



วารสารวิชาการ เทคโนโลยี พลังงานและสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม

Journal of Energy and Environment Technology of Graduate School Siam Technology College

ISSN 2392-5701

ปีที่ 8 ฉบับที่ 1, มกราคม – มิถุนายน 2564 / Vol. 8, No. 1, January - June 2021

บทความ

หน้า

- 1 การประเมินความเสี่ยงและปริมาณการสัมผัสฝุ่นแบบแยกขนาดในร้านอาหารตามสั่งริมถนนแห่งหนึ่ง ในจังหวัดนครราชสีมา
กฤษดา เพ็งอารีย์, พงศ์ธร แสงชูติ, ปรีชา พันธุ์มูล, เนตรชนนี ดินวลพะเนาวิ และปฐมยศ พงษ์ศิริ 1-10
- 2 การศึกษาทดสอบสมรรถนะทางความร้อนของปล่องหลังคาเซลล์แสงอาทิตย์ระบายอากาศร่วมกับสารวัสดุเปลี่ยนแปลง
ศรัณยา ศรีพิสุทธิธรรม, ดิเกะ บุนนาค และปรีดา จันทวงษ์ 11-21
- 3 การอบแห้งพลาสติกหมักขยะครามด้วยเครื่องต้นแบบโดยใช้พลังงานจากแสงอาทิตย์ร่วมกับลมร้อนจากตัวเก็บรังสีอาทิตย์
คะเน้งนิต ปทุมมาเกสร, วันชลี เพ็งพงศา, ดิถณภพ จุ่มอิน และสายชล ทองคำ 22-31
- 4 การใช้เครื่องอบแห้งแบบบีบความร้อนสำหรับอบแห้งดอกเก๊กฮวย
ธนพล แสงสุวรรณ 32-41
- 5 ผลกระทบทางด้านเศรษฐศาสตร์ของการผลิตเม็ดเชื้อเพลิงจากกากของเสีย
กฤติเดช ดวงใจบุญ, สุทธิลักษณ์ ชูนประวัตติ, เมตยา กิตติวรรณ และปรารักษ์ทิพย์ ฤทธิโชติ แก้วเพ็ชร 42-52
- 6 อิทธิพลของท่อผิวเรียบที่มีแผ่นปิดส่งผลต่อการถ่ายเทความร้อน
เก่งกล้า กุณรัตน์, มิตภาณี พุ่มกล่อม และเชษฐภักดิ์ ปัญญาวิชรวงศ์ 53-59
- 7 การวิเคราะห์จลนศาสตร์ไปข้างหน้าของหุ่นยนต์แขนกล รุ่น Denso VS-6577
วิโรจน์ ขาวละออ และกิตติยา นาคพันธ์ 60-68
- 8 การตรวจจับสิ่งแปลกปลอมบนผิวหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ของบริษัทที่ศึกษาด้วยเทคนิคการประมวลผลภาพ
ปัญญา สำนวนพันธ์, ฌาพ ชัยสุวรรณ, และประจักษ์ พรหมงาม 69-81
- 9 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการตัดสินใจซื้อรถยนต์ประหยัดพลังงานไฮบริดของผู้บริโภคในเขตกรุงเทพมหานคร
คัทลียา ฤกษ์พิไชย 82-97
- 10 การสร้างอุปกรณ์การสอนการคัดแยกขยะสำหรับนักเรียนชั้นประถมศึกษา
คมสันต์ พิทยาภรณ์, วุฒิชัย เกษพานิช, สายพิน ไซยพันธ์, อินจิรา นิยมฐร, ยุทธนา ทรัพย์มูล, และสุทธิลักษณ์ ชูนประวัตติ 98-105

สาขาการจัดการพลังงานและสิ่งแวดล้อม
บัณฑิตวิทยาลัย วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม



วารสารวิชาการเทคโนโลยี พลังงาน และสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม

Journal of Energy and Environment Technology of Graduate School Siam Technology College

ISSN 2392-5701

วารสารวิชาการเทคโนโลยีพลังงานและสิ่งแวดล้อม จัดทำโดย บัณฑิตวิทยาลัย วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม เพื่อเป็นสื่อในการเผยแพร่ผลงานวิจัย ความรู้และวิทยาการ ทางด้าน วิศวกรรมศาสตร์ วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีในด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อม เป็นต้น วารสารเปิดรับบทความจาก ภายในและภายนอก รวมถึงต่างประเทศ แบบเต็มรูปแบบ (Full Paper) รวมถึงบทความวิชาการ (Review Articles) บทความที่เสนอมาอาจเขียนเป็นภาษาไทยหรือภาษาอังกฤษก็ได้ วารสารจัดพิมพ์ปีละ 2 ฉบับ ในเดือน มกราคม - มิถุนายน และ เดือน กรกฎาคม - ธันวาคม สามารถส่งต้นฉบับ ได้โดยตรงที่บรรณาธิการวารสารวิชาการเทคโนโลยีพลังงานและสิ่งแวดล้อม ตามที่อยู่ด้านล่าง โดยบทความดังกล่าวจะต้องไม่เคยเผยแพร่ในวารสารอื่นมาก่อน และเป็นข้อคิดเห็นของผู้ส่งบทความเท่านั้น

เจ้าของ	วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม	
ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์พรพิสุทธิ์ มงคลวนิช รองศาสตราจารย์ ดร.จุไรรัตน์ ดวงเดือน	วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม
บรรณาธิการ	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รุกฤต ปานชลธิ	วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม
กองบรรณาธิการ	ศาสตราจารย์ ดร.จงจิตร หิรัญลาภ รองศาสตราจารย์ ดร.ปริดา จันทวงษ์ รองศาสตราจารย์ ดร.สมชาย ปรากฏเจริญ รองศาสตราจารย์ ดร.วีระพันธ์ ต่วงทองสุข รองศาสตราจารย์ ดร.ศักดิ์ กองสุวรรณ รองศาสตราจารย์ ดร.สายพิน ไชยนันท์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สุโกศล วโนทยาพิทักษ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์สิทธิพันธ์ ไชยนันท์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มงคล จงสุวรรณพงศ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ปัญญา สำราญพันธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อภิรักษ์ ภูเกล้าวัน ดร.ดิณณภพ จุ่มอิน ดร. ชัยพร ทบแป ดร.ณัฐวุฒิ อินทบุตร ดร.วีระ ศรีอริยะกุล ดร.สุนทร แสงเพชร ดร.สุรชาติ จันทระชิต ดร.เชษฐภักดิ์ ปัญญาวิชรวงศ์ ดร.สุทธิลักษณ์ ชุนประวัตติ อาจารย์ธเนศ วิลาสมงคลชัย อาจารย์จิรวัฒน์ กรุณา อาจารย์สงกรานต์ ภารกุล อาจารย์อองอาจ วิเศษสุข อาจารย์วิษณุ บุญมาก ฝ่ายจัดการและเลขานุการกองบรรณาธิการ	มหาวิทยาลัยปทุมธานี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม มหาวิทยาลัยเอเซียอาคเนย์ วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ Xian Jiaotong University วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ (วสท.) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต มหาวิทยาลัยกรุงเทพธนบุรี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี วิทยาลัยเซาธ์อีสท์บางกอก วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม มหาวิทยาลัยธนบุรี วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม

วัตถุประสงค์

- เพื่อสนับสนุนและกระตุ้นให้มีการเขียนผลงานทางวิชาการ
- เพื่อเผยแพร่ผลงานทางวิชาการของคณาจารย์ นักวิชาการ และนักศึกษา ทั้งภายในและภายนอก
- เพื่อเป็นสื่อกลางทางการศึกษา ค้นคว้า และเผยแพร่ความรู้ทางวิชาการ

การส่งบทความ

- ส่งไฟล์ทาง E-mail (MS Word และ PDF) ไปที่ jeet.stc@gmail.com และ <https://www.tci-thaijo.org/index.php/JEET/>
- ทางเว็บไซต์ของวารสาร <http://jeet.siamtechu.net/> และ <https://www.tci-thaijo.org/index.php/JEET/>

กำหนดออกวารสาร

ปีละ 2 ฉบับ ในเดือน มกราคม และ มิถุนายน

พิมพ์ที่

บริษัท แดเน็กซ์ อินเทอร์เน็ตปอเรชั่น จำกัด
99/164 ถนนแจ้งวัฒนะ แขวงทุ่งสองห้อง เขตหลักสี่ กรุงเทพฯ
โทรศัพท์ 025751791 โทรสาร 025751793 เว็บไซต์ www.protexts.com

การเผยแพร่

จัดส่งให้กับห้องสมุด งานบริการวิชาการ หน่วยงานที่เกี่ยวข้อง
และเผยแพร่ทางเว็บไซต์ jeet.siamtechu.net

สำนักงาน

กองบรรณาธิการวารสารวิชาการเทคโนโลยีพลังงานและสิ่งแวดล้อม สาขาการจัดการพลังงานและสิ่งแวดล้อม วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม
เลขที่ 46 ถนนจรัญสนิทวงศ์ 10 แขวงท่าพระ เขตบางกอกใหญ่ กรุงเทพฯ 10600 โทรศัพท์ 02-878-5048 แฟกซ์: 02-878-5002

“บทความที่ลงพิมพ์ เป็นข้อคิดเห็นของผู้เขียนเท่านั้น
ผู้เขียนต้องรับผิดชอบต่อผลทางกฎหมายใด ๆ ที่อาจเกิดขึ้นจากบทความนั้น”

บทบรรณาธิการ



วารสารวิชาการเทคโนโลยี พลังงานและสิ่งแวดล้อม วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม ฉบับนี้เป็นปีที่ 8 ฉบับที่ 1 (เดือน กรกฎาคม ถึง เดือนธันวาคม พ.ศ. 2564) โดยมีวัตถุประสงค์ในการเผยแพร่ครอบคลุมด้าน วิศวกรรมศาสตร์ วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี พลังงาน และสิ่งแวดล้อม ในฐานะที่วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม เป็นวิทยาลัยเทคโนโลยีที่ให้ความสำคัญต่อการนำองค์ความรู้ที่ได้จากการวิจัย มาเผยแพร่สู่สังคม รวมทั้งสามารถนำไปใช้ประโยชน์ ด้วยความเป็นสากลของ

กระบวนการแสวงหาความรู้ของกระบวนการวิจัย ทำให้วิทยาลัยมีการบูรณาการกระบวนการสร้างงานวิชาการ ที่ปรากฏในวารสารฉบับนี้ เป็นการนำเสนอความคิดเชิงสร้างสรรค์และการแก้ปัญหาทางวิชาการผ่านองค์ความรู้ ในศาสตร์ต่าง ๆ อย่างมีประสิทธิภาพ มุ่งเน้นในเชิง “คุณค่า” ร่วมกัน ที่มีความสอดคล้องกับบริบท และการส่งเสริม การแลกเปลี่ยนเรียนรู้ ซึ่งกันและกัน นำไปสู่ประโยชน์ต่อสังคม ประเทศชาติอย่างไม่มีที่สิ้นสุด แสดงให้เห็นถึงความก้าวหน้าทางด้านงานวิจัยที่ครอบคลุมทางด้าน วิศวกรรมศาสตร์ วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี พลังงาน และสิ่งแวดล้อม เป็นอย่างดี

กองบรรณาธิการวารสารวิชาการเทคโนโลยี พลังงาน และสิ่งแวดล้อม ยินดีรับบทความที่มีความประสงค์จะเผยแพร่ / ตีพิมพ์ผลงานวิจัย และผลงานทางวิชาการ เพื่อเป็นศูนย์กลางในการเผยแพร่ให้เป็นที่รู้จัก มากยิ่งขึ้น โดยขอความร่วมมือกับผู้ส่งบทความให้ตระหนัก และเห็นความสำคัญต่อคุณภาพของบทความอย่างเคร่งครัดเป็นไปตามรายละเอียด กฎเกณฑ์ ขั้นตอน การดำเนินงานของวารสาร

ท้ายสุดนี้ ขอขอบพระคุณ ผู้ทรงคุณวุฒิ คณะที่ปรึกษา ผู้มีส่วนที่เกี่ยวข้องทุกท่าน ตลอดจนผู้อ่าน ที่ให้ความสนใจในงานวิจัย และนำไปใช้ประโยชน์จากวารสารวิชาการเทคโนโลยี พลังงาน และสิ่งแวดล้อม ซึ่งคณะผู้ดำเนินงานจะพัฒนาวารสารวิชาการให้ได้รับการรับรองมาตรฐานในระดับที่สูงขึ้นต่อไป

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รูกฤต ปานชลธิบ

บรรณาธิการ

สารบัญ

บทความ	หน้า
1 การประเมินความเสี่ยงและปริมาณการรับสัมผัสฝุ่นแบบแยกขนาดในร้านอาหารตามสั่งริมถนนแห่งหนึ่งในจังหวัดนครราชสีมา	1-10
กฤษดา เฟื่องอารีย์, พงศ์ธร แสงชุตติ, ปรีชา พันธุ์มูล, เนตรชนนี ดินวลพะเนา และปฐมยศ พงษ์ศิริ	
2 การศึกษาทดสอบสมรรถนะทางความร้อนของปล่องหลังคาเซลล์แสงอาทิตย์ระบายอากาศร่วมกับสารวัสดุเปลี่ยนแปลง	11-21
ศรัณยา ศรีพิสุทธิธรรม, ดิเกะ บุนนาค และปรีดา จันทวงษ์	
3 การอบแห้งพลาสติกหมักขยะครามด้วยเครื่องต้นแบบโดยใช้พลังงานจากแสงอาทิตย์ร่วมกับลมร้อนจากตัวเก็บรังสีอาทิตย์	22-31
คะเนิงนิต ปทุมมาเกสร, วันชลี เฟื่องพงศา, ดิณณภาพ จุ่มอิน และสายชล ทองคำ	
4 การใช้เครื่องอบแห้งแบบบีบความร้อนสำหรับอบแห้งดอกเก๊กฮวย	32-41
ธนพล แสงสุวรรณ	
5 ผลกระทบทางด้านเศรษฐศาสตร์ของการผลิตเม็ดเชื้อเพลิงจากกากของเสีย	42-52
กฤติเดช ดวงใจบุญ, สุทธิลักษณ์ ชุนประวัติ, เมตยา กิตติวรรณ และปรารค์ทิพย์ ฤทธิโชติ แก้วเพ็ญกร	
6 อิทธิพลของท่อผิวครีปที่มีแผ่นบิดส่งผลต่อการถ่ายเทความร้อน	53-59
เก่งกล้า กุณรักษ์, มิตภาณี พุ่มกล่อม และเชษฐภณัญญ์ ปัญญวัชรวงศ์	
7 การวิเคราะห์จลนศาสตร์ไปข้างหน้าของหุ่นยนต์แขนกล รุ่น Denso VS-6577	60-68
วิโรจน์ ขาวละออ และกิตติยา นาคพันธ์	
8 การตรวจจับสิ่งแปลกปลอมบนผิวหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ของบริษัทกรณีศึกษาด้วยเทคนิคการประมวลผลภาพ	69-81
ปัญญา สำราญพันธ์, ฌณพ ชัยสุวรรณ, และประจักษ์ พรหมงาม	
9 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการตัดสินใจซื้อรถยนต์ประหยัดพลังงานไฮบริดของผู้บริโภคในเขตกรุงเทพมหานคร	82-97
คัทลียา ฤกษ์ไพไชย	
10 การสร้างอุปกรณ์การสอนการคัดแยกขยะด้วยเทคโนโลยี RFID สำหรับนักเรียนชั้นประถมศึกษา	98-105
คมสันต์ พิทยาภรณ์, วุฒิชัย เกษพานิช, สายพิน ไซยพันธ์, อินจิรา นิยมธูร, ยุทธนา ทรัพย์มูล, และสุทธิลักษณ์ ชุนประวัติ	

การประเมินความเสี่ยงและปริมาณการรับสัมผัสฝุ่นแบบแยกขนาดในร้านอาหารตามสั่งริมถนนแห่งหนึ่ง ในจังหวัดนครราชสีมา

RISK ASSESSMENT AND SIZE DISTRIBUTION OF PARTICULATE MATTERS FROM STREETSIDE RESTUARANTS IN NAKHON RATCHASIMA PROVINCE

กฤษฎดา เพ็งอารีย์^{1*} พงศ์ธร แสงชูติ² ปรีชา พันธุ์มูล³ เนตรชนนี ดีนวลพะเนา⁴ และปฐมยศ พงษ์ศิริ⁵

Kritsada Phengarree^{1*} Phongthon Saengchut² Preecha Panmoon³

Natechonnee Deenuapanao⁴ Patomyos Pongsiri⁵

¹ อาจารย์สาขาวิชาอาชีวอนามัยและความปลอดภัย สำนักวิชาสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

² อาจารย์คณะแพทยศาสตร์ สาขาวิชาสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยเวสเทิร์น

³ นักศึกษาหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต หลักสูตรมลพิษสิ่งแวดล้อมและความปลอดภัย สำนักวิชาสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

^{4,5} นักวิทยาศาสตร์ ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

*Corresponding author, E-mail: Kritsada@g.sut.ac.th

Received : 21 December 2020

Revised : 18 January 2021

Accepted : 15 June 2021

บทคัดย่อ

งานวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงสำรวจมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปริมาณ รวมทั้งเปรียบเทียบฝุ่นแบบแยกขนาดของผู้ประกอบการค้าขายอาหารตามสั่งในช่วงเวลาที่มีการประกอบอาหารสูงสุด และช่วงเวลาที่ไม่มีประกอบอาหาร รวมทั้งประเมินความเสี่ยงการรับสัมผัสฝุ่นแบบแยกขนาดของผู้ประกอบการค้าขายอาหารตามสั่งริมถนนแห่งหนึ่งในจังหวัดนครราชสีมา จำนวน 4 ร้าน เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์ ได้แก่ เครื่องนับจำนวนอนุภาคขนาดเล็ก (DUST TRACKTM DRX Aerosol Monitor) และแบบประเมินความเสี่ยงด้านสารเคมีต่อสุขภาพตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม พ.ศ. 2555 ผลการวิจัยพบว่า การประกอบอาหารมีผลทำให้ปริมาณฝุ่นในขนาดต่าง ๆ เพิ่มขึ้น ช่วงเวลาที่มีการประกอบอาหารค่าเฉลี่ยฝุ่นขนาดเล็กกว่า 1 ไมครอน เท่ากับ 0.127 mg/m³ ฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน เท่ากับ 0.133 mg/m³ ฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน เท่ากับ 0.135 mg/m³ ฝุ่นที่เข้าสู่ระบบทางเดินหายใจได้ (Respirable dust) เท่ากับ 0.131 mg/m³ และฝุ่นรวม (Total dust) เท่ากับ 0.140 mg/m³ และช่วงเวลาที่ไม่มีประกอบอาหาร ค่าเฉลี่ยฝุ่นขนาดเล็กกว่า 1 ไมครอน (PM1) เท่ากับ 0.066 mg/m³ ฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน (PM2.5) เท่ากับ 0.067 mg/m³ ฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน (PM10) เท่ากับ 0.073 mg/m³ ฝุ่นที่เข้าสู่ระบบทางเดินหายใจได้ (Respirable dust) เท่ากับ 0.068 mg/m³ และฝุ่นรวม (Total dust) เท่ากับ 0.077mg/m³ และผลการประเมินความเสี่ยงการรับสัมผัสฝุ่นที่สามารถเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจได้ และฝุ่นรวมจากความรุนแรงและโอกาสการเกิดผลกระทบต่อสุขภาพโดยใช้ตารางเมทริกซ์ พบว่า ความเสี่ยงอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ทุกร้าน ซึ่งอยู่ในระดับที่ไม่เป็นอันตรายต่อสุขภาพของผู้ค้าอาหารตามสั่ง

คำสำคัญ: ฝุ่นแบบแยกขนาด, ร้านอาหารตามสั่งริมถนน, ประเมินความเสี่ยง

ABSTRACT

This study investigates size distribution of particulate matters (PMs) and risk assessment of respirable dust and total dust from 4 street side restaurants during cooking and non-cooking activities in Nakhon Ratchasima province. DUST TRACK™ DRX Aerosol Monitor was used to measure the level of the PM samples and the risk assessment was performed based on Notification of Ministry of Industry B.E. 2555. The results indicated the cooking activity led to increase emissions of PMs. During cooking, the average PM₁, PM_{2.5}, and PM₁₀ concentrations were 0.127, 0.133, and 0.135 mg/m³ respectively. The mean respirable dust was 0.131 mg/m³, and 0.140 mg/m³ for the total dust. During non-cooking, the restaurants, had lower emissions, 0.066, 0.067, 0.073, 0.068, and 0.07 mg/m³, of PM₁, PM_{2.5}, PM₁₀, respirable dust, and total dust respectively. The risk assessment matrix of respirable dust and total dust showed acceptable risk levels.

Keywords: size distribution of particulate matters, street side restaurants, risk assessment

1. บทนำ

ร้านอาหารของไทยมีหลายรูปแบบ เพราะอาหารถือเป็นหนึ่งในปัจจัยที่มนุษย์ทุกคนมีความต้องการ ประเทศไทยเองถือเป็นแหล่งอาหารที่สำคัญของโลกอีกประเทศหนึ่ง ในภาวะเศรษฐกิจและการแพร่ระบาดของไวรัสโควิด ทำให้ประชาชนต้องการลดค่าใช้จ่าย ทำให้พฤติกรรมการบริโภคของคนไทยในปี 2563 หันมารับประทานร้านอาหารตามสั่งที่เป็นร้านค้าทั่วไปมากยิ่งขึ้น ด้วยเหตุผลด้านราคาที่ถูกกว่าทำให้ประหยัดค่าใช้จ่ายในชีวิตประจำวัน อีกทั้งการประกอบอาหารใช้เวลาไม่นานทำให้ง่ายต่อการบริโภค จากสถิติร้านอาหารของไทยในปี 2562 จังหวัดที่มีร้านอาหารมากที่สุด 5 อันดับคือจังหวัดได้แก่กรุงเทพมหานคร 71,207 ร้าน เชียงใหม่ 14,751 ร้าน ชลบุรี 12,405 ร้าน นนทบุรี 8,726 ร้าน และจังหวัดนครราชสีมา 6,921 ร้าน [1] ซึ่งจังหวัดนครราชสีมาเองถือเป็นจังหวัดที่ติดอันดับที่มีร้านมากที่สุดในลำดับที่ 5 ประกอบกับจำนวนประชากรที่มีมากถึง 2,582,089 คน [2] ในปี พ.ศ. 2559 จำนวนร้านอาหารที่ได้รับการรับรองมาตรฐานของกระทรวงสาธารณสุขในพื้นที่จังหวัดนครราชสีมาจำนวน 8,070 ร้านค้า [3] ในจำนวนร้านค้าเหล่านี้ส่วนใหญ่เป็นร้านค้าอาหารตามสั่ง เพราะสามารถพบได้ทั่วไป

ร้านอาหารตามสั่งเป็นร้านอาหารที่พบได้ทั่วไป อาจมีทำเลตั้งอยู่ในห้างสรรพสินค้า บริเวณอาคารบ้านเรือน หรือบางร้านบริเวณอาจมีการตั้งอยู่บริเวณถนนที่มีการสัญจรไปมาของรถยนต์ ทำให้มีการฟุ้งกระจายของฝุ่นละอองขนาดเล็กในบรรยากาศซึ่งเป็นประเด็นต่าง ๆ ที่ทั้งองค์การอนามัยโลก องค์การนาชาติระดับโลกและระดับภูมิภาค และประเทศไทย ทั้งกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและกระทรวงสาธารณสุขได้ให้ความสำคัญเพราะมีหลักฐานทางวิชาการสนับสนุนชัดเจนว่า ฝุ่นละอองขนาดเล็กก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพของประชาชน ทั้งโรคทางระบบทางเดินหายใจ โรคปอดติดเชื้อ โรคปอดอุดกั้นเรื้อรัง โรคหัวใจและหลอดเลือด โรคเมะเร็งและสุขภาพอนามัยของเด็ก เป็นต้น [4] ฝุ่นละอองขนาดเล็กคือ ฝุ่นที่มีขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน (PM₁₀) รวมถึงฝุ่นขนาด 2.5 ไมครอน (PM_{2.5}) ด้วย และหากฝุ่นละอองขนาดเล็กสูงกว่าค่ามาตรฐานจะส่งผลให้การตายด้วย ระบบทางเดินหายใจเพิ่มขึ้น 7% –20% การป่วยด้วยโรกระบบทางเดินหายใจเพิ่มขึ้น 5.5% การตายด้วยโรกระบบ หัวใจและหลอดเลือดเพิ่มขึ้น 2% – 5% การป่วยด้วยโรกระบบหัวใจและหลอดเลือดเพิ่มขึ้น 5.3% ผู้สูงอายุป่วยด้วยระบบทางเดินหายใจเพิ่ม 17% ผู้สูงอายุป่วยด้วยโรกระบบหัวใจและหลอดเลือดเพิ่ม 7.6% และยังทำให้สภาพปอดในเด็กแย่ลง การศึกษาผลกระทบของฝุ่นละอองต่อสุขภาพอนามัยของประชาชนในกรุงเทพมหานคร พบว่าการสัมผัสระยะสั้นการสัมผัส PM₁₀ ในกรุงเทพมหานคร มีความสัมพันธ์กับการตายก่อนเวลาอันควรประมาณ 4,000 ถึง 5,500 รายในแต่ละปีต่อประชากร 10 ล้านคน และในแต่ละวันที่ระดับ PM₁₀ สูงขึ้น 30 µg/m³ อัตราการตายจะเพิ่มขึ้นร้อยละ 2-20 มีการเข้ารับการรักษาตัวในโรงพยาบาลเนื่องจากการเจ็บป่วยด้วยโรกระบบหายใจและโรกระบบหลอดเลือด หัวใจก็สูงขึ้นร้อยละ 5-17 เมื่อระดับของ PM₁₀ สูงขึ้น 30 µg/m³ สำหรับในพื้นที่ที่มีความแตกต่างของ PM₁₀ รายวันมาก

ด้วยนั้น [5] [6] อาชีพค้าอาหารตามสั่งจึงเป็นอาชีพหนึ่งที่มีโอกาสรับสัมผัสฝุ่นละอองขนาดเล็กในขนาดต่าง ๆ ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อผู้ปฏิบัติงานซึ่งอาจเป็นผลทำให้เกิดอาการไอ แน่นหน้าอกหรือหายใจลำบากได้ด้วยนั้น [11]

จากปัญหาข้างต้นผู้วิจัยจึงเห็นถึงผลกระทบต่อสุขภาพของผู้ประกอบอาชีพค้าอาหารตามสั่ง ผู้วิจัยจึงทำการตรวจวัดค่าปริมาณความเข้มข้น และประเมินการรับสัมผัสฝุ่นขนาดเล็กขนาดต่าง ๆ ประกอบด้วย PM1, PM2.5, PM10, Respirable dust และ Total dust ที่อาจส่งผลกระทบต่อสุขภาพของผู้ค้าอาหารตามสั่ง รวมทั้งเปรียบเทียบปริมาณฝุ่นแบบแยกขนาดในช่วงเวลาที่มีการประกอบอาหารสูงสุด และช่วงเวลาที่ไม่มีประกอบอาหาร โดยข้อมูลปริมาณฝุ่นละอองที่ได้จากการวิเคราะห์ สามารถเป็นข้อมูลพื้นฐานในการการเฝ้าระวังผลกระทบต่อสุขภาพได้ด้วย

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 2.1 เพื่อศึกษาปริมาณฝุ่นแบบแยกขนาดของผู้ประกอบอาชีพค้าอาหารตามสั่งริมถนน
- 2.2 เพื่อเปรียบเทียบปริมาณฝุ่นแบบแยกขนาดในช่วงเวลาที่มีการประกอบอาหารสูงสุดและช่วงเวลาที่ไม่มีประกอบอาหาร
- 2.2 เพื่อประเมินความเสี่ยงการรับสัมผัสฝุ่นแบบแยกขนาดของผู้ประกอบอาชีพค้าอาหารตามสั่งริมถนน

3. วิธีดำเนินการวิจัย

การศึกษาวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาวิจัยเชิงสำรวจ (Survey Research) และเป็นการตรวจวัดปริมาณฝุ่นแบบแยกขนาดอนุภาคด้วยเครื่องนับจำนวนอนุภาคขนาดเล็ก (DUST TRACK™ DRX Aerosol Monitor) ซึ่งให้ผลการตรวจวัดเป็นปริมาณฝุ่นเฉลี่ยในขนาดต่าง ๆ ได้แก่ PM1, PM2.5, PM4, PM10, Respirable dust และ Total dust ในหน่วยมิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (mg/m^3) [12] เพื่อให้ครอบคลุมตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัยจึงพิจารณาพื้นที่เป้าหมายครอบคลุมในพื้นที่ริมถนนแห่งหนึ่งในจังหวัดนครราชสีมา ซึ่งมีร้านอาหารตามสั่งติดริมถนนจำนวน 4 ร้าน เก็บข้อมูลช่วงเดือนพฤศจิกายน - ธันวาคม 2563 เป็นเวลา 1 ชั่วโมง โดยพิจารณาจากเวลาที่คนส่วนใหญ่มาใช้บริการร้านอาหารในช่วงพักกลางวันหรือเวลาหลังเลิกงานในช่วงเย็นซึ่งมีความแตกต่างกันของแต่ละร้าน ประกอบด้วยในช่วงที่มีการประกอบอาหารสูงสุดของแต่ละร้าน ช่วงเวลาประมาณ 12.00 – 13.00 น. คือร้านที่ 1 ถึงร้านที่ 3 และเวลาประมาณ 17.00 - 18.00 น. คือร้านที่ 4 และในช่วงเวลาที่ไม่มีประกอบอาหารคือวันหยุดของร้านอาหารตามสั่ง

3.1 เครื่องมือที่ใช้ในการรวบรวมข้อมูล

3.1.1 การเก็บฝุ่นขนาดเล็กด้วยเครื่องนับจำนวนอนุภาคขนาดเล็ก

การเก็บตัวอย่างฝุ่นขนาดเล็กด้วยเครื่องนับจำนวนอนุภาคขนาดเล็ก (DUST TRACK™ DRX Aerosol Monitor) Serial Number 8533144510 [15] เป็นการเก็บตัวอย่างในลักษณะพื้นที่ (Area Sampling) เพื่อหาปริมาณความเข้มข้นของฝุ่นโดยเฉลี่ยตลอดระยะเวลาการประกอบอาหารและไม่ประกอบอาหารของผู้ค้าอาหารตามสั่งในระยะเวลา 1 ชั่วโมง โดยกำหนดให้เครื่องมืออ่านค่า (Time Duration) ทุก 1 นาที ได้ทั้งสิ้น 60 ค่า ด้วยอัตราการไหลของอากาศ 3 ลิตรต่อนาที แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย ในช่วงเวลาที่จะมีผู้มารับประทานอาหารมากที่สุดของวันของร้านค้าแต่ละร้าน และในช่วงในช่วงที่ไม่มีลูกค้า โดยสามารถแยกขนาดอนุภาคได้ 5 ขนาด ประกอบด้วยฝุ่นขนาดเล็กกว่า 1 ไมครอน (PM1) ฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน (PM2.5) ฝุ่นที่สามารถเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจได้ (Respirable dust) [14] ฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน (PM10) และฝุ่นรวม (Total dust) ในหน่วยมิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (mg/m^3) [9,10] แล้วจึงนำมาสรุปเป็นตารางเปรียบเทียบความเข้มข้นของฝุ่นแต่ละขนาด รวมทั้งบันทึกจำนวนและลักษณะของรถที่สัญจรผ่านไปมาระหว่างการเก็บข้อมูลซึ่งเป็นตัวแปรแทรกซ้อนของงานวิจัย การตรวจวัดลักษณะทางกายภาพได้แก่ อุณหภูมิโดยเฉลี่ย ($^{\circ}\text{C}$) ความชื้น (%RH) ความดัน (mmHg) และความเร็วลม (m/s) ลักษณะการตรวจวัดเป็นไปตามรูปที่ 1 แล้วนำค่าเฉลี่ยที่ได้ในภาพรวมไปประเมินความเสี่ยงเทียบกับการรับสัมผัสเฉพาะค่าขีดจำกัดความเข้มข้นเฉลี่ยของสารเคมีในอากาศตลอดเวลาการทำงาน (OEL-TWA) และโอกาสการเกิดผลกระทบต่อสุขภาพจากระดับความถี่ที่ได้รับสัมผัส ตามข้อที่ 3.1.2



รูปที่ 1 ลักษณะการตรวจวัดฝุ่นแบบแยกขนาดด้วยเครื่องนับจำนวนอนุภาคขนาดเล็ก (DUST TRACKTM DRX Aerosol Monitor) ที่ร้านค้าอาหารตามสั่ง

3.1.2 การประเมินความเสี่ยงการรับสัมผัสฝุ่นที่สามารถเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจได้ และฝุ่นรวม โดยใช้ตารางเมทริกซ์

การประเมินความเสี่ยงนี้ใช้ประเมินการรับสัมผัสฝุ่นแบบแยกขนาดของผู้ค้าร้านอาหารตามสั่ง ซึ่งประยุกต์จากการประเมินความเสี่ยงด้านสารเคมีต่อสุขภาพตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม พ.ศ. 2555 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมการประเมินความเสี่ยงด้านสารเคมีต่อสุขภาพของผู้ปฏิบัติงานในโรงงานอุตสาหกรรม: มอก.2535-2555 [7,8] โดยวิเคราะห์ความรุนแรงจากการรับสัมผัสฝุ่นตลอดระยะเวลาการทำงาน แบ่งเป็น 5 ระดับ ดังตารางที่ 1 โดยนำฝุ่นที่สามารถเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจได้ (Respirable dust) และฝุ่นรวม (Total dust) มาประเมินเทียบกับค่าขีดจำกัดความเข้มข้นเฉลี่ยของสารเคมีในอากาศตลอดระยะเวลาการทำงาน (OEL-TWA) ตามประกาศกรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน เรื่อง ขีดจำกัดความเข้มข้นของสารเคมีอันตราย พ.ศ. 2560 [13]

ตารางที่ 1 ตารางวิเคราะห์ความรุนแรงจากการรับสัมผัสฝุ่นตลอดระยะเวลาการทำงาน

ระดับ	ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นสารเคมีที่ผู้ปฏิบัติงาน
1	ต่ำกว่า 10% ของค่าขีดจำกัดความเข้มข้นเฉลี่ยของสารเคมีในอากาศตลอดระยะเวลาการทำงาน (OEL-TWA)
2	ต่ำกว่า 50% ของค่าขีดจำกัดความเข้มข้นเฉลี่ยของสารเคมีในอากาศตลอดระยะเวลาการทำงาน (OEL-TWA)
3	ต่ำกว่า 75% ของค่าขีดจำกัดความเข้มข้นเฉลี่ยของสารเคมีในอากาศตลอดระยะเวลาการทำงาน (OEL-TWA)
4	เท่ากับ 75% ถึง 100% ของค่าขีดจำกัดความเข้มข้นเฉลี่ยของสารเคมีในอากาศตลอดระยะเวลาการทำงาน (OEL-TWA)
5	สูงกว่า 100% ของค่าขีดจำกัดความเข้มข้นเฉลี่ยของสารเคมีในอากาศตลอดระยะเวลาการทำงาน (OEL-TWA)

การวิเคราะห์โอกาสการเกิดผลกระทบต่อสุขภาพโดยวิเคราะห์จากระดับความถี่การได้รับสัมผัส แบ่งออกเป็น 5 ระดับ ตามตารางที่ 2 หลังจากวิเคราะห์ความรุนแรงจากการรับสัมผัส และโอกาสที่เกิดผลกระทบต่อสุขภาพแล้ว นำไปจัดระดับความเสี่ยง โดยแบ่งออกเป็น 5 ระดับ ได้แก่ ระดับ (1) ยอมรับได้ ระดับ (2) น้อย ระดับ (3) ปานกลาง ระดับ (4) สูง และระดับ (5) สูงมาก ตามตารางที่ 3

ตารางที่ 2 ตารางการวิเคราะห์โอกาสการเกิดผลกระทบต่อสุขภาพจากระดับความถี่การได้รับสัมผัส

ระดับ	ความถี่การได้รับสัมผัส
1	นาน ๆ ครั้ง และความถี่ได้รับการสัมผัสคือสัมผัส 1 ครั้งต่อปี
2	ไม่บ่อย สัมผัส 2 ถึง 3 ครั้งต่อปี
3	บ่อย สัมผัส 2 ครั้ง ถึง 3 ครั้งต่อเดือน
4	บ่อย ๆ สัมผัสต่อเนื่อง 2 ชั่วโมง ถึง 4 ชั่วโมง ต่อกะ
5	ประจำ สัมผัสต่อเนื่องตลอดทั้งกะ

ตารางที่ 3 ระดับประเมินความเสี่ยงการรับสัมผัส

ระดับความถี่	ระดับความเข้มข้น					การสัมผัส		
	1	2	3	4	5	คะแนน	ผล	ระดับ
1	1	2	3	4	5	1 ถึง 5	ยอมรับได้	(1)
2	2	4	6	8	10	6 ถึง 8	น้อย	(2)
3	3	6	9	12	15	9 ถึง 15	ปานกลาง	(3)
4	4	8	12	16	20	16 ถึง 20	สูง	(4)
5	5	10	15	20	25	21 ถึง 25	สูงมาก	(5)

3.2 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากรที่ทำการศึกษาในครั้งนี้ เป็นผู้ค้าอาหารตามสั่งซึ่งอยู่ติดริมถนนแห่งหนึ่งในพื้นที่จังหวัดนครราชสีมา ที่มีรถสัญจรไปมา จำนวน 4 ร้าน โดยเก็บตัวอย่างในช่วงที่การประกอบอาหารสูงสุดของแต่ละร้าน และในช่วงที่ไม่การประกอบอาหาร ครอบคลุมการปรุงอาหารทุกประเภท โดยมีเกณฑ์การคัดเลือก (inclusion criteria) ของกลุ่มตัวอย่าง ดังนี้ 1) เป็นร้านค้าประเภทประกอบการปรุงอาหารตามสั่ง 2) เป็นร้านค้าที่อยู่ติดริมถนนที่มีรถสัญจรไปมา 3) เปิดร้านในช่วงเวลาการตรวจวัดที่คาดว่าจะมีรถสัญจรไปมามากที่สุดของการวิจัยตามลักษณะของแต่ละร้านจำนวน 1 ชั่วโมงเป็นอย่างน้อย

3.3 การวิเคราะห์ผลการศึกษา

สถิติเชิงพรรณนา (Descriptive Statistics) ที่ใช้เพื่อวิเคราะห์ข้อมูลได้แก่ ค่าร้อยละ (Percentage : %) แสดงเป็นความถี่ (frequency) ค่าเฉลี่ย (Mean) ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) ค่ามากที่สุด (Max) และน้อยที่สุด (Min) เพื่อบรรยายลักษณะข้อมูลของความเข้มข้นของปริมาณฝุ่นแบบแยกขนาดที่ได้จากการเก็บตัวอย่างโดยใช้เครื่องเก็บตัวอย่างฝุ่นด้วยเครื่องนับจำนวนอนุภาคขนาดเล็ก (DUST TRACKTM DRX Aerosol Monitor) และสรุปการประเมินความเสี่ยงการรับสัมผัสฝุ่นขนาดเล็กโดยวิเคราะห์จากความรุนแรงและโอกาสการเกิดผลกระทบต่อสุขภาพโดยใช้ตารางเมทริกซ์ (Risk Matrix)

4. สรุปผลการศึกษา

4.1 ผลการศึกษาฝุ่นขนาดเล็กแบบแยกขนาดอนุภาคด้วยเครื่องตรวจนับจำนวนอนุภาคขนาดเล็ก

การศึกษาฝุ่นแบบแยกขนาดอนุภาคนี้เป็นการศึกษาที่ร้านอาหารตามสั่งริมถนนที่มีการสัญจรไปมาของรถ โดยหาปริมาณความเข้มข้นของฝุ่นโดยเฉลี่ยตลอดระยะเวลาการปฏิบัติงานของผู้ค้าอาหารตามสั่ง 1 ชั่วโมง โดยใช้เครื่องนับจำนวนอนุภาคขนาดเล็ก (DUST TRACK™ DRX Aerosol Monitor) จำนวน 4 ร้าน ช่วงเวลาที่มีการประกอบอาหารสูงสุดของแต่ละร้านในระยะเวลา 1 ชั่วโมง ผลการศึกษาพบว่าขนาดอนุภาคทั้ง 4 ร้านในภาพรวมประกอบด้วยฝุ่นขนาดเล็กกว่า 1 ไมครอน (PM1) ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.127 mg/m³ ฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน (PM2.5) ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.133 mg/m³ ฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน (PM10) ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.135 mg/m³ ฝุ่นที่เข้าสู่ระบบทางเดินหายใจได้ (Respirable dust) ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.131 mg/m³ และฝุ่นรวม (Total dust) ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.140 mg/m³ และช่วงเวลาที่ไม่มี การประกอบอาหาร ระยะเวลา 1 ชั่วโมง ผลการศึกษาพบว่าขนาดอนุภาคทั้ง 4 ร้านในภาพรวมประกอบด้วยฝุ่นขนาดเล็กกว่า 1 ไมครอน (PM1) ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.066 mg/m³ ฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน (PM2.5) ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.067 mg/m³ ฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน (PM10) ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.073 mg/m³ ฝุ่นที่เข้าสู่ระบบทางเดินหายใจได้ (Respirable dust) ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.068 mg/m³ และฝุ่นรวม (Total dust) ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.077 mg/m³ ที่อุณหภูมิ ความชื้น ความดัน และความเร็วลม ค่าเฉลี่ยพารามิเตอร์ตามตารางที่ 4 โดยแยกเป็นร้านอาหารที่ 1 – 4 ผลปริมาณความเข้มข้นฝุ่นแยกขนาดอนุภาคตามตารางที่ 5-6 ลักษณะกราฟเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยปริมาณความเข้มข้นของฝุ่นช่วงเวลาที่การประกอบอาหารสูงสุดของแต่ละร้าน เป็นไปตามรูปที่ 2

ตารางที่ 4 ผลการตรวจวัดค่าเฉลี่ยพารามิเตอร์ทางด้านกายภาพตามพื้นที่เก็บตัวอย่างของแต่ละร้าน

ร้านอาหาร	ค่าเฉลี่ยพารามิเตอร์			
	อุณหภูมิ (°C)	ความชื้น (%RH)	ความดัน (mmHg)	ความเร็วลม (m/s)
ร้านที่ 1 (1)	29.00	60.23	763.5	0.267
ร้านที่ 2 (1)	26.50	57.30	766.5	0.500
ร้านที่ 3 (1)	27.60	56.57	766.0	0.367
ร้านที่ 4 (1)	28.80	59.12	766.5	0.400
ร้านที่ 1 (2)	26.53	64.03	767.5	0.930
ร้านที่ 2 (2)	27.27	56.77	766.0	0.433
ร้านที่ 3 (2)	28.27	55.93	763.0	0.267
ร้านที่ 4 (2)	27.67	56.27	764.0	0.167

(1) หมายถึง ช่วงเวลาที่การประกอบอาหารสูงสุดของแต่ละร้าน จำนวน 1 ชั่วโมง

(2) หมายถึง ช่วงเวลาที่ไม่มี การประกอบอาหารของแต่ละร้าน จำนวน 1 ชั่วโมง

ตารางที่ 5 ปริมาณความเข้มข้นฝุ่นแยกขนาดอนุภาค (PM1,PM2.5,PM10) แยกตามร้านค้าอาหารตามสั่ง

ร้านอาหาร	ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นฝุ่นแบบแยกขนาดอนุภาค (mg/m ³)					
	PM1		PM2.5		PM10	
	AVG	TWA	AVG	TWA	AVG	TWA
ร้านที่ 1 (1)	0.224	0.028	0.246	0.031	0.237	0.030
ร้านที่ 2 (1)	0.094	0.012	0.095	0.012	0.102	0.013
ร้านที่ 3 (1)	0.096	0.012	0.096	0.012	0.102	0.013
ร้านที่ 4 (1)	0.093	0.012	0.095	0.012	0.097	0.013
ค่าเฉลี่ย (1)	0.127	0.016	0.133	0.017	0.135	0.017
ร้านที่ 1 (2)	0.052	0.006	0.052	0.007	0.055	0.007
ร้านที่ 2 (2)	0.068	0.008	0.068	0.009	0.073	0.009
ร้านที่ 3 (2)	0.079	0.010	0.081	0.010	0.091	0.011
ร้านที่ 4 (2)	0.065	0.008	0.605	0.008	0.074	0.009
ค่าเฉลี่ย (2)	0.066	0.008	0.067	0.009	0.073	0.009

(1) หมายถึง ช่วงเวลาที่มีการประกอบอาหารสูงสุดของแต่ละร้าน จำนวน 1 ชั่วโมง

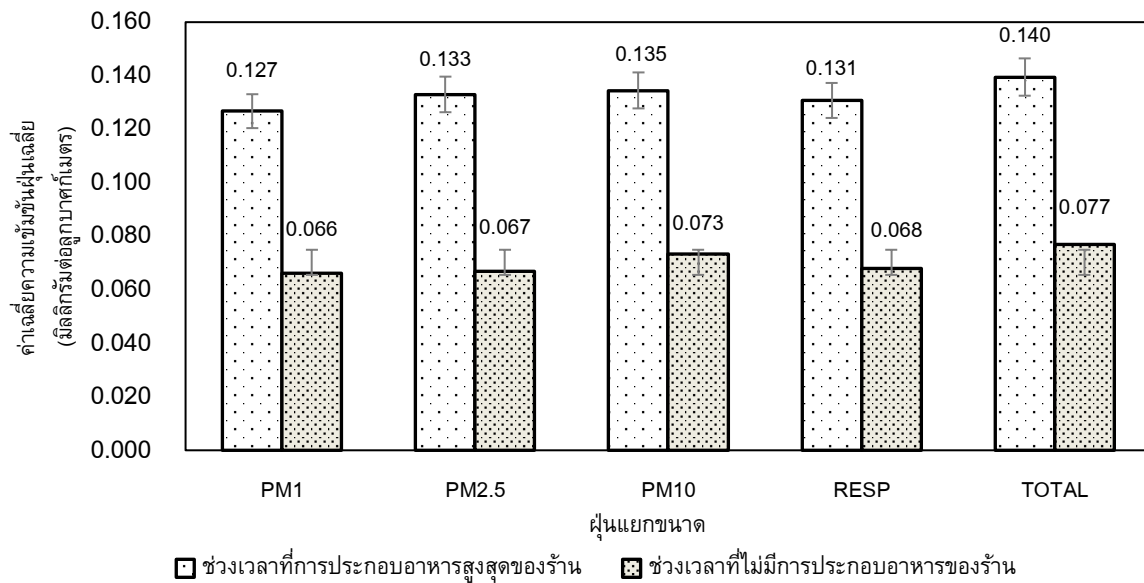
(2) หมายถึง ช่วงเวลาที่ไม่มีการประกอบอาหารของแต่ละร้าน จำนวน 1 ชั่วโมง

ตารางที่ 6 ปริมาณความเข้มข้นฝุ่นแยกขนาดอนุภาค (Respirable dust, Total dust) แยกตามร้านค้าอาหารตามสั่ง

ร้านอาหาร	ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นฝุ่นแบบแยกขนาดอนุภาค (mg/m ³)				รถสัญจรไป-มา		ประกอบ
	RESP		TOTAL		คัน (ร้อยละ)		อาหาร
	AVG	TWA	AVG	TWA	2 ล้อ	4 ล้อ	(ครึ่ง)
ร้านที่ 1 (1)	0.228	0.028	0.246	0.031	87 (62.14)	53 (37.86)	13
ร้านที่ 2 (1)	0.107	0.013	0.107	0.015	42 (56.76)	32 (43.24)	7
ร้านที่ 3 (1)	0.098	0.012	0.106	0.013	51 (60.00)	34 (40.00)	6
ร้านที่ 4 (1)	0.090	0.012	0.099	0.013	43 (67.19)	21 (32.81)	6
ค่าเฉลี่ย (1)	0.131	0.016	0.140	0.018			
ร้านที่ 1 (2)	0.053	0.007	0.057	0.007	27 (60.00)	18 (40.00)	-
ร้านที่ 2 (2)	0.069	0.009	0.076	0.009	30 (55.56)	24 (44.44)	-
ร้านที่ 3 (2)	0.083	0.010	0.096	0.012	39 (57.35)	29 (42.65)	-
ร้านที่ 4 (2)	0.067	0.008	0.079	0.010	31 (54.39)	26 (45.61)	-
ค่าเฉลี่ย (2)	0.068	0.009	0.077	0.010			

(1) หมายถึง ช่วงเวลาที่มีการประกอบอาหารสูงสุดของแต่ละร้าน จำนวน 1 ชั่วโมง

(2) หมายถึง ช่วงเวลาที่ไม่มีการประกอบอาหารของแต่ละร้าน จำนวน 1 ชั่วโมง



รูปที่ 2 ลักษณะแนวโน้มค่าเฉลี่ยปริมาณความเข้มข้นของฝุ่น

4.2 ผลการประเมินความเสี่ยงการรับสัมผัสฝุ่นที่สามารถเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจได้และฝุ่นรวมโดยวิเคราะห์จากความรู้และโอกาสการเกิดผลกระทบต่อสุขภาพโดยใช้ตารางเมทริกซ์

การประเมินความเสี่ยงการรับสัมผัสฝุ่นที่สามารถเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจได้ (Respirable dust) และฝุ่นรวม (Total dust) ประยุกต์จากการประเมินความเสี่ยงด้านสารเคมีต่อสุขภาพตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม พ.ศ. 2555 พบว่าผู้ค้าในแต่ละร้านมีความเสี่ยงต่อสุขภาพที่คล้ายกัน ขึ้นอยู่กับความถี่ที่ได้รับสัมผัสในแต่ละร้านโดยร้านค้าทั้งหมดเป็นร้านค้ามีความถี่การสัมผัสในระดับ (4) คือ สัมผัสกับฝุ่นขนาดต่างๆ บ่อย ๆ สัมผัสต่อเนื่อง 2 ชั่วโมง ถึง 4 ชั่วโมง ต่อการทำงานทั้งวัน คิดจากปริมาณการประกอบอาหารในแต่ละครั้งที่มีลูกค้าสั่งอาหาร โดยผลสรุปการประเมินความเสี่ยงการรับสัมผัสฝุ่นที่สามารถเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจได้ (Respirable dust) พิจารณาจากค่า OEL-TWA ตามประกาศกรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน เรื่อง ขีดจำกัดความเข้มข้นของสารเคมีอันตราย พ.ศ. 2560 ไม่เกิน 5 mg/m³ เป็นไปตามตารางที่ 7 และผลสรุปการประเมินความเสี่ยงการรับสัมผัสฝุ่นรวม (Total dust) พิจารณาจากค่า OEL-TWA ตามประกาศกรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน เรื่อง ขีดจำกัดความเข้มข้นของสารเคมีอันตราย พ.ศ. 2560 ไม่เกิน 15 mg/m³ เป็นไปตามตารางที่ 8

ตารางที่ 7 ผลการประเมินความเสี่ยงการรับสัมผัสฝุ่นที่สามารถเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจได้ (Respirable dust)

ร้านอาหาร	ค่าเฉลี่ยปริมาณฝุ่น (mg/m ³)	ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นสารเคมีที่ผู้ปฏิบัติงาน (%)	ประเมินความเสี่ยงการรับสัมผัส		ระดับการสัมผัส	ผลการประเมิน
			ระดับความเข้มข้น	ระดับที่		
ร้านที่ 1	0.028	0.560	(1)	(4)	(1)	ยอมรับได้
ร้านที่ 2	0.013	0.260	(1)	(4)	(1)	ยอมรับได้
ร้านที่ 3	0.012	0.240	(1)	(4)	(1)	ยอมรับได้
ร้านที่ 4	0.012	0.240	(1)	(4)	(1)	ยอมรับได้

ตารางที่ 8 ผลการประเมินความเสี่ยงการประเมินความเสี่ยงการรับสัมผัสฝุ่นรวม (Total dust)

ร้านอาหาร	ค่าเฉลี่ยปริมาณ ฝุ่น (mg/m³)	ค่าเฉลี่ยความเข้มข้น สารเคมีที่ผู้ปฏิบัติงาน (%)	ประเมินความเสี่ยงการรับสัมผัส		ระดับการสัมผัส	ผลการประเมิน
			ระดับความเข้มข้น	ระดับที่		
ร้านที่ 1	0.031	0.207	(1)	(4)	(1)	ยอมรับได้
ร้านที่ 2	0.015	0.100	(1)	(4)	(1)	ยอมรับได้
ร้านที่ 3	0.013	0.080	(1)	(4)	(1)	ยอมรับได้
ร้านที่ 4	0.013	0.080	(1)	(4)	(1)	ยอมรับได้

5. สรุปและอภิปรายผลการศึกษา

ผลการศึกษาฝุ่นขนาดเล็กแบบแยกขนาดอนุภาคด้วยเครื่องตรวจนับอนุภาค ช่วงเวลาที่มีการประกอบอาหารสูงสุดของแต่ละร้านในระยะเวลา 1 ชั่วโมง โดยฝุ่นขนาดเล็กกว่า 1 ไมครอน (PM1) ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.127 mg/m³ ฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน (PM2.5) ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.133 mg/m³ ฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน (PM10) ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.135 mg/m³ ฝุ่นที่เข้าสู่ระบบทางเดินหายใจได้ (Respirable dust) ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.131 mg/m³ และฝุ่นรวม (Total dust) ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.140 mg/m³ และช่วงเวลาที่ไม่มีประกอบอาหารของแต่ละร้านในระยะเวลา 1 ชั่วโมง ฝุ่นขนาดเล็กกว่า 1 ไมครอน (PM1) ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.066 mg/m³ ฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน (PM2.5) ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.067 mg/m³ ฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน (PM10) ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.073 mg/m³ ฝุ่นที่เข้าสู่ระบบทางเดินหายใจได้ (Respirable dust) ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.068 mg/m³ และฝุ่นรวม (Total dust) ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.077 mg/m³ ค่าเฉลี่ยพารามิเตอร์ทางด้านกายภาพอุณหภูมิ ความชื้น ความดัน และความเร็วลมของแต่ละร้านที่แตกต่างกัน และปริมาณรถที่สัญจรผ่านไป-มาที่แตกต่างกันด้วย ผลเปรียบเทียบทั้งสองช่วงเวลาคือช่วงเวลาที่การประกอบอาหารสูงสุด และช่วงเวลาที่ไม่มีประกอบอาหารแสดงถึงปริมาณฝุ่นในขนาดต่าง ๆ ที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นระหว่างการประกอบอาหารทุกร้านทำให้การประกอบอาหารตามสั่งมีผลทำให้ฝุ่นในขนาดต่าง ๆ มีปริมาณเพิ่มตามไปด้วย ผลการเปรียบเทียบกับมาตรฐานการรับสัมผัสฝุ่นเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจได้ (Respirable dust) ตามประกาศกรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน เรื่อง ขีดจำกัดความเข้มข้นของสารเคมีอันตราย พ.ศ. 2560 ไม่เกิน 5 mg/m³ และฝุ่นรวม (Total dust) ไม่เกิน 15 mg/m³ ไม่เกินตามมาตรฐานกำหนดทุกร้าน และจากผลการประเมินความเสี่ยงการรับสัมผัสฝุ่นที่สามารถเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจได้และฝุ่นรวมโดยวิเคราะห์จากความรุนแรงและโอกาสการเกิดผลกระทบต่อสุขภาพโดยใช้ตารางเมทริกซ์นั้น เป็นการประเมินความเสี่ยงจากการรับสัมผัสของผู้ค้าอาหารตามสั่ง โดยผู้ค้าอาหารตามสั่งมีความถี่การสัมผัสในระดับ (4) คือ สัมผัสบ่อย ๆ สัมผัสต่อเนื่อง 2 ชั่วโมง ถึง 4 ชั่วโมง ต่อการทำงานทั้งวันของแต่ละร้าน ผลการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ทุกร้าน จากผลการศึกษาทั้งหมดสรุปได้ว่าปริมาณของฝุ่นที่เข้าสู่ระบบทางเดินหายใจได้ (Respirable dust) และฝุ่นรวม (Total dust) อยู่ในระดับที่ไม่เป็นอันตรายต่อสุขภาพของผู้ค้าอาหารตามสั่งแต่การประกอบอาหารมีผลทำให้ปริมาณฝุ่นขนาดต่าง ๆ เพิ่มขึ้น

6. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณผู้ค้าอาหารตามสั่งริมถนนแห่งหนึ่งในจังหวัดนครราชสีมาที่ให้ความอนุเคราะห์เก็บข้อมูลวิจัย และขอขอบคุณศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่สนับสนุนเครื่องมือในการเก็บตัวอย่างและสถานที่ในการวิเคราะห์ตัวอย่าง ทำให้โครงการวิจัยบรรลุผลและสำเร็จได้ด้วยดี

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] Wongnai for Business. (2562, ธันวาคม 2). สรุปข้อมูลและเทรนด์ธุรกิจอาหารในประเทศไทย สำหรับปี 2562, [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา: <https://www.wongnai.com/business-owners/thailand-restaurant-trend-2019>
- [2] สำนักงานสถิติแห่งชาติ. (2562, ธันวาคม 2). จำนวนประชากรจากการทะเบียน จำแนกตามอายุ เพศ ภาค และ จังหวัด ปี พ.ศ. 2562, [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา: <http://statbbi.nso.go.th/staticreport/page/sector/th/01.aspx>
- [3] สำนักงานสถิติจังหวัดนครราชสีมา. (2562, ธันวาคม 2). รายงานสถิติจังหวัดนครราชสีมา พ.ศ. 2559 : การรับรองมาตรฐานของกระทรวงสาธารณสุข, [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา: <http://nkrat.nso.go.th/images/attachments/Article/263/NKRAT%20R59.pdf>
- [4] กรมอนามัยและกรมควบคุมโรคกระทรวงสาธารณสุข. แนวทางการเฝ้าระวังพื้นที่เสี่ยงจากมลพิษทางอากาศ : กรณีฝุ่นละอองขนาดเล็ก, 2558
- [5] พงศ์เทพ วิวรรณเดชะ. โครงการระดับรายวันของฝุ่นในอากาศและผลกระทบต่อสุขภาพในผู้ป่วยที่เป็นโรคหอบหืด จังหวัดเชียงใหม่และลำพูน: รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์.
- [6] ทศน์พงษ์ ตันติปัญญพร, ณัฐกานต์ ศรีสกุลเดี่ยว และเบญจมาศ สุคันโท. "การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการสัมผัสฝุ่นละอองขนาดเล็กทางการหายใจของพนักงานในโรงงานสีข้าวแห่งหนึ่ง ในจังหวัดกำแพงเพชร". *Srinagarind Medical Journal*. 34(5), 2562, หน้า 482-489.
- [7] ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม. (2562, ธันวาคม 2). มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมการประเมินความเสี่ยงด้านสารเคมีต่อสุขภาพของผู้ปฏิบัติงานในโรงงานอุตสาหกรรม: มอก.2535-2555, [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา: <http://www.hasla.or.th/LinkClick.aspx?fileticket=4f%2Fk82%2BYITE%3D&tabid=195&mid=528>
- [8] วิชาญ บุญคำ, ภัคศรีณีย์ นวธรรมศิริ, ภัฏญารัตน์ แสงนิล. "การศึกษาปริมาณอนุภาคฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอนในสถานบริการน้ำมันเชื้อเพลิง อำเภอเมือง จังหวัดบุรีรัมย์". *Journal of Energy and Environment Technology* , 7 (1), 2563, หน้า 20 - 28
- [9] วิภาดา สอนองราชบุรี, และนราธิป ชมพูบุตร. "การตรวจวัดฝุ่นละอองขนาดเล็กในโรงพยาบาล ในจังหวัดอำนาจเจริญ". *วารสารวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมไทย*, 30(3), 2559, หน้า 11-18.
- [10] วิภาดา สอนองราชบุรี, และนพพล ชูติชาติ. "การตรวจวัดฝุ่นรวมและเสี่ยงในโรงงานทอผ้าแห่งหนึ่งจังหวัดนครปฐม". *วารสารวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมไทย*, 30(3), 2559, หน้า 1-10.
- [11] พิชัย ศรีสุขโตม. "ปริมาณฝุ่นละอองและกระทบที่เกิดขึ้นกับผู้ปฏิบัติงานในโรงงานอาหารสัตว์". *Veridian E-Journal*, 1(4), 2557, หน้า 42-49.
- [12] นิตยา ชาคำรณ, และลักษณีย์ บุญขาว. "การประเมินปริมาณฝุ่นละอองของคณงานทำอัฐมอญแดงในตำบลหนองกินเพล อำเภวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี". *Journal of Science and Technology*, Ubon Ratchathani University, 21(1), 2562, หน้า 68-75.
- [13] ประกาศกรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน. "ขีดจำกัดความเข้มข้นของสารเคมีอันตราย 2560" *ราชกิจจานุเบกษา เล่ม 134 ตอนพิเศษ 104 ง*.
- [14] Lippmann M. "Respirable" dust sampling. *American Industrial Hygiene Association Journal*, 31(2), 1970, pp 138-59.
- [15] Susz A, Pratte P, Goujon-Ginglinger C. "Real-time Monitoring of Suspended Particulate Matter in Indoor Air: Validation and Application of a Light-scattering Sensor". *Aerosol and Air Quality Research*, 20(11), 2020, pp 2384-2395.

