

ISSN 2351-0811

The Journal of **Industrial Technology**
Suan Sunandha Rajabhat University

Volume 4 / Number 2 / July-December 2016

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม : มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา
ปีที่ 4 ฉบับที่ 2 เดือนกรกฎาคม - ธันวาคม ประจำปี 2559

Key words :

- Concrete Block, Waste Industries, Pozzolanic Reaction
- Soluble Solid Content, Standard Deviation, Transmission Coefficient, Microwave
- Graphic Processing Unit, 3D Motion Capture, CUDA.
- Activated Carbon, Bagasse, Cassava Rhizome, Iodine Number, Molasses Number
- Activated Carbon, Adsorption, Methylene Blue, Coconut Sawdust
- Biogas, Biomass, Solid Waste Treatment
- Waste Reduction, Fixture, Spot Welding, Motorcycle Seat Lock
- Alternative Energy, Solar Power System, Sufficiency Economy Philosophy
- Productivity Gains, Improvement On The Production Process
- Wild-Span Roof Structure, Steel, Element Of Technology, Installation Process

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม : มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา

วัตถุประสงค์ของการจัดพิมพ์วารสาร

1. เพื่อเผยแพร่ผลงานวิชาการหรือผลงานวิจัยที่มีคุณภาพด้านเทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ และสหวิทยาการด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
2. เพื่อเป็นช่องทางในการนำเสนอและแลกเปลี่ยนความคิดเห็นด้านเทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ และสหวิทยาการด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ที่ปรึกษา

รองศาสตราจารย์ ดร.ฤๅเดช เกิดวิชัย
รองศาสตราจารย์ ดร.ปรุ่งศักดิ์ อัทพฒ

อธิการบดีมหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา
คณบดีคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม

บรรณาธิการ

ดร.ชนมภัทร ไตรระสะ

รองคณบดีฝ่ายวิจัยและบริการวิชาการ

กองบรรณาธิการ

ศาสตราจารย์ ดร.อนันต์ รัศมี
ศาสตราจารย์ ดร.วิชัย ศรีคำ
ศาสตราจารย์ ดร.ชิตชนก เหลือสินทรัพย์
ศาสตราจารย์ ดร.จงจิตร หิรัญลาภ
ศาสตราจารย์ ดร.โจเซฟ เคดารี
รองศาสตราจารย์ ดร.พานิช วุฒิพุกษ์

มหาวิทยาลัยราชภัฏชัยภูมิ
มหาวิทยาลัยศิลปากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
มหาวิทยาลัยกรุงเทพธนบุรี
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า
พระนครเหนือ

รองศาสตราจารย์ ดร.วิชุดา หนูวิไล
รองศาสตราจารย์ ดร.ฉัฐไชย์ สีนาวงศ์

มหาจุฬาลงกรณ์ราชวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า
เจ้าคุณทหารลาดกระบัง

รองศาสตราจารย์ ดร.สุชปา เนตรประดิษฐ์
รองศาสตราจารย์ ดร.สุวรินทร์ ปัทมวรคุณ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์วีระ โชติธรรมภรณ์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พลัง วงษ์ธนสุภรณ์
อาจารย์รัชศักดิ์ สารนอก

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา
มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา
มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา

คณะกรรมการประเมินบทความ

ศาสตราจารย์ ดร.ชิตชนก เหลือสินทรัพย์
รองศาสตราจารย์ ดร.ฉัฐไชย์ สีนาวงศ์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า
เจ้าคุณทหารลาดกระบัง

รองศาสตราจารย์ ดร.สุชปา เนตรประดิษฐ์
รองศาสตราจารย์ ดร.อรัญญา หาญสืบสาย
รองศาสตราจารย์ ดร.อุทัย ผ่องรัศมี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.คมวุธ วิศวะไพศาล

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี
มหาวิทยาลัยศรีปทุม

รองศาสตราจารย์ผกามาศ ผจญแก้ว
รองศาสตราจารย์สุดาว เลิศวิสุทธิไพบูลย์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กิตติศักดิ์ สมุทธารักษ์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชุตินา จารุศิริพจน์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐพงศ์ สอนสุวิทย์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประทุมทอง ไตรรัตน์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุริยา แก้วอาษา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นารีนารถ รักสุนทร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์กฤษฎางค์ ศุกระมูล

ผู้ช่วยศาสตราจารย์เชี่ยวชาญ ห้าวหาญ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์เผชิญ จันทร์สา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์วัฒนา พันธธำเจียก
ผู้ช่วยศาสตราจารย์อดุลย์ พัฒนภักดี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์อรรณ ขวัญปาน
ผู้ช่วยศาสตราจารย์อำนาจ สวัสดิ์นะที
ดร.ธวัชชัย วงศ์ช่าง

ดร.อำนาจ ขาวเน

มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมมาธิราช
มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมมาธิราช
มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง
มหาวิทยาลัยศิลปากร
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า
พระนครเหนือ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา
มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์
ในพระบรมราชูปถัมภ์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า
พระนครเหนือ
มหาวิทยาลัยศรีปทุม
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
มหาวิทยาลัยศรีปทุม
มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา
มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า
พระนครเหนือ
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า
เจ้าคุณทหารลาดกระบัง

กองการจัดการ

นางสาววรฤทัย หาญโชติพันธุ์

กำหนดการเผยแพร่

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

เจ้าของวารสาร

คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา

สำนักงาน

คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา เลขที่ 1 ถนนอุทองนอก เขตดุสิต
กรุงเทพมหานคร 10300

โทรศัพท์ 0 2160 1438 ต่อ 22 โทรสาร 0 2160 1440 www.fit.ssru.ac.th

พิมพ์ที่

ห้างหุ้นส่วนจำกัด วินท์ลักษณ์ 10/378 หมู่ที่ 7 ตำบลโคกขาม อำเภอเมืองสมุทรสาคร
จังหวัดสมุทรสาคร โทรศัพท์ 081 810 1419

บทบรรณาธิการ

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม : มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา เป็นฉบับประจำปีที 4 ฉบับที่ 2 (เดือนกรกฎาคม – ธันวาคม 2559) บทความประกอบด้วยเนื้อหาที่เกี่ยวกับเทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ และสหวิทยาการด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีในรูปแบบบทความวิจัยอันประกอบด้วยบทความวิจัย จำนวน 10 เรื่อง บทความวิจัยที่เด่น ๆ ได้แก่ การศึกษาความเป็นไปได้ในการนำดินตะกอนและซีเมนต์เหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมมาใช้ในการผลิตคอนกรีตบล็อกประสานมวลเบาชนิดรับน้ำหนัก การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความหวานของสารละลายและสัมประสิทธิ์การส่งผ่านด้วยคลื่นไมโครเวฟ และการจัดการเคลื่อนไหวสามมิติบนหน่วยประมวลผลกราฟิกโดยใช้คุดา เป็นต้น ซึ่งเนื้อหาของบทความวิจัยในฉบับนี้มีความหลากหลายสำหรับคณาจารย์ นักวิชาการ และผู้ที่สนใจทั่วไป

สำหรับวารสารในปีที่ 5 ฉบับที่ 1 (เดือนมกราคม – มิถุนายน 2560) กำลังเปิดรับผลงานเพื่อตีพิมพ์ จึงขอเชิญผู้สนใจ นักวิจัย อาจารย์ และนักศึกษา ส่งผลงานในลักษณะของบทความวิชาการหรือบทความวิจัยมาตีพิมพ์ในวารสารนี้ โดยบทความจะได้รับการประเมินคุณภาพจากกองบรรณาธิการ และพิจารณาถ่วงดุล (peer review) โดยผู้ทรงคุณวุฒิตามสาขาที่เกี่ยวข้อง

ท้ายนี้เนื่องในโอกาสวันขึ้นปีใหม่ 2560 ที่ใกล้จะถึงนี้ กองบรรณาธิการวารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม : มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา ขออำนาจคุณพระศรีรัตนตรัยจงดลบันดาลให้ทุกท่านพบแต่ความสุข สมบูรณ์พูนผลในสิ่งที่พึงปรารถนาทุกประการ และหวังเป็นอย่างยิ่งว่าวารสารฉบับนี้จะเป็นประโยชน์สำหรับคณาจารย์ นักวิชาการ นักศึกษา และผู้ที่สนใจทั่วไป ขอขอบคุณทุกท่านที่ได้ให้ความสนใจติดตามวารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม : มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา มา ณ โอกาสนี้

ดร.ชนมภัทร โตรระสะ
บรรณาธิการ

สารบัญ

	หน้า
การศึกษาความเป็นไปได้ในการนำดินตะกอน และขี้เถ้าเหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม มาใช้ในการผลิตคอนกรีตบล็อกประสานมวลเบาชนิดรับน้ำหนัก Utilization of Clay and Fly Ash from Waste Industries Produced Lightweight Concrete Block for Load Bearing Wall ศุธีรพันธ์ พันธุ์เลิศ, พัทธ์ชัย เหล่ารัตนกุล, กฤษณา พูลสวัสดิ์	6
การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความหวานของสารละลาย และสัมประสิทธิ์การส่งผ่านด้วยคลื่นไมโครเวฟ Study of Correlation between Sugar Content of Solution and Transmission Coefficient with Microwave พรพิมล ฉายแสง	14
การจับการเคลื่อนไหวสามมิติบนหน่วยประมวลผลกราฟิกโดยใช้คูดา 3D Motion Capture on Graphic Processing Unit using CUDA ธนพนธ์ จันทรวงศ์สาไล, ไอรวัฒน์ มงคลการ, ศิริชัย จูทิม, อภิสิทธิ์ รัตนานารักษ์	25
ประสิทธิภาพของถ่านกัมมันต์จากขานอ้อยและเหง้ามันสำปะหลังในการบำบัดน้ำเสียจาก การย้อมไหม Efficiency of Bagasse and Cassava Rhizome Activated Carbon on Dyed Silk Wastewater Treatment อรนิจ อุปรี, สัณญา สิริวิทยาปกรณ์	37
การดูดซับเมทิลีนบลูของถ่านกัมมันต์จากขี้เลื่อยไม้มะพร้าว Adsorption of Methylene Blue by Activated Carbon from Coconut Sawdust สุวิทย์ ทองทรัพย์, สุดปรารถนา ธีราติ, มินตรา บุญลัญชัยกุล, ปวีณา พลัดพราก, จุไรวัลย์ รัตนะพิสิฐ	51

สารบัญ

หน้า

การเปรียบเทียบความคุ้มค่าของการผลิตก๊าซชีวภาพกับการอัดแท่งเชื้อเพลิง จากกากของเสียการเพาะเห็ดฟาง Comparison of the value of the biogas and fuel sticks of the straw mushroom crop. เสถียร เจียนครบุรี, ประยงค์ กิรติอุไร	62
การลดของเสียในกระบวนการผลิตตัวล็อคเบาะรถจักรยานยนต์ Reducing Waste in Manufacturing Process of the Motorcycle Seat Lock ธงชัย เพ็งจันทร์ดี, ชุมพล อินทร์มณี, อัญชลี ทองใบศรี, คุณากร ธรรมวิจิตร, ชลิตา รัศมี	73
การถ่ายทอดเทคโนโลยีด้านพลังงานทดแทน (ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์) ตามหลักปรัชญาของเศรษฐกิจพอเพียง ด้วยรูปแบบการจัดการความรู้แบบมีส่วนร่วม ขององค์การบริหารส่วนตำบลในเขตจังหวัดกำแพงเพชร The Transfer of Alternative Energy Technology (solar power system) in Accordance with Sufficiency Economics Philosophy by Collaborative Learning Management of Sub-District Administrative Organization in Kamphaeng Phet Province. วิษณุ บัวเทศ	83
การปรับปรุงกระบวนการผลิตท่อน้ำมันแรงดันสูง กรณีศึกษา บริษัท เฮียบชุน เทรตดิ่ง จำกัด The improvement of High-Pressure Oil Pipelines Case study : Hiab Choon Trading Co., Ltd. สร้อยสุตา เลาะหมุด, ธัชชัย แก้วม่วง, จตุพล สมอเขียว, ฉัตรชัย ทาระภูมิ	96
ขั้นตอนการติดตั้งโครงหลังคาเหล็กรูปพรรณ กรณีศึกษา : อาคารช่วงพาดกว้าง Steel Roof Structure Installation Process A Case Study of Wide-Span Building สิริกมล อัยยะวรากุล, ทรงเกียรติ เทียอิทธิทรัพย์, วรวรรณ โรจนไพบุลย์	106

การศึกษาความเป็นไปได้ในการนำดินตะกอน และซีเมนต์เหลือทิ้งจากโรงงาน
อุตสาหกรรมมาใช้ในการผลิตคอนกรีตบล็อกประสานมวลเบาชนิดรับน้ำหนัก
Utilization of Clay and Fly Ash from Waste Industries Produced
Lightweight Concrete Block for Load Bearing Wall

ศุธีรพันธ์ พันธุ์เลิศ^{1*}, พัทธ์ชัย เหล่ารัตนกุล², กฤษณา พูลสวัสดิ์³

^{1*,2} ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ อุทยานวิทยาศาสตร์ประเทศไทย

Email : suteerap@mtec.or.th

³ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

Email : krisana.p@windowslive.com

บทคัดย่อ

การศึกษาวิจัยในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการนำซีเมนต์ลอยและดินตะกอนจาก
โรงงานอุตสาหกรรมมาใช้เป็นส่วนผสมหลักในการแทนที่ปริมาณของปูนซีเมนต์ในการผลิต
คอนกรีตบล็อกประสานมวลเบา โดยอาศัยการเกิดปฏิกิริยาเคมีที่เกี่ยวข้อง เช่น ปฏิกิริยา
ไฮเดรชัน ปฏิกิริยาปอซโซลานิก และปฏิกิริยาจีโอพอลิเมอร์เรชัน เป็นต้น ใช้สารช่วยเพิ่ม
กลไกการเกิดปฏิกิริยาเคมี คือ แคลเซียมไฮดรอกไซด์ และ โซเดียมไฮดรอกไซด์ ซึ่งจะช่วย
ให้เกิดการแตกตัวของไอออนของธาตุต่าง ๆ ในส่วนผสมคอนกรีตเพิ่มมากขึ้น เช่น
 Ca^{2+} , Si^{2+} , O^{2-} , OH^- และ Na^{2+} เป็นต้น จากผลการทดสอบคอนกรีตบล็อกประสานมวลเบา
ที่มีส่วนผสมของซีเมนต์ลอยจากโรงงานกระดาษมากที่สุดที่ร้อยละ 80 และใช้สารละลาย
โซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 5 โมลาร์ จะให้ค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตเท่ากับ
13.70 เมกะปาสคาล ที่ค่าความหนาแน่นเท่ากับ 1,497 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
ที่ระยะเวลาในการบ่ม 60 วันสามารถนำมาใช้ในงานคอนกรีตโครงสร้างทั่วไปได้

คำสำคัญ : คอนกรีตบล็อก, วัสดุเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรม, ปฏิกิริยาปอซโซลานิก

Abstract

This research gained to using fly ash and silt from factories instead of cement, which reduced the amount of cement for production of lightweight aggregate concrete block. Calcium hydroxide ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) and sodium hydroxide (NaOH) were catalysts, which added for some reactions, such as hydration, pozzolanic, and geopolymerization reaction. Ca^{2+} , Si^{2+} , O^{2-} , OH^- and Na^{2+} were increase ionization from the reactions. The formulation was 80% by weight of fly ash from paper factories and 5 molar of sodium hydroxide solution, which gained compressive strength 13.70 MPa and density $1,497 \text{ kg/m}^3$ at 60 day of incubation. There may be available in general concrete industries.

Keywords : Concrete Block, Waste Industries, Pozzolanic Reaction

บทนำ

เนื่องจากในปัจจุบันได้มีการศึกษาการใช้ประโยชน์จากวัสดุเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมต่าง ๆ กันมากขึ้น ซึ่งมีอุตสาหกรรมหลายประเภทที่นำวัสดุเหลือทิ้งมาใช้แล้วทำให้เกิดมูลค่าเพิ่มมากขึ้น เช่น เถ้าลอยจากโรงไฟฟ้า (Pulverized Fuel Ash) ซิลิกาฟุ้ง (Silica Fume) ตะกรันจากกระบวนการถลุงเหล็ก (Blast Furnace Slag) เศษแก้ว (Glass Powder) ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้แล้วจากโรงกลั่นน้ำมัน (Spent Catalysts from Refineries) รวมทั้งตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสีย และอื่น ๆ (ชัย จาตุรพิทักษ์กุล และปริญา จินดาประเสริฐ, 2549) ซึ่งเมื่อนำวัสดุเหลือทิ้งเหล่านี้มาใช้งานก่อสร้างจะเกิดประโยชน์ต่ออุตสาหกรรมก่อสร้างอย่างมาก ดังนั้นเราจึงเล็งเห็นความสำคัญของวัสดุเหลือทิ้งประเภทต่างที่มีอยู่มากในปัจจุบัน จึงได้มีการนำตัวอย่างวัสดุเหลือทิ้งของดินตะกอน และขี้เถ้าจากโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งที่มีปริมาณมาก และยังไม่สามารถนำไปใช้ให้เกิดประโยชน์ได้อย่างเต็มที่มาทำการศึกษาวิจัย โดยได้อาศัยหลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานคอนกรีตมาช่วยในการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ โดยการศึกษาวิจัยในครั้งนี้จะเน้นพัฒนาสมบัติด้านการเป็นฉนวน และมีหน่วยน้ำหนักที่เบาขึ้น แต่ยังคงความแข็งแรงของคอนกรีตบล็อกประสานมวลเบาในการนำไปใช้งาน

ซึ่งจากการศึกษาในเบื้องต้นพบว่า ขี้เถ้าที่นำมาใช้เป็นส่วนผสมมีสมบัติที่ดีในเรื่องน้ำหนักที่เบา และมอดูล์ประกอบเคมีหลักคือ CaO , SiO_2 และ Al_2O_3 ซึ่งสามารถใช้ปฏิกิริยาปอซโซลานิก (Pozzolanic Reaction) และปฏิกิริยาจีโอพอลิเมอร์ไรเซชัน (Geopolymerization Reaction) ช่วยให้เกิดสารยึดประสาน Calcium Silicate Hydrate (CSH) เพื่อเพิ่มความแข็งแรงได้ โดยใช้สารเร่งปฏิกิริยาประเภทด่างเข้มข้น อันได้แก่ NaOH และ KOH เพื่อเร่งกลไกในการปฏิกิริยาให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาสมบัติทางกายภาพทางกล และองค์ประกอบทางเคมีของตะกอนจากอุตสาหกรรมโลหะต่าง ๆ และให้เกิดองค์ความรู้ในการศึกษาวัสดุเหลือทิ้งในหลาย ๆ ประเภท เพื่อการนำมาใช้ประโยชน์

2. เพื่อทดลองผลิต และประเมินสมบัติคอนกรีตบล็อกประสานมวลเบาที่มีส่วนผสมของขี้เถ้าลอยและดินตะกอนจากโรงงานอุตสาหกรรม

ระเบียบวิธีวิจัย

การเตรียมวัตถุดิบและส่วนผสมในงานวิจัย ได้แก่ ดินตะกอน และขี้เถ้าจากอุตสาหกรรมโดยทำการร่อนผ่านตะแกรงมาตรฐาน ASTM (American society for testing and materials) ขนาด No.4

(4.75 มิลลิเมตร) หลังจากร่อนคัดขนาด แล้วนำวัตถุที่ได้ไปตรวจสอบองค์ประกอบทางเคมีด้วยเครื่อง XRF (X-Ray Fluorescence Spectrometry) และโครงสร้างผลึกด้วยเครื่อง XRD (X-ray Diffractometer) แล้วนำส่วนผสมต่าง ๆ มาผสมขึ้นรูปตามสูตรที่เตรียมไว้ในตารางที่ 1 โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 5 โมลาร์ และน้ำ ในการผสมวัตถุดิบสำหรับการเตรียมการขึ้นรูปคอนกรีตบล็อกประสานมวลเบา โดยให้ค่าความชื้นที่เหมาะสมอยู่ในช่วงร้อยละ 20 - 25 จากนั้นนำส่วนผสมมาอัดขึ้นรูปเป็นทรงกระบอกขนาด เส้นผ่านศูนย์กลาง 50 และสูง 100 มิลลิเมตร แล้วนำชิ้นงานไปบ่มในตู้ควบคุมความชื้นที่ระยะเวลาในการบ่ม 30 และ 60 วัน แล้วจึงทำการทดสอบค่าความหนาแน่นโดยการวัดขนาดและชั่งน้ำหนักของชิ้นงาน จากนั้นทดสอบกำลังรับแรงอัด ที่ระยะเวลาบ่ม 30 และ 60 วัน โดยใช้เครื่องอัดทดสอบคอนกรีต (Compressive Strength Machine) แล้วนำมาวิเคราะห์ค่าการนำความร้อนของคอนกรีตบล็อกด้วยเครื่อง TCA (Thermal Conductivity Measurement) แล้วเลือกสูตรที่ให้ค่ากำลังรับแรงอัดสูงสุดที่ระยะเวลาบ่ม 60 วัน มาทำการวิเคราะห์ปฏิกิริยาเคมีที่อาจจะเกิดขึ้นด้วยเทคนิค XRD (X-ray Diffract meter) แล้วนำผลที่ได้ไปสรุปผลการดำเนินงานวิจัยต่อไป

ตารางที่ 1 การออกแบบส่วนผสมของคอนกรีตบล็อกประสานมวลเบาสำหรับการวิจัยสูตรต่าง ๆ

ชนิด	ตารางส่วนผสมในการขึ้นรูปชิ้นงาน						
	ดินตะกอน	ซีเมนต์	ปูนซีเมนต์	Ca(OH) ₂	ดิน	น้ำ	NaOH (5 M.)
STD1	0	0	10	0	60	20	0
STD2	0	0	10	0	80	20	0
A	80	0	10	10	0	20	0
B	0	80	10	10	0	20	0
C	60	20	10	10	0	20	0
D	40	40	10	10	0	20	0
E	20	60	10	10	0	20	0
F	80	0	10	10	0	0	20
G	0	80	10	10	0	0	20
H	60	20	10	10	0	0	20
I	40	40	10	10	0	0	20
J	20	60	10	10	0	0	20

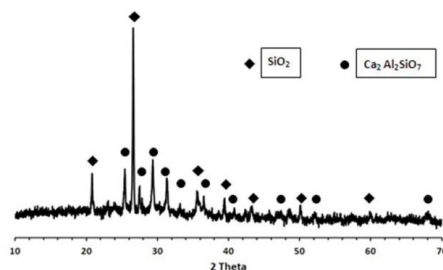
ผลการวิจัย

1. ผลการศึกษาขององค์ประกอบทางเคมี

จาก ตารางที่ 2 ซึ่งพบว่า องค์ประกอบเคมีหลักของดินตะกอน และซีเมนต์จากอุตสาหกรรมมีความคล้ายกัน แต่แตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัดในกลุ่มของสารประกอบรอง ซึ่งซีเมนต์จากอุตสาหกรรมจะมีปริมาณของ CaO เท่ากับร้อยละ 19.4 ซึ่งมากกว่าดินตะกอนค่อนข้างมาก สารประกอบ CaO มีส่วนสำคัญอย่างยิ่งต่อกลไกในการเกิดปฏิกิริยาไฮ-เดรชัน และปอซโซลานิก

ตารางที่ 2 องค์ประกอบทางเคมีของปูนซีเมนต์และวัสดุเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรม

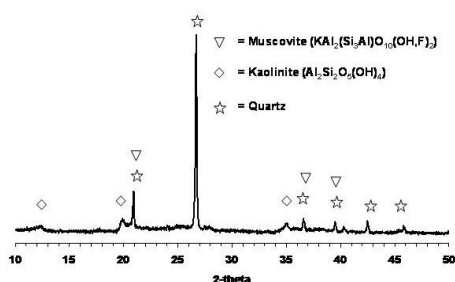
องค์ประกอบทางเคมี (%)	ปูนซีเมนต์	ดินตะกอน	ซีเมนต์
Al ₂ O ₃	4.96	24.5	16.75
CaO	66.61	1.17	19.4
SiO ₂	21.3	59.76	32.27
SO ₃	2.72	0.59	4.33
Fe ₂ O ₃	3.1	8.21	7.94
MgO	1.81	1.12	2.49
Na ₂ O	0.21	0.35	0.47



ภาพที่ 2 ผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRD ของซีเมนต์

2. การวิเคราะห์เฟสของสารปอซโซลานด้วยเทคนิค XRD

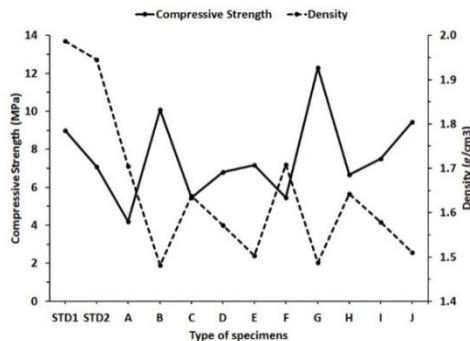
จากผลการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของดินตะกอนและซีเมนต์จากอุตสาหกรรมแสดงดังรูปภาพที่ 1 และ 2 ตามลำดับ ซึ่งพบว่า สารประกอบหลักอันได้แก่ SiO₂, CaO และ Al₂O₃ นั้นส่วนใหญ่จะอยู่รวมกันเป็นสารประกอบอื่น ๆ ซึ่งเมื่อนำมาผสมกันในสภาวะความเป็นเบสสูงจะทำให้สารประกอบเหล่านี้แตกตัวเป็นไอออนแล้วเกิดสารประกอบขึ้นมาใหม่มากยิ่งขึ้น



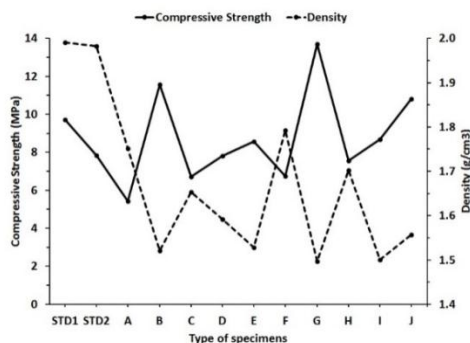
ภาพที่ 1 การวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRD ของดินตะกอน

3. ผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพและทางกล

ผลการทดสอบความหนาแน่น และกำลังรับแรงอัดของชิ้นงาน พบว่า มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อใช้ปริมาณซีเมนต์เพิ่มขึ้น ดังรูปภาพที่ 3 และ 4 เนื่องจากปฏิกิริยาปอซโซลานิกและปฏิกิริยาจีโอพอลิเมอร์-เซชัน ระหว่าง Al₂O₃ และ SiO₂ กับ Ca(OH)₂ และ NaOH ที่มีโอกาสเกิดขึ้นได้ในสภาวะที่เหมาะสม ทำให้ชิ้นงานมีปริมาณเฟสของสารเชื่อมประสาน CSH ที่มากขึ้น ส่งผลให้ค่าความหนาแน่น และค่ากำลังรับแรงอัดเพิ่มมากขึ้น เมื่อระยะเวลาบ่มนานขึ้น



ภาพที่ 3 ค่าความหนาแน่น และกำลังรับแรงอัดของชิ้นงานที่แทนที่ปริมาณปูนซีเมนต์ ปอร์ตแลนด์ด้วยวัสดุเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรม ที่ระยะเวลาบ่ม 30 วัน



ภาพที่ 4 ค่าความหนาแน่น และกำลังรับแรงอัดของชิ้นงานที่แทนที่ปริมาณปูนซีเมนต์ ปอร์ตแลนด์ด้วยวัสดุเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรม ที่ระยะเวลาบ่ม 60 วัน

4. การศึกษาค่าการนำความร้อน

ผลการทดสอบค่าการนำความร้อนของชิ้นงานคอนกรีตที่ผสมส่วนผสมต่าง ๆ ที่ระยะเวลาบ่ม 60 วัน แสดงในตารางที่ 3 พบว่า ค่าการนำความร้อนจะมากขึ้นอยู่กับสมบัติของวัสดุดิบส่วนผสมหลักที่ใช้ในการขึ้นรูป และค่าความหนาแน่นของ

ชิ้นงานคอนกรีตหลังการขึ้นรูป สำหรับสูตรที่ใช้ซีเมนต์จากอุตสาหกรรมในปริมาณมากพบว่า ค่าการนำความร้อนจะน้อยลงกว่าการใช้วัตถุดิบอื่น ๆ หรือมีความเป็นฉนวนเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากค่าความหนาแน่นที่ลดลง

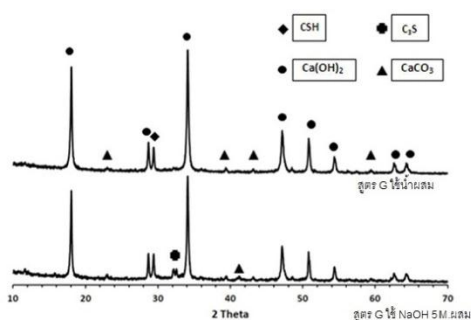
ตารางที่ 3 ค่าการนำความร้อนของคอนกรีตบล็อกประสานมวลเบาของส่วนผสมต่าง ๆ

ชนิด	ค่าการนำความร้อน (W/m.K)
STD1	1.266
STD2	1.245
A	1.105
B	0.727
C	0.968
D	0.934
E	0.745
F	1.114
G	0.642
H	0.996
I	0.646
J	0.901

5. การศึกษาปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้น

ผลการวิเคราะห์ปฏิกิริยาด้วยเทคนิค XRD ของชิ้นงานคอนกรีตสูตรที่ให้ค่ากำลังอัดสูงที่สุด คือคอนกรีตสูตร G ทั้ง 2 ลักษณะคือการใช้ส่วนผสมและการใช้สารละลาย NaOH 5 โมลาร์ ผสมที่ระยะเวลาบ่ม 60 วันแสดงดังรูปภาพที่ 5 ซึ่งพบว่าคอนกรีตสูตร G ที่มีส่วนผสมของซีเมนต์จากอุตสาหกรรมร้อยละ 80 ปูนซีเมนต์

ร้อยละ 10 และแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ร้อยละ 10 และใช้สารละลาย NaOH 5 โมลาร์ ในการผสมขึ้นรูปจะเกิดเฟส โครงสร้างที่เพิ่มขึ้นของสารในกลุ่ม CSH หรือสารเชื่อมประสาน อันเนื่องมาจาก ปฏิกิริยาปอซโซลานิก และจีโอพอลิเมอร์ เซชันของวัสดุเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรม ส่งผลให้มีความแข็งแรงเพิ่มมากขึ้นเช่นกัน



ภาพที่ 5 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของคอนกรีตบล็อกสูตร G ที่ระยะเวลา ในการบ่ม 60 วัน ด้วยเทคนิค XRD

สรุป และอภิปรายผลการวิจัย

จากการศึกษาการนำวัสดุเหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมมาใช้ในการงาน คอนกรีตบล็อกประสานมวลเบา พบว่า คอนกรีตบล็อกประสานมวลเบาที่มี ส่วนผสมของซีเมนต์จากโรงงานกระดาษ และใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 5 โมลาร์ เมื่อค่า pH เพิ่มขึ้น จะส่งผลให้ Al_2O_3 , SiO_2 , $Ca(OH)_2$, CaO และ สารประกอบอื่นๆ เกิดการแตกตัว เป็นไอออนต่าง ๆ เพิ่มขึ้น เช่น Ca^{2+} , OH^- , O^{2-} และ $[Al(OH)_4]^-$ เมื่อสารประกอบ

ต่าง ๆ เกิดปฏิกิริยากันได้สารประกอบของ สารชนิดใหม่และตกตะกอนเป็นของแข็ง ได้สารเชื่อมประสาน ซึ่งกำลังอัดที่เพิ่มขึ้นมาจากความสามารถในการเกิดปฏิกิริยา ปอซโซลานิก และจีโอพอลิเมอร์-เซชันกับ ปูนซีเมนต์ และน้ำในสภาวะเบสได้ดียิ่งขึ้น ของคอนกรีต โดยคอนกรีตบล็อกประสาน มวลเบาที่ให้ค่ากำลังอัดสูงสุด คือคอนกรีต สูตร G ที่มีส่วนผสมของซีเมนต์จาก อุตสาหกรรมร้อยละ 80 ปูนซีเมนต์ร้อยละ 10 แคลเซียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 10 และ สารละลาย NaOH 5 โมลาร์ ในการผสมขึ้น รูป มีค่ากำลังอัดเท่ากับ 13.70 เมกะ ปาสคาล ที่ค่าความหนาแน่นเท่ากับ 1,497 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ที่ระยะเวลาใน การบ่ม 60 วัน ซึ่งค่าความแข็งแรง คอนกรีตที่ได้มากกว่ามาตรฐานคอนกรีต บล็อกชนิดรับน้ำหนัก มอก. 57-2533 ที่จะต้องมีค่ากำลังรับแรงอัดไม่ต่ำกว่า 7 เมกะปาสคาล ดังนั้นคอนกรีตบล็อก ประสานมวลเบาจากงานวิจัยสามารถ นำไปใช้ในการก่อสร้างในเชิงพาณิชย์ได้

ข้อเสนอแนะ

ในกระบวนการศึกษาปฏิกิริยาใน งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาแค่เพียงบางส่วน โดยจำเป็นอย่างยิ่งที่ควรจะต้อง ทำการศึกษาในส่วนของปฏิกิริยาเคมี เพิ่มเติม โดยเฉพาะการเข้าทำปฏิกิริยาของ ซีเมนต์จากอุตสาหกรรมกับสารละลาย NaOH ที่สภาวะต่าง ๆ และปริมาณที่ แตกต่างกัน และโอกาสในการเกิดสารเชื่อม

ประสานชนิดต่าง ๆ และสมบัติของสารเชื่อมประสานในแต่ละชนิดที่ส่งผลต่อสมบัติของคอนกรีตที่ได้

เอกสารอ้างอิง

ชัย จาตุรพิทักษ์กุล และ ปริญญา จินดาประเสริฐ. (2549). **ปูนซีเมนต์ ปอซโซลาน และคอนกรีต**. กรุงเทพฯ: สมาคมคอนกรีตไทย.

บุรฉัตร ฉัตรวีระ และ เพ็ญพล ศรีนวล. (2555). **การศึกษาสมบัติของมอร์ตาร์ปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ประเภทที่ 5 ผสมเถ้าแกลบบดและผงหินปูน**. วารสารวิจัยและพัฒนา มจร. ปีที่ 35(ฉบับที่ 2), หน้า 201 - 218.

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. (2533). **มอก 57-2533 มาตรฐานคอนกรีตบดลือกรับน้ำหนัก**. กรุงเทพมหานคร. กระทรวงอุตสาหกรรม.

American society for testing and materials. (1995). “ASTM C 109/C 109M-95: Standard test method for compressive strength of hydraulic cement mortars (Using 2-in. or [50-mm.] cube Specimens)”. Annual book of ASTM standards, Vol. 04.01, pp. 68 - 72.

American society for testing and materials. (1995). “ASTM C 618-94a: Standard specification for coal fly ash and raw or calcined natural pozzolan for use as a mineral admixture in portland cement concrete”. Annual book of ASTM standards. Vol. 04.02, pp. 304 - 306.

Caijun S. and Robert L. D. (2000). **Pozzolanic reaction in the presence of chemical activators Part II. Reaction products and mechanism**. Cement and concrete research, Vol. 30, pp. 607 - 613.

Day R.L. and Shi C. (1994). **Relationship between strength development of lime-natural pozzolan pastes and the blaine fineness of the natural pozzolans**. Cement and concrete research, Vol. 24, pp. 1485 - 1491.

**การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความหวานของสารละลาย
และสัมประสิทธิ์การส่งผ่านด้วยคลื่นไมโครเวฟ**
**Study of Correlation between Sugar Content of Solution
and Transmission Coefficient with Microwave**

พรพิมล ฉายแสง

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคมและสารสนเทศ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม

มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี Email : pornpimon.c@rbru.ac.th

บทคัดย่อ

บทความวิจัยนี้นำเสนอการศึกษาสัมประสิทธิ์การส่งผ่านคลื่นไมโครเวฟผ่านสารละลายเพื่อใช้เป็นแนวทางในแบ่งระดับความหวานของสารละลาย ระบบเซนเซอร์ใช้สายอากาศไมโครสตริปทั้งสายอากาศส่งและสายอากาศรับ ที่ถูกออกแบบให้ทำงานที่ความถี่ 2.45 กิกะเฮิร์ตซ์ ขั้นตอนการวัดใช้คลื่นไมโครเวฟส่งผ่านสารละลายตัวอย่างที่สร้างมาจากน้ำเชื่อมเข้มข้นเจือจางด้วยน้ำบริสุทธิ์ ผ่านการวัดค่าความหวานด้วยเครื่องวัดความหวาน เพื่อให้ได้ระดับความหวานตั้งแต่ 0, 5, 10, 15, 20, 25, และ 30 %brix จำนวนทั้งหมด 7 ตัวอย่าง สายอากาศส่งและรับติดตั้งอยู่ด้านข้างทั้ง 2 ด้าน ของภาชนะบรรจุ อุปกรณ์ส่งเคราะห์ความถี่สร้างสัญญาณความถี่ 2.45 กิกะเฮิร์ตซ์ ส่งผ่านสายอากาศส่งเพื่อให้คลื่นเดินทางผ่านสารละลายไปยังสายอากาศรับเพื่อวัดค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงผลการทดสอบสารละลายตัวอย่างพบว่าค่าแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยที่ได้จากการทดสอบสารละลายตัวอย่าง ที่มีระดับความหวานตั้งแต่ 0 -30 %brix มีค่าอยู่ในช่วง 2.420 - 2.549 โวลต์ แต่ระดับความหวานมีค่าแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยแตกต่างกันชัดเจน อยู่ที่ 0.02 โวลต์ และจากข้อมูลที่วัดได้ทั้งหมด 10 ค่า มีค่าใกล้เคียงกันทำให้มีค่า ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ต่ำมาก เพียงพอสำหรับการคัดแยกกระดบความหวานของสารละลาย ระบบที่นำเสนอมีความเหมาะสมสำหรับการตรวจสอบปริมาณความหวาน

คำสำคัญ : ปริมาณความหวาน, ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน, สัมประสิทธิ์การส่งผ่าน, คลื่นไมโครเวฟ

Abstract

This paper presents a study of a microwave transmission coefficient transmitted to soluble solid contents in order to investigate a level of sugar contents of the soluble solid contents. The proposed microwave sensor uses microstrip antennas to be transmitting and receiving antennas. The antennas are designed at the operating frequency of 2.45 GHz. The testing process is accomplished by a microwave transmission to a sample solution of the syrup, which is diluted by water. The sugar content levels are measured by a brix refractometer classified by 7-sample levels of sugar contents with 0, 5, 10, 15, 20, 25 and 30 %brix. The transmitting and receiving antennas are located at the both sides of the container. The synthesizer uses to generate the frequency of 2.45 GHz in order to feed the transmitting antenna. The 2.45 GHz EM wave is transmitted from the transmitting antenna to the receiving antenna via the sample solution in order to a measured coupling signal. The measured coupling signal between transmitting and receiving antenna is converted to DC voltage. From the measured results of the sample solution, it is found the average voltage with 2.420-2.549 volt can be clearly classified the sugar constant into 0-30 %brix by 0.02 volt of voltage difference in each level. With the low standard deviation of the results accomplished by 10 times of sample measurements, it is enough to separate the levels of soluble solid contents. The proposed system is appropriated for detecting sugar content.

Keywords : Soluble solid content, Standard deviation, Transmission coefficient, Microwave

บทนำ

ความหวานมีอยู่ในพืชผลทางการเกษตร น้ำตาลสด และน้ำส้มสายชู ดังนั้นการตรวจสอบความหวานจึงได้รับความสนใจอย่างแพร่หลายในหมู่นักวิจัย โดยเฉพาะผลไม้ เช่น อ้อย ส้มเขียวหวาน แตงโม และแอปเปิล เป็นต้น วิธีการตรวจสอบความหวานมีอยู่หลากหลายเทคนิค เช่น การตรวจสอบความหวานของน้ำส้มสายชูด้วยเทคนิค Near-infrared spectroscopy (NIR) ที่ตรวจสอบโดยใช้คลื่นที่มีความยาวคลื่นอยู่ในช่วง 350 นาโนเมตร ถึง 1050 นาโนเมตร และใช้โครงข่ายประสาทเทียมเพื่อวิเคราะห์และแบ่งระดับความหวาน ซึ่งให้ความแม่นยำในการวัดสูง (Liu, Wang, & He, 2008) แต่เนื่องจากอุปกรณ์หรือเครื่องวัด NIR ยังคงมีราคาสูง จึงไม่เป็นที่นิยมนำมาใช้งานจริง การตรวจสอบความหวานยังได้รับความสนใจนำไปใช้กับน้ำแตงโมโดยวัดที่ความถี่ 0.2 กิกะเฮิรตซ์ ถึง 20 กิกะเฮิรตซ์ ข้อมูลที่ได้จากการวัดคือ ค่าสภาพยอมทางไฟฟ้า ถูกนำมาเปรียบเทียบกับปริมาณความหวาน (Isa, Noraishah, Shamsudin & Marhaban, 2009) ซึ่งการตรวจวัดดังกล่าวถูกทดลองภายในห้องปฏิบัติการ และมีความซับซ้อนในการขั้นตอนการวัด ต่อมาได้มีการวัดความหวานของผลแตงโมและผลแอปเปิลด้วยโพรบไดโอดีเล็กทรอนิกส์ เพื่อวัดคุณสมบัติทางไฟฟ้าของผลแตงโมและผลแอปเปิลในช่วงความถี่ 10 เมกะเฮิรตซ์ ถึง 1.8 กิกะเฮิรตซ์ (Nelson, Guo & Trabasi, 2008) ซึ่ง

การวัดในวิธีดังกล่าวใช้การวัดในช่วงความถี่กว้างและใช้เครื่องมือที่มีราคาสูง จึงไม่เหมาะสำหรับการสร้างเพื่อใช้งานจริง ปริมาณความหวานขององุ่นก็ได้รับความสนใจในการตรวจสอบความหวานเช่นกัน โดยใช้การตรวจสอบด้วยโพรบไดโอดีเล็กทรอนิกส์ที่ความถี่ 2.45 กิกะเฮิรตซ์ ซึ่งมีการเปรียบเทียบปริมาณความหวานขององุ่นในแต่ละอุณหภูมิและความชื้นที่เปลี่ยนแปลง (Tulasidas & Raghavan, 1995) และการตรวจสอบความหวานและความแน่นของเนื้อแอปเปิลฟูจิ ได้รับการทดสอบด้วยโพรบไดโอดีเล็กทรอนิกส์และวิเคราะห์ด้วยเครื่องวิเคราะห์โครงข่ายในช่วงความถี่ 10 เมกะเฮิรตซ์ ถึง 4,500 เมกะเฮิรตซ์ ซึ่งให้ความแม่นยำในการวัด $R^2 = 0.67$ (Guo, Zhu & Nelson, 2011) การวัดในลักษณะนี้มีความซับซ้อนและให้ความแม่นยำในการตรวจสอบความหวานไม่ชัดเจน

ดังนั้นในการวิจัยครั้งนี้ต้องการศึกษาถึงความเป็นไปได้ในการตรวจสอบความหวานด้วยเทคนิคการส่งผ่านคลื่นไมโครเวฟ โดยศึกษาถึงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความหวานของสารละลายตัวอย่างกับความสามารถในการส่งผ่านคลื่นไมโครเวฟของสารละลายที่ความถี่ 2.45 กิกะเฮิรตซ์ ระบบเซนเซอร์ที่สร้างขึ้นประกอบด้วยสายอากาศส่งและสายอากาศรับ ชนิดสายอากาศไมโครสตริปซึ่งออกแบบให้วางอยู่ตรงข้ามกัน กันกลางด้วยภาชนะบรรจุสารละลายตัวอย่างสำหรับวัดวิเคราะห์ค่ากำลังงานไฟฟ้าที่รับได้จาก

สายอากาศรับผ่านวงจรตรวจจับกำลังงานไฟฟ้าแรงดันไฟฟ้า เพื่อศึกษาถึงแนวโน้มการนำไปประยุกต์ใช้ในระบบคัดแยกกระต๊อบความหวานสารละลายด้วยการส่งผ่านคลื่นไมโครเวฟต่อไป

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษาถึงความสามารถในการส่งผ่านคลื่นย่านความถี่ 2.45 กิกะเฮิรตซ์ ของสารละลายที่มีระดับความหวานแตกต่างกัน

วิธีดำเนินการวิจัย

การดำเนินการวิจัยเพื่อศึกษาถึงความสามารถในการส่งผ่านคลื่นย่านความถี่ 2.45 กิกะเฮิรตซ์ ของสารละลายที่มีระดับความหวานแตกต่างกัน มีขั้นตอนดังนี้

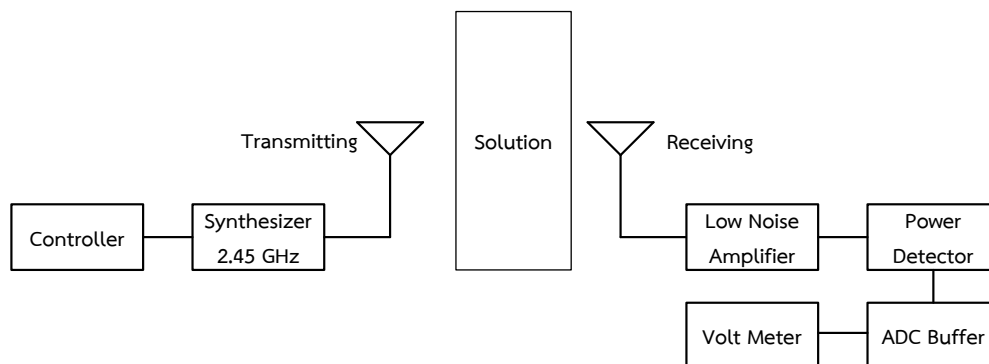
1. ออกแบบสายอากาศ ในการวิจัยนี้เลือกใช้สายอากาศไมโครสตริปรูพวงกลม เนื่องจากสายอากาศไมโครสตริปเป็นสายอากาศที่สร้างง่าย มีขนาดกะทัดรัด สะดวกต่อการนำไปประยุกต์ใช้ สายอากาศถูกออกแบบให้ทำงานที่ความถี่ (f_r) 2.45 กิกะเฮิรตซ์ สร้างด้วยแผ่นวงจรพิมพ์ 2 หน้าชนิด FR4 ซึ่งมีค่าคงที่ไดอิเล็กตริก (ϵ_r) 4.1 หนา (h) 1.414 มิลลิเมตร รัศมีของส่วนแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ (Patch) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (1) – (2) (Balanis, 2005)

$$r = \frac{F}{\left\{1 + \frac{2h}{\pi\epsilon_r F} \left[\ln\left(\frac{\pi F}{2h}\right) + 1.7726 \right] \right\}^{1/2}} \quad (1)$$

$$F = \frac{8.791 \times 10^9}{f_r \sqrt{\epsilon_r}} \quad (2)$$

เมื่อ a คือ รัศมีของส่วนแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ จากนั้นนำขนาดของสายอากาศที่ได้จากการคำนวณมาสร้างเป็นแบบจำลองสายอากาศเพื่อทดสอบสมรรถนะของสายอากาศ ($|S_{11}|$) ให้ได้ขนาดของสายอากาศที่สามารถทำงานได้ดีในช่วงความถี่ 2.45 กิกะเฮิรตซ์ นำขนาดที่ได้จากการจำลองมาใช้สร้างเป็นสายอากาศต้นแบบเพื่อใช้ในระบบเซนเซอร์ต่อไป

