



การประชุมวิชาการและนำเสนอผลงานทางวิศวกรรม
นวัตกรรมและการจัดการอุตสาหกรรมอย่างยั่งยืน

“Sustainable Industrial Innovation and Management”

ครั้งที่ 2 ประจำปีการศึกษา 2556

ระหว่างวันที่ 28 - 29 ตุลาคม 2556

ณ ศูนย์นิทรรศการและการประชุมไบเทค บางนา กรุงเทพฯ

ภายในงาน

Eco Innovation and Solution 2013



คำนำ

การจัดประชุมวิชาการ นวัตกรรมและการจัดการอุตสาหกรรมเพื่อความยั่งยืน (Sustainable Industrial Innovation and Management Conference) ครั้งที่ 2 ประจำปี 2556 จัดขึ้นภายในงาน Eco Innovation and solution 2013 “Leadership in industrial Town Development: ความเป็นผู้นำในการพัฒนาอุตสาหกรรมเชิงนิเวศ” โดยความร่วมมือระหว่าง สถาบันสิ่งแวดล้อมอุตสาหกรรม สภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย (ส.อ.ท.) และหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรมเพื่อความยั่งยืน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร เป็นการดำเนินการต่อเนื่องจากการจัดประชุมวิชาการ ครั้งที่ 1 เมื่อปี 2555 ภายใต้ข้อตกลงความร่วมมือ “พัฒนาศักยภาพบุคลากรสมาชิกสภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทยเพื่อการจัดการอุตสาหกรรมอย่างยั่งยืน” ระหว่าง สภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทยและมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

การจัดประชุมวิชาการในครั้งนี้ 2 นี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อเป็นเวทีนำเสนอผลงานเชิงวิชาการ พร้อมกับส่งเสริมให้มีการแลกเปลี่ยนประสบการณ์ในด้านการพัฒนาอุตสาหกรรมเชิงบูรณาการ 3 ส่วน ประกอบด้วย ระบบเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อม โดยนักวิจัยจากสถาบันการศึกษาด้านวิศวกรรมศาสตร์และวิทยาศาสตร์และนักวิจัยจากภาคอุตสาหกรรม ภายใต้องค์ความรู้ทางวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์ที่ทันสมัยและสอดคล้องหลักปรัชญาเศรษฐกิจพอเพียง

การนำเสนอผลงานวิจัยครอบคลุมด้านการจัดการองค์กรเพื่อความยั่งยืน การเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการผลิต การจัดการสิ่งแวดล้อม การจัดการของเสีย การรีไซเคิลวัสดุเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ การพัฒนาผลิตภัณฑ์ทางวิศวกรรมและเทคโนโลยีเพื่อความเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม การพัฒนาพลังงานทดแทนและนวัตกรรมการจัดการอุตสาหกรรมเพื่อความยั่งยืน เป็นต้น

ทั้งนี้ การจัดประชุมวิชาการดังกล่าวเป็นเวทีที่มีความแตกต่างและทันสมัย ส่งเสริมการพัฒนาอุตสาหกรรมในอนาคตเพื่อลดภาวะโลกร้อน สะท้อนการดำรงชีวิตของมนุษย์ให้ปลอดภัย ส่งเสริมให้อุตสาหกรรมของประเทศไทยมีศักยภาพเพิ่มขึ้น

การจัดประชุมวิชาการในครั้งนี้หวังเป็นอย่างยิ่งว่าผู้เข้าร่วมประชุมจะได้มีโอกาสแลกเปลี่ยนประสบการณ์ ได้รับความรู้ใหม่และการพัฒนาเทคโนโลยีที่ทันสมัย พร้อมทั้งนำความรู้ไปประยุกต์ใช้อย่างเหมาะสมทั้งการทำงานและการดำรงชีวิตที่ดีขึ้น เป็นบุคคลสำคัญต่อการพัฒนาอุตสาหกรรมของประเทศไทยให้ยั่งยืนต่อไป

คณะกรรมการดำเนินการจัดประชุมวิชาการ ขอขอบพระคุณ คณะกรรมการพิจารณาบทความ ผู้สนับสนุนจากทุกภาคส่วน นักวิจัย ผู้นำเสนอบทความ และผู้เข้าร่วมประชุมวิชาการทุก ๆ ท่าน มา ณ ที่นี้

สถาบันสิ่งแวดล้อมอุตสาหกรรม
สภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย (ส.อ.ท.)
หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรมเพื่อความยั่งยืน
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

รายชื่อกรรมการพิจารณาบทความ

1. รศ.ดร.กัณวรัช พลุปราชญ์
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
2. รศ.เกียรติไกร आयวัฒน์
ศูนย์วิศวกรรมพลังงานและสิ่งแวดล้อม
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
3. ผศ.ดร.พิศิษฐ์ โภคารัตน์กุล
สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล
4. ผศ.ดร.รวิน ระวิวงศ์
มูลนิธิชัยพัฒนา
5. ผศ.ดร.วิโรจน์ ฤทธิทอง
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
6. ดร.เชียรช่วง กัลยาณมิตร
คณะกรรมการสถาบันวิจัยแห่งชาติ สาขาเศรษฐศาสตร์
7. ดร.นุชรา สีนบัวทอง
นักวิทยาศาสตร์ชำนาญการ
ฝ่ายเครื่องมือและวิจัยทางวิทยาศาสตร์ สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
8. ดร.ณัฐวรพล รัชสิริวัชรบุล
สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรมเพื่อความยั่งยืน
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
9. ดร.ปริญญา บุญกนิษฐ
สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรมเพื่อความยั่งยืน
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

10. ดร.สุรเชษฐ์ เดชพันธุ์
สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรมเพื่อความยั่งยืน
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
11. ดร.สิงห์แก้ว ปือกเพ็ญ
สาขาวิชาวิศวกรรมแมคคาทรอนิกส์
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
12. นางสาวพรรรัตน์ เพชรภักดี
สถาบันสิ่งแวดล้อมอุตสาหกรรม สภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย
13. นายภัทรพล ตุลารักษ์
สำนักจัดการกากของเสียและของอันตราย
กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม
14. นายภัทรพล ลิ้มภักดี
สำนักบริหารจัดการกากอุตสาหกรรม กรมโรงงาน กระทรวงอุตสาหกรรม
15. นายสามารถ สุขม้น
เลขานุการ การประชุมวิชาการ
สถาบันสิ่งแวดล้อมอุตสาหกรรม สภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย

สารบัญ

ชื่อบทความ	หน้า
Pyrolysis of Industrial Sewage Sludge using Microwave Irradiation Prodpran Siritheerasas [*] , Amonkarn Vatavanichakul, Witchuta Soysang	1
Effects of the Addition of Sulphur-fixation Agents on the Characteristics of Sulphur modified Asphalt (SMA) Prodpran Siritheerasas [*] , Benchaporn Wejchasart, Papassorn Lohkunsombat, Noppadol Pouphon	11
คาร์บอนฟุตพริ้นท์จากกระบวนการผลิตภาชนะพลาสติกประเภทโพลีโพรพิลีน สีขาว ขนาด 22 ออนซ์ พิมพ์ลวดลาย กรณศึกษา อุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์พลาสติก สุวิทย์ แผงอิระสุขมัย [*] , ณัฐวรพล รัชสิริวัชรบุล, ปริญญ์ บุญกนิษฐ, สหรัตน์ วงษ์ศรีชะ	20
การพัฒนาคุณลักษณะผงทั้งสแตนคาร์ไบด์รีไซเคิลที่เหมาะสมสำหรับการใช้งาน ปฐมพงษ์ จำนงค์พันธ์ [*] , สหรัตน์ วงษ์ศรีชะ, ปริญญ์ บุญกนิษฐ	31
การจัดการสีเขียวสำหรับผลิตผลทางการเกษตรในประเทศไทย สุเทพณ์ จันทรุกขา ^{1*} , ณัฐยา ตันตรานนท์ ¹ , มนัส สุวรรณ ²	39
การจำลองการไหลของอากาศในห้องเย็นโดยใช้เทคนิคการคำนวณทางพลศาสตร์ของไหล ภัทรฤทัย คำแสง [*] , ชนวัฒน์ นิตศน์วิจิตร, จาตุพงศ์ วาฤทธิ, สมเกียรติ จตุรงค์ล้ำเลิศ	56
การกำจัดโครเมียมเฮกซะวาเลนทีในน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้ผงสังกะสี กนกพร อนันต์ชื่นสุข [*]	67
การประเมินการใช้พลังงานและการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของเครื่องคอมพิวเตอร์ที่หมดอายุ โดยใช้การรีไซเคิลรูปปิด วรรัชมล เลิศจตุรานนท์ [*] , เศรษฐ์ สัมภัตตะกุล	76
การจัดการพลังงานความร้อนในกระบวนการผลิตถั่วแระแช่แข็ง จันจิรา จิตแสง [*] , ชนวัฒน์ นิตศน์วิจิตร, จาตุพงศ์ วาฤทธิ, สมเกียรติ จตุรงค์ล้ำเลิศ	87

สารบัญ

ชื่อบทความ	หน้า
การวิเคราะห์แนวทางการพัฒนาพลังงานน้ำสำหรับชุมชนลุ่มน้ำแม่กลาง สังธรรม จินาดี ^{1*} , อนุชาล เพิ่มสุวรรณ ² , วสันต์ จอมภักดี ²	94
การออกแบบและสร้างเตาเผาข้าวกล้องงอกเพื่อการประหยัดพลังงาน จิตติศักดิ์ ภูศรีเมือง ^{1*} , ธนากร วงศ์วัฒนาเสถียร ²	105
กักหน้ลผลิตไฟฟ้าและสูบน้ำความเร็วรอบต่ำ ธณกร เทพวงษ์*, สาโรจน์ ดำรงค์สีล, ธนากร สุนทรวัฒน์	113
การศึกษาผลกระทบของซิงค์ออกไซด์ต่อคุณสมบัติไฮโดรฟิลิกยิ่งยวดของฟิล์มโลหะออกไซด์ผสม จิรวัดน์ ม้ายอุเทศ, เอกรัตน์ วงษ์แก้ว*	124
การทดลองนำซิงค์ออกไซด์ที่เคลือบบนแผ่นแก้วไปใช้ในการย่อยสลายสารละลายสีดิสเพอร์ส แบบสีน้ำเงิน คุณากรณ์ ภูเพียงใจ*, จารุมนต์ หอวิวัฒน์วงศ์, พงศ์ธร ฐปะเตมีย์	131
การศึกษาปัจจัยที่เหมาะสมในการกำจัดมอดในข้าวสารด้วยเครื่องฉายรังสีอินฟราเรด ปวิรรต นาสวาสดี*, สุขอังคณา ซาหยอง, วิทยา อินทร์สอน, อดุลย์ จรรยาเลิศอดุลย์	140
การศึกษาสมรรถนะการทำงานของแผ่นซับน้ำที่ทำจากใยแก้วกรองน้ำและมุ้ง บรรเจิด โปฏกรรัตน์*, บัญญัติ นิยมवास, เสรี ทองชุม	150
ความเป็นไปได้ของการเพิ่มความบริสุทธิ์ของเอทานอลด้วยการดูดซับด้วยฟางข้าวร่วมการค้า เอกลักษณ์ เลื่องสุนทร ^{1*} , นุรักษ์ กฤษดานุรักษ์ ²	158
การพัฒนาวิธีการตรวจวัดฟอสฟอรัสเพื่อประยุกต์ใช้ในเครื่องตรวจวัดแบบอัตโนมัติ นันทศักดิ์ ตั้งอุดมวงษา ¹ , นุชรา สีนบัวทอง ^{2*} , สุชาติ เหลืองประเสริฐ ¹	163
การออกแบบ GA ในการจัดตารางสอนสำหรับมหาวิทยาลัยที่มีนักศึกษาหลายคนเรียนร่วมกัน สุจรรยา แก้วพรายตา*, วณิดา รัตนมณี	173

สารบัญ

ชื่อบทความ	หน้า
การปรับสมบัติของน้ำมันมะพร้าวเพื่อใช้เป็นน้ำมันไฮดรอลิกอุตสาหกรรม ปริญญา ชื่นวัฒนา [*] , อนุศาล เพิ่มสุวรรณ, นคร ทิพย์าวงค์	182
การศึกษาการอบแห้งพริกที่สภาวะสุญญากาศ บัญญัติ นิยมवास [*] , บรรเจิด โปฏกรัตน์, เสรี ทองชุม	192
การประยุกต์เทคนิคการพยากรณ์ยอดขายเพื่อวางแผนการผลิตกรณีศึกษาโรงงานผลิตชุดชั้นใน ปิยานันท์ ทองโพธิ์ [*] , ณฐา คุปต์ชัยียร์	202
การศึกษาตู้อบพริกด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีและไม่มีแผ่นสะท้อนรังสี บรรเจิด โปฏกรัตน์ [*] , บัญญัติ นิยมवास, เสรี ทองชุม	211
การศึกษากระบวนการผลิตข้าวเพื่อสิ่งแวดล้อม สดุติ สุพรรณไพ ^{1*} , รติ สิ้นพิเชตร ²	217
การศึกษาการออกแบบการให้แสงสว่างเพื่อประหยัดพลังงานในโรงเรือนปลูกเบญจมาศ สุชรรัตน์ ประเสริฐสวัสดิ์ ¹ , กิตติพงศ์ แต่งพันธ์ ¹ , สุทิน ชาญณรงค์ ² , แก้วกันยา สุดประเสริฐ ^{1*}	226
การศึกษาระบบการผลิตไฟฟ้าด้วยเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลโดยใช้ความร้อนเหลือทิ้ง ธวัชวัน สุนทรรัตน์พงษ์ ¹ , กิตติพงศ์ แต่งพันธ์ ¹ , สุทิน ชาญณรงค์ ² , แก้วกันยา สุดประเสริฐ ^{1*}	233
การพัฒนาการออกแบบและติดตั้งหลอดไดโอดเปล่งแสงในโรงงานอุตสาหกรรม รองศิระ ขุมเงิน ¹ , กิตติพงศ์ แต่งพันธ์ ¹ , สุทิน ชาญณรงค์ ² , แก้วกันยา สุดประเสริฐ ^{1*}	240
เครื่องตัดข้าววัชพืชโดยใช้พลังงานไฟฟ้า ลักขณา ฤกษ์เกษม [*] , สราวุธ รอดเปีย, ปรีชา พุทธรนต์, ประวิทย์ แซ่ลี้, อีสริ ศิริคุณ, ภาสุระ อังกุลานนท์	248
เครื่องปั่นแห้งพลาสติก ภาสุระ อังกุลานนท์ [*] , สราวุธ พวงชมพู, ศิริสิทธิ์ สิทธิเลิศไพศาล, ปณณวิชสิมลี, มาณพ บุตรรักษ์	257

สารบัญ (ต่อ)

ชื่อบทความ	หน้า
การใช้โปรแกรม HYSYS ในการหาภาวะที่เหมาะสมในการกลั่นเอทิลแอลกอฮอล์ของโครงการ สวนจิตรลดา ธนธิ์ พิพัฒพันธุ์*, จิระศักดิ์ บุญมาก, เพ็ญลดา อินถา, พิษณุพันธ์ นวลขำ	264
เครื่องปั้มน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ กรณีศึกษา อุตสาหกรรมกล้วยไม้ ลักขณา ฤกษ์เกษม*, ญัฐพงษ์ ลอยนภา, บัณฑิต แสงหา, สิริภพ สมนึก, พิสิษฐ์ กมลเวชวิชกุล, อิสรี ศรีคุณ, ภาสุระ อังกุลานนท์	271
การพัฒนาบล็อกคอนกรีตอัดแรงรับน้ำหนักเชิงนิเวศน์เศรษฐกิจ ฐิติพร กิจกอบชัย ^{1*} , ปริญญ์ บุญกนิษฐ ² , สหรัตน์ วงษ์ศรียะ ²	278

Pyrolysis of Industrial Sewage Sludge using Microwave Irradiation

Prodpran Siritheerasas^{*}, Amonkarn Vatavanichakul, and Witchuta Soysang

Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering, Thammasat University
Pathumthani 12120, Thailand

Abstract

One of the major problems of many industries is the disposal of a large amount of sewage sludge. Thus, a technique that is able to dispose of huge amounts of industrial sewage sludge at a reasonable cost and time is required. Incineration of sewage sludge is one of the suitable techniques, as it can handle large amounts of sewage sludge in timely fashion and at a reasonable cost. However, sewage sludge usually contains a high amount of moisture and has a low heating value. Accordingly, an improvement in the quality of sewage sludge (*i.e.* to lower its moisture content and to enhance its heating value) is needed. This research aimed to study the pyrolysis of sewage sludge from a textile factory using microwave heating. The effects of microwave power, pyrolysis period, and initial moisture content in the sewage sludge on the quality of the resulting pyrolysed product (or solid char) from the pyrolysis, which included its proximate analysis, heating value, and ultimate analysis, were investigated. It was found, from the experiments, that the increases in microwave power, pyrolysis time, and initial moisture content in the sludge led to a decrease in solid yield, which were found to be within the range of 52-87%. When microwave power, pyrolysis period, and initial moisture content in the sewage sludge were increased, it resulted in a decrease in moisture content in the resulting solid char from 10.92% to 0.1-4.1%, in which most of the resulting solid char had moisture contents lower than 2%; a decrease in volatile matter from 38.35% to 15-34%, where most of the resulting solid char has the amount of volatile matter lower than 30%; but an increase in the portion of fixed carbon from 10.01% to 21-48%; as well as an increase in heating value of the resulting solid char from 11.6 MJ/kg to 12-15 MJ/kg. The ash content of the resulting solid char was insignificantly affected by microwave power, pyrolysis time, and initial moisture content in the sludge. Increasing microwave power, pyrolysis period, and initial moisture content in the sludge caused the amount of carbon to increase from 50.14% to 60-82%, but caused the amounts of hydrogen and oxygen to decrease from 5.65% and 42.19% to 2.7-5.1% and 15-34%, respectively. In overall, the results from this research indicated that microwave pyrolysis was able to upgrade the low-quality, highly moist sewage sludge to the solid fuel whose combustion characteristics were suitable for further incineration or combustion.

Keywords: Industrial sewage sludge; Pyrolysis; Microwave irradiation

^{*} e-mail: sprodat@tu.ac.th

1. Introduction

Textile or synthetic fibre industry has made a great deal of contribution to Thai economy for several years (Thailand textile institute, 2554). During the past 10 years, the export value of this industry has increased continuously (Thailand textile institute, 2554), and the recent data (Thailand textile institute, 2556) shows that the export value of the textile and synthetic fibre industry during January-July 2556 BE (2013 AD) is ~2,700 million US dollars, ~10.5% increase from the same period of last year. The income generated from the export of the textile and synthetic fibre products is contributed to approximately 3-4% of Thailand's gross domestic product (GDP), and there are more than 4,500 textile and synthetic fibre factories in Thailand (Chantara, 2554).

Because of the high number of textile and synthetic fibre plants, the amount of waste generated from the waste water treatment facilities, or sewage sludge, of these factories is exceptionally large. More importantly, the disposal of sewage sludge has raised concerns to environmentalists worldwide, mainly due to its potential risks to both human health and the environment (Werther and Ogada, 1999). As a result, it is necessary to find the disposal method that can dispose of a huge amount of this waste at reasonable cost and time. Incineration is one of the promising disposal techniques, as it has a number of advantages over other disposal methods, such as a substantial reduction in mass and volume of waste, a complete destruction of pathogen and organic pollutants, and a potential of energy recovery (Deng *et al*, 2009). Problematically, however, since the sewage sludge contains a high amount of moisture (Uriuolo *et al*, 2012; Zhang *et al*, 2011). Thus, it is not practical to incinerate sewage sludge in its crude form, as it consumes a large amount of energy to dry off or to remove water from the sludge, which, in turn, can lead to a considerable increase in the waste disposal cost. Hence, in order to be able to employ the incineration technique to this waste efficiently, sewage sludge must be pre-treated to remove moisture or water and to improve its heating value prior to the incineration.

Pyrolysis, a direct thermal decomposition of organic components in combustible materials in the absence of air or oxygen to yield such useful products as gaseous, liquid, and solid fuels (Klass, 1998), has been used extensively to upgrade low-quality combustible materials to high-quality, carbon-rich solid fuels (Buahet *et al*, 2007; Tang *et al*, 2013). Energy required for pyrolysis can be obtained from several sources. In conventional pyrolysis, heat is provided to the pyrolysing materials externally inwards by conduction through a hot medium, such as sand in fluidised-bed reactors; by convection *via* hot gas a tube furnace; or by radiation from extremely hot surfaces of a muffle furnace (Lester and Kingman, 2004; Renet *et al*, 2012). The main drawbacks of the conventional heating are that it has a low heating efficiency and that it requires a large equipment, as the equipment must be insulated or refractory-lined to prevent the heat loss (Dominguez *et al*, 2007). Accordingly, conventional pyrolysis is time consuming and costly. Microwave heating, on the other hand, has a different heating mechanism. In microwave pyrolysis, the pyrolysing materials are heated internally outwards by electromagnetic radiation that causes the molecules inside the materials to oscillate, thereby generating heat (Menendez *et al*, 2010). This leads to a high heating rate and efficiency, thus resulting in a fast and uniform heating (Appleton *et al*, 2005).

Microwave heating has been utilised for improving the quality of solid fuels, such as coal (Lester and Kingman, 2004), biomass (*e.g.*, sawdust) (Renet *et al*, 2012; Dominguez *et al*, 2007), and waste (*e.g.*, tyres) (Undriet *et al*, 2013) for about one or two decades. However, only a few works concerning the utilisation of microwave irradiation to enhance the quality of sewage sludge, especially in the aspect of pyrolysing wet sewage sludge to make it suitable for further incineration, have been done. Thus, in this research, the possibility of using microwave heating to improve the combustion characteristics of highly moist sewage sludge from a synthetic fibre factory via pyrolysis was investigated. The properties of solid char, including proximate analysis, ultimate or elemental analysis, and heating value, before and after microwave pyrolysis, were compared, in order to examine the potential of using microwave pyrolysis as a means to enhance the quality of moist, low-heating-value sewage sludge to be the solid fuel appropriate for further combustion or incineration.

2. Research Methodology

Sewage sludge used in this study was from the synthetic fibre manufacturing plant of TTL industries public company. The sewage sludge was naturally dried in the open space for 7 days and then ground to a suitable size indicated in ASTM D3172. The ground sample was subsequently analysed for its proximate analysis following ASTM D3172. The proximate analysis of the sewage-sludge sample is summarised in Table 1. The heating value of the sewage sludge, which is also included in Table 1, was calculated using the following equation (Yin, 2011):

$$HV = 0.1905VM + 0.2521FC \quad (1)$$

where HV was the heating value (on dry basis) with the unit of MJ/kg, and VM and FC were the percentages of volatile matter and fixed carbon (both are on dry basis), respectively. The ultimate or elemental analysis, including the percentages of carbon (C), hydrogen (H), and oxygen (O), were computed using the following relationships (Jaruchattada *et al*, 2006):

$$C = -182.87 + 2.2117VM + 2.7835FC \quad (2)$$

$$H = -1.31 + 0.0871VM + 0.0249FC \quad (3)$$

$$O = 815.32 - 7.6285VM - 8.1252FC \quad (4)$$

in which C, H, O, VM, and FC were on dry and ash-free (DAF) basis. The percentages of C, H, and O are summarised in Table 2.

Table 1 The proximate analysis and heating value of fresh sewage sludge used in this study (dry basis)

Moisture (wt%)	Ash (wt%)	VM (wt%)	FC (wt%)	Heating value (MJ/kg)
10.92	40.72	38.35	10.01	11.6

Table 2 The ultimate or elemental analysis fresh sewage sludge used in this study (dry & ash-free: DAF basis)

Carbon (wt%)	Hydrogen (wt%)	Oxygen (wt%)
50.14	5.65	42.19

The dried and ground sewage-sludge sample, which was kept in a sealed plastic bag prior to the experiment, was put into a ceramic crucible and weighted for approximately 50 g. A pre-determined amount of water was poured onto the sample to adjust the moisture content in the sample to 15, 25, or 35 wt%. The crucible was covered by a lid, to prevent air from entering into the crucible during pyrolysis, and then placed into a household microwave oven, with the power ranging from 350-800 W. Note that, since this was just a preliminary study to investigate the potential of microwave heating for enhancing the quality of moist sewage sludge, a household microwave oven, which was inexpensive and locally available, is used as a source of microwave irradiation. The duration of the microwave pyrolysis was within the range of 10-30 min. After a certain pyrolysis period (*i.e.* 10-30 min), the crucible containing the pyrolysed sample (*i.e.* the solid char) was removed from the microwave oven, allowed to cool down in a desiccator, and weighed. The solid yield was calculated using the following equation:

$$\% \text{ Solid yield} = \frac{\text{Mass of the solid char from pyrolysis}}{\text{Mass of the fresh sewage sludge before pyrolysis}} \times 100 \quad (5)$$

The resulting solid char was also analysed for its proximate analysis. The heating value of the solid char was computed using Eq. 1, and the percentages of C, H, and O of the solid char were calculated using Eqs. 2-4.

3. Results

The solid yields, or the mass of the remaining solid char (*i.e.* the pyrolysed product) compared to that of the initial (or fresh) sewage sludge, were found to be within the range of 52-87 wt%, as shown in Figure 1. It was found that an increase in microwave power, pyrolysis period, and initial moisture content in the sample resulted in a decrease in solid yield.

When considering the amounts of remaining moisture in the samples after being pyrolysed, as shown in Figure 2, it was found that all samples had the remaining moisture contents lower than 5 % (0.1-4.1 %), with most of the samples (31 out of 36, or ~86%) had the remaining moisture contents below 2%.

The amounts of volatile matter (VM) in the sample were reduced from the initial value of 38.35% to ~15-34%, as illustrated in Figure 3. Increasing microwave power and pyrolysis period caused the VM content to decrease. An increase in moisture content also resulted in a decrease in the sample's VM content.

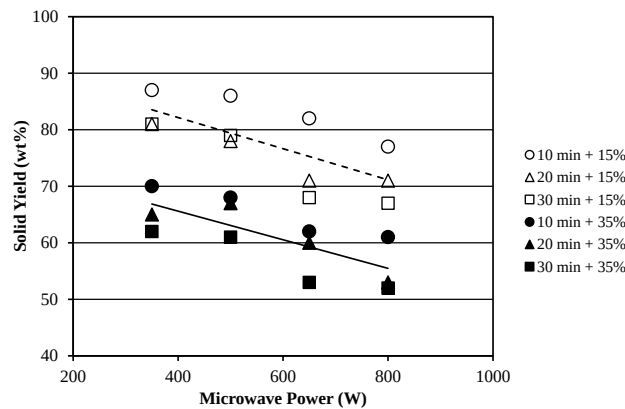


Figure 1: The solid yields of the samples, with the initial moisture contents ranging from 15-35 wt%, after being pyrolysed by microwave irradiation with the microwave power of 350-800 W and the pyrolysis period of 10-30 min.

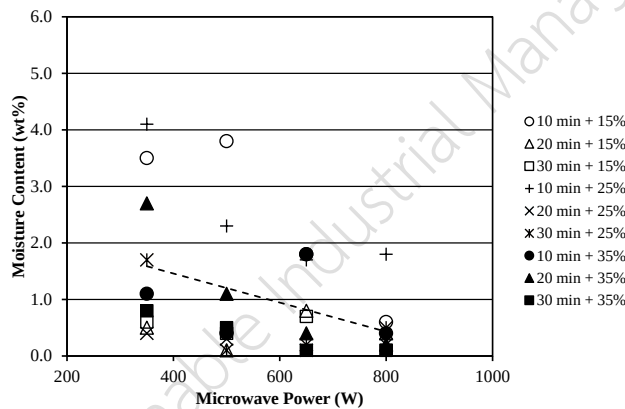


Figure 2: The amounts of moisture remained in the samples after being pyrolysed by microwave irradiation with the microwave power of 350-800 W and the pyrolysis period of 10-30 min. The samples had the initial moisture contents of 15-35 wt%.

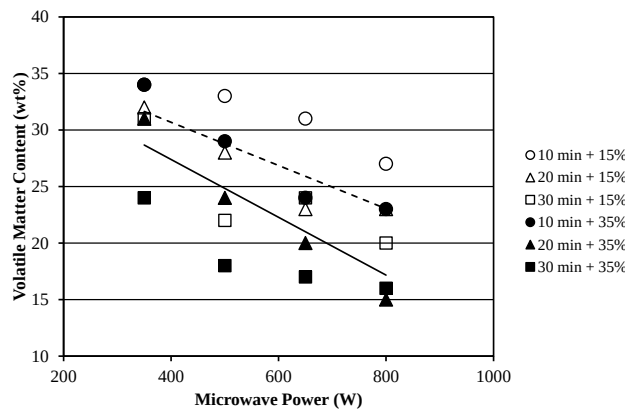


Figure 3: The volatile matter contents in the pyrolysed samples, with the initial moisture contents of 15-35%, after being treated by microwave irradiation with the microwave power of 350-800 W and the pyrolysis period of 10-30 min.

Figure 4 shows the amounts of fixed carbon (FC) in the pyrolysed samples, which were increased from the initial value of 10.01% to ~21-48%. The FC content in the sample were found to increase with microwave power, pyrolysis period, and initial moisture content.

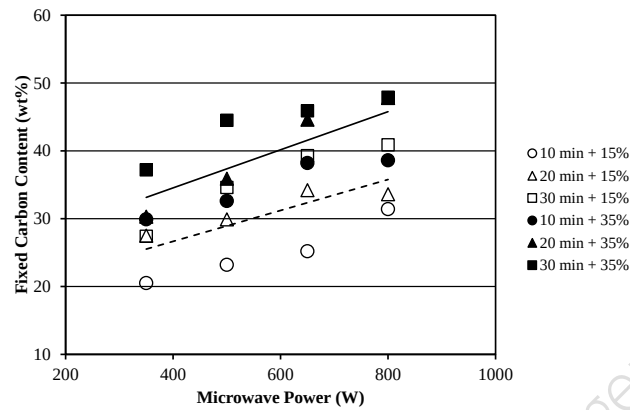


Figure 4: The fixed carbon contents in the pyrolysed samples, with the initial moisture contents of 15-35%, after being treated by microwave irradiation with the microwave power of 350-800 W and the pyrolysis period of 10-30 min.

The amounts of ash remained in the samples were nearly constant within the range of ~34-43%, which is around the proximity of its initial ash content of 40.72%, as illustrated in Figure 5.

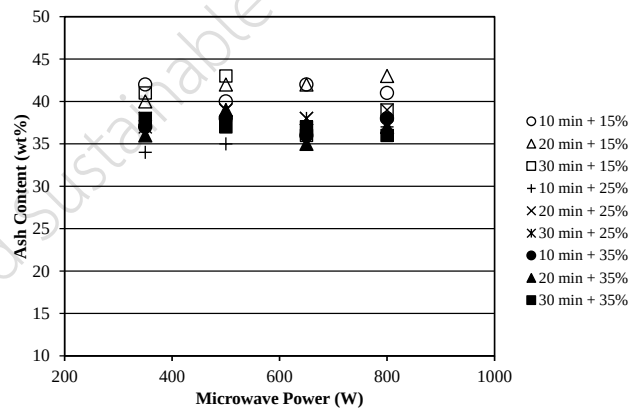


Figure 5: The ash contents in the pyrolysed samples, with the initial moisture contents of 15-35%, after being treated by microwave irradiation with the microwave power of 350-800 W and the pyrolysis period of 10-30 min. The sample had the initial amount of ash of 40.72%.

The heating value of the resulting solid char were found to increase from the initial value of 11.6 MJ/kg to ~12-15 MJ/kg, as shown in Figure 6. An increase in microwave power yielded an increasing trend of the heating value.

The amounts of carbon, hydrogen, and oxygen in the pyrolysed sample after being treated by microwave irradiation are as exhibited in Figures 7-9. Carbon content increased with the microwave power, pyrolysis period, and the sample's initial moisture content. The amount of carbon in the sample were increased from 50.14% to ~60-82%. The amount of hydrogen and oxygen, on the contrary, decreased with an increase in microwave power, pyrolysis period, and the sample's initial moisture content. Hydrogen content decreased from 5.65% to ~2.7-5.1%, while the amount of oxygen were reduced from 42.19 to ~15-34%.

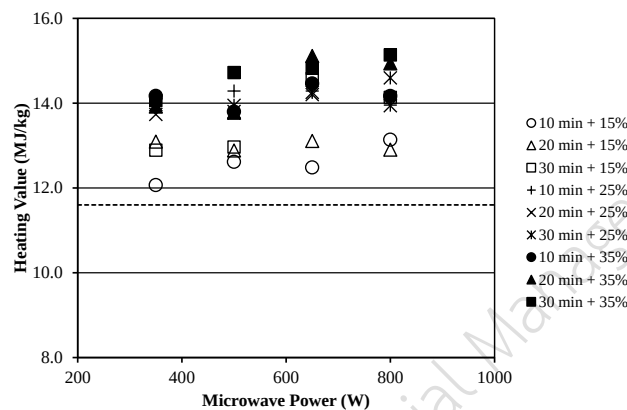


Figure 6: The heating value of the solid char pyrolysed by microwave irradiation with the microwave power of 350-800 W and the pyrolysis period of 10-30 min. The sample's initial moisture content was in the range of 15-35%, and its initial heating value was 11.6 MJ/kg as depicted by dash lines.

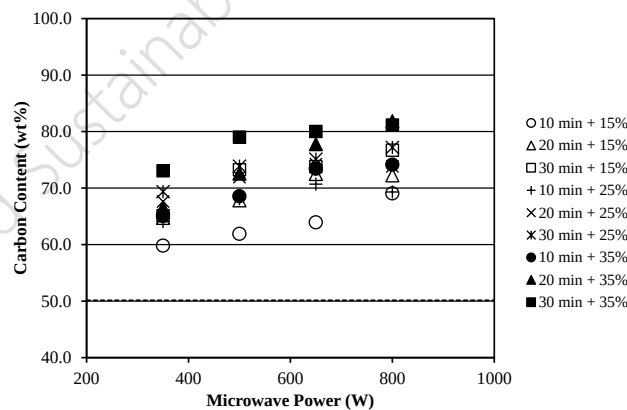


Figure 7: The carbon content in the solid char pyrolysed by microwave irradiation with the microwave power of 350-800 W and the pyrolysis period of 10-30 min. The sample's initial moisture content was in the range of 15-35%, and its initial amount of carbon was 50.14% as depicted by dash lines.

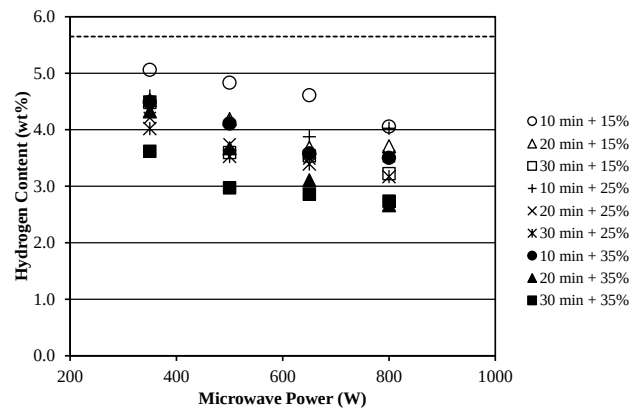


Figure 8: The hydrogen content in the solid char pyrolysed by microwave irradiation with the microwave power of 350-800 W and the pyrolysis period of 10-30 min. The sample's initial moisture content was in the range of 15-35%, and its initial amount of hydrogen was 5.65% as depicted by dash lines.

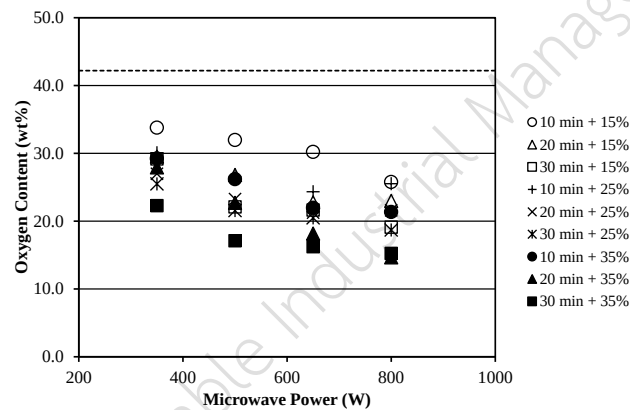


Figure 9: The oxygen content in the solid char pyrolysed by microwave irradiation with the microwave power of 350-800 W and the pyrolysis period of 10-30 min. The sample's initial moisture content was in the range of 15-35%, and its initial amount of oxygen was 42.19% as depicted by dash lines.

4. Discussion

By pyrolysing the sewage sludge samples in the microwave oven, the samples were heated internally outwards by microwave irradiation. When microwave and pyrolysis period were increased, the energy required to drive off moisture and volatile matter from the sample also increased. The resulting pyrolysed sample were found to have ultimately low moisture contents, implying that energy or heat obtained from the microwave irradiation was high enough to nearly completely drive off moisture from the samples. The amounts of volatile matter (VM) remained in the samples were reduced from 38.35% to ~15-34%, with most of the samples had the VM contents under 30%, which corresponded to ~11-60% decrease.

As the moisture contents were almost zero and the amounts of ash were nearly constant, a decrease in VM content definitely caused the portion of fixed carbon (FC) in the sample to increase. The FC content in the resulting solid char ranged from ~21-48%. When compared to its initial value of 10.01%, it corresponded to an increase of ~2-5 folds.

Since the resulting solid char has lower amount of moisture and because FC contributes to heating value more than VM does (Jaruchattada *et al*, 2006; Yin, 2011), a decrease in moisture content and an increase in the amount of FC resulted in an increase in heating value of the sample.

As VM was driven off from the sample, hydrogen and oxygen, which are the principal elements of VM (Ragland and Bryden, 2011), were also removed from the sample, thus resulting the decreasing amounts of hydrogen and oxygen. For carbon, although also removed from the sample along with VM, it is the main element of FC (Ragland and Bryden, 2011). Accordingly, as the portion of FC in the sample increased, the percentage of carbon also increased.

From this investigation, it was found that the microwave pyrolysis had a potential to improve the quality of wet sewage sludge, as the resulting pyrolysed products were found to have lower amounts of moisture, to have higher amounts of combustible materials, especially FC, and, more importantly, to have higher heating values.

5. Conclusions

The major finding from this study was that the microwave pyrolysis could actually enhance the quality of wet, low-heating-value sewage sludge, to be nearly dried, higher-heating-value products (*i.e.* solid char). The amounts of moisture in the samples decreased dramatically to nearly zero; the increases in microwave power, pyrolysis period, and the sample's initial moisture content caused the moisture content in the resulting solid char to decrease. The amounts of volatile matter in the pyrolysed samples decreased, whereas the fixed carbon contents increased, as the microwave power, pyrolysis period, and the sample's initial moisture content increased. Compared to their initial values, the resulting products were found to have higher amount of carbon, but lower amounts of hydrogen and oxygen.

6. Acknowledgement

The TTL industries public company was gratefully thanked for providing sewage sludge used in this study.

7. References

- [1] Appleton, T.J., Colder, R.I., Kingman, S.W., Lowndes, I.S., and Read, A.G., 2005. Microwave technology for energy-efficient processing of waste. *Applied Energy*, Vol. 81: 85-113.
- [2] Buah, W.K., Cunliffe, A.M., and Williams, P.T., 2007. Characterization of products from the pyrolysis of municipal solid waste. *Process Safety and Environmental Protection*, Vol. 85: 450-457.
- [3] Chantara, T., 2554. The Future of Thai Textile Industry. Office of Industrial Economics, Ministry of Industry (in Thai).
- [4] Deng, W., Yan, J., Li, X., Wang, F., Chi, Y., and Lu, S., 2009. Emission characteristics of dioxins, furans, and polycyclic aromatic hydrocarbons during fluidized-bed combustion of sewage sludge. *Journal of Environmental Sciences*, Vol. 21: 1747-1752.
- [5] Dominguez, A., Menendez, J.A., Fernandez, Y., Pis, J.J., Valente Nabias, J.M., Carrott, P.J.M., and Ribeiro Carrott, M.M.L., 2007. Conventional and microwave induced pyrolysis of coffee hulls for the production of hydrogen rich fuel gas. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, Vol. 79: 128-135.

- [6] Jaruchattada, J., Pornmai, K., and Siritheerasas, P., 2006. Correlation between proximate analysis and ultimate analysis, and between proximate analysis and heating value, of biomass. International Conference on Modeling in Chemical and Biological Engineering Sciences, Bangkok, Thailand.
- [7] Klass, D.L., 1998. Biomass for Renewable Energy, Fuels, and Chemicals. Academic Press, USA.
- [8] Lester, E., and Kingman, S., 2004. The effect of microwave pre-heating on five different coals. Fuel, Vol. 83: 1941-1947.
- [9] Menendez, J.A., Arenillas, A., Fidalgo, B., Fernandez, Y., Zubizarreta, L., Clvo, E.G., and Bermudez, J.M., 2010. Microwave heating processes involving carbon materials. Fuel Processing Technology, Vol. 91: 1-8.
- [10] Ragland, K.W., and Bryden, K.M., 2011. Combustion Engineering, 2nd ed. CRC Press, USA.
- [11] Ren, S., Lei, H., Wang, L., Bu, Q., Chen, S., Wu, J., Julson, J., and Ruan, R., 2012. Biofuel production and kinetics analysis for microwave pyrolysis of Douglas fir sawdust pellet. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, Vol. 94: 163-169.
- [12] Tang, Y.T., Ma, X.Q., Lai, Z.Y., Lin, H., and Wu, J., 2013. Char characteristics of municipal solid waste prepared under N₂ and CO₂ atmospheres. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, Vol. 101: 193-198.
- [13] Thailand textile institute, 2554. A Master Plan for the Development of Textile and Garment Industry: 2555-2559 BE (2012-2016 AD). Thailand textile institute, Office of the Permanent Secretary of the Ministry of Industry (in Thai).
- [14] Thailand textile institute, 2556. The Current Situation of Thailand Textile Industry: The Export Value during January-July 2556 BE(2013 AD). Available on Web site: http://www.thaitextile.org/main/content.php?content_id=ARC130903115247&content_type=article, access date: 8th September 2556 (in Thai).
- [15] Undri, A., Meini, S., Rosi, L., Frediani, M., and Frediani, P., 2013. Microwave pyrolysis of polymeric materials: Waste tires treatment and characterization of the value-added products. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, Vol. 103: 149-158.
- [16] Urciuolo, M., Solimene, R., Chirone, R., and Salatino, P., 2012. Fluidized bed combustion and fragmentation of wet sewage sludge. Experimental Thermal and Fluid Science, Vol. 43: 97-104.
- [17] Werther, J., and Ogada, T., 1999. Sewage sludge combustion. Progress in Energy and Combustion Science, Vol. 25: 55-116.
- [18] Yin, C.Y., 2011. Prediction of higher heating values of biomass from proximate and ultimate analyses. Fuel, Vol. 90: 1128-1132.
- [19] Zhang, B., Xiong, S., Xiao, B., Yu, D., and Jia, X., 2011. Mechanism of wet sewage sludge pyrolysis in a tubular furnace. International Journal of Hydrogen Energy, Vol. 36: 355-363.

Effects of the Addition of Sulphur-fixation Agents on the Characteristics of Sulphur-modified Asphalt (SMA)

Prodpran Siritheerasas^{*}, BenchapornWejchasart,
PapassornLohkunsombat, and NoppadolPouphon

Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering, Thammasat University
Pathumthani 12120, Thailand

Abstract

The objective of this research was to investigate the effects of the addition of sulphur-fixation agents on the characteristics of sulphur-modified asphalt (SMA), in the aspects of the ability of sulphur-fixation agents to remove sulphur odour during mixing; the physical properties of the resulting SMA, including penetration, softening point, and ductility; and the ability of the resulting SMA to resist the leaching of sulphur compounds into the environment. The sulphur-fixation agents used in this study were lime (CaO), commercial sulphur-odour-removal liquid (ORL), and zeolite. The concentration of the sulphur-fixation agents in the SMA mixtures were 0-18.75 wt.% for lime, 0.50-2.0 wt. for ORL, and 6.0 wt.% for zeolite. The mixing temperature varied between 120 and 160 °C. The emissions of sulphur compounds, which resulted in sulphur odour, during mixing were detected using lead (II) acetate paper. The penetration, softening point, and ductility of the resulting SMA were analysed following ASTM D5, D36, and D113 standards, respectively. The leaching of sulphur compounds into the environment was determined by submerging a sample in water for a specified temperature and time, and the resulting water was then tested for the presence of sulphur compounds using lead (II) acetate paper. It was found, from the experiments, that all 3 sulphur-fixation agents were able to remove sulphur odour only at the mixing temperature of 120 °C. The abilities to remove sulphur odour of the SMA samples mixed with lime at the concentration of 15.00% and with ORL at the concentrations of 1.0-2.0% were found to be moderate. The SMA samples mixed with 18.75% lime and 6.0% zeolite yielded a high sulphur-odour removal. For the physical property tests, it was found that only the SMA sample mixed with 6.0% zeolite passed the ASTM standards for both penetration and softening-point tests. The ductilities of almost all SMA samples, except those mixed with CaO, complied with the ASTM standard. The results from the sulphur leaching tests indicated that no sulphur compounds were leached from any SMA samples. In overall, it was evident that the SMA sample mixed with 6.0% zeolite at the mixing temperature of 120 °C yielded a good result in sulphur-odour removal, passed all physical property tests, and had no evidence of sulphur leaching into the environment.

Keywords: Sulphur-modified asphalt (SMA); Sulphur-odour removal;
Physical properties

^{*} e-mail: sprodat@tu.ac.th

1. Introduction

Transportation has played an important role in the development of the World's economics. It is the key element in logistics and supply chain management, which is attributed to ~one-third (1/3) of the logistics total cost (Tseng et al, 2005). In Thailand, it is reported that land transportation consumes nearly 80% of the total energy in the transportation sector, in which road transportation has the share of more than 99% (Department of Alternative Energy Development of Efficiency, 2013). This is due mainly to a rapid industrialisation and urbanisation.

The industrialisation and urbanisation, in turn, resulted in an increasing growth rate of motorisation or an escalating number of motor vehicles (Kunchornratet al, 2008). Road transportation networks link regions, places, people, and economics together, thus leading to social and economic development (Patarasuk, 2013). Currently, there are two Thai governmental agencies responsible to construct and maintain roads: the department of highways, whose main responsibility is to build and maintain highways (Department of Highways, 2013); and the department of rural roads, whose principal duty is to construct and maintain local roads in the suburbs and the country (Department of Rural Roads, 2013). Due to an exponential increase in a number of motor vehicles mentioned earlier, it necessitates these two state agencies to develop highway and road networks, and to construct more highways and roads. Since most of the highways and roads in Thailand are made of asphalt (Department of Highways, 2013; Department of Rural Roads, 2013), the demand for asphalt has increased substantially, which, occasionally, resulted in a shortage of the supply of asphalt for highway and road construction. Sulphur-extended asphalt (SEA) is one of the applications for sulphur utilisation, in which sulphur is mixed with asphalt to extend the amount of the resulting mixture (Al-Meththelet al, 2010). Since asphalt is the non-volatile product (or the product obtained from the bottom of the distillation column) of refinery plants (Speight, 2007), and sulphur is also the by-product of refinery plants (Al-Meththelet al, 2010; US Department of Transportation, 2012), the mixing of sulphur with asphalt to produce SEA has been in practice for about four decades (Al-Meththelet al, 2010). In addition to extending the amount of the asphalt-sulphur mixture, the blend of sulphur and asphalt, which is also called sulphur-modified asphalt (SMA), has such desirable properties as a high corrosion resistance, an enhanced mechanical strength, and a fast hardening (Al-Meththelet al, 2010). Unfortunately, however, sulphur has to mix with asphalt at elevated temperatures [high enough for the mixture to flow, which are within the range of 120-180 °C (US Department of Transportation, 2012)], it is likely that such sulphur-containing pollutants as SO₂, SO₃, H₂S, and other gaseous organic sulphur compounds may emit into the atmosphere (US Department of Transportation, 2012). These gases can cause irritation to eyes, skins, and respiratory systems (Manahan, 2010). Thus, it is unsafe and health-hazardous to workers working in the road-construction sites.

In this study, the possibility of adding sulphur-fixation agents or sulphur-odour-removal chemicals to the SMA in order to prevent the sulphur-containing gaseous pollutants from releasing into the ambient air during a warm and hot mix, while maintaining acceptable physical properties, including penetration, softening point, and ductility, of the SMA was examined. The leaching tests were also carried out to investigate the likelihood of sulphur compounds being leached into the ground-water while the asphalt-paved roads or highways are submerged in water.

2. Research Methodology

To prepare for the SMA sample, crude asphalt (or bitumen: the non-volatile, heaviest product obtained directly from the distillation of crude oil) and aromatic extract (a by-product obtained from the lubricating-oil-production process) obtained from a refinery plant were mixed together with the amounts such that the percentages of aromatic extract in the mixtures were kept constant at 15 wt%; aromatic extract was blended with crude asphalt to reduce the viscosity during mixing. Crude asphalt and aromatic extract were mixed at the mixing temperature of 120, 140, or 160 °C for 1 h. After 1 h of the mixing, a pre-determined amount of sulphur powder was added to the crude asphalt-aromatic extract mixture, to make the percentage of sulphur in the resulting mixture constant at 10 wt%. The sulphur fixation agent or the sulphur-odour-removal chemical, also with a pre-determined amount, was also added to the mixture, to examine its ability to remove or alleviate sulphur odour.

In this study, commercial-grade lime powder (CaO), sulphur-odour-removal liquid (ORL) obtained from a vendor, and zeolite obtained from a refinery plant were tested for the possibility of removing sulphur odour, while maintaining acceptable physical properties, including penetration, softening point, and ductility. The percentages of CaO, ORL, and zeolite were 3.75-18.75 wt%, 0.50-2.0 wt%, and 6.0 wt%, respectively.

The SMA mixture (i.e. crude asphalt + aromatic extract + sulphur + sulphur-fixation agent) was stirred at the same mixing temperature mentioned earlier (120-160 °C) for another 2 h. During mixing, paper containing lead (II) acetate was hung above the mixer to measure the emissions of sulphur compounds, and the sulphur odour was also manually monitored by smelling.

At due time (after the total 3 h of mixing), the hot SMA mixture was poured into the moulds used for further determinations of penetration, softening point, ductility, and sulphur leachate. The determinations of penetration, softening point, and ductility followed the standard procedures of ASTM D5, D36, and D113, respectively.

The test for determining the leachate of sulphur into water followed the standard procedure of CEN (the European Standard) TC 292 WG2. The SMA mixture with the weight of 5 g was submerged in water with the volume of 500 mL in a 1,000-mL container. The container with the submerged sample was then shaken in a water-bath shaker at the temperature of 45 °C for 72 h. After 72 h (3 d), lead (II) acetate paper was used to examine if there was a leachate of sulphur in water. The SMA mixture was further submerged in water for another 96 h (4 d), but at a room temperature, and the test for sulphur leachate using lead (II) acetate paper at the end of the 96-h period was carried out once again.

3. Results

The abilities to remove sulphur odour of the sulphur-fixation agents or sulphur-odour-removal chemicals, comprising commercial lime (CaO), odour-removal liquid (ORL), and zeolite, were examined using lead (II) acetate paper and by a manual smelling observation. Note that the manual smelling observation was always double-checked with the result from the corresponding lead (II) acetate paper.

If the resulting lead (II) acetate paper turned dark black, it implied that the sulphur fixation is ineffective, or it meant that the emissions of sulphur compounds were high. On the contrary, if the resulting lead (II) acetate paper was pale, it indicated that the sulphur-fixation agent with the corresponding percentage worked very well in removing sulphur odour or in inhibiting sulphur compounds from emitting into the atmosphere.

The results of the capabilities of the sulphur-fixation agents in sulphur-odour removal at different percentages of the sulphur-fixation agents and mixing temperatures are summarised in Table 1

Table 1: The abilities of the sulphur-fixation agents in the removal of sulphur odour at different percentages of the sulphur-fixation agents and at the mixing temperature ranging from 120-160 °C

Sulphur-fixation agent	Percentage (wt%)	The ability to remove sulphur odour at T = [the colour of the lead (II) acetate paper]		
		120 °C	140 °C	160 °C
Lime (CaO)	3.75	Low [Dark Black]	Low [Dark Black]	Low [Dark Black]
	7.50	Low [Dark Black]	Low [Dark Black]	Low [Dark Black]
	11.75	Low [Dark Black]	Low [Dark Black]	Low [Dark Black]
	15.00	Moderate [Grey]	n/a	n/a
	18.75	High [Pale]	n/a	n/a
Odour-removal Liquid (ORL)	0.50	Low [Dark Black]	Low [Dark Black]	Low [Dark Black]
	1.0	Moderate [Grey]	Low [Dark Black]	Low [Dark Black]
	2.0	Moderate [Grey]	Low [Dark Black]	Low [Dark Black]
Zeolite	6.0	High [Pale]	n/a	n/a

It was evident that, at the high mixing temperatures of 140 and 160 °C, the abilities of sulphur-fixation agents on removing sulphur odour was low or ineffective. Note that, at high mixing temperatures, the SMA mixtures with high amount of lime (CaO) were too viscous until the mixing were not possible, and that zeolite could not be operated at the temperatures higher than 120 °C, as specified by the vendor.

The SMA samples with 18.75% CaO and with 6.0% zeolite, mixed at 120 °C, were found to be effective in capturing sulphur, thus resulting in low emissions of sulphur odour. Also at 120 °C, the samples with 15.00% CaO and 1.0 and 2.0% ORL exhibited the moderate abilities of sulphur-odour removal.

Only the SMA samples with the sulphur-fixation agents that yielded the high and moderate abilities of removing sulphur odour and the SMA sample without the addition of the sulphur-fixation agent were subsequently examined for their physical properties, including penetration, softening point, and ductility.

The results of the penetration tests were summarised in Table 2. In Thailand, the penetration is set to be within the range of 60-70 mm (Tipco Asphalt Public Company, 2013). The penetration lower than 60 mm means the asphalt compound is too hard, which rendered the asphalt too brittle or easy to be broken when there is a hard impact on the pavement. On the contrary, if the penetration is higher than 70 mm, it indicates that the pavement is too soft, thus being susceptible to fatigue damage and pavement rutting. The penetration of 60-70 mm provides driving comfort, durability, and resistances to fatigue and rutting.

Table 2: The penetration of the SMA sample mixed at 120 °C with and without the addition of the sulphur-fixation agents

Sample	Penetration (mm)
SMA (0% addition of sulphur fixation agent)	69
SMA + CaO (15.00%)	34
SMA + CaO (18.75%)	9
SMA + ORL (1.0%)	46
SMA + ORL (2.0%)	81
SMA + Zeolite (6.0%)	61

The SMA sample with no addition of sulphur-fixation agent and the SMA sample mixed with 6.0% zeolite passed the penetration test, as the penetrations lay within the range of 60-70 mm. The penetrations of the SMA samples mixed with 15.00% CaO, 18.75%CaO, and 1.0% ORL were 34, 9, and 46 mm, respectively, which were lower than 60 mm. On the contrary, the SMA sample mixed with 2.0% ORL has the penetration of 81 mm, which was higher than the upper bound of the standard range of 60-70 mm.

The softening-point temperatures of the SMA samples were as illustrated in Table 3. The acceptable range of the softening point is between 45-58 °C (Tipco Asphalt Public Company, 2013). The SMA sample with a too high softening point exhibits the driving discomfort as the sample is too rigid. On the other hand, the SMA sample with a too low softening-point temperature was prone to being melted at high road surface temperatures, thus risking of fatigue damage or rutting.

It was found that almost all the SMA samples passed the softening-point test with the softening points within the standard range of 45-58 °C. The only one sample that did not qualify for the softening-point test was the SMA sample mixed with 1.0% ORL, whose softening-point temperature was 68 °C, which was outside the acceptable range.

Note that the softening points of the SMA samples with the addition of lime (CaO) were higher than the highest temperature that the softening-point determining equipment can reach; thus, the softening point temperatures of the samples could not be determined.

Table 3: The softening points of the SMA samples mixed at 120 °C with and without the addition of the sulphur-fixation agents

Sample	Softening-point temperature (°C)
SMA (0% addition of sulphur fixation agent)	54
SMA + CaO (15.00%)	n/a
SMA + CaO (18.75%)	n/a
SMA + ORL (1.0%)	68
SMA + ORL (2.0%)	48
SMA + Zeolite (6.0%)	55

The ductilities of the SMA samples were as exhibited in Table 4. The sample whose ductility higher than 100 cm are acceptable (Tipco Asphalt Public Company, 2013), indicating that the sample is flexible and has a high resistance to crack.

Table 4: The ductilities of the SMA samples mixed at 120 °C with and without the addition of the sulphur-fixation agents

Sample	Ductility (cm)
SMA (0% addition of sulphur fixation agent)	> 100
SMA + CaO (15.00%)	The sample was cracked at 56 cm
SMA + CaO (18.75%)	The sample was cracked at 11 cm
SMA + ORL (1.0%)	> 100
SMA + ORL (2.0%)	> 100
SMA + Zeolite (6.0%)	> 100

The experimental results yielded the fact that almost all samples, except those mixed with lime (CaO), passed the ductility test, as they could be extended for the length longer than 100 cm.

The additional leaching tests indicated that all samples submerged in water did not yield positive results (*i.e.* dark black) to lead (II) acetate paper, even after the samples were submerged in water for 72 h (3 d) at 45 °C and another 96 h (4 d) at a room temperature.

4. Discussion

The results from the sulphur-odour removal tests illustrated that only the SMA samples with the additions of 6% zeolite and 18.75% CaO mixed at 120 °C were able to eliminate the emission of sulphur odour satisfactorily. It is known that zeolite has a highly porous structure and is widely used in separation processes for the removal of gaseous impurities (Kulprathipanja, 2010). Lime (CaO) is also a highly porous material extensively used for controlling the emissions of oxides of sulphur in coal combustion for several decades (Miller, 2011). Hence, these experimental results confirmed that fact that these two materials had the abilities to remove sulphur odour.

At higher temperatures (i.e. 140 and 160 °C), the abilities in removing sulphur odour of all sulphur-fixation agents were found to be ineffective. This might result from the fact that, at high temperatures, the chemical bonds between sulphur compounds and sulphur-fixation agents broke apart, thereby causing the sulphur compounds to emit in the ambient air.

From the penetration tests, it was found that only the SMA sample mixed with 6% zeolite had the penetration of 61 mm, which lay within the standard range of 60-70 mm. This indicated that the addition of zeolite at 6 wt% into the SMA sample not only gave a good result in sulphur-odour removal but also yielded an acceptable penetration.

The penetrations of the SMA samples mixed with 15.00 and 18.75 % CaO and with 1.0% ORL were lower than 60 mm, indicating that they were too brittle. This might result from the fact that lime (CaO) is a concrete-like material, whose main properties are strong but brittle. The penetrations of the samples mixed with odour-removal liquid (ORL) varied differently from being too brittle, with the penetration of 46 mm, when 1.0% of ORL is mixed with the SMA sample to being too soft, with the penetration of 81 mm, when 2.0% of ORL is mixed with the SMA sample. However, since the details or the composition of this liquid was not known, any further discussion and interpretation could not be made.

With the exclusion of the samples mixed with CaO whose softening points could not be examined as mentioned in the previous section, only the SMA sample with the addition of 1.0% ORL did not comply with the standard. The softening-point temperature of this sample was found to be 68 °C, which indicated that the sample was too hard. This was in accord with the result obtained from the penetration test, in which this sample exhibited a low value of penetration of 46 mm, indicating that it was rigid.

The results from the ductility tests showed that only the samples mixed with CaO could not pass the test, as they could not be extended longer than the standard minimum length of 100 cm. This implied that the samples with the addition of lime (CaO) were too brittle as it displayed the behaviour of concrete-like materials.

Additionally, it was found from the leaching tests that there was no leachate of sulphur compounds from any SMA samples, even after they were submerged in water for an extended period of time at both elevated and room temperatures. This indicated that the SMA mixed with sulphur-fixation agents (i.e. CaO, ORL, and zeolite) had an ability to resist the leaching of sulphur compounds into the environment.

When combining all the results obtained in this study, it was found that the SMA sample with the addition of 6.0% zeolite, whose ability in removing sulphur odour and in resisting the leaching of sulphur compounds were effectively high, passed all the physical property tests, including the penetration, the softening-point, and the ductility tests.

5. Conclusions

All the results obtained in this study could be summarised as follows

- Only the mixing temperature of 120 °C that the sulphur-fixation agents were still effective. At the mixing temperatures higher than 120 °C (i.e. 140 and 160 °C), the abilities of sulphur-fixation agents in removing sulphur odour is ineffectively low.
- The SMA samples with the additions of lime (CaO) at 15.00 and 18.75%, of the odour-removal liquid (ORL) at 1.0 and 2.0%, and of 6.0% zeolite could remove sulphur odour with moderate to high efficiencies.
- Only the SMA sample and the sample with the addition of 6.0% zeolite passed the penetration test, with the penetrations lying within the range of 60-70 mm.
- The SMA sample and the samples with the addition of 2.0% OR and 6.0% zeolite passed the softening-point test, with the softening temperatures ranging between 45-58 °C.
- Almost all samples, except the samples with the addition of CaO, passed the ductility test, with the ductilities higher than 100 cm.
- All the samples did not yield the positive results to the leaching test, indicating that no evidence of sulphur leaching into the environment was found.
- In overall, the sample with the addition of 6.0 wt% zeolite passed all the physical tests and exhibited the resistances to sulphur emissions.

6. References

- [1] Al-Mehthel, M., Al-Abdul Wahhab, H.I., Al-Idi, S.H., and Baig, M.G., 2010. Sulphur extended asphalt as a major outlet for sulphur that outperformed other asphalt mixed in the Gulf. The Sulphur Institute's (TSI) Sulphur World Symposium, Doha, Qatar, 1-16.
- [2] Department of Alternative Energy Development and Efficiency, 2013. Thailand Energy Situation 2012 Annual Report. Department of Alternative Energy Development and Efficiency, Ministry of Energy.
- [3] Department of Highways, 2013. Annual Report 2012. Department of Highways, Ministry of Transportation.
- [4] Department of Rural Roads, 2013. Annual Report 2012. Department of Rural Roads, Ministry of Transportation.
- [5] Kulprathipanja, S. (ed), 2010. Zeolite in Industrial Separation and Catalysis. Wiley-VCH, U.K.
- [6] Kunchornrat, J., Pairintra, R., and Namprakai, P., 2008. Sustainable energy management in urban transport: The public's response of road congestion pricing in Thailand. Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 12: 2211-2226.
- [7] Manahan, S.E., 2010. Environmental Chemistry, 9th ed. CRC Press, USA.
- [8] Miller, B.G., 2011. Clean Coal Engineering Technology. Butterworth-Heinemann, USA.
- [9] Patarasuk, R., 2013. Road network connectivity and land-cover dynamics in Lop Buri province, Thailand. Journal of Transport Geography, Vol. 28: 111-123.
- [10] Speight, J.G., 2007. The Chemistry and Technology of Petroleum. CRC Press, USA.

- [11] Tipco Asphalt Public Company, 2013. An Introduction to Asphalts and Its Applications. A available at <http://kmcenter.rid.go.th/kcdesign/dblog/upload/Asphalt-Product&Applications.pdf>, access date: 14th September 2013 (in Thai).
- [12] Tseng, Y., Yue, W.L., and Taylor, M.A., 2005. The role of transportation in logistics chain. Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, Bangkok, Thailand, Vol. 5: 1657-2672.
- [13] US Department of Transportation, 2012. An Alternative Asphalt Binder, Sulfur-Extended Asphalt (SEA): A Technical Brief Report. Office of Pavement Technology, US Department of Transportation.

คาร์บอนฟุตพริ้นท์จากกระบวนการผลิตภาชนะพลาสติกประเภทโพลีโพรพิลีน
สีขาว ขนาด 22 ออนซ์ พิมพ์ลวดลาย กรณีศึกษา อุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์พลาสติก
Carbon Footprint from the production of plastic cup polypropylene white
size 22 oz printed. A case study of plastic packaging industry

สุวัตร แ่งธีระสุขมัย*, ณัฐวรพล รัชสิริวัชรบุล, ปริญญ์ บุญกนิษฐ, สหรัตน์ วงษ์ศรีษะ

suwat.tat@gmail.com, natworapol@yahoo.com, pboonkanit@gmail.com, saharat_w@hotmail.com

สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรมเพื่อความยั่งยืน

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

1381 ถนนประชากรราษฎร์ เขตบางซื่อ กรุงเทพมหานคร 10800

บทคัดย่อ

บทความนี้เป็นการศึกษาการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกระบวนการผลิตภาชนะพลาสติกโพลีโพรพิลีน สีขาว พิมพ์ลวดลาย ขนาดบรรจุ 22 ออนซ์ กรณีศึกษาอุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์พลาสติกตัวอย่างแห่งหนึ่งในประเทศไทยซึ่งใช้เครื่องมือ “คาร์บอนฟุตพริ้นท์สำหรับผลิตภัณฑ์” ทำการประเมินผลิตภัณฑ์กรณีศึกษา โดยข้อมูลจากการได้มาซึ่งวัตถุดิบ พลังงาน และกระบวนการผลิต ตั้งแต่เดือน มกราคม-ธันวาคม 2555 ในการประเมินปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ปลดปล่อยสู่ชั้นบรรยากาศต่อ 1 หน่วยผลิตภัณฑ์ จากการศึกษาพบว่า ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากกระบวนการผลิตภาชนะพลาสติกกรณีศึกษามีปริมาณเท่ากับ 0.3440 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า(KgCO₂e) โดยแบ่งเป็นปริมาณก๊าซเรือนกระจกในส่วนของการได้มาซึ่งวัตถุดิบ มีค่าเท่ากับ 0.006 KgCO₂e และส่วนของการผลิต มีค่าเท่ากับ 0.3376 KgCO₂e โดยหลังจากการนำเสนอแนวทางปรับปรุงกระบวนการผลิตทำให้มีค่าลดลงเท่ากับ 0.3131 KgCO₂e ซึ่งในการวิเคราะห์จากการศึกษาในครั้งนี้ จะสามารถนำไปพัฒนากระบวนการผลิต เพื่อลดปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้น ทำให้อุตสาหกรรมการผลิตเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและนำมาซึ่งความยั่งยืนต่อไป

This article is a study of Greenhouse gases emission from the production of Polypropylene (PP) Plastic white cup General printed size 22 oz. The study is a case study from one of the plastic packaging manufacturer in Thailand using “Carbon Footprint for Product (CFP)” as a quantify methodology. The data of Greenhouse gases released into the atmosphere per 1 unit of product including raw materials acquisition, energy, and production are collected during from January - December 2012. The result has shown that Greenhouse gases emission caused by the Product case study is equal to 0.3440 kilograms of carbon dioxide equivalent (KgCO₂e) which comprise of 0.0064 KgCO₂e for material acquisition and 0.3376 KgCO₂e for production. After presented the proposal to improve the manufacturing process to decrease equal to 0.3131 KgCO₂e. The amount of Carbon dioxide gases emission from this analysis can lead to a sustainable development process which is not only reducing the amount of Greenhouse gases but also leverage the manufacturing industry and the environment to become more sustain.

คำสำคัญ(Key word): ก๊าซเรือนกระจก; ภาชนะบรรจุภัณฑ์; โพลีโพรพิลีน; คาร์บอนฟุตพริ้นท์สำหรับผลิตภัณฑ์;
กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า

* สุวัตร แ่งธีระสุขมัย

1. บทนำ (Introduction)

อุตสาหกรรมการผลิตบรรจุภัณฑ์พลาสติกนับเป็นอุตสาหกรรมปาลายน้ำของกลุ่มปิโตรเคมี โดยกระบวนการผลิตจะมีการใช้เม็ดพลาสติก หรือ ใส่สารเคมีเติมแต่งผ่านการผสมและทำการหลอมเพื่อเตรียมนำเข้ากระบวนการขึ้นรูป เพื่อให้ผลิตภัณฑ์พลาสติกที่ได้เหมาะสมแก่การใช้งานต่อไป เช่น การฉีด (Injection) การรีดหรือดึง (Extrusion) การเป่า (Blow) เป็นต้น หลังจากผ่านกระบวนการขึ้นรูปแล้ว ชิ้นงานพลาสติกจะแข็งตัวคงรูปเมื่ออุณหภูมิชิ้นงานพลาสติกต่ำลง ดังนั้นจึงมีการหล่อเย็นชิ้นงาน จากนั้นจะเป็นขั้นตอนในการตกแต่งชิ้นงานให้สมบูรณ์ เช่น การตัดแต่ง การพ่นสี การขัดเงาหรือเคลือบ การพิมพ์ลาย เป็นต้น ถือว่าเป็นการสิ้นสุดการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์พลาสติก และจะทำการบรรจุเพื่อจัดส่งจำหน่ายให้แก่ลูกค้า [6]

ปัจจุบันกระแสของผลิตภัณฑ์เชิงนิเวศเศรษฐกิจ (Eco Product) กำลังได้รับความสนใจ เนื่องจากเป็นผลิตภัณฑ์ที่สามารถตอบสนองความต้องการด้านการใช้งานแล้วยังสามารถช่วยลดผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อสิ่งแวดล้อมได้อีกด้วย การพัฒนาตลาดผลิตภัณฑ์เชิงนิเวศเศรษฐกิจส่วนหนึ่งมาจากการสร้างแนวคิดจากการพัฒนารูปแบบผลิตภัณฑ์ การลดการใช้สารเคมีในกระบวนการผลิต การลดการใช้ทรัพยากรธรรมชาติในทุกขั้นตอนของธุรกิจ การลงทุนใช้เทคโนโลยีที่ช่วยประหยัดพลังงาน การแบ่งสัดส่วนของรายได้ของผู้ประกอบการเพื่อนำไปดูแลสิ่งแวดล้อม และการออกตราสัญลักษณ์ หรือ ฉลากเพื่อรับรองสินค้าที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งถือเป็นตัวหลักดันที่สำคัญที่จะรักษาสีเขียวและสร้างคุณภาพชีวิตที่ดีขึ้น [5] สำหรับประเทศไทย องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) และสถาบันสิ่งแวดล้อมไทย ได้ร่วมกันพัฒนาระบบฉลากคาร์บอนฟุตพริ้นท์กับสินค้าอุปโภคบริโภค โดยฉลากคาร์บอนฟุตพริ้นท์จะทำให้ผู้บริโภคได้ทราบปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นจากขั้นตอนการได้มาซึ่งวัตถุดิบ การผลิต การกระจายสินค้า การใช้งาน และการกำจัดซากหลังการใช้งาน ซึ่งฉลากคาร์บอนฟุตพริ้นท์จะแสดงในรูปของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า ($\text{CO}_2\text{eq.}$) [2] ซึ่งแนวทางในการเลือกผลิตภัณฑ์ที่จะนำมาประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์นั้นต้องมีการผลิตในปริมาณที่มากและเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีความเป็นไปได้ในการพัฒนากระบวนการผลิต

ดังนั้น ผู้วิจัยจึงเล็งเห็นความสำคัญของปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกระบวนการผลิต โดยทำการศึกษาและเลือกผลิตภัณฑ์ภาชนะพลาสติกโพลิโพรพิลีน สีขาว พิมพ์ลวดลาย ขนาดบรรจุ 22 ออนซ์ ซึ่งมีปริมาณกำลังการผลิตมากพอที่คาดว่าจะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โดยทำการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์เพื่อแสดงถึงปัจจัยที่มีผลต่อการปลดปล่อยมลพิษ และนำเสนอแนวทางในการปรับปรุงกระบวนการผลิตให้มีปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่ลดลง ถือเป็นการส่งเสริมให้อุตสาหกรรมภาชนะบรรจุภัณฑ์พลาสติกเป็นอุตสาหกรรมที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและเกิดความยั่งยืนต่อไป

2. วิธีวิจัย (Research Methodology)

2.1 ข้อมูลจากกระบวนการผลิต

ข้อมูลที่ใช้ในการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์สำหรับผลิตภัณฑ์จากการผลิตบรรจุภัณฑ์พลาสติกชนิดโพลิโพรพิลีน สีขาว ขนาดบรรจุ 22 ออนซ์ พิมพ์ลวดลาย ตั้งแต่เดือน มกราคม ถึง ธันวาคม พ.ศ. 2555 เป็นระยะเวลาทั้งหมด 12 เดือน โดยข้อมูลที่รวบรวมมานั้นประกอบไปด้วย ข้อมูลของวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิต ทรัพยากรช่วยผลิต พลังงานที่ใช้ในกระบวนการผลิต ของเสียที่เกิดขึ้นในขั้นตอนการผลิต รวมถึงชนิดของยานพาหนะ และระยะทางในการขนส่งวัตถุดิบของผู้ส่งมอบจากโรงงานผลิตวัตถุดิบมายังโรงงานอุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์

2.2 การกำหนดขอบเขต

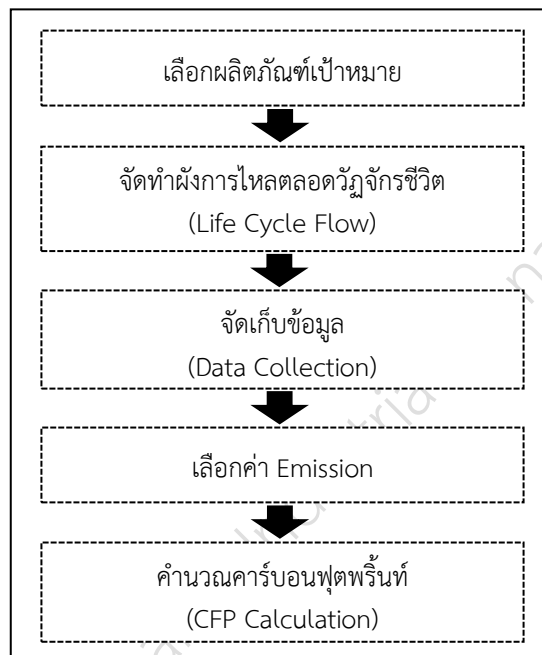
พิจารณาขอบเขตการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์กรณีศึกษา ในรูปแบบธุรกิจสู่ธุรกิจ (Business-to-Business, B2B) ซึ่งจะพิจารณาในด้านของการได้มาซึ่งวัตถุดิบและการผลิต

2.3 คำศัพท์วิธีการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก

การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์สำหรับผลิตภัณฑ์เพื่อแสดงปัจจัยที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของภาชนะบรรจุภัณฑ์พลาสติกชนิดโพลิโพรพิลีนสีขาวกรณีศึกษา ต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ที่มีการใช้คำศัพท์วิธีการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกซึ่งเป็นข้อมูลทุติยภูมิจากตารางคู่มือการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์สำหรับผลิตภัณฑ์ เล่มที่ 3 ฉบับวันที่ 19 มิถุนายน 2555 และฉบับวันที่ 2 มกราคม 2556 ขององค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน)

2.4 การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์สำหรับผลิตภัณฑ์

ขั้นตอนในการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ สามารถสรุปได้ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ขั้นตอนในการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ [1]

2.4.1 สมการคำนวณปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์

$$\text{GHG emissions} = \sum (\text{activity}_i \times \text{GHG emission factor}_i) \quad [1]$$

GHG Emissions [kg] คือ ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยออกมาจากช่วงวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ ที่อยู่ในขอบเขตที่ศึกษา

Activity_i คือ ข้อมูลปริมาณการใช้วัตถุดิบ และทรัพยากรที่ใช้ในกิจกรรม หรือกระบวนการผลิต ในแต่ละช่วงของวัฏจักรชีวิต ที่สอดคล้องกับขอบเขตของการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์

GHG Emission Factor_i คือ ค่าศักยภาพการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจะมีค่าแตกต่างกันไป ขึ้นกับชนิดของวัตถุดิบ และชนิดของพลังงานที่ใช้ในกิจกรรม หรือกระบวนการผลิต [1]

ในการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์สำหรับผลิตภัณฑ์ สามารถแบ่งการประเมินได้ 2 ส่วนดังนี้

2.4.2 การประเมินการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากวัตถุดิบ

ประเมินจากการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของการได้มาและการใช้ประโยชน์ วัตถุดิบ พลังงาน และทรัพยากร ซึ่งมีสมการคำนวณปริมาณก๊าซเรือนกระจกจากการได้มาซึ่งวัตถุดิบ ดังต่อไปนี้

$$\begin{aligned} & \text{ปริมาณวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ ต่อหน่วย (Function unit)} \\ & = \text{ผลรวมของปริมาณที่เก็บรวบรวมได้} / \text{ปริมาณยอดการผลิตในปีที่เก็บรวบรวม} \end{aligned}$$

2.4.3 การประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการขนส่ง

ประเมินการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกของการได้มาซึ่งวัตถุดิบและการผลิต โดยใช้ข้อมูลบัญชีรายการ การขนส่ง วัตถุดิบ พลังงาน ซึ่งมีสมการคำนวณปริมาณก๊าซเรือนกระจกจากการขนส่ง ดังต่อไปนี้

$$\begin{aligned} & \text{ภาระการขนส่งบรรทุกขาไป (tkm)} \\ & = (\text{ปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ต่อหน่วย (Function unit)} \times \text{สัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการผลิตและเผาไหม้เชื้อเพลิง}) / 1000 \\ & \text{ภาระการขนส่งบรรทุกขากลับ (km)} \\ & = \text{ภาระการขนส่งบรรทุกขาไป (tkm)} / \text{น้ำหนักภาระของยานพาหนะในการขนส่ง} \end{aligned}$$

3. ผลการวิจัย (Results)

การรวบรวมข้อมูลและทำการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของภาชนะบรรจุภัณฑ์พลาสติกชนิดโพลีโพรพิลีนสีขาขาวสามารถแสดงปริมาณการใช้วัตถุดิบต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ และปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการได้มาซึ่งวัตถุดิบ ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 : การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของการได้มาซึ่งวัตถุดิบจากกระบวนการผลิตภาชนะพลาสติกโพลีโพรพิลีนสีขาว ขนาดบรรจุ 22 ออนซ์ พิมพ์ลวดลาย ขึ้นรูปด้วยกระบวนการเทอร์โมฟอร์มมิ่ง ต่อหน่วยผลิตภัณฑ์

การได้มาซึ่งวัตถุดิบ	ปริมาณที่ใช้ ต่อ 1 หน่วยผลิตภัณฑ์ (Kg)	GHG Emission Factor (kgCO ₂ e/Kg)	ปริมาณก๊าซเรือนกระจก (kgCO ₂ e)
เม็ดพลาสติกโพลีโพรพิลีนสีใส	0.0027	1.7562	0.0047
เม็ดพลาสติกโพลีโพรพิลีนสีขาว	0.0003	1.3621	0.0004
หมึกพิมพ์	0.0001	2.5000	0.0001
อะซีโตน	0.0000	2.2804	0.0000
ถุงพลาสติกบรรจุภาชนะ	0.0002	6.0593	0.0010
กล่องกระดาษบรรจุภาชนะ	0.0001	0.8260	0.0001
เทปกาวใสปิดผนึกปากถุง	0.0000	1.9372	0.0000
เทปกาวใสปิดผนึกปากกล่อง	0.0000	1.9372	0.0000
ฉลากแสดงรหัสสินค้า	0.0000	0.5100	0.0000
ผลรวม			0.0064

หมายเหตุ : อ้างอิงค่า GHG Emission Factor จาก จากคู่มือการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ผลิตภัณฑ์ ฉบับที่ 4 และตารางแสดงค่า Emission Factor ฉบับวันที่ 19 มิถุนายน 2555 และฉบับวันที่ 2 มกราคม 2556

จากตารางที่ 1 พบว่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของการได้มาซึ่งวัตถุดิบ ปัจจัยหลักที่มีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุด คือ เม็ดพลาสติกโพลีโพรพิลีนไส มีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมดเท่ากับ 0.0047 KgCo₂e ซึ่งผลรวมของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของการได้มาซึ่งวัตถุดิบจากกระบวนการผลิตพลาสติกโพลีโพรพิลีน กรณีศึกษา ขึ้นรูปด้วยกระบวนการเทอร์โมฟอร์มมิ่ง เท่ากับ 0.0064 KgCo₂e

และการประเมินปริมาณการใช้พลังงาน ทรัพยากรช่วยผลิต การซ่อมบำรุง เศษของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการ และปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ ผลการศึกษาแสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 : การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของการผลิตจากกระบวนการผลิตพลาสติกโพลีโพรพิลีน ขาว ขนาดบรรจุ 22 ออนซ์ พิมพ์ลายทั่วไป ขึ้นรูปด้วยกระบวนการเทอร์โมฟอร์มมิ่ง ต่อ 1 หน่วยผลิตภัณฑ์

การผลิต	ปริมาณที่ใช้ ต่อ 1 หน่วยผลิตภัณฑ์ (Kg)	GHG Emission Factor (kgCo ₂ e/Kg)	ปริมาณก๊าซเรือนกระจก (kgCo ₂ e)
ไฟฟ้าเทอร์โมฟอร์มมิ่ง	0.2005	0.6093	0.1222
ไฟฟ้าเครื่องพิมพ์ลาย	0.1796	0.6093	0.1094
ไฟฟ้าแสงสว่าง	0.0008	0.6093	0.0005
ไฟฟ้าหล่อเย็น	0.0813	0.6093	0.0495
ไฟฟ้าปรับอากาศ	0.0043	0.6093	0.0026
ไฟฟ้าลมอัด	0.0813	0.6093	0.0495
ไฟฟ้าขนส่งวัตถุดิบภายใน	0.0014	0.6093	0.0009
แอลกอฮอล์(เครื่องพิมพ์ลาย)	0.0000	1.2381	0.0000
แอลกอฮอล์(เทอร์โมฟอร์มมิ่ง)	0.0000	1.2381	0.0000
แผ่นสกรีน(อะลูมิเนียม)	0.0000	3.2231	0.0000
โซดาแอช	0.0000	1.3015	0.0000
กรดฟอสฟอริก	0.0000	1.4067	0.0000
จารบี	0.0009	1.0547	0.0009
เศษผ้า	0.0000	2.1100	0.0000
สเปรย์น้ำมัน	0.0000	0.8319	0.0000
น้ำมันหล่อลื่น	0.0000	0.8319	0.0000
ถ้วยเป็อน้ำมัน(ของเสีย)	0.0000	0.0000	ขายหน้าโรงงาน
เม็ดพลาสติกรีไซเคิลคปนเปื้อน(ของเสีย)	0.0000	0.0000	ขายหน้าโรงงาน
ก้อนพลาสติก(ของเสีย)	0.0000	0.0000	ขายหน้าโรงงาน
แผ่นสกรีนที่ใช้แล้ว(ของเสีย)	0.0000	0.0000	ขายหน้าโรงงาน
แกนกระดาษม้วนเล็ก(ของเสีย)	0.0000	0.0000	ขายหน้าโรงงาน
แกนกระดาษม้วนใหญ่(ของเสีย)	0.0000	0.0000	ขายหน้าโรงงาน
เศษฉลากแสดงรหัสสินค้า(ของเสีย)	0.0000	0.0000	ขายหน้าโรงงาน
เศษจารบี(ของเสีย)	0.0009	2.3200	0.0020
เศษผ้าปนเปื้อน(ของเสีย)	0.0000	2.0000	0.0000
น้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้ว(ของเสีย)	0.0000	2.3200	0.0000
กระป๋องสเปรย์(ของเสีย)	0.0000	0.0000	0.0000
ผลรวม			0.3376

หมายเหตุ : อ้างอิงค่า GHG Emission Factor จาก จากคู่มือการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ผลิตภัณฑ์ ฉบับที่ 4 และตารางแสดงค่า Emission Factor ฉบับวันที่ 19 มิถุนายน 2555 และฉบับวันที่ 2 มกราคม 2556

จากตารางที่ 2 พบว่า ปัจจัยหลักของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในส่วนการผลิตภาชนะบรรจุภัณฑ์พลาสติกกรณีศึกษา คือ ไฟฟ้าจากเครื่องจักรเทอร์โมฟอร์มมิ่ง ไฟฟ้าจากการพิมพ์ลาย ไฟฟ้าจากระบบน้ำหล่อเย็น และไฟฟ้าจากระบบลมอัด มีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเท่ากับ 0.1222, 0.1094, 0.0495 KgCo₂e ตามลำดับ ปริมาณผลรวมของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของการผลิต เท่ากับ 0.3376 KgCo₂ โดยการประเมินปริมาณการปล่อยปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการขนส่งจากการได้มาซึ่งวัตถุดิบและการผลิต สามารถแสดงในตารางที่ 3 และตารางที่ 4

ตารางที่ 3: การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการขนส่งของการได้มาซึ่งวัตถุดิบจากกระบวนการผลิตภาชนะพลาสติกโพลิโพรพิลีน ขาว ขนาดบรรจุ 22 ออนซ์ พิมพ์ลายทั่วไป ขึ้นรูปด้วยกระบวนการเทอร์โมฟอร์มมิ่ง ต่อหน่วยผลิตภัณฑ์

การได้มาซึ่งวัตถุดิบ	ปริมาณที่ใช้ ต่อหน่วย ผลิตภัณฑ์ (Kg)	ชนิด ยานพาหนะ	ระยะทาง การขนส่ง	GHG Emission Factor (kgCo ₂ e/Kg) ขาเที่ยวไป (100%)	GHG Emission Factor (kgCo ₂ e/Kg) ขาเที่ยวกลับ (0%)	ปริมาณก๊าซเรือน กระจกที่ปล่อย (kgCo ₂ e)
เม็ดพลาสติกโพลิโพรพิลีนสีใส	0.0027	รถบรรทุก 6 ล้อ	34.00	0.0610	0.4892	0.0000
เม็ดพลาสติกโพลิโพรพิลีนสีขาว	0.0003	รถบรรทุก 6 ล้อ	120.00	0.0610	0.4892	0.0000
หมึกพิมพ์	0.0001	รถบรรทุก 4 ล้อ	60.00	0.1402	0.3111	0.0000
อะซีโตน	0.0000	รถบรรทุก 4 ล้อ	25.00	0.1402	0.3111	0.0000
ถุงพลาสติกบรรจุภาชนะ	0.0002	รถบรรทุก 6 ล้อ	300.00	0.0610	0.4892	0.0000
กล่องกระดาษบรรจุภาชนะ	0.0001	รถบรรทุก 6 ล้อ	120.00	0.0610	0.4892	0.0000
เทปกาวใสปิดผนึกปากถุง	0.0000	รถบรรทุก 4 ล้อ	96.00	0.1402	0.3111	0.0000
เทปกาวใสปิดผนึกปากกล่อง	0.0000	รถบรรทุก 4 ล้อ	282.00	0.1402	0.3111	0.0000
ฉลากแสดงรหัสสินค้า	0.0000	รถบรรทุก 4 ล้อ	60.00	0.1402	0.3111	0.0000
					ผลรวม	0.0000

หมายเหตุ : อ้างอิงค่า GHG Emission Factor จาก จากคู่มือการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ผลิตภัณฑ์ ฉบับที่ 4 และตารางแสดงค่า Emission Factor ฉบับวันที่ 2 มกราคม 2556

จากตารางที่ 3 พบว่า ปัจจัยที่มีการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุด คือ การขนส่งวัตถุดิบเม็ดพลาสติกโพลิโพรพิลีนใส ด้วยระยะทาง 34.00 กิโลเมตร ใช้น้ำมันรถกระบะบรรทุก 6 ล้อในการนำส่งวัตถุดิบมายังโรงงานอุตสาหกรรมกรณีศึกษา มีปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อหน่วยผลิตภัณฑ์เท่ากับ 0.0000 KgCo₂e

ตารางที่ 4 : การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการขนส่งช่วงของการผลิตจากกระบวนการผลิตภาชนะพลาสติกโพลิโพรพิลีนขาว ขนาดบรรจุ 22 ออนซ์ พิมพ์ลายทั่วไป ขึ้นรูปด้วยกระบวนการเทอร์โมฟอร์มมิ่ง ต่อหน่วยผลิตภัณฑ์

การผลิต	ปริมาณที่ใช้ ต่อหน่วย ผลิตภัณฑ์ (Kg)	ชนิด ยานพาหนะ	ระยะทาง การขนส่ง	GHG Emission Factor (kgCo ₂ e/Kg) ขาเที่ยวไป (100%)	GHG Emission Factor (kgCo ₂ e/Kg) ขาเที่ยวกลับ (0%)	ปริมาณก๊าซเรือน กระจกที่ปล่อย (kgCo ₂ e)
แอลกอฮอล์(เครื่องพิมพ์ลาย)	0.0000	รถบรรทุก 4 ล้อ	173.88	0.1402	0.3111	0.0000
แอลกอฮอล์(เทอร์โมฟอร์มมิ่ง)	0.0000	รถบรรทุก 4 ล้อ	173.88	0.1402	0.3111	0.0000
แผ่นสกรีน(อะลูมิเนียม)	0.0000	รถบรรทุก 4 ล้อ	182.00	0.1402	0.3111	0.0000
โซดาแอช	0.0000	รถบรรทุก 4 ล้อ	175.00	0.1402	0.3111	0.0000
กรดฟอสฟอริก	0.0000	รถบรรทุก 4 ล้อ	158.00	0.1402	0.3111	0.0000
จารบี	0.0009	รถบรรทุก 4 ล้อ	154.08	0.1402	0.3111	0.0000
เศษผ้า	0.0000	รถบรรทุก 4 ล้อ	24.60	0.1402	0.3111	0.0000
สเปรย์น้ำมัน	0.0000	รถบรรทุก 4 ล้อ	30.30	0.1402	0.3111	0.0000
น้ำมันหล่อลื่น	0.0000	รถบรรทุก 4 ล้อ	23.30	0.1402	0.3111	0.0000
ถ้วยเบื่อน้ำมัน(ของเสีย)	0.0000	-	-	-	-	0.0000
เม็ดพลาสติกรีไซเคิลดปนเบื่อน	0.0000	-	-	-	-	0.0000
ก้อนพลาสติก (ของเสีย)	0.0000	-	-	-	-	0.0000
แผ่นสกรีนที่ใช้แล้ว(ของเสีย)	0.0000	-	-	-	-	0.0000
แกนกระดาษม้วนเล็ก(ของเสีย)	0.0000	-	-	-	-	0.0000
แกนกระดาษม้วนใหญ่(ของเสีย)	0.0000	-	-	-	-	0.0000
เศษฉลากแสดงรหัสสินค้า(ของเสีย)	0.0000	-	-	-	-	0.0000

การผลิต	ปริมาณที่ใช้ ต่อหน่วย ผลิตภัณฑ์ (Kg)	ชนิด ยานพาหนะ	ระยะทาง การขนส่ง	GHG Emission Factor (kgCO ₂ e/Kg) ขาเที่ยวไป (100%)	GHG Emission Factor (kgCO ₂ e/Kg) ขาเที่ยวกลับ (0%)	ปริมาณก๊าซเรือน กระจกที่ปล่อย (kgCO ₂ e)
เศษจารบี(ของเสีย)	0.0009	รถบรรทุก 6 ล้อ	235.00	0.0610	0.4892	0.0000
เศษผ้าปนเปื้อน (ของเสีย)	0.0000	รถบรรทุก 6 ล้อ	235.00	0.0610	0.4892	0.0000
น้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้ว (ของเสีย)	0.0000	รถบรรทุก 6 ล้อ	235.00	0.0610	0.4892	0.0000
กระป๋องสเปรย์(ของเสีย)	0.0000	รถบรรทุก 6 ล้อ	235.00	0.0610	0.4892	0.0000
ผลรวม						0.0000

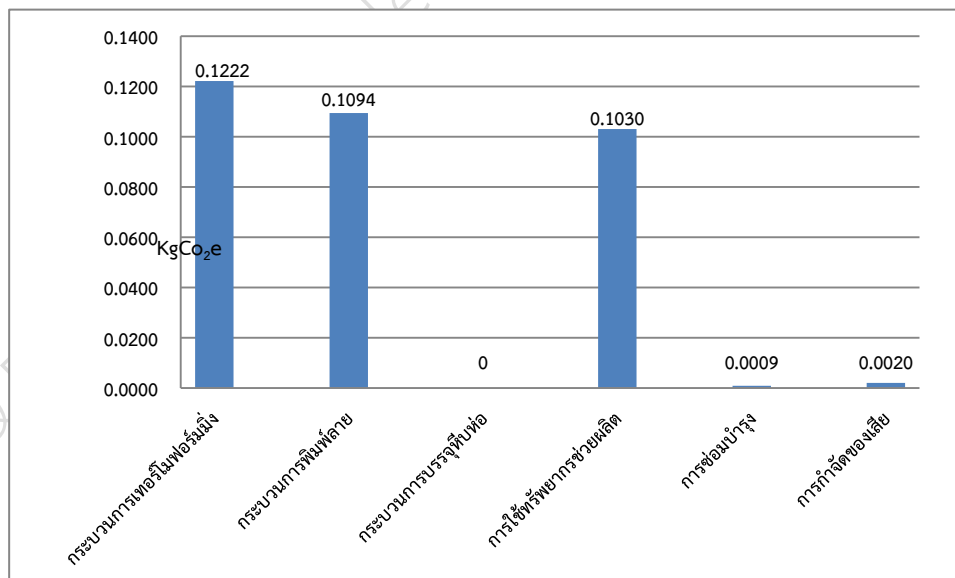
หมายเหตุ : อ้างอิงค่า GHG Emission Factor จาก จากคู่มือการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ผลิตภัณฑ์ ฉบับที่ 4 และตาราง
แสดงค่า Emission Factor ฉบับวันที่ 2 มกราคม 2556

จากตารางที่ 4 พบว่าปัจจัยการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุด คือ การขนส่งจารบี ซึ่งเป็นวัสดุช่วยผลิต ในกระบวนการ
ด้วยระยะทาง 154.08 กิโลเมตร ใช้ยานพาหนะรถกระบะบรรทุก 4 ล้อในการนำส่งวัตถุดิบมายังโรงงานอุตสาหกรรม
กรณีศึกษา มีปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อหน่วยผลิตภัณฑ์เท่ากับ 0.0000 KgCO₂e

4. อภิปรายผล (Discussion)

การพิจารณาปัจจัยหลักที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมาจากกระบวนการผลิตซึ่งสามารถแสดงถึงปัจจัยในแต่ละส่วนเพื่อหาจุด
ที่มีปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุด (Hotspot) จากกระบวนการผลิตได้และนำไปสู่การนำเสนอแนวทางที่มี
ความเป็นไปได้ที่จะทำให้กระบวนการผลิตมีการปลดปล่อยปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ลดลง

จากข้อมูลในตารางที่ 3 ซึ่งเป็นการแสดงปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกของการกระบวนการผลิต ซึ่งประกอบ
กระบวนการเทอร์โมฟอร์มมิ่ง กระบวนการพิมพ์ลายบรรจุภัณฑ์ กระบวนการบรรจุหีบห่อ การใช้ทรัพยากรช่วยผลิต การซ่อม
บำรุง และการกำจัดของเสีย ซึ่งกระบวนการต่างๆที่กล่าวมาข้างต้น สามารถแสดงเป็นปริมาณการปลดปล่อยปริมาณก๊าซเรือน
กระจกของบรรจุภัณฑ์พลาสติกกรณีศึกษาต่อ 1 หน่วย ได้ดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 แสดงการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกระบวนการผลิต ต่อ 1 หน่วยผลิตภัณฑ์

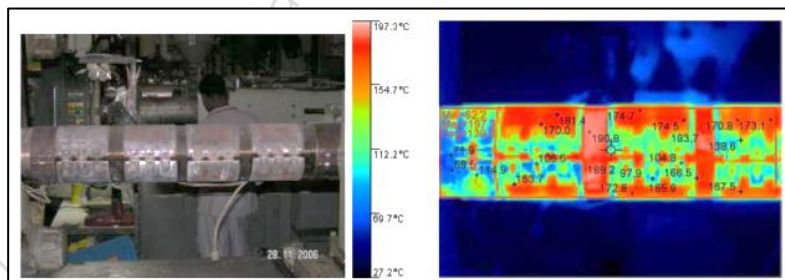
จากภาพที่ 2 พบว่า ปัจจัยในการปลดปล่อยปริมาณก๊าซเรือนกระจกมากที่สุดคือ กระบวนการเทอร์โมฟอร์มมิ่ง มีปริมาณ
เท่ากับ 0.1222 KgCO₂e รองลงมาคือกระบวนการพิมพ์ลายของภาชนะบรรจุภัณฑ์กรณีศึกษาและการใช้ทรัพยากรช่วยผลิต

เท่ากับ 0.1094 และ 0.1030 KgCo_2e ตามลำดับ ส่วนที่เหลืออีกสามส่วนคือ กระบวนการบรรจุหีบห่อ มีปริมาณเท่ากับศูนย์ เนื่องจากขั้นตอนนี้ไม่มีการใช้พลังงานหรือเชื้อเพลิงทำให้เกิดการสันดาปและปล่อยก๊าซเรือนกระจก การซ่อม

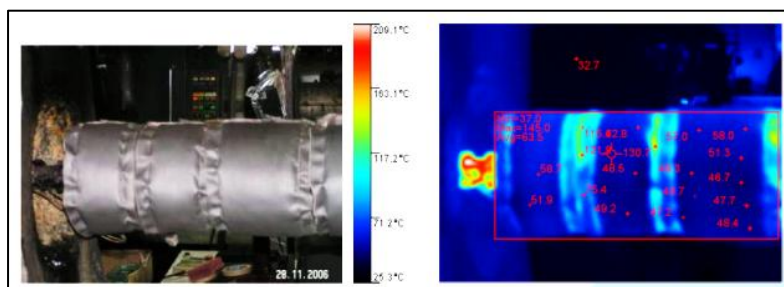
บำรุงมีเพียงทรัพยากรช่วยผลิตในช่วงที่ต้องบำรุงรักษาเครื่องจักรเท่านั้น จึงทำให้มีค่าเท่ากับ 0.0009 KgCo_2e และการกำจัดของเสียมีปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกเท่ากับ 0.0020 KgCo_2e ซึ่งของเสียที่เกิดขึ้นนั้นสามารถแบ่งได้เป็นสามส่วนคือ ส่วนแรกเกิดจากการขนส่งของเสียด้วยยานพาหนะเพื่อนำไปฝังกลบที่แหล่งกำจัดในระยะทางที่แตกต่างกัน ส่วนที่สองของเสียโดยส่วนใหญ่จะถูกขายหน้าโรงงานเพื่อนำไปรีไซเคิลเป็นวัตถุดิบต่อไป และส่วนที่สาม ของเสียบางส่วนสามารถนำกลับมารีไซเคิลภายในโรงงานอุตสาหกรรมได้

จากการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์สำหรับภาชนะบรรจุภัณฑ์พลาสติกกรณีศึกษา จากภาพที่ 2 พบว่ากระบวนการเทอร์โมฟอร์มมิ่งมีการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุด ปัจจัยหลักมาจากการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องเทอร์โมฟอร์มมิ่งซึ่งในการขึ้นรูปด้วยวิธีการเทอร์โมฟอร์มมิ่งเป็นกระบวนการที่มีการหลอมเหลวเม็ดพลาสติกโพลีโพรพิลีนและฉีดเป็นแผ่นพลาสติกก่อนที่จะนำเข้าสู่การอัดลมร้อนเพื่อเปลี่ยนรูปร่างแผ่นพลาสติก ซึ่งมีการใช้พลังงานจำนวนมากตามภาระกำลังของเครื่องเทอร์โมฟอร์มมิ่ง จึงส่งผลให้มีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้ามากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับพลังงานไฟฟ้าจากระบบต่างๆของกระบวนการ

ในการพิจารณาจึงหาแนวทางเพื่อลดปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องเทอร์โมฟอร์มมิ่ง โดยนำเสนอการใช้นวนป้องกันความร้อนสำหรับเครื่องขึ้นรูปพลาสติกซึ่งถูกออกแบบมาใช้สำหรับหุ้มฮีตเตอร์ของเครื่องฉีดแผ่นพลาสติก มีส่วนสำคัญในการช่วยในด้านอนุรักษ์พลังงานและช่วยลดปริมาณการใช้พลังงานค่าไฟฟ้า เนื่องจากการสูญเสียความร้อนลดลงหรือหมดไป ลดความร้อนบริเวณเครื่องจักร สะดวกต่อการบำรุงรักษา ซึ่งจะสามารถช่วยลดปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าได้ถึง 20% - 50% [3] จากการพิจารณาเครื่องเทอร์โมฟอร์มมิ่ง ห่อหุ้มละลายเม็ดพลาสติกเป็นส่วนที่ใช้พลังงานมากที่สุด ซึ่งสามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าจากการนำนวนไปหุ้มส่วนของฮีตเตอร์เครื่องฉีดพลาสติก ซึ่งผลก่อนทำการปรับปรุงและหลังทำการปรับปรุงสามารถแสดงดังภาพที่ 3 และภาพที่ 4



ภาพที่ 3 ภาพถ่ายอุณหภูมิจากกล้องถ่ายภาพความร้อนของกระบอกหลอมเม็ดพลาสติกก่อนติดตั้งฉนวนป้องกันความร้อน [4]



ภาพที่ 4 ภาพถ่ายอุณหภูมิจากกล้องถ่ายภาพความร้อนของกระบอกหลอมละลายเม็ดพลาสติกหลังติดตั้งฉนวนป้องกันความร้อน [4]

จากภาพที่ 3 พบว่า เมื่อกระบอกหลอมเหลวเม็ดพลาสติกมีการทำงานในขณะที่ไม่มีการหุ้มฉนวนป้องกันความร้อนนั้น โดยบริเวณรอบของกระบอกดังกล่าวมีความร้อนที่แผ่ออกมา ซึ่งทำให้เกิดการสูญเสียความร้อนและสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้า ฮีทเตอร์มีการทำงานมากขึ้นเพื่อให้เกิดความร้อนในการหลอมเหลวเม็ดพลาสติกบริเวณภายในกระบอก โดยเมื่อนำเสนอให้มีการติดตั้งฉนวนป้องกันความร้อนที่แผ่ออกมาจากกระบอกหลอมเหลวเม็ดพลาสติกทำให้มีอุณหภูมิที่เกิดขึ้นโดยรอบลดลง ดังภาพ 4 ซึ่งหากนำแนวทางดังกล่าวมาพิจารณาปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าจากเครื่องฉีดพลาสติกของกระบวนการเทอร์โมฟอร์มมิ่งจะสามารถลดพลังงานไฟฟ้าที่ใช้เท่ากับ 20 เปอร์เซ็นต์ โดยจากตารางที่ 2 ปริมาณการพลังงานไฟฟ้าของเครื่องเทอร์โมฟอร์มมิ่งในการผลิตภาชนะพลาสติกกรณีศึกษา 1 หน่วย เท่ากับ 0.2005 กิโลกรัม จะลดลงเหลือเท่ากับ 0.1604 กิโลกรัม ส่งผลทำให้มีปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องขึ้นรูปพลาสติกเทอร์โมฟอร์มมิ่งจากเดิมเท่ากับ 0.1222 KgCo₂e ลดลงเหลือเท่ากับ 0.0977 KgCo₂e

5. สรุปผล (Conclusion)

จากการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์สำหรับการผลิตภาชนะพลาสติกโพลีโพรพิลีน สีขาว ขนาดบรรจุ 22 ออนซ์ พิมพ์ลวดลาย ขึ้นรูปแบบเทอร์โมฟอร์มมิ่ง ดังภาพที่ 5 สามารถสรุปปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ปลดปล่อยออกสู่บรรยากาศต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ได้ดังตารางที่ 6



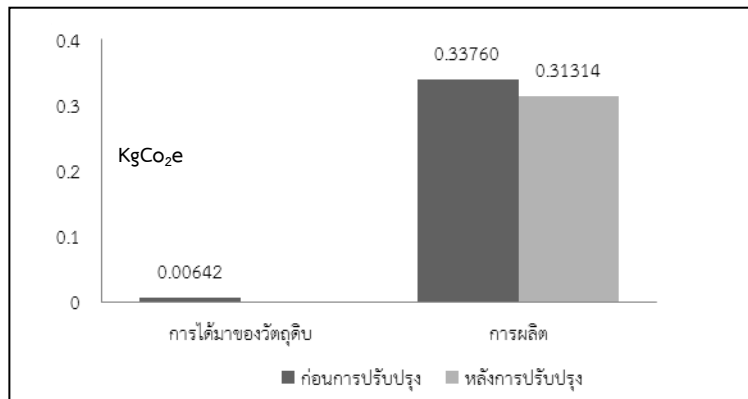
ภาพที่ 5 ภาชนะพลาสติกโพลีโพรพิลีน สีขาว ขนาดบรรจุ 22 ออนซ์ พิมพ์ลายทั่วไป

ตารางที่ 6 แสดงปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อ 1 หน่วยผลิตภัณฑ์ ของภาชนะพลาสติกโพลีโพรพิลีนสีขาว ขนาดบรรจุ 22 ออนซ์ พิมพ์ลวดลาย

ช่วงวัฏจักรชีวิต	การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของการได้มาและการใช้ประโยชน์ วัตถุดิบ พลังงาน และทรัพยากร (Kg Co ₂ e)	การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของการขนส่ง วัตถุดิบ พลังงาน และทรัพยากร (Kg Co ₂ e)	ผลรวม (Kg Co ₂ e)	สัดส่วน
การได้มาของวัตถุดิบ	0.00640	0.00002	0.00642	1.87
การผลิต	0.33756	0.00005	0.33760	98.13
รวม	0.34395	0.00007	0.34402	100.00

จากตารางที่ 6 ผลรวมของปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของภาชนะพลาสติกกรณีศึกษาเท่ากับ 0.34402 KgCo₂e โดยแบ่งเป็นการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในส่วนของการได้มาซึ่งวัตถุดิบ มีปริมาณเท่ากับ 0.00642 KgCo₂e และการผลิตมีปริมาณเท่ากับ 0.33760 KgCo₂e จากนั้นได้นำเสนอแนวทางในการปรับปรุงกระบวนการผลิต โดยการใช้ฉนวนหุ้มความร้อนเพื่อลด

ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องเทอร์โมฟอร์มมิ่ง ทำให้ปริมาณผลรวมการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกของการผลิตลดลงเหลือเท่ากับ 0.31314 KgCo₂e ดังภาพที่ 6



ภาพที่ 6 แสดงผลการเปรียบเทียบปริมาณก๊าซเรือนกระจกก่อนและหลัง
นำแนวทางมาปรับปรุงกระบวนการผลิต ต่อ 1 หน่วยผลิตภัณฑ์

จากการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์สำหรับภาชนะบรรจุภัณฑ์พลาสติกกรณีศึกษาและนำเสนอแนวทางการปรับปรุงสามารถลดปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกระบวนการผลิตที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุด เพื่ออุตสาหกรรมที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและเกิดความยั่งยืนต่อไปในอนาคต

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยความช่วยเหลือและความกรุณาจากผู้มีพระคุณหลายท่าน ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ ดร.ณัฐวรพล รัชสิริวัชรบุล ดร.ปริญญ์ บุญกนิษฐ ผศ.สพรัตน์ วงษ์ศรีระ อาจารย์ประจำหลักสูตรปริญญาโท สาขาวิศวกรรม การจัดการอุตสาหกรรมเพื่อความยั่งยืน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ที่กรุณาให้คำปรึกษา รวมทั้งคำแนะนำที่เป็นประโยชน์ต่อการศึกษานี้ รวมถึงการสละเวลาในการแก้ไขปัญหาต่างๆตลอดจนตรวจแก้ไขงานวิจัยจนเรียบร้อย สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ คุณ สุชาติ ดุลยประพันธ์ ผู้จัดการฝ่ายคุณภาพผลิตภัณฑ์ และ คุณณฤมล เหล่าถาวร ผู้ประสานงานด้านข้อมูลของโรงงานอุตสาหกรรมการผลิตภาชนะบรรจุภัณฑ์พลาสติกตัวอย่างที่ได้สนับสนุนในการศึกษาครั้งนี้

7. เอกสารอ้างอิง (Reference)

- [1] พรพิมล บุญคุ้ม, 2553 คาร์บอนฟุตพริ้นท์ใครว่าไกลตัว. Technology Knowledge, October-November 2010, Vol.37 No.213: 92.
- [2] สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย. (2551). ฉลากคาร์บอน (Carbon Label), 1 สิงหาคม 2551, จากเว็บไซต์ <http://www.oknation.net>
- [3] ฉนวนป้องกันความร้อนสำหรับเครื่องฉีดพลาสติก (2551), จากเว็บไซต์ <http://www.energysolutions.co.th>
- [4] มาตรการหุ้มฉนวนชุด Electrical Heater เครื่องฉีดพลาสติก Nissei 360T (2555), 28 กรกฎาคม พ.ศ. 2555 จากเว็บไซต์ <http://www.energysavingtechnology.blogspot.com>



- [5] สำนักงานส่งเสริมการค้าระหว่างประเทศ ณ เมืองมิลาน, 2554. โอกาสของผลิตภัณฑ์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมในอิตาลี, 1.
- [6] กระทรวงพลังงาน, 2554 การจำแนกและจัดกลุ่มอุตสาหกรรมพลาสติก. เอกสารเผยแพร่ โครงการศึกษาการใช้พลังงานใน
อุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์พลาสติก, 5.

RMUTP & FTI 2nd Sustainable Industrial Management Engineering

การพัฒนาคุณลักษณะผงทังสเตนคาร์ไบด์รีไซเคิลที่เหมาะสมสำหรับการใช้งาน Characteristics development of recycled tungsten carbide powder suitable applications

ปฐมพงษ์ จำนงค์พันธ์*, สหรัตน์ วงษ์ศรีชนะ, ปริญญ์ บุญนิษฐ

สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรมเพื่อความยั่งยืน

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

1381 ถนนประชากรราษฎร์ เขตบางซื่อ กรุงเทพมหานคร 10800

jumnongphan@gmail.com

บทคัดย่อ

การพัฒนาคุณลักษณะของโลหะผงที่ได้จากการรีไซเคิลเศษซีเมนต์ทังสเตนคาร์ไบด์ ด้วยวิธีการบดแบบแพลนเนต โดยใช้ Ball milling ผลปรากฏว่าโลหะผงทังสเตนคาร์ไบด์ (WC powder) มีความบริสุทธิ์เพิ่มขึ้นเป็น 96.27% นอกนั้นเป็นโลหะไทเทเนียม (Ti) แทนทาลัม (Ta) นีโอเบียม (Nb) และโมลิบดีนัม (Mo) ที่ตกค้างจากการรีไซเคิล ผลการวิเคราะห์ด้วย SEM พบว่าลักษณะผงโลหะมีทั้งความกลมและพื้นผิวมีความเรียบมากขึ้น ผงโลหะ (Particles) เกิดการกระจายตัวสม่ำเสมอโดยมีขนาดอยู่ระหว่าง 0.07-0.44 μm ซึ่งสอดคล้องกับผงโลหะทังสเตนคาร์ไบด์ที่มีการผลิตในปัจจุบัน อย่างไรก็ตามคุณลักษณะโลหะผงทังสเตนคาร์ไบด์ที่ได้รับจากการวิจัยนี้มีความเหมาะสมสำหรับนำไปผลิตเป็นชิ้นงานเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมเนื่องจากโลหะผงชนิดอื่นที่ตกค้างนั้นเป็นโลหะประสาน (Binder) และมีสมบัติเหมาะสมต่อการขึ้นรูปเป็นชิ้นงานซีเมนต์ทังสเตนคาร์ไบด์ต่อไป

คำสำคัญ: การรีไซเคิล; บอลมิลลิ่ง; แพลนเนต; ผงทังสเตนคาร์ไบด์

Abstract

To develop the characteristics of particles received from recycle of tungsten carbide residue cement by planet grinning using Ball milling, the result shows that WC powder's purity increases to 96.27%. Apart from that are titanium, tantalum, niobium, and molybdenum which are residues from recycling. Result from SEM analysis found that the particles are round shaped and smoother. Particles spread constantly with sizes between 0.07-0.44 μm which are correspondent with tungsten carbide particles presently produced. However, the characteristics of tungsten carbide particles received from this research are suitable for producing industrial parts, as others remaining metal particles are eligible binder and also qualified for molding of tungsten carbide cement.

Keyword: Recycle; Ball milling; Planetary; Tungsten carbide powder

* ปฐมพงษ์ จำนงค์พันธ์

1. บทนำ (Introduction)

การพัฒนาอุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนโลหะความแข็งแรงสูง (Hard metals) ในปัจจุบันจำเป็นต้องมีการพัฒนากระบวนการรีไซเคิลวัสดุต้นน้ำชนิดทั้งสแตนคาร์ไบด์เพื่อให้ผงโลหะมีสมบัติที่เหมาะสมสำหรับการนำไปใช้งาน โดยเฉพาะคุณลักษณะผงโลหะในด้าน ขนาด รูปร่าง การกระจายและความบริสุทธิ์ ซึ่งมีอิทธิพลต่อสมบัติของชิ้นงานซีเมนต์คาร์ไบด์โดยเฉพาะ ความแข็ง (Hardness) ความต้านทานการสึกหรอ เป็นต้น ผู้ผลิตในอุตสาหกรรมชิ้นส่วนโลหะความแข็งแรงสูงมีการรีไซเคิลซีเมนต์คาร์ไบด์กลับมาใช้ใหม่มากขึ้น (Sandvik Annual Report 2011) ประยุกต์ใช้สำหรับงานผลิตชิ้นส่วนโลหะความแข็งแรงสูง (Hard metals) คิดเป็นร้อยละ 72 มีปริมาณการบริโภคทั่วโลกประมาณ 59,000 ตันต่อปี ประกอบด้วย ยุโรปบริโภคทั้งสแตนคาร์ไบด์ 17,000 ตันต่อปี จีนบริโภคทั้งสแตนคาร์ไบด์ 16,000 ตันต่อปี สหรัฐอเมริกาบริโภคทั้งสแตนคาร์ไบด์ประมาณ 10,000 ตันต่อปี รัสเซียและอินเดียบริโภคทั้งสแตนคาร์ไบด์ 4,000 ตันต่อปี และเกาหลีใต้บริโภคทั้งสแตนคาร์ไบด์ 3,000 ตันต่อปี [1]

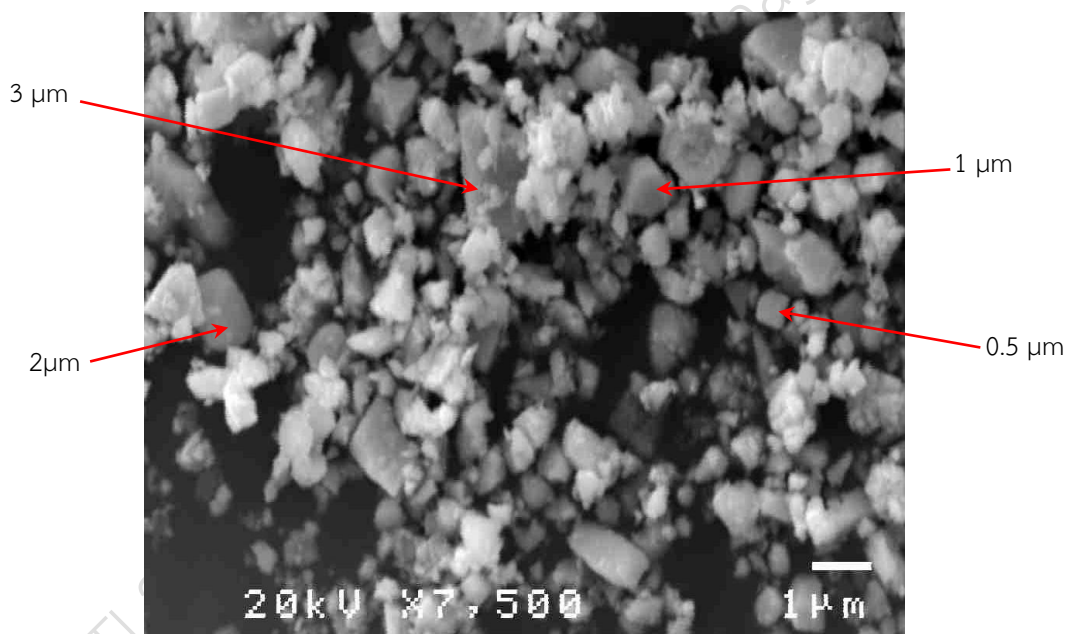
ซีเมนต์ทั้งสแตนคาร์ไบด์ (Cemented tungsten carbide) มีความหนาแน่น 15.63 g/cm^3 จุดหลอมเหลว $2,870^\circ\text{C}$ [2,3] ความแข็งระหว่าง $1,700\text{--}2,400 \text{ Hv}$ [4] โดยมีทั้งสแตนคาร์ไบด์เป็นวัสดุพื้นฐาน และโลหะประสานใช้โคบอลต์ (Co) นิยมผลิตเป็นเครื่องมือตัดประเภท inserts tool คิดเป็นประมาณร้อยละ 50-60 นอกจากนี้ยังมีการผสม ไทเทเนียม (Ti) แทนทาลัม (Ta) หรือไนโอเบียม (Nb) [5-6] เพื่อเพิ่มสมบัติการต้านทานต่อการสึกหรอ แบ่งเป็นหลายชนิด (straight grades) ประกอบด้วย Nano grades มีขนาดเกรนไม่เกิน $0.2 \mu\text{m}$, Ultrafine and Submicron grades ขนาดเกรนระหว่าง $0.2\text{--}0.9 \mu\text{m}$, Fine grades ขนาดเกรนระหว่าง $1.0\text{--}2.0 \mu\text{m}$, Medium Coarse grades ขนาดเกรนระหว่าง $2.1\text{--}5.0$ และ Extra Coarse grades ขนาดเกรนมากกว่า $5.0 \mu\text{m}$ [7] เป็นต้น

การพัฒนาสมบัติของโลหะผงเชิงกลด้วยการบดแบบแพลนเนต (Planetary) นิยมใช้ในการบดวัสดุ เป็นการบดเพื่อให้ผงโลหะมีขนาดเล็กและมีความละเอียด โดยอาศัยความเร็วของการหมุนหม้อบด เพื่อนำลูกบอลขึ้นสู่ด้านบนสุดของหม้อบดและตกลงมาสู่พื้นล่างของหม้อบด ความเร็วหม้อบดประมาณ 360 รอบ/นาที ข้อดีของวิธีนี้คือการบรรจุโลหะผงภายในหม้อบดทำได้ง่าย ความจุของหม้อบดที่ใช้ทั่วไป 45 ถึง 500 มิลลิลิตร [C. Suryanarayana, Mechanical; 2001 [8]] การบดโลหะผง WC-Co โดยใช้โลหะผงขนาด $1.53 \mu\text{m}$ และ $2.11 \mu\text{m}$ อัตราส่วน 15:1 (Weight ratio of ball to powder) ใช้เวลา 10-45 ชั่วโมง ใช้ความเร็วรอบ 200 รอบ/นาที ปรากฏว่าใช้เวลาบดที่ 25 ชั่วโมง สามารถผลิตผงทั้งสแตนคาร์ไบด์สำหรับชิ้นงาน Grain size 8.45 nm [Liu Sha^a, Huang Ze-Lan^b, Liu Gang^b, Yang Gui-Bin^b; 2006 [9]] การบดโลหะผงทั้งสแตนคาร์ไบด์โคบอลต์ (WC-Co) ขนาดนาโนเมตรแบบแพลนเนตด้วย ball milling ด้วยเครื่องบด Fritsch Pulverisette 5 ความเร็วรอบระหว่าง 100-250 รอบ/นาที อัตราส่วน 10:1 ขนาดลูกบด 6-18 มม. ใช้เวลา 10 ชั่วโมง ได้โลหะผงขนาดระหว่าง $0.01\text{--}0.4 \mu\text{m}$ รูปร่างกลมพื้นผิวมีความเรียบมากขึ้น การเกาะยึดของผงโลหะเป็นก้อนๆ ซึ่งการเกาะกลุ่มลักษณะนี้เกิดจากโลหะผงขนาดเล็กมีผลต่อการหาลักษณะรูปร่างและขนาดของอนุภาค [10] การบดโลหะผง WC-Co ขนาดนาโนเมตรโดยใช้ ball milling ขนาด 10-12 มม. อัตราส่วน 5:1 และ 20:1 ความเร็วรอบ 350-750 รอบ/นาที ใช้เวลา 40 ชั่วโมง สามารถพัฒนาโลหะผงทั้งสแตนคาร์ไบด์ขนาดอนุภาค $0.01\text{--}0.15 \mu\text{m}$ [M.H. Enayati, G.R. Aryanpour, Ebnonnasir, 2009 [11]] รูปร่างเหมือนแผ่นบาง (thin plate-like shapes) ซึ่งเป็นข้อบกพร่องที่เกิดจากอุณหภูมิในการบดสูงและจากความไม่สมดุลของลูกบดและโลหะผง [Mukhopadhyay^A, Basu^B; 2007 [12]] การพัฒนาโลหะผงทั้งสแตนคาร์ไบด์ที่ผ่านการรีไซเคิลโดยวิธี Hydrothermal treatment เมื่อผ่านการบดด้วย ball milling ใช้เวลา 24 ชั่วโมง ทั้งสแตนคาร์ไบด์มีขนาดอนุภาคไม่เกิน $3 \mu\text{m}$ รูปร่างหลายเหลี่ยมผสมกับแผ่นบางเกาะกันแน่นและเป็นโลหะผงที่มีขนาดอนุภาคค่อนข้างใหญ่และสามารถเกิดออกไซด์ได้ง่าย เมื่อนำไปผลิตชิ้นงานซีเมนต์คาร์ไบด์จะทำให้ความหนาแน่นลดลงเนื่องจากลักษณะพื้นฐานเป็นสี่เหลี่ยม [T. KOJIMA*, T. SHIMIZU, R. SASAI, H. ITOH. 2005 [13]] การพัฒนาคุณลักษณะทั้งสแตนคาร์ไบด์จากผงรีไซเคิลและผงสำเร็จรูปยังมีข้อจำกัดด้านลักษณะรูปร่างของอนุภาค และการเกิดออกไซด์ของโลหะผง รวมถึงข้อจำกัดในการผสมโลหะประสานโคบอลต์

งานวิจัยนี้จึงทำการพัฒนาคุณลักษณะโลหะผงทั้งสแตนคาร์ไบด์ที่ผ่านการรีไซเคิลด้วยวิธีการบดแบบแพลนเนต โดยใช้ Ball milling เพื่อผลิตโลหะผงที่มีรูปร่างกลม อนุภาคเล็กและมีความเหมาะสม เทียบเท่ากับผงโลหะในอุตสาหกรรม

2. วิธีการทดลอง (Experimental procedure)

งานวิจัยนี้ทำการทดลองโดยการเตรียมโลหะผงที่ผ่านการรีไซเคิล จำนวน 120 กรัม รูปร่างหลายมุมผสมกับกลมเกาะกลุ่มกัน หลวมๆ ขนาดอนุภาคระหว่าง 0.5-3.0 μm ตามภาพที่ 1 องค์ประกอบทางเคมีส่วนใหญ่เป็นทั้งสแตนรอยเลส 89.17 มีธาตุอื่นผสมประกอบด้วย ไทเทเนียม (Ti) แทนทาลัม (Ta) นีโอเบียม (Nb) และโมลิบดีนัม (Mo) ขนาดและการกระจายของโลหะผงระหว่าง 0.12-200 μm คัดขนาดโลหะผงเพื่อการบดด้วยตะแกรงขนาดไม่เกิน 50 μm ทำความสะอาดด้วยเอทานอลบริสุทธิ์ ใช้หม้อบดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 97.40 x 85 มม. ลูกบดขนาด 6 มม. อัตราส่วน 10:1 (Weight ratio of ball to powder) ทำการบดด้วยเครื่อง Planetary Mono Mill “Pulverisette 6” กำหนดความเร็วรอบ 300 รอบ/นาที ใช้เวลาบด 36 ชั่วโมง จากนั้นคัดกรองโลหะผงที่ผ่านการบดและทำความสะอาดด้วยเอทานอลบริสุทธิ์ นำโลหะผงรีไซเคิลเข้าเตาอบระบบสุญญากาศที่อุณหภูมิระหว่าง 100-200°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นวิเคราะห์โลหะผง ศึกษาลักษณะรูปร่าง รูปทรง ด้วยกล้องสแกนนิ่งอิเล็กตรอนไมโครสโคป (Scanning Electron Microscopy; SEM) วิเคราะห์โลหะผงด้วยเทคนิคเอกซเรย์ดิฟแฟรกชัน (X-ray Diffraction; XRD) เพื่อศึกษาเกี่ยวกับชนิดของธาตุ องค์ประกอบของโลหะผง และทำการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค X-Ray Fluorescence Spectrometry; XRF ซึ่งเป็นเทคนิคที่ใช้ในการหาชนิดและปริมาณของธาตุ รวมทั้งการวิเคราะห์ขนาดและการกระจายของโลหะผงด้วยเครื่องวัดขนาดอนุภาค (Particle size analyzer) ซึ่งสามารถวิเคราะห์ทั้งขนาดและการกระจายตัวของโลหะผง



ภาพที่ 1 SEM โลหะผงทั้งสแตนคาร์ไบด์ที่ผ่านการรีไซเคิล

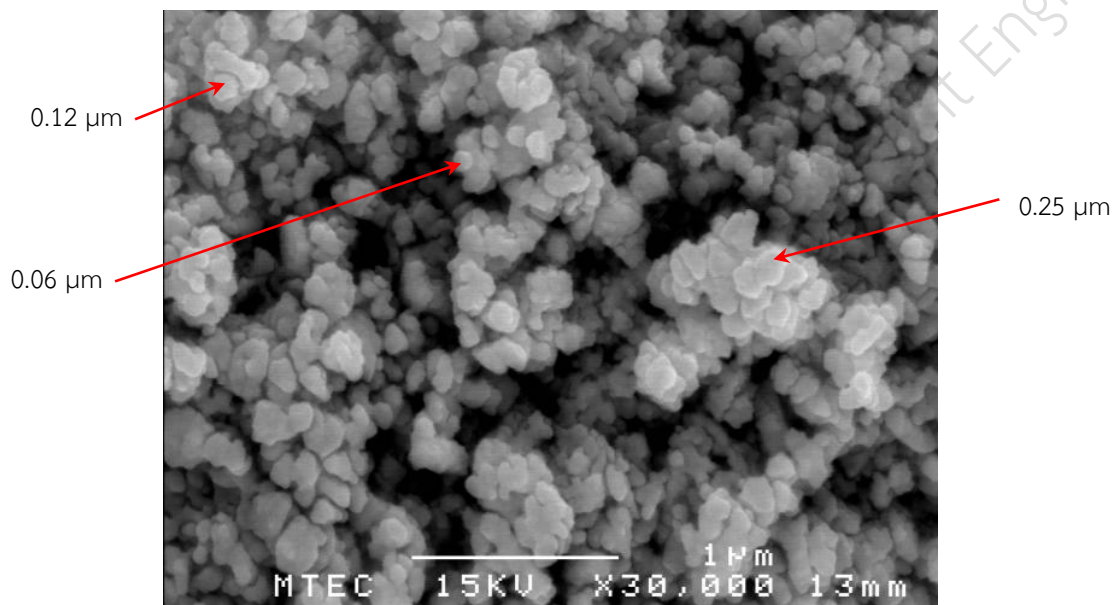
จากภาพที่ 1 แสดงการวิเคราะห์ลักษณะรูปร่างของโลหะผงที่ผ่านการรีไซเคิลด้วยวิธี hydrothermal กับ Electrolysis ทำงานร่วมกัน ปรากฏว่าโลหะผงมีขนาดอนุภาคระหว่าง 0.5-3.0 μm ขนาดโดยเฉลี่ยประมาณ 1.0 μm โลหะผงส่วนใหญ่รูปร่างแบบเรขาคณิตทรงหลายเหลี่ยมบางส่วนมีความกลมเล็กน้อย ซึ่งลักษณะรูปร่างของอนุภาคโลหะผงที่เป็นทรงกลมจะส่งผลต่อการผลิตชิ้นงานซีเมนต์คาร์ไบด์ ด้านความแข็งแรงและการต้านทานการสึกหรอ จึงต้องพัฒนาคุณลักษณะให้เหมาะสมเพื่อนำไปใช้งานต่อไป

3. ผลการวิจัย (Results)

ผลการบดโลหะผงทั้งสแตนคาร์ไบด์แบบแพลนเน็ตโดยใช้ Ball milling สำหรับบดโลหะผงให้ละเอียดเป็นการพัฒนาคุณสมบัติของโลหะผงที่ผ่านการรีไซเคิลให้มีความเหมาะสมต่อการใช้งาน ซึ่งผลการพัฒนาคุณสมบัติของโลหะผงทั้งสแตนคาร์ไบด์ของงานวิจัยนี้ ปรากฏผล ดังนี้

3.1 การวิเคราะห์โลหะผงทั้งสแตนคาร์ไบด์ด้วยเทคนิค Scanning Electron Microscopy : SEM

การวิเคราะห์ลักษณะพื้นผิวของวัสดุ ขนาด (เทียบกับสเกล 1 μm) และรูปร่างของอนุภาคผง หรือตำแหน่งที่สนใจบนโลหะผงทั้งสแตนคาร์ไบด์ สามารถแสดงรายละเอียด ดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 SEM โลหะผงทั้งสแตนคาร์ไบด์รีไซเคิลที่ผ่านกระบวนการบดด้วย Ball milling เป็นเวลา 36 ชั่วโมง

จากภาพที่ 2 แสดงผลการวิเคราะห์โลหะผงทั้งสแตนคาร์ไบด์ที่ผ่านการบดแบบ Ball milling เป็นเวลา 36 ชั่วโมง ปรากฏว่าขนาดอนุภาคอยู่ระหว่าง 0.06-0.25 μm อนุภาคเฉลี่ยประมาณ 1.12 μm อนุภาคโลหะผงส่วนใหญ่มีขนาดใกล้เคียงกันและรูปร่างกลมพื้นผิวของผงโลหะ (Particles) มีความเรียบมากขึ้นแต่พบว่ามีรูปร่างแตกต่างกันและขนาดผงโลหะมีความไม่แน่นอน (irregular shape) ผงโลหะจะมีการเกาะรวมตัวกันเป็นกลุ่มๆ

3.2 การวิเคราะห์ผงทั้งสแตนคาร์ไบด์ด้วยเทคนิค XRF และ XRD

การวิเคราะห์โลหะผงด้วยเทคนิค X-ray Diffraction; XRD และ เทคนิค X-Ray Fluorescence Spectrometry; XRF ผลจากการวิเคราะห์จะเป็นโลหะผงทั้งสแตนคาร์ไบด์ สามารถอธิบายรายละเอียดได้ดังนี้

ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางเคมีของโลหะผงทั้งสแตนคาร์ไบด์รีไซเคิล

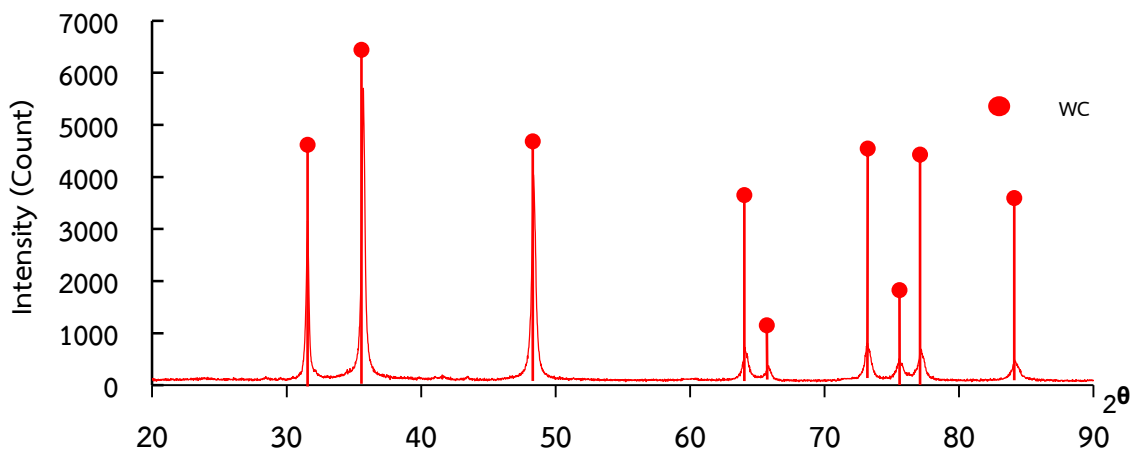
W	Ti	Ta	Nb	Mo	Zr	Fe	S
89.17%	4.90	3.56	1.31	0.93	0.06	0.04	0.06

จากตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์ปริมาณของธาตุ ด้วยเทคนิค X-Ray Fluorescence: XRF ปรากฏว่า โลหะผงมีองค์ประกอบของธาตุมากกว่าหนึ่งชนิด ส่วนใหญ่เป็นทั้งสแตน 89.17% นอกนั้นเป็นธาตุ ไทเทเนียม (Ti) แทนทาลัม (Ta) และไนโอเบียม (Nb) รวมประมาณ 10.83%

ตารางที่ 2 องค์ประกอบทางเคมีของโลหะผงทั้งสแตนคาร์ไบด์ที่ผ่านการบดแบบแพลนเนต (Planetary)

W	Ta	Ti	Nb	Mo	Zr	Fe	S
96.27%	1.68	1.21	0.42	0.35	0.03	0.02	0.01

ผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุของโลหะผงที่ผ่านรีไซเคิลและผ่านการบดด้วย Ball milling ปรากฏว่าองค์ประกอบทางเคมีของโลหะผงเป็นทั้งสแตน 96.27% นอกจากนั้นประกอบด้วย แทนทาลัม (Ta) 1.68% ไทเทเนียม (Ti) 1.21% และไนโอเบียม (Nb) 0.42%

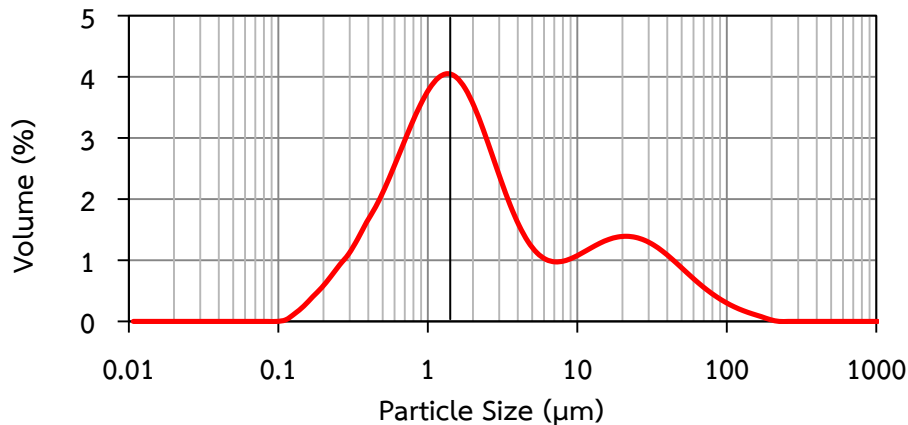


ภาพที่ 3 การวิเคราะห์ X-Ray Diffraction โลหะผงทั้งสแตนคาร์ไบด์รีไซเคิลผ่านการบดด้วยเวลา 36 ชั่วโมง

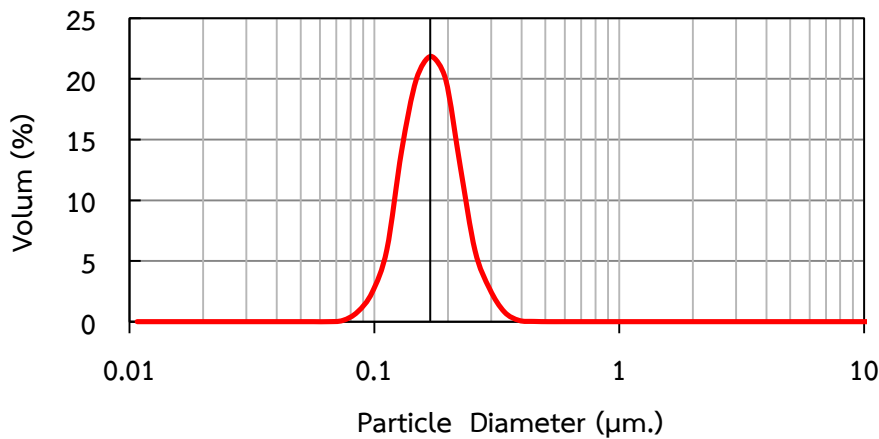
จากภาพที่ 3 ผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค X-Ray Diffraction: XRD ปรากฏว่า ชนิดของธาตุเป็นโลหะผงทั้งสแตนคาร์ไบด์ ซึ่งมีเอกลักษณ์เฉพาะเป็นไปตามองศาอิสระมาตรฐาน ประกอบด้วย องศาอิสระที่ 31.49, 35.64, 48.30, 64.03, 65.77, 73.12, 75.50, 77.11 และ 84.09

3.3 การวิเคราะห์ขนาดและการกระจายของโลหะผงทั้งสแตนคาร์ไบด์

ผลการวิเคราะห์ขนาดและการกระจายของโลหะผงทั้งสแตนคาร์ไบด์ผ่านเครื่องวิเคราะห์อนุภาค ผลการวิเคราะห์ปรากฏว่า โลหะผงทั้งสแตนคาร์ไบด์มีขนาดและการกระจายตัวอยู่ระหว่าง 0.12- 200 μm ตามภาพที่ 4 ซึ่งขนาดและการกระจายของโลหะผงมีทั้งอนุภาคขนาดเล็กและขนาดใหญ่รวมกัน ขนาดเล็กที่สุดประมาณ 0.12 μm ขนาดใหญ่ที่สุดประมาณ 200 μm แต่โดยส่วนใหญ่ผงโลหะจะมีขนาดอยู่ที่ประมาณ 1.50 μm



ภาพที่ 4 ขนาดและการกระจายของโลหะผงทั้งสแตนคาร์ไบด์ก่อนการบดด้วย Ball milling



ภาพที่ 5 ขนาดและการกระจายตัวของโลหะผงทั้งสแตนคาร์ไบด์ที่ผ่านกระบวนการบดด้วย Ball milling ใช้เวลา 36 ชั่วโมง

จากภาพที่ 5 ผลการวิเคราะห์โลหะผงทั้งสแตนคาร์ไบด์ที่ผ่านการบดด้วย Ball milling ปรากฏว่าการกระจายตัวของผงโลหะแคบลงเป็นสัดส่วนที่ดีขึ้นอย่างสม่ำเสมอขนาดและการกระจายอยู่ระหว่าง 0.07-0.44 μm ขนาดเฉลี่ยประมาณ 0.17-0.20 μm จากภาพที่ 2 และภาพที่ 5 พบว่าผงโลหะมีความกลมมากขึ้นพื้นผิวเรียบมากขึ้นขนาดผงโลหะมีการกระจายตัวน้อยลงเป็นผลดีต่อการนำไปใช้งาน

4. อภิปรายผล (Discussion)

การพัฒนาคุณลักษณะโลหะผงทั้งสแตนคาร์ไบด์ด้วยการบดแบบแพลนเนตโดยใช้ Ball milling ปรากฏว่าลักษณะรูปร่างและพื้นผิวจากการวิเคราะห์ด้วย SEM ผงทั้งสแตนคาร์ไบด์เป็นทรงกลมมากขึ้นและพบว่าอนุภาคมีขนาดเล็กลงเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 0.12 μm เมื่อเทียบกับกระบวนการรีไซเคิล WC-Co cermets [13] และมีรูปร่างกลม พื้นผิวมีความเรียบมากขึ้น ลักษณะผงโลหะมีการกระจายตัวที่แคบลง มีรูปร่างกลมมากขึ้น โดยรอบเม็ดผงโลหะมีลักษณะพื้นผิวเรียบมากขึ้นเนื่องจากหลักการเคลื่อนไหวนในหม้อบดซึ่งเป็นการบดด้วยลูกบอล (Ball milling) จึงมีความสมดุลระหว่างลูกบดและผงโลหะ ผลงานวิจัยนี้มีขนาดอนุภาคเล็กลงเนื่องจากเวลาในการบดเพิ่มขึ้น 12 ชั่วโมง ซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งที่ส่งผลต่อคุณลักษณะโลหะผงให้มีความเหมาะสมสำหรับการนำไปใช้งานในอุตสาหกรรม

จากการวิเคราะห์สัดส่วนผสมของโลหะผง ปรากฏว่าเป็นธาตุทั้งสแตน 96.27% นอกนั้นเป็นธาตุแทนทาลัม (Ta) ไทเทเนียม (Ti) และไนโอเบียม (Nb) รวมธาตุผสมประมาณ 3.63% ซึ่งเป็นธาตุผสมในโลหะผงตั้งต้นของชิ้นส่วนซีเมนต์คาร์ไบด์ชนิดรีไซเคิล ซึ่งโลหะเหล่านี้มีสมบัติที่ดีด้านเพิ่มสมบัติทางกลแก่ชิ้นงาน [5-6] และจากการวิเคราะห์ XRD พบว่าผลการวิเคราะห์สอดคล้องกับโลหะทั้งสแตนคาร์ไบด์ในอุตสาหกรรมเทียบเท่ากับมาตรฐานผงทั้งสแตนคาร์ไบด์ที่มีการจำหน่ายในปัจจุบัน

ส่วนการวิเคราะห์ขนาดและการกระจายของอนุภาค ปรากฏว่าขนาดการกระจายอยู่ระหว่าง 0.07-0.44 μm ขนาดเฉลี่ยประมาณ 0.17 μm มีการกระจายตัวสม่ำเสมอ ซึ่งขนาดของโลหะผงทั้งสแตนคาร์ไบด์ที่ได้รับมีความเหมาะสมต่อการนำไปผลิตชิ้นงานโลหะความแข็งแรงสูงพิเศษหรือประยุกต์ใช้งานในอุตสาหกรรมได้เทียบเท่ากับผงโลหะในอุตสาหกรรมในด้านขนาดและรูปทรงเรขาคณิต อย่างไรก็ตามโลหะผงทั้งสแตนคาร์ไบด์ยังมีโลหะอื่นผสมบางส่วนซึ่งหากทำให้เป็นทั้งสแตนคาร์ไบด์บริสุทธิ์ จะส่งผลต่อการประยุกต์ใช้งานในอุตสาหกรรมให้มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น

5. สรุปผล (Conclusion)

การวิจัยนี้สามารถพัฒนาคุณลักษณะผงทั้งสแตนคาร์ไบด์ที่เหมาะสมสำหรับผลิตชิ้นส่วนซีเมนต์คาร์ไบด์ เป็นโลหะผงที่มีรูปร่างกลมพื้นผิวมีความเรียบมากขึ้นขนาดอนุภาคเล็กลงการกระจายตัวแคบลงและการกระจายของอนุภาคสม่ำเสมอ ขนาดเฉลี่ยประมาณ 0.12 μm ชนิดของธาตุเป็นทั้งสแตนคาร์ไบด์มีความบริสุทธิ์ 96.27% ขนาดการกระจายระหว่าง 0.07-0.44 μm เป็นโลหะผงที่มีคุณลักษณะเหมาะสมสำหรับนำไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมต่อไป

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรมเพื่อความยั่งยืน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร สำหรับการให้สถานที่เพื่อการดำเนินการวิจัย

7. เอกสารอ้างอิง (Reference)

- [1] Wolf-W.Albrecht, Hard Metal (WC-Co), retired Director of H.C. Starck, Germany, and Nov. 2008.
- [2] Ulrich Schlottmann, 2005. SIDS Initial Assessment Report, Washington, DC, October 18-20.
- [3] CRC Materials Science and Engineering Handbook (2001).
- [4] Pohanish, Richard P. 2012. Sittig's Handbook of Toxic and Hazardous Chemicals and Carcinogens. Sixth Edition. Kidlington, UK: Elsevier, Inc. p. 2670. ISBN 978-1-4377-7869-4.
- [5] Sebahattin Gurmen¹; Bernd Friedrich², 2000. Recovery of Cobalt Powder and Tungsten Carbide from Cemented Carbide Scrap - Part I: Kinetics of Cobalt Acid Leaching, ¹Istanbul Technical University, Metallurgical & Materials Eng. Dept., Istanbul, Türkiye, ²IME Process Metallurgy and Metal Recycling, RWTH Aachen University, Germany.
- [6] Andren, O. H., 2001. Microstructure development during sintering and heat-treatment of cemented carbides and cermets, Materials Chemistry and Physics 67, 209-213.
- [7] Sandvik hard Materials, Ref.no.H-9116 ENG, Edited 2005.
- [8] C. Suryanarayana, Mechanical alloying and milling, 2001. Progress in Materials Science 46, 1-184.
- [9] Liu Sha a*, Huang Ze-Lan b, Liu Gang b, Yang Gui-Bin b, 2006. Preparing nano-crystalline rare earth doped WC/Co powder by high energy ball milling. International Journal of Refractory Metals & Hard Materials 24, 461-464.
- [10] F.L. Zhang a, M. Zhu b, C.Y. Wang a, 2008. Parameters optimization in the planetary ball milling of nanostructured tungsten carbide/cobalt powder, International Journal of Refractory Metals & Hard Materials 26, 329-33.

- [11] M.H. Enayati , G.R. Aryanpour, Ebnonnasir, 2009. Production of nanostructured WC–Co powder by ball milling, Int. Journal of Refractory Metals & Hard Materials 27, 159–163.
- [12] Mukhopadhyay A, Basu B. 2007 Consolidation-microstructure-property relationships in bulk nanoceramics and ceramic nanocomposites: a review. Int Mater Rev;52:257–88.
- [13] T. KOJIMA*, T. SHIMIZU, R. SASAI, H. ITOH. 2005. Recycling process of WC-Co cermets by hydrothermal treatment, JOURNAL OF MATERIALS SCIENCE 40, 5167 – 5172.

การจัดการสีเขียวสำหรับผลิตผลทางการเกษตรในประเทศไทย Green Management Model for Agricultural in Thailand

สุเทพณ์ จันทรุกษา^{1*}, ณัฐยา ตันตรานนท์¹, มนัส สุวรรณ²

¹ สถาบันพัฒนาเศรษฐกิจและเทคโนโลยีชุมชนแห่งเอเชีย

²บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่

202 ถนนช้างเผือก ต.ช้างเผือก อ.เมือง จ.เชียงใหม่ 50300

¹Asian Development Institute for Community Economy and Technology,

²Graduate School, Chiang Mai Rajabhat University, Chiang Mai, Thailand 50300

บทคัดย่อ

การศึกษาวิจัยเรื่องรูปแบบการจัดการสีเขียวสำหรับผลิตผลทางการเกษตรในประเทศไทย มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาศักยภาพและความพร้อมของชุมชนรวมทั้งพื้นที่ในการเป็นผู้ผลิตพืชอาหารปลอดภัย และเพื่อสร้างและพัฒนารูปแบบการจัดการสีเขียว กรณีการจัดหาผลผลิตทางการเกษตรปลอดภัยเพื่อประกอบอาหารให้แก่บุคลากรมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ วิทยาเขตสะเล้ง-ขี้เหล็ก ที่มีประสิทธิภาพและเหมาะสมสำหรับท้องถิ่น เป็นการวิจัยเชิงคุณภาพ โดยการเก็บรวบรวมข้อมูลจากกลุ่มผู้ให้ข้อมูลหลักจำนวน 45 คนประกอบด้วย เกษตรกร นักวิชาการ ราษฎรทางการเกษตรและผู้นำชุมชน ตำบลสะเล้ง ตำบลขี้เหล็กและตำบลห้วยทราย อำเภอแมริม จังหวัดเชียงใหม่ โดยการทบทวนเอกสารและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง การสำรวจ การสัมภาษณ์เชิงลึก แบบสอบถาม การสังเกตแบบมีส่วนร่วม การประชุมกลุ่มและการจัดเวทีเสวนาประชาคม เป็นเครื่องมือในการเก็บรวบรวมข้อมูล ซึ่งข้อมูลที่ได้ถูกนำมาวิเคราะห์ด้วยวิธีการวิเคราะห์เชิงพรรณนา การวิเคราะห์เนื้อหา และการวิเคราะห์แบบอุปนัย ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าเกษตรกรในชุมชนมีศักยภาพและความพร้อมในการผลิตทางการเกษตรแบบปลอดภัยในกลุ่มพืชอาหารหลักได้ตามความต้องการ ด้านความพร้อมทางกายภาพของพื้นที่ สภาพพื้นที่ส่วนใหญ่มีลักษณะเป็นที่ราบเชิงเขา มีดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ของแร่ธาตุและสารอาหาร มีสภาพภูมิอากาศดีเหมาะแก่การเพาะปลูก มีแหล่งน้ำอุดมสมบูรณ์มีลำคลอง ลำเหมือง แหล่งน้ำชลประทานไหลผ่านตลอดทั้งปี ความพร้อมด้านภูมิสังคมพบว่า ชุมชนมีองค์ความรู้ 4 ด้านคือ ความรู้ด้านการจัดการเพาะปลูกแบบอินทรีย์ธรรมชาติ ความรู้ด้านวัฒนธรรมชุมชน ความเชื่อ การรวมกลุ่มกิจกรรม เศรษฐกิจชุมชน เกษตรทฤษฎีใหม่เศรษฐกิจพอเพียง ความรู้ด้านกระบวนการจัดการความรู้ พบว่าชุมชนผ่านการปฏิบัติในวิถีชีวิตจริง ผ่านการผลิตซ้ำ ผ่านการแลกเปลี่ยนเรียนรู้อย่างเป็นทางการและไม่เป็นทางการ แต่ไม่มีการจัดเก็บความรู้อย่างเป็นระบบ ด้านรูปแบบการจัดการผลิตผลทางการเกษตรปลอดภัยของชุมชนพบว่าการร่วมกันถอดบทเรียน จนค้นพบรูปแบบที่เหมาะสมกับพื้นที่ สามารถสรุปออกมาเป็นตัวแบบ “SALUANG MODEL” ได้แก่ การแลกเปลี่ยนเรียนรู้และแบ่งปันประสบการณ์ การสร้างจิตสำนึกและตระหนักรู้ถึงพิษภัยของการใช้สารเคมี ตลอดจนการรักษาคุณค่าและคงประโยชน์ของทรัพยากรร่วมกัน การบูรณาการภูมิปัญญาท้องถิ่นที่เป็นความรู้ดั้งเดิมกับความรู้สมัยใหม่ด้วยระบบ ICT สร้างโอกาสในการเข้าถึงองค์ความรู้โดยเน้นการสื่อสารแลกเปลี่ยนข้อมูลแก่สมาชิกในห่วงโซ่อุปทานและบุคคลภายนอก เน้นการทำเกษตรแบบธรรมชาติที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม รวมทั้งการรวมกลุ่มภาคีเครือข่ายความร่วมมือให้มีความมั่นคงยั่งยืน กระบวนการบริหารจัดการ มีคุณธรรม ซื่อสัตย์ สุจริต โปร่งใส สามารถตรวจสอบกระบวนการผลิตถึงต้นตอแหล่งที่มาได้ทุกขั้นตอนตลอดกระบวนการ

* sutethc@gmail.com

คำสำคัญ(Key word); การจัดการสีเขียว; การจัดหาผลผลิตทางการเกษตร; ห่วงโซ่อุปทานสีเขียว

Abstract :

The purposes of this research were to study the potential and readiness of the community to produce organic food crops and develop patterns of green management. The case study is a community of staffs and students in the Chiang Mai Rajabhat University, Saluang-Ki Lek Campus. The population of this qualitative based research were agriculturists, agricultural scholars and community leaders of Saluang, Ki Lek and Huai Sai district, Mae Rim, Chiang Mai. The research instruments for data collection included literature review, field survey, in-depth interview, questionnaire, observation without participation, focus group discussion and community seminar. Data collected were analyzed based on descriptive analysis, content analysis and inductive analysis. The results of this research were found that agriculturists in the community had potential to produce organic productions in major food plants to supply students and staff of Chiang Mai Rajabhat University at Saluang-Ki Lek Campus. For physical readiness of the area, most areas were flat with rich soil filled with mineral and nutrient. The weather was appropriate for plantation. Water resources were abundant with canal, mining firm and irrigations system, so water flowed through entire years. For the readiness of social landscape, people in the community had four kinds of knowledge - knowledge of organic plantation management, knowledge of cultural community-faith-activity grouping, knowledge of economic community-new theory of sufficiency economy-integration to the economic and marketing network, knowledge of knowledge process. Community performed in their real lives via reproduction, sharing their learning formally and informally, but they lacked systematic process of collecting data. For the model of organic agricultural management, it was found that community took lessons together until they found SALUANG MODEL featuring exchanged learning and shared experiences, awareness of the dangers of chemicals, cooperation with the community and maintaining value and benefits of resources, integrating of traditional knowledge and knowledge of modern technology, seeking opportunities to get knowledge emphasized on communication, exchange and publish data to members in community and natural agriculture and environmental friendliness, including grouping and building partnership networks to coordinate stably and sustainably, and finally on management process having morality, loyal, honest, sincere transparent, fairly, which can be examined from the beginning in every step.

