณฑ์สินค้า ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า แบบจำลองผ่านระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ ที่ทางผู้วิจัยได้ทำการเขียนระบบแอปพลิเคชัน ขึ้นมานั้นสามารถจำลองสถานการณ์จริงได้ เนื่องจากมีค่าความคลาดเคลื่อนที่คำนวณได้น้อยกว่าค่าความคลาดเคลื่อนที่กำหนดเอาไว้

4. สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาได้นำทฤษฎีกระบวนการตัดสินใจเชิงลำดับชั้น Analysis Hierarchy Process (AHP) มาประยุกต์ใช้งานในการพิจารณาคัดเลือกซื้อรถยนต์ที่ดีที่สุดโดยนำปัจจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องมาเป็นตัวช่วยเพื่อการพิจารณาครั้งนี้ โดยมีปัจจัยหลัก 3 ปัจจัย คือ ปัจจัยทางด้านราคา (Costs) ปัจจัยทางด้านการซ่อมบำรุง (Maintenance) ปัจจัยทางด้านตราสารของสินค้า (Brand) โดยให้น้ำหนักความสำคัญดังแสดงในตารางที่ 4 ค่าน้ำหนักความสำคัญของเกณฑ์ต่างๆ ในการเลือกซื้อรถยนต์ที่ดีที่สุด ปัจจัยทางด้านราคา 62.24% ปัจจัยด้านตราสินค้า 25.76% และปัจจัยทางด้านการซ่อมบำรุง 21.00% ตามลำดับ

ตารางที่ 4 คำนวณน้ำหนักความสำคัญของเกณฑ์ต่าง ๆ ในการเลือกซื้อรถยนต์ที่ดีที่สุด

พิจารณาคัดเลือกซื้อรถยนต์ที่ดีที่สุด		
ลำดับ	เกณฑ์	ค่าน้ำหนักความสำคัญ
1	ปัจจัยทางด้านราคา	62.24%
2	ปัจจัยด้านตราสารสินค้า	25.76%
3	ปัจจัยด้านการซ่อมบำรุง	21.00%

จากการคำนวณและวิเคราะห์หาค่าความสอดคล้องของปัจจัยต่าง ๆ โดยใช้โปรแกรม Android Studio ในการวิเคราะห์ผลที่ได้จากการคำนวณในแต่ละทางเลือกที่มี เพื่อทำการคัดเลือกการประยุกต์การซื้อรถยนต์ที่ดีที่สุด ได้ลำดับความสำคัญทางด้านการซ่อมบำรุงและค่าน้ำหนักดังแสดงในตารางที่ 5 คำนวณน้ำหนักความสำคัญของเกณฑ์ปัจจัยทางด้านการซ่อมบำรุง ในการเลือกซื้อรถยนต์ที่ดีที่สุด โดยมีค่าน้ำหนักของแบรนด์ Toyota อยู่ที่ 61.98% Honda อยู่ที่ 28.38% และ Ford อยู่ที่ 9.65% ตามลำดับดังต่อไปนี้

ตารางที่ 5 คำนวณน้ำหนักความสำคัญของเกณฑ์ปัจจัยทางด้านการซ่อมบำรุง ในการเลือกซื้อรถยนต์ที่ดีที่สุด

พิจารณาคัดเลือกซื้อรถยนต์ที่ดีที่สุด ปัจจัยทางด้านการซ่อมบำรุง		
ลำดับ	เกณฑ์	ค่าน้ำหนักความสำคัญ
1	Toyota	61.98%
2	Honda	28.38%
3	Ford	9.65%

ตารางที่ 6 คำนวณน้ำหนักความสำคัญของเกณฑ์ปัจจัยทางด้านตราสารของสินค้า ในการเลือกซื้อรถยนต์ที่ดีที่สุด

พิจารณาคัดเลือกซื้อรถยนต์ที่ดีที่สุด ปัจจัยทางด้านตราสารของสินค้า		
ลำดับ	เกณฑ์	ค่าน้ำหนักความสำคัญ
1	Toyota	68.48%
2	Honda	22.70%
3	Ford	8.82%

ตารางที่ 7 คำนวณน้ำหนักความสำคัญของเกณฑ์ปัจจัยทางด้านราคาของสินค้า ในการเลือกซื้อรถยนต์ที่ดีที่สุด

พิจารณาคัดเลือกซื้อรถยนต์ที่ดีที่สุด ปัจจัยทางด้านราคาของสินค้า		
ลำดับ	เกณฑ์	ค่าน้ำหนักความสำคัญ
1	Toyota	60.40%
2	Honda	25.81%
3	Ford	13.79%

จากตารางที่ 5 สามารถสรุปรูปแบบของการเลือกซื้อรถยนต์ที่ดีที่สุดและเหมาะสมที่สุด Toyota คือ 61.98% และจากตารางที่ 6 สามารถสรุปรูปแบบของการเลือกซื้อรถยนต์ที่ดีที่สุดเมื่อดำเนินการทางด้านตราสารของสินค้าที่เหมาะสมที่สุด Toyota คือ 68.48% และลำดับสุดท้ายของเกณฑ์ในการตัดสินใจเลือกซื้อรถยนต์ที่ดีที่สุดเมื่อมุ่งเน้นทางด้านราคาของสินค้าในตารางที่ 7 Toyota คือ 60.40%

จากการประยุกต์ใช้เทคนิคการวิเคราะห์ตามลำดับขั้นผ่านระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ ทางมือถือที่ทางผู้วิจัยได้ทำการทดลองแล้วนั้น สามารถพิสูจน์ความถูกต้องและความแม่นยำของระบบปฏิบัติการได้อย่างถูกต้อง เมื่อทำการเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณ และผู้ทำการวิจัยได้ทำการ Open Source ไว้ให้สำหรับผู้ที่ต้องการจะทำการปรับปรุง Soft Code เพื่อใช้ในการพัฒนาต่อยอดของเทคนิคการวิเคราะห์ตามลำดับขั้นผ่านระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์เป็นระบบปฏิบัติการ IOS ได้

5. ข้อเสนอแนะ

1) รูปแบบปัญหาและข้อมูลที่น่ามาศึกษาครั้งนี้ เป็นเพียงการวิเคราะห์ผลที่ได้จากการคำนวณในแต่ละทางเลือกที่มี เพื่อทำการคัดเลือกการประยุกต์การซื้อรถยนต์ที่ดีที่สุด การคัดเลือกและประเมินวิเคราะห์ผลที่ได้จากการคำนวณในแต่ละทางเลือกที่มี เพื่อทำการคัดเลือกการประยุกต์การซื้อรถยนต์ที่ดีที่สุดแต่ละที่ย่อมมีความแตกต่างกันไปตามลักษณะเฉพาะของแต่ละองค์กร ดังนั้นการนำผลการศึกษาไปประยุกต์ใช้ในการคัดเลือก ควรจะต้องมีการปรับปรุงเกณฑ์หรือทางเลือกให้เหมาะสมกับลักษณะเฉพาะของแต่ละองค์กร

2) ในการเปรียบเทียบตามหลักของ AHP ในงานวิจัยนี้ มาจากการพิจารณาของผู้ทำวิจัยและพนักงานในแผนกจัดซื้อสินค้าเท่านั้น ซึ่งอาจไม่ยุติธรรมเพียงพอ ดังนั้นในการวิจัยครั้งต่อไป ที่มีการนำไปประยุกต์ใช้ในงานอื่น ๆ ควรจะต้องมีการร่วมกันให้คะแนนเปรียบเทียบของพนักงานใน

แผนกอื่นที่มีส่วนเกี่ยวข้องในการทำงานตอบก็ได้ เพื่อให้การจัดลำดับความสำคัญต่าง ๆ มีความถูกต้องและยุติธรรมมากขึ้น

3) การออกแบบแบบสอบถามที่จะให้ผู้ตัดสินใจตอบ ต้องมีการอธิบายถึงวิธีการตอบแบบสอบถามอย่างละเอียด และแสดงถึงวิธีของกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ พร้อมทั้งแจกแจงปัจจัยต่าง ๆ ที่ใช้เป็นโครงสร้างลำดับชั้นให้ชัดเจน เพื่อให้ผู้ตัดสินใจจะได้ทราบถึงขั้นตอนในการคัดเลือกและประเมินที่ถูกต้องและเป็นไปในแนวทางเดียวกัน

4) ผลที่ได้จากงานวิจัยนี้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้จริงและสามารถใช้อย่างยั่งยืนเหมาะสมของวิธีประมวลที่ใช้ในปัจจุบัน โดยสามารถนำแบบจำลองนี้ไปใช้แทนวิธีแบบเดิมได้ เพราะให้ผลเหมือนกัน แต่มีกระบวนการการตัดสินใจอย่างรอบด้าน โดยพิจารณาเกณฑ์การคัดเลือกในด้านต่าง ๆ ที่ได้จากการทบทวนวรรณกรรมและการสอบถามความเห็นของผู้เชี่ยวชาญ หรือกลยุทธ์การแข่งขันในอุตสาหกรรม เพื่อให้สอดคล้องกับสถานการณ์ที่เปลี่ยนแปลงไปได้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะบริหารธุรกิจ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรีที่ได้เอื้อเฟื้อข้อมูล และสละเวลาในการให้คำปรึกษาอันเป็นประโยชน์แก่ผู้วิจัยเป็นอย่างสูงในงานวิจัยนี้

Reference

- [1] Saaty TL. The analytic hierarchy process. New York, USA: McGraw Hill; 1980.
- [2] Jones TO, Sasser WE. Why satisfied customer defect. Harvard Business Review 1985;73:88-9.
- [3] Ghodspour SH, O'Brien C. A Decision support system for supplier selection using an integrated analytic hierarchy process and linear programming. International Journal of Production Economics 1998;56(1):199-212
- [4] Chirathitiporn T. Evaluation of highway maintenance cost estimation methods by AHP [thesis]. Bangkok, Thailand: Kasetsart University; 2010. (In Thai)
- [5] Monwiset N. Application of hierarchical analytical process techniques to select labor contractors [thesis]. Chonburi, Thailand: Burapha University; 2007. (In Thai)
- [6] Sundarajun S. A Study of decision criteria for selecting IT outsourcing provider using analytic hierarchy process: a case study Fujitsu Systems Business (Thailand) Ltd. [Master of Business Administration]. Nonthaburi, Thailand: Sukhothai Thammathirat Open University; 2009. (In Thai)

- [7] Marino WA, Draculan KA, Liwanag JL, Caday LT, Borres RD. Application of analytic hierarchical process (AHP) method in the comparison of phone with difference OS (Android, IOS). Proceedings of the International Conference in Industrial Engineering and Operations Management; 2021 Aug 2-5; Rome, Italy.
- [8] Laguna EH, Sanchez-Toribio MI, Diaz LR, Leon A. Multiple criteria decision making (MCDM), Applied to the Modernization Plan of the traditional Irrigation of Mula, Spain. ICID Journal 1999;48(3):47-58.

ประวัติผู้เขียนบทความ



วรังกูร อิศรางกูร ณ อยุธยา, Ph.D. (Logistics and Supply Chain Management) Sripatum University, ปร.ต. (การจัดการโลจิสติกส์และซัพพลายเชน) มหาวิทยาลัยศรีปทุม ปัจจุบันดำรงตำแหน่งอาจารย์ประจำสาขาการจัดการโลจิสติกส์และซัพพลายเชน คณะบริหารธุรกิจ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

Email: varangkoon_i@rmutt.ac.th

งานวิจัยที่สนใจ : Industrial Robotics and Automation, Mathematical Modeling Optimization and Simulation, Economic Decision Analysis

Article History:

Received: May 15, 2023

Revised: December 14, 2023

Accepted: December 15, 2023

EXPERIMENTAL STUDY ON HEAT TRANSFER ENHANCEMENT OF FLUID FLOW INSIDE INTERNALLY FINNED PIPE BY THE USE OF MAGNETIC PARTICLE SUSPENSIONS IN PULSATING FLOW

Varut Emudom¹ and Apiwat Suyabodha²

¹Lecturer, Department of Mechanical Engineering, Rangsit University,
52/347 Phaholyothin Rd, Lak Hok, Muang District, Patumthani, 12000 Thailand,
varutama8008@gmail.com

²Lecturer, Department of Automotive Engineering, Rangsit University,
52/347 Phaholyothin Rd, Lak Hok, Muang District, Patumthani, 12000 Thailand,
apiwat.s@rsu.ac.th

ABSTRACT

The method for increasing the rate of heat transfer is presented in this experimental study using the suspensions of magnetic particles which are composed of γ -Fe₂O₃ magnetic particles (gamma-typed iron oxides) ranging in average diameter size 10-20 nm dispersed in distilled water. At different volume concentrations of 0.50%, 0.75%, 1% and 1.25%, the experiments were conducted in a vertical, internally finned pipe. To increase the heat transfer rate, three different intensities of external magnetic field 800 Gauss (G), 1,600 G, and 2,400 G were applied during the pipe flow experiments. All tests were performed within the Reynolds number ($Re \sim 2,900$ -9,800). The outside surface area of the copper pipe was directly applied by the uniform surface heat flux during heat transfer experiments. As the volume concentration of the magnetic particles and the external magnetic field intensity increased, the average heat transfer coefficients increased. The maximum increase in heat transfer rate can be gained at particle volume concentration of 1.25% and the strength of external magnetic field of 2,400 G as compared to the base case with no application of the external magnetic field (0 G). The pulsating flow with high frequency is another factor which can increase the heat transfer rate in the pipe flow. At the frequency of 15 Hz, considerable amount of heat transfer rate can be attained.

KEYWORDS: gamma-typed iron oxides, surface heat flux, magnetic field, pulsating flow, heat transfer rate, average heat transfer coefficients

1. Introduction

Traditional heat transfer fluids such as oil and water with low thermal conductivity have limitations to improve the efficiency of many engineering equipment. To improve the performance of several engineering equipment that involve the heat transfer such as heat exchangers and electronic devices, heat transfer fluids with high thermal conductivity have been used. The use of very small magnetic particles as the dispersed phase to increase the thermal conductivity of the fluids is one of many innovative attempts. The average size of magnetic particles must be under 30 nm to be able to uniformly be suspended in a liquid. The solid volume concentration has a major effect on the magnetic particle suspensions' energy transport. The dramatic improvements in effective thermal conductivity have been indicated in many recent experiments [1, 2]. The ratio of magnetic particle suspensions' thermal conductivity with respect to pure water can be increased by increasing the magnitude of the applied magnetic field [3]. The magnetic particle suspensions' thermal conductivity can be increased exponentially with the particle volume concentration and the suspensions' temperature as reported by another researcher [4]. The heat transfer performance of magnetic particle suspensions in the vertical pipe flow has been reported by a few publications. For practical heat transfer processes in pipe flow, more studies are needed for using the magnetic particles as the dispersed phase.

The magnetic particle suspensions comprise of ferromagnetic particles as a dispersed phase and a nonmagnetic, continuous fluid [5]. Typically, the magnetic particles are very small in the range between 10 nm and 30 nm in diameter, which are coated with layers of surfactants to keep the particles uniformly and stably suspended in the carrier fluid [6]. The dipole-dipole interactions may cause the aggregation of some magnetic particles [7]. Without the externally applied magnetic field, the suspensions do not have any net magnetization and the magnetic particles are oriented randomly. When the suspensions are imposed by the external magnetic field, the magnetic particles in the suspensions align to form chain-like structural shapes in the same direction as the magnetic field [8]. The magnetic particle suspensions can be a major role for many heat transfer applications because the suspensions can be manually controlled by the temperature variation and magnitude of the externally applied magnetic field. The viscosity of magnetic particle suspensions was investigated to be used for applications in heating and cooling systems [9]. To improve high stability of the suspensions for increasing heat transfer performance, some dispersants such

as gum acaria and cetyl trimethyl ammonium chloride were investigated to be used in the suspensions [10]. Another experiment was done to determine the frequency of the oscillating applied field has effects on the variations of the local heat transfer coefficients [11]. Another interesting report was to determine the forced convection heat transfer in a pipe partially filled with the porous medium was affected by the magnetic field induced by a finite length solenoid [12]. A higher mixing intensity and breaking of the thermal boundary layer were results of the combined effects caused by the magnetic field and the porous medium. This in turn can optimize the enhancement of the local heat transfer coefficients and local Nusselt number values. The heat transfer characteristics were determined numerically by some investigators. A zigzag-shaped microchannels and a channel with sinusoidal walls were used as the models [13]. As shown in the studies, heat transfer can be increased in the sinusoidal microchannel without the use of any magnetic particles in the carrier fluid. Decreasing the wavelengths of sinusoidal and zigzag-shaped microchannels can cause the increasing in the local heat transfer coefficients. Some applications such as electronic cooling was investigated in two-phase closed thermosiphon filled with nanofluids [14].

In this study, the heat transfer performance by using the magnetic particle suspensions was investigated in the vertical, internally finned pipe. The fins' helix angle is 15° as compared to the other studies which were done with the helix angle more than 18° . The important parameters such as the particle volume concentrations, the magnitude of the external applied magnetic fields and the frequency of the pulsating flow were the main objectives of this study in order to find the right choices for heat transfer enhancement.

2. Objectives

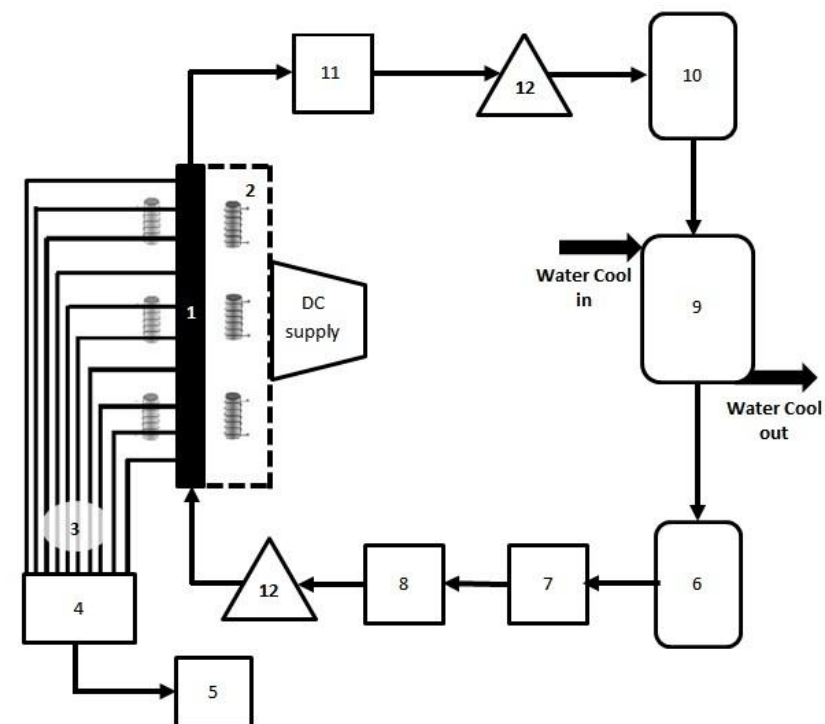
The objective of this study is to identify the important parameters such as the particle volume concentrations, the magnitudes of the external magnetic field, the frequency of the pulsating flow and internally finned pipe with have a major effect on heat transfer enhancement in the pipe flow.

3. Materials and methods

3.1 Apparatus

Figure 1 shows schematically an experimental apparatus for experiments in the vertical, internally finned pipe flow. The test system consists of a flow loop, a heated test section, a heat exchanger, solenoid coils, measuring and controlling units. Two types of pumps were used for testing. A Longer peristaltic pump which comprises of three rollers, silicone tube, inverter, and 0.75-hp AC motor was used for pulsating flow. A centrifugal pump was used for continuous flow. The surface of the copper, internally finned pipe was connected by ten thermocouples to measure the wall temperature at different locations. The cooling effect was done by using the heat exchanger to maintain a constant temperature of the magnetic particle suspensions at the inlet of the test section. Three pairs of solenoid coils were placed at the left and right side of the test section to generate the external magnetic field. A maximum current of 50 Amp from the DC power supply and maximum voltage of 150 V were used to produce the magnetic field. The external magnetic field was directed perpendicularly to the axial flow direction of the magnetic particle suspensions. Figure 2 shows the schematic diagram of the internally finned pipe. The details of internally finned pipe are shown in Table 1.

The test section included a straight, internally finned, copper pipe with 850 mm length, 9.2 mm inner diameter and 10.1 mm outer diameter. The uniform surface heat flux was imposed by wrapping the Nichrome wire around the test pipe. The Nichrome wire was then connected to a DC power supply with maximum power of 500 W. An aluminum foil and rubber were used as the insulation of the test pipe to prevent the heat transfer loss. The thermocouples number 1 to 10 were placed at these distances: 45 mm, 180 mm, 230 mm, 315 mm, 400 mm, 450 mm, 535 mm, 620 mm, 670 mm and 750 mm with respect to the tube inlet.