2. สร้างระบบเซนเซอร์ ระบบเซนเซอร์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้มีแผนผังการทำงานของระบบแสดงดังภาพที่ 1 โดยอุปกรณ์ที่ใช้ในการสร้างระบบวัดประกอบด้วย อุปกรณ์สังเคราะห์ความถี่ (Synthesizer) รุ่น nRF2401A (Nordic, 2006) ทำหน้าที่สร้างสัญญาณความถี่ 2.45 กิกะเฮิรตซ์ ด้วยกำลังส่ง 5 เดซิเบลมิลลิวัตต์ (dBm) ถูกควบคุมการทำงานด้วยอุปกรณ์ลอจิกแบบโปรแกรมได้รุ่น MAXII EPM570 CPLD (Altera, 2009) เชื่อมต่อกับสายอากาศส่ง สายอากาศรับจะติดตั้งอยู่ตรงข้ามกับสายอากาศส่งกันกลางด้วย



ภาพที่ 1 แผนผังการทำงานของระบบเซนเซอร์

สารละลายตัวอย่างที่นำมาทดสอบ สายอากาศรับเชื่อมต่อกับวงจรขยาย สัญญาณรบกวนต่ำ (Low noise amplifier) รุ่น Max2641 (Maximintegrated, 2015) วงจรตรวจจับกำลังงานไฟฟ้า (Power detector) รุ่น MAX4003 (Maximintegrated, 2006) ทำหน้าที่รับสัญญาณจากสายอากาศรับแล้ว แปลงเป็นสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรง และ บัพเฟอร์ขยายสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงรุ่น MAX4475 (Maximintegrated, 2012) ทำหน้าที่ขยายสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงและ ลดสัญญาณรบกวนก่อนที่จะวัดค่าที่ได้ด้วย เครื่องวัดแรงดันไฟฟ้า (Volt meter) ต่อไป

3. เตรียมสารละลายตัวอย่างเพื่อใช้ในการทดสอบ สารละลายตัวอย่างที่ใช้เป็น สารละลายที่มีระดับความหวานแตกต่างกัน สร้างมาจากน้ำเชื่อมเข้มข้นเจือจางด้วยน้ำ บริสุทธิ์ ซึ่งผ่านการวัดค่าความหวานด้วย เครื่องวัดความหวาน (Brix refractometer) เพื่อให้ได้ระดับความหวานตั้งแต่ 0, 5, 10, 15, 20, 25, และ 30 %brix จำนวน ทั้งหมด 7 ตัวอย่าง

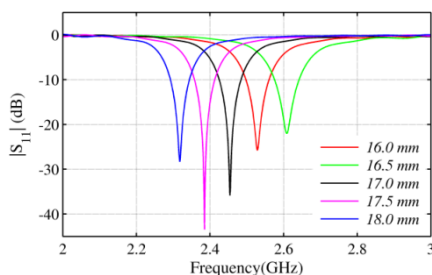
4. การทดสอบความสามารถในการ ส่งผ่านคลื่นโดยนำสารละลายตัวอย่างที่มี ความหวานทั้ง 7 ระดับมาทดสอบด้วยระบบ เซนเซอร์ที่สร้างขึ้นเพื่อศึกษาระดับกำลัง งานของสัญญาณไฟฟ้าที่ได้รับได้ของ สายอากาศรับด้วยการอ่านค่าแรงดันไฟฟ้า จากเครื่องวัดแรงดันไฟฟ้า สารละลาย แต่ละตัวอย่างจะถูกวัดทั้งหมด 10 ครั้ง นำค่า ที่ได้มาหาค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากนั้นวิเคราะห์ผลที่ได้

5. การทดสอบความสามารถการทน ต่อสัญญาณรบกวน โดยทำการศึกษาถึง ค่าแรงดันไฟฟ้าที่ได้รับได้จากสายอากาศรับ เช่นเดียวกับข้อที่ 4 แต่ทำการทดสอบใน สภาวะที่ไม่มีการป้องกันสัญญาณรบกวน ใด ๆ จากภายนอก วิเคราะห์ผลที่ได้ เปรียบเทียบกับผลที่ได้จากข้อ 4

ผลการวิจัย

จากการคำนวณขนาดสายอากาศ ไมโครสตริปนำค่าที่ได้มาใช้เป็นค่าเบื้องต้น ในการสร้างสายอากาศจำลองด้วย

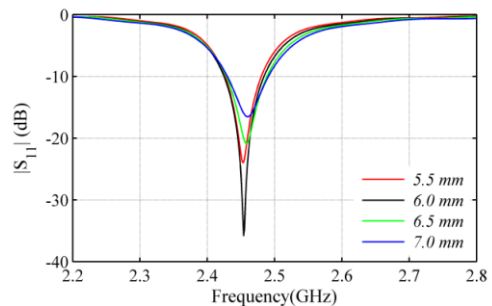
โปรแกรมจำลองค่าสนามแม่เหล็กไฟฟ้า ทดสอบสมรรถนะของสายอากาศด้วยการปรับรัศมีของส่วนแพร่กระจายคลื่น เพื่อศึกษาถึงผลกระทบที่เกิดขึ้นกับค่า $|S_{11}|$ จำลองปรับขนาดรัศมีของส่วนแพร่กระจายคลื่น ตั้งแต่ 16 – 18 มิลลิเมตร พบว่ารัศมีที่เล็กลงสายอากาศไมโครสตริปจะทำงานที่ความถี่สูงขึ้น ผลการจำลองปรับรัศมีของส่วนแพร่กระจายคลื่นแสดงดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 ค่า $|S_{11}|$ ของสายอากาศเมื่อปรับรัศมีของส่วนแพร่กระจายคลื่น

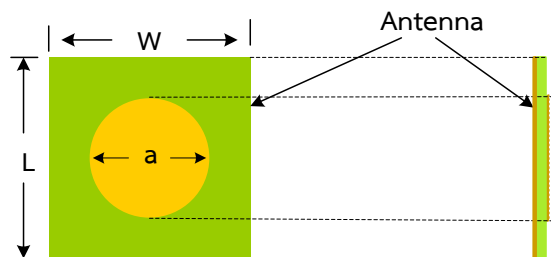
ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้รัศมีของสายอากาศที่ 17 มิลลิเมตร เนื่องจากสายอากาศสามารถทำงานที่ความถี่ 2.45 กิกะเฮิรตซ์ ได้ดีที่สุด คือ มีค่า $|S_{11}|$ น้อยกว่า -10 เดซิเบล ขั้นตอนต่อมาคือการจำลองเพื่อศึกษาถึงผลกระทบของตำแหน่งจุดป้อนสัญญาณต่อค่า $|S_{11}|$ ของสายอากาศ โดยสายอากาศที่ออกแบบนี้ใช้การป้อนสัญญาณแบบโพรบ (Probe feed) จำลองปรับตำแหน่งของจุดป้อนสัญญาณห่างจากจุดศูนย์กลางของส่วนแพร่กระจายคลื่นตามแนวรัศมีเป็นระยะ 5.5 ถึง 7.0 มิลลิเมตร พบว่าที่ความถี่ 2.45 กิกะเฮิรตซ์ ระยะ 6.0 มิลลิเมตรนั้น

สายอากาศมีค่า $|S_{11}|$ ต่ำสุด ผลที่ได้จากการปรับจุดป้อนสัญญาณแสดงดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 ค่า $|S_{11}|$ ของสายอากาศเมื่อปรับตำแหน่งของจุดป้อนสัญญาณ

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้ระยะจุดป้อนสัญญาณที่ 6.0 มิลลิเมตร ลักษณะของสายอากาศจำลองแสดงดังภาพที่ 4 และขนาดของสายอากาศจำลองที่สามารถทำงานได้ดีที่ความถี่ 2.45 กิกะเฮิรตซ์ แสดงดังตารางที่ 1



ภาพที่ 4 สายอากาศจำลอง

ตารางที่ 1 ขนาดของสายอากาศไมโครสตริป

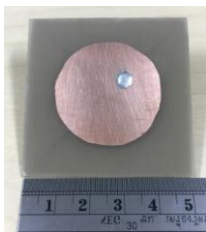
ขนาด (เซนติเมตร)	W	L	a
	5	5	3.4

จากนั้นนำขนาดของสายอากาศที่ได้จากการจำลองมาสร้างเป็นสายอากาศต้นแบบ

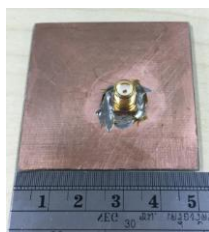
จำนวน 2 ตัว เพื่อใช้เป็นสายอากาศส่งและสายอากาศรับ ลักษณะของสายอากาศต้นแบบแสดงดังภาพที่ 5

ตารางที่ 2 ขนาดของภาชนะโฟม

ขนาด	W_2	W_3	W_4	L_2	L_3
(เซนติเมตร)	20	1.5	4	20	2



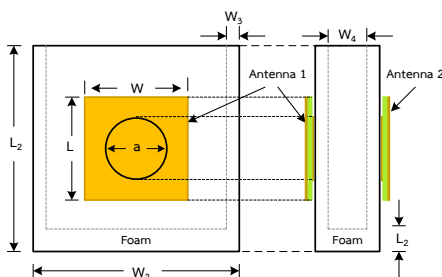
(ก)



(ข)

ภาพที่ 5 สายอากาศต้นแบบ

(ก) ด้านหน้า (ข) ด้านหลัง



ภาพที่ 6 ระบบเซนเซอร์ที่นำเสนอ

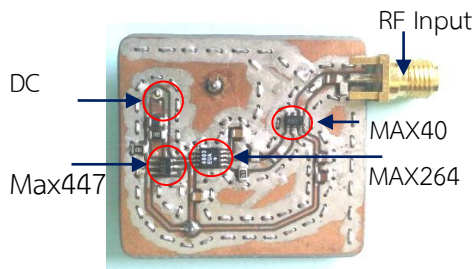
ระบบเซนเซอร์ที่สร้างขึ้นทำงานโดยสารละลายตัวอย่างที่นำมาทดสอบจะถูกบรรจุอยู่ตรงกลางระหว่างสายอากาศส่งและรับ โดยใช้โฟมที่มีรูปทรงสี่เหลี่ยมขนาด $20 \times 4 \times 20$ เซนติเมตร ขอบของโฟมหนา 1.5 เซนติเมตร สำหรับใส่สารละลายตัวอย่าง การเลือกใช้โฟมเนื่องจากโฟมมีค่าคงที่

ไดอิเล็กตริก 1.3 เข้าใกล้ค่าคงที่ ไดอิเล็กตริกของอากาศ จึงลดผลกระทบที่เกิดจากค่าคงที่ไดอิเล็กตริกได้ สายอากาศไมโครสตริปถูกติดตั้งไว้ที่ด้านข้างของโฟม 2 ด้าน โดยหันหน้าเข้าหากัน การออกแบบลักษณะของการติดตั้งสายอากาศไมโครสตริปรับและส่งกับโฟมในระบบเซนเซอร์แสดงดังภาพที่ 6 ขนาดของโฟมแสดงดังตารางที่ 2 จากนั้นนำไปสร้างเป็นระบบเซนเซอร์ต้นแบบต่อไปภาพที่ 6 ขนาดของโฟมแสดงดังตารางที่ 2

ระบบเซนเซอร์ต้นแบบที่สร้างขึ้นในส่วนของภาคส่งประกอบด้วยอุปกรณ์กำเนิดความถี่ 2.45 กิกะเฮิรตซ์ซึ่งถูกควบคุมด้วยอุปกรณ์ลอจิกแบบโปรแกรมได้ชนิด CPLD ดังภาพที่ 7 และวงจรในส่วนของภาครับประกอบด้วยวงจรขยายสัญญาณรบกวนต่ำ วงจรตรวจจับกำลังงานไฟฟ้า วงจรบัฟเฟอร์ ซึ่งถูกสร้างเป็นวงจรรวมเดียวกันเพื่อลดขนาดของระบบ แสดงดังภาพที่ 8 นำวงจรภาครับและส่งมาติดตั้งกับโฟมเพื่อใช้ทดสอบการส่งผ่านคลื่นไมโครเวฟต่อไป



ภาพที่ 7 อุปกรณ์สังเคราะห์ความถี่



ภาพที่ 8 วงจรในส่วนของภาครับของระบบ

หลังจากสร้างระบบเซนเซอร์เรียบร้อยแล้ว นำสารละลายตัวอย่างที่มีความหวาน 7 ระดับ มาทดสอบที่ละตัวอย่าง โดยทดสอบที่ตัวอย่างที่จะทดสอบลงในโพลี จากนั้นอุปกรณ์สังเคราะห์ความถี่สร้างสัญญาณความถี่ 245 กิโลเฮิร์ตซ์ ส่งผ่านสายอากาศส่งเพื่อให้คลื่นเดินทางผ่านสารละลายไปยังสายอากาศรับ สัญญาณที่รับได้จากสายอากาศรับถูกส่งผ่านวงจรขยายสัญญาณรบกวนต่ำ วงจรตรวจจับกำลังงานไฟฟ้า วงจรบัฟเฟอร์และอ่านค่ากำลังงานไฟฟ้าที่ได้ด้วยเครื่องวัดแรงดันไฟฟ้า ขณะทำการทดสอบระบบเซนเซอร์จะถูกป้องกันสัญญาณรบกวนจากภายนอกเพื่อให้ค่าที่ได้มีความแม่นยำสูงสุด ผลการทดสอบพบว่าค่าแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยที่ได้จากการทดสอบสารละลายตัวอย่างที่มีค่าระดับความหวานตั้งแต่ 0 -30 %brix มีค่าอยู่ในช่วง 2.420 - 2.549 โวลต์ โดยแต่ละระดับความหวานมีค่าแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยแตกต่างกันชัดเจน โดยมีค่าความแตกต่างกันเฉลี่ยอยู่ที่ 0.02 โวลต์ ค่าแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยที่อ่านได้จากเครื่องวัดกำลังงานไฟฟ้า แสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 แรงดันไฟฟ้าที่วัดได้จากระบบเมื่อมีการป้องกันสัญญาณรบกวน

ระดับความหวาน (%brix)	แรงดันไฟฟ้า (โวลต์)	
	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
0	2.549	0.00701
5	2.530	0.00673
10	2.509	0.00692
15	2.490	0.00704
20	2.467	0.00909
25	2.439	0.00636
30	2.420	0.00607

จากข้อมูลที่วัดได้ทั้งหมด 10 ค่า มีค่าใกล้เคียงกันทำให้มีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ต่ำมาก จากผลการทดสอบที่ได้แสดงให้เห็นถึงความเป็นไปได้ในการใช้คลื่นไมโครเวฟเพื่อแบ่งระดับความหวานโดยใช้สัมประสิทธิ์การส่งผ่านคลื่นไมโครเวฟ ขั้นตอนต่อมาทดสอบความสามารถในการต้านทานสัญญาณรบกวนของระบบเซนเซอร์ โดยทำการทดสอบเช่นเดียวกับขั้นตอนก่อนหน้านี้ แต่ไม่มีการใช้อุปกรณ์ป้องกันสัญญาณรบกวนใด ๆ ซึ่งพบว่าค่าแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยที่วัดได้ในสภาวะนี้มีค่าใกล้เคียงกับแรงดันไฟฟ้าในสภาวะที่มีการป้องกันสัญญาณรบกวน และค่าแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยยังคงมีความแตกต่างกันอยู่ชัดเจนในแต่ละระดับความหวาน แต่ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลที่วัดได้ทั้ง 10 ค่า มีค่าสูงขึ้นแสดงถึงแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยที่วัดได้มีค่า

แตกต่างกันเพิ่มมากขึ้น ค่าแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยที่ได้แสดงดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 กำลังงานไฟฟ้าที่วัดได้จากระบบเมื่อไม่มีการป้องกันสัญญาณรบกวน

ระดับความหวาน (%brix)	แรงดันไฟฟ้า(โวลต์)	
	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
0	2.547	0.0120
5	2.529	0.0116
10	2.517	0.0146
15	2.489	0.0174
20	2.465	0.0131
25	2.437	0.0120
30	2.422	0.0124

สรุปและอภิปรายผล

ความสัมพันธ์ของปริมาณความหวานของสารละลายกับค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านคลื่นไมโครเวฟ โดยอาศัยหลักการของค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของสารละลายที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อความเข้มข้นของสารละลายเปลี่ยน การทดลองนี้ใช้สารละลายตัวอย่างที่สร้างมาจากน้ำเชื่อมเข้มข้นผสมน้ำเพื่อเจือจางให้ได้ระดับความหวานที่ต้องการทดสอบ และวัดด้วยเครื่องวัดความหวาน เพื่อแบ่งระดับความหวานของสารละลายตัวอย่าง โดยกลุ่มสารละลายตัวอย่างที่ต้องการคือ 0 5 10 15 20 25 และ 30%brix เมื่อความหวานเปลี่ยนแปลงจะส่งผลต่อค่าสภาพยอมไฟฟ้า ซึ่งผลที่ได้สอดคล้องกับการวัดความหวานของผลแอปเปิล (Guo, et al, 2011) จากนั้น

จึงทดสอบความสามารถในการตรวจสอบความหวานด้วยคลื่นไมโครเวฟจากระบบการวัดที่สร้างขึ้น เซนเซอร์ตรวจสอบความหวานที่สร้างขึ้นประกอบด้วยสายอากาศไมโครสตริปที่ใช้ส่งและรับคลื่นไมโครเวฟ สายอากาศถูกออกแบบให้แมทช์กับน้ำเปล่าเพื่อให้สามารถแบ่งระดับความหวานได้ชัดเจน และทำงานที่ความถี่ 2.45 กิกะเฮิรตซ์ ซึ่งขั้นตอนการออกแบบเริ่มต้นจากการคำนวณขนาดอย่างหยาบ จากนั้นจึงทำการจำลองการทำงานอย่างละเอียดด้วยโปรแกรมจำลองสนามแม่เหล็กไฟฟ้าเพื่อหาขนาดของสายอากาศที่เหมาะสม แล้วจึงนำขนาดที่ได้มาสร้างเป็นสายอากาศต้นแบบเพื่อใช้เป็นสายอากาศส่งและสายอากาศรับของระบบเซนเซอร์สายอากาศติดตั้งอยู่ด้านข้างคนละฝั่งของภาชนะโพนสำหรับบรรจุสารละลายตัวอย่าง สัญญาณความถี่ 2.45 กิกะเฮิรตซ์ถูกสร้างขึ้นที่ภาคส่งแล้วส่งออกด้วยสายอากาศส่งเดินทางผ่านสารละลายตัวอย่างไปยังสายอากาศรับ สัญญาณจากสายอากาศรับถูกส่งผ่านวงจรขยายสัญญาณก่อนถูกแปลงเป็นสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงเพื่อบันทึกค่าต่อไป จากผลการทดสอบค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงจากสารละลายตัวอย่างที่มีความหวานทั้ง 7 ระดับ ซึ่งจะสังเกตได้ว่าเมื่อระดับความหวานเพิ่มมากขึ้นค่าสภาพยอมไฟฟ้าจะลดลงในทิศทางเดียวกับการวัดความหวานของผลแตงโม (Nelson, et al, 2007) เมื่อความหวานเพิ่มมากขึ้น ค่าแรงดันไฟฟ้าที่

วัดได้มีค่าลดลงเนื่องจากสายอากาศที่ออกแบบทำงานได้ดีกับน้ำเปล่าหรือความหวานเท่ากับ 0 ดังนั้นเมื่อความหวานเพิ่มมากขึ้น จึงส่งผลให้ความสามารถในการส่งผ่านทำได้ต่ำลง จากความแตกต่างที่เกิดขึ้นจากการวัดของระบบเซนเซอร์ของแรงดันไฟฟ้า ในแต่ละระดับที่ความหวานมีค่าแตกต่างกัน สามารถแยกออกจากกันได้ อย่างชัดเจน ค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.02 โวลต์ แสดงให้เห็นว่าสามารถใช้หลักการส่งผ่านคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าสำหรับแบ่งระดับความหวานของสารละลายมีความเป็นไปได้ชัดเจน นอกจากนี้ระบบเซนเซอร์ยังถูกทดสอบกับสภาพแวดล้อมในการใช้งานจริง หรือในสถานะที่มีสัญญาณรบกวน จากการทดสอบแสดงให้เห็นว่าระบบเซนเซอร์ที่สร้างขึ้นทนต่อสัญญาณรบกวนและสามารถทำงานได้ดี

เอกสารอ้างอิง

Altera. (2009). **MAX II device handbook**. MAXII EPM570 CPLD. Retrieved [10 July 2016] from www.altera.com.

Balanis, C. A. (2005). *Antenna theory*. (3rd ed). Arizona: John Welly & sons.

Guo, W., Zhu, X. & Nelson, S. O. (2013). Permittivities of watermelon pulp and juice and correlation with quality indicators. **International**

Journal of Food Properties, vol. 16, pp. 475–484.

Guo,W., Zhu, X., Nelson, S. O., Yue, R., Liu, H. & Yi L. (2011). Maturity effects on dielectric properties of apples from 10 to 4500 MHz. **Food science and technology journal**, Vol.44, pp. 224-230.

Isa, M. M., Ibrahim, N., Shamsudin, R. & Marhaban, M. H. (2009). Sugar content in watermelon juice based on dielectric properties at 10.45 GHz. **Proceeding of 2009 IEEE Student Conference on Research and Development**, UPM Serdang, Malaysia, Nov 16-18, 2009.

Liu, F., Wang, L. & He, Y. (2008). Measurement of sugar content of white vinegars using VIS/NEAR - INFRARED spectroscopy and back propagation neural networks. **Proceedings of the Seventh International Conference on Machine Learning and Cybernetics**, Kunming, 12-15 July 2008.

Maximintegrated. (2006) **MAX4003 evaluation kit**. Datasheet. Retrieved [10 July 2016] from www.maxim-ic.com.

Maximintegrated. (2012) **MAX4475**

wide-band, low-noise. low-distortion operational amplifiers.

Datasheet. Retrieved [10 July 2016]

from www.maxim-ic.com

Maximintegrated. (2015) **Max2641**

300 MHz to 2500 MHz SiGe ultra-low-noise amplifier. Datasheet.

Retrieved [10 July 2016] from

www.maxim-ic.com

Nelson, S. O., Guo, W. & Trabelsi, S.

(2008). Investigation of dielectric sensing for fruit quality determination. **IEEE**

Sensors Applications Symposium,

Atlanta, GA, 12-14 February 2008.

Nelson, S. O., Guo, W., Trabelsi, S. &

Kays, S. J. (2007). Sensing quality of watermelons through dielectric permittivity. **IEEE Antennas and**

Propagation Society International Symposium, Honolulu, June

9-15, 2007.

Nordic Semiconductor. (2006) **Single**

chip 2.4 GHz transceiver

nRF2401A. Datasheet. Retrieved [10

July 2016] from www.nordicsemi.com.

Tulasidas, T.N., & Raghavan, G. S. V.

(1995). Dielectric properties of grapes and sugar solutions at 2.45 GHz. **Journal of Microwave**

Power and Electromagnetic

Energy, vol. 30, No. 2, pp. 118-123.

การจับการเคลื่อนไหวสามมิติบนหน่วยประมวลผลกราฟิกโดยใช้คูดา 3D Motion Capture on Graphic Processing Unit using CUDA

ธนพนธ์ จันทรวงศ์สาลิ^{1*}, ไอรวิณ มงคลการ², ศิริชัย จูทิม³, อภิสิทธิ์ รัตนตรานุรักษ์⁴

^{1*,2,3,4} สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา Email : apisit.ra@ssru.ac.th

บทคัดย่อ

ในบทความนี้กล่าวถึงการจับการเคลื่อนไหวสามมิติบนหน่วยประมวลผลกราฟิกโดยใช้คูดาซึ่งเป็นเฟรมเวิร์คในการพัฒนาโปรแกรมบนหน่วยประมวลผลกราฟิกของ NVIDIA บทความนี้เริ่มต้นโดยการวิเคราะห์เวลาในการสร้างหุ่นในแต่ละส่วน ได้แก่ แขนและมือขวา แขนและมือซ้าย หัวและลำตัว ขาและเท้าขวา ขาและเท้าซ้าย จากนั้นได้มีการนำคูดาเข้าไปประยุกต์ในอัลกอริธึมเพื่อใช้ในการสร้างหุ่นโดยใช้หน่วยประมวลผลกราฟิก ผลลัพธ์ที่ได้พบว่าค่าเฉลี่ยของความเร็วที่เพิ่มขึ้น คือ 73.74 เท่า บน 96 แกนคูดา

คำสำคัญ : หน่วยประมวลผลกราฟิก, การจับเคลื่อนไหวสามมิติ, คูดา

Abstract

This paper presents 3D Motion Capture on Graphic Processing Unit using CUDA which is the framework for developing program on NVIDIA Graphic Processing Unit. The paper starts with analysis run time to construct each part of model such as right arm and right hand, left arm and left hand, head and body, right leg and right foot, left leg and left foot. We then implemented CUDA to this algorithm to execute the model construction algorithm on Graphic Processing Unit. The results show that average Speed up of Graphic Processing Unit is 73.74x on 96 CUDA cores.

Keywords : Graphic Processing Unit, 3D Motion Capture, CUDA.

บทนำ

การจับการเคลื่อนไหว เป็นการสังเกตความเคลื่อนไหว โดยสามารถนำไปใช้ประโยชน์ไปได้หลายประเภทไม่ว่าจะเป็นสาขาวิทยาศาสตร์การกีฬาการสร้างภาพยนตร์ การสร้างการ์ตูนสามมิติ โดยการจับการเคลื่อนไหวนั้นจะนำการเคลื่อนไหวที่บันทึกได้ไปประมวลผลเป็นหุ่นสามมิติที่สามารถเคลื่อนไหวได้ ตามต้นแบบที่ต้องการ อย่างไรก็ตามการจับเคลื่อนไหวสามมิตินั้นใช้ทรัพยากรในการประมวลผลสูงมาก เนื่องจากต้องมีการประมวลผลลงในพิกัดสามมิติ จากต้นฉบับ นอกจากนั้นยังต้องมีการสร้างหุ่นสามมิติขึ้น โดยทรัพยากรที่ใช้นั้นจะขึ้นอยู่กับความละเอียดของหุ่นสามมิติอีกด้วย

ในการจับการเคลื่อนไหวสามมิติ (Moeslund, T. B., & Granum, E., 2001) มีหลายวิธีการ ซึ่งวิธีการที่น่าสนใจ คือ การใช้กล้องในการจับการเคลื่อนไหวสามมิติ เนื่องจากเป็นวิธีที่ไม่ต้องใช้เครื่องมือมากในการจับภาพ ทำให้สะดวกในการพัฒนา และการทำงาน โดยปัจจุบันนั้นยังมีเครื่องมือในการบันทึกภาพมากขึ้น และมีความละเอียดในการบันทึกผล ซึ่งทำให้สะดวกมากยิ่งขึ้นในการพัฒนาเครื่องมือในการจับการเคลื่อนไหวสามมิติ

ในปัจจุบันนั้นหน่วยประมวลผลกลาง (Central Processing Unit: CPU) ได้ถูกพัฒนาให้มีจำนวนแกนในการประมวลผลมากขึ้น ส่งผลให้สามารถทำงานได้หลายงานพร้อมกัน นอกจากนี้หน่วยประมวลผล

กราฟิก (Graphic Processing Unit: GPU) ยังได้รับการพัฒนาให้สามารถนำมาใช้ในการประมวลผลทั่วไปได้ โดยหน่วยประมวลผลดังกล่าวมีจำนวนแกนอยู่มากกว่าหน่วยประมวลผลกลาง ซึ่งหากสามารถดึงทรัพยากรเหล่านี้มาใช้ร่วมกับการจับการเคลื่อนไหวสามมิติได้ จะส่งผลให้การประมวลผลนั้นใช้เวลาอันน้อยลง และมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

ในการประมวลผลด้วยหน่วยประมวลผลโดยนำเอาหน่วยประมวลผลกราฟิกเข้ามาใช้นั้น สามารถนำไลบรารี Compute Unified Device Architecture : CUDA (NVIDIA, C. U. D. A., 2007) เข้ามาพร้อมด้วย และเรียกใช้หน่วยประมวลผลกราฟิกเพื่อใช้ในการประมวลผลได้ ซึ่งไลบรารีนี้สามารถพัฒนาร่วมกันกับภาษา C/C++ ทำให้สะดวกต่อการพัฒนาให้ การจับการเคลื่อนไหวสามมิติ ให้สามารถดึงทรัพยากรหน่วยประมวลผลกราฟิกมาใช้ให้มีประสิทธิภาพสูงสุด อย่างไรก็ตามไลบรารีลักษณะเดียวกันนี้ที่ยังมีไลบรารี Open Computing Language : OpenCL (Khronos, 2010) (NVIDIA, 2009) (AMD, 2011) ซึ่งสามารถดึงหน่วยประมวลผลต่าง ๆ เช่น หน่วยประมวลผลกราฟิก มาใช้ในการประมวลผลได้เช่นกัน แต่อย่างไรก็ตามหากมีการพัฒนาแอปพลิเคชันด้วยหน่วยประมวลผลกราฟิกของ NVIDIA การเลือกใช้ CUDA ซึ่งพัฒนาโดย NVIDIA เอง จะมีประสิทธิภาพในการทำงานสูงกว่า

จากปัญหาข้างต้นนั้น ผู้วิจัยมีความเห็นว่า หากมีการนำหน่วยประมวลผลกราฟิก เข้ามาพัฒนาให้มีการประมวลผลแบบขนานโดยใช้ CUDA มาช่วยในการประมวลผลการจับการเคลื่อนไหวสามมิติ จะส่งผลให้เวลาที่ใช้ในการประมวลผลลดลง

งานวิจัย DreamWorld ของ (Shujun, Z., Cong, W., Xuqiang, S., & Wei, W., 2009) ได้มีการนำเอา CUDA มาช่วยในการสร้างโมเดลสามมิติ ซึ่งข้อมูลที่ได้มีความเที่ยงตรง และสามารถทำงานแบบ Real time ได้

งานวิจัยของ Kwolek et al. (Kwolek, B., Krzeszowski, T., & Wojciechowski, K., 2011) ได้มีการประยุกต์ Particle Swarm Optimization เข้ามาช่วยในการจับการเคลื่อนไหวสามมิติของมนุษย์ จากกล้องหลายตัว ซึ่งใช้จำนวน particle น้อยกว่าปกติ เพื่อจับการเคลื่อนไหวให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

งานวิจัยของ Zheng Zhang และ Hock Soon Seah (Zhang, Z., & Seah, H. S., 2012) ได้มีการนำเอาหน่วยประมวลผลกราฟิกมาช่วยในการทำหุ่น สามมิติ โดยมีการตรวจสอบฉาก และการเคลื่อนที่ของแบบ และมีการนำเอา Particle Swarm Optimization เข้ามาช่วยในการประมาณการทำของแบบบนหน่วยประมวลผลกราฟิก

งานวิจัยของ Xiaolin Wei et al. (Wei, X., Zhang, P., & Chai, J., 2012)

ได้มีการจับการเคลื่อนไหวสามมิติ โดยใช้กล้องเดียว ซึ่งมีการแก้ปัญหานี้โดยใช้วิธี Maximum A Posteriori (MAP) รวมทั้งการเอารูปแบบของมนุษย์ใส่เข้าไปซ้ำ ๆ เพื่อให้ระบบสามารถตรวจสอบความลึกได้งานชิ้นนี้สามารถแก้ปัญหาการตรวจจับการเคลื่อนไหวที่ผิดพลาด และสามารถนำไปพัฒนาแบบขนาน โดยใช้หน่วยประมวลผลกราฟิกได้

งานวิจัยของ Bian et al. (Bian, Y., Zhao, X., Song, J., & Liu, Y., 2012) ได้มีการพัฒนาการจับการเคลื่อนไหวสามมิติโดยไม่ต้องใช้มาร์คเกอร์ และมีการตรวจจับการเคลื่อนไหว แบบขนาน โดยใช้ไลบรารีโอเพนซีแอล (OpenCL) ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้สามารถทำงานได้แบบ Real time และมีความแม่นยำ อยู่ในอัตราส่วน 106 เมื่อเปรียบเทียบกับการทำงานแบบตามลำดับ ซึ่งขึ้นอยู่กับจำนวน particle ที่ตรวจจับ

งานวิจัยของ Muratov et al. (Muratov, O., Slynko, Y., Chernov, V., Lyubimtseva, M., Shamsuarov, A., & Bucha, V., 2016) ได้มีการนำเสนอวิธีการจับการเคลื่อนไหวสามมิติ โดยใช้สมาร์ตโฟน ซึ่งเป็นกล้องเดียว ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้นำเสนอถึงวิธีการคำนวณหาความลึก จากนั้นจึงสร้างวัตถุสามมิติขึ้น รวมทั้งมีการนำไปประมวลผลโดยใช้ OpenCL บนเครื่องที่สามารถทำงานบน OpenCL ได้

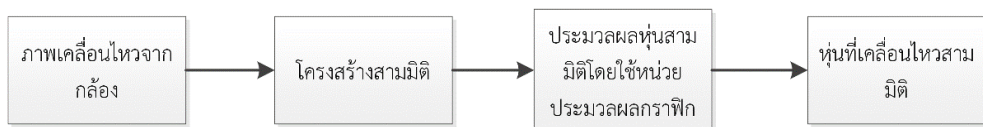
งานวิจัยของ Mokhov et al. (Mokhov, S. A., Song, M., Llewellyn,

J., Zhang, J., Charette, A., Wu, R., & Ge, S., 2016) ได้มีการนำเสนอวิธีการนำเอา Kinect 3 เครื่อง มาทำงานร่วมกันภายใน 1 แอปพลิเคชัน เพื่อแก้ปัญหาความผิดพลาดระหว่างการทำงานของกระบวนการเคลื่อนไหวสามมิติ อย่างไรก็ตามงานวิจัยนี้ยังไม่สามารถทำงานได้บน CUDA เนื่องจากข้อจำกัดของเครื่องมือวิจัย

ในบทความนี้กล่าวถึงเนื้อหาตามลำดับดังนี้ วัตถุประสงค์ของการวิจัยซึ่งหัวข้อนี้จะแสดงถึงวัตถุประสงค์การวิจัย จากนั้นจะนำเสนอเกี่ยวกับวิธีการดำเนินงานวิจัย เพื่ออธิบายขั้นตอนการทำการวิจัย และวิธีการทดลอง จากนั้นจะมีการนำเสนอผลการทดลองที่ได้ และจะมีการสรุป อภิปรายผลเป็นส่วนสุดท้าย และแนวทางในการพัฒนาต่อ

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

ในงานวิจัยชิ้นนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาการจับภาพวิดีโอสามมิติจากกล้อง Kinect ที่มีการทำงานแบบตามลำดับ ให้มีการทำงานแบบขนาน โดยมีการดึงทรัพยากรจากหน่วยประมวลผลอื่นคือ หน่วยประมวลผลกราฟิก มาใช้ในการประมวลผลภาพสามมิติได้ เพื่อให้เวลาที่ใช้ในการประมวลผลลดลง โดยใช้ CUDA Toolkit ในงานนี้ จะมีการทดสอบการประมวลผลวิดีโอหุ่นสามมิติของมนุษย์ และทดสอบหา ความเร็วที่เพิ่มขึ้นเพื่อเปรียบเทียบหาประสิทธิภาพ



ภาพที่ 1 รูปแบบการพัฒนาอัลกอริธึม

ที่มา : อภิสิตธิ์ รัตนตรานุรักษ์. (2559) วาดภาพ

วิธีดำเนินการวิจัย

ในงานวิจัยนี้ จะมีการพัฒนาแอปพลิเคชันสำหรับจับภาพเคลื่อนไหวสามมิติ โดยนำเอาภาพเคลื่อนไหวที่ได้ไปประมวลผล และสร้างตำแหน่งสามมิติบนหน่วยประมวลผลกราฟิก เมื่อประมวลผลแล้วจะได้ผลลัพธ์เป็นหุ่นสามมิติของมนุษย์ที่ประมวลผลภาพแล้ว ซึ่งในงานวิจัยนี้

ผู้วิจัยได้มีการเรียกใช้ไลบรารีจากกล้อง Kinect เพื่อเชื่อมต่อเข้ากับซอฟต์แวร์ที่พัฒนาขึ้น โดยงานนี้จะมีการปรับปรุงการประมวลผลหุ่นสามมิติของมนุษย์จากอัลกอริธึมต้นฉบับ ให้มีการทำงานแบบขนานโดยใช้ CUDA Toolkit และสร้างหุ่นสามมิติของมนุษย์ขึ้น โดยวิธีการดำเนินการวิจัยนี้มีกระบวนการดังภาพที่ 1

จากภาพที่ 1 ภาพเคลื่อนไหวสามมิติ จะได้รับการบันทึกผลจากกล้อง โดยในงานวิจัยชิ้นนี้ผู้วิจัยได้เลือกใช้กล้อง Kinect ในการรับภาพเคลื่อนไหว โดยภาพเคลื่อนไหวที่ได้นั้นจะได้รับการประมวลผลจากกล้อง Kinect และส่งข้อมูลโครงสร้างสามมิติมาให้แอปพลิเคชัน จากนั้นแอปพลิเคชันที่จะมีการประมวลผลหุ่นสามมิติของมนุษย์จากโครงสร้างที่ได้ โดยการส่งค่าตำแหน่งข้อต่อไปยังหน่วยประมวลผลกราฟิก เพื่อให้ประมวลผล และสร้างหุ่นสามมิติของมนุษย์ขึ้นมาในทุกเฟรม

ในการประมวลผลแบบตามลำดับนั้น ในการประมวลผลการจับภาพเคลื่อนไหวสามมิติเพื่อสร้างเป็นหุ่นสามมิติของมนุษย์นั้นจะต้องมีการประมวลผลในแต่ละเฟรม โดยในแต่ละเฟรมจะประกอบไปด้วย การประมวลผลโครงสร้างของหุ่นสามมิติของมนุษย์ในแต่ละส่วน โดยแต่ละส่วนนั้นจะต้องมีการต่อจุดของโครงสร้าง เพื่อสร้างหุ่นสามมิติของมนุษย์ ซึ่งโดยปกติแล้ว การสร้างหุ่นโดยทั่วไปจะมีการทำงานแบบตามลำดับ และวนซ้ำ สร้างหุ่นจากโครงสร้างไปเรื่อย ๆ จนกระทั่งครบทุกส่วนประกอบของหุ่น ดังภาพที่ 2

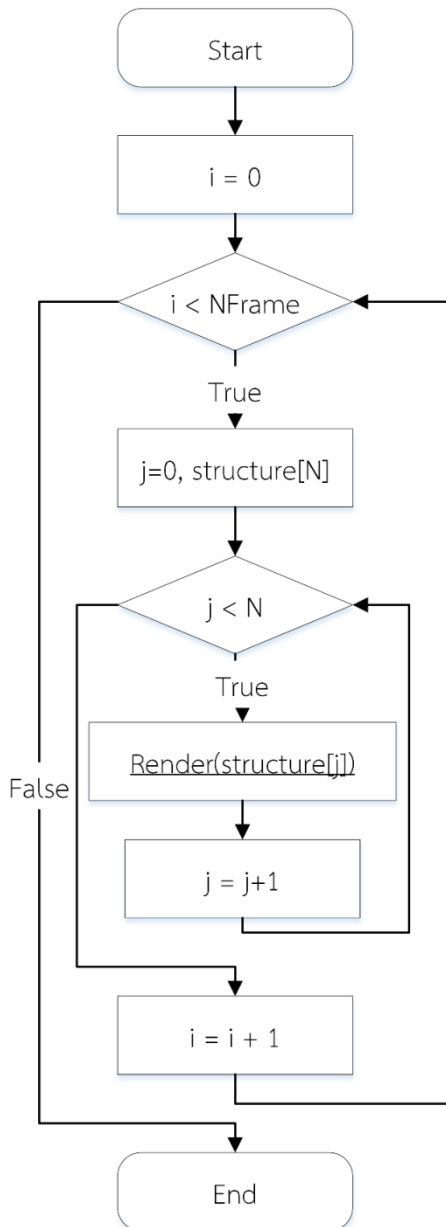
ในการพัฒนาให้การสร้างหุ่นสามมิติของมนุษย์นั้นมีการทำงานแบบขนานได้ จะต้องมีการปรับปรุง 2 ส่วน คือส่วนของโฮสต์ (Host) หรือในที่นี้คือฝั่งหน่วยประมวลผลกลาง และส่วนของอุปกรณ์ (Devices) ในที่นี้คือหน่วยประมวลผลกราฟิก โดยในส่วนของโฮสต์นั้นจะมี

การปรับปรุงโดยการสร้าง อาร์เรย์ เก็บค่าโครงสร้างของหุ่นจากนั้นทุกเฟรม และทุกส่วนโครงสร้าง จากนั้นกำหนดตำแหน่งค่าใน block ของหน่วยประมวลผลกราฟิก ด้วย blockIdx ตามด้วยแกนที่กำหนด ซึ่งในที่นี้สามารถประมวลผลได้พร้อมกัน จึงมีการกำหนดทั้ง x และ y ดังภาพที่ 3

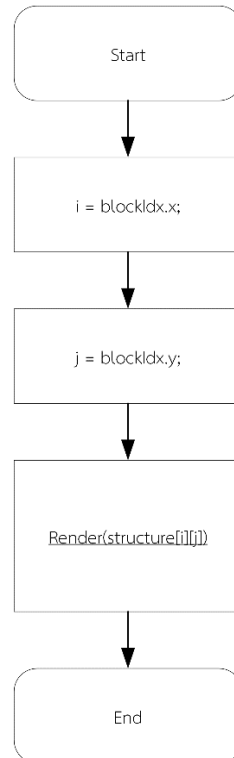
การประมวลผลลักษณะนี้มีข้อจำกัดด้วยจำนวนแกนประมวลผลของหน่วยประมวลผลกราฟิก เนื่องจากข้อมูลมีจำนวนมากกว่าแกนหน่วยประมวลผล แม้ว่าจำนวนแกนหน่วยประมวลผลจะมีมากก็ตาม หากแกนประมวลผลมีค่าเป็น c และข้อมูลเป็น x.y งานที่แบ่งไปจะได้เพียง x.y/c เท่านั้น

ผลการวิจัย

ในงานวิจัยนี้ได้มีการพัฒนาแอปพลิเคชันในการจับภาพสามมิติโดยใช้หน่วยประมวลผลกราฟิก บนตัวแปร และสภาพแวดล้อม ใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ Intel Core i7 ซึ่งประกอบไปด้วยหน่วยประมวลผลกลาง 4 แกน และสามารถทำงานแบบ Hyper Thread ได้ โดยมีหน่วยความจำหลัก 8 GB หน่วยประมวลผลกราฟิก NVIDIA Geforce GT 630M ประกอบไปด้วย VRAM 2 GB บนระบบปฏิบัติการ Windows 8.1 64 bit นอกจากนี้ใช้ NVIDIA SDK version 1.8 ซึ่งประกอบไปด้วย CUDA version 6.5 และใช้ OpenGL เพื่อการสร้างหุ่นสามมิติของมนุษย์ version 4.5 ในส่วนของ Kinect ใช้ version 1.8 ดังตารางที่ 1



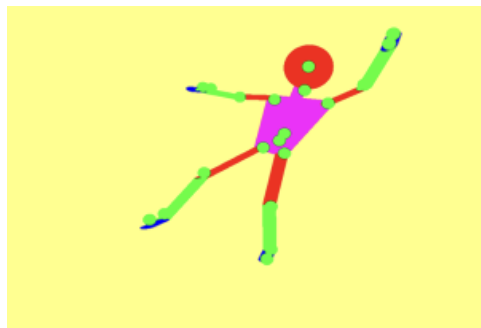
ภาพที่ 2 ผังงานของอัลกอริธึมที่ทำงานแบบตามลำดับ เมื่อ structure คือโครงสร้างของหุ่นแต่ละส่วน NFrame คือ จำนวนเฟรมทั้งหมด และ N คือ จำนวนโครงสร้างของหุ่น
ที่มา : อภิสิทธิ์ รัตนตรานุรักษ์. (2559) วาดภาพ



ภาพที่ 3 ผังงานของอัลกอริธึมที่ทำงานแบบขนาน เมื่อ structure คือโครงสร้างของหุ่นที่เฟรม i และ โครงสร้าง j
ที่มา : อภิสิทธิ์ รัตนตรานุรักษ์. (2559) วาดภาพ

ในการทดสอบจะมีการทดสอบหาเวลาส่วนที่ใช้ไปในการสร้างหุ่นสามมิติของมนุษย์ส่วนใหญ่ โดยจะทดสอบจับเวลาในการสร้างหุ่นแต่ละส่วน บนหน่วยประมวลผลกลาง ได้แก่ส่วนแขนซ้าย และมือซ้าย ส่วนแขนขวาและมือขวา ส่วนหัวและลำตัว ส่วนขาซ้ายและเท้าซ้าย ส่วนขาขวาและเท้าขวา ดังภาพที่ 4 เพื่อหาบริเวณที่ใช้เวลาในการสร้างหุ่นที่มากที่สุด เพื่อตัดสินใจในการเลือกพัฒนาให้มี

การทำงานแบบขนานด้วยหน่วยประมวลผลกราฟิก โดยเมื่อพัฒนาแบบขนานแล้วจะมีการเปรียบเทียบกันของเวลาระหว่างหน่วยประมวลผลกลาง และหน่วยประมวลผลกราฟิก และหาความเร็วที่เพิ่มขึ้น เปรียบเทียบกัน ซึ่งจะทดลองบน 300 เฟรม คิดค่าเฉลี่ย 10 ครั้ง โดยตัวแปรที่ใช้ในการทดลองได้แสดงไว้ดังตารางที่ 2