Key Word:Green management ; Agricultural Supply; Green supply chain

1. บทนำ (Introduction)

การพึ่งพาสารเคมีในภาคการเกษตรที่มากเกินไปจนความจำเป็นในช่วง 10 ปีที่ผ่านมา แนวโน้มในการนำเข้าสารเคมีกำจัดศัตรูพืชที่สูงขึ้นทุกปี ปริมาณการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชของเกษตรกรไทยนับว่าอยู่ในระดับสูงมากเกินความจำเป็น และจะยิ่งเพิ่มความเสียหายทางสุขภาพและทางการเงินของเกษตรกรเนื่องจากในปัจจุบันต้นทุนการผลิตที่เป็นสารเคมีกำจัดศัตรูพืชนั้นสูงถึงร้อยละ 10 ของการปลูกข้าวและอาจสูงถึงร้อยละ 32 สำหรับพืชบางชนิดเช่นสตอเบอรี่ (อารีวรรณ คูสันเทียะ, 2550) สารกำจัดศัตรูพืชเป็นปัญหาทางสาธารณสุขที่สำคัญของประเทศไทย จากการสำรวจของสำนักโรคจากการประกอบอาชีพที่พบว่าเกษตรกรที่มีความเสี่ยงปานกลางจนถึงสูงมีจำนวนรวมกันมากกว่าผู้ที่เสี่ยงต่ำ และจากการเจาะเลือดหาเอนไซม์ที่แสดงการได้สัมผัสสารกำจัดศัตรูพืชพบว่าเกษตรกรส่วนใหญ่มีความเสี่ยงและไม่ปลอดภัย โดยสองกลุ่มนี้รวมกันมีตัวเลขถึงร้อยละ 53.76 และจากการศึกษาข้อมูลผู้ป่วยใน ของกระทรวงสาธารณสุขพบว่าสารออร์กาโนฟอสเฟตและสารกำจัดวัชพืชเป็นสารที่ก่อให้เกิดการป่วยมากที่สุด (นพ.พิบูล อิสสระพันธุ์, 2554) แสดงว่าประชากรส่วนใหญ่ซึ่งในที่นี้หมายถึงเกษตรกรมีสุขภาพที่น่าเป็นห่วงและล้าแล้วแต่เป็นส่วนหนึ่งของปัญหาที่ส่งผลกระทบต่อความปลอดภัยของเกษตรกรผู้ใช้และผู้บริโภคและความสมบูรณ์ของระบบนิเวศเช่น การฟุ้งกระจายในอากาศ น้ำบนผิวดิน น้ำใต้ดินและการกระจายของผลผลิตทางการเกษตรของพื้นที่สู่ภูมิภาคอื่นๆ

ภายในปี 2558 จะมีการย้ายสถานที่เรียนของนักศึกษาพร้อมทั้งบุคลากรทางการศึกษาจำนวน 5,000 คน ไปยังวิทยาเขตสะเลง-ซีเหล็ก สิ่งที่มาวิทยาลัยฯต้องเตรียมดำเนินการเพื่อจัดหาสิ่งอำนวยความสะดวกนอกจากอาคารสถานที่เรียนแล้ว ด้านการจัดหาอาหารเพื่อรองรับนักศึกษาบุคลากรจำนวนดังกล่าวจึงเป็นสิ่งสำคัญอันดับต้นๆที่จะต้องดำเนินการ และจะต้องเป็นอาหารที่มีประโยชน์ สะอาด และปลอดภัย

เพื่อเป็นการตอบสนองหลักปรัชญาของมหาวิทยาลัยที่จะเป็นมหาวิทยาลัยเพื่อท้องถิ่นตอบสนองและเกื้อกูลกันและกัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งต่อชุมชนที่อยู่โดยรอบวิทยาเขตฯ ในการเข้ามามีส่วนร่วมในกิจกรรมและการถ่ายทอดความรู้เทคโนโลยี ผู้วิจัยจึงได้กำหนดพื้นที่ที่ทำการศึกษาศักยภาพของเกษตรกรที่อยู่โดยรอบวิทยาเขตฯประกอบด้วยเกษตรกรตำบลสะเลง ตำบลซีเหล็กและตำบลห้วยทราย พบว่ามีเกษตรกรส่วนหนึ่งที่ทำการเกษตรปลอดสารพิษ แต่ประสบปัญหาไม่มีตลาดรองรับผลผลิต และผลผลิตไม่ได้ราคาทำให้เกษตรกรขาดทุนเป็นหนี้สิน ส่วนหนึ่งจึงหันกลับไปใช้สารเคมีเพื่อเพิ่มผลผลิตและเพาะปลูกนอกฤดูปลูก การศึกษาวิจัยจึงมุ่งเน้นไปที่กระบวนการจัดหาอาหารปลอดภัยจากสารพิษ โดยเริ่มตั้งแต่กระบวนการผลิต การบริหารจัดการ การขนส่งและการแปรรูป โดยได้เข้าไปศึกษาว่าชุมชนมีความรู้ในการทำการเกษตรแบบปลอดสารพิษหรือไม่ และปัจจุบันได้ใช้วิธีการทำการเกษตรแบบใดบ้าง การศึกษาจะทำการศึกษารอบแนวคิดด้านการจัดการในหลายรูปแบบที่มีความใกล้เคียง เป็นต้นว่า ทฤษฎีเกี่ยวกับการจัดการด้วยหลักธรรมาภิบาล หลักเกษตรอินทรีย์ ภูมิปัญญาท้องถิ่น หลักเศรษฐกิจสีเขียวเพื่อการพัฒนาที่ยั่งยืน หลักเศรษฐกิจพอเพียง หลักอาหารปลอดภัย หลักการจัดการโซ่อุปทานแบบกรีน ใช้รูปแบบวิธีการศึกษาด้วยทฤษฎีการจัดการความรู้ (Knowledge Management) เพื่อให้ได้คำตอบและนำมาหลอมรวมเป็นรูปแบบหรือกระบวนการจัดการสีเขียว (Green Management Model) โดยมีกระบวนการจัดการที่เป็นระบบมาตรฐาน จากนั้นนำหลักการจัดการตามมาตรฐานที่ได้ นำสู่เวทีประชาคมกลุ่มเกษตรกรในพื้นที่ ที่จะเป็นผู้ผลิตและจำหน่ายเพื่อนำไปประกอบอาหารให้แก่นักศึกษาและบุคลากรมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ วิทยาเขตสะเลง-ซีเหล็ก อำเภอแม่ริม จังหวัดเชียงใหม่ โดยได้สรุปเป็นแบบจำลองทางธุรกิจที่เน้นกระบวนการผลิตอาหารปลอดสารพิษ มีแหล่งที่มาที่สามารถตรวจสอบย้อนหลังได้ทุกขั้นตอน

การวิจัยครั้งนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อการสร้างแนวคิดใหม่ในการบริหารจัดการที่เป็นหลักการจัดการสากลโดยมุ่งหมายให้องค์กรที่เป็นตัวกลางแลกเปลี่ยนสินค้าต้องได้ผลลัพธ์ 2 ประการ คือ ประการแรก ต้องการใช้การจัดการนี้ สร้างความเป็นธรรมในการซื้อขายแลกเปลี่ยนผลผลิตทางการเกษตรทั้งในแง่ของราคาซื้อ ราคาขาย ปริมาณและคุณภาพสินค้า การไม่สนับสนุนสินค้าที่มีที่มาด้วยการทำลายทรัพยากรธรรมชาติ และการมีส่วนร่วมของสมาชิกในการบริหารจัดการเป็นสำคัญ ประการที่สองคือ

ที่มาของสินค้าจะต้องผลิตโดยมีกระบวนการที่ได้มาตรฐานสีเขียว ปลอดภัยปลอดสารพิษโดยอาจนำเทคโนโลยีสะอาดมาใช้รวมทั้งการประหยัดการใช้ทรัพยากรในการผลิต และการลดปริมาณการปล่อยคาร์บอนสู่บรรยากาศ การศึกษาได้ศึกษารอบแนวคิดด้านการจัดการในหลายรูปแบบที่มีความสอดคล้องและใกล้เคียงกับหลักการของผลลัพธ์ทั้งสองประการ ได้แก่ ทฤษฎีเกี่ยวกับการจัดการด้วยหลักธรรมาภิบาล หลักการเกษตรอินทรีย์ ภูมิปัญญาท้องถิ่น การจัดการความรู้ หลักปรัชญาเศรษฐกิจพอเพียง หลักการอาหารปลอดภัยตามมาตรฐาน MRL, HACCP, GAP, GMP และหลักการจัดการโซ่อุปทานแบบกรีน (Green Supply Chain Management) มาทำการหลอมรวมและสร้างแนวคิดใหม่ เป็น การจัดการสีเขียว (Green Management) ซึ่งมีกระบวนการและการจัดการที่เป็นระบบมาตรฐานใช้งานได้จริง เป็นแบบจำลองทางธุรกิจ ซึ่งเป็นกระบวนการผลิตและจัดหาอาหารที่มีระบบคุณธรรมในการซื้อขาย ผู้ผลิตมีระบบประกันความเสี่ยงได้รับผลตอบแทนที่คุ้มค่า มีความมั่นคงในการประกอบอาชีพ และทำงานโดยสภาวะแห่งสุข ผู้บริโภคได้สินค้าที่ปลอดภัยจากสารพิษ มีแหล่งที่มาที่ดี มีคุณภาพตามมาตรฐานสีเขียวในราคาสมเหตุผล การส่งมอบตรงตามระยะเวลาที่ต้องการ และมีส่วนช่วยโลกในการลดปริมาณคาร์บอนและมลภาวะต่างๆ

2.วิธีวิจัย (Research Methodology)

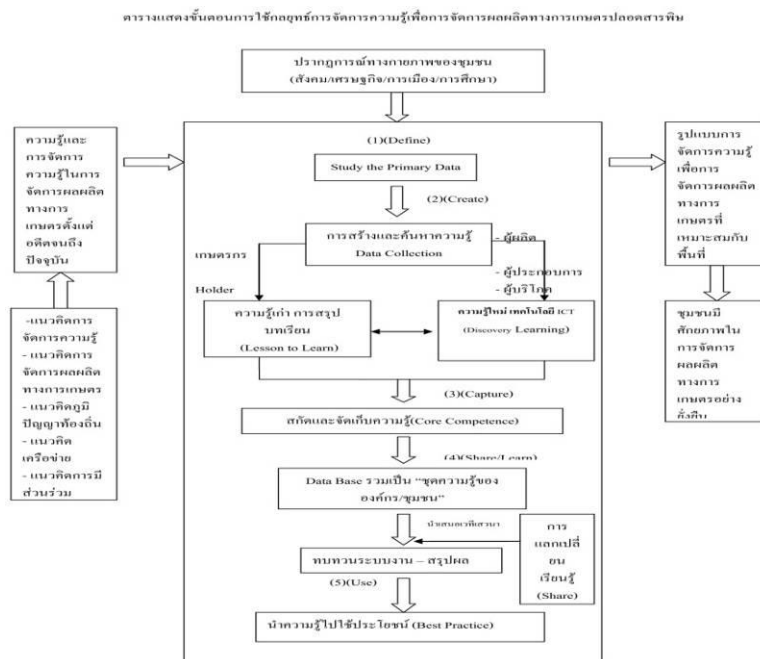
การศึกษาวิจัยในครั้งนี้เป็นการศึกษาเชิงพรรณนา (Descriptive Research) และการศึกษาเชิงสำรวจ (Exploration Research) เพื่อค้นหาบริบทความรู้ในการจัดการผลผลิตทางการเกษตรตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน เพื่อสกัดจัดเก็บองค์ความรู้และพัฒนาเป็นรูปแบบการจัดการผลผลิตทางการเกษตรแบบปลอดภัยที่เหมาะสมกับพื้นที่ตำบลสะเลียง ตำบลขี้เหล็กและตำบลห้วยทราย อำเภอแม่ริม จังหวัดเชียงใหม่ โดยได้ประยุกต์ใช้แนวคิด 5 ขั้นตอนการจัดการความรู้ของวิจารณ์ พานิช, (2547) ก:3-4,

(ภาพที่1) มาเป็นฐานคิดในการดำเนินการจัดการความรู้ดังนี้ 1. การบ่งชี้ความรู้ (Define) เริ่มจากการตั้งคำถามไปสู่การกำหนดเหตุของปัญหาและค้นหาคำตอบ วิธีการแก้ไขปัญหา ต้องใช้ความรู้ด้านใดและอยู่ที่ใครเพื่อนำมาแก้ปัญหา 2. การสร้างและค้นหาความรู้ (Create) โดยผ่านการพูดคุยแลกเปลี่ยนความคิดเห็น ค้นหาเหตุผลเชิงประจักษ์และร่วมกันหาแนวทางนำไปสู่การแก้ปัญหาที่เกิดขึ้น 3.การสกัดและจัดเก็บความรู้ (Capture) โดยการวางโครงสร้างความรู้จากการค้นหาได้จัดเป็นระบบ มีการปรับปรุงตัดแปลง ประยุกต์ความรู้ให้มีความเหมาะสม สอดคล้องกับความต้องการใช้ จัดเป็นฐานข้อมูลที่เป็นลายลักษณ์อักษรและเป็นหมวดหมู่ สามารถเข้าถึงและนำมาใช้ได้อย่างสะดวกและรวดเร็ว 4. การแบ่งปันแลกเปลี่ยนความรู้ (Share) เป็นหัวใจของการจัดการความรู้ในกรณีเป็นความรู้ชัดแจ้ง (Explicit Knowledge) จัดทำเป็นเอกสารฐานความรู้ หรือกรณีเป็นความรู้ฝังลึก (Tacit Knowledge) จัดให้มีกิจกรรมกลุ่มเวทีแลกเปลี่ยนความรู้ 5. การนำความรู้ไปใช้ประโยชน์ (Use) เป็นการนำความรู้ไปใช้ประโยชน์ของบุคคลโดยการนำไปใช้ในการตัดสินใจแก้ปัญหาและเพิ่มพูนความรู้ประสบการณ์เกี่ยวกับการจัดการผลผลิตทางการเกษตรปลอดภัยที่มีอยู่ให้เพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆเป็นวงจรไม่สิ้นสุด

ในการลงพื้นที่เพื่อทำการศึกษาและเก็บข้อมูลผ่านผู้นำท้องถิ่น ตัวแทนชุมชน หัวหน้ากลุ่มเกษตรกรและเจ้าหน้าที่เกษตรอำเภอแม่ริม จังหวัดเชียงใหม่โดยเริ่มต้นจากผู้นำท้องถิ่นนำเดินสำรวจพื้นที่เพื่อจัดทำแผนที่ (Mapping) ของชุมชน พร้อมกับบันทึกสถานที่ตั้งบ้านเรือนและพื้นที่เพาะปลูก โดยการคัดเลือกผู้ให้ข้อมูลหลักแบบเจาะจงผู้ที่มีความรู้ความเข้าใจสามารถให้ข้อมูลด้านการเกษตรกรรมได้ลึกซึ้งที่สุด โดยเก็บข้อมูลจากทั้ง 3 ตำบล มีการแบ่งขั้นตอนการเก็บรวบรวมข้อมูลออกเป็น 3 ขั้นตอนดังนี้ ขั้นตอนที่ 1 การศึกษาบริบทความรู้เป็นการศึกษากระบวนการจัดการความรู้เพื่อการจัดการผลผลิตทางการเกษตร และแบ่งการดำเนินการออกเป็น 2 ระยะคือ ระยะที่ 1 การศึกษาความรู้ชัดแจ้ง (Explicit Knowledge) การศึกษาความรู้ชัดแจ้งเป็นการศึกษาหลักการทฤษฎี เอกสารงานวิจัยหรือข้อมูลที่มีอยู่ในชุมชนและที่อื่นที่ได้มีการรวบรวมไว้ ถูกนำมาเป็นฐานข้อมูล โดยผสมผสานกับข้อมูลที่ได้จากการเก็บรวบรวมโดยใช้เครื่องมือชนิดอื่น เพื่อเป็นแนวทางในการสร้างรูปแบบ (Model) การจัดการความรู้เพื่อจัดการผลผลิตทางการเกษตรที่เหมาะสมกับพื้นที่ในขั้นตอนต่อไป ระยะที่ 2 การศึกษาความรู้ที่แฝงอยู่ในตัวบุคคล (Tacit Knowledge) โดยวิธีการสัมภาษณ์แบบเจาะลึก (in-depth interview) ในกลุ่มผู้ให้ข้อมูลหลัก 3 กลุ่ม ประกอบด้วย 1. กลุ่มเกษตรกร ผู้รู้ ปราชญ์เกษตร ผู้นำชุมชน จำนวน 15 คน เพื่อให้ได้ข้อมูลเกี่ยวกับ

ความรู้ภูมิปัญญาท้องถิ่นในการจัดการผลผลิตทางการเกษตร รูปแบบการบริหารจัดการผลผลิต ต้นทุนรวมในการผลิต การตลาด และ

ความสามารถในการเป็นแหล่งผลิตสินค้าเกษตรปลอดสารพิษ 2.กลุ่มผู้ประกอบการแปรรูปอาหารและผู้รวบรวมผลผลิต จำนวน 10 คน เพื่อให้ได้ข้อมูลมาตรฐานการผลิต มาตรฐานการประกอบอาหารและการจำหน่าย การส่งมอบ



ภาพที่ 1 ขั้นตอนการจัดการความรู้เพื่อจัดการผลผลิตทางการเกษตรปลอดสารพิษ

มาตรฐานการจัดซื้อวัตถุดิบ ปริมาณความต้องการผลผลิตทางการเกษตร ราคาจำหน่ายและความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับ สุขอนามัยด้านโภชนาการ 3.กลุ่มผู้บริโภค ประกอบด้วยนักศึกษา อาจารย์และบุคลากรมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่จำนวน 20 คน เพื่อหามาตรฐานการผลิต การจำหน่าย การส่งมอบสินค้า การตัดสินใจในการเลือกซื้อสินค้า ความถี่ในการซื้อ ความเข้าใจและการรับรู้โทษพิษภัยสารพิษตกค้างในอาหาร ขณะเดียวกันได้ทำการศึกษาโดยวิธีการสังเกตแบบไม่มีส่วนร่วม (Non-participatory research) ของเกษตรกรในพื้นที่ และบันทึกเหตุการณ์ในแบบบันทึกและประเด็นที่สัมภาษณ์ จากนั้นจึงทำการสรุปเนื้อหาและข้อมูลดิบมาจัดหมวดหมู่ในประเด็นหลักและประเด็นย่อย

การเสวนากลุ่ม เป็นการจัดเวทีเสวนาประชาคม(เวทีชาวบ้าน)วัตถุประสงค์เพื่อเป็นการถอดองค์ความรู้ภูมิปัญญาท้องถิ่นในเรื่องการจัดการผลผลิตทางการเกษตรปลอดสารพิษ ที่เกี่ยวข้องและเชื่อมโยงกับวิถีชีวิต ประเพณีและวัฒนธรรมของท้องถิ่นร่วมกับผู้มีความรู้ประสบการณ์ อันเป็นแนวทางหนึ่งในการสำรวจความคิดเห็นและแลกเปลี่ยนเรียนรู้ ถ่ายทอดประสบการณ์และเป็นการยกระดับความรู้ประสบการณ์ของชุมชน เพื่อจัดการความรู้ ในด้านการจัดการผลผลิตทางการเกษตรแบบปลอดสารพิษในพื้นที่อย่างเป็นระบบ เป็นการหาแนวทางหรือรูปแบบการบริหารจัดการผลผลิตทางการเกษตรปลอดสารพิษ หรือโดยวิถีธรรมชาติที่มีประสิทธิภาพและเหมาะสมสำหรับชุมชนโดยมุ่งประเด็นการเสวนาเกี่ยวกับความรู้ภูมิปัญญาท้องถิ่นด้านการเกษตรและการใช้พลังงานทดแทนในกระบวนการผลิตการขนส่ง ความคุ้มค่าทางต้นทุนการผลิต และผลกระทบต่อสุขภาพผู้ผลิตและผู้บริโภคปัญหาด้านการจัดการและการตลาด แนวทางการแก้ปัญหาอย่างยั่งยืนของชุมชนโดยชุมชนผู้เข้าร่วมเวทีเสวนาประกอบด้วยตัวแทนเกษตรกร ปรชาษฐ์หรือครูภูมิปัญญาท้องถิ่น เป็นผู้ร่วมวงเสวนา ในฐานะที่เป็นผู้ที่มีองค์ความรู้

ผู้เสริมหนุนได้แก่ผู้ทรงคุณวุฒิและบุคลากรจากภาคส่วนต่างๆ เพื่อให้ความรู้และการสนับสนุน เช่น นักวิชาการทางการเกษตร ตัวแทนหรือผู้นำชุมชน ตัวแทนผู้ประกอบการผักปลอดสารพิษ นักวิชาการด้านทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมรวม 12 ท่าน ขั้นที่ 2 การสร้างรูปแบบ(Model)การจัดการความรู้เกี่ยวกับการจัดการผลผลิตทางการเกษตรปลอดสารพิษหรือการจัดการสีเขียว โดยใช้กระบวนการมีส่วนร่วมของประชาชนในท้องถิ่นและการแลกเปลี่ยนเรียนรู้กับทุกภาคส่วนสร้างรูปแบบการจัดการ

สีเขียวจากการหลอมรวมความรู้เก่า ความรู้ใหม่และเทคโนโลยี ICT ที่นำแนวคิดทฤษฎีที่เกี่ยวข้องด้านต่างๆ เช่นหลักปรัชญาเศรษฐกิจพอเพียง หลักธรรมาภิบาล เกษตรอินทรีย์ ข้อกำหนดด้านสุขอนามัยอาหารปลอดภัยตามมาตรฐาน MRL, GAP, GMPหลักการ HACCP, Green Supply chain Management และระบบตรวจสอบย้อนกลับ (Traceability system) อันเป็นความรู้ใหม่ร่วมกับความรู้เดิมหรือภูมิปัญญาท้องถิ่นที่ได้สังเคราะห์แล้ว นำมาพัฒนาเป็นมาตรฐานสีเขียวที่มีความเหมาะสมกับชุมชนและท้องถิ่นเพื่อให้สอดคล้องกับวิถีการดำรงชีวิตของชุมชนที่เปลี่ยนไป ขั้นที่ 3 การตรวจสอบรูปแบบ นำรูปแบบ (Model) ที่สร้างขึ้นจากการมีส่วนร่วมของทุกฝ่ายที่เกี่ยวข้องมาตรวจสอบ โดยการเชิญผู้ทรงคุณวุฒิ 1 ท่าน ปรมาจารย์การเกษตร 1 ท่าน ตัวแทนเกษตรกรปลูกพืชและเลี้ยงสัตว์ 4 ท่าน ผู้นำชุมชน 1 ท่าน นักวิชาการ 1 ท่าน ตัวแทนผู้ประกอบการ 1 ท่านรวม 9 ท่านมาวิพากษ์รูปแบบการจัดการผลผลิตทางการเกษตรปลอดสารพิษโดยการจัดเวทีเสวนาที่มุ่งประเด็นถึงประสิทธิภาพการจัดการ ศักยภาพและขีดความสามารถของชุมชนในการจัดการผลผลิตทางการเกษตรปลอดสารพิษ การตรวจสอบความรู้ในการจัดการผลผลิต ตลอดจนตัวบ่งชี้ความสำเร็จของรูปแบบการจัดการความรู้เพื่อการจัดการผลผลิตทางการเกษตรปลอดสารพิษตามความเหมาะสมและสอดคล้องกับรูปแบบการจัดการห่วงโซ่อุปทาน

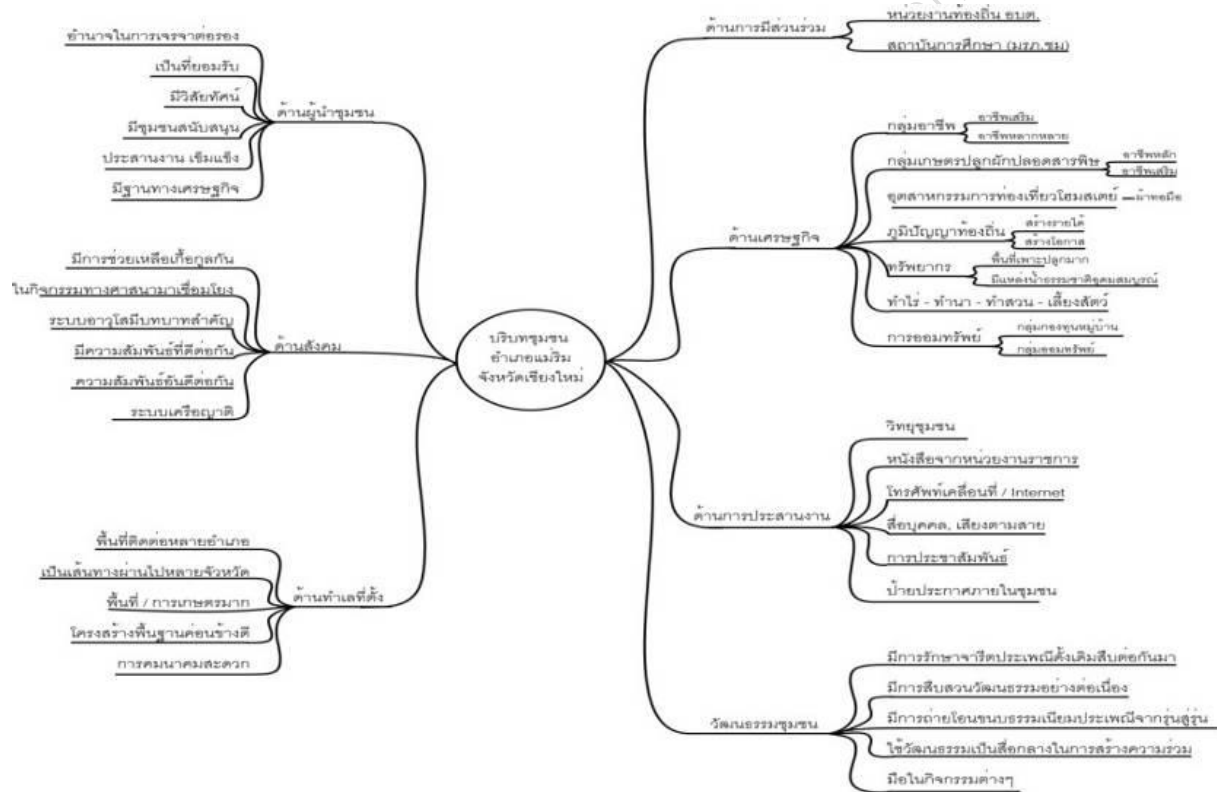
การตรวจสอบข้อมูล ภายหลังจากการจัดเสวนากลุ่มเกษตรกร ได้รวบรวมข้อมูลความรู้และกระบวนการจัดการความรู้ที่สังเคราะห์ได้มาทำการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลโดยใช้วิธีการตรวจสอบแบบเชื่อมโยงสามเส้า (Triangulation) เพื่อความถูกต้องของข้อมูล ด้วยการใช้แหล่งข้อมูลที่แตกต่างกัน และการตรวจสอบความถูกต้องโดยกลุ่มผู้ให้ข้อมูลหลัก และผู้ศึกษาใช้วิธีตีความอย่างเป็นระบบจากเอกสาร วัตถุ ร่องรอยร่วมด้วยเพื่อให้แน่ใจยิ่งขึ้นว่าข้อเท็จจริงที่ได้มีความถูกต้องเชื่อถือได้

การวิเคราะห์ข้อมูลจากเอกสารรายงานการวิจัย หนังสือบทความ วารสารสิ่งพิมพ์ การสัมภาษณ์รายบุคคล ซึ่งมีหลายรูปแบบ ทั้งการวิเคราะห์แบบอุปนัย การวิเคราะห์โดยการจำแนกชนิดข้อมูล (Typological Analysis) โดยพิจารณาข้อมูลเป็นประเภทๆ เช่น การทำ กิจกรรม ความหมาย ความสัมพันธ์ การมีส่วนร่วมในกิจกรรม และสภาพสังคม จากนั้นเป็นการวิเคราะห์เชิงเนื้อหา (Content Analysis) โดยการเปรียบเทียบข้อมูล (Constant Comparison) เพื่อประมวลประเภทของข้อมูลและคุณลักษณะเป็นหมวดหมู่เข้าด้วยกัน แล้วนำเสนอข้อสรุปบริบทชุมชน รวมทั้งขยายวงของการเปรียบเทียบ เพื่อค้นหาเหตุการณ์ที่เป็นกุญแจสำคัญของการจัดการองค์ความรู้ในการจัดการผลผลิตทางการเกษตรในรูปแบบของการพรรณาเนื้อหา

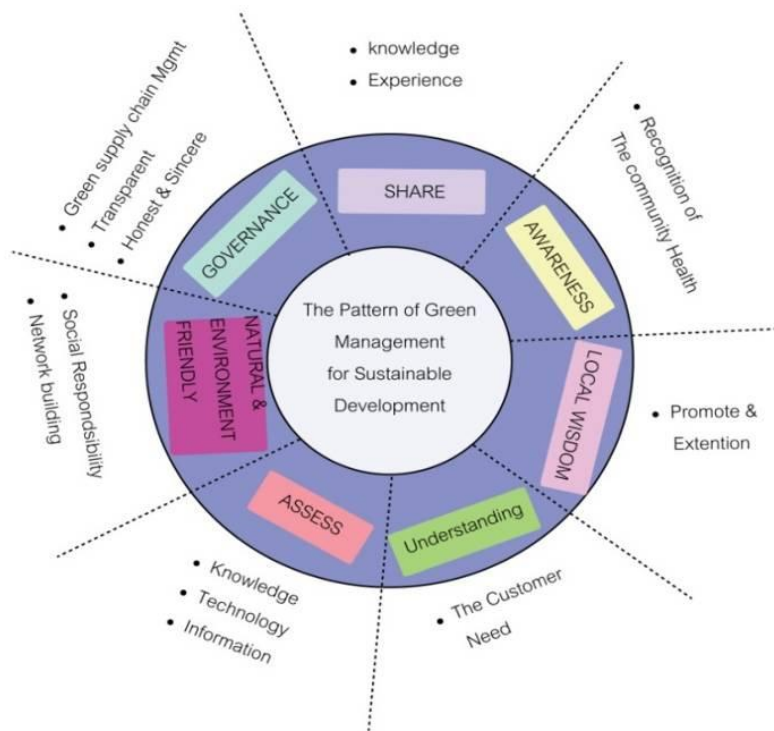
3. ผลการวิจัย (Results)

การศึกษารูปแบบการจัดการผลิตผลทางการเกษตรในประเทศไทยโดยใช้แบบจำลองการศึกษาวิจัยศักยภาพความพร้อมของชุมชนและพื้นที่เกษตรกรอำเภอแม่ริม จังหวัดเชียงใหม่ เป็นต้นแบบในการเป็นผู้ผลิตพืชอาหารปลอดสารพิษรวมทั้งการสร้างและพัฒนาารูปแบบการจัดการสีเขียว กรณีการจัดหาผลผลิตทางการเกษตรปลอดสารพิษเพื่อประกอบอาหารให้นักศึกษา บุคลากรมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ที่มีประสิทธิภาพและมีความเหมาะสมสำหรับท้องถิ่น โดยใช้กระบวนการจัดการความรู้ด้วยวิธีสัมภาษณ์ สัมภาษณ์แบบไม่มีส่วนร่วม การประชุมกลุ่มย่อย ผลการศึกษาตามวัตถุประสงค์ข้อที่ 1 พบว่าเกษตรกรในชุมชนมีศักยภาพและความพร้อมในการผลิตสินค้าทางการเกษตรแบบปลอดสารพิษในกลุ่มพืชอาหารหลักได้ตามความต้องการ (ตารางที่1) ประกอบด้วย ความพร้อมทางกายภาพของพื้นที่ที่ส่วนใหญ่มีลักษณะเป็นที่ราบเชิงเขา มีดินที่อุดมสมบูรณ์ไปด้วยแร่ธาตุและสารอาหาร มีสภาพภูมิอากาศเหมาะสมแก่การเพาะปลูก มีแหล่งน้ำอุดมสมบูรณ์ด้วยระบบชลประทาน มีน้ำไหลผ่านตลอดทั้งปี ความพร้อมทางด้านภูมิทางสังคม สามารถจำแนกบริบทขององค์ประกอบหลักที่เป็นจุดเด่นของชุมชนด้วยองค์ประกอบหลัก 7 ประการคือ 1. ด้านผู้นำชุมชน 2. ด้านสังคม 3. ด้านทำเลที่ตั้ง 4. ด้านการมีส่วนร่วม 5. ด้านเศรษฐกิจ 6. ด้านการประสานงานและ 7. ด้านวัฒนธรรมชุมชน (ภาพที่2) ความรู้ด้านกระบวนการจัดการความรู้ พบว่าชุมชน

มีองค์ความรู้ 4 ด้าน คือความรู้ด้านการจัดการเพาะปลูกแบบอินทรีย์ธรรมชาติเช่นการอนุรักษ์ดิน น้ำ ป่าไม้การคัดเลือกพันธุ์พืชไว้เพาะปลูกในฤดูกาลต่อไปการใช้อินทรีย์สารเพื่อปรับสภาพดิน น้ำ การเพิ่มธาตุอาหาร การกำจัดแมลงศัตรูพืชและระบบวนเกษตร การปลูกพืชหมุนเวียน ความรู้ด้านวัฒนธรรมชุมชน ความเชื่อเป็นกระบวนการถ่ายทอดความรู้ที่แฝงอยู่ในรูปวัฒนธรรมประเพณีต่างๆเช่นการทำขวัญข้าว การไหว้พระแม่โพสพ วัฒนธรรมในการมีส่วนร่วมของชุมชน การรวมกลุ่มกิจกรรม ความรู้ด้านเศรษฐกิจชุมชนและมีความรู้ความเข้าใจในหลักการทำการเกษตรบนฐานแห่งหลักปรัชญาเศรษฐกิจพอเพียงของพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว โดยชุมชนผ่านการปฏิบัติในวิถีชีวิตจริง ผ่านการผลิตซ้ำ ผ่านการแลกเปลี่ยนเรียนรู้อย่างเป็นทางการและไม่เป็นทางการ แต่ขาดการบูรณาการอย่างต่อเนื่องและไม่มีการจัดเก็บเป็นฐานข้อมูลความรู้อย่างเป็นระบบ วัตถุประสงค์ข้อที่ 2 ด้านรูปแบบการพัฒนาการจัดการผลิตทางการเกษตรปลอดสารพิษของชุมชนพบว่า มีการร่วมกันถอดบทเรียนของคนในชุมชนจากทุกภาคส่วน จนค้นพบรูปแบบที่เหมาะสมกับพื้นที่สามารถสรุปออกมาเป็นตัวแบบ “SALUANG MODEL” (ภาพที่3) โดยมีองค์ประกอบดังนี้ S (share) คือการแบ่งปันแลกเปลี่ยนเรียนรู้ประสบการณ์และทรัพยากรซึ่งกันและกัน และนำไปใช้ให้เหมาะสมกับพื้นที่ของตน A (awareness) การสร้างความตระหนักรู้ถึงพิษภัยของการใช้



ภาพที่ 2 โครงสร้างบริบทชุมชนและองค์ประกอบที่หนุนเสริม

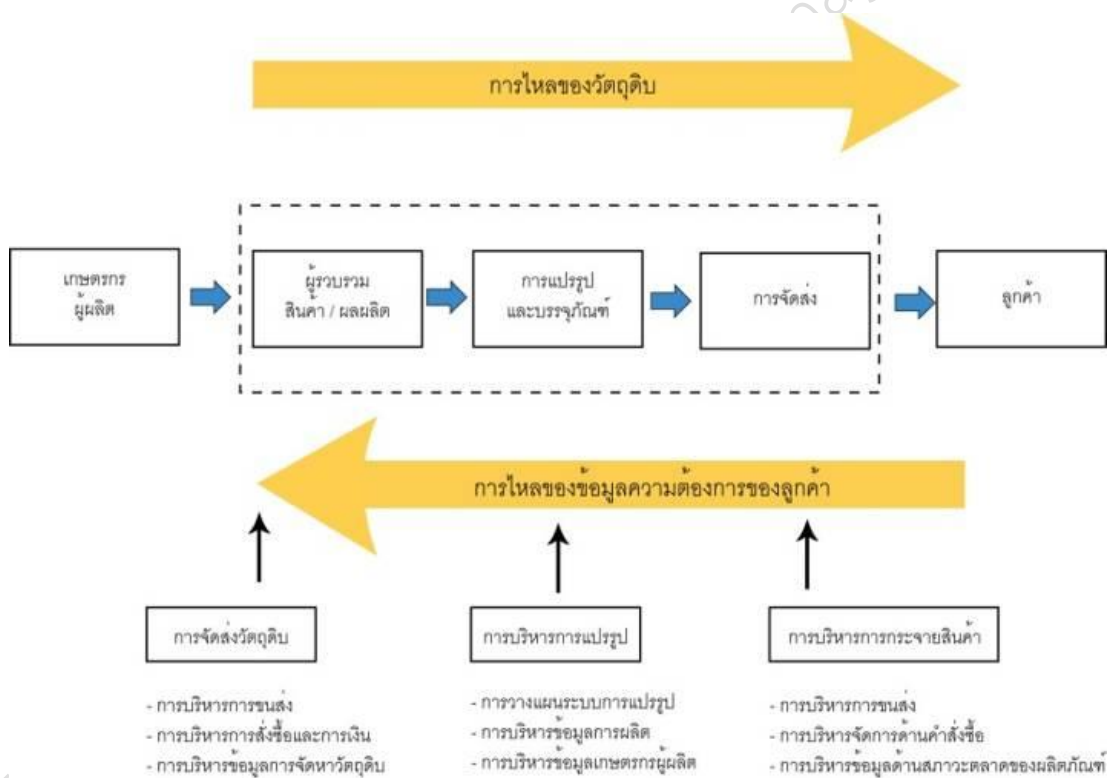


ภาพที่ 3 รูปแบบการบริหารจัดการผลผลิตทางการเกษตรปลอดสารพิษหรือ Green Management ที่เหมาะสมกับชุมชนและเพื่อการพัฒนาที่ยั่งยืน “SALUANG MODEL”

สารเคมีที่จะส่งผลกระทบต่อสุขภาพโดยรวมของคนในชุมชนและการมีจิตสำนึกในการรักษาคุณภาพของผลผลิตให้ได้มาตรฐาน ปลอดภัยอันเป็นการสร้างความตระหนักรับรู้รับผิดชอบสังคม L(local wisdom) การถ่ายทอดและการบูรณาการองค์ความรู้ภูมิปัญญาของท้องถิ่นที่เป็นอัตลักษณ์และมีคุณค่าเป็นความรู้ดั้งเดิมผสมผสานกับองค์ความรู้ใหม่เข้าด้วยกัน เพื่อพัฒนาองค์ความรู้ที่มีอยู่ให้เกิดการยกระดับการเรียนรู้ และใช้ความรู้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ U(understanding customer need) การเข้าถึงและเข้าใจความต้องการของลูกค้าหรือผู้บริโภค A(assess) สร้างโอกาสในการเข้าถึงองค์ความรู้และเน้นการสื่อสารแลกเปลี่ยนเผยแพร่ข้อมูลองค์ความรู้ระหว่างสมาชิกในชุมชนและบุคคลภายนอกอันเป็นส่วนที่จะช่วยในการสร้างเครือข่ายความสัมพันธ์กับองค์กรเครือข่ายอื่นๆ N(natural environment friendly and social responsibility) เน้นการทำเกษตรธรรมชาติเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและความรับผิดชอบต่อสังคม G(governance)การบริหารจัดการด้วยความซื่อสัตย์สุจริต โปร่งใสและเป็นธรรมด้วยระบบการจัดการห่วงโซ่อุปทานสีเขียว (green supply chain management) สามารถตรวจสอบย้อนกลับถึงแหล่งที่มา ได้ทุกขั้นตอน ด้วยกระบวนการ Tracking และ Tracing (ภาพที่4) มีการแบ่งหน้าที่รับผิดชอบอย่างชัดเจนและเป็นระบบ เป็นการสร้างความเข้มแข็งให้กับชุมชนด้วยการบริหารจัดการโดยคนในชุมชนเอง (ภาพที่ 5)



ภาพที่ 4 ระบบการตรวจสอบย้อนกลับตลอดกระบวนการ (Traceability)



ภาพที่ 5 แสดงองค์ประกอบของระบบโลจิสติกส์และการจัดการผลผลิตทางการเกษตรที่เกี่ยวข้อง

ตารางที่ 1 โครงการสำรวจความพร้อมของชุมชนในการผลิต ผลิตภัณฑ์ของเกษตรกรเพื่อป้อนโรงอาหาร ม.ราชภัฏเชียงใหม่
ต. สะलग ต. ขี้เหล็ก ต. ห้วยทราย อ.แมริม จ.เชียงใหม่

ลำดับ	ชนิดพืช	พื้นที่การผลิต			ผลผลิตที่ได้		
		ปลอดสาร	แบบทั่วไป	อินทรีย์	ปลอดสาร	แบบทั่วไป	อินทรีย์
		(ไร่)	(ไร่)	(ไร่)	(กิโลกรัม)	(กิโลกรัม)	(กิโลกรัม)
พืชผัก							
1	กวาดต้ง	40	80	-	3,200	64,000	-
2	ผักกาดขาวปลี	80			6,400	72,000	-
		120	-				
3	แครอท	30	180	-	2,400	124,000	-
4	กระหล่ำดอก	15	40	-	900	20,000	-
5	กระหล่ำปลี	7	200	-	4,800	160,000	-
6	บร็อกโคลี่	7	20	-	800	14,000	-
7	เห็ดโคนน้อย	1	-	-	500/วัน	-	-
8	เห็ดหอม	0.5	-	-	200/วัน	-	-
9	หัวผักกาด	14	160	-	1,200	-	-
10	ถั่วฝักยาว	6	80	-	480	64,000	-
11	ผักบุ้งจีน	10	20	-	8,000	1,600	-
12	มะเขือเจ้าพระยา	15	150	-	1,350	105,000	-
ข้าว/ปี							
1	เหนียว/สันป่าตอง	66	11,000	15	5,280	7,414	-
2	เจ้า/มะลิ105	-	878		-	452	-
ข้าว/ปรัง							
1	เหนียว/สันป่าตอง	-	6,087	50	-	3,939	4,000
2	ปทุมธานี 1		400	-	-	254	-
ไม้ผล							
ลิ้นจี่							
1	ลิ้นจี่	-	594	-	-	400	-

ที่มา: สำนักงานเกษตรอำเภอแมริม จังหวัดเชียงใหม่ ธ.ค.2555

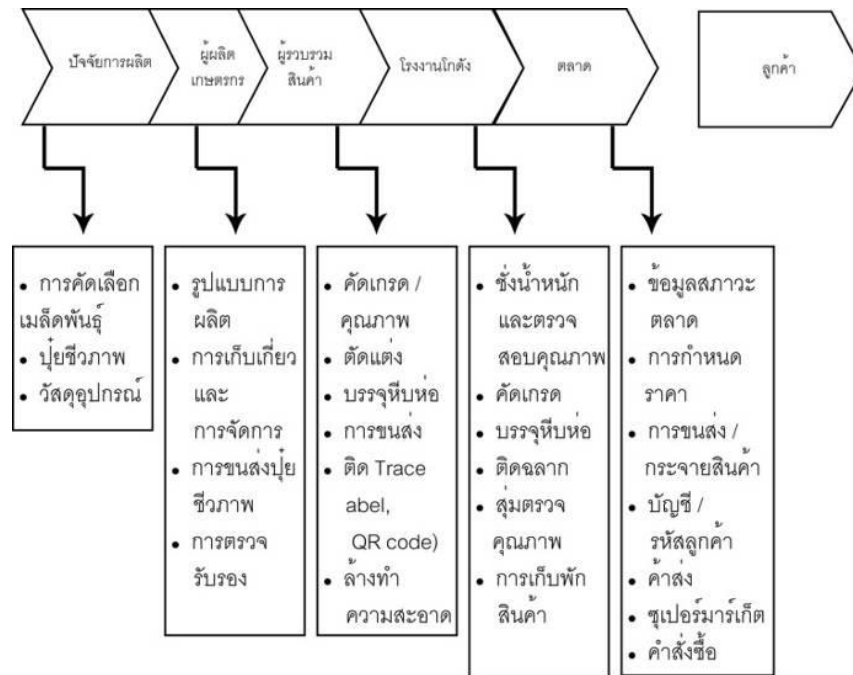
4. อภิปรายผล (Discussion)

จากการสำรวจพื้นที่สรุปข้อมูลบริบทชุมชนอำเภอแมริม พบว่าปัจจัยที่เป็นองค์ประกอบบริบทชุมชนที่เกื้อหนุนการดำเนินงานบริหารจัดการผลผลิตทางการเกษตรปลอดภัยให้ประสบความสำเร็จมี 7 ด้าน คือ (1) ผู้นำชุมชน โดยภาพรวมแล้วผู้นำมีอำนาจต่อรองสูง มีบารมีและเป็นที่ยอมรับ มีวิสัยทัศน์ มีอิทธิพลและมีการประสานงานอย่างเข้มแข็ง มีฐานะทางเศรษฐกิจดี (2) สังคมโดยรวมของทั้งสามตำบล ในภาพรวมแล้วมีการช่วยเหลือซึ่งกัน และกัน โดยใช้กิจกรรมทางศาสนามาเชื่อมโยง ผู้นำอาวาสมีบทบาทสำคัญในการทำกิจกรรมภายในชุมชนและมีสายสัมพันธ์อันดีต่อกัน และใช้ระบบเครือญาติ (3) ทำเลที่ตั้งหรือสภาพภูมิศาสตร์อยู่ติดกับอำเภอเมืองและตั้งอยู่บนถนนสายหลักที่เป็นเส้นทางผ่านสามารถเชื่อมโยงได้หลายอำเภอ พื้นที่สำหรับการเกษตร มีจำนวนมาก โครงสร้างพื้นฐานค่อนข้างดีและมีความสะดวกในการเดินทาง (4) การมีส่วนร่วมของผู้มีส่วนเกี่ยวข้อง โดยกิจกรรมของกลุ่มชุมชนส่วนใหญ่มีหน่วยงานภาครัฐ หน่วยงานท้องถิ่น (อบต.) สถาบันการศึกษาให้การสนับสนุน (5) ด้านเศรษฐกิจ พื้นที่ทั้งสามตำบล มีกลุ่มอาชีพหลายกลุ่ม โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเป็นการสร้างอาชีพเสริม

มีการประยุกต์ใช้ภูมิปัญญาในท้องถิ่นเพื่อเพิ่มรายได้และสร้างโอกาส เช่นกลุ่มผ้าทอมือ ท่องเที่ยวเชิงนิเวศ โฮมสเตย์ มีการทำไร่นา สวนผสม เป็นต้น (6) ด้านการประสานงาน เน้นการใช้เครื่องมือสื่อสารเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพ อาทิเช่น วิทยุชุมชน หอกระจายข่าว หนังสือจากหน่วยงานราชการ โทรศัพท์เคลื่อนที่ สื่อบุคคล การประชาสัมพันธ์และป้ายประกาศจากชุมชน และInternetตำบล (7) วัฒนธรรมชุมชน คือ การใช้ทุนทางสังคมให้เกิดมูลค่าเพิ่ม มีการสานต่อวัฒนธรรมอย่างต่อเนื่อง มีการถ่ายทอดขนบธรรมเนียมประเพณีรุ่นลูก รุ่นหลานอย่างต่อเนื่อง และ ใช้วัฒนธรรมเป็นสื่อกลางในการสร้างความร่วมมือภายในชุมชน ซึ่งสอดคล้องกับแนวคิดของUnited Nation (1975, p. 4) ได้สรุปว่าการมีส่วนร่วม เป็นกระบวนการเกี่ยวกับการกระทำ และเกี่ยวข้องกับมวลชนในระดับต่าง ๆ อาทิเช่น กระบวนการตัดสินใจ ซึ่งตัดสินใจเกี่ยวกับจุดประสงค์ ทางสังคม และการจัดสรรทรัพยากร และเป็นการกระทำโดยสมัครใจต่อกิจกรรมและโครงการต่างๆในชุมชน ซึ่งเปิดโอกาสให้ประชาชนได้มีส่วนร่วมในการคิดริเริ่ม การพิจารณาตัดสินใจ การร่วมปฏิบัติและร่วมรับผิดชอบในเรื่องต่างๆ อันมีผลกระทบถึงประชาชนเอง (ยูวัน วุฒิเมธิม, 2526,หน้า 20) และผลลัพธ์เชิงสังคม คือ การประยุกต์ใช้ภูมิปัญญาชาวบ้าน คุณภาพชีวิตที่ดี ความเข้มแข็งของชุมชน และสอดคล้องกับแนวคิดของ Chapin, (1977, p. 317) ได้กล่าวว่า การมีส่วนร่วมของประชาชนทางสังคมดูได้จากลักษณะต่าง ๆ ที่แสดงออก คือ การเป็นสมาชิกกลุ่มการเข้าร่วมกิจกรรม ต่าง ๆ การบริจาคเงินทอง วัสดุ สิ่งของ และการเสียสละเวลา แรงงาน การเงิน การเป็นสมาชิกของคณะกรรมการและการเป็นผู้ดำเนินการในกิจการนั้น ๆ โดยตรงเช่นเดียวกัน

โดยสรุปรูปแบบการบริหารจัดการแบบทุกฝ่ายมีส่วนร่วมกันคิดค้นและได้สรุปบทเรียนเป็นองค์ความรู้เป็นแม่แบบที่เรียกว่า “SALUANG MODEL” ที่สามารถนำไปปรับใช้กับพื้นที่อื่นๆได้ ซึ่งผลการวิจัยนี้สอดคล้องกับแนวคิดของ Tracey (1998,pp.65-81) ที่กล่าวถึงการบริหารจัดการโซ่อุปทานเป็นการเสริมสร้างผลประโยชน์และพันธมิตรทางธุรกิจที่เข้มแข็ง โดยผู้มีส่วนเกี่ยวข้องร่วมกันตัดสินใจทางเลือกในการทำกิจกรรม การพยากรณ์ความต้องการ และส่งผ่านข้อมูลให้กับสมาชิกในโซ่อุปทาน(ภาพที่6) โดยอาศัยหลักการบริหารร่วมกัน ซึ่งเน้นผลประโยชน์ร่วมกัน ทั้งในด้านสิ่งแวดล้อมทางกายภาพ และนำเอาระบบสารสนเทศมาใช้เป็นเครื่องมือในการดำเนินงานเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพและสามารถตรวจสอบข้อมูลได้ทุกขั้นตอน

ข้อคิดเห็นในการวิจัย จากการลงพื้นที่ร่วมแลกเปลี่ยนความรู้และประสบการณ์การปลูกพืชแบบปลอดสารพิษของชุมชนพบว่าเกษตรกรส่วนใหญ่ยังขาดความรู้ความเข้าใจในการปลูกพืชแบบปลอดสารหรือแบบอินทรีย์ และมีเกษตรกรจำนวนน้อยที่ผ่านการอบรม ซึ่งการให้การฝึกอบรมจะเป็นการสร้างจิตสำนึกที่ดีของการมองเห็นคุณค่าของการทำการเกษตรอินทรีย์ที่ชุมชนมีการดำเนินการ อันเป็นจุดเริ่มต้นที่จะค่อยๆปรับเปลี่ยนวิถีชีวิต เป็นการเพาะปลูกแบบเกษตรอินทรีย์โดยพึ่งพาวิถีแห่งธรรมชาติเป็นหลัก ในอันที่จะยังผลให้เกิดการมีสุขภาพที่ดี ปราศจากโรคภัยไข้เจ็บทั้งผู้ปลูกและผู้บริโภคทั้งจะทำให้สิ่งแวดล้อมคงความอุดมสมบูรณ์ของทรัพยากรธรรมชาติสืบต่อไปชั่วลูกชั่วหลาน



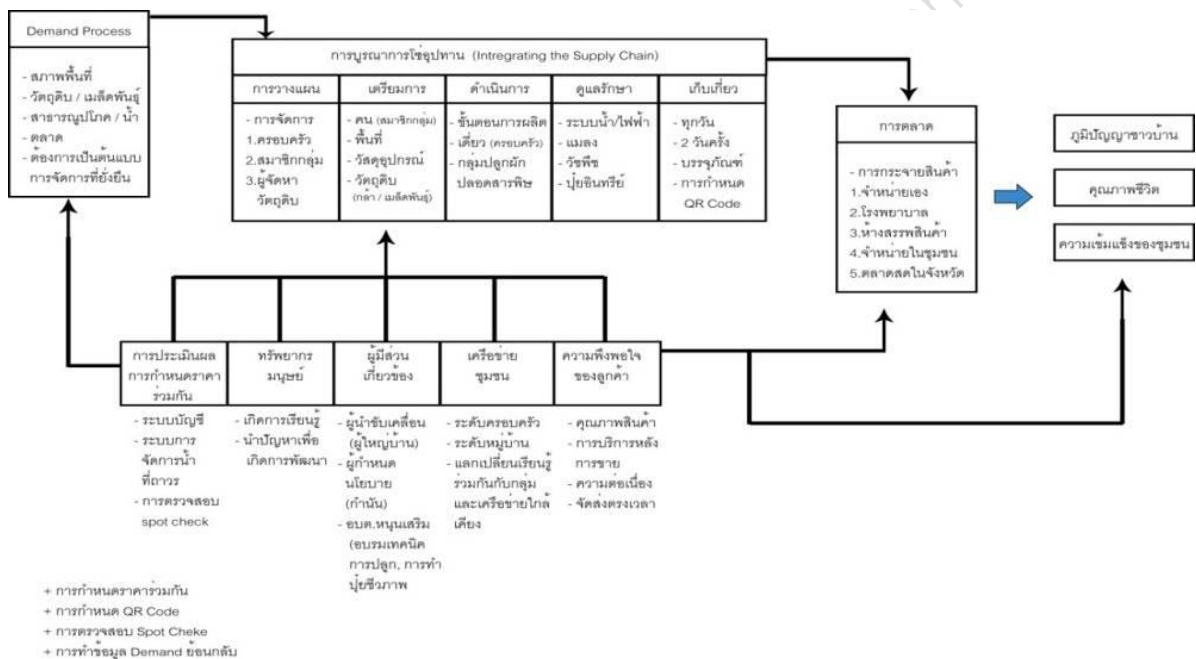
ภาพที่ 6 กรอบแนวคิดในการบริหารจัดการ supply chain สินค้าเกษตรปลอดภัย

5. สรุปผล (Conclusion)

สรุปผลการวิจัยหลังจากได้ทำการสำรวจศักยภาพความพร้อมของพื้นที่พบว่าพื้นที่ที่มีความเหมาะสมในการเพาะปลูกพืชได้หลายชนิดและในด้านความรู้พื้นฐานทางด้านการทำการเกษตรปลอดภัยของชุมชน แสดงให้เห็นว่าเกษตรกรในชุมชนมีความรู้เกี่ยวกับการทำการเกษตรปลอดภัย แต่ยังขาดการจัดเก็บความรู้อย่างเป็นระบบ และขาดการส่งเสริมสนับสนุนอย่างต่อเนื่องจนไม่สามารถประกอบอาชีพได้อย่างมั่นคง จากการรายงานข้อมูลขององค์การอาหารและยาแห่งสหประชาชาติ (UN.2008) ระบุว่าประเทศไทยส่งออกสินค้าอาหารลดลงทั้งๆที่แนวโน้มความต้องการสินค้าจำพวกอาหารในตลาดโลกสูงขึ้นสืบเนื่องมาจากการใช้ปุ๋ยเคมี สารเคมีกำจัดศัตรูพืช และฮอร์โมนพืชสังเคราะห์เป็นต้น ส่งผลให้เกิดปัญหาต่างๆตามมาเป็นลูกโซ่ไม่ว่าจะเป็นปัญหาดินเสื่อมสภาพ ขาดความอุดมสมบูรณ์ ปัญหาการระบาดของโรคและแมลง การสูญเสียความหลากหลายทางชีวภาพในแปลงเกษตร ปัญหาสารพิษตกค้างในสิ่งแวดล้อม ปัญหาปุ๋ยและสารเคมีมีราคาแพงทำให้เกิดการลงทุนสูง ในขณะที่ราคาผลผลิตไม่ได้สูงขึ้นตามสัดส่วนของต้นทุนที่สูงขึ้น ทำให้เกษตรกรขาดทุนและมีหนี้สิน เพราะต้องพึ่งพาปัจจัยภายนอกเพื่อนำมาเพิ่มผลผลิต รวมทั้งก่อให้เกิดปัญหาด้านสุขภาพของเกษตรกรและผู้บริโภคเนื่องจากสารพิษตกค้างในผลิตผลทางการเกษตรและสิ่งแวดล้อม

จากการศึกษาแนวทางแก้ไขปัญหาดังกล่าวพบว่า เกษตรกรได้หันมาทำการเกษตรปลอดภัยหรือเกษตรอินทรีย์ซึ่งนับได้ว่าเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่สามารถนำมาใช้แก้ปัญหาจากการทำเกษตรเคมีได้อย่างมีประสิทธิภาพ เนื่องจากเป็นระบบการผลิตทางการเกษตร ที่หลีกเลี่ยงการใช้สารสังเคราะห์ไม่ว่าจะเป็นปุ๋ยเคมี สารเคมีกำจัดศัตรูพืชและฮอร์โมนต่างๆ แต่มุ่งเน้นไปที่อินทรีย์วัตถุ เช่น ปุ๋ยคอก ปุ๋ยหมัก ปุ๋ยพืชสดและปุ๋ยชีวภาพในการบำรุงดินให้มีความอุดมสมบูรณ์ ส่งเสริมการปลูกพืชหมุนเวียนหรือใช้อินทรีย์วัตถุต่างๆปกคลุมหน้าดินอยู่เสมอ สร้างความหลากหลายที่สัมพันธ์กันอย่างสมดุลในระบบนิเวศน์ โดยการปลูกพืชร่วมกันหลายชนิด ซึ่งนับเป็นการใช้ประโยชน์จากทรัพยากรธรรมชาติอย่างมีประสิทธิภาพและยังเป็นการลดความเสี่ยงจากปัญหาโรคและแมลงศัตรูพืชระบาด รวมถึงเน้นให้มีการให้ศัตรูธรรมชาติ ควบคุมศัตรูพืชเองโดยไม่ใช้สารเคมี ซึ่งเป็นการสร้างสมดุลในระบบนิเวศทางการเกษตรอีกวิธีหนึ่ง ในด้านการสร้างความมั่นคงทางอาหาร การพัฒนาเกษตรทฤษฎีใหม่ สนับสนุนการทำเกษตรอินทรีย์ธรรมชาติ เกษตรผสมผสานและวนเกษตรที่สอดคล้องกับความต้องการของชุมชน เพื่อลดการ

ใช้สารเคมีและเพิ่มมูลค่าสินค้าเกษตร สอดคล้องและสนับสนุนตามแนวเศรษฐกิจพอเพียง ของพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว ซึ่งเป็นปรัชญาแนวทางปฏิบัติตนให้ดำรงชีวิตของประชาชนทุกระดับให้มีความพอเพียง ซึ่งหมายถึง ความพอประมาณ ความมีเหตุผล มีระบบภูมิคุ้มกันในตัวที่ดี แต่ทั้งนี้ต้องอาศัยความรู้ ความรอบคอบและความระมัดระวัง ในการดำเนินชีวิตของตนเองและครอบครัวให้มีความพออยู่ พอกิน มีรายได้ ด้ลดรายจ่ายและมีการเก็บออมไว้ใช้เมื่อจำเป็น เมื่อรวมกับการนำเอาความรู้ใหม่ที่เป็นหลักการของการบูรณาการในรูปแบบการจัดการห่วงโซ่อุปทานผลผลิตการเกษตรปลอดภัย (ภาพที่ 7) เป็นกรอบในการดำเนินกิจกรรม โดยเริ่มจากการนำเอาความต้องการของตลาดหรือผู้บริโภค มาวางแผนดำเนินการร่วมกันในแต่ละภาคส่วนกระทั่งกำหนดระยะเวลาการเก็บเกี่ยว การรวบรวมผลผลิต การขนส่งสินค้าและกระจายสินค้าไปสู่ผู้บริโภคหรือตลาด ซึ่งแต่ละขั้นตอนได้คำนึงถึงผลกระทบต่อสุขภาพ สิ่งแวดล้อมและต่อสังคม การดำเนินการด้วยความสุจริต โปร่งใส ยุติธรรมสามารถตรวจสอบแหล่งที่มาของสินค้าได้ทุกขั้นตอน ตลอดกระบวนการ ด้วยระบบตรวจสอบย้อนกลับหรือ Traceability ที่มีระบบการจัดการโดยทุกฝ่ายมีส่วนร่วม ซึ่งชุมชนได้ร่วมกันคิดค้นและจัดสร้างรูปแบบการจัดการผลผลิตทางการเกษตรแบบปลอดภัยที่เหมาะสมกับท้องถิ่นเป็นต้นแบบที่เรียกว่า “SALUANG MODEL” ที่ทำให้ทุกฝ่ายได้รับความพึงพอใจ และสามารถนำรูปแบบไปปรับใช้กับพื้นที่อื่นๆได้อย่างแท้จริง



ภาพที่ 7 รูปแบบการจัดการโซ่อุปทานผลผลิตการเกษตรปลอดภัย

ข้อเสนอแนะ(Recommendation)จากงานวิจัย ผู้วิจัยขอเสนอแนวทางให้หน่วยงานที่เกี่ยวข้องควรที่จะดำเนินการด้านต่างๆดังต่อไปนี้ 1.การส่งเสริมและให้ความรู้ด้านการใช้ปุ๋ยหรือสารเคมีอย่างถูกต้อง และฝึกอบรมการทำปุ๋ยชีวภาพให้เกษตรกรใช้เอง 2.ควรให้ความรู้ในเรื่องการใช้สารชีวภาพอย่างถูกวิธี มีประสิทธิภาพและทำการศึกษาค้นคว้าการผลิตสารชีวภาพจากพืชหรือวัสดุชนิดอื่นๆที่มีผลออกฤทธิ์แก่ศัตรูพืชหรือเป็นประโยชน์แก่พืชที่ปลูก แต่ไม่เป็นอันตรายต่อผู้บริโภคหรือผู้ที่เกี่ยวข้อง 3.ควรสนับสนุนการรวมกลุ่มของเกษตรกรโดยการสร้างเครือข่ายวิสาหกิจ (Cluster) เชื่อมกับเกษตรกรพื้นที่อื่นๆทั้งในระดับชุมชน หมู่บ้าน ตำบลอำเภอ จังหวัด และภูมิภาค เพื่อแลกเปลี่ยนประสบการณ์ข้อมูลข่าวสารวิชาการ สินค้าและตลาด เพื่อความมั่นคงทางอาชีพ และการขยายตลาดในอนาคต เพื่อให้มีผลผลิตที่มากพอที่จะขายไปสู่ตลาด โมเดิร์นเทรดหรือภาคอุตสาหกรรมและการส่งออกเพื่อการยกระดับการมีเสถียรภาพราคาจำหน่าย และเพิ่มอำนาจต่อรอง เพื่อให้ได้มาตรฐานและคุณภาพสินค้าบริการ รวมทั้งเติมเต็มความต้องการของตลาดและการรักษาลูกค้า โดยไม่ต้องจัดการผ่านพ่อค้าคนกลาง 4. สนับสนุนให้มีการทำระบบการเกษตรแบบมีสัญญาผูกพัน (Contract Farming) เพื่อความมั่นคงด้านการตลาด

และการประกันราคาให้ได้ผลผลิตที่มีคุณภาพ 5. ส่งเสริมและสนับสนุนให้เกษตรกรได้ตระหนักถึงความสำคัญของการทำระบบเกษตรที่ดีที่เหมาะสม (Good Agriculture Practice)(GAP) ระบบการผลิตอาหารที่ดี (Good Manufacturing Practice) (GMP) และการกำหนดเขตพื้นที่ในการเพาะปลูกพืชปลอดสารพิษ (Zoning) และควบคุมเรื่องการใช้สารเคมี 6. เมื่อผลผลิตมีคุณภาพได้มาตรฐานตามข้อกำหนดอาหารปลอดภัย ควรส่งเสริมให้มีการสร้างแบรนด์หรือตราสินค้าของตนเองเพื่อให้เป็นสัญลักษณ์ของกลุ่มหรือชุมชนจะได้ยึดถือและรักษาชื่อเสียงเอกลักษณ์ให้เป็นที่ยอมรับกันในระดับสากล 7. ควรใช้มาตรการที่ไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการตรวจสอบสารพิษตกค้าง หรือการลดขั้นตอนในการดำเนินงานการออกหนังสือรับรองสินค้า และจัดให้มีห้องปฏิบัติการตรวจสอบการตรวจรับรองมาตรฐานโดยหน่วยงานของรัฐ 8. ควรให้การอบรมความรู้ในการใช้สื่อ ICT ในการค้นหาข้อมูลหรือเผยแพร่แลกเปลี่ยนประสบการณ์ความรู้ด้านการเกษตรปลอดสารพิษโดยมีหน่วยงานส่งเสริมเกษตรกรเป็นพี่เลี้ยงด้านวิชาการ อบรมและสถาบันการศึกษาให้การสนับสนุนด้านเทคโนโลยีและการทำ Web Base หรือ Home Page ของกลุ่ม 9. ควรมีการรณรงค์ส่งเสริมให้ความรู้และการตระหนักถึงโทษหรือพิษภัยของสารเคมีตกค้าง รวมถึงความสำคัญของการบริโภคอาหารที่มีความปลอดภัยกับสุขภาพแก่เกษตรกร ผู้ประกอบการและประชาชนทั่วไป

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณศาสตราจารย์เกียรติคุณ ดร.มนัส สุวรรณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์จรัสศักดิ์ สุรังคพิพรรณ์ อาจารย์ ดร.ณัฐยา ตันตรานนท์ อาจารย์ ดร.วรจิตต์ เศรษฐพรรค ที่ได้ให้ความรู้และคำแนะนำในการทำวิจัยอย่างต่อเนื่อง ขอขอบคุณผู้นำชุมชนและเกษตรกรอำเภอแมริม ผู้ให้ข้อมูลและผู้เข้าร่วมกระบวนการวิจัย ซึ่งเป็นเจ้าของพื้นที่ทำการศึกษา ที่มีส่วนร่วมในการวิจัยให้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

7. เอกสารอ้างอิง (Reference)

- [1] การตรวจสอบย้อนกลับ (Traceability), (2550). ณ ระดับโรงสี (ออนไลน์) 15 ตุลาคม, จาก <http://www.ryt9.com/news/2007-10-15-28347206/>
- [2] ปรีชา เปี่ยมพงศ์สานต์, (2552). ความพอเพียงทางนิเวศและความยุติธรรม. File: Eco-Sufficiency and Social Justice. pdf.195.15kb
- [3] ปาริชาติ วิสุทธิสมาจารย์, (2547).รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ เรื่องสถานการณ์และผลกระทบต่อสุขภาพของการใช้สารเคมีในภาคการเกษตรกรรม. กรณีศึกษาพื้นที่ตำบลบางเหริ่ง อำเภอควนเนียง จังหวัดสงขลา.
- [4] พิบูล อิสระพันธุ์, (2554). สถานการณ์การเจ็บป่วยด้วยโรคการใช้สารกำจัดศัตรูพืชในประเทศไทย. เอกสารประกอบการประชุมวิชาการเพื่อการเฝ้าระวังสารเคมีทางการเกษตร.
- [5] ยุวัฒน์ วุฒิเมธี, (2526).หลักการพัฒนาชุมชนและการพัฒนาชุมชน(พิมพ์ครั้งที่ 1):กรุงเทพมหานคร.ไทยอนุเคราะห์ไทย.
- [6] วิจารย์ พานิช, (2547). การจัดการความรู้กับการบริหารราชการแนวใหม่. สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาระบบราชการ(ก.พ.ร.) : Knowledge Center, (Online), Available. : www.opde.go.th/knowledge/webknowledge_page.php.
- [7] วิทยา สุทธิดำรง, (2545).การจัดการโซ่อุปทาน.กรุงเทพฯ: เพียร์สัน เอ็ดดูเคชั่น อินโดไชน่า. (2546). โลจิสติกส์และการจัดการโซ่อุปทาน อธิบายได้...ง่ายขึ้นทีเดียว.กรุงเทพฯ: ซีเอ็ดดูเคชั่น.
- [8] อาริวรรณ คูสันเทียะ, (2550). สถานการณ์สารเคมีทางการเกษตร ความเสี่ยงและผลกระทบในภาพรวม. เอกสารประกอบการประชุมวิชาการเพื่อการเฝ้าระวังสารเคมีทางการเกษตร. แผนงานสนับสนุนความมั่นคงทางอาหาร.
- [9] Antonino Vaccaro, Dalia Patino Echeverri , 2010. "Corporate Transparency and Green Management", Journal of Business Ethics 95: 487-506.
- [10] Aref A. et al, 2005. "Performance measurement for green supply chain management", Benchmarking : An International Journal, Vol. 1, Iss: 4, pp.330 – 353.

- [11] Barbara Bodorkos, Gyorgy Pataki, 2009. "Linking academic and local knowledge: community-based research and service learning for sustainable rural development in Hungary", Environmental Social Science Research Group (ESSRG), Szent Istvan University, Journal of Cleaner Production 17,p.1123-1131.
- [12] Bacallan, J.J., 2000. Greening the supply chain , Business and Environment, Vol. 6 No. 5, pp. 11-12.
- [13] Bohlen, Diamantopolous and Schlegelmilch, 1995. "Consumer perceptions of the environmental impact of an industrial service."Marketing Intelligence & Planning, Vol. 11 No. 1: 37-48.
- [14] Chapin, Harry, 1977. Fordham University Bronx, New York, USA. November 27. Diane Holt, Abby Ghobadian, 2009. "An empirical study of green supply chain management Practices amongst UK manufacturers", Journal of Manufacturing Technology Management, Vol. 20 Iss: 7, pp.933 – 956.
- [15] E. Schmidt, 2004. "Consumer Willingness to Pay for Environmentally Friendly Produced Vegetables in Thailand." Proc. XVth IS on Hort Econ &Manag : 107 – 113.
- [16] GSI Global Traceability Standard, 2010. Standard Document, ISSUE 1.2.2, Mar.
- [17] Gyaneshwar Singh Kushwaha, 2010. "Sustainable development through strategic green supply chain management",I.J.E.M.S.,Vol.1(1):7-11.
- [18] Joseph Sarkis and Yong Geng, 2005. "Green supply chain management in China :pressures, practices and performance", International Journal of Operations & Production Management, Vol. 25 Iss: 5, pp.449 - 468 .
- [19] Kenneth W. et al, 2012. "Green supply chain management practices: impact on performance", Supply Chain Management: An International Journal, Vol. 17 Iss: 3, pp.290 – 305.
- [20] Laroche, M., et al, 2001. "Targeting consumers who are willing to pay more for environmentally friendly products." Journal of Consumer Marketing, Vol. 18, No. 6: 503–520.
- [21] Lopez- Ridaura. Et al, 2002. Evaluating the Sustainability of complex Socio-Environmental Systems. The Mesmis Framework, Ecological Indicators, 35:1-14 (ISI,FI:1.576)ISSN 1470-160X.
- [22] Miodrag MITIC , 2009. Fresh Product Traceability, EAN International, Uniform code council. Inc., Rue Royale 145,1000. Brussel.
- [23] Peeraya Somsak and Markus Blut., 2010. An Evaluation of Buying Behaviors and Perception of Organic Vegetable Consumer in Chiang Mai Province, The Asian Business and Management Conference
- [24] Rao, P., 2002. Greening of the supply chain: a new initiative in South East Asia', International Journal of Operations & Production Management, Vol.22 No. 6,pp.632-655.
- [25] Samir K.Srivastava ,2007."Green Supply- Chain Management: A state-of-the-art literature Review, International Journal of Management reviews, Vol. 9 Issue 1 pp.53-80.
- [26] Sangkumchalianga, P & W C Huang., 2012. "Consumers' Perceptions and Attitudes of Organic Food Products in Northern Thailand". International Food and Agribusiness Management Review.1(15) 87-102.
- [27] Tracey,M., (1998). The Importance of Logistics Efficiency To Customer Service and Firm Performance, The International Journal of Logistic Management. 9(2):

ภาคผนวก ; ภาพประกอบการลงพื้นที่วิจัย



ภูมิปัญญาการใช้พลังงานธรรมชาติคุณครูหัตถ์สวดน้ำเข้าแปลงผักและไร่ของของกลุ่มเกษตรกรบ้านนาหูก ต.สะलग อ.แมริม จ. เชียงใหม่



แปลงผักปลอดสารพิษและนาข้าวอินทรีย์ บ้านหัวฝาย ต.ห้วยทราย อ.แมริม จ.เชียงใหม่



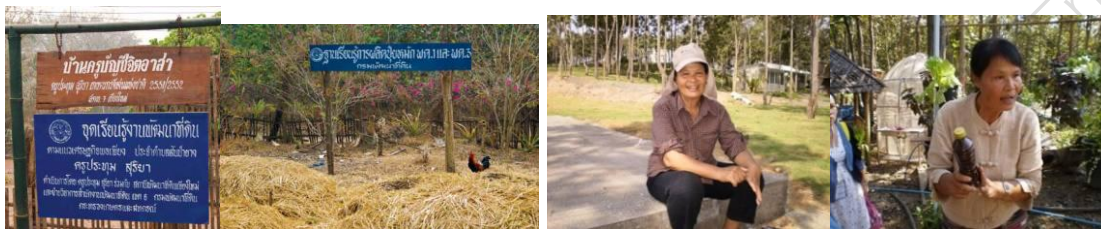
นาข้าวอินทรีย์แบบขั้นบันได และไร่ถั่วเหลืองปลูกหมุนเวียนของเกษตรกรบ้านสะलगโน ต.สะलग อ.แมริม จ.เชียงใหม่



แปลงผักปลอดสารพิษเกษตรกรบ้านชี้เหล็กหลวง ต.ชี้เหล็ก อ.แมริม จ.เชียงใหม่



โครงการไร่นาสวนผสมและเกษตรผสมผสาน บ้านสะลงโน ต.สะลง อ.แมริม จ.เชียงใหม่ การทำปุ๋ยชีวภาพ



ศูนย์การเรียนรู้ของครูภูมิปัญญาเกษตรกรคุณครูประทุม สุริยา ปราชญ์การเกษตรของแผ่นดิน



ที่ทำน้ำส้มคว้นไม้ลุงอินตุ

ศูนย์การเรียนรู้เกษตรกร และแปลงนาข้าวแบบเกษตรอินทรีย์ของ นายพิรุณ ดมไม้



เวทีเสวนาสรุบทเรียนเกษตรกรและผู้ทรงคุณวุฒิร่วมกันแลกเปลี่ยนเรียนรู้ และการประชุมกลุ่มย่อย



ตัวอย่างบรรจุภัณฑ์ และการติด Label QR.& Bar code ของกลุ่มผู้ประกอบการ “ผักไทย” ก่อนนำสู่ตลาดและผู้บริโภค

การจำลองการไหลของอากาศในห้องเย็นโดยใช้เทคนิคการคำนวณทางพลศาสตร์ของไหล Air flow Simulation in a Cold Storage Room Using Computational Fluid Dynamics Techniques

ภัทรฤทัย คำแสง*, ขนวัฒน์ นิตศน์วิจิตร, จาตุพงศ์ วาฤทธิ์, สมเกียรติ จตุรงค์ล้ำเลิศ

สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้

63 หมู่ 4 ตำบลหนองหาร อำเภอสันทราย จังหวัดเชียงใหม่ 50290

porthai_may@hotmail.com

บทคัดย่อ

การรักษาคุณภาพผลิตภัณฑ์เป็นสิ่งสำคัญสำหรับอุตสาหกรรมแปรรูปผักและผลไม้แช่แข็ง ตำแหน่งการจัดวางผลิตภัณฑ์ในห้องเย็นส่งผลต่อการกระจายตัวของอากาศภายในห้องเย็นและอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ เทคนิคการคำนวณทางพลศาสตร์ของไหลถูกนำมาใช้ในการจำลองการไหลด้วยคอมพิวเตอร์เพื่อช่วยลดเวลาและค่าใช้จ่ายในการทำงานจริง ซึ่งผลการจำลองการไหลสามารถอธิบายถึงรูปแบบการไหลของอากาศภายในห้องเย็นที่เกี่ยวกับสภาวะเชิงความร้อน ทิศทางและความเร็ว งานวิจัยนี้จำลองการไหลในห้องเย็นขนาด $43.5 \times 54.7 \times 7.05$ ลบ.ม. ซึ่งใช้โมเดลการไหลแบบปั่นป่วน k- ϵ เพื่อวิเคราะห์การกระจายตัวของอากาศภายในห้องเย็นโดยตรวจสอบความถูกต้องของผลจำลองการไหลด้วยข้อมูลตรวจวัดความเร็วอากาศ ซึ่งผลการสอบเทียบเป็นที่น่ายอมรับ นำไปสู่การจำลองการไหลของอากาศซึ่งเปรียบเทียบการจ่ายอากาศเย็นด้วยกล่องจ่ายอากาศกับตะแกรงจ่ายอากาศจากนั้นจึงจำลองการไหลโดยปรับเปลี่ยนรูปแบบการจัดวางผลิตภัณฑ์แบบต่างๆ ในห้องเย็น จากผลจำลองการไหลพบว่าอุปกรณ์จ่ายอากาศและรูปแบบการจัดวางผลิตภัณฑ์มีผลต่อการกระจายตัวของอากาศภายในห้องเย็นอย่างมาก ซึ่งสามารถนำผลการศึกษานี้ใช้เป็นแนวทางในการแก้ปัญหาการกระจายตัวของอากาศที่มีความเร็วอากาศไม่สม่ำเสมอและหารูปแบบการวางผลิตภัณฑ์ที่เหมาะสมในห้องเย็น นอกจากนี้ยังสามารถใช้เป็นแนวทางในการออกแบบห้องเย็นเพื่อเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ให้มีคุณภาพที่ดีและสามารถลดการใช้พลังงานในการทำความเย็นต่อไป

คำสำคัญ(Keyword): Flow Simulation; Cold Storage Room; Computational Fluid Dynamics

Abstract

Maintaining product quality is an important for frozen vegetable and fruits industries. A product arrangement and pattern in a cold storage affects the distribution of cool air and a product temperature. Computational Fluid Dynamics (CFD) is used to simulate the airflow inside the cold storage to reduce time and cost of experimental product arrangements. The results of flow simulation model can reveal the cold storage airflow pattern, thermal condition, air direction and velocity. This study simulates the airflow in a cold room with size of $43.5 \times 54.7 \times 7.05$ CBM. using the k- ϵ turbulent model to analyze the distribution of cool air inside the cold storage. The simulation was validated by physical measurement of air velocity. To study the airflow pattern of the air distributors, the air supply air box and air supply air grill were compared. The arrangements of product placements were then studied using simulation. The simulation results show that the simulation results agreed with measuring data. The air supply equipment and patterns of product placement affected significantly the distribution of cool air.

* ภัทรฤทัย คำแสง

The results of this study can be used as a guideline to solve the distribution of air velocity and to carry out an appropriate product arrangement in the cold storage. Moreover, it can also be used as a guide in the design of cold storage to preserve the better product quality during freezing and minimize the energy consumption.

1. บทนำ (Introduction)

อุตสาหกรรมแปรรูปผัก และผลไม้แช่แข็งเป็นอุตสาหกรรมที่มีการนำเอาวัตถุดิบทางการเกษตรมาแปรรูปให้เกิดมูลค่า มีความต้องการของผู้บริโภคค่อนข้างสูง ซึ่งอาหารแช่แข็งในปี ค.ศ.2005 ถึงปี ค.ศ. 2010 มีอัตราการขยายตัว 2.8% (สถาบันอาหาร, 2552) จากการเติบโตของอุตสาหกรรมอาหารแช่แข็งทำให้กำลังการผลิตเพิ่มขึ้น และปริมาณการใช้พลังงานเพิ่มสูงขึ้นตาม จึงมีการศึกษาถึงกระบวนการและลักษณะการใช้พลังงานในกลุ่มอุตสาหกรรมอาหารประเภทผัก และผลไม้แปรรูปแช่แข็ง มีช่วงดัชนีการใช้พลังงานที่ปริมาณการผลิต 500 ตัน มีปริมาณการใช้ไฟฟ้า 3,930 เมกกะจูลต่อตัน (มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2548) อุตสาหกรรมแปรรูปผัก และผลไม้แช่แข็งนั้นจำเป็นต้องมีการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ไว้ในห้องเย็น ซึ่งจะต้องมีการควบคุมและรักษาอุณหภูมิให้คงที่อยู่ตลอดเวลา นอกจากนั้นการจัดวางผลิตภัณฑ์ในห้องเย็นอย่างเหมาะสม ส่งผลให้อุณหภูมิของผลิตภัณฑ์และการกระจายตัวของอากาศเย็นเป็นไปอย่างทั่วถึง (ปิ่นนคร, 2550) การจัดวางผลิตภัณฑ์ในห้องเย็นจะต้องไม่สูงเกินไปจนปิดทางไหลของอากาศ และอากาศเย็นจะต้องหมุนเวียนผ่านภาชนะได้ทุกด้าน นอกจากนี้การตรวจสอบและวัดอุณหภูมิในห้อง หากพบว่ามีความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิที่ออกจากเครื่องทำความเย็นและอุณหภูมิของอากาศภายในห้องต่างกันเกินกว่า 0.8 องศาเซลเซียส แสดงว่าการไหลเวียนของอากาศภายในห้องไม่ดี (दनัย, 2553) และสุกิจ (2553) กล่าวไว้ว่า การรักษาความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิห้องกับอุณหภูมิคอลล์เย็นให้เหมาะสมจะช่วยให้การเก็บรักษาสินค้าให้มีคุณภาพยาวนานและจะช่วยประหยัดพลังงานได้เป็นอย่างมาก เพราะการที่คอลล์เย็นทำงานที่อุณหภูมิต่ำลงอีกเพียง 1 องศาเซลเซียส จะสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้ามากถึง 3-4 เปอร์เซ็นต์

การจำลองการไหลในคอมพิวเตอร์ด้วยเทคนิคการคำนวณทางพลศาสตร์ของไหล (Computational Fluid Dynamics: CFD) เป็นการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์บนคอมพิวเตอร์ ที่สามารถมองเห็นลักษณะการเคลื่อนที่ของกระแสอากาศในสถานะหนึ่งๆ และสามารถทำนายสถานะเชิงความร้อน ความเร็ว หรือทิศทางของอากาศได้ และช่วยในการออกแบบทางอุตสาหกรรม ซึ่งการจำลองการไหลในรูปแบบต่างๆ อาจทำให้ผลลัพธ์ที่ออกมาเปลี่ยนแปลงไปได้ สามารถทำการเปลี่ยนแปลงรูปแบบได้ง่ายบนคอมพิวเตอร์สามารถทำได้ในระยะเวลาที่สั้น ทำให้กระบวนการออกแบบมีประสิทธิภาพมากขึ้น เมื่อเทียบกับกระบวนการแบบเดิมๆ ที่ต้องมีการทดลอง (ปราโมทย์ และวรสิทธิ์, 2541) CFD ในอุตสาหกรรมอาหารอาจช่วยให้เข้าใจรูปแบบของความร้อนและการถ่ายเทมวลในอาหารระหว่างกระบวนการทำความเย็น (Jingetal, 2006) มีการใช้งานทั่วไปของ CFD ในอุตสาหกรรมอาหาร เช่นการสร้างแบบจำลองของการเป่าลมเย็นและการทำความเย็นสุญญากาศ (Hu, Yuan&Sun, 1998 ; Hu&Sun, 1999) การสร้างแบบจำลองการแช่เย็น (DaveyandPham, 1997) การสร้างแบบจำลองห้องเย็น (TassouandXiang, 1998; Vanetal, 1989) การสร้างแบบจำลองห้องแช่แข็ง (Wangetal, 1995) และการสร้างแบบจำลองตู้แช่เย็น (Cotellaetal, 1998; FosterandQuarini, 1998; Striblingetal, 1997; XiangandTassou, 1998)

ดังนั้นเพื่อตรวจสอบการไหลเวียนของอากาศภายในห้องเย็น จึงนำเอาวิธีการคำนวณทางพลศาสตร์ของไหลมาใช้ในการแก้ไขปัญหาดังกล่าว ซึ่งช่วยทำให้ทราบพฤติกรรมของการไหลได้บนหน้าจอคอมพิวเตอร์ ถ้าหากผลลัพธ์ออกมาไม่เป็นที่น่าพอใจ สามารถเปลี่ยนแปลงรูปแบบได้โดยง่ายและรวดเร็วในระยะเวลาที่สั้น ทำให้การออกแบบมีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้น โดยลดเวลาและค่าใช้จ่ายในการทดลองจริง สามารถศึกษาพฤติกรรมของของไหลในทุกสถานะและในทุกรูปแบบโดยใช้ค่าใช้จ่ายที่ถูกลง และไม่มีความเสี่ยง (ก้อง, 2545) ในการทดลองจริงอาจเกิดอุปสรรคในการเก็บข้อมูล เนื่องจากภายในของห้องเย็นมีอุณหภูมิที่ต่ำมาก จึงไม่สามารถใช้เวลาเก็บข้อมูลในระยะเวลาอันสั้นได้ และห้องเย็นในอุตสาหกรรมมีขนาดที่ใหญ่ไม่สามารถเก็บข้อมูลได้อย่างทั่วถึงเพื่อนำมาเปรียบเทียบกับแบบจำลองคอมพิวเตอร์ได้จะเห็นว่า หากใช้ CFD ในการจำลองการไหลจะสามารถเห็นลักษณะการไหลของอากาศ รวมถึงอุณหภูมิและความเร็วอากาศตามตำแหน่งต่างๆในห้องเย็น สามารถที่จะเลือกรูปแบบการจัดวางผลิตภัณฑ์ภายในห้องเย็นที่จะทำให้เกิดการกระจาย ตัวของอุณหภูมิและความเร็วของอากาศภายในห้องเย็นที่เหมาะสมที่สุด ด้วยเหตุผลดังกล่าวจึงเป็นที่มาของงานวิจัยนี้ ที่ต้องการวิเคราะห์การกระจายตัวของอากาศภายในห้องเย็น

จากแบบจำลองของคอมพิวเตอร์โดยเปรียบเทียบกับข้อมูลจริงจากการทดสอบจริง หลังจากนั้นจะนำผลการคำนวณที่ได้หารูปแบบของการกระจายตัวของอากาศภายในห้องเย็นที่เหมาะสมเพื่อเป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาการออกแบบห้องเย็น การจัดวางคอลล์เย็น การจัดวางผลิตภัณฑ์ภายในห้องเย็น และสามารถลดการใช้พลังงานในการทำมาความเย็นต่อไป

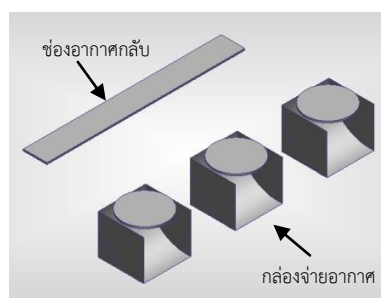
2. วิธีวิจัย (Research Methodology)

การจำลองการไหลของอากาศภายในห้องเย็นเพื่อศึกษาลักษณะการไหลของอากาศ โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ ซึ่งทำการเก็บข้อมูลในห้องเย็นของโรงงานที่มีขนาด ขนาด $43.5 \times 54.7 \times 7.05$ ลูกบาศก์เมตร ทำการจำลองการไหลใน 2 กรณี คือ การจำลองการไหลของอากาศภายในห้องเย็นที่มีการจัดวางผลิตภัณฑ์แบบเดิม และการจัดวางผลิตภัณฑ์แบบใหม่ มีการศึกษาดังนี้

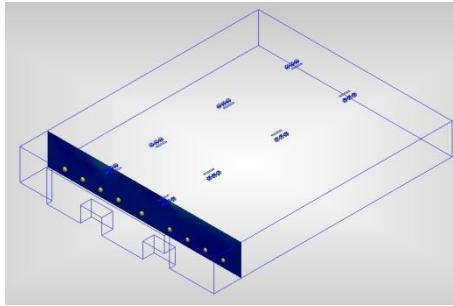
2.1 ทำการศึกษาความเป็นอิสระของกริด (GridIndependentStudy) เพื่อตรวจสอบว่าจำนวนกริดที่ใช้คำนวณมีความเป็นอิสระต่อผลลัพธ์จากการคำนวณ ก่อนจะนำไปใช้ในการทำนายการจำลองการไหลในแบบต่างๆ ซึ่งการตรวจสอบความเป็นอิสระของกริดทำได้โดยการเพิ่มจำนวนกริดเซลล์ครั้งละ $1/3$ ของจำนวนกริดเซลล์เดิม แล้วตรวจสอบว่าที่จำนวนกริดเซลล์ใดทำให้คำตอบของการจำลองการไหลใกล้เคียงกับข้อมูลที่ตรวจวัดจริงมากที่สุด และสามารถเลือกจำนวนกริดเซลล์ที่น้อยที่สุดที่ไม่ทำให้ผลคำตอบเปลี่ยนแปลง สามารถลดระยะเวลาในการคำนวณลงได้

2.2 ทดสอบความถูกต้องของโปรแกรม โดยทำการเก็บข้อมูลทางกายภาพของห้องเย็น จากนั้นนำข้อมูลที่ได้นำมาสร้างแบบจำลองทางกายภาพของห้องเย็นในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ตั้งสมมติฐาน เงื่อนไขขอบเขตที่ใช้ในการจำลองการไหลจากการเก็บข้อมูลจริง และทำการประมวลผลการจำลองการไหลโดยใช้โปรแกรม AutodeskSimulationCFD®

2.3 ตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองการไหลในห้องเย็นที่มีการจัดวางผลิตภัณฑ์ โดยการตั้งสมมติฐานที่ใช้ในการจำลองการไหล กำหนดให้การไหลของอากาศเป็นแบบปั่นป่วน (TurbulentModel) และเป็นการไหลที่สามารถอัดตัวได้ (Compressible Fluid) กำหนดรายละเอียดและเงื่อนไขในการคำนวณที่สภาวะคงที่ (Steady State) ทางเข้าของแบบจำลองเป็นพัดลมซึ่งกำหนดอากาศที่ออกจากพัดลมเท่ากับ $20,090$ ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ปล่องอากาศผ่านกล่องจ่ายอากาศขนาด $0.51 \times 0.51 \times 0.45$ ลูกบาศก์เมตร ทางออกเป็นบริเวณช่องอากาศกลับกำหนดให้มีค่าความดันคงเท่ากับ 0 ปาสกาล ดังแสดงในภาพที่ 1 และกำหนดให้บริเวณผิวผนัง พื้น ผิวของผลิตภัณฑ์ไม่มีการลื่นไถล (No Slip Condition) เนื่องจากข้อมูลตรวจวัดของอุณหภูมิอุณหภูมิที่ผนังห้องและผลิตภัณฑ์ไม่แตกต่างกันมาก จึงกำหนดให้มีค่าเท่ากันที่ -20 องศาเซลเซียส จากนั้นกำหนดเงื่อนไขของการคำนวณ การรู้เข้าของคำตอบกำหนดให้จำนวนรอบของการคำนวณซ้ำไว้ที่ $10,000$ รอบ และค่าความผิดพลาดที่เหลือของตัวแปรตามทุกตัวจะต้องมีค่าน้อยกว่า 0.005 หลังจากนั้นทำการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองตามตำแหน่งตรวจวัดที่มีตำแหน่งระบุตามความยาวห้องที่ 7.35 เมตร ตรงกับกล่องปล่อยอากาศ ระบายความสูง 1.5 เมตร และระบายตามความยาวห้องทั้งหมด 9 ตำแหน่งดังแสดงในภาพที่ 2



ภาพที่ 1 กล่องจ่ายอากาศและช่องอากาศกลับ



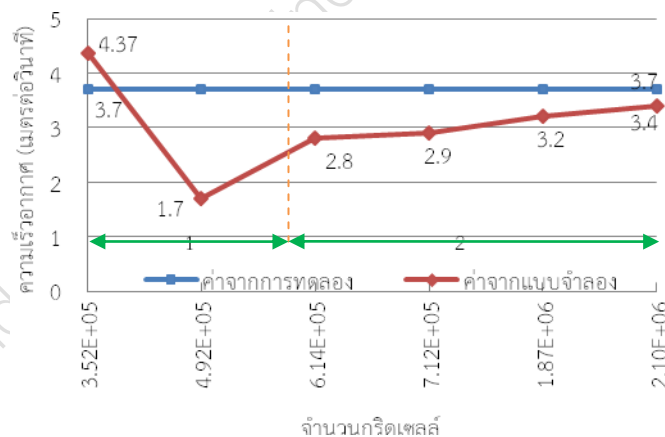
ภาพที่ 2 ตำแหน่งตรวจวัดข้อมูล

2.4 ปรับเปลี่ยนรูปแบบการจัดวางผลิตภัณฑ์ใหม่ เพื่อเปรียบเทียบการกระจายตัวของอากาศภายในห้องเย็น และหาแนวทางในการจัดวางผลิตภัณฑ์ที่ทำให้การกระจายตัวของอากาศทั่วถึงหรือการปรับเปลี่ยนตำแหน่งช่องกระจายอากาศให้กับทางโรงงานต่อไป

3. ผลการวิจัย (Results)

3.1 การตรวจสอบความเป็นอิสระของกริด (Grid Independent Study)

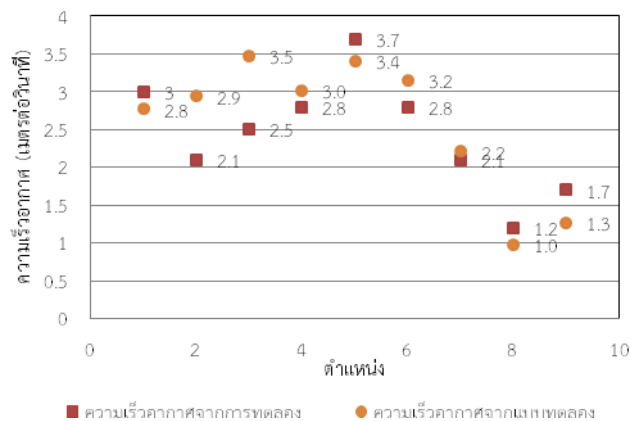
ในการตรวจสอบความเป็นอิสระของกริด ซึ่งผลการคำนวณของจำนวนกริดที่ต่างกัน พิจารณาระดับความเร็วอากาศแสดงไว้ในภาพที่ 3 จะเห็นได้ว่าช่วงแรก จำนวนกริดเซลล์ที่มีการเปลี่ยนแปลงทำให้ผลคำตอบของแบบจำลองเปลี่ยนแปลงตามค่อนข้างมาก แต่ในช่วงที่ 2 จำนวนกริดที่เพิ่มขึ้นทำให้ผลคำตอบของแบบจำลองมีค่าใกล้เคียงกับข้อมูลตรวจวัดมากที่สุด คือ จำนวนกริดเซลล์ 2,096,166 กริดเซลล์



ภาพที่ 3 ความเร็วอากาศภายในห้องเย็นที่จำนวนกริดเซลล์ต่างๆ

3.2 การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง

เมื่อทำการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองคอมพิวเตอร์โดยเปรียบเทียบความเร็วอากาศจากแบบจำลองกับผลการทดลองพบว่า ความเร็วอากาศจากแบบจำลองมีแนวโน้มใกล้เคียงกับค่าจากการทดลองแสดงผลไว้ในภาพที่ 4

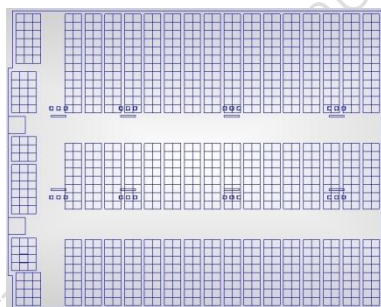


ภาพที่ 4 ความเร็วอากาศที่ตำแหน่งต่างๆ ภายในห้องเย็น

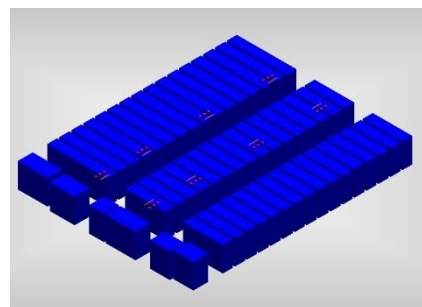
โดยค่าความเร็วอากาศของแบบจำลองมีแตกต่างจากการทดลอง ซึ่งค่าความเร็วอากาศจากการทดลองอยู่ระหว่าง 1.2 ถึง 3.7 เมตรต่อวินาที มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 2.4 เมตรต่อวินาที และค่าความเร็วจากแบบจำลองอยู่ระหว่าง 1.0 ถึง 3.5 เมตรต่อวินาที ค่าความเร็วอากาศ 2.6 เมตรต่อวินาที ค่าความเร็วอากาศระหว่างแบบจำลองกับการทดลองมีความแตกต่างเฉลี่ยที่ 0.2 เมตรต่อวินาที

3.3 แบบจำลองการไหลในห้องเย็นที่มีการจัดวางผลิตภัณฑ์ในรูปแบบเดิม

เพื่อทำการวิเคราะห์และดูปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นภายในห้องเย็นที่จำลองการไหลในสภาวะคงที่ แบบจำลองการไหลในห้องเย็นที่มีการจัดวางผลิตภัณฑ์ในรูปแบบเดิม ดังภาพที่ 5 มีการจัดวางผลิตภัณฑ์ที่หนาแน่น และมีการวางผลิตภัณฑ์ไม่ตรงกับบริเวณกล่องจ่ายอากาศ ทำให้อากาศกระจายไม่ทั่วห้องเย็น



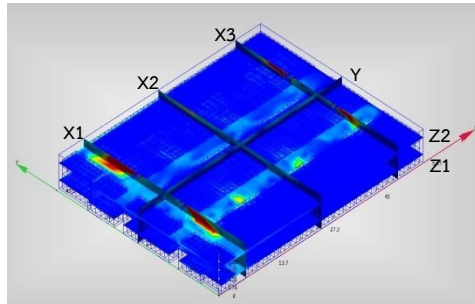
มุมมองด้านบน



มุมมองไอโซเมตริก

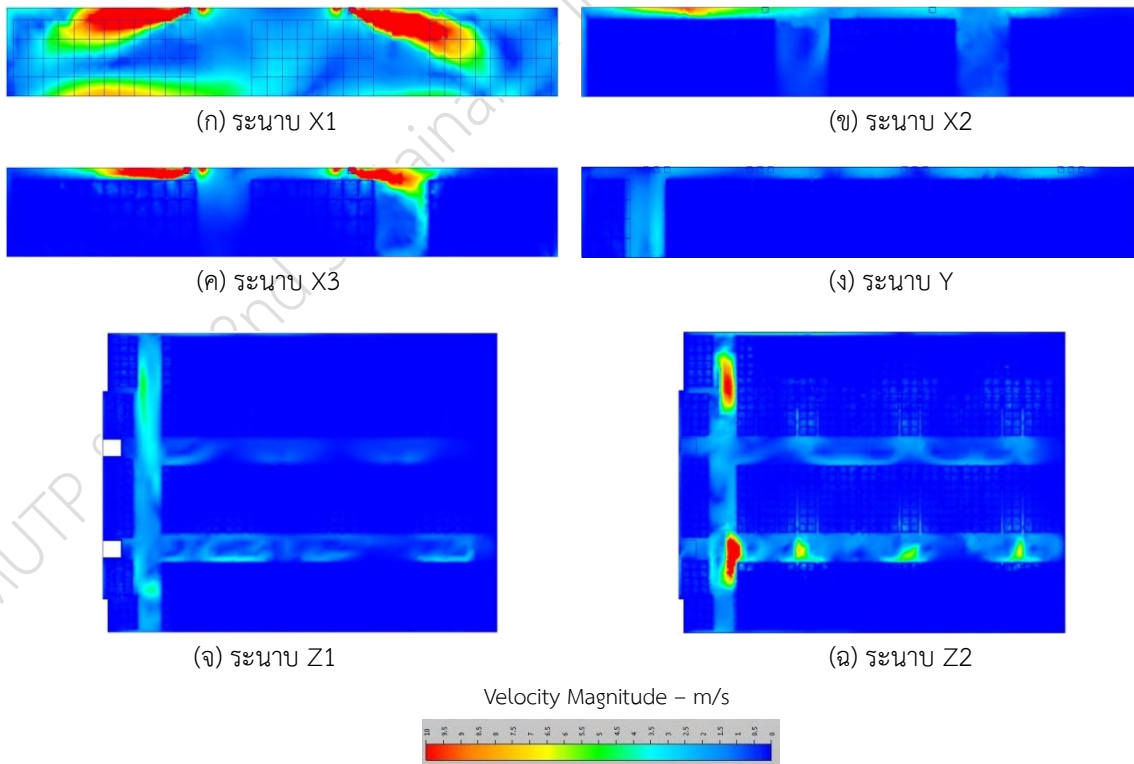
ภาพที่ 5 รูปแบบการจัดวางผลิตภัณฑ์แบบเดิม

ทำการพิจารณาการไหลลักษณะการไหลของอากาศจากแบบจำลองพบว่ามีการไหลแบบปั่นป่วน โดยเฉพาะบริเวณผนังมีการหมุนวนของอากาศ สามารถแสดงลักษณะการไหลได้ในรูปแบบสนามความเร็วอากาศและค่าระดับความเร็วอากาศทั้งหมด 6 ระบาย ซึ่งระบายตามความยาวของห้อง แบ่งเป็น 3 ระบายที่ระยะ 7.35(X1) 27.35(X2) และ 47.85(X3) เมตร ระบายตามความกว้างของห้องจำนวน 1 ระบายที่ระยะ 21.75(Y) เมตร และระบายตามความสูงจำนวน 2 ระบายที่ระดับความสูง 1.5(Z1) และ 5.5 (Z2) เมตร ตามลำดับดังภาพที่ 6

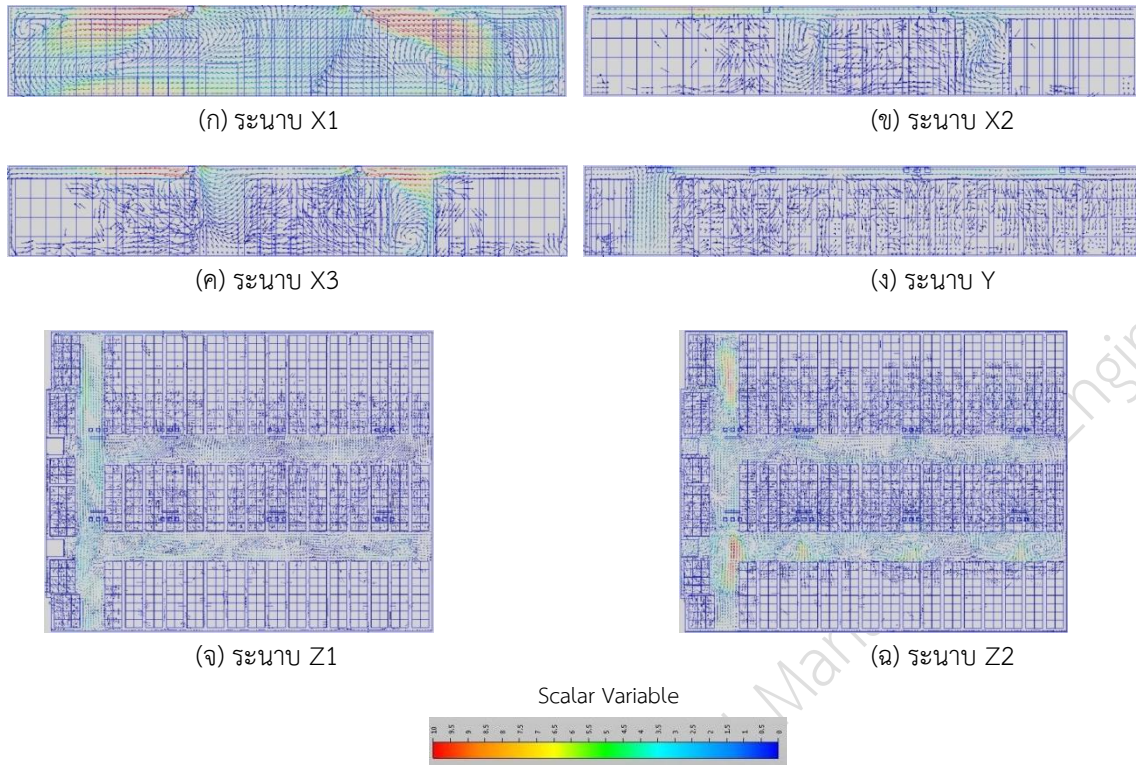


ภาพที่ 6 ระบายที่พิจารณาผลของแบบจำลอง

การจำลองการไหลที่แสดงในภาพที่ 7 เป็นภาพค่าระดับความเร็วอากาศบนระนาบต่างๆภายในห้องเย็นที่มีการจัดวางผลิตภัณฑ์ในรูปแบบเดิมในแนวระนาบแกน X1 ที่ระดับความสูง 5.5 เมตร จะเห็นได้ว่าเป็นระนาบที่ตรงกับกล่องจ่ายอากาศ และไม่มีผลิตภัณฑ์วาง ทำให้เป็นบริเวณที่มีค่าความเร็วอากาศสูงสุดที่ 7.3 เมตรต่อวินาที ระนาบ X2 เป็นระนาบกลางห้องตัดผ่านบริเวณที่มีผลิตภัณฑ์วางมีการกระจายตัวของอากาศอยู่ที่บริเวณเพดาน ระนาบ X3 ระนาบที่ตรงกับกล่องจ่ายอากาศและตัดผ่านบริเวณที่วางผลิตภัณฑ์สังเกตได้ว่าอากาศที่ปล่อยจากกล่องจ่ายอากาศนั้นมีค่าความเร็วอากาศที่ถูกผลิตภัณฑ์ในบริเวณนั้นจะมีค่าที่สูง ระนาบ Y เป็นระนาบที่ตัดผ่านกลางห้องซึ่งตัดผ่านบริเวณที่วางผลิตภัณฑ์เป็นส่วนใหญ่มีการกระจายตัวของอากาศที่ดี ระนาบ Z1 อยู่ในระนาบที่สูงจากพื้น 1.5 เมตร จะเห็นว่าบริเวณกล่องจ่ายอากาศที่ไม่มีผลิตภัณฑ์วางนั้นมีการกระจายอากาศที่ดี ส่วนในบริเวณที่มีผลิตภัณฑ์วางนั้นมีการกระจายตัวของที่ไม่สม่ำเสมอมีค่าความเร็วอากาศต่ำสุดที่ 0.37 เมตรต่อวินาที และระนาบ Z2 เป็นระนาบที่ระดับความสูงจากพื้น 5.5 เมตร มีค่าความเร็วอากาศที่ค่อนข้างสูง จากผลของแบบจำลองพบว่ามีความแตกต่างของค่าความเร็วอากาศสูงสุดและค่าความเร็วอากาศต่ำสุดแสดงว่าอากาศภายในห้องเย็นมีการกระจายตัวที่ไม่สม่ำเสมอ



ภาพที่ 7 ค่าระดับความเร็วอากาศภายในห้องเย็นที่จัดวางผลิตภัณฑ์ในรูปแบบเดิมบนระนาบต่างๆ

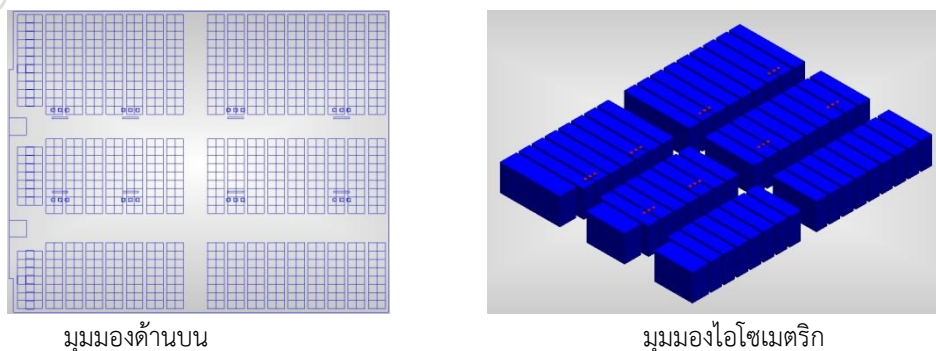


ภาพที่ 8 สนามความเร็วอากาศภายในห้องเย็นที่จัดวางผลิตภัณฑ์ในรูปแบบเดิมบนระนาบต่างๆ

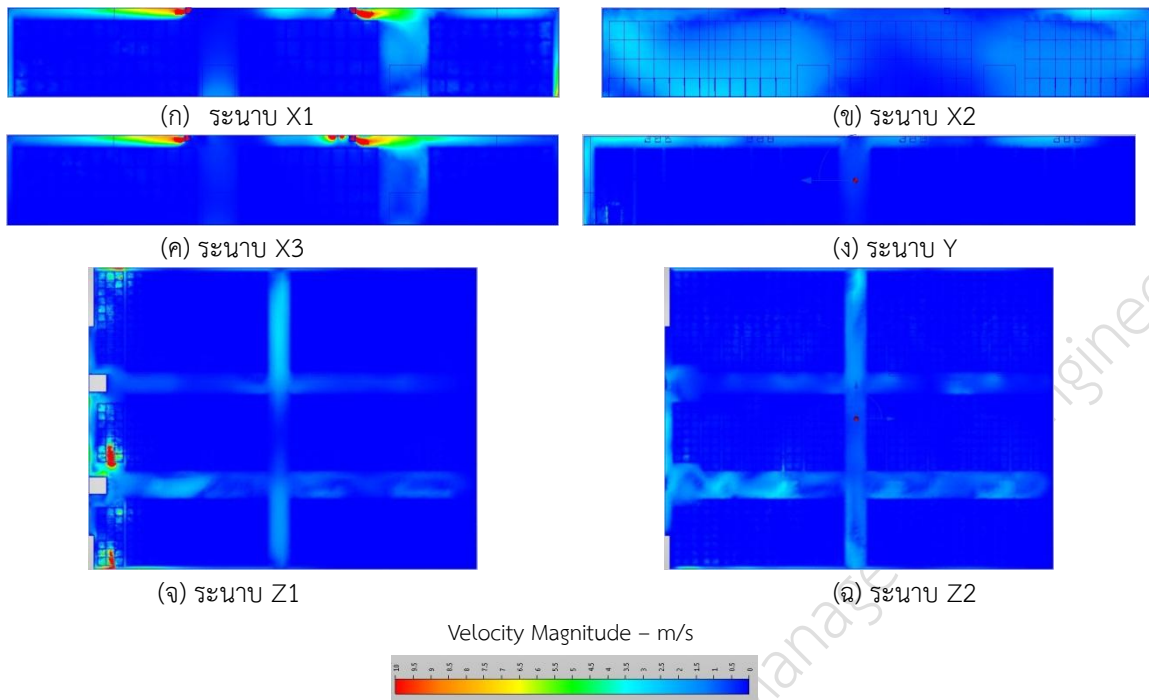
ผลของการจำลองการไหลที่แสดงในภาพที่ 8 เป็นสนามความเร็วอากาศบนระนาบต่างๆภายในห้องเย็นที่มีการจัดวางผลิตภัณฑ์ในรูปแบบเดิมจะเห็นได้ว่าระนาบ X1 มีสนามความเร็วอากาศที่ค่อนข้างปั่นป่วนและมีการหมุนวนกลับที่ท้ายห้อง ส่วนระนาบ X2 และ X3 มีสนามความเร็วอากาศในบริเวณกลางห้อง ส่วนบริเวณท้ายห้องสนามความเร็วอากาศกระจายเข้าไปไม่ถึง ระนาบ Y มีการกระจายของอากาศที่ค่อนข้างสม่ำเสมอ ระนาบ Z1 มีการกระจายตัวของอากาศไปทั่วห้องแต่บริเวณที่ไม่มีผลิตภัณฑ์วางจะมีค่าความเร็วอากาศค่อนข้างสูง ส่วนระนาบ Z2 มีการปั่นป่วนของค่าความเร็วอากาศสังเกตได้จากลักษณะสนามอากาศที่มีการไหลเวียนแบบปั่นป่วน

3.4 แบบจำลองการไหลในห้องเย็นที่มีการจัดวางผลิตภัณฑ์ในรูปแบบใหม่

ทำการจำลองการไหลในห้องเย็นที่มีการจัดวางผลิตภัณฑ์ในรูปแบบเดิม ซึ่งพบว่ามีการจัดวางผลิตภัณฑ์ค่อนข้างแน่น และรูปแบบการวางไม่มีการกระจายผลิตภัณฑ์ให้อยู่ใกล้กับบริเวณกล่องจ่ายอากาศ ทำให้เกิดความสูญเสียของการกระจายความเย็น จึงทำการปรับเปลี่ยนการจัดวางผลิตภัณฑ์ในรูปแบบใหม่ให้ตรงกับบริเวณกล่องจ่ายอากาศดังแสดงในภาพที่ 9

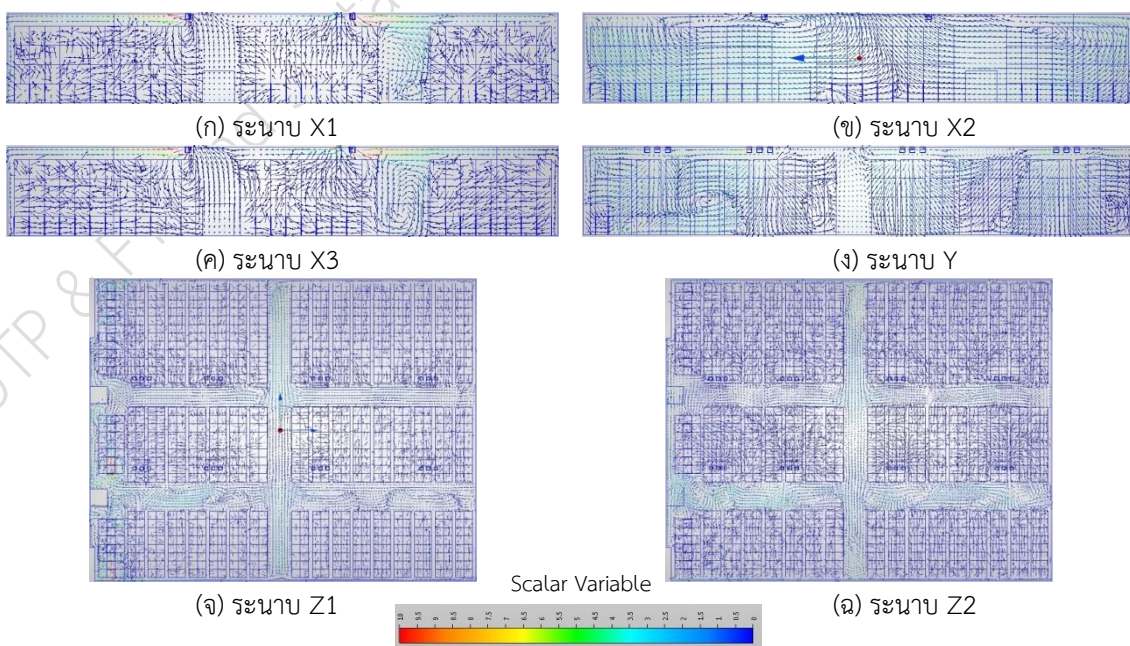


ภาพที่ 9 การจัดวางผลิตภัณฑ์ในรูปแบบใหม่



ภาพที่ 10 ค่าระดับความเร็วอากาศภายในห้องเย็นที่จัดวางผลิตภัณฑ์ในรูปแบบใหม่บนระนาบต่างๆ

ผลของการจำลองการไหลที่แสดงในภาพที่ 10 เป็นภาพค่าระดับความเร็วอากาศบนระนาบต่างๆภายในห้องเย็นที่มีการจัดวางผลิตภัณฑ์ในรูปแบบใหม่ที่ระนาบ X1 และ X3 มีการตัดผ่านบริเวณที่มีการวางผลิตภัณฑ์จะเห็นได้ว่าการกระจายตัวของอากาศที่ทั่วถึง แต่บริเวณท้ายห้องมีค่าความเร็วอากาศต่ำสุดที่ 0.6 เมตรต่อวินาที ระนาบ X2 ตัดผ่านบริเวณที่ไม่มีการวางผลิตภัณฑ์แต่จะเห็นลักษณะอากาศที่กระจายไปท้ายห้อง ระนาบ Y เป็นบริเวณที่ตัดผ่านบริเวณที่มีการวางผลิตภัณฑ์หนาแน่นแต่มีการกระจายตัวของอากาศที่สม่ำเสมอ ระนาบ Z1 บริเวณมุมห้องมีค่าระดับความเร็วอากาศที่จะมีค่าความเร็วอากาศที่ 6.3 เมตรต่อวินาที ส่วนในระนาบ Z2 มีค่าการกระจายตัวที่สม่ำเสมอมากขึ้นและกระจายไปถึงบริเวณท้ายห้อง



ภาพที่ 11 สแนมความเร็วอากาศภายในห้องเย็นที่จัดวางผลิตภัณฑ์ในรูปแบบใหม่บนระนาบต่างๆ

ผลของการจำลองการไหลที่แสดงในภาพที่ 11 เป็นภาพสนามความเร็วอากาศบนระนาบต่างๆภายในห้องเย็นที่มีการจัดวางผลิตภัณฑ์ในรูปแบบใหม่จะเห็นว่าระนาบ X1 และ X3 นั้นมีการกระจายตัวของอากาศที่สม่ำเสมอมากขึ้นและทั้งสองระนาบมีการกระจายตัวของอากาศที่ใกล้เคียงกัน ระนาบ X2 มีการกระจายตัวของสนามความเร็วอากาศที่สม่ำเสมอและจะสังเกตเห็นทิศทางของอากาศที่วนกลับบริเวณท้ายห้อง ระนาบ Y เป็นบริเวณที่ไม่มีการวางผลิตภัณฑ์ ทำให้อากาศกระจายเข้าไปยังท้ายห้องมากขึ้น และจากระนาบตามความสูง Z1 และ Z2 มีการกระจายตัวของอากาศที่สม่ำเสมอใกล้เคียงกันทั้งสองระนาบ

4. อภิปรายผล (Discussion)

การตรวจสอบความเป็นอิสระของกริดจะทำการเพิ่มกริดเซลล์ครึ่งละ 1/3 ของจำนวนกริดเซลล์เดิม ส่งผลการคำนวณของจำนวนกริดที่แตกต่างกัน ทำให้ค่าคำตอบของแบบจำลองมีแนวโน้มที่ใกล้เคียงกับค่าตรวจวัดจริงมากยิ่งขึ้นหรือจำนวนกริดเซลล์ไม่มีผลต่อคำตอบของแบบจำลอง

การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองการไหลของอากาศภายในห้องเย็น โดยการเปรียบเทียบค่าความเร็วอากาศจากแบบจำลองกับผลการตรวจวัดพบว่า ค่าความเร็วอากาศมีความแตกต่างกันในบางตำแหน่ง เนื่องจากแบบจำลองที่สร้างขึ้นในโปรแกรมคอมพิวเตอร์อาจไม่ซับซ้อนเท่าของจริง และอุปสรรคในการเก็บข้อมูลในห้องเย็นที่มีอุณหภูมิต่ำ

การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองการไหลของอากาศภายในห้องเย็นที่มีการจัดวางผลิตภัณฑ์แบบเดิมนั้นมีการจัดวางผลิตภัณฑ์ที่ไม่สอดคล้องกับบริเวณช่องกระจายอากาศในระนาบ X1 ทำให้บริเวณนั้นมีค่าความเร็วอากาศที่สูง ส่วนในระนาบ X3 มีการจัดวางผลิตภัณฑ์ที่ค่อนข้างแน่นทำให้บริเวณนั้นค่าความเร็วอากาศน้อย ส่วนบริเวณมุมห้องตามแนวแกน X3 จะเห็นได้ว่ากระจายตัวของอากาศไม่สม่ำเสมอ ตามระนาบความสูง Z1 มีการกระจายตัวของอากาศค่อนข้างน้อย การไหลของอากาศไปไม่ถึงบริเวณผนังห้อง ส่วนระนาบ Z2 เป็นระนาบที่มีการกระจายตัวของอากาศค่อนข้างสูง เนื่องจากเป็นบริเวณที่ใกล้เคียงกับช่องปล่อยอากาศ และการกระจายตัวไปตามผิวด้านบนของกล่องผลิตภัณฑ์

ห้องเย็นที่มีการปรับเปลี่ยนการจัดวางผลิตภัณฑ์แบบใหม่ มีการปรับเปลี่ยนให้มีพื้นที่ในการกระจายตัวของอากาศเพิ่มมากขึ้น ทำให้บริเวณที่อากาศกระจายตัวไปไม่ถึงนั้นมีการกระจายตัวของอากาศสม่ำเสมอมากขึ้น ทำการจัดวางผลิตภัณฑ์ให้อยู่ในบริเวณกล่องจ่ายอากาศทำให้ไม่เสียพื้นที่ในการให้ความเย็นกับผลิตภัณฑ์ และการปรับเปลี่ยนการจัดวางแบบใหม่ยังสามารถเพิ่มพื้นที่ในการจัดวางผลิตภัณฑ์เพิ่มมากขึ้น แต่ทั้งนี้การปรับเปลี่ยนการจัดวางผลิตภัณฑ์แบบใหม่ยังมีบางจุดที่การจัดวางที่ทำให้การกระจายตัวของอากาศยังไม่ทั่วถึงดีพอ จึงต้องหาแนวทางในการปรับเปลี่ยนการจัดวางผลิตภัณฑ์ในรูปแบบอื่นที่ทำให้การกระจายตัวของอากาศสม่ำเสมอมากยิ่งขึ้น

5. สรุปผล (Conclusion)

จากผลการจำลองการไหลของอากาศภายในห้องเย็น มีการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองโดยใช้จำนวนกริดเซลล์ที่ 2,096,166 ในการทำนายผลคำตอบของแบบจำลองการไหล โดยค่าความเร็วอากาศภายในห้องเย็นมีความแตกต่างเฉลี่ยที่ 0.2 เมตรต่อวินาที ซึ่งสามารถนำไปจำลองการไหลที่มีการปรับเปลี่ยนรูปแบบการจัดวางผลิตภัณฑ์ในแบบต่างๆ ทำให้ผลของการจำลองการไหลของอากาศก่อนการปรับเปลี่ยนผลิตภัณฑ์ที่มีการกระจายตัวที่สม่ำเสมอในแต่ละระนาบเนื่องจากการจัดวางผลิตภัณฑ์ที่ไม่สอดคล้องกับช่องปล่อยอากาศ และผลการจำลองการไหลของอากาศหลังการปรับเปลี่ยนการจัดวางผลิตภัณฑ์ มีการปรับเปลี่ยนการจัดวางผลิตภัณฑ์ให้อยู่ตรงบริเวณช่องปล่อยอากาศ ทำให้ผลิตภัณฑ์ได้รับความเย็นทั่วถึงเพราะอากาศไหลเวียนได้อย่างทั่วถึงมากขึ้น จากผลวิจัยดังกล่าวการปรับเปลี่ยนการจัดวางสามารถนำไปเป็นแนวทางในการปรับเปลี่ยนรูปแบบการจัดวางผลิตภัณฑ์ในแบบอื่นๆ และการปรับเปลี่ยนตำแหน่งของช่องปล่อยอากาศของทางโรงงานให้เหมาะสมขึ้น

6. กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgement)

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย ภายใต้โครงการพัฒนานักวิจัยและงานวิจัยเพื่ออุตสาหกรรม-พวอ. ระดับปริญญาโท ประจำปี 2556 และบริษัท ลานนาเกษตรอุตสาหกรรม จำกัด ทั้งนี้ความเห็นในรายงานผลการวิจัยเป็นของผู้รับทุน สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัยและบริษัท ลานนาเกษตรอุตสาหกรรมจำกัด ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป

7. เอกสารอ้างอิง (Reference)

- [1] ก้อง อุทัยภาส. 2545. การพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับการไหลผ่านสิ่งกีดขวาง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 106 น.
- [2] ดนัย บุญเกียรติ. 2553. คู่มือการลดอุณหภูมิและการขนส่งผลผลิต (ตอนที่ 1). KEPPKOOL [ระบบออนไลน์] 23: 25-27. (กันยายน) แหล่งที่มา [http://www.thairefrig.or.th/download/thairefrig_or_th/decrease%20temp.%20%20\(kk-23\).pdf](http://www.thairefrig.or.th/download/thairefrig_or_th/decrease%20temp.%20%20(kk-23).pdf) (14 พฤษภาคม 2555).
- [3] ปราโมทย์ เดชะอำไพ และ วรสิทธิ์ กาญจนกิจเกษม. 2541. การคำนวณการหมุนวนของอากาศด้วย ComputationalFluidDynamics. น. 1-6. ใน: วิทยาลัยวิศวกรรมปรับอากาศในอนาคต. กรุงเทพฯ: สมาคมวิศวกรรมปรับอากาศแห่งประเทศไทย.
- [4] ปณณธร ภัทรสถาพรกุล. 2550. การแช่เยือกแข็งผักและผลไม้. KEPPKOOL [ระบบออนไลน์] 23: 19-22. (กันยายน) แหล่งที่มา [http://www.thairefrig.or.th/download/thairefrig_or_th/freezing%20fruits%20\(kk-23\).pdf](http://www.thairefrig.or.th/download/thairefrig_or_th/freezing%20fruits%20(kk-23).pdf) (14 พฤษภาคม 2555).
- [5] มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. 2548. รายงานฉบับสุดท้าย โครงการศึกษาเกณฑ์การใช้พลังงานในอุตสาหกรรมอาหาร. กรุงเทพฯ:กระทรวงพลังงาน.
- [6] สถาบันอาหาร. 2552. แนวโน้มอุตสาหกรรมอาหารพร้อมปรุง-พร้อมทานในตลาดโลกกับอนาคตที่สดใส. อุตสาหกรรมสาร 52: 5-7.
- [7] สุกิจ ลิตติกรณ์. 2553. การรักษาอุณหภูมิของสินค้าในห้องเย็น. KEPPKOOL [ระบบออนไลน์] 9, 32: 16-19. (มิถุนายน) แหล่งที่มา <http://www.chillmatch.co.th/images/attach/keepkool-32.pdf> (14 พฤษภาคม 2555).
- [8] Cotella G., M. Manzan., and G. Comini. 1998. Computation of Air Velocity and Temperature Distributions in Open Display Cabinets. pp.617-625. In: *Advanced in the Refrigeration Systems*. Paris: France.
- [9] Davey L.M. and Q. T Pham. 1997. Predicting the Dynamic Product heat Load and Weight Loss During Beef Chilling Using a Multi-Region Finite Difference Approach. *International Journal of Refrigeration* 20(4): 470-482.
- [10] Foster A.M. and G.L. Quarini. 1998. Using Advanced Modeling Techniques to Reduce the Cold Spillage from Retail Display Cabinets into Supermarket Stores. pp.217-225. In: *Proceedings of IRC/IIR conference on refrigerated transport, storage and retail display*. Cambridge: UK.
- [11] Hu H., X.L. Yuan and D.W. Sun. 1998. Three Dimensional Dynamics Simulation and Experiment Investigation About Temperature and Oxygen Density Variation Process of The Fruit C.A. Storage. *Learned Journal of Refrigeration* 1: 28-34.
- [12] Hu Z. and D.W. Sun. 1999. The Temperature Distribution of Cooked Meat joints in an Air-Blast Chiller During Cooling Process: CFD Simulation and Experimental Verification. *Paper presented at the 20th international congress of refrigeration*. Sydney: Australia.

- [13] Jing Xie, Xiao-HuaQu, Jun-Yu Shi and Da-Wen Sun. 2006. Effects of Design Parameters on Flow and Temperature Fields of a Cold Storage By CFD Simulation. **Journal of Food Engineering** 77(1): 355-363.
- [14]Stribling D., B. Eng, S.A. Tassou.and D. Marriott. 1997. Two-Dimensional CFD Model of a Refrigerated Display Case. **ASHRAETransactions** 103(1): 88–94.
- [15] Tassou S. A. and W. Xiang. 1998. Modelling the Environment Within a Wet Air-Cooled Vegetable Store. **Journal of Food Engineering** 38(2): 169–187.
- [16] Van Gerwen, R.J. M. and O.H. Van. 1989. The Use of Fluid Dynamics Simulation Models in Cold Store Design. pp.233–239. In**Proceedings of IIF-IIR Commission B2**. Bristol: UK.
- [17] Wang J.F., X.F. Hu., C.Y. Liu. and W.Q. Jiang. 1995. **Air Field Simulation of Freezing Store**. **Cold Storage Technology** 4: 4–17.
- [18] Xiang W. and Tassou S. A. 1998. A Dynamic Model for Vertical Multideck Refrigerated Display Cabinets. pp. 637–644. In**Advance in refrigeration system, food technologies and cold chain**.Paris: France.

การกำจัดโครเมียมเฮกซะวาเลนต์ในน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้ผงสังกะสี

Removal of hexavalent chromium in synthetic wastewater using zero oxidation state zinc powder

กนกพร อนันต์ชื่นสุข*

สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมีและวัสดุ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรังสิต

ถนนพหลโยธิน ต.หลักหก อ.เมือง จ.ปทุมธานี 12000

kanokporn_anan@hotmail.com

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้ศึกษาการกำจัดโครเมียมเฮกซะวาเลนต์โดยใช้ปฏิกิริยารีดอกซ์ที่มีการแลกเปลี่ยนอิเล็กตรอนระหว่างโครเมียมเฮกซะวาเลนต์ Cr(VI) กับสังกะสี (Zn) เมื่ออยู่ในสภาวะที่เหมาะสมโครเมียมเฮกซะวาเลนต์จะเกิดปฏิกิริยาได้โครเมียมไตรวาเลนต์ซึ่งมีพิษน้อยลง การทดลองหาสภาวะที่เหมาะสมโดยมีตัวแปรที่ศึกษา คือ เวลา ค่าความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณผงสังกะสี จากผลการทดลองที่ได้ นำมาคำนวณค่าจลนศาสตร์ของปฏิกิริยา พบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดโครเมียมเฮกซะวาเลนต์ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นเท่ากับ 30 mg/L จำนวน 200 mL คือ เวลาเท่ากับ 150 min . ค่าความเป็นกรดต่างที่พีเอช 3 ปริมาณผงสังกะสีขนาด $10 \mu\text{m}$ เท่ากับ 0.2400 g ประสิทธิภาพในการกำจัดโครเมียมเฮกซะวาเลนต์เท่ากับร้อยละ 93.3 และเป็นปฏิกิริยาอันดับหนึ่งมีค่าคงที่อัตราปฏิกิริยาเท่ากับ 0.0185 min^{-1} .

คำสำคัญ(Key word): โครเมียมเฮกซะวาเลนต์; จลนศาสตร์ของปฏิกิริยา; สังกะสี

Abstract

This research studied the removal of hexavalent chromium in synthetic wastewater using zinc powder. During the redox reaction occurs, there are electrons exchange between hexavalent chromium and zinc. In appropriate condition, hexavalent chromium reacts and change to be trivalent chromium which is less toxic. The laboratory-scale experiment studies of the removal of hexavalent chromium were carried out at 30 mg/L initial concentration and a volume of 200 mL with time, pH and amount of zinc as variables. The reaction kinetic is also studied. It was found that 150 min . time interval with pH 3 and 0.2400 g of $10 \mu\text{m}$ zinc power was efficient in removing 93.3% hexavalent chromium. The kinetic models including the zero order equation, first order equation and second order equation were selected to follow this process, the kinetic studies show that the removal of hexavalent chromium could be described by first order equation with reaction rate constant of 0.0185 min^{-1} .

Key word : hexavalent chromium; reaction kinetic; zinc powder

* กนกพร อนันต์ชื่นสุข

1. บทนำ (Introduction)

การปนเปื้อนโลหะหนักในสิ่งแวดล้อมเกิดจากโลหะหนักหลายชนิด ได้แก่ ตะกั่ว พรอท สารหนู โครเมียม แคดเมียม นิกเกิล สังกะสีและทองแดง โดยโครเมียมเป็นโลหะหนักที่มีพิษมากที่สุดชนิดหนึ่ง (Krishnani et al, 2013) เกิดจากการใช้งานของมนุษย์ในอุตสาหกรรมต่างๆ ได้แก่ การเคลือบผิวโลหะ การฟอกหนัง สารเคมีรักษาเนื้อไม้ การผลิตเหล็กกล้า และอัลลอย สี รงควัตถุ ยาฆ่าเชื้อราและอื่นๆ ซึ่งมักพบโครเมียมในรูปโครเมียมเฮกซะวาเลนต์และโครเมียมไตรวาเลนต์ แต่โครเมียมเฮกซะวาเลนต์เป็นอันตรายมากกว่าโครเมียมไตรวาเลนต์ เนื่องจากเป็นสารก่อมะเร็งสามารถกระจายเข้าสู่สิ่งแวดล้อมได้ดี โครเมียมเฮกซะวาเลนต์ในสารประกอบโครเมต (CrO_4^{2-}) และในสารประกอบไฮโดรเจนโครเมต (HCrO_4^-) สามารถแพร่ผ่านเยื่อหุ้มเซลล์และไปออกซิไดซ์โมเลกุลของสิ่งมีชีวิต ดังนั้นน้ำทิ้งที่ปนเปื้อนโครเมียมเฮกซะวาเลนต์จึงส่งผลกระทบต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อม สำหรับโครเมียมไตรวาเลนต์ซึ่งมีพิษน้อยกว่าโครเมียมเฮกซะวาเลนต์ประมาณ 1,000 เท่า ถูกกำจัดโดยการตกตะกอนหรือดูดซับในรูปของสารประกอบไฮดรอกไซด์โดยใช้สารดูดซับอินทรีย์และสารดูดซับอนินทรีย์ที่ค่าความเป็นกรด-ด่างที่พอเหมาะเป็นกลางได้ดี (Omole et al, 2007 และ K'Owino et al, 2007) นอกจากนี้สารประกอบโครเมียมไตรวาเลนต์ไฮดรอกไซด์ยังละลายน้ำได้น้อยจึงไม่ถูกดูดซึมเข้าสู่ร่างกายของสิ่งมีชีวิต (Wei, 1997) ดังนั้นการลดพิษของโครเมียมเฮกซะวาเลนต์จึงทำได้โดยการเปลี่ยนโครเมียมเฮกซะวาเลนต์ให้เป็นโครเมียมไตรวาเลนต์ ส่วนเทคโนโลยีในการกำจัดโครเมียมเฮกซะวาเลนต์จากน้ำเสียมีหลายวิธี ได้แก่ การดูดซับ การตกตะกอนร่วม การตกตะกอนทางเคมี การรวมตะกอนด้วยวิธีไฟฟ้าเคมี การกรองโดยใช้เยื่อแผ่น การสกัดด้วยสารละลายและการแลกเปลี่ยนไอออน เป็นต้น (Patterson, 1997 ; Krishnani et al, 2013) ปรกติโครเมียมเฮกซะวาเลนต์ในน้ำมักอยู่ในรูปไอออนลบ การกำจัดโดยการดูดซับนั้นสารดูดซับต้องมีสมบัติในการแลกเปลี่ยนประจุลบ การดูดซับโดยใช้ถ่านกัมมันต์จะให้ผลดีแต่มีราคาแพงและวิธีการนำกลับมาใช้ใหม่เป็นวิธีการที่สิ้นเปลืองและมีข้อจำกัด ส่วนการกำจัดด้วยกระบวนการทางเคมีต้องใช้สารเคมี เช่น เพอร์สัลเฟตหรือซัลเฟอร์ไดออกไซด์ จำนวนมากและยังก่อให้เกิดผลิตภัณฑ์ที่เป็นของเสียประเภทใหม่ขึ้น

ค่าความเข้มข้นสูงสุดของโครเมียมเฮกซะวาเลนต์ในน้ำทิ้งที่อนุญาตให้ปล่อยสู่แหล่งน้ำต่างๆ คือ แหล่งน้ำกิน แหล่งน้ำผิวดิน และน้ำทิ้งในประเทศสหรัฐอเมริกา มีค่าเท่ากับ 0.05, 0.1 และ 0.25 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ (US EPA, 1976 และ Code of Federal Regulation, 2011) อย่างไรก็ตามการบำบัดน้ำเสียเพื่อลดความเข้มข้นของโครเมียมเฮกซะวาเลนต์ในน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้วต้องเป็นไปตามเกณฑ์ก่อนปล่อยสู่แหล่งน้ำต่อไป

การทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำมาสังเคราะห์ Zn^0 ซึ่งมีค่าศักย์ไฟฟ้ารีดักชันมาตรฐานต่ำกว่าโครเมียมเฮกซะวาเลนต์มาทำปฏิกิริยากับโครเมียมเฮกซะวาเลนต์ด้วยหลักการของปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมีโดยใช้ปฏิกิริยารีดอกซ์ซึ่งผงสังกะสีจะให้ไอเล็กตรอนแก่โครเมียมเฮกซะวาเลนต์ได้โครเมียมไตรวาเลนต์ซึ่งมีพิษน้อยกว่า ในการศึกษาครั้งนี้จะศึกษาเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดโครเมียมเฮกซะวาเลนต์และศึกษาจลนศาสตร์ของปฏิกิริยาเพื่อประมาณค่าอัตราเร็วของปฏิกิริยา

การกำจัดโครเมียมไตรวาเลนต์และสังกะสีไอออนที่เกิดขึ้นสามารถกำจัดออกด้วยการตกตะกอนในรูปสารประกอบไฮดรอกไซด์

2. วิธีวิจัย (Research Methodology)

2.1 การหาสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดโครเมียมเฮกซะวาเลนต์

2.1.1 การหาเวลาที่เหมาะสม

เตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีความเข้มข้นเริ่มต้นของ Cr(VI) เท่ากับ 30mg/L จาก $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ จำนวน 200 mL ปรับค่าความเป็นกรด-ด่างที่ค่าพอเหมาะเริ่มต้นเท่ากับ 4 เติมน้ำสังกะสีขนาด 10 μm ปริมาณ 0.2400 g (อัตราส่วนโดยโมลของ $\text{Zn} : \text{Cr(VI)} = 30 : 1$) เขย่าด้วยความเร็วรอบ 150 rpm เป็นเวลา 0-210 min. เก็บตัวอย่างสารละลายเพื่อวิเคราะห์หาความเข้มข้นของ Cr(VI) ที่เหลือด้วยเครื่อง UV-VIS Spectrophotometer

2.1.2 การหาค่าความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสม

ทำการทดลองเหมือนข้อ 2.1.1 แต่เปลี่ยนเวลาเป็น 150 min. ปรับค่าความเป็น กรด-ด่างที่ค่าพีเอชเริ่มต้นเท่ากับ 3, 4, 5, 6 และ 7

2.1.3 การหาปริมาณผงสังกะสีที่เหมาะสม

ทำการทดลองเหมือนข้อ 2.1.1 แต่เปลี่ยนเวลาเป็น 150 min. ปรับค่าความเป็น กรด-ด่าง ที่ค่าพีเอชเริ่มต้นเท่ากับ 3 ปริมาณ ผงสังกะสีเท่ากับ 0.0785, 0.1570 และ 0.2400 g

2.2 การศึกษาจลนศาสตร์ของปฏิกิริยาการกำจัดโครเมียมเฮกซะวาเลนต์

จากผลการทดลองหาสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัด Cr(VI) นำข้อมูลที่ได้ไปคำนวณหาความสัมพันธ์ตามปฏิกิริยาอันดับศูนย์ โดยเขียนกราฟระหว่าง [Cr(VI)] ที่เหลือกับเวลา ปฏิกิริยาอันดับหนึ่งโดยเขียนกราฟระหว่าง ln [Cr(VI)] กับเวลา ปฏิกิริยา อันดับสองโดยเขียนกราฟระหว่าง 1/[Cr(VI)] กับเวลา และคำนวณค่าคงที่อัตราปฏิกิริยา

3. ผลการวิจัย (Results)

3.1 การหาสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดโครเมียมเฮกซะวาเลนต์

3.1.1 การหาเวลาที่เหมาะสม

ทำการทดลองกำจัด Cr(VI) จากน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยการทำปฏิกิริยารีดอกซ์กับผงสังกะสีที่ความเข้มข้น Cr(VI) เริ่มต้น 30 mg/L ปริมาตร 200 mL พีเอช 4 ปริมาณผงสังกะสี 0.2400 g ใช้เวลาทำการทดลอง 0-210 min. คำนวณร้อยละของการ กำจัด Cr(VI) ได้จากสมการที่ 1

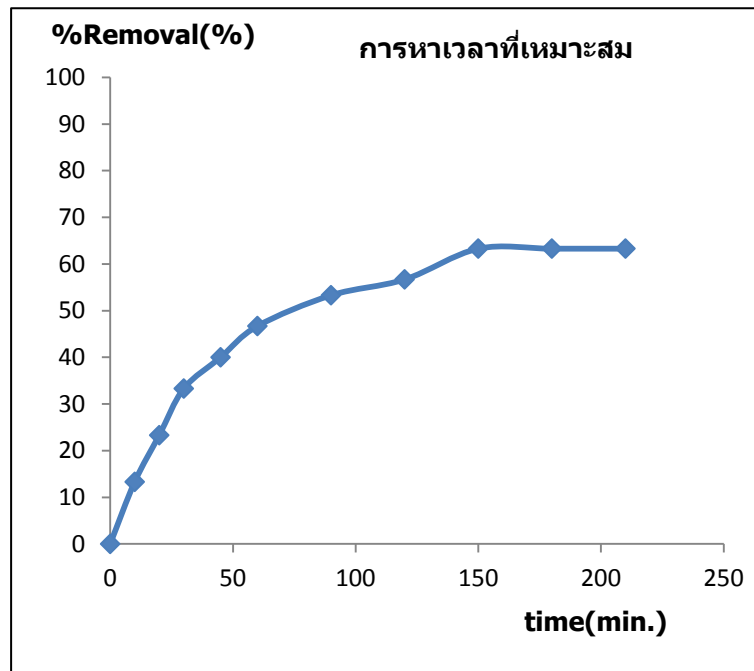
$$\% \text{ Cr removal} = \frac{C_0 - C}{C_0} \times 100 \quad (1)$$

เมื่อ C_0 = ความเข้มข้นของ Cr(VI) เริ่มต้น (mg/L)
 C = ความเข้มข้นของ Cr(VI) ที่เวลาใดๆ (mg/L)

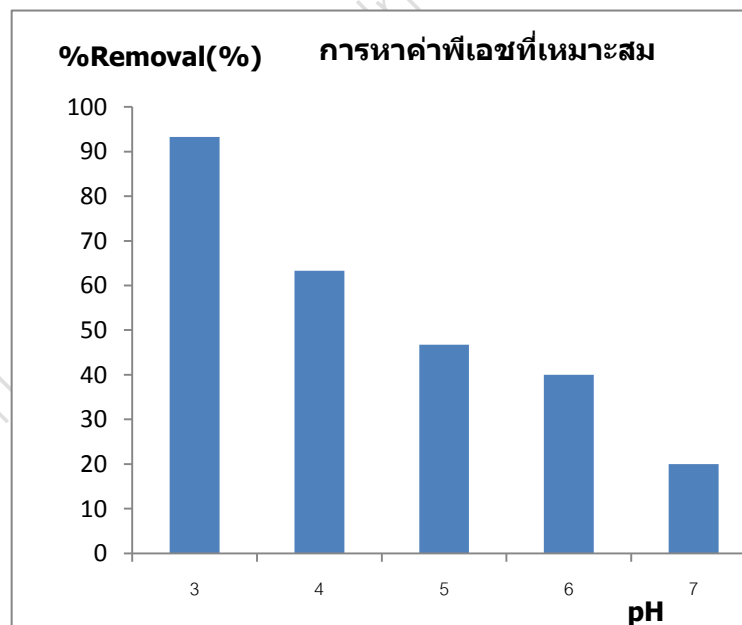
ผลการทดลองเมื่อนำมาคำนวณร้อยละการกำจัด Cr(VI) เทียบกับเวลา แสดงดังภาพที่ 1 ได้ร้อยละของการกำจัด Cr(VI) สูงสุด เท่ากับ 63.3

3.1.2 การหาค่าความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสม

ทำการทดลองกำจัด Cr(VI) จากน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยการทำปฏิกิริยารีดอกซ์ กับผงสังกะสีที่ความเข้มข้น Cr(VI) เริ่มต้น 30 mg/L ปริมาตร 200 mL ปริมาณผงสังกะสี 0.2400 g ใช้เวลาทำการทดลอง 150 min. พีเอช 3, 4, 5, 6 และ 7 ผลการ ทดลองเมื่อนำมาคำนวณร้อยละการกำจัด Cr(VI) เทียบกับเวลา แสดงดังภาพที่ 2



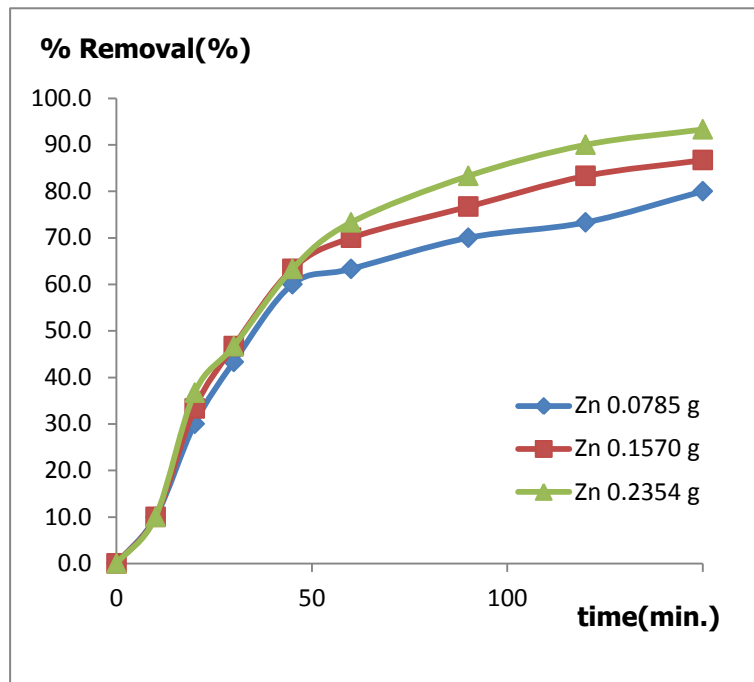
ภาพที่ 1 ความสัมพันธ์ของร้อยละการกำจัด Cr(VI) กับเวลาที่ความเข้มข้น Cr(VI) เริ่มต้น 30 mg/L ปริมาตร 200 mL
 พีเอช 4 ผงสังกะสี 0.2400 g



ภาพที่ 2 ความสัมพันธ์ของร้อยละการกำจัด Cr(VI) กับค่าพีเอช ที่ความเข้มข้น Cr(VI) เริ่มต้น 30 mg/L ปริมาตร 200 mL
 เวลา 150 min. ปริมาณผงสังกะสี 0.2400 g

3.1.3 การหาปริมาณผงสังกะสีที่เหมาะสม

ทำการทดลองกำจัด Cr(VI) จากน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยการทำปฏิกิริยารีดอกซ์ กับผงสังกะสีที่มีความเข้มข้น Cr(VI) เริ่มต้น 30 mg/L ปริมาตร 200 mL พีเอช 3 เวลา 0-150 min. ปริมาณผงสังกะสี 0.0785 g, 0.1570 g และ 0.2354 g ผลการทดลองเมื่อนำมาคำนวณร้อยละการกำจัด Cr(VI) เทียบกับเวลา แสดงดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 ความสัมพันธ์ของร้อยละการกำจัด Cr(VI) กับเวลา ที่ความเข้มข้น Cr(VI) เริ่มต้น 30 mg/L ปริมาตร 200 mL พีเอช 3 ปริมาณผงสังกะสี 0.0785 g, 0.1570 g และ 0.2400 g

3.2 การศึกษาจลนศาสตร์ของปฏิกิริยาการกำจัดโครเมียมเฮกซะวาเลนซ์

ใช้ข้อมูลการทดลองการกำจัด Cr(VI) ที่ความเข้มข้น Cr(VI) เริ่มต้น 30 mg/L ปริมาตร 200 mL โดยใช้ปริมาณผงสังกะสี 0.2354 g พีเอช 3 ระยะเวลาเกิดปฏิกิริยา 0-150 min. เก็บตัวอย่างน้ำเสียเพื่อวัดความเข้มข้นของ Cr(VI) ที่ลดลง หาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของ Cr(VI) ที่ลดลงกับเวลา เพื่อคำนวณหาอันดับปฏิกิริยาและค่าคงที่อัตราปฏิกิริยา(k) ดังนี้

3.2.1 ปฏิกิริยาอันดับศูนย์ (Zero order reaction) มีความสัมพันธ์ของตัวแปร แสดงดังสมการที่ 2

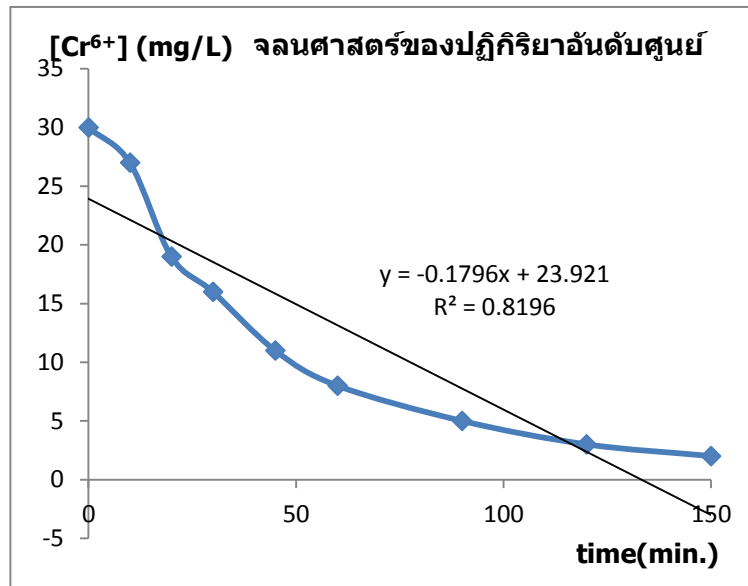
$$[C] = -k_0 t + [C]_0 \quad (2)$$

เมื่อ $[C]_0$ = ความเข้มข้นของ Cr(VI) เริ่มต้น (mg/L)

$[C]$ = ความเข้มข้นของ Cr(VI) ที่เวลาใดๆ (mg/L)

k_0 = ค่าคงที่อัตรา (mg/(L.min.))