การศึกษาทดสอบสมรรถนะทางความร้อนของปล่องหลังคาเซลล์แสงอาทิตย์ ระบายอากาศร่วมกับสารวัสดุเปลี่ยนแปลง

INVESTIGATION OF THERMAL PERFORMANCE OF PHOTOVOLTAIC ROOF SOLAR COLLECTOR WITH PHASE CHANGE MATERIAL

ศรัณยา ศรีพิสุทธิธรรม¹ ติกะ บุนนาค² และปรีดา จันทวงษ์^{3*}

Received : 28 April 2021

Saranya Sripisuttitham¹ Tika Bunnag² and Preeda Chantawong^{3*}

Revised : 11 May 2021

Accepted : 15 June 2021

¹ นักศึกษาหลักสูตรปริญญาตรีบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมพลังงาน
ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมเครื่องต้นกำลัง บัณฑิตวิทยาลัย วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ กรุงเทพมหานคร

² ผู้ช่วยศาสตราจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมหุ่นยนต์และระบบอัตโนมัติ
คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี สถาบันการจัดการปัญญาภิวัฒน์ นนทบุรี

³ รองศาสตราจารย์ประจำสาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมพลังงาน สาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมการทำความเย็นและ
การปรับอากาศ ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมเครื่องต้นกำลัง วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ กรุงเทพมหานคร

* Corresponding author E-mail : preedac@kmutnb.ac.th, cpreeda@yahoo.com

บทคัดย่อ

บทความนี้มีวัตถุประสงค์ทำการทดสอบเปรียบเทียบสมรรถนะทางความร้อนและการลดภาระความร้อนระหว่างบ้านจำลองที่ติดตั้งปล่องหลังคาเซลล์แสงอาทิตย์ระบายอากาศร่วมกับสารวัสดุเปลี่ยนแปลงติดตั้งพัดลมไฟฟ้ากระแสตรง(PVRSC-PCM with DC fan) กับหลังคาคอนกรีตทั่วไป (SR) โดยติดตั้งอยู่บนหลังคาหันไปทางด้านทิศใต้ของบ้านจำลองขนาดเล็กทั้งสองหลังที่มีปริมาตรเท่ากับ 1.73 m³ เพื่อเปรียบเทียบสมรรถนะของบ้านจำลองที่ติดตั้งปล่องหลังคา PVRSC-PCM with DC fan กับหลังคาคอนกรีตทั่วไป ผลการศึกษาทดลองพบว่าห้องของบ้านจำลองที่ติดตั้งปล่องหลังคา PVRSC-PCM จะมีอุณหภูมิอากาศภายในต่ำกว่าห้องของบ้านจำลองที่ติดตั้งหลังคาคอนกรีตทั่วไปและสามารถเพิ่มการระบายอากาศภายในห้อง ทำให้มีอากาศไหลเวียนและลดค่าความร้อนจากห้องใต้หลังคาได้ดีกว่าห้องของบ้านที่ติดตั้งหลังคาคอนกรีตทั่วไป (SR) ดังนั้นปล่องหลังคาPVRSC-PCM จึงเป็นการเปลี่ยนแปลงส่งเสริมพัฒนาการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ในการอนุรักษ์พลังงาน และรักษาสิ่งแวดล้อม

คำสำคัญ : ปล่องหลังคาเซลล์แสงอาทิตย์ระบายอากาศร่วมกับสารวัสดุเปลี่ยนแปลง, การระบายอากาศตามธรรมชาติ, สภาวะอากาศของประเทศไทย, ความเข้มแสงรังสีอาทิตย์, การถ่ายเทความร้อน,

ABSTRACT

This paper aims to report experimental comparative investigation on the thermal performance and heat gain reduction between of a Photovoltaic Roof Solar Collector with Phase Change Material with DC fan (PVRSC-PCM) and simple roof concrete (SR), mounted on the roof facing the south side of the two miniature houses with a volume of 1.73m³ to compare the performance of a model house equipped with a PVRSC-PCM

<http://jeet.siamtechu.net>

with DC fan chimney to the simple roof concrete. The experimental results revealed that indoor temperature of PVRSC-PCM room was less than that of single roof concrete rooms. PVRSC-PCM could induce ventilation and reduce heat from under roof was more than that of single roof concrete room. The PVRSC-PCM is expected to promote development solar energy use, save cooling energy and protect environment.

Keywords: Photovoltaic Roof Solar Collector with Phase Change Material, Natural ventilation, Climate of Thailand, Solar radiation, Heat transfer

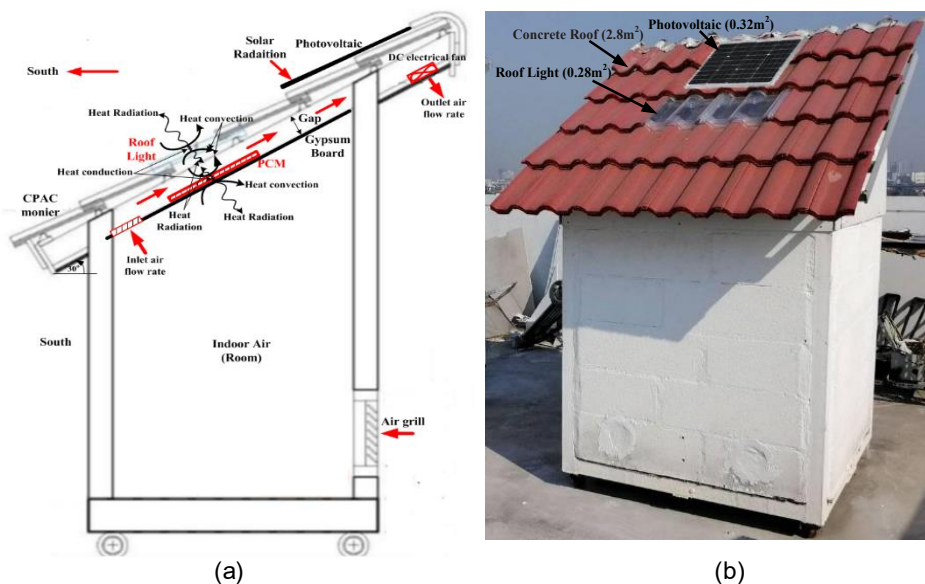
1. บทนำ

ปัจจุบันนี้การออกแบบหลังคาของบ้านที่พักอาศัยเน้นรูปแบบทันสมัยมีความสวยงาม และสมบัติที่ดีของหลังคา สามารถป้องกันฝนและช่วยป้องกันแสงแดดส่องเข้าสู่ภายในหรือความร้อนโดยตรงจากความเข้มแสงรังสีอาทิตย์ (รังสีคลื่นสั้น) ช่วงเวลากลางวันเข้าสู่ภายในบ้าน ข้อเสียของหลังคาไม่สามารถป้องกันรังสีคลื่นยาวที่เกิดจากความเข้มของรังสีอาทิตย์ที่มากตกกระทบบนผิวกระเบื้องหลังคาเกิดการสะสมความร้อนและถ่ายเทความร้อนผ่านโครงสร้างหลังคาเข้าสู่ภายในบ้าน โดยการนำความร้อนการพา การแผ่ความร้อนให้กับวัตถุและอากาศ เกิดการสะสมความร้อนภายในห้องใต้หลังคาของบ้านและถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ภายในบ้าน ทำให้อุณหภูมิภายในบ้านสูงกว่าสิ่งแวดล้อม [1] และสภาพภูมิอากาศของประเทศไทยตั้งอยู่ในเขตอากาศร้อนชื้น ซึ่งมีสภาพอากาศร้อนสลับฝนตลอดปี [2] โดยมีความเข้มแสงของรังสีอาทิตย์ประมาณ $17\text{ MJ/m}^2\cdot\text{day}$ อุณหภูมิสิ่งแวดล้อมเฉลี่ยประมาณ $20^\circ\text{C} - 30^\circ\text{C}$ และความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยประมาณร้อยละ 59 – 100 ก่อให้เกิดปัญหาความร้อนและความชื้นที่เกิดการสะสมภายในห้องใต้หลังคาและถ่ายเทเข้าสู่ภายในบ้าน ก่อให้เกิดปัญหาความร้อนที่สะสมภายในบ้านหรืออาคาร ดังนั้นการแก้ปัญหาส่วนใหญ่จะใช้เครื่องปรับอากาศทางกล ช่วยลดอุณหภูมิภายในเกิดภาวะความสบายทางความร้อน ส่งผลต่อการใช้พลังงานไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นภายในที่พักอาศัย [3] คือ แสงสว่างร้อยละ 20 อุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าอื่นๆ ร้อยละ 2 และการปรับอากาศร้อยละ 60 สำหรับปัญหาการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ภายในที่พักอาศัยได้มีการศึกษาหาวิธีการลดค่าความร้อนที่ เข้าสู่ภายในอาคารและวิธีการใช้เครื่องปรับอากาศเพื่อประหยัดพลังงานไฟฟ้าภายในบ้านหรืออาคารที่พักอาศัยกันอย่างแพร่หลายทั้งในและต่างประเทศ [1]-[10]

บทความนี้มีวัตถุประสงค์ทำการทดสอบเปรียบเทียบสมรรถนะทางความร้อนและการลดภาระความร้อนระหว่างบ้านจำลองที่ติดตั้งปล่องหลังคาเซลล์แสงอาทิตย์ระบายอากาศร่วมกับสารวัสดุเปลี่ยนแปลงติดตั้งพัดลมไฟฟ้า กระแสตรง (Photovoltaic Roof Solar Collector with Phase Change Material with DC fan: PVRSC-PCM with DC fan) กับหลังคาคอนกรีตทั่วไป (Simple Roof concrete: SR) โดยติดตั้งอยู่บนหลังคาหันไปทางด้านทิศใต้ของบ้านจำลองขนาดเล็กทั้งสองหลังที่มีปริมาตรเท่ากับ 1.73 m^3 เพื่อเปรียบเทียบสมรรถนะของบ้านจำลองที่ติดตั้งปล่องหลังคา PVRSC-PCM with DC fan กับหลังคาคอนกรีต SR สำหรับปล่องหลังคา PVRSC-PCM with DC fan มีหลักการการทำงานในลักษณะเดียวกับงานวิจัยของ Chantawong และคณะ [1] และ [10]-[13] (ดังแสดงในรูปที่ 1-2) เมื่อรังสีอาทิตย์ตกกระทบบนหลังคาชั้นนอก แผงโซลาร์เซลล์และส่องผ่านหลังคาใสมาตกกระทบบนแผงวัสดุเปลี่ยนแปลง (เกิดการสะสมความร้อนช่วงกลางวันและคลายความร้อนให้อากาศในห้องใต้หลังคาช่วงกลางคืน) ทำให้เกิดการสะสมความร้อนที่ผิวและถ่ายเทความร้อนผ่านหลังคาเข้าภายในห้องใต้หลังคา ทำให้อุณหภูมิภายในห้องใต้หลังคาสูงกว่าอุณหภูมิภายในบ้านพักอาศัยและโซลาร์เซลล์ผลิตไฟฟ้ากระแสตรงป้อนให้กับพัดลมระบายอากาศที่ทางออกของปล่องทำงาน จึงเกิดการเหนี่ยวนำของอากาศภายในห้องใต้หลังคาลอยตัวขึ้นด้านบนของหลังคาออกทางช่องเปิดด้านที่ติดตั้งพัดลมดูดจากห้องใต้หลังคาออกสู่สิ่งแวดล้อมได้เร็วขึ้น (ช่วงเวลากลางวัน) และเหนี่ยวนำอากาศจากภายในห้องผ่านช่องเปิดผ้าเพดานจากภายในห้อง ก่อให้เกิดการระบายอากาศแบบธรรมชาติภายในบ้านพักอาศัย ช่วยระบายอากาศจากภายในบ้าน และห้องใต้หลังคาออกสู่สิ่งแวดล้อม ทำให้อุณหภูมิของอากาศภายในห้องใต้หลังคาและอุณหภูมิอากาศบ้านลดลง

<http://jeet.siamtechu.net>

เกิดการไหลเวียนของอากาศภายในบ้านดีขึ้น ช่วยลดการสะสมความร้อนภายในบ้านและห้องใต้หลังคา การศึกษาวิจัยพัฒนาต่อเนื่องจากงานวิจัยของ Chantawong และคณะ [1] และ [10] - [13] จะทำการทดสอบที่บ้านจำลองทั้งสองหลังมีขนาดปริมาตรเท่ากันประมาณเท่ากับ 1.73 m^3 (ดังแสดงในรูปที่ 1) การติดตั้งหลังคาบ้านจำลองจะหันไปทางด้านทิศใต้ ศึกษาทดสอบภายใต้สภาวะอากาศปกติจากผลทดลองภายในวันที่ 8 และวันที่ 18 กรกฎาคม 2020 จึงได้ทำการศึกษาผลการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิต่าง ๆ บนหลังคา โดยทำการติดตั้งหลังคาคอนกรีตทั่วไป (Home 1: SR) และติดตั้งปล่องหลังคา PVRSC-PCM (Home 2) เช่น อุณหภูมิบนหลังคาคอนกรีต อุณหภูมิบนหลังคาใส อุณหภูมิบนแผง PV อุณหภูมิอากาศภายในห้องใต้หลังคา อุณหภูมิบนฝ้าเพดานของหลังคา อุณหภูมิของสาร PCM อุณหภูมิทางเข้าและทางออกห้องใต้หลังคา อุณหภูมิภายในบ้าน อุณหภูมิตรงหน้าต่างบานเกล็ด อุณหภูมิสิ่งแวดล้อมและความเข้มแสงของรังสีอาทิตย์ ความร้อนไหลผ่านหลังคา การไหลเวียนของความเร็วลมภายใน ความเร็วลมสิ่งแวดล้อม ความเร็วลมที่ทางออกของปล่องหลังคา PVRSC-PCM ศึกษากรณีแรกปิดพัดลม (วันที่ 8 กรกฎาคม 2020) และกรณีที่สองเปิดพัดลม (วันที่ 18 กรกฎาคม 2020)



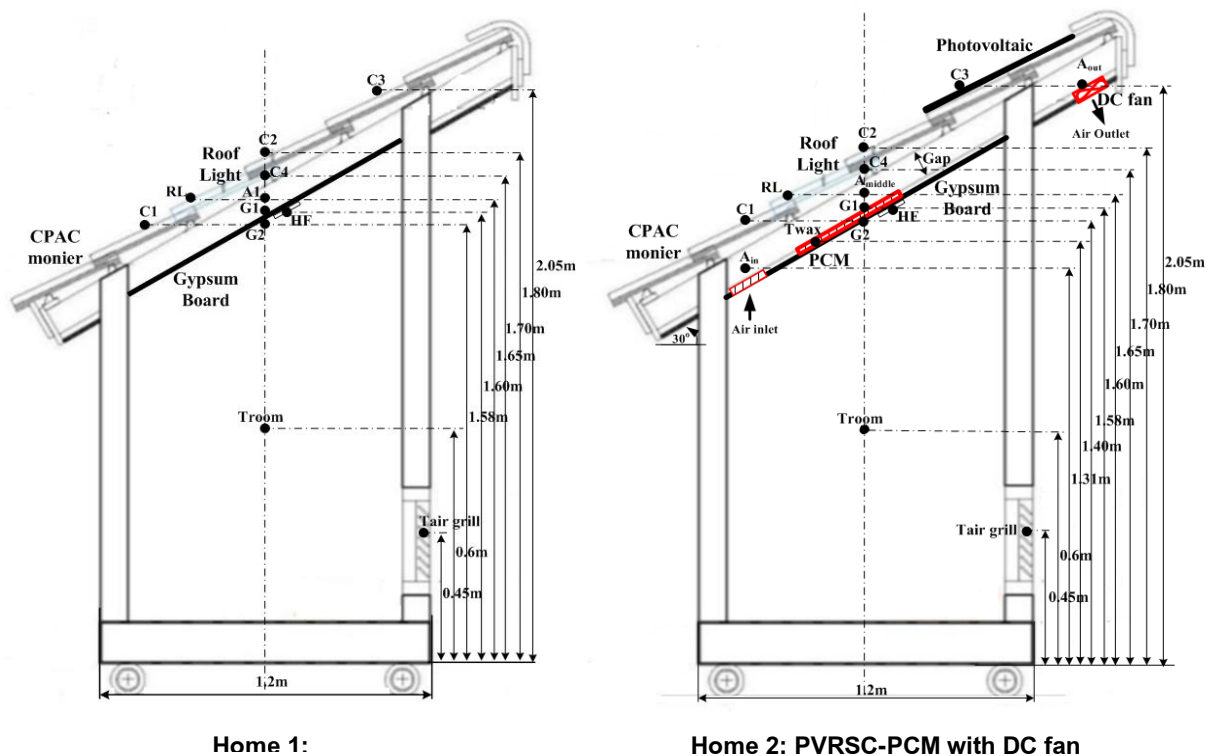
รูปที่ 1 ทฤษฎีและหลักการถ่ายเทความร้อนของปล่องหลังคาเซลล์แสงอาทิตย์ระบายอากาศร่วมกับสารวัสดุเปลี่ยนแปลง (a) และบ้านจำลองที่ติดตั้งปล่องหลังคา PVRSC-PCM (b)

2. วิธีการทดลอง

บ้านจำลองสร้าง ณ บริเวณชั้นดาดฟ้าอาคาร 63 วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ กรุงเทพมหานคร ทำการศึกษาทดสอบและเปรียบเทียบสมรรถนะการป้องกันความร้อนเข้าสู่ภายในบ้านจำลองทั้งสอง หลังคาคอนกรีตทั่วไป (Home 1: SR) และติดตั้งปล่องหลังคา PVRSC-PCM (Home 2) ที่มีขนาดพื้นที่รับรังสีอาทิตย์ประมาณ 2.8 m^2 มีความหนาประมาณ 1.3 cm ลาดเอียงทำมุม 30 องศา สำหรับปล่องหลังคา PVRSC-PCM with DC fan มีลักษณะโครงสร้างประกอบด้วยหลังคาชั้นนอกเป็นหลังคาคอนกรีตทั่วไปสีแดงเข้มและกระเบื้องพลาสติกใสที่มีขนาดพื้นที่ประมาณ 0.28 m^2 ความหนาประมาณ 0.4 cm และแสงส่องผ่านหลังคาตกกระทบบนแผงเซลล์บรรจุสารวัสดุเปลี่ยนแปลง [14] เป็นเหล็กทาสีดำมีขนาดพื้นที่ประมาณ 0.2 m^2 มีความสูงประมาณ 2.4 cm (เกิดการสะสมความร้อนช่วงกลางวันและคลายความร้อนให้อากาศภายในห้องใต้หลังคาช่วงกลางคืน) แสงส่องผ่านเข้าภายในห้องใต้หลังคาได้ทำให้สามารถลดความชื้นสะสมภายในห้องใต้หลังคาได้ ด้านบนของปล่องหลังคา PVRSC-PCM หลังคาติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์ขนาดไฟฟ้า 50W ชนิดโมโนคริสตัลไลน์ ขนาดแผง $50 \times 70 \times 5 \text{ cm}$. และมีช่อง

<http://jeet.siamtechu.net>

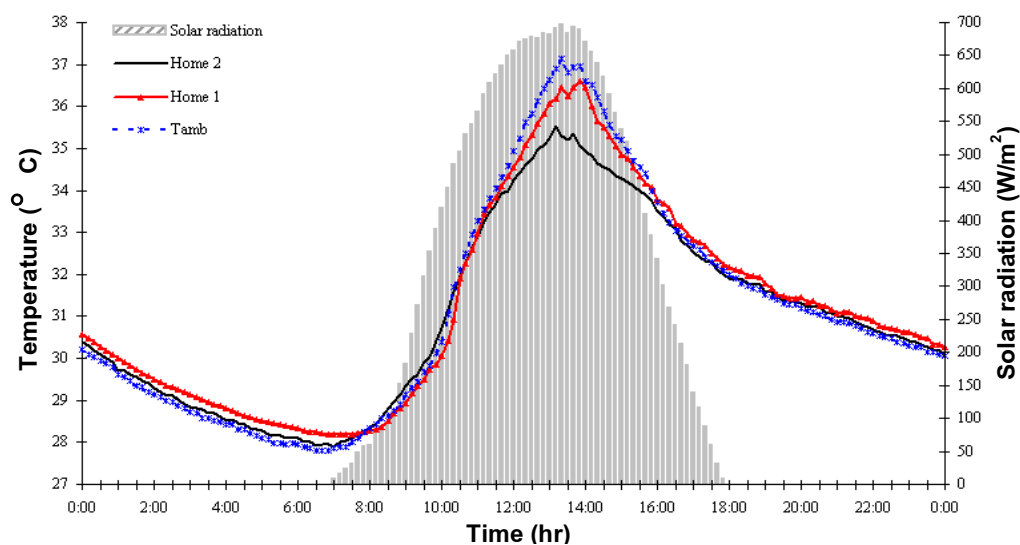
เปิดขนาด $0.12 \times 0.12 \text{ m}^2$ และติดตั้งพัดลมไฟฟ้ากระแสตรงขนาด $12\text{V} \times 0.12\text{A}$ จำนวน 1 ตัว เพื่อระบายอากาศร้อนจากภายในห้องใต้หลังคาของบ้านจำลองออกสู่สิ่งแวดล้อม ผ้าเพดานเป็นแผ่นผ้าใยปซัมหนา 0.8 cm มีคุณสมบัติเป็นฉนวนป้องกันความร้อน มีช่องเปิดขนาด $0.12 \times 0.12 \text{ m}^2$ เป็นบานเกล็ดเพื่อระบายอากาศจากภายในห้องเข้าสู่ห้องใต้หลังคาของบ้านจำลอง ช่วยลดการสะสมความร้อนภายในบ้าน ทำให้อุณหภูมิภายในลดลง ปล่องหลังคา PVRSC-PCM with DC fan เป็นหลังคาแบบเปิด สำหรับพัดลมไฟฟ้ากระแสตรงได้แหล่งพลังงานไฟฟ้ามาจากแผงโซลาร์เซลล์ป้อนให้โดยตรง ถ้าความเข้มแสงรังสีอาทิตย์ผลิตไฟฟ้าป้อนไฟฟ้าให้พัดลมมากยิ่งขึ้น ทำให้พัดลมหมุนเร็วขึ้น ทำให้ระบายอากาศได้มากขึ้น และหลังคาคอนกรีตทั่วไป (Home 1: SR) มีโครงสร้างหลังคาชั้นนอกหลังคาคอนกรีตทั่วไป มีความหนาประมาณ 1.3 cm ผ้าเพดานเป็นแผ่นผ้าใยปซัมหนา 0.006 m . โดยหลังคาทดสอบทั้งแบบติดตั้งกับบ้านขนาดเท่ากัน และมีปริมาตรเท่ากับ 1.73 m^3 (ขนาดประมาณ $1.2 \text{ m} \times 1.2 \text{ m} \times 1.2 \text{ m}$) ผนังเป็นคอนกรีตมวลเบา มีความหนา 0.075 m ฉาบปูนหนา 0.01 m . ทั้งสี่ด้านมีประตูขนาด $0.45 \text{ m} \times 1.05 \text{ m}$. มีความหนา 0.075 m เป็นวัสดุทำจากพลาสติกแข็งและติดตั้งบนผนังด้านทิศตะวันออกของบ้าน มีหน้าต่างบานเกล็ดกระจกใสมีขนาด $0.60 \text{ m} \times 0.80 \text{ m}$ กระจกใสมีความหนา 0.006 m . ติดตั้งบนผนังด้านทิศใต้ของบ้าน ได้ทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิต่างๆ บนหลังคาของบ้านจำลองทั้งสอง โดยบ้านหลังแรกเป็นปกติติดตั้งหลังคาคอนกรีตทั่วไป (Home 1: SR) และบ้านหลังที่สองเป็นบ้านทดสอบติดตั้งปล่องหลังคา (PVRSC-PCM with DC fan: Home 2) เช่น อุณหภูมิบนหลังคาคอนกรีต อุณหภูมิบนหลังคาพลาสติกใส อุณหภูมิบนแผง PV อุณหภูมิอากาศภายในห้องใต้หลังคา อุณหภูมิบนผ้าเพดานของหลังคา อุณหภูมิของสาร PCM อุณหภูมิทางเข้าและทางออกห้องใต้หลังคา อุณหภูมิภายในบ้าน อุณหภูมิตรงหน้าต่างบานเกล็ดกระจกใส อุณหภูมิสิ่งแวดล้อมและความเข้มแสงของรังสีอาทิตย์ ศึกษาค่าความร้อนไหลผ่านหลังคา การไหลเวียนของความเร็วลมภายใน ความเร็วลมสิ่งแวดล้อม ความเร็วลมที่ทางออกของปล่องหลังคา PVRSC-PCM ศึกษาสองกรณี คือ กรณีแรกปิดพัดลม (วันที่ 8 กรกฎาคม 2020) และกรณีที่สองเปิดพัดลม (วันที่ 18 กรกฎาคม 2020) ทดลองในลักษณะเช่นเดียวกันกับงานวิจัยของ Chantawong และคณะ [1] และ [10] - [13] (ดังแสดงในรูปที่ 1 และรูปที่ 2)



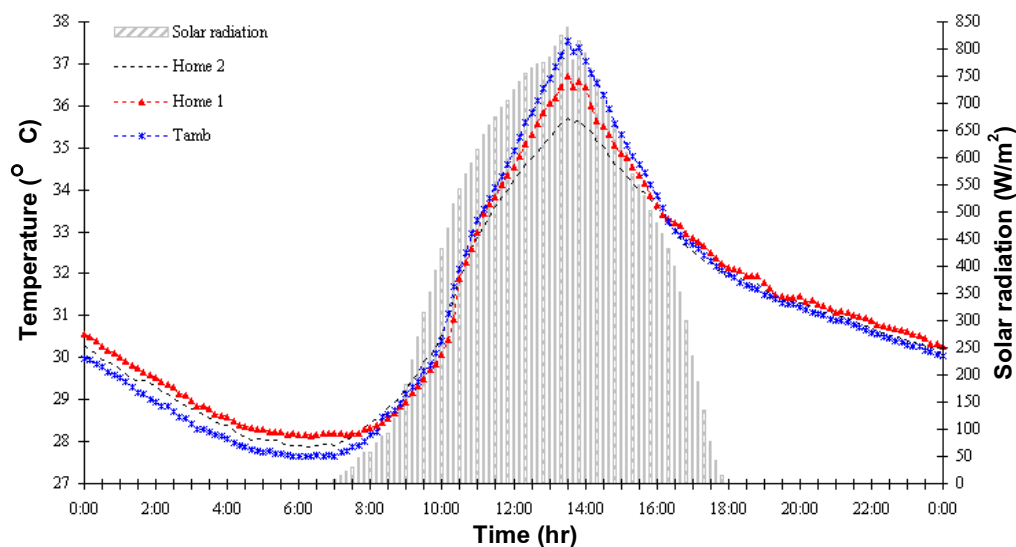
รูปที่ 2 ตำแหน่งการติดตั้งเครื่องมือวัดของบ้านจำลองทั้งสองหลัง

3. ผลการทดลอง

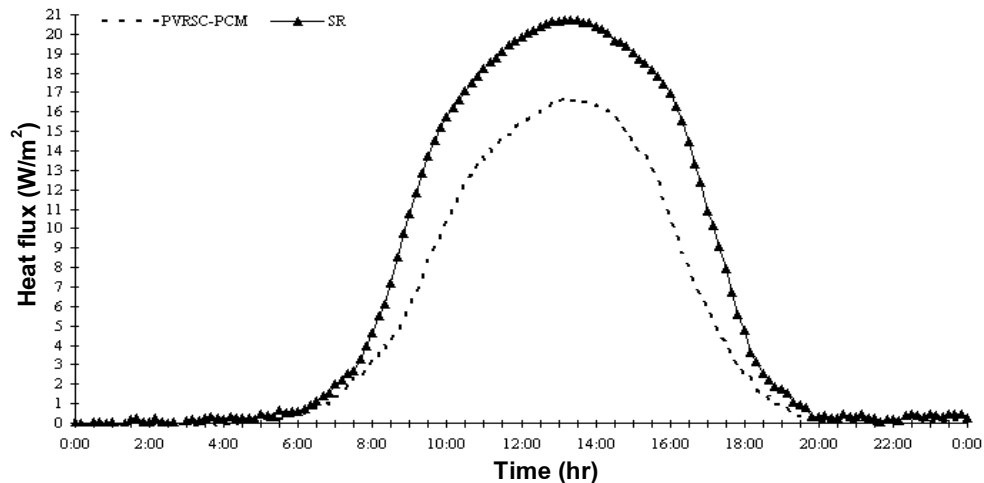
จากรูปที่ 3 - 4 แสดงผลการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในของบ้านจำลองทั้งสอง (Home) อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม (Tamb) และความเข้มของรังสีอาทิตย์ (Solar radiation) บ้านทดสอบที่ติดตั้งปล่องหลังคา PVRSC-PCM (Home 2) ศึกษากรณีเปิดพัดลมระบายอากาศ (วันที่ 8 กรกฎาคม 2020) และศึกษากรณีเปิดพัดลมระบายอากาศ (วันที่ 18 กรกฎาคม 2020) ณ บริเวณที่ทำการทดสอบ พบว่า มีค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมประมาณ $27.4 - 37.5^{\circ}\text{C}$ และความเข้มแสงรังสีอาทิตย์ประมาณ $0.11 - 850 \text{ W/m}^2$ ค่าความเข้มแสงเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องสูงสุด ณ เวลา 14:00น ผลการเปรียบเทียบอุณหภูมิภายในของบ้านจำลอง พบว่าบ้านทดสอบที่ติดตั้งปล่องหลังคา PVRSC-PCM (Home 2) ตลอดช่วงเวลากลางวัน จะมีอุณหภูมิภายในบ้านต่ำกว่าบ้านทดสอบที่ติดตั้งหลังคาคอนกรีตทั่วไป (Home 1:SR) และอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมประมาณ $0.2 - 1.8^{\circ}\text{C}$ เนื่องจากบ้านทดสอบที่ติดตั้งหลังคาคอนกรีตทั่วไปเป็นระบบปิดเกิดการสะสมความร้อนภายในห้องใต้หลังคาและถ่ายความร้อนเข้าสู่ภายในบ้าน ทำให้อากาศในบ้านมีอุณหภูมิสูงกว่า



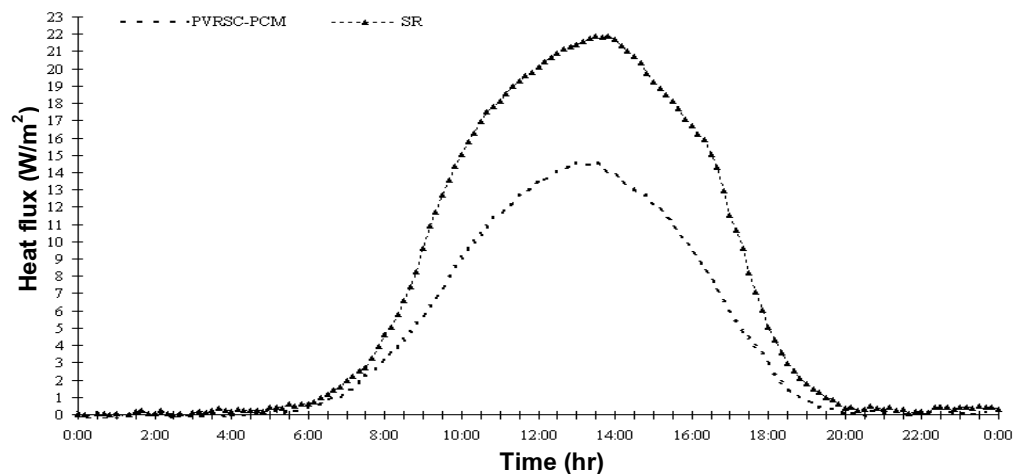
รูปที่ 3 ผลการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในของบ้านจำลองทั้งสอง อุณหภูมิสิ่งแวดล้อมและความเข้มของรังสีอาทิตย์ กรณีเปิดพัดลมระบายอากาศ: Home 2 (วันที่ 8 กรกฎาคม 2020)



รูปที่ 4 ผลการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในของบ้านจำลองทั้งสอง อุณหภูมิสิ่งแวดล้อมและความเข้มของรังสีอาทิตย์ กรณีเปิดพัดลมระบายอากาศ: Home 2 (วันที่ 18 กรกฎาคม 2020)



รูปที่ 5 ผลเปรียบเทียบค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านหลังคาของบ้านจำลองทั้งสอง กรณีปิดพัดลม
ระบายนอากาศ Home 2 (วันที่ 8 กรกฎาคม 2020)

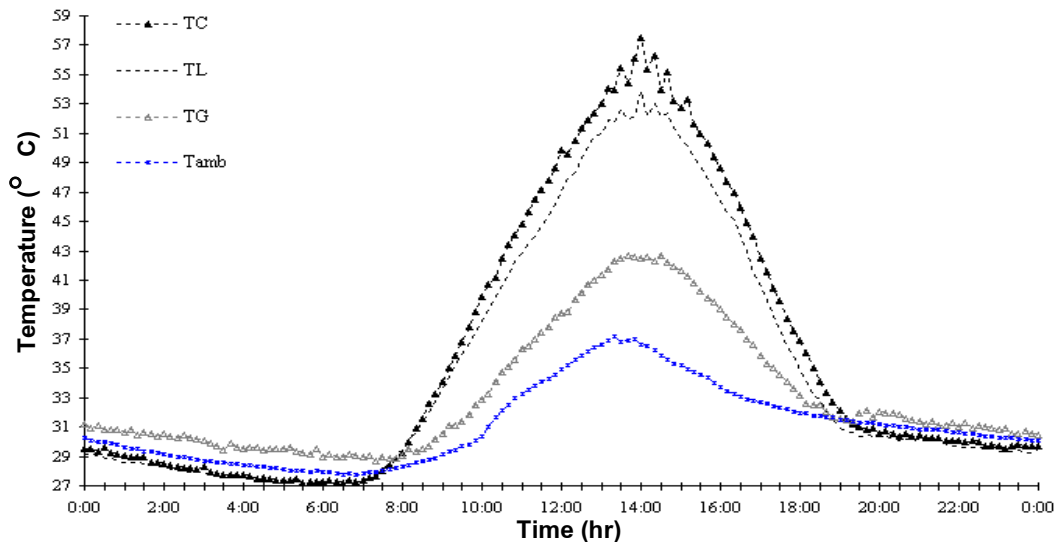


รูปที่ 6 ผลเปรียบเทียบค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านหลังคาของบ้านจำลองทั้งสอง
กรณีเปิดพัดลมระบายนอากาศ: Home 2 (วันที่ 18 กรกฎาคม 2020)

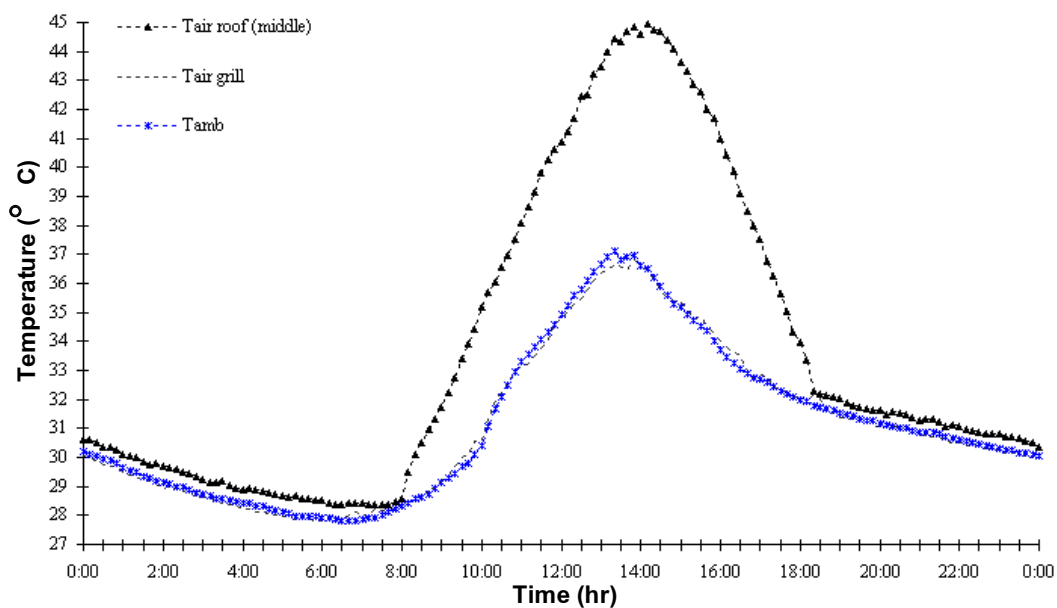
ผลการเปรียบเทียบค่าความร้อนไหลผ่านหลังคาของบ้านจำลองทั้งสองจากรูปที่ 5-6 พบว่า บ้านจำลองติดตั้งปล่องหลังคา PVRSC-PCM (Home 2) มีค่าการนำความร้อนผ่านหลังคาลดกว่าหลังคาคอนกรีตทั่วไป (Home 1: SR) กรณีปิดพัดลมระบายนอากาศเมื่อวันที่ 8 กรกฎาคม 2020 ประมาณร้อยละ 21.43 เป็นการระบายอากาศแบบธรรมชาติโดยอาศัยแรงลอยตัวของอากาศภายในห้องใต้หลังคาที่ได้รับแหล่งความร้อนจากสาร PCM และกรณีเปิดพัดลมระบายนอากาศเมื่อวันที่ 18 กรกฎาคม 2020 พบว่า มีค่าการนำความร้อนผ่านหลังคาลดกว่าหลังคาคอนกรีตทั่วไปประมาณร้อยละ 34.78 เป็นการระบายอากาศแบบบังคับด้วยพัดลมไฟฟ้ากระแสตรงช่วยระบายอากาศร้อนจากภายในห้องใต้หลังคาของบ้านออกสู่สิ่งแวดล้อมภายนอกบ้านได้เพิ่มขึ้น ทำให้สามารถลดค่าการนำความร้อนผ่านหลังคาเข้าสู่ภายในบ้านได้มากกว่าและหลังคาคอนกรีตทั่วไปมีโครงสร้างเหมือนหลังคาทั่วไปเป็นระบบปิดความร้อนภายในบ้านไม่สามารถระบายออกสู่สิ่งแวดล้อมได้และถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ภายในบ้าน ทำให้ผู้อยู่อาศัยรู้สึกอึดอัดเพราะอากาศ

<http://jeet.siamtechu.net>

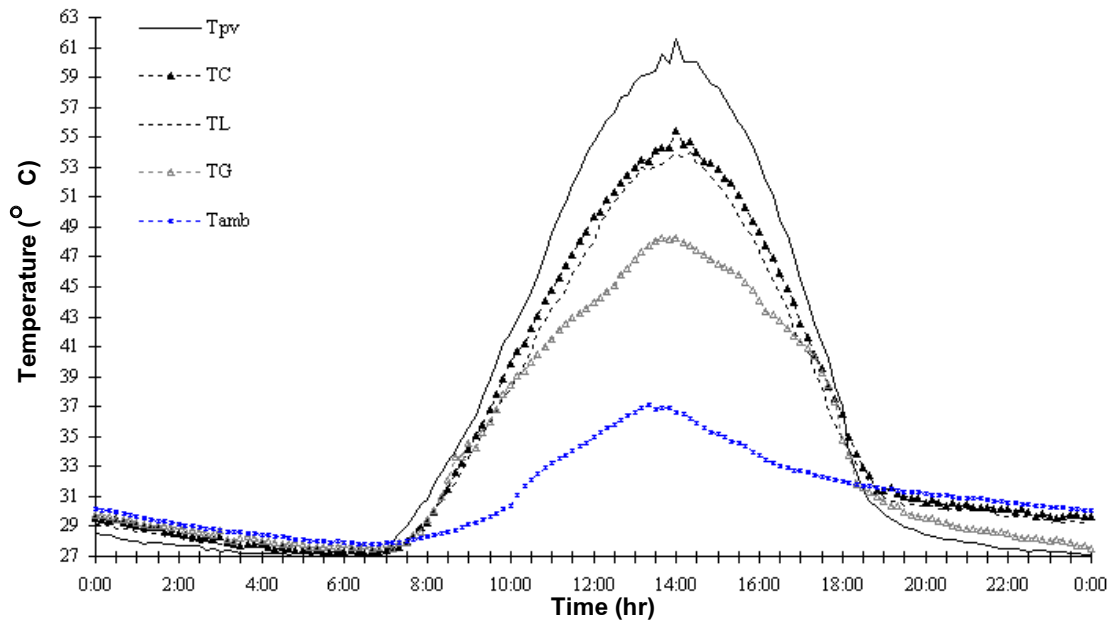
ภายในบ้านไม่มีการถ่ายเทของอากาศเสียออกสู่ภายนอกหรือไม่มีการการไหลเวียนแบบธรรมชาติ ส่งผลทำให้สิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าจากการใช้เครื่องปรับอากาศเพื่อระบายอากาศ สำหรับบ้านที่ติดตั้งปล่องหลังคา PVRSC-PCM เป็นระบบเปิดทำให้อากาศหรือความร้อนภายในห้องสามารถระบายออกสู่สิ่งแวดล้อมได้ เกิดการไหลเวียนดีขึ้นภายในบ้าน ทำให้ผู้อยู่อาศัยรู้สึกถึงสภาวะความสบาย ช่วยประหยัดและลดค่าใช้จ่ายพลังงานไฟฟ้าได้อีกทางหนึ่ง



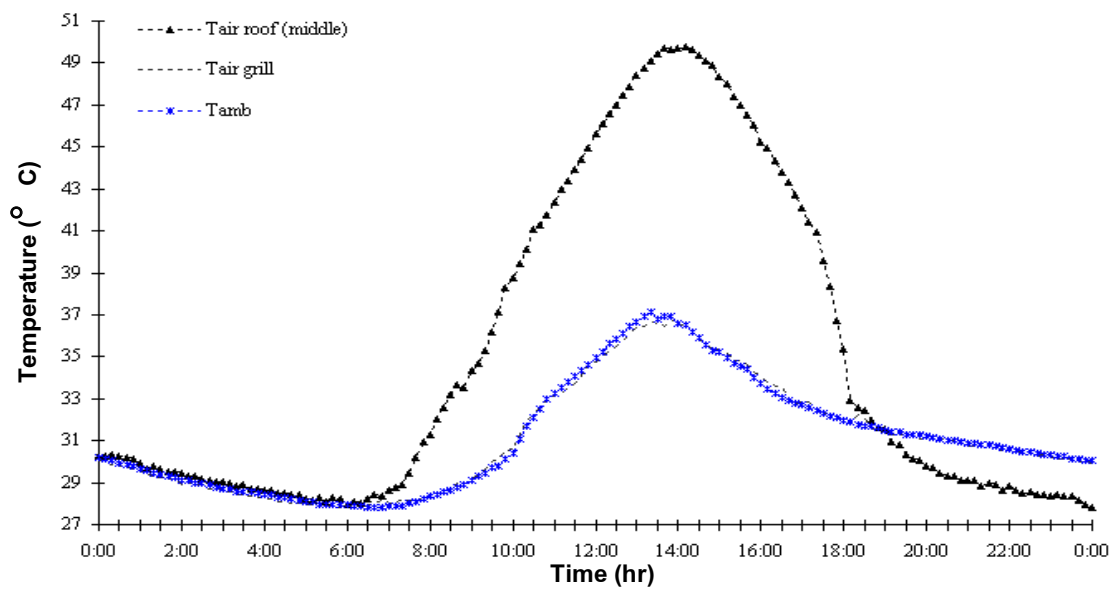
รูปที่ 7 ผลการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิหลังคาของบ้านที่ติดตั้งหลังคา SR
(วันที่ 8 กรกฎาคม 2020)



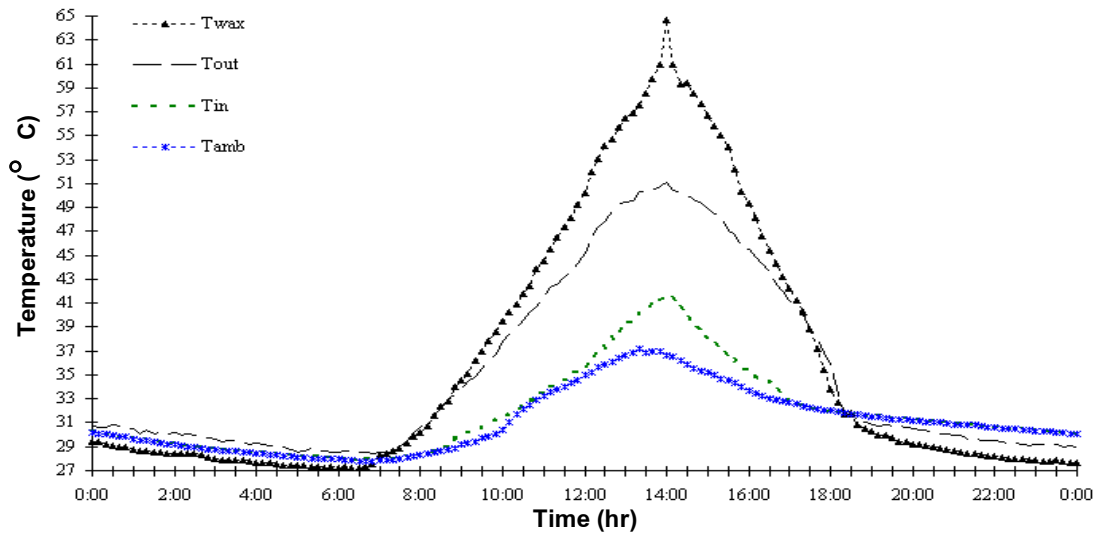
รูปที่ 8 ผลการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอากาศห้องใต้หลังคาของบ้านที่ติดตั้งหลังคา SR
(วันที่ 8 กรกฎาคม 2020)



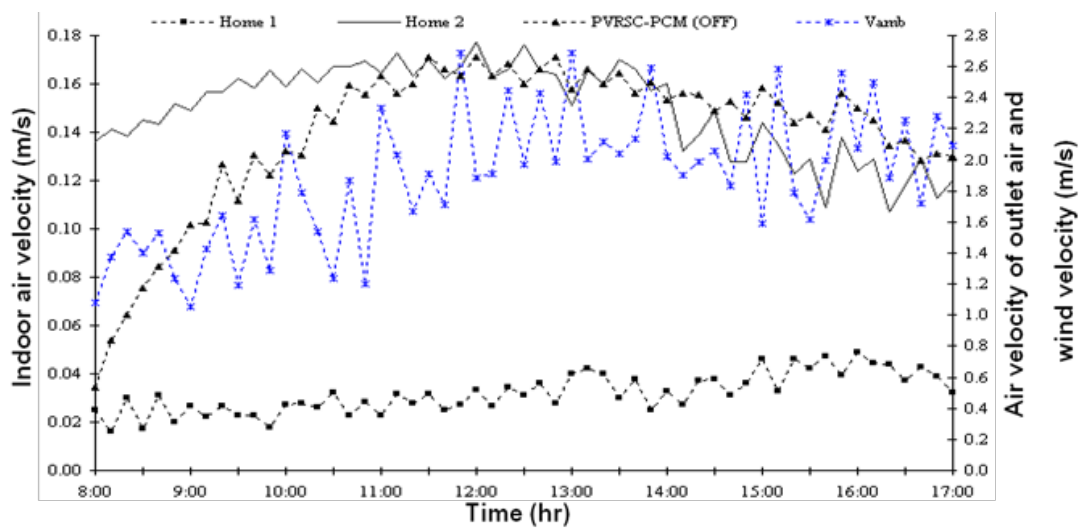
รูปที่ 9 ผลการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิหลังคาของบ้านที่ติดตั้งปล่องหลังคา PVRSC-PCM
(วันที่ 8 กรกฎาคม 2020)



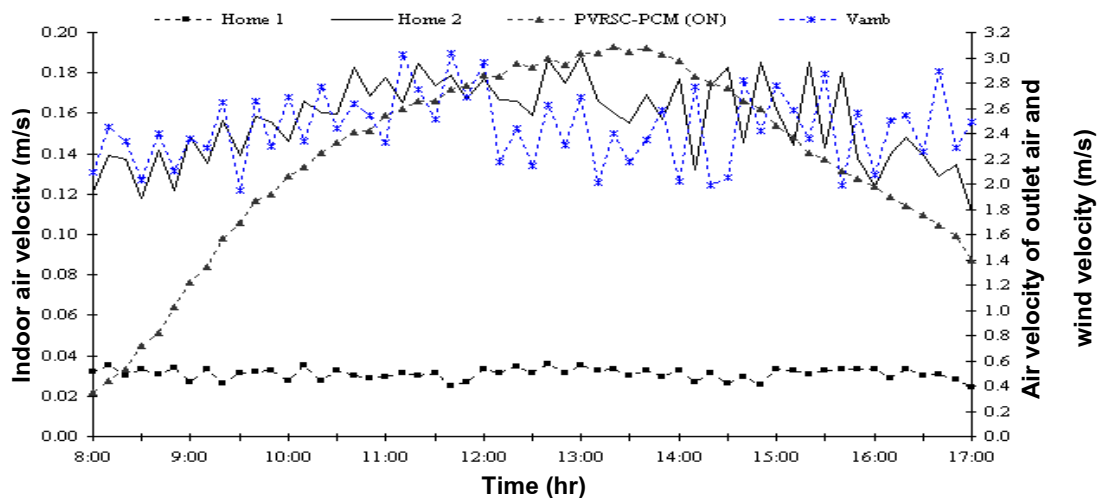
รูปที่ 10 ผลการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอากาศห้องใต้หลังคาของบ้านที่ติดตั้งปล่องหลังคา PVRSC-PCM
(วันที่ 8 กรกฎาคม 2020)



รูปที่ 11 ผลการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของสาร PCM อุณหภูมิอากาศทางเข้าและทางออกของ ปล่องหลังคา PVRSC-PCM (วันที่ 8 กรกฎาคม 2020)



รูปที่ 12 การเปลี่ยนแปลงของความเร็วลมภายในบ้านจำลองทั้งสอง ความเร็วลมออกปล่องหลังคา PVRSC-PCM และความเร็วลมสิ่งแวดล้อม กรณีปิดพัดลมระบายอากาศ (วันที่ 8 กรกฎาคม 2020)



รูปที่ 13 การเปลี่ยนแปลงของความเร็วลมภายในบ้านจำลองทั้งสอง ความเร็วลมออกปล่องหลังคา PVRSC-PCM และความเร็วลมสิ่งแวดล้อม กรณีเปิดพัดลมระบายอากาศ (วันที่ 18 กรกฎาคม 2020)

ผลการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในระหว่างบ้านจำลองทั้งสองหลัง เช่น อุณหภูมิบนหลังคาคอนกรีต อุณหภูมิบนหลังคาใส อุณหภูมิบนแผง PV อุณหภูมิอากาศภายในห้องใต้หลังคา อุณหภูมิบนฝ้าเพดานของหลังคา อุณหภูมิของสาร PCM อุณหภูมิทางเข้าและทางออกห้องใต้หลังคา อุณหภูมิภายในบ้าน อุณหภูมิตรงหน้าต่างบานเกล็ดกระจกใส จากรูปที่ 7-11 พบว่า อุณหภูมิบ้านที่ติดตั้งปล่องหลังคา PVRSC-PCM และหลังคา SR มีค่าสูงกว่าอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมประมาณ $0.5 - 28^{\circ}\text{C}$ (ช่วงเวลากลางวัน) เนื่องจากหลังคาชั้นนอกของบ้านทั้งสองเป็นหลังคาคอนกรีตสีแดง และหลังคาใสเป็นพลาสติกใส ส่งผลให้เกิดการสะสมความร้อนที่ผิวหลังคาเกิดการถ่ายความร้อนผ่านโครงสร้างหลังคาเข้าสู่ภายในบ้านทั้งสอง ข้อเสียของหลังคาคอนกรีตทั่วไปเป็นระบบปิดเกิดการสะสมความร้อนภายในทำให้อุณหภูมิสูงขึ้น และข้อดีของปล่องหลังคา PVRSC-PCM มีโครงสร้างเป็นหลังคาสองชั้นเป็นระบบเปิดเกิดการไหลเวียนภายในห้องเข้าสู่ห้องใต้หลังคาได้เร็วขึ้น ทำให้อากาศหรือความร้อนภายในห้องสามารถระบายออกสู่สิ่งแวดล้อมได้ ส่งผลทำให้อุณหภูมิภายในบ้านลดลง และจากรูปที่ 12 -13 เปรียบเทียบผลของการไหลเวียนของอากาศภายในบ้านจำลองระหว่างบ้านทั้งสองหลัง พบว่าบ้านที่ติดตั้งปล่องหลังคา PVRSC-PCM with DC fan จะมีการไหลเวียนของอากาศภายในที่ความเร็วประมาณ $0.01-0.20 \text{ m/s}$ จะสูงกว่าบ้านที่ติดตั้งหลังคา SR ซึ่งจะมีการระบายอากาศภายในที่ความเร็วประมาณ $0.01-0.045 \text{ m/s}$ ขณะที่บริเวณที่ทำการทดสอบมีความเร็วลมภายนอกประมาณ $1.1-3.0 \text{ m/s}$ และปล่องหลังคา PVRSC-PCM มีการระบายอากาศที่ทางออกของพัดลมกระแสตรงที่ความเร็วประมาณ $0.45-3.12 \text{ m/s}$ ซึ่งจะแสดงให้เห็นได้ว่า ระบบปล่องหลังคา PVRSC-PCM สามารถระบายอากาศได้ ทำให้เกิดการไหลเวียนของอากาศภายในห้องใต้หลังคาและภายในห้องของบ้านพักอาศัย ลดการสะสมความร้อนภายในและระบายอากาศภายในบ้านได้มากขึ้นช่วยประหยัดพลังงานได้อีกทางหนึ่ง

4. สรุปผลการศึกษา

บทความนี้มีวัตถุประสงค์ทำการทดสอบเปรียบเทียบสมรรถนะทางความร้อนและการลดภาระความร้อนระหว่างบ้านจำลองที่ติดตั้งปล่องหลังคาเซลล์แสงอาทิตย์ระบายอากาศร่วมกับสารวัสดุเปลี่ยนแปลงติดตั้งพัดลมไฟฟ้ากระแสตรง (PVRSC-PCM with DC fan) กับหลังคาคอนกรีตทั่วไป (SR) โดยติดตั้งอยู่บนหลังคาหันไปทางทิศใต้ของบ้านจำลอง ที่มีผลต่อการลดการสะสมความร้อนภายในและห้องใต้หลังคาของบ้าน พบว่า อุณหภูมิภายในและห้อง

<http://jeet.siamtechu.net>

ใต้หลังคาของบ้านจำลองและมีค่าความร้อนไหลผ่านหลังคาของบ้านที่ติดตั้งหลังคา SR จะมีค่าสูงกว่าบ้านที่ติดตั้งปล่องหลังคา PVRSC-PCM และทำให้เกิดการไหลเวียนของอากาศภายในห้องช่วยระบายอากาศ จากภายในบ้านสู่สิ่งแวดล้อม เกิดสภาวะความสบายต่อผู้พักอาศัย ช่วยประหยัดพลังงานไฟฟ้า จากการใช้เครื่องปรับอากาศ และช่วยลดปัญหาสิ่งแวดล้อมจากการผลิตไฟฟ้าได้อีกทางหนึ่ง การไหลเวียนของอากาศภายในห้อง ลดการสะสมความร้อนภายในบ้านพักอาศัยและการระบายอากาศภายในบ้านได้มากขึ้นโดยตรง สุดท้ายนี้ PVRSC-PCM with DC fan ช่วยอนุรักษ์พลังงานและรักษาสิ่งแวดล้อม เป็นการส่งเสริมและพัฒนาพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ประโยชน์มากขึ้นต่อไป

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] Chantawong P. Israngkura N A B. Ungkoon Y. Natural ventilation of houses by a Roof Autoclaved Aerated Concrete Solar Chimney Under Hot Humid Climate of Bangkok. *KKU Sci J* 2012; 40:1:83-94. (In Thai).
- [2] Michels C. Lamberts R. Güths S. 2007. Evaluation of heat flux reduction provided by the use of radiant barriers in clay tile roofs. *J Energy and Buildings* 2008;40:4:445–451.
- [3] Khedari J. Sangprajak A. Hirunlabh J. Thailand climatic zones. *J Renewable Energy* 2002;25:2:267–280.
- [4] Chirarattananon S. Chaiwiwatworakul P. Pattanasethanon S. Daylight availability and models for global and diffuse horizontal illuminance and irradiance for Bangkok. *J Renewable Energy* 2002;26:1:69-89.
- [5] Levinson R. Akbari H. Reilly J C. Cool tile-roofed buildings with near-infrared-reflective non-white coatings. *J Building and Environment* 2007;42:7:2591-2605.
- [6] Ogoli D M. Predicting indoor temperatures in closed building with high thermal mass. *J Energy and Buildings* 2003;35:7:851–862.
- [7] Hendron R. Farrar-Nagy S. Reeves P. Hancock E. Thermal performance of unvented attic in hot-dry climates: Results from building America. *J Transactions of the ASME* 2004;126:732-737.
- [8] Khedari J. Hirunlabh J. Bunnag T. Experimental study of a roof solar collector towards the natural ventilation of new houses. *J Energy and Buildings* 1997; 26: 159-164.
- [9] Khedari J. Mansirisub W. Chaima S. Pratinthong N. Hirunlabh J. Field measurements of performance of roof solar collector, *J Energy and Buildings* 2000;31:171-178.
- [10] Chantawong P. Khedari J. Hirunlabh J. Study of cooling load reduction by solar cells attic ventilation of house model under climate of Bangkok. *Ladkrabang Engineering Journal* 2012;29:2:66-71, (In Thai).
- [11] Chantawong P. Vimanjan V. Natural ventilation of houses model by a roof solar cells turbine ventilator assisted with DC fan under climate of Bangkok. *J KMUTNB* 2012;22:2:305-314, (In Thai).
- [12] Chantawong P. Experimental Comparative Study between a Simple Roof Concrete and Roof Solar Cells Chimney Assisted with DC Fan and Life Cycle Cost Analysis. *J KMUTNB* 2013;23:1: 104-114, (In Thai).
- [13] Chantawong P. Investigation of Thermal Performance of Roof Solar Cells Chimney assisted with DC fan Under the Climate of Bangkok. *Ladkrabang Engineering Journal* 2011;28:1:19-24, (In Thai).
- [14] Ok Lee K. A, Medina M, Raith E, Sun X: (2015) "Assessing the integration of a thin phase change material (PCM) layer in a residential building wall for heat transfer reduction and management", *Applied Energy*. 137, pp699-706.