ภาพที่ 4 หุ่นสามมิติที่สร้างขึ้น
ที่มา : ธนพนธ์. (2559) วาดภาพ

ตารางที่ 1 สภาพแวดล้อมในการทดลอง

ชนิดของสภาพแวดล้อม	สภาพแวดล้อมที่ใช้ในการทดลอง
หน่วยประมวลผลกลาง	Intel Core i7-3610QM 2.3 GHz 4 cores with Hyper Threading Technology
หน่วยความจำหลัก	8 GB
หน่วยประมวลผลกราฟิก	NVIDIA Geforce GT 630M VRAM 2GB
ระบบปฏิบัติการ	Windows 8.1
CUDA version	6.5
OpenGL version	4.5
NVIDIA SDK version	1.8
Kinect version	1.8

ตารางที่ 2 ตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง

ตัวแปร	ค่า
ส่วนของหุ่นสามมิติของมนุษย์	ส่วนแขนซ้ายและมือซ้าย ส่วนแขนขวาและมือขวา หัว และลำตัว ส่วนขาซ้ายและเท้าซ้าย ส่วนขาขวาและเท้าขวา
อุปกรณ์ที่ใช้ในการประมวลผล	หน่วยประมวลผลกลาง หน่วยประมวลผลกราฟิก
จำนวนเฟรม	300 เฟรม (ขนาด 640x480 พิกเซล ที่ 30 เฟรม/วินาที)

ตารางที่ 3 ค่าเฉลี่ยเวลา (ไมโครวินาที) ในการสร้างหุ่นสามมิติ ในแต่ละส่วน ต่อ 1 เฟรม บนหน่วยประมวลผลกลาง

	ส่วนแขนซ้าย และมือซ้าย	ส่วนแขนขวา และมือขวา	หัวและลำตัว	ส่วนขาซ้าย และเท้าซ้าย	ส่วนขาขวา และเท้าขวา
เวลา	435.19	398.31	347.48	412.81	467.95
ร้อยละ	21.11	19.32	16.85	20.02	22.70

ตารางที่ 4 ค่าเฉลี่ยเวลา (ไมโครวินาที) ในการสร้างหุ่นสามมิติ ในแต่ละส่วน ต่อ 1 เฟรม บนหน่วยประมวลผลกราฟิก

	ส่วนแขนซ้าย และมือซ้าย	ส่วนแขนขวา และมือขวา	หัวและลำตัว	ส่วนขาซ้าย และเท้าซ้าย	ส่วนขาขวา และเท้าขวา
เวลา	5.9589	5.4557	4.6735	5.6245	6.2642
ร้อยละ	21.30	19.50	16.70	20.10	22.40

ตารางที่ 5 การเปรียบเทียบความเร็วที่เพิ่มขึ้นกับงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

	งานวิจัยนี้	Shujun, Z., Cong, W., Xuqiang, S., & Wei, W., 2009	Bian, Y., Zhao, X., Song, J., & Liu, Y., 2012
ความละเอียด	640x480 (30 fps)	640x512 (30 fps)	704x576
ความเร็วที่เพิ่มขึ้น	73.74	46.82	105.07

จากตารางที่ 3 แสดงเวลาในการสร้างหุ่นในแต่ละเฟรม ได้แก่ ส่วนแขนซ้ายและมือซ้ายใช้เวลาร้อยละ 21.11 ส่วนแขนขวาและมือขวาใช้เวลาร้อยละ 19.32 หัวและลำตัวใช้เวลาร้อยละ 16.85 ส่วนขาซ้ายและเท้าซ้ายใช้เวลาร้อยละ 20.02 และส่วนขาขวาและเท้าขวา ใช้เวลาร้อยละ 22.70 โดยเฉลี่ย ซึ่งจะเห็นว่าแต่ละส่วนใช้เวลาใกล้เคียงกัน ประมาณ 20% ดังนั้น ความสำคัญในการพัฒนาให้มีการทำงานแบบขนานโดยใช้หน่วยประมวลผลกราฟิก

ในแต่ละส่วนมีความสำคัญใกล้เคียงกัน ดังนั้นในงานวิจัยนี้จะมีการพัฒนาให้แอปพลิเคชันมีการทำงานแบบขนานในทุกส่วน จากภาพที่ 5 แสดงเวลาที่ใช้ในการประมวลผลเปรียบเทียบระหว่างหน่วยประมวลผลกลาง และหน่วยประมวลผลกราฟิก ซึ่งจะเห็นว่าจากการทดลองหน่วยประมวลผลกราฟิกใช้เวลาที่ใช้ในการประมวลผลน้อยกว่าหน่วยประมวลผลกลาง โดยค่าเฉลี่ยของหน่วยประมวลผลกลางอยู่ที่ 2188.85 ไมโครวินาที และค่าเฉลี่ย

ของหน่วยประมวลผลกราฟิกอยู่ที่ 29.70 ไมโครวินาที เมื่อทดสอบบน 300 เฟรม

เมื่อนำเวลามาวิเคราะห์ในแต่ละส่วนของหุ่นสามมิติของมนุษย์ จะได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4 ซึ่งจะเห็นว่าเวลาที่ใช้ในการประมวลผลแต่ละส่วนมีค่าลดลงในร้อยละที่มีความใกล้เคียงกัน

จากภาพที่ 6 แสดงความเร็วที่เพิ่มขึ้นของหน่วยประมวลผลกราฟิก ซึ่งค่าความเร็วที่เพิ่มขึ้น เป็นสัดส่วนระหว่างเวลาที่ใช้ในการประมวลผลด้วยหน่วยประมวลผลกลาง และเวลาที่ใช้ในการประมวลผลด้วยหน่วยประมวลผลกราฟิก จะเห็นว่าค่าเฉลี่ยของ ความเร็วที่เพิ่มขึ้น อยู่ที่ 73.74 เมื่อทดสอบบน 300 เฟรม และได้มีการเปรียบเทียบความเร็วที่เพิ่มขึ้นกับงานวิจัยที่เกี่ยวข้องดังตารางที่ 5

สรุปและอภิปรายผล

ในงานวิจัยชิ้นนี้จะเห็นว่ามีการพัฒนาแอปพลิเคชันการจับการเคลื่อนไหวสามมิติที่ทำงานบนหน่วยประมวลผลกลาง ให้มีการประมวลผลบนหน่วยประมวลผลกราฟิก โดยใช้ CUDA ซึ่งเป็นไลบรารีของ NVIDIA ซึ่งความเร็วที่เพิ่มขึ้น ที่ได้อยู่ที่ 73.74 เมื่อทดสอบบนการจับเคลื่อนไหว 300 เฟรม

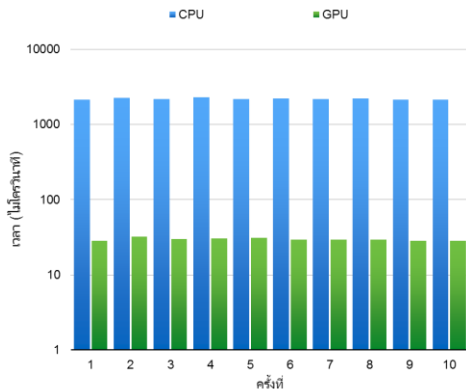
จากการทดสอบในการจับการเคลื่อนไหวสามมิติโดยนำมาสร้างเป็นหุ่น โดยมีการทดลองในแต่ละส่วน ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้ปรากฏว่า ในการสร้างหุ่นแต่ละส่วนนั้นใช้เวลาในการประมวลผลใกล้เคียงกัน และใช้

เวลาในการประมวลผลสูง ประมาณ 20% ซึ่งด้วยความใกล้เคียงกันนี้ จึงสามารถนำไปพัฒนาโปรแกรมให้มีการประมวลผลบนหน่วยประมวลผลกราฟิกได้

นอกจากนี้การทดลองจะเห็นว่า แม้ว่าหน่วยประมวลผลกราฟิกจะมีความถี่สัญญาณนาฬิกาแต่ละแกนน้อยกว่าหน่วยประมวลผลกลาง แต่จำนวนแกนของหน่วยประมวลผลกราฟิกนั้นมีจำนวนมากกว่าหน่วยประมวลผลกลางมาก ซึ่งมีจำนวน CUDA cores ถึง 96 แกน ดังนั้น เวลาที่ใช้ในการสร้างหุ่นสามมิติของมนุษย์จึงใช้น้อยกว่า

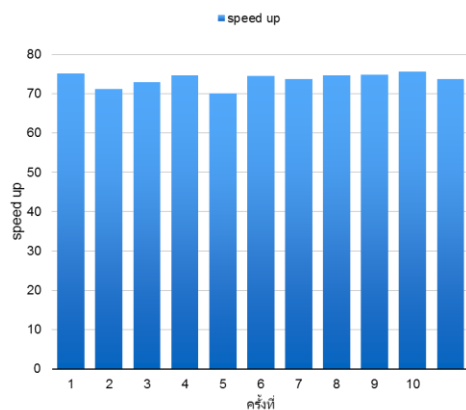
งานในอนาคตของงานวิจัยชิ้นนี้สามารถพัฒนาให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยการสร้างหุ่นให้มีความละเอียดสูงมากยิ่งขึ้น จะส่งผลให้ใช้เวลาในการสร้างหุ่นสูงมากขึ้นเช่นกันเมื่อใช้หน่วยประมวลผลกลาง หากส่งไปให้หน่วยประมวลผลกราฟิกไปประมวลผลจะส่งผลให้ใช้เวลาไม่สูงเท่าหน่วยประมวลผลกลาง

นอกจากนี้ยังสามารถพัฒนาการสร้างหุ่นสามมิติของมนุษย์ให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นโดยการนำเอาหน่วยประมวลผลกลางประมวลผลพร้อมกันกับหน่วยประมวลผลกราฟิก ซึ่งอาจจะใช้ไลบรารี OpenCL ในการประมวลผลแทน CUDA ซึ่งจะส่งผลให้ประสิทธิภาพในการสร้างหุ่นสามมิติของมนุษย์เพิ่มมากยิ่งขึ้น



ภาพที่ 5 เวลาการประมวลผลระหว่างหน่วยประมวลผลกลาง และหน่วยประมวลผลกราฟิก 10 ครั้ง

ที่มา : อภิสิทธิ์ รัตนตรานุรักษ์. (2559) วาดภาพ



ภาพที่ 6 ความเร็วที่เพิ่มขึ้นของการประมวลผล โดยใช้ หน่วยประมวลผลกราฟิก 10 ครั้ง

ที่มา : อภิสิทธิ์ รัตนตรานุรักษ์. (2559) วาดภาพ

เอกสารอ้างอิง

AMD (2011). OpenCL programming guide. จาก <http://developer.amd.com/sdks/AMDAPPSDK/documentation>.

Bian, Y., Zhao, X., Song, J., & Liu, Y. (2012, November). Parallelized annealed particle filter for real-time marker-less motion tracking via heterogeneous computing. In Pattern Recognition (ICPR), 2012 21st International Conference on (pp. 2444-2447). IEEE.

Khronos OpenCL Working Group (2010). The OpenCL Specification (version 1.1).

Kwalek, B., Krzeszowski, T., & Wojciechowski, K. (2011, August). Swarm intelligence based searching schemes for articulated 3D body motion tracking. In International Conference on Advanced Concepts for Intelligent Vision Systems (pp. 115-126). Springer Berlin Heidelberg.

Moeslund, T. B., & Granum, E. (2001). A survey of computer vision-based human motion capture. Computer vision and image understanding, 81(3), 231-268.

Mokhov, S. A., Song, M., Llewellyn, J., Zhang, J., Charette, A., Wu, R., & Ge, S. (2016, July). Real-time collection and analysis of 3-Kinect v2 skeleton data in a single application. In ACM SIGGRAPH 2016 Posters (p. 53). ACM.

- Muratov, O., Slynko, Y., Chernov, V., Lyubimtseva, M., Shamsuarov, A., & Bucha, V. (2016). 3DCapture: 3D Reconstruction for a Smartphone. In Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops (pp. 75-82).
- NVIDIA, C. U. D. A. (2007). Compute unified device architecture programming guide.
- NVIDIA. (2009). NVIDIA OpenCL Jump start guide
- Shujun, Z., Cong, W., Xuqiang, S., & Wei, W. (2009, May). DreamWorld: CUDA-accelerated real-time 3D modeling system. In 2009 IEEE International Conference on Virtual Environments, Human-Computer Interfaces and Measurements Systems (pp. 168-173). IEEE.
- Wei, X., Zhang, P., & Chai, J. (2012). Accurate realtime full-body motion capture using a single depth camera. ACM Transactions on Graphics (TOG), 31(6), 188.
- Zhang, Z., & Seah, H. S. (2012, December). CUDA acceleration of 3D dynamic scene reconstruction and 3D motion estimation for motion capture. In Parallel and Distributed Systems (ICPADS), 2012 IEEE 18th International Conference on (pp. 284-291). IEEE.

ประสิทธิภาพของถ่านกัมมันต์จากขานอ้อยและเหง้ามันสำปะหลังในการ บำบัดน้ำเสียจากการย้อมไหม

Efficiency of Bagasse and Cassava Rhizome Activated Carbon on Dyed Silk Wastewater Treatment

อรนิจ อุปรี^{1*}, ศัญญา สิริวิทยาปกรณ²

^{1*,2} ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Email : Oranit.aw@gmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณสมบัติที่เหมาะสมต่อการเตรียมถ่านกัมมันต์จากขานอ้อยและเหง้ามันสำปะหลังและเปรียบเทียบความสามารถในการดูดติดผิวของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากขานอ้อยและเหง้ามันสำปะหลัง ซึ่งกระตุ้นด้วยโซเดียมคลอไรด์และเถ้า รวมถึงศึกษาลักษณะทางกายภาพของถ่านกัมมันต์ที่ได้จากขานอ้อย และเหง้ามันสำปะหลัง จากผลการทดลอง พบว่า คุณสมบัติที่เหมาะสมในการเผาวัตถุดิบให้เป็นถ่านพร้อมกับการกระตุ้น คือ 900 องศาเซลเซียส ซึ่งทำให้ถ่านก่อนกระตุ้นกระตุ้นด้วยโซเดียมคลอไรด์และเถ้า มีค่าไอโอดีนนัมเบอร์และโมลาลนัมเบอร์สูงสุด เมื่อเปรียบเทียบความสามารถในการดูดติดผิวแล้ว พบว่า โดยรวมแล้วถ่านขานอ้อยที่กระตุ้นด้วยโซเดียมคลอไรด์และเถ้ามีค่าไอโอดีนนัมเบอร์และโมลาลนัมเบอร์สูงกว่าถ่านเหง้ามันสำปะหลัง โดยมีค่าไอโอดีนนัมเบอร์สูงสุดเท่ากับ 655.68 มิลลิกรัมต่อกรัม และมีค่าโมลาลนัมเบอร์เท่ากับ 230.46 มิลลิกรัมต่อกรัม และจากการศึกษาลักษณะทางกายภาพของถ่านกัมมันต์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด พบว่า ถ่านขานอ้อยส่วนใหญ่จะมีรูพรุนหนาแน่นอยู่เต็มพื้นที่ รูพรุนมีขนาดใหญ่และลึก สำหรับถ่านเหง้ามันสำปะหลังที่กระตุ้นด้วยโซเดียมคลอไรด์มีรูพรุนมาก เรียงตัวเป็นระเบียบหนาแน่น ในส่วนที่กระตุ้นด้วยเถ้าจะมีรูพรุนกระจายตัวอยู่ไม่หนาแน่นมากนัก ถ่านกัมมันต์ที่ได้จากวัสดุทั้งสองชนิดนี้สามารถนำไปบำบัดน้ำเสียที่เกิดจากการฟอกย้อมผ้าได้ รวมถึงนำไปเป็นตัวดูดซับสีและกลิ่นในการบำบัดน้ำและอากาศได้อีกด้วย

คำสำคัญ : ถ่านกัมมันต์, ขานอ้อย, เหง้ามันสำปะหลัง, ไอโอดีนนัมเบอร์, โมลาลนัมเบอร์

Abstract

This research aimed to study the proper temperature to prepare the activated carbon from bagasse and cassava rhizome and compare adsorbing ability of the activated carbon made from bagasse and cassava rhizome activated with sodium chloride and ash. The physical characteristics of these activated carbons were also investigated. The proper temperature to burned the raw materials into the charcoal with activation was at 900 degrees celsius. The charcoal before activated with sodium chloride and ash had the highest iodine number and molasses number. When comparing adsorbing ability, the results showed that overall bagasse activated carbon had higher iodine number than cassava rhizome activated carbon, with the highest iodine number at 655.68 milligram per gram and molasses number at 230.46 milligram per gram and from the study the physical characteristics of the activated carbon with Scanning Electron Microscope (SEM), bagasse activated carbon had high porous density with small and deep pore size. For cassava rhizome activated carbon that activated with sodium chloride, the porous density was high. However, when activated with ash the cassava rhizome activated carbon will be porous density lower. The activated carbon from both materials can be used for dyed silk wastewater treatment. As well as to adsorb the color and odor of the water and the air.

Keywords : Activated carbon, Bagasse, Cassava rhizome, Iodine number, Molasses number

บทนำ

ปัจจุบันมีมลสารที่ถูกปล่อยลงสู่แหล่งน้ำและปนเปื้อนอยู่ในน้ำเสียมากมาย ซึ่งส่งผลกระทบต่ออย่างรุนแรงต่อสภาพแวดล้อมและส่งผลถึงสุขภาพอนามัยของมนุษย์ รวมทั้งการสะสมในแหล่งน้ำ ดิน ตะกอน และห่วงโซ่อาหาร เมื่อมนุษย์กินพืชหรือสัตว์ที่มีมลสารปนเปื้อน มลสารเหล่านั้นก็จะเข้าสู่ร่างกายและสะสมในปริมาณที่เพิ่มขึ้น (ปริญธร เต็มญารศิลป์, 2551)

น้ำเสียชุมชน (Domestic Wastewater) เป็นน้ำเสียที่เกิดจากกิจกรรมประจำวันของประชาชนที่อาศัยอยู่ในชุมชน และกิจกรรมที่เป็นอาชีพ ได้แก่ น้ำเสียที่เกิดจากการประกอบอาหารและชำระล้างสิ่งสกปรกทั้งหลายภายในครัวเรือน และอาคารประเภทต่าง ๆ เป็นต้น น้ำเสียที่เกิดจากการย้อมไหมเป็นหนึ่งในน้ำเสียชุมชนที่ยังคงเป็นปัญหาอยู่เนื่องจากในปัจจุบันพบว่าน้ำทิ้งที่เกิดจากการฟอกย้อมสีของกลุ่มอาชีพและวิสาหกิจชุมชนที่ผลิตผ้าทอเป็นจำนวนมากได้ถูกเททิ้งสู่ธรรมชาติโดยไม่มีการบำบัด ซึ่งมีผลกระทบต่อสภาพสิ่งแวดล้อมและระดับน้ำใต้ดินของชุมชน ทำให้บางพื้นที่ไม่สามารถใช้น้ำจากบ่อน้ำในชุมชนได้

การดูดซับโดยใช้ถ่านกัมมันต์ (Activated carbon) เป็นวิธีการบำบัดน้ำเสียจากการย้อมไหมที่นิยมที่สุด แต่วิธีการนี้เสียค่าใช้จ่ายสูงมากเนื่องจาก ถ่านกัมมันต์มีราคาสูง และต้องนำเข้าจาก

ต่างประเทศเนื่องจากการผลิตภายในประเทศไม่เพียงพอ จึงมีการพิจารณานำวัสดุชนิดอื่นที่มีราคาต่ำกว่ามาสังเคราะห์เพื่อใช้แทนถ่านกัมมันต์ ซึ่งจะส่งผลให้ต้นทุนในการบำบัดน้ำเสียต่ำลงมาก วัสดุที่นำมาใช้แทนมักเป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร ได้แก่ ชังข้าวโพด เปลือกถั่วเหลือง แกลบ ขานอ้อย ก้านดอกทานตะวัน เป็นต้น (ธนกร จันทสุบรรณ, 2545) นอกจากนี้ยังมี ฟางข้าว ยอดใบอ้อย กากไยปาล์ม กะลาปาล์ม เหง้ามันสำปะหลัง เศษเปลือกไม้ยูคาลิปตัส (ธราพงศ์ วิจิตสานต์, 2554) ที่สามารถนำมาผลิตถ่านกัมมันต์ได้

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเตรียมถ่านกัมมันต์จากขานอ้อยและเหง้ามันสำปะหลังและเปรียบเทียบความสามารถในการดูดติดผิวของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากขานอ้อยและเหง้ามันสำปะหลัง ซึ่งกระตุ้นด้วยโซเดียมคลอไรด์และเถ้า รวมถึงศึกษาลักษณะทางกายภาพของถ่านกัมมันต์ที่ได้จากขานอ้อยและเหง้ามันสำปะหลัง

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาหาอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเตรียมถ่านกัมมันต์จากขานอ้อยและเหง้ามันสำปะหลังโดยวิธีทางเคมี
2. เพื่อเปรียบเทียบความสามารถในการดูดติดผิวของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากขานอ้อยและเหง้ามันสำปะหลังซึ่งกระตุ้นด้วยโซเดียมคลอไรด์และสารละลายเถ้าลอย

3. เพื่อศึกษาลักษณะทางกายภาพของถ่านกัมมันต์ที่ได้จากขานอ้อย และเห้งน้ำมันสำปะหลัง

ระเบียบวิธีวิจัย

การศึกษาได้ออกแบบการทดลองออกเป็น 4 ช่วง

ช่วงที่ 1 การเตรียมถ่านกัมมันต์จากขานอ้อยและเห้งน้ำมันสำปะหลัง

แบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอนคือการคาร์บอนิซ์ขานอ้อยและเห้งน้ำมันสำปะหลัง ทำการทดลองโดยการนำขานอ้อย และเห้งน้ำมันสำปะหลังมาลดขนาด และตากแดดจนแห้ง จากนั้นนำเข้าเตาอบเพื่อไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในตู้อบความชื้น แล้วนำเข้าเตาเผาโดยเผาด้วยอุณหภูมิ 500,700 และ 900 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 8 นำถ่านที่ร่อนแล้วไปอบไล่ความชื้นที่อุณหภูมิและเวลาเดิม ขั้นตอนที่สองเป็นการกระตุ้นถ่านกัมมันต์ด้วยสารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว และสารละลายเกลือ โดยนำถ่านมาแช่สารละลายดังกล่าวที่อัตราส่วนถ่านต่อสารกระตุ้น 1:2 เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำไปอบไล่ความชื้นที่อุณหภูมิและเวลาเดิม และเผากระตุ้นอีกครั้งหนึ่งที่อุณหภูมิเช่นเดียวกับขั้นตอนการคาร์บอนิเซชัน นำถ่านออกมาล้างด้วยน้ำประปาให้ฟิเอชเป็นกลางแล้วนำไปอบไล่ความชื้นอีกครั้ง

ช่วงที่2 การศึกษาการดูดซับไอโอดีนและโมลาสนมเบอร์

เป็นการวิเคราะห์ค่าการดูดซับไอโอดีนของถ่านกัมมันต์ตามมาตรฐาน ASTM D2867 (ลลิตา นิทัศน์จารุกุล, 2544) ทดลองโดยการนำถ่านที่กระตุ้นแล้วมาบดให้ละเอียดจนสามารถร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 100 เมช และ 325 เมช ได้ จากนั้นนำไปบดไล่ความชื้นที่ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ประมาณค่าน้ำหนักของถ่านที่จะใช้ในการทดลอง 3 ค่าน้ำหนักใส่ในขวดรูปชมพู่แล้วเติมกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 5% นำไปตั้งบน hot plate ในตู้ดูดควันเพื่อไล่ซัลเฟอร์ออก ทิ้งไว้ให้เย็นแล้วเติมสารละลายไอโอดีน 0.1 N จากนั้นนำมากรองผ่านกระดาษกรองพับจีบหมายเลข 42 แล้วนำสารละลายที่กรองได้มาไตเตรทด้วยสารละลายโซเดียมไฮโอซัลเฟต บันทึกข้อมูลและนำค่าไปคำนวณการดูดซับ

สำหรับการวัดโมลาสนมเบอร์อ้างอิงจากการทำงานของวณสิริ ประยูรพรหม (2539) โดยการนำถ่านที่กระตุ้นแล้วมาบดให้ละเอียดจนสามารถร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 325 เมช ซึ่งถ่านกัมมันต์และถ่านกัมมันต์อ้างอิง (ทราบค่าโมลาสนมเบอร์) ลงในขวดรูปชมพู่ เติมสารละลาย โมลาสจำนวน 50 มล. กวนด้วยแท่งแก้วแล้วนำไปต้มให้เดือด จากนั้นนำมากรองด้วยกระดาษกรองพับจีบหมายเลข 5 นำสารละลายที่กรองได้ไปวัด Abs ที่ 425 นาโนเมตร นำผลที่วัดได้มาคำนวณหาโมลาสนมเบอร์

ช่วงที่3 การวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพของถ่านกัมมันต์

นำตัวอย่างถ่านกัมมันต์ที่มีค่าไอโอดีนนัมเบอร์และโมลาสนัมเบอร์สูงที่สุดไปวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพโดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

(Scanning Electron Microscope: SEM) ที่กำลังขยาย 100,400 และ 800 เท่า

ผลการวิจัย

1. อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเตรียมถ่านกัมมันต์จากขานอ้อยและเหง้ามันสำปะหลังโดยวิธีทางเคมี

Iodine number

อุณหภูมิที่ใช้เผา(°C)	ก่อน		หลัง					
	อ้อย (mg/g)	มัน (mg/g)	NaCl		เถ้า		น้ำกลั่น	
			อ้อย (mg/g)	มัน (mg/g)	อ้อย (mg/g)	มัน (mg/g)	อ้อย (mg/g)	มัน (mg/g)
500	249.37	351.26	399.60	466.11	411.61	437.31	403.00	455.62
700	375.30	420.55	534.68	536.72	575.17	548.42	589.64	595.20
900	497.06	521.28	655.68	589.44	609.93	655.44	610.43	617.17

จากผลการทดสอบไอโอดีนนัมเบอร์พบว่า ถ่านขานอ้อยและเหง้ามันสำปะหลังก่อนและหลังกระตุ้นด้วยสารละลายโซเดียมคลอไรด์และสารละลายเถ้าลอยมีค่าไอโอดีนนัมเบอร์สูงที่สุดเมื่อเผาด้วยอุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส เมื่อพิจารณาถ่านขานอ้อยจะเห็นว่าถ่านขานอ้อยที่กระตุ้นด้วยโซเดียมคลอไรด์มีค่าไอโอดีนสูงกว่าถ่านขานอ้อยที่กระตุ้นด้วย

สารละลายเถ้าลอยและน้ำกลั่นซึ่งสูงถึง 655.68 มก./ก. ส่วนถ่านเหง้ามันสำปะหลังที่กระตุ้นด้วยสารละลายเถ้าลอยจะมีค่าไอโอดีนนัมเบอร์สูงกว่าสารกระตุ้นอื่น ๆ ซึ่งสูงถึง 655.44 มก./ก. สรุปได้ว่า ถ่านขานอ้อยและเหง้ามันสำปะหลังที่เผาด้วยอุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส เหมาะสมสำหรับนำไปดูดซับสารโมเลกุลเล็กได้ดี

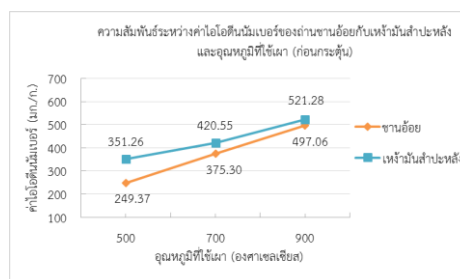
Molasses number

อุณหภูมิที่ใช้เผา (°C)	ก่อน		หลัง					
	อ้อย (mg/g)	มัน (mg/g)	NaCl		เถ้า		น้ำกลั่น	
			อ้อย (mg/g)	มัน (mg/g)	อ้อย (mg/g)	มัน (mg/g)	อ้อย (mg/g)	มัน (mg/g)
500	247.86	269.89	251.16	209.3	253.37	219.22	254.47	218.12
700	272.46	282.37	225.09	211.14	214.08	208.57	201.22	200.78
900	287.52	299.63	230.46	185.80	222.52	183.60	180.29	199.76

จากผลการทดสอบโมลาสнімเบอร์พบว่า ถ่านชานอ้อยและเห้งน้ำมันสำปะหลังก่อนกระตุ้นด้วยสารละลายโซเดียมคลอไรด์และสารละลายเถ้าลอยมีค่าโมลาสнімเบอร์สูงที่สุดเมื่อเผาด้วยอุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส แต่หลังกระตุ้นด้วยสารละลายโซเดียมคลอไรด์และสารละลายเถ้าลอย พบว่า ค่าโมลาสнімเบอร์จะสูงที่สุดเมื่อเผาด้วยอุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส และเมื่อพิจารณาถ่านที่กระตุ้นและไม่กระตุ้น พบว่า ถ่านที่ไม่กระตุ้นมีค่าโมลาสнімเบอร์สูงกว่าสรุปได้ว่า ถ่านชานอ้อยและเห้งน้ำมันสำปะหลังที่เผาด้วยอุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส และไม่ผ่านการกระตุ้นเหมาะสมสำหรับนำไปดูดซับสารโมเลกุลใหญ่มากกว่าถ่านที่ผ่านการกระตุ้น

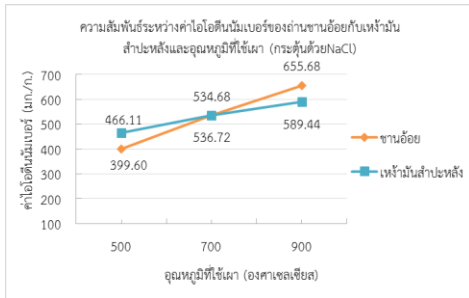
2. ความสามารถในการดูดติดผิวของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากชานอ้อยและเห้งน้ำมันสำปะหลัง

Iodine number



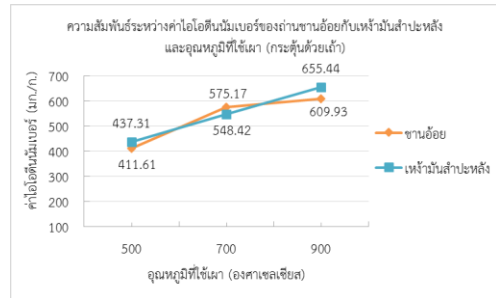
ภาพที่ 1 Iodine number ของถ่านชานอ้อยและเห้งน้ำมันสำปะหลังก่อนกระตุ้นทางเคมีเทียบกับอุณหภูมิที่ใช้เผา

จากภาพที่ 1 พบว่าถ่านเห้งน้ำมันสำปะหลังมีค่าไอโอดีนนัมเบอร์สูงกว่าถ่านชานอ้อยทั้งสามอุณหภูมิแสดงว่าถ่านเห้งน้ำมันสำปะหลังมีประสิทธิภาพในการดูดซับสารโมเลกุลเล็กดีกว่าถ่านชานอ้อยจากอุณหภูมิ 500 ถึง 700 องศาเซลเซียสจะเห็นว่ายิ่งเพิ่มอุณหภูมิขึ้นค่าไอโอดีนนัมเบอร์ก็จะยิ่งสูงขึ้น แต่เมื่อเพิ่มอุณหภูมิถึง 900 องศาเซลเซียส ถ่านทั้งสองชนิดมีค่าไอโอดีนนัมเบอร์ใกล้เคียงกันแสดงให้เห็นว่าถ่านทั้งสองชนิดมีประสิทธิภาพในการดูดซับสารโมเลกุลเล็กใกล้เคียงกันเมื่ออุณหภูมิสูง



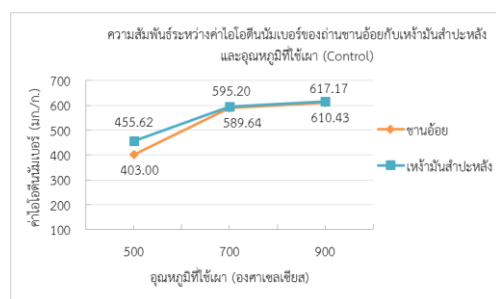
ภาพที่ 2 Iodine number ของถ่านขานอ้อยและเหง้ามันสำปะหลังหลังถูกกระตุ้นด้วย NaCl เทียบกับอุณหภูมิที่ใช้เฝ้า

จากภาพที่ 2 พบว่า ที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส ถ่านเหง้ามันสำปะหลังมีค่าไอโอดีนัมเบอร์สูงกว่าถ่านขานอ้อย แต่เมื่อเพิ่มอุณหภูมิสูงถึง 900 องศาเซลเซียส ปรากฏว่าถ่านขานอ้อยมีค่าไอโอดีนัมเบอร์สูงกว่าถ่านเหง้ามันสำปะหลัง แสดงว่า ถ่านเหง้ามันสำปะหลังมีประสิทธิภาพในการดูดซับสารโมเลกุลเล็กดีกว่าถ่านขานอ้อยที่อุณหภูมิต่ำเท่านี้ เมื่อเพิ่มอุณหภูมิสูงขึ้นถ่านขานอ้อยจะมีประสิทธิภาพในการดูดซับสารโมเลกุลเล็กดีกว่า และเมื่อพิจารณาแนวโน้มของกราฟ จะเห็นว่าถ่านจากขานอ้อยมีแนวโน้มค่าไอโอดีนัมเบอร์สูงขึ้นอีกเมื่อเพิ่มอุณหภูมิขึ้น



ภาพที่ 3 Iodine number ของถ่านขานอ้อยและเหง้ามันสำปะหลังที่ถูกกระตุ้นด้วย เถ้าเทียบกับอุณหภูมิที่ใช้เฝ้า

จากภาพที่ 3 พบว่าถ่านเหง้ามันสำปะหลังมีค่าไอโอดีนัมเบอร์สูงกว่าถ่านขานอ้อยเล็กน้อยที่อุณหภูมิ 500 และ 900 องศาเซลเซียส แต่เมื่อพิจารณาแนวโน้มของกราฟ จะเห็นว่าถ่านเหง้ามันสำปะหลังมีค่าไอโอดีนัมเบอร์สูงขึ้นอย่างต่อเนื่องเมื่อเพิ่มอุณหภูมิ แสดงว่าถ่านเหง้ามันสำปะหลังที่กระตุ้นด้วยสารละลายเถ้าลอยมีประสิทธิภาพในการดูดซับสารโมเลกุลเล็กได้ดีกว่าถ่านขานอ้อย

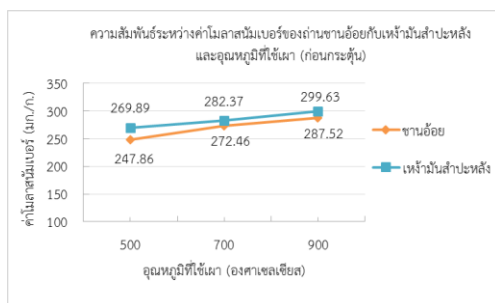


ภาพที่ 4 Iodine number ของถ่านขานอ้อยและเหง้ามันสำปะหลังที่กระตุ้นด้วยน้ำกลั่น(control) เทียบกับอุณหภูมิที่ใช้เฝ้า

จากภาพที่ 4 พบว่า ที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส ถ่านเหล่าน้ำส้มมีค่าไอโอดีนนัมเบอร์สูงกว่าถ่านขานอ้อย แต่เมื่อเพิ่มอุณหภูมิสูงขึ้นจะเห็นว่าถ่านทั้งสองชนิดมีค่าไอโอดีนนัมเบอร์ใกล้เคียงกันมาก แสดงว่า ถ่านเหล่าน้ำส้มมีประสิทธิภาพในการดูดซับสารโมเลกุลเล็กดีกว่าถ่านขานอ้อยในอุณหภูมิต่ำเท่านั้น เมื่อเพิ่มอุณหภูมิสูงขึ้นจะมีประสิทธิภาพในการดูดซับใกล้เคียงกัน

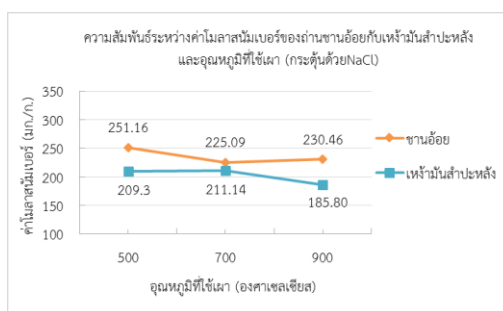
จากผลการทดสอบการดูดซับไอโอดีนของถ่านกัมมันต์ขานอ้อยและเหล่าน้ำส้ม พบว่า ถ่านเหล่าน้ำส้มมีค่าไอโอดีนนัมเบอร์สูงกว่าถ่านขานอ้อย แสดงว่ามีประสิทธิภาพในการดูดซับสารโมเลกุลเล็กดีกว่าถ่านขานอ้อยแต่นำถ่านทั้งสองชนิดมากระตุ้นแล้วพบว่าโดยรวมแล้วถ่านขานอ้อยมีค่าไอโอดีนนัมเบอร์สูงกว่าถ่านเหล่าน้ำส้ม ดังนั้น ถ่านขานอ้อยมีประสิทธิภาพในการดูดซับสารโมเลกุลเล็กได้ดีกว่าถ่านเหล่าน้ำส้ม

Molasses number



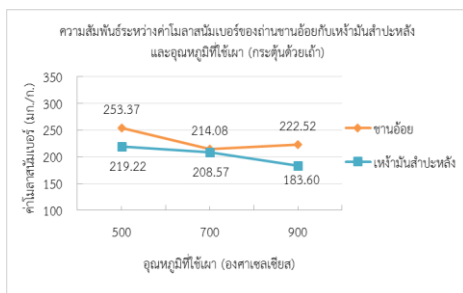
ภาพที่ 5 Molasses number ของถ่านขานอ้อยและเหล่าน้ำส้มสำหรับใช้เผาทางเคมีเทียบกับอุณหภูมิที่ใช้เผา

จากภาพที่ 5 พบว่าถ่านเหล่าน้ำส้มมีค่าโมลาสนัมเบอร์สูงกว่าถ่านขานอ้อยทั้งสามอุณหภูมิ แสดงว่า ถ่านเหล่าน้ำส้มมีประสิทธิภาพในการดูดซับสารโมเลกุลใหญ่ได้ดีกว่าถ่านขานอ้อย แต่เมื่อเพิ่มอุณหภูมิสูงขึ้นจะเห็นว่าถ่านเหล่าน้ำส้มมีประสิทธิภาพในการดูดซับสารโมเลกุลใหญ่ได้ดีกว่าถ่านขานอ้อยเพียงเล็กน้อยเท่านั้น



ภาพที่ 6 Molasses number ของถ่านขานอ้อยและเหล่าน้ำส้มสำหรับใช้เผากระตุ้นด้วย NaCl เทียบกับอุณหภูมิที่ใช้เผา

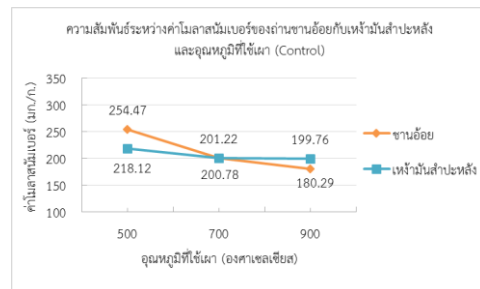
จากภาพที่ 6 พบว่า ถ่านขานอ้อยมีค่าโมลาสнімเบอร์สูงกว่าถ่านเหง้ามันสำหรับทั้งสามอุณหภูมิ แต่ถ่านทั้งสองชนิดที่กระตุ้นด้วยโซเดียมคลอไรด์มีแนวโน้มของค่าโมลาสнімเบอร์ลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น แสดงว่าถ่านทั้งสองชนิดมีประสิทธิภาพในการดูดซับสารโมเลกุลใหญ่ลดลงเมื่อเพิ่มอุณหภูมิขึ้น



ภาพที่ 7 Molasses number ของถ่านขานอ้อยและเหง้ามันสำหรับที่ถูกระตุ้นด้วยเกลือเทียบกับอุณหภูมิที่ใช้เผา

จากภาพที่ 7 พบว่า ถ่านขานอ้อยมีค่าโมลาสнімเบอร์สูงกว่าถ่านเหง้ามันสำหรับทั้งสามอุณหภูมิ แต่ถ่านทั้งสองชนิดที่กระตุ้นด้วยโซเดียมคลอไรด์มีแนวโน้มของค่าโมลาสнімเบอร์ลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น แสดงว่าถ่านทั้งสองชนิดมีประสิทธิภาพในการดูดซับสารโมเลกุลใหญ่ลดลงเมื่อเพิ่มอุณหภูมิขึ้น และเมื่อพิจารณาแนวโน้มของกราฟจะเห็นว่าถ่านเหง้ามันสำหรับมีแนวโน้มของค่าโมลาสнімเบอร์ลดลงอย่างต่อเนื่องแสดงว่า เมื่อกระตุ้นถ่านทั้งสองชนิดด้วยสารละลายเกลือถ่านเหง้ามันสำหรับมีประสิทธิภาพใน

การดูดซับสารโมเลกุลใหญ่ได้ต่ำกว่าถ่านขานอ้อยเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น



ภาพที่ 8 Molasses number ของถ่านขานอ้อยและเหง้ามันสำหรับที่กระตุ้นด้วยน้ำกลั่น(Control) เทียบกับอุณหภูมิที่ใช้เผา

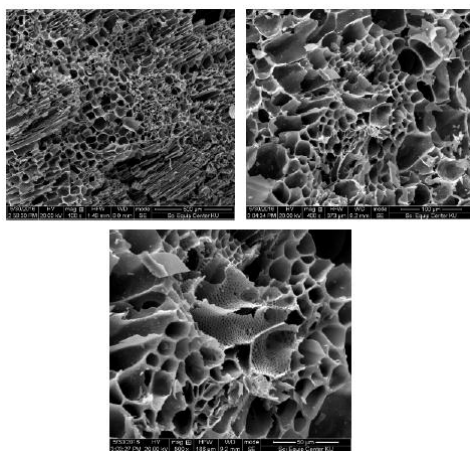
จากภาพที่ 8 พบว่า ถ่านขานอ้อยมีค่าโมลาสнімเบอร์สูงกว่าถ่านเหง้ามันสำหรับทั้งสามอุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส แต่เมื่อเพิ่มอุณหภูมิขึ้นกลับมีค่าโมลาสнімเบอร์ลดลงอย่างต่อเนื่อง แสดงว่าถ่านขานอ้อยที่เป็นถ่านควบคุม (ไม่ใช้สารกระตุ้น) มีประสิทธิภาพในการดูดซับสารโมเลกุลใหญ่ได้ดีที่อุณหภูมิต่ำเท่านั้น ส่วนถ่านเหง้ามันสำหรับมีแนวโน้มของค่าโมลาสнімเบอร์ลดลงเพียงเล็กน้อย

จากการทดสอบโมลาสнімเบอร์ของถ่านขานอ้อยและเหง้ามันสำหรับ พบว่าถ่านเหง้ามันสำหรับก่อนกระตุ้นด้วยสารละลายโซเดียมคลอไรด์และเกลือลอยมีค่าโมลาสнімเบอร์สูงกว่าขานอ้อย แสดงว่า มีประสิทธิภาพในการดูดซับสารโมเลกุลใหญ่ได้ดีกว่าถ่านขานอ้อยแต่นำถ่านทั้งสองชนิดมากระตุ้นพบว่าโดยรวมแล้ว

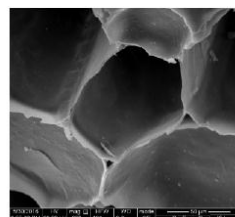
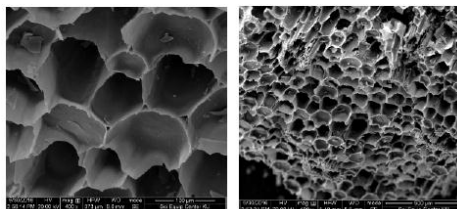
ถ่านขานอ้อยมีค่าโมลาสันัมเบอร์สูงกว่าถ่านห้ำมันสำปะหลัง ดังนั้น ถ่านขานอ้อยมีประสิทธิภาพในการดูดซับสารโมเลกุลใหญ่ได้ดีกว่าถ่านห้ำมันสำปะหลัง

3. ลักษณะทางกายภาพของถ่านกัมมันต์ที่ได้

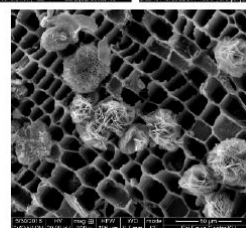
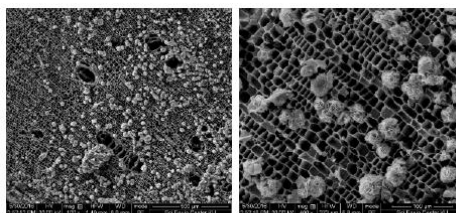
จากขานอ้อยและห้ำมันสำปะหลัง นำถ่านกัมมันต์ที่มีค่า Iodine number และ Molasses number สูงสุด ไปวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพของถ่านกัมมันต์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope: SEM) ที่กำลังขยาย 100, 400 และ 800 เท่า ได้ผลดังนี้



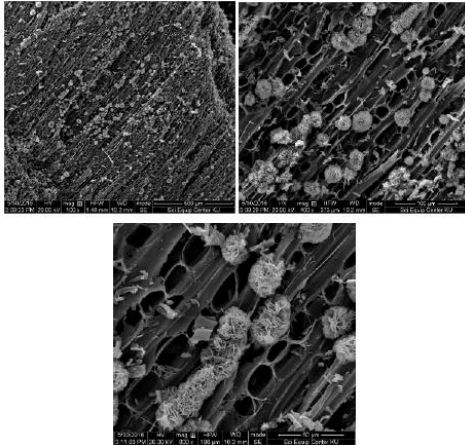
ภาพที่ 9, 10 และ 11 แสดงลักษณะโครงสร้างพื้นผิว และรูพรุนของถ่านขานอ้อยที่ถูกกระตุ้นด้วยสารละลายโซเดียมคลอไรด์ เมื่อใช้กำลังขยาย 100, 400 และ 800 เท่า ตามลำดับ