1	Finned pipe	5	Computer	9	Heat exchanger
2	Electromagnets	6	Reservoir tank	10	Overhead reservoir
3	Thermocouple wires	7	Pump	11	Separator
4	Data logger	8	Flow meter	12	Control valve

Figure 1 Schematic diagram of the experimental apparatus

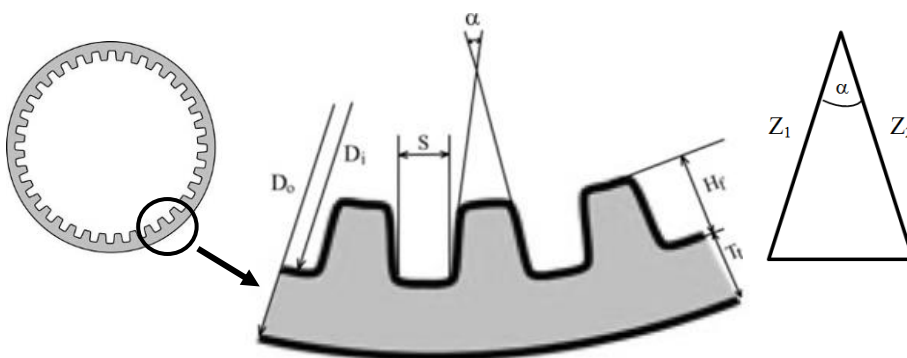


Figure 2 Schematic diagram of the internally finned pipe

Table 1 Specifications of the internally finned pipe

Parameters	Values
Inside diameter, D_i (mm)	9.2
Outside diameter, D_o (mm)	10.1
Tube thickness, T_t (mm)	0.45
Fin spacing, S (mm)	0.26
Fin height, H_f (mm)	0.125
Apex angle, α	55°
Number of fins	65
Tube length (mm)	850

3.2 Materials and preparation

In this study, the mixture of magnetic particles in the form of gamma-typed iron oxides Fe_2O_3 and distilled water were used as the magnetic particle suspensions. The important characteristics of the Fe_2O_3 iron oxides are known for their cubic cell structures and the moments of the individual atoms are aligned in the same direction [15]. The magnetic permeability constants of the particles are in the range between 0.5 to 35.5 and average size of 10-20 nm in diameters [15].

3.3 Data analysis

The total heat transfer rate for the entire pipe can be calculated by the following equation [16]

$$q_{conv} = mC_p (T_{m,exit} - T_{m,inlet}) \quad (1)$$

where q_{conv} is the total heat transfer rate, m is the mass flow rate of the suspensions and C_p is the specific heat.

The local heat transfer coefficient ($h(y)$) can be calculated from Newton's law of cooling as [16]

$$h(y) = (Q_{ave} / A_s) / [T_s(y) - T_m(y)] \quad (2)$$

where Q_{ave} / A_s is the uniform surface heat flux, T_s is the surface temperature along the copper pipe and T_m is the average temperature of the magnetic particle suspensions. The coordinate y is used as the vertical distance starting from $y = 0$ at the copper pipe inlet. Q_{ave} is the average heat transfer rate which can be calculated from

$$Q_{ave} = [IV + mC_p (T_{m,exit} - T_{m,inlet})] / 2 \quad (3)$$

where I is the measured current and V is the supplied voltage. From Equation (2), A_s is the inside heat transfer surface area of the internally finned pipe which can be calculated from

$$A_s = (Z_1 + Z_2 + S) \times \text{Number of fins} \times \text{Tube length} \quad (4)$$

The rate of change between the axial distance along the tube and the suspensions' average temperature can be expressed as the following equation [16]

$$dT_m / dy = q_s h (T_s - T_m) / (mA_s C_p) \quad (5)$$

The average temperature of the suspensions can be obtained by integrating the above expression from $y = 0$ at the tube inlet as following equation

$$T_m(y) = T_{m,inlet} + q_s y / mC_p L \quad (6)$$

where L is the total pipe length. Finally, the average values of convective heat transfer coefficients are calculated by integrating the local values of $h(y)$ for the entire pipe length ($y = 0$ to $y = L$) and dividing by the total pipe length

$$h_{avg} = \left[\int h(y) dy \right] / L \quad (7)$$

The Nusselt number, Nu is the dimensionless number used to describe the ratio of the average heat transfer coefficient to the thermal conductivity of the magnetic particle

suspensions. It can be written as $Nu = h_{avg} D / k$ where D is the equivalent inside diameter of the tube. Nu was used to determine the performance in heat transfer rate the entire pipe.

3.4 Uncertainty analysis

The uncertainty (σ) can occur from the errors of the experimental data. The heat flux, the surface temperature along the copper tube, the supplied voltage, the electric current and the distance between the thermocouples are among the collected data causing errors. The uncertainty of the local heat transfer coefficient is calculated as follows

$$\sigma_h = \pm \sqrt{\left(\frac{\partial h}{\partial q_s''} \sigma_{q_s''}\right)^2 + \left(\frac{\partial h}{\partial T_s} \sigma_{T_s}\right)^2 + \left(\frac{\partial h}{\partial T_m} \sigma_{T_m}\right)^2} \quad (8)$$

From Equations (3) and (6), the uncertainties of the average temperatures of the suspensions and the uniform surface heat flux are calculated as follows

$$\sigma_{T_m} = \pm \sqrt{\left(\frac{\partial T_m}{\partial T_{m,i}} \sigma_{T_{m,i}}\right)^2 + \left(\frac{\partial T_m}{\partial y} \sigma_y\right)^2} \quad (9)$$

$$\sigma_{q_s''} = \pm \sqrt{\left(\frac{\partial q_s''}{\partial I} \sigma_I\right)^2 + \left(\frac{\partial q_s''}{\partial V} \sigma_V\right)^2} \quad (10)$$

Table 2 summarizes the uncertainties of the measurements in this study.

Table 2 Uncertainty of the measurements

Quantity	Uncertainty
ΔL (m)	1×10^{-3}
ΔI (Amp)	0.1
ΔV (Volt)	0.1
ΔT_s ($^{\circ}C$)	0.2

The relative uncertainty of the local heat transfer coefficient is calculated as follows

$$U_h = \frac{\sigma_h}{h} = \pm \sqrt{\frac{1}{h^2} \left[\left(\frac{\partial h}{\partial q_s''} \sigma_{q_s''} \right)^2 + \left(\frac{\partial h}{\partial T_s} \sigma_{T_s} \right)^2 + \left(\frac{\partial h}{\partial T_m} \sigma_{T_m} \right)^2 \right]} \quad (11)$$

The relative uncertainty of the surface heat flux is calculated as follows

$$U_{q_s''} = \frac{\sigma_{q_s''}}{q_s''} = \pm \sqrt{\frac{1}{q_s''^2} \left[\left(\frac{\partial q_s''}{\partial I} \sigma_I \right)^2 + \left(\frac{\partial q_s''}{\partial V} \sigma_V \right)^2 \right]} \quad (12)$$

For all the measured cases, the uncertainty values have been calculated. The percentage uncertainty of the local heat transfer coefficient was calculated to be $\pm 2.85\%$.

4. Results

The effects of different intensities (0 – 2,400 G) of the external applied magnetic field on the suspensions' temperature profile for the pulsating flow with frequency of 10 Hz and 15 Hz at the volume concentration of 0.5% and 1.0% are shown in Figures 3-6, respectively.

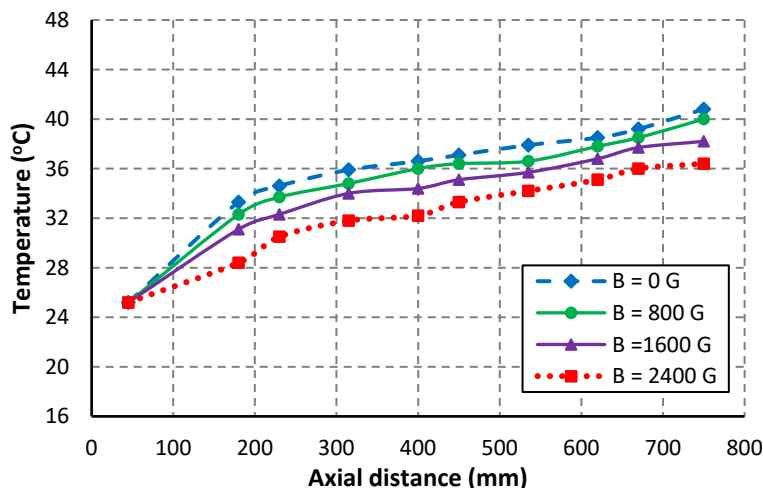


Figure 3 Effect of magnetic field on the suspensions' temperature at frequency of 10 Hz and 0.5% vol.

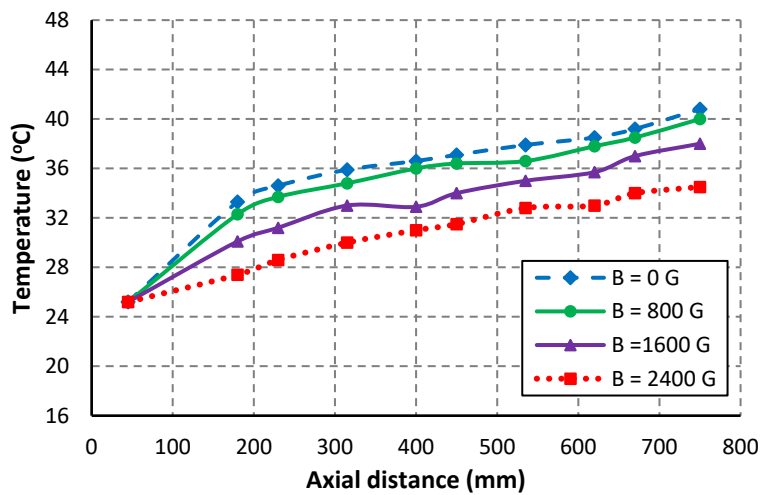


Figure 4 Effect of magnetic field on the suspensions' temperature at frequency of 10 Hz and 1.0% vol.

Figures 3 and 4 show the increase in temperature of the magnetic particle suspensions as the axial distance increases at different intensities of the external magnetic field. The pulsating flow was set at the frequency of 10 Hz.

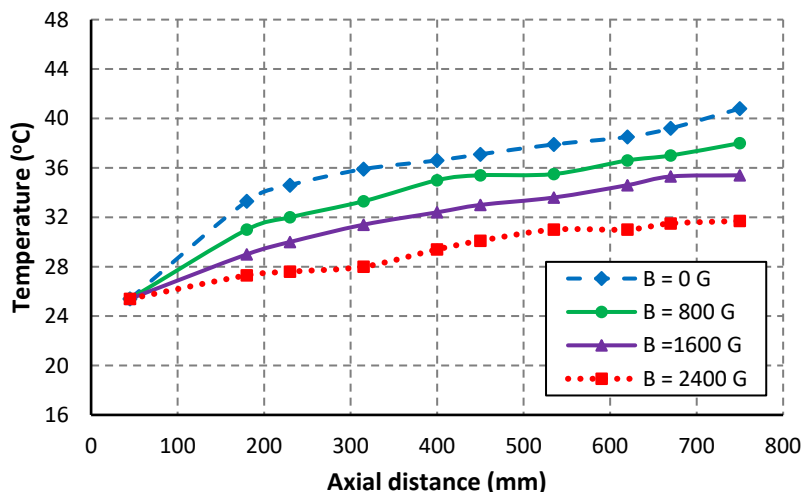


Figure 5 Effect of magnetic field on the suspensions' temperature at frequency of 15 Hz and 0.5% vol.

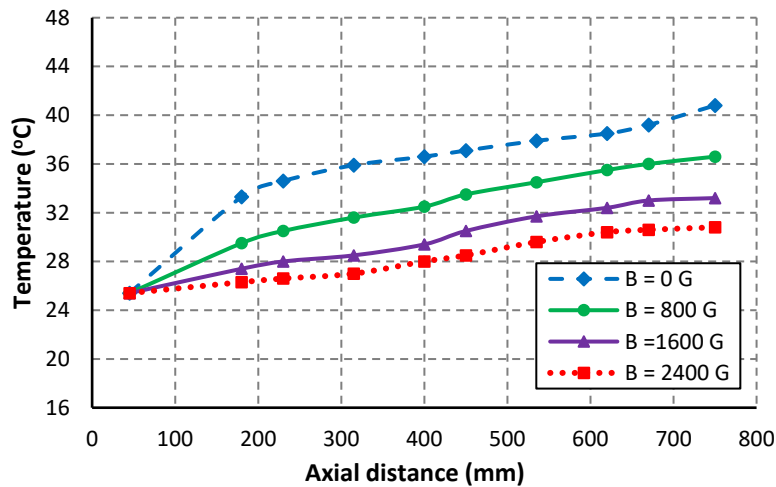


Figure 6 Effect of magnetic field on the suspensions' temperature at frequency of 15 Hz and 1.0% vol.

Figures 5 and 6 show the increase in temperature of the magnetic particle suspensions as the axial distance increases at different intensities of the external magnetic field. The pulsating flow was set at the frequency of 15 Hz.

By using the Nichrome wire to apply the constant surface heat flux over the copper, internally finned pipe, the suspensions' temperature had been remarkably decreased when the external magnetic field was applied to the flow of the suspensions. The suspensions' temperature decreased when the particle volume concentrations increased. Comparing the case with no application of the external magnetic field, the decrease in temperature of 9.5°C could be obtained for the external magnetic field with an intensity of 2,400 G, the particle volume concentration of 1.0% and at the frequency of 15 Hz in pulsating flow. Figures 7 and 8 present the local heat transfer coefficients as a function of relative axial distance starting from the pipe inlet at volume concentration of 1.0% in pulsating flow at frequency of 10 Hz and 15 Hz, respectively.

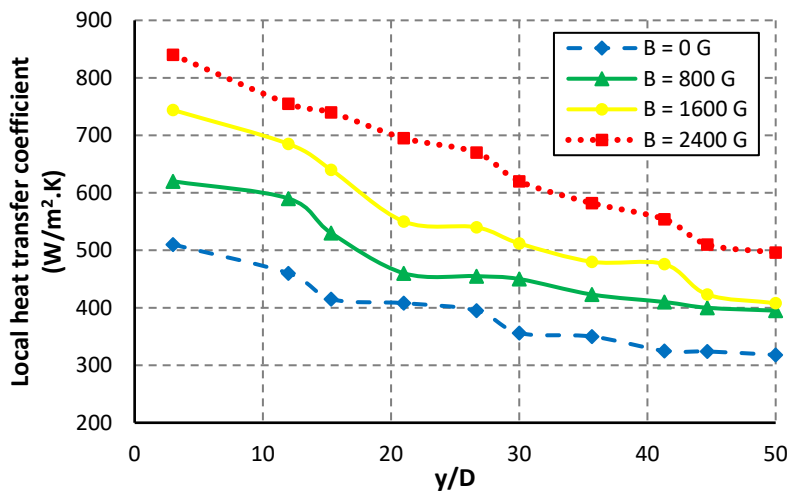


Figure 7 Profile of the local heat transfer coefficients at frequency of 10 Hz and 1.0% vol.

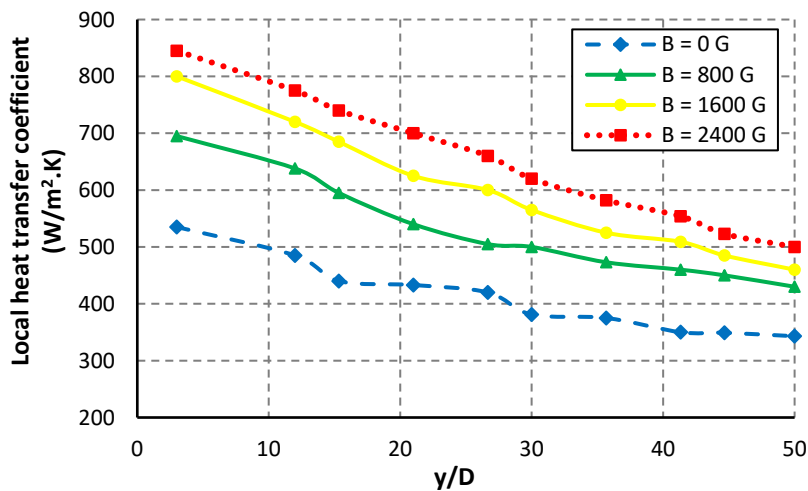


Figure 8 Profile of the local heat transfer coefficients at frequency of 15 Hz and 1.0% vol.

Figures 7 and 8 show the decreasing of the local heat transfer coefficients with the increasing in the axial distance of the pipe. The heat transfer enhancement could not perform well for the magnetic particle suspensions without applying an external magnetic field to the flow, hence low numbers for the local heat transfer coefficients. With the increasing axial distance starting from the entrance to the exit of the copper pipe, values of the local heat transfer coefficient, $h(y)$ decreased. The local heat transfer coefficients increased as the particle volume concentrations increased. As expected, an intensive performance of heat

transfer could be acquired by applying a stronger magnetic field. Figures 9 and 10 show that the average values of convective heat transfer coefficient increase as the volume concentration of magnetic particles and Reynolds number increase. Four different volume concentration of 0.50%, 0.75%, 1.00% and 1.25% are shown with two different frequencies (10 Hz and 15 Hz) of pulsating flow.

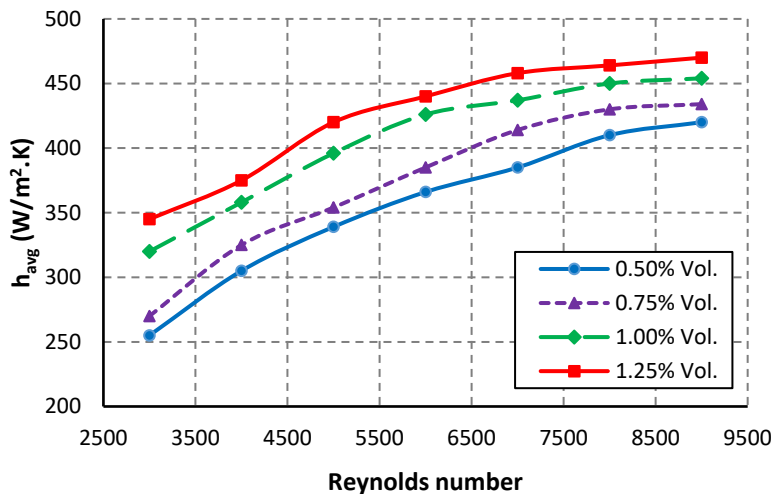


Figure 9 Average heat transfer coefficient as a function of the Reynolds number at 10 Hz

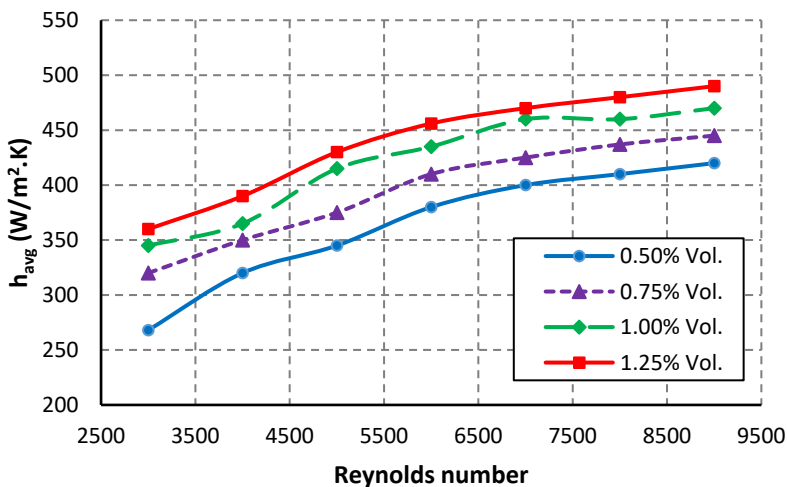


Figure 10 Average heat transfer coefficient as a function of the Reynolds number at 15 Hz

The relationship between the Nusselt number and the Reynolds number is shown in Figure 11 for the continuous flow and the pulsating flow with the frequencies of 10 Hz and 15 Hz. The volume concentration of magnetic particles is 1.0% and the intensity of external magnetic field of 2,400 G.

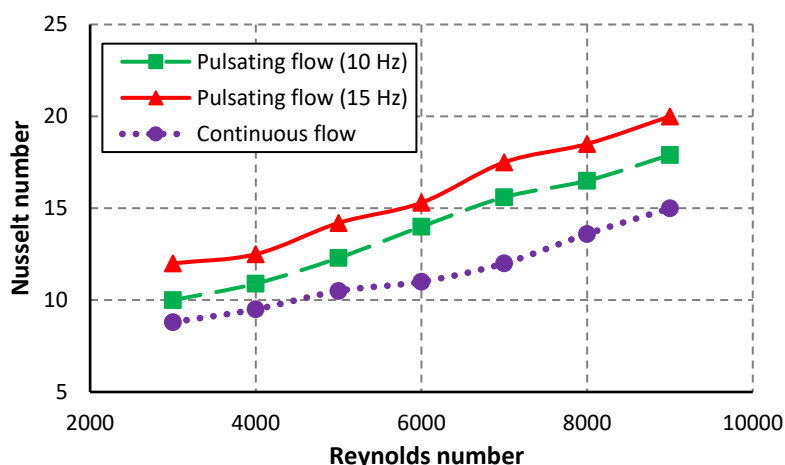


Figure 11 Profile of Nusselt number and Reynolds number at magnetic field of 2,400 G and volume concentration of 1.0%

Figure 11 shows the increase in the Nusselt number, hence, the increase in heat transfer as the flow frequency increases. The Nusselt number with higher frequency pulsating flow show higher than lower ones. The frequency pulsating flow has major effect on the Brownian motion of suspending magnetic particles in the base fluid which results in higher disturbance in the main suspensions flow. Therefore, the suspensions with higher pulsating frequency are likely to enhance more heat transfer than the continuous flow. The other interesting explanations of the performance in heat transfer from this experiment. The decreasing of the local heat transfer coefficients with the increasing of the axial distance is caused by the growth of the thermal boundary layer. However, the magnetic particle suspensions can be used to increase the average heat transfer coefficients. The convective heat transfer can be improved by increasing the volume concentration of magnetic particles. Without application of the external magnetic field, the magnetic moments within the magnetic particles are oriented randomly. The magnetic particles are affected mainly by the Brownian motion in which the thermal energy is greater than the magnetic dipolar energy [17]. The

Brownian motion is the random motion of very small particles suspended in a carrier liquid. When the external magnetic field is applied to the magnetic particle suspensions, the magnetic dipolar energy becomes stronger and can overcome the thermal energy [18]. The magnetic moments adjust magnetic particles to align themselves in direction of the external magnetic field forming some agglomerates and many short chain-like structural shapes. The formation of magnetic particles in chain-like structures increases as the strength of magnetic field increases. The linear chain-like structures become longer when the volume concentration of magnetic particles is increased, hence the heat transfer can perform remarkably well. Also, increasing the thermal conductivity of the suspensions can enhance the forced convective heat transfer. The main mechanism of suspensions' thermal conductivity is the magnetic torque that aligns the magnetic moments of the magnetic particles in direction of the external magnetic field. Therefore, increasing the thermal conductivity of the suspensions can be attained by increasing the strength of the external magnetic field, hence, the heat transfer enhancement can be increased.