การอบแห้งปลาสดหมักหะครามด้วยเครื่องต้นแบบโดยใช้พลังงานจากแสงอาทิตย์ร่วมกับลมร้อนจากตัวเก็บรังสีอาทิตย์

DRYING OF SNAKESKIN GOURAMI MARINATED IN SUAEDA MARITIMA BY USING SOLAR ENERGY COMBINED WITH HOT AIR FROM SOLAR COLLECTOR

คณิงนิต ปทุมมาเกษร^{1*} วันชลี เพ็งพงศา¹ ดิณฑภพ จุ่มอิน^{2*} และ สายชล ทองคำ³

Kanuengnit Patoommakesorn¹ Wanchalee Pengpongsa¹ Thinnaphop Chum-in^{2*} and Saichon Tongkam³

¹ อาจารย์ประจำสาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิต คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม

¹ Lecturer, Division of Production Technology, Faculty of Science, Chandrakasem Rajabhat University

² Key Laboratory of Thermal Fluid Science and Engineering of MOE, School of Energy and Power Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an, China

³ อาจารย์ประจำสาขาวิชาอาหารและโภชนาการ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม

³ Lecturer, Division of Food and Nutrition, Faculty of Science, Chandrakasem Rajabhat University

* Corresponding author E-mail : Syck59@hotmail.com, thinnaphop@gmail.com Received : 08 January 2021

Revised : 27 April 2021

Accepted : 15 June 2021

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อการออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับลมร้อนจากตัวเก็บรังสีอาทิตย์สำหรับปลาสดหมักหะคราม โดยเครื่องอบแห้งประกอบด้วย 3 ส่วนหลัก ได้แก่ โรงอบแห้งรูปทรงพารา-โบลาขนาดพื้นที่ 3.24 ตารางเมตร ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ขนาดพื้นที่ 1.305 ตารางเมตร และรถเข็นสำหรับใช้คีบปลาสด สำหรับขั้นตอนการทดลองจะนำปลาสดที่หมักด้วยหะครามจำนวน 1 kg ทำการอบแห้งด้วยแสงอาทิตย์ร่วมกับลมร้อนจากตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่ความเร็วลม 1, 2 และ 3 m/s จากการทดลองพบว่าความเร็วที่ 3 m/s จะใช้เวลาในการอบแห้งเร็วสุดที่ 80 นาที โดยปลาสดหมักหะครามมีความชื้นสุดท้ายเท่ากับ 180%db การอบแห้งมีแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่เหมาะสม คือ แบบจำลอง Tow term สมการค่า R² สูงสุดเท่ากับ 0.9925 และ ค่าการลดลงไคกำลังสอง และค่า RMSE ต่ำสุดเท่ากับ 0.0001 และ 0.0044 และเมื่อพิจารณาประสิทธิภาพโดยรวมทางด้านพลังงานของเครื่องอบแห้งจากการใช้พลังงานหลัก 3 ส่วน ได้แก่ (1) พลังงานลมร้อนที่ได้จากตัวเก็บรังสีอาทิตย์ (2) พลังงานแสงอาทิตย์ในส่วนตัวโรงอบแห้ง และ (3) พลังงานไฟฟ้าที่ป้อนให้กับพัดลมสำหรับการหมุนเวียนและการดูดลมร้อนพบว่าเครื่องอบแห้งที่พัฒนาขึ้นครั้งนี้มีประสิทธิภาพโดยรวมทางพลังงานค่าเท่ากับ 18.068%

คำสำคัญ : เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์, หะคราม, ปลาสด

ABSTRACT

This research aims to design and build a solar energy dryer prototype combined with hot air from the solar collector for snakeskin gourami marinated in Suaeda Maritima. The developed dryer consists of 3 main parts, including a drying chamber with an area of 3.24 m², a solar collector with an area of 1.305 m², and a trolley for tipping snakeskin gourami marinated. In the experiment, one kilogram of snakeskin gourami

<http://jeet.siamtechu.net>

marinated in Suaeda was prepared. To study the optimal drying condition, they were dried at different air velocities of 1, 2, and 3 m/s. The results showed that the air velocity of 3 m/s was the fastest drying time of 80 minutes, which snakeskin gourami marinated in Suaeda Maritima has a final moisture content of 180%db. In the drying, two-term equation was the suitable mathematical model in this study. The highest R^2 is 0.9925 and the lowest and RMSE are 0.0001 and 0.0044, respectively. Besides, the energy consumption of the solar dryer was also considered. In this study, the energy sources in the drying process were derived from three parts, including (1) hot air energy from the solar collector, (2) solar energy in the part of the solar chamber, and supplied electrical power to the fan for circulation and suction of hot air. Interestingly, the overall efficiency of energy consumption for the solar dryer was 18.068%.

Keywords: Solar dryer, Suaeda, Snakeskin gourami

1. บทนำ

สำหรับแนวคิดในการออกแบบเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับลมร้อนจากตัวเก็บรังสีอาทิตย์สำหรับปลาสดหมักหะขามในงานวิจัยนี้ เนื่องจากคณะผู้วิจัยได้มีโอกาสไปทำวิจัยร่วมกับชุมชนในเขตอำเภอบ้านแพ้ว จังหวัดสมุทรสงคราม พบปัญหาหลักของเกษตรกรผู้แปรรูปและผู้ค้าปลาสลิด คือ การขาดการวางแผน การผลิตและการแปรรูปที่ดี ความสะอาดและปลอดภัยของปลาสลิดที่เพาะเลี้ยงในพื้นที่ การทำปลาสลิดแดดเดียวด้วยโรงอบพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีในชุมชนเป็นโรงอบแห้งขนาดใหญ่และใช้งานไม่สะดวก ขั้นตอนการอบแห้งจำเป็นต้องพลิกกลับปลาเพื่อให้ปลาแห้งอย่างทั่วถึง ทำให้เกษตรกรต้องทำงานซ้ำ ผลิตรักษะที่ได้ยังแห้งไม่เพียงพอ ซึ่งหากเกษตรกรจำหน่ายไม่หมดก็จะต้องนำมอบแห้งซ้ำอีกรอบ นอกจากนี้โรงอบแห้งยังอาศัยพลังงานจากแสงอาทิตย์เพียงอย่างเดียวทำให้ไม่สามารถอบปลาสลิดได้อย่างต่อเนื่องในกรณีที่มีสภาพดินฟ้าอากาศไม่เอื้ออำนวย หรือมีแดดน้อยในบางวันก็จะทำให้การอบแห้งไม่มีประสิทธิภาพ และอาจทำให้ปลาสลิดเน่าเสียก่อนได้ [1]

การอบแห้งพืชผลทางการเกษตรและอาหารถือเป็นวิธีการถนอมอาหารอย่างหนึ่ง เพื่อให้ผลผลิตทางการเกษตรและอาหารสามารถเก็บรักษาได้ในระยะเวลานาน นอกจากนี้ยังถือเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับผลิตภัณฑ์ได้อีกทางหนึ่ง ที่ผ่านมามีการพัฒนาเครื่องอบแห้งขึ้นมาเป็นจำนวนมาก ดังเช่น ชีรเดช ไชยบุบ และคณะ (2553) [2] ได้พัฒนาเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับไฟฟ้าสำหรับปลา โดยพลังงานหลักมาจากแสงอาทิตย์และใช้ไฟฟ้าเป็นพลังงานเสริม สามารถอบแห้งปลาได้ 50 kg โดยอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 °C โดยใช้เวลา 6 ชั่วโมงในการอบแห้ง มีความสิ้นเปลืองพลังงานเฉพาะในการอบแห้งน้อยสุดเท่ากับ 42.57 MJ/kg H₂O (evap) และมีประสิทธิภาพในการอบแห้ง 5.54% ต่อมาเวียง อากรช และคณะ (2559) [3] ได้ศึกษาการใช้โรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับเครื่องอบลมร้อนแบบชั้นวางสำหรับอบแห้งผักและผลไม้ ซึ่งเป็นโรงอบแห้งขนาดใหญ่ ใช้สำหรับการอบแห้งพริกจำนวน 100 kg จากความชื้นเริ่มต้น 78% ให้เหลือ 12% ซึ่งเป็นการผสมผสานการอบแห้งร่วมกันสองระบบจากแสงอาทิตย์และตู้อบลมร้อน ซึ่งการใช้พลังแสงอาทิตย์ถือเป็นการใช้พลังงานทดแทนที่สะอาดและประหยัดได้อีกทางหนึ่ง นอกจากนี้ยังมีเครื่องอบแห้งแบบกะทัดรัดโดยใช้ตู้อบแห้งแสงอาทิตย์ชนิดอากาศร้อนไหลลง ซึ่งได้รับการพัฒนาโดยวรณัฐ แจ่มสว่าง (2556) [4] เครื่องอบแห้งได้มีการออกแบบให้มีการเพิ่มสมรรถนะทางความร้อนโดยให้มีการอุ่นอากาศภายนอกก่อนเข้าไปยังโรงสะสมความร้อน และจัดรูปแบบการไหลของอากาศแบบกระจายลมร้อน ก่อนเข้าไปยังโรงอบแห้ง จากการทดลองพบว่าอุณหภูมิอากาศร้อนที่จ่ายเข้าไปยังโรงอบแห้งมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นถึง 37% ส่งผลให้อุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ในแต่ละชั้นมีอุณหภูมิไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ จากงานวิจัยดังกล่าวจะพบว่ากรอบการออกแบบและชั้นวางผลิตภัณฑ์ส่วนใหญ่มีหลายชั้นอาจพบปัญหาเรื่องของการกระจายความร้อนที่ไม่ทั่วถึงเท่ากันอีกทั้งถ้าทำการอบแห้งผลิตภัณฑ์ประเภทปลาอาจต้องเพิ่มเวลากลับด้านปลาอีกด้วย

<http://jeet.siamtechu.net>

จากปัญหาที่ได้กล่าวมาข้างต้น และการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับการอบแห้ง คณะผู้วิจัยจึงได้มีแนวคิดที่จะพัฒนาเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีขนาดเล็กลง แต่ประกอบด้วยทั้งหมด 3 ระบบคือ (1) โรงอบแห้งที่เป็นทรงพาราโบลาที่ทำการลดขนาดลงเพื่อให้สามารถใช้งานได้สะดวกและกะทัดรัด เหมาะสำหรับการอบแห้งจำนวนไม่มาก และช่วยให้การกระจายความร้อนได้อย่างทั่วถึงยิ่งขึ้นเมื่อนำลมร้อนเข้าสู่ตู้อบแห้ง (2) ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ (Solar collector) สำหรับการอุ่นลมร้อน เพื่ออุ่นให้อากาศร้อนก่อนนำเข้าสู่โรงอบแห้ง นอกจากนี้วิธีการจัดเรียงปลาสำหรับเข้าสู่ภายในโรงอบแห้งจะทำการแขวนพลาสติกโดยใช้ตะขอเกี่ยวในแนวตั้ง ทำให้ไม่จำเป็นต้องพลิกกลับเนื้อพลาสติก ประหยัดเวลาและลดขั้นตอนในการทำงานลง นอกจากนี้ยังเพิ่มล้อเลื่อนเพื่อให้สามารถเคลื่อนย้ายเข้าออกได้อย่างสะดวก และง่ายต่อการล้างทำความสะอาดได้ง่ายอีกด้วย

2. วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

2.1 เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับลมร้อนจากตัวเก็บรังสีอาทิตย์สำหรับพลาสติกหมักขยะคราม

2.2 เพื่อหาความเร็วลมและระยะเวลาที่เหมาะสมสำหรับการอบแห้งพลาสติกหมักขยะคราม

2.3 เพื่อหาประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้งพลาสติกหมักขยะครามและสร้างแบบจำลองคณิตศาสตร์ของการอบแห้ง

3. วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 วัตถุดิบหลัก

3.1.1 พลาสติก

3.2.2 น้ำใบชะครามตามวิธีการทดลองของ สายชล ทองคำ และศิริวิมล สายเวช [1]

3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

3.2.1 เครื่องชั่งน้ำหนักแบบดิจิตอล OHAUS Valor1000 สำหรับชั่งน้ำหนักของพลาสติกก่อนและหลังการอบแห้ง

3.2.2 เทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple) สำหรับตรวจวัดอุณหภูมิภายในเครื่องอบแห้ง

3.2.3 เครื่องวัดความเร็วลม Anemomaster LITE 6006 วัดความเร็วลมแบบ hot-wire สำหรับวัดความเร็วลมเข้าและออกของเครื่องอบแห้ง

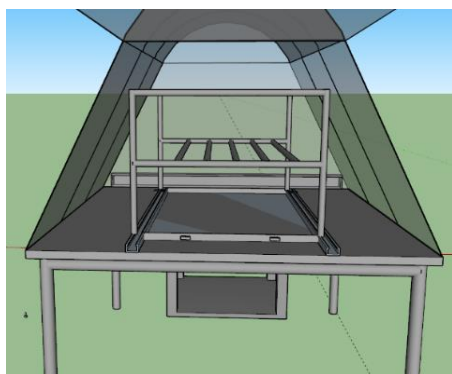
3.2.4 เครื่องวัดความชื้นแบบ Smart Sensor AR867 สำหรับตรวจวัดความชื้นภายในเครื่องอบแห้ง

3.2.5 เครื่องบันทึกข้อมูล เป็นเครื่องบันทึกข้อมูลค่าความชื้น อุณหภูมิสำหรับการทดสอบ

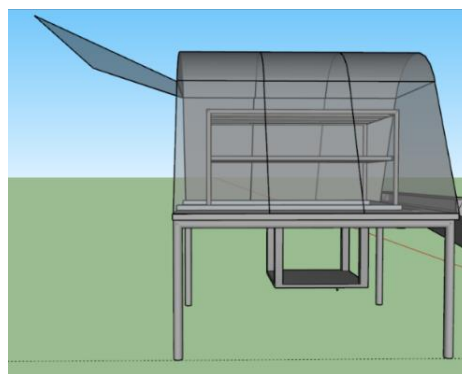
3.2.6 เครื่องวัดอุณหภูมิ Ponpe DT-321S CEM สำหรับวัดอุณหภูมิสภาพแวดล้อม

3.3 การออกแบบเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับลมร้อน

เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับลมร้อนจากตัวเก็บรังสีอาทิตย์ในงานวิจัยนี้ ประกอบไปด้วย 2 ส่วนหลัก คือ โรงอบแห้งรูปทรงพาราโบลาอ้างอิงจากเสริม จันทรฉาย (2560) [7] และตัวเก็บรังสีอาทิตย์ เพื่อที่จะใช้ประโยชน์ได้อย่างเต็มที่จากพลังงานแสงอาทิตย์ นอกจากนี้ผู้วิจัยยังได้ออกแบบรถเข็นสำหรับใช้เป็นราวหนีบพลาสติกหมักขยะคราม โดยใช้วิธีการคิปลาทนการวางในแนวนอน เพื่อแก้ปัญหาความจำเป็นที่จะต้องพลิกกลับปลาในระหว่างการอบแห้ง และได้ทำการใส่ล้อเข้าไปเพื่อเพิ่มความสะดวกสบายให้กับผู้ใช้งานเมื่อต้องการลำเลียงพลาสติกหมักขยะครามเข้าโรงอบแห้ง



(ก) ด้านหน้าของห้องอบแห้ง



(ข) ด้านข้างของห้องอบแห้ง

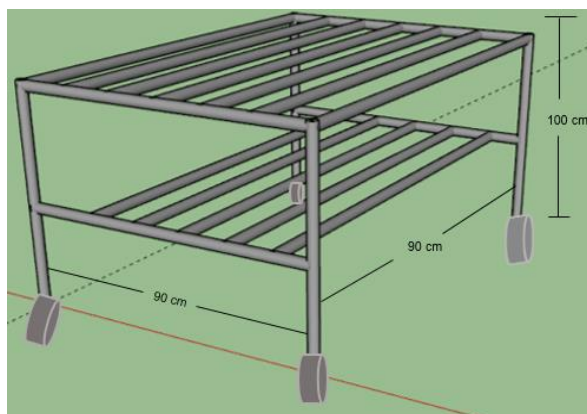


(ค) โรงอบแห้งที่เชื่อมต่อกับตัวเก็บความร้อนพลังงานแสงอาทิตย์

รูปที่ 1 เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับลมร้อนจากตัวเก็บรังสีอาทิตย์

3.3.1 โรงอบแห้ง มีลักษณะเป็นโดมโค้งพาราโบลาทำมุม 58 องศากับฐานอะลูมิเนียม มีขนาด 180x180 cm มีขาตั้งสูง 98 cm ดังรูปที่ 1 โรงอบแห้งออกแบบโดยใช้โครงเหล็กและใช้แผ่นโพลีคาร์บอเนตแบบใส Light Transmission (LT) 83% ขนาดความหนา 5 mm เนื่องจากแผ่นโพลีคาร์บอเนตเป็นฉนวนความร้อนที่ดี มีน้ำหนักเบา และตัดโค้งได้ง่าย ส่วนด้านหน้าโรงอบแห้งทำประตูเปิด-ปิดสำหรับนำผลิตภัณฑ์เข้าและออกได้ ส่วนด้านหลังของโดม เครื่องอบแห้งทำการเชื่อมต่อกับตัวเก็บความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์ ส่วนพื้นของโรงอบแห้งเป็นแผ่นเหล็กชุบมีขนาด 180x180x3 cm

3.3.2 รถเข็นสำหรับแขวนพลาสติกหมักขยะครามเพื่อลำเลียงเข้าสู่โรงอบแห้งทำจากสแตนเลสเพื่อป้องกันการเกิดสนิมเมื่อใช้งานเป็นระยะเวลานาน โดยรถเข็นมีลักษณะเป็นราวแขวน 2 ชั้น ชั้นละ 5 ราว และราวถูกเจาะรูสำหรับที่แขวนไม้หนีบ ราวละ 5 รู ดังรูปที่ 2



(ก) แบบภาพวาดของรถเข็นแขวนพลาสติก



(ข) รถเข็นแขวนพลาสติก

รูปที่ 2 ลักษณะรถเข็นสำหรับแขวนพลาสติกหมักขยะคราม

3.3.3 ตัวเก็บรังสีแสงอาทิตย์ (Solar Collector) ที่มีอากาศเป็นตัวกลางพาความร้อนเข้าโรงอบแห้งด้วยพัดลมเหล็กดูดอากาศขนาด 4 นิ้ว จำนวน 4 ตัว โครงของตัวเก็บความร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ทำจากแผ่นเหล็กหนา 6 mm มีขนาด 145x90x15 cm ส่วนภายในตัวเก็บความร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ถูกแบ่งเป็นชั้น โดยมีกระจกหนา 0.5 cm วางปิดด้านบน ชั้นถัดมาเป็นช่องอากาศร้อนไหลผ่าน 2.5 cm โดยเจาะทะลุให้พอดีกับโรงอบแห้งและติดพัดลมเพื่อดูดอากาศร้อนเข้าโรงอบแห้งได้ ชั้นถัดมาเป็นแผ่นอลูมิเนียมเคลือบด้วยสีดำนว่นขนาด 0.2 cm และชั้นถัดมาเป็นช่องสำหรับใส่ทรายขนาด 10 cm ทั้งนี้มีฉนวนกันความร้อนติดรอบทั้งโครงเหล็ก

3.4 วิธีการทดลอง

3.4.1 การเตรียมพลาสติกหมักขยะคราม

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการเตรียมพลาสติกตามวิธีการของ สายชล ทองคำ และศิริวิมล สายเวช [1] โดยมีขั้นตอนต่างๆ ดังนี้

1. เตรียมส่วนผสมในการผลิตพลาสติกหมักขยะคราม โดยชั่งตวงส่วนประกอบทั้งหมด
2. นำขยะครามเด็ดเอาแต่ใบมาล้างและพักไว้ นำไปบดให้ละเอียดน้ำ 1/2 ถ้วย เพื่อให้ได้เนื้อสัมผัสที่ละเอียดเป็นเนื้อเดียวกัน
3. นำขยะครามที่บดละเอียดไปผสมกับกระเทียม (บด) ร้อยละ 1 พริกไทย (บด) ร้อยละ 0.5 และใส่เกลือทะเลร้อยละ 1 น้ำมันพืช ร้อยละ 0.5 ซอสปรุงรส ร้อยละ 0.5 แล้วนำไปคลุกเคล้ากับพลาสติกที่เตรียมไว้
4. หมักพลาสติกกับเครื่องปรุงทั้งหมด หมักในตู้เย็น 1 คืน
5. นำพลาสติกหมักขยะครามมาล้างน้ำสะอาดและพักไว้ให้สะเด็ดน้ำเพื่อเตรียมนำไปอบแห้ง

3.4.2 การหาความชื้นเริ่มต้นของพลาสติกหมักขยะคราม

การหาความชื้นเริ่มต้นของพลาสติกหมักขยะครามโดยการวิเคราะห์ปริมาณความชื้นเริ่มต้นตามวิธีการ AOAC, 2000

3.4.3 วิธีการอบแห้ง

เริ่มจากการทดสอบการทำงานของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ และดำเนินการทดลองโดยการนำเอาพลาสติกหมักกับขยะครามครั้งละ 1-2 kg จำนวนตัวอย่างของพลาสติกหมักขยะครามที่นำมาทดลองประมาณ 8 ตัว การทดลองทำการทดลองซ้ำ 2 ครั้ง พร้อมทำการศึกษาวงความเร็วลม 1, 2 และ 3 m/s และอุณหภูมิภายในเครื่องอบแห้งจากนั้นจึงทำการอบแห้งไปเรื่อยๆ จนกระทั่งความชื้นสุดท้ายของพลาสติกหมักขยะครามอบแห้งมี

<http://jeet.siamtechu.net>

ความชื้นไม่เกิน 65% มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน “ปลาแดดเดียว” (มผช.298/2557) [5] ในระหว่างทำการทดลองจะดำเนินการเก็บข้อมูลน้ำหนักปลาทุกๆ 20 นาที และนำไปหาค่าความชื้นฐานแห้งตามสมการที่ (1) [4]

$$M_d = \frac{(w - d)}{d} \times 100 \quad (1)$$

เมื่อ M_d = ความชื้นฐานแห้ง (%db) d = มวลแห้งของวัสดุ (kg)
 w = มวลของวัสดุชิ้น (kg)

3.4.3 การตรวจวัด

1. อุณหภูมิภายในโรงอบแห้ง ในงานวิจัยนี้จะทำการเก็บข้อมูลทั้งในโรงอบแห้งและสิ่งแวดล้อม โดยภายในโรงอบแห้งจะทำการวัดอุณหภูมิ โดยทำการควบคุมให้อุณหภูมิในโรงอบแห้งให้มีค่าคงที่ 50-70 °C
2. ความเร็วลม การวัดความเร็วลมภายในโรงอบแห้งจะทำการวัด โดยใช้เครื่องมือ Anemomaster LITE 6006 วัดความเร็วลมแบบ hot-wire
3. ความชื้น การวัดความชื้นของอากาศจะทำการวัดทั้งภายในโรงอบแห้งและสิ่งแวดล้อม โดยใช้เครื่องวัดความชื้นแบบ Smart Sensor AR867 ซึ่งสามารถใช้วัดได้อุณหภูมิและความชื้น 2 เซนเซอร์ ทุกๆ 20 นาที

3.5 ประสิทธิภาพรวมด้านพลังงานของเครื่องอบแห้ง

ค่าของพลังงานความร้อนที่ใช้ออบแห้งเทียบกับมวลน้ำที่ระเหย 1 kg สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2) [2, 6]

$$\text{พลังงานที่ใช้ (MJ/kgH}_2\text{O}_{\text{evp}}) = \frac{\text{พลังงานทั้งหมดในการอบแห้ง (MJ)}}{\text{มวลทั้งหมดที่ลดลง (kg)}} \quad (2)$$

ประสิทธิภาพเครื่องอบแห้ง (%) ประสิทธิภาพเครื่องอบแห้ง หาได้จากพลังงานที่ใช้ในการระเหยน้ำออกจากพลาสติกหมักขยะครามเทียบกับพลังงานทั้งหมดที่ตู้อบแห้งได้รับ ดังสมการที่ (3) [2, 6]

$$\eta = \frac{w \cdot h_{fg}}{Q_E + Q_S + Q_C} \quad (3)$$

เมื่อ η = ประสิทธิภาพเครื่องอบแห้ง (%) Q_E = พลังงานไฟฟ้าสำหรับพัดลมหมุนเวียนอากาศ (MJ)
 w = ปริมาณน้ำระเหย (kg) Q_S = พลังงานแสงอาทิตย์ที่ใช้ในการอบแห้ง (MJ)
 h_{fg} = สัมประสิทธิ์การระเหยของน้ำ (MJ/kg) Q_C = พลังงานที่ได้จากเก็บรังสีอาทิตย์ (MJ)

3.6 การศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการอบแห้ง

งานวิจัยนี้ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการอบแห้ง ซึ่งเป็นสมการการถดถอยไม่เชิงเส้นทั้งหมด (non-regression) [8] ดังตารางที่ 1 สำหรับการหาค่าคงที่แต่ละสมการจะใช้วิธีการ Levenberg–Marquardt (LM) และความสามารถในการประมาณค่าจะใช้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of Determination, R^2) ค่าการลดลงไคกำลังสอง (reduced chi-square, χ^2) และค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error, RMSE)

ตารางที่ 1 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการอบแห้ง

Name of models	Model equation
Newton	$MR = \exp(-kt)$
Page	$MR = \exp(kt^n)$
Henderson and Pabis	$MR = a \exp(-kt)$
Logarithmic	$MR = a \exp(-kt) + c$
Tow term	$MR = a \exp(-k_1 t) + b \exp(-k_2 t)$
Logistic	$MR = a / (1 + \exp(-kt))$

4. ผลการวิจัย

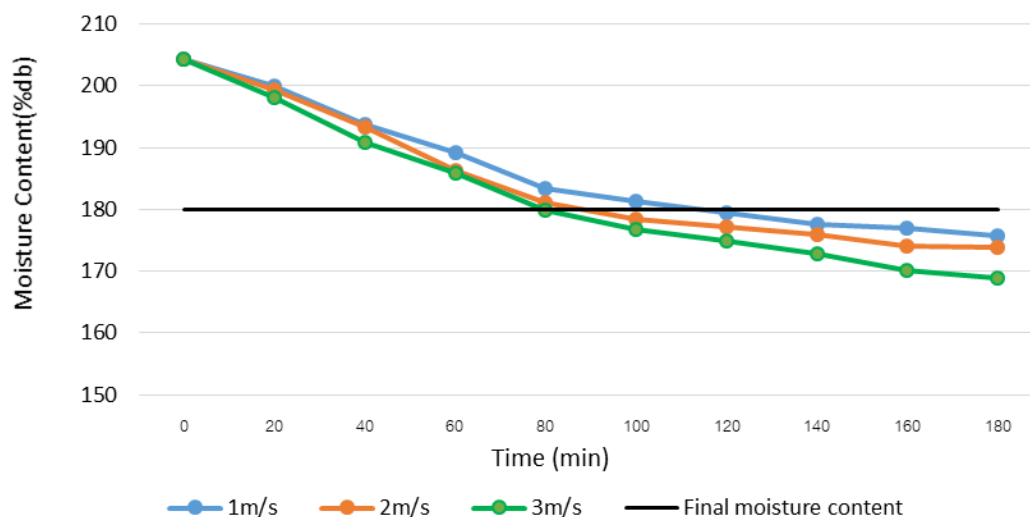
สำหรับงานวิจัยนี้ทำการทดลองในช่วงเวลาระหว่าง 11.00-14.00 น. วันที่ 2 กรกฎาคม 2563 สภาพอากาศโดยทั่วไปมีแดดครึ้มมีเมฆมากแสงแดดน้อยมากหรือบางวันไม่มีแสงแดดเลยระหว่างการทดลอง

4.1 ผลการทดสอบการหาความชื้นเริ่มต้นของพลาสติกหมักขยะคราม

จากการทดลองพบว่าพลาสติกหมักขยะครามมีความชื้นเริ่มต้นแห้งเริ่มต้นประมาณ 191.55 – 217.91%db หรือเฉลี่ยประมาณ 204.73%db สำหรับการทดลองอบแห้งปลาในงานวิจัยนี้จะอบจนกระทั่งได้ความชื้นสุดท้ายอ้างอิงตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน “ปลาแดดเดียว” (มผช.298/2557) [5] ถึงแม้ว่าเมื่อทำการคำนวณแล้วในงานวิจัยนี้พบว่าพลาสติกหมักขยะครามควรมีความชื้นฐานแห้งสุดท้ายอยู่ที่ 185%db แต่ในการทดลองจริงผู้วิจัยได้กำหนดให้ใช้ความชื้นฐานแห้งต่ำกว่า คือ 180%db ซึ่งมีค่าต่ำกว่าที่คำนวณได้

4.2 ผลการทดลองอบแห้งพลาสติกหมักขยะครามสำหรับใช้ทำปลาแดดเดียวโดยใช้เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับลมร้อนจากตัวเก็บรังสี

ในการทดลองอุณหภูมิภายในโรงอบแห้งไม่สามารถทำการควบคุมและปรับตั้งค่าได้เพราะขึ้นอยู่แสงแดดตามธรรมชาติในขณะนั้น ดังนั้นเมื่อทำการวัดอุณหภูมิภายในโรงอบแห้งพบว่ามีค่าเฉลี่ย 51.74-52.18 °C โดยอุณหภูมิแวดล้อมมีค่าเฉลี่ย 29.08-33.14 °C ค่าความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงอบแห้งมีค่าเฉลี่ย 29.08-32.81% การทดลองมีการปรับค่าความเร็วลมที่ 1, 2 และ 3 m/s เพื่อต้องการทราบผลความแตกต่างของค่าความชื้นของพลาสติกที่ลดลงและความแตกต่างของระยะเวลาที่ใช้อบแห้งรวมทั้งต้องสังเกตถึงคุณภาพภายนอกของพลาสติกพร้อมค่าความเร็วลมที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งผลการทดลองการอบแห้งพลาสติกหมักขยะครามโดยใช้เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับลมร้อนจากตัวเก็บรังสีอาทิตย์แสดงในรูปที่ 3 การลดลงของค่าความชื้นในช่วง 80 นาทีแรกพบว่าค่าความชื้นของพลาสติกหมักขยะครามมีการลดลงอย่างรวดเร็ว จากการปรับค่าความเร็วลมที่ 1, 2 และ 3 m/s และพบว่าค่าความเร็วลมที่ 3 m/s มีค่าความชื้นของพลาสติกลดลงเร็วกว่าค่าความเร็วลมอื่น ๆ เนื่องจากการไหลและการถ่ายเทของอากาศเข้าและออกจากเครื่องอบแห้งสามารถลดความชื้นสัมพัทธ์ที่อยู่ภายในห้องอบและตัวพลาสติกได้ดีกว่าจึงทำให้ใช้ระยะเวลาอบแห้งน้อยกว่าความเร็วลมที่ 1 และ 2 m/s ผลการทดลองความชื้นพลาสติกหมักขยะครามมีความชื้นสุดท้ายต่ำกว่า 180%db ที่ช่วงเวลา 80, 100 และ 120 นาทีตามลำดับ ซึ่งจากการทดลองจะพบว่าความเร็วที่ 3 m/s จะใช้ระยะเวลาในการอบแห้งเร็วสุดและเหมาะสม



รูปที่ 3 การเปลี่ยนแปลงความชื้นของพลาสติกหมักขยะครามเมื่อเทียบกับเวลาของการอบแห้ง

4.3 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการอบแห้ง

ค่าคงที่ต่างๆ สำหรับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในงานวิจัยนี้แสดงดังตารางที่ 2 โดยแบบจำลองที่ดีที่สุดสำหรับงานวิจัยนี้คือ แบบจำลอง Tow term โดยมีค่า R^2 สูงสุดเท่ากับ 0.9925 และ ค่าการลดลงไคกำลังสอง และค่า RMSE ต่ำสุดเท่ากับ 0.0001 และ 0.0044 ตามลำดับ

ตารางที่ 2 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการอบแห้งของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับตัวเก็บรังสีอาทิตย์

Name of Models	Constants							R^2	RMSE	χ^2
	a	b	c	k	k_1	k_2	n			
Newton				0.00112				0.9124	0.0186	0.0020
Page				0.00642			0.64079	0.9618	0.0100	0.0006
Henderson and Pabis	0.97974			0.00095				0.9101	0.0153	0.0013
Logarithmic	0.18049	0.18523	0.82474	0.0122				0.9876	0.0057	0.0002
Tow term	0.81766				0.00318	-0.0041		0.9925	0.0044	0.0001
Logistic	1.95429			-0.0017				0.8985	0.0163	0.0015

4.4 พลังงานที่ใช้ออบแห้งและประสิทธิภาพโดยรวมเครื่องอบแห้ง

จากการทดลองพบว่าเครื่องอบแห้งมีการใช้พลังงานทั้งหมด 3 ส่วนหลัก ได้แก่ (1) พลังงานลมร้อนที่ได้จากตัวเก็บรังสีอาทิตย์ (2) พลังงานแสงอาทิตย์ในส่วนตัวโรงเรือนอบแห้ง และ (3) พลังงานไฟฟ้าที่ป้อนให้กับพัดลมสำหรับการหมุนเวียนและการดูดลมร้อน โดยประสิทธิภาพทางด้านพลังงานในส่วนที่ (1) และ (2) มีค่าเท่ากับ 72.788% และ 27.703% ตามลำดับ สำหรับประสิทธิภาพโดยรวมเครื่องอบแห้งสำหรับงานวิจัยนี้มีค่าเท่ากับ 18.068% ข้อมูลทางด้านพลังงานได้ถูกระบุไว้ในตารางที่ 3

Parameters	Values
1. Solar collector	
Energy input (MJ)	5.278
Energy output (MJ)	3.842
Collector Efficiency (%)	72.788
2. Drying section	
Energy input (MJ)	13.104
Energy output (MJ)	3.630
Drying efficiency (%)	27.703
3. Other inputs energy	
Electrical energy (MJ)	1.711
4. Output-output dryer (MJ)	3.630
Overall drying efficiency (%)	18.068

5. สรุปผลการวิจัย

การพัฒนาเครื่องต้นแบบอบแห้งพลังงานแสงร่วมกับลมร้อนจากตัวเก็บรังสีอาทิตย์สำหรับการอบพลาสติกหมักขยะครัวในครั้งนี้ พบว่าอุณหภูมิภายในโรงอบแห้งมีค่าเฉลี่ย 51.74-52.18 °C สำหรับการอบแห้งพลาสติกหมักขยะครัวจำนวน 1 kg พบว่าความเร็วลมที่ 3 m/s จะใช้เวลาในการอบแห้งเร็วสุด คือ 80 นาที โดยพลาสติกหมักขยะครัวแดดเดียวยังคงมีคุณภาพที่ดี และมีแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่เหมาะสม คือ แบบจำลอง Tow term โดยมีค่า R^2 สูงสุดเท่ากับ 0.9925 และ ค่าการลดลงไคกำลังสอง χ^2 และค่า RMSE ต่ำสุดเท่ากับ 0.0001 และ 0.0044 เครื่องอบแห้งมีการใช้พลังงานจากทั้งหมด 3 ส่วน ได้แก่ พลังงานลมร้อนที่ได้จากตัวเก็บรังสีอาทิตย์พลังงานแสงอาทิตย์ในส่วนของโรงอบแห้ง และพลังงานไฟฟ้าที่ป้อนให้กับพัดลมสำหรับการหมุนเวียนและการดูดลมร้อน โดยพลังงานจากตัวเก็บรังสีอาทิตย์และโรงอบแห้ง มีประสิทธิภาพทางพลังงานเท่ากับ 72.788% และ 27.703% ตามลำดับ และเครื่องอบแห้งมีประสิทธิภาพโดยรวมสำหรับงานวิจัยนี้เท่ากับ 18.068%

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้เป็นโครงการที่จัดทำขึ้นโดยได้รับการสนับสนุนจากเงินงบประมาณรายได้ประจำปี 2562 มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม และขอขอบคุณผู้ทรงคุณวุฒิ สถาบันวิจัยและพัฒนาที่คอยให้ข้อเสนอเพื่อปรับปรุงแก้ไข รวมทั้งทีมงานวิจัยที่ร่วมทำงานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] สายชล ทองคำ และศิริวิมล สายเวช. (2560). การพัฒนาผลิตภัณฑ์พลาสติกแดดเดียวหมักขยะครัว. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม.
- [2] วีระเดช ใหญ่บึก และคณะ. (2553). การพัฒนากระบวนการอบแห้งปลาด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์-ไฟฟ้าภายใต้สภาพภูมิอากาศภาคใต้ของประเทศไทย, วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ, 12 (3): 109 – 118.

<http://jeet.siamtechu.net>

- [3] เวียง อากรชี่ และคณะ. (2559). การศึกษาการใช้โรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับเครื่องอบลมร้อนแบบชั้นวางสำหรับอบแห้งผักและผลไม้. วารสารวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย, 22 (1): 39 – 45.
- [4] วรณัฐ แจ่มสว่าง. (2556). ตู้อบแห้งแสงอาทิตย์ชนิดอากาศร้อนไหลลงแบบกะทัดรัด. วิศวกรรมสารฉบับวิจัยและพัฒนา. 24 (1): 37 – 41.
- [5] กระทรวงอุตสาหกรรม. มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน “ปลาแดดเดียว” (มผช.298/2557). [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก <https://www.tistr.or.th/tistrblog/wp-content/uploads/2018/06/25.pdf> (10 ก.ย. 2563).
- [6] กลยุทธ์ ดีจริง และ เอกสิทธิ์ สุทธิระพินทุ. (2561). “การอบแห้งรังไหมด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดรับรังสีอาทิตย์แบบผสม”: จลนพลศาสตร์การอบแห้ง สมรรถนะเครื่องอบแห้ง และสมบัติเชิงกลของเส้นไหมดิบ”. วารสารเกษตรพระวรุณ, 15(1): 216-228.
- [7] เสริม จันทร์ฉาย. (2560). เทคโนโลยีอบแห้งพลังงานรังสีอาทิตย์. พิมพ์ครั้งที่ 1. นครปฐม : บริษัทเพชรเกษมพรินติ้ง จำกัด.
- [8] Hii, C.L., C.L. Law, and M. Cloke. (January 2009). “Modeling using a new thin layer drying model and product quality of cocoa.” Journal of Food Engineering, 90(2): 191-198.

การใช้เครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อนสำหรับอบแห้งดอกเก๊กฮวย

HEAT PUMP OVEN FOR DRYING CHRYSANTHEMUM FLOWER

ธนพล แสงสุวรรณ

Thanapon Saengsuwan

คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย

Faculty of Industrial Technology Chiang Rai Rajabhat University

Received : 03 February 2021

Revised : 23 May 2021

Accepted : 15 June 2021

* Corresponding author E-mail : thanapons@gmail.com

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการใช้เครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อนสำหรับอบแห้งดอกเก๊กฮวย วิธีการศึกษาคือ (1) ทดลองอบแห้งผลิตภัณฑ์เพื่อศึกษาข้อมูลการใช้พลังงาน เวลาการอบแห้ง ความชื้น และ (2) วิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมเช่น อัตราคืนทุน มูลค่าปัจจุบันสุทธิ อัตราผลตอบแทนภายใน ผลการวิจัยพบว่าเครื่องอบแห้งดอกเก๊กฮวยด้วยเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อนสามารถอบแห้งดอกเก๊กฮวยให้มีความชื้นให้ต่ำกว่าร้อยละ 5 ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ที่ผู้ประกอบการต้องการ การอบแห้งที่อุณหภูมิ 65 °C เป็นช่วงอุณหภูมิที่ดีที่สุดที่สามารถลดความชื้นของการอบแห้งดอกเก๊กฮวยให้ได้ตามมาตรฐานโดยใช้เวลา 8 ชั่วโมงใช้พลังงานในการอบแห้งเท่ากับ 1.09 kWh และความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมพบว่าเมื่ออัตราการคืนทุนที่คิดอัตราคิดลดที่ร้อยละ 3.00 เท่ากับ 3 เดือน 21 วัน และถ้าคิดอัตราคิดลดที่ร้อยละ 6.76 เท่ากับ 3 เดือน 27 วัน และมีมูลค่าปัจจุบันสุทธิเป็นบวก อัตราผลตอบแทนภายในมากกว่าอัตราดอกเบี้ยธนาคาร ค่าอัตราผลตอบแทนต่อผลลงทุนอยู่ในเกณฑ์ดี ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการลงทุนใช้ตู้อบแห้งแบบปั๊มความร้อนในการอบแห้งดอกเก๊กฮวยนั้นมีความเหมาะสมในการลงทุน และการวิเคราะห์ความอ่อนไหวในการลงทุนในกรณีต้นทุนเพิ่มร้อยละ 30 และผลตอบแทนลดลงร้อยละ 30 พบว่าการลงทุนยังเหมาะสม ผลจากการศึกษานี้สามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานเพื่อประกอบการพิจารณาในการลงทุนในการใช้เครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อน และเสนอแนะเป็นนโยบายในการส่งเสริมให้ใช้เครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อนในการอบแห้งผลผลิตทางการเกษตร

คำสำคัญ : เครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อน, การอบแห้ง, ดอกเก๊กฮวย

ABSTRACT

This search aims to studies used heat pump drying oven for dried chrysanthemum flowers. Research method were (1) experiment of dried chrysanthemum flowers for measurement energy consumption, drying time, moisture and (2) analyze engineering economic value such as the payback period, net present value, internal rate of return. The result show that dried chrysanthemum flowers by heat pump drying oven can reduced product moisture lower than 5 % follow entrepreneur requirement. The optimum temperature was 65 °C while 8 hours and consume energy about 1.091 kWh/hr for drying process. The economic analysis found that ROI was 3 months 21 days counted by 3.00% of discount rate and 3 months 27 days was 6.76% of discount rate. Net present value was shown positively, IRR was more than present interest rate and benefit

<http://jeet.siamtechu.net>

cost analysis have more value than 1 point which shows that the investment of heat pump drying oven is reasonable for investment and sensitivity analysis for investment in case of a 30% cost increased and a 30% return on investment decreased, it is found that the investment is also suitable and worth. Therefore, all data from analysis can be used for making decision to investment in heat pump drying oven for dried chrysanthemums.