เขียนกราฟค่า $[C]$ กับเวลา (t) แสดงดังภาพที่ 4



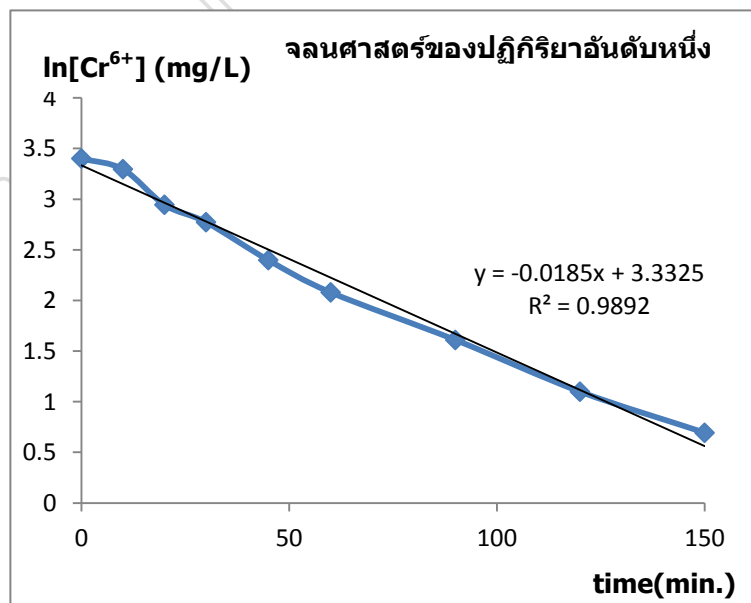
ภาพที่ 4 จลนศาสตร์ของปฏิกิริยาลำดับศูนย์

3.2.2 ปฏิกิริยาลำดับหนึ่ง (First order reaction) มีความสัมพันธ์ของตัวแปร แสดงดังสมการที่ 3 (นภดล, 2001)

$$\ln[C] = -k_1 t + \ln[C]_0 \quad (3)$$

เมื่อ $[C]_0$ = ความเข้มข้นของ Cr(VI) เริ่มต้น (mg/L)
 $[C]$ = ความเข้มข้นของ Cr(VI) ที่เวลาใดๆ (mg/L)
 k_1 = ค่าคงที่อัตรา (min.⁻¹)

เขียนกราฟค่าลอการิทึมของความเข้มข้น $\ln[C]$ กับเวลา (t) แสดงดังภาพที่ 5



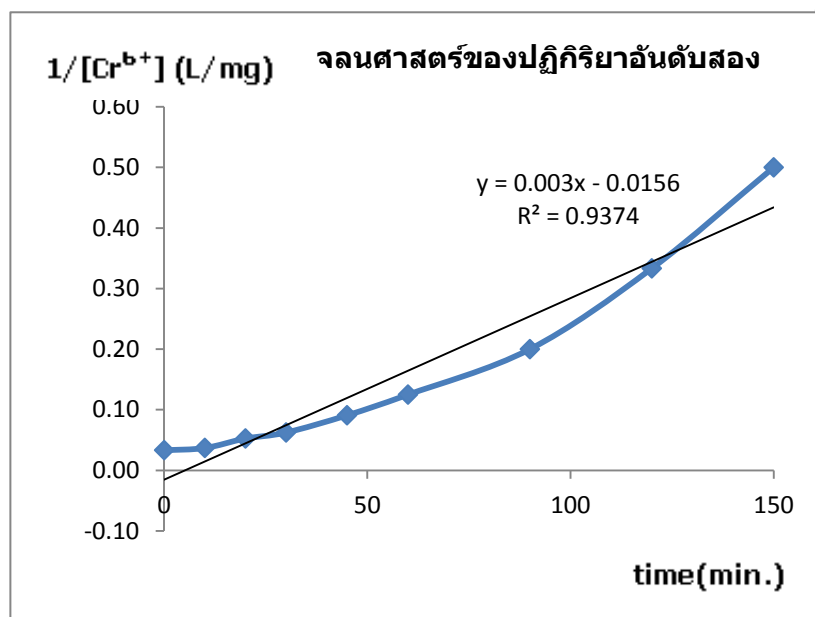
ภาพที่ 5 จลนศาสตร์ของปฏิกิริยาลำดับหนึ่ง

3.2.3 ปฏิกิริยาอันดับสอง (Second order reaction) มีความสัมพันธ์ของตัวแปร แสดงดังสมการที่ 4 (นภดล, 2001)

$$\frac{1}{[C]} = k_2 t + \frac{1}{[C]_0} \quad (4)$$

เมื่อ $[C]_0$ = ความเข้มข้นของ Cr(VI) เริ่มต้น (mg/L)
 $[C]$ = ความเข้มข้นของ Cr(VI) ที่เวลาใดๆ (mg/L)
 k_2 = ค่าคงที่อัตรา (L/(mg.min.))

เขียนกราฟค่าส่วนกลับของความเข้มข้น $1/[C]$ กับเวลา (t) แสดงดังภาพที่ 6



ภาพที่ 6 จลนศาสตร์ของปฏิกิริยาอันดับสอง

4. อภิปรายผล (Discussion)

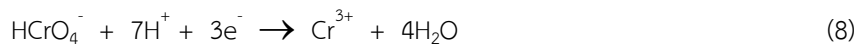
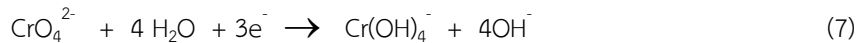
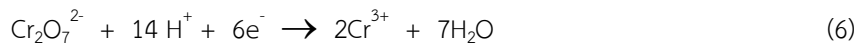
4.1 การหาสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดโครเมียมเฮกซะวาเลนต์

4.1.1 การหาเวลาที่เหมาะสม

เมื่อเวลาในการทดลองเพิ่มขึ้นร้อยละการกำจัด Cr(VI) จะเพิ่มขึ้นด้วย เนื่องจากในตอนแรกความเข้มข้นของสารตั้งต้นคือ Cr(VI) และ Zn มีค่ามากทำให้เกิดปฏิกิริยาเป็นไปอย่างรวดเร็ว (นภดล, 2001) อัตราการกำจัด Cr(VI) ซึ่งหาจากความชันของกราฟ 60 นาทีแรกมีค่ามาก เมื่อปฏิกิริยาดำเนินต่อไปอัตราการกำจัด Cr(VI) จะค่อยๆ ลดลงจนคงที่และเข้าสู่สมดุล ซึ่งทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัด Cr(VI) เกิดสูงสุด ในการทดลองเวลาที่ทำให้ร้อยละการกำจัด (Cr) เกิดสูงสุดคือ 150 min. ให้ค่าความเข้มข้นของ Cr(VI) ลดลงเหลือ 11 mg/L คิดเป็น ร้อยละ 63.3

4.1.2 การหาค่าความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสม

สารละลายที่ใช้ในการทดลองเตรียมจาก $K_2Cr_2O_7$ ละลายน้ำ ซึ่งจะได้ Cr(VI) ในรูปของไอออนต่างๆ 3 แบบ คือ $Cr_2O_7^{2-}$, $HCrO_4^-$ และ CrO_4^{2-} รวมอยู่ด้วยกัน (Dong-Xing Yuan, 2011) Cr(VI) ในรูปไอออนเหล่านี้สามารถรับอิเล็กตรอนจากสังกะสี (สังกะสีให้อิเล็กตรอน) ในสภาวะที่เป็นกรดได้ดี เนื่องจากที่พีเอชต่ำจะมีปริมาณ H^+ (ซึ่งใช้ในปฏิกิริยา) อยู่มาก ทำให้ปฏิกิริยาเกิดได้ดี (Eckenfelder, 1987; In-Ho Yoon et al., 2011; Angela, 2013) แสดงดังสมการที่ (5)-(8)



ดังนั้นการกำจัด Cr(VI) เกิดได้ดีที่พีเอชต่ำ ในการทดลองที่พีเอช 3 ได้ร้อยละกำจัด Cr(VI) สูงสุดเท่ากับ 93.3

4.1.3 การหาปริมาณสังกะสีที่เหมาะสม

การทดลองกำจัด Cr(VI) ที่ความเข้มข้น Cr(VI) เริ่มต้น 30 mg/L ปริมาตร 200 mL โดยใช้ปริมาณผงสังกะสี 0.0785 g, 0.1570 g และ 0.2400 g คิดเป็นอัตราส่วนโดยโมลของ Zn : Cr(VI) = 10:1, 20:1 และ 30:1 ตามปริมาณมวลสารสัมพันธ์พบว่าที่อัตราส่วนโดยโมลของ Zn : Cr(VI) เพิ่มขึ้น ร้อยละของการกำจัด Cr(VI) จะสูงขึ้นด้วย เนื่องจากจะมีเฟสที่ เรียกว่า sorption phase เกิดขึ้นในปฏิกิริยาซึ่งมีประโยชน์เพื่อใช้ดูดซับสารตั้งต้นหรือ Cr(VI) ไว้ที่ผิวของโลหะ (Ponder et al, 2000) ดังนั้นปริมาณสังกะสีที่เพิ่มขึ้นจะช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวให้มากขึ้นและทำให้ปฏิกิริยาเกิดดีขึ้น (Cissoko, 2009) ในการทดลองที่อัตราส่วนโดยโมลของ Zn : Cr(VI) = 30 : 1 ทำให้ปฏิกิริยาการกำจัด Cr(VI) เกิดได้ดีที่สุด ได้ร้อยละของการกำจัด Cr(VI) สูงสุดเท่ากับ 93.3

4.2 การศึกษาจลนศาสตร์ของปฏิกิริยาการกำจัดโครเมียมเฮกซะวาเลนต์

การศึกษาการกำจัด Cr(VI) ที่ความเข้มข้น Cr(VI) เริ่มต้น 30 mg/L ปริมาตร 200 mL พีเอช 3 ปริมาณผงสังกะสี 0.2400 g เวลา 150 min. ทำการคำนวณเพื่อหาความสัมพันธ์ของความเข้มข้น [C] กับเวลา [t] ตามปฏิกิริยาอันดับศูนย์ ปฏิกิริยาอันดับหนึ่งและปฏิกิริยาอันดับสอง แสดงดังสมการที่ (2)-(4) (นภดล 2001 ; Liu et al., 2008) ทำการวิเคราะห์กราฟภาพที่ 4-6 โดยพิจารณาจากค่า R^2 ที่มีค่าใกล้เคียง 1 มากที่สุด คือ 0.9892 พบว่าจลนศาสตร์ปฏิกิริยาการกำจัด Cr(VI) โดยใช้สังกะสีเป็นปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง สำหรับค่าคงที่อัตราปฏิกิริยา (k_1) คือค่าความชันของกราฟที่พล็อตระหว่างค่า $\ln[C]$ กับเวลา (t) (Cissoko, 2009) ซึ่ง k_1 ในการทดลองมีค่าเท่ากับ 0.0185 min^{-1}

5. สรุปผล (Conclusion)

5.1 การกำจัดโครเมียมเฮกซะวาเลนต์ในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยวิธีการทางไฟฟ้าเคมีนี้ใช้หลักการของปฏิกิริยารีดอกซ์ที่มีการให้อิเล็กตรอนโดยผงสังกะสี

5.2 สภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดโครเมียมเฮกซะวาเลนต์ในน้ำเสียสังเคราะห์ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 30 mg/L ปริมาตร 200 mL คือ ปริมาณผงสังกะสี 0.2400 g พีเอช 3 ระยะเวลาเกิดปฏิกิริยา 150 min. สามารถกำจัดโครเมียมเฮกซะวาเลนต์ได้สูงสุดร้อยละ 93.3

5.3 จลนศาสตร์ของปฏิกิริยาการกำจัดโครเมียมเฮกซะวาเลนต์เป็นปฏิกิริยาอันดับหนึ่งมีค่าคงที่อัตรา (k_1) เท่ากับ 0.0185 min^{-1}

6. เอกสารอ้างอิง (Reference)

- [1] นภดล ไชยคำ พืชรพรรณ พันธุมานวิน และ ลัดดาวัลย์ ผดุงทรัพย์, 2001.เคมีเล่ม 1. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์แมคกรอฮิลอินเตอร์เนชันแนล เอ็นเตอร์ไพรส์อิงค์.
- [2] Cissoko, N., Zhang, Z., et al, 2009. Removal of Cr(VI) from simulative contaminated groundwater by iron metal, Vol. 87 : 395-400.
- [3] Code of Federal Regulation, 2011. Protection of Environment. Section 141, 80, Title [40] : 425.
- [4] Eckenfelder W.W., 1989. Industrial Water Pollution Control. Singapore : Mc. Graw-Hill.

- [5] K'Owino, I.O., Sadik, O.A., Omole, M.A., 2007. Tuning the surfaces of palladium nanoparticles for the catalytic conversion of Cr(VI) to Cr(III). *Journal of Environmental Monitoring*, Vol. 9 : 657-665.
- [6] Krishnani, K.K., Meng, X., Dupont, L., 2009. Metal ions binding onto lignocellulosic biosorbent. *Journal of Environmental Science and Health, Part A*, Vol. 44 : 1-12.
- [7] Liu, T., Tsang, D.C.W. and Lo, I.M.C., 2008. Chromium (VI) reduction kinetics by zero-valent iron in moderately hard water with humic acid : iron dissolution and humic acid adsorption. *Journal of Environmental Science and Technology*, Vol. 42 : 2092-2098.
- [8] Omole, M.A., Sadik, O.A., K'Owino, I.O., 2007. Palladium nanoparticles for catalytic reduction of Cr(VI) using formic acid. *Applied Catalysis B, Environmental B* 76 : 158-167.
- [9] Patterson, R.R., Fendorf, S., Fendorf, M., 1997. Reduction of chromate by amorphous iron sulfide. *Journal of Environmental Science and Technology*, Vol. 31: 2039.
- [10] Ponder, S.M., Darab, J.G. and Mallouk, T.E., 2000. Remediation of Cr(VI) and Pb(II) aqueous solutions using supported nanoscale zero-valent iron. *Journal of Environmental Science and Technology*, Vol. 34: 2564-2569.
- [11] US EPA. Report No. 1976. EPA/570/9-76/003 : Washington, DC.
- [12] Volpe, A., Pagano, M., et al, 2013. Simultaneous Cr(VI) reduction and non-ionic surfactant oxidation by peroxymonosulphate and iron powder, Vol. 91 : 1250-1256.
- [13] Wei, C., German, S., Basak S., Rajeshwar, K., 1993. Reduction of hexavalent chromium in aqueous solutions by polypyrrole. *Journal of Electrochemical Society*, Vol. 140 : L60-L62.
- [14] Yoon, I.H., Bang S., et al, 2011. Effect of pH and dissolved oxygen on Cr(VI) removal in Fe(0)/H₂O systems. Vol 186 : 855-862.
- [15] Yuan, D.X., Liu, Y.X., et al, 2011. Electrochemical removal of Chromium from aqueous solutions using electrodes of stainless steel nets coated with single wall carbon nanotubes. *Journal of Hazardous Material*, Vol. 186 : 473-480

การประเมินการใช้พลังงานและการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของเครื่องคอมพิวเตอร์ที่หมดอายุ โดยใช้การรีไซเคิลลูปปิด

Assessment of energy use and greenhouse gas emissions on End-of-Life Computer by Using Closed-Loop Recycling

วรรณมล เลิศจตุรนนท์^{1*} และ เศรษฐ์ สัมภัตตะกุล²

¹สาขาวิศวกรรมพลังงาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
239 ถนนห้วยแก้ว ตำบลสุเทพ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ 50200

lwassamol@hotmail.com

²ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ sate@eng.cmu.ac.th

บทคัดย่อ

ปัจจุบันประเทศไทยมีปริมาณซากคอมพิวเตอร์เพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง ในขณะเดียวกันก็ยังคงขาดระบบการจัดการซากคอมพิวเตอร์ที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพ ซึ่งพบว่าการกำจัดซากด้วยการรีไซเคิลลูปปิดนั้นสามารถนำวัสดุกลับมาใช้เป็นวัตถุดิบตั้งต้นในการผลิตคอมพิวเตอร์ได้เกือบทุกชิ้นส่วน ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปริมาณวัสดุที่ได้จากซากคอมพิวเตอร์ด้วยการรีไซเคิลลูปปิด พร้อมกับการประเมินการใช้พลังงานและการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดวัฏจักรของคอมพิวเตอร์ ซึ่งมีขอบเขตการศึกษาตั้งแต่การได้มาซึ่งวัตถุดิบ การผลิต การใช้งาน ไปจนถึงการกำจัดซาก โดยใช้ฐานข้อมูลจากโปรแกรม SimaPro 7.3.3 ในการประเมินการใช้พลังงานด้วยวิธี Life Cycle Energy Analysis และประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกด้วยวิธี IPCC 2007 GWP 100a เพื่อสะท้อนให้เห็นถึงปริมาณของวัสดุที่ได้และผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการรีไซเคิลลูปปิด จากผลการศึกษาพบว่า การรีไซเคิลลูปปิดสามารถนำวัสดุกลับมาใช้ใหม่ในการผลิตคอมพิวเตอร์ได้ถึงร้อยละ 41.22 ของน้ำหนักคอมพิวเตอร์ 1 เครื่อง และสามารถลดปริมาณการใช้พลังงานตลอดวัฏจักรชีวิตได้ถึงร้อยละ 34.92 ของพลังงานทั้งหมด นอกจากนี้การรีไซเคิลลูปปิดยังลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ถึง 16.77 kgCO₂-eq จากผลการประเมินสังเกตว่าการกำจัดซากด้วยการรีไซเคิลลูปปิดนั้น สามารถลดการใช้ทรัพยากรธรรมชาติได้ทั้งทางตรงและทางอ้อม ดังนั้นจึงควรมุ่งเน้นให้มีการศึกษาและพัฒนาเกี่ยวกับการกำจัดซากคอมพิวเตอร์ที่สามารถนำกลับเข้าสู่กระบวนการรีไซเคิลลูปปิดได้อย่างเป็นระบบและมีประสิทธิภาพต่อไป

คำสำคัญ: ซากคอมพิวเตอร์; การรีไซเคิลลูปปิด; การประเมินวัฏจักรชีวิต

Abstract

Nowadays, the quantity of computer scraps in Thailand has increased continuously. In addition, Thailand still lack of the appropriate and efficient system for management. This research interested in disposal by closedloop recycling. The closed loop recycling has higher recycling of raw material in producing computer parts, this research aims to investigate and estimate the quantity of closed loop recycling materials from computer scraps. To evaluate the energy consumption and greenhouse gas emissions of the closed-loop recycling for computer scrape. The system boundary includes the entire life cycle of the product, including manufacturing, use and disposal. Using data base by SimaPro software version 7.3.3 to evaluate the energy impact was assessed by LCEA (Life Cycle Energy Analysis) and the

* วรรณมล เลิศจตุรนนท์

greenhouse gas assessment was done using IPCC (International Panel on Climate Change) 2007 GWP 100a which reflect to the quantity of material can be reused and the impact occurred. The results showed that the closed loop recycling can be material recycled in the production of computers is 41.22 percentage by computer weight and can reduced the energy consumption over the life cycle, which is around 34.92 percent. The closed loop recycling can be reduced the greenhouse gas emissions is 16.77kgCO₂-eq. As can be seen, the recycling process can reduced the use of resources, both directly and indirectly. Finally, the appropriate way for supporting the future management of computer scraps is to develop a system for taking computer scraps back and propose to the closed loop recycling process.

Keyword: computer scraps; closed loop recycling; life cycle assessment

1. บทนำ (Introduction)

ปัญหาขยะจากซากผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ (Waste Electrical and Electric Equipment, WEEE หรือ E-waste) กำลังเป็นปัญหาที่แผ่กระจายไปทั่วโลกทำให้หลายประเทศให้ความสำคัญกับปัญหานี้ ทั้งการสร้างข้อกำหนดทางด้านกฎหมายและการณรงค์เพื่อให้เกิดกระบวนการในการจัดการที่ดีซึ่ง E-waste เหล่านี้ ได้แก่คอมพิวเตอร์ เครื่องพิมพ์ กล้องถ่ายรูป โทรศัพท์มือถือและเครื่องปรับอากาศ เป็นต้น [2] สำหรับประเทศไทยนั้นจากการศึกษาพบว่า ในปีพ.ศ. 2546 มีปริมาณของ E-waste เกิดขึ้นประมาณ 58,000 ตันซึ่งส่วนหนึ่งสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ (reuse) ได้และส่วนที่เหลือนั้นก็สมารถที่จะนำไปทำการรีไซเคิล (recycle) ได้สูงถึงร้อยละ 80 [3]

สำหรับข้อมูลของซาก E-waste ที่เกิดขึ้นทั่วโลกนั้นคอมพิวเตอร์ก็เป็นส่วนหนึ่งของ E-waste ที่กลายเป็นปัญหาสำคัญและมีปริมาณเพิ่มมากขึ้นอย่างรวดเร็ว ทั้งนี้เนื่องจากอุตสาหกรรมคอมพิวเตอร์มีการเติบโตที่เร็วมากในขณะเดียวกันคอมพิวเตอร์ก็มีอัตราการล้าสมัยที่สูงและก่อให้เกิดปริมาณของซากคอมพิวเตอร์ที่สูงตามมาโดยในปี ค.ศ. 2005 พบว่า ประเทศสหรัฐอเมริกา มีปริมาณซากคอมพิวเตอร์สูงถึง 250 ล้านเครื่อง [4] ในขณะที่ซากคอมพิวเตอร์ของประเทศไต้หวันมี การคาดการณ์ว่าเกิดขึ้นในแต่ละปีประมาณ 300,000 เครื่อง [5] สำหรับประเทศไทยนั้นจากการสำรวจพบว่าในอดีตเมื่อ ปี พ.ศ. 2546 มีปริมาณซากคอมพิวเตอร์ถึง 2,105 ตันในขณะเดียวกันผลการสำรวจข้อมูลการบริโภคภายในประเทศของผลิตภัณฑ์ที่เกิดของเสียประเภทเครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ในปีพ.ศ. 2550 พบว่าปริมาณการบริโภคคอมพิวเตอร์ภายในประเทศมีถึง 280,659.57 ตันต่อปี [6] ซึ่งถือได้ว่าเป็นปริมาณที่สูงมาก นอกจากนี้ข้อมูลจากงานวิจัย พบว่า ปี พ.ศ. 2553 มีปริมาณซากคอมพิวเตอร์สูงถึง 5,095,344 เครื่อง ซึ่งคำนวณโดยใช้อายุการใช้งานเฉลี่ยอยู่ที่ 5 ปีและพิจารณาที่อัตราการเติบโตร้อยละ 20 [7] จากปัญหาของซากคอมพิวเตอร์ที่เพิ่มสูงขึ้นนั้นทำให้ต้องมีการศึกษาแนวทางในการจัดการซากคอมพิวเตอร์ที่เป็นระบบและเหมาะสม

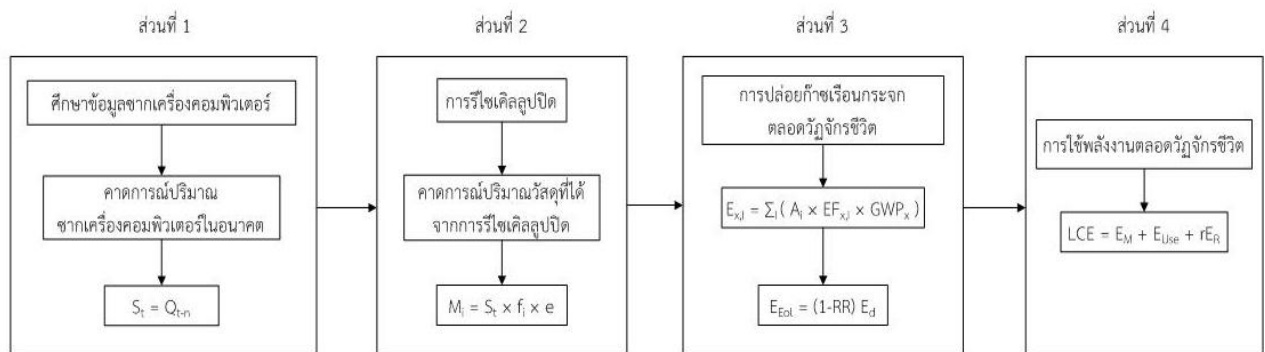
ในปัจจุบันนี้ประเทศไทยก็ยังคงขาดกระบวนการเชิงระบบในการเก็บรวบรวมการคัดแยกการรีไซเคิลและการกำจัดที่เหมาะสม โดยส่วนใหญ่ในปัจจุบันนั้นจะเป็นการถอดแยกชิ้นส่วนที่สามารถถอดแยกได้โดยร้านรับซื้อของเก่า ทำให้ชิ้นส่วนที่ไม่สามารถถอดแยกได้ส่วนหนึ่งถูกกองทิ้งไว้ก่อให้เกิดสารพิษซึมลงสู่พื้นดินและอีกส่วนหนึ่งก็ถูกส่งไปบดทำลาย และฝังกลบซึ่งก่อให้เกิดปัญหาการซึมผ่านของสารพิษลงสู่ระบบนิเวศน์ ทำให้ส่งผลกระทบต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อมโดยรูปแบบการรีไซเคิลที่มีอยู่ในปัจจุบันยังไม่สามารถนำซากคอมพิวเตอร์กลับมาใช้ได้หมดดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นศึกษาถึงเทคโนโลยี สำหรับการรีไซเคิล อุปกรณ์เพื่อนำวัสดุกลับเข้ากระบวนการผลิตเดิมได้ทุกชิ้นส่วน พร้อมทั้งการนำเสนอปริมาณของวัสดุองค์ประกอบของเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ได้รับจากการรีไซเคิลอุปกรณ์เช่นอลูมิเนียมเหล็กและพลาสติกเหล่านี้เป็นต้นซึ่งเป็นส่วนสำคัญที่จะสะท้อนให้เห็นถึงผลประโยชน์ที่จะได้รับจากการรีไซเคิลอุปกรณ์ของซากคอมพิวเตอร์โดยปริมาณวัสดุองค์ประกอบที่สำคัญของคอมพิวเตอร์หนึ่งเครื่องนั้น ผู้วิจัยได้ทำการเก็บข้อมูลจริงจากการถอดแยก ประกอบกับใช้ข้อมูลจากงานวิจัยอื่นที่มีการศึกษาถึงปริมาณของวัสดุแต่ละชนิดเพื่อประมาณการนำหน้าวัสดุออกมา [8, 10-12] นอกจากนี้ข้อมูลที่ได้จะแสดงออกมาในรูปของปริมาณการใช้พลังงานและปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ซึ่งคาดว่าจะการศึกษานี้จะมีส่วนช่วยในการสนับสนุนการจัดการ

ปัญหาซากคอมพิวเตอร์ที่เกิดขึ้นอย่างเป็นระบบ และสามารถนำเสนอข้อมูลเชิงปริมาณของวัสดุที่จะได้รับ หากมีระบบในการรีไซเคิลซากอุปกรณ์ของเครื่องคอมพิวเตอร์แบบครบวงจรของประเทศไทยในอนาคตต่อไป

2. วิธีการศึกษา (Research Methodology)

วิธีการศึกษาในงานวิจัยนี้ได้แบ่งออกเป็น 4 ส่วน คือ 1. การศึกษาข้อมูลซากเครื่องคอมพิวเตอร์และคาดการณ์ปริมาณซากของเครื่องคอมพิวเตอร์ 2. ปริมาณวัสดุที่จะได้รับจากการรีไซเคิลอุปกรณ์ 3. การประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจก 4. การประเมินการใช้พลังงานตลอดวัฏจักรชีวิตซึ่งแสดงดัง

ภาพที่ 1



ภาพที่ 1 การประเมินการใช้พลังงานและการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของเครื่องคอมพิวเตอร์ที่หมดอายุ โดยการรีไซเคิลอุปกรณ์

2.1 ศึกษาข้อมูลซากคอมพิวเตอร์และคาดการณ์ปริมาณซากคอมพิวเตอร์ที่จะเกิดขึ้น

ศึกษาข้อมูลของเครื่องคอมพิวเตอร์แบบตั้งโต๊ะ โดยงานวิจัยนี้ได้กำหนดขอบเขตการศึกษาคือ คาดการณ์ซากคอมพิวเตอร์ที่จะเกิดขึ้นในปี พ.ศ. 2557-2558 โดยอาศัยข้อมูลการใช้งานใน ปี พ.ศ. 2549-2554 และกำหนดอายุการใช้งานเฉลี่ย 3 ปีเพื่อนำมาใช้คาดการณ์การปริมาณซากคอมพิวเตอร์ตามสมการที่ (1)

$$S_t = Q \quad (1)$$

โดย Q_{t-n} = ปริมาณการใช้งานคอมพิวเตอร์ (piece)
 S = ปริมาณซากคอมพิวเตอร์ (piece)
 t = ปีพ.ศ. ที่พิจารณา
 n = อายุการใช้งานเฉลี่ยของคอมพิวเตอร์

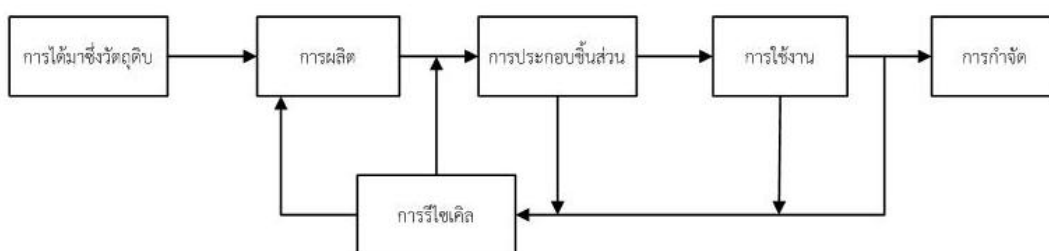
2.2 ศึกษาข้อมูลการรีไซเคิลและปริมาณวัสดุที่จะได้รับจากการรีไซเคิลอุปกรณ์

จากการศึกษาข้อมูลจากงานวิจัยและคู่มือเกี่ยวกับการจัดการซากคอมพิวเตอร์นั้นโดยทั่วไปนั้น สามารถสรุปกระบวนการการรีไซเคิลได้ดังแสดงใน ภาพที่ 2



ภาพที่ 2 กระบวนการรีไซเคิลซากผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์
ที่มา: ปรับจาก E-waste Management Manual, 2007 [8]

สำหรับในงานวิจัยนี้ สนใจศึกษาเฉพาะวิธีการรีไซเคิลรูปปิด (Closed-loop Recycling) ซึ่งการรีไซเคิลแบบปิดนั้น เป็นการรีไซเคิลวัสดุที่เหลือทิ้งหลังจากการใช้งานแล้วที่ยังมีความสามารถในการรีไซเคิล จึงไม่ถูกส่งไปจัดการ โดยการทำลาย แต่จะถูกส่งกลับเข้ามาในกระบวนการการรีไซเคิล ซึ่งอาจจะสามารถนำกลับเข้าสู่ขั้นตอนการประกอบชิ้นส่วนผลิตภัณฑ์ หรือขั้นตอนการผลิตวัสดุเลยก็ได้ แต่มีข้อจำกัดอยู่ว่าวัสดุที่รีไซเคิลนั้นจะต้องถูกส่งกลับเข้าสู่สายกระบวนการผลิตภัณฑ์เดิม และถูกผลิตออกมาเป็นผลิตภัณฑ์ชนิดเดิม ดังแสดงในภาพที่ 3



ภาพที่ 3 แสดงแผนภาพกระบวนการรีไซเคิลแบบปิด
ที่มา: Institute for Environment and Sustainability, 2010 [14]

นำเสนอข้อมูลปริมาณของวัสดุ แต่ละชนิดในคอมพิวเตอร์ที่ได้ จากการรีไซเคิลโดยนำเสนอปริมาณวัสดุที่ได้ด้วยการพิจารณา ระดับของประสิทธิภาพการรีไซเคิล (recycling efficiency) ซึ่งเป็นระดับเทคโนโลยีที่มีศักยภาพ (จากคู่มือการจัดการซากผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์) สำหรับการประมาณการปริมาณวัสดุนั้นจะอาศัยสมการที่ (2) ในการคำนวณ

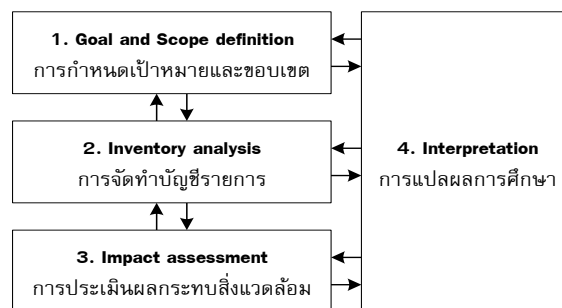
$$M_i = S \times f_i \times e_i \quad (2)$$

โดย M_i = ปริมาณวัสดุที่ได้ จากการรีไซเคิล (kg)

S	=	ปริมาณซากคอมพิวเตอร์ (piece)
f	=	ปริมาณวัสดุที่เป็นองค์ประกอบของคอมพิวเตอร์ (kg per piece)
e	=	ระดับของประสิทธิภาพการรีไซเคิลที่จะได้วัสดุออกมา
i	=	ชนิดของวัสดุ

2.3 การประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse gas emission: GHG emission)

การประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกหมายถึง ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยออกมาจากผลิตภัณฑ์แต่ละหน่วยตลอดวัฏจักรชีวิตตั้งแต่การได้มาซึ่งวัตถุดิบ การประกอบชิ้นส่วนการใช้งานและการกำจัดซากผลิตภัณฑ์หลังใช้งาน โดยคำนวณออกมาในรูปของคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (kg CO₂-eq) [1] ซึ่งพิจารณาจากค่าศักยภาพในการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อนในระยะเวลา 100 ปี ตามรายงานของคณะกรรมการระหว่างรัฐบาลว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ หรือ IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) ฉบับล่าสุด โดยการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของผลิตภัณฑ์จะดำเนินงานตามวิธีการประเมินวัฏจักรชีวิตตามอนุกรมมาตรฐาน ISO 14040 [13] ดังแสดงในภาพที่ 4 และกำหนดรูปแบบการประเมินแบบ Business-to-Consumer (B2C) เป็นการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ ซึ่งครอบคลุมตั้งแต่กระบวนการได้มาซึ่งวัตถุดิบ การผลิต การใช้งาน และการกำจัดซากผลิตภัณฑ์



ภาพที่ 4 ขั้นตอนการประเมิน LCA
ที่มา: Graedel, 1998 [13]

2.3.1 การกำหนดเป้าหมายและขอบเขต

การกำหนดเป้าหมาย: ประเมินผลการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและการใช้พลังงานตลอดวัฏจักรชีวิตของเครื่องคอมพิวเตอร์พร้อมจัดทำรายการวัสดุที่เป็นองค์ประกอบของเครื่องคอมพิวเตอร์ โดยมีขอบเขตการศึกษาครอบคลุมตั้งแต่การได้มาซึ่งวัตถุดิบ การใช้งาน ไปจนถึงการกำจัดซาก

หน่วยหน้าที่ของการศึกษา: กำหนดขึ้นเพื่อใช้เป็นพื้นฐานสำหรับกำหนดการวัดหรือเก็บข้อมูลของสารขาเข้าและสารขาออกจากระบบที่ศึกษา ในงานวิจัยนี้หน่วยหน้าที่ของการศึกษา (Functional unit: FU) คือ เครื่องคอมพิวเตอร์ แบบตั้งโต๊ะ 1 เครื่อง หน้าจอสีอาร์ที ขนาด 14 นิ้ว พร้อมอุปกรณ์ต่อพ่วง ที่มีอายุการใช้งาน 3 ปี

2.3.2 การวิเคราะห์บัญชีรายการ

การจัดทำบัญชีรายการหรือการเก็บรวบรวมข้อมูลปริมาณสารขาเข้า (Input) และสารขาออก (Output) ของระบบผลิตภัณฑ์ (Product System) ที่เกี่ยวข้องกับสิ่งแวดล้อมจากกระบวนการต่าง ๆ ที่กำหนดไว้ในขั้นตอนการกำหนดเป้าหมายและขอบเขต ซึ่งข้อมูลในการจัดเก็บอาจมีจำนวนมาก เพื่อให้เกิดความถูกต้องและครบถ้วนของข้อมูล จึงจำเป็นต้องมีการทำการตรวจสอบโดยใช้วิธีการสมดุลมวลและสมดุลพลังงาน มีรายละเอียดดังนี้

- สมดุลมวล (Mass balance) เป็นหลักการพื้นฐานของกฎการอนุรักษ์มวลสาร (Law of conservation of mass) ว่ามวลจะไม่สูญหายหรือถูกทำลายไป ซึ่งหมายถึงการพิจารณาว่ามีมวลสารขาเข้าและขาออกอย่างไรและมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณของมวลสารภายในระบบเป็นอย่างไรแสดงดังสมการ (3)

$$\text{มวลสารเข้าระบบ} = \text{มวลสารที่ออกจากระบบ} + \text{มวลสารที่สะสมในระบบ} \quad (3)$$

สมดุลพลังงาน (Energy balance) เป็นพื้นฐานของกฎการอนุรักษ์พลังงาน (Law of conservation of Energy) ว่าพลังงานไม่สามารถสร้างขึ้นได้และไม่สามารถทำให้สูญหายไปได้นั้นพลังงานรวมทั้งหมดของวัตถุก้อนใดก้อนหนึ่งไม่ได้อยู่ตำแหน่งใดที่ย่อมมีค่าเท่ากันทุกๆ ตำแหน่ง ซึ่งสามารถเขียนในรูปของสมการได้ดังสมการ (4)

$$\text{พลังงานที่เข้าสู่ระบบ} = \text{พลังงานที่ออกจากระบบ} + \text{พลังงานที่สะสมในระบบ} \quad (4)$$

2.3.2.1 การได้มาซึ่งวัตถุดิบและผลิตเครื่องคอมพิวเตอร์

เริ่มศึกษาตั้งแต่การสกัดวัตถุดิบออกจากธรรมชาติ จนได้เป็นวัตถุดิบในกระบวนการผลิตส่วนประกอบของเครื่องคอมพิวเตอร์ ข้อมูลบัญชีรายการในขั้นตอนนี้อาศัยจากฐานข้อมูลของต่างประเทศ โดยวัตถุดิบของส่วนประกอบเครื่องคอมพิวเตอร์มีจำนวนมาก ในที่นี้จึงมุ่งเน้นไปที่วัตถุดิบหลัก เช่น เหล็ก อลูมิเนียม ทองแดง และพลาสติก เป็นต้น

2.3.2.2 การใช้งาน

การใช้งานเครื่องคอมพิวเตอร์ กำหนดจากสถานการณ์ที่เกิดจากการใช้งานจริง โดยพิจารณาการทำงานออกเป็น 3 โหมด คือ การทำงานปกติ (Active) การใช้งานภาพพักหน้าจอ (Screen sever) และปิดหน้าจอแต่ซีพียูยังทำงานอยู่ มีระยะเวลาการใช้งาน 1,764, 252 และ 4,032 ชั่วโมงต่อปีตามลำดับการบริโภคพลังงานไฟฟ้าสะสมของเครื่องคอมพิวเตอร์ตลอดอายุการใช้งาน 3 ปีคำนวณได้ทั้งสิ้น 1,185.5 kWh

2.3.2.3 การกำจัดซาก

ขั้นตอนการกำจัดซากในช่วงหลังหมดอายุการใช้งาน โดยการพิจารณา 2 กรณี คือ การฝังกลบ (Landfill) และการรีไซเคิลรูปปิด (Closed loop recycling) การจัดการขยะเครื่องคอมพิวเตอร์โดยปกติจะถูกถอดแยกออกมาจากคอมพิวเตอร์ก่อน จากนั้นจะถูกนำเข้าสู่เครื่องบด แล้วทำการคัดแยกของเสียที่สามารถรีไซเคิลได้เพื่อนำไปเป็นวัตถุดิบตั้งต้นในการผลิตต่อไป

2.3.3 การประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม

การประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมของระบบผลิตภัณฑ์ จากข้อมูลการใช้ทรัพยากรและการปล่อยของเสียหรือสารขาเข้าและขาออกที่ได้จากขั้นตอนการวิเคราะห์บัญชีรายการ โดยการจำแนกจัดกลุ่มและเปรียบเทียบผลกระทบที่เกิดขึ้น ในการคำนวณค่าการปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของผลิตภัณฑ์ ข้อมูลปฐมภูมิและข้อมูลทุติยภูมิต้องถูกแปลงให้อยู่ในรูปปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก โดยการคูณเข้ากับปัจจัยการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Emission factor: EF) ของประเภทวัสดุ พลังงานหรือกระบวนการนั้นๆ และคำนวณในรูปของปริมาณก๊าซเรือนกระจกต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ ตามสมการที่ (5)

$$E_{x,i} = \sum_i (A_i \times EF_{x,i}) \quad (5)$$

โดย $E_{x,i}$ = ปริมาณก๊าซเรือนกระจก x ที่ปล่อยออกมาในรูปของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (kg CO₂-eq)

A_i = กิจกรรม i ที่ก่อให้เกิดก๊าซเรือนกระจก

$EF_{x,i}$ = ปัจจัยการปล่อยก๊าซเรือนกระจก x ที่เกิดจากกิจกรรม i

สำหรับการคำนวณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากการกำจัดซากผลิตภัณฑ์หลังการใช้งานด้วยวิธีการรีไซเคิลนั้น สามารถประเมินตามอัตราการรีไซเคิลโดยปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยออกในช่วงการกำจัดซากผลิตภัณฑ์แสดงดังสมการที่ (6)

$$E_{Eol} = (1-RR) E_d \quad (6)$$

โดย E_{Eo} = ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในช่วงการจัดการซากผลิตภัณฑ์

RR = อัตราการรีไซเคิลวัสดุประเภท (อ้างอิงค่ามาจากคณะกรรมการเทคนิคด้านคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์แนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์, 2554) [1]

E_d = ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของการจัดการของเสียขั้นสุดท้ายของวัสดุประเภท

2.3.4 การแปรผลการศึกษา

การแปรผลการศึกษา ทำให้ทราบถึงแนวทางการลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์นั้นๆ โดยสามารถชี้ชัดลงไปได้อย่างชัดเจนถึงกระบวนการที่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุด และควรมีการเปลี่ยนแปลงหรือปรับปรุง ณ จุดนั้นๆ เพื่อให้สิ่งแวดล้อมดีขึ้น

2.4 การประเมินการใช้พลังงานตลอดวัฏจักรชีวิตของการรีไซเคิล (Life Cycle Energy Assessment of Recycling)

การประเมินการใช้พลังงานตลอดวัฏจักรชีวิต เป็นวิธีการประเมินผลกระทบทางการใช้พลังงานตลอดวัฏจักรชีวิตโดยคำนึงถึงการใช้พลังงานในขั้นตอนต่างๆ เริ่มตั้งแต่ขั้นตอนได้มาซึ่งวัตถุดิบการผลิต การขนส่ง การใช้งาน และการกำจัดซาก โดยจะเป็นการวิเคราะห์ผลกระทบในรูปแบบการวิเคราะห์ขั้นพื้นฐาน ซึ่งอยู่ในรูปแบบสมการทางคณิตศาสตร์ ที่แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างการใช้พลังงานตลอดวัฏจักรชีวิตและแนวทางวิธีการจัดการซากเครื่องคอมพิวเตอร์ เช่น การรีไซเคิล เป็นต้นแสดงดังสมการที่ (7)

$$LCE = E_M + E_{Use} + rE_R \quad (7)$$

โดย LCE = การใช้พลังงานตลอดวัฏจักรชีวิตของการรีไซเคิล (MJ)
 E_M = การใช้พลังงานในการผลิต (MJ)
 E_{Use} = การใช้พลังงานในการใช้งาน (MJ)
 rE_R = อัตราการรีไซเคิล $\times$ การใช้พลังงานในการรีไซเคิล (MJ)

3. ผลการศึกษา (Results)

3.1 การประมาณการซากคอมพิวเตอร์

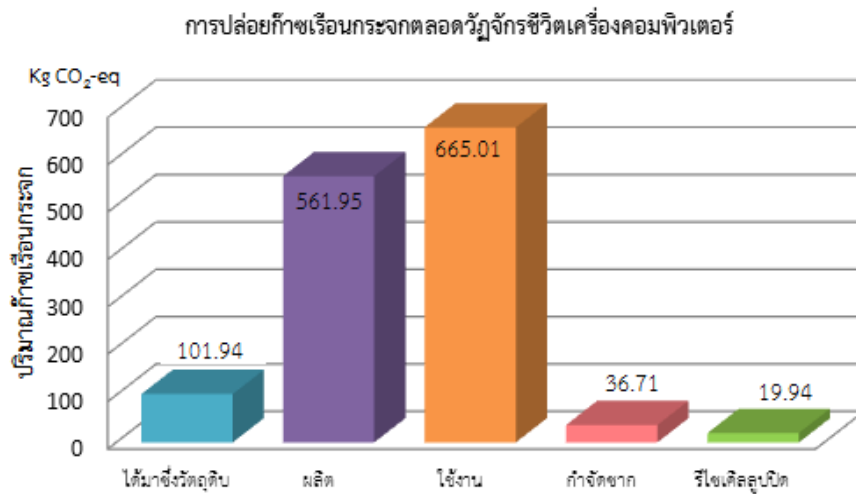
ผลจากการเก็บรวบรวมข้อมูลจำนวนเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้งานระหว่างปี พ.ศ. 2549-2554 จากสำนักงานสถิติแห่งชาติเห็นได้ว่า ปริมาณเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้งานในประเทศนั้นเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องในทุกๆ ปี จากข้อมูลดังกล่าวสามารถประมาณการซากคอมพิวเตอร์ที่คาดว่าจะเกิดขึ้นในอนาคตได้ โดยอาศัยสมการที่ (1) ในการประมาณการซากคอมพิวเตอร์ สำหรับอายุการใช้งาน (life time) ของคอมพิวเตอร์นั้นจากการศึกษาข้อมูลในหลายงานวิจัยได้นำเสนออายุการใช้งานที่แตกต่างกันออกไปโดยพบว่าอายุการใช้งานเฉลี่ยของคอมพิวเตอร์อยู่ระหว่าง 3-5 ปี แม้ว่าอายุการใช้งานจริงของคอมพิวเตอร์จะใช้งานได้ประมาณ 8 ปีก็ตามแต่เนื่องจากความเปลี่ยนแปลงของเทคโนโลยี ทำให้คอมพิวเตอร์ดัดแปลงได้ง่ายสำหรับงานวิจัยนี้ เป็นการนำข้อมูลการใช้งานคอมพิวเตอร์ในอดีตมาประมาณการจึงกำหนดให้คอมพิวเตอร์แบบตั้งโต๊ะมีอายุการใช้งาน (n) เท่ากับ 3 ปี จากการคำนวณพบว่าปริมาณซากคอมพิวเตอร์แบบตั้งโต๊ะใน ปี พ.ศ.2557 และ พ.ศ.2558 จะมีปริมาณซากคอมพิวเตอร์แบบตั้งโต๊ะ 4,222,281 เครื่องและ 5,401,054 เครื่องตามลำดับ

3.2 การประมาณการปริมาณวัสดุรีไซเคิล

ข้อมูลสำคัญที่ต้องศึกษาเพื่อนำมาใช้ในการคำนวณและประมาณการปริมาณวัสดุแต่ละชนิดนั้นก็คือองค์ประกอบของวัสดุชนิดต่างๆ ที่มีในเครื่องคอมพิวเตอร์ซึ่งจากการศึกษาและรวบรวมข้อมูลพบว่าวัสดุที่สำคัญของเครื่องคอมพิวเตอร์ประกอบด้วย พลาสติก 7.04kg เหล็ก 7.82kg อลูมิเนียม 0.41kg ทองแดง 1.53kg สังกะสี 0.18kg กระจบ 5.50kg ยาง 0.20kg และอื่นๆ 0.66kg

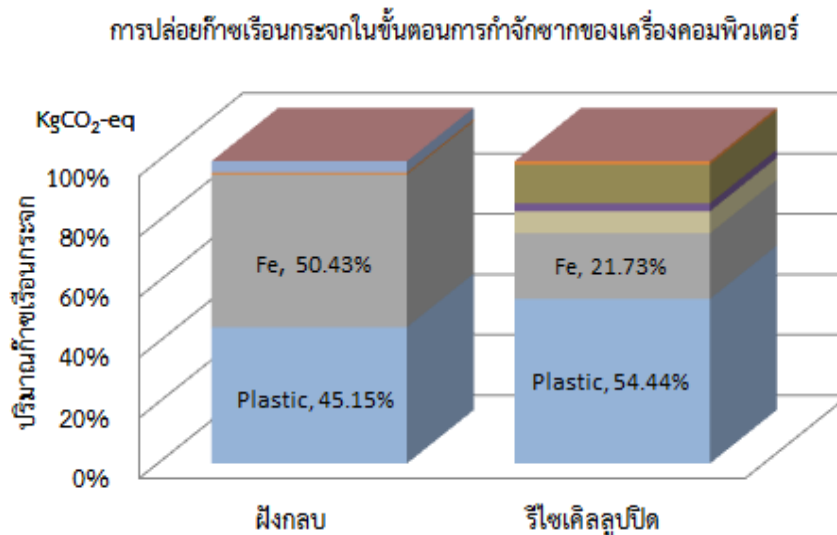
3.3 การประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดวัฏจักรชีวิตเครื่องคอมพิวเตอร์

ผลการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดวัฏจักรชีวิตของเครื่องคอมพิวเตอร์ แสดงดังภาพที่ 5 มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งสิ้น 1,385.55 kg CO₂-eq สำหรับขั้นตอนที่ปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุดคือ ขั้นตอนใช้งาน มีการปล่อยทั้งสิ้น 665.01kg CO₂-eq หรือคิดเป็นร้อยละ 50 ของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมด รองลงมาคือขั้นตอนการผลิตได้มาซึ่งวัตถุดิบ และกำจัดซาก ตามลำดับ



ภาพที่ 5 ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดวัฏจักรชีวิตของเครื่องคอมพิวเตอร์

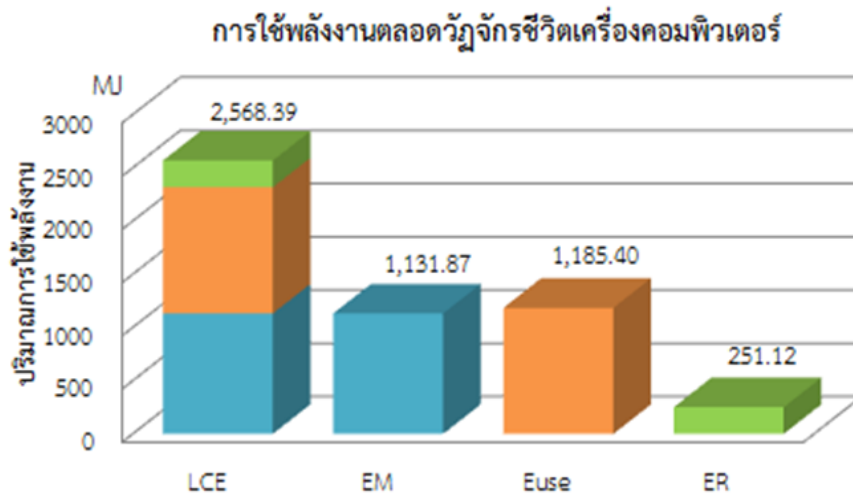
การเปรียบเทียบผลการประเมินก๊าซเรือนกระจกของเครื่องคอมพิวเตอร์ในการกำจัดซากของงานวิจัยนี้ ได้แบ่งเป็น 2 กรณี คือ การฝังกลบ และการรีไซเคิลแบบรูปปิด พบว่าการผลิตเครื่องคอมพิวเตอร์ที่มีขอบเขตเหมือนกันตั้งแต่การได้มาซึ่งวัตถุดิบ จนถึงการใช้งาน และการกำจัดซากในกรณีการฝังกลบมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งสิ้น 1,365.61 kg CO₂-eq โดยมีการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มากที่สุดในการกำจัดซากเหล็กคิดเป็นร้อยละ 50.43 และพบว่าการรีไซเคิลรูปปิดที่มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเท่ากับ 1,349.84 kg CO₂-eq และพบว่าการรีไซเคิลพลาสติกมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุดถึง 734.85 kg CO₂-eq หรือคิดเป็นร้อยละ 54.44 ซึ่งสังเกตได้ว่าการรีไซเคิลรูปปิดนั้น สามารถลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ถึง 16.77 kg CO₂-eq ดังแสดงในภาพที่ 6



ภาพที่ 6 ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในขั้นตอนกำจัดซากของเครื่องคอมพิวเตอร์

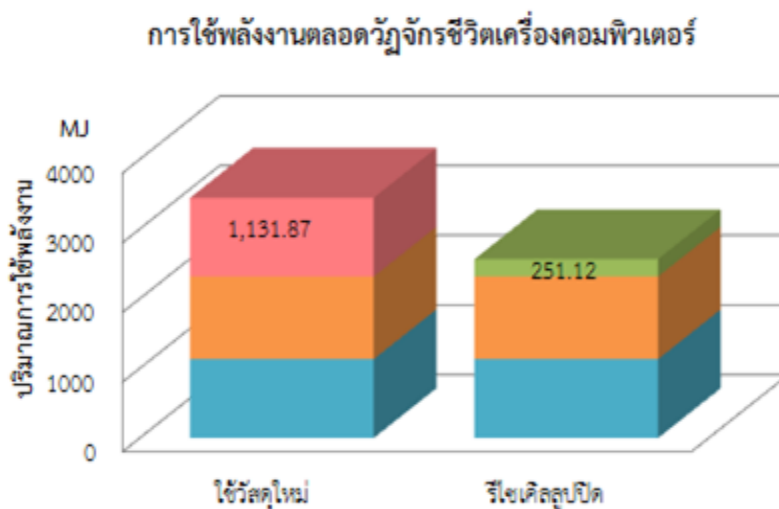
3.4 การวิเคราะห์พลังงานตลอดวัฏจักรชีวิตเครื่องคอมพิวเตอร์

ผลการประเมินการใช้พลังงาน โดยหลักการการใช้พลังงานตลอดวัฏจักรชีวิต พบว่า มีการใช้พลังงานตลอดทั้งกระบวนการเท่ากับ 2,568.39 MJ ซึ่งหากผ่านกระบวนการรีไซเคิลรูปปิด จะช่วยลดการใช้พลังงานและการใช้ทรัพยากรจากการที่ได้มาซึ่งวัสดุเพื่อที่จะใช้ในกระบวนการผลิตอื่นๆต่อไปจึงส่งผลให้มีการใช้พลังงานลดลง 880.75 MJ หรือมีการประหยัดพลังงานคิดเป็นร้อยละ 34.92 ของพลังงานทั้งหมด ดังแสดงในภาพที่ 7

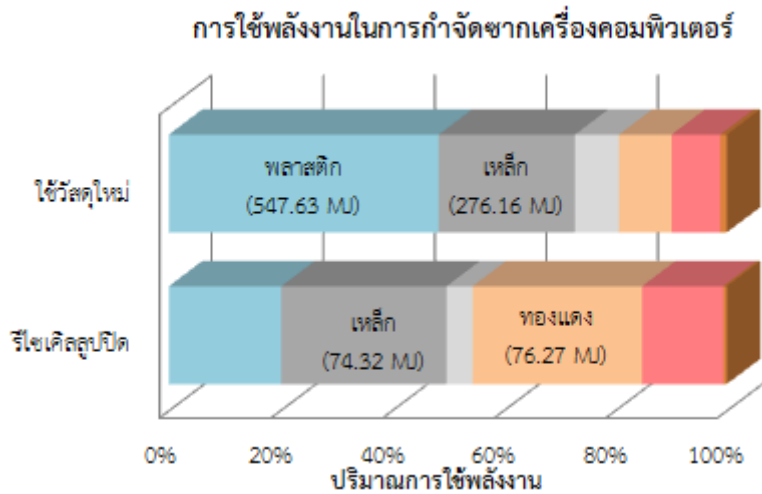


ภาพที่ 7 การใช้พลังงานตลอดวัฏจักรชีวิตของเครื่องคอมพิวเตอร์

การเปรียบเทียบผลการใช้พลังงานของเครื่องคอมพิวเตอร์ตลอดวัฏจักรชีวิตของงานวิจัยนี้ ได้แบ่งเป็น 2 กรณี คือ การใช้วัสดุใหม่ และการรีไซเคิลแบบรูปปิด พบว่ากรณีการใช้วัสดุใหม่มีการใช้พลังงานทั้งสิ้น 1,131.87 MJ พบว่ามีค่าสูงกว่าการรีไซเคิลรูปปิดที่มีการใช้พลังงานเท่ากับ 251.12 MJ ดังแสดงในภาพที่ 8 และเมื่อทำการเปรียบเทียบตามรายการวัสดุ พบว่ากรณีการใช้วัสดุใหม่มีการใช้พลังงานสูงสุดในวัสดุพลาสติกมีค่า 547.63 MJ และพบว่าการรีไซเคิลรูปปิดมีการใช้พลังงานสูงสุดในวัสดุทองแดงเท่ากับ 76.27 MJ ดังแสดงในภาพที่ 9



ภาพที่ 8 เปรียบเทียบการใช้พลังงานตลอดวัฏจักรชีวิตของเครื่องคอมพิวเตอร์ เมื่อมีการใช้วัสดุใหม่และมีการรีไซเคิลรูปปิด



ภาพที่ 9 เปรียบเทียบการใช้พลังงานในการใช้วัสดุใหม่และมีการรีไซเคิลรูปของเครื่องคอมพิวเตอร์

4. อภิปรายผล (Discussion)

จากการคำนวณค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและค่าการใช้พลังงานตลอดวัฏจักรชีวิตของเครื่องคอมพิวเตอร์แบบตั้งโต๊ะที่หมดอายุการใช้งาน โดยมีขอบเขตการศึกษาครอบคลุมตั้งแต่การได้มาซึ่งวัตถุดิบ การใช้งาน การกำจัดซาก ไปจนถึงการรีไซเคิลรูปปิดนั้น พบว่า ขั้นตอนที่มีค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและค่าการใช้พลังงานมากที่สุดคือ ขั้นตอนการใช้งาน (665.01 kg CO₂-eq และ 1,185.40 MJ) รองลงมาคือ การผลิต (561.59 kg CO₂-eq และ 1,185.40 MJ) และเมื่อทำการพิจารณาในขั้นตอนการกำจัดซากของเครื่องคอมพิวเตอร์พบว่า การกำจัดซากด้วยวิธีการรีไซเคิลรูปปิด สามารถลดค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและค่าการใช้พลังงานได้ถึง 16.77 kg CO₂-eq และ 880.75 MJ ตามลำดับ ซึ่งเป็นผลมาจากความต้องการปริมาณวัตถุดิบและการใช้พลังงานที่แตกต่างกันในแต่ละวิธี โดยส่วนใหญ่เกิดมาจากประสิทธิภาพการทำงานของเทคโนโลยีที่ส่งผลต่อปริมาณวัตถุดิบและการบริโภคพลังงาน เช่น เทคโนโลยีในการกำจัดซากที่ล้ำสมัยจะทำให้มีการบริโภคพลังงานที่ลดลง แต่ในทางตรงกันข้ามกลับได้วัสดุซากออกที่จะนำไปเป็นวัตถุดิบตั้งต้นในขั้นตอนการผลิตในปริมาณที่มากกว่าเทคโนโลยีที่ล้ำหลัง

เมื่อพิจารณาปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและการใช้พลังงานของเครื่องคอมพิวเตอร์แบบตั้งโต๊ะ โดยจำแนกตามรายวัสดุที่เป็นส่วนประกอบในขั้นตอนการรีไซเคิลรูปปิดจะสังเกตได้ว่า วัสดุที่มีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและการใช้พลังงานมากที่สุดคือ พลาสติก (734.85 kg CO₂-eq) และทองแดง (76.27 MJ) ตามลำดับแสดงให้เห็นว่า หากมีการเลือกประเภทของวัสดุที่ใช้เป็นวัตถุดิบได้เหมาะสมกับลักษณะการใช้งานย่อมส่งผลให้ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและการใช้พลังงานมีปริมาณที่ลดน้อยลง

ดังนั้นจากการพิจารณาในเชิงผลกระทบต่อภาวะโลกร้อนและการใช้พลังงานที่ใช้ตลอดวัฏจักรชีวิตของเครื่องคอมพิวเตอร์แบบตั้งโต๊ะ จึงจำเป็นต้องหาแนวทางในการลดค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและค่าการใช้พลังงานที่เกิดขึ้นให้มีค่าลดลง เช่น การลงทุนการสร้างโรงงานกำจัดซากเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ได้มาตรฐานตาม WEEE การปรับปรุงเทคโนโลยีในกระบวนการผลิตเพื่อลดการสูญเสียพลังงานและลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกออกสู่ชั้นบรรยากาศ รวมไปถึงการออกแบบและพัฒนาต้นแบบของเครื่องคอมพิวเตอร์แบบตั้งโต๊ะให้มีคุณสมบัติใช้งานที่เหมาะสมกับสังคมในปัจจุบันสำหรับงานวิจัยนี้ได้นำเสนอการกำจัดซากด้วยวิธีการรีไซเคิลรูปปิด ซึ่งเป็นแนวทางหนึ่งที่สามารถช่วยลดค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและค่าการใช้พลังงานในขั้นตอนการกำจัดซากต่อไปในอนาคต

5. สรุปผล (Conclusion)

จากผลการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและการใช้พลังงานตลอดวัฏจักรชีวิตของเครื่อง พบว่ามีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งสิ้น 1,385.55 kg CO₂-eq แหล่งสำคัญที่ก่อให้เกิดก๊าซเรือนกระจกมากที่สุด คือ การบริโภคพลังงานในขั้นตอนการใช้งานเครื่องคอมพิวเตอร์ ปล่อยก๊าซเรือนกระจกถึง 665.01 kg CO₂-eq หรือคิดเป็นร้อยละ 50 ของปริมาณก๊าซเรือนกระจกทั้งหมด และมีการใช้พลังงานตลอดทั้งกระบวนการ เท่ากับ 2,568.39 MJ แหล่งสำคัญที่มีการใช้พลังงานมากที่สุด คือ ขั้นตอนการใช้งานเครื่องคอมพิวเตอร์ มีการใช้พลังงานถึง 1,185.40 MJ หรือคิดเป็นร้อยละ 46.15 ของปริมาณการใช้พลังงานทั้งหมด เมื่อพิจารณาในส่วนของการกำจัดซาก หากผ่านกระบวนการรีไซเคิลสุญญากาศ ทำให้ช่วยลดการใช้พลังงานและการใช้ทรัพยากรจากการที่ได้มาซึ่งวัสดุเพื่อที่จะใช้ในกระบวนการผลิตอื่นๆ ต่อไปจึงส่งผลให้มีการใช้พลังงานลดลง 880.75 MJ หรือมีการประหยัดพลังงานคิดเป็นร้อยละ 34.92 ของพลังงานทั้งหมด ดังนั้นการลดปริมาณก๊าซเรือนกระจกและการใช้พลังงานตลอดวัฏจักรชีวิตของเครื่องคอมพิวเตอร์จากการใช้งานเครื่องคอมพิวเตอร์จึงควรมุ่งเน้นไปที่การลดการใช้พลังงานทั้งพลังงานไฟฟ้าในการใช้งานและควรมีการพัฒนาและปรับปรุงเทคโนโลยีในการกำจัดซากหรือเลือกใช้แนวทางการกำจัดที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมอย่างการรีไซเคิลสุญญากาศ ซึ่งน่าจะเป็นประเด็นที่มีการส่งเสริมต่อไปในอนาคต

6. กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgement)

คณะผู้วิจัยแสดงความขอขอบคุณหน่วยวิจัยเพื่อการจัดการพลังงานและเศรษฐกิจวนเขต สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ที่ให้ความช่วยเหลือ และขอขอบคุณสำหรับทุกคำแนะนำในการปรับปรุงบทความฉบับนี้เพื่อความถูกต้องและสมบูรณ์จนงานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

7. เอกสารอ้างอิง (Reference)

- [1] คณะกรรมการเทคนิคด้านคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์. 2554. แนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์. ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ.
- [2] Jinhui L, Huabo D, Wenyi Y. Case study of a Suzhou pilot project on the suitable treatment technology for scrap computers in China. Sustainable Systems and Technology J. 2009; 1-5.
- [3] Pollution Control Department. E-waste Management Manual. 2008. 200 p. Thai.
- [4] Dhanda K K, Peters A A. Reverse logistics in the computer industry. Int J Computers, Systems and Signals. 2005;6(2): 57-67.
- [5] Lee C H, Chang S L, Wang K M, Wen L C. Management of scrap computer recycling in Taiwan. Hazardous Materials J. 2000;73: 209-20.
- [6] Pollution Control Department, Thailand. A Study Project on Criteria and Fees of Thailand's WEEE Management. 2010. Thai.
- [7] Yindee K. Obsolete Personal Computers (PCs): The Feasibility End-of-Life Options for Thailand. [MSc thesis]. Mahidol: Mahidol University; 2004. Thai.
- [8] United Nations Environmental Programme. E-waste Management Manual. Japan. 2007;2: 128 p.
- [9] National Statistical Office, Thailand. [Internet] 2012 Jun 15. Available from: http://service.nso.go.th/nso/nso_center/project/search_center/23project-th.htm
- [10] Deng L, Babbitt C W, Williams E D. Economic-balance hybrid LCA extended with uncertainty analysis: case study of a laptop computer. Cleaner Production J. 2011;19: 1198-206.
- [11] Williams E D, Sasaki Y. Energy Analysis of End-of-life Options for Personal Computer: Resell, Upgrade, Recycle. Proceeding of the 2003 IEEE International Symposium on Electronics and Environment, IEEE: Piscataway, New Jersey. 2003: 187-92.



- [12] IVF Industrial Research and Development Corporation. Lot 3: Personal Computers (desktops and laptops) and Computer Monitors, Final Report (Task1-8), European Commission DGTREN, Preparatory studies for Eco-design Requirements of EuPs; IVF Industrial Research and Development Corporation. Molndal, Sweden. 2007. [Internet] 2012 Jun 12. Available from: <http://www.ecocomputer.org/>
- [13] Graedel, T. E. 1998. Streamlined Life-Cycle Assessment. Prentice Hall: Bell Laboratories, Lucent Technology, School of Forestry and Environmental Studies, Yale University.
- [14]. Newell, S., Field, F. (1997). Explicit accounting methods for recycling in LCI. *Resources, Conservation and Recycling*, 22, 31–45.

การจัดการพลังงานความร้อนในกระบวนการผลิตถั่วแระแช่แข็ง Thermal Energy Management in Production of Frozen Green Soy Bean

จันจิรา จิตแสง^{1*}, ขนวัฒน์ นิตศน์วิจิตร², จาตุพงศ์ วาฤทธิ์³, สมเกียรติ จตุรงค์ล้ำเลิศ⁴

¹สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้

63 ม.4 ต.หนองหาร อ.สันทราย จ.เชียงใหม่ 50290

Janjiira-J@hotmail.com

บทคัดย่อ

การจัดการพลังงานในอุตสาหกรรมที่ดีช่วยลดต้นทุนการผลิตลงได้อย่างมีประสิทธิภาพ กระบวนการผลิตถั่วแระแช่แข็งมีการใช้ไอน้ำปริมาณมากในการลวกผลิตภัณฑ์ก่อนนำไปแช่แข็ง งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อจัดการพลังงานความร้อนในกระบวนการผลิตถั่วแระแช่แข็ง โดยเบื้องต้นศึกษาและวิเคราะห์ต้นทุนพลังงานความร้อนของกระบวนการผลิตถั่วแระแช่แข็งในระดับอุตสาหกรรม เพื่อหาประสิทธิภาพการใช้งานของระบบหม้อไอน้ำ(Boiler) และหาแนวทางลดการผลิตไอน้ำที่สูญเสียไป โดยทำการตรวจวัดค่าอุณหภูมิไอเสีย ปริมาณไอน้ำที่ผลิตได้ ปริมาณออกซิเจน และปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ของหม้อไอน้ำ ซึ่งมีการใช้หม้อไอน้ำจำนวน 2 ตัว กำลังการผลิตตัวละ 2.2 และ 3.3 ตัน/ชั่วโมง จากนั้นหาแนวทางในการจัดการพลังงานในการใช้ไอน้ำ ได้แก่ (ก) ปรับปรุงประสิทธิภาพการเผาไหม้ของหม้อไอน้ำด้วยวิธีการลดปริมาณอากาศส่วนเกิน (Excess Air) ที่ใช้ในการเผาไหม้ให้เหมาะสมโดยปรับอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงของหม้อไอน้ำลง ซึ่งทำให้ลดการสูญเสียปริมาณความร้อนไปกับก๊าซร้อนทิ้งลงได้ โดยสามารถประหยัดเชื้อเพลิง (น้ำมันเตาเกรด C) ได้ 8,177 ลิตร/ปี หรือคิดเป็นมูลค่า 204,436 บาท/ปีและ (ข) ลดความดันของการจ่ายไอน้ำจากหม้อไอน้ำก่อนการนำไปใช้งาน ซึ่งหากมีการผลิตไอน้ำที่ความดันสูงกว่าค่าที่ต้องการใช้งานในหม้อลวกมากเกินไปทำให้เกิดความสูญเสียของการใช้เชื้อเพลิง

คำสำคัญ (Keyword): ไอน้ำ, การจัดการพลังงาน, ถั่วแระแช่แข็ง

Abstract

Energy management in industries can reduce production costs efficiently. Frozen soybean production uses a lot of steam for a blanching before a freezing. This research aimed to manage the heat energy in the production process of the frozen soybean. The preliminary study and cost analysis of the process of heat production in the frozen soybean industry were performed to determine the efficiency of the boiler system and to find the ways to reduce the energy waste of the steam production. The boiler efficiency was calculated from measured data, such as flue gas temperature, amount of steam, amount of oxygen gas and fuel consumption. Two boilers were used to generate the steam which had capacity of 2.2 and 3.3 tons/hour, then find the ways to manage energy of steam production; (a) to improve the combustion efficiency of the boiler by reducing the amount of excess air that used to combust properly. Reducing the ratio of air to fuel decreased heat loss that left with the flue gas. The fuel oil grade C can be saved 8,177 liters/year, or the amount of 204,436 baht. And (b) to reduce a supply steam pressure from the boiler before distribution. If the pressure of supply steam was higher than the amount that was required in the blancher causing fuel lost.

* จันจิรา จิตแสง,

1. บทนำ (Introduction)

ถั่วแระเป็นที่รู้จักและคุ้นเคยมานานในกลุ่มประเทศต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นประเทศไทย จีน ฮองกง ญี่ปุ่น อินโดนีเซีย หรือ สหรัฐอเมริกา ซึ่งในบางประเทศมีการผลิตไม่เพียงพอต่อความต้องการของผู้บริโภคภายในประเทศจำเป็นต้องมีการนำเข้าจากต่างประเทศ จึงทำให้ถั่วแระเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญอย่างหนึ่งของประเทศไทย ซึ่งจากข้อมูลของกระทรวงพาณิชย์ (2556) พบว่าในปี พ.ศ.2555 มีปริมาณการส่งออกพืชตระกูลถั่วแช่แข็ง คิดเป็นมูลค่า 2,050 ล้านบาท ถึงแม้ว่าปริมาณการส่งออกพืชตระกูลถั่วแช่แข็งจะมีปริมาณมาก แต่ก็มีต้นทุนต่อหน่วยการผลิตที่สูงด้วยเช่นกันเนื่องจากวิธีการแช่แข็งเป็นเทคนิคการยืดอายุการเก็บรักษาที่มีต้นทุนการผลิตสูง เพราะนอกจากจะมีต้นทุนขึ้นอยู่กับราคาวัตถุดิบเป็นหลักแล้ว ก็ยังมีอีกส่วนหนึ่งที่มีอิทธิพลไม่น้อยกว่ากันเลยคือ ต้นทุนด้านพลังงาน ที่มีการเปลี่ยนแปลงสูงขึ้นตามความต้องการที่เพิ่มมากขึ้น จะเห็นได้จากราคาและทิศทางของต้นทุนพลังงานทั้งในประเทศและตลาดโลกที่มีแนวโน้มขยับตัวสูงขึ้นเรื่อย ๆ

สาเหตุการเพิ่มขึ้นของต้นทุนด้านพลังงาน นอกจากราคาพลังงานที่ปรับตัวสูงขึ้นเรื่อย ๆ แล้วยังมีสาเหตุจากการใช้งานอุปกรณ์อย่างไม่เต็มประสิทธิภาพ และเกิดการสูญเสียเปล่า ดังนั้นแนวทางที่จะทำให้โรงงานอุตสาหกรรมสามารถฝ่าวิกฤตด้านพลังงาน และเพิ่มความสามารถในการแข่งขันทางการค้ากับต่างประเทศได้ แนวทางหนึ่งคือ การลดต้นทุนด้านพลังงาน โดยมีการจัดการพลังงานที่ดี ก่อให้เกิดการใช้พลังงานอย่างคุ้มค่าและมีประสิทธิภาพ เช่น ปาริฉัตร ศุภชลัสต์ (2543) ได้ทำการวิเคราะห์การใช้พลังงานของโรงงานกวยเตี้ยวและเส้นไหม ที่สามารถประหยัดพลังงานได้โดยการติดตั้งคาปาซิเตอร์เข้ากับหม้อแปลงไฟฟ้า ทำให้เกิดผลประหยัด 21,414 บาท/ปี การปรับลดอากาศส่วนเกินในหม้อไอน้ำก่อให้เกิดผลประหยัด 69,917 บาท/ปี และการนำเทคนิคของเทคโนโลยีสะอาดมาปรับลดการสูญเสียของน้ำ ซึ่งทำให้สามารถลดการใช้น้ำได้ 723 ลูกบาศก์เมตร และลดการสูญเสียแป้งได้ 41,736 กิโลกรัม/ปี ในระยะคืนทุน 6.52 ปี ถัดมา ศุภกิจ บุญศิริ (2543) ศึกษาหามาตรการอนุรักษ์พลังงานในโรงงานอุตสาหกรรมผลิตปลากระป๋อง น้ำและผลไม้กระป๋อง จำนวน 12 โรงงาน โดยทำการศึกษาระบวนการผลิต การใช้พลังงาน ปัญหาและอุปสรรคต่อการพัฒนาด้านพลังงาน พบว่าโรงงานอุตสาหกรรมทั้ง 2 ประเภทมีการใช้พลังงานความร้อนจากไอน้ำ ส่วนพลังงานไฟฟ้าใช้สำหรับการขับเคลื่อนมอเตอร์ และระบบสายพานลำเลียง จึงเสนอมาตรการอนุรักษ์พลังงาน 5 มาตรการ คือ ลดปริมาณอากาศส่วนเกินในการเผาไหม้หม้อไอน้ำลดการไหลตัววนน้ำทิ้งของหม้อไอน้ำ หุ้มฉนวนหม้อไอน้ำ ปิดฝาหุ้มฉนวนหม้อต้มและหม้อหนึ่ง และหุ้มฉนวนหม้อฆ่าเชื้อ หลังดำเนินการมาตรการสามารถเพิ่มดัชนีใช้พลังงานเฉลี่ยของอุตสาหกรรมผลิตปลากระป๋องจาก 4.41 เป็น 4.04 กิกะจูล/ตันผลผลิต ส่วนอุตสาหกรรมผลิตน้ำและผลไม้กระป๋องเพิ่มดัชนีใช้พลังงานเฉลี่ยจาก 2.65 เป็น 2.54 กิกะจูล/ตันผลผลิต และกฤษณะ ไพรงค์ศา (2551) ศึกษาผลกระทบของโครงการอนุรักษ์พลังงานแบบมีส่วนร่วมต่อต้นทุนด้านพลังงานของโรงงานฟรีโต-เลย์ (ประเทศไทย) โดยการนำมาตรฐานการจัดการพลังงานมาประยุกต์ใช้ในกิจกรรมต่าง ๆ ผลพบว่าสามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อเดือนลงได้เฉลี่ยร้อยละ 9.5 คิดเป็นมูลค่า 239,400.31 บาท/เดือน และลดการใช้พลังงานความร้อนเฉลี่ยต่อเดือนร้อยละ 4.3 คิดเป็นมูลค่า 180,660.38 บาท/เดือน ส่งผลต่อการลดต้นทุนพลังงานจาก 4.33 บาท/กิโลกรัมผลิตภัณฑ์ เป็น 3.98 บาท/กิโลกรัมผลิตภัณฑ์ ภายใต้การดำเนินการมาตรการอนุรักษ์พลังงาน 6 มาตรการ ได้แก่ การติดตั้งอุปกรณ์ปรับแรงดันไฟฟ้าในระบบแสงสว่าง การลดอุณหภูมิอากาศก่อนเข้าเครื่องอัด การใช้สวิตช์แสงแดดควบคุมการเปิด-ปิดระบบแสงสว่าง การปรับลดชั่วโมงการทำงานของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน การปรับลดความดันลมขณะใช้งานเครื่องอัด และการปรับลดปริมาณอากาศส่วนเกินในไอเสียของหม้อไอน้ำ

หม้อไอน้ำมีการใช้อย่างกว้างขวางทั้งอุตสาหกรรมขนาดเล็กและใหญ่ ซึ่งจากการศึกษาข้อมูลของกระทรวงพลังงานพบว่า อุตสาหกรรมที่มีการใช้หม้อไอน้ำมากที่สุด คือ อุตสาหกรรมอาหารและเครื่องดื่ม โดยมีการใช้หม้อไอน้ำจำนวน 3,508 เครื่อง คิดเป็นร้อยละ 39.79 ของจำนวนหม้อไอน้ำที่ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมทั้งหมด แต่หากคิดเป็นขนาดการใช้งานหม้อไอน้ำรวมจัดเป็นอันดับ 2 โดยมีขนาดการใช้รวม 37,412 ตันต่อชั่วโมง คิดเป็นร้อยละ 34.08 ของขนาดรวมของหม้อไอน้ำในอุตสาหกรรมทั้งหมด จะพบว่าหม้อไอน้ำเป็นอุปกรณ์หลักชนิดหนึ่งในอุตสาหกรรมที่ต้องการพลังงานสูง โดยส่วนมากมักจะใช้เชื้อเพลิงเหลวเป็นเชื้อเพลิง ซึ่งเชื้อเพลิงเหลวเป็นสิ่งที่ใช้แล้วหมดไป ไม่สามารถสร้างหรือผลิตขึ้นมาทดแทนได้ อีกทั้งประเทศไทยยังต้องนำเข้าจากต่างประเทศเป็นส่วนใหญ่ อันเป็นสาเหตุทำให้ประเทศต้องเสียดุลการค้าเป็นมูลค่ามหาศาล

ตั้งนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและหาแนวทางจัดการพลังงานความร้อนในอุตสาหกรรมอาหาร โดยมุ่งเน้นการศึกษาในกระบวนการผลิตถั่วแระแช่แข็ง ซึ่งจะศึกษาและวิเคราะห์ต้นทุนพลังงานความร้อนของกระบวนการผลิตถั่วแระแช่แข็ง เพื่อหาประสิทธิภาพการใช้งานของระบบหม้อไอน้ำและหาแนวทางลดการผลิตไอน้ำที่สูญเสียไป

2. วิธีวิจัย (Research Methodology)

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาวิเคราะห์การใช้พลังงานความร้อนในกระบวนการผลิตถั่วแระแช่แข็ง ซึ่งมีการใช้ไอน้ำในหม้อลวก (Blancher) สำหรับลวกถั่วก่อนการแช่แข็ง โดยมีอุปกรณ์ผลิตไอน้ำ คือ หม้อไอน้ำจำนวน 2 ตัว ขนาด 2.2 และ 3.3 ตัน/ชั่วโมง เพื่อหาแนวทางลดการใช้พลังงาน ทั้งด้านการใช้งานที่เหมาะสมและปรับปรุงประสิทธิภาพหม้อไอน้ำ โดยมุ่งเน้นลดค่าใช้จ่ายด้านเชื้อเพลิง คำนวณวิเคราะห์ผลเชิงเศรษฐศาสตร์ โดยมีขั้นตอนดำเนินงานวิจัย ดังรายละเอียดต่อไปนี้

2.1 ศึกษารายละเอียดอุปกรณ์ผลิตและใช้ไอน้ำ

ทำการศึกษารายละเอียดของหม้อไอน้ำ เครื่องจักร อุปกรณ์ในกระบวนการผลิต และ Line Diagram การใช้ไอน้ำ เพื่อเข้าใจลักษณะการผลิต และใช้ไอน้ำของกระบวนการผลิต

2.2 ประเมินสมรรถนะด้านพลังงานของหม้อไอน้ำ

การวิเคราะห์หาศักยภาพการใช้งานหม้อไอน้ำ มีวิธีการคำนวณหาประสิทธิภาพหม้อไอน้ำ ดังต่อไปนี้

2.2.1 ประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำ

โดยการคำนวณจากการใช้พลังงานความร้อนของไอน้ำที่ผลิต และข้อมูลปริมาณการใช้เชื้อเพลิง ดังสมการต่อไปนี้

$$\text{Boiler Efficiency} = \frac{\text{Heat Output}}{\text{Heat Input}} \times 100 \quad (1)$$

$$\eta_{\text{boiler}} = \left[\dot{m}_s \times (h_{s,e} - h_{w,i}) \right] \left[\dot{m}_{\text{fuel}} \times \text{HHV} \right] 100 \quad (2)$$

เมื่อ $\dot{m}_s$ = อัตราการไหลของไอน้ำ (กิโลกรัม/วินาที)

$h_{s,e}$ = เอนทาลปีของไอน้ำออกจากหม้อไอน้ำ (กิโลจูล/กิโลกรัม)

$h_{w,i}$ = เอนทาลปีของน้ำป้อนเข้าสู่หม้อไอน้ำ (กิโลจูล/กิโลกรัม)

$\dot{m}_{\text{fuel}}$ = อัตราการไหลของเชื้อเพลิง (กิโลกรัม/วินาที)

HHV = ค่าความร้อนสูงเชื้อเพลิง (กิโลจูล/กิโลกรัม)

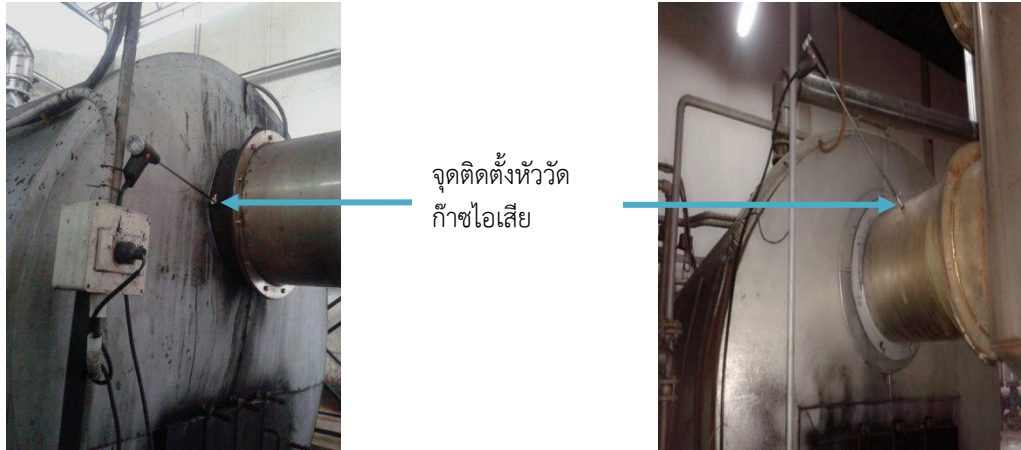
2.2.2 ทำการตรวจวัดค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ

จากสมการการคำนวณประสิทธิภาพหม้อไอน้ำ ทำการตรวจวัดค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ เพื่อนำมาคำนวณวิเคราะห์ประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำ ดังนี้

ก) วิเคราะห์องค์ประกอบของไอเสียโดยใช้เครื่อง Testo 340 วัดค่า %O₂ %CO₂ และ %CO ดังภาพที่ 1

ข) หาอัตราการไหลของเชื้อเพลิงและน้ำป้อน จากการอ่านค่ามิเตอร์

ค) วัดค่าอุณหภูมิของก๊าซไอเสีย น้ำป้อนหม้อไอน้ำ อากาศที่เข้าห้องเผาไหม้ และเชื้อเพลิง โดยใช้เครื่องวัดอุณหภูมิก๊าซไอเสีย และเทอร์โมมิเตอร์



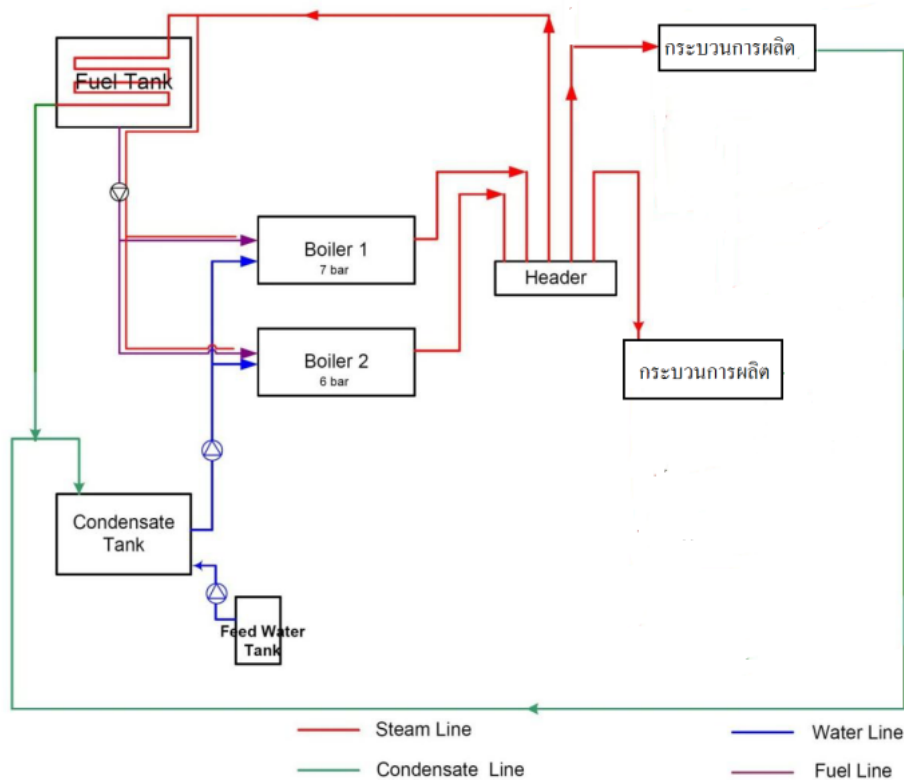
ภาพที่ 1 แสดงการติดตั้งหัววัดก๊าซไอเสียเข้ากับปล่องไอเสีย

2.3 การวิเคราะห์หาแนวทางจัดการพลังงาน

เมื่อทำการวิเคราะห์กระบวนการผลิตและการใช้พลังงานความร้อนในกระบวนการผลิตแล้ว นำค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ได้มาทำการวิเคราะห์หาแนวทางลดการใช้พลังงาน และการสูญเสียพลังงานต่าง ๆ แล้วเก็บข้อมูลเปรียบเทียบระหว่างก่อนและหลังการปรับปรุง พร้อมสรุปผลดำเนินการ

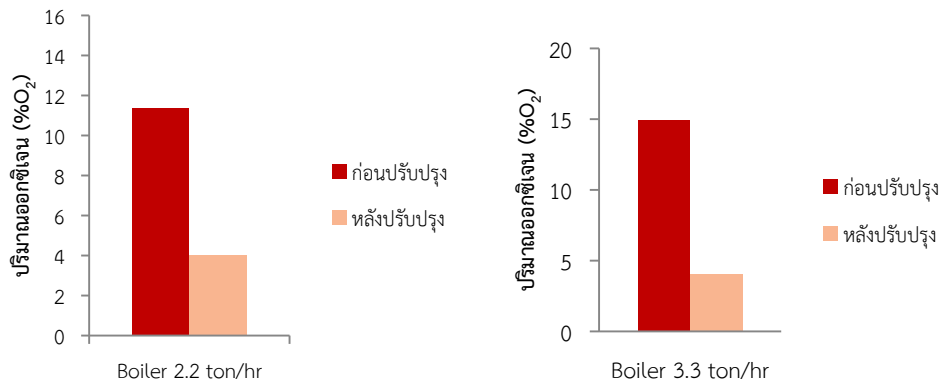
3. ผลการวิจัย (Results)

จากการศึกษาพบว่าหม้อไอน้ำทำการผลิตไอน้ำที่ความดัน 7 บาร์ โดยมีอุปกรณ์ผลิตไอน้ำจำนวน 2 ตัวขนาดกำลังผลิตไอน้ำ 2.2 และ 3.3 ตัน/ชั่วโมง ซึ่งปกติจะเปิดใช้งานหม้อไอน้ำขนาด 3.3 ตัน/ชั่วโมงเป็นหลัก ขณะที่หม้อไอน้ำขนาด 2.2 ตัน/ชั่วโมงใช้เสริมกรณีที่หม้อไอน้ำขนาด 3.3 ตัน/ชั่วโมง ไม่สามารถผลิตไอน้ำได้เพียงพอโดยใช้น้ำมันเตาเกรด C เป็นเชื้อเพลิง มีปริมาณการใช้น้ำมันเตาเฉลี่ยปีละประมาณ 544,833 ลิตร/ปี ชั่วโมงทำงาน 6,080 ชั่วโมง/ปี ซึ่งไอน้ำที่ผลิตได้จะถูกส่งถ่ายไปยังอุปกรณ์ใช้งานไอน้ำปลายทางทั้งหมด 7 จุด ดังแสดงในภาพที่ 2 ที่ความดันไอน้ำสูงสุดที่ต้องการคือ 3 บาร์เมื่อทำการตรวจวัดข้อมูลเบื้องต้นสามารถกำหนดมาตรการเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพหม้อไอน้ำได้ เช่น การเพิ่มอุณหภูมิ น้ำป้อนหม้อไอน้ำ การปรับปรุงประสิทธิภาพการเผาไหม้ของหม้อไอน้ำ และลดความดันของการจ่ายไอน้ำจากหม้อไอน้ำก่อนการนำไปใช้งาน เป็นต้น จึงเลือกดำเนินการตามมาตรการการปรับปรุงประสิทธิภาพการเผาไหม้ของหม้อไอน้ำด้วยวิธีการลดปริมาณอากาศส่วนเกิน (Excess Air) ที่ใช้ในการเผาไหม้ให้เหมาะสม และการลดความดันของการจ่ายไอน้ำจากหม้อไอน้ำก่อนการนำไปใช้งาน เนื่องจากเป็นมาตรการที่ไม่มีการลงทุน

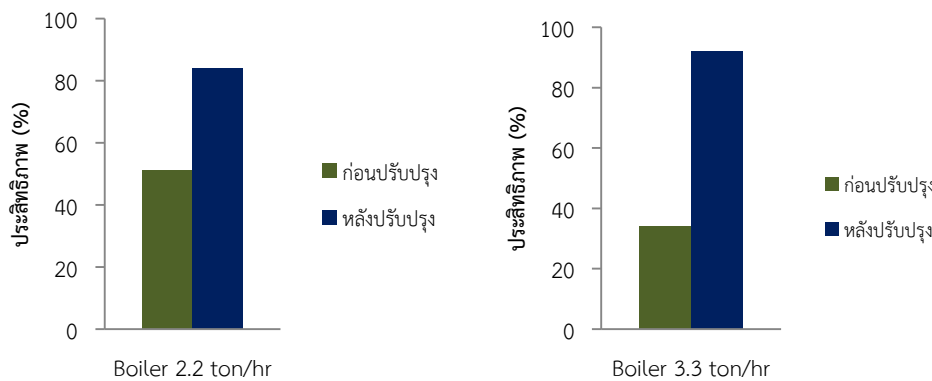


ภาพที่ 2 การใช้ไอน้ำในกระบวนการผลิต

วิธีการปรับปรุงประสิทธิภาพหม้อไอน้ำที่ตีวิธีหนึ่งคือการลดการสูญเสียความร้อนที่เกิดขึ้นในระบบ ซึ่งจากการตรวจวัดองค์ประกอบก๊าซไอเสียพบว่าปริมาณก๊าซออกซิเจนมากเกินไปเกินค่ามาตรฐานซึ่งกรมโรงงานอุตสาหกรรม (2547) กล่าวว่าหม้อไอน้ำที่ใช้เชื้อเพลิงเป็นน้ำมันเตาควรมีค่า O_2 อยู่ในช่วง 3.3–4.2 % นั้นแสดงถึงสัดส่วนระหว่างอากาศและเชื้อเพลิงมีความไม่เหมาะสมกัน จากปัญหาดังกล่าวจึงทำการหาแนวทางการลดการใช้พลังงานโดยปรับปรุงประสิทธิภาพการเผาไหม้ของหม้อไอน้ำด้วยวิธีการลดปริมาณอากาศส่วนเกินที่ใช้ในการเผาไหม้ให้เหมาะสม โดยปรับอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงของหม้อไอน้ำลง แล้วตรวจสอบประสิทธิภาพการเผาไหม้ และวิเคราะห์ผลประหยัดที่ได้ พบว่าปริมาณออกซิเจนระหว่างก่อนและหลังการปรับปรุง โดยการตรวจวัดองค์ประกอบของก๊าซไอเสียของหม้อไอน้ำขนาด 2.2 ตัน/ชั่วโมง มีปริมาณ O_2 เท่ากับ 11.39 % และหลังการปรับปรุง เท่ากับ 4.64 % ส่วนหม้อไอน้ำขนาด 3.3 ตัน/ชั่วโมง มีปริมาณ O_2 เท่ากับ 14.9 % และหลังการปรับปรุง เท่ากับ 4.06 % ดังแสดงในภาพที่ 3 และด้วยเหตุผลดังกล่าวส่งผลให้หม้อไอน้ำมีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้น นั่นคือหม้อไอน้ำขนาด 2.2 ตัน/ชั่วโมง มีประสิทธิภาพหม้อไอน้ำเพิ่มขึ้นจากเดิม 51 % เป็น 84 % ส่วนหม้อไอน้ำขนาด 3.3 ตัน/ชั่วโมง มีประสิทธิภาพหม้อไอน้ำเพิ่มขึ้นจากเดิม 34 % เป็น 92 % ดังแสดงในภาพที่ 4 นอกจากนี้ยังสามารถประหยัดเชื้อเพลิงได้ 8,177 ลิตร/ปี คิดเป็นพลังงานความร้อนที่ประหยัดได้ 325,200 เมกกะจูล/ปี หรือคิดเป็นมูลค่า 204,436 บาท/ปี



ภาพที่ 3 เปรียบเทียบปริมาณออกซิเจนหม้อไอน้ำ ก่อน-หลังปรับปรุง



ภาพที่ 4 เปรียบเทียบประสิทธิภาพหม้อไอน้ำ ก่อน-หลังปรับปรุง

จากการสำรวจกระบวนการผลิตพบความต้องการความดันสูงสุดในการผลิตอยู่ที่ 3 บาร์ แต่เนื่องด้วยระยะทางจากต้นกำเนิดไอน้ำไปยังอุปกรณ์ใช้ไอน้ำมีระยะทางไกลซึ่งนั่นหมายความว่าความต้านทานการไหลในเส้นท่อนั้นเนื่องมาจากความเสียดทานจะมีมาก จึงจำเป็นต้องผลิตไอน้ำที่ความดันสูงกว่าความดันที่ต้องการ เพื่อให้ความดันของไอน้ำที่ส่งมาจากหม้อไอน้ำสามารถเอาชนะความต้านทานในเส้นท่อได้ ดังนั้นจึงทำการผลิตไอน้ำที่ความดัน 7 บาร์ แต่ความดันดังกล่าวก็ยังเป็นความดันที่มากเกินไปความต้องการ ซึ่งเป็นผลทำให้เกิดการสิ้นเปลืองพลังงาน ด้วยการผลิตไอน้ำที่ความดันต่ำจะใช้พลังงานน้อยกว่าการผลิตไอน้ำที่ความดันสูง แนวทางแก้ปัญหาดังกล่าวทำได้โดยปรับลดแรงดันจาก 7 บาร์ ลงเหลือ 6 บาร์ ซึ่งปรากฏว่าไม่มีผลกระทบต่อการผลิต และหลังจากปรับลดความดันผลิตไอน้ำลง พบว่า สามารถประหยัดเชื้อเพลิงได้ 768 ลิตร/ปี คิดเป็นพลังงานความร้อนที่ประหยัดได้ 30,543 เมกกะจูล/ปี หรือคิดเป็นเงิน 19,200 บาท/ปี

4. อภิปรายผล (Discussion)

จากการวิจัยพบว่าเมื่อดำเนินการจัดการพลังงานแล้วทำให้สามารถลดปริมาณการใช้พลังงานเชื้อเพลิงลงได้ โดยมาตรการปรับปรุงประสิทธิภาพการเผาไหม้ของหม้อไอน้ำด้วยวิธีการลดปริมาณอากาศส่วนเกิน (Excess Air) ที่ใช้ในการเผาไหม้ให้เหมาะสม ด้วยการปรับอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงของหม้อไอน้ำ ทำให้เกิดการผสมที่ดีของเชื้อเพลิงและอากาศ อันเป็นเหตุให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ ส่งผลให้หม้อไอน้ำมีประสิทธิภาพสูงขึ้น เนื่องจากเกิดผลรวมที่น้อยลงของความสูญเสียจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ และความสูญเสียจากความร้อนทิ้งในก๊าซไอเสีย ทำให้สามารถประหยัดเชื้อเพลิงได้ 8,177 ลิตร/ปี คิดเป็นพลังงานความร้อนที่ประหยัดได้ 325,200 เมกกะจูล/ปี หรือคิดเป็นมูลค่า 204,436 บาท/ปี สอดคล้องกับงานวิจัยของ

ปาริฉัตร ศุภชลัสต์ (2543) ซึ่งศึกษาเรื่องการประหยัดพลังงานและเทคโนโลยีสะอาดในอุตสาหกรรมแก้วเดียวและเส้นไหม เมื่อดำเนินการปรับลดอากาศส่วนเกินในหม้อไอน้ำก่อให้เกิดผลประหยัดเชื้อเพลิง 11,518 ลิตร/ปี คิดเป็นมูลค่า 69,917 บาท/ปี และเมื่อเปรียบเทียบกับผลการศึกษาของกฤษณะ ไพรวงศา (2551) พบว่าสามารถประหยัดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานเชื้อเพลิงได้มากกว่าโรงงานฟรีโต-เลย์ (ประเทศไทย) ในการดำเนินมาตรการปรับลดปริมาณอากาศส่วนเกินในไอเสียของหม้อไอน้ำ

ส่วนมาตรการลดความดันของการจ่ายไอน้ำจากหม้อไอน้ำก่อนการนำไปใช้งานสามารถประหยัดเชื้อเพลิงได้ 768 ลิตร/ปี คิดเป็นพลังงานความร้อนที่ประหยัดได้ 30,543 เมกกะจูล/ปี หรือคิดเป็นเงิน 19,200 บาท/ปี เนื่องจากการผลิตไอน้ำที่ความดันต่ำจะใช้พลังงานเชื้อเพลิงน้อยกว่าการผลิตแรงดันไอน้ำที่ความดันสูง ทั้งนี้การลดความดันในระบบไอน้ำยังสามารถลดการสูญเสียความร้อนเนื่องจากการนำความร้อนในระบบ ลดการรั่วไหลในระบบ และทำให้ไอน้ำอ้อมตัวมีอุณหภูมิต่ำ ซึ่งส่งผลให้อุณหภูมิของก๊าซไอเสียต่ำลงด้วย จึงทำให้ประสิทธิภาพของระบบเพิ่มขึ้น และเกิดผลประหยัดตามมา

5. สรุปผล (Conclusion)

ในการศึกษาการจัดการพลังงานความร้อนในการผลิตถั่วแระแช่แข็ง โดยการนำค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ได้มาทำการวิเคราะห์หาแนวทางลดการใช้พลังงาน และการสูญเสียพลังงานต่าง ๆ พบว่าสามารถดำเนินการมาตรการจำนวน 2 มาตรการ โดยไม่มีการลงทุน คือ มาตรการปรับปรุงประสิทธิภาพการเผาไหม้ของหม้อไอน้ำด้วยวิธีการลดปริมาณอากาศส่วนเกิน (Excess Air) ที่ใช้ในการเผาไหม้ให้เหมาะสม โดยปรับอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงของหม้อไอน้ำลง พบว่าสามารถประหยัดเชื้อเพลิง (น้ำมันเตาเกรด C) ได้ 8,177 ลิตร/ปี คิดเป็นพลังงานความร้อนที่ประหยัดได้ 325,200 เมกกะจูล/ปี หรือคิดเป็นมูลค่า 204,436 บาท/ปี ทั้งยังส่งผลต่อประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำโดยหม้อไอน้ำขนาด 2.2 ตัน/ชั่วโมง มีประสิทธิภาพหม้อไอน้ำเพิ่มขึ้นจากเดิม 51 % เป็น 84 % ส่วนหม้อไอน้ำขนาด 3.3 ตัน/ชั่วโมง มีประสิทธิภาพหม้อไอน้ำเพิ่มขึ้นจากเดิม 34 % เป็น 92 % และมาตรการลดความดันของการจ่ายไอน้ำจากหม้อไอน้ำก่อนการนำไปใช้งาน สามารถประหยัดเชื้อเพลิงได้ 1,768 ลิตร/ปี คิดเป็นพลังงานความร้อนที่ประหยัดได้ 30,543 เมกกะจูล/ปี หรือคิดเป็นเงิน 19,200 บาท/ปี

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย ภายใต้โครงการพัฒนานักวิจัยและงานวิจัยเพื่ออุตสาหกรรม-พวอ. ระดับปริญญาโท ประจำปี 2556 และบริษัท ลานนาเกษตรอุตสาหกรรม จำกัด ทั้งนี้ความเห็นในรายงานผลการวิจัยเป็นของผู้รับทุน สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัยและบริษัท ลานนาเกษตร จำกัด ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป

7. เอกสารอ้างอิง (Reference)

- [1] กระทรวงโรงงานอุตสาหกรรม. 2547. คู่มือปรับแต่งหัวเผา.
- [2] กระทรวงพาณิชย์. 2556. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <http://www2.ops3.moc.go.th/> (วันที่ 25 กรกฎาคม 2556)
- [3] กฤษณะ ไพรวงศาธรรม. 2551. ผลกระทบของโครงการอนุรักษ์พลังงานต่อต้านทุนด้านพลังงานของโรงงานฟรีโต-เลย์ (ประเทศไทย). บริหารธุรกิจมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- [4] ปาริฉัตร ศุภชลัสต์, 2543. การประหยัดพลังงานและเทคโนโลยีสะอาดในอุตสาหกรรมแก้วเดียวและเส้นไหม. วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- [5] ศุภกิจ บุญศิริ. 2543. มาตรการอนุรักษ์พลังงานที่เหมาะสมในอุตสาหกรรมขนาดกลางและขนาดย่อม. วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

การวิเคราะห์แนวทางการพัฒนาพลังงานน้ำสำหรับชุมชนลุ่มน้ำแม่กลาง

Analysis of Hydro Energy Development Guideline

for Mae-Klang Watershed Community

สัจธรรม จินาดี^{1*}, อนุสาล เพิ่มสุวรรณ², วสันต์ จอมภักดี²

¹ สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงาน

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

239 ถนนห้วยแก้ว ต.สุเทพ อ.เมือง จ.เชียงใหม่ 50200

Satchatamc@gmail.com

² ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

permsuwan@gmail.com, Wasan.j@chiangmai.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเสนอแนวทางการพัฒนาพลังงานน้ำของชุมชนในพื้นที่ลุ่มน้ำแม่กลาง การวิจัยเป็นการวิจัยเชิงคุณภาพควบคู่ไปกับเชิงปริมาณ มีขั้นตอนการวิจัย 3 ขั้นตอนได้แก่ เก็บข้อมูล วิเคราะห์ข้อมูลและวิเคราะห์แนวทางการพัฒนา การเก็บข้อมูลประกอบด้วย การใช้แบบสอบถามประกอบการสัมภาษณ์ จำนวน 156 ครั้วเรือน การสัมภาษณ์เชิงลึกกับผู้นำชุมชน ตัวแทนหน่วยงานโรงไฟฟ้าพลังน้ำ และหัวหน้าเหมืองฝาย จำนวน 13 คน รวมทั้งการสังเกตการณ์อย่างมีส่วนร่วม การเข้าร่วมกิจกรรมชุมชน และการศึกษาข้อมูลทุติยภูมิ พบว่าในพื้นที่ที่มีการใช้พลังงานน้ำดังนี้ คือ 1) การผลิตไฟฟ้า มีกำลังการผลิตรวม 1.43 MW 2) ระบบเหมืองฝาย มีพื้นที่รับน้ำ 36,067 ไร่ และมีสมาชิก 5,540 ครั้วเรือน 3) ระบบประปาภูเขา มีจำนวนผู้ใช้งาน 2453 ครั้วเรือน สำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลและแนวพัฒนานั้นใช้เครื่องมือคือ SWOT Analysis และ SWOT Matrix ตามลำดับ พบว่าในพื้นที่ที่มีจุดแข็งคือ ศักยภาพพลังงานน้ำสูงในช่วงฤดูฝน จุดอ่อนคือ กำลังการผลิตไม่เพียงพอและเทคโนโลยีมีต้นทุนสูง โอกาสคือ การสนับสนุนจากหน่วยงานที่เกี่ยวข้องในเรื่องงบประมาณและงานวิจัย อุปสรรคคือ ปริมาณน้ำในฤดูแล้ง ความรู้ความเข้าใจของชุมชน และความต่อเนื่องของโครงการ สำหรับแนวทางการพัฒนามีดังนี้คือ 1) ส่งเสริมการใช้พลังงานน้ำเพื่อการลดค่าใช้จ่ายและการพึ่งพาตนเองด้านพลังงาน 2) เชื่อมโยงนโยบายการบริหารจัดการลุ่มน้ำกับพลังงาน 3) สนับสนุนงานวิจัย 4) สร้างคณะทำงานท้องถิ่นเพื่อประสานงาน ประเมิน ติดตามผลและซ่อมบำรุง 5) เพิ่มกำลังการผลิตพลังงานน้ำ 6) เพิ่มประสิทธิภาพเทคโนโลยีเดิมที่มีอยู่ 7) ศึกษาความเหมาะสมของเทคโนโลยีก่อนดำเนินโครงการ และ 8) สร้างการมีส่วนร่วมจากทุกภาคส่วน

คำสำคัญ: พลังงานน้ำ; ลุ่มน้ำ; แนวทางการพัฒนา; SWOT Analysis; SWOT Matrix

Abstract

The objective of this research is to propose guidelines for developing the hydro energy application in Mae-Klang watershed community. The methodology is composed of a combination of qualitative and quantitative research and there are 3 stages of the research process, including data collection, data analysis, and guidelines analysis.

¹ สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ 50200

¹ Energy Engineering Program, Faculty of Engineering, Chiang Mai University, Chiang Mai, Thailand 50200

The data were collected by using questionnaires with 156 households, formal observations, community activity involvements, an in-depth interview with community leaders, local energy committees, and head of local irrigation, which are altogether 13 interviewees. In addition, the secondary data were studied. The data were, then, grouped and analyzed by using SWOT analysis and SWOT Matrix technique. The results of analysis were as follow. Its strength was the high potential of hydro energy in rainy season. Its weakness was the insufficient capacity of energy and the investment cost. Its opportunity was the supporting from relevant sectors. Its threat was the amount of water in dry season, the knowledge and understanding of local people, and the lack of continuously supported and development. In addition, the guidelines were proposed as follow. The community is recommended to reduce the energy costs and increase energy self-reliance by using the hydro energy, to integrates hydro energy into watershed management, to encourage the hydro energy research development, to create a local energy team for coordination, evaluation, monitoring and maintenance, to increase the capacity of hydropower, to improve the efficiency of the existing equipment, to study the feasibility of project and to create the project participation of all relevant sectors.

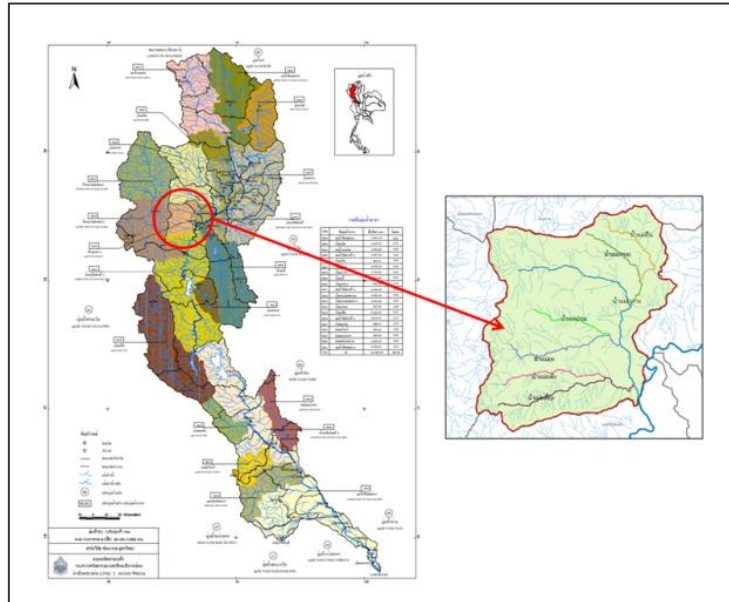
1. บทนำ

ประเทศไทยมีการใช้น้ำเพื่อผลิตพลังงานมาตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน โดยเฉพาะโครงการไฟฟ้าพลังน้ำขนาดใหญ่ เช่น โรงไฟฟ้าพลังน้ำจากเขื่อนภูมิพล เขื่อนสิริกิติ์ เขื่อนศรีนครินทร์ เป็นต้น แต่เนื่องด้วยปัญหาผลกระทบด้านสังคมและสิ่งแวดล้อม การพัฒนาโครงการขนาดใหญ่จึงมีความยากลำบากในการดำเนินโครงการ ดังนั้นปัจจุบันจึงมีการพัฒนาโครงการโรงไฟฟ้าพลังน้ำขนาดเล็ก และโรงไฟฟ้าพลังน้ำขนาดเล็กมากในหลายพื้นที่ขึ้นมาทดแทน จากการศึกษาพื้นที่ที่มีศักยภาพของไฟฟ้าพลังน้ำทั่วประเทศ พบว่ามีพื้นที่ที่มีศักยภาพในการพัฒนาโครงการไฟฟ้าพลังน้ำขนาดเล็กได้ถึง 25,500 เมกะวัตต์ โครงการไฟฟ้าพลังน้ำขนาดเล็กมากหรือไฟฟ้าพลังน้ำระดับหมู่บ้าน 1,000 เมกะวัตต์ และโครงการไฟฟ้าพลังน้ำท้ายอ่างเก็บน้ำประมาณ 115 เมกะวัตต์ นอกจากการใช้พลังงานน้ำในการผลิตไฟฟ้าแล้วยังมีการใช้พลังงานน้ำโดยตรงในรูปแบบของการชลประทานเพื่อการเกษตรและเพื่อการอุปโภคบริโภคในครัวเรือน สำหรับพื้นที่ทางภาคเหนือของประเทศไทยนั้นเป็นแหล่งต้นน้ำลำธาร อีกทั้งมีสภาพภูมิประเทศซึ่งเป็นภูเขาสูงชันดังนั้นจึงมีความเหมาะสมที่จะมีการพัฒนาการใช้พลังงานน้ำเพื่อลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานและการพึ่งพาตนเองด้านพลังงานเป็นอย่างมาก

ลุ่มน้ำแม่กลางเป็นลุ่มน้ำสาขาของลุ่มน้ำแม่ปิง มีพื้นที่รับน้ำ 614.98 ตร.กม.อยู่ในเขตพื้นที่อำเภอจอมทองและอำเภอดอยหล่อ จังหวัดเชียงใหม่ ดังภาพที่ 1 โดยพื้นที่บางส่วนอยู่ในเขตอุทยานแห่งชาติดอยอินทนนท์และออบหลวง มีลำน้ำแม่กลางเป็นลำน้ำสายหลัก โดยมีลำน้ำแม่ต้น น้ำแม่หอย น้ำแม่ปอน น้ำแม่ยะ น้ำแม่เต๊ะ และน้ำแม่เตี๊ยะเป็นลำน้ำสาขาย่อย น้ำแม่กลางไหลไปบรรจบลงสู่แม่น้ำปิงที่ตำบลสบเตี๊ยะ อำเภอจอมทอง จังหวัดเชียงใหม่ ชุมชนลุ่มน้ำแม่กลางมีจำนวนประชากร 44,497 คน จำนวนครัวเรือนทั้งหมด 12,553 ครัวเรือน ปัญหาเรื่องน้ำส่วนใหญ่ที่พบคือ การขาดแคลนน้ำในฤดูแล้ง และเกิดอุทกภัยในฤดูฝน ซึ่งปัญหาดังกล่าวมีผลกระทบโดยตรงต่อการใช้พลังงานน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำแม่กลาง สำหรับชุมชนบนพื้นที่สูงนั้น พบว่าหลายชุมชนยังไม่มีระบบสายส่งไฟฟ้าจากการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคเข้าถึง และบางชุมชนถึงแม้จะมีระบบผลิตไฟฟ้าพลังน้ำระดับชุมชน แต่ก็ยังประสบปัญหาปริมาณไฟฟ้าไม่เพียงพอต่อความต้องการ ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องหาสาเหตุของปัญหาเพื่อหาแนวทางแก้ไขปัญหของชุมชนที่ได้รับความเดือดร้อน

การศึกษาวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเสนอแนวทางการพัฒนาพลังงานน้ำสำหรับชุมชนลุ่มน้ำแม่กลาง การศึกษาวิจัยเป็นการวิจัยเชิงคุณภาพควบคู่ไปกับการวิจัยเชิงปริมาณ โดยมีการศึกษาข้อมูลปฐมภูมิจากการลงพื้นที่สัมภาษณ์ชาวบ้านในชุมชนควบคู่กับการใช้แบบสอบถาม การสัมภาษณ์เชิงลึก การสังเกตการณ์ และการเข้าร่วมกิจกรรมชุมชน รวมทั้งศึกษาข้อมูลทุติยภูมิจาก

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อให้ได้ข้อมูลด้านศักยภาพและการใช้พลังงานน้ำในพื้นที่ จากนั้นนำข้อมูลมาวิเคราะห์เพื่อประเมินหาจุดแข็ง จุดอ่อน โอกาส อุปสรรค และวิเคราะห์หาแนวทางการพัฒนาพลังงานน้ำให้มีความเหมาะสมต่อชุมชนลุ่มน้ำแม่กลาง และเพื่อเป็นแบบอย่างในการพัฒนาพลังงานน้ำในชุมชนลุ่มน้ำอื่นต่อไป



ภาพที่ 1 แสดงลุ่มน้ำแม่ปิงและลุ่มน้ำสาขาน้ำแม่กลาง

2. วิธีวิจัย

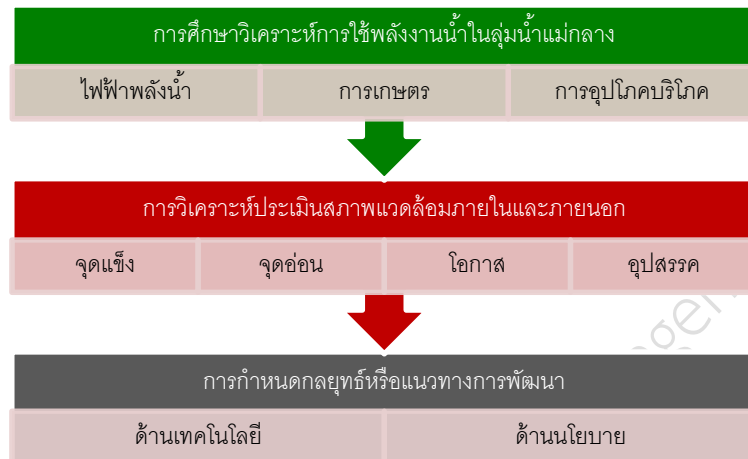
สำหรับการศึกษาวิจัยในครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงคุณภาพควบคู่ไปกับการวิจัยเชิงปริมาณ โดยทำการศึกษาค้นคว้าข้อมูลศักยภาพและการใช้พลังงานน้ำของชุมชนในพื้นที่ลุ่มน้ำแม่กลาง เพื่อนำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์จุดแข็ง จุดอ่อน โอกาส และอุปสรรค จากนั้นทำการกำหนดแนวทางการพัฒนาพลังงานน้ำ แสดงในภาพที่ 2 โดยมีขั้นตอนการวิจัย 3 ขั้นตอนดังต่อไปนี้

2.1 การเก็บรวบรวมข้อมูล จากการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ได้ดำเนินการควบคู่กันไป 2 ส่วน คือ

- การเก็บรวบรวมข้อมูลปฐมภูมิ (Primary Data) ประกอบด้วยการลงพื้นที่สำรวจข้อมูล โดยการใช้แบบสอบถาม ประกอบการสัมภาษณ์ชาวบ้าน จำนวน 156 ครัวเรือน จากชุมชนตัวอย่าง 9 ชุมชนคือ บ้านขุนยะ บ้านพระบาท หัวเสือ บ้านน้ำลาด บ้านปะ บ้านแม่ปอน บ้านตาดมีน บ้านแม่ยะน้อย บ้านห้วยเหี้ย และบ้านใหม่ห้วยเหี้ย ต.บ้านหลวง อ.จอมทอง จ.เชียงใหม่ และการสัมภาษณ์เชิงลึกกับผู้นำชุมชน ตัวแทนหน่วยงานโรงไฟฟ้าพลังน้ำ และหัวหน้าเหมืองฝาย จำนวน 13 คน โดยผู้วิจัยกำหนดแนวคำถามแบบปลายเปิดและแนวคำถามแบบเจาะลึก เพื่อเปิดโอกาสให้ผู้ถูกสัมภาษณ์สามารถสนทนาในประเด็นต่างๆ เช่น ข้อมูลทั่วไป ข้อมูลด้านพลังงาน รูปแบบการใช้พลังงานน้ำ ปัญหา อุปสรรค และข้อเสนอแนะต่างๆ นอกจากนั้นยังมีการสังเกตการณ์อย่างมีส่วนร่วมและการเข้าร่วมกิจกรรมชุมชน เช่น การสืบชะตาซอยถนนหนทาง การเลี้ยงฝ้ายแม่เตี้ย การขุดรอกกล้าเหมืองประจำปี(ล่องเหมือง) ของลำเหมืองหลวง ลำเหมืองแมดและลำเหมืองแม่ปอน กิจกรรมค่ายเยาวชนเอ็กโกไทยรักษ์ป่า ณ โรงไฟฟ้าชุมชนบ้านสันดินแดง และการประชุมหมู่บ้าน เป็นต้น
- การเก็บรวบรวมข้อมูลทุติยภูมิ (Secondary Data) โดยรวบรวมข้อมูลจากเอกสาร สิ่งตีพิมพ์ วารสารทางวิชาการ ข้อมูลจากระบบออนไลน์ และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อนำมาเป็นข้อมูลพื้นฐานประกอบการวิจัย

2.2 การวิเคราะห์ประเมินสภาพแวดล้อมภายในและสภาพแวดล้อมภายนอก (SWOT Analysis) คือ จุดแข็ง จุดอ่อน โอกาส และอุปสรรค โดยการจัดประชุมเชิงปฏิบัติการเพื่อระดมข้อคิดเห็นจากคณะทำงานวิศวกรรมพลังงานจำนวน 10 คน

2.3 การกำหนดกลยุทธ์หรือแนวทางการพัฒนาพลังงานน้ำให้เหมาะสมสำหรับชุมชนในพื้นที่ลุ่มน้ำแม่กลาง ทั้งด้านเทคโนโลยี และด้านนโยบายหรือการบริหารจัดการ โดยการใช้เทคนิคตาราง SWOT Matrix



ภาพที่ 2 แสดงขั้นตอนการศึกษาวิจัย

3. ผลการวิจัย

จากการเก็บรวบรวมข้อมูล รวมทั้งการลงพื้นที่สำรวจข้อมูลจากชุมชนตัวอย่าง พบว่าในพื้นที่ชุมชนลุ่มน้ำแม่กลางมีการประยุกต์ใช้พลังงานน้ำหลากหลายรูปแบบเช่น การผลิตไฟฟ้า การเกษตร และการอุปโภคบริโภค นอกจากนี้ยังพบปัญหาอุปสรรค ข้อเสนอแนะจากชุมชน และ ผลการวิเคราะห์แนวทางการพัฒนาพลังงานน้ำ มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.1 การใช้พลังงานน้ำเพื่อการผลิตไฟฟ้า

ผลจากการศึกษาการใช้พลังงานน้ำเพื่อการผลิตไฟฟ้าในพื้นที่ลุ่มน้ำแม่กลางพบว่ามีกำลังการผลิตไฟฟ้ารวมทั้งหมด 1.43 เมกะวัตต์ (ไม่รวมกำลังไฟฟ้าที่ได้จากการเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็กมาก) แสดงในตารางที่ 1 และมีขนาดกำลังการผลิตอยู่ 3 ระดับดังต่อไปนี้คือ

1. เครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็กมาก (Pico hydropower) โดยมีกำลังผลิตตั้งแต่ 1-5 กิโลวัตต์ ซึ่งมีการใช้ในภาคครัวเรือน และภาคการเกษตร พบว่ามีการใช้งานที่หมู่บ้านแม่ยะน้อย
2. โรงไฟฟ้าพลังน้ำระดับหมู่บ้านหรือชุมชน (Micro hydropower) โดยมีกำลังผลิตไฟฟ้าตั้งแต่ 20 – 30 kW เช่น โรงไฟฟ้าพลังน้ำบ้านสันดินแดง โรงไฟฟ้าพลังน้ำบ้านห้วยวอก-บ้านกลางและ โรงไฟฟ้าบ้านห้วยปูลิง
3. โรงไฟฟ้าพลังน้ำขนาดเล็ก (Mini hydropower) โดยมีกำลังผลิตไฟฟ้าตั้งแต่ 200 – 1150 kW เช่น โรงไฟฟ้าพลังน้ำขนาดเล็กบ้านขุนกลาง และ โรงจักรไฟฟ้าพลังน้ำแม่ยะ

ตารางที่ 1 แสดงกำลังผลิตไฟฟ้าพลังน้ำในลุ่มน้ำแม่กลาง

โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำ	การเชื่อมต่อระบบ	ความสูงหัวน้ำ (เมตร)	กำลังผลิต (kW)
ขนาดเล็ก			
โรงไฟฟ้าแม่ยะ	On-Grid	98.1	1150
โรงไฟฟ้าบ้านขุนกลาง	On-Grid	93.6	200
ระดับหมู่บ้าน			
โรงไฟฟ้าห้วยบุลึง	Off-Grid	20	30
โรงไฟฟ้าบ้านสันดินแดง	Off-Grid	22	20
โรงไฟฟ้าบ้านห้วยวอก-บ้านกลาง	Off-Grid	70	30
รวม			1430

3.2 การใช้พลังงานน้ำเพื่อการเกษตร

พบว่าในพื้นที่ลุ่มน้ำแม่กลางมีการใช้พลังงานศักย์ของน้ำหรือแรงดึงดูดโลกเป็นพลังธรรมชาติในการส่งน้ำเพื่อวัตถุประสงค์ในด้านการเกษตร อาทิเช่น ระบบเหมืองฝาย ระบบนาขั้นบันได ระบบการให้น้ำแบบฉีดฝอย โดยมีรายละเอียดดังนี้

ระบบเหมืองฝาย

ระบบเหมืองฝายเป็นระบบการจัดการน้ำที่อาศัยแรงดึงดูดของโลกหรือ ความต่างศักย์ของน้ำในการกระจายและลำเลียงน้ำเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ โดยในพื้นที่ลุ่มน้ำแม่กลางมีจำนวนเหมืองฝายหลักจำนวน 17 เหมือง จำนวนเหมืองฝายซอยอีก 27 เหมืองซอย นอกนั้นระบบเหมืองฝายยังมีการจัดการระบบทางสังคมด้วย คือ สมาชิกเหมืองหรือผู้ใช้น้ำ มีหน้าที่ร่วมกันดูแลรักษา ปฏิบัติตามกฎหมายระเบียบของเหมืองฝายที่ตนเป็นสมาชิก ซึ่งสมาชิกเหมืองฝาย ประกอบไปด้วย หัวหน้าเหมืองฝายหรือแก่เหมืองแก่ฝาย ผู้ช่วยเหมืองฝาย และสมาชิกเหมืองหรือลูกเหมือง ปัจจุบันในพื้นที่ลุ่มน้ำแม่กลางมีจำนวนสมาชิกเหมืองฝายทั้งหมด 5540 ครอบครัว

ระบบนาขั้นบันได

ระบบนาขั้นบันได เป็นพื้นที่การเกษตรในพื้นที่สูง โดยมีการปรับพื้นที่เชิงเขาให้เป็นพื้นที่ราบขนาดเล็ก ลาดเทลงตามระดับความสูง เรียงซ้อนกันจากสูงมาต่ำมีลักษณะเหมือนขั้นบันได มีการประยุกต์ใช้ระบบเหมืองฝายทดน้ำจากลำห้วย เข้าสู่ลำเหมืองและไหลเข้าสู่นาข้าวขั้นบันไดลงสู่ชั้นล่างสุด แล้วปล่อยน้ำส่วนเกินลงไปในลำเหมืองเพื่อนำไปใช้ในนาอื่นหรือปล่อยทิ้งสู่แม่น้ำหรือลำห้วยต่อไป

ระบบการให้น้ำแบบฉีดฝอย

ระบบนี้ใช้พลังงานจากความต่างระดับหรือศักย์ของน้ำเพื่อนำมาใช้ให้เกิดประโยชน์ โดยการทำฝายกั้นลำห้วยในจุดที่มีความสูงมากกว่าพื้นที่ทำการเกษตร จากนั้นจึงต่อท่อพีวีซีเพื่อลำเลียงน้ำที่มีแรงดันสูงให้ไหลไปสู่หัวฉีดหรือรูที่เจาะไว้ตามท่อ แล้วปล่อยให้น้ำแพร่กระจายลงมาบนพื้นที่เพาะปลูก เช่น การปลูกหอมแดง การปลูกกะหล่ำ การปลูกดอกเบญจมาศ เป็นต้น

3.3 การใช้พลังงานน้ำเพื่อการอุปโภคบริโภค

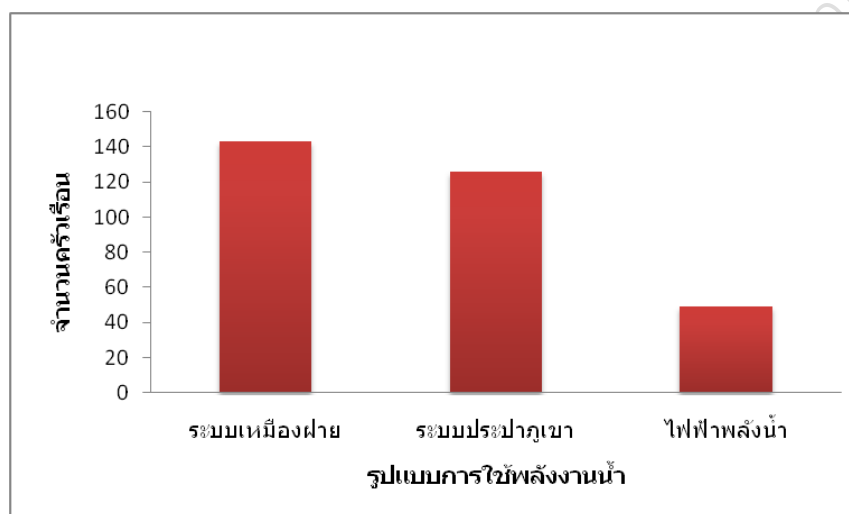
ระบบประปาภูเขา

ระบบประปาภูเขาเป็นระบบที่ใช้พลังงานศักย์ของน้ำหรือแรงดึงดูดโลกเป็นพลังธรรมชาติเช่นเดียวกับระบบเหมืองฝาย โดยมีการสร้างฝายขนาดเล็กขวางกั้นต้นน้ำหรือลำห้วยที่สะอาดและอยู่สูงกว่าหมู่บ้าน จากนั้นต่อท่อพีวีซีเพื่อท่อน้ำมาเก็บยังถังพักหมู่บ้านเพื่อให้ดินและทรายตกตะกอนก่อนแล้วจึงนำน้ำไปใช้ในการอุปโภคบริโภคในครัวเรือนต่อไป จากการสำรวจในพื้นที่

พบว่ามักจะมีปัญหาเรื่องคุณภาพน้ำที่ไม่สะอาด โดยเฉพาะในฤดูฝน สีนํ้าจะขุ่น แดง มีตะกอนจำนวนมาก และยังมีปัญหาเรื่องปริมาณน้ำที่ไม่เพียงพอในฤดูแล้งเพราะน้ำตามลำห้วยมีน้อยหรือแห้ง อีกทั้งมีการนำน้ำไปใช้เพื่อการเกษตรซึ่งเป็นการใช้น้ำที่ผิดวัตถุประสงค์ หลายครั้งจึงเกิดความขัดแย้งกันเองภายในชุมชนจากแผนอัตราค่าจ้าง 3 ปีของเทศบาลตำบลบ้านหลวงและตำบลดอยแก้ว ประจำปีงบประมาณ พ.ศ.2555-2557 พบว่ามีหมู่บ้านที่ใช้ระบบประปาภูเขาในพื้นที่ลุ่มน้ำแม่กลางทั้งหมด 16 หมู่ คิดเป็นจำนวนครัวเรือนทั้งหมด 2453 ครัวเรือน

3.4 ผลการสำรวจการใช้พลังงานน้ำใน 9 ชุมชนตัวอย่าง

จากผลการสำรวจข้อมูลชุมชนจำนวนครัวเรือน 156 ครัวเรือน พบว่ามีการใช้พลังงานน้ำเพื่อการเกษตรในระบบเหมืองฝายจำนวน 143 ครัวเรือน คิดเป็นร้อยละ 92 มีการใช้พลังงานน้ำเพื่อการอุปโภคบริโภคในระบบประปาภูเขาเท่ากับ 126 ครัวเรือน คิดเป็นร้อยละ 81 และ มีการใช้พลังงานน้ำเพื่อการผลิตไฟฟ้าจำนวน 49 ครัวเรือน คิดเป็นร้อยละ 31 ดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 แสดงจำนวนครัวเรือนที่มีการใช้พลังงานน้ำในรูปแบบต่างๆ

3.5 ปัญหา อุปสรรคและข้อเสนอของชุมชนตัวอย่าง

จากการใช้แบบสอบถามสัมภาษณ์ผู้นำชุมชนที่เป็นทางการและไม่เป็นทางการ คณะกรรมการโรงไฟฟ้าพลังน้ำขนาดเล็ก หัวหน้าเหมืองฝาย สมาชิกเหมืองฝายจำนวน 13 คน และตัวแทนชุมชนจำนวน 156 ครัวเรือน โดยได้มีการสอบถามถึงปัญหาและอุปสรรคที่เกิดขึ้นจริงจากการใช้พลังงานน้ำที่มีอยู่ รวมทั้งแนวทางในการแก้ปัญหาที่ชุมชนต้องการพบว่า

โรงไฟฟ้าพลังน้ำ

ปัญหาที่พบมากที่สุดคือ ไฟฟ้าไม่เพียงพอต่อความต้องการและไฟฟ้าดับบ่อย มีจำนวนถึง 45 ครัวเรือน หรือคิดเป็นร้อยละ 91.8 จากผู้ใช้งานทั้งหมด โดยมีสาเหตุหลักมาจาก ปริมาณน้ำไม่เพียงพอสำหรับการผลิตไฟฟ้าในช่วงฤดูแล้งและช่วงเวลาที่มีการใช้น้ำเพื่อการเกษตรในพื้นที่เหนือโรงไฟฟ้า ดังภาพที่ 4 สาเหตุลำดับต่อมาคือ เศษใบไม้ เศษขยะอุดตันท่อส่งน้ำ และสาเหตุอื่นๆเช่น ฝายรั่วซึม อุปกรณ์เสียหายเสื่อมสภาพ กิ่งไม้พาดสายไฟ การบริหารจัดการโรงไฟฟ้าพลังน้ำที่ไม่มีประสิทธิภาพ ขาดช่างชำนาญการดูแลระบบในพื้นที่ ดังนั้นชุมชนเสนอให้มีช่างไฟฟ้าที่มีความชำนาญประจำโรงไฟฟ้า มีการบริหารจัดการน้ำที่มีประสิทธิภาพเพื่อการเกษตร พลังงานและการอุปโภคบริโภค การเชื่อมระบบสายส่งจากโรงไฟฟ้าพลังน้ำแม่ยะ การปรับปรุงประสิทธิภาพโรงไฟฟ้าเช่น เสาไฟ ระบบกรอง ระบบดักทราย และการบริหารจัดการโรงไฟฟ้าที่ดี

ตารางที่ 2 แสดงผลการสำรวจจำนวนครัวเรือนที่ประสบปัญหาการใช้พลังงานน้ำเพื่อการผลิตไฟฟ้าระดับชุมชน

รายละเอียด	จำนวนครัวเรือน	ร้อยละของผู้ใช้งาน
-ไฟฟ้าไม่เพียงพอต่อความต้องการ, ไฟฟ้าดับบ่อย	45	91.8



ภาพที่ 4 แสดงระดับน้ำเหนือฝายในช่วงฤดูแล้งของโรงไฟฟ้าบ้านห้วยบุลิง (ซ้าย) และโรงไฟฟ้าบ้านสันดินแดง (ขวา)

ระบบเหมืองฝาย

ปัญหาที่พบมากที่สุดคือ ปริมาณน้ำไม่เพียงพอต่อความต้องการโดยเฉพาะในฤดูแล้ง ภาพที่ 5 โดยมีจำนวนถึง 70 ครัวเรือนหรือคิดเป็นร้อยละ 48.9 ของผู้ใช้งานทั้งหมด ปัญหาในการเสียค่าเชื้อเพลิงในการสูบน้ำเข้าสู่ลำเหมืองจำนวน 42 ครัวเรือน ปัญหาคันเหมืองขาดชำรุดเสียหายจำนวน 20 ครัวเรือน และปัญหาความขัดแย้งภายในชุมชนเรื่องน้ำมีจำนวน 10 ครัวเรือน โดยมีสาเหตุมาจาก ฤดูกาล ขาดการบริหารจัดการลุ่มน้ำ ไม่มีแหล่งกักเก็บน้ำ คันเหมืองชำรุดเสียหาย และการตัดไม้ทำลายป่า ดังนั้นชุมชนเสนอให้มีการสร้างแหล่งกักเก็บน้ำหรืออ่างเก็บน้ำไว้ในฤดูแล้งมากที่สุด รองลงมาคือการของบประมาณสนับสนุนในการสร้างและซ่อมบำรุงคันเหมืองคอนกรีตในจุดที่มีความเสี่ยง

ตารางที่ 3 แสดงผลการสำรวจจำนวนครัวเรือนที่ประสบปัญหาในการใช้พลังงานน้ำในระบบเหมืองฝาย

รายละเอียด	จำนวนครัวเรือน	ร้อยละของผู้ใช้งาน
-ปริมาณน้ำไม่เพียงพอต่อความต้องการ	70	48.9
-เสียค่าเชื้อเพลิงในการสูบน้ำจากลำเหมือง	42	29.4
-คันเหมืองชำรุดเสียหายในฤดูฝน	20	13.9
-ความขัดแย้งเรื่องแย่งน้ำในชุมชน	10	7.0



ภาพที่ 5 แสดงระดับน้ำและปริมาณทรายเหนือฝายในฤดูแล้งของฝายเหมืองหลวง อ.จอมทอง จ.เชียงใหม่

ระบบประปาภูเขา

ปัญหาที่พบมากที่สุดคือปัญหาเรื่องคุณภาพน้ำที่ไม่สะอาด ชุม ม๊ะตะกอน ในช่วงฤดูฝน ภาพที่ 6 มีจำนวน 28 ครั้วเรือนหรือคิดเป็นร้อยละ 22.2 จากผู้ใช้งานทั้งหมด สาเหตุเนื่องมาจากการไม่มีระบบกรองที่มีประสิทธิภาพ ดังนั้นชุมชนเสนอให้มีการปรับปรุงหรือติดตั้งระบบกรองน้ำที่มีประสิทธิภาพในชุมชน ส่วนปัญหาปริมาณน้ำไม่เพียงพอในช่วงฤดูแล้งมีจำนวน 25 ครั้วเรือนหรือคิดเป็นร้อยละ 19.8 สาเหตุเนื่องจาก ฤดูกาล ระบบส่งน้ำเสียหายเนื่องจากไฟฟ้า และการใช้น้ำผิดวัตถุประสงค์ เช่นการใช้น้ำสำหรับการอุปโภคบริโภคในครั้วเรือนไปใช้ในการเกษตร เป็นต้น ดังตารางที่4

ตารางที่4 แสดงผลการสำรวจจำนวนครั้วเรือนที่ประสบปัญหาในการใช้พลังงานน้ำในระบบประปาภูเขา

รายละเอียด	จำนวนครั้วเรือน	ร้อยละของผู้ใช้งาน
-คุณภาพน้ำไม่ได้มาตรฐาน ไม่สะอาด	28	22.2
-ปริมาณน้ำไม่เพียงพอต่อความต้องการ	25	19.8



ภาพที่6 แสดงคุณภาพน้ำจากระบบประปาภูเขาในช่วงฤดูฝน (ซ้าย) และบริเวณฝายทดน้ำของระบบประปาภูเขา (ขวา)

3.6 ผลการวิเคราะห์แนวทางพัฒนาพลังงานน้ำ

สำหรับผลการวิเคราะห์ประเมินสภาพแวดล้อมภายในและภายนอก รวมทั้งผลการวิเคราะห์แนวทางพัฒนาพลังงานน้ำในกลุ่มน้ำแม่กลางโดยการใช้ตาราง SWOT Matrix จะแสดงในตารางที่ 5

4. อภิปรายผล

สำหรับผลการวิเคราะห์แนวทางพัฒนาพลังงานน้ำในกลุ่มน้ำแม่กลาง พบว่าสามารถเชื่อมโยงจุดแข็ง จุดอ่อน โอกาส อุปสรรค และกำหนดกลยุทธ์เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาพลังงานน้ำ สามารถแยกย่อยเป็นแนวทางการพัฒนาได้ทั้งหมด 12 แนวทาง ซึ่งเมื่อเทียบเคียงกับผลการวิเคราะห์แนวทางการพัฒนาพลังงานหมุนเวียนจากรายงานวิจัยการบริหารจัดการพลังงานหมุนเวียนเพื่อผลิตพลังงานใช้ในระดับชุมชนและระดับครัวเรือน (วิสาขา:2555) พบว่ามีแนวทางการพัฒนาที่คล้ายคลึงกันดังนี้ คือ การส่งเสริมการผลิตพลังงานหมุนเวียนในระดับครัวเรือนและชุมชน การส่งเสริมการเรียนรู้และงานวิจัยเพื่อพัฒนาพลังงานหมุนเวียน และการศึกษาความเหมาะสมของโครงการก่อนดำเนินโครงการ ส่วนที่มีความแตกต่างคือ ขอบเขตพื้นที่ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้จะศึกษาในลักษณะลุ่มน้ำ จึงเน้นศึกษาเฉพาะพลังงานน้ำเป็นหลัก ผลการวิเคราะห์แนวทางการพัฒนาจึงเหมาะสมกับชุมชนที่อยู่ในพื้นที่ลุ่มน้ำ เช่น การเชื่อมโยงหรือบูรณาการนโยบายการบริหารจัดการน้ำเข้ากับเรื่องพลังงาน นอกจากนี้ยังมีเพิ่มเติมแนวทางการพัฒนาในส่วนของการเพิ่มกำลังการผลิตพลังงานน้ำให้พอเพียงต่อความต้องการ การปรับปรุงหรือเพิ่มประสิทธิภาพเทคโนโลยีพลังงานน้ำที่มีการใช้งานอยู่ในปัจจุบัน การสร้างคณะทำงานพลังงานในท้องถิ่นเพื่อทำหน้าที่ดูแลโครงการพัฒนาพลังงานน้ำ และการมีส่วนร่วมจากทุกภาคส่วน ซึ่งแนวทางทั้งหมดที่เสนอจะมีลักษณะบูรณาการและเชื่อมโยงกันและมองแบบองค์รวม (Holistic) ซึ่งจะนำไปสู่การพัฒนาที่ยั่งยืนต่อไป

5. สรุปผล

จากการวิเคราะห์ข้อมูลและแนวพัฒนานั้นใช้เครื่องมือคือ SWOT Analysis และ SWOT Matrix ตามลำดับ พบว่าในพื้นที่มีจุดแข็งคือ ศักยภาพพลังงานน้ำสูงในช่วงฤดูฝน จุดอ่อนคือ กำลังการผลิตไม่เพียงพอและเทคโนโลยีมีต้นทุนสูง โอกาสคือ การสนับสนุนจากหน่วยงานที่เกี่ยวข้องในเรื่องงบประมาณและงานวิจัย อุปสรรคคือ ปริมาณน้ำในฤดูแล้ง ความรู้ความเข้าใจของชุมชน และความต่อเนื่องของโครงการ สำหรับแนวทางการพัฒนาพลังงานน้ำเพื่อให้เกิดความยั่งยืนในชุมชนลุ่มน้ำแม่กลางสามารถสรุปได้ 8 แนวทางดังนี้คือ 1) ส่งเสริมการใช้พลังงานน้ำเพื่อการลดค่าใช้จ่ายและการพึ่งพาตนเองด้านพลังงาน เพื่อการอนุรักษ์วัฒนธรรมประเพณีและภูมิปัญญาท้องถิ่น และ เพื่อการอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม 2) เชื่อมโยงนโยบายการบริหารจัดการลุ่มน้ำเข้ากับพลังงาน 3) สนับสนุนงานวิจัยและการเรียนรู้เพื่อพัฒนาการใช้พลังงานน้ำในชุมชน 4) สร้างคณะทำงานท้องถิ่นเพื่อประสานงาน ประเมิน ติดตามผลและซ่อมบำรุงโครงการหรือเทคโนโลยีพลังงานน้ำ 5) เพิ่มกำลังการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานน้ำ 6) เพิ่มประสิทธิภาพเทคโนโลยีเดิมที่มีอยู่ 7) ศึกษาความเหมาะสมของเทคโนโลยีก่อนดำเนินโครงการ และ 8) สร้างการมีส่วนร่วมจากทุกภาคส่วน อาทิ ภาครัฐ ภาคเอกชน และภาคประชาชน

ตารางที่5 แสดงผลการวิเคราะห์แนวทางการพัฒนาพลังงานน้ำในลุ่มน้ำแม่กลาง

SWOT Matrix	โอกาส(Opportunity: O) 1.ราคาพลังงานเชื้อเพลิงจากฟอสซิลมีแนวโน้มสูงขึ้น 2.นโยบายหรือโครงการของภาครัฐหรือเอกชนที่สนับสนุนชุมชนในการพัฒนาด้านพลังงานหมุนเวียน การอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม และการอนุรักษ์วัฒนธรรม ประเพณี และภูมิปัญญาท้องถิ่น 3.โครงการบริหารจัดการน้ำของหน่วยงานรัฐ 4.งานวิจัยและองค์ความรู้ในด้านพลังงานน้ำของสถาบันวิจัยและสถาบันทางการศึกษา	อุปสรรค (Threat: T) T1.สภาพภูมิอากาศและฤดูกาลเปลี่ยนแปลง T2.เศษขยะ กิ่งไม้ ใบไม้ ตะกอนดิน ทราบ รบกวนระบบ T3.ชุมชนขาดความรู้ความเข้าใจในการใช้งาน การซ่อมบำรุงดูแลรักษาเทคโนโลยีพลังงานน้ำ T4.ขาดความต่อเนื่องในการสนับสนุนงบประมาณสำหรับการดำเนินงาน การซ่อมบำรุงและอื่นๆ T5.นโยบายของภาครัฐ เช่น การขยายพื้นที่สายส่งระบบไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค T6.ขาดความร่วมมือในการผลิตและการใช้พลังงานจากน้ำระหว่างชุมชน หน่วยงานภาครัฐและเอกชน T7.การบุกรุก ตัดไม้ทำลายป่าต้นน้ำ
จุดแข็ง (Strength: S) S1.พื้นที่มีศักยภาพพลังงานน้ำสูง เพราะเป็นแหล่งต้นน้ำลำธาร มีป่าไม้อุดมสมบูรณ์ และสภาพพื้นที่เป็นภูเขาสูง S2.ไม่เสียค่าใช้จ่ายด้านเชื้อเพลิงพลังงาน S3.มีผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมน้อย S4.มีการใช้พลังงานน้ำหลากหลายรูปแบบ เช่น เพื่อการผลิตไฟฟ้า การเกษตร และการอุปโภคบริโภค S5.ชุมชนมีวิถีชีวิต วัฒนธรรม ประเพณี ที่สอดคล้องกับการใช้พลังงานจากน้ำ เช่น ระบบเหมืองฝาย นาขั้นบันได S6.มีหลายหน่วยงานเข้ามาพัฒนาและสนับสนุนการใช้พลังงานน้ำทั้งภาครัฐและเอกชน	กลยุทธ์จุดแข็ง-โอกาส(SO) -ส่งเสริมการใช้พลังงานน้ำเพื่อลดค่าใช้จ่ายและพึ่งพาตนเองด้านพลังงาน(S1,S2,S4,O1,O2) - ส่งเสริมการใช้พลังงานน้ำจากภูมิปัญญาท้องถิ่นและการอนุรักษ์วัฒนธรรมประเพณี (S1,S4,S5,O2) - ส่งเสริมการใช้พลังงานน้ำเพื่อการอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม (S1,S3,S4,O2) -เชื่อมโยงหรือบูรณาการนโยบายการบริหารจัดการลุ่มน้ำเข้ากับการจัดการพลังงานน้ำในด้านการเกษตร อุปโภคบริโภคและการผลิตไฟฟ้า (S1,S4,O2,O3) - สนับสนุนงานวิจัยเพื่อพัฒนาการใช้พลังงานน้ำและการถ่ายทอดองค์ความรู้สู่ชุมชน (S1,S4,O2,O4)	กลยุทธ์จุดแข็ง-อุปสรรค(ST) -ส่งเสริมการเรียนรู้ในการใช้งาน การดูแลรักษาและการซ่อมบำรุงเทคโนโลยีพลังงานน้ำในชุมชน (S1,S4,S5,S6,T3) -สร้างคณะทำงานพลังงานท้องถิ่นเพื่อทำหน้าที่ประสานงาน ประเมินผล ติดตามผลของโครงการ (S4,S5,S6,T4,T5,T6)
จุดอ่อน (Weakness: W) W1.กำลังการผลิตไฟฟ้าจากพลังน้ำยังไม่เพียงพอต่อความต้องการของชุมชนและ ติดดับบ่อย ไม่มีเสถียรภาพ W2.ปริมาณน้ำไม่เพียงพอต่อความต้องการในด้านพลังงาน การเกษตร และการอุปโภคบริโภคในช่วงฤดูแล้ง W3.คุณภาพน้ำเพื่อการอุปโภคบริโภคจากระบบประปาภูเขาไม่ได้มาตรฐาน ไม่สะอาด W4.ระบบหรือเทคโนโลยีมีต้นทุนสูง เช่น โรงไฟฟ้าพลังน้ำ ฝายหรือคันเหมืองคอนกรีต W5.ระบบไม่มีประสิทธิภาพ เช่น ระบบดักตะกอนของโรงไฟฟ้า ระบบกรองน้ำเพื่อการอุปโภคบริโภค W6. ขาดช่างชำนาญการดูแลระบบในพื้นที่	กลยุทธ์จุดอ่อน-โอกาส(WO) -เพิ่มกำลังการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานน้ำ (W1,W2,O1,O2) - ปรับปรุง เปลี่ยนแปลงหรือเพิ่มประสิทธิภาพเทคโนโลยีพลังงานน้ำเดิมที่มีอยู่ให้ดีขึ้น (W1,W3,W5,O1,O2,O4) -สร้างคณะทำงานท้องถิ่นเพื่อทำหน้าที่ดูแลรักษา และการซ่อมบำรุงเทคโนโลยีพลังงานน้ำ (W6,O2,O4)	กลยุทธ์จุดอ่อน-อุปสรรค(WT) -ศึกษาความเหมาะสมของเทคโนโลยีพลังงานน้ำ ก่อนดำเนินโครงการ ด้านวิศวกรรม เศรษฐศาสตร์ สังคมและสิ่งแวดล้อม (W1,W2,W3,W4,W5,T1,T2,T7) -สร้างการมีส่วนร่วมจากทุกภาคส่วนที่เกี่ยวข้อง ทั้งภาครัฐ ภาคเอกชน ภาคประชาชน และองค์กรพัฒนาเอกชนที่ไม่แสวงผลกำไร (W1,W2,W3,W4,W5,T1,T2)

6. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณชาวบ้านในลุ่มน้ำแม่กลาง ผู้นำชุมชน หัวหน้าเหมืองฝายและสมาชิกเหมืองฝายอำเภอจอมทอง ที่ให้ความอนุเคราะห์ในเรื่องข้อมูลที่เกี่ยวข้องในงานวิจัยครั้งนี้ รวมทั้งการเอื้อเฟื้อเรื่องที่พักและอาหารตลอดช่วงเวลาที่ลงพื้นที่สำรวจข้อมูล และขอขอบคุณหน่วยงานต่างๆ อาทิเช่น อุทยานแห่งชาติดอยอินทนนท์ การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคอำเภอจอมทอง เทศบาลตำบลบ้านหลวง สำนักงานเกษตรอำเภอจอมทอง สำนักงานปศุสัตว์อำเภอจอมทอง มูลนิธิไทยรักษ์ป่า และบริษัทผลิตไฟฟ้า จำกัด(มหาชน) สำหรับความอนุเคราะห์ข้อมูลที่เกี่ยวข้องในการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ และสุดท้ายขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่สนับสนุนและให้ความช่วยเหลือตลอดมาจนงานวิจัยสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

7.เอกสารอ้างอิง

- [1] กรมทรัพยากรน้ำ, 2546.รายงานลุ่มน้ำลุ่ม น้ำสาขาแม่กลางโครงการจัดทำแผนรวมการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำ ในพื้นที่ลุ่มน้ำปิง จัดทำโดย บริษัท ปัญญา คอนซัลแตนท์ จำกัด และ บริษัท ชิกม่า ไฮโดร คอนซัลแตนท์ จำกัด.
- [2] กรมทรัพยากรน้ำ, 2552.แผนที่มาตรฐานการแบ่งลุ่มน้ำหลักและลุ่มน้ำสาขาของประเทศไทย.นนทบุรี: สำนักวิจัย พัฒนาและอุทกวิทยา กรมทรัพยากรน้ำ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.
- [3] กรมทรัพยากรน้ำ, 2554.ระเบียบข้อมูลระบบลุ่มน้ำและเขตการปกครองของประเทศไทย. กรุงเทพฯ: สำนักวิจัย พัฒนาและอุทกวิทยา และสำนักส่งเสริมและประสานมวลชน กรมทรัพยากรน้ำ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.
- [4] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน, คู่มือการพัฒนาและการลงทุนผลิตพลังงานทดแทนชุดที่3 ไฟฟ้าพลังน้ำ, กรุงเทพฯ: เอเบิล คอนซัลแตนท์.
- [5] กองบรรณาธิการ กรุงเทพธุรกิจ, 2551.พลังงานกู้โลกร้อน เชื้อเพลิงทางเลือก ทางรอดประเทศไทย.กรุงเทพฯ: กรุงเทพธุรกิจ.
- [6] กลุ่มศูนย์วิจัยข้าวภาคเหนือตอนบน, 2553. เทคโนโลยีการทำน้าขึ้นบันไดบนพื้นที่สูง. เชียงราย: เอ.พี.คอม.
- [7] เกษม จันทรแก้ว, 2551.หลักการจัดการลุ่มน้ำ.กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- [8] ดิเรก ทองอร่าม และคณะ, 2545. การออกแบบและเทคโนโลยีการให้น้ำพืช.กรุงเทพฯ: ฐานการพิมพ์.
- [9] นันทิยา หุตานวัตร และ ณรงค์ หุตานวัตร, 2543. SWOT การวางแผนกลยุทธ์ธุรกิจชุมชน.พิมพ์ครั้งที่2.อุบลราชธานี: มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี.
- [10] พรพิไล เลิศวิชา และคณะ, 2552.เชียงใหม่-ลำพูน เขตเศรษฐกิจวัฒนธรรม.เชียงใหม่: ธารปัญญา.
- [11] พรพิไล เลิศวิชา และคณะ, 2552. เหมืองฝาย จัดการน้ำ จัดการคน บนพื้นฐานภูมิศาสตร์และวัฒนธรรม.เชียงใหม่: ธารปัญญา.
- [12] เพ็ญประภา ศรีจันทร์, 2551. ระบบการจัดการทรัพยากรป่าไม้และไม้พื้กับวิถีชีวิตของชุมชนปกากะญอ. ศึกษาศาสตร์มหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- [13] วิสาชา ภูจินดา, 2555.รายงานวิจัย การบริหารจัดการพลังงานหมุนเวียนเพื่อผลิตพลังงานใช้ในระดับชุมชนและระดับครัวเรือน.กรุงเทพฯ: สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์.
- [14] สมคะเน วีระสมิทธิ์, 2544. การวิเคราะห์สถานภาพของสหกรณ์การเกษตรไชยปราการโดยวิธี SWOT. วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- [15] สุกานดา เชื้อสุวรรณ และคณะ, 2550.60 ภูมิปัญญาท้องถิ่นในการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำ. กรุงเทพฯ: สำนักวิจัยพัฒนาและอุทกวิทยา กรมทรัพยากรน้ำ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.
- [16] เอกชัย บุญยาธิฐาน, 2553. คู่มือวิเคราะห์ SWOT อย่างมืออาชีพ.กรุงเทพฯ:ปัญญาชน.
- [17] Pannathat,R.,Taweep,C.,Thawilwadee,B.,2009. Application of geographical system to site selection of small run-of-river hydropower project by considering engineering/economic/environmental criteria and social impact. Renewable and Sustainable Energy Reviews, No.13:2336-2348.