5. Conclusions

The performance in heat transfer of the magnetic particle suspensions of iron oxides Fe_2O_3 was investigated experimentally in a copper, internally finned pipe. The performance in heat transfer was improved by imposing the external magnetic field to the magnetic particle suspensions. The experiments showed that the average heat transfer coefficients increased with the increasing the volume concentration of magnetic particles and the strength of the external magnetic field. Also, the internally finned pipe can optimize the convective heat transfer better than the ordinary round pipe. As compared with the continuous flow, the pulsating flow can considerably affect the heat transfer enhancement. The high frequency flow can be a major reinforcement to help increasing the heat transfer rate within pipe flow.

References

- [1] Esfe MH, Raki HR, Emami MRS, Afrand M. Viscosity and rheological properties of antifreeze base nanofluid containing hybrid nano-powders of MWCNTs and TiO_2 under different temperature conditions. Powder Technology 2019;342:808-16. doi: 10.1016/j.powtec.2018.10.032.

- [2] Jeong J, Li C, Kwon Y, Lee J, Kim S H, Yun R. Particle shape effect on the viscosity and thermal conductivity of ZnO nanofluids. International Journal of Refrigeration 2013;36(8):2233-41.
- [3] Karimi A, Goharkhah M, Ashjaee M, Shafii M B. Thermal conductivity of Fe_2O_3 and Fe_3O_4 magnetic nanofluids under the influence of magnetic field. International Journal of Thermophysics 2015;36(10):2720-39. doi: 10.1007/s10765-015-1977-1.
- [4] Hojjat M, Etemad S, Bagheri R, Thibault J. Thermal conductivity of non-Newtonian nanofluids experimental data and modeling using neural network. International Journal of Heat and Mass Transfer 2011;54(5-6):1017-23. doi: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2010.11.039.
- [5] Zhou J, Gu G, Meng X, Shao C. Effect of alternating gradient magnetic field on heat transfer enhancement of magnetorheological fluid flowing through microchannel. Applied Thermal Engineering 2019;150:1116-25. doi: 10.1016/j.applthermaleng.2019.01.057.
- [6] Liou TM, Wei TC, Wang CS. Investigation of nanofluids on heat transfer enhancement in a louvered microchannel with lattice Boltzmann method. Journal of Thermal Analysis and Calorimetry 2019;135:751-62. doi: 10.1007/s10973-018-7299-3.
- [7] Khodadadi H, Toghraie D, Karimipour A. Effects of nanoparticles to present a statistical model for the viscosity of MgO-water nanofluid. Powder Technology 2019; 342: 166-180. doi: 10.1016/j.powtec.2018.09.076.
- [8] Arabpour A, Karimipour A, Toghraie D. The study of heat transfer and laminar flow of kerosene/multi- walled carbon nanotubes (MWCNTs) nanofluid in the microchannel heat sink with slip boundary condition. Journal of Thermal Analysis and Calorimetry 2018;131(2):1553-66. doi: 10.1007/s10973-017-6649-x.
- [9] Bahiraei M, Hangi M. Flow and heat transfer characteristics of magnetic nanofluids: a review. Journal of Magnetism and Magnetic Materials 2015;374:125-38. doi: 10.1016/j.jmmm.2014.08.004.
- [10] Sun B, Lei W, Yang D. Flow and convective heat transfer characteristics of Fe_2O_3 -water nanofluids inside copper tubes. International Communication of Heat and Mass Transfer 2015;64: 21-8. doi: 10.1016/j.icheatmasstransfer.2015.01.008.
- [11] Yarahmadi M, Goudarzi H M, Shafii M B. Experimental investigation into laminar forced convective heat transfer of ferrofluids under constant and oscillating magnetic field with different magnetic field arrangements and oscillation modes. Experimental Thermal and Fluid Science 2015;68:601-11. doi: 10.1016/j.expthermflusci.2015.07.002.

- [12] Fadaei F, Shahrokhi M, Dehkordi A M, Abbasi Z. Forced-convection heat transfer of ferrofluids in a circular duct partially filled with porous medium in the presence of magnetic field. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials* 2019;475:304-15. doi: 10.1016/j.jmmm.2018.11.032.
- [13] Toghraie D, Abdollah M, Pourfatta F, Akbari O, Ruhani B. Numerical investigation of flow and heat transfer characteristics in smooth, sinusoidal and zigzag-shaped microchannel with and without nanofluid. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry* 2018;131(2):1757-66. doi:10.1007/s10973-017-6624-6.
- [14] Rashidi MM, Nasiri M, Khezerloo M, Laraqi N. Numerical investigation of magnetic field effect on mixed convection heat transfer of nanofluid in a channel with sinusoidal walls. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials* 2016;401:159-68. doi: 10.1016/j.jmmm.2015.10.034.
- [15] Rosensweig RE. *Ferrohydrodynamics*. USA: Dover Publications, Inc.; 1997.
- [16] Incropera FP, Dewitt DP. *Introduction to Heat Transfer*. USA: John Wiley & Sons; 1996.
- [17] Keyvani M, Afrand M, Toghraie D, Reiszadeh M. An experimental study on thermal conductivity of cerium oxide/ethylene glycol nanofluid: developing a new correlation. *Journal of Molecular Liquids* 2018;266:211-7. doi: 10.1016/j.molliq.2018.06.010.
- [18] Meyer JP, Adio SA, Sharifpur M, Nwosu PN. The viscosity of nanofluids: a review of the theoretical, empirical and numerical models. *Heat Transfer Engineering* 2016;37(5):387-421. doi: 10.1080/01457632.2015.1057447.

Author's Profile



Varut Emudom received Ph.D. in Mechanical Engineering from the University of Illinois, U.S.A. in 2003. He is now with the Department of Mechanical Engineering at Rangsit University, Thailand. His main research interests include fluid mechanics, thermodynamics and heat transfer.



Apiwat Suyabodha received the Ph.D. in Automotive Engineering from University of Bath, United Kingdom. Currently, he is a lecturer in Automotive and Mechanical Engineering, Rangsit University, Thailand. His research interests focus on strength of material, combustion engine, dynamics of vehicles and simulation of engine.

Article History:

Received: June 19, 2023

Revised: November 8, 2023

Accepted: December 15, 2023

การศึกษาประสิทธิภาพเนินชะลอความเร็ว พื้นที่อำเภอบางเสาธง
จังหวัดสมุทรปราการ

EFFICIENCY STUDY OF SPEED HUMP IN BANG SAO THONG DISTRICT
AREA SAMUT PRAKAN PROVINCE

สุวิมล เจียรธรวานิช¹ และ ธรรมมา เจียรธรวานิช²

¹รองคณบดี, คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

2 ถนนนางลิ้นจี่ แขวงทุ่งมหาเมฆ เขตสาทร กรุงเทพฯ 10120, Suwimol.J@mail.rmuth.ac.th

²อาจารย์, คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

2 ถนนนางลิ้นจี่ แขวงทุ่งมหาเมฆ เขตสาทร กรุงเทพฯ 10120, Thamma.J@mail.rmuth.ac.th

Suwimol Jairtalawanich¹ and Thamma Jairtalawanich¹

¹Vice Dean, Faculty of Technical Education, Rajamangala University of Technology

Krungthep, 2 Nanglinchee Rd., Tungmahamek, Sathorn, Bangkok 10120, Thailand,

Suwimol.J@mail.rmuth.ac.th

²Lecturer, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Krungthep,

2 Nanglinchee Rd., Tungmahamek, Sathorn, Bangkok 10120, Thailand,

Thamma.J@mail.rmuth.ac.th

บทคัดย่อ

การศึกษาประสิทธิภาพเนินชะลอความเร็ว พื้นที่อำเภอบางเสาธง จังหวัดสมุทรปราการ มีวัตถุประสงค์หลักของการใช้เนินชะลอความเร็ว เพื่อชะลอความเร็วของยานพาหนะ และการใช้เนินชะลอความเร็วที่เหมาะสมจะช่วยลดการเกิดอุบัติเหตุและความสูญเสียจากการเกิดอุบัติเหตุอย่างมีนัยสำคัญ อย่างไรก็ตามเนินชะลอความเร็วจัดเป็นอุปสรรคที่ติดตั้งอยู่บนผิวจราจร การศึกษานี้จึงได้ให้ความสำคัญ มุ่งศึกษาเปรียบเทียบความเร็วยานพาหนะขณะขับขึ้นช่วงก่อนและหลังคร่อมเนินชะลอความเร็วในรูปแบบต่าง ๆ ของยานพาหนะ โดยแบ่งกลุ่มความเร็วตามมาตรฐานความกว้างของเนินชะลอความเร็วที่มีความกว้างมากกว่าและน้อยกว่า 0.90 เมตร โดยกลุ่มเนินชะลอความเร็วที่มีความกว้างไม่เกิน 0.90 เมตร ทำให้ความเร็วลดลงเฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ 39.93 และกลุ่มเนินชะลอความเร็วที่มีความกว้างมากกว่า 0.90 เมตร ทำให้ความเร็วลดลงเฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ 48.71 ผลการวิจัยนี้พบว่าเนินชะลอความเร็วที่มีความกว้างมากกว่า 0.90 เมตร มีผลต่อประสิทธิภาพในการชะลอความเร็วของยานพาหนะขณะขับผ่านเนินชะลอความเร็วด้วยความเร็ว

แบบอิสระบนถนนเส้นนั้น ๆ และควรปรับปรุงเนินชะลอความเร็วให้มีสภาพที่พร้อมใช้งานอยู่เสมอ และจากผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ พบว่าสมมติฐานด้านผลต่างความเร็วยานพาหนะก่อนและขณะคร่อมเนินชะลอความเร็วของเนินชะลอความเร็ว ให้ค่า P-value น้อยกว่านัยสำคัญที่ 0.05 จึงปฏิเสธสมมติฐานหลัก ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าผลต่างความเร็วยานพาหนะก่อนและขณะคร่อมเนินของเนินชะลอความเร็วที่มีความกว้างไม่เกิน 0.90 เมตร กับ มากกว่า 0.90 เมตร แตกต่างกัน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 หรือที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

คำสำคัญ: เนินชะลอความเร็ว, การสยบการจราจร, ความปลอดภัย

ABSTRACT

This study focuses on assessing the effectiveness of speed bumps in the Bang Sao Thong district, Samut Prakan province. The primary objective is to examine the impact of speed bumps on vehicle speeds with the aim of reducing accidents and associated losses significantly. However, speed bumps are considered road obstacles, and this study emphasizes their importance while comparing vehicle speeds before and after encountering speed bumps of various designs. The categorization is based on the width of the speed bump. The research findings indicate that speed bumps with a width not exceeding 0.90 meters result in an average speed reduction of 39.93%, while those with a width greater than 0.90 meters lead to an average speed reduction of 48.71%. The study concludes that speed bumps wider than 0.90 meters significantly affect the effectiveness of speed reduction for vehicles passing over them independently on the specific road segment. It recommends continuous maintenance and improvements to ensure optimal functionality. Statistical analysis shows a significant difference in vehicle speeds before and during interaction with speed bumps, particularly with widths below and above 0.90 meters, rejecting the null hypothesis at a 0.05 significance level. In summary, the study suggests that adjustments and enhancements to speed bump designs can contribute to more effective speed control, ultimately enhancing road safety.

KEYWORDS: Speed Hump, Traffic Calming, Safety

1. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

จำนวนอุบัติเหตุจากการจราจรที่เกิดขึ้นของประเทศไทยในแต่ละปีมีปริมาณมากดังจะเห็นได้จากข่าวในปัจจุบัน ส่งผลต่อความเสียหายทางด้านเศรษฐกิจและสังคม โดยจะพบว่าอุบัติเหตุบน

ท้องถนนที่เกิดขึ้นบ่อยครั้ง คืออุบัติเหตุจากจักรยานยนต์ ซึ่งสิ่งที่จะช่วยในการลดหรือชะลอความเร็วของการขับขี่จักรยานยนต์ได้คือ เนินชะลอความเร็ว ซึ่งปัจจุบันเนินชะลอความเร็วยังไม่สามารถควบคุมความเร็วของผู้ขับขี่ยานพาหนะได้อย่างมีประสิทธิภาพในการที่จะช่วยเพิ่มความปลอดภัยบนท้องถนนโดยเฉพาะในพื้นที่ที่มีปริมาณจราจรไม่คับคั่งมากนัก วัตถุประสงค์หลักของการศึกษาเนินชะลอความเร็ว คือ เพื่อชะลอความเร็วของยานพาหนะ ลดอุบัติเหตุและความรุนแรงของอุบัติเหตุได้อย่างมีประสิทธิภาพ อย่างไรก็ตามเนินชะลอความเร็วก็จัดเป็นอุปสรรคที่ติดตั้งอยู่บนพื้นผิวจราจร ดังนั้นการใช้งานเนินชะลอความเร็วอย่างไม่เหมาะสมอาจเป็นสาเหตุของการเกิดอุบัติเหตุจราจรได้ งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาเปรียบเทียบพฤติกรรมการใช้ความเร็วของผู้ขับขี่ในช่วงก่อนคร่อมเนินชะลอความเร็วและหลังคร่อมเนินชะลอความเร็วในเขตพื้นที่ชุมชน อำเภอบางเสาธง จังหวัดสมุทรปราการ จากนั้นนำเสนอผลวิเคราะห์ข้อมูลความเร็วของยานพาหนะประเภทต่าง ๆ ก่อนและหลังคร่อมเนินชะลอความเร็วผลที่ได้จากการศึกษานี้สามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานประกอบการตัดสินใจในการเลือกใช้เนินชะลอความเร็วอย่างเหมาะสมเพื่อให้เกิดความปลอดภัยสูงสุดต่อผู้ใช้ถนน

เทคนิคการวัดความเร็วโดยใช้ปืนวัดความเร็ว การวัดความเร็วไม่สามารถใช้การจับเวลาและวัดระยะทางที่เคลื่อนที่แบบตรงไปตรงมาได้ ยกตัวอย่างเช่นการวัดความเร็วของรถบนท้องถนนที่วิ่งด้วยความเร็วสูงและหลายๆช่วงเวลายังมีรถในปริมาณมากอุปกรณ์ตรวจจับความเร็วที่เรียกว่าปืนวัดความเร็ว โดยแบ่งออกเป็น 2 ประเภทตามคลื่นที่ปล่อยออกไป

1) ปืนเรดาร์วัดความเร็ว

1.1) ปืนวัดความเร็วจะปล่อยคลื่นวิทยุออกไป

1.2) เมื่อคลื่นวิทยุตกกระทบกับรถยนต์ที่วิ่งเข้าหาจะเกิดการสะท้อนกลับมายังปืนวัดความเร็วที่มีอุปกรณ์ตรวจจับอยู่ในกระบอกเดียวกัน

1.3) ยิงรถยนต์วิ่งเข้าหาอุปกรณ์ตรวจจับด้วยความเร็วสูงเท่าใด คลื่นวิทยุที่สะท้อนกลับมาก็จะยิ่งมีความถี่สูงขึ้นเท่านั้นซึ่งปรากฏการณ์ดังกล่าว เรียกว่า ปรากฏการณ์ดอปเพลอร์ (Doppler effect)

1.4) อุปกรณ์ตรวจจับจะวัดความถี่คลื่นที่สะท้อนกลับมาเพื่อแปลงผลกลับไปเป็นความเร็วของรถยนต์

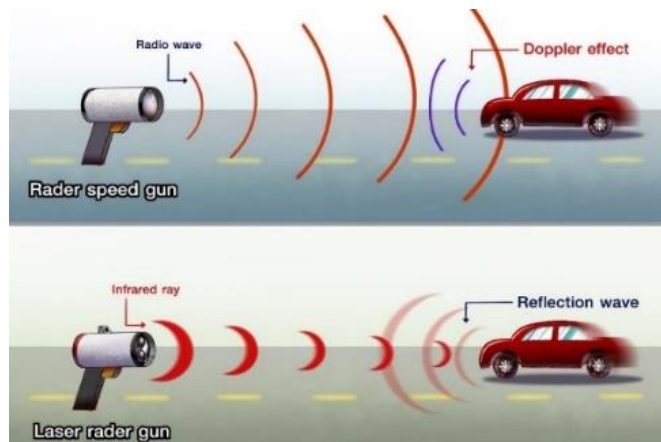
การประยุกต์ใช้งานของเรดาร์ ได้แก่ เครื่องวัดความเร็วของกระสุนปืนหรือตรวจจับความเร็วของรถยนต์ การวัดความเร็วของเรดาร์นี้จะวัดความสัมพันธ์กับเรดาร์หรือความเร็วที่วิ่งเข้าหาหรือวิ่งออกจากเรดาร์โดยตรงเท่านั้นจึงจะได้ความเร็วที่ถูกต้องหากวัตถุวิ่งที่มุมต่างออกไปจะอ่านได้ค่าความเร็วไม่ถูกต้อง เช่นรถวิ่งด้วยความเร็ว 105 กิโลเมตรต่อชั่วโมง แต่เรดาร์ตรวจจับความเร็วของผู้จัดทำมุมการเล็งห่างออกไป 17.5 องศาทำให้เรดาร์อ่านความเร็วได้ 100 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ซึ่งเป็นความเร็วสัมพันธ์ที่รถยนต์กระทำต่อเรดาร์

เรดาร์บังคับจราจรที่จอดอยู่กับที่จะต้องอยู่ในตำแหน่งด้านบนหรือด้านข้างของถนน เพื่อประมาณความเร็วรถได้อย่างแม่นยำ เมื่อทิศทางเปลี่ยนไปในขณะที่รถคันเดียวเคลื่อนที่ภายในมุมมองความเร็วจริงและการวัดเรดาร์จึงแทบไม่เหมือนกันเนื่องจากสิ่งที่เรียกว่า เอฟเฟกต์โดปเลอร์ นอกจากนี้ตำแหน่งของเรดาร์ก็มีความสำคัญเช่นกันเพื่อหลีกเลี่ยงพื้นผิวสะท้อนแสงขนาดใหญ่ใกล้กับเรดาร์ พื้นผิวสะท้อนแสงดังกล่าวสามารถสร้างสถานการณ์หลายเส้นทางที่ลำแสงเรดาร์สามารถสะท้อนออกจากเป้าหมายสะท้อนแสงที่ไม่ได้ตั้งใจและค้นหาเป้าหมายอื่นและส่งคืนกลับมาด้วยเหตุนี้จึงทำให้การอ่านเกิดความสับสนในการตรวจสอบการรับส่งข้อมูล

2) ปืนเลเซอร์วัดความเร็ว

หลักการจะแตกต่างจากการใช้คลื่นวิทยุตรงที่อุปกรณ์ประเภทนี้จะปล่อยรังสีอินฟราเรดเป็นห้วง ๆ เมื่อรังสีอินฟราเรดห้วงแรกเดินทางถึงรถยนต์จะเกิดการสะท้อนกลับมา

อุปกรณ์จะรับรังสีอินฟราเรดแล้วแปลผลเป็นระยะทางระหว่างรถยนต์กับอุปกรณ์ได้ จากนั้นปล่อยรังสีอินฟราเรดห้วงใหม่ออกไปอย่างรวดเร็วอีกครั้ง จะทำให้เมื่อตรวจจับคลื่นที่สะท้อนกลับมาเครื่องสามารถคำนวณได้ว่าระยะห่างระหว่างรถยนต์กับอุปกรณ์เปลี่ยนแปลงไปอย่างไร ซึ่งบ่งชี้ถึงความเร็วของรถยนต์ที่กำลังเคลื่อนที่ได้ การทำงานของอุปกรณ์ตรวจวัดและตรวจจับเหล่านี้ต้องได้มาตรฐานและมีค่าความถูกต้องของผลการวัดที่เที่ยงตรง เป็นที่ยอมรับในระดับสากลเพื่อให้เกิดความมั่นใจและสร้างความปลอดภัยแก่ผู้ใช้งาน



รูปที่ 1 การทำงานของปืนวัดความเร็ว [1]

การสยบการจราจร (traffic calming) [2] เริ่มต้นใช้ในทวีปยุโรปในตอนปลายทศวรรษที่ 1960 โดยผู้อยู่อาศัยที่เดือดร้อนจากการจราจรในเมือง Delft ประเทศเนเธอร์แลนด์ (the Dutch City of Delft) ได้ต่อสู้กับปริมาณจราจรที่ผ่านเข้ามาในเมือง โดยการเปลี่ยนถนนเหล่านั้นให้เป็นพื้นที่สี

เขียวหรือพื้นที่เพื่อการนัดพบการ ซึ่งดำเนินการโดยใช้วิธีการจำกัดความเร็วของรถยนต์บนถนน (Slow streets) ที่จำกัดความเร็วที่ 30 กิโลเมตรต่อชั่วโมง (ประมาณ 20 ไมล์ต่อชั่วโมง) ในปลายทศวรรษที่ 1970 นอกจากนี้การประยุกต์หลักการสับการจราจรสำหรับทางหลวงระหว่างเมืองที่ตัดผ่านเมืองเล็ก ๆ ในประเทศเดนมาร์กและประเทศเยอรมนีในทศวรรษที่ 1980 และแผนงานการแก้ไขถนนสายหลักในเมืองในประเทศเยอรมนีและประเทศฝรั่งเศสในทศวรรษที่ 1980