Keywords: Heat Pump Drying Oven, Drying, Chrysanthemum flower

1. บทนำ

การปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์เป็นพืชที่มีสถิติอัตราการเติบโตของผลิตภัณฑ์เป็นอันดับสองของจังหวัดเชียงราย รองจากการปลูกข้าว และจากข้อมูลของสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตรพบว่า ตั้งแต่ปี 2553-2556 จังหวัดเชียงราย มีพื้นที่การปลูกข้าวโพด จำนวน 456,731 ไร่, 482,469 ไร่, 482,089 ไร่ และ 457,990 ไร่ ตามลำดับ การเพาะปลูกข้าวโพดเพียงอย่างเดียวในพื้นที่เดิม ทำให้เกิดผลกระทบในหลายๆ ด้าน ได้แก่ การพังทลายของหน้าดิน ปัญหาหมอกควันจากการเผา การย้ายถิ่นฐานจากการทำไร่เลื่อนลอย เกิดภาระหนี้สินเนื่องจากการเพาะปลูกโดยไม่รู้ต้นทุนที่แท้จริง [1]

พืชที่จะนำมาปลูกทดแทนการปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์จะต้องสร้างรายได้ให้กับเกษตรกรได้ และวิธีการปลูก การดูแลรักษา การขยายพันธุ์ไม่ซับซ้อน พบว่าต้นเก๊กฮวยมีเหมาะสมที่สุดในระยะแรกที่จะนำไปปลูกเนื่องจาก ต้นเก๊กฮวยเป็นพืชที่ปลูกง่าย และขยายพันธุ์ได้ง่ายตามธรรมชาติ ต้นเก๊กฮวยสามารถปรับตัวได้ดี ทนต่อโรคและแมลงศัตรูพืช ไม่ต้องใช้ปุ๋ยเคมีและสารเคมีกำจัดศัตรูพืช และให้ผลผลิตเร็ว (6 เดือน) และมีผลตอบแทนสูง (กิโลกรัมละ 500-1,000 บาท) [2]

จากการส่งเสริมการปลูกเก๊กฮวยในพื้นที่จังหวัดเชียงราย ซึ่งผลผลิตจะออกช่วงปลายปีและใช้เวลาในการเก็บเกี่ยวผลผลิตนาน 4 เดือน ทำให้มีผลผลิตดอกเก๊กฮวยสดออกมาจำนวนมากในรอบปี จึงได้มีการส่งเสริมการแปรรูปเก๊กฮวยดอกสดด้วยการอบแห้งเพื่อเพิ่มมูลค่าและยืดอายุของผลผลิต วิธีการอบแห้งส่วนมากใช้วิธีการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบใช้แก๊ส (LPG) แต่ปัญหาการอบแห้งด้วยแก๊สจะทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีกลิ่นของแก๊สที่ติดมากับผลิตภัณฑ์ และการบริหารจัดการเรื่องต้นทุนในการขนส่งและจัดเก็บแก๊สทำให้มีต้นทุนที่สูงขึ้น จึงได้มีการเฝ้าระวังแนวคิดการทำเครื่องอบแห้งแบบบีบความร้อนมาใช้ในการอบแห้งดอกเก๊กฮวย โดยใช้หลักการไล่ความชื้นในผลิตภัณฑ์และให้อัตราการประหยัดพลังงานที่ค่อนข้างดี ดังนั้นจึงนำเอาหลักการมาอบแห้งแบบบีบความร้อนมาใช้แทนการอบแห้งแบบแก๊ส

เครื่องอบแห้งแบบบีบความร้อนจะใช้ประโยชน์จากความร้อนที่แหล่งความร้อนที่มีอุณหภูมิต่ำเช่น ความร้อนในอากาศหรือแหล่งความร้อนสูญเสียซึ่งไม่สามารถนำกลับมาใช้ได้ด้วยกระบวนการแลกเปลี่ยนความร้อนตามปกติ มาทำให้มีอุณหภูมิสูงขึ้นจนสามารถนำกลับมาใช้ได้ ระบบบีบความร้อนทั่วไปมีค่า COP (Heating) เท่ากับ 3 โดยที่ใช้พลังงานไฟฟ้าป้อนเข้าไปที่คอมเพรสเซอร์เพียง 1 ส่วน สามารถสร้างความร้อนได้ถึง 3 ส่วน ซึ่งเป็นการดึงพลังงานความร้อนอีก 2 ส่วนมาจากอากาศภายนอกหรือความร้อนสูญเสียจากกระบวนการอื่น ดังนั้นบีบความร้อนจึงเป็นเทคโนโลยีที่มีประสิทธิภาพด้านพลังงานสูงสำหรับการทำความร้อน และสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการกระบวนการทำงานต่างๆ ได้แก่ การอบแห้งเพื่อไล่ความชื้นในผลิตภัณฑ์ต่างๆ ซึ่งประหยัดพลังงานอย่างมาก [3,4]

การนำเครื่องอบแห้งแบบบีบความร้อนมาใช้ในการอบแห้งเก๊กฮวยมีความเป็นไปได้ในการนำมาใช้งาน เนื่องจากการอบแห้งดอกเก๊กฮวยต้องการความร้อนในการอบแห้งที่ 50 - 70 องศาเซลเซียส ซึ่งสอดคล้องกับหลักการของบีบความร้อนที่เป็นการดูดความชื้นในผลิตภัณฑ์ด้วยอุณหภูมิที่ไม่เกิน 70 องศาเซลเซียส แต่การลงทุนเครื่องอบแห้งบีบความร้อนมีการลงทุนที่สูงกว่าการใช้เครื่องอบแห้งแบบแก๊สถึงสองเท่าจึงต้องมีการพิจารณาความเป็นไปได้ใน

<http://jeet.siamtechu.net>

การอบแห้งดอกเก๊กฮวยที่ใช้เครื่องอบแห้งแบบบั้งความร้อน [2] จากเหตุผลข้างต้นจึงได้มีแนวคิดในการศึกษาการนำเครื่องอบแห้งแบบบั้งความร้อนมาใช้ในการอบแห้งดอกเก๊กฮวยเพื่อใช้เป็นข้อมูลในการตัดสินใจใช้งานเครื่องอบแห้งแบบบั้งความร้อนในการอบดอกเก๊กฮวย

2. วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. ศึกษาการใช้เครื่องอบแห้งแบบบั้งความร้อนสำหรับอบแห้งดอกเก๊กฮวย
2. วิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมในการใช้เครื่องอบแห้งแบบบั้งความร้อนสำหรับอบแห้งดอกเก๊กฮวย

3. วิธีการดำเนินงานวิจัย

- 1 ศึกษาการใช้เครื่องอบแห้งแบบบั้งความร้อนในการอบแห้งดอกเก๊กฮวยร่วมกับกลุ่มเกษตรกรและผู้ประกอบการ

- 1.1 ทำการทดลองเพื่อทำการทดสอบประสิทธิภาพเครื่องอบแห้งแบบบั้งความร้อนในการอบแห้งดอกเก๊กฮวย ร่วมกับกลุ่มเกษตรกรและผู้ประกอบการ



รูปที่ 1 เก๊กฮวยที่อบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบบั้งความร้อน

- 1.2 ทำการอบแห้งดอกเก๊กฮวยที่อุณหภูมิ 60, 65, 70 องศาเซลเซียส เพื่อให้ได้ดอกเก๊กฮวยอบแห้งที่มีความชื้นต่ำกว่าร้อยละ 5

- 1.3 เก็บข้อมูลการใช้พลังงาน ความชื้น และระยะเวลาอบแห้งดอกเก๊กฮวย

- 2 วิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

- 2.1 เก็บข้อมูลพื้นฐานที่ต้องใช้ในการวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์ (ต้นทุน, ผลตอบแทน, อัตราดอกเบี้ย) จากกลุ่มเกษตรกรและผู้ประกอบการ

<http://jeet.siamtechu.net>

2.2.1 มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (net present value: NPV) คือ การนำค่าใช้จ่ายมาหักออกจากผลประโยชน์ เพื่อให้ได้ผลตอบแทนในแต่ละปี แล้วปรับค่าเวลาด้วยค่า Preset worth factor ได้มูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทนสุทธิ เมื่อนำมาหักรวมกันทุกปีจะได้มูลค่าปัจจุบันสุทธิของโครงการ [5]

2.2 วิเคราะห์ข้อมูลตามตัวแปรทางเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม ที่เก็บข้อมูลจากกลุ่มเกษตรกรและผู้ประกอบการ

$$NPV = \sum_{n=1}^N CF_n / (1+d)^n \quad (1)$$

NPV = มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (บาท)

2.2.2 อัตราผลตอบแทนภายใน (internal rate of return: IRR) คือการทำการหักผลตอบแทนของโครงการด้วยค่าใช้จ่ายเป็นปี ๆ ไปจนตลอดอายุโครงการเพื่อให้ได้ผลตอบแทนสุทธิแต่ละปี หรือกระแสเงินสด (cash flow) ในแต่ละปี [5]

$$NPV = \sum_{n=1}^N CF_n / (1+IRR)^n = 0 \quad (2)$$

IRR = อัตราผลตอบแทนภายใน

2.2.3 อัตราผลตอบแทนจากการลงทุน (benefit cost ratio: BCR) คือการหาอัตราส่วนของผลตอบแทนกับมูลค่าปัจจุบันของค่าใช้จ่ายทั้งหมดตลอดอายุโครงการ [5]

$$BCR = \sum_{n=1}^N B_n / (1+d)^n / \sum_{n=1}^N C_n / (1+d)^n \quad (3)$$

BCR = อัตราผลตอบแทนจากการลงทุน, B_n = รายได้ในปีที่ n (บาท), C_n = ต้นทุน/รายจ่ายในปี n (บาท)

2.2.4 ระยะเวลาคืนทุนปกติ (simple payback period: PB) คือ ระยะเวลาที่ผลตอบแทนสุทธิของโครงการ (net inflow) มีค่าเท่ากับค่าใช้จ่ายในการลงทุนของโครงการ (investment costs) พอดี โดยไม่คำนึงถึงมูลค่าของเงินที่เปลี่ยนตามระยะเวลา [6]

$$PP = PLNCF + (CCFLNCF / CFLNCF+1) \quad (4)$$

PP = ระยะเวลาคืนทุน, PLNCF = จำนวนปีก่อนที่จะได้คืนทุนครบ, PLNCF = เงินส่วนที่ยังไม่คืนทุน, CFLNCF+1 = กระแสเงินสดรับสุทธิในปีที่คืนทุน

2.2.5 การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของโครงการ (sensitivity analysis) คือการวิเคราะห์มูลค่าของโครงการอีกครั้งโดยการศึกษาจากปัจจัยที่มีผลกระทบต่อโครงการในเงื่อนไขต่าง ๆ ที่เปลี่ยนแปลงตามสมภาวะการณ์ที่คาดหมาย เช่น ต้นทุนโครงการที่เพิ่มขึ้น รายได้จากโครงการที่ลดลง [6,7,8]

4. ผลการวิจัย

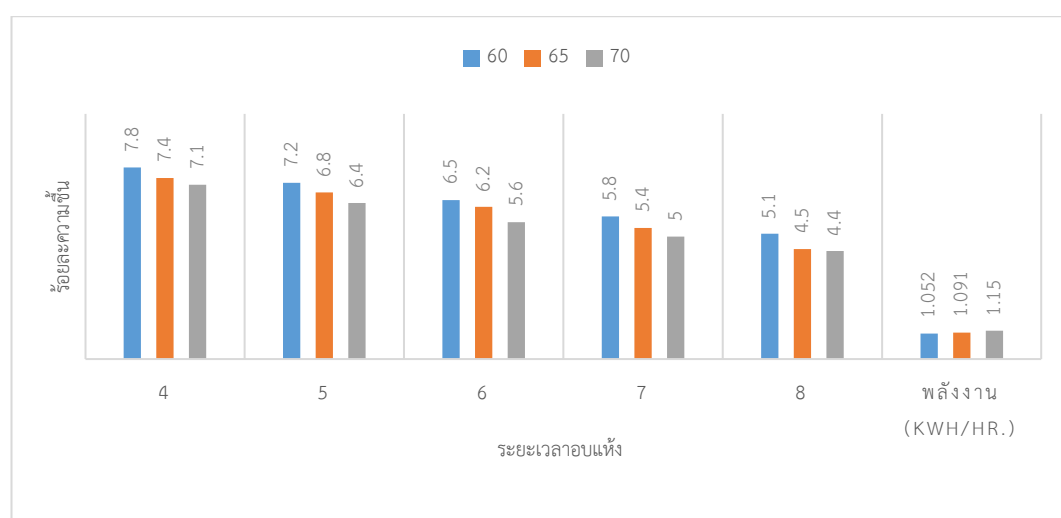
1. ผลการศึกษาการใช้เครื่องอบแห้งแบบบีบความร้อนในการอบแห้งดอกเก๊กฮวย

ตารางที่ 1 แสดงค่าร้อยละความชื้น ระยะเวลา และการใช้พลังงานจากการทดลองอบแห้งดอกเก๊กฮวย

ระยะเวลาในการอบ (ชั่วโมง)	อุณหภูมิ (°C)		
	60	65	70
4	7.80	7.40	7.10
5	7.20	6.80	6.40
6	6.50	6.20	5.60
7	5.80	5.40	5.00
8	5.10	4.5	4.40
การใช้พลังงานเฉลี่ย (kWh/hr.)	1.05	1.09	1.15



รูปที่ 2 ผลการศึกษากระบวนการอบแห้งเก๊กฮวยที่อุณหภูมิต่างๆ



รูปที่ 3 แสดงร้อยละความชื้นต่อระยะเวลาอบแห้ง

<http://jeet.siamtechu.net>

จากตารางที่ 1 และรูปที่ 3 พบว่า การอบแห้งดอกเก๊กฮวยด้วยเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อนสามารถอบแห้งดอกเก๊กฮวยโดยการลดความชื้นให้ต่ำกว่าร้อยละ 5 ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ของผู้ประกอบการต้องการ โดยที่อุณหภูมิ 65 °C เป็นช่วงอุณหภูมิที่ดีที่สุดที่สามารถลดความชื้นของการอบแห้งดอกเก๊กฮวยให้ได้ตามมาตรฐานโดยใช้เวลา 8 ชั่วโมง ใช้พลังงานในการอบแห้งเท่ากับ 1.09 kWh/hr. และคิดค่าไฟฟ้าได้เท่ากับ 37.62 บาท ต่อการอบแห้ง 68 กิโลกรัมดอกสด

2. ผลการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม

วิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมของการใช้เครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อนในการอบแห้งดอกเก๊กฮวย สามารถวิเคราะห์ข้อมูล ได้ดังนี้

2.1 ต้นทุน และผลตอบแทน

ตารางที่ 2 ข้อมูลการใช้เครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อนในการอบแห้งดอกเก๊กฮวย

อุณหภูมิในการอบแห้ง	65°C
เวลาในการอบแห้ง	8 ชั่วโมง โดยเฉลี่ย
ปริมาณดอกเก๊กฮวยสด	68 กิโลกรัม/1 ครั้งการอบแห้ง
ปริมาณดอกเก๊กฮวยแห้งความชื้นร้อยละ 5	9.00 กิโลกรัม/ 1 ครั้งการอบแห้ง
ราคาดอกเก๊กฮวยแห้ง	500 บาท/กิโลกรัม
การอบดอกเก๊กฮวย 1 ชั่วโมงใช้ไฟฟ้าประมาณ	1.09 kWh
ค่าไฟฟ้า	4.31 บาท/หน่วย
ต้นทุนเครื่องแห้งแบบปั๊มความร้อน	150,000 บาท
ค่าบำรุงรักษา	3,000 บาท/ปี
ราคาดอกเก๊กฮวยสด	30 บาท/กิโลกรัม
การอบแห้ง	2 รอบ/วัน (ครั้งละ 8 ชั่วโมง เวลา 6 เดือน)

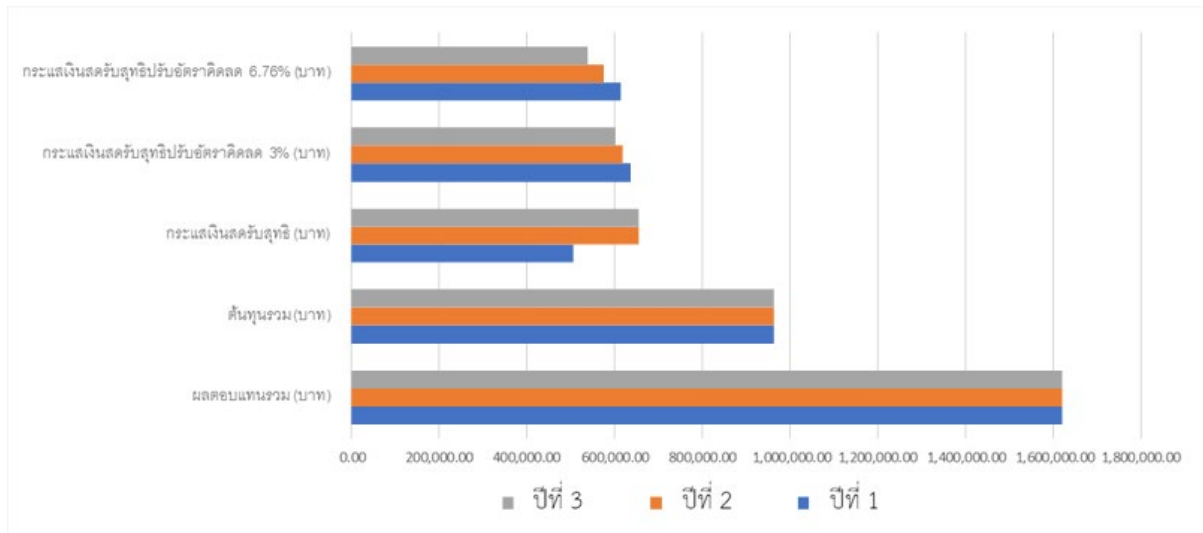
ตารางที่ 3 แสดงต้นทุน และผลตอบแทนของการอบแห้งดอกเก๊กฮวยด้วยเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อน

รายการ	ราคา (บาท)
ต้นทุนเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อน	150,000.00
รวม	150,000.00
รายจ่ายในการผลิตเก๊กฮวยอบแห้ง	
ต้นทุนเก๊กฮวยสด (ต่อปี)	734,400.00
ต้นทุนค่าไฟฟ้า คัดจากการอบแห้ง 6 เดือน 2 รอบ/วัน (ต่อปี)	1,692
ต้นทุนแรงงาน (รวมเจ้าของ) (2 คน x 300 บาท x 30 วัน x 6 เดือน)	108,000.00
ค่าบำรุงรักษาและค่าใช้จ่ายอื่นๆ	120,000.00
รวม	964,092.80
รายรับในการขายเก๊กฮวยอบแห้ง	
เก๊กฮวยอบแห้ง (ต่อปี)	1,620,000.00
รวม	1,620,000.00

<http://jeet.siamtechu.net>

2.2 วิเคราะห์อัตราการลงทุน

ผลการวิเคราะห์ผลตอบแทน ต้นทุน และอัตราต้นทุน โดยใช้อัตราผลตอบแทน 2 กรณีคือ (1) กรณีเอกชนสูญเสียโอกาสโดยคิดจากการอัตราดอกเบี้ยพันธบัตรออมทรัพย์ของกระทรวงการคลังประกาศเมื่อ 14 พฤษภาคม 2563 เฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 3 [9] และ (2) กรณีกู้ยืมเงินตามอัตราดอกเบี้ยเงินกู้เรียกเก็บดอกเบี้ยลูกค้าชั้นดีของธนาคารพาณิชย์ (MRR) เท่ากับร้อยละ 6.76 [9] พบว่า อัตราการลงทุนถ้าไม่คิดอัตราดอกเบี้ยเครื่องอบแห้งแบบบั้ง ความร้อนจะมีการลงทุนอยู่ที่ 3 เดือน 17 วัน ถ้าคิดอัตราดอกเบี้ยที่ร้อยละ 3.00 อยู่ที่ 3 เดือน 21 วัน และถ้าคิดอัตราดอกเบี้ยที่ร้อยละ 6.76 อยู่ที่ 3 เดือน 27 วัน ดังแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 ผลตอบแทนรวม ต้นทุนรวม และกระแสเงินสด

2.3 การวิเคราะห์ผลตอบแทนในการลงทุน

ตารางที่ 4 แสดงผลมูลค่าปัจจุบันสุทธิ อัตราผลตอบแทนภายใน และอัตราผลตอบแทนจากการลงทุน

		มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) (บาท)	อัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) (ร้อยละ)	อัตราผลตอบแทนจาก การลงทุน (BCR)
การวิเคราะห์สถานการณ์ ปกติ	อัตราคิดลด	1,707,333.21	419	1.59
	ร้อยละ 3.00			
	อัตราคิดลด	1,578,883.51	401	1.59
	ร้อยละ 6.76			
การวิเคราะห์ ความ อ่อนไหว	ต้นทุนเพิ่ม	1,038,326.39	228	1.29
	ร้อยละ 30			
	อัตราคิดลด	966,517.67	217	1.29
	ร้อยละ 6.76			
	ผลตอบแทน	331,126.42	93	1.11
	อัตราคิดลด			
	ร้อยละ 30	297,852.62	86	1.11
	ร้อยละ 6.76			

ต้นทุนเพิ่ม	อัตราคิดลด	-487,880.40	< 0	0.87
และ	ร้อยละ 3.00			
ผลตอบแทน	อัตราคิดลด	-464,513.22	< 0	0.87
ลดร้อยละ 30	ร้อยละ 6.76			

จากตารางที่ 4 ผลการวิเคราะห์ผลตอบแทนในการลงทุนใช้เครื่องอบแห้งแบบบีบความร้อนในการอบแห้งดอกเก๊กฮวย โดยคิดกรณีอัตราดอกเบี้ยร้อยละ 3 จากการที่เกษตรกรและผู้ประกอบการลงทุนเอง และอัตราดอกเบี้ยร้อยละ 6.76 จากการที่ต้องกู้ยืมเงินจากธนาคารพาณิชย์พบว่า ถ้าใช้อัตราคิดลดร้อยละ 3 โครงการมีมูลค่าปัจจุบันสุทธิสูงถึง 1,707,333.21 บาท อัตราผลตอบแทนภายในเท่ากับร้อยละ 419 และค่าอัตราผลตอบแทนจากการลงทุนเท่ากับ 1.59 และถ้าใช้อัตราคิดลดร้อยละ 6.76 โครงการมีมูลค่าปัจจุบันสุทธิสูงถึง 1,578,883.51 บาท อัตราผลตอบแทนภายในเท่ากับร้อยละ 401 และค่าอัตราผลตอบแทนจากการลงทุนเท่ากับ 1.59 และผลการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของโครงการในงานวิจัยนี้จะใช้ 3 กรณีคือ กรณีต้นทุนค่าใช้จ่ายในการดำเนินการต่อปีเพิ่มขึ้นร้อยละ 30 กรณีผลตอบแทนรวมลดลงร้อยละ 30 และกรณีต้นทุนค่าใช้จ่ายในการดำเนินการต่อปีเพิ่มขึ้นและผลตอบแทนรวมลดลงร้อยละ 30 ซึ่งจากการวิเคราะห์ผลทั้ง 3 กรณีในอัตราคิดลดร้อยละ 3 พบว่า ถ้าต้นทุนค่าใช้จ่ายในการดำเนินการต่อปีเพิ่มขึ้นร้อยละ 30 จะทำให้โครงการมีมูลค่าปัจจุบันสุทธิเท่ากับ 1,038,326.39 บาท อัตราผลตอบแทนภายในเท่ากับร้อยละ 228 และค่าอัตราผลตอบแทนจากการลงทุนเท่ากับ 1.29 และถ้าผลตอบแทนรวมลดลงร้อยละ 30 จะทำให้โครงการมีมูลค่าปัจจุบันสุทธิเท่ากับ 331,126.42 บาท อัตราผลตอบแทนภายในเท่ากับร้อยละ 93 และค่าอัตราผลตอบแทนจากการลงทุนเท่ากับ 1.11 และถ้าต้นทุนค่าใช้จ่ายในการดำเนินการต่อปีเพิ่มขึ้นและผลตอบแทนรวมลดลงร้อยละ 30 จะทำให้โครงการมีมูลค่าปัจจุบันสุทธิเท่ากับ 487,880.40 บาท อัตราผลตอบแทนภายในน้อยกว่าร้อยละ 0 และค่าอัตราผลตอบแทนจากการลงทุนเท่ากับ 0.87 และอัตราคิดลดร้อยละ 6.76 พบว่าถ้าต้นทุนค่าใช้จ่ายในการดำเนินการต่อปีเพิ่มขึ้นร้อยละ 30 จะทำให้โครงการมีมูลค่าปัจจุบันสุทธิเท่ากับ 966,517.67 บาท อัตราผลตอบแทนภายในเท่ากับร้อยละ 217 และค่าอัตราผลตอบแทนจากการลงทุนเท่ากับ 1.29 และถ้าผลตอบแทนรวมลดลงร้อยละ 30 จะทำให้โครงการมีมูลค่าปัจจุบันสุทธิเท่ากับ 297,852.62 บาท อัตราผลตอบแทนภายในเท่ากับร้อยละ 86 และค่าอัตราผลตอบแทนจากการลงทุนเท่ากับ 1.11 และถ้าต้นทุนค่าใช้จ่ายในการดำเนินการต่อปีเพิ่มขึ้นและผลตอบแทนรวมลดลงร้อยละ 30 จะทำให้โครงการมีมูลค่าปัจจุบันสุทธิเท่ากับ 464,513.22 บาท อัตราผลตอบแทนภายในน้อยกว่าร้อยละ 0 และค่าอัตราผลตอบแทนจากการลงทุนเท่ากับ 0.87

5. บทสรุปและอภิปรายผล

การใช้เครื่องอบแห้งแบบบีบความร้อนในการอบแห้งดอกเก๊กฮวยพบว่า การทำงานของเครื่องนั้นสามารถทำงานได้ดี ผลการอบแห้งนั้นทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่ตรงตามความต้องการมีความชื้นที่ดีตรงตามเกณฑ์มาตรฐาน และผู้ใช้มีความพึงพอใจต่อการใช้งานอย่างมากจากการใช้งานที่ง่าย และมีความต้องการใช้เครื่องอบแห้งที่ได้มาตรฐานปลอดภัย และประหยัดพลังงานมากกว่าการใช้เครื่องอบแบบแก๊สที่ใช้เดิมที่ต้องมีการดูแลกระบวนการอบแห้งตลอดเวลา และในส่วนของ การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมนั้นมีผลการตอบแทนที่สูง สามารถคืนทุนได้ในระยะเวลาที่เร็วเนื่องจากต้นทุนรวมของกระบวนการผลิตที่ต่ำ ทำให้มีมูลค่าปัจจุบันสุทธิเป็นบวก อัตราผลตอบแทนภายในที่มีค่ามากกว่าอัตราดอกเบี้ย และอัตราผลตอบแทนต่อต้นทุนพบว่ามีความมากกว่า 1 ซึ่งทั้งหมดผ่านเกณฑ์ที่มีความคุ้มค่าในการลงทุนใช้เครื่องอบแห้ง ส่วนการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของการลงทุนทั้ง 3 กรณี ที่ส่งผลต่อการลงทุนคือ พบว่าการลงทุนยังมีความคุ้มค่าในกรณีของต้นทุนค่าใช้จ่ายในการดำเนินการต่อปีเพิ่มขึ้นร้อยละ 30 และกรณีผลตอบแทนรวมลดลงร้อยละ 30 แต่ในกรณีต้นทุนค่าใช้จ่ายในการดำเนินการต่อปีเพิ่มขึ้นและผลตอบแทนรวมลดลง

<http://jeet.siamtechu.net>

ร้อยละ 30 นั้นจะทำให้การลงทุนไม่คุ้มค่า ดังนั้นการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อนมีความคุ้มค่าในการลงทุนโดยผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการอบแห้งผ่านมาตรฐานและมีคุณภาพมากกว่าการอบแห้งด้วยแก๊สทำให้มูลค่าของผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าที่สูงขึ้น ซึ่งคล้องกับงานของ เทวรัตน์ ทิพย์วิมล (2553) ที่ทำการศึกษาคงคุณภาพผักอบแห้งสำเร็จรูปด้วยเทคนิคการอบแห้งแบบปั๊มความร้อน พบว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้อยู่ในเกณฑ์ที่ดี การศึกษาการใช้เครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อนในการอบแห้งดอกเก๊กฮวยเพื่อเพิ่มมูลค่าและยืดอายุของผลิตภัณฑ์ ผลที่ได้จากการศึกษาพบว่าสามารถอบแห้งผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพตามมาตรฐานที่ผู้ประกอบการต้องการ และความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์มีความเหมาะสมมาก มีต้นทุนทางพลังงานที่ต่ำสามารถลดต้นทุนการอบแห้งได้ดี และทำการอบแห้งได้วันละ 2 รอบ มีความคุ้มค่าในการลงทุนและมีความเสี่ยงน้อย เนื่องจากมีอัตราการคืนทุนที่เร็วประมาณ 3-4 เดือน และมีมูลค่าปัจจุบันสุทธิ อัตราผลตอบแทนภายใน และอัตราผลตอบแทนจากการลงทุนที่คุ้มค่าต่อการลงทุนมาก เมื่อทำการวิเคราะห์ความอ่อนไหวจากการเปลี่ยนแปลงต้นทุนที่เพิ่มและผลตอบแทนที่ลดก็ยังคุ้มค่าในการลงทุน ยกเว้นกรณีที่ดินทุนเพิ่มและผลตอบแทนลดพร้อมกันที่ 30 ที่จะทำให้การลงทุนไม่เหมาะสม

ข้อเสนอแนะตัวเครื่องอบแห้งสามารถนำไปใช้อบผลิตภัณฑ์อื่นๆ นอกฤดูการปลูกดอกเก๊กฮวยจะยิ่งทำให้เครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อนเองสามารถให้ผลตอบแทนและอัตราการคืนทุนที่เร็วยิ่งขึ้น และผลการศึกษาสามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานเพื่อประกอบการพิจารณาในการลงทุนได้ทั้งการกู้ยืมเงิน และลงทุนด้วยตนเองในการเลือกใช้เครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อนของหน่วยงานภาครัฐ และเอกชน และนำไปเป็นนโยบายในการส่งเสริมการใช้งานของหน่วยงานภาครัฐ และเอกชนเพื่อเพิ่มคุณภาพของผลิตภัณฑ์และลดต้นทุนการผลิต แต่ควรระมัดระวังในกรณีที่ต้นทุนเพิ่มและผลตอบแทนลดในเวลาเดียวกันซึ่งจะทำให้ขาดทุนได้ ในการศึกษาครั้งต่อไปควรเพิ่มการเก็บข้อมูลการใช้งานกับผลิตภัณฑ์อื่นๆ และเพิ่มการทดลองในเงื่อนไขที่แตกต่างออกไป และการใช้งานร่วมกับพลังงานทดแทนอื่นๆ เช่น เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ และการใช้งานร่วมกับเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อลดการใช้พลังงานไฟฟ้า

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณที่งานวิจัยจากสถาบันพัฒนาเศรษฐกิจ พลังงานและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย เกษตรกร และผู้ประกอบการที่ร่วมในโครงการวิจัยเรื่อง การขับเคลื่อนการพัฒนาเกษตรยั่งยืนเพื่อทดแทนการปลูกข้าวโพดในพื้นที่จังหวัดเชียงราย ที่อำนวยความสะดวกและสนับสนุนข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. (2556). ข้อมูลการปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในจังหวัดเชียงราย ปี2553-2556.
- [2] สุทธิพร ธเนศสกุลวัฒนา และคนอื่น ๆ. (2561). รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์การขับเคลื่อนการพัฒนาเกษตรยั่งยืนเพื่อทดแทนการปลูกข้าวโพด ในพื้นที่จังหวัดเชียงราย. สำนักคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ.
- [3] Hafidz R. (2011). Review of heat pump systems for drying application. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 15, 4788-4796.
- [4] ไกรสิงห์ อุดมญาติ. (2548). การพัฒนาเครื่องอบแห้งโดยใช้ปั๊มความร้อน. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงาน มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- [5] Phongsakorn D. & Nipon K. (2019). Analysis of investment models for megawatt scale photovoltaic power plant in Thailand. *Journal of Renewable Energy and Smart Grid Technology*. 14(1).
- [6] สุวิทย์ สายสุรนาวิชัย และ นิวิธ เจริญใจ. (2561). การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมของโรงงานต้นแบบการผลิตบล็อกประสานจากเถ้าหมักโรงไฟฟ้าแม่เมาะ. *Naresuan University Engineering Journal*. 13(2), 80-98.

<http://jeet.siamtechu.net>

- [7] เฉลิมขวัญ ทรัพย์บุญยงค์. (2554). การวิเคราะห์รายงานทางการเงิน. กรุงเทพฯ: ซีเอ็ดดูเคชั่น.
- [8] เฉลิมขวัญ ทรัพย์บุญยงค์. (2554). การบัญชีเพื่อการจัดการ. กรุงเทพฯ: ซีเอ็ดดูเคชั่น.
- [9] ธนาคารแห่งประเทศไทย. (2563). สถิติ. สืบค้น 20 สิงหาคม 2563 จาก https://www.bot.or.th/thai/statistics/_layouts/application/interest_rate/IN_Historical.aspx
- [9] ทนุ โตทรายมูล. (2549). การเพิ่มสมรรถนะเชิงความร้อนของเครื่องอบแห้งระบบปั๊มความร้อนสำหรับใช้ในการอบแห้งมะม่วงแผ่นโดยวิธีการลดอุณหภูมิอากาศก่อนเข้าฮีทปั๊มปอเรเตอร์. วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมพลังงาน มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- [10] เทวรัตน์ ทิพย์มิล. (2553). รายงานการวิจัย การคงคุณภาพผักอบแห้งกึ่งสำเร็จรูปด้วยเทคนิคการอบแห้งแบบปั๊มความร้อน. ทนุอดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- [12] ปองพล สุริยะกันทร และคนอื่น ๆ. (2557). ผลของการเตรียมขั้นต้นด้วยการลวกและแบบจำลองการอบแห้งด้วยดอกเก๊กฮวย. วารสารสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย, 20(2), 43-51.
- [13] มนตรี เดชมา. (2544). การประหยัดพลังงานในเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อนโดยใช้เทอร์โมไซฟอนแบบรอบ. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- [14] เอกกฤษ แก้วเจริญ และ เอกภูมิ บุญธรรม. (2561). ผลของความเร็วมต่อประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อน. วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ. 3(ฉบับพิเศษ), 158-166.
- [15] Adonis A. C., & Eliseo P. V. (2014). An Experimental Investigation of the Fruit Drying Performance of a Heat Pump Dryer. International Conference on Agriculture, Biology and Environmental Sciences (ICABES'14). Bali Indonesia.
- [16] Akhilesh S., et al. (2020). Experimental performance analysis of novel indirect-expansion solar-infrared assisted heat pump dryer for agricultural products. Solar Energy. 206, 907-917.
- [17] Faisal A., et al. (2019). Techno-economic analysis of ground and air source heat pumps in hot dry climates. Journal of Building Engineering. 26.
- [18] Yahya M., et al. (2018). Performance and economic analyses on solar-assisted heat pump fluidized bed dryer integrated with biomass furnace for rice drying. Solar Energy. 174, 1058-1067.
- [19] Thomas K., et al. (2013). Heat pump drying - A review. South African Journal of Science. 110(5/6).
- [20] Vasile M. (2011). INDUSTRIAL DRYING HEAT PUMPS. Theory, Technology and Applications. Nova Science Publishers, Inc., 1-70.

ผลกระทบทางด้านเศรษฐศาสตร์ของการผลิตเม็ดเชื้อเพลิงจากกากของเสีย

ECONOMIC IMPACT OF FUEL PELLET PRODUCTION FROM THE SEWAGE SLUDGE

กฤติเดช ดวงใจบุญ¹ สุทธิลักษณ์ ชุนประวัติ² เมตยา กิติวรรณ³ และ
ปรานค์ทิพย์ ฤทธิ์โชติ แก้วเพ็งกรอ^{1*}

Krittidej Duangjaiboon¹ Suttilug Choonprawat² Mettaya Kittiwat³ and Prangthip Rittichote
Kaewpengkrow¹

¹ วิทยาลัยพลังงานและสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืนรัตนโกสินทร์ (RCSEE) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
96 หมู่ 3 ถนนพุทธมณฑลสาย 5 ตำบลศาลายา อำเภอพุทธมณฑล จังหวัดนครปฐม

² คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม 46 ถนนเจริญสุขนิทวงศ์ แขวงวัดท่าพระ
เขตบางกอกใหญ่ จังหวัดกรุงเทพมหานคร

³ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง ถนนเจริญกรุง
แขวง/เขตลาดกระบัง จังหวัดกรุงเทพมหานคร

¹ Rattanakosin College for Sustainable Energy and Environment (RCSEE), Rajamangala University of
Technology Rattanakosin, 96 Moo 3 Phutthamonthon Sai 5 Rd., Salaya, Phutthamonthon, Nakhon Pathom,

² Faculty of Engineering and Technology, Siam Technology College
46 Charunsanitwong Rd., Wat Thapra Bangkokyai, Bangkok

³ Faculty of Science, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang Chalongkrung Rd., Ladkrabang,
Bangkok

Received : 17 April 2021

Revised : 23 May 2021

Accepted : 15 June 2021

* Corresponding author E-mail : prangtip.kae@rmutr.ac.th

บทคัดย่อ

เม็ดเชื้อเพลิงที่ผลิตจากกากของเสียของอุตสาหกรรมแปรรูปปลาห่านกระบือ มีคุณสมบัติเหมาะสมที่จะใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนถ่านหินสำหรับหม้อไอน้ำ เนื่องจากมีต้นทุนการผลิตที่ต่ำและสามารถลดค่าใช้จ่ายในการกำจัดกากของเสียให้กับอุตสาหกรรมแปรรูปปลาห่านกระบือได้อย่างดี อย่างไรก็ตามผลตอบแทนทางด้านเศรษฐศาสตร์ที่ได้รับจากการใช้เม็ดเชื้อเพลิงที่ผลิตจากกากของเสียเป็นเชื้อเพลิงทดแทนถ่านหินค่อนข้างจะอ่อนไหวจากการเปลี่ยนแปลงของราคาถ่านหินที่เป็นเชื้อเพลิงหลักของหม้อไอน้ำ ดังนั้นการศึกษาในครั้งนี้จะมุ่งเน้นวิเคราะห์ผลตอบแทนทางด้านเศรษฐศาสตร์ของเม็ดเชื้อเพลิงที่ผลิตจากกากของเสียที่แปรผันตามการเปลี่ยนแปลงของราคาถ่านหิน โดยผลจากการศึกษาพบว่าเมื่อราคาของเชื้อเพลิงถ่านหินมีแนวโน้มสูงขึ้น ผลตอบแทนทางด้านเศรษฐศาสตร์ที่ได้รับจากการใช้เม็ดเชื้อเพลิงจากกากของเสียจะสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ โดยผลการวิเคราะห์พบว่าอัตราผลตอบแทนด้านพลังงานรวม (Total Saving Rate Cost : TSRC) สูงสุด (69.10%) จะเกิดขึ้นที่ค่าเชื้อเพลิงถ่านหิน +20% ซึ่งส่งผลต่อดัชนีทางด้านเศรษฐศาสตร์ที่ดีขึ้นทั้งหมดเช่นกันดังนี้คือผลกำไรสุทธิ (NPV) 109,648.03 บาท, อัตราผลตอบแทน (IRR) 62.61%, อัตราส่วนผลตอบแทนต่อเงินลงทุน (B/C) 201.29%, ระยะเวลาการคืนทุน (Payback Period) 1.75 ปี

<http://jeet.siamtechu.net>

แต่ในทางกลับกันเมื่อราคาเชื้อเพลิงถ่านหินลดต่ำลงตั้งแต่ -20% ลงไปกลับพบว่าไม่มีความคุ้มค่าต่อการลงทุนผลิตเม็ดเชื้อเพลิงจากกากของเสีย

คำสำคัญ: กากของเสีย, ผลตอบแทนทางด้านเศรษฐศาสตร์, ของเสียเป็นพลังงาน, การวิเคราะห์ความอ่อนไหว

ABSTRACT

Fuel pellets are produced from the sewage sludge of the canned tuna processing industry. Qualified to be used as a coal substitute for boilers. Due to the low production cost and the cost of sewage sludge removal, the canned tuna processing industry. However, the economic returns from the use of sewage sludge fuel pellets as a substitute for coal. They are somewhat susceptible to changes in coal prices as the main fuel of the boilers. Therefore, this study will focus on analyzing the economic return of fuel pellets produced from sewage sludge which varies according to changes in coal prices. The results of the study showed that when the price of coal fuel tended to rise. Significantly higher economic returns from the use of sewage sludge fuel pellets. The results of the analysis showed that Total Saving Rate Cost (TSRC) would occur at the highest (69.10%), which would occur at + 20% of coal fuel, which resulted in the overall improvement of the economic index. As well as Net Present Value (NPV) 109,648.03 baht, Internal Rate of Return (IRR) 62.61%, Benefit per Cost Ratio (B/C) 201.29%, Payback Period (1.75 years). Whereas, when the price of coal fuel has dropped from -20% down, it is found that it is not worth the investment in producing fuel pellets from sewage sludge.

Keywords: sewage sludge, economic return, waste to energy, sensitivity analysis

1. บทนำ

อุตสาหกรรมแปรรูปปลากระป๋องถึงแม้ว่าจะสร้างรายได้มูลค่ามหาศาลเข้าประเทศ แต่ในทางกลับกันอุตสาหกรรมนี้กลับสร้างมลภาวะทางด้านสิ่งแวดล้อมจากของเสียในกระบวนการผลิตด้วยเช่นกัน ดังนั้นผู้ประกอบการจึงพยายามแก้ปัญหาเรื่องของเสียด้วยการนำกลับมาใช้ประโยชน์ในรูปแบบต่างๆ หนึ่งในนั้นคือการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีการเปลี่ยนของเสียให้เป็นพลังงาน (Waste to Energy : WTE) โดยวิธีการนำกากของเสียจากอุตสาหกรรมแปรรูปปลากระป๋องมาผลิตเป็นเม็ดเชื้อเพลิงทดแทนเชื้อเพลิงถ่านหินในหม้อไอน้ำเพื่อแก้ปัญหาดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น ซึ่งวิธีนี้ยังมีผลพลอยได้ในแง่ของการลดต้นทุนในการกำจัดของเสียและค่าเชื้อเพลิงถ่านหินได้อีกทางหนึ่ง

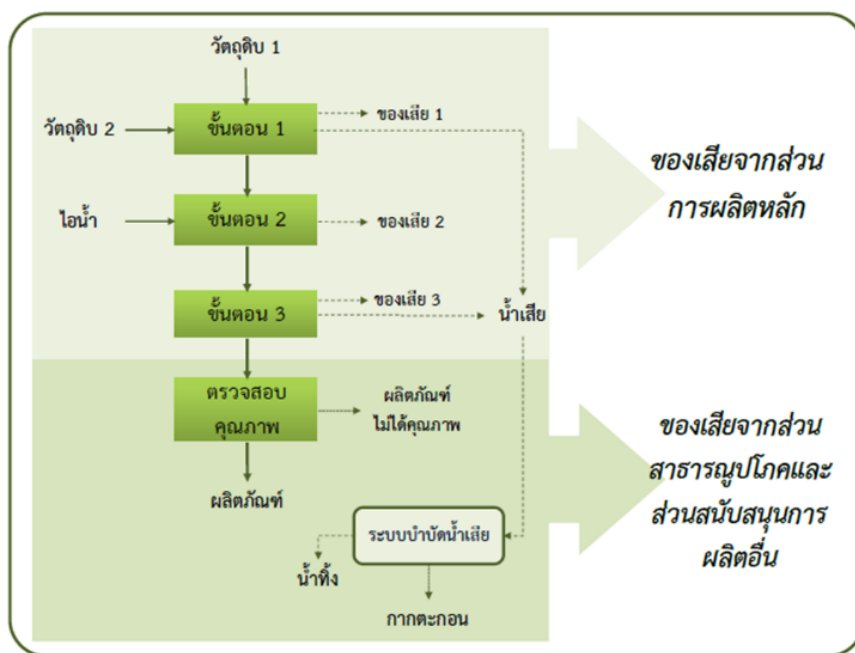
อย่างไรก็ตาม การใช้เม็ดเชื้อเพลิงจากกากของเสียของอุตสาหกรรมแปรรูปปลากระป๋องมาผลิตเป็นพลังงาน ถึงแม้ว่าจะสามารถช่วยแก้ปัญหาเรื่องของเสียอีกทั้งยังสามารถลดค่าใช้จ่ายในการกำจัดกากของเสียและประหยัดค่าเชื้อเพลิงถ่านหินของหม้อไอน้ำได้เป็นอย่างดี แต่เมื่อราคาของถ่านหินมีการเปลี่ยนแปลงย่อมส่งผลกระทบต่อความคุ้มค่าทางด้านการเงินจากการใช้งานเม็ดเชื้อเพลิงที่ผลิตจากกากของเสียเช่นเดียวกัน

ดังนั้นในงานวิจัยนี้ จึงมุ่งเน้นไปที่การวิเคราะห์ผลตอบแทนทางด้านเศรษฐศาสตร์ของการใช้งานเม็ดเชื้อเพลิงจากกากของเสียที่แปรผันตามราคาถ่านหินของหม้อไอน้ำสำหรับกระบวนการแปรรูปปลากระป๋อง ซึ่งผลที่ได้จากการศึกษาในครั้งนี้จะสามารถใช้เป็นแนวทางการประเมินความเหมาะสมในด้านความคุ้มค่าทางด้านการเงินสำหรับเชื้อเพลิงทดแทนอุตสาหกรรมประเภทอื่นๆ ต่อไป

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ของเสียจากกระบวนการแปรรูปปลาทุ่นกระป๋อง

ในอุตสาหกรรมแปรรูปปลาทุ่นบรรจุกระป๋อง กระบวนการผลิตต่าง ๆ มักจะก่อให้เกิดของเสียจำนวนมากได้แก่ ซากหัวปลา เครื่องในปลา ก้างปลา เลือดปลา น้ำมัน รวมทั้งน้ำต่าง ๆ ที่ได้จากกระบวนการผลิต ซึ่งในส่วนประกอบต่าง ๆ เหล่านี้มีปริมาณสารอาหารที่สามารถนำกลับไปใช้ได้ ในกระบวนการกำจัดมักจะกรองเอาของแข็งซึ่งมีอยู่ประมาณร้อยละ 25-30 ของวัตถุดิบ ออกให้หมดก่อน ส่วนที่เหลือ คือ ของเหลวประมาณร้อยละ 30-35 ของวัตถุดิบ [1]



รูปที่ 1 ของเสียจากกระบวนการผลิตปลาทุ่นบรรจุกระป๋อง

2.1.1 น้ำเสีย

การใช้น้ำในกระบวนการผลิตปลาทุ่นกระป๋องนั้น ทำให้เกิดน้ำเสียจากหลายขั้นตอน ได้แก่ การล้างทำความสะอาดวัตถุดิบ การล้างกระป๋องที่ปิดผนึกแล้ว การล้างอุปกรณ์และพื้นในสายการผลิต น้ำเสียจากการนึ่งปลา น้ำเสียจากการนึ่งปลาเชื้อ น้ำเสียจากการลดอุณหภูมิ ซึ่งน้ำเสียที่เกิดขึ้นในโรงงานโดยส่วนใหญ่เกิดจากขั้นตอนการล้างวัตถุดิบ กระป๋อง รวมทั้งการทำความสะอาดพื้นและสายการผลิต นอกจากนี้ประเด็นที่สำคัญที่โรงงานส่วนใหญ่จะเลยและก่อให้เกิดปัญหาน้ำเสียและกากของเสียตามมาคือ การไม่แยกของเสีย เช่นเศษปลาจากการตัด ก่อนล้างปลาหรือก่อนระบายลงท่อระบายน้ำจากการศึกษาของ World Bank และกรมโรงงานอุตสาหกรรม พบว่าภาระของเสียที่ระบายออกจากโรงงานผลิตอาหารกระป๋อง มีลักษณะดังตารางที่ 1 ส่วนการศึกษาปริมาณน้ำเสียรวมที่เกิดขึ้นจากแต่ละขั้นตอนการผลิตแสดงดังตารางที่ 2

<http://jeet.siamtechu.net>

ตารางที่ 1 ค่าความสกปรกจากกระบวนการแปรรูปปลาทุ่นบรรจุกระป๋อง [2]

รายการ	ปลาทุ่น
อัตราการไหลของน้ำเสีย (Litre/Ton _{Product})	22,300
บีโอดี (kg/Ton _{Product})	15
TSS (kg/Ton _{Product})	11
ไขมันและน้ำมัน (kg/Ton _{Product})	5.6
ค่าความเป็นกรดต่าง	6.8

ตารางที่ 2 ปริมาณน้ำเสียจากแต่ละขั้นตอนการผลิต [3]

ขั้นตอนการผลิต	ปริมาณน้ำเสีย	
	m ³ /Ton _{Product}	ร้อยละในน้ำเสียรวม
การละลายน้ำแข็ง	1.2-5.1	16-40
การผ่าปลาควักไส้	2.3	30
การนึ่งปลา	0.2-0.6	3-5
การบรรจุกระป๋อง	4	30-50

2.1.2 กากของเสีย

แบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ กากของเสียอินทรีย์ ได้แก่ หัว หาง ใสปลาที่เกิดขึ้นจากขั้นตอนการตัดแต่งและการนึ่ง ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 25–30 ของวัตถุดิบ และของเสียที่เป็นเศษกระป๋อง ฟากระป๋อง ฉลากผลิตภัณฑ์ และบรรจุภัณฑ์ที่ไม่ได้มาตรฐาน โดยปริมาณกากของเสียแสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ปริมาณกากของเสียของอุตสาหกรรมแปรรูปปลาทุ่นบรรจุกระป๋อง [4]

ขั้นตอนการผลิต	กากของเสีย	ปริมาณ
การคัดเลือกวัตถุดิบ	เศษเนื้อปลา	0-30 kg/Ton _{Raw material}
การตัดแต่งและบรรจุกระป๋อง	หัว หาง ก้าง และเศษเนื้อปลา	250-300 kg/Ton _{tuna}
การนึ่งฆ่าเชื้อ	ปลากระป๋องที่เสียหาย	10-80 kg/Ton _{Product}

2.1.3 กากตะกอนน้ำเสียจากระบบบำบัดน้ำเสีย

กากตะกอนน้ำเสียจากอุตสาหกรรมแปรรูปปลาทุ่นบรรจุกระป๋อง เกิดจากวิธีบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางชีววิทยา โดยใช้แบคทีเรียพวกที่ใช้ออกซิเจน (Aerobic Bacteria) เป็นตัวหลักในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย ระบบตะกอนเร่งเป็นระบบบำบัดน้ำเสียที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายแต่การเดินระบบประเภทนี้จะต้องมีความยุ่งยากซับซ้อน เนื่องจากจำเป็นจะต้องมีการควบคุมสภาวะแวดล้อมและลักษณะทางกายภาพต่าง ๆ ให้เหมาะสมแก่การทำงานและการเพิ่มจำนวนของจุลินทรีย์ เพื่อให้ระบบมีประสิทธิภาพในการบำบัดสูงสุด จากข้อมูลของคู่มือบัญชีของเสียที่เป็นแหล่งทรัพยากรทดแทน ได้มีการบันทึกและขึ้นบัญชีกากตะกอนน้ำเสียจากระบบบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมทั่วไป ซึ่งมีกากตะกอนน้ำเสียจะมีองค์ประกอบและคุณสมบัติต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

<http://jeet.siamtechu.net>

องค์ประกอบหลัก

- คาร์บอน (Carbon : C) : 33.51-40.49%
- อินทรีย์วัตถุ (Organic matter) : 30.18-34.81%
- ไนเตรต (Nitrate; NO₃-) : 0.44-0.83
- ฟอสเฟต (Phosphate; P) : 0.03-0.05%

คุณสมบัติทางกายภาพและเคมี

- มวลโมเลกุล (Molecular mass) : 92.14 g.mol⁻¹
- จุดเดือด (Boiling point) : 110.6 °C
- จุดวาบไฟ (Flash point) : 4 °C

2.2 การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของโครงการ (Sensitivity Analysis)

การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของโครงการ คือ การวิเคราะห์ปัจจัยภายนอกที่มีผลกระทบต่อต้นทุนและผลตอบแทนของโครงการ ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของโครงการจะทำให้ผู้ประเมินโครงการทราบและวางแผนรับมือในกรณีที่มีตัวแปรบางตัวที่ไม่เป็นไปตามที่คาดการณ์และอาจจะส่งผลกระทบต่อผลตอบแทนสุทธิของโครงการได้ ทั้งนี้เพื่อที่จะได้หาแนวทางการควบคุมป้องกันตัวแปรต่างๆ เหล่านั้นเพื่อให้ดำเนินงานของโครงการเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ ผลที่ได้จากการวิเคราะห์จะแสดงให้เห็นว่าโครงการมีความคล่องตัว และทนต่อความเสี่ยงได้มากน้อยแค่ไหนปัจจัยที่มีความเสี่ยงต่อการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของโครงการ ความเสี่ยงเป็นสถานการณ์ที่คาดว่าจะเกิดขึ้นในอนาคตและมีความไม่แน่นอน แต่สามารถประมาณค่าความน่าจะเป็นที่จะเกิดขึ้นได้ (Probability or expected value) ส่วนความไม่แน่นอน เป็นสถานการณ์ที่ไม่สามารถคาดคะเนผลที่จะเกิดขึ้นในอนาคต คือ ไม่สามารถกะประมาณความน่าจะเป็นได้ การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของโครงการ เป็นการพิจารณาผลกระทบในกรณีที่ปัจจัยต่างๆ มีการเปลี่ยนแปลง ซึ่งเหตุการณ์ด้านความเสี่ยงและความไม่แน่นอนของเศรษฐกิจอาจจะทำให้มีผลกระทบต่อการตัดสินใจเลือกลงทุน จึงต้องมีการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของโครงการ คือ

- ต้นทุนผันแปรเพิ่มขึ้นร้อยละ 5 ในขณะที่รายได้คงที่
- รายได้ลดลงร้อยละ 5 ในขณะที่ต้นทุนผันแปรคงที่
- รายได้ลดลงร้อยละ 5 ในขณะที่ต้นทุนผันแปรเพิ่มขึ้นร้อยละ 5

ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิเคราะห์ความอ่อนไหวนี้จะช่วยให้ทราบถึงตัวแปรที่อาจจะก่อให้เกิดความผันแปร ผลตอบแทนสุทธิของโครงการเพื่อใช้ประกอบการประเมินโครงการให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น และการประเมินนั้นควรพิจารณาว่าผลตอบแทนหรือประโยชน์ที่ได้รับจากการตัดสินใจนั้นคุ้มค่าพอที่จะชดเชยกับความเสี่ยงที่อาจเกิดขึ้นหรือไม่โดยขั้นตอนในการวิเคราะห์ความอ่อนไหวมี 3 ขั้นตอน ดังนี้

- กำหนดตัวแปรทุกตัวซึ่งมูลค่ามีความไม่แน่นอน
- ระบุขอบเขตของข้อมูลที่เป็นไปได้สำหรับตัวแปรแต่ละตัว
- คำนวณค่า NPV แต่ละกรณี โดยให้มูลค่าตัวแปรอื่นคงที่ทั้งหมด

2.3 การวิเคราะห์ผลการตอบแทนของเม็ดเชื้อเพลิง

การวิเคราะห์ด้านการเงินและการลงทุนของโครงการ กระทำได้โดยได้ทำการวิเคราะห์หาผลตอบแทนด้านการเงินและเศรษฐศาสตร์ เพื่อทำการเปรียบเทียบผลประโยชน์ที่เกิดจากการลงทุนกับต้นทุนของเงินทุนที่นำไปใช้ในการก่อสร้าง การศึกษาและประเมินผลตอบแทนทางการเงินและการลงทุน มีพารามิเตอร์หลักที่นิยมใช้ในการประเมินความเหมาะสมของโครงการด้านการลงทุน ดังนี้

1 มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value : NPV)

มูลค่าปัจจุบันสุทธิของโครงการ คือ มูลค่าปัจจุบันของกระแสผลตอบแทนสุทธิหรือกระแสเงินสดของโครงการซึ่งสามารถคำนวณได้ด้วยการทำส่วนลดการแสดงผลตอบแทนสุทธิตลอดอายุโครงการให้เป็นมูลค่าปัจจุบัน ในการวิเคราะห์มูลค่าปัจจุบันสุทธิสามารถคำนวณได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$NPV = \sum_{t=0}^n \frac{Benefit - Cost}{(1+i)^t} \quad (1)$$

2. อัตราผลตอบแทนของโครงการ (Internal Rate of Return : IRR)

อัตราผลตอบแทนของโครงการ คือ อัตราดอกเบี้ยเงินกู้ที่ทำให้ค่า NPV มีค่าเท่ากับศูนย์ ดังนั้นอัตราผลตอบแทนของโครงการจึงได้แก่อัตราดอกเบี้ยหรือ i ที่ทำให้ $NPV = 0$ สำหรับการคำนวณการคำนวณอัตราผลตอบแทนทางการเงิน เพื่อหาความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์สามารถหาได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$IRR = \sum_{t=0}^n \frac{Benefit}{(1+IRR)^t} - \frac{Cost}{(1+IRR)^t} \quad (2)$$

3. อัตราส่วนผลตอบแทนต่อเงินลงทุน (Benefit-Cost Ratio, B/C)

อัตราส่วนผลตอบแทนต่อเงินลงทุน คือ อัตราส่วนระหว่างมูลค่าปัจจุบันของกระแสผลตอบแทนหรือมูลค่าผลตอบแทนของโครงการกับมูลค่าปัจจุบันของกระแสต้นทุนหรือต้นทุนรวมของโครงการค่าพารามิเตอร์นี้ใช้วัดความคุ้มค่าของโครงการ สามารถหาได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$B/C = \sum_{t=0}^n \frac{\frac{Benefit}{(1+i)^t}}{\frac{Cost}{(1+i)^t}} \quad (3)$$

4. ระยะเวลาการคืนทุน (Payback Period)

ระยะเวลาการคืนทุน คือระยะเวลาที่รายได้หลังจากหักค่าใช้จ่ายในการดำเนินการสามารถนำไปชำระเงินที่ลงทุนในการพัฒนาโครงการได้ครบถ้วน โดยส่วนใหญ่ใช้นับเป็นจำนวนปี โครงการที่มีระยะเวลาคืนทุนสั้นจะเป็นโครงการที่ดีกว่าโครงการที่มีระยะคืนทุนยาว สำหรับการคำนวณระยะเวลาคืนทุน เพื่อหาความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์สามารถหาได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน} = \frac{\text{ค่าใช้จ่ายในการลงทุน}}{\text{ผลตอบแทนสุทธิเฉลี่ยต่อปี}} \quad (4)$$

โดยที่

NPV	คือ	มูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทนสุทธิตลอดอายุของโครงการ (บาท)
B/C	คือ	อัตราส่วนผลตอบแทนต่อการลงทุน (%)
IRR	คือ	อัตราผลตอบแทนทางการเงิน (%)
Benefit	คือ	มูลค่าผลตอบแทนในปีที่ t (บาท)
Cost	คือ	มูลค่าของต้นทุนในปีที่ t (บาท)
i	คือ	อัตราคิดลด (Discount Rate) กำหนดให้มีค่าเท่ากับ 7.75%
t	คือ	ปีของโครงการ
n	คือ	อายุของโครงการ (ปี) กำหนดให้มีค่าเท่ากับ 10 ปี

3. วิธีการดำเนินงานวิจัย

ในการศึกษาวิจัยผลกระทบทางด้านเศรษฐศาสตร์ของการผลิตเม็ดเชื้อเพลิงจากกากของเสีย จะทำการศึกษาผลตอบแทนของการใช้เม็ดเชื้อเพลิงจากกากของเสียทดแทนการใช้งานเชื้อเพลิงถ่านหินเดิมในหม้อไอน้ำ ภายใต้เงื่อนไขความอ่อนไหวของราคาเชื้อเพลิงถ่านหินที่มีโอกาสปรับตัวขึ้นลงตามกลไกของตลาดโลก โดยการศึกษานี้จะทำการผลิตเม็ดเชื้อเพลิงจากกากของเสียจากเครื่องผลิตเม็ดเชื้อเพลิงที่ได้ควบคุมกำลังการผลิตแบบคงที่ (รูปที่ 2) และผ่านการวิเคราะห์ค่าความร้อนแล้ว มาทำวิเคราะห์ผลตอบแทนทางด้านเศรษฐศาสตร์จากการใช้งานเม็ดเชื้อเพลิงจากกากของเสียต่อไป

3.1 การจัดเตรียมและรวบรวมข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์ผลตอบแทนทางด้านเศรษฐศาสตร์

การจัดเตรียมและรวบรวมข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์ผลตอบแทนทางด้านเศรษฐศาสตร์ของการใช้เม็ดเชื้อเพลิงจากกากของเสีย เริ่มด้วยการนำเม็ดเชื้อเพลิงจากกากของเสียในกระบวนการแปรรูปลาทุนากะปิ้งที่ผลิตจากเครื่องผลิตเม็ดเชื้อเพลิง (Lab scale Pelletization Machine) ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 mm. ยาวประมาณ 15-20 mm. ความชื้น 20-35% (รูปที่ 3) มาวิเคราะห์ค่าความร้อน [6] จากนั้นศึกษาและรวบรวมข้อมูลของเชื้อเพลิงถ่านหินที่เป็นเชื้อเพลิงเดิมของหม้อไอน้ำเพื่อวิเคราะห์ผลตอบแทนทางด้านเศรษฐศาสตร์ต่อไป รายละเอียดและข้อมูลด้านเทคนิคการวิเคราะห์ผลตอบแทนด้านการเงินเม็ดเชื้อเพลิงจากกากของเสียจะเป็นไปตามตารางที่ 4 ดังนี้

ตารางที่ 4 รายละเอียดและข้อมูลด้านเทคนิคการวิเคราะห์ผลตอบแทนด้านการเงินเม็ดเชื้อเพลิงจากกากของ

เครื่องอัดเม็ดเชื้อเพลิง	
กำลังการผลิตเครื่องผลิตเม็ดเชื้อเพลิงจากกากของเสีย (kg/hr)	1.00
ราคาเครื่องผลิตเม็ดเชื้อเพลิงจากกากของเสีย (บาท)	20,650
ข้อมูลการวิเคราะห์เชื้อเพลิงถ่านหิน	
ค่าความร้อนเชื้อเพลิงถ่านหิน (MJ/kg)	27.79
มูลค่าเชื้อเพลิงถ่านหิน (บาท/kg)	3.00
ข้อมูลการวิเคราะห์เม็ดเชื้อเพลิงจากกากของเสีย	
ค่าความร้อนเม็ดเชื้อเพลิงจากกากของเสีย (MJ/kg)	12.56
มูลค่าเม็ดเชื้อเพลิงจากกากของเสีย (ต้นทุนผลิตเม็ดเชื้อเพลิง) (บาท/kg)	1.00
มูลค่าการกำจัดกากของเสีย(บาท/kg)	1.10



รูปที่ 2 เครื่องผลิตเม็ดเชื้อเพลิงจากกากของเสีย (Lab scale Pelletization Machine)



รูปที่ 3 เม็ดเชื้อเพลิงจากกากของเสีย

3.2 การศึกษาความอ่อนไหวทางด้านเศรษฐศาสตร์ในการใช้งานเม็ดเชื้อเพลิงจากกากของเสีย

สำหรับการวิจัยในครั้งนี้ ได้ทำการศึกษาวิจัยถึงความอ่อนไหวที่มีผลกระทบของผลตอบแทนทางด้านเศรษฐศาสตร์จากใช้งานเม็ดเชื้อเพลิงจากกากของเสีย ที่ได้รับอิทธิพลจากการเปลี่ยนแปลงของราคาเชื้อเพลิงถ่านหินซึ่งเป็นเชื้อเพลิงหลักของหม้อไอน้ำในกระบวนการแปรรูปพลาสติกป้องกัน โดยตั้งสมมุติฐานในส่วนของราคาเชื้อเพลิงถ่านหินที่มีการเปลี่ยนแปลงในช่วง $\pm 20\%$ ดังตารางที่ 5 ต่อไปนี้

ตารางที่ 5 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบพื้นฐานของกากตะกอนน้ำเสียและสมบัติทางเชื้อเพลิง

ค่าความร้อนถ่านหิน (MJ/kg)	%การเปลี่ยนแปลงราคา	ราคาถ่านหิน (บาท/kg)
27.79	-20%	2.40
	-10%	2.70
	0%	3.00
	10%	3.30
	20%	3.60

จากนั้นจะดำเนินการวิเคราะห์ผลตอบแทนด้านการเศรษฐศาสตร์จากการผลิตและใช้งานเม็ดเชื้อเพลิงจากกากของเสียภายใต้ความอ่อนไหวตามตารางที่ 5 เพื่อทำการเปรียบเทียบผลประโยชน์ที่เกิดจากการลงทุนกับต้นทุนของเงินทุนที่นำไปใช้ในการผลิตเม็ดเชื้อเพลิง โดยจะทำการวิเคราะห์ผลตอบแทนจากดัชนีดังต่อไปนี้

- มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value : NPV)
- อัตราผลตอบแทนของโครงการ (Internal Rate of Return : IRR)
- อัตราส่วนผลตอบแทนต่อเงินลงทุน (Benefit-Cost Ratio, B/C)
- ระยะเวลาการคืนทุน (Payback Period)

4. ผลการวิจัยและอภิปรายผล

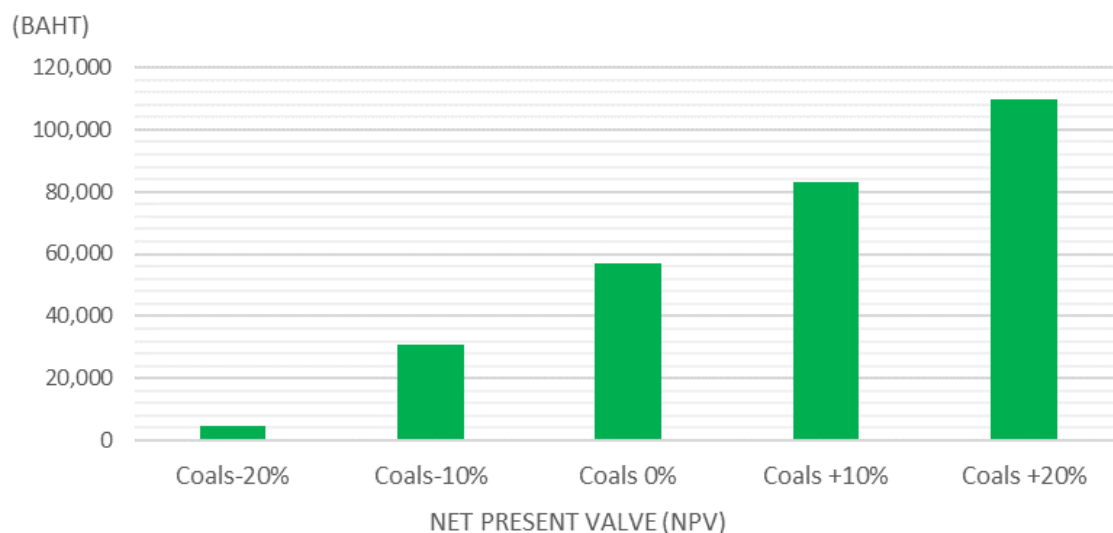
4.1 การศึกษาความอ่อนไหวทางด้านเศรษฐศาสตร์ในการใช้งานเม็ดเชื้อเพลิงจากกากของเสีย

จากการวิเคราะห์ผลตอบแทนทางด้านเศรษฐศาสตร์ของการใช้งานเม็ดเชื้อเพลิงจากกากของเสียในเงื่อนไขความอ่อนไหวของราคาเชื้อเพลิงถ่านหิน สามารถสรุปผลการศึกษาดังตารางที่ 6 ดังนี้

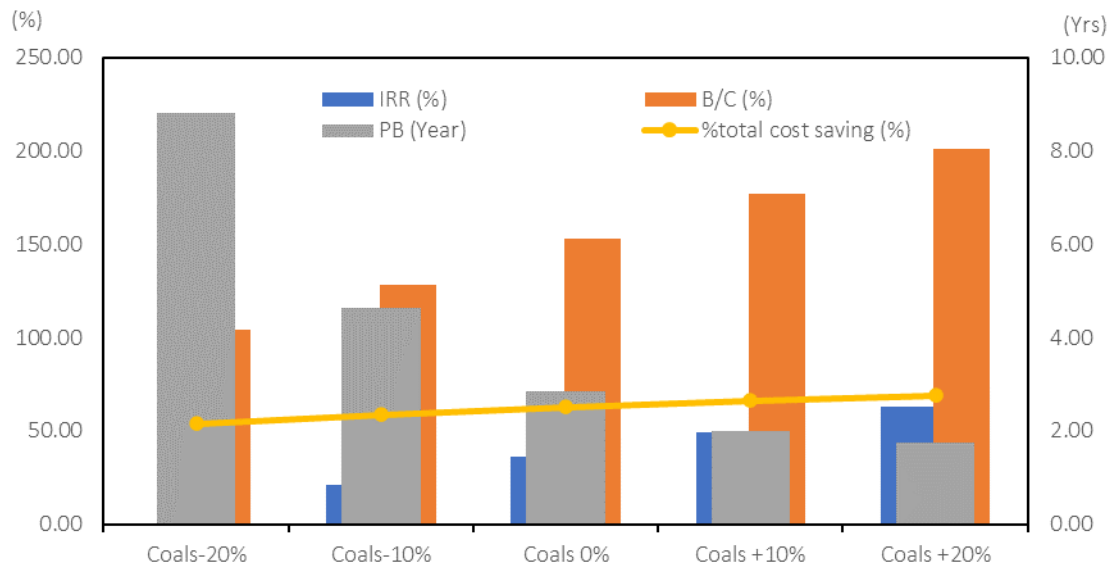
<http://jeet.siamtechu.net>

ตารางที่ 6 การวิเคราะห์ผลตอบแทนทางด้านเศรษฐศาสตร์จากการใช้งานเม็ดเชื้อเพลิง

Parameter	%Difference cost of Coals					Unit
	Coals-20%	Coals-10%	Coals 0%	Coals +10%	Coals +20%	
Manufacture Capacity	8,760.00	8,760.00	8,760.00	8,760.00	8,760.00	kg/Yrs.
Investment Costs	20,650.00					Baht
Coal Cost	2.40	2.70	3.00	3.30	3.60	Baht/kg
Coal Calorific Value	27.79					MJ/kg
Specific Energy Cost	0.09	0.10	0.11	0.12	0.13	Baht/MJ
Sewage Sludge Costs	1.00					Baht/kg
Net Heating Value	12.56					MJ/kg
Specific Energy Cost	0.08					Baht/MJ
Energy Saving	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	Baht/MJ
Energy Saving Cost/Unit	0.19	0.49	0.79	1.09	1.39	Baht/kg
Disposal Cost/Unit	1.10					Baht/kg
Total Saving Cost/Unit	1.29	1.59	1.89	2.19	2.49	Baht/kg
Total Cost Saving	11,277.80	13,905.80	16,533.80	19,161.80	21,789.80	Baht/Yrs.
%Total Saving Rate Cost	53.64	58.79	62.91	66.29	69.10	%
NPV	4,528.03	30,808.03	57,088.03	83,368.03	109,648.03	Baht
IRR	0.04	21.31	35.89	49.47	62.61	%
B/C	104.18	128.46	152.74	177.01	201.29	%
Payback Period	8.82	4.63	2.84	1.99	1.75	Yrs.