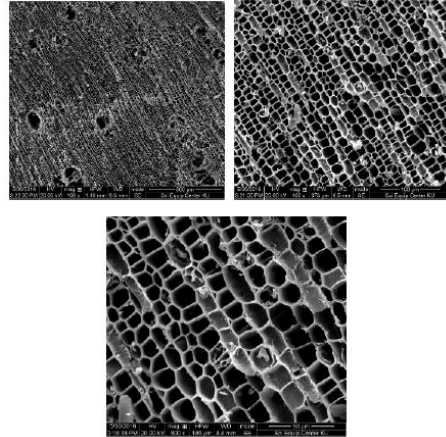
ภาพที่ 12, 13 และ 14 แสดงลักษณะโครงสร้างพื้นผิว และรูพรุนของถ่านขานอ้อยที่ถูกกระตุ้น ด้วยสารละลายเถ้าลอย เมื่อใช้กำลังขยาย 100, 400 และ 800 เท่า ตามลำดับ



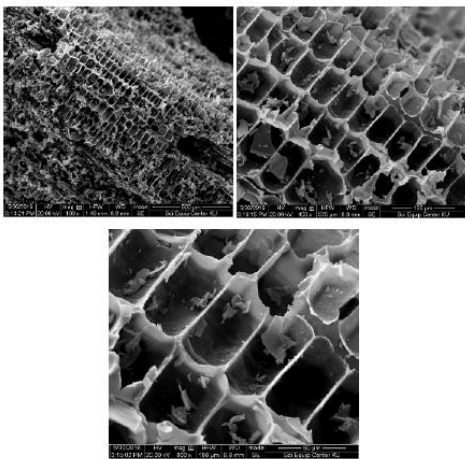
ภาพที่ 15, 16 และ 17 แสดงลักษณะโครงสร้างพื้นผิว และรูพรุนของถ่านห้ำมันสำปะหลังที่ถูกกระตุ้นด้วยสารละลายโซเดียมคลอไรด์ เมื่อใช้กำลังขยาย 100, 400 และ 800 เท่า ตามลำดับ



ภาพที่ 18, 19 และ 20 ลักษณะโครงสร้างพื้นผิว และรูพรุนของถ่านเหง้ามันสำปะหลังที่ถูกกระตุ้นด้วยสารละลายเอ้าลอย เมื่อใช้กำลังขยาย 100, 400 และ 800 เท่า ตามลำดับ



ภาพที่ 24, 25 และ 26 แสดงลักษณะโครงสร้างพื้นผิว และรูพรุนของถ่านเหง้ามันสำปะหลังที่ไม่ได้ผ่านการกระตุ้น (Control) เมื่อใช้กำลังขยาย 100, 400 และ 800 เท่า



ภาพที่ 21, 22 และ 23 แสดงลักษณะโครงสร้างพื้นผิว และรูพรุนของถ่านชานอ้อยที่ไม่ได้ผ่านการกระตุ้น เมื่อใช้กำลังขยาย 100, 400 และ 800 เท่า ตามลำดับ

จากภาพลักษณะโครงสร้างพื้นผิว และรูพรุนของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากชานอ้อยและเหง้ามันสำปะหลังเมื่อใช้กำลังขยาย 100, 400 และ 800 เท่า สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ลักษณะของถ่านกัมมันต์ที่ได้จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

วัตถุต้น	สภาวะ	ลักษณะที่ปรากฏ
ชานอ้อย	กระตุ้นด้วย NaCl	มีรูพรุนจำนวนมากอยู่เต็มพื้นที่ รูขนาดเล็กและเล็กกระจุกตัวอยู่บริเวณเดียวกัน และมีรูพรุนขนาดใหญ่อยู่บริเวณโดยรอบ
	กระตุ้นด้วยเอ้า	มีรูพรุนขนาดใหญ่อยู่เต็มพื้นที่ กระจายตัวสม่ำเสมอ รูพรุนมีขนาดกว้าง รูเล็กและตันสลับกันไป
	ถ่านควบคุม	มีรูพรุนหนาแน่นอยู่เต็มพื้นที่ จัดเรียงตัวกันคล้ายขี้ข้าวโพด ลักษณะของรูตัน ไม่ลึกมากนัก และเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาดเล็ก
เหง้ามันสำปะหลัง	กระตุ้นด้วย NaCl	มีรูพรุนมาก เรียงตัวเป็นระเบียบอย่างหนาแน่น รูพรุนมีลักษณะเล็กและลึก
	กระตุ้นด้วยเอ้า	มีรูพรุนกระจายตัวอยู่ไม่หนาแน่น แต่เรียงตัวเป็นระเบียบในแนวเดียวกัน ลักษณะรูพรุนเล็กและลึก
	ถ่านควบคุม	มีรูพรุนมาก หนาแน่นอยู่เต็มพื้นที่ เรียงตัวกันคล้ายเม็ดข้าวโพด รูพรุนมีขนาดเล็กและลึก

สรุปและอภิปรายผล

1. อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเตรียม ถ่านกัมมันต์จากขานอ้อยและเหง้ามันสำปะหลังโดยวิธีทางเคมี

เมื่อพิจารณาจากค่าไอโอดีนนัมเบอร์พบว่า ถ่านขานอ้อยและเหง้ามันสำปะหลังก่อนและหลังกระตุ้นด้วยสารละลายโซเดียมคลอไรด์และสารละลายเถ้าลอยมีค่าไอโอดีนนัมเบอร์สูงที่สุดเมื่อเผาด้วยอุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส แสดงว่าถ่านที่เผาด้วยอุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส เหมาะสมสำหรับการเตรียมถ่านกัมมันต์ทั้งสองชนิดเพื่อนำไปใช้ในการดูดซับสารโมเลกุลขนาดเล็กมากที่สุด และเมื่อพิจารณาจากค่าโมลาสนัมเบอร์พบว่า ถ่านขานอ้อยและเหง้ามันสำปะหลังก่อนกระตุ้นมีค่าโมลาสนัมเบอร์สูงที่สุด เมื่อเผาด้วยอุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส ดังนั้น เหมาะสมสำหรับเตรียมถ่านกัมมันต์ เพื่อนำไปใช้ในการดูดซับสารโมเลกุลใหญ่

2. ความสามารถในการดูดติดผิวของ ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากขานอ้อยและเหง้ามันสำปะหลัง

ถ่านเหง้ามันสำปะหลังมีประสิทธิภาพในการดูดซับสารโมเลกุลเล็กได้ดีกว่าถ่านขานอ้อยก่อนการกระตุ้นด้วยโซเดียมคลอไรด์และเถ้าเท่านั้น เมื่อเพิ่มอุณหภูมิขึ้นถ่านขานอ้อยที่กระตุ้นด้วยโซเดียมคลอไรด์และเถ้าจะมีประสิทธิภาพในการดูดซับสารโมเลกุลเล็กได้ดีกว่า และยิ่งเพิ่มอุณหภูมิสูงขึ้นอีก ค่าไอโอดีนนัมเบอร์จะยิ่งสูงขึ้น (Ceyhan et al., 2013) และ

ถ่านขานอ้อยยังมีค่าโมลาสนัมเบอร์สูงกว่า ถ่านเหง้ามันสำปะหลังทั้งสามอุณหภูมิ แสดงว่าสามารถดูดซับสารโมเลกุลใหญ่ได้ดีกว่าถ่านเหง้ามันสำปะหลัง แต่จากแนวโน้มของกราฟ พบว่าหลังจากมีการกระตุ้นถ่านด้วยโซเดียมคลอไรด์และเถ้า ค่าโมลาสนัมเบอร์ลดลง และยิ่งอุณหภูมิเพิ่มมากขึ้น ค่าโมลาสนัมเบอร์ก็ยิ่งลดลง แสดงว่าประสิทธิภาพในการดูดซับสารลดลงด้วย (Ahmednaet al., 2000) ค่าโมลาสนัมเบอร์แปรผันตรงขนาดรูพรุนของ ถ่านกัมมันต์เม็ด (วจนสิริ ประยูรพรหม, 2539)

3. ลักษณะทางกายภาพของ ถ่านกัมมันต์ที่ได้จากขานอ้อยและเหง้ามันสำปะหลัง

ภาพ ถ่านกัมมันต์ที่ได้จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ถ่านขานอ้อยส่วนใหญ่จะมีรูพรุนหนาแน่น อยู่เต็มพื้นที่ รูพรุนมีขนาดใหญ่และเล็ก สำหรับถ่านเหง้ามันสำปะหลังที่กระตุ้นด้วยโซเดียมคลอไรด์มีรูพรุนมาก เรียงตัวเป็นระเบียบหนาแน่น ในส่วนที่กระตุ้นด้วยเถ้าจะมีรูพรุนกระจายตัวอยู่ไม่หนาแน่นมาก

ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะที่ได้จากการวิจัยในครั้งนี้

1. ควรมีการเปรียบเทียบอัตราส่วนของสารกระตุ้นกับถ่านที่อัตราส่วนแตกต่างกัน เพื่อทราบแนวโน้มของค่าไอโอดีนนัมเบอร์และโมลาสนัมเบอร์

2. ควรมีการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพของถ่านกัมมันต์ก่อนกระตุ้นด้วยเพื่อเปรียบเทียบลักษณะของรูพรุนและโครงสร้างของถ่านกัมมันต์

ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยครั้งต่อไป

1. ควรมีการศึกษาประสิทธิภาพของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากวัสดุทางการเกษตรอื่น ๆ

2. ควรมีการศึกษาศักยภาพของถ่านกัมมันต์โดยใช้ตัวชี้วัดอื่น เช่น การดูดซับสารละลายเมทิลีนบลู การดูดซับไนโตรเจน เป็นต้น

3. ควรมีการศึกษากำหนดถ่านกัมมันต์ไปบำบัดน้ำเสียหลายประเภท เช่น น้ำเสียที่เกิดจากการย้อมผ้า น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม เป็นต้น

เอกสารอ้างอิง

คะนิงนิจ สุวรรณสิงห์. (2557). ประสิทธิภาพของถ่านกัมมันต์จากเศษวัสดุไม้ไผ่ในการบำบัดน้ำเสียจากสีย้อมแอซิด. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

ธนากร จันทสุบรรณ. (2545). ประสิทธิภาพในการกำจัดสีจากน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วจากโรงงานฟอกย้อมของควอเตอร์ไนซ์โครสติกส์เซลลูโลสที่เตรียมจากเส้นใยลูกปาล์ม. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ธราพงษ์ วิทิตตานต์. (2554). ถ่านกัมมันต์การผลิตและการนำไปใช้. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์คลัง นานาวิทยา.

ปรินทร์ เต็มญารศิลป์. (2551). การเตรียมและการวิเคราะห์คุณลักษณะเฉพาะของถ่านกัมมันต์จากไผ่ตงและไผ่หมาจู้. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ลลิตา นิต์ศนจารกุล. (2544). การกำจัดตะกั่วจากน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยกระบวนการดูดติดผิวโดยใช้ถ่านกัมมันต์จากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

วจน์สิริ ประยูรพรหม. (2539). ขนาดรูพรุนที่เหมาะสมของถ่านกัมมันต์เม็ดสำหรับการกำจัดสีจากโรงงานย้อมผ้า. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

Ahmedna M., W.E.M., R.M. Rao. (2000). Production of Granular Activated Carbons from Select Agricultural by-Products and Evaluation of Their Physical, Chemical and Adsorption Properties *Bioresource Technology*. 71 113-123.

Ceyhan, A.A., Ö. Şahin, O. Baytar and
C. Saka. (2013). Surface and Porous
Characterization of Activated Carbon
Prepared from Pyrolysis of Biomass
by Two-Stage Procedure at Low
Activation Temperature and It's
the Adsorption of Iodine. **Journal of
Analytical and Applied Pyrolysis.**
104 378-383.

การดูดซับเมทิลีนบลูของถ่านกัมมันต์จากขี้เลื่อยไม้มะพร้าว Adsorption of Methylene Blue by Activated Carbon from Coconut Sawdust

สุวิทย์ ทองทรัพย์^{1*}, สุดปรารถนา ถิราติ²
มินตรา บุญญชัยกุล³, ปวีณา พลัดพราก⁴, จุไรวัลย์ รัตนะพิสิฐ⁵

^{1*,2,3,4,5} คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

Email: juraivan.r@en.rmutt.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาการดูดซับสีเมทิลีนบลูของถ่านกัมมันต์จากขี้เลื่อยไม้มะพร้าวที่ผ่านการกระตุ้นด้วยกรดฟอสฟอริกในอัตราส่วนเชิงมวลระหว่างขี้เลื่อยต่อกรดฟอสฟอริก 1:1.5 อุณหภูมิ 550°C และเวลา 60 นาที ถ่านกัมมันต์ที่ได้มีพื้นที่ผิว BET ในช่วง 715 - 743 ตารางเมตรต่อกรัม ปัจจัยที่ศึกษาความสามารถการดูดซับสีเมทิลีนบลูของถ่านกัมมันต์ในระบบแบบห่อหุ้มประกอบด้วยความเข้มข้นของสารละลายเมทิลีนบลูเริ่มต้นพีเอช และอุณหภูมิเพื่อใช้ในวิเคราะห์กลไกจลนศาสตร์การดูดซับและไอโซเทิร์ม การวิเคราะห์จลนศาสตร์การดูดซับทดสอบโดยใช้แบบจำลองชนิดอันดับหนึ่งและอันดับสอง ผลการวิเคราะห์ พบว่า แบบจำลองชนิดอันดับสองเหมือนสอดคล้องกับผลการทดลองมากกว่า ในขณะที่การทดสอบไอโซเทิร์มการดูดซับชนิดแลงเมียร์ และฟรุนดลิชต่อผลการทดลอง พบว่า แบบจำลองทั้งสองให้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจที่ใกล้เคียงกัน

คำสำคัญ : ถ่านกัมมันต์, การดูดซับ, เมทิลีนบลู, ขี้เลื่อยไม้มะพร้าว

Abstract

In this work, activated carbon from coconut sawdust were prepared using phosphoric acid as chemical activating agent under impregnation ration of 1:1.5 (wt : wt) of phosphoric acid and sawdust at temperature 550°C and 60 min. A BET surface was examined in a range of 715-743 m²/g. Batch adsorption capacities of methylene blue on the coconut sawdust with respect to the initial dye concentration, pH and temperature were investigated and analyzed to the kinetics adsorption and its isotherm. The kinetic models of the pseudo first order and the pseudo second order were analyzed. Kinetic studies showed that the kinetic data were well described by the pseudo second order kinetic model. Also the experimental data were investigated using Langmuir and Freundlich isotherm model. It showed that both isotherms were well fitted based on the coefficients of determination R².

Keywords : Activated carbon, Adsorption, Methylene blue, Coconut sawdust

บทนำ

น้ำเสียจากอุตสาหกรรมฟอกย้อมมีผลกระทบกว้างกับสิ่งแวดล้อม ลักษณะน้ำเสียมีสีเข้ม มีความเป็นพิษจากสีย้อมและการปนเปื้อนของโลหะ (Konicki, 2013) การบำบัดน้ำเสียของอุตสาหกรรมฟอกย้อมทำได้หลายวิธี เช่น การใช้แบคทีเรียย่อยสลาย การใช้สารเคมีเพื่อรวมและตกตะกอน รวมทั้งการใช้เมมเบรนและการแลกเปลี่ยนไอออน เป็นต้น วิธีการดังกล่าวมีข้อจำกัดแตกต่างกัน เช่น ระยะเวลาที่ต้องใช้ ความยากง่ายในการทำงาน ปริมาณสารเคมี และต้นทุนการทำงาน เป็นต้น (Aljeboree, 2014; Ghaedi, 2012) สำหรับกระบวนการดูดซับเป็นอีกหนึ่งวิธีที่นิยมใช้ เพราะระบบติดตั้งง่าย ค่าดำเนินการไม่สูง ทำงานที่สภาวะอุณหภูมิห้องและความดันบรรยากาศ และมีประสิทธิภาพที่ดี การใช้กระบวนการดูดซับเพื่อบำบัดน้ำเสียขึ้น กับ ปัจจัยหลัก คือ ต้นทุน และความสามารถของตัวดูดซับ (Demirbas, 2008; Ghaedi, 2014) ซึ่งถ่านกัมมันต์เป็นตัวดูดซับที่นิยมใช้ ราคาถ่านกัมมันต์เป็นตัวแปรหลักของต้นทุนดำเนินการ ดังนั้นวัสดุที่มีราคาถูกหรือเป็นของเหลือทิ้งจึงเป็นทางเลือกที่สำคัญในการผลิตถ่านกัมมันต์เพื่องานสิ่งแวดล้อม ในทางปฏิบัติถ่านกัมมันต์ในด้านสิ่งแวดล้อมไม่จำเป็นต้องมีคุณภาพสูงเท่าเกรดวิเคราะห์ แต่ต้องมีค่าพื้นที่ผิวที่ยอมรับได้ (Chiou and Chuang, 2006) จากการสำรวจ ประเทศไทยมีการปลูग्มะพร้าวในทุกภาคทั่วประเทศ ในปี

พ.ศ. 2555 มีพื้นที่ปลูग्มะพร้าวประมาณ 1.33 ล้านไร่ เมื่อต้นมะพร้าวให้ผลผลิตน้อยลงจะถูกตัดโค่นไม้มะพร้าวที่ได้จะนำไปแปรรูปในระหว่างการผลิตจะได้เศษไม้และชี้เลื่อยออกมาจำนวนมากซึ่งมีมูลค่าต่ำหรืออาจไม่มีมูลค่าเลยการนำไปใช้ประโยชน์ของเศษไม้และชี้เลื่อยเหล่านี้ยังอยู่ในวงจำกัดและมีมูลค่าการแปรรูปที่ต่ำได้แก่ การใช้ผสมในคอนกรีต อาหารสำหรับเพาะเห็ด การผลิตธูป เป็นต้น ถึงแม้จะมีการนำชี้เลื่อยไม้มะพร้าวไปใช้ประโยชน์ด้านอื่น ๆ ก็ตาม มูลค่าของการแปรรูปชี้เลื่อยยังคงมีไม่สูงมาก ประกอบกับปริมาณชี้เลื่อยไม้มะพร้าวมีปริมาณมากในแต่ละปีและมีคุณภาพดีเพียงพอที่จะทำถ่านกัมมันต์งานวิจัยนี้จึงเลือกใช้ชี้เลื่อยไม้มะพร้าว เพื่อเป็นแนวทางการใช้ประโยชน์เพิ่มขึ้น

เมททิลีนบลูเป็นสารอินทรีย์และเป็นตัวอย่างของสีย้อมประเภทดิสเพิร์ส (Disperse dye) มีสถานะเป็นของแข็งที่อุณหภูมิห้อง ไม่มีกลิ่น และมีสีเขียวเข้มเมื่อละลายน้ำจะให้สารละลายสีน้ำเงิน สารละลายเมททิลีนบลูถูกนำไปใช้งานได้หลากหลาย เช่น สีในกระดาษ สีย้อมในทางการแพทย์ ใช้เป็นดัชนีรีดอกซ์ในเคมีวิเคราะห์ เป็นต้น ดังนั้นงานวิจัยนี้เลือกใช้สารละลายเมททิลีนบลูเป็นตัวอย่างของสีย้อมในการศึกษาการดูดซับ ในช่วงหลายปีที่ผ่านมา มีการศึกษาการผลิตถ่านกัมมันต์จากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรหรือชีวมวลก็ตาม แต่งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการผลิต

ถ่านกัมมันต์จากซีลี้อยู่ไม่หมดเพราะยังมีไม่มากนัก

งานวิจัยนี้ใช้ซีลี้อยู่ไม่หมดเพราะ ซึ่งเป็นชีวมวลเหลือทิ้งมาผลิตถ่านกัมมันต์ โดยนำมาปรับปรุงโครงสร้างทางเคมีด้วย กรดฟอสฟอริก เพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวและความสามารถในการดูดซับให้มีคุณภาพที่ยอมรับได้ และทำการศึกษาปัจจัยของ อุณหภูมิ พีเอชและความเข้มข้นเริ่มต้นของ สารละลายเมทิลีนบลู ต่อความสามารถ การดูดซับเมทิลีนบลูของถ่านกัมมันต์ซีลี้อยู่ไม่หมด รวบรวมทั้งวิเคราะห์ ผลการศึกษากลไกทางจลนศาสตร์และ ไอโซเทอรั่มการดูดซับสีเมทิลีนบลูของ ถ่านกัมมันต์

ระเบียบวิธีวิจัย

1. การผลิตถ่านกัมมันต์

ซีลี้อยู่ไม่หมด จังหวัด นครศรีธรรมราชถูกนำมาใช้ จากนั้นทำการ คัดขนาดด้วยตะแกรงร่อนเพื่อให้ได้ขนาดที่สม่ำเสมอ แล้วเลือกเอาขนาดส่วนใหญ่ เป็นวัตถุดิบในการทดลอง

วิธีการผลิตถ่านกัมมันต์โดยการ กระตุ้นด้วยกรดฟอสฟอริก มาจากการประยุกต์ งานวิจัยของ ศิษฏาภรณ์ เครือสุวรรณ (2549) ใช้การคาร์บอนในเซชันควบคู่กับ การกระตุ้นด้วยกรดฟอสฟอริกในขั้นตอนเดียว ดังนี้ ซีลี้อยู่ไม่หมดผ่านการอบที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมงแล้ว จากนั้นใช้กรดฟอสฟอริกเข้มข้น 50% โดยน้ำหนัก เทผสมในปิกเกอร์ (อัตราส่วน

ซีลี้อยู่ไม่หมด 1:1.5 โดยน้ำหนัก) ตั้งทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง แล้วจึงทำการเผา ณ อุณหภูมิ การกระตุ้น 550 องศาเซลเซียส เวลา 60 นาที จากนั้นล้างถ่านกัมมันต์ที่ได้ด้วย สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 1 M และน้ำกลั่น 3-4 ครั้ง แล้วนำไปอบ อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เวลา 3 ชั่วโมง ถ่านกัมมันต์ที่ได้นำไปวิเคราะห์หาสมบัติ พื้นที่ผิว BET (Autosorb-1, Quantachrome) พบว่า มีค่าอยู่ในช่วง 715-743 m^2/g ในการทดลองนี้ได้ทำการผลิตถ่านกัมมันต์ รอบเดียวจำนวน 5 ครั้ง ถ่านกัมมันต์ที่ ผ่านการอบแห้งแล้ว ถูกเก็บไว้ในภาชนะปิด ดูดความชื้นเพื่อใช้ในการทดลองการดูดซับ ต่อไป

2. การทดลองการดูดซับ

สารละลายเมทิลีนบลู 1000 mg/l ถูกเตรียมโดยชั่งเมทิลีนบลูใส่ในขวด ปริมาตร แล้วใส่น้ำกลั่นปรับปริมาตร จากนั้นให้ปรับความเข้มข้นของสารละลาย โดยการเจือจางด้วย น้ำกลั่นให้ได้ ความเข้มข้นที่ต้องการ

การทดลองการดูดซับสีเมทิลีนบลู บนถ่านกัมมันต์ใช้กระบวนการแบบที่ เวลา ดูดซับ 120 นาที และปริมาตรสารละลาย เมทิลีนบลู 150 มิลลิลิตรคงที่ โดยตลอด การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อความสามารถ การดูดซับสี มีรายละเอียดดังนี้ ซีลี้อยู่ไม่หมด ปริมาณที่ต้องการใส่ในปิกเกอร์ จากนั้น เทสารละลายเมทิลีนบลูความเข้มข้นที่ ต้องการ (100, 150, 200 และ 250 ppm) ในขวดสองคอ จากนั้นนำขวดสองคอที่

บรรจุสารละลายเมทิลีนบลู ใส่ในอ่างควบคุมอุณหภูมิ (30, 40 และ 50°C) ที่มีชุดกวนแม่เหล็กอยู่ภายในพร้อมปรับค่าพีเอชด้วยหยดกรดไฮโดรคลอริก (4, 5, 6 และ 7) หรือโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 M ให้ได้ค่าต้องการ ใส่ถ่านกัมมันต์ที่เตรียมไว้ในบีกเกอร์ลงในขวดสองคอ แล้วจึงเริ่มควบคุมเวลาการดูดซับของชุดการทดลองให้เป็นไปตามกำหนด

ระหว่างการทดลอง มีการดึงตัวอย่างสารละลายในช่วงเวลาเพื่อวิเคราะห์ความเข้มข้นของสารละลายเมทิลีนบลูด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (UV-Vis spectrophotometer ; UV-2401PC-Shimadzu) ณ ความยาวคลื่น 665 nm โดยใช้กราฟความเข้มข้นมาตรฐานที่มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) = 0.998

การวิเคราะห์ผลการทดลองแสดงบนฐานร้อยละความสามารถการจัดสี และความสามารถการดูดซับเมทิลีนบลูบนถ่านกัมมันต์ ณ เวลาใด ๆ และ ณ สมดุล คำนวณได้จากสมการ (1) และ (2)

$$q_t = \frac{C_0 - C_t}{M} \times V \quad (1)$$

$$q_e = \frac{C_0 - C_e}{M} \times V \quad (2)$$

โดย q_t , q_e = ปริมาณการดูดซับสีเมทิลีนบลูของถ่านกัมมันต์ ณ เวลาใด ๆ และ ณ สมดุล (mg/g), C_0 , C_t และ C_e = ความเข้มข้นของเมทิลีนบลูในสารละลาย ณ สภาวะเริ่มต้น เวลาใด ๆ และสมดุลตามลำดับ V = ปริมาตรของสารละลาย

(มิลลิลิตร) และ M = น้ำหนักของถ่านกัมมันต์ (กรัม)

ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล

ผลการทดลองการดูดซับ เมื่อใช้ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายเมทิลีนบลู 100, 150, 200 และ 250 มิลลิกรัมต่อลิตรโดยกำหนดปริมาณถ่านกัมมันต์เริ่มต้น 0.5 กรัมอุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส pH เท่ากับ 6 เวลา 120 นาทีแสดงดังรูปที่ 1 พบว่า เมื่อความเข้มข้นสารละลายเพิ่มขึ้น การดูดซับบนถ่านกัมมันต์เพิ่มขึ้น ทั้งนี้เพราะความเข้มข้นของสารละลายที่สูงขึ้น ส่งผลต่อแรงขับเคลื่อนของมวลของความเข้มข้นเมทิลีนบลูระหว่างสารละลายและบนพื้นผิวที่มากขึ้นทำให้อนุภาคของเมทิลีนบลูเคลื่อนที่เข้าสู่พื้นผิวของถ่านกัมมันต์ได้เร็วขึ้น เพราะสมดุลเชิงมวลทำให้ความเข้มข้นของสารเคลื่อนที่จากบริเวณที่มีความเข้มข้นสูงไปยังบริเวณที่มีความเข้มข้นต่ำกว่า (Karacetin, 2014; รวิินทร์ สุทธะนันท์, 2554)

ร้อยละการกำจัดของความเข้มข้นต่ำมีค่าสูงกว่าความเข้มข้นสูงในช่วงเวลาแรกของการดูดซับ อย่างไรก็ตามเมื่อสิ้นสุดการดูดซับ ถ่านกัมมันต์ทุกความเข้มข้นมีร้อยละการกำจัดเข้าสู่ 100 ทุกค่า แสดงพื้นที่การดูดซับอิ่มตัวด้วยสีเมทิลีนบลูโดยปริมาณสีเมทิลีนบลูในสารละลายที่สูงทำให้มีผลต่อแรงผลักของอนุภาคเมทิลีนบลูที่เกาะบนพื้นผิวกับอนุภาคเมทิลีนบลูในสารละลาย (Ghaedi, 2014)

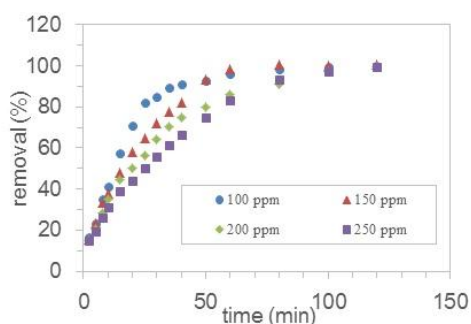
แสดงว่าความเข้มข้นเริ่มต้นมีผลต่อการดูดซับ

ผลการทดลองการดูดซับเมื่อใช้อุณหภูมิ 30, 40 และ 50°C แสดงดังรูปที่ 2 พบว่า เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น มีผลทำให้ความสามารถการดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลูเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ อย่างไรก็ตามไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างอุณหภูมิ 40 และ 50°C นอกจากนี้ในช่วงเริ่มต้นการดูดซับ ณ อุณหภูมิ 40 และ 50°C ความสามารถในการดูดซับมีค่าใกล้เคียงกัน อุณหภูมิที่สูงขึ้นมีผลต่อพลังงานจลน์ ทำให้การเคลื่อนที่ได้เร็วขึ้น (รวินทร์ สุทธะนันท์, 2554)

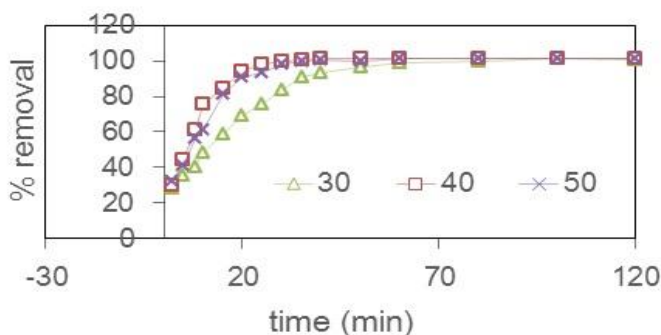
ผลการทดลองการดูดซับ เมื่อใช้ความเป็นกรดต่าง pH 4, 5, 6 และ 7 โดยกำหนดปริมาณถ่านกัมมันต์เริ่มต้น 0.2 กรัม ณ ความเข้มข้นเริ่มต้น 75 mg/l สารละลายเมทิลีนบลูความเข้มข้น 75 มิลลิกรัมต่อลิตร อุณหภูมิ 30°C เวลา 120 นาที แสดงดังรูปที่ 3 การดูดซับเมทิลีนบลูที่ดีเกิดขึ้นที่ค่าพีเอชเท่ากับ 6 ซึ่งให้ผลการทดลองที่

สอดคล้องกับงานวิจัยของ Bestani และคณะพบว่าค่าพีเอชมีผลต่อปริมาณดูดซับและต่อแรงดึงดูดระหว่างประจุลบบนพื้นผิวถ่านกัมมันต์และประจุบวกของสีย้อม

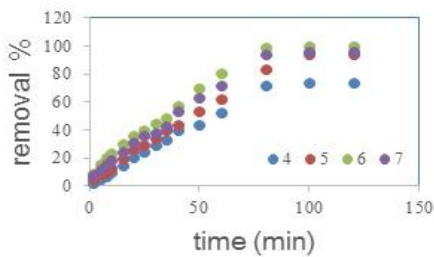
เมื่อพล็อตข้อมูลระหว่างปริมาณการดูดซับเทียบกับความเข้มข้นตามชนิดแบบจำลองได้ความสัมพันธ์ดังรูปที่ 4-5 พบว่า ค่าสหสัมพันธ์ (R^2 , linear regression square) ของทั้งสองไอโซเทิร์มมีค่าใกล้เคียงกัน



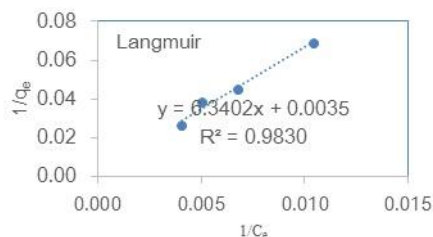
ภาพที่ 1 ร้อยละการกำจัดเมทิลีนบลูที่ความเข้มข้นเริ่มต้นต่าง ๆ เทียบกับเวลา



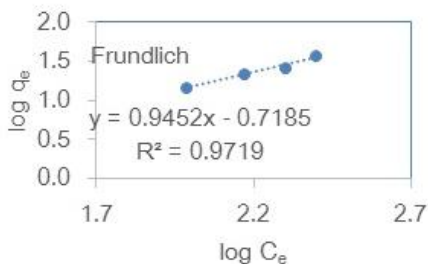
ภาพที่ 2 ร้อยละการกำจัดเมทิลีนบลูที่อุณหภูมิ 30, 40 และ 50 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 3 ร้อยละการกำจัดสีเมทิลีนบลู
ที่ค่าพีเอชเท่ากับ 4, 5, 6 และ 7



ภาพที่ 4 ไอโซเทิร์มแลงเมียร์



ภาพที่ 5 ไอโซเทิร์มฟรุนดริชจลนศาสตร์
การดูดซับเมทิลีนบลูบนถ่านกัมมันต์ของ
ปฏิกิริยาแบบ pseudo-first order ดัง
สมการ (3) และ (4)

$$\frac{dq_t}{dt} = k_1(q_e - q_t) \quad (3)$$

โดย q_t = ปริมาณการดูดซับสารของตัว
ดูดซับที่เวลาใด ๆ (มิลลิกรัมต่อกรัม), k_1 =
ค่าคงที่อัตราการดูดซับของปฏิกิริยาอันดับ
ที่หนึ่ง (นาที่⁻¹) และ t = เวลาการดูดซับ
(นาที่)แสดงได้ดังนี้

$$\log(q_e - q_t) = \log q_e - \frac{k_1}{2.303} t \quad (4)$$

ในทำนองเดียวกันแบบจำลอง pseudo-second order แสดงได้ดังสมการ (5)-(6) (Ho, 1999; Kumar 2013)

$$\frac{dq_t}{dt} = k_2(q_e - q_t)^2 \quad (5)$$

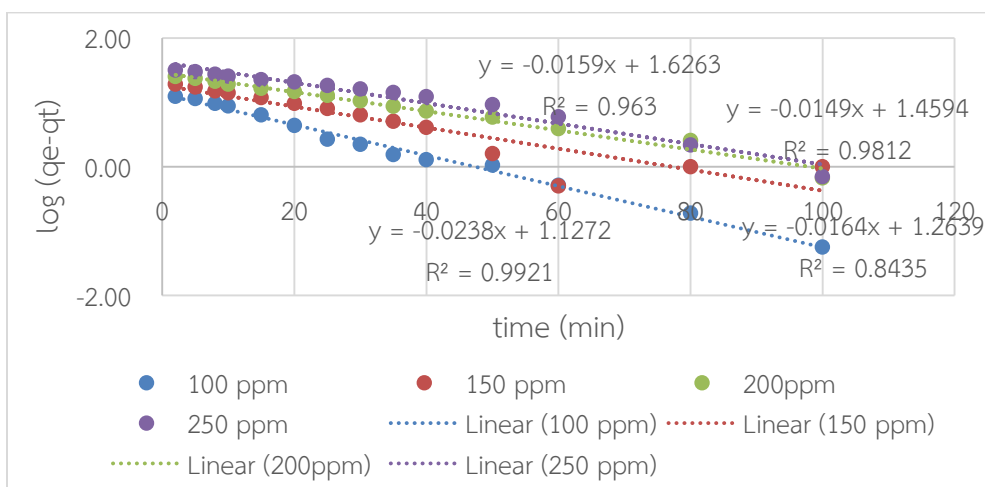
โดย k_2 คือค่าคงที่อัตราของปฏิกิริยาอันดับ
ที่สอง (min g mg⁻¹) เมื่ออินทิเกรตสมการ
(5) จะได้

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 q_e^2} + \frac{t}{q_e} \quad (6)$$

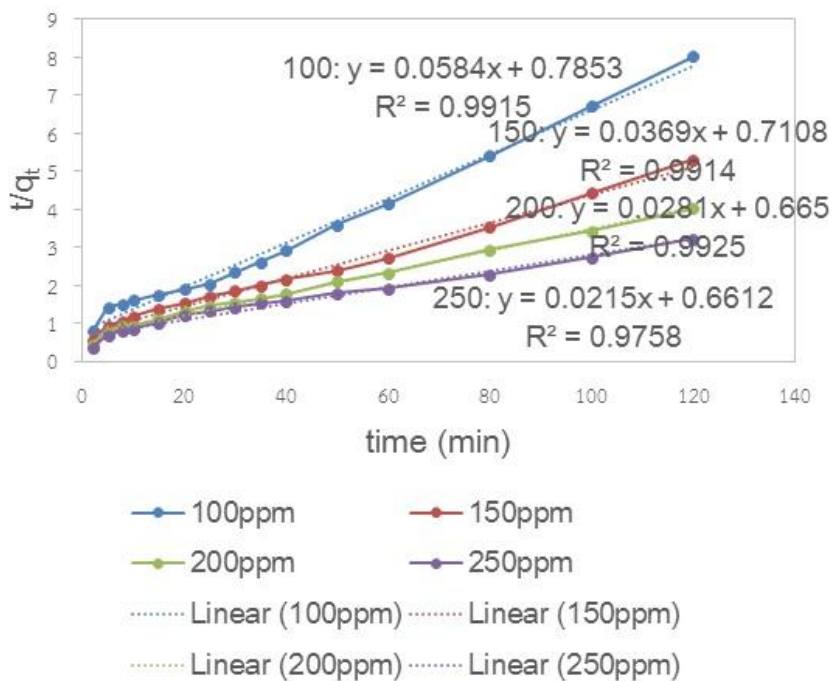
พิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์
(R^2) แสดงได้ดังรูป 6-7 ผลการทดลอง
พบว่าแบบจำลองจลนพลศาสตร์อันดับสอง
เสมือนให้ผลสอดคล้องมากกว่าแบบจำลอง
จลนพลศาสตร์อันดับหนึ่งเสมือนโดย
ตารางที่ 1 แสดงผลการคำนวณจาก
แบบจำลอง

ตารางที่ 1 ความสามารถและค่าคงที่อัตราเร็วการดูดซับ

C ₀ (ppm)	pseudo-first Order					pseudo-second Order				
	slope	interce pt	R ²	q _e	k ₁	slope	interce pt	R ²	q _e	k ₂ (10 ³)
100	-0.0238	1.1272	0.9921	13.403	0.0548	0.0584	0.7853	0.9915	17.123	4.343
150	-0.0245	1.4317	0.9364	27.021	0.0564	0.0369	0.7108	0.9914	27.100	1.916
200	-0.0149	1.4594	0.9812	28.801	0.0343	0.0281	0.6650	0.9925	35.587	1.187
250	-0.0159	1.6263	0.9630	42.296	0.0366	0.0215	0.6612	0.9758	46.512	0.699



ภาพที่ 6 แบบจำลองจลนพลศาสตร์อันดับหนึ่งเสมือน



ภาพที่ 7 แบบจำลองจลนพลศาสตร์อันดับสองเสมือน

สรุปผลการทดลอง

ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายเมทิลีนบลู, อุณหภูมิการดูดซับ และพีเอชของสารละลายมีผลต่อความสามารถการดูดซับปริมาณถ่านกัมมันต์สูงมีผลทำให้การดูดซับเข้าสู่สมดุลได้เร็วกว่าปริมาณถ่านกัมมันต์น้อย ไอโซเทิร์มของการดูดซับเมทิลีนบลูบนถ่านกัมมันต์สอดคล้องกับทั้งไอโซเทิร์มการดูดซับแบบฟรุนดริชและแลงเมียร์ อย่างไรก็ตามค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจของไอโซเทิร์มแลงเมียร์มีค่าสูงกว่า จลนศาสตร์ของการดูดซับสอดคล้องกับแบบจำลองจลนพลศาสตร์อันดับสองเสมือน

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ อาจารย์อรรถพร ศิริเมธากุล คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่องมือวัดค่าพื้นที่ผิว BET นายจตุรวิทย์ ชินจิตร และ น.ส. แสงระวี รอดจันทร์ สำหรับงานทดลอง และขอขอบคุณทุนสนับสนุนงานวิจัยของ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

เอกสารอ้างอิง

รวินทร์ สุทธะนันท์ และ โกวิทย์ ปิยะมั่งคณา.
(2554). จลนศาสตร์และเทอร์โมเคมี
การดูดซับเมทิลีนบลูโดยใช้แกลบตัด
แปรร. วารสารวิชาการพระจอมเกล้า
พระนครเหนือ. 21(2). 337-348.

ศิษฎาภรณ์ เครือสุวรรณ. (2549). **สถานะ
ที่เหมาะสมต่อการผลิตถ่านกัมมันต์
จากขี้เลื่อยไม้ยางพารา .**
วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร
มหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

Aljeboree, A.M., Alshirifi, A.N., Alkaim,
A.F. (2014). Kinetics and equilibrium
study for the adsorption of
textile dyes on coconut shell
activated carbon. **Arabian Journal
of Chemistry**. [http://dx.doi.org/
10.1016/j.arabjc.2014.01.020](http://dx.doi.org/10.1016/j.arabjc.2014.01.020).

Bestani, B., Benderdouche, N.,
Benstaali B., Belhakem, M.,
Addou, A. (2008). Methylene
blue and iodine adsorption
onto an activated desert plant.
Bioresource Technology. 99(17).
8441-8444.

Chiou, M.S., Chuang, G.S. (2006).
Competitive adsorption of dye
metanil yellow and RB15 in
acid solutions on chemically
cross-linked chitosan beads.
Chemosphere, 62, 731-740.

Demirbas, E., Kobya, M., Sulak, M.T.
(2008). Adsorption kinetics of a
basic dye from aqueous
solutions onto apricot stone
activated carbon. **Bioresource
Technology**. 99(13). 5368-5373.

Dogan, M., Abak, H., Alkan, M. (2009).
Adsorption of methylene blue
onto hazelnut shell: Kinetics,
mechanism and activation
parameters. **Journal of Hazardous
Materials**. 164(1). 172-181.

Ghaedi, M., Ansari, A., Habibi, M. H.,
Asghari, A. R. (2014). Removal
of malachite green from
aqueous solution by zinc oxide
nanoparticle loaded on activated
carbon: kinetics and isotherm
study. **Journal of Industrial
and Engineering Chemistry**.
20(1). 17-28.

Ghaedi, M., Sadeghian, B., Pebdani A.A.,
Sahraei, R., Daneshfar, A., Duran,
C. (2012). Kinetics, thermodynamics
and equilibrium evaluation of
direct yellow 12 removal by
adsorption onto silver nanoparticles
loaded activated carbon. **Chemical
Engineering Journal**. 187. 133 –
141.

- Ho, Y.S., McKay, G. (1999). Pseudo-second order model for sorption processes. **Process Biochemistry**. 34(5). 451-465.
- Karaçetin, G., Sivrikaya, S., Mustafa Imamoğlu, M. (2014). Adsorption of methylene blue from aqueous solutions by activated carbon prepared from hazelnut husk using zinc chloride. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**. 110. 270–276.
- Konicki, W., Sibera, D., Mijowska, E., Lendzion-Bielun, Z., Narkiewicz, U. (2013). Equilibrium and kinetic studies on acid dye Acid Red 88 adsorption by magnetic ZnFe_2O_4 spinel ferrite nanoparticles. **Journal of Colloid and Interface Science**. 398. 152–160.
- Kumar, M., Tamilarasan, R. (2013). Modeling of experimental data for the adsorption of methyl orange from aqueous solution using a low cost activated carbon prepared from *Prosopis juliflora*. **Polish Journal of Chemical Technology**. 15(2). 29-39.

การเปรียบเทียบความคุ้มค่าของการผลิตก๊าซชีวภาพกับการอัดแท่งเชื้อเพลิง จากกากของเสียการเพาะเห็ดฟาง

Comparison of the value of the biogas and fuel sticks of the straw mushroom crop

เสถียร เจียนครบุรี^{1*}, ประยงค์ กิรติอุไร²

^{1*} สาขาวิชาการจัดการงานวิศวกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยวงษ์ชวลิตกุล

² สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยวงษ์ชวลิตกุล

บทคัดย่อ

ประเทศไทยต้องการพลังงานทดแทนเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ก๊าซธรรมชาติเป็นพลังงานที่มีการใช้เป็นจำนวนมากและมีแนวโน้มว่ากำลังจะหมดในอนาคต เกษตรกรบ้านหนองกระทุ่ม หมู่ที่ 3 ต.ภูหลวง อ.ปักธงชัย จ.นครราชสีมา เพาะเห็ดฟางแบบโรงเรือนโดยใช้วัสดุหลักเป็นกากมันสำปะหลัง มูลวัว ปุ๋ยบำรุงดิน รำอ่อน กากน้ำตาล ปูนขาว และอีเอ็ม มีอัตราส่วน 6000 : 250 : 25 : 20 : 10 : 5 : 1 กิโลกรัม ตามลำดับ หลังจากเก็บเห็ดฟางเพื่อจำหน่ายแล้วเหลือกากของเสียจากการเพาะเห็ดฟาง ทำการทดลองนำกากของเสียจากการเพาะเห็ดฟาง มาทำการผลิตก๊าซชีวภาพระบบไร้ออกซิเจนชนิดกวนสมบูรณ์ ลงในถังผสมกากของเสียจากการเพาะเห็ดฟาง แล้วปล่อยน้ำเสียมาสู่ถังหมักก๊าซชีวภาพ ทำการหมักแบบกะ (batch) ที่ระยะเวลาพักเก็บน้ำเสีย 3, 5, 7 และ 9 วัน ได้ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นสูงสุดเท่ากับ 0.098 m³/วัน ระยะเวลาพักเก็บที่ 5 วัน การอัดแท่งเชื้อเพลิงเหี่ยวและถ่านอัดแท่ง โดยใช้แยมันเป็นตัวประสาน ที่อัตราส่วนกากของเสียจากการเพาะเห็ดฟางต่อแยมัน ที่ 3:0.5, 4:0.5 และ 5:0.5 กิโลกรัม แล้วนำไปอัดแท่งด้วยเครื่องอัดแบบเกลียว นำไปอบให้แห้ง ทดลองเปรียบเทียบ เชื้อเพลิงเหี่ยว ถ่านอัดแท่ง และถ่านจากไม้ พบว่า ถ่านอัดแท่ง ให้พลังงานความร้อนได้ดีที่สุด ดังสมการ $y = 0.293x - 0.8372$ ที่ $R^2 = 1$ การเปรียบเทียบความคุ้มค่าด้วยดัชนีทางเศรษฐศาสตร์ ควรลงทุนอัดแท่งเชื้อเพลิงเหี่ยว ซึ่งมีค่า NPV ที่ 27,322.54 บาท/ปี IRR ที่ 48.95 % B/C ที่ 1.04 และ PB ที่ 1.73 ปี

คำสำคัญ : ก๊าซชีวภาพ, ชีวมวล, การจัดการกากของเสีย

Abstract

The renewable energy requirement of Thailand was increased continuously. Natural gas was the energy that has been used a lot and it was likely to be exhausted in the future. The farmers who lived in Ban Nong Kra Thum, Moo 3, Phu Luang subdistrict, Pakthong Chai district, Nakhon Ratchasima province. They planted the straw mushroom with houses. The main materials were used in the cultivation of the straw mushrooms that they were cassava pulps, cow manures, fertilizers, bran, molasses, lime and EM as 6000 : 250 : 25 : 20 : 10 : 5 : 1 kilograms, respectively. The solid wastes of the straw mushroom crop were taken for biogas production. The system was anaerobic digestion with the continuous stirred tank reactor. The fermentation was batch process. The hydraulic retention times were the 3 days, 5 days, 7 days, and 9 days. The maximum biogas production was 0.098 m³ / day in the hydraulic retention time as 5 days. The solid wastes of the straw mushroom crop were taken for the production of fuel sticks. The fuel sticks were the green charcoal and the charcoal powder briquette. The green charcoal and the charcoal powder briquette production used starches as a binder. The ratio of the solid wastes of the straw mushroom crop and starches mixing were 3:0.5, 4:0.5, and 5:0.5 kilograms, respectively. The mixtures were applied to bars with screw compressors and dryers to dry. These tests compared the heat energy of the green charcoal, the charcoal powder briquette and the normal wood charcoal. The results found that the charcoal powder briquette provided the maximum of heat energy. The equation of the relation between the heat energy to times was $y = 0.293x - 0.8372$ at $R^2 = 1$. While the biogas production, the green charcoal, the charcoal powder briquette production were evaluated the value from various economic indicators. They were concluded that the green charcoal production should be most invested. The net present value (NPV) of the green charcoal production was 27,322.54 baht/year. Internal rate of return of investment (IRR) was 48.95 %. The B/C ratio was 1.04. The payback period of the green charcoal production was also the shortest of 1.73 years.