การสับการจราจรเป็นหนึ่งในแนวทางการเพิ่มความปลอดภัยบนท้องถนนให้แก่ผู้ขับขี่และผู้ใช้ทางอื่น ๆ การสับการจราจรสามารถกระทำได้โดยการผสมผสานระหว่างการใช้อุปกรณ์และเครื่องมือต่าง ๆ เพื่อลดความเร็วและอันตรายจากการขับขี่ยานพาหนะให้น้อยลง ร่วมกับการโน้มน้าวให้ผู้ขับขี่ขับรถอย่างระมัดระวังเพื่อยกระดับความปลอดภัยบนถนนให้สูงขึ้น จากการทบทวนผลศึกษาที่ผ่านมาในหลาย ๆ ประเทศ พบว่าการใช้เนินชะลอความเร็วเพื่อสับการจราจรอย่างเหมาะสมสามารถช่วยชะลอความเร็วและลดมลพิษทางเสียงที่เกิดจากยานพาหนะได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้เมื่อทำการวิเคราะห์สถิติอุบัติเหตุและผู้บาดเจ็บ พบว่าการติดตั้งเนินชะลอความเร็วช่วยลดจำนวนอุบัติเหตุรุนแรงและผู้บาดเจ็บได้ถึงกว่าร้อยละ 60 นับเป็นวิธีการสับการจราจรที่ประหยัดงบประมาณในการลงทุนแต่ให้ประสิทธิภาพสูง

2. วัตถุประสงค์

2.1 เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเนินชะลอความเร็วในรูปแบบ Speed bump และ Speed hump ในการยับยั้งความเร็ว

2.2 เพื่อศึกษาพฤติกรรมการชะลอความเร็วของผู้ใช้ยานพาหนะ

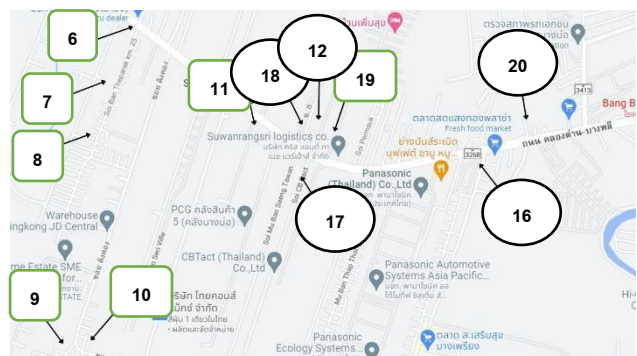
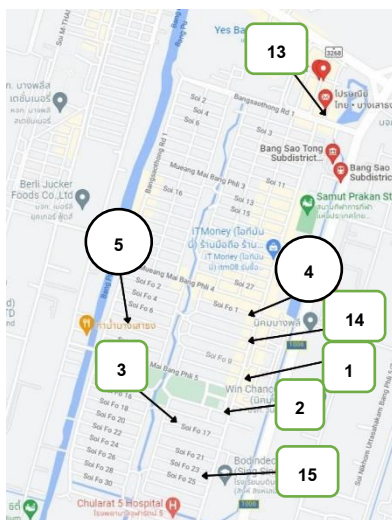
2.3 เพื่อศึกษาข้อดี-ข้อเสียของเนินชะลอความเร็ว

3. ขั้นตอนการศึกษา

การศึกษาด้านพื้นที่ศึกษา คือ พื้นที่อำเภอบางเสาธง จังหวัดสมุทรปราการ โดยสนามทดสอบที่ใช้ในการทำการศึกษาคือพื้นที่ 1 อำเภอ ได้แก่ อำเภอบางเสาธงจำนวนพื้นที่ศึกษา 20 จุด โดยเก็บตัวอย่างจากรถจักรยานยนต์ ดังตารางที่ 1 และ รูปที่ 2

ตารางที่ 1 รายละเอียดพื้นที่ทำการศึกษา

จุดที่	พื้นที่ศึกษา	จุดที่	พื้นที่ศึกษา
1	ถนนภายในซอยเทศบาลบางเสาธง 37	11	ถนนภายในซอยหมู่บ้านแสงตะวัน
2	ถนนภายในซอยเทศบาลบางเสาธง 41	12	ถนนภายในซอยเพิ่มสุข 2
3	ถนนภายในซอยเทศบาลบางเสาธง 43	13	ถนนภายในหลังไปรษณีย์บางเสาธง
4	ถนนภายในซอยเทศบาลบางเสาธง 31	14	ถนนภายในซอยเทศบาลบางเสาธง 35
5	ถนนภายในซอยเทศบาลบางเสาธง 40	15	ถนนภายในซอยเทศบาลบางเสาธง 51
6	ถนนภายในซอยเทพารักษ์ 25	16	ถนนภายในบ้านพักพฤษภาเทพารักษ์ - เมืองใหม่
7	ถนนภายในซอยบ้านเทพารักษ์ 7	17	ถนนภายในซีบีเทค
8	ถนนภายในซอยบ้านเทพารักษ์ 17	18	ถนนภายในซอยเพิ่มสุข 1
9	ถนนภายในซอยหมู่บ้านชายคลอง	19	ถนนภายในซอยกัลปพฤกษ์วิลล์ บางนา-เทพารักษ์ กม. 26
10	ถนนภายในซอยคิงคอง	20	ถนนภายในซอยโกดังวรรณศิริ



- ☐ เขตพื้นที่การศึกษาเน้นชะลอความเร็วที่มีความกว้างน้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.90 เมตร
☐ เขตพื้นที่การศึกษาเน้นชะลอความเร็วที่มีความกว้างมากกว่า 0.90 เมตร

รูปที่ 2 ตำแหน่งพื้นที่ทำการศึกษา

3.1 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ศึกษาความเร็วของรถบริเวณเนินชะลอความเร็วและเนินกระแทกขนาดต่าง ๆ จำนวน 20 ตำแหน่ง โดยเลือกเฉพาะเนินที่ติดตั้งอยู่เดี่ยว ๆ (Isolated speed bump/hump) [3, 4] หรือติดตั้งเป็นเนินแรกของกลุ่มเนินซึ่งจะสามารถเลือกใช้ความเร็วก่อนผ่านเนินและขณะขับขึ้นเนินได้อย่างอิสระ และเก็บข้อมูลเฉพาะรถจักรยานยนต์ เนื่องจากแต่ละพื้นที่ที่สำรวจมีการใช้รถจักรยานยนต์เป็นจำนวนมาก

สำรวจลักษณะทางเรขาคณิตของเนินชะลอความเร็วด้วยกล้องระดับ เก็บข้อมูล 2 ชุด บริเวณหัว และกึ่งกลางเนินวัดค่าความสูงทุกช่วง 10 เซนติเมตรตลอดแนวกว้างของเนิน พร้อมทั้งเขียนผังบริเวณตำแหน่งที่ตั้ง และเก็บข้อมูลซึ่งสะท้อนลักษณะช่วงถนนที่ติดตั้งเนิน เช่น จำนวนช่องจราจร ความกว้างช่องจราจรและไหล่ทาง ลักษณะถนน ปริมาณจราจร เป็นต้น

แต่ละตำแหน่ง สำรวจความเร็ว 2 บริเวณ ได้แก่ช่วงทางตรงก่อนผ่านเนินชะลอความเร็ว และคร่อมเนินโดยเลือกสำรวจรถจักรยานยนต์คันแรกของกลุ่มเพื่อให้ได้ความเร็วที่ผู้ขับขี่ใช้ในสภาพอิสระ สำรวจความเร็วเป็นเวลา 1 ชั่วโมงนอกช่วงเวลาเร่งด่วน ด้วยการจับเวลาสัญญาณถนนระยะทางประมาณ 20–30 เมตร [5, 6]

3.2 พื้นที่การศึกษา

พื้นที่ที่ทำการศึกษาเป็นที่ราบมีความชันของถนนต่ำ จำนวน 20 พื้นที่ ประกอบด้วยพื้นที่มีการติดตั้งลูกระนาดจำนวน 13 แห่งและเนินชะลอความเร็วเนินโค้งพาราโบลา จำนวน 7 แห่งโดยมีตัวอย่างรายละเอียดดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 สถานที่ทำการทดสอบ

ลำดับ	สถานที่ตั้ง	เนินชะลอความเร็ว		ความกว้างของถนน (เมตร; m)	ความสมบูรณ์ของเนินชะลอความเร็ว
		ความกว้าง (เมตร; m)	ความสูง (เมตร; m)		
เนินชะลอความเร็วที่มีความกว้างน้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.90 เมตร					
1	ถนนภายในซอยเทศบาลบางเสาธง 37	0.35	0.05	5.5	80%
2	ถนนภายในซอยเทศบาลบางเสาธง 41	0.80	0.08	6	100%
3	ถนนภายในซอยเทศบาลบางเสาธง 43	0.40	0.07	6	100%
4	ถนนภายในซอยเทพารักษ์ 25	0.90	0.06	10	100%

ตารางที่ 2 สถานที่ทำการทดสอบ (ต่อ)

ลำดับ	สถานที่ตั้ง	เนินชะลอความเร็ว		ความกว้างของถนน (เมตร; m)	ความสมบูรณ์ของเนินชะลอความเร็ว
		ความกว้าง (เมตร; m)	ความสูง (เมตร; m)		
เนินชะลอความเร็วที่มีความกว้างน้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.90 เมตร (ต่อ)					
5	ถนนภายในซอยบ้านเทพารักษ์ 7	0.90	0.06	10	100%
6	ถนนภายในซอยบ้านเทพารักษ์ 17	0.90	0.06	10	100%
7	ถนนภายในซอยหมู่บ้านชายคลอง	0.50	0.05	10.7	100%
8	ถนนภายในซอยคิงคอง	0.60	0.08	12	100%
9	ถนนภายในซอยหมู่บ้านแสงตะวัน	0.55	0.05	5.9	100%
10	ถนนภายในหลังไปรษณีย์บางเสาธง	0.80	0.10	15	100%
11	ถนนภายในซอยเทศบาลบางเสาธง 35	0.35	0.07	5.9	100%
12	ถนนภายในซอยเทศบาลบางเสาธง 51	0.90	0.08	5.9	100%
13	ถนนภายในซอยกัลปพฤกษ์วิลล์ บางนา-เทพารักษ์ กม. 26	0.90	0.06	5.5	100%
เนินชะลอความเร็วที่มีความกว้างมากกว่า 0.90 เมตร					
14	ถนนภายในซอยเทศบาลบางเสาธง 31	1.2	0.07	6.1	100%
15	ถนนภายในซอยเทศบาลบางเสาธง 40	1.2	0.07	6.1	90%
16	ถนนภายในซอยเพิ่มสุข 2	1.1	0.07	6.5	100%
17	ถนนภายในบ้านพักฯ เทพารักษ์ - เมืองใหม่	3.8	0.10	12.8	100%
18	ถนนภายในซีบีเทค	1.5	0.10	13.2	100%
19	ถนนภายในซอยเพิ่มสุข 1	1.1	0.07	6.5	100%
20	ถนนภายในซอยโกดังวรรณศิริ	1.1	0.12	7.9	100%

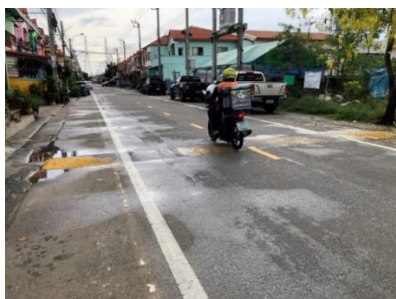
3.3 การเก็บรวบรวมข้อมูล

3.3.1 ตรวจจับความเร็วรถก่อนถึงเนินชะลอความเร็ว และบันทึกผลลงในสมุดสนาม



รูปที่ 3 ตรวจจับความเร็วรถก่อนถึงเนินชะลอความเร็ว

3.3.2 ตรวจจับความเร็วรถขณะक्रमเนินชะลอความเร็ว และบันทึกผลลงในสมุดสนาม



รูปที่ 4 ตรวจจับความเร็วรถขณะक्रमเนินชะลอความเร็ว

ทำการสำรวจความเร็วของยานพาหนะ 2 บริเวณ ได้แก่ ช่วงทางตรงก่อนผ่านเนินชะลอความเร็ว และช่วงक्रमเนินชะลอความเร็วโดยเลือกสำรวจรถคันแรกของกลุ่มเพื่อให้ได้ความเร็วที่ผู้ขับขี่ใช้ในสภาพอิสระ สำรวจความเร็วเป็นเวลา 1 ชั่วโมงนอกช่วงเวลาเร่งด่วน ถือเป็นข้อมูลตัวแทนปกติ ด้วยการใช้กล้องจับความเร็วยานพาหนะที่สัญจรบนถนนระยะทางประมาณ 20-30 เมตร และใช้การจับเวลายานพาหนะที่สัญจรในขณะที่क्रमเนินชะลอความเร็ว ระยะทางประมาณ 10 เมตร และเก็บข้อมูลความเร็วยานพาหนะก่อนผ่านเนินชะลอความเร็วและความเร็วยานพาหนะขณะक्रमเนินชะลอความเร็ว โดยการเก็บข้อมูลจะเก็บข้อมูลตามประเภทของสันชะลอความเร็ว สันชะลอความเร็วที่พบได้โดยทั่วไปแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ 1) ลูกกระพืด (speed bump) ลูกกระพืดที่พบได้โดยทั่วไปมีลักษณะเป็นส่วนยกที่ก่อสร้างเพิ่มเติมจากพื้นถนน โดยมีระยะฐานกว้างตั้งแต่ 30 ถึง 90 เซนติเมตร 2) เนินชะลอความเร็ว (speed hump) ที่พบได้โดยทั่วไปมีลักษณะเป็นส่วนยกที่ก่อสร้างเพิ่มเติมจากพื้นระยะ โดยมีถนนฐานกว้างมากกว่า 90 เซนติเมตร [6, 7]

4. การวิเคราะห์ข้อมูล และผลการวิจัย

4.1 การวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์ข้อมูลของกลุ่มข้อมูลความเร็วช่วงก่อนผ่านเนินชะลอความเร็ว และขณะผ่านเนินชะลอความเร็วตามมาตรฐานความกว้างของเนินชะลอความเร็ว วิเคราะห์ข้อมูลการกระจายของความเร็ว ณ บริเวณตำแหน่งต่าง ๆ ด้วยค่าทางสถิติ

โดยทั่วไป ภายหลังจากการเก็บข้อมูลความเร็วของรถบนท้องถนนแล้ว ข้อมูลเหล่านี้จะถูกนำไปหาค่าความเร็วเฉลี่ย (Travel Mean Speed) ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) [6, 8]

จากการวิเคราะห์ทางสถิติ โดยทำการเก็บข้อมูลจุดศึกษาทั้ง 20 จุด แบ่งเป็น เนินชะลอความเร็วที่มีความกว้างไม่เกิน 0.90 เมตร จำนวน 13 จุด และเนินชะลอความเร็วที่มีความกว้างมากกว่า 0.90 เมตร จำนวน 7 จุด นำมาทำการวิเคราะห์ความแตกต่างของข้อมูล ก่อนนำไปเป็นค่าตัวแทนของการศึกษาต่อไป ดังนี้

การวิเคราะห์ความแตกต่างของผลต่างความเร็วยานพาหนะก่อนและขณะคร่อมเนินชะลอความเร็วแต่ละจุดของเนินชะลอความเร็วทั้ง 2 แบบว่าแตกต่างกันหรือไม่ โดยการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว One Way Analysis of Variance (One-Way ANOVA) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ได้ดังนี้

สมมติฐาน : ผลต่างความเร็วยานพาหนะก่อนและขณะคร่อมเนินชะลอความเร็วแต่ละจุดของเนินชะลอความเร็วที่มีความกว้างไม่เกิน 0.90 เมตรแตกต่างกันหรือไม่

สมมติฐาน $H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = \mu_5 = \mu_6 = \mu_7 = \mu_8 = \mu_9 = \mu_{10} = \mu_{11} = \mu_{12} = \mu_{13}$
 $H_1 : \text{มีค่าเฉลี่ยอย่างน้อย 1 คู่ที่แตกต่างกัน}$

เมื่อ $\mu_i =$ ผลต่างความเร็วยานพาหนะก่อนและขณะคร่อมเนินชะลอความเร็วจุดที่ i
 โดย $i = 1, 2, 3, \dots, 13$

สมมติฐาน : ผลต่างความเร็วยานพาหนะก่อนและขณะคร่อมเนินชะลอความเร็วแต่ละจุดของเนินชะลอความเร็วที่มีความกว้างมากกว่า 0.90 เมตรแตกต่างกันหรือไม่

สมมติฐาน $H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = \mu_5 = \mu_6 = \mu_7$
 $H_1 : \text{มีค่าเฉลี่ยอย่างน้อย 1 คู่ที่แตกต่างกัน}$

เมื่อ $\mu_i =$ ผลต่างความเร็วยานพาหนะก่อนและขณะคร่อมเนินชะลอความเร็วจุดที่ i
 โดย $i = 1, 2, 3, \dots, 7$

การตัดสินใจที่ระดับนัยสำคัญ $\alpha = 0.05$

ผลการทดสอบสมมติฐานความเร็วยานพาหนะก่อนและขณะคร่อมเนินชะลอความเร็วแต่ละจุด ได้ผลดังตารางที่ 3 และ 4

ตารางที่ 3 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของผลต่างความเร็วยานพาหนะก่อนและขณะ
คร่อมเนินชะลอความเร็วที่มีความกว้างไม่เกิน 0.90 เมตร

แหล่งข้อมูล	DF	SS	MS	F	P
ผลต่างความเร็ว	12	1112.05099	92.67092	1.24947	0.24600
Error	479	35526.49169	74.16804		
Total	491	36638.54268			

ตารางที่ 4 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของผลต่างความเร็วยานพาหนะก่อนและขณะ
คร่อมเนินชะลอความเร็วที่มีความกว้างมากกว่า 0.90 เมตร

แหล่งข้อมูล	DF	SS	MS	F	P
ผลต่างความเร็ว	6	240.41660	40.06943	0.52320	0.79043
Error	224	17155.24574	76.58592		
Total	230	17395.66234			

ทั้งสมมติฐานด้านผลต่างความเร็วยานพาหนะก่อนและขณะคร่อมเนินชะลอความเร็วแต่ละจุดของเนินชะลอความเร็วทั้งที่มีความกว้างไม่เกิน 0.90 เมตร และมีความกว้างมากกว่า 0.90 เมตร ให้ค่า P-value มากกว่านัยสำคัญที่ 0.05 จึงยอมรับสมมติฐานหลัก ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าผลต่างความเร็วยานพาหนะที่จุดทดสอบของเนินชะลอความเร็วที่มีความกว้างไม่เกิน 0.90 เมตร ทั้ง 13 จุด ไม่แตกต่างกัน สามารถใช้เป็นข้อมูลตัวแทนของเนินชะลอความเร็วที่มีความกว้างไม่เกิน 0.90 เมตรได้ และผลต่างความเร็วยานพาหนะที่จุดทดสอบของเนินชะลอความเร็วมากกว่า 0.90 เมตร ทั้ง 7 จุด ไม่แตกต่างกันเช่นกัน สามารถใช้เป็นข้อมูลตัวแทนของเนินชะลอความเร็วที่มีความกว้างมากกว่า 0.90 เมตรได้

ดังนั้นจึงนำข้อมูลตัวแทนทั้งหมดของเนินชะลอความเร็วทั้ง 2 แบบ คือ เนินชะลอความเร็วที่มีความกว้างไม่เกิน 0.90 เมตร และเนินชะลอความเร็วที่มีความกว้างมากกว่า 0.90 เมตร มาวิเคราะห์ความแตกต่างของผลต่างความเร็วยานพาหนะก่อนและขณะคร่อมเนินชะลอความเร็วว่าแตกต่างกันหรือไม่ โดยการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว One Way Analysis of Variance (One-Way ANOVA) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ได้ดังนี้

สมมติฐาน : ผลต่างความเร็วยานพาหนะก่อนและขณะคร่อมเนินชะลอความเร็วของเนินชะลอความเร็วที่มีความกว้างไม่เกิน 0.90 เมตร กับ มากกว่า 0.90 เมตร แตกต่างกันหรือไม่

สมมติฐาน $H_0 : \mu_1 = \mu_2$

H_1 : มีค่าเฉลี่ยอย่างน้อย 1 คู่ที่แตกต่างกัน

เมื่อ μ_i = ผลต่างความเร็วยานพาหนะก่อนและขณะक्रमเนินชะลอความเร็วแบบที่ i

โดย i = 1, 2

การตัดสินใจที่ระดับนัยสำคัญ $\alpha = 0.05$

ผลการทดสอบสมมติฐานความเร็วยานพาหนะก่อนและขณะक्रमเนินชะลอความเร็วของเนินชะลอความเร็วที่มีความกว้างไม่เกิน 0.90 เมตร กับ มากกว่า 0.90 เมตรได้ผลดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของผลต่างความเร็วยานพาหนะก่อนและขณะक्रमเนินชะลอความเร็วของเนินชะลอความเร็วที่มีความกว้างไม่เกิน 0.90 เมตร กับ มากกว่า 0.90 เมตร

แหล่งข้อมูล	DF	SS	MS	F	P
ผลต่างความเร็ว	1	72.36901	72.36901	27.52348	0.00005
Error	18	47.32839	2.62936		
Total	19	119.69740			