การออกแบบและสร้างเตาึ่งข้าวกล้องงอกเพื่อการประหยัดพลังงาน A design and construct Germinated Brown Rice stove for Energy saving

จิตติศักดิ์ ภูศรีเมือง^{1*}, ธนากร วงศ์วัฒนาเสถียร²

¹นักศึกษานิเทศศาสตร์โทวิศวกรรมพลังงาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น 40002jittisak@energy.mail.go.th

²อาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น 40002 tanwon3@gmail.com

บทคัดย่อ

การศึกษานี้ขึ้นเพื่อการออกแบบ สร้างเตาชีวมวลสำหรับึ่งข้าวกล้องงอกแบบใหม่ เปรียบเทียบกับเตาชีวมวลแบบดั้งเดิม โดยการออกแบบให้มีความเหมาะสมและสอดคล้องกับการใช้งานปัจจุบัน และทำการทดสอบหาประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาทั้ง 2 แบบ การออกแบบเตาใหม่ เป็นการเพิ่มพื้นที่การถ่ายเทความร้อนของภาชนะ โดยไม่เปลี่ยนแปลงภาชนะ ความร้อนจากการเผาไหม้ให้อยู่ภายในเตานานที่สุด ก่อนไหลออกปล่องควัน และผนังเตาเป็นผนัง 2 ชั้น กล่าวคือ ผนังชั้นในก่อด้วยอิฐทนไฟ ส่วนผนังชั้นนอกก่อด้วยอิฐมอญ และระหว่างผนังใช้เกล็ดดำเป็นฉนวนกันความร้อน จากการทดสอบเตาโดยใช้วิธี Water Boiling Test ใช้ไม้ยูคาลิปตัสเป็นเชื้อเพลิงในการทดสอบพบว่าเตาที่ออกแบบใหม่มีประสิทธิภาพเท่ากับ 20.59% มีค่าเพิ่มขึ้น 5.87% โดยที่เตาแบบดั้งเดิม มีประสิทธิภาพเท่ากับ 14.72% ลดการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเท่ากับ 2.06 kg/batch ประหยัดค่าใช้จ่ายเชื้อเพลิงเท่ากับ 4,934 บาท/ปี การลงทุนก่อสร้างเตาใหม่เท่ากับ 8,290 บาท และมีระยะเวลาคืนทุน 1.68 ปี สามารถลดการปลดปล่อย CO₂จากกระบวนการเผาไหม้เชื้อเพลิงเท่ากับ 10,222 kgCO₂/ปี

คำสำคัญ:เตาชีวมวล; การประหยัดพลังงาน; ึ่งข้าวกล้องงอก

ABSTRACT

A steaming biomass stove for germinated brown rice which is a community well-known product was designed and constructed in order to increase the thermal efficiency of the traditional biomass stove. Thermal efficiency of the new designed stove was determined and compared with the existing stove by water boiling test using Eucalyptus wood as a fuel. The stove wall was a double wall filling with rice husk as an insulator inside the gap. The result showed that the thermal efficiency of the existing stove was 14.72% while the new stove efficiency was 20.59%. The fuel consumption was decreased 5.87% (2.06 kg/batch) leading to fuel cost saving of 4,934 bath/year. For economic aspect, as the new designed stove has a capital cost of 8,290 bath investment, giving a payback period of 1.68year. The saving of wood fuel resulted in reduction of CO₂emission of 10,222kgCO₂/year.

Keywords: Biomass stove; Energy saving; Germinated brown rice

* จิตติศักดิ์ ภูศรีเมือง

1. บทนำ

พลังงานเป็นปัจจัยที่สำคัญในการผลิตและขับเคลื่อนเศรษฐกิจของประเทศไม่ว่าภาคอุตสาหกรรม คมนาคม และเกษตรกรรม ล้วนต้องใช้พลังงานในกระบวนการต่างๆ ภาคอุตสาหกรรมวิสาหกิจขนาดกลาง ขนาดเล็ก และวิสาหกิจชุมชน เป็นอีกภาคส่วนหนึ่งที่ต้องพึ่งพาพลังงานในกระบวนการผลิต ซึ่งภาครัฐกำลังให้ความสำคัญและพยายามผลักดันให้มีการบริหารจัดการการใช้พลังงานให้มีประสิทธิภาพและเกิดความยั่งยืน เตาชีวมวลเป็นเทคโนโลยีพลังงานความร้อนชนิดหนึ่งที่มีความสำคัญกับกระบวนการผลิตของกลุ่มวิสาหกิจชุมชน ซึ่งมีลักษณะรูปแบบเตาที่หลากหลาย เช่น เตาหิน 3 ก้อน (three-stone fire) และเตาแบบตัวยู (U-type) Berrueta V.M. et al (2008) เป็นต้น เตาทั้ง 2 ชนิด ดังกล่าวเป็นเตาชีวมวลแบบดั้งเดิม ซึ่งมีประสิทธิภาพอยู่ในช่วง 5-20% Bhattacharyac S.C. et al (2002) นอกจากนั้นยังมีเตาชีวมวลที่ได้รับการปรับปรุงประสิทธิภาพโดยใช้วิธีการต่างๆ เช่น เพิ่มปล่องควัน Kandpal J.B. et al (1994) หุ้มฉนวนกันความร้อนที่ผนังเตา Sriudom Y. (2011) และเตาแก๊สซิฟิเคชันจากเชื้อเพลิงชีวมวลที่อากาศไหลเข้าสู่ห้องเผาไหม้แบบธรรมชาติ (Natural Draft) Panwar N.L. et al (2008) เป็นต้น เตาชีวมวลที่มีการปรับปรุง และพัฒนารูปแบบใหม่ดังที่กล่าวมามีประสิทธิภาพอยู่ในช่วง 13-40% Bhattacharyac S.C. et al (2002) กลุ่มวิสาหกิจชุมชนผลิตข้าวกล้องงอก ก็เป็นอีกอุตสาหกรรมหนึ่งที่ต้องอาศัยเตาชีวมวลในขั้นตอนการนึ่งข้าวเพื่อผลิตเป็นข้าวกล้องงอก ซึ่งเตาชีวมวลที่ใช้ในปัจจุบันเป็นเตาแบบดั้งเดิมชนิดมีปล่องควัน ซึ่งมีข้อด้อยหลายอย่าง เช่น การเผาไหม้เชื้อเพลิงไม่ต่อเนื่อง สูญเสียความร้อนผ่านผนังและปล่องควัน สิ้นเปลืองเชื้อเพลิงในการเผาไหม้ เป็นต้น

เพื่อลดการใช้พลังงานในขั้นตอนการนึ่งข้าวกล้องงอก ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะทำออกแบบ และปรับปรุงพัฒนารูปแบบเตาชีวมวลให้มีประสิทธิภาพเชิงความร้อนเพิ่มขึ้น ตลอดจนสามารถนำไปประยุกต์ในกระบวนการผลิตอื่นๆที่ใช้เตาชีวมวล

2. วิธีวิจัย

การศึกษาวิจัยนี้ ได้แบ่งการวิจัยออกเป็น 5 ขั้นตอนดังนี้

1. เก็บรวบรวมข้อมูลกระบวนการผลิตข้าวกล้องงอกด้วยเตาชีวมวลแบบดั้งเดิม
2. ออกแบบปรับปรุง พัฒนาเตาชีวมวล สำหรับนึ่งข้าวกล้องงอกแบบใหม่
3. ทดสอบประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาแบบดั้งเดิม และเตาที่ได้ออกแบบใหม่
4. วิเคราะห์เปรียบเทียบประสิทธิภาพและสมดุลพลังงาน ของเตาทั้ง 2 แบบ
5. สรุปและอภิปรายผล

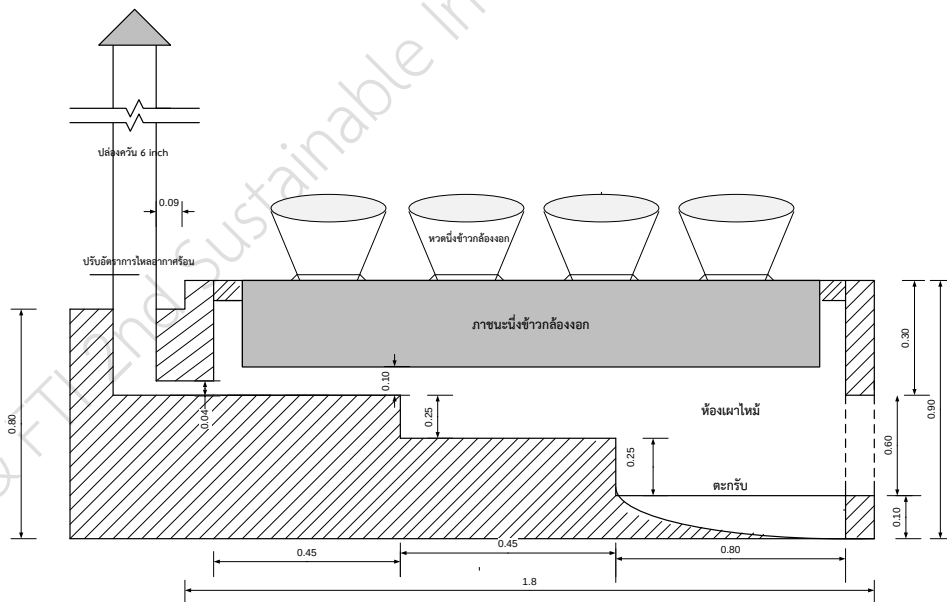
2.1 เก็บรวบรวมข้อมูลกระบวนการผลิตข้าวกล้องงอกด้วยเตาชีวมวลแบบดั้งเดิม

ภาพที่ 1 คือเตาชีวมวลที่ใช้ในการผลิตข้าวกล้องงอกในปัจจุบัน เป็นเตาชีวมวลที่ใช้ฟืนเป็นเชื้อเพลิงมีรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้า ขนาดกว้าง 0.82 เมตร ยาว 1.80 เมตร สูง 0.65 เมตร ผนังเตาก่อด้วยอิฐมอญก้อนใหญ่เป็นผนังชั้นเดียวยึดประสานด้วยปูนซีเมนต์ ปล่องควันทำด้วยท่อใยหินขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.203 เมตร สูง 3 เมตร ไม่มีตะแกรงในช่องเผาไหม้ เมื่อมีการใช้งานพบว่าการเผาไหม้ไม่ต่อเนื่องสูญเสียความร้อนผ่านผนังและปล่องควันทำให้สิ้นเปลืองเชื้อเพลิงในการเผาไหม้



ภาพที่ 1 เตาชีวมวลแบบดั้งเดิม

2.2 ออกแบบปรับปรุง พัฒนาเตาชีวมวลสำหรับนั่งข้าวกล้องงอกแบบใหม่ เพื่อลดการใช้พลังงานในขั้นตอนการนั่งข้าวกล้องงอกจากเตาชีวมวลแบบดั้งเดิมดังแสดงในข้อที่ 2.1 จึงได้ปรับปรุงพัฒนาเตาแบบใหม่ โดยการเพิ่มพื้นที่ในการถ่ายเทความร้อนของภาชนะให้ได้มากที่สุด ที่ยังคงภาชนะรูปแบบเดิม ความร้อนจากการเผาไหม้ให้อยู่ภายในเตานานที่สุด ก่อนไหลออกปล่องควัน และผนังเตาเป็นผนัง 2 ชั้นคือ ผนังชั้นในก่อด้วยอิฐทนไฟ ส่วนผนังชั้นนอกก่อด้วยอิฐมวลเบา และระหว่างผนังใช้เกล็ดคำเป็นฉนวนกันความร้อน ใช้ดินเหนียวผสมเป็นตัวประสาน (ดินเหนียว+ทราย+เกล็ดดิบ+เกล็ดคำ) มีขนาดห้องเผาไหม้ กว้าง 0.5 เมตร ยาว 0.8 เมตร สูง 0.65 เมตร มีตะกั่วภายในห้องเผาไหม้ ปล่องควันทำด้วยท่อใยหินขนาด 0.152 เมตร ความสูง 2.4 เมตร ตามภาพที่ 2



ภาพที่ 2 เตาชีวมวลที่ออกแบบใหม่

2.3 ทดสอบประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาแบบดั้งเดิม และเตาที่ได้ออกแบบใหม่
ในการทดสอบประสิทธิภาพของเตาชีวมวลทั้งสองแบบ จะทดสอบโดยใช้วิธี WaterBoilingTestและสมดุลพลังงานในการทดสอบ

2.3.1 ทดสอบประสิทธิภาพเชิงความร้อน

ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาทั้งสองแบบ (η) สามารถคำนวณได้ตามสมการที่ (1) ซึ่งได้จากการทดสอบโดยวิธี WaterBoilingTest เป็นการหาประสิทธิภาพโดยตรงของเตา

$$\eta = \frac{(m_w \times C_{p,w} \times \Delta T) + (m_e \times L_w)}{m_f \times HV} \quad (1)$$

เมื่อ m_w (kg) คือ มวลของน้ำเริ่มต้น $C_{p,w}$ (4.18 kJ/kg °C) คือ ค่าความจุความร้อนจำเพาะของน้ำ ΔT (°C) คือ ผลต่างของอุณหภูมิของน้ำเดือดและน้ำเริ่มต้น m_e (kg) คือ มวลของน้ำที่เกิดการระเหย L_w (2,257.2 kJ/kg) คือ ค่าความร้อนแฝงของน้ำ ระเหยกลายเป็นไอ m_f (kg) คือ ปริมาณการใช้เชื้อเพลิง HV (14,804 kJ/kg) คือ ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง (ไม้ยูคาลิปตัส)

2.3.2 การสมดุลพลังงาน

ในการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ ได้วิเคราะห์สมดุลพลังงานของเตาทั้ง 2 รูปแบบ โดยศึกษาปริมาณและสัดส่วนของความร้อนที่เข้าสู่ระบบ ซึ่งประกอบด้วยความร้อนที่ถ่ายเทให้กับภาชนะนึ่งข้าวและความร้อนที่สูญเสียในส่วนต่างๆ ของเตาโดยมีรายละเอียดดังนี้

ความร้อนเข้าสู่ระบบ(Q_1) คือ ความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง ดังแสดงในสมการที่ (2)

$$Q_1 = m_f \times HV \quad (2)$$

ความร้อนที่ถ่ายเทให้กับภาชนะนึ่งข้าว (Q_2) คือ ความร้อนที่ภาชนะนี้ได้รับจากกระบวนการเผาไหม้ภายในเตา ทำให้น้ำที่อยู่ภายในภาชนะเกิดการเดือดและระเหยไปนึ่งข้าวกล้องงอกสามารถคำนวณได้ตามสมการที่ (3)

$$Q_2 = (m_w \times C_{p,w} \times \Delta T) + m_e \times L_e \quad (3)$$

ความร้อนสูญเสียจากไอเสียทางปล่องควัน (Q_3) คือ ความร้อนที่สูญเสียไปกับอากาศร้อนที่ออกสู่ทางปล่องควัน สามารถคำนวณได้ตามสมการที่ (4)

$$Q_3 = \rho \times A_s \times \dot{V} \times C_p \times (T_g - T_a) \quad (4)$$

เมื่อ ρ (kg/m³) คือ ความหนาแน่นของไอเสียร้อน สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (5) (จิรพัฒน์, 2542) C_p คือ ค่าความจุความร้อนจำเพาะของไอเสียมีค่าเท่ากับ 1.094 kJ/kg-K Mande S.(2000) A_s (m²) คือ พื้นที่หน้าตัดของปล่องไอเสียร้อน $\dot{V}$ (m/s) คือ ความเร็วของไอเสียร้อน T_g (K) คือ อุณหภูมิของไอเสียร้อน T_a (K) คือ อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม

$$\rho = 1.2701 \times \left(\frac{273}{T_g} \right) \times \left[\frac{10,363 + 2.6}{10,363} \right] \quad (5)$$

ความร้อนสูญเสียผ่านผนังเตาทั้ง 2 ด้านประกอบด้วยความร้อนสูญเสียเนื่องจากการพาความร้อน (Q_4) และความร้อนสูญเสียเนื่องจากการแผ่รังสีที่ผิวผนังเตาด้านนอก (Q_5) สามารถหาค่าได้ตามสมการที่ (6) และสมการที่ (8) ตามลำดับ เมื่อ $h_w(W/m^2 K)$ คือ ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของผนังเตา ASHRAE(2001) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (7) เมื่อ $L(m)$ คือความสูงของผนังเตา $A_w(m^2)$ คือ พื้นที่ผนังเตา $T_w(K)$ คืออุณหภูมิของผนังเตา $\Delta T_w(K)$ คือ ผลต่างของอุณหภูมิผนังเตาและอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม σ คือ ค่าคงที่ สเตฟาน-โบลต์ซมันน์มีค่าเท่ากับ $5.67 \times 10^{-8} W/m^2 K^4$ ε คือ ค่าคงที่ emissivity มีค่าเท่ากับ 0.93KermD.Q.(1950)

$$Q_4 = h_w \times A_w \times (T_w - T_a) \quad (6)$$

$$h_w = 1.42 \times \left(\frac{\Delta T_w}{L} \right)^{0.25} \quad (7)$$

$$Q_5 = \sigma \times \varepsilon \times A_w \times (T_w^4 - T_a^4) \quad (8)$$

ความร้อนสูญเสียจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงไม่หมด (Q_6) คือ การสูญเสียในรูปแบบของเชื้อเพลิงเมื่อสิ้นสุดการทดสอบเตา ทำให้เกิดการเหลือของเชื้อเพลิงจากการเผาไหม้ สามารถคำนวณได้ตามสมการที่ (9) (วิวัฒน์, 2549) เมื่อ $m_f(kg)$ คือ ปริมาณของเชื้อเพลิงที่เผาไหม้ไม่หมด C_r คือ สัดส่วนของคาร์บอนที่อยู่ในเชื้อเพลิงมีค่าเท่ากับ 18% Kandpal J.B. et al (1994)

$$Q_6 = 33,826 \times m_f \times C_r \quad (9)$$

ความร้อนสูญเสียจากความชื้นในเชื้อเพลิง (Q_7) คือ ความสูญเสียที่เกิดจากความชื้นที่อยู่ในเชื้อเพลิง เมื่อ $\%mois_{fuel}$ คือ สัดส่วนของความชื้นที่อยู่ในเชื้อเพลิง สามารถคำนวณตามสมการที่ (10)

$$Q_7 = m_f \times (\%mois_{fuel}) \times (2,450 + 1.91 \times (T_g - T_a)) \quad (10)$$

ความร้อนสูญเสียจากอื่นๆ (Q_8) คือ ความร้อนที่ไม่สามารถตรวจวัดได้ เช่น ความร้อนที่สะสมในตัวเตา ความร้อนที่สูญเสียออกด้านหน้าเตา ความร้อนที่สูญเสียเนื่องจากการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ เป็นต้น สามารถคำนวณได้ตามสมการที่ (11)

$$Q_8 = Q_1 - Q_2 - Q_3 - Q_4 - Q_5 - Q_6 - Q_7 \quad (11)$$

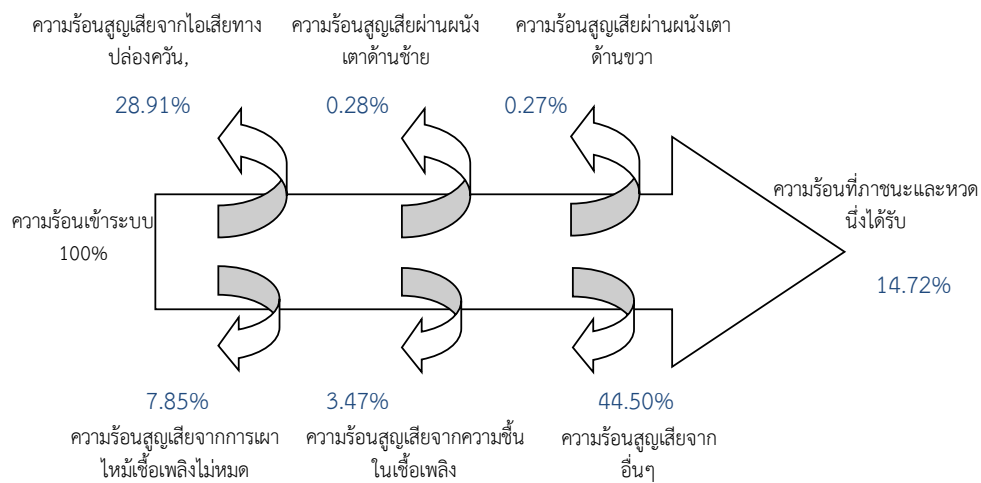
3. ผลการวิจัย

3.1 ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพเชิงความร้อนและการสมดุลพลังงาน

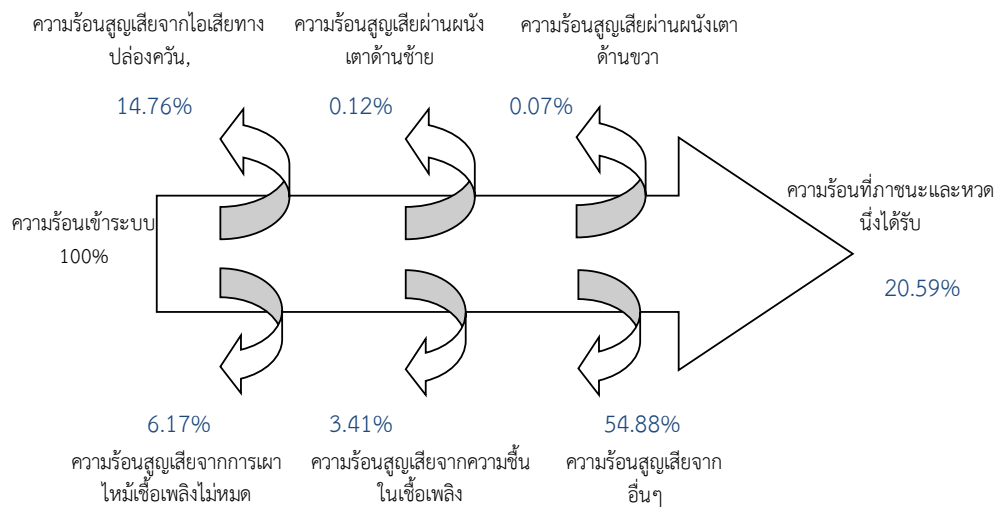
การหาประสิทธิภาพเชิงความร้อนและสมดุลพลังงานของเตาหนึ่งข้าวกล้องงอกแบบดั้งเดิมและแบบที่ได้นำเสนอในบทความนี้จะใช้ค่าเฉลี่ยของตัวแปรต่างๆ มาใช้ในการคำนวณ จากการคำนวณพบว่าเตาที่ออกแบบใหม่ สามารถลดการใช้เชื้อเพลิงต่อรอบการผลิตได้ 2.06kg ลดการสูญเสียความร้อนจากไอเสียร้อนทางปล่องควัน 32,826.25 kJ ลดการสูญเสียผ่านผนังทั้ง 2 ด้าน 764.25 kJ ลดการสูญเสียจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงไม่หมด 5,243.03 kJ ลดการสูญเสียจากความชื้นในเชื้อเพลิงเท่ากับ 1,168.54 kJ แต่มีการสูญเสียความร้อนจากอื่นๆ มีค่าเพิ่มขึ้น 4,086.25 kJ ดังรายละเอียดตามตารางที่ 1 ภาพที่ 3 และ 4 แสดงสมดุลพลังงานของเตาแบบดั้งเดิมและเตาที่ออกแบบใหม่ ตามลำดับ

ตารางที่ 1 ผลการทดสอบเตาค่าโดยเฉลี่ยของเตาหนึ่งข้าวกล้องงอกทั้ง 2 แบบ

พารามิเตอร์	เตาแบบดั้งเดิม	เตาที่ออกแบบใหม่
อัตราการป้อนเชื้อเพลิง(kg/batch)	13.53	11.47
ความร้อนเข้าระบบ (kJ)	200,265.22	169,834.78
ความร้อนสูญเสียจากไอเสียทางปล่องควัน (kJ)	57,902.00	25,075.60
ความร้อนสูญเสียผ่านผนังเตาด้านซ้าย (kJ)	555.97	209.27
ความร้อนสูญเสียผ่านผนังเตาด้านขวา (kJ)	532.96	115.41
ความร้อนสูญเสียจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงไม่หมด (kJ)	15,729.09	10,486.06
ความร้อนสูญเสียจากความชื้นในเชื้อเพลิง (kJ)	6,954.17	5,785.63
ความร้อนสูญเสียจากอื่นๆ (kJ)	89,113.89	93,200.14
ประสิทธิภาพเชิงความร้อน(%)	14.72%	20.59%



ภาพที่ 3 สมดุลพลังงานเตาหนึ่งข้าวกล้องงอก (แบบดั้งเดิม)



ภาพที่ 4 สมดุลพลังงานเตาหนึ่งข้าวกล้องงอก (เตาที่ออกแบบใหม่)

3.2 ผลการวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์

เมื่อวิเคราะห์ผลการลงทุนทางด้านเศรษฐศาสตร์ พบว่าเตาที่ออกแบบใหม่ มีค่าใช้จ่ายในการก่อสร้าง 8,290 บาท (ไม่รวมค่าแรงงานในการก่อสร้างและโรงเรือน) สามารถประหยัดเชื้อเพลิงได้ 20.6 kg/วัน ประหยัดค่าใช้จ่ายด้านเชื้อเพลิงได้ 4,934 บาทต่อปี (1 วันทำงาน 10 รอบ, 300 วัน/ปี และราคาเชื้อเพลิง 0.8 บาท/kg) โดยมีระยะเวลาคืนทุน 1.68 ปี

3.3 การวิเคราะห์การลดปลดปล่อย CO₂

การศึกษาในครั้งนี้ เตาที่ออกแบบใหม่สามารถลดการใช้เชื้อเพลิงได้ 6,166.67kg/ปี คิดเทียบกับการใช้น้ำมันดิบในหน่วยตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ (toncrudeoilequivalent : toe) ได้เท่ากับ 2.16toe/ปี ลดการปลดปล่อย CO₂ ที่เกิดจากกระบวนการเผาไหม้เชื้อเพลิง 10,222kgCO₂/ปี IPCC(2006)

4. อภิปรายผล

จากผลการศึกษา การปรับปรุง พัฒนาเตาตั้งข้าวกล้องงอกแบบดั้งเดิม โดยการออกแบบและสร้างเตารูปแบบใหม่ เพื่อลดการใช้เชื้อเพลิงในกระบวนการผลิตในขั้นตอนการนึ่งข้าว ที่มีความเหมาะสมและสอดคล้องกับการผลิตที่ใช้งานปัจจุบันมากที่สุด โดยออกแบบเตาใหม่ให้มีพื้นที่ในการถ่ายเทความร้อนของภาชนะเพิ่มขึ้น โดยที่ภาชนะยังคงรูปแบบเดิม ความร้อนจากการเผาไหม้ให้อยู่ภายในเตานานที่สุด ก่อนไหลออกปล่องควัน และผนังเตาเป็นผนัง 2 ชั้น จากการทดสอบพบว่าเตาที่ได้ออกแบบใหม่สามารถลดการสูญเสียความร้อนจากไอเสียผ่านทางปล่องควัน ผนังเตาทั้ง 2 ด้าน การเผาไหม้เชื้อเพลิงไม่หมดและการสูญเสียความร้อนจากความชื้นในเชื้อเพลิงเท่ากับ 14.15%, 0.36%, 1.68%, 0.06% ตามลำดับ ความร้อนที่สูญเสียความร้อนผ่านปล่องควันมีค่าลดลงเนื่องจากเตาที่ออกแบบใหม่ถูกออกแบบให้ความร้อนคงอยู่ภายในเตานานกว่าเตาแบบดั้งเดิม โดยลดพื้นที่การไหลของอากาศร้อนให้น้อยลงและใกล้กับกันภาชนะมากขึ้นนอกจากนั้นผนังเตาทั้ง 2 ข้าง ได้ถูกออกแบบให้เป็นผนัง 2 ชั้น โดยใส่เกล็ดดาระหว่างผนังเตาทั้ง 2 ทำให้ความร้อนถ่ายเทผ่านผนังได้ลดลง ประกอบกับเตาที่ศึกษาได้ใส่ตะแกรง เพื่อให้อากาศผสมกับเชื้อเพลิงทำให้เกิดการเผาไหม้ดีขึ้นและต่อเนื่องจากการปรับปรุงเตาแบบดั้งเดิมดังกล่าวข้างต้น ทำให้ปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ในการเผาไหม้ของแต่ละรอบการผลิตลดลง ส่งผลให้ความร้อนสูญเสียจากความชื้นในเชื้อเพลิงลดลงด้วย แต่อย่างไรก็ตามเตาที่ออกแบบใหม่ ยังมีการสูญเสียความร้อนจากอื่นๆ ซึ่งมีสัดส่วนเพิ่มขึ้น 10.38% เนื่องมาจากมีความร้อนสูญเสียออกด้านหน้าเตา และมีความร้อนสะสมในผนังเตาทั้ง 2 ข้างเพิ่มขึ้น

5. สรุปผล

จากการทดสอบเตาตั้งข้าวกล้องงอกแบบใหม่ที่ได้ทำการออกแบบในบทความนี้ โดยใช้วิธี Water Boiling Test พบว่าเตาตั้งข้าวแบบดั้งเดิมมีประสิทธิภาพเชิงความร้อน 14.72% และเตาตั้งข้าวที่ออกแบบใหม่มีประสิทธิภาพเชิงความร้อน 20.59% เพิ่มขึ้นจากเตาแบบดั้งเดิม 5.87% ลดการใช้เชื้อเพลิงได้ 2.06 kg/batch หรือคิดเทียบเท่าน้ำมันดิบ 2.16toe/ปี ประหยัดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานได้ 4,934 บาท/ปี ส่งผลทำให้ลดการปลดปล่อย CO₂ ได้ 10,222kgCO₂/ปี ในการออกแบบเตาตั้งข้าวกล้องงอก ที่ทำการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ เป็นการออกแบบเตาตามภาระโหลดของการทำงานจริง เมื่อต้องการนำเตาออกแบบในครั้งนี้นำไปประยุกต์ใช้ในกระบวนการผลิตอื่นๆ หรือภาชนะรูปทรงที่แตกต่างไปจากนี้ การออกแบบลักษณะเตาจะเปลี่ยนแปลงไปตามลักษณะการใช้งาน

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณกองทุนเงินอุดหนุนจากสัญญาโรงกลั่นปิโตรเลียม สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน ที่ให้ทุนการศึกษา และกองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน สำนักงานนโยบายและแผนพลังงานกระทรวงพลังงาน ที่ให้ทุนอุดหนุนในการวิจัย ขอขอบคุณ นางพรพิศ ทองก้อน ประธานกลุ่มวิสาหกิจชุมชนผลิตข้าวกล้องงอกบ้านน้อยจอมศรี ตำบลยางโองอำเภอมือง จังหวัดสกลนคร ที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูล และสถานที่ ในการศึกษาวิจัย

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] จิรุตม์ จิตตโสภณ, 2542. การออกแบบหม้อไอน้ำแรงดันต่ำโดยใช้เหง้ามันสำปะหลังเป็นเชื้อเพลิง. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- [2] วิวัฒน์ ภัททิยธนี, 2549. เทคโนโลยีไอน้ำ. กรุงเทพฯ. ซีเอ็ดดูเคชั่น.
- [3] ASHRAE , 2001. Fundamentals Handbook.
- [4] Berrueta, V.M., Edwards, R.D., Maserac, O.R., 2008. Energy performance of wood-burning cook stoves in Michoacan, Mexico. Renewable Energy, Vol. 33: 859-870.
- [5] Bhattacharyac, S.C., Salam, P.A., 2002. Low greenhouse gas biomass options for cooking in the developing countries. Biomass and Bioenergy, Vol. 22: 305-317.
- [6] IPCC, 2006. IPCC Guideline for Nation Greenhouse Gas Inventories Volume 1 General Guidance and Reporting, Online <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol1.html>
- [7] Kandpal, J.B., Maheshwari, R.C., 1994. Combustion of biomass fuels in two cook stove for their conservation. Energy Conversion and Management, Vol. 36: 1015-1021.
- [8] Kern D.Q., 1950. Process heat transfer: New York. McGraw-Hill Book.
- [9] Mande, S., Pai, B R., Kishore, V.V.N., 2000. Study of stove used in the silk-reeling industry. Biomass and bioenergy, Vol. 19: 51-61.
- [10] Panwar, N.L., Rathore, N.S., 2008. Design and performance evaluation of a 5 kW producer gas stove. Biomass and Bioenergy, Vol. 32: 1349-1352.
- [11] Sriudom, Y., 2011. Thermal efficiency improvement and technology transfer of chimney stove for producing stove; Amphoe Bo Kluea, Nan Province. Energy Procedia, Vol. 9: 238-244.

กังหันลมผลิตไฟฟ้าและสูบน้ำความเร็วรอบต่ำ Low Speed Wind Turbine for Electricity and water pump

รณกร เทพวงษ์*, สารโจน์ ดำรงศีล, ธนากร สุนทรวัฒน์
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
96 หมู่ 3 ตำบลศาลายา อำเภอพุทธมณฑล จังหวัดนครปฐม 73170
ronnakorn55@gmail.com*

Ronnakorn Thep Wong*, Sarote Dumrongsil, Thanakorn Sunthonwat
Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Rattanakosin, 96 moo 3
Puthamonthon Sai 5, Salaya, Puthamonthon, Nakhon Pathom, 73170 Thailand.
ronnakorn55@gmail.com*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ทดลองสร้างกังหันลมแบบใบผ้าของไทย ให้สามารถหมุนได้ที่ลมความเร็วต่ำของประเทศไทย ในงานวิจัยได้ศึกษาศักยภาพของกังหันลมที่ใช้กับลมความเร็วต่ำ รวมทั้งตัวแปรต่างๆที่มีผลต่อการติดตั้งกังหันลม เช่น พื้นที่ในการรับลม ความเร็วลม และ พลังงานที่ได้จากกังหันลมความเร็วต่ำ โดยการทดสอบแบบจำลองใบกังหันลมใบผ้า ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 เมตร ในห้องปฏิบัติการและสร้างต้นแบบจริงของกังหันลมใบผ้า ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 เมตร จำนวน 6 ใบ โดยทดสอบการสูบน้ำด้วยเครื่องสูบน้ำแบบลูกสูบชัก ทดสอบกังหันลมกับมอเตอร์เครื่องชักผ้า เพื่อการผลิตกระแสไฟฟ้าในภาคสนาม ผลการทดสอบพบว่าสามารถใช้เป็นแนวทางการพัฒนากังหันลมแบบใบผ้าของไทยเพื่อการสูบน้ำและผลิตกระแสไฟฟ้าแบบความเร็วรอบต่ำได้เป็นอย่างดี

คำสำคัญ : กังหันลม; กังหันใบผ้าของไทย; ลมความเร็วต่ำ; การสูบน้ำ; การผลิตไฟฟ้า

Abstract

In this study, build a Thai sail windmill can rotate at the local Thai's low-speed wind. The research has studied the potential of windmill used on low speed. The variables that affect the installation of windmill in the low wind speed. The experiment test of windmill model 1.0 meters diameter in the laboratory and prototype of the windmill 8.0 meters diameter test the reciprocating pump for water pumping, test the washing machine generator for generating electricity. The output of the experiments recommenced for development of the next Thai sail windmill for water pumping and electricity as well in low wind speed.

Key words: Windmill; Thai sail windmill; low wind speed; water pumping; generating electricity

* รณกร เทพวงษ์

1. ความสำคัญและที่มาของปัญหา

พลังงานลม ลมเป็นแหล่งพลังงานสะอาดชนิดหนึ่งที่สามารถใช้ได้อย่างไม่มีวันหมด แต่เนื่องจากลมในประเทศไทยมีความเร็วลมต่ำเฉลี่ย 2-3 เมตรต่อวินาที กังหันลมเป็นอุปกรณ์ที่สร้างขึ้นเพื่อเปลี่ยนพลังงานลมให้เป็นพลังงานกลแล้วนำไปใช้ประโยชน์ในด้านต่าง ๆ ที่สำคัญในปัจจุบัน คือ ใช้เพื่อการสูบน้ำและการผลิตกระแสไฟฟ้า กังหันลมที่ใช้ในการสูบน้ำในประเทศไทย สามารถจำแนกได้ออกเป็น 3 แบบ [1] คือ (1) กังหันแบบใบพัดผ้าความเร็วรอบต่ำ

(Low-speed sail rotor type) (2) กังหันแบบใบพัดไม้ความเร็วรอบสูง (The wooden high-speed rotor type) และ (3) กังหันแบบใบพัดเหล็กหลายใบความเร็วรอบต่ำ (The multi-blade steel low running rotor type)

กังหันแบบใบพัดผ้าความเร็วรอบต่ำ ที่ใช้ในการทำนาเกลือ จะมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 7 ถึง 8 เมตร กังหันชนิดนี้จะมีใบพัดแบบสามเหลี่ยมทำจากใบเสื่อลำแพนหรือใบผ้า 6 หรือ 8 ใบ ซึ่งอยู่กับไม้ไผ่ซึ่งทำหน้าที่เป็นก้านใบพัด มีลักษณะดังภาพที่ 1 [6] มีสมรรถนะที่เหมาะสมจะอยู่ที่ความเร็วลม 3.6 เมตรต่อวินาที หลาบ รัสสิริ [2] ได้ทำการสร้างกังหันลมเพื่อการเกษตรและไฟฟ้า โดยสร้างเป็นกังหันลมใบผ้า ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 เมตร มี 8 ใบ กังหันแบบใบพัดไม้ความเร็วรอบสูง จะมีใบพัด 2 หรือ 4 ใบ ทำมาจากไม้กระดาน ยาว 6-8 เมตร กว้าง 20 เซนติเมตร หนา 5 เซนติเมตร โดยปกติความสูงที่ใช้ในการสูบน้ำประมาณ 0.5 เมตร และความเร็วลมที่ใช้ประมาณ 8 เมตรต่อวินาที และกังหันแบบใบพัดเหล็กหลายใบใช้ในความเร็วยรอบต่ำ เหมาะกับความเร็วยรอบ 3 เมตรต่อวินาที ใบพัดจะมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 ถึง 4 เมตร สามารถสูบน้ำสูง 12 ถึง 15 เมตรจากพื้น [3, 4] สำหรับกังหันลมผลิตกระแสไฟฟ้าขนาดเล็กในประเทศไทยเป็นกังหันลมที่มีจำนวนใบส่วนมากเท่ากับ 3 ใบ เป็นกังหันที่นำเข้ามาจากต่างประเทศ หรือผลิตได้เองในประเทศ ใบกังหันทำด้วยไม้หรือทำด้วยไฟเบอร์กลาส [5]

เนื่องจากกังหันแบบใบพัดผ้าความเร็วรอบต่ำที่ใช้ในการทำนาเกลือ เป็นภูมิปัญญาท้องถิ่นด้านเทคโนโลยีกังหันลมของไทย สามารถใช้งานได้จริงในการสูบน้ำเพื่อการทำนาเกลือมานาน กังหันแบบใบผ้าดังกล่าวจึงมีศักยภาพสูงสามารถพัฒนานำไปใช้กับพื้นที่อื่น ๆ นอกจากการทำนาเกลือ งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทดลองสร้างกังหันลมแบบใบผ้าของไทยใช้เพื่อการสูบน้ำและผลิตกระแสไฟฟ้า ให้สามารถใช้ได้กับลมความเร็วต่ำของประเทศไทย โดยพัฒนากังหันสูบน้ำนาเกลือแบบใบผ้าของไทย ตำบลนาโคก จังหวัดสมุทรสงคราม ที่ใช้สูบน้ำเข้านาเกลือโดยใช้ระตืดวิดน้ำเปลี่ยนมาเป็นการสูบน้ำด้วยเครื่องสูบน้ำแบบชัก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 นิ้ว และทดสอบกังหันลมกับมอเตอร์เครื่องชักผ้าเพื่อการผลิตกระแสไฟฟ้า ทดสอบกังหันลมในพื้นที่มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี จังหวัดนครปฐม



ภาพที่ 1 กังหันลมสูบน้ำแบบใบผ้าของไทย ตำบลนาโคก จังหวัดสมุทรสงคราม [6]

2. วิธีวิจัย

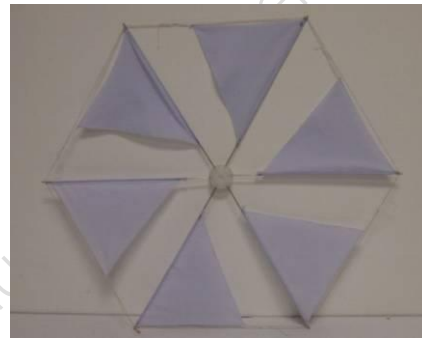
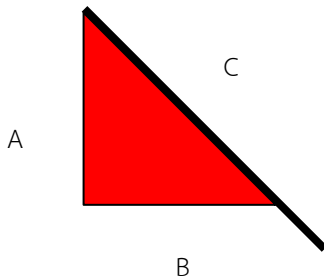
ในงานวิจัยนี้ได้แบ่งวิธีการดำเนินงานวิจัยออกเป็น 2 ขั้นตอน คือ การสร้างและทดสอบแบบจำลองกังหันลมและการสร้างและทดสอบกังหันลมผลิตไฟฟ้าและสูบน้ำความเร็วรอบต่ำแบบเต็มขนาด ดังต่อไปนี้

2.1 การสร้างและทดสอบแบบจำลองกังหันลม

สร้างแบบจำลองกังหันลมและทดสอบแบบจำลองกับอุโมงค์ลม เป็นการศึกษากังหันลมแบบใบผ้าแบบจำลองว่ารูปแบบใดจะมีความเหมาะสมในการใช้งานเพื่อต่อกับเครื่องสูบน้ำและผลิตกระแสไฟฟ้า โดยสร้างกังหันลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 เมตร แบบ 6 ใบ ตามชุดใบทดลองกังหันลมใบผ้าของไทย (Thai sail rotor model) (TSRM) คือ 6B-T1, 6B-T2, 6B-T3, 6B-T4 และ 6B-T5 ดังแสดงในตารางที่ 1 ให้มีค่าความหนาแน่นใบกังหัน (rotor solidity) มีค่าอยู่ในช่วง 0.23 – 0.51 ซึ่งค่าความหนาแน่นใบกังหันหาได้จากพื้นที่ใบกังหันทั้งหมดต่อพื้นที่กวาดใบกังหัน ซึ่งเป็นค่าตัวแปรไร้มิติ และทดสอบกังหันลมจำลองกับอุโมงค์ลม โดยใช้เครื่องมือวัดแรงบิดของแบบจำลองใบกังหันลมหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์กำลัง (C_p) กับอัตราส่วนความเร็วปลายใบ (tip speed ratio, TSR) ซึ่งค่าอัตราส่วนความเร็วปลายใบ (TSR) หาได้จากความเร็วที่ปลายใบกังหันต่อความเร็วลมที่ผ่านใบกังหัน และทำการทดสอบแบบจำลองกังหันกับความเร็วลมในช่วง 1 – 5 เมตร/วินาที ให้ได้รูปแบบของกังหันลมเพื่อการสูบน้ำและผลิตกระแสไฟฟ้าที่มีประสิทธิภาพสูง เพื่อนำไปสร้างกังหันลมแบบเต็มขนาดต่อไป

ตารางที่ 1 แบบจำลองกังหันลมใบผ้า จำนวน 6 ใบ

แบบจำลอง	ชนิด (T)	A (cm)	B (cm)	C (cm)	ความหนาแน่นใบกังหัน (rotor solidity)
6B-T1	T1	18.5	32.0	37.5	0.23
6B-T2	T2	24.5	32.5	37.5	0.30
6B-T3	T3	31.5	34.0	37.5	0.38
6B-T4	T4	37.5	37.5	37.5	0.46
6B-T5	T5	41.5	41.5	37.5	0.51



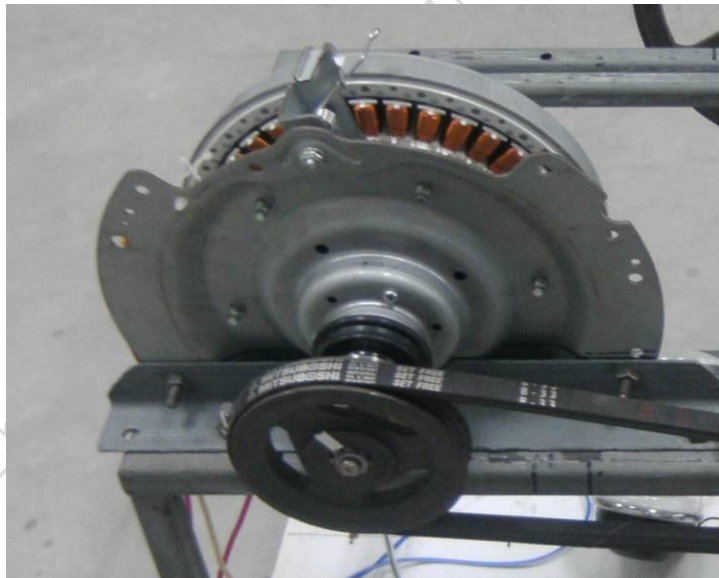
2.2 การสร้างและทดสอบกังหันลมผลิตไฟฟ้าและสูบน้ำความเร็วรอบต่ำแบบเต็มขนาด

สร้างและทดสอบกังหันลมแบบเต็มขนาดเพื่อการสูบน้ำและผลิตกระแสไฟฟ้า โดยสร้างกังหันลมใบผ้าแบบกังหันลม
นาเกลื่อ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 8 เมตร ตามแบบจำลอง 6B-T2 มีจำนวน 6 ใบ ใบเป็นรูปสามเหลี่ยม วัสดุ
ที่ใช้ทำใบกังหันทำจากผ้าใบดิบ มีขนาด A เท่ากับ 1.96 เมตร ขนาด B เท่ากับ 2.60 เมตร และขนาด C เท่ากับ
3.00 เมตร มี 2 เสาวางแกนเพลากังหันตามแนวทิศทางเหนือใต้ ความสูงแกนเพลากังหัน 4.5 เมตรจากพื้นดิน ระบบ
ส่งถ่ายกำลังใช้ระบบโซ่เหมือนกับกังหันนาเกลื่อ ดังภาพที่ 2 ตั้งอยู่ที่มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

สร้างระบบส่งถ่ายกำลังเข้าเครื่องผลิตกระแสไฟฟ้า ดังภาพที่ 3 เครื่องผลิตกระแสไฟฟ้าแบบมอเตอร์เครื่องชักผ้า
พร้อมโหลดโดยใช้หลอดไฟฟ้า DC ขนาด 24 V @70 W ดังภาพที่ 4 และสร้างระบบส่งถ่ายกำลังเข้ากับเครื่องสูบน้ำ
แบบลูกสูบชัก ขนาด 2 นิ้ว ดังภาพที่ 5 ทดสอบที่เฮดการยกน้ำ 6 เมตร 10 เมตร และ 15 เมตร ตามลำดับ



ภาพที่ 2 กังหันลมผลิตไฟฟ้าและสูบน้ำความเร็วรอบต่ำแบบใบผ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี



ภาพที่ 3 เครื่องผลิตกระแสไฟฟ้าแบบมอเตอร์เครื่องชักผ้า



ภาพที่ 4 โหลดหลอดไฟฟ้า DC ขนาด 24 V @70 W



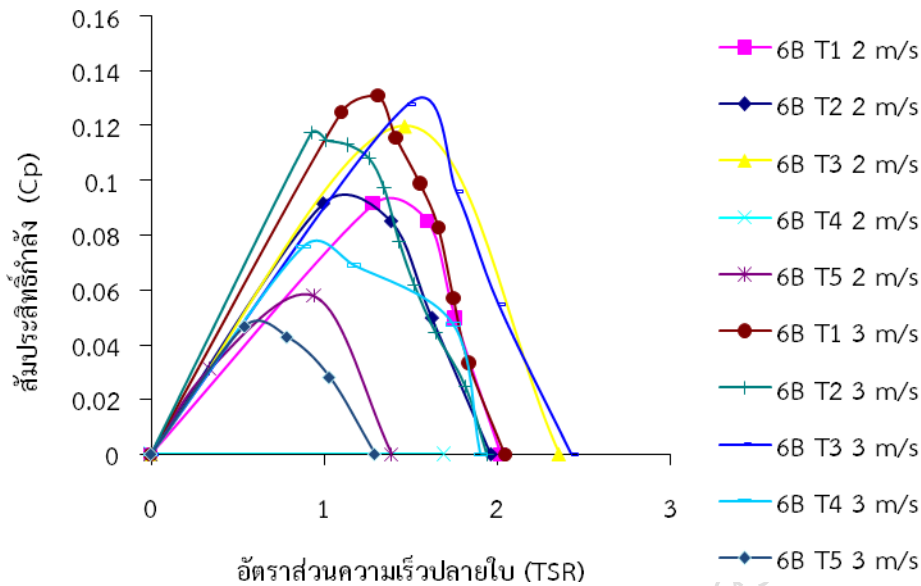
ภาพที่ 5 เครื่องสูบน้ำแบบลูกสูบชัก ขนาด 2 นิ้ว

3. ผลการวิจัย

ผลการวิจัยมี 2 ส่วน คือ ผลจากการสร้างและทดสอบแบบจำลองกังหันลม และผลจากการสร้างและทดสอบกังหันลมผลิตไฟฟ้าและสูบน้ำความเร็วรอบต่ำแบบเต็มขนาด ดังนี้

3.1 ผลการสร้างและทดสอบแบบจำลองกังหันลม

จากการสร้างแบบจำลองกังหันลมและทดสอบแบบจำลองกับอุโมงค์ลมที่มีความเร็วลม 1–5 เมตร/วินาที แบบจำลองกังหันลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 เมตร แบบ 6 ใบ จำนวน 5 แบบ คือ 6B-T1, 6B-T2, 6B-T3, 6B-T4 และ 6B-T5 หาประสิทธิภาพของแบบจำลองกังหันลมโดยใช้เครื่องมือวัดแรงบิดใบกังหันลม ผลการทดสอบแสดงดังภาพที่ 6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์กำลัง (C_p) กับอัตราส่วนความเร็วปลายใบ (TSR) ของ TSRM 6B-T1-T5 ที่ความเร็วลมต่ำ 2-3 เมตร/วินาที



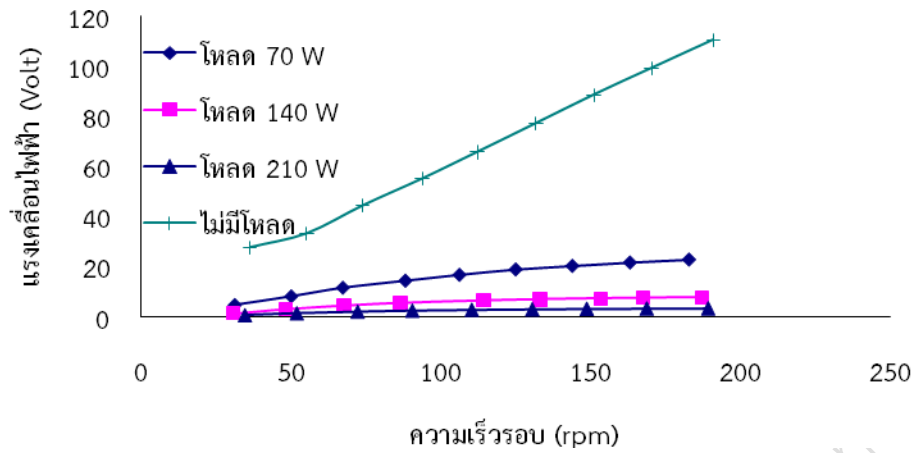
ภาพที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์กำลัง (Cp) กับอัตราส่วนความเร็วปลายใบ (TSR)
แบบ TSRM 6B-T1-T5 ที่ความเร็วลมต่ำ 2-3 เมตร/วินาที

3.2 ผลการสร้างและทดสอบกังหันลมผลิตไฟฟ้าและสูบน้ำความเร็วรอบต่ำแบบเต็มขนาด

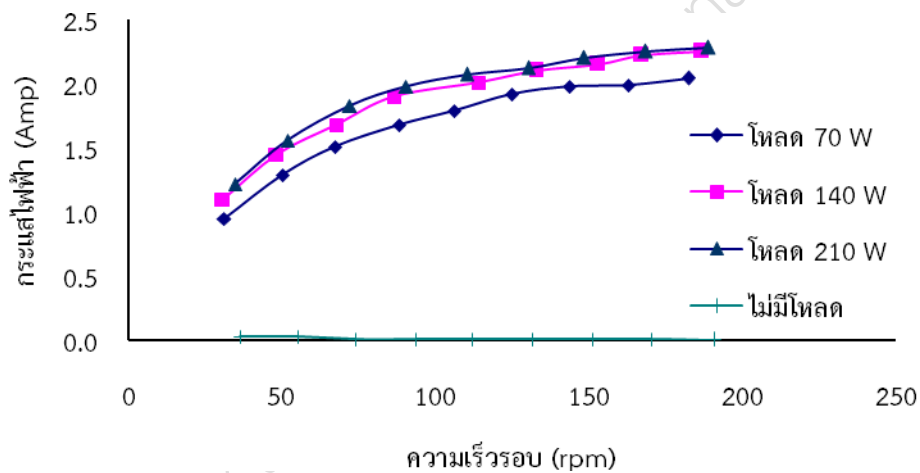
จากการสร้างและทดสอบกังหันลมแบบเต็มขนาดเพื่อการสูบน้ำและผลิตไฟฟ้า โดยสร้างกังหันลมใบผ้าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 8 เมตร มีจำนวน 6 ใบ ทดสอบให้มีความเร็วรอบมากขึ้นให้เหมาะกับการทำงานของกังหันลมได้ผลดังนี้

ผลการทดสอบกังหันลมผลิตไฟฟ้าจากเครื่องผลิตกระแสไฟฟ้าแบบมอเตอร์เครื่องชักผ้า โดยใช้หลอดไฟฟ้า DC ขนาด 24 V @70 W เป็นโหลด ได้ผลการทดสอบดังภาพที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบ (rpm) กับแรงเคลื่อนไฟฟ้า (Volt) ภาพที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบ (rpm) กับกระแสไฟฟ้า (Amp) และภาพที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบ (rpm) กับกำลังไฟฟ้า (Watt)

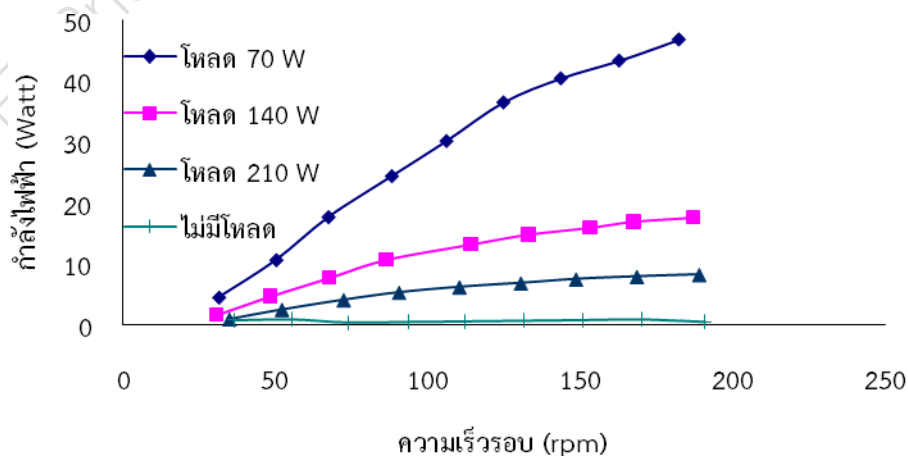
ผลการทดสอบกังหันลมสูบน้ำกับเครื่องสูบน้ำแบบลูกสูบชัก ขนาด 2 นิ้ว แสดงดังภาพที่ 10 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบเพลาเครื่องสูบน้ำ (rpm) กับอัตราการไหล (lps) ทดสอบการสูบน้ำที่เฮด 6 เมตร 10 เมตร และ 15 เมตร โดยต่อเครื่องสูบน้ำกับมอเตอร์ปรับรอบแทนการดูดด้วยกังหันลม เพื่อหาสมรรถนะของเครื่องสูบน้ำที่ความเร็วรอบเพลาเครื่องสูบน้ำต่าง ๆ และภาพที่ 11 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลม (m/s) กับความเร็วรอบ (rpm) ของกังหันลมขนาด 8 เมตร



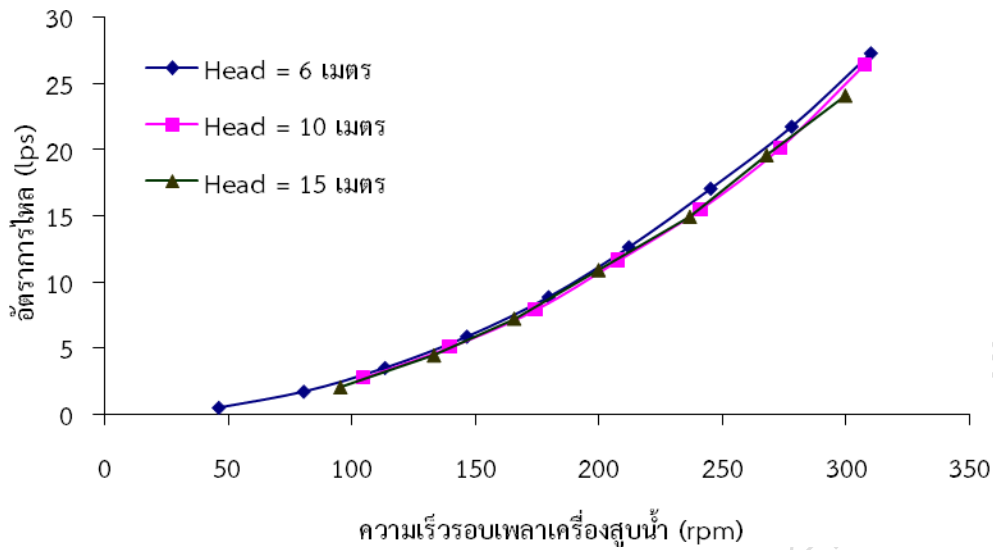
ภาพที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบ (rpm) กับแรงเคลื่อนไฟฟ้า (Volt)



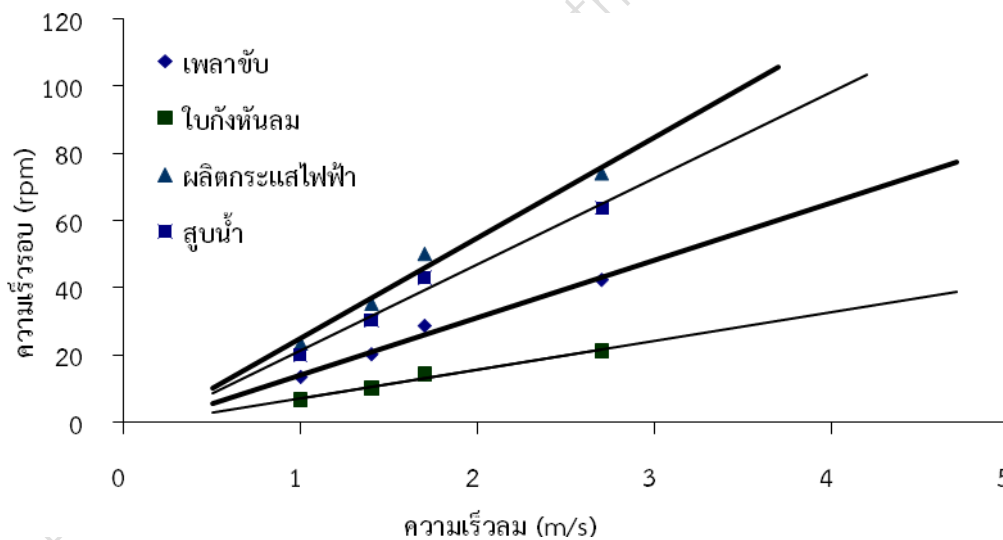
ภาพที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบ (rpm) กับกระแสไฟฟ้า (Amp)



ภาพที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบ (rpm) กับกำลังไฟฟ้า (Watt)



ภาพที่ 10 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบเพลาเครื่องสูบน้ำ (rpm) กับอัตราการไหล (lps)
ทดสอบกับมอเตอร์ปรับรอบแทนการดูดด้วยกังหันขนาด 8 เมตร



ภาพที่ 11 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลม (m/s) กับความเร็วรอบ (rpm) ของกังหันลมขนาด 8 เมตร

4. อภิปรายผล

ในส่วนนี้จะอภิปรายผลเป็น 2 ส่วน คือ จากการทดสอบแบบจำลองกังหันลม และจากการทดสอบกังหันลมผลิตไฟฟ้าและสูบน้ำความเร็วรอบต่ำแบบเต็มขนาด ดังนี้

4.1 การทดสอบแบบจำลองกังหันลม

ผลจากการสร้างแบบจำลองกังหันลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 เมตร แบบ 6 ใบ จำนวน 5 แบบ คือ 6B-T1, 6B-T2, 6B-T3, 6B-T4 และ 6B-T5 พบว่าแบบจำลองที่เหมาะสมที่สามารถนำมาใช้งานได้ มี 3 แบบ คือ 6B-T1, 6B-T2 และ

6B-T3 ที่ให้ค่าสัมประสิทธิ์กำลัง (Cp) เท่ากับ 0.12 ที่อัตราส่วนความเร็วปลายใบ (TSR) เท่ากับ 1.0 ที่ความเร็วลม 3 เมตร/วินาที จึงได้เลือกใบกังหันแบบ 6B-T2 นำมาใช้สร้างกังหันผ้าใบต้นแบบ สร้างโดยใช้มาตราส่วนขยายเป็น 1 ต่อ 8 มีขนาด A เท่ากับ 1.96 เมตร B เท่ากับ 2.60 เมตร และ C เท่ากับ 3.00 เมตร

4.2 การสร้างและทดสอบกังหันลมผลิตไฟฟ้าและสูบน้ำความเร็วรอบต่ำแบบเต็มขนาด

ผลจากการสร้างและทดสอบกังหันลมแบบเต็มขนาดเพื่อการสูบน้ำและผลิตไฟฟ้า โดยสร้างกังหันลมใบผ้าแบบกังหันนาเกลือขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 8 เมตร มีจำนวน 6 ใบ พบว่า

ผลการทดสอบกังหันลมผลิตไฟฟ้าจากเครื่องผลิตกระแสไฟฟ้าแบบมอเตอร์เครื่องชักผ้า โดยใช้หลอดไฟฟ้า DC ขนาด 24 V @70 W เป็นโหลด จากการทดสอบความเร็วรอบ (rpm) ของกังหันอยู่ระหว่าง 40 – 180 รอบต่อนาที กับแรงเคลื่อนไฟฟ้า (Volt) กระแสไฟฟ้า (Amp) และ กำลังไฟฟ้า (Watt) นั้นเครื่องผลิตกระแสไฟฟ้าแบบมอเตอร์เครื่องชักผ้า ให้แรงเคลื่อนไฟฟ้าสูง กระแสไฟฟ้าต่ำ และ ให้กำลังไฟฟ้าอยู่ในช่วง 5 – 48 วัตต์ ในกรณีที่ใช้หลอดไฟฟ้า DC ขนาด 24 V ขนาด 70 W เป็นโหลด จะเห็นว่าเครื่องผลิตกระแสไฟฟ้าแบบมอเตอร์เครื่องชักผ้า จะให้แรงเคลื่อนไฟฟ้าสูง กระแสไฟฟ้าออกมาน้อย กำลังไฟฟ้าไม่มาก

ผลการทดสอบกังหันลมสูบน้ำกับเครื่องสูบน้ำแบบลูกสูบชัก ขนาด 2 นิ้ว จากการทดสอบความเร็วรอบเพลาเครื่องสูบน้ำ (rpm) กับอัตราการไหล (lps) ทดสอบการสูบน้ำที่เฮด 6 เมตร 10 เมตร และ 15 เมตร โดยต่อเครื่องสูบน้ำกับมอเตอร์ปรับรอบแทนการดูดด้วยกังหันลม เพื่อหาสมรรถนะของเครื่องสูบน้ำที่ความเร็วรอบเพลาเครื่องสูบน้ำต่าง ๆ นั้น ความเร็วรอบเพลาเครื่องสูบน้ำอยู่ในช่วง 50-300 รอบต่อนาที ให้อัตราการไหล หรืออัตราการสูบน้ำอยู่ในช่วง 1-25 ลิตรต่อวินาที เมื่อนำเครื่องสูบน้ำไปต่อเข้ากับกังหันลมนั้น เครื่องสูบน้ำมีประสิทธิภาพการทำงานในช่วงความเร็วลมต่ำ 1-3 เมตรต่อวินาที มีความเร็วรอบประมาณ 20-70 รอบต่อนาที

จากวิจัยพบว่ากังหันลมแบบใบผ้าของไทย มีศักยภาพในการสูบน้ำและผลิตกระแสไฟฟ้า สามารถพัฒนารูปแบบกังหันให้มีการทำงานวิศวกรรม ให้เหมาะสมกับทิศทางลมและขนาดของลมความเร็วต่ำของประเทศไทย เนื่องจากกังหันที่ทดลองนั้น ตั้งรับลมในทิศทางเดียว คือลมทิศตะวันตกเฉียงใต้ และลมทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ไม่สามารถหมุนรับลมได้รอบทิศ ทำให้ไม่เหมาะกับพื้นที่ที่ลมมีทิศทางไม่แน่นอน และถ้าให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นถ้าเพิ่มความสูงของกังหันลมให้มากขึ้นความเร็วลมก็จะมากขึ้น ทำให้ได้รับกำลังจากพลังงานลมมากขึ้นเพื่อการใช้งานสูบน้ำและผลิตกระแสไฟฟ้าได้มากขึ้น รวมทั้งควรมีการพัฒนาเครื่องผลิตกระแสไฟฟ้าให้มีความสามารถในการผลิตกระแสไฟฟ้าให้มากขึ้น มีความเร็วรอบที่เหมาะสมกับกังหันลมความเร็วรอบต่ำนี้

5. สรุปผล

งานวิจัยนี้ได้ทดลองสร้างกังหันลมแบบใบผ้าของไทย ให้สามารถหมุนได้ที่ลมความเร็วต่ำในช่วง 1-5 เมตรต่อวินาที โดยการทดสอบแบบจำลองใบกังหันลมใบผ้าในห้องปฏิบัติการเพื่อหารูปแบบของใบกังหันที่ดี และสร้างกังหันลมแบบเต็มขนาดมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 เมตร จำนวน 6 ใบ ทดสอบการสูบน้ำโดยการต่อกังหันลมแบบเต็มขนาดเข้ากับเครื่องสูบน้ำแบบลูกสูบชัก และทดสอบการผลิตกระแสไฟฟ้าโดยต่อกังหันลมแบบเต็มขนาดกับมอเตอร์เครื่องชักผ้า ได้ผลสรุปดังนี้ คือ รูปแบบของใบกังหันที่ดีสำหรับใช้สร้างกังหันลมแบบใบผ้าความเร็วรอบต่ำแบบจำลอง เป็นแบบ TSRM 6B-T2 ให้ค่าสัมประสิทธิ์กำลัง (Cp) เท่ากับ 0.12 ในช่วงลมความเร็วต่ำ และการทดสอบกังหันลมแบบเต็มขนาดต่อเข้ากับมอเตอร์เครื่องชักผ้า ได้กำลังไฟฟ้า 28 วัตต์ ที่ความเร็วรอบ 100 รอบต่อนาที ที่โหลด 70 วัตต์ และการทดสอบกังหันลมแบบเต็มขนาดต่อเข้ากับเครื่องสูบน้ำแบบลูกสูบชัก ได้อัตราการไหล 2.5 ลิตรต่อวินาที ที่เฮด 10

เมตร หรือเท่ากับ 9000 ลิตรต่อชั่วโมง กังหันลมแบบใบผ้าจึงเป็นกังหันลมชนิดความเร็วรอบต่ำ มีศักยภาพในการสูบน้ำและผลิตกระแสไฟฟ้า สามารถออกแบบและพัฒนาทางด้านวิศวกรรมของกังหันลม ให้ความเหมาะสมกับทิศทางลมและความเร็วลมของประเทศไทย

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ คณะผู้วิจัยขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ และแผนกอาคารสถานที่ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่และเครื่องมือที่ใช้ทำการทดลองทั้งในห้องปฏิบัติการ และการทดสอบกังหันลมในภาคสนาม รวมทั้งนักศึกษาที่ช่วยทำการทดลองภาคสนาม ทำให้การวิจัยนี้สำเร็จได้ด้วยดี

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] ยุทธชัย เกี้ยวสันเทียะ, 2547. การศึกษาและพัฒนากังหันลมสำหรับการสูบน้ำในประเทศไทย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- [2] หลาบ รับศิริ, 2531. กังหันลมเพื่อการเกษตรและไฟฟ้า. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- [3] United Nation Economic and Social Commission for Asia and the Pacific, 1981. Renewable Source of Energy Volume III, wind Energy, 263p.
- [4] National Energy Administration, 1984. A Feasibility Study of Water Lifting Technology in Thailand. Ministry of science, Technology and Energy, Bangkok. 134 p.
- [5] Fraenkel, P.L., 1986. Water Lifting Device, FAO Irrigation and Drainage Paper 43. United Nations Rome. 295p.
- [6] Ronnakorn Thep Wong, Issaree Hansacharoonroj and Tawit Chitsomboon., 2012. Thai Sail Windmill : Technological Aspects. SEGA-03 International Conferences. 14-16 March 2012. Thailand.

การศึกษาผลกระทบของซิงค์ออกไซด์ต่อคุณสมบัติ ไฮโดรฟิλικยิ่งยวดของฟิล์มโลหะออกไซด์ผสม

A study of the Effect of Zinc oxide to Superhydrophilic Property of Mixed oxide
film

จิรวรรณ ม้ายอุเทศ, เอกรัตน์ วงษ์แก้ว*

ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

จ.ชลบุรี 20131

E-mail : akkarat@buu.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาผลกระทบของซิงค์ออกไซด์ต่อคุณสมบัติไฮโดรฟิλικยิ่งยวดของฟิล์มโลหะออกไซด์ผสมไทเทเนียมไดออกไซด์และซิลิกาบนกระจกสไลด์ วิธีการขึ้นรูปฟิล์มทำโดยใช้วิธีโซลเจลในการเตรียมสารละลายโลหะและวิธีจุ่มเคลือบในการเตรียมฟิล์มบนกระจกสไลด์ ตัวแปรที่ศึกษาคือ ปริมาณซิงค์ออกไซด์ที่เติมลงในฟิล์มโลหะออกไซด์ผสมระหว่างไทเทเนียมไดออกไซด์และซิลิกา ปริมาณซิงค์ออกไซด์ที่ศึกษาได้แก่ ร้อยละ 3, 5, 7 และ 10 โดยน้ำหนักฟิล์มโลหะออกไซด์ผสมที่ได้ถูกนำไปวิเคราะห์ค่าการส่องผ่านแสง ผลจากการวิเคราะห์พบว่าค่าร้อยละการส่องผ่านแสงของฟิล์มออกไซด์โลหะผสมที่มีซิงค์ออกไซด์เป็นองค์ประกอบมีค่าประมาณร้อยละ 97 ซึ่งค่าที่วิเคราะห์ได้นี้ต่ำกว่าค่าร้อยละการส่องผ่านแสงของกระจกสไลด์เปล่า แสดงว่าการเคลือบฟิล์มโลหะออกไซด์ผสมส่งผลต่อค่าการส่องผ่านแสงของกระจกสไลด์ จากนั้นฟิล์มโลหะออกไซด์ผสมที่ได้ถูกนำไปทดสอบคุณสมบัติไฮโดรฟิλικยิ่งยวด ด้วยการกระตุ้นด้วยแสงอาทิตย์ เป็นเวลา 5 ชั่วโมง และแยกเก็บเป็น 2 ชุด ชุดที่หนึ่งเก็บในกล่องมืด ชุดที่สองเก็บในกล่องมืดที่มีการควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ที่ร้อยละ 85 พบว่ามีเพียงกระจกที่เคลือบด้วยฟิล์ม 10%TiO₂/10%ZnO/SiO₂ ที่แสดงคุณสมบัติไฮโดรฟิλικยิ่งยวดได้ประมาณ 1 วัน ขณะที่ฟิล์มเดียวกันที่เก็บในกล่องควบคุมความชื้นสัมพัทธ์สามารถคงคุณสมบัติไฮโดรฟิλικยิ่งยวดได้ประมาณ 3 วัน

Abstract

The objective of this work is to study the effect of Zinc oxide (ZnO) to superhydrophilic property of titanium dioxide (TiO₂) and silica (SiO₂) mixed oxide film. Sol gel method was used for preparation of metal oxide solution and the obtained solution was deposited on glass slides by dip coating technique to form mixed oxide films. The parameter studied in this work was the content of zinc oxide: 3%, 5%, 7% and 10% by weight. The mixed oxide films were characterized for their transmittances. The results showed that % transmittance of mixed oxide films with various amounts of TiO₂ and ZnO was about 97% which was lower than the % transmittance of a glass slide (without films). This result was simply implied that the presence of mixed oxide films slightly affected to its transmittance. Then, the mixed oxide films were exposed to visible light for 5 hrs in order to enhance superhydrophilic property. After the enhancement, the films were separately kept in a black box and a controlled relative humidity at 85% black box. It was found that only the 10%ZnO/10%TiO₂/SiO₂ film could

* เอกรัตน์ วงษ์แก้ว

show superhydrophilic property after the enhancement by visible light. The film kept in a black box has showed superhydrophilicity for one day while the film kept in a controlled relative humidity black box has maintained the superhydrophilicity for 3 days.

คำสำคัญ: फिल्मโลหะออกไซด์ผสม; โทเทเนียมไดออกไซด์; ซิงค์ออกไซด์; ซิลิกา; วิจิโซลเจล; คุณสมบัติไฮโดรฟิลิก
ยิ่งยวด

1. บทนำ (Introduction)

กระจกเป็นวัสดุที่มีความใส ช่วยให้การมองเห็นสิ่งต่างๆ เป็นไปได้อย่างชัดเจน แต่ถ้ากระจกถูกนำไปใช้ในสถานที่ที่ยากต่อการทำความสะอาด เช่น เป็นฝาครอบสัญญาณไฟจราจร ติดข้างรถยนต์ หรือ ติดตั้งบนอาคารสูง เมื่อมีฝุ่นมาเกาะ คราบสกปรกที่เกิดขึ้นจะส่งผลกระทบต่อทัศนวิสัยในการมองเห็นที่ลดลง ดังนั้นจึงมีนักวิจัยหลายกลุ่มต้องการพัฒนาวิธีการเคลือบผิวกระจก เพื่อผลิตกระจกไร้คราบ (Self Cleaning Glass) กระจกไร้คราบเป็นกระจกที่มีการเคลือบด้วยฟิล์มโปร่งใสด้วยวัสดุที่มีคุณสมบัติพิเศษ 2 คุณสมบัติ ได้แก่ คุณสมบัติเร่งปฏิกิริยาด้วยแสง (Photocatalysis) และคุณสมบัติไฮโดรฟิลิกยิ่งยวด (Superhydrophilic) สารประกอบที่มีคุณสมบัติเหล่านี้คือ โทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) โดยเคลือบให้เป็นเนื้อเดียวกับผิวหน้าของกระจก สารโทเทเนียมไดออกไซด์เป็นสารที่ได้รับความนิยมอย่างมากในการนำไปใช้ในการพัฒนาระดับนาโนเมตร เนื่องจากโทเทเนียมไดออกไซด์มีค่าดัชนีหักเหของแสง (Refractive Index) สูง จึงเป็นตัวที่ทำให้เกิดความทึบแสง นอกจากนี้ยังมีความเสถียรสูง (Inertness) เป็นสารที่ไม่มีพิษหรือไม่ก่ออันตรายต่อสิ่งมีชีวิต [1] ฟิล์มบางโทเทเนียมไดออกไซด์จะแสดงคุณสมบัติไฮโดรฟิลิกยิ่งยวดได้ดีเมื่อถูกกระตุ้นด้วยแสงอัลตราไวโอเลต (UV) ทำให้ค่ามุมสัมผัสระหว่างหยดน้ำกับผิวของฟิล์มน้อยกว่า 5 องศา ฟิล์มที่ได้สามารถคงสภาพได้ในที่มืดเป็นระยะเวลา 1 วัน หลังจากนั้นมุมสัมผัสของหยดน้ำจะเพิ่มขึ้น [2] จะเห็นได้ว่าฟิล์มบางที่มีองค์ประกอบโทเทเนียมไดออกไซด์อย่างเดียวยังคงคุณสมบัติไฮโดรฟิลิกยิ่งยวดได้ในระยะเวลาอันสั้น แต่เมื่อมีการเติมโลหะออกไซด์อื่นๆ เข้าไปจะทำให้ฟิล์มบางคงคุณสมบัติไฮโดรฟิลิกได้นานขึ้น ดังเช่นงานวิจัยการเคลือบฟิล์มบางด้วยวิธีการจุ่มเคลือบ พบว่าฟิล์มบางที่มีองค์ประกอบโทเทเนียมไดออกไซด์ร้อยละ 60 และซิลิกา ร้อยละ 40 โดยโมล เมื่อถูกกระตุ้นด้วยแสงอัลตราไวโอเลต (UV) เป็นเวลา 4 ชั่วโมง เก็บในที่มืด มีค่ามุมสัมผัสระหว่างหยดน้ำกับผิวฟิล์มน้อยกว่า 5 องศา และคงสภาพได้นานกว่า 1 วัน [3] ถึงแม้ฟิล์มโทเทเนียมไดออกไซด์/ซิลิกาจะแสดงคุณสมบัติไฮโดรฟิลิกยิ่งยวดได้นานขึ้น แต่ต้องอาศัยพลังงานกระตุ้นจากแสงอัลตราไวโอเลตซึ่งมีอยู่เพียงร้อยละ 5 ในแสงอาทิตย์ [4] เนื่องจากสารโทเทเนียมไดออกไซด์มีค่าช่องว่างพลังงาน (Band Gap Energy) อยู่ที่ประมาณ 3.2 อิเล็กตรอนโวลต์ (eV) [1] จากงานวิจัยศึกษาการเตรียมฟิล์มบางโลหะออกไซด์โดยวิธีโซลเจล และเคลือบบนพื้นผิวกระจก พบว่าฟิล์มโลหะออกไซด์ผสมระหว่างโทเทเนียมไดออกไซด์และซิงค์ออกไซด์ มีค่าช่องว่างพลังงานลดลง โดยมีค่าประมาณ 2.71-2.97 eV [5] จึงมีความเป็นไปได้ว่า พลังงานจากแสงอาทิตย์เพียงพอที่จะกระตุ้นฟิล์มให้เกิดคุณสมบัติชอบน้ำอย่างยิ่งยวดได้ ดังนั้นในงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเคลือบกระจกด้วยโลหะออกไซด์ประกอบด้วยโทเทเนียมไดออกไซด์ ซิลิกา และซิงค์ออกไซด์ เตรียมสารละลายโดยวิธีโซลเจล (Sol Gel Method) และเคลือบฟิล์มแบบวิธีจุ่มเคลือบ (Dip Coating) โดยศึกษาผลจากการเติมซิงค์ออกไซด์ในปริมาณที่เหมาะสมที่ทำให้ฟิล์มบางแสดงคุณสมบัติไฮโดรฟิลิกยิ่งยวดได้ เมื่อถูกกระตุ้นด้วยแสงอาทิตย์ และผลกระทบของความชื้นสัมพัทธ์ต่อคุณสมบัติไฮโดรฟิลิกยิ่งยวดของฟิล์ม

2. วิธีวิจัย (Research Methodology)

2.1 การเตรียมสารละลาย

สารเคมีที่ใช้ในการเตรียมสารละลายโดยวิธีโซลเจล ได้แก่ โทเทเนียม (IV) ไอโซโพรพอกไซด์ (Titanium (IV) Isopropoxide), เตตระเอทิล ออโทซิลิเกต (Tetraethyl Orthosilicate), ซิงค์ไนเตรทเฮกซะไฮเดรต ($\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$), เอทานอล (Ethanol) และกรดไนตริก (Nitric Acid) ซึ่งรายละเอียดของวิธีโซลเจลในการเตรียมสารละลายเป็นดังนี้ สารตั้งต้นประเภทโลหะออกไซด์ทำปฏิกิริยากับน้ำโดยปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสอยู่ในรูปคอลลอยด์ที่เรียกว่า โซล (Sol) จากนั้นเติมกรดไนตริกในปริมาณที่เหมาะสมเพื่อที่จะให้สารละลายมีลักษณะใส และกวนสารละลายเป็นเวลา 30 นาที

2.2 การเคลือบฟิล์ม

นำสารละลายที่เตรียมได้ขึ้นรูปฟิล์มบนกระจกสไลด์โดยวิธีการจุ่มเคลือบ (Dip Coating) และทำการควบคุมอัตราเร็วในการจุ่มเคลือบของสารละลาย 50 มิลลิเมตรต่อวินาที จากนั้นนำฟิล์มไปเผาโดยเพิ่มอุณหภูมิอย่างช้าๆ ประมาณ 3 องศาเซลเซียสต่อวินาที จนกระทั่งได้อนุหุ้ม 450 องศาเซลเซียส และทิ้งไว้เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

2.3 การวิเคราะห์ค่าการส่องผ่านแสงของฟิล์ม

ฟิล์มโลหะออกไซด์ผสมระหว่างไทเทเนียมไดออกไซด์ ซิลิกา และซิงค์ออกไซด์จะถูกวิเคราะห์ค่าความใสด้วยเครื่อง UV-Vis Spectrophotometer

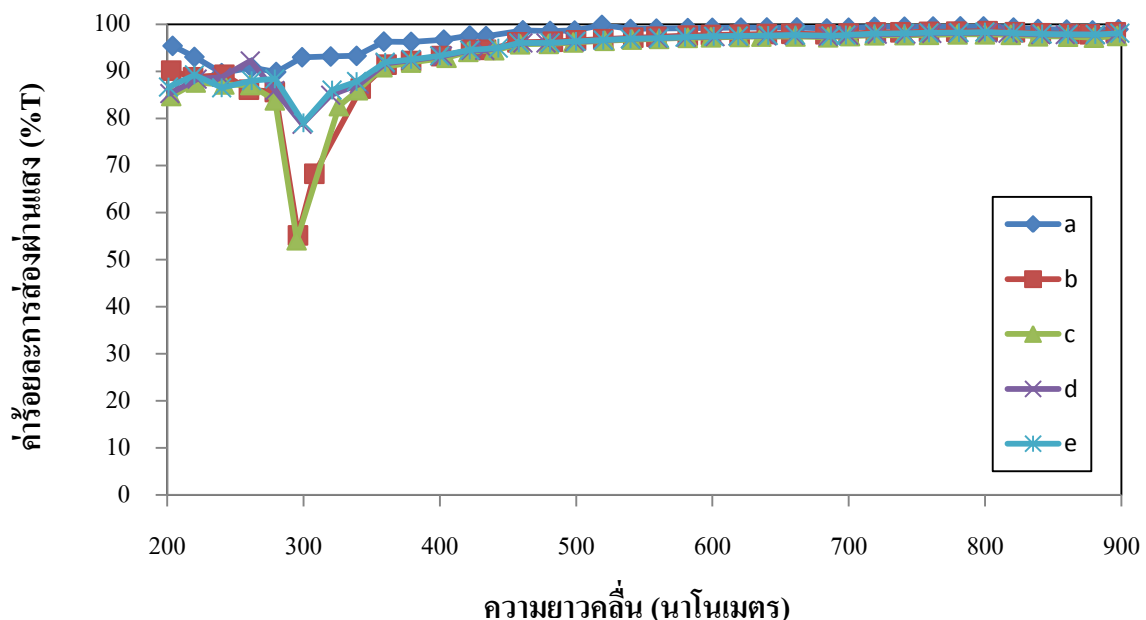
2.4 การทดสอบคุณสมบัติไฮโดรฟิลิกยิ่งยวดของฟิล์ม

นำฟิล์มโลหะออกไซด์ผสมระหว่างไทเทเนียมไดออกไซด์ ซิลิกา และซิงค์ออกไซด์ไปวัดค่ามุมสัมผัสหลังถูกกระตุ้นด้วยแสงอาทิตย์เป็นเวลา 5 ชั่วโมง จากนั้นเก็บในกล่องมิดที่ควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity) ร้อยละ 85 และเก็บในกล่องมิดที่ไม่ได้ควบคุมความชื้น โดยแต่ละชุดการทดลองจะทำการวัดค่ามุมสัมผัสจากตำแหน่งที่แตกต่างกัน 3 ตำแหน่งบนแผ่นฟิล์ม

3. ผลการวิจัย (Results)

3.1 ความใสของฟิล์ม

ภาพที่ 1 แสดงค่าร้อยละการส่องผ่านแสง (%T) ของกระจกเปล่าและกระจกเคลือบฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์และซิลิกา ที่โดปซิงค์ออกไซด์ร้อยละ 3, 5, 7 และ 10 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ ในช่วง Visible Light (380 – 700 นาโนเมตร) สรุปเป็นตารางแสดงค่าร้อยละการส่องผ่านแสง ตามปริมาณสารที่อยู่บนฟิล์มได้ตามตารางที่ 1



ภาพที่ 1 แสดงค่าร้อยละการส่องผ่านแสง (%T) ของฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์และซิลิกา ที่โดปซิงค์ออกไซด์ที่ปริมาณต่างๆ (a) กระจกเปล่า, (b) 25%TiO₂/3%ZnO/SiO₂, (c) 21%TiO₂/5%ZnO/SiO₂, (d) 16%TiO₂/7%ZnO/SiO₂ และ (e) 10%TiO₂/10%ZnO/SiO₂

จากภาพที่ 1 และตารางที่ 1 แสดงค่าร้อยละการส่องผ่านแสงของฟิล์มโลหะออกไซด์ผสม พบว่ากระจกเปล่ามีค่าร้อยละการส่องผ่านแสง (%T) ประมาณ 99.5 และเมื่อโคปซิงค์ออกไซด์ลงบนฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์/ซิลิกา พบว่าปริมาณของซิงค์ออกไซด์ที่ถูกโคปร้อยละ 3 และ 5 โดยน้ำหนัก ทำให้ฟิล์มมีค่าร้อยละการส่องผ่านแสงลดลงเมื่อปริมาณซิงค์ออกไซด์มากขึ้น

ดังนี้ 98.0 และ 97.5 แต่จากการโคปซิงค์ออกไซด์เพิ่มเป็นร้อยละ 7 และ 10 โดยน้ำหนัก ไม่ทำให้ฟิล์มมีค่าการส่องผ่านแสงลดลงไปต่ำกว่าร้อยละ 97.5

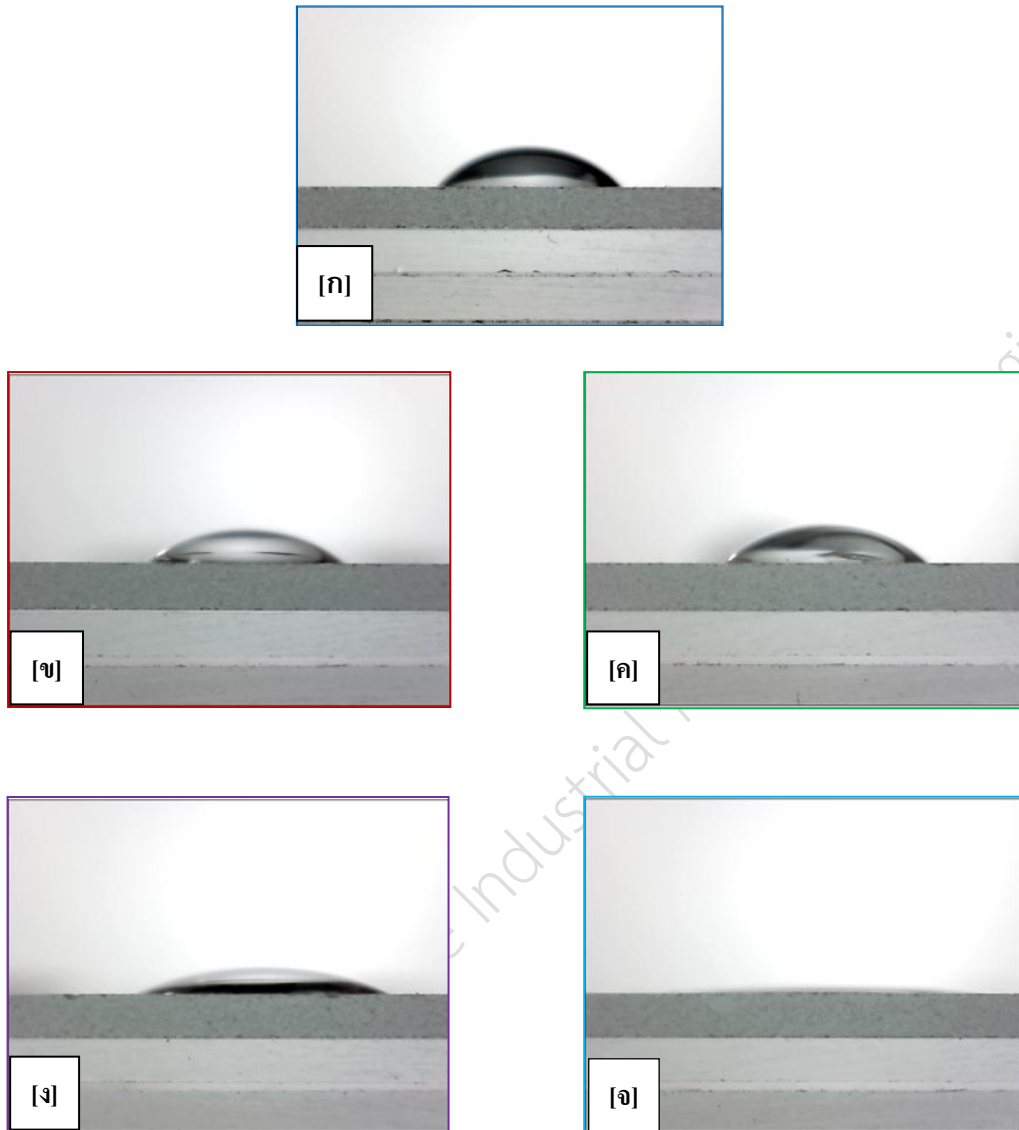
ตารางที่ 1 แสดงค่าร้อยละการส่องผ่านแสง (%T) ของกระจกเปล่า และกระจกเคลือบฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์และซิลิกาที่ถูกโคปด้วยซิงค์ออกไซด์ ในช่วง Visible Light (380 – 700 นาโนเมตร)

สาร	Transmittance (%T)
กระจกเปล่า	99.5
25%TiO ₂ /3%ZnO/SiO ₂	98.0
21%TiO ₂ /5%ZnO/SiO ₂	97.5
16%TiO ₂ /7%ZnO/SiO ₂	97.5
10%TiO ₂ /10%ZnO/SiO ₂	97.5

ซึ่งปริมาณซิงค์ออกไซด์ร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก มีค่าร้อยละการส่องผ่านแสงมากที่สุดคือ 98.0 และที่ปริมาณซิงค์ออกไซด์ร้อยละ 5, 7 และ 10 โดยน้ำหนัก มีค่าร้อยละการส่องผ่านแสงลดลงอยู่ที่ 97.5 เมื่อพิจารณาความใสของฟิล์ม โดยทั่วไปฟิล์มต้องมีย่านการส่องผ่านแสงประมาณ 85 ในช่วงความยาวคลื่นระหว่าง 380 – 700 นาโนเมตร ซึ่งเป็นแสงที่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่าซึ่งถือว่าเป็นฟิล์มที่มีความใส

3.2 คุณสมบัติไฮโดรฟิลิกยิ่งยวดของฟิล์ม

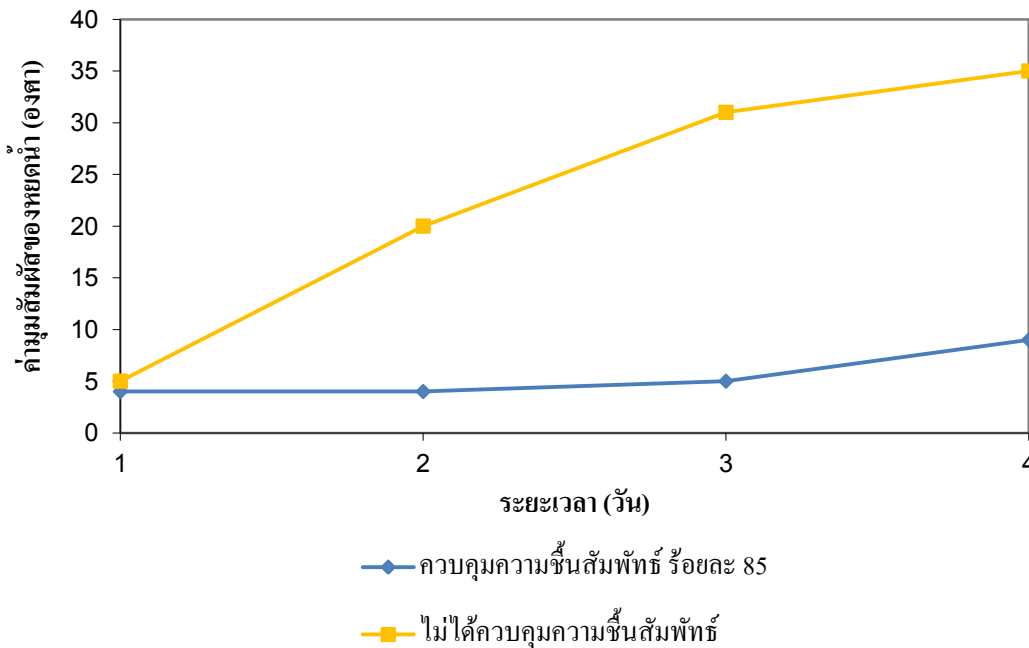
จากภาพที่ 2 (ก) มุมสัมผัสระหว่างหยดน้ำกับกระจกสไลด์ที่ไม่มีการเคลือบฟิล์มมีค่ามุมสัมผัสประมาณ 38 องศา



ภาพที่ 2 แสดงภาพลักษณะของหยดน้ำบนแผ่นกระจกต่างๆ และค่ามุมสัมผัสของ (ก) กระจกเปล่า มีค่ามุมสัมผัสประมาณ 38 องศา กระจกเคลือบฟิล์ม หลังถูกกระตุ้นด้วยแสงอาทิตย์ เป็นเวลา 5 ชั่วโมง (ข) $25\% \text{TiO}_2 / 3\% \text{ZnO} / \text{SiO}_2$ (ค) $21\% \text{TiO}_2 / 5\% \text{ZnO} / \text{SiO}_2$ (ง) $16\% \text{TiO}_2 / 7\% \text{ZnO} / \text{SiO}_2$ และ (จ) $10\% \text{TiO}_2 / 10\% \text{ZnO} / \text{SiO}_2$

สำหรับฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์/ซิลิกา ที่โดปซิงค์ออกไซด์ร้อยละ 3, 5 และ 7 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ หลังถูกกระตุ้นด้วยแสงอาทิตย์ ดังภาพที่ 2 (ข), (ค) และ (ง) พบว่ามีค่ามุมสัมผัสประมาณ 31, 31 และ 18 องศา ตามลำดับแสดงว่ากระจกสโตน์เปล้า และฟิล์มโลหะออกไซด์ผสมมีค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำประมาณ 20-40 องศา นั่นคือแสดงคุณสมบัติไฮโดรโฟบิก (Hydrophobic) เป็นคุณสมบัติที่ไม่ชอบน้ำ โดยน้ำจะเกาะบนพื้นผิวของกระจกเป็นหยด แต่เมื่อฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์/ซิลิกา ที่โดปซิงค์ออกไซด์ร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก จะมีค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำประมาณ 4-5 องศา นั่นคือฟิล์มแสดงคุณสมบัติไฮโดรฟิลิกยิ่งยวด (Superhydrophilic) เป็นคุณสมบัติที่ชอบน้ำอย่างมาก โดยน้ำจะไม่มีเกาะเป็นหยดบนกระจก แต่จะแผ่กระจายออกเป็นฟิล์มบางๆ ปกคลุมพื้นผิวอย่างสม่ำเสมอทั่วพื้นผิว ซึ่งอาศัยการทำงานของกระบวนการไฮโดรฟิลิกยิ่งยวด [3,6] ผลการวิจัยนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ C.M. Firdaus และคณะ (2012) ที่ได้ศึกษาเกี่ยวกับการเตรียมฟิล์มโลหะออกไซด์ผสมระหว่างไทเทเนียมไดออกไซด์/ซิงค์ออกไซด์ ซึ่งพบว่าฟิล์มบางมีค่าของแรงพลัγγานลดลง

โดยมีค่าประมาณ 2.71-2.97 eV นั่นคือฟิล์มสามารถเกิดคุณสมบัติไฮโดรฟิลิกยิ่งยวดได้ เมื่อได้รับพลังงานกระตุ้นจากแสงอาทิตย์ นอกจากนั้นแล้วงานวิจัยนี้ได้กล่าวว่าความชื้นสัมพัทธ์มีผลกระทบต่อคุณสมบัติไฮโดรฟิลิกยิ่งยวด ดังนั้นในส่วนต่อไปนี้จะเป็นการศึกษาคุณสมบัติไฮโดรฟิลิกยิ่งยวดของฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์/ซิลิกา ที่โดปซิงค์ออกไซด์ร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก สัมผัสกับแสงอาทิตย์เป็นเวลา 5 ชั่วโมง จากนั้นนำฟิล์มที่ได้เก็บในกล่องมิดที่ควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity) ร้อยละ 85 และเก็บในกล่องมิดที่ไม่ได้ควบคุมความชื้น เพื่อศึกษาผลกระทบของความชื้นสัมพัทธ์ต่อคุณสมบัติไฮโดรฟิลิกยิ่งยวดของฟิล์ม ผลการวิจัยแสดงดังภาพที่ 3 ดังนี้



ภาพที่ 3 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่ามัมสมัผัสของฟิล์ม 10%TiO₂/SiO₂ ที่โดปซิงค์ออกไซด์ร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก กับน้ำบนพื้นผิวกับเวลา หลังสัมผัสกับแสงอาทิตย์เป็นเวลา 5 ชั่วโมง และเก็บไว้ในที่มิด

จากภาพที่ 3 แสดงค่ามัมสมัผัสของหยดน้ำของฟิล์ม 10%TiO₂/SiO₂ ที่โดปซิงค์ออกไซด์ร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก เมื่อถูกเก็บไว้ในที่มิดหลังจากการสัมผัสกับแสงอาทิตย์เป็นเวลา 5 ชั่วโมง จากนั้นนำฟิล์มที่ได้เก็บไว้ในกล่องมิดที่ควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 85 และเก็บในกล่องมิดที่ไม่ได้ควบคุมความชื้น พบว่าฟิล์ม 10%TiO₂/10%ZnO/SiO₂ ที่เก็บไว้ในกล่องมิดที่ควบคุมความชื้นสัมพัทธ์สามารถแสดงคุณสมบัติไฮโดรฟิลิกยิ่งยวด (Superhydrophilic) ได้ ซึ่งมีค่ามัมสมัผัสของหยดน้ำอยู่ระหว่าง 4-5 องศา ทำให้หยดน้ำแผ่กระจายออกเป็นฟิล์มบางๆ บนพื้นผิว และสามารถคงสภาพคุณสมบัตินี้ได้ประมาณ 3 วัน แต่สำหรับฟิล์มที่เก็บไว้ในกล่องมิดที่ไม่ได้ควบคุมความชื้นสัมพัทธ์สามารถแสดงคุณสมบัติไฮโดรฟิลิกยิ่งยวดได้ประมาณ 1 วัน

4. อภิปรายผล (Discussion)

4.1 การโดปซิงค์ออกไซด์ร้อยละ 3, 5, 7 และ 10 โดยน้ำหนัก ลงบนฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์/ซิลิกา มีค่าร้อยละการส่องผ่านแสงมากกว่าฟิล์มที่ใส แสดงว่าฟิล์มที่โดปซิงค์ออกไซด์บนไทเทเนียมไดออกไซด์/ซิลิกา นั้นมีความใส และเมื่อเปรียบเทียบกับกระจกเปล่า มีค่าร้อยละการส่องผ่านแสง 99.5 ซึ่งมากกว่าฟิล์มที่โดปซิงค์ออกไซด์ลงไปเพียงประมาณ 2 เปอร์เซ็นต์ แสดงว่าฟิล์มที่มีการโดปซิงค์ออกไซด์บนไทเทเนียมไดออกไซด์/ซิลิกาจะไม่ส่งผลต่อค่าความใส

4.2 ฟิล์ม 10%TiO₂/SiO₂ ที่โดปซิงค์ออกไซด์ร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก สามารถแสดงคุณสมบัติไฮโดรฟิลิกยิ่งยวดได้เมื่อสัมผัสกับแสงอาทิตย์ อาจจะเป็นเพราะการเกิดพันธะของโลหะที่ต่างชนิดกันระหว่างไทเทเนียมกับสังกะสี (Ti-Zn) ทำให้ฟิล์มมีค่าแถบพลังงานแคบลง ดังนั้นกลไกการเกิดคุณสมบัติไฮโดรฟิลิกยิ่งยวดบนพื้นผิวจึงต้องการพลังงานกระตุ้นที่ต่ำลง [5]

5. สรุปผล (Conclusion)

5.1 ปริมาณซิงค์ออกไซด์ที่โบลงบนไทเทเนียมไดออกไซด์/ซิลิกา ไม่ส่งผลต่อค่าความใสของฟิล์ม

5.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดคุณสมบัติไฮโดรฟิลิกยิ่งยวดที่กระตุ้นด้วยแสงอาทิตย์บนพื้นผิวของฟิล์มโลหะออกไซด์ผสมระหว่างฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์/ซิลิกา และซิงค์ออกไซด์นั้น ได้แก่ ปริมาณของซิงค์ออกไซด์ที่เติมลงไป และเปอร์เซ็นต์ความชื้นสัมพัทธ์

5.3 ฟิล์ม $10\% \text{TiO}_2/\text{SiO}_2$ ที่โบลงซิงค์ออกไซด์ร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก หลังจากถูกกระตุ้นด้วยแสงอาทิตย์เป็นเวลา 5 ชั่วโมง และเมื่อเก็บไว้ในกล่องมืดที่ควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 85 สามารถคงสภาพความเป็นไฮโดรฟิลิกยิ่งยวดได้ประมาณ 3 วัน

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจาก มหาวิทยาลัยบูรพา สัญญาเลขที่ ๗๗/๒๕๕๖ และได้รับความอนุเคราะห์ในการใช้เครื่องวัดค่ามุมสัมผัสจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นิรันดร์ วิทิตอนันต์ และดร.อดิสร บุรณวงศ์ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

7. เอกสารอ้างอิง (Reference)

- [1] Carp, O., Huisman, C.L., Reller, A. 2004. Photoinduced reactivity of titanium dioxide. Progress in Solid State Chemistry, Vol. 32: 33–177.
- [2] Kanai, N., Nuida, T., Ueta, K., Hashimoto, K., Watanabe, T., Ohsaki, H. 2004. Photocatalytic efficiency of $\text{TiO}_2/\text{SnO}_2$ thin film stacks prepared by DC magnetron sputtering. Vacuum, Vol. 74: 723–727.
- [3] Guan, K. 2005. Relationship between photocatalytic activity, hydrophilicity and self-cleaning effect of $\text{TiO}_2/\text{SiO}_2$ films. Surface & Coatings Technology, Vol. 191: 155–160.
- [4] <http://www.healthcarethai.com> (5 September 2013)
- [5] Firdaus, C.M., Shah Rizam, M.S.B., Rusop, M., Rahmatul Hidayah, S. 2012. Characterization of ZnO and ZnO: TiO_2 Thin Films Prepared by Sol-Gel Spray-Spin Coating Technique. Procedia Engineering, Vol. 41: 1367 – 1373.
- [6] Sooksae, P. 2011. Smart Surfaces with Nanotechnology. Burapha Sci. J., Vol. 16, No. 1: 124-130.

การทดลองนำซิงค์ออกไซด์ที่เคลือบบนแผ่นแก้วไปใช้ใน
การย่อยสลายสารละลายสีดีสเพอร์สแบบสีน้ำเงิน
Utilizing Zinc Oxide Coated on Glass Plate
in Decomposing Blue Disperse Dye

คุณากรณ์ ภูเพียงใจ*, จารุมนต์ หอวิวัฒน์วงศ์, พงศ์ธร ฐปะเตมีย์
ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
99 ม.18 ต.คลองหนึ่ง อ.คลองหลวง จ.ปทุมธานี 12121

บทคัดย่อ

เพื่อที่จะหาวิธีการนำผงซิงค์ออกไซด์ที่มีความสามารถในการย่อยสลายสารละลายของสีย้อมผ้าด้วยกระบวนการโฟโตแคตตาไลซิสโดยใช้แสงอาทิตย์ไปใช้ได้โดยสะดวก งานวิจัยนี้ได้ทดลองนำผงซิงค์ออกไซด์ที่มีขายในท้องตลาด (ผลิตภัณฑ์ White Seal ของบริษัทไทย-ไลซาท จำกัด) ไปเคลือบลงบนพื้นผิวของแผ่นสังกะสีและแผ่นแก้ว โดยที่ในบางกรณีได้ทดลองใช้แคลเซียมคาร์บอเนตและแป้งเป็นตัวประสานช่วยในการเคลือบด้วย จากผลการทดลองที่ได้พบว่าการเคลือบผงซิงค์ออกไซด์ลงบนพื้นผิวของแผ่นแก้วโดยใช้แคลเซียมคาร์บอเนตเป็นตัวประสานนั้นให้ผล การเคลือบที่ดีกว่าการเคลือบแบบอื่นๆ ที่เกิดการหลุดของผงซิงค์ออกไซด์ออกมาจากพื้นผิวของการเคลือบได้ง่ายกว่า แผ่นแก้วที่ถูกเคลือบด้วยซิงค์ออกไซด์โดยใช้แคลเซียมคาร์บอเนตเป็นตัวประสานจึงได้ถูกนำไปใช้ในการทดสอบ การย่อยสลายสารละลายของสีดีสเพอร์สแบบสีน้ำเงินซึ่งเป็นสีย้อมผ้าชนิดหนึ่งที่ถูกใช้อยู่ในอุตสาหกรรมเพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพในการย่อยสลายตลอดจนความทนทานในการเคลือบ ก็พบว่าในการเคลือบซิงค์ออกไซด์นั้นการใช้ แคลเซียมคาร์บอเนตด้วยปริมาณโดยน้ำหนักเท่ากับซิงค์ออกไซด์ให้ผลการย่อยสลายสารละลายสีย้อมผ้าดีที่สุด โดยในการย่อยสลายสารละลายสีย้อมผ้านั้นปริมาณรวมของซิงค์ออกไซด์ผสมบนแผ่นแก้วมีค่าที่เหมาะสมค่าหนึ่ง และเมื่อถูกนำไปใช้ในการย่อยสลายแล้วซิงค์ออกไซด์ผสมบนแผ่นแก้วมีปริมาณและประสิทธิภาพในการย่อยสลาย สีย้อมผ้าที่ลดลงเรื่อย ๆ

คำสำคัญ: ซิงค์ออกไซด์; แผ่นแก้ว; แคลเซียมคาร์บอเนต; สีย้อมผ้า; แสงอาทิตย์

Abstract

To find a way of utilizing ZnO powders capable of decomposing dye solution by photocatalytic process using sunlight, in this work we tried to coat commercial ZnO (White Seal of Thai-Lysaght Co. Ltd.) on Zn plates and glass plates with and without CaCO_3 and flour as binders. From the experimental results, it was found that coating of ZnO onto a glass plate using CaCO_3 as a binder gave better coating result than other coatings which had their ZnO powders fall out of their coating surfaces more easily. Glass plates coated by ZnO using CaCO_3 as a binder were then used in decomposing aqueous solution of blue disperse dye which is one of dyes really used in industries. The dye-decomposing performance and the durability to use of these ZnO-coated glass plates were investigated. It was found that the best dye-decomposing performance of ZnO-coated glass plate was obtained when CaCO_3 with the same weight of ZnO was used as a binder. Moreover, there was an optimum value for the total amount of ZnO- CaCO_3 mixture on a glass plate.

* คุณากรณ์ ภูเพียงใจ

It was found also that after being used in dye-decomposition, ZnO-CaCO₃ mixture on a glass plate had their weight and their dye-decomposing performance decreased gradually.

Key word: ZnO; glass plate; CaCO₃; dye; sunlight

1. บทนำ (Introduction)

ในปัจจุบันประเทศไทยมีการพัฒนาและมีความก้าวหน้าทางด้านอุตสาหกรรมในหลายด้านอย่างต่อเนื่อง ซึ่งรวมถึงอุตสาหกรรมสิ่งทอที่มีการใช้สีย้อมผ้าเป็นจำนวนมากด้วย เนื่องจากสีย้อมผ้าประเภทต่างๆ มีสารประกอบอินทรีย์เป็นองค์ประกอบหลัก ดังนั้นถ้าน้ำเสียที่เกิดขึ้นมาในกระบวนการผลิตถูกปล่อยออกมาสู่ชุมชนโดยไม่ได้รับการบำบัดแล้วสีย้อมผ้าก็จะละลายหรือกระจายตัวในแหล่งน้ำและก่อให้เกิดมลพิษทางน้ำขึ้นได้ ด้วยเหตุนี้ น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมที่มีการใช้สีย้อมผ้าจึงต้องได้รับการจัดการอย่างเหมาะสมก่อนที่จะถูกปล่อยออกมาสู่ชุมชน

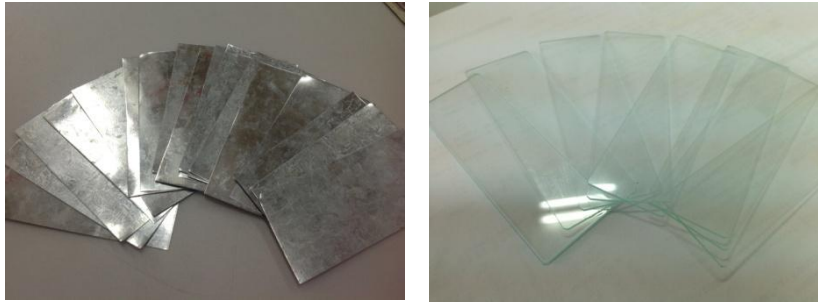
ในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานที่มีการใช้สีย้อมผ้านั้น น้ำเสียจะถูกบำบัดโดยจุลินทรีย์ อย่างไรก็ตาม เนื่องจากสีย้อมผ้าที่มีอยู่ในน้ำเสียนั้นมีอยู่จำนวนมากและไม่สามารถถูกกำจัดไปได้ทั้งหมด ดังนั้นก่อนที่จะสามารถปล่อยน้ำที่ผ่านการบำบัดด้วยจุลินทรีย์ออกไปสู่ชุมชนได้ก็จะต้องมีการให้สีย้อมผ้าที่ยังหลงเหลืออยู่ภายในน้ำเสียดกตะกอนลงมาแล้วเสียก่อน สีย้อมผ้าที่ถูกตกตะกอนลงมานี้ในที่สุดก็จะกลายเป็นกากตะกอนซึ่งโรงงานจะนำไปกำจัดหรือหาทางจัดการให้เกิดประโยชน์ขึ้นมาต่อไป โดยการนำกากตะกอนไปกำจัดนั้นก็สามารถกระทำได้เช่นด้วยการฝังกลบหรือการเผาทิ้ง ส่วนการนำตะกอนไปจัดการให้เกิดประโยชน์ขึ้นมานั้นก็สามารถกระทำได้เช่นด้วยการนำไปทำเป็นถ่านอัดก้อนหรือการนำไปหมักให้ได้ก๊าซชีวภาพขึ้นมา เป็นต้น อย่างไรก็ตาม เนื่องจากในปัจจุบันวิธีการนำตะกอนไปจัดการให้เกิดประโยชน์ขึ้นมาเหล่านี้นี้ยังไม่มีแนวทางที่ชัดเจนนัก การพยายามลดความเข้มข้นของสีย้อมผ้าภายในน้ำทิ้งจากโรงงานให้มีกากตะกอนเหลือมาจากระบบบำบัดน้ำเสียน้อยที่สุดเพื่อที่จะได้ไม่เกิดภาระในการกำจัดมากจึงน่าจะเป็นทางเลือกที่ดี

กระบวนการโฟโตแคตตาไลซิส เป็นกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยใช้แสงอาทิตย์และใช้ออกไซด์ของโลหะเช่นซิงค์ออกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา [1] เท่าที่ผ่านมากลุ่มวิจัยของเราได้เริ่มทดลองสังเคราะห์ซิงค์ออกไซด์ขึ้นโดยมีวัตถุประสงค์ที่จะได้มาซึ่งซิงค์ออกไซด์ที่มีประสิทธิภาพสูงในการบำบัดสารละลายของสีย้อมผ้า [2] อย่างไรก็ตาม จนถึงปัจจุบันก็ยังมีความกังวลว่าหากสามารถสังเคราะห์ซิงค์ออกไซด์ที่มีประสิทธิภาพสูงขึ้นมาได้แล้ว จะสามารถนำซิงค์ออกไซด์นั้นไปใช้ในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมจริงได้อย่างไร ในงานวิจัยนี้จึงได้ทดลองนำซิงค์ออกไซด์ที่มีขายอยู่ในท้องตลาดมาเคลือบลงบนแผ่นสังกะสีและแผ่นแก้ว เพื่อศึกษาถึงแนวทางการนำซิงค์ออกไซด์ไปใช้ในการบำบัดน้ำเสียจริงต่อไป

2. วิธีวิจัย (Research Methodology)

2.1 การเคลือบซิงค์ออกไซด์

ได้ทดลองนำซิงค์ออกไซด์ที่มีขายในท้องตลาด (ผลิตภัณฑ์ White Seal ซึ่งได้รับความอนุเคราะห์มาจากบริษัท ไทย-ไลซาท จำกัด) มาเคลือบลงบนแผ่นวัสดุแบบ ซึ่งในการทดลองได้เลือกใช้แผ่นสังกะสี และแผ่นแก้ว(ตามที่แสดงในภาพที่ 1) โดยใช้วิธีการเคลือบแบบเดียวกับที่ใช้ในการผลิตแผ่นทดสอบในการวิเคราะห์ด้วยวิธีอินแลร์โครมาโตกราฟี (TLC) กล่าวคือ การเคลือบนี้เริ่มโดยการนำซิงค์ออกไซด์ปริมาณที่กำหนด (เช่น 2 g) มาผสมกับน้ำปริมาณเหมาะสมให้เกิดของผสมที่มีลักษณะเป็นของผสมเหนียวข้น (สเลอรี) ขึ้นมา หลังจากนั้นก็นำของผสมเหนียวข้นนี้มาฉาบทาลงไปในแผ่นสังกะสีขนาด 2 cm x 4 cm หรือแผ่นแก้วขนาด 1.5 cm x 4 cm. แล้วก็นำแผ่นสังกะสีและแผ่นแก้วนั้นไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 120 °C นาน 1 คืน โดยที่ในการเคลือบนี้ได้ทดลองเคลือบโดยมีการผสมแคลเซียมคาร์บอเนตหรือแป้งที่ใช้เป็นตัวประสานเข้าไปในขั้นตอนการทำของผสมเหนียวข้นด้วย และนอกจากนี้ยังได้มีการทดลองปรับเปลี่ยนสัดส่วนการผสมระหว่างซิงค์ออกไซด์และตัวประสานตลอดจนปริมาณรวมของสารผสมระหว่างซิงค์ออกไซด์และตัวประสานที่ใช้ในการเคลือบด้วย



ภาพที่ 1 แผ่นสังกะสีและแผ่นแก้วที่ใช้ในการนำไปเคลือบซิงค์ออกไซด์

2.2 การนำซิงค์ออกไซด์ที่ถูกเคลือบไปใช้ในการย่อยสลายสารละลายของสีย้อมผ้า

ได้นำแผ่นวัสดุแบบที่มีซิงค์ออกไซด์ถูกเคลือบอยู่ไปใช้ในการย่อยสลายสารละลายของสีย้อมผ้า โดยสีย้อมผ้าที่ใช้ในการทดลองได้แก่สีย้อมแบบสีน้ำเงินซึ่งเป็นสีย้อมผ้าชนิดหนึ่งที่ถูกใช้งานจริงอยู่ในอุตสาหกรรม (ได้รับความอนุเคราะห์จากบริษัท ทีทีแอล อุตสาหกรรม จำกัด) สำหรับสาเหตุที่เลือกใช้สีย้อมแบบสีน้ำเงินในการทดลองนั้น เป็นเพราะจาก ผลการทดลองที่เคยได้มา [2] พบว่าในบรรดาสีย้อมผ้าหลายชนิดที่ใช้ในการทดลองนั้น สีย้อมแบบสีน้ำเงินสามารถ ถูกย่อยสลายได้ยากที่สุด ดังนั้นหากซิงค์ออกไซด์ที่สามารถย่อยสลายสีย้อมแบบสีน้ำเงินได้ก็น่าที่จะสามารถย่อยสลาย สีย้อมผ้าแบบอื่น ๆ ได้ดีด้วย

ในการทดสอบการย่อยสลายสารละลายของสีย้อมผ้านั้นได้นำสีย้อมแบบสีน้ำเงินไปละลายน้ำให้ได้ความเข้มข้น 0.2 M แล้วนำสารละลายดังกล่าวจำนวน 200 ml ใส่ลงไปในปิกเกอร์ แล้วจัดวางแผ่นวัสดุที่มีซิงค์ออกไซด์ถูกเคลือบอยู่ที่จะใช้ในการทดลองลงไป แล้วก็นำปิกเกอร์นั้นไปตั้งไว้กลางแดดนาน 6 ชั่วโมงเพื่อให้ซิงค์ออกไซด์ที่ถูกเคลือบอยู่เร่งให้ปฏิกิริยาการย่อยสลายสีย้อมผ้าโดยใช้กระบวนการโฟโตแคตตาไลซิสโดยใช้แสงอาทิตย์เกิดขึ้น ปริมาณของสีย้อมผ้าภายในระบบจะได้ค่อย ๆ ลดน้อยลงโดยสีน้ำเงินของระบบก็ค่อย ๆ จางลงเรื่อย ๆ ด้วย ทั้งนี้ การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของซิงค์ออกไซด์ที่ถูกเคลือบอยู่บนแผ่นวัสดุที่สนใจกับประสิทธิภาพของซิงค์ออกไซด์ที่ถูกเคลือบอยู่บนแผ่นวัสดุตัวอื่น ๆ นั้นได้ดำเนินการทดลองโดยการนำซิงค์ออกไซด์ทั้งหลายที่เกี่ยวข้องนั้นมาทดสอบประสิทธิภาพในการย่อยสลายสีย้อมผ้าพร้อมกัน เพื่อที่ภาวะในการทดลองต่าง ๆ จะได้เหมือนกัน จะได้ทราบได้อย่างแน่ชัดว่าความแตกต่างในผลการทดลองที่ได้นั้นมีสาเหตุมาจากความแตกต่างกันในซิงค์ออกไซด์ที่ถูกเคลือบอยู่บนแผ่นเคลือบ ไม่ได้มีสาเหตุมาจากภาวะที่ใช้ในการทดลอง

2.3 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพในการย่อยสลายสารละลายสีย้อมผ้าของซิงค์ออกไซด์

ประสิทธิภาพในการย่อยสลายสารละลายสีย้อมผ้าของซิงค์ออกไซด์ทั้งหลายที่ใช้ในการทดลองนั้นวัดจากการเปลี่ยนไปในค่าซีไอดีและค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายสีย้อมผ้าก่อนและหลังการถูกย่อยสลายโดยซิงค์ออกไซด์นั้น เพราะทั้งค่าซีไอดีและค่าการดูดกลืนแสงต่างก็เป็นค่าที่สะท้อนถึงปริมาณของสารอินทรีย์ภายในสารตัวอย่าง และการลดลงในค่าทั้งสองนี้ของสารละลายสีย้อมผ้าก็ย่อมสามารถใช้เป็นดัชนีในการตรวจสอบว่าสีย้อมผ้าได้ถูกย่อยสลายไปแล้วมากน้อยเพียงใดได้ อนึ่งเนื่องจากสารอินทรีย์ทั้งหมดที่มีอยู่ในสารตัวอย่างจะส่งผลต่อค่าซีไอดี ในขณะที่สารอินทรีย์ที่มีสีเท่านั้นที่จะส่งผลต่อค่าการดูดกลืนแสง และได้เคยทราบมาแล้วว่าในการทดสอบการย่อยสลายสารละลายของสีย้อมผ้านั้น อัตราการเปลี่ยนแปลงในค่าซีไอดีจะมีค่าน้อยกว่าอัตราการเปลี่ยนแปลงในค่าการดูดกลืนแสงเสมอ [2] ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงไม่สนใจอัตราการเปลี่ยนแปลงในค่าทั้งสอง แต่จะดูเพียงความสอดคล้องกันในการลดลงมากน้อยของค่าทั้งสองเป็นหลัก อนึ่ง ค่าการดูดกลืนแสงนั้นวัดโดยใช้เครื่อง UV-Vis spectrophotometer รุ่น UV1201 ของบริษัท SHIMADZU และใช้ความยาวคลื่น 600 นาโนเมตร ในการทดสอบ เพราะได้เคยทราบมาแล้วว่าที่ความยาวคลื่นนี้สารละลายสีย้อมแบบสีน้ำเงินสามารถดูดกลืนแสงได้มากที่สุด [2]

2.4 การประเมินความทนทานต่อการใช้งานของซิงค์ออกไซด์ที่ถูกเคลือบอยู่บนแผ่นแก้ว แผ่นแก้วเคลือบซิงค์ออกไซด์ที่ได้ถูกนำไปใช้ทดสอบประสิทธิภาพในการย่อยสลายสารละลายสีย้อมผ้ามาแล้วทั้งหลายนั้น บางส่วนได้ถูกนำกลับมาใช้ทดสอบประสิทธิภาพในการย่อยสลายสารละลายสีย้อมผ้าใหม่โดยทำการทดลองแบบเดียวกับที่ได้เคยทำไปแล้ว เพื่อตรวจสอบดูว่าซิงค์ออกไซด์ที่ถูกเคลือบอยู่บนแผ่นแก้วนั้นมีความทนทานต่อการใช้งานมากพอที่จะทำให้เมื่อถูกใช้ไปแล้วจะสามารถนำกลับมาใช้ซ้ำได้อีกด้วยประสิทธิภาพในการย่อยสลายสีย้อมผ้าที่ไม่เปลี่ยนไปจากในตอนแรกหรือไม่

3. ผลการวิจัย (Results)

3.1 ผลการเคลือบซิงค์ออกไซด์

การเคลือบซิงค์ออกไซด์ลงบนแผ่นสังกะสีและแผ่นแก้วในกรณีที่ไม่ใช้ตัวประสานเลยและในกรณีที่ใช้แป้งหรือแคลเซียมคาร์บอเนตเป็นตัวประสานนั้น ให้สภาพการเคลือบตามที่แสดงในภาพที่ 2 ในกรณีของการเคลือบบนแผ่นสังกะสี และให้สภาพการเคลือบตามที่แสดงในภาพที่ 3 ในกรณีของการเคลือบบนแผ่นแก้ว ทั้งนี้ ในภาพทั้งสองที่แสดงนั้นได้ใช้ปริมาณโดยน้ำหนักของตัวประสานเท่ากับปริมาณของซิงค์ออกไซด์

ซิงค์ออกไซด์บริสุทธิ์



ซิงค์ออกไซด์ผสมแป้ง



ซิงค์ออกไซด์ผสมแคลเซียมคาร์บอเนต



ภาพที่ 2 สภาพที่ได้จากการเคลือบซิงค์ออกไซด์และซิงค์ออกไซด์ผสมตัวประสานลงบนแผ่นสังกะสี

ซิงค์ออกไซด์บริสุทธิ์



ซิงค์ออกไซด์ผสมแป้ง



ซิงค์ออกไซด์ผสมแคลเซียมคาร์บอเนต

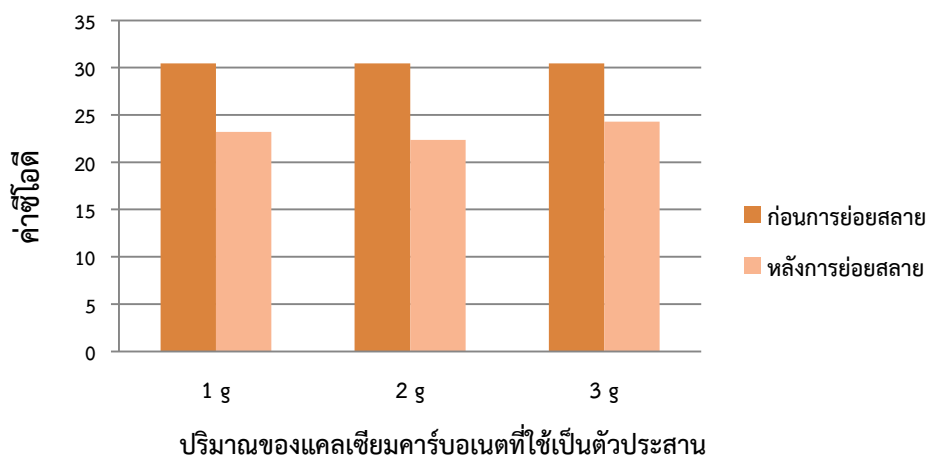


ภาพที่ 3 สภาพที่ได้จากการเคลือบซิงค์ออกไซด์และซิงค์ออกไซด์ผสมตัวประสานลงบนแผ่นแก้ว

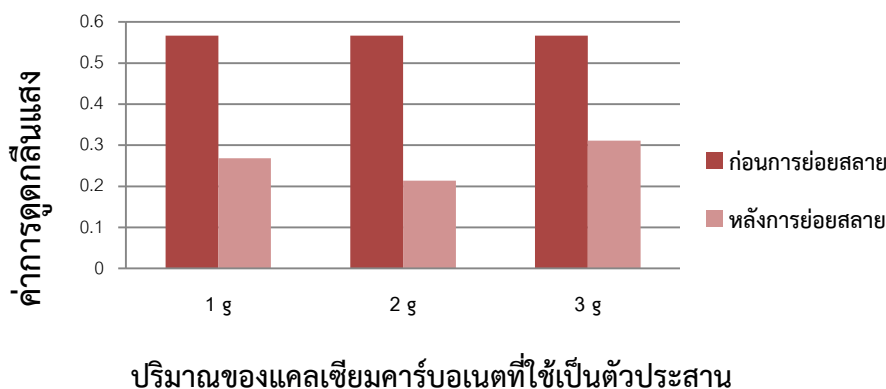
เมื่อเปรียบเทียบกันระหว่างสภาพที่ได้จากการเคลือบซิงค์ออกไซด์และซิงค์ออกไซด์ผสมตัวประสานลงบนแผ่นสังกะสีในภาพที่ 3 กับสภาพที่ได้จากการเคลือบซิงค์ออกไซด์และซิงค์ออกไซด์ผสมตัวประสานลงบนแผ่นแก้วในภาพที่ 3 แล้ว จะเห็นได้ว่า สภาพการเคลือบลงบนแผ่นแก้วในภาพที่ 3 มีความราบเรียบมากกว่า ในความเป็นจริงการเคลือบทั้งสามกรณีบนแผ่นสังกะสี นั้นไม่สามารถให้การยึดเกาะที่แข็งแรงของซิงค์ออกไซด์ได้ และเมื่อมองด้วยตาเปล่าก็จะเห็นมีซิงค์ออกไซด์หลุดลอกออกมา อย่างชัดเจน สำหรับการเคลือบซิงค์ออกไซด์ลงบนแผ่นแก้วทั้งสามกรณีนั้นการเคลือบโดยใช้แคลเซียมคาร์บอเนตเป็นตัว ประสานให้ผลการเคลือบที่ดีที่สุด ดังนั้นในการนำแผ่นแก้วเคลือบซิงค์ออกไซด์ไปใช้ในการทดสอบการย่อยสลายของสีย้อมผ้า นั้นจึงใช้แต่เพียงซิงค์ออกไซด์ที่ได้จากการเคลือบโดยใช้แคลเซียมคาร์บอเนตเป็นตัวประสานเท่านั้น

3.2 ปริมาณที่เหมาะสมของแคลเซียมคาร์บอเนตที่ใช้เป็นตัวประสาน

ได้ทดลองนำแผ่นแก้วที่ถูกเคลือบโดยซิงค์ออกไซด์ 2 g และแคลเซียมคาร์บอเนตที่ใช้เป็นตัวประสานปริมาณต่าง ๆ กัน (1-3 g) ไปใช้ในการย่อยสลายสารละลายของสีย้อมผ้า พบว่าค่าซีไอดีและค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายสีย้อมผ้ามีการ เปลี่ยนแปลงไปตามที่แสดงในภาพที่ 4 และ 5 ตามลำดับ



ภาพที่ 4 ค่าซีไอดีของสารละลายสีย้อมผ้าก่อนและหลังการถูกย่อยสลายโดยแผ่นแก้วที่ถูกเคลือบโดยใช้ซิงค์ออกไซด์ปริมาณ 2 g และแคลเซียมคาร์บอเนตที่ใช้เป็นตัวประสานปริมาณต่าง ๆ กัน (1g, 2g, 3g)

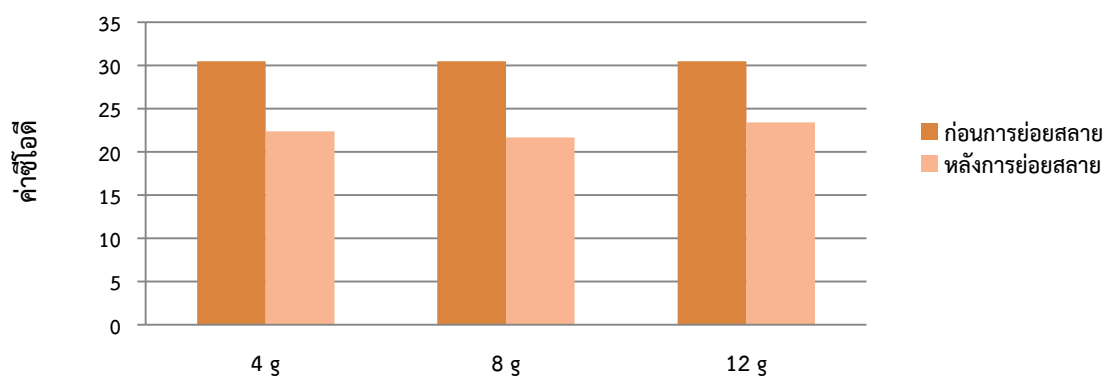


ภาพที่ 5 ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายสีย้อมผ้าก่อนและหลังการถูกย่อยสลายโดยแผ่นแก้วที่ถูกเคลือบโดยใช้ซิงค์ ออกไซด์ปริมาณ 2 g และแคลเซียมคาร์บอเนตที่ใช้เป็นตัวประสานปริมาณต่าง ๆ กัน (1g, 2g, 3g)

จากภาพที่ 4 และภาพที่ 5 ข้างต้น สามารถเห็นได้ว่าแผ่นแก้วที่ถูกเคลือบโดยซิงค์ออกไซด์ 2 g และแคลเซียมคาร์บอเนต 1 g (หนักเป็นครึ่งหนึ่งของซิงค์ออกไซด์ที่ใช้) สามารถทำให้ทั้งค่าซีไอดีและค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายสีย้อมผ้าลดลงมาได้ โดยเมื่อเพิ่มปริมาณของแคลเซียมคาร์บอเนตขึ้นไปเป็น 2 g (ให้หนักเท่ากับซิงค์ออกไซด์ที่ใช้) ทั้งค่าซีไอดีและค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายสีย้อมผ้าต่างก็ยิ่งลดลงมากขึ้น อย่างไรก็ตาม เมื่อเพิ่มปริมาณของแคลเซียมคาร์บอเนตขึ้นไปเป็น 3 g (ให้หนักมากกว่าซิงค์ออกไซด์ที่ใช้) ทั้งค่าซีไอดีและค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายสีย้อมผ้าต่างก็แสดงการลดลงที่น้อยกว่าตอนที่ใช้ปริมาณของแคลเซียมคาร์บอเนต 1 g เสียอีก ผลการทดลองนี้สามารถอธิบายได้ว่าแคลเซียมคาร์บอเนตที่ถูกใช้เป็นตัวประสานนั้น ถ้ามีปริมาณน้อยเกินไป ซิงค์ออกไซด์ที่สามารถถูกเคลือบติดอยู่บนแผ่นแก้วได้ก็จะน้อย แต่ถ้ามีปริมาณมากเกินไป มันก็จะไปรบกวนการทำงานของอนุภาคของซิงค์ออกไซด์ในการเร่งกระบวนการโฟโตแคตตาไลซิส เช่น ด้วยการทำให้พื้นผิวของซิงค์ออกไซด์ที่สามารถสัมผัสกับน้ำเสียได้มีน้อยลง ในงานวิจัยนี้ปริมาณที่เหมาะสมของแคลเซียมคาร์บอเนตที่ถูกใช้เป็นตัวประสานนั้นได้แก่ปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตที่หนักเท่ากับซิงค์ออกไซด์ที่ใช้ในการเคลือบ

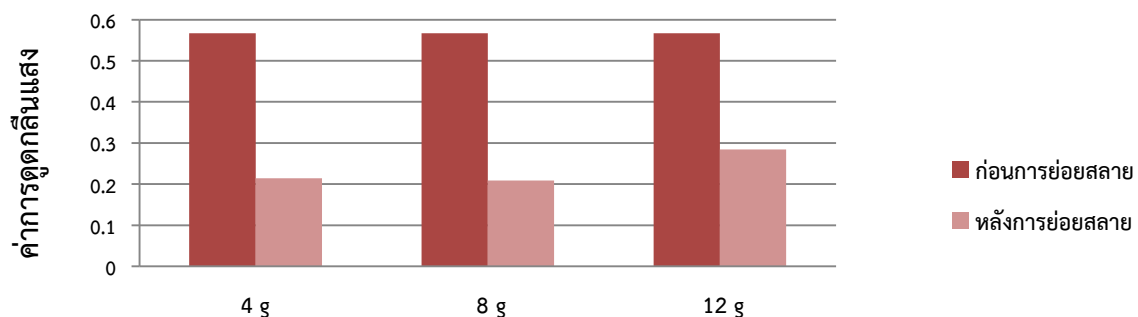
3.3 ปริมาณที่เหมาะสมของของผสมซิงค์ออกไซด์-แคลเซียมคาร์บอเนต

ได้ทดลองนำแผ่นแก้วที่ถูกเคลือบโดยใช้ของผสมซิงค์ออกไซด์-แคลเซียมคาร์บอเนตสัดส่วน 1:1 โดยน้ำหนักปริมาณต่าง ๆ กัน (4 g, 8 g, 12 g) ไปใช้ในการย่อยสลายสารละลายของสีย้อมผ้า พบว่าค่าซีไอดีและค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายสีย้อมผ้ามีการเปลี่ยนแปลงไปตามที่แสดงในภาพที่ 6 และ 7 ตามลำดับ



ปริมาณของของผสมซิงค์ออกไซด์-แคลเซียมคาร์บอเนต สัดส่วน 1:1 โดยน้ำหนักที่ใช้

ภาพที่ 6 ค่าซีไอดีของสารละลายสีย้อมผ้าก่อนและหลังการถูกย่อยสลายโดยแผ่นแก้วที่ถูกเคลือบโดยใช้ของผสมซิงค์ออกไซด์-แคลเซียมคาร์บอเนตสัดส่วน 1:1 โดยน้ำหนักปริมาณต่าง ๆ กัน (4 g, 8 g, 12 g)



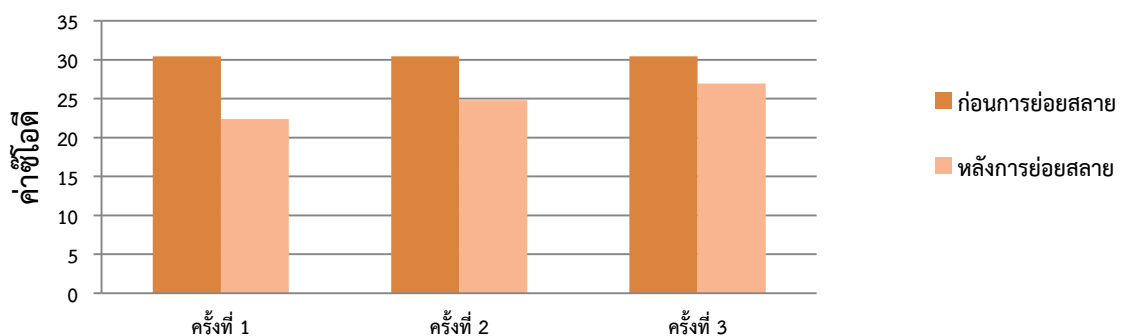
ปริมาณของของผสมซิงค์ออกไซด์-แคลเซียมคาร์บอเนต สัดส่วน 1:1 โดยน้ำหนักที่ใช้

ภาพที่ 7 ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายสีย้อมผ้าก่อนและหลังการถูกย่อยสลายโดยแผ่นแก้วที่ถูกเคลือบโดยใช้ของผสมซิงค์ออกไซด์-แคลเซียมคาร์บอเนตสัดส่วน 1:1 โดยน้ำหนักปริมาณต่าง ๆ กัน (4 g, 8 g, 12 g)

จากภาพที่ 6 และภาพที่ 7 ข้างต้น สามารถเห็นได้ว่าเมื่อเพิ่มปริมาณของของผสมซิงค์ออกไซด์-แคลเซียมคาร์บอเนตสัดส่วน 1:1 โดยน้ำหนักให้มากขึ้นจาก 4 g ไปเป็น 8 g ทั้งค่าซีไอดีและค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายสีย้อมผ้าต่างก็ยิ่งลดลงมากขึ้น อย่างไรก็ตาม เมื่อเพิ่มปริมาณของของผสมนี้ให้มากขึ้นไปอีกเป็น 12 g ทั้งค่าซีไอดีและการดูดกลืนแสงของสารละลายสีย้อมผ้าต่างก็แสดงค่าการลดลงที่น้อยกว่าตอนที่ใช้ปริมาณของของผสมเท่ากับ 4 g เสียอีก ผลการทดลองนี้สามารถอธิบายได้ว่าการเคลือบแผ่นแก้วโดยใช้ของผสมซิงค์ออกไซด์-แคลเซียมคาร์บอเนตสัดส่วน 1:1 โดยน้ำหนักนั้น ยิ่งใช้ด้วยปริมาณในการเคลือบน้อย โอกาสที่ซิงค์ออกไซด์ทั้งหมดที่ใช้ในการเคลือบจะสามารถเกาะติดอยู่บนแผ่นแก้วได้ก็จะมีสูง แต่ถ้าใช้ด้วยปริมาณในการเคลือบมาก สัดส่วนของซิงค์ออกไซด์ที่ไม่สามารถเกาะติดอยู่บนแผ่นแก้วได้ก็จะมีสูงขึ้นเรื่อย ๆ เพราะพื้นผิวของแผ่นแก้วสามารถรองรับการเคลือบของซิงค์ออกไซด์ได้จำกัด การใช้ปริมาณการเคลือบที่มากเกินไปกลับจะทำให้ซิงค์ออกไซด์ไม่สามารถติดแน่นอยู่บนแผ่นแก้วและเกิดการหลุดลอกออกมาได้มากขึ้น ตอนที่เพิ่มปริมาณการเคลือบจาก 4 g ไปเป็น 8 g นั้นถึงแม้ส่วนของซิงค์ออกไซด์ที่ไม่สามารถเกาะติดอยู่บนแผ่นแก้วได้จะมีมากขึ้น แต่การใช้ปริมาณของ ซิงค์ออกไซด์ที่มากขึ้นกว่าเดิมด้วยนั้นก็ทำให้ได้ปริมาณของซิงค์ออกไซด์บนแผ่นแก้วที่มากขึ้น อย่างไรก็ตาม เมื่อเพิ่มปริมาณการเคลือบให้มากขึ้นไปอีกเป็น 12 g ผลกระทบจากการหลุดออกจะมีมากกว่าผลกระทบจากการเพิ่มปริมาณเข้าไป ปริมาณของซิงค์ออกไซด์บนแผ่นแก้วก็เลยลดลงไปจากเดิมเป็นอันมาก ในงานวิจัยนี้ปริมาณที่เหมาะสมต่อการเคลือบ แผ่นแก้วขนาด 1.5 cm x 4 cm. ของของผสมซิงค์ออกไซด์-แคลเซียมคาร์บอเนตสัดส่วน 1:1 โดยน้ำหนักนั้นได้แก่ 8 g

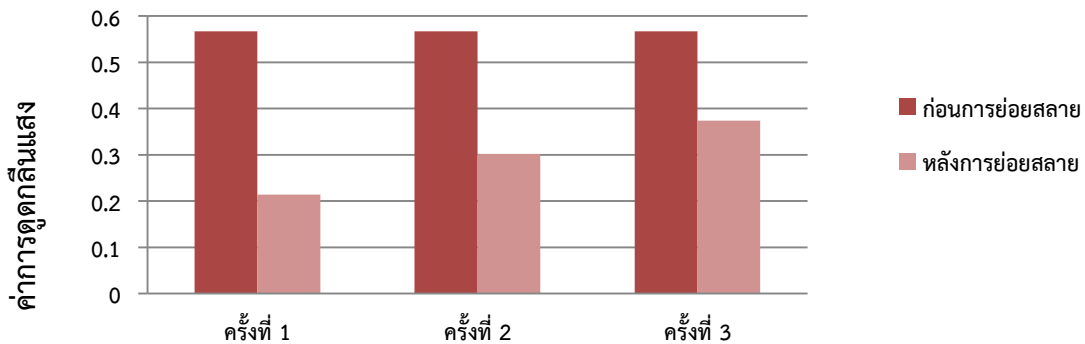
3.4 ความทนทานต่อการใช้งานของซิงค์ออกไซด์ที่ถูกเคลือบอยู่บนแผ่นแก้ว

แผ่นแก้วเคลือบซิงค์ออกไซด์ที่ใช้ของผสมซิงค์ออกไซด์-แคลเซียมคาร์บอเนตสัดส่วน 1:1 โดยน้ำหนักจำนวน 4 g ในการเคลือบในหัวข้อ 3.3 นั้น ได้ถูกนำมาใช้ทดสอบประสิทธิภาพในการย่อยสลายสารละลายสีย้อมผ้าด้วยวิธีการเดิมอีก 2 ครั้ง พบว่าในการย่อยสลายสารละลายสีย้อมผ้าครั้งที่ 2 และครั้งที่ 3 ของแผ่นแก้วเคลือบซิงค์ออกไซด์ที่กล่าวถึงนี้ค่าซีไอดีและค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายสีย้อมผ้ามีการเปลี่ยนแปลงไปตามที่แสดงในภาพที่ 8 และ 9 ตามลำดับ ทั้งนี้ เพื่อความกระจ่าง ในภาพทั้งสองได้แสดงค่าซีไอดีและค่าการดูดกลืนแสงในการย่อยสลายสารละลายสีย้อมผ้าครั้งที่ 1 ในหัวข้อ 3.3 ประกอบเอาไว้ด้วย อนึ่ง การย่อยสลายสารละลายสีย้อมผ้าทั้งสามครั้งนี้ไม่สามารถกระทำที่ภาวะเดียวกันได้ อย่างไรก็ตาม การย่อยสลายสารละลายสีย้อมผ้าทั้งสามครั้งนี้ได้ถูกดำเนินการกลางแจ้งในวันที่ฝนไม่ตกเช่นเดียวกัน



การย่อยสลายสารละลายสีย้อมผ้าโดยใช้แผ่นแก้วเคลือบซิงค์ออกไซด์ที่ใช้ของผสม
ซิงค์ออกไซด์-แคลเซียมคาร์บอเนตจำนวน 4 g

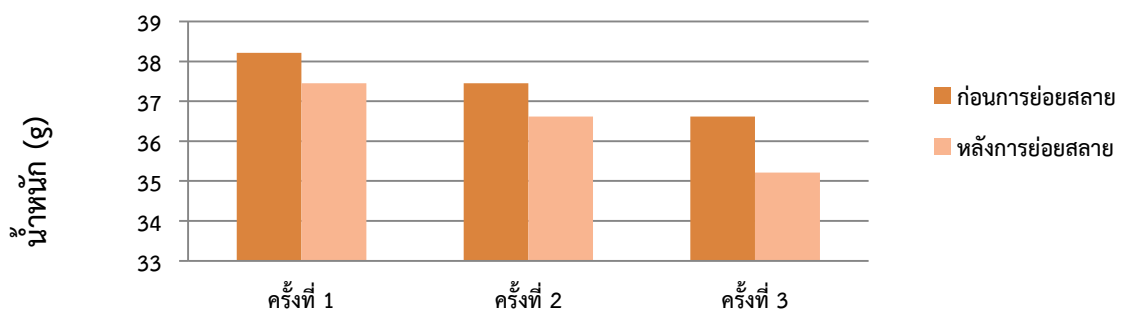
ภาพที่ 8 ค่าซีไอดีของสารละลายสีย้อมผ้าก่อนและหลังการถูกย่อยสลายครั้งที่ 1 ครั้งที่ 2 และครั้งที่ 3 โดยแผ่นแก้วเคลือบซิงค์ออกไซด์ที่ใช้ของผสมซิงค์ออกไซด์-แคลเซียมคาร์บอเนตสัดส่วน 1:1 โดยน้ำหนักจำนวน 4 g



การย่อยสลายสารละลายสีย้อมผ้าโดยใช้แผ่นแก้วเคลือบซิงค์ออกไซด์ที่ใช้ของผสม
ซิงค์ออกไซด์-แคลเซียมคาร์บอเนตจำนวน 4 g

ภาพที่ 9 ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายสีย้อมผ้าก่อนและหลังการถูกย่อยสลายครั้งที่ 1 ครั้งที่ 2 และครั้งที่ 3 โดยแผ่น
แก้วเคลือบซิงค์ออกไซด์ที่ใช้ของผสมซิงค์ออกไซด์-แคลเซียมคาร์บอเนตสัดส่วน 1:1 โดยน้ำหนักจำนวน 4 g

จากภาพที่ 8 และภาพที่ 9 ข้างต้นสามารถเห็นได้ว่าแผ่นแก้วที่ถูกเคลือบซิงค์ออกไซด์เอาไว้แล้ว เมื่อได้ถูกนำไปใช้ในการย่อยสลายสารละลายของสีย้อมผ้าไปแล้วแผ่นแก้วเคลือบซิงค์ออกไซด์นั้นไม่สามารถคงประสิทธิภาพการย่อยสลายเดิมเอาไว้ได้ เพราะทำให้การลดลงในค่าซีไอดีและค่าการดูดกลืนแสงที่น้อยลงเรื่อย ๆ ผลการทดลองนี้ถึงแม้ว่าจะเกิดมาจากระยะในการทำการทดลองที่แตกต่างกัน หรืออาจจะเกิดมาจากการที่ผงซิงค์ออกไซด์ซึ่งยังคงติดอยู่ที่แผ่นแก้วนั้นมีประสิทธิภาพที่ลดลงไป อย่างไรก็ดี จากผลการทดลองในหัวข้อก่อน ๆ ข้างต้นที่บ่งชี้ว่าการเคลือบด้วยวิธีนี้อาจยังไม่ใช่วิธีที่สามารถเคลือบซิงค์ออกไซด์ให้ติดอยู่กับแผ่นวัสดุได้นัก ในที่นี้จึงได้คิดว่าผลการทดลองที่ได้นี้มีสาเหตุมาจากการที่เมื่อถูกนำไปใช้งานนั้น ซิงค์ออกไซด์ที่ถูกเคลือบอยู่บนแผ่นแก้วก็ค่อย ๆ หลุดออกไป ทำให้ความสามารถในการย่อยสลายสารละลายสีย้อมผ้าของแผ่นแก้วเคลือบซิงค์ออกไซด์นั้นมีลดลงเรื่อย ๆ ภาพที่ 10 แสดงน้ำหนักก่อนหลังการย่อยสลายทั้งสามครั้งข้างต้น จะเห็นได้ว่าเมื่อถูกนำไปใช้ในการย่อยสลายสีย้อมผ้าแต่ละครั้ง แผ่นแก้วเคลือบซิงค์ออกไซด์มีน้ำหนักลดลงเรื่อย ๆ แสดงถึงการหลุดออกมาของซิงค์ออกไซด์บนแผ่นแก้วดังที่ได้กล่าวไปข้างต้นแล้ว จากผลการทดลองที่ได้นี้สามารถสรุปได้ว่าการเคลือบซิงค์ออกไซด์ลงบนแผ่นแก้วด้วยวิธีการอย่างง่ายในการวิจัยนี้ยังไม่สามารถให้แผ่นแก้วเคลือบซิงค์ออกไซด์ที่มีความทนทานที่สูงพอจะนำไปใช้ในการบำบัดน้ำเสียจริงมาได้



การย่อยสลายสารละลายสีย้อมผ้าโดยใช้แผ่นแก้วเคลือบซิงค์ออกไซด์ที่ใช้ของผสม
ซิงค์ออกไซด์-แคลเซียมคาร์บอเนตจำนวน 4 g

ภาพที่ 10 น้ำหนักของแผ่นแก้วก่อนและหลังการถูกย่อยสลายครั้งที่ 1 ครั้งที่ 2 และครั้งที่ 3 โดยแผ่นแก้วเคลือบซิงค์ออกไซด์ที่ใช้ของผสมซิงค์ออกไซด์-แคลเซียมคาร์บอเนตสัดส่วน 1:1 โดยน้ำหนักจำนวน 4 g

4. อภิปรายผล (Discussion)

สามารถใช้แคลเซียมคาร์บอเนตช่วยในการเคลือบซิงค์ออกไซด์ลงบนแผ่นแก้วได้ โดยปริมาณที่ใช้ของแคลเซียมคาร์บอเนตนี้ส่งผลต่อประสิทธิภาพของซิงค์ออกไซด์ที่ถูกเคลือบอยู่บนแผ่นแก้ว และการใช้ปริมาณของของผสมระหว่างซิงค์ออกไซด์-แคลเซียมคาร์บอเนตที่มากเกินไปจะส่งผลให้ประสิทธิภาพในการย่อยสลายสารละลายสีย้อมผ้าของแผ่นแก้วเคลือบซิงค์ออกไซด์ลดลงด้วย นอกจากนี้ วิธีการเคลือบอย่างง่ายที่ใช้ในงานวิจัยนี้ยังไม่สามารถทำให้ซิงค์ออกไซด์ที่ถูกเคลือบอยู่บนแผ่นแก้วมีความทนทานสูงพอที่จะนำไปใช้ในการใช้งานจริงได้ เพราะเมื่อถูกนำไปใช้ในการทดลองย่อยสลายสารละลายของสีย้อมผ้าแล้วซิงค์ออกไซด์ที่ถูกเคลือบอยู่บนแผ่นแก้วจะหลุดออกมาเรื่อย ๆ

5. สรุปผล (Conclusion)

สามารถนำซิงค์ออกไซด์ไปเคลือบลงบนแผ่นแก้วได้โดยใช้แคลเซียมคาร์บอเนตช่วย โดยซิงค์ออกไซด์ที่ถูกเคลือบอยู่บนแผ่นแก้วนั้นสามารถถูกนำไปใช้ในการย่อยสลายสารละลายของสีย้อมผ้าได้ แต่ก็ด้วยความทนทานต่อการใช้งานจริงที่จำกัด อย่างไรก็ตาม สามารถนำข้อมูลที่ได้มาไปใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาวิธีการนำซิงค์ออกไซด์ไปใช้ในการบำบัดน้ำเสียจริงจากโรงงานอุตสาหกรรมเพื่อการพัฒนาอย่างยั่งยืนต่อไปได้

6. เอกสารอ้างอิง (Reference)

- [1] S. Navarro, J. Fenoll, N. Vela, E. Ruiz, G. Navarro. (2009) Photocatalytic degradation of eight pesticides in leaching water by use of ZnO under natural sunlight. Journal of Hazardous Materials, Vol 172: 1303-1310.
- [2] คุณากรณ์ ภูเพียงใจ, จารุมนต์ หอวิวัฒน์วงศ์, เบญจวรรณ ภูมมาฤทธิ์, ภราภรณ์ ทศพร, พงศ์ธร ฐปะเทมีย์. (2555). การนำซิงค์ออกไซด์ที่ใช้สารลดแรงตึงผิวช่วยในการสังเคราะห์ไปใช้ในการย่อยสลายสีย้อมผ้าที่ใช้ในโรงงานผลิตเส้นใยสังเคราะห์. การประชุมวิชาการและนำเสนอผลงานทางวิศวกรรม นวัตกรรมและการจัดการอุตสาหกรรมอย่างยั่งยืน ครั้งที่ 1, 53-61.