Keywords : Biogas, Biomass, Solid waste treatment

บทนำ

ประเทศไทยมีการใช้พลังงานทดแทนเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ซึ่งเป็นผลมาจากนโยบายการพัฒนาพลังงานทดแทน ที่มีเป้าหมายให้มีการใช้พลังงานทดแทนเพิ่มขึ้นในทุกภาคส่วนของสังคม นอกจากนี้จะเป็นการลดการใช้พลังงาน ยังเป็นการลดการนำเข้าพลังงานจากต่างประเทศอีกด้วย โดยที่การใช้พลังงานทดแทนดังกล่าว จะใช้ ในรูปของไฟฟ้า ความร้อน และเชื้อเพลิงชีวภาพ (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานกระทรวงพลังงาน, 2554) เกษตรกรกลุ่มเพาะเห็ดฟาง หมู่บ้านหนองกระทุ่ม หมู่ที่ 3 ต.ภูหลวง อ.ปักธงชัย จ.นครราชสีมา เป็นหมู่บ้านที่มีการเพาะเห็ดฟางแบบโรงเรือน ใช้วัสดุหลักในการเพาะ คือ กากมันสำปะหลัง มูลวัว รำอ่อน กากน้ำตาล ปุ๋ยบำรุงดิน ปูนขาว และ อีเอ็ม มีอัตราส่วน 6000 : 250 : 25 : 20 : 10 : 5 : 1 กก. ตามลำดับ แต่เมื่อมีการเพาะเห็ดฟางเป็นจำนวนมาก จึงทำให้มีกากของเสียจากการเพาะเห็ดฟางเป็นจำนวนมากด้วยเช่นกัน ผลกระทบที่เกิดจากกากของเสียจากการเพาะเห็ดฟางทำให้เกิดกลิ่นเหม็น เป็นแหล่งเพาะพันธุ์สัตว์น้ำโรค เช่น แมลงวัน เกิดเชื้อราส่งผลกระทบต่อ การเพาะเห็ดฟาง เกษตรกรกลุ่มเพาะเห็ดฟางทำการจัดการกากของเสียจากการเพาะเห็ดฟางด้วยการนำไปทำปุ๋ย แต่เมื่อมีกากของเสียจากการเพาะเห็ดฟางมากเกินไปจนเกินกว่าจำนวนเนื้อที่ทางการเกษตรของตนเองแล้ว เกษตรกรจึง

จำเป็นต้องให้กากของเสียจากการเพาะเห็ดฟางให้บุคคลอื่นที่มีพื้นที่ทางการเกษตรมาก โดยไม่เกิดรายได้

ผู้วิจัย จึงได้ศึกษาการเปรียบเทียบความคุ้มค่าของการผลิตก๊าซชีวภาพกับการอัดแท่งเชื้อเพลิงจากกากของเสียจากการเพาะเห็ดฟาง เพื่อเป็นแนวทางการจัดการวัสดุเหลือใช้จากการเพาะเห็ดฟาง ให้กับเกษตรกรกลุ่มเพาะเห็ดฟางบ้านหนองกระทุ่ม หมู่ที่ 3 ต.ภูหลวง อ.ปักธงชัย จ.นครราชสีมา

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาการผลิตก๊าซชีวภาพและอัดแท่งเชื้อเพลิง ด้วยกากของเสียจากการเพาะเห็ดฟาง
2. เพื่อเปรียบเทียบความคุ้มค่าของการผลิตก๊าซชีวภาพและอัดแท่งเชื้อเพลิง ด้วยกากของเสียจากการเพาะเห็ดฟาง

ระเบียบวิธีการวิจัย

ในการศึกษาความคุ้มค่าของการผลิตก๊าซชีวภาพกับอัดแท่งเชื้อเพลิง ด้วยกากของเสียจากการเพาะเห็ดฟาง ได้แบ่งขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยออกเป็น 3 ขั้นตอน ดังนี้ 1) ศึกษาการผลิตก๊าซชีวภาพด้วยการทดลองการผลิตก๊าซชีวภาพระบบไร้ออกซิเจนชนิดกวนสมบูรณ์ แล้วทำการวิเคราะห์พารามิเตอร์ ได้แก่ pH, DO, COD, TS และ SS 2) ศึกษาการอัดแท่งเชื้อเพลิงเขียวและถ่านอัดแท่งด้วยกากของเสียจากการเพาะเห็ดฟางแล้วทำ

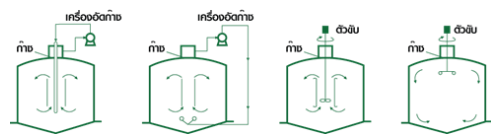
การวิเคราะห์หาค่าพลังงานความร้อน
3) ศึกษาความคุ้มค่าด้วยดัชนีทางเศรษฐศาสตร์ ได้แก่ NPV, IRR, PB และ B/C

1. ศึกษาการเกิดก๊าซชีวภาพด้วยการทดลองการผลิตก๊าซชีวภาพระบบไร้ออกซิเจนชนิดกวนสมบูรณ์ ดังภาพที่ 1 ก๊าซชีวภาพ เป็นพลังงานสะอาดที่เกิดจากการนำของเสีย เช่น มูลสัตว์ น้ำเสีย ขยะ และของเหลือใช้ทางการเกษตร มาผ่านกระบวนการหมักเพื่อให้เกิดการย่อยสลายสารอินทรีย์ ในสภาวะไร้ออกซิเจนโดยแบคทีเรียหลายชนิด เมื่อสภาวะแวดล้อมเหมาะสม องค์ประกอบหลักของก๊าซชีวภาพ ได้แก่ ก๊าซมีเทน (CH_4) ประมาณ 60-70 % ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ประมาณ 28-38 % ก๊าซอื่น ๆ เช่น ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) และไนโตรเจน (N_2) ประมาณ 2 % เป็นต้น กระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยแบคทีเรียในสภาพไร้ออกซิเจน แบ่งออกได้ 3 ขั้นตอน ดังนี้ (การผลิตก๊าซชีวภาพจากของเสียฟาร์มปศุสัตว์และโรงงานอุตสาหกรรม)

- 1) การสลายสารโมเลกุลใหญ่ สารอินทรีย์ต่าง ๆ ที่มีขนาดโมเลกุลใหญ่ เช่น โปรตีน คาร์โบไฮเดรต และไขมัน จะถูกย่อยสลายโดยเอนไซม์ ทำให้แตกตัวมีขนาดโมเลกุลเล็กลง
- 2) การผลิตกรดอินทรีย์ สารอินทรีย์ที่มีโมเลกุลเล็กลง จะถูกเปลี่ยนไปเป็นกรดอินทรีย์ระเหยง่ายและสารอื่น ๆ โดยแบคทีเรียพวกสร้างกรด กรดที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่ คือ กรดอะซิติกและกรดโพรพิโอนิก
- 3) การผลิตก๊าซมีเทน กรดอินทรีย์ระเหยง่าย

จะถูกย่อยสลายเป็นก๊าซมีเทน (CH_4) และคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) เป็นส่วนใหญ่ อาจมีก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ไนโตรเจน (N_2) และไฮโดรเจน (H_2) และไอน้ำผสมอยู่ด้วย ซึ่งรวมกันเรียกว่า “ก๊าซชีวภาพ”

1.1 ระบบผลิตก๊าซชีวภาพแบบถังกวนสมบูรณ์ (CSTR)



ภาพที่ 1 การทำงานของถังผลิตก๊าซชีวภาพระบบไร้ออกซิเจนชนิดกวนสมบูรณ์
ที่มา : Green Energy Network Co., Ltd., 2012.

ข้อดีของระบบ CSTR ใช้น้ำเสียที่มีสารแขวนลอยสูงได้ดีมีประสิทธิภาพการย่อยสลายน้ำเสียโดยเฉพาะน้ำเสียประเภทที่มีของแข็งแขวนลอยสูงได้ดี เนื่องจากมีการกวนผสมที่ดี

ข้อเสียของระบบ CSTR ต้องการพลังงานในการกวนผสมยังมีความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในน้ำเสียขาออกอยู่ในเกณฑ์สูงมีการสูญเสียจุลินทรีย์ในปริมาณที่สูง

1.2 ทำการวิเคราะห์พารามิเตอร์ ได้แก่ pH, DO, COD, TS และ SS ด้วยการวัดค่า น้ำเข้า และน้ำออก มาทำการวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ เพื่อได้ทราบค่า

ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียของระบบ
ผลิตก๊าซชีวภาพระบบไร้ออกซิเจนชนิดกวน
สมบูรณ์

$$\% \text{effpH} = \frac{\text{in} - \text{out}}{\text{in}} \times 100 \quad \dots (1)$$

ผลการศึกษาพบว่าระบบการผลิต
ก๊าซชีวภาพจากเศษอาหารในขนาด 200
กิโลกรัมเศษอาหารต่อวัน เติบโตระบบ 365
วัน/ปี อายุของโครงการ 15 ปี ให้แก๊ส
ชีวภาพโดยเฉลี่ย 4,147 กิโลกรัม(แก๊ส)/ปี
เทคโนโลยีที่ให้ความคุ้มค่าทาง
เศรษฐศาสตร์มากที่สุด คือ เทคโนโลยี
CSTR 1-Stage อัตราผลตอบแทน IRR
เท่ากับ 47.10% และระยะเวลาคืนทุนเร็ว
ที่สุดคือ 2.12 ปี (กฤตภาส สิงคบุตร และ
คณะ, 2554)

2. ศึกษาการอัดแท่งเชื้อเพลิงเขียว
ด้วยกากของเสียจากการเพาะเห็ดฟาง แล้ว
ทำการวิเคราะห์หาค่าพลังงานความร้อน

สูตรพลังงานความร้อน

$$Q = wc\Delta t \quad \dots (2)$$

เมื่อ Q คือ ค่าความร้อน
w คือ มวลน้ำต่อเวลา
c คือ ค่าความจุจำเพาะ
 Δt คือ อุณหภูมิ

2.1 ประเภทของแท่งเชื้อเพลิง
แท่งเชื้อเพลิงที่มีการผลิตขึ้นในปัจจุบันมี 2
ประเภท คือ 1) ถ่านอัดแท่ง เป็นการนำชีว
มวลหรือของเสียที่เผาจนเป็นถ่านแล้วมาอัด
เป็นแท่ง หรืออาจนำแท่งเชื้อเพลิงที่อัดเป็น
แท่งแล้วมาเผาให้เป็นแท่งถ่านก็ได้ 2) แท่ง

เชื้อเพลิงเขียว เป็นการนำชีวมวลหรือของ
เสียมาอัดแท่งแล้วนำไปใช้งานโดยตรง ไม่
ต้องมีขั้นตอนการเผาเหมือนเช่นถ่านอัด
แท่ง ตัวอย่างในภาพที่ 2



ภาพที่ 2 ถ่านอัดแท่งและเชื้อเพลิงเขียว

2.2 กระบวนการอัดเย็น (Cold
Press Process) เหมาะสำหรับวัสดุที่ไม่มี
คุณสมบัติในการจับตัวได้ด้วยความร้อน
มี 2 วิธี คือ การอัดเย็นด้วยแรงดันสูงและ
การอัดเย็นชนิดเติมตัวประสาน ในที่นี้ใช้
การอัดเย็นชนิดเติมตัวประสาน ใช้แป้งมัน
เป็นตัวการนำตะกอนเปียกเพื่อนำไปเป็น
เชื้อเพลิงทดแทน นำตะกอนเปียกมา
อัดแบบร้อน และแบบเย็น เพื่อ
เปรียบเทียบประสิทธิภาพการให้พลังงาน
ความร้อน พบว่า ถ่านอัดแบบเย็นมีปริมาณ
คาร์บอนคงตัวสูง ซึ่งเป็นส่วนที่เผาไหม้ให้
พลังงานร้อยละ 59.01 และค่าความร้อน
24,790.38 KJ/kg (วลัยรัตน์ อุตตะมะ
ปรากรม และธราพงษ์ วิทิตสานนท์, 2554)

3. ศึกษาความคุ้มค่าด้วยดัชนีทาง
เศรษฐศาสตร์ ได้แก่ NPV, IRR, PB และ
B/C

3.1 มูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทน
สุทธิ (Net presentvalue, NPV)

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{B_t}{(1+i)^t} - \sum_{t=1}^n \frac{C_t}{(1+i)^t} + C_0 \dots (3)$$

โดยกำหนดให้ :

B_t = ผลตอบแทนของโครงการที่เกิดขึ้นในปีที่ t

C_t = ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานและค่าบำรุงรักษาสินค้าทุนของโครงการที่เกิดขึ้นในปีที่ n

C_0 = ค่าใช้จ่ายในการลงทุนเริ่มแรก

i = อัตราดอกเบี้ยเงินกู้ธนาคาร หรืออัตราส่วนลด

t = ปีการดำเนินงานโครงการ คือ ตั้งแต่ปีที่ 1, 2, 3, n

n = อายุของโครงการ

3.2 อัตราผลตอบแทนภายในของการลงทุนโครงการ (Internal rate of return, IRR)

$$IRR = \sum_{t=1}^n \frac{B_t}{(1+r)^t} - \left[\sum_{t=1}^n \frac{C_t}{(1+r)^t} + C_0 \right] = 0 \dots (4)$$

3.3 อัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุน (Benefit Cost ratio หรือ B/C ratio)

$$B/C(ratio) = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{B_t}{(1+i)^t}}{\sum_{t=1}^n \frac{C_t}{(1+i)^t} + C_0} \dots (5)$$

3.4 ระยะเวลาคืนทุนของโครงการ (Payback period)

$$PB = \frac{\text{ค่าใช้จ่ายในการลงทุน}}{\text{ผลตอบแทนสุทธิเฉลี่ยต่อปี}} \dots (6)$$

ผลการวิจัย

จากการศึกษาความคุ้มค่าของการผลิตก๊าซชีวภาพกับอัดแท่งเชื้อเพลิง ด้วยกากของเสียจากการเพาะเห็ดฟาง

โดยดำเนินการตาม ทั้ง 3 ข้อ สามารถแสดงได้ดังนี้

1. จากผลศึกษาการเกิดก๊าซชีวภาพ ด้วยการทดลองการผลิตก๊าซชีวภาพระบบไร้ออกซิเจนชนิดกวนสมบูรณ์ ด้วยการหมักกากของเสียจากการเพาะเห็ดฟาง 20 กก. ลงในถังผสมกากของเสียจากการเพาะเห็ดฟาง แล้วปล่อยน้ำเสียมาสู่ถังหมักก๊าซชีวภาพ ทำการหมักแบบกะ (batch) ที่ 3, 5, 7 และ 9 วัน พบว่าชุดผลิตก๊าซชีวภาพระบบไร้ออกซิเจนชนิดกวนสมบูรณ์สามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นสูงสุดเท่ากับ $0.098 \text{ m}^3/\text{วัน}$ ได้ $y = 0.0042x + 0.0641$ ที่ $R^2 = 0.5383$ ดังแสดงในตารางที่ 1 และภาพที่ 3

ตารางที่ 1 การทดลองผลิตก๊าซชีวภาพ

ระยะเวลา กักเก็บ (วัน)	ปริมาณก๊าซเฉลี่ยต่อวัน (m^3/day)
3	0.067
5	0.098
7	0.098
9	0.095

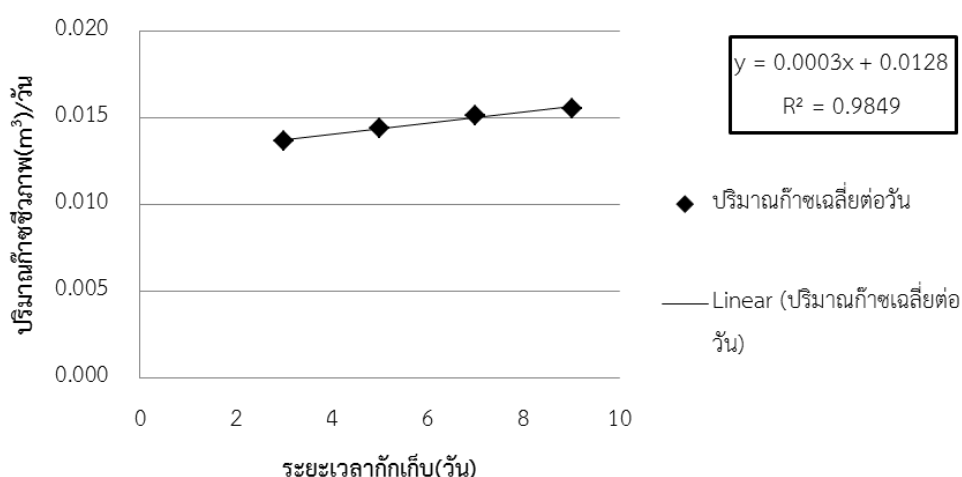
ผลการวิเคราะห์พารามิเตอร์ ได้แก่ DO, COD, TS และ SS จากผลการศึกษาผลิตก๊าซชีวภาพระบบไร้ออกซิเจนชนิดกวนสมบูรณ์ ด้วยการหมักกากของเสียจากการเพาะเห็ดฟาง จากถังหมักก๊าซชีวภาพแบบกะ (batch) ใช้ระยะเวลาการกักเก็บน้ำเสีย 3, 5, 7, 9 วัน ทำการทดลองทั้งหมด 3 ครั้ง ทำการวัดค่าพารามิเตอร์ ได้แก่ DO,

COD, TS, SS น้ำเสียเข้า น้ำเสียออก ได้ค่า เกิดขึ้นที่การหมัก 9 วัน ที่ DO 100.00%, ประสิทธิภาพดีที่สุดในระยะเวลาที่เก็บที่ COD 80.00%, TS 18.90%, SS 19.77% 9 วัน การบำบัดน้ำเสียของการผลิตก๊าซ ดังแสดงในตารางที่ 2

ชีวภาพระบบไร้ออกซิเจนชนิดกวนสมบูรณ์

ตารางที่ 2 ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสีย

จำนวนวันกักเก็บ น้ำเสีย	% eff DO	% eff COD	% eff TS	% eff SS
3	83.50	0.00	2.741	2.326
5	66.50	50.00	4.631	3.488
7	83.50	80.00	13.422	13.953
9	100.00	80.00	18.904	19.767



ภาพที่ 3 ปริมาณก๊าซชีวภาพเฉลี่ยจากระบบหมักชีวภาพแบบไร้ออกซิเจนชนิดกวนสมบูรณ์ จากกากของเสียการเพาะเห็ดฟาง

2. ศึกษาการอัดแท่งเชื้อเพลิงเหี่ยว ด้วยกากของเสียจากการเพาะเห็ดฟาง ด้วยเครื่องอัดแบบเกลียว โดยนำกากของเสียจากการเพาะเห็ดฟางผสมกับแป้งมัน ทั้งเชื้อเพลิงเหี่ยวและถ่านอัดแท่งใน

อัตราส่วน 3:0.5, 4:0.5 และ 5:0.5 กก. ทำการอัด จำนวน 90 ตัวอย่าง นำตัวอย่างที่ได้มาอบให้แห้ง นำเชื้อเพลิงเหี่ยว ถ่านอัดแท่งและถ่านจากไม้ ทำการทดลอง ด้วยวิธีการต้ม น้ำหนัก 3 กก. หาอุณหภูมิ

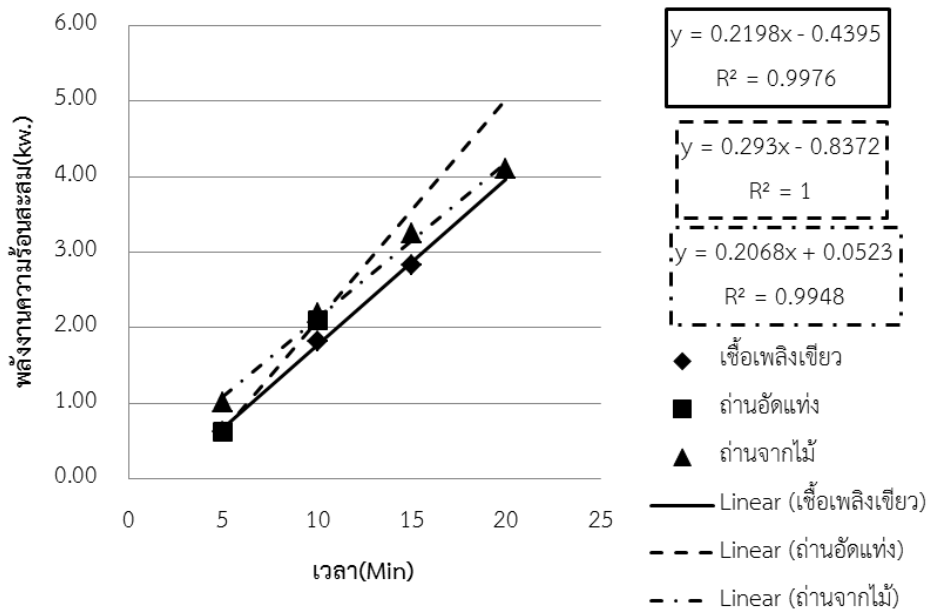
ที่เปลี่ยนไปของน้ำ จากอุณหภูมิห้องจนถึง 100 องศาเซลเซียส ที่ปริมาณแท่งเชื้อเพลิง 1, 2 และ 3 กก. พบว่า ถ่านอัดแท่งปริมาณ 3 กก. ที่อัตราส่วนผสม 4:0.5 กก. ทำให้อุณหภูมิเปลี่ยนจากอุณหภูมิห้องจนถึง 100 องศาเซลเซียส เร็วที่สุด 10 นาที ดังแสดงในตารางที่ 3 แล้วทำการหาค่าพลังงานความร้อน เชื้อเพลิงทั้ง 3 ชนิด ทำการเปรียบเทียบ ค่าพลังงานความร้อนของเชื้อเพลิงเขียว ถ่านอัดแท่ง อัตราส่วนกากของเสียจากการเพาะเห็ดฟางต่อแป้งมัน ที่ 4:0.5 กิโลกรัม และ ถ่านจากไม้ที่น้ำหนัก 1, 2 และ 3 กก. พบว่า ถ่านอัดแท่งที่น้ำหนัก 3 กก. ให้พลังงานความร้อนได้ดี

ที่สุด ดังสมการ $y = 0.293x - 0.8372$ ที่ $R^2 = 1$ ดังแสดงในภาพที่ 4

3. ศึกษาความคุ้มค่าด้วยดัชนีทางเศรษฐศาสตร์ ได้แก่ NPV, IRR, B/C และ PB ที่อัตราดอกเบี้ยเงินกู้ MLR 6.87% ธนาคารกรุงไทย วันที่ 23 ธันวาคม 2556 ปริมาณกากของเสียจากการเพาะเห็ดฟาง 2,961 กก./เดือน ปริมาณก๊าซชีวภาพ 1 ลบ.ม. มีค่าเท่ากับ ก๊าซ LPG 0.46 กก. (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานกระทรวงพลังงาน, 2554) แก๊ส LPG ถึงละ 370 บาท (วันที่ 20 ก.พ. 57) ราคาเชื้อเพลิงเขียว 7 บาท/กก. ถ่านอัดแท่ง 7.5 บาท/กก. (กฤตภาส สิงคิบุตร และคณะ, 2554)

ตารางที่ 3 อัตราของพลังงานที่ได้รับเทียบกับเวลาของเชื้อเพลิงเขียว ถ่านอัดแท่ง และถ่านจากไม้

ชนิดของแท่งพลังงาน	อัตราส่วน	เวลาในการต้มน้ำจากอุณหภูมิปกติจนถึง 100° C (นาที)		
		1 กิโลกรัม	2 กิโลกรัม	3 กิโลกรัม
เชื้อเพลิงเขียว	3 : 0.50	30	20	15
	4 : 0.50	25	15	15
	5 : 0.50	45	25	15
ถ่านอัดแท่ง	3 : 0.50	30	20	15
	4 : 0.50	20	15	10
	5 : 0.50	25	20	15
ถ่านจากไม้		25	20	20



ภาพที่ 4 เปรียบเทียบ ค่าพลังงานความร้อน เชื้อเพลิงเขียว ถ่านอัดแท่ง และ ถ่านจากไม้ น้ำหนัก 3 กิโลกรัม ที่อัตราส่วน 4:0.5 กิโลกรัม

จากการเปรียบเทียบดัชนีทางเศรษฐศาสตร์พบว่า เชื้อเพลิงเขียว น่าลงทุนที่สุด เพราะว่ามีมูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทนสุทธิ (NPV) สูงสุด 27,322.54 บาท/ปี อัตราผลตอบแทนภายในของการลงทุนโครงการ (IRR) ให้อัตราดอกเบี้ยสูงสุด 48.95 % และมากกว่าอัตราดอกเบี้ยเงินกู้ อัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุน (B/C) 1.04 มากกว่า 1 เป็นโครงการที่น่าลงทุน และระยะเวลาคืนทุนของโครงการ (PB) สั้นที่สุด 1.73 ปี โครงการที่หน้าลงทุน รองลงมาได้แก่ ถ่านอัดแท่งและทำปุ๋ย ตามลำดับ ส่วนโครงการที่หน้าลงทุนน้อยที่สุดได้แก่ ก๊าซชีวภาพ ดังแสดงในตารางที่ 4

สรุปผลการวิจัย

ศึกษาการเปรียบเทียบความคุ้มค่าของการผลิตก๊าซชีวภาพกับการอัดแท่งเชื้อเพลิงจากกากของเสียการเพาะเห็ดฟาง บ้านหนองกระทุ่ม หมู่ที่ 3 ต.ภูหลวง อ.ปักธงชัย จ.นครราชสีมา ผลการผลิตก๊าซชีวภาพระบบไร้ออกซิเจนชนิดกวนสมบูรณ์พบว่า ชุดผลิตก๊าซชีวภาพระบบไร้ออกซิเจนชนิดกวนสมบูรณ์สามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นสูงสุดเท่ากับ 0.098 m³/วัน ได้ปริมาณ การเกิดก๊าซชีวภาพ เกิดขึ้นสูงสุดในระยะเวลา 9 วัน และการวิเคราะห์พารามิเตอร์ ได้แก่ pH, DO, COD, TS และ SS เกิดขึ้นในระยะเวลา 9 วัน ที่ DO 100.00%, COD 80.00%, TS 18.90%, SS 19.77%

ตามลำดับ ผลการนำกากของเสียจากการเพาะเห็ดฟางอัดแท่งเชื้อเพลิง นำเชื้อเพลิงเขียว ถ่านอัดแท่งและถ่านจากไม้ ถ่านอัดแท่งปริมาณ 3 กก. ที่อัตราส่วนผสม 4:05 กก. ทำให้อุณหภูมิเปลี่ยนจากอุณหภูมิห้องจนถึง 100 องศาเซลเซียสเร็วที่สุด 10 นาที และพบว่า ถ่านอัดแท่ง ที่น้ำหนัก 3 กิโลกรัม

ให้พลังงานความร้อนได้ดีที่สุด ดังสมการ $y = 0.293x - 0.8372$ ที่ $R^2 = 1$ จากการเปรียบเทียบความคุ้มค่าด้วยดัชนีทางเศรษฐศาสตร์ ควรลงทุนอัดแท่งเชื้อเพลิงเขียว จะคุ้มค่ากว่าการผลิตก๊าซชีวภาพ ซึ่งมีค่า NPV ที่ 27,322.54 บาท/ปี IRR ที่ 48.95 % B/C ที่ 1.04 และ PB ที่ 1.73 ปี

ตารางที่ 4 เปรียบเทียบด้วยหลักเศรษฐศาสตร์

โครงการ	ก๊าซชีวภาพ	เชื้อเพลิงเขียว	ถ่านอัดแท่ง	ทำปุ๋ย
NPV (บาท/ปี)	4,512.43	27,322.54	22,687.79	2,087.41
IRR (%)	30.91 %	48.95 %	42.40 %	31.33 %
B/C	1.08	1.04	1.05	1.03
PB (ปี)	2.31	1.73	1.92	2.38

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณท่าน ผู้รับใบอนุญาต อาจารย์มุข วงษ์ชวลิตกุล วิทยาลัยเทคโนโลยีช่างกลพาณิชย์การนครราชสีมา เป็นอย่างสูง ที่ให้ทุนการศึกษาหลักสูตร วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาการจัดการงานวิศวกรรม มหาวิทยาลัย วงษ์ชวลิตกุล บทความงานวิจัยฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความกรุณาจากท่าน อาจารย์ ดร.ประยงค์ กิริติอุไร อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อนุชิต อุชายภิชาติ ที่ให้คำปรึกษาเป็นอย่างดี

เอกสารอ้างอิง

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานกระทรวงพลังงาน. (2554). รายงานพลังงานทดแทนของประเทศไทย. ค้นเมื่อวันที่ 10 มกราคม 2556 จาก www.dede.go.th.
 กฤตภาส สิงคิบุตร วิชชากร จารุศิริ และ ปฐมทัศน์ จิระเดชะ. (2554). การศึกษาเทคโนโลยีที่เหมาะสมในการผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะเศษอาหารในมหาวิทยาลัย. วารสารวิจัยพลังงาน, ปีที่ 8 (2554), หน้า 3.

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์
พลังงาน. การผลิตก๊าซชีวภาพจาก
ของเสียฟาร์มปศุสัตว์และโรงงาน
อุตสาหกรรม, สำนักวิจัยค้นคว้า
พลังงาน (สวค.), ค้นเมื่อวันที่ 20
สิงหาคม 2556 จาก http://www.dede.go.th/km_ber/Attach/Bio-gas-present.pdf.

วลัยรัตน์ อุดตมะปรากรม และธราพงษ์
วิจิตตานนท์. (2554). การผลิตถ่านอัด
แท่งจากตะกอนเปียกเหลือทิ้งจาก
การผลิตเอทานอลจากมันเส้น.
วารสารวิจัยพลังงาน, ปีที่ 8
(2554), หน้า 3.

อภิรักษ์ สวัสดิ์กิจ ทีปกร คุณาพรวิวัฒน์
พิสุทธิรัตน์แสนวงษ์ จักรพันธ์ กัณหา
และวรพจน์ พันธุ์คง. (2551).
การผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากขี้เถ้า
แกลบผสมขังข้าวโพดและ
กะลามะพร้าวด้วยเทคนิคเอ็กซ์
ทรูชั่นโดยใช้แป้งเปียกเป็นตัว
ประสาน. การประชุมวิชาการ
เครือข่ายการวิจัยของ
สถาบันอุดมศึกษา 17-19 มกราคม
2551 จ.ขอนแก่น.

Green Energy Network Co., Ltd.
(2012). ระบบกำจัดขยะอินทรีย์ใน
สภาวะไร้อากาศแบบกวนผสม
สมบูรณ์ (Completely Stirred
Tank Reactor; CSTR). ค้นเมื่อ
วันที่ 9 มกราคม 2557 จาก
[http://www.greenenergynet.net/food-waste-biogass-system?](http://www.greenenergynet.net/food-waste-biogass-system?lang=en)
[lang=en](http://www.greenenergynet.net/food-waste-biogass-system?lang=en).

การลดของเสียในกระบวนการผลิตตัวล็อคเบาะรถจักรยานยนต์ Reducing Waste in Manufacturing Process of the Motorcycle Seat Lock

ธงชัย เพ็งจันทร์^{1*}, ชุมพล อินทร์มณี², อัญชลี ทองใบศรี³,
คุณากร ธรรมวิจิตร⁴, ชลิตา รัศมี⁵

^{1*,3,4,5} สาขาวิชาการจัดการอุตสาหกรรมและเทคโนโลยี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา

² สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศเพื่อโลจิสติกส์อุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา

Email : tpangjundee@gmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการออกแบบอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานเพื่อป้องกันการเกิดของเสียจากการเชื่อมด้านทานแบบจุดในกระบวนการผลิตตัวล็อคเบาะรถจักรยานยนต์ จากการรวบรวมข้อมูลช่วงเดือนพฤศจิกายน 2557 – เมษายน 2558 พบว่ามีปริมาณของเสียทั้งหมด 11,780 ชิ้น ซึ่งเป็นของเสียประเภทรูไม่ตรงตำแหน่งจำนวน 6,717 ชิ้น คิดเป็น 57.02 เปอร์เซ็นต์ จากปริมาณของเสียทั้งหมด จากการศึกษาปัญหาและวิเคราะห์สาเหตุ พบว่าปัญหาเกิดขึ้นจากความไม่แน่นอนในการปฏิบัติงานที่พนักงานไม่สามารถจับให้ชิ้นงานอยู่นิ่งและได้ระนาบทำให้หลังการเชื่อมเกิดปัญหารูไม่ตรงตำแหน่ง ผู้วิจัยจึงได้ออกแบบอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานโดยใช้ทฤษฎีการออกแบบอุปกรณ์นำเจาะและอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานมาใช้ในการออกแบบ หลังการทดสอบการใช้งาน พบว่าอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานช่วยป้องกันการเกิดของเสียประเภทรูไม่ตรงตำแหน่งได้โดยไม่พบว่า มีของเสียจากปัญหารูไม่ตรงตำแหน่งเกิดขึ้นอีก ตลอดช่วงเวลาการทดสอบการใช้งาน ตั้งแต่เดือนกันยายน – ตุลาคม 2558

คำสำคัญ : การลดของเสีย, อุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน, การเชื่อมด้านทานแบบจุด, ตัวล็อคเบาะรถจักรยานยนต์

Abstract

The objective of this research is to study the design of a clamp fixture used for work piece in order to reduce waste of the work piece resulting from spot welding in the production process of motorcycle seat lock. Based on the data collected from November 2014 to April 2015, it was found that there were a total of 11,780 pieces of waste where 6,717 pieces of waste was due to incorrect position of drilling holes, representing 57.02 percent of total quantity of waste. Based on the study and analysis of said problem, it was found that the problem occurred due to the inconsistency of the operational workers who were unable to clamp the work piece in a stationary and level position, which resulted in incorrect position of drilling holes after welding process. As such, the researcher has designed a fixture using the theory of drilling design and clamping devices to support the concept design of such device. After conducting a function test for a set period of time, it is found that this fixture helps prevent the problem of incorrect position of drilling holes and no more waste was found throughout the function test conducted from September to October 2015.

Keywords : Waste reduction, Fixture, Spot welding, Motorcycle seat Lock

บทนำ

การผลิตชิ้นส่วนรถจักรยานยนต์ นับว่าเป็นธุรกิจหลักประเภทหนึ่งที่จะเชื่อมโยงต่อภาคอุตสาหกรรมการผลิตรถจักรยานยนต์ในประเทศเพราะหากธุรกิจอุตสาหกรรมรถจักรยานยนต์มีการขยายตัว หรือมีการเปลี่ยนแปลงใด ๆ จะส่งผลกระทบต่อการพัฒนาและการดำเนินงานของกลุ่มธุรกิจอุตสาหกรรมการผลิตชิ้นส่วนรถจักรยานยนต์ไปด้วย เนื่องจากปัจจุบันมีผู้ประกอบการอุตสาหกรรมการผลิตชิ้นส่วนรถจักรยานยนต์เพิ่มมากขึ้น และมีจำนวนในการผลิตที่เพิ่มมากขึ้นอีกทั้งยังมีความต้องการให้ใช้เวลาในการผลิตที่น้อยลง จึงส่งผลให้ผู้ผลิตชิ้นส่วนรถจักรยานยนต์ต้องเพิ่มศักยภาพในการผลิต และมีความจำเป็นที่ต้องตอบสนองต่อความต้องการของลูกค้า โดยมุ่งที่จะผลิตสินค้าที่มีคุณภาพ (Quality) (วันชัย ริจิรวินิจ, 2552) ซึ่งเป็นหัวใจสำคัญในการแข่งขันทางด้านธุรกิจ จากปัญหาดังกล่าว จากการศึกษาข้อมูลของบริษัทกรณีศึกษา ที่ได้ทำการผลิตชิ้นส่วนตัวล้อคเบาะรถจักรยานยนต์ ที่ผ่านมาของโรงงาน พบปริมาณของของเสียทั้งหมด 11,780 ชิ้น จากจำนวนการผลิต 30,610 ชิ้น ซึ่งคิดเป็น 38.48 เปอร์เซ็นต์ จากจำนวนการผลิตทั้งหมด ในช่วงเวลาดังกล่าว ซึ่งเป็นของเสียจำนวนมาก ซึ่งหากปล่อยให้เกิดปัญหาดังที่กล่าวต่อไป บริษัทกรณีศึกษา อาจไม่สามารถตอบสนองตามความต้องการของลูกค้าที่มีมากขึ้นทั้งในปัจจุบันและในอนาคตได้ และ

ยังเป็นการสูญเสียปัจจัย ในการแข่งขันกับ ผู้ผลิตรายอื่นในสภาวะเศรษฐกิจปัจจุบัน ด้วยเหตุนี้จึงควรหาแนวทางการการลดของเสียจากกระบวนการผลิตที่เกิดขึ้น เพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าว

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษากระบวนการผลิตตัวล้อคเบาะรถจักรยานยนต์
2. เพื่อศึกษาการเกิดปัญหาของเสียในกระบวนการผลิตตัวล้อคเบาะรถจักรยานยนต์
3. เพื่อลดของเสียในกระบวนการผลิตตัวล้อคเบาะรถจักรยานยนต์

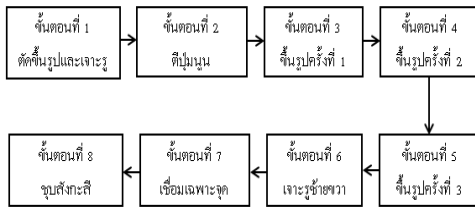
วิธีการดำเนินงานวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการออกแบบปรับปรุงกระบวนการผลิตตัวล้อคเบาะรถจักรยานยนต์ เพื่อลดของเสียที่เกิดขึ้น โดยมีแนวทางการศึกษาและออกแบบ คือ

1. ศึกษากระบวนการผลิตตัวล้อคเบาะรถจักรยานยนต์

จากการศึกษากระบวนการผลิตชิ้นงานตัวล้อคเบาะรถจักรยานยนต์ของโรงงานตัวอย่าง มีกระบวนการผลิตแบ่งออกเป็น 8 ขั้นตอน ดังภาพที่ 1 โดยกระบวนการผลิตตัวล้อคเบาะรถจักรยานยนต์ จะเริ่มจากการตัดชิ้นรูปชิ้นงานก่อนต่อมานำชิ้นงานไปตีปุ่มด้านในออกมาตามลักษณะของชิ้นงาน จากนั้นจะนำชิ้นงานไปผ่านการขึ้นรูป 3 ครั้ง โดยวิธีพับตอจากนั้นจะนำชิ้นงานมาเจาะรู 2 ข้าง

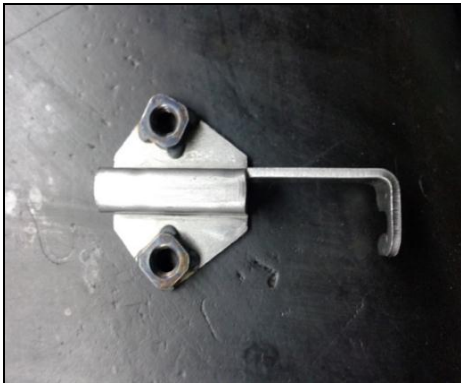
ตามด้วยการเชื่อม และขั้นตอนสุดท้าย
ส่งไปชุบซึ่งเมื่อสิ้นสุดกระบวนการผลิต
ชิ้นงานจะมีลักษณะดังรูปที่ 2



ภาพที่ 1 ขั้นตอนในการผลิตชิ้นงาน

2. การจัดลำดับความถี่ของปัญหา

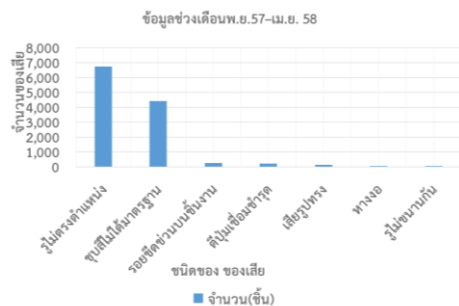
จากข้อมูลดังกล่าวผู้วิจัยได้นำข้อมูล
จากการเก็บข้อมูลมาจัดเรียงลำดับความถี่
ของปัญหาจากมากไปหาน้อยเพื่อทำการ
พิจารณาปัญหาที่มีความสำคัญมากที่สุด
(นุสสรุ เกียรติกรกฎ, 2549) มาทำการแก้ไข
ก่อนดังแสดงในตารางที่ 1



ภาพที่ 2 ตัวล็อกเบาะรถจักรยานยนต์

ตารางที่ 1 ปัญหาของเสียช่วงเดือนพ.ย. 57 –
เม.ย. 58

ปัญหา	จำนวน(ชิ้น)	เปอร์เซ็นต์
รอยขีดข่วนบน ชิ้นงาน	268	2.27
รูไม่ตรงตำแหน่ง	6,717	57.02
เสียรูปทรง	120	1.02
หางงอ	55	0.47
รูไม่ขนานกัน	19	0.16
ชุบสีไม่ได้	4,397	37.32
มาตรฐาน		
ตีป้อนเชื่อมชำรุด	204	1.73
จำนวนงานเสีย	11,780	
จำนวนการผลิต	30,610	
ทั้งหมด		



ภาพที่ 14 แผนภูมิแท่งการจัดลำดับของ
เสียระหว่างเดือน พ.ย. 2557-เม.ย. 2558

การตรวจสอบปัญหาของเสีย
ประเภทชิ้นงานประเภทรูไม่ตรงตำแหน่งทำ
โดยใช้สลักพินทดสอบผ่านแป้นเกลียวที่
เชื่อมกับตัวล็อกเบาะรถจักรยานยนต์เข้า
กับอุปกรณ์ตรวจสอบความเที่ยงตรงของรู
ดังภาพที่ 3 โดยถ้าหากสลักพินไม่สามารถ
สวมเข้ากับแป้นเกลียวได้จนถึงระยะที่
กำหนด ชิ้นงานดังกล่าวก็จะเป็นชิ้นงานที่

พบปัญหา รูไม่ตรงตำแหน่งดังลูกศรชี้ใน
ภาพที่ 4



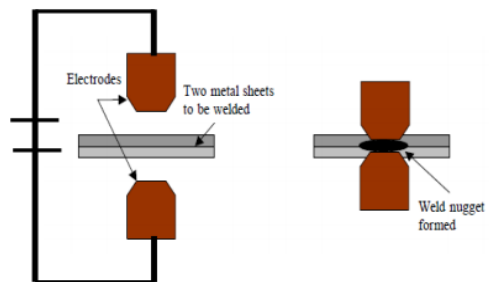
ภาพที่ 3 ชิ้นงานที่รูตรงตำแหน่งไม่พบปัญหา



ภาพที่ 4 ชิ้นงานที่พบปัญหา รูไม่ตรงตำแหน่ง

จากตารางที่ 1 แสดงถึงความสัมพันธ์
ของประเภทของปัญหากับเปอร์เซ็นต์ของ
เสียสะสม ซึ่งจะเห็นได้ว่าปริมาณของเสีย
มากที่สุด เกิดจากสาเหตุ รูไม่ตรงตำแหน่ง

ซึ่งมีมากถึง 57.02 เปอร์เซ็นต์ ของของเสีย
ทั้งหมด ผู้วิจัยจึงเลือกที่จะแก้ไขปัญหารู
ไม่ตรงตำแหน่งดังภาพที่ 4 เป็นอันดับแรก
ในการแก้ไขปัญหามาจากการศึกษา
กระบวนการผลิตพบว่าปัญหารูไม่ตรง
ตำแหน่งนั้นเกิดขึ้นในขั้นตอนการกำหนด
ตำแหน่งเชื่อมต่อนานแบบจุด ผู้วิจัยจึงได้
ทำการศึกษาขั้นตอนการกำหนดตำแหน่ง
เชื่อมต่อนานแบบจุดและนำ ไปวิเคราะห์
ด้วยแผนภูมิต้นไม้ จากนั้นจึงกำหนดแนว
ทางการแก้ไขปรับปรุง



ภาพที่ 5 ลักษณะการเชื่อมแบบจุด

ที่มา : วีรพงษ์ ศิริภัทรกร 2554

3. ทำการศึกษากระบวนการเชื่อมตัว
ลวดเบาะรถจักรยานยนต์ ในขั้นตอน
การกำหนดตำแหน่งเชื่อมต่อนานแบบจุด

ลักษณะการทำงานในขั้นตอน
การกำหนดตำแหน่งเชื่อมต่อนานแบบจุด
นั้น เริ่มจากพนักงานจะเริ่มทำการกำหนด
จุดการเชื่อมชิ้นงานกับแป้นเกลียว โดยใช้
มือซ้ายในการพยุงชิ้นงานและกำหนด
ระยะการเชื่อม แล้วจึงนำแป้นเกลียวมา
วางตามจุดที่กำหนดด้วยมือ ให้ติดกับตัว

ชิ้นงานด้านรูซ้ายก่อนแล้วจึงทำการเชื่อมดังภาพที่ 7 แล้วจึงทำการเชื่อมรูด้านขวาดังภาพที่ 8 จะเห็นได้ว่าลักษณะการเชื่อมแป้นเกลียวให้ติดกับตัวล้อคเบาะรถจักรยานยนต์ของพนักงานไม่มีความแน่นอน พนักงานอาจเกิดการเกร็งแขนในการจับชิ้นงานระหว่างการเชื่อมอีกทั้งต้องทำงานในครั้งละจำนวนมากอาจทำให้พนักงานเกิดความเมื่อยล้า และอาจมีการจับงานที่ไม่แน่นอนในแต่ละครั้งที่เชื่อมทำให้งานที่ได้ออกมานั้นมีความผิดพลาดทำให้แป้นเกลียวกับตัวล้อคเบาะรถจักรยานยนต์ไม่ตรงกันซึ่งเป็นสาเหตุหลักที่ก่อให้เกิดปัญหาไม่ตรงตำแหน่งของชิ้นงาน



