



การประชุมวิชาการและนำเสนอผลงานทางวิศวกรรม นวัตกรรมและการจัดการอุตสาหกรรมอย่างยั่งยืน “Sustainable Industrial Innovation and Management”

ครั้งที่ 1 ประจำปีการศึกษา 2555

วันที่ 17-18 ตุลาคม 2555 ณ ศูนย์นิทรรศการและการประชุมไบเทค บางนา

ภายในงาน

Eco Innovation and Solution 2012

นวัตกรรมกับการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมสีเขียว

สถาบันสิ่งแวดล้อมอุตสาหกรรม สภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย

หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรมเพื่อความยั่งยืน

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

คำนำ

การจัดประชุมวิชาการทางด้านนวัตกรรมและการจัดการอุตสาหกรรมเพื่อความยั่งยืน (Sustainable Industrial Innovation and Management Conference) ครั้งที่ 1 ประจำปี 2555 จัดขึ้นภายในงาน Eco Innovation and solution 2012 โดยความร่วมมือระหว่าง สถาบันสิ่งแวดล้อมอุตสาหกรรม สภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย (ส.อ.ท.) และหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรมเพื่อความยั่งยืน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร เป็นการดำเนินการต่อเนื่องจากบันทึกข้อตกลงความร่วมมือในโครงการ “พัฒนาศักยภาพบุคลากรสมาชิกสภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทยเพื่อการจัดการอุตสาหกรรมอย่างยั่งยืน” ระหว่าง สภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย กับ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

การจัดประชุมวิชาการเชิงบูรณาการทางวิศวกรรมเพื่อการพัฒนาอุตสาหกรรมอย่างยั่งยืน มีวัตถุประสงค์เพื่อสนับสนุนและส่งเสริมกิจกรรมทางวิชาการ ซึ่งมีการบูรณาการองค์ความรู้ด้านการพัฒนาอุตสาหกรรมเพื่อความยั่งยืน การจัดการองค์ความรู้จากภาคอุตสาหกรรมและสถาบันการศึกษาด้านวิศวกรรมศาสตร์และวิทยาศาสตร์ให้มีความเชื่อมโยงกัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งการบูรณาการทางวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์ตามแนวทางการพัฒนาเพื่อความยั่งยืนและหลักปรัชญาเศรษฐกิจพอเพียง พร้อมทั้งส่งเสริมให้มีการแลกเปลี่ยนประสบการณ์ในด้านการพัฒนาอุตสาหกรรมเพื่อความยั่งยืน โดยนักวิจัยทั้งภาครัฐและเอกชนซึ่งมีความสัมพันธ์กับ สังคม เศรษฐกิจและสิ่งแวดล้อม ผลงานวิจัยที่น่าสนใจครอบคลุมด้านการจัดการองค์การเพื่อความยั่งยืน การเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการอย่างยั่งยืน การจัดการสิ่งแวดล้อม การจัดการของเสียการรีไซเคิลวัสดุเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ การจัดการกรีนโลจิสติกส์ การพัฒนาผลิตภัณฑ์ทางวิศวกรรมและเทคโนโลยีเพื่อความเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม การพัฒนาพลังงานทดแทนและนวัตกรรมจัดการอุตสาหกรรมเพื่อความยั่งยืน เป็นต้น

ทั้งนี้ จากความร่วมมือของทั้งสองหน่วยงานดังกล่าวจึงเป็นจุดเริ่มต้นดำเนินการจัดประชุมวิชาการสำหรับการพัฒนาอุตสาหกรรมอย่างยั่งยืนของประเทศไทย เป็นการจัดการกิจกรรมทางวิชาการแนวทางใหม่ให้มีศักยภาพ เพื่อการพัฒนาที่ยั่งยืนอย่างต่อเนื่อง โดยคณะกรรมการดำเนินการจัดประชุมวิชาการ ขอขอบพระคุณ คณะกรรมการพิจารณาบทความ ผู้สนับสนุน นักวิจัย ผู้นำเสนอบทความ และผู้เข้าร่วมประชุมทุกท่าน มา ณ ที่นี้

การจัดประชุมวิชาการในครั้งนี้หวังเป็นอย่างยิ่งว่าผู้เข้าร่วมประชุมจะได้มีโอกาสแลกเปลี่ยนประสบการณ์ได้รับความรู้ใหม่และเทคโนโลยีใหม่ พร้อมทั้งสามารถนำความรู้ไปประยุกต์ใช้ได้อย่างเหมาะสม เป็นผู้มีส่วนร่วมที่สำคัญต่อการพัฒนาอุตสาหกรรมของประเทศไทยให้ยั่งยืนต่อไป

สถาบันสิ่งแวดล้อมอุตสาหกรรม

สภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย (ส.อ.ท.)

หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรมเพื่อความยั่งยืน

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

รายชื่อกรรมการพิจารณาบทความ

1. รศ.เกียรติไกร อายุวัฒน์
ศูนย์วิศวกรรมพลังงานและสิ่งแวดล้อม
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
2. ผศ.ดร.รวิน ระวิวงศ์
มูลนิธิชัยพัฒนา
3. ดร.เชียรช่วง กัลยาณมิตร
คณะกรรมการสภาวิจัยแห่งชาติ สาขาเศรษฐศาสตร์
4. นายภัทรพล ตูลารักษ์
สำนักจัดการกากของเสียและของอันตราย
กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม
5. นายภัทรพล ลิ้มภักดี
สำนักบริหารจัดการกากอุตสาหกรรม กรมโรงงาน กระทรวงอุตสาหกรรม
6. นางสาวพรรัตน์ เพชรภักดี
สถาบันสิ่งแวดล้อมอุตสาหกรรม สภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย
7. ดร.ณัฐวรพล รัชสิริวัชรบุล
สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรมอย่างยั่งยืน
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
8. ดร.ปริญญ์ บุญนิษฐ
สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรมอย่างยั่งยืน
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
9. ดร.สุรเชษฐ เดชฟุ้ง
สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรมอย่างยั่งยืน
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
10. ผศ.สหรัตน์ วงษ์ศรีษะ
สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรมอย่างยั่งยืน
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
11. นางสาวยิ่งลักษณ์ กิจกังวาล
เลขานุการ การประชุมวิชาการ
สถาบันสิ่งแวดล้อมอุตสาหกรรม สภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย

สารบัญ

ชื่อบทความ	หน้า
การวิเคราะห์มอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของปาล์มน้ำมันสำหรับผลิตไบโอดีเซลในประเทศไทย ลักขณา เจริญสุข, รัตชยุดา กองบุญ, เศรษฐ์ สัมภัตตะกุล	1
การวิเคราะห์การจัดการห่วงโซ่อุปทานเชิงสิ่งแวดล้อมของอุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ในประเทศไทย ปิยาภรณ์ วิบูล, ศักดิ์เกษม ระมิงค์วงศ์, เอกพร นวภานันท์, เศรษฐ์ สัมภัตตะกุล	12
การหาค่าที่เหมาะสมสำหรับการล้างทำความสะอาดชิ้นงานด้วยคลื่นอัลตราโซนิก ในผลิตภัณฑ์ฐานรองรับชิ้นส่วนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ วิภาสพล อ่อนสะอาด, สิงห์แก้ว ปือกเทิง, สหรัตน์ วงษ์ศรีษะ	22
การผลิตวัสดุปลูกพืชจากของเสียในอุตสาหกรรมน้ำตาล ภูษิต อัมภากร, วรจิตต์ เศรษฐพรพรค์, ทศนุพันธ์ กุศลสถิตย์	32
การใช้เถ้าขี้เถ้าจากอุตสาหกรรมน้ำตาลในการผลิตคอนกรีตมวลเบา อรรครินทร์ อภิวันวิวัฒน์, เป็รื่อง กิจรัตน์ภร, กัญจน์นรี ช่วงฉ่ำ, ธาตรีพิย พันธ์เมธายุทธิ	38
การจัดการโลจิสติกส์ข้าวเพื่อสิ่งแวดล้อมช่วงหลังการเก็บเกี่ยวโดยการแบ่งเขตพื้นที่ กรณีศึกษาตำบลท่าตะโก จังหวัดนครสวรรค์ กรรณิการ์ มิ่งเมือง, ภริตา พิมพ์พันธุ์, มาศสกุล ภักดีอาษา, กฤษณกร สมประสงค์, วิภาวรรณ โพธิ์นิมิจ, นรินทร์ แดงแย้ม, ภริภัทร คงเพชรศักดิ์	45
การนำซิงค์ออกไซด์ที่ใช้สารลดแรงตึงผิวช่วยในการสังเคราะห์ไปใช้ในการย่อยสลายสีย้อมผ้า ที่ใช้ในโรงงานผลิตเส้นใยสังเคราะห์ คุณากรณ์ ภูเพียงใจ, จารุมนต์ หอวิวัฒน์วงศ์, เบญจวรรณ ภูมิมาฤทธิ, ภราภรณ์ ทศพร, พงศ์ธร ฐปะเดมิย์	53
การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตด้านการจัดการวัสดุคงคลัง กรณีศึกษาโรงงานน้ำปลา วิเชียร หงษ์จันอัด, วิภาณันท์ เอื้อประเสริฐ	62
การพัฒนาผลิตภัณฑ์ด้วยเทคนิคการกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพ กรณีศึกษาเครื่องตีมังกรนกแก้ว กลุ่มแม่บ้านเพิงอาด อำเภอบางกอกน้อย จังหวัดพัทลุง ผจงจิต พิจิตบรรจง, กุลยุทธ บัญเช่ง, ศุภชัย ชัยณรงค์	68
การพัฒนากระบวนการรีไซเคิลพลาสติกซีพีพีในอุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์กลับมาใช้ใหม่ เพื่อลดต้นทุนการผลิตและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืน จิรายุส จันทราภาสกุล, ณัฐวรพล รัชสิริวัชรบุล, สหรัตน์ วงษ์ศรีษะ	75

สารบัญ

ชื่อบทความ	หน้า
การลดสัดส่วนของเสียในกระบวนการผลิตกระป๋องโดยใช้การควบคุมกระบวนการ ด้วยหลักการทางสถิติ กิตติศักดิ์ กิริตอศมเดช, ไพฑูรย์ ศิริโอฬาร, ชัชพล มงคลิก	84
การออกแบบการทดลองเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในกระบวนการอบเทมเปอร์ กรณีศึกษาโรงงานแปรรูปกระเจก ธนเดชน์ พันธลิลมา, สุวิษรณ์ วิชกุล	93
การพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตผลิตภัณฑ์ดูแลช่องปากจากกระชาย อดุล วรรณศร, สาวิตรี จัทรานุรักษ์, วัฒนพงษ์ รักษ์วิเชียร, วรจิตต์ เศรษฐพรค์	102
การศึกษาอัตราความลื่นเปลี่ยนเชื้อเพลิงเอทานอลในรถจักรยานยนต์ 135 ซีซี. ด้วยแนวทางการอนุรักษ์พลังงานเพื่อความยั่งยืน ชาญณรงค์ นามสนิท, สุรเชษฐ เดชฟุ้ง, สหรัตน์ วงษ์ศรีษะ	111
การศึกษาเพื่อวิเคราะห์เปรียบเทียบเทคโนโลยีเคลือบสีผิวโลหะ ตามหลักการพัฒนาอุตสาหกรรมอย่างยั่งยืน พุดมพงศ์ ชัยสมบูรณ์พันธ์, ณัฐวรพล รัชสิริวัชรบุล, สหรัตน์ วงษ์ศรีษะ	121
การพัฒนาระบบป้องกันชิ้นงานแบบเปลี่ยนระยะทางการวางชิ้นงาน สุกิจ เจริญวิโรจน์, ณัฐวุฒิ เทพยสุวรรณ, ชนะ รักษ์ศิริ	129
การศึกษาแนวทางที่เหมาะสมในการลดต้นทุนเพื่อสนับสนุนการจัดการน้ำประปาอย่างยั่งยืน ของการประปานครหลวง กรณีศึกษาโรงกรองน้ำบางเขน สมบูรณ์ กลั่นสกุล, ปริญญ์ บุญกนิษฐ, สหรัตน์ วงษ์ศรีษะ	139
การปรับปรุงประสิทธิภาพเครื่องกลั่นน้ำด้วยการใช้กระจกสูญญากาศ สุธี ขำเมือง, สุรเชษฐ เดชฟุ้ง, สหรัตน์ วงษ์ศรีษะ	149
การปรับปรุงกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์พลาสติกเพื่อมุ่งสู่ความยั่งยืน โดยวิธีการคำนวณ คาร์บอนฟุตพริ้นท์สำหรับผลิตภัณฑ์ กรณีศึกษาภาชนะบรรจุพลาสติกโพลีโพรลีน สุวัสน์ แผงธีระสุขมัย, ณัฐวรพล รัชสิริวัชรบุล, ปริญญ์ บุญกนิษฐ, สหรัตน์ วงษ์ศรีษะ	156
บทบาทและศักยภาพของทั้งสแตน และทั้งสแตนคาร์ไบด์เพื่อการพัฒนาอุตสาหกรรมอย่างยั่งยืน ปฐมพงษ์ จ่านังพันธ์, สหรัตน์ วงษ์ศรีษะ, ปริญญ์ บุญกนิษฐ	167
การศึกษาเพื่อระบุโอกาสเพิ่มมูลค่ากากอะซีโตน วรวุฒิ กาญจนกิตติชัย, วิโรจน์ ฤทธิ์ทอง, สหรัตน์ วงษ์ศรีษะ	177

การวิเคราะห์ฟุตพริ้นท์ของปาล์มน้ำมันสำหรับผลิตไบโอดีเซลในประเทศไทย Water Footprint Analysis of Oil Palm for Biodiesel Production in Thailand

ลักขณา เจริญสุข^{1*} รัชชยุดา กองบุญ² และ เศรษฐ์ สัมภัตตะกุล³

สาขาวิศวกรรมพลังงาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

239 ถนนห้วยแก้ว ตำบลสุเทพ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ 50200

lukkana.j@gmail.com

²สาขาวิศวกรรมพลังงาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ goong290623@hotmail.com

³ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ sate@eng.cmu.ac.th

บทคัดย่อ

กระทรวงพลังงานได้พยากรณ์ความต้องการพลังงานในอนาคตของประเทศไทย โดยคาดการณ์ว่าในปี 2564 ปริมาณความต้องการพลังงานจะเพิ่มมากขึ้น โดยกำหนดให้มีสัดส่วนการใช้พลังงานทดแทนเพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 25 ของการใช้พลังงานทั้งหมด ซึ่งภาครัฐได้มุ่งเน้นและให้การสนับสนุนพัฒนาทั้งด้านอุปทานและอุปสงค์อย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะอย่างยิ่งพลังงานทดแทนในภาคขนส่งอย่างไบโอดีเซลที่สามารถผลิตได้จากวัตถุดิบภายในประเทศ คือ ปาล์มน้ำมัน ซึ่งมีการส่งเสริมการปลูกปาล์มให้มากขึ้นเพื่อให้ได้สัดส่วนกำลังการผลิต 18.5% โดยข้อดีเป็นการส่งเสริมพัฒนาพลังงานทดแทนให้เป็นหนึ่งในพลังงานหลักทดแทนเชื้อเพลิงฟอสซิลและลดการนำเข้าน้ำมันได้อย่างยั่งยืน แต่ในทางกลับกันก็ส่งผลกระทบต่อความต้องการการใช้น้ำและการเกิดมลภาวะอันเนื่องมาจากการใช้ปุ๋ยและสารเคมีในช่วงการเพาะปลูกเพิ่มขึ้น โดยส่งผลกระทบต่อทรัพยากรน้ำที่มีอยู่อย่างจำกัด ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ทำการวิเคราะห์ปริมาณการใช้น้ำของปาล์มน้ำมันสำหรับผลิตไบโอดีเซล โดยอาศัยแนวคิดวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ (Water Footprint) ซึ่งเป็นเครื่องมือหนึ่งในการวิเคราะห์และบริหารจัดการน้ำอย่างยั่งยืน โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ปริมาณการใช้น้ำต่อหน่วยผลผลิตของปาล์มน้ำมันในเขตพื้นที่ภาคเหนือและภาคใต้ทั้งหมด 16 จังหวัด (ปีพ.ศ.2550-2554) ซึ่งมีความแตกต่างตามลักษณะของสภาพภูมิอากาศในแต่ละพื้นที่ จากผลการศึกษาพบว่า ค่าเฉลี่ยวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของปาล์มน้ำมันสำหรับผลิตไบโอดีเซลมีค่าเท่ากับ 2,139 ลูกบาศก์เมตรต่อตัน ส่วนใหญ่เกิดจากปริมาณการใช้น้ำจากการคายระเหยของน้ำฝน 50% และเมื่อพิจารณาปริมาณการใช้น้ำในแต่ละพื้นที่ พบว่า ในเขตพื้นที่ภาคเหนือมีปริมาณการใช้น้ำสูงถึง 3.9 เท่า เมื่อเปรียบเทียบกับพื้นที่ภาคใต้ โดยจังหวัดที่ใช้น้ำมากที่สุดคือ พิจิตร มีค่าเท่ากับ 6,098 ลูกบาศก์เมตรต่อตัน และจังหวัดที่มีการใช้น้ำน้อยที่สุดคือ สุราษฎร์ธานี มีค่าเท่ากับ 1,070 ลูกบาศก์เมตรต่อตัน ดังนั้นแนวทางการลดปริมาณการใช้น้ำที่เกิดขึ้นจึงควรมุ่งเน้นการศึกษาวิจัยและการพัฒนาระบบน้ำให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น เพื่อการพัฒนาด้านพลังงานทดแทนอย่างยั่งยืนในอนาคต

คำสำคัญ: วอเตอร์ฟุตพริ้นท์; กรีนวอเตอร์ฟุตพริ้นท์; บลูวอเตอร์ฟุตพริ้นท์; เกรย์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์; ปาล์มน้ำมัน

Abstract

Ministry of Energy has predicted that the need of energy in Thailand will be increased in 2022 and the ratio of renewable energy use is expected to be increased up to 25% of the total energy use. The government has promoted and supported the development in demand and supply continuously, especially the development in renewable energy for transportation such as biodiesel. As biodiesel is a fuel which can be produced from a raw material in Thailand i.e. oil palm, the cultivation of oil palm has been highly supported in order to increase the ratio of

¹ สาขาวิศวกรรมพลังงาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เชียงใหม่ 50200

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

fuel production to 18.5%. Advantageously, it is the development of renewable energy to be used as a main energy in substitution of fossil fuel and reduce the imports of refined oil sustainably. In the other hand, it affects the need of water use and causes pollutions from using fertilizers and chemical substances increasingly in the cultivation period which directly impacts the limited water resource. As a result, this research study has been conducted to analyze the water use of palm cultivation for biodiesel using water footprint concept which is a tool for sustainable water analysis and management. The purpose of the study is to analyze amount of water use per product unit of oil palm in 16 provinces in Northern and Southern Thailand (2008-2012) which are different in climate. It was found that the average water footprint of oil palm was 2,139 m³/ton. Most of the water footprint (50%) was from the evaporation of rainwater. When considering the use of water in each area, it was found that the areas in Northern Thailand used water 3.9 times more than those in Southern Thailand. Phitsanulok was the province that used the highest amount of water, which was 6,098 m³/ton. And Surat Thani was the province that used the lower amount of water, which was 1,070 m³/ton. Thus, to decrease the amount of water used, we should focus on researching and developing the efficiency water system to sustainably develop renewable energy in the future.

Keyword: Water Footprint; Green Water Footprint; Blue Water Footprint; Grey Water Footprint; Oil palm.

1. บทนำ (Introduction)

ในปัจจุบันปัญหาสถานการณ์ราคาน้ำมันที่เพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็วจึงทำให้ประเทศไทยจำเป็นต้องจัดหาพลังงานทดแทนเพื่อใช้ทดแทนน้ำมัน ซึ่งภาครัฐมีมาตรการและนโยบายที่สนับสนุนเชื้อเพลิงทดแทนการใช้น้ำมันให้มีปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ไม่ว่าจะเป็นการวางแผนใช้เอทานอลหรือไบโอดีเซล โดยการวางแผนพัฒนาการใช้เอทานอลเพื่อทดแทนการใช้น้ำมันเบนซินในประเทศไทยสามารถทำได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่ในทางกลับกันการวางแผนที่จะนำไปโอดีเซลมาทดแทนการใช้น้ำมันดีเซลยังมีข้อจำกัดอยู่มาก โดยเฉพาะวัตถุดิบหลักอย่างปาล์มน้ำมันที่สามารถนำมาผลิตเป็นไบโอดีเซลมีไม่เพียงพอ ดังนั้นจึงเร่งให้การสนับสนุนพัฒนาทั้งด้านอุปทานและอุปสงค์อย่างต่อเนื่อง โดยมีเป้าหมายว่า ภายในปี 2564 ต้องมีพื้นที่ปลูกปาล์มที่ให้ผลผลิตไม่น้อยกว่า 5.5 ล้านไร่ และผลผลิตต้องเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องเฉลี่ยทั้งประเทศ 3.5 ตันต่อไร่ เพื่อให้ได้อัตราส่วนการให้น้ำมันไม่น้อยกว่า 18.5% โดยอาศัยการขยายพื้นที่เพาะปลูกไปยังภูมิภาคต่างๆ (ภาคเหนือ กลาง ตะวันออกเฉียงเหนือ) ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สมดุลปริมาณน้ำมันปาล์มดิบของประเทศไทยตั้งแต่ปี 2550-2554

สมดุลน้ำมันปาล์มดิบ	2550	2551	2552	2553	2554
พื้นที่เพาะปลูก (ล้านไร่)	3.23	3.68	3.89	4.07	4.14
ภาคเหนือ	0.0002	0.0007	0.0008	0.0020	0.0022
ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	0.003	0.004	0.005	0.008	0.008
ภาคกลาง	0.29	0.38	0.41	0.45	0.47
ภาคใต้	2.91	3.25	3.42	3.54	3.57
ผลผลิตรวม (ล้านตัน)	1.21 [*]	1.56	1.83	2.18	2.85
ผลิตเพื่อการส่งออก	0.09 [*]	0.16	0.16	0.16	0.16
ผลิตเพื่อบริโภค	0.81 [*]	0.92	0.98	1.05	1.13
ผลิตไบโอดีเซล	0.03 [*]	0.30	0.34	0.35	0.76
เหลือน้ำมันปาล์มดิบ	0.09 [*]	0.81	0.35	0.62	0.80

ที่มา: แผนพัฒนาพลังงานทดแทน 15 ปี (2555)

^{*}ที่มา: กรมการค้าภายใน (2550)

การส่งเสริมการใช้พลังงานทดแทนจะเป็นการช่วยลดการนำเข้าน้ำมัน การสร้างความมั่นคงด้านพลังงานและเพิ่มรายได้ให้กับภาคเกษตร ส่วนในมุมมองทางด้านสิ่งแวดล้อมก็ยังช่วยลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก แต่ในทางตรงกันข้ามกลับส่งผลให้ความต้องการการใช้น้ำเพื่อการเพาะปลูกและการเกิดมลภาวะอันเนื่องมาจากการใช้ปุ๋ยและสารเคมีในกระบวนการเพาะปลูกเพิ่มมากขึ้น ซึ่งส่งผลกระทบโดยตรงต่อทรัพยากรน้ำที่มีอยู่อย่างจำกัด

โดยจากการศึกษาทางสถิติของ United Nations (UN, 2011) ชี้ให้เห็นว่า การเพาะปลูกจำเป็นต้องใช้น้ำมาก โดยปัจจุบันร้อยละ 70 ของน้ำในแม่น้ำและชั้นอุ้มน้ำในโลกถูกนำไปใช้ในภาคการเกษตร และคาดการณ์ว่าในปี 2658 ความต้องการใช้น้ำในโลกจะสูงขึ้นร้อยละ 35-60 เมื่อเทียบกับปี 2543 แต่ปริมาณน้ำที่ใช้สำหรับการเจริญเติบโตของพืชลดลงถึงร้อยละ 50 อันเป็นผลเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ซึ่งปัญหาดังกล่าวได้เกิดขึ้นแล้วในหลายพื้นที่ทั่วโลก เช่น ประเทศอินเดีย ประเทศลิเบีย และประเทศอียิปต์ ที่มีการสูบน้ำจากชั้นหินไปใช้ในการทำการเกษตร จนไม่สามารถใช้ประโยชน์จากแหล่งน้ำนั้นได้อีก ซึ่งหากประเทศไทยจะมีการส่งเสริมให้เกิดการผลิตไบโอดีเซลมากขึ้น โดยการขยายพื้นที่เพาะปลูกปาล์มน้ำมันจะเกิดผลกระทบต่อทรัพยากรน้ำอย่างมาก ปริมาณความต้องการใช้น้ำในพื้นที่เพาะปลูกใหม่จึงจำเป็นต้องมีการจัดการทรัพยากรน้ำที่มีอยู่ให้เหมาะสมมากที่สุด

จากปัญหาดังกล่าวจึงได้มีการเสนอแนวคิดเกี่ยวกับการบริหารจัดการน้ำและการกระตุ้นหรือการส่งเสริมให้ผู้ใช้ทางตรงและทางอ้อมได้เปลี่ยนแนวคิดให้ตระหนักถึงปริมาณน้ำที่ใช้ในการผลิตสินค้าและบริการ รวมถึงมีส่วนรับผิดชอบให้เกิดการใช้น้ำที่เหมาะสมมากขึ้น โดยมีการพัฒนาแนวทางการวิเคราะห์ปริมาณน้ำที่ใช้ในการผลิตรูปแบบใหม่และเป็นรูปธรรมมากขึ้น คือ วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ (Water footprint) ซึ่งเป็นตัวชี้วัดการใช้น้ำทั้งทางตรงและทางอ้อมที่ทำให้มองเห็นภาพการใช้น้ำที่เกิดขึ้นและการใช้น้ำนั้นมีความเหมาะสมในการใช้ประโยชน์ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ทำการวิเคราะห์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของปาล์มน้ำมันสำหรับผลิตไบโอดีเซลของประเทศไทย ซึ่งในงานวิจัยนี้มีขอบเขตการพิจารณาครอบคลุมเฉพาะในขั้นตอนของการเพาะปลูกปาล์มน้ำมันเท่านั้น โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อทำการวิเคราะห์ปริมาณการใช้น้ำต่อหน่วยผลผลิตของปาล์มน้ำมันสำหรับผลิตไบโอดีเซล โดยกำหนดพื้นที่ศึกษาคือ พื้นที่ภาคเหนือทั้งหมด 3 จังหวัด และพื้นที่ภาคใต้ทั้งหมด 13 จังหวัด เริ่มพิจารณาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2550-2554 โดยการทำวิจัยครั้งนี้มุ่งหวังที่จะนำผลลัพธ์ที่ได้จากการศึกษาทั้งปริมาณ แหล่งที่มา รูปแบบการใช้น้ำของการเพาะปลูก เพื่อไปใช้ในการจัดสรรและใช้ประโยชน์จากน้ำสำหรับปาล์มน้ำมันอย่างมีประสิทธิภาพและยั่งยืน

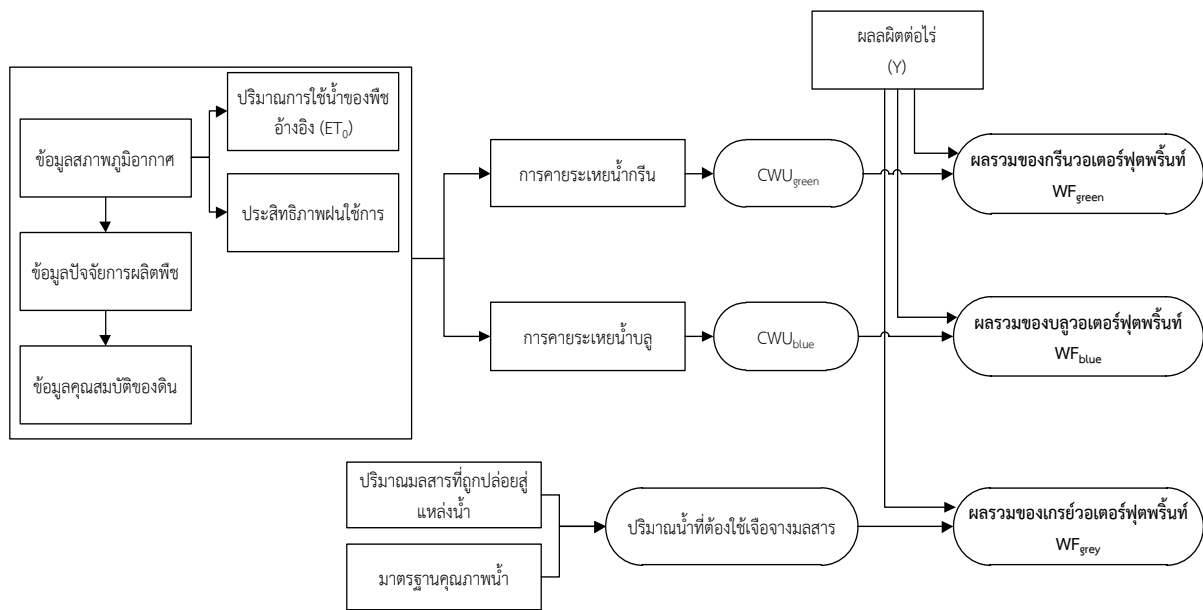
2. วิธีการศึกษา (Research Methodology)

วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ (Water footprint) เป็นตัวชี้วัดการใช้น้ำจากการผลิตสินค้าและบริการตลอดห่วงโซ่อุปทาน ซึ่งพิจารณาทั้งการใช้น้ำทางตรงและทางอ้อม รวมทั้งแสดงแหล่งที่มาของน้ำใช้และน้ำเสียที่เกิดขึ้น (Hoekstra et al., 2011) โดยขึ้นอยู่กับปัจจัยทางภูมิศาสตร์และเวลาที่ทำการศึกษา การศึกษาในพื้นที่และเวลาที่ต่างกันจะทำให้ค่าการใช้น้ำมีค่าไม่เท่ากัน

โดยวิธีการคำนวณที่นิยมใช้แพร่หลายเป็นวิธีการของ Water Footprint Network (WFN) ซึ่งเป็นการคำนวณจากผลรวมปริมาณการใช้น้ำทั้ง 3 ประเภท ประกอบไปด้วย กรีนวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ (Green WF) เป็นปริมาณการใช้น้ำจากน้ำฝนและความชื้นในดิน บลูวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ (Blue WF) เป็นปริมาณการใช้น้ำจากแหล่งน้ำผิวดินและแหล่งน้ำใต้ดิน และเกรย์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ (Grey WF) เป็นปริมาณการใช้น้ำสำหรับเจือจางมลพิษในน้ำให้อยู่ในค่ามาตรฐานที่กำหนด โดยแต่ละประเภทจะพิจารณาการใช้น้ำจากแหล่งน้ำที่แตกต่างกัน ซึ่งขอบเขตของงานวิจัยนี้จะทำการวิเคราะห์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของปาล์มน้ำมันสำหรับผลิตไบโอดีเซล โดยพิจารณาเฉพาะกระบวนการเพาะปลูกในเขตพื้นที่ภาคเหนือและภาคใต้ของประเทศไทย

ดังนั้นวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของปาล์มน้ำมัน สามารถหาได้จากผลรวมของ กรีน บลู และเกรย์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ แสดงในหน่วยลูกบาศก์เมตรต่อตัน (m^3/ton) ตามสมการที่ (1) โดยวิธีการคำนวณวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ การคำนวณวอเตอร์ฟุตพริ้นท์จากค่าความต้องการน้ำใช้ของปาล์มน้ำมัน และการคำนวณวอเตอร์ฟุตพริ้นท์จากปริมาณการชะล้างมลพิษที่ไหลลงสู่แหล่งน้ำ ดังภาพที่ 1

$$WF = WF_{green} + WF_{blue} + WF_{grey} \quad (1)$$



ภาพที่ 1 แผนผังการวิเคราะห์ค่าการใช้น้ำหรือวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของปาล์มน้ำมัน

สำหรับการคำนวณหาค่ากรีนและบลูวอเตอร์ฟุตพริ้นท์มีหลักการคำนวณเหมือนกัน โดยคำนวณหาปริมาณน้ำที่พืชต้องการใช้จริง แสดงในหน่วยลูกบาศก์เมตรต่อตัน (m^3/ton) หาได้จากค่าความต้องการใช้น้ำของพืช (Crop Water Use; CWU) ต่อผลผลิตต่อพื้นที่ ตามสมการที่ (2) และ (3)

$$WF_{green} = \frac{CWU}{Y} \quad (2)$$

$$WF_{blue} = \frac{CWU}{Y} \quad (3)$$

จากสมการที่ (2) และ (3) ค่าความต้องการใช้น้ำของพืช แสดงในหน่วยลูกบาศก์เมตรต่อตัน (m^3/ton) คำนวณได้จากค่าการสะสมการคายระเหยน้ำของพืช (Evapotranspiration; ET) ตลอดช่วงอายุการเจริญเติบโต (Length of growing period; lgp) ตามสมการที่ (4)

$$CWU = 1.6 \times \sum_{d=1}^{lgp} ET_{green,blue} \quad (4)$$

โดยในงานวิจัยนี้การหาค่าการคายระเหยน้ำของพืชเกิดจากการคำนวณโดยอาศัยข้อมูลสภาพภูมิอากาศ ด้วยการใช้โปรแกรม CROPWAT 8.0 ซึ่งเป็นเครื่องมือในการคำนวณค่าการคายระเหยน้ำของพืช ซึ่งข้อมูลที่ใช้สำหรับการคำนวณค่าการคายระเหยน้ำประกอบด้วย ข้อมูลเชิงพื้นที่ ข้อมูลสภาพภูมิอากาศ (อุณหภูมิสูงสุด อุณหภูมิต่ำสุด ปริมาณแสงแดด ความเร็วลม ความชื้นสัมพัทธ์ และปริมาณน้ำฝน) โดยใช้ค่าเฉลี่ยในช่วงระยะเวลา 30 ปี (พ.ศ. 2524 – 2553) ที่อ้างอิงข้อมูลจริงจากกรมอุตุนิยมวิทยาตามพื้นที่ศึกษาจากสถานีที่ใกล้เคียงหรือสถานีที่เป็นตัวแทนที่ดีที่สุด ข้อมูลปัจจัยการผลิตพืช (ชนิดของพืช วันปลูกและเก็บเกี่ยว ช่วงอายุการเจริญเติบโตของพืช สัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืช และความยาวของรากพืช) และข้อมูลคุณสมบัติดิน (ข้อมูลชุดดิน ความชื้นในดิน การแทรกซึมน้ำผ่านผิวดินสูงสุด ความลึกของรากพืช ความชื้นเริ่มต้น ระยะที่น้ำเริ่มขาด) อ้างอิงจากระบบสารสนเทศของกรมพัฒนาที่ดินและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ส่วนสุดท้ายในการคำนวณเกรย์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ ใช้หลักการที่ว่าปริมาณของมลสารทางน้ำหาได้จากปริมาณน้ำที่ต้องการเพื่อเจือจางมลสารที่มีอยู่ในน้ำให้มีค่าตามมาตรฐาน แสดงในหน่วยลูกบาศก์เมตรต่อตัน (m^3/ton) โดยส่วนใหญ่ในกระบวนการเพาะปลูกจะมีการใช้ปุ๋ย เมื่อพืชนำไปใช้ไม่หมดจะมีการตกค้างและซึมลงสู่ใต้ดินหรือถูกชะล้างลงสู่แหล่งน้ำ โดยการเกิดมลพิษในกรณีนี้มีแหล่งกำเนิดแบบแพร่กระจายไม่สามารถวัดค่าได้โดยตรง สามารถคำนวณได้จากผลคูณระหว่างปริมาณการใช้สารเคมีและสัดส่วนการชะล้างที่เกิดขึ้นต่อผลต่อความเข้มข้นของมลสารต่อผลผลิตต่อพื้นที่ ตามสมการที่ (5)

$$WF_{grey} = \frac{(\alpha \times Appl)/(C_{max} - C_{nat})}{Y} \quad (5)$$

โดยกำหนดให้สัดส่วนการชะล้าง (α) ที่ไหลลงสู่แม่น้ำเท่ากับ 10% ของอัตราการใช้ปุ๋ยที่เกิดขึ้น (Allen et al., 1998) ซึ่งในงานวิจัยนี้พิจารณาผลกระทบที่เกิดจากการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนเท่านั้น ส่วนผลต่างความเข้มข้นของมลสารซึ่งค่าความเข้มข้นสูงสุดที่ยอมรับได้ (C_{max}) อ้างอิงจากค่ามาตรฐานคุณภาพในแหล่งน้ำผิวดินของประเทศไทยจากกรมควบคุมมลพิษ มีค่าเท่ากับ 5 มิลลิกรัมต่อลิตร (mg/l) และค่าความเข้มข้นตามธรรมชาติ (C_{nat}) มีค่าเท่ากับศูนย์ (Mokonnen and Hoekstra, 2011)

3. ผลการศึกษา (Results)

จากข้อมูลสถิติการเกษตรของประเทศไทย สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ (2554) ในช่วงปี พ.ศ. 2550-2554 พบว่า ปริมาณการให้ผลผลิตปาล์มน้ำมันเพื่อผลิตไบโอดีเซลของประเทศไทยเฉลี่ย 5 ปี มีพื้นที่ในการเพาะปลูก 641,397 ไร่ต่อปี ผลผลิต 1,712,927 ตันต่อปี และมีผลผลิตเฉลี่ย 2.67 ตันต่อไร่ โดยในพื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมันภาคเหนือที่สามารถเก็บเกี่ยวได้มีทั้งสิ้น 3 จังหวัด โดยมีผลผลิตเฉลี่ย 0.55 ตันต่อไร่ ซึ่งเป็นภาคที่มีการให้ผลผลิตเฉลี่ยต่อไร่ต่ำที่สุดของประเทศ ในขณะที่ภาคใต้มีการปลูกปาล์มน้ำมันทั้งสิ้น 13 จังหวัด มีการให้ผลผลิตเฉลี่ย 2.31 ตันต่อไร่ ซึ่งเป็นภาคที่มีผลผลิตเฉลี่ยต่อไร่สูงที่สุดของประเทศ ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 เนื้อที่ ผลผลิต และผลผลิตต่อไร่ของปาล์มน้ำมันเป็นรายจังหวัดในเขตภาคเหนือและภาคใต้ (ปี 2550 – 2554)

จังหวัด	เนื้อที่ให้ผลเฉลี่ย	ผลผลิตเฉลี่ย	ช่วงระยะเวลาปลูก*	ผลผลิตต่อไร่
	(ไร่)	(ตัน)		(ตัน/ไร่)
เชียงราย	390	212	พฤษภาคม-มิถุนายน	0.54
พิจิตรโลก	45	23	พฤษภาคม-มิถุนายน	0.51
อุทัยธานี	115	70	พฤษภาคม-มิถุนายน	0.61
ชุมพร	133,992	363,667	พฤษภาคม-ตุลาคม	2.71
ระนอง	11,887	29,916	เมษายน-กันยายน	2.52
สุราษฎร์ธานี	165,995	457,234	พฤษภาคม-ตุลาคม	2.75
พังงา	18,215	41,346	เมษายน-กันยายน	2.27
ภูเก็ต	227	375	เมษายน-กันยายน	1.65
กระบี่	170,203	491,220	เมษายน-กันยายน	2.89
ตรัง	19,632	50,372	เมษายน-กันยายน	2.57
นครศรีธรรมราช	22,587	59,350	พฤษภาคม-ตุลาคม	2.63
พัทลุง	1,431	3,130	พฤษภาคม-ตุลาคม	2.19
สงขลา	4,327	9,882	พฤษภาคม-ตุลาคม	2.28
สตูล	19,177	42,962	เมษายน-กันยายน	2.24
ยะลา	982	1,271	พฤษภาคม-ตุลาคม	1.30
นราธิวาส	5,611	11,539	พฤษภาคม-ตุลาคม	2.06
รวมทั้งประเทศ	641,397	1,712,927	พฤษภาคม-ตุลาคม	2.67

ที่มา: สถิติการเกษตรของประเทศไทย สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (2554)

* ที่มา: FAO (2005), กรมวิชาการเกษตร (2552)

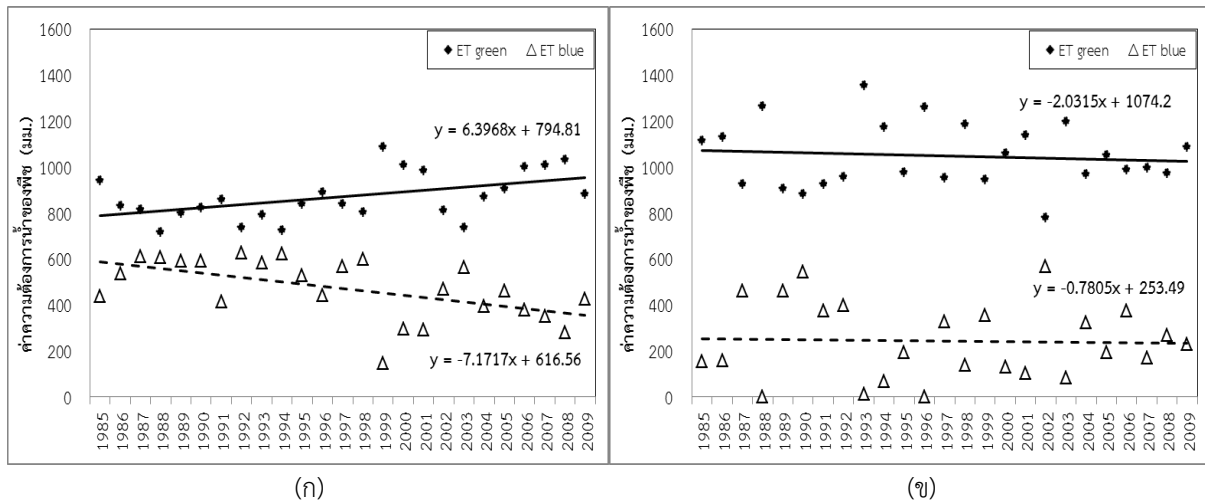
เมื่อคำนวณค่ากรีนและบลูวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ด้วยโปรแกรม CROPWAT 8.0 เพื่อหาการคายระเหยของน้ำ ตลอดระยะเวลาการเจริญเติบโตของปาล์มน้ำมัน โดยกำหนดการให้น้ำพืชด้วยวิธีการให้น้ำชลประทาน เมื่อความชื้นถึงจุดวิกฤต (Irrigation at critical depletion) และให้น้ำจนความชื้นในดินถึงความจุในสนาม (Refill soil to field capacity) พบว่า ค่ากรีนวอเตอร์ฟุตพริ้นท์มีค่าสูงกว่าบลูวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ ดังตารางที่ 3 ในพื้นที่ภาคเหนือจังหวัดที่มีค่ากรีนวอเตอร์ฟุตพริ้นท์มากที่สุด คือ เชียงราย และน้อยที่สุด คือ อุทัยธานี มีค่าเท่ากับ 2,543 และ 2,355 ลบ.ม./ตัน ตามลำดับ ส่วนพื้นที่ภาคใต้จังหวัดที่มีค่ากรีนวอเตอร์ฟุตพริ้นท์มากที่สุด คือ ยะลา และน้อยที่สุด คือ กระบี่ มีค่าเท่ากับ 1,254 และ 495 ลบ.ม./ตัน ตามลำดับ และเมื่อคำนวณค่าบลูวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ในพื้นที่ภาคเหนือจังหวัดที่มีค่าบลูวอเตอร์ฟุตพริ้นท์มากที่สุดคือ พิจิตรโลก และน้อยที่สุดคือ อุทัยธานี มีค่าเท่ากับ 1,606 และ 885 ลบ.ม./ตัน ตามลำดับ ส่วนพื้นที่ภาคใต้จังหวัดที่มีค่าบลูวอเตอร์ฟุตพริ้นท์มากที่สุดคือ ยะลา และน้อยที่สุด คือ นครศรีธรรมราช มีค่าเท่ากับ 253 และ 19 ลบ.ม./ตัน ตามลำดับ

ตารางที่ 3 ปริมาณการคายระเหยน้ำ ความต้องการน้ำ และปริมาณการใช้น้ำจริงตลอดช่วงการเพาะปลูกปาล์มน้ำมัน

จังหวัด	ค่าการคายระเหยน้ำ (มม.)		ค่าความต้องการใช้น้ำของพืช (ลบ.ม./ไร่/ปี)		WF _{blue}	WF _{green}
	ET _{blue}	ET _{green}	CWU _{blue}	CWU _{green}	(ลบ.ม./ตัน)	
เชียงราย	389	864	622	1,382	1,145	2,543
พิจิตรโลก	513	792	821	1,268	1,606	2,480
อุทัยธานี	336	893	537	1,429	885	2,355
ชุมพร	102	1,124	163	1,799	60	663
ระนอง	296	900	473	1,440	188	572
สุราษฎร์ธานี	101	1,098	162	1,757	59	638
พังงา	204	975	326	1,560	144	687
ภูเก็ต	202	1,084	324	1,735	196	1,049
กระบี่	390	894	624	1,430	216	495
ตรัง	108	1,173	172	1,877	67	732
นครศรีธรรมราช	31	1,117	49	1,786	19	680
พัทลุง	201	1,009	322	1,615	147	738
สงขลา	288	985	461	1,576	202	690
สตูล	189	1,062	302	1,700	135	759
ยะลา	205	935	328	1,624	253	1,254
นราธิวาส	205	1,015	211	1,638	102	797

เมื่อพิจารณาแนวโน้มหรือการคาดการณ์ความต้องการน้ำของปาล์มน้ำมันจากการคำนวณผลสภาพภูมิอากาศ (ประกอบด้วยค่าพิกัดทางภูมิศาสตร์ อุณหภูมิสูงสุด อุณหภูมิต่ำสุด ความชื้นสัมพัทธ์ ปริมาณแสงแดด ความเร็วลม และปริมาณน้ำฝน) ของพื้นที่ที่ศึกษาในประเทศไทย ดังภาพที่ 2

โดยค่าความต้องการใช้น้ำเฉลี่ยของพืช (Crop water requirement) ในช่วง 24 ปี (ปีพ.ศ. 2528-2552) ของพื้นที่ภาคเหนือและภาคใต้แตกต่างกัน โดยในพื้นที่ภาคเหนือมีแนวโน้มความต้องการน้ำจากน้ำฝนและความชื้นในดินของพืชเพิ่มสูงขึ้น และแนวโน้มความต้องการน้ำจากแหล่งน้ำผิวดินและแหล่งน้ำใต้ดินของพืชลดลง ส่วนในพื้นที่ภาคใต้มีแนวโน้มความต้องการน้ำจากน้ำฝนและความชื้นในดินของพืชลดลง และแนวโน้มความต้องการน้ำจากแหล่งน้ำผิวดินและแหล่งน้ำใต้ดินของพืชคงที่



ภาพที่ 2 แนวโน้มแสดงค่าความต้องการน้ำกรีนและบลูของพืช (Crop Water Requirement) (ปี พ.ศ. 2528-2552)

(ก) แนวโน้มค่าความต้องการน้ำของพืชในพื้นที่ภาคเหนือ (ข) แนวโน้มค่าความต้องการน้ำของพืชในพื้นที่ภาคใต้

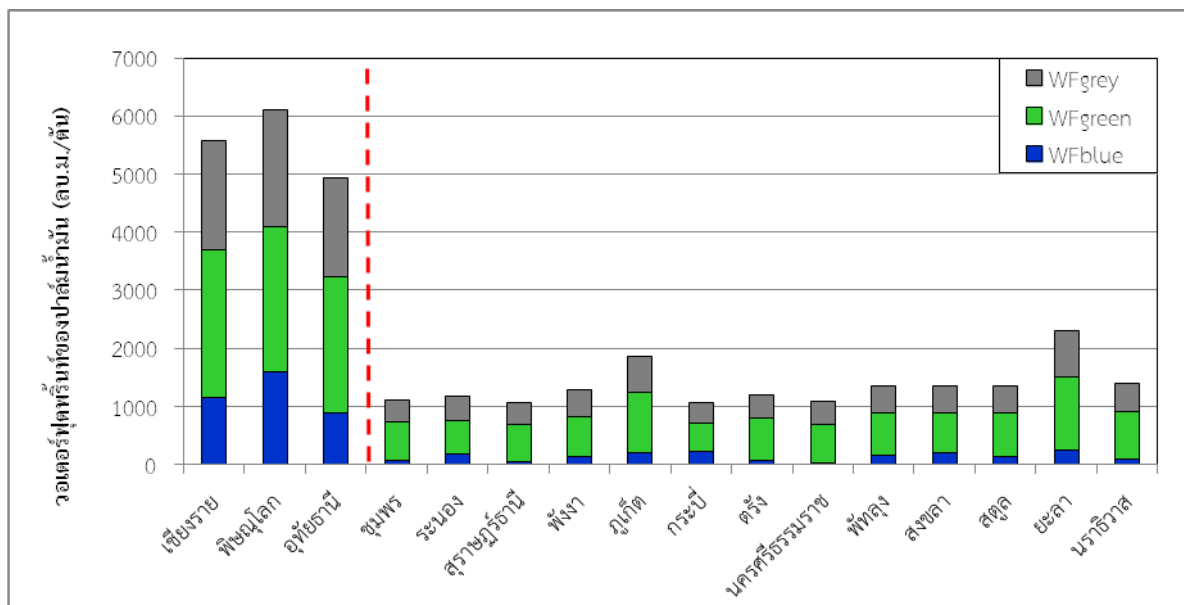
สำหรับการใช้ปุ๋ยในแต่ละช่วงของการปลูกจะมีการใช้ปุ๋ยที่แตกต่างกันตามความต้องการของปาล์มน้ำมัน แต่ในงานวิจัยนี้จะพิจารณาเฉพาะการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนเพียงอย่างเดียวเท่านั้น โดยการใช้ปุ๋ยแบ่งออกเป็น 3 ช่วงตลอดระยะเวลาการปลูก คือ ช่วงเตรียมดิน ช่วงการอนุบาลต้นกล้า และช่วงการเพาะปลูก ซึ่งการคำนวณเกรย์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์นั้นจะใช้ปริมาณเฉลี่ยของประเทศเป็นค่าตัวแทนของแต่ละจังหวัด ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ปริมาณการใช้ปุ๋ยและปริมาณน้ำที่ต้องการเพื่อเจือจางการชะล้างปุ๋ยที่มีอยู่ในแหล่งน้ำ

จังหวัด	ปริมาณการใช้ปุ๋ยไนโตรเจน	สัดส่วนการชะล้าง	WF _{grey}
	(ตัน/ปี)	(ตัน/ปี)	(ลบ.ม./ตัน)
เชียงราย	20	2	1,893
พิษณุโลก	2	0.2	2,012
อุทัยธานี	6	1	1,695
ชุมพร	6,892	689	409
ระนอง	611	61	373
สุราษฎร์ธานี	8,538	854	453
พังงา	937	94	622
ภูเก็ต	12	1	356
กระบี่	8,754	875	401
ตรัง	1,010	101	391
นครศรีธรรมราช	1162	116	470
พัทลุง	74	7	450
สงขลา	223	22	459
สตูล	986	99	966
ยะลา	50	5	794
นราธิวาส	289	29	500

จากผลการศึกษาพบว่า ค่าเฉลี่ยวอเตอร์ฟุตพริ้นท์เฉลี่ยเท่ากับ 729 ลบ.ม./ตัน โดยพื้นที่ภาคเหนือจังหวัดที่มีค่าเฉลี่ยวอเตอร์ฟุตพริ้นท์มากที่สุดคือ พิชณุโลก และน้อยที่สุดคือ อุทัยธานี มีค่าเท่ากับ 2,021 และ 1,695 ลบ.ม./ตัน ส่วนในพื้นที่ภาคใต้จังหวัดที่มีค่าเฉลี่ยวอเตอร์ฟุตพริ้นท์มากที่สุดคือ สตูล และน้อยที่สุดคือ ภูเก็ต มีค่าเท่ากับ 966 และ 356 ลบ.ม./ตัน

เมื่อพิจารณาเป็นรายจังหวัดจะเห็นว่า จังหวัดที่มีค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์มากที่สุดคือ จังหวัดพิษณุโลก มีค่าเท่ากับ 6,098 ลบ.ม./ตัน โดยแบ่งเป็น กรีน บลู และเกรย์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ เท่ากับ 2,480, 1,606 และ 2,012 ลบ.ม./ตัน ตามลำดับ และจังหวัดที่มีค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์น้อยที่สุดคือ สุราษฎร์ธานี มีค่าเท่ากับ 1,070 ลบ.ม./ตัน โดยแบ่งเป็นกรีน บลู และเกรย์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ เท่ากับ 638, 59 และ 373 ลบ.ม./ตัน ตามลำดับ ดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของปาล์มน้ำมันในพื้นที่ภาคเหนือและภาคใต้ทั้งหมด 16 จังหวัด (ปีพ.ศ.2550-2554)

โดยค่าเฉลี่ยวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ทั้งกรีน บลู และเกรย์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ พบว่า ในพื้นที่ภาคเหนือและภาคใต้ มีค่ากรีนวอเตอร์ฟุตพริ้นท์มากที่สุดเท่ากับ 2,459 และ 750 ลบ.ม./ตัน ตามลำดับ รองลงมาคือ เกรย์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ มีค่าเท่ากับ 1,867 และ 511 ลบ.ม./ตัน และบลูวอเตอร์ฟุตพริ้นท์มีค่าเท่ากับ 1,212 และ 138 ลบ.ม./ตัน เมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ค่าเฉลี่ยของกรีน บลู และเกรย์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ ในพื้นที่ภาคเหนือและภาคใต้มีสัดส่วนเท่ากับ 50%, 34% และ 16% ตามลำดับ ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ค่าเฉลี่ยวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของปาล์มน้ำมันสำหรับผลิตไบโอดีเซล (ปีพ.ศ.2550-2554)

ภูมิภาค	ค่าเฉลี่ยวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ (ลบ.ม./ตัน)			
	WF _{green}	WF _{blue}	WF _{grey}	Total
ภาคเหนือ	2,459	1,212	1,867	5,538
ภาคใต้	750	138	511	1,399
เฉลี่ย	1,071	339	729	2,139

4. อภิปรายผล (Discussion)

จากการคำนวณค่าผลรวมวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของปาล์มน้ำมันสำหรับผลิตไบโอดีเซลในพื้นที่ 16 จังหวัด โดยใช้ค่าผลผลิตเฉลี่ย 5 ปี พบว่า จังหวัดที่มีค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์มากที่สุดคือ พืชญโลก (6,098 ลบ.ม./ตัน) รองลงมาคือ เชียงราย อุทัยธานี ยะลา ภูเก็ต นราธิวาส พัทลุง สตูล สงขลา พังงา ตรัง ระนอง ชุมพร นครศรีธรรมราช สุราษฎร์ธานี และกระบี่ ตามลำดับ และเมื่อทำการพิจารณาค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์เฉลี่ยของปาล์มน้ำมันในแต่ละภูมิภาคพบว่า ในพื้นที่ภาคเหนือมีปริมาณการใช้น้ำมากกว่าพื้นที่ภาคใต้ถึง 3.9 เท่า ซึ่งเป็นผลเนื่องมาจากความต้องการการใช้น้ำที่แตกต่างกันในแต่ละภูมิภาค โดยส่วนใหญ่เกิดมาจากปริมาณของผลผลิตปาล์มน้ำมันที่ได้อ่อนพื้นที่ต่ำ ลักษณะของสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม ทำให้การจัดการการเพาะปลูกต้องมากขึ้น เช่น การเพิ่มความชื้นให้กับปาล์มน้ำมันในพื้นที่ โดยการอาศัยน้ำจากแหล่งน้ำชลประทานมากขึ้น การเพิ่มปริมาณของปุ๋ยหรือธาตุอาหารเพื่อให้ปาล์มน้ำมันได้ธาตุอาหารที่ครบถ้วนและให้ปริมาณผลผลิตสูง ซึ่งส่งผลให้คุณภาพน้ำต่ำลง เกิดการแพร่กระจายของภาวะการแย่งชิงแหล่งน้ำ รวมทั้งคุณภาพน้ำเสื่อมโทรม เนื่องจากการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนที่มากเกินไปจนความจำเป็น

ดังนั้นจากการพิจารณาในเชิงผลกระทบต่อทรัพยากรน้ำที่ใช้ในการปลูกปาล์มน้ำมันเพื่อผลิตเป็นไบโอดีเซลในพื้นที่ภาคเหนือมีปริมาณการใช้น้ำมากกว่าภาคใต้ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องหาแนวทางในการลดค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ที่เกิดขึ้นของปลูกปาล์มน้ำมันในพื้นที่ภาคเหนือ โดยการศึกษาวิจัยเพื่อเพิ่มปริมาณผลผลิตต่อพื้นที่ ซึ่งอาจเป็นการพัฒนาระบบน้ำในการเพาะปลูก เช่น การลงทุนสร้างระบบน้ำเพื่อช่วยเพิ่มปริมาณผลผลิตต่อพื้นที่ การจัดการช่วงเวลาในการเพาะปลูก การปรับปรุงพันธุ์ให้เหมาะสมกับลักษณะพื้นที่ ซึ่งจะเป็อีกแนวทางหนึ่งในการลดปริมาณวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ รวมไปถึงการลดการใช้ปุ๋ยเคมีในช่วงการเพาะปลูกพืช ซึ่งเป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้ค่าความต้องการน้ำเพิ่มมากขึ้น

เมื่อจำแนกตามประเภทของวอเตอร์ฟุตพริ้นท์พบว่า ในพื้นที่ที่ทำการศึกษามีค่าเฉลี่ยของปริมาณกรีนวอเตอร์ฟุตพริ้นท์สูงสุด รองลงมาคือ เกรย์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ และบลูวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ที่มีค่าน้อยที่สุด มีค่าเท่ากับ 1,071, 729 และ 339 ลบ.ม./ตัน ตามลำดับ คิดเป็น 50%: 34%: 16% จากการคำนวณนั้นสามารถอธิบายได้ว่า ในแต่ละจังหวัดมีปริมาณฝนใช้การ (Effective rain) สูงมากสำหรับการนำไปใช้ โดยฝนใช้การ คือ น้ำฝนส่วนที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์อย่างแท้จริง ซึ่งไม่รวมปริมาณฝนทั้งหมดที่ตกลงบนพื้นที่เพาะปลูกบางส่วนที่ไม่ได้เก็บอยู่ในพื้นที่เพาะปลูก หากแต่ได้ไหลล้นออกไปตามผิวดินและใต้ดินบ้าง และบางก็ส่วนติดค้างอยู่บนใบและกิ่งก้านของต้นพืชแล้วระเหยไป โดยค่าเฉลี่ยปริมาณฝนใช้การของประเทศไทยอยู่ที่ร้อยละ 80 (ประเมศร์, 2549) ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อค่าฝนใช้การ เช่น ปริมาณฝนที่ตก ชนิดของพืชที่ปลูก คุณสมบัติของดิน ความชื้นของดิน ความสามารถของดินที่จะดูดซับน้ำฝน ความลาดชันของดิน ความลึกของรากพืช และลักษณะภูมิประเทศ ทำให้พืชสามารถนำน้ำจากน้ำฝนและความชื้นในดินไปใช้ได้มากตามความต้องการ แสดงให้เห็นว่า น้ำฝนถือเป็นปัจจัยสำคัญในการเจริญเติบโตของปาล์มน้ำมัน แต่ก็ยังมีการพึ่งพาแหล่งน้ำจากชลประทานเพื่อให้มีปริมาณน้ำเพียงพอที่จะเจริญเติบโตและมีผลผลิตสูง โดยหากทำการเปรียบเทียบระหว่างน้ำจากทั้งสองแหล่งจะเห็นว่า น้ำฝนถือเป็นปริมาณที่ไม่มิต้นทุน ในขณะที่น้ำชลประทานมีต้นทุนมากกว่า เพราะต้องอาศัยการจัดการสูงกว่าในการกักเก็บและกระจายน้ำไปยังพื้นที่ปลูก ส่วนปริมาณที่ใช้ในการปรับสภาพมะลพิษในแหล่งน้ำให้อยู่ในมาตรฐานคุณภาพน้ำของแหล่งน้ำตามธรรมชาติ แม้ว่าจะมีสัดส่วนที่ต่ำกว่า แต่ถือเป็นส่วนที่ควรให้ความสำคัญมาก เนื่องจากการสะท้อนถึงความเป็นมลพิษต่อแหล่งน้ำ ซึ่งส่งผลกระทบต่อเนื่องในระบบนิเวศ

โดยเมื่อเปรียบเทียบค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของปาล์มน้ำมันจากงานวิจัยนี้เทียบกับงานวิจัยของ Mekonnen and Hoekstra (2010) ที่ได้วิเคราะห์ค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของปาล์มน้ำมันเฉลี่ยทั่วโลก มีค่าเท่ากับ 1,098 ลบ.ม./ตัน ซึ่งเป็นค่าที่คิดเฉพาะกรีนและเกรย์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ พบว่า มีค่าน้อยกว่าค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของปาล์มน้ำมันจากงานวิจัยนี้ มีค่าเท่ากับ 1,800 ลบ.ม./ตัน ซึ่งเป็นผลเนื่องมาจากความแตกต่างของปัจจัยต่างๆ คือ ระบบการจัดการทางการเกษตร ลักษณะสภาพภูมิอากาศ ลักษณะภูมิประเทศ คุณสมบัติของดิน และผลผลิตต่อพื้นที่เพาะปลูก

ดังนั้นจากการพิจารณาในเชิงผลกระทบต่อทรัพยากรน้ำที่ใช้ในการปลูกปาล์มน้ำมันโดยเฉลี่ยของปริมาณการใช้น้ำจากพื้นที่การศึกษาของไทยมีปริมาณสูงกว่าค่าเฉลี่ยโลก โดยส่วนใหญ่เกิดจากการใช้น้ำจากแหล่งน้ำฝน ซึ่งถือเป็นข้อดีเนื่องจากลักษณะของภูมิประเทศที่ตั้งอยู่ในเขตร้อนและได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตลอด แต่ในอนาคตการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศเริ่มทวี

ความรุนแรงมากยิ่งขึ้น ซึ่งก่อให้เกิดปัญหาอุทกภัย ภัยแล้ง และปัญหาการเสื่อมคุณภาพของน้ำจากมลพิษ ถ้าไม่สามารถลดปริมาณการใช้น้ำที่เกิดขึ้นอาจทำให้ประสบปัญหาการขาดแคลนน้ำใช้ได้ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องหาแนวทางในการลดปริมาณводเตอร์พุตพรีนซ์ที่เกิดขึ้นเช่นกัน ทั้งการพัฒนาระบบการให้น้ำ การจัดการช่วงเวลาการเพาะปลูก การปรับปรุงพันธุ์ การพัฒนาเทคโนโลยี การเพิ่มผลผลิต รวมถึงการศึกษาประเด็นการใช้น้ำในโตรเจนกับการเกิดกรดวอดเตอร์พุตพรีนซ์ เนื่องจากประเด็นของค่ากรดวอดเตอร์พุตพรีนซ์จากอัตราการใช้ปุ๋ยในดินของไทยมีค่าต่างจากต่างประเทศ

5. สรุปผล (Conclusion)

ปริมาณวอดเตอร์พุตพรีนซ์ของปาล์มน้ำมันสำหรับผลิตไบโอดีเซลของประเทศไทยในพื้นที่ 16 จังหวัด (ปี พ.ศ.2550 – 2554) โดยแบ่งเป็นพื้นที่ภาคเหนือ 3 จังหวัด และพื้นที่ภาคใต้ 13 จังหวัด พบว่า ในพื้นที่ภาคเหนือมีค่าปริมาณการใช้น้ำมากกว่าพื้นที่ภาคใต้ 3.9 เท่า ซึ่งปัจจัยที่ส่งผลต่อปริมาณการใช้น้ำขึ้นอยู่กับ ผลผลิตที่ได้ต่อพื้นที่ ระบบการจัดการแปลงปลูก สภาพภูมิอากาศ และลักษณะของพื้นที่เพาะปลูก และปริมาณวอดเตอร์พุตพรีนซ์เฉลี่ยของปาล์มน้ำมัน มีค่าเท่ากับ 2,139 ลบ.ม./ตัน แบ่งเป็น กรีนวอดเตอร์พุตพรีนซ์ 1,071 ลบ.ม./ตัน กรีนวอดเตอร์พุตพรีนซ์ 729 ลบ.ม./ตัน และบลูวอดเตอร์พุตพรีนซ์ 339 ลบ.ม./ตัน ซึ่งตรงกับค่าเฉลี่ยวอดเตอร์พุตพรีนซ์ของโลกที่เกิดจากการผลิตสินค้าทางการเกษตรและอาหารว่า โดยส่วนใหญ่ปริมาณการใช้น้ำมาจากกรีนวอดเตอร์พุตพรีนซ์ รองลงมาคือ กรีนและบลูวอดเตอร์พุตพรีนซ์ แสดงให้เห็นว่า ผลลัพธ์ที่ได้จากการศึกษาปริมาณและแหล่งที่มาของน้ำใช้ส่วนใหญ่มาจากน้ำฝน (ร้อยละ 50) ซึ่งข้อดีของการใช้น้ำฝน คือ มีการใช้พลังงานน้อยมาก (พลังงานที่ใช้ในการสูบน้ำจากแหล่งกักเก็บน้ำ) และไม่มีต้นทุนในการจัดการเหมือนกับการใช้น้ำชลประทาน ส่วนปริมาณกรีนวอดเตอร์พุตพรีนซ์ที่มีค่าสูงและมีปริมาณมากกว่าค่าเฉลี่ยโลก นั้นเพราะในช่วงการเพาะปลูกปาล์มน้ำมันมีการใช้น้ำในโตรเจนในปริมาณมากเพื่อให้ได้ผลผลิตสูงตามต้องการ ดังนั้นการวิเคราะห์วอดเตอร์พุตพรีนซ์ของปาล์มน้ำมันในงานวิจัยนี้ จึงทำให้เห็นถึงปริมาณ แหล่งที่มา และรูปแบบการใช้น้ำเพื่อการเพาะปลูกปาล์มน้ำมันในพื้นที่เพาะปลูกเดิมและพื้นที่เพาะปลูกใหม่ที่เกิดจากการขยายพื้นที่ และชี้ถึงความจำเป็นในการเพิ่มประสิทธิภาพหรือการบริหารจัดการการใช้น้ำ เพื่อให้เกิดการลดปริมาณของน้ำใช้ที่เกิดขึ้นได้ ซึ่งจะนำไปสู่การจัดสรรและใช้ประโยชน์จากน้ำที่มีอยู่ให้เกิดประสิทธิภาพและยั่งยืนมากที่สุด และในการศึกษาต่อไปควรมีการวิจัยและการพัฒนาการบริหารจัดการน้ำแบบบูรณาการมากขึ้น โดยการพัฒนาการศึกษาวิจัยปริมาณวอดเตอร์พุตพรีนซ์ของกระบวนการผลิต เริ่มตั้งแต่การสกัดน้ำมันปาล์มไปจนถึงการผลิตไบโอดีเซล เพื่อให้เกิดการวิเคราะห์ครอบคลุมตลอดวัฏจักรของผลิตภัณฑ์ รวมถึงการพัฒนาวิธีการวิเคราะห์วอดเตอร์พุตพรีนซ์ของผลิตภัณฑ์ด้วยวิธีการอื่นๆ เช่น วิธีการ International Organization for Standardization (ISO) วิธีการ Global Environmental Management Initiative (GEMI) และวิธีการ World Business Council for Sustainable Development (WBCSD) เป็นต้น

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณหน่วยวิจัยเพื่อการจัดการพลังงานและเศรษฐกิจ สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่ให้ความช่วยเหลือและให้คำแนะนำเป็นอย่างดีตลอดมาจนงานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] อีระ เอกสมทราเมษฐ์ และคณะ, 2548. เส้นทางสู่ความสำเร็จการผลิตปาล์มน้ำมัน. ศูนย์วิจัยและพัฒนาการผลิตปาล์มน้ำมัน คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ สงขลา.
- [2] ประเมศร์ อมาตยกุล, 2549. การประมาณค่าฝนใช้การรายเดือนจากปริมาณน้ำฝนรายเดือนที่มีความเชื่อมั่นว่าเป็นไปได้ ร้อยละ 80 ในประเทศไทย. กลุ่มวิชาการอุตุนิยมวิทยาเกษตร สำนักพัฒนาอุตุนิยมวิทยา.
- [3] ศูนย์สารสนเทศการเกษตร สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2553. นโยบายการบริหารผลผลิต/ส่งเสริมการผลิตสินค้าเกษตรในประเทศ. [ระบบออนไลน์] แหล่งที่มา www.oae.go.th/ewtadmin/ewt/oae.../article_20100929152142.ppt (28 มีนาคม 2555)
- [4] Allen, R.F., Pereira L.S., Raca, D., Smith, 1998. Crop evapotranspiration for commuting crop requirements. United Nations Food and Agriculture organization, Irrigation and Drainage Paper's Rome Italy. 333p.



- [5] Chapagain, A.K., Hoekstra, A.Y., Savenije, H.H.G., Gautam, R., 2006. The water footprint of cotton consumption: an assessment of the impact of worldwide consumption of cotton products on the water resources in the cotton producing countries. *Ecological Economics*, 60, 186-203.
- [5] FAO, 2005. Review of Global Agricultural Water Use Per Country, Crop Water Requirement. Food and Agriculture Organization, Rome, Italy.
- [6] F. Bultink, A. Y. Hoekstra, and M. J. Booij, 2010. The water footprint of Indonesian provinces related to the consumption of crop products. *Hydrology and Earth system Sciences*, 14, 119–128.
- [7] Gerbens-Leenes P.W., Hoekstra A.Y and Th. van der Meer, 2009. The water footprint of energy from biomass: A quantitative assessment and consequences of an increasing share of bio-energy in energy supply. *Ecological Economics* 68: 1052 – 1060.
- [8] Hoekstra, A.Y., Chapagain, A.K., Aldaya, M.M., Mekonnen, M.M., 2009. Water Footprint Manual: State of the Art 2009. Water Footprint Network, Enschede, The Netherlands.
- [9] Hoekstra, A.Y., Chapagain, A.K., Aldaya, M.M., Mekonnen, M.M., 2011. The water footprint assessment manual: setting the global standard. Water footprint Network, The Netherlands.
- [10] Hoekstra, A.Y., Hung, P.Q., (2005). Globalization of water resource: international virtual water flows in relation to crop trade. *Global Environment Change* 15 (1), 45-56.
- [11] Mekonnen, M. M. and Hoekstra, A. Y., 2011 The green, blue and grey water footprint of crop and derived crop product. *Hydrology and Earth system Sciences*, 15, 1577-1600.
- [12] UN-Water Statistics: Graphs & Maps (2011) [ระบบออนไลน์] แหล่งที่มา www.unwater.org/statistics_res.html (14 สิงหาคม 2555)

การวิเคราะห์ดัชนีพลังงานและสิ่งแวดล้อมในห่วงโซ่อุปทานของอุตสาหกรรม ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ในประเทศไทย

Energy and Environment Index Analysis in the Supply Chain of Hard Disk Drive Industry in Thailand

ปิยาภรณ์ วิฑูล^{1*}, ศักดิ์เกษม ระมิงค์วงศ์², เอกพร นวภานันท์³ และ เศรษฐ์ สัมภัตตะกุล⁴

¹สาขาวิศวกรรมพลังงาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

239 ถนนห้วยแก้ว ตำบลสุเทพ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ 50200

piyaporn.wi@gmail.com

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

³ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ekkaporn@gmail.com

⁴ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ sate@eng.cmu.ac.th

บทคัดย่อ

ประเทศไทยถือเป็นฐานการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์และชิ้นส่วนประกอบที่สำคัญของโลก แต่ในปัจจุบันอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ กำลังเข้าสู่มาตรฐานข้อปฏิบัติด้านสิ่งแวดล้อมจากหน่วยงานกลุ่มพันธมิตรของอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ (The Electronics Industry Citizenship Coalition: EICC) ส่งผลให้เจ้าของแบรนด์ (Brand Owner) มุ่งที่จะลดผลกระทบด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อม และได้ร้องขอไปยังผู้ส่งมอบให้ทำการประเมินดัชนีด้านพลังงานและผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นโดยเฉพาะก๊าซเรือนกระจก ซึ่งสอดคล้องกับนโยบายและแผนปฏิบัติในการเปิดเผยข้อมูลการปล่อยคาร์บอน (Carbon Disclosure Project) ตลอดห่วงโซ่อุปทาน ดังนั้นทางเจ้าของแบรนด์ได้ส่งสัญญาณขอความร่วมมือให้แก่ผู้ส่งมอบให้มีการทบทวนจัดทำและส่งมอบข้อมูลด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อม เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงานและการลดลงของก๊าซเรือนกระจกต่อผลิตภัณฑ์ในห่วงโซ่อุปทานต่อไป ดังนั้นงานวิจัยนี้ทำการวิเคราะห์ดัชนีพลังงานและสิ่งแวดล้อมในห่วงโซ่อุปทานของอุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ในประเทศไทย เพื่อประเมินผู้ส่งมอบที่มีความพร้อมในการปรับตัวสู่แนวทางการผลิตที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ทั้งนี้พิจารณาประเด็นด้านพลังงานด้วยการประเมินประสิทธิภาพด้านพลังงาน (Energy Efficiency) และสิ่งแวดล้อมด้วยการประเมินก๊าซเรือนกระจกตามรูปแบบของ EICC โดยมีกรณีศึกษาเป็นอุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ในประเทศไทย จากผลการศึกษา พบว่าการจัดลำดับผู้ส่งมอบด้วยวิธีการวิเคราะห์ตามลำดับชั้นสามารถสะท้อนผลได้ดีจากค่าดัชนีด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อม ทำให้เจ้าของแบรนด์สามารถจัดลำดับผู้ส่งมอบที่มีศักยภาพในการจัดการประสิทธิภาพพลังงานสูงสุด และมีเป้าหมายในการลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในห่วงโซ่อุปทานได้อย่างเป็นรูปธรรมเกิดการพัฒนาอย่างยั่งยืนต่อไป

คำสำคัญ : ดัชนีพลังงานและสิ่งแวดล้อมในห่วงโซ่อุปทาน, การปล่อยก๊าซเรือนกระจก, ประสิทธิภาพด้านพลังงาน, การวิเคราะห์ตามลำดับชั้น

Abstract

Thailand is a major exporter of the world's Hard Disk Drives (HDD). However, electronic industry is going to use the current practices according to environmental standards enforced among the

² สาขาวิศวกรรมพลังงาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เชียงใหม่ 50200

² Energy Engineering Program, Faculty of Engineering, Chiang Mai University, Chiang Mai, Thailand 5020

Electronics Industry Citizenship Coalition (EICC) members. Consequently, the Brand Owners are seeking the ways to reduce their energy and environmental impacts, and require the suppliers to create and report the energy and environment index, especially greenhouse gas management, which is consistent with the policies and strategies of Carbon Disclosure Project throughout the supply chain. Therefore, the Brand Owners have encouraged their suppliers to create and report the energy and environmental information in order to improve the energy efficiency and reduce the greenhouse gas emissions throughout the supply chain. As a result, this research aimed to analyze the energy and environmental index of the Hard Disk Drive industry's supply chain in Thailand to evaluate the good practice suppliers in term of their readiness in adapting themselves to green production. The energy analysis was done with the energy efficiency assessment and the environmental analysis through the greenhouse gas emission assessment following the EICC model. The case study was Hard Disk Drive industry in Thailand. It was found that the Analytic Hierarchy Process (AHP) method for indicating the good practice among supplier can reflect well from the energy and environment index so the brand owners can rank the supplier who has the highest potential in energy efficiency management and the substantial target in reducing greenhouse gas emissions throughout the supply chain sustainably.

1. บทนำ

อุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์เป็นอุตสาหกรรมที่มีความสำคัญต่อประเทศไทยอย่างมาก เนื่องมาจากประเทศไทยถือเป็นฐานการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์และชิ้นส่วนประกอบที่สำคัญของโลก อีกทั้งมีบริษัทผู้ผลิตฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์รายใหญ่ของโลก และบริษัทผู้ส่งมอบ (Supplier) ได้เข้ามาตั้งฐานการผลิตในประเทศ ซึ่งส่งผลทำให้เกิดอุตสาหกรรมต่อเนื่องจากการเข้ามาของผู้ผลิตชิ้นส่วนต่างๆ และทำให้ประเทศไทยมีรายได้จากการขายชิ้นส่วนดังกล่าวที่มากกว่า 5 แสนล้านบาทต่อปี โดยการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ของไทยเป็นการผลิตเพื่อการส่งออก (กัลปพฤกษ์ และคณะ, 2552)

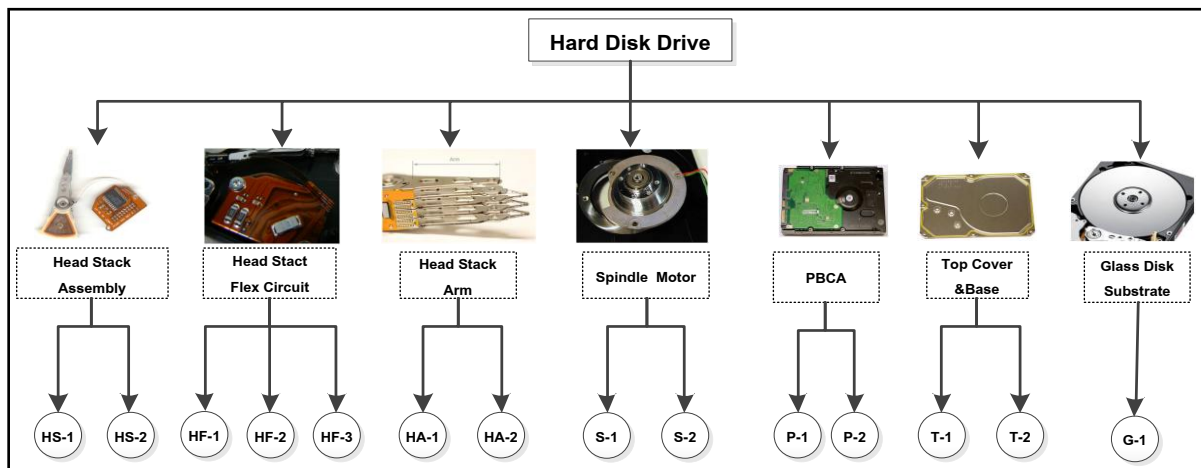
ในปัจจุบันมาตรฐานข้อปฏิบัติด้านสิ่งแวดล้อมที่เป็นหนึ่งในหลักปฏิบัติสำหรับอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Industry Code of Conduct: EICC) กำหนดให้ผู้ประกอบการในกลุ่มอุตสาหกรรมนี้มีความรับผิดชอบต่อสังคม โดยหน่วยงาน EICC เล็งเห็นว่าการผลิตสินค้าอิเล็กทรอนิกส์ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม จากการใช้ทรัพยากรสารเคมี ตลอดจนพลังงานในกระบวนการผลิตสอดคล้องกับปัญหาภาวะโลกร้อนที่ทวีความรุนแรงมากยิ่งขึ้น ซึ่งสาเหตุสำคัญมาจากการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse Gases: GHGs) ทำให้ข้อปฏิบัติด้านสิ่งแวดล้อมของ EICC มุ่งเน้นไปที่การรายงานปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นตลอดห่วงโซ่อุปทาน ด้วยเหตุนี้จึงส่งผลให้เจ้าของแบรนด์ (Brand Owner) มุ่งที่จะลดผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม และได้ร้องขอข้อมูลการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นจากผู้ผลิตฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ และผู้ส่งมอบ นอกจากนี้ทางบริษัทผู้ผลิตยังมีการส่งเสริมให้ผู้ส่งมอบมีการพิจารณาด้านพลังงาน เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงานในการดำเนินงานของบริษัท โดยให้เหตุผลว่าปริมาณการใช้พลังงานสะท้อนให้เห็นถึงค่าใช้จ่ายโดยรวมของบริษัท และส่งผลถึงปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกขององค์กรอีกด้วย

จากประเด็นดังกล่าว งานวิจัยนี้จึงมุ่งทำการวิเคราะห์ดัชนีพลังงานและสิ่งแวดล้อมในห่วงโซ่อุปทานของอุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ในประเทศไทย โดยทำการพิจารณาอุตสาหกรรมกลางน้ำของห่วงโซ่อุปทาน (Midstream Supply Chain) และพิจารณา 2 ประเด็นหลัก ได้แก่ ด้านพลังงานและด้านสิ่งแวดล้อม ซึ่งทำการประเมินจากกรณีศึกษาโรงงานผู้ส่งมอบชิ้นส่วนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ในประเทศไทย ด้วยวิธีการประเมินประสิทธิภาพพลังงานและการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์องค์กร และจัดลำดับผู้ส่งมอบด้วยวิธีการวิเคราะห์ลำดับขั้น ทั้งนี้เพื่อให้เกิดการพัฒนาการผลิตที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมในห่วงโซ่อุปทานนำไปสู่สังคมคาร์บอนต่ำในอนาคตต่อไป

2. วิธีวิจัย

งานวิจัยทำการศึกษาลำดับห่วงโซ่อุปทานของอุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ในส่วนกลางน้ำของอุตสาหกรรมโดยพิจารณาผู้ส่งมอบลำดับที่หนึ่ง (First Tier) ซึ่งเป็นผู้ส่งมอบชิ้นส่วน 7 ชิ้นส่วนหลัก ได้แก่ Head Stack Assembly (HSAs), Head Stack Flex

Circuit (HSFC), Head Stack Arm (HSA), Spindle Motor (SM), Printed Circuit Board Assembly (PCBA), Top Cover & Base (TC) และ Glass Disk Substrate (GDS) ซึ่งประเมินจากกรณีศึกษาโรงงานผู้ผลิตชิ้นส่วนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ในประเทศไทย ทั้งนี้ทำการพิจารณา 2 ประเด็น คือ ด้านพลังงาน และด้านสิ่งแวดล้อม สำหรับด้านพลังงานประเมินตามการประเมินประสิทธิภาพด้านพลังงาน (Energy Efficiency) และด้านสิ่งแวดล้อมทำการประเมินก๊าซเรือนกระจก (Carbon Footprint of Organization: CFO) ตามรูปแบบของ EICC เพื่อนำข้อมูลมาใช้เป็นเป็นแนวทางการจัดการพลังงานและลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในห่วงโซ่อุปทาน นอกจากนี้ในงานวิจัยได้ทำการประเมินค่าดัชนีพลังงานและสิ่งแวดล้อม (EE Index) และจัดลำดับผู้ส่งมอบด้วยวิธีการวิเคราะห์ตามลำดับชั้น



ภาพที่ 1 แผนผังแสดงชิ้นส่วนหลักและผู้ส่งมอบในห่วงโซ่อุปทานฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ในประเทศไทย

2.1 ห่วงโซ่อุปทานอุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์

การจัดการห่วงโซ่อุปทาน หมายถึง การจัดการ การส่งต่อ วัตถุดิบ สินค้า หรือบริการจากหน่วยหนึ่งในห่วงโซ่อุปทานไปยังอีกหน่วยหนึ่งอย่างมีประสิทธิภาพ โดยห่วงโซ่อุปทานประกอบด้วยจุดสำคัญ ได้แก่ ผู้ส่งมอบ (Suppliers) โรงงานผู้ผลิต (Manufacturers) ศูนย์กระจายสินค้า (Distribution Centers) และร้านค้าย่อยและลูกค้าหรือผู้บริโภค (Retailers or Customers) (อภิชาติ และคณะ, 2550)

สำหรับห่วงโซ่อุปทานของอุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ในประเทศไทยสามารถแจกแจงความสามารถในการผลิตจากอุตสาหกรรมต้นน้ำถึงปลายน้ำของห่วงโซ่มูลค่าระดับโลก (Global value chain) ได้ดังนี้

(ก) การผลิตในระดับต้นน้ำ (Upstream) อันได้แก่ Component fabrication อาทิเช่น semiconductor, diodes, transistors และ ICs เป็นต้น ซึ่งยังมีการนำเข้าชิ้นส่วนดังกล่าวจากต่างประเทศ

(ข) การผลิตในระดับกลางน้ำ (Midstream) ซึ่งจะเป็นผู้ผลิตขนาดกลางและเล็กเกือบทั้งหมด ทั้งนี้ทั้งผลิตภายในประเทศและนำเข้าจากต่างประเทศ โดยทั่วไปอุตสาหกรรมชิ้นส่วนจะแบ่งออกได้เป็น

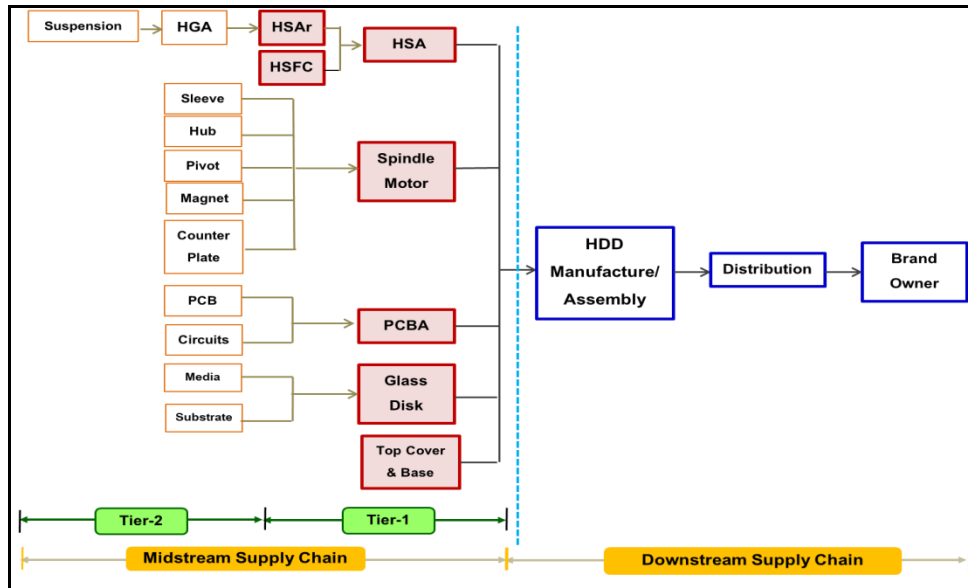
กลุ่ม 1st-tier (direct material) ประกอบด้วยผู้ผลิต HSAs, HSFC, HSA, SM, PCBA, TC และ GDS

กลุ่ม 2nd-tier ประกอบด้วย ผู้ผลิต Suspension, Motor parts และ Sub-assembly & Coil

กลุ่ม 3rd-tier ประกอบด้วย Metal/other parts, Indirect materials และ Tooling

(ค) การผลิตในระดับปลายน้ำ (Downstream) จะประกอบด้วยผู้ผลิต HDD ขึ้นนาระดับโลกจำนวน 2 รายใหญ่ อย่างไรก็ตาม อุตสาหกรรม HDD ยังมีการนำเข้าที่ค่อนข้างสูง จึงส่งผลให้อุตสาหกรรม HDD ในไทยสร้างมูลค่าเพิ่ม (value added) ได้เพียงประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ของมูลค่า HDD เท่านั้น (อารยะ, 2554)

ในงานวิจัยได้ทำการศึกษาลำดับห่วงโซ่อุปทานของอุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ โดยพิจารณาในส่วนกลางน้ำของห่วงโซ่อุปทาน และพิจารณาผู้ส่งมอบลำดับที่หนึ่ง (First Tier) ดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 ห่วงโซ่อุปทานอุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ในประเทศไทย

2.2 ประสิทธิภาพด้านพลังงาน (Energy Efficiency)

ประสิทธิภาพด้านพลังงาน คือ อัตราปริมาณการใช้พลังงานทั้งหมด (kWh) กับปริมาณการผลิตผลิตภัณฑ์ต่อปี (ชิ้น) (Gyo-Bong Lee et al, 2012) ซึ่งการประเมินค่าประสิทธิภาพด้านพลังงานในห่วงโซ่อุปทานของอุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ถือเป็นการประเมินสมรรถนะการใช้พลังงานของผู้ส่งมอบ (Supplier) ที่ใช้ในผลิตชิ้นส่วนประกอบก่อนที่จะนำส่งแก่ผู้ผลิต โดยประเมินจากปริมาณการใช้พลังงานในการดำเนินการที่เกี่ยวข้องกับกิจกรรมต่างๆ ได้แก่ กิจกรรมด้านกระบวนการผลิต (Process) ด้านการดำเนินงานในส่วนงานสนับสนุน (Facility) และด้านการขนส่ง (Transport) ซึ่งพิจารณาทั้งพลังงานไฟฟ้าและพลังงานความร้อน โดยผลลัพธ์จะอยู่ในรูปแบบของค่าประสิทธิภาพด้านพลังงานของแต่ละชิ้นส่วน ซึ่งคำนวณจากอัตราส่วนของปริมาณการใช้พลังงานกับปริมาณการผลิตผลิตภัณฑ์ทั้งหมด (กิโวลต์-ชั่วโมง ต่อหน่วยของผลิตภัณฑ์) (Gyo-Bong Lee et al, 2012) ซึ่งในงานวิจัยได้ทำการประเมินค่าประสิทธิภาพด้านพลังงานของแต่ละชิ้นส่วนและประเมินทุกผู้ส่งมอบ โดยมีสมการการคำนวณ ดังสมการที่ (1)

$$\text{Energy Efficiency (EEf}_i\text{)} = \frac{\text{Total Energy Consumption (EC}_i\text{)}}{\text{Product Output (P}_i\text{)}} \quad (1)$$

$$\text{Total Energy Consumption (EC}_i\text{)} = \text{EC}_i(\text{Facility}) + \text{EC}_i(\text{Process}) + \text{EC}_i(\text{Transport}) \quad (2)$$

เมื่อ EEf_i = ค่าประสิทธิภาพด้านพลังงานของผู้ส่งมอบ i (kWh/ชิ้น)
 EC_i = ปริมาณการใช้พลังงานทั้งหมดของผู้ส่งมอบ i (kWh)
 P_i = ปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ทำการผลิตของผู้ส่งมอบ i (ชิ้น)

2.3 การประเมินก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse Gas Emission)

ในงานวิจัยได้ทำการประเมินด้านสิ่งแวดล้อมโดยอาศัยวิธีการประเมินก๊าซเรือนกระจกตามรูปแบบแนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นต์องค์กร ซึ่งก๊าซเรือนกระจก คือ กลุ่มก๊าซชนิดต่าง ๆ ที่ก่อให้เกิดปรากฏการณ์เรือนกระจก และเป็นสาเหตุสำคัญของการเกิดภาวะโลกร้อน ได้แก่ คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) มีเทน (CH_4) ไนตรัสออกไซด์ (N_2O) และสารประกอบ

จำพวกฟลูออไรด์ 3 ชนิด คือ ไฮโดรฟลูออโรคาร์บอน (HFC) เพอร์ฟลูออโรคาร์บอน (PFC) และซัลเฟอร์เฮกซะฟลูออไรด์ (SF₆)

คาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร หมายถึง การประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการดำเนินงานขององค์กร ซึ่งเกิดจากการดำเนินกิจกรรมต่าง ๆ ขององค์กรทั้งทางตรงและทางอ้อม และแสดงอยู่ในรูปของปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก, 2554) โดยกิจกรรมการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมีหลากหลายกิจกรรม และได้แบ่งกิจกรรมทั้งหมดออกเป็น 3 ขอบเขต ตามที่ระบุไว้ใน ISO 14064-1 ดังนี้

ขอบเขตที่ 1: กิจกรรมที่ก่อให้เกิดการปล่อยก๊าซโดยตรงจากการดำเนินงานขององค์กร (Direct Emissions) เช่น การผลิตไฟฟ้า ความร้อน ไอน้ำ เพื่อใช้เองหรือจำหน่ายให้แก่องค์กรภายนอก การเผาไหม้เชื้อเพลิงจากการใช้งานของอุปกรณ์และเครื่องจักรที่องค์กรเป็นเจ้าของ การเผาไหม้เชื้อเพลิงในยานพาหนะที่องค์กรเป็นเจ้าของ เป็นต้น

ขอบเขตที่ 2 : กิจกรรมที่ก่อให้เกิดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางอ้อมจากการใช้พลังงาน (Indirect Emissions) เช่น ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากการผลิตไฟฟ้า ความร้อน หรือไอน้ำที่ถูกนำเข้ามาเพื่อใช้งานภายในองค์กร

ขอบเขตที่ 3 : กิจกรรมที่ก่อให้เกิดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางอ้อมอื่นๆ (Other Indirect Emissions) ได้แก่ ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นจากกิจกรรมต่างๆ นอกเหนือจากที่ระบุในขอบเขตที่ 1) และ 2)

ในการคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก เกิดจากการคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการรวมกันของแต่ละกิจกรรม โดยแปลงให้อยู่ในรูปปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า ตามสมการที่ (3)

$$E_i = \sum_{j=1}^n [A_{ij} \times EF_{ij} \times GWP] \quad (3)$$

เมื่อ E_i = ปริมาณก๊าซเรือนกระจกทั้งหมดที่ปล่อยออกมาจากผู้ส่งมอบ i (kgCO₂eq.)
 A_j = กิจกรรม j ที่ก่อให้เกิดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากผู้ส่งมอบ i (หน่วย)
 EF_j = ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกในแต่ละกิจกรรม j จากผู้ส่งมอบ i (kgCO₂eq./หน่วย)
 GWP = ค่าศักยภาพการทำให้เกิดภาวะโลกร้อนของก๊าซเรือนกระจก

สำหรับการประเมินก๊าซเรือนกระจกในห่วงโซ่อุปทานของอุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ถือเป็นการประเมินความสามารถในการจัดการการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของผู้ส่งมอบ เพื่อให้เกิดการแข่งขันการผลิตขึ้นส่วนที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมก่อนที่จะนำส่งแก่บริษัทผู้ผลิตและประกอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ โดยผลลัพธ์ที่ได้จะออกมาในรูปแบบของปริมาณก๊าซเรือนกระจกของทั้งองค์กร ทั้งนี้ทำการประเมินกิจกรรมเฉพาะขอบเขตที่ 1 และขอบเขตที่ 2 เนื่องจากทางบริษัทผู้ผลิตต้องการประเมินก๊าซเรือนกระจกของผู้ส่งมอบในกิจกรรมที่เกิดขึ้นทั้งทางตรงและทางอ้อมเท่านั้น (ขอบเขตที่ 1 และ 2) ดังนั้นในงานวิจัยได้คำนวณค่าปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก จากอัตราส่วนของปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของทั้งองค์กรกับปริมาณการผลิตผลิตภัณฑ์ทั้งหมดต่อปี (กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อหน่วยของผลิตภัณฑ์) (Christophe Rizet et al, 2012) ตามสมการที่ (4)

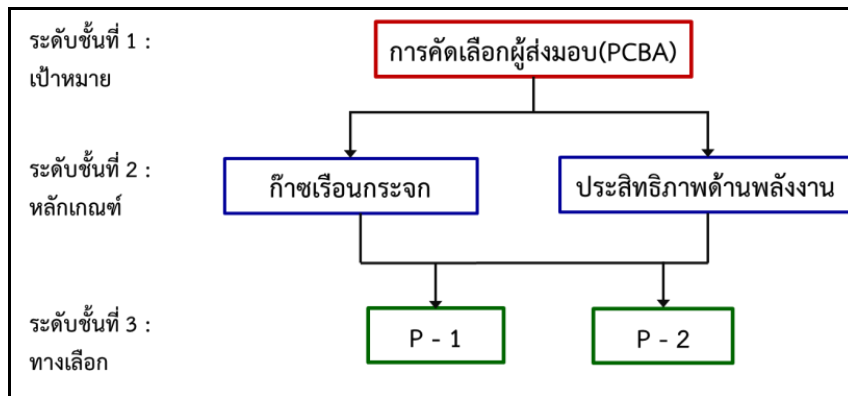
$$EN_i = \frac{E_i}{P_i} \quad (4)$$

เมื่อ EN_i = ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยออกมาจากผู้ส่งมอบ i ต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ (kgCO₂eq./Pcs.)
 E_i = ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยออกมาจากผู้ส่งมอบ i (kgCO₂eq.)
 P_i = ปริมาณการผลิตขึ้นส่วนทั้งหมดจากผู้ส่งมอบ i (Pcs.)