สมมติฐานด้านผลต่างความเร็วยานพาหนะก่อนและขณะक्रमเนินชะลอความเร็วของเนินชะลอความเร็ว ให้ค่า P-value น้อยกว่านัยสำคัญที่ 0.05 จึงปฏิเสธสมมติฐานหลัก ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าผลต่างความเร็วยานพาหนะก่อนและขณะक्रमเนินของเนินชะลอความเร็วที่มีความกว้างไม่เกิน 0.90 เมตร กับ มากกว่า 0.90 เมตร แตกต่างกัน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 หรือที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ซึ่งสอดคล้องกับผลการลดความเร็วของยานพาหนะขณะข้ามเนินชะลอความเร็วในช่วงก่อนถึงเนินชะลอความเร็วและขณะक्रमเนินชะลอความเร็ว กลุ่มเนินชะลอความเร็วที่มีความกว้างไม่เกิน 0.90 เมตร ที่ความเร็วเฉลี่ยปกติมีความเร็วลดลงเฉลี่ยอยู่ที่ 12.88 กิโลเมตรต่อชั่วโมง คิดเป็นค่าเฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ 39.93 และกลุ่มเนินชะลอความเร็วที่มีความกว้างมากกว่า 0.90 เมตร ที่ความเร็วเฉลี่ยปกติ มีความเร็วลดลงเฉลี่ยอยู่ที่ 15.14 กิโลเมตรต่อชั่วโมง คิดเป็นค่าเฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ 48.71

4.2 ผลการดำเนินงานวิจัย

ผลการสำรวจความเร็วก่อนผ่านเนินชะลอความเร็วและขณะผ่านเนินชะลอความเร็ว จากการวิเคราะห์ข้อมูลความเร็วด้วยวิธีทางสถิติ พบว่า ความเร็วของยานพาหนะขณะข้ามเนินชะลอความเร็วมีการลดความเร็วลงอย่างมีนัยสำคัญ โดยความเร็วเฉลี่ยของกลุ่มเนินชะลอความเร็วที่มี

ความกว้างไม่เกิน 0.90 เมตร ขณะคร่อมเนินชะลอความเร็วมีความเร็วลดลงมากที่สุดถึงร้อยละ 58.35 และความเร็วเฉลี่ยของกลุ่มเนินชะลอความเร็วที่มีความกว้างมากกว่า 0.90 เมตร ขณะคร่อมเนินชะลอความเร็วมีความเร็วลดลงมากที่สุดถึงร้อยละ 65.80 ดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ร้อยละของความต่างความเร็วยานพาหนะก่อนและขณะคร่อมเนินชะลอความเร็ว

ลำดับ	สถานที่ตั้ง	ความต่างของความเร็ว ยานพาหนะ (km/h)			ร้อยละ ของความต่าง ความเร็ว (ร้อยละ)
		จำนวน ข้อมูล	ความ เร็วเฉลี่ย	S.D.	
เนินชะลอความเร็วที่มีความกว้างน้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.90 เมตร					
1	ถนนภายในซอยเทศบาลบางเสาธง 37	27	13.56	1.31	27.80
2	ถนนภายในซอยเทศบาลบางเสาธง 41	30	13.10	0.92	27.19
3	ถนนภายในซอยเทศบาลบางเสาธง 43	37	10.32	1.14	35.20
4	ถนนภายในซอยเทพารักษ์ 25	64	11.88	2.34	50.07
5	ถนนภายในซอยบ้านเทพารักษ์ 7	38	10.61	4.38	58.35
6	ถนนภายในซอยบ้านเทพารักษ์ 17	64	11.23	1.99	47.12
7	ถนนภายในซอยหมู่บ้านชายคลอง	24	14.71	3.00	56.81
8	ถนนภายในซอยคิงคอง	56	13.00	1.50	51.63
9	ถนนภายในซอยหมู่บ้านแสงตะวัน	34	10.03	1.34	44.91
10	ถนนภายในหลังไปรษณีย์บางเสาธง	42	13.62	0.92	28.74
11	ถนนภายในซอยเทศบาลบางเสาธง 35	17	14.88	2.25	30.77
12	ถนนภายในซอยเทศบาลบางเสาธง 51	20	14.25	0.62	14.84
13	ถนนภายในซอยกัลปพฤกษ์วิลล์ บางนา-เทพารักษ์ กม.26	20	16.20	0.91	45.66
เนินชะลอความเร็วที่มีความกว้างมากกว่า 0.90 เมตร					
14	ถนนภายในซอยเทศบาลบางเสาธง 31	16	15.25	1.71	21.45
15	ถนนภายในซอยเทศบาลบางเสาธง 40	26	12.35	0.29	46.51
16	ถนนภายในซอยเพิ่มสุข 2	34	9.91	1.32	47.11
17	ถนนภายในบ้านพักตากอากาศ เทพารักษ์-เมืองใหม่	60	16.80	6.29	65.80
18	ถนนภายในชีบีเทค	58	17.53	2.38	62.10
19	ถนนภายในซอยเพิ่มสุข 1	36	17.42	3.55	56.38
20	ถนนภายในซอยโกดังวรรณศิริ	20	16.75	1.27	41.59

จากตารางที่ 6 แสดงให้เห็นถึงการลดความเร็วของยานพาหนะขณะขับผ่านเนินชะลอความเร็วในช่วงก่อนถึงเนินชะลอความเร็ว และขณะคร่อมเนินชะลอความเร็ว กลุ่มเนินชะลอความเร็วที่มีความกว้างไม่เกิน 0.90 เมตร ที่ความเร็วเฉลี่ยปกติมีความเร็วลดลงเฉลี่ยอยู่ที่ 12.88 กิโลเมตรต่อชั่วโมง คิดเป็นค่าเฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ 39.93 และกลุ่มเนินชะลอความเร็วที่มีความกว้างมากกว่า 0.90 เมตร ที่ความเร็วเฉลี่ยปกติ มีความเร็วลดลงเฉลี่ยอยู่ที่ 15.14 กิโลเมตรต่อชั่วโมง คิดเป็นค่าเฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ 48.71

5. สรุปผลการวิจัย

5.1 สรุปผลการวิจัยเปรียบเทียบก่อนผ่านเนินชะลอความเร็วและขณะคร่อมเนินชะลอความเร็ว

จากการวิเคราะห์ข้อมูลของยานพาหนะในพื้นที่ทำการศึกษา โดยทำการเปรียบเทียบความเร็วก่อนผ่านเนินชะลอความเร็วและขณะคร่อมเนินชะลอความเร็วของทั้งหมด 20 จุด พบว่า ถนนภายในบ้านพักพาณิช-เมืองใหม่ มีการใช้ความเร็วเฉลี่ยที่ลดลงมากที่สุดคือร้อยละ 65.80 ต่อมาคือ ถนนภายในซีบีเทค มีการใช้ความเร็วเฉลี่ยลดลงร้อยละ 62.10 ซึ่งทั้ง 2 แห่งเป็นถนนในกลุ่มเนินชะลอความเร็วที่มีความกว้างมากกว่า 0.90 เมตร และกลุ่มเนินชะลอความเร็วที่มีความกว้างไม่เกิน 0.90 เมตร มีถนนภายในซอยบ้านพาณิช 7 ที่มีการใช้ความเร็วลดลงมากที่สุดคือร้อยละ 58.35

5.2 สรุปผลการวิเคราะห์การศึกษา

ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าเนินชะลอความเร็วในรูปแบบ Speed hump มีผลต่อประสิทธิภาพในการชะลอความเร็วของยานพาหนะขณะขับผ่านเนินชะลอความเร็วด้วยความเร็วแบบอิสระบนถนนเส้นทางนั้น ๆ แต่จะเห็นว่าความเร็วที่รถใช้สัญจรผ่านเนินชะลอความเร็วที่ติดตั้งอยู่บนถนนสายรองและถนนสายย่อย สูงกว่าที่มาตรฐานกำหนดไว้ ทั้งนี้เนื่องจากเนินชะลอความเร็ว ถูกออกแบบมาเพื่อติดตั้งในบริเวณพื้นที่จอดรถและถนนส่วนบุคคล ดังนั้นเมื่อมีการนำมาติดตั้งบนถนนสายรองหรือถนนสายย่อยจึงส่งผลทำให้ไม่สามารถชะลอความเร็วซึ่งเป็นพฤติกรรมการชะลอความเร็วของผู้ใช้ยานพาหนะได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ แสดงให้เห็นว่าเนินชะลอความเร็วในแต่ละพื้นที่มีทั้งข้อดีและข้อเสียที่แตกต่างกันออกไป

นอกจากนี้ บทความวิจัยได้นำเสนอข้อมูลทางสถิติ พบว่าสมมติฐานด้านผลต่างความเร็วยานพาหนะก่อนและขณะคร่อมเนินชะลอความเร็วของเนินชะลอความเร็ว ให้ค่า P-value น้อยกว่านัยสำคัญที่ 0.05 จึงปฏิเสธสมมติฐานหลัก ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าผลต่างความเร็วยานพาหนะก่อนและขณะคร่อมเนินของเนินชะลอความเร็วที่มีความกว้างไม่เกิน 0.90 เมตร กับ มากกว่า 0.90 เมตร

แตกต่างกัน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 หรือที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ซึ่งสอดคล้องกับผลการลดความเร็วของยานพาหนะขณะขับผ่านเนินชะลอความเร็วในช่วงก่อนถึงเนินชะลอความเร็ว และขณะคร่อมเนินชะลอความเร็ว กลุ่มเนินชะลอความเร็วที่มีความกว้างไม่เกิน 0.90 เมตร ที่ความเร็วเฉลี่ยปกติมีความเร็วลดลงเฉลี่ยอยู่ที่ 12.88 กิโลเมตรต่อชั่วโมง คิดเป็นค่าเฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ 39.93 และกลุ่มเนินชะลอความเร็วที่มีความกว้างมากกว่า 0.90 เมตร ที่ความเร็วเฉลี่ยปกติ มีความเร็วลดลงเฉลี่ยอยู่ที่ 15.14 กิโลเมตรต่อชั่วโมง คิดเป็นค่าเฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ 48.71

5.3 ข้อดี-ข้อเสียของเนินชะลอความเร็ว

ตารางที่ 7 ข้อดี ข้อเสียของเนินชะลอความเร็ว

เนินชะลอความเร็วที่มีความกว้างไม่เกิน 0.90 เมตร		เนินชะลอความเร็วที่มีความกว้างมากกว่า 0.90 เมตร	
ข้อดี	ข้อเสีย	ข้อดี	ข้อเสีย
ช่วยลดความเร็วและลดอุบัติเหตุในเขตถนนในสถานที่ต่าง ๆ (เนื่องจากมีความกว้างไม่เกิน 0.90 เมตรจึงใช้งานเหมาะสมกับรถจักรยานยนต์มากกว่ารถยนต์)	เกิดเสียงดังเมื่อรถยนต์ผ่านด้วยความเร็ว ทำให้เกิดความรำคาญแก่คนในชุมชน	ช่วยจำกัดความเร็วอย่างชัดเจน (ถ้าไม่ลดความเร็วอาจเกิดอุบัติเหตุได้เนื่องจากเนินชะลอความเร็วมีขนาดใหญ่)	เนินชะลอที่มีความสูงหรือถ้าไม่ได้มาตรฐานอาจจะทำให้เกิดอุบัติเหตุได้ง่าย

5.4 ข้อเสนอแนะ

ควรทำการศึกษารูปแบบเนินชะลอความเร็วในรูปแบบอื่น ๆ ว่ามีลักษณะอย่างไร แต่ละประเภทมีข้อดี-ข้อเสียอย่างไร การติดตั้งเนินชะลอความเร็วที่ไม่ได้มาตรฐานยังมียุทธศาสตร์ที่จะเกิดอุบัติเหตุได้สูง และอาจมีผู้บาดเจ็บไปจนถึงมีผู้เสียชีวิตได้

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณ สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม และ คณะวิศวกรรมศาสตร์ หน่วยงานต้นสังกัดของผู้วิจัย สำหรับความ

ช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกในด้านต่าง ๆ ตลอดระยะเวลาในการทำวิจัย และขอขอบคุณ
นายดำริห์ สุปิงคลัด และ นายรวีวัฒน์ แสงเมือง ในการเก็บรวบรวมข้อมูลในการทดสอบ

References

- [1] Harris T. How radar detectors work. [Internet]. 2021 [cited 2022 Dec 10]. Available from: <https://auto.howstuffworks.com/radar-detector.htm#pt1>.
- [2] Ewing R. Traffic calming state of the practice. Washington, D.C.: Institute of Transportation Engineers, Federal Highway Administration; 1999.
- [3] Witchayangkoon B, Namee S, Temrangsee W, Intharatat S. Traffic calming at crossroads using speed bumps/speed humps a case study in Thammasat university, Rangsit campus, Thailand. Science and Technology Journal 19;1:60-71. (In Thai)
- [4] Puangprakhon P, Piengta A, Thamma A, Duangpantree S. Investigating of the behavior and speed of vehicles across speed humps and bumps. The 26th National Convention on Civil Engineering: 2021 Jun 23-25: Online Conference. (In Thai)
- [5] Pracharoen T, Sateinnam T, Sateinnam W. The study of passenger car speed when passing the speed bump and speed hump. 5th ATRANS Symposium Student Chapter Session; 2012 Aug 24-25; Imperial Queen's Park Hotel, Bangkok, Thailand. p. 171-7. (In Thai)
- [6] Jairtalawanich T. Speed control on the highway with speed hump. UTK Research Journal 2016;10(2):136-43. (In Thai)
- [7] Department of Public Works and Town & Country Planning. 2301-56 Construction standards of slow speed hump. Bangkok: Office of Building Control and Inspection, Department of Public Works and Town & Country Planning; 2013. (In Thai)
- [8] Yamprakhon T, Buransuk P. A physical study of the speed hump and the slowing behavior of car users in Buriram Rajabhat university [bachelor of construction technology]. Buriram: Buriram Rajabhat University; 2019. (In Thai)

ประวัติผู้เขียนบทความ



ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สุวิมล เจียรธรวานิช ปัจจุบันเป็น รองคณบดีฝ่ายวิชาการ คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ เลขที่ 2 ถ.นางลิ้นจี่ แขวงทุ่งมหาเมฆ เขตสาทร กรุงเทพฯ 10120 โทรศัพท์/โทรสาร 02 287 9600 ต่อ 7567 E-Mail: Suwimol.J@mail.rmuth.ac.th สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ระดับปริญญาตรี สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ สาขาวิชาวิศวกรรมทรัพยากรน้ำ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และ สาขาวิชาการวัดและประเมินผลการศึกษา มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช

งานวิจัยที่สนใจ คือ การควบคุมคุณภาพการผลิต การปรับปรุงกระบวนการผลิต เศรษฐศาสตร์วิศวกรรม และงานวิจัยเชิงสำรวจ



ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ธรรมมา เจียรธรวานิช สังกัดภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ เลขที่ 2 ถนนนางลิ้นจี่ แขวงทุ่งมหาเมฆ เขตสาทร กรุงเทพฯ 10120 โทรศัพท์/โทรสาร 02 287 9600 E-Mail: Thamma.J@mail.rmuth.ac.th, Thamma.J@gmail.com สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ระดับปริญญาตรี สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ สาขาวิชาวิศวกรรมทรัพยากรน้ำ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และ สาขาวิชาการจัดการงานก่อสร้าง มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช ระดับปริญญาตรี สาขาวิชาการวัดและประเมินผลการศึกษา มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช

งานวิจัยที่สนใจ คือ วิศวกรรมขนส่งและจราจร วิศวกรรมการทาง การทดสอบวัสดุก่อสร้าง และงานวิจัยเชิงสำรวจ

Article History:

Received: November 2, 2022

Revised: December 16, 2023

Accepted: December 20, 2023

**ความว่องไวทางชีวภาพของเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 304 และ AISI 316
ที่เคลือบผิวด้วยไฮดรอกซีอะพาไทต์
BIOACTIVITY OF STRAINLESS STEEL AISI 304 AND AISI 316 COATED
WITH HYDROXYAPATITE**

วรรณ หอมจะบก¹ และ นวลละออง สระแก้ว²

^{1,2}อาจารย์, สาขาวิชาวิศวกรรมวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี
ราชมงคลอีสาน 744 ถ. สุรนารายณ์ ต. ในเมือง อ. เมือง จ. นครราชสีมา 30000,

¹whomjabok@hotmail.com, ²n_srakaew@hotmail.com

Wanna Homjabok¹ and Nuan La-ong Srakeaw²

^{1,2}Lecturer, Department of Materials Engineering, Faculty of Engineering and Technology,
Rajamangala University of Technology Isan, 744, Suranarai Road, Muang,

Nakhon Ratchasima, 30000 Thailand,

¹whomjabok@hotmail.com, ²n_srakaew@hotmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความว่องไวทางชีวภาพของเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 304 และ AISI 316 ที่เคลือบผิวด้วยวิธีการพ่นเคลือบโดยใช้ไฮดรอกซีอะพาไทต์ จากนั้นนำชิ้นงานไปผ่านกระบวนการเผาผนึกที่อุณหภูมิ 900 °C ผลการทดลองพบว่าค่าความขรุขระของพื้นผิวมีค่าความขรุขระมากขึ้นเมื่อทำการเคลือบผิว โดยเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 316 มีค่าความขรุขระมากกว่า AISI 304 และเมื่อนำไปทำการทดสอบสมบัติความชอบน้ำและไม่ชอบน้ำโดยการวัดมุมสัมผัสของหยดน้ำบนพื้นผิว ชิ้นงานที่ทำการเคลือบผิวจะมีมุมสัมผัสมากกว่า 90° แสดงสมบัติไฮโดรโฟบิก และจากการทดสอบความว่องไวทางชีวภาพ พบว่าเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 316 ที่เคลือบผิวด้วยไฮดรอกซีอะพาไทต์และเผาผนึกมีความว่องไวทางชีวภาพดีกว่าเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 304 อย่างไรก็ตาม เหล็กกล้าไร้สนิม AISI 316 และ AISI 304 ที่เคลือบผิวทั้งสองเกรดต่างก็พบการเกิดผลึกของไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่เป็นรูปแบบของแคลเซียมฟอสเฟต ซึ่งแสดงถึงความว่องไวทางชีวภาพที่ดีและมีโอกาสที่จะก่อตัวเป็นกระดูกได้

คำสำคัญ: เหล็กกล้าไร้สนิม, ไฮดรอกซีอะพาไทต์, ความว่องไวทางชีวภาพ

ABSTRACT

This research aims to study the bioactivity of stainless steel AISI 304 and AISI 316 coated with hydroxyapatite using spraying method. After being coated, the samples were sintered at 900 °C. The results showed that the surface roughness value increased when coating procedure. The AISI 316 stainless steel has a higher roughness than AISI 304 and when used to test the hydrophobic and hydrophobic properties by measuring the contact angle of water droplets on the surface. The coated sample have a contact angle greater than 90°, showing hydrophobic properties. The bioactivity test showed that AISI 316 stainless steel coated with hydroxyapatite and sintered showed better bioactivity than AISI 304 stainless steel. However, both grades of coated stainless steel AISI 316 and AISI 304 exhibit hydroxyapatite crystallization in the form of calcium phosphate. Which shows good biological compatibility and the potential for bone formation.