ภาพที่ 6 ลักษณะการเชื่อมเชื่อมตัวล้อคเบาะรถจักรยานยนต์แบบเดิม



ภาพที่ 7 ลักษณะการเชื่อมแป้นเกลียวให้ติดกับตัวชิ้นงานด้านซ้าย



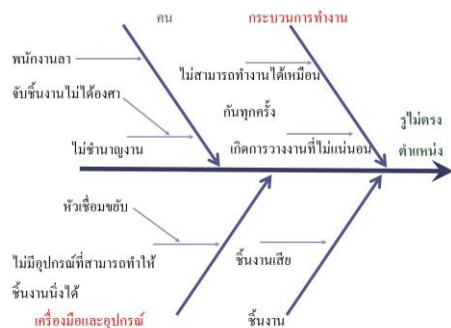
ภาพที่ 8 ลักษณะการเชื่อมแป้นเกลียวให้ติดกับตัวชิ้นงานด้านขวา

การวิเคราะห์ปัญหาและสาเหตุ

จากข้อมูลปัญหาที่ได้จากการศึกษาขั้นตอนการกำหนดตำแหน่งเชื่อมด้านทานแบบจุดของตัวล้อคเบาะรถจักรยานยนต์ดังที่กล่าวมาผู้วิจัยได้ทำการศึกษาหาสาเหตุโดยใช้การจัดเก็บข้อมูลทางสถิติเพื่อจัดลำดับความถี่ของปัญหาและใช้เครื่องมือคุณภาพ 7 ชนิด (สถาบันเพิ่มผลผลิตแห่งชาติ, 2553) ซึ่งผู้วิจัย เลือกใช้แผนผังแสดงเหตุและผล ซึ่งเป็นเครื่องมือควบคุมคุณภาพ

ที่สามารถแสดงให้เห็นถึงสาเหตุของปัญหา และผลที่เกิดขึ้น เพื่อที่จะนำไปทำการปรับปรุงแก้ไขดังต่อไปนี้

ปัญหาของเสียที่เกิดจากชิ้นงานมีรูไม่ตรงตำแหน่งสามารถแสดงการวิเคราะห์ได้ดังแสดงในภาพที่ 9 โดยใช้ปัจจัย 4M ในการแยกปัญหาแต่ละสาเหตุ เมื่อผู้วิจัยทราบถึงปัญหาและสาเหตุ ผลการวิเคราะห์พบว่าเกิดจากการขาดทั้ง เครื่องมืออุปกรณ์ที่ใช้ในกระบวนการผลิตและกระบวนการทำงาน ทำให้กระบวนการผลิตตัวล้อคเบาะรถจักรยานยนต์ในขั้นตอนการกำหนดตำแหน่งเชื่อมด้านทานแบบจุดมีรูไม่ตรงตามที่กำหนด



ภาพที่ 9 แผนผังแสดงเหตุและผลแสดงสาเหตุของรูไม่ตรงตำแหน่ง

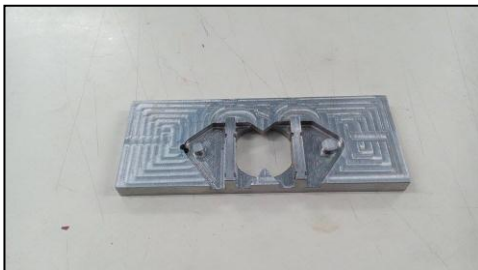
จากการที่ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาหาสาเหตุโดยใช้เครื่องมือวิจัย คือแผนผังแสดงเหตุและผล ผู้วิจัยได้พบว่า เกิดจากลักษณะการวางแป้นเกลียวลงบนตัวล้อคเบาะรถจักรยานยนต์ก่อนทำการเชื่อมนั้นมี การเคลื่อนที่ของแป้นเกลียว จากการวิเคราะห์แผนผังแสดงเหตุและผลนั้นทำให้

เห็นถึงสาเหตุหลักที่ทำให้เกิดงานเสีย โดยเกิดจากเครื่องมืออุปกรณ์และกระบวนการทำงาน มีสาเหตุมาจาก ในแป้นเชื่อมมีรูขนาดใหญ่จนเข็มที่อยู่ตรงกลางสามารถที่จะขยับได้ ทำให้ก่อนการเชื่อม ชิ้นงานอาจขยับ ทำให้แป้นเกลียวที่เชื่อมไม่ตรงกับศูนย์กลางรู ส่วนอีกสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดความเสียหายต่องานคือกระบวนการทำงานโดยมีสาเหตุเกิดจากการที่พนักงานไม่สามารถวางมือในการจับงานให้เหมือนกันได้ทุกครั้งได้ ทำให้พนักงานอาจจับชิ้นงานเอียงหรือไม่ระนาบไปกับแป้นเชื่อมทำให้มีความไม่แน่นอนก่อนการเชื่อมของชิ้นงานเกิดขึ้นดังภาพที่ 6 ดังนั้นเมื่อทราบสาเหตุที่ทำให้เกิดของเสียประเภทรูไม่ตรงตำแหน่งแล้ว ผู้วิจัยจึงได้เลือกแนวทางการออกแบบพัฒนาอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานขึ้นมาเพื่อลดของเสียในประเภทรูไม่ตรงตำแหน่ง

การกำหนดแนวทางการแก้ไขปัญหาและการปรับปรุง

จากการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาสามารถนำมากำหนดแนวทางการปรับปรุงแก้ไขได้ดังนี้ ทางผู้วิจัยได้รู้ถึงปัญหาและได้เห็นถึงสาเหตุที่เกิดขึ้น ว่ามาจากการทำงานที่ไม่แน่นอนของพนักงานที่ไม่สามารถจับงานแบบเดียวกันได้ทุกครั้ง อีกทั้งไม่มีอุปกรณ์มาบังคับให้งานเหมือนกันทุกครั้งได้ หลังจากที่ได้จัดทำวิจัยได้ทำการศึกษาข้อมูลเบื้องต้นของแบบงานตัวล้อคเบาะรถจักรยานยนต์ ทางทำวิจัย

จึงได้ทำการออกแบบอุปกรณ์ช่วยในการจับยึดชิ้นงาน (วัชระ มีทอง, 2545) ให้สามารถใช้งานได้โดยยึดหลักการ ให้พนักงานสามารถทำงานในลักษณะเดิม แต่สามารถทำให้การวางงานมีความนิ่งมากขึ้นและสามารถเชื่อมแป้นเกลียวเข้ากับชิ้นงานได้ทั้งทางรูซ้ายและรูขวา ซึ่งได้ออกแบบตามทฤษฎีการออกแบบจิ๊กและฟิกเจอร์โดยทำการออกแบบอุปกรณ์จับยึดเพื่อกำหนดตำแหน่งในการเชื่อมด้านทานแบบจุด โดยมีลักษณะของอุปกรณ์ตัวจับยึดชิ้นงานที่ใช้ในการควบคุมการทำงานของงานดังภาพที่ 10 และมีลักษณะการติดตั้งอุปกรณ์ช่วยในการจับยึดชิ้นงานดังภาพที่ 11 โดยออกแบบตามลักษณะของงานคือให้สามารถวางชิ้นงานเพื่อให้สามารถเชื่อมแป้นเกลียวเข้ากับชิ้นงานได้ทั้งรูด้านซ้ายและรูด้านขวา ดังในภาพที่ 12 และภาพที่ 13



ภาพที่ 10 อุปกรณ์ช่วยจับยึดชิ้นงานที่ออกแบบใหม่



ภาพที่ 11 การประกอบอุปกรณ์ช่วยจับยึดชิ้นงานเข้ากับแท่นเชื่อมแบบจุด



ภาพที่ 12 การเชื่อมชิ้นงานด้านขวา



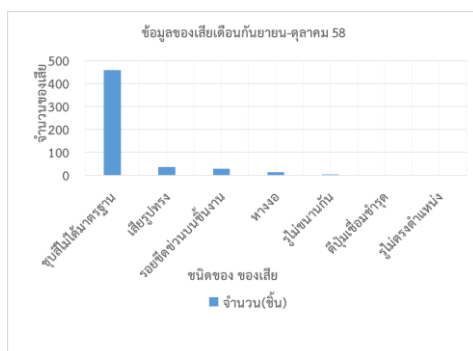
ภาพที่ 13 การเชื่อมชิ้นงานด้านซ้าย

ผลการดำเนินการวิจัย

ผลที่ได้จากการดำเนินการแก้ไขและปรับปรุงเพื่อลดของเสียในกระบวนการผลิตตัวล๊อคเบาะรถจักรยานยนต์ในขั้นตอนการกำหนดตำแหน่งเชื่อมด้านทานแบบจุดของตัวล๊อคเบาะรถจักรยานยนต์ของบริษัทตัวอย่างสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 2

รูไม่ตรงตำแหน่งในช่วงเดือนกันยายน - ตุลาคม พ.ศ. 2558 สามารถสรุปให้เห็นได้ว่าปริมาณของเสียในปัญหารูไม่ตรงตำแหน่ง ได้ลดลงเหลือ 0 ชิ้น ดังภาพที่ 14

ปัญหา	จำนวน (ชิ้น)	เปอร์เซ็นต์
รอยขีดข่วนบน ชิ้นงาน	29	5.38
รูไม่ตรงตำแหน่ง	0	0
เสียรูปทรง	36	6.67
หางงอ	13	2.41
รูไม่ขนานกัน	4	0.74
ชุบสีไม่ได้มาตรฐาน	457	84.78
ตีปุ่มเชื่อมชำรุด	0	0
จำนวนงานเสีย	539	
จำนวนการผลิต ทั้งหมด	10,780	



ภาพที่ 14 แผนภูมิแท่งการจัดลำดับของ
เสียระหว่างเดือน ก.ย.-ต.ค. 2558

จากตารางที่ 2 หลังจากมีการปรับปรุงอุปกรณ์ตัวจับยึดชิ้นงาน ทำให้สามารถลดของเสียประเภทรูไม่ตรงตำแหน่งได้เป็นอย่างดี โดยจากการเก็บข้อมูลของเสียจากกระบวนการผลิตตัวล้อคเบาะรถจักรยานยนต์หลังทำแก้ไข พบว่าปัญหาของเสียประเภท

สรุปและอภิปรายผลการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาและปรับปรุงกระบวนการผลิตเพื่อลดของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตของบริษัทกรณีศึกษา โดยมีการตั้งเป้าหมายตัวชี้วัดไว้ว่าเมื่อทำการปรับปรุงกระบวนการแล้วจะต้องไม่พบปัญหาประเภทรูไม่ตรงตำแหน่งในกระบวนการผลิตตัวล้อคเบาะรถจักรยานยนต์ และเมื่อได้ทำผลิจากวิธีการผลิตที่ได้ทำการปรับปรุงแล้ว พบว่าไม่พบของเสียที่เกิดขึ้นหลังจากมีการปรับปรุงกระบวนการผลิตซึ่งผลการดำเนินการเป็นไปตามเป้าหมายที่วางไว้

เอกสารอ้างอิง

วันชัย ธิวัชรนิจ.(2552). การศึกษาการ
ทำงานหลักการ และกรณีศึกษา.
กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์ แห่ง
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

นุสสรุา เกรียงกรกรกฎ และปรีชา เกรียงกรกรกฎ,
และมงคลขันติ. (2549). การประยุกต์ใช้
เครื่องมือทาง คุณ ภาพ ใน
โรงงานผลิตกระเป่าและเครื่องหนัง.
ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะ
วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัย
อุบลราชธานี.

สถาบันเพิ่มผลผลิตแห่งชาติ. (2553)

เครื่องมือคุณภาพ 7 ชนิด (7 QC

Tools). สืบค้นเมื่อ 25 มิถุนายน

2559, จาก <http://youth.ftpi.or.th>

วีรพงษ์ ศิริภัทรางกูรและไพบูลย์ ช่างทอง.

(2554). **วิธีการลดของเสียใน**

กระบวนการเชื่อมจุดของ

กระบวนการผลิตชิ้นงาน .

การประชุมวิชาการข่ายงาน

วิศวกรรมอุตสาหกรรม ประจำปี

2554. 20-21 ตุลาคม 2554.

วัชร มีทอง. (2545).**การออกแบบจิ๊ก และ**

ฟิกเจอร์. พิมพ์ครั้งที่ 12.

**การถ่ายทอดเทคโนโลยีด้านพลังงานทดแทน (ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงาน
แสงอาทิตย์) ตามหลักปรัชญาของเศรษฐกิจพอเพียง ด้วยรูปแบบการจัดการ
ความรู้แบบมีส่วนร่วม ขององค์การบริหารส่วนตำบลในเขต
จังหวัดกำแพงเพชร**

**The Transfer of Alternative Energy Technology (solar power
system) in Accordance with Sufficiency Economics Philosophy
by Collaborative Learning Management of Sub-District
Administrative Organization in Kamphaeng Phet Province.**

วิษณุ บัวเทศ

คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร

Email : witsanu_051116@msn.com

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อถ่ายทอดเทคโนโลยีด้านพลังงานทดแทน (ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์) ตามหลักปรัชญาของเศรษฐกิจพอเพียง ด้วยรูปแบบการจัดการความรู้แบบมีส่วนร่วม ขององค์การบริหารส่วนตำบลในเขตจังหวัดกำแพงเพชร มีวิธีการดำเนินการโดยการลงพื้นที่เพื่อจัดเวทีประชาคมและการสัมภาษณ์ การอบรมเชิงปฏิบัติการให้ความรู้แก่กลุ่มเป้าหมายผู้เข้าร่วมกิจกรรม และการสอบถามความคิดเห็นกลุ่มเป้าหมาย ผู้ให้ข้อมูล ได้แก่ บุคลากร/เจ้าหน้าที่ขององค์การบริหารส่วนตำบล ผู้นำชุมชน ประชาชนในชุมชนท้องถิ่นขององค์การบริหารส่วนตำบลในเขตจังหวัดกำแพงเพชร จำนวน 11 อำเภอ อำเภอละ 1 แห่ง กำหนดจำนวนของกลุ่มตัวอย่างอำเภอละ 30 คน รวมทั้งสิ้น 330 คน โดยวิธีการเลือกกลุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บข้อมูล ได้แก่ วิธีการลงภาคสนามเพื่อสังเกตการณ์ วิธีการสัมภาษณ์ การอบรมเชิงปฏิบัติการ และแบบสอบถามความคิดเห็น การวิเคราะห์ข้อมูล วิเคราะห์โดยการแจกแจงความถี่ ค่าร้อยละ ค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน และการวิเคราะห์เนื้อหา ผลการวิจัยมีดังนี้ 1) สภาพ และปัญหาการใช้เทคโนโลยีด้านพลังงานทดแทนของประชาชนในเขตจังหวัดกำแพงเพชร พบว่า ส่วนใหญ่ยังไม่ได้มีการใช้พลังงานทดแทนอย่างจริงจัง และขาดความรู้ความเข้าใจในการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีด้านพลังงานทดแทน และมีความต้องการใช้ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อนำไปประยุกต์ใช้กับ การทำการเกษตรเป็นหลัก รวมถึงใช้กับกระบวนการผลิตของสินค้า OTOP ของวิสาหกิจชุมชน

และต้องการให้มีศูนย์การเรียนรู้ด้านพลังงานทดแทนของชุมชน 2) การจัดการอบรมเชิงปฏิบัติการให้กับกลุ่มเป้าหมาย พบว่า กลุ่มเป้าหมายผู้เข้ารับการอบรมมีคะแนนสอบหลังการอบรม สูงกว่า ก่อนการอบรมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 3) การศึกษาผลกระทบและผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นหลังจากการนำเทคโนโลยีด้านพลังงานทดแทน ไปขยายผลสู่การปฏิบัติ เพื่อประเมินความพึงพอใจของผู้เข้าร่วมกิจกรรม พบว่า ความพึงพอใจของผู้เข้าร่วมกิจกรรมโดยภาพรวม อยู่ในระดับมาก ($\bar{x}=4.33$) และ 4) การจัดแหล่งเรียนรู้ในด้านพลังงานทดแทนให้กับกลุ่มเป้าหมาย พบว่า เกิดผลการเผยแพร่ผลงานวิจัยสู่ชุมชน และได้แหล่งเรียนรู้ในด้านพลังงานทดแทน ที่สามารถขยายผลสู่การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีด้านพลังงานทดแทน ตามหลักปรัชญาของเศรษฐกิจพอเพียง

คำสำคัญ : พลังงานทดแทน, ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์, หลักปรัชญาของเศรษฐกิจพอเพียง

Abstract

This objective of the transfer of alternative energy technology (solar power system) in accordance with sufficiency economics philosophy by collaborative learning management of Sub-District Administrative Organization in Kamphaeng Phet Province. The research method involved visiting the studied area in order to arrange public space for observation and interview, training target groups or participants and asking their opinions. The target group who gave information consisted of personnel/sub-district administrative officers, community leaders and people in the communities of 11 districts, one community for each district. There were 30 people in one sample group for each district. Thus, the total number was 330 people in total. Purposive sampling was applied. The data collection tools consisted of observation in the study area, interviews, training, and questionnaires to obtain opinions, as well as data analysis, frequency analysis, percentage, mean, standard deviation and content analysis. The results are as follows: 1) For the condition and problem in using alternative energy technology for people in Kamphaeng Phet Province, it was found that most did not seriously use alternative energy and lacked understanding of technological adaptation. Most needed solar power systems mainly for agricultural work, OTOP products manufacture for community enterprises and an alternative energy learning center in the community. 2) Training for the target groups of participants resulted in earned scores after training that were higher than before training with a statistical significance at level .05. 3) The study of the impact and outcome of using alternative energy to evaluate the satisfaction of participants found that their overall satisfaction was high ($\bar{x}=4.33$). and 4) For the arrangement of alternative energy learning resources for the target groups, the results revealed that the work had been transferred in the community and they received alternative energy learning resources which could lead to technological adaptation in accordance with the sufficiency economy philosophy.

Keywords : Alternative Energy, Solar Power System, Sufficiency Economy Philosophy

บทนำ

ปัจจุบันพลังงานทางเลือกมีความจำเป็นอย่างยิ่งสำหรับสังคมไทย เนื่องจากพลังงานหลักที่ใช้อยู่ในวันนี้จะหายากและมีราคาแพง น้ำมันดิบและก๊าซธรรมชาติต่างมีแนวโน้มราคาที่สูงขึ้น นอกจากนี้ในด้านสิ่งแวดล้อมยังพบว่าการผลิตพลังงานไฟฟ้าได้สร้างผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจำนวนมาก เช่น การปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยเฉพาะก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกสู่บรรยากาศ อันเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้โลกมีอุณหภูมิสูงขึ้น ด้านสังคม พบว่า การผลิตพลังงานไฟฟ้ามีส่วนกระทบต่อชีวิตความเป็นอยู่ของประชาชนที่อยู่โดยรอบโครงการ เช่น การสร้างผลกระทบต่อสุขภาพในกรณีของโรงไฟฟ้าแม่เมาะ เป็นต้น ดังนั้นความไม่ยั่งยืนทางด้านสิ่งแวดล้อมและสังคมที่แต่ละชุมชนต้องประสบจากโครงการพัฒนาด้านพลังงานไฟฟ้าจึงกลายเป็นความไม่มั่นคงทางสังคมและกลายเป็นข้อขัดแย้งที่ยืดเยื้อยาวนานในสังคมไทย โดยหน่วยงานที่เกี่ยวข้องได้ปรับเปลี่ยนแนวคิดด้านพลังงานทางเลือกในปัจจุบัน เน้นด้านการสร้าง “ภูมิคุ้มกัน” ให้เกิดขึ้นในระบบพลังงานด้วยการลดการพึ่งพิงพลังงานที่ใช้แล้วหมดไป ลดการใช้เชื้อเพลิงที่ต้องนำเข้าจากต่างประเทศ และหันมาพัฒนาภูมิปัญญาและเทคโนโลยีในการใช้ทรัพยากรที่หมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่และอยู่ในท้องถิ่น ในขณะเดียวกันควรคำนึงถึง “ความเกื้อกูล” ด้วยการมุ่งเน้นการลด

ผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมหรือการได้มาซึ่งพลังงานที่สะอาด เน้นการพัฒนาแหล่งผลิตพลังงานขนาดเล็กให้กระจายอยู่ทั่วไป โดยมีชุมชนเป็นเจ้าของ กล่าวคือ เป็นทั้งผู้ผลิต ผู้ใช้ และผู้คอยควบคุมไม่ให้เกิดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมกับชุมชนตนเอง อันสอดคล้องกับหลักปรัชญาเศรษฐกิจพอเพียงตามแนวพระราชดำริของพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว ที่มีหลักสำคัญ 3 ประการ คือ ความมีเหตุผล ความพอประมาณ และมีภูมิคุ้มกันตนเอง ซึ่งการพัฒนาพลังงานทดแทนอื่น ๆ เช่น พลังงาน แสงอาทิตย์ พลังงานลม พลังงานน้ำ ฯลฯ จึงเป็นแนวทางการพัฒนาพลังงานทางเลือกที่แตกต่างกันไปในแต่ละท้องถิ่น โดยเงื่อนไขสำคัญที่สุดของพลังงานทางเลือกก็คือ ภูมิปัญญาและเทคโนโลยี ในการใช้ทรัพยากรที่มีอยู่ในท้องถิ่นอย่างชาญฉลาด เพื่อให้เกิดประโยชน์ต่อทั้งคนและสิ่งแวดล้อม ตลอดจนความสามารถในการจัดการและควบคุมดูแลกันได้ในระดับท้องถิ่นเป็นหลัก (จิรศักดิ์ สุรังคพิพรรธน์ และคณะ, 2552)

เศรษฐกิจพอเพียงเป็นที่รู้จักนับตั้งแต่พระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวได้มีพระราชดำริเกี่ยวกับการพัฒนาประเทศตามแนวเศรษฐกิจพอเพียงเป็นครั้งแรกในปี พ.ศ. 2517 พระองค์ทรงครองราชย์ และทรงได้นำหลักปรัชญาของเศรษฐกิจพอเพียงมาปฏิบัติในพระราชกรณียกิจ โดยทรงแสดงให้เห็นถึงความพอเพียงความพอดีในความเป็นอยู่ ทรงใช้เหตุผลเป็นเครื่อง

นำทางตลอดเวลา (สุเมธ ตันติเวชกุล, 2549) และแนวพระราชดำริของพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวอันเกี่ยวกับการพัฒนาพลังงาน เป็นตัวอย่างของการคิดค้นพัฒนาแหล่งพลังงานอื่น ๆ อย่างมีเหตุผล เป็นการพัฒนาไปสู่ความยั่งยืนและการพึ่งพาตนเองได้อย่างแท้จริง เพราะเป็นการพัฒนาที่มุ่งเน้นการใช้ทรัพยากรที่สามารถผลิตได้ภายในประเทศด้วยเทคโนโลยีอันเกิดจากการศึกษาวิจัยของไทยเอง จึงเหมาะสมกับการใช้งานอย่างแท้จริง ขณะเดียวกันการใช้ทรัพยากรภายในประเทศไม่เพียงช่วยให้มีพลังงานใช้ภายในประเทศอย่างพอเพียงเท่านั้น ยังช่วยให้เกษตรกรมีรายได้เพิ่มขึ้น ลดการนำเข้าพลังงานจากต่างประเทศ เท่ากับช่วยเพิ่มปริมาณเงินทุนหมุนเวียนอยู่ภายในประเทศมากขึ้นด้วยเช่นกัน การยึดหลัก "เศรษฐกิจพอเพียง" ในการพัฒนาพลังงาน จึงเป็นหนทางนำไปสู่การพัฒนาพลังงานที่ยั่งยืนอย่างแท้จริง (กระทรวงพลังงาน, 2557)

องค์การบริหารส่วนตำบลในเขตจังหวัดกำแพงเพชร ได้นำเอาแนวพระราชดำริของพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวอันเกี่ยวกับการพัฒนาพลังงานทดแทน มาประยุกต์ใช้ภายในหน่วยงานและในครัวเรือนของแต่ละชุมชน รวมถึงการประยุกต์ใช้กับกลุ่มวิสาหกิจชุมชนในการสินค้า OTOP เพื่อเป็นการลดค่าใช้จ่ายไฟฟ้า และเป็นแหล่งเรียนรู้ด้านพลังงานทดแทนของประชาชนในชุมชน แต่องค์การ

บริหารส่วนตำบลในเขตจังหวัดกำแพงเพชร ทั้ง 11 อำเภอ ยังไม่มีสถานที่ที่จะดำเนินการพัฒนาให้เป็นศูนย์การเรียนรู้ด้านพลังงานทดแทน และประชาชนในชุมชนท้องถิ่นยังขาดความรู้ด้านพลังงานทดแทนที่จะนำมาประยุกต์ใช้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าของหน่วยงานและในครัวเรือน

จากปัญหาที่เกิดขึ้นกับชุมชนท้องถิ่นในการนำเอาเทคโนโลยีเข้าไปใช้ในชุมชนพบว่า ชุมชนยังขาดความรู้เรื่องเทคโนโลยีที่นำไปใช้ และที่ผ่านมาส่วนใหญ่ชุมชนถูกจัดให้เป็นผู้รับเทคโนโลยีเพียงอย่างเดียว โดยมีเจ้าหน้าที่ในหน่วยงานต่าง ๆ เข้าไปบรรยายวิชาการรวมถึงการสนับสนุนปัจจัยการผลิตลงสู่ชุมชน มากกว่าการกระตุ้นให้ชุมชนรับความรู้ตามที่ชุมชนต้องการและตัดสินใจโดยตัวของชุมชนเอง

ดังนั้น คณะผู้วิจัยและองค์การบริหารส่วนตำบลในเขตจังหวัดกำแพงเพชร จึงร่วมกันดำเนินการกิจกรรมส่งเสริมและสนับสนุนการวิจัยเรื่อง “การถ่ายทอดเทคโนโลยีด้านพลังงานทดแทน (ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์) ตามหลักปรัชญาของเศรษฐกิจพอเพียง ด้วยรูปแบบการจัดการความรู้แบบมีส่วนร่วม ขององค์การบริหารส่วนตำบลในเขตจังหวัดกำแพงเพชร” โดยเป็นการพิสูจน์หลักการของการจัดการองค์ความรู้ของชุมชน และสามารถนำหลักการและนำผลงานวิจัยไปใช้พัฒนาการถ่ายทอดเทคโนโลยีสู่ชุมชนอื่นต่อไปตามกระบวนการจัดการองค์ความรู้ ซึ่งมีความสอดคล้องกับสำนักงาน

คณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (2555) ที่กำหนดนโยบายและยุทธศาสตร์การวิจัยของชาติฉบับที่ 8 (พ.ศ. 2555-2559) ภายใต้ยุทธศาสตร์การวิจัยเพื่อการปฏิรูประบบการวิจัยของประเทศ เพื่อการบริหารจัดการความรู้ ผลงานวิจัย นวัตกรรม สิ่งประดิษฐ์ ทรัพยากร และภูมิปัญญาของประเทศสู่การใช้ประโยชน์เชิงพาณิชย์และสาธารณะด้วยยุทธวิธีที่เข้าถึงประชาชนและประชาสังคมอย่างแพร่หลาย อันจะก่อให้เกิดการพึ่งพาตนเองด้านเทคโนโลยีด้านพลังงานทดแทนตามหลักปรัชญาของเศรษฐกิจพอเพียง ให้กับกลุ่มเป้าหมายผู้ใช้ประโยชน์ซึ่งจะนำไปสู่การพัฒนาและการใช้พลังงานทดแทนที่ยั่งยืนอย่างแท้จริง

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อถ่ายทอดเทคโนโลยีด้านพลังงานทดแทน (ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์) ตามหลักปรัชญาของเศรษฐกิจพอเพียง ด้วยรูปแบบการจัดการความรู้แบบมีส่วนร่วม ขององค์การบริหารส่วนตำบลในเขตจังหวัดกำแพงเพชร
2. เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาการต่อยอด และการพึ่งพาตนเองด้านเทคโนโลยี ด้านพลังงานทดแทน (ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์) ตามหลักปรัชญาของเศรษฐกิจพอเพียง ให้กับกลุ่มเป้าหมายผู้ใช้ประโยชน์อย่างยั่งยืน
3. เพื่อการติดตามและประเมินผล การถ่ายทอดเทคโนโลยีด้านพลังงาน

ทดแทน (ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์) ตามหลักปรัชญาของเศรษฐกิจพอเพียง ด้วยรูปแบบการจัดการความรู้แบบมีส่วนร่วม ขององค์การบริหารส่วนตำบลในเขตจังหวัดกำแพงเพชร

ขอบเขตของการวิจัย

การวิจัยในครั้งนี้ ใช้หลักการวิจัยเชิงคุณภาพ (Qualitative Research) ร่วมกับการวิจัยเชิงปฏิบัติการ (Action Research) โดยเน้นกระบวนการถ่ายทอดเทคโนโลยีแบบมีส่วนร่วมระหว่างผู้วิจัยและผู้ใช้เทคโนโลยีเป็นหลักการสำคัญในการดำเนินงาน

1. ขอบเขตด้านพื้นที่

พื้นที่ของการถ่ายทอดเทคโนโลยีด้านพลังงานทดแทน (ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์) ตามหลักปรัชญาของเศรษฐกิจพอเพียง ด้วยรูปแบบการจัดการความรู้แบบมีส่วนร่วม ขององค์การบริหารส่วนตำบลในเขตจังหวัดกำแพงเพชร ได้แก่ องค์การบริหารส่วนตำบลในเขตจังหวัดกำแพงเพชร จำนวน 11 อำเภอ ประกอบด้วย อำเภอเมืองกำแพงเพชร อำเภอขาณุวรลักษบุรี อำเภอคลองขลุง อำเภอปางศิลาทอง อำเภอคลองลาน อำเภอลานกระบือ อำเภอพรานกระต่าย อำเภอโกสัมพีนคร อำเภอทรายทองวัฒนา อำเภอไทรงาม และอำเภอบึงสามัคคี

2. ขอบเขตด้านเนื้อหา

เนื้อหาของการถ่ายทอดเทคโนโลยีในการดำเนินงานตามโครงการ การถ่ายทอด

เทคโนโลยีด้านพลังงานทดแทน (ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์) ตามหลักปรัชญาของเศรษฐกิจพอเพียง ด้วยรูปแบบการจัดการความรู้แบบมีส่วนร่วม ขององค์การบริหารส่วนตำบลในเขตจังหวัดกำแพงเพชร ประกอบด้วย

2.1 ประเภทและประโยชน์ของพลังงานทดแทน

2.2 แนวพระราชดำริด้านพลังงานทดแทนตามหลักปรัชญาของเศรษฐกิจพอเพียง

2.3 การประยุกต์ใช้พลังงานทดแทนกับการดำเนินชีวิตของชุมชนท้องถิ่น

2.4 การบำรุงรักษาระบบผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์

2.5 การใช้ไฟฟ้าอย่างประหยัดและปลอดภัย

3. ขอบเขตด้านผู้ให้ข้อมูล

ผู้ให้ข้อมูล ได้แก่ บุคลากร/เจ้าหน้าที่ขององค์การบริหารส่วนตำบล ผู้นำชุมชน ประชาชนในชุมชนท้องถิ่นขององค์การบริหารส่วนตำบลในเขตจังหวัดกำแพงเพชร จำนวน 11 อำเภอ อำเภอละ 1 แห่ง กำหนดจำนวนของกลุ่มตัวอย่างอำเภอละ 30 คน รวมทั้งสิ้น 330 คน โดยวิธีการเลือกกลุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง

วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยในครั้งนี้ มีวิธีการดำเนินการวิจัย แบ่งออกเป็น 4 ระยะ ดังนี้

ระยะที่ 1 การติดต่อประสานงานกับหน่วยงานกับองค์การบริหารส่วนตำบลใน

เขตจังหวัดกำแพงเพชร เพื่อศึกษาสภาพปัญหา และความต้องการใช้และการจัดการเทคโนโลยีด้านพลังงานทดแทนตามหลักปรัชญาของเศรษฐกิจพอเพียง โดยวิธีการลงภาคสนามเพื่อสังเกตการณ์ และวิธีการสัมภาษณ์ วิเคราะห์ข้อมูลใช้เทคนิคการวิเคราะห์เนื้อหา



ภาพที่ 1 การศึกษาสภาพ ปัญหา และความต้องการใช้และการจัดการเทคโนโลยีด้านพลังงานทดแทน

ระยะที่ 2 การนำเทคโนโลยีด้านพลังงานทดแทน (ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์) ไปขยายผลสู่การปฏิบัติเพื่อการใช้ประโยชน์ด้านการต่อยอดเทคโนโลยีด้านพลังงานทดแทน ให้กับองค์การบริหารส่วนตำบลในเขตจังหวัดกำแพงเพชร โดยการจัดการอบรมเชิงปฏิบัติการ วิเคราะห์ข้อมูลจากการทดสอบความรู้ของผู้รับการถ่ายทอดเทคโนโลยีก่อนการอบรม และหลังการอบรม โดยใช้โปรแกรมช่วยทดสอบค่าที (t-test)



ภาพที่ 2 การนำเทคโนโลยีด้านพลังงานทดแทน (ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์) ไปขยายผลสู่การปฏิบัติ

ระยะที่ 3 การศึกษาเปรียบเทียบถึงผลกระทบและผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นหลังจากการนำเทคโนโลยีด้านพลังงานทดแทน (ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์) ไปขยายผลสู่การปฏิบัติ โดยใช้แบบสอบถามความคิดเห็น วิเคราะห์ข้อมูล ใช้สถิติการแจกแจงความถี่ ค่าร้อยละ ค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ระยะที่ 4 สรุปและรายงานผลการดำเนินโครงการถ่ายทอดเทคโนโลยี โดยการจัดแหล่งเรียนรู้ด้านพลังงานทดแทน (ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์) ที่องค์การบริหารส่วนตำบลในเขตจังหวัดกำแพงเพชร



ภาพที่ 3 การจัดแหล่งเรียนรู้ด้านพลังงานทดแทน (ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์)

ผลการวิจัย

1. ผลการติดต่อประสานงานกับหน่วยงานกับองค์การบริหารส่วนตำบลในเขตจังหวัดกำแพงเพชร เพื่อศึกษาสภาพ ปัญหา และความต้องการใช้และการจัดการเทคโนโลยีด้านพลังงานทดแทนตามหลักปรัชญาของเศรษฐกิจพอเพียง มีดังนี้

1.1 สภาพ และปัญหาการใช้เทคโนโลยีด้านพลังงานทดแทน ของประชาชนในเขตจังหวัดกำแพงเพชร ส่วนใหญ่ยังไม่มี การใช้พลังงานทดแทนอย่างจริงจัง และขาดความรู้ความเข้าใจในการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีด้านพลังงานทดแทน

1.2 ความต้องการใช้เทคโนโลยีด้านพลังงานทดแทน ของประชาชนในเขตจังหวัดกำแพงเพชร มีดังนี้

1.2.1 ประชาชนในชุมชนท้องถิ่นมีความต้องการใช้เทคโนโลยีด้านพลังงานทดแทน (ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์) เพื่อประยุกต์ใช้กับเครื่องสูบน้ำ เพื่อทำการเกษตรเป็นหลัก เช่น การสูบน้ำ

ในนาข้าว มันสำปะหลัง อ้อย การปลูกพืชผักสวนครัว และการปลูกพืชไร่ดิน

1.2.2 กลุ่มวิสาหกิจชุมชนมีความต้องการใช้เทคโนโลยีด้านพลังงานทดแทน (ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์) เพื่อลดปริมาณการใช้ไฟฟ้าในการผลิตสินค้าต่าง ๆ เช่น การผลิตน้ำดื่ม การปลูกพืชปลอดสารพิษ การเลี้ยงไส้เดือน เพื่อทำปุ๋ยไส้เดือน การเพาะพันธุ์ปลาช่อน การผลิตเมล็ดพันธุ์ข้าวปลูก การทำมะพร้าวเสวย การทำชาใบหม่อน การทำผลิตภัณฑ์จากหินอ่อน การปลูกพืชไร่ดิน การทำข้าวไรซ์เบอร์รี่ การเลี้ยงกบ การผลิตกระชงจากเปลือกข้าวโพด การทำปุ๋ยอินทรีย์ การทำสมุนไพรลูกประคบ การผลิตข้าวหอมนิล และข้าวญี่ปุ่น

1.2.3 องค์การบริหารส่วนตำบลในเขตจังหวัดกำแพงเพชร มีความต้องการใช้เทคโนโลยีด้านพลังงานทดแทน (ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์) เพื่อลดปริมาณการใช้ไฟฟ้าในการผลิตประปาหมู่บ้าน ระบบไฟแสงสว่างบนถนนในหมู่บ้าน และการจัดตั้งให้เป็นศูนย์การเรียนรู้ด้านพลังงานทดแทนของชุมชน

2. ผลการนำเทคโนโลยีด้านพลังงานทดแทน (ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์) ไปขยายผลสู่การปฏิบัติเพื่อการใช้ประโยชน์ด้านการต่อยอดเทคโนโลยีด้านพลังงานทดแทน ให้กับองค์การบริหารส่วนตำบลในเขตจังหวัดกำแพงเพชร ทั้ง 11 อำเภอ โดยการจัดการอบรมเชิงปฏิบัติการ ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลการเปรียบเทียบคะแนน ก่อนการอบรม กับหลังการอบรม

แบบทดสอบ	$\bar{x}$	S.D.	ค่าเฉลี่ยของผลต่าง	S.D. ค่าเฉลี่ยผลต่าง	t	n	Sig 1 tailed
ก่อนการอบรม	2.34	0.830	3.02	0.954	61.071 *	330	0.000
หลังการอบรม	5.36	1.081					

*มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

จากตารางที่ 1 พบว่า ผู้เข้ารับการอบรมมีคะแนนก่อนการอบรมเฉลี่ย เท่ากับ 2.34 คะแนน และมีคะแนนหลังการอบรมเฉลี่ย เท่ากับ 5.36 คะแนน เมื่อเปรียบเทียบระหว่างคะแนนสอบทั้งสองครั้ง พบว่า คะแนนสอบหลังการอบรมสูงกว่า ก่อนการอบรม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ที่ระดับ .05 และยังพบว่า ผู้เข้ารับการอบรมมีความสนใจที่จะนำระบบผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ไปประยุกต์ใช้กับการทำการเกษตร โดยใช้สูบน้ำในนาข้าว มันสำปะหลัง อ้อย และการปลูกพืชปลอดสารพิษ เพื่อลดการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงเป็นหลัก

3. ผลการศึกษาเปรียบเทียบถึง (ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์)
ผลกระทบและผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นหลังจาก ไปขยายผลสู่การปฏิบัติ ดังแสดงในตาราง
การนำเทคโนโลยีด้านพลังงานทดแทน ที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการศึกษาความคิดเห็นของผู้เข้าร่วมกิจกรรม

รายการประเมิน	$\bar{x}$	S.D.	แปล ความหมาย
1. ความพึงพอใจในการเข้าร่วมกิจกรรม	4.43	0.26	มาก
2. ความรู้ ความเข้าใจทั้งก่อนและหลังการเข้าร่วมกิจกรรม	4.19	0.24	มาก
3. การนำความรู้ไปใช้ประโยชน์หลังการเข้าร่วมกิจกรรม	4.35	0.39	มาก
4. ความพึงพอใจในด้านการใช้งานของระบบผลิตไฟฟ้าด้วย พลังงานแสงอาทิตย์	4.38	0.38	มาก
5. ผลกระทบและผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นหลังจากการนำเทคโนโลยี ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ ไปขยายผลสู่การปฏิบัติ	4.30	0.27	มาก
ค่าเฉลี่ย	4.33	0.31	มาก

จากตารางที่ 2 พบว่า ความคิดเห็น โดยภาพรวมของผู้เข้าร่วมกิจกรรม อยู่ใน ระดับมาก ($\bar{x} = 4.33$) เมื่อพิจารณาเป็น รายข้อพบว่า ความพึงพอใจในการเข้าร่วม กิจกรรม มีค่าเฉลี่ยสูงที่สุด ($\bar{x} = 4.43$) รองลงมา คือ ความพึงพอใจในด้านการใช้ งานของระบบผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงาน แสงอาทิตย์ ($\bar{x} = 4.38$) การนำความรู้ไปใช้ ประโยชน์หลังการเข้าร่วมกิจกรรม ($\bar{x} = 4.35$) ผลกระทบและผลลัพธ์ที่เกิดขึ้น หลังจากการนำเทคโนโลยีระบบผลิตไฟฟ้า ด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ ไปขยายผลสู่การ ปฏิบัติ ($\bar{x} = 4.30$) ตามลำดับ และข้อที่มี ค่าเฉลี่ยน้อยที่สุด คือ ความรู้ ความเข้าใจ ทั้งก่อนและหลังการเข้าร่วมกิจกรรม ($\bar{x} = 4.19$)

4. ผลสรุปและรายงานผลการดำเนิน โครงการถ่ายทอดเทคโนโลยี โดยการจัด แหล่งเรียนรู้ด้านพลังงานทดแทน (ระบบ ผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์) ที่องค์การบริหารส่วนตำบลในเขตจังหวัด กำแพงเพชร ทั้ง 11 อำเภอ พบว่า เกิดการ เผยแพร่ผลงานวิจัยสู่ชุมชน และได้ แหล่งเรียนรู้ในด้านพลังงานทดแทน ที่สามารถขยายผลสู่การประยุกต์ใช้ เทคโนโลยีด้านพลังงานทดแทน ตามหลัก ปรัชญาของเศรษฐกิจพอเพียง ภายใน ชุมชนท้องถิ่นในเขตจังหวัดกำแพงเพชร และได้ต้นแบบที่ดีในการบริหารจัดการ ผลงานวิจัยเพื่อการพัฒนาและแก้ปัญหา ของกลุ่มเป้าหมายในเขตพื้นที่จังหวัด กำแพงเพชร ทั้ง 11 อำเภอ

สรุปและอภิปรายผลการวิจัย

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการดำเนินงานกิจกรรมโครงการ “การถ่ายเทคโนโลยีสู่ด้านพลังงานทดแทน (ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์) ตามหลักปรัชญาของเศรษฐกิจพอเพียง ขององค์การบริหารส่วนตำบลในเขตจังหวัดกำแพงเพชร” มีประเด็นที่สำคัญที่ทำการอภิปรายผล ดังนี้

จากการถ่ายเทคโนโลยีสู่ด้านพลังงานทดแทน (ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์) ตามหลักปรัชญาของเศรษฐกิจพอเพียง ขององค์การบริหารส่วนตำบลในเขตจังหวัดกำแพงเพชร ให้กับกลุ่มเป้าหมายทั้ง 11 อำเภอ ซึ่งพบว่า ประชาชนในชุมชนท้องถิ่น องค์การบริหารส่วนตำบล รวมถึงกลุ่มวิสาหกิจชุมชนในเขตจังหวัดกำแพงเพชร มีความต้องการใช้เทคโนโลยีด้านพลังงานทดแทนโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ เพื่อประยุกต์ใช้กับการทำเกษตรเป็นหลัก รวมถึงใช้กับกระบวนการผลิตของสินค้า OTOP ของวิสาหกิจชุมชน เนื่องจากระบบผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ สามารถลดการใช้พลังงานงานเชื้อเพลิง และพลังงานไฟฟ้าได้อีกทั้งยังต้องการให้มีศูนย์การเรียนรู้ด้านพลังงานทดแทนของชุมชน แต่ประชาชนในชุมชนท้องถิ่นยังขาดองค์ความรู้และความเข้าใจในการใช้พลังงานทดแทนอย่างถูกต้องและเหมาะสม เนื่องจากหน่วยงานที่เกี่ยวข้องภายในจังหวัดกำแพงเพชร ยังไม่ได้มีการส่งเสริม

การใช้พลังงานทดแทนอย่างจริงจัง รวมถึงการลงพื้นที่ให้ความรู้และความเข้าใจกับประชาชนในชุมชนท้องถิ่น ในเรื่องของการใช้พลังงานทดแทนและประโยชน์ที่จะได้จากการใช้พลังงานทดแทน ซึ่งจะเป็นแนวทางให้กับประชาชนในชุมชนท้องถิ่นได้ใช้พลังงานทดแทนตามหลักปรัชญาของเศรษฐกิจพอเพียง หลังจากที่ได้รับ การอบรมให้ความรู้เกี่ยวกับพลังงานทดแทน จึงเป็นหนทางนำไปสู่การพัฒนาพลังงานที่ยั่งยืนอย่างแท้จริง โดยสอดคล้องกับการศึกษาของจิรัชศักดิ์ สุรังคพิพรรธน์ และคณะ (2552) ที่ศึกษาพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าแบบพอเพียงก่อนและหลังการติดตั้งระบบผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ เพื่อคุณภาพชีวิตที่ยั่งยืนในเขตพื้นที่จังหวัดปทุมธานี พบว่า หน่วยงานที่เกี่ยวข้องควรเข้ามาดูแลแก้ไขปัญหาแก่ประชาชน เสริมสร้างความรู้ความเข้าใจที่ถูกต้องต่อสมรรถนะการใช้งานระบบ SHS และที่สำคัญคือการส่งเสริมให้ประชาชนมีส่วนร่วมต่อการตัดสินใจในการดำเนินการเพื่อการดูแลรักษาระบบ SHS ภายในชุมชนหรือหมู่บ้าน อันจะเป็นแนวทางที่จะทำให้ประชาชนมีพฤติกรรมใช้ไฟฟ้าแบบพอเพียง หลังการติดตั้งระบบผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ เพื่อคุณภาพชีวิตที่ยั่งยืน และสอดคล้องกับความคิดเห็นขององค์การสหประชาชาติที่กล่าวถึงปรัชญาของเศรษฐกิจพอเพียงว่าเป็นปรัชญาที่มีประโยชน์ต่อประเทศไทยและนานาประเทศ (UN Secretary-General office,

2006) และสนับสนุนให้ประเทศสมาชิกยึดเป็นแนวทางสู่การพัฒนาแบบยั่งยืน (UN News Center, 2006)

ข้อเสนอแนะในการวิจัย

1. ข้อเสนอแนะในการนำผลจากการวิจัยไปใช้

เนื่องจากประชาชนในชุมชนท้องถิ่นขององค์การบริหารส่วนตำบลในเขตจังหวัดกำแพงเพชร มีความต้องการใช้เทคโนโลยีด้านพลังงานทดแทน (ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์) เพื่อประยุกต์ใช้กับเครื่องสูบน้ำเพื่อทำการเกษตรเป็นหลัก รวมถึงใช้กับกระบวนการผลิตของสินค้า OTOP ของวิสาหกิจชุมชน และต้องการพัฒนาให้เป็นศูนย์การเรียนรู้ด้านพลังงานทดแทนของชุมชน แต่ประชาชนในชุมชนยังขาดความรู้ความเข้าใจในการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีด้านพลังงานทดแทนอย่างถูกต้อง อีกทั้งยังไม่มีหน่วยงานที่เกี่ยวข้องมาให้ความรู้เกี่ยวกับการใช้เทคโนโลยีด้านพลังงานทดแทนให้กับประชาชนอย่างจริงจัง

ดังนั้นหน่วยงานที่เกี่ยวข้องควรเข้ามาแก้ไขปัญหาดังกล่าว และส่งเสริมการใช้พลังงานทดแทนให้แก่ประชาชนในชุมชนท้องถิ่นให้มีความรู้ความเข้าใจที่ถูกต้อง ซึ่งจะเป็นแนวทางให้ประชาชนในชุมชนท้องถิ่นหันมาใช้พลังงานทดแทนเพิ่มขึ้น และจะเป็นการลดการนำเข้าพลังงานจากต่างประเทศ เท่ากับเป็นการช่วยเพิ่มปริมาณเงินทุนหมุนเวียนให้อยู่ภายในประเทศมากขึ้นด้วย

โดยการยึดหลัก "เศรษฐกิจพอเพียง" ในการพัฒนาพลังงาน จึงเป็นหนทางนำไปสู่การพัฒนาพลังงานที่ยั่งยืนอย่างแท้จริง

2. ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

2.1 ควรทำการศึกษาความคิดเห็นของหน่วยงานที่รับผิดชอบในการส่งเสริมการใช้พลังงานทดแทนให้แก่ประชาชนในชุมชนท้องถิ่น เพื่อทราบถึงปัญหาที่แท้จริงในการส่งเสริมการใช้พลังงานทดแทนในปัจจุบันของแต่ละพื้นที่

2.2 ควรดำเนินการวิจัยเกี่ยวกับการพัฒนาและส่งเสริมการใช้พลังงานทดแทนให้แก่ประชาชนในชุมชนท้องถิ่น ให้ตรงกับความต้องการของแต่ละพื้นที่

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการทำกิจกรรมส่งเสริมและสนับสนุนการวิจัยโครงการจัดการความรู้และถ่ายทอดเทคโนโลยี จากผลงานวิจัยและนวัตกรรมจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ประจำปีงบประมาณ 2558

เอกสารอ้างอิง

กระทรวงพลังงาน. (2557). เศรษฐกิจพอเพียง
หนทางสู่การพัฒนาพลังงานอย่าง
ยั่งยืน. สำนักงานนโยบายและแผน
พลังงาน กระทรวงพลังงาน.