2.4 ดัชนีเชิงพลังงานและสิ่งแวดล้อม (Energy and Environmental Index)

ดัชนีพลังงานและสิ่งแวดล้อม เป็นดัชนีที่ใช้การพิจารณาด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อมในการจัดการห่วงโซ่อุปทาน รวมถึงเป็นดัชนีการแสดงความโปร่งใสภายในห่วงโซ่อุปทาน และสามารถใช้ในการประเมินผู้ส่งมอบในห่วงโซ่อุปทานได้ (ecoinindexbeta, 2555) ทั้งนี้ในงานวิจัยได้ทำการประเมินดัชนี โดยใช้ค่าการประเมินค่าประสิทธิภาพด้านพลังงาน และการปล่อยก๊าซเรือนกระจก มาคำนวณด้วยกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้น (Zhang Liqian et al, 2011)

ซึ่งการวิเคราะห์ตามลำดับชั้น เป็นกระบวนการที่ใช้วัดค่าดัชนีของทางเลือกต่างๆ โดยการจัดลำดับความสำคัญของแต่ละปัจจัย และทำการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของปัจจัยที่ละคู่ เพื่อให้ผลการตัดสินใจที่ถูกต้องตรงกับเป้าหมายของการตัดสินใจ (สุธรรม, 2550) ในงานวิจัยได้ทำการคัดเลือกผู้ส่งมอบจาก 6 ชิ้นส่วน ได้แก่ HSAs, HSFC, HSA, SM, PCBA และ TC และมีจำนวนทางเลือกหรือจำนวนผู้ส่งมอบ คือ 2, 3, 2, 2, 2 และ 2 ตามลำดับ ซึ่งประกอบด้วยเกณฑ์การพิจารณา 2 หลักเกณฑ์ คือ ด้านประสิทธิภาพด้านพลังงานและการปล่อยก๊าซเรือนกระจก รวมถึงมีแผนภูมิการวิเคราะห์ตามลำดับชั้นดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 แผนผังการวิเคราะห์ตามลำดับชั้นของชิ้นส่วน Printed Circuit Board Assembly (PCBA)

ภายหลังจากการสร้างแผนภูมิการวิเคราะห์ตามลำดับชั้น แล้วทำการคำนวณค่าความสำคัญของทางเลือกแต่ละทางเลือกจากค่าประสิทธิภาพด้านพลังงาน และค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่ได้จากการประเมิน รวมถึงกำหนดค่าน้ำหนักความสำคัญของแต่ละปัจจัย (W_{in}) ซึ่งในงานวิจัยได้กำหนดสมมติฐานสำหรับค่าน้ำหนักประสิทธิภาพด้านพลังงาน และการปล่อยก๊าซเรือนกระจก เท่ากับ 70 และ 30 เปอร์เซนต์ ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากค่าประสิทธิภาพด้านพลังงานมีผลโดยตรงต่อต้นทุนและปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของโรงงาน (ธนัท และคณะ, 2554) แล้วนำค่าที่ได้มาหาคำนวณหาผลคูณ ตามสมการที่ (5) โดยผลจะออกมาในรูปแบบค่าการวิเคราะห์ตามลำดับชั้น หรือค่าดัชนีพลังงานและสิ่งแวดล้อมต่อไป

$$EE_i = \sum_{m,n=1}^k [C_{i,m} \times W_{i,n}] \quad (5)$$

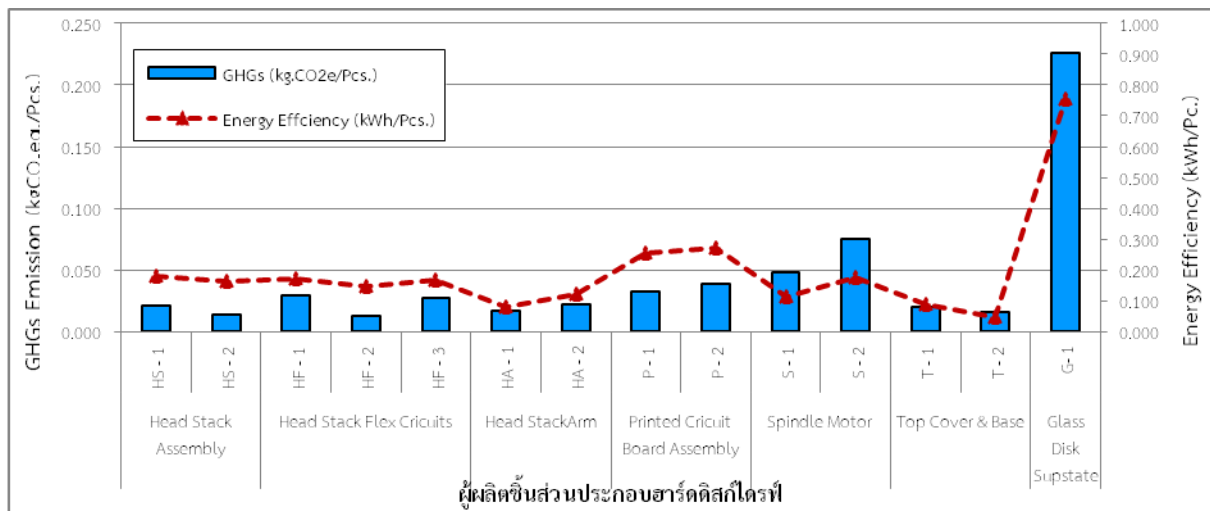
เมื่อ EE_i = ค่าดัชนีพลังงานและสิ่งแวดล้อมของผู้ส่งมอบ i หรือค่าการวิเคราะห์ตามลำดับชั้นของผู้ส่งมอบ i

C_{im} = ค่าความสำคัญของทางเลือก m จากผู้ส่งมอบ i

W_{in} = น้ำหนักความสำคัญของปัจจัย n จากผู้ส่งมอบ i

3. ผลการวิจัย

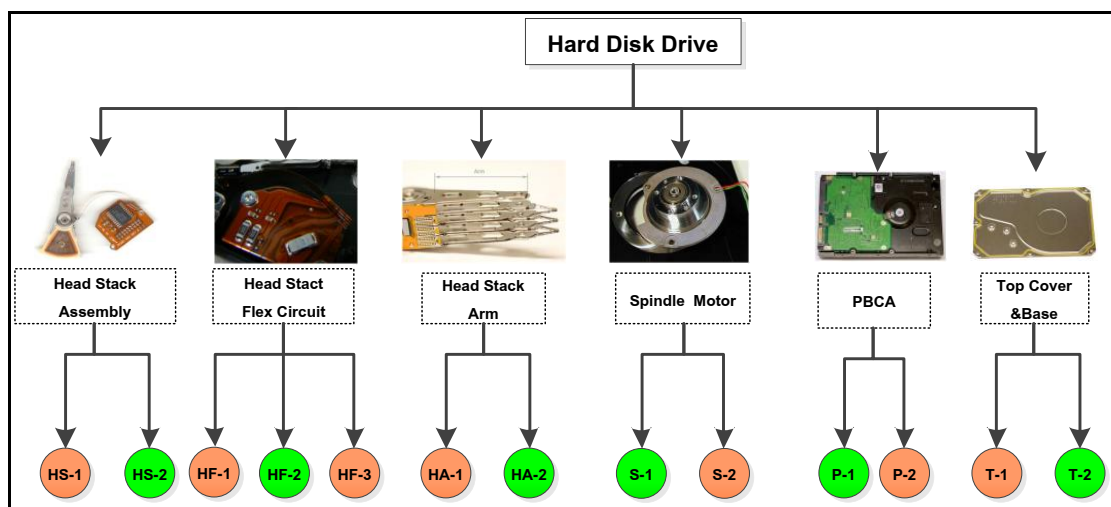
จากผลการประเมินดัชนีพลังงานและสิ่งแวดล้อมในห่วงโซ่อุปทานของอุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ โดยพิจารณาอุตสาหกรรมกลา้งของห่วงโซ่อุปทาน และพิจารณา 2 ประเด็น คือ ประสิทธิภาพพลังงาน และการปล่อยก๊าซเรือนกระจก และทำการประเมินผู้ส่งมอบลำดับที่หนึ่งของ 7 ชิ้นส่วนหลัก สามารถอธิบายได้ดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกและค่าประสิทธิภาพด้านพลังงานในห่วงโซ่อุปทานของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์

จากแผนภาพที่ 4 แสดงปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและค่าประสิทธิภาพด้านพลังงานในห่วงโซ่อุปทานของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ โดยแกนตั้ง (ด้านซ้าย) แสดงค่าปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อชิ้นของผลิตภัณฑ์ (kgCO₂eq./Pcs.) แกนตั้ง (ด้านขวา) แสดงค่าประสิทธิภาพด้านพลังงานต่อชิ้นของผลิตภัณฑ์ (kWh/Pcs.) และแกนนอนแสดงผู้ผลิตชิ้นส่วนประกอบหลักของผลิตภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ พบว่า ผู้ส่งมอบที่มีค่าประสิทธิภาพด้านพลังงานน้อยสุดของแต่ละชิ้นส่วนประกอบ คือ HS-2, HF-2, HA-1, P-1, S-1, T-2 ตามลำดับ ส่วนผู้ส่งมอบที่มีปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกน้อยสุดของแต่ละชิ้นส่วนประกอบ คือ HS-2, HF-2, HA-1, P-1, S-1, T-2 ตามลำดับ สำหรับชิ้นส่วน GDS มีผู้ส่งมอบที่ทำการประเมินมีเพียงหนึ่งราย จึงไม่สามารถระบุผู้ส่งมอบที่มีค่าประสิทธิภาพด้านพลังงานและปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่น้อยสุดได้

สำหรับผลการประเมินค่าดัชนีเชิงเศรษฐนิเวศของผู้ส่งมอบที่มีศักยภาพในการจัดการห่วงโซ่อุปทานของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ทั้งด้านสิ่งแวดล้อม และด้านพลังงาน ซึ่งได้กำหนดสมมติฐานสำหรับค่าน้ำหนักประสิทธิภาพด้านพลังงาน และการปล่อยก๊าซเรือนกระจก เท่ากับ 70 และ 30 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ สามารถแสดงดังภาพที่ 5



ภาพที่ 5 แผนภาพการคัดเลือกผู้ส่งมอบของแต่ละชิ้นส่วน

จากแผนภาพที่ 5 แสดงแผนภาพการคัดเลือกผู้ส่งมอบของ 6 ชิ้นส่วน โดยผู้ส่งมอบที่มีสีเขียวแสดงถึงผู้ส่งมอบที่มีสมรรถนะในการจัดการด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อมที่ดีกว่าผู้ส่งมอบสีส้ม พบว่า ผู้ส่งมอบชิ้นส่วนที่มีความเหมาะสมทั้งด้านสิ่งแวดล้อมและด้านพลังงานของชิ้นส่วน HSAs, HSFC, HSA, SM, PCBA และ TC คือ HS – 2, HF – 2, HA – 1, S – 1, P – 1, T – 2 ตามลำดับ ซึ่งทำการคัดเลือกผู้ส่งมอบจากค่าดัชนีพลังงานและสิ่งแวดล้อมที่มีค่าน้อยสำหรับชิ้นส่วน GDS ไม่มีการคำนวณค่าดัชนีเพื่อใช้คัดเลือกผู้ส่งมอบ เนื่องจากมีผู้ส่งมอบที่ถูกประเมินเพียงหนึ่งรายเท่านั้น และจากการกล่าวมาข้างต้นสามารถสรุปค่าสมรรถนะการจัดการห่วงโซ่อุปทานทั้งด้านพลังงานซึ่งอยู่ในรูปแบบประสิทธิภาพด้านพลังงาน และด้านสิ่งแวดล้อมซึ่งอยู่ในรูปแบบปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก ของผู้ส่งมอบทั้ง 7 ชิ้นส่วนหลัก ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ค่าดัชนีพลังงานและสิ่งแวดล้อมของผู้ส่งมอบในชิ้นส่วนต่างๆ

ส่วนประกอบ ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์	ผู้ส่งมอบ	ประสิทธิภาพ ด้านพลังงาน	ก๊าซเรือนกระจก	การคัดเลือกผู้ส่งมอบ	
		kWh/Pcs.	kg.CO2e/Pc.	EE Index	ลำดับ ผู้ส่งมอบ
Head Stack Assembly (HSAs)	HS-1	0.1788	0.0212	0.8333	2
	HS-2	0.1650	0.0137	0.1667	1
Head Stack Flex Circuit (HSFC)	HF-1	0.1716	0.0293	0.5224	3
	HF-2	0.1466	0.0130	0.0990	1
	HF-3	0.1667	0.0276	0.3786	2
Head Stack Arm (HSA)	HA-1	0.0800	0.0173	0.1667	1
	HA-2	0.1219	0.0218	0.8333	2
Printed Circuit Board Assembly (PCBA)	P-1	0.2533	0.0324	0.1667	1
	P-2	0.2698	0.0385	0.8333	2
Spindle Motor (SM)	S-1	0.1132	0.0482	0.1667	1
	S-2	0.1778	0.0757	0.8333	2
Top Cover & Base (TC)	T-1	0.0901	0.0196	0.8333	2
	T-2	0.0457	0.0178	0.1667	1
Glass Disk Substrate (GDS)	G-1	0.7521	0.2258	-	-

4. อภิปรายผล

จากผลการวิจัยภายใต้ขอบเขตการวิเคราะห์การจัดการห่วงโซ่อุปทานเชิงสิ่งแวดล้อมของอุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่ทำการศึกษ พบว่า ผู้ส่งมอบชิ้นส่วน HSAs รายที่ 1 (HS-1) มีค่าประสิทธิภาพด้านพลังงานและการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่สูงกว่าผู้ส่งมอบรายที่ 2 (HS-2) ถึง 7.73 และ 35.54 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เนื่องจากมีอัตราการใช้พลังงาน และปริมาณก๊าซไนโตรเจนในการบัดกรีสูงกว่า รวมถึงกำลังการผลิตของผู้ส่งมอบ HS-1 มีน้อยกว่า ซึ่งแสดงถึงผู้ส่งมอบ HS-1 มีสมรรถนะในการจัดการด้านพลังงานและด้านสิ่งแวดล้อมน้อยกว่าผู้ส่งมอบ HS-2 ทำให้ค่าดัชนีพลังงานและสิ่งแวดล้อมของผู้ส่งมอบรายที่ 2 มีค่าน้อยกว่าผู้ส่งมอบรายที่ 1 ซึ่งในงานวิจัยได้ทำการคัดเลือกผู้ส่งมอบจากค่าดัชนีพลังงานและสิ่งแวดล้อมที่มีค่าน้อย

ผู้ส่งมอบชิ้นส่วน HSFC รายที่ 1 (HF-1) มีค่าประสิทธิภาพด้านพลังงานที่สูงกว่าผู้ส่งมอบรายที่ 2 (HF-2) และรายที่ 3 (HF-3) ถึง 14.59 และ 2.85 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และมีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่สูงกว่าถึง 92.44 และ 83.92 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เนื่องจากมีอัตราการใช้พลังงานสูงกว่า และมีปริมาณน้ำยาทำความสะอาด (Iso Propyl Alcohol: IPA) ที่ใช้สูงกว่า รวมถึงกำลังการผลิตของผู้ส่งมอบ HS-1 มีน้อยกว่าผู้ส่งมอบ HS-2 และผู้ส่งมอบ HS-3 ถึง 90.55 และ 20.63 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งแสดงถึงผู้ส่งมอบ HF-1 มีสมรรถนะในการจัดการด้านพลังงานและด้านสิ่งแวดล้อมน้อยกว่าผู้ส่งมอบ HF-2 และผู้ส่งมอบ HF-3 ส่งผลให้ค่าดัชนีพลังงานและสิ่งแวดล้อมของผู้ส่งมอบ HF-2 มีค่าน้อยที่สุด รองมาจาก HF-1 และ HF-3

ผู้ส่งมอบชิ้นส่วน HSA รายที่ 2 (HA-2) มีค่าประสิทธิภาพด้านพลังงานและการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่สูงกว่าผู้ส่งมอบรายที่ 1 (HA-1) ถึง 34.38 และ 20.74 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เนื่องจากมีอัตราการใช้พลังงาน รวมถึงมีระยะการขนส่งสินค้าที่ห่างไกลจากบริษัทผู้ผลิต ซึ่งแสดงถึงผู้ส่งมอบ HA-2 มีสมรรถนะในการจัดการด้านพลังงานและด้านสิ่งแวดล้อมน้อยกว่าผู้ส่งมอบ HA-1 ส่งผลให้ค่าดัชนีพลังงานและสิ่งแวดล้อมของผู้ส่งมอบ HA-1 มีค่าน้อยกว่าผู้ส่งมอบ HA-2

ผู้ส่งมอบชิ้นส่วน PCBA รายที่ 2 (P-2) มีค่าประสิทธิภาพด้านพลังงานและการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่สูงกว่าผู้ส่งมอบรายที่ 1 (P-1) ถึง 6.13 และ 16.03 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เนื่องจากมีอัตราการใช้พลังงาน และมีปริมาณน้ำยาทำความสะอาด (IPA) ที่ใช้สูงกว่า รวมถึงมีระยะการขนส่งสินค้าที่ห่างไกลจากบริษัทผู้ผลิต ซึ่งแสดงถึงผู้ส่งมอบ P-2 มีสมรรถนะในการจัดการด้านพลังงานและด้านสิ่งแวดล้อมน้อยกว่าผู้ส่งมอบ P-1 ส่งผลให้ค่าดัชนีพลังงานและสิ่งแวดล้อมของผู้ส่งมอบ P-1 มีค่าน้อยกว่าผู้ส่งมอบ P-2

ผู้ส่งมอบชิ้นส่วน SM รายที่ 2 (S-2) มีค่าประสิทธิภาพด้านพลังงานและการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่สูงกว่าผู้ส่งมอบรายที่ 1 (S-1) ถึง 35.35 และ 37.30 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เนื่องจากมีอัตราการใช้พลังงานสูงกว่า และมีปริมาณเฮกเซน (Hexane) ใช้ในการทำทำความสะอาดสูงกว่า รวมถึงกำลังการผลิตของผู้ส่งมอบ S-2 มีน้อยกว่าถึง 27.54 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งแสดงถึงผู้ส่งมอบ S-2 มีสมรรถนะในการจัดการด้านพลังงานและด้านสิ่งแวดล้อมน้อยกว่าผู้ส่งมอบ S-1 ส่งผลให้ค่าดัชนีพลังงานและสิ่งแวดล้อมของผู้ส่งมอบ S-1 มีค่าน้อยกว่าผู้ส่งมอบ S-2

ผู้ส่งมอบชิ้นส่วน TC รายที่ 2 (T-2) มีค่าประสิทธิภาพด้านพลังงานและการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่สูงกว่าผู้ส่งมอบรายที่ 1 (T-1) ถึง 49.33 และ 19.51 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เนื่องจากมีอัตราการใช้พลังงานสูงกว่า และมีปริมาณโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) ที่ใช้ล้างชิ้นงานสูงกว่า รวมถึงมีระยะการขนส่งสินค้าที่ห่างไกลจากบริษัทผู้ผลิต ซึ่งแสดงถึงผู้ส่งมอบ T-2 มีสมรรถนะในการจัดการด้านพลังงานและด้านสิ่งแวดล้อมน้อยกว่าผู้ส่งมอบ T-1 ส่งผลให้ค่าดัชนีพลังงานและสิ่งแวดล้อมของผู้ส่งมอบ T-2 มีค่าน้อยกว่าผู้ส่งมอบ T-1

ผู้ส่งมอบชิ้นส่วน GDS ซึ่งมีผู้ส่งมอบเพียงรายเดียว รวมถึงมีค่าประสิทธิภาพด้านพลังงานและการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่สูง เนื่องจากอัตราการการใช้ไฟฟ้าในการผลิตสูงถึง 0.75 kWh/ชิ้น มีปริมาณน้ำยาที่ใช้ทำความสะอาด (IPA) และมีปริมาณน้ำยาซีเรียมออกไซด์ (CeO₂) ที่ใช้ขัดชิ้นงาน นอกจากนี้ยังมีระยะการขนส่งสินค้าที่ห่างไกลจากบริษัทผู้ผลิต จึงส่งผลให้ทั้งค่าประสิทธิภาพด้านพลังงานและการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมีปริมาณที่สูง แต่เนื่องจากผู้ส่งมอบที่ทำการประเมินมีเพียงหนึ่งราย จึงไม่สามารถคำนวณค่าดัชนีพลังงานและสิ่งแวดล้อมเพื่อประเมินผู้ส่งมอบได้

จากที่กล่าวมาข้างต้น พบว่า ปริมาณการใช้พลังงาน ปริมาณการใช้สารเคมีที่ใช้ทำความสะอาดและขัดชิ้นงาน และระยะการขนส่ง รวมถึงกำลังการผลิต มีผลต่อค่าประสิทธิภาพด้านพลังงานและการปล่อยก๊าซเรือนกระจก นอกจากนี้ค่าประสิทธิภาพด้านพลังงานแปรผันตามค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ดังนั้นแนวทางการลดพลังงานและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม จึงควรมุ่งไปที่ การปรับปรุงประสิทธิภาพการผลิต การใช้วัตถุดิบที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม การปรับปรุงระบบการขนส่ง รวมถึงการหาตำแหน่งที่ตั้งผู้ส่งมอบที่อยู่บริเวณใกล้กับบริษัทผู้ผลิต ก็ส่งผลให้สามารถลดการใช้พลังงาน และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในห่วงโซ่อุปทานได้

5. สรุปผล

จากผลการวิเคราะห์การจัดการห่วงโซ่อุปทานเชิงสิ่งแวดล้อมของอุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ภายใต้ขอบเขตการศึกษา พบว่า ปัจจัยที่มีผลต่อค่าประสิทธิภาพด้านพลังงานและการปล่อยก๊าซเรือนกระจก คือ ปริมาณการใช้พลังงาน ปริมาณการใช้สารเคมี ระยะการขนส่ง และกำลังการผลิต นอกจากนี้ค่าประสิทธิภาพด้านพลังงานแปรผันตามค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ดังนั้น แนวทางการลดพลังงานและผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม จึงควรมุ่งไปที่การปรับปรุงประสิทธิภาพการผลิตและการขนส่ง การใช้วัตถุดิบที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม รวมถึงสามารถคัดเลือกผู้ส่งมอบจากค่าดัชนีพลังงานและสิ่งแวดล้อม เพื่อเป็นแนวทางการจัดการห่วงโซ่อุปทานที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมได้อีกแนวทางหนึ่ง

6. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ โรงงานอุตสาหกรรมในกลุ่มผู้ผลิตผลิตภัณฑ์และส่วนประกอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ สำหรับความอนุเคราะห์ ข้อมูลที่เกี่ยวข้องในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ และหน่วยวิจัยเพื่อการจัดการพลังงานและเศรษฐกิจสูง สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่ให้ความช่วยเหลือ และให้คำแนะนำเป็นอย่างดีตลอดมาจนงานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] กัลปพฤกษ์ ผิวทองงาม, 2552. ผลกระทบของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์คลัสเตอร์ที่มีต่อระบบเศรษฐกิจไทย. คณะวิทยาการจัดการ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
- [2] คณะกรรมการเทคนิคด้านคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร, 2554. แนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร. องค์การบริหารก๊าซเรือนกระจก(องค์การมหาชน)
- [3] ธนัท พูลประทีน, 2554. การวิเคราะห์คาร์บอนฟุตพริ้นท์ของภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- [4] สุธรรม อรุณ, 2550. การตัดสินใจโดยใช้กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์. สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร วิทยาเขตสารสนเทศพะเยา
- [5] อารยะ ปรีชาเมตตา, 2554. การยกระดับขีดความสามารถและนัยต่อการขยายตัวของอุตสาหกรรมในระดับจังหวัด: กรณีศึกษาอุตสาหกรรมยานยนต์และอิเล็กทรอนิกส์. คณะเศรษฐศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
- [6] อภิชาติ โสภางค์, 2549. การจัดการห่วงโซ่อุปทาน. เชียงใหม่ : บริษัท นอร์ทเทิร์น อาร์ต จำกัด.
- [7] Christophe R. et al., 2010. GHG emissions of supply chains from different retail systems in Europe. *Procedia Social and Behavioral Sciences* No. 2: 6154–6164
- [8] C.-K. Chang et al., 2012. Specific energy consumption of dynamic random access memory module supply chain in Taiwan. *International Journal of Energy*, No. 41: 508-513.
- [9] Gyu-Bong L. et al., 2012. Analysis of Energy Efficiency in PCB Manufacturing Process. *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing*, Vol. 13, No. 7:1215-1220.
- [10] Zhang, L., Cai J., 2012. Eco-Environmental Quality Assessment of Xining City Based on GIS and AHP. *International Journal of Modern Applied Science*, Vol. 6, No. 4.

การหาค่าที่เหมาะสมสำหรับการล้างทำความสะอาดชิ้นงานด้วยคลื่นอัลตราโซนิกในผลิตภัณฑ์ ฐานรองรับชิ้นส่วนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์

Optimize of Parameter in Aqueous Ultrasonic Cleaning of Base plate for Hard Disk Drive

วิภาสพล อ่อนสอาด¹, สิงห์แก้ว ปือกเพ็ง², สหรัตน์ วงษ์ศิริษะ²

¹ บริษัทนิเดค พรีซิชั่น 29 หมู่ 2 ถนนอุทัย-ภาษี ตำบลบ้านช้าง อำเภอบัวใหญ่ พระนครศรีอยุธยา 13210

Email: wipassapon_@hotmail.com

² สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรมเพื่อความยั่งยืน

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

1381 ถนนพิบูลย์สงคราม เขตบางซื่อ กรุงเทพมหานคร 10800

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการตั้งค่าตัวแปรที่เหมาะสมในการล้างทำความสะอาดชิ้นงานด้วยคลื่นอัลตราโซนิกในผลิตภัณฑ์ฐานรองรับชิ้นส่วนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ (Base plate) และส่งผลให้การล้างทำความสะอาดชิ้นงานด้วยคลื่นอัลตราโซนิก (Aqueous Ultrasonic Cleaning) มีความสะอาดสูงสุด ด้วยการวัดประสิทธิภาพจากค่าจำนวนอนุภาคสิ่งปนเปื้อนต่อหน่วยพื้นที่ผิวของชิ้นงาน (Liquid Particle Counting; LPC) ที่มีค่าน้อยที่สุด สำหรับการศึกษาวิจัยนี้จะเริ่มต้นด้วยวิธีการออกแบบการตั้งค่าตัวแปรที่เหมาะสมด้วยเทคนิคแบบทากูชิ L32 (Taguchi Method) กำหนดระดับการทดลอง 2 ระดับ หลังจากนั้นจึงใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance; ANOVA) เพื่อศึกษาค่าความแปรปรวนของตัวแปร ซึ่งผลการทดลองพบว่าค่าตัวแปรที่เหมาะสมที่สุด ได้แก่ ระยะเวลาที่ใช้ล้าง 120 วินาที อุณหภูมิ 32 °C ระดับพลังงานของคลื่นอัลตราโซนิก 80% และความเข้มข้นของสารชะล้าง 0.5% ซึ่งส่งผลให้ค่าจำนวนอนุภาคสิ่งปนเปื้อนต่อหน่วยพื้นที่ผิวของชิ้นงานลดลง 70% จากค่าความสะอาดเฉลี่ยในปัจจุบัน

คำสำคัญ : ฐานรองรับชิ้นส่วนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ จำนวนอนุภาคสิ่งปนเปื้อนต่อหน่วยพื้นที่ผิวของชิ้นงาน การล้างทำความสะอาดด้วยคลื่นอัลตราโซนิก การออกแบบการทดลองแบบทากูชิ การวิเคราะห์ความแปรปรวน

Abstract

This research aims to investigate the optimize parameter settings and the resulting, which cleaned by aqueous ultrasonic cleaning By measuring the particles contamination of Liquid Particle Counting; LPC with the lowest. For the study to begin with how to design the proper parameters set by Taguchi technique. Schedule 2 levels were then used in the analysis of variance. To study the variability of the variable. The results showed that the variable most suitable period, a clear 120 seconds Temperature 32c Power Wave Ultrasonic 80% and the concentration of detergent 0.5%, which resulted in the number of particles contamination of the work piece decrease 70% from the current value.

Key word: Base Plate, Liquid Particle Counting; Lpc, Ultrasonic Cleaning, Taguchi Method, Analysis Of Variance; Anova

1. บทนำ

ความสะอาดของชิ้นส่วนและส่วนประกอบได้เป็นปัจจัยสำคัญสำหรับผลผลิตในอุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ [9] และเป็นสาเหตุสำคัญของการสูญเสียผลผลิตในหลายอุตสาหกรรม [6] โดยในกระบวนการผลิตจำเป็นต้องผ่านกระบวนการตัดเฉือน เจาะรูและทำเกลียวในชิ้นงานด้วยน้ำหล่อเย็น ซึ่งทำให้กลายเป็นแหล่งที่มาหลักของการปนเปื้อนส่วนหนึ่งเนื่องจากการผลิตไม่สามารถดำเนินการในสภาพแวดล้อมที่สะอาด การปนเปื้อนอาจแทรกซึมเข้าไปในกลุ่มดิสก์ไดรฟ์ได้จนกว่าจะดำเนินการทำความสะอาดที่เหมาะสมและการตรวจสอบความสะอาดของส่วนประกอบ [9] ทำให้เกิดการเสียดสีที่หัวอ่านและแผ่นดิสก์ขณะเคลื่อนที่ เกิดรอยขีดบนดิสก์ (Disk Scratch) ส่งผลให้หัวอ่านและข้อมูลบนดิสก์เสียหาย[1]

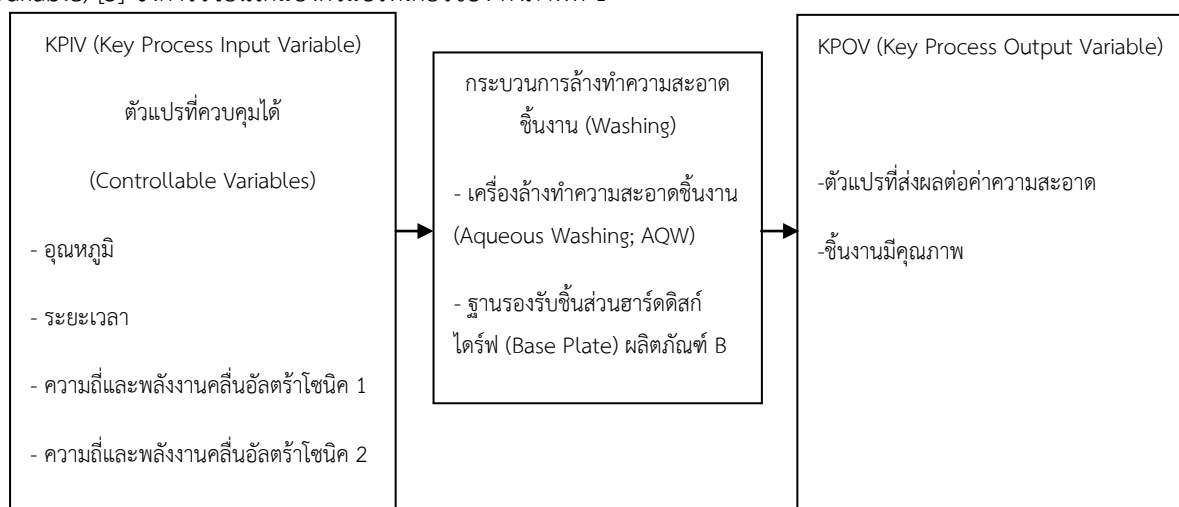
การทำความสะอาดด้วยคลื่นอัลตราโซนิกในของเหลวเป็นวิธีที่แพร่หลายซึ่งได้ถูกนำมาใช้ในการทำความสะอาดชิ้นส่วนและส่วนประกอบที่หลากหลายในระบบการบินและอวกาศ แสง คัลยกรรม และอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ [7] โดยมีวัตถุประสงค์หลักของการทำความสะอาดชิ้นส่วนสุดท้ายคือการขจัดอนุภาคที่ปนเปื้อนในชิ้นงานระหว่างชิ้นส่วนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์เริ่มทำงาน [9] แต่ตัวแปรที่มีผลจากการล้างทำความสะอาด ได้แก่ อุณหภูมิ ระยะเวลา ความถี่ ระดับพลังงานของคลื่นอัลตราโซนิก และความเข้มข้นของสารชะล้าง มีผลกระทบต่อค่าความสะอาดของผลิตภัณฑ์จากการวัดจำนวนอนุภาคสิ่งปนเปื้อนต่อหน่วยพื้นที่ผิวของชิ้นงาน (Liquid Particle Counting; LPC) และยังส่งผลต่อประสิทธิภาพการทำความสะอาด (Cleanliness) ของกระบวนการลดลง อีกทั้งยังส่งผลต่อความเชื่อมั่นในผลิตภัณฑ์จากลูกค้าด้านคุณภาพ

การวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาหาตัวแปรที่มีผลต่อคุณภาพของชิ้นงานในการล้างทำความสะอาดผลิตภัณฑ์ฐานรองรับชิ้นส่วนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ด้วยคลื่นอัลตราโซนิก (Aqueous Ultrasonic Cleaning) และหาค่าตัวแปรที่เหมาะสมสำหรับการล้างทำความสะอาดชิ้นงาน ซึ่งทำการศึกษาในกระบวนการล้างชิ้นงานขั้นตอนสุดท้ายและทำการออกแบบการทดลองด้วยเทคนิค ทากูชิ L32 (Taguchi Method) ร่วมกับเทคนิควิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance; ANOVA) เพื่อหาค่าของตัวแปรที่เหมาะสมที่สุด (Optimize Condition) ของการล้างทำความสะอาดชิ้นงานในกระบวนการผลิต

2. วิธีการศึกษา

ศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อคุณภาพของชิ้นงานในการทำความสะอาดผลิตภัณฑ์ฐานรองรับชิ้นส่วนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ซึ่งทำการศึกษาในกระบวนการล้างชิ้นงานขั้นตอนสุดท้าย

2.1 การกรองตัวแปรที่ส่งผลเสียต่อค่าความสะอาดของชิ้นงานที่ผ่านการทำความสะอาดด้วยคลื่นอัลตราโซนิก โดยตัวแปรนำเข้าจะถูกจัดแบ่งเป็น 2 กลุ่ม คือ ตัวแปรที่ควบคุมได้ (Controllable Variables) และตัวแปรที่ควบคุมไม่ได้ (Noise Variable) [5] ซึ่งการวิจัยนี้ได้แบ่งตัวแปรที่เกี่ยวข้อง ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 แสดงขอบเขตการกรองปัจจัยหลัก

2.2 การออกแบบการทดลองด้วยเทคนิคทาากุชิ (Taguchi Method)

แนวคิดของวิธีทาากุชิเป็นแนวคิดที่ใช้ในปรับปรุงคุณภาพคุณภาพของชิ้นงานหรือผลิตภัณฑ์ เป็นวิธีการออกแบบการทดลอง (DOE) ซึ่งในการทดลองที่มีตัวแปรหลายตัวทำให้มีการทดลองมากเพื่อที่จะหาค่าที่เหมาะสมได้ซึ่งถ้าทำการทดลองแบบสุ่ม (Trial and error) จะต้องทำการทดลองมากถึงจะได้ค่าที่ดีที่สุดมา วิธีของทาากุชิ (Taguchi method) ได้รับการยอมรับโดยทั่วไปว่าเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพในการสร้างคุณภาพให้กับผลิตภัณฑ์ซึ่งวิธีนี้ถูกใช้อย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมญี่ปุ่น โดยทั่วไปแล้วคุณภาพจะลดลงโดยการเปลี่ยนแปลงที่ไม่แน่นอนของสิ่งแวดล้อม [1] การวิจัยนี้จึงเลือกใช้วิธีการทดลองด้วยวิธีของทาากุชิเพื่อลดระยะเวลาในการทำการทดลอง

การวิเคราะห์ของ Taguchi มีวัตถุประสงค์เพื่อกำหนดระดับของปัจจัยที่เหมาะสม โดยพิจารณาจากระดับ (ค่า) ซึ่งนำไปสู่การสร้างตัววัด (Performance Measure) ของทาากุชิ คือ ค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสิ่งรบกวน (Signal to noise ratio; S/N) ซึ่งแบ่งได้เป็น 3 กรณี [5] ดังนี้

กรณีค่ายิ่งมาก ยิ่งดี (Larger-the-Better)

$$S / N_L = -10 \log \left\{ \sum_{i=1}^n [1 / y_i^2] / n \right\} \quad (1)$$

กรณีค่าน้อย ยิ่งดี (Smaller-the-Better)

$$S / N_S = -10 \log \left(\sum \frac{y_i^2}{n} \right) \quad (2)$$

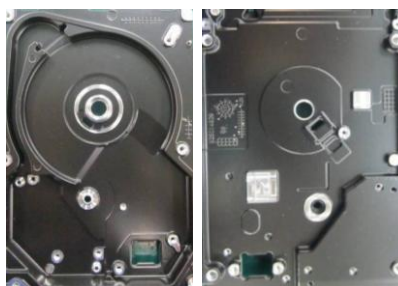
กรณีค่าตรงเป้าหมายดีที่สุด (Target-the-Best หรือ Nominal the Best)

$$S / N_T = 10 \log \left(\frac{y^{-2}}{S^2} \right) \quad (3)$$

2.2.1 กำหนดระดับและขอบเขตของตัวแปร

2.2.1.1 พิจารณาตัวแปรที่มีผลต่อค่าความสะอาดของชิ้นงาน โดยพิจารณาเลือกตัวแปรที่ต้องการศึกษาจากการปรับค่าเครื่องล้างทำความสะอาด (Aqueous Washing; AQW) คือ อุณหภูมิ ระยะเวลา ความถี่และพลังงานคลื่นอัลตราโซนิก และความเข้มข้นของสารเคมีชะล้าง ส่วนตัวแปรที่ไม่ต้องการศึกษาจะต้องกำหนดวิธีการควบคุมตัวแปรเพื่อให้ความแปรปรวนจากปัจจัยภายนอกเกิดขึ้นน้อยที่สุด คือ กำหนดตำแหน่งวางตะกร้าชิ้นงานในตำแหน่งเดียวกันและทิศทางเดียวกัน

2.2.1.2 กำหนดวัสดุที่ใช้เป็นเครื่องมือวิจัยหรือกลุ่มตัวอย่างการทดลอง ได้แก่ ฐานรองรับชิ้นส่วนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ (Base Plate) ดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 ฐานรองรับชิ้นส่วนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ (Base Plate)

2.2.1.3. กำหนดระดับของตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง โดยกำหนดให้ตัวแปรมี 6 ตัวแปร และกำหนดแต่ละตัวแปรไว้ 2 ระดับ คือ ระดับสูง (+1) และระดับต่ำ (-1) ดังตารางที่ 1 ซึ่งการทดลองในการทดลองจะทำการทดลองทั้งหมด $2^{6-1} = 32$ การทดลอง

ตารางที่ 1 ตัวแปรในการทดลอง ระดับของตัวแปร และสัญลักษณ์

ตัวแปรที่ควบคุมได้ (Controllable Variables)	ระดับสูง (+1)	ระดับต่ำ (-1)	สัญลักษณ์
ระยะเวลา (Process Time (sec))	180	60	T
อุณหภูมิ (Temperature (°C))	60	32	Temp.
คลื่นอัลตราโซนิก 1 (Ultrasonic Frequency no.1 KHZ / kW))	40 KHZ ,4500W	40 KHZ ,450W	U/S 1
คลื่นอัลตราโซนิก 2 (Ultrasonic Frequency no.2 KHZ / kW))	68 KHZ ,3600W	68 KHZ ,360W	U/S 2
คลื่นอัลตราโซนิก 3 (Ultrasonic Frequency no.3 KHZ / kW))	80 KHZ ,3600W	80 KHZ ,360W	U/S 3
ความเข้มข้นของสารเคมีชะล้าง CW6340E (Detergent (%))	2.0 %	0.2 %	Dg

2.3 ทำการทดสอบชิ้นงานตามตารางการออกแบบทดลองทาคุชิ (Taguchi method)

กระบวนการทำความสะอาด (Cleaning Process) ชิ้นงานโดยใช้คลื่นอัลตราโซนิกเป็นเทคโนโลยีที่ทำความสะอาดชิ้นงานได้อย่างมีประสิทธิภาพสามารถกำจัดสิ่งแปลกปลอมขนาดเล็กที่ติดอยู่กับชิ้นงานอันเนื่องมาจากการกระบวนการผลิต [2] ซึ่งประสิทธิภาพในการทำความสะอาดผิวชิ้นงานนี้ขึ้นกับตัวแปรที่มีผล ดังนี้ คือ อุณหภูมิ ระยะเวลา ความถี่และพลังงานคลื่นอัลตราโซนิก และความเข้มข้นของสารเคมีชะล้าง การวิจัยนี้เลือกทำการศึกษาล้างทำความสะอาดของชิ้นงานด้วยเครื่องล้างทำความสะอาดชิ้นงาน (Aqueous Washing; AQW) ดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 เครื่องล้างทำความสะอาดชิ้นงาน (Aqueous Washing; AQW)

ในการทดลองจะจัดวางกลุ่มตัวอย่างชิ้นงานการทดลอง 3 ชิ้นต่อ 1 ตะกร้า และจัดวางชิ้นงานในลักษณะเดียวกันทุกการทดลอง ดังแสดงในภาพที่ 4 และได้ทำการทดลองทั้งสิ้น 32 การทดลอง (3 ชิ้น x 32 การทดลอง = 96 ชิ้น)



ภาพที่ 4 ตำแหน่งการวางชิ้นงานในตะกร้าล้างชิ้นงาน

หลังจากนั้นเก็บกลุ่มตัวอย่างการทดลองจากตะกร้าชิ้นงานที่ผ่านการล้างทำความสะอาดมาบรรจุใส่ถุงพลาสติก แล้วทำการตัดแยกกลุ่มตัวอย่างการทดลองพร้อมติดป้ายกำกับกับการทดลอง นำส่งห้องทดลองและปฏิบัติการ (Laboratory) เพื่อตรวจวัดค่า

ความสะอาดของชิ้นงาน (LPC) โดยจะวัดจำนวนอนุภาคในขนาดไม่เกิน 0.3 ไมครอน และต้องมีค่าไม่เกิน 125,000 อนุภาค/ตารางเซนติเมตร ตามระเบียบปฏิบัติการการทดสอบด้วยเครื่องตรวจวัดจำนวนอนุภาค (Liquid Particle Counter) [4] มีสูตรการคำนวณดังนี้

$$X = \left[\frac{(A - B) \times D}{(N \times C)} \right] \quad (4)$$

เมื่อ

X = จำนวนอนุภาคสิ่งปนเปื้อนต่อหน่วยพื้นที่ผิวของชิ้นงาน (ขนาดไม่เกิน 0.3 หรือ 0.6 ไมครอน/ตารางเซนติเมตร)

A = อนุภาคสิ่งปนเปื้อนในสารละลาย (อนุภาค/มิลลิลิตร)

B = ค่าอ้างอิง (อนุภาค/มิลลิลิตร)

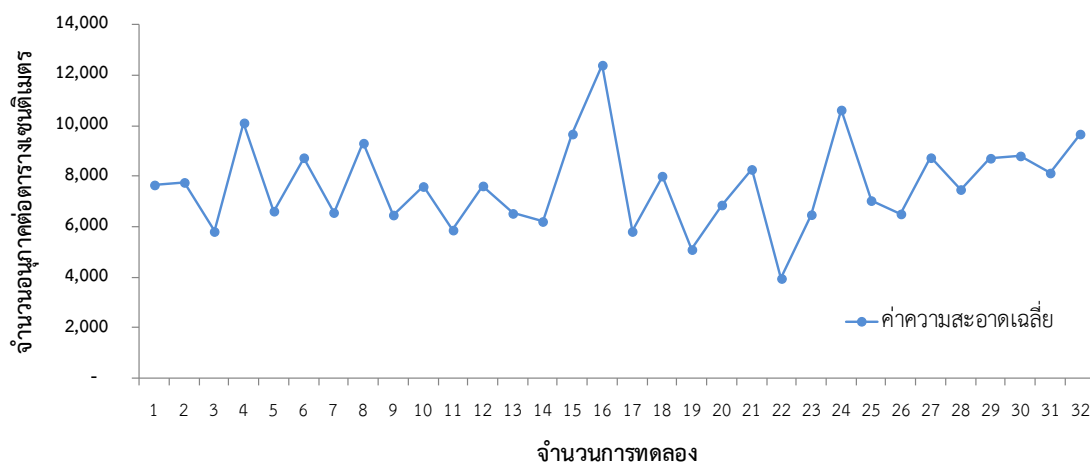
C = พื้นที่ของชิ้นงาน (ตารางเซนติเมตร)

D = ปริมาตรของสารละลาย (มิลลิลิตร)

N = จำนวนชิ้นงาน

3. ผลการศึกษา

จากผลการตรวจวัดจำนวนอนุภาคสิ่งปนเปื้อนต่อหน่วยพื้นที่ผิวของชิ้นงาน (Liquid Particle Counting; LPC) พบว่าจากการทดลองครั้งนี้วิธีการที่ทำให้ได้ค่าความสะอาดสูงสุดคือ การทดลองกลุ่มที่ 22 จากการทดลองทั้งหมด 32 กลุ่ม มีจำนวนอนุภาคสิ่งปนเปื้อนต่อหน่วยพื้นที่ผิวของชิ้นงานจำนวน 3,957 อนุภาค/ตารางเซนติเมตร ดังภาพที่ 5 จากนั้นนำข้อมูลที่ได้จากการวัดค่าความสะอาดไปทำวิเคราะห์ด้วยวิธีของทาคุชิ (Taguchi Method)

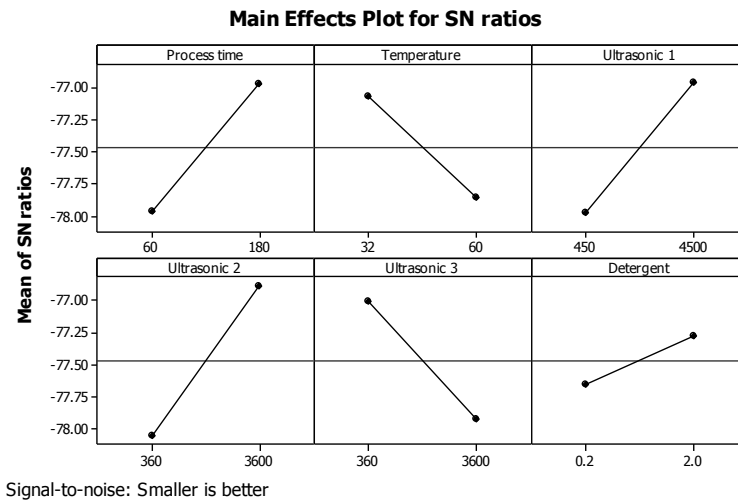


ภาพที่ 5 ผลการทดลองค่าความสะอาดขนาดไม่เกิน 0.3 ไมครอน จากการออกแบบการทดลองด้วยเทคนิคทาคุชิ

การวิจัยนี้เลือกวิเคราะห์ค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสิ่งรบกวน (Signal to noise ratio; S/N) ในกรณีค่าน้อย ยิ่งดี (Smaller-the-Better) เพราะว่าถ้าจำนวนอนุภาคสิ่งปนเปื้อนต่อหน่วยพื้นที่ผิวของชิ้นงานมีค่าน้อยจะส่งผลให้ค่าความสะอาดสูงสุด ดังตารางที่ 2 และภาพที่ 6 พบว่าระดับของตัวแปรที่ส่งผลให้ค่าอัตราส่วนสัญญาณของค่าความสะอาดที่ขนาดไม่เกิน 0.3 ไมครอนมีค่าน้อยที่สุด คือ ระยะเวลาที่ใช้ล้าง 180 วินาที อุณหภูมิ 32 °C ระดับพลังงานของคลื่นอัลตราโซนิก(1) 100 % ระดับพลังงานของคลื่นอัลตราโซนิก(2) 100% ระดับพลังงานของคลื่นอัลตราโซนิก(3) 10% และความเข้มข้นของสารชะล้าง 2.0%

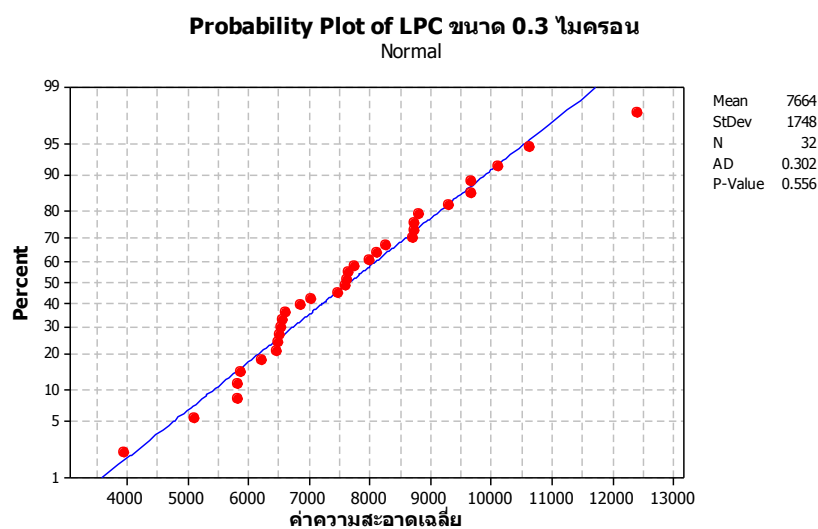
ตารางที่ 2 Response Table for Signal to noise ratios

Smaller is better	Process					
Level	Time	Temperature	U/S 1	U/S 2	U/S 3	Detergent
-1	-78.07	-77.19	-78.05	-78.13	-77.12	-77.75
+1	-77.06	-77.94	-77.08	-77.00	-78.01	-77.38
Delta	1.01	0.76	0.98	1.14	0.89	0.36
Rank	2	5	3	1	4	6



ภาพที่ 6 กราฟตัวแปรที่มีผลต่อค่าอัตราส่วนสัญญาณของค่าความสะอาดที่ขนาดไม่เกิน 0.3 ไมครอน

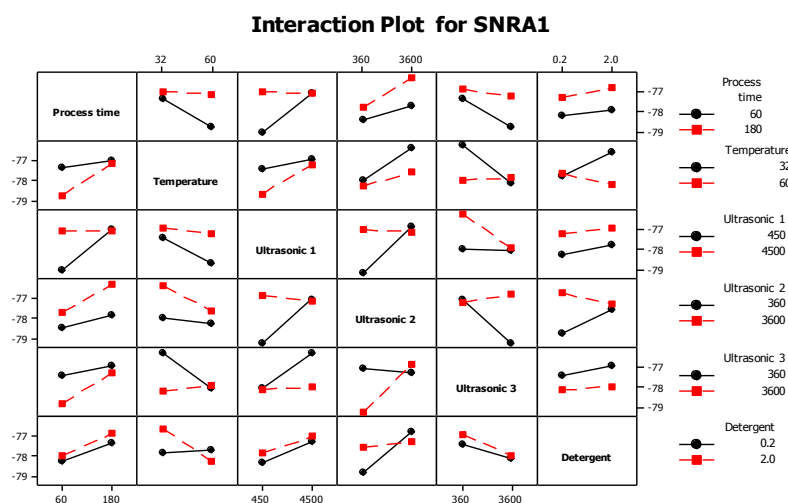
หลังจากนั้นตรวจสอบการกระจายแบบแจกแจงปกติ (Normal Distribution) เป็นการตรวจสอบส่วนของข้อมูลที่มีการกระจายแบบปกติหรือไม่ ซึ่งจากภาพที่ 7 แสดงให้เห็นว่าจุดที่ได้บนกราฟต่างไปจากเส้นตรงบ้างและมีความสัมพันธ์กับเส้นตรง แสดงว่าข้อมูลมีความเหมาะสมเป็นการกระจายแบบปกติ



ภาพที่ 7 กราฟการกระจายแบบแจกแจงปกติของค่าความสะอาดที่ขนาดไม่เกิน 0.3 ไมครอน

3.1 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variable; ANOVA)

การวิเคราะห์ความแปรปรวนเป็นการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง โดยจะคำนวณค่า P-value เปรียบเทียบกับค่า Alpha ที่กำหนด สำหรับในการวิจัยนี้กำหนดค่า Alpha = 0.050 ซึ่งจากภาพที่ 9 พบว่าค่า P-value ของตัวแปรหลักมีค่าเกินกว่าค่า Alpha = 0.050 ได้แก่ อุณหภูมิ ความเข้มข้นของสารชะล้างและคลื่นอัลตราโซนิก(3) แสดงว่าตัวแปรกลุ่มนี้มีผลต่อแบบจำลองและส่งผลกระทบต่อค่าความสะอาด ส่วนตัวแปรหลักที่ค่าน้อยกว่าค่า Alpha = 0.050 ได้แก่ ระยะเวลากับคลื่นอัลตราโซนิก(1) และ (2) แสดงว่าตัวแปรไม่ได้มีผลต่อแบบจำลองและค่าความสะอาด จากนั้นตรวจสอบค่า P-value ของอันตรกิริยา (Interaction) แต่ละตัวแปรพบว่ามีความมากกว่า 0.050 การวิจัยนี้เลือกวิเคราะห์ตัวแปรที่อันตรกิริยาสูงสุด 3 ลำดับ คือ ระยะเวลาอันตรกิริยากับความเข้มข้นของสารชะล้าง คลื่นอัลตราโซนิก(1)อันตรกิริยาความเข้มข้นของสารชะล้าง และคลื่นอัลตราโซนิก(3)อันตรกิริยาความเข้มข้นของสารชะล้าง แสดงว่าตัวแปรที่กำหนด คือ ระยะเวลา อุณหภูมิ ความเข้มข้นของสารชะล้าง คลื่นอัลตราโซนิก(1) และ(3) ในการล้างทำความสะอาดชิ้นงานมีอันตรกิริยาระหว่างกัน



ภาพที่ 8 กราฟอันตรกิริยา (Interaction) ของตัวแปรที่มีผลต่ออัตราส่วนสัญญาณของค่าความสะอาดที่ขนาดไม่เกิน 0.3 ไมครอน

Analysis of Variance for SN ratios							
Source	Symbol	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Process time	A	1	8.2200	8.2200	8.2200	5.58	0.040
Temperature	B	1	4.5890	4.5890	4.5890	3.12	0.108
Ultrasonic 1	C	1	7.6180	7.6179	7.6179	5.17	0.046
Ultrasonic 2	D	1	10.3310	10.3306	10.3306	7.01	0.024
Ultrasonic 3	E	1	6.3910	6.3913	6.3913	4.34	0.064
Detergent	F	1	1.0600	1.0590	1.0590	0.72	0.416
Process time*Temperature	A*B	1	2.9660	2.9656	2.9656	2.01	0.186
Process time*Ultrasonic 1	A*C	1	9.0390	9.3890	9.0389	6.14	0.033
Process time*Ultrasonic 2	A*D	1	1.0840	1.8390	1.0839	0.74	0.411
Process time*Ultrasonic 3	A*E	1	2.6030	2.6028	2.6280	1.77	0.213
Process time*Detergent	A*F	1	0.0910	0.0980	0.0908	0.06	0.809
Temperature*Ultrasonic 1	B*C	1	2.2510	2.2507	2.2507	1.53	0.245
Temperature*Ultrasonic 2	B*D	1	1.7870	1.7871	1.7871	1.21	0.297
Temperature*Ultrasonic 3	B*E	1	8.1480	8.1484	8.1484	5.53	0.041
Temperature*Detergent	B*F	1	6.5790	6.5794	6.5794	4.47	0.061
Ultrasonic 1*Ultrasonic 2	C*D	1	12.3120	12.3120	12.3120	8.36	0.016
Ultrasonic 1*Ultrasonic 3	C*E	1	5.9450	5.9454	5.9454	4.04	0.072
Ultrasonic 1*Detergent	C*F	1	0.1500	0.1503	0.1503	0.10	0.756
Ultrasonic 2*Ultrasonic 3	D*E	1	13.1360	13.1358	13.1358	8.92	0.014
Ultrasonic 2*Detergent	D*F	1	6.1280	6.1282	6.1282	4.16	0.069
Ultrasonic 3*Detergent	E*F	1	0.2980	0.2982	0.2982	0.20	0.662
Residual Error		10	14.7310	14.7308	1.4731		
Total		31	125.4570				

ภาพที่ 9 การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบจำลองของค่าอัตราส่วนสัญญาณของค่าความสะอาดที่ขนาดไม่เกิน 0.3 ไมครอน

3.2 ทำการทดสอบกระบวนการล้างตามผลที่ได้จากการวิเคราะห์เพื่อยืนยันผลการทดลอง

เมื่อได้รับผลการพยากรณ์ระดับค่าความสะอาดของชิ้นงานที่ได้จากการวิเคราะห์แล้ว ขั้นตอนต่อไป คือ การทดลองเพื่อยืนยันผลที่ได้รับจากการพยากรณ์ โดยทำการทดลองกลุ่มตัวอย่างแบบเต็มตะกร้าชิ้นงาน (Full load) เพื่อจำลองการล้างทำความสะอาดชิ้นงานในสภาวะปกติที่พนักงานหน้าเครื่องนำชิ้นงานเข้าเครื่องล้างทำความสะอาด และทำการทดลองโดยการควบคุมตัวแปรที่มีผลเพื่อยืนยันผลอีกจำนวน 4 กลุ่มการทดลอง ได้แก่ กลุ่มการทดลองปรับอุณหภูมิที่ 32 °C กลุ่มการทดลองปรับคลื่นอัลตราโซนิก (3) 10% กลุ่มการทดลองที่ 19 และ 22 โดยผลจากการปรับค่าของระดับตัวแปรการทดลองทั้ง 4 กลุ่มการทดลองในการทดลองเพื่อยืนยันผลการทดลองนี้แสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ค่าระดับตัวแปรเพื่อยืนยันผลการทดลอง

กลุ่ม	Process time	Time	U/S 1	U/S 2	U/S 3	Detergent	ค่าความสะอาด (อนุภาค/ตารางเซนติเมตร)
1	120 Sec	32 °C	40kHz,3600W (80%)	68kHz,2880W (80%)	80kHz,2880W (80%)	0.5%	5,945
2	120 Sec	50 °C	40kHz,3600W (80%)	68kHz,2880W (80%)	80kHz,360W (10%)	0.5%	7,404
3	60 Sec	32 °C	40kHz,4500W (100%)	68kHz,360W (10%)	80kHz,360W (10%)	2.0%	6,818
4	180 Sec	32 °C	40kHz,450W (10%)	68kHz,3600W (100%)	80kHz,3600W (100%)	2.0%	8,176

จากผลจากการทดลองเพื่อยืนยันผลการทดลองพบว่าค่าความสะอาดของกลุ่มการทดลองค่าความสะอาดมีค่าต่ำกว่า 125,000 อนุภาค/ตารางเซนติเมตร จากข้อกำหนดทางบริษัท และได้ทำการเปรียบเทียบค่าของผลการทดลองจากค่าเฉลี่ยความสะอาดที่ขนาดไม่เกิน 0.3 ไมครอนของบริษัทในเคสในช่วงเดือนพฤษภาคม 2554 ถึงเดือนมิถุนายน 2555 คือ 18,580 อนุภาค/ตารางเซนติเมตร พบว่าค่าความสะอาดจากการทดลองทั้ง 4 กลุ่มยังมีค่าความสะอาดที่ต่ำกว่าค่าปัจจุบัน ซึ่งค่าการยืนยันผลมีค่าไม่เท่ากับกับการพยากรณ์แต่แตกต่างกันไม่มากที่สำคัญค่าเฉลี่ยของค่าความสะอาดของชิ้นงานที่ได้ยังอยู่ในขอบเขตของข้อกำหนดลูกค้าดังนั้นระดับค่าตัวแปรที่ได้จากสมการพยากรณ์สามารถนำมาใช้ได้จริง

4. อภิปรายผล

ในงานวิจัยนี้ศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อการล้างทำความสะอาดชิ้นงานด้วยคลื่นอัลตราโซนิกและหาค่าของตัวแปรที่เหมาะสมต่อการล้างทำความสะอาดชิ้นงานโดยใช้เทคนิคทากูชิ L32 (Taguchi Method) โดยปรับปรุงการล้างทำความสะอาดชิ้นงานด้วยคลื่นอัลตราโซนิกที่กระบวนการล้างขั้นตอนสุดท้ายซึ่งมีความสอดคล้องกับงานวิจัยในปีค.ศ.1997 โดย Roman Gouk ที่พบความสะอาดของชิ้นส่วนที่ประกอบเป็นดีสก์ไดรฟ์มากขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพของกระบวนการล้างขั้นตอนสุดท้าย [9] เพราะว่าการวัดประสิทธิภาพหลักของการทำความสะอาดชิ้นส่วนสุดท้ายคือการขจัดอนุภาคที่ปนเปื้อนในผลิตภัณฑ์ แต่การล้างทำความสะอาดปกติจะมีหน้าที่ชะล้างคราบน้ำมันก่อนจะถึงกระบวนการล้างขั้นตอนสุดท้าย จากนั้นกำหนดระดับการทดลอง 2 ระดับแล้วจึงใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variable; ANOVA) เพื่อศึกษาค่าความแปรปรวนของตัวแปร

4.1 การกรองตัวแปรที่ส่งผลต่อค่าความสะอาด ซึ่งกำหนดตัวแปรทั้งหมด 6 ตัวแปร แบ่งเป็นตัวแปรควบคุมได้ (Controllable Variables) คือ อุณหภูมิ ระยะเวลา ความถี่ ระดับพลังงานของคลื่นอัลตราโซนิก และความเข้มข้นของสารชะล้าง ส่วนตัวแปรที่ไม่สามารถควบคุมได้ (Noise Variables) คือ ตำแหน่งการวางตะกร้า โดยมีค่าอัตราส่วนสัญญาณของค่าความสะอาดของชิ้นงาน (S/N LPC) ที่ขนาดไม่เกิน 0.3 ไมครอน เป็นตัวแปรผลตอบ ได้เงื่อนไขการทดลองทั้งหมด 32 การทดลองและทำซ้ำ 3 ครั้ง รวมการทดลองทั้งหมด 96 การทดลอง จากตารางการวิเคราะห์ผลกระทบจากตัวแปรหลัก พบว่าอุณหภูมิ ความเข้มข้นของสารชะล้างและคลื่นอัลตราโซนิก(3) ส่งผลต่อค่าความสะอาดของชิ้นงาน และผลกระทบร่วมระหว่างระยะเวลากับความเข้มข้นของสารชะล้าง คลื่นอัลตราโซนิก(1)กับความเข้มข้นของสารชะล้าง และคลื่นอัลตราโซนิก(3)กับ

ความเข้มข้นของสารชะล้างมีผลต่อค่าความสะอาดขนาดไม่เกิน 0.3 ไมครอน ซึ่งผลจากการศึกษางานวิจัยนี้มีความสอดคล้องกับงานวิจัยในปี ค.ศ 1995 โดย F. John Fuchs ที่พบว่าปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อค่าความสะอาดของชิ้นงาน คือ อุณหภูมิ ความถี่ ระดับพลังงาน และระยะเวลาในการล้าง [8] เป็นตัวแปรหลักที่มีผลต่อคุณภาพค่าความสะอาดของชิ้นงานจากการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ที่ระดับนัยความสำคัญ 95%

4.2 การหาค่าของตัวแปรที่เหมาะสมต่อการล้างทำความสะอาดชิ้นงาน

เมื่อทำการวิเคราะห์หาค่าที่เหมาะสมที่สุดจากสมการพยากรณ์สรุปผลได้ว่าตัวแปรที่ส่งผลให้ชิ้นงานมีความสะอาดที่สุดในการล้างทำความสะอาดชิ้นงานด้วยคลื่นอัลตราโซนิก คืออุณหภูมิ ความเข้มข้นของสารชะล้างและคลื่นอัลตราโซนิก(3) โดยผู้วิจัยจึงได้ทำการทดลองซ้ำเพื่อยืนยันผลการทดลองโดยการปรับตั้งค่าอุณหภูมิ การปรับตั้งค่าระดับพลังงานของคลื่นอัลตราโซนิก (3) และปรับตั้งค่าตามกลุ่มการทดลองที่ 22 และ 19 ที่ได้ค่าความสะอาดสูงสุด ซึ่งพบว่าการปรับตั้งค่าของเครื่องล้างทำความสะอาดชิ้นงานตามกลุ่มการทดลองได้ผลค่าความสะอาดที่ไม่แตกต่างกัน โดยค่าเฉลี่ยค่าความสะอาดขนาดไม่เกิน 0.3 ไมครอนของแต่ละกลุ่มการทดลอง คือ 5,945 7,404 6,818 และ 8,176อนุภาค/ตารางเซนติเมตร ตามลำดับซึ่งยังอยู่ในขอบเขตที่ลูกค้ายอมรับได้ คือ ค่าความสะอาดของชิ้นงานขนาดไม่เกิน 0.3 ไมครอน มีค่าไม่เกิน 125,000 อนุภาค/ตารางเซนติเมตร

ดังนั้น ผลการวิจัยนี้พบว่าตัวแปรที่สำคัญต่อการล้างทำความสะอาดชิ้นงานคือการเลือกใช้อุณหภูมิที่เหมาะสม ซึ่งผลจากการศึกษางานวิจัยนี้สอดคล้องกับวิจัยในปี 2551 โดย ชีวันนท์ ที่พบว่าอุณหภูมิลดลงยิ่งส่งผลให้ค่าความสะอาดเพิ่มขึ้น เนื่องจากชิ้นงานมีลักษณะบางมีความซับซ้อนสูงและสารชะล้างที่ใช้มีคุณสมบัติที่ละลายในน้ำได้ดี มีความหนืดน้อย การตั้งค่าอุณหภูมิต่ำจึงสามารถใช้ล้างชิ้นงานได้สะอาดกว่าอุณหภูมิสูงในเครื่องล้างชิ้นงาน [2] และมีความสอดคล้องกับวิจัยในปี ค.ศ 1996 โดย Sami B Awad ที่พบว่าเมื่อต้องการให้ชิ้นงานมีความสะอาดเพิ่มขึ้นจะต้องทำการปรับค่าเครื่องล้างที่ค่าความถี่ ระดับพลังงาน และระยะเวลาในการล้างเพิ่มขึ้นแต่ปรับค่าอุณหภูมิลดลง [10] ซึ่งงานวิจัยนี้ได้ทำการปรับตั้งอุณหภูมิลดลงจากค่าปกติ 50 °C เป็น 32 °C คือ ระยะเวลาที่ใช้ล้าง 120 วินาที อุณหภูมิ 32 °C ระดับพลังงานของคลื่นอัลตราโซนิก 80% และความเข้มข้นของสารชะล้าง 0.5% ได้มีค่าความสะอาด 5,945 อนุภาค/ตารางเซนติเมตร โดยที่ค่าความสะอาดของชิ้นงานเพิ่มขึ้น 70% จากค่าความสะอาดเฉลี่ยในปัจจุบัน

5. สรุปผล

ผลจากการวิเคราะห์หาค่าที่เหมาะสมที่สุดจากสมการทำนายสรุปผลได้ว่าตัวแปรที่เหมาะสมที่สุดในกระบวนการทำความสะอาดฐานรองรับชิ้นส่วนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่ส่งผลให้ชิ้นงานมีความสะอาดมากที่สุด คือ ทำการตั้งค่าเครื่องล้างที่ระยะเวลาล้าง 120 วินาที อุณหภูมิ 32 °C ระดับพลังงานของคลื่นอัลตราโซนิก 80% และความเข้มข้นของสารชะล้าง 0.5% และมีค่าเฉลี่ยของค่าความสะอาดขนาดไม่เกิน 0.3 ไมครอนอยู่ที่ 5,945 อนุภาคต่อตารางเซนติเมตร โดยสามารถลดค่าความสะอาดชิ้นงานได้ 70% จากค่าเฉลี่ยเดิมของทางโรงงาน ซึ่งผู้วิจัยหวังว่างานวิจัยนี้เป็นประโยชน์ต่อผู้ประกอบการผลิตชิ้นงานฐานรองรับชิ้นส่วนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์และด้านสังคมที่ต้องมีการออกแบบสินค้าให้ดีโดยมีเป้าหมายเพื่อลดการสูญเสียที่ลูกค้าได้รับเมื่อมีการส่งมอบสินค้า หรือนำไปเป็นข้อมูลพื้นฐานเพื่อนำไปประยุกต์และพัฒนาอุตสาหกรรมชิ้นส่วนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์อย่างยั่งยืน

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยความรู้จาก ดร.สิงห์แก้ว ปือกเพ็ญที่ปรึกษาหลัก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สหรัตน์ วงษ์ศิริษะ และดร.ปริญญา บุญนิษฐ ที่ได้ให้คำแนะนำ แนวคิดและสนับสนุน ตรวจสอบแก้ไขงานวิจัยนี้เสร็จสมบูรณ์ ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้ และขอขอบพระคุณบริษัทินเดค ปริซิชัน ที่ให้การสนับสนุนทางด้านสถานที่ วัสดุ อุปกรณ์ หรืออุปกรณ์ต่างๆที่ใช้ในงานวิจัย ช่วยสนับสนุนข้อมูลให้งานนี้สำเร็จด้วยดีและขอขอบพระคุณคุณพัฒนาชาติ พิโลงกต พิพิพวรรณ พิพิชรินทร์ แผนกวิศวกรรม และพี่ทุกคนที่ค่าปรึกษาในการวิจัยครั้งนี้ โดยเฉพาะพี่โกมินท์ และคุณปิยะ วัฒนแผนกซ่อมบำรุงที่สละเวลามาช่วยทำการตั้งค่าเครื่องล้างเพื่อทำการทดลอง ให้คำแนะนำ และช่วยเหลือผู้วิจัย ทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลงไปด้วยดี

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] คุณยุต เอี่ยมสอาด และคณะ, 2550. วิธีการทาทุขีเพื่อกำรขึ้นรูปขึ้นงานโลหะด้วยเลเซอร์. การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 21, 17-19 ตุลาคม 2550 จังหวัดชลบุรี
- [2] ชีวันนท์ อมรศรีสัจจ, 2551. การหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของปัจจัยในกระบวนการทำความสะอาดแขนจับยึดหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ที่ใช้เทคโนโลยีคลื่นอัลตราโซนิกโดยใช้เทคนิคการออกแบบการทดลองแบบทาทุขี. วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิตสาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
- [3] ดุสิต ธนเพทาย, 2554. เทคโนโลยีฮาร์ดไดรฟ์และการผลิต. คณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- [4] บริษัทนิเคค พรินซ์ชั่น จำกัด, ระเบียบปฏิบัติการทดสอบด้วยเครื่อง Liquid Particle Counter (Regulation of chemical test by Liquid Particle Counter).
- [5] ประไพศรี สุทัศน์ ณ อยุธยา และพงศ์ชนัน เหลืองไพบูลย์, 2551. การออกแบบและวิเคราะห์การทดลอง. สำนักพิมพ์ท็อปจำกัด
- [6] Ahmed A, Busnaina et al., Glenn W, Gale., 1995. Ultrasonic and Megasonic particle removal.
- [7] Ahmed A. Busnaina et al., 1994. Ultrasonic and Megasonic Theory and Experimentation, Pages. 13 – 19.
- [8] F. John Fuchs., 1995. Ultrasonic Cleaning Fundamental Theory and Application.
- [9] ROMAN GOUK., 1997. Optimizing Ultrasonic Cleaning for Disk Drive Components.
- [10] Sami B Awad., 1996. Ultrasonic Cavitations and Precision Cleaning, Pages. 12-17.

การผลิตวัสดุปลูกพืชจากของเสียในอุตสาหกรรมน้ำตาล Development of Growing Media Product from Sugar Industrial Waste

ภูษิต อัญญาธ ^{13*}, วรจิตต์ เศรษฐพรค์ ², ทศนุพันธุ์ กุศลสถิตย์ ³

¹ สาขาวิชาการพัฒนาเศรษฐกิจและเทคโนโลยีชุมชน

สถาบันพัฒนาเศรษฐกิจและเทคโนโลยีชุมชนเอเชีย มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่
อาคารราชภัฏ 70 ปี ชั้น 3 เลขที่ 202 ถ.หมื่นด้ามพร้าคต ต.ช้างเผือก อ.เมือง จ.เชียงใหม่ 50300

sit12@yahoo.com

² สถาบันพัฒนาเศรษฐกิจและเทคโนโลยีชุมชนเอเชีย มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ worajit@gmail.com

³ คณะเทคโนโลยีการเกษตรและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์

thassanupan@hotmail.com

บทคัดย่อ

อุตสาหกรรมน้ำตาลเป็นอุตสาหกรรมหลักของประเทศไทย ของเสียหลักจากกระบวนการผลิตน้ำตาล ประกอบด้วย ขานอ้อย ของเสียจากกากตะกอนหม้อกรอง และขี้เถ้าขานอ้อยจากกระบวนการผลิตไฟฟ้า เป็นต้น ปัจจุบันปริมาณของเสียดังกล่าวมีปริมาณสูงและนิยมนำมาใช้เป็นวัสดุปรับปรุงดิน (Soil Conditioner) ในการศึกษาวิจัยในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ คือ เพื่อพัฒนาวัสดุปลูกพืช (Growing Media) จากของเสียในอุตสาหกรรมน้ำตาล เพื่อศึกษาการจัดการของเสียอุตสาหกรรมอย่างยั่งยืนโดยการผลิตวัสดุปลูกพืชจากของเสียอุตสาหกรรมน้ำตาล ในการศึกษาแบ่งออกเป็น การศึกษาลักษณะทางกายภาพและเคมีของกากของเสียในอุตสาหกรรมน้ำตาล ได้แก่ กากอ้อย ของเสียจากกากตะกอนหม้อกรอง และขี้เถ้าขานอ้อยจากกระบวนการผลิตไฟฟ้า การศึกษาองค์ประกอบที่เหมาะสมของวัสดุปลูกพืชที่พัฒนาขึ้นจากกากของเสียทั้งสามชนิดผสมกันโดยมีการเติมสารเคมีหรือวัสดุธรรมชาติอื่นๆที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของกลุ่มพืช ในการศึกษาลักษณะทางกายภาพและเคมีของกากของเสียในอุตสาหกรรมน้ำตาลจะทำการวิเคราะห์วัสดุปลูกพืชที่มีการใช้จริงเพื่อเป็นตัวเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวัสดุปลูกพืชที่พัฒนา ในการทดสอบประสิทธิภาพของวัสดุปลูกพืชที่พัฒนาจะทำการทดสอบพารามิเตอร์ที่สำคัญต่อการเจริญเติบโตของกลุ่มพืชเป้าหมาย และการทดสอบตามมาตรฐานอุตสาหกรรมในประเทศกำหนดในที่จะใช้เป็นมาตรฐานในการผลิตปุ๋ย

คำสำคัญ(Key word): วัสดุปลูกพืช, อุตสาหกรรมน้ำตาล, การจัดการของเสียอุตสาหกรรมอย่างยั่งยืน

Abstract

One of the important Industries in Thailand was sugar Industry. Main waste from sugar production processes contained of bagasse, filter cake, and bagasse ash. The amount of these waste still increased and most of them were manage by dumping to landfill or used as soil conditioner. The main objectives aim to develop of growing media product from sugar industrial waste for sustainable industrial waste management. The scope of study contained the study of physical and chemical of sugar industrial waste, the analysis of optimal condition of growing media which produce from sugar industrial waste mixture, and the development

³ นายภูษิต อัญญาธ สถาบันพัฒนาเศรษฐกิจและเทคโนโลยีชุมชนเอเชีย มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ อาคารราชภัฏ 70 ปี
ชั้น 3 เลขที่ 202 ถ.หมื่นด้ามพร้าคต ต.ช้างเผือก อ.เมือง จ.เชียงใหม่ 50300 sit12@yahoo.com

of growing media product design. The study of physical and chemical of sugar industrial waste will be compared with the commercial growing media materials in order to check the efficiency properties of sugar industrial waste. The optimal condition of developed growing media materials will be measured by the germination and growth of horticultural plant. The quality control of developed growing media materials followed Thailand Fertilizer Standard.

Key word: Growing Media, Sugar Industry, Sustainable Industrial Waste Management

1. บทนำ (Introduction)

ของเสียหรือส่วนที่เหลือ เรียกว่า ผลิตภัณฑ์พลอยได้ (by-products) จากอุตสาหกรรมอ้อยและน้ำตาล ได้แก่ ชานอ้อย (bagasse) ใช้เป็น เชื้อเพลิงในการผลิตไอน้ำที่นำไปใช้ผลิตไฟฟ้าและกระบวนการผลิตน้ำตาล เป็นวัตถุดิบสำหรับผลิตอาหารสัตว์ เยื่อกระดาษ กากน้ำตาล (molasses) นำไปเป็นวัตถุดิบในการผลิตผลิตภัณฑ์อื่นๆ เช่น เอทิลแอลกอฮอล์ (ethyl alcohol หรือ ethanol) ผงชูรส (monosodium glutamate) ยีสต์ที่เป็นอาหารสัตว์ และอาหารมนุษย์ เป็นต้น ส่วนกากตะกอนหมักกรอง (filter mud) ในฤดูการผลิตปี 2550/2551 ประเทศไทยมีปริมาณอ้อยเข้าหีบ 73.308 ล้านตัน จากโรงงานทำการผลิต 46 แห่ง มีกากตะกอนหมักกรองจากกระบวนการผลิตประมาณ 22,000 ล้านตัน (สำนักงานอ้อยและน้ำตาล, 2553) กากตะกอนหมักกรอง นำไปใช้โยชนไม่มากนัก ถึงแม้จะมีบางส่วนไปใช้เป็นปุ๋ยใสในไร่อ้อย แต่ยังมีเหลือกองทิ้งไว้ที่โล่งกลางแจ้งเป็นปริมาณมาก ถ้าหากในสภาพอากาศร้อนและแห้ง กากตะกอนหมักกรองสะสมความร้อนจนลุกเป็นไฟได้เอง เกิดปัญหาสภาพแวดล้อมตามมา

วัสดุปลูกหมายถึง วัสดุใดที่เลือกมาสำหรับปลูกพืชและทำให้ต้นพืชขึ้นเจริญเติบโตได้เป็นปกติ วัสดุอาจเป็นอินทรีย์วัตถุหรืออนินทรีย์วัตถุอย่างใดอย่างหนึ่งหรือทั้งสองอย่างผสมกัน วัสดุปลูกที่ทำจากวัสดุต่างกัน 2 – 3 อย่าง เรียกว่า วัสดุปลูกผสม วัสดุที่ใช้ปลูกพืชในพื้นที่จำกัด เช่น ในกระถางหรือกระบะเรียกว่า วัสดุปลูกพืชในภาชนะ วัสดุปลูกมีความสำคัญต่อพืชโดยทำหน้าที่ 4 ประการคือ เป็นที่เกาะยึดเหนี่ยวของรากเพื่อยึดต้นพืช เป็นแหล่งสะสมน้ำแก่พืช ให้อากาศสำหรับรากพืชหายใจ และเป็นแหล่งสะสมแร่ธาตุอาหารให้แก่พืช การทำหน้าที่ดังกล่าวของวัสดุปลูกได้มาน้อยเพียงใด สิ่งเหล่านี้เป็นการบ่งชี้ถึงความเหมาะสมหรือความอุดมสมบูรณ์ของวัสดุปลูก (Handreck and Black, 1994.) ต่อมาพบว่า วัสดุปลูกที่ปราศจากส่วนผสมของดินสามารถใช้เป็นวัสดุปลูกในภาชนะได้ผลดีกว่า เนื่องจากวัสดุปลูกมีความสม่ำเสมอดีกว่าดิน การประเมินการให้น้ำและปุ๋ยสามารถกระทำ ได้ง่าย อีกทั้งยังมีน้ำหนักเบา สะดวกในการขนย้าย และปราศจากศัตรูพืชที่อาจติดมากับวัสดุดังกล่าว (วิทยา, 2534)

ปัจจุบันการปลูกพืชในกระถางเป็นกิจกรรมที่ได้รับความนิยมอย่างมาก ทั้งในการผลิตเชิงพาณิชย์ และงานอดิเรกเพื่อความรื่นรมย์ พืชที่เหมาะสมสำหรับการปลูกในกระถางนั้น มีหลายชนิด ทั้งขนาดเล็กและใหญ่ ไม้ดอกและไม้ประดับ ตลอดจนพืชผักสวนครัวยังสามารถเลือกมาปลูกในกระถางได้เป็นอย่างดีด้วย วัสดุปลูกจัดว่าเป็นปัจจัยหนึ่งที่สำคัญมาก เนื่องจากว่า ปัญหาที่มักพบเสมอๆในการปลูกพืชระบบนี้คือ การจำกัดพื้นที่การเจริญเติบโตของราก ซึ่งแตกต่างจากการปลูกพืชในแปลงปลูกกลางแจ้งที่มีปัญหาด้านนี้น้อยกว่าการปลูกพืชในภาชนะ เนื่องจากพืชสามารถมีการเจริญของรากได้อย่างอิสระ (วิทยา, 2534; Nelson, 1991; Lemaire, 1995; Rivier and Caron, 2001.)

เมื่อพิจารณาแล้วจะเห็นว่ากากตะกอนหมักกรอง และชี้เถ้าชานอ้อย ไม่เป็นอันตรายต่อพืช ซึ่งน่าจะสามารถพัฒนาเป็นวัสดุปลูกได้โดยเน้นที่การจัดการด้านคุณสมบัติทางกายภาพ เช่น ความหนาแน่นรวม ซึ่งจะสัมพันธ์กับการอุ้มน้ำและถ่ายเทอากาศ ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ ดวงสมร และ คณะ (2548) ที่ทดสอบประสิทธิภาพของแ่งเพาะซากลำไ้พบว่าในตำรับที่มีกากตะกอนหมักกรองอยู่ในอัตราสูงจะดีกว่าในตำรับที่มีกากตะกอนหมักกรองอยู่ในอัตราต่ำ จากการทดลองพอจะสรุปได้ว่า คุณสมบัติทางกายภาพน่าจะมีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตของพืชในระยะแรกมากกว่าคุณสมบัติทางเคมี

ดังนั้นการพัฒนาจากตะกอนหม้อกรองโดยตรงจากการปั่นหรือการใช้แรงอัดเพื่อให้เกิดโครงสร้างที่มีคุณสมบัติทางกายภาพเหมาะสมต่อการระบายอากาศและอุ้มน้ำ ตลอดจนรากพืชสามารถเจริญแผ่กระจายเกาะยึดวัสดุปลูกได้ดีขึ้น ส่วนคุณสมบัติทางเคมี เช่น ความเป็นกรดต่างซึ่งทั่วไปอยู่ประมาณ 7 ไม่เป็นพิษต่อพืช ด้วยเหตุนี้จากตะกอนหม้อกรองจึงมีความเป็นไปได้ที่จะนำมาใช้เป็นวัสดุปลูกพืชที่เหมาะสมได้

2. วิธีการศึกษา

1. นำวัสดุของเสีย คือ จากตะกอนหม้อกรองและซีเมนต์ขาวอ้อย มาผสมกันในอัตราส่วน 5:1 4:1 3:1 2:1 1:1 1:2 1:3 1:4 และ 1:5 โดยปริมาตร อัดด้วยเครื่องกดอัดเม็ดผ่านตะแกรงขนาด 4 8 และ 12 มม. แล้วทำให้แห้งโดยผึ่งในร่มเวลา 1-2 วัน (ภาพที่ 1) จากนั้นทำการทดสอบการคงตัวของเม็ดวัสดุปลูกด้วยวิธีของ USDA, 2001. Soil Quality Test Kit Guide. 82 pp.

2. นำวัสดุปลูกอัดเม็ดขนาด 4 8 และ 12 มม. จากอัตราส่วนที่มีการคงตัวของกากตะกอนหม้อกรองกับซีเมนต์ขาวอ้อย มาทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพที่สำคัญของวัสดุปลูก ได้แก่ ความหนาแน่นรวม ความพรุนรวม ความพรุนช่องอากาศ และความจุในการอุ้มน้ำ ด้วยวิธีของ Handreck and Black. (1994.)

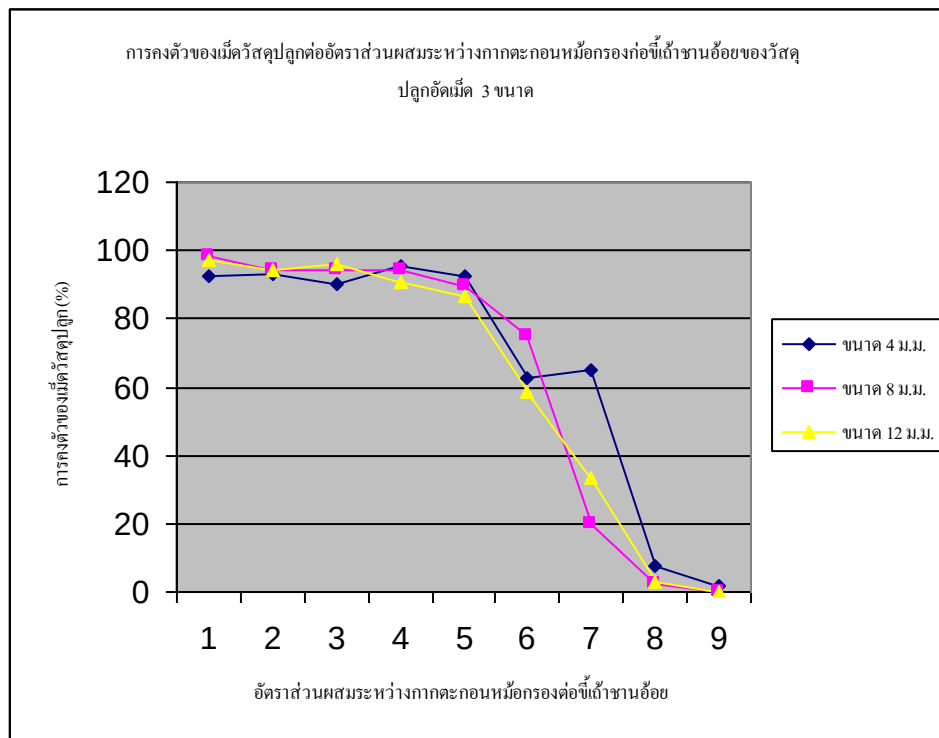


ภาพที่ 1 วัสดุปลูกอัดเม็ดจากกากตะกอนหม้อกรองผสมกับซีเมนต์ขาวอ้อย ขนาด 4 8 และ 12 มม. (เรียงจากซ้ายไปขวา)

3. ผลการศึกษาและ

3.1 การคงตัวของเม็ดวัสดุปลูกต่ออัตราส่วนผสมระหว่างกากตะกอนหม้อกรองกับซีเมนต์ขาวอ้อยของวัสดุปลูกอัดเม็ด

เมื่อนำอัตราส่วนของกากตะกอนหม้อกรองและซีเมนต์ขาวอ้อย มาทำเป็นวัสดุปลูกอัดเม็ด ขนาด 4 8 และ 12 มม. ทดสอบการคงตัวของเม็ด พบว่า การคงตัวของเม็ดวัสดุปลูกมีค่าสูงและใกล้เคียงกันในช่วงอัตราส่วนผสมระหว่างกากตะกอนหม้อกรองและซีเมนต์ขาวอ้อย คือ 5:1 4:1 3:1 2:1 และ 1:1 โดยปริมาตร จากนั้นจะลดลงเมื่อที่มีส่วนผสมของซีเมนต์ขาวอ้อยเพิ่มมากขึ้น คือ 1:2 1:3 1:4 และ 1:5 โดยปริมาตร ซึ่งวัสดุปลูกอัดเม็ดทั้ง 3 ขนาดมีลักษณะเหมือนกัน ดังแสดงในภาพที่ 2



ภาพที่ 2 คงตัวของเม็ดวัสดุปลูก(%) ต่ออัตราส่วนผสมระหว่างกากตะกอนหมักกรองกับซีเมนต์ 3 ขนาด (อัตราส่วนของกากตะกอนหมักกรองและซีเมนต์ 1 = 5:1 2=4:1 3=3:1 4=2:1 5=1:1 6=1:2 7=1:3 8=1:4 และ 9=1: 5 โดยปริมาตร)

3.2 คุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุปลูกอัดเม็ดจากกากตะกอนหมักกรองกับซีเมนต์

วัสดุปลูกอัดเม็ดขนาด 4 8 และ 12 มม. จากอัตราส่วนที่มีการคงตัวของกากตะกอนหมักกรองกับซีเมนต์คือ 4: 1 โดยปริมาตร มาทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพที่สำคัญของวัสดุปลูก พบว่า ความหนาแน่นรวม และความพรุนรวม ของวัสดุปลูกอัดเม็ดทั้ง 3 ขนาด มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ มีค่าอยู่ระหว่าง 0.40-0.45 กรัม/ลบ.ซม. และ 74.32 - 77.21 % โดยปริมาตร ตามลำดับ ส่วน ความพรุนช่องอากาศ และความจุในการอุ้มน้ำ ของวัสดุปลูกอัดเม็ดทั้ง 3 ขนาด มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยวัสดุปลูกอัดเม็ดที่มีขนาดใหญ่จะมีความพรุนช่องอากาศมากที่สุด ในขณะที่วัสดุปลูกอัดเม็ดที่มีขนาดเล็กกลับมีความจุในการอุ้มน้ำมากที่สุด ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 คุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุปลูกอัดเม็ดขนาดต่างๆ จากกากตะกอนหมักกรองกับซีเมนต์

ขนาดวัสดุปลูก อัดเม็ด (ม.ม.)	ความหนาแน่นรวม (กรัม/ลบ.ซม.)	ความพรุนรวม (% ปริมาตร)	ความพรุนช่องอากาศ (% ปริมาตร) 1	ความจุในการอุ้มน้ำ (% ปริมาตร) 1
4	0.45	74.32	41.13c	33.19a
8	0.42	76.41	47.32b	29.09b
12	0.40	77.21	50.07a	27.14c
F-test	ns	ns	**	**
CV(%)	2.05	2.20	5.55	6.70

ns ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

** แตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่น 99 % ตัวอักษรที่เหมือนกันในแนวตั้ง ไม่แตกต่างกันทางสถิติเมื่อวิเคราะห์โดยวิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 99 %

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบคุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุปลูกอัดเม็ดขนาดต่างๆ จากกากตะกอนหม้อกรองผสมชี้เถ้าขานอ้อย กับ ช่วงค่าที่เหมาะสมสำหรับวัสดุปลูก

คุณสมบัติ	ช่วงค่าที่เหมาะสม	ขนาดวัสดุปลูก อัดเม็ด 4 ม.ม.	ขนาดวัสดุปลูก อัดเม็ด 8 ม.ม.	ขนาดวัสดุปลูก อัดเม็ด 11 ม.ม.
ความหนาแน่นรวม (กรัม/ลบ.ซม.)	0.15-1.3	0.45	0.42	0.40
ความพรุนรวม (% ปริมาตร)	60-75	74.32	76.41	77.21
ความพรุนช่องอากาศ (% ปริมาตร) 1	10-20	41.15	47.32	50.07
ความจุในการอุ้มน้ำ (% ปริมาตร) 1	50-65	33.19	29.09	27.14

4. การอภิปรายผล

4.1 การคงตัวของเม็ดวัสดุปลูกต่ออัตราส่วนผสมระหว่างกากตะกอนหม้อกรองกับชี้เถ้าขานอ้อยของวัสดุปลูกอัดเม็ด

ในการทดสอบความคงตัวของเม็ดวัสดุปลูกต่ออัตราส่วนผสมระหว่างกากตะกอนหม้อกรองกับชี้เถ้าขานอ้อยของวัสดุปลูกอัดเม็ดที่พัฒนาจากการผสมระหว่างกากตะกอนหม้อกรองและชี้เถ้าขานอ้อยพบว่ามีความคงตัวที่สูงโดยเมื่ออัตราส่วนในการผสมที่เพิ่มขึ้นจะมีผลต่อความคงตัวของวัสดุปลูกดังกล่าว พบว่าร้อยละการคงตัวของเม็ดวัสดุปลูกจะเริ่มลดลงที่ร้อยละ 60 เมื่อที่มีส่วนผสมของชี้เถ้าขานอ้อยเพิ่มมากขึ้นคือ 1:2 1:3 1:4 และ 1:5 โดยปริมาตร

4.2 คุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุปลูกอัดเม็ดจากกากตะกอนหม้อกรองกับชี้เถ้าขานอ้อย

เมื่อพิจารณาจากคุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุปลูกอัดเม็ดเทียบกับค่ามาตรฐานของวัสดุปลูก ดังในตารางที่ 2 จะเห็นได้ว่าความหนาแน่นรวมของวัสดุปลูกอัดเม็ดทั้ง 3 ขนาด อยู่ในช่วงค่าที่เหมาะสม ค่าความพรุนรวมของวัสดุปลูกอัดเม็ดขนาดเล็ก 4 ม.ม.อยู่ในช่วงค่าที่เหมาะสม ส่วนวัสดุปลูกอัดเม็ดขนาด 8 และ 12 ม.ม. สูงกว่าค่ามาตรฐานเล็กน้อย ที่สำคัญคือความจุในการอุ้มน้ำของวัสดุปลูกอัดเม็ดทั้ง 3 ขนาด ถือว่ามีค่าต่ำกว่ามาตรฐานมาก นั้นแสดงให้เห็นว่า ถ้านำวัสดุปลูกอัดเม็ดนี้เป็นวัสดุปลูกพืชจะต้องมีการให้น้ำบ่อยๆ มากกว่าปกติเพื่อให้เพียงพอกับความต้องการของพืชเนื่องจากการอุ้มน้ำได้น้อย มิฉะนั้นจะทำให้พืชชะงักการเจริญเติบโตเนื่องจากขาดน้ำ ซึ่งจะสัมพันธ์ตรงกันข้ามกับความพรุนช่องอากาศที่มีมากกว่าค่ามาตรฐาน ด้วยเหตุนี้ ถ้าจะพัฒนาวัสดุปลูกอัดเม็ดจากกากตะกอนหม้อกรองผสมกับชี้เถ้าขานอ้อยเป็นวัสดุปลูกพืชที่ต้นนี้ จะต้องปรับปรุงหรือแก้ไขในเรื่องความจุในการอุ้มน้ำให้มีค่าเพิ่มมากขึ้นโดยทำให้เม็ดวัสดุปลูกมีความพรุนเป็นช่องว่างภายในเม็ดเพิ่มมากขึ้นเพื่อทำหน้าที่อุ้มน้ำได้มากขึ้น จะเหมาะสมกว่าวิธีที่จะทำให้เม็ดวัสดุปลูกขนาดเล็กลงกว่านี้อีก แล้วจึงนำไปใช้ทดลองใช้ปลูกพืชเพื่อทดสอบยืนยันอีกครั้งหนึ่ง

5. สรุปผล (Conclusion)

การพัฒนาวัสดุปลูกอัดเม็ดจากของเสียอุตสาหกรรมน้ำตาลคือ กากตะกอนหม้อกรองผสมกับชี้เถ้าขานอ้อยเป็นวัสดุปลูกพืช นั้น โดยนำวัสดุของเสีย คือ กากตะกอนหม้อกรองและชี้เถ้าขานอ้อย มาผสมกันในอัตราส่วน 5:1 4:1 3:1 2:1 1:1 1:2 1:3 1:4 และ 1:5 โดยปริมาตร อัดด้วยเครื่องกดอัดเม็ดผ่านตะแกรงขนาด 4 8 และ 12 ม.ม. หาอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมระหว่างกากตะกอนหม้อกรองกับชี้เถ้าขานอ้อยต่อการคงตัวของวัสดุปลูกอัดเม็ดขนาดต่างๆ พบว่า จะต้องใช้อัตราส่วนผสมโดยปริมาตรนั้นให้มีกากตะกอนหม้อกรองผสมมากกว่าชี้เถ้าขานอ้อย เพื่อให้มีการคงตัวของเม็ดได้ดี จากอัตราส่วนที่มีการคงตัวของกากตะกอนหม้อกรองกับชี้เถ้าขานอ้อยมาทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพที่สำคัญของวัสดุปลูก ได้แก่ ความหนาแน่นรวม ความพรุนรวม ความพรุนช่องอากาศ และความจุในการอุ้มน้ำ พบว่า วัสดุปลูกอัดเม็ดทั้ง 3 ขนาด มีความเป็นไปได้ที่จะนำไปเป็นวัสดุปลูกพืชได้ดีโดยจะต้องปรับปรุงหรือแก้ไขในเรื่องความจุในการอุ้มน้ำให้มีค่าเพิ่มมากขึ้น ในการพัฒนาวัสดุปลูกอัดเม็ดจากกากตะกอนหม้อกรองผสมกับชี้เถ้าขานอ้อยเป็นวัสดุปลูกพืชนั้น โดยจะต้องใช้อัตราส่วนผสมโดยปริมาตรนั้นให้มีกากตะกอน

หม้อกรองผสมมากกว่าซีเถ้าซานอ้อย เพื่อให้มีการคงตัวของเม็ดได้ดี วัสดุปลูกอัดเม็ดทั้ง 3 ขนาด มีความเป็นไปได้ที่จะนำไปเป็นวัสดุปลูกพืชได้ดี โดยจะต้องปรับปรุงหรือแก้ไขในเรื่องความจุในการอุ้มน้ำให้มีค่าเพิ่มมากขึ้น

6. กิตติกรรมประกาศ

บทความนี้ได้รับการสนับสนุนห้องปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์จากคณะเทคโนโลยีการเกษตรและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์ และได้เงินสนับสนุนการทำวิจัยจาก บริษัท น้ำตาลพิษณุโลก จำกัด

7. เอกสารอ้างอิง (Reference)

- ดวงสมร ตุลาพิทักษ์, เทพฤทธิ์ ตุลาพิทักษ์ และแก้วใจ อ้อชัยภูมิ. 2008. การทดสอบประสิทธิภาพของแ่งเพาะชาจากวัสดุเหลือทิ้ง KRU Res J 13 (8) : September 2008
- [1] ทศนุพันธ์ กุศลสถิตย์. 2542. ความเป็นไปได้ในการใช้เม็ดดินเผาเป็นวัสดุปลูก. **ปัญหาพิเศษปริญญาเอก ภาควิชาพืชสวน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์**. 32 น.
- [2] วิทยา สุริยาภณานนท์. 2534. **อาหารและเครื่องปลูกของพืชสวน**. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 188 น.
- [3] สำนักงานอ้อยและน้ำตาล. 2553. แหล่งข้อมูลออนไลน์ [เข้าถึงข้อมูลได้ที่]
<http://www.ocsb.go.th/th/faq/index.php> (29 กันยายน 2553)
- [4] Handreck, K.A. and N.D. Black. 1994. **Growing Media for Ornamental Plant and Turf**. University of New South Wales Press, NSW, Australia. 448 pp.
- [5] Lemaire, F. 1995. Physical, chemical and biological properties of growing medium. **Acta Horticultureae**, 396: 273-284.
- [6] Jenkins, J.R. and W.M. Jarrell. 1989. Predicting physical and chemical properties of container mixtures. **HortScience**. 24(2):292-295.
- [7] Navarro, A.F., Cegarra, J., Roig, A., Garcia, D., 1993. Relationships between organic matter and carbon contents of organic waste. **Bioresource Technology** 44, 203-207.
- [8] Nelson, P.V. 1991. **Greenhouse Operation and Management**. New Jersey: Prentice-Hall, Inc.. 612 p.
- [9] Riviere, L.M. and J. Caron. 2001. Research on Substrates: State of the Art and Need for the Coming 10 Years. Proceedings of the international symposium on soilless media and hydroponics. E. Maloupa and D. Gerasopoulos, Eds. **Acta Horticultureae** 548 :29

การใช้เถ้าขานอ้อยจากอุตสาหกรรมน้ำตาลในการผลิตคอนกรีตมวลเบา Utilization of Bagasse Ash from Sugar Industry in Lightweight Concrete Production

อรรถรินทร์ อภิวัฒนวัฒน์¹, เปื้อง กิจรัตน์ภร², กัญจน์รี ช่างจำ³, ธารทิพย์ พันธเมธาฤทธิ์⁴

¹ สาขาวิชาการจัดการเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
เลขที่ 3 ถนนแจ้งวัฒนะ แขวงอนุสาวรีย์ เขตบางเขน กรุงเทพฯ 10220

arkarin_api@yahoo.co.uk

² สาขาวิชาการจัดการเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร preang@pnru.ac.th

³ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ udomporn_ch@yahoo.com

⁴ ศูนย์ความเป็นเลิศด้านการจัดการสิ่งแวดล้อมและของเสียอันตราย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
thantib043@yahoo.com

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้เป็นการศึกษาการนำเถ้าขานอ้อยจากอุตสาหกรรมผลิตน้ำตาลมาใช้ประโยชน์เพื่อการจัดการของเสียอุตสาหกรรมอย่างยั่งยืนโดยการผลิตคอนกรีตมวลเบา แนวทางศึกษาประกอบด้วย การศึกษาลักษณะทางกายภาพและเคมีของเถ้าขานอ้อย การศึกษาความเป็นอันตรายตามที่ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง การกำจัดสิ่งปฏิกูลวัสดุไม่ใช้แล้ว พ.ศ. 2548 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ ประกอบด้วย การศึกษาเวลาที่ใช้ในการอบไอน้ำ อัตราที่เหมาะสมในการผสมส่วนผสมต่างๆ ได้แก่ ซีเมนต์ ทราย น้ำ ขี้เถ้าขานอ้อย หลักเกณฑ์ที่ใช้ในการพิจารณาสภาวะที่เหมาะสมนั้นใช้มาตรฐานอุตสาหกรรมของคอนกรีตมวลเบาเป็นเกณฑ์ตัดสินใจ และการศึกษาอัตราส่วนของขี้เถ้าขานอ้อยที่ใช้แทนที่ในคอนกรีตมวลเบาได้สูงที่สุด ผลการศึกษาพบว่า เถ้าขานอ้อยจากโรงงานน้ำตาลไม่จัดเป็นของเสียอันตราย อัตราส่วนที่เหมาะสมในการผลิตอิฐมวลเบาอยู่ที่ อัตราส่วนระหว่างซีเมนต์ต่อทรายที่ 65 ต่อ 35 อัตราส่วนการใช้น้ำต่อองค์ประกอบทั้งหมดอยู่ที่ 0.24 และระยะเวลาที่เหมาะสมในการอบไอน้ำอยู่ที่ 16 ชั่วโมง และการศึกษาอัตราส่วนการทดแทนขี้เถ้าขานอ้อยในผลิตภัณฑ์คอนกรีตมวลเบาสามารถใช้เถ้าขานอ้อยจากอุตสาหกรรมน้ำตาลในการแทนที่การใช้ซีเมนต์ได้สูงที่สุดที่ร้อยละ 20

คำสำคัญ(Key word): อิฐมวลเบา, อุตสาหกรรมน้ำตาล, การจัดการของเสียอุตสาหกรรมอย่างยั่งยืน

Abstract

This research studied the utilization of bagasse ash from sugar industry in lightweight concrete production for sustainable industrial waste management. The scopes of this research contained of physical and chemical properties of bagasse ash, identification of hazardous property following the Notification of ministry of industry for disposal waste (2005), optimal condition for developed lightweight concrete, and the substitution percent of bagasse ash on lightweight concrete product. The optimal condition concerned on curing time in water steam, and mixing ratio of cement, water, sand, and bagasse ash. The criteria for choosing of optimal condition followed on Thailand Industry Standard (TIS) for lightweight concrete product. The results showed that bagasse ash from sugar industry didn't classify as hazardous waste. The optimal ratio for lightweight concrete was cement/sand = 65/35, water/ total composition=0.24, and curing time in water steam at 16 hours. The highest substitution percent of bagasse ash on lightweight concrete product was 20%.