รูปที่ 4 ผลกำไรตลอดอายุโครงการของการใช้งานเม็ดเชื้อเพลิงจากกากตะกอนน้ำเสีย



รูปที่ 5 ผลตอบแทนทางด้านเศรษฐศาสตร์จากการใช้งานเม็ดเชื้อเพลิงจากกากของเสีย

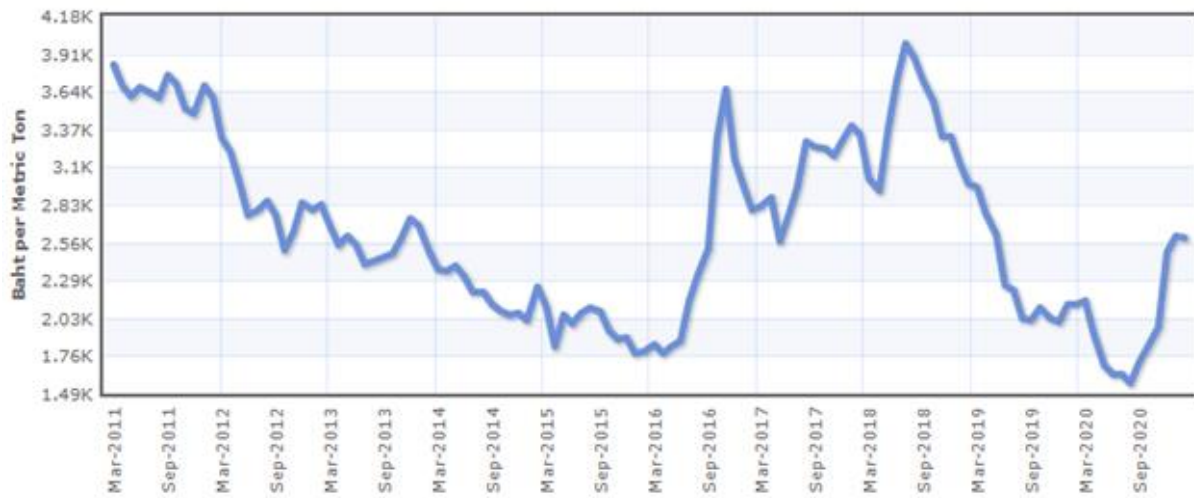
จากตารางที่ 6 เป็นการวิเคราะห์ผลตอบแทนทางด้านเศรษฐศาสตร์ของเม็ดเชื้อเพลิงจากกากของเสียที่ได้รับอิทธิพลจากการเปลี่ยนแปลงของราคาเชื้อเพลิงถ่านหิน โดยผลจากการศึกษาชี้ให้เห็นว่าเมื่อราคาของเชื้อเพลิงถ่านหินมีแนวโน้มสูงขึ้น ผลตอบแทนทางด้านเศรษฐศาสตร์ที่ได้รับจากการใช้เม็ดเชื้อเพลิงจากกากของเสียจะสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ โดยผลการวิเคราะห์จะเป็นไปตามผลวิเคราะห์ในรูปที่ 4 และรูปที่ 5 โดยรูปที่ 4 เป็นผลกำไรสุทธิ (NPV) ตลอดอายุการใช้งานของเครื่องอัดเม็ดเชื้อเพลิงที่มีอายุเฉลี่ย 10 ปี จะเห็นว่า NPV จะมีมูลค่าสูงตามราคาเชื้อเพลิงถ่านหินที่เพิ่มขึ้น โดย NPV สูงสุด (109,648.03 บาท) จะเกิดขึ้นที่ค่าเชื้อเพลิงถ่านหิน +20% และจากรูปที่ 5 เป็นการวิเคราะห์ผลตอบแทนทางด้านเศรษฐศาสตร์จากการใช้งานเม็ดเชื้อเพลิงจากกากของเสียซึ่งให้ผลไปในทิศทางเดียวกับรูปที่ 4 คืออัตราผลประโยชน์ด้านพลังงานรวม (Total Saving Rate Cost : TSRC) จะเกิดขึ้นสูงสุด (69.10%) จะเกิดขึ้นที่ค่าเชื้อเพลิงถ่านหิน +20% ซึ่งส่งผลต่อดัชนีทางด้านเศรษฐศาสตร์ที่ดีขึ้นทั้งหมดเช่นกันดังนี้คือ อัตราผลตอบแทน (IRR) 62.61%, อัตราส่วนผลตอบแทนต่อเงินลงทุน (B/C) 201.29%, ระยะเวลาการคืนทุน (Payback Period) 1.75 ปี

5. สรุปผลและข้อเสนอแนะงานวิจัย

การใช้เม็ดเชื้อเพลิงจากกากของเสียของกระบวนการแปรรูปปลาทุ่นกระป๋อง มีข้อดีในแง่ของการเพิ่มมูลค่าของเสียให้กลับมามีประโยชน์มากขึ้น ซึ่งสามารถลดค่าใช้จ่ายในการกำจัดกากของเสียและสร้างพลังงานทดแทนเชื้อเพลิงถ่านหินได้เป็นอย่างดี อย่างไรก็ตามการใช้กากของเสียจะต้องนำมาผลิตเป็นเม็ดเชื้อเพลิงก่อนเพื่อให้สะดวกต่อการใช้งาน ซึ่งการผลิตเม็ดเชื้อเพลิงจำเป็นต้องมีค่าใช้จ่ายในการผลิตในการขึ้นรูปเม็ดเชื้อเพลิง รวมทั้งการใช้งานเม็ดเชื้อเพลิงจากกากของเสียจะอ่อนไหวต่อราคาของเชื้อเพลิงถ่านหินเป็นอย่างมาก สังเกตได้ว่าหากราคาเชื้อเพลิงถ่านหินมีราคาที่ถูกลงมากกว่า -20% (อ้างอิงที่ราคาเชื้อเพลิงถ่านหิน 3.00 บาท/kg) การใช้เม็ดเชื้อเพลิงจากกากของเสียจะไม่เกิดความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์ ไม่เหมาะสมต่อการลงทุนผลิตเป็นเม็ดเชื้อเพลิงทดแทนเชื้อเพลิงถ่านหิน ซึ่งโอกาสที่จะเกิดขึ้นเป็นไปได้น้อยมาก [7] เนื่องจากระดับราคาเชื้อเพลิงถ่านหินโลกได้ผ่านระดับจุดต่ำสุดมาแล้ว (รูปที่ 6) แต่ก็อาจจะมีโอกาสเกิดขึ้นได้อีกครั้ง ดังนั้นในงานวิจัยต่อไปควรมีการศึกษาถึงผลกระทบจากราคาเชื้อเพลิงถ่าน

<http://jeet.siamtechu.net>

หินที่มีปัจจัยจากเศรษฐกิจโลก รวมถึงปัจจัยอื่นๆ ที่อาจส่งผลกระทบต่อการใช้งานเม็ดเชื้อเพลิงจากกากของเสียเป็นลำดับถัดไป



รูปที่ 6 ราคาเชื้อเพลิงถ่านหินโลก [7]

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] สำนักเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมโรงงาน. หลักปฏิบัติเพื่อการป้องกันมลพิษ (เทคโนโลยีการผลิตที่สะอาด) สำหรับอุตสาหกรรมรายสาขาปละกระป๋อง. กรุงเทพมหานคร; 2546
- [2] World Bank. Environmental Guidelines. Washington D.C. USA: World Bank Publishing; 1984.
- [3] กรมโรงงานอุตสาหกรรม. คู่มือการจัดการสิ่งแวดล้อมอุตสาหกรรม. กรุงเทพมหานคร; 2542
- [4] United Nations Environment Programme (UNEP). Cleaner Production Assessment in Fish Processing. USA: Nairobi Publishing; 2000
- [5] กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่. คู่มือบัญชีของเสียที่เป็นแหล่งทรัพยากรทดแทน (กลุ่มยานยนต์และชิ้นส่วนยานยนต์). กรุงเทพมหานคร; 2556
- [6] กฤติเดช ดวงใจบุญ. "การผลิตเม็ดเชื้อเพลิงจากกากตะกอนน้ำเสียของอุตสาหกรรมปลากระป๋อง". วารสารวิชาการเทคโนโลยีพลังงานและสิ่งแวดล้อม วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม, 2563; ปีที่ 7 ฉบับที่ 2: 25-39.
- [7] World Bank. International Coal Report . Bloomberg: McCloskey Coal Report; World Bank. Publishing; 2021

อิทธิพลของท่อผิวครีที่มีแผ่นบิดส่งผลต่อการถ่ายเทความร้อน

EFFECT OF RIBBED TUBE WITH TWISTED TAPE ON HEAT TRANSFER

เก่งกล้า กุณนารักษ์^{1,*} มิตภาณี พุ่มกล่อม² และ เชษฐภณญ์ ปัญญาวรรณ³Kengkla Kunnarak^{1,*} Mitparnee Pumklom² and Chetphanat Panyawatchawong³¹ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม² คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏกาญจนบุรี³ คณะโลจิสติกส์และเทคโนโลยีการบิน วิทยาลัยเซาธ์อีสท์บางกอก

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

Received : 23 April 2021

Revised : 12 May 2021

Accepted : 15 June 2021

บทคัดย่อ

บทความฉบับนี้ได้ทำการศึกษาอิทธิพลของท่อผิวครีที่มีแผ่นบิดส่งผลต่อการถ่ายเทความร้อนที่ทดลองมีความสูงของครี 1.0 มม. และระยะห่างครี 36 มม. แผ่นบิดมีขนาดความกว้าง 16 มม. มีอัตราส่วนการบิด 3 ค่า $y/W=3.0$, 4.0 และ 5.0 ดำเนินการทดลองในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อสองชั้น ใช้อากาศเป็นของไหลทดลองที่เลขเรย์โนลด์ส $Re=5000-15,000$ ผลการทดลองพบว่าท่อผิวครีช่วยเพิ่มความสามารถในการถ่ายเทความร้อนได้ดีกว่าท่อผิวเรียบ ผลการทดลองท่อผิวครีที่มีแผ่นบิดพบว่าให้ค่าการถ่ายเทความร้อนสูงกว่าท่อผิวครี และท่อผิวเรียบ ตามลำดับ และท่อผิวครีที่มีแผ่นบิดอัตราส่วนการบิด $y/W=3.0$ ให้ค่าการถ่ายเทความร้อนที่สูงที่สุดในส่วนอิทธิพลของเลขเรย์โนลด์ส พบว่า การถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มเลขเรย์โนลด์ส

คำสำคัญ: การถ่ายเทความร้อน, ท่อผิวครี, แผ่นบิด

ABSTRACT

This paper studied the effect of ribbed tube with twisted tape on heat transfer. The test tube has a ribbed height of 1.0 mm and a ribbed pitch of 36 mm. The tape has a width of 16 mm and three twist ratios (y/W) of 3.0, 4.0 and 5.0, respectively. A double-pipe heat exchanger was used as the test section. Experiments were performed using the air as the working fluid at Reynolds numbers (Re) 5000-15,000. It can be observed that heat transfer of the ribbed tube perform higher than those of the plain tube. The ribbed tube with twisted tape give higher heat transfer than the ribbed tube and the plain tube, respectively. The ribbed tube with twisted tape $y/W=3.0$ gives the highest heat transfer. The effect of Reynolds number, heat transfer increases with the increase of the Reynolds number.

Keywords: Heat transfer, ribbed tube, twisted tape

1. บทนำ

เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนมีความสำคัญอย่างมากในอุตสาหกรรมการผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ อาทิเช่น เครื่องอุ่นน้ำสำหรับการผลิต เครื่องระบายความร้อนเครื่องจักร เครื่องควบแน่น เป็นต้น จึงได้มีการพัฒนาอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนให้มีประสิทธิภาพการทำงานให้ดียิ่งขึ้น เพื่อช่วยลดค่าดำเนินการผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ ลดการใช้

<http://jeet.siamtechu.net>

พลังงานในการผลิต วิธีที่ช่วยเพิ่มความสามารถในการแลกเปลี่ยนความร้อนในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อสองชั้นมีการวิจัยที่น่าสนใจที่ผ่านมา อาทิเช่น การปรับปรุงผิวท่อเพื่อสร้างการไหลปั่นป่วนบริเวณผิวท่อ และการติดตั้งแผ่นบิตในท่อเพื่อให้เกิดการไหลปั่นป่วนบริเวณกลางท่อ เพื่อช่วยเพิ่มความสามารถในการถ่ายเทความร้อน มีงานวิจัยที่ผ่านมามี Zimparov [1] ศึกษาผลกระทบของท่อผิวครีร่วมกับแผ่นบิต ทำการทดลองช่วงการไหลแบบปั่นป่วนที่เลขเรย์โนลด์ส $Re=7000-60,000$ ผลการทดลองเผยให้เห็นว่าช่วยเพิ่มความสามารถในการแลกเปลี่ยนความร้อนได้ดีขึ้น การถ่ายเทความร้อนมีค่าเพิ่มมากขึ้นตามการเพิ่มความสูงของครีที่ผิวท่อ และการถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้นตามลดลงของระยะการบิตของแผ่นบิต Chen และคณะ [2] ศึกษาการเพิ่มความสามารถในการแลกเปลี่ยนความร้อนด้วยท่อผิวครี ดำเนินการทดลองที่เลขเรย์โนลด์ส $Re=9000-35,000$ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าระยะห่างของครีส่งผลต่อการแลกเปลี่ยนความร้อนในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน และยังพบว่าการแลกเปลี่ยนความร้อนดีขึ้นตามการเพิ่มความสูงของครี Jianfeng และคณะ [3] ศึกษาอิทธิพลของท่อผิวครีที่มีความสูงของครีต่างกัน ทดลองที่เลขเรย์โนลด์ส $Re=10,607-30,004$ ผลการทดลองพบว่าท่อผิวครีช่วยให้เพิ่มการแลกเปลี่ยนความร้อนได้ดีกว่าท่อผิวเรียบ และการแลกเปลี่ยนความร้อนเพิ่มสูงขึ้นตามการเพิ่มความสูงของครี Huang และคณะ [4] ศึกษาอิทธิพลของท่อผิวครีส่งผลต่อการแลกเปลี่ยนความร้อน ทำการทดลองที่เลขเรย์โนลด์ส $Re=3601-26,025$ ผลการทดลองพบว่าการแลกเปลี่ยนความร้อนมีค่าเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มความสูงของครี และการแลกเปลี่ยนความร้อนเพิ่มขึ้นตามการลดระยะห่างของครี Murugesan และคณะ [5] ได้ศึกษาการถ่ายเทความร้อนโดยการติดตั้งแผ่นบิตและแผ่นบิตที่มีลวดในท่อด้านในของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อสองชั้น ทำการทดลองที่เลขเรย์โนลด์ส $Re=2000-12,000$ ผลการทดลองพบว่าการติดตั้งแผ่นบิตช่วยให้เพิ่มการแลกเปลี่ยนความร้อน และการแลกเปลี่ยนความร้อนเพิ่มขึ้นตามการลดระยะการบิต และยังพบว่าแผ่นบิตที่มีลวดช่วยเพิ่มการแลกเปลี่ยนความร้อนได้ดียิ่งขึ้น Bas และ Ozceyhan [6] ได้ศึกษาการเพิ่มการแลกเปลี่ยนความร้อนด้วยการติดตั้งแผ่นบิตในท่อกลม การทดลองมีแผ่นบิตแบบเต็มท่อและแบบไม่เต็มท่อ ทำการทดลองที่เลขเรย์โนลด์ส $Re=5000-25,000$ ผลการทดลองเผยให้เห็นว่าการติดตั้งแผ่นบิตช่วยเพิ่มการแลกเปลี่ยนความร้อนได้ดีกว่าท่อเปล่า แผ่นบิตแบบเต็มท่อช่วยให้แลกเปลี่ยนความร้อนได้ดีกว่าแบบไม่เต็มท่อ และยังพบว่าการแลกเปลี่ยนความร้อนเพิ่มขึ้นตามการลดลงของระยะบิตของแผ่นบิต

งานวิจัยที่ผ่านมาได้มีการศึกษาการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนส่วนมากใช้ท่อผิวครีเพียงอย่างเดียว และการติดตั้งแผ่นบิตภายในท่อเพียงอย่างเดียว ดังนั้นในงานวิจัยครั้งนี้ได้มีแนวคิดใช้ท่อผิวครีร่วมกับการติดตั้งแผ่นบิตภายในท่อเพื่อเพิ่มความสามารถการถ่ายเทความร้อนได้ดียิ่งขึ้น อิทธิพลของท่อผิวครีที่มีแผ่นบิตส่งผลต่อการถ่ายเทความร้อน ได้ออกแบบท่อผิวครีที่มีความสูงครี 1.0 มม. และระยะห่างครี 36 มม. และได้มีการติดตั้งแผ่นบิตในท่อครี แผ่นบิตมีอัตราส่วนการบิตต่างกัน 3 ค่า $y/W=3.0, 4.0$ และ 5.0 ทดลองที่เลขเรย์โนลด์ส (Re) อยู่ในช่วงระหว่าง 5000 และ 15,000 นำผลที่ได้มาเปรียบเทียบกับท่อเปล่าผิวเรียบ

2. วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อศึกษาอิทธิพลของท่อผิวครีส่งผลต่อการถ่ายเทความร้อน
2. เพื่อศึกษาอิทธิพลของท่อผิวครีที่มีแผ่นบิตส่งผลต่อการถ่ายเทความร้อน

3. วิธีการดำเนินงานวิจัย

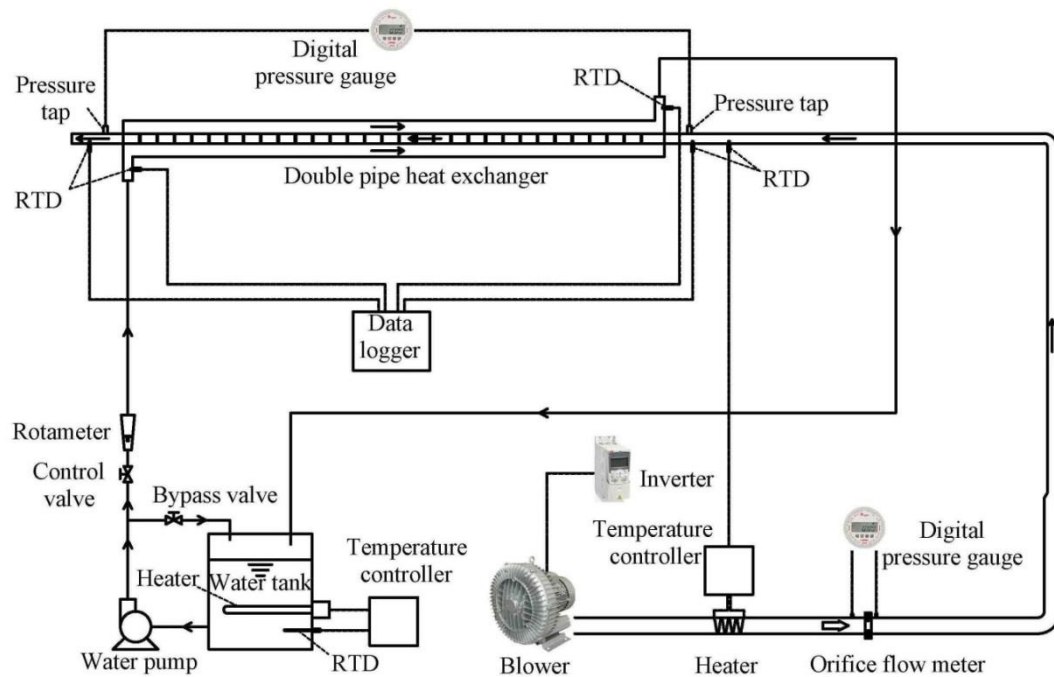
3.1 ชุดอุปกรณ์การทดลอง

ชุดอุปกรณ์การทดลองดังแสดงในรูปที่ 1 ประกอบด้วย 1) เครื่องอัดอากาศ 2) อินเวอร์เตอร์ 3) ชุดอุปกรณ์วัดอัตราการไหลอากาศแบบออร์ฟิสร่วมกับเครื่องวัดความดันต่าง 4) ชุดควบคุมอุณหภูมิอากาศทางเข้าชุดทดลองประกอบด้วย เครื่องควบคุมอุณหภูมิ ฮีตเตอร์ลมนร้อน และเซนเซอร์อุณหภูมิ RTD 5) ชุดทดลองเครื่อง

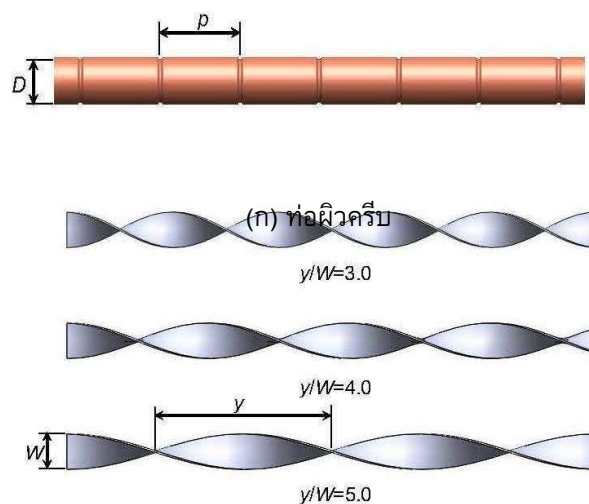
<http://jeet.siamtechu.net>

แลกเปลี่ยนความร้อนแบบทอสองชั้น 6) ชุดเซนเซอร์วัดอุณหภูมิ RTD ใช้วัดอุณหภูมิของไหลที่ทางเข้าและทางออก ร่วมกับเครื่องบันทึกอุณหภูมิ 7) ถังน้ำร้อนที่ติดตั้งเครื่องควบคุมอุณหภูมิ 8) ปั๊มน้ำร้อน 9) ชุดอุปกรณ์วัดอัตราการไหลแบบโรตารีมิเตอร์

ชุดทดลองเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบทอสองชั้นมีความยาวช่วงทดสอบ 1,200 มม. ท่อด้านนอกมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 41 มม. ท่อด้านในหรือท่อผิวเรียบที่ใช้ในการทดสอบมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (D) 18 มม. ท่อผิวครีมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับกับท่อผิวเรียบ มีระยะห่างครี (p) 36 มม. และความสูงครี 1.0 มม. แผ่นบิตที่ติดตั้งในท่อผิวครีมีความกว้าง (W) 16 มม. และอัตราส่วนการบิตต่างกัน 3 ค่า $y/W=3.0, 4.0$ และ 5.0 ดังแสดงในรูปที่ 2 นำผลการทดลองมาเปรียบเทียบกับท่อเปล่าผิวเรียบ



รูปที่ 1 ชุดอุปกรณ์การทดลอง



(ข) แผ่นบิต

รูปที่ 2 ท่อผิวครีและแผ่นบิต

3.2 วิธีการทดลอง

ดำเนินการทดลองการถ่ายเทความร้อนในเครื่องแลกเปลี่ยนแบบท่อสองชั้น ท่อด้านนอกใช้น้ำเป็นของไหลร้อน และท่อด้านในใช้อากาศเป็นของไหลเย็น มีวิธีการทดลองดังนี้ เปิดชุดควบคุมอุณหภูมิ น้ำร้อนและตั้งค่าคงที่ 50 °C ตลอดการทดลอง และเปิดปั๊มน้ำร้อนทำหน้าที่ส่งน้ำร้อนไปยังท่อด้านนอกของชุดทดลอง ปรับอัตราการไหลคงที่ 5 ลิตร ต่อ นาที ซึ่งวัดอัตราการไหลด้วยอุปกรณ์วัดอัตราการไหลแบบโรตารีเมเตอร์ เปิดอินเวอร์เตอร์ซึ่งทำหน้าที่ปรับความเร็วรอบมอเตอร์เครื่องอัดอากาศหรือควบคุมอัตราการไหลอากาศที่ส่งไปยังท่อด้านในของชุดทดลอง ควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ด้วยชุดควบคุมอุณหภูมิซึ่งตั้งค่า 27 °C วัดอัตราการไหลด้วยชุดอุปกรณ์วัดอัตราการไหลอากาศแบบออร์ฟิสร่วมกับเครื่องวัดความดันต่าง ซึ่งปรับอัตราการไหลอากาศในรูปของเลขเรย์โนลด์ส์ (Re) ตามที่กำหนด รอกจนกว่าอุณหภูมิทั้ง 4 จุด (1. อุณหภูมิทางเข้าของท่อด้านใน 2. อุณหภูมิทางออกของท่อด้านใน 3. อุณหภูมิทางเข้าของท่อด้านนอก 4. อุณหภูมิทางออกของท่อด้านนอก) ของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนอยู่ในสภาวะสมดุลทางความร้อน บันทึกผลการทดลองด้วยเครื่องบันทึกอุณหภูมิที่เชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์

3.3 ทฤษฎีที่ใช้ในการวิเคราะห์

อัตราการถ่ายเทความร้อนในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนใช้ค่าเฉลี่ยระหว่างอัตราการถ่ายเทความร้อนของของไหลร้อนและอัตราการถ่ายเทความร้อนของของไหลเย็น สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$Q_{ave} = \frac{(Q_h + Q_c)}{2} \quad (1)$$

อัตราการถ่ายเทความร้อนที่ท่อด้านนอกหรืออัตราการถ่ายเทความร้อนของของไหลร้อน

$$Q_h = \dot{m}_h c_{p,h} (T_{h,in} - T_{h,out}) \quad (2)$$

อัตราการถ่ายเทความร้อนที่ท่อด้านในหรืออัตราการถ่ายเทความร้อนของของไหลเย็น

$$Q_c = \dot{m}_c c_{p,c} (T_{c,out} - T_{c,in}) \quad (3)$$

ชุดทดลองเกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนบนพื้นผิวของท่อตลอดความยาว สามารถพิจารณาด้วยวิธีความแตกต่างอุณหภูมิเฉลี่ยแบบล็อก

$$Q_{ave} = UA \Delta T_{LMTD} \quad (4)$$

สัมประสิทธิ์การพาความร้อนด้านนอกใช้สมการการถ่ายเทความร้อน

$$\frac{h_o D_{h,o}}{k} = 0.023 Re_o^{4/5} Pr_o^{0.3} \quad (5)$$

พิจารณาจากสมการสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมจะได้สัมประสิทธิ์การพาความร้อนด้านใน

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_o} \quad (6)$$

การถ่ายเทความร้อนในรูปของเลขนัสเซลด์ที่ท่อด้านใน

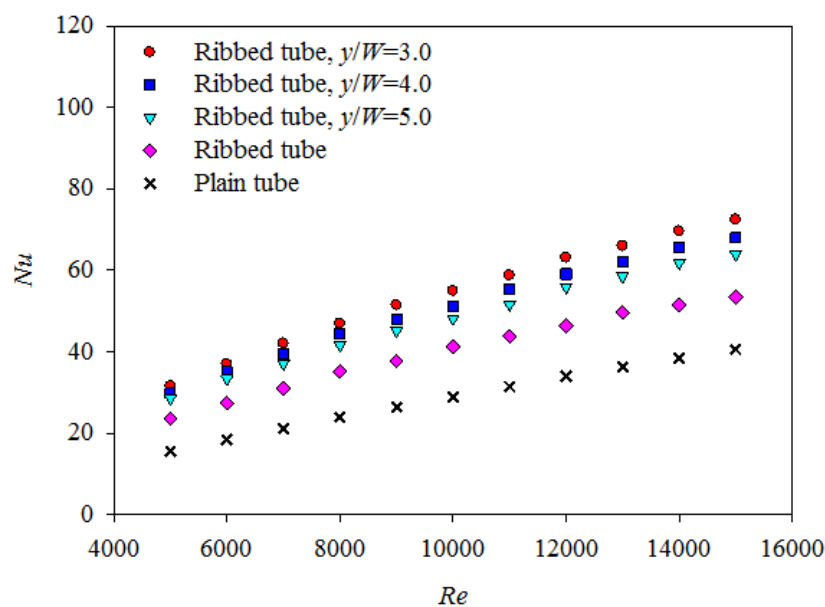
$$Nu = \frac{h_i D_i}{k} \quad (7)$$

อัตราการไหลของของไหลในรูปของเลขเรย์โนลด์ส์ที่ท่อด้านใน

$$Re = \frac{\rho V D_i}{\mu} \quad (8)$$

4. ผลการวิจัยและการวิเคราะห์ผล

การศึกษาอิทธิพลของท่อผิวครี และท่อผิวครีที่มีแผ่นบิดส่งผลต่อการถ่ายเทความร้อน ได้นำเสนอการถ่ายเทความร้อนในรูปของเลขนัสเซิลต์ และอัตราการไหลของของไหลในรูปของเลขเรย์โนลด์ส์ $Re=5000-15,000$ ดังแสดงในรูปที่ 3 ผลการทดลองเผยให้เห็นว่าการติดตั้งท่อผิวครีแทนที่ท่อผิวเรียบในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อสองชั้นช่วยให้เพิ่มการถ่ายเทความร้อน ทั้งนี้อาจเกิดจากของไหลบริเวณใกล้ผนังท่อปะทะผิวครีของท่อที่ยื่นออกมาทำให้ของไหลเกิดการไหลแบบปั่นป่วนเกิดการผสมกันและแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างของไหลได้ดีขึ้น ในส่วนอิทธิพลของท่อผิวครีที่มีแผ่นบิดอัตราส่วนการบิด ($y/W=3.0, 4.0$ และ 5.0) ส่งผลต่อการถ่ายเทความร้อนพบว่าให้ค่าการถ่ายเทความร้อนสูงกว่าท่อผิวครีเปล่า และท่อผิวเรียบเปล่า ตามลำดับ ทั้งนี้อาจเกิดจากการติดตั้งแผ่นบิดในท่อผิวครีทำให้ของไหลเกิดการไหลแบบหมุนควงและเกิดการไหลแบบปั่นป่วนที่รุนแรงยิ่งขึ้น และยังเพิ่มระยะเวลาในการแลกเปลี่ยนความร้อนในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนส่งผลให้เกิดการถ่ายเทความร้อนได้ดียิ่งขึ้น การถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้นตามการลดลงของอัตราส่วนการบิด ท่อผิวครีที่มีแผ่นบิดอัตราส่วนการบิด ($y/W=3.0$) ให้ค่าการถ่ายเทความร้อนสูงที่สุด และสูงกว่าท่อผิวครีที่มีแผ่นบิดอัตราส่วนการบิด ($y/W=4.0$ และ 5.0) ตามลำดับ ทั้งนี้อาจเกิดจากการลดลงของอัตราส่วนการบิดทำให้ของไหลเปลี่ยนทิศทางการไหลตามแนวแกนของท่อเป็นการไหลหมุนควงตามแนวรัศมีทำให้เพิ่มความปั่นป่วนและเพิ่มระยะเวลาในการแลกเปลี่ยนความร้อนขึ้นอีกส่งผลให้ค่าการถ่ายเทความร้อนสูงขึ้น และยังพบว่าการถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มอัตราการไหลในรูปของเลขเรย์โนลด์ส์สำหรับการทดลองทุกกรณี



รูปที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างเลขนัสเซิลต์กับเลขเรย์โนลด์ส์

5. สรุปผลงานวิจัย

การศึกษาอิทธิพลของท่อผิวครี ท่อผิวครีที่มีแผ่นบิด และเลขเรย์โนลด์ส์ส่งผลต่อการถ่ายเทความร้อน ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่ามีความสอดคล้องกับงานวิจัยในอดีต ท่อผิวครีช่วยเพิ่มการถ่ายเทความร้อนในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนได้ดีกว่าท่อผิวเรียบ การติดตั้งแผ่นบิดช่วยเพิ่มการถ่ายเทความร้อน และการถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้นตามการลดอัตราส่วนการบิดของแผ่นบิดซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Bas และ Ozceyhan [6] จากผลการทดลองครั้งนี้สามารถสรุปได้ว่า

<http://jeet.siamtechu.net>

1. ท่อผิวครีปที่ติดตั้งในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนช่วยเพิ่มความสามารถในการถ่ายเทความร้อนได้ดีกว่าท่อผิวเรียบ อาจเกิดจากผิวครีปทำลายชั้นขอบเขตบริเวณใกล้ผนังท่อทำให้เกิดการไหลปั่นป่วนส่งผลให้เกิดการถ่ายเทความร้อนดีขึ้น

2. ท่อผิวครีปที่มีแผ่นบิตให้ค่าการถ่ายเทความร้อนสูงกว่าท่อผิวครีปอย่างเดียว และท่อผิวเรียบตามลำดับ และพบว่าการถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้นตามการลดอัตราส่วนการบิตของแผ่นบิต ท่อผิวครีปที่มีแผ่นบิตอัตราส่วนการบิต ($y/W=3.0$) ให้ค่าการถ่ายเทความร้อนสูงที่สุด อาจเกิดจากการติดตั้งแผ่นบิตในท่อครีปทำให้เกิดการไหลหมุนวนและเกิดการไหลแบบปั่นป่วนอย่างรุนแรงส่งผลให้เกิดการถ่ายเทความร้อนได้ดียิ่งขึ้น

3. ผลการทดลองพบว่าทั้งกรณีท่อเปล่า ท่อผิวครีป และท่อผิวครีปที่มีแผ่นบิตให้ค่าการถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มเลขเรย์โนลด์ส อาจเกิดจากการเพิ่มอัตราการไหลของของไหลในท่อด้านในของชุดทดลองทำให้เพิ่มสัมประสิทธิ์การพาความร้อนด้านในหรือเพิ่มอัตราการถ่ายเทความร้อน

6. รายการสัญลักษณ์

A	พื้นที่ผิวแลกเปลี่ยนความร้อน (m^2)
c_p	ความจุความร้อนจำเพาะ ($J/kg \text{ } ^\circ C$)
D	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ (m)
h	สัมประสิทธิ์การพาความร้อน ($W/m^2 \text{ } ^\circ C$)
k	ค่าการนำความร้อน ($W/m \text{ } ^\circ C$)
L	ความยาวชุดทดลอง (m)
$\dot{m}$	อัตราการไหลเชิงมวล (kg/s)
Nu	เลขนัสเซิลต์ (-)
Pr	เลขพรานด์เทิล (-)
Q	อัตราการถ่ายเทความร้อน (W)
Re	เลขเรย์โนลด์ส (-)
T	อุณหภูมิของของไหล ($^\circ C$)
U	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม ($W/m^2 \text{ } ^\circ C$)
V	ความเร็วเฉลี่ยของการไหล (m/s)

สัญลักษณ์กรีก

ρ	ความหนาแน่นของของไหล (kg/m^3)
μ	ความหนืดพลวัตของของไหล ($N \text{ s}/m^2$)

สัญลักษณ์ตัวห้อย

c	ของไหลเย็น
h	ของไหลร้อน
i	ด้านใน
in	ด้านทางเข้า
o	ด้านนอก
out	ด้านทางออก

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] V. Zimparov, "Prediction of friction factors and heat transfer coefficients for turbulent flow in corrugated tubes combined with twisted tape inserts. Part 2: heat transfer coefficients", *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 47, 385-393., 2004.
- [2] C. Chen, Y.T. Wu, S.T. Wang and C.F. Ma, "Experimental investigation on enhanced heat transfer in transversally corrugated tube with molten salt", *Experimental Thermal and Fluid Science*, 47, 108-116., 2013.
- [3] L. Jianfeng, S. Xiangyang, D. Jing, P. Qiang and W. Yuliang, "Convective heat transfer of high temperature molten salt in transversely grooved tube", *Applied Thermal Engineering*, 61, 157-162., 2013.
- [4] W.C. Huang, C.A. Chen, C. Chen and Y.J. San, "Effects of characteristic parameters on heat transfer enhancement of repeated ring-type ribs in circular tubes", *Experimental Thermal and Fluid Science*, 68, 371-380., 2015.
- [5] P. Murugesan, K. Mayilsamy and S. Suresh, "Heat transfer and friction factor studies in a circular tube fitted with twisted tape consisting of wire-nails", *Chinese Journal of Chemical Engineering*, 18, 1038-1042., 2010.
- [6] H. Bas and V. Ozceyhan, "Heat transfer enhancement in a tube with twisted tape inserts placed separately from the tube wall", *Experimental Thermal and Fluid Science*, 41, 51-58., 2012.

การวิเคราะห์จลนศาสตร์ไปข้างหน้าของ หุ่นยนต์แขนกลรุ่น Denso VS-6577

FORWARD KINEMATIC ANALYSIS OF DENSO VS-6577 ROBOT MANIPULATOR

วิโรจน์ ขาวละออ^{1*} และ กิตติยา นาคพันธ์²Wiroj Khawlaor^{1*} and Kittiya Nakphan²¹ อาจารย์คณะวิศวกรรมศาสตร์ วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม² อาจารย์คณะวิทยาศาสตร์สุขภาพ วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม

Received : 15 March 2021

Revised : 23 May 2021

Accepted : 15 June 2021

* Corresponding author E-mail : kaola_or@yahoo.com

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันอุตสาหกรรมทั้งขนาดเล็กและขนาดใหญ่ มีการใช้หุ่นยนต์แขนกลเพื่อทำงานให้บรรลุตามเป้าหมายเพิ่มขึ้นเป็นจำนวนมาก เช่นการหยิบจับชิ้นงานและวางชิ้นงาน หรือ กระบวนการเชื่อม การทาสี และการจัดเก็บชิ้นงาน แต่เพื่อให้งานเหล่านี้ ประสบผลสำเร็จ จำเป็นต้องศึกษาการใช้งานของหุ่นยนต์แขนกลอย่างรอบคอบ และปัญหาที่สำคัญที่สุดในการควบคุมหุ่นยนต์แขนกล ประการหนึ่งคือ การได้รับพิกัดตำแหน่งที่แม่นยำ และแนวทางการหาตำแหน่งของ หุ่นยนต์ มีสองวิธี ในการวิเคราะห์หุ่นยนต์ วิธีหนึ่งคือการวิเคราะห์จลนศาสตร์ไปข้างหน้า และอีกวิธีหนึ่งคือการวิเคราะห์จลนศาสตร์ย้อนกลับ โดยบทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและจำลองการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์แขนกล แบบจลนศาสตร์ไปข้างหน้า ของหุ่นยนต์ Denso VS-6577 ซึ่งเป็นหุ่นยนต์แขนกลแบบ 6 ตัวแปรอิสระ การวางแผนเส้นทางของการเคลื่อนที่ โดยใช้วิธีการ แบบ DH parameter เพื่อคำนวณค่าตำแหน่งของปลายแขน ทำการศึกษา จลนศาสตร์แบบไปข้างหน้า และเปรียบเทียบผลลัพธ์ ของการจำลอง (Simulation) วิเคราะห์ การทำงานของหุ่นยนต์ เพื่อตรวจสอบข้อผิดพลาดที่ยอมรับได้ ด้วยฟังก์ชันการใช้งานของหุ่นยนต์ใน โปรแกรม Matlab

คำสำคัญ: จลนศาสตร์ไปข้างหน้า, อันดับตัวแปรอิสระ, การเปลี่ยนแปลง, DH parameter, แขนกล

ABSTRACT

At present, both small and large industries. Robots are used to accomplish goals and increased a lot, such as handling and placing workpieces, or welding processes, painting and storage. But to complete these tasks, Success It is necessary to study the applications of the mechanical arm robot carefully. And the most critical problem in the control of robots, robotic arms. One is Obtaining accurate location coordinates. There are two methods for analyzing the robot. One way is forward kinematic analysis. And another method is reverse kinetic analysis. The purpose of this article is to study and simulate the motion of a mechanical arm robot. The forward kinematics of the Denso VS-6577, a six independent robotic arm, plotted movement. Using the DH parameter method to calculate end-effector position values, forward kinetics were studied. And compare the results of the simulation (Simulation). Analyze the robot's performance. To check for acceptable errors with the functionality of the robots in the Matlab program

Keywords: Forward kinematic, DOF (degree of freedom), transformation, DH parameter, Robotic arm.

1. Introduction

Robot is a machine that collects the information about the environment using some sensors and makes a decision automatically. Today robots are used in various field like as medical, industry, military operation, in space and some dangerous place. Where human don't want to work. But the controlling of robot manipulator has been challenges with higher DOF. Position and orientation analysis of robotic manipulator is an essential step to design and control. In this paper a basic introduction of the position and orientation analysis of a serial manipulator is given. A robot manipulator consists set of links connected together this either serial or parallel manner. The FK analysis is simple to analysis of model and calculate the position and orientation using the joint angle. Complexity of the FK increases with increase the DOF. So, to analyze FK in this paper use the DH convention and transformation type solution.

2. Kinematics

Kinematics is the branch of mechanics that deals with the motion of the bodies and system without considering the force. And the robot kinematics applies geometry to the study movement of multi DOF kinematic chains that form the structure of robot manipulator [1] Robot kinematic studies the relationship between the linkages of robot with the position, orientation and acceleration. The robot kinematic can be categorized into two main parts: forward and inverse kinematics. Forward kinematics problem is not difficult to perform and there is no complexity in deriving the equation in contrast to the inverse kinematics, which both types are related to DH Parameter and in this paper will consider only in Forward Kinematic.

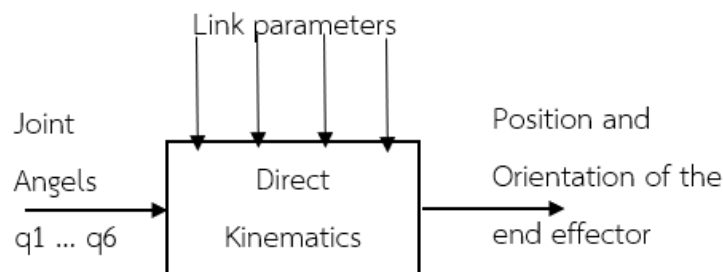


Fig. 1 Operational Structure

3. Forward Kinematic Analysis

This specified the joint parameter and kinematic equation is used to compute the position of end effector from specified value for each joint parameter. Or calculation of the position and orientation of the robotic manipulator in terms of the joint variable is called forward kinematic. The forward kinematics problem is related between the individual joints of the robot manipulator and the position and orientation of the tool or end-effector. The joint variables are the angles between the links for revolute or prismatic joints, and the link extension in the prismatic or sliding joints. A systematic way of describing the geometry of a serial chain of links and joints was proposed by Denavit and Hartenberg and is known today as Denavit-Hartenberg (DH) notation. DH convention is used for selecting frame of reference for the robotic arm. In this convention, coordinate frame are attached to the joints between two link to describe the location of each link relative to its

previous. There are four parameter used in DH parameter representation. These parameters describe the relative rotation and translation between consecutive frames. **Link length** (a_i) : the distance between the axis Z_0 and Z_1 and this distance measure along the X_1 axis. **Link offset** (d_i) : distance from origin O_0 to the intersection of the X_1 axis with Z_0 measured along the Z_0 axis (Tran, Z , a_i). **Joint angle** (θ_i) : angle from X_0 and X_1 measured in plane normal to Z_0 (ROT , Z , θ_i). **Link twist** (α_i) : angle between Z_0 and Z_1 measured in plane normal to X_1 axis (ROT , X , α_i)

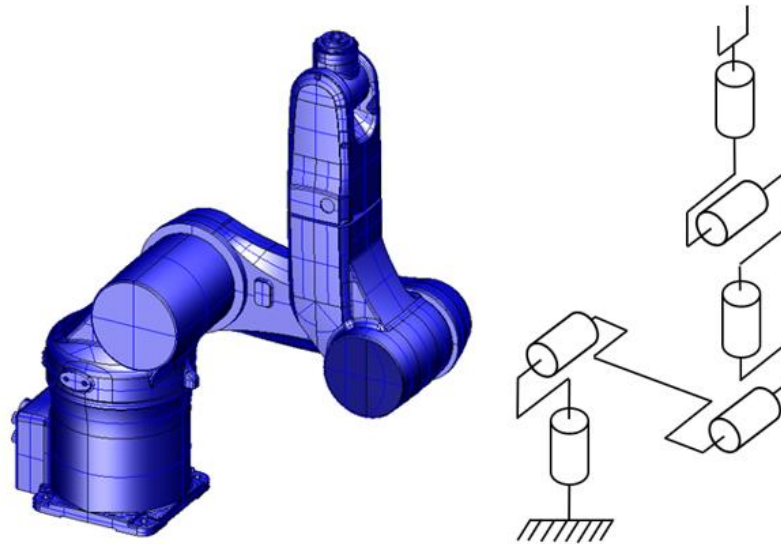


Fig. 2 Frame for the Denso VS-6577G robot Arm

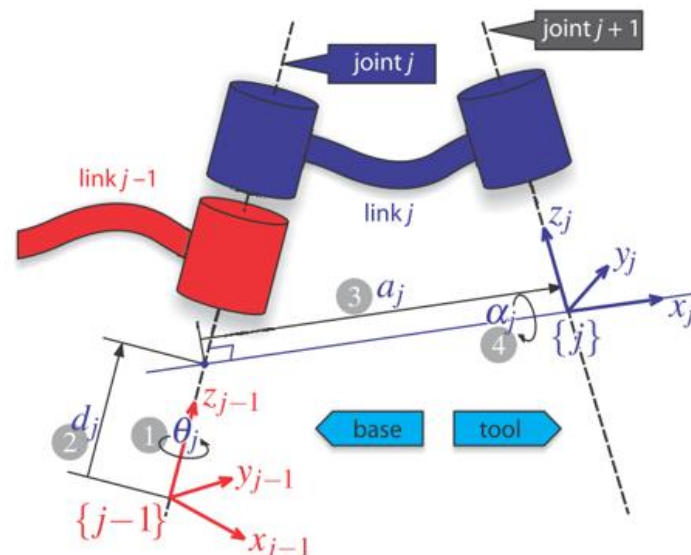
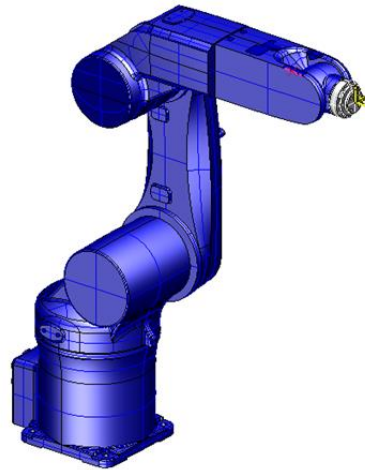


Fig. 3 DH representation of a general-purpose joint-link combination

Table 1 DH Parameter of the Denso VS 6577G Robot Arm

Joint i	θ_i	d_i	a_i	α_i	Joint Limit (degrees)
1	q_1	d_1	0	$\pi / 2$	-160, 160
2	q_2	0	a_2	0	-120, 120
3	q_3	0	a_3	$-\pi / 2$	20, 160
4	q_4	d_4	0	$\pi / 2$	-160, 160
5	q_5	0	0	$-\pi / 2$	-120, 120
6	q_6	d_6	0	0	-360, 360

Transformation between two joints in a generic form [3] is given in Eq. (1). Denso Robot is a 6 Degree of Freedom (DOF) robotic manipulator. World frame and joint frames used in calculations and home position of Denso robot are shown in Figure 4

**Fig. 4** Home position of Denso VS-6577G robot arm.

Transformation matrix for each joint can be obtained by using Eq. (1). The parameters given in Table 1 are substituted into Eq. (1) to find each of them. Six Transformation matrices are presented in Eq. (2)

$$T_j^{j-1} = \begin{bmatrix} \cos \theta_j & -\sin \theta_j \cos \alpha_j & \sin \theta_j \sin \alpha_j & a_j \cos \theta_j \\ \sin \theta_j & \cos \theta_j \cos \alpha_j & -\cos \theta_j \sin \alpha_j & a_j \sin \theta_j \\ 0 & \sin \alpha_j & \cos \alpha_j & d_j \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$\begin{aligned}
T_1 &= \begin{bmatrix} C_1 & 0 & S_1 & 0 \\ S_1 & 0 & -C_1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & d_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} & T_2 &= \begin{bmatrix} C_2 & -S_2 & 0 & a_2 C_2 \\ S_2 & C_2 & 0 & a_2 S_2 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \\
T_3 &= \begin{bmatrix} C_3 & 0 & -S_3 & a_3 C_3 \\ S_3 & 0 & C_3 & a_3 S_3 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} & T_4 &= \begin{bmatrix} C_4 & 0 & S_4 & 0 \\ S_4 & 0 & -C_4 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & d_4 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \\
T_5 &= \begin{bmatrix} C_5 & 0 & -S_5 & 0 \\ S_5 & 0 & C_5 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} & T_6 &= \begin{bmatrix} C_6 & -S_6 & 0 & 0 \\ S_6 & C_6 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & d_6 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2)
\end{aligned}$$

Where Cos and Sin are abbreviated to C and S, respectively. The total transformation between the base of the robot and the hand is:

$$T_6^0 = T_1 T_2 T_3 T_4 T_5 T_6 = \begin{bmatrix} n_x & o_x & a_x & p_x \\ n_y & o_y & a_y & p_y \\ n_z & o_z & a_z & p_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

When n (normal), o (orientation), a (approach) elements are for orientation and P (position) element are position elements relative to the reference frame. The elements of the matrix shown in left hand side of Eq. (3) are given in Eqs. (4, 5, 6, and 8).

$$\begin{aligned}
n_x &= c_6 * (s_5 * (c_1 * c_2 * s_3 + c_1 * c_3 * s_2) - c_5 * (s_1 * s_4 - c_4 * (c_1 * c_2 * c_3 - c_1 * s_2 * s_3))) \\
&\quad - s_6 * (c_4 * s_1 + s_4 * (c_1 * c_2 * c_3 - c_1 * s_2 * s_3)) \\
n_y &= c_6 * (s_5 * (c_2 * s_1 * s_3 + c_3 * s_1 * s_2) + c_5 * (c_1 * s_4 + c_4 * (c_2 * c_3 * s_1 - s_1 * s_2 * s_3))) \\
&\quad + s_6 * (c_1 * c_4 - s_4 * (c_2 * c_3 * s_1 - s_1 * s_2 * s_3)) \\
n_z &= c_6 * (s_5 * (c_2 * c_3 - s_2 * s_3) - c_4 * c_5 * (c_2 * s_3 + c_3 * s_2)) + s_4 * s_6 * (c_2 * s_3 + c_3 * s_2) \quad (4)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
o_x &= -s_6*(s_5*(c_1*c_2*s_3 + c_1*c_3*s_2) - c_5*(s_1*s_4 - c_4*(c_1*c_2*c_3 - c_1*s_2*s_3))) \\
&\quad - c_6*(c_4*s_1 + s_4*(c_1*c_2*c_3 - c_1*s_2*s_3)) \\
o_y &= c_6*(c_1*c_4 - s_4*(c_2*c_3*s_1 - s_1*s_2*s_3)) - s_6*(s_5*(c_2*s_1*s_3 + c_3*s_1*s_2) \\
&\quad + c_5*(c_1*s_4 + c_4*(c_2*c_3*s_1 - s_1*s_2*s_3))) \\
o_z &= c_6*s_4*(c_2*s_3 + c_3*s_2) - s_6*(s_5*(c_2*c_3 - s_2*s_3) - c_4*c_5*(c_2*s_3 + c_3*s_2)) \quad (5)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
a_x &= c_5*(c_1*c_2*s_3 + c_1*c_3*s_2) + s_5*(s_1*s_4 - c_4*(c_1*c_2*c_3 - c_1*s_2*s_3)) \\
a_y &= c_5*(c_2*s_1*s_3 + c_3*s_1*s_2) - s_5*(c_1*s_4 + c_4*(c_2*c_3*s_1 - s_1*s_2*s_3)) \\
a_z &= c_5*(c_2*c_3 - s_2*s_3) + c_4*s_5*(c_2*s_3 + c_3*s_2) \quad (6)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
p_x &= a_1*c_1 + d_6*(c_5*(c_1*c_2*s_3 + c_1*c_3*s_2) + s_5*(s_1*s_4 - c_4*(c_1*c_2*c_3 - c_1*s_2*s_3))) \\
&\quad + d_4*(c_1*c_2*s_3 + c_1*c_3*s_2) + a_2*c_1*c_2 - a_3*c_1*s_2*s_3 + a_3*c_1*c_2*c_3 \\
p_y &= a_1*s_1 + d_6*(c_5*(c_2*s_1*s_3 + c_3*s_1*s_2) - s_5*(c_1*s_4 + c_4*(c_2*c_3*s_1 - s_1*s_2*s_3))) \\
&\quad + d_4*(c_2*s_1*s_3 + c_3*s_1*s_2) + a_2*c_2*s_1 - a_3*s_1*s_2*s_3 + a_3*c_2*c_3*s_1 \\
p_z &= d_1 - a_2*s_2 + d_4*(c_2*c_3 - s_2*s_3) + d_6*(c_5*(c_2*c_3 - s_2*s_3) \\
&\quad + c_4*s_5*(c_2*s_3 + c_3*s_2)) - a_3*c_2*s_3 - a_3*c_3*s_2 \quad (7)
\end{aligned}$$

4. Robot Simulation in Matlab

The toolbox performs many functions for analyzing and simulation of arm type robotic in fields of kinematics, dynamics, and trajectory generation. The Toolbox is based on a very general method of representing the kinematics and dynamics of serial link manipulators. These parameters are included in MATLAB® objects. Designed model by robotics toolbox is given in Fig. 5. The joint space trajectories can be calculated by forward kinematics and a simulation for robot can be done to move robot from initial position to final position in work space as follow Figure 5, 6, 7

Table 2 Position value for End Effector of 6 DOF

Position	Reference Data	Simulation	Angles
	(X, Y, Z) (mm)	(X, Y, Z) (mm)	
0	(0, 790, 597)	(0.01, 793, 594)	P0 = [0; 0; 0; 0; 0; 0]
1	(96.8, 58.6, 549.0)	(96.4, 58.9, 548.6)	P1 = [-170; -100; -119; -180; -120; -360]
2	(0, 790, 597)	(0.01, 793, 594)	P2 = [0; 0; 0; 0; 0; 0]
3	(0.97, 610.2, 5.51)	(0.95, 610.18, 5.53)	P3 = [170; -90; 75; 180; 120; 360]
0	(0, 790, 597)	(0.01, 793, 594)	P4 = [0; 0; 0; 0; 0; 0]

Table 2 shows the trajectory of the robot in the Zero position, as shown in Figure 2. After the travel time reaches 20 sec, the robot will continue to position 1, as shown in Figure 6, and then at 40 sec, it will come to position 2. Then, at the time of 60 sec, it will be position 3 and finally continue to position 4.