การศึกษาปัจจัยที่เหมาะสม
ในการกำจัดมอดในข้าวสารด้วยเครื่องฉายรังสีอินฟราเรด

Optimization parameters
in disinfestations by the Infrared Radiation Machine

ปวิวรรต นาสวาสดี^{1*}, สุขอังคณา ขาหยอง², วิทยา อินทร์สอน³ และ อุดุลย์ จรรยาเลิศอดุลย์⁴
Pariwat Nasavad^{1*}, Sukangkana chayong², Withaya Insorn³ and Adun janyalertadun⁴

^{1*} ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี อุบลราชธานี 34190

Pariwat_na1@hotmail.com

² ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น อ.เมือง จ.ขอนแก่น 40002
sukangkana@kku.ac.th

³ สาขาวิชาโลหะการ วิทยาลัยเทคนิคสุรินทร์ อ.เมือง จ.สุรินทร์ 32000 With_14@chaiyo.com

⁴ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี อ.วารินชำราบ จ.อุบลราชธานี
34190 adun.j@ubu.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ นำเสนอการพัฒนาเครื่องฉายรังสีอินฟราเรด โดยมีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาปัจจัยที่เหมาะสมสำหรับกำจัดมอดด้วงงวงข้าวในข้าวสารอินทรีย์ด้วยเครื่องฉายรังสีอินฟราเรด ปัจจัยที่ศึกษา 3 ปัจจัย คือ อุณหภูมิ เวลาฉายรังสี ความหนาชั้นข้าวบนสายพาน การทดลองกำจัดมอดในข้าวสารด้วยการออกแบบการทดลองแบบ Box Behnken Design จำนวนการทดลอง 15 ครั้ง และทดลองซ้ำ 2 ครั้ง การกำจัดด้วงงวงข้าวระยะทาง 100 เซนติเมตร พบว่าค่าที่เหมาะสม คือ อุณหภูมิฉายรังสี 75 °C ความหนาข้าวบนสายพาน 1.5 เซนติเมตร เวลาฉายรังสี 1 นาที 30 วินาที และกำหนดระยะห่างของหลอดกับข้าวสาร 10 เซนติเมตร มีประสิทธิภาพการกำจัดด้วงงวงข้าวร้อยละ 100 หลังการฉายรังสีข้าวไม่มีการแตกหัก เนื่องจากความร้อนจากการฉาย โดยคุณภาพข้าวทางกายภาพหลังฉายรังสี พบว่า ยังอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่ยอมรับได้ คุณภาพข้าวทางเคมีหลังฉายรังสี พบว่า ค่าโปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต เยื่อใย และเถ้าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่ยอมรับได้ คุณภาพข้าวหุงต้มหลังฉายรังสี พบว่า มีปริมาณอมิโลสเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ความคงตัวของแป้งสุกระดับอ่อน ส่วนอัตราการยืดตัวข้าวสุก และกลิ่นหอมไม่เปลี่ยนแปลง ประสิทธิภาพของเครื่องฉายรังสีอินฟราเรดเพื่อกำจัดแมลงในข้าวสาร สามารถทำงานได้ 300 กิโลกรัมข้าวสารต่อชั่วโมง

* ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี อุบลราชธานี 34190
Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Ubon Ratchathani University, Ubon Ratchathani 34190

Abstract

This research presents the development of the infrared machine. The objective is to obtain optimization in the machine operation in disinfestations of Organic Khao Dawk Mali rice. Three parameters studied were temperature, radiation time and thickness or rice layer on moving belt. The experiment was designed using the Box Behnken Design with 15 experiments and 2 repeats. It was found that the optimal condition in heating of rice within 100 centimeter of conveyer belt was the temperature of infrared wave of 75°C, the rice thickness on the belt was 1.5 centimeter height between the infrared bulbs and rice was 10 centimeter. This optimal parameters was 100% effective in disinfestations of rice weevils in 1 minute and 30 second of radiation. After radiation, rice was found not cracked due to the heat of radiation. The physical qualities of rice remain within the standard value. For chemical quality, it was found that after radiation amount of protein, fat, carbohydrate, fiber and ashes were also within the standard value. The quality of cooked rice after radiation was found that the amount of amylose was slightly increased. The Gel consistency rice was in the soft level and the elongation ratio and the aromatic of cooked rice remain unchanged. The efficiency of the infrared machine was 300 kg of milled rice per hour.

คำสำคัญ (Key word): การออกแบบการทดลอง; เครื่องฉายรังสีอินฟราเรด; การศึกษาคุณภาพข้าว

1. ความสำคัญและที่มาของปัญหา (Introduction)

ข้าวหอมมะลิไทยทุกชนิดมีความเคลื่อนไหวซึ่งมีแนวโน้มสูงขึ้น และมีเสถียรภาพ โดยข้าวขาว 100 % ชั้น 2 ซึ่งเป็นชนิดข้าวที่มีสัดส่วนการส่งออกสูงถึง ร้อยละ 60 ส่วนข้าวหอมมะลิอินทรีย์ยังมีปริมาณน้อย แต่แนวโน้มการบริโภคข้าวอินทรีย์มีมากขึ้น รวมถึงเป็นการรักษาสุขภาพแวดล้อมได้ผลผลิตที่มีคุณภาพดีทำให้ชาวนา และผู้บริโภคมีสุขอนามัยคุณภาพชีวิตที่ดีขึ้น จึงได้เร่งพัฒนาพร้อมขยายฐานการผลิตเกษตรอินทรีย์ของไทยให้เพิ่มมากขึ้น เพื่อสร้างศักยภาพการแข่งขันในเวทีการค้าโลกซึ่งจะนำรายได้เข้าประเทศสูงขึ้นในอนาคต [1] กรมการค้าภายใน กระทรวงพาณิชย์ (2547) การเก็บรักษา และการส่งออก จะมีแมลง และศัตรูข้าวมากัดกินข้าวสารได้แก่ มอดหัวป้อม มอดสยาม ผีเสื้อข้าวเปลือก ตัวงวงข้าว ตัวงวงข้าวโพด และมอดแป้ง เป็นต้น ในการกำจัดแมลงของโรงสีข้าว นิยมใช้สารเคมี เนื่องจากการใช้ค่อนข้างง่าย มีอุปกรณ์ไม่ยุ่งยากและมีความสะดวกในการใช้ แต่ปัญหาที่พบตามมา เช่น สารพิษตกค้างในร่างกาย ก่อให้เกิดโรคแก่ผู้ใช้และผู้บริโภค ผลผลิตไม่ปลอดภัยขาดความเชื่อถือจากผู้บริโภค ไม่ช่วยรักษาสภาพแวดล้อมและการส่งออกไม่ได้มาตรฐานเกษตรอินทรีย์ [3] ชูวิทย์ ศุขปรการ และคณะ (2543) นอกจากนี้เนื่องจากรัฐบาลยังได้มีมาตรการประกันราคาข้าวทำให้เกษตรกรต้องการขายข้าวมากขึ้น ซึ่งทำให้โรงสีต้องเพิ่มโกดังเก็บรักษาข้าว ส่งผลให้มีการใช้สารเคมีทางการเกษตรเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากใช้ง่าย สะดวกรวดเร็วในการใช้แต่อาจจะส่งผลกระทบต่อสุขภาพเพราะมีสารเคมีตกค้าง [5] Chalernporn Rattanakosum (2000)

[4] วิทยา อินทร์สอน (2555) ได้ศึกษาแนวคิดในการพัฒนาวิธีการกำจัดแมลงในข้าวสารโดยใช้รังสีอินฟราเรด ซึ่งเป็นรังสีความร้อนคลื่นสั้น ในการให้ความร้อนเป็นระยะเวลาสั้น การออกแบบการทดลองแบบ Box Behnken Design จำนวนการทดลอง 27 ครั้ง และทดลองซ้ำ 2 ครั้ง ปัจจัยที่ศึกษา 4 ปัจจัยคือ อุณหภูมิ ระยะห่างของหลอดกับข้าวสาร ความหนาชั้นข้าวบนสายพาน และความเร็วรอบมอเตอร์สายพาน ผลการวิจัยพบว่า ค่าที่เหมาะสม คือ อุณหภูมิฉายรังสี 85 °C ระยะห่างของหลอดกับข้าวสาร 15 ซม. ความหนาข้าวบนสายพาน 1 ซม. และความเร็วรอบมอเตอร์สายพาน 1,420 รอบ/นาที ประสิทธิภาพการกำจัดตัวงวงข้าวร้อยละ 100 ภายในระยะเวลา 2 - 3 นาที การทดสอบคุณภาพข้าวหลังฉายรังสี พบว่า มีปริมาณอมิโลสเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 7.28 เป็น ร้อยละ 8.86 ความคงตัวของแป้งสุกปานกลาง, อัตราการยืดตัวของข้าวสุก และกลิ่นหอมไม่เปลี่ยนแปลง

ดังนั้นผู้วิจัยจึงเล็งเห็น การออกแบบพัฒนาเครื่องฉายรังสีอินฟราเรด และการศึกษาปัจจัยที่เหมาะสมในการกำจัดมอดในข้าวสารด้วยเครื่องฉายรังสีอินฟราเรด เพื่อจะได้ช่วยแก้ปัญหาดังกล่าว ทำให้ผู้ประกอบการโรงสีข้าวได้เห็นแนวทางในการประยุกต์ใช้รังสีอินฟราเรด ช่วยลดการใช้สารเคมี

2. วิธีวิจัย (Research Methodology)

2.1 การเก็บรวบรวมข้อมูล

เริ่มจากการเก็บรวบรวมข้อมูล สัมภาษณ์ผู้ประกอบการโรงสีข้าว เพื่อนำข้อมูลมาใช้ในการออกแบบเครื่องฉายรังสีอินฟราเรด เลือกใช้เครื่องฉายรังสีอินฟราเรดเพื่อกำจัดแมลงในข้าวสาร ที่ผู้วิจัยออกแบบและพัฒนาขึ้น มีขนาด 0.60 x 2.1 x 1.5 เมตร ติดตั้งหลอด อินฟราเรด ขนาด 1,000 วัตต์ จำนวน 2 หลอด กำหนดระยะห่างของหลอดกับข้าวสาร 10 เซนติเมตร จากนั้นปรับตั้งเครื่อง ตามตารางที่ 1 โดยข้าวที่ผ่านการฉายรังสีจะไหลผ่านระบบสายพานลำเลียงไหลลงระบบตะแกรงคัดแยกข้าวสารและแมลงหรือด้วงงวงข้าวซึ่งจะไหลลงถาดรองรับที่จัดเตรียมไว้ ข้าวที่ใช้ทดลองเป็นข้าวขาวหอมมะลิจากโรงสีข้าวดวงดี อำเภอมือง จังหวัดอุบลราชธานี

2.2 การออกแบบการทดลอง

การออกแบบการทดลองกำจัดด้วงงวงข้าวในข้าวสาร ด้วยการออกแบบการทดลองแบบ Box Benhken Design จำนวนการทดลอง 15 ครั้ง ทดลองซ้ำ 2 ครั้ง รวมการทดลอง 30 การทดลอง ปัจจัยที่ใช้ในการศึกษา 3 ปัจจัย คือ อุณหภูมิ(องศาเซลเซียส) ความหนาข้าวสารบนสายพาน (ซั้วโมง) เวลาฉายรังสี (นาทื) ระยะห่างของหลอดอินฟราเรดกับข้าวสารกำหนดที่ 10 ซั้วโมง การทดลองโดยทำการสุ่มแบบเจาะจง คือ ใช้ด้วงงวงข้าว จำนวน 40 ตัว / ข้าวสาร 10 กิโลกรัม เพื่อศึกษาอัตราการตายของด้วงงวงข้าว โดยคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ลำดับการทดลองที่ได้จากโปรแกรม Minitab Release 14

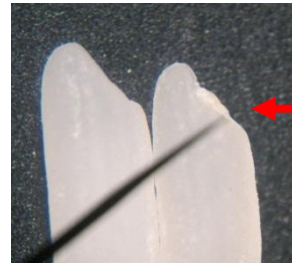
ลำดับ	ลำดับ	ค่าระดับปัจจัย			
การทดลอง	การสุ่ม	Temp (C°)	Thickness (cm.)	Time (min.)	Percentage (%)
1	16	65	1	1.30	17
2	9	75	1	1	90
-	-	-	-	-	-
29	29	75	1.5	1.30	100
30	4	85	2	1.30	97.5

2.3 การทดลองยืนยันผลในการหาตัวแปรที่เหมาะสมในการกำจัดไข่, ดักแด้ และตัวเต็มวัยของด้วงงวงในข้าวสารและข้าวกล้อง

2.3.1 วิธีทำการทดลอง หลังจากที่ได้ค่าที่เหมาะสมในการทดลองฉายรังสีอินฟราเรดเพื่อกำจัดแมลงในข้าวสาร ทำการทดลองซ้ำในการกำจัดไข่, ดักแด้ และตัวเต็มวัยของด้วงงวงในข้าวกล้อง ลำดับขั้นตอนวิธีการทดลองมีดังนี้

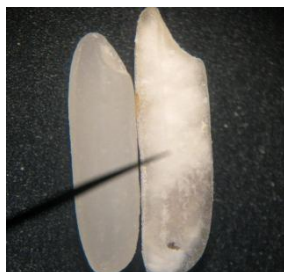
1. คัดไข่ของด้วงงวงในข้าวสารและข้าวกล้อง จำนวน 100 ตัวอย่าง (ภาพที่ 1)
2. คัดดักแด้ของด้วงงวงในข้าวสารและข้าวกล้อง จำนวน 100 ตัวอย่าง (ภาพที่ 2)
3. คัดตัวเต็มวัยของด้วงงวงในข้าวสารและข้าวกล้อง จำนวน 100 ตัวอย่าง (ภาพที่ 3)
4. ปรับตั้งระบบความคุมอุณหภูมิแบบดิจิตอลปรับตั้งความเร็วอินเวอร์เตอร์ และพารามิเตอร์ที่ดีที่สุดที่ได้การทดลอง (ภาพที่ 4)
5. ปลอ่ยตัวอย่างการทดลอง ไข่, ดักแด้ และตัวเต็มวัยของด้วงงวง ในข้าวสารหนา 1 เซนติเมตร 30 มิลลิเมตร ผ่านระบบสายพานลำเลียง โดยผ่านระบบการฉายรังสีอินฟราเรดเพื่อกำจัดแมลงในข้าวสารและข้าวกล้อง (ภาพที่ 5)

6. เก็บตัวอย่างไข่, ดักแด่ และตัวเต็มวัยของด้วงวงข้าวในข้าวสารและข้าวกล้อง ที่ผ่านการฉายรังสีเก็บในกล่อง Polypropylene (PP) เจาะรูเก็บไว้ในอุณหภูมิห้อง (ภาพที่ 6)



ไขด้วงวงข้าว

ภาพที่ 1 เตรียมข้าวสาร / ที่มีไข่ (สรชี้)



ภาพที่ 2 เตรียมข้าวสาร / ที่มีดักแด่



ภาพที่ 3 ตัวเต็มวัยของด้วงวง



ภาพที่ 4 ปรับตั้งอุณหภูมิ / ชุดอินเวอร์เตอร์

3.3 การศึกษาคุณภาพข้าวก่อนและหลังฉายรังสีอินฟราเรด

3.3.1 การศึกษาคุณภาพข้าวทางกายภาพ

1. น้ำหนักเมล็ด (Grain Weight) ผู้วิจัยเลือกใช้น้ำหนักเมล็ดประเมิน โดยการชั่งน้ำหนักต่อ 100 เมล็ด/ครั้ง ซึ่งทำการชั่งน้ำหนักจำนวน 3 ครั้ง

ตารางที่ 2 การชั่งน้ำหนักเมล็ดข้าวสาร

รายการ	ครั้งที่ 1	น้ำหนัก (กรัม) ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	น้ำหนักรวม (กรัม)	น้ำหนักเฉลี่ย (กรัม)
ข้าวสารก่อนฉายรังสีฯ	1.91	1.90	1.89	5.70 / 3	1.90
ข้าวสารหลังฉายรังสีฯ	1.90	1.89	1.88	5.67 / 3	1.89
ความแตกต่างเฉลี่ย					0.01

จากตารางที่ 2 พบว่า ข้าวสารก่อนฉายรังสีอินฟราเรด จะมีน้ำหนักเฉลี่ย 1.90 กรัม และข้าวสารหลังฉายรังสีอินฟราเรดจะมีน้ำหนักเฉลี่ย 1.89 กรัม โดยมีความแตกต่างกัน 0.01 กรัม

2. ขนาดรูปร่างเมล็ด (Grain Dimension) ผู้วิจัยเลือกใช้การสุ่มเมล็ดข้าวสาร จำนวน 100 เมล็ด โดยใช้เวอร์เนียร์ระบบดิจิทัล สำหรับวัดขนาดเพื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐานความยาวเมล็ดข้าว แบ่งได้ 4 ขนาด

ตารางที่ 3 ขนาดรูปร่างเมล็ดข้าวสารข้าวสารหลังฉายรังสีอินฟราเรด และเมล็ดข้าวสารหลังฉายรังสีอินฟราเรด

มาตรฐานเมล็ดข้าว (มม.)	เมล็ดข้าวสารก่อน ฉายรังสีอินฟราเรด (เมล็ด)	เปอร์เซ็นต์ (%)	เมล็ดข้าวสารหลัง ฉายรังสีอินฟราเรด (เมล็ด)	เปอร์เซ็นต์ (%)
ข้าวเมล็ดยาวชั้น 1 (>7.50 มม.)	18	18	16	16
ข้าวเมล็ดยาวชั้น 2 (6.61 - 7.49 มม.)	72	72	74	74
ข้าวเมล็ดยาวชั้น 3 (6.20 - 6.60 มม.)	5	5	6	6
ข้าวเมล็ดสั้น (< 6.20 มม.)	5	5	4	4
รวม	100	100	100	100

จากตารางที่ 3 ขนาดรูปร่างเมล็ดข้าวสาร พบว่า เมล็ดข้าวสารก่อนฉายรังสีอินฟราเรดข้าวเมล็ดยาวชั้น 1 (>7.50 มิลลิเมตร) คิดเป็นร้อยละ 18 และข้าวเมล็ดยาวชั้น 2 (6.61-7.00 มิลลิเมตร) คิดเป็นร้อยละ 72 ตามลำดับ และเมล็ดข้าวสารหลังฉายรังสีอินฟราเรด ข้าวเมล็ดยาวชั้น 1 (>7.50 มิลลิเมตร) คิดเป็นร้อยละ 16 และข้าวเมล็ดยาวชั้น 2 (6.61-7.00 มิลลิเมตร) คิดเป็นร้อยละ 74 ตามลำดับ ซึ่งเมล็ดข้าวที่ได้ไม่ได้เปลี่ยนแปลงมากนัก

3. ความขาวของข้าวสาร ผู้วิจัยใช้กล้องวัดความขาวยี่ห้อ Minolta 300 โดยทำการสุ่มวัดความขาวของข้าวสาร จำนวน 5 ครั้ง จากข้าวสารจำนวน 200 กรัม พบว่า เมล็ดข้าวที่ผ่านการฉายรังสีอินฟราเรด จะมีการเปลี่ยนแปลงสีตามสัดส่วนดังนี้

ตารางที่ 4 ความขาวของข้าวสารก่อนฉายรังสีอินฟราเรด และข้าวสารหลังฉายรังสีอินฟราเรด

ข้าวสารก่อนฉายรังสีอินฟราเรด		ข้าวสารหลังฉายรังสีอินฟราเรด	
- ความสว่างเฉลี่ย (L)	ร้อยละ 73.4	- ความสว่างเฉลี่ย (L)	ร้อยละ 74.45
- สีแดง เฉลี่ย (a+)	ร้อยละ -2.23	- สีแดง เฉลี่ย (a+)	ร้อยละ -1.97
- สีเหลือง เฉลี่ย (b+)	ร้อยละ 13.07	- สีเหลือง เฉลี่ย (b+)	ร้อยละ 13.78

จากตารางที่ 4 พบว่า ความสว่างก่อนฉายรังสีอินฟราเรด ร้อยละ 73.4 เพิ่มขึ้น ร้อยละ 74.45 สีแดงก่อนฉายรังสีอินฟราเรด ร้อยละ -2.23 เพิ่มขึ้น ร้อยละ -1.97 และสีเหลืองก่อนฉายรังสีอินฟราเรด ร้อยละ 13.07 เพิ่มขึ้น ร้อยละ 13.78 ดังนั้นความขาวของข้าวสาร สีไม่ได้เปลี่ยนแปลงอะไรมากนัก เนื่องจากไม่มีการเปลี่ยนแปลงเป็นสีอื่นแต่อย่างใด

3.3.2 การศึกษาคุณภาพข้าวคุณภาพทางเคมี (Chemical Quality)

1. การศึกษาคุณภาพข้าวคุณภาพทางเคมี เป็นลักษณะทางเคมีภายในเมล็ดข้าว เช่น ปริมาณ ความชื้น โปรตีน ไขมัน เยื่อใย เถ้า และคาร์โบไฮเดรต เป็นต้น

ตารางที่ 5 การเปรียบเทียบองค์ประกอบทางเคมีคุณภาพข้าวหอมมะลิ ก่อน และหลังฉายรังสีอินฟราเรด
(Juliano, B.O. 1985)

ชนิดข้าว (Type of Rice)	โปรตีน (Protein) (กรัม)	ไขมัน (Crude Fat) (กรัม)	เยื่อใย (Crude Fiber) (กรัม)	เถ้า (Ash) (กรัม)	คาร์โบไฮเดรต (NFE) (กรัม)
มาตรฐานข้าวหอมมะลิ 105	6.3 – 7.1	0.3 – 0.5	0.2 – 0.5	0.3 – 0.8	77 – 89
ข้าวสาร ก่อนฉายรังสีอินฟราเรด	6.74	0.43	0.25	0.27	80.22
ข้าวสารหลังฉายรังสีอินฟราเรด	6.94	0.44	0.20	0.41	80.33
ร้อยละที่เปลี่ยนแปลง	+ 2.96	+ 2.32	- 19.99	+ 51.85	+ 0.13

จากตารางที่ 5 การเปรียบเทียบองค์ประกอบทางเคมีของคุณภาพข้าวก่อน และหลังฉายรังสีอินฟราเรด พบว่า ปริมาณเยื่อใย เถ้า คาร์โบไฮเดรต มีค่าอยู่ในมาตรฐาน ส่วนโปรตีนและไขมันเพิ่มขึ้นเล็กน้อย

2. คุณภาพข้าวการหุงต้ม ได้แก่ ปริมาณมิโลส (Amylose) ความคงตัวของแป้งสุก (Gel Consistency) การยืดตัวของเมล็ดข้าวสุก (Elongation Ratio) และกลิ่นหอม (Aroma)

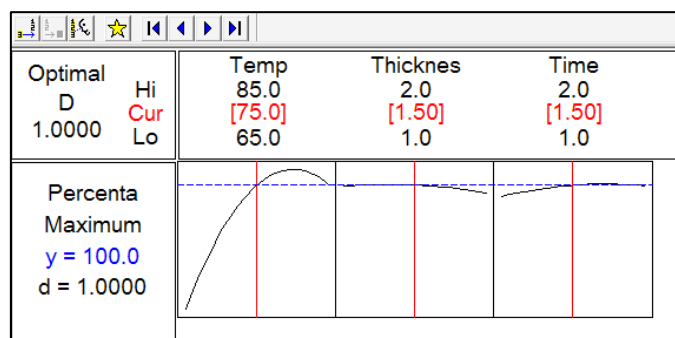
ตารางที่ 6 การเปรียบเทียบคุณภาพข้าวการหุงต้ม ก่อนและหลังฉายรังสีอินฟราเรด

คุณภาพข้าวการหุงต้ม	มาตรฐานข้าวหอมมะลิ 105	ข้าวก่อนฉายรังสี	ข้าวหลังฉายรังสี
ข้าวอมิโลสต่ำ	5 – 19 %	15.80 %	16.00 %
ความคงตัวของแป้งสุก	อ่อน (Soft) 61 – 100 มม.	80 มม.	82 มม.
อัตราการยืดตัวของข้าวสุก	ข้าว 20 เมล็ด	1.46	1.48
เกณฑ์การทดสอบกลิ่นหอม	การทดสอบกลิ่น	กลิ่นหอม	กลิ่นหอม

จากตารางที่ 6 การเปรียบเทียบคุณภาพข้าวการหุงต้ม ก่อนและหลังฉายรังสีอินฟราเรด ปริมาณอมิโลส พบว่า ข้าวก่อนและหลังฉายรังสีอินฟราเรด มีปริมาณอมิโลสต่ำ 15.80 % และ 16.00 % ซึ่งเพิ่มขึ้น 1.26 % ข้าวอมิโลสต่ำ ข้าวจะมีความเหนียวนุ่ม เป็นตามมาตรฐานข้าวขาวดอกมะลิ ความคงตัวของแป้งสุก พบว่า ข้าวก่อนฉายรังสีมีความคงตัวของแป้งสุกอยู่ระดับอ่อน ระยะทางที่แป้งไหลเท่ากับ 80 มิลลิเมตร และข้าวหลังฉายรังสีมีความคงตัวของแป้งสุก อยู่ระดับอ่อน ระยะทางที่แป้งไหลเท่ากับ 82 มิลลิเมตร แต่หลังการฉายรังสี ระยะทางที่แป้งไหลเพิ่มขึ้น 2 มิลลิเมตร อยู่ในช่วงอ่อนหุงสุกข้าวจะอ่อนนุ่ม นำรับประทาน อัตราการยืดตัวของข้าวสุก พบว่า ข้าวหลังฉายรังสี มีอัตราการยืดตัวของข้าวสุก 1.48 มม. มีค่าเพิ่มขึ้น 0.02 ทำให้เนื้อภายในโปร่งขึ้นไม่อัดแน่นช่วยให้ข้าวนุ่มมากขึ้น และนำรับประทาน กลิ่นหอม พบว่า ข้าวสารก่อนฉายและหลังการฉายรังสีอินฟราเรด กลิ่นหอม ยังคงเหมือนเดิมไม่มีการเปลี่ยนแปลง

4. อภิปรายผล (Discussion)

4.1 ผลการทดลอง พบว่า ระดับค่าปัจจัยในการกำจัดแมลงในข้าวสาร ที่เหมาะสม คือ อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส ความหนาของข้าวสาร 1.5 เซนติเมตร เวลาในการฉายรังสี 1 นาที 30 วินาที ระยะทางการฉายรังสี 100 เซนติเมตร กำหนดความสูงของหลอดห่างกับข้าวสาร 10 เซนติเมตร สามารถช่วยลดความชื้นลดลงได้ และกำจัดแมลงในเมล็ดข้าวสารได้ ร้อยละ 100 โดยที่คุณภาพข้าวไม่เกิดการเสียหาย ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่ยอมรับได้ ณ อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส มีอัตราการตายร้อยละ 100 แต่เวลาที่ใช้กำจัดด้วงงวงข้าวมากกว่า และปริมาณการไหลของข้าวช้ากว่า



หมายเหตุ : หาค่าที่เหมาะสมที่สุดของปัจจัยและใช้วัดความพึงพอใจโดยรวมของผลตอบ (Composite Desirability : D) ค่าความพึงพอใจโดยรวมของผลตอบ มีค่าระหว่าง 0-1 ซึ่งถ้า D มีค่าเท่ากับ 1 หมายถึง ผลตอบนั้นได้รับความพึงพอใจอย่างสมบูรณ์

ภาพที่ 7 กราฟผลตอบของค่าที่เหมาะสมในการทดลอง

4.2 การทดลองยืนยันผลในการหาตัวแปรที่เหมาะสมในการกำจัดไข่, ดักแด้ และตัวเต็มวัยของด้วงงวงในข้าวสารและข้าวกล้องที่ ระดับอุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส ความหนาของข้าวสาร 1.5 เซนติเมตร เวลาในการกำจัดด้วงงวงข้าว 1 นาที 30 วินาทีและระยะทางทดสอบฉายรังสี 100 เซนติเมตร เพื่อจะทำให้ข้อมูลมีความน่าเชื่อถือมากยิ่งขึ้น ในการกำจัดไข่,ดักแด้ และตัวเต็มวัยของด้วงงวงในข้าวสารและข้าวกล้องโดยทำการเก็บรักษาข้าวไว้ในกล่องPolypropylene (PP) เจาะรูเก็บไว้ใน ณ อุณหภูมิห้อง จำนวน 49 วัน และ 54 วัน ตามวงจรชีวิตของด้วงงวงข้าว พบว่า สามารถกำจัด ด้วงงวงข้าว (Rice Weevil) ได้ผลร้อยละ 100

4.3 การศึกษาคุณภาพข้าวก่อนและหลังฉายรังสีอินฟราเรด

4.3.1 คุณภาพทางกายภาพ (Physical Quality)

1. น้ำหนักเมล็ด (Grain Weight) พบว่า ข้าวสารก่อนฉายรังสีอินฟราเรดจะมีน้ำหนักเฉลี่ย 1.90 กรัม และข้าวสารหลังฉายรังสีอินฟราเรด จะมีน้ำหนักเฉลี่ย 1.89 กรัม โดยมีความแตกต่างกัน 0.01 กรัม ดังนั้นข้าวสารหลังฉายรังสีที่มีน้ำหนักลดลงอาจเป็นเพราะการขัดสีกับระบบตะแกรงคัดแยกข้าวสาร
2. ขนาดรูปร่างเมล็ดข้าวสาร พบว่า เมล็ดข้าวสารก่อนฉายรังสีอินฟราเรดข้าวเมล็ดยาวชั้น 1 (>7.50 มิลลิเมตร) คิดเป็นร้อยละ 18 และข้าวเมล็ดยาวชั้น 2 (6.61-7.00 มิลลิเมตร) คิดเป็นร้อยละ 72 ตามลำดับ และเมล็ดข้าวสารหลังฉายรังสีอินฟราเรดข้าวเมล็ดยาวชั้น 1 (>7.50 มิลลิเมตร) คิดเป็นร้อยละ 16 และข้าวเมล็ดยาวชั้น 2 (6.61-7.00 มิลลิเมตร) คิดเป็นร้อยละ 74 ตามลำดับ ซึ่งเมล็ดข้าวที่ได้ไม่ได้เปลี่ยนแปลงอะไรมากนัก
3. ความขาวของข้าวสาร ความสว่างก่อนฉายรังสีอินฟราเรด ร้อยละ 73.4 เพิ่มขึ้น ร้อยละ 74.45 สีแดงก่อนฉายรังสีอินฟราเรด ร้อยละ -2.23 เพิ่มขึ้น ร้อยละ -1.97 และสีเหลืองก่อนฉายรังสีอินฟราเรด ร้อยละ 13.07 เพิ่มขึ้น ร้อยละ 13.78 ดังนั้นความขาวของข้าวสาร สีไม่ได้เปลี่ยนแปลงอะไรมากนัก

4.3.2 คุณภาพทางเคมี (Chemical Quality)

4.3.2.1 การเปรียบเทียบองค์ประกอบทางเคมีของคุณภาพข้าวก่อน และหลังฉายรังสีอินฟราเรด พบว่า ปริมาณ โปรตีน ไขมัน เยื่อใย เถ้า คาร์โบไฮเดรต มีค่าอยู่ในมาตรฐาน รายละเอียดอธิบายได้ดังนี้

1. โปรตีน โดยปกติอยู่ระหว่าง 6.3–7.1 กรัม กล่าวคือ ก่อนฉายรังสีมีค่า 6.74 กรัม หลังการฉายรังสีมีค่า 6.94 กรัม แต่โปรตีนเพิ่มขึ้น 0.20 กรัม คิดเป็นร้อยละ 2.96
2. ไขมัน โดยปกติอยู่ระหว่าง 0.3 – 0.5 กรัม กล่าวคือ ก่อนฉายรังสีมีค่า 0.43 กรัม และหลังจากฉายรังสีมีค่า 0.44 กรัม แต่ไขมันเพิ่มขึ้น 0.01 กรัม คิดเป็นร้อยละ 2.32
3. เยื่อใย โดยปกติอยู่ระหว่าง 0.2 – 0.5 กรัม กล่าวคือ ก่อนฉายรังสีมีค่า 0.25 กรัม และหลังการฉายรังสีมีค่า 0.20 กรัม แต่เยื่อใยลดลง 0.05 กรัม คิดเป็นร้อยละ 19.99
4. เถ้า โดยปกติอยู่ระหว่าง 0.3–0.8 กรัม กล่าวคือ ก่อนฉายรังสีมีค่า 0.27 กรัม และหลังการฉายรังสีมีค่า 0.41 กรัม แต่เถ้าเพิ่มขึ้น 0.14 กรัม คิดเป็นร้อยละ 51.85
5. คาร์โบไฮเดรต โดยปกติอยู่ระหว่าง 77-89 กรัม กล่าว คือ ก่อนฉายรังสีมีค่า 80.22 กรัม และหลังการฉายรังสีมีค่า 80.33 กรัม แต่คาร์โบไฮเดรตเพิ่มขึ้น 0.11 กรัม คิดเป็นร้อยละ 0.13

4.3.2.2 เปรียบเทียบคุณภาพข้าวหุงต้ม

การเปรียบเทียบคุณภาพข้าวหุงต้ม ก่อนและหลังฉายรังสีอินฟราเรด ปริมาณอมิโลส (Amylose) เพิ่มขึ้นจากร้อยละ 15.80 เป็นร้อยละ 16.00 % ความคงตัวของแป้งสุก (Gel Consistency) หลังการฉายรังสี ระยะทางที่แป้งไหลเพิ่มขึ้น 2 มิลลิเมตร อยู่ในช่วงอ่อน หุงสุกข้าวจะอ่อนนุ่มน่ารับประทาน อัตราการยืดตัวของข้าวสุก (Elongation Ratio) มีค่าเพิ่มขึ้น 0.02 ทำให้เนื้อภายในโปร่งขึ้น ไม่อัดแน่น ช่วยให้ข้าวนุ่มมากขึ้น และน่ารับประทาน และกลิ่นหอม (Aroma) มีสภาพคงเดิม [2] Ipsita Das et al. (2003) กล่าวว่า ข้าวอบแห้งข้าวเหนียวด้วยรังสีอินฟราเรด ซึ่งจากการประเมินคุณภาพ ทางประสาทสัมผัสของผู้ชิม กลิ่นหอม รสชาติ ไม่ได้เปลี่ยนแปลงอะไรมากนัก ซึ่งความชอบโดยรวม ยังเป็นที่ยอมรับจากผู้บริโภค

5. สรุปผล (Conclusion)

5.1 การออกแบบการทดลอง ผู้วิจัยใช้เครื่องฉายรังสีอินฟราเรดระบบสายพานลำเลียง ออกแบบการทดลองแบบ Box Behnken Design จำนวนการทดลอง 15 ครั้ง และทดลองซ้ำ 2 ครั้ง ปัจจัยที่ศึกษา 3 ปัจจัย คือ อุณหภูมิ ความหนาชั้นข้าวบนสายพาน และเวลาในการกำจัดด้วงงวงข้าว พบว่า ค่าที่เหมาะสม คือ อุณหภูมิฉายรังสี 75 องศาเซลเซียส ความหนาข้าวบนสายพาน 1.5 เซนติเมตร และเวลาที่ใช้กำจัดด้วงงวงข้าว 1 นาที 30 วินาที กำหนดระยะห่างของหลอดกับข้าวสาร 10 เซนติเมตร ด้วยระยะทาง 100 เซนติเมตร ประสิทธิภาพการกำจัดด้วงงวงข้าวร้อยละ 100 หลังการฉายรังสีข้าวจะเย็นตัวที่อุณหภูมิห้อง ไม่มีการแตกหักเนื่องจากความร้อนจากการฉาย

5.2 การหาตัวแปรที่เหมาะสมในการกำจัดไข่, ดักแด้ และตัวเต็มวัยของด้วงงวงในข้าวสารและข้าวกล้อง เพื่อจะทำให้ข้อมูลมีความน่าเชื่อถือมากยิ่งขึ้น ทำการทดลองยืนยันผลอีกครั้งที่ ระดับอุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส ความหนาของข้าวสาร 1.5 เซนติเมตร ความเร็วสายพานใช้เวลา 1 นาที 30 วินาที และระยะทางทดสอบฉายรังสี 100 เซนติเมตร กำหนดระยะห่างของหลอดกับข้าวสาร 10 เซนติเมตร พบว่า สามารถกำจัดไข่, ดักแด้ และตัวเต็มวัยของ ด้วงงวงข้าว (Rice Weevil) ได้ผลร้อยละ 100

5.3 คุณภาพข้าวทางกายภาพและเคมี ก่อนฉายและหลังฉายรังสี พบว่า น้ำหนักเมล็ด มีน้ำหนักลดลง 0.01 กรัม อาจเป็นผลมาจากการขัดสีกับระบบตะแกรงคัดแยกข้าวสาร ขนาดรูปร่างเมล็ด ความขาวข้าวสาร และการแตกหัก ไม่มีการเปลี่ยนแปลง ยังอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่ยอมรับได้คุณภาพ ข้าวทางเคมี ก่อนฉายและหลังฉายรังสี พบว่า ความชื้นลดลง ร้อยละ 3.39 แต่โปรตีนเพิ่มขึ้น 0.2 กรัม คิดเป็นร้อยละ 2.96 ไขมันเพิ่มขึ้น 0.1 กรัม คิดเป็นร้อยละ 2.32 คาร์โบไฮเดรตเพิ่มขึ้น 0.11 กรัม คิดเป็นร้อยละ 0.13 เถ้าเพิ่มขึ้น 0.14 กรัม คิดเป็นร้อยละ 51.85 ส่วนเยื่อใยลดลง ยังอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่ยอมรับ

รับได้ และคุณภาพข้าวหุงต้มหลังฉายรังสี พบว่า มีปริมาณอมิโลสเพิ่มขึ้น จากร้อยละ 15.80 เป็น ร้อยละ 16.00 ความคงตัวของแป้งสูกอยู่ในระดับ อ่อน ส่วนอัตราการยืดตัวของข้าวสุกมีค่าเพิ่มขึ้น 0.02 ทำให้เนื้อภายในโปร่งขึ้น ไม่อัดแน่น ช่วยให้ข้าวนุ่มมากขึ้นน่ารับประทาน และกลิ่นหอมไม่เปลี่ยนแปลง

5.4 ประสิทธิภาพของเครื่องฉายรังสีอินฟราเรดเพื่อกำจัดแมลงในข้าวสาร พบว่าเครื่องสามารถทำงานได้ 1 ชั่วโมงเท่ากับ 300 กิโลกรัม

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี และ งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา กทม. 10400

7. เอกสารอ้างอิง (Reference)

- [1] กรมการค้าภายใน กระทรวงพาณิชย์, 2547. สถานการณ์ข้าว. กรุงเทพฯ : กรมการค้าภายใน.
- [2] กรมการค้าต่างประเทศ กระทรวงพาณิชย์, 2547. มาตรฐานข้าวไทยและมาตรฐานข้าวหอมมะลิไทย. นนทบุรี : กรมการค้าต่างประเทศ.
- [3] ชูวิทย์ สุขปรากร และคณะ, 2543. แมลงศัตรูผลผลิตและการป้องกันกำจัด. กรุงเทพฯ : กลุ่มงานวิจัยแมลงศัตรูผลผลิตเกษตร กรมวิชาการเกษตร.
- [4] วิทยา อินทร์สอน, 2550. การพัฒนาใช้รังสีอินฟราเรดเพื่อกำจัดแมลงในข้าวขาวดอกมะลิอินทรีย์105. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรปรัชญาดุษฎีบัณฑิต มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี.
- [5] Chalernporn Rattanakosum, 2000. Financial Cost Benefit Analysis of Natural Chemical Project (Neem Extract) in Thailand. Master's Thesis Chaingmai University.
- [6] Pradit Ramatchima and Thavachai Thivavarnvongs, 2009. The Effects of Paddy Preheating on Insect Elimination and Rice Milling Quality. Degree of Doctor of Philosophy Agriculture Engineering Department Agriculture Engineering Khon Kean University.
- [7] W. Insorn et al., 2009. The Survey of the Hom Mali Rice Disinfestations Method in the Rice Milling Industry of Thailand. Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering Ubonrachathani University,
- [8] Zhongli Pan^a Ragab Khir and Larry D^b, 2007. Feasibility of Simultaneous Rough Rice Drying and Disinfestations by Infrared Radiation Heating and Rice Milling Quality.
^a Processed Foods Research Unit. USDA-ARS-WRRC. 800 Buchanan St., Albany C.A 94710, USA.
^b Biological and Agricultural Engineering Department, University of California. Davis. One Shields Avenue. Davis. CA 95616. USA.

การศึกษาสมรรถนะการทำงานของแผ่นซับน้ำที่ทำจากใยแก้วกรองน้ำและมุ้ง Performance study of cooling pads made from Glass fiber filter and Mosquito net

บรรเจิด โปฏกรัตน์*, บัญญัติ นิยมवास, เสรี ทองชุม

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

อ.เมือง จ.สงขลา 90000

pbnjerd@gmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณลักษณะการทำงานของแผ่นซับน้ำของเครื่องทำความเย็นแบบระเหยความชื้น โดยจะทำการศึกษาแผ่นซับน้ำที่ทำจากใยแก้วกรองน้ำ และมุ้งกันยุง โดยจะทำการทดลองที่สามค่าความเร็วรอบของพัดลมเป่าอากาศ คือ 725, 1015 และ 1450 รอบต่อนาที อัตราการไหลของน้ำเท่ากับ 28.34 ลิตรต่อนาที โดยพบว่า ค่าเฉลี่ยของความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างทางเข้าและทางออก เท่ากับ 1.79 และ 1.34 องศาเซลเซียส สำหรับแผ่นซับน้ำที่ทำจากใยแก้วกรองน้ำ และ มุ้ง ตามลำดับ ค่าประสิทธิภาพการอิมตัวของแผ่นซับน้ำที่ทำจากใยแก้วกรองน้ำ พบว่ามีค่าระหว่าง 51.2 – 87.5 % หรือคิดเป็นค่าเฉลี่ยเท่ากับ 72.2 % และมุ้งมีประสิทธิภาพการอิมตัวระหว่าง 42.3 – 50.6 % หรือคิดเป็นค่าเฉลี่ยเท่ากับ 46.8 %

คำสำคัญ(Key word): เครื่องทำความเย็นแบบระเหยความชื้น; แผ่นซับน้ำ; ใยแก้วกรองน้ำ; มุ้ง

Abstract

Aim of this research has to study performance of evaporative cooler by studying cooling pad made from glass fiber filter and mosquito net by experimenting at three speeds of a blower which are 725, 1015 and 1450 RPM and the water flow rate is 28.34 liter per minute. It is found that the average of the temperature difference between the entrance and the exit is at 1.79 and 1.34 degree celsius for the glass fiber filter and mosquito net, respectively. The saturation efficiency of the cooling pad made from glass fiber filter is found to have the value between 51.2 – 87.5 % or to have the average of 72.2 % and has the value between 42.3 – 50.6 % or to have the average of 46.8 for mosquito net.

Key word: Evaporative cooler; cooling pad; glass fiber filter;
Mosquito net

* บรรเจิด โปฏกรัตน์

1. บทนำ

เครื่องทำความเย็นแบบระเหยความชื้น (Evaporative cooler) เป็นเครื่องทำความเย็นที่สามารถสร้างความเย็นได้โดยการดูดอากาศผ่านแผ่นซับน้ำ (cooling pad) ซึ่งมีน้ำไหลผ่านอยู่ตลอดเวลา ทำให้อากาศที่มีอุณหภูมิสูง และมีค่าความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ เมื่อไหลผ่านแผ่นซับน้ำดังกล่าวออกมาแล้วจะทำให้เป็นอากาศที่มีอุณหภูมิต่ำ และมีค่าความชื้นสัมพัทธ์สูงขึ้น ซึ่งสามารถจะทำความเย็นให้กับบริเวณที่กำหนดได้

เครื่องทำความเย็นแบบระเหยความชื้น เป็นเครื่องทำความเย็นที่มีข้อดีเหนือกว่าเครื่องทำความเย็นแบบอัดไอ (vapor compression refrigeration) โดยเครื่องทำความเย็นแบบระเหยความชื้นนี้มีคุณสมบัติที่สำคัญดังนี้คือ 1. เป็นระบบทำความเย็นที่ไม่ใช้สารทำความเย็น แต่ใช้น้ำ ทำให้เครื่องทำความเย็นแบบนี้เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม 2. ไม่ส่งเสียงดังเหมือนเครื่องทำความเย็นแบบอัดไอ 3. ใช้กระแสไฟฟ้าน้อยกว่าเครื่องทำความเย็นแบบอัดไอ และ 4. ง่ายต่อการบำรุงรักษา เพราะมีอุปกรณ์น้อยชิ้นกว่านั่นเอง แต่อย่างไรก็ตามในการใช้งานควรใช้เครื่องทำความเย็นแบบระเหยความชื้นกับพื้นที่เปิดโล่ง เนื่องจากหากใช้กับห้องที่ปิดมิดชิดจะทำให้ความชื้นภายในห้องเพิ่มสูงขึ้นจนผู้อยู่อาศัยจะรู้สึกไม่สบายตัว

Faleh [1] ได้ศึกษาสมรรถนะของการทำความเย็นของเครื่องทำความเย็นแบบระเหยความชื้นโดยใช้แผ่นซับน้ำที่ทำจากวัสดุ jute, luffa, commercial cooling pad และ palm fiber โดยทำการทดลองที่ความเร็วไหลผ่านแผ่นซับน้ำเท่ากับ 2.4 เมตรต่อวินาที พบว่าแผ่นซับน้ำที่ทำจากวัสดุต่างๆ ให้ค่าประสิทธิภาพการอัดตัว ดังต่อไปนี้คือ 62.1 % สำหรับ jute, 55.1% สำหรับ luffa, 49.5% สำหรับ commercial pad และ 38.9 % สำหรับ palm fiber

ศิษฐ์กันต์ แคนลา [2] ได้ศึกษาแผ่นซับน้ำที่ทำมาจากเส้นใยมะพร้าว และเซลลูโลส โดยแผ่นซับน้ำมีขนาด 30 x 30 ตารางเซนติเมตร ผลการทดลองสรุปได้ว่า แผ่นซับน้ำที่ทำจากใยมะพร้าวแบบแผ่นทึบที่มีความหนา 5 เซนติเมตร ให้ค่าประสิทธิภาพการอัดตัวต่ำกว่าแผ่นซับน้ำที่ทำจากเซลลูโลสหนา 5 เซนติเมตร อยู่ในช่วง 5 – 8 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อแผ่นซับน้ำที่ทำจากใยมะพร้าวแบบแผ่นทึบที่มีความหนา 10 เซนติเมตร ให้ค่าประสิทธิภาพการอัดตัวสูงกว่าแผ่นซับน้ำที่ทำจากเซลลูโลสหนา 5 เซนติเมตร อยู่ในช่วง 12– 18 เปอร์เซ็นต์

บัญญัติ และ บรรเจิด [3] ได้ศึกษาสมรรถนะการทำงานของเครื่องทำความเย็นแบบระเหยความชื้น โดยใช้แผ่นซับน้ำที่ทำจากเชือกฟาง และ กระสอบป่าน โดยมีอัตราการไหลของน้ำเท่ากับ 26.9 ลิตรต่อวินาที ขนาดของแผ่นซับน้ำคือ 0.55 x 0.55 ตารางเมตร ผลการทดลองพบว่าค่าประสิทธิภาพการอัดตัวของแผ่นซับน้ำที่ทำจากเชือกฟาง พบว่ามีค่าระหว่าง 33.2 – 39.4 % หรือคิดเป็นค่าเฉลี่ยเท่ากับ 35.76 % และมีค่าระหว่าง 31.2 – 54.8 % หรือคิดเป็นค่าเฉลี่ยเท่ากับ 45.16 % สำหรับกระสอบป่าน

Nitipong [4] ได้ศึกษาแผ่นซับน้ำที่ทำมาจาก rice husk และ recycled HDPE โดยใช้ตะแกรงขนาด 0.5 เมตร x 0.5 เมตร ประกอบกัน สองแผ่นแล้วบรรจุเอาไว้ด้วย rice husk และ recycled HDPE ทำการทดลองที่ค่าความเร็วลมเท่ากับ 1, 2 และ 3 เมตรต่อวินาที โดยได้ค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการอัดตัวของแผ่นซับน้ำที่ทำมาจาก rice husk เป็น 55.9% และ 29.1 % สำหรับแผ่นซับน้ำที่ทำมาจาก recycled HDPE

Kulkarni [5] ได้ศึกษาแผ่นซับน้ำ 4 ชนิด คือ Aspen fiber , Rigid Cellulose, Corrugated paper และ HDPE โดยทำการทดลองที่อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศ เท่ากับ 0.3 – 1.25 กิโลกรัมต่อวินาที และแผ่นซับน้ำมีขนาด 0.6 เมตร x 0.6 เมตร พบว่าค่า ประสิทธิภาพการอัดตัวของ Aspen fiber เท่ากับ 87.5 - 93.7 % ของ Rigid Cellulose เท่ากับ 77.5 - 86.2 % ของ Corrugated paper เท่ากับ 80.2 – 88.4% และ 81.9 – 89.7 % สำหรับ HDPE

การวิจัยครั้งนี้จะทำการศึกษาแผ่นซับน้ำของเครื่องทำความเย็นแบบระเหยความชื้นโดยจะศึกษาวัสดุ 2 ชนิด คือ โยแก้วกรองน้ำ และ มุ้งกันยุง โดยจะใช้ค่าประสิทธิภาพการอัดตัว (Saturation Efficiency) ในการเปรียบเทียบสมรรถนะของแผ่นซับน้ำที่ทำจากวัสดุทั้งสอง

2. อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

2.1 อุปกรณ์

เครื่องทำความเย็นแบบระเหยความชื้นที่ได้สร้างขึ้นมีทางเข้า 3 ทาง และทางออก 1 ทาง โดยสามารถติดตั้งแผ่นซับน้ำได้จำนวน 3 ชุด ที่บริเวณทางเข้า ขนาดของแผงสำหรับติดตั้งแผ่นซับน้ำคือ 0.55 เมตร x 0.55 เมตร ติดตั้งชุดปั๊มน้ำที่มีอัตราการไหลสูงสุด 40 ลิตรต่อนาที และสร้างเฮดได้สูงสุด 40 เมตร มีขนาดกำลังไฟฟ้า 0.5 แรงม้า และติดตั้ง เครื่องเป่าอากาศขนาด 0.5 แรงม้า วัสดุที่ใช้ทำแผ่นซับน้ำมี 2 ชนิดคือ โยแก์กรองน้ำ และ มุ้งกันยุง โดยมีการจัดวางอุปกรณ์ต่างๆ ของเครื่องทำความเย็นแบบระเหยความชื้นที่ได้สร้างขึ้น แสดงได้ดังภาพที่ 1 ต่อไปนี้



ภาพที่ 1 การจัดวางอุปกรณ์ของชุดทดลอง

เครื่องวัดความเร็วลมมีช่วงการวัดคือ 0.4 – 30.0 เมตรต่อวินาที มีค่าความคลาดเคลื่อน $\pm (2\% \text{ rdg} + 1 \text{ m/s})$ เครื่องวัดอุณหภูมิมีช่วงการวัดคือ – 50 ถึง 1,350 องศาเซลเซียส มีค่าความคลาดเคลื่อน $\pm (0.3\% \text{ rdg} + 1^\circ\text{C})$ และเครื่องวัดความชื้นสัมพัทธ์มีช่วงการวัดคือ 5% RH to 98%RH มีค่าความคลาดเคลื่อน $\pm 3\%$ (30 to 98% RH) และเครื่องปรับความเร็วรอบ (Inverter) ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับปรับความเร็วรอบของมอเตอร์เครื่องเป่าอากาศ ใช้ยี่ห้อ Altivar รุ่น ATV31 การติดตั้งแผ่นซับน้ำที่ทำจากวัสดุทั้งสองชนิดคือ โยแก์กรองน้ำ และ มุ้งกันยุง แสดงได้ดังภาพที่ 2 และ 3 นี้



ภาพที่ 2 แผ่นซับน้ำที่ทำจากโยแก์กรองน้ำ



ภาพที่ 3 แผ่นซับน้ำที่ทำจากมุ้งกันยูง

2.2 วิธีการทดลอง

การทดลองเริ่มโดยการเติมน้ำลงในถังด้านล่าง หลังจากนั้นติดตั้งแผ่นซับน้ำที่ทำจากใยแก้วกรองน้ำ เมื่อติดตั้งชุดทดลองเรียบร้อยแล้ว ทำการเปิดปั๊มน้ำให้ทำงาน และเปิดวาล์วควบคุมอัตราการไหลจนสุด สามารถวัดอัตราการไหลของน้ำ ได้เท่ากับ 26.9 ลิตรต่อนาที ปรับความเร็วรอบของมอเตอร์ไฟฟ้าขับ เครื่องเป่าอากาศ โดยทราบว่าเมื่อค่าความถี่ของกระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับมอเตอร์มีค่า 50 เฮิร์ตซ์ มอเตอร์จะหมุนที่ความเร็วรอบ 1450 รอบต่อนาที ดังนั้นจึงดำเนินการทดลองค่าแรก โดยปรับค่าความถี่ของกระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับมอเตอร์ไปที่ 25 เฮิร์ตซ์ ซึ่งจะทำให้ มอเตอร์หมุนที่ความเร็วรอบ 725 รอบต่อนาที หลังจากนั้นปล่อยให้ชุดทดลองทำงานเป็นเวลา 15 นาที จึงทำการวัดค่าต่างๆ ดังนี้คือ อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่ทางเข้าทั้งสามด้าน และทางออก และความเร็วลมที่ทางออก หลังจากนั้นทำการทดลองที่ 35 เฮิร์ตซ์ (มอเตอร์หมุนที่ความเร็วรอบ 1,015 รอบต่อนาที) และ 50 เฮิร์ตซ์ (มอเตอร์หมุนที่ความเร็วรอบ 1,450 รอบต่อนาที) ตามลำดับ หลังจากนั้นจึงทำการทดลองซ้ำอีกครั้งกับแผ่นซับน้ำที่ทำจาก มุ้งกันยูง

ค่าประสิทธิภาพการอิ่มตัว [6] (Saturation Efficiency) ซึ่งใช้สำหรับการเปรียบเทียบสมรรถนะของแผ่นซับน้ำ จะหาได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$\eta = \left(\frac{T_1 - T_2}{T_1 - T_{wb}} \right) \times 100\% \quad (1)$$

เมื่อ

η = ประสิทธิภาพการอิ่มตัว (%)

T_1 = อุณหภูมิกระเปาะแห้ง ของอากาศทางเข้า (องศาเซลเซียส)

T_2 = อุณหภูมิกระเปาะแห้ง ของอากาศทางออก (องศาเซลเซียส)

T_{wb} = อุณหภูมิกระเปาะเปียก ของอากาศทางเข้า (องศาเซลเซียส)

3. ผลการทดลอง

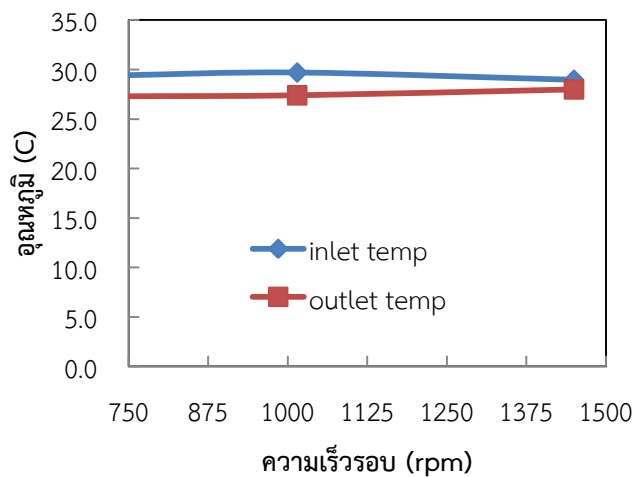
จากผลการทดลองสามารถนำมาแสดงค่าได้ดังตารางที่ 1 ต่อไปนี้

ตารางที่ 1 ผลการทดลอง

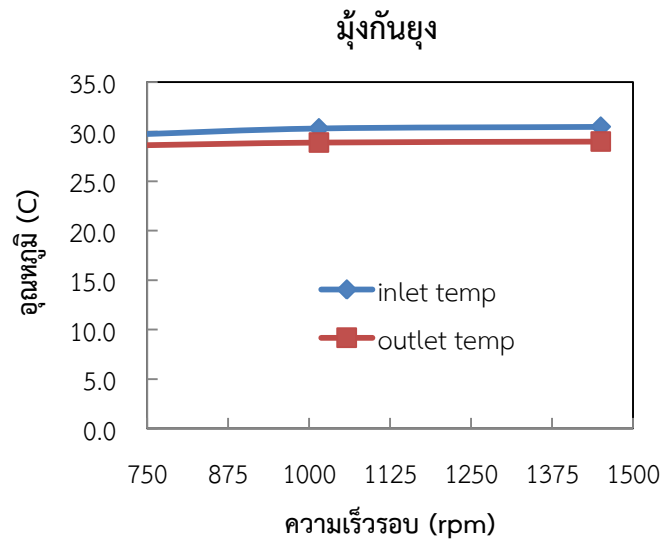
	HZ	RPM	ค่าเฉลี่ยทางเข้า			ทางออก			η (%)
			T_1 (c°)	T_{wb} (C)	%RH	T_2 (c°)	%RH	V (m/s)	
ใยแก้วกรองน้ำ	25	725	29.4	26.7	80.3	27.3	99.9	10.4	77.8
	35	1015	29.7	27.1	81.5	27.4	99.9	14.7	87.5
	50	1450	29.0	27.1	86.1	28.0	94.5	21.6	51.2
มุ้งกันยุง	25	725	29.7	27.1	81.1	28.6	93.8	10	42.3
	35	1015	30.3	27.5	80.0	28.9	91.6	14.5	50.6
	50	1450	30.5	27.4	78.4	29	89.9	20.5	47.6

จากตารางที่ 1 นำข้อมูลผลการทดลองมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศระหว่างทางเข้าและทางออกของแผ่นซับน้ำที่ทำจากใยแก้วกรองน้ำและมุ้งกันยุง แสดงได้ดังภาพที่ 4 และ 5 ต่อไปนี้

ใยแก้วกรองน้ำ



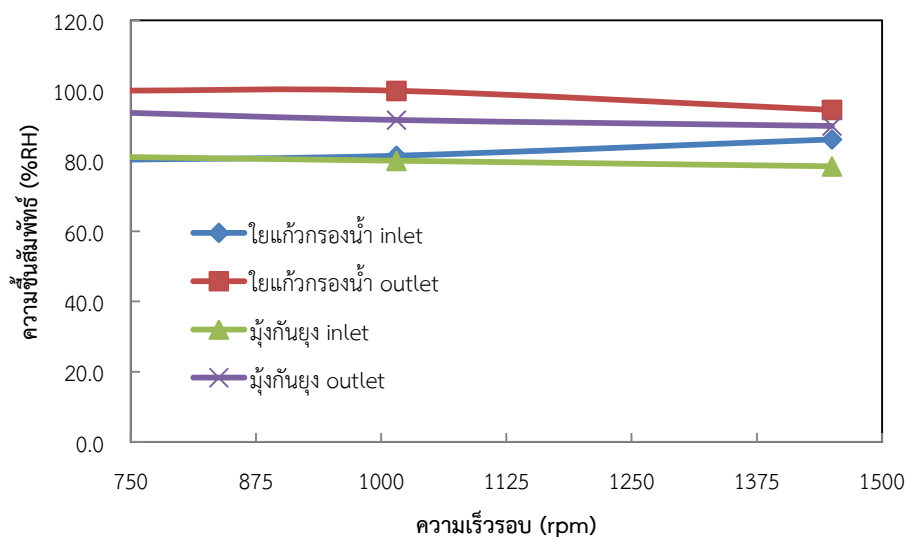
ภาพที่ 4 ความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างทางเข้าและทางออกของแผ่นซับน้ำที่ทำจากใยแก้วกรองน้ำ



ภาพที่ 5 ความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างทางเข้าและทางออกของแผ่นซับน้ำที่ทำจากมุ้งกันยุง

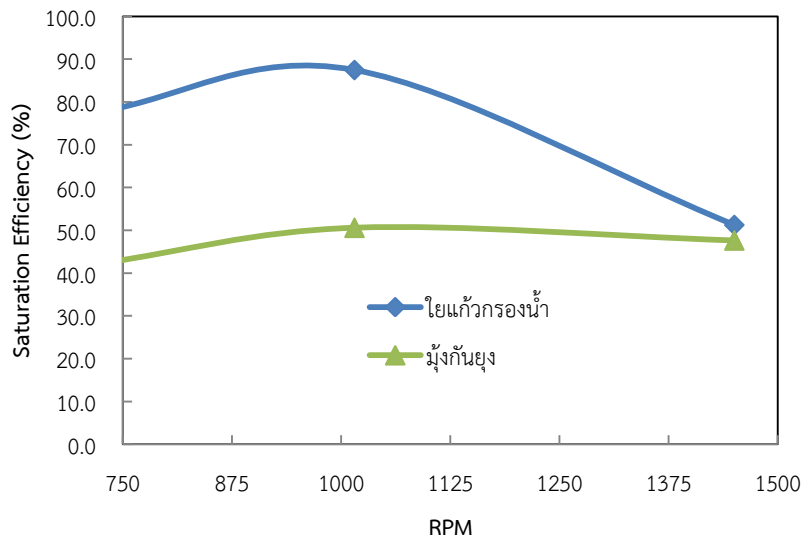
จากภาพที่ 4 และ 5 ซึ่งแสดงความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างทางเข้าและทางออก พบว่าความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างทางเข้าและทางออกของแผ่นซับน้ำที่ทำจากใยแก้วกรองน้ำมีค่าแตกต่างจากแผ่นซับน้ำที่ทำจากมุ้งกันยุง โดยมีค่าเฉลี่ยของความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างทางเข้าและทางออก เท่ากับ 1.79 องศาเซลเซียส และ 1.34 องศาเซลเซียส สำหรับใยแก้วกรองน้ำและ มุ้งกันยุง ตามลำดับ

ค่าความชื้นสัมพัทธ์ (%RH) ของอากาศที่ทางเข้าและทางออกของแผ่นซับน้ำทั้งสองชนิดที่ความเร็วรอบต่างๆ สามารถแสดงได้ดังภาพที่ 6 ต่อไปนี้



ภาพที่ 6 ค่าความชื้นสัมพัทธ์ (%RH) ของอากาศที่ทางเข้าและทางออกของแผ่นซับน้ำทั้งสองชนิด

จากภาพที่ 6 ซึ่งแสดงความแตกต่างของค่าความชื้นสัมพัทธ์ (%RH) ของอากาศระหว่างทางเข้าและทางออก พบว่าความแตกต่างของค่าความชื้นสัมพัทธ์ (%RH) ของอากาศระหว่างทางเข้าและทางออกของแผ่นซับน้ำที่ทำจากใยแก้วกรองน้ำมีค่าแตกต่างจากแผ่นซับน้ำที่ทำจากมุ้งกันยูง โดยมีค่าเฉลี่ยของความแตกต่างของค่าความชื้นสัมพัทธ์ (%RH) ของอากาศระหว่างทางเข้าและทางออก เท่ากับ 15.49 %RH และ 11.91 %RH สำหรับใยแก้วกรองน้ำและ มุ้งกันยูง ตามลำดับ โดยค่าประสิทธิภาพการอ้อมตัวของแผ่นซับน้ำทั้งสองชนิดที่ความเร็วรอบต่างๆ สามารถแสดงได้ดังภาพที่ 7 ต่อไปนี้



ภาพที่ 7 ค่าประสิทธิภาพการอ้อมตัว

จากตารางที่ 1 และ ภาพที่ 7 พบว่าค่าประสิทธิภาพการอ้อมตัวของแผ่นซับน้ำที่ทำจากใยแก้วกรองน้ำ มีค่าระหว่าง 51.2 – 87.5 % หรือคิดเป็นค่าเฉลี่ยเท่ากับ 72.2 % และมีค่าระหว่าง 42.3 – 50.6 % หรือคิดเป็นค่าเฉลี่ยเท่ากับ 46.8 % สำหรับมุ้งกันยูง

4. อภิปรายผล

จากภาพที่ 7 และ ภาพที่ 6 พบว่าค่าประสิทธิภาพการอ้อมตัวหรือ Saturation Efficiency ของวัสดุที่ใช้ทำแผ่นซับน้ำจากใยแก้วกรองน้ำจะมีค่าที่สูงกว่ามุ้งกันยูง อันเนื่องมาจากลักษณะทางกายภาพของวัสดุ กล่าวคือใยแก้วกรองน้ำจะมีความสามารถในการอ้อมน้ำได้ดีกว่ามุ้งกันยูง จึงทำให้ความชื้นสัมพัทธ์ที่ทางออกของใยแก้วกรองน้ำมีค่าสูงกว่าของมุ้งกันยูง ในขณะที่ความชื้นสัมพัทธ์ที่ทางเข้ามีค่าใกล้เคียงกัน

เมื่อมีการเพิ่มความเร็วรอบของเครื่องเป่าอากาศโดยการปรับค่าความถี่ของกระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับมอเตอร์ พบว่าค่าประสิทธิภาพการอ้อมตัวของทั้งใยแก้วกรองน้ำและมุ้งกันยูงมีแนวโน้มที่จะให้ค่าที่ดีที่สุดเมื่อเครื่องเป่าอากาศทำงานที่ความเร็วรอบ 1015 รอบต่อนาที โดยค่าประสิทธิภาพการอ้อมตัวของใยแก้วกรองน้ำมีค่าเท่ากับ 87.5 % และ 50.6 % สำหรับมุ้งกันยูง

จากผลการทดลองพบว่าค่าประสิทธิภาพการอ้อมตัวของใยแก้วกรองน้ำที่มีค่าอยู่ในช่วง 51.2 – 87.5 % หรือคิดเป็นค่าเฉลี่ยเท่ากับ 72.2 % มีค่าที่สูงกว่า jute [1] ที่ 62.1 %, luffa [1] ที่ 55.1 %, commercial pad [1] ที่ 49.5 %, palm fiber [1] ที่ 38.9 %, เชือกฟาง [3] ที่ 35.76 %, กระสอบป่าน [3] ที่ 45.16 %, rice husk [4] ที่ 55.9 % และ recycled HDPE [4] ที่ 29.1 % แต่มีค่าต่ำกว่า aspen fiber [5] ที่ 87.5 – 93.7 %, rigid cellulose [5] ที่ 77.5 – 86.2 % , corrugated paper ที่ 80.2 – 88.4 % และ HDPE ที่ 81.9 – 89.7 %

5. สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่าเครื่องทำความเย็นแบบระเหยความชื้นที่แผ่นซับน้ำทำจากใยแก้วร่อนน้ำ มีค่าประสิทธิภาพการอิมตัวเฉลี่ยเท่ากับ 72.2% มีสมรรถนะที่ดีกว่าแผ่นซับน้ำที่ทำจากมุ้งกันยุง ซึ่งมีค่า ประสิทธิภาพการอิมตัวเฉลี่ยเท่ากับ 46.8 %

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ขอขอบคุณ นายอภิมุข ไชยสุวรรณ นายอดิमान คำสง และ นายวิทยา วุฒิ นักศึกษาสาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะ วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย ในการทำหน้าที่เป็นผู้ช่วยวิจัย

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] Faleh Al-Sulaiman. Evaluation of the performance of local fibers in evaporative cooling. Energy Conversion and Management 43 (2002), p. 2267-2273
- [2] ศิษฐ์ภัณฑ์ แคนลา, 2555. คุณลักษณะทางสมรรถนะของแผ่นทำความเย็นแบบระเหยต้นแบบใยมะพร้าว. การประชุม วิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 26, ตุลาคม 2555 จังหวัดเชียงราย.
- [3] บัญญัติ นิยมवास และ บรรเจิด โปฏกรัตน์, 2556. การศึกษาสมรรถนะของแผ่นซับน้ำที่ทำจากเชือกฟางและกระสอบ ป่าน. วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. ปีที่ 8 ฉบับที่ 1. หน้า 10 – 15.
- [4] Nitipong Soponpongpiat and Sukum Kositchaimongkol, 2011. Recycled High-Density Polyethylene and Rice Husk as a Wetted Pad in Evaporative Cooling System. American Journal of Applied Sciences. Vol. 8(2), p. 186-191.
- [5] R.K.Kulkarni, S.P.S. Rajput, 2011. Comparative performance of evaporative cooling pads of alternative materials. International Journal of Advanced Engineering Sciences and Technologies Vol. 10, Issue No. 2, p. 239 – 244.
- [6] J.R. Watt and W.K. Brown, 1997. Evaporative Air Conditioning Handbook, 3rd ed. The Fairmount Press Inc.

ความเป็นไปได้ของการเพิ่มความบริสุทธิ์ของเอทานอลด้วยการดูดซับด้วยฟางข้าวร่วมการค้า Ethanol purification by a combination of rice straw/commercial adsorbents

เอกลักษณ์ เลื่องสุนทร^{1*}, นุรักษ์ กฤษดานุรักษ์²

¹ นักศึกษาระดับปริญญาตรี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ปทุมธานี 12120
Chinjung_freeman@hotmail.com

² รองศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ปทุมธานี 10120
gnurak@engr.tu.ac.th

บทคัดย่อ

การสนับสนุนการใช้ แก๊สโซฮอลล์ มีผลต่อคุณภาพของเอทานอลที่จะถูกนำมาใช้ผสมลงในองค์ประกอบของน้ำมัน ซึ่งจำเป็นต้องมีความบริสุทธิ์อย่างน้อย 99.5% โดยปริมาตร เป็นที่เข้าใจดีว่าเอทานอลที่ผลิตได้จากกระบวนการหมักหรือกระบวนการไฮเดรชันของมีเทน จะมีองค์ประกอบของน้ำปนเปื้อน ทำให้ยากต่อการกลั่นแยกเนื่องจากองค์ประกอบของสารผสมเอทานอล-น้ำ มีความเป็นอะซิโโทรป การแยกน้ำออกจากองค์ประกอบเอทานอล-น้ำ จึงถูกนำมาศึกษา โดยอาศัยกระบวนการดูดซับโดยตัวดูดซับสังเคราะห์ประเภทซีโอไลต์ ในสถานะแก๊ส ในที่นี้ได้ทดสอบการดูดซับโดยนำซีโอไลต์-ฟางข้าวมาเป็นตัวดูดซับโดยตรง ซึ่งมีองค์ประกอบของซิลิกาประกอบอยู่จะทำหน้าที่ดูดซับน้ำออกจากองค์ประกอบเอทานอล-น้ำ เพื่อเพิ่มความบริสุทธิ์ของเอทานอล เทียบกับตัวดูดซับทางการค้าซีโอไลต์ โดยมีขอบเขตการศึกษาคืออุณหภูมิระเหย 79 องศาเซลเซียส อุณหภูมิการดูดซับ 90 องศาเซลเซียส พบว่าฟางข้าวมีความสามารถในการดูดซับที่ค่อนข้างต่ำ คือสามารถเพิ่มความบริสุทธิ์ของเอทานอลจาก 88.9% ไปเป็น 90.5% (ต่อตัวดูดซับฟางข้าว 7 กรัม) และพบว่า การนำฟางข้าวรวมกับซีโอไลต์จะสามารถยืดเวลาการใช้งานของซีโอไลต์ออกไปได้สูงขึ้น 27%

คำสำคัญ : เอทานอล; การดูดซับ; การเพิ่มความบริสุทธิ์ของเอทานอล

Abstract

Gasohol consumption has been increased dramatically. High pure ethanol (99.5% vol) therefore is in demand. As known, ethanol, produced through both fermentation and methane hydration, always contains water as its azeotropic property. It causes some difficulty for the purification. Adsorption under very low cost biomass (rice straws) is then interested. This work has been done in gaseous phase separation. Two parameters of evaporative temperature (70-90°C) and adsorption temperature (70-90°C) were investigated. It was found that rice straws were not suitable for the adsorption. It could increase the purity from 88 to 91% under the study range. However, the combination of rice straw and commercial adsorbent could be possible. In this case, commercial adsorbent breakthrough time could be extended ca. 27% longer.

Key word: Ethanol; Adsorption; Ethanol Purification

* เอกลักษณ์ เลื่องสุนทร

1. บทนำ (Introduction)

เอทานอล หรือ เอทิลแอลกอฮอล์ (ethanol, ethyl alcohol) มีสูตรเคมี C_2H_5OH เป็นแอลกอฮอล์ชนิดหนึ่งที่มีลักษณะเป็นของเหลวใส ไม่มีสี ส่วนใหญ่ได้จากการหมักพืชผลการเกษตรที่มีแป้งและน้ำตาลสูง เช่น อ้อย มันสำปะหลัง ข้าวโพด เพื่อนำไปผลิตอาหาร เครื่องดื่มแอลกอฮอล์ ตัวทำละลายในอุตสาหกรรมเครื่องสำอาง ยา และใช้เป็นเชื้อเพลิง เป็นต้น และสำหรับการผลิตเอทานอลเป็นเชื้อเพลิงในประเทศไทย ส่วนใหญ่ผลิตจากอ้อย และมันสำปะหลัง ซึ่งเป็นวัตถุดิบจากภายในประเทศที่มีศักยภาพในการผลิตเอทานอลสูง

โดยทั่วไปเอทานอลสามารถผลิตผ่านการสังเคราะห์ผ่านองค์ประกอบปิโตรเคมี และการหมัก ซึ่งในกรรมวิธีดังกล่าวจะมีผลิตภัณฑ์ร่วมคือน้ำ และเพื่อให้ได้ความบริสุทธิ์สูงการแยกน้ำออกจากเอทานอล จึงมีความสำคัญ โดยที่เอทานอลที่นำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงได้นั้นจะต้องเป็นเอทานอลที่ถูกกำจัดน้ำออกจนเกือบหมด โดยมีความบริสุทธิ์มากกว่าหรือเท่ากับ 99.5% โดยจะนำไปผสมกับน้ำมันเบนซิน 10% 20% และ 85% หรือที่เรียกว่าแก๊สโซฮอล์ E10 E20 และ E85 ตามลำดับ เพื่อเพิ่มค่าออกเทนในน้ำมันเบนซิน ทดแทนสาร MTBE (Methyl Tertiary Butyl Ether; MTBE) ซึ่งเป็นสารเพิ่มค่าออกเทนเดิมที่ก่อปัญหามลพิษในดิน แหล่งน้ำ และอาหาร จากการรั่วไหล การเผาไหม้เชื้อเพลิงบนท้องถนน และระเหยสู่อากาศโดยตรง ที่เป็นอันตรายรุนแรงต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อม [1]

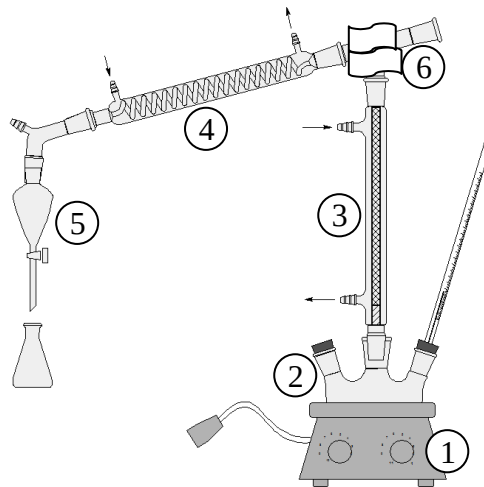
เอทานอลมีจุดเดือดที่ $78.4^{\circ}C$ ขณะที่น้ำมีจุดเดือดที่ $100^{\circ}C$ แต่ของผสมระหว่างสารทั้งสองชนิดจะมีจุดเดือดร่วมที่ $78.2^{\circ}C$ ซึ่งต่ำกว่าจุดเดือดของสารแต่ละชนิด จึงมีพฤติกรรมเรียกว่า อะซีโอโทรป หมายถึง $78.2^{\circ}C$ คืออุณหภูมิต่ำสุดที่สารละลายเอทานอล-น้ำจะสามารถเดือดได้ และเมื่ออะซีโอโทรปเดือดบางส่วน ไอที่ได้จะเป็นอัตราส่วนเดียวกันกับของเหลวผสมเริ่มต้น เนื่องจากองค์ประกอบไม่ถูกเปลี่ยนแปลงโดยการเดือดบางส่วน อะซีโอโทรป เรียกอีกอย่างว่า Constant-boiling mixture ซึ่งการแยกสารโดยการกลั่นแบบดั้งเดิมไม่สามารถเป็นไปได้ สารละลายเอทานอล-น้ำ เกิด อะซีโอโทรป มีจุดเดือดต่ำสุดที่มีองค์ประกอบของเอทานอล 89.4 mol% และน้ำ 10.6 mol% ณ ความดันบรรยากาศมาตรฐาน ดังนั้นสารละลายเอทานอล-น้ำเจือจางที่ผลิตโดยกระบวนการหมักสามารถถูกควบคุมอย่างต่อเนื่องให้ได้สารละลายที่ดีที่สุดที่ประกอบด้วยเอทานอล 89.4 mol% ที่ความดันบรรยากาศมาตรฐาน ขณะที่ความต้องการความบริสุทธิ์ในการใช้งานด้านพลังงานต้องการความเข้มข้นของเอทานอลสุทธิที่ 99.5 wt% จึงมีความจำเป็นที่จะต้องหาวิธีการในการแยกส่วนประกอบอะซีโอโทรปออก

การเพิ่มความบริสุทธิ์ของเอทานอลโดยวิธีดูดซับโดยตัวดูดซับ เป็นวิธีที่ได้รับความนิยมในเชิงพาณิชย์ เนื่องจากใช้พลังงานระหว่างกระบวนการค่อนข้างต่ำ โดยอาศัยหลักความแตกต่างระหว่างโมเลกุล โดยในเชิงพาณิชย์ใช้ 3A ซีโอไลต์ (Zeolite) เป็นตัวดูดซับ ซึ่งจะสามารถจับโมเลกุลของน้ำซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 0.28 นาโนเมตร โดยที่จะไม่ดูดซับโมเลกุลของเอทานอลซึ่งมีขนาดใหญ่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 0.44 นาโนเมตร [2]

ในงานวิจัยนี้จึงสนใจตัวดูดซับที่เป็นชีวมวล จากแนวคิดที่ว่าตัวดูดซับที่เป็นกลุ่มที่ได้จากชีวมวล (Biomass) อาจสามารถนำไปใช้ในการหมักไบโอเอทานอลได้อีกครั้ง ซึ่งหากเป็นไปได้จะเป็นการลดขั้นตอนการหมักได้เนื่องจาก ไอน้ำที่ถูกใช้เพื่อประโยชน์ในระบบ โดยจะทำการศึกษาเบื้องต้นของความสามารถของฟางข้าวในการเพิ่มความบริสุทธิ์ของไบโอเอทานอล และวิเคราะห์ถึงความเป็นไปได้ที่จะใช้ฟางข้าวเป็นตัวดูดซับร่วมกับตัวดูดซับทางการค้า

2. วิธีวิจัย (Research Methodology)

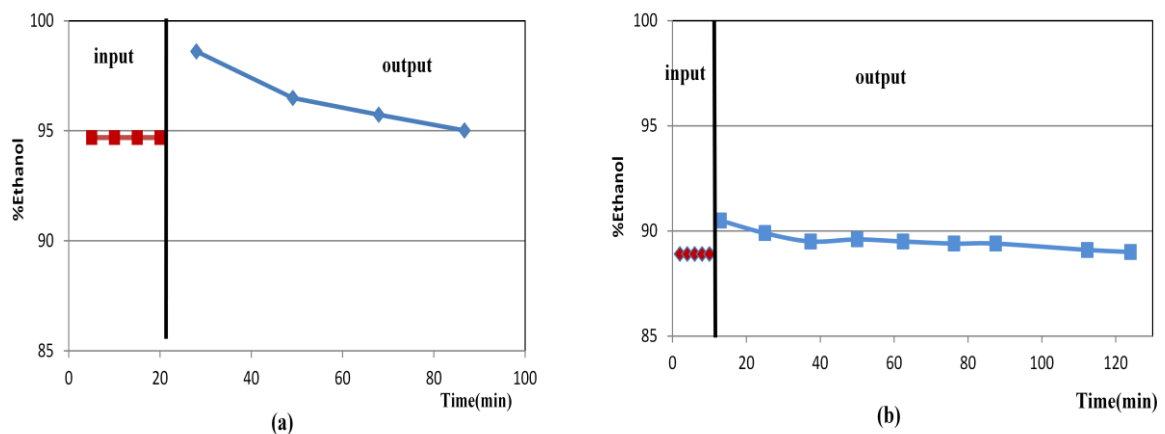
ศึกษาและออกแบบการทดลอง การเพิ่มความบริสุทธิ์ของไบโอเอทานอลด้วยกระบวนการดูดซับ ต้องกระทำในสภาวะไอ [3]



ภาพที่ 1 ระบบสำหรับการทดลอง (1) Waterbath; (2) Ethanol storage 250 mL; (3) Packed column; (4) Condenser; (5) Sample channel; (6) Heating tape

ทำการทดลองเพื่อทดสอบความสามารถในการเพิ่มความบริสุทธิ์ของไบโอเอทานอลของฟางข้าว จากนั้นนำผลที่ได้มาประเมินถึงความเป็นไปได้ ในการใช้ฟางข้าวเป็นตัวดูดซับร่วมกับตัวดูดซับทางการค้า ในเชิงพาณิชย์

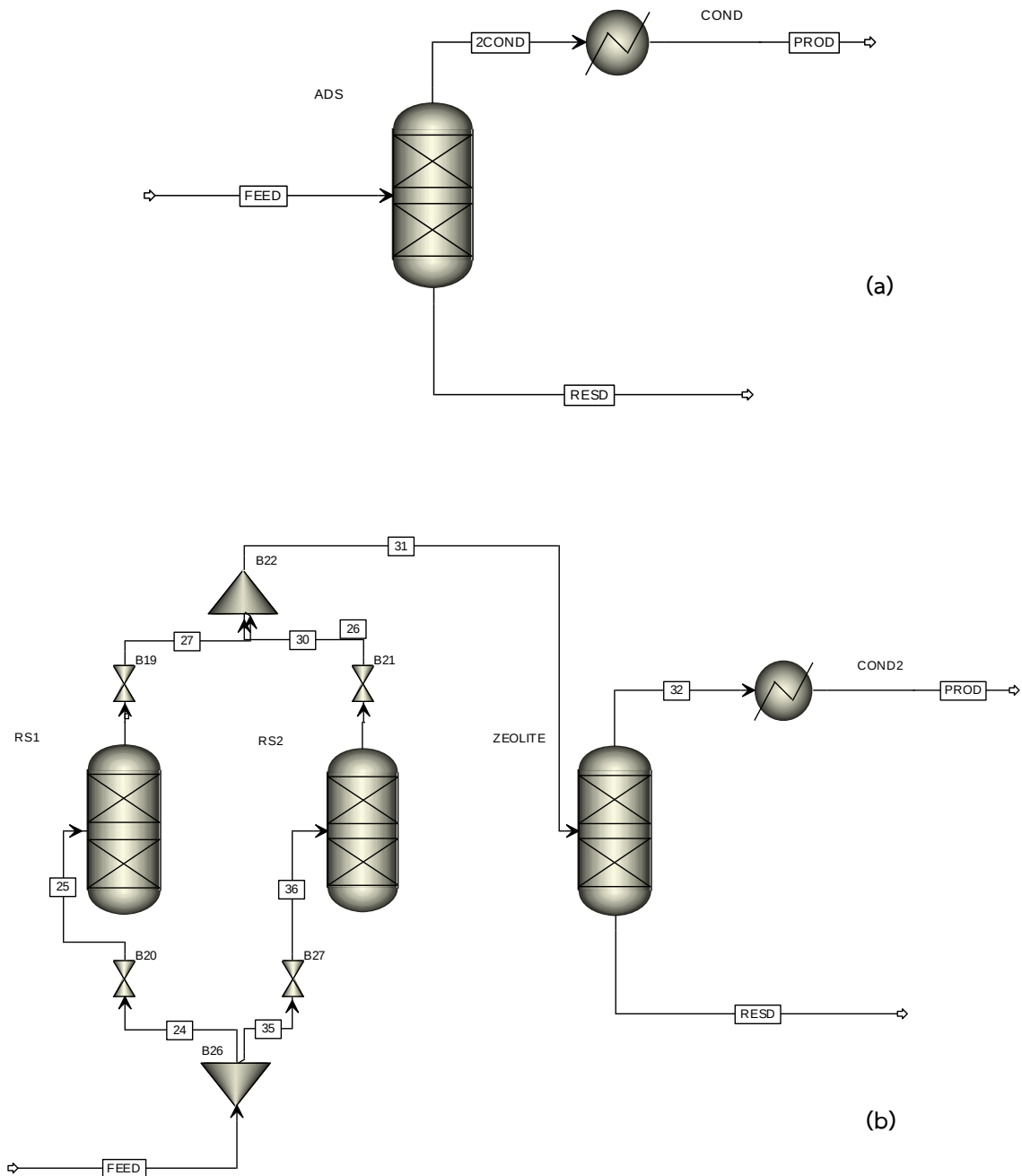
3. ผลการวิจัยและอภิปราย (Results and Discussion)



ภาพที่ 2 ความบริสุทธิ์ของเอทานอลที่ใช้ตัวดูดซับต่างกัน (a) ซีโอไลต์; (b) ฟางข้าว

ภาพที่ 2 เป็นภาพการทำบริสุทธิ์ของเอทานอลด้วยกระบวนการดูดซับ ใช้เวลาปฏิบัติงานต่อการดูดซับ 3 ชั่วโมง พบว่า ฟางข้าวมีความสามารถในการดูดซับที่ค่อนข้างต่ำ คือในสถานะที่ดีที่สุด สามารถเพิ่มความบริสุทธิ์ของเอทานอลจาก 88.9% ไปเป็น 90.5% (ต่อตัวดูดซับฟางข้าว 7 กรัม) อุณหภูมิระเหย 79 องศาเซลเซียส อุณหภูมิการดูดซับ 90 องศาเซลเซียส สำหรับกรณีของ ซีโอไลต์ สามารถเพิ่มความบริสุทธิ์ของเอทานอลจาก 94.69% ไปเป็น 98.61% (ต่อตัวดูดซับซีโอไลต์ 13 กรัม) อุณหภูมิระเหย 79 องศาเซลเซียส อุณหภูมิการดูดซับ 82 องศาเซลเซียส จากการทดลองซ้ำซึ่งได้ผลการทดลองที่เท่ากัน

การใช้ฟางข้าวในการดูดซับ แม้ว่าจะมีผลลัพธ์ที่ไม่ดีในการดูดซับ แต่ถือว่าเป็นแนวทางหนึ่งในการนำฟางข้าวที่ผ่านการบ่ม
ความร้อนนี้ มาจะใช้ประโยชน์ในการหมักทำเอทานอลต่อไปได้ (กำลังอยู่ระหว่างการศึกษา)



ภาพที่ 3 ลักษณะกระบวนการการทำบริสุทธิ์เอทานอล (a) ตัวดูดซับเดียว; (b) ตัวดูดซับร่วม

การประเมินเปรียบเทียบแสดงในภาพที่ 3 เป็นการจำลองกระบวนการดูดซับที่จัดทำใน Aspen Adsorption Sim (2012) ในสองรูปแบบคือ แบบที่เป็นตัวดูดซับเดี่ยว ซึ่งจะเป็นการใช้ ฟางข้าว หรือ ซีโอไลต์อย่างใดอย่างหนึ่ง และอีกกรณีจะเป็นการใช้ตัวดูดซับร่วมที่เป็นแบบแยกถัง

โดยพิจารณาที่ อัตราการป้อน 100 กิโลกรัมของเหลวเอทานอล ต่อชั่วโมง และให้ขนาดของถังมีกำลังการดูดซับที่ 23 ตัน เท่ากับขนาดของหอดูดซับจริงในระบบ โดยพิจารณาอัตราการเปลี่ยนถ่ายตัวดูดซับ ตามระยะเวลาที่ตัวดูดซับหมดสภาพ

เอทานอลจะถูกทำให้เป็นไอที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ภายใต้ความดันบรรยากาศปกติ และไหลผ่านหอดูดซับ โดยการจำลองกระบวนการ และควบคุมการไหลที่ 100 มิลลิลิตร/วินาที จะทำให้ไอของสารมีค่า Space Time ที่ 1.45 ชั่วโมง

จากค่าการดูดซับพบว่า ฟางข้าวและซีโอไลต์สามารถดูดซับน้ำได้ประมาณ 0.01 และ 0.07 กรัม/กรัมของตัวดูดซับตามลำดับ ทำให้การใช้เวลาในการหมดสภาพของตัวดูดซับฟางข้าวและซีโอไลต์จะมีค่าที่ 102 และ 132 ชั่วโมง ตามลำดับ

แต่เนื่องจากตัวดูดซับฟางข้าวมีข้อเสียที่ไม่สามารถทำหน้าที่เป็นตัวดูดซับน้ำออกจากเอทานอลจนได้มาตรฐานของ Anhydrous Ethanol ที่ใช้ในการผสมเป็นเชื้อเพลิง จึงควรให้ใช้ร่วมกับซีโอไลต์ ตาม Simulation ในแบบที่ (b) ซึ่งทำให้เวลาการปฏิบัติงานขยายไปเป็น 169 ชั่วโมงเฉพาะหอดูดซับที่เป็นซีโอไลต์

ซึ่งเพิ่มขึ้น 27.9% จากเวลาปฏิบัติงานเดิม ทำให้ได้ผลประโยชน์เชิงการประหยัดพลังงานดังนี้

1. ลดเวลาในการค่าเปลี่ยนถ่ายตัวดูดซับ
2. ลดการสูญเสียพลังงานรวมการต้มระเหยและการควบแน่นระหว่างการเปลี่ยนถ่ายตัวดูดซับ
3. ลดค่าการจัดการคืนสภาพ (Regeneration) ตัวดูดซับและค่าพลังงานในการคืนสภาพลงได้
4. พลังงานที่ใช้ในส่วนของการที่มีฟางข้าวสามารถทำให้ฟางข้าวสามารถนำไปหมักใช้งานได้ง่ายขึ้น (ซึ่งต้องมีการศึกษาต่อไป)

4. สรุปผล (Conclusion)

ความสามารถของฟางข้าว ใช้เพื่อเป็นตัวดูดซับในการเพิ่มความบริสุทธิ์ของเอทานอล ในกระบวนการดูดซับ อยู่ในระดับที่ต่ำ และมีความเป็นไปได้น้อยมากที่จะนำมาใช้เป็นตัวดูดซับในเชิงพาณิชย์ แต่แนวคิดที่จะใช้ฟางเป็นตัวดูดซับร่วมกับตัวดูดซับทางการค้า มีแนวโน้มที่สามารถเป็นไปได้

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ บริษัท ปตท. จำกัด (มหาชน) ในการให้ทุนสนับสนุนและข้อมูลศึกษา

6. เอกสารอ้างอิง (Reference)

- [1] ไตรวุฒิ นพรัตน์ (2552). อนาคตอุตสาหกรรมเอทานอลไทย. สารวิจัยธุรกิจธนาคารกรุงไทย, 13:23.
- [2] Carmo, M.J. and Gubulin, J.C. Ethanol- water adsorption on commercial 3A zeolites: Kinetic and thermodynamic. Brazilian Journal of Chemical Engineering 1997.
- [3] Rakshit, S.K., Ghosh, P. and Bisaria, V.S. Ethanol separation by selective adsorption of water. Journal of Bioprocess Engineering 1993, 8(5-6): 279-282.

การพัฒนาวิธีการตรวจวัดฟอสฟอรัสเพื่อประยุกต์ใช้ในเครื่องตรวจวัดแบบอัตโนมัติ

นันทศักดิ์ ตั้งอุดมวงษา¹, นุชรา สิบบัวทอง^{2*}, สุชาติ เหลืองประเสริฐ¹

¹ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 10900

²ฝ่ายเครื่องมือและวิจัยทางวิทยาศาสตร์ สถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 10900

rdinrs@ku.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาวิธีการตรวจวัดฟอสฟอรัสในน้ำ วิธีการที่พัฒนาขึ้นดัดแปลงวิธีการมาจากวิธีมาตรฐาน Vanadomolybdophosphoric acid โดยลดการใช้ถ่านกัมมันต์และฟีนอลทาลีนในขั้นตอนการเตรียมตัวอย่าง ในการทดลองใช้น้ำตัวอย่างจากบ่อธรรมชาติและน้ำสังเคราะห์ที่เตรียมขึ้น 110 ตัวอย่างที่ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสต่างๆ นำน้ำตัวอย่างมาทำให้เกิดสีโดยสาร Vanadate-molybdate ต่อมาวัดสีโดยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ชนิดลำแสงเดี่ยวที่มีความยาวคลื่น 470 นาโนเมตร ตัวชี้วัดที่ใช้เปรียบเทียบระหว่างสองวิธีคือ 1) ค่าการดูดกลืนคลีนแสงของน้ำตัวอย่าง และ 2) เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของค่าความเข้มข้นฟอสฟอรัสที่วัดได้ ใช้ความชันของกราฟที่พล็อตระหว่างค่าการดูดกลืนคลีนแสงของน้ำตัวอย่างและความเข้มข้นฟอสฟอรัสแทนค่าการดูดกลืนคลีนแสงของน้ำตัวอย่างหลังการทำให้เกิดสีผลการทดลองพบว่าสมการเส้นตรงที่ได้จากการวัดน้ำตัวอย่างที่ทำให้เกิดสีโดยวิธีมาตรฐานคือ $y=0.0207x$ (เมื่อ y และ x คือค่าการดูดกลืนคลีนแสง และค่าความเข้มข้นฟอสฟอรัสที่ได้จากวิธีมาตรฐานตามลำดับ) และสมการเส้นตรงจากวิธีการที่พัฒนาขึ้นคือ $y=0.0208x$ (เมื่อ y คือค่าการดูดกลืนคลีนแสงที่ได้จากวิธีที่พัฒนาขึ้นและ x คือค่าความเข้มข้นฟอสฟอรัสที่ได้จากกราฟมาตรฐาน) ค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของความเข้มข้นฟอสฟอรัสอยู่ในช่วง 0-30% การทดลองนี้พยายามลดเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนลงให้ใกล้เคียงกับค่าความเข้มข้นที่ได้จากวิธีมาตรฐานโดยนำค่าการดูดกลืนคลีนแสงของน้ำตัวอย่างที่ได้จากวิธีการที่พัฒนาขึ้นมาพล็อตกับความเข้มข้นฟอสฟอรัสที่ได้จากวิธีมาตรฐานและนำเสนอเป็นสมการความสัมพันธ์ใหม่คือ $y=0.0187x$ (เมื่อ y คือค่าการดูดกลืนคลีนแสงที่ได้จากวิธีที่พัฒนาขึ้นและ x คือค่าความเข้มข้นจริงที่ได้จากวิธีมาตรฐาน) จากการทดสอบพบว่าเมื่อเตรียมตัวอย่างโดยวิธีที่พัฒนาขึ้น และใช้สมการความสัมพันธ์ใหม่ที่เสนอนี้ในการหาความเข้มข้นฟอสฟอรัสในน้ำตัวอย่าง ค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของความเข้มข้นฟอสฟอรัสแตกต่างจากวิธีมาตรฐานมีค่าเฉลี่ยเพียง 2.85 เปอร์เซ็นต์

คำสำคัญ: การดูดกลืนแสง; การพัฒนาวิธีการ; เครื่องตรวจวัดอัตโนมัติ; ฟอสฟอรัส; น้ำธรรมชาติ

* นุชรา สิบบัวทอง

Development of Phosphorous Measurement Method for the Application of Automatic Equipment

Nantasak Tangudomvongsa¹, Nusara Sinbuathong^{2*}, Suchat Leungprasert¹

¹ Department of Environmental Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University, Bangkok 10900.

^{2*} Scientific Equipment and Research Division, Kasetsart University Research and Development

Institute (KURDI), Kasetsart University, Bangkok 10900. Correspond to email: rdinrs@ku.ac.th

Abstract

The objective of this study is to develop the measurement method for phosphorus in natural water. The method was modified from the vanadomolybdophosphoric acid standard method. Activated carbon and phenolphthalein were not used in the modified method during sample preparation. Natural and the prepared water of 110 samples at different concentrations were tested. Samples were coloured by vanadate-molybdate reagent subsequently, a single-beam spectrophotometer was used for measurement of the coloured samples at 470 nm. The key performance indicators to compare the two methods were 1) absorbance and 2) the percentage of error. The slope of the graph plotted between absorbance and concentration was used to substitute for the absorbance of coloured water samples. The results found that the linear equation obtained from the coloured samples using the standard method was $y=0.0207x$ (where y and x are the absorbance and concentration obtained from the standard method, respectively), and that obtained by using the modified method was $y=0.0208x$ (where y is the absorbance obtained from the modified method and x is the concentration obtained from the standard graph). The percentage of error of phosphorus concentration by modified method that deviated from that of standard method was in the range of 0-30%. Attempt to reduce the percentage of error was performed by plotting the absorbance values of the coloured water samples obtained from the modified method against their true concentrations obtained from the standard method and then the new relative equation was proposed. The new finding relative equation was $y=0.0187x$ (where y is the absorbance obtained from the modified method and x is the true concentration). To use the modified method and the new relative equation in determining phosphorous concentration in water, the percentage of error that was different from the standard method was 2.85% in average.

Key words: Absorbance, Modified method, Automatic equipment, Phosphorus, Natural water

* Nusara Sinbuathong

1. บทนำ (Introduction)

ออร์โธฟอสเฟต ($\text{Ortho PO}_4^{3-}\text{-P}$) เป็นดัชนีชี้วัดที่สำคัญในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำทั้งในระบบปิดและในระบบเปิด (กรมประมง, 2536) โดย $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ ในรูปของ orthophosphate ($\text{Ortho PO}_4^{3-}\text{-P}$) ที่สูง ส่งผลทำให้เกิดการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วของสาหร่ายและพืชน้ำ ก่อให้เกิดปรากฏการณ์สาหร่ายโตเร็ว (Algae bloom) ทำให้ค่าปริมาณออกซิเจนในน้ำ (Dissolved oxygen, DO) ลดลงในตอนกลางคืน ส่งผลให้สัตว์น้ำบางประเภทตายได้ อีกทั้งในสถานะที่ปัจจัยอื่นๆ เหมาะสมอาจก่อให้เกิดปรากฏการณ์ Eutrophication ได้ (ชาญชัย, 2536) โดยงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาวิธีการตรวจวัดฟอสฟอรัสในรูป $\text{Ortho PO}_4^{3-}\text{-P}$ ในน้ำสามารถนำไปใช้กับเครื่องตรวจวัดแบบอัตโนมัติเพื่อตรวจวัดตัวแปรดังกล่าวได้เร็วและง่ายขึ้นโดยดัดแปลงวิธีการมาจากวิธีการมาตรฐาน (Standard methods) นำไปใช้ในภาคสนามได้จริง อีกทั้งยังลดปริมาณสารเคมีและของเสียที่เกิดจากกระบวนการการตรวจวัดฟอสฟอรัส และใช้กับอู่เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำทั้งระบบปิด-เปิด ทดสอบวิธีการที่พัฒนาขึ้นโดยตรวจวัดค่าฟอสฟอรัสของน้ำบ่อธรรมชาติโดยวิธีการที่พัฒนาขึ้นเทียบกับวิธีมาตรฐาน โดยพิจารณาจากค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของความเข้มข้นฟอสฟอรัส (% Error) การทดลองนี้กำหนดให้ไม่เกิน 30% งานวิจัยนี้ใช้น้ำจากบ่อเลี้ยงและปลา น้ำธรรมชาติ ตลอดจนน้ำสังเคราะห์ที่เตรียมขึ้นมาใช้ในการทดลอง และใช้เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ชนิดลำแสงเดียวในการตรวจวัดฟอสฟอรัส ศึกษาความเข้มข้นฟอสฟอรัสในช่วง 0-5 มิลลิกรัมต่อลิตรซึ่งเป็นช่วงที่มีอยู่ในน้ำธรรมชาติ Sorasake และคณะ (2003) ได้มีการคิดค้นวิธีการอย่างง่ายในการตรวจวิเคราะห์ออร์โธฟอสเฟตในน้ำเสียโดยเป็นการลดต้นทุนแต่เพิ่มประสิทธิภาพการใช้ชุดทดสอบ (Test kit) โดยใช้เครื่อง Spectrophotometer (Hach, DR/4000 U) ใช้เวลาวิเคราะห์ 1 นาทีต่อตัวอย่าง วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 890 nm เปรียบเทียบกับวิธีมาตรฐานโดยใช้เครื่อง Spectrophotometer (Hach, DR/2500) ด้วยวิธี Vanadomolybdophosphoric acid วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 400 nm ผลการศึกษาพบว่าชุดทดสอบฟอสเฟตและวิธีมาตรฐานได้ % Recovery เป็น 95-111.2% และ 102-108.3% ตามลำดับ เมื่อนำค่าฟอสเฟตที่ได้โดยชุดทดสอบฟอสเฟตมาเปรียบเทียบกับวิธีมาตรฐานในตัวอย่างน้ำทั้งชนิดต่างๆ 52 ตัวอย่าง โดยค่าฟอสเฟตของชุดทดสอบฟอสเฟตอยู่ในช่วง 0.1-4.7 มิลลิกรัมต่อลิตรและค่าฟอสเฟตที่ได้โดยวิธีทดสอบฟอสเฟตมาตรฐานอยู่ในช่วง 0.1-3.3 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างชุดทดสอบกับวิธีมาตรฐานของน้ำทั้งต่างๆ ได้เป็น 0.8227 เมื่อเปรียบเทียบทางสถิติพบว่าน้ำทั้งที่นำมาทดสอบทุกชนิดไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.01$) จึงสรุปว่าชุดทดสอบฟอสเฟตที่นำมาศึกษาให้ผลน่าเชื่อถือเหมาะสมที่จะใช้ประมาณค่าฟอสเฟตเบื้องต้นได้ และ Bowden and Diamond (2003) ได้มีการศึกษาความเสถียรของสารเคมีของวิธี Vanadomolybdophosphoric acid ในการตรวจวัดฟอสเฟตได้ผลว่าสารเคมีมีอายุการใช้งานได้นานกว่า 1 ปี การศึกษาวิจัยครั้งนี้จะใช้เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ชนิดลำแสงเดียว (Single beam) ประโยชน์ที่ได้รับคือสามารถนำวิธีการที่พัฒนาขึ้นไปใช้กับเครื่องมือวิเคราะห์ภาคสนามจะเป็นผลให้สามารถลดการนำเข้าอุปกรณ์ตรวจวัดคุณภาพน้ำทางสิ่งแวดล้อมแบบอัตโนมัติจากต่างประเทศซึ่งมีราคาสูง ลดสารเคมีและปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นจากวิธีการตรวจวัด

2. วิธีวิจัย (Research Methodology)

การพัฒนาวิธีการตรวจวัดฟอสฟอรัสมีการลดสารเคมีลดขั้นตอน และมีการทดสอบวิธีการที่พัฒนาขึ้นและสร้างกราฟความสัมพันธ์ใหม่เพื่อลดความผิดพลาด โดยเป็นดังนี้

การทดลองเบื้องต้น (Preliminary study) เพื่อหาจำนวนตัวอย่างที่น้อยที่สุด (Minimum number, $N_{\min}$) โดยวิธีทางสถิติ โดยใช้ค่าความเข้มข้นฟอสฟอรัสที่ได้จากทั้งวิธีการที่พัฒนาขึ้นและวิธีมาตรฐานในงานวิจัยนี้ได้มีการทดสอบเบื้องต้น ใช้ตัวอย่างน้ำบ่อธรรมชาติเบื้องต้น 20 ตัวอย่างมาทำการทดสอบความแตกต่างทางสถิติและหาจำนวนตัวอย่างที่น้อยที่สุดที่ต้องใช้ในการทดลองโดยกำหนดสมมติฐานของการทดลอง

สมมติฐานในการทดลองนี้คือ ค่าความเข้มข้นฟอสฟอรัสจากทั้งสองวิธีคือ วิธีการที่พัฒนาขึ้นกับวิธีมาตรฐานไม่มีความแตกต่างกัน โดยที่ค่า $\mu_1 - \mu_2 = 0$

เมื่อ μ_1 = ค่าเฉลี่ยของประชากรกลุ่มที่ 1 (ในที่นี้คือค่าเฉลี่ยที่ได้จากวิธีมาตรฐาน AWWA&APHA, 2005)

μ_2 = ค่าเฉลี่ยของประชากรกลุ่มที่ 2 (ในที่นี้คือค่าเฉลี่ยที่ได้จากวิธีการที่พัฒนาโดยดัดแปลงมาจากวิธีมาตรฐาน)

จากนั้นจะทำการทดสอบสมมติฐานนี้โดยใช้การทดสอบ t-test ดังนี้

1. การทดสอบความแตกต่างค่าเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่าง 2 กลุ่ม ซึ่งจะใช้โดยวิธี t-test มาทดสอบความแตกต่างค่าเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่าง 2 กลุ่มทางสถิติ (กนกทิพย์, 2541) ซึ่งค่า t_{cal} คือ ค่า t ที่ต้องคำนวณเพื่อทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย 2 กลุ่ม แล้วนำไปเปรียบเทียบกับค่า $t_{critical}$ หรือ t_{cr} ซึ่งได้จากตารางแจกแจงค่า t ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

เมื่อคำนวณค่า t_{cal} ได้แล้วให้เทียบกับ t_{cr} โดย

ถ้า $t_{cr} > t_{cal}$ แสดงว่ายอมรับสมมติฐาน คือ ค่าความเข้มข้นฟอสฟอรัสจากวิธีการที่พัฒนาขึ้นเท่ากับค่าความเข้มข้นฟอสฟอรัสจากวิธีมาตรฐาน

2. การหาค่าจำนวนที่น้อยสุด (N_{min}) ซึ่งใช้ค่า t_{cal} จากการวิธี t-test ซึ่งใช้สูตรการหาสมการที่ (1) คือ

$$N_{min} = \frac{2SD \times (t_{cal})^2}{0.1 \times \bar{X}} \quad (1)$$

โดยที่ t_{cal} คือ ค่า t ที่คำนวณมาจากการทดสอบสมมติฐานด้วย t-test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % หรือที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และเมื่อ SD คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation)

การพัฒนาวิธีการตรวจวัดฟอสฟอรัสในรูปของฟอสฟอรัส

ในงานวิจัยจะมีการใช้วิธีการตรวจวัดฟอสฟอรัสในรูปของออร์โธฟอสเฟต (Orthophosphate) รายงานผลในรูปฟอสฟอรัสในหน่วย mg/l as P วิธีการที่พัฒนาโดยดัดแปลงจากวิธีมาตรฐานโดยทำการเลือกสารเคมีจากวิธีมาตรฐาน (AWWA&APHA, 2005) โดยยังคงเกิดปฏิกิริยาที่ให้สี (Colorimetric method) แต่จะมีการลดขั้นตอนและลดสารเคมีคือ ไม่ใช้ถ่านกัมมันต์ (Activated carbon) ซึ่งเป็นสารที่ใช้กำจัดสีในน้ำบ่อธรรมชาติและลดขั้นตอนไม่ใช้ Phenolphthalein ซึ่งเป็นสารเคมีที่ใช้ทดสอบความเป็นด่างของน้ำ น้ำบ่อธรรมชาติมีค่า pH ทั่วไปในช่วง 6.5-7.9 เพื่อให้สะดวกต่อการนำไปประยุกต์ใช้ในเครื่องตรวจวัดภาคสนามชนิดลำแสงเดี่ยวที่ออกแบบในช่วงคลื่น Visible ได้ ซึ่งจะแสดงการลดสารเคมีดังตารางที่ 1 ดังนี้

ตารางที่ 1 แสดงเปรียบเทียบวิธีมาตรฐานและวิธีการที่พัฒนาโดยลดสารเคมีบางชนิดเพื่อการวิเคราะห์ฟอสฟอรัสในน้ำ

วิธี Standard Methods	วิธี Modified method
1.การวิเคราะห์ฟอสฟอรัส	1. การวิเคราะห์ฟอสฟอรัสสำหรับใช้ใน
วิธีมาตรฐานเลือกใช้ คือ Vanadomolybdophosphoric acid colorimetric method	ภาคสนาม วิธีดัดแปลงจาก Vanadomolybdophosphoric acid colorimetric method
2. สารเคมีที่ใช้	2. สารเคมีที่ใช้
2.1 Ammonium molybdate	2.1 Ammonium molybdate
2.2 Ammonium metavanadate	2.2 Ammonium metavanadate
2.3 Hydrochloric acid	2.3 Hydrochloric acid
2.4 Potassium di-hydrogen phosphate	2.4 Potassium di-hydrogen phosphate
2.5 Phenolphthalein indicator	2.5 การทดลองนี้ลดขั้นตอนไม่ใช้ Phenolphthalein indicator
2.6 Activated carbon	2.6 การทดลองนี้ลดขั้นตอนไม่ใช้ Activated carbon

การทดสอบวิธีการที่พัฒนาขึ้นในการตรวจวัดฟอสฟอรัส

การทดสอบวิธีการที่พัฒนาขึ้นในการตรวจวัดความเข้มข้นฟอสฟอรัสเปรียบเทียบกับวิธีมาตรฐาน

Vanadomolybdophosphoric acid method โดยใช้เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ชนิดลำแสงเดี่ยว (Single beam) โดยเก็บตัวอย่างให้มากกว่าค่าจำนวนตัวอย่างที่น้อยที่สุด (N_{min}) คือ น้ำบ่อทุ่งจังหวัดชุมพร น้ำบ่อทุ่งจังหวัดสุราษฎร์ธานี น้ำบ่อเพาะเลี้ยงปลาจังหวัดสุพรรณ น้ำจากแหล่งน้ำบริเวณรอบมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์และน้ำที่เตรียมขึ้นจากน้ำบ่อธรรมชาติ (โดยน้ำที่เตรียมขึ้นนี้ได้เติมสารละลายมาตรฐานฟอสฟอรัสลงไปให้มีปริมาณในช่วง 0-3 mg/l as P) โดยค่าฟอสฟอรัสที่เหมาะสมต่อการดำรงชีวิตของสัตว์น้ำคือ 0.6 มิลลิกรัมต่อลิตร (มันลินและไพพรรณ, 2536) ตัวอย่างน้ำที่เก็บทั้งหมดจะเก็บที่ระดับความลึก 30 เซนติเมตรจากผิวน้ำ (USEPA, 1982) ซึ่งจะนำตัวอย่างน้ำบ่อธรรมชาติทั้งหมดไปทดสอบวิธีการที่พัฒนาในการตรวจวัดค่าความเข้มข้นฟอสฟอรัสด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ชนิดลำแสงเดี่ยว ซึ่งวิธีการแบ่งเป็น 2 ส่วนคือ

1.การเปรียบเทียบวิธีการที่พัฒนาขึ้นกับวิธีมาตรฐาน ตัวอย่างน้ำบ่อธรรมชาติและน้ำสังเคราะห์ที่เตรียมขึ้นที่ผ่านการกรองด้วยกระดาษกรอง Whatman no.1 แล้ว โดยเตรียมตัวอย่างทั้งแบบวิธีการที่พัฒนาขึ้นนำตัวอย่างน้ำบ่อธรรมชาติและน้ำสังเคราะห์ที่เตรียมขึ้น 35 มิลลิตรมาทำ 2 วิธีการคือ 1) ซึ่งอ่านกัมมันต์ 200 มิลลิกรัมแล้วเติมลงไปตัวอย่างน้ำบ่อธรรมชาติหรือน้ำสังเคราะห์ที่เตรียมขึ้นปริมาตร 50 มิลลิตรและนำไปเขย่า 10 นาทีด้วย Mechanical shaker และจึงนำไปกรองใช้น้ำตัวอย่าง 35 มิลลิตร 2) นำน้ำตัวอย่าง 35 มิลลิตรผ่านการกรองโดยตรง นำตัวอย่างน้ำบ่อธรรมชาติและน้ำสังเคราะห์ที่เตรียมขึ้นทั้ง 2 วิธีการและสารละลายมาตรฐานที่เตรียมข้างต้นเติมสารให้สี คือ Vanadate-molybdate reagent 10 มิลลิตรและปรับปริมาตรให้ได้ 50 มิลลิตรใน Volumetric flask และตั้งทิ้งไว้ประมาณ 10 นาทีนำไปวัดค่าการดูดกลืนคลื่นแสงที่ 470 nm ทำแปลงค์โดยใช้น้ำกลั่น ใช้ตัวชี้วัดว่าวิธีการที่พัฒนาขึ้นใช้ได้หรือไม่ จากการพิจารณาค่า

1.1 ค่าการดูดกลืนคลื่นแสง (Absorbance) ของวิธีมาตรฐานและวิธีการที่พัฒนาขึ้น แต่เนื่องจากการทดสอบนี้ใช้ตัวอย่างจำนวนมากหรือเท่ากับค่า N_{min} จึงพิจารณาจากค่าความชัน (Slope) ของสมการเส้นตรงที่พล็อตจากความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนคลื่นแสงที่ 470 nm กับค่าความเข้มข้นฟอสฟอรัสที่ค่าต่างๆ จากวิธีการที่พัฒนาขึ้นกับวิธีมาตรฐานว่าค่าความชันที่ได้จากทั้งสองวิธีมีค่าใกล้เคียงกันหรือไม่อย่างไรและรายงานค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Coefficient of correlation, R^2)

1.2. เปอร์เซ็นต์ค่าความคลาดเคลื่อนของความเข้มข้นฟอสฟอรัส (% Error) เพื่อศึกษาว่าวิธีการที่พัฒนาขึ้นว่าเหมาะสมสำหรับประยุกต์ใช้ในเครื่องมือภาคสนามโดยนำค่าความเข้มข้นฟอสฟอรัสที่ได้จากข้อ 1.1 ซึ่งเป็นค่าความเข้มข้นฟอสฟอรัสจากวิธีมาตรฐานและวิธีการที่พัฒนาขึ้นมาหาค่าเปอร์เซ็นต์ค่าความคลาดเคลื่อนของความเข้มข้นฟอสฟอรัส ซึ่งมีสูตรการคำนวณดังสมการที่ (2)

$$\%Error = \frac{C_{std} - C_m}{C_{std}} \times 100 \quad (2)$$

โดยที่ C_{std} คือ ค่าความเข้มข้นฟอสฟอรัสของตัวอย่างน้ำที่ตรวจวัดด้วยวิธีมาตรฐาน

C_m คือ ค่าความเข้มข้นฟอสฟอรัสของตัวอย่างน้ำที่ตรวจวัดด้วยวิธีการที่พัฒนาขึ้น

2. การหาค่าเปอร์เซ็นต์การกลับคืนมาของฟอสฟอรัสที่ทราบปริมาณ (% Recovery) นำตัวอย่างน้ำบ่อธรรมชาติและน้ำสังเคราะห์ที่เตรียมขึ้นผ่านการกรองด้วยกระดาษกรอง Whatman no.1 ปริมาตร 35 มิลลิตร เติมสารละลายมาตรฐานฟอสฟอรัสความเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตรในปริมาตร 0.5, 1, 2, 3 มิลลิตรเพื่อและปรับปริมาตรเป็น 50 มิลลิตรใน Volumetric flask ให้ได้ค่าความเข้มข้นฟอสฟอรัสที่เติมลงไป 0.5, 1, 2, 3 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ มาวิเคราะห์ความ

เข้มข้นฟอสฟอรัสด้วยวิธีการที่พัฒนาขึ้นและนำน้ำบ่อธรรมชาติและน้ำสังเคราะห์ที่เตรียมขึ้นที่ไม่ผ่านการเติมถ่านกัมมันต์และสารฟีนอลทาลีนมาวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสด้วยวิธีการที่พัฒนาขึ้น โดยมีวิธีการดังนี้

นำตัวอย่างน้ำบ่อธรรมชาติที่เติมและไม่เติมสารละลายมาตรฐานฟอสฟอรัสไปเติม Vanadate-molybdate reagent 10 มิลลิลิตรและตั้งทิ้งไว้ 10 นาทีโดยประมาณนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 470 nm ทำแปลงค์โดยใช้น้ำกลั่น จากนั้นนำค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่างน้ำบ่อธรรมชาติทั้งที่เติมและไม่เติมสารละลายมาตรฐานฟอสฟอรัสไปเทียบกับกราฟมาตรฐานเพื่อหาค่าความเข้มข้นฟอสฟอรัสของตัวอย่างน้ำบ่อธรรมชาติทั้งที่เติมและไม่เติมสารละลายมาตรฐานฟอสฟอรัส ใช้ตัวชี้วัดว่าวิธีการที่พัฒนาขึ้นเป็นที่ยอมรับได้หรือไม่ โดยพิจารณาจากค่าเปอร์เซ็นต์การกลับคืนมาของฟอสฟอรัสที่ทราบปริมาณ เพื่อศึกษาความถูกต้องของวิธีการที่พัฒนาในการตรวจวัดซึ่งมีสูตรการคำนวณสมการที่ (3)

$$\% \text{ Recovery} = \frac{(C_{sp} - C_u)}{C_{std}} \times 100 \quad (3)$$

โดยที่ C_{sp} คือ ค่าความเข้มข้นของตัวอย่างน้ำที่เติมสารละลายมาตรฐาน (Spike sample)

C_u คือ ค่าความเข้มข้นของตัวอย่างน้ำที่ไม่เติมสารละลายมาตรฐาน (Unspike sample)

C_{std} คือ ค่าความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานที่เติมลงในตัวอย่างน้ำ

จากการใช้ตัวชี้วัดทั้งสองเป็นการพิจารณาตัดสินได้ว่าวิธีการที่พัฒนาขึ้นวัดค่าความเข้มข้นฟอสฟอรัสในน้ำบ่อธรรมชาติได้ใกล้เคียงกับวิธีมาตรฐานหรือไม่ มีค่าความคลาดเคลื่อนของความเข้มข้นของทั้งสองวิธีมากน้อยเพียงใด และจากการหาเปอร์เซ็นต์การกลับคืนมาของฟอสฟอรัสที่ทราบปริมาณ ทำให้ทราบว่าวิธีการที่พัฒนาขึ้นเป็นวิธีการที่ยอมรับได้หรือไม่ ถ้ามีความคลาดเคลื่อนจะทำการลดความคลาดเคลื่อนของวิธีการที่พัฒนาขึ้นโดยจะกล่าวในขั้นตอนต่อไป

การลดข้อผิดพลาดของความเข้มข้นฟอสฟอรัสด้วยวิธีการที่พัฒนาขึ้น

จากวิธีการที่พัฒนาขึ้นถ้าค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 470 nm มีความแตกต่างจากค่าการดูดกลืนแสงที่ได้จากวิธีมาตรฐานไปบ้าง และเนื่องจากค่าความเข้มข้นที่ได้จากวิธีมาตรฐานย่อมถูกต้องเสมอ ดังนั้นการทดลองนี้จะสร้างกราฟความสัมพันธ์ใหม่ที่มาจกค่าความเข้มข้นฟอสฟอรัสจากวิธีมาตรฐานพล็อตกับค่าการดูดกลืนแสงที่ 470 nm จากวิธีการที่พัฒนาขึ้น และนำกราฟนี้ไปทดสอบตัวอย่างน้ำบ่อธรรมชาติจำนวน 20 ตัวอย่างโดยใช้การเปรียบเทียบค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของความเข้มข้นฟอสฟอรัสที่ได้จากวิธีการที่พัฒนาขึ้นใช้กราฟมาตรฐานกับค่าความเข้มข้นฟอสฟอรัสที่ได้จากวิธีการที่พัฒนาขึ้นใช้กราฟความสัมพันธ์ใหม่เทียบกับค่าความเข้มข้นฟอสฟอรัสจากวิธีมาตรฐานใช้กราฟมาตรฐานว่ามีค่าแตกต่างกันหรือไม่ อย่างไร

3. ผลการวิจัย (Results) และ 4. อภิปรายผล (Discussion)

ผลการทดสอบเบื้องต้น (Preliminary study) เพื่อหาจำนวนตัวอย่างที่น้อยที่สุด (Minimum number, N_{min})

ผลการทดสอบสมมติฐานทางสถิติโดยใช้ความแตกต่างระหว่างค่าความเข้มข้นฟอสฟอรัสที่ตรวจวัดจากวิธีมาตรฐาน (AWWA&APHA, 2005) กับค่าความเข้มข้นฟอสฟอรัสที่ตรวจวัดจากวิธีการที่พัฒนาขึ้นโดยดัดแปลงวิธีการตรวจวัดจากวิธีมาตรฐานด้วย t-test ผลการทดสอบปรากฏดังนี้

$$t_{cal} = 1.395 \quad (-2.024 < t_{cal} < 2.024) \quad (\text{สำหรับเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ชนิดลำแสงเดี่ยว})$$

โดยค่า t_{cal} คำนวณจากสูตรสมการที่ (4) ดังนี้

$$t_{cal} = \frac{(\bar{X}_1 - \bar{X}_2) - (\mu_1 - \mu_2)}{S_p^2 \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}} \quad (4)$$

เมื่อค่า t_{cal} = ค่าทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย 2 กลุ่ม

$\bar{X}_1$ = ค่าเฉลี่ยของตัวอย่างกลุ่มที่ 1 (ในที่นี้คือค่าเฉลี่ยที่ได้จากวิธีมาตรฐาน)

$\bar{X}_2$ = ค่าเฉลี่ยของตัวอย่างกลุ่มที่ 2 (ในที่นี้คือค่าเฉลี่ยที่ได้จากวิธีพัฒนาขึ้น)

μ_1 = ค่าเฉลี่ยของประชากรกลุ่มที่ 1 (ในที่นี้คือค่าเฉลี่ยที่ได้จากวิธีมาตรฐาน)

μ_2 = ค่าเฉลี่ยของประชากรกลุ่มที่ 2 (ในที่นี้คือค่าเฉลี่ยที่ได้จากวิธีพัฒนาขึ้น)

ในที่นี้ $\mu_1 - \mu_2 = 0$ (เนื่องจากสมมุติฐาน คือ ค่าความเข้มข้นฟอสฟอรัสจากทั้งสองวิธีไม่มีความแตกต่างกัน)

n_1 = จำนวนตัวอย่างกลุ่มที่ 1 (ในที่นี้คือค่าความเข้มข้นฟอสฟอรัสจากวิธีมาตรฐาน)

n_2 = จำนวนตัวอย่างกลุ่มที่ 2 (ในที่นี้คือค่าความเข้มข้นฟอสฟอรัสจากวิธีพัฒนาขึ้น)

S_p^2 = ค่าความแปรปรวนรวมของกลุ่มตัวอย่าง 2 กลุ่ม (Pool variances)

ซึ่ง S_p^2 หาได้จากสูตรสมการที่ (5) คือ

$$S_p^2 = \frac{S_1^2(n_1 - 1) + S_2^2(n_2 - 1)}{n_1 + n_2 - 2} \quad (5)$$

เมื่อ S_1 = ค่าความแปรปรวนของกลุ่มตัวอย่างที่ 1

S_2 = ค่าความแปรปรวนของกลุ่มตัวอย่างที่ 2

ค่า -2.024 และ 2.024 คือ ค่า t_{cr} ที่ใช้เปรียบเทียบว่าสมมุติฐานจะถูกยอมรับหรือปฏิเสธหาได้จากตาราง Critical values of t ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 (คงเดช, 2540)

ซึ่งจากผลการทดสอบพบว่า $t_{cr} > t_{cal}$ หมายความว่า ยอมรับสมมุติฐานว่าวิธีการที่พัฒนาขึ้นโดยดัดแปลงวิธีการตรวจวัดจากวิธีมาตรฐานให้ค่าฟอสฟอรัสได้เท่ากับวิธีมาตรฐานที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

การหาจำนวนที่น้อยที่สุดที่เหมาะสมทางสถิติ ได้ผลคือจากการวัดด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ชนิดลำแสงเดี่ยว ได้ขนาดกลุ่มตัวอย่างที่เหมาะสมคือ $N_{min} = 66.43$ งานวิจัยนี้เลือกจำนวนตัวอย่าง 110 ตัวอย่างซึ่งเป็นจำนวนตัวอย่างที่มากกว่า N_{min} ใช้สำหรับการตรวจวัดค่าฟอสฟอรัสด้วยวิธีมาตรฐานและวิธีการที่พัฒนาขึ้นโดยดัดแปลงวิธีการตรวจวัดจากวิธีมาตรฐาน

การตรวจวัดฟอสฟอรัสด้วยวิธีการที่พัฒนาขึ้นโดยดัดแปลงวิธีการตรวจวัดจากวิธีมาตรฐาน

1. ผลการทดสอบวิธีการที่พัฒนาโดยดัดแปลงวิธีการตรวจวัดจากวิธีมาตรฐานเพื่อการตรวจวัดฟอสฟอรัส เป็นดังนี้

ผลการเปรียบเทียบการดูดกลืนคลิ่นแสงของตัวอย่างจากบ่อธรรมชาติและน้ำสังเคราะห์ที่เตรียมขึ้นจำนวน 110 ตัวอย่างโดยพิจารณาจากค่าความชันของกราฟที่พล็อตระหว่างค่าการดูดกลืนคลิ่นแสงที่ 470 nm และค่าความเข้มข้นฟอสฟอรัสที่ได้จากวิธีมาตรฐานกับวิธีการที่พัฒนาขึ้นที่ค่าการดูดกลืนคลิ่นแสง 470 nm พบว่ากราฟทั้งสองเส้นที่ได้จากวิธีมาตรฐานและวิธีการที่พัฒนาขึ้นมีความชันที่ใกล้เคียงกันมาก ได้ผลความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนคลิ่นแสงและค่าความเข้มข้นฟอสฟอรัสที่ได้จากวิธีมาตรฐานคือ $y=0.0207x$ และความสัมพันธ์ที่ได้จากวิธีที่พัฒนาขึ้นคือ $y=0.0208x$ เมื่อ x คือ ค่าความเข้มข้นฟอสฟอรัสและ y คือค่าการดูดกลืนคลิ่นแสงที่ 470 nm โดยค่า Coefficient of correlation (R^2) มีค่า 0.9886 และ 0.9908 ตามลำดับซึ่งมีค่าเข้าใกล้ 1

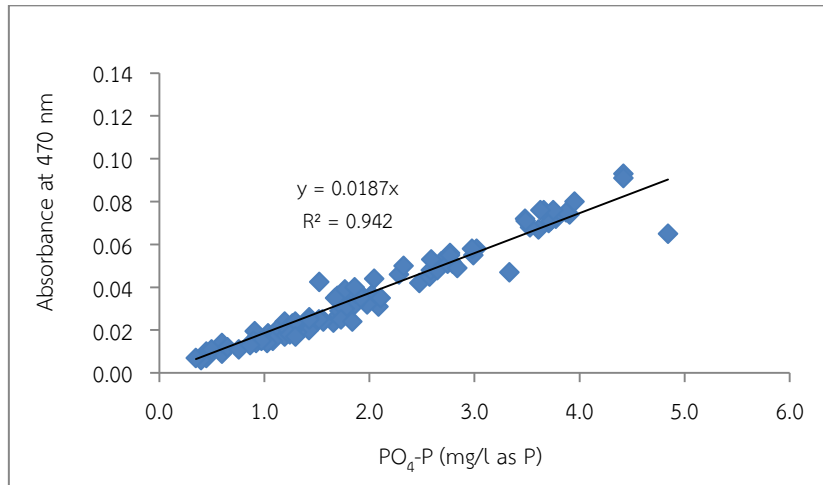
ผลค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของค่าความเข้มข้นฟอสฟอรัส (% Error) ระหว่างวิธีมาตรฐานกับวิธีการที่พัฒนาขึ้น พบว่าค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของค่าความเข้มข้นฟอสฟอรัสของการตรวจวัดระหว่าง 2 วิธีนี้บ่อธรรมชาติและน้ำสังเคราะห์ที่เตรียมขึ้นมีค่าระหว่าง 0-29.7% ซึ่งไม่เกิน 30% ซึ่งจากตัวอย่างน้ำบ่อธรรมชาติและน้ำสังเคราะห์ที่เตรียมขึ้นทั้งหมด 110 ตัวอย่าง มีค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของความเข้มข้นฟอสฟอรัสโดยเฉลี่ยคือ 20% ซึ่งถือว่ายังคงสูงอยู่

ผลเปอร์เซ็นต์การกลับคืนมาของฟอสฟอรัสที่ทราบปริมาณ (% Recovery) ของวิธีการที่พัฒนาขึ้นในการตรวจวัดฟอสฟอรัสจากน้ำสังเคราะห์ที่เตรียมขึ้น 52 ตัวอย่าง พบว่าค่าเปอร์เซ็นต์การกลับคืนมาของฟอสฟอรัสที่ทราบปริมาณของการตรวจวัดมีค่าระหว่าง 75-122.7% ซึ่งเป็นค่าที่ยอมรับได้จะต้องอยู่ในช่วง 75-125% (USEPA, 1982)

อย่างไรก็ตามยังคงมีค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของค่าความเข้มข้นฟอสฟอรัสยังคงสูงอยู่ การทดลองขั้นต่อไปจึงพยายามลดเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนโดยนำค่าการดูดกลืนคลิ่นแสงที่ 470 nm ของน้ำบ่อธรรมชาติและน้ำสังเคราะห์ที่เตรียมขึ้น 110 ตัวอย่างจากวิธีการที่พัฒนาขึ้นและค่าความเข้มข้นฟอสฟอรัสที่ถูกต้องจากวิธีมาตรฐานมาสร้างกราฟความสัมพันธ์ใหม่

2. การลดข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้นในวิธีที่พัฒนาขึ้นโดยการสร้างกราฟความสัมพันธ์ใหม่

จากผลการทดลองในข้อ 1 พบว่าค่าความเข้มข้นฟอสฟอรัสที่ตรวจวัดจากทั้งวิธีมาตรฐานและวิธีการที่พัฒนาขึ้นมีค่าค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของความเข้มข้นฟอสฟอรัสยังคงสูงอยู่ จึงทำการเสนอกราฟความสัมพันธ์ใหม่ขึ้นซึ่งกราฟความสัมพันธ์ใหม่คือ กราฟที่สร้างขึ้นจากผลการทดลองที่ได้จากค่าการดูดกลืนคลิ่นแสงที่ 470 nm ของน้ำบ่อธรรมชาติและน้ำสังเคราะห์ที่เตรียมขึ้นโดยวิธีพัฒนาที่ขึ้น (ลดการใช้ถ่านกัมมันต์และฟีนอลทาลีน) กับค่าความเข้มข้นฟอสฟอรัสที่ได้จากวิธีมาตรฐาน (AWWA&APHA, 2005) ได้ดังภาพที่ 2 เหตุผลของการพล็อตกราฟความสัมพันธ์ใหม่คือ ค่าการดูดกลืนคลิ่นแสงที่นำมาพล็อตเป็นค่าที่ได้จริงจากวิธีการที่พัฒนาขึ้นและความเข้มข้นของฟอสฟอรัสที่ได้จากวิธีมาตรฐานจะถูกต้องเสมอ โดยกราฟความสัมพันธ์ใหม่ที่เสนอขึ้นสำหรับวิธีการที่พัฒนาขึ้นเพื่อใช้กับเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ชนิดลำแสงเดี่ยวคือ $y=0.0187x$ (ภาพที่ 2) เมื่อ y คือค่าการดูดกลืนคลิ่นแสงที่ 470 nm จากวิธีการที่พัฒนาขึ้นและ x คือ ค่าความเข้มข้นฟอสฟอรัสจากวิธีมาตรฐาน



ภาพที่ 2 แสดงกราฟความสัมพันธ์ใหม่ระหว่างค่าการดูดกลืนคลื่นแสงที่ 470 nm จากวิธีการที่พัฒนาขึ้นกับค่าความเข้มข้นของฟอสฟอรัสที่ได้จากวิธีมาตรฐานเพื่อใช้กับเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ชนิดลำแสงเดี่ยว

ทำการทดสอบตัวอย่างน้ำบ่อธรรมชาติจำนวน 20 ตัวอย่างโดยใช้การเปรียบเทียบ 1) ค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของความเข้มข้นฟอสฟอรัสที่ได้จากวิธีการที่พัฒนาขึ้นใช้กราฟมาตรฐาน 2) ค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของความเข้มข้นฟอสฟอรัสที่ได้จากวิธีการที่พัฒนาขึ้นใช้กราฟความสัมพันธ์ใหม่ นำมาเปรียบเทียบกับค่าความเข้มข้นฟอสฟอรัสจากวิธีมาตรฐานใช้กราฟมาตรฐาน (AWWA&APHA, 2005) ซึ่งพบว่าเมื่อเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นฟอสฟอรัสโดยใช้วิธีการที่พัฒนาขึ้นกับกราฟมาตรฐานเทียบกับค่าความเข้มข้นฟอสฟอรัสโดยวิธีมาตรฐานได้ค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของความเข้มข้นฟอสฟอรัสเฉลี่ยคือ 14.11% แต่เมื่อเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นฟอสฟอรัสโดยใช้วิธีการที่พัฒนาขึ้นกับกราฟความสัมพันธ์ใหม่เทียบกับค่าความเข้มข้นฟอสฟอรัสโดยวิธีมาตรฐาน ได้ค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของความเข้มข้นฟอสฟอรัสเฉลี่ยคือ 2.85% แสดงให้เห็นว่าวิธีการที่พัฒนาขึ้น (ไม่ใช้ถ่านกัมมันต์และฟีนอลทาลีน) จะมีความคลาดเคลื่อนจากวิธีมาตรฐานลดลงเมื่อใช้กราฟความสัมพันธ์ใหม่ในการหาค่าความเข้มข้นของฟอสฟอรัส

5. สรุปผล (Conclusion)

วิธีการที่พัฒนาขึ้นเพื่อวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสในน้ำเมื่อเตรียมตัวอย่างน้ำโดยไม่ใช้ถ่านกัมมันต์และฟีนอลทาลีนและตรวจวัดด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ชนิดลำแสงเดี่ยวที่ความยาวคลื่น 470 nm พบว่าวิธีการที่พัฒนาขึ้นวัดค่าความเข้มข้นของฟอสฟอรัสได้แตกต่างจากวิธีมาตรฐาน 30% โดยทดลองกับน้ำตัวอย่างจำนวน 110 ตัวอย่าง และเพื่อลดเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนนี้จึงสร้างกราฟความสัมพันธ์ขึ้นโดยพล็อตระหว่างค่าการดูดกลืนคลื่นแสงที่ 470 nm ของน้ำตัวอย่างที่ได้จากการเตรียมตัวอย่างโดยวิธีที่พัฒนาขึ้น กับความเข้มข้นจริงที่หาได้จากวิธีมาตรฐาน และเสนอเป็นสมการความสัมพันธ์ใหม่ขึ้นคือ $y = 0.0187x$ (เมื่อ y คือค่าการดูดกลืนคลื่นแสงที่ได้จากวิธีที่พัฒนาขึ้น และ x คือค่าความเข้มข้นจริงที่ได้จากวิธีมาตรฐาน) เมื่อใช้วิธีการที่พัฒนาขึ้นกับสมการความสัมพันธ์ใหม่ที่เสนอ พบว่าค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของความเข้มข้นฟอสฟอรัสแตกต่างจากวิธีมาตรฐานเฉลี่ยเหลือเพียง 2.85% ทั้งนี้เพราะค่าการดูดกลืนคลื่นแสงที่ได้จากวิธีมาตรฐานและวิธีการที่พัฒนาขึ้นมีค่าแตกต่างกันอยู่บ้าง

6. กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากสถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (Kasetsart University Research and Development Institute)

7. เอกสารอ้างอิง (Reference)

- [1] กนกทิพย์ พัฒนาพัวพันธ์, 2541. สถิติอ้างอิงเพื่อการวิจัยทางการศึกษา. พิมพ์ครั้งที่ 1.เชียงใหม่: นพบุรีการพิมพ์.
- [2] กรมประมง, สถิติการเพาะเลี้ยงกุ้งทะเลปี. 2536. เอกสารฉบับที่ 3/2538. กลุ่มสถิติและสารสนเทศการประมง. กองเศรษฐกิจการประมง.กรุงเทพมหานคร.
- [3] คงเดช ลีโทขลิต.2540. สถิติเพื่อการวิจัย. พิมพ์ครั้งที่1. กรุงเทพมหานคร. บริษัท ธรรมสาร จำกัด.
- [4] ชาญชัย วิทูรปัญญากิจ, 2536. เอกสารประกอบการบรรยายเรื่องการกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในระบบบำบัดน้ำเสียของกรุงเทพมหานคร. กรุงเทพฯ. (อัดสำเนา).
- [5] มั่นสิน ตันทุลเวศม์ และไพพรรณ พรประภา, 2536. การจัดการคุณภาพน้ำและการบำบัดน้ำเสียในบ่อเลี้ยงปลาและสัตว์น้ำอื่นๆ เล่ม 1การจัดการคุณภาพน้ำ. ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์สิ่งแวดล้อม.คณะวิศวกรรมศาสตร์.จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- [1] AWWA, APHA. 2005. Standard Methods for the Examination of Waters and Wastewaters. 19th ed., American Public Health Association, American Water Works Association and Water Environment Federation, Washington, DC.
- [2] Bowden, M and Diamond, D. 2003. The determination of phosphorus in a microfluidic manifold demonstrating long-term reagent lifetime and chemical stability utilizing a colorimetric method. Sensor and Actuators B 90: 170-174.
- [3] Sorasake Kulamai, Suchada Chaisawadi, Darawan Thongbutre, and Waraporn Methawiriyasilp. 2003. An efficiency evaluation of phosphate test kit the determination of phosphate in various kinds of wastewater. Pilot Plant Development and Training Institute, King Mongkut's University of Technology Thonburi.
- [4] USEPA.1982. Handbook for sampling and Preservation of Water and Wastewater Environmental Monitoring Support Laboratory Office of Research and Development, US.EPA. OHIO. 402 pp.

การออกแบบ GA ในการจัดตารางสอน
สำหรับมหาวิทยาลัยที่มีนักศึกษาหลายคณะเรียนร่วมกัน
Design GA in Timetable for University on Multiple Faculties Studying
Together

สุจรรยา แก้วพรายตา*, วนิดา รัตนมณี

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการและระบบ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ตำบลคอหงส์ อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา 90112

k.sujanya@hotmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำวิธีการเชิงพันธุกรรม (Genetic algorithms) มาประยุกต์ใช้เพื่อออกแบบระบบการจัดตารางสอนในมหาวิทยาลัยที่มีนักศึกษาหลายคณะเรียนร่วมกัน การออกแบบระบบการจัดตารางสอนนี้มีมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์เป็นมหาวิทยาลัยกรณีศึกษา เปิดสอนทั้งหมด 16 คณะ ซึ่งมหาวิทยาลัยมีลักษณะการจัดตารางสอนแบบจัดตารางสอนก่อนแล้วจึงให้นักศึกษาลงทะเบียนเรียน โดยมีส่วนกลางของมหาวิทยาลัยรับผิดชอบในการจัดตารางสอน งานวิจัยนี้พิจารณาเฉพาะการจัดตารางสอนสำหรับนักศึกษาชั้นปีที่ 1 ของทุกคณะที่ต้องเรียนร่วมกัน โดยรูปแบบการจัดการเรียนการสอนสำหรับวิชาเรียนของชั้นปีที่ 1 มหาวิทยาลัยได้จัดคณะบริการเพื่อรับผิดชอบสอนในรายวิชาศึกษาทั่วไปให้กับนักศึกษาชั้นปีที่ 1 ทุกคณะโดยใช้ทรัพยากรทั้งห้องเรียน อาจารย์ผู้สอน รวมทั้งสอนเฉพาะในรายวิชาที่เป็นรายวิชาของคณะบริการนั้นๆ เท่านั้น เมื่อมีการจัดตารางสอนให้หลายคณะเรียนร่วมกันสิ่งที่พบก็คือความขัดแย้งของเงื่อนไขการจัดตารางสอนไม่ได้เกิดขึ้นเฉพาะภายในคณะเท่านั้น แต่ส่งผลไปถึงความขัดแย้งที่จะเกิดขึ้นระหว่างคณะอีกด้วย การจัดตารางสอนจึงมีความซับซ้อนมากยิ่งขึ้น ในการศึกษาจึงนำวิธีการทางพันธุกรรมมาใช้แก้ปัญหาโดยพิจารณาเงื่อนไขบังคับ (Hard constraint) และเงื่อนไขเพื่อความสมบูรณ์ (Soft constraint) ส่งผลให้การจัดตารางสอนสามารถใช้ทรัพยากรและจัดตารางสอนได้อย่างมีประสิทธิภาพ ผลลัพธ์จากงานวิจัยทำให้ได้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในการจัดตารางสอนสำหรับมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

คำสำคัญ(Key word): การจัดตารางสอน; วิธีการทางพันธุกรรม; อีวิริสติก

* นางสาวสุจรรยา แก้วพรายตา

Abstract

In this research, the objective is to applied genetic algorithm methods to design the timetable university system with student multiple faculties studying together. Prince of Songkla University was used to be a case study with 18 faculties. In traditional, registrar's division of the university is responsible for timetable by timetabling first and then allows students to register. This research aimed to timetabling only a first-year student of all faculties in university. Which faculty service is responsible for teaching general education courses to students, using the resource whole classrooms, teachers and taught only in the courses of that faculty. As a result, the constraints conflicts in the timetable can occur not only in each faculty but also across faculties. The course scheduling problem becomes more difficult to solve. Then, a genetic algorithm is proposes for solving hard and soft constraints. Consequently, timetabling system can use the resource and timetable efficiently. This research obtained the software for timetabling in Prince of Songkla University.