Keywords: Light Weighted Concrete, Sugar Industry, Sustainable Industrial Waste Management

1. บทนำ (Introduction)

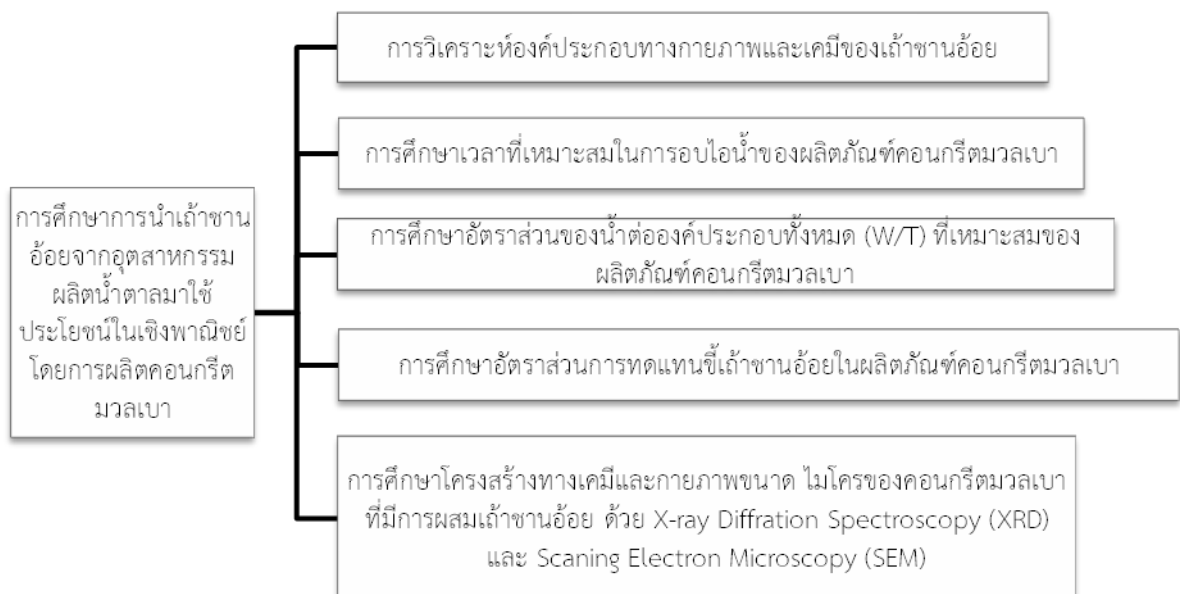
ปัจจุบันประเทศไทยเป็นประเทศที่มีการส่งออกน้ำตาลเป็นอันดับต้นของโลก จากข้อมูลจากสำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทรายประจำปีการผลิต พ.ศ. 2553 พบว่าประเทศไทยมีปริมาณอ้อยทั้งหมด 69.3 ล้านตันต่อปี มีปริมาณกากอ้อยที่เหลือประมาณ 21 ล้านตันต่อปี เมื่อนำกากอ้อยมาเผาจะมีปริมาณเถ้าขานอ้อยที่เกิดขึ้นประมาณร้อยละ 20 หรือประมาณ 4.2 ล้านตันต่อปี ซึ่งปริมาณเถ้าขานอ้อยที่เกิดขึ้นจัดเป็นของเสียจากอุตสาหกรรมที่ต้องการการจัดการที่ถูกต้อง และยังมีโอกาสในการนำกลับมาใช้ใหม่ในเชิงพาณิชย์ได้ จากปัญหาข้างต้นที่กล่าวมานั้นในงานวิจัยนี้มุ่งเน้นที่ศึกษาวิจัยแนวทางในการนำของเสียจากอุตสาหกรรมน้ำตาลทรายมาผลิตเป็นอิฐมวลเบาเพื่อเป็นการเพิ่มมูลค่าของของเสียในเชิงพาณิชย์

วิธีการตามหลักการจัดการของเสียจากอุตสาหกรรมอย่างง่ายที่สุด คือ การจัดการของเสียด้วยวิธีการฝังกลบ หรือกองทิ้งไว้ในพื้นที่โรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งวิธีการดังกล่าวจะก่อให้เกิดความรำคาญรบกวนต่อชุมชนที่อาศัยอยู่ล้อมรอบพื้นที่อุตสาหกรรม ทำให้เกิดปัญหาการต่อต้านการมีอุตสาหกรรมในพื้นที่ชุมชน แนวทางหนึ่งที่จะช่วยแก้ไขปัญหามลพิษจากการจัดการของเสียจากอุตสาหกรรมที่นิยมใช้ในปัจจุบัน คือ การส่งเสริมหลักการจัดการ 3Rs หลักการ 3Rs ประกอบด้วย การลดการเกิดของเสีย (Reduce) การนำกลับมาใช้ใหม่ (Reuse) และการนำมาปรับสภาพก่อนการนำกลับมาใช้ใหม่ (Recycle) ซึ่งหลักการจัดการ 3Rs จะสอดคล้องโดยตรงกับหลักการการนำของเสียมาใช้ประโยชน์ (Waste Utilization) จากเหตุผลดังกล่าวในการศึกษาวิจัยในครั้งนี้มุ่งเน้นที่การนำหลักการจัดการของเสียมาใช้ประโยชน์มาประยุกต์ใช้กับการจัดการของเสียจากอุตสาหกรรมผลิตน้ำตาล คือ เถ้าขานอ้อย และนำองค์ความรู้ที่ได้จากการศึกษาวิจัยมาพัฒนาเป็นองค์ความรู้และเทคโนโลยีที่เหมาะสมกับการถ่ายทอดสู่ชุมชนล้อมรอบพื้นที่อุตสาหกรรมน้ำตาลต่อไป

การนำเถ้าขานอ้อยจากอุตสาหกรรมผลิตน้ำตาลมาใช้ประโยชน์ในเชิงพาณิชย์มีหลากหลายวิธี เช่น ใช้เป็นตัวดูดซับ (Adsorbent) นำมาใช้ผลิตซีโอไลต์ (Zeolite) ใช้เป็นวัตถุดิบทดแทนในกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ (Alternative raw material in cement production) ใช้เป็นสารผสมในงานปูนซีเมนต์ (Admixture) เป็นต้น สำหรับในการศึกษาวิจัยในครั้งนี้เน้นที่การศึกษาการนำเถ้าขานอ้อยมาใช้ประโยชน์ในงานปูนซีเมนต์โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการนำมาใช้เป็นสารทดแทนปูนซีเมนต์ในกระบวนการผลิตอิฐมวลเบาชนิดอบไอน้ำ (Lightweight Autoclave Concrete)

2. วิธีการศึกษา

ในการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ มีวิธีการในการศึกษา แสดงดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 วิธีการศึกษาวิจัย

3. ผลการศึกษา (Results)

3.1 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางกายภาพและเคมีของเถ้าขานอ้อย

วัตถุดิบที่ใช้ในการศึกษาวิจัยในครั้งนี้เป็น เถ้าขานอ้อย (แสดงดังภาพที่ 2) มีลักษณะเป็นเกล็ดสีดำ เถ้าขานอ้อยเป็นของเสียจากโรงงานผลิตน้ำตาลในส่วนของการกระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้า ในการเก็บตัวอย่างเถ้าขานอ้อยจะทำการเก็บตัวอย่างแบบสุ่ม (Random Method) จากบริษัทโรงน้ำตาลจังหวัดพิษณุโลก จำกัด จำนวน 1,00 กิโลกรัมเพื่อใช้ตลอดการทดลอง โดยนำตัวอย่างเถ้าขานอ้อยที่เก็บมาจากโรงงานน้ำตาลมาทำการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพและเคมี จากนั้นจะนำมาอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 105 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง หรือจนตัวอย่างเถ้าขานอ้อยแห้ง เพื่อเป็นการเก็บรักษาตัวอย่างโดยจะเก็บไว้ในที่แห้งบรรจุในถุงพลาสติกปิดมิดชิดเพื่อป้องกันไม่ใช้ตัวอย่างเถ้าขานอ้อยขึ้น ตัวอย่างที่ผ่านการอบแห้งแล้วจะถูกนำมาใช้ตลอดการวิจัย สำหรับผลการศึกษาสมบัติของเถ้าขานอ้อยแสดงดังภาพที่ 2 นอกจากนี้ตัวอย่างเถ้าขานอ้อยได้ทำการทดสอบปริมาณสารเจือปนด้วยวิธีการย่อยสลายด้วยกรด วิเคราะห์ความสามารถในการชะละลายออกมาสู่สิ่งแวดล้อมด้วยวิธีการ TCLP และ WTE โดยวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักด้วยเครื่อง Inductively-Couple Plasmas Spectroscopy (ICP) ผลการวิเคราะห์แสดงดังตารางที่ 1 ถึงตารางที่ 3 จากผลการวิเคราะห์นี้ทำให้สามารถกำหนดได้ว่าของเสียเถ้าขานอ้อยนี้จัดเป็นของเสียไม่อันตราย (Non-Hazardous Waste)



- pH = 8.11
- Moisture content = 65.63%
- Chloride Content = 237 mg/kg dry weight
- Sulfur Content = 60 mg/kg dry weight

ภาพที่ 2 สมบัติของเถ้าขานอ้อยพันธุ์ LK 92 11

ตารางที่ 1 Total Heavy Metals of Bagasse Ash

Sample	Heavy Metals Concentration (mg/kg)(dry Weight)										
	Ag	As	B	Ba	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Tl	Zn
Bagasse Ash	<0.0008	10.944	0.1	0.099	0.001	0.019	0.012	0.011	0.011	0.002	0.061
USA & Thailand Standard	500	500	10,000	75	100	2,500	2,500	2,000	1,000	700	5,000
EU Standard	500	0	10	0	0	1	5	1	1	15	5

ตารางที่ 2 TCLP of Bagasse Ash

Sample	Heavy Metals Concentration (mg/kg)(dry Weight)								
	Ag	Ba	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Tl	Zn
Bagasse Ash	0.024	0.883	0.007	0.004	0.007	0.018	0.763	0.017	1.806
USA Standard	5	100	1	5	NA	NA	5	NA	NA
NA= Non Available									

ตารางที่ 3 Waste Extraction Test of Bagasse Ash

Sample	Heavy Metals Concentration (mg/kg)(dry Weight)								
	Ag	Ba	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Tl	Zn
Baggase Ash	0.328	4.329	<0.25	0.278	0.459	0.497	1.376	<0.25	5.133
Thailand Standard	5	100	1	5	25	20	5	7	250

3.2 การศึกษาเวลาที่เหมาะสมในการอบไอน้ำ อัตราซีเมนต์ต่อทราย และอัตราส่วนของน้ำต่อองค์ประกอบทั้งหมด (W/T) ของผลิตภัณฑ์คอนกรีตมวลเบา

ขั้นตอนในการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการพัฒนาผลิตภัณฑ์จะดำเนินการศึกษาที่ระยะเวลาในการอบไอน้ำที่เวลา 12, 16, 18 ชั่วโมง โดยในการศึกษาจะทำการปรับค่าซีเมนต์ต่อทรายที่อัตราส่วน 65:35 และ 55:45 นอกจากนี้ยังทำการปรับค่าอัตราส่วนน้ำต่อองค์ประกอบทั้งหมด (Cement + Sand + Lime) ที่อัตราส่วน 0.24, 0.26, 0.30 อย่างไรก็ตามในการศึกษาครั้งนี้จะทำการคงที่ร้อยละอัตราส่วนของผงอลูมิเนียมที่ต้องเติมลงไปในการทดลองเพื่อเร่งอัตราการเกิดปฏิกิริยาในก้อนผลิตภัณฑ์คอนกรีตมวลเบาและทำให้พองอากาศมีขนาดเท่ากันเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ผลิตภัณฑ์คอนกรีตมีความหนาแน่นต่ำและมีน้ำหนักเบาขึ้นนั่นเอง ตารางที่ 4 แสดงสรุปจำนวนสูตรที่ทำการทดสอบในงานวิจัย จำนวนทั้งสิ้น 18 ชุดสำหรับผลการทดสอบสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 4 จำนวนชุดการทดสอบสำหรับการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของผลิตภัณฑ์

Condition Control				Sample Code
Cement/Sand (C/S)	Water/Total (W/T)	Aluminum Dross (%)	Steam Water Time (hours)	
65/35	0.24	0.3	12	A
			16	B
			18	C
	0.26	0.3	12	D
			16	E
			18	F
	0.30	0.3	12	G
			16	H
			18	I
55/45	0.24	0.3	12	J
			16	K
			18	L
	0.26	0.3	12	M
			16	N
			18	O
	0.30	0.3	12	P
			16	Q
			18	R

ตารางที่ 5 Optimal Condition ของก้อนผลิตภัณฑ์คอนกรีตมวลเบา

C/S	W/T	Time (hour)	Aluminum Dross (%)	Density(Kg/dm ³)	Strength (N/mm ²)	Water Absorption Availability (WAA, Kg/m ³)	Sample Coad
65/35	0.24	12	0.3	1.35	9.17	192.00	A
65/36	0.24	16	0.3	1.29	12.41	232.00	B
65/37	0.24	18	0.3	1.46	11.49	237.33	C
65/38	0.26	12	0.3	1.36	9.25	277.33	D
65/39	0.26	16	0.3	1.21	7.27	216.00	E
65/40	0.26	18	0.3	1.24	7.10	234.67	F
65/41	0.3	12	0.3	1.19	7.23	240.00	G
65/42	0.3	16	0.3	1.19	7.57	264.00	H
65/43	0.3	18	0.3	1.18	4.45	264.00	I
55/45	0.24	12	0.3	1.53	12.20	232.00	J
55/46	0.24	16	0.3	1.30	7.34	282.67	K
55/47	0.24	18	0.3	1.42	12.34	213.33	L
55/48	0.26	12	0.3	1.24	4.96	232.00	M
55/49	0.26	16	0.3	1.12	5.22	256.00	N
55/50	0.26	18	0.3	1.32	7.83	264.00	O
55/51	0.3	12	0.3	1.09	4.34	226.67	P
55/52	0.3	16	0.3	-	-	-	Q
55/53	0.3	18	0.3	1.12	7.14	258.67	R

3.3 การศึกษาอัตราส่วนการทดแทนซีเมนต์ในผลิตภัณฑ์คอนกรีตมวลเบา

หลังจากที่ทราบสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการผสมตัวอย่างคอนกรีตมวลเบา ในการศึกษาอัตราส่วนการทดแทนซีเมนต์ในผลิตภัณฑ์คอนกรีตมวลเบาจะดำเนินการศึกษาโดยแทนที่ซีเมนต์ในส่วนผสมของซีเมนต์ ในการทดแทนซีเมนต์ของผลิตภัณฑ์คอนกรีตมวลเบาด้วยซีเมนต์ที่ร้อยละ 10, 20, 30, 40, และ 50 ในขั้นตอนการเตรียมส่วนผสมหลังจากนั้นจะดำเนินการเตรียมตัวอย่างตามสภาวะที่เหมาะสมที่ทำการศึกษาไว้ในข้อที่ 3.1.2 ทั้งนี้จะมีการชั่งน้ำหนักซีเมนต์ในการผสมตัวอย่างคอนกรีตมวลเบาในขั้นตอนการผสมโดยคำนวณจากค่าความชื้นของซีเมนต์ที่ทำการศึกษาไว้ในข้อที่ 3.1.1 นั้นเอง การวิเคราะห์ผลของการแทนที่ของซีเมนต์ในคอนกรีตมวลเบาจะทำการเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานอุตสาหกรรม ผลการศึกษาสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ผลการศึกษาอัตราส่วนการทดแทนซีเมนต์ในผลิตภัณฑ์คอนกรีตมวลเบา

% of Replacement of Bagasse Ash	Density(kg/dm ³)	Min STD	Max STD	Avg. WT absorb(kg/m ³)	STD	Avg. Strength(N/mm ²)	STD
0	1.29	0.90	1.00	222.67	500.00	8.34	10.00
10	1.28	0.90	1.00	248.00	500.00	10.72	10.00
20	1.24	0.90	1.00	277.33	500.00	9.22	10.00
30	1.21	0.90	1.00	296.00	500.00	7.52	10.00
40	1.18	0.90	1.00	318.93	500.00	6.77	10.00

4. อภิปรายผล (Discussion)

4.1 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางกายภาพและเคมีของเถ้าขานอ้อย

เมื่อพิจารณาที่สมบัติทางกายภาพและเคมีของเถ้าขานอ้อยจะพบว่ามีลักษณะเป็นของเสียที่มีค่าความเป็นด่างปานกลางซึ่งเป็นลักษณะทั่วไปของเถ้าชีวมวลจากโรงไฟฟ้า ค่าความเป็นด่างสูงเนื่องจากระบบของโรงไฟฟ้าชีวมวลที่ใช้ในโรงงานเป็นระบบรวมเถ้าหนัก (Bottom Ash) และเถ้าลอย (Fly ash) ทำให้ต้องมีการใช้น้ำในการล้างเถ้าออกจากระบบเป็นสาเหตุให้เถ้ามีค่าความชื้นที่สูงกว่าเถ้าชีวมวลประเภทอื่นๆ ปริมาณคลอไรด์และซัลเฟอร์ที่พบในเถ้ามีปริมาณที่ไม่สูงเมื่อทำการเปรียบเทียบกับปริมาณคลอไรด์ และซัลเฟอร์ที่ได้จากเถ้าจากโรงไฟฟ้าขยะชุมชน ตารางที่ 1 แสดงให้เห็นถึงปริมาณของโลหะหนักทั้งหมด (Total Concentration) ที่ทำการวิเคราะห์ตามข้อกำหนดของกฎหมายตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง การกำจัดสิ่งปฏิกูลวัสดุไม่ใช้แล้ว พ.ศ. 2548 พบว่าปริมาณของโลหะหนักที่พบมีค่าต่ำกว่าเกินที่กฎหมายกำหนด เพื่อให้เกิดความมั่นใจในการพัฒนาผลิตภัณฑ์จากของเสียอุตสาหกรรมที่ปลอดภัยสำหรับผู้บริโภค ในงานวิจัยนี้ได้ทำการทดสอบความสามารถในการชะละลายของเถ้าขานอ้อยในสภาวะที่เป็นกรด ด้วยวิธีการตามที่กฎหมายใน USA กำหนด และที่กฎหมายในประเทศไทยกำหนด ผลการทดสอบแสดงดังตารางที่ 2 และตารางที่ 3 พบว่าเถ้าขานอ้อยมีปริมาณของโลหะหนักชะละลายออกมาที่ปริมาณความเข้มข้นที่ต่ำกว่าที่ค่ามาตรฐานกำหนดไว้มาก ทั้งนี้จากการทดสอบทั้งสองวิธีการดังกล่าวสามารถสรุปได้ว่าของเสียเถ้าขานอ้อยนี้จัดเป็นของเสียไม่อันตราย (Non-Hazardous Waste) และมีความปลอดภัยที่จะนำมาพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ก่อสร้าง

4.2 การศึกษาเวลาที่เหมาะสมในการอบไอน้ำ อัตราซีเมนต์ต่อทราย และอัตราส่วนของน้ำต่อองค์ประกอบทั้งหมด (W/T) ของผลิตภัณฑ์คอนกรีตมวลเบา

ในการทดลองเป็นการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมของการผสมองค์ประกอบทั้งหมดที่ใช้ในการผลิตอิฐมวลเบา เช่น ปูนซีเมนต์ ทราย น้ำ ปูนขาว และผงอะลูมิเนียม ในการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ใช้เป็นผงอะลูมิเนียมที่เหลือจากกระบวนการผลิตก้อนอะลูมิเนียมแล้ว จากตารางที่ 6 เริ่มต้นพิจารณาที่ค่าความสามารถในการดูดกลืนน้ำของตัวผลิตภัณฑ์ พบว่าตัวอย่างทดลองทั้งหมดมีค่าที่ต่ำกว่าที่ค่ามาตรฐานกำหนดอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ โดยค่ามาตรฐานสำหรับพารามิเตอร์ความสามารถในการดูดกลืนน้ำของอิฐมวลเบากำหนดไว้ว่าต่ำกว่า 500 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร หลังจากนั้นพิจารณาที่ค่าความหนาแน่นรวม (Bulk Density) ของอิฐมวลเบา โดยปกติผลิตภัณฑ์อิฐมวลเบาควรมีค่าความหนาแน่นที่เบาลอยน้ำได้ คือ มีค่าอยู่ที่ 0.9-1.0 สำหรับอิฐมวลเบาที่คุณภาพต่ำสุด ซึ่งพบว่าความหนาแน่นของก้อนตัวอย่างนั้นมีค่าที่มากกว่า 1 ทุกตัวอย่าง แต่เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่ามีค่าที่ต่ำกว่างานวิจัยในอดีต ด้วยเหตุนี้เกณฑ์ความหนาแน่นรวมจัดว่ายอมรับได้ เมื่อใช้เกณฑ์กำลังรับแรงอัดเป็นเกณฑ์ในการตัดสินใจโดยค่ามาตรฐานกำลังรับแรงอัดของผลิตภัณฑ์อิฐมวลเบาคุณภาพต่ำที่สุดกำหนดไว้ที่ต้องมากกว่า 10 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร ตัวอย่างที่ทำการศึกษาพบว่าที่อัตราส่วนซีเมนต์ต่อเท่ากับ 65/35 น้ำต่อองค์ประกอบทั้งหมดที่ 0.24 และ เวลาในการอบไอน้ำที่ 16 ชั่วโมงเป็นสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการนำมาใช้ในการศึกษาวิจัย

4.3 การศึกษาอัตราส่วนการทดแทนซีเมนต์เถ้าขานอ้อยในผลิตภัณฑ์คอนกรีตมวลเบา

หลังจากที่ได้ค่าสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการพัฒนาผลิตภัณฑ์อิฐมวลเบาแล้วนั้นงานวิจัยทำการศึกษาการทดแทนเถ้าขานอ้อยในผลิตภัณฑ์ที่อัตราส่วนต่างๆ พบว่า การเพิ่มร้อยละการแทนที่ของเถ้าขานอ้อยมีผลต่ออัตราการดูดกลืนน้ำของผลิตภัณฑ์ โดยทำให้การดูดกลืนน้ำสูงขึ้นแต่ทุกอัตราส่วนยังอยู่ในเกณฑ์ที่มาตรฐานกำหนดไว้ สำหรับค่าความหนาแน่นรวมพบว่าทุกตัวอย่างทดลองมีค่าสูงกว่าที่ค่ามาตรฐานกำหนดแต่ไม่เกิน 1.30 กิโลกรัมต่อเดซิเมตร ในเกณฑ์กำลังรับแรงอัดแสดงให้เห็นชัดเจนว่าร้อยละการแทนที่สูงสุดที่สามารถใช้ได้คือที่ ร้อยละที่ 20

5. สรุปผล (Conclusion)

จากการศึกษาวิจัยนี้สามารถสรุปผลการศึกษา ได้ดังนี้

1. ของเสียเถ้าขานอ้อยจากอุตสาหกรรมน้ำตาลสามารถจัดเป็นของเสียไม่อันตรายทั้งตามกฎหมายในประเทศไทยและต่างประเทศ

2. อัตราส่วนที่เหมาะสมในการผลิตอิฐมวลเบาอยู่ที่ อัตราส่วนระหว่างซีเมนต์ต่อทรายที่ 65 ต่อ 35 อัตราส่วนการใช้น้ำต่อองค์ประกอบทั้งหมดอยู่ที่ 0.24 และระยะเวลาที่เหมาะสมในการอบไอน้ำอยู่ที่ 16 ชั่วโมง
3. ในการศึกษาอัตราส่วนการทดแทนซีเมนต์ด้วยเถ้าขี้เถ้าในผลิตภัณฑ์คอนกรีตมวลเบาสามารถใช้เถ้าขี้เถ้าจากอุตสาหกรรมน้ำตาลในการแทนที่การใช้ซีเมนต์ได้สูงที่สุดที่ร้อยละ 20

6. กิตติกรรมประกาศ

บทความนี้ได้รับการสนับสนุนห้องปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์จากศูนย์ความเป็นเลิศด้านการจัดการสิ่งแวดล้อมและของเสียอันตราย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์โดยได้เงินสนับสนุนการทำวิจัยจากบริษัท น้ำตาลพิษณุโลก จำกัด

7. เอกสารอ้างอิง (Reference)

- [1] ชาตรี สวทรัพย์. 2550. การใช้ประโยชน์เถ้าลอยจากโรงไฟฟ้าชีวมวลในคอนกรีตมวลเบา. วิทยานิพนธ์ ปริญญาโท. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- [2] กัลยา อุดมวิทิต. 2552. การสัมมนาการถ่ายทอดเทคโนโลยี (Technology Transfer). ส่วนพัฒนายุทธศาสตร์ สำนักนโยบายและยุทธศาสตร์.
- [3] ณพวงศ ลิขิตศรีไพบุลย์. 2548. การพัฒนาเถ้าขี้เถ้าเพื่อเป็นวัสดุปอซโซลาน. วิทยานิพนธ์. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- [4] ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2540). เรื่องการกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว. กระทรวงอุตสาหกรรม. กรุงเทพฯ.
- [5] Baguant, K. (1995). Properties of concrete with bagasse ash as fine aggregate. In: Malhotra, V.M. (Ed.), Proceedings of the Fifth CANMET/ACI International Conference on Fly Ash, Silica Fume, Slag and Natural Pozzolans in Concrete, vol. 1.
- [6] Bair. J.(2003). Future Evaluation of KM: What is Knowledge transfer. Available from <http://ehrli.chorg.com/oof-comm/Bair%20PRES-4ppt>. (2003. December 3).
- [7] J.F. Martirena, B. Middendorf and H. Budelman (1998). Use of wastes of the sugar industry as pozzolan in lime-pozzolan binders: Study of the reaction, Cement Concrete Research 28, pp. 1525–1536.
- [8] Meade , G.P. and J.C.P. Chen. 1977. Cane Sugar Handbook. 10th ed., John Wiley & Son , Inc., New York. P. 947.
- [9] Singh NB, Singh VD and Rai S, (2000). Hydration of bagasse ash-blended. Portland cement. Cem Concr Res 30.
- [10] Thanmaporn Ungsongkhum. 2005. Production of aerated and autoclaved lightweight mortar containing pulverized fly ash and bottom ash. Thesis of Master degree. Khomkaen University. http://oss101.1dd.go.th/web_thaisoilmap/north/Pisanulok/pnl_05.htm

การจัดการโลจิสติกส์ข้าวเพื่อสิ่งแวดล้อมช่วงหลังการเก็บเกี่ยวโดยการแบ่งเขตพื้นที่ กรณีศึกษา ต.ท่าตะโก จ.นครสวรรค์

Green logistics management for postharvest rice by zoning A case study Tambon Thatako Nakhonsawan province

กรรณิการ์ มิ่งเมือง^{1*}, ภริตา พิมพันธุ์², มาศสกุล ภักดีอาษา³,
กฤษกร สมประสงค์⁴, วิภาวรรณ โพธิ์พินิจ⁵, นรินทร์ แดงแย้ม⁶, ภิรภัทร คงเพชรศักดิ์⁷

¹ สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงาน คณะเทคโนโลยีการเกษตรและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม

มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์

398 หมู่ 9 ถนนสวรรค์วิถี ตำบลนครสวรรค์ตก อำเภอเมือง จังหวัดนครสวรรค์ 60000

eng_ooyasan@hotmail.com

² สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าเครื่องกลการผลิต คณะเทคโนโลยีการเกษตรและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม

มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์

บทคัดย่อ

บทความนี้กล่าวถึงแนวทางการจัดการขนส่งเพื่อศึกษาการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และต้นทุนการผลิตด้านต้นทุนโลจิสติกส์ข้าวให้กับเกษตรกร เป็นการจัดการโลจิสติกส์ข้าวเปลือกช่วงหลังการเก็บเกี่ยวในพื้นที่ ตำบลท่าตะโก จังหวัดนครสวรรค์ จากการสำรวจและสัมภาษณ์เชิงลึกพบว่าเกษตรกรมีต้นทุนโลจิสติกส์ (การขนส่งข้าวเปลือกไปยังโรงสี) เท่ากับ 140.88 บาท/ไร่ (12.22 บาท/กิโลกรัม/กิโลเมตร) มีปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่อไร่เท่ากับ 1.05 kg CO₂ e/tkm โดยใช้รถบรรทุก 6 ล้อขนาด 11 ตัน บรรทุกแบบไม่เต็มคัน ทั้งนี้ค่าจ้างขนส่งถูกกำหนดโดยผู้รับจ้างเกี่ยวมัดข้าวและดำเนินการขนส่ง และยังส่งผลต่อการตัดสินใจการเลือกโรงสีและเส้นทางขนส่งของชาวนา โดยมีได้คำนึงถึงการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ดังนั้นแบบจำลองโดยการแบ่งเขตพื้นที่โรงสีได้ถูกพัฒนาขึ้นมาโดยใช้หลักเกณฑ์อ้างอิงจากค่าการจ้างขนส่งของเขตพื้นที่นี้ ระยะทางขนส่งที่ใกล้ที่สุดสามอันดับแรก และบรรทุกเต็มคันเป็นเกณฑ์ ผลการศึกษาพบว่า การแบ่งเขตพื้นที่โรงสีสามารถแบ่งได้ 2 เขตพื้นที่เป็น R-150 และ R-200 จากผลการจำลองการขนส่งในแต่ละเขตพื้นที่ พบว่า ในกรณีที่เกษตรกรเลือกขนส่งในเขตพื้นที่ R-150 หรือ R-200 ทั้งหมดมีต้นทุนโลจิสติกส์ 110.25 บาท/ไร่ และ 147 บาท/ไร่ (14.11 และ 13.69 บาท/กิโลกรัม/กิโลเมตร) ตามลำดับ และปริมาณการปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ต่อไร่เท่ากับ 0.47 และ 0.67 kg CO₂ e/tkm ตามลำดับ ดังนั้นเขตพื้นที่ R-150 จึงเป็นเขตพื้นที่แนะนำในการขนส่งข้าวเปลือกเพื่อลดต้นทุนการผลิต และลดปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ แต่ไม่สามารถลดต้นทุนโลจิสติกส์ในหน่วย บาท/กิโลกรัม/กิโลเมตร

คำสำคัญ : rice logistics, carbon dioxide emission, zoning

Abstract

This paper describes transportation management of paddy rice for study carbon dioxide emission and production cost (logistics cost of farmers). This study concerns logistics management for postharvest paddy rice in Tambon Thatako Nakhonsawan province. The results from field survey and in-depth interview found that average logistics cost of farmer (transportation paddy rice to rice mill) about 140.88 baht/rai, carbon dioxide emission per rai around 1.288 kg CO₂ e/tkm which transportation use truck 6 wheels (11 ton) and not full loading. The cost of transportation was set up by combine harvest mercenary group which

result to the farmers decision to select rice mill and route. The selection of this group doesn't realize carbon dioxide emission. Zoning models simulating were developed, these have criteria is employment of transportation cost, distance last near three first and full loading. The results revealed that zoning of rice mill could divide to 2 zones is R-150 and R-200. In case, all farmers choose transport to R-150 and R-200 zone have logistics cost is 14.11 and 13.69 baht/kg/km (110.25 baht/rai, 147 baht/rai) respectively and carbon dioxide emission per rai around 0.571 and 0.805 kg CO₂ e/t-km respectively. So zone R-150 is recommended to transportation for reduce production costs and reduce carbon dioxide emission but couldn't reduce logistics cost in baht/kg/km unit.

Key word: rice logistics, carbon dioxide emission, zoning

1. บทนำ (Introduction)

ปัญหาความยากจนของชาวนาไทย มาจากราคาข้าว การใช้จ่ายในการเพาะปลูก การเก็บเกี่ยว และค่าขนส่งที่ชาวนาต้องเป็นคนจ่าย ซึ่งชาวนาไม่ได้มีระบบการจัดการที่ดีในการวางแผนการเพาะปลูก การเก็บเกี่ยว และค่าขนส่งที่ไม่ได้มีการจัดการอย่างเป็นระบบทำให้เสียค่าใช้จ่ายเป็นจำนวนมาก จากข้อมูลของกระทรวงพลังงาน (เสาวณี จันทะพงษ์ และคมสันดี ศรีคงเพชร, 2011) พลังงานสัดส่วนร้อยละ 36.2 ของการใช้พลังงานทั้งหมดใช้เพื่อการขนส่ง และร้อยละ 5.2 ใช้เพื่อการเกษตร ซึ่งปัจจุบันปัญหาทางด้านภาวะโลกร้อนและการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศส่งผลกระทบต่อโลกอย่างชัดเจน สาเหตุหลักมาจากการเพิ่มของปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ทำให้มีการพัฒนาการจัดการประเมินปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ประเทศสหราชอาณาจักร เป็นประเทศแรกที่มีการพัฒนาการวิเคราะห์คาร์บอนฟุตพริ้นท์ที่เรียกว่า PAS 2050 (carbon Trust, 2008) สำหรับมาตรฐาน ISO ได้มีการพัฒนามาตรฐาน ISO 14067 ที่เกี่ยวกับคาร์บอนฟุตพริ้นท์ การที่หลายประเทศเริ่มมีการพัฒนาและสนใจในเรื่องคาร์บอนฟุตพริ้นท์จึงนำมาสู่ความสนใจในการศึกษาการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ จากแบบการขนส่งของชาวนาที่มีการจัดการไม่ดี และใช้พลังงานสิ้นเปลืองในการขนส่งโดยไม่คำนึงถึงผลที่ตามมา โดยในการขนส่งแต่ละครั้งจะมีการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งมีผลต่อภาวะโลกร้อนและยังสูญเสียค่าใช้จ่ายไปกับน้ำมันเชื้อเพลิง จึงทำให้ชาวนาสูญเสียค่าใช้จ่ายเป็นจำนวนมากในการขนส่งแต่ละปี

จังหวัดนครสวรรค์เป็นจังหวัดที่ติดอันดับต้นๆทางด้านการเพาะปลูกข้าว และยังมีปริมาณโรงสี ทำข้าวในปริมาณมาก สำหรับตำบลท่าตะโก อำเภอท่าตะโก ของจังหวัดนครสวรรค์เป็นอำเภอหนึ่งที่มีพื้นที่เพาะปลูกข้าวมาก และมีปริมาณของโรงสีและทำข้าวจำนวนมากเป็นอันดับหนึ่งของจังหวัด (กรมการค้าภายในจังหวัดนครสวรรค์, 2552) จากงานวิจัยที่ผ่านมาเป็นการศึกษาและต้องการปรับปรุงประสิทธิภาพกระบวนการเก็บเกี่ยวและขนส่งข้าวเปลือก (สมพงษ์ เกษภูธรธรรมสถิต และคณะ, 2551) ซึ่งยังมิได้ครอบคลุมถึงการวิเคราะห์การปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ส่วนในด้านการวิเคราะห์คาร์บอนฟุตพริ้นท์ที่เกี่ยวกับข้าวเป็นการวิเคราะห์ในส่วนของคุณภาพของข้าวของรัตนาวรรณ มั่งคั่ง และคณะ (2554) ซึ่งจากงานวิจัยที่ผ่านมายังมิได้ครอบคลุมการจัดการโลจิสติกส์ของการขนส่งข้าวเปลือกเพื่อลดการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และเกี่ยวเนื่องกับต้นทุนการผลิตของเกษตรกร ด้วยจากปัญหาที่กล่าวมานี้จึงเกิดแนวคิดในการศึกษาการจัดการโลจิสติกส์ช่วงหลังการเก็บเกี่ยวข้าวเพื่อสิ่งแวดล้อม เพื่อจัดการระบบขนส่งเพื่อให้มีประสิทธิภาพในการขนส่งและการวิเคราะห์การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ในขอบเขตของการขนส่งข้าวเปลือกสู่โรงสีหรือทำข้าวเพื่อเป็นแนวทางให้กับชาวนาในการตัดสินใจในการขนส่งและเป็นทางเลือกอีกทางหนึ่งที่ช่วยให้ชาวนาสามารถลดต้นทุนการผลิตข้าว

2. วิธีการศึกษา (Research Methodology)

2.1 พื้นที่ศึกษา: พื้นที่ที่ใช้ในการศึกษาอยู่ในเขต หมู่บ้านหนองขานาง ตำบลท่าตะโก อำเภอท่าตะโก จังหวัดนครสวรรค์

2.2 วิธีการสำรวจ: สำรวจโดยการสุ่มสัมภาษณ์เชิงลึก เกษตรกรและบุคคลที่เกี่ยวข้องในการขนส่งข้าวเปลือกในพื้นที่ โดยการออกแบบสอบถามในการเก็บข้อมูลทางด้านผลผลิตเฉลี่ยต่อไร่ กระบวนการขนส่งข้าวเปลือก วิธีการเลือกโรงสี เส้นทางเพื่อใช้ใน

การขนส่ง ราคาค่าใช้จ่าย และการเลือกช่องทางการรับซื้อข้าวเปลือก รวมทั้งการรวบรวมข้อมูลค่าศักยภาพในการวิเคราะห์คาร์บอนฟุตพริ้นท์ โดยอ้างอิงจากรายงานของคณะกรรมการระหว่างรัฐบาลว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (IPCC, 2007)

2.3 การวิเคราะห์ข้อมูล: นำข้อมูลที่ได้นำมาวิเคราะห์และออกแบบเพื่อจัดการระบบขนส่ง และคำนวณปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂ emission) ในหน่วยของน้ำหนักคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า จากการจัดการโลจิสติกส์ โดยมีวิธีการคำนวณดังสมการที่ (1)

$$(\text{Activity data}) \times (\text{emission factor}) = \text{CO}_2 \text{ emission} \quad (1)$$

โดย CO₂ emission เป็นข้อมูลปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก
Activity data เป็นข้อมูลกิจกรรมที่ก่อให้เกิดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก
Emission factor เป็นค่าคงที่ที่ใช้เปลี่ยน Activity data ให้เป็น ค่าปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (IPCC, 2007)

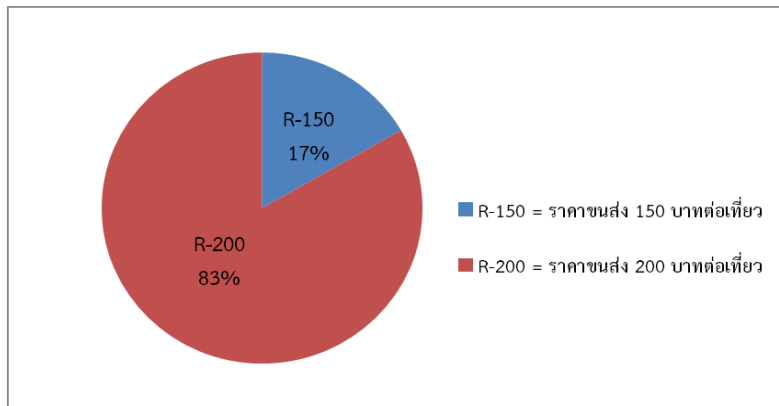
3. ผลการศึกษา (Results)

ผลการสัมภาษณ์เกษตรกรกลุ่มตัวอย่างและผู้ที่เกี่ยวข้องกับการขนส่งข้าวเปลือก จำนวน 30 ราย พบว่าในเขตพื้นที่ตำบลท่าตะโก อำเภوتاตะโก จังหวัดนครสวรรค์ มีลักษณะการทำนาเป็นแบบนาปรัง การรวบรวมข้อมูลดังตารางที่ 1 พบว่าผลผลิตเฉลี่ยต่อไร่ประมาณ 735 กิโลกรัมต่อไร่ และกระบวนการขนส่งข้าวเปลือกทั้งหมดเป็นการจ้างเจ้าของรถเกี่ยวนาดข้าวเปลือกในการเก็บเกี่ยวและขนส่งข้าวเปลือก ซึ่งรถที่ใช้ในการขนส่งเป็นรถบรรทุก 6 ล้อ ขนาดบรรทุก 11 ตัน มีการบรรทุกแบบไม่เต็มคัน ขนาดการบรรทุกเฉลี่ยต่อคันเฉลี่ยประมาณ 7.5 ตัน ไม่รวมน้ำหนักรถ มีต้นทุนโลจิสติกส์เฉลี่ย 140.88 บาทต่อไร่ หรือประมาณ 12.22 บาทต่อไร่ต่อกิโลเมตร ระยะทางการขนส่งเฉลี่ย 38.64 กิโลเมตรสามารถคำนวณค่าการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้ประมาณ 1.05 kg CO₂ e/tkm

ตารางที่ 1 แสดงผลการรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการขนส่งข้าวเปลือกในเขตตำบลท่าตะโก อำเภوتاตะโก จังหวัดนครสวรรค์ ฤดูการเก็บเกี่ยว 2554-2555

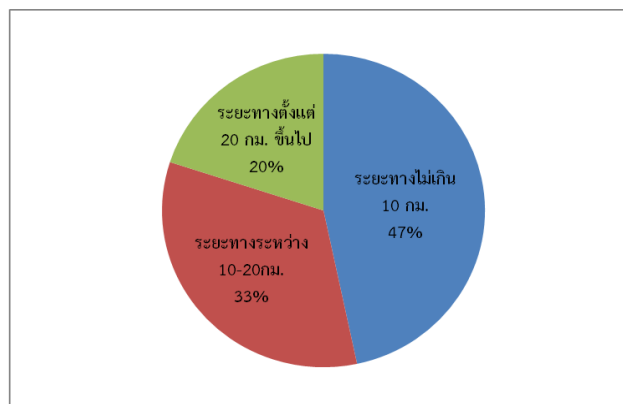
รายการ	ผลการศึกษา
ปริมาณผลผลิตข้าวเปลือกเฉลี่ย	735 กิโลกรัมต่อไร่
ลักษณะการเก็บเกี่ยว	รถเกี่ยวนาดข้าว
ชนิดของรถที่ใช้ในการขนส่ง	รถกระบะบรรทุก 6 ล้อ ขนาดใหญ่ Full load 11 ตัน
ปริมาณบรรจุเฉลี่ยในการขนส่งแต่ละครั้ง	7.5 ตัน ไม่รวมน้ำหนักรถ ลักษณะการวิ่งแบบปกติ
ต้นทุนโลจิสติกส์	140.88 บาทต่อไร่ ; 12.22 บาทต่อไร่ต่อกิโลเมตร

จากการสำรวจข้อมูลพบจำนวนโรงสีหรือท่าข้าวที่เกษตรกรและกลุ่มรับจ้างขนส่งข้าวเปลือกเพื่อไปจำหน่ายจำนวน 9 แห่ง จากการสัมภาษณ์การตัดสินใจของเกษตรกรเพื่อดำเนินการจำหน่ายข้าวเปลือกส่วนใหญ่รับฟังข่าวสารจากกลุ่มรับจ้างขนส่งซึ่งเป็นกลุ่มเดียวกับการรับจ้างเก็บเกี่ยวในการแนะนำโรงสีหรือท่าข้าว และในขณะเดียวกันกลุ่มนี้เป็นผู้กำหนดราคาค่าขนส่งในแต่ละเที่ยวโดยจากการคิดคร่าวๆจากราคาน้ำมันและการประมาณระยะทาง โดยผลการสำรวจค่าใช้จ่ายในการขนส่งข้าวเปลือกดังภาพที่ 1 พบว่าเกษตรกรร้อยละ 83 เลือกใช้บริการที่ค่าใช้จ่าย 200 บาทต่อเที่ยว (R-200) และมีเพียงสัดส่วนร้อยละ 17 ที่เลือกจ่ายค่าขนส่ง 150 บาทต่อเที่ยว (R-150) ซึ่งมีระยะทางอยู่ระหว่าง 7 – 8.5 กิโลเมตร



ภาพที่ 1 แสดงเปอร์เซ็นต์การเลือกใช้บริการการขนส่งข้าวเปลือกต่อเที่ยวของเกษตรกรตามราคาต่อเที่ยว

จากการศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับระยะทางการขนส่งข้าวเปลือกของเกษตรกรไปสู่วังหรือท่าข้าว ในพื้นที่จากการสำรวจเบื้องต้น ลักษณะของพื้นที่และบริเวณของแหล่งต้นทางการขนส่งของชาวนาอยู่ในขนาดครอบคลุมในระยะ 1 กิโลเมตร ดังนั้น คณะผู้วิจัยจึงกำหนดจุดเริ่มต้นการคำนวณระยะทางการขนส่งเป็นศูนย์กลางและตั้งต้นจุดเดียวกันทั้งหมดจากซึ่งเป็นค่า ± 1 กิโลเมตร โดยเป็นเส้นทางการขนส่งที่เกษตรกรใช้อยู่ในปัจจุบัน จากการคำนวณดังแสดงในภาพที่ 2 พบว่าเกษตรกรร้อยละ 47 เลือกที่จะขนส่งข้าวเปลือกไปยังวังหรือท่าข้าวที่อยู่ใกล้คือ ระยะทางไม่เกิน 10 กิโลเมตร และร้อยละ 33 ขนส่งในระยะทางระหว่าง 10-20 กิโลเมตร ยังพบว่ามีเกษตรกรประมาณร้อยละ 20 ขนส่งข้าวเปลือกไปจำหน่ายยังวังหรือท่าข้าวในระยะทางมากกว่า 20 กิโลเมตรจากจุดตั้งต้น



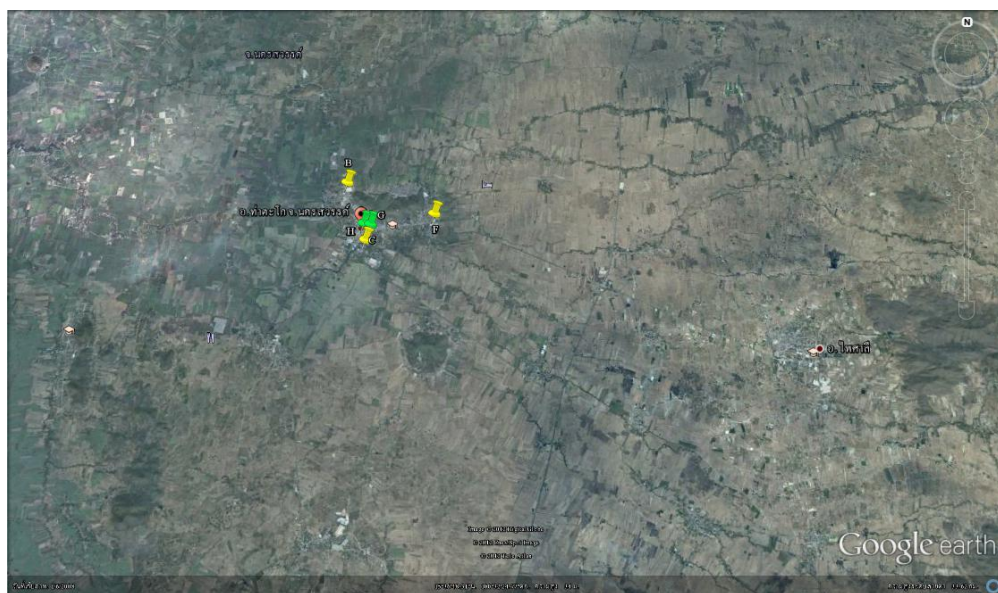
ภาพที่ 2 แสดงสัดส่วนของเกษตรกรที่ขนส่งข้าวเปลือกไปจำหน่ายแบ่งตามระยะทางการขนส่ง

ผลจากการศึกษาข้อมูลเบื้องต้นจึงนำมาสู่การพัฒนาการจัดการโลจิสติกส์เพื่อลดปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อไร่ และยังสามารถลดต้นทุนโลจิสติกส์ได้อีก เพื่อเป็นแนวทางนำไปใช้ในกระบวนการขนส่งข้าวเปลือกของชาวนาโดยมุ่งเน้นให้เกษตรกรเข้าใจง่าย และง่ายต่อการปรับเปลี่ยนและการนำไปใช้งาน จากราคาการขนส่งต่อเที่ยวในชาวนาส่งเพื่อไปจำหน่ายชาเดียวและระยะทางของโรงสีจึงนำไปสู่การใช้กระบวนการจัดการพื้นที่ (Zoning) นำมาประยุกต์ใช้ในการจัดการโลจิสติกส์เพื่อสิ่งแวดล้อมสำหรับกรณีศึกษาในพื้นที่ ตำบลท่าตะโก อำเภอท่าตะโก จังหวัดนครสวรรค์ การจัดการพื้นที่ เบื้องต้นสามารถแบ่งได้เป็น 2 โซน ตามราคาค่าขนส่งต่อเที่ยว ดังนี้ Zone R-150 มีโรงสีหรือท่าข้าว จำนวน 2 แห่ง และ Zone R-200 มีโรงสีหรือท่าข้าว จำนวน 7 แห่ง ดังรูปภาพที่ 3-a แต่เนื่องจากให้สอดคล้องกับการเลือกโรงสีหรือท่าข้าวจากระยะทางของเกษตรกรโดยเลือกระยะทางที่ใกล้ที่สุดเป็นส่วนมาก ทางคณะผู้วิจัยจึงดำเนินการเลือกเฉพาะระยะทางที่ใกล้ที่สุด 3

อันดับแรกในแต่ละโซนจึงสามารถแบ่งพื้นที่ได้ดังรูปภาพที่ 3-b โดยสีเขียว แสดงเขตพื้นที่ R-150 แทนค่าราคาขนส่งต่อเที่ยว 150 บาทและสีเหลือง แสดงเขตพื้นที่ R-200 แทนค่าราคาขนส่งต่อเที่ยว 200 บาท



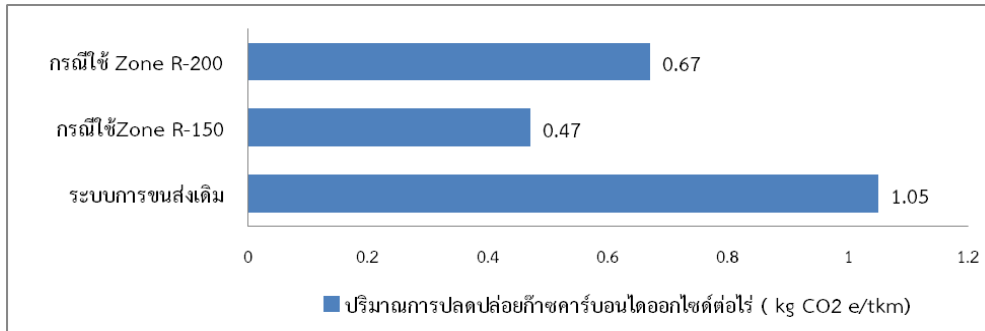
ภาพที่ 3-a แสดงการจัดการพื้นที่จากโรงสีทั้งหมดของการสำรวจ



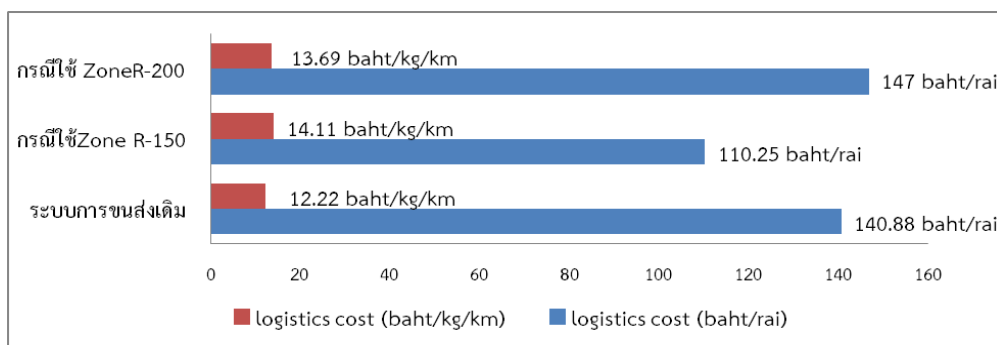
ภาพที่ 3-b แสดงการจัดการพื้นที่หลังจากดำเนินการเลือกโรงสีหรือทำข้าวที่ใกล้ที่สุด 3 อันดับแรก
เพื่อวิเคราะห์การปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์
หมายเหตุ : หมุดสีเขียว แทน R-150, หมุดสีเหลือง แทน R-200

การวิเคราะห์ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่อไร่เปรียบเทียบกับระบบการขนส่งแบบเดิม กับการใช้การจัดการพื้นที่มาใช้ในการจัดการโลจิสติกส์ พบว่า ในกรณีที่เกษตรกรขนส่งโดยใช้โรงสีใน Zone R-150 ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่อไร่เท่ากับ $0.47 \text{ kg CO}_2 \text{ e/tkm}$ โดยคำนวณจากระยะทางเฉลี่ย 7.85 กิโลเมตร เป็นการบรรทุกรถบรรทุก 6 ล้อขนาด 11 ตันบรรทุกแบบเต็ม คิดเทียบขนส่งข้าวเปลือกไปจำหน่ายชาเดียว และมีต้นทุนโลจิสติกส์เท่ากับ

110.25 บาท/ไร่ หรือ 14.11บาท/กิโลกรัม/กิโลเมตร และในขณะเดียวกันในกรณีที่มีการจัดการขนส่งข้าวเปลือกในเขตพื้นที่ R-200 ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่อไร่เท่ากับ 0.67 kg CO₂ e/tkm โดยคำนวณจากระยะทางเฉลี่ย 11.06กิโลเมตร เป็นการบรรทุกรถบรรทุก 6 ล้อขนาด 11 ตันบรรทุกแบบเต็ม คิดเที่ยวขนส่งข้าวเปลือกไปจำหน่ายชาเดียว และมีต้นทุนโลจิสติกส์เท่ากับ 147 บาท/ไร่ หรือ 13.69 บาท/กิโลกรัม/กิโลเมตร ซึ่งสามารถแสดงการเปรียบเทียบกับระบบการขนส่งแบบเดิมได้ดังภาพที่ 4-a และภาพที่ 4-b



ภาพที่ 4-a แสดงการเปรียบเทียบปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์
ระหว่างระบบการขนส่งเดิมกับการจัดการพื้นที่



ภาพที่ 4-b แสดงการเปรียบเทียบต้นทุนโลจิสติกส์ของการขนส่งข้าวเปลือก
ระหว่างระบบการขนส่งเดิมกับการจัดการพื้นที่

4. อภิปรายผล (Discussion)

จากผลการศึกษาพบว่าเกษตรกรในเขตพื้นที่ตำบลท่าตะโก อำเภอท่าตะโก จังหวัดนครสวรรค์ ยังคงประสบปัญหาทางด้านกระบวนการจัดการที่ดี และมีแนวโน้มเป็นการจัดการที่พึ่งพากระบวนการจ้างงาน ซึ่งในส่วนของ การเก็บเกี่ยวและการขนส่ง กลุ่มของรถเกี่ยวขนาดข้าว มีผลกระทบต่อความคิดเห็นในการเลือกช่องทางการจำหน่ายข้าวเปลือก และเป็นกลุ่มที่ผูกขาดการกำหนดราคาเก็บเกี่ยว และราคาการขนส่งข้าวเปลือก และสามารถพบปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในกระบวนการขนส่ง ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ข้าว (รัตนาวรรณ มั่งคั่ง, 2554) ดังนั้นการนำกระบวนการจัดการโลจิสติกส์มาใช้ในการลดต้นทุนโลจิสติกส์ และการลดปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ จึง

ต้องเน้นทางด้านการนำไปประยุกต์ใช้งานได้ง่ายไม่ซับซ้อนและกระตุ้นให้เกิดการคำนึงถึงภาวะโลกร้อนเช่นกัน ระบบการจัดการพื้นที่ (Zoning) (Donald et al., 2002) โดยใช้หลักเกณฑ์ที่เกษตรกรสามารถเลือกได้คือ ราคาขนส่งต่อเที่ยว และเลือกการขนส่งแบบบรรจุเต็มเที่ยว เมื่อทำการวิเคราะห์ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์แล้วพบว่าปริมาณการ

ปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ลดลงทั้งสองกรณีในการจัดเขตพื้นที่ ซึ่งในเขตพื้นที่ R-150 สามารถลดปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้ร้อยละ 55.24 เป็นสัดส่วนการลดลงอย่างมาก ซึ่งถ้าเกษตรกรหันมาให้ความสนใจและใส่ใจในเรื่องของก๊าซเรือนกระจกมากขึ้นก็จะสามารถช่วยกันลดปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก็จะช่วยลดความแปรปรวนสภาพภูมิอากาศและสามารถทำการปลูกข้าวได้อย่างถูกต้องตามฤดูกาล มีผลผลิตที่เพียงพอต่อการเลี้ยงชีพ เพราะปัจจุบันความแปรปรวนของอากาศส่งผลต่อเกษตรกรโดยตรง จากการสัมภาษณ์ชาวนาในพื้นที่ตำบลท่าตะโกพบว่าประสบปัญหาทุกปีถ้าไม่เกิดสภาวะแห้งแล้งไม่มีน้ำเพียงพอต่อการปลูกข้าว ก็จะเป็นการเกิดอุทกภัยและน้ำท่วมขังในระยะเวลาอันเนื่องมาจากพื้นที่มีลักษณะเป็นแอ่ง

แต่อย่างไรก็ตามถ้าคำนึงถึงต้นทุนโลจิสติกส์ พบว่าการจัดการพื้นที่โซน R-150 พบว่าสามารถลดต้นทุนโลจิสติกส์ได้ 21.74% ในขณะที่ถ้าเกษตรกรเลือกระบบการขนส่งในโซน R-200 ไม่สามารถลดต้นทุนโลจิสติกส์ได้ ในการวิเคราะห์ต้นทุนโลจิสติกส์ที่ต้องคำนึงถึงระยะทางในการขนส่งพบว่าการจัดการเขตพื้นที่ทั้งโซน R-150 และ R-200 ไม่สามารถลดต้นทุนโลจิสติกส์ในหน่วยของ บาท/กิโลกรัม/กิโลเมตร ทั้งนี้เนื่องจากการจัดการเขตพื้นที่ยังคงใช้เส้นทางเดิมที่เกษตรกร และกลุ่มรับจ้างขนส่งข้าวเปลือก ใช้ขนส่งข้าวเปลือกไปยังโรงสีหรือท่าข้าว จากการวิเคราะห์ข้อมูลและเส้นทางการขนส่งเบื้องต้นพบว่ายังคงมีแนวทางการใช้การบริหารจัดการโลจิสติกส์เพื่อนำมาใช้ในการปรับปรุงเส้นทางการขนส่ง และยังสามารถลดปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้เพิ่มอีกมากขึ้นเช่นกัน

5. สรุปผล (Conclusion)

จากการศึกษาการจัดการโลจิสติกส์เพื่อสิ่งแวดล้อมข้าวหลังการเก็บเกี่ยวในเขตพื้นที่ตำบลท่าตะโก อำเภอท่าตะโก จังหวัดนครสวรรค์ จากการสำรวจข้อมูลพบว่าต้นทุนโลจิสติกส์จากการขนส่งข้าวเปลือกเฉลี่ย 140.88 บาทต่อไร่ และปริมาณปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่อไร่จากรถบรรทุก 6 ล้อ ขนาด 11 ตัน จะได้เท่ากับ 1.05 kg CO₂ e/tkm จากการจัดการโลจิสติกส์ โดยการจัดการแบ่งเขตพื้นที่ จากราคาค่าขนส่งต่อเที่ยว สามารถแบ่งได้เป็น 2 กลุ่ม คือ R-150 กับ R-200 และสามารถลดปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่อไร่ได้ 55.24% และ 36.19% ตามลำดับ และในกรณีการเลือกเขตพื้นที่ R-150 สามารถลดต้นทุนทางด้านโลจิสติกส์ในหน่วย บาทต่อไร่ ได้ 21.74% ซึ่งสามารถลดต้นทุนการผลิตให้เกษตรกรส่วนหนึ่งและยังสร้างความยั่งยืนทางด้านสภาวะแวดล้อม

6. กิตติกรรมประกาศ

ทางคณะผู้วิจัยขอขอบคุณ สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ(วช.) สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์ และสาขาวิชาวิศวกรรมพลังงาน สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าเครื่องกลการผลิต คณะเทคโนโลยีการเกษตรและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์ ที่สนับสนุนทุนและอุปกรณ์ในการทำวิจัยนี้

7. เอกสารอ้างอิง (Reference)

- [1] กรมการค้าภายใน จังหวัดนครสวรรค์, 2552. รายชื่อ ข้อมูลโรงสีและท่าข้าวที่ได้รับอนุญาตให้ประกอบการค้าข้าวตาม พ.ร.บ.ค้าข้าว จังหวัดนครสวรรค์ ปี 2552. สำนักงานการค้าภายในจังหวัดนครสวรรค์.
- [2] รัตนวรรณ มั่งคั่ง, แซบเปียร์ กิ่วลา, งามทิพย์ ภู่วโรดม และสิรินทรเทพ เต้าประยูร, 2554. คาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ข้าว. วิศวกรรมสาร มก., ฉบับที่ 75 ปีที่ 24 มกราคม - มีนาคม 2554: หน้า 53-60.
- [3] สมพงษ์ เจริญธรรมสถิต, ศักดินาอินทวิชัย, บัญญัติ เศรษฐธิดี และเกรียงไกร แก้วตระกูล, 2555. การสำรวจเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพของกระบวนการเก็บเกี่ยวและขนส่งข้าวเปลือก กรณีศึกษา: พื้นที่ปลูกข้าวในจังหวัดชัยนาท. การประชุมทางวิชาการ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 47, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ.
- [4] เสาวณี จันทะพงษ์ และคมสันต์ ศรีคงเพชร, 2011. ผลงานทดแทน เพื่อเสริมสร้างความมั่นคงทางพลังงานของประเทศไทย. FAQ FOCUSED AND QUICK. ISSUE 30: April 4, 2011.
- [5] Carbon Trust, 2008. PAS 2050:2008 – Specification for the assessment of the life cycle greenhouse gas emission of goods and services.
- [6] Donald J. Bowersox, David J. Closs and M. Bixby Cooper, 2002. Supply Chain Logistics Management. McGraw-Hill.



- [7] IPCC, 2007. Climate change 2007: the physical science basis. In: Solomon S, Qin D, Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K.B., Tignor, M., Miller, H.L.(eds) Contribution of working group I to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Cambridge University Press, Cambridge, UK.

การนำซิงค์ออกไซด์ที่ใช้สารลดแรงตึงผิวช่วยในการสังเคราะห์ไปใช้ในการย่อยสลายสีย้อมผ้า ที่ใช้ในโรงงานผลิตเส้นใยสังเคราะห์

Utilizing Zinc Oxide Synthesized with Surfactants in Decomposing Dyes Used in Synthetic Fiber Factory

คุณากรณ์ ภูเพ็ญใจ, จารุมนต์ หอวิวัฒน์วงศ์, เบญจวรรณ ภูมมาฤทธิ์,

ภราภรณ์ ทศพร, พงศ์ธร ฐปะเตมีย์

ภาควิชาวิศวกรรมเคมี

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

99 หมู่ 18 ตำบลคลองหนึ่ง อำเภอคลองหลวง ปทุมธานี 12121

pkunakorn@gmail.com

บทคัดย่อ

เพื่อศึกษาแนวทางการนำซิงค์ออกไซด์ไปใช้ในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานผลิตเส้นใยสังเคราะห์ งานวิจัยนี้ได้ทดลองนำซิงค์ออกไซด์ที่ได้มาโดยการใช้สารลดแรงตึงผิวช่วยในการสังเคราะห์ ไปใช้ในการย่อยสลายสีดีสเพอร์สแบบสีน้ำเงิน ซึ่งเป็นสีย้อมผ้าชนิดหนึ่งที่ใช้ในโรงงานผลิตเส้นใยสังเคราะห์ โดยใช้กระบวนการโฟโตแคตตาไลซิสภายใต้แสงอาทิตย์ จากผลการทดลองที่ได้พบว่าการใช้สารลดแรงตึงผิวช่วยในการสังเคราะห์ทำให้ได้ซิงค์ออกไซด์ที่มีขนาดอนุภาคเล็กลง มีความสม่ำเสมอมากขึ้น และมีประสิทธิภาพในการย่อยสลายสีที่สูงขึ้น โดยการใช้สารลดแรงตึงผิวแบบมีประจุ (Cetyltrimethyl Ammonium Bromide) และแบบไม่มีประจุ (เช่น Polyethyleneglycol) นั้นทำให้ได้ซิงค์ออกไซด์ซึ่งมีลักษณะและประสิทธิภาพที่ต่างกันด้วย ผลการทดลองเหล่านี้ได้ถูกวิจารณ์โดยการเปรียบเทียบกับผลการทดลองที่ได้เมื่อใช้ซิงค์ออกไซด์เชิงพาณิชย์ที่ใช้ในการทดลองด้วย

คำสำคัญ : ซิงค์ออกไซด์, สารลดแรงตึงผิว, สีย้อมผ้า, โฟโตแคตตาไลซิส, แสงอาทิตย์

Abstract

To find a way to reduce dye concentration in waste water from factories using dyes, this work investigated the decomposition of dye by ZnO with photocatalysis process by sunlight. ZnO samples used were prepared using surfactants. The dye used was mainly disperse blue dye. It was found that when surfactants were used, ZnO particles became smaller, more uniform, and had higher efficiency in decomposing dye. When ionic surfactant (Cetyltrimethyl Ammonium Bromide) was used and when non-ionic surfactants (such as Polyethyleneglycol) were used, ZnO particles with different morphology and efficiency were obtained. The results were discussed along with a result from a commercial ZnO.

Key word : ซิงค์ออกไซด์, สารลดแรงตึงผิว, สีย้อมผ้า, โฟโตแคตตาไลซิส, แสงอาทิตย์

1. บทนำ (Introduction)

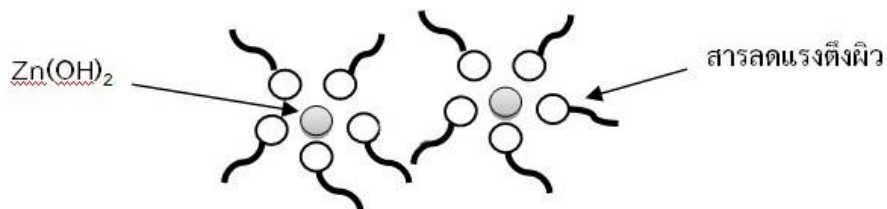
ในบรรดาอุตสาหกรรมทั้งหลายนั้นมียุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับการใช้สีย้อมผ้าอยู่ด้วยมากมาย ตัวอย่างเช่น อุตสาหกรรมสิ่งทอ เป็นต้น เนื่องจากสีย้อมผ้าประเภทต่าง ๆ นั้นมีสารประกอบอินทรีย์เป็นองค์ประกอบ ดังนั้นหากน้ำเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตของโรงงานที่เกี่ยวข้องกับอุตสาหกรรมเหล่านี้ถูกปล่อยออกสู่แหล่งน้ำธรรมชาติโดยไม่ได้รับการบำบัดแล้ว สีย้อมผ้าที่ถูกปล่อยออกมากับน้ำเสียจะทำให้เกิดมลพิษทางน้ำขึ้นแก่ชุมชนรอบข้าง โรงงานที่มีการใช้สีย้อมผ้า จึงต้องทำให้สี

ย้อมผ้าที่ถูกปล่อยออกมาจากน้ำเสียจากกระบวนการผลิตถูกตกตะกอนลงมาก่อน แล้วหาทางกำจัดกากตะกอนที่ได้หรือหาทางนำกากตะกอนที่ได้มานั้นไปใช้ประโยชน์ต่อไป จะเห็นได้ว่าหากมีวิธีการใดสามารถทำให้น้ำเสียจากกระบวนการผลิตมีความเข้มข้นของสีย้อมผ้าลดลงมา ก็จะสามารถช่วยลดภาระและค่าใช้จ่ายให้แก่โรงงานที่มีการใช้สีย้อมผ้าลงมาได้อย่างมาก

งานวิจัยนี้จึงได้ทดลองนำสีย้อมผ้าที่มีใช้อยู่จริงในโรงงานผลิตเส้นใยสังเคราะห์แห่งหนึ่ง (บริษัท ทีทีแอล อุตสาหกรรม จำกัด (มหาชน)) มาทำเป็นสารละลายแล้วใช้ซิงค์ออกไซด์ย่อยสลายสารละลายของสีย้อมผ้านั้นด้วยกระบวนการโฟโตแคทาไลซิส โดยใช้แสงอาทิตย์ (สามารถดูตัวอย่างได้เช่นจากงานวิจัยของ [L.Selva Roselin et al., 2002](#)) เพราะเป็นวิธีการที่มีแนวโน้มว่าจะสามารถนำไปใช้ในการบำบัดน้ำเสียได้จริง เพราะง่าย สะดวก และใช้ค่าลงทุนไม่มาก โดยซิงค์ออกไซด์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ได้สังเคราะห์ขึ้นมาโดยใช้สารลดแรงตึงผิวช่วยในการสังเคราะห์ เพราะสารลดแรงตึงผิวน่าจะมีส่วนช่วยให้ได้ซิงค์ออกไซด์ที่มีขนาดของอนุภาคที่เล็กกว่าตอนที่ไม่ได้ใช้ได้อีกหนึ่ง เพื่อเป็นการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของซิงค์ออกไซด์ที่เตรียมได้มากับซิงค์ออกไซด์ขนาดไมโครเมตรที่มีขายอยู่ในท้องตลาด ได้นำซิงค์ออกไซด์ขนาดไมโครเมตรที่ได้รับความอนุเคราะห์มาจาก บริษัท ไทย-ไลซาท จำกัด มาใช้ในงานวิจัยนี้ด้วย

2. วิธีวิจัย (Research Methodology)

ซิงค์ออกไซด์นั้นสามารถสังเคราะห์ขึ้นมาได้โดยง่ายด้วยการละลายเกลือของสังกะสีแล้วใส่สารละลายเบสลงไป แล้วนำตะกอนของซิงค์ไฮดรอกไซด์ที่เกิดขึ้นมาไปเผาให้ได้ซิงค์ออกไซด์ออกมา ในงานวิจัยนี้ได้สังเคราะห์ซิงค์ออกไซด์ขึ้นตามวิธีการนี้ แต่ได้มีการใส่สารลดแรงตึงผิวเข้าไปด้วยในขั้นตอนการตกตะกอนซิงค์ไฮดรอกไซด์ เพราะคาดหวังว่าโมเลกุลของสารลดแรงตึงผิวจะช่วยยับยั้งการชนกันเกิดเป็นอนุภาคใหญ่ขึ้นมาของอนุภาคซิงค์ไฮดรอกไซด์ได้ (ตามกลไกที่แสดงในภาพที่ 1) และสิ่งนี้จะช่วยให้ได้ซิงค์ออกไซด์ที่มีอนุภาคขนาดเล็ก สามารถย่อยสลายสีย้อมผ้าได้ดีมาได้



ภาพที่ 1 กลไกการป้องกันการโตขึ้นของอนุภาคซิงค์ไฮดรอกไซด์ของสารลดแรงตึงผิว

ในรายละเอียด ซิงค์ออกไซด์ถูกสังเคราะห์ขึ้นโดยการเตรียมสารละลายของ $ZnCl_2$ ในน้ำ ความเข้มข้น 6 mol/L และสารละลายของสารลดแรงตึงผิวใน 1-hexanol ความเข้มข้น 0.5 mol/L ขึ้นมา แล้วตั้งกวนไว้เป็นเวลา 30 นาที ก่อนที่จะผสมสารละลายทั้งสองนี้เข้าด้วยกันด้วยอัตราส่วนที่จะทำให้ได้ความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวตามที่ต้องการ หลังจากนั้นก็เติมสารละลาย NaOH ความเข้มข้น 12 mol/L ลงไปโดยให้โมลของ OH ที่เติมลงไปมีปริมาณ 2 เท่าของโมลของซิงค์ที่มีอยู่ในระบบ แล้วตั้งกวนต่อไปอีกเป็นเวลา 30 นาที หลังจากนั้นก็นำของผสมที่ได้ไปเข้าเครื่องตกตะกอนสาร แล้วล้างสารลดแรงตึงผิวที่ติดค้างอยู่ออก 3 ครั้งโดยใช้ 2-propanol จากนั้นก็นำตะกอนที่ได้ไปอบแห้งที่อุณหภูมิ $120^\circ C$ แล้วเผาในเตาเผาที่อุณหภูมิ $800^\circ C$ เป็นเวลา 6 ชั่วโมง

สำหรับการทดสอบประสิทธิภาพในการย่อยสลายสีย้อมผ้าของซิงค์ออกไซด์นั้นกระทำได้โดยการเตรียมสารละลายสีย้อมผ้าขึ้นมาที่มีความเข้มข้น 20 mg/L แล้วนำสารละลายสีย้อมผ้านี้มา 100 mL แล้วใส่ผงซิงค์ออกไซด์ลงไป 0.25 g แล้วเพื่อให้แน่ใจได้ว่าการจะหายไปของสีในสารละลายสีย้อมผ้านั้นเกิดขึ้นมาจากกระบวนการโฟโตแคทาไลซิส ไม่ได้เกิดขึ้นมาจากกระบวนการดูดซับ ก็นำของผสมที่ได้ไปเก็บไว้ในตู้มืดนาน 30 นาที เพื่อให้การดูดซับสีของอนุภาคซิงค์ออกไซด์ที่หากจะมีได้เกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ หลังจากนั้นจึงนำของผสมไปตั้งกวนกลางแดดเป็นเวลา 6 ชั่วโมงแล้วสังเกตการหายไปของสีในสารละลายสีย้อมผ้า โดยเพื่อให้ได้ข้อมูลเชิงปริมาณได้นำสารละลายสีย้อมผ้าก่อนและหลังการตั้งกวนไปวัดค่าซีโอดี และค่าการดูดกลืนแสงด้วย

เพราะค่าทั้งสองเป็นค่าที่สะท้อนถึงปริมาณของสารอินทรีย์และความมีสีของสารละลาย ซึ่งเชื่อมโยงเข้ากับปริมาณของสีย้อมผ้าที่มีอยู่ในสารละลายได้

นอกจากนี้ในการทำการทดลองแต่ละวันนั้นได้ใช้ระบบในการทดลองหลายระบบเพื่อจะได้เปรียบเทียบความสามารถในการย่อยสลายสีย้อมผ้าของระบบต่างๆ เหล่านั้นได้อย่างชัดเจนเพราะได้ทำการทดลองมาที่ภาวะเดียวกัน (มีความเข้มข้น อุณหภูมิ ความชื้น และอื่น ๆ เดียวกัน) ในอีกแง่หนึ่ง ถึงแม้จะได้เคยทำการทดลองไปแล้ว แต่ถ้าจะนำผลการทดลองไปเปรียบเทียบกับผลการย่อยสลายของอีกระบบหนึ่งซึ่งยังไม่ได้ทำการทดลอง ในตอนที่ทำการทดลองการย่อยสลายของระบบที่สนใจในวันใหม่ (ที่มีความเข้มข้น อุณหภูมิ ความชื้น และอื่น ๆ เปลี่ยนไป) ก็ได้ทำการทดลองของระบบที่ทำไปแล้วซ้ำในภาวะของการทดลองใหม่ด้วย

3. ผลการวิจัย (Results)

3.1 ความยากง่ายในการย่อยสลายของสีย้อมผ้าประเภทต่าง ๆ

เพื่อให้ทราบว่าสีย้อมผ้าประเภทต่าง ๆ ที่ได้รับความอนุเคราะห์มาจากบริษัท ทีทีแอล อุตสาหกรรม จำกัด (มหาชน) ได้แก่ สีรีแอกทีฟแบบสีน้ำเงิน สีแคตไอออนิกแบบสีเหลือง สีแอซิดแบบสีเหลือง สีไธเร็กแบบสีแดง และสีดิสเพอร์สแบบสีน้ำเงิน สามารถถูกย่อยสลายได้ยากง่ายต่างกันเพียงใด ได้ทดลองนำสีย้อมผ้าเหล่านั้นมาย่อยสลายโดยใช้ซิงค์ออกไซด์ขนาดไมโครเมตรเชิงพาณิชย์ตัวหนึ่งที่ผลิตขึ้นโดยบริษัทไทย-ไลซาท จำกัด ที่ได้รับความอนุเคราะห์มา ภาพก่อนและหลังการตั้งกวน 6 ชั่วโมงเป็นดังที่แสดงในภาพที่ 2

จะเห็นได้ว่าสีย้อมผ้าทั้งห้าประเภทที่ใช้นั้น ถูกย่อยสลายภายในช่วงเวลาของการทดลองด้วยปริมาณที่แตกต่างกัน เพราะสีรีแอกทีฟแบบสีน้ำเงิน สีแคตไอออนิกแบบสีเหลือง สีแอซิดแบบสีเหลือง และสีไธเร็กแบบสีแดง ต่างก็ถูกย่อยสลายจนไม่มีสีของสีย้อมผ้าที่ใช้หลงเหลืออยู่ในระบบ แต่สีดิสเพอร์สแบบสีน้ำเงินยังถูกย่อยสลายไม่หมด เพราะยังแสดงสีน้ำเงินให้เห็นอยู่ แม้สีน้ำเงินนั้นจะจางลงไปมากแล้วก็ตาม ผลการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่าในบรรดาสีย้อมผ้าทั้งห้าชนิดที่ใช้ในการทดลองนี้ สีดิสเพอร์สแบบสีน้ำเงินเป็นสีย้อมผ้าที่ถูกย่อยสลายได้ยากที่สุด



ภาพที่ 2 ภาพก่อนและหลังการย่อยสลายสีย้อมผ้าประเภทต่าง ๆ โดยซิงค์ออกไซด์ขนาดไมโครเมตรที่ได้รับความอนุเคราะห์มาจากบริษัท ไทย-ไลซาท จำกัด (ตำแหน่งการจัดวางบีกเกอร์มีการสลับกัน 1 คู่จากปัญหาที่เกิดกับเครื่องกวน)

3.2 ประสิทธิภาพในการย่อยสลายสีย้อมผ้าของซิงค์ออกไซด์ที่ใช้ Brij-L23 ในการสังเคราะห์

ในขั้นต้น งานวิจัยนี้ได้ทดลองสังเคราะห์ซิงค์ออกไซด์ขึ้นมาโดยใช้ Brij-L23 ช่วยในการสังเคราะห์ สำหรับความเข้มข้นของ Brij-L23 ในขั้นตอนการสังเคราะห์นั้นได้เลือกใช้ที่ 0.30 โมล/ลิตร เพราะน่าจะเป็นความเข้มข้นที่สูงมากพอที่จะเห็นผลกระทบของการใส่สารลดแรงตึงผิวได้ โดยได้สังเคราะห์ซิงค์ออกไซด์ด้วยวิธีการปกติ คือโดยไม่มีการใช้สารลดแรงตึงผิวในการสังเคราะห์เลย ตลอดจนซิงค์ออกไซด์ที่ใช้ความเข้มข้นของ Brij-L23 น้อยมาก ๆ (0.03 โมล/ลิตร) ขึ้นมาเพื่อเป็นการเปรียบเทียบกับ อนึ่ง ความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวที่กล่าวถึงนี้เป็นความเข้มข้นในขั้นตอนการตกตะกอนซิงค์ไฮดรอกไซด์หลังจากที่ได้เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ลงไปในระบบแล้ว

สำหรับการย่อยสลายสีย้อมผ้าโดยใช้ซิงค์ออกไซด์ที่ได้สังเคราะห์ขึ้นมานั้นได้ใช้สีย้อมแบบสีน้ำเงินในการทดลอง เพราะสีชนิดนี้ถูกย่อยสลายได้ยากที่สุดในบรรดาสีทั้งห้าชนิดที่ใช้และสามารถอนุมานได้ว่าหากซิงค์ออกไซด์ที่สังเคราะห์ขึ้นสามารถย่อยสลายสีย้อมผ้าชนิดนี้ได้ ก็น่าจะย่อยสลายสีย้อมผ้าชนิดอื่น ๆ ได้โดยง่ายด้วย โดยเพื่อให้สามารถวิเคราะห์เชิงปริมาณได้ผลการย่อยสลายสีย้อมแบบสีน้ำเงินของซิงค์ออกไซด์ที่เตรียมขึ้นมาเหล่านี้และซิงค์ออกไซด์เชิงพาณิชย์ที่ใช้ในการเปรียบเทียบ ได้ถูกแสดงในรูปของการเปลี่ยนแปลงในค่าซีไอดีและค่าการดูดกลืนแสงก่อนและหลังการถูกย่อยสลายตามที่ได้แสดงในตารางที่ 1 โดยได้วัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายสีย้อมผ้าที่ความยาวคลื่น 600 นาโนเมตร เพราะที่ความยาวคลื่นนี้สีย้อมแบบสีน้ำเงินสามารถดูดกลืนแสงได้มากที่สุด

จะเห็นได้ว่าเมื่อใช้ความเข้มข้นของ Brij-L23 น้อยมาก ๆ (0.03 โมล/ลิตร) ซิงค์ออกไซด์ที่ได้มีประสิทธิภาพที่ไม่ต่างกันกับซิงค์ออกไซด์ที่ไม่ใช้ Brij-L23 ในการสังเคราะห์เลย แต่เมื่อความเข้มข้นของ Brij-L23 ที่ใช้มีค่ามากขึ้นอีกจนถึงระดับ 0.30 โมล/ลิตร ซิงค์ออกไซด์ที่ได้มีประสิทธิภาพในการย่อยสลายสีย้อมผ้ามากขึ้นอย่างเห็นได้ชัด คือมีประสิทธิภาพของการย่อยสลายสีย้อมผ้าในระดับเดียวกันหรือสูงกว่าซิงค์ออกไซด์ขนาดไมโครเมตรเชิงพาณิชย์ที่ใช้ในการทดลองด้วย อนึ่ง จากผลการทดลองที่ได้ เห็นได้ว่าอัตราการลดลงในค่าการดูดกลืนแสงมีแนวโน้มว่าจะ มีค่าสูงกว่าอัตราการลดลงในค่าซีไอดีเสมอ

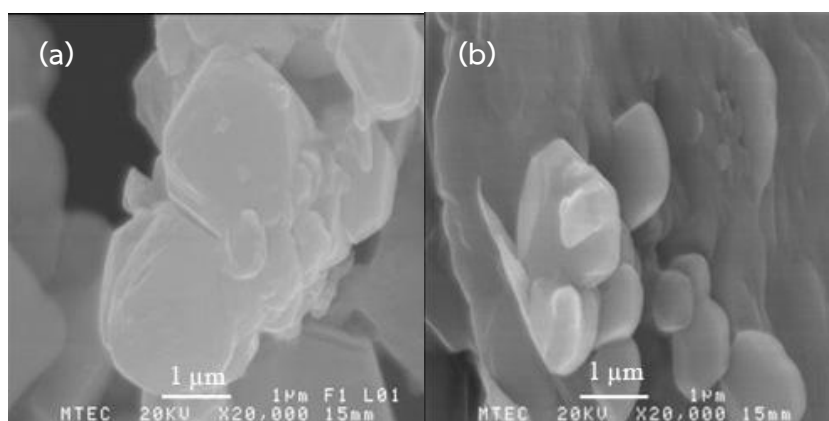
ตารางที่ 1 ผลการย่อยสลายสีย้อมแบบสีน้ำเงินโดยใช้ซิงค์ออกไซด์ที่สังเคราะห์ขึ้นโดยใช้ Brij-L23

ความเข้มข้นของ Brij-L23 (โมล/ลิตร)	ค่าซีไอดี (mg/L)		% การลด	ค่าการดูดกลืนแสง		% การลด
	ก่อน	หลัง		ก่อน	หลัง	
0.30	22.5	14.5	35.6	0.188	0.048	74.5
0.03		21.7	3.6		0.128	32
0 ^{a)}		21.7	3.6		0.131	30
- ^{b)}		19.3	14.2		0.051	72.9

a) สังเคราะห์ขึ้นมาเอง

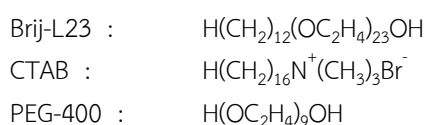
b) ซิงค์ออกไซด์ขนาดไมโครเมตรที่ได้รับความอนุเคราะห์มาจากบริษัท ไทย-ไลซาท จำกัด

ภาพที่ 3a และ 3b เป็นภาพถ่าย SEM ของซิงค์ออกไซด์ที่ไม่ใช้ Brij-L23 ในการสังเคราะห์เลย และที่ใช้ความเข้มข้นของ Brij-L23 ในระดับ 0.30 โมล/ลิตร จะเห็นได้ว่าเมื่อมีการใช้ความเข้มข้นของ Brij-L23 ในระดับ 0.30 โมล/ลิตร ได้มีอนุภาคขนาดเล็กของซิงค์ออกไซด์อนุภาคขนาดเล็ก (ไม่ถึงระดับไมโครเมตร) เกิดขึ้นมาบ้าง และซิงค์ออกไซด์อนุภาคขนาดเล็กนี้น่าจะมีบทบาทเป็นอย่างมากต่อประสิทธิภาพที่สูงขึ้นในการย่อยสลายสีย้อมผ้าของซิงค์ออกไซด์ตัวนี้



ภาพที่ 3a ภาพถ่าย SEM ของซิงค์ออกไซด์ที่สังเคราะห์ขึ้นโดย (a) ไม่ใช้สารลดแรงตึงผิว และ (b) มีการผสม Brij-L23 ความเข้มข้น 0.30 โมล/ลิตร ในการสังเคราะห์

3.3 ประสิทธิภาพในการย่อยสลายสีย้อมผ้าของซิงค์ออกไซด์ที่ใช้ CTAB และ PEG-400 ในการสังเคราะห์ เนื่องจากเห็นได้อย่างชัดเจนว่าการใช้ Brij-L23 ความเข้มข้น 0.30 โมล/ลิตร ช่วยในการสังเคราะห์นั้นทำให้ได้ซิงค์ออกไซด์ที่มีความสามารถในการย่อยสลายสีย้อมผ้าที่ดีขึ้นกว่าตอนที่ไม่มีการใช้สารลดแรงตึงผิวเป็นอย่างมาก เพื่อให้ทราบผลกระทบจากชนิดของสารลดแรงตึงผิวที่ใช้ในการสังเคราะห์ ได้ลองเปลี่ยนสารลดแรงตึงผิวที่ใช้จาก Brij-L23 ซึ่งเป็นสารลดแรงตึงผิวแบบไม่มีประจุที่มีส่วนมีขั้วและส่วนไม่มีขั้วแยกจากกันอย่างชัดเจน ไปเป็น Cetyltrimethyl Ammonium Bromide (CTAB) ซึ่งเป็นสารลดแรงตึงผิวแบบมีประจุ (ส่วนหัวมีประจุเป็นบวก) และ Polyethyleneglycol ที่มีมวลโมเลกุล 400 (PEG-400) ซึ่งเป็นสารลดแรงตึงผิวแบบไม่มีประจุเหมือน Brij-L23 แต่มีความยาวที่สั้นกว่าและโมเลกุลไม่มีส่วนที่ไม่มีขั้ว (ส่วน $(CH_2)_{12}$) ให้เห็นได้อย่างชัดเจนเหมือนในโมเลกุลของ Brij-L23 โครงสร้าง ของสารลดแรงตึงผิวทั้งสามเป็นดังที่แสดงในภาพที่ 4 การสังเคราะห์กระทำโดยใช้ความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวเท่ากับ 0.30 โมล/ลิตร ผลการทดสอบประสิทธิภาพในการย่อยสลายสีย้อมผ้าแบบสีน้ำเงินของซิงค์ออกไซด์เหล่านี้และซิงค์ออกไซด์ตัวอื่น ๆ ที่ใช้ในการเปรียบเทียบ เป็นดังที่แสดงในตารางที่ 2



ภาพที่ 4 โครงสร้างของสารลดแรงตึงผิวทั้งสามที่ใช้ในงานวิจัยนี้

ตารางที่ 2 ผลการย่อยสลายสีย้อมผ้าแบบสีน้ำเงินโดยใช้ซิงค์ออกไซด์ที่สังเคราะห์ขึ้นโดยใช้สารลดแรงตึงผิวต่าง ๆ กัน

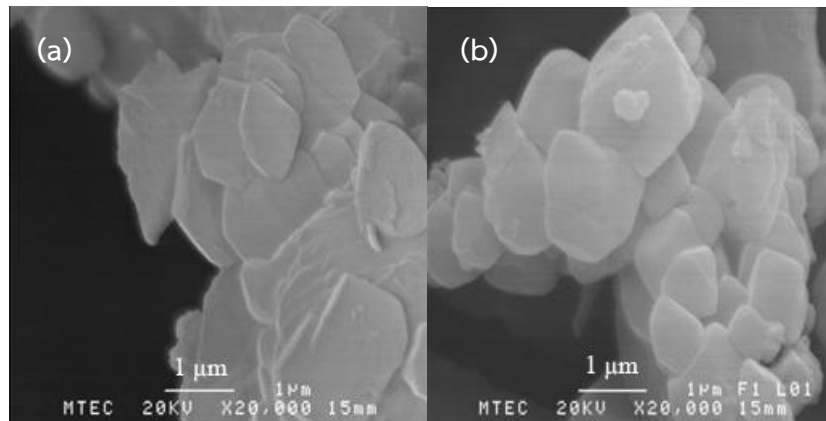
สารลดแรงตึงผิวที่ใช้	ค่าซีไอดี (mg/L)		% การลด	ค่าการดูดกลืนแสง		% การลด
	ก่อน	หลัง		ก่อน	หลัง	
CTAB	23.3	16.1	30.9	0.191	0.034	82.2
PEG-400		12.8	45.1		0.015	92.1
Brij-L23		15.3	34		0.049	74.3
0 ^{a)}		23.3	0		0.144	25
- ^{b)}		20.1	14		0.075	60.7

^{a)} สังเคราะห์ขึ้นมาเอง

^{b)} ซิงค์ออกไซด์ขนาดไมโครเมตรที่ได้รับความอนุเคราะห์มาจากบริษัท ไทย-ไลซาท จำกัด

จากตารางที่ 2 สามารถเห็นได้อย่างชัดเจนว่าเมื่อมีการใช้สารลดแรงตึงผิวความเข้มข้น 0.30 โมล/ลิตร ในการสังเคราะห์ซิงค์ออกไซด์ที่ได้มานั้นมีประสิทธิภาพที่สูงกว่าซิงค์ออกไซด์ที่ไม่ได้มีการใช้สารลดแรงตึงผิวในการสังเคราะห์ เป็นอย่างมาก และประสิทธิภาพที่ว่าเป็นสูงกว่าซิงค์ออกไซด์ขนาดไมโครเมตรที่มีขายอยู่ในท้องตลาดที่ใช้ในการทดลองและขึ้นกับชนิดของสารลดแรงตึงผิวที่ใช้ด้วย โดยซิงค์ออกไซด์ที่ใช้ PEG-400 ช่วยในการสังเคราะห์นั้นมีประสิทธิภาพในการย่อยสลายสีย้อมผ้ามากที่สุด ในขณะที่ซิงค์ออกไซด์ที่ใช้ Brij-L23 หรือ CTAB ช่วยในการสังเคราะห์นั้นมีประสิทธิภาพในการย่อยสลายสีย้อมผ้ารองลงมาและอยู่ในระดับที่ใกล้เคียงกัน

ภาพถ่าย SEM ของซิงค์ออกไซด์ที่สังเคราะห์ขึ้นมาโดยใช้ CTAB และ PEG-400 ช่วยในการสังเคราะห์นั้นเป็นดังที่แสดงในภาพที่ 5a และภาพที่ 5b ตามลำดับ ส่วนภาพถ่าย SEM ของซิงค์ออกไซด์ที่สังเคราะห์ขึ้นมาโดยใช้ Brij-L23 ที่ความเข้มข้นเดียวกันนั้นได้ถูกแสดงไว้ในภาพที่ 3b ข้างต้นแล้ว



ภาพที่ 4 ภาพถ่าย SEM ของซิงค์ออกไซด์ที่สังเคราะห์ขึ้นโดย
(a) มีการผสมCTAB ความเข้มข้น 0.30 โมล/ลิตร ในการสังเคราะห์
และ (b) มีการผสมPEG-400 ความเข้มข้น 0.30 โมล/ลิตร ในการสังเคราะห์

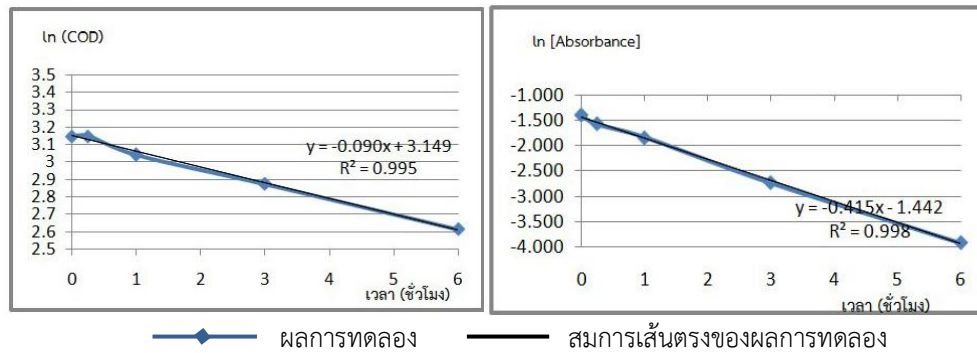
จากภาพที่ 5a เห็นได้ว่าซิงค์ออกไซด์ที่ได้จากการสังเคราะห์โดยใช้ CTAB มีลักษณะเป็นแผ่น ๆ อย่างชัดเจนและสม่ำเสมอแตกต่างจากซิงค์ออกไซด์ที่ได้จากการสังเคราะห์โดยใช้ Brij-L23 (ภาพที่ 3b) ที่มีลักษณะเป็นก้อน ๆ และมีความเป็นเนื้อเดียวที่ต่ำ จากภาพที่ 5b เห็นได้ว่าซิงค์ออกไซด์ที่ได้จากการสังเคราะห์โดยใช้ PEG-400 มีลักษณะเป็นก้อน ๆ เช่นเดียวกับซิงค์ออกไซด์ที่ได้จากการสังเคราะห์โดยใช้ Brij-L23 (ภาพที่ 3b) แต่ในภาพรวมแล้วมีขนาดที่เล็กกว่าและมีความสม่ำเสมอกันตลอดเนื้อสารมากกว่า

3.4 อัตราเร็วในการย่อยสลายของสีย้อมผ้าของซิงค์ออกไซด์ที่ใช้ PEG ในการสังเคราะห์

เนื่องจากในการจะนำซิงค์ออกไซด์ที่สังเคราะห์ขึ้นมาได้ไปใช้ในการบำบัดน้ำเสียที่มีสีย้อมผ้าปนเปื้อนอยู่จริง ๆ นั้น ข้อมูลเชิงจลนศาสตร์เคมีจะเป็นข้อมูลที่เป็นประโยชน์มาก ในขั้นตอนต่อไปของงานวิจัยนี้จึงได้พยายามที่จะหาค่าคงที่อัตราเร็ว (ค่า k) ในการย่อยสลายสีย้อมผ้าของซิงค์ออกไซด์ที่ได้สังเคราะห์ขึ้นไว้ด้วย โดยในการทดลองได้ใช้ซิงค์ออกไซด์ที่ได้จากการสังเคราะห์ขึ้นโดยใช้ PEG-400 ช่วยในการสังเคราะห์ ซึ่งเป็นซิงค์ออกไซด์ที่ให้ประสิทธิภาพสูงที่สุด และใช้สีย้อมแบบสีน้ำเงินซึ่งเป็นสีย้อมผ้าที่ย่อยสลายได้ยากที่สุดที่ถูกที่ใช้ในงานวิจัยนี้

ในการทดลองเพื่อหาค่าคงที่อัตราเร็วในการย่อยสลายสีย้อมผ้านี้ การย่อยสลายสีย้อมผ้าได้ถูกกระทำที่ภาวะเดียวกันโดยใช้หลาย ๆ ปีกเกอร์ โดยเริ่มการย่อยสลายสีย้อมผ้าพร้อม ๆ กัน แต่หยุดการย่อยสลายสีย้อมผ้าไม่พร้อมกัน คือหยุดที่เวลา 15 นาที, 1 ชั่วโมง, 3 ชั่วโมง และ 6 ชั่วโมง หลังจากนั้นก็วัดค่าซีไอดีและค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายสีย้อมผ้าหลังการทำปฏิกิริยาที่เวลาต่าง ๆ เอาไว้

หลังจากนั้นเนื่องจากคิดว่าการย่อยสลายสีย้อมผ้านี้จะเป็นปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง จึงได้ลองพล็อตกราฟระหว่าง ค่า ln ของค่าซีไอดีเทียบกับเวลา และกราฟระหว่างค่า ln ของค่าการดูดกลืนแสงเทียบกับเวลา ได้ผลการทดลองตามที่แสดงในภาพที่ 6a และภาพที่ 6b ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าไม่ว่าจะเป็นกราฟไหน ความสัมพันธ์ที่ได้ก็เป็นความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง แสดงว่าปฏิกิริยาการย่อยสลายสีย้อมผ้าที่เกิดขึ้นนั้นเป็นปฏิกิริยาอันดับหนึ่งตามที่คาดไว้จริง ในส่วนของค่าคงที่อัตราเร็วของปฏิกิริยานั้น ถ้าใช้ข้อมูลจากค่าซีไอดีหรือภาพที่ 6a ได้ค่าคงที่อัตราเร็วของปฏิกิริยาเป็น 0.090 h^{-1} แต่ถ้าใช้ข้อมูลจากค่าการดูดกลืนแสงหรือภาพที่ 6b ได้ค่าคงที่อัตราเร็วของปฏิกิริยาเป็น 0.42 h^{-1}

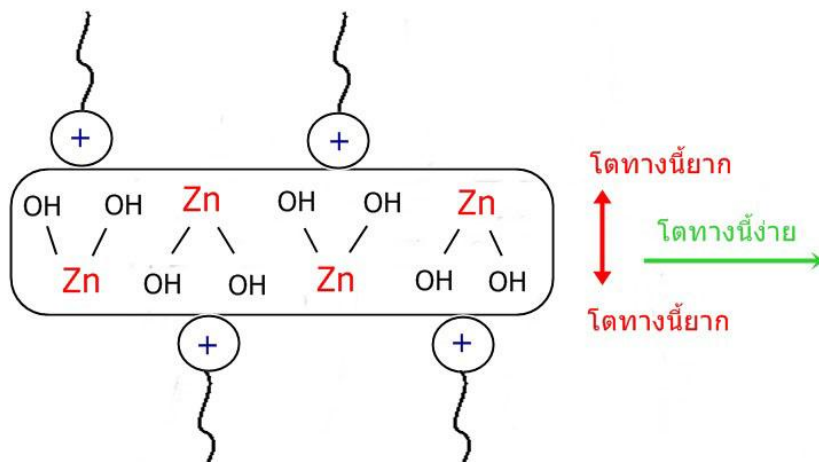


ภาพที่ 6a ความสัมพันธ์ระหว่าง (a) ค่า ln ของค่าซีโอดี และ (b) ค่า ln ของค่าการดูดกลืนแสง
กับเวลาในการย่อยสลายสียสเฟอรสแบบสีน้ำเงินโดยใช้ซิงค์ออกไซด์ที่ใช้ PEG-400 ในการสังเคราะห์

4. อภิปรายผล (Discussion)

การที่สียสเฟอรสแบบสีน้ำเงินถูกย่อยสลายได้ยากกว่าสียอมผ้าชนิดอื่น ๆ ที่ใช้ในการทดลองนั้น น่าจะเป็นเพราะสียสเฟอรสเป็นสีที่ละลายในน้ำได้ไม่ดีในขณะที่สียชนิดอื่น ๆ ที่ใช้นั้นสามารถละลายน้ำได้ดี การละลายน้ำได้ไม่ดีนี้น่าจะส่งผลให้ในตอนที่กวนสารนั้นอนุภาคของซิงค์ออกไซด์สามารถเข้าไปสัมผัสหรืออยู่ใกล้กับโมเลกุลของสียได้น้อย สียจึงถูกย่อยสลายได้ยาก

ส่วนการที่เมื่อใช้ CTAB ในการสังเคราะห์แล้วได้ซิงค์ออกไซด์ลักษณะแผ่นออกมานั้น น่าจะเป็นเพราะว่าในขั้นตอนการสังเคราะห์ซิงค์ไฮดรอกไซด์ขึ้นมานั้น CTAB ซึ่งเป็นสารลดแรงตึงผิวที่ส่วนหัวของมันมีประจุเป็นบวก สามารถส่งแรงกระทำกับประจุลบ (ส่วน OH) ภายในอนุภาคของซิงค์ไฮดรอกไซด์ได้ดี โมเลกุลของ CTAB จึงน่าจะไปเกาะอยู่รอบ ๆ อนุภาคของซิงค์ไฮดรอกไซด์ที่ด้านบนและด้านล่างของอนุภาคโดยมีส่วนหางชี้เกาะออกมา ตามที่แสดงในภาพที่ 7 ทำให้โมเลกุลของ CTAB สามารถยับยั้งการชนกันในแนวตั้งของอนุภาคซิงค์ไฮดรอกไซด์ด้วยกันได้ดี แต่ยับยั้งการชนกันในแนวระนาบของอนุภาคซิงค์ไฮดรอกไซด์ด้วยกันได้น้อย อนุภาคของซิงค์ไฮดรอกไซด์จึงโตขึ้นในแนวระนาบ ซึ่งได้อนุภาคของซิงค์ออกไซด์ที่มีลักษณะเป็นแผ่น



ภาพที่ 7 กลไกการยับยั้งการรวมตัวกันของอนุภาคซิงค์ไฮดรอกไซด์ของ CTAB

สำหรับการที่ซิงค์ออกไซด์ที่ได้จากการสังเคราะห์โดยใช้ PEG-400 มีประสิทธิภาพที่ดีกว่าซิงค์ออกไซด์ที่ได้จากการสังเคราะห์โดยใช้ CTAB นั้น จนถึงตอนนี้ยังไม่สามารถอธิบายสาเหตุได้อย่างชัดเจน เพราะการที่ซิงค์ออกไซด์ที่ได้จากการสังเคราะห์โดยใช้ CTAB มีลักษณะเป็นแผ่นบาง ๆ นั้นน่าจะทำให้มันมีพื้นที่ผิวมากกว่าซิงค์ออกไซด์ที่ได้จากการสังเคราะห์

โดยใช้ PEG-400 ที่มีความหนามากกว่าและก็น่าจะมีประสิทธิภาพที่สูงกว่าด้วย แต่ผลการทดลองกลับไม่ได้เป็นเช่นนั้น การศึกษาหาสาเหตุของความแตกต่างนี้จึงเป็นการบ้านสำหรับการวิจัยในอนาคต

ในส่วนของสาเหตุที่ซิงค์ออกไซด์ที่ได้จากการสังเคราะห์โดยใช้ PEG-400 มีประสิทธิภาพที่ดีกว่าซิงค์ออกไซด์ที่ได้จากการสังเคราะห์โดยใช้ Brij-L23 นั้น น่าจะเป็นเพราะว่าการสังเคราะห์โดยใช้ PEG-400 ให้ซิงค์ออกไซด์ที่มีอนุภาคนาขนาดเล็กและมีความสม่ำเสมอกันตลอดเนื้อสารมากกว่าซิงค์ออกไซด์ที่ได้จากการสังเคราะห์โดยใช้ Brij-L23 และประสิทธิภาพในการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยใช้กระบวนการโฟโตแคทาไลซิสของซิงค์ออกไซด์นั้นขึ้นกับลักษณะของอนุภาคของมันเป็นอย่างมาก (D. Li, H. Haneda et al., 2003)

โดยสาเหตุที่ใช้ PEG-400 ในการสังเคราะห์ส่งผลให้ได้ซิงค์ออกไซด์ที่มีอนุภาคนาขนาดเล็กและมีความสม่ำเสมอกันตลอดเนื้อสารมากกว่าการใช้ Brij-L23 ในการสังเคราะห์นั้น น่าจะมาจากโครงสร้างที่แตกต่างกันระหว่างโมเลกุลของ Brij-L23 และ PEG-400 ตามที่แสดงไปแล้วในภาพที่ 4 ข้างต้น เพราะการที่ Brij-L23 มีส่วนที่ไม่มีขั้วอย่างชัดเจน (ส่วน $\text{H}(\text{CH}_2)_{12}$) นั้น ทำให้ในขั้นตอนการสังเคราะห์ซิงค์ไฮดรอกไซด์นั้น ในขณะที่ส่วนที่มีขั้วของมันพยายามจะมุ่งเข้าไปหาและสังเคราะห์กับอนุภาคซิงค์ไฮดรอกไซด์ ส่วนที่ไม่มีขั้วกลับพยายามจะขี้ออกมาหาตัวทำละลายอินทรีย์ที่มีอยู่ในระบบ ในอีกแง่หนึ่ง ในกรณีที่ใช้ PEG-400 ซึ่งไม่มีส่วนที่ไม่มีขั้วอย่างชัดเจนอยู่นั้น ทั้งโมเลกุลของ PEG-400 น่าจะพันอยู่รอบ ๆ อนุภาคของซิงค์ไฮดรอกไซด์ได้อย่างแนบแน่นมากกว่า ดังนั้นถึงแม้ PEG-400 จะมีความยาวของโมเลกุลที่สั้นกว่า Brij-L23 มันกลับสามารถยับยั้งการโตขึ้นของอนุภาคซิงค์ไฮดรอกไซด์ได้มากกว่า Brij-L23 ซึ่งก็ส่งผลให้มันสามารถให้ซิงค์ออกไซด์ที่มีขนาดของอนุภาคที่เล็กกว่าและมีความสม่ำเสมอกันตลอดเนื้อสารมากกว่าออกมาได้

สำหรับสาเหตุที่การย่อยสลายสีย้อมผ้าในการทดลองนี้ให้ค่า % การลดลงของค่าซีไอดีน้อยกว่า % การลดลงของค่าการดูดกลืนแสง ซึ่งก็ส่งผลให้ได้ค่าคงที่อัตราเร็วของปฏิกิริยาที่หาได้โดยใช้ข้อมูลจากค่าซีไอดีต่ำกว่าค่าคงที่อัตราเร็วของปฏิกิริยาที่หาได้โดยใช้ข้อมูลจากค่าการดูดกลืนแสงนั้น น่าจะเป็นเพราะในการย่อยสลายสีย้อมผ้านั้น มีการย่อยสลายอยู่หลายขั้นตอน กล่าวคือในขั้นแรกโมเลกุลของสีย้อมผ้าจะถูกย่อยสลายไปเป็นสารอินทรีย์ที่มีขนาดเล็กลงกว่าเดิมแล้ว หลังจากนั้นสารอินทรีย์เหล่านี้จึงถูกย่อยสลายต่อไปอีกในขั้นตอนต่อ ๆ ไป เนื่องจากสารอินทรีย์ที่มีขนาดเล็กลงกว่าเดิมแต่หมดสีไปแล้วนั้นไม่ดูดกลืนแสงแต่ยังสามารถถูกออกซิไดซ์ในขั้นตอนการหาค่าซีไอดีได้ ดังนั้นหลังจากที่ทำการทดลองการย่อยสลายสีย้อมผ้าเสร็จสิ้นลง หากยังมีสารอินทรีย์ลักษณะนี้อยู่ในระบบ ค่าซีไอดีก็จะลดลงมาน้อยกว่าอัตราการลดลงมาของค่าการดูดกลืนแสง และค่าคงที่อัตราเร็วที่หาได้โดยใช้การลดลงของค่าซีไอดีก็จะมีค่าน้อยกว่าค่าคงที่อัตราเร็วที่หาได้โดยใช้การลดลงของค่าการดูดกลืนแสง

5. สรุปผล (Conclusion)

จากผลการทดลองที่ได้ในงานวิจัยนี้ สามารถได้ข้อสรุปดังนี้

5.1 ในบรรดาสีย้อมผ้า 5 ชนิดที่ใช้ในงานวิจัยนี้ สีสเปรสแบบสีน้ำเงินถูกย่อยสลายโดยซิงค์ออกไซด์ด้วยกระบวนการโฟโตแคทาไลซิสได้ยากที่สุด

5.2 การใช้สารลดแรงตึงผิวช่วยในการสังเคราะห์ทำให้ได้ซิงค์ออกไซด์ที่มีความสามารถในการย่อยสลายสีย้อมผ้าได้มากขึ้น โดยซิงค์ออกไซด์เหล่านี้มีประสิทธิภาพในการย่อยสลายสีย้อมผ้าที่สูงกว่าซิงค์ออกไซด์ขนาดไมโครเมตรเชิงพาณิชย์ที่งานวิจัยนี้ใช้ในการเปรียบเทียบกับ

5.3 การใช้ CTAB ซึ่งเป็นสารลดแรงตึงผิวแบบมีประจุบวกช่วยในการสังเคราะห์ ทำให้ได้ซิงค์ออกไซด์ที่มีลักษณะเป็นแผ่น ในขณะที่การใช้ Brij-L23 หรือ PEG-400 ซึ่งเป็นสารลดแรงตึงผิวแบบไม่มีประจุช่วยในการสังเคราะห์ ทำให้ได้ ซิงค์ออกไซด์ที่มีลักษณะเป็นก้อน โดยซิงค์ออกไซด์ที่ได้จากการใช้ Brij-L23 หรือ CTAB ให้ประสิทธิภาพในการย่อยสลายสีย้อมผ้าในระดับเดียวกันแต่ต่ำกว่าซิงค์ออกไซด์ที่ได้จากใช้ PEG-400

5.4 การย่อยสลายสีย้อมผ้าเป็นการเกิดปฏิกิริยาแบบปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง โดยถ้าใช้การลดลงในค่าซีโอดีในการคำนวณจะได้ค่าคงที่อัตราเร็วของปฏิกิริยาน้อยกว่าในกรณีที่ใช้การลดลงในค่าการดูดกลืนแสงในการคำนวณ และซิงค์ออกไซด์ที่สังเคราะห์ขึ้นในงานวิจัยนี้ให้ค่าคงที่อัตราเร็วในการย่อยสลายสีย้อมแบบสีเงินสูงสุดที่ 0.42 h^{-1}

5.5 งานวิจัยนี้ได้ให้ข้อมูลที่สามารถใช้เป็นแนวทางในการนำซิงค์ออกไซด์ไปใช้ในการย่อยสลายน้ำเสียจากโรงงานที่มีการใช้สีย้อมผ้า ซึ่งจะมีส่วนช่วยในการรักษาสภาพแวดล้อมที่ดีให้คงอยู่เพื่อการพัฒนาอย่างยั่งยืนต่อไปได้

6. กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgement)

ขอขอบคุณบริษัท ไทย-ไลซาท จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์ผงซิงค์ออกไซด์ที่บริษัทเป็นผู้ผลิตมาจำนวนหนึ่ง และขอขอบคุณบริษัท ทีทีแอล อุตสาหกรรม จำกัด (มหาชน) ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ผงสีย้อมผ้าที่บริษัทใช้อยู่มาจำนวนหนึ่งเพื่อใช้ในการวิจัยนี้

7. เอกสารอ้างอิง (Reference)

- [1] Roselin L. Selva, [Rajarajeswari](#) G.R., [Selvin](#) R., [Sadasivam](#) V., [Sivasankar](#) B., [Rengaraj](#) K., Sunlight/ZnO-mediated photocatalytic degradation of reactive red 22 using thin film flat bed flow photoreactor. Solar Energy, 2002, Vol. 73, No. 4, 281-285.
- [2] [Li](#) D., [Haneda](#) H., Morphologies of zinc oxide particles and their effects on photocatalysis. [Chemosphere](#), 2003, Vol. [51](#), No. [2](#), 129-137.

การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตด้านการจัดการวัสดุคงคลังกรณีศึกษาโรงงานน้ำปลา Improving Efficiency Production with Inventory Management of A Fish Source Factory

วิเชียร หงษ์จันอัด^{1*} และ วิภาณันท์ เอียประเสริฐ²

สาขาการจัดการงานวิศวกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยวงษ์ชวลิตกุล นครราชสีมา

¹ นักศึกษาหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาการจัดการงานวิศวกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยวงษ์ชวลิตกุล นครราชสีมา 30000 Hongjunat@yahoo.com

² อาจารย์สาขาการจัดการงานวิศวกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยวงษ์ชวลิตกุล นครราชสีมา

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพด้านการจัดการวัสดุคงคลังและลดการส่งสินค้าล่าช้า กรณีศึกษาโรงงานผลิตน้ำปลาด้วยการประยุกต์ใช้แบบจำลองปริมาณการสั่งซื้อที่ประหยัด (EOQ) และการวางแผนความต้องการวัสดุ (MRP) จากสภาพปัจจุบัน โรงงานมีสินค้าที่จัดส่งล่าช้าคิดเป็นร้อยละ 21.78 เนื่องจากไม่มีรูปแบบและวิธีการจัดการวัสดุคงคลังที่มีประสิทธิภาพ ผลการวิจัยพบว่าวิธีการพยากรณ์ที่ให้ผลพยากรณ์แม่นยำที่สุดคือวิธี Least Square เมื่อจัดการวัสดุคงคลังโดยใช้ระบบ EOQ และ MRP พบว่าระบบ MRP มีประสิทธิภาพในการจัดการวัสดุคงคลังได้ดีกว่าระบบ EOQ โดยสามารถลดใบสั่งล่าช้าได้เฉลี่ยร้อยละ 89.66 และลดต้นทุนได้ร้อยละ 25.12 ในขณะที่ระบบ EOQ สามารถลดใบสั่งล่าช้าได้เฉลี่ยร้อยละ 91.38 แต่มีต้นทุนเพิ่มขึ้นร้อยละ 76.29 เมื่อเปรียบเทียบกับระบบเดิมของโรงงาน

คำสำคัญ: การจัดการวัสดุคงคลัง; การลดเวลาจัดส่งล่าช้า; โรงงานน้ำปลา; การวางแผนความต้องการวัสดุ; การสั่งซื้อที่ประหยัด

Abstract

This research aims at the efficient inventory management and the reducing of the number of tardy jobs. The case study is a fish sauce factory with apply the basic principle Economic order Quantity (EOQ) and Material Requirements Planning (MRP). The problem of factory was has the delayed orders 21.78 %. This was due to lack of efficiency in the existing approach and management of factory inventory. From the research finding ,use Least Square method for sales forecasting. The results from inventory management use MRP and EOQ the best efficiency inventory management are MRP can reduce order delayed mean 89.66 % reduce inventory cost 25.12 %, using EOQ reduce order delayed mean 91.38 % but the inventory cost increase 76.29 %. Compared old system of the factory.

Key word: Inventory management; Reducing of the number of tardy jobs; Fish sauce factory; Material Requirements Planning (MRP); Economic order Quantity (EOQ)

1. บทนำ

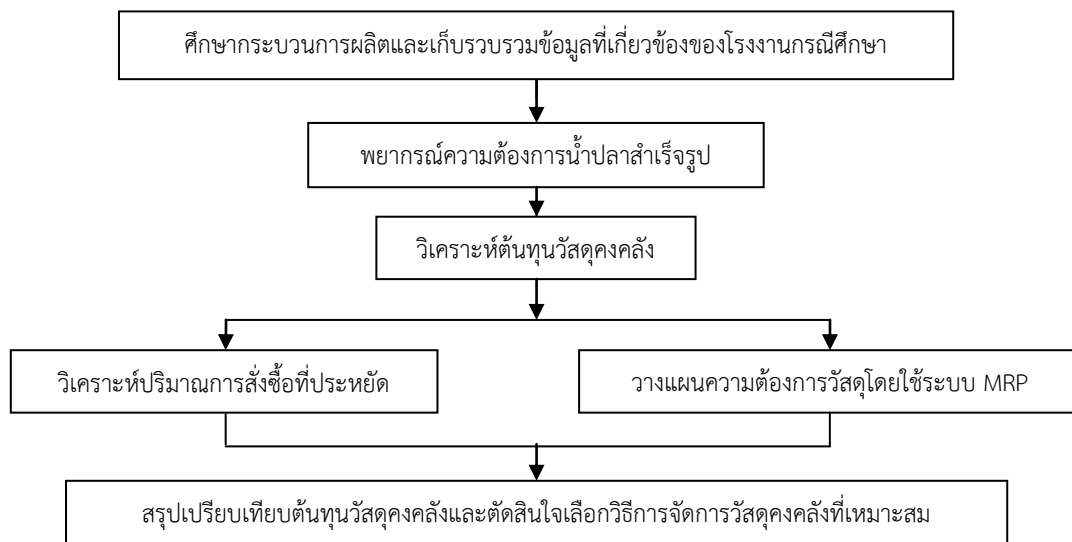
ปัจจุบันโรงงานผลิตน้ำปลาในประเทศไทยมีทั้งหมด 79 แห่ง โดยภาพรวมตลาดน้ำปลามีการเติบโตร้อยละ 2-3 มีมูลค่าประมาณ 5,000 ล้านบาท แบ่งเป็นระดับบนร้อยละ 10 ระดับกลางร้อยละ 40 และระดับล่างร้อยละ 50 (กรมโรงงาน, 2550) ส่งผลให้ธุรกิจประกอบอุตสาหกรรมน้ำปลามีการแข่งขันกันสูง โรงงานกรณีศึกษาประกอบอุตสาหกรรมผลิตน้ำปลา ตั้งอยู่ที่

ตำบลปากน้ำ อำเภอมือง จังหวัดระยอง เป็นโรงงานขนาดกลาง ด้านกำลังการผลิตโรงงานกรณีศึกษา กำลังการผลิต น้ำปลาดิบอยู่ที่ 14,097 ตันต่อปี ด้านการบริหารจัดการนั้นเป็นแบบครอบครัว ทั้งนี้ผลิตภัณฑ์น้ำปลาสำเร็จรูปเป็นสินค้า บริโภคจึงไม่สามารถผลิตเพื่อเป็นสินค้าคงคลังจำนวนมากได้ เพราะน้ำปลาสำเร็จรูปเมื่อบรรจุใส่ขวดแล้วจะสามารถเก็บไว้ได้ ไม่เกิน 1 ปี หากเกินระยะเวลาที่กำหนดจะทำให้รสชาติและสีของน้ำปลาเปลี่ยนไปและไม่ได้คุณภาพตามที่ลูกค้าต้องการ

จากการศึกษาข้อมูลการผลิตปี พ.ศ. 2552 พบว่าความต้องการสินค้าของลูกค้าในประเทศเท่ากับ 2,454,145 ลิตรต่อปี และ ต่างประเทศเท่ากับ 62,797 ลิตรต่อปี หรือความต้องการสินค้าโดยรวมทั้งลูกค้าในประเทศและต่างประเทศเท่ากับ 2,516,942 ลิตรต่อปี การจัดจำหน่ายในประเทศมีปริมาณมากกว่าสินค้าที่จัดจำหน่ายต่างประเทศ แต่โรงงานเน้นให้ความสำคัญกับลูกค้า ต่างประเทศมากกว่าลูกค้าในประเทศ ส่งผลให้การจัดส่งสินค้าภายในประเทศเกิดปัญหาการส่งมอบสินค้าล่าช้า จากการศึกษา ข้อมูลเบื้องต้นพบว่าในช่วงปี พ.ศ. 2552 มีใบสั่งสินค้าทั้งหมด 693 ใบสั่ง และมีสินค้าที่จัดส่งล่าช้าทั้งหมดจำนวน 151 ใบสั่ง ต่อปี คิดเป็นร้อยละ 21.78 มีเวลาการจัดส่งล่าช้าเฉลี่ยเท่ากับ 9 วันต่อใบสั่ง ซึ่งหากกลยุทธ์การบริหารจัดการของโรงงาน ยังคงรูปแบบเดิมจะทำให้ไม่สามารถแข่งขันกับคู่แข่งในตลาดภายในประเทศได้ทั้งที่คุณภาพดีและผลิตจากปลาไส้ตันแท้ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นการวางแผนการจัดการผลิตโดยเฉพาะการวางแผนความต้องการวัสดุและการพยากรณ์ความต้องการ สินค้า เพื่อลดจำนวนการส่งมอบสินค้าล่าช้าและเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตให้มีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้น

2. วิธีการศึกษา

การวิจัยครั้งนี้ใช้ข้อมูลการส่งสินค้าและการจัดส่งสินค้าให้กับลูกค้าตามใบสั่ง โดยศึกษาข้อมูลตามใบสั่งสินค้า ของปี พ.ศ. 2552 และปี พ.ศ. 2553 สำหรับใช้เป็นข้อมูลในการจัดการวัสดุคงคลังเพื่อลดการส่งสินค้าล่าช้า มี วิธีการดำเนินงานวิจัยดังภาพประกอบที่ 1



ภาพที่ 1 แผนผังการดำเนินงานวิจัย

2.1 ศึกษากระบวนการผลิตและการจัดการวัสดุคงคลังของโรงงานกรณีศึกษา ผู้วิจัยทำการศึกษาค้นคว้าและสังเกตการณ์ โดย รวบรวมจากการปฏิบัติงานจริงของโรงงานกรณีศึกษาเพื่อวิเคราะห์สภาพปัญหาที่เกิดขึ้นและสาเหตุแท้จริง โดยเริ่มศึกษา กระบวนการผลิตตั้งแต่การเตรียมบรรจุภัณฑ์ที่ใช้สำหรับการผลิตน้ำปลาสำเร็จรูปจนถึงกระบวนการบรรจุขวดน้ำปลาใส่ลัง ด้วยการเข้าไปสัมภาษณ์และจดบันทึก ส่วนการจัดการวัสดุคงคลังศึกษาตั้งแต่รายการวัสดุที่จะต้องใช้สำหรับการผลิตจนถึง ข้อมูลการรับจ่ายวัสดุคงคลังโดยการขอข้อมูลจากเจ้าหน้าที่ควบคุมสินค้าคงคลัง

2.2 เก็บรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้อง ผู้วิจัยทำการรวบรวมข้อมูลรายละเอียดต่างๆ เพิ่มเติมเพื่อใช้ในการวิเคราะห์และนำไป จัดการวางแผนความต้องการวัสดุที่เหมาะสมกับโรงงานกรณีศึกษา โดยข้อมูลที่รวบรวมได้แก่ 1) ขั้นตอนการผลิตน้ำปลา

สำเร็จรูปแต่ละรายการ 2) ข้อมูลการจัดตั้งโรงงานและวิเคราะห์การไหลของกระบวนการมีความต่อเนื่องหรือไม่ 3) ข้อมูลการส่งน้ำปลาและการจัดตั้งน้ำปลาให้กับลูกค้าจากเอกสารใบสั่งสินค้าอย่างละเอียด ตั้งแต่เดือนมกราคม – ธันวาคม ปี พ.ศ. 2552 และปี พ.ศ. 2553 4) ประสิทธิภาพของเครื่องจักร และ 5) ข้อมูลวิธีการจัดการวัสดุคงคลังและต้นทุนการสั่งซื้อวัสดุแต่ละประเภท

2.3 พยากรณ์ความต้องการวัสดุคงคลัง โดยนำข้อมูลการสั่งซื้อตามใบสั่งของลูกค้า ตั้งแต่เดือนมกราคมถึงเดือนธันวาคม ของปี พ.ศ.2552 และปี พ.ศ. 2553 นำมาสร้างกราฟเพื่อหาความสัมพันธ์ที่มียอดสั่งซื้อมากที่สุด 3 อันดับแรกของทั้งสองปี เพื่อนำไปพยากรณ์ยอดขายของปีถัดไป โดยใช้วิธีการพยากรณ์เชิงปริมาณด้วยเทคนิควิธี **Least Square** วิธี **Moving Average** และ **Exponential Smoothing** (ชุมพล (2545), บุชบา (2552) และสุทัศน์ (2548)) โดยใช้โปรแกรม QM for Windows สำหรับการประมวลผลการพยากรณ์ ทำการวัดค่าความแม่นยำของการพยากรณ์โดยใช้ค่าเฉลี่ยของความเบี่ยงเบนสัมบูรณ์ (MAD) ค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนกำลังสอง (MSE) และ Standard Error เปรียบเทียบเพื่อหาค่าความแม่นยำที่ดีที่สุด

2.4 วิเคราะห์ต้นทุนวัสดุคงคลัง ซึ่งแยกออกเป็น 4 ชนิด คือ ต้นทุนในการสั่งซื้อ ต้นทุนในการจัดการให้มีวัสดุคงคลัง ต้นทุนในการเก็บรักษา และต้นทุนที่เกิดจากวัสดุขาดแคลน (ชุมพล (2545), พิชิต (2549) และพิภพ (2540)) ผู้วิจัยนำข้อมูลที่รวบรวมได้มาวิเคราะห์คำนวณหาต้นทุนวัสดุคงคลังซึ่งมีอยู่ 2 ชนิด ได้แก่ ต้นทุนในการสั่งซื้อหรือสั่งผลิตและต้นทุนในการเก็บรักษา

2.5 วิเคราะห์ปริมาณการสั่งซื้อที่ประหยัด (EOQ) หลังจากได้ผลการพยากรณ์แล้ว ผู้วิจัยนำข้อมูลทั้งหมดมาคำนวณและวิเคราะห์เพื่อหาปริมาณการสั่งซื้อที่ประหยัด และหาปริมาณ Safety Stock จากนั้นคำนวณหาต้นทุนวัสดุคงคลังโดยรวมต่อไป (บุชบา (2552) และพิภพ (2534))

2.6 วางแผนความต้องการวัสดุโดยใช้ระบบ MRP เพื่อจัดหาวัสดุต่างๆ ให้เพียงพอกับความต้องการที่เกิดขึ้นทุกๆ ระดับของการผลิต ตั้งแต่เริ่มผลิตจนเป็นสินค้าสำเร็จรูป โดยการใช้ระบบ MRP นั้นต้องทราบช่วงเวลานำในการจัดส่งสินค้าที่แน่นอน หากช่วงเวลานำเกิดความผิดพลาดจะส่งผลทำให้เกิดการขาดแคลนวัสดุคงคลัง (พิภพ (2540) และพิภพ (2534)) หลังจากได้ปริมาณความต้องการน้ำปลาจากการพยากรณ์และปริมาณการจัดซื้อวัสดุที่ประหยัดที่สุดแล้ว นำข้อมูลที่ได้ไปวางแผนความต้องการวัสดุ (MRP) จากนั้นคำนวณหาต้นทุนวัสดุคงคลังโดยรวมต่อไป

2.7 สรุปเปรียบเทียบผลการวิจัยและตัดสินใจเลือกวิธีการจัดการวัสดุคงคลังที่เหมาะสม โดยทำการเปรียบเทียบต้นทุนวัสดุคงคลังโดยรวมของการจัดการวัสดุทั้งสองวิธีและประสิทธิภาพของการผลิตน้ำปลาสำเร็จรูปก่อนและหลังการวางแผนความต้องการวัสดุและการสั่งซื้อที่ประหยัดว่ามีความแตกต่างกันมากน้อยเพียงใด เพื่อใช้ในการตัดสินใจเลือกวิธีการจัดการวัสดุคงคลังที่เหมาะสม

3. ผลการศึกษา

3.1 กระบวนการผลิตน้ำปลาของโรงงานกรณีศึกษาจะแยกออกเป็น 2 ส่วนใหญ่ๆ คือ การผลิตน้ำปลาประเภทขวดแก้วและการผลิตน้ำปลาประเภทขวดพลาสติก กระบวนการผลิตประเภทขวดแก้วเริ่มจากน้ำปลาสำเร็จรูปจะถูกส่งไปยังสายการผลิตโดยใช้เครื่องจักรในการบรรจุ ขวดแก้วที่ทำความสะอาดจากเครื่องรีน จะถูกลำเลียงโดยสายพานไปยังเครื่องบรรจุและปิดฝาขวด (ตอกจุก) ผ่านเครื่องฟั่นวันเดือนปีที่ผลิตบนจุก ผ่านเครื่องปิดฉลากตัวและฉลากคอ และบรรจุลงลังโดยพนักงาน หลังจากนั้นน้ำปลาที่บรรจุใส่ลังเรียบร้อยแล้วจะถูกนำไปจัดเรียงไว้ในคลังสินค้าเพื่อรอการจัดส่งให้ลูกค้าต่อไป สำหรับการผลิตประเภทขวดพลาสติกจะต่างกับที่ขวดพลาสติกไม่ต้องผ่านเครื่องรีนขวดและการติดฉลาก เพราะฉลากได้ติดมาพร้อมกับขวดเรียบร้อยแล้ว

3.2 ผลจากการเก็บข้อมูลการผลิตน้ำปลาพบว่า กำลังการผลิตน้ำปลาดิบของโรงงานกรณีศึกษาอยู่ที่ 14,097 ตันต่อปี จากปริมาณการสั่งซื้อน้ำปลาปี พ.ศ. 2552 และปี พ.ศ. 2553 ความต้องการของลูกค้าอยู่ที่ 12,433 ตันต่อปี ซึ่งการจัดจำหน่ายมี

ทั้งในประเทศและต่างประเทศ น้ำปลาที่ผลิตมีทั้งหมด 32 ตราผลิตภัณฑ์ จำหน่ายในประเทศจำนวน 11 ตรา และต่างประเทศจำนวน 21 ตรา ในช่วงปี พ.ศ. 2552 มีใบสั่งสินค้าทั้งหมด 693 ใบสั่ง และมีสินค้าที่จัดส่งล่าช้าทั้งหมดจำนวน 151 ใบสั่งต่อปี คิดเป็นร้อยละ 21.78 มีเวลาการจัดส่งล่าช้าเฉลี่ยเท่ากับ 9 วันต่อใบสั่ง ซึ่งเกิดจากการส่งบรรจุภัณฑ์ไม่เพียงพอต่อความต้องการของลูกค้าสำหรับผลิตภัณฑ์ที่มียอดจำหน่ายสูงสุดคือ ผลิตภัณฑ์ตราลูกยอดบรรจุลง 20 ขวด (ขวดแก้ว) ตราไส้ตันลูกยอดบรรจุลง 12 ขวด (ขวดพลาสติก) ตราวังแก้วบรรจุลง 12 ขวด (ขวดแก้ว) น้ำปลาผสมตราคัมค่าบรรจุลง 12 ขวด (ขวดพลาสติก) และน้ำปลาผสมตราคาร์ฟูร์บรรจุลง 12 ขวด (ขวดพลาสติก) เครื่องจักรที่ใช้มีเครื่องบรรจุ 24 หัวสำหรับขวดพลาสติก กำลังการผลิตของเครื่องเท่ากับ 21,600 ลิตรต่อวัน และเครื่องบรรจุ 24 หัวสำหรับขวดแก้ว กำลังการผลิตของเครื่องเท่ากับ 18,444 ลิตรต่อวัน ซึ่งสามารถผลิตน้ำปลาได้ทันตามความต้องการของลูกค้า

3.3 ผลการพยากรณ์ความต้องการวัสดุ จากการใช้อัตราการสั่งซื้อน้ำปลาสำเร็จรูปสูงสุด 4 อันดับแรกของปี พ.ศ. 2552 และปี พ.ศ. 2553 คือ ผลิตภัณฑ์ตราลูกยอดบรรจุลง 20 ขวด (ขวดแก้ว) ตราไส้ตันลูกยอดบรรจุลง 12 ขวด (ขวดพลาสติก) ตราวังแก้วบรรจุลง 12 ขวด (ขวดแก้ว) และน้ำปลาผสมตราคัมค่าบรรจุลง 12 ขวด (ขวดพลาสติก) มาพยากรณ์ด้วยโปรแกรม QM for Windows โดยวิธี **Least Square** วิธี **Moving Average** และ **Exponential Smoothing** จากการเปรียบเทียบผลการพยากรณ์ที่ดีที่สุดด้วยค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนกำลังสอง (MSE) เพื่อหาค่าความแม่นยำที่ดีที่สุด วิธีที่ให้ค่าความแม่นยำที่สุดคือวิธี **Least Square** และจากการพยากรณ์ยอดขายพบว่ายอดขายของผลิตภัณฑ์ตราวังแก้วบรรจุลง 12 ขวด (ขวดแก้ว) และตราลูกยอดบรรจุลง 20 ขวด (ขวดแก้ว) มีค่าติดลบแสดงว่าแนวโน้มทางการตลาดไม่ดี ยอดขายลดลงต่ำจนถึงจุดขายไม่ได้ ดังนั้นผู้วิจัยจึงทำการวิเคราะห์และออกแบบการจัดการสินค้าคงคลังเฉพาะ 2 ผลิตภัณฑ์ ผลิตภัณฑ์ตราไส้ตันลูกยอดบรรจุลง 12 ขวด (ขวดพลาสติก) และผลิตภัณฑ์ตราคัมค่าบรรจุลง 12 ขวด (ขวดพลาสติก)

3.4 ผลการคำนวณหาต้นทุนวัสดุคงคลัง พบว่าค่าใช้จ่ายของโรงงานกรณีศึกษาพบว่า ค่าใช้จ่ายในการสั่งซื้อสินค้าต่อครั้ง (Ordering Cost) เท่ากับ 15 บาท ค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษา (Holding Cost) เท่ากับ 21,500 บาท/เดือน ค่าใช้จ่ายของการจัดเก็บวัสดุคงคลังเมื่อเทียบกับพื้นที่ของคลังสินค้าเท่ากับ 1.28 บาท/หน่วย/ปี หากมีปริมาณสินค้าคงคลังเพิ่มค่าใช้จ่ายทั้งสองก็จะแปรผันไปตามจำนวนสินค้าคงคลังเช่นกัน

3.5 ผลการคำนวณปริมาณการสั่งซื้อที่ประหยัด (EOQ) (บุษบา, 2552) ตามสมการที่ (1)

$$Q^* = \sqrt{\frac{2C_o D}{C_c}} \quad (1)$$

เมื่อ Q^* = ปริมาณการสั่งซื้อที่ประหยัด C_o = ต้นทุนในการสั่งซื้อต่อครั้ง C_c = ต้นทุนการเก็บวัสดุคงคลัง
 D = ความต้องการสินค้าต่อปี

ซึ่งวัสดุคงคลังของโรงงานกรณีศึกษามีทั้งหมด 6 รายการ ได้แก่ ขวดพลาสติกตราไส้ตันลูกยอด ลังกระดาดตราไส้ตันลูกยอด ขวดพลาสติกตราคัมค่า และลังกระดาดตราคัมค่า สำหรับฝาขวดสีขาวและกระดาดขาวติดลังกระดาดสามารถใช้ร่วมกันได้ ผลการวิเคราะห์ EOQ สรุปได้ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ปริมาณสั่งซื้อที่ประหยัดของวัสดุที่ใช้ในการผลิตน้ำปลาสำเร็จรูป

รายการ	ปริมาณการสั่งซื้อที่ประหยัด (หน่วย/ครั้ง)	ระยะเวลานำการสั่งซื้อ (วัน/ครั้ง)	Safety Stock ตันปี	จำนวน ใบสั่งล่าช้า
พลาสติกตราไส้ตันลูกยอด	11,277 ใบ	4	8,000	0
ลังกระดาดตราไส้ตันลูกยอด	3,712 ใบ	15	-	0
ขวดพลาสติกตราคัมค่า	31,154 ใบ	2	100,000	18
ลังกระดาดตราคัมค่า	10,254 ใบ	6	-	14
ฝาขวดสีขาว	97,535 ฝา	4	50,000	0
กระดาดขาวติดลังกระดาด	2,410 ม้วน	51	-	0

3.6 ผลการวางแผนความต้องการวัสดุโดยใช้ระบบ MRP เริ่มจากวิเคราะห์ใบรายการวัสดุ (BOM) พบว่าระยะเวลาในการสั่งซื้อขวดพลาสติกและฝาขวดจะต้องสั่งล่วงหน้าก่อนทำการผลิต 2 สัปดาห์ และลังกระดาษจะต้องสั่งล่วงหน้าก่อนทำการผลิต 1 สัปดาห์ สำหรับกระดาษสามารถซื้อได้เลยเนื่องจากไม่ต้องสั่งผลิต ผลที่ได้จากการคำนวณหาความต้องการวัสดุคือ มีใบสั่งล่าช้าของขวดพลาสติกตราคัมค่าจำนวน 18 ใบสั่ง และลังกระดาษตราคัมค่าจำนวน 14 ใบสั่ง

3.7 ผลเปรียบเทียบการวิจัยจากการจัดการด้านวัสดุคลังของโรงงานน้ำปลาวิธีที่ให้ผลดีที่สุดคือ การวางแผนความต้องการวัสดุโดยใช้ระบบ MRP ซึ่งสามารถลดใบสั่งล่าช้าได้เฉลี่ยร้อยละ 89.66 และสามารถลดต้นทุนได้ร้อยละ 25.12 ในขณะที่การจัดการวัสดุคลังโดยระบบ EOQ สามารถลดใบสั่งล่าช้าได้เฉลี่ยร้อยละ 91.38 แต่มีต้นทุนเพิ่มขึ้นร้อยละ 76.29 ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้การวางแผนความต้องการวัสดุโดยใช้ระบบ MRP ในการจัดการวัสดุคลังของโรงงานกรณีศึกษา

4. อภิปรายผล

4.1 กระบวนการผลิตของโรงงานน้ำปลาจะมีกระบวนการผลิตที่คล้ายๆ กัน ซึ่งเป็นระบบกระบวนการผลิตแบบต่อเนื่องโดยใช้เครื่องจักรเป็นหลัก จะแตกต่างกันเฉพาะส่วนผสมของน้ำปลาสำเร็จรูปเท่านั้น

4.2 การเก็บข้อมูลนั้นผู้วิจัยได้ข้อมูลจากการสอบถามจากพนักงานที่อยู่ในสายการผลิตของแต่ละกระบวนการต่างๆ และข้อมูลตัวเลขจากฝ่ายขายของโรงงาน สำหรับข้อมูลการจัดการได้สอบถามจากผู้จัดการโรงงานจึงได้ข้อมูลที่เป็นจริง การเก็บรวบรวมข้อมูลหากได้ข้อมูลที่เป็นจริงก็จะทำให้ผลของงานวิจัยออกมามีความน่าเชื่อถือมาก และมีประโยชน์ต่อการนำไปใช้งานหรือนำไปประยุกต์ใช้กับโรงงานที่มีลักษณะคล้ายๆ กัน

4.3 จากการพยากรณ์ที่ให้ค่าที่แม่นยำที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับค่า MSE คือวิธี Least Square และเป็นวิธีที่เหมาะสมเนื่องจากงานวิจัยนี้ต้องการค่าพยากรณ์ในปีถัดไปเป็นรายสัปดาห์ ซึ่งวิธี Least Square มีสมการที่สามารถหาค่าพยากรณ์ได้ในทุกคาบเวลาที่ต้องการ ในขณะที่วิธีการพยากรณ์ด้วยวิธีอื่นจะให้ค่าพยากรณ์แค่ค่าเดียวเท่านั้น สำหรับการเลือกใช้ค่า MSE ในการเปรียบเทียบวิธีการพยากรณ์เนื่องจากให้ค่าความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด และค่าที่ได้มีความแตกต่างกันอย่างเด่นชัดเมื่อเทียบกับ MAD และ Standard Error

4.4 การคำนวณหาต้นทุนค่าใช้จ่ายในการสั่งซื้อสินค้าต่อครั้ง เป็นค่าใช้จ่ายที่จ่ายเพื่อให้ได้มาซึ่งวัสดุคลังโดยการสั่งซื้อสินค้าซึ่งจะไม่แปรผันตามปริมาณสินค้าที่สั่งซื้อ แต่จะแปรผันตามจำนวนครั้งในการสั่งซื้อ สำหรับโรงงานกรณีศึกษาได้จากค่าติดต่อสั่งซื้อสินค้า ค่าจัดทำเอกสาร ค่าดำเนินการสั่งซื้อ สำหรับค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษาเป็นค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นเนื่องจากการเก็บรักษาวัสดุ ค่าเช่าคลังสินค้า ค่าเสื่อมสภาพหรือล้าสมัย ค่าประกันภัย ค่าดอกเบี้ยของเงินลงทุน ค่าปรับสถานะแวดล้อม เช่น อุณหภูมิ ความชื้น โดยค่าจัดเก็บนี้จะขึ้นอยู่กับจำนวนสินค้าที่เก็บในคลัง สำหรับโรงงานกรณีศึกษาได้จากค่าจ้างพนักงานรักษาความปลอดภัย ค่าแรงงานในการขนย้ายวัสดุ ค่าสาธารณูปโภค ซึ่งค่าใช้จ่ายในการสั่งซื้อแต่ละครั้งนั้นจะช่วยให้การตัดสินใจในการสั่งซื้อนั้นเหมาะสมยิ่งขึ้น อีกทั้งยังส่งผลถึงกระบวนการจัดส่งสินค้าด้วยซึ่งหากมีการสั่งซื้อบ่อยครั้งจะทำให้ค่าใช้จ่ายในการจัดส่งสินค้าเพิ่มขึ้น แต่หากจำนวนครั้งในการสั่งซื้อสินค้าเหมาะสมและมีปริมาณที่เพียงพอต่อความต้องการของลูกค้าก็จะทำให้โรงงานกรณีศึกษาที่มีความยั่งยืนในการจัดการระบบโลจิสติกส์ในอนาคตด้วย

4.5 การคำนวณปริมาณการสั่งซื้อที่ประหยัดจากสมการที่ 1 เป็นการคำนวณจากปริมาณความต้องการในปี พ.ศ. 2552 และปี พ.ศ. 2553 เพื่อหาจำนวนใบสั่งซื้อที่ล่าช้า เมื่อทราบจำนวนที่ต้องสั่งวัสดุแต่ละชนิดและนำไปจำลองสถานการณ์ ผลลัพธ์ที่ได้พบว่าปริมาณการสั่งซื้อและรอบเวลาการสั่งซื้อนั้นเป็นแนวโน้มที่สวนทางกับการปฏิบัติงานจริง เนื่องจากวัสดุบางตัวต้องมีความถี่ในการสั่งมาก เช่น ขวดพลาสติกตราคัมค่า ซึ่งในทางปฏิบัติจริงการสั่งสินค้าบ่อยครั้งนั้นจะทำให้เกิดต้นทุนเพิ่มขึ้น และทำให้ต้นทุนการขนส่งสูงขึ้นตามไปด้วย ดังนั้นจึงต้องมีการสั่งสินค้าสำรองก่อนต้นปีเพื่อไม่ให้เกิดการขาดแคลนวัสดุจากปริมาณการสั่งซื้อที่ได้จากการคำนวณ แต่ก็จะทำให้เกิดค่าใช้จ่ายของวัสดุคลังต้นทุนเพิ่มขึ้นด้วย ดังนั้นปริมาณการสั่งซื้อที่ประหยัดจะช่วยลดต้นทุนที่เกิดจากการมีสินค้าคงคลังมากเกินไป ทำให้โรงงานมีผลกำไรเพิ่มขึ้น ส่งผลให้สถานะทางการเงิน

ของโรงงานมีความมั่นคงแสดงให้เห็นถึงเครดิตของโรงงาน สถาบันการเงินต่างๆ ก็เกิดความเชื่อมั่นและยอมให้สินเชื่อเพื่อใช้ในการลงทุน หากต้องการลงทุนเพิ่มเติมหรือต้องการขยายโรงงาน ทำให้โรงงานมีความยั่งยืนทางด้านการเงิน

4.6 การวางแผนความต้องการวัสดุโดยใช้ระบบ MRP มีเงื่อนไขการส่งสินค้าจาก BOM หากผลการพยากรณ์ที่ได้มีความแม่นยำจะทำให้การส่งสินค้ามีความแม่นยำขึ้นและสามารถจัดส่งสินค้าได้ทันตามกำหนดที่ลูกค้าต้องการ สำหรับโรงงานกรณีศึกษาการวางแผนความต้องการวัสดุโดยใช้ระบบ MRP เป็นวิธีที่ดีที่สุด สามารถลดต้นทุนได้มากกว่าการจัดการวัสดุคงคลังด้วยระบบ EOQ ในขณะที่จำนวนใบส่งสินค้าล่าช้าไม่ได้มีความแตกต่างกัน การจัดการวัสดุคงคลังที่เหมาะสมจะช่วยให้กระบวนการผลิตของโรงงานกรณีศึกษาไม่มีการสะดุดเนื่องจากขาดวัสดุในการผลิต และสามารถผลิตสินค้าได้ทันตามกำหนดที่ลูกค้าต้องการ ทำให้ลูกค้ามีความเชื่อมั่นในการจัดส่งสินค้า สามารถตอบสนองความต้องการของลูกค้าได้ทันตามกำหนด ซึ่งอาจส่งผลให้มีลูกค้าใหม่เพิ่มขึ้น เมื่อลูกค้ามีความพอใจในสินค้าและบริการก็จะทำให้ลูกค้าอยู่กับโรงงานได้อย่างยาวนานและยั่งยืนทั้งลูกค้ารายเก่าและลูกค้ารายใหม่ในอนาคตด้วย

5. สรุปผล

วิธีการจัดการวัสดุคงคลังที่เหมาะสมของโรงงานกรณีศึกษาคือการวางแผนความต้องการวัสดุโดยใช้ระบบ MRP ซึ่งสามารถลดจำนวนใบส่งสินค้าล่าช้าเฉลี่ยร้อยละ 89.66 และสามารถลดต้นทุนได้ร้อยละ 25.12 แต่การวางแผนความต้องการวัสดุโดยใช้ระบบ MRP นั้นยังมีเงื่อนไขในการส่งสินค้าอีกหลายกรณี ซึ่งหากจะนำไปใช้นั้นต้องศึกษาข้อมูลการส่งสินค้าของโรงงานให้ชัดเจนว่าเข้ากับเงื่อนไขในข้อใด เพื่อการจัดการที่มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น ซึ่งประโยชน์จากงานวิจัยนี้สามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลสำหรับการจัดการด้านโลจิสติกส์ของโรงงานเพื่อจัดการระบบการจัดส่งสินค้า และสามารถนำไปจัดการวัสดุคงคลังได้ทุกตราผลิตภัณฑ์ที่ทำการผลิต

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้บรรลุดูประสงคืได้ด้วยความช่วยเหลือจากเจ้าของโรงงานน้ำปลากรณีศึกษา คุณบัณฑิต เกศวพิทักษ์ ที่ได้ให้ข้อมูลและคำแนะนำต่างๆ เกี่ยวกับการผลิตน้ำปลาสำเร็จรูปอันเป็นประโยชน์ต่อการวิจัย และท่านอาจารย์ ดร.วิภาณันท์ เอียประเสริฐ อาจารย์ที่ปรึกษาที่ได้ให้ความรู้และหลักการวิเคราะห์ข้อมูลของงานวิจัย ตลอดจนคณะกรรมการสอบงานวิจัย ผู้วิจัยขอขอบพระคุณทุกท่านเป็นอย่างยิ่งที่มีส่วนช่วยให้งานวิจัยนี้เสร็จสมบูรณ์

7. เอกสารอ้างอิง

กรมโรงงานอุตสาหกรรม. กระทรวงอุตสาหกรรม. (2552). (ข้อมูลสถิติสะสมจำนวนโรงงาน).

[ออนไลน์]. ได้จาก: <http://www.eio.go.th>

กระทรวงสาธารณสุข. ประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 203) พ.ศ. 2543 เรื่องน้ำปลา. [ออนไลน์]. ได้จาก

<http://www.fda.moph.go.th>

ชุมพล ศฤงคารศิริ. (2545). การวางแผนและควบคุมการผลิต. สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น). กรุงเทพฯ:

สำนักพิมพ์ ส.ส.ท.

บุษบา พฤกษาพันธุ์รัตน์. (2552). การวางแผนและควบคุมการผลิต. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์ท้อปจำกัด.

พิชิต สุขเจริญพงษ์. (2549). การจัดการวิศวกรรมการผลิต. กรุงเทพฯ: ซีเอ็ดดูเคชั่น

พิภพ ลลิตาภรณ์. (2540). การบริหารของคลังระบบ MRP. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).

พิภพ ลลิตาภรณ์. (2545). ระบบการวางแผนและควบคุมการผลิต. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).

พิภพ เล้าประจงและมานพ ศรีตุลยโชติ. (2534). การบริหารของคลังและการวางแผนความต้องการวัสดุ. กรุงเทพฯ:

บริษัทเอเชียเพรส จำกัด.

สุทัศน์ รัตนเกื้อกังวาน. (2548). การบริหารการผลิตและการดำเนินงาน. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

การพัฒนาผลิตภัณฑ์ด้วยเทคนิคการกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพ
กรณีศึกษา เครื่องดื่มรังนกแท้ กลุ่มแม่บ้านเพ็งอาด อ.ปากพะยูน จ.พัทลุง
Product Development by Quality Function Deployment
A case study of the Bird's nest beverage, Peng-Ard Group,
Pakpayoon district, Pattalung provinc

ผจงจิต พิจิตบรรจง¹, กุลยุทธ บุญเซ่ง², ศุภชัย ชัยณรงค์³

¹ สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา จังหวัดสงขลา 90000 phajongjit@gmail.com

² สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา จังหวัดสงขลา 90000 khanun12@gmail.com

³ สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา จังหวัดสงขลา 90000 c_supachai@hotmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อหาแนวทางที่เหมาะสมในการพัฒนาผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มรังนกแท้ ของกลุ่มแม่บ้านเพ็งอาด อ.ปากพะยูน จ.พัทลุง ให้ตรงกับความต้องการของลูกค้า ในกลุ่มวัยรุ่นและวัยทำงานที่มีช่วงอายุ 25-49 ปี ในเขต อ.เมือง จ.พัทลุง โดยประยุกต์ใช้เทคนิคการกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพ ซึ่งมีขั้นตอนการดำเนินงาน 2 ส่วน ส่วนที่ 1 คือ รวบรวมเสียงเรียกร้องของลูกค้าโดยการสัมภาษณ์ จัดกลุ่มปัจจัยความต้องการของลูกค้าด้วยแผนผังกลุ่มเชื่อมโยง เพื่อนำมาออกแบบสอบถาม และหาคะแนนน้ำหนักความสำคัญของความต้องการแต่ละปัจจัยของผลิตภัณฑ์และผลิตภัณฑ์อ้างอิง ส่วนที่ 2 คือ สร้างบ้านคุณภาพเพื่อหาข้อกำหนดทางเทคนิค ความสัมพันธ์ระหว่างข้อกำหนดทางเทคนิค และความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยความต้องการของลูกค้ากับข้อกำหนดทางเทคนิค โดยให้คะแนนค่าความสัมพันธ์และจัดลำดับ ผลที่ได้ คือ พัฒนาผลิตภัณฑ์ตามข้อกำหนดที่มีความสำคัญ และกลุ่มลูกค้ามีการยอมรับในด้านต่างๆ ของผลิตภัณฑ์ในระดับมากถึงมากที่สุด

คำสำคัญ: การกระจายหน้าที่; การพัฒนาผลิตภัณฑ์; เครื่องดื่มรังนกแท้

Abstract

The purpose of this research was to find the approach for developing the Bird's nest beverage product, of Peng-Ard Group, Pakpayoon district, Pattalung province to meet the customer requirements. The sampling populations were 25 to 49 years old people in Muang district, Pattalung province, by Quality Function Deployment. The work had 2 operations. The first operation was collecting the customer requirements using interview, grouping the data by affinity diagram for designing the questionnaires, and finding the importance rating of product and referenced product. The second operation was setting up House of Quality to define technical characteristics, the relationship among the technical characteristics, and the relationship between customer requirements and technical characteristics, by rating and prioritize relationship. The results showed that the product was developed, and the customer had the sensory characteristic acceptance in high and the highest level.

Key word: Quality Function Deployment; Product Development; Bird's nest beverage

1. ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ปัจจุบันนี้อาหารเสริมกลายเป็นที่รู้จักกันอย่างแพร่หลาย ในหมู่คนรักสุขภาพและผู้ห่วงใยสุขภาพ นอกเหนือจากอาหารเสริมชนิดต่างๆ ที่มีวางจำหน่ายอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน ไม่ว่าจะเป็นน้ำมันปลา ชุปไก่สกัด อีฟนิ่งพริมโรสออยล์ กระเทียมอัดเม็ด วิตามินชนิดเม็ด และแคโรทีน ฯลฯ รังนกนางแอ่นเป็นอีกหนึ่งในผลิตภัณฑ์อาหารเสริมที่กำลังได้รับความนิยม เพราะช่วยบำรุงกำลังให้ร่างกายสดชื่น แข็งแรง แก้อาการอ่อนเพลีย แก้อาการเจ็บป่วย และยังค้นพบอีกว่าในคนที่สูบบุหรี่จัดการรับประทานรังนกนางแอ่นเป็นประจำทุกเช้าจะช่วยให้อายุยืนยาวขึ้น ลดอาการไอ ช่วยฟอกปอด ยับยั้งการเกิดเชื้อไวรัสไข้หวัด ภูมิแพ้ ช่วยบำรุงผิวพรรณให้อ่อนกว่าวัยและทำให้อายุยืนได้อีกด้วย ผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มรังนกแท้ กลุ่มแม่บ้านเพ็ญอาต อ.ปากพะยูน จ.พัทลุง ได้เปิดดำเนินธุรกิจเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพภายใต้ชื่อเครื่องดื่มรังนกแท้เพื่อสุขภาพ ในลักษณะของผลิตภัณฑ์ OTOP และจัดจำหน่ายในศูนย์ OTOP ต่างๆ เช่น จังหวัดพัทลุง นครศรีธรรมราช และสงขลา เป็นผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มเพื่อสุขภาพที่กำลังได้รับความนิยมเป็นอย่างมากในกลุ่มวัยรุ่นและวัยทำงาน และสามารถสร้างรายได้ให้กับชุมชนได้อีกทางหนึ่ง

งานวิจัยนี้เน้นการศึกษาเพื่อหาแนวทางในการพัฒนาผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มรังนกแท้ โดยประยุกต์ใช้เทคนิคการกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพ ให้สามารถผลิตผลิตภัณฑ์ให้ตรงกับความต้องการของลูกค้า เพื่อเพิ่มส่วนแบ่งทางการตลาด เพิ่มรายได้ให้กับกลุ่มแม่บ้าน และส่งเสริมธุรกิจชุมชนให้เกิดการพัฒนาอย่างยั่งยืน



ภาพที่ 1 ผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มรังนกแท้ กลุ่มแม่บ้านเพ็ญอาต อ.ปากพะยูน จ.พัทลุง

2. วิธีการศึกษา

2.1 ศึกษาทฤษฎีที่ใช้ในการดำเนินงาน คือ เทคนิคการกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพ (Quality Function Deployment: QFD) หรือ QFD ถูกพัฒนาขึ้นในประเทศญี่ปุ่น [1] เมื่อช่วงประมาณทศวรรษที่ 60 โดย ดร.โยจิ เอโกะ [2] หลังจากนั้นประมาณปี ค.ศ.1980 บริษัทโตโยต้าประเทศญี่ปุ่นได้นำเทคนิคดังกล่าวนี้มาประยุกต์ใช้กับผู้ผลิตชิ้นส่วนทั้งหมดที่ส่งให้ทางบริษัทเพื่อให้ผลิตภัณฑ์ที่ส่งมามีคุณภาพดีทุกขั้นตอน QFD เป็นระบบการถ่ายทอดความต้องการของลูกค้า [3] ให้เป็นเป้าหมายที่เหมาะสมของบริษัทในทุกขั้นตอน ตั้งแต่วิจัยผลิตภัณฑ์ การออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์ การผลิต การจำหน่าย การติดตั้ง และการตลาด การขายและการบริการ

ขั้นตอนในการประยุกต์ใช้เทคนิคการกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพ [4] จะเริ่มต้นด้วยการรวบรวมความต้องการของลูกค้า และแปลความต้องการให้อยู่ในรูปของข้อกำหนดทางเทคนิค และความต้องการในกระบวนการออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์อย่างเป็นระบบ โดยนำความต้องการของลูกค้า (Whats) และเทคนิคในการผลิต (Hows) มาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ร่วมกันในบ้านคุณภาพ (House of Quality) เพื่อจัดเรียงลำดับความสำคัญของเทคนิคในการผลิต และวิเคราะห์รายละเอียดต่างๆ ของการ

ผลิต เช่น ส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์ ข้อจำกัดในการผลิต ทั้งนี้เพื่อให้เห็นภาพรวมในการวางแผนและพัฒนาผลิตภัณฑ์ ตลอดจนการวางแผนการตลาด ซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้ 1) สำรวจความต้องการของลูกค้า และสำรวจความพึงพอใจที่มีต่อผลิตภัณฑ์เดิม 2) ทำการวิเคราะห์ความต้องการของลูกค้า และกำหนดระดับความสำคัญของความต้องการของลูกค้าที่มีต่อผลิตภัณฑ์ 3) สร้างบ้านคุณภาพในส่วนของการความต้องการของลูกค้า โดยใช้เทคนิคทางวิศวกรรมเข้ามาช่วย เช่น การระดมสมอง (Brainstorming) การสร้างแผนผังกลุ่มเชื่อมโยง (Affinity Diagram) และเมตริกซ์แบบลำดับความสำคัญ

(Prioritization Matrix) เป็นต้น 4) สร้างบ้านคุณภาพในส่วนของเทคนิคในการผลิต 5) วิเคราะห์และจัดลำดับความสำคัญของเทคนิคในการผลิต 6) สร้างตารางที่เกี่ยวข้องกับการผลิต เช่น ข้อจำกัดในการผลิต 7) วิเคราะห์และเปรียบเทียบ เพื่อทำการกำหนดแนวทางในการออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์ 8) กำหนดแนวทางในการออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่รูปแบบของเทคนิค QFD นั้นจะไม่มีรูปแบบที่ตายตัว [5] แต่พอจะแบ่งวิธีการประยุกต์ใช้เทคนิค QFD ได้เป็น 2 แบบ คือ แบบที่นิยมใช้ในประเทศตะวันตก หรือ QFD 4 ช่วง (Four Phase Model) และแบบที่นิยมใช้ในประเทศญี่ปุ่น (Matrix of Matrices) ซึ่งวิธีการทำ QFD ทั้งสองแบบไม่มีความแตกต่างกันมากนัก มีจุดมุ่งหมายหลักเหมือนกัน คือ การแปลงความต้องการของลูกค้า (Whats) ให้ละเอียดขึ้นเป็นลำดับ จนกระทั่งถึงขั้นตอนการผลิต (Hows) แต่แบบที่นิยมใช้ในประเทศตะวันตกมีการสร้างตารางน้อยกว่าแบบญี่ปุ่น โดย QFD แบบ 4 ช่วง ซึ่งนิยมใช้ในประเทศตะวันตกนั้น เป็นส่วนหนึ่งของวิธีแบบญี่ปุ่น วิธีนี้ประกอบด้วยตารางทั้งหมด 4 ตาราง เริ่มต้นจากเสียงเรียกร้องของลูกค้า (Voice of Customer) ไปจนถึงรายละเอียดของพารามิเตอร์ต่างๆ ในการปฏิบัติการผลิต โดยทั่วไปแล้วองค์กรส่วนใหญ่ที่ใช้ QFD มักสร้างเพียงแค่ตารางแรก หรือตารางที่ 2 เท่านั้น เนื่องจากมีข้อจำกัดด้านเวลาและความพร้อมของข้อมูล

2.2 ประยุกต์ใช้เทคนิคการกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพ เพื่อหาแนวทางที่เหมาะสมในการพัฒนาผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มรังกแท้ ซึ่งมีขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย ดังนี้

2.2.1 รวบรวมเสียงเรียกร้องของลูกค้า (Voice of Customer: VOC) สัมภาษณ์กลุ่มลูกค้าเป้าหมายซึ่งเป็นกลุ่มวัยรุ่นและวัยทำงานที่มีช่วงอายุ 25-49 ปี ในเขต อ.เมือง จ.พัทลุง จำนวน 30 คน ด้วยเทคนิคการสัมภาษณ์ตัวต่อตัว (One-on-One interview)

2.2.2 หาปัจจัยความต้องการของลูกค้า (Whats) ที่ความเสี่ยงเรียกร้องของลูกค้า เพื่อให้ได้ปัจจัยความต้องการของลูกค้าที่มีต่อผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มรังกแท้ และจัดกลุ่มปัจจัยความต้องการให้เป็นหมวดหมู่ด้วยแผนผังกลุ่มเชื่อมโยง (Affinity Diagram)

2.2.3 หาคะแนนน้ำหนักความสำคัญของความต้องการแต่ละปัจจัย โดยออกแบบสอบถามกลุ่มลูกค้าเป้าหมาย เพื่อหาคะแนนน้ำหนักความสำคัญ (Importance Rating: IMP) ของความต้องการแต่ละปัจจัย ทำการเก็บข้อมูลจำนวน 100 ชุด ใช้วิธีการคำนวณหาจำนวนกลุ่มตัวอย่างจากการสมการของ Taro Yamane ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% แบ่งข้อมูลแบบสอบถามเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถามและพฤติกรรมการใช้บริโภคเครื่องดื่มรังกแท้ ส่วนที่ 2 ระดับความต้องการในแต่ละปัจจัยที่มีต่อผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มรังกแท้ และส่วนที่ 3 ระดับความต้องการในแต่ละปัจจัยที่มีต่อผลิตภัณฑ์อ้างอิง โดยหัวข้อความต้องการนำมาจากขั้นตอนการจัดกลุ่มปัจจัยความต้องการด้วยแผนผังกลุ่มเชื่อมโยง จากนั้นแจกแบบสอบถามให้ลูกค้ากลุ่มเป้าหมายให้คะแนนน้ำหนักความสำคัญของความต้องการแต่ละปัจจัยของผลิตภัณฑ์และผลิตภัณฑ์อ้างอิง ด้วยวิธีการทดสอบทางประสาทสัมผัส ซึ่งแบ่งระดับคะแนนแบบมาตราส่วนประมาณค่า 1-5 และคำนวณหาคะแนนน้ำหนักความสำคัญของแต่ละปัจจัยในรูปแบบค่าเฉลี่ย

2.2.4 สร้างบ้านคุณภาพ (House of Quality: HOQ) สร้างบ้านคุณภาพซึ่งประกอบไปด้วย ปัจจัยความต้องการของลูกค้า ข้อกำหนดทางเทคนิค ความสัมพันธ์ระหว่างข้อกำหนดทางเทคนิค และความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยความต้องการของลูกค้ากับข้อกำหนดทางเทคนิค ในรูปแบบของเมทริกซ์ โดยให้คะแนนความสัมพันธ์ และทำการหาผลรวมค่าน้ำหนักของข้อกำหนดทางเทคนิคแต่ละข้อ จากค่าคะแนนความสัมพันธ์คูณด้วยคะแนนน้ำหนักความสำคัญที่มากที่สุดระหว่างความต้องการแต่ละปัจจัยจากผลิตภัณฑ์และผลิตภัณฑ์อ้างอิง จากนั้นทำการจัดลำดับความสำคัญโดยทีมนักวิจัยและผู้ผลิต ระบุข้อกำหนดทางเทคนิคตามลำดับความสำคัญและนำไปใช้ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มรังกแท้ และทำการทดสอบผลิตภัณฑ์ด้วยวิธีทางประสาทสัมผัสกับกลุ่มลูกค้าเป้าหมายจำนวน 100 คน โดยให้ผู้ทดสอบ ชิมและทำการประเมิน ด้านกลิ่น รสชาติ สี ลักษณะปรากฏ และการยอมรับโดยรวม ซึ่งแบ่งระดับคะแนนแบบมาตราส่วนประมาณค่า 1-5 และสรุปคะแนนในรูปแบบค่าเฉลี่ย

3. ผลการวิจัย

3.1 จัดกลุ่มปัจจัยความต้องการของลูกค้า จากการรวบรวมเสียงเรียกร้องของลูกค้า ที่ความเพื่อหาปัจจัยความต้องการ และจัดกลุ่มปัจจัยความต้องการของลูกค้าด้วยแผนผังกลุ่มเชื่อมโยง พบว่า สามารถจัดกลุ่มความต้องการของลูกค้าออกเป็น 2 กลุ่ม

ใหญ่ คือ ด้านการตลาด และด้านตัวผลิตภัณฑ์ สำหรับด้านการตลาด ประกอบด้วย ราคา สถานที่จัดจำหน่าย การส่งเสริมการขาย ส่วนด้านตัวผลิตภัณฑ์ประกอบด้วย กลิ่น/สี/รส ลักษณะทางกายภาพ วัตถุดิบ ผลดีต่อสุขภาพ ไม่ส่งผลเสียต่อสุขภาพ บรรจุภัณฑ์ และคุณภาพ โดยทั้งสองกลุ่มประกอบไปด้วยปัจจัยความต้องการของลูกค้า รวม 25 ปัจจัย

3.2 หาคะแนนน้ำหนักความต้องการแต่ละปัจจัยของผลิตภัณฑ์และผลิตภัณฑ์อ้างอิง จากผลการวิเคราะห์คะแนนจากแบบสอบถามที่ได้จากกลุ่มลูกค้าเป้าหมาย จำนวน 100 ชุด พบว่า ร้อยละ 96 มีความสนใจเมื่อมีผลิตภัณฑ์ออกจำหน่าย และร้อยละ 92 มีแนวโน้มที่จะซื้อเมื่อมีผลิตภัณฑ์ออกจำหน่าย ส่วนคะแนนน้ำหนักความต้องการแต่ละปัจจัยของผลิตภัณฑ์พบว่า การได้รับการรับรองคุณภาพจาก ออย. และผลิตภัณฑ์มีส่วนผสมของสมุนไพร เป็นปัจจัยหลักที่มีความสำคัญในการเลือกซื้อผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มรังกนัท กลุ่มแม่บ้านเพิงอาด อ.ปากพะยูน จ.พัทลุง ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 คะแนนน้ำหนักความต้องการแต่ละปัจจัยของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มรังกนัท กลุ่มแม่บ้านเพิงอาด อ.ปากพะยูน จ.พัทลุง

ปัจจัยความต้องการที่มีผลต่อการเลือกซื้อ ผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มรังกนัท	คะแนนน้ำหนักความต้องการ (IMP)
ราคาเหมาะสมกับคุณภาพ	3.68
หาซื้อได้ง่าย	3.52
มีการประชาสัมพันธ์ที่ดี	3.48
มีกลิ่นหอมสมุนไพร	4.28
มีสีตามธรรมชาติ	3.88
มีรสหวาน	4.08
มีกลิ่นให้เลือกหลากหลาย	4.34
ไม่มีตะกอนและสิ่งปนเปื้อน	4.21
มีคุณภาพดี	3.98
มีส่วนผสมของสมุนไพร	4.36
ไม่ใส่สารแต่งสีและกลิ่น	4.18
ไม่ใส่สารกันเสีย	4.15
ไม่มีคอเลสเตอรอล	4.25
ปริมาณน้ำตาลต่ำ	3.62
แสดงวันผลิตและวันหมดอายุ	4.22
แสดงข้อมูลส่วนประกอบ	3.87
แสดงข้อมูลประโยชน์ที่ได้รับ	3.94
แสดงตรารับรองคุณภาพ	3.88
ปัจจัยความต้องการที่มีผลต่อการเลือกซื้อ ผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มรังกนัท	คะแนนน้ำหนักความต้องการ (IMP)
บอกภาพลักษณ์ของสินค้าชัดเจน	3.92
ปิดผนึกสมบูรณ์ มิดชิด	3.72
รูปทรงสวยงาม	3.96
พกพาง่าย	3.78
ได้รับการรับรองจาก ออย.	4.41
ได้รับการรับรองคุณภาพจากแหล่งอื่นๆ	4.01
คุณภาพสม่ำเสมอ	3.96

3.3 สร้างตารางบ้านคุณภาพ หรือ ตาราง HOQ ทำการวิเคราะห์ปัจจัยความต้องการของลูกค้า ข้อกำหนดทางเทคนิค ความสัมพันธ์ระหว่างข้อกำหนดทางเทคนิค และความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยความต้องการของลูกค้ากับข้อกำหนดทางเทคนิค ในรูปแบบของเมตริกซ์ โดยใช้สัญลักษณ์ความสัมพันธ์ จากนั้นแปลงสัญลักษณ์เป็นคะแนนความสัมพันธ์ แล้วนำไปคูณด้วย คะแนนน้ำหนักความต้องการแต่ละปัจจัยที่มากที่สุดระหว่างผลิตภัณฑ์และผลิตภัณฑ์อ้างอิง และจัดลำดับความสำคัญของ ข้อกำหนดทางเทคนิค โดยที่นักวิจัยและผู้ผลิต ดังแสดงในภาพที่ 2 และสรุปได้ว่าข้อกำหนดทางเทคนิคที่มีลำดับความสำคัญ 5 อันดับแรก คือ กลิ่น ผสมสมุนไพร ปริมาณน้ำตาล ความปลอดภัยในการบริโภค และอายุการเก็บ

4. อภิปรายผล

ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ ได้นำข้อกำหนดทางเทคนิคตามลำดับความสำคัญ นำไปใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ ซึ่งที่เม นักวิจัยดำเนินการร่วมกับผู้ผลิต โดยได้พัฒนาผลิตภัณฑ์ให้มีกลิ่นหลากหลาย ใช้กลิ่นจากสมุนไพรที่มีในท้องถิ่น เช่น ตะไคร้ และใบเตย และปรับระดับความหวาน เป็น 3 สูตร คือ ไม่หวาน หวานน้อย และหวานปานกลาง จากนั้นทำการทดสอบ ผลิตภัณฑ์ด้วยวิธีทางประสาทสัมผัสกับกลุ่มลูกค้าเป้าหมายจำนวน 100 คน โดยให้ผู้ทดสอบ ชิมและทำการประเมิน ด้าน กลิ่น รสชาติ สี ลักษณะปรากฏ และการยอมรับโดยรวม ซึ่งแบ่งระดับคะแนนแบบมาตราส่วนประมาณค่า 1-5 และสรุป คะแนนในรูปแบบค่าเฉลี่ย พบว่ากลุ่มลูกค้ามีการยอมรับในด้านต่างๆ ของผลิตภัณฑ์ในระดับมากถึงมากที่สุด ดังแสดงใน ตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มร่งนกแท้ด้วยวิธีทางประสาทสัมผัสหลังการพัฒนา

ด้านการยอมรับ	คะแนนเฉลี่ย
กลิ่น	4.25
รสชาติ	3.98
สี	3.86
ลักษณะปรากฏ	3.92
การยอมรับโดยรวม	4.01

สัญลักษณ์	ความหมาย	คะแนน
	ไม่มีความสัมพันธ์	0
△	ความสัมพันธ์น้อย	1
○	ความสัมพันธ์ปานกลาง	3
●	ความสัมพันธ์มาก	9

				การตลาด		ลักษณะทางประสาทสัมผัส				ลักษณะทางโภชนาการ					บรรจุภัณฑ์						
ปัจจัยความต้องการที่มีผลต่อการเลือกซื้อผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางค์				IMP	ผลิตภัณฑ์อ้างอิง	ราคา	สถานที่จำหน่าย	กลิ่น	สี	รสชาติ	วัตถุเติม	ผสมสมุนไพร	ปริมาณสารกันเสีย	ปริมาณน้ำตาล	ความปลอดภัยในการบริโภค	ฉลาก	อายุการเก็บ	รายละเอียดส่วนประกอบ	อธิบายประโยชน์ที่ได้รับ	รูปทรง	
การตลาด	ราคา	ราคาเหมาะสมกับคุณภาพ	3.68	3.32	●						○							△			
	สถานที่จัดจำหน่าย	หาซื้อได้ง่าย	3.52	3.84		●															
	การส่งเสริมการขาย	มีการประชาสัมพันธ์ที่ดี	3.48	3.98	○														●		
ตัวผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางค์	กลิ่น/สี/รส	มีกลิ่นหอมสมุนไพร	4.28	3.76				●	△	○		●									
		มีสีตามธรรมชาติ	3.88	3.94				○	●		●	●				●					
		มีรสหวาน	4.08	3.88											●				△		
	คุณสมบัติทางกายภาพ	มีกลิ่นให้เลือกหลากหลาย	4.34	3.52				●	△	○		●	○	○							
		ไม่มีตะกอนและสิ่งปนเปื้อน	4.21	4.43	△			○	△		●	○		●	●		●				
	วัตถุเติม	มีคุณภาพดี	3.98	4.46	●			●			●			●	○		○				
	ผลดีต่อสุขภาพ	มีส่วนผสมของสมุนไพร	4.36	3.45	△			●	○	●		●			○						
	ไม่ส่งผลเสียต่อสุขภาพ	ไม่ใส่สารแต่งสีและกลิ่น	4.18	4.22				●	●	△	○	●		○	○		△	△	△		
		ไม่ใส่สารกันเสีย	4.15	4.21				○			○		●		○		●	△	△		
		ไม่มีแอลกอฮอล์	4.25	4.01				△			○	○		●	○		△		△		
		ปริมาณน้ำตาลต่ำ	3.62	3.28	△					●				●	○		△				
	บรรจุภัณฑ์	แสดงวันผลิตและวันหมดอายุ	4.22	4.31													○				
		แสดงข้อมูลส่วนประกอบ	3.87	3.76													○		●		
		แสดงข้อมูลประโยชน์ที่ได้รับ	3.94	3.68													○			●	
		แสดงตรารับรองคุณภาพ	3.88	4.15													○				
		บอกภาพลักษณ์ของสินค้าชัดเจน	3.92	4.04	○												●		○	○	○
		ปิดผนึกสมบูรณ์ มีฉลาก	3.72	4.37													△	●			○
		รูปทรงสวยงาม	3.96	4.36	●												△	○			●
		พกพาง่าย	3.78	3.84																	●
	คุณภาพ	ได้รับการรับรองจาก อ.ย.	4.41	4.42	○							○				●		○			
		ได้รับการรับรองคุณภาพจากแหล่งอื่นๆ	4.01	4.29							○	○				●		○			
		คุณภาพสม่ำเสมอ	3.96	4.44	○			●		●	○			●	○		○				
	ผลรวมค่าน้ำหนักของข้อกำหนดทางเทคนิค					175.55	34.56	276.89	99.57	141.86	190.74	267.93	50.91	265.02	255.24	93.90	195.09	63.14	96.08	99.03	
	ค่าน้ำหนักของข้อกำหนดทางเทคนิคสัมพัทธ์ (%)					7.61	1.50	12.01	4.32	6.15	8.27	11.62	2.21	11.50	11.07	4.07	8.46	2.74	4.17	4.30	
ลำดับความสำคัญ					7	15	1	9	8	6	2	14	3	4	12	5	13	11	10		

สัญลักษณ์	ความหมาย
	ไม่มีความสัมพันธ์
●	ความสัมพันธ์ทางบวกมาก
○	ความสัมพันธ์ทางบวก
\$	ความสัมพันธ์ทางลบ
\$\$	ความสัมพันธ์ทางลบมาก

ภาพที่ 2 บ้านคุณภาพ

5. สรุปผล

การวิจัยในครั้งนี้ พบว่าเทคนิคการกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์เครื่องต้มรังนกแท้ให้ตรงกับความต้องการของลูกค้า โดยการนำปัจจัยความต้องการของลูกค้ามาใช้ในการสร้างตารางบ้านคุณภาพ เพื่อวิเคราะห์หาข้อกำหนดทางเทคนิคที่มีลำดับความสำคัญอันดับต้นๆ และนำมาใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ให้ตรงกับความต้องการของลูกค้าให้มากที่สุด สำหรับข้อกำหนดทางเทคนิค 5 อันดับแรกที่น่ามาใช้ในการพัฒนา คือ กลิ่น ผสมสมุนไพร ปริมาณน้ำตาล ความปลอดภัยในการบริโภค และอายุการเก็บ ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์เครื่องต้มรังนกแท้ที่มีหลายกลิ่นโดยเฉพาะกลิ่นจากสมุนไพร และความหวานหลายระดับ ได้รับการยอมรับจากกลุ่มลูกค้าในระดับมากถึงมากที่สุด ซึ่งเป็นการเพิ่มส่วนแบ่งทางการตลาด เพิ่มรายได้ให้กับกลุ่มแม่บ้าน และส่งเสริมธุรกิจชุมชนให้เกิดการพัฒนาเพื่อความยั่งยืนเชิงอุตสาหกรรมต่อไป

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้เป็นผลงานที่ช่วยพัฒนาผลิตภัณฑ์เครื่องต้มรังนกแท้ของกลุ่มแม่บ้านเพ็งอาด อ.ปากพะยูน จ.พัทลุง ซึ่งทีมนักวิจัยขอขอบคุณกลุ่มแม่บ้านเพ็งอาดที่ได้ให้ความร่วมมือในการทำวิจัย และขอขอบคุณโปรแกรมวิชาวิศวกรรมและการจัดการ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา ที่ให้การสนับสนุนด้านต่างๆ ในการทำวิจัยครั้งนี้

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] อรรถกร เก่งพล. 2547. วิศวกรรมคอนเคอร์เร็นท์. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- [2] Cohen, L. 1995. Quality Function Deployment : How to make QFD work for you. Read. Mass : Addison-Wesley Publishing Company.
- [3] American Supplier Institute. 1987. Quality Function Deployment : A Collection of Presentation and QFD Case Studies. Dearborn. MI : American Supplier Institute.
- [4] เสริมเกียรติ จอมจันทร์ยอง. 2548. บทที่ 2 การประกันคุณภาพในช่วงการออกแบบผลิตภัณฑ์และกระบวนการผลิต. ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรมมหาวิทยาลัยเชียงใหม่. (Online) สืบค้นจาก <http://doi.eng.cmu.ac.th/elearning/qa.htm>
- [5] มณฑล ศาสนนันท์. 2546. การออกแบบผลิตภัณฑ์เพื่อการสร้างสรรค์นวัตกรรมและวิศวกรรมย้อนรอย. สำนักพิมพ์สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น) : 47-103.

การพัฒนาระบวนการรีไซเคิลพลาสติกซีพีพีในอุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์กลับมาใช้ใหม่เพื่อลด ต้นทุนการผลิตและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืน

CPP Plastic recycles process development in packaging industry for sustainable cost and environmental impact reduction

จิรายุส จันทราภาสกุล¹, ณัฐวรพล รัชสิริวัชรบุล², สหรัตน์ วงษ์ศรีชนะ²

¹หน่วยงานวิศวกรรม บริษัทไทยโพรเซสเทคส์

จำกัด 33/3 หมู่ 3 ถนนสุขาภิบาล ตำบลนครชัยศรี อำเภอนครชัยศรี จังหวัดนครปฐม

Email: jirayut_j@toray.co.th

²สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรมเพื่อความยั่งยืน

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

1381 ถนนพิบูลย์สงคราม เขตบางซื่อ กรุงเทพมหานคร 10800

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาระบวนการรีไซเคิลเศษพลาสติกที่เกิดจากกระบวนการการผลิตฟิล์มซีพีพี (Cast polypropylene film) ให้เป็นเม็ดพลาสติก Repellet เพื่อนำกลับมาเป็นวัตถุดิบในกระบวนการผลิต โดยพัฒนาระบวนการการรีไซเคิลตั้งแต่วิธีการคัดแยก จัดเก็บและเปลี่ยนเครื่องจักรที่ใช้เทคโนโลยีแบบเอ็กซ์ทรูชัน- แกรนูลเรท (Extrusion granulate) ผลจากการพัฒนาระบวนการการรีไซเคิลฟิล์มซีพีพีปรากฏว่าสามารถผลิตพลาสติกบริสุทธิ์ที่มีความหนาแน่น 0.86 g/cm^3 ซึ่งมีสมบัติเทียบเท่าพลาสติกตั้งต้น ผลการทดลองนำพลาสติกที่ผ่านการรีไซเคิลผสมเม็ดพลาสติกบริสุทธิ์ (Pure resin) ในอัตราส่วนผสมร้อยละ 10, 20, 30, 40, 50, 75 และใช้พลาสติกจากการรีไซเคิล 100% ในฟิล์มซีพีพี (Homo polymer) ที่ความหนา 17 ไมครอน ผลจากการทดสอบคุณสมบัติทางกล (Mechanical test) ของผลิตภัณฑ์ที่พัฒนาขึ้นใหม่ พบว่า มีคุณสมบัติด้านความแข็งแรง (Tensile strength) ตามมาตรฐานของฟิล์มซีพีพีในด้านแนวเครื่องจักร (Machine direction) มีค่ามากกว่า 5.0 Kg/mm^2 และในด้านตามขวาง (Traverse direction) มีค่ามากกว่า 3.0 Kg/mm^2 ค่าความแข็งแรงรอยซีล (Heat seal strength) มีค่าอยู่ที่ 1.28 Kg/15mm ได้ตามมาตรฐานของผลิตภัณฑ์ที่ต้องมีค่ามากกว่า 1.0 Kg/15mm ผลจากการพัฒนาสามารถผลิตวัตถุดิบจากการรีไซเคิลถึง 964,175 กิโลกรัมต่อปี และลดต้นทุนวัตถุดิบจำนวน 14,462,625 บาทต่อปี และลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจากการใช้พลังงานไฟฟ้าผลิตเม็ดพลาสติกตั้งต้นรวม 1,949,562 เมกกะจูล เทียบเท่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกอยู่ในรูปของปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (Carbon dioxide equivalent) 126,532 กิโลกรัม ($\text{kg CO}_2\text{e}$) ตามแนวทางการพัฒนาอุตสาหกรรมเพื่อความยั่งยืน

คำสำคัญ : การรีไซเคิล, พลาสติกรีไซเคิล, การลดต้นทุน, คุณสมบัติทางกล, คาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า

Abstract

This research aims to develop a process for recycling plastic waste from cast polypropylene manufacturing process become to re pellet resin for reuse into the raw material in production process. The recycling process develop began from sorting, storage and the machinery used in extrusion granulate technology. Result after development process can produced plastic resin density 0.86 g/cm^3 , which is the equivalent plastic property. It was the plastic through recycling mixed plastic pure ratio percentage of 10, 20, 30, 40, 50, 75 and 100% recycling resin in core middle layer thickness 17 microns. The results after test, the mechanical

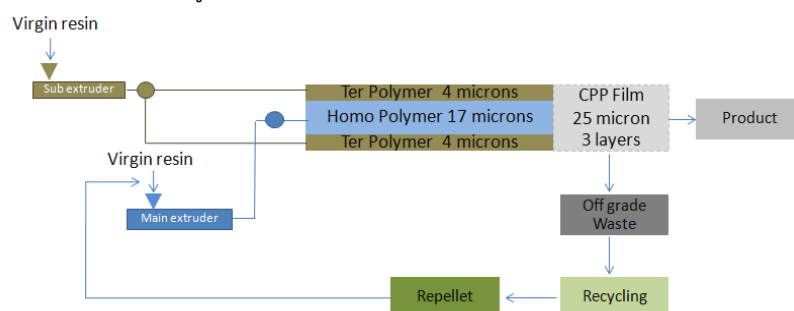
properties of the newly developed products. The tensile strength according standardize in machine direction (MD) greater than 5.0 kgf/mm^2 and traverse direction (TD) greater than 3.0 kgf/mm^2 . The heat seal strength is 1.28 kgf/15mm according standard must be more than 1.0 kgf/15mm . After recycling process development can produce material 964,175 tons per year. Material cost save 14,462,625 baht per year and reduction of the environmental impact of carbon emissions arising from electricity energy produced plastic substrate and 1,949,562 MJ equivalents of greenhouse gas emissions in the form of carbon dioxide equivalent 126,532 kilograms ($\text{kg CO}_2\text{e}$) guidelines for sustainable industrial development.

Keywords : Recycling, Costs, Tensile strength, Machine direction, Traverse direction, Heat seal strength,

1. บทนำ

35% ของจำนวนผู้ประกอบการผลิตภัณฑ์พลาสติกภายในประเทศเป็นผู้ประกอบการในกลุ่มบรรจุภัณฑ์มากที่สุด โดยอุตสาหกรรมผลิตฟิล์มพลาสติก (Film Extrusion) ถูกจัดอยู่ในกลุ่มบรรจุภัณฑ์โดยมีจำนวนผู้ประกอบการกว่า 500 รายและมีกำลังการผลิตเฉลี่ย 1,240 ตัน/ปี/บริษัท เป็นอันดับสี่ในกลุ่มบรรจุภัณฑ์รองจากอุตสาหกรรมพลาสติกสำหรับก่อสร้าง (Pipe extrusion) การอัดรีด (Sheet extrusion) การขึ้นรูป (Foaming) ตามลำดับ มีปริมาณการใช้เม็ดพลาสติกรวม 129,600 ตัน/เดือน (สถาบันปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย, 2552) [1] การผลิตฟิล์มซีพีพีใช้เม็ดพลาสติกประเภทโพลิโพรไพลีน (Polypropylene) เป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตซึ่งราคาของเม็ดพลาสติกมีความผันผวนตามสภาวะและผลกระทบทางเศรษฐกิจ โดยเฉลี่ยราคาเม็ดพลาสติกในปี 2553 เท่ากับ 48.7 บาท/กิโลกรัม และปี 2554 อยู่ที่ 54.45 บาท/กิโลกรัม เพิ่มขึ้นจากปี 2554 อยู่ที่ 10.5% (Plastic intelligence, 2555) สิ่งนี้เป็นปัจจัยพื้นฐานทำให้องค์กรมีต้นทุนการผลิตที่สูงขึ้น ทำให้องค์กรแสวงหาวิธีในการลดค่าใช้จ่ายโดยเฉพาะวัตถุดิบทำให้เกิดแนวคิดที่ต้องการนำของเสียในกระบวนการการกลั่นมารีไซเคิลเพื่อใช้เป็นวัตถุดิบตั้งต้นโดยนำเม็ดพลาสติกรีไซเคิลนำมาทดลองผสมตามอัตราส่วนในชั้นกลางของฟิล์มตามรูปภาพที่ 1 ซึ่งแนวคิดนี้จำเป็นต้องมีการปรับปรุงกระบวนการรีไซเคิลเพื่อให้ได้มาซึ่งเม็ดพลาสติกที่ใช้ในกระบวนการ

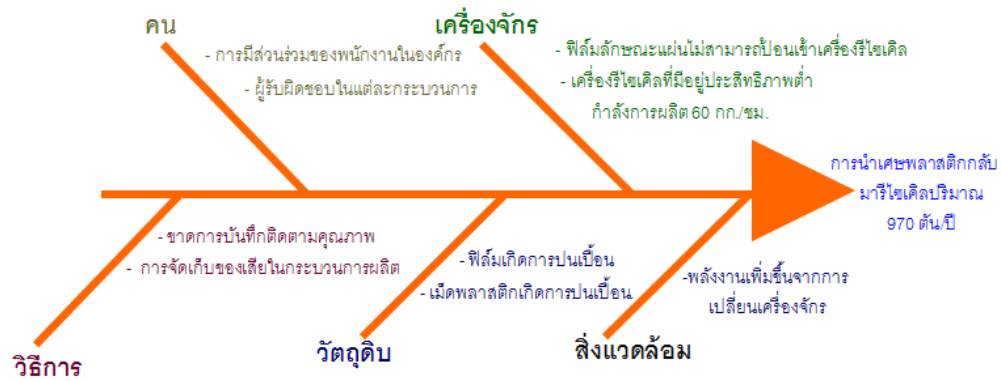
งานวิจัยนี้นำเสนอ การปรับปรุงกระบวนการรีไซเคิลพลาสติกเพื่อนำของเสียในกระบวนการผลิตฟิล์มซีพีพีปริมาณ 970 ตัน/ปี มีคุณสมบัติที่สามารถนำกลับมารีไซเคิลได้โดยผ่านการปรับปรุงวิธีกระบวนการจัดเก็บเศษฟิล์ม และปรับเปลี่ยนเครื่องจักรที่มีประสิทธิภาพรองรับกับปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นทำให้สามารถเพิ่มปริมาณกำลังผลิตเม็ดพลาสติกรีไซเคิลสำหรับเป็นวัตถุดิบตั้งต้นในกระบวนการผลิตได้ และไม่เกิดการสูญเสียเปล่าจากของเสียสะสมที่ไม่สามารถนำกลับมารีไซเคิลจนนำไปสู่การกำจัดทิ้ง



ภาพที่ 1 แสดงขบวนการนำเม็ดพลาสติกรีไซเคิลกลับมาเป็นวัตถุดิบตั้งต้น

2. วิธีการศึกษา

2.1 วิเคราะห์กระบวนการเพื่อนำไปสู่ความสามารถในการใช้เม็ดรีไซเคิลในกระบวนการโดยใช้แผนภูมิเหตุและผล (Cause and effect diagram) โดยประกอบไปด้วย 4M และ 1E (Haiang-Chin Hung.et.2011) [2]



ภาพที่ 2 ปัจจัยพื้นฐานที่ต้องได้รับการปรับปรุงสำหรับการใช้พลาสติกรีไซเคิล

2.2 ขั้นตอนการทดลองในกระบวนการผลิต

2.2.1 การเตรียมวัตถุดิบก่อนสู่กระบวนการรีไซเคิล (Material preparation) วิเคราะห์ของเสียที่เกิดในกระบวนการผลิตเพื่อแบ่งประเภทและคัดแยกของเสียที่สามารถรีไซเคิล



ภาพที่ 3 การแยกประเภทและการจัดเก็บของเสีย

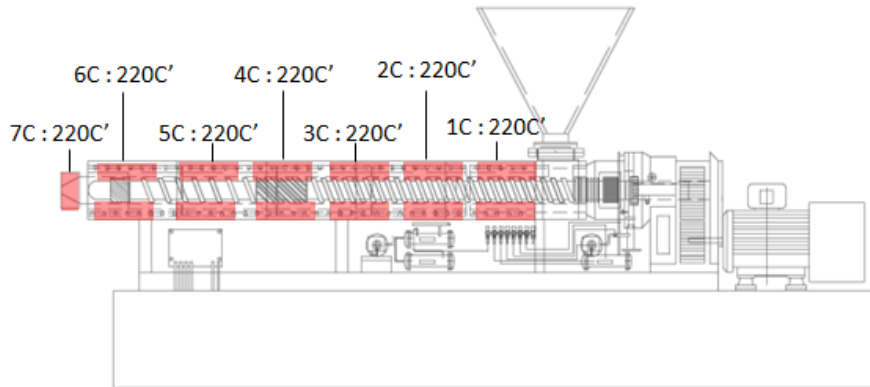


ภาพที่ 4 การจัดเก็บฟิล์มภายใต้ภาชนะเพื่อป้องกันการปนเปื้อน

2.2.2 กระบวนการรีไซเคิล (Recycle) ทดสอบหาประสิทธิภาพของเครื่องรีไซเคิล พลังงานที่ใช้ต่อหน่วยการผลิต ตรวจสอบคุณสมบัติความหนาแน่น (Density) มีหน่วยเป็น g/cm^3 ตามมาตรฐาน ASTM D792B

2.2.3 กระบวนการผสมวัตถุดิบ (Material mixing in process) ใช้เม็ดพลาสติกโพลีโพรพิลีนบริสุทธิ์ชนิด Homo polymer และเม็ดพลาสติกรีไซเคิลโพลีโพรพิลีนจากกระบวนการ 2.2.2 นำมาผสมกันในอัตราส่วนระหว่างพลาสติกรีไซเคิลต่อพลาสติกบริสุทธิ์ด้วยวิธีการชั่งน้ำหนัก โดยเน้นความละเอียดช่วง 0-50% เพราะเป็นช่วงอัตราส่วนผสมที่นิยมใช้ในการใช้งานจริง อัตราส่วนผสมดังกล่าวมีด้วยกัน 8 ค่าได้แก่ 0%, 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 75% และพลาสติกรีไซเคิล 100% (โกสินทร์ วสะศิริ, 2552) [3]

2.2.4 กระบวนการอัดรีด (Extrusion) ใช้เครื่องเอ็กซ์ทรูดเดอร์เดี่ยว (Single extruder) รุ่น SE-180D แบบควบคุมอุณหภูมิ 7 จุด (1-7 zone) โดยไม่มีการปรับแต่งโดยตั้งค่าอุณหภูมิปรกติดังภาพที่ 1 ความเร็วรอบสกรู 43 รอบ/นาที (+/-1) Luis et.al (2011) [4]



ภาพที่ 5 การตั้งอุณหภูมิของเอ็กซ์ทรูดเดอร์ที่ใช้หลอมเหลวเม็ดพลาสติก

2.2.5 กระบวนการผลิตฟิล์ม (Film making) ประเภทลูกกลิ้งรีดเย็นโดยผ่านหัวด้าย (Die) ซึ่งมีโบลท์เพื่อปรับระดับปริมาณ โพลีเมอร์หลอมเหลวจำนวน 85 ตัว โดยมีหน้ากว้างของฟิล์มหลังผ่านหัวด้ายรวม 2,700 มิลลิเมตร ใช้ความเร็วของเครื่องจักร ปรกติที่ 215 เมตรต่อนาที ในขั้นตอนนี้ทำการตรวจสอบค่าความหนาเฉลี่ย (Range value average of width film) พื้นที่ หน้าตัดฟิล์มของระบบควบคุมความหนาของฟิล์ม (Control thickness profile) ตามอัตราส่วนของพลาสติกกรีไซเคิลที่ทำการ ทดสอบ เพื่อหาผลกระทบที่อาจมีต่อค่าความหนาเฉลี่ยของผลิตภัณฑ์

2.3 ทดสอบคุณสมบัติทางกลของพลาสติก โดยตรวจวัดคุณสมบัติการรับภาระหรือแรงกระทำในลักษณะต่างๆในเชิงปริมาณ เพื่อบ่งบอกคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของกระบวนการผลิตเนื่องจากการประยุกต์ใช้พลาสติกใน การผลิตได้แก่ตาม ผลิตภัณฑ์เหล่านั้นย่อมต้องมีการรับแรงกระทำไม่มากก็น้อย (จินตมัย, 2547) การทดสอบคุณสมบัติทางกล เพื่อหาปริมาณอัตราส่วนที่ดีที่สุดและไม่เกิดผลกระทบต่อมาตรฐานคุณภาพของผลิตภัณฑ์ขององค์กรโดยทดสอบคุณสมบัติ ทางกลตามตารางที่ 1

ตารางที่ 1 มาตรฐานวิธีการทดสอบคุณสมบัติทางกลของพลาสติก

การทดสอบทางกล		มาตรฐานวิธีทดสอบ
การยืดตัว	(Elongation)	JIS K7127
ความแข็งแรง	(Tensile strength)	JIS K7127
ความแข็ง	(Young's modulus)	JIS K7113
ความแข็งแรงการผนึกด้วยความร้อน	(Heat seal strength)	JIS Z1707

2.4 การลดต้นทุนในกระบวนการผลิตจากการใช้เม็ดพลาสติกกรีไซเคิล (Cost reduction) บันทึกปริมาณการใช้เม็ดพลาสติกกรีไซเคิลในกระบวนการผลิตแต่ละเดือน นำมาคำนวณร่วมกับข้อมูลราคาเม็ดพลาสติกบริสุทธิ์รายเดือน และราคาขายในรูปของ เสียจากกระบวนการผลิต

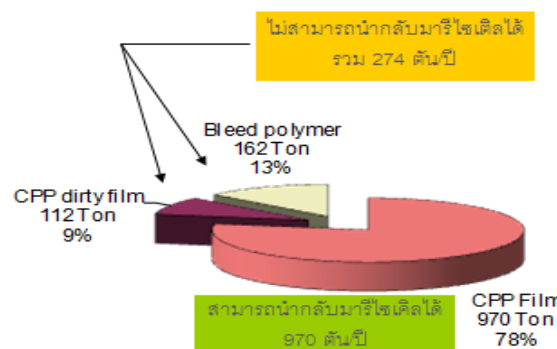
2.5 การลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (Environmental impact) จากพลังงานที่ใช้ในกระบวนการผลิตเม็ดพลาสติกซึ่งเป็นข้อ มูลปฐมนิยามเพื่อหาค่าปริมาณการลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (Carbon dioxide equivalent, CO₂e) ซึ่งเป็น 1 ใน 6 ก๊าซที่ก่อให้เกิดภาวะโลกร้อน (Global warming potential: GWP) คำนวณแบบ Cradle-to-Gate (Business-to-Business: B2B) ประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ตั้งแต่ขั้นตอนการได้มาซึ่งวัตถุดิบการขนส่งการผลิตจนถึงเป็นสารขา เข้าหรือวัตถุดิบของผู้ผลิตรายต่อไป (องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก, 2554) [5]

3 ผลการวิจัย

3.1 การวิเคราะห์เพื่อหาแนวทางความเป็นไปได้ในการนำของเสียในกระบวนการผลิตมารีไซเคิลเพื่อนำกลับมาเป็นวัตถุดิบตั้งต้นในกระบวนการผลิตโดยใช้แผนภูมิเหตุและผล (Cause effect diagram) โดยใช้วิธีระดมสมอง (Brainstorming) จากกลุ่มที่ตั้งขึ้นมาซึ่งเป็นตัวแทนในแต่ละแผนก ซึ่งประกอบด้วย หน่วยงานผลิต, วิศวกรรม, ควบคุมคุณภาพ, กระบวนการผลิต, ประกันคุณภาพ ทำให้ได้ซึ่งข้อมูลที่สามารถนำไปสู่การปรับปรุงกระบวนการรีไซเคิลจากสาเหตุหลักที่เกิดจาก คน (Man), เครื่องจักร (Machine), วิธีการ (Method), วัตถุดิบ (Material) และสิ่งแวดล้อม (Environment) โดยสามารถแยกประเด็นเพื่อนำไปสู่การปรับปรุงในแต่ละสาเหตุได้ดังนี้ คน (Man) สร้างการมีส่วนร่วมในองค์กรผ่านวิธีการปรับปรุงอย่างต่อเนื่อง (Kaizen) ผ่านกลุ่มกิจกรรมก่อให้เกิดการแลกเปลี่ยนความคิดเห็นเพื่อนำไปสู่แนวคิดรวบยอดและสามารถนำไปสู่การปฏิบัติโดยใช้เครื่องมือ PDCA เพื่อสามารถเข้าถึงความสำเร็จ เครื่องจักร (Machine) จากการศึกษาพบว่าเทคโนโลยีของเครื่องรีไซเคิลก่อนการปรับปรุงเป็นระบบเปิดทำให้เกิดการปนเปื้อนเกิดผลกระทบต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ปริมาณผลผลิตที่ได้จากเครื่องรีไซเคิลดังกล่าวสามารถผลิตได้ 60 กิโลกรัมต่อชั่วโมงซึ่งไม่สอดคล้องต่อจำนวนของเสียในกระบวนการผลิตทำให้ไม่สามารถนำของเสียกลับมารีไซเคิลได้ ทำให้เกิดการศึกษาค้นคว้าเทคโนโลยีใหม่ที่มีความเหมาะสมในการเลือกใช้เครื่องรีไซเคิลเหมาะกับกระบวนการผลิตที่แท้จริงนำไปสู่การจัดเตรียมเครื่อง จักรเพื่อรองรับการปรับปรุงกระบวนการ วิธีการ (Method) พบว่าการจัดการของเสียมีความจำเป็นเพื่อแยกประเภทของเสียที่เกิดในแต่ละกระบวนการผลิตทำให้เกิดมาตรการการจัดเก็บเพื่อไม่ให้เกิดการสูญเสียจากการจัดเก็บจนนำไปสู่การคัดทิ้ง ส่วนการสร้างเชื่อมั่นในเรื่องคุณภาพกำหนดให้มีการเฝ้าติดตามจากหน่วยงานตรวจสอบคุณภาพ วัตถุดิบ (Material) ความสะอาดของฟิล์มที่จะนำไปสู่กระบวนการรีไซเคิลเป็นปัจจัยพื้นฐานที่สามารถบ่งชี้ถึงคุณภาพของเม็ดพลาสติกรีไซเคิล ทำให้มีการจัดเก็บของเสียอยู่ภายใต้ภาชนะที่สามารถป้องกันสิ่งสกปรกที่ทำให้เกิดการปนเปื้อน (Contamination) สิ่งแวดล้อม (Environment) ปริมาณการใช้พลังงานทำการคำนวณและแสดงผลอยู่ในขั้นตอนการหาประสิทธิภาพของเครื่องจักร

3.2 ผลการทดลองจากการปรับปรุงกระบวนการผลิต

3.2.1 ขั้นตอนการทดลองในกระบวนการผลิตมีการคัดแยกประเภทของของเสียในกระบวนการผลิตที่สามารถก็นำกลับมาผ่านกระบวนการรีไซเคิลได้ โดยของเสียในกระบวนการผลิตฟิล์มซีพีพีมีปริมาณ 1,244 ตันต่อปี โดยแยกเป็นของเสียที่สามารถนำมารีไซเคิลได้ 970 ตันคิดเป็น 78% ของของเสียรวมส่วนที่เหลือ 274 ตันเป็นของเสียประเภทที่มีการปนเปื้อนหลังกระบวนการผลิต (Dirty Film) และของเสียจากที่เกิดจากกระบวนการหลอม (Extrusion scraps) ตามภาพที่ 6



ภาพที่ 6 แผนภูมิแสดงสัดส่วนประเภทและปริมาณของของเสียในกระบวนการผลิตฟิล์มซีพีพี

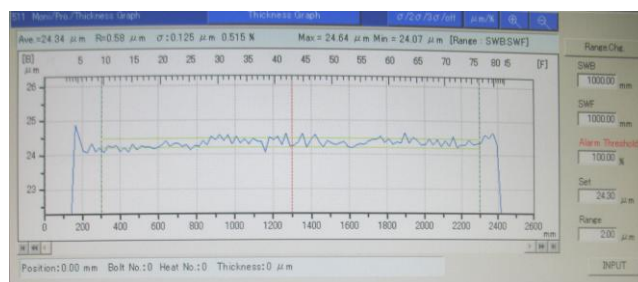
3.2.2 ผลการหาประสิทธิภาพจากการเปลี่ยนเทคโนโลยีที่ใช้ในกระบวนการรีไซเคิลการทดลองพบว่าประสิทธิภาพเครื่องรีไซเคิลแบบเอ็กซ์ทรูชันแกรนูลเรท (Extrusion granulate) รีไซเคิลพลาสติกได้ปริมาณ 160 กิโลกรัม/ชั่วโมง ได้เม็ดพลาสติกมีความหนาแน่น 0.86 g/cm^3 ใช้พลังงานไฟฟ้ารวม 21 กิโลวัตต์/ชั่วโมง หรือเท่ากับ 0.13 กิโลวัตต์/กิโลกรัม เทียบกับเครื่องรีไซเคิลแบบรีดตัด (Press Cutting) เดิมที่มีประสิทธิภาพผลิตอัตรา 60 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ใช้พลังงานไฟฟ้า 5 กิโลวัตต์/ชั่วโมงหรือเท่ากับ 0.083 กิโลวัตต์ต่อกิโลกรัม เทียบกับอัตราผลผลิตที่ได้ต่อชั่วโมงพบว่าเทคโนโลยีของเครื่องจักรรีไซเคิลแบบใหม่สามารถแปรรูปเม็ดพลาสติกรีไซเคิลได้มากกว่าเครื่องจักรที่ใช้เทคโนโลยีดั้งเดิมถึง 166% ซึ่งมีความสอดคล้องกับปริมาณของเสียที่เกิดขึ้น