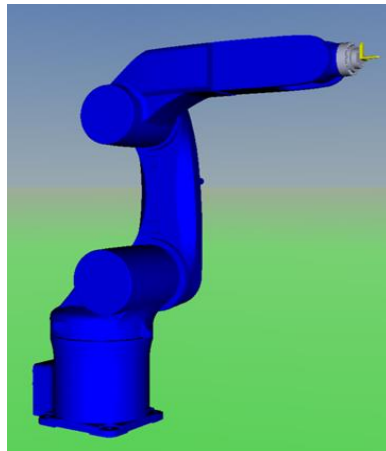


Fig. 5 Position 0

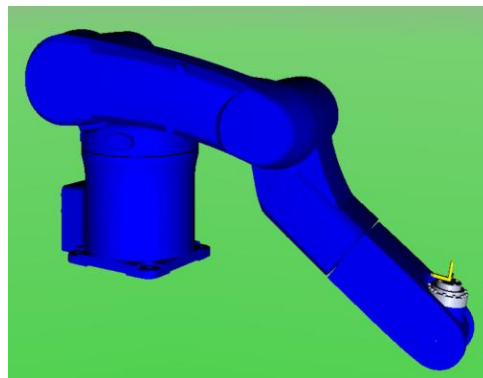


Fig. 6 Position 1

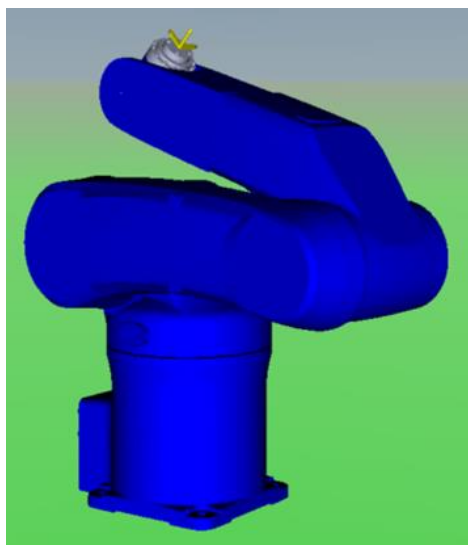


Fig. 7 Position 2

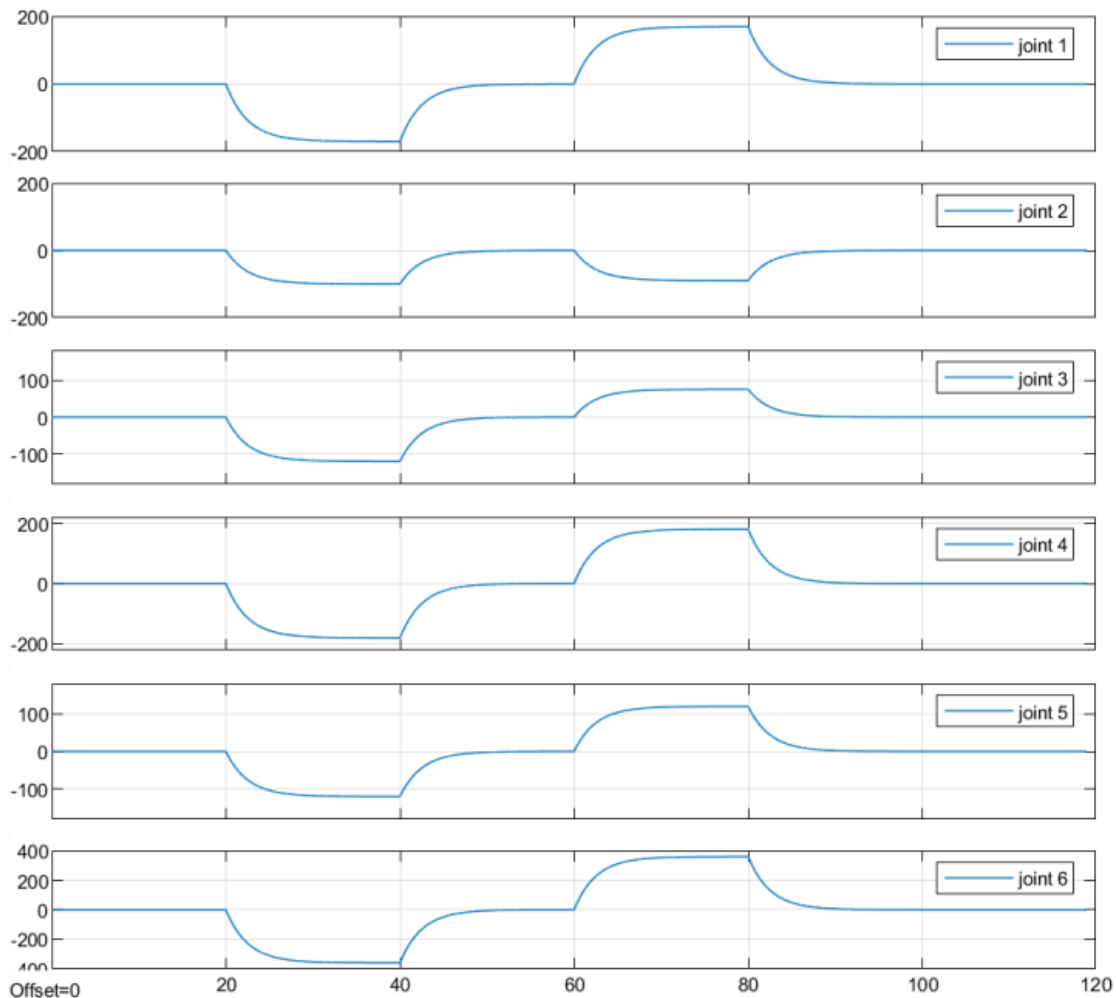


Fig. 8 Angular displacements of the robot links

Figure 8 shows the simulation results of each joint, with the robot Denso VS 6577 having a total of 6 joints when moving simultaneously. It found that the values obtained from the simulation were consistent with the designed values and to study the behavior of each joint that the movement in each joint has a setting time of 10 sec.

5. Conclusion

In this study, it is focused on determining the analytical solution of forward kinematic of the Denso VS-6577 6 axis robot which is available in the laboratory. Robotics toolbox on Matlab is provided a great simplicity to us about kinematics of robots with the ready function on it. However, making calculation in traditional way is important in order to control the robot and to form a background for further studies. Toolbox is then used to verify the results obtained by analytical way. According to the simulation test results, the robot takes the time to move each joint by moving simultaneously on all 6 joints, each coordinate by rotation and translation as designed. And found that the most error of X axis = 2.06%, Y = 0.51%, Z = 0.50%. This study is contained a part of theoretical and numerical kinematics analysis of Denso VS-6577 robot arm. It is performed to build a background study for advance robotics issues.

6. References

- [1] Paul, Richard (1981). Robot manipulators: mathematics, programming, and control: the computer control of robot manipulators. MIT Press, Cambridge, MA. ISBN 978-0-262-16082-7.
- [2] Spong, M., W., 'Robot Modeling and Control'. John Wiley & Sons. 2006
- [3] P.Corke. Robotics, Vision and Control, Fundamental Algorithms in Matlab®. Springer, 2011.
- [4] Craig J.J. Introduction to Robotics, Mechanisms and Controls, Addison-Wesley, Reading, MA, 1989.
- [5] J. Denavit & R.S. Hartenberg, A Kinematic notation for lower-pair mechanisms based on matrices, Journal of Applied Mechanics 1. Page 215-221, 1955.
- [6] Creating Graphical User Interfaces, (2015). Mathworks.
- [7] Frank L.Lewis, Robot Manipulator Control Theory and Practice, Second Edition, Revise and Expanded 2004

การตรวจจับสิ่งแปลกปลอมบนผิวหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ของบริษัทกรณีศึกษาด้วย เทคนิคการประมวลผลภาพ

THE CONTAMINATION DETECTION ON AIR BEARING SURFACE OF CASE STUDY COMPANY BY MACHINE VISION TECHNIQUE

ปัญญา สำราญหันต์^{1*} ณภพ ชัยสุวรรณ² และประจักษ์ พรหมงาม³

Panya Samranhan^{1*} Napop Saisuwan² and Prachak Promngam⁵

^{1, 2} คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา

³ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม

* Corresponding author E-mail : panya.su@bsru.ac.th

Received : 19 February 2021

Revised : 05 June 2021

Accepted : 15 June 2021

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและพัฒนาการตรวจสอบอัตโนมัติสำหรับการตรวจจับสิ่งแปลกปลอมบนผิวหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ด้วยเทคนิคการประมวลผลจากภาพถ่ายของบริษัทกรณีศึกษานี้ได้แบ่งออกเป็น 3 ส่วนคือส่วนแรกเริ่มจากการศึกษาวิธีการปรับปรุงคุณลักษณะของภาพถ่ายสำหรับเป็นภาพต้นแบบ ส่วนที่สองเป็นการพัฒนาขั้นตอนการตรวจสอบบนผิวหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ด้วยโปรแกรมการประมวลผลจากภาพถ่าย และส่วนสุดท้ายเป็นการประเมินประสิทธิภาพระบบการวัดระหว่างระบบการประมวลผลภาพที่พัฒนาขึ้นเปรียบเทียบกับ การตรวจสอบผลของพนักงานที่เชี่ยวชาญ ภาพถ่ายของผลิตภัณฑ์มีลักษณะคุณภาพ 2 ลักษณะ จำนวน 300 ตัวอย่างได้แก่ ผลิตภัณฑ์ที่มีระดับตามเกณฑ์มาตรฐาน 150 ตัวอย่าง และระดับที่ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน 150 ตัวอย่าง ผลจากการวิจัยพบว่าประสิทธิภาพการตรวจสอบด้วยพนักงานมีความแม่นยำ ร้อยละ 98 และการประมวลผลภาพมีความแม่นยำ ร้อยละ 89 และเมื่อนำผลการตรวจสอบของพนักงานและเครื่องจักรมาเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน มีผลการตรวจสอบได้ตรงตามมาตรฐานที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 และในงานวิจัยครั้งนี้ยังพบว่าคุณสมบัติ Kappa ของพนักงานและการประมวลผลภาพเท่ากับ 0.83 กล่าวได้ว่าผลการตรวจสอบของพนักงานและการประมวลผลภาพมีความสอดคล้องกันมาก นอกจากนั้นความสามารถของผลการตรวจสอบจากการประมวลผลภาพในการแยกชิ้นงานเสียออกจากชิ้นงานดี พบว่าคุณสมบัติ Kappa มีค่าเท่ากับ 0.75 สรุปได้ว่าผลการตรวจสอบด้วยการประมวลผลภาพของงานวิจัยนี้มีความสอดคล้องกับมาตรฐานในระดับดีมาก

คำสำคัญ: การตรวจจับสิ่งแปลกปลอม/ หน้าหัวอ่านฮาร์ดดิสก์/ เทคนิคการประมวลผลจากภาพถ่าย

ABSTRACT

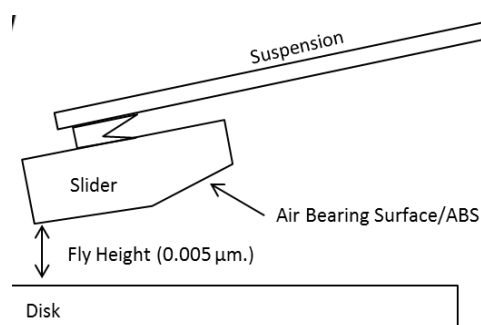
The objective of this research was to study and development of auto inspection for contamination detection on the air bearing surface by machine vision technique a sample company. This research was divided into three parts. The first part started from the study of how to improve the image characteristics for the prototype. The second part was to the development of air bearing surface inspection step with machine vision software. Finally, it was to measurement system

performance evaluation between the machine vision system compare with expert inspection. The products quality image had two characteristics, from 300 examples can be subdivided into 150 examples in standard level and 150 examples in defective. The results showed that the efficiency of the inspector was 98 % accurate and machine vision was 89 % accurate, results from inspector and machine vision were compared with standard values. There are inspection results in standards with 0.05 significance. Moreover, in this research, the Kappa coefficient of inspector and machine vision was 0.83, It can be said that the results of an inspection by the inspector and the machine vision are very consistent. In addition, the ability of the inspection results from machine vision to separate the defective part from the good part was found that the Kappa coefficient is 0.75. It can be concluded that the machine vision inspection results of this research consistency with the standard at a very well level.

Keywords: Contamination Detection/ Air Bearing Surface/ Machine Vision Technique

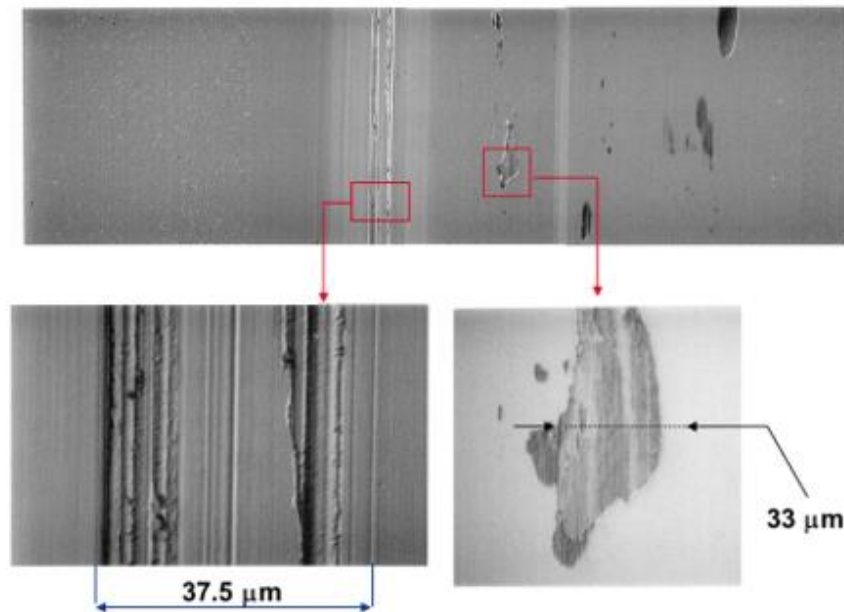
1. บทนำ

การควบคุมคุณภาพในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ เป็นอุตสาหกรรมที่ต้องการควบคุมในเรื่องความสะอาด ปราศจากสิ่งแปลกปลอมที่จะเข้ามาสัมผัสกับชิ้นส่วนที่มีขนาดเล็ก ซึ่งสิ่งแปลกปลอมเหล่านั้นจะส่งผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของอุปกรณ์ที่ผลิตต่ำลง สิ่งแปลกปลอมเหล่านั้นจะส่งผลความเสียหายต่อหน้าที่หลักของสินค้าอย่างมากถ้าเป็นสินค้าประเภทฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ เนื่องจากตามหลักการทำงานที่สำคัญของฮาร์ดดิสก์ คือการอ่านและเขียนข้อมูลจากหัวอ่านลงบนแผ่นดิสก์ ด้วยหัวอ่าน Slider หรือเรียกอีกอย่างว่า Air Bearing Surface (ABS) [1] ซึ่งเป็นชิ้นส่วน magnetic มีหน้าที่แปลงสัญญาณไฟฟ้าเพื่อเขียนและอ่านข้อมูลของฮาร์ดดิสก์ แต่ต้องยกตัวสูงอยู่บนแผ่นดิสก์ประมาณ 5 nm. เพื่อให้อ่านและเขียนได้เร็วขึ้น และเพื่อควบคุมการยกตัวของหัว Slider จึงมีการออกแบบร่องที่ด้านหน้าของหัวอ่าน(Air Bearing Surface; ABS) เพื่อให้หัวอ่านเกิดการยกตัวขณะทำการอ่านหรือเขียนข้อมูล ที่เรียกว่า Fly Height และสิ่งสำคัญของระดับ Fly Height คือถ้าหากมีระดับ Fly Height ที่ต่ำจะทำให้ฮาร์ดดิสก์มีความสามารถในการอ่านที่เร็วขึ้น [2] ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 กลไกการทำงานระหว่าง ABS และ Disk

จากรูปที่ 1 ระยะของการยกตัวระหว่าง Slider และ disk ที่ลดลงมีข้อดีที่จะช่วยให้การอ่านข้อมูลได้รวดเร็วขึ้น แต่ก็มีความเสี่ยงต่อความเสียหายประเภทรอยขีดข่วนของหน้าของหัวอ่านและแผ่นดิสก์ ถ้าหากมีเศษหรือสิ่งแปลกปลอม(Contamination) มาแทรกระหว่างหน้าสัมผัสของหัวอ่านและแผ่นดิสก์ และจะส่งผลกระทบต่อความเสียหายของข้อมูลในที่สุด ซึ่งความเสียหายที่เกิดขึ้นดังรูปที่ 2 ต่อไปนี้



รูปที่ 2 ความเสียหายที่เกิดจากการเสียดสีบนแผ่นดิสก์

ลักษณะของสิ่งแปลกปลอมหรือ Contamination เกิดมาจากเศษวัสดุมีแหล่งที่มาจากสภาพแวดล้อมทั้งภายนอก และภายในกระบวนการผลิต ในปัจจุบันบริษัทตัวอย่างมีการควบคุมคุณภาพด้วยการมุ่งเน้นในการควบคุมสิ่งแปลกปลอม เช่นการตรวจสอบชิ้นงานด้วยพนักงานทั้งก่อนเข้ากระบวนการ และการตรวจสอบสินค้าสำเร็จรูป ซึ่งการตรวจสอบชิ้นส่วนในฮาร์ดดิสก์ เป็นชิ้นส่วนที่มีขนาดเล็กมากจึงต้องใช้กล้องขยายขนาด 20 เท่า กรณีตรวจสอบแบบหยาบ และกรณีตรวจสอบแบบละเอียดใช้กล้องกำลังขยายขนาด 200 เท่าในการตรวจสอบ

ถึงแม้ว่าระดับการควบคุมสิ่งแปลกปลอมในปัจจุบันด้วยพนักงาน มีข้อดีที่มีความยืดหยุ่นสามารถตัดสินใจได้หลายลักษณะ แต่ก็จะมีข้อจำกัดด้านเวลาและความต่อเนื่องในการทำงาน[3] อย่างไรก็ตามในปัจจุบันนอกเหนือจากการตรวจสอบคุณภาพด้วยพนักงานแล้ว บริษัทมีแผนปรับปรุงกระบวนการผลิตให้เป็นแบบอัตโนมัติ แต่เนื่องจากการตรวจสอบคุณภาพในกระบวนการผลิตแบบอัตโนมัติไม่สามารถตรวจสอบคุณภาพด้วยพนักงานได้จึงมีความจำเป็นที่จะต้องพัฒนาเทคโนโลยีการตรวจสอบคุณภาพจากภาพถ่าย เข้ามาช่วยพนักงานตรวจสอบจึงเป็นที่มาของการพัฒนาการตรวจสอบแบบอัตโนมัติในครั้งนี้ โดยจากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการตรวจสอบด้วยการประมวลผลภาพมีเทคนิคที่นิยมอยู่ 2 รูปแบบ คือการเรียนรู้เชิงลึกของเครื่องจักรและการจดจำและเปรียบเทียบกับภาพต้นแบบ แต่ละเทคนิคในการประมวลผลภาพมีข้อดีและข้อจำกัดที่แตกต่างกัน การเลือกใช้เทคนิคที่เหมาะสมจะขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์และความพร้อมของข้อมูล และอุปกรณ์ สำหรับงานวิจัยครั้งนี้เลือกใช้เทคนิคการเปรียบเทียบกับภาพต้นแบบ เนื่องจากมีข้อจำกัดในเรื่องของจำนวนข้อมูล จึงไม่เหมาะที่จะใช้เทคนิคการเรียนรู้เชิงลึกที่ต้องใช้ข้อมูลจำนวนมากในการจดจำและทดสอบด้วยฮาร์ดแวร์ที่มีประสิทธิภาพสูง ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมุ่งที่จะพัฒนารูปแบบการตรวจสอบด้วยเทคนิคการประมวลผลภาพในการตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมเพื่อหาคำตอบจากคำถามงานวิจัยที่ว่า

1. เครื่องตรวจสอบคุณภาพอัตโนมัติมีความสามารถในการตรวจสอบที่แตกต่างจากพนักงานอย่างไร
2. เครื่องตรวจสอบคุณภาพอัตโนมัติมีความสามารถในการตรวจสอบที่แตกต่างจากมาตรฐานอย่างไร

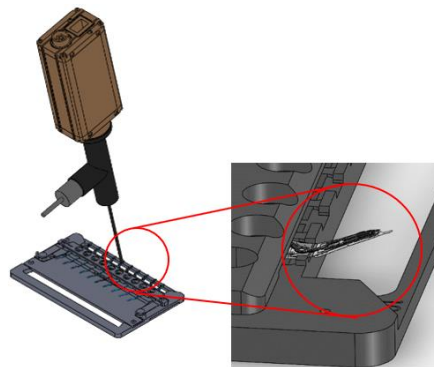
2. วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

บทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและพัฒนาขั้นตอนการตรวจสอบชิ้นงานด้วยโปรแกรมการประมวลผลจากภาพถ่าย และประเมินประสิทธิภาพระบบการวัดระหว่างการประมวลผลจากภาพถ่ายกับการตรวจสอบของพนักงาน และเปรียบเทียบกับระดับคุณภาพของผลิตภัณฑ์

3. การดำเนินการวิจัย

3.1 ที่มาของภาพถ่าย

ภาพถ่ายมาจากกล้องถ่ายภาพ รีโซลูชัน เท่ากับ $0.84\ \mu\text{m}$. แบบแสงช่วยสีขาว โดยกล้องถ่ายภาพจะถูกติดตั้งบนระบบการทำงานจริงแสดงดังรูปที่ 3 และถ่ายภาพในขณะที่หัวอ่านฮาร์ดดิสก์มีการเคลื่อนที่เสมือนเป็นการทำงานจริง การถ่ายภาพจะเป็นแบบอัตโนมัติควบคุมด้วยเซนเซอร์ในการตรวจจับเมื่อชิ้นงานเลื่อนเข้ามาในตำแหน่งที่กำหนด ชิ้นงานจะหยุดชั่วขณะเพื่อให้กล้องสามารถจับภาพได้ ภาพมีขนาดเท่ากับ $2,464 \times 2,056$ พิกเซล มีขนาดความจุ 4.83 MB โดยจะบันทึกภาพลงใน Server ในรูปแบบนามสกุลชื่อ .bmp มีระบบสำรองข้อมูลที่แยกประเภทของภาพไว้ในแฟ้มข้อมูล จำนวน 2 Folder ชื่อ GOOD (ของดี) และ Defect (ของเสีย) และให้ผู้เชี่ยวชาญทำการทวนสอบความถูกต้องของภาพทั้งหมดด้วยการตรวจสอบผ่านกล้องกำลังขยาย 200X ซึ่งโครงสร้างระบบการถ่ายภาพมีดังต่อไปนี้



รูปที่ 3 ตำแหน่งการถ่ายภาพชิ้นงานตัวอย่าง

การปรับลักษณะภาพ และการลดขนาดพื้นที่สำหรับการตรวจสอบเพื่อลดความคลาดเคลื่อนในการประมวลผล ด้วยโปรแกรมตกแต่งภาพถ่าย ใช้คอมพิวเตอร์ Intel® Core™ i7-3537U CPU @ 2.00GHz RAM 8.00 GB ,64-bit และทำการปรับลดขนาดภาพจากขนาด $2,464 \times 2,056$ พิกเซล คงเหลือ $1,000 \times 1,000$ พิกเซล มีขนาดความจุที่ลดลงจาก 4.83 MB คงเหลือ 977 KB

3.2 จำนวนภาพชิ้นงาน

สำหรับงานวิจัยครั้งนี้ได้คัดเลือกภาพโดยผู้เชี่ยวชาญที่ได้รับการฝึกอบรมและผ่านการทดสอบให้เป็นบุคคลต้นแบบในการตัดสินใจแยกสินค้าดีและเสียของบริษัทกรณีศึกษา เพื่อนำภาพมาวิเคราะห์ ดังนี้

3.2.1 ภาพต้นแบบเพื่อใช้ศึกษาองค์ประกอบ และคุณภาพสมบัติต่าง ๆ ของภาพ เพื่อใช้กำหนดเงื่อนไขการทำงานของโปรแกรม โดยใช้ภาพที่มีลักษณะของดี และของเสีย จำนวนอย่างละ 1 ภาพ

3.2.2 ภาพตัวอย่างสำหรับทดสอบและประเมินประสิทธิภาพ จำนวน 300 ภาพ คือภาพสินค้าดี 150 ภาพ และสินค้าเสียจำนวน 150 ภาพ โดยภาพที่เป็นสินค้าเสียจะแบ่งออกเป็น 3 รูปแบบ รูปแบบละ 50 ภาพ ที่มีคุณลักษณะของภาพดังนี้ มีสิ่งแปลกปลอมขนาดใหญ่และมีสีเข้มบนพื้นผิวที่มองเห็นได้ชัดเจน, มีสิ่งแปลกปลอม ขนาด

<http://jeet.siamtechu.net>

เล็ก มีสีอ่อนบนพื้นผิวที่มองเห็นได้ชัดเจน และมีสิ่งแปลกปลอม ที่อยู่บนขอบรอยต่อซึ่งมองเห็นได้ไม่ชัดเจน ซึ่งงานวิจัยของ [4] ใช้ขนาดตัวอย่างที่เหมาะสมจำนวน 200 ภาพ ในการเปรียบเทียบวิธีการประมวลผลภาพ และได้ผลดีมีประสิทธิภาพในการตรวจสอบโดยเฉลี่ยร้อยละ 96.5 ถึง 100

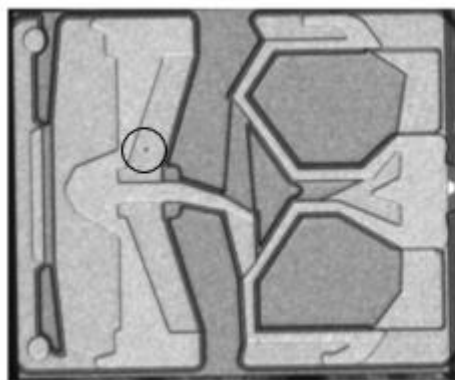
3.3 การเปรียบเทียบรูปแบบคุณลักษณะของภาพ

ในงานวิจัยนี้ทำการเปรียบเทียบตำแหน่งของสิ่งแปลกปลอมด้วยสายตาในเบื้องต้นเพื่อเตรียมภาพของเสียหลังจากการปรับคุณลักษณะของภาพ และนำไปให้เครื่องจักรแยกประเภทต่อไป โดยภาพตัวอย่างจะถูกปรับระดับสีเป็นแบบ Gray Scale จำนวน 12 รูปแบบ รูปแบบละ 150 ภาพ และคำนวณประสิทธิภาพความสามารถในการระบุตำแหน่งสิ่งแปลกปลอมของทั้ง 12 รูปแบบที่ได้ ต้องตรงกับภาพต้นแบบที่มีประสิทธิภาพสูงสุด ซึ่งหลังจากปรับลักษณะโครงสร้างของภาพ ด้วยวิธีต่าง ๆ จำนวน 12 วิธี พบว่าวิธีการกัดกร่อนภาพ (Erode) แบบพื้นขาว ขอบดำ มีความสามารถในการระบุรอยตำหนิได้จำนวน 143 ภาพ จากภาพต้นแบบจำนวน 150 ภาพ ซึ่งถูกต้องมากที่สุดเมื่อเทียบกับวิธีปรับลักษณะรูปร่างหรือโครงสร้างของภาพด้วยวิธีอื่น สามารถหาประสิทธิภาพการตรวจจับรอยตำหนิได้ตั้งสมการที่ 1 และมีผลแต่ละวิธีดังตารางที่ 1 ต่อไปนี้

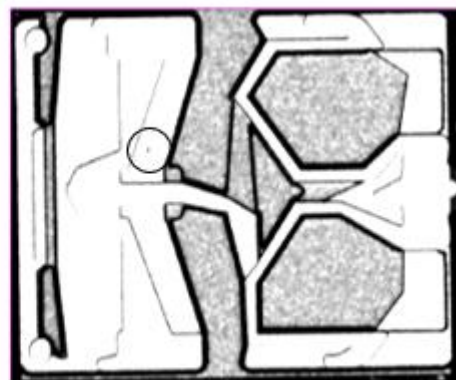
$$\text{ประสิทธิภาพการตรวจจับรอยตำหนิ} = \frac{\text{จำนวนรอยตำหนิที่ระบุถูกต้อง}}{\text{จำนวนภาพต้นแบบ}} \times 100 \quad (1)$$

ตารางที่ 1 ประสิทธิภาพการตรวจจับรอยตำหนิ

ลักษณะรูปร่างหรือโครงสร้างของภาพ	ประสิทธิภาพการตรวจจับรอยตำหนิ (ร้อยละ)	
	พื้นขาว ขอบดำ	พื้นดำ ขอบขาว
การขยายภาพ (Dilate)	70.00	68.00
การกัดกร่อนภาพ (Erode)	95.33	90.67
โอเพอเรชันการ Close	84.00	82.00
โอเพอเรชันการ Open	89.33	87.33
Auto Median	85.33	85.33
ไม่กำหนดรูปแบบของภาพ	88.00	87.33



(ก)



(ข)

รูปที่ 4 ตัวอย่างการตรวจสอบประสิทธิภาพการบ่งชี้ตำแหน่งรอยตำหนิของภาพพื้นขาว ขอบดำ

จากรูปที่ 4 เป็นตัวอย่างการปรับลักษณะรูปร่างหรือโครงสร้างของภาพด้วยวิธีการกัดกร่อนภาพ (Erode) แบบพื้นขาว ขอบดำ (ก) ตำแหน่งรอยตำหนิจากการปรับคุณลักษณะของภาพ และ (ข) ตำแหน่งรอยตำหนิจากภาพต้นแบบ

4. การออกแบบขั้นตอนการตรวจสอบชิ้นงานด้วยโปรแกรมการตรวจสอบอัตโนมัติ

โครงสร้างของโมเดลการจำแนกและระบุตำแหน่งของภาพชิ้นส่วนที่เป็นของดี และเป็นของเสีย การออกแบบโปรแกรมจะเริ่มต้นจากการนำภาพของเสียต้นแบบมาศึกษาคุณลักษณะของพื้นหลัก และตำแหน่งพื้นผิว โดยเริ่มจากการดึงภาพเข้าสู่โมเดล และปรับคุณลักษณะของภาพด้วยชุดคำสั่งช่วยในการมองเห็น และกำหนดฟังก์ชันในการตัดสินใจจากตำแหน่งของรอยตำหนิที่ตรวจพบว่าเป็นรอยตำหนิตรงตามภาพมาตรฐานหรือไม่ โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. Read Image File เป็นขั้นตอนอ่านไฟล์รูปภาพที่ต้องการนำมาใช้เพื่อกำหนดวิธีการตรวจสอบ จากไฟล์ภาพที่เก็บเก็บไว้ในแฟ้มข้อมูลในเครื่องคอมพิวเตอร์

2. Vision Assistance ทำการวิเคราะห์ภาพและปรับปรุงคุณภาพของภาพ สร้างลำดับของฟังก์ชันการประมวลผลสำหรับการตรวจสอบ เช่นการปรับระดับสี หรือกำหนดตำแหน่งของภาพพื้นหลังและรอบตำหนิในไม่ความเด่นชัดขึ้นสำหรับการประมวลผล มีขั้นตอนการปรับปรุงคุณภาพของภาพถ่ายดังต่อไปนี้

2.1 Brightness เป็นการปรับคุณภาพความคมชัดของภาพด้วยการปรับค่า คือความสว่าง คอนทราสต์ และแกมมาของภาพ สามารถพิจารณาผลได้จากภาพ 5(ค)

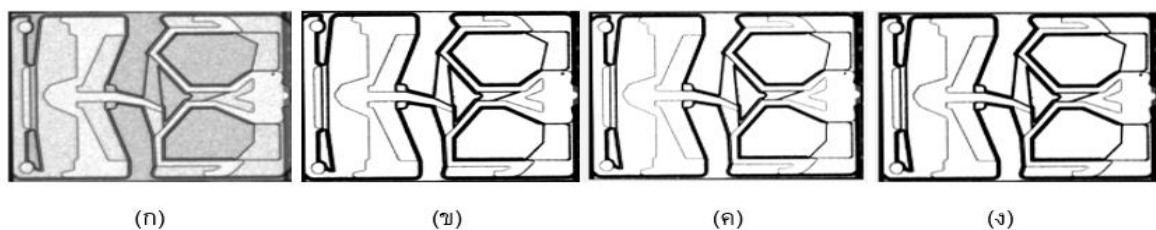
2.1.1 การปรับความสว่างของภาพ โดยความสว่างจะแสดงเป็นระดับสีเทา มีศูนย์กลางอยู่ที่ 128 ค่าที่สูงขึ้นจะส่งผลให้ภาพมีความสว่างขึ้น(สูงสุดคือ 255) และค่าที่ต่ำกว่าจะทำให้ภาพมืดลง(ลดลงเหลือ 0)

2.1.2 ค่าคอนทราสต์ของภาพแสดงเป็นมุม ค่า 45° ระบุว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงในทางตรงกันข้าม ค่าที่สูงขึ้นจะเพิ่มความเปรียบต่าง(สูงสุด 89°) และค่าที่ต่ำกว่าจะลดความเปรียบต่าง(ลงถึง 1°)

2.1.3 ค่าแกมมาที่ใช้ในการแก้ไขแกมมา ค่าสัมประสิทธิ์แกมมายิ่งสูงการแก้ไขความเข้มก็จะยิ่งมากขึ้น มีค่าตั้งแต่ 0.1-10

2.2 ภายใต้สัณฐานวิทยาสีเทา (Gray Morphology) มีผลต่อโครงสร้างของวัตถุในภาพระดับสีเทา คุณสมบัตินี้ใช้ฟังก์ชันสำหรับงานต่าง ๆ เช่นการขยายหรือลดวัตถุ วัตถุ ปิดอนุภาค หรือการปรับขอบเขตให้เรียบซึ่งเป็นที่คุณดำเนินการเพื่อกำหนดวัตถุและเตรียมภาพสำหรับการกำหนดเกณฑ์และการวิเคราะห์เชิงปริมาณ ซึ่งงานวิจัยครั้งนี้ได้ทดสอบเพื่อเปรียบเทียบ Gray Morphology 5 วิธี ซึ่งพบว่า Erode มีประสิทธิภาพสูงสุด ด้วยหลักการกัดเซาะและลดความสว่างของพิกเซลที่ล้อมรอบด้วยเพื่อนบ้านด้วยความเข้มต่ำกว่าเพื่อให้ระดับสีมีความโดดเด่นมากกว่าพิกเซลใกล้เคียง สามารถพิจารณาเพิ่มเติมได้จากภาพ 5(ง)

โดยในขั้นตอนการทำ Vision Assistance ได้คัดเลือกภาพชิ้นงานเสียสำหรับปรับลักษณะของภาพด้วยการลดสัญญาณรบกวนและคงไว้เพียงขอบเส้น และรอยตำหนิของชิ้นงานเพื่อเป็นการเตรียมภาพก่อนนำไประบุตำแหน่งรอยตำหนิ โดยมีลักษณะของภาพที่ผ่านการปรับปรุงดังต่อไปนี้



รูปที่ 5 การปรับภาพด้วยคำสั่ง Vision Assistance

<http://jeet.siamtechu.net>

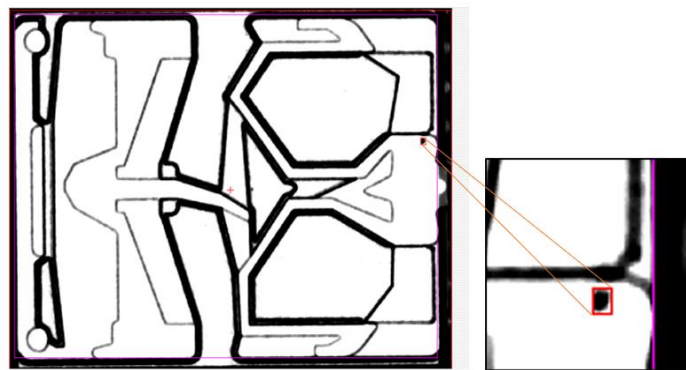
จากรูปที่ 5 จะเห็นได้ว่าการปรับปรุงภาพด้วยคำสั่ง Vision Assistance จะช่วยในการลดจำนวนระดับสี และช่วยสร้างความเด่นชัดของพื้นหลังและรอยตำหนิให้แยกจากกันเพื่อช่วยในการประมวลผลภาพของโปรแกรม โดยภาพที่ 5 (ก) และ 5 (ข) เป็นการเปรียบเทียบภาพก่อนและหลังจากปรับปรุง ซึ่งจะพบว่าภาพหลังปรับปรุงมีความคมชัดและมีระดับสีเป็นแบบไบนารีที่จะทำให้การตัดสินใจได้ง่ายขึ้น และภาพที่ 5 (ค) และ 5 (ง) เป็นการเปรียบเทียบภาพจากการปรับปรุง ดังนั้น ภาพ 5 (ค) เป็นการปรับความคมชัดของภาพด้วยการลดสัญญาณรบกวนออกไป และภาพที่ 5 (ง) เป็นการปรับระดับสีแบบไบนารี

4. Defect Objects เป็นขั้นตอนการตรวจจับวัตถุโดยใช้การกำหนดเกณฑ์การวิเคราะห์อนุภาคแบบไบนารีเพื่อค้นหาคุณสมบัติของพื้นที่ที่ตรงกับเกณฑ์เฉพาะในรูปภาพ

4.1 Main การกำหนดบริเวณที่สนใจสำหรับการตรวจสอบโดยอ้างอิงจาก Map Defects

4.2 Threshold การแบ่งภาพออกเป็นพื้นที่อนุภาคซึ่งมีวัตถุที่อยู่ระหว่างการตรวจสอบและขอบเขตพื้นหลังตามความเข้มของพิกเซลภายในภาพไบนารี เพื่อใช้ในการตรวจจับวัตถุที่มีค่าที่กำหนดโดยให้ตรวจจับวัตถุที่เป็นสีเข้ม

4.3 การกำหนดขอบเขตการตรวจสอบ โดยตั้งค่าขนาดพิกเซลต่ำสุด 10 พิกเซล และสูงสุด 500 พิกเซล โดยไม่กำหนดขอบเขตจำนวนวัตถุที่ตรวจพบ



รูปที่ 6 ผลจากการตรวจสอบรอยตำหนิ

จากรูปที่ 6 เป็นการเปรียบเทียบการแสดงผลจากการตรวจสอบรอยตำหนิของการระบุสถานะจากการตรวจสอบได้ถูกต้องตามตำแหน่งสิ่งแปลกปลอมบนชิ้นงาน ระบบจะระบุว่าเป็นชิ้นงานเสียหรือ Fail ได้อย่างถูกต้อง ซึ่งการแสดงผลสถานะนี้จะมีประโยชน์ในการนำไปใช้ในการสั่งงานชุดอุปกรณ์ควบคุมเพื่อคัดแยกสินค้าที่เป็นของเสียออกจากกระบวนการผลิตซึ่งจะเป็นงานวิจัยในครั้งต่อไป

5. ผลของการวิจัย

ความสามารถของการตรวจสอบคุณภาพด้วยเครื่องจักรและพนักงานในการตรวจสอบซ้ำจำนวน 3 รอบของชิ้นงานตัวอย่างเดิมที่เป็นชิ้นงานดี จำนวน 150 ภาพ และชิ้นงานเสีย จำนวน 150 ภาพ และสุ่มตัวอย่างแบบอิสระเพื่อไม่ให้พนักงานหรือเครื่องจักรสามารถตัดสินใจจากการจดจำชิ้นงานเดิมได้ รวมการตรวจสอบจำนวน 900 ครั้ง ($150 \times 2 \times 3 = 900$) พบว่าพนักงานตรวจสอบสินค้าจริงที่เป็นของดี โดยตัดสินใจว่าเป็นของดี จำนวน 450 ครั้ง และตัดสินใจว่าเป็นของเสีย จำนวน 0 ครั้ง และตรวจสอบสินค้าจริงที่เป็นของเสีย โดยตัดสินใจว่าเป็นของดี จำนวน 111 ครั้ง แต่ตัดสินใจว่าเป็นของเสีย จำนวน 339 ครั้ง และการตรวจสอบของเครื่องจักรตรวจสอบสินค้าจริงที่เป็นของดี โดย

<http://jeet.siamtechu.net>

ตัดสินใจว่าเป็นของดี จำนวน 450 ครั้ง และตัดสินใจว่าเป็นของเสีย จำนวน 0 ครั้ง และทำการตรวจสอบสินค้าจริงที่เป็นของเสีย โดยตัดสินใจว่าเป็นของดี จำนวน 33 ครั้ง แต่ตัดสินใจว่าเป็นของเสีย จำนวน 417 ครั้ง ซึ่งสาเหตุที่พนักงานตัดสินใจจากสินค้าจริงที่เป็นของเสีย และตัดสินใจว่าเป็นของดีมากกว่าขนาดของตำหนิมีขนาดเล็ก และมีระดับความเข้มของสีน้อยจึงทำให้ผ่านการสังเกตของพนักงานไปได้ โดยใช้ค่าจากตารางการกระจายจำแนก (Classification distribution table) หรือเมทริกซ์ความสับสน (Confusion Matrix) [4] ดังนี้

ตารางที่ 2 ผลการตรวจสอบชิ้นงานเดิมจำนวน 150 ภาพ ทำซ้ำ 3 ครั้ง ด้วยพนักงาน

		ผลจากการทำนายของโมเดล(ภาพ)	
		ไม่ผ่านมาตรฐาน	ผ่านมาตรฐาน
ผลลัพธ์จริง	ไม่ผ่านมาตรฐาน	339 (TN)	111 (FP)
	ผ่านมาตรฐาน	0 (FN)	450 (TP)

จากตารางที่ 2 สามารถนำข้อมูลผลการตรวจสอบมาประเมินประสิทธิภาพ [5] ได้ดังต่อไปนี้

ค่าความแม่นยำของพนักงาน (Accuracy) กรณีตรวจสอบซ้ำชิ้นงานเดิม

$$\begin{aligned}
 \text{Accuracy} &= \frac{450 + 339}{450 + 111 + 339} \\
 &= 0.88
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

ค่าของโมเดลที่ทำนายได้จากพนักงานที่ถูกตัดจากระดับคุณภาพ (Precision)

$$\begin{aligned}
 \text{Precision} &= \frac{450}{450 + 111} \\
 &= 0.80
 \end{aligned}
 \tag{3}$$

ค่าของโมเดลที่ทำนายได้ (Recall)

$$\begin{aligned}
 \text{Recall} &= \frac{450}{450 + 0} \\
 &= 1.0
 \end{aligned}
 \tag{4}$$

ค่าเปรียบเทียบระหว่างค่า Precision และค่า Recall ของแต่ละกลุ่มเป้าหมาย

$$\begin{aligned}
 F1 &= \frac{2 \times (1 \times 0.80)}{(1 + 0.80)} \\
 &= 0.89
 \end{aligned}
 \tag{5}$$

ตารางที่ 3 ผลการตรวจสอบชิ้นงานเดิมจำนวน 150 ภาพ ทำซ้ำ 3 ครั้ง ด้วยเครื่องจักร

		ผลจากการทำนายของโมเดล(ภาพ)	
		ไม่ผ่านมาตรฐาน	ผ่านมาตรฐาน
ผลลัพธ์จริง	ไม่ผ่านมาตรฐาน	417 (TN)	33 (FP)
	ผ่านมาตรฐาน	0 (FN)	450 (TP)

ค่าความแม่นยำของเครื่องจักร (Accuracy) กรณีตรวจสอบซ้ำชิ้นงานเดิม

$$\begin{aligned} \text{Accuracy} &= \frac{450 + 417}{450 + 33 + 417} \\ &= 0.96 \end{aligned} \quad (6)$$

ค่าของโมเดลที่ทำนายได้จากพนักงานที่ถูกต้องจากระดับคุณภาพ (Precision)

$$\begin{aligned} \text{Precision} &= \frac{450}{450 + 33} \\ &= 0.93 \end{aligned} \quad (7)$$

ค่าของโมเดลที่ทำนายได้ (Recall)

$$\begin{aligned} \text{Recall} &= \frac{450}{450 + 0} \\ &= 1.0 \end{aligned} \quad (8)$$

ค่าเปรียบเทียบระหว่างค่า Precision และค่า Recall ของแต่ละกลุ่มเป้าหมาย

$$\begin{aligned} F1 &= \frac{2 \times (1 \times 0.93)}{(1 + 0.93)} \\ &= 0.96 \end{aligned} \quad (9)$$

จากการตรวจสอบประสิทธิภาพการระบุรอยตำหนิของพนักงานผ่านกล้องขยาย และการตรวจสอบด้วยเครื่องจักรผ่านการประมวลผลภาพถ่าย ของชิ้นงานเดิมซ้ำ 3 รอบ [6] พบว่าความแม่นยำหรือประสิทธิภาพจากการตรวจสอบของเครื่องจักรมีสูงกว่าการตรวจสอบด้วยพนักงาน กล่าวคือการตรวจสอบด้วยพนักงานมีความแม่นยำ (Accuracy) ร้อยละ 89 แต่การตรวจสอบด้วยเครื่องจักรมีความแม่นยำ (Accuracy) ร้อยละ 96 โดยผลการทดสอบพบว่า เมื่อพนักงานมีการตรวจสอบซ้ำมีโอกาสที่จะตัดสินใจผิดพลาดได้มากกว่าการตรวจสอบด้วยเครื่องจักร หรือกล่าวได้อีกว่าเครื่องจักรมีประสิทธิภาพในการตรวจสอบซ้ำมากกว่าพนักงานที่มีความแปรปรวนในการตัดสินใจสูง ซึ่งมีความสอดคล้องกับงานวิจัยของ [7] ที่ต้องมีการทดสอบซ้ำของสิ่งตัวอย่างเพื่อทดสอบความแม่นยำในการตัดสินใจ [8] แต่เนื่องจากยังมีงานวิจัยส่วนน้อยที่ทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการตรวจสอบระหว่างพนักงานและเครื่องจักร ดังนั้นในงานวิจัยครั้งนี้จึงทำการใช้วิธีตามกรอบการประเมินผลระบบการวัดแบบข้อมูลนับของเทคนิคแมชชีนวิชชั่น

<http://jeet.siamtechu.net>

สำหรับการตรวจจับสิ่งแปลกปลอมบนหน้าหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ [9,10] โดยแยกเป็นการประเมินผลระบบการตรวจสอบในระยะสั้น ด้วยความมีประสิทธิภาพของการตรวจสอบ และการประเมินผลระยะยาวด้วยสมรรถนะของระบบวัด

จากสมการที่ 10 และ 11 สามารถประเมินประสิทธิภาพการตรวจสอบซ้ำ หรือรีพีทเทเบิลิตีของพนักงาน และเครื่องจักร โดยการประเมินความสามารถในการตรวจสอบได้ผลเหมือนกันโดยไม่สนใจว่าผลการตรวจสอบจะถูกต้องหรือไม่ มีผลการวิเคราะห์ดังต่อไปนี้

$$\% \text{ รีพีทเทเบิลิตีของพนักงาน} = \frac{282}{300} \times 100\% \quad (10)$$

$$= 94.00 \%$$

$$\% \text{ รีพีทเทเบิลิตีของเครื่องจักร} = \frac{300}{300} \times 100\% \quad (11)$$

$$= 100 \%$$

จากสมการที่ 12 และ 13 การประเมินผล % ความไม่ไปอัสของพนักงานตรวจสอบ และเครื่องจักรตรวจสอบ โดยการพิจารณาความสามารถในการตรวจสอบผลที่เหมือนกันและถูกต้องตามคุณภาพที่แท้จริงของชิ้นงานตัวอย่าง

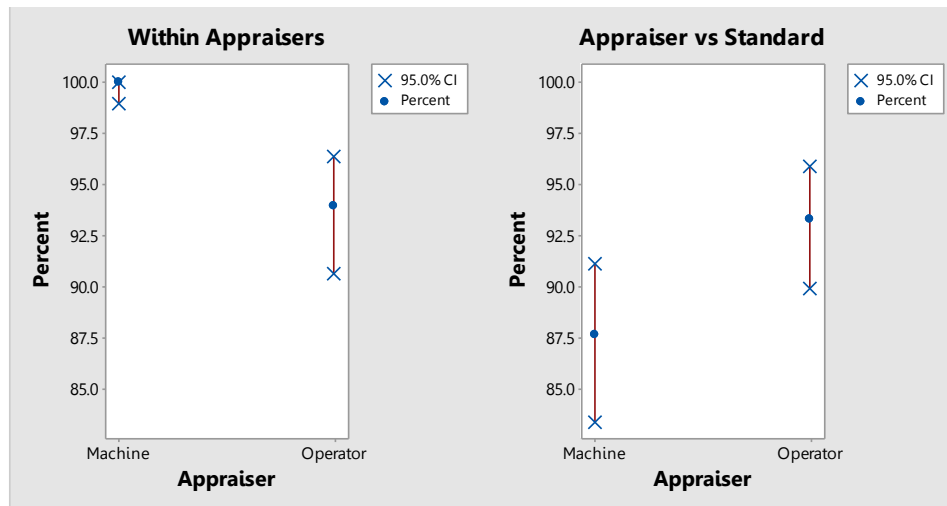
$$\% \text{ ความไม่ไปอัสของเครื่องจักรตรวจสอบ} = \frac{280}{300} \times 100\% \quad (12)$$

$$= 93.33 \%$$

$$\% \text{ ความไม่ไปอัสของพนักงานตรวจสอบ} = \frac{263}{300} \times 100\% \quad (13)$$

$$= 87.67 \%$$

จากการเปรียบเทียบ % รีพีทเทเบิลิตี และ % ความไม่ไปอัสระหว่างพนักงานและเครื่องจักร พบว่าผลการตรวจสอบด้วยเครื่องจักรมีประสิทธิภาพในการตรวจสอบซ้ำมากกว่าพนักงาน โดยการพิจารณาจาก % รีพีทเทเบิลิตีของพนักงานมีประสิทธิภาพการตรวจสอบร้อยละ 94 และเครื่องจักรมีประสิทธิภาพการตรวจสอบร้อยละ 100 และเมื่อนำความถูกต้องตามระดับคุณภาพสินค้าที่เป็นจริงมาพิจารณาร่วมด้วยแล้ว พบว่า การตรวจสอบด้วยพนักงานมีประสิทธิภาพในการตรวจสอบมากกว่าเครื่องจักรโดยพิจารณาจาก % ความไม่ไปอัสของพนักงานมีประสิทธิภาพร้อยละ 93.33 และเครื่องจักรมีประสิทธิภาพร้อยละ 87.67 หรือกล่าวได้ว่าเมื่อมีการตรวจสอบสินค้าซ้ำในชิ้นเดิม พนักงานจะมีโอกาสในการตัดสินใจที่ผิดพลาดมากกว่าเครื่องจักรเนื่องจากมีความเที่ยงตรงต่อผลในการตรวจสอบ แต่เมื่อนำระดับคุณภาพที่แท้จริงเข้ามาร่วมพิจารณาการตรวจสอบด้วยพนักงานจะมีประสิทธิภาพที่สูงกว่า