Keywords: Timetabling; Genetic algorithm; Heuristics

1. บทนำ (Introduction)

การจัดตารางสอนถือเป็นสิ่งที่มีความจำเป็นและส่งผลต่อประสิทธิภาพการเรียนการสอนภายในสถานศึกษา แต่พบว่าในทุกๆ ภาคการศึกษาปัญหาสำคัญในด้านการศึกษานั้นเกิดจากการจัดตารางสอน ผู้ดำเนินการในการจัดตารางสอนจำเป็นต้องอาศัยประสบการณ์ในการจัด อีกทั้งการจัดตารางสอนในปัจจุบันต้องใช้เวลาในการจัดนานเนื่องจากต้องสร้างความสัมพันธ์ของวิชาเรียน ห้องเรียน อาจารย์ผู้สอน กลุ่มนักศึกษา โดยพบว่าการจัดตารางสอนในมหาวิทยาลัยนั้นเป็นงานที่ย่างยากซับซ้อนเนื่องจากมีข้อจำกัดและเงื่อนไขจำนวนมาก เช่น จำนวนห้องเรียนและประเภทของห้องเรียนที่ใช้ในการเรียนการสอน จำนวนกลุ่มนักศึกษา จำนวนรายวิชา จำนวนอาจารย์ผู้สอนและต้องคำนึงถึงข้อบังคับต่างๆ เช่น ขนาดความจุของห้องเรียน การจัดให้เรียนหลายๆ คาบติดต่อกัน การจัดตารางสอนจึงเป็นกระบวนการที่ซับซ้อนและต้องอาศัยความยืดหยุ่นสูง การหากระบวนการในการจัดตารางสอนเพื่อให้เกิดความเหมาะสมในวิชาเรียน อาจารย์ผู้สอน ห้องเรียน หลักสูตร จำนวนกลุ่มนักศึกษา จึงมีความสำคัญเป็นอย่างยิ่ง อีกทั้งยังต้องพิจารณาปัจจัยและข้อบังคับต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการจัดตารางสอนด้วย จะเห็นได้ว่าการจัดตารางสอนในปัจจุบันมีปัญหาต่างๆ เพิ่มมากขึ้นอันเนื่องมาจากจำนวนผู้เรียนที่เพิ่มขึ้นสวนทางกับห้องเรียนที่มีอยู่จำกัด อีกทั้งรายวิชาที่เปิดสอนมีความหลากหลายมากยิ่งขึ้นเพื่อตอบสนองความต้องการของผู้เรียน จึงทำให้มีปัจจัยและความซับซ้อนในการจัดตารางสอนเพิ่มมากขึ้น

งานวิจัยนี้ได้ออกแบบระบบการจัดตารางสอนโดยใช้มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์เป็นมหาวิทยาลัยกรณีศึกษา ซึ่งลักษณะการจัดตารางสอนของมหาวิทยาลัยกรณีศึกษานี้เป็นการจัดตารางสอนบนพื้นฐานของหลักสูตร (Curriculum-Based Course Timetabling: CB-CCT) โดยดำเนินการจัดตารางสอนก่อนที่จะเปิดให้นักศึกษาลงทะเบียนเรียนรวมทั้งจัดตารางสอนสำหรับนักศึกษาแต่ละหลักสูตร จากนั้นมหาวิทยาลัยจึงจะเปิดให้นักศึกษาลงทะเบียนเรียนตามหลักสูตรที่กำหนด โดยมีปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับลักษณะการจัดตารางสอนแบบนี้ เช่น วิชาเรียนมีการกำหนดว่าอาจารย์ท่านใดเป็นผู้สอนและมีภาระระบุว่าเปิดให้นักศึกษาลงทะเบียนได้จำนวนเท่าไร ห้องเรียนมีการระบุว่าเป็นห้องเรียนประเภทใดและสามารถรองรับนักศึกษาได้จำนวนเท่าไร เป็นต้น มหาวิทยาลัยกรณีศึกษานี้มีกองทะเบียนและประมวลผลเป็นหน่วยงานที่รับผิดชอบในการจัดตารางสอนให้กับนักศึกษาของมหาวิทยาลัย ในปัจจุบันผู้จัดใช้วิธีการจัดตารางสอนแบบใช้บุคลากรที่มีความชำนาญในการจัด ซึ่งวิธีการนี้ใช้ระยะเวลาในการจัดตารางสอนประมาณ 1 ภาคการศึกษา จะเห็นได้ว่าเป็นระยะเวลาที่ค่อนข้างนาน อีกทั้งเกิดข้อผิดพลาดในการจัดตารางสอนเป็นจำนวนมาก ทั้งในส่วนของการจัดเวลาเรียนของนักศึกษาซ้ำซ้อนกัน ตารางการสอนของอาจารย์ซ้ำซ้อนกัน ตารางการใช้ห้องเรียนซ้ำซ้อนกัน ซึ่งข้อผิดพลาดดังกล่าวส่งผลต่อประสิทธิภาพการเรียนการสอนทั้งของอาจารย์และนักศึกษา ในปัจจุบันนี้ระบบเทคโนโลยีสารสนเทศมีการพัฒนาก้าวหน้าไปอย่างมาก มีการนำเทคโนโลยีมาใช้ในการแก้ปัญหาต่างๆ อย่างกว้างขวางเพื่อช่วยลดความซับซ้อนของกระบวนการทำงาน งานวิจัยนี้ก็เช่นกัน

งานวิจัยได้นำวิธีการทางพันธุกรรม (Genetic Algorithm: GA) มาประยุกต์ใช้ในการจัดตารางสอนสำหรับมหาวิทยาลัย โดย GA เป็นอัลกอริทึมทางพันธุศาสตร์ที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้เพื่อช่วยในการจัดตารางสอนให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น อีกทั้ง GA เป็นวิธีการหนึ่งที่ทำให้ได้คำตอบที่เหมาะสมที่สุดสำหรับปัญหาการจัดตารางสอน เนื่องจากปัญหาการจัดตารางสอนเกี่ยวข้องกับข้อจำกัดหรือเงื่อนไขจำนวนมาก จึงเหมาะที่จะนำวิธีการทาง GA มาใช้เพื่อช่วยแก้ไขปัญหาลดข้อจำกัดในการจัดตารางสอนที่ได้ออกมาแล้วนั้นมีความเหมาะสมมากยิ่งขึ้น โดยได้นำข้อเสนอแนะและเงื่อนไขบางส่วนจากงานวิจัยที่ได้ดำเนินการจัดตารางสอน ในระดับคณะที่ได้ดำเนินการผ่านมาแล้ว [1] มาใช้ในงานวิจัยนี้ด้วย ซึ่งการนำ GA มาใช้เพื่อจัดการกับปัญหาการจัดตารางสอนนี้สามารถลดเวลาและลดความซับซ้อนที่เกิดจากการจัดตารางสอนโดยใช้บุคลากรที่มีความชำนาญในการจัดลงได้ อีกทั้งยังทำให้การจัดตารางสอนมีความยืดหยุ่นมากยิ่งขึ้น โดยงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบการจัดตารางสอนสำหรับมหาวิทยาลัยที่มีนักศึกษาหลายคณะเรียนร่วมกันโดยนำวิธีการทางเจเนติกอัลกอริทึมเข้ามาช่วยในการแก้ไขปัญห

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การจัดตารางสอน

การจัดตารางสอนเป็นการจัดสรรทรัพยากรที่มีอยู่ภายใต้เงื่อนไขต่างๆ ลงในช่วงเวลาที่มีให้เป็นไปตามแนวทางที่ใกล้เคียงกับวัตถุประสงค์ที่ต้องการมากที่สุด [2] โดยทั่วไปแล้วข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับปัญหาการจัดตารางสอนประกอบไปด้วยข้อมูลเกี่ยวกับกลุ่มผู้เรียน อาจารย์ผู้สอน ห้องเรียน รายวิชา และหลักสูตร ซึ่งในแต่ละสัปดาห์นั้นจะมีการกำหนดช่วงเวลาในการจัดตารางสอนไว้คงที่หนึ่งค่า โดยการจัดตารางสอนนั้นต้องอยู่ภายใต้เงื่อนไขหลักคือ ในวันและเวลาเดียวกัน อาจารย์ กลุ่มผู้เรียน และห้องเรียน จะปรากฏอยู่ในตารางสอนได้เพียงหนึ่งครั้งเท่านั้น [3]

เวลา	8.00-9.00	9.00-10.00	10.00-11.00	11.00-12.00	12.00-13.00	13.00-14.00	14.00-15.00	15.00-16.00
วันจันทร์	Class 1 Room 10 Teacher 5							

เวลา	8.00-9.00	9.00-10.00	10.00-11.00	11.00-12.00	12.00-13.00	13.00-14.00	14.00-15.00	15.00-16.00
วันจันทร์	Class 2 Room 10 Teacher 8							

ภาพที่ 1 ลักษณะการจัดตารางสอนอย่างง่าย

ภาพที่ 1 แสดงตัวอย่างการจัดตารางสอนอย่างง่ายเพื่อให้เห็นภาพรวมลักษณะการจัดตารางสอนของห้องเรียนที่ซ้ำซ้อนกัน โดยห้องเรียน 10 ในคาบเรียน 1 มีการจัดตารางการใช้ห้องเรียนที่ซ้ำซ้อนกัน โดยมีการจัดให้กับกลุ่มผู้เรียน 1 สอนโดยอาจารย์ 5 และจัดให้กับกลุ่มผู้เรียน 2 สอนโดยอาจารย์ 8 ในคาบเรียนเดียวกัน ซึ่งตารางสอนในลักษณะเช่นนี้ไม่สามารถนำไปใช้งานจริงได้ ซึ่งตัวอย่างข้างต้นเป็นส่วนหนึ่งของปัญหาการจัดตารางสอนที่พบในปัจจุบัน

เนื่องจากแต่ละสถานศึกษามีระบบการศึกษาที่ไม่เหมือนกันส่งผลให้มีโครงสร้างของการจัดตารางสอนที่แตกต่างกันออกไป [4] การกำหนดขอบเขตของปัญหาการจัดตารางสอนจึงมีความแตกต่างกันไปตามระบบการจัดการเรียนการสอนของแต่ละสถานศึกษา เช่น มีการกำหนดจำนวนคาบที่ใช้ในการจัดตารางสอนแต่ละวันแตกต่างกัน อีกทั้งทรัพยากรและข้อมูลสำหรับจัดตารางสอนในแต่ละภาคการศึกษาก็จะมีการเปลี่ยนแปลงอยู่เสมอ ทั้งรายวิชาที่เปิดสอน กลุ่มนักศึกษาที่เรียนวิชาเดียวกัน

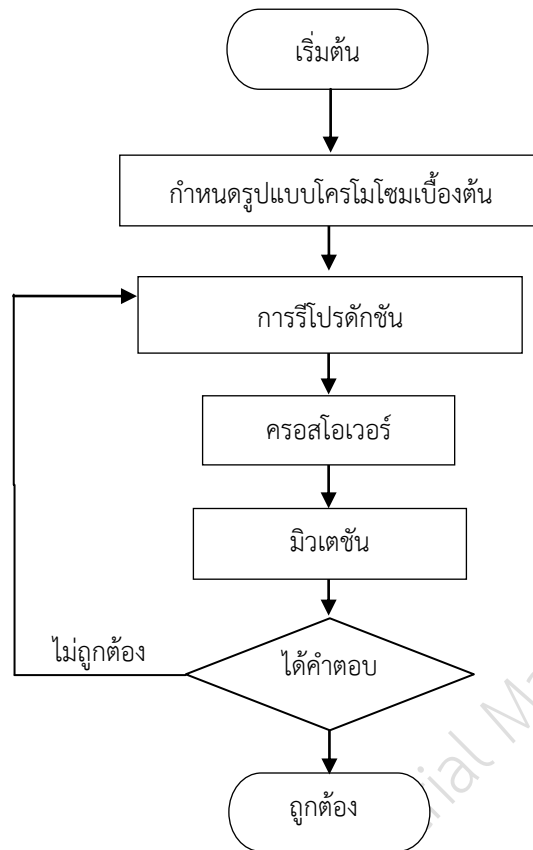
ห้องเรียน เป็นต้น ส่งผลให้การกำหนดขอบเขตของปัญหาที่มีความแตกต่างกัน งานวิจัยเกี่ยวกับการจัดตารางสอนจึงมีการกำหนดขอบเขตของปัญหาแตกต่างกันออกไปตามลักษณะการจัดตารางสอนของสถานศึกษาที่นำมาเป็นกรณีศึกษา

สำหรับงานวิจัยนี้มีขอบเขตของการจัดตารางสอนคือจัดตารางสอนสำหรับนักศึกษาระดับปริญญาตรีทั้งหมด 15 คณะ มีหลักสูตรการศึกษาทั้งหมด 135 หลักสูตร จัดการเรียนการสอนปีการศึกษาละประมาณ 143 รายวิชา มีจำนวนนักศึกษาที่ลงทะเบียนเรียนตามหลักสูตรประมาณ 5,000 คน จำนวนห้องเรียนที่ใช้ในการจัดตารางสอนทั้งหมด 103 ห้อง มีกองทะเบียนและประมวลผลทำหน้าที่จัดตารางสอนภายในมหาวิทยาลัยโดยนำโปรแกรม Microsoft Access 2007 เข้ามาช่วยในการจัดตารางสอนเพื่อลดขั้นตอนในการปฏิบัติงาน แต่โปรแกรกดังกล่าวเป็นเพียงโปรแกรมที่นำเข้ามาช่วยในการจัดการฐานข้อมูลเท่านั้น โดยทำหน้าที่ในการจัดเก็บข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการจัดตารางสอนเพื่อช่วยลดเวลาในกระบวนการกรอกข้อมูลและสำเนาการจัดตารางสอนของภาคการศึกษาที่ผ่านมาเท่านั้น แต่ในส่วนของการจัดตารางสอนนั้นยังไม่มีโปรแกรมใดเข้ามาช่วยในกระบวนการนี้ ปัจจุบันดำเนินการโดยมีเจ้าหน้าที่กำหนดวัน-เวลา ห้องเรียน ให้กับนักศึกษาและอาจารย์ผู้สอน จึงต้องอาศัยเจ้าหน้าที่ที่มีความรู้ ประสบการณ์ และความชำนาญ

2.2 เจเนติกอัลกอริทึม [5]

เจเนติกอัลกอริทึมเป็นอัลกอริทึมที่จำลองวิวัฒนาการทางธรรมชาติ โดยอาศัยพื้นฐานความคิดทางพันธุกรรมในการถ่ายทอดลักษณะต่างๆ ไปยังลูกหลาน สามารถนำมาพัฒนาเพื่อหาคำตอบที่ใกล้เคียงหรือเหมาะสมที่สุดของปัญหาได้ โดยการนำเจเนติกอัลกอริทึมมาประยุกต์ใช้เพื่อแก้ปัญหาการจัดตารางสอนนั้นดำเนินการโดยการแปลงปัญหานั้นก็คือตารางสอน ให้อยู่ในรูปโครโมโซมของสิ่งมีชีวิตและพัฒนากระบวนการทางพันธุศาสตร์ของสิ่งมีชีวิตนั้นก็คือ การครอสโอเวอร์ (Crossover) และการมิวเตชัน (Mutation) เพื่อพัฒนาโครโมโซมตารางสอนในแต่ละรุ่นให้ดีขึ้นจนกว่าจะได้ตารางสอนที่เหมาะสมที่สุด โดยวัดจากค่าฟังก์ชันความเหมาะสมที่พิจารณาจากเงื่อนไขในการจัดตารางสอน ขั้นตอนทางเจเนติกอัลกอริทึมแสดงดังภาพที่ 2

การพัฒนากระบวนการทางเจเนติกอัลกอริทึมเพื่อนำมาประยุกต์ใช้ในการจัดตารางสอนนั้น จะทำการสร้างโครโมโซมซึ่งเป็นข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับอาจารย์ วิชาเรียน กลุ่มนักศึกษาและห้องเรียน เพื่อจะสามารถควบคุมเงื่อนไขการใช้ห้องเรียนในการจัดตารางสอนได้ตามจำนวนกลุ่มผู้เรียนที่ลงทะเบียนเรียน โดยโครโมโซมในการจัดตารางสอนนี้มีความยาวมาก ดังนั้นจึงต้องพัฒนากระบวนการที่สามารถแก้ไขปัญหาคความยาวของโครโมโซมให้สามารถประมวลผลได้จึงอาศัยหลักการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรมของการจัดตารางสอนจากต้นกำเนิดโดยสร้างโครโมโซมต้นแบบ 2 โครโมโซมแล้วทำการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรมของโครโมโซมโดยการครอสโอเวอร์เพื่อให้เกิดโครโมโซมรุ่นต่อไปแล้วนำโครโมโซมที่ได้มาดำเนินการทางพันธุกรรมต่อไปโดยโครโมโซมที่มีค่าความเหมาะสมสูงสุดจะถูกคัดเลือกมาเข้าสู่กระบวนการมิวเตชัน การดำเนินการทางพันธุกรรมนี้เพื่อพัฒนาโครโมโซมในแต่ละรุ่นให้ดีขึ้นจนกว่าจะได้โครโมโซมที่มีค่าความเหมาะสมสูงสุดในการดำเนินการทางพันธุกรรมนั้นจะมีการพิจารณาถึงค่าของข้อมูลที่ถูกบรรจุอยู่ในโครโมโซมเพื่อควบคุมการครอสโอเวอร์และการมิวเตชันไม่ให้มีผลต่อโครโมโซมตารางสอนที่ต้องการควบคุม เพื่อให้ตารางสอนที่ได้สามารถจัดการเรียนการสอนในเวลาเดียวกันโดยไม่มีการซ้ำซ้อนกันของเวลาเรียนของกลุ่มนักศึกษา เวลาสอนของอาจารย์และเวลาการใช้ห้องเรียน



ภาพที่ 2 ขั้นตอนวิธีการทางเจเนติกอัลกอริทึม

3. การพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในการจัดตารางสอนสำหรับมหาวิทยาลัยที่มีนักศึกษาหลายคณะเรียนร่วมกัน โดยประยุกต์ใช้เจเนติกอัลกอริทึม (Results)

การพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในการจัดตารางสอนโดยการประยุกต์ใช้วิธีการทางเจเนติกอัลกอริทึมนั้น เริ่มต้นจากการเก็บรวบรวมข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับการจัดตารางสอนภายในมหาวิทยาลัย ได้แก่ ข้อมูลเกี่ยวกับกระบวนการจัดตารางสอน การศึกษารูปแบบของปัญหาในการจัดตารางสอนและนำข้อมูลที่ได้มาออกแบบและพัฒนาโปรแกรมช่วยในการจัดตารางสอน โดยการนำเอาวิธีการทางเจเนติกอัลกอริทึมเข้ามาประยุกต์ใช้ในการประมวลผลโปรแกรมเพื่อหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดสำหรับปัญหาการจัดตารางสอน โดยพิจารณาให้ขัดแย้งกับเงื่อนไขในการจัดตารางสอนน้อยที่สุด เพื่อเป็นตัวชี้วัดตารางสอนที่ดีที่สุด

3.1 การเก็บรวบรวมข้อมูลเบื้องต้น

เมื่อทราบปัญหาในการจัดตารางสอนแล้ว ก็ดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูลเบื้องต้นที่เกี่ยวข้องกับการจัดตารางสอน เพื่อใช้สำหรับออกแบบโครโมโซมและยีนในขั้นตอนการสร้างคำตอบเบื้องต้น ซึ่งเป็นขั้นตอนแรกและเป็นขั้นตอนที่สำคัญที่สุดของการประยุกต์ใช้วิธีการทางเจเนติกอัลกอริทึม เนื่องจากข้อมูลที่ได้จากการสำรวจและเก็บรวบรวมนั้นต้องนำมาทำการกำหนดตัวแปรในการตัดสินใจของปัญหาและนำตัวแปรตัดสินใจเหล่านั้นมากำหนดเป็นโครโมโซม โดยข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการจัดตารางสอน ได้แก่ กลุ่มนักศึกษาของแต่ละคณะ วิชาเรียนของแต่ละคณะ อาจารย์ผู้สอนในแต่ละรายวิชา ห้องเรียนที่ใช้ในการจัดการเรียนการสอนและเงื่อนไขที่ต้องพิจารณาในการจัดตารางสอน

3.2 การประยุกต์ใช้เจเนติกอัลกอริทึม

โดยทั่วไปการทำงานของวิธีการทางเจเนติกอัลกอริทึมประกอบด้วย การกำหนดรูปแบบโครโมโซม การสร้างคำตอบเบื้องต้น จากนั้นเข้าสู่กระบวนการทางเจเนติกอัลกอริทึมซึ่งประกอบด้วย การกำหนดฟังก์ชันความเหมาะสม การประเมินค่า

ความเหมาะสม การคัดเลือกจากนั้นเข้าสู่การครอสโอเวอร์และการมิวเตชัน การกำหนดฟังก์ชันความเหมาะสมนั้นพิจารณาจากเงื่อนไขทั้งหมดที่เกี่ยวข้องกับการจัดการตารางสอน โดยเงื่อนไขในการจัดการตารางสอนมี 2 ชนิดคือ เงื่อนไขบังคับและเงื่อนไขเพื่อความสมบูรณ์ โดยเงื่อนไขบังคับเป็นเงื่อนไขที่ไม่สามารถละเมิดได้ในการจัดการตารางสอน สำหรับงานวิจัยนี้เงื่อนไขบังคับที่พิจารณาในการจัดการตารางสอนประกอบด้วย

1. ในวันและเวลาเดียวกันอาจารย์ผู้สอนหนึ่งคนสามารถสอนนักศึกษาได้หนึ่งกลุ่มเท่านั้น
2. ในวันและเวลาเดียวกันนักศึกษากลุ่มหนึ่งสามารถเรียนได้หนึ่งรายวิชาเท่านั้น
3. ในวันและเวลาเดียวกันห้องเรียนหนึ่งห้องสามารถเรียนได้หนึ่งรายวิชาเท่านั้น
4. กำหนดห้องเรียนให้เหมาะสมกับประเภทรายวิชา คือ วิชาบรรยายจัดให้เรียนห้องเรียนบรรยาย และวิชาปฏิบัติจะต้องจัดให้เรียนในห้องปฏิบัติการ

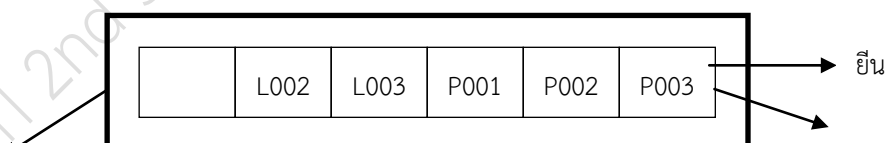
5. วิชาปฏิบัติต้องจัดให้เรียนติดต่อกัน 3 คาบ

เงื่อนไขเพื่อความสมบูรณ์เป็นเงื่อนไขในการจัดการตารางสอนที่ยอมให้เกิดขึ้นได้แต่ต้องเกิดขึ้นน้อยที่สุดจึงจะทำให้ได้ตารางสอนที่ตรงกับความต้องการมากที่สุด สำหรับงานวิจัยนี้เงื่อนไขเพื่อความสมบูรณ์ที่พิจารณาในการจัดการตารางสอนประกอบด้วย

1. คาบที่ 2 ของรายวิชาเดียวกันไม่ควรจัดให้อยู่ในวันเดียวกันโดยเว้นคาบว่าง
2. ควรจัดการสอนรายวิชาประจำภาควิชาให้กับห้องเรียนในภาควิชาชั้นก่อน
3. ในแต่ละวันเมื่อนักศึกษาที่มีคาบเรียนแล้วไม่ควรมีคาบว่างเกิน 2 คาบ เพื่อเรียนในคาบถัดไป
4. ในแต่ละวันควรมีการเว้นคาบว่างในเวลา 12.00 – 13.00 น.
5. ในแต่ละวันอาจารย์ไม่ควรสอนวิชาบรรยายติดต่อกันเกิน 4 คาบ
6. ในแต่ละวันนักศึกษาไม่ควรเรียนวิชาบรรยายติดต่อกันเกิน 4 คาบ

3.2.1 การสร้างคำตอบเบื้องต้น

เป็นการกำหนดรูปแบบโครโมโซมให้เข้ากับปัญหาการจัดการตารางสอนซึ่งถือว่าเป็นขั้นตอนที่สำคัญที่สุดของวิธีการเจเนติกอัลกอริทึม โดยกำหนดโครโมโซมเป็นตารางทั้งหมดที่เกี่ยวข้องกับการจัดการตารางสอน โครโมโซมการจัดการตารางสอนสำหรับงานวิจัยนี้แสดงในภาพที่ 3



ภาพที่ 3 กำหนดรหัสยีนในโครโมโซม

3.2.2 การรีโพรดักชัน

เป็นการหาค่าความเหมาะสมของโครโมโซมในการจัดการตารางสอนเพื่อค้นหาโครโมโซมตารางสอนที่มีค่าความเหมาะสมมากที่สุดเพื่อเป็นคำตอบของปัญหา โดยมีการแปลงโครโมโซมให้เป็นตารางสอนแล้วคำนวณฟังก์ชันความเหมาะสมซึ่งคิดจากค่าน้ำหนักของเงื่อนไขที่เกี่ยวข้องกับการจัดการตารางสอนทั้ง 2 ประเภทตามที่ได้กำหนดไว้ โดยฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของการจัดการตารางสอนสำหรับนักศึกษามหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์คือ พิจารณาให้เกิดความขัดแย้งกับเงื่อนไขในการจัดการตารางสอนน้อยที่สุด หากผลลัพธ์ที่ได้เป็นไปตามวัตถุประสงค์ก็มีโอกาสที่จะถูกคัดเลือก (Selection) เพื่อไปดำเนินการ

ในกระบวนการต่อไป ในงานวิจัยนี้โครโมโซมที่มีโอกาสถูกเลือกมากที่สุดคือโครโมโซมที่มีค่าความเหมาะสมน้อยนั่นคือการขัดแย้งกับเงื่อนไขในการจัดตารางสอนน้อย โดยการวัดค่าโครโมโซมในการจัดตารางสอนมีเกณฑ์การวัดค่าความเหมาะสม

จากฟังก์ชันความเหมาะสมของโครโมโซมที่มีค่าความเหมาะสมน้อยที่สุดจะเป็นโครโมโซมที่ดีที่สุด ฟังก์ชันความเหมาะสมในการจัดตารางสอนแสดงดังสมการที่ (1)

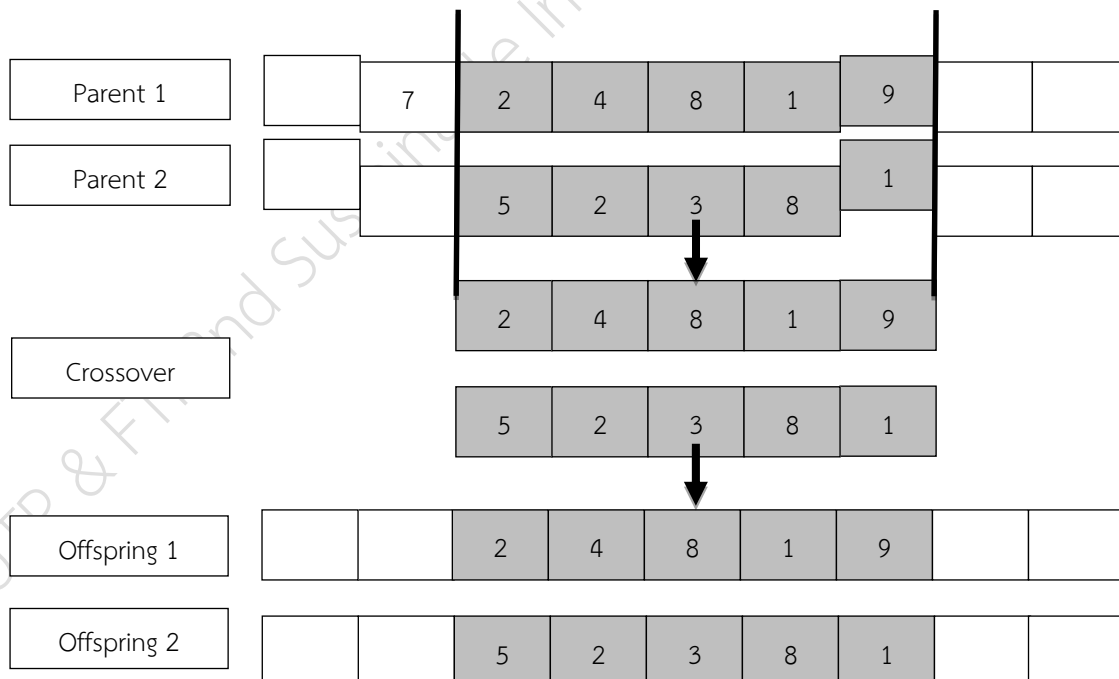
$$\text{fitness function} = \sum_{i=1}^N (n_i * w_i) \quad (1)$$

โดยที่

- n_i = จำนวนครั้งที่เกิดเงื่อนไข i
- w_i = ค่าน้ำหนักของเงื่อนไข i
- N = จำนวนเงื่อนไขทั้งหมด (รวมทั้ง 2 ประเภท)

3.2.3 การครอสโอเวอร์

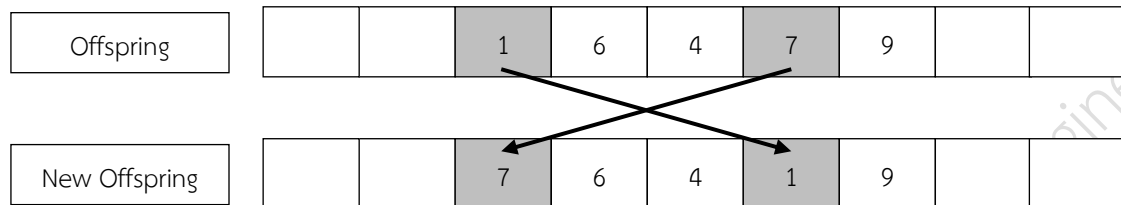
เป็นการแลกเปลี่ยนโครโมโซมพ่อแม่ (Parent) ที่ได้จากการรีโพรดักชันบางส่วน เพื่อสร้างโครโมโซมลูกให้แตกต่างจากโครโมโซมพ่อแม่ เป็นการสร้างโอกาสที่จะทำให้เกิดโครโมโซมลูกที่ดีกว่าโครโมโซมพ่อแม่ที่เลือกมา โดยนำยีนจากโครโมโซมที่ดีที่สุดจากรุ่นก่อนหน้ามาทำการแลกเปลี่ยนยีนกัน ซึ่งงานวิจัยนี้ใช้วิธีการครอสโอเวอร์แบบลำดับ (Order Crossover: OX) โดยลักษณะการครอสโอเวอร์แบบลำดับแสดงดังภาพที่ 4 ซึ่งวิธีการนี้เป็นการแลกเปลี่ยนส่วนประกอบทั้งหมดของโครโมโซมพ่อแม่แล้วดำเนินการจัดเรียงส่วนประกอบ โดยเริ่มจากส่วนประกอบระหว่างจุดตัดทั้งสองจุดตามด้วยส่วนที่เหลือตามลำดับวิธีนี้เป็นวิธีการที่คำนึงถึงลำดับการเรียงส่วนประกอบของโครโมโซมพ่อแม่ในการสร้างโครโมโซมลูก (Offspring)



ภาพที่ 4 การครอสโอเวอร์แบบลำดับ

3.2.4 การมิวเตชัน

เป็นการสร้างโครโมโซมใหม่ที่มีการแลกเปลี่ยนยีนภายในโครโมโซม โดยยีนแต่ละตัวภายในโครโมโซมมีโอกาสที่จะถูกเลือกในการสลับเปลี่ยนตำแหน่งเท่าๆ กัน ในงานวิจัยนี้ใช้วิธีการมิวเตชันแบบแลกเปลี่ยนสองจุด (Two-point Swapping Mutation) วิธีการมิวเตชันแบบแลกเปลี่ยนสองจุดแสดงดังภาพที่ 5



ภาพที่ 5 การมิวเตชันแบบแลกเปลี่ยนสองจุด

3.2.5 การหยุดการค้นหาคำตอบ

เป็นการกำหนดจำนวนรุ่นที่จะให้กระบวนการสามารถทำงานจนได้จำนวนประชากรเท่ากับจำนวนที่ผู้วิจัยต้องการ โดยผู้วิจัยเป็นผู้กำหนด เช่น 100 500 หรือ 1,000 ตามความเหมาะสม เมื่อโปรแกรมได้จำนวนรุ่นที่ต้องการแล้ว โปรแกรมจะทำการเลือกคำตอบที่เหมาะสมที่สุดมาจากข้อมูลทั้งหมดและโปรแกรมก็หยุดการทำงาน

3.3 การพัฒนาโปรแกรมในการหาคำตอบของปัญหาการจัดตารางสอนสำหรับมหาวิทยาลัยที่มีนักศึกษาหลายคณะเรียนร่วมกัน

ออกแบบและพัฒนาโปรแกรมจากข้อมูลและวิธีการที่ได้วางแผนไว้โดยใช้โปรแกรม Microsoft Visual Studio 2010 (visual C#) และเชื่อมต่อกับระบบฐานข้อมูลโปรแกรม Microsoft Access 2007 โดยโปรแกรมที่ได้พัฒนาขึ้นประกอบด้วย 3 ส่วน ได้แก่ ส่วนรับข้อมูล ส่วนการประมวลผล และส่วนแสดงผลลัพธ์ ซึ่งมีหลักการทำงานคือ ส่วนรับข้อมูลจะรับข้อมูลที่ถูกต้องป้อนเข้าโดยผู้ใช้ ส่วนหนึ่งใช้ในการประมวลผลและอีกส่วนหนึ่งจัดเก็บไว้ในฐานข้อมูล จากนั้นส่วนประมวลผลจะดึงข้อมูลจากฐานข้อมูลมาประมวลผลตามวิธีการทางเจเนติกอัลกอริทึมและได้ผลลัพธ์เป็นตารางเรียนของกลุ่มนักศึกษา ตารางสอนของอาจารย์และตารางการใช้ห้องเรียน โดยตารางที่ได้เป็นตารางที่เหมาะสมที่สุดในการจัดตารางสอนวิชาศึกษาทั่วไปสำหรับมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

4. อภิปรายผล (Discussion)

การพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในการจัดตารางสอนโดยประยุกต์ใช้วิธีการทางเจเนติกอัลกอริทึมในการหาคำตอบสำหรับปัญหาการจัดตารางสอนในระดับมหาวิทยาลัยนี้ มีการใช้โปรแกรม Microsoft Visual Studio 2010 (visual C#) ในการเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์และเชื่อมต่อกับระบบฐานข้อมูลซึ่งเป็นข้อมูลทั้งหมดที่เกี่ยวข้องกับการจัดตารางสอนโดยฐานข้อมูลนี้ใช้โปรแกรม Microsoft Access 2007 แล้วใช้วิธีการทางเจเนติกอัลกอริทึมในการหาคำตอบของปัญหา ทำให้ได้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในการจัดตารางสอนที่เหมาะสมกับปัญหาการจัดตารางสอนของมหาวิทยาลัยการศึกษาและมหาวิทยาลัยที่มีเงื่อนไขการจัดตารางสอนใกล้เคียงกัน

5. สรุปผล (Conclusion)

งานวิจัยนี้เป็นการนำหลักการทางเจเนติกอัลกอริทึมมาประยุกต์ใช้เพื่อสร้างโปรแกรมช่วยในการแก้ปัญหาการจัดตารางสอนในการช่วยหาตารางสอนที่เหมาะสมที่สุดโดยพิจารณาตามเงื่อนไขที่เกี่ยวข้องกับการจัดตารางสอน ตารางสอนที่ได้ต้องไม่ละเมิดเงื่อนไขบังคับและละเมิดเงื่อนไขเพื่อความสมบูรณ์น้อยที่สุด โดยมีส่วนหลักของโปรแกรมประกอบด้วย ส่วนรับข้อมูล ส่วนประมวลผล และส่วนแสดงผลลัพธ์ ซึ่งส่วนรับข้อมูลจะรับข้อมูลทั้งหมดที่เกี่ยวข้องสำหรับการจัดตารางสอน แล้วส่งข้อมูล

เหล่านั้นไปยังส่วนประมวลผลเพื่อเข้าสู่กระบวนการทางคณิตศาสตร์ โดยแสดงผลเป็นตารางเรียนของกลุ่มนักศึกษา ตารางสอนของอาจารย์ และตารางการใช้ห้องเรียน ผลจากการวิจัยครั้งนี้ทำให้ได้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในการหาคำตอบที่เหมาะสมสำหรับปัญหาการจัดตารางสอน ซึ่งความน่าเชื่อถือของโปรแกรมวัดโดยการเปรียบเทียบระหว่างตารางสอนที่ได้จากโปรแกรมคอมพิวเตอร์กับวิธีการจัดตารางสอนแบบเดิมคือการจัดตารางสอนโดยผู้มีประสบการณ์และชำนาญในการจัดตารางสอน

สำหรับงานที่จะดำเนินการต่อไปในอนาคตคือดำเนินการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในส่วนประมวลผลและส่วนแสดงผลของการจัดตารางสอนเพิ่มเติม จากนั้นทำการทดสอบโปรแกรมจากข้อมูลทั้งหมดเกี่ยวกับการจัดตารางสอนแล้ว เปรียบเทียบผลลัพธ์กับการจัดตารางสอนแบบเดิม โดยผลลัพธ์ที่ได้ต้องไม่ละเมิดเงื่อนไขที่กำหนดไว้ เมื่อโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในการจัดตารางสอนนี้พัฒนาเสร็จแล้วจะสามารถนำไปจัดตารางสอนให้กับนักศึกษาระดับปริญญาตรีของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ได้ และสามารถนำไปใช้จัดตารางสอนในมหาวิทยาลัยอื่นๆ ที่มีลักษณะการจัดตารางสอน คล้ายกันได้ ซึ่งโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในการจัดตารางสอนนี้ช่วยให้การจัดตารางสอนในแต่ละภาคการศึกษา มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น เมื่อการจัดตารางสอนมีประสิทธิภาพส่งผลให้คุณภาพการศึกษาของมหาวิทยาลัยดียิ่งขึ้น

6. กิตติกรรมประกาศ

บทความนี้ได้รับเงินทุนสนับสนุนบางส่วนจากมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

7. เอกสารอ้างอิง (Reference)

- [1] Pornpailin Ameen. "Design GA for finding the optimal bachelor timetable." The 5th International Conference on Engineering and Technology (ICET-2011), 2011.
- [2] A. Wren. "The Practice and Theory of Automated Timetabling : Selected Papers from the 1st International conference on the practice and theory of automated timetabling." Edinburgh: Napier University, 1996.
- [3] Leonardo Aparecido Cicon. "The school timetabling problem: a focus on elimination of open periods and isolated classes." Journal of Research in Engineering and Technology 1(2): pp. 66-77. 2006.
- [4] สุรน ไชยสุวรรณ และวนิดา ดันดิธรรมภูษิต. "คู่มือปฏิบัติงานการจัดตารางเรียนตารางสอนและตารางสอบ." กองทะเบียน และประมวลผล กองบริการการศึกษา มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่, 2550.
- [5] วุฒิพงษ์ ชินศรี. "การแก้ปัญหาการจัดตารางสอนในระดับมหาวิทยาลัยด้วยเมตาฮีริสติก: การทบทวนวรรณกรรม." KRU Research Journal 17(4): pp. 639-659.

การปรับสมบัติของน้ำมันมะพร้าวเพื่อใช้เป็นน้ำมันไฮดรอลิกอุตสาหกรรม Modification of Coconut Oil Properties to Use as Industrial Hydraulic Oil

ปริญญ์ ชื่นวัฒนา*, อนุสาล เพิ่มสุวรรณ, นคร ทิพย์วงศ์
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
239 ถนนห้วยแก้ว ตำบลสุเทพ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ 50200
ps-23325@hotmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจสอบคุณสมบัติความเป็นกรดรวม (TAN), การกัดกร่อนแผ่นทองแดง, การบวมพองของยางโอริงในน้ำมัน และความต้านทานต่อการเกิดออกซิเดชัน (Oxidation Stability) ของน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ และน้ำมันมะพร้าวผสมสารต้านออกซิเดชัน (Butylated hydroxytoluene, BHT) เปรียบเทียบกับน้ำมันไฮดรอลิก จากผลการทดสอบ พบว่า น้ำมันมะพร้าวทั้ง 2 ชนิด มีค่าความเป็นกรดรวมและการกัดกร่อนแผ่นทองแดงค่อนข้างสูง แต่มีผลการบวมพองของยางโอริงในน้ำมันที่ต่ำและดีเทียบเท่ากับน้ำมันไฮดรอลิก ส่วนความต้านทานต่อการเกิดออกซิเดชันที่ทดสอบด้วยเครื่อง Differential Scanning Calorimetry (DSC) นั้น พบว่า น้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ และน้ำมันมะพร้าวผสมสารต้านออกซิเดชัน มีความต้านทานต่อการเกิดออกซิเดชันได้น้อยกว่าน้ำมันไฮดรอลิก โดยมีค่า Oxidation Onset Temperature (OOT) เท่ากับ 212.58°C, 220.15°C และ 232.05°C ตามลำดับ นอกจากนี้เมื่อนำน้ำมันมะพร้าวทั้ง 2 ชนิด ไปป้อนเร่งการเกิดออกซิเดชันในตู้อบ (95°C, 168 ชั่วโมง, ความดันบรรยากาศ) โดยใช้ผงเหล็กเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา แล้วนำมาตรวจสอบค่าความเป็นกรดรวม (TAN) ยังพบว่า น้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์มีค่า TAN สูงขึ้นมาก ในขณะที่น้ำมันมะพร้าวผสมสารต้านออกซิเดชันมีค่า TAN สูงขึ้นเล็กน้อยเช่นเดียวกับน้ำมันไฮดรอลิก

คำสำคัญ : น้ำมันมะพร้าว ; ความต้านทานต่อการเกิดออกซิเดชัน ; บิวทิเรตไฮดรอกซีโทลูอิน (บีเอชที)

Abstract

The objectives of this project were to examine the total acid number (TAN), copper strip corrosion, swelling of an o-ring in oil and the oxidation stability of pure coconut oil and coconut oil with an antioxidant (Butylated hydroxytoluene, BHT) in comparison with regular hydraulic oil. It was found that, pure coconut oil and coconut oil with an antioxidant showed relatively high values of TAN and copper strip corrosion. However, both oils showed very low values of o-ring swelling, similar to hydraulic oil. The oxidation stability test, using differential scanning calorimetry (DSC), showed that both oils had less stability compared to the hydraulic oil. The value of the oxidation onset temperature (OOT) of both coconut oils and hydraulic oil were 212.58°C, 220.15°C and 232.05°C respectively. Furthermore, when the oils were tested in an oven at 95°C, 168 h., atmospheric pressure, with an iron catalyst, after examination, the TAN was found to have increased a lot for the pure coconut oil. The TAN for the coconut oil with an antioxidant had increased only a little, the same as the hydraulic oil.

Key word : Coconut oil; Oxidation Stability; Butylated hydroxytoluene (BHT)

* ปริญญ์ ชื่นวัฒนา

1. บทนำ

ปัจจุบันน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้ในงานอุตสาหกรรมส่วนใหญ่ผลิตได้จากน้ำมันปิโตรเลียมเป็นหลัก ซึ่งมีกระบวนการผลิต การใช้งาน ตลอดจนการกำจัดที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม จึงทำให้หลายๆ ประเทศต่างเกิดความตระหนักถึงปัญหาการใช้ น้ำมันหล่อลื่นที่ผลิตจากปิโตรเลียม ประกอบกับความต้องการใช้น้ำมันหล่อลื่นที่สูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง ด้วยเหตุนี้การนำน้ำมันพืช อย่างเช่น น้ำมันปาล์ม น้ำมันมะพร้าว น้ำมันถั่วเหลือง เป็นต้น มาผลิตเป็นน้ำมันหล่อลื่นแทนการใช้น้ำมันปิโตรเลียมจึงมีความสำคัญมากขึ้น เพราะมีความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม และสามารถผลิตได้ง่ายภายในประเทศ โดยจากรายงานของสำนักเศรษฐกิจการเกษตร ในปี พ.ศ. 2550 พบว่า ประเทศไทยมีศักยภาพในการเพาะปลูกและผลิตพืชน้ำมันอย่างเช่นผลปาล์ม น้ำมันมะพร้าว ที่สูงถึง 6.39 ล้านตัน รองลงมาคือ มะพร้าว 1.72 ล้านตัน และถั่วเหลือง 0.20 ล้านตัน ตามลำดับ

น้ำมันไฮดรอลิก คือ น้ำมันหล่อลื่นชนิดหนึ่งที่ใช้ในระบบไฮดรอลิก ซึ่งมีการใช้อย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรมเกือบทุกประเภท โดยน้ำมันไฮดรอลิกจะทำหน้าที่เป็นสารตัวกลางในการส่งกำลังไปยังอุปกรณ์ทำงานของเครื่องยนต์หรือเครื่องจักรกล ตลอดจนทำหน้าที่หล่อลื่นปั๊มและช่วยระบายความร้อน ทั้งนี้ปริมาณการใช้น้ำมันไฮดรอลิกในประเทศไทย ยังไม่พบการรายงานตัวเลข ปริมาณการใช้ที่ชัดเจน แต่จากสถานการณ์ตลาดน้ำมันหล่อลื่นภายในประเทศที่มีการขยายตัวตามการเติบโตของภาคอุตสาหกรรม จึงทำให้คาดเดาได้ว่าปริมาณการใช้น้ำมันไฮดรอลิกซึ่งเป็นปัจจัยในการทำงานของเครื่องยนต์และเครื่องจักรกล จะเพิ่มขึ้นตาม ดังข้อมูลในปี พ.ศ. 2550 ประเทศไทยมีปริมาณการจำหน่ายน้ำมันหล่อลื่นสูงถึง 400 ล้านลิตรต่อปี ซึ่งแบ่งเป็นส่วนของน้ำมันหล่อลื่นสำหรับยานยนต์ 60% และน้ำมันหล่อลื่นสำหรับงานอุตสาหกรรม 40% ในขณะที่ปี พ.ศ. 2552 ปริมาณการจำหน่ายน้ำมันหล่อลื่นก็เพิ่มขึ้นเป็น 500 ล้านลิตรต่อปี ตามลำดับ (ธิตยา ราษฎร์ไพร, 2554)

การใช้น้ำมันพืชเพื่อเป็นวัตถุดิบสำหรับผลิตน้ำมันหล่อลื่นในปัจจุบันยังมีน้อยมาก เนื่องจากน้ำมันพืชมีความเสถียรตัวทางเคมี ต่อความร้อนและการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันต่ำ (Lawal S.A., 2013) เพราะมีโครงสร้างทางเคมีเป็นไตรกลีเซอไรด์ที่ประกอบด้วยกรดไขมันไม่อิ่มตัวเป็นส่วนใหญ่ จึงทำให้เสื่อมสภาพได้ง่ายกว่าน้ำมันปิโตรเลียม ซึ่งจากข้อมูลของ Gawrilow I. (2003) และพิศมัย เจนวนิชปัญจกุล (2552) ที่ได้ประเมินความต้านทานต่อการเกิดออกซิเดชัน (Oxidation Stability) ของน้ำมันพืช พบว่า น้ำมันมะพร้าวดีที่สุด ดังนั้นแนวคิดที่จะนำน้ำมันมะพร้าวมาพัฒนาเป็นน้ำมันหล่อลื่นอุตสาหกรรมจึงน่าสนใจ

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้คือการตรวจสอบคุณสมบัติทางเคมีเบื้องต้นและประเมินความต้านทานต่อการเกิดออกซิเดชัน ทั้ง 2 ส่วน ได้แก่ Short – term และ Long – term Oxidation Stability test ของน้ำมันมะพร้าวแบบเติมและไม่เติมสารต้านออกซิเดชันเทียบกับน้ำมันไฮดรอลิก

2. วิธีวิจัย

2.1 วัตถุดิบ

น้ำมันพื้นฐาน (Base oil) ที่ใช้วิจัย มี 2 ชนิด ได้แก่ (1) น้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ชนิดบริโภคน้ำมันพืชไทย เพียว ได้จากบริษัทน้ำมันมะพร้าวไทย จำกัด และ (2) น้ำมันไฮดรอลิกเกรด ISO 32 ยี่ห้อ Trane ได้จากบริษัทพรี่เมียร์ลูบริแคนท์ จำกัด สำหรับสารต้านออกซิเดชัน (Antioxidant) ได้แก่ Butylated hydroxytoluene (BHT) ชนิด Analytical grade ความบริสุทธิ์ >99.0% ได้จากบริษัทยูเนียนชาแนล จำกัด

2.2 วิธีเตรียมตัวอย่าง

น้ำมันตัวอย่าง 3 ชนิด ได้แก่ (1) น้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ (2) น้ำมันมะพร้าว + 3%BHT และ (3) น้ำมันไฮดรอลิก โดยน้ำมันชนิดที่ 2 เตรียมได้จากการนำสาร BHT ความเข้มข้น 3% by weight ผสมกับน้ำมันมะพร้าว และให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 60°C พร้อมกับกวนด้วยความเร็วคงที่เป็นเวลา 40 นาที จนสาร BHT ผสมเข้ากับน้ำมันเป็นเนื้อเดียวกัน จากนั้นจึงบรรจุใส่ขวดแก้วและปิดฝาให้สนิท เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง (27 - 33°C) ก่อนนำไปทดสอบ

2.3 การตรวจสอบคุณสมบัติทางเคมี

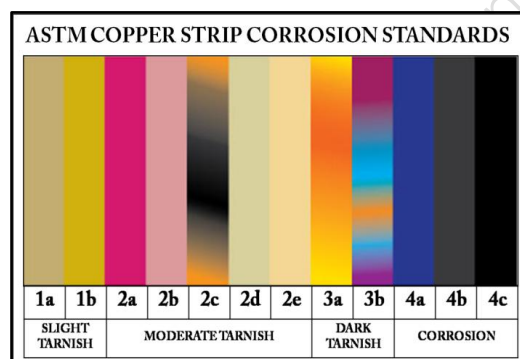
แบ่งเป็น 3 ด้าน ดังนี้

2.3.1 ความเป็นกรดรวม (Total Acid Number, TAN) ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D974 โดยใช้วิธีการไทเทรตน้ำมันตัวอย่างด้วยสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) ความเข้มข้น 0.1 mol/L แล้วดูการเปลี่ยนแปลงสีของอินดิเคเตอร์ จากนั้นจึงนำผลที่วัดได้มาคำนวณหาค่า TAN ตามสมการที่ (1)

$$\text{TAN, mg KOH/g} = ((A - B) \times N \times 56.1)/W \quad (1)$$

เมื่อ A คือ ปริมาณ KOH ที่ใช้ไทเทรตน้ำมันตัวอย่าง (ml), B คือ ปริมาณ KOH ที่ใช้ไทเทรต Blank (ml), N คือ ความเข้มข้นของ KOH (mol/L) และ W คือ น้ำหนักน้ำมันตัวอย่าง (g)

2.3.2 การกัดกร่อนแผ่นทองแดง ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D130 โดยนำแผ่นทองแดงมาจุ่มในน้ำมันตัวอย่างที่บรรจุในหลอดทดสอบซึ่งแช่ในอ่างน้ำที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง เมื่อครบเวลากำหนด จึงนำแผ่นทองแดงมาทำความสะอาด แล้วนำไปเปรียบเทียบกับระดับการกัดกร่อนกับตารางมาตรฐาน (ดังภาพที่ 1) พร้อมกับให้คะแนน



ภาพที่ 1 ระดับสีการกัดกร่อนแผ่นทองแดงตามมาตรฐาน ASTM

2.3.3 การบวมพองของยางโอริงในน้ำมัน ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D471 โดยนำยางโอริง (ยาง NBR) มาแช่ในน้ำมันตัวอย่าง แล้วเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 38°C เป็นเวลา 168 ชั่วโมง เมื่อครบเวลากำหนด จึงนำยางโอริงมาวัดการบวมพองด้วยการชั่งน้ำหนักและคำนวณหาค่า % การเปลี่ยนแปลงน้ำหนัก ตามสมการที่ (2)

$$\Delta M, \% = ((M2 - M1)/M1) \times 100 \quad (2)$$

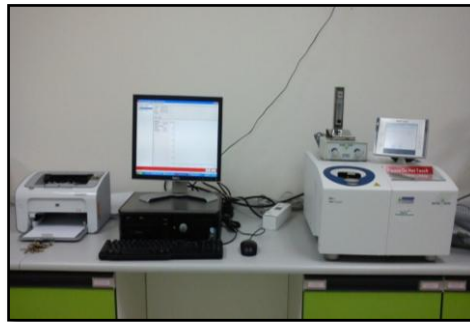
เมื่อ ΔM คือ % การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของยางโอริง, M1 คือ น้ำหนักยางโอริงก่อนแช่ในน้ำมันตัวอย่าง (g) และ M2 คือ น้ำหนักยางโอริงหลังแช่ในน้ำมันตัวอย่าง (g)

2.4 การประเมินความต้านทานต่อการเกิดออกซิเดชัน

แบ่งเป็น 2 ส่วน คือ Short – term และ Long – term Oxidation Stability test ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

2.4.1 Short – term Oxidation Stability test

ใช้เครื่อง Differential Scanning Calorimetry (DSC) ยี่ห้อ Mettler Toledo รุ่น DSC-1 (ดังภาพที่ 2) เพื่อหาค่า Oxidation Onset Temperature (OOT) ของน้ำมันตัวอย่าง ตามวิธีมาตรฐาน ASTM E2009 โดยทดสอบที่ช่วงอุณหภูมิ 40 ถึง 450°C ภายใต้สภาวะก๊าซออกซิเจน



ภาพที่ 2 เครื่อง Differential Scanning Calorimetry (DSC)

2.4.2 Long – term Oxidation Stability test

ปัจจุบันมีการทดสอบอยู่หลายวิธีด้วยกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้งาน (ดังตารางที่ 1) โดยงานวิจัยนี้ได้อ้างอิง การทดสอบตามวิธีของ Erhan S.Z. et al. (2006) ที่ใช้ตู้อบ (Oven) เป็นตัวควบคุมอุณหภูมิในการบ่มเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชัน ของน้ำมันตัวอย่าง ซึ่งมีข้อได้เปรียบ คือ มีอุปกรณ์และวิธีการทดสอบที่ไม่ซับซ้อน แต่ข้อเสียของวิธีนี้ คือ ใช้เวลาทดสอบนาน (Fox N.J. and Stachowiak G.W., 2007) ด้วยเหตุนี้ผู้วิจัยจึงได้พัฒนาวิธีทดสอบขึ้นใหม่โดยอ้างอิงวิธีมาตรฐาน ASTM 2893 , ASTM D2440 และ ASTM D943 ด้วยการเพิ่มอุณหภูมิที่ใช้บ่มเร่งจาก 85°C เป็น 95°C พร้อมกับเติมตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalyst) ได้แก่ ผงเหล็กหรือผงทองแดง ขนาด 20 – 30 mesh เพื่อเพิ่มอัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันและลดเวลา ทดสอบ

สำหรับวิธีวัดผลความต้านทานต่อการเกิดออกซิเดชัน (Oxidation Stability) ของน้ำมันตัวอย่าง งานวิจัยนี้จะใช้ % การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรดรวม (TAN) และค่าความหนืดคินมาติกที่ 98.9°C เป็นตัวกำหนด

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบสภาวะทดสอบ Long – term Oxidation Stability ของน้ำมันตัวอย่าง

สภาวะทดสอบ	งานวิจัยนี้	Erhan S.Z. et al. (2006)	ASTM D2893	ASTM D2440	ASTM D943
ชนิดน้ำมัน	น้ำมันหล่อลื่นฐานน้ำมันพืช	น้ำมันหล่อลื่นฐานน้ำมันพืช	น้ำมันหล่อลื่นทนแรงดันสูง	น้ำมันหม้อแปลง	น้ำมันแร่
อุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิ	ตู้อบ	ตู้อบ	อ่างให้ความร้อน	อ่างให้ความร้อน	อ่างให้ความร้อน
ก๊าซ	–	–	อากาศ	ออกซิเจน	ออกซิเจน
อุณหภูมิ	95°C	85°C	95°C	110°C	95°C
เวลาทดสอบ	168 ชม.	672 ชม.	312 ชม.	72 หรือ 164 ชม.	10,000 ชม.

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบสภาวะทดสอบ Long – term Oxidation Stability ของน้ำมันตัวอย่าง (ต่อ)

สภาวะทดสอบ	งานวิจัยนี้	Erhan S.Z. et al. (2006)	ASTM D2893	ASTM D2440	ASTM D943
ตัวเร่งปฏิกิริยา	ทองแดงหรือเหล็ก	–	–	ทองแดง	น้ำและทองแดง/ เหล็ก
ตรวจสอบ	● Total acid number ● Kinematic viscosity at 98.9°C	● Total acid number ● Weight loss	● Precipitation number ● Kinematic viscosity at 100°C	● Sludge and Acid products	● Acid number

3. ผลการวิจัยและอภิปรายผล

3.1 ผลตรวจสอบคุณสมบัติทางเคมี

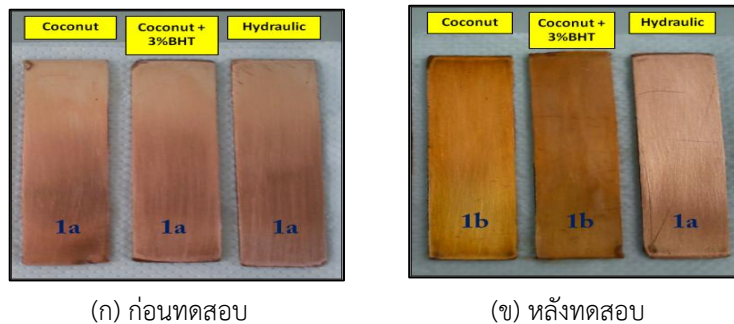
ความเป็นกรดรวม (TAN) เป็นคุณสมบัติทางเคมีอย่างหนึ่งที่สำคัญของน้ำมันหล่อลื่นอุตสาหกรรม เนื่องจากสามารถใช้คาดคะเนความรุนแรงในการกัดกร่อนชิ้นส่วนที่เป็นโลหะของเครื่องยนต์หรือเครื่องจักรกลได้ กล่าวคือ ยิ่งน้ำมันหล่อลื่นมีค่า TAN สูง ความรุนแรงในการกัดกร่อนชิ้นส่วนที่เป็นโลหะก็จะเพิ่มขึ้นตามไปด้วย (Masjuki H.H. et al., 1999) ดังนั้นน้ำมันหล่อลื่นที่ดีจึงควรมีค่า TAN ต่ำ

ตารางที่ 2 ผลการตรวจสอบคุณสมบัติทางเคมีของน้ำมันตัวอย่าง

คุณสมบัติเบื้องต้น	ชนิดของน้ำมันตัวอย่าง		
	น้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์	น้ำมันมะพร้าว + 3% BHT	น้ำมันไฮดรอลิก
ความเป็นกรดรวม (mg KOH/g)	1.14	1.16	0.30
การกัดกร่อนแผ่นทองแดง	1b	1b	1a
การบวมพองของยางโอริงในน้ำมัน (%)	0.6223	0.6175	0.5399

หมายเหตุ : 1a, 1b ดูความหมายในภาพที่ 1

จากตารางที่ 2 แสดงผลการตรวจสอบค่า TAN ของน้ำมันตัวอย่าง พบว่า น้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์และน้ำมันมะพร้าว + 3% BHT ซึ่งมีค่า TAN เท่ากับ 1.14 และ 1.16 mg KOH/g ตามลำดับ มีค่าสูงกว่าน้ำมันไฮดรอลิก (0.30 mg KOH/g) อย่างเห็นได้ชัด บ่งชี้ได้ว่ามีแนวโน้มป้องกันการกัดกร่อนชิ้นส่วนที่เป็นโลหะที่ไม่ดีเมื่อเทียบกับน้ำมันไฮดรอลิก ดังสังเกตได้จากภาพที่ 3 แสดงผลการกัดกร่อนแผ่นทองแดงของน้ำมันตัวอย่าง พบว่า น้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์และน้ำมันมะพร้าว + 3%BHT ซึ่งมีค่า TAN สูง ทำให้แผ่นทองแดงเปลี่ยนระดับสีการกัดกร่อนจาก 1a เป็น 1b ในขณะที่น้ำมันไฮดรอลิก พบว่า แผ่นทองแดงไม่เปลี่ยนระดับสีการกัดกร่อน โดยอยู่ที่ระดับ 1a เท่าเดิม ซึ่งสอดคล้องกับข้อมูลของ Lawal S.A., 2013 ที่เปรียบเทียบคุณสมบัติในการเป็นสารหล่อลื่นของน้ำมันพืชกับน้ำมันปิโตรเลียม พบว่า น้ำมันพืชมีคุณสมบัติในการหล่อลื่นดี แต่มีคุณสมบัติป้องกันการกัดกร่อนโลหะที่ด้อยกว่าน้ำมันปิโตรเลียม ซึ่งสามารถปรับปรุงคุณสมบัติดังกล่าวให้ดีขึ้นได้ด้วยการเติมสารเพิ่มคุณภาพ เช่น สารป้องกันการกัดกร่อนและสารลดความเป็นกรด เป็นต้น (Gawrilow I., 2003)



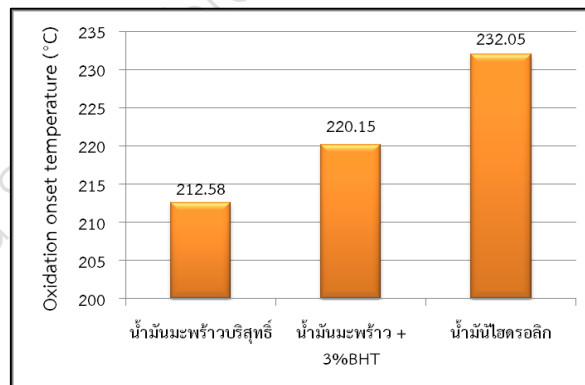
ภาพที่ 3 แสดงผลเปรียบเทียบการกัดกร่อนแผ่นทองแดงของน้ำมันตัวอย่าง

ส่วนการบวมพองของยางโอริงในน้ำมัน (ดังตารางที่ 2) พบว่า น้ำมันมะพร้าวทั้ง 2 ชนิด ทำให้ยางโอริง (ยาง NBR) เกิดการบวมพองมากกว่าน้ำมันไฮดรอลิกเพียงเล็กน้อย ดังพิจารณาจาก % การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของยางโอริงที่แช่ในน้ำมันมะพร้าวมีค่าสูงกว่าน้ำมันไฮดรอลิก (0.5399%) ทั้งนี้เพราะกรดไขมันบางชนิดในน้ำมันมะพร้าวและยางโอริงมีความเป็นขั้วเหมือนกัน จึงทำให้อนุภาคของน้ำมันมะพร้าวบางส่วนสามารถแทรกซึมและละลายเข้าไปในผิวของยางโอริงได้ ซึ่งเป็นไปตามกฎของ “like dissolve like” (Chai A.B. et al., 2013)

3.2 ผลการประเมินความต้านทานต่อการเกิดออกซิเดชัน

3.2.1 ผล Short – term Oxidation Stability test

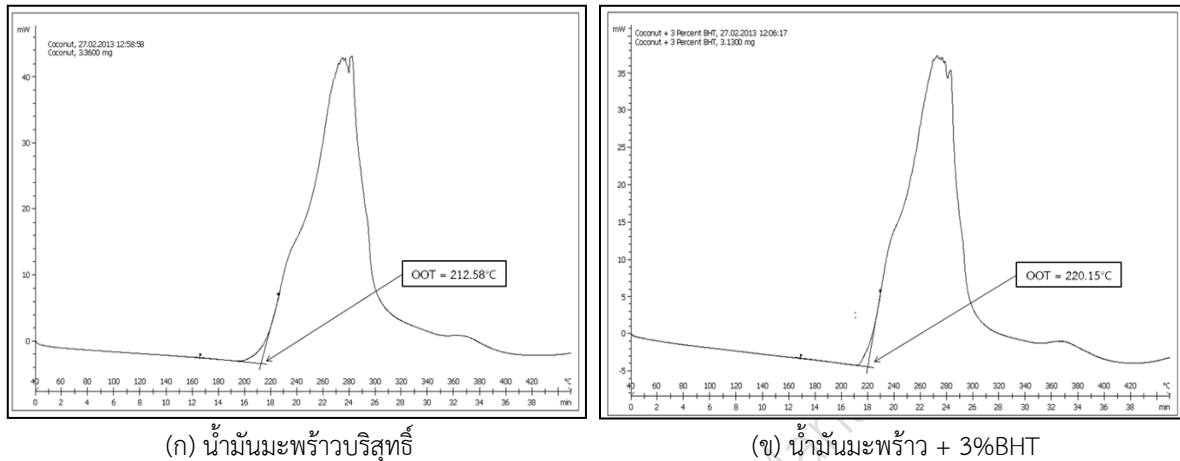
พิจารณาจากค่า Oxidation Onset Temperature (OOT) ของน้ำมันตัวอย่าง ซึ่งเป็นค่าที่ใช้วัดอุณหภูมิต่ำสุดที่น้ำมันเริ่มเกิดออกซิเดชัน ยิ่งมีค่า OOT ต่ำ ก็แสดงว่าน้ำมันเกิดออกซิเดชันได้ง่าย และมีแนวโน้มอายุการใช้งานในเครื่องยนต์หรือเครื่องจักรกลค่อนข้างต่ำ ทำให้มีระยะการเปลี่ยนถ่ายน้ำมันสั้นลง ดังนั้นน้ำมันหล่อลื่นที่ดีจึงควรมีค่า OOT สูง



ภาพที่ 4 แสดงผลเปรียบเทียบค่า OOT ของน้ำมันตัวอย่างที่ได้จากเครื่อง DSC

จากภาพที่ 4 แสดงผลเปรียบเทียบค่า OOT ของน้ำมันตัวอย่าง ที่ได้จากเครื่อง DSC พบว่า น้ำมันมะพร้าวทั้ง 2 ชนิด มีค่าต่ำกว่าน้ำมันไฮดรอลิกอย่างมาก โดยเฉพาะน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ที่มีค่าต่ำสุด เท่ากับ 212.58°C บ่งชี้ได้ว่าน้ำมันมะพร้าวมีความต้านทานต่อการเกิดออกซิเดชันที่ต่ำกว่าน้ำมันไฮดรอลิก เนื่องจากน้ำมันพืชมีโครงสร้างทางเคมีเป็นไตรกลีเซอไรด์ที่ประกอบด้วยกรดไขมันไม่อิ่มตัว เช่น กรดโอเลอิก, กรดไลโนเลอิก และกรดไลโนเลนิก ในปริมาณที่สูงกว่าน้ำมันปิโตรเลียม จึงทำให้มีความไวต่อการเกิดออกซิเดชันสูง (Adhvaryu A. and Erhan S.Z., 2002) ซึ่งสอดคล้องกับข้อมูลของ Fox N.J. and Stachowiak G.W. (2007) ที่ได้ศึกษาผลการเกิดออกซิเดชันของน้ำมันหล่อลื่นฐานน้ำมันพืช พบว่า น้ำมันพืชมีความต้าน

ทานต่อการเกิดออกซิเดชันค่อนข้างต่ำ เมื่อสัมผัสกับออกซิเจนในอากาศและความร้อนจะช่วยเร่งให้น้ำมันเกิดการเสื่อมสภาพเร็วขึ้น และทำให้น้ำมันมีคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีเปลี่ยนไปจนไม่เหมาะสมกับการใช้งานอีก เช่น มีความหนืดและความเป็นกรดเพิ่มขึ้น มีความลื่นลดลง และเกิดกลิ่นเหม็นหืน เป็นต้น ด้วยเหตุนี้การพัฒนาให้น้ำมันพืชให้เป็นน้ำมันหล่อลื่นอุตสาหกรรมจึงจำเป็นต้องมีการเติมสารเพิ่มคุณภาพเพื่อปรับปรุงให้มีความต้านทานต่อการเกิดออกซิเดชันดีขึ้น



ภาพที่ 5 แสดงกราฟและค่า OOT ของน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์เทียบกับน้ำมันมะพร้าว + 3%BHT

ดังภาพที่ 5 แสดงผลเปรียบเทียบค่า OOT ของน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์กับน้ำมันมะพร้าว + 3%BHT พบว่า น้ำมันมะพร้าว + 3%BHT มีค่า OOT สูงกว่าน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ โดยมีค่าเท่ากับ 220.15°C และ 212.58°C ตามลำดับ แสดงว่าการเติม BHT ช่วยให้ค่า OOT ของน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์เพิ่มขึ้น และยังบ่งชี้ได้ถึงความต้านทานต่อการเกิดออกซิเดชันของน้ำมันมะพร้าวที่ดีกว่าเดิม ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Shama B.K. et al. (2007) ที่ทดสอบผลการเติม BHT ลงในน้ำมันถั่วเหลือง โดยตรวจสอบค่า OOT ด้วยเครื่อง Pressure Differential Scanning Calorimetry (PDSC) พบว่า BHT ช่วยให้ค่า OOT ของน้ำมันถั่วเหลืองเพิ่มขึ้น และการเติมที่ความเข้มข้น 2 ถึง 4% by weight ดีที่สุด

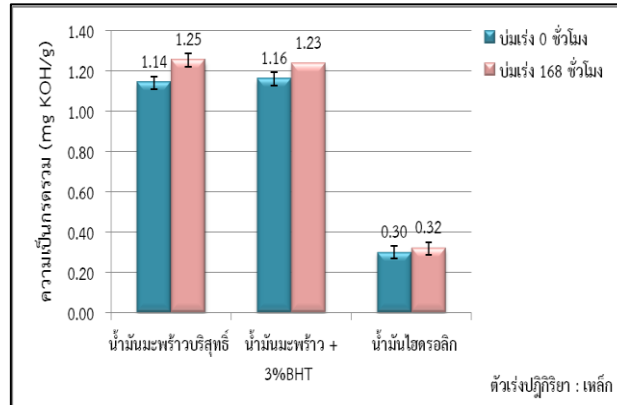
3.2.2 ผล Long – term Oxidation Stability test

พิจารณาจาก % การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรดรวม (TAN) และค่าความหนืดคิเนมาติที่ 98.9°C ของน้ำมันตัวอย่างที่ผ่านการบ่มเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันในตู้อบ (95°C, 168 ชั่วโมง, ความดันบรรยากาศ) โดยใช้ผงเหล็กเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งได้ผลดังนี้

- ความเป็นกรดรวม (TAN)

ดังภาพที่ 6 พบว่า ค่า TAN ของน้ำมันตัวอย่างทุกชนิดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาบ่มเร่งในตู้อบ โดยเฉพาะน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ จะมีค่า TAN เปลี่ยนแปลงสูงที่สุด โดยเพิ่มขึ้นจาก 1.14 เป็น 1.25 mg KOH/g ภายในเวลา 168 ชั่วโมง (คิดเป็น 9.65%) ส่วนน้ำมันมะพร้าว + 3%BHT พบว่า มีค่า TAN เปลี่ยนแปลงต่ำกว่าน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ โดยเพิ่มขึ้นจาก 1.16 เป็น 1.23 mg KOH/g (คิดเป็น 6.03%) ซึ่งใกล้เคียงกับน้ำมันไฮดรอลิกที่เพิ่มขึ้นจาก 0.30 เป็น 0.32 mg KOH/g (คิดเป็น 6.67%) แสดงว่า การเติม BHT สามารถชะลอค่า TAN ของน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากการเกิดออกซิเดชันได้ ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Erhan S.Z. et al. (2006) ที่ทดสอบความต้านทานต่อการเกิดออกซิเดชันของน้ำมันพืชด้วยการบ่มเร่งในตู้อบที่อุณหภูมิ 85°C เป็นเวลา 28 วัน พบว่า น้ำมันพืชที่ผ่านการเติมสารต้านออกซิเดชัน มีการเปลี่ยนแปลงค่า TAN เพิ่มขึ้นต่ำกว่าน้ำมันพืชบริสุทธิ์ เนื่องจากสารต้านออกซิเดชันจะทำหน้าที่ป้องกันไม่ให้อนุมูลอิสระที่เกิดจากปฏิกิริยา

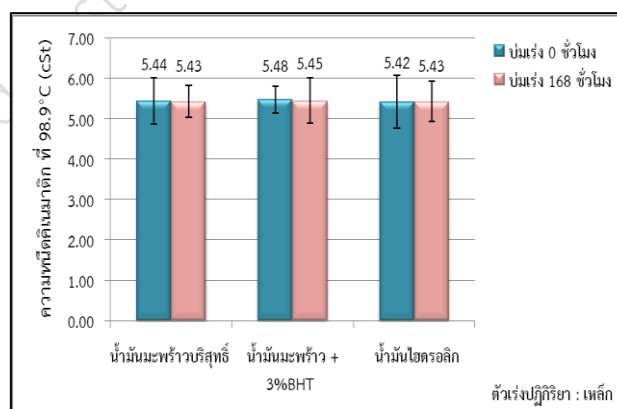
ออกซิเดชันของน้ำมันพืชก่อตัวขึ้นอีก โดยจะทำลายปฏิกิริยาถูกโซ่ของอนุมูลอิสระจนเกิดเป็นสารประกอบที่มีความเสถียรตัวสูง (Fox N.J. and Stachowiak G.W., 2007) ซึ่งไม่มีผลเชิงลบต่อค่า TAN ของน้ำมัน



ภาพที่ 6 การเปลี่ยนแปลงค่า TAN ของน้ำมันตัวอย่างที่ผ่านการบ่มแรงในตู้อบ

- ความหนืดคิเนมาติกที่ 98.9°C

ดังภาพที่ 7 พบว่า หลังการบ่มแรงน้ำมันตัวอย่างเป็นเวลา 168 ชั่วโมง น้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์และน้ำมันมะพร้าว + 3%BHT มีค่าความหนืดคิเนมาติกค่อนข้างคงที่เช่นเดียวกับน้ำมันไฮดรอลิก ทั้งนี้อาจเป็นเพราะธรรมชาติของน้ำมันตัวอย่างเสถียรตัวต่อสภาวะที่ใช้ทดสอบ จึงทำให้มีการเกิดออกซิเดชันอยู่ในระดับที่ต่ำและทำให้น้ำมันยังคงรักษาความหนืดคิเนติกอยู่ได้ ในขณะที่ผลการศึกษาของ Krzan B. and Vizintin J., 2003 ที่ทดสอบความต้านทานต่อการเกิดออกซิเดชันของน้ำมันดอกทานตะวันเทียบกับน้ำมันปิโตรเลียม โดยบ่มแรงในเครื่องทดสอบที่อุณหภูมิ 95°C เป็นเวลา 72 ชั่วโมง กลับพบว่า น้ำมันดอกทานตะวันมีค่าความหนืดคิเนติกเพิ่มขึ้นสูงกว่าน้ำมันปิโตรเลียมอย่างมาก ซึ่งขัดแย้งกับผลการศึกษาที่ได้เนื่องจากน้ำมันดอกทานตะวันมีปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูง จึงว่องไวต่อการเกิดออกซิเดชันและมีการเปลี่ยนแปลงค่าความหนืดคิเนติกได้ง่ายกว่าน้ำมันมะพร้าว ซึ่งมีปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวต่ำ (Jayadas N.H. and Nair K.P., 2006)



ภาพที่ 7 การเปลี่ยนแปลงค่าความหนืดคิเนมาติกที่ 98.9°C ของน้ำมันตัวอย่างที่ผ่านการบ่มแรงในตู้อบ

4. สรุปผล

ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมี พบว่า น้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์และน้ำมันมะพร้าว + 3%BHT มีคุณสมบัติความเป็นกรดรวม (TAN) และการกัดกร่อนแผ่นทองแดงน้อยกว่าน้ำมันไฮดรอลิก ส่วนการบวมพองของยางโอริงในน้ำมัน พบว่า น้ำมันมะพร้าว ทั้ง 2 ชนิด ทำใหยางโอริงเกิดการบวมพองเล็กน้อยซึ่งใกล้เคียงกับน้ำมันไฮดรอลิก สำหรับผล Short – term Oxidation Stability test พบว่า น้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์มีค่า Oxidation Onset Temperature (OOT) ต่ำที่สุด (212.58°C) แต่เมื่อเติม BHT จะช่วยให้มีค่าเพิ่มขึ้น (220.15°C) ซึ่งเป็นผลดี ส่วนผล Long – term Oxidation Stability test นั้น พบว่า หลังบ่มเร่ง การเกิดออกซิเดชันในตู้อบ ค่า TAN ของน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์มีค่าเพิ่มสูงกว่าน้ำมันมะพร้าว + 3%BHT และยังพบว่า ค่า ความหนืดคินเนมาติกที่ 98.9°C ของน้ำมันมะพร้าวทั้ง 2 ชนิด ค่อนข้างคงที่เช่นเดียวกับน้ำมันไฮดรอลิก

ดังนั้นสรุปได้ว่า น้ำมันมะพร้าวมีศักยภาพที่จะพัฒนาเป็นน้ำมันไฮดรอลิกอุตสาหกรรมได้ และการเติม BHT ช่วยให้น้ำมันมะพร้าวต้านทานต่อการเกิดออกซิเดชันดีขึ้น

5. ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากงานวิจัยนี้เป็นการตรวจสอบคุณสมบัติทางเคมีเบื้องต้นเท่านั้น ดังนั้นจึงควรต้องตรวจสอบคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีอื่นๆ เช่น ความหนืด สัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน ปริมาณคลอไรด์ จุดไหลเท และจุดวาบไฟ เป็นต้น และควรมีการทดสอบการใช้งานจริงในระบบปั๊มแบบต่างๆ พร้อมกับประเมินความเสียหาย

นอกจากนี้ควรมีการวิจัยและพัฒนาคุณสมบัติของน้ำมันมะพร้าวเพิ่มเติม โดยศึกษาการใช้สารต้านออกซิเดชันร่วมกับสารเพิ่มคุณภาพในกลุ่มอื่นๆ ได้แก่ สารลดความเป็นกรด สารป้องกันการกัดกร่อน สารป้องกันการสึกหรอ และสารลดจุดไหลเท เป็นต้น เพื่อปรับปรุงให้มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันไฮดรอลิก

6. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณบัณฑิตวิทยาลัยที่ให้ทุนสนับสนุนการวิจัยในครั้งนี้ และขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัย เชียงใหม่ ที่ให้ความอนุเคราะห์ด้านสถานที่และเครื่องมือเพื่อทำวิจัย งานวิจัยนี้เป็นผลงานระหว่างศึกษา ณ มหาวิทยาลัย เชียงใหม่

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] จิตยา ราษฎร์, 2554. ปัจจัยที่มีผลต่อลูกค้าภายในประเทศบริษัท พี.เอส.พี. สเปเชียลตีส์ จำกัด ในการเลือกผู้ผลิตน้ำมันหล่อลื่น. วิทยานิพนธ์บริหารธุรกิจมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- [2] พิศมัย เจนวนิชปัญญกุล, 2552. แนวทางการพัฒนามาตรฐานไบโอดีเซลในภูมิภาคเอเปค. ค้นเมื่อ 6 เมษายน 2556, จาก สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย กระทรวงวิทยาศาสตร์ เว็บไซต์ : http://www.tistr.or.th/APEC_website/Document/APEC%20BDF%20Guidelines_Thai.pdf.
- [3] Adhvaryu, A., Erhan, S.Z., 2002. Epoxidized soybean oil as a potential source of high-temperature lubricants. Industrial Crops and Products, Vol. 15, 247-254.
- [4] American Society for Testing and Materials (ASTM) : D130-10, Standard Test Method for Corrosiveness to Copper from Petroleum Products by Copper Strip Test.
- [5] American Society for Testing and Materials (ASTM) : D471-06, Standard Test Method for Rubber Property - Effect of Liquids.
- [6] American Society for Testing and Materials (ASTM) : D974-12, Standard Test Method for Acid and Base Number by Color-Indicator Titration.

- [7] American Society for Testing and Materials (ASTM) : E2009-08, Standard Test Method for Oxidation Onset Temperature of Hydrocarbons by Differential Scanning Calorimetry.
- [8] Chai, A.B., Andriyana, A., Verron, E., Johan, M.R., 2013. Mechanical characteristics of swollen elastomers under cyclic loading. *Materials and Design*, Vol. 44, 566-572.
- [9] Erhan, S.Z., Sharma, B.K., Perez, J.M., 2006. Oxidation and low temperature stability of vegetable oil based lubricants. *Industrial Crops and Products*, Vol. 24, 292-299.
- [10] Fox, N.J., Stachowiak, G.W., 2007. Vegetable oil based lubricants—A review of oxidation. *Tribology International*, Vol. 40, 1035-1046.
- [11] Gawrilow, I., 2003. Palm Oil Usage in lubricants. Retrieved May 21, 2013, from <http://www.americanpalmoil.com/pdf/Ilija%20Gawrilow.pdf>.
- [12] Jayadas, N.H., Nair, K.P., 2006. Coconut oil as base oil for industrial lubricants – evaluation and modification of thermal, oxidative and low temperature properties. *Tribology International*, Vol. 39, 873-878.
- [13] Krzan, B., Vizintin J., 2003. Tribological properties of an environmentally adopted universal tractor transmission oil based on vegetable oil. *Tribology International*, Vol. 36, 827-833.
- [14] Lawal, S.A., 2013. A review of application of vegetable oil – based cutting fluids in machining non ferrous metals. *Indian Journal of Science and Technology*, Vol. 6, 3951-3956.
- [15] Masjuki, H.H., Maleque, M.A., Kubo, A., Nonaka, T., 1999. Palm oil and mineral oil based lubricants their tribological and emission performance. *Tribology International*, Vol. 32, 305-314.
- [16] Sharma, B.K., Perez, J.M. and Erhan, S.Z., 2007. Soybean Oil-Based Lubricants : A Search for Synergistic Antioxidants. *Energy & Fuels*, Vol. 21, 2408-2414.

การศึกษาการอบแห้งพริกที่สภาวะสุญญากาศ Study of drying chili with vacuum dryer

บัญญัติ นิยมวาส*, บรรเจิด โปฏกรัตน์, เสรี ทองชุม

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

อ.เมือง จ.สงขลา 90000

banyat.niyomvas@gmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการอบแห้งพริกที่สภาวะความดันในห้องอบมีค่าต่ำกว่าบรรยากาศ โดยถังอบแห้งมีลักษณะเป็นทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 0.255 เมตร ยาว 0.30 เมตร โดยทำการทดลองอบแห้งพริก ด้วยมวลเริ่มต้น 200 กรัม ที่อุณหภูมิ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส โดยรักษาความดันภายในห้องอบแห้งไว้ที่ -10 cmHg (gauge) และจะทำการเปรียบเทียบกับผลการตากแห้งพริกด้วยแสงแดด โดยทั้งสองการทดลองจะมีระยะเวลาในการทดลองคือ 9.00 – 16.00 น. เป็นเวลา 7 ชั่วโมง จากผลการทดลองด้วยตู้อบแห้งพริกที่สภาวะความดันในห้องอบมีค่าต่ำกว่าบรรยากาศ พบว่าอัตราการอบแห้ง (%db/hr) ของการอบแห้งพริกที่สภาวะสุญญากาศมีค่าเท่ากับ 24.8, 27.3 และ 33.0 สำหรับอุณหภูมิตั้งที่ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ส่วนการตากแห้งพริกด้วยแสงแดด มีค่าอัตราการอบแห้ง (%db/hr) ของการอบแห้งเฉลี่ยเท่ากับ 10.2

คำสำคัญ(Key word): เครื่องอบแห้งที่สภาวะสุญญากาศ; อบแห้ง; พริก; ตากแดด

Abstract

This research aims to study the performance of a chili vacuum dryer. Dryer has a cylindrical shape with 0.255 m diameter and length is 0.30 m. Initial mass of chili to drying in a vacuum chili dryer is 200 g. Temperature within chamber is 50, 60 and 70 degree celsius and vacuum pressure is -10 cmHg (gauge). The experimental result will compare to chili drying in direct solar. Experimental period is 7 hours per day between 9.00 am - 4.00 pm. The drying rate (%db/hr) of chili is 24.8, 27.3 and 33.0 for drying temperature at 50, 60 and 70 degree celsius respectively and 10.2 (%db/hr) for solar drying.

Key word: Vacuum dryer; drying; chili; solar drying

* บัญญัติ นิยมวาส

1. บทนำ (Introduction)

การบริโภคอาหารของคนไทย มีอาหารหลายชนิดที่ต้องรับประทานร่วมกับพริกแห้ง จึงทำให้เกิดความจำเป็นที่จะต้องทำการแปรรูปจากพริกสด โดยมีการผลิตแห้งในระดับครัวเรือน และ ระดับอุตสาหกรรม [1] การผลิตพริกแห้งในระดับครัวเรือนก็มี

การผลิตด้วยวิธีง่ายๆ เช่น การนำพริกสดมาตากแดด หรือ การอบแห้งพริกด้วยตู้อบแห้งพริกพลังงานแสงอาทิตย์ [2 – 4] หรือ หากต้องการให้ระยะเวลาในการอบแห้งพริกเร็วขึ้นก็อาจอบแห้งพริกในสภาวะที่ห้องอบมีความดันต่ำกว่าบรรยากาศ [5 – 7]

สาวิตริ [1] ได้ศึกษาการผลิตพริกแห้งด้วยเตาอบไมโครเวฟ ร่วมกับ ลมร้อน พบว่า สภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้งพริกด้วยไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนคือ อุณหภูมิลมร้อนเท่ากับ 70 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที คลื่นไมโครเวฟ 0.61 วัตต์ต่อกรัมพริกแห้ง ค่าความชื้นของพริกลดลงจาก 71.80 เหลือ 8.61 เปอร์เซ็นต์ (wb) ภายในเวลา 150 นาที

จารุวัฒน์ [2] ได้ศึกษาการอบแห้งพริกด้วยตู้อบแห้งและกลั่นความชื้นรังสีอาทิตย์แบบเทอร์โมโซฟอน โดยตัวเครื่องอบแห้งมีขนาด $83 \times 77 \times 100$ ลูกบาศก์เซนติเมตร สามารถบรรจุตากอบแห้งพริกได้ จำนวน 5 ถาด ทำการทดลองระหว่างเวลา 9.00 – 15.00 น. เป็นเวลา 6 ชั่วโมง พบว่าสามารถอบแห้งพริกปริมาณ 5 กิโลกรัม จากค่าความชื้นเฉลี่ย 5 ชื้น 300 % (db) จนเหลือประมาณ 26 % (db) ภายในเวลา 3 วัน หรือ 18 ชั่วโมง

สุดธิดา [3] ได้สร้างเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ โดยมีขนาดของแผงกระจกรับแสงอาทิตย์เท่ากับ 3.15 ตารางเมตร มีพัดลมระบายอากาศติดตั้งบริเวณอากาศร้อนขาเข้า และ อากาศร้อนขาออก จำนวน 2 ชุด แต่ละชุดมีขนาด กำลังไฟฟ้า 2 วัตต์ พบว่าสามารถอบแห้งพริกปริมาณ 10 กิโลกรัม จากความชื้นเริ่มต้น 85 % (wb) ให้เหลือ 15 % (wb) ได้ภายในระยะเวลา 9 ชั่วโมง คือ จาก 8.00 – 17.00 น.

Satish [4] ได้ศึกษาการอบแห้งพริกด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ โดยตัวเครื่องอบแห้งมีพื้นที่กระจกสำหรับรับแสงอาทิตย์เท่ากับ 3.34 ตารางเมตร และ กระจกตั้งกล่าววางเอียงทำมุม 45 องศา กับแนวระดับ เครื่องอบสามารถบรรจุตากได้จำนวน 7 ถาด โดยแต่ละถาดมีพื้นที่เท่ากับ 1.35 ตารางเมตร โดยสามารถอบแห้งพริกจากความชื้นเริ่มต้น 76.5 % (wb) ให้เหลือความชื้นประมาณ 9 % (wb) ได้ภายในระยะเวลา 30 ชั่วโมง

อำไพศักดิ์ [5] ได้ศึกษาการอบแห้งซึ่งที่สภาวะสุญญากาศ โดยมีห้องอบแห้งเป็นทรงกระบอกแนวตั้งขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 32 เซนติเมตร และสูง 30 เซนติเมตร ให้ความร้อนด้วยหลอดรังสีอินฟราเรด ขนาด 500 วัตต์ โดยอบที่อุณหภูมิ 40, 50 และ 60 องศาเซลเซียส ที่ความดันสัมบูรณ์ภายในห้องอบ 5, 10 และ 15 กิโลปาสกาล พบว่า เมื่อลดความดันสัมบูรณ์หรือเพิ่มอุณหภูมิจะสามารถทำให้อัตราการอบแห้งเร็วขึ้น

ไทรท์ [6] ได้ศึกษาการทำแห้งใบมะรุมที่สภาวะสุญญากาศ โดยห้องทำแห้งเป็นถังทรงกระบอกวางนอน มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 เซนติเมตร ยาว 110 เซนติเมตร มีชุดทำความร้อนทำจากอินฟราเรดขนาดกำลังไฟฟ้าสูงสุด 4,000 วัตต์ ภายในห้องทำแห้งควบคุมสภาวะให้มีความดันเท่ากับ - 91.9 กิโลปาสกาล อุณหภูมิในการอบแห้ง ควบคุมให้อยู่ระหว่าง 35 – 70 องศาเซลเซียส ผลการทดลองพบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิให้สูงขึ้น สามารถทำให้อัตราการอบแห้งเร็วขึ้น

ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะลดเวลาในการอบแห้ง โดยการพัฒนาชุดอบแห้งที่สภาวะสุญญากาศเพื่อทำการอบแห้งพริก และศึกษาสมรรถนะของการอบแห้งที่สภาวะสุญญากาศดังกล่าวเปรียบเทียบกับตากแดดโดยเปรียบเทียบกับตัวแปร อัตราการอบแห้ง (Drying Rate, DR)

2. อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

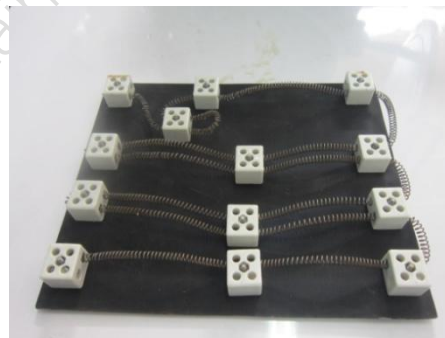
2.1 อุปกรณ์

ประกอบไปด้วย 2 ส่วนด้วยกันคือ ถังอบสุญญากาศ และชุดทำความร้อนเพื่อสร้างอุณหภูมิภายในถังอบให้ได้ตามที่กำหนดเอาไว้ โดยถังอบสุญญากาศทำจากท่อเหล็ก มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 25.5 เซนติเมตร ความยาว 30 เซนติเมตร และมีความหนา 0.5 เซนติเมตร ด้านหน้าเป็นฝาเปิด-ปิด ทำจากเหล็กแผ่นมีรัศมี 31.5 เซนติเมตร ความหนา 0.5 เซนติเมตร และเจาะร่องใส่ซิลิโคนความร้อนเพื่อป้องกันการรั่ว โดยการปิดจะใช้การยึดน็อต 4 ตัว ส่วนด้านหลังเป็นการเชื่อมปิดสนิทด้านล่างเป็นฐานตั้ง ดังแสดงในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ถังอบสุญญากาศ

ชุดขดลวดทำความร้อน ทำหน้าที่ให้ความร้อนภายในถังอบสุญญากาศ โดยจะใช้ฮีตเตอร์แบบขดลวด ขนาด 2,000 วัตต์ จำนวน 1 เส้น นำมาใส่ร่วมกับลูกเต๋าเซรามิกส์ ที่มีคุณสมบัติเป็นฉนวนและมีสายไฟทนความร้อนที่ต่อออกจากถังอบสุญญากาศ ซึ่งติดตั้งได้แผ่นเหล็กขนาด $22.5 \times 27 \times 0.3$ เซนติเมตร ด้านบนไว้สำหรับวางถาดอลูมิเนียมเพื่อใส่พริกสด ดังแสดงในภาพที่ 2



ภาพที่ 2 ชุดขดลวดทำความร้อน

ชุดคอนเดนเซอร์ (Condenser) ทำหน้าที่ดึงความร้อนออกจากท่อแฉกคัม ซึ่งไอความร้อนนั้นจะเย็นลงโดยการระบายความร้อนด้วยน้ำก่อนที่จะผ่านตัวคั่นน้ำแล้วเข้าสู่ปั๊มสุญญากาศ อุปกรณ์นี้ทำขึ้นโดยการม้วนท่อทองแดงขนาด 3/8 นิ้ว ไว้ในถังที่มีขนาดรัศมี 26 เซนติเมตร สูง 34 เซนติเมตร ซึ่งระยะห่างของขดท่อทองแดงกับผนังถัง และระยะห่างของการขดท่อเท่ากับ 1 นิ้ว ดังแสดงในภาพที่ 3



ภาพที่ 3 ชุดคอนเดนเซอร์ (Condenser)

อุปกรณ์ดักน้ำ (Water trap) ทำหน้าที่ ดักน้ำที่มาจากไอความร้อนและเกิดการควบแน่นที่ชุดคอนเดนเซอร์ เพื่อป้องกันน้ำไม่ให้เข้าไปยังปั๊มสุญญากาศ ได้ ซึ่งถ้า น้ำผ่านเข้าไปยังปั๊มสุญญากาศ น้ำจะทำให้เกิดความเสียหายแก่ปั๊มสุญญากาศ ได้ อุปกรณ์นี้ทำขึ้นโดยการนำท่อ PVC ขนาด 4 นิ้ว และใช้ฝาครอบด้านบนและด้านล่าง ส่วนกลางของอุปกรณ์นี้มีแผ่นเพลทคั่นกลางตามแนวตั้งของอุปกรณ์ เพื่อเป็นตัวช่วยในการแยกตัวของน้ำ ซึ่งตามธรรมชาติน้ำจะมีความหนาแน่นมากกว่าอากาศ ทำให้น้ำและอากาศที่ผสมกัน ชนเข้ากับแผ่นเพลททำให้น้ำตกลงด้านล่าง ส่วนอากาศที่เบากว่าจะขึ้นไปด้านบน ดังแสดงในภาพที่ 4



ภาพที่ 4 อุปกรณ์ดักน้ำ (Water trap)

ปั๊มสุญญากาศ (Vacuum pump) ทำหน้าที่ ดูดอากาศและความชื้นออกจากระบบให้ได้ตามที่ได้กำหนดไว้ โดยการปั๊มสุญญากาศ หรือเรียกว่า การทำสุญญากาศ หรือการทำแวกคัม ระบบปั๊มสุญญากาศถูกใช้สำหรับลดแรงดันในระบบและอัดทิ้งสู่อากาศภายนอก ปั๊มสุญญากาศที่ใช้ยี่ห้อ ARUKI มีอัตราการไหล (Free Air Displacement) เท่ากับ 1.5 CFM มีค่า Ultimate Vacuum เท่ากับ 10 Pa กำลังไฟฟ้า เท่ากับ 0.25 แรงม้า ดังแสดงในภาพที่ 5



ภาพที่ 5 ปั๊มสุญญากาศ (Vacuum pump)

เกจวัดความดันสุญญากาศ (Vacuum Gauge) ใช้ยี่ห้อ PHOENIX มีขนาดหน้าปัด 2.5 นิ้ว มีสเกลบอกความดันตั้งแต่ 0 ถึง - 70 cmHg และ 0 ถึง - 36 inHg ชุดควบคุมอุณหภูมิ (Temperature controller) ใช้ยี่ห้อ T&B โดยสามารถควบคุมอุณหภูมิได้ตั้งแต่ 0 - 400 องศาเซลเซียส ताचङ्गदललललल Pioneer ชङ्गได้ระหว่าง 0 - 4,100 กรัม โดยมีค่าความละเอียดของการวัดคือ 0.01 กรัม ชุดทดลองเมื่อประกอบเรียบร้อยแล้ว แสดงได้ดังภาพที่ 6 ต่อไปนี้



ภาพที่ 6 เครื่องอบแห้งสุญญากาศ

2.2 วิธีการทดลอง

การทดลองจะประกอบไปด้วยสองส่วนก็คือ การทดลองอบแห้งพริกด้วยเครื่องอบแห้งสุญญากาศ และ การอบแห้งพริกด้วยการตากแดด

การทดลองอบแห้งพริกด้วยเครื่องอบแห้งสุญญากาศ จะเริ่มด้วยการบรรจุพริกสด 200 กรัม ใส่ลงถาดอะลูมิเนียม จากนั้นนำเข้าถังอบสุญญากาศ หลังจากนั้นทำการเปิดปั๊มสุญญากาศให้ทำงานเพื่อควบคุมความดันให้ได้ -10 cmHg (gauge) การทดลองจะอบแห้งที่อุณหภูมิ 3 ค่า คือ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส ตามลำดับ โดยจะใช้เวลาในการทำการทดลองแต่ละอุณหภูมิ ตั้งแต่ 9.00 น. - 16.00 น. เป็นเวลา 7 ชั่วโมง ทุกๆ ชั่วโมงทำการบันทึกน้ำหนักของพริก

การอบแห้งพริกด้วยการตากแดดจะทำการทดลองเป็นเวลา 3 วัน โดยบรรจุพริกสดจำนวน 200 กรัม ในถาดอลูมิเนียม แล้วนำไปวางกลางแจ้ง ตั้งแต่เวลา 9.00 น. - 16.00 น. เป็นเวลา 7 ชั่วโมง ทุกๆ ชั่วโมง นำพริกมาชั่งน้ำหนัก และทำการวัดค่าความเข้มของแสงอาทิตย์ (W/m^2) ด้วยเครื่องมือวัดความเข้มแสงอาทิตย์ ยี่ห้อ TES มีช่วงการวัด 0 - 2,000 W/m^2 ความละเอียดในการวัด 1 W/m^2

ในการทดลองเมื่อเสร็จสิ้นในแต่ละวันแล้วจะนำพริกที่ได้ไปอบแห้งต่อด้วยตู้อบไฟฟ้า ยี่ห้อ Binder ที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส และชั่งน้ำหนักทุกชั่วโมงจนกระทั่งน้ำหนักคงที่ เพื่อหาน้ำหนักแห้งของพริก ค่าความชื้นของพริกที่ได้จากการทดลองจะบอกเป็น เปอร์เซนต์มาตรฐานแห้ง (%dry basis, %db) [5] โดยหาได้จากสมการที่ 1 ต่อไปนี้

$$MC = \left(\frac{W_t - W_d}{W_d} \right) \times 100\% \quad (1)$$

เมื่อ

MC = ความชื้น (%db)

W_t = น้ำหนักพริกที่เวลาใดๆ (กรัม)
 W_d = น้ำหนักพริกแห้ง (กรัม)

การวิเคราะห์สมรรถนะของการอบแห้งพริกที่สภาวะสุญญากาศ (-10 cmHg (gauge)) เปรียบเทียบกับการตากแดดจะใช้ตัวแปรอัตราการอบแห้ง (Drying Rate, DR) [5] ในการเปรียบเทียบ โดยสามารถหาค่าได้จากสมการต่อไปนี้

$$DR = \frac{MC_O - MC_T}{T} \quad (2)$$

เมื่อ

DR = อัตราการอบแห้ง (%db/hr)
 MC_O = ความชื้นเริ่มต้น (%db)
 MC_T = ความชื้นที่เวลา T (%db)
 T = เวลาที่ใช้ในการอบแห้ง (hr)

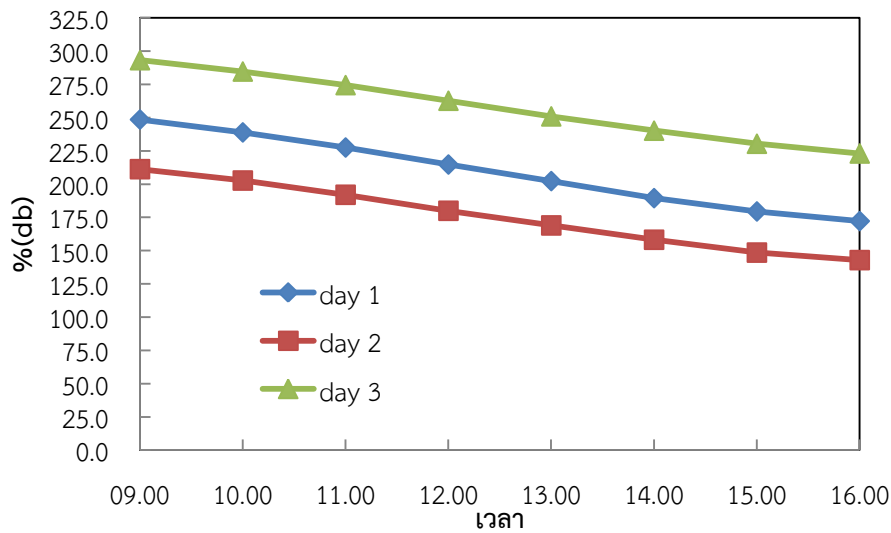
3. ผลการทดลอง

ผลการอบแห้งพริกด้วยการตากแดดเป็นเวลา 3 วัน สามารถแสดงค่าความชื้น (%db) ได้ดังตารางที่ 1 ต่อไปนี้

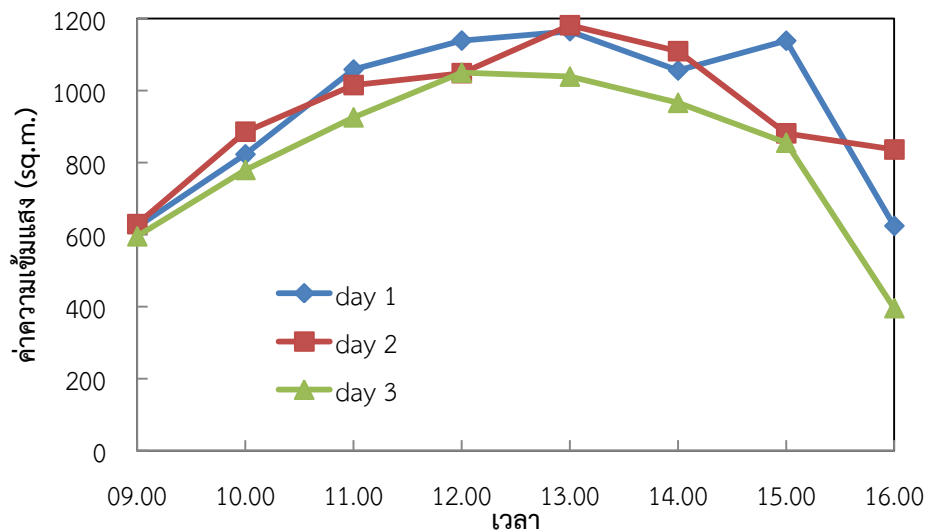
ตารางที่ 1 ค่าความชื้น (%db) ในแต่ละช่วงเวลาของการอบแห้งพริกด้วยการตากแดด

	day 1	day 2	day 3
เวลา	%db	%db	%db
09.00	248.6	211.3	293.2
10.00	238.9	202.7	284.7
11.00	227.6	192.0	274.5
12.00	214.8	180.0	262.7
13.00	202.3	169.0	251.0
14.00	189.5	158.2	240.2
15.00	179.5	148.6	230.4
16.00	172.3	142.9	223.1

นำข้อมูลความชื้น (%db) ของการอบแห้งพริกด้วยการตากแดดในแต่ละช่วงเวลามาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ได้ดังภาพที่ 7 และ ค่าความเข้มแสงอาทิตย์ได้ดังภาพที่ 8



ภาพที่ 7 ค่าความชื้น (%db) ในแต่ละช่วงเวลาของการอบแห้งพริกด้วยการตากแดด



ภาพที่ 8 ค่าความชื้นแสงอาทิตย์ (W/m^2) ในแต่ละช่วงเวลาของการอบแห้งพริกด้วยการตากแดด

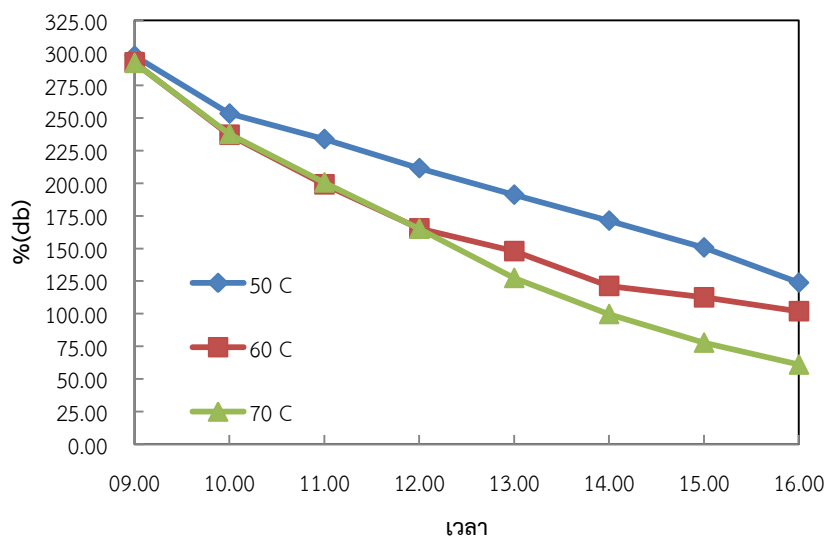
จากภาพที่ 7 พบว่าการอบแห้งพริกด้วยการตากแดดทั้ง 3 วัน การลดลงของความชื้น (%db) มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน ส่วนค่าความชื้นแสงอาทิตย์ (W/m^2) จากภาพที่ 8 จะมีค่าค่อยๆ เพิ่มขึ้นในช่วงเช้า และจะมีค่าสูงสุดในเวลาประมาณ 12.00 - 13.00 น. และ หลังจากนั้นก็จะค่อยๆ ลดลงในช่วงเวลาบ่ายและเย็น

ผลการทดลองอบแห้งพริกที่สภาวะสุญญากาศ (-10 cmHg (gauge)) ที่อุณหภูมิ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส แสดงได้ดังตารางที่ 2 ต่อไปนี้

ตารางที่ 2 ค่าความชื้น (%db) ของการทดลองอบแห้งพริกที่สภาวะสุญญากาศ (-10 cmHg (gauge))

เวลา	อุณหภูมิ (°C)		
	50	60	70
09.00	324.31	324.31	324.31
10.00	302.01	292.51	293.78
11.00	292.2	270.72	272.9
12.00	280.98	251.38	253
13.00	270.75	241.38	231.85
14.00	260.75	226.08	216.32
15.00	250.4	221.08	204.03
16.00	236.84	214.98	194.59

นำข้อมูลจากตารางที่ 2 มาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความชื้น (%db) กับเวลาได้ดังภาพที่ 9 ต่อไปนี้



ภาพที่ 9 ค่าความชื้น (%db) ของการทดลองอบแห้งพริกที่สภาวะสุญญากาศ

จากภาพที่ 9 การลดลงของค่าความชื้น (%db) จะมีแนวโน้มเป็นเส้นโค้ง และ จดลดลงอย่างรวดเร็ว เมื่ออุณหภูมิในการอบแห้งสูงขึ้นจาก 50 ไปยัง 70 องศาเซลเซียส

นำข้อมูลความชื้น (%db) จากตารางที่ 1 และ 2 มาหาค่าอัตราการอบแห้งด้วยสมการที่ (2) ได้ดังตารางที่ 3 ต่อไปนี้

ตารางที่ 3 อัตราการอบแห้ง (Drying Rate, DR) ของการอบแห้งพริกด้วยการตากแดดและการอบแห้งพริกที่สุญญากาศ

	อบแห้งที่สุญญากาศ			ตากแดด			
	50 C	60 C	70 C	day 1	day 2	day 3	avg.
DR (%db/hr)	24.8	27.3	33.0	10.9	9.8	10.0	10.2

4. อภิปรายผล

จากผลการทดลองอบแห้งพริกที่สุญญากาศ เมื่อทำการทดลองที่อุณหภูมิ 3 ค่า คือ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส โดยควบคุมความดันภายในถังอบสุญญากาศไว้ที่ -10 cmHg (gauge) พบว่าเมื่ออุณหภูมิอบแห้งสูงขึ้น อัตราการอบแห้งของพริกจะเร็วขึ้นซึ่งสอดคล้องกับ อำไพศักดิ์ [5] และ ไทโร [6]

จากผลการทดลองพบว่าค่าเฉลี่ยของอัตราการอบแห้ง (Drying Rate) ของการอบแห้งพริกด้วยการตากแดดคือ 10.2 (%db/hr) ส่วนการอบแห้งพริกที่สภาวะสุญญากาศเมื่ออุณหภูมิอบแห้งเพิ่มขึ้นจาก 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส ค่าอัตราการอบแห้งจะมีค่าเท่ากับ 24.8, 27.3 และ 33.0 (%db/hr) ตามลำดับ สามารถเปรียบเทียบให้เห็นความแตกต่างได้โดยการนำค่าอัตราการอบแห้งของการอบแห้งพริกด้วยการตากแดดและการอบแห้งพริกที่สภาวะสุญญากาศมาหารกันเป็นจำนวนเท่า พบว่า การอบแห้งที่อุณหภูมิ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส อบแห้งได้เร็วกว่าการอบแห้งพริกด้วยการตากแดด ในอัตรา 2.4, 2.7 และ 3.2 เท่า ตามลำดับ

การอบแห้งพริกที่สภาวะสุญญากาศสามารถให้อัตราการอบแห้งที่เร็วกว่าการอบแห้งพริกด้วยการตากแดด อยู่ในช่วง 2.4 – 3.2 เท่า ทำให้สามารถผลิตพริกแห้งได้เร็วขึ้น แต่อย่างไรก็ตาม หากเทียบต้นทุนการผลิตแล้วการอบแห้งพริกด้วยการตากแดดก็ยังคงต่ำกว่าการอบแห้งพริกที่สภาวะสุญญากาศ เนื่องจากต้องมีชุดถังอบแห้งสุญญากาศที่สามารถทนรับความดันที่แตกต่างกันระหว่างภายในถังกับบรรยากาศภายนอก ต้องมีชุดปั๊มสุญญากาศเพื่อควบคุมรักษาความดันภายในถังอบแห้งสุญญากาศให้ได้ตามที่ต้องการ สุดท้ายก็คือชุดให้ความร้อนด้วยไฟฟ้า (electric heater) ซึ่งทั้งสองส่วนคือปั๊มสุญญากาศ และชุดให้ความร้อนด้วยไฟฟ้า จะต้องมีการใช้ไฟฟ้าในการทำให้อุปกรณ์ทำงาน ดังนั้นประเด็นความคุ้มค่าจึงต้องเปรียบเทียบทั้งในแง่ของราคาอุปกรณ์ต่างๆ ที่เพิ่มขึ้นมา และ ค่าไฟฟ้าที่ใช้ไป กับอัตราความเร็วในการอบแห้งที่เพิ่มขึ้นว่าคุ้มหรือไม่

5. สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองพบว่าค่าเฉลี่ยของอัตราการอบแห้ง (Drying Rate) ของการอบแห้งพริกด้วยการตากแดดคือ 10.2 (%db/hr) ส่วนการอบแห้งพริกที่สภาวะสุญญากาศเมื่ออุณหภูมิอบแห้งเพิ่มขึ้นจาก 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส ค่าอัตราการอบแห้งจะมีค่าเท่ากับ 24.8, 27.3 และ 33.0 (%db/hr) ตามลำดับ โดยพบว่าที่อุณหภูมิอบแห้ง 70 องศาเซลเซียสจะให้ค่าอัตราการอบแห้งที่ดีกว่าการตากแห้งพริกกลางแดดคิดเป็น 223.5 %

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ขอขอบคุณ นายตฤณชาติ สังข์สมล และ นายทรงพล สุวรรณชาติ นักศึกษา สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย ในการทำหน้าที่เป็นผู้ช่วยวิจัย

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] สาวิตรี คำหอม, ธราวุธ บุญน้อม, ญัฐพงษ์ ประภากร, พรธชา ลิบลับ และ วีรชัย อาจหาญ, 2555. การศึกษาเปรียบเทียบกระบวนการผลิตพริกแห้งด้วยเตาอบไมโครเวฟ ลมร้อน และเตาอบไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน. การประชุม วิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 26, ตุลาคม 2555 จังหวัดเชียงราย.

- [2] จารุวัฒน์ เจริญจิต, ยะผาด ดุสะเหมาะ, สุพัฒน์ เดชโสภา และ สุริยา ช่วยอินทร์, 2554. ตู้อบแห้งและกลั่นความชื้นรังสีอาทิตย์แบบเทอร์โมโซฟอน. วิศวกรรมสาร มข. ปีที่ 38 ฉบับที่ 1 มกราคม มีนาคม. เลขหน้า : 265-274.
- [3] สุธิดา อินทผล, อุปวิทย์ สุวคันธกุล และ โอภาส สุขหวาน, 2551. การพัฒนาเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์. วารสารวิชาการอุตสาหกรรมศึกษา ปีที่ 2 ฉบับที่ 1 มกราคม – มิถุนายน. หน้า 71 – 81.
- [4] Satish R. Desai, Vijaykumar Palled and M. Anantachar, 2009. Performance evaluation of farm solar drying for chilly drying. Karnataka J. Agric. Sci., 22(2). PP 382 – 384.
- [5] อำไพศักดิ์ ธิบุญมา และ ศักดิ์ชัย จงจำ, 2553. การอบแห้งขิงด้วยเทคนิคสุญญากาศร่วมกับอินฟราเรด. วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา, Vol. 15, No. 2. PP 76 – 86.
- [6] ไทรท์ ศรีโยธา, พัฒนสิน เหล่ารุ่งฤทธา, สิทธิชัย แสงโสภา และ ศักดิ์ณรงค์ ภูทองธง, 2553. การทำแห้งแบบสุญญากาศสำหรับใบมะรุม. การประชุม วิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 24, ตุลาคม 2553 จังหวัดอุบลราชธานี.

การประยุกต์เทคนิคการพยากรณ์ยอดขายเพื่อวางแผนการผลิตกรณีศึกษาโรงงานผลิตชุดชั้นใน Application of Sales Forecasting Technic for Production Planning : A Case Study of Lingerie Factory

ปิยานันท์ ทองโพธิ์*, ณฐรา คุปต์ชัยเรียร

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี อำเภอธัญบุรี

จังหวัดปทุมธานี 12110 piyanun_pin@hotmail.com

บทคัดย่อ

สภาพปัญหาที่เกิดขึ้นในปัจจุบันของโรงงานผลิตชุดชั้นในตัวอย่าง คือ ความไม่สมดุลกันของการสั่งผลิตกับยอดขาย ส่งผลให้เกิดต้นทุนรวมของวัสดุคงคลังของสินค้าสูงถึง 187,711,771 บาท/ปี หรือประมาณ 15,642,648 บาท/เดือน เกิดปัญหาขาดการวางแผนการผลิตสินค้าที่มีอยู่หลายประเภทอย่างเหมาะสม มีความยุ่งยากในการจัดหมู่ของสินค้า และไม่ทราบว่าหมวดหมู่สินค้าตัวใดมีมูลค่ารายปีสูง ซึ่งเป็นสิ่งที่จำเป็นสำหรับการวางแผนการผลิต งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อพยากรณ์ความต้องการของลูกค้าเพื่อใช้ในการตัดสินใจวางแผนการผลิตสินค้า กำหนดปริมาณการสั่งผลิตสินค้า ระเบียบวิธีวิจัยประกอบด้วย การเก็บรวบรวมข้อมูลยอดขายและยอดผลิตสินค้า พยากรณ์ความต้องการ โดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์ผลทางสถิติ MINITAB ซึ่งพบว่าวิธีพยากรณ์รูปแบบวินเตอร์ (Winter's Method) มีความเหมาะสมมากที่สุด มาทำการวางแผนการผลิต คำนวณการสั่งผลิตสินค้าที่เหมาะสม ต้นทุนการเก็บรักษา พบว่า ปริมาณการสั่งผลิตใหม่ทำให้ต้นทุนรวมวัสดุคงคลังต่อปีลดลง 8.80% หรือคิดเป็นเงิน 16,525,038 บาท/ปี

คำสำคัญ: การพยากรณ์ความต้องการ; การวางแผนการผลิต; ต้นทุนรวมวัสดุคงคลัง

Abstract

The occurred situations in the lingerie factory are the imbalance of order and the sale which affect to the total cost of the inventory stocks highly to 187,711,771 Baht/year 15,642,648 Baht/month. These situations caused by lack of the production planning properly for the various lines of product moreover the difficult of the categorizing the product and knowing which product having the high yearly value. The research objectives are for the consumer demand forecasting, for using in the production planning decision and the determining the amount of order. The research methodology contains the collecting the sales data, the amount of the production, the demand forecasting by MINITAB statistical analysis. The research results showed that the way of forecasting by Winter's Method is the most appropriate for the production planning, the calculation of the production order which is proper with the carrying cost. And the research result found that the amount of the new order making the total cost of the inventory stocks decreased to 8.80% or 16,525,038 Baht/year.

Keyword: Forecasting; Production Planning; Total Cost

* ปิยานันท์ ทองโพธิ์

1. บทนำ (Introduction)

เนื่องจากในปัจจุบันอุตสาหกรรมสิ่งทอและเครื่องนุ่งห่มในประเทศไทยมีการแข่งขันที่สูงและมีการขยายตัวอย่างต่อเนื่อง และสำหรับกลุ่มอุตสาหกรรมเครื่องนุ่งห่มมีประเภทของสินค้าที่หลากหลาย แต่ละประเภทสินค้ามีขั้นตอนการผลิตแตกต่างกันออกไป โดยโรงงานกรณีศึกษาแห่งนี้ประกอบธุรกิจผลิตสินค้าชุดชั้นในสตรี มีสิ่งการผลิตในรูปแบบผลิตเพื่อสต็อก (Make to Stock) ทำให้มีสินค้าคงคลังไม่สมดุล เนื่องจากโรงงานพยากรณ์ปริมาณความต้องการของสินค้าเพื่อวางแผนการผลิตสินค้าโดยอาศัยประสบการณ์เป็นหลัก จึงทำให้เกิดสินค้าคงคลังที่ไม่สมดุลกับความต้องการสินค้าของลูกค้าในแต่ละช่วงเวลา

จากการศึกษาค้นคว้างานวิจัยที่เกี่ยวข้อง [1] ทำการศึกษาการพยากรณ์ยอดขายไม้พื้นสำเร็จรูปลามิเนต ด้วยการพยากรณ์หาปริมาณความต้องการสินค้าที่เหมาะสม เพื่อให้ทราบปริมาณความต้องการสินค้าที่แม่นยำและช่วยลดต้นทุนการเก็บรักษาสินค้าคงคลัง [2] ศึกษาการพยากรณ์ยอดขายสินค้าเด็กเล่น โดยการเปรียบเทียบการพยากรณ์ เพื่อหาค่าความผิดพลาดที่ดีที่สุด เพื่อหาปริมาณการสั่งผลิตที่ประหยัดที่สุดเพราะจะทำให้ต้นทุนสินค้าคงคลังลดลง [3] ศึกษาการวางแผนการผลิตโดยใช้การพยากรณ์ผลิตภัณฑ์รวมเพื่อพยากรณ์สินค้าระดับย่อยลงมา โดยทำให้ทราบถึงความต้องการสินค้าระดับย่อย (สินค้าเดี่ยว) เรียกเทคนิคแบบนี้ว่าการพยากรณ์แบบปริมาตร เพื่อให้ทราบถึงจำนวนปริมาณความต้องการสินค้าเดี่ยว ที่จะนำไปใช้วางแผนการผลิต [4] ศึกษาการจัดการสินค้าคงคลังของโรงงานอาหารสัตว์ด้วยวิธีปริมาณการสั่งซื้อที่ประหยัดและวิธีโปรแกรมเชิงเส้น ผลการศึกษาค้นพบพบว่า หากมีการวางแผนการบริหารจัดการสินค้าคงคลังโดยใช้วิธี EOQ ให้ต้นทุนรวมที่ต่ำกว่าวิธีของโปรแกรมเชิงเส้น แต่วิธี EOQ อยู่ภายใต้สมมติฐานความต้องการในแต่ละช่วงเวลาคงที่ ซึ่งไม่สอดคล้องกับความเป็นจริงและทำให้เกิดปัญหาวัตถุดิบขาดมือในบางช่วงเวลาส่วนวิธีโปรแกรมเชิงเส้นให้ผลที่ใกล้เคียงกับความเป็นจริงในทางปฏิบัติมากกว่าและยังสามารถลดต้นทุนรวมในการจัดการวัตถุดิบคงคลังได้ส่วนศึกษาการจัดการสินค้าคงคลังของโรงงานอาหารสัตว์ด้วยวิธีการสั่งซื้อที่ประหยัดที่สุด [5] ทำการศึกษาวิธีการคำนวณสินค้าคงคลังสำรองของยอดขายที่มีลักษณะเชิงฤดูกาลสูง โดยนำข้อมูลที่พยากรณ์ได้จากโปรแกรมสำเร็จรูป Excel (Excel-Based Forecasting Software) ใช้วิธีการคำนวณระดับสินค้าคงคลังสำรองแบบมาตรฐานและหาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของความต้องการสินค้าในแต่ละเดือนแทน [6] ศึกษานโยบายสินค้าคงคลังเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพของการผลิตและการจัดการสินค้าคงคลังเพื่อลดต้นทุนรวม ของผลิตภัณฑ์ข้าวโพดหวานบรรจุกระป๋อง ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่มีความต้องการไม่แน่นอน มีข้อจำกัดด้านเวลาในการจัดซื้อและอายุของวัตถุดิบ โดยใช้ข้อมูลการขายย้อนหลัง มาศึกษาแบบของความต้องการพบว่าการแจกแจงแบบปกติ หลังจากนั้นนำข้อมูลการขายมาคำนวณหาจุดสั่งซื้อและปริมาณสินค้าคงคลังสูงสุด และกำหนดระดับการให้บริการลูกค้า [7] ศึกษาการประยุกต์ใช้นโยบายการจัดการสินค้าคงคลังโดยทำการแบ่งข้อมูลเป็นชุดในการปรับปรุงระบบการจัดหาวัตถุดิบที่เน่าเสียง่ายสำหรับร้านอาหารเพื่อหาวิธีการพยากรณ์ปริมาณการใช้ปลาช่อนต่อวันที่เหมาะสม และวัดค่าความคลาดเคลื่อนด้วยค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนสมบูรณ์ (MAD) พบว่า วิธีไฮลท์และวินเทอร์ที่มีฤดูกาลแบบบวกเป็นวิธีการพยากรณ์ที่เหมาะสมที่สุด และวางแผนการสั่งซื้อและการจัดการวัตถุดิบคงคลังด้วยนโยบายการสั่งซื้อวัตถุดิบแบบต่อเนื่องโดยใช้นโยบาย (s, S) และแบ่งข้อมูลปริมาณการใช้เป็นชุดวันธรรมดากับสุดสัปดาห์ [8] ศึกษาการปรับปรุงนโยบายการสั่งซื้อวัสดุก่อสร้างให้เหมาะสมกับปริมาณที่จำหน่ายโดยอาศัยทฤษฎีการคำนวณการสั่งซื้อประหยัดสุด เข้ามาในการกำหนดปริมาณการสั่งซื้อสินค้าที่มีลำดับความสำคัญมาก เพื่อให้ลดปริมาณการจัดเก็บสินค้าและลดค่าใช้จ่ายในการจัดเก็บ ซึ่งพบว่า การสั่งซื้อแบบ EOQ มีความเหมาะสมกับสินค้าที่มีความสำคัญมากของบริษัทงานวิจัย [9] นำเสนอการแบ่งแยกประเภทสินค้าตามความสำคัญ และกำหนดกฎเกณฑ์ในการจัดสินค้าคงคลังตามลำดับความสำคัญ โดยในส่วนของกลุ่มสินค้าที่มีความต้องการสูงจะถูกกำหนดให้มีรูปแบบของการจัดการสินค้าคงคลังเป็นการสั่งซื้อแบบ EOQ โดยมีการคำนวณจุดสั่งซื้อที่เหมาะสมร่วมด้วยจากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง พบว่า เมื่อทำการแบ่งแยกสินค้าตามลำดับความสำคัญแล้ว สินค้าที่มีความสำคัญมากมักจะมีการใช้ตัวแบบ EOQ ในการจัดการสินค้าคงคลัง ในงานวิจัยฉบับนี้จึง ได้นำเอาตัวแบบ EOQ มาใช้ แต่เนื่องจากการสั่งซื้อของร้านค้ากรณีศึกษาได้มีการได้รับส่วนลดจากผู้ส่งสินค้า ดังนั้นจึงมีการใช้ตัวแบบ EOQ แบบมีส่วนลดทุกหน่วย เพื่อหาตัวแบบที่เหมาะสม

หลังจากศึกษาค้นคว้างานวิจัย ทำให้ได้แนวทางการปรับปรุงปัญหาที่เกิดขึ้นโดยใช้การประยุกต์เทคนิคการพยากรณ์จากข้อมูลยอดขายสินค้าชุดชั้นในสตรีประเภท Special Size มาวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมวิเคราะห์ผลทางสถิติ MINITAB 16 หาค่าความ

ผิดพลาด MAPE, MAD และ MSD เพื่อเปรียบเทียบหาแบบการพยากรณ์ที่ดีที่สุด สำหรับใช้พยากรณ์สินค้าในอนาคตเพื่อวางแผนการผลิตด้วยเทคนิคพยากรณ์แบบปริมาตร และคำนวณหาการสั่งผลิตแบบใหม่ มาเปรียบเทียบกับคำสั่งผลิตแบบเก่า โดยปริมาณการสั่งผลิตแบบใหม่จะทำให้ต้นทุนรวมสินค้าคงคลังมีลดลง และควบคุมสินค้าคงคลังให้มีความสมดุลกับความต้องการสินค้าของลูกค้า

2. วิธีวิจัย (Research Methodology)

2.1 การพยากรณ์ความต้องการสินค้า

วัตถุประสงค์ของการพยากรณ์ คือการหาปริมาณความต้องการสินค้าในอนาคต โดยเริ่มจากการเก็บข้อมูลยอดขายสินค้า นำมาพยากรณ์ โดยเลือกวิธีการพยากรณ์แบบอนุกรมเวลา (Time Series Method) ซึ่งเป็นเทคนิคการพยากรณ์เชิงปริมาณ ใช้พยากรณ์ความต้องการสินค้าในอนาคตที่เหมาะสม ถ้าข้อมูลมีอิทธิพลองค์ประกอบที่เป็นแนวโน้ม (Trend) และฤดูกาล (Seasonal) ใช้การวิเคราะห์โดยเลือกตัวแบบการพยากรณ์รูปแบบ การหาค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ (Moving averages) และแบบวิธีปรับเรียบแบบเอกซ์โปเนนเชียลชั้นเดียว (Single exponential smoothing) ส่วนการพิจารณาตัวแบบการพยากรณ์เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้รับอิทธิพลองค์ประกอบของแนวโน้ม ใช้รูปแบบการพยากรณ์แบบวิธีปรับเรียบแบบเอกซ์โปเนนเชียลสองชั้น (Double exponential smoothing) และตัวแบบการพยากรณ์เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้รับอิทธิพลองค์ประกอบของฤดูกาลจะใช้วิธีการพยากรณ์แบบฤดูกาลของวินเตอร์ (Winter's Method) รวมทั้งหมด 4 รูปแบบ ใช้โปรแกรมMinitab16 คำนวณและวิเคราะห์ เพื่อให้แสดงผลค่าความผิดพลาดโดยใช้ดัชนีการประเมิน 3 ตัว ดังนี้ ค่าเฉลี่ยความเบี่ยงเบนกำลังสอง (Mean Absolute Deviation (MAD), ค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนกำลังสอง (Mean Squared Error (MSE)) และค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ของความคลาดเคลื่อนสมบูรณ์ (Mean Absolute Percentage Error (MAPE)) โดยหาค่า MAD, MSE และ MAPE ค่าน้อย หมายถึง การพยากรณ์มีความแม่นยำ โดยในงานวิจัยครั้งนี้ให้ระดับความสำคัญของค่าความผิดพลาดทั้ง 3 ค่าเท่ากัน เมื่อได้รูปแบบการพยากรณ์ที่ดีที่สุด จึงทำการพยากรณ์สินค้าในอนาคตตั้งแต่เดือนมกราคม 2556 ถึงเดือนธันวาคม 2556 รวม 12 เดือน เพื่อใช้สำหรับวางแผนการผลิตสินค้าในอนาคต

2.2 วางแผนการผลิต

หลังจากได้ค่าการพยากรณ์ความต้องการสินค้าในอนาคตของแต่ละเดือนทั้ง 12 เดือน จากตัวแบบวิธีการพยากรณ์ที่ดีที่สุดของการพยากรณ์แบบอนุกรมเวลา (Time Series Method) จากนั้นนำข้อมูลความต้องการสินค้าในอนาคตไปใช้ตัดสินใจการวางแผนการผลิตสินค้ารวมด้วยการใช้เทคนิคการพยากรณ์แบบปริมาตร (Pyramid Forecast) เพื่อหาผลรวมการพยากรณ์สินค้าระดับย่อยๆ ลงมา โดยใช้โปรแกรม Excel คำนวณสินค้าระดับย่อยๆลงมาจากข้อมูลที่ได้จากการพยากรณ์สินค้าอนาคตของแต่ละเดือน เพื่อทำให้ทราบถึงปริมาณที่จะสั่งผลิตสินค้าได้ตรงตามขนาดไซส์ของแต่ละสินค้า (ผลิตภัณฑ์เดียว)

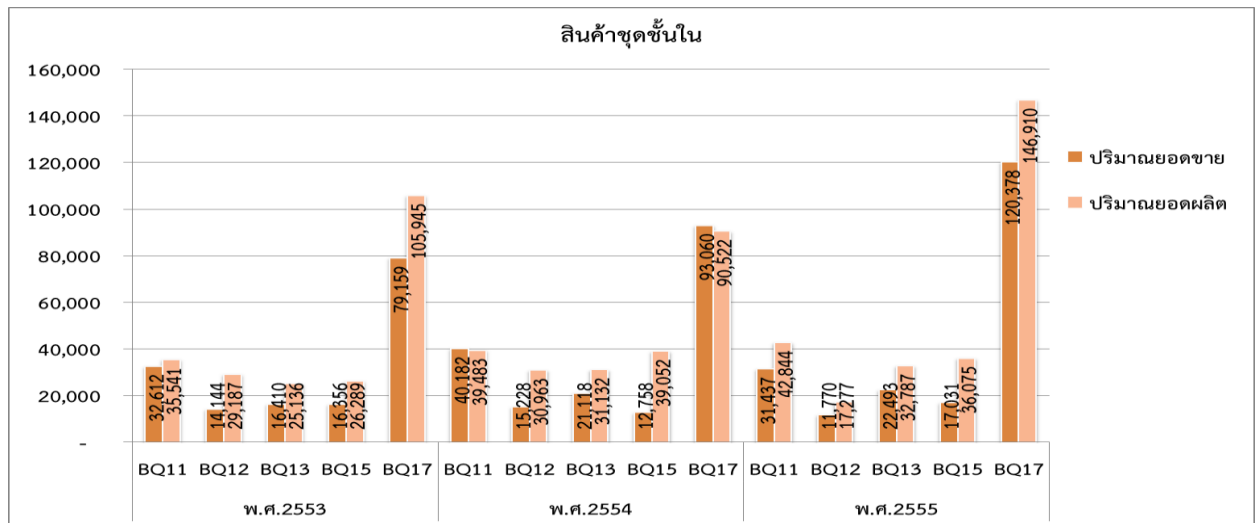
2.3 วิเคราะห์ข้อมูลเพื่อเปรียบเทียบต้นทุนรวมสินค้าคงคลัง

คำนวณหาต้นทุนรวมสินค้าคงคลัง และการสั่งผลิตตามหลักการของ EOQ ซึ่งในขั้นตอนนี้ จะทำให้ทราบว่า ปริมาณการสั่งผลิต ต้นทุนการเก็บรักษา และต้นทุนรวมสินค้าคงคลังจากตัวแบบใหม่ เพื่อนำไปเปรียบเทียบกับปริมาณการสั่งผลิตแบบเก่า และจะแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพที่ดีขึ้นจากการนำเทคนิคการพยากรณ์ยอดขายมาใช้แก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นกับโรงงาน

3. ผลการวิจัย (Results)

3.1 พยากรณ์ความต้องการสินค้า

เริ่มเก็บรวบรวมข้อมูลปริมาณยอดขายและปริมาณยอดผลิตสินค้าทั้ง 5 ชนิด ได้แก่สินค้า BQ11, BQ12, BQ13, BQ15 และ BQ17 ตั้งแต่เดือนมกราคม 2553 ถึงเดือนธันวาคม 2555 ได้ตั้งรูปที่1 นำข้อมูลทำการเลือกวิเคราะห์เลือกรูปแบบการพยากรณ์แบบอนุกรมเวลา (Time Series Method) หาแบบการพยากรณ์ที่ดีที่สุด ด้วยโปรแกรม Minitab 16 ตามตารางที่ 1



รูปที่ 1 ข้อมูลปริมาณยอดขายและปริมาณยอดผลิตตั้งแต่ เดือนมกราคม 2553 ถึงเดือนธันวาคม 2555

ตารางที่ 1 ข้อมูลจากการพยากรณ์ด้วยรูปแบบต่างๆ โดยโปรแกรม Minitab 16

สินค้า	วิธีการพยากรณ์	Moving Average	Single Exponential Smoothing	Double Exponential Smoothing	Winters' Method
BQ11	ค่าMAD	16	16	16	10
	ค่าMSE	433	436	453	294
	ค่าMAPE	277352	265028	285539	138743
BQ12	ค่าMAD	22	19.4	22.1	13
	ค่าMSE	249.7	201.1	247.7	152.6
	ค่าMAPE	99829.9	71419.2	90011	38938.5
BQ13	ค่าMAD	13.6	13.6	15	10.9
	ค่าMSE	230.6	226.1	248	183.3
	ค่าMAPE	92238.4	85051.9	101438	51729.4
BQ15	ค่าMAD	17.3	15.6	17.7	12.6
	ค่าMSE	227.6	204.5	236.7	160.8
	ค่าMAPE	91840.1	77787.5	90166.7	39642.6
BQ17	ค่าMAD	9	8	8	6
	ค่าMSE	740	675	654	524
	ค่าMAPE	991691	870410	857257	406293

จากตารางที่ 2 พบว่าผลการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Minitab16 แสดงให้เห็นว่ารูปแบบการพยากรณ์วินเตอร์ (Winters' Method) ซึ่งมีค่า MAD, MSE และ MAPE น้อยที่สุด จึงสรุปได้ว่าเหมาะที่จะนำไปพยากรณ์ปริมาณความต้องการสินค้าในอนาคตเพื่อใช้สั่งผลิตสินค้า จากนั้นทำการพยากรณ์ความต้องการสินค้าในอนาคตดังตารางที่ 2 เพื่อใช้ในการวางแผนผลิต

ตารางที่ 2 ข้อมูลการพยากรณ์ด้วยรูปแบบวินเตอร์ สำหรับความต้องการสินค้าในอนาคต 12 เดือนของปีพ.ศ.2556

เดือน	Forecast พศ.2556				
	BQ11	BQ12	BQ13	BQ15	BQ17
มกราคม	3,162	1,073	2,228	1,364	11,250
กุมภาพันธ์	2,729	1,006	1,830	1,397	10,551
มีนาคม	2,762	1,515	2,247	1,492	10,004
เมษายน	3,073	967	1,864	1,744	10,168
พฤษภาคม	3,029	1,033	1,949	1,915	10,364
มิถุนายน	2,996	858	1,806	1,484	9,990
กรกฎาคม	3,729	1,122	1,886	1,682	11,876
สิงหาคม	3,786	1,101	1,988	1,565	11,804
กันยายน	3,046	925	1,900	1,262	10,886
ตุลาคม	3,330	1,186	1,924	1,350	11,202
พฤศจิกายน	2,697	1,068	1,640	1,327	11,551
ธันวาคม	3,601	1,365	1,944	1,727	14,844

3.2 การวางแผนการผลิตสินค้าเดี่ยว

สำหรับสินค้าชุดชั้นในเป็นสินค้าที่มีปัจจัยเรื่องขนาดไซส์ (สินค้าเดี่ยว) ที่ส่งผลเกี่ยวข้องกับการสั่งผลิต เราจึงใช้เทคนิคการพยากรณ์แบบปิรามิด (Pyramid Forecast) ใช้ตัดสินใจในการวางแผนผลิตสินค้าให้ตรงตามขนาดไซส์ (สินค้าเดี่ยว) จากการพยากรณ์ความต้องการรวมในอนาคต 12 เดือน ของปี พ.ศ.2556 เพื่อนำมาพยากรณ์ระดับย่อยๆลงมา หาค่าความต้องการสินค้าแต่ละไซส์โดยคิดเป็นเปอร์เซ็นต์จากยอดขายสินค้าในอดีตของแต่ละชนิด ตามตารางที่3 และหาปริมาณการผลิตสินค้าเดี่ยว และตารางที่ 4 แสดงตัวอย่างการหาปริมาณสินค้าเดี่ยว BQ17 เพื่อวางแผนผลิตสินค้า

ตารางที่ 3 ข้อมูลค่าความต้องการสินค้าแต่ละไซส์จากยอดขายในอดีต

SIZE	BQ11	BQ12	BQ13	BQ15	BQ17
A5	0.00%	0.00%	0.00%	8.85%	2.35%
A6	0.00%	0.00%	0.00%	6.22%	1.48%
A7	0.00%	0.00%	0.00%	4.50%	1.02%
A8	0.11%	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%
A9	0.10%	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%
AJ	0.13%	0.00%	0.00%	0.00%	0.02%
B5	11.11%	15.54%	9.40%	16.21%	13.01%
B6	8.35%	10.72%	7.16%	11.20%	8.04%
B7	6.55%	8.74%	5.46%	8.01%	4.88%
B8	0.46%	0.00%	0.42%	0.00%	0.05%
B9	0.36%	0.00%	0.48%	0.00%	0.04%
BJ	0.44%	0.00%	0.38%	0.00%	0.04%
C5	9.75%	14.41%	10.83%	13.48%	14.80%
C6	8.07%	10.43%	9.44%	9.91%	8.85%
C7	5.94%	8.17%	7.14%	7.47%	5.72%
C8	0.58%	0.00%	0.53%	0.00%	0.07%
C9	0.49%	0.00%	0.57%	0.00%	0.07%
CJ	0.55%	0.00%	0.82%	0.00%	0.09%
D5	9.04%	9.87%	15.05%	4.22%	11.17%
D6	6.20%	8.47%	12.92%	2.42%	6.87%
D7	6.59%	8.00%	11.65%	2.42%	5.50%
D8	0.40%	0.00%	0.51%	0.00%	0.05%
D9	0.41%	0.00%	0.48%	0.00%	0.05%
DJ	0.37%	0.00%	0.34%	0.00%	0.05%
E5	7.64%	2.02%	1.68%	1.86%	6.45%
E6	6.08%	1.77%	1.27%	1.52%	4.54%
E7	7.72%	1.87%	1.29%	1.71%	4.45%
E8	0.93%	0.00%	0.77%	0.00%	0.10%
E9	0.76%	0.00%	0.79%	0.00%	0.09%
EJ	0.89%	0.00%	0.62%	0.00%	0.11%
TOTAL	100%	100%	100%	100%	100%

ตารางที่ 4 ตัวอย่างการหาปริมาณสินค้าเดี่ยว BQ17 เพื่อวางแผนผลิต

MONTH	มกราคม	กุมภาพันธ์	มีนาคม	เมษายน	พฤษภาคม	มิถุนายน	กรกฎาคม	สิงหาคม	กันยายน	ตุลาคม	พฤศจิกายน	ธันวาคม
A5	265	248	235	239	244	235	279	278	256	263	272	349
A6	167	156	148	151	154	148	176	175	161	166	171	220
A7	115	108	102	104	106	102	121	120	111	114	118	151
A8	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2
A9	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2
AJ	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
B5	1,464	1,373	1,301	1,323	1,348	1,300	1,545	1,536	1,416	1,457	1,503	1,931
B6	905	849	805	818	834	804	955	950	876	901	929	1,194
B7	549	515	488	496	506	487	580	576	531	547	564	724
B8	6	5	5	5	5	5	6	6	5	6	6	7
B9	5	4	4	4	4	4	5	5	5	5	5	6
BJ	4	4	4	4	4	4	5	5	4	4	5	6
C5	1,665	1,561	1,480	1,504	1,533	1,478	1,757	1,747	1,611	1,657	1,709	2,196
C6	996	934	886	900	918	884	1,051	1,045	964	992	1,023	1,314
C7	643	603	572	582	593	571	679	675	623	641	661	849
C8	8	8	7	7	8	7	9	9	8	8	8	11
C9	8	7	7	7	7	7	8	8	7	8	8	10
CJ	10	9	9	9	9	9	10	10	9	10	10	13
D5	1,257	1,179	1,118	1,136	1,158	1,116	1,327	1,319	1,216	1,252	1,291	1,658
D6	773	725	687	698	712	686	816	811	748	769	793	1,020
D7	619	580	550	559	570	549	653	649	599	616	635	816
D8	5	5	5	5	5	5	6	6	5	5	6	7
D9	6	6	5	5	6	5	6	6	6	6	6	8
DJ	5	5	5	5	5	5	6	6	5	5	5	7
E5	726	681	646	656	669	645	767	762	703	723	746	958
E6	511	479	454	462	471	454	539	536	494	509	525	674
E7	501	470	445	453	461	445	529	526	485	499	514	661
E8	12	11	10	11	11	10	12	12	11	12	12	15
E9	11	10	9	10	10	9	11	11	10	10	11	14
EJ	12	11	11	11	11	11	13	13	12	12	13	16
TOTAL	11,250	10,551	10,004	10,168	10,364	9,990	11,876	11,804	10,886	11,202	11,551	14,844

3.3 วิเคราะห์ข้อมูลเพื่อเปรียบเทียบต้นทุนรวมสินค้าคงคลัง

สามารถทำการวิเคราะห์หาปริมาณการสั่งผลิตที่ใหม่ และทำการคำนวณหาต้นทุนรวมสินค้าคงคลังเปรียบเทียบต้นทุนรวมสินค้าแบบเดิมและใหม่ ได้ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 แสดงการคำนวณหาต้นทุนรวมสินค้าคงคลังเปรียบเทียบกับต้นทุนรวมสินค้าแบบเดิมและใหม่

สินค้า	ต้นทุนรวม สินค้าคงคลัง เดิมต่อปี(บาท)	ต้นทุนรวม สินค้าคงคลัง ใหม่ต่อปี(บาท)	ต้นทุนรวม สินค้าคงคลัง ลดลง
BQ11	34,179,823	32,626,566	1,553,257
BQ12	16,469,950	8,293,288	8,176,663
BQ13	20,043,434	15,433,610	4,609,823
BQ15	34,820,589	18,610,899	16,209,690
BQ17	82,197,974	96,222,369	- 14,024,395
รวม	187,711,771	171,186,732	16,525,038

4. อภิปรายผล (Discussion)

งานวิจัยฉบับนี้ต้องการประยุกต์เทคนิคการพยากรณ์ยอดขายเพื่อวางแผนการผลิต โดยหาแนวทางแก้ไขปัญหที่เกิดขึ้นในโรงงานสำหรับเรื่องสินค้าคงคลังที่ไม่สมดุลกับความต้องการสินค้าของลูกค้าในแต่ละช่วงเวลา โดยเริ่มพิจารณาจากข้อมูลยอดขายสินค้าในอดีตที่มีอยู่ 5 ชนิด นำมาพยากรณ์แบบอนุกรมเวลา เพื่อหารูปแบบการพยากรณ์ที่ดีที่สุด พบว่าการพยากรณ์แบบวินเตอร์เหมาะสมที่สุดเพราะมีค่า MAD, MSE และ MAPE น้อยที่สุด และนำวิธีการพยากรณ์แบบวินเตอร์มาพยากรณ์สินค้าในอนาคต หลังจากได้ข้อมูลความต้องการสินค้าในอนาคต ในแต่ละเดือนของ ปี พ.ศ.2556 จากนั้นนำข้อมูลมาวางแผนการผลิตของสินค้าแต่ละเดือนโดยใช้เทคนิคการพยากรณ์แบบปริมาตร ซึ่งเป็นการวางแผนการผลิตโดยใช้ค่าการพยากรณ์รวมของสินค้ามาหาความต้องการสินค้าระดับย่อยๆ ลงมา เพื่อหาปริมาณการสั่งผลิตสินค้าในแต่ละไซส์ของสินค้า โดยใช้ข้อมูลจากยอดขายสินค้าในอดีตเพื่อหาแนวโน้มของปริมาณสินค้าที่จะต้องสั่งผลิตล่วงหน้า และนำข้อมูลจากยอดขายสินค้าอนาคตมาคำนวณหาต้นทุนรวมสินค้าคงคลัง พบว่าจากใช้เทคนิคการพยากรณ์แบบใหม่ทำให้ต้นทุนรวมสินค้าคงคลังลดลง

5. สรุปผล (Conclusions)

จากการศึกษางานวิจัย การประยุกต์เทคนิคการพยากรณ์ยอดขายมาเพื่อใช้วางแผนการผลิต แสดงผลของต้นทุนรวมสินค้าคงคลังที่เกิดขึ้นในอดีตและต้นทุนรวมสินค้าคงคลังด้วยการประยุกต์ใช้เทคนิคการพยากรณ์ยอดขายวิธีใหม่ เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับต้นทุนรวมสินค้าคงคลังลดลง 16,525,038 บาท/ปี โดยผลการวิจัยครั้งนี้เป็นที่น่าพอใจ และในขณะเดียวกันสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับสินค้าชนิดอื่นได้ นอกจากนี้สิ่งที่ผู้วิจัย พบว่า การหาส่วนประกอบของต้นทุนที่จะทำให้ได้มาซึ่งต้นทุนรวมสินค้าคงคลังนับเป็นเรื่องที่ทำให้ถูกต้องได้ยาก เนื่องจากความเฉพาะตัวของสินค้าแต่ละประเภทจะทำให้เกิดต้นทุนย่อยๆ ที่ต่างกันไป อย่างไรก็ดี การเก็บข้อมูลต้นทุนที่เกี่ยวข้องให้มีความถูกต้องเท่าที่จะทำได้ จะทำให้การคำนวณได้เข้าใกล้ค่าที่ดีที่สุด

6. กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgement)

ขอขอบคุณบริษัท ไทยวาโก้ จำกัด (มหาชน) ที่ให้การอนุเคราะห์ข้อมูลและสถานที่ในการศึกษาวิจัย ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ให้การสนับสนุนอนุเคราะห์ในทุกด้านจนทำให้ผู้วิจัยประสบความสำเร็จ และขอขอบพระคุณอาจารย์ที่ประสาทวิชาความรู้ให้แก่ผู้วิจัยจนสำเร็จผลและบิดามารดาที่ให้การสนับสนุนตลอดมา

7. เอกสารอ้างอิง (Reference)

- [1] อุดม ตั้งล้ำเลิศ, 2008. การพยากรณ์ยอดขายและการลดต้นทุนสินค้าคงคลังในอุตสาหกรรมไม้พื้นสำเร็จรูปลามิเนต วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- [2] เสาวลักษณ์ อนันตะ, 2008. การพยากรณ์ยอดขายเพื่อวางแผนการสั่งซื้อ : กรณีศึกษาบริษัทค้าส่งของเล่นเด็กตัวอย่าง วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.
- [3] Gene Filedner, Gene Fliedner, 2001. Hierarchical forecasting: issues and use guidelines, Industrial Management & Data Systems, Vol. 101, NO1: pp.5 – 12.
- [4] พิรุณ สอนเย็น, 2007. การบริหารจัดการวัตถุดิบคงคลังของโรงงานอาหารสัตว์, วิทยานิพนธ์ศิลปศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- [5] R. Herrin, 2005. How to Calculate Safety Stocks for HighlySeasonal Products, The Journal of Business Forecasting, Vol.24, No. 2: pp.6-10.
- [6] P. Ongkunaruk, and R. Prawat, 2011. Inventory Management in Canned Sweet Corn Kernel Industry, Flexible Automation andIntelligent Manufacturing (FAIM), Taiwan.
- [7] วรกานต์ ศรีบัวทอง, 2010. การปรับปรุงระบบการจัดหาวัตถุดิบที่เน่าเสียง่ายสำหรับร้านอาหาร, การศึกษาค้นคว้าอิสระ, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- [8] นที เอื้อสมิทธิ์, 2011. การพัฒนาระบบการจัดการพัสดุคงคลัง : กรณีศึกษาร้านค้าปลีกวัสดุก่อสร้าง, วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- [9] M. Bošnjakovic, 2010. Multi-criteria Inventory Model for Spare Parts, Tehnicki Vjesnik, Vol.17, NO.4: pp. 499-504.

การศึกษาตู้อบพริกด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีและไม่มีแผ่นสะท้อนรังสี Study of Chili Solar Dryer with and without flat plate reflector

บรรเจิด โปฏกรัตน์*, บัญญัติ นิยมवास, เสรี ทองชุม
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
อ.เมือง จ.สงขลา 90000
pbunjerd@gmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาเชิงทดลองสมรรถนะการอบพริกด้วยตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีและไม่มีแผ่นสะท้อนรังสี ตู้อบแห้งพริกมีกระจกรับรังสีของแสงอาทิตย์ ขนาดความกว้าง 0.77 เมตร ยาว 1.00 เมตร ทำมุมเอียง 10° กับแนวระดับ รวมทั้งติดตั้งแผ่นสะท้อนรังสีบริเวณขอบของแผ่นรับรังสีมีขนาดกว้าง 0.25 เมตร ยาว 1.0 เมตร จำนวน 2 แผ่น ซึ่งสามารถปรับมุมในการสะท้อนรังสี เพื่อทำหน้าที่สะท้อนรังสีจากดวงอาทิตย์ไปยังแผ่นรับรังสีเพื่อให้ความร้อนแก่ตู้อบ โดยจะทำการเปรียบเทียบระหว่างไม่มีแผ่นสะท้อนรังสี และ ติดแผ่นสะท้อนรังสีที่มุม 45° กับแนวขอบของพื้นที่รับรังสี ระยะเวลาในการทดลองตั้งแต่วันที่ 09.00 – 16.00 น. เป็นเวลา 7 ชั่วโมง จากผลการทดลองด้วยตู้อบพริกพลังงานแสงอาทิตย์กรณีไม่มีแผ่นสะท้อนรังสี พบว่าอัตราการเปลี่ยนแปลงของร้อยละความชื้นต่อชั่วโมง (%db/hr) ของการอบแห้งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 9.01 และ 11.95 สำหรับกรณีติดตั้งแผ่นสะท้อนรังสี

คำสำคัญ(Key word): ตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์; พริก; แผ่นสะท้อนรังสี

Abstract

This research aims to study the performance of a chili solar dryers with and without flat plate reflector. Solar dryers has a glass to absorb heat from solar radiation. Sizing of glass area is 0.77 m width and 1.00 m long at an angle 10° with the horizontal. Edge of glass attach with flat plate reflector with 0.25 m width and 1.0 m long. Angle of flat plate reflector is set to 45° . Experimental period is 7 hours per day between 9.00 am - 4.00 pm. The rate of moisture content difference per hour (%db/hr) of chili solar dryer with flat plate reflector is 11.95 and 9.01 for solar dryer without flat plate reflector.

Key word: chili solar dryers; chili; flat plate reflector

* บรรเจิด โปฏกรัตน์

1. บทนำ

การบริโภคอาหารของคนไทย มีอาหารหลายชนิดที่ต้องรับประทานร่วมกับพริกแห้ง จึงทำให้เกิดความจำเป็นที่จะต้องทำการแปรรูปจากพริกสด โดยมีการผลิตแห้งในระดับครัวเรือน และ ระดับอุตสาหกรรม [1] การผลิตพริกแห้งในระดับครัวเรือนก็มี การผลิตด้วยวิธีง่ายๆ เช่น การนำพริกสดมาตากแดด หรือ การอบแห้งพริกด้วยตู้อบแห้งพริกพลังงานแสงอาทิตย์ [2 – 4]

สาวิตรี [1] ได้ศึกษาการผลิตพริกแห้งด้วยเตาอบไมโครเวฟ ร่วมกับ ลมร้อน พบว่า สภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้งพริกด้วย ไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนคือ อุณหภูมิลมร้อนเท่ากับ 70 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที คลื่นไมโครเวฟ 0.61 วัตต์ต่อกรัมพริกแห้ง ค่าความชื้นของพริกลดลงจาก 71.80 เหลือ 8.61 เปอร์เซ็นต์ (มาตรฐานเปียก) ภายในเวลา 150 นาที

จารุวัฒน์[2] ได้ศึกษาการอบแห้งพริกด้วยตู้อบแห้งและกลั่นความชื้นรังสีอาทิตย์แบบเทอร์โมไซฟอน โดยตัวเครื่องอบแห้งมี ขนาด 83 x 77 x 100 ลูกบาศก์เซนติเมตร สามารถบรรจุถาดอบแห้งพริกได้ จำนวน 5 ถาด ทำการทดลองระหว่างเวลา 9.00 – 15.00 น. เป็นเวลา 6 ชั่วโมง พบว่าสามารถอบแห้งพริกปริมาณ 5 กิโลกรัม จากค่าความชื้นเฉลี่ย 5 ขึ้น 300 % (d.b.) จน เหลือประมาณ 26 % (d.b.) ภายในเวลา 3 วัน หรือ 18 ชั่วโมง

สุดธิดา [3] ได้สร้างเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ โดยมีขนาดของแผงกระจกรับแสงอาทิตย์เท่ากับ 3.15 ตารางเมตร มีพัด ลมระบายอากาศติดตั้งบริเวณอากาศร้อนเข้า และ อากาศร้อนออก จำนวน 2 ชุด แต่ละชุดมีขนาด กำลังไฟฟ้า 2 วัตต์ พบว่าสามารถอบแห้งพริกปริมาณ 10 กิโลกรัม จากความชื้นเริ่มต้น 85 % (wb) ให้เหลือ 15 % (wb) ได้ภายในเวลา 9 ชั่วโมง คือ จาก 8.00 – 17.00 น.

Satish [4] ได้ศึกษาการอบแห้งพริกด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ โดยตัวเครื่องอบแห้งมีพื้นที่กระจกสำหรับรับแสงอาทิตย์เท่ากับ 3.34 ตารางเมตร และ กระจกตั้งกล่าววางเอียงทำมุม 45 องศากับแนวระดับ เครื่องอบสามารถบรรจุได้จำนวน 7 ถาด โดยแต่ละถาดมีพื้นที่เท่ากับ 1.35 ตารางเมตร โดยสามารถอบแห้งพริกจากความชื้นเริ่มต้น 76.5 % (wb) ให้เหลือความชื้น ประมาณ 9 % (wb) ได้ภายในระยะเวลา 30 ชั่วโมง

จากการที่เครื่องอบแห้งพริกพลังงานอาทิตย์เป็นเครื่องมือที่สามารถผลิตพริกแห้งได้ในระดับครัวเรือน และ ราคาไม่แพง ทาง ผู้วิจัยจึงได้คิดปรับปรุงตู้อบแห้งพริกด้วยพลังงานแสงอาทิตย์จากเดิมที่มีเพียงกระจกรับแสงอาทิตย์เพียงชุดเดียว โดยได้เพิ่ม แผ่นกระจกสะท้อนรังสีแสงอาทิตย์ให้กับกระจกรับแสงอาทิตย์ และได้ทำการศึกษาที่มุมของแผ่นกระจกสะท้อนรังสีเท่ากับ 45 องศา เปรียบเทียบกับตู้อบแห้งพริกที่ไม่มีแผ่นกระจกสะท้อนรังสี

2. อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

2.1 ชุดทดลองตู้อบพริกพลังงานแสงอาทิตย์

ตู้อบพริกพลังงานแสงอาทิตย์นี้มีโครงสร้างที่ทำด้วยเหล็กฉากหนา 0.25 นิ้ว กว้าง 1.5 นิ้วภายนอกโครงสร้างจะหุ้มด้วย แผ่นอะลูมิเนียม ด้านหน้าของตัวตู้อบพริกจะมีแผ่นกระจกใสเอียงลาดทำมุม 10° ใช้สำหรับรับรังสีจากดวงอาทิตย์โดยมี ขนาด 0.77x 1.00 ตารางเมตร ขอบของตู้อบทั้ง 2 ด้าน จะมีแผ่นสะท้อนรังสีทำด้วยกระจกเงามีขนาด 0.25 x 0.99 ตารางเมตรกระจกสะท้อนรังสีนี้จะสามารถปรับมุมในการสะท้อนรังสีได้ ส่วนด้านหน้าและด้านบนจะมีช่องเพื่อให้อากาศ ไหลผ่าน ภายในตู้อบมีช่องสำหรับวางถาดอบพริกจำนวน 2 ถาด และถาดอบพริกจะทำด้วยตะแกรงอะลูมิเนียมโดยมี ขนาด 0.50 x 0.70 ตารางเมตร สามารถแสดงรูปของชุดตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ได้ ดังภาพที่ 1

เครื่องมือที่ใช้ในการวัดค่าต่างๆ มีดังนี้คือ เครื่องมือวัดอุณหภูมิยี่ห้อ Extech มีช่วงการวัด -100°C ถึง 1300°C ความละเอียด ในการวัด 0.1 °C เครื่องมือวัดความเข้มแสงอาทิตย์ ยี่ห้อ TES มีช่วงการวัด 0 - 2000W/m² ความละเอียดในการวัด 1 W/m² เครื่องชั่งน้ำหนักค่าความละเอียด 0.1 มิลลิกรัม ยี่ห้อ Sartorius



ภาพที่ 1 โครงสร้างภายนอกของตู้อบพริกพลังงานแสงอาทิตย์

2.2 วิธีการทดลอง

การทดลองแบ่งเป็น 2 ชุดการทดลองคือ ไม่มีแผ่นสะท้อนรังสี และ มีแผ่นสะท้อนรังสีที่มุม 45 องศา จะทำการทดลองชุดละ 2 วัน วันละ 7 ชั่วโมง ตั้งแต่เวลา 09.00-16.00 น. ทุกๆ 1 ชั่วโมงจะนำพริกในแต่ละถาดมาชั่ง และ จดบันทึกมวลที่เปลี่ยนแปลงไป โดยเริ่มต้นจะบรรจุพริกไว้ถาดละ 0.5 กิโลกรัม และทำการบันทึกค่าความเข้มของพลังงานแสงอาทิตย์ (W/m^2)

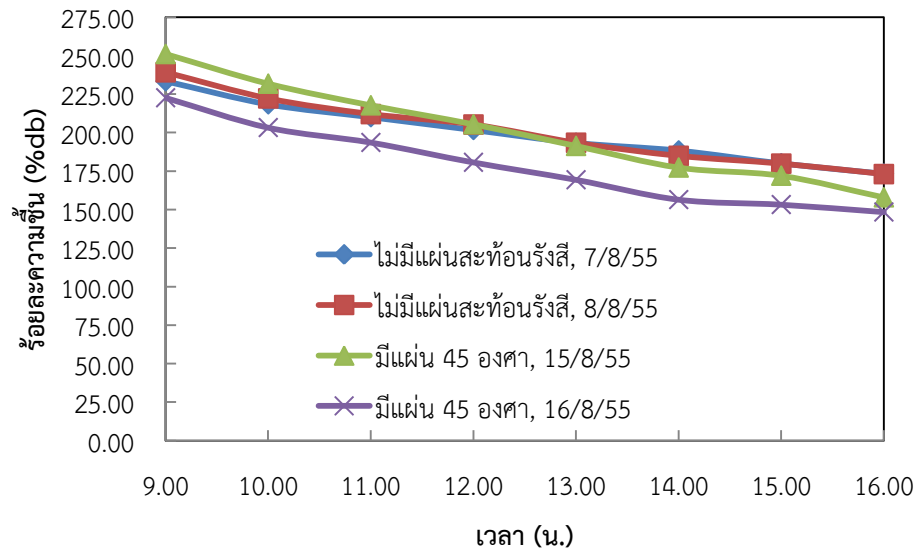
3. ผลการทดลอง

ผลการทดลองอบแห้งพริกด้วยตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีและไม่มีแผ่นสะท้อนรังสี สามารถแสดงค่าได้ดังตารางที่ 1 ต่อไปนี้

ตารางที่ 1 ผลการทดลองอบแห้งพริกด้วยตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีและไม่มีแผ่นสะท้อนรังสี

เวลา	ไม่มีแผ่นสะท้อนรังสี		45 องศา	
	7 สค55 (%db)	8 สค55 (%db)	15 สค55 (%db)	16 สค55 (%db)
9.00	233.33	239.08	250.99	222.58
10.00	218.33	222.13	231.71	203.23
11.00	210.00	211.95	217.67	193.55
12.00	201.67	205.17	205.36	180.65
13.00	193.33	193.33	191.32	169.35
14.00	188.33	184.83	177.28	156.45
15.00	180.00	179.77	171.98	153.23
16.00	173.33	172.99	157.94	148.39

ค่าร้อยละความชื้น (%db) ที่แสดงในตารางที่ 1 เป็นค่าเฉลี่ยของภาคที่ 1 และ 2 ของการอบพริกด้วยตู้อบแห้งแต่ละครั้ง จากตารางที่ 1 สามารถนำมาแสดงด้วยกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าร้อยละความชื้น (%db) กับเวลาได้ดังภาพที่ 2 ต่อไปนี้



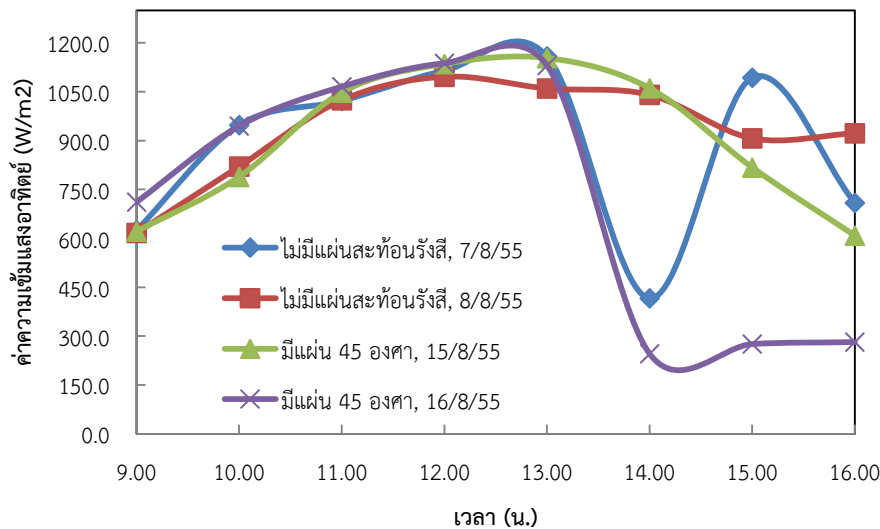
ภาพที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าร้อยละความชื้น (%db) กับเวลา

ค่าความเข้มแสงอาทิตย์ในระหว่างทำการทดลองแสดงได้ดังตารางที่ 2 ต่อไปนี้

ตารางที่ 2 ค่าความเข้มแสงอาทิตย์ (W/m²)

เวลา	ไม่มีแผ่นสะท้อนรังสี						45 องศา					
	ความเข้มแสงอาทิตย์ (W/m ²)						ความเข้มแสงอาทิตย์ (W/m ²)					
	7 สค55			8 สค55			15 สค55			16 สค55		
	max	min	avg	max	min	avg	max	min	avg	max	min	avg
9.00	631.2	617.5	624.4	620.9	612.4	616.7	620.1	621.5	620.8	764.2	658.5	711.4
10.00	950.1	944.9	947.5	830.0	810.9	820.5	865.1	712.0	788.6	945.5	943.8	944.7
11.00	1026.0	1018.0	1022.0	1030.0	1018.0	1024.0	1065.0	1030.0	1047.5	1075.0	1056.0	1065.5
12.00	1150.0	1079.0	1114.5	1102.0	1090.0	1096.0	1165.0	1105.0	1135.0	1140.0	1135.0	1137.5
13.00	1176.0	1141.0	1158.5	1080.0	1040.0	1060.0	1165.0	1141.0	1153.0	1196.0	1065.0	1130.5
14.00	517.8	314.5	416.2	1078.0	1003.0	1040.5	1062.0	1059.0	1060.5	246.6	245.2	245.9
15.00	1101.0	1085.0	1093.0	911.0	903.0	907.0	829.5	804.9	817.2	276.3	275.2	275.8
16.00	719.3	698.4	708.9	943.0	902.0	922.5	615.5	601.2	608.4	285.9	277.4	281.7

จากตารางที่ 2 สามารถนำค่าเฉลี่ยของความเข้มแสงอาทิตย์ในแต่ละวันมาแสดงได้ดังภาพที่ 3 ต่อไปนี้



ภาพที่ 3 ค่าเฉลี่ยของความเข้มแสงอาทิตย์ในแต่ละวัน

ในการเปรียบเทียบสมรรถนะของตู้อบพริกด้วยพลังงานแสงอาทิตย์จะทำการเปรียบเทียบด้วยค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงของร้อยละความชื้นต่อชั่วโมง โดยหาได้จากสมการต่อไปนี้

$$\Delta \%MC/hr = \frac{\%MC_{start} - \%MC_{stop}}{t} \quad (1)$$

เมื่อ

$\Delta \%MC/hr$ = อัตราการเปลี่ยนแปลงของร้อยละความชื้นต่อชั่วโมง (%db/hr)

$\%MC_{start}$ = ร้อยละความชื้นเริ่มต้น(%db)

$\%MC_{stop}$ = ร้อยละความชื้นสิ้นสุด (%db)

t = ระยะเวลา (ชั่วโมง)

จากตารางที่ 1 นำมาหาค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงของร้อยละความชื้นต่อชั่วโมงของการอบแห้งพริกด้วยตู้อบพริกด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ จากสมการที่ (1) ได้ดังตารางที่ 3 ต่อไปนี้

ตารางที่ 3 ค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงของร้อยละความชื้นต่อชั่วโมงของการอบแห้งพริก

	ไม่มีแผ่นสะท้อนรังสี		45 องศา	
	7 สค55	8 สค55	15 สค55	16 สค55
%db/hr	8.57	9.44	13.29	10.60

จากตารางที่ 3 พบว่าค่าเฉลี่ยของอัตราการเปลี่ยนแปลงของร้อยละความชื้นต่อชั่วโมงของการอบแห้งพริกกรณีไม่มีแผ่นสะท้อนรังสีมีค่าเท่ากับ 9.01 %db/hrกรณีมีแผ่นสะท้อนรังสีโดยทำมุม 45 องศา มีค่าเท่ากับ 11.95 %db/hrและจากตารางที่ 2 ค่าเฉลี่ยของความเข้มรังสีพลังงานแสงอาทิตย์ (W/m^2) สำหรับกรณีไม่มีแผ่นสะท้อนรังสีมีค่าเท่ากับ 910.7 และ 814 สำหรับกรณีที่ติดตั้งแผ่นสะท้อนรังสีที่ทำมุม 45 องศา

4. อภิปรายผล

จากผลการทดลองอบแห้งพริกด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ ในกรณีที่ไม่มีแผ่นสะท้อนรังสีให้ค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงของร้อยละความชื้นต่อชั่วโมงเฉลี่ยเท่ากับ 9.01 %db/hr และเมื่อทำการทดลองโดยติดตั้งแผ่นสะท้อนรังสีให้ทำมุม 45 องศากับกระจกรับแสงอาทิตย์ พบว่า ค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงของร้อยละความชื้นต่อชั่วโมงเฉลี่ยเท่ากับ 11.95%db/hr ทั้งๆ ที่ค่าเฉลี่ยของค่าความเข้มแสงอาทิตย์ตลอด 7 ชั่วโมง ตั้งแต่ 9.00 – 16.00 น. ของการทดลองที่มีการติดตั้งแผ่นสะท้อนรังสีเท่ากับ 814 W/m² ซึ่งต่ำกว่าค่าเฉลี่ยของค่าความเข้มแสงอาทิตย์ของการทดลองที่ไม่มีมีการติดตั้งแผ่นสะท้อนรังสี คือมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 910.7 W/m² ดังนั้นการติดตั้งแผ่นสะท้อนรังสีในลักษณะดังกล่าว สามารถช่วยเพิ่มอัตราการอบแห้งให้กับเครื่องอบแห้งพริกพลังงานแสงอาทิตย์ได้

การอบแห้งพริกด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ในลักษณะดังกล่าวถึงแม้จะมีค่าใช้จ่ายในการสร้างเครื่องอบแห้ง แต่ก็ทำให้สามารถอบแห้งพริกได้ด้วยความสะอาด ไม่มีสิ่งปนเปื้อนที่อาจมาจกมล อีกทั้งในกรณีที่ฝนตกกะทันหันก็สามารถปกป้องพริกที่กำลังอบแห้งได้ ไม่ทำให้เกิดความเสียหาย

5. สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่าการติดตั้งแผ่นสะท้อนรังสีจำนวนสองแผ่น โดยให้ทำมุม 45 องศากับขอบของกระจกรับแสงอาทิตย์ สามารถเพิ่มสมรรถนะการอบแห้งให้กับตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ได้ โดยมีค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงของร้อยละความชื้นต่อชั่วโมงของการอบแห้งพริกกรณีไม่มีแผ่นสะท้อนรังสีมีค่าเท่ากับ 9.01 %db/hr และกรณีมีแผ่นสะท้อนรังสีโดยทำมุม 45 องศา มีค่าเท่ากับ 11.95 %db/hr หรือมีค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงของร้อยละความชื้นต่อชั่วโมงเพิ่มขึ้น 32.63 %

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ขอขอบคุณ นายณัฐพร มะสุวรรณ, นายพงศ์ธรหนูแก้วและ นายแบงค์ชาติ รองเลือนนักศึกษา สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย ในการทำหน้าที่เป็นผู้ช่วยวิจัย

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] สาวิตรี คำหอม, ธราวุธ บุญน้อม, ณัฐพงษ์ ประภากร, พรธชา ลิบลับ และ วีรชัย อาจหาญ, 2555. การศึกษาเปรียบเทียบกระบวนการผลิตพริกแห้งด้วยเตาอบไมโครเวฟ ลมร้อน และเตาอบไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน. การประชุม วิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 26, ตุลาคม 2555 จังหวัดเชียงราย.
- [2] จารุวัฒน์ เจริญจิต, ยะผาด ดุสะเหมาะ, สุพัฒน์ เดชโสภา และ สุริยา ช่วยอินทร์, 2554. ตู้อบแห้งและกลั่นความชื้นรังสีอาทิตย์แบบเทอร์โมโซฟอน. วิศวกรรมสาร มข. ปีที่ 38 ฉบับที่ 1 มกราคม มีนาคม.เลขหน้า : 265-274.
- [3] สุธิดาอินทผล, อุบัติย์ สุวคันธกุล และ โอภาส สุขหวาน, 2551. การพัฒนาเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์. วารสารวิชาการอุตสาหกรรมศึกษา ปีที่ 2 ฉบับที่ 1 มกราคม – มิถุนายน. หน้า 71 – 81.
- [4] Satish R. Desai, Vijaykumar Palled and M. Anantachar, 2009. Performance evaluation of farm solar drying for chilly drying. Karnataka J. Agric. Sci., 22(2). Pp 382 – 384.