วันละ 3,400 กิโลกรัม ทำให้เกิดโอกาสที่นำของเสียที่เกิดจากขบวนการผลิตกลับมาผ่านขบวนการรีไซเคิลเพื่อนำกลับมาเป็นวัตถุดิบตั้งต้นได้ปริมาณตามความต้องการ



ภาพที่ 7 เทคโนโลยีเอ็กซ์ทรูชั่น-แกรนูลเรท (Extrusion granulate) เครื่องรีไซเคิลพลาสติก

3.2.3 ผลการทดสอบถึงผลกระทบต่อระบบควบคุมความหนา (Control thickness profile) ของฟิล์มที่ใช้เม็ดพลาสติกกรีไซเคิลร้อยละ 10 ถึงการใช้เม็ดกรีไซเคิล 100% พบว่าระบบควบคุมความหนาของฟิล์มสามารถควบคุมค่าความหนาเฉลี่ย (Range percentage) ที่ 0.58-0.87 ไมครอน ตามมาตรฐานที่กำหนดที่ 1.0 ไมครอนโดยไม่พบความผันผวนของค่าความหนาเฉลี่ยของระบบในขณะทำงาน



ภาพที่ 8 ค่าความหนาเฉลี่ยของผลิตภัณฑ์ของระบบควบคุมความหนาฟิล์ม

3.3 ผลการทดสอบคุณสมบัติทางกล (Mechanical test) เพื่อหาคุณสมบัติค่าความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์ด้วยการทดสอบ 4 ประเภทประกอบด้วย ค่าการยืดตัว (Elongation) โดยผลการทดลองพบการใช้ปริมาณเม็ดพลาสติกกรีไซเคิลในปริมาณที่มากขึ้นมีผลต่อค่าความยืดเพียงเล็กน้อยซึ่งอยู่ในมาตรฐานค่าความยืดตัวที่รับได้ ค่าความแข็งแรง (Tensile strength) และค่าความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์มีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานทั้งแนวเครื่องจักร (Machine direction) และแนวขวาง (Traverse direction) ส่วนค่าความแข็งแรงรอยซีล (Heat seal strength) ซึ่งมีความจำเป็นอย่างยิ่งสำหรับคุณภาพของกระบวนการผลิตปลายน้ำ (Downstream) การทดสอบพบว่าการใช้อัตราเม็ดพลาสติกกรีไซเคิลไม่ส่งผลกระทบต่อปัจจัยเรื่องค่าความแข็งแรงรอยซีลโดยผลการทดสอบมีค่ามากกว่า 1.0 Kgf/15mm ดังแสดงตามตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบคุณสมบัติทางกล (Mechanical test) ของผลิตภัณฑ์

รายการ	ค่ามาตรฐาน	หน่วย	อัตราส่วนการรีไซเคิล							
			10%	20%	30%	40%	50%	75%	100%	
การยืดตัว	MD >500	%	670	657	650	645	610	610	600	
(Elongation)	TD >700		850	847	840	835	833	805	804	
แรงต้านทานการดึง	MD >5.0	kgf/mm ²	7.3	7.3	7.2	7.2	7.1	7.0	7.0	
(Tensile Strength)	TD >3.0		4.1	4.1	4.0	4.0	4.0	4.0	3.9	
การยืดหยุ่น	MD >70	kgf/mm ²	87	87	87	87	88	88	88	
(Young's modulus)	TD >70		87	87	87	87	87	88	88	
ความแข็งแรงรอยซีล	>1.00	kgf/15mm						1.28		
(Heat seal strength)										

3.4 ความสามารถในการลดต้นทุนจากการใช้เม็ดพลาสติกรีไซเคิลในปี 2011 จากการบันทึกปริมาณการใช้เม็ดพลาสติกรีไซเคิลในกระบวนการผลิตรายเดือนในปี 2011 มีปริมาณรวม 964,175 กิโลกรัม มีต้นทุนการผลิตเม็ดพลาสติกรีไซเคิลอยู่ที่ 35 บาท/กิโลกรัม เมื่อนำมาลบด้วยราคาเม็ดพลาสติกบริสุทธิ์เฉลี่ย 50 บาท/กิโลกรัม ทำให้เกิดส่วนต่างของต้นทุนอยู่ที่ 15 บาท/กิโลกรัม ทำให้องค์กรประหยัดค่าใช้จ่ายในเรื่องการการใช้เม็ดพลาสติกรีไซเคิลอยู่ที่ 14,462,625 บาทต่อปี โดยค่าเฉลี่ยปริมาณการใช้เม็ดพลาสติกรีไซเคิลเทียบกับปริมาณผลผลิตมีค่า 37.4% ตามตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ปริมาณการใช้พลาสติกรีไซเคิลปี 2011 ร้อยละเทียบกับปริมาณการผลิต

เดือน/ปี 2555	ม.ค	ก.พ	มี.ค	เม.ย	พ.ค	มิ.ย	ก.ค	ส.ค	ก.ย	ต.ค	พ.ย	ธ.ค	รวม
ปริมาณการผลิต (ตัน)	189	254	211	267	211	212	245	229	228	237	-	290	2,579
ปริมาณเม็ดรีไซเคิล (ตัน)	79.5	71.1	82.2	77.7	68.8	61.4	86.7	101	110	106	-	113	964.1
ปริมาณรีไซเคิลร้อยละ(%)	41.9	27.9	41.2	29	32.5	28.9	35.3	36.4	48.4	44.7	-	40	37.4

3.5 การลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (Environment Impact) ในด้านการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจากการใช้พลังงานแบ่งออกเป็น 2 ช่วง คือ ผู้ผลิตเม็ดพลาสติกบริสุทธิ์ และการขนส่งจากบริษัทผู้ผลิตถึงผู้ผลิตต่อเนื่อง (Cradle to gate) ข้อมูลปฐมภูมิ (Primary data) พลังงานที่ใช้ในการผลิตเม็ดพลาสติกบริสุทธิ์ (Virgin Resin) ใช้เชื้อเพลิงเพื่อให้พลังงานในกระบวนการผลิต 2,022 เมกะจูลต่อตันผลิตภัณฑ์ (MJ/Ton) โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงเท่ากับ 0.0561 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อเมกะจูล (kg CO₂e/MJ) เชื้อเพลิงจะมีปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการเผาไหม้เชื้อเพลิงต่อกิโลกรัมผลิตภัณฑ์ ณ จุดผลิต ตามสมการที่ (1) (กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม, 2554) [6]

$$\text{KgCO}_2\text{e/kg} = (\text{MJ/kg}) \times (\text{GHG E.F.} = 0.0561 \text{ kgCO}_2\text{e/MJ}) \quad (1)$$

ปริมาณก๊าซคาร์บอนเทียบเท่าต่อกิโลกรัมผลิตภัณฑ์ = $[2.022 \text{ MJ/kg}] \times [0.0561 \text{ kgCO}_2\text{e/MJ}] = 0.113 \text{ kgCO}_2\text{e/kg}$
 ดังนั้นสามารถลดปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าจากกระบวนการผลิตเม็ดพลาสติกบริสุทธิ์จากผู้ผลิตเท่ากับ $964,175 \text{ kg} \times 0.113 \text{ kgCO}_2\text{e/kg} = 109,370 \text{ kgCO}_2\text{e/kg}$ ส่วนปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อกิโลกรัมผลิตภัณฑ์จากภาคการขนส่งจากบริษัทผู้ผลิตถึงผู้ผลิตต่อเนื่องพบว่าประเภทพาหนะที่ใช้ขนส่งเป็นรถกระบะบรรทุกพ่วง 20 ล้อบรรทุกเต็ม 32 คันวิ่งปกติ 100% เป็นระยะทาง 210 กิโลเมตร ตามภาพที่ 9 ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก $0.0445 \text{ kgCO}_2\text{e/tkm}$ และเที่ยวกลับเป็นรถเปล่าไม่มีน้ำหนักบรรทุกทุกมีค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก $0.8334 \text{ kgCO}_2\text{e/km}$ ดังนั้นสามารถคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อกิโลกรัมผลิตภัณฑ์ได้จากสมการที่ (2) (กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม, 2554) [6]



ภาพที่ 9 ประเภทการขนส่งเม็ดพลาสติก

$$\text{เที่ยวไป } \text{kgCO}_2\text{e/kg} = (\text{kg/kg}) \times (\text{km}) \times (\text{GHG E.F.} = 0.0445 \text{ kgCO}_2\text{e/tkm}) \quad (2)$$

$$\text{เที่ยวกลับ } \text{kgCO}_2\text{e/kg} = [(\text{kg/kg}) \times (\text{km})] \times [(\text{GHG E.F.} = 0.8334 \text{ kgCO}_2\text{e/km}) \div (32\text{ton})]$$

เมื่อแทนค่าจากสมการเพื่อหาปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อกิโลกรัมผลิตภัณฑ์ในช่วงการขนส่งเที่ยวไปมีค่าเท่ากับ $(1\text{kg}/1000\text{kg}) \times (215\text{km}) \times (0.0445 \text{ kgCO}_2\text{e/tkm}) = 0.0095 \text{ kgCO}_2\text{e/kg}$ ส่วนปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อกิโลกรัมผลิตภัณฑ์ในช่วงการขนส่งเที่ยวกลับที่ไม่มีน้ำหนักบรรทุกทุกมีค่าเท่ากับ $(1\text{kg}/1000\text{kg}) \times (215\text{km}) \times (0.8334 \text{ kgCO}_2\text{e/km}) \div (32\text{ton}) = 0.0083 \text{ kgCO}_2\text{e/kg}$ ดังนั้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจากการขนส่งสินค้าจากผู้ผลิตไปยังผู้ผลิตต่อเนื่องเท่ากับ $(0.0095 \text{ kgCO}_2\text{e/kg} + 0.0083 \text{ kgCO}_2\text{e/kg}) = 0.0178 \text{ kgCO}_2\text{e/kg}$ ดังนั้นสามารถลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการขนส่งมีปริมาณ $964,175 \text{ kg} \times 0.0178 \text{ kgCO}_2\text{e/kg} = 17,162 \text{ kgCO}_2\text{e/kg}$ ดังนั้นความสามารถในการใช้วัตถุดิบรีไซเคิลสามารถลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภาคการผลิตและภาคขนส่งรวม $109,370 \text{ kgCO}_2\text{e} + 17,162 \text{ kgCO}_2\text{e} = 126,532 \text{ kgCO}_2\text{e}$

4. อภิปรายผล

ความสามารถในการนำของเสียกลับมาผ่านกระบวนการรีไซเคิลและใช้เป็นวัตถุดิบตั้งต้นเพื่อลดต้นทุนการผลิตและลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอยู่บนปัจจัยพื้นฐาน 4 ส่วนหลัก คือ

1. กระบวนการจัดเก็บของเสียผ่านการมีส่วนร่วม (Participants) ของพนักงานทำให้เกิดองค์ความรู้จากการระดมสมอง (Brainstorming) การแลกเปลี่ยนความคิดเห็นซึ่งทำให้เกิดกระบวนการในการจัดเก็บของเสียในกระบวนการผลิตซึ่งเป็น

กระบวนการใหม่ (New process) ในกระบวนการผลิตทำให้คงไว้ซึ่งคุณสมบัติที่สามารถนำกลับมารีไซเคิลได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งความสะอาดเพราะมีผลโดยตรงต่อคุณภาพของเม็ดพลาสติกกรีไซเคิลในเรื่องของการปนเปื้อน (Contaminate) ซึ่งมีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์

2. เทคโนโลยีที่ใช้ในการรีไซเคิลพลาสติก (Recycle technology) ประสิทธิภาพของเครื่องจักรที่ใช้ในการรีไซเคิลเป็นสิ่งสำคัญซึ่งมีผลต่อปริมาณและคุณภาพของผลผลิตที่ได้ ข้อแตกต่างระหว่างการใช้เครื่องจักรเทคโนโลยีเดิมซึ่งเป็นแบบรีดและตัด (Press & Cut) และเครื่องจักรเทคโนโลยีใหม่ซึ่งเป็นแบบหลอมซ้ำ (Extrusion granulate) โดยข้อแตกต่างอย่างชัดเจนคือ คุณภาพเม็ดพลาสติกที่ได้จากเทคโนโลยีเดิมมีการปนเปื้อนสูงเนื่องจากกระบวนการทำงานเป็นแบบระบบเปิดทำให้เกิดการปนเปื้อนในระหว่างทำงาน แต่ในขณะเดียวกันเทคโนโลยีแบบหลอมซ้ำทำงานเป็นระบบปิดจึงไม่เกิดการปนเปื้อน ส่วนปริมาณผลผลิตรีไซเคิลที่ได้จากเทคโนโลยีใหม่มีอัตราสูงกว่าเทคโนโลยีเดิมถึง 166% ถึงแม้ว่าจะใช้พลังงานไฟฟ้ามากกว่าเดิมแต่เกิดความคุ้มค่าในเรื่องการนำปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นประจำวันกลับมาผ่านกระบวนการรีไซเคิลเพื่อนำกลับมาเป็นวัตถุดิบตั้งต้น

3. กระบวนการผลิต (Production) การใช้เม็ดพลาสติกกรีไซเคิลในกระบวนการผลิตอยู่ภายใต้เงื่อนไขการคงไว้ซึ่งสภาพการทำงานของเครื่องจักรที่ได้ถูกตั้งค่า (Condition) ไว้เดิมเพราะการปรับตั้งเครื่องจักรทำให้เกิดการสูญเสียซึ่งเป็น 1 ในการสูญเสีย 16 ประการในเรื่องความสูญเสียที่เป็นอุปสรรคต่อประสิทธิภาพของเครื่องจักร (วิโรจน์, 2552) [7] การทดลองพบว่าการใช้เม็ดพลาสติกกรีไซเคิลไม่จำเป็นต้องปรับตั้งค่าเครื่องจักรเพื่อรองรับการใช้เม็ดพลาสติกกรีไซเคิลในกระบวนการผลิต รวมถึงระบบควบคุมความหนาบาง (Control profile thickness) ซึ่งเป็นระบบที่มีความแม่นยำสูงยังคงทำงานได้เป็นปกติมีค่าโดยมีค่าความหนาเฉลี่ยที่ 0.58-0.87 ไมครอน ภายใต้ข้อกำหนด ± 1 ไมครอน

4. คุณภาพของผลิตภัณฑ์ (Product quality) เป็นสิ่งสำคัญที่สุดในกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ การใช้เม็ดพลาสติกกรีไซเคิลใช้เป็นวัตถุดิบตั้งต้นทดแทนการใช้เม็ดพลาสติกบริสุทธิ์ การทดสอบคุณสมบัติทางกล (Mechanical test) เพื่อยืนยันคุณสมบัติเฉพาะในเรื่องความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์เป็นสิ่งจำเป็นเพื่อยืนยันความสามารถการใช้เม็ดพลาสติกกรีไซเคิลได้โดยไม่มีปัญหาในเรื่องของคุณภาพ การทดสอบคุณภาพอยู่ภายใต้วิธีการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM และ JIS โดยมีการตรวจสอบคุณภาพจากหน่วยงานควบคุมคุณภาพซึ่งมีวิธีการตรวจสอบแบบ 100% ติดตามและบันทึกผลค่าทดสอบของผลิตภัณฑ์โดยแสดงเป็นกราฟคุณภาพสะสม

5 สรุปผล

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำของเสียกลับมาใช้เป็นวัตถุดิบตั้งต้นโดยผ่านกระบวนการรีไซเคิลเพื่อลดต้นทุนการผลิตในเรื่องค่าใช้จ่ายในการจัดซื้อวัตถุดิบ และลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในเรื่องปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจากการใช้พลังงานในกระบวนการผลิตเม็ดพลาสติกตั้งต้นจนถึงภาคการขนส่งจากบริษัทผู้ผลิตจนถึงผู้รับวัตถุดิบในอุตสาหกรรมต่อเนื่อง ผลการปรับปรุงประสิทธิภาพกระบวนการรีไซเคิลทำให้ได้เม็ดพลาสติกกรีไซเคิลที่มีค่าความหนาแน่น (Density) เทียบเท่ากับเม็ดพลาสติกบริสุทธิ์ สามารถใช้เป็นวัตถุดิบตั้งต้นในกระบวนการผลิต 100% โดยไม่มีผลกระทบต่อเครื่องจักรในกระบวนการผลิต ผลิตภัณฑ์ที่ได้หลังการทดสอบมีคุณสมบัติทางกลในด้านความแข็งแรงภายใต้มาตรฐานของผลิตภัณฑ์ ทำให้สามารถใช้เม็ดพลาสติกกรีไซเคิลเป็นวัตถุดิบตั้งต้นในชั้นเลเยอร์กลางของผลิตภัณฑ์ โดยปริมาณการใช้ในปี 2554 มีปริมาณการใช้เม็ดพลาสติกกรีไซเคิลรวม 964,175 กิโลกรัม และลดต้นทุนด้านการจัดซื้อวัตถุดิบได้มากกว่า 14 ล้านบาท และลดปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เป็นต้นเหตุที่ทำให้เกิดภาวะเรือนกระจกที่เกิดจากการใช้พลังงานในกระบวนการผลิตเม็ดพลาสติกบริสุทธิ์ และพลังงานที่ใช้ในภาคขนส่ง รวม 126,532 kgCO₂e สิ่งนี้เป็นสิ่งสำคัญที่สามารถใช้เป็นแนวคิดในการปรับปรุงพัฒนากระบวนการเพื่อความสามารถในการใช้ทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัดได้อย่างคุ้มค่าผ่านขั้นตอนการมีส่วนร่วมของพนักงานตลอดจนการใช้เทคโนโลยีที่เหมาะสมกับกระบวนการผลิตที่แท้จริง อันนำไปสู่การพัฒนาอย่างยั่งยืนได้

6. กิตติกรรมประกาศ

หน่วยงานวิศวกรรม, การควบคุมและประกันคุณภาพ, หน่วยงานเทคนิคการผลิต, ฝ่ายผลิต และผู้จัดการโรงงาน บริษัท ไทยโพรเซสเทคส์ จำกัด (โรงงาน นครปฐม)

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] โครงการพัฒนาศูนย์วิเคราะห์ข้อมูลเชิงรุกอุตสาหกรรมพลาสติก สถาบันปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย 26 ส.ค 2552
- [3] การใช้เลเซอร์ไดโอดเซนเซอร์เพื่อตรวจวัดคุณสมบัติของพลาสติกกรีไซเคิล นายโกสินทร์ วะศิริ 2552
- [2] Apply six sigma to manufacturing processes in the food industry to reduce quality cost Hsiang-Chin Hung* and Ming-Hsien Sung Department of Industrial Engineering and Management, I-Shou University, Taiwan, 2011
- [4] The recycling cycle of materials as a design project tool.
- [5] แนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ คณะกรรมการเทคนิคด้านคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ 2554
- [6] โครงการส่งเสริมการใช้ฉลากคาร์บอนสำหรับผลิตภัณฑ์ชุมชน กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม 2254
- [7] Lean อย่างไรสร้างกำไรให้องค์กร บริษัทซีเอ็ดดูเคชั่น จำกัด มหาชน วิโรจน์ ลักษณะอดิสร 2552

การลดสัดส่วนของเสียในกระบวนการผลิตกระป๋องโดยใช้การควบคุมกระบวนการด้วย หลักการทางสถิติ Defective Proportion Reduction in Canned Molding Process using Statistical Process Control, SPC

กิริตศักดิ์ กิริตอัสมเดช^{1*}, ดร.ไพฑูรย์ ศิริโอฬาร², ดร. ชัชพล มงคลิก³

¹สาขาวิชาการจัดการผลิตและเทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต กรุงเทพมหานคร 10210

²สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี สถาบันการจัดการปัญญาภิวัฒน์

³สาขาวิศวกรรมขนถ่ายวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

E-mail: sodar_sodar@hotmail.co.th

บทคัดย่อ

อุตสาหกรรมผลิตกระป๋องเป็นอุตสาหกรรมหนึ่งที่มีความสำคัญต่อเศรษฐกิจไทย อีกทั้งยังเกี่ยวข้องกับผู้ประกอบการเป็นจำนวนมาก ซึ่งส่วนใหญ่เป็นธุรกิจขนาดกลาง ปัจจุบันมีจำนวนโรงงานในอุตสาหกรรมนี้กระจายอยู่ทั่วประเทศ อุตสาหกรรมผลิตกระป๋องยังมีมูลค่าการส่งออกสูง ปัญหาที่พบในกระบวนการผลิตนั้นพบว่าผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะบกพร่องหรือมีคุณภาพไม่ตรงตามข้อกำหนดของลูกค้าปัญหาสำคัญของข้อบกพร่องของผลิตภัณฑ์ที่ตรวจพบมี 4 ลักษณะ ได้แก่ รอยขีดข่วน คราบแลคเกอร์ จุดดำ รอยบุบ ซึ่งจำนวนของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตมีแนวโน้มของปริมาณเพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ ส่งผลให้ต้นทุนการผลิตของบริษัทฯ สูงขึ้น งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาการควบคุมกระบวนการผลิต โดยนำเอาเทคนิคการควบคุมกระบวนการเชิงสถิติ (Statistical Process Control) มาใช้ในกระบวนการผลิตมีการนำเอาโปรแกรมสำเร็จรูป Minitab V.14.0 มาช่วยในการควบคุมกระบวนการผลิต และนำเอาเครื่องมือควบคุมคุณภาพ 7 อย่างมาช่วยทำการวิเคราะห์ปัญหาเพื่อค้นหาแนวทางการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้น ผลจากงานวิจัยนี้สามารถลดปัญหาผลิตภัณฑ์ที่มีรอยขีดข่วนบนชิ้นงานมีจำนวนลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับปัญหาที่พบก่อนปรับปรุง 86 เปอร์เซ็นต์ อีกทั้งสามารถลดการสูญเสียมูลค่าของสินค้าได้ลดลงเป็นจำนวน 66,604 ชิ้น ซึ่งมีมูลค่าการขายทางการตลาดเป็นจำนวน 233,114 สตางค์ และยังสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตของบริษัทฯ สร้างความมั่นใจให้กับลูกค้าในการจัดส่งของที่มีคุณภาพตรง ตามความต้องการของลูกค้าได้อย่างครบถ้วน ซึ่งส่งผลให้บริษัทมีความสามารถในการแข่งขันทางธุรกิจได้สูงขึ้น รวมถึงสามารถเพิ่มผลประกอบการของบริษัทฯให้สูงขึ้นได้อีกด้วย

คำสำคัญ: การจัดการด้านคุณภาพและการประยุกต์ทางสถิติ

ABSTRACT

One of the most important industry in Thailand is Can's manufacturing. Can's manufacturing is related to many manufacturing enterprises. Most of them are medium enterprise which is located around the country. The industry has high value to the export.. However, there is the quality problem found which is not meeting the customer requirement. There are 4 core problems have inspected, which are work piece has a flaw, the stains, lacquers on the work piece, the black spot on the work piece and an dent work piece. There by, the waste has increased and it is direct effect to the high cost of the manufacturing cost. This thesis has conducted to the Product Quality Control. We brought the Statistical Process Control technique to apply for analysis. We also used program computer names Minitab V.14.0 to assist for the product quality control. In addition, 7 useful quality control tools can help to analyze problem and solve the problem. Finally, the research has been concluded that the defect has decreased to 86%. It decreases the value of product 66,604 piece. Therefore,

the cost reduced by using statistical Process Control (SPC) is 233,114 Satang. By the way, it improved the company efficiently and made the confidence to the customer with deliver a high quality product to meet the customer requirement. There by, the company has increased competitive ability in business, and finally result to increase the company profitability.

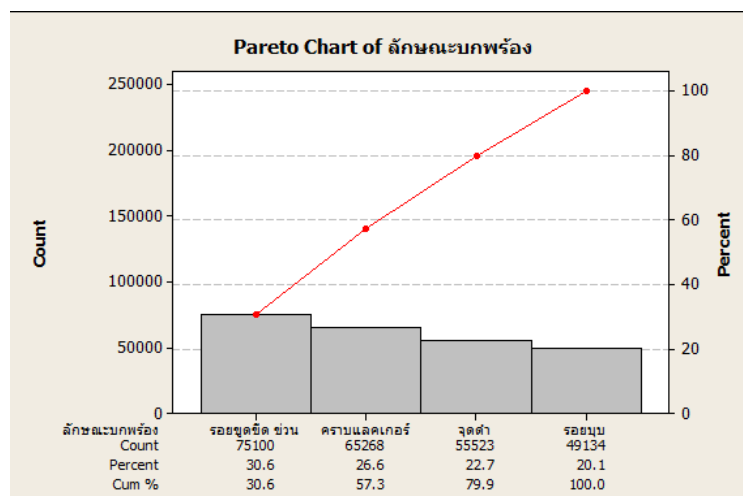
Keywords : Quality Management and Statistical Applications

บทนำ

บริษัทฯ ตัวอย่างผู้ผลิตอุตสาหกรรมในงานวิจัย ซึ่งในกระบวนการผลิตนั้น จะเริ่มจากจากชุด Feed Slitter ไปยัง ชุดแมคคา ซีน Slitter ผ่านไปยัง Roll form Welder เข้าไปยังชุด Crown welder เข้าสู่การแขวนพ่น Powder และไปยัง ล้อทาแลคเกอร์ Out Side และเข้าสู่เตา Curing และผ่านไปยังเครื่อง Neck, Flange และไปยังเครื่อง Bead และเข้าไปยังเครื่อง Seamer และไปยังเครื่อง Tester และเข้าสู่เครื่อง Spray และเข้าสู่หัวพ่น Spray และเข้าและออกเตาอบ ไปยังการ Packing และเข้าสู่เครื่องรัดเชือก และไปยังเครื่องพันฟิล์ม ต่อด้วยติดตัว และส่งไปเก็บไว้ที่คลังสินค้า บริษัทฯ ตัวอย่างในปัจจุบัน พบว่า มีปัญหาของผลิตภัณฑ์ที่ไม่ได้คุณภาพตามข้อกำหนดของลูกค้าของเสียที่ตรวจพบจากแผนกตรวจสอบ ปัญหาที่พบได้แก่ รอย ชูดขีดข่วน คราบแลคเกอร์ จุดดำ รอยบุบ เป็นต้น จากจำนวนของเสียที่ตรวจพบในเดือน พ.ย.- ธ.ค. 2554 และ ม.ค.- ก.พ. 2555 ดังแสดงในตารางที่ 1.1 และภาพที่ 1.1 โดยสามารถอธิบายได้ว่า 4 อันดับแรกของเสียมีลักษณะบกพร่องของผลิตภัณฑ์ คือ รอยขีดข่วน คราบแลคเกอร์ จุดดำ รอยบุบ ซึ่งคิดเป็นสัดส่วนของเสียจากผลิตภัณฑ์ทั้งหมดที่ทำการผลิตจำนวน 11,209,786 ชิ้น พบว่ามีผลิตภัณฑ์บกพร่องเป็นรอยชูดขีดข่วน 75,100 ชิ้น คราบแลคเกอร์ 65,268 ชิ้น จุดดำ 55,523 ชิ้น รอยบุบ 49,134 ชิ้น

ตารางที่ 1.1 ข้อมูลของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์เป็นสัดส่วนของเสียจากผลิตภัณฑ์ทั้งหมดที่พบในช่วงเดือน พ.ย. - ธ.ค. 2554 และ ม.ค. - ก.พ. 2555

ลักษณะบกพร่อง	จำนวนของเสีย (ชิ้น)	เปอร์เซ็นต์ของเสีย
รอยชูดขีด ข่วน	75,100	30.6
คราบแลคเกอร์	65,268	26.6
จุดดำ	55,523	22.7
รอยบุบ	49,134	20.1



ภาพที่ 1.1 ปริมาณของลักษณะบกพร่องของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการจากผลิตภัณฑ์ทั้งหมดที่พบในช่วงเดือน พ.ย. - ธ.ค. 2554 และ ม.ค. - ก.พ. 2555

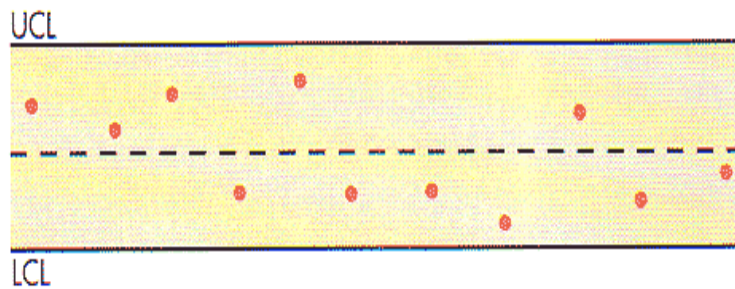
[2] แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวกับการควบคุมกระบวนการเชิงสถิติ

ในกระบวนการผลิตมักพบว่าความเบี่ยงเบน หรือความแปรปรวนของกระบวนการผลิตมีโอกาสเกิดขึ้นได้ตลอดเวลา สาเหตุที่ทำให้กระบวนการผลิตเกิดผิดปกติไป อาจเกิดจากเครื่องจักร คนทำงานหรือวัตถุดิบ โดยทั่วไปกระบวนการผลิต จะอยู่ภายใต้การควบคุม อย่างไรก็ตามปัจจัยการผลิตอาจเปลี่ยนแปลง ส่งผลให้กระบวนการผลิตเปลี่ยนแปลงไปจากที่กำหนด ทำให้ผลผลิตสินค้าหรือชิ้นงานที่ไม่ตรงตามข้อกำหนด หรือสินค้าที่มีคุณภาพลดลงนั่นเอง เพื่อควบคุมกระบวนการผลิต ให้อยู่ภายใต้การควบคุม จึงต้องมีวิธีการเชิงสถิติเพื่อให้ผู้ผลิตรู้ว่ากระบวนการผลิตได้เปลี่ยนแปลงไปจากที่กำหนดไว้ วิธีการเชิงสถิติที่ใช้ในการควบคุมกระบวนการผลิตคือ แผนภูมิควบคุม

[2.1] แผนภูมิควบคุม

แผนภูมิควบคุม คือ กราฟที่สร้างขึ้นจากการเก็บข้อมูล จากกระบวนการผลิต ที่มีการเปลี่ยนแปลงตามเวลา หรือตามรุ่น เพื่อนำมาศึกษาการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับกระบวนการผลิต ว่าต่างไปจากที่กำหนดไว้หรือไม่หลักการของแผนภูมิควบคุม คือ ดังแผนภาพที่ 1.2

Control chart



ภาพที่ 1.2 แผนภูมิควบคุม (Control Chart)

ที่มา : William, J. Stevenson, Operations Management, 2002: 479.

[2.2] แผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสีย (P-Chart)

แผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสีย (P-Chart) เป็นการแสดงถึงสัดส่วนของเสียในตัวอย่างซึ่งมีการแจกแจงแบบทวินาม โดยใช้ตรวจสอบด้วยการสุ่มตัวอย่างแล้วระบุจำนวนของดีหรือของเสียในกระบวนการผลิตว่าอยู่ในสภาพปกติหรือไม่ ซึ่งแผนควบคุมสัดส่วนของเสีย สามารถใช้ได้กับการสุ่มตัวอย่างที่มีขนาดของตัวอย่างคงที่และไม่คงที่ ทำให้สามารถนำมาใช้ในการควบคุมปริมาณของเสียในกระบวนการผลิตได้

การคำนวณค่าพิกัดของแผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสีย (P-Chart) คือ

$$CL = \bar{P} \quad (2.1)$$

$$UCL = \bar{P} + 3 \sqrt{\bar{P}(1 - \bar{P})} \quad (2.2)$$

$$LCL = \bar{P} - 3 \sqrt{\bar{P}(1 - \bar{P})} \quad (2.3)$$

โดยที่
 LCL = พิกัดควบคุมด้านล่าง
 UCL = พิกัดควบคุมด้านบน
 n = ขนาดของกลุ่มตัวอย่าง

[2.3] งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

นางลักษณ์ ภักธิวิญญู และ นิกร ศิริวงศ์ไพศาล, 2549 งานวิจัยนี้ได้ประยุกต์ใช้แผนภูมิพาเรโตช่วยในการวิเคราะห์ข้อมูลพบว่าผลิตภัณฑ์บกพร่องที่เกิดจากท่อปูดนูนเป็นปัญหาหลักในการผลิตสายไฮดรอลิกแรงดันสูง และประยุกต์ใช้แผนภูมิควบคุมเพื่อวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการและกำหนดมาตรการตอบโต้ปัญหา พบว่าสามารถจำนวนครั้งของการเกิดปัญหาท่อปูดนูนขึ้น 1 ครั้ง/Lot ทำให้สามารถเพิ่มความสามารถด้านศักยภาพของกระบวนการผลิตได้

3. ขั้นตอนและวิธีการทำวิจัย

สำหรับงานวิจัยนี้ผู้วิจัยเลือกใช้วิธีการควบคุมกระบวนการเชิงสถิติ

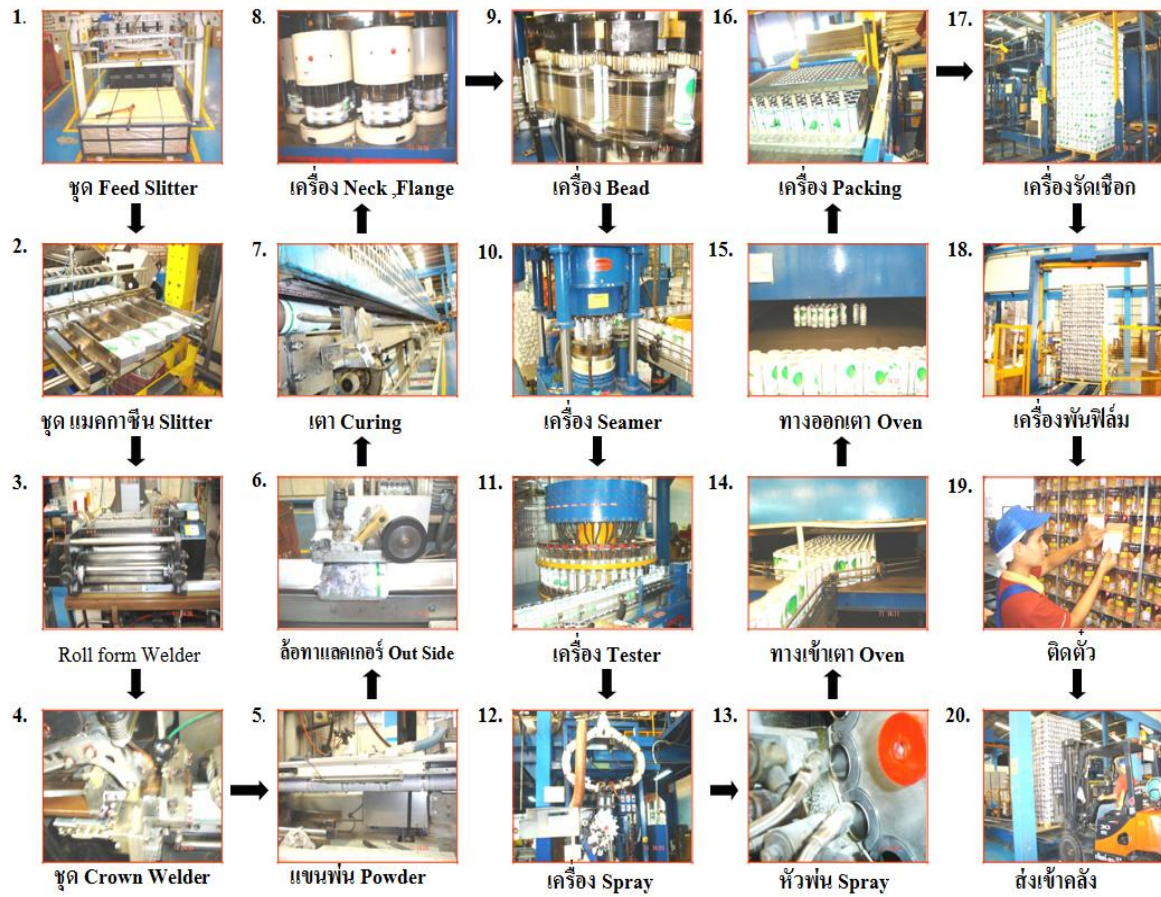
(Statistical Process Control) ในอุตสาหกรรมการผลิตฝา และผู้วิจัยได้ทำการกำหนดขั้นตอนต่างๆ ในการดำเนินงานแก้ไขกระบวนการผลิตโดย

[3.1] การศึกษาข้อมูลของเสียที่เกิดจากการผลิตที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตฝา

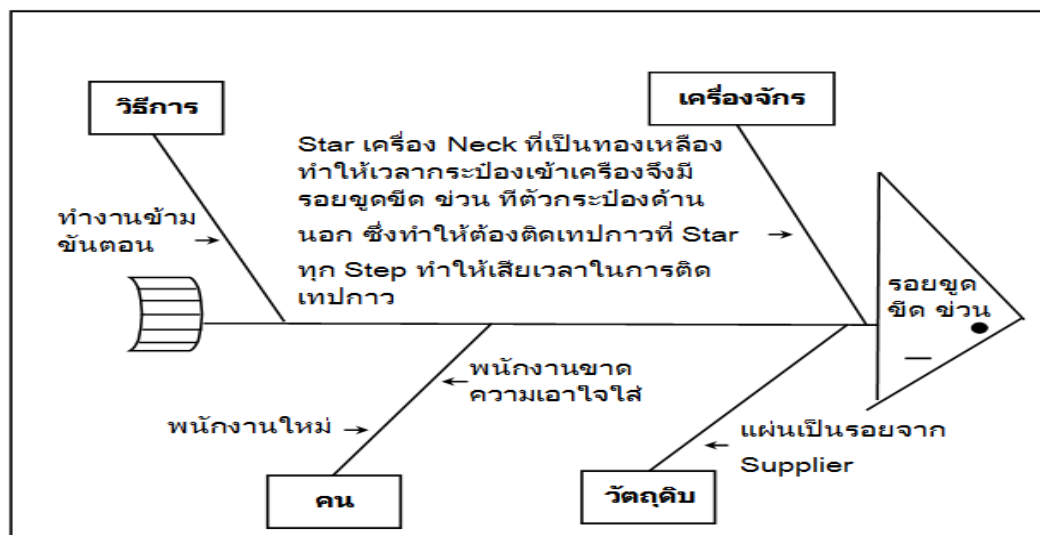
ปัจจุบัน บริษัทฯ ประสบปัญหาเกี่ยวกับคุณภาพของผลิตภัณฑ์ จากการศึกษาข้อมูลของผู้วิจัยพบว่าของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตของบริษัทฯ ตัวอย่างมีปัญหามาจากผลิตภัณฑ์ที่ไม่ได้คุณภาพตามข้อกำหนดของลูกค้า ที่ตรวจพบจากแผนกตรวจสอบคุณภาพว่าสามารถแบ่งประเภทของเสียจาก 4 ลักษณะที่พบคือ รอยขีดข่วน คราบแลกเกอร์ จุดดำ รอยบุบ ตัวอย่างลักษณะข้อบกพร่องของผลิตภัณฑ์ในกระบวนการผลิตฝา ดังแสดงในภาพ ที่ 1.3



ภาพที่ 1.3 ภาพตัวอย่างลักษณะข้อบกพร่องของผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากกระบวนการผลิต



ภาพที่ 1.4 กระบวนการผลิตกระป๋อง



ภาพที่ 1.5 การวิเคราะห์ปัญหาโดยใช้แผนผังก้างปลา (Fish Bone Diagram)

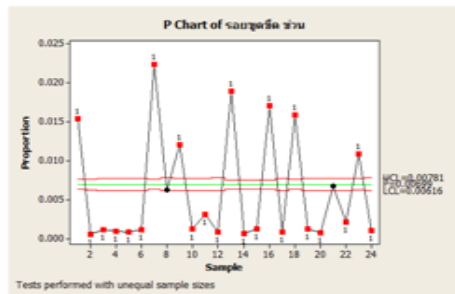
ตารางที่ 1.2 สาเหตุของปัญหาและแนวทางการแก้ไขปัญหาและป้องกัน

สาเหตุของปัญหา	แนวทางการแก้ไขปัญหาและป้องกัน
แผ่นเป็นรอยจาก Supplier	ควรศึกษาเกี่ยวกับการเลือกวัตถุดิบ ที่เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์ แต่ละชนิดที่จะเลือกใช้วัตถุดิบ ให้เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์ถึง จะมีประสิทธิภาพพอ
พนักงานขาดความเอาใจใส่กับงาน	จัดให้มีการควบคุมการทำงานโดยมีหัวหน้าคนงานประจำทุก แผนก
พนักงานใหม่	จัดอบรมให้กับช่างหรือพนักงานที่มาทำงานใหม่ทุกๆ เดือน
ทำงานข้ามขั้นตอน	แบ่งหน้าที่ความรับผิดชอบให้กับพนักงานทุกฝ่าย ให้มีการ ตรวจสอบเครื่องทุกๆ 2 ชั่วโมง เพื่อตรวจสอบการทำงานทุก ขั้นตอน
เนื่องจาก Star เครื่อง Neck ที่เป็นทองเหลืองรอยฮาร์ดโคม หลุดลอกหมดสภาพการใช้งานทำให้เวลากระป๋องเข้าเครื่อง จึงมีรอยขีด ข่วน ที่ตัวกระป๋องด้านนอก ซึ่งทำให้ต้องติด เทปกาวที่ Star ทุก Step ทำให้เสียเวลาในการติดเทปกาว (ในจุดที่ซีลูกศร) บ่อยครั้งและเสียเวลานานแต่ก็ยังไม่ หายขาด	จึงจำเป็นต้องสั่งทำ Star จากวัตถุดิบที่เป็นซูเปอร์สตีล มา ใช้แทนชุดเดิมที่เป็นทองเหลืองเพื่อลดปัญหารอยขีด ข่วน ด้านนอก ของตัวกระป๋องและไม่ต้องติดเทปกาวที่ Star ซึ่งทำ ให้ไม่เสียเวลาในการผลิตและช่วยลดจำนวนของเสียลงได้ ทำ ให้ยอดผลิตได้มากขึ้น

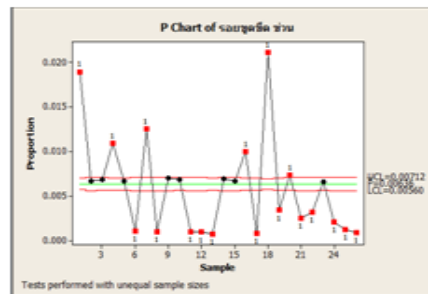


ตารางที่ 1.3 ข้อมูลการเกิดข้อบกพร่องที่เป็นรอยขีด ข่วน ในเดือน พ.ย. - ธ.ค. 2554 และ ม.ค. - ก.พ. 2555 (ก่อน การแก้ไขปรับปรุง)

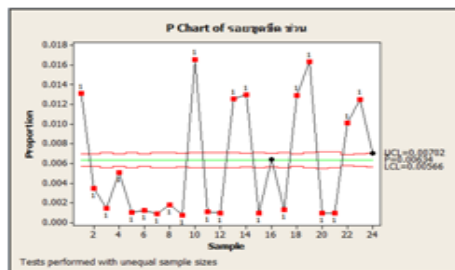
พฤษภาคม			ธันวาคม			มกราคม			กุมภาพันธ์		
วันที่	จำนวนที่ผลิต	รอยขีด ข่วน	วันที่	จำนวนที่ผลิต	รอยขีด ข่วน	วันที่	จำนวนที่ผลิต	รอยขีด ข่วน	วันที่	จำนวนที่ผลิต	รอยขีด ข่วน
1	147,000	2,262	1	133,989	2,540	4	141,432	1,856	2	134,442	1,200
2	135,912	83	2	99,360	661	5	129,420	449	3	124,442	102
3	102,050	121	3	112,104	770	8	99,215	140	4	95,886	720
4	102,132	98	4	123,882	1,350	9	132,980	674	5	112,777	771
5	99,360	87	5	117,000	782	10	99,360	98	6	94,500	97
6	102,132	123	6	93,401	98	11	132,231	159	7	154,242	89
7	155,912	3,489	7	95,886	1,200	12	99,360	87	8	99,878	92
8	92,700	586	8	103,050	102	13	99,360	178	9	103,665	650
9	102,130	1,233	9	102,132	720	14	114,335	88	10	145,533	661
10	96,102	118	10	112,104	771	15	99,825	1,654	11	99,898	1,123
11	103,050	323	13	99,018	97	16	97,119	102	12	98,998	1,897
12	87,030	78	14	93,402	89	17	94,500	92	13	102,554	1,454
13	175,204	3,322	15	121,022	92	18	101,718	1,276	14	132,221	79
14	176,500	123	17	94,050	650	19	115,884	1,504	15	121,112	85
15	179,360	232	18	99,450	661	20	101,115	98	16	143,333	1,655
18	175,200	2,989	19	122,886	1,232	21	108,270	695	17	98,889	1,656
21	104,103	89	20	125,010	99	22	102,888	132	20	99,360	856
22	152,998	2,433	21	150,211	3,169	23	154,434	2,000	21	102,132	2,002
23	94,050	120	23	129,202	441	24	94,500	1,545	22	105,912	1,565
24	105,912	87	24	108,810	799	25	82,999	79	23	99,352	697
25	103,050	696	25	99,360	250	26	87,030	85	24	92,700	123
27	99,360	212	27	94,500	300	27	163,433	1,655	25	103,050	67
29	112,104	1,222	28	104,103	684	28	132,231	1,656	26	102,132	760
30	91,800	103	29	98,075	202	29	122,118	856	27	93,141	760
รวม	2,895,151	20,229	30	94,050	120	รวม	2,705,757	17,158	28	123,222	584
			31	99,450	89				รวม	2,783,371	19,745
			รวม	2,825,507	17,968						



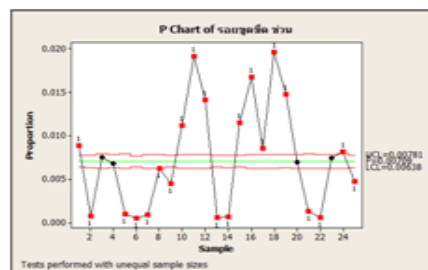
พฤศจิกายน



ธันวาคม



มกราคม



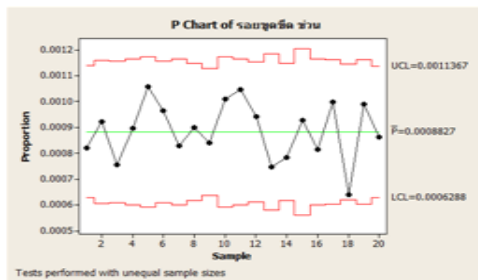
กุมภาพันธ์

ภาพที่ 1.6 P-Chart แสดงการเกิดข้อบกพร่องที่เป็นรอยขีดข่วน ในเดือนพฤศจิกายน, ธันวาคม 2554 และ มกราคม, กุมภาพันธ์ 2555 (ก่อนการแก้ไขปรับปรุง)

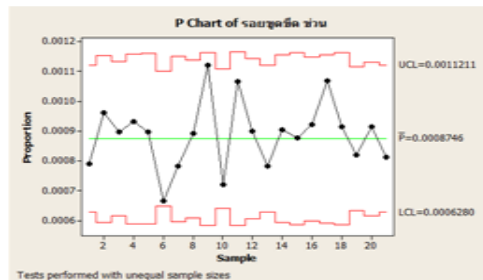
สำหรับข้อมูลผลการเกิดข้อบกพร่องภายหลังการดำเนินงานแก้ไขปรับปรุงการผลิตแล้วนั้นเดือนมีนาคม ถึง มิถุนายน 2555 จากการผลิตงานทั้งหมดจำนวน 10,705,577 ชิ้น สามารถอธิบายได้โดยการแสดงข้อมูลตามรายละเอียดดังนี้

ตารางที่ 1.4 ข้อมูลการเกิดข้อบกพร่องที่เป็นรอยขีดข่วน ในเดือน มีนาคม- มิถุนายน 2555 (หลังการแก้ไขปรับปรุง)

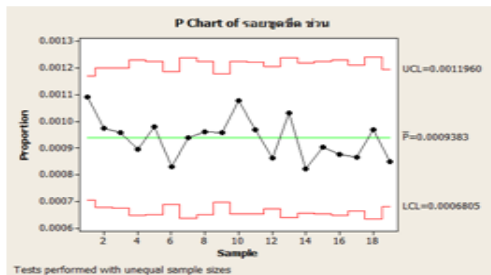
มีนาคม			เมษายน			พฤษภาคม			มิถุนายน		
วันที่	จำนวนที่ผลิต	รอยขีดข่วน	วันที่	จำนวนที่ผลิต	รอยขีดข่วน	วันที่	จำนวนที่ผลิต	รอยขีดข่วน	วันที่	จำนวนที่ผลิต	รอยขีดข่วน
1	122,132	100	1	129,104	102	1	155,912	170	1	133,998	131
4	103,076	95	5	99,800	96	4	123,050	120	5	102,132	100
8	106,101	80	8	117,000	105	7	122,132	117	6	158,665	120
9	99,360	89	9	96,401	90	9	99,360	89	7	102,132	101
10	94,500	100	10	95,886	86	10	102,132	100	8	105,912	100
11	105,912	102	13	153,050	102	11	135,912	113	9	174,067	190
12	99,018	82	14	102,132	80	12	92,700	87	10	102,132	90
13	113,402	102	15	112,104	100	13	102,130	98	11	112,104	102
14	130,849	110	17	93,600	105	14	146,102	140	12	117,000	104
15	94,050	95	18	143,003	103	16	103,050	111	13	105,912	100
16	99,450	104	19	92,880	99	18	104,103	101	14	103,050	112
17	108,270	102	20	108,810	98	20	118,075	102	15	102,132	90
19	87,030	65	22	128,810	101	21	94,050	97	16	112,104	120
20	113,441	89	23	99,360	90	23	105,912	87	17	102,880	95
21	76,500	71	24	94,500	83	24	103,050	93	18	108,270	110
22	99,360	81	25	104,103	96	25	99,360	87	19	91,800	98
28	102,132	102	27	98,075	105	27	112,104	97	20	108,810	96
29	115,912	74	28	94,050	86	29	91,800	89	21	99,360	100
30	101,060	100	29	133,902	110	30	127,000	108	22	94,500	89
31	123,050	106	30	118,065	108	รวม	2,137,934	2,006	23	104,103	102
รวม	2,094,605	1,849	31	129,360	105				24	126,988	121
			รวม	2,343,995	2,050				27	90,603	99
									29	94,050	92
									30	124,099	129
									รวม	2,676,803	2,591



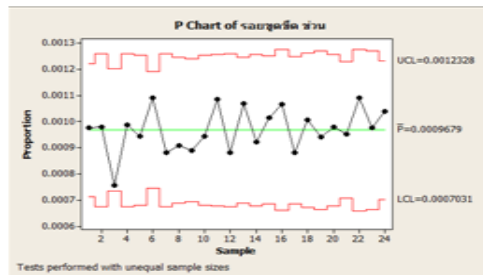
มีนาคม



เมษายน



พฤษภาคม



มิถุนายน

ภาพที่ 1.7 P-Chart แสดงการเกิดข้อบกพร่องที่เป็นรอยขีดข่วน ในเดือน มีนาคม- มิถุนายน 2555
(หลังการแก้ไขปรับปรุง)

จากผลการเปรียบเทียบผลการเกิดข้อบกพร่องที่เป็นรอยขีดข่วน ในเดือน พ.ย.-ธ.ค.2554 และ ม.ค.-ก.พ. 2555 ก่อนปรับปรุง กับ เดือน มี.ค.-มิ.ย. 2555 หลังปรับปรุงซึ่งเป็นสัดส่วนของเสียจากผลิตภัณฑ์ทั้งหมด ลดลงจากเดิมที่มีชิ้นงานบกพร่องจำนวน 75,100 ชิ้น ลดลงเป็น 8,496 ชิ้น ซึ่งสามารถลดลงได้จำนวน 66,604 ชิ้น

(การคำนวณสัดส่วนของเสียเป็น %)

$$\text{สูตร การคำนวณสัดส่วนของเสีย P ของรอยขีดข่วน} \\ = \frac{\% \text{ของเสียหลังปรับปรุง} - \% \text{ของเสียก่อนปรับปรุง} \times 100}{\% \text{ของเสียก่อนปรับปรุง}}$$

$$= \frac{0.0009679 - 0.00709 \times 100}{0.00709} = 86\%$$

ดังนั้น ผลจากงานวิจัยนี้สามารถลดปัญหาผลิตภัณฑ์ที่มีรอยขีดข่วนบนชิ้นงานมีจำนวนลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับปัญหาที่พบก่อนปรับปรุง 86เปอร์เซ็นต์

(การคำนวณเปอร์เซ็นต์ของเสียลดลงเป็น %)

$$\text{สูตร การคำนวณสัดส่วนของเสีย P (ก่อนการปรับปรุง)} \\ = \frac{\text{ของเสียก่อนการปรับปรุง พ.ย.+ ธ.ค.+ ม.ค.+ ก.พ.}}{4} \\ = \frac{0.00699+0.00636+0.00634+0.0188}{4} \\ P = 0.0067\%$$

$$\begin{aligned} & \text{สูตร การคำนวณสัดส่วนของเสีย } P \text{ (หลังการปรับปรุง)} \\ & = \frac{\text{ของเสียหลังการปรับปรุง มี.ค. + เม.ย. + พ.ค. + มิ.ย.}}{4} \\ & = \frac{0.0008827 + 0.0008746 + 0.0009383 + 0.0009679}{4} \\ & P = 0.0009\% \end{aligned}$$

ดังนั้น ให้นำเปอร์เซ็นต์ P ก่อนปรับปรุง และ P หลังปรับปรุงมาลบกันจะได้เป็นเปอร์เซ็นต์เปรียบเทียบกับของเสียที่เราทำการเลือกปรับปรุง นั่นคือ รอยขีดข่วน

$P \text{ (ก่อนการปรับปรุง พ.ย. - ธ.ค. 2554 และ ม.ค. - ก.พ. 2555) } - P \text{ (หลังการปรับปรุง มี.ค. - มิ.ย. 2555) } \times 100 = \%$

$= 0.0067 - 0.009 \times 100 = 0.58\%$

ดังนั้น เปอร์เซ็นต์ของเสียลดลง 0.58%

สรุป

ผลจากงานวิจัยนี้สามารถลดปัญหาผลิตภัณฑ์ที่มีรอยขีดข่วนบนชิ้นงานมีจำนวนลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับปัญหาที่พบก่อนปรับปรุง 86 เปอร์เซ็นต์ และเปอร์เซ็นต์ของเสียลดลง 0.58% สินค้าสำเร็จรูปที่จะมีโอกาสในการจำหน่ายได้ในท้องตลาดต่อชิ้นที่ราคาตามมาตรฐานมีราคาขึ้นละ 3.50 สตางค์ ผลที่ได้จากการควบคุมกระบวนการนี้จะสามารถลดการสูญเสียมูลค่าของสินค้าได้จากเดิมที่สูญเสียไปจำนวน 75,100 ชิ้น ลดลงเป็น 8,496 ชิ้น การเกิดของเสียลดลงเป็นจำนวน 66,604 ชิ้น มีมูลค่าการขายทางตลาดเป็นจำนวน 233,144 บาท จะเห็นได้ว่าด้วยวิธีการลดของเสียในกระบวนการผลิตฝากระบองโดยใช้การควบคุมกระบวนการผลิตให้อยู่ในมาตรฐานที่ลูกค้าสามารถยอมรับได้

เอกสารอ้างอิง

- 1) สุภาวดี บุญชนะวิวัฒน์. (2541). การวางแผนคุณภาพในอุตสาหกรรมการหล่อขึ้นส่วนยานยนต์อะลูมิเนียม. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- 2) ปราโมทย์ เลิศโกวิท. (2547). วิธีการลดปริมาณผลิตภัณฑ์บกพร่องในกระบวนการหล่อขึ้นรูปของมิเตอร์น้ำ GMK 15. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาวิศวกรรมระบบการผลิต. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

การออกแบบการทดลองเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม ในกระบวนการอบเทมเปอร์ :
กรณีศึกษา โรงงานแปรรูปกระจก

Design of Experiments for Finding Appropriate Parameters
in Tempering Process : A Case Study in a Glass Processing Factory

ธนเดชน์ พันธลิมา¹, สุวิภรณ์ วิชกุล²

^{1,2} สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน

50 ถนนงามวงศ์วาน แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร 10900

gs414501793@nontri.ku.ac.th, fengspw@ku.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในกระบวนการอบเทมเปอร์สำหรับกระบวนการผลิตชามแก้ว รุ่น 1P02124 ของโรงงานตัวอย่าง เพื่อให้เปอร์เซ็นต์ของจำนวนสินค้าสำเร็จรูปผ่านตามเกณฑ์มาตรฐานในการผลิตที่ลูกค้าได้กำหนดไว้คือ เปอร์เซ็นต์ของจำนวนสินค้าสำเร็จรูปต้องมากกว่า 85% โดยใช้แผนการทดลองแบบ 2^{k-p} แฟคทอเรียลบางส่วน (2^{k-p} Fractional Factorial Design) ซึ่งปัจจัยในการศึกษาประกอบด้วย อุณหภูมิของขดลวดให้ความร้อนตัวที่ 1 ในเตาอบกระจก อุณหภูมิของขดลวดให้ความร้อนตัวที่ 2 ในเตาอบกระจก อุณหภูมิของขดลวดให้ความร้อนตัวที่ 3 ในเตาอบกระจก เวลาที่ใช้ในการอบชิ้นงาน ความดันลมที่เป่าไปที่ชิ้นงานจากด้านบน ความดันลมที่เป่าไปที่จากด้านล่าง และเวลาในการเป่าลมไปที่ชิ้นงาน ผลการศึกษาพบว่าระดับของปัจจัยที่เหมาะสมได้แก่ อุณหภูมิของขดลวดให้ความร้อนตัวที่ 1 ในเตาอบกระจกที่ 660 °C อุณหภูมิของขดลวดให้ความร้อนตัวที่ 2 ในเตาอบกระจกที่ 660 °C อุณหภูมิของขดลวดให้ความร้อนตัวที่ 3 ในเตาอบกระจกที่ 700 °C เวลาที่ใช้ในการอบชิ้นงานที่ 50 วินาที ความดันลมที่เป่าไปที่ชิ้นงานจากด้านบนที่ 200 mmAg ความดันลมที่เป่าไปที่ชิ้นงานจากด้านล่างที่ 200 mmAg และเวลาในการเป่าลมไปที่ชิ้นงานที่ 50 วินาที เมื่อนำค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากผลการทดลองไปใช้ในกระบวนการผลิตจริงพบว่า เปอร์เซ็นต์ของจำนวนสินค้าสำเร็จรูปเฉลี่ยอยู่ที่ 94.58%

คำสำคัญ: การออกแบบการทดลองบางส่วน; กระบวนการอบเทมเปอร์

Abstract

This research aims to find the appropriate parameters in the tempering process for glass bowl production model 1P02124 of the sample factory, to provide percentage of finished goods to meet the standard in production as specified by the customer. Percentage of finished goods must be more than 85% by using a 2^{k-p} factorial factorial design, which factors in this study comprise of temperature of heater of oven zone 1, temperature of heater of oven zone 2, temperature of heater of oven zone 3, time used to bake product, blowing air pressure to product from the top, blowing air pressure to product from the bottom and blowing time to product. The results found that the levels of appropriate factors included temperature of heater of oven zone 1 at 660 °C, temperature of heater of oven zone 2 at 660 °C, temperature of heater of oven zone 3 at 700 °C, time used to bake product at 50 seconds, blowing air pressure to product from the top at 200 mmAg, blowing air pressure to product from the bottom at 200 mmAg and blowing time to product at 50 seconds. When bringing the

parameters obtained from the experiment to use in the actual production process, it found that percentage of finished goods products was in average 94.58%.

Key word: Fractional Factorial Design; Tempering Process

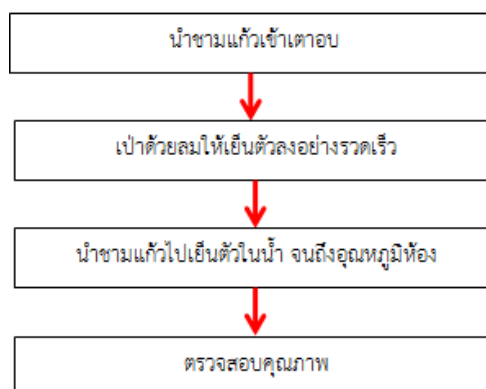
1. บทนำ

อุตสาหกรรมแก้วและกระจกเป็นอุตสาหกรรมที่มีความสำคัญต่อการพัฒนาเศรษฐกิจของประเทศ มีมูลค่าการส่งออกปีละหลายพันล้านบาท โดยเฉพาะเครื่องแก้วบนโต๊ะอาหารและในครัวเรือน การทำธุรกิจอุตสาหกรรมนี้ให้ประสบความสำเร็จและอยู่รอดเติบโตต่อไปได้นั้น โรงงานอุตสาหกรรมควรมีการออกแบบกระบวนการในการผลิตและแปรรูปแก้วและกระจกที่มีประสิทธิภาพ และปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์เพื่อให้สามารถคงกิจการและแข่งขันในตลาดโลกได้ ซึ่งโรงงานตัวอย่างนี้เป็นหนึ่งในโรงงานที่ประกอบกิจการด้านการแปรรูปกระจก โดยงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษากระบวนการอบเทมเปอร์ ซึ่งผลิตภัณฑ์คือชามแก้ว รุ่น 1P02124 ดังแสดงในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ผลิตภัณฑ์ที่ทำการศึกษา (ชามแก้ว รุ่น 1P02124) ของโรงงานตัวอย่าง

กระบวนการอบเทมเปอร์ ในงานวิจัยนี้สามารถแบ่งขั้นตอนออกเป็น 4 ขั้นตอนหลักดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 กระบวนการอบเทมเปอร์

โดยผู้วิจัยได้เลือกศึกษากระบวนการอบเทมเปอร์ของชามแก้ว รุ่น 1P02124 เนื่องจากชามแก้วรุ่นดังกล่าวเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ซึ่งยังไม่เคยมีการผลิตและจำหน่ายในประเทศไทย อีกทั้งลูกค้าได้กำหนดเกณฑ์มาตรฐานในการผลิตไว้คือ เปอร์เซ็นต์ของจำนวนสินค้าสำเร็จรูปต้องมากกว่า 85% ผู้วิจัยจึงได้นำหลักการออกแบบการทดลอง (Design of Experiment) มาประยุกต์ใช้โดยพิจารณาถึงปัจจัยที่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์ของจำนวนสินค้าสำเร็จรูป โดยใช้แผนการทดลองแบบ 2^{k-p} แฟคทอเรียล

บางส่วน (2^{k-p} Fractional Factorial Design) และการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance : ANOVA) ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป Minitab เพื่อช่วยในการหาปัจจัยที่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์ของจำนวนสินค้าสำเร็จรูป และกำหนดระดับของปัจจัยให้เหมาะสม เพื่อให้กระบวนการอบเทมเปอร์นี้มีเปอร์เซ็นต์ของจำนวนสินค้าสำเร็จรูปผ่านเกณฑ์มาตรฐานของลูกค้า ได้ค่าพารามิเตอร์เป็นมาตรฐานในการผลิต เป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิต ลดจำนวนของเสียที่เกิดขึ้น ซึ่งจะนำไปสู่ความยั่งยืนของกระบวนการผลิตเครื่องแก้วบนโต๊ะอาหารและในครัวเรือน ในอุตสาหกรรมแก้วและกระจก

2. วิธีวิจัย

งานวิจัยนี้กำหนดการดำเนินงานออกเป็น 9 ขั้นตอนดังต่อไปนี้

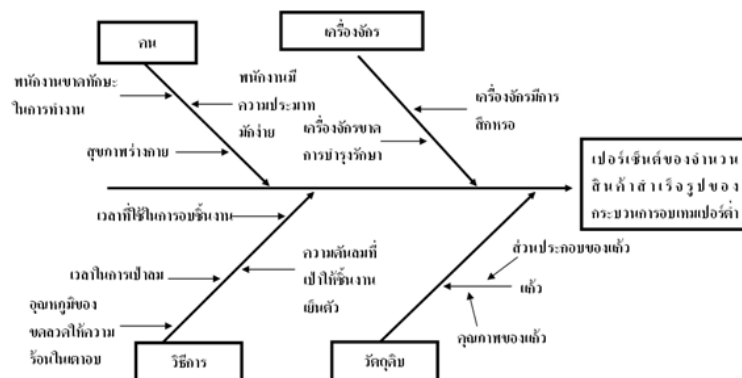
2.1 การวางแผนการทดลอง

2.1.1 ศึกษากระบวนการผลิตและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ศึกษากระบวนการผลิต และข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับ เพื่อนำมาเป็นข้อมูลในการตัดสินใจเลือกปัญหาสำหรับงานวิจัย จากนั้นศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องเพื่อใช้เป็นแนวทางในการทำงานวิจัยต่อไป

2.1.2 ระบุปัญหาที่จะทำการวิจัย

ทำการพิจารณาถึงสาเหตุที่ส่งผลให้เปอร์เซ็นต์ของจำนวนสินค้าสำเร็จรูปของกระบวนการอบเทมเปอร์ต่ำ ซึ่งสาเหตุของปัญหาสามารถแยกพิจารณาได้จากผังแสดงเหตุและผล ดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 แผนผังเหตุและผลจากสาเหตุของปัญหาที่เกิดขึ้นในกระบวนการอบเทมเปอร์

2.2. กำหนดตัวแปรหรือปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง

2.2.1 ตัวแปรตอบสนอง (Response Variable) คือเปอร์เซ็นต์ของจำนวนสินค้าสำเร็จรูป

2.2.2 ปัจจัยที่ควบคุมได้ (Control Factors) ประกอบด้วย 7 ปัจจัยได้แก่ 1.อุณหภูมิของขวดให้ความร้อนตัวที่ 1 ในเตาอบกระจก (ปัจจัย A) 2.อุณหภูมิของขวดให้ความร้อนตัวที่ 2 ในเตาอบกระจก (ปัจจัย B) 3.อุณหภูมิของขวดให้ความร้อนตัวที่ 3 ในเตาอบกระจก (ปัจจัย C) 4.เวลาที่ใช้ในการอบชิ้นงาน (ปัจจัย D) 5.ความดันลมที่เป่าไปที่ชิ้นงานจากด้านบน (ปัจจัย E) 6.ความดันลมที่เป่าไปที่ชิ้นงานจากด้านล่าง (ปัจจัย F) 7.เวลาในการเป่าลมไปที่ชิ้นงาน (ปัจจัย G)

2.3 การออกแบบการทดลอง

การทดลองที่ใช้ในงานวิจัยเป็นแผนการทดลอง 2^{7-3} แฟคทอเรียลบางส่วน โดยนำมาประยุกต์ใช้เพื่อการกรองปัจจัย (ปารเมศ, 2545) เพื่อค้นหาว่าปัจจัยตัวใดบ้าง (ถ้ามี) เป็นปัจจัยที่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์ของจำนวนสินค้าสำเร็จรูปอย่างมีนัยสำคัญ โดยแบ่งปัจจัยเป็นปัจจัยละ 2 ระดับคือระดับต่ำและสูง แต่ละการทดลองมีการทำซ้ำ 20 ครั้ง ใช้จำนวนตัวอย่างทั้งหมด 320 ตัวอย่าง

ตารางที่ 1 ปัจจัย ระดับ และขอบเขตของปัจจัย

ปัจจัย	หน่วย	ระดับของปัจจัย	
		ระดับต่ำ	ระดับสูง
A	°C	640	660
B	°C	660	680
C	°C	680	700
D	วินาที	45	50
E	mmAg	200	300
F	mmAg	200	300
G	วินาที	50	55

ขั้นตอนการดำเนินการทดลองโดยใช้แผนการทดลอง 2^{7-3} แฟคทอเรียลบางส่วน เริ่มจากการทดลองโดยใช้ลำดับการทดลองซึ่งแสดงดังตารางที่ 2 ซึ่งเป็นการทดลองแบบสุ่มบริบูรณ์

ตารางที่ 2 ระดับของปัจจัยในแต่ละลำดับการทดลองของแผนการทดลอง 2^{7-3} แฟคทอเรียลบางส่วน

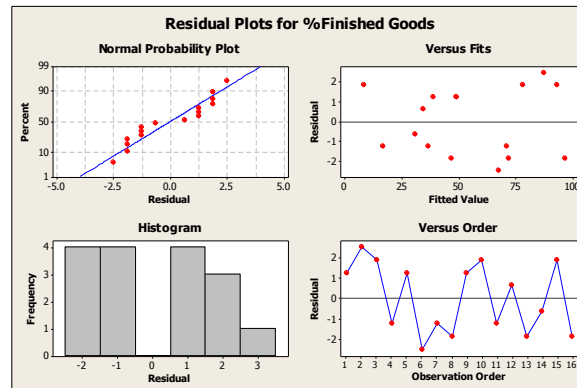
ลำดับการทดลอง	ปัจจัย						
	A	B	C	D	E	F	G
1	640	680	680	50	300	200	55
2	660	660	700	50	200	200	55
3	640	680	700	50	200	300	50
4	660	660	680	45	300	200	55
5	640	660	700	45	300	300	55
6	640	680	700	45	200	200	55
7	660	680	700	50	300	300	55
8	640	660	700	50	300	200	50
9	660	680	680	45	200	300	55
10	660	680	700	45	300	200	50
11	640	660	680	50	200	300	55
12	660	660	680	50	300	300	50
13	660	660	700	45	200	300	50
14	640	680	680	45	300	300	50
15	640	660	680	45	200	200	50
16	660	680	680	50	200	200	50

3. ผลการวิจัย

นำผลการทดลองที่ได้มาตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง และวิเคราะห์ความแปรปรวน ดังนี้

3.1 การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง

เพื่อทดสอบว่าข้อมูลมีการกระจายแบบปกติ และมีความเป็นอิสระต่อกันตรงตามข้อสมมติฐานเบื้องต้นของการออกแบบการทดลอง โดยแบ่งการทดสอบเป็นดังนี้



ภาพที่ 4 การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง

3.1.1 การตรวจสอบการแจกแจงแบบปกติ จากภาพที่ 4 รูปซ้ายมือด้านบน พบว่ากราฟมีลักษณะเป็นเส้นตรง แสดงว่าข้อมูลมีการกระจายแบบปกติ

3.1.2 การตรวจสอบค่าความผิดพลาดกับค่าพยากรณ์ จากภาพที่ 4 รูปขวามือด้านบน พบว่าค่าความผิดพลาดมีการกระจายแบบสุ่ม (ไม่มีรูปแบบ) และความแปรปรวนของค่าคลาดเคลื่อนมีค่าคงที่

3.1.3 การตรวจสอบค่าความผิดพลาดกับลำดับเวลาที่เก็บข้อมูล จากภาพที่ 4 รูปขวามือด้านล่าง พบว่าค่าความผิดพลาดมีการกระจายแบบสุ่ม (ไม่มีรูปแบบ) และความแปรปรวนของค่าคลาดเคลื่อนมีค่าคงที่

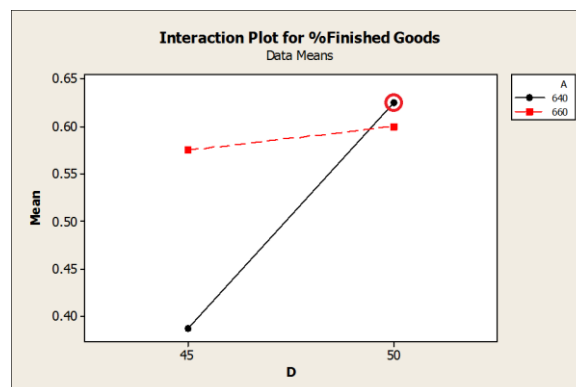
3.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA)

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนในตารางที่ 3 พบว่า ปัจจัยที่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์ของจำนวนสินค้าสำเร็จรูป ซึ่งมีค่า P – value น้อยกว่าระดับนัยสำคัญ 0.1 คือ อิทธิพลอันตรกิริยาของ 2 ปัจจัยระหว่างอุณหภูมิของขดลวดให้ความร้อนตัวที่ 1 ในเตาอบกระຈก และเวลาที่ใช้ในการอบชิ้นงาน (A*D) อิทธิพลอันตรกิริยาของ 2 ปัจจัยระหว่างอุณหภูมิของขดลวดให้ความร้อนตัวที่ 1 ในเตาอบกระຈก และความดันลมที่เป่าไปที่ชิ้นงานจากด้านบน (A*E) อิทธิพลอันตรกิริยาของ 2 ปัจจัยระหว่างอุณหภูมิของขดลวดให้ความร้อนตัวที่ 2 ในเตาอบกระຈก และเวลาที่ใช้ในการอบชิ้นงาน (B*D) เนื่องจากอันตรกิริยาของปัจจัยดังกล่าวมีผลต่อเปอร์เซ็นต์ของจำนวนสินค้าสำเร็จรูป จึงไม่พิจารณาอิทธิพลปัจจัยหลักของอุณหภูมิของขดลวดให้ความร้อนตัวที่ 1 ในเตาอบกระຈก (A) อุณหภูมิของขดลวดให้ความร้อนตัวที่ 2 ในเตาอบกระຈก (B) เวลาที่ใช้ในการอบชิ้นงาน (D) และความดันลมที่เป่าไปที่ชิ้นงานจากด้านบน (E) ดังนั้นอิทธิพลปัจจัยหลักที่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์ของจำนวนสินค้าสำเร็จรูปได้แก่ อุณหภูมิของขดลวดให้ความร้อนตัวที่ 3 ในเตาอบกระຈก (C) ความดันลมที่เป่าไปที่ชิ้นงานจากด้านล่าง (F) และเวลาในการเป่าลมไปที่ชิ้นงาน (G)

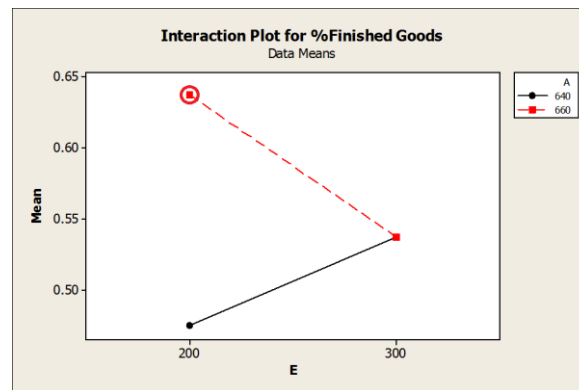
ตารางที่ 3 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของแผนการทดลอง 2^{7-3} แฟคทอเรียลบางส่วน

แหล่งความผันแปร (Source)	ผลบวกกำลังสอง (SS)	องศาเสรี (d.f.)	ค่าเฉลี่ยผลบวก กำลังสอง (MS)	อัตราส่วน F (F)	ค่า P – value
A	264.06	1	264.06	24.14	0.008
B	351.56	1	351.56	32.14	0.005
C	7876.56	1	7876.56	720.14	0.000
D	689.06	1	689.06	63.00	0.001
E	14.06	1	14.06	1.29	0.320
F	76.56	1	76.56	7.00	0.057
G	126.56	1	126.56	11.57	0.027
AB	39.06	1	39.06	3.57	0.132
AD	451.56	1	451.56	41.29	0.003
AE	264.06	1	264.06	24.14	0.008
BD	826.56	1	826.56	75.57	0.001
ความคลาดเคลื่อน ทั้งหมด	43.75	4	10.94		
	11023.4	15			

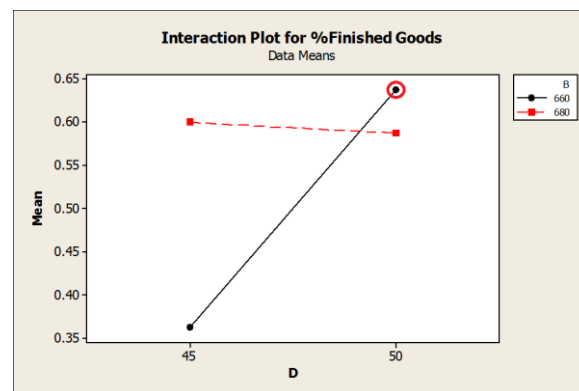
หมายเหตุ $S = 0.0330719$ $R^2 = 99.60\%$ $R^2(\text{adj}) = 98.51\%$



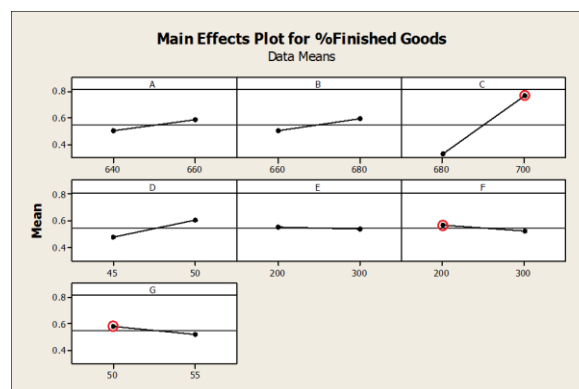
ภาพที่ 5 กราฟแสดงอิทธิพลอันตรกิริยาระหว่างอุณหภูมิของชุดลดให้ความร้อนตัวที่ 1 ในเตาอบกระจก และเวลาที่ใช้ในการอบชิ้นงาน (A*D)



ภาพที่ 6 กราฟแสดงอิทธิพลอันตรกิริยาระหว่างอุณหภูมิของขดลวดให้ความร้อนตัวที่ 1 ในเตาอบกระจก และความดันลมที่เป่าไปที่ชิ้นงานจากด้านบน (A*E)



ภาพที่ 7 กราฟแสดงอิทธิพลอันตรกิริยาระหว่างอุณหภูมิของขดลวดให้ความร้อนตัวที่ 2 ในเตาอบกระจก และเวลาที่ใช้ในการอบชิ้นงาน (B*D)



ภาพที่ 8 กราฟค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ของจำนวนสินค้าสำเร็จรูปต่อปัจจัยหลักในการทดลองเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม

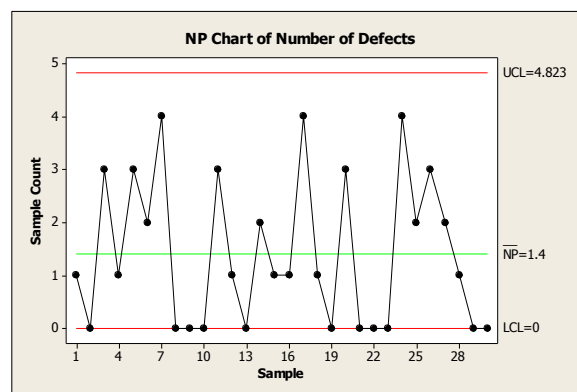
จากภาพที่ 5 ถึงภาพที่ 8 สามารถกำหนดค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการอบเทมเปอร์ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ปัจจัยและระดับที่เหมาะสมของกระบวนการอบเทมเปอร์

ปัจจัย	หน่วย	ระดับ
อุณหภูมิของขดลวดให้ความร้อนตัวที่ 1 ในเตาอบกระจก (A)	°C	660
อุณหภูมิของขดลวดให้ความร้อนตัวที่ 2 ในเตาอบกระจก (B)	°C	660
อุณหภูมิของขดลวดให้ความร้อนตัวที่ 3 ในเตาอบกระจก (C)	°C	700
เวลาที่ใช้ในการอบชิ้นงาน (D)	วินาที	50
ความดันลมที่เป่าไปที่ชิ้นงานจากด้านบน (E)	mmAg	200
ความดันลมที่เป่าไปที่ชิ้นงานจากด้านล่าง (F)	mmAg	200
เวลาในการเป่าลมไปที่ชิ้นงาน (G)	วินาที	50

3.3 การยืนยันผลการวิเคราะห์ข้อมูล

เมื่อนำค่าพารามิเตอร์ที่จากตารางที่ 4 ไปทำการทดลองกับกระบวนการผลิตจริง โดยทำการทดลองเก็บข้อมูลทั้งหมด 30 ครั้ง ครั้งละ 20 ตัวอย่าง พบว่าขอบเขตล่างของเปอร์เซ็นต์ของจำนวนสินค้าสำเร็จรูปเฉลี่ยในช่วงความเชื่อมั่น 90% เท่ากับ 91.32% ดังนั้นจึงสามารถมั่นใจได้ 90% ว่า ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ของจำนวนสินค้าสำเร็จรูปจะมีค่ามากกว่าเป้าหมายของกระบวนการผลิตตามที่ลูกค้ากำหนดคือต้องการเปอร์เซ็นต์ของจำนวนสินค้าสำเร็จรูปมากกว่า 85% เสมอ



ภาพที่ 9 แผนภูมิควบคุมคุณภาพของเสีย (NP – Chart) ที่ได้จากการทดลองยืนยันผลการวิเคราะห์ข้อมูล

จากภาพที่ 9 เมื่อนำผลการทดลองยืนยันผลการวิเคราะห์ข้อมูลมาสร้างแผนภูมิควบคุมคุณภาพของเสีย (NP – Chart) พบว่ากระบวนการอยู่ในการควบคุม (The Process is In Control) เนื่องจากทุกจุดในแผนภูมิควบคุมคุณภาพของเสีย ซึ่งหมายถึงจำนวนของเสียในทุกการทดลองตกอยู่ภายในเส้นขอบเขตควบคุม และไม่พบความผิดปกติอื่นๆ จึงสามารถนำค่าพารามิเตอร์ที่ได้สรุปไว้จากการวิเคราะห์ในช่วงต้นไปใช้ในการกระบวนการผลิตจริงได้

4. อภิปรายผล (Discussion)

การทดลองนี้สามารถทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนได้เนื่องจากข้อมูลเป็นไปตามสมมติฐานของการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Assumption of ANOVA) นั่นคือ 1.ข้อมูลมีการแจกแจงแบบ 2.ค่าเฉลี่ยของค่าผิดพลาดเท่ากับศูนย์ 3.ความแปรปรวนของค่าผิดพลาดคงที่ 4.ความผิดพลาดเป็นอิสระต่อกัน

ในการวิเคราะห์ความแปรปรวน ถ้า $P - value < \alpha$ แล้วถือว่าปัจจัยนั้นสำคัญทางสถิติ สามารถปฏิเสธ H_0 ได้ โดยการตั้งสมมติฐานเกี่ยวกับปัจจัยที่ต้องการตรวจสอบ แบ่งเป็น 2 กรณีคือ

1. กรณีทดสอบปัจจัยหลัก (Test of Main Factor) รูปทั่วไปของสมมติฐานที่ทดสอบ คือ

H_0 : ปัจจัยหลักไม่มีผลต่อค่าตอบสนอง

H_1 : ปัจจัยหลักมีผลต่อค่าตอบสนอง

2. กรณีทดสอบปัจจัยอันตรกิริยา (Test of Interaction Factors) รูปทั่วไปของสมมติฐานที่ทดสอบ คือ

H_0 : ปัจจัยอันตรกิริยาไม่มีผลต่อค่าตอบสนอง

H_1 : ปัจจัยอันตรกิริยามีผลต่อค่าตอบสนอง

กระบวนการอยู่ในการควบคุม (The Process is In Control) คือกระบวนการผลิตที่ไม่มีจุดใดอยู่นอกเส้นขอบเขตควบคุม (Control Limit) นั่นคือกระบวนการที่มีเฉพาะสาเหตุที่เป็นปกติวิสัย (Change Cause)

5. สรุปผล

จากการออกแบบการทดลองและดำเนินการทดลองพร้อมวิเคราะห์ผลของตัวแปรตอบสนอง สามารถสรุปผลการวิจัยที่ระดับนัยสำคัญ 0.1 ได้ดังนี้ ปัจจัยและระดับที่เหมาะสมของกระบวนการอบเทมเปอร์ได้แก่ อุณหภูมิของชุดลวดให้ความร้อนตัวที่ 1 ในเตาอบกระจก (A) ที่ 660 °C อุณหภูมิของชุดลวดให้ความร้อนตัวที่ 2 ในเตาอบกระจก (B) ที่ 660 °C อุณหภูมิของชุดลวดให้ความร้อนตัวที่ 3 ในเตาอบกระจก (C) ที่ 700 °C เวลาที่ใช้ในการอบชิ้นงาน (D) ที่ 50 วินาที ความดันลมที่เป่าไปที่ชิ้นงานจากด้านบน (E) ที่ 200 mmAg ความดันลมที่เป่าไปที่ชิ้นงานจากด้านล่าง (F) ที่ 200 °C และเวลาในการเป่าลมไปที่ชิ้นงาน (G) ที่ 50 วินาที เมื่อนำค่าพารามิเตอร์ดังกล่าวไปใช้ในการผลิตจริงจำนวน 11,348 ใบ พบว่าเปอร์เซ็นต์ของจำนวนสินค้าสำเร็จรูปเฉลี่ยอยู่ที่ 94.58% ซึ่งเป็นไปตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้

6. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ ดร.สุวิทย์ วิชาญ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก ที่ได้ช่วยเหลือให้คำปรึกษาในการวางแผน และตรวจแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้สำเร็จลุล่วงด้วยดีตลอดมา และขอขอบพระคุณโรงงานตัวอย่างที่สนับสนุนการทำวิจัยในครั้งนี้

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] ปณิธาน เมธีแก้ว, 2543. การออกแบบการทดลองเพื่อลดของเสียในกระบวนการผลิตกระจกแผ่น. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- [2] ปารเมศ ชูติมา, 2545. การออกแบบการทดลองทางวิศวกรรม. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- [3] ประไพศรี สุทัศน์ ณ อยุธยา และพงศ์ชนัน เหลืองไพฑูรย์. 2551. การออกแบบและการวิเคราะห์การทดลอง. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: บริษัทสำนักพิมพ์ท็อป จำกัด.
- [4] Abrams, M. B., Green, D. J. & Green, S. J. 2003. Fracture behavior of engineered stress profile soda lime silicate glass. Journal of Non-Crystal Solids, Vol. 321: 10-19.
- [5] Montgomery, D.C. 2005. Design and Analysis of Experiment. 6th ed. John Wiley & Sons, Inc., New York.

การพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตผลิตภัณฑ์ดูแลช่องปากจากกระชาย

Development of Production Technology of Mouth Care Product Mixing with *Boesenbergia pundurata* Roxb

อดุล วรรณศรี¹, สาวิตรี จันทธานุรักษ์², วัฒนพงศ์ รักษ์วิเชียร³, วรจิตต์ เศรษฐพรศรี⁴

¹ สาขาวิชาการพัฒนาเศรษฐกิจและเทคโนโลยีชุมชน

สถาบันพัฒนาเศรษฐกิจและเทคโนโลยีชุมชนเอเชีย มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่
อาคารราชภัฏ 70 ปี ชั้น 3 เลขที่ 202 ถ.หมื่นด้ามพร้าคต ต.ช้างเผือก อ.เมือง จ.เชียงใหม่ 50300

adol_von@yahoo.com

² ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ fagisvtc@ku.ac.th

³ สถาบันพัฒนาเศรษฐกิจและเทคโนโลยีชุมชนเอเชีย มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ Wattanapong.r@gmail.com

⁴ สถาบันพัฒนาเศรษฐกิจและเทคโนโลยีชุมชนเอเชีย มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ worajit@gmail.com

บทคัดย่อ

สาเหตุสำคัญที่ก่อให้เกิดโรคภายในช่องปาก คือ *Streptococcus mutans* ซึ่งทำให้เกิดโรคต่างๆ สารยับยั้งแบคทีเรียที่เป็นนิยมโดยส่วนใหญ่แล้วเป็นสารเคมีซึ่งก่อให้เกิดการระคายเคืองภายในช่องปาก การนำความรู้ทางวิทยาศาสตร์และคุณสมบัติทางยาของกระชายซึ่งมีฤทธิ์ในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียมาพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ดูแลช่องปากจากสมุนไพรจึงเป็นทางเลือกที่เหมาะสม การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์หลัก คือ เพื่อพัฒนารูปแบบเทคโนโลยีการผลิตผลิตภัณฑ์ดูแลช่องปากจากกระชายที่สามารถถ่ายทอดให้กับชุมชนโดยอาศัยความรู้ทางวิทยาศาสตร์ ในการพัฒนาเทคโนโลยีจะทำการศึกษาความเข้มข้นของสารสกัดกระชายที่เหมาะสมในการลดจำนวน *Streptococcus mutans* ปริมาณส่วนผสมของผลิตภัณฑ์ดูแลช่องปากจากกระชาย และเทคโนโลยีการผลิตผลิตภัณฑ์ดูแลช่องปากที่เหมาะสม โดยในการทดลองจะใช้เวลาความเข้มข้นของสารสกัดกระชายที่น้อยที่สุดที่มีผลในการยับยั้งจุลินทรีย์ (Minimal Inhibitory Concentration, MIC) มีการแปรความเข้มข้นตั้งแต่ 1×MIC, 2×MIC, และ 3×MIC ที่สภาวะตั้งนี้ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เวลา 24 ชั่วโมง นอกจากนี้ยังมีการวิเคราะห์ความพึงพอใจต่อผู้บริโภค ทั้งนี้เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ดูแลช่องปากจากสารสกัดจากกระชายที่มีฤทธิ์ในการยับยั้ง *Streptococcus mutans* ที่มีคุณภาพสอดคล้องตามมาตรฐานอุตสาหกรรมของประเทศไทย งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนารูปแบบเทคโนโลยีที่สามารถถ่ายทอดให้กับชุมชนเพื่อการพัฒนาเศรษฐกิจชุมชนอย่างยั่งยืน

คำสำคัญ : *Streptococcus mutans*, *Boesenbergia pundurata*, mouth wash, Sustainable Development

Abstract

The tooth decay symptom subjected to *Streptococcus mutans*, is one of the oral cavity pathogenic bacteria. Widely usage of antibacterial agent in mouth care product can cause the oral irritation. Knowledge from the Thai traditional medicine sculpture together with the modern scientific approach is, therefore, the choice to moderate this problem. The purpose of this thesis is to study the concentration of *Boesenbergia pundurata* Roxb. extract (BPE), appropriate to decrease bacteria *Streptococcus mutans* and develop a formula of economical mouth care product. The suitable experiments of BPE in Minimum Inhibitory concentration (MIC) at 1xMIC, 2xMIC, 3xMIC, at 37°C for 24 h., and the consumer satisfaction survey were carried out to give the promising anti-*Streptococcus mutans* finger root mouth care product. The herbal mouth care product can therefore be produced complied to the Thai Industrial Standard. Subsequently, the friendly and reliable *Boesenbergia pundurata* Roxb

mouth care product will be available to boost the grass roots health care and sustainable community economy.