รูปที่ 7 เปรียบเทียบผลการตรวจสอบระหว่างพนักงานและเครื่องจักร

รูปที่ 7 เปรียบเทียบผลการตรวจสอบระหว่างพนักงานและเครื่องจักร หรือ Within Appraiser พบว่า ผลการตรวจสอบของพนักงานและเครื่องจักรมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในช่วงความเชื่อมั่น ร้อยละ 95 เนื่องจากในช่วงความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ของพนักงานมีความสามารถในการตรวจสอบอยู่ในช่วงร้อยละ 99.01 ถึง 100 และเครื่องจักรมีความสามารถในการตรวจสอบอยู่ในช่วงร้อยละ 90.68 ถึง 96.41 และเมื่อนำผลการตรวจสอบของพนักงานและเครื่องจักรมาเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน หรือ Appraiser vs Standard พบว่าการตรวจสอบด้วยพนักงานและเครื่องจักรมีผลการตรวจสอบได้ตรงตามมาตรฐานของสินค้าที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ .05 เนื่องจากพนักงานมีความสามารถในการตรวจสอบเทียบกับมาตรฐานอยู่ในช่วงร้อยละ 89.89 ถึง 95.88 และเครื่องจักรมีความสามารถในการตรวจสอบเทียบกับมาตรฐานอยู่ในช่วงร้อยละ 83.40 ถึง 91.17 ถึงแม้ว่าค่าเฉลี่ยในการตรวจสอบของพนักงานมีความถูกต้องร้อยละ 93.33 เมื่อเทียบกับมาตรฐาน ซึ่งสูงกว่าการตรวจสอบด้วยเครื่องจักรที่มีค่าร้อยละ 87.67 ซึ่งกล่าวได้ว่าหากต้องการผลการตรวจสอบตามมาตรฐานสินค้าโดยไม่ต้องคำนึงถึงประสิทธิภาพของผลการตรวจสอบ พนักงานและเครื่องจักรสามารถปฏิบัติงานทดแทนกันได้

การวิเคราะห์ผลการตรวจสอบด้วย Kappa เพื่อวัดถึงระดับของความสัมพันธ์ระหว่างพนักงานทั้งสองที่สามารถตรวจสอบได้ผลเหมือนกัน หรือเป็นการตรวจสอบความเห็นพ้องกันหรือไม่เท่านั้น ด้วยการทดสอบสมมุติฐานความมีประสิทธิภาพของพนักงานและเครื่องจักร โดยในขั้นตอนนี้จะเปรียบเทียบการตรวจสอบด้วยเครื่องจักรเสมือนเป็นพนักงานคนที่ 2 ด้วยสมมุติฐานงานวิจัยดังนี้

H_0 : พนักงานทดสอบไม่มีผลต่อค่าวัดจากระบบการตรวจสอบ

H_1 : พนักงานทดสอบมีผลต่อค่าวัดจากระบบการตรวจสอบ

จากรูปที่ 77 พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์ Kappa ของพนักงานและเครื่องจักรมีค่าเท่ากับ 0.83 และการพิจารณาว่าเครื่องจักรมีความสามารถในการแยกชิ้นงานเสียออกจากชิ้นงานดี พบว่าค่าสัมประสิทธิ์ Kappa มีค่าเท่ากับ 0.75

6. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและพัฒนาการตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมบนหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ด้วยโปรแกรมการประมวลผลจากภาพถ่าย และประเมินประสิทธิภาพระบบการวัดระหว่างระบบการประมวลผลจากภาพถ่ายที่พัฒนาขึ้นกับการตรวจสอบผลของพนักงานผู้เชี่ยวชาญ พบว่า ประสิทธิภาพการประมวลผลจากภาพถ่ายทั้งหมด 300 ภาพ แบ่งเป็นภาพชิ้นงานดี จำนวน 150 ภาพ และภาพชิ้นงานเสียจำนวน 150 ภาพ จากการประเมินด้วยเมทริกซ์ความสับสน (Confusion Matrix) หรือตารางการกระจายจำแนก (Classification distribution table) [4] พบว่าความแม่นยำหรือประสิทธิภาพจากการตรวจสอบของพนักงานผ่านกล้องขยาย สูงกว่าการตรวจสอบด้วยการประมวลผลภาพ กล่าวคือการตรวจสอบด้วยพนักงานมีความแม่นยำ (Accuracy) ร้อยละ 98 แต่การตรวจสอบด้วยการประมวลผลภาพมีความแม่นยำ (Accuracy) ร้อยละ 89 แต่เนื่องจากการตรวจสอบโดยพนักงานมีความผิดพลาดจากการตรวจสอบซ้ำเนื่องจากความเมื่อยล้า และเพื่อเป็นการพิสูจน์สมมุติฐานดังกล่าว ในงานวิจัยนี้จึงทำการเก็บข้อมูลเพิ่มการทดสอบซ้ำจำนวน 3 รอบ จากชิ้นงานตัวอย่างเดิมที่ และทำการสุ่มตัวอย่างแบบอิสระเพื่อไม่ให้พนักงานหรือการประมวลผลภาพสามารถตัดสินใจจากการจดจำชิ้นงานเดิมได้ พบว่าเมื่อนำผลการตรวจสอบของพนักงานและการประมวลผลภาพมาเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน มีผลการตรวจสอบได้ตรงตามมาตรฐานที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ .05 ถึงแม้ว่าค่าเฉลี่ยในการตรวจสอบของพนักงานจะมีความถูกต้องร้อยละ 93.33 เมื่อเทียบกับมาตรฐาน ซึ่งสูงกว่าการตรวจสอบด้วยการประมวลผลภาพที่มีค่าร้อยละ 87.67 ก็ตาม แต่ประสิทธิภาพการตรวจสอบของการประมวลผลภาพมีประสิทธิภาพที่ใกล้เคียงกับผลการวิจัยของ [11] ที่ใช้โปรแกรมการประมวลผลภาพในการตรวจสอบชิ้นงานที่มีลักษณะใกล้เคียงกับงานวิจัยนี้ และพบว่าผลจากการทดสอบระบบการตรวจสอบด้วยการประมวลผลภาพมีความถูกต้องเฉลี่ยร้อยละ 97.67 และในงานวิจัยครั้งนี้ยังพบว่าค่าสัมประสิทธิ์ Kappa ของพนักงานและการประมวลผลภาพเท่ากับ 0.83 หมายถึงผลการตรวจสอบของพนักงานและการประมวลผลภาพมีความสอดคล้องกันมาก และการตรวจสอบความสามารถของการประมวลผลภาพในการแยกชิ้นงานเสียออกจากชิ้นงานดี พบว่าค่าสัมประสิทธิ์ Kappa มีค่าเท่ากับ 0.75 หมายถึงผลการตรวจสอบด้วยการประมวลผลภาพมีความสอดคล้องกับมาตรฐานในระดับดีมาก [12]

7. ข้อเสนอแนะ

จากหลักการประมาณค่าความคลาดเคลื่อนแบบสุ่ม และค่าไบอัส หากผลการตรวจสอบมีความแม่นยำในระดับสูง จะช่วยให้สามารถเพิ่มประสิทธิภาพผลการตรวจสอบให้มีประสิทธิภาพได้งานขึ้น หลังจากมีการลดความไบอัสแล้ว และการประเมินประสิทธิภาพของระบบการวัดด้วยการตรวจสอบซ้ำของงานวิจัยนี้พบว่าความผันแปรในการตัดสินใจของพนักงานมีโอกาสตัดสินใจไม่เหมือนเดิม สูงกว่าการตรวจสอบด้วยการประมวลผลภาพดังนั้นในการพัฒนาการตรวจสอบด้วยระบบการประมวลผลภาพจึงควรมีการประเมินการตรวจสอบซ้ำของระบบการประมวลผลภาพตามแนวทางของงานวิจัยนี้ ซึ่งจะช่วยให้การตัดสินใจในการนำระบบการประมวลผลภาพมาใช้ได้ถูกต้องมากยิ่งขึ้น

8. กิตติกรรมประกาศ

บทความนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา ประจำปีงบประมาณ 2563

9. เอกสารอ้างอิง

- [1] Kunakornvong P, Sooraksa P. Machine vision for defect detection on the air bearing surface. In Proceedings - 2016 IEEE International Symposium on Computer, Consumer and Control, IS3C 2016. IEEE; 2016. p. 37–40.
- [2] Zhang S, Tyndall G, Suk M. Air bearing surface designs for less humidity sensitivity. IEEE Transactions on Magnetics. 2008;44(11):3653-3655.
- [3] Malamas EN, Petrakis EGM, Zervakis M, Petit L, Legat JD. A survey on industrial vision systems, applications and tools. Image Vision Computer. 2003;12(2):171–88.
- [4] นวพร ธารสาร. การพัฒนาระบบประมวลผลภาพสำหรับการตรวจสอบเส้นดําในการผลิตกั๊กแช่แข็ง. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 2561.
- [5] Nakharacruangsak S, Choonprawat S. An Applied Local Binary Pattern by Hyperbolic Secant for Edge Detection of Images and applied to Images Retrieval. Journal of Energy and Environment Technology. 2018;5(1):1–10.
- [6] Van Wieringen WN, De Mast J. Measurement system analysis for binary data. Technometrics. 2008;50(4):468–478.
- [7] สมบูรณ์ งามมูลตรี และสุรพันธ์ เอื้อไพบุรย์. การพัฒนาระบบตรวจสอบอัตโนมัติด้วยวิธีการประมวลผลภาพบนคอมพิวเตอร์สำหรับระบุตำแหน่งจุดบกพร่องที่ถูกต้องบนหัวอ่านข้อมูล. วารสารปัญญาทัศน์. 2554;2(2):19–27.
- [8] Nia VP, Asgharian M. and Basetto S. A Formal Test for Binary R & R Measurement Systems. In JSMP Proceedings 2013; p. 2865–2872.
- [9] Satorres S, Gomez J, Gamez J, Sanchez A. A Machine Vision for Automated Headlamp Lens Inspection. Vision Sensors Edge Detect. 2010;(August). [Internet]. Available from: https://cdn.intechopen.com/pdfs/11881/InTech-A_machine_vision_for_automated_headlamp_lens_inspection.pdf
- [10] ปัญญา สํารายทัศน์ นภพ ชัยสุวรรณ และบุริม นิลแบน. กรอบการประเมินผลระบบการวัดแบบข้อมูลนับของเทคนิคแมชชีนวิชันสำหรับ การตรวจจับสิ่งแปลกปลอมบนหน้าหัวอ่านฮาร์ดดิสก์. วารสารวิชาการเทคโนโลยี พลังงาน และสิ่งแวดล้อม. 2563;7(2):51–8.
- [11] จิตติมา วระกุล. การพัฒนาเครื่องตรวจสอบเชิงมองเห็นแบบอัตโนมัติสำหรับกระบวนการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, 2553.
- [12] กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ. การวิเคราะห์ระบบการวัด(MSA) ประมวลผลด้วย MINITAB. 4th ed. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์ ส.ส.ท., 2547.

ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการตัดสินใจซื้อรถยนต์ประหยัดพลังงานไฮบริดของผู้บริโภค ในเขตกรุงเทพมหานคร

FACTORS INFLUENCING DECISION TO BUYING HYBRID ENERGY SAVING CARS IN BANGKOK

คัทธเลีย ฤกษ์พิไชย

Catthaleeya Rerkpichai

อาจารย์ประจำสาขาวิชาการตลาด คณะวิทยาการจัดการ มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา

Corresponding author E-mail: catthaleeya.re@bsru.ac.th

Received : 01 April 2021

Revised : 11 May 2021

Accepted : 15 June 2021

บทคัดย่อ

งานวิจัยเรื่องปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการตัดสินใจซื้อรถยนต์ประหยัดพลังงานไฮบริดของผู้บริโภคในเขตกรุงเทพมหานคร วัตถุประสงค์เพื่อศึกษาข้อมูลทั่วไปของผู้บริโภคในเรื่องปัจจัยส่วนบุคคลปัจจัยด้านส่วนประสมการตลาด 7P's ที่มีอิทธิพลต่อการตัดสินใจ และปัจจัยด้านจิตวิทยาที่มีอิทธิพลต่อการตัดสินใจซื้อรถยนต์ประหยัดพลังงานไฮบริดของผู้บริโภคในเขตกรุงเทพมหานคร ขนาดกลุ่มตัวอย่างจำนวน 400 ตามวิธีการของ ทาโร ยามาเน่ (Taro Yamane) โดยกำหนดความเชื่อมั่นที่ร้อยละ 95 ทำการสุ่มตัวอย่างแบบหลายขั้นตอน (Multi-stage random sampling) เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย แบบสอบถามแบบมาตราส่วนประมาณค่า (Rating scale) 5 ระดับ แล้วนำมาวิเคราะห์ความเชื่อมั่น (Reliability) ของแบบสอบถามโดยภาพรวมและรายด้านโดยวิธีการหาค่าสัมประสิทธิ์แอลฟา (Alpha coefficient) ปรากฏว่าแบบสอบถามโดยภาพรวม มีค่าความเชื่อมั่นเท่ากับ 0.966 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลเกี่ยวกับปัจจัยส่วนบุคคล ปัจจัยด้านส่วนประสมทางการตลาด 7P's ที่มีอิทธิพลต่อการตัดสินใจ และปัจจัยด้านจิตวิทยาที่มีอิทธิพลต่อการตัดสินใจซื้อรถยนต์ประหยัด พลังงานไฮบริดของผู้บริโภคในเขตกรุงเทพมหานคร แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ 0.01

คำสำคัญ: รถยนต์ประหยัดพลังงานไฮบริด, ปัจจัยที่มีอิทธิพล, การตัดสินใจซื้อ

ABSTRACT

Research on Factors Influencing Decision Making to Buy Hybrid Energy-saving Cars among Consumers in Bangkok Objective To study general consumer information on personal factors, marketing mix factors 7P's influencing decision-making. And psychological factors that influence the decision to purchase a hybrid car of consumers in Bangkok. The sample size was 400 according to Taro Yamane method, with 95% confidence and analyze the confidence. The reliability of the overall and individual questionnaires by the alpha coefficient method was found that the overall questionnaire was Have a confidence factor of 0.966 Analysis of data on personal factors Marketing Mix Factors 7P's That Influence Decision Making And psychological factors that influence the decision to purchase a economy car. High Bridge Energy of Consumers in Bangkok Significantly different at 0.01

Keywords: Hybrid energy-saving cars, Factors Influencing, Decision to Buying

1. บทนำ

ปัจจุบันรถยนต์นับเป็นปัจจัยสำคัญและมีความจำเป็นอย่างยิ่งในการดำเนินชีวิตของมนุษย์เพราะรถยนต์เป็นพาหนะที่ใช้ในการขนส่งทางบกเพื่อขนส่งผู้คนและสิ่งของจากที่แห่งหนึ่งไปยังที่อีกแห่งหนึ่ง สามารถตอบสนองความต้องการทางด้านความสะดวกและความรวดเร็วในการเดินทาง ซึ่งจะเห็นได้ว่าปริมาณรถยนต์ มีจำนวนมากขึ้นเรื่อยๆ ในชุมชนเมืองในส่วนของประเทศไทยอุตสาหกรรมยานยนต์เป็นอุตสาหกรรมที่มีความสำคัญต่อระบบเศรษฐกิจและสังคมของประเทศ เป็นอย่างมากโดยเป็นอุตสาหกรรมหลักที่สามารถทำรายได้จากการส่งออกปีละหลายแสนล้านบาท และยังคงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นทุกปีรวมทั้งยังเป็นอุตสาหกรรมเป้าหมายที่มีศักยภาพในการพัฒนาให้สามารถแข่งขันกับประเทศชั้นนำอื่นๆ ของโลกรัฐบาลได้พยายามรณรงค์ให้ประหยัดการใช้พลังงาน โดยเฉพาะอย่างยิ่งน้ำมันเชื้อเพลิงในรถยนต์ในหลายๆ ประเทศรวมถึงประเทศไทยจึงมีการใช้มาตรการจูงใจทางภาษีเพื่อสนับสนุนและส่งเสริมให้ผู้บริโภคหันมาใช้รถยนต์เทคโนโลยีใหม่ๆ ที่สามารถใช้พลังงานทางเลือกหรือที่ประหยัดเชื้อเพลิงได้มากควบคู่ไปกับการเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม

จากสถานการณ์ภาวะเศรษฐกิจที่ค่อนข้างซบเซาความผันผวนของราคาพลังงานโดยเฉพาะราคาน้ำมันดิบที่เกิดขึ้นนั้นก่อให้เกิดผลกระทบต่อในวงกว้างทั่วโลก รวมทั้งยังก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงพอสมควรสำหรับอุตสาหกรรมยานยนต์ ทั้งด้านการผลิตและการบริโภค ปัญหาราคาน้ำมันที่แพงขึ้นทุกวันทำให้ผู้บริโภคส่วนใหญ่มีมติระงับการจับจ่ายใช้สอยเพิ่มมากขึ้น จึงมีเจ้าของรถยนต์หลายคนที่ต้องหาวิธีแก้ไขปัญหาค่าครองชีพ การจ่ายราคาน้ำมันที่นับว่าเป็นปัจจัยสำคัญที่ทุกคนหลีกเลี่ยงไม่ได้ทำให้ผู้บริโภคหันมาติดตั้งพลังงานทดแทนประเภทก๊าซได้แก่ ซีเอ็นจี เอ็นจีวี และประเภทแก๊ส ได้แก่ แก๊สโซฮอล์ เพิ่มมากขึ้น

แต่ปัจจุบันความนิยมรถยนต์ประหยัดพลังงานไฮบริดยังมีน้อยยังไม่เป็นที่ยอมรับเนื่องจากราคาจำหน่ายค่อนข้างสูงกว่ารถยนต์ทั่วไปเครื่องยนต์ขนาดเดียวกันชนิดเครื่องยนต์เบนซิน รถยนต์ประหยัดพลังงานไฮบริดมีระดับการตัดสินใจซื้อที่น้อย สาเหตุ มาจากจำนวนรุ่นที่มีให้เป็นการเลือกและราคาของรถยนต์ไฮบริดที่ยังสูงกว่ารถยนต์ทั่วไปค่อนข้างมาก เนื่องจากประเทศไทยยังต้องพึ่งพาการนำเข้าอะไหล่ที่มีคุณภาพจากต่างประเทศ จึงเป็นสาเหตุที่ทำให้ไม่เกิดแรงจูงใจที่มากพอสำหรับผู้บริโภคในด้านผลิตภัณฑ์และราคา ทำให้การขับเคลื่อนการขยายตัวของตลาดรถยนต์ไฮบริดไม่เป็นไปตามที่บริษัทผู้ผลิตคาดหวังเอาไว้ โดยเฉพาะเมื่อเทียบกับความแรงในการขยายตัวของตลาดรถยนต์ขนาดเล็กและขนาดกลางรุ่นประหยัดการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงจึงทำให้ผู้ประกอบการแต่ละแห่งจึงดำเนินกิจกรรมทางการตลาดที่หลากหลายโดยการจัดโปรโมชั่นและแคมเปญสำหรับรถยนต์ประหยัดพลังงานไฮบริดต่างๆ เพื่อกระตุ้นผู้บริโภคให้เกิดการซื้อและเพื่อเพิ่มยอดขายและเข้าถึงความต้องการของผู้บริโภค ด้วยปัญหาดังกล่าวทำให้ผู้วิจัยเห็นสาเหตุที่ทำให้วิจัยต้องการศึกษาเกี่ยวกับปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการตัดสินใจซื้อรถยนต์ประหยัดพลังงานประเภทไฮบริดของผู้บริโภคในเขตกรุงเทพมหานคร

2. วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

2.1 เพื่อศึกษาข้อมูลทั่วไปของผู้บริโภคในเรื่องปัจจัยส่วนบุคคลที่มีอิทธิพลต่อการตัดสินใจซื้อรถยนต์ประหยัดพลังงานไฮบริดของผู้บริโภคในเขตกรุงเทพมหานคร

2.2 เพื่อศึกษาถึงปัจจัยด้านส่วนประสมทางการตลาด 7P's ที่มีอิทธิพลต่อการตัดสินใจซื้อรถยนต์ประหยัดพลังงานไฮบริดของผู้บริโภคในเขตกรุงเทพมหานคร

2.3 เพื่อศึกษาถึงปัจจัยด้านจิตวิทยาที่มีอิทธิพลต่อการตัดสินใจซื้อรถยนต์ประหยัด พลังงานไฮบริดของผู้บริโภคในเขตกรุงเทพมหานคร

3. ขอบเขตการวิจัย

ขอบเขตในการวิจัยและการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้เป็นการศึกษาถึงปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการตัดสินใจซื้อรถยนต์ประหยัดพลังงานไฮบริดของผู้บริโภคในเขตกรุงเทพมหานคร โดยศึกษาและวิจัยเฉพาะโซ่รั้วที่มีรถยนต์ประหยัดพลังงานไฮบริดจำหน่ายในเขตกรุงเทพมหานคร

4. สมมุติฐานงานวิจัย

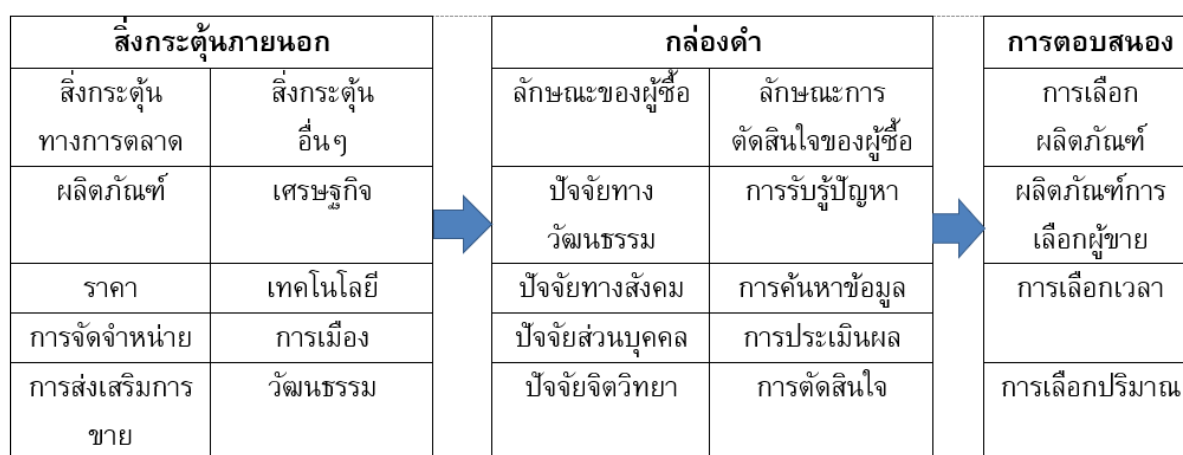
- 4.1 ปัจจัยส่วนบุคคลที่ต่างกันมีอิทธิพลต่อการตัดสินใจซื้อรถยนต์ประหยัดพลังงานไฮบริดที่แตกต่างกัน
- 4.2 ปัจจัยด้านส่วนประสมทางการตลาด 7P's มีอิทธิพลกับการตัดสินใจซื้อรถยนต์ประหยัดพลังงานไฮบริดของผู้บริโภคในเขตกรุงเทพมหานคร
- 4.3 ปัจจัยที่มีอิทธิพลกับการตัดสินใจซื้อรถยนต์ประหยัดพลังงานไฮบริดของผู้บริโภคในเขตกรุงเทพมหานคร

5. แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

ในการศึกษาและวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้ศึกษาวรรณกรรมบทความแนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องเพื่อใช้เป็นข้อมูลสนับสนุนงานการศึกษาค้นคว้าวิจัยให้กับงานวิจัยในหัวข้อ “ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการตัดสินใจซื้อรถยนต์ประหยัดพลังงานไฮบริดของผู้บริโภคในเขตกรุงเทพมหานคร”

1 ทฤษฎีพฤติกรรมผู้บริโภค (Consumption behavior theory)

แบบจำลองพฤติกรรมผู้บริโภค (Consumer Behavior Model) เป็นการศึกษาถึงเหตุจูงใจที่ทำให้เกิดการตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์และจำลองพฤติกรรมผู้บริโภคหรือ S-R Theory มีจุดเริ่มต้นที่สิ่งกระตุ้นให้เกิดความต้องการแล้วทำให้เกิดการตอบสนอง แสดงดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 แสดงแบบจำลองพฤติกรรมผู้บริโภค

ที่มา : ศิริวรรณ เสรีรัตน์และคณะ (2541, น. 121)

2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการตัดสินใจ

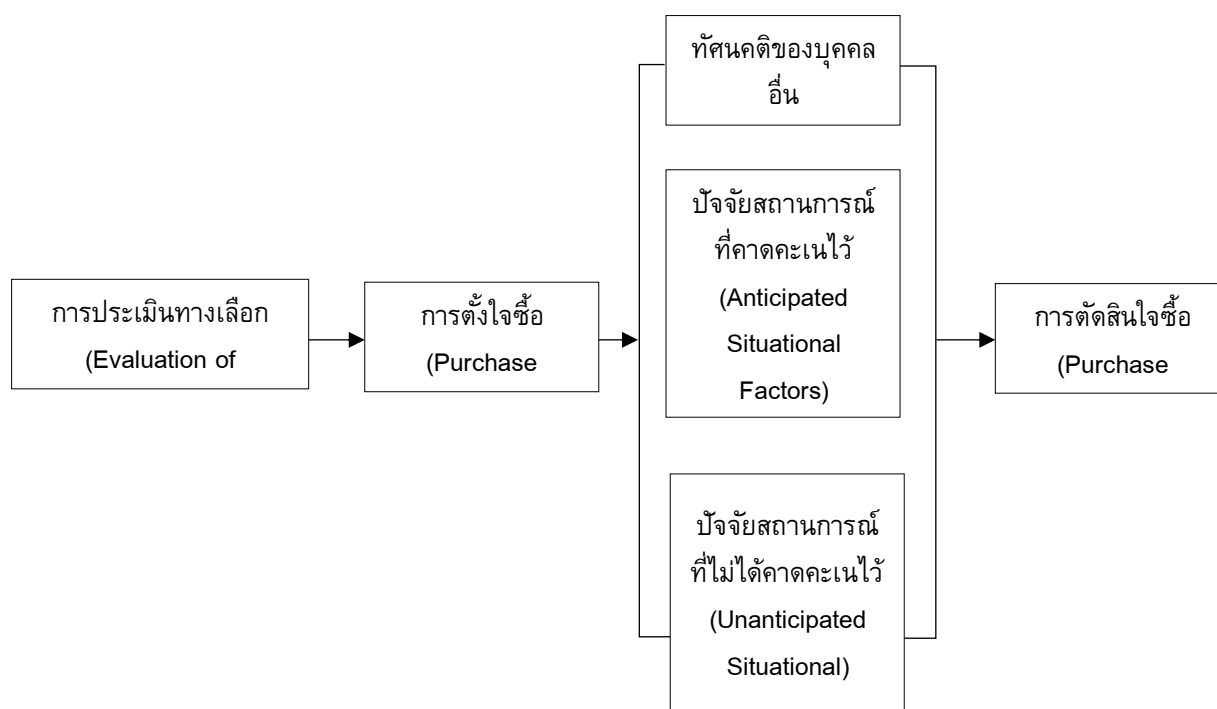
แนวคิดเกี่ยวกับกระบวนการตัดสินใจ

Kotler and Keller (2006, pp. 181-189) กล่าวว่าทฤษฎีนี้เป็นกรอบอธิบายจิตวิทยาขั้นพื้นฐานของกระบวนการที่ทำให้เข้าใจว่าผู้บริโภคมีกระบวนการตัดสินใจในการซื้ออย่างไร โดยที่ โมเดล 5 ขั้นตอนของกระบวนการ

<http://jeet.siamtechu.net>

ตัดสินใจซื้อนั้นจะประกอบไปด้วย การรับรู้ปัญหา การค้นหา ข้อมูล การประเมินผลทางเลือกการตัดสินใจซื้อและพฤติกรรมภายหลังการซื้อดังแสดงในภาพประกอบ 2 แต่ผู้บริโภคไม่จำเป็นจะต้องทำตามกระบวนการทั้ง 5 ขั้นตอนตามลำดับก็ได้ บางครั้งอาจจะข้ามขั้นตอนใดขั้นตอนหนึ่งไป หรือว่าย้อนกลับกระบวนการก็ได้

ศิริวรรณ เสรีรัตน์ (2546, น. 219 – 226); ตันติประภา (2546, น. 167) กล่าวว่า กระบวนการตัดสินใจซื้อของผู้บริโภค (Buyer's Decision Process) หมายถึง ขั้นตอนการตัดสินใจซื้อสินค้าหรือบริการของผู้บริโภคกลุ่มใดกลุ่มหนึ่งประกอบด้วย 5 ขั้นตอน คือ การรับรู้ถึงความต้องการการค้นหาข้อมูล การประเมินผลทางเลือก การตัดสินใจซื้อและพฤติกรรมภายหลัง การซื้อขั้นตอนดังกล่าวเบื้องต้นอาจจะข้ามหรือย้อนกลับไปเริ่มขั้นตอนใดก่อนก็ได้ซึ่งจะแสดงให้เห็นว่ากระบวนการซื้อเริ่มต้นก่อนการซื้อ



รูปที่ 2 แสดงขั้นตอนระหว่างการประเมินผลทางเลือกและการตัดสินใจซื้อ
(Steps between Evaluation of Alternatives and a Purchase Decision)

ที่มา : ศิริวรรณ เสรีรัตน์ และคณะ, (2546, น. 224)

3 ทฤษฎีส่วนประสมทางการตลาดบริการ (7P's)

ส่วนประสมการตลาดของตลาดการบริการ (Service Marketing Mix) ว่ามีความแตกต่างจากส่วนประสมการตลาดของสินค้าทั่วไป กล่าวคือ จะต้องมีการเน้นถึงพนักงานกระบวนการในการให้บริการ และสิ่งแวดล้อมทางกายภาพ ซึ่งทั้ง 3 ส่วนประสมเป็นปัจจัยหลักในการส่งมอบบริการ ดังนั้น ส่วนประสมทางการตลาดของการบริการจึงประกอบด้วย 7P's ได้แก่

1. ผลิตภัณฑ์ (Product) คือลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่จะต้องตอบสนองตามความต้องการของผู้บริโภคได้ เช่น มีผลิตภัณฑ์เป็นทางเลือกให้ลูกค้ามาก เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้มาตรฐานสากล เป็นต้น
2. ราคา (Price) คือมูลค่าของผลิตภัณฑ์ เป็นการกำหนดราคาของบริการให้เหมาะสมเนื่องจากราคาจะเป็นส่วนสำคัญที่ผู้บริโภคจะใช้ในการตัดสินใจใช้บริการเมื่อผู้บริโภคได้รับความพอใจในการบริการนั้นๆแล้ว

<http://jeet.siamtechu.net>

3. ช่องทางการจัดจำหน่าย (Place) การให้บริการที่ถูกต้องไปยังผู้ที่ต้องการใช้บริการในสถานที่ที่ถูกต้อง และในเวลาที่เหมาะสมโดยมีค่าใช้จ่ายที่ประหยัดรวมทั้งการให้บริการแก่ลูกค้าที่ดีที่สุด ด้วยการสร้างระบบที่มีประสิทธิภาพ

4. การส่งเสริมการตลาด (Promotion) คือการติดต่อสื่อสารเกี่ยวกับข้อมูล ระหว่างผู้ขายกับผู้รับบริการ เพื่อสร้างทัศนคติและพฤติกรรมการซื้อ

5. พนักงาน (People) พนักงานจะประการด้วยบุคคลทั้งหมดในองค์กรนั้นซึ่งจะรวมถึงตั้งแต่เจ้าของผู้บริหาร พนักงานในทุกระดับ ซึ่งบุคคลดังกล่าวทั้งหมดจะมีผลต่อคุณภาพของการให้บริการ

6. กระบวนการให้บริการ (Process) เป็นส่วนประสมทางการตลาดที่มีความสำคัญมาก อาศัยพนักงานที่มีประสิทธิภาพ เครื่องมือที่ทันสมัยในการทำให้เกิดกระบวนการที่สามารถส่งมอบบริการที่มีคุณภาพได้ เนื่องจากให้บริการโดยทั่วไปมักจะประกอบด้วยขั้นตอน เช่นการต้อนรับการสอบถามข้อมูลเบื้องต้น การชำระเงิน เป็นต้น ซึ่งแต่ละขั้นตอนต้องประสานเชื่อมโยงกันอย่างดี หากมีขั้นตอนใดไม่ดีแม้แต่ขั้นตอนเดียวย่อมทำให้การบริการไม่เป็นที่ประทับใจแก่ลูกค้า

7. สิ่งแวดล้อมทางกายภาพ (Physical Evidence) ได้แก่ สถานที่ตั้งของสถานที่ประกอบการ ร้านค้า สิ่งอำนวยความสะดวก เครื่องมืออุปกรณ์ป้ายประชาสัมพันธ์ เป็นต้น

กรอบแนวคิดงานวิจัย

ตัวแปรต้น (Independent Variable)

ปัจจัยส่วนบุคคล

1. เพศ
2. อายุ
3. สถานภาพ
4. รายได้
5. อาชีพ
6. การศึกษา

ปัจจัยส่วนประสมทางการตลาด 7P's

1. ปัจจัยด้านผลิตภัณฑ์
2. ปัจจัยด้านราคา
3. ปัจจัยด้านการจัดจำหน่าย
4. ปัจจัยด้านการส่งเสริมการขาย
5. ปัจจัยด้านพนักงาน
6. ปัจจัยด้านกระบวนการให้บริการ
7. ปัจจัยสิ่งแวดล้อมทางกายภาพ

ปัจจัยทางด้านจิตวิทยา

1. ความชอบส่วนตัว
2. ความเชื่อถือ
3. ทัศนคติ

ตัวแปรตาม (Dependent Variable)

การตัดสินใจซื้อรถยนต์ประหยัดพลังงานไฮบริดของผู้บริโภคในเขตกรุงเทพมหานคร

6. การดำเนินการวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้ทำการศึกษาแบบเชิงสำรวจ (Survey Method) และใช้ข้อมูลปฐมภูมิ (Primary data) โดยผู้ทำการวิจัยทำการเก็บรวบรวมข้อมูลจากแบบสอบถาม

กลุ่มตัวอย่าง (Simple Group) ในกลุ่มตัวอย่างในการวิจัยครั้งนี้ได้แก่ ประชาชนทั้งเพศชายและเพศหญิงจากรายงานสถิติจำนวนประชากรในเขตกรุงเทพมหานคร “จำนวนราษฎรทั่วราชอาณาจักร” โดยสำนักทะเบียนกลาง กรมการปกครอง ณ วันที่ 31 มีนาคม พ.ศ. 2563 พบว่า มีประชากรในเขตกรุงเทพมหานคร จำนวน 6,976,969 คน การกำหนดขนาดของกลุ่มตัวอย่างในการศึกษานี้ ตามวิธีการของ ทาโร ยามาเน่ (Taro Yamane) โดย กำหนดความเชื่อมั่นที่ร้อยละ 95 โดย กำหนดค่าความคลาดเคลื่อน ไม่เกินร้อยละ 5 หรือที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 การ เลือกกลุ่มตัวอย่างแบบหลายขั้นตอน (Multi-stage random sampling)

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการรวบรวมข้อมูลคือแบบสอบถาม (Questionnaire) เกี่ยวกับปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการตัดสินใจซื้อรถยนต์ประหยัดพลังงานไฮบริดของผู้บริโภคในจังหวัดกรุงเทพมหานคร แบบสอบถามเกี่ยวกับการตัดสินใจซื้อรถยนต์ประหยัดพลังงานไฮบริดของผู้บริโภคในจังหวัดกรุงเทพมหานคร เป็นแบบมาตราส่วนประมาณค่า (Rating scale) 5 ระดับ คือ มากที่สุด มาก ปานกลาง น้อย และน้อยที่สุด นำไปทดลองใช้ (Try-out) กับกลุ่มประชากรที่ไม่ใช่กลุ่มตัวอย่างที่ศึกษาจำนวน 30 คน แล้วนำมา วิเคราะห์ความเชื่อมั่น (Reliability) ของแบบสอบถามโดยภาพรวมและรายด้านโดยวิธีการหาค่าสัมประสิทธิ์แอลฟา (Alpha Coefficient) ปรากฏว่าแบบสอบถามโดยภาพรวมมีค่าความเชื่อมั่นเท่ากับ 0.966 ก่อนที่ผู้วิจัยจะนำไปเก็บรวบรวมข้อมูลแล้วมาลงรหัส (Coding)

สถิติในการวิเคราะห์ข้อมูล

สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล คือสถิติเชิงพรรณนา (Descriptive Statistic) คือ การอธิบายลักษณะทั่วไปของข้อมูลที่เก็บรวบรวมได้ ได้แก่ การแจกแจงความถี่ (Frequency) และค่าร้อยละ (Percentage) ค่าเฉลี่ย (Mean) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) สถิติเชิงอนุมาน (Inferential Statistics) โดยใช้สถิติ Multiple Regression Analysis

7. ผลการศึกษา

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงสำรวจ (Survey Research) โดยใช้แบบสอบถามการศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการตัดสินใจซื้อรถยนต์ประหยัดพลังงานไฮบริดของผู้บริโภคในจังหวัดกรุงเทพมหานคร เก็บข้อมูลโดยใช้แบบสอบถาม (Questionnaire) จากกลุ่มตัวอย่างจำนวน 400 ชุดโดยนำเสนอผลการวิเคราะห์ทั้งหมด 4 ตอน พบว่า

เพศ จำนวนกลุ่มตัวอย่างมีทั้งหมด 400 คน ส่วนใหญ่เป็นเพศชาย 279 คน คิดเป็นร้อยละ 69.8 และเพศหญิง มีจำนวน 121 คน คิดเป็นร้อยละ 30.3

อายุ อายุของกลุ่มตัวอย่าง พบว่า ส่วนใหญ่อยู่ในช่วงอายุ 20-29 ปีมีจำนวน 158 คน คิดเป็นร้อยละ 39.5 รองลงมาเป็นช่วงอายุ 30-40 ปีมีจำนวน 156 คนคิดเป็นร้อยละ 39.0 ช่วงอายุ 41-50 ปีมีจำนวน 59 คนคิดเป็นร้อยละ 14.8 อายุน้อยกว่า 20 ปี มีจำนวน 18 คนคิดเป็นร้อยละ 4.5 และอายุมากกว่า 50ปี มีจำนวน 9 คน คิดเป็นร้อยละ 2.3 ตามลำดับ

รายได้เฉลี่ยต่อเดือนของกลุ่มตัวอย่าง พบว่า ส่วนใหญ่มีรายได้อยู่ในช่วง 30,001-40,000 บาท มีจำนวน 167 คนคิดเป็นร้อยละ 41.8 รองลงมาคือรายได้ 20,001-30,000 บาทมีจำนวน 87 คน คิดเป็นร้อยละ 21.8 รายได้ 40,001-50,000 บาทมีจำนวน 79 คนคิดเป็นร้อยละ 19.8 รายได้มากกว่า 50,000 บาทมีจำนวน 62 คนคิดเป็นร้อยละ 15.5 และรายได้ 10,001-20,000 บาทมีจำนวน 5 คน คิดเป็นร้อยละ 1.3 ตามลำดับ

http://jeet.siamtechu.net

สถานภาพ สมรสของกลุ่มตัวอย่าง พบว่า ส่วนใหญ่มีสถานภาพโสดมีจำนวน 217 คน คิดเป็นร้อยละ 54.3 รองลงมา คือ สมรสมีจำนวน 170 คนคิดเป็นร้อยละ 42.5 หม้าย มีจำนวน 9 คนคิดเป็นร้อยละ 2.3 และหย่าร้างมีจำนวน 4 คน คิดเป็นร้อยละ 1.0 ตามลำดับ

ระดับการศึกษาของกลุ่มตัวอย่าง พบว่า ส่วนใหญ่มีการศึกษาอยู่ในระดับปริญญาตรี มีจำนวน 307 คน คิดเป็นร้อยละ 76.8 รองลงมาคือ ระดับปริญญาโท มีจำนวน 72 คนคิดเป็นร้อยละ 18.0 ระดับมัธยมศึกษา/ปวช.หรือต่ำกว่า มีจำนวน 10 คน คิดเป็นร้อยละ 2.5 ระดับปริญญาเอก มีจำนวน 6 คนคิดเป็นร้อยละ 1.5 และระดับอนุปริญญา/ปวส. มีจำนวน 5 คน คิดเป็นร้อยละ 1.3 ตามลำดับ

อาชีพของกลุ่มตัวอย่าง พบว่า ส่วนใหญ่ประกอบอาชีพ พนักงานเอกชน/ลูกจ้าง มีจำนวน 281 คน คิดเป็นร้อยละ 70.3 รองลงมาคือ ส่วนตัว/เจ้าของกิจการ มีจำนวน 51 คน คิดเป็นร้อยละ 12.8 นักเรียน/นิสิต/นักศึกษา จำนวน 41 คน คิดเป็นร้อยละ 10.3 และข้าราชการ/พนักงานรัฐวิสาหกิจ มีจำนวน 27 คน คิดเป็นร้อยละ 6.8 ตามลำดับ

การวิเคราะห์ข้อมูลเกี่ยวกับปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการตัดสินใจซื้อรถยนต์ประหยัดพลังงานไฮบริดของกลุ่มตัวอย่าง ตัวแปรดังกล่าวแสดงค่าคะแนนเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน รายละเอียดตามตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงค่าคะแนนเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวแปร

ปัจจัย	$\bar{X}$	S.D.	ระดับอิทธิพลต่อการตัดสินใจ
ปัจจัยส่วนผสมทางการตลาด	3.92	0.363	มาก
ด้านผลิตภัณฑ์			
1. ความสวยงามรูปลักษณ์ของรถยนต์	4.2	0.490	มากที่สุด
2. ความสามารถในการใช้งานน้ำมันร่วมกับ พลังงานไฟฟ้า	4.03	0.238	มาก
3. เสถียรภาพของระบบไฮบริด	4.05	0.218	มาก
4. ความมีชื่อเสียงของยี่ห้อรถยนต์	3.87	0.550	มาก
5. มีการรับประกัน	4.13	0.339	มาก
รวม	4.01	0.111	มาก
ด้านราคา			
6. ราคารถยนต์ไฮบริด	3.99	0.194	มาก
7. ราคาแบตเตอรี่ไฮบริด	4.01	0.467	มาก
8. ค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงและค่าบริการหลังการขาย	4.31	0.479	มากที่สุด
9. ค่าใช้จ่ายอื่น เช่น ค่าน้ำมัน	4.14	0.620	มาก
10. ค่าอุปกรณ์ตกแต่งเพื่อความสวยงามของรถยนต์	3.18	0.661	ปานกลาง
รวม	3.99	0.212	มาก
ด้านการจัดจำหน่าย			
11. มีศูนย์บริการทุกเขตพื้นที่ในกรุงเทพมหานคร	3.75	0.497	มาก
12. มีโชว์รูมจำหน่ายและออกบูธตามห้างสรรพสินค้าและงานมอเตอร์โชว์	3.48	0.566	มาก
13. ติดต่อกับตัวแทนจำหน่ายได้รับความสะดวก	3.42	0.624	มาก

<http://jeet.siamtechu.net>

14. ความสะดวกในการขอรับบริการหลังการขาย	3.93	0.437	มาก
15. มีบริการการส่งมอบรถยนต์ถึงบ้าน	3.77	0.530	มาก
รวม	3.78	0.416	มาก
ด้านการส่งเสริมทางการตลาด			
16. จัดประกันภัยรถยนต์ ชั้น 1 จากบริษัทประกันภัยชั้นนำ ที่มีคุณภาพดี	3.96	0.209	มาก
17. กำหนดระยะเวลาในการผ่อนชำระที่นาน	3.93	0.313	มาก
18. มีการจัดข้อเสนอเงินดาวน์และอัตราดอกเบี้ยในการผ่อนชำระให้กับลูกค้าในอัตราที่ต่ำและสมเหตุสมผล	4.09	0.287	มาก
19. มีรถยนต์ทดลองขับช่วงออก บูธ ตามสถานที่ต่างๆ	3.68	0.536	มาก
20. มีการให้ของแถมหรืออุปกรณ์ตกแต่งอย่างครบชุด	4.23	0.421	มากที่สุด
รวม	4.00	0.000	มาก
ด้านบุคคล			
21. ความรู้ความเข้าใจในตัวผลิตภัณฑ์ของพนักงานขาย	3.81	0.391	มาก
22. การเข้าพบการพูดคุยกับลูกค้าอย่างสม่ำเสมอ	3.29	0.777	ปานกลาง
23. การให้ความสนิทสนมของลูกค้า	3.19	0.902	ปานกลาง
24. ความรับผิดชอบต่องานลูกค้า	3.74	0.436	มาก
25. การให้บริการของพนักงานขาย	4.09	0.320	มาก
รวม	3.95	0.208	มาก
ด้านลักษณะทางกายภาพ			
26. ความทันสมัยและประสิทธิภาพของเครื่องมือและอุปกรณ์ในการให้บริการ	3.76	0.530	มาก
27. ความเพียงพอของเบอร์โทรศัพท์ในการขอรับบริการ	3.03	0.466	ปานกลาง
28. ความเพียงพอของการให้บริการจากศูนย์ตัวแทนจำหน่าย	4.32	0.466	มากที่สุด
29. ศูนย์ซ่อมใหญ่ กว้างขวาง และสะอาด	3.60	0.553	มาก
30. ห้องรับรองลูกค้า สวยงาม มีอินเทอร์เน็ตรับรอง	3.92	0.363	มาก
รวม	3.65	0.497	มาก
ด้านกระบวนการ			
31. เวลาเปิด-ปิดของโชว์รูม สะดวกต่อการเลือกใช้บริการ	4.01	0.670	มาก
32. ความรวดเร็ว ทันสมัยและคุณภาพในการบริการ	4.23	0.506	มากที่สุด
33. มีการตัดหมายล่วงหน้า และตรงเวลา	3.44	0.572	มาก
34. มาตรฐานการให้บริการสม่ำเสมอ	4.25	0.502	มากที่สุด
35. บริการสร้างความพึงพอใจให้ลูกค้า	3.73	0.442	มาก
รวม	3.57	0.571	มาก

ปัจจัย	$\bar{X}$	S.D.	ระดับอิทธิพลต่อการตัดสินใจ
ปัจจัยทางด้านจิตวิทยา	3.46	0.499	มาก
ความชอบส่วนตัว			
36. ท่านคิดว่าการใช้รถยนต์ประหยัดพลังงานดีต่อตัวท่านและสังคม	3.95	0.309	มาก
37. ท่านชอบได้รับการยกย่องจากคนรอบข้างในการใช้รถยนต์ไฮบริด	3.05	0.749	ปานกลาง
38. ท่านคิดว่าการใช้รถยนต์นี้ทำให้ท่านดูมีความภูมิฐานในสายตาคนรอบข้าง	2.91	0.816	ปานกลาง
39. ท่านคิดว่าการใช้รถยนต์นี้มีการออกแบบและรูปลักษณ์ที่สวยงามเตะตา ทำให้ท่านดูโดดเด่นในสังคม	3.58	0.505	มาก
40. ความชื่นชอบในตราสัญลักษณ์ของรถยนต์	3.78	0.569	มาก
รวม	3.45	0.498	มาก
ความเชื่อถือ			
41. ท่านเชื่อถือในการผลิตรถยนต์ไฮบริดของรถยนต์ยี่ห้อนี้	3.79	0.485	มาก
42. ท่านเชื่อถือในความเป็นเอกลักษณ์เฉพาะตนของรถยนต์รุ่นนี้	3.42	0.566	มาก
43. การใช้รถยนต์ไฮบริดทำให้ท่านได้รู้สึกช่วยลดภาวะโลกร้อน	2.64	0.645	ปานกลาง
44. ท่านเชื่อถือในนวัตกรรมใหม่ ที่มีประโยชน์ต่อสังคมและสิ่งแวดล้อม เช่น ระบบไฮบริด	3.52	0.500	มาก
45. ท่านเชื่อคำแนะนำหรือบอกเล่าของบุคคลรอบข้างและคนรู้จัก	3.56	0.683	มาก
รวม	3.39	0.486	ปานกลาง
ทัศนคติ			
46. ท่านมีความรู้สึกว่าการใช้รถยนต์ไฮบริดเป็นรถยนต์ที่มีประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ที่ดี	3.76	0.580	มาก
47. ท่านมีความรู้สึกว่าการใช้รถยนต์ไฮบริดเป็นรถยนต์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม	3.52	0.575	มาก
48. ท่านมีทัศนคติที่ดีต่อรถยนต์ไฮบริดเป็นการส่วนตัว	3.18	0.552	ปานกลาง
49. ท่านมีความรู้สึกว่าการใช้รถยนต์ไฮบริดมีสมรรถนะในการขับขี่ที่ดี	3.41	0.503	มาก
50. ท่านมีความรู้สึกว่าการใช้รถยนต์ไฮบริดมีอัตราการประหยัดน้ำมันที่ดี	3.97	0.294	มาก
รวม	3.66	0.474	มาก

8. ผลวิเคราะห์เพื่อทดสอบสมมติฐาน

สมมติฐานที่ 1 ปัจจัยส่วนบุคคลที่ต่างกันมีอิทธิพลต่อการตัดสินใจซื้อรถยนต์ประหยัดพลังงานไฮบริดที่แตกต่างกัน ดังนี้

สมมติฐานที่ 1.1 เพศชายและหญิงมีอิทธิพลต่อการตัดสินใจซื้อรถยนต์ประหยัดพลังงานไฮบริดที่แตกต่างกัน รายละเอียดตามตารางที่ 2

<http://jeet.siamtechu.net>

ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลเกี่ยวกับปัจจัยส่วนบุคคลที่ต่างกันมีอิทธิพลต่อการตัดสินใจซื้อรถยนต์ประหยัดพลังงานไฮบริดที่แตกต่างกัน จำแนกตามเพศ

เพศ	จำนวน	$\bar{X}$	S.D.	ค่า t	ค่า Sig. (2-tailed)
ชาย	279	2.19	0.488	-1.258	0.210
หญิง	121	2.26	0.602		

*มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 (Sig<0.05)

จากตารางที่ 2 พบว่า ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างตามกลุ่มเพศ มีอิทธิพลต่อการตัดสินใจซื้อรถยนต์ประหยัดพลังงานไฮบริดที่แตกต่างกันโดยใช้สถิติทดสอบค่าที (t-test) จากวิเคราะห์ข้อมูลพบว่า มีค่า Significant เท่ากับ 0.210 โดยพิจารณาค่า α ที่ได้ ซึ่งมากกว่า 0.05 จึงปฏิเสธสมมติฐาน นั่นคือ เพศชายและหญิง มีผลต่อการตัดสินใจซื้อรถยนต์ประหยัดพลังงานไฮบริดที่ไม่แตกต่างกัน

สมมติฐานที่ 1.2 อายุที่แตกต่างกัน มีอิทธิพลต่อการตัดสินใจซื้อรถยนต์ประหยัดพลังงานไฮบริดที่แตกต่างกัน รายละเอียดตามตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลเกี่ยวกับปัจจัยส่วนบุคคลที่ต่างกัน มีอิทธิพลต่อการตัดสินใจซื้อรถยนต์ประหยัดพลังงานไฮบริดที่แตกต่างกัน จำแนกตามอายุ

อายุ	Sum of Squares	df	Mean Square	ค่า F	ค่า Sig.
Between Groups	0.670	4	0.167	0.603	0.661
Within Groups	109.690	395	0.278		
Total	110.360	399			

*มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 (Sig<0.05)

จากตารางที่ 3 พบว่า ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างตามกลุ่มอายุมีอิทธิพลต่อการตัดสินใจซื้อรถยนต์ประหยัดพลังงานไฮบริดที่แตกต่างกัน โดยใช้สถิติการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One Way ANOVA: Analysis of Variance) จากวิเคราะห์ข้อมูลพบว่า มีค่า Significant เท่ากับ 0.661 โดยพิจารณาค่า α ที่ได้ซึ่งมากกว่า 0.05 จึงปฏิเสธสมมติฐาน นั่นคือ อายุที่แตกต่างกันไม่มีผลต่อการตัดสินใจซื้อรถยนต์ประหยัดพลังงานไฮบริดที่แตกต่างกัน

สมมติฐานที่ 1.3 รายได้แตกต่างกัน มีผลต่อการตัดสินใจซื้อรถยนต์ประหยัดพลังงานไฮบริดที่แตกต่างกัน รายละเอียดตามตารางที่ 4

<http://jeet.siamtechu.net>

ตารางที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลเกี่ยวกับปัจจัยส่วนบุคคลที่ต่างกันมีอิทธิพลต่อการตัดสินใจซื้อรถยนต์ประหยัดพลังงานไฮบริดที่แตกต่างกันจำแนกตามรายได้

รายได้	Sum of Squares	df	Mean Square	ค่า F	ค่า Sig.
Between Groups	5.375	4	1.344	5.056**	0.001
Within Groups	104.985	395	0.266		
Total	110.360	399			

*มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 (Sig<0.05), **มีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติที่ระดับ 0.01 (Sig<0.01)

จากตารางที่ 4 พบว่า ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างตามกลุ่มรายได้ มีผลอิทธิพลต่อการตัดสินใจซื้อรถยนต์ประหยัดพลังงานไฮบริดที่แตกต่างกันโดยใช้สถิติการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One Way ANOVA: Analysis of Variance) จากวิเคราะห์ข้อมูลพบว่า มีค่า Significant มีผลต่อการตัดสินใจซื้อรถยนต์ประหยัดพลังงานไฮบริดที่แตกต่างกันและเมื่อทำการทดสอบรายคู่โดยวิธี Scheffe รายละเอียดตามตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ผลการเปรียบเทียบความแตกต่างของปัจจัยส่วนบุคคลที่ต่างกันมีอิทธิพลต่อการตัดสินใจซื้อรถยนต์ประหยัดพลังงานไฮบริดที่แตกต่างกันจำแนกตามรายได้เป็นรายคู่

รายได้	$\bar{X}$	10,001-20,000	20,001-30,000	30,001-40,000	40,001-50,000	มากกว่า 50,000
10,001-20,000	1.20	-	-1.018*	-1.016*	-1.066*	-0.994*
20,001-30,000	2.22		-	0.003	-0.047	0.025
30,001-40,000	2.22			-	-0.050	0.022
40,001-50,000	2.27				-	0.072
มากกว่า 50,000	2.19					-

*มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 (Sig<0.05)

จากตารางที่ 5 เมื่อทดสอบความแตกต่างของปัจจัยส่วนบุคคลที่ต่างกันมีอิทธิพลต่อการตัดสินใจซื้อรถยนต์ประหยัดพลังงานไฮบริดที่แตกต่างกัน จำแนกตามรายได้เป็นรายคู่ พบว่า กลุ่มรายได้ต่างๆที่มีผลต่อการตัดสินใจซื้อรถยนต์ประหยัดพลังงานไฮบริด แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทาง สถิติที่ระดับ 0.05 พบว่า กลุ่มรายได้ 10,001-20,000 บาท มีการตัดสินใจซื้อรถยนต์ประหยัดพลังงานไฮบริดน้อยกว่า กลุ่มรายได้ 20,001-30,000 บาท 30,001-40,000 บาท และ 40,001-50,000 บาท และรายได้มากกว่า 50,000 บาท

<http://jeet.siamtechu.net>

สมมติฐานที่ 1.4 สถานภาพแตกต่างกันมีอิทธิพลต่อการตัดสินใจซื้อรถยนต์ประหยัดพลังงานไฮบริดที่แตกต่างกัน รายละเอียดตามตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลเกี่ยวกับปัจจัยส่วนบุคคลที่ต่างกันมีอิทธิพลต่อการตัดสินใจซื้อรถยนต์ประหยัดพลังงานไฮบริดที่แตกต่างกัน จำแนกตามสถานภาพ