- จิรศักดิ์ สุรังคพิพรรธน์ และคณะ. (2552). พฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าแบบพอเพียง ก่อนและหลังการติดตั้งระบบผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ เพื่อคุณภาพชีวิตที่ยั่งยืนในเขตพื้นที่ จังหวัดปทุมธานี. คณะศิลปศาสตร์ และ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ธัญบุรี.
- สุเมธ ตันติเวชกุล. (2549). เศรษฐกิจพอเพียง. วารสารราชภัฏกรุงเก่า. 14(23), 1-50.
- สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ. (2555). นโยบายและยุทธศาสตร์ การวิจัยของชาติฉบับที่ 8 (พ.ศ. 2555-2559). กรุงเทพฯ: สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ.
- UN Secretary-General office. (2006). Thai King's Development Agenda, Visionary Thinking Inspiration to People Everywhere, Says Secretary-General to Bangkok Panel. ค้นเมื่อ [26 May 2016] จาก <http://www.un.org/press/en/2006/sgsm10478.doc.htm>.
- UN News Center. (2006). With new Human Development award, Annan hails Thai King as example for the world. ค้นเมื่อ [26 May 2016] จาก <http://www.un.org/apps/news/story.asp?NewsID=18625&Cr=Thai&Cr1=>.

การปรับปรุงกระบวนการผลิตท่อน้ำมันแรงดันสูง
กรณีศึกษา บริษัท เฮียบชุน เทรดดิ้ง จำกัด
The improvement of High-Pressure Oil Pipelines
Case study : Hiab Choon Trading Co., Ltd.

สร้อยสุดา เละหมุด^{1*}, ธัชชัย แก้วม่วง², จตุพล สมอเขียว³, ฉัตรชัย ทหาระภูมิ⁴

^{1*,2,3,4} สาขาวิชาการจัดการอุตสาหกรรมและเทคโนโลยี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา
Email : na_so@hotmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษากระบวนการผลิตและวิเคราะห์สาเหตุปัญหา และปรับปรุงกระบวนการผลิตท่อน้ำมันแรงดันสูง โดยปัญหาที่พบคือไม่สามารถผลิตสินค้าได้ตามเป้าหมาย 600 ชิ้นต่อวัน คณะผู้วิจัยเก็บข้อมูลโดยการสัมภาษณ์หัวหน้างานฝ่ายผลิต เพื่อศึกษากระบวนการผลิตท่อน้ำมันแรงดันสูง Part no.2669 และการสอบถามพนักงานฝ่ายผลิตจำนวน 10 คน นำมาวิเคราะห์สาเหตุด้วยแผนผังก้างปลา พบว่า 1) ด้านคน พนักงานไม่พอต่อกระบวนการผลิต มีผู้ให้ความเห็นว่าควรปรับปรุง 6 คน 2) ด้านกระบวนการผลิต มีผู้ให้ความเห็นว่า ควรปรับปรุง 8 คน 3) ด้านเครื่องจักรอุปกรณ์ ให้มีความเห็นว่า ควรปรับปรุง 9 คน เนื่องจากกล่องบรรจุชิ้นงานมีน้ำหนักมากใช้แรงงานคนในการเคลื่อนย้าย เมื่อทำงานเป็นระยะเวลานานๆ จะทำให้พนักงานเกิดความเมื่อยล้าและงานหยุดกะทันหัน ผู้วิจัยใช้วิธีการระดมสมอง ผลการระดมสมองให้มีการออกแบบเครื่องมือ ทุนแรง แทนแรงงานคนเข้ามาช่วยในการทำงาน เป็นคนแระคขนาด 100x200 เซนติเมตร เคลื่อนย้ายกล่องชิ้นงานได้ครั้งละ 4 กล่อง และติดตั้งคั่นโยกแบบไฮดรอลิก ผลการปรับปรุงวิธีการทำงาน ทำให้ลดขั้นตอน ลดการรอคอยในการเคลื่อนย้าย พนักงานทำงานได้ง่ายขึ้น ลดคนในกระบวนการเคลื่อนย้ายจาก 5 คนเหลือ 3 คน เพิ่มยอดการผลิตจากเดือนตุลาคมถึงเดือนธันวาคม 2557 ค่าเฉลี่ยที่ผลิตได้ในแต่ละเดือน คิดเป็นร้อยละ 89.72 หลังการปรับปรุงส่งผลให้ผลการผลิตเพิ่มขึ้นจากเดือนกุมภาพันธ์ถึงเดือนเมษายน 2558 ค่าเฉลี่ยคิดเป็นร้อยละ 98.1 เพิ่มขึ้นจากเดิมร้อยละ 8.45

คำสำคัญ : การเพิ่มผลผลิต, การปรับปรุงกระบวนการผลิต

Abstract

The purpose of this research is to study the process and analyze the cause of the problem and improve the manufacturing process of high pressure oil pipeline. The problem was that cannot produce the 600 pieces per day. The researchers collected data by interviewing the Head of production and inquiring the 10 production staff to study the production process of high pressure water pipe Part no.2669. Then analyzed the causes with the Fishbone Diagram shows that 1) The staff enough to process, the opinion that should improve 6 persons 2) The process, the opinion that should improve 8 persons 3) The machinery equipment, the opinion that should improve 9 persons. Due to the packaging boxes contains much weight to labor in the movement. When working for a long time, the staff were extreme tiredness resulting from fatigue and stopped work suddenly. The researchers use the methods of brainstorming. The results of the brainstorming tool designed to help placing the workers in the workplace. A bar rack size 100x200 cm moving 4 boxes at a time, install Hydraulic levers. The result of improved working methods: reducing procedure, reduction of moving forward, staff work more easily, reducing the process of moving from 5 to just 3 persons to increase production from October to December 2557, the average production for the month accounted for 89.72. After the update, resulting in increased production from February to April 2558, the average was 98.1 increased by 8.45.

Keywords : Productivity gains, Improvement on the production process

บทนำ

บริษัท เอียบขุนเทรดดิ้ง จำกัด ดำเนินธุรกิจเกี่ยวกับการผลิตอะไหล่รถยนต์ ในส่วนของท่อน้ำมันแรงดันสูง Part no.2669 พบปัญหาในการทำงานส่งผลให้เกิดความล่าช้าไม่สามารถผลิตสินค้าได้ตามเป้าหมายที่บริษัทกำหนด จึงควรมีการปรับปรุงการทำงานเพื่อเพิ่มผลผลิตให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น จากการศึกษาข้อมูลการผลิตระหว่างเดือนตุลาคม ถึงเดือนธันวาคม 2557 ได้มีการจัดเก็บสถิติการผลิตท่อน้ำมันแรงดันสูง Part no.2669 โดยมีข้อมูลดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 กราฟแสดงปริมาณการผลิตจากเป้าหมายแผนการผลิตของบริษัทที่ตั้งไว้ คือ จำนวน 600 ชิ้นต่อเดือน ทั้งนี้ได้เปรียบเทียบกับแผนการผลิตกับผลการผลิตจริงที่เกิดขึ้น ซึ่งสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สถิติการผลิตท่อน้ำมันแรงดันสูง

เดือนผลิต	แผนการผลิต (ชิ้น)	ผลผลิต (ชิ้น)	เปอร์เซ็นต์การผลิต
ตุลาคม	600	550	91.66
พฤศจิกายน	600	520	86.66
ธันวาคม	600	545	90.83
รวม	1,800	1,615	89.72

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษากระบวนการผลิตท่อน้ำมันแรงดันสูง
2. เพื่อวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาในกระบวนการผลิตท่อน้ำมันแรงดันสูง
3. เพื่อปรับปรุงกระบวนการผลิตท่อน้ำมันแรงดันสูง

วิธีดำเนินการวิจัย

1. ประชากร เพื่อศึกษากระบวนการผลิต ได้แก่ หัวหน้าฝ่ายผลิต จำนวน 1 คน และประชากร เพื่อศึกษาสาเหตุของปัญหา ได้แก่ พนักงานฝ่ายผลิต จำนวน 10 คน จากจำนวนพนักงานทั้งหมดที่ผลิตท่อน้ำมันแรงดันสูง Part no.2669

2. เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล

- แบบสัมภาษณ์ เพื่อศึกษากระบวนการผลิต
- แบบสอบถาม เพื่อศึกษาสาเหตุของปัญหา

3. การเก็บรวบรวมข้อมูล

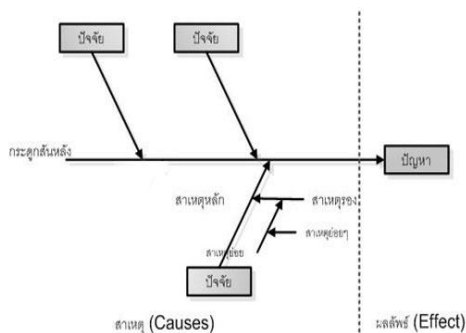
เมื่อผู้วิจัยได้ศึกษาข้อมูลกระบวนการผลิตท่อน้ำมันแรงดันสูงเบื้องต้นจาก

แบบสัมภาษณ์ จากหัวหน้าฝ่ายผลิตเพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานทั้งหมดแล้ว ขั้นตอนต่อไปทีมผู้วิจัยจะนำข้อมูลต่างๆมาสร้างเป็นแบบสอบถาม ซึ่งประกอบด้วย

แบบสอบถามส่วนที่ 1 สอบถามข้อมูลทั่วไป เช่น เพศ อายุ ระยะเวลาในการทำงานต่าง ๆ โดยจะให้ทำเครื่องหมายลงในช่องว่าง

แบบสอบถามส่วนที่ 2 สอบถามความคิดเห็นเกี่ยวกับสาเหตุที่ทำให้เกิดปัญหาในกระบวนการผลิตท่อน้ำมันแรงดันสูง โดยคำถามมุ่งไป 3 ด้านคือ ด้านคน ด้านกระบวนการผลิต และด้านอุปกรณ์เครื่องจักรโดยจะให้ทำเครื่องหมายลงในช่องระดับความคิดเห็นคือ ระดับ 5 ไม่เกี่ยวข้อง ระดับ 4 เกี่ยวข้องน้อย ระดับ 3 เกี่ยวข้องปานกลาง ระดับ 2 ควรปรับปรุง และระดับ 1 ไม่มีความคิดเห็น และทำการสรุปต่อไป

4. การวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา โดยใช้แผนผังก้างปลา



ภาพที่ 2 แผนผังก้างปลา (Fishbone Diagram)

ที่มา : กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ, 2550 : 283)

โดยเมื่อคณะผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์สาเหตุ และได้ทราบสาเหตุของปัญหาการผลิตไม่ได้ตามเป้าเรียบร้อยแล้ว จะทำ

การวิเคราะห์หาแนวทางแก้ไขปัญหาลำดับต่อไป

4. วิเคราะห์แนวทางแก้ไขปัญห

แนวทางการแก้ไขปัญหโดยวิธี

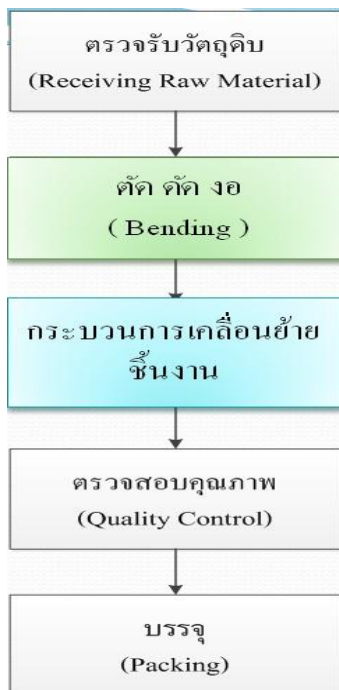
การระดมสมองนำผลการวิเคราะห์หาสาเหตุที่ได้จากแผนภูมิแก๊งปลา โดยจะตั้งกลุ่มสมาชิกทั้งหมด 14 คนประกอบด้วย หัวหน้างาน 1 คน และพนักงานประจำฝ่ายผลิต 10 คน และผู้วิจัย 3 คนทำการบันทึกข้อมูลและสรุปเป็นไปในทิศทางเดียวกัน

ผลที่ได้จากการระดมสมองจะนำไปแก้ไขปรับปรุงกระบวนการผลิตท่อน้ำมันแรงดันสูงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานต่อไป

ผลการวิจัย

1. ผลการศึกษากระบวนการผลิต

ผลการเก็บข้อมูลโดยการสัมภาษณ์ หัวหน้างานที่มีประสบการณ์ผู้วิจัยได้เก็บและบันทึกข้อมูลกระบวนการผลิตท่อน้ำมันแรงดันสูง Part no.2669 ประกอบด้วย 5 ขั้นตอนหลัก ดังนี้



ภาพที่ 3 กระบวนการผลิตท่อน้ำมันแรงดันสูง

จากแผนภาพกระบวนการผลิตท่อน้ำมันแรงดันสูง Part no.2669 ข้างต้นมีรายละเอียดของแต่ละขั้นตอนการทำงานดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 การตรวจรับวัตถุดิบ เจ้าหน้าที่ทำการตรวจรับวัตถุดิบ โดยตรวจสอบชนิด, ขนาด, จำนวน ตามใบรับสินค้าจากโรงงานและตรวจสอบสภาพโดยทั่วไปว่าวัตถุดิบที่รับมีความสมบูรณ์ไม่เสียหายหรือแปลกปลอมพร้อมเข้าสู่กระบวนการผลิต

ขั้นตอนที่ 2 การดัด การดัด หรืองอ



ภาพที่ 4 ชิ้นงานที่ผ่านการดัด หรืองอ

โดยใส่ชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการดัด หรืองอเรียบร้อยแล้วจะถูกจัดเก็บอยู่ในกล่องสีน้ำเงินภายในจะบรรจุชิ้นงานจำนวน 60 ชิ้นต่อกล่อง โดยมีน้ำหนักรวมเท่ากับ 30 กิโลกรัม ดังภาพที่ 5



ภาพที่ 5 กล่องบรรจุชิ้นงาน

ขั้นตอนที่ 3 กระบวนการเคลื่อนย้ายชิ้นงาน จากนั้นรอเจ้าหน้าที่ของหน่วยงาน Support จำนวน 2 คน ทำหน้าที่ในการยกชิ้นงานไปสู่กระบวนการตรวจสอบคุณภาพ และการบรรจุ ต้องใช้พนักงาน Support มาช่วยยกเคลื่อนย้าย 1 กล่องชิ้นงานต้องยกขึ้นลง 4 รอบ ภายใน 1 วันต้องยกถึง 48 รอบ และรอพนักงาน Support มาช่วยรอบละ 2 นาทีหรือ 96 นาทีต่อวันและยัง

เกิดการบาดเจ็บระหว่างปฏิบัติงานดังภาพ ที่ 6



ภาพที่ 6 ชิ้นงานที่ผ่านการตัด หรืออ
จัดเก็บในกล่อง

ขั้นตอนที่ 4 การตรวจสอบคุณภาพ
(Quality Control) เจ้าหน้าที่ตรวจสอบ
คุณภาพ ทำการตรวจสอบสภาพชิ้นงาน
โดยทั่วไป 100% ทั้งนี้ชิ้นงานต้องอยู่ในค่า
มาตรฐานเทียบกับชิ้นงานตัวอย่างและทำ
การตรวจสอบขั้นสุดท้าย ดังภาพที่ 7



ภาพที่ 7 การตรวจสอบคุณภาพ

ขั้นตอนที่ 5 บรรจุ (Packing)



ภาพที่ 8 การบรรจุชิ้นงาน

2. ผลการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา การผลิต

แบบสอบถามส่วนที่ 1 พบว่าพนักงาน
ฝ่ายผลิตเป็นเพศชายจำนวน 10 คน อายุ
ระหว่าง 21-30 ปี จำนวน 6 คน อายุ
ระหว่าง 31-40 ปี จำนวน 4 คน และอายุ
งานระหว่าง 1-3 ปีจำนวน 7 คน และอายุ
งานระหว่าง 4-5 ปีจำนวน 3 คน

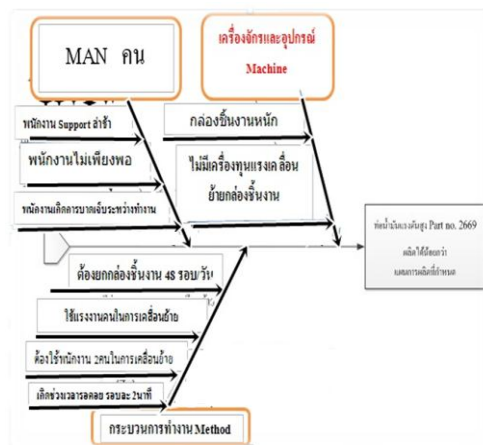
แบบสอบถามส่วนที่ 2 เพื่อหาสาเหตุ
ของปัญหาพบว่าผู้ตอบแบบสอบถามแสดง
ความเห็นว่าการปรับปรุง 1) ด้านเครื่องจักร
และอุปกรณ์ สาเหตุมาจากกล่องใส่ชิ้นงาน
มีน้ำหนักมากและไม่มีอุปกรณ์ช่วย
เคลื่อนย้าย มีผู้แสดงความเห็นเหมือนกัน
จำนวน 9 คน 2) ด้านกระบวนการผลิต สาเหตุ
มาจากกระบวนการเคลื่อนย้ายชิ้นงาน มี
ผู้แสดงความเห็นเหมือนกัน จำนวน 8 คน
และ 3) ด้านคน สาเหตุมาจากพนักงานไม่
เพียงพอ มีผู้แสดงความเห็นเหมือนกัน
จำนวน 6 คน

ผู้วิจัยได้นำข้อมูลจากแบบสอบถามเพื่อทำการอธิบายเหตุผลพร้อมภาพประกอบสาเหตุของปัญหาต่อไป สรุปผลได้ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ตารางวิเคราะห์ปัญหาและสาเหตุของปัญหา

ปัญหา	สาเหตุ	ภาพ
1. ด้านเครื่องจักรและอุปกรณ์	กล่องบรรจุชิ้นงานภายในบรรจุชิ้นงานจำนวน 60 ชิ้น น้ำหนัก 30 กิโลกรัม เคลื่อนย้ายลำบากต้องใช้พนักงานยก 2 คน/ครั้ง	
2. ด้านกระบวนการผลิต	ขั้นตอนการผลิตต้องใช้พนักงาน Support มาช่วยยก เคลื่อนย้ายไปยังจุดต่างๆ และ 1 วันยกของขึ้น-ลง 48 รอบ เสียเวลา รอคอย รอบละ 2 นาทีหรือ 96 นาที/วัน	
3. ด้านคน	พนักงานประจำสายผลิตหยุดงานเนื่องจากเกิดอุบัติเหตุขณะยกกล่องชิ้นงานบ่อยครั้ง ทำให้ต้องขาดงาน	

3. ผลการปรับปรุงกระบวนการผลิต
ผลจากการสอบถามหัวหน้างานและพนักงานฝ่ายผลิต สามารถวิเคราะห์ด้วยแผนผังก้างปลา เพื่อหาสาเหตุของปัญหาที่ทำให้เกิดผลกระทบต่อการทำงานในกระบวนการผลิตที่อ่อนแอแรงดันสูง



ภาพที่ 9 แผนผังก้างปลาวิเคราะห์สาเหตุ

จากแผนภูมิ ก้างปลา จะเห็นว่าสาเหตุที่ทำให้เกิดปัญหาที่อ่อนแอแรงดันสูง Part no.2669 ผลิตได้น้อยกว่าแผนการผลิตที่กำหนด แบ่งออกเป็น 3 ด้าน คือ

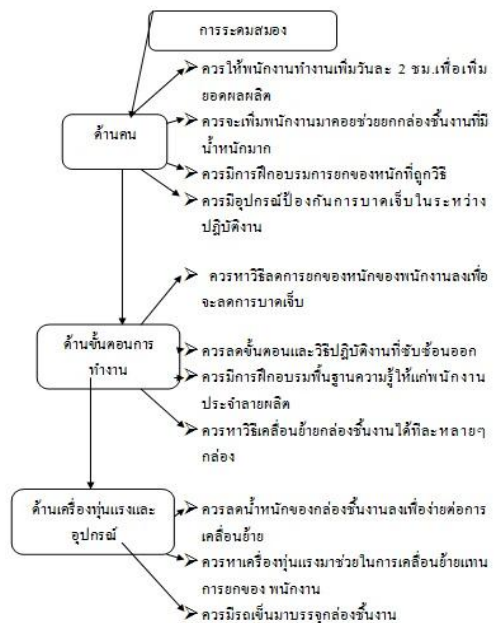
1. ด้านกระบวนการทำงาน เมื่อเจ้าหน้าที่ฝ่ายผลิตทำการผลิตชิ้นงานเรียบร้อยแล้วต้องการเคลื่อนย้ายไปยังส่วนงานตรวจสอบคุณภาพนั้น ใช้แรงงานคนเป็นหลัก ไม่ได้ถูกส่งไปที่ไหน เพราะรอเจ้าหน้าที่ Support จำนวน 2 คน ทำหน้าที่ในการยกกล่องชิ้นงานวันละ 48 รอบต่อวัน เพื่อไปสู่กระบวนการตรวจสอบคุณภาพ

เสียเวลารอคอยรอบละ 2 นาทีหรือ 96 นาทีต่อวัน

2. ด้านคน กระบวนการผลิตใช้แรงงานคนเป็นหลัก คนไม่เพียงพอกระบวนการทำงานจึงต้องรอพนักงาน Support มาช่วยในกระบวนการเคลื่อนย้ายกล่องขึ้นงาน ภายในกล่องบรรจุขึ้นงานจำนวน 60 ชิ้นต่อกล่อง และมีน้ำหนัก 30 กิโลกรัมเมื่อทำงานเป็นระยะเวลานาน ๆ จะทำให้พนักงานเกิดความเมื่อยล้าและบาดเจ็บในการทำงาน

3. ด้านเครื่องจักร ไม่มีอุปกรณ์เครื่องมือทุ่นแรงในการเคลื่อนย้ายกล่องขึ้นงานเพราะใช้แรงงานคนเป็นหลัก เมื่อเคลื่อนย้ายเป็นเวลานาน พนักงานจึงเกิดความเมื่อยล้าและบาดเจ็บ จึงควรรหาเครื่องทุ่นแรง เพื่อทดแทนแรงงานคนต่อไป

เมื่อคณะผู้วิจัยได้พบสาเหตุของปัญหาในกระบวนการผลิตที่แท้จริงแล้วต่อไปคือขั้นตอนการระดมสมองร่วมกันระหว่างสมาชิกในกลุ่มประกอบด้วยหัวหน้างาน และพนักงานประจำฝ่ายผลิตจำนวน 10 คนและให้ทีมผู้วิจัยเป็นผู้จัดบันทึกและรวบรวมข้อมูลทั้งหมดเพื่อเป็นแนวทางสู่การวางแผนปรับปรุงแก้ไข และให้สมาชิกได้เสนอแนวคิดใหม่ ๆ ขึ้นมาอีกด้วย



ภาพที่ 10 ภาพแสดงผลของการระดมสมองของสมาชิก

ตารางที่ 3 แสดงผลการระดมความคิด

สาเหตุ	แนวทางการแก้ไข
กล่องบรรจุชิ้นงานมีน้ำหนักมากเกินไป	ควรลดปริมาณชิ้นงานจาก 60 ชิ้น/กล่อง เป็น 50ชิ้น/กล่อง เพื่อให้พนักงานกล่องลดลงง่ายต่อการเคลื่อนย้าย
พนักงานเกิดการบาดเจ็บปวดหลังระหว่างการทำงานทำให้งานหยุดกะทันหัน	ควรจะมีอุปกรณ์ป้องกันให้พนักงานผลิต
พนักงานเสียเวลารอแผนก Support ยกชิ้นยกลง 48 รอบ เสียเวลารอคอยรอบละ 2 นาที ประมาณ 94 นาที/วัน	ควรจะสร้างเครื่องทุ่นแรงเป็นชั้นวางขนาดกว้าง 100 x 200 เซนติเมตร เพื่อจะสามารถบรรจุกล่องชิ้นงานได้ 2 กล่อง และเสริมคานยกไฮดรอลิกเพื่อการเคลื่อนย้ายกล่องชิ้นงานมาแทนแรงงานคนเพื่อลดขั้นตอนที่ซับซ้อนออกเพื่อให้การทำงานไหลลื่นขึ้น

4. ผลการปรับปรุงวิธีการทำงาน

ผลจากการปรับปรุงวิธีการทำงาน โดยใช้เครื่องทุ่นแรงเข้ามาช่วยในการทำงานทดแทนการทำงานจากใช้แรงงานคนของกระบวนการเคลื่อนย้ายชิ้นงานระหว่างสถานี หลังจากการผลิตชิ้นงานเรียบร้อยแล้วส่งต่อไปยังส่วนงานตรวจสอบคุณภาพสามารถสรุปผลได้ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 แสดงการเปรียบเทียบก่อนและหลังการปรับปรุง

ก่อนการปรับปรุง		หลังการปรับปรุง	
ขั้นตอนงาน	หน่วย	ขั้นตอนงาน	หน่วย
1. เจ้าหน้าที่ฝ่ายผลิตยกกล่องชิ้นงานขึ้นลง	48 รอบต่อวัน	1. เจ้าหน้าที่ฝ่ายผลิตยกกล่องชิ้นงานขึ้นลง	12 รอบต่อวัน
2. เจ้าหน้าที่ Support โหลดชิ้นงานไปยังส่วนงานตรวจสอบคุณภาพ	96 นาทีต่อวัน	2. เจ้าหน้าที่ Support โหลดชิ้นงานไปยังส่วนงานตรวจสอบคุณภาพ	0 นาทีต่อวัน

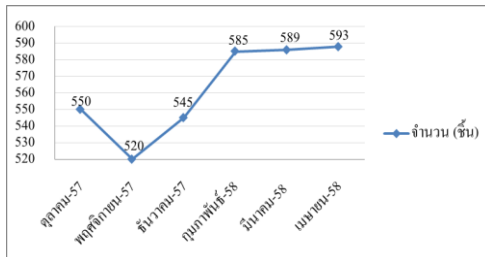
นอกจากนี้คณะผู้วิจัยได้ทำการติดตามผลการผลิตหลังจากปรับปรุงวิธีการทำงานซึ่งสามารถสรุปได้ ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 แสดงเปอร์เซ็นต์เปรียบเทียบแผนการผลิตกับผลผลิตจริงระหว่างเดือนกุมภาพันธ์ ถึงเดือนเมษายน 2558

เดือน/ผลิต	แผนการผลิต (ชิ้น)	ผลการผลิต (ชิ้น)	เปอร์เซ็นต์การผลิ/เดือน
กุมภาพันธ์	600	585	98.16
มีนาคม	600	589	99.16
เมษายน	600	593	98.5
รวม	1,800	1,759	98.1

จากข้อมูลสถิติการผลิตที่น้ำมันแรงดันสูง Part no.2669 และเปอร์เซ็นต์เปรียบเทียบแผนการผลิตกับผลผลิตจริงระหว่างเดือนกุมภาพันธ์ ถึงเดือนเมษายน

2558 แสดงให้เห็นว่าผลผลิตมีอัตราการเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ทั้งนี้เนื่องจากการปรับปรุงวิธีการทำงานมาใช้เครื่องทุ่นแรงแทนแรงงานคน



ภาพที่ 11 สถิติการผลิตท่อน้ำมันแรงดันสูง Part no.2669

สรุปและอภิปรายผล

จากงานวิจัยเรื่องการปรับปรุงกระบวนการผลิตท่อน้ำมันแรงดันสูง ผลจากการปรับปรุงวิธีการทำงานโดยใช้เครื่องทุ่นแรงเข้ามาช่วยในการทำงานทดแทนการทำงานจากใช้แรงงานคนของกระบวนการเคลื่อนย้ายชิ้นงานระหว่างสถานี ทำให้สามารถลดขั้นตอนการทำงานลง ลดการรอคอยในการเคลื่อนย้าย พนักงานสามารถทำงานได้ง่ายและรวดเร็วขึ้น ลดคนในกระบวนการเคลื่อนย้ายจาก 5 คนให้เหลือ 3 คน สามารถเพิ่มยอดการผลิตท่อน้ำมันแรงดันสูง จากเดิมระหว่างเดือนตุลาคม ถึงเดือนธันวาคม 2557 ค่าเฉลี่ยที่ผลิตได้ในแต่ละเดือนคิดเป็นร้อยละ 89.72 หลังจากการปรับปรุงส่งผลให้ผลการผลิตเพิ่มขึ้นจากข้อมูลการผลิตระหว่างเดือนกุมภาพันธ์ ถึงเดือนเมษายน 2558 ค่าเฉลี่ยที่ผลิตได้ในแต่ละ

เดือนคิดเป็นร้อยละ 98.1 เพิ่มขึ้นจากเดิมร้อยละ 8.45

เอกสารอ้างอิง

- นันทกฤษณ์ ยอดพิจิตร. (2547). การประยุกต์ใช้เทคนิคการศึกษางานเพื่อเพิ่มผลผลิต. วารสารมหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- นิมิต หาญพิทักษ์พงศ์. (2539). การเพิ่มผลผลิตของการผลิตตัวเก็บประจุ กรณี ศีกษา โรงงาน ABBCapacitorLTD. วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขา วิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- รังสรรค์ เลิศในสัตย์. (2550). คู่มือการบริหารการผลิตอย่างมืออาชีพ สำหรับนักบริหารการผลิตยุคใหม่. กรุงเทพฯ: ส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น) (โครงการตำรา).
- วรญาภาประชา. (2549). การพัฒนาประสิทธิภาพกระบวนการพิมพ์ในการผลิตกล่องบรรจุภัณฑ์ประเภทกระดาษ กรณีศึกษาโรงงานผลิตกล่องบรรจุภัณฑ์ประเภทกระดาษ. สาขา วิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะ วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

ขั้นตอนการติดตั้งโครงหลังคาเหล็กรูปพรรณ
กรณีศึกษา : อาคารช่วงพาดกว้าง
Steel Roof Structure Installation Process
A Case Study of Wide-Span Building

สิริกมล อัยยะวรากุล^{1*}, ทรงเกียรติ เทียธิทรัพย์², วรพรรณ โรจนไพบูลย์³

^{1*,2,3} สาขาวิชาเทคโนโลยีสถาปัตยกรรม

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาองค์ประกอบเทคโนโลยีและวิเคราะห์ขั้นตอนการติดตั้ง จากนั้นเปรียบเทียบขั้นตอนและรวบรวมวิธีการติดตั้งโครงหลังคาเหล็กรูปพรรณช่วงพาดกว้าง โดยศึกษาจากอาคารพาดช่วงกว้างจำนวน 3 โครงการ คือ โครงการ A ตั้งอยู่ที่จังหวัดสมุทรปราการ ขนาดความกว้างโครงหลังคา 30 เมตร โครงการ B ตั้งอยู่ที่จังหวัดนครราชสีมา ขนาดความกว้างโครงหลังคา 29 เมตร และ โครงการ C ตั้งอยู่ที่จังหวัดกาฬสินธุ์ ขนาดความกว้าง 32 เมตร การเก็บข้อมูลแบ่งเป็น 2 ลักษณะ คือ การสำรวจและการสัมภาษณ์ ในการสำรวนั้นจะเก็บข้อมูลโดยการจดบันทึกและถ่ายภาพในขณะที่กำลังมีการติดตั้งโครงหลังคาจากการเฝ้าดูกิจกรรมที่เกิดขึ้นในขณะดำเนินงาน ส่วนการสัมภาษณ์จะสอบถามข้อมูลจากผู้ควบคุมงานในเรื่องขั้นตอนการติดตั้งโดยใช้แบบสอบถามเป็นเครื่องมือในการรวบรวมข้อมูล เพื่อนำมาสนับสนุนข้อมูลที่ได้จากการเข้าสำรวจ รวมไปถึงการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องเพื่อนำมารวบรวมและวิเคราะห์หาข้อสรุปในการศึกษา ผลการศึกษาพบว่า องค์ประกอบเทคโนโลยีและขั้นตอนในการติดตั้งโครงหลังคาเหล็กรูปพรรณช่วงพาดกว้างในแต่ละโครงการจะมีความเหมือนและแตกต่างกันในส่วนรายละเอียดย่อยในแต่ละขั้นตอนตามแต่ละสถานการณ์และความพร้อมของพื้นที่ในการที่จะเข้าติดตั้งโครงหลังคาจากการเลือกใช้วิธีการที่เหมาะสมต่อความถนัดของแต่ละบริษัทที่ติดตั้งของโครงการนั้น ๆ

คำสำคัญ : โครงหลังคาช่วงพาดกว้าง, เหล็กรูปพรรณ, องค์ประกอบเทคโนโลยี, ขั้นตอนการติดตั้ง

ABSTRACT

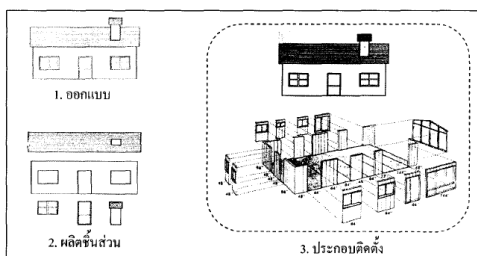
This project was aimed to study technology component and analyze installation process. Afterward, compared its procedures and gathered wide-span roof structure installation process by studying the 3 projects of wide-span building: Project A located in Samut Prakan with 30 m. in roof width, Project B in Nakhon Ratchasima with 29 m., and Project C in Kalasin with 32 m. respectively. The data collection was divided into two types are a survey and an interview. In the survey procedure, the data was collected by taking notes and photograph by observing while the event was operating. In the interview procedure, the data was collected by interviewing the chief of controller about the installation process using a questionnaire to gather information supported the surveying data including a review of the relevant literature in order to analyze the conclusions of the study.

The findings showed that the technology component and installation process were similarities and differences on each project in process details depended situation, and usage area readiness with the suitable method for the expertise of each company to install the project.

Keywords : Wild-span roof structure, Steel, Element of technology, Installation process

บทนำ

การพัฒนาอุตสาหกรรมก่อสร้างเปลี่ยนแปลงไปตามวิวัฒนาการของเทคโนโลยี ทำให้มีการเลือกใช้วิธีการก่อสร้างและวัสดุก่อสร้างที่หลากหลายให้เป็นไปอย่างเหมาะสม โดยเฉพาะการก่อสร้างในระบบสำเร็จรูปในปัจจุบัน อุตสาหกรรมก่อสร้างสามารถควบคุมคุณภาพทั้งในการผลิตและการก่อสร้างเพื่อช่วยลดระยะเวลาก่อสร้างและลดแรงงานในการก่อสร้าง ส่งผลให้ต้นทุนลดลงตามไปด้วย ซึ่งขั้นตอนพื้นฐานในระบบการก่อสร้างสำเร็จรูปนั้นจะประกอบไปด้วย 3 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนการออกแบบ ขั้นตอนการผลิต และขั้นตอนการติดตั้ง ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ขั้นตอนพื้นฐานของการก่อสร้างในระบบอุตสาหกรรม

วัสดุก่อสร้างประเภทเหล็กรูปพรรณถูกนำมาใช้ในการก่อสร้างในระบบสำเร็จรูปมากขึ้น โดยเฉพาะการทำโครงหลังคา เพราะมีคุณสมบัติด้านความแข็งแรง คงทน มีความเหนียว และน้ำหนักเบา อาจจะประกอบเป็นชิ้นส่วนเล็ก ๆ หรือทำเป็น

โครงขนาดใหญ่ ซึ่งบทบาทสำคัญของเหล็กรูปพรรณจะมีความเหมาะสมด้านการใช้งานในโครงหลังคาที่มีขนาดช่วงพาดครอบคลุมพื้นที่ขนาดใหญ่ จึงจำเป็นต้องมีช่วงพาดระหว่างเสาที่กว้างกว่าปกติ โดยขั้นตอนการออกแบบและขั้นตอนการผลิตจะมีกระบวนการที่เป็นมาตรฐาน แต่ในส่วนของการติดตั้งจะมีความแตกต่างกันในแต่ละโครงการ ซึ่งจะมีการใช้อองค์ประกอบเทคโนโลยีในการก่อสร้างด้านคน (People Ware) ด้านเครื่องมือ (Hard Ware) ด้านความรู้ (Soft Ware) และด้านการจัดการการวางแผนวิธีการ (Management Ware) เข้ามาใช้ในการดำเนินการให้เหมาะสมกับโครงการนั้น ๆ

ขั้นตอนการติดตั้งโครงหลังคาเหล็กรูปพรรณจะมีความแตกต่างกันในรายละเอียดของขั้นตอนย่อยในแต่ละโครงการ อาจจะขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของสถานการณ์ในการติดตั้ง รวมไปถึงลำดับขั้นตอนในการดำเนินงานของผู้ควบคุมงาน ดังนั้นวัตถุประสงค์ของประเด็นของการศึกษาในครั้งนี้ คือ ศึกษาองค์ประกอบเทคโนโลยีและขั้นตอนที่ส่งผลต่อการติดตั้งโครงหลังคาเหล็กรูปพรรณช่วงพาดกว้าง เพื่อหาแนวทางการติดตั้งให้เป็นไปอย่างเหมาะสมและมีประสิทธิภาพ และใช้เป็นข้อมูลในการวางแผนการติดตั้งให้ผู้ที่เกี่ยวข้อง เช่น วิศวกร สถาปนิก ผู้ควบคุมงาน ในการดำเนินการติดตั้งต่อและสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานในอนาคตได้อย่างกว้างขวาง

ขอบเขตของการศึกษา

ศึกษาองค์ประกอบเทคโนโลยีของระบบการก่อสร้างสำเร็จรูปในเฉพาะขั้นตอนการติดตั้งโครงหลังคาเหล็ก รูปพรรณของอาคารช่วงพาดกว้างอาคารกรณีศึกษาจำนวน 3 โครงการ จากอาคารที่มีขนาดช่วงพาดกว้างตั้งแต่ 25 เมตร ขึ้นไป

วัตถุประสงค์ของการศึกษา

เพื่อศึกษาองค์ประกอบเทคโนโลยี และวิเคราะห์ขั้นตอนการติดตั้ง จากนั้นเปรียบเทียบและรวบรวมแนวทางการติดตั้งโครงหลังคาเหล็กรูปพรรณช่วงพาดกว้าง

แนวความคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

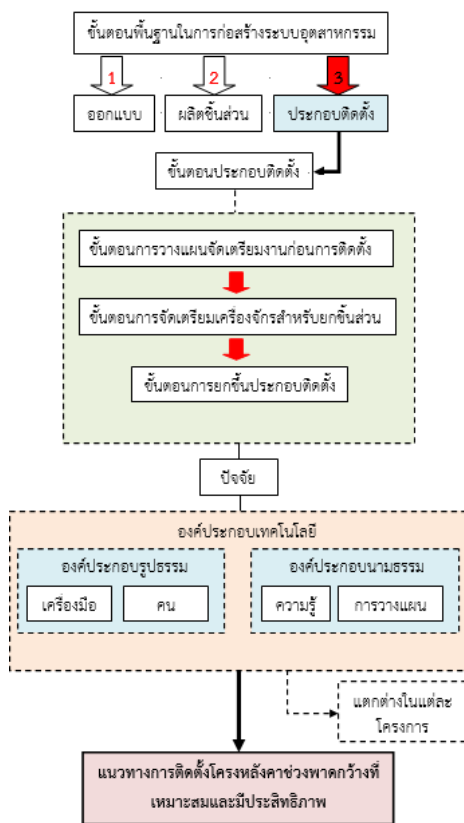
ขั้นตอนพื้นฐานในการก่อสร้างด้วยระบบชิ้นส่วนสำเร็จรูป จะประกอบไปด้วย 3 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนการออกแบบ ขั้นตอนการผลิต และขั้นตอนการติดตั้ง ซึ่งในขั้นตอนการติดตั้งมีลำดับการติดตั้ง ดังนี้

1. ขั้นตอนการวางแผนจัดเตรียมงานก่อนการติดตั้ง การตรวจสอบชิ้นส่วนให้มีความถูกต้องตามแบบก่อสร้าง รวมไปถึงการจัดเตรียมเครื่องมือในการติดตั้ง

2. ขั้นตอนการจัดเตรียมเครื่องจักรสำหรับยกชิ้นส่วน การจัดเตรียมเครน อุปกรณ์การยก รวมไปถึงคนขับเครนที่ได้รับใบอนุญาต และตรวจสอบความพร้อมของเครนและอุปกรณ์ให้อยู่ในสภาพพร้อมใช้งาน

3. ขั้นตอนการยกชิ้นประกอบติดตั้งจะต้องทำตามแบบแผนการดำเนินงานอยู่ภายใต้ความควบคุมดูแลของผู้ควบคุมงานอย่างรัดกุม

ซึ่งปัจจัยขององค์ประกอบเทคโนโลยีสามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ องค์ประกอบรูปธรรมที่เป็นผลผลิตจากความคิดทางวิทยาศาสตร์ สามารถจับต้องได้และนำไปใช้งานได้ทันที เช่น เครื่องมือเครื่องจักร (Hard Ware) และคน (People Ware) และองค์ประกอบนามธรรมที่เป็นการประยุกต์ความรู้ทางวิทยาศาสตร์มาใช้อย่างชาญฉลาด มองไม่เห็นและจับต้องได้ยาก เช่น ความรู้ กลไกการทำงาน (Soft Ware) และการจัดการการวางแผนวิธีการ (Management Ware) จะแตกต่างกันในแต่ละโครงการส่งผลให้เกิดแนวทางการติดตั้งที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพ ดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 แนวความคิดในการศึกษา

วิธีการดำเนินงาน

วิธีดำเนินการงานในการศึกษา ขั้นตอนการติดตั้งโครงหลังคาเหล็ก รูปพรรณ กรณีศึกษาอาคารช่วงพาดกว้าง มีดังนี้

1. ขั้นตอนการรวบรวมข้อมูล

1.1 ศึกษาข้อมูลทุติยภูมิ

ศึกษาได้จากแหล่งข้อมูลต่าง ๆ ได้แก่ หนังสือ เอกสารต่าง ๆ ทางวิชาการ วารสาร บทความ และงานวิจัย รวมไปถึง ข้อมูลทางอินเทอร์เน็ตที่สามารถเชื่อถือได้ ซึ่งได้ทำการศึกษาเรื่องการก่อสร้างในระบบ

อุตสาหกรรมโครงหลังคาช่วงพาดกว้าง รูปแบบการติดตั้งโครงหลังคาเหล็ก รูปพรรณช่วงพาดกว้าง เทคโนโลยี การก่อสร้าง เก็บข้อมูลและสร้างเครื่องมือ ใน จากฐานข้อมูล ดังนี้

1) สำนักหอสมุดกลาง สถาบัน เทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง

2) สำนักงานวิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3) โครงการเครือข่ายห้องสมุดในประเทศไทย : TDC

1.2 ศึกษาข้อมูลปฐมภูมิ

เก็บข้อมูลจากการลงพื้นที่โดย สัมภาษณ์ผู้ควบคุมงานหรือวิศวกรที่มี ส่วนเกี่ยวข้องในกระบวนการติดตั้งโครง หลังคาเหล็กรูปพรรณช่วงพาดกว้าง เกี่ยวกับขั้นตอนในเบื้องต้นและรายละเอียด แบบติดตั้งโครงหลังคาของโครงการเพื่อ จัดทำแบบสำรวจ จากนั้นเข้าทำการสำรวจ โครงการก่อสร้าง จากการสังเกตการณ์ จดบันทึก และเก็บข้อมูลจากสถานการณ์ ก่อสร้างจริงในระหว่างกระบวนการติดตั้ง โครงหลังคาเหล็กรูปพรรณช่วงพาดกว้าง ของอาคารกรณีศึกษา

2. ขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูล

เมื่อทำการเก็บข้อมูลในขั้นตอน การติดตั้งทั้งหมดแล้ว จะนำข้อมูลของแต่ละโครงการมาทำการเปรียบเทียบกันเพื่อ หาปัจจัยที่แตกต่างกันของแต่ละโครงการ จากนั้นวิเคราะห์หาความเหมาะสมและ ข้อดี - ข้อเสีย ในการเลือกใช้ปัจจัยเหล่านั้น