Key word: Streptococcus mutans, Boesenbergia pandurata, Mouth Wash, Sustainable Development

1. บทนำ (Introduction)

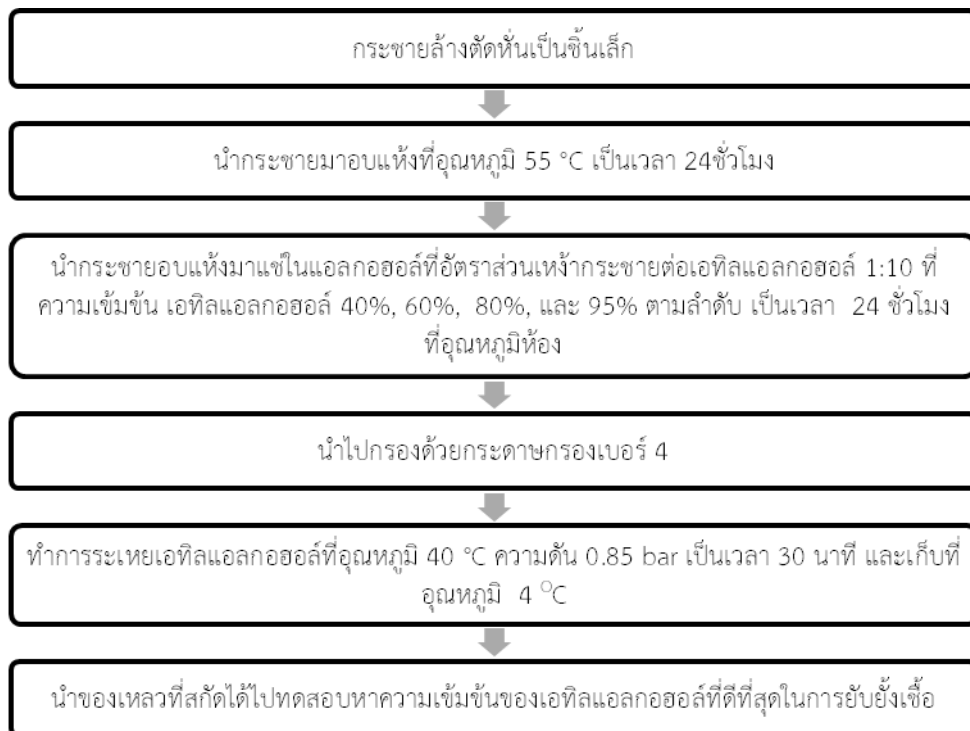
โรคฟันผุ เป็นโรคที่พบบ่อยของคนไข้ที่มาพบทันตแพทย์ โรคฟันผุเป็นโรคติดต่อที่เกิดจาก เชื้อโรค คือแบคทีเรียชื่อ *Streptococcus mutans* ซึ่งเป็น Gram-positive facultative anaerobic bacterium (Hamada et al., 1980) เชื้อชนิดนี้ติดต่อกันทางน้ำลาย โดยโรคฟันผุนี้เกิดจากการที่แบคทีเรียที่ย่อยสลายอาหารประเภทน้ำตาลทำให้เกิดกรดแลคติก ที่มีฤทธิ์ในการการสลาย แร่ธาตุเคลือบฟันและเนื้อฟันส่วนที่โผล่ขึ้นมาในช่องปากได้แก่แร่ธาตุแคลเซียม ฟอสฟอรัส ให้ออกจากตัวฟัน จึงทำให้เคลือบฟัน ตัวฟัน และรากฟันที่โผล่พ้นออกมาจากเหงือกถูกทำลายจนเกิดเป็นโพรงหรือเป็นรูตามฟันได้โดยง่าย ในสภาวะปกติภายในช่องปากมีการเปลี่ยนแร่ธาตุแคลเซียมและฟอสฟอรัสในระหว่างชั้นผิวเคลือบฟัน และแร่ธาตุที่มีอยู่ในน้ำลายตลอดเวลาอย่างสมดุล ทำให้ไม่มีการสูญเสียแร่ธาตุออกจากผิวฟัน แต่ในภาวะที่จุลินทรีย์มีการย่อยสลายอาหารแป้งและน้ำตาล จะเปลี่ยนสภาพแวดล้อมของน้ำลายเป็นกรด ทำให้สูญเสียแร่ธาตุแคลเซียม ฟอสฟอรัสออกจากตัวฟันมากกว่าการได้รับกลับคืน ซึ่งถ้าเกิดขึ้นบ่อยจะทำให้เกิดฟันผุ (คลินิกทันตกรรม ราชเทวีสแตชั่น, 2555)

เนื่องจากมีงานวิจัยพบว่าสารสำคัญในรากและเหง้ากระชายมีฤทธิ์ยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรียในลำไส้ ช่วยขับลม แก้อืดท้อง ท้องเฟ้อ ช่วยเจริญอาหารและแก้โรคในช่องปาก จึงนำกระชายเป็นส่วนผสมในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ดูแลสุขภาพในช่องปาก (แคนเซอร์, 2551) โดยปริมาณจุลินทรีย์ในระดับที่ไม่ปลอดภัยต่อสุขภาพของช่องปากคือมากกว่า 10^4 CFU/ml และปริมาณจุลินทรีย์ในระดับที่ปลอดภัยต่อสุขภาพของช่องปากคือ 10^4 CFU/ml ในงานวิจัยครั้งนี้จะเป็นการสร้างมูลค่าเพิ่มจากเหง้ากระชายซึ่งเป็นวัตถุดิบเหลือทิ้ง โดยการนำมาพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์รักษาความสะอาดในช่องปาก เพื่อสร้างศักยภาพในการผลิตระดับ SME ให้แก่ชุมชน

2. วิธีการศึกษา

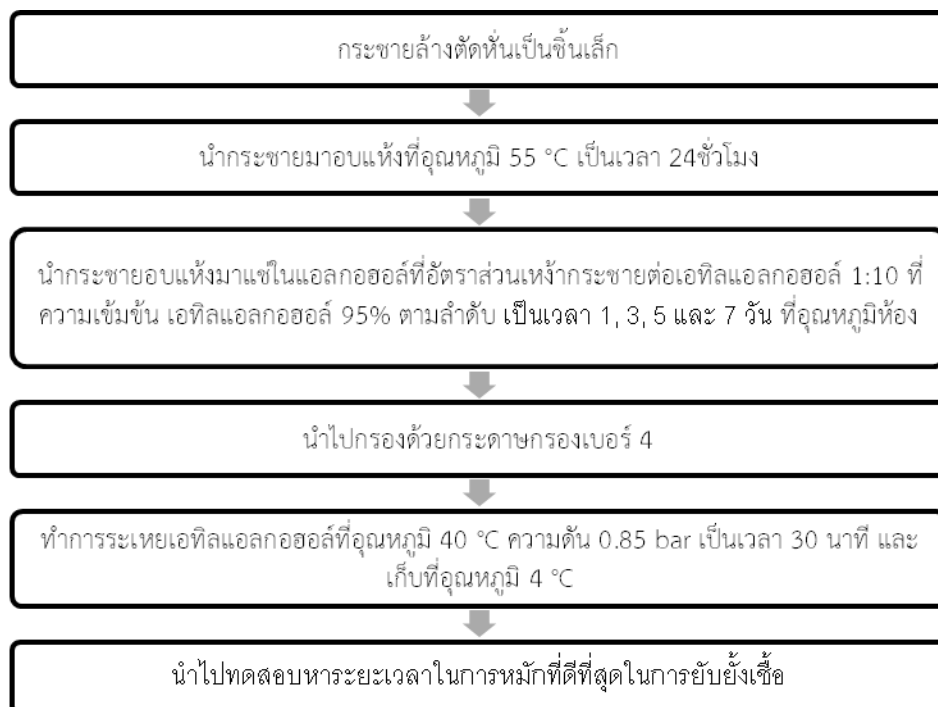
2.1 ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างเพื่อการทดสอบหาความเข้มข้นของเอทิลแอลกอฮอล์ที่ดีที่สุดสำหรับการสกัด

ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างเพื่อการทดสอบหาความเข้มข้นของเอทิลแอลกอฮอล์ที่ดีที่สุดสำหรับการสกัดมีรายละเอียดแสดงดังในรูปที่ 1



รูปที่ 1 ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างเพื่อการหาความเข้มข้นของเอทิลแอลกอฮอล์ที่ดีที่สุดสำหรับการสกัด

2.2 เวลาที่เหมาะสมในการแช่แห้งกระชายในแอลกอฮอล์



รูปที่ 2 ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างเพื่อศึกษาหาเวลาที่เหมาะสมในการแช่แห้งกระชายในแอลกอฮอล์

2.3 การเลี้ยงเชื้อ การขยายจำนวนเชื้อ และการทดสอบการยับยั้งเชื้อ

วิธีการในการการเลี้ยงเชื้อ การขยายจำนวนเชื้อ และการทดสอบการยับยั้งเชื้อสรุปดังรูปที่ 3

จุลินทรีย์ที่ใช้ในการทดสอบคือแบคทีเรีย *Streptococcus mutans* (ATCC 25175) ทำการเลี้ยงเชื้อแบคทีเรียด้วยอาหาร Mitis Salivarius Agar (MSA, DIFCO, Detroit, MI) และบ่มเชื้อที่อุณหภูมิ 37°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ก่อนถ่ายลงไปเลี้ยงใน Tryptic Soy Broth



การทดสอบหา MIC (Minimum Inhibition Concentration) ของสารสกัดที่มีผลในการยับยั้งเชื้อ ด้วยวิธี Modified agar micro-dilution method โดย อัตราส่วนการเจือจางที่ใช้ในการทดสอบ สารสกัดต่อน้ำคือ 1:1, 1:3, 1:4 และ 1:7 ทำการบ่มเชื้อ บนอาหาร MSA agar เป็นเวลา 24 h ที่อุณหภูมิ 37 °C บันทึกค่า MIC จากการวัดเส้นผ่านศูนย์กลาง ของ inhibition zones รอบกระดาดตาไก่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.53 cm. ทำการทดลองดังกล่าวอีก 2 ซ้ำ



การทดสอบหาจำนวนจุลินทรีย์ที่รอดชีวิต โดยผสมอาหารเหลว TSB ปริมาตร 9 มิลลิลิตร กับสารสกัดแห้ง กระจายให้มีความเข้มข้นเป็น MIC เติมจุลินทรีย์ (ที่มีปริมาณเชื้อเริ่มต้น เท่ากับ 10^7 CFU/ml) ปริมาตร 1 มิลลิลิตรลงไป ทำการบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 18-24 ชั่วโมง นับจำนวนจุลินทรีย์ที่รอดชีวิตตามเทคนิค pour plate (ใช้อาหารเลี้ยงเชื้อ MSA และบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24-48 ชั่วโมง) ทำการทดลองดังกล่าวข้างต้นจำนวน 2 ซ้ำ ทั้งนี้ใช้ positive control เป็นอาหารเลี้ยงเชื้อผสมเชื้อ ที่ปราศจากสารสกัด และ negative control เป็นอาหารเลี้ยงเชื้อผสมสารสกัด แต่ปราศจากเชื้อแบคทีเรีย



การทดสอบฤทธิ์การยับยั้งเชื้อของน้ำยาบ้วนปากและยาสีฟันที่ผสมสารสกัดแห้งกระจายตามวิธี Time-kill procedures (Klepser et al., 1997) โดยเติมเชื้อเริ่มต้น 10^7 CFU ปริมาณ 1 ml ลงในอาหารเลี้ยงเชื้อ TSB 9 ml บ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24-48 ชั่วโมง ก่อนนำมา ใส่ในผลิตภัณฑ์ (น้ำยาบ้วนปากและยาสีฟัน ตาม ตำรับในตารางที่ 1) ที่สัดส่วน 1:1 นับปริมาณเชื้อที่เปลี่ยนไปตามเวลา 0, 5, 15, 30, 50, 75, 105, 140 และ 180 นาที

รูปที่ 3 ขั้นตอนวิธีการในการการเลี้ยงเชื้อ การขยายจำนวนเชื้อ และการทดสอบการยับยั้งเชื้อ

3. ผลการศึกษา

3.1 สภาวะที่เหมาะสมในการแช่แห้งกระจายในแอลกอฮอล์และการยับยั้งเชื้อ

3.1.1 เวลา

แช่แห้งกระจายใน 95% v/v แอลกอฮอล์ ที่อัตราส่วนแห้งกระจายต่อเอทิลแอลกอฮอล์ 1:10 เป็นเวลา 1, 3, 5, และ 7 วัน หลังการสกัด นำสารสกัดไปเจือจางด้วยน้ำในอัตราส่วนการเจือจาง สารสกัด: น้ำ เป็น 1:1, 1:3, 1:5, 1:7 เพื่อทดสอบ ฤทธิ์ในการยับยั้งเชื้อ *Streptococcus mutans* โดยวิธี Disc diffusion (ตารางที่ 1) พบว่าการแช่แอลกอฮอล์ที่นานขึ้นจะให้สารสกัดที่มีฤทธิ์ในการยับยั้งเชื้อที่สูงขึ้น เช่นขนาดของ inhibition zone เพิ่มขึ้นจาก 0.7 cm. เป็น 1.2 cm. โดยเฉลี่ย เนื่องจาก Inhibition zone ของแต่ละค่าการเจือจางไม่แตกต่างกัน ดังนั้นค่า MIC คือ สัดส่วน สารสกัดต่อน้ำ ที่ 1:7

เมื่อทำการนับปริมาณเชื้อโดยวิธี broth micro-dilution method พบว่า การแช่กระชายใน 95% v/v แอลกอฮอล์ เป็นเวลา 1, 3, 5, และ 7 วัน ที่ $1 \times \text{MIC}$ สามารถลดปริมาณเชื้อจาก 10^7 CFU/ml เป็นประมาณ 10^2 CFU/ml ซึ่งถือว่าเป็นระดับที่ปลอดภัยต่อสุขภาพของช่องปาก (ตารางที่ 1)

ตาราง 1: การยับยั้งเชื้อ *Streptococcus mutans* ATCC โดยวิธี Disc diffusion ของสารสกัดเหง้ากระชายที่เปลี่ยนไปตามเวลาในการแช่แอลกอฮอล์ความเข้มข้น 95%v/v

เวลา (วัน)	ความเข้มข้นของ สารสกัดเหง้ากระชาย (สารสกัด: น้ำ)	Inhibition zone (cm)			
		1:1	1:3	1:5	1:7
1		0.60±0.00	0.70±0.00	0.70±0.05	0.70±0.00
3		0.90±0.10	1.00±0.00	1.20±0.00	1.00±0.20
5		1.00±0.00	1.10±0.00	1.10±0.00	1.15±0.05
7		1.18±0.08	1.10±0.00	1.20±0.00	1.20±0.10

ตาราง 2: การยับยั้ง *Streptococcus mutans* โดยวิธี broth micro-dilution method ของสารสกัดเหง้ากระชายที่เปลี่ยนไปตามเวลา ในการแช่เหง้ากระชายใน 95% v/v แอลกอฮอล์ โดยความเข้มข้นของ สารสกัด: น้ำ ที่ใช้ในการทดสอบ คือ 1:7

Immersion time (days)	Log CFU/ml (mean ± SD: n=2)
control	7.16±0.03
1	1.61±1.4
3	1.72±0.39
5	1.92±1.45
7	1.91±1.32

3.2 ความเข้มข้นของแอลกอฮอล์

แช่เหง้ากระชายในแอลกอฮอล์ที่อัตราส่วนเหง้ากระชายต่อแอลกอฮอล์ 1:10 เป็นเวลา 7 วัน ที่ความเข้มข้นแอลกอฮอล์ 40, 60, 80, และ 95% v/v หลังจากการสกัด นำสารสกัดไปเจือจางด้วยน้ำในอัตราส่วนการเจือจาง สารสกัด: น้ำ เป็น 1:1, 1:3, 1:5, 1:7 เพื่อทดสอบฤทธิ์ในการยับยั้งเชื้อ *Streptococcus mutans* โดยวิธี Disc diffusion (ตารางที่ 3) จากการทดลองพบว่า การแช่แอลกอฮอล์ที่ความเข้มข้นตั้งแต่ 40 % v/v ขึ้นไป จะให้สารสกัดที่มีฤทธิ์ในการยับยั้งเชื้อ เนื่องจาก Inhibition zone ของแต่ละความเข้มข้นไม่แตกต่างกัน ดังนั้น MIC คือค่าสัดส่วน สารสกัดต่อน้ำ ที่ 1:7

เมื่อทำการนับปริมาณเชื้อโดยวิธี broth micro-dilution method พบว่า การแช่กระชายใน 95% v/v แอลกอฮอล์ เป็นเวลา 1 วัน ที่ $1 \times \text{MIC}$ สามารถลดปริมาณเชื้อจาก 10^7 CFU/ml เป็นประมาณ 10^3 CFU/ml ซึ่งถือว่าเป็นระดับที่ปลอดภัยต่อสุขภาพของช่องปาก (ตารางที่ 4)

ตาราง 3: การยับยั้ง *Streptococcus mutans* โดยวิธี Disc diffusion ของสารสกัดเหง้ากระชายที่เปลี่ยนไปตามความเข้มข้นของแอลกอฮอล์ เวลาที่ใช้ในการแช่เหง้ากระชายคือ 7 วัน

ความเข้มข้นของ สารสกัดเหง้ากระชาย (สารสกัด: น้ำ) ความเข้มข้นของแอลกอฮอล์ (%v/v)	Inhibition zone (cm)			
	1:1	1:3	1:5	1:7
40	0.65±0.05	0.60±0.00	0.65±0.05	0.65±0.05
60	0.78±0.23	0.60±0.00	0.65±0.05	0.65±0.05
80	0.80±0.10	0.70±0.00	0.65±0.05	0.65±0.05
95	0.60±0.00	0.70±0.00	0.65±0.05	0.70±0.00

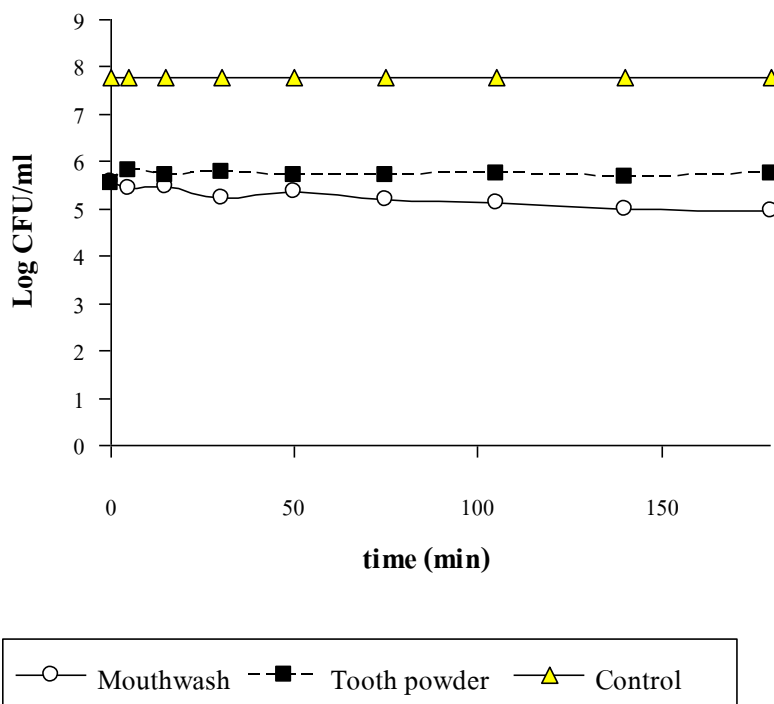
ตาราง 4: การยับยั้ง *Streptococcus mutans* โดยวิธี broth microdilution method ของสารสกัดเหง้ากระชายที่เปลี่ยนไปตามความเข้มข้นของแอลกอฮอล์ เวลาที่ใช้ในการแช่เหง้ากระชายคือ 1 วัน โดยอัตราการเจือจางที่ใช้ในการทดสอบการยับยั้งเชื้อ สารสกัด: น้ำ คือ 1:7

Concentration of ethanol (% v/v)	Log CFU/ml (mean ± SD : n=2)
control	7.12±0.01
40	3.47±0.13
60	2.65±0.07
80	2.65±0.07
95	2.6±0.00

3.3 การตั้งตำรับผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดในช่องปาก

3.3.1 Time-kill curve studies

นำน้ำยาบ้วนปากและยาสีฟันที่ผสมสารสกัดจากเหง้ากระชาย (ตารางที่ 1) ในสัดส่วน ผลิตภัณฑ์ต่อปริมาณเชื้อเริ่มต้นที่ 1:1 มาศึกษา Time kill curve โดยใช้ control เป็นเชื้อเริ่มต้นที่ไม่ผสมผลิตภัณฑ์ใดๆ ซึ่งมีค่า 10^7 CFU/ml จากการศึกษาพบว่า ผลิตภัณฑ์ สามารถลดปริมาณเชื้อจาก 10^7 CFU/ml เป็น 10^5 CFU/ml ได้นานอย่างน้อย 180 นาที (รูปที่ 4)



รูปที่ 4 Time kill curve ของน้ำยาบ้วนปาก และยาสีฟัน ที่เปลี่ยนไปตามเวลาต่างๆ ได้แก่ 0, 5, 15, 30, 50, 75, 105, 140 และ 180 นาที โดย control คือปริมาณเชื้อเริ่มต้น 10^7 CFU/ml

3.3.2 Sensory Test

ตารางที่ 6 แสดง Sensory Test ของผลิตภัณฑ์รักษาความสะอาดในช่องปาก ในด้าน สี กลิ่น รสชาติ ความรู้สึกสะอาดและความพอใจโดยรวม ที่มีคะแนนเต็มแต่ละด้านเป็น 5 จากการทดสอบพบผู้ทดสอบให้คะแนนโดยเฉลี่ยปานกลาง (a) เมื่อเปรียบเทียบยาสีฟันผงสมุนไพรกับยาสีฟันผงตามท้องตลาด สามารถสรุปได้ ความพอใจโดยรวมของทั้งสองผลิตภัณฑ์ไม่แตกต่างกัน (b)

ตาราง 6 : การทดสอบ Sensory Test น้ำยาบ้วนปาก (a) และยาสีฟันสมุนไพร (b) ด้วยสถิติ Duncan method ที่ความเชื่อมั่น 95% (โปรแกรม spss version 10)

ลักษณะที่ทดสอบ	ค่าเฉลี่ย (Mean)
สี	4.20±0.66
กลิ่น	4.10±0.77
รสชาติ	3.20±0.94
ความรู้สึกสะอาด	3.36±0.99
ความพอใจโดยรวม	3.63±0.88

(a) Sensory Test ของน้ำยาบ้วนปาก

ตาราง 6 : การทดสอบ Sensory Test น้ำยาบ้วนปาก (a) และยาสีฟันสมุนไพร (b) ด้วยสถิติ Duncan method ที่ความเชื่อมั่น 95% (โปรแกรม spss version 10) (ต่อ)

ลักษณะที่ทดสอบ	ค่าเฉลี่ย (Mean)	
	ยาสีฟัน	ยาสีฟันผง (ผลิตภัณฑ์ในท้องตลาด)
สี	3.129±0.885 ^c	4.323±0.945 ^a
กลิ่น	3.548±0.961 ^{ab}	4.065±1.093 ^a
รสชาติ	3.710±0.739 ^a	3.710±0.938 ^a
ความรู้สึกสะอาด	3.871±0.670 ^a	3.677±0.979 ^{ab}
ความพอใจโดยรวม	3.742±0.773 ^a	3.936±0.854 ^a

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่เหมือนกันแสดงว่าผลลัพธ์ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

(b) Sensory Test ของยาสีฟันสมุนไพร

4.อภิปรายผล (Discussion)

สำหรับการพัฒนาผลิตภัณฑ์รักษาสุขภาพในช่องปากจากสารสกัดจากเหง้ากระชายในการยับยั้งการเจริญของเชื้อ *Streptococcus mutans* สารสกัดได้มาจากการแช่เหง้ากระชายในอัตราส่วนเหง้ากระชายต่อเอทิลแอลกอฮอล์ 1:10 โดยใช้เอทิลแอลกอฮอล์ที่มีความเข้มข้น 40%, 60%, 80%, และ 95% เป็นเวลา 1, 3, 5, 7 วัน ณ อุณหภูมิห้อง ก่อนนำไปกลั่นที่อุณหภูมิ 40 °C และ 0.85 bar เป็นเวลา 30 นาที ทำการตรวจสอบการยับยั้งเชื้อโดยวิธี disc diffusion และวิธี broth microdilution ผลทดสอบพบว่าสภาวะที่ดีที่สุดในการยับยั้งเชื้อ *Streptococcus mutans* คือ การแช่กระชายใน 95% v/v เอทิลแอลกอฮอล์ เป็นเวลา 7 วัน ที่อัตราส่วนสารสกัดต่อน้ำ เท่ากับ 1:7 สามารถลดปริมาณเชื้อจาก 10⁷CFU/ml เป็นประมาณ 10²CFU/ml ซึ่งถือว่าเป็นระดับที่ปลอดภัยต่อสุขภาพของช่องปาก สำหรับผลิตภัณฑ์รักษาสุขภาพ พบว่าสามารถลดปริมาณเชื้อจาก 10⁷CFU/ml เป็นประมาณ 10⁵CFU/ml นานอย่างน้อย 180 นาที และได้รับการยอมรับจากการทำ sensory test ในระดับปานกลาง

5. สรุปผล (Conclusion)

ในการพัฒนาเทคโนโลยีจะทำการศึกษาความเข้มข้นของสารสกัดกระชายที่เหมาะสมในการลดจำนวน *Streptococcus mutans* ปริมาณส่วนผสมของผลิตภัณฑ์ดูแลช่องปากจากกระชาย และเทคโนโลยีการผลิตผลิตภัณฑ์ดูแลช่องปากที่เหมาะสม โดยในการทดลองจะใช้ความเข้มข้นของสารสกัดกระชายที่น้อยที่สุดที่มีผลในการยับยั้งจุลินทรีย์ (Minimal Inhibitory Concentration, MIC) มีการแปรความเข้มข้นตั้งแต่ 1×MIC, 2×MIC, และ 3×MIC ที่สภาวะดังนี้ที่ อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เวลา 24 ชั่วโมง นอกจากนี้ยังมีการวิเคราะห์ความพึงพอใจต่อผู้บริโภค ทั้งนี้เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ดูแลช่องปากจากสารสกัดจากกระชายที่มีฤทธิ์ในการยับยั้ง *Streptococcus mutans* ที่มีคุณภาพสอดคล้องตามมาตรฐานอุตสาหกรรมของประเทศไทย งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาแบบเทคโนโลยีที่สามารถถ่ายทอดให้กับชุมชนเพื่อการพัฒนาเศรษฐกิจชุมชนอย่างยั่งยืน

6. กิตติกรรมประกาศ

บทความนี้ได้รับการสนับสนุนห้องปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์จากภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



7. เอกสารอ้างอิง (Reference)

- [1] แคนเซอร์ . 2551. *กระชายราชาแห่งสมุนไพร*. แหล่งที่มา: <http://www.oknation.net/blog/print.php?id=221479>., 30มีนาคม 2555
- [2] คลินิกทันตกรรมราชเทวีสแตน. 2555. *โรคฟันผุ*. แหล่งที่มา: <http://dentalthailandbangkok.com/xn--q3cgh6esb-funpu.html>., 30มีนาคม 2555
- [3] Barry A (1976). *Antimicrobial susceptibility tests: Principle and practice*, Lea and Febiger; Philadelphia, pp. 3-11.
- [4] Klepser ME, Wolfe EJ, Jones RN, Nightingale CH, and Pfaller MA (1997). *Antifungal pharmacodynamic characteristics of fluconazole and amphotericin B tested against Candida albicans*. *Antimicrob. Agents Chemother.*, 41: 1392-1395.
- [5] LORIAN, V. 1996. *Antibiotics in Laboratory Medicine*. Fourth edition, Williams & Wilkins, Baltimore, USA

การศึกษาอัตราความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเอทานอลในรถจักรยานยนต์ 135 ซีซี.
ด้วยแนวทางการอนุรักษ์พลังงานเพื่อความยั่งยืน

Studies rate of fuel consumption ethanol in motorcycle 135 cc.,
With a conservative approach to energy sustainability.

ชาญณรงค์ นามสนธิ¹, สุรเชษฐ เดชฟุ้ง², สหรัตน์ วงษ์ศรีษะ²

¹แผนกวิชาช่างยนต์ วิทยาลัยเทคนิคสมุทรปราการ

336 ถนนสุขุมวิท ตำบลบางปูใหม่ อำเภอเมือง

จังหวัดสมุทรปราการ โทร 02-3239009 ต่อ 233

chan2818@hotmail.com

²สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรมเพื่อความยั่งยืน

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

1381 ถนนพิบูลย์สงคราม เขตบางซื่อ กรุงเทพมหานคร 10800

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาเพื่อลดอัตราความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงของการใช้แก๊สโซฮอล์ E85 ในรถจักรยานยนต์ 135 ซีซี. โดยเทคนิคการออกแบบการทดลอง (Design of Experiment, DOE) แบบ 2^K โดยการเพิ่มคาบการฉีดเชื้อเพลิงที่ร้อยละ 0, 10, 20, 30 และทดสอบด้วยความเร็วเฉลี่ย 40 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ด้วยค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของการเพิ่มคาบการฉีดและจ่ายเชื้อเพลิงที่ Stoichiometric air/fuel ratio 9.86:1 ผลการวิจัยปรากฏว่าการฉีดเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้นร้อยละ 10 ส่งผลให้อัตราความสิ้นเปลืองจากเดิมประมาณ 43.9 กิโลเมตรต่อลิตร เพิ่มขึ้นเป็น 72 กิโลเมตรต่อลิตร ประหยัดเชื้อเพลิงร้อยละ 39 การปล่อยก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์(CO) ในรอบเดินเบาลดลง 0.01 Vol และก๊าซไฮโดรคาร์บอน(HC) ลดลง 18 ppm.Vol เป็นการใช้พลังงานอย่างคุ้มค่าและลดการปล่อยมลพิษ แสดงถึงการอนุรักษ์พลังงานอย่างยั่งยืน

คำสำคัญ : แก๊สโซฮอล์ E85, เอทานอล, เชื้อเพลิงฟอสซิล, รถจักรยานยนต์, ความยั่งยืน

Abstract

This research was conducted to reduce the fuel consumption of the gas, gasohol E85 in motorcycles 135 cc. of experimental design techniques (Design of Experiment, D.O.E.) is 2^K . By increasing the fuel injection period, the percentage of 0, 10, 20, 30, and the average driving speed of 40 Km/h with the appropriate parameters of a discrete supply and fuel injection. Stoichiometric air/fuel ratio 9.86:1. The results show that the fuel increased 10 percent, As a result, the rate of consumption of about 43.9 Km/l Increased to 72 Km/l fuel economy up to 39 percent. Emissions of carbon monoxide (CO) in decrease of 0.01 Vol idle, and hydrocarbons (HC), down 18 ppm.Vol. As a result, The energy efficiency and reduce emissions. Represents the conservation of energy sustainability.

Keywords: Gasohol E85, ethanol, fossil fuel, motorcycle, sustainability,

1. บทนำ

แก๊สโซฮอล์ E85 มีแนวโน้มที่จะใช้มากขึ้นในอุตสาหกรรมยานยนต์[2] เนื่องจากราคาถูกและปัญหาการขาดแคลนเชื้อเพลิงจากฟอสซิล[12] แผนพัฒนาพลังงานทดแทน 15 ปี ของสำนักงานนโยบายและแผนงานกระทรวงพลังงานเพื่อรองรับการลดกำลังการผลิตเชื้อเพลิงจากฟอสซิล จึงมีเป้าหมายที่จะส่งเสริมให้มีการใช้เอทานอล 3 ล้านลิตรต่อวัน ในปี 2554 6.2 ล้านลิตรต่อวัน ในปี 2559 และ 9 ล้านลิตรต่อวัน ในปี 2569 โดยการประชาสัมพันธ์ให้ความรู้และสร้างความเชื่อมั่นในการใช้แก๊สโซฮอล์ E85 ในรถยนต์และ แก๊สโซฮอล์ E10 ในรถจักรยานยนต์[2],[8]

แต่เนื่องจากแก๊สโซฮอล์ E85 มีค่าความดันไอ(vapor pressure) ต่ำกว่าน้ำมันแก๊สโซลีน จึงทำให้เครื่องยนต์สตาร์ทติดยากในขณะเครื่องเย็นหรืออุณหภูมิต่ำ ส่งผลให้การใช้แก๊สโซฮอล์ E85 ในรถจักรยานยนต์มีอัตราความสิ้นเปลืองมากกว่าน้ำมันแก๊สโซลีนประมาณ 25-40% เมื่อเทียบกับระยะทางที่เท่ากัน[3],[4],[5],[9] เพื่อให้เครื่องยนต์ทำงานได้ตามปกติจึงต้องจ่ายเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้น 20-30%[1],[4],[5] ซึ่งระบบการฉีดเชื้อเพลิงแบบ Fuel Injection เมื่อเพิ่มปริมาณการฉีดให้ส่วนผสมมากขึ้น (Rich) ส่งผลให้สิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง

เพื่อหาพารามิเตอร์ของการเพิ่มคาบการฉีดเชื้อเพลิงที่เหมาะสมในการลดอัตราความสิ้นเปลืองแก๊สโซฮอล์ การวิจัยจึงทำการศึกษาเพื่อลดอัตราความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเอทานอลในรถจักรยานยนต์ขนาด 135 ซีซี. ด้วยแนวทางการอนุรักษ์พลังงานเพื่อความยั่งยืน โดยทำการศึกษาข้อมูลของการใช้เอทานอลทั้ง ด้านพลังงาน (Energy) ด้านสิ่งแวดล้อม (Environment) ด้านเศรษฐศาสตร์ (Economic) และวิเคราะห์สรุปแนวทางเพื่อการนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิง ซึ่งข้อมูลจากการศึกษาจะเป็นแนวทางในการนำแก๊สโซฮอล์ E85 มาใช้ในรถจักรยานยนต์เพื่อความยั่งยืนต่อไป

2. วิธีการวิจัย

2.1 คุณสมบัติของเอทานอล

เนื่องจากค่าความร้อน(Low heating value) ของเอทานอลมีค่าน้อยกว่าแก๊สโซลีนอยู่ประมาณ 30% โดยวัดต่อหน่วยน้ำหนักดังตารางที่ 1 เมื่อคิดที่สมการการเผาไหม้ที่สมบูรณ์แก๊สโซลีนมีอัตราส่วนระหว่างอากาศกับเชื้อเพลิงเป็น 14.7:1 แต่เอทานอลมีอัตราส่วนระหว่างอากาศกับเชื้อเพลิงเป็น 9:1 ดังนั้นเมื่อนำเอทานอลมาใช้เป็นเชื้อเพลิงจึงจำเป็นต้องใช้ในปริมาณที่มากกว่าแก๊สโซลีนเพื่อให้เครื่องยนต์สามารถทำงานได้ โดยนำมาผสมในอัตราส่วนเอทานอล 85% และแก๊สโซลีน 15% เป็นแก๊สโซฮอล์ E85

ตารางที่ 1 คุณสมบัติของเอทานอลกับแก๊สโซลีน

Fuel	Gasoline	Ethanol
Formula	$C_{8.26}H_{15.5}$	C_2H_5OH
Low heating value (MJ/kg)	44	26.9
Stoichiometric air/fuel ratio	14.6	9
Heat of vaporization (kJ/kg)	305	840
Research octane number	88-100	108.6
Motor octane number	80-90	89.7

2.2 การเผาไหม้ของเชื้อเพลิงเอทานอล

กระบวนการเผาไหม้เชื้อเพลิงในเครื่องยนต์จะเกิดจากปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างออกซิเจนกับคาร์บอนและไฮโดรเจน จึงทำให้ได้พลังงานในรูปของความร้อนและส่งผลให้ความดันภายในกระบอกสูบเพิ่มสูงขึ้น ปริมาณความต้องการอากาศในทางทฤษฎีสำหรับการเผาไหม้ที่สมบูรณ์หรือเรียกว่า Stoichiometric Air/Fuel ratio โดยพื้นฐานอากาศจะประกอบด้วยออกซิเจนประมาณ 23% โดยน้ำหนัก หรือ 21 % โดยปริมาตร การเผาไหม้ที่สมบูรณ์ของเอทานอลดังสมการที่ 1[9]



คิดในหน่วยโมลเชื้อเพลิง

1 โมลเชื้อออกซิเจน 3 โมล จะได้ คาร์บอนไดออกไซด์ 2 โมลและน้ำ 3 โมล

คิดในหน่วยน้ำหนัก

$$46.07 + 3(16 \times 2) = (2 \times 44.01) + (3 \times 18.02)$$

$$46.07 + 96 = 88.02 + 54.06$$

ในอากาศ 100 กิโลกรัม มี $\text{O}_2 = 23$ กิโลกรัม และมี $\text{N}_2 = 77$ กิโลกรัม เพราะฉะนั้น $\text{O}_2 = 96$ กิโลกรัม จะมี N_2 เท่ากับ

$$\text{N}_2 = \frac{77 \times 96}{23} = 321.391 \text{ กิโลกรัม}$$

อากาศ ($\text{O}_2 + \text{N}_2$) เท่ากับ $96 + 321.391 = 417.391$ กิโลกรัม เพราะฉะนั้นอากาศที่ใช้ต่อเอทานอล 1 กิโลกรัม จะมีค่าเท่ากับ

$$(A/F)_s = \frac{417.391}{46.07} = 9.05 \text{ กิโลกรัม}$$

ในทางทฤษฎีเอทานอล 1 กิโลกรัม จะต้องใช้อากาศ 9 กิโลกรัม จึงจะทำให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ จากผลอัตราส่วนผสมของเอทานอล E100 ทำให้เราสามารถที่จะหาค่า Stoichiometric ของแก๊สโซฮอล์ E85 ได้จากสมการที่ 2[7]

$$\text{EFF}_{\text{Stoich}} = (E_{\text{Ethanol}} \times E100_{\text{Stoich}}) + (G_{\text{Gasoline}} \times E0_{\text{Stoich}}) \quad (2)$$

โดยที่: $\text{EFF}_{\text{Stoich}}$ คือ ค่า Stoichiometric แก๊สโซฮอล์ที่อัตราส่วนผสมต่างๆ

E_{Ethanol} คือ อัตราส่วนของเชื้อเพลิงเอทานอล

G_{Gasoline} คือ อัตราส่วนของเชื้อเพลิงแก๊สโซลีน

$E100_{\text{Stoich}}$ คือ ค่า Stoichiometric ของเชื้อเพลิงเอทานอล (E100)

$E0_{\text{Stoich}}$ คือ ค่า Stoichiometric ของเชื้อเพลิงแก๊สโซลีน (E0)

ดังนั้นค่า Stoichiometric ของ E85 คือ

$$E85_{\text{Stoich}} = (0.85 \times 9.0) + (0.15 \times 14.7) = 9.86 \text{ [11]}$$

ขีดจำกัดของอัตราส่วนผสม ค่า λ (Lambda) = 1[6]

$$\lambda = \frac{(A/F)_{\text{Act}}}{(A/F)_{\text{th}}} \text{ [13]} \quad (3)$$

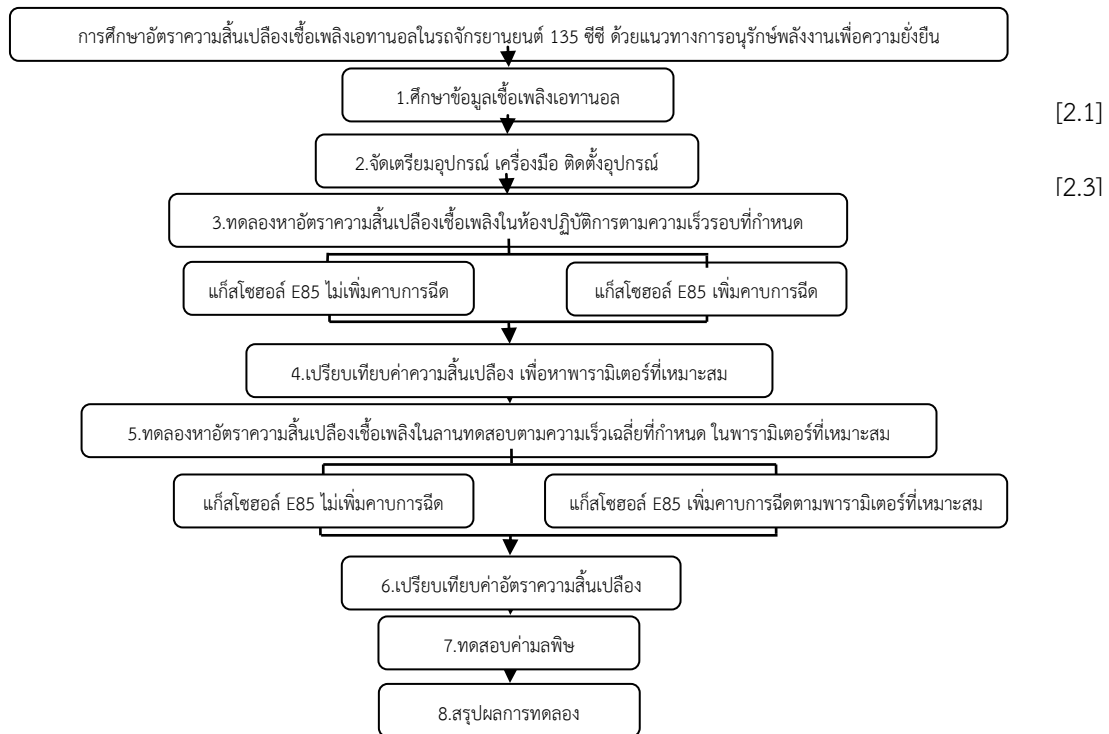
เมื่อ λ คือ อัตราส่วนผสมไอดี

$(A/F)_{\text{Act}}$ คือ ความต้องการอากาศที่เป็นจริง

$(A/F)_{\text{th}}$ คือ ความต้องการอากาศทางทฤษฎี

2.3 เครื่องมือและกระบวนการทดลอง

ในการวิจัยได้ออกแบบขั้นตอนการทดลองดังภาพที่ 1

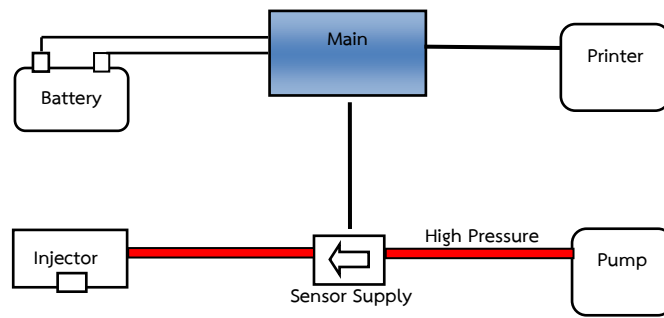


ภาพที่ 1 แสดงขั้นตอนการทดลอง

จากภาพที่ 1 ได้กำหนดขั้นตอนการทดลองไว้ 8 ลำดับๆที่ 3 และ5 เป็นการทดลองเพื่อหาอัตราความสิ้นเปลืองของเชื้อเพลิงในห้องปฏิบัติการและการขับขี่ในลานทดสอบโดยใช้เครื่อง Fuel Consumption Meter รุ่น OKUDA Fc 9500 ดังภาพที่ 2 ซึ่งสามารถทำการวัดอัตราความสิ้นเปลืองแก๊สโซฮอล์ E8 ได้โดยทำการติดตั้งเครื่องมือวัดค่าความสิ้นเปลืองกับชุดจ่ายเชื้อเพลิงของรถจักรยานยนต์ดังภาพที่ 3

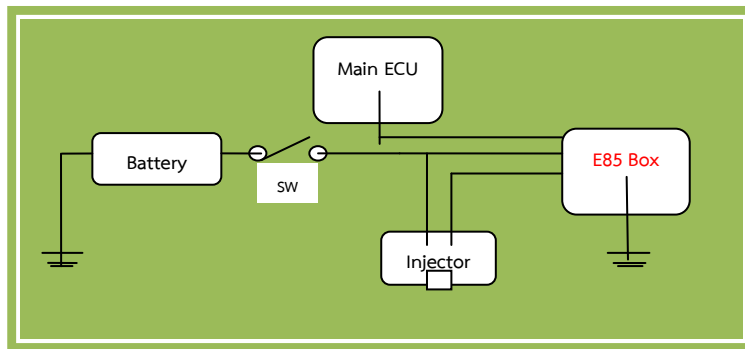


ภาพที่ 2 แสดง Fuel Consumption Meter รุ่น OKUDA Fc 9500



ภาพที่ 3 แสดงวงจรการติดตั้งเครื่องมือวัดอัตราความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงกับรถจักรยานยนต์

การปรับรถจักรยานยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงแก๊สโซฮอล์ E10 ให้สามารถใช้น้ำมันเชื้อเพลิงแบบยืดหยุ่น (Flex Fuel Vehicle : FFV) ได้นั้นต้องทำการติดตั้งชุดคิต (E85 Box) เพื่อให้หลักการขยายสัญญาณของหัวฉีดตั้งแต่ 0%-35% [3],[4] ดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 แสดงวงจรการติดตั้งชุดคิต (E85 Box) ในรถจักรยานยนต์ทดสอบ

รถจักรยานยนต์ที่ใช้ในการทดลองเป็นเครื่องยนต์ 4 จังหวะ สันดาปภายในใช้ประกายไฟในการจุดระเบิด 1 สูบ เกียร์ธรรมดา (Gear) รุ่นยามาฮา สปาร์กไอ 135 ซีซี. ระบบจ่ายน้ำมันเชื้อเพลิงหัวฉีดแบบ Single Cylinder Equipped with FI

ตารางที่ 2 รายละเอียดรถจักรยานยนต์รุ่นยามาฮา สปาร์กไอ 135 ซีซี.

ข้อมูล	คุณสมบัติ(Specification)
เครื่องยนต์	4 จังหวะ 1 สูบ SOHC. 4 Valve
ขนาดกระบอกสูบ	54.0 x 58.7 มม.(กระบอกสูบ x ระยะชัก)
ปริมาตรกระบอกสูบ	134 ซีซี.
อัตราส่วนการอัด	10.9 : 1
รอบเดินเบา	1,400 $\pm$ 100 rpm
ระบบจ่ายเชื้อเพลิง	แบบ Single Cylinder Equipped with FI
ระบบระบายความร้อน	ระบายความร้อนด้วยน้ำ
ระบบจุดระเบิด	Transistorized Coil Ignition :T.C.I
ระบบส่งกำลัง	เกียร์วัน 4 ระดับ
ระบบหล่อลื่น	วิตสาด ยามาฮ่า 4T (SAE 20w 40)
ระบบคลัทช์	แบบเปียกชนิดหลายแผ่นและแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางอัตโนมัติ
ระบบสตาร์ท	สตาร์ทมือและสตาร์ทเท้า
ความจุถังน้ำมันเชื้อเพลิง	3.6 ลิตร
อัตราการไหลน้ำมันเชื้อเพลิง	36 ลิตรต่อชั่วโมง
แรงดันปั้มน้ำมันเชื้อเพลิง	250 kPa

ออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียลที่มีปัจจัย 2 ปัจจัย (2^K) โดยปัจจัยที่ 1 คือการปรับค่าอัตราการจ่ายเชื้อเพลิงตั้งแต่ 0% , 10% , 20% และ 30% และปัจจัยที่ 2 คือความเร็วรอบของเครื่องยนต์ 4,500 , 5,500 , 6,500 , 7,500 รอบต่อนาที จากนั้นทำการติดตั้งอุปกรณ์การทดลองในรถจักรยานยนต์ที่ทดลอง ซึ่งประกอบด้วยชุดวัดค่าความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง (Fuel-Consumption Meter) และชุดคิด โดยทำการติดตั้งตามภาพที่ 3 และ 4 ตามลำดับ นำรถจักรยานยนต์เติมแก๊สโซฮอล์ E85 และทำการทดลองหาค่าความสิ้นเปลืองในห้องปฏิบัติการโดยวัดแบบไม่มีภาระ (Free load) ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ 4,500 , 5,500 , 6,500 , 7,500 รอบต่อนาที และเพิ่มคาบการฉีดเชื้อเพลิงตั้งแต่ 0% , 10% , 20% และ 30% ในความเร็วรอบข้างต้นจนครบตามลำดับ นำค่าที่ได้ของเชื้อเพลิงแก๊สโซฮอล์ E85 ที่ปรับในแต่ละช่วงเปอร์เซ็นต์ มาวิเคราะห์หาค่าความสิ้นเปลืองเปรียบเทียบกัน เพื่อหาช่วงความเร็วรอบของเครื่องยนต์และเปอร์เซ็นต์การเพิ่มคาบการจ่ายเชื้อเพลิงที่เหมาะสมในการประหยัดน้ำมันเชื้อเพลิง

ทำการทดลองแบบ 2^K โดยปัจจัยที่ 1 คือการปรับค่าอัตราการจ่ายเชื้อเพลิงตั้งแต่ 0% , 10% , 20% และ 30% และปัจจัยที่ 2 คือขับขึ้นในลานทดสอบโดยกำหนดความเร็วในการขับที่เฉลี่ย 20 , 30 , 40 , 50 กิโลเมตรต่อชั่วโมง เพื่อหาค่าความสิ้นเปลือง โดยทำการติดตั้งชุดวัดค่าความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงและชุดคิดตามขั้นตอนดังกล่าวข้างต้น แล้วนำรถจักรยานยนต์ขับขึ้นในลานทดสอบโดยกำหนดความเร็วในการขับที่เฉลี่ย 20 , 30 , 40 , 50 กิโลเมตรต่อชั่วโมง และเพิ่มคาบการจ่ายเชื้อเพลิงตั้งแต่ 0% , 10% , 20% และ 30% ในแต่ละความเร็วจนครบตามลำดับ ขับขึ้นด้วยเกียร์ 1-4 ระยะทาง 1.8 กิโลเมตร น้ำหนักผู้ขับขี่ 74 กิโลกรัม เปรียบเทียบระหว่างแก๊สโซฮอล์ E85 ที่ไม่ปรับเพิ่มคาบการฉีดกับแก๊สโซฮอล์ E85 ที่เพิ่มคาบการฉีดในแต่ละช่วงเปอร์เซ็นต์ หาค่าความสิ้นเปลืองเพื่อวิเคราะห์ความเร็วและเปอร์เซ็นต์การปรับเพิ่มคาบการฉีดเชื้อเพลิงที่เหมาะสมในการขับขึ้นเพื่อลดอัตราความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงตามแนวทางการอนุรักษ์พลังงานเพื่อความยั่งยืน

ทำการศึกษาค่าใช้จ่ายของเชื้อเพลิงแก๊สโซฮอล์ E85 ในรถจักรยานยนต์จำนวนหนึ่งครั้งที่เติมเชื้อเพลิงเพื่อเปรียบเทียบกับแก๊สโซฮอล์ 91 ซึ่งสามารถคำนวณถึงระยะเวลาคืนทุนของผู้ใช้ได้ ตามสมการที่ 4 และ 5[10]

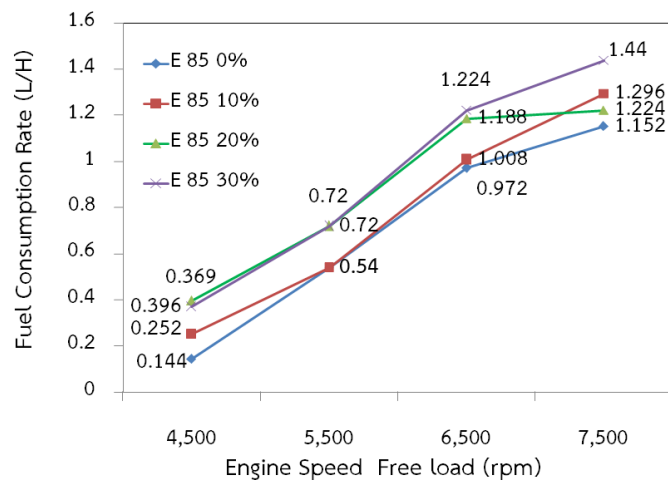
$$\text{จำนวนครั้งที่เติมเชื้อเพลิง} = \frac{\text{รายจ่ายอุปกรณ์} + \text{รายจ่ายแปรผัน}}{\text{ส่วนต่างราคาต่อถัง}} \quad (4)$$

$$\text{ระยะทางคืนทุน} = (\text{จำนวนครั้งการเติมเชื้อเพลิง} \times \text{ความจุถัง}) \times \text{อัตราความสิ้นเปลือง} \quad (5)$$

จากสมการที่ 4 และ 5 นำมาคำนวณเพื่อหาจุดคุ้มทุนดังนี้ ติดตั้งชุดคิด E85 (Flex Fuel Vehicles) ราคา 1,900 บาท สำหรับการเปลี่ยนเชื้อเพลิงมีค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาซึ่งประกอบด้วย กรองเชื้อเพลิง หัวเทียน ท่อทาง ชุดซิลระบบฉีด รวม 800 บาท ค่าใช้จ่ายอุปกรณ์และรายจ่ายแปรผันรวม 2,700 บาท โดยสามารถหาระยะทางคืนทุนได้ตามสมการที่ 5

3. ผลการวิจัย

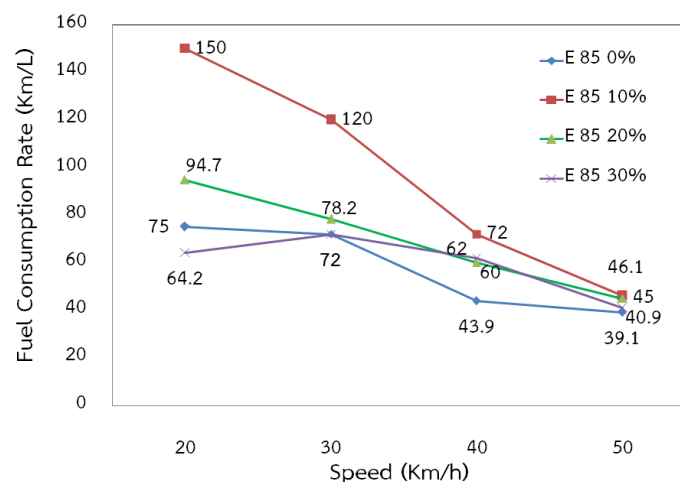
ด้านพลังงานผลจากการทดลองหาค่าอัตราความสิ้นเปลือง (Fuel Consumption Rate) ในห้องปฏิบัติการโดยวัดค่าความสิ้นเปลืองแบบไม่มีภาระ (Free load) ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ 4,500 , 5,500 , 6,500 , 7,500 รอบต่อนาที ตามลำดับในระยะเวลา 3 นาที ผลการทดลองแสดงในภาพที่ 5



ภาพที่ 5 แสดงการเปรียบเทียบอัตราความสิ้นเปลืองลิตรต่อชั่วโมงของแก๊สโซฮอล์ E85 ตามความเร็วรอบ

จากข้อมูลในภาพที่ 5 จะพบว่าแก๊สโซฮอล์ E85 ปรับเพิ่มค่าการฉีดเชื้อเพลิง 10% ในช่วงความเร็วรอบ 4,500 , 5,500 , 6,500 , 7,500 รอบต่อนาที มีอัตราความสิ้นเปลืองเท่ากับ 0.252 , 0.54 , 1.008 , 1.296 ลิตรต่อชั่วโมงตามลำดับ แก๊สโซฮอล์ E85 ปรับเพิ่มค่าการฉีดเชื้อเพลิง 30% ในช่วงความเร็วรอบเดียวกันนั้น มีอัตราความสิ้นเปลืองเท่ากับ 0.369 , 0.72 , 1.224 , 1.44 ลิตรต่อชั่วโมงตามลำดับ จะเห็นว่าในช่วงของรอบเครื่องยนต์ต่ำจะมีอัตราความสิ้นเปลืองใกล้เคียงกันแต่เมื่อรอบเครื่องยนต์สูงขึ้นแนวโน้มของอัตราความสิ้นเปลืองก็แปรผันตามรอบความเร็วของเครื่องยนต์ที่สูงขึ้นอัตราความสิ้นเปลืองก็เพิ่มขึ้นด้วย จากผลดังกล่าวค่าปรับเพิ่มค่าการฉีดเชื้อเพลิงที่เหมาะสมในการขับคือ 10% ส่วนค่าปรับเพิ่มค่าการฉีดเชื้อเพลิง 30% มีความสิ้นเปลืองสูงกว่าอยู่ 17.37 % ที่ความเร็วรอบ 6,500 รอบต่อนาที ผลการทดลองที่เพิ่มค่าการฉีดเชื้อเพลิง 10% เป็นค่าที่เหมาะสมในการขับเนื่องจากอัตราความสิ้นเปลืองน้อยกว่าค่าปรับเพิ่มค่าการฉีดเชื้อเพลิง 20% และ 30%

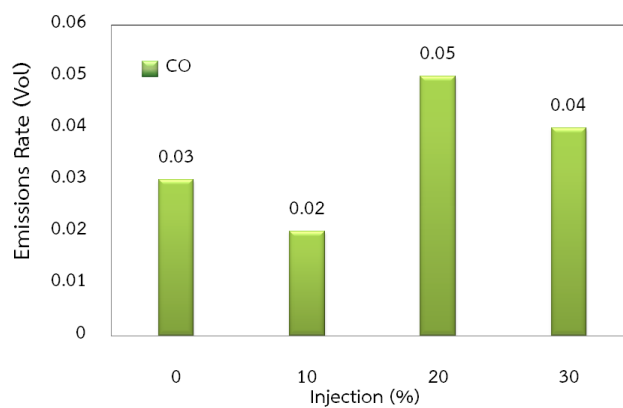
ผลจากการทดลองหาอัตราความสิ้นเปลือง (Fuel Consumption Rate) ในการขับที่กำหนดความเร็วของรถจักรยานยนต์ 30 , 40 , 50 , 60 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ตามลำดับและปรับเพิ่มค่าการฉีดเชื้อเพลิงตั้งแต่ 0% , 10% , 20% และ 30% ในแต่ละความเร็วจนครบตามลำดับ ขับขี่ด้วยเกียร์ 1-4 ระยะทาง 1.8 กิโลเมตร น้ำหนักผู้ขับขี่ 74 กิโลกรัม ผลการทดลองแสดงในภาพที่ 6



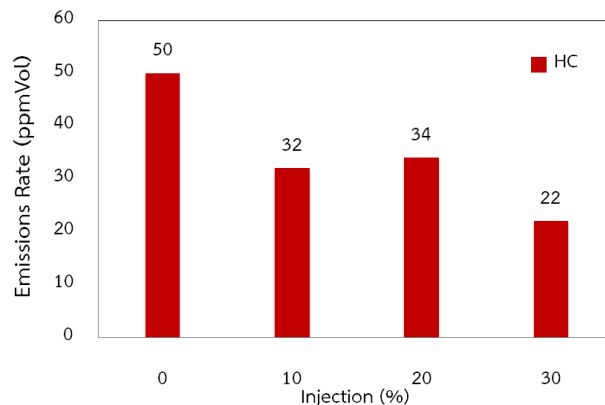
ภาพที่ 6 แสดงการเปรียบเทียบอัตราความสิ้นเปลืองกิโลเมตรต่อลิตรของแก๊สโซฮอล์ E85 โดยการขับด้วยความเร็ว 20 , 30 , 40 และ 50 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

จากภาพที่ 6 จะพบว่าแก๊สโซฮอล์ E85 ปรับเพิ่มคาบการฉีดเชื้อเพลิง 10% ในช่วงความเร็ว 20 , 30 , 40 , 50 กิโลเมตรต่อชั่วโมง มีอัตราความสิ้นเปลืองเท่ากับ 150 , 120 , 72 , 46.1 กิโลเมตรต่อลิตรตามลำดับ แก๊สโซฮอล์ E85 ปรับเพิ่มคาบการฉีดเชื้อเพลิง 0% ในช่วงความเร็วเดียวกันมีอัตราความสิ้นเปลืองเท่ากับ 75 , 72 , 43.9 , 39.1 กิโลเมตรต่อลิตรตามลำดับ จะเห็นว่าค่าปรับเพิ่มคาบการฉีดเชื้อเพลิง 10% มีความเหมาะสมในการขับขี่ เนื่องจากประหยัดมากกว่าการปรับเพิ่มคาบการฉีดเชื้อเพลิงในช่วงอื่นๆ ที่ความเร็ว 40 กิโลเมตรต่อชั่วโมง มีระยะทางเพิ่มขึ้น 28.1 กิโลเมตรต่อลิตร เมื่อเทียบกับการปรับเพิ่มคาบการฉีดเชื้อเพลิง 0%

ในด้านสิ่งแวดล้อมผลการทดสอบหาค่ามลพิษของรถจักรยานยนต์ในรอบเดินเบาที่ 1,400+ 100 รอบต่อนาที การใช้เชื้อเพลิงแก๊สโซฮอล์ E85 ในรถจักรยานยนต์นั้น ส่งผลให้ก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์(CO) ลดลง 0.01 Vol และก๊าซไฮโดรคาร์บอน(HC) ลดลง 18 ppm.Vol ดังภาพที่ 7 และ 8



ภาพที่ 7 แสดงผลการปล่อยก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) จากแก๊สโซฮอล์ E85



ภาพที่ 8 แสดงผลการปล่อยก๊าซไฮโดรคาร์บอน(HC) จากแก๊สโซฮอล์ E85

ข้อมูลในภาพที่ 7 และ 8 จะพบว่าปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) ของแก๊สโซฮอล์ E85 ที่เพิ่มคาบการฉีดเชื้อเพลิง 10% นั้น เมื่อเทียบกับช่วงเปอร์เซ็นต์การเพิ่มคาบการฉีดเชื้อเพลิง 0% , 20% , 30% ลดลงอย่างมีนัยสำคัญและการปล่อยก๊าซไฮโดรคาร์บอน(HC) โดยรวมน้อยกว่าเมื่อเทียบกับช่วงเปอร์เซ็นต์การเพิ่มคาบการฉีดเชื้อเพลิงที่ 0% และ 20%

ส่วนด้านเศรษฐศาสตร์เพื่อแสดงให้เห็นถึงการนำแก๊สโซฮอล์ E85 มาใช้ในรถจักรยานยนต์นั้นจะส่งผลให้ค่าใช้จ่ายของผู้ใช้รถจักรยานยนต์ลดลงดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 แสดงการเปรียบเทียบราคาแก๊สโซฮอล์ 91(E10) กับแก๊สโซฮอล์ E85 (ณ.วันที่ 29 สิงหาคม 2555)

น้ำมันเชื้อเพลิง	ราคาต่อลิตร(บาท)	ราคาต่อถัง(บาท)	ส่วนต่างราคาต่อถัง(บาท)
แก๊สโซฮอล์ 91(E10)	35.68	128.448 -	47.52
แก๊สโซฮอล์ E85	22.48	80.928	+47.52

จากตารางที่ 3 จะพบว่าการใช้แก๊สโซฮอล์ E85 ในรถจักรยานยนต์จำนวนหนึ่งครั้งที่เติมน้ำมันเชื้อเพลิงจะมีค่าใช้จ่ายลดลง 47.52 บาทต่อถัง (22.48 บาทต่อลิตร) เมื่อเทียบกับแก๊สโซฮอล์ 91 ซึ่งสามารถคำนวณถึงระยะเวลาคืนทุนของผู้ใช้แก๊สโซฮอล์ E85 จากสมการที่ 4 เติมน้ำมันเชื้อเพลิงจำนวน 56.81 ถึงจะคืนทุน จากสมการที่ 5 ระยะทางคืนทุนเท่ากับ 14,725 กิโลเมตร

4. อภิปรายผล

ผลจากภาพที่ 6 การปรับเพิ่มคาบการฉีดเชื้อเพลิงที่ 10% ในรถจักรยานยนต์ 135 ซีซี. ค่าการใช้เชื้อเพลิงลดลง 39 % เนื่องจากการทำให้อัตราส่วนผสมระหว่างน้ำมันเชื้อเพลิงกับอากาศมีค่าแลมด้า (λ)=1 ซึ่งเหมือนกับการทดลองในรถจักรยานยนต์ฮอนด้า คลิกโอ 125 ซีซี. ซึ่งค่าแลมด้า (λ)=1 โดยการจ่ายเชื้อเพลิงเพิ่ม 38%[3] และเหมือนกับการทดลองในรถจักรยานยนต์ฮอนด้า เวฟโอ 125 ซีซี. โดยการเพิ่มกำลังอัดจาก 9.3:1 เป็น 12:1 กำลังของเครื่องยนต์เพิ่มสูงขึ้นการจ่ายเชื้อเพลิงเพิ่ม 35% จึงมีอัตราความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ(BSFC)มากขึ้น 40%[4] แต่การวิจัยนี้ไม่ต้องเพิ่มกำลังอัด รถที่ทดลองมีกำลังและสารถิตดทุกช่วงอุณหภูมิ ซึ่งการทดลองในรถจักรยานยนต์ยามาฮา สปรากโอ 135 ซีซี. โดยปรับรอบความเร็วตั้งแต่ 3,000 - 9,000 รอบต่อนาที และเปิดปีกผีเสื้อ 10 - 40% ซึ่งค่าแลมด้า (λ) =1 จะได้ค่าแรงบิดที่เหมาะสมในการขับเคลื่อนการใช้เชื้อเพลิงแบบยืดหยุ่น[7] ข้อดีของการเพิ่มคาบการฉีดที่ 10% ในรถจักรยานยนต์ 135 ซีซี. นั้นส่งผลให้การเผาไหม้สมบูรณ์ ประหยัดน้ำมันเชื้อเพลิงแต่การปรับเพิ่มคาบการฉีดนั้นยังไม่สามารถปรับเปลี่ยนได้ตามชนิดของเชื้อเพลิง

ผลของภาพที่ 7 และ 8 จากการปรับเพิ่มคาบการฉีดเชื้อเพลิงที่ 10% ในรอบเดินเบาการปล่อยมลพิษลดลงสาเหตุมาจากการจ่ายน้ำมันที่Stoichiometric air/fuel ratio 9.86:1 ส่งผลให้การเผาไหม้สมบูรณ์ซึ่งเหมือนกับการทดสอบในรถจักรยานยนต์ฮอนด้า เวฟโอ 125 ซีซี. โดยเมื่อใช้แก๊สโซฮอล์ E85 การปล่อยก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์(CO) ลดลง 19-24% เมื่อเทียบกับเชื้อเพลิงแก๊สโซฮอล์[4] ซึ่งลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่ส่งผลต่อปัญหาโลกร้อน แต่ในงานวิจัยยังไม่มีการทดสอบการปล่อยมลพิษในขณะรถจักรยานยนต์ใช้งาน

ผลจากตารางที่ 3 ในด้านเศรษฐศาสตร์แสดงให้เห็นถึงระยะทางคืนทุนที่ 14,725 กิโลเมตร เมื่อติดตั้งชุดคิด E85 เนื่องจากแก๊สโซฮอล์ E85 มีราคาถูกกว่าเชื้อเพลิงอื่นซึ่งตรงกับการทดลองในฮอนด้า เวฟโอ 125 ซีซี. จะพบว่าการใช้แก๊สโซฮอล์ E85 ประหยัดกว่าการใช้น้ำมันเบนซิน 91[4] ทำให้ลดการนำเข้าเชื้อเพลิงฟอสซิลจากต่างประเทศและเป็นการส่งเสริมให้ใช้เชื้อเพลิงซึ่งเป็นพลังงานทดแทนที่สามารถผลิตได้ภายในประเทศ จึงส่งผลต่อความยั่งยืนด้านพลังงานของประเทศและเป็นแนวทางการอนุรักษ์พลังงาน

5. สรุปผล

การนำแก๊สโซฮอล์ E85 ใช้เป็นเชื้อเพลิงในรถจักรยานยนต์ขนาด 135 ซีซี. นั้น จากการปรับคาบการจ่ายน้ำมันเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้นร้อยละ 10 ส่งผลให้อัตราความสิ้นเปลืองจากเดิมประมาณ 43.9 กิโลเมตรต่อลิตร เพิ่มขึ้น 72 กิโลเมตรต่อลิตร จึงประหยัดเชื้อเพลิงร้อยละ 39 ลดค่าพลังงานได้ 9.828 เมกะจูลต่อลิตร ลดค่าใช้จ่ายในการเติมน้ำมันเชื้อเพลิง 8.76 บาทต่อลิตร การปล่อยก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์(CO) ในรอบเดินเบาลดลง 0.01 Vol และก๊าซไฮโดรคาร์บอน(HC) ลดลง 18 ppm.Vol. ซึ่งส่งผลดีทั้งในด้านพลังงาน ด้านสิ่งแวดล้อม และด้านเศรษฐศาสตร์โดยใช้พลังงานอย่างคุ้มค่าและคำนึงถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเป็นการนำไปสู่ความยั่งยืนอย่างแท้จริง

ข้อเสนอแนะ ในงานวิจัยนี้ยังไม่ได้ศึกษาถึงผลกระทบและการเสื่อมสภาพของชิ้นส่วนในรถจักรยานยนต์ที่สัมผัสกับน้ำมันแก๊สโซฮอล์ E85 ซึ่งจะได้อีกต่อไป

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จได้โดยความกรุณาให้คำแนะนำของ ผศ.สหรัตน์ วงษ์ศรีษะ ดร.สุรเชษฐ เดชทุ่ง ดร.ณัฐวรพล รัชสิริวัชรบูล ดร.ปริญญ์ บุญณิษฐ์ ผู้วิจัยจึงขอขอบพระคุณคณะกรรมการที่เสียสละเวลาในการให้คำแนะนำเพื่อให้งานวิจัยสำเร็จคล่องตัวดีและขอขอบคุณ แผนกวิชาช่างยนต์ วิทยาลัยเทคนิคสมุทรปราการ สถานตรวจสภาพอารยันต์ ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ในการวิจัย

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] จินดา เจริญพรพาณิชย์, 2551 โครงการวิจัยและทดลองใช้แก๊สโซฮอล์ที่ผสมเอทานอลตั้งแต่ร้อยละ 20 ขึ้นไปในรถยนต์และรถจักรยานยนต์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง หน้า 1-16
- [2] ขวลิท พิชาลัย, 2554 เรื่องนโยบายและแผนเชื้อเพลิง : แก๊สโซฮอล์ในอุตสาหกรรมยานยนต์ (มุมมองด้านนโยบาย) สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน
- [3] ธนวัฒน์ ศรีรักษา และคณะ, 2552. การปรับแต่งเครื่องยนต์เพื่อใช้เชื้อเพลิงผสมเอทานอล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง หน้า 7-8
- [4] ปิยะวัฒน์ ศรีธรรม และคณะ, 2554. การทดสอบประสิทธิภาพของจักรยานยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงแก๊สโซฮอล์ E85 สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสุรินทร์ หน้า 765-772
- [5] พิชัย อัญมณกุล และคณะ, 2550 การพัฒนารถจักรยานยนต์เพื่อใช้เอทานอลเป็นเชื้อเพลิง ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
- [6] พิชัย อัญมณกุล และคณะ, 2549 การศึกษาสมรรถนะเครื่องยนต์แก๊สโซลีนที่ใช้เอทานอล E95 เป็นเชื้อเพลิง ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
- [7] สุภรณ์ เหมือนหนู และคณะ, การประมาณค่าคาบเวลาการฉีดเชื้อเพลิงแบบยึดหยุ่นในเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟ โดยวิธีโครงข่ายประสาทเทียม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน กรุงเทพฯ
- [8] เสกสรรค์ พรหมนิช, 2554 เรื่องนโยบายและแผนเชื้อเพลิงแก๊สโซฮอล์ในอุตสาหกรรมยานยนต์ไทย Petro Green Co., Ltd. หน้า 3
- [9] อนันต์ ช่วยเกิด, 2545. การศึกษาและปรับปรุงสมรรถนะของเครื่องยนต์แก๊สโซลีนที่ใช้แก๊สโซฮอล์เป็นเชื้อเพลิง คณะพลังงานและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
- [10] Chan S., Park. 2009 Fundamentals of engineering economics. Second edition Pearson Education
- [11] John B. Heywood.,1988. Internal Combustion Engine Fundamentals. McGraw-Hill.
- [12] Rodrigo C.,2012 Compression ratio effects on an ethanol/gasoline fuelled engine performance. Applied Thermal Engineering 31, 278-283.
- [13] Rodrigo C.,2010. Hydrous ethanol vs. gasoline-ethanol blend : Engine performance and emissions. Fuel 89, 287-293

การศึกษาเพื่อวิเคราะห์เปรียบเทียบเทคโนโลยีเคลือบสีผิวโลหะตามหลักการพัฒนา
อุตสาหกรรมอย่างยั่งยืน
A Study of Comparison for Metal Color coating Technology According to
Sustainable Industry Development Principle

พุดพิงศ์ ชัยสมบุญพันธ์, ณัฐวรพล รัชสิริวัชรบุล, สหรัตน์ วงษ์ศิริษะ

Email : putt2909@gmail.com , natworapol@yahoo.com , saharat_w@yahoo.com

สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรมเพื่อความยั่งยืน

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

1381 ถนนพิบูลย์สงคราม เขตบางซื่อ กรุงเทพมหานคร 10800

บทคัดย่อ

การศึกษากระทำให้ขึ้นเพื่อวิเคราะห์เปรียบเทียบเทคโนโลยีเคลือบสีผิวโลหะตามหลักการพัฒนาอุตสาหกรรมอย่างยั่งยืน โดยเทคโนโลยีเคลือบสีผิวโลหะที่ใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตในปัจจุบัน คือ แบบพ่นสี และ แบบ Electro Deposition Painting(EDP) กระบวนการศึกษาเน้นค้นคว้าข้อมูลงานวิจัยที่ได้มีผู้ศึกษาก่อนหน้านี้ประกอบกับการให้ผู้เชี่ยวชาญทางด้านอุตสาหกรรม ประเมินการให้คะแนนของปัจจัยตามหลักการพัฒนาอุตสาหกรรมอย่างยั่งยืนประกอบซึ่งด้วย ปัจจัย ด้านเศรษฐศาสตร์ ด้านวิศวกรรม ด้านสังคมและด้านสิ่งแวดล้อม ผลการศึกษาพบว่า เทคโนโลยีเคลือบสีผิวโลหะแบบ Electro Deposition Painting(EDP) มีค่าที่สะท้อนถึงความยั่งยืนมากกว่าเทคโนโลยีเคลือบสีผิวโลหะแบบพ่นสี จึงสามารถสรุปได้ว่า พบว่า เทคโนโลยีเคลือบสีผิวโลหะแบบ Electro Deposition Painting(EDP) ช่วยให้ อุตสาหกรรมพัฒนาสู่ความยั่งยืนได้มากกว่าเทคโนโลยีเคลือบสีผิวโลหะแบบพ่นสีแบบดั้งเดิม

คำสำคัญ : Primer Coating ; Powder Coating ; Top Coat Coating; Pretreatment Chemical ; Electro Deposition Painting.

Abstract

This comparative study is conducted to analyze the metal coating technology based on sustainable industrial development principles. The metal coating technology used in manufacturing industry now a day is the spray painting process and Electro Deposition Painting (EDP) process. This studies focusing on reviewing former conducted research to assess each technology incorporate with industry experts evaluation of the sustainable industrial development factors including engineering, economic, social, and environmental factor The results showed that for metal surface coatings technology Electro Deposition Painting (EDP) is the technology that reflects higher sustainability scoring over a spray painted metal surface coating technology.. In fact, it can be concluded that the Electro Deposition Painting (EDP) allows the industry to develop toward sustainability more than traditional spray painting technology.

Key word: Primer Coating ; Powder Coating ; Top Coat Coating; Pretreatment Chemical ; Electro Deposition Painting.

บทนำ

กระบวนการทำสีเคลือบผิวโลหะปัจจุบันนิยมใช้อย่างแพร่หลายมี 2 วิธี คือ 1. การพ่นสีเนื่องจากต้นทุนการผลิตต่ำ ทำได้ง่าย และสะดวกรวดเร็ว ในความเป็นจริงละอองสีที่พ่นออกไปนั้น คิดเป็นเพียง 50 % ที่ได้ใช้จริง ก็คือส่วนที่เคลือบอยู่บนชิ้นงาน ส่วนอีก 50 % ที่เหลือนั้นมักจะตกอยู่ที่พื้น ดังนั้นจึงมองว่าเป็นความสูญเสียที่เกิดขึ้นค่อนข้างมากของปริมาณการใช้วัตถุดิบสี เพราะไม่สามารถทำการ Recycle [1] ส่วนวิธีการทำสีชนิดที่ 2 ที่ซึ่งอาศัยกลไกทางไฟฟ้าเพื่อช่วยให้การยึดเกาะสีบนผิวของชิ้นงานเป็นไป อย่างราบเรียบและครอบคลุมทุกพื้นที่ทุกจุดส่งผลให้เกิดคุณภาพที่ดีและคงอยู่อย่างถาวร นั่นคือระบบ EDP (Electro Deposition Painting) ซึ่งด้วยวิธีนี้จะสามารถลดการสูญเสียวัตถุดิบสีลงได้ รวมถึงการประกัน คุณภาพและความน่าเชื่อถือหรือความมั่นใจของลูกค้าต่อผลิตภัณฑ์[9]

วัตถุประสงค์ในงานวิจัยนี้ เพื่อศึกษาเปรียบเทียบเทคโนโลยีการเคลือบผิวโลหะทั้ง 2 วิธี โดยใช้หลักการพัฒนาอุตสาหกรรมที่ยั่งยืน พิจารณาในด้าน วิศวกรรม เศรษฐศาสตร์ สิ่งแวดล้อมและทางสังคม

2.วิธีการศึกษา

2.1.ศึกษาภาพรวมของอุตสาหกรรมและเทคโนโลยีการเคลือบผิวโลหะแบบพ่นสี

การพ่นสีสินค้าและผลิตภัณฑ์ต่างๆในโรงงาน เป็นอุตสาหกรรมต่อเนื่องมาจากอุตสาหกรรมการผลิตสี ซึ่งเป็นอุตสาหกรรมต้นน้ำ และส่งสีที่ผลิตได้ให้กับโรงงานต่างๆที่มีกระบวนการพ่นสีในการผลิตสินค้า ถือเป็นอุตสาหกรรมกลางน้ำ และจึงส่งชิ้นส่วนหรือตัวสินค้าที่ได้รับการพ่นสีแล้วไปยังอุตสาหกรรมปลายน้ำ เช่น อุตสาหกรรมการประกอบรถยนต์ หรืออุตสาหกรรมเฟอร์นิเจอร์ เพื่อทำการผลิตในขั้นสุดท้ายเพื่อจัดจำหน่ายเป็นสินค้าในท้องตลาดต่อไป[2]



ภาพที่ 1 ภาพรวมอุตสาหกรรมที่มีการพ่นสี

ตารางที่ 1 การใช้วัตถุดิบในการพ่นสี

วัตถุดิบ	หน่วยนับ
ชิ้นงานหรือผลิตภัณฑ์ต่างๆ ที่รอการพ่นสี	ชิ้น
สีพื้น (Primer Coating)	ตัน
สีฝุ่น (Powder Coating)	ตัน
สีน้ำมัน (Top Coat Coating)	ตัน

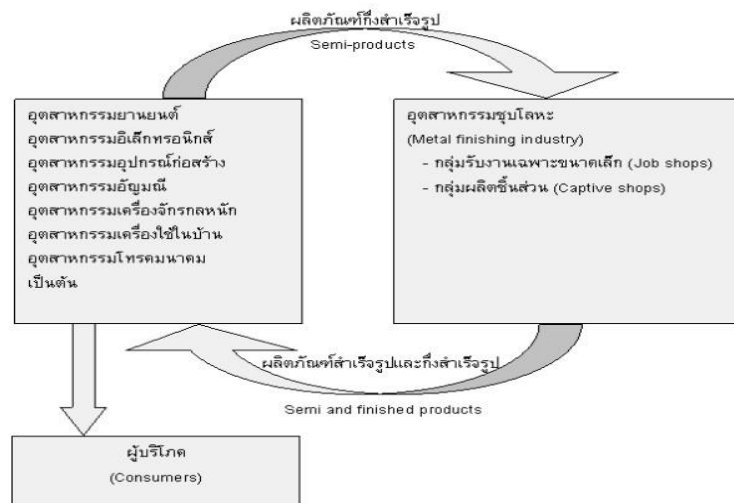
ตารางที่ 2 สารเคมีที่ใช้ในกระบวนการพ่นสี

สารเคมี	ชื่อทางการค้าหรือชื่อทางเคมี	หน่วยนับ
สารเคมีล้างชิ้นงาน (Pretreatment Chemical)	- โซดาไฟ - สารประกอบ Aromatic - กรดมะนาว (Citric Acid)	ลิตร
สารทำละลายสี (Solvent)	- ทินเนอร์ (Thinner)	ลิตร
สารเคลือบผิวชิ้นงาน	- โครเมต (Chromate) - ฟอสเฟต (Phosphate) - ซิงค์ฟอสเฟต (Zinc Phosphate)	ลิตร

- 1) การรับชิ้นงานจากลูกค้า กรณีรับชิ้นงานจากภายนอก โรงงานที่มีกระบวนการพ่นสีจะทำการคัดแยกชิ้นงาน และจัดเรียงลงพาเลทเพื่อความสะดวกในการป้อนชิ้นงานเข้าสู่กระบวนการผลิต
- 2) แขนชิ้นงาน กระบวนการผลิตพ่นสีลงบนชิ้นงาน จะเริ่มจากแขนชิ้นงานบนราวแขวน โดยแยกรูปร่างและขนาดของชิ้นงาน ซึ่งราวแขวนนี้จะวิ่งเข้าสู่บ่อล้างไขมัน ล้างน้ำ ห้องพ่นสีและห้องอบสีโดยใช้ระบบอัตโนมัติ
- 3) การล้างไขมัน / ล้างน้ำ ก่อนจะเข้าสู่กระบวนการพ่นสี จะต้องทำการล้างทำความสะอาดชิ้นงาน เพื่อขจัดคราบไขมันและสิ่งสกปรกอื่นๆ เช่นฝุ่นละออง โดยการล้างทำความสะอาดสามารถใช้ทั้งน้ำธรรมดา น้ำร้อน (ใช้พลังงานความร้อนจากหม้อน้ำ) หรือสารเคมีที่เป็นกรดหรือด่างสำหรับทำความสะอาด ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของชิ้นงาน และอาจต้องทำการล้างหลายครั้ง หากชิ้นงานมีฝุ่นหรือคราบไขมันเกาะติดอยู่มาก
- 4) การเคลือบผิวชิ้นงาน การเคลือบผิวชิ้นงานก่อนพ่นสีจะทำให้สีที่พ่นลงไปสามารถยึดเกาะกับพื้นผิวได้ดียิ่งขึ้น และป้องกันสนิมที่อาจเกิดขึ้นในภายหลัง โดยหากชิ้นงานเป็นวัสดุที่ทำจากอลูมิเนียม จะเคลือบผิวโดยใช้โครเมต (Chromate) และหากชิ้นงานเป็นวัสดุที่ทำจากเหล็ก จะเคลือบผิวโดยใช้ซิงค์ฟอสเฟต (Zinc Phosphate) หรือฟอสเฟต (Phosphate)
- 5) การชุบสีพื้นหรือพ่นสีพื้น ในการพ่นสีฝุ่นไม่จำเป็นต้องทำการพ่นสีพื้น เนื่องจากการเคลือบผิวเพียงอย่างเดียวก็เพียงพอที่จะทำให้สีฝุ่นยึดเกาะกับพื้นผิว และการพ่นสีฝุ่นยังสามารถพ่นสีได้เรียบ ได้ความหนาตามต้องการและป้องกันสนิมได้อีกด้วย แต่หากเป็นการพ่นสีน้ำมัน จะต้องทำการจุ่มสีพื้นหรือพ่นสีพื้นก่อนที่จะทำการพ่นสีจริง เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการยึดเกาะของสี ป้องกันสนิม ทำให้สีเรียบและมีความหนาเมื่อทำการพ่นสีจริง การพ่นสีพื้นอาจใช้ปืนพ่นสีแบบธรรมดา หรือใช้วิธีการชุบสีแบบ EDP (Electro Deposition Paint) ซึ่งเป็นการชุบสีด้วยปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมี โดยใช้ Anode Cell เป็นขั้วปล่อยประจุไฟฟ้าให้น้ำพาเนื้อสีเกาะติด ที่ชิ้นงานโดยที่ชิ้นงานจะมีไฟฟ้าอีก 1 ขั้วจ่ายตลอด ระยะเวลาที่ทำการชุบสีจะขึ้นอยู่กับความหนาของสีที่ต้องการ อุณหภูมิของสี และแรงดันไฟฟ้าที่ใช้
- 6) การอบชิ้นงานให้แห้ง หลังจากทำการเคลือบผิวหรือชุบสีพื้นแล้ว จะทำการอบชิ้นงานหรือสีพื้นให้แห้ง เพื่อกำจัดน้ำหรือสารเคมีส่วนเกินที่ยังหลงเหลืออยู่บนผิวชิ้นงาน ซึ่งจะช่วยให้ประสิทธิภาพการยึดเกาะพื้นผิวของสีลดลง ก่อนที่จะเข้าสู่การพ่นสีจริงต่อไป
- 7) การพ่นสี การพ่นสีลงบนชิ้นงาน จะทำในห้องพ่นสีที่มีการออกแบบให้อากาศมีการหมุนเวียน โดยมีแผ่นกรอง (Filter) กรองฝุ่นละอองภายนอกไม่ให้เข้ามาในห้องพ่นสีและจับละอองสีไม่ให้ฟุ้งกระจายออกสู่ภายนอก ในกรณีที่เป็นการพ่นสีน้ำมัน ต้องทำการผสมสีกับตัวทำละลาย (Solvent) ก่อนที่จะนำมาพ่น เพื่อปรับความหนืดของสีให้เหมาะสม ส่วนการพ่นสีฝุ่นไม่จำเป็นต้องผสมสี สามารถทำการพ่นสีได้เลย
- 8) การอบสี หลังจากพ่นสีชิ้นงาน ชิ้นงานจะผ่านเข้าสู่ห้องอบสีเพื่อทำให้สีแห้ง และสามารถยึดเกาะกับผิวชิ้นงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ
- 9) การตรวจสอบชิ้นงานและส่งชิ้นงานให้ลูกค้า เมื่อได้ชิ้นงานที่ผ่านการพ่นและอบสีเรียบร้อยแล้ว จะทำการตรวจสอบชิ้นงานเพื่อหาข้อผิดพลาดก่อนส่งชิ้นงานคืนให้ลูกค้า

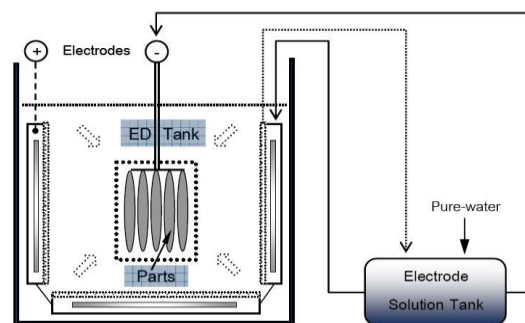
2.2. ศึกษาภาพรวมของอุตสาหกรรมและเทคโนโลยีการเคลือบสีผิวโลหะแบบใช้ไฟฟ้า (Electrodeposition Paint)

ในอุตสาหกรรมได้มีการนำเอากระบวนการชุบสีด้วยไฟฟ้ามาใช้ในวงการเคลือบสีรถยนต์ประมาณปี ค.ศ. 1966 และได้รับความนิยมขึ้นมาเรื่อยๆ โดยเฉพาะประเทศญี่ปุ่นซึ่งสูงถึง 90 เปอร์เซ็นต์ โดยประมาณ ในขณะที่เทียบกับประเทศในกลุ่มยุโรป และอเมริกา กลับได้รับความนิยมเพียง 60-70 เปอร์เซ็นต์[4]



ภาพที่ 2 ภาพรวมอุตสาหกรรมที่มีการเคลือบสีผิวโลหะแบบใช้ไฟฟ้า (Electrodeposition Paint)

พื้นฐานเกี่ยวกับการชุบสีด้วยไฟฟ้า คือ การจุ่มชิ้นงานที่ต้องการชุบสีลงในสารละลายที่นำไฟฟ้า โดยผ่านไฟฟ้ากระแสตรงลงไปยังชิ้นงานที่อยู่ขั้วลบ ส่วนที่ขั้วบวกขบวนการชุบสีไฟฟ้าจะไปบังคับให้ประจุของสีมาเกาะติดเคลือบกับผิวชิ้นงานในปัจจุบันการเคลือบสีโดยการชุบสีด้วยไฟฟ้า เป็นที่ยอมรับกันโดยทั่วไปว่าเป็นวิธีที่ดีที่สุดวิธีหนึ่ง โดยเฉพาะกับชิ้นงานที่มีความสลับซับซ้อน อย่างเช่นบริเวณตัวถังรถยนต์ ซึ่งเป็นส่วนที่ต้องการความคงทนต่อการเป็นสนิม (Anti-Corrosive) และโดยเฉพาะบริเวณร่องลึก ส่วนที่เป็นสันหรือขอบ (Complex Profiled Area) แต่อย่างไรก็ตาม วิธีนี้ไม่เหมาะสมกับการผลิตจำนวนน้อย เพราะไม่คุ้มกับการลงทุน โดยทั่วไปผู้ใช้จะต้องคำนวณ ปริมาณการใช้สี ต่อเดือนว่าต้องการมากกว่าครั้งหนึ่งของปริมาณเนื้อสีที่ผสมในถัง หรือมากกว่า 0.5 Turn จึงจะคุ้มกับ การลงทุน ประเทศญี่ปุ่นในยุคปัจจุบันมีการใช้การชุบสีด้วยไฟฟ้ามากและได้ขยายความนิยมไปสู่อุตสาหกรรมในทุกๆ สาขาที่จำเป็นต้องเคลือบสี เช่น ตัวถังรถยนต์ อะไหล่รถยนต์ เครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้าน โครงเหล็ก และวัสดุก่อสร้าง ดังนั้นสิ่งที่สำคัญที่สุดที่ผู้ใช้ควรคำนึงคือการเลือกใช้สีที่เหมาะสมกับชิ้นงานที่จะชุบ และปริมาณการใช้สีว่ามากน้อย[4]



ภาพที่ 3 ลักษณะการทำงานของระบบการเคลือบสีผิวโลหะ Electro Deposition Painting

2.2.1 สีที่ชุบด้วยไฟฟ้า แบ่งได้ 2 ชนิดคือ

1. สีที่อ็อกไซด์เป็นลบ (Anodic Electrodeposition Paint, AEP) สีที่มีปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมีที่ทำให้โลหะเกิดการกัดกร่อน อะตอมของโลหะซึ่งให้อิเล็กตรอนออกมาเป็น อ็อกไซด์บวกเป็นขั้วลบ ปัจจุบันไม่นิยมแล้วได้แก่ สีเบอร์ 6500 7100 7200 ใช้เรซินชนิด Polybutadiene[8]

2. สีที่อ็อนเป็นบวก (Cathodic Electrodeposition Paint, CEP) ใช้กระแสบังคับแรงเคลื่อนไฟฟ้าทำให้โลหะกลายเป็นขั้วลบสีเป็นขั้วบวก เป็นสีที่เพิ่งพัฒนาขึ้นมาใหม่นิยมใช้กันมากในปัจจุบัน ได้แก่ สีเบอร์ IT-10, HG-10G, LB-10 9400, HB-2000, HB-3000 ใช้ เรซินชนิด Epoxy Polyimide[8]

สีทั้ง 2 ประเภทนี้ สีประเภท CED-Paint เป็นที่ยอมรับกันโดยทั่วไปว่าดีที่สุดในด้าน การลงทุนของสี อีกทั้งความทนทานต่อสนิมเป็นเลิศ ดังนั้นตั้งแต่ ค.ศ. 1977 จึงมีการเปลี่ยนเป็น Cathodic กันอย่างแพร่หลาย และได้รับความนิยมตลอดมาจนถึงปัจจุบัน จากการทดลองปรากฏว่าสีชนิดนี้มีความสามารถป้องกันสนิมได้ดีกว่าเก่า โดยตรวจสอบได้จากผลการทนต่อสภาพความเป็นเกลือ โดยใช้สภาวะอุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส และใช้ ความเข้มข้นของเกลือ NaCl 50 เปอร์เซ็นต์ พบว่าสารป้องกันสนิมได้ถึง 800 ชั่วโมง ในขณะที่สีชนิดเดิม (AED-Paint) ป้องกันได้เพียง 240 ชั่วโมง[10]

ข้อดี - ข้อเสียในการใช้สีชุบด้วยไฟฟ้า

1. ข้อดี[6]

- 1) ได้ฟิล์มสีที่เรียบมีความสม่ำเสมอ ทั่วบริเวณมุม ปลายแหลม และขอบ
- 2) สีสีมีแรงเหวี่ยงเข้าเกาะกุมที่ดียเยี่ยม และสามารถคลุมเนื้อที่ตรงขอบมุมได้อย่างดี
- 3) การควบคุม pH เป็นไปตามอัตโนมัติ และต่อเนื่อง โดยใช้แรงงาน เพียงเล็กน้อย
- 4) ประสิทธิภาพการเกาะติด และความทนทานต่อการเกิดสนิม ดีเยี่ยม ความคงทนดีมาก
- 5) ทำให้ประหยัดสีได้มากไม่สูญเสียไปในอากาศ เหมือนกับการพ่นเพราะสามารถ Recovery กลับมาใช้ได้อีกโดยใช้ระบบ Ultrafiltration

2. ข้อเสีย[6]

- 1) มีจุดเสียในการคงทนต่อสภาพดินฟ้าอากาศจึงต้องพ่นสีอีกชั้นหนึ่ง
- 2) ต้องมีการดูแลรักษาราวแขวน (Hangger) อยู่เสมอ
- 3) ไม่เหมาะสมกับ Production Line ที่เล็กๆ เนื่องจากเวลาในการหมุนกลับจะนานเกินไปทำให้คุณสมบัติสีเปลี่ยนได้
- 4) ใช้เคลือบเฉพาะชิ้นงานที่นำไฟฟ้าได้เท่านั้น

2.3 วิเคราะห์เปรียบเทียบเทคโนโลยีเคลือบสีผิวโลหะตามหลักการพัฒนาอุตสาหกรรมอย่างยั่งยืน ซึ่งมีองค์ประกอบรายละเอียดดังนี้



ภาพที่ 4 องค์ประกอบหลักการวิเคราะห์อุตสาหกรรมเพื่อความยั่งยืน

โดยการใช้การวิธี Ranking เปรียบเทียบ ของทั้ง การเคลือบผิวโลหะแบบพ่นสีและการเคลือบสีผิวโลหะแบบใช้ไฟฟ้า Electro Deposition Paint(EDP) โดยการให้คะแนนลำดับความสำคัญมากไปน้อย 0-5 เปรียบเทียบ ในด้าน วิศวกรรม เศรษฐศาสตร์ สังคม และสิ่งแวดล้อม

3. ผลการศึกษา

ตารางที่ 3 ตารางเปรียบเทียบเทคโนโลยีเคลือบสีผิวโลหะตามหลักการพัฒนาอุตสาหกรรมอย่างยั่งยืน

การเปรียบเทียบ	กระบวนการพ่นสี	Scoring	กระบวนการ EDP	Scoring
ด้านวิศวกรรม				
1.ความสามารถในการยึดเกาะ ครอบคลุมทั้งด้านนอกและด้าน ใน	การเคลือบสีด้านนอก100% และด้านใน0%[1]	3	การเคลือบสีด้านนอก100%และ ด้านใน100%[1]	5
2.ความหนาชั้นสีที่มีความ สม่ำเสมอเท่ากันทุกจุดและทุก ชิ้นงาน	ความสม่ำเสมอของความ หนาชั้นสีขึ้นอยู่กับผู้พ่น[1]	3	ความสม่ำเสมอของความหนา ชั้นสี100%[1]	5
3.ความสามารถในการรองรับ การผลิตเชิงปริมาณ	เป็นรับกึ่งอัตโนมัติ ความสามารถจึงไม่ดี เท่าที่ควร	4	มีความเหมาะสมด้วยเป็นระบบ แบบอัตโนมัติ	5
		10		15
ด้านเศรษฐศาสตร์				
1.ความคุ้มค่าในการใช้วัตถุดิบสี	ความคุ้มค่าปริมาณการใช้สี	3	ความคุ้มค่าปริมาณการใช้สี90- 95%[3]	5
2.ต้นทุนในการผลิต	ความสิ้นเปลืองการใช้สี40- 50%[2]	3	ความสิ้นเปลืองการใช้สี5-10% [3]	5
		6		10
ด้านสังคม				
1.ความปลอดภัยของผู้ปฏิบัติงาน ต่อการสูดดมสารเคมี	อันตรายจากการสูดดม สารเคมีมาก[2]	3	อันตรายจากการสูดดมสารเคมี น้อย[3]	4
2.ความปลอดภัยในเรื่องอัคคีภัย	ความเสี่ยงเมื่อเกิดประกาย ไฟสูง[2]	3	ความเสี่ยงเมื่อเกิดประกายไฟต่ำ [3]	5
		6		9
ด้านสิ่งแวดล้อม				
1.การเกิดมลพิษ	เกิดการฟุ้งกระจายของสีใน อากาศ[1]	2	สี EDP เป็นสีประเภท Non Lead, Cadmium , Mercury , Hexavalent Chromium ซึ่ง ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อย [6]	4
		2		4

4. อภิปรายผล

จากการผลศึกษาและเปรียบเทียบข้อมูลเทคโนโลยีเคลือบสีผิวโลหะตามการพัฒนาอุตสาหกรรมอย่างยั่งยืนใน 4 ด้าน มีผลคะแนนการเปรียบเทียบจากผลตารางที่ 3 และตารางที่ 4 เปรียบได้ผลด้านต่างๆดังนี้

ด้านวิศวกรรม กระบวนการพ่นสี $10 \times 0.31 = 1.8$; กระบวนการ EDP $15 \times 0.31 = 3$, ด้านเศรษฐศาสตร์ กระบวนการพ่นสี $6 \times 0.41 = 4.1$; กระบวนการ EDP $10 \times 0.41 = 6.15$, ด้านสังคม กระบวนการพ่นสี $6 \times 0.16 = 0.96$; กระบวนการ EDP $9 \times 0.16 = 1.44$, ด้านสิ่งแวดล้อม กระบวนการพ่นสี $10 \times 0.13 = 0.26$; กระบวนการ EDP $15 \times 0.13 = 0.52$

ผลการศึกษาพบว่า เทคโนโลยีเคลือบสีผิวโลหะแบบ Electro Deposition Painting (EDP) มีค่าที่สะท้อนถึงความยั่งยืนมากกว่าเทคโนโลยีเคลือบสีผิวโลหะแบบพ่นสี โดยมีเหตุผลอธิบาย

- 1) ด้านเศรษฐศาสตร์ การเคลือบผิวแบบ Electro Deposition Painting มีต้นทุนการลงทุนที่สูงกว่าการพ่นสี และด้วยระบบการผลิตที่เป็นแบบอัตโนมัติ จึงมีความสามารถในการรองรับการผลิตเชิงปริมาณ หรือ Mass Production และความสิ้นเปลืองในการใช้สีลดลง เนื่องจากระบบ Electro Deposition Painting จะไม่เกิดการฟุ้งกระจายของสี และยังสามารถเคลือบสีได้หลายครั้งและหลายชิ้นงานพร้อมกัน จึงทำให้ราคาชิ้นงานต่อพื้นที่ต่ำ โดยราคาพ่นสีเท่ากับ 300 บาทต่อตารางเมตร ส่วนราคาเคลือบผิวแบบ Electro Deposition Painting เท่ากับ 120 บาทต่อตารางเมตร[2]
- 2) ด้านวิศวกรรม วิธีการพ่นสี สามารถครอบคลุมเพียงพื้นที่ส่วนนอกเท่านั้น แต่พื้นที่ส่วนในไม่สามารถเข้าถึงได้ ส่งผลให้ชิ้นงานมีอายุการใช้งานที่สั้นลงอย่างคาดไม่ถึง ซึ่งปัญหาที่พบบ่อยในกรณีนี้ก็คือ ภาวะการเกิดสนิมในภายหลังเริ่มมาจากพื้นที่ด้านในนั่นเอง ส่วนการเคลือบผิวแบบ Electro Deposition Painting กระบวนการเคลือบสีนั้นดำเนินไปในช่วงเวลาเดียวกัน ด้วยอัตราการยึดเกาะที่เท่ากัน ทำให้เกิดความสม่ำเสมอของสีทุกจุดบนชิ้นงานเป็นอย่างดี ส่วนความหนาชั้นสีสามารถควบคุมได้ด้วยการกำหนดช่วงเวลาในการเคลือบสี[1]
- 3) ด้านสังคม รูปแบบการทำงานของ Electro Deposition Painting ตามปกติแล้ว สารเคมีที่ใช้จะอยู่ในรูปของสารละลายกับน้ำ และกระบวนการก่อนหลังก็ประกอบไปด้วยระบบที่ใช้ น้ำแทบทั้งสิ้น ดังนั้นจึงเป็นการยากที่จะเกิดอันตรายจากประกายไฟ แต่สำหรับวิธีการพ่นนั้น สารเคมีหลักที่ใช้ส่วนใหญ่คือ ทินเนอร์ผสมกับวัตถุบิส ซึ่งเป็นสารระเหยที่ไวต่อประกายไฟ ทำให้มีความเสี่ยงสูง[8]
- 4) ด้านสิ่งแวดล้อม ด้วยระบบ EDP เป็นระบบอัตโนมัติที่ใช้ราง Conveyor เป็นตัวลำเลียงชิ้นงานเข้าไป และกลับออกมาเอง ดังนั้นผู้ปฏิบัติงานจึงทำหน้าที่เพียงในส่วนของการ load และ unload ชิ้นงานเท่านั้น จึงแทบจะไม่ได้รับอันตรายจากการสูดดมเลย ในด้านผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมสี EDP ยังเป็นสีประเภท Non Lead, Cadmium , Mercury , Hexavalent Chromium ซึ่งส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อย[5]

ในความเป็นจริงปัจจัยทั้ง 4 ข้างต้นมีความสำคัญต่ออุตสาหกรรม ฉะนั้นในการศึกษาครั้งนี้จึงให้ผู้เชี่ยวชาญด้านอุตสาหกรรมประเมินคะแนน ตามหลักการพัฒนาอุตสาหกรรมทั้ง 4 ด้าน มีความสำคัญมากน้อยอย่างไรเพื่อนำมาคำนวณดัชนีอุตสาหกรรมเพื่อความยั่งยืน

ตารางที่ 4 ตารางคะแนนความสำคัญอุตสาหกรรมการเคลือบผิวโลหะ ทั้ง 4 ด้าน โดยผู้เชี่ยวชาญด้านอุตสาหกรรม

ผู้เชี่ยวชาญด้านอุตสาหกรรม	เศรษฐศาสตร์	วิศวกรรม	สังคม	สิ่งแวดล้อม	คะแนนเต็ม
ท่านที่ 1	40	30	15	15	100
ท่านที่ 2	50	30	10	10	100
ท่านที่ 3	45	30	15	10	100
ท่านที่ 4	30	30	20	20	100
ท่านที่ 5	40	30	20	10	100
	41%	30%	16%	13%	100%

5. สรุปผล

จากการศึกษาและเปรียบเทียบข้อมูลเทคโนโลยีเคลือบสีผิวโลหะตามการพัฒนาอุตสาหกรรมอย่างยั่งยืน คือ แบบพ่นสี และแบบ Electro Deposition Painting เปรียบเทียบจากตารางที่ 3 เมื่อนำค่าเปรียบเทียบกับตารางที่ 4 มีผลสรุปเปรียบเทียบ ด้านวิศวกรรม กระบวนการพ่นสี = 1.8 ; กระบวนการ EDP = 3 , ด้านเศรษฐศาสตร์ กระบวนการพ่นสี = 4.1 ; กระบวนการ EDP = 6.15 , ด้านสังคม กระบวนการพ่นสี = 0.96 ; กระบวนการ EDP = 1.44 , ด้านสิ่งแวดล้อม กระบวนการพ่นสี = 0.26 ; กระบวนการ EDP = 0.52 มีค่าคะแนนรวม กระบวนการพ่นสี = 7.12 ; กระบวนการ EDP = 11.11 แสดงให้เห็นถึงเทคโนโลยีเคลือบสีผิวโลหะแบบ Electro Deposition Painting (EDP) มีค่าที่สะท้อนถึงความยั่งยืนมากกว่าเทคโนโลยีเคลือบสีผิวโลหะแบบพ่นสี

การเสนอแนะในการเลือกใช้ทั้ง 2 แบบเทคโนโลยีการพ่นสีมีการลงทุนที่ต่ำ ซึ่งส่งผลต่อคุณภาพความสม่ำเสมอของชิ้นงานและการป้องกันสนิมรวมถึงต้นทุนในการผลิตที่สูงเกิดขึ้นในด้านการสิ้นเปลืองวัตถุดิบ เนื่องจากเป็นเทคโนโลยีที่ใช้แรงงานในการพ่น ซึ่งต้องศึกษาและพัฒนาให้เป็นระบบอัตโนมัติต่อไป ส่วนเทคโนโลยีแบบ Electro Deposition Painting เป็นเทคโนโลยีในด้านเศรษฐศาสตร์มีการลงทุนที่สูง แต่ให้ประสิทธิภาพในการผลิตที่ดี ความคุ้มค่าในการใช้วัตถุดิบ ความสามารถในการยึดเกาะครอบคลุมทั้งด้านนอกและด้านในการป้องกันสนิม ความหนาแน่นสีที่มีความสม่ำเสมอเท่ากันทุกจุดและทุกชิ้นงาน ความปลอดภัยของผู้ปฏิบัติงานต่อสารเคมี

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ ดร. ญัฐวรพล รัชสิริวัชรบุล และ ผ.ศ. สหรัตน์ วงศ์ธิระ ให้คำปรึกษาแนะนำเมื่อมีข้อสงสัย

ขอขอบคุณท่าน อาจารย์ผู้สอนสาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรมเพื่อความยั่งยืนทุกท่านที่ประสานให้ความรู้

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] ญัฐวุฒิ เทียนจิตราเพชร, นวัตกรรมการทำสีบนโลหะ (EDP Innovation)
- [2] กรมโรงงานอุตสาหกรรม, อุตสาหกรรมที่มีการพ่นสี
- [3] กรมโรงงานอุตสาหกรรม, อุตสาหกรรมที่มีการชุบโลหะ
- [4] Ichiro Suzuki, 1989. Corrosion Resistant Coating Technology, Marcel Dekker INC., New York.
- [5] Electrodeposition of nanostructured coatings and their characterization - a review" Sci. Technol. Adv. Mater. 9 (2008)
- [6] Electrocoating"; The Electrocoat Association; Cincinnati, OH; 2002
- [7] Finishing Systems Design and Implementation"; Society of Manufacturing Engineers; Dearborn, MI; 1993
- [8] Electrodeposition of Coatings"; American Chemical Society; Washington D.C.; 1973; ISB
- [9] Electropainting"; R. L. Yeates; Robert Draper LTD; Teddington; 1966
- [10] Paint and Surface Coatings"; R. Lambourne editor; Ellis Horwood Limited; Chichester, West Sussex, England; 1987

การพัฒนาระบบป้อนชิ้นงานแบบเปลี่ยนระยะทางการวางชิ้นงาน A Development of Pitch Changer Adjustable Workpiece Feeding Module

สุกิจ เจริญวิโรจน์^{1*}, ณัฐวุฒิ เทพยสุวรรณ², ชนะ รักษศิริ³

¹ สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตทางอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ เขตจตุจักร

กรุงเทพมหานคร 10900 sukitc@magnecomp.com

² ฝ่ายวิจัยและพัฒนา บริษัท แมกแนคอมพ์ พรินซ์ เทคโนโลยี จำกัด nattawutt@magnecomp.com

³ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร 10900

fengcnr@ku.ac.th

บทคัดย่อ

แขนจับหัวอ่านฮาร์ดดิสก์เป็นชิ้นส่วนที่สำคัญมากในการควบคุมการบินของสไลด์เดอร์ (Slider) (การอ่านและเขียนของหัวอ่าน) สำหรับขั้นตอนของการควบคุมการประกอบแขนจับหัวอ่านให้มีประสิทธิภาพ โดยเฉพาะกระบวนการเคลื่อนย้ายชิ้นส่วนในการประกอบจำเป็นต้องใช้อุปกรณ์และชิ้นส่วนที่มีคุณลักษณะพิเศษในการผลิต อันได้แก่ ค่าคุณสมบัติทางกลของแขนจับหัวอ่านและอื่นๆ เพื่อที่จะไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงหรือเปลี่ยนในช่วงน้อยในหน่วยของไมโครกรัมและไม่โครองศาของ แกรมโหลดและสแตติกแอตติจูด (Gramload and static attitude) ในการประกอบ โดยปัจจุบันอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับการประกอบแขนจับหัวอ่านฮาร์ดดิสก์จะเป็นแบบใช้พนักงานที่ผ่านการอบรมในการประกอบ ซึ่งวิธีการนี้จะมีข้อจำกัดในอนาคตอันเนื่องมาจากชิ้นงานจะมีค่าพิถีพิถันควบคุม (specification) ที่น้อยลง ทำให้อุปกรณ์ที่ใช้ในการเคลื่อนย้ายต้องมีประสิทธิภาพที่สูงขึ้นด้วย ดังนั้นงานวิจัยฉบับนี้ จึงได้เสนอการออกแบบอุปกรณ์ช่วยในการหยิบและวาง ชิ้นงานอย่างมีประสิทธิภาพ โดยการออกแบบลูกเบี้ยวทรงกระบอกในการเปลี่ยนระยะห่างของชิ้นงานแต่ละตัวที่มีความแม่นยำ ± 0.050 มม. โดยเป็นการออกแบบอุปกรณ์หยิบและวางชิ้นงานที่มีความยืดหยุ่นและสามารถปรับขนาดการวางชิ้นงานทำได้หลายตำแหน่ง โดยจากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าลูกเบี้ยวทรงกระบอกให้ผลที่ดีในการเคลื่อนย้ายชิ้นงานได้ดีกว่าและยืดหยุ่นในด้านระยะทางการวางชิ้นงานดีกว่าแบบใช้พนักงานหยิบชิ้นงานและแบบเพลสเต็ปิง และผลการทดสอบพบว่าแบบลูกเบี้ยวทรงกระบอกที่พัฒนายังสามารถเพิ่มกำลังการผลิตได้ 23% อีกทั้งยังทำให้อัตราของของเสียในกระบวนการผลิตลดลงโดยแสดงได้ในหน่วยอัตราส่วนของเสียต่อหนึ่งล้านชิ้น (DPPM) ที่ลดลง

คำสำคัญ : Productivity improvement; CAMS Design; Helix

ABSTRACT

Suspension plays a very critical role in controlling fly height of a slider (read and write heads). To efficiently control the suspension assembly process, handling method is specified such that suspension mechanical parameters, i.e., gramload and static attitude is not changed (or changed within a range of micrograms and microdegrees). Current handling of suspension assembly is a manual process using trained operators. This will be no longer acceptable in the near future due to tighter specification requirements and handling efficiency. This research is to propose an efficient design of suspension handling in loading, changing pitch and unloading. The design uses cylindrical cam to drive pitch changing mechanism with a high precision of ± 0.050 mm. New design of picking and placing end effectors provide flexibility in multi-pitch handling. Our experiment shows cylindrical cam design results in higher accuracy than manual handling by trained operator and our original design using

stepping shaft. Furthermore cylindrical design improves handling capacity by 23% while achieving lower DPPM rate of handling defect in the process.