KEYWORDS: stainless steel, hydroxyapatite, bioactivity

1. บทนำ

วัสดุทางการแพทย์ (Medical materials) สามารถแยกความหมายหรือแบ่งประเภทได้ 2 แบบด้วยกัน คือวัสดุชีวภาพ (Biomaterials) และวัสดุทางชีววิทยา (Biological materials) คำว่า Biomaterials นั้นมีความหมายว่า เป็นวัสดุอย่างหนึ่งอย่างใดที่นำเข้าไปฝังอยู่ในร่างกาย เพื่อทำหน้าที่เป็นอวัยวะเทียมหรือเพื่อรักษาบางอย่าง หรือเรียกได้ว่าเป็น “วัสดุชีวภาพ” ส่วนคำว่า Biological materials เป็นวัสดุที่เป็นเนื้อเยื่อของร่างกายตามธรรมชาติ เรียกว่า “วัสดุทางชีววิทยา” [1]

วัสดุศาสตร์มีบทบาทสำคัญต่อการนำมาประยุกต์ใช้เป็นวัสดุอุปกรณ์ทางการแพทย์ประเภทต่าง ๆ โดยมีนักวิจัยที่ได้ทำการศึกษาและพัฒนาอย่างต่อเนื่อง เพื่อใช้ในการรักษาทดแทนแก้ไข ปัญหาต่าง ๆ ในการรักษาโรค เช่น คอนแทคเลนส์ กระดูกเทียม ข้อต่อเทียม แขนเทียม ขาเทียม ลิ้นหัวใจเทียม หลอดเลือดเทียม และที่ครอบฟัน เป็นต้น ซึ่งวัสดุที่ถูกนำมาประยุกต์ใช้กับร่างกายหรืออวัยวะเหล่านี้จะเรียกว่า วัสดุชีวภาพ (Biomaterials)

ปัจจุบันวัสดุชีวภาพมีมากมายหลายชนิดทั้งที่ผลิตจาก โลหะ พอลิเมอร์ เซรามิก และวัสดุผสมที่สามารถนำมาใช้ซ่อมแซมหรือทดแทนเนื้อเยื่อที่ถูกทำลายในร่างกายมนุษย์ ซึ่งวัสดุทางด้านชีวภาพที่ใช้ในทางการแพทย์มีวิวัฒนาการทางด้านวัสดุเป็นอย่างมากตลอดระยะเวลากว่า 20 ปีที่ผ่านมา โดยวัสดุที่สามารถนำมาใช้กับร่างกายมนุษย์หรือสิ่งมีชีวิตมีอยู่หลายชนิด เช่น แก้วเซรามิก ชีวภาพ เรซินคอมโพสิต และเหล็กกล้าไร้สนิม เป็นต้น

ในช่วงระยะเวลาที่ผ่านมา มีงานวิจัยหลายชิ้นที่มุ่งเน้นถึงการทดสอบคุณภาพของเหล็กกล้าไร้สนิม (Stainless steel) เพื่อนำมาใช้ประโยชน์ทางการแพทย์ เพราะมีความต้านทานการกัดกร่อนที่ดี นอกจากนี้ยังมีราคาถูกและขึ้นรูปได้ง่ายกว่าวัสดุประเภทอื่น งานวิจัยที่ผ่านมาได้ทำการศึกษาเหล็กกล้าไร้สนิมโดยเฉพาะกลุ่มออสเทนนิติก (Austenitic) เพื่อประยุกต์ใช้ในทางการแพทย์ เช่น AISI 316L [2] และ AISI 304 [3] เป็นต้น

การทดสอบความว่องไวทางชีวภาพ เป็นการจำลองสภาวะทางชีวภาพของร่างกายในช่วงเวลาต่าง ๆ โดยวัสดุชีวภาพที่นิยมทำการศึกษาคือ ไฮดรอกซีอะพาไทต์ (Hydroxyapatite, HA) เพราะไฮดรอกซีอะพาไทต์เป็นแร่ธาตุที่มีองค์ประกอบทางเคมีเหมือนกับกระดูกและฟันที่มีอยู่ในธรรมชาติ และมีสมบัติความเข้ากันได้กับเนื้อเยื่อของมนุษย์ เจือต่อการเกิดปฏิกิริยาสารเคมีในร่างกายและเนื้อเยื่อของสิ่งมีชีวิต อีกทั้งยังสามารถสลายตัวได้ในร่างกายสิ่งมีชีวิต เมื่อมีการเจริญของเนื้อเยื่อหรือกระดูกเข้ามาแทนที่ไฮดรอกซีอะพาไทต์จึงสามารถเข้ากันได้ดีกับร่างกาย ทำให้ไฮดรอกซีอะพาไทต์เป็นวัสดุที่ถูกนำมาศึกษาเพื่อที่จะนำไปใช้ประโยชน์เป็นวัสดุแทนกระดูกจากนักวิจัยหลาย ๆ กลุ่ม [4-6]

ไฮดรอกซีอะพาไทต์เป็นสารอนินทรีย์ที่มีสัดส่วนประมาณ 69% ของน้ำหนักกระดูกสิ่งมีชีวิตสามารถใช้เป็นสารทดแทนกระดูกให้มีประสิทธิภาพและปลอดภัยและทนต่อของเหลวภายในร่างกายซึ่งมีความเป็นกรดได้ โดยสามารถเตรียมสารได้จาก 3 แหล่ง คือ 1) จากสารเคมี เช่น แคลเซียมไนเตรดและแอมโมเนียมฟอสเฟต เป็นต้น 2) จากปะการัง แต่เนื่องจากปะการังมีปริมาณน้อยและเป็นปัญหาด้านสิ่งแวดล้อม จึงไม่นิยมนำมาใช้ และ 3) จากกระดูกสัตว์ โดยมากนิยมใช้กระดูกโคและกระบือมากกว่าเนื่องจากมีปริมาณมากและเป็นสัตว์ที่มนุษย์ใช้ประโยชน์ทั้งการใช้แรงงานและการบริโภค [7]

สารละลายจำลองไอออนพลาสมาของเลือดมนุษย์ (Simulated body fluid, SBF) เป็นสารละลายที่เตรียมขึ้นมาให้มีปริมาณความเข้มข้นของไอออนที่ใกล้เคียงกับพลาสมาในเลือดของมนุษย์ [8] เพื่อใช้สำหรับทดสอบความเป็นไบโอแอक्टिवิตีของวัสดุโดยสารละลาย SBF แต่ละตัวจะมีปริมาณไอออนต่าง ๆ ได้แก่ Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , Cl^- , HCO_3^- , HPO_4^{2-} และ SO_4^{2-} [9]

จากข้อมูลทั้งหมดที่กล่าวไว้ข้างต้น งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อทำการศึกษากการทดสอบความว่องไวทางชีวภาพของเหล็กกล้าไร้สนิมกลุ่มออสเทนนิติกโดยทำการประยุกต์เข้ากับสารไฮดรอกซีอะพาไทต์โดยการเคลือบผิวด้วยวิธีการพ่นเคลือบ (Spray coating) ซึ่งเป็นวิธีการที่สะดวกสามารถทำได้อย่างรวดเร็ว ใช้อุปกรณ์ในกระบวนการน้อย และราคาถูก (โดยทั่วไปแล้วจะนิยมใช้วิธีการพ่นแบบพลาสมา (Plasma spraying) [10, 11])

โดยวิธีการทดสอบจะนำวัสดุมาทดลองในสภาวะจำลองทางชีวภาพของร่างกายมนุษย์แล้วสังเกตการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับวัสดุนั้นทั้งด้านเคมี ด้านกายภาพ และโครงสร้างจุลภาค ซึ่งมี

สมมติฐานว่าจะสามารถทำการเคลือบผิวด้วยวิธีดังกล่าวได้ โดยมีตัวแปรการทดลองคือชิ้นงาน เหล็กกล้าไร้สนิม AISI 304 และ AISI 316 ที่ทำและไม่ทำการเคลือบผิวและเผาผิวก

ดังนั้นงานวิจัยนี้จะช่วยในการทำนายผลโดยสามารถนำมาเปรียบเทียบกับความปลอดภัยต่อร่างกายของมนุษย์และเนื้อเยื่อร่างกายเรียกว่า วิธีการทดสอบความว่องไวทางชีวภาพ (Bioactive) เนื่องจากเป็นกระบวนการที่มีความแม่นยำและมีเกณฑ์การวัดคุณภาพที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย ซึ่งจะสามารถนำวัสดุไปต่อยอดในการพัฒนาหรือประยุกต์ใช้ในร่างกายมนุษย์ได้

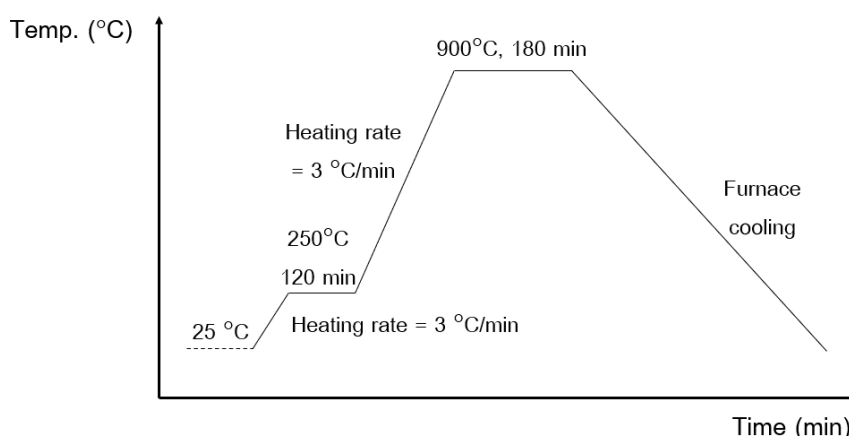
2. วิธีดำเนินการวิจัย

2.1 การเตรียมชิ้นทดสอบ

ชิ้นงานทดสอบเป็นเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 304 และ AISI 316 หนา 3 มิลลิเมตร ตัดให้ได้ขนาดกว้าง 10 มิลลิเมตร และยาว 10 มิลลิเมตร นำไปขัดผิวด้วยกระดาษทรายเบอร์ 80, 120, 240, 320 และ 600 ตามลำดับ จากนั้นจึงทำการเคลือบผิวด้วยกรดอะซิติก Grade AR ความเข้มข้น 99.8% (QRc New Zealand) ที่ผสมไฮดรอกซีอะพาไทต์ให้ได้ความเข้มข้น 17.5 มิลลิโมลต่อลิตร โดยการฉีดพ่นสารด้วยวิธีสเปรย์ที่ระยะห่างจากชิ้นงานโดยประมาณ 5 เซนติเมตร จำนวน 5 ครั้ง จนครบทุกด้านของผิวชิ้นงาน แล้วจึงทำการอบไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 100 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ซึ่งสารไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่นำมาใช้ในการทดลองถูกสังเคราะห์ขึ้นด้วยวิธีทำปฏิกิริยาสถานะของแข็ง (Solid state reaction) แล้วทำการคัดขนาดอนุภาคด้วยตะแกรงร่อนขนาด 325 mesh ซึ่งจะทำให้ได้อนุภาคที่มีขนาดน้อยกว่า 45 μm

2.2 กระบวนการเผาผิวกด้วยความร้อน

นำชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการอบไล่ความชื้นมาเผาผิวก โดยเริ่มจากอุณหภูมิ 25 °C แล้วเพิ่มอุณหภูมิด้วยอัตรา 1.5 °C/นาที จนถึง 250 °C คงอุณหภูมินี้ไว้เป็นเวลา 120 นาที จากนั้นจึงทำการเพิ่มอุณหภูมิไปจนถึง 900 °C ด้วยอัตรา 3 °C/นาที และคงอุณหภูมิ 900 °C นี้ไว้เป็นเวลา 180 นาที ซึ่งการใช้อุณหภูมิสูงจะส่งผลการเผาผิวกมีประสิทธิภาพที่ดีขึ้น แต่หากใช้อุณหภูมิสูงมากกว่า 900 °C จะทำไฮดรอกซีอะพาไทต์เปลี่ยนเฟสไปเป็นออกซีอะพาไทต์ (Oxyapatite, OXA) [12] จากนั้นจึงปล่อยให้ชิ้นงานเย็นตัวในเตา ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 ขั้นตอนการเผาผนึกด้วยความร้อน

2.3 การทดสอบและตรวจสอบ

2.3.1 การทดสอบความขรุขระผิวและการทดสอบวัดค่ามุมสัมผัสน้ำ

การทดสอบความขรุขระผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์แรงอะตอม (Atomic force microscope, AFM) ยี่ห้อ Nanosurf C3000 (Nanosurf FlexAFM system, Switzerland) และการวัดค่ามุมสัมผัสน้ำ (Contact angle) ของตัวอย่าง โดยการหยดน้ำ DI (Deionized) ปริมาตร 0.5 μL บนผิวชิ้นงาน ที่อุณหภูมิทดสอบ 20 ± 1 °C ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative humidity) $45 \pm 2\%$ ด้วยเครื่อง Contact angle measurement [13]

2.3.2 การทดสอบความว่องไวทางชีวภาพ

การทดสอบไบโอแอคทีวิตีในหลอดแก้ว หรือความว่องไวทางชีวภาพ (In vitro bioactive) จะใช้ชิ้นงานทดสอบที่มีผ่านการฉีดยาด้วยสเปรย์และกระบวนการเผาผนึก โดยใช้ชิ้นงานลงในขวดพลาสติกชนิดโพลีเอทิลีนความหนาแน่นสูง (HDPE) สีนํ้าตาลทึบเพื่อป้องกันแสงเข้าโปรบวบน ขนาดบรรจุ 60 มิลลิลิตร แล้วทำการเติมสารละลาย Simulate body fluid (SBF) ซึ่งปริมาณสารละลาย SBF ที่ใส่ลงไปในแต่ละขวดสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$\frac{\text{พื้นที่ผิวสัมผัสทั้งหมดของชิ้นงาน}}{\text{ปริมาณสารละลาย}} = 0.1 \text{ cm}^{-1} \quad (1)$$

ทำการควบคุมขวดทดลองที่บรรจุชิ้นงานไว้ที่อุณหภูมิ 37 ± 1 °C เป็นเวลา 7 วัน เมื่อครบกำหนดนำชิ้นตัวอย่างออกมาล้างด้วยน้ำ DI และแช่ Ethanol เป็นเวลา 30 นาที และทิ้งไว้ให้แห้งใน

ตู้ดูดควันไอสารเคมี (Hood) เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำไปวิเคราะห์ผลด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ชนิดฟิลด์อิมิชชัน (Field Emission Scanning electron microscope, FE-SEM) ยี่ห้อ Zeiss รุ่น Auriga

3 ผลการวิจัย

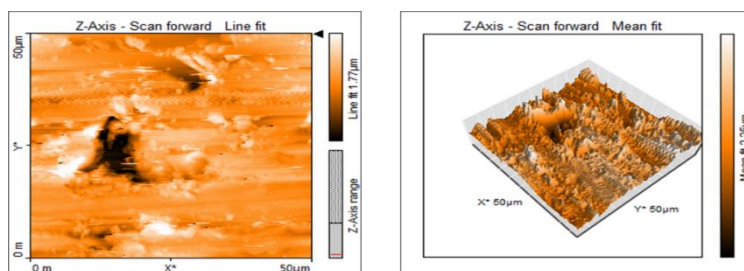
ตารางที่ 1 แสดงส่วนผสมทางเคมีของเหล็กกล้าไร้สนิมที่ใช้ในการศึกษาในครั้งนี้ ได้แก่ เกรด AISI 304 และ AISI 316 ด้วยเครื่องสเปกโตรมิเตอร์ (Spectrometer) โดยผลที่ได้พบว่า เหล็กกล้าไร้สนิม AISI 304 มีองค์ประกอบของธาตุที่สำคัญที่ประกอบไปด้วย คาร์บอน (C) 0.057%, โครเมียม (Cr) 18.62%, นิกเกิล (Ni) 8.06% และโมลิบดีนัม (Mo) 0.099% เป็นต้น ส่วนเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 316 มีธาตุที่สำคัญที่ประกอบไปด้วย คาร์บอน (C) 0.046%, โครเมียม (Cr) 16.93%, นิกเกิล (Ni) 10.02% และ โมลิบดีนัม (Mo) 2.037% เป็นต้น

ตารางที่ 1 ส่วนผสมทางเคมีของเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 304 และ AISI 316

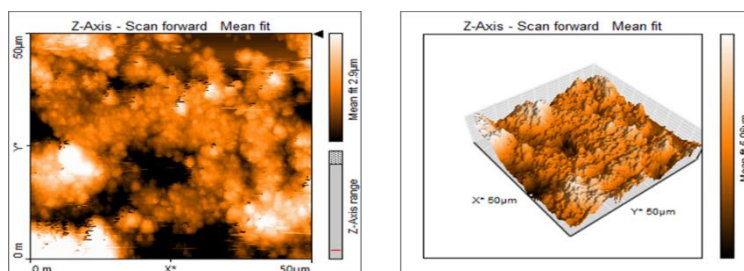
ชนิด	ปริมาณธาตุ (wt%)						
	Cr	Ni	Mo	C	P	S	Fe
AISI 304	18.62	8.06	0.099	0.057	0.041	0.021	bal.
AISI 316	16.93	10.02	2.037	0.046	0.035	0.020	bal.

3.1 ผลการทดสอบความขรุขระผิวด้วยเทคนิค AFM

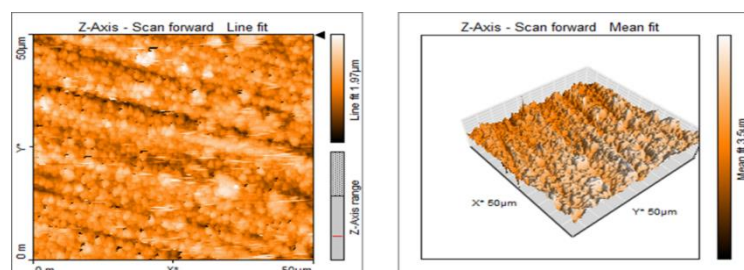
การทดสอบความขรุขระผิวของชิ้นงานเหล็กกล้าไร้สนิมจะทำการเปรียบเทียบระหว่างเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 304 และเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 316 โดยรูปที่ 2 ได้แสดงผลของการทดสอบความขรุขระของชิ้นงานทั้งแบบ 2 มิติ และ 3 มิติ ของชิ้นงานที่ไม่ได้ทำการเคลือบผิว (Uncoated) และทำการเคลือบด้วยไฮดรอกซีอะพาไทต์และเฝื่อนิก (Coated) พบว่า ก่อนทำการเคลือบผิวเหล็กกล้าไร้สนิมทั้งสองชนิดมีค่าความขรุขระผิวใกล้เคียงกัน โดยเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 304 มีค่าความขรุขระผิวเฉลี่ย (Ra) 156.87 nm (SD = 1.59 nm) และเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 316 มีค่าความขรุขระผิวเฉลี่ย (Ra) 208.58 nm (SD = 12.54 nm) เมื่อการเคลือบผิวและเฝื่อนิกส่งผลให้ชิ้นงานมีค่าความขรุขระผิวเฉลี่ยเพิ่มสูงขึ้น โดยเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 304 มีค่าความขรุขระผิวเฉลี่ย (Ra) 710.34 nm (SD = 66.53 nm) และเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 316 มีค่าความขรุขระผิวเฉลี่ย (Ra) 1,455.93 nm (SD = 50.24 nm) ทั้งนี้จะเห็นได้ว่าเหล็กกล้าไร้สนิมทั้ง 2 เกรด มีแนวโน้มที่เหมือนกันคือ หลังจากผ่านการเคลือบผิวและเฝื่อนิกแล้ว ชิ้นงานจะมีค่าความขรุขระผิวสูงขึ้น โดยเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 316 จะมีความขรุขระที่สูงกว่าเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 304



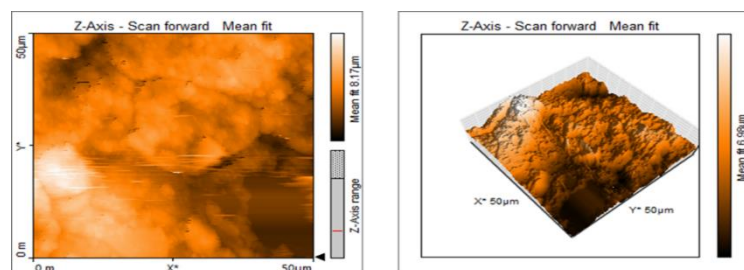
ก) เหล็กกล้าไร้สนิม AISI 304 ที่ไม่ได้ทำการเคลือบผิว ($Ra_{เฉลี่ย} = 156.87 \text{ nm}$ ($SD = 1.59 \text{ nm}$))



ข) เหล็กกล้าไร้สนิม AISI 304 ที่ทำการเคลือบผิว ($Ra_{เฉลี่ย} = 710.34 \text{ nm}$ ($SD = 66.53 \text{ nm}$))



ค) เหล็กกล้าไร้สนิม AISI 316 ที่ไม่ได้ทำการเคลือบผิว ($Ra_{เฉลี่ย} = 208.58 \text{ nm}$ ($SD = 12.54 \text{ nm}$))



ง) เหล็กกล้าไร้สนิม AISI 316 ที่ทำการเคลือบผิว ($Ra_{เฉลี่ย} = 1,455.93 \text{ nm}$ ($SD = 50.24 \text{ nm}$))

รูปที่ 2 ความขรุขระผิวของเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด AISI 304 และ AISI 316

3.2 ผลการทดสอบวัดมุมสัมผัสผิวน้ำด้วยเทคนิค Contact angle

ผลการทดสอบมุมสัมผัสระหว่างหยดน้ำของชิ้นงานเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด AISI 304 และ AISI 316 ดังแสดงในตารางที่ 2 พบว่า เหล็กกล้าไร้สนิม AISI 304 ที่ไม่ได้ทำการเคลือบผิวและเผาผนึก จะมามีค่ามุมสัมผัสเฉลี่ยเท่ากับ 84.30° ซึ่งมีค่าต่ำกว่าชิ้นงานที่ทำการเคลือบผิวและเผาผนึกซึ่งมีมุมสัมผัสเฉลี่ยเท่ากับ 106.12° ส่วนเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 316 ที่ไม่ได้ทำการเคลือบผิวและเผาผนึก จะมามีค่ามุมสัมผัสเฉลี่ยเท่ากับ 99.69° ซึ่งมีค่าต่ำกว่าชิ้นงานที่ทำการเคลือบผิวและเผาผนึกซึ่งมีมุมสัมผัสเฉลี่ยเท่ากับ 116.41° แสดงให้เห็นว่าทั้งเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 304 และ AISI 316 ที่ทำการเคลือบผิวด้วยสารไฮดรอกซีอะพาไทต์และเผาผนึก จะแสดงพฤติกรรมหรือสมบัติไฮโดรโฟบิก (Hydrophobic) ซึ่งเป็นสมบัติที่ไม่ชอบน้ำ โดยมีมุมสัมผัสมากกว่า 90°