ในการติดตั้งโครงหลังคาและรวบรวมเป็นขั้นตอนการติดตั้งโครงหลังคาช่วงพาดกว้างที่มีความเหมาะสมและมีประสิทธิภาพ ดังนี้

2.1 รวบรวมข้อมูลด้านองค์ประกอบเทคโนโลยีและรายละเอียดในแต่ละขั้นตอนของการติดตั้งของแต่ละโครงการ

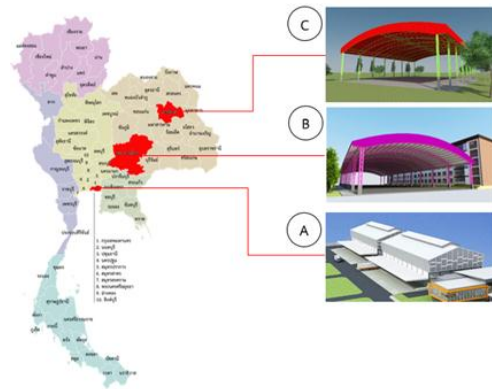
2.2 นำข้อมูลรายละเอียดขั้นตอนการติดตั้งมาสรุปและแจกแจงรายละเอียดของในแต่ละโครงการโดยทำการแยกข้อมูลออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนของขั้นตอนรายละเอียดในการติดตั้งและองค์ประกอบเทคโนโลยี เพื่อการนำไปวิเคราะห์ในลำดับต่อไป

2.3 ทำการวิเคราะห์โดยการเปรียบเทียบแจกแจงข้อมูลโดยแบ่งข้อมูลในการวิเคราะห์เป็น 2 ประเด็น

- 1) องค์ประกอบเทคโนโลยี
- 2) ขั้นตอนการติดตั้งโครงหลังคาเหล็กรูปพรรณอาคารช่วงพาดกว้าง

ผลการศึกษา

ขั้นตอนการติดตั้งโครงหลังคาเหล็กรูปพรรณอาคารช่วงพาดกว้าง ได้ลงพื้นที่เก็บข้อมูลภาคสนามในพื้นที่ก่อสร้างที่เป็นโครงการกรณีศึกษาจำนวน 3 โครงการจากบริษัทรับเหมาติดตั้งโครงหลังคา 2 บริษัท ดังภาพที่ 3 ได้แก่



ภาพที่ 3 แสดงตำแหน่งที่ตั้งโครงการกรณีศึกษา

1. กรณีศึกษาโครงการ A : ติดตั้งโครงหลังคาโดยบริษัท อีเทอนัล เซอร์วิส จำกัด สถานที่ก่อสร้าง : อ.พระสมุทรเจดีย์ จ.สมุทรปราการ ขนาดความกว้างโครงหลังคา : 30 เมตร (จำนวน 2 อาคาร)

2. กรณีศึกษาโครงการ B : ติดตั้งโครงหลังคาโดยบริษัท นิโอ คอนสเน็กท์ เอ็นจิเนียริง จำกัด สถานที่ก่อสร้าง : อ.โชคชัย จ.นครราชสีมา ขนาดความกว้างโครงหลังคา : 29 เมตร

3. กรณีศึกษาโครงการ C : ติดตั้งโครงหลังคาโดยบริษัท นิโอ คอนสเน็กท์ เอ็นจิเนียริง จำกัด สถานที่ก่อสร้าง : อ.เมืองกาฬสินธุ์ จ.กาฬสินธุ์ ขนาดความกว้างโครงหลังคา : 32 เมตร

1. ด้านองค์ประกอบเทคโนโลยี

1.1 ด้านคน (People Ware) ในส่วนของการติดตั้งโครงหลังคาเหล็กรูปพรรณช่วงพาดกว้าง พบว่า

1.1.1 ผู้ควบคุมงานที่เกี่ยวข้องกับการติดตั้งโครงหลังคา

- ผู้ควบคุมงานทำงานร่วมกับวิศวกรที่ทำการออกแบบและวางแผนในด้านการติดตั้ง คือ บริษัท อีเทอนัล เซอร์วิส จำกัด รับผิดชอบโครงการ A (อาคาร 1 และอาคาร 2) มีผู้ควบคุมงานที่มีประสบการณ์ประสานงานร่วมกับวิศวกรผู้ออกแบบรูปแบบการติดตั้งทำการควบคุมงานในระหว่างการติดตั้งโครงหลังคาไปพร้อมกัน โดยทำหน้าที่ตรวจสอบความพร้อมของชิ้นส่วนก่อนทำการยกขึ้นติดตั้งและควบคุมการติดตั้งให้เป็นไปตามแผนการดำเนินงานที่วางไว้ให้เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ

- ผู้ควบคุมงานทำงานร่วมกับหัวหน้าช่างติดตั้งที่เป็นผู้ควบคุมแรงงานในชุดการติดตั้งโครงหลังคา คือ บริษัท นิโอ คอนสเน็กท์ เอ็นจิเนียริง จำกัด รับผิดชอบโครงการ B และ รับผิดชอบโครงการ C โดยผู้ควบคุมงานเป็นผู้วางแผนการดำเนินงานติดตั้งและตรวจสอบดูแลประสานงานกับหัวหน้าช่างให้มีการดำเนินงานให้เป็นไปตามแผนงานให้ถูกต้องตามแบบก่อสร้างที่ออกแบบการติดตั้งโครงหลังคาเอาไว้ จากนั้นจะมีวิศวกรที่เป็นผู้ออกแบบประสานงานกับบริษัทเป็นผู้ตรวจงานภายหลัง

2) แรงงานที่เกี่ยวข้องกับการติดตั้งโครงหลังคา

- ช่างติดตั้งและกรรมกรที่เป็นคนงานของบริษัทที่ทำการติดตั้งโครง

หลังคา คือ บริษัท อีเทอนัล เซอร์วิส จำกัด รับผิดชอบโครงการ A (อาคาร 1) และบริษัท นิโอ คอนสเน็กท์ เอ็นจิเนียริง จำกัด รับผิดชอบโครงการ B และ รับผิดชอบโครงการ C ซึ่งจะใช้ชุดช่างติดตั้งและกรรมกรของบริษัทตนเองทั้งหมดในการติดตั้งโครงหลังคา

- ช่างติดตั้งและกรรมกรที่จ้างเหมามาจากที่อื่นมาทำการติดตั้งโครงหลังคาโครงการ คือ บริษัท อีเทอนัล เซอร์วิส จำกัด รับผิดชอบโครงการ A (อาคาร 2) จะทำการจ้างผู้รับเหมาซึ่งเป็นชุดช่างติดตั้งและกรรมกรจากภายนอกมาติดตั้งโครงหลังคาภายในโครงการเนื่องจากชุดติดตั้งของบริษัทจากอาคาร 1 มีเหตุต้องลางานทำให้คนในชุดติดตั้งไม่ครบไม่สามารถทำงานได้ โดยทางบริษัทเป็นผู้จัดหาเครื่องมือและเครื่องจักรในดำเนินการติดตั้งโครงหลังคา

1.2 ด้านเครื่องมือ (Hard Ware) ในส่วนของการติดตั้งโครงหลังคาช่วงพาดกว้างเหล็กรูปพรรณ พบว่า

1.2.1 เครื่องมือในการยกชิ้นส่วน

- ใช้เครน 2 คัน ขนาด 75 ตัน และ 25 ตัน ในการยกชิ้นส่วน คือ บริษัท อีเทอนัล เซอร์วิส จำกัด รับผิดชอบโครงการ A (อาคาร 1 และ อาคาร 2) ซึ่งในส่วนของการยกชิ้นส่วนหลักเป็นชิ้นส่วนขนาดใหญ่ใช้เครน 75 ตัน และชิ้นส่วนย่อยใช้เครน 25 ตัน ในการยกซึ่งการเลือกใช้เครน 2 คันนั้น สัมพันธ์กับพื้นที่ โดยอาคารที่

จะทำการติดตั้งมีการติดตั้งพื้นสำเร็จรูปแล้ว ก่อนการติดตั้งโครงหลังคา จึงเกิดปัญหาในการเข้าถึงพื้นที่ในการติดตั้ง จึงสามารถเข้าติดตั้งได้เพียงรอบนอกของอาคาร ดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 แสดงการติดตั้งด้วยเครน 2 คัน

- ใช้เครน 1 คัน ขนาด 25 ตัน ในการยกชิ้นส่วน คือ บริษัท นิโอ คอนสเน็กท์ เอ็นจิเนียริง จำกัด กรณีศึกษาโครงการ B และ กรณีศึกษาโครงการ C การเข้าไปติดตั้งของบริษัทจะวางตำแหน่งเครนในจุดกึ่งกลางของอาคารจึงใช้เครนเพียงคันเดียวในการติดตั้ง ดังภาพที่ 5



ภาพที่ 5 แสดงการติดตั้งด้วยเครน 1 คัน

1.2.2 เครื่องมือในการติดตั้งชิ้นส่วน

- อุปกรณ์พื้นฐานสำหรับการเชื่อมพร้อมทั้งนั่งร้าน คือ บริษัท อีเทอนัล เซอร์วิส จำกัด กรณีศึกษาโครงการ A (อาคาร 1) และบริษัท นิโอ คอนสเน็กท์ เอ็นจิเนียริง จำกัด กรณีศึกษาโครงการ C เครื่องมือที่ใช้ในการติดตั้งชิ้นส่วน ได้แก่ ตู้เชื่อมไฟฟ้า เครื่องมือในการเชื่อม เครื่องมือวัด ซึ่ง โดยกรณีศึกษาโครงการ A มีวิทยุสื่อสาร และเหล็กค้ำยันด้วย ทั้ง 2 โครงการใช้นั่งร้านในการปีนขึ้นไปติดตั้งชิ้นส่วน ดังภาพที่ 6



ภาพที่ 6 การใช้นั่งร้านในการขึ้นไปติดตั้งกรณีศึกษาโครงการ A(อาคาร 1) และ กรณีศึกษาโครงการ C

- อุปกรณ์พื้นฐานสำหรับการเชื่อมพร้อมทั้งบันไดลิง คือ บริษัท อีเทอนัล เซอร์วิส จำกัด กรณีศึกษาโครงการ A (อาคาร 2) เครื่องมือที่ใช้ในการติดตั้งชิ้นส่วน ได้แก่ ตู้เชื่อมไฟฟ้า เครื่องมือในการเชื่อม เครื่องมือวัด วิทยุสื่อสาร และเหล็กค้ำยันด้วย ช่างติดตั้งทำการปีนบันไดลิงขึ้นไปติดตั้ง ดังภาพที่ 7



ภาพที่ 7 แสดงการใช้บันไดลิงในการขึ้นไปติดตั้งกรณศึกษาโครงการ A (อาคาร 2)

- อุปกรณ์พื้นฐานสำหรับการเชื่อมเพียงอย่างเดียว คือ บริษัท นิโอคอนส์เน็กท์ เอ็นจิเนียริ่ง จำกัด กรณศึกษาโครงการ B ไม่ต้องใช้อุปกรณ์ในการปีนทำการปีนเสาของอาคารขึ้นไปติดตั้ง เนื่องจากเสาของอาคารกรณศึกษาเป็นเสาเหล็กถักแบบสามมิติ ทำให้ง่ายต่อการปีนขึ้นไปติดตั้ง ดังภาพที่ 8



ภาพที่ 8 แสดงการปีนเสาโครงถักสามมิติเพื่อขึ้นไปทำการติดตั้งโครงหลังคากรณศึกษาโครงการ B

1.3 ด้านความรู้ (Soft Ware) ในส่วนของการติดตั้งโครงหลังคาหลัก
รูปพรรณช่วงพาดกว้าง พบว่า

1.3.1 รูปแบบการติดตั้ง

- วิธีการติดตั้งโดยใช้สลักเกลียวยึด เป็นแบบ Fixed Support และ Free Support อยู่บนเพลาหัวเสาของอาคาร คือ บริษัท อีเทอนัล เซอร์วิส จำกัด กรณศึกษาโครงการ A (อาคาร 1 และอาคาร 2) และกรณศึกษาโครงการ C

- วิธีการติดตั้งแบบเชื่อมแน่นทั้งสองด้าน คือ กรณศึกษาโครงการ B ทำโดยการยกชิ้นส่วนขึ้นมาเชื่อมบนเพลาหัวเสา แบบยึดแน่น โดยมีการใช้ Stiff Plate ยึดแน่นกับส่วน Bottom Chord ของโครงหลังคา

1.3.2 ความรู้เรื่องวิธีการติดตั้ง

- ได้รับการถ่ายทอดความรู้เรื่องงานติดตั้งจากหัวหน้าช่างติดตั้ง คือ บริษัท อีเทอนัล เซอร์วิส จำกัด กรณศึกษาโครงการ A (อาคาร 1) โดยได้รับการสอนเทคนิคและวิธีการเชื่อมงานเหล็กจากหัวหน้าช่างและได้รับโอกาสในการทดลองทำงานสั่งสมประสบการณ์จนเป็นทีมงานช่างติดตั้งของบริษัท

- ได้รับการอบรมจากกรมฝีมือแรงงาน คือ ช่างติดตั้งจากผู้รับเหมารายย่อยที่ว่าจ้างมาทำการติดตั้งให้กับ บริษัท อีเทอนัล เซอร์วิส จำกัด กรณศึกษาโครงการ A (อาคาร 2) โดยได้รับการอบรมจากการไปอบรมที่กรมฝีมือแรงงานและได้ทำการทดสอบเพื่อให้ผ่านและสามารถนำมาใช้งานได้

- ได้รับทั้งการถ่ายทอดจากหัวหน้าช่างติดตั้งและการอบรมจากกรมฝีมือแรงงาน คือ บริษัท นิโอคอนส์เน็กท์

เอ็นจิเนียริง จำกัด กรณีศึกษาโครงการ B และ กรณีศึกษาโครงการ C

1.4 ด้านการจัดการ (Management Ware) ในส่วนของการติดตั้งโครงหลังคาเหล็กรูปพรรณ ช่วงพาดกว้าง พบว่า

1.4.1 การจัดการยกชิ้นส่วน

- ตำแหน่งครนอยู่ด้านข้างของอาคารที่ทำการติดตั้งโครงหลังคา คือ บริษัท อีเทอนัล เซอร์วิส จำกัด กรณีศึกษาโครงการ A (อาคาร 1 และ อาคาร 2) เนื่องจากพื้นที่บริเวณที่จะทำการติดตั้งโครงหลังคามีการติดตั้งแผ่นพื้นสำเร็จรูปอยู่ก่อนแล้วจึงไม่สามารถนำครนขึ้นไปได้ ป้องกันการเกิดความเสียหาย ชิ้นส่วนหลักที่จะทำการยกจึงถูกมาวางเรียงซ้อนกันเพื่อเตรียมยกอยู่ด้านข้างของพื้นที่ที่จะทำการติดตั้ง ส่วนชิ้นส่วนย่อยสามารถใช้แรงงานกรรมกรยกมาวางไว้ใกล้กับตำแหน่งที่จะทำการติดตั้งได้

- ตำแหน่งครนอยู่จุดกึ่งกลางของอาคารอาคารที่ทำการติดตั้งโครงหลังคา คือ บริษัท นิโอ คอนสเน็กท์ เอ็นจิเนียริง จำกัด กรณีศึกษาโครงการ B และ กรณีศึกษาโครงการ C ทำการกำหนดตำแหน่งครนและจุดครนให้อยู่ในจุดกึ่งกลางให้มากที่สุดของอาคารในการจะทำการยกชิ้นส่วนโครงหลังคา โดยชิ้นส่วนที่จะทำการยกจะถูกนำมาวางอยู่ระหว่างช่วงเสาที่ทำการติดตั้งเพื่อเตรียมยก

1.4.2 การลำดับการยกชิ้นส่วน

- ไม่มีการกำหนดรหัสชิ้นส่วนลำดับที่จะยกในการติดตั้ง คือ บริษัท อีเทอนัล เซอร์วิส จำกัด กรณีศึกษาโครงการ A (อาคาร 1 และ อาคาร 2) แต่มีการจัดเรียงชิ้นส่วนที่จะทำการยกโดยแบ่งจำนวนชิ้นส่วนตามแผนงานที่กำหนดไว้และทำการยกในลำดับถัดไป

- มีการกำหนดรหัสชิ้นส่วนลำดับที่จะยกในการติดตั้ง คือ บริษัท นิโอ คอนสเน็กท์ เอ็นจิเนียริง จำกัด กรณีศึกษาโครงการ B และ กรณีศึกษาโครงการ C มีการกำหนดรหัสชิ้นส่วนเพื่อลำดับการติดตั้งให้เป็นไปตามแผนงานโดยจะจัดเรียงชิ้นส่วนในขั้นตอนการจัดเตรียมให้อยู่ในช่วงเสาและถูกต้องตามรหัสก่อนจะทำการยกชิ้นส่วนขึ้นติดตั้งตามลำดับ

ขั้นตอนการติดตั้งโครงหลังคาเหล็กรูปพรรณช่วงพาดกว้าง

พบว่าขั้นตอนการติดตั้งโครงหลังคาเหล็กรูปพรรณช่วงพาดกว้าง ที่ได้จากการเข้าสังเกตการณ์ในโครงการกรณีศึกษาทั้ง 3 โครงการ โดยทำการสังเกตการณ์เฉพาะในช่วงเวลายกโครงหลังคาขึ้นติดตั้งจนยกติดตั้งโครงหลังคาชิ้นส่วนสุดท้ายเท่านั้น และเรียบเรียงขั้นตอนที่ได้จากการเก็บข้อมูลทั้ง 3 โครงการโดยการนำข้อมูลมาแจกแจงด้วยวิธีการเปรียบเทียบเพื่อแสดงให้เห็นลำดับขั้นตอนและความแตกต่างกันของขั้นตอนในการติดตั้งดังตารางที่1

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบขั้นตอนการติดตั้งโครงหลังคาช่วงพาดกว้างอาคารกรณีศึกษา 3 โครงการ

ขั้นตอน		รายละเอียด				ความแตกต่างของการติดตั้ง	ข้อสังเกต
		โครงการ A		โครงการ B	โครงการ C		
		อาคาร 1	อาคาร 2				
1.ขั้นตอนการจัดเตรียมงานก่อนการติดตั้ง	1.1	1 จัดเตรียมและตรวจสอบวัสดุอุปกรณ์-เครื่องมือในการขึ้นติดตั้งโครงหลังคา	1 จัดเตรียมและตรวจสอบวัสดุอุปกรณ์-เครื่องมือในการขึ้นติดตั้งโครงหลังคา	1 จัดเตรียมและตรวจสอบวัสดุอุปกรณ์-เครื่องมือในการขึ้นติดตั้งโครงหลังคา	1 จัดเตรียมและตรวจสอบวัสดุอุปกรณ์-เครื่องมือในการขึ้นติดตั้งโครงหลังคา		
	1.2	2 จัดเตรียมชิ้นส่วนที่จะยกขึ้นติดตั้งวางในตำแหน่งที่กำหนดไว้ในระยะการยก	2 จัดเตรียมชิ้นส่วนที่จะยกขึ้นติดตั้งวางในตำแหน่งที่กำหนดไว้ในระยะการยก	2 จัดเตรียมชิ้นส่วนที่จะยกขึ้นติดตั้งวางในตำแหน่งที่กำหนดไว้ในระยะการยก	2 จัดเตรียมชิ้นส่วนที่จะยกขึ้นติดตั้งวางในตำแหน่งที่กำหนดไว้ในระยะการยก		
	1.3	3 เตรียมนั่งร้านที่ใช้ในการปีนขึ้นไปติดตั้ง	3 เตรียมบันไดลิง	เสาของอาคารเป็นเสา TRUSS แบบ 3 มิติข้างสามารถปีนขึ้นไปติดตั้งได้เลย	3 เตรียมนั่งร้านที่ใช้ในการปีนขึ้นไปติดตั้ง		
	1.4	4 เตรียมเหล็กค้ำยัน	4 เตรียมเหล็กค้ำยัน	3 เตรียม Stiff Plate ที่ใช้ยึดกับ Bottom Chord	ไม่มีการเชื่อมยึดหรือค้ำยัน เป็นไปตามรูปแบบของโครงหลังคา กับลักษณะการติดตั้งในแบบก่อสร้าง		
2. ขั้นตอนการจัดเตรียมเครื่องจักรก่อนการยกชิ้นส่วน	2.1	5 นำเครนมาจอดยังตำแหน่งที่วางแผนไว้ (เครน 2 คัน)	5 นำเครนมาจอดยังตำแหน่งที่วางแผนไว้ (เครน 2 คัน)	4 นำเครนมาจอดยังตำแหน่งที่วางแผนไว้ (เครน 1 คัน)	4 นำเครนมาจอดยังตำแหน่งที่วางแผนไว้ (เครน 1 คัน)	การเลือกใช้จำนวนเครน	ลักษณะพื้นที่ในการติดตั้งโครงหลังคาที่เครนสามารถเข้าถึงได้
	2.2	6 เตรียมอุปกรณ์ในการดึงรั้ง (เชือก ,สลิง)	6 เตรียมอุปกรณ์ในการดึงรั้ง (เชือก ,สลิง)	5 เตรียมอุปกรณ์ในการดึงรั้ง (เชือก ,สลิง)	5 เตรียมอุปกรณ์ในการดึงรั้ง (เชือก ,สลิง)		

ตารางที่ 1 (ต่อ)

ขั้นตอน		รายละเอียด				ความแตกต่าง ของการติดตั้ง	ข้อสังเกต
		โครงการ A		โครงการ B	โครงการ C		
		อาคาร 1	อาคาร 2				
3. ขั้นตอนการ ยกชิ้นประกอบ ติดตั้ง(ต่อ)	3.1	<u>7</u> เตรียมนั่งร้านให้อยู่ในตำแหน่งที่จะป็นขึ้นไปติดตั้ง	<u>7</u> เตรียมบันไดลิงเพื่อขึ้นไปติดตั้ง	เสาของอาคารเป็นเสา TRUSS แบบ 3 มิติข้างสามารถป็นขึ้นไปติดตั้งได้เลย	<u>6</u> เตรียมนั่งร้านให้อยู่ในตำแหน่งที่จะป็นขึ้นไปติดตั้ง		
	3.2	<u>8</u> ผูกสลิงกับชิ้นส่วน T1A แล้วคล้องกับตะขอเครนเพื่อเตรียมยก	<u>8</u> ผูกสลิงกับชิ้นส่วนT1A แล้วคล้องกับตะขอเครนเพื่อเตรียมยก	<u>6</u> ผูกสลิงกับชิ้นส่วนT1 แล้วคล้องกับตะขอเครนเพื่อเตรียมยก	<u>7</u> ผูกสลิงกับชิ้นส่วนT1 แล้วคล้องกับตะขอเครนเพื่อเตรียมยก		
	3.3	<u>9</u> เช็กระยะและแนวตั้งของ TRUSS	<u>9</u> เช็กระยะและแนวตั้งของ TRUSS	<u>7</u> เช็กระยะและแนวตั้งของ TRUSS	<u>8</u> เช็กระยะและแนวตั้งของ TRUSS		
	3.4	<u>10</u> เครนยกชิ้นส่วน T1A เพื่อติดตั้งบน TOP PLATE หัวเสาให้แข็งแรง	<u>10</u> เครนยกชิ้นส่วน T1A เพื่อติดตั้งบน TOP PLATE หัวเสาให้แข็งแรง	<u>8</u> เครนยกชิ้นส่วน T1 เพื่อติดตั้งบน TOP PLATE หัวเสาให้แข็งแรง	<u>9</u> เครนยกชิ้นส่วน T1 เพื่อติดตั้งบน TOP PLATE หัวเสาให้แข็งแรง		
	3.5	<u>11</u> เชื่อมยึดชิ้นส่วน T1A ยึดกับ TOP PLATE	<u>11</u> เชื่อมยึดชิ้นส่วน T1A ยึดกับ TOP PLATE	<u>9</u> เชื่อมยึดชิ้นส่วน T1 ยึดกับ TOP PLATE	<u>10</u> เชื่อมยึดชิ้นส่วนT1 ยึดกับ TOP PLATE		
	3.6	<u>12</u> เชื่อมเหล็กค้ำยัน	<u>12</u> เชื่อมเหล็กค้ำยัน	<u>10</u> เชื่อมเหล็ก Stiff Plate ยึดกับ Bottom Chord	ไม่มีการเชื่อมยึดหรือค้ำยัน		
	3.7	<u>13</u> ปลดสลิง (เสร็จงานยก T1) – TRUSS หลักตัวแรก	<u>13</u> ปลดสลิง (เสร็จงานยก T1) – TRUSS หลักตัวแรก	<u>11</u> ปลดสลิง (เสร็จงานยก T1) – TRUSS หลักตัวแรก	<u>11</u> ปลดสลิง (เสร็จงานยก T1) – TRUSS หลักตัวแรก		
	3.8	<u>14</u> เตรียมนั่งร้านให้อยู่ในตำแหน่งที่จะป็นขึ้นไปติดตั้ง	ไม่มีการขึ้น – ลง แต่จะเป็นการไต่ไปตามโครงหลังคาในการติดตั้งโครงถัดไป		<u>12</u> เตรียมนั่งร้านให้อยู่ในตำแหน่งที่จะป็นขึ้นไปติดตั้ง		
	3.9	<u>15</u> ผูกสลิงกับชิ้นส่วน T1 ตัวถัดมาแล้วคล้องกับตะขอเครนเพื่อเตรียมยก	<u>14</u> ผูกสลิงกับชิ้นส่วน T1 ตัวถัดมาแล้วคล้องกับตะขอเครนเพื่อเตรียมยก	<u>12</u> ผูกสลิงกับชิ้นส่วน T1 ตัวถัดมาแล้วคล้องกับตะขอเครนเพื่อเตรียมยก	<u>13</u> ผูกสลิงกับชิ้นส่วน T1 ตัวถัดมาแล้วคล้องกับตะขอเครนเพื่อเตรียมยก		
	3.10	<u>16</u> เช็กระยะและแนวตั้งของ TRUSS	<u>15</u> เช็กระยะและแนวตั้งของ TRUSS	<u>13</u> เช็กระยะและแนวตั้งของ TRUSS	<u>14</u> เช็กระยะและแนวตั้งของ TRUSS		
	3.11	<u>17</u> เครนยกชิ้นส่วน T1 เพื่อติดตั้งบน TOP PLATE หัวเสาให้แข็งแรง	<u>16</u> เครนยกชิ้นส่วน T1 เพื่อติดตั้งบน TOP PLATE หัวเสาให้แข็งแรง	<u>14</u> เครนยกชิ้นส่วน T1 เพื่อติดตั้งบน TOP PLATE หัวเสาให้แข็งแรง	<u>15</u> เครนยกชิ้นส่วน T1 เพื่อติดตั้งบน TOP PLATE หัวเสาให้แข็งแรง		

ตารางที่ 1 (ต่อ)

ขั้นตอน		รายละเอียด				ความแตกต่างของการติดตั้ง	ข้อสังเกต
		โครงการ A		โครงการ B	โครงการ C		
		อาคาร 1	อาคาร 2				
3. ขั้นตอนการยกขึ้นประกอบติดตั้ง (ต่อ)	3.12	18 เชื่อมยึดชิ้นส่วนT1 ยึดกับ TOP PLATE	17 เชื่อมยึดชิ้นส่วนT1 ยึดกับ TOP PLATE	15 เชื่อมยึดชิ้นส่วนT1 ยึดกับ TOP PLATE	16 เชื่อมยึดชิ้นส่วนT1 ยึดกับ TOP PLATE		
	3.13	19 เชื่อมเหล็กค้ำยัน	18 เชื่อมเหล็กค้ำยัน	16 เชื่อมเหล็ก Stiff Plate ยึดกับ Bottom Chord	ไม่มีการเชื่อมยึดหรือค้ำยัน		
	3.14	20 ปลดสลิง	19 ปลดสลิง	17 ปลดสลิง	17 ปลดสลิง		
	3.15	21 เตรียมนั่งร้านให้อยู่ในตำแหน่งที่จะปีนขึ้นไปติดตั้ง	ไม่มีการขึ้น – ลง แต่จะเป็นการไต่ไปตามโครงหลังคาในการติดตั้งโครงถัดไป	18 เตรียมนั่งร้านให้อยู่ในตำแหน่งที่จะปีนขึ้นไปติดตั้ง			
	3.16	22 ผูกสลิงกับชิ้นส่วน T2 , T3 แล้วคล้องกับตะขอเครนเพื่อเตรียมยก	20 ผูกสลิงกับชิ้นส่วน T2 , T3 แล้วคล้องกับตะขอเครนเพื่อเตรียมยก	18 ผูกสลิงกับชิ้นส่วน T2 แล้วคล้องกับตะขอเครนเพื่อเตรียมยก	19 ผูกสลิงกับชิ้นส่วน T2 แล้วคล้องกับตะขอเครนเพื่อเตรียมยก		
	3.17	23 เครนยกชิ้นส่วน T2 ,T3 เชื่อมระหว่าง T1 (โครงหลัก)	21 เครนยกชิ้นส่วน T2 ,T3 เชื่อมระหว่าง T1 (โครงหลัก)	19 เครนยกชิ้นส่วน T2 เชื่อมระหว่าง T1 (โครงหลัก)	20 เครนยกชิ้นส่วน T2 เชื่อมระหว่าง T1 (โครงหลัก)		
	3.18	24 ปลดสลิง (เสร็จงานยก T1) – TRUSS หลัก โครงถัดมา	22 ปลดสลิง (เสร็จงานยก T1) – TRUSS หลัก โครงถัดมา	20 ปลดสลิง (เสร็จงานยก T1) – TRUSS หลัก โครงถัดมา	21 ปลดสลิง (เสร็จงานยก T1) – TRUSS หลัก โครงถัดมา		
	3.19	25 (ทำซ้ำขั้นตอน 3 จาก 3.8 ถึง 3.18) (เสร็จงานยก T1) – TRUSS หลัก โครงถัดมา (ทำซ้ำจนกว่าจะครบทุกชิ้นส่วน)	23 (ทำซ้ำขั้นตอน 3 จาก 3.8 ถึง 3.18) (เสร็จงานยก T1) – TRUSS หลัก โครงถัดมา (ทำซ้ำจนกว่าจะครบทุกชิ้นส่วน)	21 (ทำซ้ำขั้นตอน 3 จาก 3.8 ถึง 3.18) (เสร็จงานยก T1) – TRUSS หลัก โครงถัดมา (ทำซ้ำจนกว่าจะครบทุกชิ้นส่วน)	22 (ทำซ้ำขั้นตอน 3 จาก 3.8 ถึง 3.18) (เสร็จงานยก T1) – TRUSS หลัก โครงถัดมา (ทำซ้ำจนกว่าจะครบทุกชิ้นส่วน) *ขั้นตอนแรก : เชื่อมชิ้นส่วน T1 และ T2 เชื่อมระหว่าง (T1 ตัวที่ 7) ,(T1 ตัวที่ 8) ด้านล่าง	มีการเชื่อมโครงด้านล่างก่อนทำการยกขึ้นติดตั้ง	มีการเชื่อมโครงหลังคาในช่วงเสาสุดท้ายจากด้านล่างก่อนทำการยกขึ้นติดตั้งเนื่องจากประสบปัญหาในการเคลื่อนย้ายเครนและยกในที่แคบ
	3.20	26 ทำการเชื่อมแน่นทุกชิ้นส่วน	24 ทำการเชื่อมแน่นทุกชิ้นส่วน	22 ทำการเชื่อมแน่นทุกชิ้นส่วน	23 ทำการเชื่อมแน่นทุกชิ้นส่วน		

จากตารางที่ 1 ขั้นตอนในการติดตั้งโครงหลังคากรณีศึกษาทั้ง 3 โครงการ ทำการเปรียบเทียบกันจากขั้นตอนหลัก 3 ขั้นตอน เมื่อทำการวิเคราะห์ความแตกต่างขั้นตอนในการติดตั้งพบว่า ขั้นตอนการติดตั้งโครงการกรณีศึกษาทั้ง 3 โครงการ มีขั้นตอนการติดตั้งที่แตกต่างกัน คือ

- โครงการ A (อาคาร 1) มีจำนวน 26 ขั้นตอน
- โครงการ A (อาคาร 2) มีจำนวน 23 ขั้นตอน
- โครงการ B มีจำนวน 22 ขั้นตอน
- โครงการ C มีจำนวน 24 ขั้นตอน

สรุปและอภิปรายผล

จากผลการศึกษาพบว่า ความแตกต่างของจำนวนดังกล่าวเกิดจากการใช้อุปกรณ์เครื่องมือที่แตกต่างกัน เพราะโครงการ B และโครงการ C ไม่มีการใช้เหล็กค้ำยัน แต่ในโครงการ B มีการใช้ Stiff Plate และ ไม่มีการใช้นั่งร้านหรือบันไดลิงในการขึ้นไปติดตั้ง และเมื่อถึงขั้นตอนการขึ้นลงเคลื่อนย้ายนั่งร้านในการติดตั้งโครงการ A (อาคาร 2) และโครงการ B จะไม่มีขั้นตอนในการขึ้น-ลงเนื่องจากช่างติดตั้งทำการปีนโครงหลังคาในการเคลื่อนที่แทน ซึ่งเมื่อทำการวิเคราะห์ถึงรายละเอียดวิธีการติดตั้งในแต่ละขั้นตอน พบว่าในแต่ละขั้นตอนมีข้อแตกต่างในขั้นตอนการติดตั้ง ดังนี้

1. ขั้นตอนการจัดเตรียมเครื่องจักรก่อนการยกติดตั้ง โครงการ A (อาคาร 1 และ อาคาร 2) มีการใช้เครน 2 คันใน

การติดตั้งโครงหลังคา แต่โครงการ B และโครงการ C ใช้เพียงคันเดียวในการติดตั้งโครงหลังคา

2. ขั้นตอนการเตรียมอุปกรณ์เครื่องมือและการปีนขึ้นไปติดตั้งโครงหลังคา ในโครงการ B ไม่มีขั้นตอนนี้เพราะไม่มีความจำเป็น เนื่องจากช่างติดตั้งใช้การปีนเสาโครงถัก 3 มิติ ในการขึ้นไปติดตั้ง

3. ขั้นตอนการเตรียมและการเชื่อมเหล็กค้ำยัน และ Stiff Plate โครงการ A (อาคาร 1 และ อาคาร 2) มีการเชื่อมเหล็กค้ำยัน ส่วนโครงการ B มีการเชื่อม Stiff Plate แต่โครงการ C ไม่มีการใช้อุปกรณ์ดังกล่าว

4. ขั้นตอนการปีนขึ้น – ลง ในการติดตั้งโครงหลังคา ในโครงการ A (อาคาร 2) และโครงการ B ไม่มีการใช้นั่งร้าน ใช้วิธีการไต่ไปตามโครงหลังคาในการเคลื่อนที่ไปเชื่อมติดตั้งในจุดต่อไป

5. ขั้นตอนการยกประกอบติดตั้งโครงการ C มีการประกอบชิ้นส่วนหลักและชิ้นส่วนย่อยให้เสร็จในตำแหน่งช่วงเสา 2 ช่วงสุดท้าย ก่อนจะทำการยกโครงขึ้นติดตั้ง เนื่องจากสภาพพื้นที่แคบ เครนไม่สามารถเข้าทำการติดตั้งได้

สรุปได้ว่าองค์ประกอบเทคโนโลยีและขั้นตอนในการติดตั้งโครงหลังคาหลักรูปพรรณช่วงพาดกว้างในแต่ละโครงการจะมีความเหมือนและแตกต่างกันในส่วนรายละเอียดย่อยของขั้นตอน ตามแต่ละสถานการณ์และความพร้อมในด้านพื้นที่ที่

จะทำการติดตั้งโครงหลังคา จากการเลือกใช้วิธีการที่เหมาะสมต่อความถนัดของแต่ละบริษัทที่ติดตั้งของโครงการ

ข้อเสนอแนะ

1. ควรศึกษาความพร้อมของพื้นที่และองค์ประกอบเทคโนโลยีทั้ง 4 ด้านก่อนจะเข้าทำการติดตั้งโครงหลังคา เพื่อให้เกิดขั้นตอนการติดตั้งที่เหมาะสมในแต่ละโครงการ

2. ควรมีการวิเคราะห์ระยะเวลาในการติดตั้งในแต่ละโครงการเพื่อที่จะสามารถทำให้ได้ข้อมูลในด้านความรวดเร็วในการติดตั้ง เพิ่มเติมจากข้อมูลที่มีอยู่เพื่อให้สามารถเลือกใช้วิธีการติดตั้งโครงหลังคาหลักรูปแบบที่รวดเร็วและได้ง่ายมากยิ่งขึ้น

เอกสารอ้างอิง

- ชลธิ อัมมอดม. (2556). ระบบโครงสร้างทางสถาปัตยกรรม. (พิมพ์ครั้งที่ 5). กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ชวลิต นิตยยะ. (2548). โครงสร้างสถาปัตยกรรม. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ทรงเกียรติ เทียธิทรัพย์. (2549). เทคโนโลยีการก่อสร้างอาคารพักอาศัยที่เหมาะสม สำหรับพื้นที่ปากแม่น้ำเจ้าพระยา กรณีศึกษา : หมู่บ้านสาขลา ต.นาเกลือ อ.พระสมุทรเจดีย์ จ.สมุทรปราการ. วิทยานิพนธ์สถาปัตยกรรมดุสิตบัณฑิตจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

พิภพ สุนทรสมัย. (2551). การก่อสร้างโครงสร้างเหล็ก. (พิมพ์ครั้งที่ 2). กรุงเทพฯ: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทยญี่ปุ่น).

สุริวรรณ อุปลา. (2557). การศึกษาความคิดเห็นต่อแนวทางการกำหนดมาตรฐานการติดตั้งชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูป. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิตมหาวิทยาลัยรามคำแหง.

อมร ปิยะวาจี. (2553). การออกแบบอาคารพักอาศัยโครงสร้างเหล็กเบาด้วยระบบชิ้นส่วนสำเร็จรูป. วิทยานิพนธ์สถาปัตยกรรมมหาบัณฑิต สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

Francis D.K. Ching, Barry Onouye, Doug Zuberbuhler. (1943). Building structures illustrated : patterns, systems, and design. (2nded). United States of America : John Wiley & Sons, Inc.

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม : มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม : มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา เป็นวารสารตีพิมพ์และเผยแพร่บทความวิจัยและบทความวิชาการในด้านเทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ และสหวิทยาการด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี โดยบทความที่พิจารณาตีพิมพ์ในวารสารนี้จะต้องไม่เคยตีพิมพ์เผยแพร่ในวารสารใดมาก่อน และไม่อยู่ในระหว่างการพิจารณาตีพิมพ์ของวารสารอื่น บทความที่ตีพิมพ์ลงในวารสารฉบับนี้จะต้องผ่านการพิจารณาจากผู้ทรงคุณวุฒิในสาขาที่เกี่ยวข้องจำนวน 2 ท่านต่อหนึ่งบทความ และได้รับความเห็นชอบจากบรรณาธิการวารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม : มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา กองบรรณาธิการขอสงวนสิทธิ์ในการแก้ไขต้นฉบับและการพิจารณาตีพิมพ์ตามลำดับก่อนหลัง โดยมีข้อเสนอแนะในการส่งบทความดังนี้

การเตรียมต้นฉบับบทความ

- ขนาดกระดาษ A4
- ขอบกระดาษ ขอบบน 1 นิ้ว ขอบล่าง 1 นิ้ว ขอบซ้าย 1.25 นิ้ว ขอบขวา 1 นิ้ว
- ภาพประกอบ ควรแนบไฟล์ภาพต้นฉบับพร้อมเขียนคำอธิบายภาพ และหมายเลขกำกับภาพ
- ตัวอักษร ใช้ TH SarabunPSK ตามที่กำหนดดังนี้
 - ชื่อเรื่อง (Title)
 - ภาษาไทย ขนาด 18 point, กำหนดกึ่งกลาง, แบบหนา
 - ภาษาอังกฤษ ขนาด 18 point, กำหนดกึ่งกลาง, แบบหนา
 - ชื่อผู้เขียน (ทุกคน)
 - ชื่อผู้เขียนใช้ฟอนต์ไทยสารบรรณ ขนาด 16 point, กำหนดกึ่งกลาง, แบบหนา
 - ข้อมูลเพิ่มเติมของผู้เขียน ได้แก่ ชื่อ – สกุล สังกัด Email ใช้ฟอนต์ไทยสารบรรณ ขนาด 14 point ตัวปกติ กำหนดกึ่งกลาง
 - บทคัดย่อ
 - “บทคัดย่อ” และ “Abstract” ขนาด 16 point , กำหนดกึ่งกลาง , แบบหนา
 - เนื้อหาบทคัดย่อภาษาไทย ขนาด 16 point , กำหนดชิดขอบ , ตัวธรรมดา
 - เนื้อหา บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ขนาด 16 point , กำหนดชิดขอบ
 - คำสำคัญ ให้พิมพ์ต่อจากส่วนบทคัดย่อ ควรเลือกคำสำคัญที่เกี่ยวข้องกับบทความ ประมาณ 4-5 คำ ใช้ตัวอักษรภาษาไทย ขนาด 16 point
 - Keyword ให้พิมพ์ต่อจากส่วน Abstract ควรเลือกคำสำคัญที่เกี่ยวข้องกับบทความ ภาษาอังกฤษ ขนาด 16 point

○ รายละเอียดบทความ (Body)

- คำหลักบทความขนาด 16 point , กำหนดขีดซ้าย , ตัวหนา
- หัวข้อย่อขนาด 16 point , กำหนดขีดซ้าย , ตัวหนา
- ตัวอักษรขนาด 16 point , กำหนดขีดขอบ , ตัวธรรมดา

รายละเอียดบทความประกอบด้วย บทนำ วัตถุประสงค์ของการวิจัย อุปกรณ์และวิธีดำเนินการวิจัย ผลการวิจัย สรุปและอภิปรายผลการวิจัย ข้อเสนอแนะ และเอกสารอ้างอิง

■ คำศัพท์ ให้ใช้ศัพท์บัญญัติของราชบัณฑิตยสถาน

■ รูปภาพและตาราง กรณีรูปภาพและตาราง หัวตารางให้จัดชิดซ้ายของคอลัมน์ คำบรรยายรูปภาพให้อยู่ใต้รูปภาพ และจัดกึ่งกลางคอลัมน์ เนื้อหา และคำบรรยายภาพ ใช้ตัวอักษรขนาด 16 point ตัวปกติ ให้ขนาดของรูปภาพและตารางอยู่ในคอลัมน์ (ในกรณีที่ขนาดของรูปภาพและตารางมีขนาดใหญ่เกินคอลัมน์สามารถขยายได้เต็มหน้ากระดาษ (ควรแนบไฟล์ภาพต้นฉบับพร้อมเขียนคำอธิบายภาพ และควรเขียนหมายเลขกำกับภาพ เพื่อความถูกต้องและง่ายต่อการจัดเรียงข้อมูล

■ การเขียนเอกสารอ้างอิง ให้ใช้รูปแบบของ American Psychological Association (APA)

การอ้างอิงท้ายบทความ เป็นการรวบรวมเอกสารทั้งหมดที่ผู้เขียนบทความได้ใช้อ้างอิงในการเขียนบทความ และจัดเรียงรายการตามลำดับอักษรชื่อผู้แต่ง ตัวอย่าง เช่น

ชื่อผู้แต่ง. (ปีที่พิมพ์). ชื่อหนังสือ. (พิมพ์ครั้งที่). เมืองที่พิมพ์: สำนักพิมพ์หรือโรงพิมพ์.

ชื่อผู้แต่ง. (ปีที่พิมพ์). ชื่อบทความ. ใน ชื่อบรรณาธิการ, ชื่อหนังสือ. (เลขหน้าบทความ). เมืองที่พิมพ์: สำนักพิมพ์หรือโรงพิมพ์.

ชื่อผู้แต่ง. (ปีที่พิมพ์). ชื่อบทความ. ชื่อวารสาร, ปีที่พิมพ์ (ฉบับที่), เลขหน้าบทความ.

ชื่อผู้เขียนวิทยานิพนธ์. (ปีที่วิจัยสำเร็จ). ชื่อวิทยานิพนธ์. วิทยานิพนธ์ปริญญา (ระดับ) ชื่อสาขาวิชา สังกัดของสาขาวิชา มหาวิทยาลัย.

ชื่อผู้แต่ง. (ปีที่เผยแพร่). ชื่อเรื่อง. ค้นเมื่อ [วัน เดือน ปี] จาก แหล่งสารสนเทศ. [หรือ URL]

การส่งต้นฉบับบทความ

ส่งบทความผ่านระบบ <http://www.journal.fit.ssru.ac.th> เท่านั้น หากต้องการ
รายละเอียดเพิ่มเติม สามารถติดต่อได้ที่กองบรรณาธิการวารสารวิชาการเทคโนโลยี
อุตสาหกรรม : มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา

คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา เลขที่ 1 ถนนอุโมง
นอก เขตดุสิต กรุงเทพฯ 10300 โทรศัพท์ 0 2160 1438 ต่อ 22 โทรสาร 0 2160 1440
Email : fit@ssru.ac.th



แบบฟอร์มส่งบทความวิจัย/บทความวิชาการเพื่อพิจารณาตีพิมพ์
วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม : มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา

ชื่อบทความ (ภาษาไทย)

(ภาษาอังกฤษ)

ประเภทบทความ ☐ บทความวิจัย ☐ บทความวิชาการ

ชื่อ-สกุล ผู้เขียนบทความ

สถานที่ติดต่อผู้เขียนบทความ

เลขที่ ถนน แขวง/ตำบล

เขต/อำเภอ จังหวัด รหัสไปรษณีย์

โทรศัพท์..... โทรศัพท์มือถือ โทรสาร

E-mail.....

ชื่อ-สกุล ผู้ร่วมบทความ (1)

เลขที่ ถนน แขวง/ตำบล

เขต/อำเภอ จังหวัด รหัสไปรษณีย์

โทรศัพท์..... โทรศัพท์มือถือ โทรสาร

E-mail.....

ชื่อ-สกุล ผู้ร่วมบทความ (2)

เลขที่ ถนน แขวง/ตำบล

เขต/อำเภอ จังหวัด รหัสไปรษณีย์

โทรศัพท์..... โทรศัพท์มือถือ โทรสาร

E-mail.....

ข้าพเจ้าขอรับรองว่าบทความฉบับนี้ยังไม่เคยได้รับการเผยแพร่และตีพิมพ์ใน
วารสารอื่นใดมาก่อน

ลงชื่อผู้ส่งบทความ

(.....)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....