Key words: Productivity improvement; CAMS Design; Helix

1. คำนำ

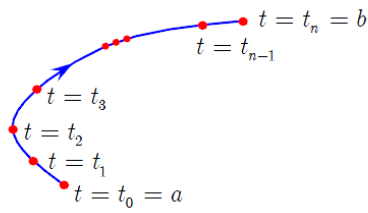
ในปัจจุบันอุตสาหกรรมการผลิตแขนจับหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ มีอุปกรณ์ (ตารางที่ 1) ที่ใช้ในการผลิตที่มีระยะห่างในการวางชิ้นงานที่มีระยะแตกต่างกัน อันเนื่องมาจากข้อจำกัดของเครื่องจักรที่มีระยะเคลื่อนที่ 20 มิลลิเมตร ในขณะที่ถาดที่ใช้ในกระบวนการผลิต (ต้องการพื้นที่ในการเก็บชิ้นงานให้ได้มาก) มีระยะห่างการวางชิ้นงานที่ 10 มิลลิเมตร และถาดสำหรับส่งตัวงานให้ลูกค้ามีระยะที่แตกต่างกันหลายระยะตั้งแต่ 7-9 มิลลิเมตร ดังนั้นจึงเป็นข้อจำกัดของการหยิบและวางชิ้นงานจากอุปกรณ์หนึ่งไปสู่อุปกรณ์อื่น ที่มีระยะห่างการวางชิ้นงานที่แตกต่างกัน โดยปัจจุบันวิธีการที่ใช้สำหรับการประกอบแขนจับหัวอ่านฮาร์ดดิสก์จะเป็นแบบใช้พนักงานที่ผ่านการอบรมในการประกอบ ทำการหยิบและวางชิ้นงานทีละหนึ่งชิ้น เมื่อมีการเพิ่มการผลิตจำนวนมากขึ้นทำให้พนักงานเกิดความล้า ส่งผลให้เกิดของเสียอันเนื่องมาจากไม่สามารถควบคุมแรงในการหยิบและวางชิ้นงาน ทำให้ส่งผลต่อ ค่าพิถีพิถัน (Specification) ความเสียหายทางด้านกายภาพ (Mechanical defected) และประสิทธิภาพในการผลิตต่ำและเป็นคอขวดของกระบวนการภาพที่ 1 ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ทำการศึกษาภายใต้แนวคิด เพิ่มประสิทธิภาพการผลิตและลดของเสียทางด้านกายภาพในกระบวนการประกอบ ภายใต้เงื่อนไขของอุปกรณ์และภาชนะเดิมโดยพัฒนาออกแบบโมดูลเปลี่ยนระยะห่างการวางชิ้นงาน ที่สามารถปรับระยะห่างการวางชิ้นงานได้หลายระยะ หยิบและวางชิ้นงานได้ 10 ชิ้นต่อครั้ง โดยได้ออกแบบเป็น 2 วิธีการคือ แบบเพลสเด็คปิงและ แบบลูกเบี้ยวทรงกระบอก ที่มีความแตกต่างกันทางด้านการออกแบบกลไกในการเปลี่ยนระยะห่างการวางชิ้นงาน จำนวนชิ้นส่วนที่ต้องทำการผลิตและราคาต้นทุนในการผลิตต่อตัว

Station	UPH	% DT	Std Yld	Standard Qty per cell	Cap (K pc) Pre cell	Manpower Requ / line
Load Beam Forming I	3,330	15.0%	98.00%	2.00	909	1.0
Load Beam Forming II	3,330	15.0%	98.00%	2.00	909	2.0
Laser Lapping	3,000	5.0%	98.50%	2.00	819	2.0
Panel Trim	12,560	10.0%	99.90%	0.50	857	0.5
Flexure Forming	2,720	15.0%	99.90%	2.35	873	2.4
Laser Welding	3,100	12.0%	99.70%	2.00	846	30.0
Detab Singulation	3,340	19.0%	99.70%	2.00	912	3.0
Preload Forming	3,340	19.0%	99.70%	2.00	912	3.0
Final Detab	3,285	8.0%	99.50%	2.00	897	6.0
Cleaning	13,024	8.0%	100.00%	0.50	889	0.5
GL&SA Adjust	1,139	12.0%	99.20%	5.0	777	15
Group lot				2.00		2.0
Packing				1.00		0.4
T Yield frm LB				92.35%	Cap per cell	777
T Yield frm Laser				97.82%	Cap per line	389
% Eff				99.5%	Bottle neck	GL&SA Adjust
TOTAL PRIME OUTPUT (Kpcs.)					773	59.80

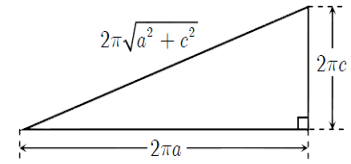
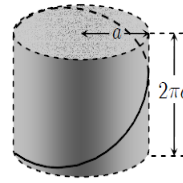
ภาพที่ 1 แสดงประสิทธิภาพในการทำงานก่อนการปรับปรุง (แบบใช้พนักงานที่ผ่านการอบรมในการประกอบ)

หลักการพื้นฐานในการคำนวณ

เส้นโค้งที่กำหนดด้วยฟังก์ชันค่าเวกเตอร์ $r(t)$ เมื่อ $a < t < b$ สามารถหาความยาวเส้นโค้งได้ โดยการแบ่ง $r(t)$ ออกเป็นช่วงย่อย แล้วประมาณความยาวส่วนโค้งในแต่ละช่วงด้วยเส้นตรงภาพที่ 2



ภาพที่ 2 การหาความยาวเส้นโค้งโดยแบ่งเป็นส่วนโค้งย่อยๆ



ภาพที่ 3 ความยาวหนึ่งรอบเกลียวกลมเชิงเรขาคณิต

สำหรับเส้นโค้งในปริภูมิสามมิติที่กำหนดด้วย $r(t) = x(t), y(t), z(t)$ โดยที่ $a < t < b$ จะได้

$$s = \int_a^b \sqrt{(x'(t))^2 + (y'(t))^2 + (z'(t))^2} dt \quad (1)$$

ความยาวหนึ่งรอบเกลียวกลมที่กำหนดด้วยสมการอิงตัวแปร $r(t) = a\cos(t), a\sin(t), kt$ โดยที่ $0 \leq t \leq 2\pi$ ดังนั้นสมการความยาวหนึ่งรอบเกลียวกลมคือ

$$\begin{aligned} s &= \int_0^{2\pi} \|r'(t)\| dt \\ &= \int_0^{2\pi} \sqrt{(-a\sin t)^2 + (a\cos t)^2 + c^2} dt \\ &= \int_0^{2\pi} \sqrt{a^2 + c^2} dt \\ &= 2\pi\sqrt{a^2 + c^2} \end{aligned} \quad (2)$$

โดยอาศัยการพิจารณาเชิงเรขาคณิตได้ดังภาพที่ 2

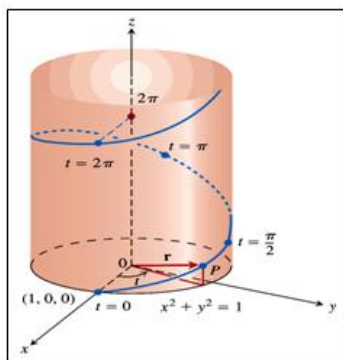
Helix คือพื้นที่ส่วนโค้ง (Space curve) ที่มีลักษณะเป็นเหมือนขดสปริงอธิบายได้ด้วยสมการ

$$r(t) = \cos(t)i + \sin(t)j + tk \quad (3)$$

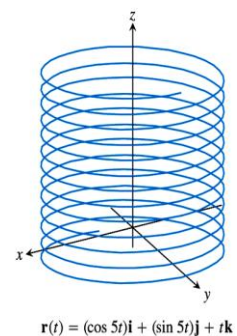
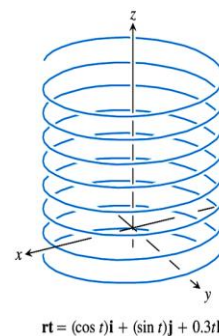
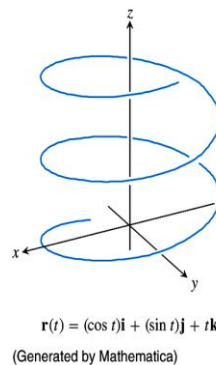
เมื่อพิจารณาเฉพาะค่า x และ y เราจะได้ $x = \cos t, y = \sin t$ ถ้าใน 2 มิติแล้ว (x, y) นี้จะเป็นจุดบนระนาบวงกลม

$$x^2 + y^2 = 1 \quad (4)$$

เนื่องจากตำแหน่ง x และ y เคลื่อนที่บนระนาบเป็นวงกลม ขณะที่ค่าความสูง z ของจุดบน Helix แปรผันตรงกับ t ทำให้เกิดทางเดินแบบขดสปริงขึ้นภาพที่ 4 อัตราการเปลี่ยนแปลงค่า z เป็นตัวกำหนดความเร็วในการเคลื่อนที่ในแกน z ซึ่งส่งผลต่อจำนวนขดของ Helix ต่อระยะทางดังแสดงในภาพที่ 5



ภาพที่ 4 เกลียวกลมที่ยึดไปตามแกน Z



ภาพที่ 5 อัตราการเปลี่ยนแปลงค่า Z

สมการอิงตัวแปรเสริมสำหรับวงกลม $x^2 + y^2 = a^2$ ในระนาบ xy คือ $x = acost$ และ $y = asint$ โดยที่ $0 \leq t \leq 2\pi$ ต้องการให้เกลียวยึดไปตามแนวแกน z จึงได้

$$z(t) = kt \quad (5)$$

โดยที่ k เป็นค่าคงที่ ระยะยึดต่อรอบตามแนวแกน z เท่ากับ p นอกจากนี้สังเกตว่าเมื่อ t มีค่าเพิ่มขึ้น 2π เกลียวจะพันได้หนึ่งรอบพอดี นั่นคือ

$$z(t + 2\pi) = z(t) + p$$

นั่นคือ

$$k(t + 2\pi) = kt + p$$

$$k = \frac{p}{2\pi}$$

p = ระยะพิชย์ของเกลียว, S = ระยะขจัด, t = มุมบิดของเพลลา

การคำนวณลูกเบี้ยว

สมการในการเคลื่อนที่ของเพลาลูกเบี้ยวจะขึ้นอยู่กับตัวแปรไร้มิติซึ่งประกอบด้วยตำแหน่งระยะขจัด ความเร็ว และความเร่ง ในรูปเปลี่ยนแปลงของวัตถุเมื่อเทียบกับเวลา ที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการขจัดของตัวตามกับจำนวนองศาที่ถูกหมุนไป (Cam angle) หรือเวลาเมื่อ differentiate ต่อเนื่องกันไปจะได้ความสัมพันธ์ของความเร็วกับเวลาและความสัมพันธ์ของความเร่งกับเวลาแสดงในสมการที่ 6 และ 7 ตามลำดับ

$$T = \frac{t - t_0}{t_1 - t_0}, S = \frac{\tau - \tau_0}{\tau_1 - \tau_0} \quad (6)$$

โดยที่ $t = t_0$, $\tau = \tau_0$ และ $t = 1$, $\tau = 1$, $\tau = 1$ มีเงื่อนไขที่ $t_1 > t_0$ และ $\tau_1 > \tau_0$ เมื่อ $S = S(T)$ และ $t_0 \leq t \leq t_1$

ดังนั้น $S(0) = 0$, $S(1) = 1$ โดยที่ τ = รูปแบบของฟังก์ชันที่อยู่ภายใต้เงื่อนไข, S = ระยะการขจัดจากความสัมพันธ์ของ Differential ของเวลาได้

$$V = \frac{dS}{dT}, A = \frac{d^2S}{dT^2}, J = \frac{d^3S}{dT^3} \quad (7)$$

เมื่อ V = ความเร็ว (Velocity), A = ความเร่ง (Acceleration), J = การกระตุก (Jerk)

2. วิธีการ

ศึกษาการออกแบบโมดูลเปลี่ยนระยะห่างการวางชิ้นงาน

ศึกษาวิธีการออกแบบและความเหมาะสมต่อการใช้งาน 2 แบบ ให้สามารถรองรับกับอุปกรณ์ที่มีใช้อยู่ในกระบวนการผลิต ปัจจุบันที่ 7-21 มิลลิเมตร หยิบและวางชิ้นงานได้ครั้งละ 10 ชิ้น ไม่ส่งผลต่อค่าแถมโหลดและสเตติกแอททิจูด และความเสียหายทางกายภาพต่อตัวงาน

ทดสอบการหยิบและวางงานของโมดูล

ทำการทดสอบการทำงานของโมดูลทั้ง 2 แบบ เพื่อเปรียบเทียบความแม่นยำในการหยิบและวางชิ้นงาน โดยทำการทดสอบที่ 4000 ตัวอย่างงาน หยิบและวางชิ้นงานครั้งละ 10 ตัวใส่ภาชนะ แล้วทำการเปรียบเทียบความแม่นยำในการหยิบและวางชิ้นงานของแต่ละตำแหน่ง เพื่อหาปัจจัยที่มีผลต่อการตัดสินใจเลือกโมดูลเปลี่ยนระยะห่างการวางชิ้นงาน ไปใช้ในการทดสอบปรับปรุงกระบวนการผลิตแขนจับหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ตามวัตถุประสงค์

ทดสอบการทำงานจริง

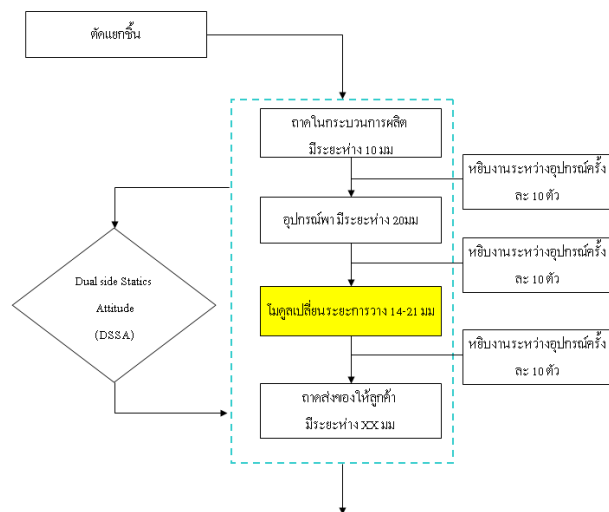
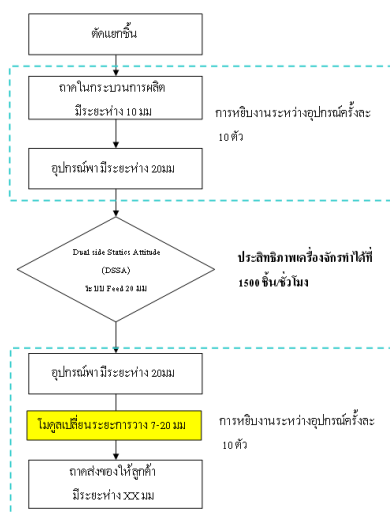
ทำการทดสอบกับการทำงานจริงเป็นเวลา 7 วัน นำข้อมูลที่ได้มาทำการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ เช่น ประสิทธิภาพการผลิต และความเสียหายทางกายภาพต่อตัวงาน ฯลฯ

3. ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

ศึกษาการออกแบบโมดูลเปลี่ยนระยะห่างการวางชิ้นงาน

ศึกษาข้อจำกัดในการใช้งาน และนำเสนอแนวทางโดยออกแบบอุปกรณ์ในการเปลี่ยนระยะห่างการวางชิ้นงาน 2 แบบ คือแบบเพลสเติปิง และ แบบลูกเบี้ยวทรงกระบอก ทำการศึกษาความเหมาะสมของแต่ละแบบต่อการใช้งาน ความแม่นยำในการ

หยิบและวางชิ้นงานลงอุปกรณ์

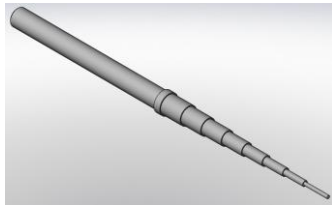


ภาพที่ 6 ขั้นตอนการทำงานของโมดูลแบบเพลสเติปิง ภาพที่ 7 ขั้นตอนการทำงานของโมดูลแบบลูกเบี้ยวทรงกระบอก

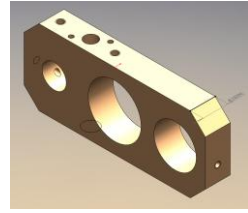
ตารางที่ 1 แสดงระยะพิชต์ (Pitch) ของอุปกรณ์ที่ใช้ในกระบวนการผลิต

ถาดในการผลิต (pitch 10 mm, +/- 0.100)	อุปกรณ์วางงาน (pitch 20 mm, +/- 0.005)	ถาดส่งงานลูกค้า (7.62, 7.70, 8.00, 8.25, 8.79, 8.8, 9.00 mm, +/-0.100)

แบบที่ 1 การออกแบบโดยใช้เพลสเติปิง (Stepping shaft) เป็นการออกแบบเพื่อทำการเปลี่ยนระยะจาก<5>อุปกรณ์วางงาน (Boat) ไปวางลงใน<6>ถาดส่งงานให้ลูกค้า โดยไม่กระทบต่ออุปกรณ์หรือภาชนะที่ใช้อยู่เดิม กำหนดให้ระยะห่างมากที่สุดอยู่ที่<7>เพลสเติปิง (ออกสุด) และระยะน้อยที่สุดอยู่ที่<8>แผ่นสไลเดอร์เพลท (เข้าสุด) ดังภาพที่ 8 โดยการใช้มอดูลในการหยิบและวางชิ้นงานลงในภาชนะ ดังนั้นถ้าหากมีการเปลี่ยนระยะห่างก็จะต้องทำการออกแบบแผ่นสไลเดอร์เพลทใหม่ทุกครั้ง (ภาพที่ 8 ข) และใช้สแต็ปมอเตอร์ Stepping Servo motor ในการทำให้เคลื่อนที่ ควบคุมด้วยพีแอลซี (PLC)

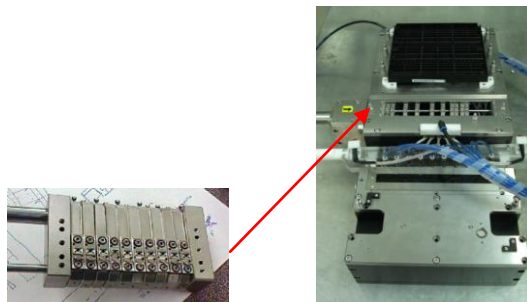


(ก) พลาสติกตีปึง



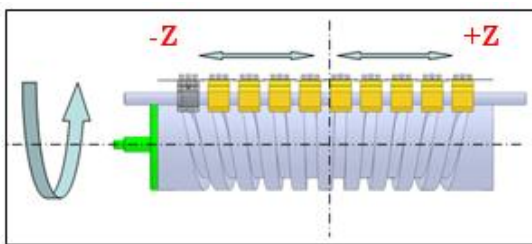
(ข) การประกอบแผ่นสไลด์เดอร์เพลท

ภาพที่ 8 3D พลาสติกตีปึงและทิศทางการเคลื่อนที่

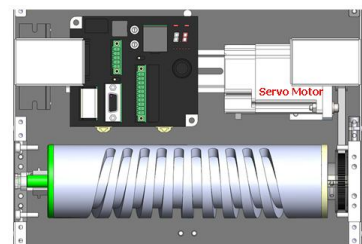


ภาพที่ 9 แสดงชุดกลไกเปลี่ยนระยะห่างการวางชิ้นงานของพลาสติกตีปึงและโมดูล

แบบที่ 2 ออกแบบโดยใช้ลูกเบี้ยวทรงกระบอก (Cylindrical Cam) เป็นการออกแบบเพื่อทำการเปลี่ยนระยะห่างการวางชิ้นงานของอุปกรณ์หรือภาชนะ ที่ใช้ในระบบการทั้งหมดให้มาอยู่ในโมดูลเดียวกันภาพที่ 7 กำหนดให้ระยะในการเคลื่อนที่เกิดจากการบิดของมมเพลลา และใช้เซอร์โวสเต็ปมอเตอร์ (Stepping Servo motor) ในการทำให้เคลื่อนที่โดยผ่านสายพานควบคุมด้วยพีแอลซี (PLC)

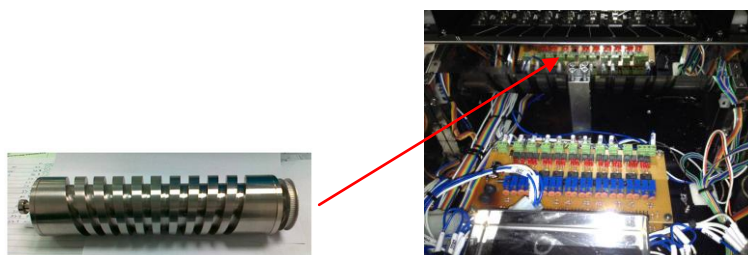


(ก) ทิศทางการเคลื่อนที่ของฟอลเวอร์



(ข) ภาพประกอบลูกเบี้ยวเข้ากับโมดูล

ภาพที่ 10 3D ลูกเบี้ยวทรงกระบอกและทิศทางการเคลื่อนที่



ภาพที่ 11 แสดงลูกเบี้ยวทรงกระบอกและโมดูล

ขั้นตอนการคำนวณและออกแบบดังนี้

1. หาระยะเคลื่อนที่ น้อยที่สุด และมากที่สุด ที่ต้องการของเกลียวจากอุปกรณ์ที่ใช้งานจริงดังนั้นจะเห็นว่าระยะที่ต้องการคือ 7.0 และ 21.00 มม คือระยะที่ใช้ในการออกแบบตารางที่ 1
2. คำนวณหามุมเกลียว (Helix angle) ที่ต้องใช้ในการออกแบบของแต่ละร่องสมการที่ 2

ตารางที่ 2 ตารางค่าของ Helix Angle ของลูกเบี้ยวทรงกระบอก

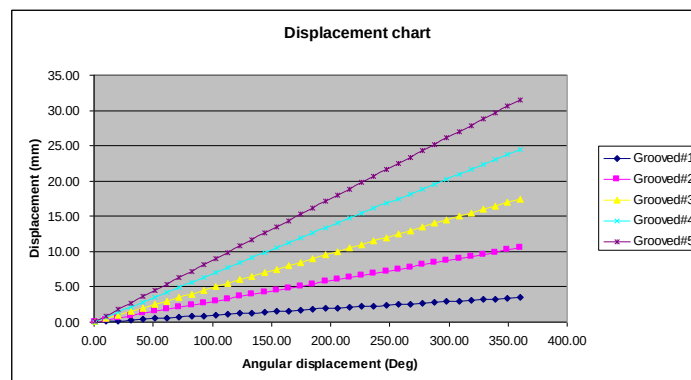
Groove No	Pitch (p)	Radius (mm)	Helix angle (α)
1	3.5	30	0.116
2	10.5		0.337
3	17.5		0.528
4	24.5		0.685
5	31.5		0.810

3. คำนวณหามุมบิดของเพล (Shaft angle) ที่ใช้สำหรับทำให้เกิดการเคลื่อนที่ในแกน Z โดยกำหนดให้ การเคลื่อนที่ในแนวแกน Z (S = Displacement) เป็นค่าคงที่ และ มุมบิดของเพลเป็นตัวแปรที่ต้องคำนวณ สมการที่ 5

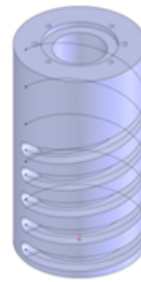
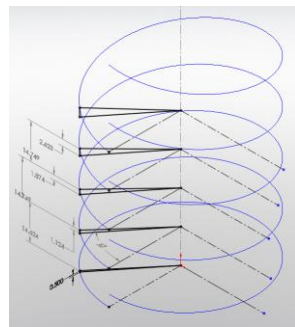
ตารางที่ 3 ตารางค่ามุมบิด (Shaft Angle) และระยะขจัด

Shaft angle (β)	Displacement (S)	Pitch (p)
0.898	0.50 (7.500)	3.5
1.113	0.62 (7.620)	3.5
2.244	1.25 (8.250)	3.5
1.872	1.60 (8.600)	3.5
3.590	2.00 (9.000)	3.5

4. คำนวณหาความเร็ว (Velocity), ความเร่ง (Acceleration) และการกระตุก (Jerk) สมการที่ 7



ภาพที่ 12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมบิดเพลกับระยะขจัด



(ก)

(ข)

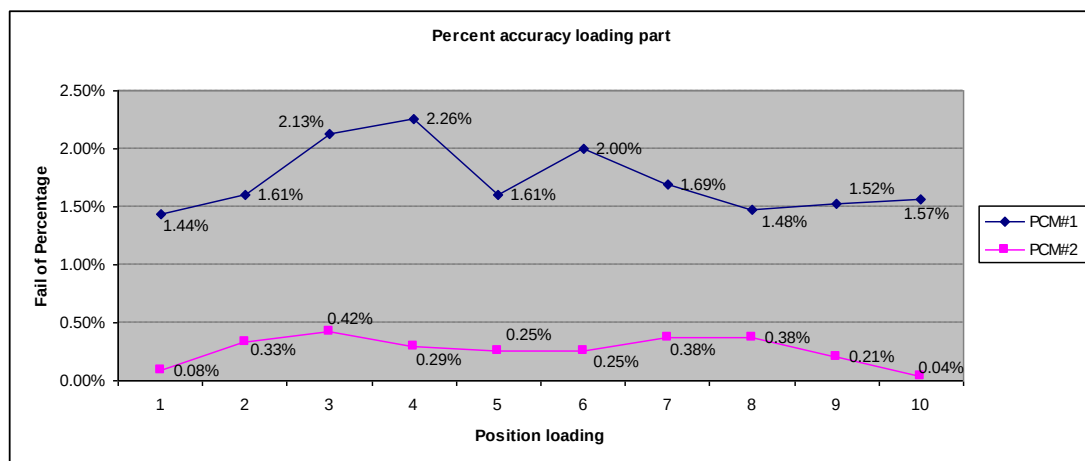
ภาพที่ 13 การออกแบบลูกเบี้ยวทรงกระบอก

ทดสอบความแม่นยำในการหยิบและวางชิ้นงาน

เพื่อการทดสอบสมมติฐาน และใช้ในการพิจารณาเลือกรูปแบบที่เหมาะสมกับการทำงาน ได้ทำการทดสอบความแม่นยำในการหยิบและวางชิ้นงานลงในอุปกรณ์ (ตารางที่ 1) ทั้งหมด 6 ขั้นตอนดังตารางที่ 4 ทำการเปรียบเทียบความแม่นยำในการหยิบและวางชิ้นงาน ในทุกขั้นตอนของการวางชิ้นงานจะต้องทำการตรวจสอบตำแหน่งที่เกิดจากโมดูลเปลี่ยนระยะทางการวางชิ้นงานด้วยกล้องจุลทรรศน์ที่อัตราขยาย 10X (Microscope Vision) และใช้การทดสอบสมมติฐานสำหรับประชากรสองชุด (Hypothesis Testing for Two Populations) ที่ความเชื่อมั่น 95% ในการหยิบและวางชิ้นงาน เพื่อทำการตัดสินใจในการเลือกแบบอุปกรณ์ที่จะใช้ในการทดสอบเพื่อการปรับปรุงประสิทธิภาพในกระบวนการผลิต

ตารางที่ 4 แสดงขั้นตอนการหยิบและวางชิ้นงาน 4000 ตัว ในอุปกรณ์

<1> หยิบ ชิ้นงานขึ้นจาก ถาดใน กระบวนการ ผลิต(IPT)	<2> วางชิ้นงาน ลงอุปกรณ์พวงาน (Boat)	<3> หยิบชิ้นงาน ขึ้นจากอุปกรณ์ พวงาน (Boat)	<4> วางชิ้นงาน ลงโมดูลเปลี่ยน ระยะการวาง ชิ้นงาน (PCM)	<5> หยิบชิ้นงาน ขึ้นจากโมดูล เปลี่ยนระยะการ วางชิ้นงาน (PCM)	<6> วางชิ้นงาน ลงถาดส่งงานให้ ลูกค้า (Shipping tray)
---	--	---	---	--	---



ภาพที่ 14 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์ในการวางงานที่ไม่ลงตำแหน่งในการหยิบและวางชิ้นงาน

*PCM#1 เฟลาสเต็ปปีง (Stepping shaft)

*PCM#2 ลูกเบี้ยวทรงกระบอก (Cylindrical Cam)

ทดสอบการใช้งานจริง

ทำการทดสอบการใช้งานจริง ๆ ในกระบวนการเพื่อการปรับปรุงประสิทธิภาพในการผลิต โดยทำการทดสอบตามตารางที่ 4 และเก็บข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์เป็นเวลา 7 วัน สรุปและวิเคราะห์ผลการทดลองตามมาตรฐานของบริษัท จากภาพที่ 15 แสดงให้เห็นว่าสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตได้ 1460 ชิ้นต่อชั่วโมง

Station	UPH	% DT	Std Yld	Standard Qty per cell	Cap (K pc) Pre cell	Manpower Requ / line
Load Beam Forming I	3,900	14.00%	98.90%	2.00	1065	1.0
Load Beam Forming II	3,900	15.00%	98.00%	2.00	1065	3.0
Laser Lapping	3,900	5.00%	99.00%	2.00	1065	2.0
Fret Bridge Trim	3,000	15.00%	99.90%	3.00	1229	1.8
TG Panel Trim	16,300	5.00%	99.90%	0.50	1112	0.5
Flexure Forming	2,600	18.00%	99.90%	3.00	1065	3.0
Laser Welding	3,750	12.00%	99.70%	2.00	1024	16.00
Detab Singulation	3,800	19.00%	99.90%	2.00	1037	2.0
Preload Forming	3,800	19.00%	99.80%	2.00	1037	2.0
Final Detab	3,285	8.00%	99.80%	2.00	897	4.0
Cleaning	15,568	15.0%	100.00%	0.45	956	0.5
GL&SA Adjust	1,460	12.00%	99.20%	4.0	797	4
Group lot Packing				2.00		2.0
				1.00		0.4
T Yield frm LB				94.14%	Cap per cell	797
T Yield frm Laser				98.41%	Cap per line	399
% Eff				100.0%	Bottle neck GL&SA Adjust	
TOTAL PRIME OUTPUT (Kpcs.)				797	61.32	

ภาพที่ 14 แสดงผลการทดสอบประสิทธิภาพหลังการปรับปรุงแล้ว (ใช้โมดูลเปลี่ยนระยะห่างการวางชิ้นงาน)

4. อภิปรายผล

ผลจากการทดสอบการหยิบและวางชิ้นงานแบบพลาสติกปีปมีประสิทธิภาพ 93% และลูกเบี้ยวทรงกระบอก 97% ซึ่งให้เห็นว่าแบบลูกเบี้ยวทรงกระบอกมีความแม่นยำในการหยิบและวางชิ้นงานมากกว่า เนื่องจากไม่มีความเร่ง (Acceleration) และการกระตุก (Jerk) เกิดขึ้นในระบบตามสมการที่ 5 และการออกแบบให้มีความยืดหยุ่นในการปรับเปลี่ยนระยะห่างการวางชิ้นงานทำให้ประหยัดต้นทุนในผลิตโมดูลและใช้พื้นที่ไม่มากนัก การประยุกต์ระบบอัตโนมัติมาใช้มากขึ้นถึง 60% ทำให้การหยิบและวางชิ้นงาน สามารถวางได้ในระยะความสูงที่กำหนดทุกครั้ง และมีระบบกวดภาคที่เป็นพลาสติกให้เรียบก่อนทำการหยิบและวางชิ้นงาน ทำให้ไม่เกิดรอยกดบนตัวงานและ ไม่ส่งผลต่อค่าแอมโพลต์และสเตตัสของตัวงาน ดังนั้นจึงไม่จำเป็นต้องใช้พนักงานที่มีทักษะมากในการปฏิบัติงาน ในปัจจุบันอุตสาหกรรมในประเทศยังต้องอาศัยแรงงานคนในการปฏิบัติงานเป็นหลัก ซึ่งมีข้อจำกัดในอนาคตอันเนื่องมาจากชิ้นงานมีค่าความเผื่อควบคุมที่น้อยลง ทำให้จำเป็นต้องทำการพัฒนากระบวนการแบบใหม่ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานของพนักงานและให้ทันต่อความเร็วของเครื่องจักรที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน

5. สรุปผล

สรุปผลการวิจัยทั้งหมดเปรียบเทียบวิธีการทำงานก่อนการปรับปรุง แบบใช้พนักงานที่ผ่านการอบรมในการประกอบ และหลังปรับปรุง ด้วยโมดูลที่ออกแบบการทำงานโดยการใช้ลูกเบี้ยวทรงกระบอกในประเด็นต่อไปนี้ ประสิทธิภาพของกระบวนการ GL&SA ประโยชน์ที่ได้จากการทำงานวิจัยนี้ และหลังจากนำไปทดลองใช้เพื่อการปรับปรุงประสิทธิภาพการผลิตจริงในกระบวนการผลิต พบว่าประสิทธิภาพของโมดูลเปลี่ยนระยะห่างการวางงานชิ้นงานอยู่ในเกณฑ์ที่ดี และสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตได้ดังนี้

- 1) การพัฒนาการออกแบบโมดูลเปลี่ยนระยะห่างการวางชิ้นงานที่ออกแบบโดยใช้ลูกเบี้ยวทรงกระบอก (Cylindrical Cam) สามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตขึ้น 23% (เดิม 1200 UPH เป็น 1500 UPH)
- 2) ช่วยขจัดของเสียในกระบวนการผลิตได้ 100% (เดิม 1.2 % DPPM เป็น 0%, ไม่เกิดการกดงานโดยตรงทำให้ไม่มีงานเสียในกระบวนการ, ช่วยป้องกันการหยิบงานผิด)
- 3) ในกรณีที่มีการเปลี่ยนระยะห่างในการงานชิ้นงานใหม่ก็สามารถใช้โมดูลเก่าได้ เพียงแต่ต้องเปลี่ยนชิ้นส่วนที่มีลักษณะเฉพาะ (Specific parts) เพื่อให้เกิดความเหมาะสมกับลักษณะของงานทำให้ประหยัดค่าใช้จ่ายเมื่อเทียบกับโมดูลใหม่ได้มากถึง 92%

ข้อเสนอแนะ

จากการวิจัยพบว่าโดยรวมแล้วความแม่นยำในการหยิบและวางงานผิดพลาดนั้นเกิดจากภาชนะที่มีค่าความเผื่อที่ต่างกันมากเกินไป เช่น ถาดในกระบวนการผลิตมีค่าความเผื่อ ± 0.100 มม. และอุปกรณ์พวงงานมีค่าความเผื่อ ± 0.005 มม. ดังนั้นพบว่าในขั้นตอนการวางชิ้นงานลงอุปกรณ์พวงงาน (Boat) นั้นผิดพลาดมากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญ ผลการทดสอบการหยิบและวางชิ้นงานแสดงให้เห็นว่า โมดูลที่ออกแบบการทำงานโดยใช้ลูกเบี้ยวทรงกระบอกมีประสิทธิภาพในการเปลี่ยนระยะห่างการวางชิ้นงานได้ผลที่ดีกว่า ในด้านการหยิบและวางชิ้นงานที่แม่นยำกว่าแบบเพลาสเต็ปป์ ดังนั้นสามารถนำไปใช้ทดสอบปรับปรุงประสิทธิภาพการทำงานได้

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณทุนสนับสนุนจาก ศูนย์วิจัยร่วมเฉพาะทางด้านการผลิตขั้นสูงในอุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ สถาบันวิทยา การหุ่นยนต์ภาคสนาม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี (FIBO) ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ และขอขอบคุณบริษัทแมกเนคอมพ์ พรีซิชั่นเทคโนโลยี จำกัด (มหาชน) ที่ให้การสนับสนุนโมดูลเปลี่ยนระยะห่างการวางชิ้นงาน และเครื่องมือที่ใช้ในการทำวิจัย

7. เอกสารและสิ่งอ้างอิง

- [1] กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ, (2551). การวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการ. สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย - ญี่ปุ่น), กรุงเทพฯ.
- [2] ทรงเกียรติ รอดแดง, และมิ่ง โลกิจแสงทอง, (2549). การศึกษาเชิงเปรียบเทียบของลูกเบี้ยวแบบเคลื่อนที่เป็นจังหวะ. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 20. จังหวัดนครราชสีมา.
- [3] ภัทวดี เต็มสุวรรณพานิช, (2553). การลดเวลาสูญเสียของเครื่องจักรในอุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์กรณีศึกษา: โรงงานประกอบหัวอ่านฮาร์ดดิสก์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- [4] มิต หายพิทักษ์พงศ์, (2539). การเพิ่มผลผลิตของการผลิตตัวเก็บประจุกรณีศึกษาโรงงาน ABB Capacitor LTD. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- [5] วชิระ มีทอง, (2550). การออกแบบปรกรณ์จับยึดชิ้นงานและฟิกซ์เจอร์. สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย - ญี่ปุ่น), กรุงเทพฯ.
- [6] วรญา มาประชา, (2549). การพัฒนาประสิทธิภาพกระบวนการพิมพ์ในการผลิตกล่องบรรจุภัณฑ์ประเภทกระดาษ กรณีศึกษา โรงงานผลิตกล่องบรรจุภัณฑ์ประเภทกระดาษ. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- [7] วันชัย ริจิรวนิช, (2539). การเพิ่มผลผลิตทางอุตสาหกรรมเทคนิคและกรณีศึกษา กรุงเทพฯ. สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- [8] Guoliang et al., (2005). Research on vacuum gripper based on fuzzy control for micromanipulators. Department of Control Science and Engineering, Huazhong University of Science & Technology, Wuhan Hubei 430074, China.
- [9] Thomas Kirchmeier, & Gunther Reinhart., (2011). Fuzzy Logic based Ultrasonic Gripper Design for Handling Small Parts. Institute for Machine Tools and Industrial Management Technische Universität München Boltzmannstr., 15, D-85748 Garching, Germany.
- [10] Yuan et al., (2008). Roller Guide Design and Manufacturing for Spatial Cylindrical Cams. World Academy of Science, Engineering and Technology 38.
- [11] Zayas et al., (2009). Analysis and synthesis of the displacement function of the follower in constant-breadth cam mechanisms. Department of Mechanical Engineering, ETSEIB, Universitat Politècnica de Catalunya, Diagonal 647, 08028 Barcelona, Spain.

การศึกษาแนวทางที่เหมาะสมในการลดต้นทุนเพื่อสนับสนุนการจัดการน้ำประปาอย่างยั่งยืน ของการประปานครหลวง กรณีศึกษา โรงกรองน้ำบางเขน

A cost reduction for supporting water management of Metropolitan
waterworks authority model: a case study from Bangkhen treatment plant.

สมบุญ กลั่นสกุล¹, ปริญญ์ บุญนิษฐ², สหรัตน์ วงษ์ศรีชนะ²

¹การประปานครหลวง 400 ถนนประชาชื่น แขวงทุ่งสองห้อง เขตหลักสี่ กรุงเทพมหานคร 10210

E-mail: Somboon.k8@hotmail.com

²สาขาวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรมเพื่อความยั่งยืน

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

1381 ถนนพินุญสังคราม เขตบางซื่อ กรุงเทพมหานคร 10800

บทคัดย่อ

ปัจจุบันการประปานครหลวงมีแนวคิดในการพัฒนาระบบการจัดการน้ำประปาอย่างยั่งยืน เพื่อรองรับอัตราการเจริญเติบโตของชุมชนเมืองอย่างต่อเนื่องและการก้าวเข้าสู่ประชาคมเศรษฐกิจอาเซียน เช่น การศึกษาปริมาณการใช้
น้ำด้วยแนวคิดวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ รวมทั้งการบริหารจัดการต้นทุน การควบคุมคุณภาพของน้ำ และผลกระทบต่อ
สิ่งแวดล้อม ดังนั้นงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการลดต้นทุนเพื่อสนับสนุนการจัดการน้ำประปาอย่างยั่งยืนของ
การประปานครหลวง กรณีศึกษาโรงกรองน้ำประปาบางเขนซึ่งกระบวนการในการศึกษาวิจัยเริ่มจากการวิเคราะห์การ
ใช้น้ำของการประปานครหลวงด้วยเทคนิคการคำนวณวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ (Water Footprint) เพื่อหาค่าชีวิต
กระบวนการผลิตน้ำประปาที่ชัดเจนหลังจากนั้นจึงทำการออกแบบเครื่องมือเพื่อใช้ในการศึกษาปรับปรุงประเด็น
สำคัญที่มีผลต่อคุณภาพและต้นทุนของน้ำประปาทางด้านต้นทุนค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำประปาในปัจจุบัน สุดท้ายจึง
ทำการศึกษาแนวคิดเทคโนโลยีใหม่ๆในการบริหารจัดการการผลิตน้ำประปาเพื่อให้สามารถสร้างแบบจำลองแนวทาง
ในการพัฒนาระบบการจัดการน้ำประปานครหลวงอย่างยั่งยืนต่อไป

คำสำคัญ : การจัดการน้ำประปาอย่างยั่งยืน วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ การลดต้นทุน

Abstract

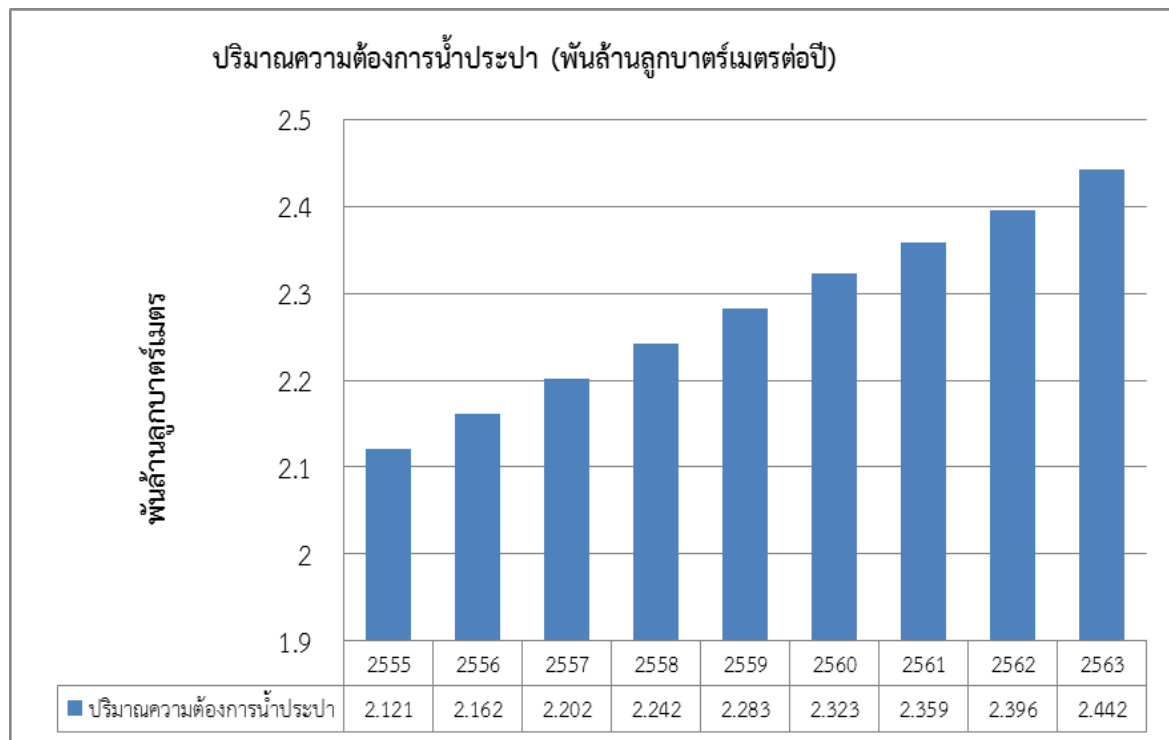
Nowadays, the metropolitan water authority has had concept to develop a sustainable water management system in order to handle growth rate of the urban community continuously and to enter into the asean economic community, such as study on water usage in accordance with water footprint concept with the management of the principle costs, water quality control, influences to the environment. therefore, the objective of this research is to study the cost reduction model that can possibly for supporting to the sustainable water management system of the metropolitan water authority; case study (bangkhen water authority). the method of this research is started from analysis usage cleaning point of the metropolitan water authority with the water footprint calculation technique for explicitly average out the measuring index for the water producing process. afterwards, the designing tool is initiated to study and to improve the important issues that having influences to the quality and the water principal cost on water treatment expenditures at the present time. finally, the study on new technical concept is adopted to manage the water producing process for present the potential technique

for develop the sustainable water management system model of the metropolitan water authority.

Key Words: Sustainable Water Management System, Water Footprint, Cost Reduction

1. บทนำ

สำนักงานสภาพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ (2547) ได้ประเมินปริมาณและสัดส่วนความต้องการใช้น้ำของประเทศในกิจกรรมต่างๆ โดยพิจารณาความต้องการใช้น้ำเพื่อการอุปโภคบริโภค ชลประทาน อุตสาหกรรมและการรักษาระบบนิเวศพบว่าปัญหาการขาดแคลนน้ำมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นซึ่งเมื่อได้มีการประเมินความต้องการน้ำดิบเพื่อการอุปโภคบริโภคในอีก 20 ปีข้างหน้าว่าอาจสูงถึง 3,442 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี (พ.ศ. 2564) ขณะที่ปัจจุบันผลิตได้เพียง 1,144 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี ดังนั้นการประปานครหลวง (2555 ก) ซึ่งเป็นรัฐวิสาหกิจที่ให้อำนาจสาธารณูปโภคทั้งในการผลิตและบริการจำหน่ายน้ำประปาที่มีคุณภาพแก่ผู้ใช้บริการในเขตกรุงเทพมหานคร นนทบุรีและสมุทรปราการ ตามวิสัยทัศน์ในระดับองค์กรในการ “เป็นองค์กรชั้นนำด้านการบริหารจัดการที่ดี ที่มีความรับผิดชอบต่อสังคมในระดับแนวหน้าสุดของกลุ่มประเทศอาเซียน” จึงได้วางแผนยุทธศาสตร์การบริหารงานการประปานครหลวง ฉบับที่ 3 (2555-2559) ให้สามารถตอบสนองความต้องการใช้น้ำประปาของประชากรในเขตพื้นที่รับผิดชอบรวมทั้งแนวโน้มที่อาจเพิ่มขึ้นอย่างมากหากเกิดการก้าวเข้าสู่ประชาคมเศรษฐกิจอาเซียนในปี 2558 นี้ ดังแสดงความต้องการบริโภคน้ำของประชากรในพื้นที่รับผิดชอบของการประปานครหลวงในภาพที่ 1

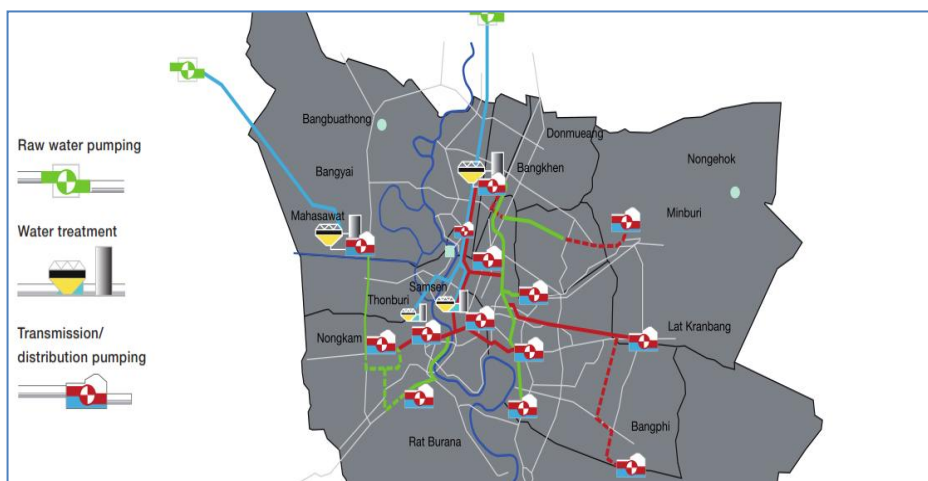


ภาพที่ 1 ความต้องการบริโภคน้ำของประชากรในพื้นที่รับผิดชอบของการประปานครหลวง (การประปานครหลวง, 2555)



ภาพที่ 2 โรงงานผลิตน้ำประปาการประปานครหลวง
[แผนยุทธศาสตร์การบริหารงานการประปานครหลวง ฉบับที่ 3 (2555-2559)]

โรงกรองน้ำบางเขนถือเป็นโรงงานผลิตน้ำแหล่งใหญ่ที่สุดของ กปน. กว่า 69 % ดังแสดงในภาพที่ 2 และเป็นหน่วยงานสำคัญในการจัดการสูบน้ำที่มีคุณภาพเข้าสู่เขตการให้บริการในกรุงเทพฯโดยทั่วไป (ABB, 2010) ดังแสดงในภาพที่ 3 จากข้อมูลดังกล่าวแสดงให้เห็นได้ว่าหากสำนักงานประปาสบางเขนเกิดปัญหาในการผลิตแล้วย่อมส่งผลอย่างยิ่งต่อการบริหารจัดการน้ำประปาอย่างยั่งยืนของพื้นที่ให้บริการ ซึ่งปัจจุบันพบว่าการประปาสบางเขนยังคงมีอุปสรรคหลายส่วนในการดำเนินการผลิตน้ำประปาอย่างยั่งยืน เช่น ปัญหาสภาพน้ำดิบที่มีการปนเปื้อน ปริมาณการใช้น้ำที่เพิ่มขึ้น และค่าใช้จ่ายที่สูงขึ้นในการผลิตน้ำประปาให้ได้คุณภาพมาตรฐานที่กำหนด เป็นต้น



ภาพที่ 3 ภาพรวมโรงกรองน้ำและสถานีสูบน้ำในกรุงเทพฯของ กปน. (ABB, 2010)

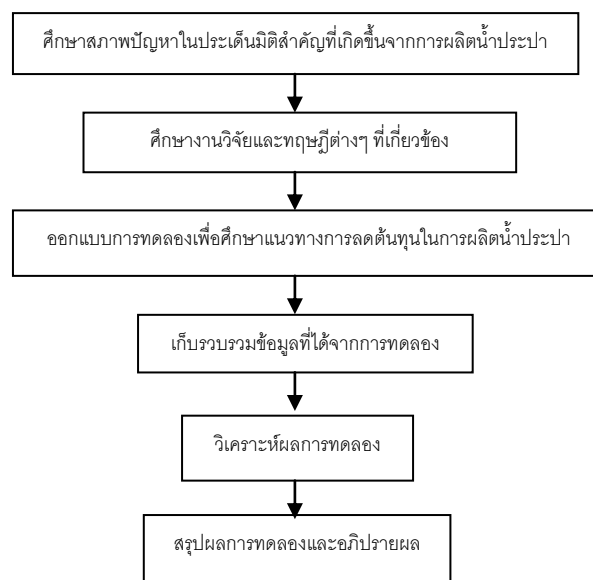
สำหรับงานวิจัยที่มีการศึกษาแนวทางในการพัฒนาระบบการจัดการน้ำอย่างยั่งยืนมีหลายงานวิจัย เช่น kamol (2006) ที่ได้ทำการศึกษานวัตกรรมในการพัฒนาระบบจัดการน้ำประปาด้วยการออกแบบอุโมงค์สำหรับระบบส่งน้ำประปาในปี 2560 เพื่อช่วยแก้ปัญหาในการส่งจ่ายน้ำประปาในอนาคตของกรุงเทพฯ งานวิจัยของ Makropoulos et al (2008) ที่ได้ทำการศึกษา

ระบบการจัดการน้ำอย่างยั่งยืนในเมืองเพื่อให้เกิดความสมดุลทั้งทางด้านการจ่ายน้ำ การจัดการน้ำเสีย การระบายน้ำ โดยงานวิจัยนี้ได้ให้ความสำคัญกับการพัฒนาอย่างยั่งยืนทั้งทางด้าน สิ่งแวดล้อม เศรษฐศาสตร์ สังคมและด้านเทคนิค ด้วยการนำ

แนวคิดวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ มาประยุกต์ใช้ร่วมกับการจัดการด้วยระบบโปรแกรมคอมพิวเตอร์ หรือจะเป็นงานวิจัยของ Chiplunkar et al (2012) ที่ได้ทำการศึกษาแนวทางในการวิธีปฏิบัติที่ดีในการบริหารจัดการน้ำในเมืองสำหรับอนาคตที่ประสบความสำเร็จ ด้วยการศึกษเปรียบเทียบแนวทางในการจัดการในสามมิติ ได้แก่ พื้นการจัดการองค์กร การบริการในการจัดส่ง การเงินและการจัดการบุคลากร ในหลายประเทศ เช่น ของประเทศไทย มาเลเซีย กัมพูชา สิงคโปร์ เป็นต้น จากตัวอย่างงานวิจัยที่กล่าวมาจะเห็นได้ว่าแนวทางในการพัฒนาระบบการจัดการน้ำอย่างยั่งยืนเป็นเรื่องที่สำคัญและได้รับความสนใจจากทั่วโลก โดยมุมมองงานวิจัยส่วนใหญ่จะให้ความสำคัญกับการพัฒนาระบบที่ยั่งยืน ด้วยการประเมินปริมาณการใช้น้ำควบคู่ไปกับการความคุ้มค่าในประเด็นด้านเศรษฐศาสตร์และความสามารถของเทคโนโลยีในการผลิต ด้วยเหตุนี้งานวิจัยจึงมีวัตถุประสงค์เพื่อทำการศึกษาแนวทางที่เหมาะสมในการลดต้นทุน จากกรณีศึกษาโรงกรองน้ำบางเขน เพื่อนำแนวคิดที่ได้ไปช่วยสนับสนุนการจัดการอย่างยั่งยืนของการประปานครหลวง ในการขยายขีดความสามารถเพื่อรองรับความต้องการในการบริโภคน้ำประปาที่จะเพิ่มมากขึ้นอย่างมากในอนาคตต่อไป

2. วิธีการศึกษา

สำหรับกรอบแนวคิดการวิจัยครั้งนี้สามารถอธิบายได้ดังภาพที่ 4 ต่อไปนี้



ภาพที่ 4 กรอบแนวคิดการวิจัย

3. สภาพปัจจุบันของการผลิตน้ำประปา

ในการศึกษาวิจัยนี้เริ่มจากการศึกษาสภาพปัญหาในประเด็นสำคัญปัจจุบันที่เกิดขึ้นจากการผลิตน้ำประปาของการประปานครหลวงที่โรงกรองน้ำบางเขน ด้วยแนวคิดวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ ซึ่งผลจากการศึกษาเบื้องต้นของวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ในการผลิตน้ำประปาจากโรงกรองน้ำบางเขน พบว่าหากต้องการผลิตน้ำประปา 1.00 ลบ.ม ต่อหน่วย จะต้องใช้น้ำดิบ 1.0126429 ลบ.ม หรือ ปัจจุบันการประปานครหลวง (2555 ข) มีปริมาณการผลิตน้ำจ่ายและจำหน่ายรวมกันกว่า 2,998.2 ล้าน ลบ.ม./ ปี ก็จะต้องใช้น้ำดิบกว่า 3,036.1 ล้าน ลบ.ม./ปี หรือเป็นผลต่างการผลิตในการบำบัดประมาณ 37.9 ล้าน ลบ.ม./ปี ดังแสดงได้จากสมการคำนวณในภาพที่ 5 และปริมาณน้ำเสมือนในแต่ละขั้นตอนที่ผลิต 1 ลบ.ม ในภาพที่ 6 โดยค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ ที่ได้นี้ คือ ค่าชี้วัดการใช้น้ำของผู้ผลิตหรือผู้บริโภค หรือหมายถึงปริมาณน้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิตสินค้าและบริการทั้งทางตรง

และทางอ้อม โดยคำนวณปริมาณน้ำจากผลรวมของทุกขั้นตอนตลอดห่วงโซ่ของการผลิตน้ำประปามีหน่วยเป็นลูกบาศก์เมตรต่อปี ทั้งนี้ วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ ถือเป็นค่าชี้วัดที่ชัดเจนเพราะนอกจากจะแสดงปริมาณน้ำใช้ และปริมาณน้ำเสียที่ปล่อยออกมาแล้ว ยังแสดงสถานที่และระยะเวลาที่เกิดการใช้น้ำอีกด้วย โดยสมการในการคำนวณค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ในการผลิตน้ำประปา (Hoekstra and Chapagain, 2006) มีดังนี้

$$WF_{prod}[p] = \frac{\sum_{s=1}^k WF[s]}{P[p]} \quad [\text{Volume/mass}] \quad (1)$$

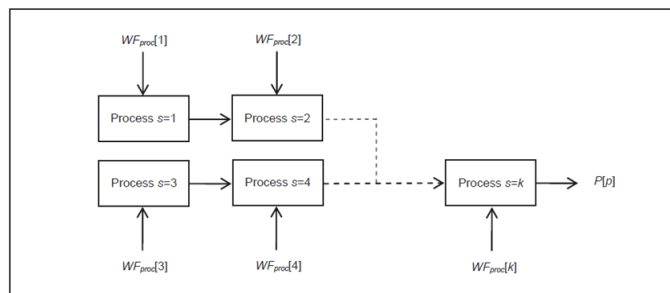
โดยที่

$$\begin{aligned} WF_{prod}[p] &= \text{วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ (ปริมาณ / มวล)} \\ \sum_{s=1}^k WF[s] &= \text{รอยเท้าน้ำในกระบวนการผลิตในขั้นตอน s (ปริมาณ / เวลา)} \\ P[p] &= \text{ปริมาณวัตถุดิบที่ใช้ในกระบวนการผลิต (มวล / ครั้ง)} \end{aligned}$$

ในระบบการผลิตนี้วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ p (ปริมาณ / มวล) เท่ากับผลรวมของรอยเท้าน้ำกระบวนการที่เกี่ยวข้องหารด้วย ปริมาณการผลิตของผลิตภัณฑ์ P ซึ่งใน WF proc [S] คือการปล่อยน้ำจากกระบวนการผลิตในขั้นตอน (ปริมาณ / เวลา), และ P [p] ปริมาณการผลิตของผลิตภัณฑ์ p (มวล / ครั้ง)

สัดส่วนผลิตภัณฑ์ของผลิตภัณฑ์ขาออก (p) ที่ได้จากผลิตภัณฑ์ขาเข้า (i) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2

$$Pf_p[p,i] = \frac{w[p]}{w[i]} \quad (2)$$

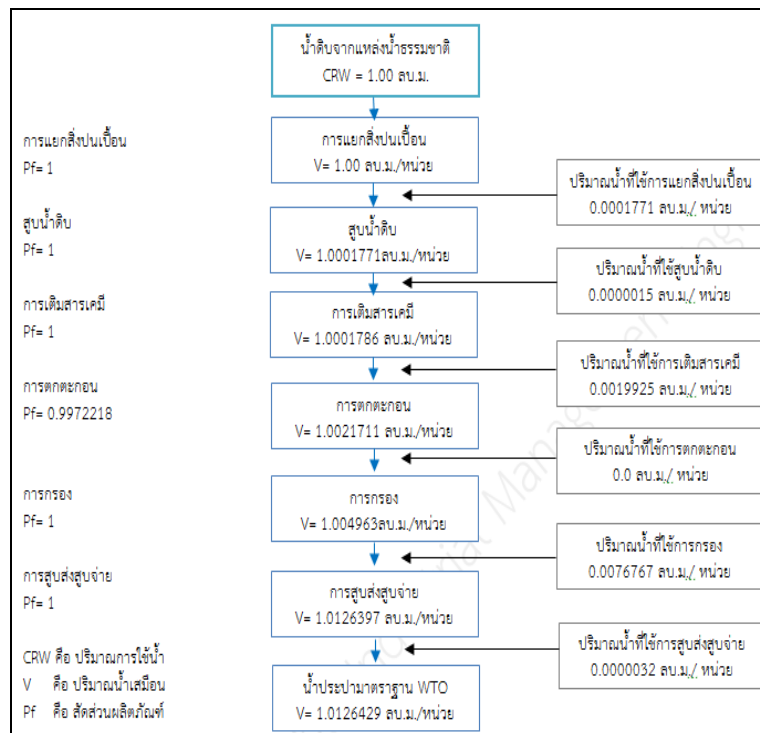


ภาพที่ 5 ระบบการผลิตสินค้าที่มี p เป็น K ขั้นตอนกระบวนการรอยเท้าของ p
จะถูกคำนวณเป็นผลรวมของน้ำในกระบวนการ

โดยที่

$$\begin{aligned} Pf_p[p,i] &= \text{คือ สัดส่วนผลิตภัณฑ์ของผลิตภัณฑ์ขาออก p ที่ได้จากผลิตภัณฑ์ขาเข้า i} \\ W[p] &= \text{คือ ปริมาณผลิตภัณฑ์ขาออก (ลบ.ม)} \\ W[i] &= \text{คือ ปริมาณผลิตภัณฑ์ขาเข้า (ลบ.ม)} \end{aligned}$$

ผลการคำนวณค่า $WF_{prod}[p]$ จากสมการที่ 1 และ 2 ของห่วงโซ่ของกระบวนการผลิตน้ำประปานครหลวงและปริมาณน้ำ
เสมือนในแต่ละขั้นตอนที่ผลิต 1 ลบ.ม. แสดงได้ดังภาพที่ 6 ด้านล่าง



ภาพที่ 6 ห่วงโซ่ของกระบวนการผลิตน้ำประปาครหลวง และปริมาณน้ำเสมือนในแต่ละขั้นตอนที่ผลิต 1 ลบ.ม

จากการคำนวณผลรวมของน้ำในกระบวนการผลิตและสัดส่วนผลิตภัณฑ์ของน้ำประปาโรงกรองน้ำบางเขนดังนี้

$$WF_{prod}[P] = \frac{1.00 + 0.0001771 + \frac{0.0000015}{1} + \frac{0.0019925}{1} + \frac{0}{0.9972218} + \frac{0.0076767}{1} + \frac{0.0000032}{1}}{1} = 1.0126429 \text{ ลบ.ม. ต่อหน่วย}$$

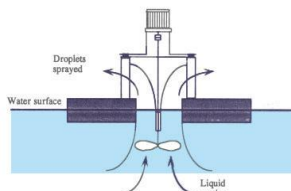
หลังจากทราบค่า WF ของการผลิตแล้ว เมื่อนำมาพิจารณาร่วมกับประเด็นคุณภาพน้ำที่การประปาต้องควบคุมแล้วจะเห็นได้ว่าในการผลิตนั้นค่า WF จะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับคุณภาพของน้ำในการนำเข้าและค่าใช้จ่ายในการจัดการบำบัด ที่มีตัวแปรหลักของกระบวนการบำบัดหรือการผลิตน้ำประปาจาก 2 ส่วนสำคัญประกอบด้วย ความขุ่น สารส้ม และคลอรีน ซึ่งปัจจุบันการปรับคุณภาพน้ำยังคงใช้ความเชี่ยวชาญของพนักงานเป็นสำคัญ โดยอาศัยการปรับระดับให้มีคุณภาพน้ำให้ไต่ระดับต่ำกว่า 2 NTU (Nephelometric Turbidity Units) ถือว่าผ่านค่ามาตรฐาน ซึ่งประเด็นนี้เองที่ส่งผลอย่างยิ่งต่อต้นทุนในการผลิตน้ำประปาและการใช้สารเคมีเนื่องจากหากเติมสารเคมีมากก็จะทำให้น้ำประปามีความสะอาดเพิ่มขึ้นแต่ส่งผลในทางกลับกันที่จะทำให้เกิดต้นทุนในการผลิตที่สูงมากขึ้นเช่นกัน สำหรับกระบวนการในการตรวจสอบคุณภาพน้ำนั้น การประปานครหลวงจะใช้วิธีการทดสอบที่เรียกว่า Jar Test โดยการทดสอบนี้ จะเป็นหาปริมาณของสารรวมตะกอนที่เหมาะสมในการตกตะกอนอนุภาคที่มีขนาดเล็กมากๆ ซึ่งจะตกตะกอนน้อยเกินไปให้มีขนาดอนุภาคใหญ่ขึ้น และตกตะกอนได้ดีขึ้นในการเติมสารรวมตะกอนถ้าหากปริมาณของสารรวมตะกอนน้อยเกินไปการรวมตะกอนจะเกิดขึ้นไม่ดีหรือไม่เกิดเลยแต่ถ้าหากเติมสารรวมตะกอนในปริมาณที่มากเกินไปก็จะเป็นการสิ้นเปลืองโดยเปล่าประโยชน์ และจะมีปริมาณของสารรวมตะกอนที่เหมาะสมพอดีในการรวมตะกอนนั้นซึ่งเป็นกระบวนการที่สำคัญในการทำน้ำประปา ดังแสดงในภาพที่ 7



ภาพที่ 7 การทำจาร์เทสต์ (Jar test)

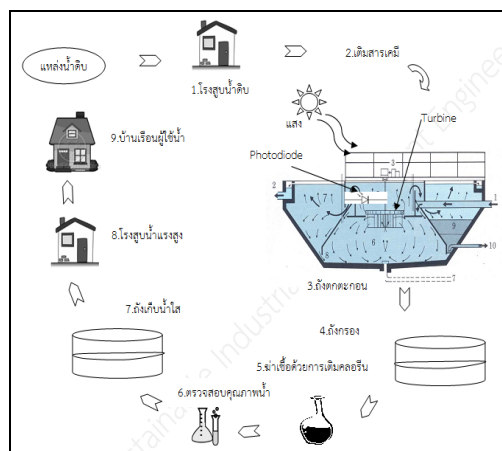
4. แนวทางการปรับปรุง

การปรับปรุงกระบวนการผลิตน้ำประปาเพื่อเป็นการลดความคลาดเคลื่อนของพนักงานในการควบคุมคุณภาพน้ำประปา งานวิจัยนี้จึงได้ออกแบบอุปกรณ์ควบคุมใบพัดเพื่อช่วยในการควบคุมการทำงานของ Motor turbine ให้มีการหมุนกวนน้ำในถังตกตะกอนด้วยความเร็วหรือจำนวนรอบที่เหมาะสมกับสภาพความขุ่นของน้ำแบบอัตโนมัติที่ไม่ต้องมีการใช้กำลังคนในการควบคุมด้วยการใช้ Photo-diode ดังแสดงในภาพที่ 8



ภาพที่ 8 ลักษณะของ Motor turbine ในถังตกตะกอน

เนื่องจากปริมาณของแสงที่ผ่านลงมายังผิวน้ำขึ้นอยู่กับความขุ่นของน้ำ ดังนั้นหากมีความขุ่นมากปริมาณแสงจะส่องผ่านลงมายังผิวน้ำน้อยและหากมีความขุ่นน้อยปริมาณแสงจะส่องผ่านลงมายังผิวน้ำมาก จึงสามารถวัดความขุ่นของน้ำได้ จากนั้นนำเอา Photo-diode ที่ใช้วัดปริมาณแสงแล้วติดตั้งเข้ากับมอเตอร์ของ turbine โดยผลการทดลองควบคุมการทำงานของ Motor turbine ให้มีการหมุนกวนน้ำในถังตกตะกอนด้วยความเร็วหรือจำนวนรอบที่เหมาะสมกับสภาพความขุ่นของน้ำด้วย Photo-diode ดังภาพที่ 9-10 ส่วนตารางที่ 1 และภาพที่ 11 แสดงผลอัตราการใช้และค่าใช้จ่ายของสารส้มและคลอรีนหลังจากการทดลอง Photo-diode ร่วมกับ turbine



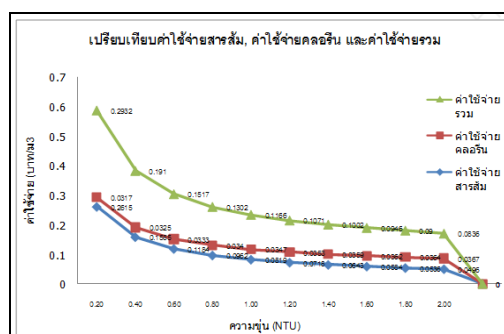
ภาพที่ 9 แบบจำลองการลดต้นทุนอย่างยั่งยืนของการประปานครหลวงด้วยการควบคุมอัตโนมัติ



ภาพที่ 10 การจัดเก็บน้ำของการประปาบางเขน

ตารางที่ 1 อัตราการใช้และค่าใช้จ่ายของสารส้มและคลอรีนหลังจากการทดลอง Photo-diode ร่วมกับ turbine

ความขุ่น (NTU)	สารส้ม		คลอรีน		ค่าใช้จ่ายรวม (บาท)
	อัตราการใช้ (mg/L)	ค่าใช้จ่าย (บาท/ม ³)	อัตราการใช้ (mg/L)	ค่าใช้จ่าย (บาท/ม ³)	
0.20	59.02	0.2615	3.24	0.0317	0.2932
0.40	35.79	0.1585	3.33	0.0325	0.1910
0.60	26.70	0.1184	3.42	0.0333	0.1517
0.80	21.70	0.0962	3.50	0.0340	0.1302
1.00	18.45	0.0819	3.55	0.0347	0.1166
1.20	16.20	0.0718	3.26	0.0353	0.1071
1.40	15.52	0.0643	3.66	0.0359	0.1002
1.60	13.16	0.0584	3.70	0.0362	0.0946
1.80	12.10	0.0536	3.74	0.0364	0.0900
2.00	11.16	0.0496	3.75	0.0367	0.0836



ภาพที่ 11 แผนภูมิแสดงค่าใช้จ่ายรวมของสารเคมีที่ความขุ่นต่างๆ

การวิเคราะห์ผลตอบแทนด้วย B/C

อัตราผลตอบแทนจากค่าใช้จ่าย (Benefit cost ratio หรือ B/C ratio) คือเกณฑ์ที่แสดงอัตราส่วนระหว่างมูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทนกับมูลค่าปัจจุบันของค่าใช้จ่ายตลอดอายุโครงการ ค่าใช้จ่ายในที่นี้คือ ค่าใช้จ่ายทางต้นทุน (Capital) และค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานและบำรุงรักษา อัตราผลตอบแทนจากค่าใช้จ่ายคำนวณได้จากสูตร

$$B/C = \frac{\text{มูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทนทั้งหมด}}{\text{มูลค่าปัจจุบันของค่าใช้จ่ายทั้งหมด}}$$

การประเมินโครงการด้วยวิธีอัตราผลตอบแทนจากค่าใช้จ่าย เกณฑ์การตัดสินใจในโครงการนั้นพิจารณาดังนี้

BCR > 1: คำนวณค่าแก่การลงทุนและยอมรับข้อเสนอโครงการ

BCR < 1: ไม่คำนวณค่าแก่การลงทุนและไม่ยอมรับข้อเสนอโครงการ

BCR = 1: เท่ากันสำหรับลงทุนและไม่ลงทุน

ตาราง 2 เปรียบเทียบค่า B/C ที่ระดับความขุ่นต่างๆ

ค่าที่ เปรียบเทียบ	ระดับความขุ่น (NTU)									
	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0
B/C	1.26	1.34	1.37	1.38	1.39	1.40	1.41	1.42	1.43	1.43

ตารางที่ 3 เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการผลิตน้ำประปาที่ความขุ่น 0.20 NTU กับความขุ่น 1.00 NTU ได้ดังนี้

ค่าที่เปรียบเทียบ	NTU = 0.2	NTU = 1.00
ค่าใช้จ่ายรวมค่าสารเคมี+อุปกรณ์ (Cost)	11,055,520 บาท	10,419,760 บาท
กำไรสุทธิ (Benefit)	13,944,480 บาท	14,580,240 บาท
B/C	1.26	1.39

จากตาราง 2 และตาราง 3 ทำให้ทราบว่าหากยอมรับน้ำที่ระดับความขุ่นมากยิ่งทำให้ค่า B/C เพิ่มขึ้นเนื่องจากเสียค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้อย แต่ถ้าปรับระดับความขุ่นมากกว่า 1.0-2.0 NTU จะทำให้คุณภาพน้ำต่ำลงมากและมีความคุ้มค่าในการลงทุน B/C มากขึ้นเพียง 0.04 แต่ถ้าปรับระดับความขุ่นน้อยกว่า 1.0-0.2 NTU จะทำให้คุณภาพน้ำดีขึ้นมากและมีความคุ้มค่าในการลงทุน B/C ลดลงมากที่สุดที่ 0.13 ดังนั้นจะเห็นได้ว่าระยะห่าง B/C ทั้งหมดคือ 0.17 ทำให้ช่วงความขุ่นพอเหมาะในการปรับจึงควรมีค่า NTU มากสุดที่ทำให้ได้ B/C สูงสุด ซึ่ง NTU = 1.0, B/C 1.39 จึงเป็นช่วงความขุ่นที่เหมาะสมและคุ้มค่ามากที่สุดในการปรับระดับคุณภาพน้ำให้ยังคงมีคุณภาพน้ำอยู่ในระดับดีและคุ้มค่าแก่การลงทุนมากที่สุด

5. สรุปผล

จากผลการทดลองแสดงให้เห็นแนวทางที่เหมาะสมในการลดต้นทุน คือการควบคุมการปรับคุณภาพน้ำ เนื่องจากความขุ่นของน้ำมีผลโดยตรงต่อต้นทุนค่าใช้จ่ายและอัตราการใช้สารส้มและคลอรีน ซึ่งการควบคุมโดยคนเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้ระดับคุณภาพและค่าใช้จ่ายไม่อยู่ในระดับที่เหมาะสมได้ ดังแสดงระดับคุณภาพและค่าใช้จ่ายดังนี้ 1) ช่วงความขุ่นเท่ากับ 1.00 NTU ค่าใช้จ่ายสารเคมี = 0.1166 บาท/ลบ.ม. หรือ (419,760 บาท/วัน) 2) ช่วงความขุ่นที่น้อยกว่า 1.00 NTU (ความขุ่นต่ำลง) ค่าใช้จ่ายสารเคมี = 0.1167 - 0.2932 บาท/ลบ.ม. หรือ (420,120 - 1,055,520 บาท/วัน) 3) ช่วงความขุ่นที่มากกว่า 1.00 NTU (ความขุ่นสูงขึ้น) ค่าใช้จ่ายสารเคมี = 0.0836 - 0.1165 บาท/ลบ.ม. หรือ (300,960 - 419,400 บาท/วัน) ด้วยเหตุนี้การใช้ระบบอัตโนมัติเพื่อควบคุมระดับคุณภาพให้อยู่ในระดับ 1.0 NTU จึงเป็นวิธีการที่เหมาะสมที่สุด ในการลดต้นทุนการผลิตน้ำประปาในปัจจุบัน

6. อภิปรายผลการวิจัย

จากผลการศึกษาแนวทางในการลดต้นทุนการผลิตน้ำประปานครหลวง กรุงเทพมหานคร โรงงานน้ำบางเขน เพื่อนำแนวคิดที่ได้ไปช่วยสนับสนุนการจัดการอย่างยั่งยืนของการประปาฯ ในการขยายขีดความสามารถรองรับความต้องการในการบริโภคน้ำประปาที่จะเพิ่มมากขึ้น พบว่าในอนาคตการประปาฯ นครหลวงจะต้องมีการดำเนินการในหลายมิติประกอบด้วย 1) ทางด้านข้อมูลและการวิจัย การประปาฯ นครหลวงควรทำการศึกษาขอต่อผู้เกี่ยวข้องอย่างครอบคลุมทุกส่วนเพื่อช่วยในการนำผลที่ได้

ไปช่วยวิเคราะห์แผนการบริหารจัดการน้ำในอนาคตทั้งวัฏจักรชีวิต 2) ทางด้านเศรษฐศาสตร์และเทคโนโลยี การทดลองพบว่า ทำให้ทราบว่า การควบคุมระดับความขุ่นและต้นทุนเป็นเรื่องที่สำคัญเนื่องจาก ความขุ่นของน้ำในการผลิตน้ำประปาที่ 1.0 NTU เป็นความขุ่นของน้ำที่เหมาะสมเนื่องจากเป็นช่วงที่ความขุ่นต่ำสุดที่มีสัดส่วนการเพิ่มขึ้นของค่าใช้จ่ายไม่

สูงมากและคุณภาพน้ำอยู่ในเกณฑ์ดี ส่วนความขุ่นตั้งแต่ 0.8 NTU ลงไปจะทำให้มีค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้นในสัดส่วนที่สูงมากแต่ได้คุณภาพน้ำในเกณฑ์ดีมาก เหมาะกับการใช้ในสถานะที่น้ำดิบมีการปนเปื้อนสูงผิดปกติและความขุ่นตั้งแต่ 1.0 NTU ขึ้นไปนั้น จะทำให้มีค่าใช้จ่ายลดลงในสัดส่วนที่ต่ำมากแต่ได้คุณภาพน้ำที่ต่ำเช่นกัน 3) ทางด้านสังคมและสิ่งแวดล้อม พบว่าการศึกษานี้ สะท้อนให้เห็นว่าหากในอนาคตการประปาต้องการพัฒนาระบบในการเตรียมการเพื่อให้มีน้ำที่มีคุณภาพดีและเพียงพอต่อความต้องการของประชาชนในระยะยาวจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องทำการประชาสัมพันธ์ในการจัดการทางด้านสิ่งแวดล้อมเพื่อช่วยให้คุณภาพน้ำที่เข้าสู่โรงกรองน้ำมีคุณภาพดีที่สุด (Input) โดยวิธีการนี้น่าจะเป็นการแก้ปัญหาที่ต้นเหตุและยั่งยืนที่สุดอีกวิธีการหนึ่ง ด้วยเหตุนี้จึงสามารถสรุปได้ว่า แบบจำลองแนวทางในการพัฒนาระบบการจัดการน้ำประปานครหลวงอย่างยั่งยืน ควรประกอบด้วยสามส่วนสำคัญดังที่กล่าวมา นั่นก็คือ มีเทคโนโลยีขั้นสูงเพื่อวางระบบโครงข่ายอัตโนมัติครบวงจรลดความคลาดเคลื่อนในการควบคุมคุณภาพและต้นทุนให้สัมพันธ์กับปริมาณความต้องการใช้น้ำ มีการรายงานผลเวอร์เตอร์ฟุตพริ้นท์ทั้งระบบแบบเวลาจริง รวมถึงการประปานครหลวงควรมีการประชาสัมพันธ์คุณค่าของน้ำและน้ำอย่างต่อเนื่องต่อสังคม ซึ่งหากสามารถดำเนินการได้อย่างสมบูรณ์แล้วแน่นอนว่าผลที่ได้รับก็จะช่วยให้การประปานครหลวงสามารถพัฒนาอย่างยั่งยืนรองรับความต้องการในการใช้น้ำประปาที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องในอนาคตได้ต่อไป

7. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณการประปานครหลวง ฝ่ายโรงกรองน้ำบางเขน ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลรวมทั้งได้เอื้อเฟื้อสถานที่ในการทดลองด้วยดีตลอดโครงการ

8. เอกสารอ้างอิง

ภาษาไทย

- [1]. การประปานครหลวง, 2555 ก. แผนยุทธศาสตร์การบริหารงานการประปานครหลวง ฉบับที่ 3 (2555-2559). เข้าถึงข้อมูลได้จาก <http://intra.mwa.co.th/departmap-new.html>, 1 กันยายน 2555.
- [2]. การประปานครหลวง, 2555 ข. รายงานประจำปี 2554. เข้าถึงข้อมูลได้จาก http://www.mwa.co.th/ewtadmin/ewt/mwa_internet/ewt_w3c/main.php?filename=stat_5 5 กันยายน 2555.

ภาษาอังกฤษ

- [1] ABB, 2010 Case note ABB drives in urban water cycle Metropolitan Waterworks Authority, Bangkok
- [2] Kamol Prasertsirivatna, 2006 International Symposium on Underground Excavation and Tunnelling, 2-4 February 2006, Bangkok, Thailand
- [3] Mekonnen, M.M. and Hoekstra, A.Y. (2011) National water footprint accounts: the green, blue and grey water footprint of production and consumption, Value of Water Research Report Series No. 50, UNESCO-IHE, Delft, the Netherlands
- [4] Makropoulos, CK., K. Natsis, S. Liu, K. Mittas, D. Butler, 2008. Decision support for sustainable option selection in integrated urban water management, Environmental Modelling & Software
- [5] Chiplunkar, A, Seetharam, K., Kheong Tan, C., 2012. Good Practices in Urban Water Management Decoding Good Practices for a Successful Future. Asian Development Bank, National University of Singapore.
- [6] Hoekstra, A. Y. , Chapagain, A. K., 2006. Water footprints of nations: Water use by people as a function of their consumption pattern. Water Resource Manage.

การปรับปรุงประสิทธิภาพเครื่องกลั่นน้ำด้วยการใช้กระจกสุญญากาศ ADAPTIVE EFFICIENCY OF THE DISTILLER WATER MACHINE BY USING THE VACUUM GLASS

สุธี ขำเมือง¹, สุรเชษฐ เดชฟุ้ง², สหรัตน์ วงษ์ศรีษะ²

¹ แผนกช่างยนต์ วิทยาลัยเทคนิคสมุทรปราการ
336 ถนนสุขุมวิท ตำบลบางปูใหม่ อำเภอเมือง
จังหวัดสมุทรปราการ โทร 02-3239009, 02-3231020
Suthee05@gmail.com

² สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรมเพื่อความยั่งยืน
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
1381 ถนนพิบูลย์สงคราม เขตบางซื่อ กรุงเทพมหานคร 10800

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องกลั่นน้ำ แบบอาศัยความร้อนจากดวงอาทิตย์ ทำการเปลี่ยนชนิดกระจกให้มีประสิทธิภาพต่อการกลั่นน้ำให้ดีขึ้น ซึ่งภายในตัวเครื่องจะมีเกล็ดเผาเป็นตัวเก็บความร้อน จากการออกแบบเครื่องกลั่นน้ำชนิดอาศัยความร้อนจากอดีตจนถึงปัจจุบันได้มีการปรับปรุงในเรื่องประสิทธิภาพของการกลั่นงานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาทดลอง ออกแบบเครื่องกลั่นน้ำแบบใช้กระจกสุญญากาศมาทำการทดลอง ซึ่งทำให้เครื่องกลั่นมีประสิทธิภาพในการกลั่นเฉลี่ยเพิ่มขึ้น 8.95% จากผลการทดลองนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้จริงตามกระบวนการโดยจะต้องมีการศึกษาแนวทางของการจัดทำธุรกิจเพื่อหาจุดคุ้มทุนต่อไป

คำสำคัญ น้ำกลั่น, พลังงานจากแสงอาทิตย์, ประหยัดพลังงาน, Sustainable

Abstract

This research aims to improve the performance of Water. The heat from the sun. By the type of glass to be effective against distilled water, the better. The inside of the machine will be burned as fuel to heat. Water from the design of the heat from the past to the present, there has been improvement in the performance of this work is the distillation was studied experimentally. Design distilled water using a glass vacuum experiments. The refinery, which is effective in refining increased 8.95% from the experimental results can be applied to the actual process will be the preparation of a study to determine the break-even point.

Keywords: water, solar-energy, energy, Sustainable

1. บทนำ

การกลั่นน้ำด้วยเครื่องกลั่นน้ำพลังงานจากแสงอาทิตย์ เป็นอีกวิธีหนึ่งที่ไม่ก่อให้เกิดมลภาวะในสิ่งแวดล้อมโดยสามารถกลั่นน้ำที่มีความสะอาดได้ และเสียค่าใช้จ่ายน้อย อีกทั้งยังลดต้นทุนค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาเมื่อเปรียบเทียบกับการกลั่นด้วยการใช้พลังงานในรูปแบบอื่นๆ โดยมีการวิเคราะห์ถึงคุณภาพของน้ำกลั่น ที่ได้จากการกลั่นน้ำจากแหล่งต่างๆ อาทิ น้ำจากท่อระบายจากน้ำประปา และจากน้ำในคลองต่างๆ พบว่าน้ำกลั่นที่ได้จากเครื่องกลั่นน้ำพลังงานแสงอาทิตย์มีคุณภาพอยู่ในเกณฑ์ที่ต้องการได้มาตรฐานน้ำดื่มขององค์การอนามัยโลก

ประเทศไทยนั้นจะพบการสร้างเครื่องกลั่นเป็นแบบขนาดเล็ก โดยมีการศึกษาวิจัยและสร้างเครื่องกลั่นพลังงานแสงแดดเกิดขึ้นในปีพ.ศ.2519 และประสบความสำเร็จในปีพ.ศ.2523 โดยกองฟิสิกส์และวิศวกรรม กรมวิทยาศาสตร์และบริการ [1] เรียกว่าเครื่องกลั่นน้ำด้วยแสงแดดแบบกรมวิทยาศาสตร์แบบ 1 สามารถกลั่นน้ำได้ 2.8 ลิตรต่อตารางเมตรต่อวัน ต่อมาในปีพ.ศ.2530 กองฟิสิกส์และวิศวกรรม กรมวิทยาศาสตร์และบริการ ได้พัฒนาเครื่องกลั่นน้ำด้วยพลังงานแสงแดดแบบที่ 2 ขึ้นสามารถกลั่นน้ำได้ 3.6 ลิตรต่อตารางเมตรต่อวัน ปริมาณน้ำดิบ (ระดับน้ำ) ในเครื่องกลั่นน้ำมีผลต่อประสิทธิภาพในการกลั่นน้ำมากกว่าตัวแปรอื่น ๆ พูนศักดิ์ อินทวี และคณะ [2] ได้สร้างเครื่องกลั่น น้ำโดยใช้กระจกทึบแสงเป็นตัวดูดซับพลังงานแสงแดดสามารถกลั่นน้ำได้ เฉลี่ย 4.3 ลิตรต่อตารางเมตรต่อวัน ประสิทธิภาพเฉลี่ยรายวันเท่ากับ 37 % ปี พ.ศ. 2548 อภิชาติ บุญล้อม และ ช้างแข็งเสียงจินดาถาวร [3] ได้ศึกษาถึงความสัมพันธ์ของระดับความสูงของน้ำในอ่างกับประสิทธิภาพของเครื่องกลั่น น้ำแบบอ่าง พบว่าที่ระดับความสูงของน้ำที่ 2.5 เซนติเมตร เครื่องกลั่นจะมีประสิทธิภาพสูงสุดเท่ากับ 28.9% และกลั่นน้ำได้สูงสุดประมาณ 2.6 ลิตรต่อวัน จากการวิจัยที่ผ่านมาได้มีการศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อประสิทธิภาพและอัตราการกลั่นน้ำหลายตัวแปรระดับน้ำในอ่างเป็นตัวแปรที่สำคัญมากตัวหนึ่งพบว่าที่ระดับน้ำยิ่งต่ำมากอัตราการกลั่นก็ยิ่งมากขึ้น น้ำที่ได้ก็จะยิ่งมากตามไปด้วยจึงได้เกิดแนวคิดถ้าสามารถทำให้แผ่นกระจกด้านบนมีอุณหภูมิที่แตกต่างกว่าด้านล่าง น้ำในตัวเครื่องกลั่นจะกลั่นตัวได้ดีขึ้น โดยผ่านแผ่นกระจกชนิดพิเศษ ที่สร้างความแตกต่างของอุณหภูมิทั้งภายในและภายนอก ให้มีประสิทธิภาพการดูดซับพลังงานได้มาก ในการทดลองนี้จะทำการศึกษาเครื่องกลั่น น้ำพลังแสงแดดแบบใช้กระจกชนิดพิเศษ 1 ชั้นที่มีมุมเอียงของกระจก 20-45 องศาเพื่อหาค่าประสิทธิภาพของกระจกที่มีผลต่อการไหลของน้ำในตัวเครื่องกลั่น จากผลกระทบที่มีต่อประสิทธิภาพ ของเครื่องกลั่นน้ำได้นำเอาแนวความคิดการเพิ่มปริมาณไอน้ำที่มีอยู่ในเครื่องมาทำการศึกษา เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ นอกจากนี้จะทำการเพิ่มตัวดูดซับความร้อนตามแนวคิดของ A.S. Nafay et.al [4] ซึ่งจะให้ประสิทธิภาพมากกว่ากรณีที่ไม่มีการใช้ตัวดูดซับความร้อนโดยจะทำการปรับปรุงเครื่องกลั่นน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ของ M.A. Hamdan et.al [5] ซึ่งมีประสิทธิภาพ 42%

หลักการของเครื่องกลั่นน้ำด้วยพลังแสงแดดอย่างง่าย

โดยทั่วไปเครื่องกลั่นน้ำด้วยพลังแสงอาทิตย์อย่างง่ายจะประกอบด้วยภาชนะใส่น้ำดิบอยู่ข้างล่างซึ่งทำด้วยแผ่นโลหะบางพับขึ้นรูปเป็นภาชนะโดยส่วนใหญ่จะใช้ลูมิเนียมเพราะไม่เป็นสนิม ตรงบริเวณพื้นล่างจะมีวัสดุสีดำอาจจะเป็นถ่านหรือผงถ่านกัมมันต์ (Activated charcoal) หรือทาสีดำด้าน เพื่อทำหน้าที่ดูดซับพลังงานความร้อนซึ่งจะทำให้น้ำในภาชนะมีอุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นและระเหยตัวได้เร็วขึ้น ในชั้นล่างสุดจะเป็นฉนวนกันความร้อนเพื่อป้องกันการสูญเสียความร้อนจากวัสดุสีดำที่เก็บ สะสมความร้อนไว้ไม่ให้สูญเสียไปด้านนอกของเครื่องกลั่น ฉนวนด้านข้างทั้ง 4 จะทำด้วยกระจกใสยึดกันด้วยซิลิโคนหรือทำด้วยฉนวนความร้อนเพื่อป้องกันการสูญเสียความร้อนภายในห้องกลั่น จะเป็นแบบกระจกใสทั้งสี่ด้านซึ่งแสงแดดสามารถส่องผ่านไปยังน้ำในอ่างได้ทั้งสี่ด้าน ส่วนด้านบนเป็นกระจกทำด้วยวัสดุที่โปร่งแสง เช่น กระจก แผ่นพลาสติกอะคริลิก เพื่อให้แสงแดดส่องผ่านไปยังวัสดุสีดำ และน้ำที่อ่างด้านล่างได้ โดยทำมุมเอียงกับแนวระดับประมาณ 10-20 องศา ขึ้นอยู่กับลักษณะภูมิประเทศ และตำแหน่งที่ตั้งของประเทศนั้นๆด้วย ที่ขอบด้านล่างของกระจกจะมีรางรับน้ำที่กลั่นตัวจากผนังด้านล่างของกระจกเพื่อส่งออกไปเก็บในถังพักต่อไป

2. วิธีวิจัย

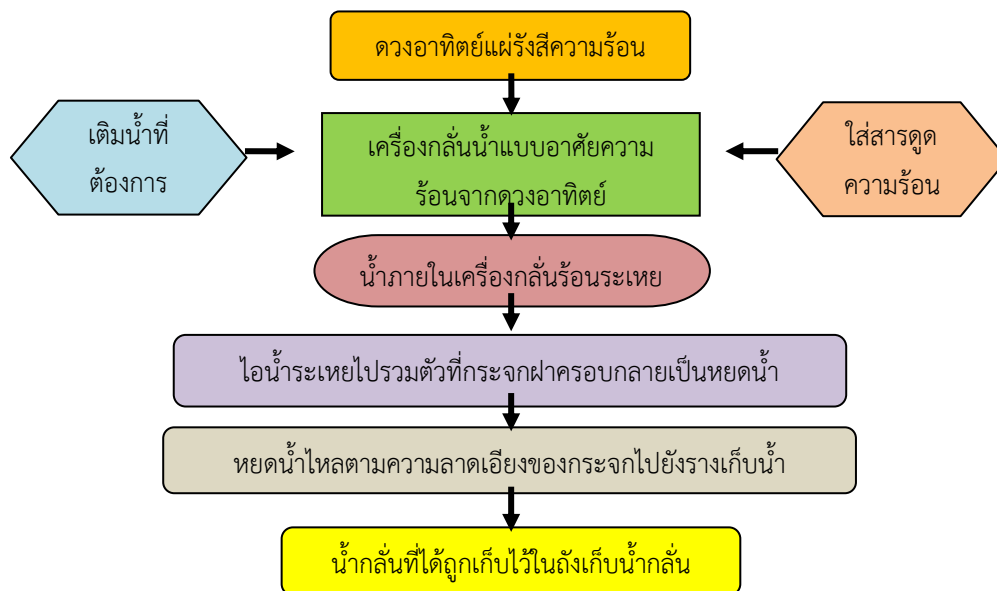
ในการทดลองนี้จะใช้เครื่องกลั่นน้ำแบบอาศัยความร้อนจากดวงอาทิตย์โดยใช้กระจกแบบสุญญากาศ 1 ชั้น รายละเอียดดังแสดงในภาพที่ 1 ประกอบด้วยชิ้นส่วนหลักดังนี้ ด้านบนสุดเป็นกระจกแบบสุญญากาศ 1 ชั้น ทำมุมเอียงกับแนวระนาบ 20-35 องศา ผนังทั้ง 5 ด้านเป็นฉนวนป้องกันความร้อนออกซึ่งทำมาจากโฟมมีความหนา 20 มิลลิเมตร ตัวเครื่องทำจากแผ่นเหล็กมีความหนา 2 มิลลิเมตร พับขึ้นให้ได้รูปทรง ด้านล่างเป็นอ่างน้ำ ขนาด 30x30x10 เซนติเมตร ใช้ถ่านเป็นตัวเก็บสะสมความร้อนอยู่ในอ่าง เจะรู้น้ำกลั่นที่ได้ไปเก็บไว้ในถังเก็บ



ภาพที่ 1 ต้นแบบเครื่องกลั่นน้ำที่ใช้กระจกสุญญากาศและแบบใช้กระจกใส

2.1 ขั้นตอนการทดลอง

ในการวิจัยได้ทำการออกแบบขั้นตอนการทำการทดลองตามภาพที่ 2



ภาพที่ 2 แผนผังการทำงานของเครื่องกลั่นน้ำโดยใช้ความร้อนจากดวงอาทิตย์

2.2 วิธีการทดลอง



ภาพที่ 1 Solar Power Meter รุ่น DT-1307



ภาพที่ 2 เครื่องชั่งปริมาณน้ำที่กลั่นได้ต่อชั่วโมง รุ่น SF- 400A



ภาพที่ 3 บีกเกอร์สำหรับตวงปริมาณน้ำที่กลั่นได้ต่อชั่วโมงขนาด 20-250 มิลลิลิตร



ภาพที่ 4 Thermometer รุ่น SK 0-100 °C

2.3 กระบวนการทดลอง

ทำการติดตั้งอุปกรณ์ ที่ทดสอบเครื่องกลั่นน้ำแบบอาศัยความร้อนจากดวงอาทิตย์ที่มีการเปลี่ยนกระจกให้เป็นแบบสุญญากาศ ซึ่งจะเทียบกับเครื่องกลั่นน้ำที่ใช้กระจกใส ซึ่งมีรายละเอียดของโครงสร้างที่เหมือนกันเกือบทุกจุดจะต่างกันตรงที่กระจกโดยจะทำความสะอาดทั้ง ภายนอกและภายในของตัวเครื่องกลั่น ทั้งสองเครื่อง เพื่อให้แสงผ่านกระจกได้อย่างมีประสิทธิภาพและเป็นการทดสอบการรั่ว ซึมของอ่างน้ำด้วยหลังจากทำความสะอาดเสร็จแล้ว ทำการติดตั้งเครื่องกลั่นน้ำให้อยู่ในบริเวณและหันหน้าไปในทิศตะวันออกเหมือนกันเนื่องจากเส้นทางเดินของดวงอาทิตย์จะโคจรจากทิศตะวันออกไปยังทิศตะวันตกโดยอ้อมทางทิศใต้ ทำให้เครื่องกลั่นน้ำรับแสงแดดอย่างเต็มที่ ปรับระดับน้ำให้ระดับน้ำเข้าไปในอ่างน้ำให้ได้ระดับ 200 มิลลิลิตร หลังจากติดตั้งเสร็จแล้วทำการทดสอบเครื่องกลั่นน้ำในวันที่ 19 สิงหาคม 2555 ถึงวันที่ 24 สิงหาคม 2555 ตั้งแต่เวลา 08.00 น. ไปจนถึงเวลา 15.00 น. โดยทำการทดลองอัตราการไหล แล้วนำค่ามาเฉลี่ยกันทำการวัดค่าอุณหภูมิของเครื่องกลั่นและความเข้มแสงแดด ใช้เครื่องมือวัดความเข้มแสงแดด Solar Power Meter DT-1307 วัดค่าความเข้มแสงแดดในแต่ละช่วงเวลา และใช้ Thermometer Type SK 0-100 องศาเซลเซียสใช้วัดอุณหภูมิบรรยากาศและอุณหภูมิในอ่าง น้ำน้ำกลั่นที่ได้ต่อชั่วโมงมาหาค่าโดยใช้บีกเกอร์เป็นตัวหาปริมาณน้ำที่กลั่นได้และใช้เครื่องชั่ง SF-400A เป็นตัวหาน้ำหนักของน้ำซึ่งมีหน่วยเป็นกรัมและนำมาเทียบปริมาณที่กลั่นได้เป็นลิตรต่อชั่วโมง โดยจะเริ่มวัดค่าต่าง ๆ เมื่อเวลา 08.00 น. ถึง 15.00 น.และบันทึกค่าตามภาพที่ 1 - 2

จากการวัดค่าตัวแปรต่าง ๆ และผลทดสอบเครื่องกลั่นน้ำ นำผลที่ได้มาคำนวณหาประสิทธิภาพของเครื่องกลั่น โดยจะพิจารณาในสภาวะคงตัว (Steady State) ในแต่ละอัตราการไหลได้ดังนี้ [6]

$$\eta = \frac{M \times L \times 100}{q_o \times A} \quad (1)$$

เมื่อ η คือ ประสิทธิภาพของเครื่องกลั่น (ร้อยละ)

M คือ ปริมาณน้ำกลั่นที่ได้ต่อหน่วยเวลา (kg/hr)

L คือ ความร้อนแฝงของการระเหยของน้ำ (564.275 kJ/kg)

q_o คือ ความเข้มของแสงแดดต่อหน่วยเวลา ($W/m^2/hr$)

A คือ พื้นที่รับแสงของตัวกักเก็บความร้อน ($0.09 m^2$)

3. ผลการทดลอง

นำค่าที่ได้มาเขียนในตารางแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงกับอัตราการกลั่น และประสิทธิภาพ ที่อัตราต่าง ๆ ทั้ง 7 ค่า มาแทนค่าในสมการที่ (1) ซึ่งค่าที่ได้เป็นปริมาณน้ำกลั่นเฉลี่ยต่อชั่วโมงในแต่ละชั่วโมงแล้วนำค่าที่ได้มาสร้างตารางดังแสดงในภาพที่ 1-2 จากภาพที่ 2 ตารางแสดงค่าความเข้มของแสง ณ เวลา 12.00-13.00 จะเห็นได้ว่าอัตราการกลั่นน้ำของทุกวันที่เวลา 12.00-13.00 จะมีความเข้มของแสงมีค่าสูงสุดเฉลี่ยอยู่ที่ $826 W/m^2$

ภาพที่ 1 เป็นตารางแสดงผลการเปรียบเทียบอัตราการกลั่นเฉลี่ย ml / ชั่วโมง

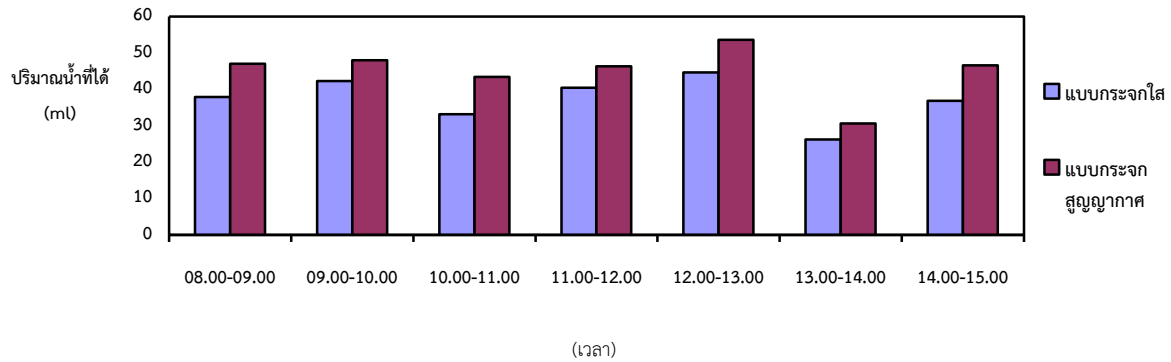
เวลาทำการทดลอง	แบบกระจกใส	แบบกระจกสุญญากาศ
08.00-09.00	40.8	50.6
09.00-10.00	42.8	48.5
10.00-11.00	30.4	39.8
11.00-12.00	50.6	58.0
12.00-13.00	58.8	70.6
13.00-14.00	24.9	29.1
14.00-15.00	40.2	50.8

ช่วงเวลา 08.00-09.00น., 09.00-10.00น., 10.00-11.00น., 11.00-12.00น., 12.00-13.00น., 13.00-14.00น. ได้ปริมาณน้ำจากเครื่องกลั่นน้ำที่ใช้กระจกใสได้ปริมาณ 40.8, 42.8, 30.4, 50.6, 58.8, 24.9, 40.2 มิลลิลิตรตามลำดับ ส่วนเครื่องกลั่นน้ำที่ใช้กระจกแบบสุญญากาศได้ปริมาณ 50.6, 48.5, 39.8, 58.0, 70.6, 29.1, 50.8 มิลลิลิตรตามลำดับ

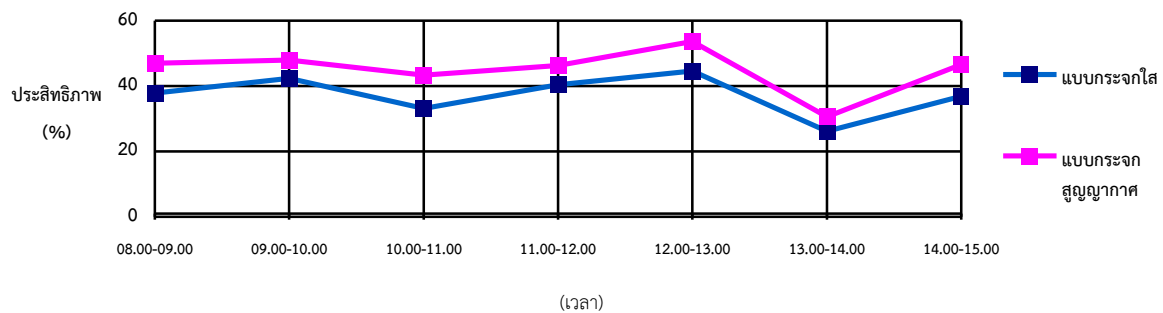
ภาพที่ 2 ตารางแสดงผลเปรียบเทียบประสิทธิภาพและค่าความร้อนในแสงแดดของเครื่องกลั่นทั้งสองเฉลี่ย (W/m^2)

เวลาทำการทดลอง	ความเข้มของแสง (W/m^2)	แบบกระจกสุญญากาศ (ร้อยละ)	แบบกระจกใส (ร้อยละ)
08.00-09.00	675	46.99%	37.89%
09.00-10.00	634	47.94%	42.32%
10.00-11.00	575	43.38%	33.14%
11.00-12.00	785	46.31%	40.41%
12.00-13.00	826	53.58%	44.63%
13.00-14.00	596	30.61%	26.19%
14.00-15.00	684	46.55%	36.84%

ช่วงเวลา 08.00-09.00น., 09.00-10.00น., 10.00-11.00น., 11.00-12.00น., 12.00-13.00น., 13.00-14.00น. มีค่าความเข้มของแสงแดด 675, 634, 575, 785, 826, 596, 684 W/m² ตามลำดับ



ภาพที่ 3 เป็นกราฟแท่งเปรียบเทียบปริมาณของน้ำกลั่นในแต่ละเครื่อง



ภาพที่ 4 เป็นกราฟเส้นเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเครื่องกลั่นน้ำ

4. อภิปรายผล

จากตารางที่ 1 เปรียบเทียบผลการทดลองอัตราการกลั่นต่อวันที่เวลา 12.00-13.00 น. จะมีการกลั่นน้ำที่ได้ปริมาณมากที่สุด โดยมีค่าความเข้มของแสงแดดที่ 826 W/m² และค่าปรอทวัดความร้อนภายในตัวเครื่องมีค่าความร้อนอยู่ที่ 84 องศาเซลเซียส เมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องกลั่นน้ำที่ใช้กระจกใส ปรอทที่วัดความร้อนภายในตัวเครื่องมีค่าความร้อนที่ 68 องศาเซลเซียส เท่านั้น ซึ่งจะส่งผลต่อประสิทธิภาพในการทำงานของตัวเครื่องกลั่น งานวิจัยในครั้งนี้มีปริมาณการกลั่นที่เหมือนกับ A.S. Nafay et.al [4] จากผลวิจัยนี้กระจกแบบสุญญากาศจะให้ค่าความร้อนมากกว่ากระจกใสเราสามารถทำให้เครื่องกลั่นน้ำมีปริมาณน้ำเพิ่มมากขึ้น นั่นคือ อุณหภูมิภายในตัวเครื่องกลั่นจะส่งผลทำให้มีปริมาณน้ำจากการกลั่นเฉลี่ยเพิ่มขึ้นด้วย

5. สรุปผล

จากการทดลองจะเห็นว่าค่าความร้อนของเครื่องกลั่นน้ำที่ใช้กระจกแบบสุญญากาศเป็นตัวเพิ่มประสิทธิภาพจะให้ค่าความร้อนเพิ่มขึ้นและเก็บสะสมค่าความร้อนได้มากกว่ากระจกใส จึงเป็นตัวแปรหนึ่งที่ทำให้ประสิทธิภาพการกลั่นสูงขึ้นเฉลี่ย 8.95% ที่ค่าความเข้มของแสง 826 W/m² ในงานวิจัยนี้สามารถนำไปประยุกต์และพัฒนาเพื่อเป็นประโยชน์ต่อผู้ที่สนใจจะนำแนวทางการวิจัยไปพัฒนาต่อยอดในการปรับปรุงรูปแบบของการวิจัยและจัดทำเชิงธุรกิจในอนาคตต่อไป

6. กิตติกรรมประกาศ

บทความวิจัยนี้สำเร็จลงได้ผู้วิจัยต้องขอขอบคุณ ผศ. สหรัตน์ วงษ์ศรีษะ ดร.สุรเชษฐ เดชทุ่ง ดร.ณัฐวรพล รัชสิริวัชรบุล ดร.ปริญญ์ บุญนิษฐ์ ผู้วิจัยจึงขอขอบคุณคณะกรรมการที่สละเวลาในการให้คำแนะนำเพื่อให้ผลงานสำเร็จลุล่วงด้วยดีและขอขอบคุณแผนกวิชาช่างยนต์ วิทยาลัยเทคนิคสมุทรปราการ

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] กรมวิทยาศาสตร์บริการ, “เครื่องกลั่นน้ำด้วยพลังงานแสงแดดแบบ กรมวิทยาศาสตร์บริการ,” วารสารประสิทธิภาพพลังงาน ฉบับที่ 58, กรุงเทพมหานคร, 2545.
- [2] พูนศักดิ์ อินทวี จำนง ฉายเชิด จินดา แก้วเขียว เสริม จันทร์จิระศักดิ์ สุรวฒนาวงศ์, “การศึกษาสมรรถนะของเครื่องกลั่นน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ซึ่งใช้กระจกทึบแสงเป็นตัวดูดกลืนรังสีดวงอาทิตย์,” การประชุมเชิงวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 1, 11-13 พฤษภาคม 2548 โรงแรมแอมบาสซาเดอร์ ซิตี้จอมเทียน จังหวัดชลบุรี, หน้า AE14-1-4.
- [3] อภิชาติ บุญล้อม และ ชังเช็ง เลียงจินดาถาวร, “ความสัมพันธ์ของระดับความสูงของน้ำในเครื่องกลั่น กับประสิทธิภาพของเครื่องกลั่นน้ำพลังงานแสงอาทิตย์แบบอ่าง,” การประชุมเชิงวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 1, 11-13 พฤษภาคม 2548 โรงแรมแอมบาสซาเดอร์ ซิตี้ จอมเทียน จังหวัดชลบุรี, หน้า AE15-1-5.
- [4] A.S., Nafey, M., Abdelkader, A., Abdelmotalip, and A.A., Mabrouk, 2002. Solar still productivity enhancement. Energy Conversion and Management, May 937-946.
- [5] Hikmet Ş. Aybar, Fuat Egelioğlu, U. Atıkoğlu, “An experimental study on an inclined solar water distillation system,” Desalination, Volume 180, pp.285-289, 2005.
- [6] M.A., Hamdan, A.M., Musa, and B.A., Jubran, 1999. Performance of solar still under Jordanian climate. Energy Conversion & Management, May 495-503.