การศึกษากระบวนการผลิตข้าวเพื่อสิ่งแวดล้อม Process Study of Rice Production for Environment

สดุดี สุพรรณไพ^{1*}, รติ สีนพิเชตร²

¹ ผู้จัดการสำนักความยั่งยืนองค์กร

กลุ่มการค้าระหว่างประเทศ เครือเจริญโภคภัณฑ์

313 อาคาร ซี.พี.ทาวเวอร์ ถนนสีลม เขตบางรัก กรุงเทพมหานคร 10500

sadudee.s@cp.co.th

² วิศวกรสิ่งแวดล้อม บริษัท ข้าว ซี.พี. จำกัด (โครงการนครหลวง)

radee.sin@cptrading.co.th

บทคัดย่อ

แม้ว่าการเกษตร หรืออุตสาหกรรมเกษตร โดยเฉพาะข้าว ซึ่งเป็นสินค้าส่งออกหลักของประเทศ อาจเป็นสาเหตุหนึ่งของการปล่อยก๊าซเรือนกระจก แต่ภาคการเกษตรก็สามารถมีบทบาทการลดก๊าซเรือนกระจกได้เช่นกัน ทั้งในแง่ของการช่วยลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก และการตรึง/เก็บกักก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งในกรณีหลังนี้ เป็นบทบาทที่ภาคการเกษตรเท่านั้นที่สามารถทำได้ อย่างไรก็ตาม บทบาทการลดก๊าซเรือนกระจกของภาคการเกษตร โดยเฉพาะกิจการส่งออกข้าว นั้นจะขึ้นอยู่กับรูปแบบ/แนวทางการผลิตของภาคการเกษตร ซึ่งจะครอบคลุมตั้งแต่กระบวนการปลูก กระบวนการสีและปรับปรุงคุณภาพ รวมถึงกระบวนการขนส่ง ซึ่งแนวทางในการลดคาร์บอนมีหลายแนวทางทั้งในรูปของเกษตรอินทรีย์หรือเกษตรยั่งยืนที่เป็นแนวทางที่สามารถมีส่วนช่วยในการลดก๊าซเรือนกระจก ได้มากกว่าระบบเกษตรเคมีทั่วไป การลดกระบวนการขนส่งโดยให้ระบบ Logistic และกระบวนการประหยัดพลังงานในการสีและปรับปรุงคุณภาพข้าว เป็นแนวทางเบื้องต้นที่จะสามารถทำได้ และใช้ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ โดยจากการศึกษาวิจัยและผลจากการวิเคราะห์ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของข้าว 2 สายพันธุ์พบว่า ข้าวหอมมะลิ มีสัดส่วนของการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของกระบวนการปลูกข้าว สีข้าว ปรับปรุงคุณภาพ บรรจุ และกระบวนการขนส่งทางบก อยู่ที่ 3.77 , 0.30, 0.14, 0.00030, 0.62 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์ต่อกิโลกรัมข้าว ตามลำดับ และ สำหรับข้าวขาว มีสัดส่วนของการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ อยู่ที่ 1.47, 0.54, 0.066, 0.0010, 0.0092 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์ต่อกิโลกรัมข้าว ตามลำดับ ซึ่งถ้าเทียบศักยภาพการลดลงของก๊าซเรือนกระจกพบว่า กระบวนการปลูกข้าว สีข้าว ปรับปรุงคุณภาพ และกระบวนการขนส่ง มีสัดส่วนการลดลงอยู่ที่ 21.5%,10.0%,14.3%,51.6% ตามลำดับ

* นางสาวรติ สีนพิเชตร

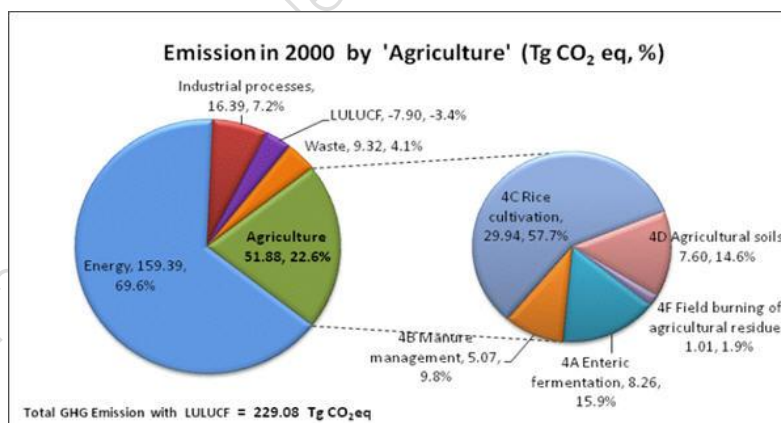
Abstract

The objective of this article is to propose the Life Cycle Analysis (LCA) for Rice Integrating business. The research system can analyst for carbon emission of rice production, logistic, quality control about finish goods via rice value chain system. Carbon Footprint Project of Rice Product is part of LCA that start point of environmental friendly rice product. Result of research, carbon emission is also the importance that the research showed rice cultivation, rice mill, rice processing, rice packing and logistic have greenhouse gas emission 3.9, 0.305, 0.037, 0.0004 and 0.53 g CO₂/kg rice for Thai Hom Ma Li rice and 1.47, 0.539, 0.066, 0.0008, 0.0092 g CO₂/kg rice for Thai White rice. Moreover, greenhouse gas reduction rate for rice cultivation, rice mill, rice processing and logistic is 21.5%, 10.0%, 14.3% and 51.6%, respectively.

คำสำคัญ (Key word): การประเมินวัฏจักรชีวิต; คาร์บอนฟุตพริ้นต์; กระบวนการผลิตข้าวที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม; ก๊าซเรือนกระจก

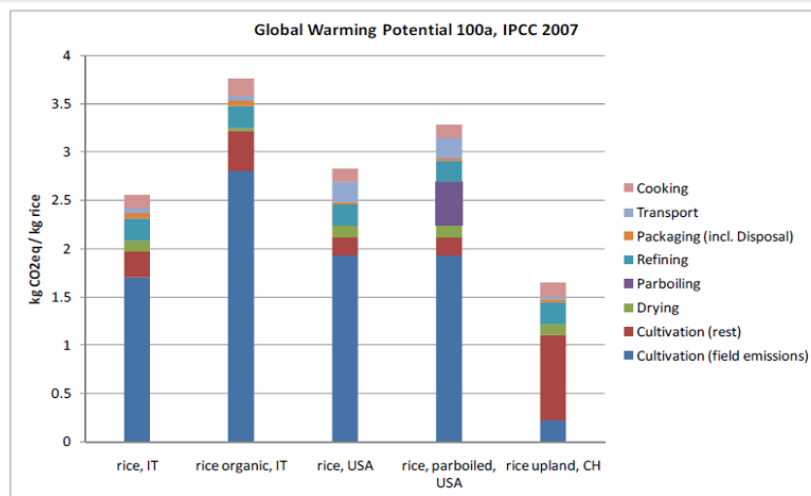
1. บทนำ (Introduction)

ปัจจุบันมีการศึกษาเกี่ยวกับปัญหาการปล่อยก๊าซเรือนกระจกกันอย่างแพร่หลายรวมทั้งประเทศไทยเอง จากปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกใน ปี พ.ศ. 2543 (ค.ศ. 2000) ในรูปของคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าจากภาคการเกษตรตามคู่มือการคำนวณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกแห่งชาติ (หน่วย: Tg หรือ ล้านตัน) พบว่า ภาคการเกษตรมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเป็นอันดับสอง คิดเป็นร้อยละ 22.6 รองจากภาคพลังงานที่มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกคิดเป็นร้อยละ 69.6 และเมื่อพิจารณาสัดส่วนการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในภาคการเกษตรนั้น นาข้าวมีศักยภาพในการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุดถึงร้อยละ 57.7 (ดังภาพที่1)



ภาพที่ 1 ปริมาณก๊าซเรือนกระจกในปี พ.ศ. 2543 (ค.ศ. 2000) ในรูปของคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าจากภาคการเกษตร

และจากข้อมูลศักยภาพในการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดวัฏจักรของการผลิตข้าวของ IPCC พบว่าสัดส่วนการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากกว่า 50% มาจากการปลูกข้าว (ดังภาพที่2) โดยก๊าซเรือนกระจกที่สำคัญที่เกิดจากการปลูกข้าว นั้น คือ ก๊าซมีเทน อันเนื่องมาจาก การเกิดกระบวนการแอนแอโรบิกหรือสภาวะขาดออกซิเจนในนาข้าว โดยแบคทีเรียที่สร้างก๊าซมีเทนกลุ่มหนึ่ง ชื่อ Methanogen



ภาพที่ 2 ศักยภาพในการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก ตลอดวัฏจักรของการผลิตข้าว

นอกจากนี้ประเด็นเรื่องการจัดการน้ำเพื่อการผลิตข้าวและการเกิดน้ำเสียจากการทำนา ก็เป็นที่เรื่องที่มีการวิจัยกันอย่างแพร่หลาย สอดคล้องกับนโยบายของบริษัท ข้าว ซี.พี. จำกัด ผู้ผลิตข้าวสารบรรจุถุง ตราฉัตรโดยเล็งเห็นความสำคัญถึงสิ่งแวดล้อมและการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของโลก มุ่งมั่นที่จะลดผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมจากการดำเนินธุรกิจ โดยทางบริษัทฯ ได้มีการศึกษาวิจัยด้านการบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจกอย่างต่อเนื่อง โดยดำเนินการมาตั้งแต่ ปี พ.ศ. 2551 โดยเข้าร่วมโครงการต้นแบบในการศึกษาคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ร่วมกับองค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจกและศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ(MTEC) ซึ่งผลการศึกษาพบว่าปริมาณก๊าซเรือนกระจกในผลิตภัณฑ์ข้าวตราฉัตรทอง (RU อังกฤษ) ขนาด 20 กิโลกรัม เท่ากับ 4.83 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อกิโลกรัมผลิตภัณฑ์ มากไปกว่านั้นบริษัทฯ ได้เล็งเห็นความสำคัญของปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ที่ได้จากการศึกษาและประกอบกับแรงผลักดันทางการค้าจากลูกค้าในการขอปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในผลิตภัณฑ์ที่มีการส่งมอบไปยังลูกค้า ทำให้ในปี พ.ศ.2553 ทางบริษัทฯ ได้มีการออกนโยบายด้านการบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจกและรวมถึงมาตรการในการลดปริมาณก๊าซเรือนกระจกในผลิตภัณฑ์อันประกอบด้วย กระบวนการในนาข้าวเรียกโครงการว่า โครงการลดปริมาณมีเทนในนาข้าว กระบวนการในโรงงาน โดยมีการบริหารจัดการเรื่องประสิทธิภาพการใช้พลังงาน กระบวนการขนส่ง โดยมีแนวคิดในการส่งเสริมการเปลี่ยนการขนส่งทางบกเป็นทางน้ำ และปี พ.ศ.2554 บริษัทฯ ได้เข้าร่วมโครงการพัฒนาเครื่องมือคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์สำหรับผลิตภัณฑ์เกษตรและอาหาร และแผนงานวิจัยในอนาคตเพื่อตอบโจทย์ในเรื่องของการดำเนินธุรกิจส่งออกข้าวกับผลกระทบด้านการบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก ที่อาจจะเป็นประเด็นการแข่งขันทางการค้าในอนาคต ทางบริษัทฯ ได้วางแนวทางในการวิจัยครอบคลุม 3 ด้าน ได้แก่

1. โครงการวิจัยผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดชีวิตผลิตภัณฑ์ (Life Cycle Analysis of Rice product) ซึ่งเป็นความร่วมมือระหว่าง บริษัท ซี.พี. อินเตอร์เทรด จำกัด , เครือเจริญโภคภัณฑ์ และกรมควบคุมมลพิษ
2. โครงการศึกษามลกระทบด้านทรัพยากรน้ำ(Water footprint) ซึ่งเป็นความร่วมมือระหว่าง บริษัท ซี.พี. อินเตอร์เทรด จำกัด และ ศูนย์เชี่ยวชาญเฉพาะทางด้านกลยุทธ์ธุรกิจที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม(VGREEN) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
3. โครงการศึกษาการลดปริมาณก๊าซเรือนกระจก (Carbon footprint) ซึ่งเป็นโครงการที่ศึกษาต่อเนื่องตั้งแต่ปี พ.ศ.2553 เพื่อค้นหา Best practice ในการผลิตข้าวตลอดกระบวนการ (ดังภาพที่ 3)



ภาพที่ 3 การดำเนินการด้านบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก ของ บริษัท ซี.พี.อินเตอร์เทรด จำกัด

2. วิธีวิจัย (Research Methodology)

วิธีการดำเนินการวิจัย งานวิจัยนี้มีวิธีการดำเนินการ 3 กิจกรรม แต่ละกิจกรรมมีขั้นตอนดังนี้

2.1 การลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในนาข้าว ในพื้นที่น้ำฝนและนาชลประทาน จากวิธีการจัดการน้ำและปุ๋ย และวิธีการเพิ่มประสิทธิภาพและคุณภาพ ดังนี้

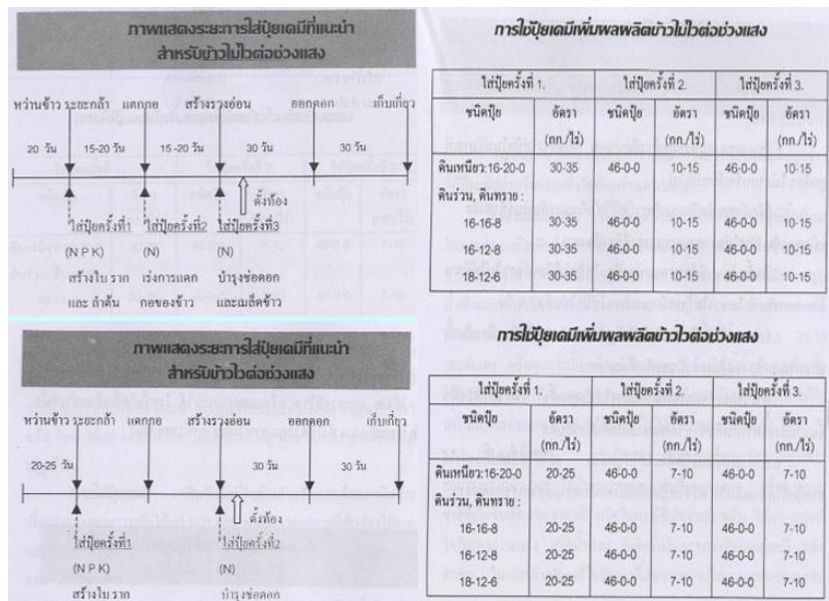
2.1.1 การใช้ปุ๋ยและสารเคมี

- การใช้ปุ๋ยตามความต้องการของข้าว ด้วยการใช้แผ่นเทียบสี ก่อนการใส่ปุ๋ย (ดังภาพที่ 4)



ภาพที่ 4 แผ่นเทียบสีใบข้าวก่อนการใส่ปุ๋ย

- การใช้ปุ๋ยตามช่วงเวลาและอัตราที่กรมการข้าวแนะนำ (ดังภาพที่ 5)



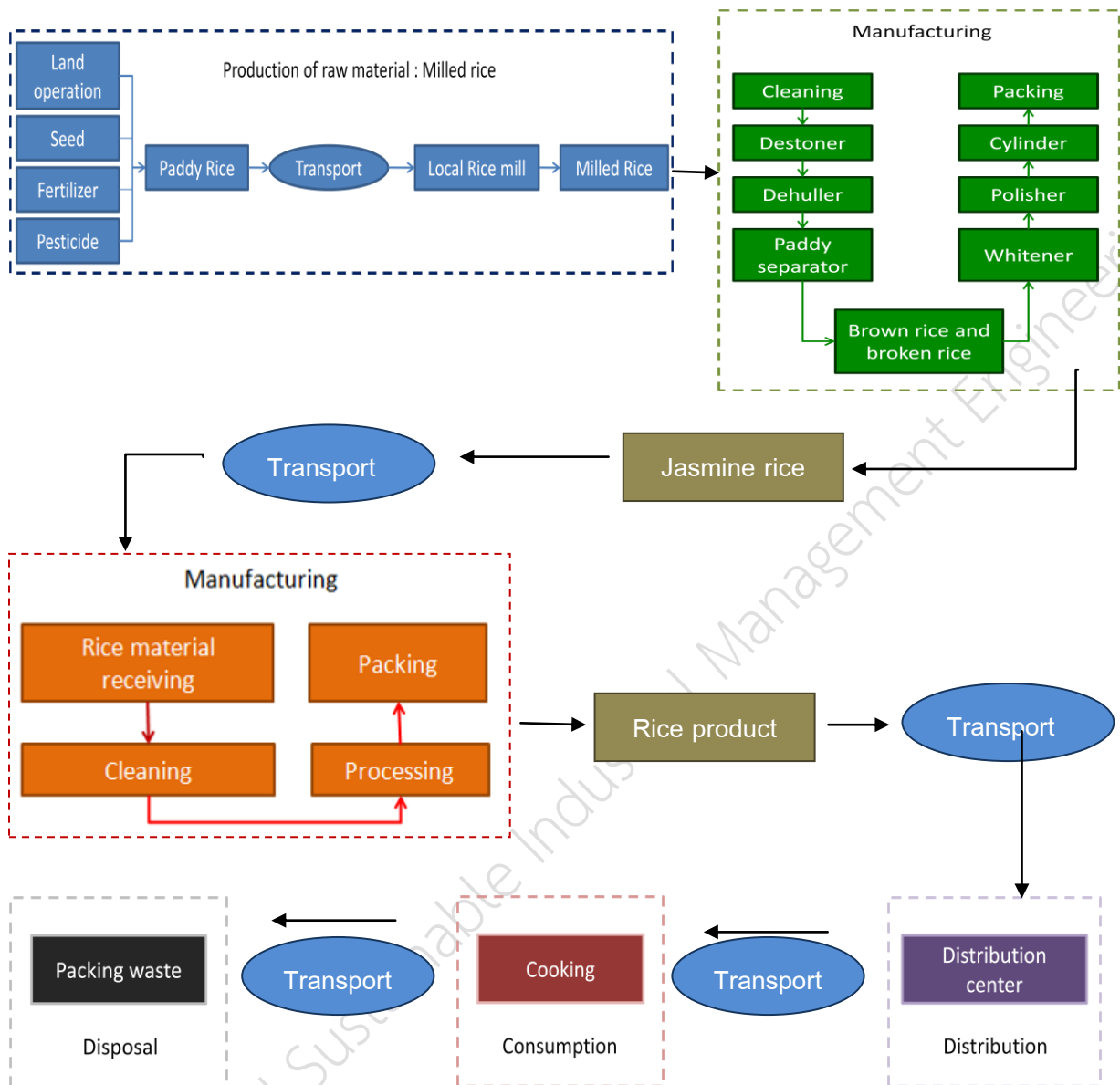
ภาพที่ 5 แสดงระยะและอัตราการใช้ปุ๋ยเคมีในนาข้าวสำหรับพันธุ์ไวต่อช่วงแสงและไม่ไวต่อช่วงแสง

2.1.2 การจัดการน้ำ

- การขังน้ำในระดับตื้น ไม่เกิน 10 เซนติเมตร
- การปล่อยน้ำแห้งในช่วงเวลาที่เหมาะสม

2.2 การลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในกระบวนการผลิต เช่น ลดการใช้พลังงาน การปรับเปลี่ยนรูปแบบการขนส่ง

2.3 การประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ มีขอบเขตการศึกษาตั้งแต่ขั้นตอนการเพาะกล้า การเตรียมดิน การปลูกข้าว การเก็บเกี่ยว การอบแห้ง การสี การปรับปรุงคุณภาพ การกระจายสินค้า การใช้งานและการกำจัดซาก (ดังภาพที่ 6)



ภาพที่ 6 แสดงแผนผังวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ของผลิตภัณฑ์ข้าวสารบรรจุถุง

โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Gabi 5.0 ซึ่งเป็นโปรแกรมสำหรับการประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมมาตรฐานซึ่งได้รับการยอมรับระดับสากล ฐานข้อมูลที่ใช้ในการประเมินได้แก่

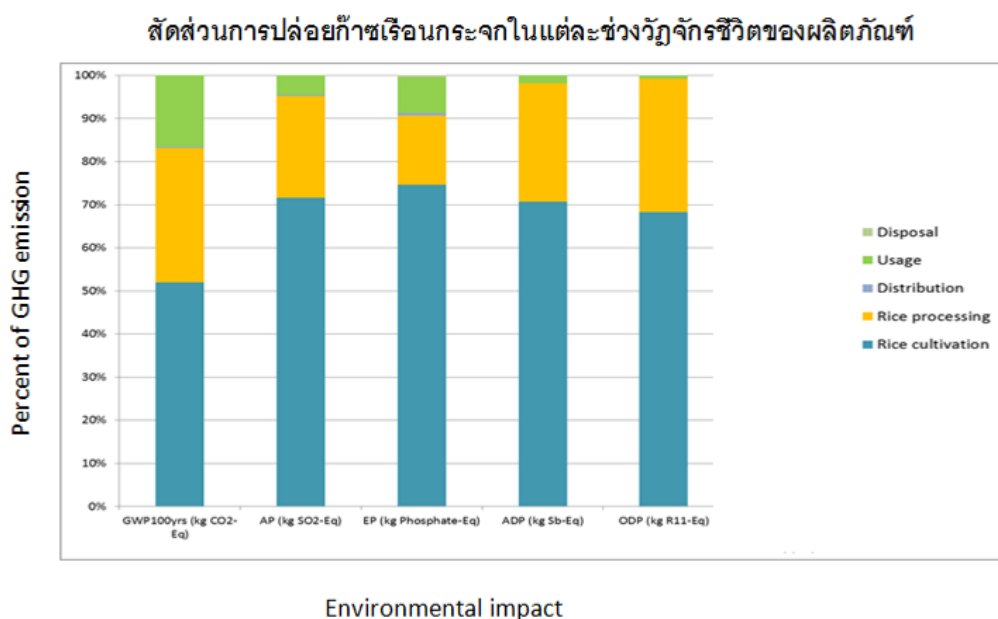
- ข้อมูลปฐมภูมิ เช่น ข้อมูลตั้งแต่ขั้นตอนการเพาะกล้า การเตรียมดิน การปลูกข้าว การเก็บเกี่ยว การอบแห้ง การสี การปรับคุณภาพ การกระจายสินค้า การใช้งานและการกำจัดซาก
 - ข้อมูลทุติยภูมิ เช่น ฐานข้อมูลเชื้อเพลิงและการขนส่งของ Thai National Database รวบรวมโดย ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (MTEC) และฐานข้อมูลจาก Ecoinvent integrated 2.2
- ทำการประเมินครอบคลุม 5 ผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม ประกอบด้วย
- ผลกระทบด้านภาวะโลกร้อน (Global warming potential)
 - ผลกระทบด้านฝนกรด (Acidification potential)
 - ผลกระทบด้านปรากฏการณ์น้ำเปลี่ยนสี (Eutrophication potential)
 - ผลกระทบด้านการลดลงของชั้นโอโซน (Ozone depletion potential)

5. ผลกระทบด้านการลดลงของทรัพยากร (Abiotic depletion potential)

และทำการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลเพื่อขอการรับรองคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในผลิตภัณฑ์ข้าวสารบรรจุถุงจากองค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก

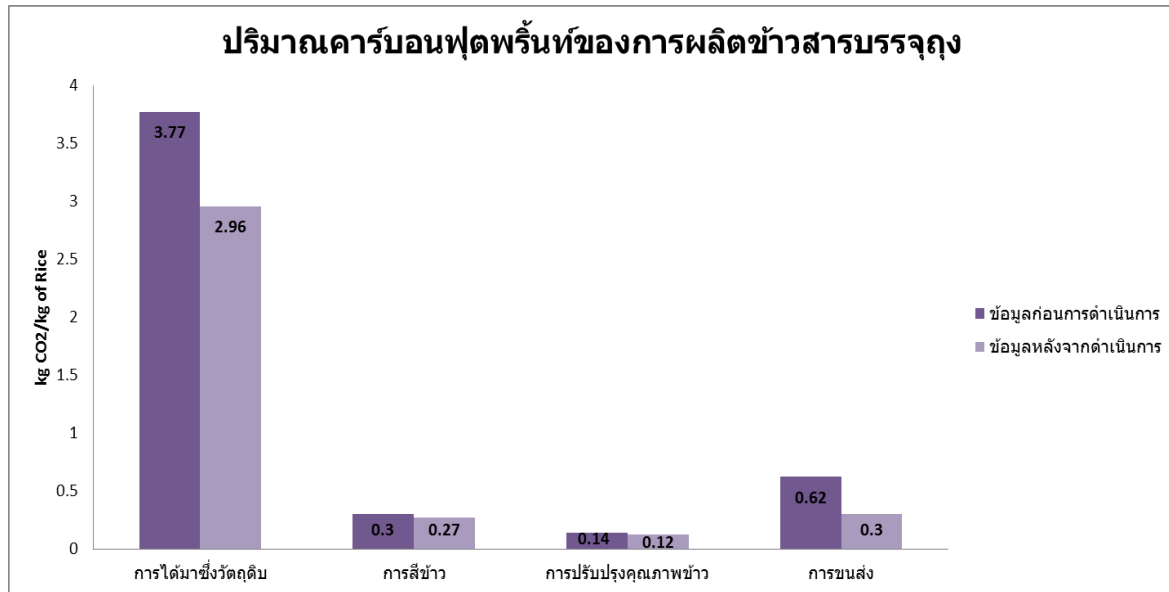
3. ผลการวิจัย (Results)

จากผลที่ได้จากการทำการวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านต่างๆ ด้วยวิธีการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ จะเห็นได้ว่าผลิตภัณฑ์ข้าว ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในด้านต่างๆ ที่แตกต่างกัน ตามขั้นตอนและกระบวนการ ผลกระทบส่วนใหญ่จะมาจากขั้นตอนการเพาะปลูกข้าว ยกตัวอย่างเช่น หากพิจารณาผลกระทบด้าน Global warming จะพบว่าผลกระทบจากขั้นตอนการเพาะปลูกคิดเป็น 54.29 เปอร์เซ็นต์ (ดังภาพที่ 7)



ภาพที่ 7 แสดงการเปรียบเทียบสัดส่วนของการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก ในแต่ละช่วงกระบวนการผลิตข้าวสารบรรจุถุง

และเมื่อทำการเปรียบเทียบปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ปลดปล่อยจากการดำเนินการตามแนวทางการลดก๊าซเรือนกระจกพบว่า มีสัดส่วนการลดลงจากกระบวนการปลูกข้าว สีข้าว ปรับปรุงคุณภาพ และกระบวนการขนส่ง อยู่ที่ 21.5%, 10.0%, 14.3%, 51.6% ตามลำดับ (ดังภาพที่ 8)



ภาพที่ 8 แสดงปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของข้าวสารที่ลดลงจากการดำเนินการตามแนวทางการลดก๊าซเรือนกระจก

4. อภิปรายผล (Discussion)

จากผลการวิจัยที่ประเมินผลกระทบตลอดชีวิตผลิตภัณฑ์ ในผลิตภัณฑ์ข้าวบรรจุถุง ซึ่งครอบคลุมผลกระทบ GWP, AP, EP, ADP และ OOP นั้น พบว่าในทุกผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม มีกระบวนการหลักอยู่ในกระบวนการปลูกข้าว ซึ่งเห็นได้ชัดว่าการที่จะลดผลกระทบสิ่งแวดล้อมและเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตข้าว กระบวนการที่สำคัญที่สุดคือ กระบวนการปลูกข้าว และจากวิธีการศึกษาได้พยายามหาแนวทางในการลดผลกระทบดังกล่าว ครอบคลุมกระบวนการจัดการปุ๋ยและสารเคมี การจัดการน้ำ และการจัดการนาข้าว โดยอาศัยแนวทางการปฏิบัติที่ดีเพื่อหาศักยภาพในการลดผลกระทบ โดยพบว่าการจัดการดังกล่าวมีเป็นศักยภาพที่สำคัญในการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตและลดผลกระทบสิ่งแวดล้อมในนาข้าว ซึ่งทำให้ค่าผลกระทบตลอดชีวิตผลิตภัณฑ์ลดลง

จากข้อมูลศักยภาพในการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดวัฏจักรของการผลิตข้าวของคณะกรรมการระหว่างรัฐบาลว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (IPCC) พบว่า ในภาคเกษตรกรรม นาข้าวมีศักยภาพในการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุดถึงร้อยละ 57.7 และมากกว่าร้อยละ 50 มาจากการปลูกข้าว สอดคล้องกับงานวิจัยที่มีผลการวิจัยพบว่า ผลกระทบ Global Warming หรือภาวะโลกร้อน จากขั้นตอนการเพาะปลูกคิดเป็นร้อยละ 54.29 ทั้งนี้เพราะในขั้นตอนของการเพาะปลูกจะเกิดก๊าซเรือนกระจกที่สำคัญ นั่นคือ ก๊าซมีเทนซึ่งถูกผลิตด้วยกระบวนการหมักของแบคทีเรียโดยใช้สารอินทรีย์ในดินและที่รากของต้นข้าวถูกใช้เป็นสารตั้งต้นในการสร้างก๊าซมีเทน โดยกระบวนการสร้างก๊าซมีเทน (Methanogenesis) เกิดจากการทำงานของแบคทีเรียในกลุ่มเมทาโนเจน (Methanogen) ที่อาศัยในดินซึ่งเป็นบริเวณที่มีออกซิเจนต่ำหรืออาจไม่มีออกซิเจนเลย (Anoxic layer) ดังนั้นการลดก๊าซเรือนกระจกในนาข้าวจึงเป็นแนวทางการบริหารจัดการที่มีนัยสำคัญและจากข้อมูลการวิจัยปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ข้าวสารที่วิเคราะห์ได้ 60-70% มาจากกระบวนการได้มาซึ่งวัตถุดิบหรือการปลูกข้าว ซึ่งถือว่ามีส่วนที่สูงโดยมีปัจจัยหลายประการ อาทิเช่น พันธุ์ข้าวที่ทำการวิจัย การชลประทานของนา รวมไปถึงผลผลิตต่อไร่ โดยการลดก๊าซเรือนกระจกในนาข้าวอย่างยั่งยืนนั้นจะต้องไม่ส่งผลกระทบต่อผลผลิตหรือเกิดผลกระทบด้านอื่นเพิ่มเติม เช่น ผลผลิตต่อไร่ลดลงและถ้าวิเคราะห์ในภาพรวมในระดับโลก หรือจากข้อมูลของ IPCC กระบวนการปลูกข้าวผลิตก๊าซเรือนกระจกประมาณปีละถึง 29.49 TG CO₂ หรือประมาณ 29.49 ล้านตันคาร์บอนต่อปี ซึ่งจากผลการวิจัยพบว่า จากแนวทางการปฏิบัติที่ดีในนาข้าว มีศักยภาพที่จะลดผลกระทบด้านก๊าซเรือนกระจกได้ประมาณ 15.53 ล้านตันคาร์บอนต่อปี หรือประมาณ 6 % ของการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในภาพรวมของโลก

5. สรุปผล (Conclusion)

ปัญหาอย่างหนึ่งที่พบในการศึกษาคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในผลิตภัณฑ์ข้าว คือ ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นในการทำนา เนื่องจาก กิจกรรมการทำนาข้าวเป็นกิจกรรมหลักที่มีสัดส่วนปริมาณก๊าซเรือนกระจกปริมาณมาก อีกทั้งกิจกรรมการทำนาข้าวดังกล่าว ยังมีปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการเกิดก๊าซเรือนกระจกในหลายรูปแบบ ทั้งในส่วนของการใส่ปุ๋ย การจัดการน้ำ พันธุ์ข้าว หรือแม้แต่การบริหารจัดการนาข้าว

จากข้อมูลดังกล่าวจึงควรจะมีการศึกษาเพื่อหาแนวทางในการลดการปลดปล่อยก๊าซมีเทนในนาข้าวในหลายแนวทาง อาทิเช่น การพัฒนาสายพันธุ์ข้าวเพื่อลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเนื่องจากพันธุ์ข้าวที่มีระบบรากเล็กมีกิจกรรมที่ทำให้เกิดสภาพ oxidation จำนวนหน่อ (shoots) น้อย จึงมีแนวโน้มที่จะปล่อยมีเทนน้อยกว่าข้าวพันธุ์อื่นๆ การจัดการการเพาะปลูก (Cropland Management) เช่น ใช้ปุ๋ยหมักหรือการหมักฟางข้าวก่อนใส่ลงในนา ซึ่งช่วยลดสัดส่วน C/N ลงให้เหมาะสมและไม่ทำให้เกิดสภาวะการเป็นกรดในนาข้าว เป็นต้น

ดังนั้นเพื่อเป็นการลดปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นจากภาคเกษตรกรรมอย่างยั่งยืน ควรนำข้อมูลที่ได้จากผลการวิเคราะห์ไปประเมินหาจุด hot spot ในผลกระทบแต่ละด้าน ซึ่งถึงประเด็นปัญหาและสาเหตุที่ทำให้เกิดผลกระทบดังกล่าว นำไปสู่การเตรียมความพร้อมสำหรับมาตรการกีดกันทางการค้า และนำไปสู่ความยั่งยืนในการผลิต และความมั่นคงทางอาหารต่อไป นอกจากนี้ยังอาจจะใช้เป็นข้อมูลสำหรับการส่งเสริม การสร้างคุณค่าและลักษณะเด่นในการเพิ่มมูลค่าแก่ผลิตภัณฑ์ข้าวไทยสู่ตลาดโลก

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยดี ด้วยความอนุเคราะห์อย่างยิ่งจาก คุณสุเมธ เหล่าโมราพร ผู้ซึ่งเป็นประธานคณะผู้บริหาร กลุ่มธุรกิจการค้าระหว่างประเทศ (รับผิดชอบ ธุรกิจข้าวและอาหาร) เครือเจริญโภคภัณฑ์ ซึ่งได้ให้การสนับสนุนแนวคิด บุคลากรและงบประมาณในการทำวิจัย คำแนะนำในการปรับปรุงแก้ไขให้งานวิจัยฉบับนี้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น ผู้เขียนจึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

7. เอกสารอ้างอิง (Reference)

- [1] สุชีวรรณ ยอรู้รอบ. 2543. ความสัมพันธ์ของวิธีการปลูกข้าวและการจัดการน้ำต่อการปลดปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าว. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีธนบุรี
- [2] ขาติชาย มณีสุวรรณ. 2545. อิทธิพลของวิธีการปลูกข้าวและการเพิ่มอินทรีย์วัตถุต่อการปลดปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าว. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีธนบุรี.
- [3] คณะกรรมการเทคนิคด้านคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์. 2552. แนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ ภายใต้โครงการส่งเสริมการใช้คาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์.
- [4] คณะกรรมการเทคนิคด้านคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์. 2554. ข้อกำหนดเฉพาะรายผลิตภัณฑ์สำหรับการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ผลิตภัณฑ์ข้าวสารและข้าวแปรรูป.

การศึกษาการออกแบบการให้แสงสว่างเพื่อประหยัดพลังงานในโรงเรือนปลูกเบญจมาศ The Study and Design of Lighting for Energy Saving in Chrysanthemum Greenhouse

สุชรัตน์ ประเสริฐสวัสดิ์¹, กิตติพงศ์ แดงพันธ์¹, สุทิน ขาญณรงค์², เก้ากันยา สุดประเสริฐ^{1*}

¹สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

²ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

126 ถนนประชาอุทิศ แขวงบางมด เขตทุ่งครุ กรุงเทพมหานคร 10140

P.sucharat@gmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการประหยัดพลังงานในโรงเรือนเพาะปลูกดอกเบญจมาศ โดยทำการศึกษาการให้แสงต้นเบญจมาศ ซึ่งต้นเบญจมาศต้องการแสงที่มีความเข้มไม่ต่ำกว่า 80 ลักซ์ ปัจจุบันเกษตรกรให้แสงต้นเบญจมาศโดยใช้หลอดอินแคนเดสเซนต์ (Incandescent Lamp) ขนาด 100 วัตต์ ในช่วงเวลากลางคืนเป็นเวลา 30-45 วันซึ่งในงานวิจัยนี้จะใช้หลอดไอโอดีนเปล่งแสงในการให้แสงต้นเบญจมาศ จึงได้ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ช่วยในการจำลองแสง เพื่อเปรียบเทียบการประหยัดพลังงานระหว่างหลอดไส้กับหลอดไอโอดีนเปล่งแสง ซึ่งจากการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ในการสร้างแบบจำลองพบว่าจากเดิมที่ใช้หลอดอินแคนเดสเซนต์ 100 วัตต์ จำนวน 21 หลอด ต่อแปลงขนาด 10×9 เมตร และสูง 1.5 เมตร ทำให้ต้องใช้พลังงานถึง 2100วัตต์แต่จากการจำลองโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ พบว่าถ้าใช้หลอดไอโอดีนเปล่งแสง (LED strip 5050, 120Deg, 15lm) 0.2วัตต์จำนวน 1260 หลอด จะทำให้ได้ความเข้มแสงที่มากกว่าและมีความสม่ำเสมอ โดยใช้พลังงานเพียง 252วัตต์ซึ่งทำให้เห็นว่าหลอดไอโอดีนเปล่งแสงสามารถประหยัดพลังงานได้มากกว่าของเดิมประมาณ 5 เท่า และมีอายุการใช้งานที่ยาวนานกว่า

คำสำคัญ: “ต้นเบญจมาศ; แบบจำลองทางคณิตศาสตร์; หลอดไอโอดีนเปล่งแสง”

Abstract

In this work, the energy saving on lighting of Chrysanthemum greenhouse cultivation is studied. Generally, lighting with intensity more than 80 lux applied by 100 watt incandescent light bulbs is required by the chrysanthemum during their long day conditions for 30-45 days. In this work, Light Emitting Diodes (LED) are used as a light source and the results are compared between those of LEDs and incandescent bulbs through Mathematics simulation, a commercial software, is used to predict the light intensity in the greenhouse and it is found that within the area of 10 m.×9 m.×1.5m. , the energy required for 100 W incandescent 21 bulbs is 2100 W. which is much higher than 252 W of energy required by LEDs (LED strip 5050, 120 Deg, 16 lm/tubes) 0.2 W 1260 tubes. From the results, it can be observed that, by using LEDs, the energy can be saved up to 5 times of the original incandescent ones, resulting in the lower operation cost of Chrysanthemum cultivation with the longer LED lifespan.

Keywords: Chrysanthemum; Light Emitting Diode; Mathematics simulation

*kaokanya.sud@kmutt.ac.th Tel +662-470-8695-99 ext. 114

1. บทนำ (Introduction)

แสงเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับสิ่งมีชีวิต ทั้งคน สัตว์ และพืช ล้วนแต่ต้องใช้แสงในการดำเนินชีวิต ซึ่งคนและสัตว์ใช้แสงช่วยในการมองเห็น ส่วนพืชนั้นนำแสงไปใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสง ซึ่งมีผลต่อทิศทางการเจริญเติบโตของพืช การออกดอก เป็นต้น เบนจามาเป็นพืชวันสั้นกล่าวคือ ถ้าต้นเบนจามาได้รับแสงน้อยกว่า 13.5 ชั่วโมงต่อวัน ต้นเบนจามาจะออกดอกก่อนจะได้ ความสูงของลำต้นที่ตลาดต้องการ นอกจากนั้นดอกเบนจามาต้องการความเข้มแสงไม่ต่ำกว่า 80 ลักซ์ แสงจึงมีบทบาทสำคัญต่อการเจริญเติบโตและการออกดอกของต้นเบนจามา ซึ่งในปัจจุบันเกษตรกรที่เพาะปลูกเบนจามายังใช้หลอดอินแคนเดสเซนต์ขนาด 100 w ช่วยเร่งการเจริญเติบโตของเบนจามาซึ่งมีต้นทุนทางพลังงานสูงสำหรับเกษตรกร

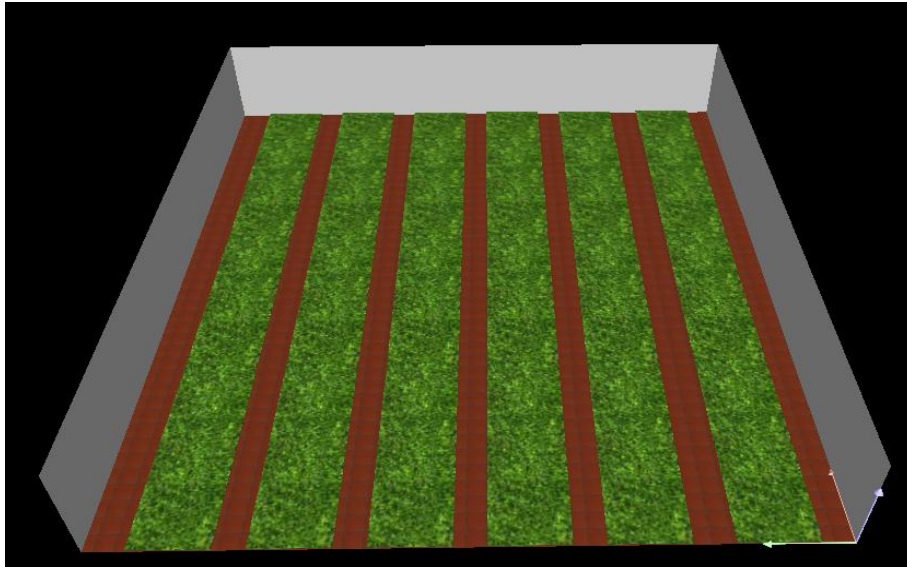
โดยมีงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เช่น Higuchi et al (2012) การศึกษาคุณภาพของแสงที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของต้นเบนจามาในโรงเรือนโดยใช้หลอดไดโอดเปล่งแสงสีแดง น้ำเงิน และสีแดงกับสีน้ำเงินผสมกัน พบว่า การขยายของราก รากจะมีความยาวมากที่สุดเมื่ออยู่ภายใต้แสงสีน้ำเงิน สีแดง และสีน้ำเงินผสมสีแดง ตามลำดับ และความสูงของลำต้นก็เพิ่มสูงขึ้นใบของต้นเบนจามา เมื่อเจริญเติบโตภายใต้แสงสีแดง ใบจะหดเล็กน้อย ผิดปกติ ส่วนการเจริญเติบโตภายใต้แสงสีน้ำเงิน และแสงสีน้ำเงินผสมแดง การขยายของใบจะปกติ Kim et al (2004) ได้ศึกษาการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อของต้นเบนจามาในหลอดทดลอง เป็นระยะเวลา 35 วัน พบว่า อัตราการสังเคราะห์สูงที่สุดคือ หลอดไดโอดเปล่งแสงสีฟ้ากับสีแดง (RB) และการเจริญเติบโตที่ดีที่สุดคือ หลอดไดโอดเปล่งแสงสีฟ้ากับสีแดง (RB) กุลชาติและคณะ (2555) ทำการศึกษาการให้แสงของเบนจามาด้วยหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิด warm light ขนาด 20 วัตต์ เปรียบเทียบกับหลอดไส้ พบว่า แสงที่ใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์ และแสงที่ใช้หลอดไส้ มีการเจริญเติบโตที่ไม่แตกต่างกัน และเป็นไปตามมาตรฐานของโครงการหลวง ซึ่งมาตรฐานโครงการหลวงกำหนดไว้ว่า ต้นเบนจามาต้องมีความสูงเกิน 70 เซนติเมตร และมีหน้าดอกตรงตามสายพันธุ์ที่ปลูก รัตนะ และคณะ (2547) ทำการศึกษาการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของชนิดหลอดไฟต่อการยับยั้งการเกิดตาดอกของเบนจามาด้วยการให้แสงโดยเปรียบเทียบหลอด Incandescent ,Warm white และ Cool daylight พบว่า หลอดไฟที่มีประสิทธิภาพการให้แสงที่ดีที่สุดคือ Incandescent เพราะมีการกระจายแสงที่ระยะห่างต่างๆให้ความเข้มแสงมากที่สุด รองลงมา คือ Warm white และ Cool daylight ตามลำดับ แต่หลอด Incandescent ใช้ไฟมากกว่า Warm white และ Cool daylight ถึง 3.3 เท่า และงานวิจัยเกี่ยวกับการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ของ สุริยปรกร (2551) ทำการออกแบบและคำนวณระบบไฟฟ้าและแสงสว่างของห้องปฏิบัติการ ที่ต้องการความสว่าง 500 ลักซ์ ด้วยโปรแกรม DIALux® ผลของการคำนวณพบว่าวิธีลูเมนได้จำนวนหลอด 68 หลอด ส่วนโปรแกรมไดอะลักซ์ได้จำนวนหลอด 72 หลอด พบว่าจำนวนหลอดมีค่าใกล้เคียงกันจึงสรุปได้ว่าการคำนวณโดยโปรแกรม DIALux® มีความน่าเชื่อถือและสามารถใช้เป็นเครื่องมือในการออกแบบระบบไฟฟ้าแสงสว่างได้

งานวิจัยที่ได้กล่าวมาข้างต้นได้ศึกษาเกี่ยวกับการให้แสงกับเบนจามาและการใช้โปรแกรม DIALux® ในการจำลองแสงบนพื้นที่ทำงาน ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงทำการออกแบบแสงสว่างในโรงเรือนเบนจามาโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการออกแบบการจัดวางหลอดไฟไดโอดเปล่งแสงและคำนวณระบบแสงสว่างภายในโรงเรือนเบนจามาให้ได้ความสว่างตามความต้องการของเบนจามาก่อนนำไปใช้ในโรงเรือนจริง

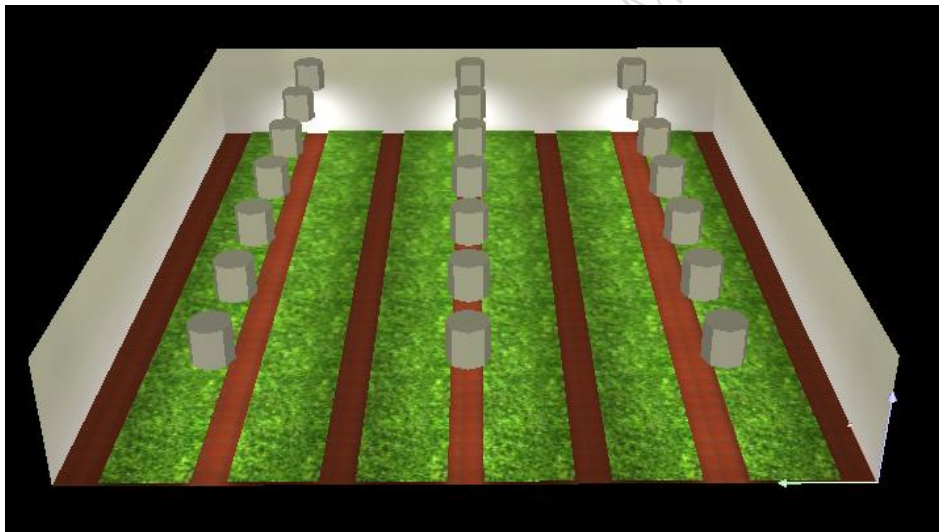
2. วิธีวิจัย (Research Methodology)

การใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ออกแบบและคำนวณแสงสว่าง ซึ่งสามารถจำลองห้องลักษณะต่างๆ การจัดวางเฟอร์นิเจอร์ภายในห้อง การกำหนดวัสดุของพื้นผิวต่างๆภายในห้อง รวมไปถึงการวางของดวงโคมไฟฟ้า โดยสามารถนำมาประยุกต์ใช้คำนวณแสงสว่างของโรงเรือนที่ทำการจำลอง และแสดงผลลักษณะห้องในรูปแบบของสามมิติเพื่อช่วยประหยัดเวลาในการทดสอบ โดยเงื่อนไขที่กำหนดในการศึกษาสำหรับระบบจำลองมีดังนี้

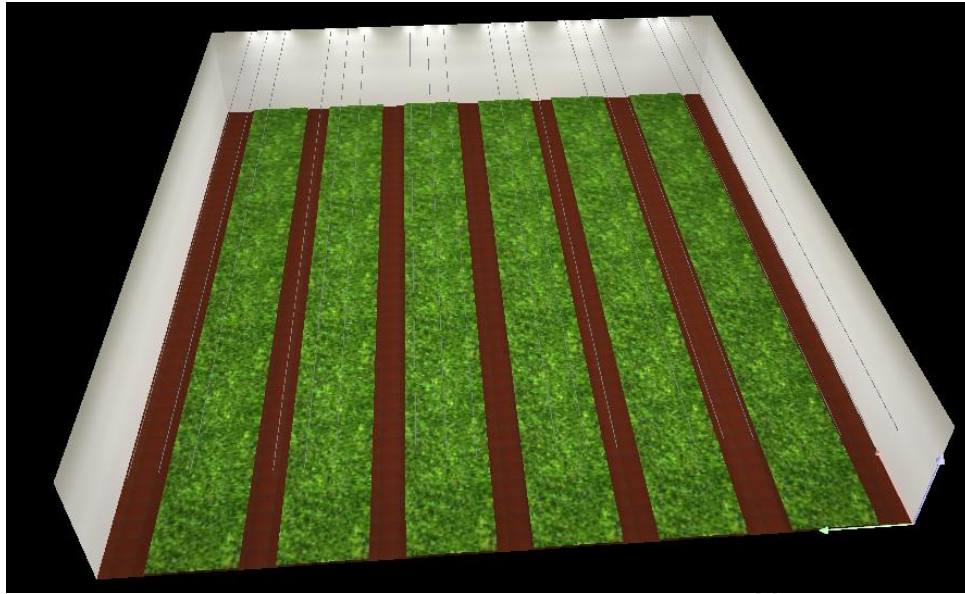
1. โรงเรือนเบนจามาขนาด 10×9×1.5 เมตร โดยใช้หลอดอินแคนเดสเซนต์ (100 วัตต์) และ หลอดไดโอดเปล่งแสง (LED strip 5050) ดังแสดงในภาพที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ
2. แสงสว่างเฉลี่ยบนแปลงปลูกเบนจามา ไม่ต่ำกว่า 80 ลักซ์



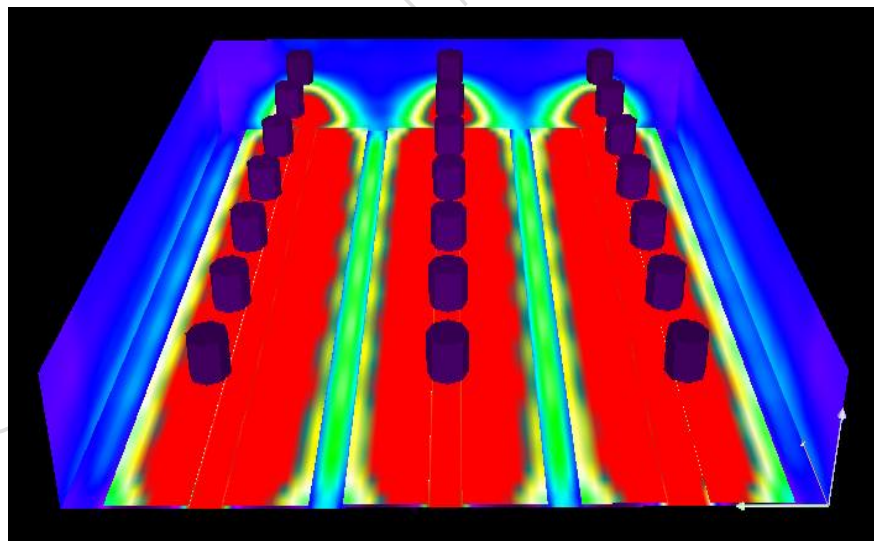
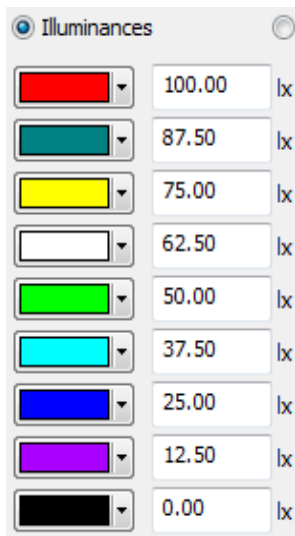
ภาพที่ 1 แปลงปลูกเบญจมาศ (พื้นที่ทำงาน)



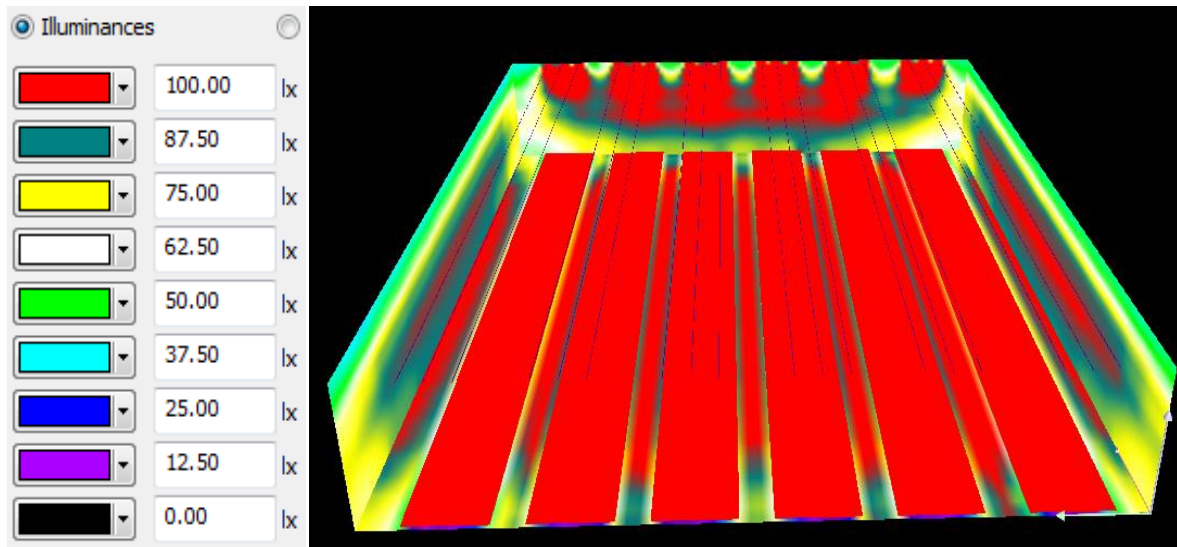
ภาพที่ 2 แบบจำลองโรงเรือน โดยใช้หลอดอินแคนเดสเซนต์



ภาพที่ 3 แบบจำลองโรงเรือน โดยใช้หลอดไดโอดเปล่งแสง



ภาพที่ 4 แบบจำลองความสว่างของโรงเรือน ด้วยหลอดอินแคนเดสเซนต์



ภาพที่ 5 แบบจำลองความสว่างของโคมโคม ด้วยหลอดไดโอดเปล่งแสง

3. ผลการวิจัย (Results)

จากการศึกษาโดยใช้ ความสว่าง 80 ลักซ์ เป็นข้อกำหนดในการคำนวณหาจำนวนหลอดไฟ การจัดวางที่เหมาะสมกับขนาดพื้นที่ ความสว่างที่ต้องการ และกำลังไฟฟ้าทั้งหมดที่ใช้ในการทำงานด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์พบว่า โคมโคมเบญจมาศ ขนาด ขนาด 10x9 เมตร สูง 1.5 เมตร ซึ่งเดิมใช้หลอดอินแคนเดสเซนต์ 100 วัตต์ โดยโคมโคมจริงได้ออกแบบจัดวางหลอดไฟกึ่งกลางระหว่างสองแปลง 3 แถวดังภาพที่ 4 ใช้แถวละ 7 หลอด จึงมีหลอดไฟทั้งหมด 21 หลอดซึ่งใช้กำลังไฟฟ้า 2,100 วัตต์ มีความสว่างเฉลี่ยบนแปลงปลูก 150 ลักซ์ เปรียบเทียบกับหลอดไดโอดเปล่งแสง (LED strip 5050) ต้องใช้หลอดทั้งหมดจำนวน 1,260 หลอด ซึ่งใช้กำลังไฟฟ้าทั้งหมด 252 วัตต์ โดยในการออกแบบจะจัดวางหลอดไฟ 3 แถวต่อ 1 แปลง ดังภาพที่ 5 ใช้แถวละ 70 หลอด จึงมีหลอดไฟทั้งหมด 210 หลอดต่อ 1 แปลง จะทำให้แปลงปลูกมีความสว่างเฉลี่ยที่ 170 ลักซ์

4. อภิปรายผล (Discussion)

การใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการจำลองแสงสว่างให้เหมาะสมกับพื้นที่ทำงาน จะช่วยให้สามารถเลือกชนิดของหลอดไฟให้เหมาะสมกับขนาดพื้นที่ใช้สอยและสามารถพิจารณาแนวโน้มของต้นทุนค่าใช้จ่าย เช่น ค่าหลอดไฟหรือค่าไฟฟ้า เป็นต้น ซึ่งเป็นข้อดีของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ใช้เป็นแนวทางก่อนลงมือในพื้นที่จริง และจากการทำแบบจำลองแสงด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าความสว่างแสงบนพื้นที่ทำงาน (แปลงเบญจมาศ) มีค่ามากกว่า 80 ลักซ์ ซึ่งตรงตามทฤษฎีแสงที่เบญจมาศต้องการในการยับยั้งการเกิดตาต้อก่อนได้ความสูงที่ตลาดต้องการ นอกจากนี้ งานวิจัยของรัตนและคณะ (2547) พบว่า หลอดอินแคนเดสเซนต์ให้ความสว่างมากกว่าหลอดวอร์มไวท์และ หลอดคูลเดย์ไลท์ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ใช้การคำนวณจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์พบว่าหลอดไดโอดเปล่งแสงให้ความสว่างเฉลี่ยและประสิทธิภาพต่อการให้แสงบนพื้นที่ทำงานที่มากกว่าหลอดอินแคนเดสเซนต์และถ้าใช้หลอดไดโอดเปล่งแสงแทนการใช้หลอดอินแคนเดสเซนต์แบบเดิมจะช่วยประหยัดพลังงานได้ถึง 88 % ดังตารางที่ 1 แต่อย่างไรก็ตามหลอดไดโอดเปล่งแสงยังมีราคาแพง ทำให้มีต้นทุนการลงทุนสูง แต่เมื่อเทียบกับการประหยัดพลังงานไฟฟ้าและอายุการใช้งานของหลอดแล้วถือว่าคุ้มค่าต่อการใช้งาน โดยอายุการใช้งานของหลอด LED ประมาณ 50,000 ชั่วโมง หรือประมาณ 34 ปี ส่วนหลอดไส้มีอายุการใช้งานประมาณ 1,000 ชั่วโมง หรือประมาณ 8 เดือน ดังนั้น จะต้องเปลี่ยนหลอดไส้ทุกๆ 8 เดือน เป็นจำนวน 50 ครั้ง ต่อการเปลี่ยนหลอด LED 1 ครั้ง

และจากการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์เบื้องต้น พบว่า อายุการใช้งานที่มากกว่าของหลอด LED ทำให้สามารถคืนทุนได้ภายในระยะเวลา 3.6 ปีดังตารางที่ 2 และมีการคาดการณ์ว่าราคาของหลอด LED มีแนวโน้มที่จะลดลงในอนาคต

ตารางที่ 1 การเปรียบเทียบอัตราค่าไฟ*ระหว่างหลอดอินแคนเดสเซนต์กับหลอดไดโอดเปล่งแสง

ชนิดหลอดไฟ	ค่าพลังงานไฟฟ้า (วัตต์)	ปริมาณการใช้ไฟฟ้าพลังงาน (หน่วย/เดือน)	การปรับอัตราค่าไฟฟ้าโดยอัตโนมัติ (Ft) (สตางค์ / หน่วย)	ค่าไฟฟ้าแปรผัน (Ft)	ค่าไฟ (บาท)
Incandescent	2,100	252	46.92	118.24	827.18
LED	252	30.24	46.92	14.19	67.41

หมายเหตุ อัตราค่าไฟฟ้าประเภทที่ 1 บ้านอยู่อาศัยของการไฟฟ้านครหลวง

ตารางที่ 2 การเปรียบเทียบระยะเวลาคืนทุน

ชนิดของหลอด	หลอดอินแคนเดสเซนต์	หลอดไดโอดเปล่งแสง
ราคาต้นทุน (บาท)	36,000	1,260
ค่าไฟ (บาท/ ปี)	808.92	9,926.16
อายุการใช้งาน (ชม.)	50,000	1,000
ระยะเวลาคืนทุน (เทียบกับอินแคนเดสเซนต์)		3.6 ปี

5. สรุปผล (Conclusion)

จากการศึกษาสร้างแบบจำลองแสงด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์พบว่า การออกแบบจัดวางหลอดไฟในการให้แสงสว่างที่เหมาะสมกับขนาดโรงเรือนเบญจมาศโดยเลือกใช้หลอดไดโอดเปล่งแสง (LED strip 5050) ในการออกแบบจะใช้หลอดทั้งหมดจำนวน 1,260 หลอด สามารถให้ความสว่างมากกว่า 80 ลักซ์ทั่วทั้งพื้นที่โรงเรือนเบญจมาศ นอกจากนั้นการใช้หลอดไดโอดเปล่งแสงในโรงเรือนเบญจมาศแทนการใช้หลอดอินแคนเดสเซนต์แบบเดิม จะทำให้ช่วยลดค่าใช้จ่ายของเกษตรกรเรื่องค่าไฟเป็นอย่างมาก เนื่องจากเมื่อติดหลอดไดโอดเปล่งแสงให้ได้ความสว่างที่เบญจมาศต้องการทั้งโรงเรือนจะกินไฟแค่ 252 วัตต์ ส่วนการติดหลอดอินแคนเดสเซนต์ทั้งโรงเรือนเบญจมาศจะกินไฟถึง 2,100 วัตต์ ซึ่งมากกว่าถึง 5 เท่า ดังนั้น การเปลี่ยนแปลงการให้แสงเบญจมาศโดยหลอดอินแคนเดสเซนต์เป็นหลอดไดโอดเปล่งแสง จะทำให้ช่วยลดภาระค่าไฟฟ้าของเกษตรกรอีกด้วย

6. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณคณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี และโครงการหลวง ที่ให้ทุนในการทำงานวิจัย ขอคุณ อาจารย์ที่ปรึกษาและพี่ๆเพื่อนๆ ที่คอยให้คำปรึกษาเกี่ยวกับงานวิจัยนี้ และขอขอบพระคุณทุกๆ คน ในครอบครัวที่คอยให้กำลังใจผู้วิจัยมาโดยตลอด สุดท้ายนี้ขอขอบทุกท่านทั้งที่เอ่ยนามและไม่เอ่ยนามที่ทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จด้วยดี

7. เอกสารอ้างอิง(Reference)

- [1] กุลชาติ ซื่อดี และ ชัยสิทธิ์ ลิ้มวัฒนพงศ์, 2555, การออกแบบและเลือกสีของแสงสว่างจากหลอดไฟฟ้าที่เหมาะสมต่อการควบคุมการเจริญเติบโตของพืช, วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- [2] รัตน์ บั้วระวงศ์ และ อติศร กระแสชัย, 2547, การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของชนิดหลอดไฟต่อการยับยั้ง การเกิดตาดอกของเบญจมาศโดยวิธีการให้แสงแบบ Night Break, วารสารเกษตร, 20(3): 236-242.

- [3] สุริยปกร งามสรรพศิริ, 2551, คู่มือการออกแบบและคำนวณระบบไฟฟ้าแสงสว่างโดยโปรแกรม DIALux, วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต มหาวิทยาลัยบูรพา.
- [4] Higuchi, Y., Sumitomo, K., Oda, A., Shimizu, H., Hisamatsu, T., “Day light quality affects the night-break response in the short-day plant chrysanthemum, suggesting differential phytochrome-mediated regulation of flowering”, Journal of Plant Physiology, Vol. 169, pp. 1789– 1796.
- [5] Kim, S., Hahn, E., Heo, J., Paek, K., “Effects of LEDs on net photosynthetic rate, growth and leaf stomata of chrysanthemum plantlets in vitro”, Scientia Horticulturae, Vol. 101, pp. 143– 151.

การศึกษากระบวนการผลิตไฟฟ้าด้วยเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลโดยใช้ความร้อนเหลือทิ้ง The study of electrical generating system by thermoelectric module using waste heat

ธมวัฒน์ สุนทรรัตน์พงษ์¹, กิตติพงศ์ แดงพันธ์¹, สุทิน ขาญณรงค์², เก้ากันยา สุดประเสริฐ^{1*}

¹สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

²ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

126 ถนนประชาอุทิศ แขวงบางมด เขตทุ่งครุ กรุงเทพมหานคร 10140

tommawat_soon@hotmail.com

บทคัดย่อ

ในงานวิจัยนี้ได้สนใจศึกษาการผลิตไฟฟ้าจากความร้อนเหลือทิ้งคุณภาพต่ำโดยใช้วัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกโดยใช้ความร้อนเหลือทิ้งจากโรงงานอบแห้งปุ๋ยมีความร้อนอยู่ในช่วง 35 - 200 องศาเซลเซียส ที่มีความต่างของอุณหภูมิไม่น้อยกว่า 40 องศาเซลเซียส ในการทดลองนี้ได้ใช้ขดลวดความร้อนให้ความร้อนแก่แผ่นทองแดงที่ประกบอยู่ทั้งสองด้านของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกและแผ่นเทฟลอนที่ใช้เป็นฉนวนพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตโดยเทอร์โมอิเล็กทริกถูกต่อผ่านบูทคอนเวอร์เตอร์เพื่อเพิ่มแรงดันไฟฟ้าสำหรับประจุลงแบตเตอรี่ ในการวัดพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากเทอร์โมอิเล็กทริกหนึ่งโมดูลที่มีความต้านทานภายในประมาณ 5 ที่ความต่างของอุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ทำการเปรียบเทียบผลการทดลองระหว่างการต่ออนุกรมและขนานจำนวน 2 โมดูลสามารถผลิตกำลังไฟฟ้าได้ 0.55 วัตต์ และ 0.25 วัตต์ ตามลำดับ อย่างไรก็ตามในการต่ออนุกรมเทอร์โมอิเล็กทริก 10 โมดูล ผ่านบูทคอนเวอร์เตอร์ได้ให้กำลังไฟฟ้าเพียง 1 วัตต์ ที่ความต่างของอุณหภูมิ 36 องศาเซลเซียส เพราะเมื่อต่อเทอร์โมอิเล็กทริกมากกว่า 2 โมดูลในแบบอนุกรมจะทำให้เกิดการสูญเสียกำลังไฟฟ้า เนื่องจากไฟฟ้าที่ได้จะไปประจุที่เทอร์โมอิเล็กทริกที่อยู่ข้างเคียง

คำสำคัญ: เทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล; โรงงานปุ๋ย; ผลต่างอุณหภูมิ

Abstract

This work focuses on the electricity generation from low grade waste heat by using thermoelectric material. Waste heat from fertilizer manufacturing plant can be found in the range of 35 - 200 degree Celsius during which only the temperature difference less than 40 degrees Celsius can be used to generate electricity. In the experiment, heater is used to heat the copper plate attached on both sides of the thermoelectric material and Teflon is used as an insulator. The electrical power produced by thermoelectric was subsequently transmitted to boost converter to attune voltage for the battery charger. In order to measure the electrical power of the thermoelectric, a single module is built with internal resistance of approximately 5 was an electrical load at difference temperature of 35 °C. To compare the results, two thermoelectric modules are connected in parallel and series. It can be found that the series and parallel connection can produce power at 0.55 W and 0.25 W, respectively. However, when 10 modules of thermoelectric are connected in series for boost converter, electrical power only 1 W can be found with a temperature difference of 36 degree Celsius.

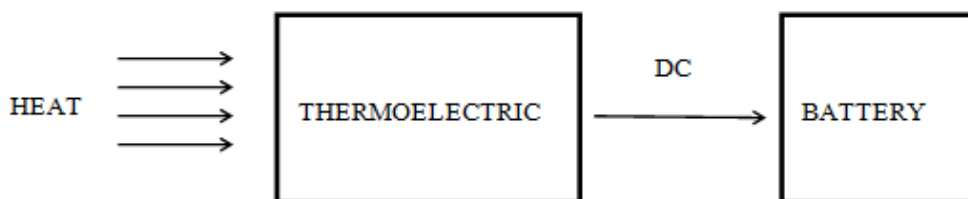
* kaokanya.sud@kmutt.ac.th Tel +662-470-8695-99 ext. 114

This is because when more than 2 modules connecting in series, the electricity produced in each module cannot be charged to the battery but rather discharged to the neighboring modules as an electrical load. It can be concluded that an increase of voltage is varied with the temperature difference and less power can be observed if more than two of thermoelectric modules are connected in series.

Keywords: Difference temperature; Fertilizer; Thermoelectric modules

1. บทนำ (Introduction)

พลังงาน เป็นสิ่งจำเป็นสำหรับโลกในปัจจุบัน ชีวิตประจำวันรอบตัวจำเป็นต้องใช้พลังงาน ไม่ว่าจะเป็น พลังงานไฟฟ้า พลังงานความร้อน พลังงานจากเชื้อเพลิงฟอสซิล โดยเฉพาะพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานที่สามารถพบเจอในชีวิตประจำวัน ถูกใช้เป็นแหล่งพลังงานของอุปกรณ์อำนวยความสะดวกต่างๆ แต่ในการใช้ประโยชน์จากพลังงานจำเป็นต้องมีกระบวนการเพื่อนำมาใช้ และในขณะที่เกิดกระบวนการมักจะมีพลังงานสูญเสียไปโดยเปล่าประโยชน์ เช่น ในโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ ที่มีการใช้เตาให้ความร้อนมีการปล่อยความร้อนเหลือทิ้งออกมาตามขั้นตอนการผลิต หรือความร้อนเหลือทิ้งจากครัวเรือน ที่เกิดจากการประกอบอาหาร ความร้อนเหล่านี้เป็นความร้อนเหลือทิ้งคุณภาพต่ำ cheng et al (2011) ซึ่งเอาไปใช้ประโยชน์ต่อไปได้น้อย โดยเราสามารถนำความร้อนเหล่านี้ไปใช้ประโยชน์ในการผลิตไฟฟ้าด้วยอุปกรณ์ที่สามารถเปลี่ยนพลังงานความร้อนเป็นพลังงานไฟฟ้าได้โดยตรง คือ เทอร์โมอิเล็กทริก Michael (2005) เราสามารถนำพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากตัวเทอร์โมอิเล็กทริกมาเก็บสำรองได้ ไม่ว่าจะเป็น แบตเตอรี่ หรือ ซูเปอร์คาปาซิเตอร์ สามารถประจุแบตเตอรี่ได้เมื่อแรงดันไฟฟ้าของเทอร์โมอิเล็กทริกมีค่าสูงกว่าแรงดันของแบตเตอรี่ โดยหลักการทำงานของเทอร์โมอิเล็กทริกคือสามารถเปลี่ยนความต่างของอุณหภูมิที่เกิดขึ้นระหว่างเทอร์โมอิเล็กทริกให้เป็นพลังงานไฟฟ้า เทอร์โมอิเล็กทริกยังมีข้อดีอีกหลายอย่างคือเป็นอุปกรณ์ที่มีขนาดเล็กมีน้ำหนักเบา ไม่มีชิ้นส่วนที่เคลื่อนไหวทำให้ไม่มีเสียงดังในขณะทำงานแข็งแรงทนทาน มีอายุการใช้งานนาน และปลอดภัยต่อสิ่งแวดล้อม Michael(2005) ด้วยตัวอย่างใดก็ตามพลังงานที่ได้มานั้นก็อาจจะยังไม่เพียงพอในการใช้งานดังนั้นเพื่อเป็นการนำพลังงานที่ได้มาใช้งานได้ตลอดเวลาจึงได้ศึกษาการกักเก็บพลังงานไฟฟ้าเพื่อให้เพียงพอต่อการใช้งานต่อไป ที่ผ่านมานพพร และคณะ (2550) ได้ทำการวิจัยอุณหภูมิประมาณ 50 องศาเซลเซียส กำลังไฟฟ้าที่ได้ 2.1 วัตต์ และอุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียสกำลังไฟฟ้าที่ได้ 4.05 วัตต์ และ การผลิตไฟฟ้าไม่ขึ้นอยู่กับชนิดของเชื้อเพลิงแต่ขึ้นอยู่กับความแตกต่างของอุณหภูมิทั้งสองด้านของตัวเทอร์โมอิเล็กทริกซึ่งจะแปรเปลี่ยนตามความสามารถในการรับความร้อนของตัวรับความร้อนและประสิทธิภาพในการหล่อเย็นของตัวแลกเปลี่ยนความร้อน ณัฐ และคณะ (2549)



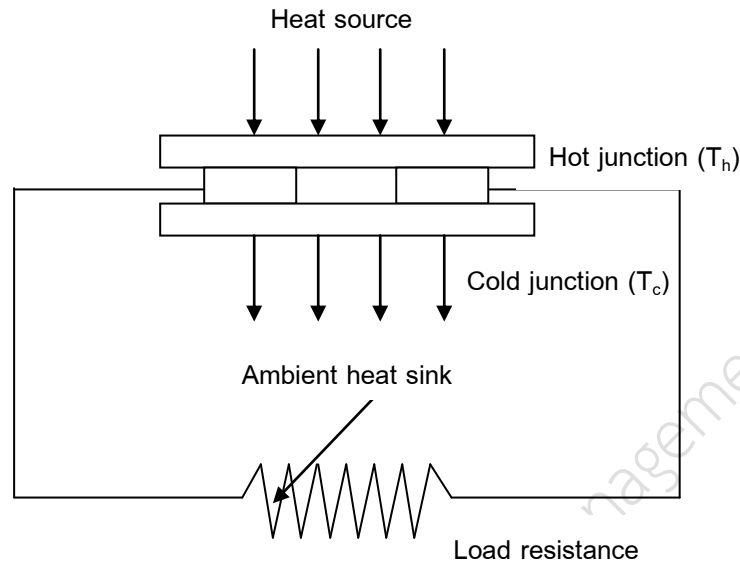
ภาพที่ 1 การประจุแบตเตอรี่โดยตรง

2. วิธีวิจัย (Research Methodology)

การศึกษาพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกนี้ทำการทดลองขนาดเล็กจำลองสถานะที่ใช้ในโรงงานอบแห้งปุ๋ย โดยกำหนดเงื่อนไขดังต่อไปนี้

- ศึกษาในช่วงอุณหภูมิ 35-200 องศาเซลเซียส (ความร้อนเหลือทิ้งคุณภาพต่ำ)
- ช่วงความต่างของอุณหภูมิไม่เกิน 40 องศาเซลเซียส
- สภาพแวดล้อมคงที่ (อุณหภูมิแวดล้อม 25 องศาเซลเซียส)

เทอร์โมอิเล็กทริกเป็นอุปกรณ์ที่แปรผันความต่างของอุณหภูมิไปเป็นพลังงานไฟฟ้าโดยใช้หลักการของซีเบค (seebeck effect) Michael (2005)



ภาพที่ 2 แบบจำลองเทอร์โมอิเล็กทริก

การคำนวณพลังงานโดยใช้สมการประกอบไปด้วย Khattab et al (1996)

พลังงานความร้อน

$$Q_H = \alpha IT_H - 0.5I^2R + k(T_H - T_C) \quad (1)$$

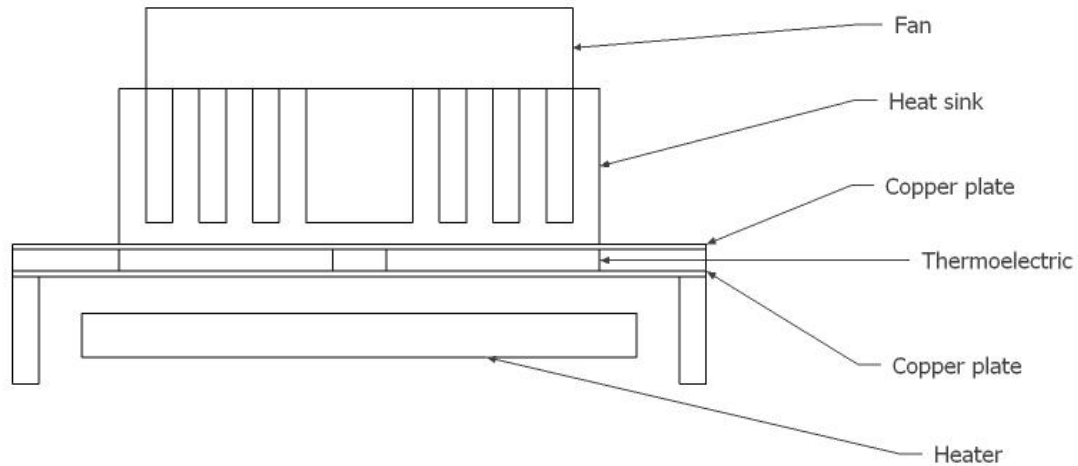
พลังงานที่ได้

$$P = \alpha (T_H - T_C) - IR \quad (2)$$

ประสิทธิภาพ

$$\eta = P/Q_H \quad (3)$$

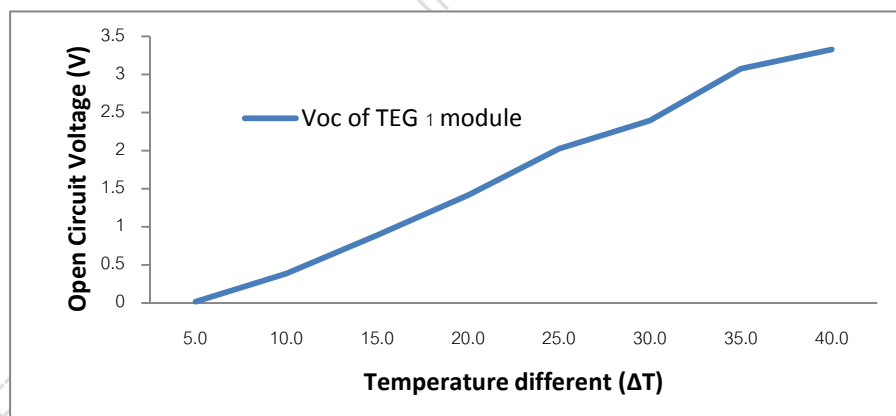
ในการดำเนินงานวิจัยได้ใช้การจำลองสถานะแทนการติดตั้งจริงโดยนำแผ่นทองแดงขนาด 240X230X1 mm. ประกบระหว่างเทอร์โมอิเล็กทริกทั้ง 2 ด้าน พร้อมใช้แผ่นเทฟลอนขนาด 240X130X4 mm. เจาะช่องให้พอดีกับเทอร์โมอิเล็กทริกเป็นฉนวนกันความร้อน แล้วนำไปติดตั้งเหนือขดลวดความร้อนให้ฝั่งร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริกคว่ำลง ติดตั้งครีบบระบายความร้อนที่ฝั่งตรงข้าม (ภาพที่ 3) และทำการทดลองวัดค่าพลังงานของเทอร์โมอิเล็กทริกตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้



ภาพที่ 3 แบบจำลองการติดตั้งเทอร์โมอิเล็กทริกสำหรับการทดลอง

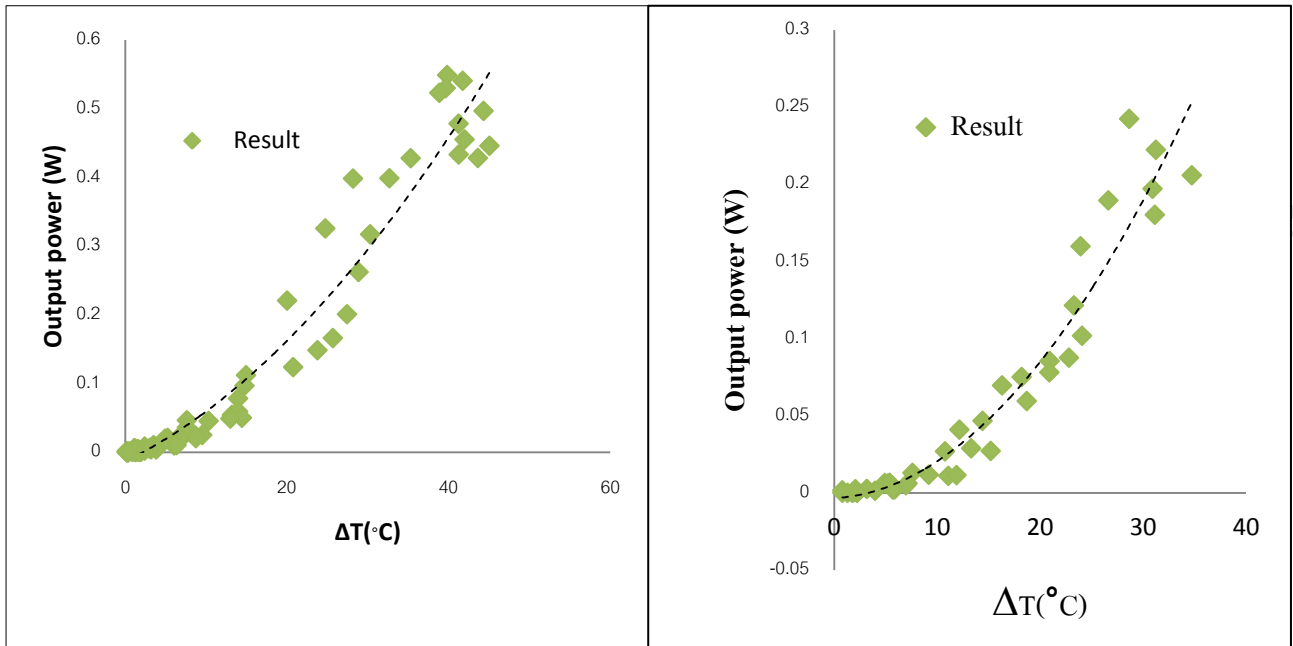
3. ผลการวิจัย (Results)

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการออกแบบชุดทดลองที่จำลองพลังงานความร้อนอุณหภูมิ 25-200 องศาเซลเซียส (ภาพที่ 3) ด้านร้อนให้ความร้อนด้วยขดลวดความร้อน และใช้กระจายความร้อนที่ฝั่งเย็น โดยใช้เทอร์โมอิเล็กทริก รุ่น TEG1-12610-4.3 ทดสอบที่ความต่างอุณหภูมิ 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35 และ 40 ความต้านทานภายนอกที่ 1, 2, 10, 15, 20, 30, 40 และ 50 โอห์ม ผลการทดลองทดสอบเทอร์โมอิเล็กทริก 1 โมดูล แสดงดังภาพที่ 4 โดยมีค่าความต้านทานภายในที่ 5.4 โอห์ม

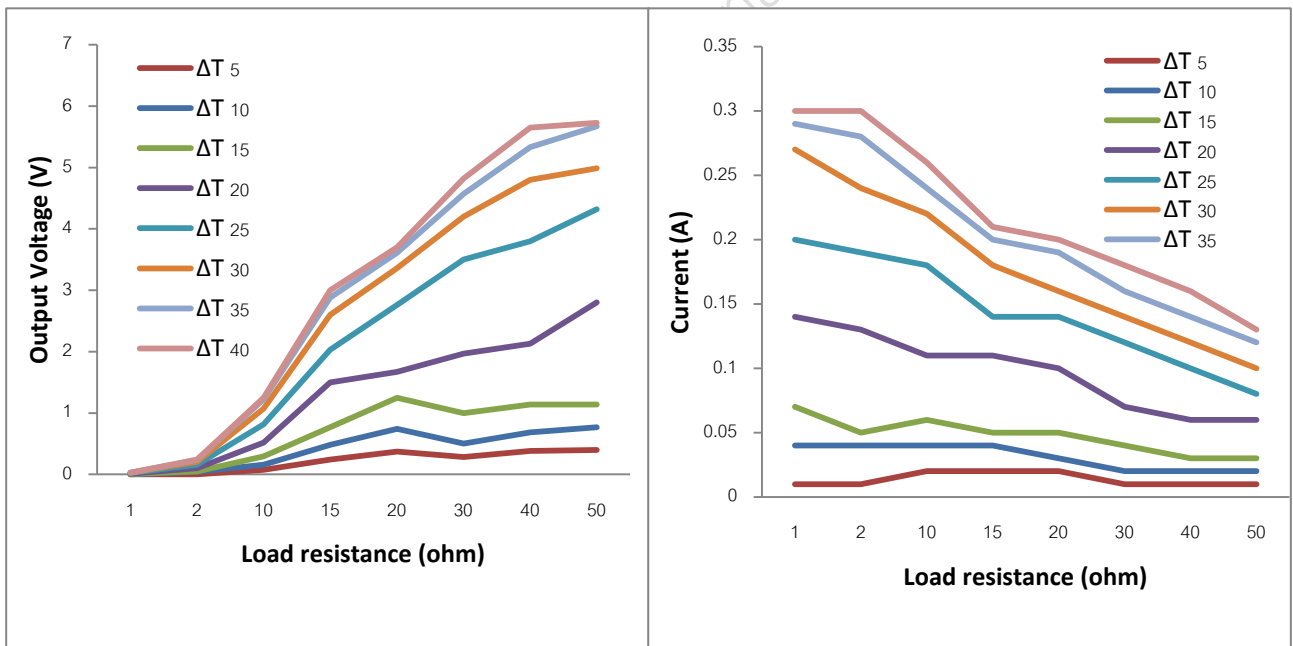


ภาพที่ 4 กราฟความต่างศักย์ไฟฟ้าของเทอร์โมอิเล็กทริก 1 โมดูล

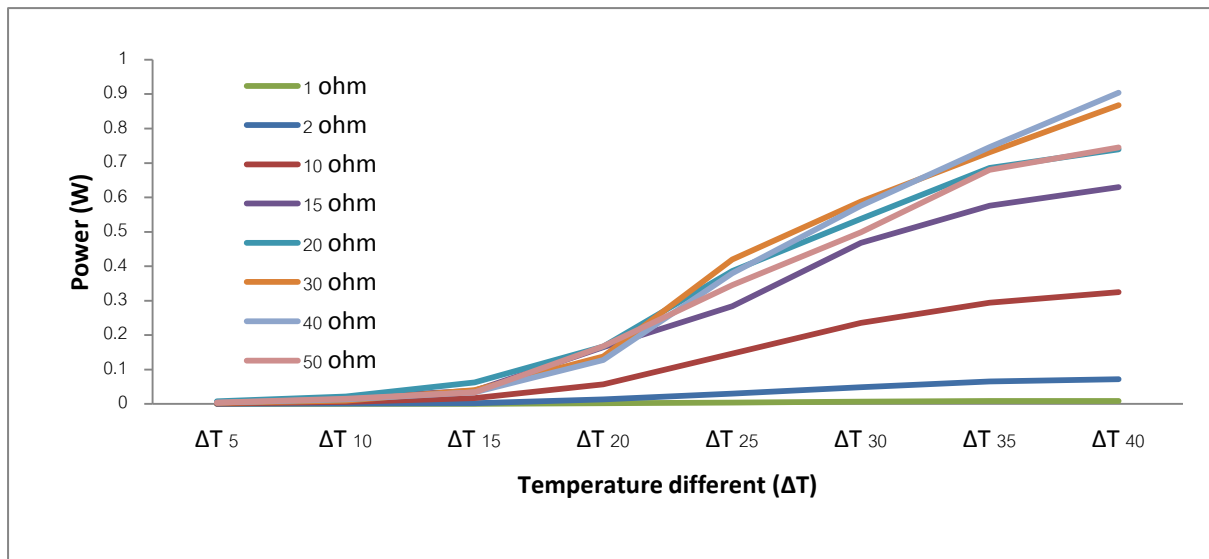
เพื่อกำหนดกำลังไฟฟ้าสูงสุดระบบถูกติดตั้งพร้อมกับพัดลมระบายความร้อนขนาด 12 V เพื่อช่วยในการรักษาอุณหภูมิ (ภาพที่ 3) ในภาพที่ 5-6 ที่ความต้านทาน 30 - 50 โอห์ม จะให้ค่าพลังงานไฟฟ้าสูงประมาณ 0.9 W



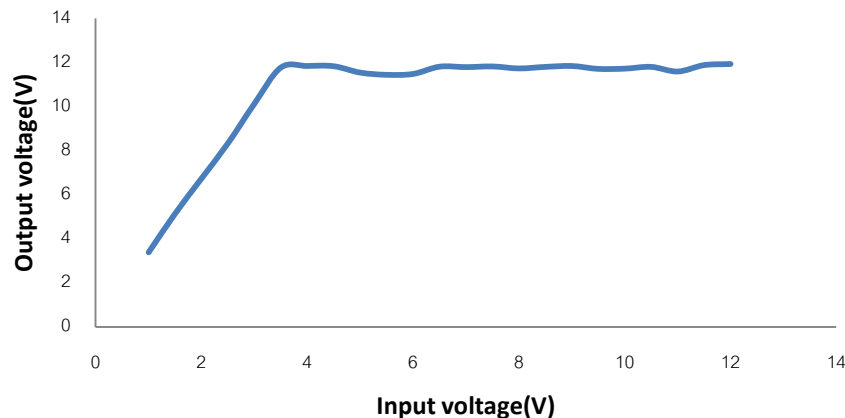
ภาพที่ 5 ความสัมพันธ์ของกำลังไฟฟ้ากับผลต่างอุณหภูมิของเทอร์โมอิเล็กทริก 2 โมดูลแบบต่ออนุกรม และ ต่อขนาน



ภาพที่ 6 ความต่างศักย์ไฟฟ้าและกระแส เปรียบเทียบกับความต้านทานภายนอก



ภาพที่ 7 กราฟแสดงกำลังไฟฟ้าเปรียบเทียบกับความต้านทานภายนอก



ภาพที่ 8 แรงดันไฟฟ้าเมื่อผ่านบูทคอนเวอร์เตอร์

จากภาพที่ 8 วงจรบูทคอนเวอร์เตอร์มีแรงดันเอาต์พุตที่ต้องการในช่วงแรงดันอินพุตประมาณ 3.5 โวลต์ ถ้าต่ำกว่าจะไม่ได้แรงดันเอาต์พุตที่ต้องการและถ้าแรงดันมากเกินไปวงจรบูทไม่สามารถทำให้แรงดันลดลงต่ำกว่าแรงดันอินพุตได้ซึ่งถ้ามากเกินไปจะทำให้เกิดความเสียหายกับคอนโวลเลอร์ได้

4. อภิปรายผล (Discussion)

จากการทดลองเมื่อให้ความร้อนแก่เทอร์โมอิเล็กทริกจะนำความร้อนจากด้านร้อนไปสู่ด้านเย็นทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าแต่เมื่อไม่สามารถระบายความร้อนออกจากด้านเย็นได้ทันผลที่เกิดขึ้นคือด้านเย็นอุณหภูมิสูงขึ้นเท่ากับด้านร้อนทำให้เกิดผลต่างอุณหภูมิจากการทดลองจะเห็นว่ายิ่งผลต่างอุณหภูมิมากก็ยิ่งได้แรงดันไฟฟ้าและกระแสมากขึ้น ผลการทดลองมีความต่างจากทฤษฎีจากข้อมูลที่ได้จากคุณสมบัติเฉพาะของโรงงานผลิต เนื่องจากการออกแบบตัวระบายความร้อนที่ฝั่งเย็นไม่เหมาะสมและความสูญเสียจากระบบ แรงดันของเทอร์โมอิเล็กทริกแต่ละตัวไม่เท่ากันทำให้เทอร์โมอิเล็กทริกที่มีแรงดันมากกว่าจ่ายกระแสให้กับเทอร์โมอิเล็กทริกที่มีแรงดันน้อยกว่าทำให้กระแสที่จ่ายให้กับโหลดน้อยลงจึงไม่ได้กระแสเท่าที่ควร

5. สรุปผล (Conclusion)

สรุปได้ว่าการทดสอบระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากความร้อนโดยใช้เทอร์โมอิเล็กทริกเบอร์ TEG1-12610-4.3 พบว่าในช่วงอุณหภูมิต่ำกว่า 200 องศาเซลเซียส ผลต่างอุณหภูมิที่ 40 องศาเซลเซียส แผงเทอร์โมอิเล็กทริกสามารถผลิตกำลังไฟฟ้าได้ประมาณ 1 วัตต์

6. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณคณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี รวมถึง อาจารย์ที่ปรึกษาและพี่ๆเพื่อนๆ ที่คอยให้คำปรึกษาเกี่ยวกับงานวิจัยนี้ และขอขอบพระคุณทุกๆ คน ในครอบครัวที่คอยให้กำลังใจผู้วิจัยมาโดยตลอด สุดท้ายนี้ขอขอบทุกท่านทั้งที่เอ่ยนามและไม่เอ่ยนามที่ทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จด้วยดี

7. เอกสารอ้างอิง (Reference)

- [1] นพพร พัชรประกิตติ ยุทธสิทธิ์ แสนเรือน และพันธ์ชัย กาวิชัย, 2550. ระบบอัดประจุแบตเตอรี่ด้วยพลังงานเทอร์โมอิเล็กทริก. การประชุมวิชาการ ด้านพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ, โรงแรมเดอะทวิน ทาวเวอร์กรุงเทพฯ.
- [2] ณัฐ จันท์ครบและเจนศักดิ์ เอกบุรณะวัฒน์, 2549. การศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตไฟฟ้าด้วยเทอร์โมอิเล็กทริกโดยใช้ความร้อนจากเตาหุงต้ม. การประชุมเชิงวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 2, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- [3] Cheng, T., Gia-Yeh, H., Hsu-Shen C., Ben Y., Da-Jeng Y. 2011. Experiments and simulations on low-temperature waste heat harvesting system by thermoelectric power generators: *Applied Energy*, Vol. 88, No. 1291–1297
- [4] Khattab, N.M., El Shenawy, E.T. 2006. Optimal operation of thermoelectric cooler driven by solar thermoelectric generator, Vol.47, No. 407-426.
- [5] Michael, R., Michael, D., 2005. Thermoelectrics handbook : macro to nano-structured materials, Boca Raton, Fla.

การพัฒนาการออกแบบและติดตั้งหลอดไดโอดเปล่งแสงในโรงงานอุตสาหกรรม Design development and installation of light emitting diode bulbs in an industrial plant.

รองศิระ ชุมเงิน¹, กิตติพงศ์ แดงพันธ์¹, สุทิน ขาญณรงค์², แก้วกันยา สุดประเสริฐ^{1*}

¹คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

²ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

126 ถนนประชาอุทิศ แขวงบางมด เขตทุ่งครุ กรุงเทพมหานคร 10140

rongsira@gmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการพัฒนาการออกแบบและการติดตั้งหลอดไดโอดเปล่งแสง (Light-Emitting Diodes, LED) ในโรงงานอุตสาหกรรมเพื่อให้ได้แนวทางการประหยัดพลังงานไฟฟ้าที่ต้องใช้กับการส่องสว่าง โดยจะ
ใช้การคำนวณด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ DIALux ® ซึ่งหลักการทำงานของโปรแกรม จะทำการพิจารณาค่าการ
กระจายแสงในแต่ละพื้นที่ในระบบต่อหน่วยพื้นที่ จากกราฟการกระจายแสงที่ต้องการ จากนั้นทำการคำนวณหา
จำนวนหลอดและระยะการติดตั้งหลอดในแต่ละโซนออกมาเพื่อที่จะวัดการสูญเสียพลังงานไฟฟ้าของหลอด
ไดโอดเปล่งแสง เปรียบเทียบการติดตั้งหลอดแบบปกติ จากการคำนวณพบว่าหลอดไดโอดเปล่งแสง สามารถประหยัด
พลังงานได้ 44% ที่ความสว่างใช้งาน 1,500 lux ในส่วนพื้นที่ที่ต้องการความละเอียดสูงของโรงงาน และ สามารถ
ประหยัดพลังงานได้ 25% ที่ความสว่างใช้งาน 350 lux ในส่วนพื้นที่สำนักงานของโรงงาน จากการวิเคราะห์ข้อมูล
ทางเศรษฐศาสตร์พบว่า เมื่อทำการเปลี่ยนมาใช้หลอดไดโอดเปล่งแสงในโรงงานจะมีระยะเวลาคืนทุนประมาณ 50
เดือน

คำสำคัญ(Key word): DIALux ®; หลอดไดโอดเปล่งแสง

Abstract

This research aims to study and develop the design and installation of Light-Emitting Diodes (LED) in the industrial factories in order to achieve the practical guideline in energy saving through lighting. In this work, the computer program named DIALux® is used as a calculating tool to determine the light emission in each zone in the system unit of the light distribution curves. Subsequently, number of lamps and tubes installed in each zone are calculated in order to measure the energy loss from LED lamps compared to normal lamps. It has been found that by using the LED lamps, 44% of energy can be saved at illumination of 1,500 lux in the factory zone with high resolution. For the front office zone, 25% of energy can be saved at illumination of 350 lux. For the economic analysis, by adopting LED lamps, the payback period is approximately 50 months.

Keywords: DIALux®; Light emitting diode

*kaokanya.sud@kmutt.ac.th Tel +662-470-8695-99 ext. 114

1. บทนำ (Introduction)

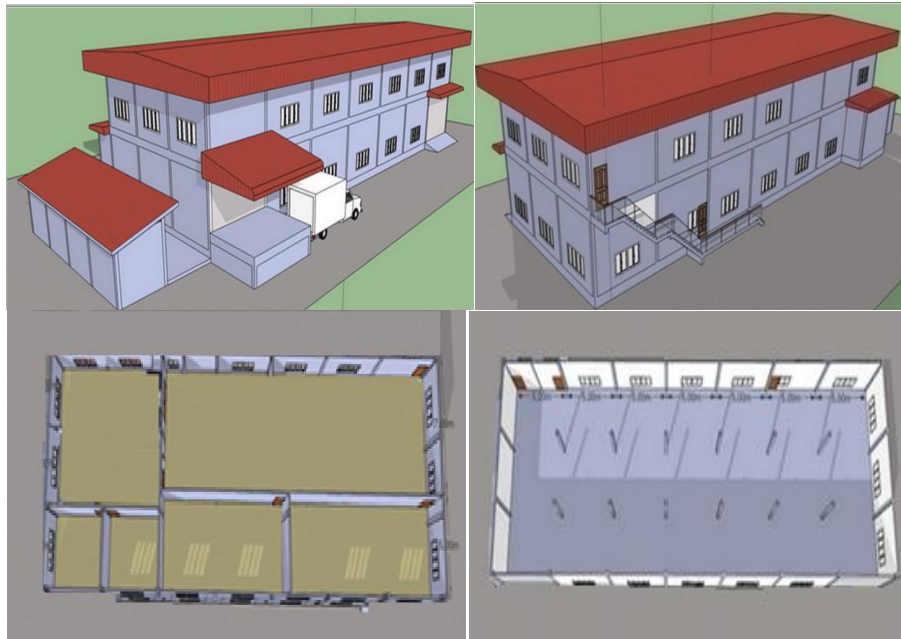
ในปัจจุบันโรงงานที่ประกอบอุตสาหกรรมขนาดย่อมไปจนถึงอุตสาหกรรมขนาดใหญ่มีความต้องการใช้ไฟฟ้าเพื่อการส่องสว่างอย่างมาก ทั้งจากการขยายจำนวนโรงงานที่เพิ่มขึ้นและการขยายกำลังการผลิตให้เพียงพอต่อความต้องการของผู้บริโภค ซึ่งปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ในการส่องสว่างก็สามารถก่อให้เกิดต้นทุนทางพลังงานอย่างมหาศาลสำหรับผู้ผลิต ดังนั้นงานวิจัยนี้ได้เล็งเห็นถึงความสำคัญของการพัฒนาระบบส่องสว่างในโรงงานอุตสาหกรรมโดยใช้ชุดโคมหลอดไดโอดเปล่งแสงชนิดแสงสีขาว (White Light-Emitting Diodes, LED) ที่มีประสิทธิภาพในการส่องสว่าง (luminous efficiency) สูง ประหยัดพลังงาน อายุใช้งานนาน และปราศจากสารปรอท เพื่อใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม รวมไปถึงการออกแบบระบบส่องสว่างโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ DIALux® ซึ่งหลักการทำงานของโปรแกรมคือ จะทำการพิจารณาค่าการกระจายแสงในแต่ละพื้นที่ในระบบต่อหน่วยพื้นที่ จากการพิจารณาการกระจายแสงที่ต้องการ จากนั้นทำการคำนวณหาจำนวนหลอดและระยะการติดตั้งหลอดในแต่ละโซนออกมาเพื่อที่จะวัดการสูญเสียพลังงานไฟฟ้าของชุดโคมหลอดไดโอดเปล่งแสงเปรียบเทียบการติดตั้งหลอดแบบปกติ ที่มีความเหมาะสมเพื่อลดปริมาณการใช้ไฟฟ้าในโรงงาน ซึ่งในงานวิจัยนี้ทำการศึกษาถึงผลต่อความสว่างของหลอดไดโอดเปล่งแสง เพื่อนำไปสู่การพัฒนาระบบหลอดไฟส่องสว่างด้วยหลอดไดโอดเปล่งแสงที่มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น โดยมีงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ซึ่งมีผู้ที่ได้ทำการศึกษาไว้ดังนี้ อเนก ชีระวีวัฒน์ชัย (2553: บทความ) การสำรวจระบบแสงสว่างในอาคาร พบว่าอาคารที่มีระดับแสงสว่างตามมาตรฐาน IES (International Education Services) หรือสูงกว่า ซึ่งใช้พลังงานไฟฟ้า เพื่อการผลิตแสงสว่างในระดับที่สูง ค้นหาแนวทางการออกแบบสถาปัตยกรรมภายในใหม่ ที่จะลดการใช้พลังงาน ทดสอบด้วยโปรแกรม Dialux® การวิจัยพบว่าสามารถใช้ปริมาณแสงให้เกิดประโยชน์สูงสุดได้โดยควบคุมสภาพภายในสถาปัตยกรรม 3 ประการ คือควบคุมอัตราส่วนความจำให้สม่ำเสมอ, อัตราส่วนความแปรปรวนต่ำไม่เกิน 1:3 และใช้สีผนังที่สว่าง สามารถลดปริมาณแสงประดิษฐ์ได้ 5 เท่า ในระดับความสว่างที่ต่ำกว่าที่มาตรฐาน IES (International Education Services) แต่ผู้โดยสารถือความพอใจและรู้สึกสว่าง ลดการใช้พลังงานไฟฟ้าและลดภาระระบบปรับอากาศจากความร้อนของดวงโคมได้ ร้อยละ 20 สุริยปรกร (2551) ทำการออกแบบและคำนวณระบบไฟฟ้าและแสงสว่างของห้องปฏิบัติการ ที่ต้องการความสว่าง 500 ลักซ์ ด้วยโปรแกรม DIALux® ผลของการคำนวณพบว่าวิธีลูเมนได้จำนวนหลอด 68 หลอด ส่วนโปรแกรมโตะลักซ์ได้จำนวนหลอด 72 หลอด พบว่าจำนวนหลอดมีค่าใกล้เคียงกันจึงสรุปได้ว่าการคำนวณโดยโปรแกรม DIALux® มีความน่าเชื่อถือและสามารถใช้เป็นเครื่องมือในการออกแบบระบบไฟฟ้าแสงสว่างได้งานวิจัยที่ได้กล่าวมาข้างต้นได้ศึกษาเกี่ยวกับการให้แสงกับเบญจมาศและการใช้โปรแกรม DIALux® ในการจำลองแสงบนพื้นที่ทำงาน ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงทำการออกแบบแสงสว่างในโรงเรียนเบญจมาศโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการออกแบบการจัดวางหลอดไฟไดโอดเปล่งแสงและคำนวณระบบแสงสว่างภายในโรงเรียนให้ได้ความสว่างตามความต้องการของก่อนนำไปใช้ในโรงเรียนจริง

2. วิธีวิจัย (Research Methodology)

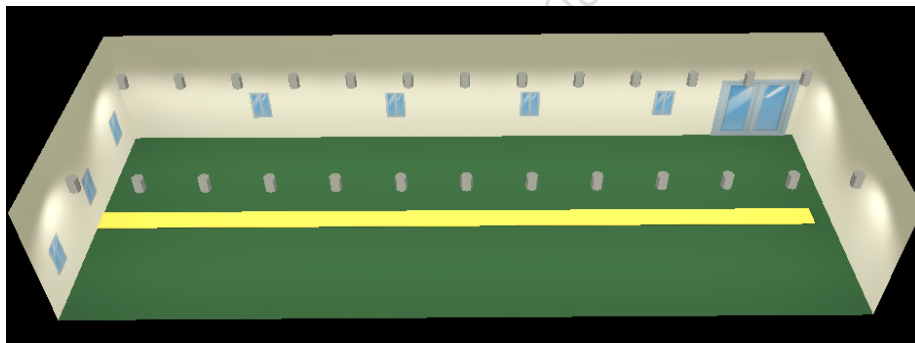
ในการศึกษาโปรแกรม DIALux® เป็นโปรแกรมช่วยในการออกแบบและคำนวณความสว่างซึ่งการศึกษาจำลองลักษณะห้องต่างๆ การจัดวางเฟอร์นิเจอร์ภายในห้อง กำหนดวัสดุของพื้นผิวต่างๆภายในห้องรวมถึงการวางของดวงโคมไฟฟ้าโดยเงื่อนไขสำหรับการศึกษาทดลองรูปร่างลักษณะดังภาพที่ 1 ประกอบด้วยเงื่อนไข ดังนี้

1. พื้นที่โรงงานโดยกำหนดค่าความสว่างเฉลี่ยไว้ที่ 1500 Lux
2. พื้นที่สำนักงาน ได้แบ่งออกเป็น 6 ห้อง

- ห้องประชุมความสว่างเฉลี่ย	350 Lux	จำนวน 1 ห้อง
- ห้องทำงานความสว่างเฉลี่ย	350 Lux	จำนวน 1 ห้อง
- ทางเดินความสว่างเฉลี่ย	100 Lux	จำนวน 1 ห้อง
- ห้องเก็บของความสว่างเฉลี่ย	100 Lux	จำนวน 1 ห้อง
- ห้องน้ำความสว่างเฉลี่ย	100 Lux	จำนวน 2 ห้อง



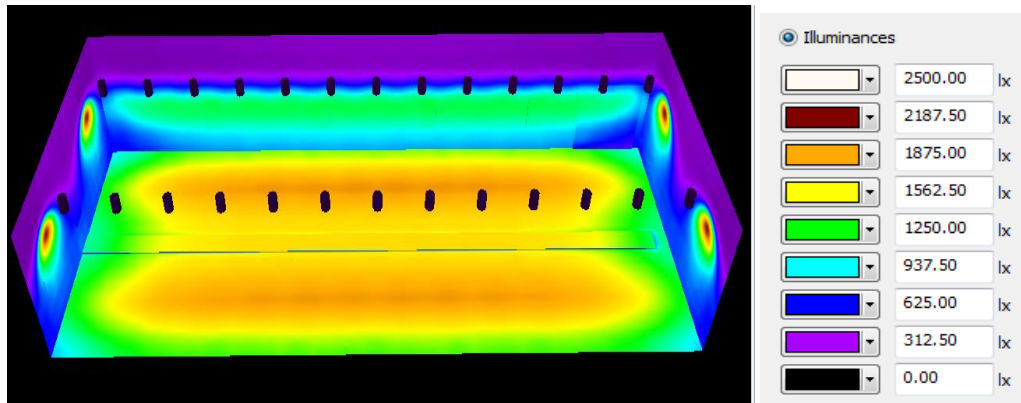
ภาพที่ 1 แบบโรงงานอุตสาหกรรมขนาดกลาง



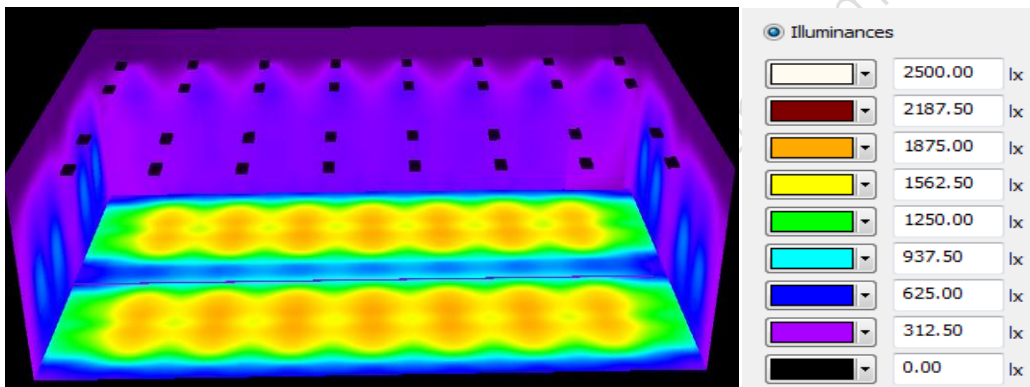
ภาพที่ 2 แบบโรงงานอุตสาหกรรมในส่วนโรงงานที่ใช้โคมส่องสว่างแบบปกติ



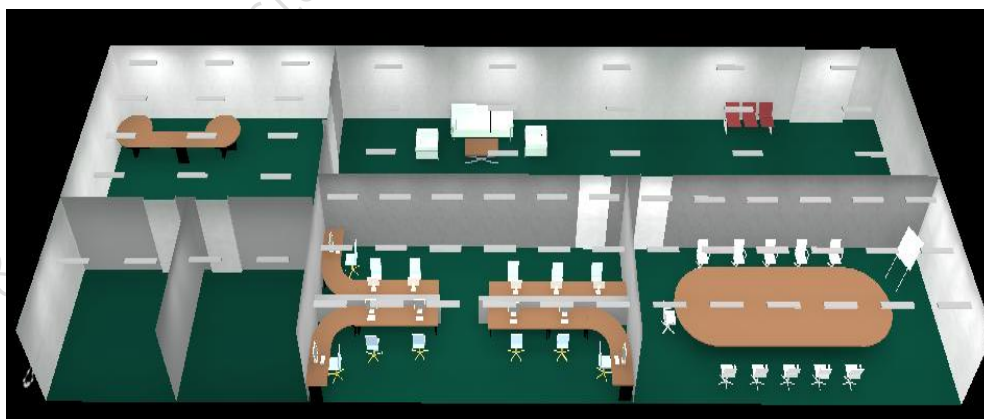
ภาพที่ 3 แบบโรงงานอุตสาหกรรมในส่วนโรงงานที่ใช้โคมส่องสว่างแบบไดโอดเปล่งแสง



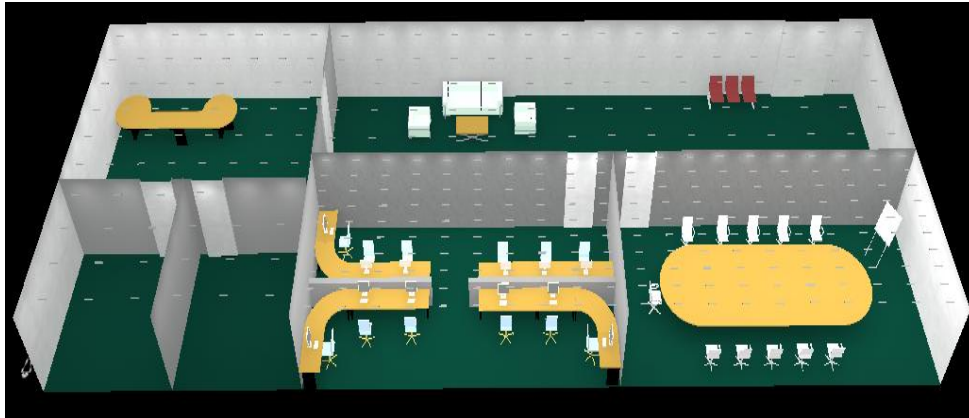
ภาพที่ 4 รูปแบบการส่องสว่างของโคมส่องสว่างแบบปกติในส่วนโรงงาน



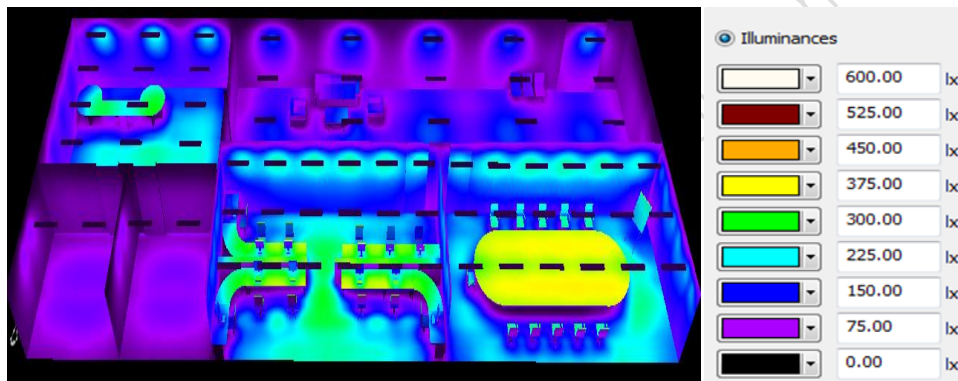
ภาพที่ 5 รูปแบบการส่องสว่างของโคมส่องสว่างแบบไดโอดเปล่งแสงในส่วนโรงงาน



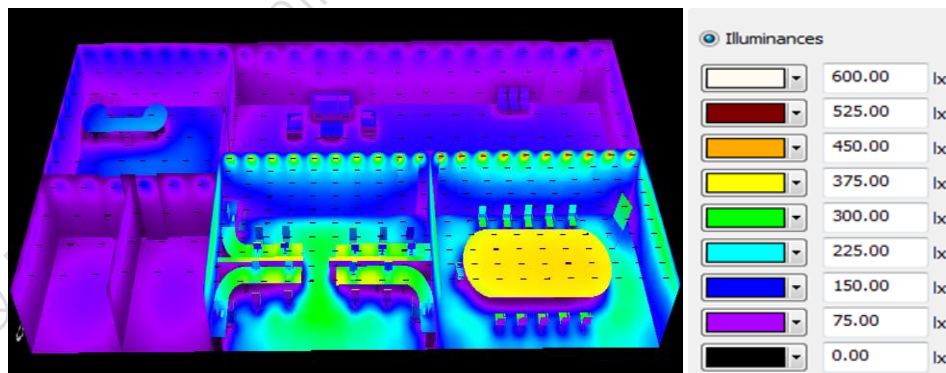
ภาพที่ 6 แบบโรงงานอุตสาหกรรมในส่วนสำนักงานที่ใช้โคมส่องสว่างแบบปกติ



ภาพที่ 7 แบบโรงงานอุตสาหกรรมในส่วนสำนักงานที่ใช้โคมส่องสว่างแบบไดโอดเปล่งแสง



ภาพที่ 8 รูปแบบการส่องสว่างของโคมส่องสว่างแบบปกติในส่วนสำนักงาน



ภาพที่ 9 รูปแบบการส่องสว่างของโคมส่องสว่างแบบไดโอดเปล่งแสงในส่วนสำนักงาน

3. ผลการวิจัย (Results)

จากการศึกษาโดยใช้ ความสว่าง 1500 lux 350 lux และ 100 lux เป็นข้อกำหนดในการคำนวณหาจำนวนหลอดไฟ ,การจัดวางที่เหมาะสมกับขนาดพื้นที่ ความสว่างที่ต้องการ และกำลังไฟฟ้าทั้งหมดที่ใช้ในการทำงานด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์พบว่าโรงงานอุตสาหกรรมในส่วนโรงงานงาน จำนวน 1 ห้อง ซึ่งเดิม PHILIPS HPK080 1xSON400W R GC มีหลอดไฟทั้งหมด 26 หลอดมีค่าความสว่างเฉลี่ย 1500 lux เปรียบเทียบกับหลอดไดโอดเปล่งแสง PHILIPS BVP650 1xECO/740

26K S ต้องใช้หลอดทั้งหมดจำนวน 32 หลอด โดยในการออกแบบ ดังภาพที่ 2 และภาพที่ 3 และ โรงงานอุตสาหกรรมในส่วนสำนักงาน จำนวน 5 ห้อง ซึ่งเดิมใช้ PHILIPS 332TSW 1xTL5-28W HFP NB มีหลอดไฟทั้งหมด 67 หลอด มีค่าความสว่างเฉลี่ย 350 lux และ 100 lux เปรียบเทียบกับหลอดไดโอดเปล่งแสง PHILIPS BCX414 6xLED-HB-4000 ต้องใช้หลอดทั้งหมดจำนวน 347 หลอด โดยในการออกแบบ ดังภาพที่ 6 และภาพที่ 7 ที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สามารถนำมาคำนวณค่าไฟฟ้าได้ ดังนี้

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบค่าพลังงานไฟฟ้าส่วนโรงงาน

การดำเนินการ	KW-HR		Ft	Total
	09.00-22.00	22.00-09.00	(Baht)	(Baht)
โคมหลอดปกติ				
ค่าพลังงานไฟฟ้า	915.20	2828.8	3744	
ค่าไฟฟ้า/หน่วย	2.6136	1.1726	0.6157	
รวม	2446.87	3317.05	2305.18	8069.10
โคมหลอด LED				
ค่าพลังงานไฟฟ้า	678.65	2097.66	2776.31	
ค่าไฟฟ้า/หน่วย	2.6136	1.1726	0.6157	
รวม	1773.71	2459.71	1709.37	5942.79
ผลรวมค่าใช้จ่ายที่สามารถประหยัดได้			2126.31	

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบค่าพลังงานไฟฟ้าส่วนสำนักงาน

การดำเนินการ	KW-HR		Ft	Total
	09.00-22.00	22.00-09.00	(Baht)	(Baht)
โคมหลอดปกติ				
ค่าพลังงานไฟฟ้า	188.6	583.1	771.69	
ค่าไฟฟ้า/หน่วย	2.6136	1.1726	0.6157	
รวม	492.92	683.8	475.13	1651.85
โคมหลอด LED				
ค่าพลังงานไฟฟ้า	171.00	528.55	699.55	
ค่าไฟฟ้า/หน่วย	2.6136	1.1726	0.6157	
รวม	446.9256	619.77	430.17	1497.40
ผลรวมค่าใช้จ่ายที่สามารถประหยัดได้			154.45	

4. อภิปรายผล (Discussion)

จากงานวิจัยของ สุริยปร (2551) ทำการออกแบบและคำนวณระบบไฟฟ้าและแสงสว่างของห้องปฏิบัติการ ที่ต้องการความสว่าง 500 ลักซ์ ด้วยโปรแกรม DIALux® พบว่าจำนวนหลอดมีค่าใกล้เคียงกับความเป็นจริงจึงสรุปได้ว่าการคำนวณโดยโปรแกรม DIALux® มีความน่าเชื่อถือและสามารถใช้เป็นเครื่องมือในการออกแบบระบบไฟฟ้า ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการจำลองแสงสว่างให้เหมาะสมกับพื้นที่ทำงาน จะช่วยให้สามารถเลือกชนิดของหลอดไฟให้เหมาะสมกับขนาดพื้นที่ใช้สอยและสามารถพิจารณาแนวโน้มของต้นทุนค่าใช้จ่าย เช่น ค่าหลอดไฟหรือค่าไฟฟ้า เป็นต้น

ซึ่งเป็นข้อดีของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ใช้เป็นแนวทางก่อนลงมือในพื้นที่จริง และ สำหรับโรงงานอุตสาหกรรมด้วยวิธีคำนวณแสงสว่าง ซึ่งในการศึกษาได้กำหนดขนาดโรงงานของโรงงานอุตสาหกรรมขนาดกลาง และทำการเปรียบเทียบรูปแบบการจัดวางดวงโคมระบบสองสว่างของโรงงานอุตสาหกรรมสองแบบ พบว่า การใช้โคมส่องสว่างแบบไดโอดเปล่งแสงในส่วนโรงงานจะสามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้มากกว่าโคมส่องสว่างแบบปกติ จากการคำนวณพบว่าหลอดไดโอดเปล่งแสงสามารถประหยัดพลังงานได้ 44% ที่ความสว่างใช้งาน 1,500 lux ในส่วนพื้นที่ที่ต้องการความละเอียดสูงของโรงงานดังตารางที่ 3 และ สามารถประหยัดพลังงานได้ 25% ที่ความสว่างใช้งาน 350 lux และ 100 lux ในส่วนพื้นที่สำนักงานของโรงงานดังตารางที่ 4 จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางเศรษฐศาสตร์พบว่า เมื่อทำการเปลี่ยนมาใช้หลอดไดโอดเปล่งแสงในโรงงานจะมีระยะเวลาคืนทุนประมาณ 48 เดือน นอกจากนี้ งานวิจัยของรัตนและคณะ (2547) วิจัยพบว่า หลอดอินแคนเดสเซนต์ให้ความสว่างแสงมากกว่าหลอดวอร์มไวท์และ หลอดคูลเดย์ไลท์ แต่จากการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ พบว่า หลอดไดโอดเปล่งแสงให้ความสว่างเฉลี่ยบนพื้นที่ทำงานที่มากกว่าหลอดอินแคนเดสเซนต์และถ้าใช้หลอดไดโอดเปล่งแสง

ตารางที่ 3 เปรียบเทียบเงินลงทุนค่าชุดโคมส่วนโรงงาน

ชนิดของโคม	รายการ	ราคา/โคม	ราคา
PHILIPS HPK080 1xSON400W R GC	26	15,802	410,825
PHILIPS BVP650 1xECO/740 26K S	32	18,500	592,000
ผลต่างของราคารลงทุน			121,148
ระยะเวลาคืนทุน (ปี)			4.7475

ตารางที่ 4 เปรียบเทียบเงินลงทุนค่าชุดโคมส่วนสำนักงาน

ชนิดของโคม	รายการ	ราคา/โคม	ราคา
PHILIPS 332TSW 1xTL5-28W HFP NB P	67	2925	195,686
PHILIPS BCX414 6xLED-HB-4000	347	605	210,188
ผลต่างของราคารลงทุน			14,502
ระยะเวลาคืนทุน (ปี)			7.84

5. สรุปผล (Conclusion)

จากการศึกษาพบว่าการใช้โปรแกรม DIALux® ในการจำลองแสงสว่างให้เหมาะสมกับพื้นที่ทำงานจะช่วยให้สามารถเลือกชนิดของหลอดไฟให้เหมาะสมกับขนาดพื้นที่ใช้สอยและสามารถที่จะดูแนวโน้มของต้นทุนค่าใช้จ่าย สำหรับในส่วนหนึ่งของโรงงานเนื่องจากสามารถประหยัดพลังงานได้มากกว่าในส่วนสำนักงานมากระยะเวลาในการคืนทุนนานกว่า ดังนั้นในการออกแบบระบบส่องสว่างในโรงงานอุตสาหกรรมควรที่จะพิจารณาถึงความคุ้มค่าเป็นสำคัญอีกทั้งการวางตำแหน่งที่เหมาะสมกับระยะเวลาการลงทุนและค่าใช้จ่ายทางด้ายพลังงานไฟฟ้าเป็นสำคัญ

6. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณคณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี และสำนักงานนโยบายและแผนพลังงานกระทรวงพลังงาน (สนพ.) ที่ให้ทุนในการทำงานวิจัย ขอขอบคุณ อาจารย์ที่ปรึกษาและพี่ๆเพื่อนๆ ที่คอยให้คำปรึกษาเกี่ยวกับงานวิจัยนี้ และขอขอบพระคุณทุกๆ คน ในครอบครัวที่คอยให้กำลังใจผู้วิจัยมาโดยตลอด สุดท้ายนี้ขอขอบทุกท่านทั้งที่เอื้อนามและไม่เอื้อนามที่ทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จด้วยดี

7. เอกสารอ้างอิง (Reference)

- [1] จันทิมา พรหมศิริ, 2540, ปริมาณนิพจน์ชุดควบคุมความเข้มการส่องสว่างของโคมไฟ, กรุงเทพฯ, หน้า 17 – 25.
- [2] รัตน์ บั้วระวงศ์ และ อติสร กระแสชัย, 2547, การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของชนิดหลอดไฟต่อการยับยั้ง การเกิดตา
ตอของเบญจมาศโดยวิธีการให้แสงแบบ Night Break, วารสารเกษตร, 20(3): 236-242.
- [3] สุริยปรกร งามสรรพศิริ, 2551, คู่มือการออกแบบและคำนวณระบบไฟฟ้าแสงสว่างโดยโปรแกรม DIALux, วิศวกรรม
ศาสตรบัณฑิต มหาวิทยาลัยบูรพา.
- [4] Hung, Min-Wei, Chen, Chun-Jen, Chang, Chun-Li, Hsu, Chia-Wei., 2011, “The Impacts of High Frequency
Pulse Driving on The Performance of LED Light”, Physics Procedia, vol. 19, pp. 336–343.
- [5] Kostic, Miomir, Djokic, Lidija., 2009, “Recommendations for Energy Efficient Visually Acceptable Street
Lighting”, Energy, vol. 34, pp. 1565-1572.
- [6] Fathi, M., Chikouche, A. and Abderrazak, M., 2011, “Design and Realization of LED Driver for Solar
Street Lighting Applications”, Energy Procedia, Vol. 6, pp. 160-165.
- [7] Huang, B.J., Wu, M.S., Hsu, P.C., Chen, J.W., Chen, K.Y., 2010, “Development of High-Performance Solar
LED Lighting System”, Energy Conversion and Management, vol. 51, pp. 1669-1675.
- [8] Sastry, O.S., Kamala Devi, V., Pant, P.C., Prasad, G., Kumar, Rajesh, Bandyopadhyay, Bibek. , 2010, “
Development of White LED Based PV Lighting Systems”, Solar Energy Materials & Solar Cells, vol.
94, pp. 1430-1433.
- [9] Adnene, C., Moncef, J., 2001, “Modelling and Simulation of a PV-Inverter Asynchronoud Moter
Association in Photovoltaic Pumping Systems”, IEEE, pp. 146-151.

เครื่องตัดข้าววัชพืชโดยใช้พลังงานไฟฟ้า Electrical Mower Machine

ลักขณา ฤกษ์เกษม*, สราวุธ รอดเปีย, ปรีชา พุทมนต์, ประวิทย์ แซ่ลิ้ม, อิศรี ศรีคุณ, ภาสุระ อังกุลานนท์
คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
9 ถนนแจ้งวัฒนะ แขวงอนุสาวรีย์ เขตบางเขน กรุงเทพมหานคร 10220
lakkana_pnru@yahoo.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาเครื่องตัดข้าววัชพืชซึ่งข้าววัชพืชนั้นเป็นวัชพืชในนาข้าวและเป็นปัจจัยอย่างหนึ่งที่ส่งผลให้ผลผลิตในนาข้าวตกต่ำโดยวัตถุประสงค์ของการออกแบบนี้ เพื่อลดมลภาวะต่างๆ ที่เกิดขึ้นจากการใช้เครื่องตัดข้าววัชพืชแบบใช้น้ำมันเบนซินเป็นพลังงานเชื้อเพลิง เช่น มลภาวะทางกลิ่นที่เกิดการควัน และเสียงที่เกิดจากการสั่นดาบของเครื่องยนต์ เป็นต้น ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงออกแบบโดยใช้มอเตอร์พลังงานไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ขนาด 12 V 5 Amp และมอเตอร์ขนาด 12 V 1 Amp มีกำลังหมุน 2000 รอบต่อนาที และเส้นผ่าศูนย์กลางของใบตัด 60 เซนติเมตร จากงานวิจัยฉบับนี้เครื่องตัดข้าววัชพืชในนาข้าวสามารถใช้ครั้งหนึ่งเป็นเวลาสุทธิ 85 นาทีต่อครั้ง ใช้งานตัดได้ข้าววัชพืชน้ำหนักสุทธิ 2.2 กิโลกรัม อีกทั้งสามารถลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานเชื้อเพลิงจาก 40 บาทเหลือเพียง 5 -10 ชั่วโมงเท่านั้น

คำสำคัญ(Key word): เครื่องตัดข้าววัชพืช; พลังงานไฟฟ้า; การออกแบบ

Abstract

This research aims to develop an electrical mower machine for weedy rice and to reduce the amount of corresponding pollution such as odor and noise. Weedy rice is a species of rice that produces fewer grains than cultivated rice and is always considered as pest. The mower machine was designed to use 12 volt 1 amp DC motor with 2000 rpm and 60 cm diameter of blade mower. According to the research results, it was found that the minimum time that the mower consumed for one rice-growing farm mower was 2 hours with the minimum weight about 2.2 kilograms of weedy rice.