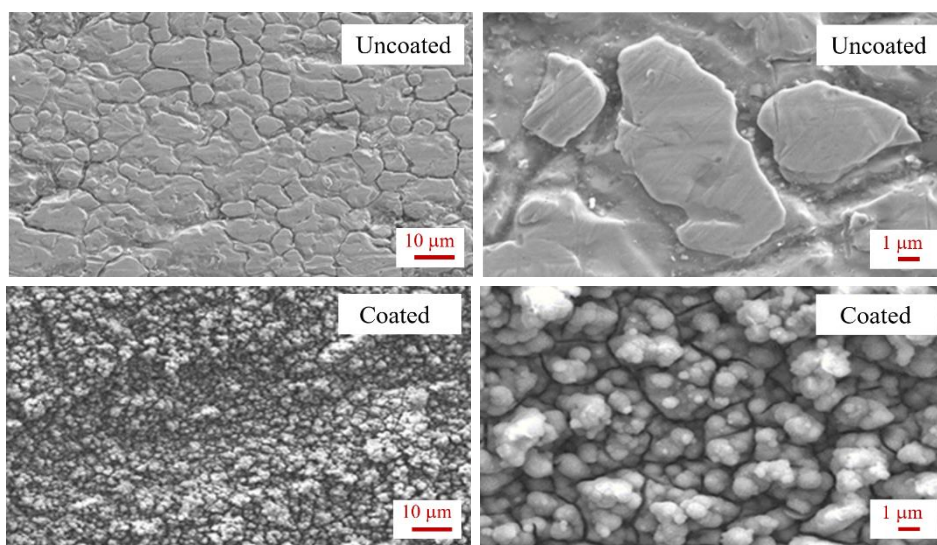
เมื่อพิจารณาผลการทดสอบมุมสัมผัสระหว่างหยดน้ำร่วมกับผลของการทดสอบความขรุขระผิวพบว่า ชิ้นงานที่มีความขรุขระมากจะมีค่ามุมสัมผัสระหว่างหยดน้ำมากขึ้น ซึ่งความสัมพันธ์ดังกล่าวสอดคล้องกับงานวิจัยของกลุ่มงานวิจัยหลาย ๆ กลุ่ม [14, 15] เหตุที่เป็นเช่นนี้สามารถอธิบายได้ว่า ความขรุขระที่เกิดขึ้นหลังการเคลือบผิวเกิดจากอนุภาคที่อยู่ในสารเคลือบ และเมื่อน้ำมีการสัมผัสกับผิวที่มีความขรุขระนี้จะเกิดการสะสมของอากาศ (Air trapping) ส่งผลให้ปริมาณพื้นผิวที่น้ำสัมผัสกับพื้นผิวที่เคลือบ (Water-solid interface) มีค่าลดลง หรือมีค่ามุมสัมผัสพื้นผิวที่เพิ่มมากขึ้นนั่นเอง [16, 17]

ตารางที่ 2 ค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำที่ผิวของเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 304 และ AISI 316

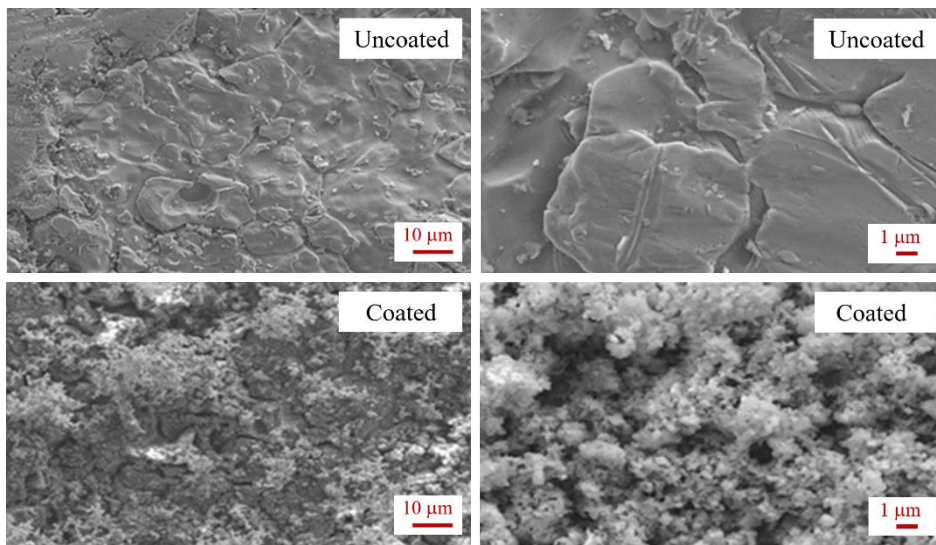
เกรด		ภาพหยดน้ำ			มุม
AISI 304	Uncoated				84.30° (SD=6.83 $^{\circ}$)
	Coated				106.12° (SD=2.02 $^{\circ}$)
AISI 316	Uncoated				99.69° (SD=1.73 $^{\circ}$)
	Coated				116.41° (SD=0.58 $^{\circ}$)

3.3 ผลการทดสอบความว่องไวทางชีวภาพ (In vitro bioactive)

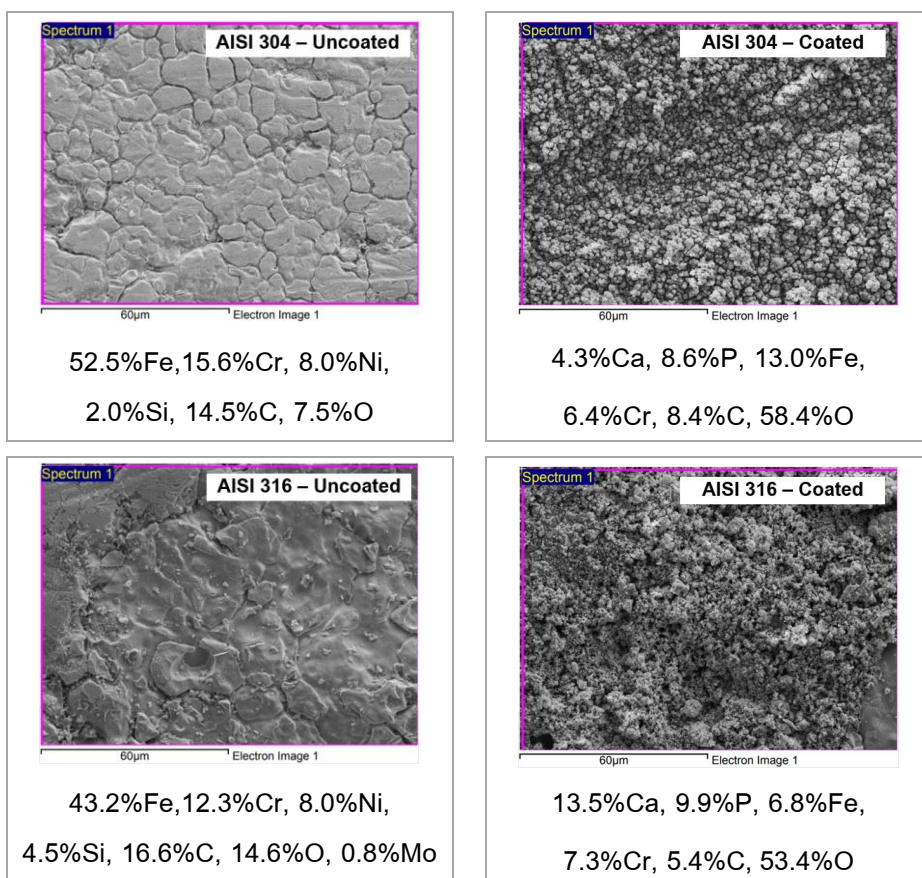
เมื่อนำชิ้นงานไปทดสอบความว่องไวทางชีวภาพโดยแช่ในสารละลาย SBF เป็นเวลา 7 วัน ผลที่เกิดขึ้นพบว่าชิ้นงานเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด AISI 304 และ AISI 316 ที่ไม่ได้ทำการเคลือบผิวจะเห็นโครงสร้างเกรนที่เกิดขึ้นที่ผิวอย่างชัดเจน ส่วนชิ้นงานที่ทำการเคลือบผิว จะพบผลึกของไฮดรอกซีอะพาไทต์ โดยเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด AISI 316 จะเกิดขึ้นสมบูรณ์กว่า AISI 304 ตามรูปแบบลักษณะของสารประกอบแคลเซียมฟอสเฟตที่เกิดขึ้นบนพื้นผิวชิ้นงาน ดังแสดงในรูปที่ 3-4 และเมื่อทำการตรวจสอบองค์ประกอบทางเคมีที่ผิวของชิ้นงานด้วยเทคนิค Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy (EDS) ดังแสดงในรูปที่ 5 พบว่าชิ้นงานที่ไม่ได้ทำการเคลือบและเผาผนึกจะพบองค์ประกอบของธาตุที่สำคัญในเหล็กกล้าไร้สนิม เช่น โครเมียม (Cr) นิกเกิล (Ni) เหล็ก (Fe) และอื่น ๆ เป็นต้น โดยเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 316 จะพบธาตุโมลิบดีนัม (Mo) เข้ามาจากเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 304 ส่วนชิ้นงานที่เคลือบผิวและเผาผนึก เหล็กกล้าไร้สนิม AISI 304 จะพบสารธาตุแคลเซียม (Ca) 4.3% และฟอสฟอรัส (P) 8.6% ส่วนเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 316 ที่เคลือบผิวและเผาผนึกจะพบสารธาตุแคลเซียม (Ca) 13.5% และฟอสฟอรัส (P) 9.9% ซึ่งมีปริมาณที่สูงกว่าเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 304



รูปที่ 3 โครงสร้างจุลภาคของเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด AISI 304 หลังการแช่ในสาร SBF



รูปที่ 4 โครงสร้างจุลภาคของเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด AISI 316 หลังการแช่ในสาร SBF



รูปที่ 5 องค์ประกอบทางเคมีด้วยเทคนิค EDS หลังแช่ในสารละลาย SBF

3.4 อภิปรายผล

เหล็กกล้าไร้สนิม AISI 304 และ AISI 316 ก่อนที่จะทำการเคลือบผิวโดยใช้ไฮดรอกซีอะพาไทต์และทำการเผาผนึก จะสังเกตได้ว่าเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 316 มีความขรุขระ ($Ra_{เฉลี่ย} = 208.58 \text{ nm}$) สูงกว่าเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 304 ($Ra_{เฉลี่ย} = 156.87 \text{ nm}$) แม้ว่าทำการเตรียมผิวเช่นเดียวกันก็ตาม (หัวข้อ 2.1) ที่เป็นเช่นนี้อาจเป็นเพราะเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 316 มีส่วนผสมของธาตุโมลิบดีนัมเพิ่มเข้ามาจากเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 304 โดยธาตุโมลิบดีนัมสามารถเกิดการตกตะกอน (Precipitation) เป็นคาร์ไบด์ชนิด $(Fe, Cr, Mo)_{23}C_6$ เช่นเดียวกันกับธาตุโครเมียม [18] ดังนั้นเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 316 จึงมีปริมาณคาร์ไบด์มากกว่า ซึ่งคาร์ไบด์จะมีความแข็งสูง ส่วนเฟสออสเทนนิติก (Austenitic phase) ซึ่งเป็นเฟสเนื้อพื้นจะมีความแข็งที่ต่ำกว่า ด้วยเหตุนี้จึงเป็นไปได้ว่าหลังทำการเตรียมผิวแล้ว ความขรุขระของเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 316 ซึ่งมีปริมาณคาร์ไบด์มากกว่า จึงมีค่าความขรุขระสูงกว่าเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 304 และได้ส่งผลต่อค่าความขรุขระหลังทำการเคลือบผิวและการเผาผนึก

จากการทดสอบความขรุขระผิว การทดสอบวัดมุมสัมผัสน้ำ และผลการทดสอบความว่องไวทางชีวภาพของเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 304 และ AISI 316 ที่ผ่านการเคลือบผิวโดยใช้ไฮดรอกซีอะพาไทต์และทำการเผาผนึก ทำให้พบว่าพื้นผิวของชิ้นงานตัวอย่างส่งผลต่อการทดสอบความว่องไวทางชีวภาพ โดยหากพื้นผิวมีความขรุขระมาก ก็จะส่งผลให้มีแนวโน้มที่แสดงพฤติกรรมไฮโดรโฟบิกมากยิ่งขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัย [14, 15] และบทความทางวิชาการต่าง ๆ [19] โดยสามารถอธิบายได้ว่า ความขรุขระที่เกิดขึ้นหลังการเคลือบผิวเกิดจากอนุภาคที่อยู่ในสารเคลือบและเมื่อนำมาสัมผัสกับผิวที่มีความขรุขระก็จะเกิดการสะสมของอากาศตามร่องหรือหลุมจากความขรุขระนั้น เมื่อทำการทดสอบมุมสัมผัสหยดน้ำจึงส่งผลให้ปริมาณพื้นผิวที่น้ำสัมผัสกับพื้นผิวที่เคลือบมีค่าลดลง หรือมีค่ามุมสัมผัสพื้นผิวที่เพิ่มมากขึ้น [16, 17]

ผลจากงานวิจัยนี้พบว่า ชิ้นงานเมื่อผ่านการเคลือบผิวและเผาผนึกจะทำให้มีความขรุขระและมุมสัมผัสที่ผิวเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกันกับงานวิจัยอื่น ๆ ที่อธิบายไว้ข้างต้น โดยเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 316 มีพื้นผิวที่มีมุมสัมผัสสูงกว่าและมีสมบัติไฮโดรโฟบิกมากกว่าเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด AISI 304 ซึ่งผลการทดลองนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ [20] ที่ได้ทำการศึกษาความสามารถในการเปียก (Wettability) ของเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 304 และ AISI 316 และพบว่ามุมสัมผัสของเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 304 มีค่าที่ต่ำกว่าเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 316 ทั้งนี้ งานวิจัยก็ยังไม่สามารถอภิปรายได้ชัดเจนว่าเกิดจากสาเหตุใด

จากเมื่อนำเหล็กกล้าไร้สนิมทั้ง 2 ชนิด ไปทดสอบความว่องไวทางชีวภาพด้วยการนำไปแช่ในสาร SBF เป็นเวลา 7 วัน พบว่า แม้เหล็กกล้าไร้สนิมเกรด AISI 316 จะมีความไม่ชอบน้ำมากกว่า (มุมสัมผัสของหยดน้ำสูงกว่า) เหล็กกล้าไร้สนิมเกรด AISI 304 ซึ่งน่าจะเป็นอุปสรรคในการช่วยให้

แคลเซียมฟอสเฟตก่อตัวบนพื้นผิว แต่การที่เหล็กกล้าไร้สนิม AISI 316 มีผิวที่ขรุขระมากกว่าทำให้มีพื้นที่ผิวสัมผัสมากกว่า จึงส่งผลให้ผลการทดสอบความว่องไวทางชีวภาพดีกว่านั่นเอง

4. สรุปผลการวิจัย

การทดสอบความว่องไวทางชีวภาพของเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด AISI 304 และ AISI 316 ที่ผ่านการเคลือบผิวโดยใช้ไฮดรอกซีอะพาไทต์ สรุปผลได้ดังนี้

4.1 ผลการวิเคราะห์ความขรุขระของพื้นผิวเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 304 และ AISI 316 ด้วยเทคนิค AFM แสดงให้เห็นว่าเมื่อทำการเคลือบผิวและเผาผนึก ชิ้นงานจะมีค่าความขรุขระสูงขึ้น โดยเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 316 จะมีค่าความขรุขระสูงกว่าเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 304

4.2 ผลการวัดมุมสัมผัสระหว่างหยดน้ำของพื้นผิวเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 304 และ AISI 316 พบว่าชิ้นงานจะมีมุมสัมผัสสูงขึ้นหลังจากทำการเคลือบผิวด้วยไฮดรอกซีอะพาไทต์และเผาผนึก โดยจะแสดงพฤติกรรมแบบไฮโดรโฟบิก โดยมีค่ามุมสัมผัสระหว่างหยดน้ำ 106.12° และ 116.41° ตามลำดับ

4.3 ผลการทดสอบความว่องไวทางชีวภาพหลังจากแช่ในสารละลาย SBF เป็นเวลา 7 วัน พบว่าชิ้นงานเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด AISI 304 และ AISI 316 ที่ผ่านการเคลือบผิวด้วยไฮดรอกซีอะพาไทต์และเผาผนึก มีแนวโน้มที่จะเกิดผลึกของไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่เป็นรูปแบบของแคลเซียมฟอสเฟตขึ้น แสดงให้เห็นว่ามีความว่องไวทางชีวภาพและมีแนวโน้มที่จะก่อตัวเป็นกระดูกได้ โดยพบว่าเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด AISI 316 จะเกิดขึ้นได้ดีกว่า AISI 304

อย่างไรก็ตาม ในมุมมองของผู้วิจัยมีข้อคิดเห็นว่า งานวิจัยนี้สามารถนำไปต่อยอดงานวิจัยให้เข้มข้นและสมบูรณ์มากยิ่งขึ้นได้ในการต่อไปดังนี้คือ 1) ศึกษากลไกขององค์ประกอบของธาตุ เช่น โมลิบดีนัม ว่าส่งผลต่อการเคลือบและการเผาผนึก ค่าความขรุขระ และมุมสัมผัสของผิวชิ้นงานอย่างไร และ 2) ศึกษาความสามารถในการยึดเกาะ (Adhesion) ของผิวเคลือบ และความแข็งแรงของชั้นเคลือบ

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยเรื่อง ความว่องไวทางชีวภาพของเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 304 และ AISI 316 ที่ถูกเคลือบด้วยสารไฮดรอกซีอะพาไทต์เพื่อประยุกต์ใช้เป็นวัสดุทางการแพทย์และอวัยวะเทียม ตามสัญญาเลขที่ FF66-P1-119 ได้รับการสนับสนุนจากกองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ นายจิรวัฒน์ วรรณภีระ และนางสาวเนตรนภิส สิทธิปรี ผู้เก็บข้อมูลในการทดลองงานวิจัยในครั้งนี้ที่ช่วยดำเนินการและรวบรวมผลในการวิจัยครั้งนี้

References

- [1] Leenakul W, Sutjarittangtham K. Studying of bioactive glass-ceramic containing ferromagnetic nanocrystals from silica and non-silica system by incorporation technique. Bangkok, Thailand: Faculty of Science and Technology, Rajamangala University of Technology Phra Nakhon; 2016. (In Thai)
- [2] Vepulanont K. Study and development on surface quality of passivated stainless steel AISI 316L for medical application and testing by electrochemical techniques [Thesis]. Bangkok, Thailand: King Mongkut's University of Technology North Bangkok; 1998. (In Thai)
- [3] Seyed MN, Mojtaba A, Ali P, Fathollah M, Masood M. Bioactivation of 304 stainless steel surface through 45S5 bioglass coating for biomedical applications. International Journal of Electrochemical Science 2012;7:2890-903.
- [4] Srakaew NL, Kaewpimai T, Yangklang W, Charerntanom W, Thongsri O, Thaitalay P and Rattanachan ST. Characterization of biomaterial fabricated from polylactic acid /hydroxyapatite composites. In: Ubon Ratchathani University Research Conference, 2018 Jul 12-13; Ubon Ratchathani University. (In Thai)
- [5] Chow LC, Sun L, Hockey B. Properties of nanostructured hydroxyapatite prepared by a spray drying technique. Journal of Research of the National Institute of Standards and Technology 2004;109:543-51.
- [6] Bastan FE, Erdogan G, Moskalewicz T, Ustel F. Spray drying of hydroxyapatite powder: The effect of spray drying parameters and heat treatment on the particle size and morphology. Journal of Alloys and Compounds 2017;724:586-96.
- [7] The Medicine Journal [Internet]. Hydroxyapatite [cited 20 Aug 22]; Available from: <https://bit.ly/2VRv5r2> (In Thai)
- [8] Yilmaz B, Pazarceviren AE, Tezcaner A., Evis Z. Historical development of simulated body fluids used in biomedical applications: A review. Microchemical Journal 2020;155: 104713.
- [9] Janphuang N. In vitro behaviour of Beta-calcium pyrophosphate glass-ceramics [Thesis]. Nakhon Ratchasima, Thailand: Suranaree University of Technology; 2007. (In Thai)

- [10] Kravanja KA, Finšgar M. A review of techniques for the application of bioactive coatings on metal-based implants to achieve controlled release of active ingredients. *Materials and Design* 2022;217:110653.
- [11] Singh G, Sharma S, Mittal M, Singh G, Singh J, Changhe L, et al. Impact of post-heat-treatment on the surface roughness, residual stresses, and micromorphology characteristics of plasmasprayed pure hydroxyapatite and 7%-Aloxite reinforced hydroxyapatite coatings deposited on titanium alloy-based biomedical implants. *Journal of Materials Research and Technology* 2020;18:1358-80.
- [12] Bohner M. Calcium orthophosphates in medicine: from ceramics to calcium phosphate cements. *Injury* 2000;31(Suppl 4):D37-47.
- [13] Masae M, Sikong L, Kongsong P, Pholthawon C, Pawanwatcharakorn N, Abdullah MMAB, et al. Super hydrophilicity and photocatalytic activity of potassium doped TiO₂ nanoparticulate films. *Revista de Chimie* 2016;67(9):1884-90.
- [14] Faibut N, Amornkitbamrung V. Effect of surface roughness on wettability of diamond-like carbon thin films. In: Graduate Research Conference; 2013 Feb 22; Khon Kaen, Thailand. (In Thai)
- [15] Pipattanachai S, Thanyasrisung P, Srimaneepong V. Surface wettability of graphene oxide/silver nanocomposite (GO/AgNP) coated nickel-titanium (NiTi) alloys by electrophoretic deposition. In: RSU National Research Conference 2021 on Science and Technology, 2021 Apr 30; Pathum Thani, Thailand. (In Thai)
- [16] Cassie ABD, Baxter S. Wettability of porous surfaces. *Transactions of the Faraday Society* 1944;40(0):546-51.
- [17] Elliott PR, Stagon SP, Huang H, Furrer DU, Burlatsky SF, Filburn TP. Combined hydrophobicity and mechanical durability through surface nanoengineering. *Scientific Report* 2015;5(1):9260.
- [18] Ostovan F, Shafiei E, Toozandehjani M, Mohamed IF, Soltani M. On the role of molybdenum on the microstructural, mechanical and corrosion properties of the GTAW AISI 316 stainless steel welds. *Journal of Materials Research and Technology* 2021;13:2115-25.

- [19] Thais TP, Lucas FBN, Camila B.T, Marcos AEC, Rafael D, Ana PR. The role played by modified bioinspired surfaces in interfacial properties of biomaterials. Biophysical Reviews 2017;9:683-98.
- [20] Estrada-Martínez J, Reyes-Gasga J, García-García R, Vargas-Becerril N, Zapata-Torres MG, Gallardo-Rivas NV, et al. Wettability modification of the AISI 304 and 316 stainless steel and glass surfaces by titanium oxide and titanium nitride coating. Surface and Coatings Technology 2017;330:61-70.