สถานภาพ	Sum of Squares	df	Mean Square	ค่า F	ค่า Sig.
Between Groups	.220	3	0.073	0.264	0.851
Within Groups	110.140	396	0.278		
Total	110.360	399			

จากตารางที่ 6 พบว่า ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างตามกลุ่มสถานภาพมีอิทธิพลต่อการตัดสินใจซื้อรถยนต์ประหยัดพลังงานไฮบริดที่แตกต่างกันโดยใช้สถิติการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One Way ANOVA: Analysis of Variance) จากวิเคราะห์ข้อมูลพบว่ามีค่า Significant เท่ากับ 0.851 โดยพิจารณาค่า α ที่ได้ซึ่งมากกว่า 0.05 จึงปฏิเสธสมมติฐานนั้นคือสถานภาพแตกต่างกัน มีผลต่อการตัดสินใจซื้อรถยนต์ประหยัดพลังงานไฮบริดที่ไม่แตกต่างกัน

สมมติฐานที่ 1.5 ระดับการศึกษาแตกต่างกันมีอิทธิพลต่อการตัดสินใจซื้อรถยนต์ประหยัดพลังงานไฮบริดที่แตกต่างกัน รายละเอียดตามตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลเกี่ยวกับปัจจัยส่วนบุคคลที่ต่างกันมีอิทธิพลต่อการตัดสินใจซื้อรถยนต์ประหยัดพลังงานไฮบริดที่แตกต่างกันจำแนกตามระดับการศึกษา

ระดับการศึกษา	Sum of Squares	df	Mean Square	ค่า F	ค่า Sig.
Between Groups	3.022	4	0.755	2.780*	0.027
Within Groups	107.338	395	0.272		
Total	110.360	399			

*มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 (Sig<0.05)

จากตารางที่ 7 พบว่า ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างตามกลุ่มระดับการศึกษามีอิทธิพลต่อการตัดสินใจซื้อรถยนต์ประหยัดพลังงานไฮบริดที่แตกต่างกันโดยใช้สถิติการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One Way ANOVA: Analysis of Variance) จากวิเคราะห์ข้อมูลพบว่ามีค่า Significant เท่ากับ 0.027 โดยพิจารณาค่า α ที่ได้ซึ่งน้อยกว่า 0.05 จึงยอมรับสมมติฐานนั้นคือระดับการศึกษาแตกต่างกันมีอิทธิพลต่อการตัดสินใจซื้อรถยนต์ประหยัดพลังงานไฮบริดที่แตกต่างกันและเมื่อทำการทดสอบรายคู่ โดยวิธี Scheffe รายละเอียดตามตารางที่ 8

<http://jeet.siamtechu.net>

ตารางที่ 8 ผลการเปรียบเทียบความแตกต่างของปัจจัยส่วนบุคคลที่ต่างกันมีอิทธิพลต่อการตัดสินใจซื้อรถยนต์ประหยัดพลังงานไฮบริดที่ต่างกัน จำแนกตามระดับการศึกษาเป็นรายคู่

รายได้	$\bar{X}$	มัธยมศึกษา /ปวชหรือต่ำกว่า	อนุปริญญา/ ปวส.	ปริญญาตรี	ปริญญาโท	ปริญญาเอก
มัธยมศึกษา/ปวชหรือ ต่ำกว่า	1.70	-	-0.500	-0.521*	-0.550*	-0.300
อนุปริญญา/ปวส.	2.20		-	-0.021	-0.050	0.200
ปริญญาตรี	2.22			-	-0.029	0.221
ปริญญาโท	2.25				-	0.250
ปริญญาเอก	2.00					-

*มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 (Sig<0.05)

จากตารางที่ 8 เมื่อทดสอบความแตกต่างของปัจจัยส่วนบุคคลที่ต่างกันมีอิทธิพลต่อการตัดสินใจซื้อรถยนต์ประหยัดพลังงานไฮบริดที่ต่างกันจำแนกตามระดับการศึกษาเป็นรายคู่พบว่ากลุ่มระดับการศึกษาต่างๆที่มีอิทธิพลต่อการตัดสินใจซื้อรถยนต์ประหยัดพลังงานไฮบริดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 พบว่ากลุ่มการศึกษาระดับมัธยมศึกษา/ปวชหรือต่ำกว่า มีการตัดสินใจซื้อรถยนต์ประหยัดพลังงานไฮบริดน้อยกว่า กลุ่มการศึกษาระดับปริญญาตรีและปริญญาโท

สมมติฐานที่ 1.6 อาชีพแตกต่างกันมีอิทธิพลต่อการตัดสินใจซื้อรถยนต์ประหยัดพลังงานไฮบริดที่ต่างกัน รายละเอียดตามตารางที่ 9

ตารางที่ 9 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลเกี่ยวกับปัจจัยส่วนบุคคลที่ต่างกันมีอิทธิพลต่อการตัดสินใจซื้อรถยนต์ประหยัดพลังงานไฮบริดที่ต่างกันจำแนกตามอาชีพ

ระดับการศึกษา	Sum of Squares	df	Mean Square	ค่า F	ค่า Sig.
Between Groups	.290	3	0.097	0.347	0.791
Within Groups	110.070	396	0.278		
Total	110.360	399			

*มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 (Sig<0.05)

จากตารางที่ 9 พบว่าผลการวิเคราะห์ความแตกต่างตามกลุ่มอาชีพมีอิทธิพลต่อการตัดสินใจซื้อรถยนต์ประหยัดพลังงานไฮบริดที่ต่างกันโดยใช้สถิติการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One Way ANOVA: Analysis of Variance) จากวิเคราะห์ข้อมูลพบว่ามีค่า Significant เท่ากับ 0.791 โดยพิจารณาค่า α ที่ได้ซึ่งมากกว่า 0.05 จึงปฏิเสธสมมติฐานนั้นคือ อาชีพแตกต่างกันมีอิทธิพลต่อการตัดสินใจซื้อรถยนต์ประหยัดพลังงานไฮบริดไม่แตกต่างกัน

สมมติฐานที่ 2 ปัจจัยด้านส่วนประสมทางการตลาดมีอิทธิพลกับการตัดสินใจซื้อรถยนต์ประหยัดพลังงานไฮบริดของผู้บริโภคในเขตกรุงเทพมหานคร รายละเอียดตามตารางที่ 10

ตารางที่ 10 การวิเคราะห์การถดถอยเพื่อพยากรณ์อิทธิพลของปัจจัยด้านส่วนประสมทางการตลาดที่มีต่อการตัดสินใจซื้อรถยนต์ประหยัดพลังงานไฮบริดของผู้บริโภคในเขตกรุงเทพมหานครโดยนำปัจจัยทุกด้านเข้าในสมการ

ตัวแปร	b	SE _b	B	t	p-value
1. ด้านผลิตภัณฑ์	0.0111	.223	0.023	0.496	0.620
2. ด้านราคา	-0.155	.118	-0.062	-1.311	0.191
3. ด้านการจัดจำหน่าย	-0.095	.060	-0.075	-1.584	0.114
4. ด้านการส่งเสริมทางการตลาด	0.181	0.052	0.267	3.476	0.001**
5. ด้านบุคคล	0.048	0.056	0.041	0.861	0.390
6. ด้านลักษณะทางกายภาพ	0.061	0.064	0.045	0.949	0.343
7. ด้านกระบวนการ	0.130	0.041	0.155	3.145	0.001**

ค่าคงที่ 4.311 ; SE_{est} = +1.088
R = 0.366 ; R² = 0.134 ; F = 10.158 ; p-value = 0.000

*มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05, **มีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติที่ระดับ 0.01

จากตารางที่ 10 จะเห็นว่าปัจจัยทั้ง 7 ด้าน มีความสัมพันธ์กับปัจจัยด้านส่วนประสมทางการตลาด และการตัดสินใจซื้อรถยนต์ประหยัดพลังงานไฮบริดของผู้บริโภค ในเขตกรุงเทพมหานครในระดับต่ำ โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์พหุคูณเป็น 0.366 และสามารถร่วมกันพยากรณ์อิทธิพลของปัจจัยด้านส่วนประสมทางการตลาดที่มีต่อการตัดสินใจซื้อรถยนต์ประหยัดพลังงานไฮบริดของผู้บริโภคในเขตกรุงเทพมหานคร ได้ร้อยละ 13.4 อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติที่ระดับ 0.01 โดยมีความคลาดเคลื่อนมาตรฐานในการพยากรณ์ เท่ากับ +1.088

เมื่อพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยของตัวพยากรณ์พบว่าปัจจัยด้านผลิตภัณฑ์ (p-value=0.620) ด้านราคา (p-value=0.19) ด้านการจัดจำหน่าย (P-value=0.114) ด้านบุคคล (p-value=0.390) และด้านลักษณะทางกายภาพ (p-value=0.343) ไม่สามารถพยากรณ์อิทธิพลของปัจจัยด้านส่วนประสมทางการตลาดที่มีต่อการตัดสินใจซื้อรถยนต์ประหยัดพลังงานไฮบริดของผู้บริโภคในเขตกรุงเทพมหานคร ส่วนปัจจัยด้านการส่งเสริมทางการตลาด (p-value=0.001) และด้านกระบวนการ (p-value=0.001) สามารถพยากรณ์อิทธิพลของปัจจัยด้านส่วนประสมทางการตลาดที่มีต่อการตัดสินใจซื้อรถยนต์ประหยัดพลังงานไฮบริดของผู้บริโภคในเขตกรุงเทพมหานครได้อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติที่ระดับ 0.01 และสามารถสร้างสมการการถดถอยพหุเชิงเส้นพยากรณ์อิทธิพลของปัจจัยด้านส่วนประสมทางการตลาดที่มีต่อการตัดสินใจซื้อรถยนต์ประหยัดพลังงานไฮบริดของผู้บริโภคในเขตกรุงเทพมหานคร สามารถแสดงในรูปคะแนนดิบได้ดังนี้

การตัดสินใจซื้อรถยนต์ประหยัดพลังงานไฮบริด = 4.311 + 0.111 (ด้านผลิตภัณฑ์) - 0.155 (ด้านราคา) - 0.095 (ด้านการจัดจำหน่าย) + 0.181 (ด้านการส่งเสริมทางการตลาด) + 0.048* (ด้านบุคคล) + 0.061 (ด้านลักษณะทางกายภาพ) + 0.130** (ด้านกระบวนการ)

สมมติฐานที่ 3 ปัจจัยด้านจิตวิทยามีอิทธิพลกับการตัดสินใจซื้อรถยนต์ประหยัดพลังงานไฮบริดของผู้บริโภคในเขตกรุงเทพมหานคร รายละเอียดตามตารางที่ 11

ตารางที่ 11 การวิเคราะห์การถดถอยเพื่อพยากรณ์อิทธิพลของปัจจัยด้านจิตวิทยาที่มีต่อการตัดสินใจซื้อรถยนต์ประหยัดพลังงานไฮบริดของผู้บริโภคในเขตกรุงเทพมหานครโดยนำปัจจัยทุกด้านเข้าในสมการ

ตัวแปร	b	SE _b	B	t	p-value
1. ความชอบส่วนตัว	0.181	0.052	0.267	3.476	0.001**
2. ความเชื่อถือ	0.088	0.067	0.081	1.312	0.190
3. ทศนคติ	0.047	0.070	0.057	0.665	0.507

ค่าคงที่ 0.910 ; SE_{est} = ±0.208

R = 0.182 ; R² = 0.033 ; F = 6.823 ; p-value = 0.001

*มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05, **มีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติที่ระดับ 0.01

จากตารางที่ 4.11 จะเห็นว่าปัจจัยทั้ง 3 ด้าน มีความสัมพันธ์กับปัจจัยด้านจิตวิทยาและการตัดสินใจซื้อรถยนต์ประหยัดพลังงานไฮบริดของผู้บริโภคในเขตกรุงเทพมหานครในระดับต่ำมาก โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์พหุคูณเป็น 0.128 และสามารถรวมกันพยากรณ์อิทธิพลของปัจจัยด้านจิตวิทยาที่มีต่อการตัดสินใจซื้อรถยนต์ประหยัดพลังงานไฮบริดของผู้บริโภคในเขตกรุงเทพมหานครร้อยละ 0.033 โดยมีความคลาดเคลื่อนมาตรฐานในการพยากรณ์เท่ากับ +0.208

เมื่อพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยของตัวพยากรณ์พบว่าปัจจัยด้านความเชื่อถือ (p-value=0.190) และด้านทัศนคติ (p-value=0.507) ไม่สามารถพยากรณ์อิทธิพลของปัจจัยด้านจิตวิทยาที่มีต่อการตัดสินใจซื้อรถยนต์ประหยัดพลังงานไฮบริดของผู้บริโภคในเขตกรุงเทพมหานครส่วนปัจจัยด้านความชอบส่วนตัว (p-value=0.001) สามารถพยากรณ์อิทธิพลของปัจจัยด้านจิตวิทยาที่มีต่อการตัดสินใจซื้อรถยนต์ประหยัดพลังงานไฮบริดของผู้บริโภคในเขตกรุงเทพมหานครได้อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติที่ระดับ 0.01 และสามารถสร้างสมการการถดถอยพหุเชิงเส้นพยากรณ์อิทธิพลของปัจจัยด้านจิตวิทยาที่มีต่อการตัดสินใจซื้อรถยนต์ประหยัดพลังงานไฮบริดของผู้บริโภคในเขตกรุงเทพมหานคร สามารถแสดงในรูปคะแนนดิบได้ ดังนี้ คือ

การตัดสินใจซื้อรถยนต์ประหยัดพลังงานไฮบริด $0.910 + 0.181 \times (\text{ความชอบส่วนตัว}) + 0.088 \times (\text{ความเชื่อถือ}) + 0.047 \times (\text{ทัศนคติ})$

9. ข้อเสนอแนะ

จากผลการศึกษาวิจัยเรื่อง ปัจจัยที่มีอิทธิพลกับการตัดสินใจซื้อรถยนต์ประหยัดพลังงานประเภทไฮบริดของผู้บริโภคในเขตกรุงเทพมหานคร มีข้อเสนอแนะ ควรส่งเสริมให้เห็นคุณสมบัติที่ดีของรถยนต์ประหยัดพลังงานไฮบริดอย่างทั่วถึงทุกสื่อ และต่อเนื่องเพื่อให้ประชาชนทั่วไปมีความเชื่อและทัศนคติที่ดีต่อรถยนต์ประหยัดพลังงานไฮบริด ผู้ผลิตและจัดจำหน่ายควรมีการปรับปรุงและพัฒนาด้านการตลาดอย่างต่อเนื่อง เพื่อจูงใจผู้บริโภคเนื่องจากรถยนต์ประหยัดพลังงานไฮบริดยังเป็นเทคโนโลยีที่ค่อนข้างใหม่รวมถึง สภาวะเศรษฐกิจปัจจุบันจึงมีผลต่อการจ่ายทำให้ปัจจัยด้านราคามีผลต่อการตัดสินใจในการเลือกซื้อรถยนต์ประหยัดพลังงานไฮบริด

<http://jeet.siamtechu.net>

10 รายการอ้างอิง

- ศิริวรรณ เสรีรัตน์ และคณะ. (2541). การบริหารการตลาดยุคใหม่. กรุงเทพมหานคร: ซีระฟิล์มและโซเท็กซ์.
- อีโกคาร์ ทางเลือกของรถยนต์ในอนาคต. (2009). ประชาคมวิจัย ฉบับพิเศษที่ 12.
- Certo, Samuel C. (2000). “การจัดการสมัยใหม่” แปลจากเรื่อง Modern management (พัชนี นนทศักดิ์ และ ปิยะพันธ์ ปิงเมือง, แปล). กรุงเทพมหานคร : เพียร์สัน เอ็ดดูเคชั่น อโดโซนา.
- Greene, Charles N. (1972). The satisfaction-performance controversy: New Developments and Their implication. Business Horizon.
- Kotler, Phillip. (1997). Marketing Management. (8th.) Englewood Hall, Inc.
- Kotler, Philip. (2003). การจัดการการตลาด. แปลจากเรื่อง Marketing management (ยงยุทธ์ พงศ์ศรีพันธ์, ยุทธนา ธรรมเจริญ, อุไรวรรณ แยมเนียม, อติลล่ำ พงศ์ยี่ล้าและ ธนวรรณ แสงสุวรรณ, แปล) (พิมพ์ครั้งที่ 6). กรุงเทพมหานคร: เอช.เอ็น.กรุ๊ป.
- Kotler, Philip and Keller, Kevin. (2006). Marketing Management. Twelfth Edition, Pearson Education.
- Parke, Hampton W., & Oglesby, Clarkson H. (1972) Methods improvement for construction Managers. New York: McGraw-Hill.
- Schermerhorn, John R., Hunt, James G., & Osborn, Richard N. (2000). Organizational Behavior. Boston: McGraw-Hill.
- Schiffman, Leon G., & Kanuk., Leslic L. (2000). Consumer behavior (7th ed.). Upper Saddle River, NJ: Prentice-Hall.
- Steff. (2011). “Hybrid market share about half of the hybrid cars sold in American are Priuses 2011,” Journal of Race hybrid Retrieved April 15, 2012 from <http://blogs.ubc.ca/skho/2010/04/19/the-hybrid-race/>.
- Tribolet, Walter C. (2004). The relationship between intrinsic motivation and organizational Commitment: A study in a European environment (Online). Available: <http://www.umi.com/dissertations/fullcit/3126003> [2008, Aug 30].
- Yamane, Taro. (1973). Statistics: An introductory analysis (3rd ed.). New York: Harper & Row

การสร้างอุปกรณ์การสอนการคัดแยกขยะด้วยเทคโนโลยี RFID สำหรับนักเรียนชั้นประถมศึกษา

BUILDING A WASTE SORTING TEACHING DEVICE WITH RFID TECHNOLOGY FOR ELEMENTARY SCHOOL STUDENTS.

คมสันต์ พิทยาภรณ์¹, วุฒิชัย เกษพานิช², สายพิน ไชยพันธ์³, อินจิรา นิยมธู⁴

ยุทธนา ทรัพย์มูล⁵, และสุทธิลักษณ์ ชุนประวัต^{6*}

^{1,6} คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม

^{1,2,3,4,5} คณะวิทยาศาสตร์สุขภาพ วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม

46 ถนนเจริญสุขนิทวงศ์ แขวงท่าพระ เขตบางกอกใหญ่ กทม. 101600

Corresponding author E-mail: Komsanp@siamtechno.ac.th

Received : 17 March 2021

Revised : 09 June 2021

Accepted : 15 June 2021

บทคัดย่อ

การวิจัยมีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างอุปกรณ์การสอนคัดแยกขยะด้วยเทคโนโลยี RFID สำหรับนักเรียนชั้นประถมศึกษา นักเรียนจะสามารถแยกขยะสี่ประเภทออกจากกัน: ขยะทั่วไป ขยะอินทรีย์ ของเสียอันตราย และ รีไซเคิล อุปกรณ์การสอนประกอบด้วยถังพลาสติกขนาดเล็ก 4 ถังทำเป็นถังขยะจำลอง ตั้งแต่ถังติดตั้งระบบเซ็นเซอร์ข้อมูลที่ใช้คลื่นความถี่วิทยุ (RFID Scanner) สำหรับขยะแต่ละประเภทและไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino UNO R3 และมีการ์ดภาพขยะ 20 ใบ โดยขยะแต่ละประเภทมีการ์ดขยะ 5 ใบ ที่แผ่นการ์ดติดตั้ง RFID ของประเภทของขยะ ในการทดสอบ เมื่อนำการ์ดขยะ แต่ละแผ่นแตะที่เครื่องอ่าน (RFID Scanner) ของถัง เครื่องจะส่งสัญญาณไปที่ส่วนควบคุมซึ่งจะตรวจสอบว่าถูกต้องหรือไม่ ถ้าถูกต้อง จะมีเสียงว่า “ถูกประเภท” ฝาถังจะเปิด ถ้าผิดจะมีเสียงว่า “ผิดประเภท” ฝาถังจะไม่เปิด กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยเป็นนักเรียนชั้นประถมศึกษา จำนวน 12 คน และครูประจำชั้นจำนวน 6 คน รวมทั้งหมด 18 คน จากโรงเรียนวัดเจ้ามูล ได้มาโดยการสุ่มห้องเรียนด้วยวิธีการสุ่มอย่างง่าย เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยประกอบด้วย แบบประเมินความพึงพอใจการใช้งานอุปกรณ์การสอนการคัดแยกขยะและแบบทดสอบความรู้เรื่อง การคัดแยกขยะ เมื่อนำอุปกรณ์การสอนนี้มาทำการทดสอบกับครูผู้สอนนักเรียนชั้นประถมศึกษา ผลการประเมิน (จากคะแนนเต็ม 5) แสดงให้เห็นว่าการวิจัยนี้ใช้งานได้จริงโดยมีคะแนนเฉลี่ย 4.8 และความพึงพอใจโดยรวมด้วยคะแนน 4.4 สำหรับด้านความรู้ที่ได้รับ ผู้ใช้งานระบุว่าอุปกรณ์การสอนนี้มีวัตถุประสงค์ที่ชัดเจนด้วยคะแนนเฉลี่ย 4.8 และสามารถเป็นเครื่องมือที่ดีในการใช้งานเพื่อการศึกษาด้วยคะแนนเฉลี่ยที่ 4.6

คำสำคัญ: อุปกรณ์การสอน, การคัดแยกขยะ, ระบบเซ็นเซอร์ข้อมูลที่ใช้คลื่นความถี่วิทยุ, ไมโครคอนโทรลเลอร์

ABSTRACT

The purpose of the research was to create a teaching device for separating waste with RFID technology. Students will be able to separate four types of waste: general waste, organic waste, hazardous waste and recycle. Teaching equipment consists of 4 small plastic tanks, made into simulated trash cans. Each tank is equipped with a Radio Frequency Identification Scanner (RFID Scanner) for each type of waste and a monitoring microcontroller Arduino UNO R3 and there will be 20 garbage image cards, of which 5 cards for

<http://jeet.siamtechu.net>

each type of waste. On the card, install the RFID of the type of waste. In the training, when each garbage card touches the tank's RFID scanner, it scans the signal to the controller, which checks if it is correct. If right, it will sound "right type" and the lid will open. If it is wrong, it will sound "wrong type" and the lid will not open. The samples used in this research were 12 primary school students and 6 teachers, totaling 18 from Wat Chao Mun School. It is obtained by randomizing the classroom with a simple random method. The tools used in the research consisted of The satisfaction assessment form for the use of waste sorting teaching equipment and the waste sorting knowledge test. When the teaching equipment was tested on 6 primary school teachers and 12 students in Grade 1-6, the evaluation results (based on a full score of 5) showed that the research was practical, with an average score of 4.8, and overall satisfaction with score at 4.4. For knowledge gain, it was mentioned by the users that the teaching equipment had a clear purpose with average score of 4.8, and can be a good tool for educational use with the average score at 4.6.

Keywords: Teaching materials, waste separation, Radio Frequency Identification, microcontroller

1. บทนำ

ระยะเวลากว่า 10 ปีที่ผ่านมา เรียกได้ว่า “คนไทยสร้างขยะกันแทบทุกวินาที” ปริมาณขยะมูลฝอยเพิ่มขึ้นจาก 10 ปีก่อนมากกว่า 3 ล้านตัน อันเป็นผลมาจากการขยายตัวของชุมชนเมืองและพฤติกรรมการกินอยู่ของคนในสังคม แต่เดิมกาแฟแก้วหนึ่งก็มีขยะไปแล้ว 3 ชิ้น ทั้งไม่เป็นที่กันก็มี ปี หนึ่ง “ขยะตกค้าง” เกือบ 10 ล้านตัน [6] สาเหตุเกิดจากการทิ้งขยะรวมกัน จึงทำให้ยากต่อการคัดแยกขยะและทำให้เกิดการตกค้างของขยะจำนวนมาก ทั้งนี้ การคัดแยกขยะก็เป็นการแก้ปัญหาที่ดี แต่จะหาอย่างไรให้ทุกคนหันมาใส่ใจการคัดแยกขยะให้มากขึ้น และก็จะมีการจัดการขยะโดยอาศัยหลัก 5R คือ 1.Reduce คือการลดปริมาณขยะโดยลดการใช้ผลิตภัณฑ์ที่มีบรรจุภัณฑ์สิ้นเปลือง 2.Reuse คือ การนำมาใช้ซ้ำ เช่น ขวดแก้ว ถังการดาด กระจกพิมพ์หน้าหลังเป็นต้น 3.Repair คือ การซ่อมแซมแก้ไขสิ่งของต่าง ๆ ให้สามารถใช้งานต่อไปได้ 4.Reject คือ การหลีกเลี่ยงใช้สิ่งของที่ทำให้เกิดมลพิษ 5.Recycle [10] คือ การแปรสภาพและหมุนเวียนนำกลับมาใช้ได้ใหม่ โดยนำไปผ่านกระบวนการผลิตใหม่อีกครั้ง จะเห็นได้ว่าหลักการ 5R มีความยุ่งยากที่จะปฏิบัติตาม

ดังนั้นจึงเห็นว่าการแยกขยะเป็นขั้นตอนที่สามารถปฏิบัติตามได้ง่ายที่สุด และกลุ่มเป้าหมายที่เราจะสามารถทำการสอนให้ปฏิบัติได้ คือ เด็ก ผู้วิจัยจึงคิดที่จะสร้างอุปกรณ์การสอนเพื่อจะปลูกฝังจิตสำนึกให้กับเด็กให้รักสิ่งแวดล้อมมากขึ้นและตระหนักถึงการทิ้งขยะไม่เป็นที่ เป็นทาง และสิ่งที่ผู้วิจัยสร้างขึ้น คืออุปกรณ์การสอนคัดแยกขยะให้ถูกประเภท การทำงานของถังขยะก็คือถ้านำขยะไปทิ้งที่ถังขยะที่ถูกประเภทก็จะมีเสียงขึ้นว่าถูกประเภทแต่ถ้านำขยะไปทิ้งในถังที่ผิดประเภท ถังขยะก็จะมีเสียงว่าผิดประเภท การทำแบบนี้จะทำให้เด็ก ๆ ได้รู้ว่าขยะประเภทไหนควรทิ้งถึงไหนถึงจะถูกประเภทและไม่ทำให้โลกเกิดขยะตกค้าง

2. วัตถุประสงค์

- 2.1 เพื่อสร้างอุปกรณ์การสอนการคัดแยกขยะสำหรับนักเรียนชั้นประถมศึกษา
- 2.2 เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของผู้ใช้อุปกรณ์การสอนการคัดแยกขยะสำหรับนักเรียนชั้นประถมศึกษา

3. วิธีดำเนินการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

1. อุปกรณ์การสอนการคัดแยกขยะสำหรับนักเรียนชั้นประถมศึกษา
2. แบบประเมินประสิทธิภาพของอุปกรณ์การสอนการคัดแยกขยะสำหรับนักเรียนชั้นประถมศึกษา

สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ความพึงพอใจโดยหาค่าเฉลี่ย $\bar{X}$ และหาค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน S.D. วิเคราะห์ข้อมูล จากแบบประเมินประสิทธิภาพของอุปกรณ์การสอนการคัดแยกขยะสำหรับนักเรียนชั้นประถมศึกษา โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป เพื่อหาค่าเฉลี่ย โดยแบ่งระดับการประเมิน ดังนี้

ระดับดีมาก	ให้มีค่าคะแนนเป็น 5
ระดับดี	ให้มีค่าคะแนนเป็น 4
ระดับปานกลาง	ให้มีค่าคะแนนเป็น 3
ระดับน้อย	ให้มีค่าคะแนนเป็น 2
ระดับน้อยที่สุด	ให้มีค่าคะแนนเป็น 1

เกณฑ์การให้ค่าเฉลี่ย ดังนี้

คะแนนเฉลี่ย 4.51 – 5.00	หมายถึง	ระดับความพึงพอใจในระดับดีมาก
คะแนนเฉลี่ย 3.51 – 4.50	หมายถึง	ระดับความพึงพอใจในระดับดี
คะแนนเฉลี่ย 2.51 – 3.50	หมายถึง	ระดับความพึงพอใจในระดับปานกลาง
คะแนนเฉลี่ย 1.51 – 2.50	หมายถึง	ระดับความพึงพอใจในระดับน้อย
คะแนนเฉลี่ย 1.00 – 1.50	หมายถึง	ระดับความพึงพอใจในระดับน้อยที่สุด

การวิเคราะห์และออกแบบระบบ

อุปกรณ์การสอนเรื่องการคัดแยกขยะนี้ถูกสร้างขึ้นมาเพื่อเป็นอุปกรณ์การสอนสำหรับนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 1-6 เพื่อให้นักเรียนสามารถรู้ถึงประเภทของขยะโดยจะมีเสียงออกมาจากถังขยะเมื่อทิ้งขยะลงในถัง และจะติดตัวสแกน RFID อยู่บนตัวถังขยะ[11] เพื่อทำการสแกนขยะและแยกประเภทของขยะ โดยจะมีการดูรูปขยะ 4 ประเภทแต่ละประเภทจะแบ่งเป็นประเภทละ 5 ใบ เมื่อทิ้งขยะถูกประเภทฝาถังจะเปิดออกและจะมีเสียงว่า “ถูกประเภท” หากเป็นขยะที่ผิดประเภทฝาถังจะไม่เปิดและจะมีเสียงว่า “ผิดประเภท”

โดยการออกแบบจะคำนึงถึงขนาดที่เล็กและมีน้ำหนักที่เบาต่อการขนย้าย แหล่งพลังงานของอุปกรณ์ต้องเป็นแบบไร้สาย จากการศึกษาค้นคว้าจึงได้พบไมโครคอนโทรลเลอร์ที่มีชื่อว่า Arduino UNOR3 ที่มีน้ำหนักเบาและขนาดไม่ใหญ่มากเกินไปซึ่งเหมาะกับการที่จะทำตัวสแกนของถังขยะ

ในส่วนของตัวสแกน RFID นั้น พบว่า ตัวสแกน RFID เซ็นเซอร์นั้นสามารถทำการสแกนได้อย่างแม่นยำ โดยจะทำการสแกน ID ของชิปแต่ละอัน และสามารถตอบสนองได้อย่างรวดเร็ว [12] จึงเลือกตัวสแกน RFID เซ็นเซอร์เป็นอุปกรณ์ในการสแกนขยะ ซึ่งมีเซ็นเซอร์อื่น ๆ อีกแต่พบว่าไม่สามารถสแกนได้ดีเท่ากับตัวนี้ และมีเซ็นเซอร์ที่สแกนที่แม่นยำแต่ราคาแพงอย่างมากจึงไม่เหมาะกับการทำการคัดแยกขยะ

ปกติแล้วนักเรียนจะสามารถจดจำจากการเรียนและ การได้เล่นเกมต่าง ๆ ดังนั้นการใช้อุปกรณ์การสอนมาช่วยจึงทำให้เด็กนักเรียนมีการเรียนรู้ควบคู่ไปกับการเล่นได้ สำหรับนักเรียนนั้นการได้เล่นเกมที่สอดแทรกไปด้วยความรู้นั้นก็ทำให้มีความสนใจอย่างมาก ผู้จัดทำจึงจะทำอุปกรณ์การสอนการคัดแยกขยะนี้ออกมาให้เหมือนเกมมากที่สุดและมีราคาที่ถูกอีกด้วย

กระบวนการการทำงาน

โครงสร้างภายนอกของการคัดแยกขยะมี 2 อย่างคือ ตัวถังขยะ และการดูรูปขยะต่าง ๆ



รูปที่ 1 แสดงการออกแบบอุปกรณ์ภายนอกของการคัดแยกขยะ

แยกการคัดแยกออกเป็น 4 ประเภท ๆ ละ 5 ใบ และติด RFID อยู่ในการคัดแยกทุกใบดังนี้



รูปที่ 2 การออกแบบการคัดแยกขยะต่าง ๆ

ที่มา : <https://www.bandon.go.th/images/abt/pdf/319.pdf>

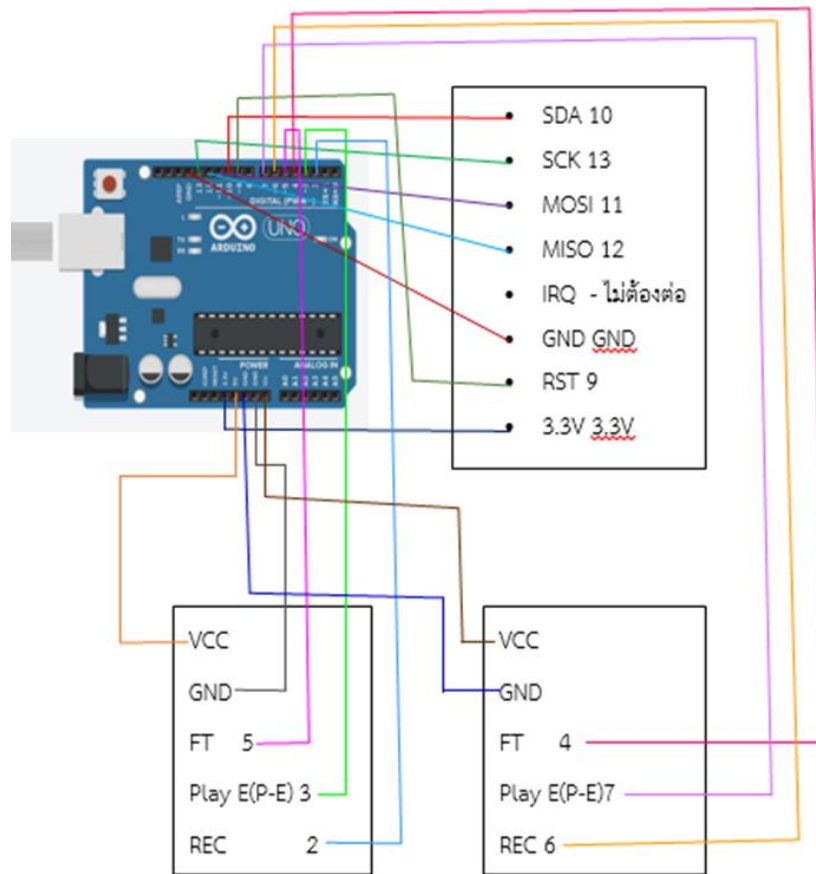
การ์ดมี 4 ประเภท คือ ขยะทั่วไป ขยะอันตราย ขยะอันตราย และขยะรีไซเคิล จัดทำ ประเภทละ 5 ใบ รวมทั้งหมด 20 ใบ การ์ดมีขนาด 20X15 CM ทำจาก ฟิวเจอร์บอร์ด และการ์ด RFID โดยติดภาพขยะที่การ์ด

โครงสร้างทางฮาร์ดแวร์

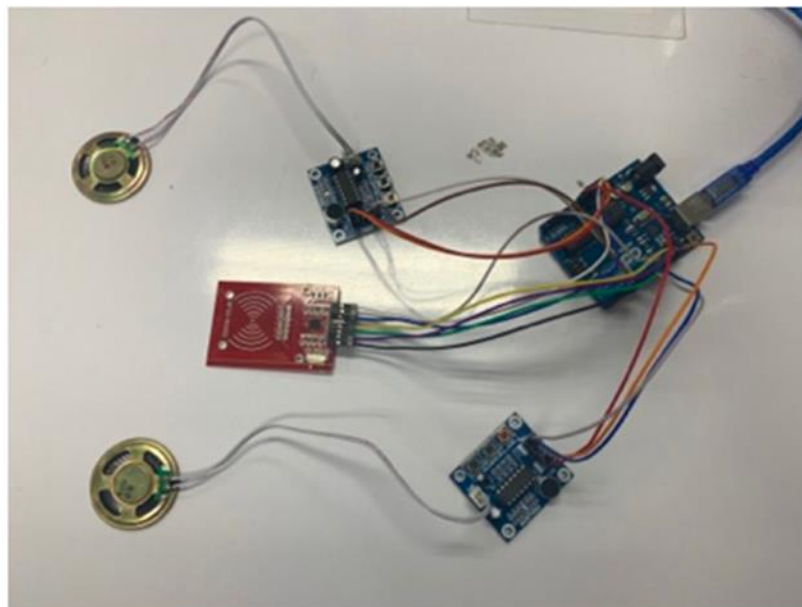
ส่วนประกอบ

1. Arduino UNO R3
2. RFID Arduino
3. ISD 1820 (ลำโพงและตัวบันทึกเสียง)
4. Power bank

ในส่วนของฮาร์ดแวร์จะมีอุปกรณ์หลักอยู่ 3 ชิ้นส่วนคือ Arduino UNOR3 , RFID Arduino และ ISD1820 หรือตัวบันทึกเสียง ส่วนแหล่งพลังงานของการคัดแยกขยะใช้เป็น Power bank 20,000 mAh ซึ่งนำมาเชื่อมต่อกันในลักษณะดังนี้



รูปที่ 3 แสดงวงจรของการตัดแยกขยะ



รูปที่ 4 ทดสอบการทำงานเบื้องต้นของการตัดแยกขยะ

หลังจากได้แบบวงจรของการตัดแยกขยะ ขั้นตอนต่อไปจึงทำการทดลองเชื่อมต่อตามแบบวงจรลงบนบอร์ดทดลองเพื่อทดสอบการทำงานของการทำงานของการตัดแยกขยะก่อนดำเนินการขั้นตอนต่อไปเพื่อให้เกิดความผิดพลาดให้น้อยที่สุด

4. ผลการออกแบบ และพัฒนาอุปกรณ์การสอนการคัดแยกขยะ

หลังจากที่ได้ทำอุปกรณ์การสอนการคัดแยกขยะ พบว่า การทำงานของอุปกรณ์การสอนการคัดแยกขยะเป็นที่น่าพึงพอใจสามารถใช้งานได้เป็นอย่างดี แต่อาจจะมีบางที่ที่การสแกนอาจจะผิดพลาดเกิดจากเครื่องสแกนไม่ได้ประสิทธิภาพ แต่เป็นไปตามคาดหมายไว้



รูปที่ 5 อุปกรณ์การสอนการคัดแยกขยะ

การทำงานของอุปกรณ์การสอนการคัดแยกขยะ เริ่มต้นการทำงานโดยการ Scan ส่งสัญญาณไปที่บอร์ด Arduino Uno R3 และบอร์ด Arduino Uno R3 จะทำการตรวจสอบหมายเลขใน Array ว่าตัวเลขที่ Scan ตรงกับตัวเลขใน Array หรือไม่ ถ้าตรงก็จะส่งสัญญาณไปที่ตัวบอร์ด ISD1820 ตัวแรกและจะส่งเสียงขึ้นว่า “ถูกประเภท” แต่ถ้าทำการ Scan แล้วตรวจสอบพบตัวเลขไม่ตรงกับใน Array ก็ส่งสัญญาณไปที่บอร์ด ISD1820 ตัวที่ 2 และจะส่งเสียงขึ้นว่า “ผิดประเภท”



รูปที่ 6 การทำงานของถังขยะ

5. ผลการทดสอบประสิทธิภาพของผู้ใช้อุปกรณ์การสอนการคัดแยกขยะสำหรับนักเรียนชั้นประถมศึกษา

จากการทดสอบการใช้งานอุปกรณ์การสอนการคัดแยกขยะที่สร้างขึ้นนี้ มีการนำไปทดลองใช้กับกลุ่มตัวอย่างเพื่อหาประสิทธิภาพการทำงานของ โดยให้คุณครูนำอุปกรณ์การสอนการคัดแยกขยะใช้เพื่อสอนนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 1-6 จำนวน 12 คน คุณครู 6 คน รวมทั้งหมด 18 คน ซึ่งมีรายละเอียดตามลำดับ ดังนี้

1. ส่วนประกอบของแบบประเมินด้านการใช้งาน
 - 1.1 ออกแบบเหมาะสม ง่ายต่อการใช้ สัดส่วนเหมาะสมสวยงาม
 - 1.2 ขนาดของอุปกรณ์การสอน (ถังขยะ การ์ดขยะ) ชัดเจน สวยงาม เหมาะสมกับผู้เรียน
 - 1.3 ภาพขยะใช้กราฟิกเหมาะสม ชัดเจน สอดคล้องกับเนื้อหา
 - 1.4 ความพึงพอใจในภาพรวมต่ออุปกรณ์การสอนการคัดแยกขยะ
 - 1.5 งานวิจัยนี้สามารถนำไปใช้งานได้จริง
2. ส่วนประกอบของแบบประเมินด้านความรู้ที่ได้รับ
 - 2.1 มีวัตถุประสงค์ชัดเจน
 - 2.2 ใช้ภาษาถูกต้อง เหมาะสมกับวัยของผู้เรียน
 - 2.3 เนื้อหาความรู้จากสื่อสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการศึกษา
 - 2.4 อุปกรณ์การสอนกระตุ้นให้เกิดการเรียนรู้ค้นคว้าเพิ่มเติม
 - 2.5 ความรู้ความเข้าใจบทเรียนก่อนการใช้สื่อ
 - 2.6 ความรู้ความเข้าใจบทเรียนหลังการใช้สื่อ
 - 2.7 เนื้อหาความรู้จากสื่อสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการศึกษา
 - 2.8 อุปกรณ์การสอนกระตุ้นให้เกิดการเรียนรู้ค้นคว้าเพิ่มเติม

ข้อจำกัดของการ์ดที่ใช้ในกาทดสอบ คือ การ์ดมีขนาดพอดีกับตัวขยะ และ 1 การ์ด เป็นขยะ 1 ประเภท เท่านั้น และไม่สามารถแยกชิ้นส่วนเหมือนขยะจริงได้ เช่น การ์ดของขยะอินทรีย์ ไม่สามารถแยกภาชนะได้ เพราะขยะจริงอาจจะเป็นกล่องข้าว ที่จะต้องแยกเศษอาหารและกล่องใส่ข้าว เป็นต้น

6. ผลการประเมิน

การทดสอบประสิทธิภาพอุปกรณ์การสอนการคัดแยกขยะกับนักเรียน ประถมศึกษาปีที่ 1-6 ด้านการได้รับความรู้พบว่าอุปกรณ์การสอนการคัดแยกขยะมีวัตถุประสงค์ที่ชัดเจน ที่ 4.8 อยู่ในเกณฑ์ ดีมาก รองลงมาคือ การใช้ภาษาถูกต้อง เหมาะสมกับผู้เรียน อยู่ที่ 4.7 อยู่ในเกณฑ์ดีมาก รองลงมาคือ การสื่อความหมายได้ชัดเจนเหมาะสมกับบริบทของเนื้อหา อยู่ที่ 4.7 อยู่ในเกณฑ์ดีมาก รองลงมาคือ มีความสวยงามเหมาะสม น่าสนใจ อยู่ที่ 4.7 อยู่ในเกณฑ์ดีมาก รองลงมาคือ เนื้อหาความรู้จากอุปกรณ์การสอนการคัดแยกขยะสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการศึกษา อยู่ที่ 4.6 อยู่ในเกณฑ์ดีมาก รองลงมาคืออุปกรณ์การสอนเสริมสร้างความเข้าใจในการเรียน อยู่ที่ 4.5 อยู่ในเกณฑ์ดีมาก รองลงมา คืออุปกรณ์การสอนกระตุ้นให้เกิดการเรียนรู้ค้นคว้าเพิ่มเติม อยู่ที่ 4.5 อยู่ในเกณฑ์ดีมาก รองลงมาคือ ความรู้ความเข้าใจบทเรียนก่อนการใช้สื่อ อยู่ที่ 4.5 อยู่ในเกณฑ์ดีมาก รองลงมาคือ ความรู้ความเข้าใจบทเรียนหลังการใช้สื่อ อยู่ที่ 4.5 อยู่ในเกณฑ์ดีมาก รองลงมาคือด้านการสื่อสารมีความชัดเจน ถูกต้องน่าเชื่อถือ อยู่ที่ 4.2 อยู่ในเกณฑ์ดีมาก ตามลำดับ

<http://jeet.siamtechu.net>

ด้านการใช้งานพบว่าอุปกรณ์การสอนการคัดแยกขยะสามารถนำไปใช้งานได้จริงอยู่ที่ 4.8 อยู่ในเกณฑ์ดีมาก รองลงมาคือ การออกแบบเหมาะสมต่อการใช้งานสะดวก สบาย ง่าย อยู่ 4.6 อยู่ในเกณฑ์ดีมาก รองลงมาคือขนาดของอุปกรณ์การสอน (ถังขยะ การ์ดขยะ) สี ตัวอักษร ชัดเจน สบายตา เหมาะกับผู้เรียน อยู่ที่ 4.4 อยู่ในเกณฑ์ ดีมาก รองลงมาคือ ความพึงพอใจในภาพรวมต่ออุปกรณ์การสอน อยู่ที่ 4.4 อยู่ในเกณฑ์ดีมาก รองลงมาคือ ภาพขยะใช้กราฟฟิกเหมาะสมชัดเจน สอดคล้องกับเนื้อหา อยู่ที่ 4.2 อยู่ในเกณฑ์ดีมาก รองลงมาคือ คุณภาพการใช้เสียงประกอบบทเรียนเหมาะสม ชัดเจนน่าสนใจใช้งานง่าย อยู่ที่ 3.6 อยู่ในเกณฑ์พอใช้ ตามลำดับ

7. สรุปผลการพัฒนาอุปกรณ์การสอนการคัดแยกขยะสำหรับนักเรียนชั้นประถมศึกษา

งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยที่เน้นเกี่ยวกับอุปกรณ์การสอนสำหรับนักเรียน โดยใช้ไมโครคอนโทรเลอร์โดยในงานวิจัยนี้เน้นไปที่การเรียนรู้และการสอนเป็นหลัก ระบบการทำงานหลักๆ คือ การ Scan การ์ดขยะต่าง ๆ และแยกประเภทให้ถูก ในงานวิจัยนี้ได้ใช้งบประมาณทั้งหมดในการทำงานประมาณ 4,040 บาท ซึ่งสามารถใช้งานได้จริงกับนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 1-6 หวังว่าอุปกรณ์การสอนจะสร้างประโยชน์ให้แก่ผู้ใช้งานและสามารถใช้งานได้ตามวัตถุประสงค์ที่ผู้ต้องการ

8. เอกสารอ้างอิง

- [1] บันทา, น. (2554). ถังขยะพูดได้. วิทยาลัยเทคโนโลยีพาชีพและบริหารธุรกิจ.
- [2] ผาลาวรรณ, ส. (2558). การประยุกต์ใช้เทคโนโลยี RFID ในงานห้องสมุด. In ส. ผาลาวรรณ, วารสารวิจัยสมาคมห้องสมุดแห่งประเทศไทยฯ (p. 1).
- [3] เรืองประทีป, น. (2561). การศึกษาการจัดการคลังสินค้าโดยใช้เทคโนโลยี RFID . วิทยาลัยเทคโนโลยีอรรถวิทย์พัฒนศึกษา.
- [4] สงวนวัฒนา, บ. (2558). ระบบตรวจนับครุภัณฑ์ด้วย RFID . Thailand: มหาวิทยาลัยวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร.
- [5] สุวรรณเพชร, ป. (2560). เรียนรู้และลงเล่น Arduino เบื้องต้น .วิทยาลัยเทคนิคชัยภูมิ
- [6] ทีมข่าวเฉพาะกิจไทยรัฐออนไลน์. (12 06 2019). วิกฤติ "ขยะตกค้าง" ปีเดียวเท่า 3 ราชมังฯ เฉลี่ยต่อวันทิ้งคนละ 1 กก. เข้าถึงได้จาก <https://www.thairath.co.th/>: <https://www.thairath.co.th/scoop/1589606>
- [7] HOW TO USE ISD1820 VOICE RECORDER AND PLAYER (ออนไลน์) เข้าถึงได้จาก : <https://www.instructables.com/id/HOW-TO-USE-ISD1820-VOICERECORDER-AND-PLAYER/>
- [8] สอนใช้งาน Arduino เริ่มต้นติดตั้งโปรแกรม Arduino IDE (ออนไลน์) เข้าถึงได้จาก : <https://www.myarduino.net/article/74/>
- [9] การใช้งานโมดูลอ่าน RFID กับ Arduino แบบง่ายๆ (ออนไลน์) เข้าถึงได้จาก : <https://www.ioxhop.com/b/37>
- [10] มหาวิทยาลัยแม่โจ้. (2555). 5R ลดปริมาณขยะ ลดโลกร้อน. Retrieved from coordinate.mju.ac.th: https://coordinate.mju.ac.th/wtms_webpageDetail.aspx?wid=143
- [11] สมสุภาพรยุศ, น. (2560). การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีอาร์เอฟไอดีสำหรับการคัดแยกนักศึกษาที่มาใช้บริการ. กรุงเทพมหานคร: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ.
- [12] วัชรกร หนูทอง, อ. น. (2547). RFID เทคโนโลยีสารพัดประโยชน์. In สาร NECTEC (p. 15). กรุงเทพฯ: NECTEC.

วารสารวิชาการเทคโนโลยี พลังงาน และสิ่งแวดล้อม Journal of Energy and Environment Technology

คำแนะนำในการเตรียมต้นฉบับ: บทความควรมีความยาวไม่เกิน 9 หน้า กระดาษ A4 การตั้งค่าหน้ากระดาษ ขอบด้านบน 3 ซม. และด้านล่าง 1.5 ซม. ขอบด้านขวาและซ้าย 2.25 ซม. พิมพ์ด้วย ตัวอักษร "Browallia New" ขนาด 14 โดยหัวข้อต่างๆ ใช้ตัวอักษรขนาด 16 ตัวหนา ส่วนเนื้อหาใช้ตัวธรรมดาและพิมพ์ชิดขอบ ทั้งสองด้าน การลำดับหัวข้อของเนื้อเรื่อง ให้ใช้เลขกำกับ บทนำเป็นหัวข้อหมายเลข 1 และหากมีหัวข้อย่อยให้ใช้เลขระบบทศนิยมกำกับหัวข้อย่อย เช่น 2.1 ใช้ตัวอักษรขนาด 14 ตัวหนา

คำแนะนำในการเรียงลำดับเนื้อหา: ให้เรียงลำดับตามหัวข้อต่อไปนี้

ชื่อเรื่อง (Title): ควรกระชับ ชัดเจน ครอบคลุมเนื้อหาสำคัญ ชื่อเรื่องภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ใช้ตัวอักษรขนาด 18 ตัวหนา ตำแหน่งชิดซ้ายของหน้ากระดาษ

ชื่อผู้เขียน: ระบุชื่อเต็ม-นามสกุลเต็ม ของชื่อผู้เขียนให้ครบทุกคน และลงเครื่องหมายดอกจันกำกับท้ายรายชื่อสำหรับผู้ประสานงาน ใช้ตัวอักษรขนาด 16 ตัวธรรมดา ตำแหน่งชิดซ้ายของหน้ากระดาษ

ที่อยู่หรือหน่วยงาน: ระบุชื่อหน่วยงานหรือสถาบันใช้ตัวอักษรขนาด 14 ตัวเอียง และ E-mail address ที่ติดต่อ ใช้ตัวอักษรขนาด 14 ตัวธรรมดา ตำแหน่งชิดขอบกระดาษด้านซ้าย

บทคัดย่อ (Abstract): ต้องมีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ โดยให้นำบทคัดย่อภาษาไทยขึ้นก่อนภาษาอังกฤษ ซึ่งต้องมีเนื้อหาตรงกัน ให้พิมพ์คอลัมน์เดียว บรรทัดแรกเว้น 1 Tab เนื้อหาในบทคัดย่อควรระบุวัตถุประสงค์โดยย่อ ผลการวิจัย และบทสรุปโดยย่อ หัวข้อบทคัดย่อใช้ตัวอักษรขนาด 16 ตัวหนา ส่วนเนื้อหาใช้ตัวอักษรขนาด 14 และพิมพ์ชิดขอบทั้งสองด้าน

คำสำคัญ (Keyword): ให้มีคำสำคัญเป็นภาษาไทยและภาษาอังกฤษอยู่คนละหน้า ใต้บทคัดย่อ (Abstract) หัวข้อคำสำคัญใช้ตัวอักษรขนาด 14 ตัวหนา ส่วนเนื้อหาใช้ตัวธรรมดา

เนื้อหา (Text): บทความวิจัยประกอบด้วย

บทนำ (Introduction): บอกความสำคัญ หรือที่มาของปัญหาที่นำไปสู่การศึกษาวัตถุประสงค์ และอาวรวมการทบทวนวรรณกรรม (Literature Review)

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการวิจัย (Materials and Methods): กล่าวถึงรายละเอียด การวิเคราะห์ และการทดลองที่กระชับและชัดเจน

ผลการทดลอง (Results): บอกผลที่พบอย่างชัดเจน สมบูรณ์ และมีรายละเอียดครบถ้วน อาจมีรูปภาพหรือตารางที่ชัดเจนประกอบคำอธิบายได้

อภิปรายผลและสรุปผล (Discussion and Conclusion): อาจเขียนรวมกับผลการทดลองได้ เป็นการประเมินการตีความ และการวิเคราะห์ในแง่มุมต่าง ๆ ควรมีการอ้างหลักการหรือทฤษฎีมาสนับสนุนหรือหักล้างอย่างเป็นเหตุเป็นผลและอาจมีข้อเสนอแนะที่จะนำผลวิจัยไปใช้ประโยชน์ กิตติกรรมประกาศ (ถ้ามี): ระบุสั้น ๆ ว่าได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยและความช่วยเหลือจากแหล่งใดบ้าง

ตารางและรูป ต้องมีความคมชัดและให้แทรกไว้ในบทความ มีคำอธิบายสั้นๆ แต่สื่อความหมายได้สาระครบถ้วนและเข้าใจ กรณีที่เป็นตาราง ให้ระบุลำดับที่ของตาราง ใช้คำว่า "ตารางที่..." และมีคำอธิบายไว้เหนือตาราง กรณีที่เป็นรูป ให้ระบุลำดับที่ของรูปใช้คำว่า "รูปที่..."

ภาคผนวก (ถ้ามี)

เอกสารอ้างอิง (References): บทความทุกฉบับจะต้องมีการอ้างอิงเอกสารในบทความโดยเอกสารอ้างอิงระบบ Vancouver ดังตัวอย่างต่อไปนี้

[หนังสือ] ชื่อผู้แต่ง. ชื่อหนังสือ. ครั้งที่พิมพ์. ชื่อเมืองที่พิมพ์. ชื่อสำนักพิมพ์; ปีพิมพ์.

[วารสาร] ชื่อผู้แต่ง. ชื่อเรื่อง. ชื่อย่อของวารสาร. ปีพิมพ์; เล่มที่ (ฉบับที่): เลขหน้า.

[วิทยานิพนธ์และการศึกษาค้นคว้าอิสระ] ชื่อผู้เขียน. ชื่อเรื่อง [ประเภทหรือระดับปริญญา]. เมืองที่พิมพ์: ชื่อมหาวิทยาลัย; ปีพิมพ์.

[หนังสือรวมเรื่อง] ชื่อผู้แต่ง. ปีที่พิมพ์. ชื่อเรื่อง. ชื่อบรรณาธิการ (บรรณาธิการ), ชื่อหนังสือ (ครั้งที่พิมพ์ตั้งแต่พิมพ์ครั้งที่ 2 เป็นต้นไป, หน้า). เมืองที่พิมพ์: สำนักพิมพ์.

[หนังสือพิมพ์] ชื่อผู้แต่ง. (วันที่ เดือน ปีที่พิมพ์). ชื่อเรื่อง. ชื่อหนังสือพิมพ์. เลขหน้าแรก-หน้าสุดท้าย.

[สื่ออิเล็กทรอนิกส์] ชื่อโฮมเพจ/เว็บไซต์ [อินเทอร์เน็ต]. ชื่อเมืองที่พิมพ์: ชื่อสำนักพิมพ์; ปีที่พิมพ์ [ปรับปรุงเมื่อปี เดือน วันที่; เข้าถึงเมื่อปี เดือน วันที่]. เข้าถึงได้จาก: URL.

เกณฑ์การพิจารณา: บทความจะต้องได้รับการประเมินโดยผู้ทรงคุณวุฒิในสาขาวิชานั้น 2-3 คน ซึ่งกองบรรณาธิการ อาจให้ผู้เขียนปรับปรุงให้เหมาะสมยิ่งขึ้น และทรงไว้ซึ่งสิทธิในการตัดสินใจตีพิมพ์หรือไม่ก็ได้

**"บทความที่ลงพิมพ์ เป็นข้อคิดเห็นของผู้เขียนเท่านั้น
ผู้เขียนต้องรับผิดชอบต่อผลทางกฎหมายใดๆ ที่อาจเกิดขึ้นจากบทความนั้น"**

วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม Siam Technology College



DIFFERENTLY...I-LEARN
WWW.SIAMTECHU.NET