Key word: Mower; Electrical; Machine Design

1. บทนำ (Introduction)

ข้าวมีส่วนประกอบของสารอาหารที่สำคัญ ได้แก่คาร์โบไฮเดรตหรือแป้งข้าว 90 %โปรตีนอยู่ประมาณ 9.5 % ไขมัน 0.5 % ดังนั้นข้าวจึงเป็นอาหารหลักของคนทั่วโลกกว่า 4,000 ล้านคน ทำให้ประเทศไทยส่งออกข้าวได้มากกว่า 7 ล้านตันต่อปี (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2555) แต่อย่างไรก็ตามการเพาะปลูกข้าวในปัจจุบันประสบปัญหาข้าววัชพืชทำให้ผลผลิตลดลงและพบการกำลังระบาดพบเจอตามภาคต่าง ๆ ระบาดไปหลายพื้นที่ ชาวนากำลังประสบกับวัชพืชชนิดใหม่ที่มีลักษณะ

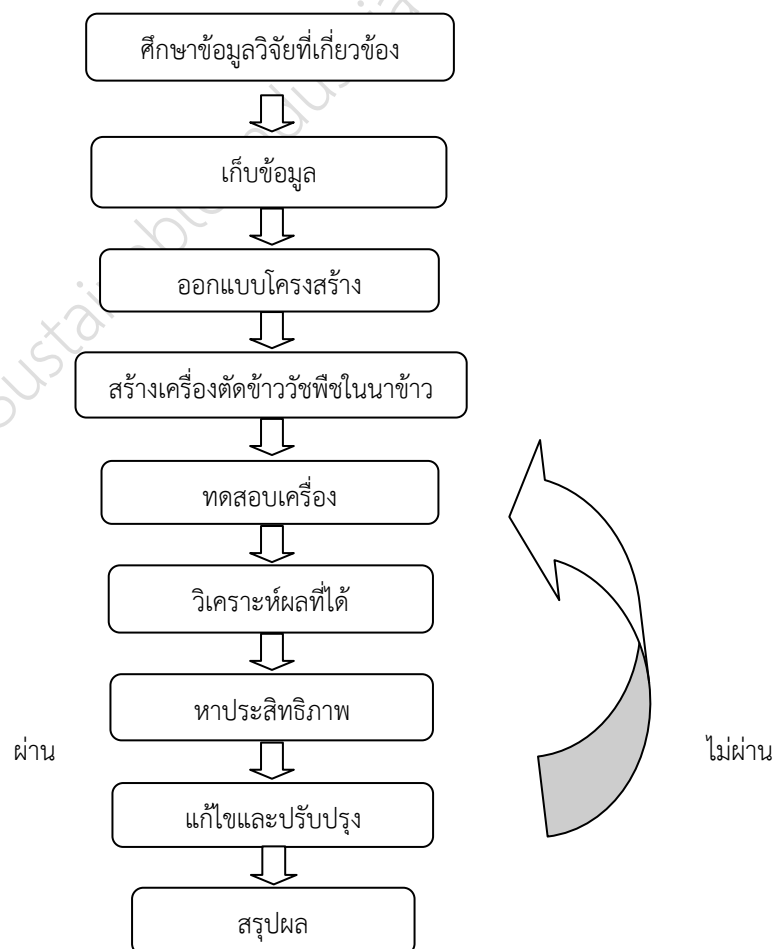
* ลักขณา ฤกษ์เกษม

เหมือนต้นข้าวจนแยกไม่ออกในระยะต้นกล้า วัชพืชชนิดนี้มีชื่อเรียกต่างกันในแต่ละท้องถิ่นตามลักษณะภายนอกที่ปรากฏ เช่น ข้าวหาง ข้าวนก ข้าวติด ข้าวแดง ข้าวลาย หรือ ข้าวแดง ซึ่งข้าวเหล่านี้จัดเป็นวัชพืชร้ายแรงในนาข้าว มีชื่อสามัญ ว่า ข้าววัชพืช (จรรยา มณีโชติ, 2548) ในปัจจุบันมีการกำจัดข้าววัชพืชร้ายแรงได้หลายวิธี เช่น การใช้สารเคมี การพ่นปุ๋ยยูเรียทำให้เมล็ดข้าววัชพืช เป็นต้น แต่วิธีการเหล่านั้นทำให้เกิดสารตกค้างและสะสมในร่างกาย

ดังนั้นคณะผู้จัดทำโครงการจึงคิดที่จะสร้างเครื่องตัดข้าววัชพืชในนาข้าว จากเครื่องต้นแบบที่ขายในท้องตลาด เพราะเครื่องตัดข้าววัชพืชในท้องตลาดมีราคาที่สูง ใช้น้ำมันเบนซินเป็นเชื้อเพลิง ทำให้เกิดมลพิษทางเสียง เกิดก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ และมีน้ำหนักรบกวนต่อความเมื่อยล้า เจ็บปวดในการทำงานกับการทำงานโดยตรง คณะผู้จัดทำจึงได้ทำการคิดค้นเครื่องตัดข้าววัชพืชจากพลังงานไฟฟ้าโดยวิธีการใช้แบตเตอรี่และมอเตอร์ เป็นตัวขับเคลื่อนในการทำงาน เพื่อนำมาช่วยในการกำจัดข้าววัชพืชแล้วลดปัญหาข้าววัชพืชในนาข้าวรวมทั้งยังเป็นเครื่องทุ่นแรง ลดความเจ็บปวดจากการทำงานในการกำจัดข้าววัชพืชในนาข้าวรวมไปถึงเป็นการประหยัดเวลาในการกำจัดข้าววัชพืชในนาข้าวให้แก่ชาวนาได้มากอีกด้วย

2. วิธีวิจัย (Research Methodology)

การดำเนินงานโครงการ การสร้างเครื่องตัดข้าววัชพืช ได้ศึกษาการทำงานและส่วนประกอบและหาประสิทธิภาพของเครื่องตัดข้าววัชพืชเครื่องต้นแบบที่ใช้น้ำมันเป็นตัวต้นกำลังซึ่งก่อให้เกิดมลพิษต่างๆเช่น มลพิษทางเสียง มลพิษทางอากาศ และการสิ้นเปลืองส่งผลกับการทำงานโดยตรง ดังนั้นคณะผู้จัดทำจึงมีความสนใจในการพัฒนาเพื่อให้เครื่องตัดข้าววัชพืชมีประสิทธิภาพและทำงานอย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยมีการสร้างและการทดลอง ดังในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 แสดง Flowchart Diagram แสดงขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ธีรพงษ์ จันตะเสน (2553) ได้ทำการพัฒนาเครื่องตัดหญ้าไฟฟ้าสะพายบ่าชนิดที่สามารถชาร์จพลังงานด้วยแสงอาทิตย์เพื่อยืดเวลาการทำงานให้ยาวนานขึ้นสำหรับใช้ในงานเกษตรกรรมหรืองานทั่วไป โดยไม่มีมลภาวะทางอากาศและเสียงระหว่างการใช้งาน การออกแบบเครื่องตัดหญ้าจะใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ขนาด 36 วัตต์ 9,000 rpm ติดใบมีดตัดหญ้า มีแผงโซลาร์เซลล์ทำหน้าที่เก็บพลังงานไว้ในแบตเตอรี่ และส่งผ่านไปยังวงจรขับมอเตอร์แบบ PWM (Pulse width modulation) เพื่อให้สามารถควบคุมความเร็วของใบมีดตัดหญ้าได้ โดยใช้มอสเฟสเบอร์ IRFP 150N เป็นตัวสวิตช์ควบคุมความเร็วของมอเตอร์จากการดำเนินงานวิจัยครั้งนี้ เครื่องตัดหญ้าที่พัฒนาขึ้นสามารถตัดหญ้าได้ต่ำสุด 40 นาที่ และเวลาที่ทำได้นานที่สุดคือ 50 นาที่ ที่ความเร็วรอบของใบมีดตัดหญ้า 7,000 rpm เมื่อใช้โซลาร์เซลล์ควบคู่กับแบตเตอรี่ เครื่องตัดหญ้าสามารถตัดหญ้าได้นานต่ำสุด 60 นาที่ และเวลาในการตัดหญ้าที่ทำได้นานที่สุดคือ 80 นาที่ ส่วนการตัดหญาค่อนข้างทำได้ช้าเนื่องจากหญ้าที่ตัดหนามากเกินไป ซึ่งจะทำให้ใบมีดขัดกับใบมีดทำให้การตัดหญ้าทำได้ช้าลง และทำให้มอเตอร์ใช้กระแสมากขึ้นส่งผลทำให้เวลาในการตัดหญ้าลดลง ผลการชาร์จประจุด้วยแผงโซลาร์เซลล์เวลาในการชาร์จประจุตั้งแต่แบตเตอรี่หมด จนแบตเตอรี่เต็มประมาณ 20 ชั่วโมง กระแสเฉลี่ยจะอยู่ในช่วง 0.4 A – 0.6 A ขึ้นอยู่กับสภาพอากาศ

เดชา แซ่ตั้ง (2544) ได้ทำการศึกษามอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงไปทำให้แผ่นโลหะเคลื่อนที่ โดยผลการทดลองสรุปได้ว่ามอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงสามารถทำให้แผ่นโลหะเคลื่อนที่ได้สวิตช์โยกสามารถนำมาควบคุมทิศทางการเคลื่อนที่ของแผ่นโลหะได้แบตเตอรี่สามารถนำมาเป็นแหล่งพลังงานสำรองในกรณีที่ไม่มีแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์ ได้

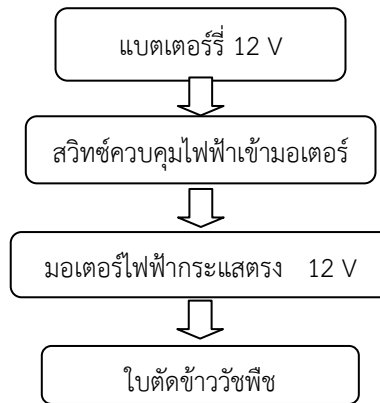
ธนพร เสาวรัตน์ชัย (2548) ได้ทำการสร้างเครื่องตัดกิ่งไม้ที่ผู้วิจัยในศึกษาถึงงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในแต่ละงานวิจัยนั้นจะมีข้อแตกต่างกันในด้านส่วนประกอบ และลักษณะการใช้งานผู้วิจัยเล็งเห็นว่าในงานวิจัยของแต่ละท่านยังสามารถที่จะพัฒนาในด้านวัสดุส่วนประกอบและลักษณะให้ใช้งานได้ดียิ่งขึ้นผู้วิจัยได้ทดลองเครื่องตัดกิ่งไม้ประเภทไม้ผลในบริเวณบ้าน โดยมีความสูงไม่เกิน 5 เมตรต้นกำลังจะใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 24 v ควบคุมมอเตอร์ด้วยสวิตช์ซึ่งจะติดตั้งอยู่ที่ด้ามตะขอเพลาสปริงสามารถโค้งงอในการส่งกำลังในแนวเฉียงศูนย์และสามารถใช้งานสั้นสะท้อนได้ดีโดยมีเพลาลูกหมุนนิยมนขนาดหนึ่งนิ้วครึ่งขนาดความยาว 1 เมตรจำนวน 2 ท่อนอยู่ด้านล่างซึ่งเป็นด้ามตะขอและขนาด 12/8 ขนาดความยาว 1 เมตร จำนวน 2 ท่อนอยู่ด้านบนซึ่งเป็นปลายตะขอ

ธงชัย ยันตรศรีและคณะ (2539) ได้ออกแบบขั้นตอนของต้นแบบเครื่องตัดแต่งกิ่งไม้ผลยืนต้นได้กล่าวไว้ว่าอุปกรณ์สำคัญสำหรับการผลิตไม้เชิงอุตสาหกรรมในประเทศไทย คือ ปัญหาต้นทุนแรงงานการดูแลสวนที่ค่อนข้างสูงในประเทศที่เจริญแล้วเช่นอิสราเอลและออสเตรเลีย เกษตรกรประสบความสำเร็จในการลดต้นทุนแรงงานโดยใช้เครื่องตัดกิ่งเพื่อควบคุมขนาดทรงพุ่มแทนแรงงานคน อย่างไรก็ตามเครื่องตัดกิ่งดังกล่าวมีราคาแพงมากกว่า 2 ล้านบาทและมีปัญหาในการนำเข้าเนื่องจากเป็นเทคโนโลยีใกล้เคียงกับเครื่องมือทำลายป่าไม้ ดังนั้นโครงการวิจัยนี้จึงมีจุดประสงค์เพื่อศึกษาและพัฒนาเครื่องตัดแต่งกิ่งไม้สำหรับไม้ผลโดยเฉพาะซึ่งสามารถแยกออกเป็น 4 ส่วนย่อยได้แก่คันชุดใบตัดชุดแขนต่อระหว่างแขนยกและชุดฐานน้ำหนักของแขนยกนอกจากนั้นจะวิเคราะห์จุดอ่อนของชิ้นส่วนได้ออกแบบ (failure analysis) โดยใช้โปรแกรม finite element รวมทั้งมีการทดสอบเครื่องที่ออกแบบในแปลงทดลอง

จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องข้างต้นคณะผู้จัดทำสนใจที่จะพัฒนาและออกแบบสร้างเครื่องตัดข้าววัชพืชในนาข้าวแบบประหยัดพลังงานเชื้อเพลิงโดยเปลี่ยนมาใช้พลังงานไฟฟ้า อีกทั้งสามารถลดมลพิษจากการทำงานได้มากยิ่งขึ้น

2.2 การออกแบบโครงสร้างและหลักการทำงานของเครื่องตัดข้าววัชพืชในนาข้าวชนิดใช้พลังงานแบตเตอรี่ จากการทํางานและข้อจำกัดของเครื่องตัดข้าววัชพืชในนาข้าวชนิดใช้น้ำมันเบนซินเป็นเชื้อเพลิง ที่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อผู้ใช้นั้น จึงได้มีการออกแบบและปรับปรุงคุณสมบัติบางประการของเครื่องตัดข้าววัชพืชในนาข้าว เพื่อให้สามารถใช้งานได้หลากหลายและ

ไม่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อตัวผู้ใช้งาน โดยเปลี่ยนจากการใช้น้ำมันเบนซินเป็นเชื้อเพลิง เป็นการใช้พลังงานแบตเตอรี่ เพื่อไม่
ก่อให้เกิดผลกระทบต่อตัวผู้ใช้งาน และสามารถใช้งานได้ยาวนานมากยิ่งขึ้น ดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 แสดง Diagram ของเครื่องตัดข้าววัชพืชในนาข้าว

2.3 การทดสอบสมรรถนะ

คณะผู้จัดทำศึกษาเปรียบเทียบสมรรถนะระหว่างเครื่องตัดข้าววัชพืชแบบใช้พลังงานเชื้อเพลิงจากน้ำมันเบนซินเพียงอย่างเดียว(เครื่องตัดข้าววัชพืชแบบเดิม) กับเครื่องตัดข้าววัชพืชแบบใช้พลังงานไฟฟ้าจากแบตเตอรี่เพียงอย่างเดียวกลุ่มตัวอย่าง
หรือพื้นที่ตัวอย่างที่ใช้ทดลองและเก็บข้อมูลเครื่องตัดข้าววัชพืชในนาข้าว คือพื้นที่การทำนา ตำบลบึงคอไห อำเภอลำลูกกา
จังหวัดปทุมธานี เป็นพื้นที่เกษตรเพาะปลูกข้าวที่มีอยู่จริงและประสบปัญหาข้าววัชพืชจริงจำนวนพื้นที่ 2 ไร่ ซึ่งมีขอบเขต
ของการศึกษา ดังนี้

1. เครื่องตัดข้าววัชพืชในนาข้าวใช้พลังงานในการทำงานจากแบตเตอรี่ขนาด 12V 5 Amp
2. เครื่องตัดข้าววัชพืชในนาข้าวเครื่องนี้มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 60 เซนติเมตร
3. เครื่องตัดข้าววัชพืชในนาข้าวสามารถใช้ครั้งหนึ่งได้เป็นเวลา 2 ชั่วโมง
4. เครื่องตัดข้าววัชพืชในนาข้าวใช้งานตัดได้เฉพาะข้าววัชพืช (ข้าวดีด)

3. ผลการวิจัย (Results)

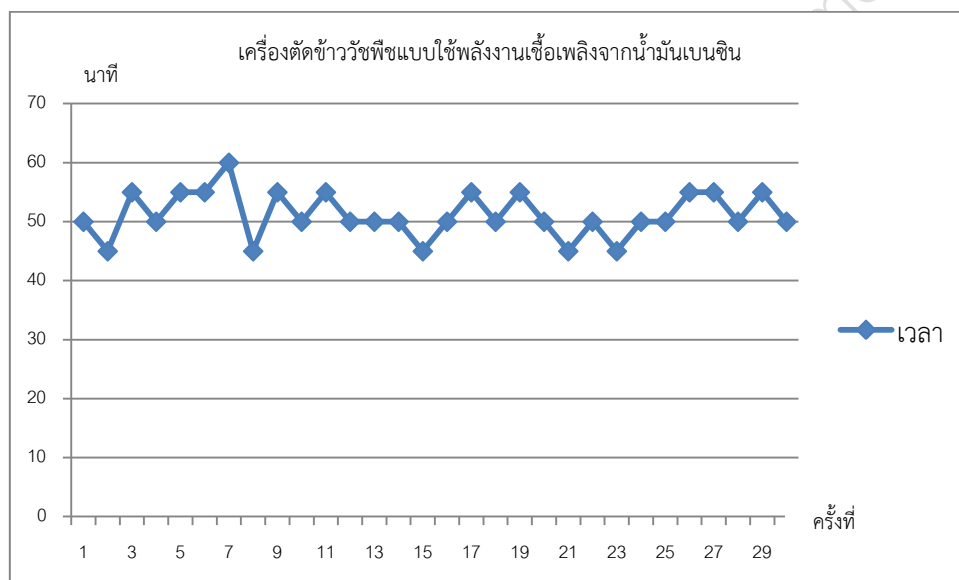
การหาสมรรถนะการทำงานของเครื่องตัดข้าววัชพืช โดยที่เครื่องตัดข้าววัชพืช เครื่องเดิมมีกำลังความจุกระบอกสูบ 40.2 CC.
กำลังสูงสุด 1.5 กิโลวัตต์ ต่อ 2.0 แรงม้า ที่ 7000 รอบต่อนาที กำลังต่อเนื่อง 1.1 กิโลวัตต์ ต่อ 1.4 แรงม้า ที่ 6000 รอบต่อ
นาที ทิศทางการหมุนทวนเข็มนาฬิกาเชื้อเพลิงผสม (เบนซิน 25 ส่วน ต่อ ออโตลูป 1 ส่วน) ความจุถังน้ำมัน 1 ลิตรคาบูเรเตอร์
แบบไดอะแกรมหัวเทียน NGK BPM7A น้ำหนัก (แห้ง) 3.5 กิโลกรัมเส้นผ่าศูนย์กลางของใบตัด 60 เซนติเมตร และใช้งานได้
เป็นระยะเวลา 1 ชั่วโมงต่อการเติมน้ำมันเต็มเครื่อง ข้อเสียของการใช้เครื่องตัดข้าววัชพืชแบบเชื้อเพลิง คือ ทำให้เกิดมลพิษ
ทางอากาศ มลพิษทางเสียง มีการสั่นสะเทือนและมีน้ำหนักมาก และความสามารถของเครื่องตัดข้าววัชพืช ที่คณะผู้จัดทำ
ศึกษาค้นคว้าขึ้นมาใหม่นั้น เป็นการใช้พลังงานไฟฟ้า โดยการใช้แบตเตอรี่ขนาด 12 V5Amp หรือกระแสต่อชั่วโมง (ต่อการ
ประจุไฟฟ้าเต็ม) และมอเตอร์ขนาด 12 V1 Amp มีกำลังหมุน 2000 รอบ ต่อนาที ทิศทางการหมุน ตามเข็มนาฬิกา เป็นตัว
ขับเคลื่อนในการทำงาน เส้นผ่าศูนย์กลางของใบตัด 60 เซนติเมตร สามารถใช้ครั้งหนึ่งเป็นเวลา 2 ชั่วโมงต่อครั้ง ใช้งานตัดได้
เฉพาะข้าววัชพืช น้ำหนักสุทธิ 2.2 กิโลกรัม ข้อดีของการใช้เครื่องแบบพลังงานไฟฟ้าเป็นเครื่องมือทุ่นแรงในการตัดข้าววัชพืช
ประหยัดเวลาในการตัดข้าววัชพืช (โดยสามารถตัดได้ในเวลา 2 ชั่วโมงต่อครั้ง) ประหยัดต้นทุนในการกำจัดข้าววัชพืช

ตารางที่ 1 การเปรียบเทียบส่วนประกอบของเครื่องตัดข้าววัชแบบเก่าและแบบใหม่

ส่วนประกอบ	เครื่องตัดข้าววัชแบบเก่า	เครื่องตัดข้าววัชแบบใหม่
1. เชื้อเพลิง	น้ำมันเบนซิน	พลังงานไฟฟ้า
2. ด้ามจับ	เหล็ก	อลูมิเนียม
3. ใบตัด	ใบมีด	สายไฟ ขนาดเบอร์ 4
4. น้ำหนัก	3.5 กิโลกรัม	2.2 กิโลกรัม

3.1 ผลการทดสอบสมรรถนะเครื่องตัดข้าววัชแบบใช้พลังงานเชื้อเพลิงจากน้ำมันเบนซิน

การทดสอบเครื่องตัดข้าววัชโดยใช้พลังงานจากน้ำมันเบนซิน คือการทดสอบจากการจับเวลาทำงานในแต่ละครั้งของการเติมน้ำมันเต็มว่าเครื่องตัดข้าววัชแบบใช้พลังงานเชื้อเพลิงจากน้ำมันเบนซินที่ในท้องตลาดสามารถทำงานได้เป็นเวลานานน้อยเพียงใด ดังแสดงในตารางที่ 2 และภาพที่ 3



ภาพที่ 3 กราฟแสดงเวลาการตัดข้าววัชในแต่ละครั้งของเครื่องตัดข้าววัชแบบใช้พลังงานเชื้อเพลิงจากน้ำมันเบนซิน

จากกราฟด้านบนจะเห็นว่าเครื่องต้นแบบสามารถตัดข้าววัชได้เป็นเวลานานที่สุดคือ 60 นาที และเวลาที่ทำน้อยที่สุดคือ 45 นาที

ตารางที่ 2 การทดสอบเครื่องตัดข้าววัชพืชแบบใช้พลังงานเชื้อเพลิงจากน้ำมันเบนซิน

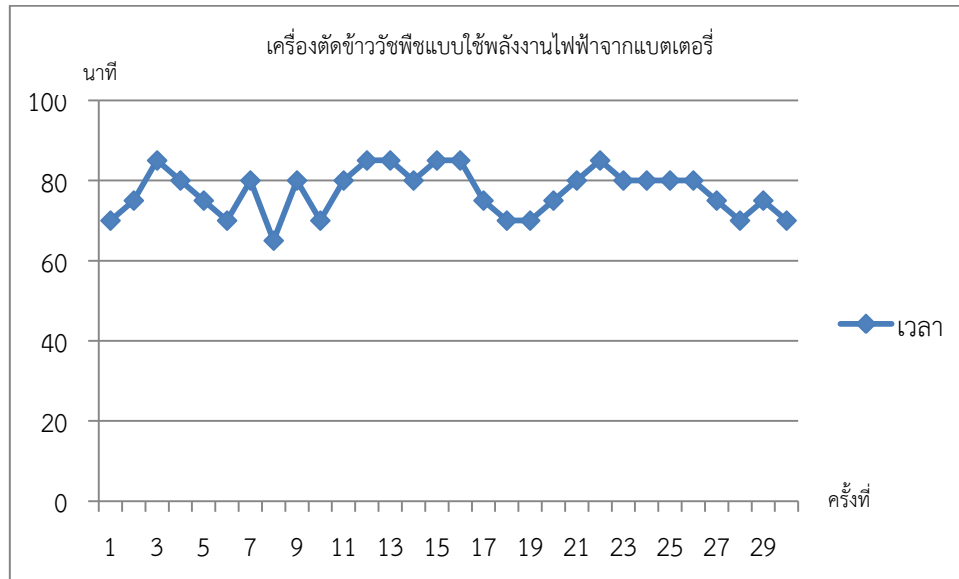
ครั้งที่	เวลาที่สามารถทำได้	ผลการทำงาน
1	50	ข้าววัชพืชตัดข้าววัชพืชได้ลำบาก
2	45	ข้าววัชพืชตัดได้ลำบากและเข้าไปติดใบมีดตัดข้าววัชพืช
3	55	สามารถตัดข้าววัชพืชได้ตามที่ต้องการ
4	50	ข้าววัชพืชกอใหญ่ทำให้การตัดทำได้ยาก
5	55	สามารถตัดข้าววัชพืชได้ตามที่ต้องการ
6	55	สามารถตัดข้าววัชพืชได้ตามที่ต้องการ
7	60	สามารถตัดข้าววัชพืชได้ตามที่ต้องการ
8	45	ข้าววัชพืชตัดได้ลำบากและเข้าไปติดใบมีดตัดข้าววัชพืช
9	55	สามารถตัดข้าววัชพืชได้ตามที่ต้องการ
10	50	ข้าววัชพืชมีลักษณะเป็นต้นแข็งจึงตัดได้ลำบาก
11	55	สามารถตัดข้าววัชพืชได้ตามที่ต้องการ
12	50	ข้าววัชพืชหนาตัดได้ลำบาก
13	50	ข้าววัชพืชหนาตัดได้ลำบาก
14	50	ข้าววัชพืชหนาตัดได้ลำบาก
15	45	ข้าววัชพืชมีลักษณะกอใหญ่ทำให้ตัดได้ยากลำบาก
16	50	ข้าววัชพืชหนาตัดได้ลำบาก
17	55	สามารถตัดข้าววัชพืชได้ตามที่ต้องการ
18	50	ข้าววัชพืชหนาตัดได้ลำบาก
19	55	สามารถตัดข้าววัชพืชได้ตามที่ต้องการ
20	50	ข้าววัชพืชหนาตัดได้ลำบาก
21	45	ข้าววัชพืชมีลักษณะกอใหญ่ทำให้ตัดได้ยากลำบาก
22	50	ข้าววัชพืชหนาตัดได้ลำบาก
23	45	ข้าววัชพืชมีลักษณะเป็นต้นแข็งทำให้ตัดได้ยาก
24	50	ข้าววัชพืชหนาตัดได้ลำบาก
25	50	ข้าววัชพืชหนาตัดได้ลำบาก
26	55	สามารถตัดข้าววัชพืชได้ตามที่ต้องการ
27	55	สามารถตัดข้าววัชพืชได้ตามที่ต้องการ
28	50	ข้าววัชพืชหนาตัดได้ลำบาก
29	55	สามารถตัดข้าววัชพืชได้ตามที่ต้องการ
30	50	ข้าววัชพืชหนาตัดได้ลำบาก

3.2 ผลการทดสอบสมรรถนะเครื่องตัดข้าววัชพืชแบบใช้พลังงานไฟฟ้าจากแบตเตอรี่

การทดสอบเครื่องตัดข้าววัชพืชโดยใช้พลังงานจากแบตเตอรี่คือการทดสอบจากการจับเวลาทำงานในแต่ละครั้งของการชาร์จแบตเตอรี่จนเต็ม ว่าเครื่องต้นแบบที่สร้างขึ้นสามารถทำงานได้เป็นเวลามากน้อยเพียงใด ดังแสดงในตารางที่ 3 และภาพที่ 4

ตารางที่ 3 การทดสอบเครื่องตัดข้าววัชพืชแบบใช้พลังงานใช้พลังงานไฟฟ้าจากแบตเตอรี่

ครั้งที่	เวลาที่สามารถทำได้	ผลการทำงาน
1	70	ข้าววัชพืชมีลักษณะเป็นกอตัดได้ลำบาก
2	75	ข้าววัชพืชหนาตัดได้ลำบาก
3	85	ตัดข้าววัชพืชได้ตามต้องการ
4	80	ตัดข้าววัชพืชได้ตามต้องการ
5	75	ข้าววัชพืชหนาตัดได้ลำบาก
6	70	ข้าววัชพืชมีลักษณะเป็นกอตัดได้ลำบาก
7	80	ตัดข้าววัชพืชได้ตามต้องการ
8	65	ข้าววัชพืชหนาและลำต้นแข็งตัดได้ลำบาก
9	80	ตัดข้าววัชพืชได้ตามต้องการ
10	70	ข้าววัชพืชมีลักษณะเป็นกอตัดได้ลำบาก
11	80	ตัดข้าววัชพืชได้ตามต้องการ
12	85	ตัดข้าววัชพืชได้ตามต้องการ
13	85	ตัดข้าววัชพืชได้ตามต้องการ
14	80	ตัดข้าววัชพืชได้ตามต้องการ
15	85	ตัดข้าววัชพืชได้ตามต้องการ
16	85	ตัดข้าววัชพืชได้ตามต้องการ
17	75	ข้าววัชพืชหนาตัดได้ลำบาก
18	70	ข้าววัชพืชมีลักษณะเป็นกอตัดได้ลำบาก
19	70	ข้าววัชพืชมีลักษณะเป็นกอตัดได้ลำบาก
20	75	ข้าววัชพืชหนาตัดได้ลำบาก
21	80	ตัดข้าววัชพืชได้ตามต้องการ
22	85	ตัดข้าววัชพืชได้ตามต้องการ
23	80	ตัดข้าววัชพืชได้ตามต้องการ
24	80	ตัดข้าววัชพืชได้ตามต้องการ
25	80	ตัดข้าววัชพืชได้ตามต้องการ
26	80	ตัดข้าววัชพืชได้ตามต้องการ
27	75	ข้าววัชพืชหนาตัดได้ลำบาก
28	70	ข้าววัชพืชมีลักษณะเป็นกอตัดได้ลำบาก
29	75	ข้าววัชพืชหนาตัดได้ลำบาก
30	70	ข้าววัชพืชมีลักษณะเป็นกอตัดได้ลำบาก



ภาพที่ 4 กราฟแสดงเวลาการตัดลวดในแต่ละครั้งของเครื่องตัดลวดที่ใช้เครื่องตัดลวดที่ใช้พลังงานไฟฟ้าจากแบตเตอรี่

จากกราฟด้านบนจะเห็นได้ว่าเครื่องต้นแบบสามารถตัดลวดได้เป็นเวลามากที่สุดคือ 85 นาที และเวลาที่ทำน้อยที่สุดคือ 65 นาที

4. อภิปรายผล(Discussion)

จากการเปรียบเทียบผลที่ได้ใช้พลังงานน้ำมันเบนซินกับการใช้พลังงานจากแบตเตอรี่ จะสังเกตได้ว่าประสิทธิภาพการตัดลวดนั้นไม่แตกต่างกัน แต่ผลกระทบจากพลังงานที่ใช้นั้นแตกต่างกัน คือ เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันคือ กลิ่นและเสียงที่เกิดจากการสันดาปของเครื่องยนต์ แต่อย่างไรก็ตามเครื่องยนต์ให้กำลังมากกว่ามอเตอร์ที่ใช้พลังงานจากแบตเตอรี่ จากตารางที่ 2 และตารางที่ 3 สรุปได้ว่าประสิทธิภาพในการตัดลวดไม่แตกต่างกัน แต่การใช้พลังงานไฟฟ้าสามารถใช้ได้นานกว่าประมาณ 10-15 นาที และไม่มีสิ่งรบกวนในการทำงาน อันได้แก่ เสียงและกลิ่นของน้ำมัน วัสดุหาซื้อได้ง่ายตามท้องตลาดทั่วไป น้ำหนักเบาและราคาไม่สูง เครื่องตัดลวดที่ใช้พลังงานไฟฟ้านั้น ถือการนำพลังงานไฟฟ้าไปทดแทนพลังงานจากน้ำมัน ซึ่งหากเปรียบเทียบเรื่องต้นทุนด้านพลังงานพบว่าการใช้พลังงานน้ำมันอยู่ที่ประมาณ 40 บาทต่อชั่วโมง แต่การใช้พลังงานไฟฟ้ามีต้นทุนอยู่ที่ 5-10 บาทต่อชั่วโมงเท่านั้น ดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 เปรียบเทียบต้นทุนด้านพลังงานของเครื่องตัดลวด

เครื่องตัดลวดที่ใช้พลังงานเชื้อเพลิง		เครื่องตัดลวดที่ใช้พลังงานไฟฟ้า	
พลังงานต่อการเติมเชื้อเพลิงเต็มถัง	น้ำมัน 1 ลิตร	พลังงานต่อการชาร์จแบตเตอรี่เต็ม	แบตเตอรี่ 12 V 1 Amp
เวลาใช้งาน	60 นาที	เวลาใช้งาน	120 นาที
ค่าใช้จ่ายในการเติมเชื้อเพลิงเต็มถัง	42 บาท	ค่าใช้จ่ายในการชาร์จแบตเตอรี่เต็ม	10-20 บาท

5. สรุปผล (Conclusion)

จากการดำเนินงานวิจัยครั้งนี้พบว่าเครื่องตัดข้าววัชพืชแบบใช้พลังงานเชื้อเพลิงจากน้ำมันเบนซินสามารถตัดข้าววัชพืชได้ต่ำสุด 45 นาที และเวลาที่ทำได้นานที่สุด 60 นาที ที่ความเร็วรอบของใบมีดตัดข้าววัชพืช 6000 rpm เมื่อเปลี่ยนเป็นการใช้พลังงานไฟฟ้าเครื่องตัดข้าววัชพืชสามารถตัดข้าววัชพืชได้ต่ำสุด 65 นาที และเวลาในการตัดข้าววัชพืชที่ทำได้นานที่สุด 85 นาที และมีน้ำหนักเบาเพียง 2.2 กิโลกรัม สามารถลดความเจ็บปวดจากการทำงานได้ ส่วนการตัดข้าววัชพืชค่อนข้างทำได้ช้าเนื่องจาก

ข้าววัชพืชที่ตัดหนามากเกินไป ซึ่งจะทำให้ใบติดขัดกับใบมีดทำให้การตัดข้าววัชพืชทำได้ช้าลง และทำให้มอเตอร์ใช้กระแสมากขึ้นส่งผลทำให้เวลาในการตัดข้าววัชพืชลดลง ผลการชาร์จแบตเตอรี่ด้วยหม้อแปลงในการชาร์จประจุตั้งแต่แบตเตอรี่หมดจนแบตเตอรี่เต็มประมาณ 1-2 ชั่วโมง กระแสเฉลี่ยจะอยู่ในช่วง 0.4 A-0.6 A

6. กิตติกรรมประกาศ

บทความนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร

7. เอกสารอ้างอิง(Reference)

- [1] สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2555. สถานการณ์สินค้าเกษตรที่สำคัญและแนวโน้ม ปี 2555.
- [2] จรรยา มณีโชติ, 2548. ข้าววัชพืช: ปัญหาและการจัดการ. กรมวิชาการเกษตร สำนักวิจัยพัฒนาการอารักขาพืช กลุ่มวิจัยวัชพืช. กรุงเทพฯ
- [3] อีรพงษ์ จันตะเสน, 2553. การพัฒนาเครื่องตัดหญ้าไฟฟ้าชนิดชาร์จพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับการเกษตร. ระดับวิทยานิพนธ์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- [4] เดชา แซ่ตั้ง, 2544. มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงหมุนแผ่นใส. ระดับวิทยานิพนธ์สถาบันราชภัฏพระนคร.
- [5] ธนพร เสาวรัตน์ชัย, 2548. การพัฒนาเครื่องตัดกิ่งไม้ประสิทธิภาพสูงด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า. ระดับวิทยานิพนธ์มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร.
- [6] ธงชัย ยันตรศรี, ชูรัตน์ ธารารักษ์, ขจรเดช พิมพ์พิไล และสาทิส ถาวรนนท์, 2540. การออกแบบขั้นต้น (Conceptual Design) ตัดแต่งกิ่งไม้ผลยืนต้น. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

เครื่องปั่นแห้งพลาสติก Plastic Spin Dryer Machine

ภาสุระ อังกุลานนท์*, สราวุฒิ พวงชมพู, ศิริสิทธิ์ สิทธิเลิศไพศาล, ปณณวิชสิมลี, มานพ บุตรรักษ์
คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
เลขที่ 9 ถนนแจ้งวัฒนะ แขวงอนุสาวรีย์ เขตบางเขน จังหวัดกรุงเทพฯ 10220
pasurachacha@hotmail.com

บทคัดย่อ

ปัญหาขยะที่เพิ่มขึ้นในปัจจุบัน ทำให้ระบบการฝังและทำลาย มีต้นทุนสูงมากขึ้น โดยในปี 2554 มีขยะจากถุงพลาสติกประมาณร้อยละ 14 ของปริมาณขยะทั้งหมด คิดเป็น 2.18 ล้านตันของปริมาณขยะทั้งหมด ธุรกิจรีไซเคิลจึงเป็นธุรกิจที่ช่วยแปรปริมาณขยะที่มากมายมหาศาลกลับมาใช้ใหม่ หากนำถุงพลาสติกใช้แล้วมาทำการขายเพื่อเข้าสู่ระบบรีไซเคิลจะทำให้เกิดงานและรายได้ในหลายชุมชนและหลายจังหวัดในประเทศไทยเพิ่มขึ้น ดังนั้นบทความนี้เป็นการศึกษาการออกแบบและสร้างเครื่องปั่นแห้งพลาสติก โดยมีวัตถุประสงค์ คือ 1. เพื่อลดปริมาณขยะและสร้างรายได้เพิ่มเติมจากขยะที่เหลือใช้ 2. เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องปั่นแห้งพลาสติกเพื่อใช้ในชุมชนและอุตสาหกรรม และ 3. เพื่อทดสอบและประเมินผลเครื่องปั่นแห้งพลาสติก ซึ่งมีวิธีการศึกษาและการออกแบบและสร้างเครื่อง โดยแบ่งวิธีการออกเป็นขั้นตอนดังนี้คือ ขั้นตอนที่หนึ่งศึกษาปริมาณและชนิดของขยะที่สามารถนำมารีไซเคิลได้เพื่อใช้ในการกำหนดขนาด และชนิดของมอเตอร์ ขั้นตอนที่สองศึกษากระบวนการของเครื่องปั่นแห้งพลาสติก รูปแบบและการขั้นตอนการทำงาน ขั้นตอนที่สามทดสอบหาปริมาณของพลาสติกที่เหมาะสมในการปั่นแต่ละครั้ง รวมถึงเวลาที่เหมาะสมในการปั่นแห้งพลาสติก และขั้นตอนที่ 4 คำนวณหาค่าจุดคุ้มทุนของของเครื่องปั่นแห้งพลาสติก พร้อมทั้งสรุปผล โดยจากการทดสอบเครื่องปั่นแห้งพลาสติกพบว่าปริมาณที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 75-100 กก/ครั้ง และเวลาที่เหมาะสมอยู่ในช่วงเวลา 20-50 นาที ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสภาพอากาศ โดยมีระยะเวลาการคืนทุนอยู่ที่ 0.68 ปี

คำสำคัญ(Key word): เครื่องปั่นแห้งพลาสติก; ปัญหาขยะ; การออกแบบ

Abstract

The problem of increasing wastes at present cause the landfill and destruction system to include higher costs. In the year 2011, there were plastic bags at the rate of approximately 14% of total waste, representing 2.18 million tons of the wastes in each business. As a result, the recycling business assists in transforming a large number of wastes for being used again. If the used plastic bags are brought for sale to enter the recycling system, this manner of handling will generate the jobs and incomes for many communities of several provinces in Thailand increasingly. This paper is a study into the design and creation of the plastic spin dryer by aiming to 1. minimize the quantity of wastes and generate more revenues from remaining, 2. design and create the plastic spin dryer for use in the communities and industries, and 3. test and evaluate the plastic spin dryer. The method of study as well as the design and creation of the device is divided into the following steps. The first step is to study

* ภาสุระ อังกุลานนท์

the quantity and type of wastes that can be brought for recycling to add the value in order to determine the size and kind of motor. The second stage is to study into the process of plastic spin dryer, pattern and the procedure of operation. The third step is to find the quantity of plastics as appropriate for spinning at each time, including the proper time for drying plastics by spinning. The fourth step is to calculate to find the breakeven point of the plastic spin dryer and conclusion of results. According to the study into the information on the wastes in the category of plastic bag based on spin dryer testing, it is found that the appropriate quantity is in the range of 75-100 kg / time and the right time is in the span of 20-50 minutes with the payback period at 0.68 months.

Key word: Plastic Spin Dryer Machine; Waste; Machine Design

1. บทนำ (Introduction)

ปัจจุบันจำนวนประชากรมีอัตราการเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ส่งผลให้มีการใช้ที่ดินเพิ่มขึ้นเพื่อผลิตอาหาร เครื่องอุปโภคบริโภค และเป็นที่อยู่อาศัย ด้วยเหตุนี้ทำให้สิ่งปฏิกูลและเศษสิ่งเหลือใช้มีปริมาณที่เพิ่มมากขึ้นเป็นเงาตามตัว ก่อให้เกิดปัญหาของขยะมูลฝอย ซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญที่ก่อให้เกิดปัญหาด้านสิ่งแวดล้อม และด้านสุขภาพอนามัย เนื่องจากขยะมูลฝอย (กรมควบคุมมลพิษ, 2547) เป็นสิ่งปฏิกูลและสารพิษที่ปนเปื้อนอยู่ในแหล่งน้ำ ดิน และอากาศ ตลอดจนบางส่วนตกค้างอยู่ในอาหาร มีผลทำให้ประชาชนทั่วไปเสี่ยงต่ออันตรายจากการเป็นโรคต่าง ๆ เช่น โรคกระเพาะ และ โรคผิวหนัง เป็นต้น ซึ่งในปี 2555 มีขยะมูลฝอยเกิดขึ้น 16 ล้านตัน หรือ 43,000 ล้านตันในจำนวนนี้ 22 เปอร์เซ็นต์เป็นขยะที่เกิดขึ้นในกรุงเทพฯ ขณะที่ขยะที่ถูกนำไปกำจัดอย่างถูกต้องตามหลักวิชาการมีเพียง 36 เปอร์เซ็นต์โดยขยะที่เหลือถูกกำจัดทิ้งด้วยการเผาหรือกองทิ้งในพื้นที่รกร้าง โดยขยะนั้นสามารถแบ่งออกเป็น 3 ประเภทใหญ่ ๆ ได้แก่ 1. ขยะย่อยสลายได้ เช่น เศษอาหารและพืชผัก 2. ขยะรีไซเคิล เช่น แก้ว พลาสติก โลหะ/อโลหะ และ 3. ขยะพิษ เช่น กระป๋องยาฆ่าแมลง หลอดไฟ ถ่านไฟฉาย เป็นต้น เมื่อปี 2541 กรมควบคุมมลพิษ ได้มีการศึกษาเรื่อง แนวทางการลดมลพิษโครงการพัฒนาของเสีย ในโครงการป้องกันและแก้ไขปัญหาหมอกพิษจากสารเคมีและของเสีย ผลการศึกษาพบว่า การนำเอาวัสดุ ประเภทแก้ว กระดาษ พลาสติก และโลหะต่าง ๆ มารีไซเคิลยังมีน้อย ควรส่งเสริมการสร้างกลไกการนำวัสดุเหลือใช้มารีไซเคิลให้มากขึ้น รวมถึงการปรับปรุงของใช้แล้วกลับมาใช้ใหม่

ทั้งนี้ผู้วิจัยมุ่งให้ความสนใจเป็นพิเศษกับขยะพลาสติก เนื่องจากพลาสติกอยู่ในชีวิตประจำวันของเรามากที่สุด เช่น ถุงพลาสติก สำหรับใส่อาหารร้อน-เย็น ถุงพลาสติกสำหรับใส่ของตามห้างหรือร้านค้าต่าง ๆ เป็นต้น แต่ในปัจจุบันวิธีการกำจัดขยะพลาสติกนั้นจะถูกทิ้งในบ่อฝังกลบและต้องใช้เวลาในการย่อยสลาย (พรัตน์เพชรภักดี, 2551) และจากการศึกษาการรีไซเคิลขยะพลาสติกพบว่าหากขยะพลาสติกมีความชื้นสูง (เปียก) และมีสิ่งสกปรกปนเปื้อนอยู่ เช่น ดิน บริษัทรีไซเคิลขยะพลาสติกจะทำการล้างทำความสะอาดและบั่นแห้งก่อน ทำให้ขยะพลาสติกประเภทดังกล่าวจะขายไม่ได้ราคาเท่าที่ควร ดังนั้น เพื่อเป็นการลดปริมาณขยะและสร้างรายได้เพิ่มเติมจากขยะที่เหลือใช้ ผู้วิจัยจึงคิดค้นออกแบบและสร้างเครื่องปั่นแห้งพลาสติก เพื่อลดปริมาณขยะพลาสติก อีกทั้งเพิ่มมูลค่าและสามารถสร้างงานและสร้างรายได้ให้กับชุมชนต่อไป (สุชาติ ไชยสวัสดิ์และคณะ, 2546)

2. วิธีวิจัย (Research Methodology)

ขั้นตอนของโครงการสร้างเครื่องปั่นแห้งพลาสติกนั้นคณะผู้วิจัยได้ศึกษาปริมาณ ชนิดของขยะพลาสติกที่สามารถนำมารีไซเคิล เพื่อใช้สำหรับการกำหนดขนาดและชนิดของมอเตอร์ อีกทั้งศึกษากระบวนการทำงานของเครื่องปั่นแห้งพลาสติก เพื่อทดสอบหาปริมาณของพลาสติกที่เหมาะสมสำหรับการปั่นแต่ละครั้งรวมถึงเวลาที่เหมาะสมในการปั่นแห้งพลาสติก และคำนวณหาจุดคุ้มทุนสำหรับการลงทุนในครั้งนี้ด้วย (เสรีย์ ตู่ประกาย และคณะ, 2547, นภัทรวิจันเทพินทร์, 2547)

2.1 เศรษฐศาสตร์วิศวกรรม

ตัวแปรที่ใช้ในการวิเคราะห์มูลค่าของเงิน (สุรเมศวร์ พิริยะวัฒน์, 2551)

P = มูลค่าหรือผลรวมของเงินในช่วงเวลาที่กำหนดให้เป็นปัจจุบัน

F = มูลค่าหรือผลรวมของเงินในอนาคต อาจใช้แทนค่าของ Futureworth (FW) และ Futurevalue (FV) มี

หน่วยบาท

A = มูลค่าของเงินรายเดือนหรือรายปี ที่มีค่าสม่ำเสมอเท่ากัน อาจใช้แทนค่าของ Annualworth (AW) และ Equivalentuniformannualworth (EUAW) หน่วยบาทต่อปี หรือบาทต่อเดือน

n = จำนวนช่วงเวลาสำหรับการวิเคราะห์ หน่วย ปี เดือน หรือวัน

i = อัตราดอกเบี้ย หรืออัตราผลตอบแทนต่อช่วงเวลา หน่วย เปอร์เซ็นต์ต่อปี เปอร์เซ็นต์ต่อเดือน หรือเปอร์เซ็นต์ต่อวัน

การคำนวณผลรวมค่าเดียว (Single-sum calculation) ค่าของเงินในอนาคตจากเงินจำนวนเดียวกันที่มีอยู่ในปัจจุบัน สามารถคำนวณได้จาก สมการต่อไปนี้

$$F = P(1+i)^n \quad (1)$$

โดย $(1+i)^n$ เรียกว่า Single-sum compound amount factor เขียนสัญลักษณ์ได้เป็น $(F/P, i\%, n)$ หรืออาจคำนวณค่าของเงินในปัจจุบันเมื่อทราบจำนวนเงินในอนาคตได้จากสมการต่อไปนี้

$$P = F \left(\frac{1}{(1+i)^n} \right) \quad (2)$$

โดยที่ $\left(\frac{1}{(1+i)^n} \right)$ เรียกว่า Single-sum present worth factor เขียนสัญลักษณ์ได้เป็น $(P/F, i\%, n)$

การคำนวณเงินเท่ากันแบบสม่ำเสมอตามช่วงเวลา (Uniform series formulas) การคำนวณจำนวนเงินด้วยวิธีนี้ จะพิจารณาเงินที่เป็นแบบรายเดือน หรือรายปี ตามระยะเวลาและอัตราดอกเบี้ยที่กำหนดโดยอาจกำหนดจำนวนเงินที่มีค่าสม่ำเสมอเท่ากัน ตามช่วงเวลาและทำการคำนวณหาเงินในปัจจุบัน หรือกำหนดเงินในปัจจุบันแล้วคำนวณหาเงินตามช่วงเวลาที่ต้องการ ซึ่งสามารถคำนวณได้โดยใช้สมการต่อไปนี้

$$A = P \left(\frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \right) \quad (3)$$

2.2 ระยะคืนทุน (Payback Period)

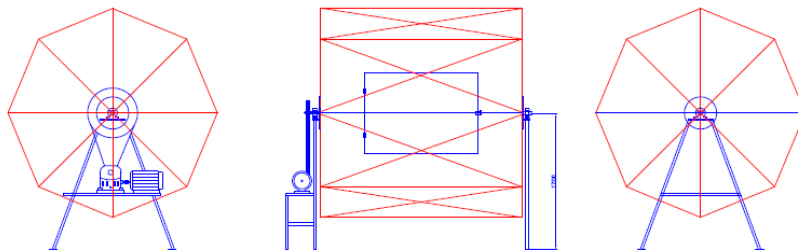
เกณฑ์ระยะคืนทุนเป็นเกณฑ์ที่คำนึงระยะเวลาที่ผลประโยชน์สุทธิจากการดำเนินงาน (ผลกำไรที่ได้รับแต่ละปีรวมกัน โดยเป็นกำไรสุทธิหลังหักภาษี ดอกเบี้ย และค่าเสื่อมราคาของ ทรัพย์สิน) เท่ากับค่าใช้จ่ายในการลงทุนเริ่มแรกของโครงการ นั่นคือทำการพิจารณาจำนวนปีที่ได้รับผลประโยชน์คุ้มกับค่าใช้จ่ายในการลงทุน ดังนั้น หากดำเนินงานแล้วผลประโยชน์คุ้มกับจำนวนเงินที่ลงทุนได้รวดเร็วก็จะได้ เพราะความเสี่ยงน้อยและผู้ลงทุนสามารถนำเงินที่ถอนทุนได้ไปลงทุนเพื่อหาประโยชน์ในกิจการอื่น ๆ ต่อไปเกณฑ์การตัดสินใจในแบบระยะคืนทุนนี้เป็นที่นิยมใช้กันมากในวงการธุรกิจหรือกรณีที่มีความเสี่ยงสูง อาทิ กรณีผู้ประกอบการคิดค้นสิ่งประดิษฐ์ใหม่ โดยยังไม่ขอลิขสิทธิ์ การนำผลิตภัณฑ์ดังกล่าวออกสู่ตลาดอาจถูกคู่แข่งเลียนแบบ นอกจากนั้น อาจเผชิญกับความเสี่ยง ซึ่งเกี่ยวกับสถานการณ์การเมืองในประเทศที่จะลงทุนหรือในอุตสาหกรรมซึ่งมีเทคโนโลยีใหม่ ๆ เกิดขึ้นเร็วมาก ดังนั้น นักลงทุนต้องเลือกโครงการที่ให้ผลประโยชน์คืนเร็วในระยะเวลานั้น

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน} = \frac{\text{ค่าใช้จ่ายในการลงทุนเริ่มแรก}}{\text{ผลประโยชน์สุทธิเฉลี่ยต่อปี}}$$

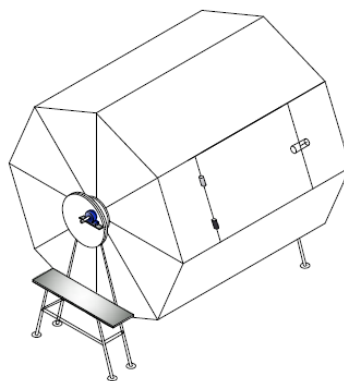
3. ผลการวิจัย (Results)

รูปแบบและโครงสร้างในปัจจุบันส่วนใหญ่ (ธีระพัฒน์ กุวรรณรัตน์ และคณะ, 2550 , ธีระพัฒน์ กุวรรณรัตน์ และคณะ, 2551) เป็นรูปแบบโครงสร้างที่เป็นแปดเหลี่ยมใช้ระบบกลไกโดยใช้มอเตอร์เป็นตัวส่งกำลังและมีการท่อบด้วยมู่เหลยสายพาน การปั่นแห้ง ก่อนที่จะนำถุงพลาสติกมาปั่นแห้ง ต้องผ่านการชักล้างด้วยการนำถุงพลาสติกไปแช่ในน้ำเพื่อทำความสะอาดและฆ่าเชื้อแล้วจึงมาปั่นแห้ง หรืออีกอย่างก็นำน้ำผสมกับน้ำยาซักผ้าเข้าไปในตะกร้อปั่นแห้งและฉีดน้ำสะอาดด้วยสายยางเพื่อล้างน้ำยาออกและปั่นจนแห้งรูปแบบและโครงสร้างใหม่ที่แตกต่างจากเดิมรูปแบบโครงสร้างเป็นแปดเหลี่ยมเหมือนเดิม เพราะโครงสร้างแปดเหลี่ยมจะมีมุมที่ช่วยให้พลาสติกสะเด็ดน้ำได้ไวขึ้น

รูปแบบกลไก ใช้มอเตอร์เป็นตัวแปลงพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานทางกล ต่อเข้ากับวอร์มเกียร์ ซึ่งวอร์มเกียร์จะใช้ในการท่อบให้มีความเร็วในการหมุนตามที่ต้องการการปั่นแห้ง สามารถนำถุงพลาสติกใส่เข้าไปในตะกร้อได้เลย โดยที่ไม่ต้องผ่านการชักล้างด้วยบ่อชักล้าง ในตะกร้อปั่นแห้งนี้จะใช้วิธีการชักล้างโดยการฉีดพ่นน้ำยาและน้ำสะอาดจากด้านบนเพื่อชักล้างและปั่นแห้งทีเดียว โดยไม่ต้องผ่านบ่อชัก (นภัทรวิจนเทพินทร์ และคณะ, 2550 , นภัทรวิจนเทพินทร์และคณะ, 2553)จากการวิเคราะห์และปรับปรุงสามารถสรุปออกมาเป็นแบบเพื่อการผลิตได้ดังได้ภาพที่ 1 และภาพที่ 2



ภาพที่ 1 รูปภาพ ด้านข้าง และด้านหน้า ของ เครื่องปั่นแห้งพลาสติก



ภาพที่ 2 เครื่องปั่นแห้งพลาสติก

3.1 วัสดุและอุปกรณ์

1. เหล็กแป๊บกลมขนาด 1/2"x 2.0 มิลลิเมตร (4ทุน) และขนาด 1.1/4" x 3.2 มิลลิเมตร
2. ลวดตาข่ายแบบตาสี่เหลี่ยมขนมเปียกปูน ช่องตาข่าย กว้าง 1 1/2 นิ้ว ใช้ลวดขนาด 3.20 มิลลิเมตร
3. ตลับลูกปืนตึกตา SKF SYJ 506 ขนาดรูในเพลลา 30 มิลลิเมตร
4. มอเตอร์ขนาด 3 แรง 2 สาย (น้ำเงิน) ไฟฟ้า 220 โวลต์แบบขาตั้งความเร็วรอบ 1,450 รอบ
5. คัปปลิง (Cupping) แบบยืดหยุ่น (Flexible Couplings) ขนาดรูเข้า 20 มิลลิเมตร. ขนาดรูออก 22 มิลลิเมตร.
6. วอร์มเกียร์เกียร์ทดรอบ (Worm gear speed reducer) "(อัตราทด 1:20) เพลลาเข้าอยู่ล่าง แรงม้าเข้า 3 HP เพลลาเข้า 22 มิลลิเมตร. เพลลาออก 32 มิลลิเมตร
7. มู่เลย์แบบ 2 ร่อง (B) ขนาด 3 นิ้ว 1 ตัว แบบ 2 ร่อง (B) 12 นิ้ว 1 ตัว
8. สายพานร่อง (B) จำนวน 2 เส้น
9. ท่อน้ำประปา PVC ขนาด 18 มิลลิเมตร. (1/2 นิ้ว) เกรด 8.5 ราคา
10. สามทางเกลียวใน 18 มิลลิเมตร (1/2 นิ้ว)
11. หัวฉีดน้ำแรงดัน เกลียวนอก 18 มิลลิเมตร (1/2 นิ้ว)
12. โครงสร้างเหล็ก งานประกอบ และอุปกรณ์งานไฟฟ้า

ราคาโดยรวม ประมาณ 42,500 บาท

3.2 วิธีการใช้และปริมาณที่เหมาะสม

1. นำถุงพลาสติกใส่เข้าไปในช่องใส่ของเครื่องปั่นแห้งพลาสติก ปริมาณในการใส่ 50-60 กิโลกรัม (ไม่รวมน้ำ)
2. เปิดน้ำ แล้ว ต่อกระปุกใส่น้ำยาซักผ้า น้ำจากด้านบนเครื่องปั่นแห้งพลาสติก จะผ่าน หัวฉีดน้ำแรงดัน ให้กระจายน้ำออกมา น้ำที่ออกมาจะผสมน้ำยาซักผ้า ซึ่งมีผลทำให้คราบสกปรกหลุดออกได้ เปิดน้ำทิ้งไว้ประมาณ 3 นาที
3. เปิดเครื่องให้เครื่องปั่นแห้งพลาสติก หมุนพร้อมพ่นน้ำที่ผสมน้ำยา ทิ้งไว้ 2 นาที และปิดน้ำปล่อยให้ตะกร้อหมุนไปประมาณ 5 นาที
4. เปิดน้ำ โดยใช้สายสะดือผ่าน หัวฉีดน้ำแรงดัน ใส่เข้าไปในตะกร้อปั่นแห้งเพื่อชะล้างน้ำยาซักผ้าเชื้อออกประมาณ 3-5 นาที แล้วปิดน้ำ น้ำหนักทั้งหมดในเครื่องปั่นแห้งพลาสติก ประมาณ 100 กิโลกรัม รวมน้ำที่ฉีดเข้าไปแล้ว ใช้เวลาในการปั่นแห้ง 20-50 นาทีถึงจะเสร็จ ขึ้นอยู่กับแสงแดด แดดแรงๆ ใช้เวลา 30 นาทีที่แห้งสนิทแต่ ถ้าแดดน้อยใช้เวลา 40-50 นาทีเพราะความชื้นในอากาศในหน้าฝน จะมีผลต่อการปั่นแห้ง

ตารางที่ 1 ผลการทดลองเครื่องปั่นแห้งพลาสติกเทียบกับสภาวะแดด 2 สภาวะทำการทดลอง 4 ครั้ง ครั้งละ 5 รอบ

จำนวนครั้งที่ทดลอง	แดดจัด		ครึ้ม(ไม่มีแดด)	
	เวลาปั่นแห้ง (นาที)	%ความแตกต่างของน้ำหนัก	เวลาปั่นแห้ง (นาที)	%ความแตกต่างของน้ำหนัก
1	20	11.47	20	09.25
2	30	12.30	30	09.50
3	40	13.47	40	10.01
4	50	13.98	50	13.58

จากตารางที่ 1 ผลการทดลองเครื่องปั่นแห้งพลาสติกเทียบกับสภาวะแดด 2 สภาวะทำการทดลอง 4 ครั้ง ประสิทธิภาพที่เกิดขึ้นจะขึ้นอยู่กับสภาวะแสงแดด ที่เป็นเช่นนี้ก็เพราะความชื้นในอากาศที่มีผลการระเหยของน้ำขณะเครื่องทำงาน

4. อภิปรายผล (Discussion)

จากการนำผลที่ได้มาทำการวิเคราะห์สามารถสรุปได้ดังนี้

จำนวนเงินลงทุนเริ่มต้น 32,500 บาท ค่าใช้จ่ายต่อเดือน 3,000 บาท อายุการใช้งาน 24 เดือน โยมูลค่าซากมีค่าเท่ากับ 5,000 บาท ค่าแรงเดือนละ 9,000 บาท รายได้ที่คาดว่าจะได้รับ ประกอบด้วย รายได้ที่เกิดจากการขาย พลาสติก เหลือใช้ในชุมชน มีค่าประมาณ 50 กิโลกรัม / วัน เดือนละ ประมาณ 1,500 กิโลกรัม โดยราคาเฉลี่ยอยู่ที่ กิโลกรัมละ 10 บาท รายได้ รวม 15,000 บาท ต่อเดือน

ตารางที่ 2 แสดงค่าใช้จ่ายผลประโยชน์และผลประโยชน์สุทธิของโครงการ

ปี	ค่าใช้จ่ายในการลงทุนเริ่มแรก	ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน	ผลประโยชน์	มูลค่าผลประโยชน์สุทธิ
1	42,500	81,000	180,000	56,500
2	-	81,000	185,000	104,000

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน} = \frac{123,500}{180,000} = 0.68 \text{ ปี}$$

เมื่อลงทุนโครงการนี้จะคืนทุนในระยะเวลา 0.68 ปี และยังสามารถให้ผลประโยชน์ต่ออีกหลายปี

5. สรุปผล (Conclusion)

รีไซเคิล (Recycle) เป็นการจัดการวัสดุเหลือใช้ที่กำลังจะเป็นขยะ โดยนำไปผ่านกระบวนการแปรสภาพ โดยเฉพาะการหลอมเพื่อให้เป็นวัสดุใหม่แล้วนำกลับมาใช้ได้อีก ซึ่งวัสดุที่ผ่านการแปรสภาพนั้นอาจจะเป็นผลิตภัณฑ์เดิมหรือผลิตภัณฑ์ใหม่ก็ได้ รีไซเคิลมีความหมายต่างจากรีไซเคิล (Reuse) ซึ่งหมายถึงการนำกลับมาใช้ใหม่โดยไม่ผ่านกระบวนการแปรสภาพใดๆ ทั้งสิ้น (ศศินันท์ จิระฉัตรพัฒน์, 2554 , ประภาศิลปอนเนกสุวรรณมณี, 2555) ธุรกิจรีไซเคิลเริ่มมีความสำคัญเพราะประเทศไทยมีขนาดใหญ่มีพลเมืองกว่า 63 ล้านคน ในแต่ละวันจะมีของทิ้งจากโรงงานและครัวเรือนจำนวนมาก ถ้าเรานำของเหล่านั้นมารีไซเคิล หรือซื้อมาแล้วส่งให้โรงงานรีไซเคิล ทั้งในและต่างประเทศก็จะทำเงินได้อย่างมาก ตลาดรับซื้อเศษพลาสติกมีเป็นธุรกิจขนาดใหญ่มากและในอนาคตจะยิ่งทวีความสำคัญมากขึ้น เนื่องจากสิ่งของทุกอย่างสามารถนำมารีไซเคิลได้ อย่างเช่นเม็ดพลาสติกได้มาจากการสกัดน้ำมัน ซึ่งขณะนี้ราคาน้ำมันสูงขึ้นมาก เพราะฉะนั้นจึงมีคนหันมาจับธุรกิจค้าของเก่า เพื่อนำไปรีไซเคิลเพิ่มขึ้นเป็นเงาตามตัว โรงงานที่ผลิตสินค้าจากพลาสติกจากวัสดุรีไซเคิลจะมีต้นทุนวัตถุดิบถูกกว่ามาก พลาสติกใหม่ราคา กิโลกรัมละ 80-100 บาท แต่ของเก่า กิโลกรัมละ 15-20 บาท เท่านั้น ซึ่งคุณภาพเหมือนกัน ขายสินค้าได้ราคาเท่ากัน เมื่อเป็นอย่างนี้จะเลือกอย่างไร ก็ต้องเลือกของเก่า ยังเศษพลาสติกอีกหลายชนิดที่รอให้เข้าไปจัดการและพบโอกาสทำเงินด้วยมุมมองใหม่ จากการออกแบบและการทดลอง พบว่า เครื่องปั่นแห้งพลาสติก เป็นเครื่องที่มีส่วนประกอบมีจำนวนไม่มากสามารถนำไปใช้สร้างและใช้ในการแปรมูลค่าของขยะชุมชนก่อให้เกิดงานและเกิดรายได้โดยโครงการนี้จะคืนทุนในระยะเวลา 0.68 ปีซึ่งถือว่าเร็วและคุ้มค่าต่อการลงทุนอย่างมากแล้วโดยสรุปข้อดีของเครื่องได้ดังนี้

ข้อดี

1. ใช้งานได้ง่ายกว่าแบบเดิมสามารถนำถุงพลาสติกใส่เข้าไปได้เลยโดยไม่ต้องผ่านบ่อชักล้างก่อน
2. ช่วยลดเวลาในการทำงานและประหยัดพลังงานไฟฟ้า
3. วัสดุที่ใช้หาซื้อได้ง่ายและมีขายตามท้องตลาดทั่วไป
4. กระบวนการผลิตไม่ยุ่งยากเข้าใจง่ายละก่อให้เกิดงานและรายได้

ข้อเสีย

1. วัสดุที่ใช้ออกให้เกิดสนิมได้ง่ายเพราะเป็นเหล็กพ่นสี ถ้าใช้วัสดุอื่นที่ทนการกัดกร่อนได้มากกว่าก็จะมีต้นทุนที่สูงกว่า
2. การทำให้แห้ง ยังจำเป็นต้องใช้พลังงานความร้อนแสงอาทิตย์เป็นพลังงานความร้อนเพื่อให้แห้งสนิทมากยิ่งขึ้น

6. กิตติกรรมประกาศ

บทความนี้ได้รับทุนสนับสนุนจาก คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] กรมควบคุมมลพิษ, 2547. คู่มือปฏิบัติการในการดูแลรักษาและเดินระบบฝังกลบขยะมูลฝอย กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม
- [2] พรรัตน์ เพชรภักดี, 2551. พลังงานทางเลือก การรีไซเคิลขยะพลาสติกเป็นน้ำมัน, สถาบันสิ่งแวดล้อมอุตสาหกรรมสภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย
- [3] สุชาดา ไชยสวัสดิ์, จารุรัตน์ วรนิสรกุล, เฉลิมราช วันทวิน, สิริทรเทพ เต้าประยูร, โสฬส สุวรรณยืน, สรเสกข์ กุลมัย และเพ็ญประภา บัวลอย, 2546.การจัดระบบบริหารจัดการขยะภายในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, การประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 29, 20-22 ตุลาคม, มหาวิทยาลัยขอนแก่น, จ.ขอนแก่น, หน้า 251.
- [4] เสรีย์ ตูประกาย สิริวัลด์ เรืองช่วย และ จิรสรณ์ สันติสิริสมบุรณ์, 2547.การจัดการน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการโดยเครื่องกลั่นน้ำพลังงานแสงอาทิตย์, ประชุมวิชาการช่างงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม ครั้งที่ 13, 20-22 ตุลาคม 2547 ณ โรงแรมดวงตะวัน จังหวัดเชียงใหม่.
- [5] นภัทร วัจนเทพินท์, 2548. การวิจัยและพัฒนาระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาอาคารขนาด 5 KW แบบเชื่อมต่อเข้าระบบ, การประชุมเชิงวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 1, 11-13 พฤษภาคม 2548 โรงแรมเอมบาซาเดอร์ ซิตี้ จอมเทียน จังหวัดชลบุรี.
- [6] สุรเมศวร์ พิริยะวัฒน์, 2551. เศรษฐศาสตร์วิศวกรรม, ภาควิชาวิศวกรรมโยธา, มหาวิทยาลัยบูรพา.
- [7] อีระพัฒน์ กุวรรณรัตน์ และ วัชรินทร์ ดงบัง, 2550. สมรรถนะของอุปกรณ์อบแห้งกึ่งโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์, การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 4 ระหว่างวันที่ 14 -16 พฤษภาคม 2550 จังหวัดนครปฐม.
- [8] อีระพัฒน์ กุวรรณรัตน์ และ วัชรินทร์ ดงบัง, 2551. สมรรถนะของอุปกรณ์อบแห้งกึ่งโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์. การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 4, จังหวัดนครปฐม.
- [9] นภัทร วัจนเทพินท์ และ เฉลิมพล เรืองพัฒนาวิวัฒน์, 2550. ระบบเฝ้าสังเกตการทำงานของระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบต่อตรงเข้าระบบ, การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 3ระหว่างวันที่ 23-25 พฤษภาคม 2550 โรงแรมใบหยกสกาย, กรุงเทพฯ.
- [10] นภัทร วัจนเทพินท์ ปกรณ์ สมบุรณ์ กิจ เตือนใจ อาชีวะพนิช, 2553. การพัฒนาชุดทดลองระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์, การประชุมวิชาการวิศวกรรม ครั้งที่ 8 การพัฒนาการ ถ่ายทอดองค์ความรู้ทางวิศวกรรมสู่สากล 6-8 พฤษภาคม 2553 ณ โรงแรมเลอ เมอริเดียน จังหวัด เชียงใหม่
- [11] ศศิณันท์ จิระฉัตรพัฒน์, 2554.การศึกษาความเป็นไปได้ของการลงทุนในการผลิตเครื่องปรับอากาศในเขตมินบุรี, ระดับวิทยานิพนธ์, มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒประสานมิตร
- [12] ประกาศิตป์ อนนเศรษฐมนณี, 2555. การศึกษาความคุ้มค่าของโครงการเปลี่ยนหลอดไฟฟ้าเพื่อความมั่นคงด้านพลังงาน กองดุริยางค์ทหารบก, ระดับวิทยานิพนธ์, มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์

การใช้โปรแกรม HYSYS ในการหาภาวะที่เหมาะสมในการกลั่นเอทิลแอลกอฮอล์ของ โครงการสวนจิตรลดา Using HYSYS in Finding Optimum Condition for Ethyl Alcohol Distillation in Chitralada Palace Project

ธนิตร์ พิพัฒพันธุ์*, จิระศักดิ์ บุญมาก, เพ็ญลดา อินถา, พิษณุพันธ์ นวลชา

ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

99/6 ต.คลองหนึ่ง อ.คลองหลวง จ.ปทุมธานี 12100

btaniti@engr.tu.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์หลักอยู่ที่การนำโปรแกรม HYSYS มาใช้จำลองหาภาวะที่ใช้พลังงานน้อยที่สุดในกระบวนการกลั่นเอทิลแอลกอฮอล์ของโครงการสวนจิตรลดา (ที่กำลังการผลิต 25 ลิตรต่อชั่วโมง) ซึ่งมีหอกลั่นเรียงต่อกันสองตัว (โดยที่หอแรกเป็นหอกลั่นสามมี 18 ถาด และ หอที่สองซึ่งเป็นหอกลั่นเพื่อให้ได้เอทิลแอลกอฮอล์ความบริสุทธิ์ 95% มี 55 ถาด) และหน่วยทำเอทิลแอลกอฮอล์ให้บริสุทธิ์ถึงระดับ 99.5% โดยใช้กระบวนการดูดซับด้วยโมเลกุลาร์ซีฟ จากผลการทดลองเมื่อใช้สมการ NRTL และ สมการ UNIQUAC ในการคำนวณสัดส่วนของเอทิลแอลกอฮอล์ที่ได้จากการกลั่น พบว่ามีค่าใกล้เคียงกับสัดส่วนจากผลการกลั่นจริง โดยการป้อนวัตถุดิบอุณหภูมิ 48 องศาเซลเซียสเข้าไปที่ถาด 16 ของหอกลั่นที่ 1 ด้วยอัตราการป้อนเท่ากับ 0.0972 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง และมีการป้อนไอของสารผสมของเอทิลแอลกอฮอล์ความเข้มข้นประมาณ 45% อุณหภูมิ 47 องศาเซลเซียสจากหอที่ 1 เข้าไปยังหอที่ 2 ด้วยอัตราการป้อน 67 กิโลกรัมต่อชั่วโมง โดยที่กระบวนการกลั่นดังกล่าวนี้จะใช้พลังงานน้อยที่สุด แต่ในส่วนของกระบวนการผลิตเอทิลแอลกอฮอล์ให้บริสุทธิ์ความเข้มข้น 99.5% พบว่าการเปลี่ยนอุณหภูมิ และความดันไม่ทำให้ความบริสุทธิ์สุดท้ายของเอทิลแอลกอฮอล์เปลี่ยนแปลงไป แต่ถ้าหากใช้อุณหภูมิ 85.7 องศาเซลเซียสและความดัน 135.8 กิโลปาสกาล จะสามารถประหยัดพลังงานได้มากที่สุด อนึ่ง จากผลการคำนวณหาสภาวะที่เหมาะสมพบว่า ถ้าผลิตเอทิลแอลกอฮอล์ด้วยกำลังการผลิตสูงสุด โดยใช้การกลั่นและการทำให้บริสุทธิ์ตามที่เสนอนี้ ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการที่ใช้ในการผลิตเอทิลแอลกอฮอล์จะต่ำกว่ารายรับของเอทิลแอลกอฮอล์ที่จะขายได้ถึงประมาณ 4,700 บาทต่อวัน

คำสำคัญ : การกลั่น; การดูดซับ; เอทิลแอลกอฮอล์ 95%; HYSYS; สวนจิตรลดา

Abstract

The ethyl alcohol distillation plant in Chitralada Palace consists of two distillation columns and an ethyl alcohol purifying unit using molecular sieves. The first distillation column consists of 18 trays and is used to distill solution obtained from ethyl alcohol fermentation. The second distillation column consists of 55 trays and is used to distill ethyl alcohol-water vapor (ethyl alcohol ca. 45%) from the first distillation column to obtain 95% ethyl alcohol solution, which will be purified to 99.5% purity by the ethyl alcohol purifying unit. These units can produce ethyl alcohol in quantity of 25 litres per day. The objective of this work is to find the optimum operating condition for these units by using HYSYS simulation program. The NRTL and UNIQUAC equation of states were used in calculation.

* ธนิตร์ พิพัฒพันธุ์

By calculation the energy consumed was minimized when 0.0972 M³/h of solution obtained from ethyl alcohol fermentation (47 °C) was fed into the 16th tray of the first distillation column, and later 67 kg/h of ethyl alcohol-water vapor (48 °C) from the first distillation column was fed into the second distillation column. It was also found that temperature and pressure in ethyl alcohol purifying process did not affect ethyl alcohol purity. Nevertheless, use of 85.7 °C and 135.8 kPa in ethyl alcohol purification (adsorption unit) could save energy most. It is estimated that when the above-mentioned operating conditions are employed in full production capacity, the operating cost of ethyl alcohol production will be lower than the price of the ethyl alcohol obtained around 4,700 baht per day.

Key word : Distillation; Adsorption; 95% Ethyl Alcohol; HYSYS;
Chitralada Palace

1. บทนำ (Introduction)

จากวิกฤตการณ์น้ำมันในช่วงเวลาที่ผ่านมาราคาน้ำมันดิบในตลาดโลกสูงขึ้นเป็นอย่างมาก เป็นเหตุให้เศรษฐกิจภายในประเทศชะลอตัวลง จึงมีแนวทางในการพัฒนาการผลิตเอทิลแอลกอฮอล์ จากผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร เพื่อนำมาผสมกับน้ำมันเบนซิน อันจะทำให้สามารถลดการนำเข้าน้ำมันดิบ ในปี พ.ศ. 2528 พระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว ทรงมีพระราชดำริให้โครงการส่วนพระองค์สวนจิตรลดา ศึกษาการนำอ้อยมาแปรรูปให้เป็นเอทิลแอลกอฮอล์ และผสมกับน้ำมันเบนซิน อย่างไรก็ตามในปัจจุบันโครงการส่วนพระองค์สวนจิตรลดาได้หยุดดำเนินงานในส่วนของการหมักและกระบวนการกลั่นไป เนื่องจากได้ผลิตเอทิลแอลกอฮอล์ในปริมาณน้อย อีกทั้งยังสิ้นเปลืองพลังงานและค่าใช้จ่ายในการผลิตสูง เป็นเหตุให้ได้ผลตอบแทนทางเศรษฐกิจไม่คุ้มค่าเท่าที่ควร ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะศึกษาและวิเคราะห์กระบวนการผลิตเอทิลแอลกอฮอล์โดยรวมทั้งหมด เพื่อจะหาแนวทางในการปรับปรุงกระบวนการผลิตดังกล่าวให้ได้ผลิตภัณฑ์ในปริมาณที่มากขึ้น รวมทั้ง มีการใช้พลังงานในกระบวนการผลิตลดลง โดยผู้วิจัยเลือกใช้โปรแกรม HYSYS ซึ่งเป็นโปรแกรมที่มีผู้นิยมใช้งานกันอย่างกว้างขวาง ในการจำลองกระบวนการรวมถึงหาแนวทางในการปรับปรุงกระบวนการ เพื่อให้เกิดผลตอบแทนทางเศรษฐกิจสูงสุด

2. วิธีวิจัย (Research Methodology)

ศึกษาหาข้อมูลพื้นฐานที่จำเป็นต่อโครงงานวิจัย หลังจากนั้นทำการติดต่อประสานงานกับโรงกลั่นเอทิลแอลกอฮอล์ในโครงการสวนจิตรลดา เพื่อให้ได้ข้อมูลการกลั่นทั้งระบบ เมื่อได้ข้อมูลที่ต้องการศึกษาครบถ้วนแล้ว จึงทำการจำลองกระบวนการโดยใช้โปรแกรม HYSYS ซึ่งเป็นโปรแกรมที่นิยมใช้ในการจำลองกระบวนการในการผลิตในอุตสาหกรรม

อนึ่งในการเลือกสมการ Property Package ที่เหมาะสมเพื่อการจำลองเหตุการณ์ในโปรแกรม HYSYS จะใช้วิธีการของ Bob Seader ซึ่งอาศัยหลักการความแตกต่างของคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของโมเลกุล รวมถึงสถานะความเป็นขั้วของเอทิลแอลกอฮอล์และน้ำในการเลือกสมการที่เหมาะสม

การจำลองเหตุการณ์โดยโปรแกรม HYSYS จะกำหนดเงื่อนไขให้เหมือนกับกระบวนการผลิตจริง จากนั้นจึงทำการวิเคราะห์ผลของตัวแปรต่างๆ อาทิเช่น ความดัน, อุณหภูมิ รวมถึงตำแหน่งในการป้อนสารเข้าสู่หอกลั่น ว่าจะมีผลต่อกระบวนการโดยรวมอย่างไร โดยมุ่งเน้นศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อการประหยัดพลังงานที่ใช้ในกระบวนการกลั่นเอทิลแอลกอฮอล์ และกระบวนการทำให้บริสุทธิ์โดยวิธีโมเลกุลาร์ซีฟ ตามลำดับ

3. ผลการวิจัย (Results)

3.1 สมการ Property Package ที่เลือกใช้โปรแกรม HYSYS

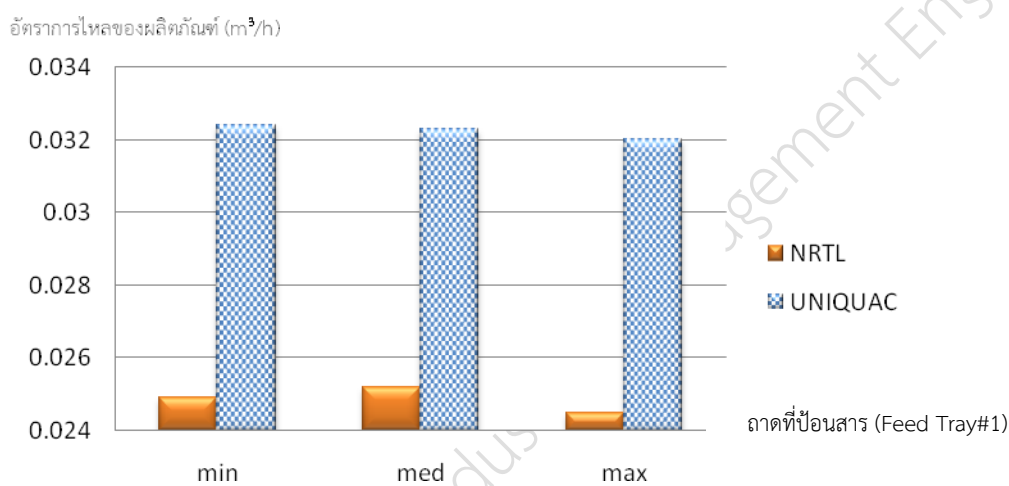
เมื่อใช้การพิจารณาโดยวิธีการของ Bob Seader ดังที่กล่าวไว้ข้างต้นแล้ว ในที่สุดผู้วิจัยก็สามารถเลือกสมการ NRTL และ UNIQUAC มาใช้ในการสร้างแบบจำลองกระบวนการการกลั่น และกระบวนการทำให้บริสุทธิ์โดยวิธีโมเลกุลาร์ซีฟ และเมื่อได้ทำการจำลองกระบวนการกลั่นเอทิลแอลกอฮอล์ และกระบวนการทำให้บริสุทธิ์โดยวิธีโมเลกุลาร์ซีฟ ผู้วิจัยได้พบว่าทั้งสมการ

NRTL และ UNIQUAC เป็นสมการทางเทอร์โมไดนามิกส์ที่ให้ผลลัพธ์ใกล้เคียงกับกระบวนการจริง ดังนั้นจึงใช้ทั้งสองสมการในการจำลองกระบวนการนี้

3.2 การปรับเปลี่ยนค่าตัวแปรในการจำลองกระบวนการโดยโปรแกรม HYSYS

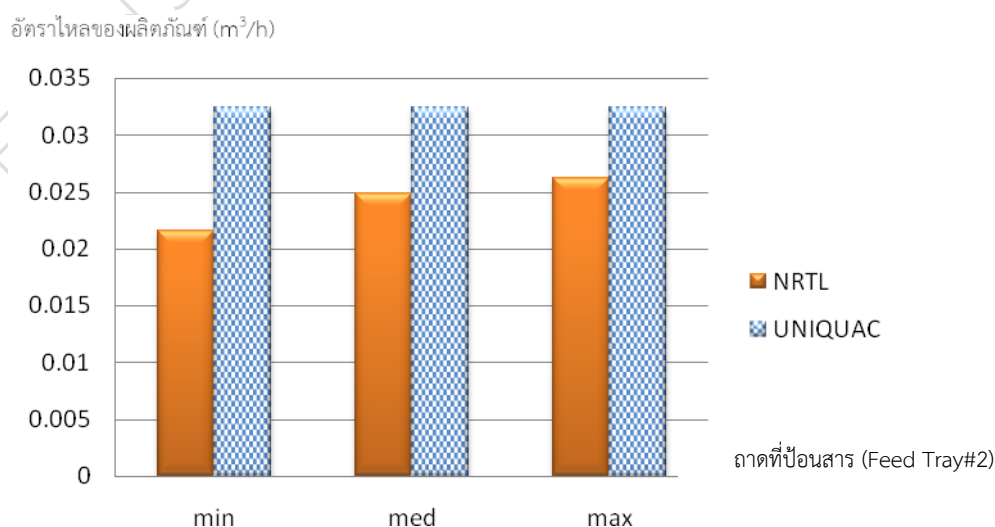
เนื่องจากกระบวนการกลั่นเอทิลแอลกอฮอล์ เป็นกระบวนการต่อเนื่องประกอบด้วยหอกกลั่นจำนวน 2 หอกกลั่น คือ หอกกลั่นลำดับที่ 1 (T100) และ หอกกลั่นเอทิลแอลกอฮอล์ให้บริสุทธิ์ถึงระดับ 95% (T101) จากเดิมตัวแปรที่ต้องศึกษาทั้ง 3 ตัวแปร (ตำแหน่งป้อนสารเข้าสู่หอกกลั่น, อุณหภูมิของสารที่ป้อนเข้าสู่หอกกลั่น และปริมาณไอน้ำที่ป้อนเข้าสู่หอกกลั่น) จึงทำให้ตัวแปรเพิ่มขึ้นเป็น 6 ตัวแปรโดยปริยาย

3.2.1 การปรับตำแหน่งป้อนสารเข้าสู่หอกลั่น



ภาพที่ 1 ผลการปรับตำแหน่งป้อนสารเข้าสู่หอกลั่น T100

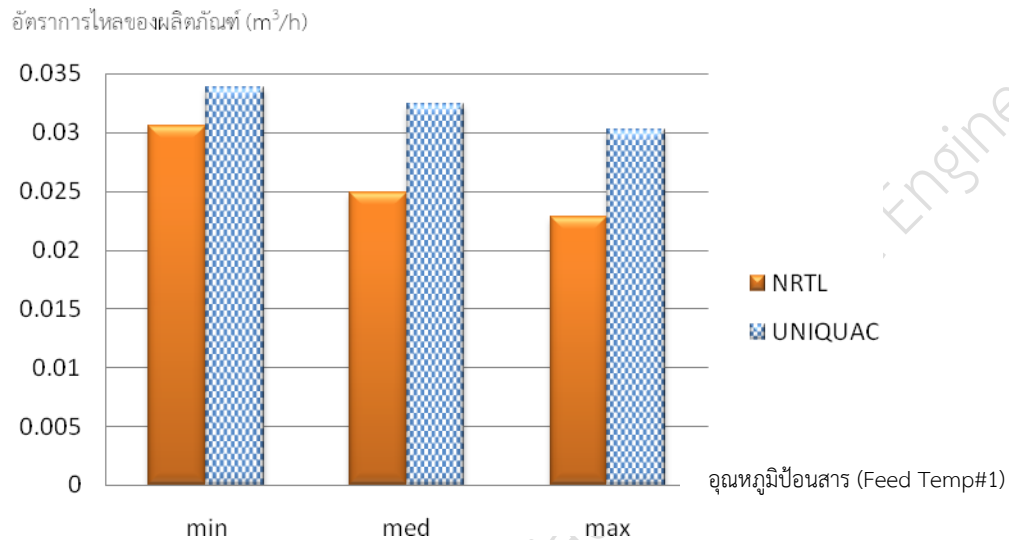
จากภาพที่ 1 (min, med และ max คือ ตำแหน่งของถาดที่ 1, 9 และ 16 ของหอกลิ้นสำ T100 ตามลำดับ) โดยที่ ถาดที่ 1 คือตำแหน่งล่างสุด ผู้วิจัยพบว่าการปรับตำแหน่งการป้อนสารให้เข้าสู่หอกลิ้นสำ T100 ในถาดที่สูงขึ้น จะส่งผลให้อัตรากาไหลเชิงปริมาตรของผลิตภัณฑ์สุดท้ายลดลงในกรณีของสมการ UNIQUAC แต่ไม่มีแนวโน้มที่ชัดเจนในกรณีสมการ NRTL



ภาพที่ 2 ผลการปรับตำแหน่งป้อนสารเข้าสู่หอกลั่น T101

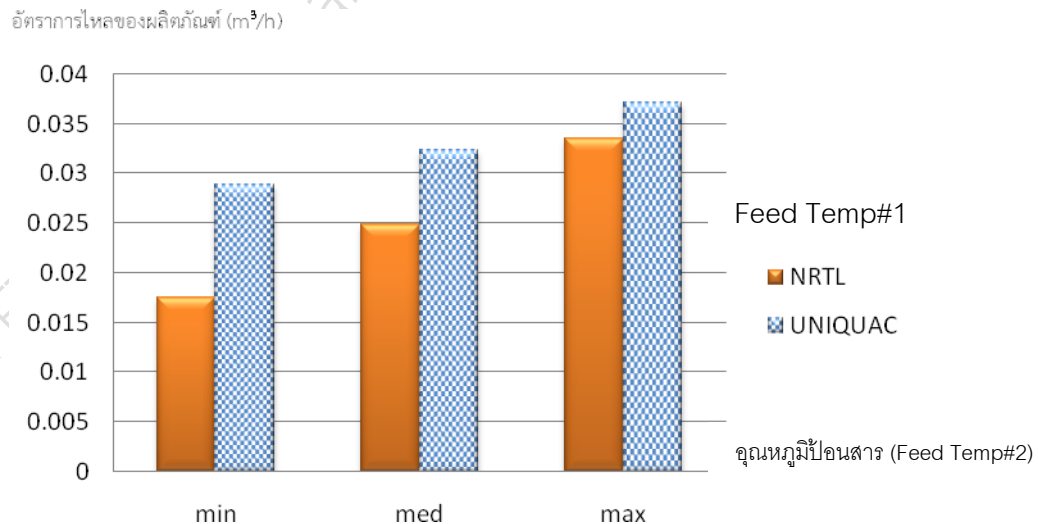
จากภาพที่ 2 (min, med และ max คือ ตำแหน่งของถาดที่ 12, 27 และ 50 ของหอกลิ้น T101 ตามลำดับ) พบว่าการปรับตำแหน่งการป้อนสารให้เข้าสู่หอกลิ้น T101 ที่ถาดสูงขึ้น ส่งผลให้อัตราการไหลเชิงปริมาตรของผลิตภัณฑ์สุดท้ายเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนในกรณีสมการ NRTL ในขณะที่อัตราการไหลเชิงปริมาตรของผลิตภัณฑ์ไม่เปลี่ยนแปลงมากนักในกรณีสมการ UNIQUAC

3.2.2 การปรับเปลี่ยนอุณหภูมิของสารที่ป้อนเข้าสู่หอกลิ้น



ภาพที่ 3 ผลการปรับเปลี่ยนอุณหภูมิของสารที่ป้อนเข้าสู่หอกลิ้น T100

จากภาพที่ 3 (min, med และ max คือ อุณหภูมิของสารที่ถูกป้อนเข้าสู่หอกลิ้นสาร ซึ่งเท่ากับ 30, 60 และ 78 องศาเซลเซียส ตามลำดับ) พบว่าการเพิ่มอุณหภูมิของสารที่ป้อนเข้าสู่หอกลิ้น T100 ทำให้อัตราการไหลเชิงปริมาตรของผลิตภัณฑ์ลดลง ทั้งในกรณีสมการ NRTL และ UNIQUAC

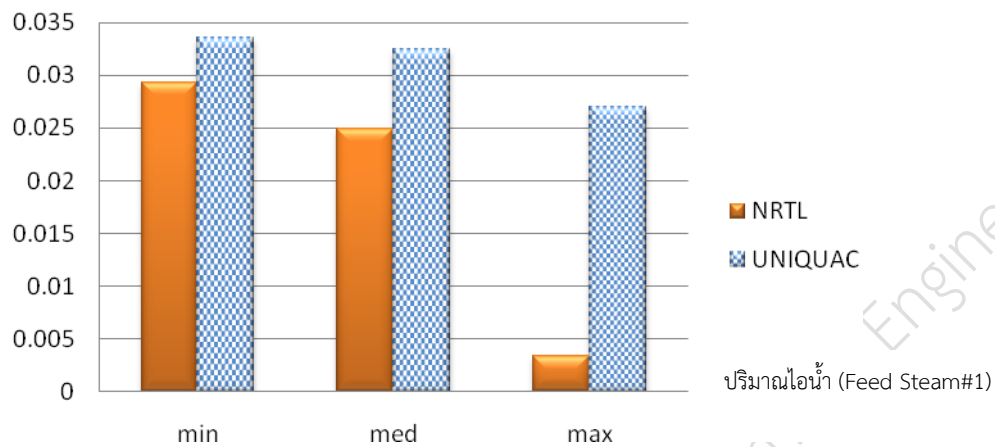


ภาพที่ 4 ผลการปรับเปลี่ยนอุณหภูมิของสารที่ป้อนเข้าสู่หอกลิ้น T101

จากภาพที่ 4 (min, med และ max คือ อุณหภูมิของสารที่ป้อนเข้าสู่หอกลิ้น T101 ซึ่งเท่ากับ 36, 56 และ 81 องศาเซลเซียสตามลำดับ) พบว่าการเพิ่มอุณหภูมิของสารที่ป้อนเข้าสู่หอกลิ้น T101 ส่งผลให้อัตราการไหลเชิงปริมาตรของผลิตภัณฑ์สุดท้ายเพิ่มขึ้นด้วย ทั้งในกรณีสมการ NRTL และ UNIQUAC

3.2.3 การปรับเปลี่ยนปริมาณไอน้ำที่ป้อนเข้าสู่หอกลับ

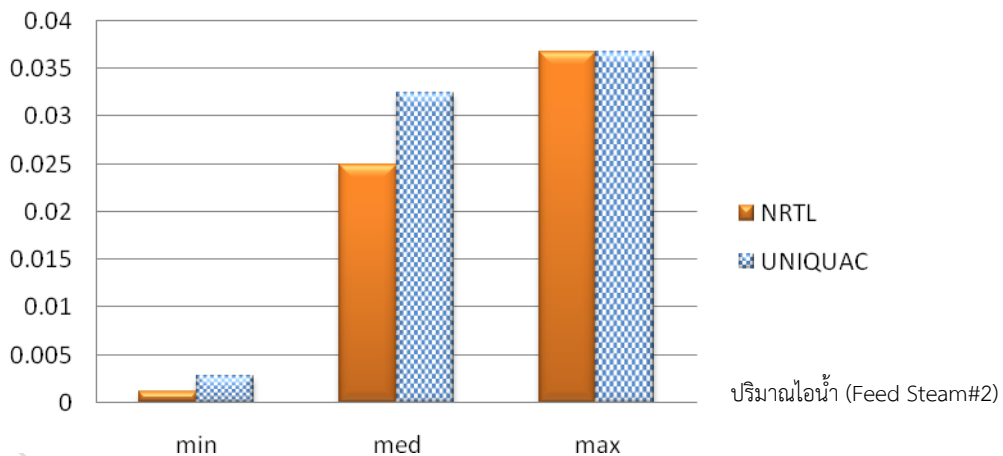
อัตราการไหลของผลิตภัณฑ์ (m^3/h)



ภาพที่ 5 ผลการปรับเปลี่ยนปริมาณไอน้ำที่ป้อนเข้าสู่หอกลับ T100

จากภาพที่ 5 (min, med และ max คือ ปริมาณไอน้ำที่ป้อนเข้าสู่หอกลับ T100 ซึ่งเท่ากับ 50, 100 และ 210 กิโลกรัมต่อชั่วโมงตามลำดับ) พบว่า การเพิ่มปริมาณไอน้ำที่ป้อนเข้าสู่หอกลับ T100 ส่งผลให้อัตราการไหลเชิงปริมาตรของผลิตภัณฑ์สุดท้ายลดลงอย่างมากโดยเฉพาะในกรณีสมการ NRTL

อัตราการไหลของผลิตภัณฑ์ (m^3/h)



ภาพที่ 6 ผลการปรับเปลี่ยนปริมาณไอน้ำที่ป้อนเข้าสู่หอกลับ T101

จากภาพที่ 6 (min, med และ max คือ ปริมาณไอน้ำที่ป้อนเข้าสู่หอกลับ T101 ซึ่งเท่ากับ 56, 65 และ 71 กิโลกรัมต่อชั่วโมงตามลำดับ) พบว่าการเพิ่มปริมาณไอน้ำที่ป้อนเข้าสู่หอกลับ T101 ส่งผลให้อัตราการไหลเชิงปริมาตรของผลิตภัณฑ์มีการเพิ่มขึ้น ทั้งในกรณีสมการ NRTL และ UNIQUAC

3.3 ผลของการปรับเปลี่ยนตัวแปรสำคัญที่มีผลกระทบต่อกระบวนการกลั่น

เนื่องจากตัวแปรที่ศึกษามี 3 ตัวแปร คือ ตำแหน่งป้อนสารเข้าสู่หอกลับ, อุณหภูมิของสารที่ป้อนเข้าสู่หอกลับ และ ปริมาณไอน้ำที่ป้อนเข้าสู่หอกลับ แต่จากการที่มีหอกลับ 2 หอ จึงทำเป็นเหตุให้ตัวแปรที่ต้องทำการทดสอบเพิ่มขึ้นเป็น 6 ตัวแปร โดยจะแบ่งกลุ่มตามตัวแปรที่มีผลกระทบต่ออัตราการไหลเชิงปริมาตรของผลิตภัณฑ์ใน 3 ลักษณะคือ

3.3.1 ตัวแปรที่มีผลกระทบต่ออัตราการไหลเชิงปริมาตรของผลิตภัณฑ์ในลักษณะเป็นแนวโน้ม (ไม่ว่าจะเป็นแนวโน้มในลักษณะเพิ่มขึ้นหรือลดลง) ในกรณีนี้เราจะเลือก 2 ค่า คือ ค่าต่ำสุด (min) และ ค่าสูงสุด (max) มาทำการทดสอบ

3.3.2 ตัวแปรที่มีผลกระทบต่ออัตราการไหลเชิงปริมาตรของผลิตภัณฑ์ในลักษณะที่ไม่เป็นแนวโน้มใดๆเลย ในกรณีนี้เราเลือก 3 ค่า คือ ค่าต่ำสุด (min), ค่ากึ่งกลาง (med) และ ค่าสูงสุด (max) มาทำการทดสอบ

3.3.3 ตัวแปรที่ไม่มีผลกระทบต่ออัตราการไหลเชิงปริมาตรของผลิตภัณฑ์สุดท้าย จะไม่เลือกค่าใดมาทำการทดสอบ

เมื่อพิจารณาภาพที่ 1 ถึง 6 จะพบว่า ต้องทำการทดสอบค่าของแต่ละตัวแปรที่แตกต่างกันทั้งหมด 32 ครั้ง และ 96 ครั้ง แล้วจำลองกระบวนการด้วยสมการ UNIQUAC และ NRTL ตามลำดับ

ตารางที่ 1 ตัวแปรต่างๆ และจำนวนครั้งของการทดสอบตัวแปร

	Feed Tray#1	Feed Tray#2	Feed Temp#1	Feed Temp#2	Feed Steam#1	Feed Steam#2	No. of Test run
UNIQUAC	2	-	2	2	2	2	32
NRTL	3	2	2	2	2	2	96

3.4 การปรับเปลี่ยนค่าตัวแปรในการจำลองกระบวนการทำให้เอทิลแอลกอฮอล์บริสุทธิ์โดยวิธีโมเลกุลาร์ชิฟ โดยใช้โปรแกรม HYSYS

การปรับเปลี่ยนค่าตัวแปรต่างๆในการจำลองกระบวนการทำให้บริสุทธิ์โดยวิธีโมเลกุลาร์ชิฟนั้น จะปรับเปลี่ยนไปที่ค่าสูงที่สุด ค่ากึ่งกลาง (หรือค่าที่สภาวะจริง) และ ค่าต่ำที่สุดของตัวแปรนั้น โดยเราต้องพิจารณาตามพื้นฐานความเป็นไปได้ของโปรแกรม HYSYS ด้วย การเปลี่ยนแปลงค่าของตัวแปรที่ทำการศึกษา ซึ่งในที่นี้ก็คือ อุณหภูมิและความดันของการป้อนสารเข้า จะไม่ส่งผลต่อสัดส่วนและอัตราการไหลของผลิตภัณฑ์ แต่จะส่งผลต่อพลังงานที่ใช้ในหน่วยปฏิบัติการ

4. อภิปรายผล (Discussion)

4.1 สมการทางเทอร์โมไดนามิกส์ที่เลือกใช้ในโปรแกรม HYSYS

สมการทางเทอร์โมไดนามิกส์ที่ใช้ในการจำลองกระบวนการนี้ ทั้งสมการ NRTL และ สมการ UNIQUAC ต่างก็ให้ผลใกล้เคียงกับกระบวนการจริง (เมื่อพิจารณาจากสัดส่วนของเอทิลแอลกอฮอล์และอัตราการไหลของผลิตภัณฑ์ที่ได้เป็นหลัก) แต่การจำลองกระบวนการด้วยสมการ UNIQUAC นั้นส่งผลให้กระบวนการผลิตมีสัดส่วนของเอทิลแอลกอฮอล์และอัตราการไหลของสายผลิตภัณฑ์มากกว่าสมการ NRTL ไม่ว่าจะปรับตัวแปรที่ศึกษามากน้อยเพียงใด

4.2 การปรับเปลี่ยนค่าตัวแปรในการจำลองกระบวนการกลั่นเอทิลแอลกอฮอล์โดยใช้โปรแกรม HYSYS

สำหรับการปรับค่าตัวแปรระหว่างการจำลองกระบวนการ ผู้วิจัยจะให้ความสำคัญกับค่าของตัวแปรที่ทำให้เกิดการเพิ่มขึ้นของอัตราการไหลของผลิตภัณฑ์ ซึ่งจะต้องพิจารณาควบคู่กับสัดส่วนของเอทิลแอลกอฮอล์ที่ต้องมีค่าไม่น้อยกว่าร้อยละ 94 โดยปริมาตร จากการศึกษาผลของตัวแปรค่าต่างๆ ที่มีต่อกระบวนการกลั่นเอทิลแอลกอฮอล์แล้วนั้น สามารถนำผลดังกล่าวไปใช้เป็นแนวในการปรับปรุงกระบวนการผลิตต่อไปเพื่อให้ได้สภาวะที่ดีที่สุด โดยพิจารณาจากผลตอบแทนทางเศรษฐกิจเป็นหลัก

4.3 การปรับแก้ค่าตัวแปร ในการจำลองกระบวนการทำเอทิลแอลกอฮอล์ให้มีความบริสุทธิ์ด้วยวิธีโมเลกุลาร์ชิฟ โดยใช้โปรแกรม HYSYS

ในกระบวนการทำเอทิลแอลกอฮอล์ให้บริสุทธิ์ด้วยวิธีโมเลกุลาร์ชิฟ แม้ว่าการปรับแก้ค่าตัวแปรจะไม่ได้ช่วยเพิ่มผลผลิต แต่ผู้วิจัยจะให้ความสำคัญกับค่าของตัวแปรที่ทำให้การใช้พลังงานลดน้อยลง โดยเมื่อปรับแก้ค่าตัวแปรความดันและอุณหภูมิ พบว่าพลังงานจะถูกใช้น้อยที่สุด ที่อุณหภูมิซึ่งต่ำกว่ากระบวนการจริง (อุณหภูมิของกระบวนการจริง คือ 120 องศาเซลเซียส) การลดอุณหภูมิลงทำให้การใช้พลังงานโดยรวมลดลง เมื่อพิจารณาควบคู่กับความดัน จะพบว่า การใช้พลังงานรวมที่น้อยที่สุด จะเกิดขึ้นที่ความดันมากที่สุดของในแต่ละอุณหภูมิ

5. สรุปผล (Conclusion)

จากผลการศึกษาทั้งหมดสรุปได้ว่า สภาวะที่เหมาะสมที่สุดสำหรับกระบวนการกลั่นเอทิลแอลกอฮอล์ซึ่งจำลองกระบวนการโดยใช้โปรแกรม HYSYS สามารถหาได้โดยใช้สมการ UNIQUAC โดยสภาวะดังกล่าวจะทำให้ค่าใช้จ่ายในการผลิตต่ำกว่ารายได้จากการขายเอทิลแอลกอฮอล์ 4721.15 บาทต่อวัน หากเทียบกับสภาวะในการผลิตจริง ค่าใช้จ่ายในการผลิตจะต่ำกว่ารายได้จากการขายเอทิลแอลกอฮอล์เพียง 4028.09 บาทต่อวัน (จะเห็นว่าผลจากการวิจัยทำให้สามารถประหยัดเงินได้มากกว่าเกือบ 700 บาทต่อวัน หากนำสภาวะที่หาได้ ไปดำเนินการจริง)

โดยสภาวะดังกล่าวได้จากการจำลองกระบวนการโดยใช้โปรแกรม HYSYS นั่นก็คือ ต้องป้อนสารที่อุณหภูมิ 48 องศาเซลเซียส เข้าสู่หอกลั่น T100 ในตำแหน่งถาดที่ 16 และอุณหภูมิของสารที่ป้อนเข้าสู่หอกลั่น T101 คือ 47 °C ในขณะที่ปริมาณไอน้ำที่ป้อนเข้าสู่หอกลั่น T100 และหอกลั่น T101 คือ 97.2 กิโลกรัมต่อชั่วโมง และ 67 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ตามลำดับ

สำหรับการจำลองกระบวนการทำเอทิลแอลกอฮอล์ให้บริสุทธิ์ด้วยวิธีโมเลกุลาร์ชิฟ ด้วยสมการ NRTL และ UNIQUAC นั้น เราจะสามารถสรุปได้ว่า พลังงานจะถูกใช้น้อยที่สุด เมื่อใช้ข้อมูลอยู่ในระดับต่ำแต่ความดันระดับสูง (เมื่อเทียบกับกระบวนการจริง) โดยผู้วิจัยนำเสนอสภาวะที่ประหยัดพลังงานมากที่สุดในกรณีนี้ คือ อุณหภูมิ 85.7 องศาเซลเซียส และความดัน 135.8 กิโลปาสกาล

6. กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgement)

ขอขอบพระคุณ คุณอะเคื้อ บุญศิริ คุณวรัญญา พรเจริญ คุณต่อศักดิ์ แยมเงิน คุณนิตย์ ทองนำ รวมถึงเจ้าหน้าที่ที่เกี่ยวข้องทุกท่านที่รับผิดชอบส่วนของกระบวนการผลิตเอทิลแอลกอฮอล์ ในโครงการส่วนพระองค์สวนจิตรลดา สำหรับการอนุเคราะห์ข้อมูลการกลั่นทั้งหมด ในการทำวิจัยนี้

ขอขอบพระคุณ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ สำหรับการอนุเคราะห์โปรแกรม HYSYS, อุปกรณ์, เครื่องมือ และทุนสนับสนุนสำหรับการทำงานวิจัยนี้

7. เอกสารอ้างอิง (Reference)

- [1] ข้อมูลเกี่ยวกับกระบวนการผลิตเอทิลแอลกอฮอล์, 2555. กรุงเทพมหานคร : โครงการส่วนพระองค์สวนจิตรลดา.
- [2] โชคชัย วณู, 2550. การหมักและการกลั่นเอทิลแอลกอฮอล์. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- [3] พอพงศ์ อนุดิษฐ์, 2544. การประเมินพลังงานและเศรษฐศาสตร์ของกระบวนการผลิตเอทานอล. คณะพลังงานและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- [4] Jamie Hiltz, Zack Taylor and Mark Baier, 2008. Design of an ethanol dehydration system: College of engineering, University of Saskatchewan.
- [5] Mario Richard Eden. 2011. Selection of property Model. : Department of chemical engineering, Auburn University.

เครื่องปั๊มน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ กรณีศึกษา อุตสาหกรรมกล้วยไม้ Photovoltaic Charging Electric Pump for Orchid Industries

ลักขณา ฤกษ์เกษม*, ณัฐพงษ์ ลอยนภา, บัณฑิต แสงหา, สิริภพ สมนึก, พิสิฏฐ์ กมลเวชวิชกุล

อิสรี ศรีคุณ, ภาสุระ อังกลานนท์

คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร

เลขที่ 9 ถนนแจ้งวัฒนะ แขวงอนุสาวรีย์ เขตบางเขน จังหวัดกรุงเทพฯ 10220

lakkana_pnru@yahoo.com

บทคัดย่อ

ประเทศไทยใช้เชื้อเพลิงต่างๆ เช่น น้ำมัน ถ่านหิน และก๊าซธรรมชาติ สำหรับผลิตกระแสไฟฟ้า ซึ่ง ณ ปัจจุบัน มีปริมาณ ลดลงทุกวันตามการใช้งาน แต่ในทางตรงกันข้ามราคายากลับสูงขึ้น ซึ่งมีทิศทางตามตลาดการค้าโลกและนโยบายต่างๆของภาครัฐบาลงานวิจัยนี้เป็นการพัฒนานำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ประโยชน์ในเชิงพาณิชย์เพื่อช่วยในการรดน้ำต้นไม้ กรณีศึกษาอุตสาหกรรมกล้วยไม้ โดยการใช้แผงขนาด 0.6 ตารางเมตร แบตเตอรี่ขนาด 12 V 36 Amp ตัวควบคุมเวลา (Timer) และมอเตอร์ขนาด 72 วัตต์ในการปั๊มน้ำจ่าย ตามท่อไปสู่สปริงเกอร์ จากงานวิจัยนี้พบว่าเครื่องปั๊มน้ำจากพลังงานแสงอาทิตย์ ในกรณีที่แบตเตอรี่ประจุเต็มสามารถใช้ครั้งหนึ่งได้เป็นเวลาสุทธิ 2.45 ชั่วโมงต่อครั้ง

คำสำคัญ(Key word): ปั๊มไฟฟ้า ; พลังงานแสงอาทิตย์; การออกแบบ

Abstract

Thailand has utilized various kinds fuel energies, such as petroleum, bituminous coal and natural gas to produce electricity for all peoples. Not only the amount of fuel energy decreases continually but the fuel price has changed in different ways depending on the world economy and politics. This research focused on the design and construction of a solar energy implementation for orchid industries. The solar panel condenser consists of one panel 0.6 m². The design used 12 volt 72 watt power supply for a DC pump with an analog timer. According to the research results, it was found that the minimum time that the solar pump consumed for pumping water was 2.45 hours, depending on weather condition.

Key word: Electric Pump; Solar Energy; Design

* ลักขณา ฤกษ์เกษม

1. บทนำ (Introduction)

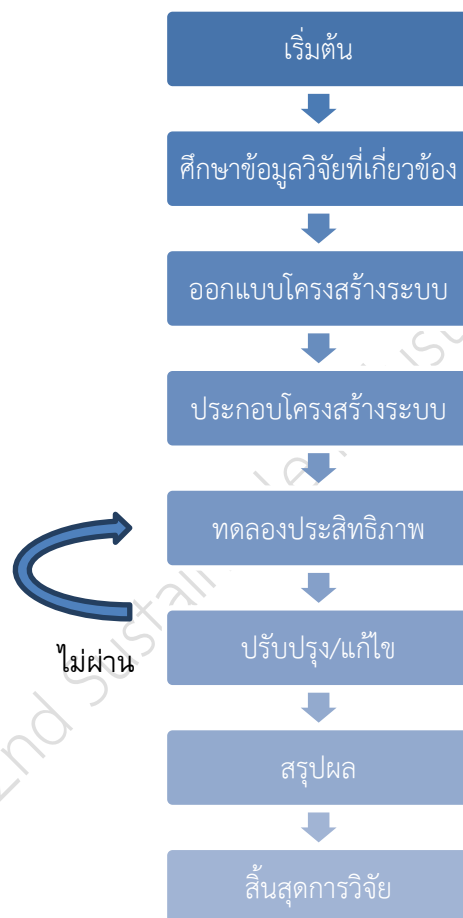
กล้วยไม้เป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยว ในวงศ์กล้วยไม้ (ORCHIDACEAE) เป็นไม้ตัดดอกยอดนิยม เนื่องจากมีลักษณะดอกและสีอันลวดลายสวยงาม เป็นไม้ตัดดอกที่มีอายุการใช้งานได้นาน กล้วยไม้เป็นพืชเศรษฐกิจที่มีความสำคัญของไทย เนื่องจากสามารถส่งออกขายต่างประเทศทำรายได้เข้าประเทศปีละจำนวนมาก (อบฉันท ไทยทอง, 2544) ดังนั้นจึงเกิดอุตสาหกรรมกล้วยไม้ที่มีการปลูกเลี้ยงอย่างครบวงจร ตั้งแต่การผสมเกสร เพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ เลี้ยงลูกกล้วยไม้ เลี้ยงต้นกล้วยไม้จนกระทั่งให้ดอก ตัดดอกบรรจุหีบห่อและส่งออกเอง (อบฉันท ไทยทอง, 2544)

จากการสำรวจในอดีตพบว่าประเทศไทยมีกล้วยไม้ขึ้นอยู่ในป่าธรรมชาติ ไม่ต่ำกว่า 1,000 ชนิด ทั้งประเภทที่พบอยู่บนต้นไม้บนพื้นผิวของภูเขาและบนพื้นดิน จึงกล่าวได้ว่าสภาพแวดล้อมทางธรรมชาติของประเทศไทยเอื้ออำนวยแก่การเจริญงอกงามของกล้วยไม้เป็นอย่างมาก ในปัจจุบันการปลูกกล้วยไม้ ทำเป็นในรูปแบบอุตสาหกรรมเพิ่มมากขึ้น เพราะอุตสาหกรรมกล้วยไม้ของไทยสามารถสร้างรายได้เข้าประเทศได้เป็นจำนวนมากในปี 2552 ประเทศไทยส่งออกดอกกล้วยไม้และต้นกล้วยไม้เป็นอันดับ 1 ในบรรดาไม้ดอกไม้ประดับที่ส่งออกโดยเป็นผู้ส่งออกดอกกล้วยไม้เขตร้อนมีสัดส่วนสูงเป็นอันดับ 1 ของโลกมาโดยตลอดและส่งออกต้นกล้วยไม้เป็นอันดับ 2 ของโลกรองจากประเทศไต้หวันซึ่งการส่งออกดอกกล้วยไม้และต้นกล้วยไม้ของประเทศไทยที่ผ่านมาในอดีตมีอัตราเติบโตเฉลี่ยร้อยละ 10-15 ต่อปี และยังมีโอกาสพัฒนาให้สามารถขยายตลาดทำรายได้เข้าประเทศได้อีกมากเนื่องจากมูลค่าการซื้อขายไม้ดอกไม้ประดับของตลาดโลกมีปริมาณการสั่งซื้อกล้วยไม้ไทยจำนวนมากขึ้นในทุก ๆ ปี เป็นที่ต้องการของตลาดภายในประเทศและตลาดโลก อย่างไรก็ตามสิ่งที่สำคัญนอกเหนือจากพันธุ์กล้วยไม้ที่มีคุณภาพ คือ “น้ำ” เพราะน้ำมีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของกล้วยไม้ เพราะน้ำเป็นตัวทำละลายสารอาหารต่าง ๆ เพื่อให้รากของกล้วยไม้สามารถดูดอาหารไปเลี้ยงส่วนต่าง ๆ ได้ น้ำจึงเป็นปัจจัยที่สำคัญในการเพาะปลูกกล้วยไม้ ส่วนวิธีการให้น้ำกล้วยไม้สามารถทำได้หลายวิธีจะเลือกวิธีใดขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของแต่ละพื้นที่ อายุของกล้วยไม้และความสะดวกของผู้ปลูกเลี้ยงเอง โดยมิทั้งข้อดี ข้อเสีย เช่น “การจุ่มน้ำ” โดยตักน้ำใส่ภาชนะแล้วนำกล้วยไม้มาจุ่มลงในน้ำการจุ่มน้ำมีข้อดีคือน้ำจะซึมไปทั่วทุกส่วนของเครื่องปลูกข้อเสียคือการจุ่มน้ำบ่อย ๆ อาจทำให้ รากอ่อน หน่ออ่อนไปกระทบกระแทกกับภาชนะที่ใส่น้ำได้ “การใช้บัวรดน้ำ” วิธีนี้มีข้อดีคือต้นทุนต่ำส่วนข้อเสียคือถ้ามีกล้วยไม้จำนวนมากจะต้องใช้เวลาในการรดน้ำมาก “การใช้สปริงเกอร์” คือการใช้หัวฉีดติดตั้งอยู่กับที่แล้วพ่นน้ำเป็นฝอยให้กระจายไปทั่วบริเวณที่ต้องการการการรดวิธีนี้สะดวกสบายและรวดเร็วที่สุดข้อเสีย คือ ต้องลงทุนสูงและเหมาะกับการปลูกกล้วยไม้จำนวนมาก แต่ในการปลูกกล้วยไม้ที่มีจำนวนมานั้นย่อมต้องใช้พลังงานไฟฟ้าเข้ามาเกี่ยวข้องในส่วนของระบบปั๊มแรงดันน้ำเพื่อที่จะเพียงพอในการปล่อยน้ำให้กับกล้วยไม้ แต่ในปัจจุบันพลังงานเป็นสิ่งจำเป็นในการประกอบกิจกรรมเกี่ยวกับการดำเนินชีวิต ความเจริญก้าวหน้าทางเศรษฐกิจและสังคม ความมั่นคงของประเทศ การขยายตัว ทางด้านเศรษฐกิจและการเพิ่มขึ้นของประชากรในประเทศ มีผลทำให้ความต้องการพลังงานภายในประเทศเพิ่มมากขึ้น จึงทำให้พลังงานในประเทศลดน้อยลง และในปัจจุบันประเทศไทยต้องพึ่งพาการนำเข้าพลังงานจากต่างประเทศเป็นหลัก จากข้อมูลในปี พ.ศ.2554 ที่ผ่านมามีพบว่ากว่าร้อยละ 60 ของความต้องการพลังงานเชิงพาณิชย์ขั้นต้นมาจากการนำเข้า โดยมีสัดส่วนการนำเข้าน้ำมันสูงถึงร้อยละ 80 ของปริมาณการใช้ทั้งหมดภายในประเทศและยังมีแนวโน้มจะสูงขึ้นอีกเพราะไม่สามารถเพิ่มปริมาณการผลิตปิโตรเลียมในประเทศได้ทันกับความต้องการใช้งานปัจจุบันจึงมีหันมาใช้พลังงานทางเลือกกันอย่างแพร่หลาย เช่น พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม พลังงานก๊าซชีวภาพ เป็นต้น แต่สภาพภูมิอากาศของประเทศไทยตั้งอยู่ที่ตำแหน่งเส้นละติจูดหรือเส้นรุ้ง (LATITUDE) ที่ 5 - 12 องศาเหนือ และเส้นลองจิจูดหรือเส้นแวง (LONGITUDE) ที่ 96 - 106 องศาตะวันออก ซึ่งเป็นบริเวณที่มีพลังงานแสงอาทิตย์สูงในรอบปี ค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์เฉลี่ยรายวันประมาณ 4.7 kWh/m² - day (16.92 MJ/m² - day) มีการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลบ้างแต่จะมีค่าน้อย คือ มีการเปลี่ยนแปลงพลังงานแสงอาทิตย์ประมาณ ± 15 % จากค่าเฉลี่ย พลังงานแสงอาทิตย์จึงเป็นแหล่งพลังงานที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้อย่างเพียงพอตลอดปี (อนุตร จำลองกุล, 2541)จึงมีการคิดที่จะดึงพลังงานแสงอาทิตย์มาประยุกต์ใช้กับระบบปั๊มแรงดันน้ำ เพื่อลดปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในประเทศ อาจสามารถพัฒนาให้เป็นพลังงานหลักในการผลิตไฟฟ้าสำหรับประเทศได้ในอนาคต โดยในการวิจัยครั้งนี้เน้นพลังงานทดแทนในส่วนของพลังงานแสงอาทิตย์

ดังนั้นผู้จัดทำโครงการจึงมีความสนใจที่จะนำพลังงานแสงอาทิตย์มาประยุกต์ใช้กับระบบปั๊มแรงดันน้ำเพื่อที่จะใช้ในการรดน้ำกล้วยไม้ โดยศึกษาปัจจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวกับการรดน้ำกล้วยไม้ ทั้งเวลา และระยะห่างในการรดน้ำกล้วยไม้ที่มีผลต่อการเจริญเติบโตรวมถึงสภาพแวดล้อมในการปลูกกล้วยไม้ เช่น ปริมาณและความถี่ในการรดน้ำกล้วยไม้แต่ละฤดู เป็นต้น จึงมีการศึกษาและการประยุกต์ใช้ระบบพลังงานแสงอาทิตย์กับปั๊มแรงดันน้ำ เพื่อที่จะช่วยลดต้นทุนในการเพาะปลูกกล้วยไม้ในส่วนของแรงงานคน และการลดใช้พลังงานไฟฟ้า โดยใช้พลังงานจากแสงอาทิตย์เป็นตัวให้พลังงานแทนพลังงานไฟฟ้าทั้งหมด

2. วิธีวิจัย (Research Methodology)

การดำเนินงานโครงการ การสร้างเครื่องปั๊มน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ ได้ศึกษาการทำงานและส่วนประกอบและหาประสิทธิภาพของเครื่องปั๊มน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ ดังนั้นคณะผู้จัดทำจึงมีความสนใจในการพัฒนาเพื่อให้เครื่องตัดข้าววัชพืชมีประสิทธิภาพและทำงานอย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยมีการสร้างและการทดลอง ดังนี้



ภาพที่ 1 แสดง Flowchart Diagram แสดงขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

วรินทร์ วงษ์มณี (2545) ได้นำเสนอระบบการติดตามพลังงานสูงสุดสำหรับระบบสูบน้ำที่ใช้กับมอเตอร์ เหนียวนาชนิด 3 เฟส ด้วยการควบคุมแบบเวกเตอร์ โดยมีโซลาร์เซลล์เป็นแหล่งจ่าย ซึ่งประกอบไปด้วยสองส่วนหลักคือ ส่วนการติดตามกำลังงานสูงสุด ใช้เทคนิคการปรับวงรอบการทำงานของดีซี-ดีซี คอนเวอร์เตอร์ เพื่อทำให้ได้กำลังงานสูงสุดตามสภาวะการเปลี่ยนแปลงของแสงอาทิตย์ และส่วนของการควบคุมมอเตอร์กระแสสลับแบบเวกเตอร์ ใช้อินเวอร์เตอร์แบบแหล่งจ่ายแรงดันในการ

ควบคุมระบบขับเคลื่อน โดยควบคุมองค์ประกอบของกระแสสร้างแรงบิด (Iqs) และฟลักซ์ (Ids) ของมอเตอร์ ซึ่งสัมพันธ์กับค่าของกระแส (Ipv) และแรงดัน (Vpv) ไฟฟ้าของโซล่าเซลล์ที่จุดกำลังงาน-สูงสุด ซึ่งเปลี่ยนไปตามระดับความเข้มของแสงอาทิตย์ที่ต่างกันและความเร็วรอบของมอเตอร์จะเปลี่ยนไปตามการเปลี่ยนแปลงนั้น ในการทดลองใช้ตัวประมวลผลสัญญาณดิจิทัลแบบชิปเดี่ยวเบอร์ ADMC 331 เป็นตัวควบคุมและประมวลผลการทำงานของระบบซึ่งมีโปรแกรมย่อยของการเปลี่ยนเวกเตอร์อยู่ใน ผลการทดลองของระบบที่นำเสนอแสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงขนาดและความถี่ของกระแสสเตเตอร์ ซึ่งสัมพันธ์กับค่าความเร็วรอบของมอเตอร์ที่เปลี่ยนไปตามโดยตรงกับการเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบของมอเตอร์

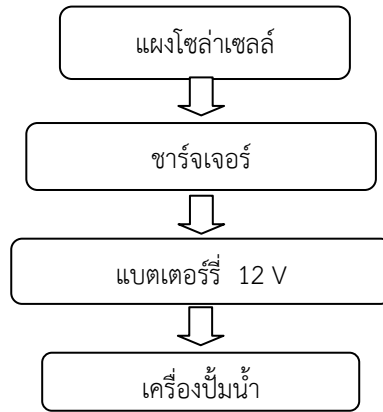
สิริชัย ปัญญาสมาธิ (2548) ได้ศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพของระบบโฟโตโวลตาอิกที่ใช้เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิกอนแบบผลึกเดี่ยว (Single Crystalline Solar Cell) โดยการออกแบบแผงระบายความร้อนแบบท่อขดเซอร์เพนไทน์ และนำไปประกอบติดตั้งที่ด้านหลังแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เพื่อดึงความร้อนเปล่าประโยชน์จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์มาใช้งานในรูปของน้ำร้อน การศึกษาได้ขยายผลไปถึงการจำลองระบบการต่อแผงระบายความร้อนเป็นระบบใหญ่ขึ้น ที่มีการต่อในแบบอนุกรมหรือขนานกันโดยใช้แผงระบายความร้อนทั้งหมด 6 แผง ผลการวิจัยพบว่า การออกแบบท่อขดเซอร์เพนไทน์ต้นแบบให้มีระยะห่างระหว่างท่อเป็น 10 เซนติเมตร มีการระบายความร้อนได้ดีที่สุด และมีอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ในช่วงประมาณ 43-50 องศาเซลเซียส จากการจำลองระบบโดยการต่อแผงระบายความร้อนจำนวน 6 แผงในแบบต่างๆ 4 แบบพบว่า ปัจจัยหลักในการเพิ่มประสิทธิภาพทั้งทางไฟฟ้าและทางระบบน้ำ ร้อนขึ้นอยู่กับอัตราการไหลเชิงมวลและค่ารังสีดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบ ประสิทธิภาพโดยรวมของระบบในทุกแบบจะเพิ่มขึ้นเมื่อมีอัตราการไหลเชิงมวลและค่ารังสีดวงอาทิตย์มากขึ้น อัตราการไหลเชิงมวลต่อพื้นที่ที่เหมาะสมคือ 0.0352 กิโลกรัมต่อตารางเมตรต่อวินาที การเพิ่มอัตราการไหลเชิงมวลที่มากเกินไปจะทำให้ประสิทธิภาพโดยรวมของระบบเพิ่มขึ้นไม่มากนักนอกจากนี้ ในการต่ออนุกรมกันไม่ควรจะต่อเกินกว่า 3 แผง เพราะระบบโฟโตโวลตาอิกจะได้รับผลกระทบเนื่องจากอุณหภูมิของน้ำขาเข้าในแถวอนุกรม เมื่อเปรียบเทียบกับระบบที่ไม่มีการระบายความร้อนโดยน้ำแล้ว พบว่าระบบโฟโตโวลตาอิกแบบผสมระบบผลิตน้ำร้อนจะมีประสิทธิภาพของระบบโฟโตโวลตาอิกสูงกว่าประมาณ 1.20% -1.45%

กุลยศ สุวันทโรจน์ (2550) ได้ออกแบบและพัฒนาเตาอบพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสานเพื่อให้เตาอบสามารถใช้งานร่วมกับฮีตเตอร์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ การพัฒนาตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสานได้เล็งเห็นถึงประโยชน์และความสำคัญของพลังงานแสงอาทิตย์ซึ่งนำมาใช้เป็นพลังงานทดแทนในรูปแบบการให้ความร้อนโดยช่วยรักษาสภาพแวดล้อมและไม่ก่อให้เกิดมลพิษซึ่งนำมาใช้แปรรูปสมุนไพร ให้เป็นสมุนไพรอบแห้งเพื่อลดความชื้นและเชื้อราสมุนไพร ซึ่งในปัจจุบันไทยได้รับความสนใจอย่างมาบางชนิดใช้ขับพิษชนิดต่างๆจึงได้พัฒนาตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสานนั้นสามารถใช้งานร่วมกับแท่งความร้อนกระแสดตรง และฮีตเตอร์แบบอินฟราเรด เพื่อให้มีอุณหภูมิภายในเพิ่มมากขึ้นโดยนำความร้อนที่ได้ไปใช้ออบพืชสมุนไพรที่ต้องการ ลักษณะของชุดตู้อบโครงสร้างของตู้อบทำจากอลูมิเนียมขนาด กว้าง 60 เซนติเมตร ยาว 60 เซนติเมตร สูง 80 เซนติเมตร กล่องตู้อบภายในเคลือบสีดำ จากการเก็บข้อมูล 15 วันโดยการหาค่าความชื้นที่ลดลง ใช้ระยะเวลาอบ 5 ชั่วโมง และเก็บข้อมูลทุกๆ 20 นาที โดยใช้ไฟ 5 ชนิด ได้แก่ ตะไคร้ ใบเตย ใบมะกรูด พริกพันธุ์จินดาแดง และทำการเก็บข้อมูลในช่วงเวลาที่มีแสงอาทิตย์ตั้งเวลา 10.00-15.00 น. อุณหภูมิสูงสุดในตู้อบขณะภายในตู้อบ 99 องศาเซลเซียส โดยพืชที่แห้งเร็วที่สุดอยู่ที่ 589.6 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานแห้ง และมีความชื้นต่ำสุดอยู่ที่ 3.41 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานแห้งมาตรฐานแห้งโดยตู้อบที่ใช้แสงอาทิตย์กับฮีตเตอร์แบบอินฟราเรด ทำความร้อนสามารถให้ ความร้อนแก่ตู้อบได้ดีที่สุด

จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องข้างต้นจะเห็นได้ว่าพลังงานแสงอาทิตย์สามารถนำมาประโยชน์ได้หลากหลาย ดังนั้นคณะผู้จัดทำสนใจที่จะพัฒนาและออกแบบสร้างเครื่องบ่มน้ำพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับอุตสาหกรรมกล้วยไม้ เพื่อใช้พลังงานทดแทนจากพลังงานแสงอาทิตย์แทนพลังงานไฟฟ้า

2.2 การออกแบบโครงสร้างและหลักการทำงานของระบบรดน้ำกล้วยไม้พลังงานแสงอาทิตย์

ประเทศไทยอยู่ใกล้เส้นศูนย์สูตรจึงทำให้มีแสงแดดโดยเฉลี่ย 6-12 ชั่วโมงต่อวัน คณะผู้วิจัยจึงการศึกษาและประยุกต์ใช้ระบบพลังงานแสงอาทิตย์กับปั๊มแรงดันน้ำเป็นการนำพลังงานทางเลือกมาให้เกษตรกรเพื่อที่จะช่วยลดต้นทุนในการเพาะปลูกกล้วยไม้ในส่วนของแรงงานคน และการลดใช้พลังงานไฟฟ้า ดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 แสดง Diagram ของเครื่องปั๊มน้ำพลังงานแสงอาทิตย์

2.3 การทดสอบสมรรถนะ

คณะผู้วิจัยทดสอบสมรรถนะโดย 1. ทดลองวัดกระแสไฟและแรงดันไฟของแผงโซลาร์เซลล์เทียบกับแสงอาทิตย์ 3 สภาวะ 2. ทดลองวัดกระแสไฟและแรงดันไฟ เพื่อหาปริมาณการใช้ไฟของปั๊มน้ำโดยไม่มีตัวโหลด (ไม่มีสปริงเกอร์) 3. ทดลองวัดกระแสไฟและแรงดันไฟ เพื่อหาปริมาณการใช้ไฟของปั๊มน้ำโดยกรณีมีตัวโหลด (มีสปริงเกอร์) โดยการวัดใช้เวลาทุกๆ 15 นาที

3. ผลการวิจัย(Results)

3.1 ผลการทดลองวัดกระแสไฟและแรงดันไฟจากการชาร์ตไฟจากแผงโซลาร์เซลล์เข้าแบตเตอรี่เทียบกับสภาวะแดด 3 สภาวะ ผลการทดลองวัดกระแสไฟและแรงดันไฟจากโซลาร์เซลล์ในสภาวะแสงอาทิตย์ แดดจัด แดดอ่อน และครีမ် (ไม่มีแดด) รวมเป็นจำนวน 12 ครั้ง ได้ผลดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลการทดลองวัดกระแสไฟและแรงดันไฟจากการชาร์ตไฟจากแผงโซลาร์เซลล์เข้าแบตเตอรี่เทียบกับสภาวะแดด 3 สภาวะ

ครั้งที่	แดดจัด		แดดอ่อน		ครีမ်(ไม่มีแดด)	
	กระแส(I)	แรงดัน(V)	กระแส(I)	แรงดัน(V)	กระแส(I)	แรงดัน(V)
1	0.63	11.57	0.27	10.00	0.14	9.25
2	0.56	12.30	0.36	11.12	0.11	9.50
3	0.58	12.07	0.32	9.80	0.15	10.01
4	0.59	11.98	0.31	10.30	0.13	9.58
ค่าเฉลี่ย	0.59	11.98	0.32	10.31	0.13	9.59

3.2 ผลการทดลองวัดกระแสไฟและแรงดันไฟ เพื่อหาปริมาณการใช้ไฟของปั๊มน้ำโดยไม่มีตัวโหลด (ไม่มีสปริงเกอร์) โดยการวัดใช้เวลาทุกๆ 15 นาที

ทดลองวัดการใช้กระแสไฟและแรงดันไฟจากแบตเตอรี่กรณีไม่มีตัวโหลด (ไม่มีสปริงเกอร์) ซึ่งค่าที่วัดได้ปั้มน้ำจะกินไฟจากแบตเตอรี่ได้นานทั้งหมดเป็นเวลา 2 ชั่วโมง ส่วนกระแสไฟและแรงดันไฟนั้นจะค่อยๆลดลงเนื่องจากไม่มีตัวโหลด (ไม่มีสปริงเกอร์) ในสภาพอากาศปกติ ปั้มน้ำจะทำงานไม่เกิน 15 นาทีต่อวัน ในสภาพอากาศที่มีแดดจัดปั้มน้ำจะทำงานไม่เกิน 3 ครั้งต่อวัน จากการทดลองอัตราการใช้พลังงานไฟจากแบตเตอรี่ได้ผลดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการวัดกระแสไฟและแรงดันไฟ ในขณะปั้มน้ำทำงานต่อเนื่อง กรณีไม่มีสปริงเกอร์ โดยทำการวัดทุกๆ 15 นาที

ครั้งที่	เวลา(นาที)	กระแสไฟ(I)	แรงดันไฟ(V)
1	0	6.12	12.30
2	15	6.05	11.50
3	30	5.96	11.30
4	45	5.78	11.00
5	60	5.42	11.30
6	75	3.03	8.00
7	90	2.30	6.00
8	105	1.98	5.5
9	120	2.00	2.00

3.3 ผลการทดลองวัดกระแสไฟและแรงดันไฟเพื่อหาปริมาณการใช้ไฟของปั้มน้ำโดยมีสปริงเกอร์โดยทำการวัดทุกๆ 15 นาที การทดลองวัดการใช้กระแสไฟและแรงดันไฟจากแบตเตอรี่กรณีมีสปริงเกอร์ ซึ่งปั้มน้ำจะใช้พลังงานจากแบตเตอรี่ได้เป็นเวลาสุทธิ 2:45 ชั่วโมง ส่วนกระแสไฟและแรงดันไฟนั้นไม่คงที่ลดลงเนื่องจากมีสปริงเกอร์ในสภาพอากาศปกติ ปั้มน้ำจะทำงานไม่เกิน 15 นาทีต่อวัน ในสภาพอากาศที่มีแดดจัดปั้มน้ำจะทำงานไม่เกิน 3 ครั้งต่อวัน จากการทดลองอัตราการใช้พลังงานไฟจากแบตเตอรี่ได้ผลดังตารางที่ 3

ตารางที่3ผลการวัดกระแสไฟและแรงดันไฟ ในขณะปั้มน้ำทำงานต่อเนื่อง กรณีมีสปริงเกอร์ โดยทำการวัดทุกๆ 15 นาที

ครั้งที่	เวลา(นาที)	กระแสไฟ (I)	แรงดันไฟ (V)
1	0	4.17	13.00
2	15	4.12	13.00
3	30	4.48	12.50
4	45	4.42	12.50
5	60	4.42	12.50
6	75	4.30	12.00
7	90	4.20	11.50
8	105	4.10	10.50
9	120	4.00	11.00
10	135	4.13	11.50
11	150	3.93	11.00
12	165	2.00	7.00

4. อภิปรายผล(Discussion)

เนื่องจากระบบรดน้ำกล้วยไม้จากพลังงานแสงอาทิตย์นี้ เป็นเครื่องต้นแบบเหมาะแก่การนำไปพัฒนาดัดแปลง หรือแก้ไข เพื่อให้มีประสิทธิภาพในการทำงานมากยิ่งขึ้น ซึ่งผู้ศึกษาค้นคว้ามีข้อเสนอแนะดังนี้

1. การเลือกซื้อแผงโซลาเซลล์นั้นจะต้องดูกำลังไฟของมอเตอร์ปั้มน้ำเป็นหลัก หากปั้มน้ำมีกำลังไฟน้อยแผงโซลาเซลล์ที่ใช้ก็ควรมีกำลังวัตต์ไฟน้อยด้วยเช่นกัน แต่หากเราใช้มอเตอร์ปั้มน้ำที่มีกำลังไฟมากแล้วเราใช้แผงโซลาเซลล์เพียง 40 วัตต์ เราต้องซื้อแผงเพิ่ม เพื่อการใช้งานอย่างมีประสิทธิภาพ
2. เนื่องจากระบบรดน้ำกล้วยไม้จากพลังงานแสงอาทิตย์ที่สร้างขึ้นมานี้ต้องใช้ระบบฮาร์ดแวร์เข้ามาช่วยจึงมีราคาค่อนข้างสูงมาก ซึ่งต่างจากระบบรดน้ำกล้วยไม้อัตโนมัติทั่วไปเพราะไม่ได้ใช้ระบบฮาร์ดแวร์แต่จะใช้เครื่องตั้งเวลาแทนซึ่งราคาถูกมาก
3. เนื่องจากฟิวส์ที่ใช้อยู่มีขนาดเบอร์หนาเกินไป จึงต้องมีการดัดแปลงให้มีขนาดเบอร์ที่น้อยลง เพื่อการตัดไฟเมื่อเกิดไฟฟ้าลัดวงจร
4. หากต้องการเก็บพลังงานให้ได้มากๆควรเปลี่ยนการใช้แบตเตอรี่ เช่น แบตเตอรี่ รถยนต์ เพราะมีขนาดใหญ่กว่าและเก็บไฟได้มากกว่าแบตเตอรี่ที่ใช้อยู่ (แบตเตอรี่แห้งขนาด 12 V. 7AH)

5. สรุปผล (Conclusion)

กล้วยไม้ถือเป็นดอกไม้เศรษฐกิจที่สำคัญของคนไทย กล้วยไม้ถูกใช้ในทุก ๆ เทศกาล ปัจจัยสำคัญของผลผลิตที่จะมากหรือน้อย ขึ้นอยู่กับ น้ำ แสงแดดและปุ๋ย การออกแบบ ระบบรดน้ำกล้วยไม้จากพลังงานแสงอาทิตย์ ถือเป็นการนำเทคโนโลยี พลังงานสีเขียว (GreenTechnology) ซึ่งแปลงพลังงานงานแสงอาทิตย์มาเป็นพลังงานไฟฟ้าแล้วนำมาใช้ มาเป็นพลังงานงานหลักในการขับเคลื่อนปั้มน้ำ ระบบควบคุมต่างๆได้ใช้เทคโนโลยี การส่งงานด้วยระบบไฟฟ้า ทำให้การทำงานง่ายและเป็นระบบมากขึ้น ดังนั้นการจัดการระบบรดน้ำกล้วยไม้ ช่วยทำให้ลดการใช้แรงงาน และพลังงานไฟฟ้าลงได้อย่างมีประสิทธิภาพ และที่สำคัญ ยังสามารถนำเวลาที่เหลือจากการรดน้ำ ไปสร้างงานและสร้างรายได้ด้านอื่นได้มากขึ้น ระบบรดน้ำกล้วยไม้จากพลังงานแสงอาทิตย์ ถือเป็นระบบเริ่มต้นในการจัดการการให้น้ำแก่กล้วยไม้ งานวิจัยด้านอื่นควรจะนำพลังงานแสงอาทิตย์ ไปประยุกต์ใช้กับพืชชนิดอื่นๆ อาทิเช่น ดอกไม้หรือ ผักเศรษฐกิจ เพื่อเพิ่มคุณภาพและผลผลิต ของเกษตรกร ชาวไร่ ชาวนสวนต่อไป

6. กิตติกรรมประกาศ

บทความนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร

7. เอกสารอ้างอิง(Reference)

- [1] อบฉันท ไทยทอง, 2544.กล้วยไม้เมืองไทย. กรุงเทพฯ ฯ : สำนักพิมพ์บ้านและสวน
- [2] อนุตร จำลองกุล, 2541. พลังงานทดแทน. กรุงเทพฯ ฯ : ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องจักรกลเกษตร คณะวิศวกรรมและเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล.
- [3] วรินทร์ วงษ์มณี, 2554. การติดตามพลังงานสูงสุดสำหรับระบบสูบน้ำด้วยโซล่าเซลล์โดยใช้การควบคุมแบบเว็เกเตอร์, ระดับวิทยานิพนธ์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- [4] สิริชัย ปัญญาสมาน, 2548.การปรับปรุงประสิทธิภาพของโซล่าเซลล์, ระดับวิทยานิพนธ์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- [5] กุลยศ สุวันทโรจน์, 2550.การศึกษาและปรับปรุงเตาอบพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสาน, งานวิจัย, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร.

การพัฒนาบล็อกคอนกรีตอัดแรงรับน้ำหนักเชิงนิเวศน์เศรษฐกิจ The development of eco load-bearing concrete hollow block

ฐิติพร กิจกอบชัย^{1*}, ปริญญ์ บุญกนิษฐ², สหรัตน์ วงษ์ศรีษะ²

¹ ฝ่ายการจัดการวิศวกรรมโยธาบริษัทฟอรัมพยูจำกัด 356 ถ.พุทธรักษา ต.ห้วยจรเข้มะ อ.เมือง จ.นครปฐม

Email: eng.tithi@gmail.com

² สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรมเพื่อความยั่งยืน คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร 1381 ถ. ประชาราษฎร์ แขวงวงศ์สว่าง เขตบางซื่อ กทม. 10800

บทคัดย่อ

โครงการวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อการพัฒนาบล็อกคอนกรีตอัดแรงรับน้ำหนักที่มีคุณภาพดีขึ้น มีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมลดลงกว่าคอนกรีตบล็อกทั่วไป กระบวนการวิจัยเริ่มจากการศึกษาเปรียบเทียบคุณสมบัติของบล็อกคอนกรีตอัดแรงรับน้ำหนัก กับอิฐประสาน อิฐมวลเบา ที่มีในปัจจุบัน แล้วทำการศึกษาปรับปรุงอัตราส่วนผสมของอิฐประสานให้เป็นบล็อกคอนกรีตอัดแรงรับน้ำหนัก มีประสิทธิภาพดีขึ้น จากการปรับปรุงส่วนผสมโดยตัดส่วนผสมของดิน และทดแทนการใช้น้ำด้วยการใช้น้ำยาเคมี ด้วยการทดสอบตามมาตรฐานอุตสาหกรรม มอก. 57/2530 และ มอก.57/2533 จากผลการวิจัยพบว่าบล็อกคอนกรีตอัดแรงที่พัฒนาขึ้นนี้สามารถ รับแรงอัด ได้ 80-100 กก. /ตร.ม. ที่ความหนาแน่น 1,200 กก./ลบ.ม. ขึ้นไป ด้วยอายุการบ่มเริ่มต้นตั้งแต่ 72 ชั่วโมง และค่าการดูดกลืนน้ำ ที่ 1,000 1,200 และ 1,400 กก./ลบ.ม.มีค่าเกินกว่าชั้นคุณภาพ ก และมีต้นทุนและระยะเวลาในการก่อสร้างต่ำกว่าอิฐประสาน อิฐมวลเบา อิฐมอญ ดังนั้นบล็อกคอนกรีตอัดแรงรับน้ำหนักที่ได้จากการวิจัยนี้จึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่สามารถนำไปใช้ในการดำเนินธุรกิจงานก่อสร้างได้อย่างมีประสิทธิภาพอีกทั้งยังช่วยในการส่งเสริมให้อุตสาหกรรมก่อสร้างไทยมีการพัฒนาได้อย่างยั่งยืนต่อไป

Abstract

The purpose of this research project is to develop ecologically economic stressed weight bearing concrete block having better quality; economic worthiness, lesser impact to environment and cheaper price than general concrete block. The research process started from comparison study between properties of stressed weight bearing concrete block with Interlocking brick and block brick in the present time, then studying to improve mixture ratio of interlocking brick to be stressed weight bearing concrete block, having more effectiveness by improving the mixture by eliminating mixture of soil and replacing some water with chemical solution to increase the quality of stressed weight bearing concrete block. The researcher brought products to test in accordance with industrial standards, TISI 57/2530 and TISI 57/2533. The research result found that resistant strength to support compressive strength was 80-100 kg./square meter in density of 1,200 kg/cubic meter or more. Therefore, this product could be used in carrying out construction business effectively having saving price, as well as reducing construction period and concrete block was another product helping promoting Thai construction industry to develop in sustainable period further.

Keywords: Construction industry, eco load-bearing concrete hollow blocks, Quality improvement.

* ฐิติพร กิจกอบชัย

1. บทนำ (Introduction)

สมาคมผู้ประเมินค่าทรัพย์สินแห่งประเทศไทย (2554) ได้รายงานไว้ว่า ปัจจุบันความต้องการที่พักอาศัยของประชากรเพิ่มขึ้น ในขณะที่ค่าก่อสร้างที่พักอาศัยมีราคาสูงขึ้นตามการก่อสร้างอาคารเกือบทุกกลุ่ม โดยมีราคาค่าก่อสร้างเพิ่มขึ้นประมาณหนึ่งเท่าตัว ซึ่งต้นทุนสำคัญส่วนหนึ่งคือค่าใช้จ่ายด้านวัสดุและเวลาที่ใช้ในการก่อสร้างผนังภายนอกและผนังภายในอาคาร โดยวัสดุที่นิยมนำมาใช้ในการปัจจุบันนี้มีหลายประเภท เช่น อิฐมอญ (Brick) ที่ถือเป็นวัสดุที่ได้รับความนิยมสูงเนื่องจากราคาถูกและทนทานกว่าอิฐบล็อกที่ต่ำ เนื่องจากผลิตมาจากดินเหนียวและความแข็งแรงพอสมควร อย่างไรก็ตามพบว่าคุณสมบัติของอิฐมอญจะสามารถเก็บกักความร้อนไว้ได้มาก โดยที่ค่อยๆ ถ่ายเทจากภายนอก จึงเหมาะแก่การใช้งานกับอาคารที่มีการใช้งานมากในช่วงเวลากลางวัน (สิทธิชัย, 2541) ส่วนคอนกรีตบล็อก (Hollow concrete block or hollow concrete masonry unit) จะมีรูหรือโพรงขนาดใหญ่อยู่ตลอดทั้งก้อน และมีพื้นที่หน้าตัดสุทธิที่ระนาบขนานกับผิวน้อยกว่าร้อยละ 75 ของพื้นที่หน้าตัดรวมที่ระนาบเดียวกัน ทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนได้ดี แต่มีพื้นผิวไม่เรียบทำให้ต้องมีการฉาบปูนกันเสมอ เป็นต้น จากตัวอย่างวัสดุที่นิยมใช้ในปัจจุบันที่กล่าวมาจะเห็นได้ว่าวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างผนังแต่ละประเภทย่อมมีข้อดีและข้อด้อยแตกต่างกัน ทำให้มีนักวิจัยจำนวนมากที่สนใจในการพัฒนาคุณสมบัติของอิฐบล็อกให้ดีขึ้นในหลายมิติทั้งทางด้านการปรับปรุงคุณสมบัติ การปรับปรุงต้นทุนการผลิต หรือการลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากการนำวัสดุเหลือใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ มาเป็นส่วนผสมในการผลิตบล็อกคอนกรีต เช่น วราธร (2551) ศึกษาคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมของดินขาวผสมสารโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ด้วยกลวิธีโพลีเมอร์ไรเซชันในการผลิตอิฐบล็อกประสาน จนทำให้พบว่าค่ากำลังรับต้านทานแรงอัดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามอายุการบ่มที่เพิ่มขึ้นในทุกอัตราส่วนสารโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ส่วนค่าการดูดกลืนน้ำมีแนวโน้มลดลงเมื่อเพิ่มอัตราส่วนสารโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ สนธยาและคณะ (2554) ที่ได้พัฒนาคอนกรีตบล็อกที่มีคุณสมบัติในการอนุรักษ์พลังงาน โดยนำคอนกรีตเบาชนิดไร้ทราย มาผลิตเป็นคอนกรีตบล็อกพรุน ซึ่งมีน้ำหนักน้อยกว่าคอนกรีตบล็อกทั่วไป มีค่าการนำความร้อนต่ำ เพื่อช่วยลดความร้อนจากภายนอกที่เข้าสู่ตัวอาคาร และมีราคาใกล้เคียงกับคอนกรีตบล็อกทั่วไป จรูญ (2555) ที่ได้ทำการพัฒนาอิฐบล็อกประสานผสมกะลาปาล์ม ที่ช่วยลดและป้องกัน การถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร Maroliya (2012) ที่ได้ทำการวิจัยโครงสร้างการแตกในการก่อสร้างผนังของอิฐบล็อกคอนกรีต เป็นต้น จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องจะเห็นได้ว่าการพัฒนาคุณสมบัติของอิฐบล็อกให้ดีขึ้นเป็นปัญหาสำคัญในการวิจัยของอุตสาหกรรมก่อสร้างประเทศไทย ที่การพัฒนาจำเป็นต้องทำการพิจารณาองค์ประกอบในหลายด้านควบคู่กันไป ไม่ว่าจะเป็นการปรับปรุงให้คุณสมบัติดีขึ้น มีต้นทุนการผลิต ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและเวลาในการก่อสร้างที่ลดลง ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นทำการศึกษาแนวทางในการปรับปรุงบล็อกคอนกรีตอัดแรงรับน้ำหนัก ที่มีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์มากขึ้นมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมลดลง เพื่อให้สามารถนำไปใช้เป็นวัสดุหลักในการก่อสร้างกำแพงรับแรงทดแทนวัสดุที่นิยมใช้ในท้องตลาดปัจจุบัน เช่น อิฐบล็อกประสานที่มีข้อจำกัดในการผลิตและบล็อกประสานมวลเบา ที่ยังมีราคาสูงและต้องใช้เวลาในการฉาบตกแต่งผิว เป็นต้น โดยกระบวนการพัฒนาผลิตภัณฑ์ของงานวิจัยนี้มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

2. วิธีวิจัย (Research Methodology)

สำหรับกระบวนการวิจัยเพื่อพัฒนาบล็อกคอนกรีตอัดแรงรับน้ำหนักรูปแบบใหม่นี้จะเริ่มจากการกำหนดเครื่องมือที่ใช้ในการผลิต และอัตราส่วนผสมบล็อกคอนกรีตอัดแรงรับน้ำหนักในการผลิตที่ปริมาณ 1 ลบ.ม. โดยรายละเอียดของเครื่องมือและส่วนผสมที่ใช้ในการวิจัยมีดังต่อไปนี้

2.1 เครื่องจักรในการผลิตบล็อกคอนกรีตอัดแรงรับน้ำหนัก มีดังต่อไปนี้

1. เครื่องผสมสำหรับผสมซีเมนต์ ทราย น้ำ และน้ำยาสร้างโฟม
2. รถลำเลียงส่วนผสมที่ผสมเสร็จแล้ว
3. แบบหล่อ (ประกอบด้วยกรอบและแผ่นพื้น)
4. เครื่องยกกรอบของแบบหล่อ
5. เครื่องตัดแบ่งขนาดของอิฐ
6. เครื่องสร้างโฟม (น้ำยา 1กก. ผสมน้ำ 40 ลิตร)

อัตราส่วนผสม

- | | | |
|------------------|-------|------|
| 1. ทราย | 500 | กก. |
| 2. ปูนปอร์ตแลนด์ | 350 | กก. |
| 3. น้ำยาโพน | 20-22 | ลิตร |

2.2 ขั้นตอนในการผลิต

ในการผลิตคอนกรีตปริมาณ 1 ลบ.ม. นั้นจะประกอบด้วย ทราย 500 กก.และปูน 350 กก. เมื่อส่วนผสมเข้ากันได้แล้วเติมน้ำยาโพนประมาณ 20-22 ลิตรโดยผ่านเครื่องสร้างโพน ระยะเวลาที่ผสมที่ 30 นาที ก่อนลำเลียงเพื่อนำไปเทในแบบที่เตรียมไว้ แล้วปล่อยให้แข็งตัวที่เวลา 3 ชม. แล้วจึงยกกรอบออกและตัดแบ่งขนาดของอิฐตามขนาดที่ต้องการ โดยเวลาในการตัดต่อแบบ 1 บล็อก เฉลี่ยประมาณ 60-90 วินาที

การทดสอบมาตรฐาน ของผนังบล็อก

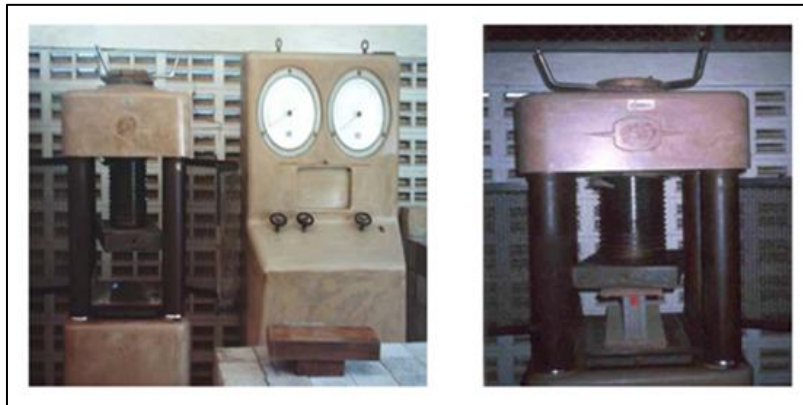
การทดสอบการดูดกลืนน้ำการหาน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นเป็นร้อยละของวัสดุแห้ง หลังจากแช่ไว้ในน้ำตามระยะเวลาที่กำหนด โดยในการทดสอบจะใช้ก้อนคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักขนาดเต็มก้อน จำนวน 5 ก้อน แช่ในน้ำที่อุณหภูมิ 16-27 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เมื่อครบกำหนดยกก้อนตัวอย่างขึ้นจากน้ำ ทิ้งไว้ให้น้ำระเหยออก 1 นาที ทำการชั่งน้ำหนัก หลังจากทำการชั่งน้ำหนักก้อนตัวอย่างแล้ว ทำให้แห้งด้วยการนำไปอบในตู้อบระบายอากาศที่มีอุณหภูมิ 110-115 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ดังแสดงในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 แสดงการทดสอบร้อยละการดูดกลืนน้ำ

2.3 การทดสอบการรับกำลังแรงอัด

สำหรับการทดสอบกำลังต้านแรงอัดและการดูดกลืนน้ำจะดำเนินการทดสอบตามมาตรฐานวิธีชักตัวอย่างและการทดสอบวัสดุก่อซึ่งทำด้วยคอนกรีต ใน มอก.109-2517 โดยนำปริมาณน้ำยาที่เหมาะสมที่ได้ทำการผสมโดยอัดขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดแห้งแล้วทิ้งไว้ให้แห้งเป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำตัวอย่างไปบ่มด้วยความชื้นอุณหภูมิห้องโดยใช้กระสอบคลุมที่เวลา 72, 168, 336 และ 672 ชั่วโมง ตามลำดับ ด้วยจำนวนตัวอย่างที่ 120 ก้อน ต่อ ล็อต (Lot) เมื่อครบอายุการบ่มดังกล่าวแล้ว จึงนำตัวอย่างมาวัดขนาด ความสูง และชั่งน้ำหนัก แล้วทำการทดสอบกำลังต้านแรงอัดทันที ด้วยเครื่องทดสอบกำลังรับแรงอัดที่แสดงในภาพที่ 2 สำหรับปัจจัยอื่นๆที่ทำการควบคุมในการพัฒนาคุณภาพของบล็อกคอนกรีตนั้นจะเป็นไปตามข้อเสนอแนะของ มอก. 57-2533 ซึ่งประกอบด้วยประเด็นสำคัญเช่น การควบคุมความชื้น ขนาดและเกณฑ์ความคลาดเคลื่อน วัสดุส่วนผสม ร้อยละการดูดกลืนน้ำและความต้านแรงอัด เป็นต้น



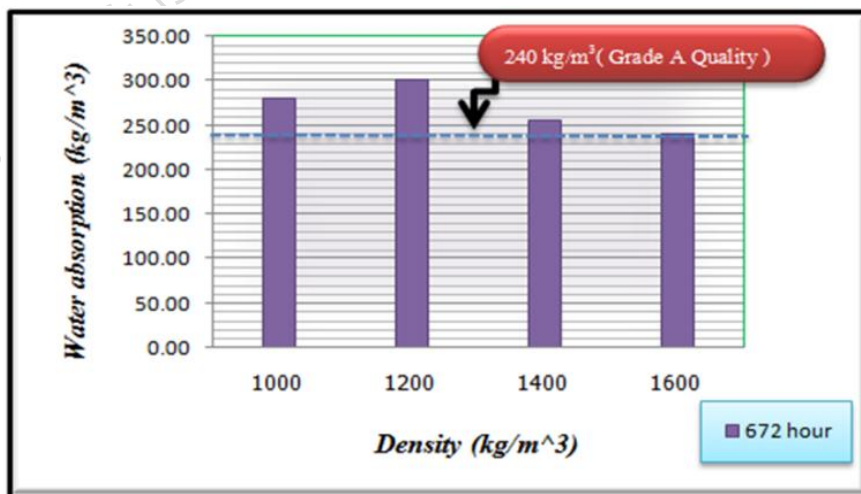
ภาพที่ 2 แสดงการทดสอบกำลังรับแรงอัด

3.ผลการวิจัย (Results)

ในการทดสอบนั้นค่าที่จะให้มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการพิจารณาระดับคุณภาพของผลิตภัณฑ์ คือ อิทธิพลในการดูดกลืนน้ำ และอิทธิพลของอายุการบ่มที่มีผลต่อค่ากำลังต้านทานแรงอัด โดยผลการทดสอบค่าดังกล่าวมีดังต่อไปนี้

3.1 ค่าการทดสอบการดูดกลืนน้ำ

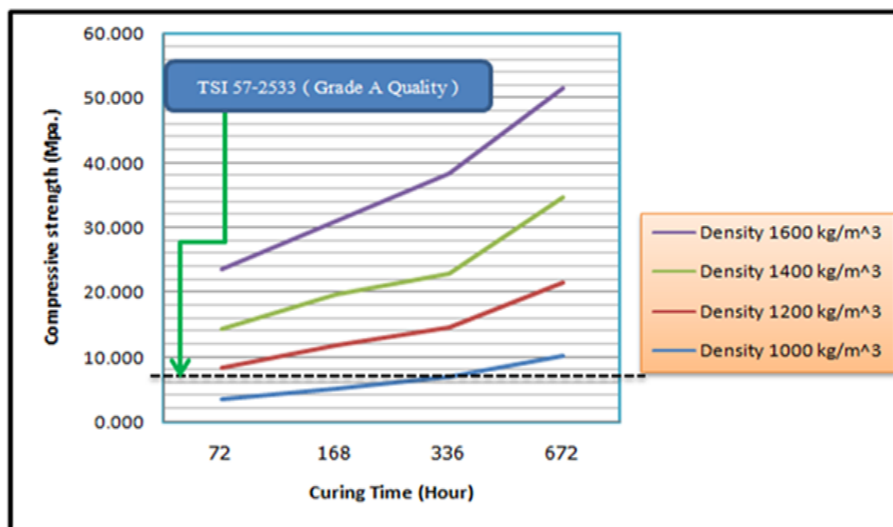
จากภาพที่ 3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนน้ำกับความหนาแน่น ที่อายุ 672 ชั่วโมง ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกรับน้ำหนัก มอก.57-2530 ซึ่งได้แบ่งชั้นคุณภาพเช่นเดียวกับค่ากำลังต้านทานแรงอัด โดยระบุว่าชั้นคุณภาพ ก ชั้นคุณภาพ ข จะขึ้นอยู่กับค่าความหนาแน่นของก้อนตัวอย่าง จากผลการทดลองพบว่าความหนาแน่นของก้อนตัวอย่างอยู่ที่ 1,600 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร นั้นจะมีผลการทดสอบตรงกับชั้นคุณภาพ ก ที่ระบุค่าความหนาแน่น 1,680 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตรหรือน้อยกว่า โดยมีค่าดูดกลืนน้ำไม่เกิน 240 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และจากค่าการดูดกลืนน้ำพบว่าเมื่อลดความหนาแน่นลงส่งผลทำให้ค่าการดูดกลืนน้ำ ที่ 1,000 1,200 และ 1,400 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตรมีค่าเกินกว่าชั้นคุณภาพ ก ลำดับ



ภาพที่ 3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนน้ำกับความหนาแน่นที่อายุ 672 ชั่วโมง

3.2 อิทธิพลของอายุการบ่มที่มีผลต่อค่ากำลังต้านทานแรงอัด

จากภาพที่ 4 จะเห็นได้ว่า ค่าความสัมพันธ์ระหว่างกำลังต้านทานแรงอัดกับอายุการบ่มที่ 72, 168, 336 และ 672 ชั่วโมง ที่ความหนาแน่น 1,000, 1,200, 1,400 และ 1,600 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ พบว่าค่ากำลังต้านทานแรงอัดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามอายุการบ่มที่เพิ่มขึ้นในทุกความหนาแน่นและเมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกรับน้ำหนัก มอก.57-2530 (ชั้นคุณภาพ ก.) ที่ระบุเกณฑ์กำลังต้านทานแรงอัดตามมาตรฐานไว้ไม่น้อยกว่า 7 เมกะปาสคัล พบว่าที่อายุการบ่มที่ 336 ชั่วโมง ให้ค่ากำลังต้านทานแรงอัดสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมในความหนาแน่นที่ 1,000 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตรและที่อายุบ่มตั้งแต่ 72 ชั่วโมงขึ้นไป บล็อกคอนกรีตอัดแรงรับน้ำหนักที่ความหนาแน่น 1,200 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตรให้ค่ากำลังต้านทานแรงอัดสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม



ภาพที่ 4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังต้านทานแรงอัดกับอายุการบ่ม

3.3 การเปรียบเทียบคุณสมบัติและค่าใช้จ่ายในแต่ละวัสดุ

ในการเปรียบเทียบคุณสมบัติและค่าใช้จ่ายในแต่ละวัสดุนั้นสามารถนำมาพิจารณาในหลายด้านดังต่อไปนี้

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบคุณสมบัติในการก่อสร้างด้วยวัสดุต่างชนิดกัน

คุณสมบัติ	บล็อกคอนกรีตอัดแรงที่พัฒนาขึ้น	บล็อกประสาน	อิฐมวลเบาทั่วไป	อิฐมอญ	หน่วย
ขนาด (หนาxกว้างxยาว)	7.5x10.0x30.0	9.5x15.0x30.0	7.5x20.0x60.0	7.0x3.0x15.0	ชม.
ความหนาแน่น	1,000 – 1,200	1,000 – 1,100	800 – 950	1,350 – 1,500	กก./ตร.ชม.
กำลังรับแรงอัด	80 – 100	80 – 100	40 – 50	35	กก./ตร.ชม.
การดูดซึมน้ำ	25		40	45	% โดยน้ำหนัก
ความผิดพลาดของมิติ	± 0.1	± 0.1	± 0.1	ไม่มีมาตรฐาน	ชม.
จำนวน ก้อน/ตร.ม.	33.33	22.22	8.33	140	ก้อน/ตร.ม.

คุณสมบัติ	บล็อกคอนกรีต อัดแรงที่ พัฒนาขึ้น	บล็อกประสาน	อิฐมวลเบาทั่วไป	อิฐมอญ	หน่วย
ความสามารถ ในการก่อ	20 – 25	30	20 – 25	8 - 12	ตร.ม./คน/วัน
ต้นทุนการผลิต					
ค่าวัสดุก่อผนัง	340	500	500	500	บาท / ตร.ม.
ค่าแรงก่อผนัง	200	40	60	120	บาท / ตร.ม.
ค่าวัสดุฉนวนผนัง	-	50	80	120	บาท / ตร.ม.
ค่าแรงฉนวนผนัง	-	50	80	120	บาท / ตร.ม.
ค่าวัสดุตกแต่งผนัง	-	-	-	-	บาท / ตร.ม.
ค่าแรงตกแต่งผนัง	-	-	-	-	บาท / ตร.ม.
รวม	540	640	720	860	บาท / ตร.ม.
หมายเหตุ: ราคาอิฐบล็อกคอนกรีตอัดแรงประมาณการ ราคาก้อนละ 10 บาท วันที่ 1/8/2556 (1 ตร.ม. เท่ากับ 34 ก้อน)					

จากตารางที่ 1 จะเห็นได้ว่าคุณสมบัติของบล็อกคอนกรีตที่บล็อกคอนกรีตอัดแรงที่พัฒนาขึ้นนี้มีความสามารถในการรับแรงอัด การดูดซึมน้ำ ที่ดีมากกว่า บล็อกประสาน อิฐมวลเบาทั่วไปและ อิฐมอญ นอกจากนี้ยังสามารถช่วยในการลดเวลาในการทาสี รองพื้นจากความเรียบผิวที่ดีขึ้น รวมถึงลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมกว่าคอนกรีตบล็อกทั่วไป จากการลดการใช้ไม้แบบและ เวลาในการก่อสร้าง นอกจากนี้ผลิตภัณฑ์ที่ได้พัฒนาขึ้นยังถูกนำไปทดสอบในการก่อสร้างจริงดังแสดงในภาพที่ 5-6



ภาพที่ 5 แสดงคุณภาพพื้นผิวความเรียบของบล็อกคอนกรีตที่ได้พัฒนาขึ้น



ภาพที่ 4 แสดงตัวอย่างการประยุกต์ใช้คอนกรีตบล็อกที่ได้พัฒนาขึ้น

4. อภิปรายผล(Discussion)

จากมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกรับน้ำหนัก มอก. 57-2530 ได้แบ่งชั้นคุณภาพเช่นเดียวกับค่ากำลังต้านทานแรงอัด โดยระบุชั้นคุณภาพ ก ชั้นคุณภาพ ข ซึ่งจะขึ้นอยู่กับค่าความหนาแน่นของก้อนตัวอย่างและ ระบุเกณฑ์กำลังต้านทานแรงอัดตามมาตรฐานไว้ไม่น้อยกว่า 7 เมกะปาสคัล (70 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร) ผลการวิจัยพบว่าความหนาแน่นของก้อนตัวอย่างที่ทำการทดสอบอยู่ที่ 1,600 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งตรงกับชั้นคุณภาพ ก ที่ระบุค่าความหนาแน่น 1,680 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร หรือน้อยกว่า มีค่าดูดกลืนน้ำไม่เกิน 240 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร จากค่าการดูดกลืนน้ำพบว่าเมื่อลดความหนาแน่นลงส่งผลทำให้ค่าการดูดกลืนน้ำ ที่ 1,000 1,200 และ 1,400 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร มีค่าเกินกว่าชั้นคุณภาพ ก ลำดับ ส่วนทางด้านกำลังต้านทานแรงอัด ได้ผลการวิจัยพบว่า กำลังต้านทานรับแรงอัด ที่ 80-100 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ในความหนาแน่นที่ 1,000 ถึง 1,200 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และเมื่อวิเคราะห์จากค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างเมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุต่างชนิด ค่าวัสดุก้อนผนัง คือ ค่าอิฐ ค่าปูนและทราย อิฐบล็อกประสานพบว่ามีค่าใช้จ่ายที่ต่ำกว่า ส่วนค่าแรงก่อผนังต่อ 1 ตารางเมตร นั้นจะมีค่าใช้จ่ายสูงกว่าอิฐประเภทอื่น แต่เนื่องจาก เป็นผนังรับแรง นำมาติดตั้งทำให้ไม่มีค่าใช้จ่ายของ ค่าวัสดุค่าแรงฉาบผนังและค่าตกแต่งต่างๆ เมื่อรวมราคาก่อสร้างของบล็อกคอนกรีตอัดแรงรับน้ำหนักแล้ว จะพบว่ามีค่าใช้จ่ายน้อยกว่าอิฐประเภทอื่นๆ โดยมีค่าใช้จ่ายเฉลี่ยที่ 540 บาท ต่อ ตร.ม.

5. สรุปผล (Conclusion)

จากการทดลองพบว่าการพัฒนาคอนกรีตบล็อกรับน้ำหนักครั้งนี้ ค่ากำลังรับต้านทานแรงอัดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามอายุการบ่มที่เพิ่มขึ้นในความหนาแน่นต่างๆและค่าการดูดกลืนน้ำมีแนวโน้มลดลงเมื่อความหนาแน่นที่เพิ่มขึ้น ซึ่งผลการทดลองต้นแบบแสดงว่า มีความเป็นไปได้ในการพัฒนาการผลิตบล็อกคอนกรีตรับแรงชนิดนี้ เพื่อทดแทนวัสดุประเภทอิฐในอนาคตตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกรับน้ำหนัก มอก.57-2530 (ชั้นคุณภาพ ก.) และมีค่าจ่ายของบล็อกคอนกรีตรับแรงที่ในราคาประหยัดกว่า อิฐมวลเบา อิฐประสาน และอิฐมอญ นอกจากนี้ยังช่วยลดเวลาในการก่อสร้างจากการติดตั้งที่รวดเร็ว เนื่องจากไม่มีการฉาบและการตกแต่งของผนังในบล็อกคอนกรีตรับแรงนี้ ซึ่งทำให้ลดค่าใช้จ่าย ระยะเวลาในการก่อสร้าง รวมถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากการใช้วัสดุไม่แบบต่างๆลงได้อีกด้วย

6. กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณ สาขาวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรมเพื่อความยั่งยืนคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนครที่ได้ให้การสนับสนุนใช้ห้องปฏิบัติการและเครื่องมือทดสอบ และให้คำแนะนำในส่วนต่างๆ รวมทั้งได้รับความร่วมมือในงานวิจัยครั้งนี้

7. เอกสารอ้างอิง(Reference)

- [1] จรุงญ เจริญเนตรกุล. 2555. **อิฐบล็อกประสานผสมกะลาปาล์ม**. การประชุมวิชาการ การพัฒนาชนบทที่ยั่งยืน “ชุมชนท้องถิ่น ฐานรากการพัฒนาประชาคมเศรษฐกิจอาเซียน” 16-19 กุมภาพันธ์ 2555
- [2] วราธร แก้วแสง. 2551. คุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมของอิฐบล็อกประสานดินขาวที่ผสมด้วยกลีโพลิเมอร์ไรเซชัน, น. 1393-1401. ใน การประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 8 (สาขาวิศวกรรมศาสตร์). มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน, กรุงเทพฯ
- [3] สนธยา ทองอรุณศรี และคณะ. 2554. การพัฒนาคอนกรีตบล็อกพรุนสำหรับอาคารประหยัดพลังงาน. วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม ปีที่ 7 ฉบับที่ 2 กรกฎาคม – ธันวาคม 2554
- [4] สมาคมผู้ประเมินค่าทรัพย์สินแห่งประเทศไทย. **ราคาประเมินค่าก่อสร้างอาคาร พ.ศ. 2554 [ออนไลน์]**. แหล่งที่มา <http://www.thaiappraisal.org/thai/value/value.php>. (สืบค้นข้อมูลวันที่ 16 กันยายน 2555)
- [5] สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. 2541. **วิธีการชักตัวอย่างและทดสอบวัสดุก่อซึ่งทำด้วยคอนกรีต**. มอก 109-2517 พิมพ์ครั้งที่ 3, กรุงเทพฯ
- [6] Maroliya, M. K. 2012, **Load Carrying Capacity Of Hollow Concrete Block Masonry Wall**. International Journal of Engineering Research and Applications. (IJERA) ISSN: 2248-9622, Vol. 2, Issue 6, November- December pp.382-385
- [7] TIS 109-2517, **Standard for Sampling and Testing Concrete Masonry Units** (มาตรฐานการสุ่มตัวอย่างและทดสอบการก่ออิฐคอนกรีต), Thai Industrial Standards Institute.
- [8] TIS 57-2530, **Standard for Hollow Load Bearing Concrete Masonry Units** (มาตรฐานบล็อกกลวงรับน้ำหนักในงานคอนกรีต), Thai Industrial Standards Institute, ISBN 974-8111-70-9,.
- [9] TIS 58-2533, **Standard for Hollow Non-Load Bearing Concrete Masonry Units** (มาตรฐานบล็อกแบร้งคอนกรีตกลวงไม่โหลด), Thai Industrial Standards Institute, ISBN 974-8111-71-7.

สนับสนุนโดย 



สถาบันสิ่งแวดล้อมอุตสาหกรรม สมาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย

The Industrial Environment Institute The federation of Thai Industries



หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (M.Eng.)

สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรมเพื่อความยั่งยืน

Sustainable Industrial Management Engineering : SIME

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Phra Nakhon



มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

Rajamangala University of Technology Phra Nakhon