ประวัติผู้เขียนบทความ



ผู้ช่วยศาสตราจารย์วรรณ หอมจะบก สาขาวิศวกรรมวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน เลขที่ 744 ต.ในเมือง อ.เมือง จ.นครราชสีมา 30000 โทรศัพท์ 044-233-073 ต่อ 3352 โทรศัพท์มือถือ 087-7769920 E-Mail: whomjabok@hotmail.com
 คุณวุฒิ: วศ.ม. วิศวกรรมโลหการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 2552, วศ.บ. วิศวกรรมโลหการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี 2548
 งานที่สนใจ: การวิเคราะห์และทดสอบ สมบัติทางเคมี/กายภาพ/เชิงกลของวัสดุ การกัดกร่อนของโลหะ การปรับปรุงสมบัติของโลหะด้วยความร้อน



ดร. นวลละออง สระแก้ว สาขาวิศวกรรมวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน เลขที่ 744 ต.ในเมือง อ.เมือง จ.นครราชสีมา 30000 โทรศัพท์ 044-233-073 ต่อ 3352 โทรศัพท์มือถือ 062-4791579 E-Mail: n_srakaew@hotmail.com
 คุณวุฒิ: วศ.ด. วิศวกรรมเซรามิก มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี 2558, วท.บ. ฟิสิกส์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี 2552
 งานที่สนใจ: วัสดุชีวภาพทางการแพทย์ วัสดุผสม วัสดุนาโน

Article History:

Received: August 28, 2023

Revised: December 18, 2023

Accepted: December 20, 2023

ผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาบทความ วิศวกรรมสารเกษมบัณฑิต:

ศ.ดร.กัณวีร์ กนิษฐ์พงศ์	สาขาวิศวกรรมขนส่ง สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย
ศ.ดร.โกสินทร์ จำนงไทย	ภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ศ.ดร.โจเซฟ เคดาร์	สาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีและนวัตกรรม มหาวิทยาลัยกรุงเทพธนบุรี
ศ.ดร.ต่อกุล กาญจนาลัย	ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ศ.ดร.ปราโมทย์ เดชะอำไพ	ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ศ.ดร.วัฒนวงศ์ รัตนวราห	สาขาวิชาวิศวกรรมขนส่ง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ศ.ดร.สุวัฒนา จิตตลดาการ	ภาควิชาวิศวกรรมทรัพยากรน้ำ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
Prof. Dr. Belkacem Zeghamati	Laboratoire de Mathematiques et Physique des Systeme- Groupe de Mecanique Energetique, Universite de Perpignan, France
รศ.ดร.กมลวัลย์ ลือประเสริฐ	ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า พระนครเหนือ
รศ.ดร.กอบชัย เดชหาญ	ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง
รศ.ดร.กัณวรัช พลุประชญ์	ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ องครักษ์
รศ.ดร.กิตติพงศ์ อัครกุล	ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
รศ.ดร.จิรนุช เสงี่ยมศักดิ์	สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รศ.ดร.ชูสิทธิ์ ประดับเพ็ชร์	สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา
รศ.ดร.ชัยณรงค์ อธิสกุล	ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า ธนบุรี
รศ.ดร.ณกร อินทร์พุง	คณะโลจิสติกส์ มหาวิทยาลัยบูรพา
รศ.ดร.ณฐา คุปต์ชัย	ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี ราชมงคลธัญบุรี
รศ.ดร.دنุพล ตันนโยภาส	ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และวัสดุ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
รศ.ดร.ทวีพล ชื้อสัตย์	ภาควิชาวิศวกรรมการวัดและควบคุม สถาบันเทคโนโลยี พระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

รศ.ดร.เทอดศักดิ์ ร่องวิริยะพานิช	ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
รศ.ดร.ธนู จุญญา	สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต
รศ.ดร.ธีรศิลป์ ทุมวิภาต	ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องมื่อวัดและอิเล็กทรอนิกส์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
รศ.ดร.นคร ภู่วโรคม	ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต
รศ.ดร.นิตย์ เพ็ชรรักษ์	รองอธิการบดี สายงานวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต
รศ.ดร.เนตรนภิส ดันเต็มทรัพย์	สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
รศ.ดร.บวรโชค ผู้พัฒน์	ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
รศ.ดร.บุญเลิศ สือเจย	ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์
รศ.ดร.บุญวัฒน์ อัฐชู	สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
รศ.ดร.ประยูร สุรินทร์	สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน
รศ.ดร.ปราโมทย์ ศรีน้อย	สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต
รศ.ดร.ปรีดา ไชยมหาวัน	สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยพะเยา
รศ.ดร.พนิต ภูจินดา	ภาควิชาการวางแผนภาคและเมือง คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
รศ.ดร.พรฤดี เนติโสภาคกุล	คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
รศ.ดร.พานิช วุฒิพฤษชัย	ภาควิชาครุศาสตร์โยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
รศ.ดร.พาสีทธิ์ หล่อธีรพงศ์	บัณฑิตวิทยาลัยการจัดการและนวัตกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
รศ.ดร.พิภพ สุนทรสมัย	ที่ปรึกษาคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต
รศ.ดร.พิศิษฐ์ โกคาร์ตันกุล	สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต
รศ.ดร.ไพโรจน์ สิงห์หนัดกิจ	ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
รศ.ดร.ฟูศักดิ์ ชิวสุวิทย์	ภาควิชาวิศวกรรมการวัดและควบคุม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
รศ.ดร.ภัทรমন จงประดิษฐ์	ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

รศ.ดร.ภาณุวัฒน์ จ้อยกลัด	ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
รศ.ดร.ภาวิณี เอี่ยมตระกูล	คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
รศ.ดร.มนตรี คำเงิน	ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง
รศ.ดร.มนตรี ศิริปรัชญานันท์	ภาควิชาครุศาสตร์ไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า พระนครเหนือ
รศ.ดร.ยุทธชัย บรรเทึงจิต	ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า พระนครเหนือ
รศ.ดร.รัตติกร วรากุลศิริพันธ์	คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น
รศ.ดร.ระพี กาญจนะ	ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี ราชมงคลธัญบุรี
รศ.ดร.วรรณ ข้างสว่าง	คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
รศ.ดร.วรพจน์ กรีสระเดช	คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง
รศ.ดร.วรากร ศรีเชวงทรัพย์	สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์และปัญญาประดิษฐ์ สถาบัน เทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น
รศ.ดร.วัชร เพียรสุภาพ	ภาควิชาวิศวกรรมโยธา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
รศ.ดร.วิทยา ทิพย์สุวรรณพร	สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง
รศ.ดร.เวคิน ปิยรัตน์	ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ องครักษ์
รศ.ดร.สถาพร โอภาสานนท์	สาขาวิชาบริหารธุรกิจระหว่างประเทศ โลจิสติกส์และการขนส่ง มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
รศ.ดร.สมใจ จันท์อุดม	สาขาวิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และวัสดุ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
รศ.ดร.สมศักดิ์ มิตะถา	ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง
รศ.ดร.สมิตร ส่งพิริยะกิจ	ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัย เทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
รศ.ดร.สินชัย ชินวรรณต์	ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลและการบิน-อวกาศ มหาวิทยาลัย เทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
รศ.ดร.เสรี เศวตเสรมณี	ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

รศ.ดร.สุทัศน์ ลีลาทวิวัฒน์	ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
รศ.ดร.สุนิติ สุภาพ	ภาควิชาวิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
รศ.ดร.สุรพล บุญลือ	ภาควิชาเทคโนโลยีและสื่อสารการศึกษา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
รศ.ดร.อดิศักดิ์ กาญจนหฤทัย	ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยรังสิต
รศ.ดร.อรฉัตร จิตต์โสภาคย์	สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
รศ.ดร.อิทธิพงศ์ ชัยสายันท์	บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเอเซียอาคเนย์
รศ.ดร.อำพล การุณสุนทวงษ์	ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
รศ.เรวัฒน์ เหล่าไพบูรณ์	ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
รศ.วัชรินทร์ วิทยกุล	ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน
รศ.วิญญู แสงสนิทกิจ	สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต
รศ.ศันสนีย์ สุภาภา	ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน
รศ.เอนก ศิริพานิชกร	ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ผศ.ดร.กรกช ทวีสิน	สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยรามคำแหง
ผศ.ดร.กฤษ สุจริตตั้งธรรม	คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม
ผศ.ดร.กัมพล พรหมจระประวดี	สาขาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง
ผศ.ดร.กิตติ สถาพรประสาธน์	ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ผศ.ดร.กิตติศักดิ์ วิธินันทกิตต์	สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขตบางพระ
ผศ.ดร.กฤษณ ทองศรี	ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผศ.ดร.เชมพัฒน์ ตันติวัฒนกุล	ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลและการบิน-อวกาศ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

ผศ.ดร.จักร จันทลักษณ์	ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลและการบิน-อวกาศ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ผศ.ดร.จารุวรรณ เกษมทรัพย์	สาขาวิชาการจัดการงานวิศวกรรม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ผศ.ดร.จิราพรรณ สุนทรโชติ	ภาควิชาคณิตศาสตร์และวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ผศ.ดร.จิราวรรณ อุณเมตตาอารี	สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา
ผศ.ดร.เจษฎา ชัยโณม	ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ผศ.ดร.ฉัตร สุจินดา	ธุรกิจส่วนตัว
ผศ.ดร.ชลัท ทิพาการเกียรติ	สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
ผศ.ดร.ชัยรัตน์ ชีระวัฒนสุข	ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ผศ.ดร.ชัยวัฒน์ นุ่มทอง	ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา
ผศ.ดร.ชูชัย สุจิรวงศ์	ภาควิชาครุศาสตร์โยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ผศ.ดร.ณัฏวิภา เจริญไวยศิริ	ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ผศ.ดร.ณัฐพงศ์ พันธุ์น้อย	คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ผศ.ดร.ณัฐพงศ์ มกระธัช	ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ผศ.ดร.ดนัย เผ่าฤทธิรงค์	ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ผศ.ดร.ดวงพร กาชาสปี	สาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อมและความปลอดภัย คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม
ผศ.ดร.ดาวุด ทองทา	ภาควิชาคณิตศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ผศ.ดร.ติกะ บุณนาค	สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต
ผศ.ดร.ทวีศักดิ์ ตะกะระโท	ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยนเรศวร

ผศ.ดร.นที ศรีสวัสดิ์	ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งทอ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผศ.ดร.นิพนธ์ วรรณโสภาคย์	ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ผศ.ดร.ปรรัตน์ ศุภมิตรโยธิน	สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา
ผศ.ดร.พงศกร บำรุงไทย	ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ศรีราชา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา
ผศ.ดร.พงษ์สัณญ์ ประกฤตศรี	ภาควิทยาศาสตร์พื้นฐานและพลศึกษา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา
ผศ.ดร.พิพัฒน์พงศ์ วัฒนวันญ	วิทยาลัยวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรังสิต
ผศ.ดร.พิมพ์เพชร สระทองอุ่น	สาขาวิชาวิศวกรรมยานยนต์ สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น
ผศ.ดร.มนทล นาวงษ์	ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผศ.ดร.มนูญ มาศนิยม	ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และวัสดุ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
ผศ.ดร.รัฐภูมิ ฐันทนคุณ	ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยสยาม
ผศ.ดร.วรัญญู วงษ์เสรี	ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ผศ.ดร.วัชรินทร์ ดงบัง	สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงานและการจัดการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ วิทยาเขตระยอง
ผศ.ดร.วิชัย รุ่งเรืองอนันต์	ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ผศ.ดร.วินัย ใจกล้า	คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ผศ.ดร.วิรัตน์ จอมขวา	ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลและการบิน-อวกาศ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ผศ.ดร.ศิริดล ศิริธร	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล
ผศ.ดร.สนิธ วงษา	ภาควิชาครุศาสตร์โยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ผศ.ดร.สมบุญ เจริญวิไลศิริ	ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ผศ.ดร.สมโพธิ อยู่ไว	สาขาวิชาวิศวกรรมเทคนิคธรณี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

ผศ.ดร.สมศักดิ์ มีนคร	คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา
ผศ.ดร.สโรช บุญศิริพันธ์	ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ผศ.ดร.สิตางศุ์ พิลัยหล้า	ภาควิชาวิศวกรรมทรัพยากรน้ำ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ผศ.ดร.สิทธิพงษ์ เพิ่มพิทักษ์	คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
ผศ.ดร.สิริชัย จีรวงศ์นุสรณ์	สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
รศ.ดร.สิริพร โรจนนันต์	สาขาวิชาเทคโนโลยีวัสดุ มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าธนบุรี
ผศ.ดร.สิรางค์ กลั่นคำสอน	ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา
ผศ.ดร.สุมล แซ่เฮง พิสิษฐ์สังฆการ	ศูนย์วิจัยเทคโนโลยีการเผาไหม้และพลังงานทางเลือก ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมเครื่องต้นกำลัง วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ผศ.ดร.สุรัตน์ อาริรัตน์	ภาควิชาวิศวกรรมเคมี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ผศ.ดร.อรกมล วังอภิสิทธิ์	ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
ผศ.กัมปนาท ไชยเพชร	สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกลและเมคคาทรอนิกส์ มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์
ผศ.กานติส สุดสาคร	ภาควิชาวิศวกรรมเคมี มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ผศ.จิรเมธา สังข์เกษม	สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ผศ.นราธิป แสงชัย	ศูนย์แห่งความเป็นเลิศเฉพาะทางด้านการวิจัยและพัฒนาอุตสาหกรรมเครื่องเรือน วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ผศ.พรสิริ ชาติปรีชา	คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี สถาบันการจัดการปัญญาภิวัฒน์
ผศ.วรรณะ ประภาภรณ์	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น
ผศ.วรากร เกิดทรัพย์	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ผศ.สหรัตน์ วงษ์ศรีชะ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
ผศ.สาธิต รุ่งฤดีสมบัติกิจ	สาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ผศ.สุชาติ เหลืองประเสริฐ	ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ผศ.อุษณีย์ ระหา	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง

ผศ.อนุชิต เจริญ	สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต
อ.ดร.กฤษชัย วิถีพานิช	ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ องครักษ์
อ.ดร.กฤษณ์ อภิญาวิศิษฐ์	สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล พระนคร
อ.ดร.คมพันธ์ ชมสมุทร	สาขาวิชาวิศวกรรมแมคคาทรอนิกส์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี ราชมงคลพระนคร
อ.ดร.จักรภพ วงศ์วิวัฒน์	ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า ธนบุรี
อ.ดร.ฉัตรเพชร ยศพล	สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
อ.ดร.ชัยพันธ์ ขำญาติ	ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยา เขตบางเขน
อ.ดร.ชัยรัตน์ ตั้งดวงดี	ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า ธนบุรี
อ.ดร.ชาติ ฤทธิ์หิรัญ	สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต
อ.ดร.ชาญยุทธ กฤตสุนันท์กุล	ภาควิชาทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัย นเรศวร
อ.ดร.ชาญวิทย์ อุดมศักดิ์กุล	สำนักงานสภานโยบายการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและ นวัตกรรมแห่งชาติ
อ.ดร.ชานินทร์ ศรีสุวรรณภา	ภาควิชาสถิติประยุกต์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณ ทหารลาดกระบัง
อ.ดร.ณัฐกรณ์ เจริญธรรม	สาขาวิชาวิศวกรรมขนส่ง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
อ.ดร.ณัฐวุฒิ ธนศรีสถิต	ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า พระนครเหนือ
อ.ดร.ดุขุฎี สติเรษฐทวี	ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยนเรศวร
อ.ดร.ตันติกร พิษณุพิบูล	คณะกรรมการโลจิสติกส์และการคมนาคมขนส่ง สถาบันการ จัดการปัญญาวิวัฒน์
อ.ดร.บุญเลิศ วงศ์เจริญแสงสิริ	สถาบันการจัดการปัญญาวิวัฒน์
อ.ดร.ปริญญา บุญกนิษฐ	สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรมเพื่อความยั่งยืน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
อ.ดร.ปริญญา บุญมาเลิศ	สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต
อ.ดร.ประภาส ผ่องสนาม	สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต

อ.ดร.ปรารภนา อินตะวิน	สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
อ.ดร.พงศกร พรหมสวัสดิ์	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง
อ.ดร.พิชญุตม์ จรัสบำรุงโรจน์	สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
อ.ดร.ภักดิ์วัฒน์ แสนเจริญ	ภาควิชาวิศวกรรมโยธา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้ารัตนโกสินทร์
อ.ดร.ภาสินี ศิริประภา	คณะศิลปกรรมและสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
อ.ดร.วรศิริ เดอ กาเดอเนต์	สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
อ.ดร.วาทัญญู รอดประพัฒน์	สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก
อ.ดร.วสิน มหัตนรินทร์กุล	ภาควิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
อ.ดร.วิทยา พวงสมบัติ	ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
อ.ดร.ศรินทร์ดี วงษ์ลี	กลุ่มวิจัยและพัฒนาชีวเคมี สถาบันเทคโนโลยีนานาชาติสิรินธร
อ.ดร.ศักดิ์ชาย รักการ	สาขาวิชาการจัดการงานวิศวกรรม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
อ.ดร.สำเริง เนตรภู	บริษัท เอส. เอช. เค. เอ็นจิเนียริ่ง จำกัด
อ.ดร.สุวรรณี สายสิน	คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยหัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ
อ.ดร.อดิเทพ ศรีคงศรี	สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
อ.ดร.อภิชาติ บัวกล้า	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา
อ.ดร.อนันต์ เดอร์ชิง	ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยอัสสัมชัญ
อ.ดร.เอกชัย อยู่ประเสริฐชัย	ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ดร.พุทธิพงษ์ หะลีรัตน์วัฒนา	สำนักก่อสร้างสะพาน กรมทางหลวงชนบท
ดร.อัศคพัฒน์ สว่างสุรีย์	วิศวกรโยธาเชี่ยวชาญ สำนักวิจัยและพัฒนาทาง กรมทางหลวง
อ.จิรวรรณ ปล้องไหม	สาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

อ.ณัฐนันท์ รัตนไชย	คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ธัญบุรี
อ.นิตยา จันทร์เรือง มหาผล	เลขาธิการสภาวิศวกร ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต
อ.นิตมา อัจฉริยะโพธา	ศูนย์บริการทางการศึกษา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า ธนบุรี วิทยาเขตราชบุรี
อ.ว่าที่ ร.ต.สรารุณี ดาแก้ว	คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
อ.สมเดช อิงคะวะระ	สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา



ปรัชญา ปณิธาน

1. ผลิตบัณฑิตทางวิศวกรรมที่มีคุณภาพ เพื่อสนองความต้องการของส่วนราชการ เอกชน ให้สอดคล้องกับแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมของประเทศ
2. ค้นคว้าและวิจัยทางวิศวกรรมศาสตร์ โดยเฉพาะสิ่งที่ยังประโยชน์ให้เกิดแก่ประเทศไทยโดยตรง
3. บริการวิชาการ และให้คำปรึกษาแนะนำทางวิศวกรรมศาสตร์แก่หน่วยงานของรัฐและเอกชน รวมทั้งประชาชนทั่วไป

เป้าหมาย และวัตถุประสงค์

1. ผลิตบัณฑิตทางวิศวกรรมศาสตร์ เพื่อแสวงหาเทคโนโลยีที่ทันสมัย อันนำไปสู่การพัฒนาตนเองทางเทคโนโลยีในการพัฒนาอุตสาหกรรมของประเทศ
2. ให้บริการวิชาการด้านวิศวกรรมศาสตร์แก่สังคม

วิสัยทัศน์

**“คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต เป็นคณะวิศวกรรมศาสตร์
ที่ติดอันดับ 1 ใน 10 ของคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเอกชน ที่เป็นที่ยอมรับ
โดยมุ่งเน้นผลิตบัณฑิตวิศวกรนักปฏิบัติที่มีนั้คงและยั่งยืน”**

ผู้เขียนจะต้องจัดเตรียมบทความต้นฉบับที่พิมพ์ตามข้อกำหนดของรูปแบบวารสาร จำนวน 1 ชุด และผู้เขียนบทความกรอกข้อมูลใบนำส่งบทความ พร้อมสแกนใบนำส่งบทความและแนบไฟล์ต้นฉบับบทความ มาที่

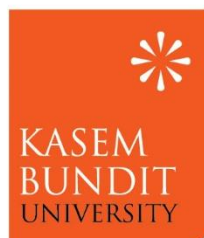
E-mail: engkasemjournal@kbu.ac.th

และสมัครสมาชิกพร้อมส่งบทความผ่านระบบ Online Journal System ได้ที่

<https://www.tci-thaijo.org/index.php/kbej/user/register>

ท่านที่สนใจสามารถดูรายละเอียดและดาวน์โหลดแบบฟอร์มต่างๆ หรือสอบถามเพิ่มเติม ได้ที่

- เว็บไซต์: http://eng.kbu.ac.th/home/?main_page=research&page=engineer_journal
- E-mail: engkasemjournal@kbu.ac.th
- <https://www.tci-thaijo.org/index.php/kbej/user/register>
- โทรศัพท์: 0-2320-2777 ต่อ 1211



www.kbu.ac.th

วิทยาเขตพัฒนาการ

1761 ถนนพัฒนาการ เขตสวนหลวง
กรุงเทพฯ 10250
โทร. 0-2320-2777
Fax : 0-2321-4444

วิทยาเขตร่มเกล้า

60 ถนนร่มเกล้า เขตมีนบุรี
กรุงเทพฯ 10510
โทร. 0-2904-2222
Fax : 0-2904-2200