การปรับปรุงกระบวนการผลิต ผลิตภัณฑ์พลาสติกเพื่อมุ่งสู่ความยั่งยืน
โดยวิธีการคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์สำหรับผลิตภัณฑ์
กรณีศึกษา การผลิตภาชนะบรรจุภัณฑ์พลาสติก โพลีโพรพิลีน ขนาดบรรจุ 22 ออนซ์
Process Improvement of Plastic Product to Strive for Sustainability
by Carbon Footprint for Product Calculation Method
A Case Study of The Production Container Product Polypropylene Size 22 oz.

สุวิทย์ แสงธีระสุขชัย, ณัฐวรพล รัชสิริวัชรบุล, ปริญญ์ บุญกนิษฐ, สหรัตน์ วงษ์ศิริษะ
suwat.tat@gmail.com, natworapol@yahoo.com, pboonkanit@gmail.com, saharat_w@hotmail.com

สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรมเพื่อความยั่งยืน
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
1381 ถนนพิบูลย์สงคราม เขตบางซื่อ กรุงเทพมหานคร 10800

บทคัดย่อ

คาร์บอนฟุตพริ้นท์เป็นเครื่องมือทางด้านสิ่งแวดล้อมที่สำคัญอย่างยิ่งเครื่องมือหนึ่งที่จะสามารถช่วยให้ผู้ประกอบการวิเคราะห์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse Gas) ได้อย่างถูกต้อง และช่วยประชาสัมพันธ์ให้ผู้บริโภคสนใจเรื่องการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มากยิ่งขึ้นผ่านฉลากคาร์บอนฟุตพริ้นท์ (Carbon Footprint Label) ดังนั้นงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อคำนวณหาปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์สำหรับผลิตภัณฑ์ (Carbon Footprint for Product) ที่เกิดขึ้นของภาชนะบรรจุภัณฑ์พลาสติกประเภท โพลีโพรพิลีน (Polypropylene ; PP) ขนาดบรรจุ 22 ออนซ์ ซึ่งขึ้นรูปด้วยกระบวนการเทอร์โมฟอร์มมิ่ง (Thermoforming) โดยนำวิธีการหาปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ จากรูปแบบการคำนวณของ องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (Thailand Greenhouse Gas Management Organization ; TGO) และนำค่าผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณมาปรับปรุง ระบบการผลิต ระบบการจัดซื้อจัดจ้าง ระบบการขนส่ง เพื่อลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ผลลัพธ์ที่ได้จากการศึกษาพบว่า ภาชนะบรรจุภัณฑ์พลาสติกประเภท โพลีโพรพิลีน ขนาดบรรจุ 22 ออนซ์ ขึ้นรูปด้วยกระบวนการเทอร์โมฟอร์มมิ่ง มีปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ เท่ากับ 29.63 กรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า ซึ่งผลการคำนวณที่ได้นำไปใช้เป็นแนวทางในการปรับปรุงการออกแบบผลิตภัณฑ์และกระบวนการผลิตใหม่ (Redesign) เพื่อลดจำนวนวัตถุดิบหลักคือ เม็ดพลาสติกประเภทโพลีโพรพิลีน ซึ่งเป็นตัวแปรสำคัญของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุดในการบวนการผลิต รวมถึงของเสีย (waste) ให้ลดลง แต่ยังคงความแข็งแรงไว้ซึ่งการใช้งาน หลังการปรับปรุงและการพัฒนาทำให้ได้ปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ต่อหน่วยผลิตภัณฑ์มีค่าลดลงเหลือเท่ากับ 25.26 กรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าและต้นทุนการผลิตลดลงจากเดิม 10% ซึ่งเป็นการส่งเสริมให้อุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์พลาสติกมีระบบห่วงโซ่อุปทานที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมากยิ่งขึ้น (Green Supply Chain) และนำไปสู่อุตสาหกรรมการผลิตที่ยั่งยืนต่อไป

คำสำคัญ : ก๊าซเรือนกระจก; คาร์บอนฟุตพริ้นท์; ฉลากคาร์บอนฟุตพริ้นท์; พลาสติกประเภทโพลีโพรพิลีน; อุตสาหกรรมการผลิตที่ยั่งยืน

ABSTRACT

Carbon footprint is an environmental tool which is important and can help organizations to accurately analyze their greenhouse gas emissions. It will also help increasing consumer awareness about through the carbon footprint label. Therefore, this study aimed to calculate the carbon footprint for the product made of poly propylene (PP) plastics packaging container, size 22 oz forming by thermoforming process using carbon footprint of product calculation method from Thailand greenhouse gas management Organization (TGO). The results of the calculations will then be used to improve procurement systems and transportation systems as well as reduce emissions effectively. The results of the study showed that the 22 oz Poly propylene thermoforming plastic packing contain carbon footprint for product of 29.63 grams carbon dioxide equivalent. The calculated results were used as guidelines in redesigning new product and production processes in order to reduce the number of major poly propylene raw material which is the primary factor in this product carbon footprint. Using less raw materials will also result in reducing wastes in production process, while the product durability is still maintained. The improvement result in carbon footprint for product reduced to 25.26 grams carbon dioxide equivalent and production costs reduction of 10% which will support the packaging industry, and it's supply chain to become more environmentally friendly (Green Supply Chain) and finally lead to sustainable manufacturing industry.

Key word: Greenhouse Gas; Carbon Footprint; Carbon Footprint Label; Plastic Poly – Propylene; Sustainable Manufacturing

1. บทนำ

การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิโลกเป็นผลกระทบที่เกิดจาก สภาวะเรือนกระจก ซึ่งสภาวะนี้เป็นการเปลี่ยนแปลงของชั้นก๊าซบางๆ ในบรรยากาศชั้นบนของโลกที่เรียกว่า “ก๊าซเรือนกระจก” ประกอบด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นส่วนสำคัญ ชั้นก๊าซบางๆ นี้มีคุณสมบัติโปร่งใส และยอมให้รังสีจากดวงอาทิตย์ทะลุผ่านชั้นบรรยากาศ เมื่อรังสีกระทบกับผิวของโลกก็จะเปลี่ยนเป็นรังสีความร้อนส่งผ่านกลับอกออกไปสู่บรรยากาศ แต่ในครั้งนี้นักชั้นบางๆ จะไม่ยอมปล่อยให้รังสีคลื่นยาวทะลุผ่านไปได้อย่างหมดแต่จะดูดรังสีความร้อนไว้บางส่วน และบางส่วนสะท้อนกลับมายังพื้นโลก ในอดีตบรรยากาศโลกมีความอบอุ่นที่พอเหมาะสำหรับการอยู่อาศัยของสิ่งมีชีวิตต่างๆ แต่ในปัจจุบันพบว่า กระบวนการรับและส่งกลับรังสีความร้อนในชั้นบรรยากาศดังกล่าวกำลังเปลี่ยนไป ซึ่งเป็นผลจากการกระทำของมนุษย์ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง การผลิตและใช้พลังงานโดยการเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิลได้ทำให้การปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ออกสู่บรรยากาศเพิ่มขึ้นเป็นจำนวนมาก และส่งผลกระทบต่อปริมาณก๊าซเรือนกระจกซึ่งมีผลต่อปริมาณความร้อนถูกสะท้อนกลับเข้ามาที่ผิวโลกมากขึ้นทุกปี ทำให้อุณหภูมิบรรยากาศโลกโดยเฉลี่ยมีค่าสูงกว่าค่าที่เหมาะสม [1] ปัจจุบันพลังงานหลักที่ใช้ในโลกอุตสาหกรรมเป็นเชื้อเพลิงที่มาจากฟอสซิล ซึ่งเชื้อเพลิงชนิดนี้จะไม่สามารนำกลับมาใช้ใหม่ได้และหมดไปในที่สุด จากบัญชีก๊าซเรือนกระจกของประเทศไทยในรายงานแห่งชาติครั้งที่สอง ปี พ.ศ. 2543 (ค.ศ. 2000) ปริมาณก๊าซเรือนกระจกรวมของประเทศ (National Total Emission) มีค่า เท่ากับ 229.08 ล้านตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า มีทั้งส่วนที่เป็นปริมาณจากแหล่ง ปล่อย (Emission by Sources) และปริมาณที่เกิดจากการดูดกลับ (Removal by Sink) โดยปริมาณที่ปล่อยออกทั้งหมดมีค่าเท่ากับ 277.7 ล้านตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า และค่าดูดกลับมีค่าเท่ากับ 50.22 ล้านตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า การปล่อยจาก ภาคพลังงานมากที่สุดเท่ากับ 159.4 ล้านตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า รองลงมา คือภาคการเกษตร 51.88 ล้านตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า ภาคกระบวนการอุตสาหกรรม 16.4 ล้านตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า และภาคของเสีย 9.3 ล้าน ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า สำหรับภาคการเปลี่ยนแปลงการใช้พื้นที่และป่าไม้ สามารถดูดกลับคาร์บอนไดออกไซด์ได้ 7.90 ล้านตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า [2] จากผลการวิจัยวิเคราะห์การตลาดแสดงมูลค่าทางการตลาดในภาคส่วนอุตสาหกรรมของพลาสติกประเภทโพลีโพรพิลีน

(Polypropylene, PP) ของโลกจะมีมูลค่าถึง 155,000 ล้านเหรียญภายในปี 2562 ซึ่งถือว่ามีเติบโตอย่างมาก ผู้ผลิตในอุตสาหกรรมที่สำคัญในการซื้อ พลาสติกประเภทโพลีโพรพิลีน คือผู้ผลิตบรรจุภัณฑ์ ซึ่งความต้องการของตลาดคิดเป็น 50%

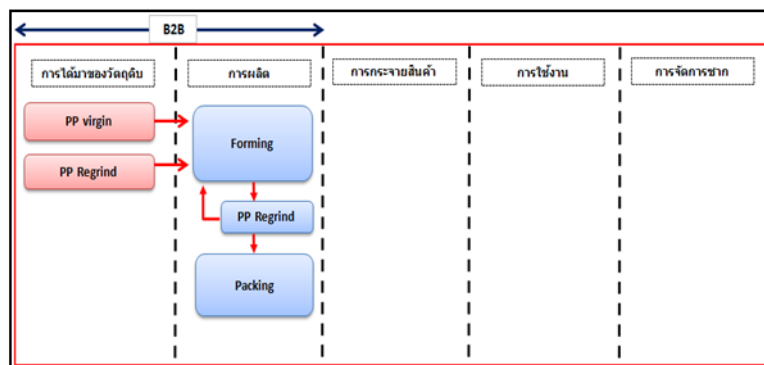
ของตลาดพลาสติกประเภทโพลีโพรพิลีน [4] จากข้อมูลทำให้มีการคาดการณ์การพัฒนาเศรษฐกิจของประเทศไทยโดยอาศัย การเจริญเติบโตของผลิตภัณฑ์มวลรวมของทั้งประเทศมีอัตราการเพิ่มขึ้นระหว่างปี 2010-2030 อยู่ระหว่างร้อยละ 3.4 ถึง 4.75 ต่อปี ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของประเทศไทยในอีก 10 ปีข้างหน้า (ปี 2020) หากไม่มีมาตรการข้อเสนอเชิง นโยบายและการเจรจาเรื่องการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลกก๊าซเรือนกระจกจะเพิ่มเป็น 498 ล้านตันคาร์บอนไดออกไซด์ เทียบเท่า คิดเป็นเท่าครึ่งของปริมาณที่ปล่อยในปี 2010 และในอีก 20 ปีข้างหน้าจะเพิ่มเป็นสองเท่าของปริมาณการปล่อยในปี 2010 (715 ล้านตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า) [1] หากเราสามารถลดปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ปัญหา ต่างๆด้านสิ่งแวดล้อมและภัยจากธรรมชาติจะลดลงมากกว่านี้ และจะช่วยลดความสูญเสียได้มากขึ้นอีกด้วยดังนั้นการศึกษาถึง สาเหตุของการเกิดปัญหาและหาวิธีแก้ไขย่อมเป็นแนวทางที่ผู้เกี่ยวข้องทุกภาคส่วนทั้งภาคอุตสาหกรรมและภาคเกษตรกรรม ในฐานะผู้ผลิต ภาคบริการใน ในฐานะผู้ขับเคลื่อนกิจกรรม รวมถึงภาคประชาชนในฐานะผู้บริโภคที่จะร่วมกันลดการปล่อยก๊าซ คาร์บอนไดออกไซด์ของประเทศและโลก จากปัญหาดังกล่าว จึงเกิดความตระหนักที่จะทำการแก้ไขปัญหา โดยใช้วิธีการ ประเมินและวิเคราะห์คาร์บอนฟุตพริ้นท์ที่เกิดขึ้นในอุตสาหกรรม ในบทความนี้ได้เริ่มจากการศึกษาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่ เกิดขึ้นจากอุตสาหกรรมการผลิตพลาสติก ประเภทโพลีโพรพิลีน ขนาดบรรจุ 22 ออนซ์ ประกอบด้วยการ เเผาไหม้เชื้อเพลิงจากการขนส่งของผู้ส่งมอบ (Supplier), การได้มาซึ่งวัตถุดิบ, กระบวนการผลิต และการใช้พลังงานในการ ผลิต โดยผลลัพธ์ที่ได้จะนำไปสู่การปรับปรุงและพัฒนากระบวนการผลิต ให้มีการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในปริมาณที่ ลดลง

2.วิธีการศึกษา

งานวิจัยนี้มีการดำเนินการตามขั้นตอนของการประเมินวัฏจักรชีวิต ที่ประกอบด้วย 4 ขั้นตอน ได้แก่

2.1 การกำหนดเป้าหมายและขอบเขต

ทำการศึกษาคาร์บอนฟุตพริ้นท์ผลิตภัณฑ์ของอุตสาหกรรมการผลิตพลาสติก ประเภทโพลีโพรพิลีน ขนาด บรรจุ 22 ออนซ์ ซึ่งขึ้นรูปด้วยกระบวนการเทอร์โมฟอร์มมิ่งโดยพิจารณาจากการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นจาก การเผาไหม้เชื้อเพลิงของการขนส่ง , การได้มาซึ่งวัตถุดิบ , กระบวนการผลิต และการใช้พลังงาน พิจารณาระบบการผลิต ในรูปแบบ B2B (Business-to-Business) เท่านั้น โดยขอบเขตการศึกษาพิจารณา สำหรับการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ ผลิตภัณฑ์ แสดงดังภาพที่ 1

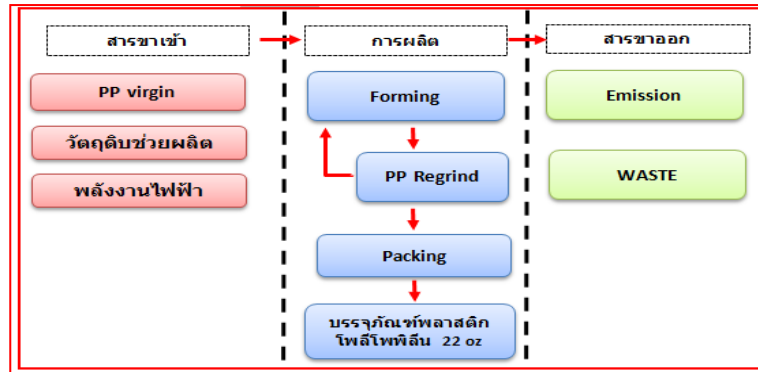


ภาพที่ 1 : การพิจารณาจากการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์รูปแบบ B2B (Business-to-Business)

2.2 การวิเคราะห์และทำบัญชีรายการ

การวิเคราะห์และทำบัญชีรายการ เป็นการรวบรวมข้อมูล โดยอ้างอิงข้อมูลจากอุตสาหกรรมการผลิตพลาสติก ประเภทโพลีโพรพิลีน ขนาดบรรจุ 22 ออนซ์ ซึ่งขึ้นรูปด้วยกระบวนการเทอร์โมฟอร์มมิ่งซึ่งเป็นการสรุปข้อมูล ระหว่างจำนวนของ

วัตถุดิบที่ใช้ไปทั้งหมด เปรียบเทียบกับของเสียและปริมาณผลผลิตที่ได้จริงซึ่งเกิดจากการใช้วัตถุดิบ โดยข้อมูลจะสามารถบ่งบอกถึงจำนวนน้ำหนักต่อหน่วยของวัตถุดิบ พลังงานที่ใช้ในการผลิต ของเสียที่เกิดขึ้น ไม่ว่าจะเป็น ถ้วยเปื้อนน้ำมัน ของเสียในรูปของเศษพลาสติกโพลีโพรพิลีน (สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ในกระบวนการผลิตได้) เศษพลาสติกโพลีโพรพิลีนที่มีการปนเปื้อน ก้อนของเสีย วัสดุช่วยผลิตในกระบวนการ และค่าพลังงานที่ใช้ต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ แสดงดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 : แสดงสมดุลมวล (Mass Balance) ของภาชนะบรรจุภัณฑ์พลาสติกโพลีโพรพิลีน
ขนาดบรรจุ 22 ออนซ์ ขึ้นรูปด้วยกระบวนการให้ความร้อน

2.3 การประเมินผลกระทบ

จากขั้นตอนการวิเคราะห์บัญชีรายการ ทำให้ทราบถึงข้อมูลการแลกเปลี่ยนทางสิ่งแวดล้อมบางอย่างมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมาก บางอย่างมีผลกระทบน้อย ดังนั้นเพื่อที่จะสามารถช่วยในการตัดสินใจได้อย่างถูกต้อง ข้อมูลในขั้นตอนการวิเคราะห์บัญชีรายการจึงต้องมีการประเมินผลกระทบ ซึ่งตั้งอยู่บนพื้นฐานของความรู้เกี่ยวกับสิ่งแวดล้อม แหล่งทรัพยากร และสิ่งแวดล้อมของสภาพการทำงาน โดยการจำแนกประเภท การหาขนาดผลกระทบ และการให้สัดส่วน

2.4 การแปรผลการศึกษา

ขั้นตอนการแปรผลการศึกษา เป็นขั้นตอนการประเมินโอกาสที่จะเป็นไปได้ในการลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของกระบวนการผลิตนั้นๆ ทำให้ทราบว่ากระบวนการใดที่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุดและนำมาปรับปรุงแก้ไขกระบวนการผลิตให้มีปริมาณก๊าซเรือนกระจกให้มีปริมาณลดลงจากเดิม

3. ผลการศึกษา

จากการรวบรวมข้อมูลบัญชีรายการสิ่งแวดล้อม ได้แก่ ปริมาณสารเข้า (Input) และปริมาณสารออก (Output) ในแต่ละกระบวนการผลิต ซึ่งครอบคลุมตั้งแต่การขนส่งวัตถุดิบจากผู้ส่งมอบ , การขึ้นรูปของภาชนะพลาสติก, การบรรจุภาชนะพลาสติกสำเร็จรูป, พลังงานที่ใช้ในกระบวนการผลิต รวมถึงวัสดุช่วยผลิตของ ตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2554 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2554 โดยดำเนินการรวบรวมข้อมูลจากโรงงานอุตสาหกรรมผลิตภาชนะบรรจุภัณฑ์พลาสติกตัวอย่างแห่งหนึ่งแสดงดังตารางที่ 1 ซึ่งเป็นแสดงการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของกระบวนการผลิตภาชนะบรรจุภัณฑ์พลาสติกขนาดบรรจุ 22 ออนซ์ ขึ้นรูปด้วยกระบวนการเทอร์โมฟอร์มมิ่ง ก่อนการปรับปรุงแสดงให้เห็นถึงการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของกระบวนการผลิต ตัวแปรที่มีปริมาณมากที่สุดเมื่อทำการเปรียบเทียบกับตัวแปรอื่นๆคือ เม็ดพลาสติกโพลีโพรพิลีน (PP VIRGIN) มีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมดเท่ากับ 28.32 กรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า คิดเป็นร้อยละ 95.62 รองลงมาคือ เศษพลาสติกโพลีโพรพิลีนปนเปื้อน มีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมดเท่ากับ 0.48 กรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า คิดเป็นร้อยละ 1.64 วัสดุพลาสติก (PE) ที่ใช้บรรจุภาชนะสำเร็จรูปมีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมดเท่ากับ 0.39 กรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า คิดเป็นร้อยละ 1.33 และกระบวนการอื่นๆ มีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมดเท่ากับ 0.44 กรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า คิดเป็นร้อยละ 1.41 ซึ่งสามารถสรุปเป็นตารางแสดงสัดส่วนการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกระบวนการผลิต แสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 1 : แสดงการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของกระบวนการผลิตภาชนะบรรจุภัณฑ์พลาสติก
ขนาดบรรจุ 22 ออนซ์ ขึ้นรูปด้วยกระบวนการเทอร์โมฟอร์มมิ่งก่อนการปรับปรุง

ช่วงวัฏจักรชีวิต	รายการ	ค่า LCI		ค่า EF (gCO ₂ eq./ หน่วย)	ผลคูณ	สัดส่วน (%)
		หน่วย	ปริมาณ			
การได้มาของวัตถุดิบ	PP virgin	g	9.70585	2.9187	28.3284625	97.82090
	ถุงพลาสติก (PE)	g	0.26000	1.52	0.3952000	1.36466
	กล่องกระดาษ	g	0.13000	0.7243	0.0941590	0.32514
	เทปใส 12mm. X 50 หลา	g	0.02032	3.19	0.0648185	0.22382
	เทปใส 2.5" x 100 หลาใส	g	0.02386	3.19	0.0761134	0.26283
	สติ๊กเกอร์ข้างกล่อง(label)	g	0.00150	0.51	0.0007650	0.00264
	รวม		10.14153		28.9595185	100.00000
การผลิต	Electricity (Forming + Grinding)	Kwh	0.00544	0.561	0.0030538	0.45736
	REGRIND GPPS	g	1.81371	0	0.0000000	0.00000
	Alcohol	g	0.00011	1.26	0.0001339	0.02005
	แผ่นสกรีน	g	0.00062	12.3401	0.0076442	1.14485
	โซดาแอช (สารเคมีน้ำหล่อเย็น)	g	0.00000	1.3015	0.0000001	0.00001
	Phosphoric Acid (สารเคมีน้ำหล่อเย็น)	g	0.00000	0.1380	0.0000001	0.00001
	จารบี	g	0.00007	1.0547	0.0000695	0.01041
	เศษผ้า	g	0.00095	2.11	0.0020066	0.30052
	Silicone Lubricant 400 ML	g	0.05432	2.65	0.1439434	21.55782
	Sonax	g	0.00000	0.6157	0.0000005	0.00008

ตารางที่ 1(ต่อ) : แสดงการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของกระบวนการผลิตภาชนะบรรจุภัณฑ์พลาสติก
ขนาดบรรจุ 22 ออนซ์ ขึ้นรูปด้วยกระบวนการเทอร์โมฟอร์มมิ่งก่อนการปรับปรุง

ช่วงวัฏจักรชีวิต	รายการ	ค่า LCI		ค่า EF (gCO2 eq./ หน่วย)	ผลคูณ	สัดส่วน (%)
		หน่วย	ปริมาณ			
การผลิต(ต่อ)	น้ำมันหล่อลื่น	g	0.00013	0.6157	0.0000776	0.01163
	ไฟฟ้าจากระบบแสงสว่าง	Kwh	0.00097	0.561	0.0005434	0.08138
	ไฟฟ้าจากระบบลม	Kwh	0.00384	0.561	0.0021534	0.32250
	ไฟฟ้าจากระบบน้ำหล่อเย็น	Kwh	0.00158	0.561	0.0008877	0.13295
	ไฟฟ้าจากระบบระบายอากาศ	Kwh	0.00067	0.561	0.0003768	0.05642
	ไฟฟ้า Forklift	Kwh	0.00002	0.561	0.0000100	0.00150
	WASTE ถ้วยเปื้อนน้ำมัน	g	0.00511	2.32	0.0118623	1.77656
	WASTE Regrind ปนเปื้อน	g	0.21000	2.32	0.4872000	72.96595
	WASTE ก้อนWaste	g	0.69793	0	0.0000000	0.00000
	WASTE แผ่นสกรีนที่ใช้แล้ว	g	0.00062	0	0.0000000	0.00000
	WASTE แกนกระดาดขั้วเล็ก	g	0.00055	2.9300	0.0016075	0.24074
	WASTE แกนกระดาดขั้วใหญ่	g	0.00032	2.9300	0.0009438	0.14135
	WASTE เศษสติ๊กเกอร์	g	0.00100	2.9300	0.0029300	0.43881
	WASTE จารบี	g	0.00007	1.0547	0.0000695	0.01041
	WASTE เศษผ้าปนเปื้อน	g	0.00095	2.0000	0.0019020	0.28486
	WASTE น้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้ว	g	0.00013	2.3200	0.0002925	0.04380
						0.6677087
					29.6272271	-

ตารางที่ 2 : แสดงสัดส่วนการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของกระบวนการผลิตภาชนะบรรจุภัณฑ์พลาสติก
ประเภทโพลีโพรพิลีน ขนาดบรรจุ 22 ออนซ์ ขึ้นรูปด้วยกระบวนการให้ความร้อน ก่อนการปรับปรุง
จากตารางที่ 2 แสดงสัดส่วนการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของกระบวนการผลิต โดยแบ่งเป็นการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของการ

ช่วงวัฏจักรชีวิต	การปล่อย GHG ของการได้มาและ การใช้ประโยชน์ วัตถุดิบ พลังงาน และทรัพยากร (gCO ₂ eq.)	การปล่อย GHG ของ การขนส่ง วัตถุดิบ พลังงาน และทรัพยากร (gCO ₂ eq.)	ผลรวม (gCO ₂ eq.)	สัดส่วน (%)
การได้มาของวัตถุดิบ	28.959518	0.000040	28.959559	97.75
การผลิต	0.667709	0.000016	0.667725	2.25
รวม	29.63	0.000056	29.63	100.00

ได้มา การใช้ประโยชน์ การขนส่งของ วัตถุดิบ พลังงาน และทรัพยากร ซึ่งค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นมีค่าเท่ากับ 29.63 กรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า เมื่อทำการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิต ภาชนะบรรจุภัณฑ์พลาสติก ประเภทโพลีโพลีลีน ขึ้นรูปด้วยเทอร์โมฟอร์มมิ่ง ได้นำเสนอแผนการปรับปรุงกระบวนการผลิต โดยมีวัตถุประสงค์ที่จะลดปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากกระบวนการผลิต โดยก่อนทำการปรับปรุงพบว่า วัตถุดิบหลักของการผลิตภาชนะบรรจุภัณฑ์ คือ เม็ดพลาสติกโพลีโพลีลีน (PP VIRGIN) ปริมาณที่ใช้ในกระบวนการผลิตต่อหน่วยมีจำนวนเท่ากับ 9.70 กรัมซึ่งเป็นปริมาณที่มากที่สุดในกระบวนการผลิต รองลงมาคือ ถุงพลาสติก (PE) ที่ใช้บรรจุ ภาชนะสำเร็จรูปปริมาณที่ใช้ในกระบวนการผลิตต่อหน่วยมีจำนวนเท่ากับ 0.26 กรัม ตามด้วย ของเสียจากกระบวนการผลิต ในรูปของเศษพลาสติกโพลีโพลีลีนปนเปื้อน ปริมาณของเสียต่อหน่วยมีจำนวนเท่ากับ 0.21 กรัม และตัวแปรอื่น มีสัดส่วน เพียงเล็กน้อยเท่านั้น จากข้อมูลดังกล่าวนำมาทำการปรับปรุงกระบวนการผลิต ด้วยวิธีการออกแบบกระบวนการผลิตใหม่ (Redesign) ส่งผลให้สัดส่วนการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของแต่ละกระบวนการผลิตลดลงตามไปด้วย โดยกำหนดเป้าหมายการ ใช้เม็ดพลาสติกโพลีโพลีลีน (PP VIRGIN) ในกระบวนการลดลง 15% ซึ่งจะสามารถส่งผลให้ของเสียมีปริมาณลดลงตามไปด้วย และกำหนดให้ถุงพลาสติก (PE) ในการบรรจุภาชนะสำเร็จรูป มีเป้าหมายลดลง 10% จากนั้นเสนอแผนและทำการปรับปรุง ตามวัตถุประสงค์ที่วางไว้ ซึ่งหลังการปรับปรุงกระบวนการผลิตผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นสามารถ แสดงดังตารางที่ 3 โดยหลังการ ปรับปรุงกระบวนการผลิต และทำการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์อีกครั้งพบว่า เมื่อมีการปรับปรุงและพัฒนากระบวนการผลิต ตามข้อเสนอแนะ สามารถลดปริมาณวัตถุดิบเม็ดพลาสติกโพลีโพลีลีน (PP VIRGIN) ที่ใช้ในกระบวนการผลิตต่อหน่วย ผลิตภัณฑ์ หลังการปรับปรุงมีปริมาณลดลงเหลือ 8.24 กรัม ถุงพลาสติก (PE) ที่ใช้บรรจุภาชนะพลาสติกสำเร็จรูป หลังการ ปรับปรุงมีปริมาณลดลงเหลือ 0.23 กรัม ของเสียจากกระบวนการผลิต หลังการปรับปรุงมีปริมาณลดลงเหลือ 0.17 กรัม คิด เป็นสัดส่วนการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่ลดลงของทั้งกระบวนการผลิตหลังปรับปรุงเท่ากับ 14.75 %จากการปรับปรุงดังกล่าว ให้ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ลดลงแสดงดังในตารางที่ 4

ตารางที่ 3 : แสดงการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของกระบวนการผลิตภาชนะบรรจุภัณฑ์พลาสติก ขนาดบรรจุ 22 ออนซ์ ขึ้นรูปด้วยกระบวนการให้ความร้อน หลังการปรับปรุง

ช่วงวัฏจักรชีวิต	รายการ	ค่า LCI		ค่า EF (gCO ₂ eq./ หน่วย)	ผลคูณ	สัดส่วน (%)
		หน่วย	ปริมาณ			
การได้มาของวัตถุดิบ	PP virgin	g	8.24997	2.9187	24.0791932	95.31%
	ถุงพลาสติก (PE)	g	0.23400	1.52	0.3556800	1.41%
	กล่องกระดาษ	g	0.13000	0.7243	0.0941590	0.37%
	เทปใส 12mm. X 50 หลา	g	0.02032	3.19	0.0648185	0.26%
	เทปใส 2.5" x 100 หลา	g	0.02386	3.19	0.0761134	0.30%
	สติ๊กเกอร์ข้างกล่อง(label)	g	0.00150	0.51	0.0007650	0.00%
	รวม		8.65965		24.6707291	

ตารางที่ 3(ต่อ) : แสดงการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของกระบวนการผลิตภาชนะบรรจุภัณฑ์พลาสติก
ขนาดบรรจุ 22 ออนซ์ ขึ้นรูปด้วยกระบวนการเทอร์โมฟอร์มมิ่ง หลังการปรับปรุง

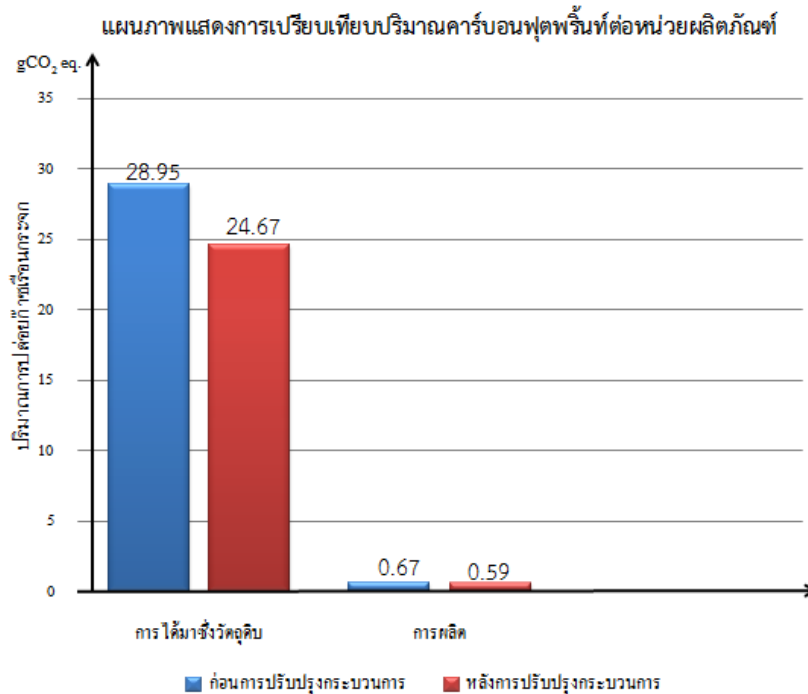
ช่วงวัฏจักรชีวิต	รายการ	ค่า LCI		ค่า EF (gCO ₂ eq./ หน่วย)	ผลคูณ	สัดส่วน (%)
		หน่วย	ปริมาณ			
การผลิต(ต่อ)	Electricity (Forming + Grinding)	Kwh	0.00544	0.561	0.0030538	0.01%
	REGRIND PP	g	1.55763	0	0.0000000	0.00%
	Alcohol	g	0.00011	1.26	0.0001339	0.00%
	แผ่นสกรีน	g	0.00062	12.3401	0.0076442	0.03%
	โซดาแอช (สารเคมีน้ำหล่อเย็น)	g	0.00000	1.3015	0.0000001	0.00%
	Phosphoric Acid (สารเคมีน้ำหล่อเย็น)	g	0.00000	0.1380	0.0000001	0.00%
	จารบี	g	0.00007	1.0547	0.0000695	0.00%
	เศษผ้า	g	0.00095	2.11	0.0020066	0.01%
	Silicone Lubricant 400 ML	g	0.05432	2.65	0.1439434	0.57%
	Sonax	g	0.00000	0.6157	0.0000005	0.00%
	น้ำมันหล่อลื่น	g	0.00013	0.6157	0.0000776	0.00%
	ไฟฟ้าจากระบบแสงสว่าง	Kwh	0.00097	0.561	0.0005434	0.00%
	ไฟฟ้าจากระบบลม	Kwh	0.00384	0.561	0.0021534	0.01%
	ไฟฟ้าจากระบบน้ำหล่อเย็น	Kwh	0.00158	0.561	0.0008877	0.00%
	ไฟฟ้าจากระบบระบายอากาศ	Kwh	0.00067	0.561	0.0003768	0.00%
	ไฟฟ้า Forklift	Kwh	0.00002	0.561	0.0000100	0.00%
	WASTE ถ้วยเปื้อนน้ำมัน	g	0.00435	2.32	0.0100829	0.04%
	WASTE Regrind ปนเปื้อน	g	0.17850	2.32	0.4141200	1.64%
	WASTE ก้อนWaste	g	0.59324	0	0.0000000	0.00%
	WASTE แผ่นสกรีนที่ใช้แล้ว	g	0.00062	0	0.0000000	0.00%
	WASTE แกนกระดาดขั้วม้วนเล็ก	g	0.00055	2.9300	0.0016075	0.01%
	WASTE แกนกระดาดขั้วม้วนใหญ่	g	0.00032	2.9300	0.0009438	0.00%
	WASTE เศษสติ๊กเกอร์	g	0.00100	2.9300	0.0029300	0.01%
	WASTE จารบี	g	0.00007	1.0547	0.0000695	0.00%
	WASTE เศษผ้าปนเปื้อน	g	0.00095	2.0000	0.0019020	0.01%
	WASTE น้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้ว	g	0.00013	2.3200	0.0002925	0.00%
					0.5928493	100.00%
					25.2635784	

ตารางที่ 4 : แสดงสัดส่วนการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของกระบวนการผลิตภาชนะบรรจุภัณฑ์พลาสติก
ประเภทโพลีโพรพิลีน ขนาดบรรจุ 22 ออนซ์ ขึ้นรูปด้วยกระบวนการให้ความร้อน หลังการปรับปรุง

ช่วงวัฏจักรชีวิต	การปล่อย GHG ของการได้มาและ การใช้ประโยชน์ วัตถุดิบ พลังงาน และทรัพยากร (gCO ₂ eq.)	การปล่อย GHG ของ การขนส่ง วัตถุดิบ พลังงาน และทรัพยากร (gCO ₂ eq.)	ผลรวม (kgCO ₂ eq.)	สัดส่วน
การได้มาของวัตถุดิบ	24.670729	0.00003482	24.670764	97.65
การผลิต	0.592849	0.00000034	0.592850	2.35
รวม	25.26	0.000035	25.26	100.00

4. อภิปรายผล

ผลการปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยรวมของภาชนะบรรจุภัณฑ์พลาสติก ประเภทโพลีโพรพิลีน ขนาดบรรจุ 22 ออนซ์ ขึ้นรูปด้วย
กระบวนการเทอร์โมฟอร์มมิ่ง นำมาทำการเปรียบเทียบปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ก่อนปรับปรุงกระบวนการผลิตและหลัง
ปรับปรุงกระบวนการผลิตแสดงดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 : แสดงการเปรียบเทียบปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของกระบวนการผลิต
ก่อนและหลังทำการปรับปรุงกระบวนการผลิต

จากภาพที่ 4 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของกระบวนการผลิตก่อนการปรับปรุงปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ของการได้มาซึ่งวัตถุดิบมีปริมาณเท่ากับ 28.95 กรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า และหลังการปรับปรุงกระบวนการผลิตลดลงเหลือเท่ากับ 24.67 กรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า ส่วนการผลิตก่อนการปรับปรุงมีปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ผลิตภัณฑ์เท่ากับ 0.67 กรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า และหลังการปรับปรุงกระบวนการผลิตลดลงเหลือเท่ากับ 0.59 กรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า ซึ่งความแตกต่างของค่าที่แสดงดังในภาพที่ 4 ส่งผลจากการใช้ปริมาณ เม็ดพลาสติกโพลิโพรพิลีน การเลือกใช้วัสดุช่วยผลิตของกระบวนการผลิตซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก(Emission Factor) ที่มาก อีกทั้งระยะทางการขนส่งวัตถุดิบจากผู้ส่งมอบและพลังงานที่ใช้ในการขนส่ง ยังเป็นอีกปัจจัยหนึ่งซึ่งหากมีการสั่งซื้อวัตถุดิบจากผู้ส่งมอบที่มีการขนส่งวัตถุดิบหลายต่อหรือสั่งซื้อจากต่างประเทศเข้ามาผลิตจะยิ่งส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ผลิตภัณฑ์สูงขึ้นตามไปด้วย ซึ่งการปรับปรุงกระบวนการผลิตและกำหนดเป้าหมายในการลดลงของวัตถุดิบที่ใช้ในกระบวนการผลิต ส่งผลให้ปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ผลิตภัณฑ์มีปริมาณลดลงได้ตามเป้าหมาย กล่าวคือ การได้มาซึ่งวัตถุดิบ ปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ผลิตภัณฑ์ลดลงเหลือ 24.67 คิดเป็นสัดส่วนที่ลดลงเท่ากับ 14.78% และส่วนการผลิตปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ผลิตภัณฑ์ลดลงเหลือ 0.59 คิดเป็นสัดส่วนที่ลดลงเท่ากับ 11.94 % โดยการลดลงของปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ส่งผลมาจากการลดลงของปริมาณการใช้เม็ดพลาสติกโพลิโพรพิลีนในการผลิต นอกจากนี้สามารถทำให้ของเสียมีจำนวนลดลงตามไปด้วย การใช้ถุงพลาสติกที่บรรจุภาชนะสำเร็จรูป ซึ่งจากเดิม 1 ถุงจะมีปริมาณภาชนะสำเร็จรูปทั้งหมด 25 ชิ้น หลังการปรับปรุงกำหนดให้มีการบรรจุภาชนะสำเร็จรูปเพิ่มเป็นจำนวน 28 ชิ้น ซึ่งการเพิ่มจำนวนบรรจุทำให้ต้องมีการสั่งซื้อถุงพลาสติกขนาดใหญ่กว่าขนาดเดิม แต่ทั้งนี้ก็ยังช่วยลดปริมาณการใช้ถุงพลาสติกได้ ทางด้านโครงสร้างต้นทุนจะเห็นได้ว่า ต้นทุนหลักจะมาจากวัตถุดิบหลักคือ เม็ดพลาสติกโพลิโพรพิลีน และค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้า หลังการปรับปรุงกระบวนการผลิตต้นทุนลดลงเท่ากับ 10 % ซึ่งส่งผลมาจากการปรับปรุงกระบวนการผลิตในข้างต้น จากผลการศึกษาดังกล่าว นำมาทำการเปรียบเทียบปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ผลิตภัณฑ์ของภาชนะบรรจุภัณฑ์พลาสติกประเภทโพลิโพรพิลีน ขนาดบรรจุ 13 กรัม หรือ 0.46 ออนซ์ ซึ่งขึ้นรูปด้วยกระบวนการเทอร์โมฟอร์มมิ่งเช่นเดียวกัน ของบริษัท Total Petrochemicals มีปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ต่อหน่วยผลิตภัณฑ์เท่ากับ 45 กรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า [5] โดยการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของภาชนะบรรจุภัณฑ์พลาสติก ประเภทโพลิโพรพิลีน ขนาดบรรจุ 22 ออนซ์ ที่ทำการศึกษานี้ มีปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ผลิตภัณฑ์ที่น้อยกว่าภาชนะบรรจุภัณฑ์พลาสติกของบริษัท Total Petrochemicals ซึ่งส่งผลมาจากความแตกต่างของการออกแบบปริมาณการใช้เม็ดพลาสติกประเภทโพลิโพรพิลีนในกระบวนการผลิต ด้านเครื่องจักรของกระบวนการผลิตที่มีการใช้พลังงานไฟฟ้าหรือเชื้อเพลิงฟอสซิลที่ต่างกัน อีกทั้งระยะทางการขนส่งวัตถุดิบจากผู้ส่งมอบที่ต่างกันอีกด้วย ซึ่งจากปัจจัยดังกล่าวส่งผลให้ปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ผลิตภัณฑ์มีปริมาณที่ต่างกัน ซึ่งในแต่ละองค์กร การจัดซื้อจัดจ้างเป็นส่วนที่สำคัญที่จะพิจารณาการจัดสรรผู้ส่งมอบที่มีกระบวนการผลิตที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

5. สรุปผล

จากการศึกษา อุตสาหกรรมการผลิตภาชนะบรรจุภัณฑ์พลาสติก ประเภท โพลิโพรพิลีน ขนาดบรรจุ 22 ออนซ์ ซึ่งขึ้นรูปด้วยกระบวนการเทอร์โมฟอร์มมิ่ง ก่อนทำการปรับปรุงกระบวนการผลิต ได้ทำการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ผลิตภัณฑ์ มีปริมาณเท่ากับ 29.63 กรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า โดยแบ่งเป็นการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในส่วนของ การได้มาซึ่งวัตถุดิบ และการผลิต มีปริมาณเท่ากับ 28.95 และ 0.67 กรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า ตามลำดับ หลังจากการปรับปรุงกระบวนการผลิตปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ผลิตภัณฑ์ของการได้มาซึ่งวัตถุดิบและการผลิตลดลงเหลือเท่ากับ 24.67 และ 0.59 กรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม ในการรวบรวมข้อมูลเพื่อทำการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ยังมีข้อจำกัดของความล่าช้าในการเก็บข้อมูลโดยละเอียดเนื่องจากความผิดพลาดที่เกิดขึ้นระหว่างทำการบันทึกข้อมูลซึ่งจะต้องระมัดระวังเป็นอย่างยิ่งเพื่อที่จะได้ข้อมูลที่แท้จริงและนำไปสู่การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ผลิตภัณฑ์ที่จะแสดงปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้อย่างถูกต้อง รวมทั้งสามารถนำผลลัพธ์ไปวางแผนจัดการคุณภาพบัญชีรายการก๊าซเรือนกระจกของอุตสาหกรรมการผลิตภาชนะบรรจุภัณฑ์พลาสติกประเภทอื่นๆ ให้มีคุณภาพดีขึ้นต่อไปสำหรับผู้ประกอบการทั่วไป การนำ “คาร์บอนฟุตพริ้นท์” มาใช้เป็นเครื่องมือการจัดการคาร์บอนฟุต-

พรีนซ์ผลิตภัณฑ์และบริการขององค์กร นอกจากจะช่วยลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่ก่อให้เกิดภาวะโลกร้อนแล้ว ยังเป็นการลดต้นทุนทางด้านการผลิต และต้นทุนด้านพลังงานอีกด้วย ในขณะเดียวกันองค์กรธุรกิจจะสามารถเข้าถึง การแสดงข้อมูลคาร์บอนฟุตพริ้นท์ผลิตภัณฑ์ผ่าน“ฉลากคาร์บอน” เป็นการแสดงความจริงจังและความพยายามลดการปล่อย ก๊าซเรือนกระจกซึ่งย่อมส่งผลดีต่อภาพลักษณ์ขององค์กร ไม่ว่าจะเป็นความเป็นผู้นำทางด้านสิ่งแวดล้อมการแสดงความ รับผิดชอบต่อสังคม ตลอดจนเป็นการสร้างความแข็งแกร่งให้กับตราสินค้าได้เป็นอย่างดี ทั้งนี้ในการเตรียมความพร้อม ควรมี การพัฒนาองค์ความรู้ของผู้ประกอบการอุตสาหกรรมรวมทั้งบริษัทผู้ค้าปัจจัยการผลิต เกี่ยวกับวิธีการวิเคราะห์คาร์บอนฟุตพ ริ้นท์ผลิตภัณฑ์ เพื่อเตรียมความพร้อมในการดำเนินการตามความต้องการของตลาดในอนาคต

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยความช่วยเหลือและความกรุณาจากผู้มีพระคุณหลายท่าน ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ ดร. ณัฐวรพล รัชสิริวัชรบุล , ดร.ปริญญ์ บุญกนิษฐ , ผศ.สหรัตน์ วงษ์ศิริระ อาจารย์ประจำหลักสูตรปริญญาโท สาขา วิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรมเพื่อความยั่งยืน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ที่กรุณาให้คำปรึกษา รวมทั้ง คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ต่อการศึกษาในครั้งนี้ รวมถึงการสละเวลาในการแก้ไขปัญหาต่างๆตลอดจนตรวจแก้ไขงานวิจัยจน เรียบร้อยสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ โรงงานอุตสาหกรรมการผลิตภาชนะบรรจุภัณฑ์พลาสติกตัวอย่าง ที่ได้ให้ข้อมูลสนับสนุนในการศึกษาครั้งนี้

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] ชยันต์ ตันติวิศาการ และ คณะ. (2553). ประเด็นท้าทาย ข้อเสนอแนะเชิงนโยบายและการเจรจาของไทย: เรื่องการ เปลี่ยนแปลง สภาพภูมิอากาศโลก. กรุงเทพมหานคร: สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย.
- [2] รายงานแห่งชาติฉบับที่ 2 การจัดทำบัญชีก๊าซเรือนกระจกของประเทศไทย. (2011). บัญชีก๊าซเรือนกระจก, 4 กันยายน 2555, จากเว็บไซต์ <http://www.naomitosy.com>
- [3] Admin. (2012). สภาวะเรือนกระจก ส่งผลให้โลกร้อน, 4 กันยายน 2555, จากเว็บไซต์ <http://www.naomitosy.com>
- [4] European Plastics News staff. (2012). Global PP market to hit \$155bn by 2019, 9 กันยายน 2555, จาก เว็บไซต์ <http://plastic.oie.go.th>
- [5] TOTAL PETROCHEMICALS Brussels. (2012). Polypropylene in thermoforming applications, 5 กันยายน 2555, จากเว็บไซต์ <http://www.total.com/EN/total-ecosolutions>

บทบาทและศักยภาพของทั้งสแตนและทั้งสแตนคาร์ไบด์เพื่อการพัฒนาอุตสาหกรรมอย่างยั่งยืน The role and potential of tungsten and tungsten carbide to the sustainable development of the industry.

ปฐมพงษ์ จำนงค์พันธ์, สหรัตน์ วงษ์ศรีชนะ, ปริญญ์ บุญนิษฐ
สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรมเพื่อความยั่งยืน
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
1381 ถนนพิบูลย์สงคราม เขตบางซื่อ กรุงเทพมหานคร 10800
jumnongphan@gmail.com

บทคัดย่อ

ผลการศึกษาพบว่าในปี ค.ศ. 2010 มีปริมาณการบริโภควัสดุทั้งสแตน (W) เพื่อการผลิตผลิตภัณฑ์ชนิดเครื่องมือตัด (Cutting tools) ประมาณ 88,000 ตันต่อปี ที่สัดส่วนของประเทศจีน 34.88% ยุโรปตะวันตก 26.74% สหรัฐอเมริกา 16.27% และอื่นๆ เพียงส่วนน้อย โดยมีแนวโน้มการใช้งานเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ด้วยสมบัติด้านการต้านทานต่อการสึกหรอสูงรวมถึงการนำไปผลิตในอุตสาหกรรมด้านเครื่องมือทางการแพทย์ อุปกรณ์และเครื่องมือทางการทหาร ทั้งสแตนกว่าร้อยละ 70 ผลิตเป็นทั้งสแตนคาร์ไบด์ (WC) โดยผสมคาร์บอน แทนทาลัม และซิลิกอนคาร์ไบด์ เป็นชิ้นส่วนโลหะแข็ง (Hard metal) ที่มีความแข็งในช่วง 1,500-2,200 Hv พบว่าผู้นำในอุตสาหกรรมการผลิตซีเมนต์ทั้งสแตนคาร์ไบด์ สร้างรายได้เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องที่อัตราการเติบโตกว่า 33.5% ต่อปี โดยมีการพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ด้วยงบประมาณด้านการวิจัยกว่า 1,000 ล้านบาทต่อปี และมีมูลค่ารวมในอุตสาหกรรมเครื่องมือตัดมากกว่า 9.47 แสนล้านบาทต่อปี รวมถึงมีการพัฒนาเทคโนโลยีการรีไซเคิลทั้งสแตนกลับมาใช้ใหม่ตามแนวทางการพัฒนาวัสดุเพื่อการใช้งานอย่างยั่งยืน

คำสำคัญ : ทั้งสแตน ทั้งสแตนคาร์ไบด์ การพัฒนาอุตสาหกรรมอย่างยั่งยืน ผู้นำในอุตสาหกรรม การรีไซเคิล

Abstract.

The study found that in 2010 the consumption of materials, tungsten (W) for the production of cutting tools (Cutting tools) is about 88,000 tons per year. The proportion of China's 34.88% Western European 26.74% United States 16.27%, and only a minority. The trend is increasing continuously. With high wear resistance properties as well as to the medical device manufacturing industry. Military equipment and supplies. Then, 70 percent is made of tungsten, tungsten carbide (WC) and tantalum with carbon, silicon carbide, hard metal parts (Hard metal), the hardness in the range of 1,500-2,200Hv. Leaders cement manufacturing tungsten carbide. Revenue has increased steadily at a rate of average 33.5% growth per year, with the development of new products with investment research with over one billion per word and the total value of industrial cutting tools for more than 9.47 billion per year. Including the development of recycling tungsten recycled materials to develop guidelines for sustainable use.

Keyword: Tungsten, Tungsten carbide, Sustainable industrial development, Key player

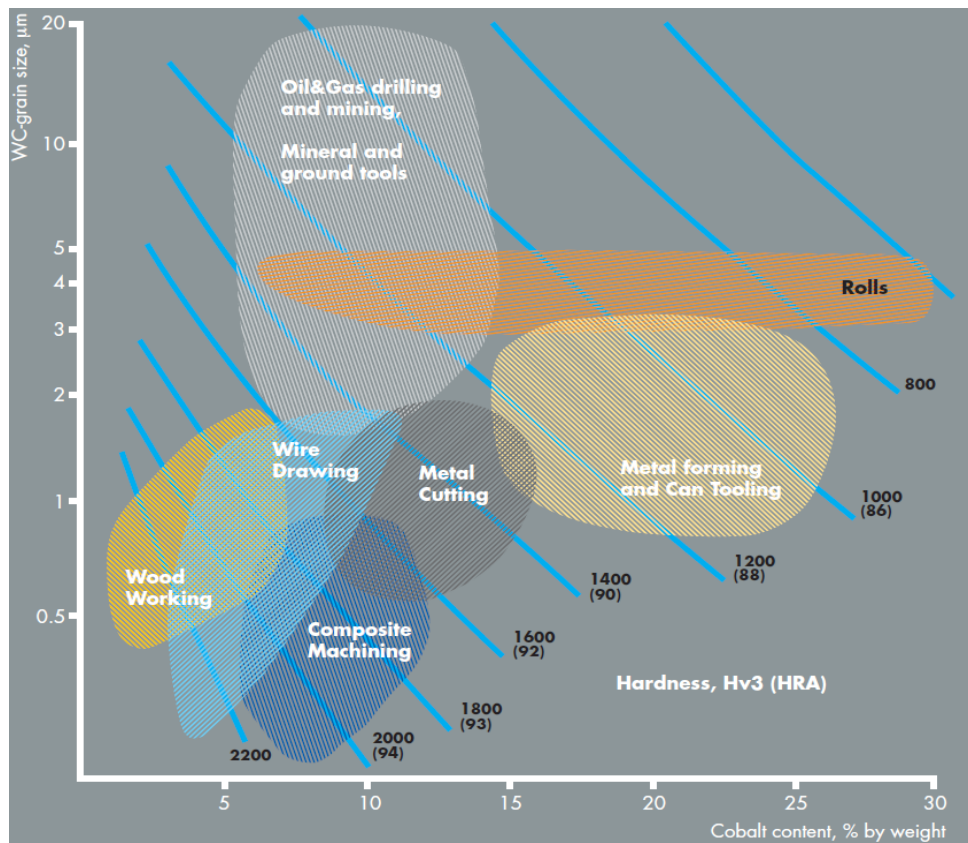
1. บทนำ

สภาพแวดล้อมทางเศรษฐกิจ การเมือง และสังคมมีการเปลี่ยนแปลงไปอย่างรวดเร็ว และมีรูปแบบของการเปลี่ยนแปลงที่แตกต่างไปจากเดิมทำให้ภาคอุตสาหกรรมมีการแข่งขันกันรุนแรงมากขึ้น ทั้งด้านการค้าในภาพแบบทวิภาคีและพหุภาคี การพัฒนาอุตสาหกรรมจึงเป็นปัจจัยหลักที่ทำให้เกิดการเติบโตทางด้านเศรษฐกิจ การเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันของประเทศในยุคการค้าเสรี ส่งผลเกี่ยวข้องกับการพัฒนาอุตสาหกรรม จากสภาพการณ์ดังกล่าว การเตรียมความพร้อมของภาคอุตสาหกรรมเพื่อรับมือการเปลี่ยนแปลงต่างๆ ต้องพิจารณารอบด้านทั้งปัจจัยสำคัญที่มีอิทธิพลในการพัฒนาขีดความสามารถในการแข่งขัน ประการหนึ่งก็คือ ปัจจัยด้านเทคโนโลยีและกำลังคน การพัฒนาต้องสอดคล้องกับทิศทางการพัฒนาในอนาคต การพัฒนาอุตสาหกรรมขึ้นส่วนโลหะแข็งและเครื่องมือตัดจึงมีความสำคัญต่อเศรษฐกิจอย่างยิ่งทั้งในภาคการผลิต ลดต้นทุนการผลิต และเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตให้สูงขึ้น ทั้งยังช่วยลดปริมาณการนำเข้าชิ้นส่วนโลหะแข็ง (มูลค่านำเข้าชุดชิ้นส่วนโลหะแข็งสูงถึง 6, 598 ล้านบาทในปี พ.ศ. 2550 ที่มา: กรมศุลกากร กระทรวงการคลัง) และเป็นการเพิ่มขีดความสามารถด้านการพัฒนาของอุตสาหกรรมเครื่องมือ ชิ้นส่วนเครื่องจักร แม่พิมพ์ ยานยนต์ เป็นต้น

การพัฒนาเครื่องมือสำคัญ [8] สำหรับใช้ในกระบวนการผลิตสินค้าทุกอุตสาหกรรมคือเครื่องจักรกลโลหะซึ่งประกอบด้วยชิ้นส่วนหลากหลายชนิด เช่น Rings, Can tools, Rollers, และ Other เป็นต้น ซึ่งทั้งสแตนคาร์ไบด์เป็นวัตถุดิบหลักคิดเป็นร้อยละ 70 [1] สำหรับการผลิตชิ้นส่วนประเภทโลหะความแข็งสูง (hardmetal) และเป็นที่ยอมรับว่าโลหะกลุ่มนี้สามารถสร้างผลตอบแทนได้ดี โดยขึ้นอยู่กับความซับซ้อน ในกระบวนการผลิต อุตสาหกรรมชิ้นส่วนโลหะแข็งเป็นอุตสาหกรรมที่สนับสนุนการสร้างผลิตภัณฑ์สำคัญๆ หลายประเภทเช่น metalcutting tools and tool inserts, molds dies ชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์และอื่นๆ ปัจจุบันมุ่งความสำคัญกับการสังเคราะห์เพชรและโบรอนไนไตรด์เพื่อเพิ่มสมบัติด้านความแข็งของชิ้นส่วนประเภทโลหะแข็งที่ใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตชิ้นส่วนเครื่องจักรกล ผู้วิจัยจึงเห็นว่า การศึกษาวัตถุดิบตั้งต้นสำหรับอุตสาหกรรมการผลิตจึงมีความสำคัญ เนื่องจากทั้งสแตนคาร์ไบด์เป็นวัสดุต้นน้ำของอุตสาหกรรมการผลิตสินค้าเกือบทุกชนิด ทั้งยังเป็นการตระหนักถึงการใช้น้ำวัสดุสำคัญในกระบวนการผลิตกลับมาใช้ใหม่ จึงได้ทำการศึกษาบทบาทและความสำคัญของทั้งสแตนและทั้งสแตนคาร์ไบด์เพื่อความเป็นพัฒนาอุตสาหกรรมการผลิตสู่ความอย่างยั่งยืน



ภาพที่ 1 ผลิตภัณฑ์ประเภทโลหะความแข็งสูง [9]



ภาพที่ 2 ผลลัพธ์ประเภทโลหะความแข็งสูง [10]

จากภาพที่ 2 พิจารณาแล้วปรากฏว่า สัดส่วนของทั้งสแตนคาร์ไบต์ในการผสมอยู่ระหว่าง 70-97% โดยน้ำหนัก ขนาดเกรนอยู่ระหว่าง 0.2 -20 ไมโครเมตร มีความแข็งระหว่าง 600-2,200 Hv ทั้งสแตนคาร์ไบต์ส่วนมากพบในวัสดุโลหะแข็งและมีโคบอลต์เป็นวัสดุประสาน (binder) วัสดุชนิดทั้งสแตนคาร์ไบต์ถูกประยุกต์ใช้งานและแยกประเภทตามลักษณะการใช้งาน เช่น ประเภทงานไม้ เส้นลวด (wire drawing) ชิ้นส่วนเครื่องจักรกล (composite machining) งานตัดโลหะ (metal cutting) เป็นต้น

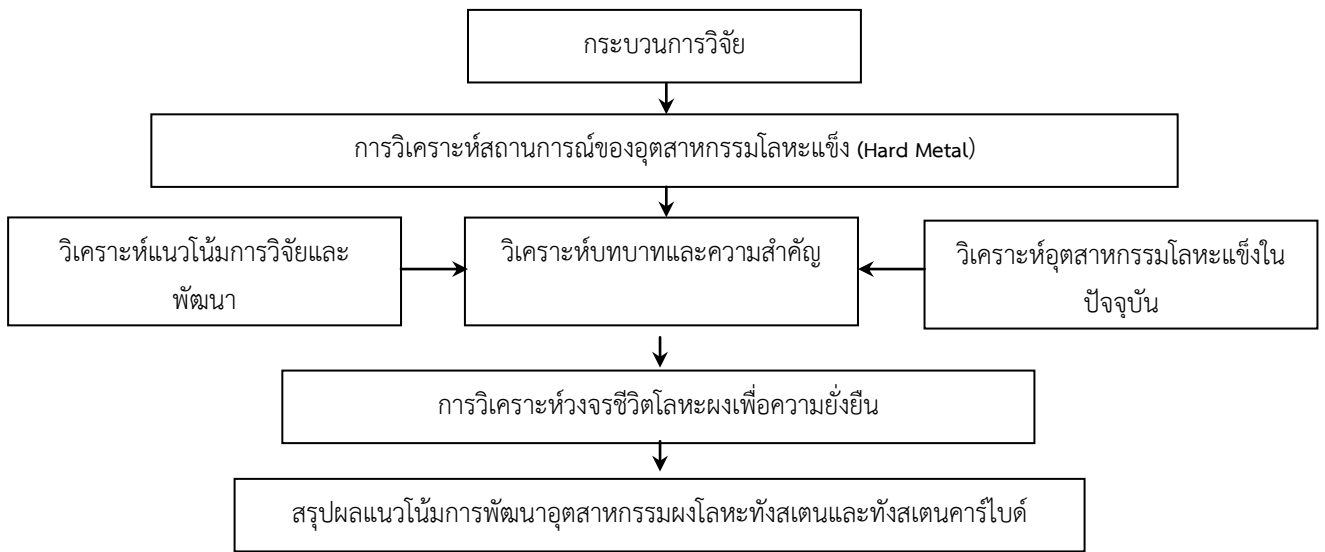
2. วิธีการศึกษา

วิธีการดำเนินการวิจัยจะใช้รอบความคิด วิธีการ วิเคราะห์ข้อมูลโดยวิเคราะห์อุตสาหกรรมชิ้นส่วนโลหะแข็ง มูลค่าของอุตสาหกรรม ปริมาณการบริโภคทั้งสแตนคาร์ไบต์ แนวโน้มการวิจัยและพัฒนา การวิเคราะห์วงจรชีวิตของโลหะทั้งสแตนคาร์ไบต์เพื่อใช้งานสำหรับอุตสาหกรรมอย่างยั่งยืน

2.2 การกระบวนการศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูล

2.2.1 การวิเคราะห์แนวโน้มอุตสาหกรรมทั้งสแตนและทั้งสแตนคาร์ไบต์

2.2.2 การศึกษาวงจรชีวิตของโลหะเพื่อความยั่งยืน

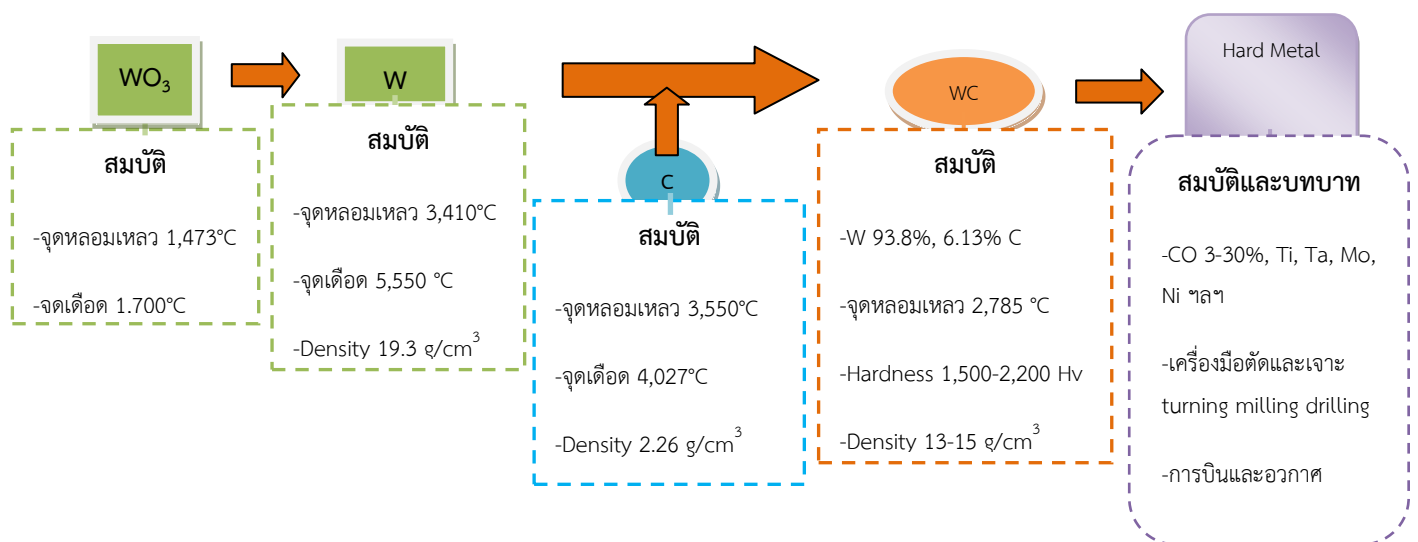


ภาพที่ 3 กระบวนการวิจัย

3. ผลการศึกษา

3.1 บทบาทและความสำคัญของทั้งสแตนเลสและสแตนคาร์ไบด์

ทั้งสแตนเป็นส่วนหนึ่งของโลหะแข็งประเภททนความร้อนสูง นอกจากนี้ยังผ่านกรรมวิธีการผลิตที่แตกต่างกันเช่น การหลอมละลาย การเผา และเคมี เป็นต้น จากการศึกษาพบว่า ทั้งสแตนถูกนำไปใช้ประกอบในอุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนโลหะแข็งประเภทต่างๆ เช่น ทั้งสแตนคาร์ไบด์ เหล็กผสมทั้งสแตน ผลิตภัณฑ์โลหะทั้งสแตน สารประกอบทั้งสแตน

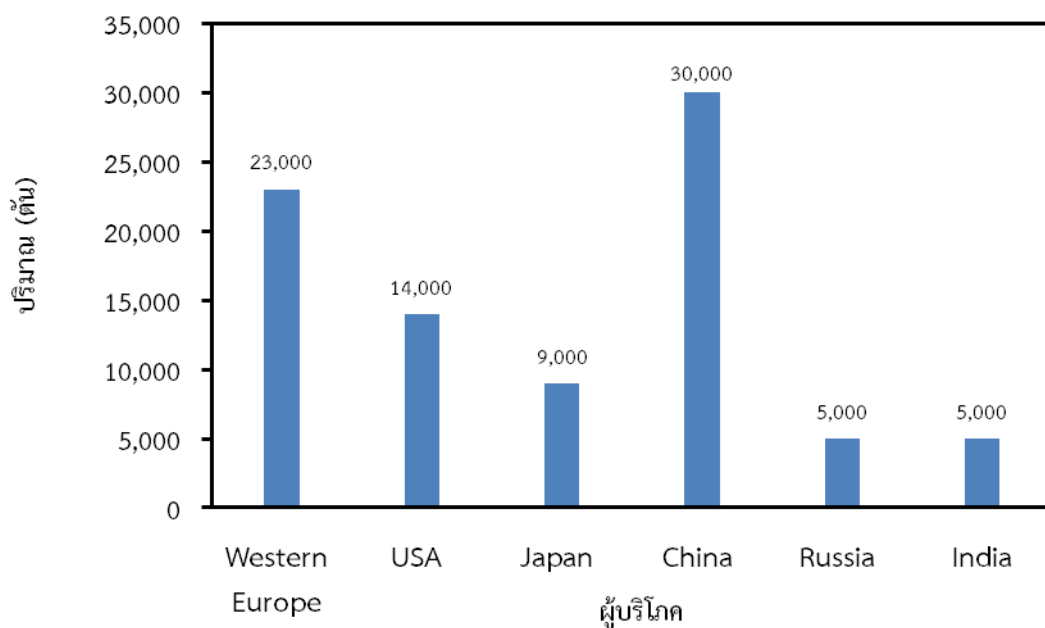


ภาพที่ 4 แสดงสมบัติและความสำคัญของวัตถุดิบตั้งต้นของชิ้นส่วนโลหะแข็ง

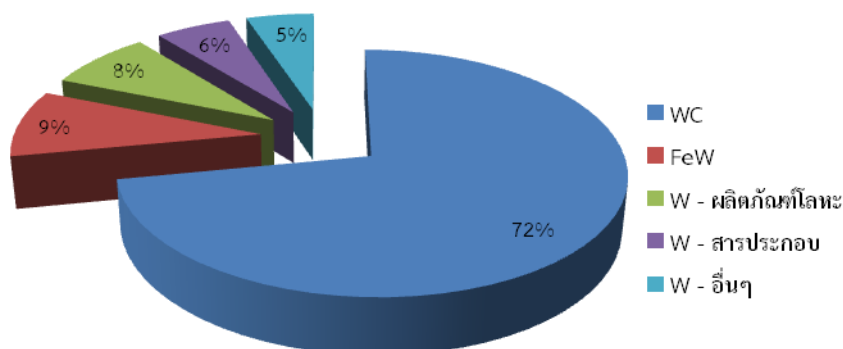
จากภาพที่ 4 แสดงสมบัติและความสำคัญของวัสดุทั้งสแตนเลสและสแตนคาร์ไบด์ จากแร่ทั้งสแตนออกไซด์ (WO₃) ผ่านกระบวนการสกัดให้บริสุทธิ์และมีสมบัตินำไฟฟ้าได้ดี ลักษณะโครงสร้างแบบ body-centered cubic (BCC) ทนอุณหภูมิสูง มีจุดหลอมเหลว 3,410 °C ที่ความหนาแน่น 19 g/cm³ นำไปใช้ประโยชน์โดยผลิตเป็นสารตั้งต้นผสมกับคาร์บอน (C) ซึ่งมีสมบัติทนอุณหภูมิสูง 3,550 °C การผลิตสารตั้งต้นชนิดทั้งสแตนคาร์ไบด์ในสัดส่วน 93.87% ทั้งสแตน และ 6.13% คาร์บอน ทำให้มีสมบัติทนอุณหภูมิสูง 2,870 °C มีความแข็ง 1,500-2,200 Hv ที่ความหนาแน่นระหว่าง 13-15.63 g/cm³ การ

สำหรับผลิตเป็นชิ้นส่วนโลหะแข็งเป็นส่วนใหญ่โดยการผสม โคบอลต์ระหว่าง 3-30% ไทเทเนียม แทนทาลัม โมลิบดีนัม นิเกิล เพื่อให้มีสมบัติทนทานต่อการสึกหรอและเพิ่มความแข็งแรง ณ การใช้งานที่อุณหภูมิสูง ด้านการนำไปใช้ประโยชน์ผลิตเป็นเครื่องมือกล เครื่องมือแพทย์ เครื่องมือชุดเจาะ ชิ้นส่วนเครื่องบินและอาวุธสงคราม ผลิตชิ้นส่วนเครื่องจักรในอุตสาหกรรมยานยนต์ ผลิตชิ้นส่วนประเภทเครื่องมือตัด (Cutting Tools) เช่น turning milling drilling สำหรับขึ้นรูปในอุตสาหกรรมแม่พิมพ์ เป็นต้น

โดยมีปริมาณการบริโภคทั่วโลกประมาณ 88,000 ตัน ซึ่งทั้งสแตนสามารถแยกตามประเภทการใช้งานดังภาพที่ 5 ประกอบด้วยประเทศจีนปริมาณการบริโภคทั้งสแตนประมาณปีละ 30,000 ตัน ยุโรปตะวันออกมีการบริโภคทั้งสแตนปีละ 23,000 ตัน สหรัฐอเมริกา (USA) บริโภคทั้งสแตนปีละ 14,000 ตัน ญี่ปุ่นมีการบริโภคทั้งสแตนปีละ 9,000 ตัน รัสเซียมีการบริโภคทั้งสแตนปีละ 5,000 ตัน และประเทศอินเดียมีการบริโภคทั้งสแตนปีละ 5,000 ตันเช่นเดียวกัน

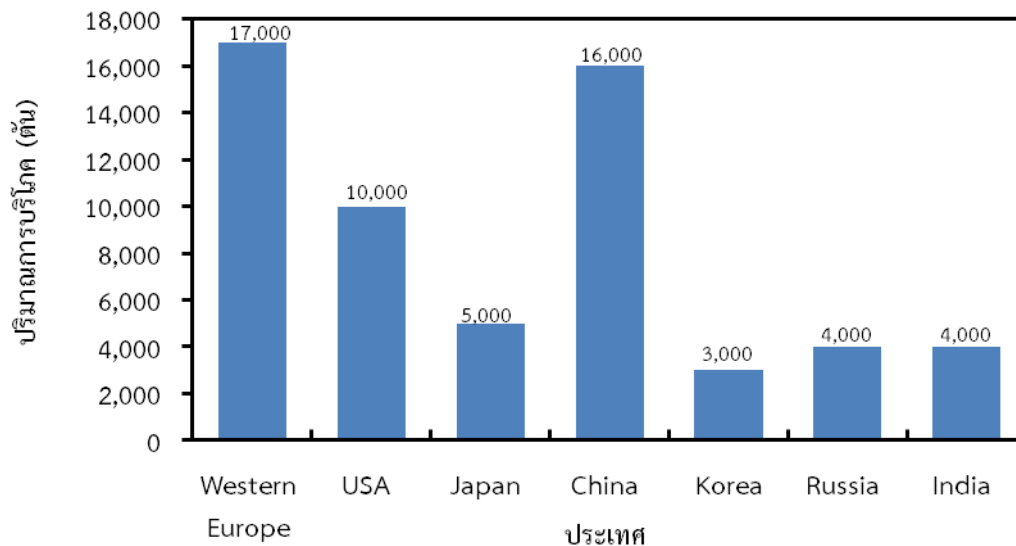


ภาพที่ 5 ปริมาณการบริโภคทั้งสแตนของแต่ละประเทศ



ภาพที่ 6 การจำแนกทั้งสแตนตามประเภทการใช้งานในอุตสาหกรรมโลหะแข็ง

จากภาพที่ 6 แสดงการจำแนกทั้งสแตนตามประเภทการใช้งาน ทั้งสแตนโดยส่วนใหญ่ใช้ในการผลิตสารประกอบตั้งต้นชนิดทั้งสแตนคาร์ไบด์ ซึ่งประกอบด้วย ทั้งสแตนร้อยละ 93.87 และคาร์บอนร้อยละ 6.13 จากการศึกษาการพบว่าทั้งสแตนที่นำไปผลิตเป็นสารประกอบต้นน้ำสามารถจำแนกได้ดังภาพที่ 6 ผลิตขึ้นส่วนประเภททั้งสแตนคาร์ไบด์ (WC) ประมาณ 63,000 ตัน คิดเป็นร้อยละ 72 ขึ้นส่วนประเภทเหล็กผสมทั้งสแตนประมาณ 8,000 ตัน คิดเป็นร้อยละ 9 ขึ้นส่วนประเภท ผลิตภัณฑ์โลหะทั้งสแตนประมาณ 7,000 ตัน ร้อยละ 8 นอกนั้นเป็นสารประกอบ และอื่นๆ ประมาณ 4,500-5,000 ตัน คิดเป็นร้อยละ 5 และ 6 ตามลำดับ



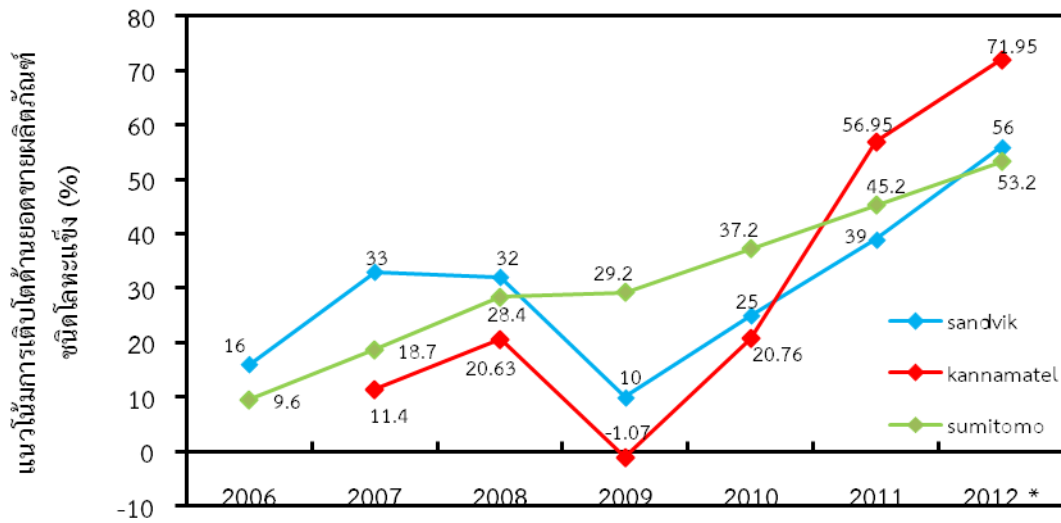
ภาพที่ 7 แสดงปริมาณการบริโภคทั้งสแตนคาร์ไบด์ของแต่ละประเทศ

ภาพที่ 7 แสดงปริมาณการบริโภคทั้งสแตนคาร์ไบด์ (WC) ของแต่ละประเทศ ประกอบด้วย ยุโรปตะวันตกบริโภคทั้งสแตนคาร์ไบด์ 17,000 ตันต่อปี จีนบริโภคทั้งสแตนคาร์ไบด์ 16,000 ตันต่อปี (ผู้ผลิตและผู้บริโภคที่ใหญ่ที่สุดของโลก) สหรัฐอเมริกา (USA) บริโภคทั้งสแตนคาร์ไบด์ประมาณ 10,000 ตันต่อปี รัสเซียและอินเดียบริโภคทั้งสแตนคาร์ไบด์ 4,000 ตันต่อปี และเกาหลีบริโภคทั้งสแตนคาร์ไบด์ 3,000 ตันต่อปี ซึ่งทั่วโลกแนวโน้มการผลิตที่เพิ่มขึ้น

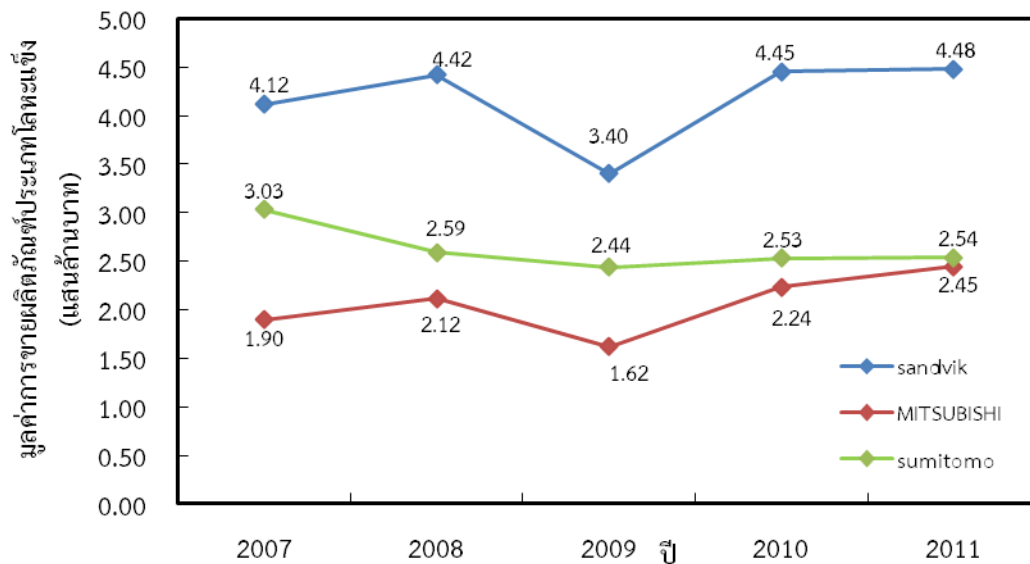
สำหรับการประยุกต์ใช้งานส่วนใหญ่ใช้ในภาคอุตสาหกรรมตัวอย่างเช่น อุตสาหกรรมยานยนต์ อุตสาหกรรมพลังงาน และเหมืองแร่ อุตสาหกรรมการบินและอวกาศ อุตสาหกรรมการแพทย์และทหาร โดยเป็นวัตถุดิบตั้งต้นทำหน้าที่เป็นส่วนประกอบผสม เช่น เหล็กเครื่องมือ Superalloys ชิ้นงานโลหะแข็งประเภทตัดเฉาะ

3.2 สภาวะการณ์อุตสาหกรรมโลหะแข็ง (Hardmetal)

การศึกษาอุตสาหกรรมชิ้นส่วนโลหะแข็งชนิดโลหะความแข็งสูงพบว่าบริษัทผู้นำด้านอุตสาหกรรมประเภทนี้มีมูลค่าทางการตลาดสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องดังนี้



ภาพที่ 8 แนวโน้มการขายผลิตภัณฑ์ชนิดโลหะแข็งสูงของบริษัท sandvik, kannamatal, sumitomo

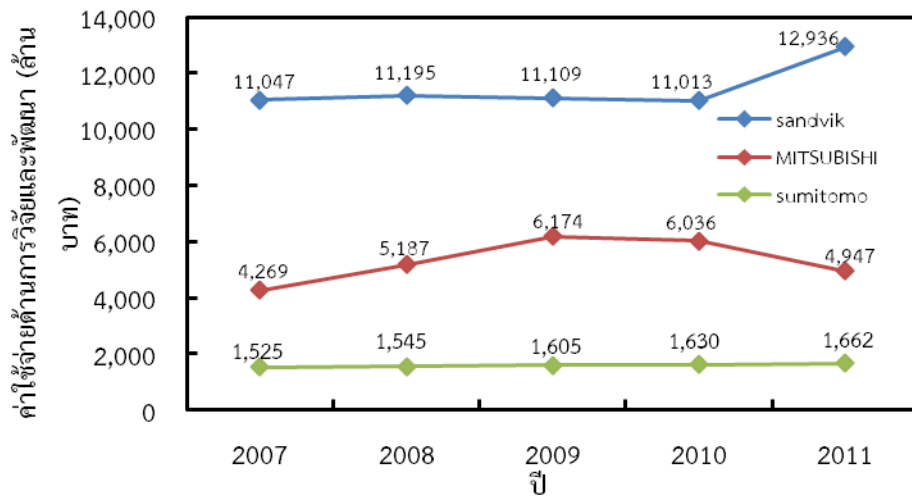


ภาพที่ 9 แนวโน้มมูลค่าอุตสาหกรรมชิ้นส่วนโลหะแข็งของบริษัทผู้นำระหว่างปี 2009-2011

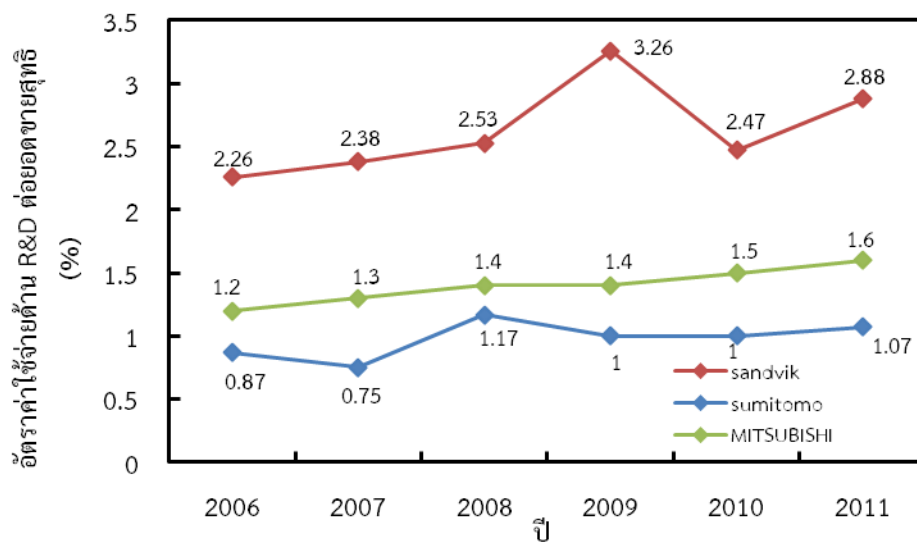
จากภาพที่ 9 พบว่าระหว่าง ปี 2007-2011 บริษัทผู้นำด้านอุตสาหกรรมชิ้นส่วนโลหะแข็ง ได้แก่ sandvik kannamatal และ sumitomo มีอัตราการบริโภคเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยบริษัท sandvik มีมูลค่า ระหว่าง 4.11-4.47 แสนล้านบาท คิดเป็น อัตราเฉลี่ย 33.5% ต่อปี บริษัท Mitsubishi มีมูลค่า ระหว่าง 1.89-2.44 แสนล้านบาท และ sumitomo มีมูลค่า ระหว่าง 3.03-2.54 แสนล้านบาท โดยมีมูลค่ารวมในอุตสาหกรรมเครื่องมือตัดมากกว่า 9.47 แสนล้านบาทต่อปี

3.3 แนวโน้มการวิจัยและพัฒนาชิ้นส่วนโลหะแข็ง

การศึกษาแนวโน้มการดำเนินงานวิจัยและพัฒนาของอุตสาหกรรมชิ้นส่วนโลหะแข็ง จากการศึกษาผู้นำของอุตสาหกรรมนี้ สามารถอธิบายได้ดังนี้



ภาพที่ 10 แสดงแนวโน้มค่าใช้จ่ายด้าน R&D กับมูลค่าการขายสุทธิระหว่าง ปี 2007-2011



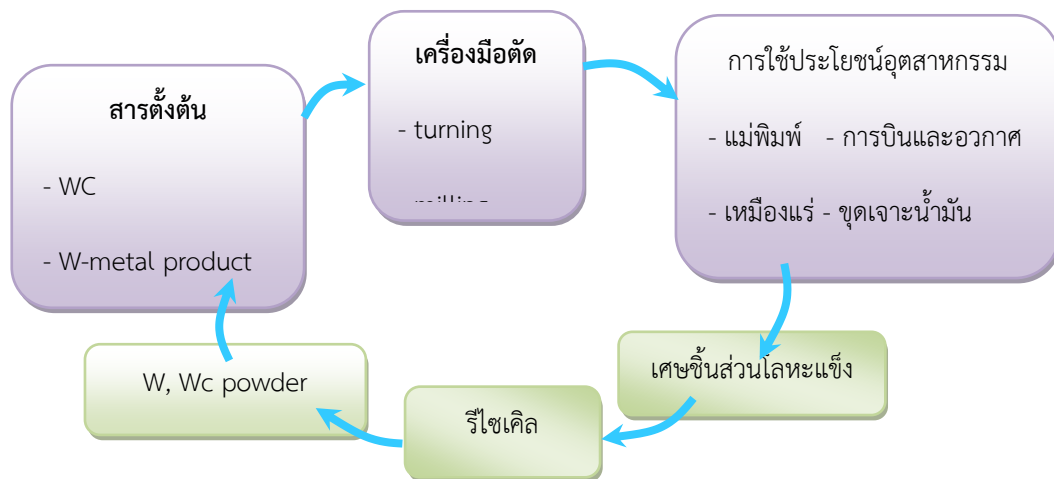
ภาพที่ 11 ค่าใช้จ่ายด้าน R&D ต่อยอดขายระหว่างปี 2006-2011

ภาพที่ 11 แสดงถึงอัตราส่วนการลงทุนด้านการวิจัยและพัฒนาต่อยอดการขายของผู้นำด้านผลิตภัณฑ์ประเภทโลหะแข็ง ประกอบด้วย บริษัท Sandvik มีการลงทุนด้านการวิจัยและพัฒนาที่มีมูลค่าระหว่าง 11,047-12,936 ล้านบาท

คิดเป็นสัดส่วนระหว่าง 2.36-3.36 % ของยอดขาย สำหรับการพัฒนาเทคโนโลยีวัสดุและการเคลือบผิวด้วยกระบวนการ PVD-coated รวมทั้งการพัฒนาสารพ่นเคลือบประเภทอลูมิเนียม ด้านบริษัท Sumitomo สนับสนุนการลงทุนด้านวิจัยและพัฒนาคิดเป็นสัดส่วนระหว่าง 0.75-1.17% ของยอดขาย โดยเน้นพัฒนาผลิตภัณฑ์ประเภท สว่านเจาะที่ประกอบด้วยหลายๆ คมตัด (MULTI-DRILL) และบริษัท Mitsubishi มีอัตราการลงทุนคิดเป็นสัดส่วนระหว่าง 1.2-1.6% ของยอดขาย

3.4 การวิเคราะห์วงจรชีวิตทั้งสแตนและทั้งสแตนคาร์ไบด์เพื่อความยั่งยืน

จากการศึกษาทั้งสแตนและทั้งสแตนคาร์ไบด์ตลอดการใช้งานพบว่า วัสดุชนิดนี้มีบทบาทสำคัญในอุตสาหกรรมการผลิตทุกชนิด ซึ่ง เมื่อผ่านการใช้งานแล้วจะเกิดเป็นของเสียซึ่งอยู่ในรูปของแข็งที่เราเรียกว่า เศษโลหะแข็ง (Scraps) ซึ่งสามารถอธิบายวงจรชีวิตได้ดังภาพที่ 12



ภาพที่ 12 วงจรชีวิตวัสดุทั้งสแตน ทั้งสแตนคาร์ไบด์

4. อภิปรายผล

ทั้งสแตนและทั้งสแตนคาร์ไบด์มีบทบาทและความสำคัญสำหรับอุตสาหกรรมชิ้นส่วนโลหะแข็ง โดยเฉพาะเครื่องมือประเภทตัดเจาะ ผลการวิจัยปรากฏว่าวัตถุดิบต้นน้ำสำคัญคือทั้งสแตนที่มีลักษณะโครงสร้างแบบ BCC [6] มีจุดหลอมเหลวสูงและสามารถผสมโลหะประสานโคบอลต์ระหว่าง 3-30% [10] รวมทั้ง ไทเทเนียม แทนทาลัม โมลิบดีนัม ฯลฯ โดยพบว่าวัตถุดิบตั้งต้นชนิดทั้งสแตนมีปริมาณการบริโภคสูง 88,000 ตัน ซึ่งผู้บริโภคสำคัญคือ ยุโรปตะวันตก จีน อเมริกา ทั้งสแตนส่วนใหญ่จะถูกเปลี่ยนเป็นสารประกอบในรูปของทั้งสแตนคาร์ไบด์โดยผสมคาร์บอนซึ่งเป็นธาตุที่มีจุดหลอมเหลว (Melting point) 3,550 °C [3] ในสัดส่วน 6.13% [7] และทั้งสแตน 93.87% [5] จากสมบัติของสารตั้งต้นแข็งและจุดหลอมเหลวสูงทำให้ผลิตภัณฑ์ใหม่มีความแข็งแรงระหว่าง 1,500-2,200 Hv [4, 5] ที่ความหนาแน่นระหว่าง 13-15 g/cm³ ทั้งสแตนคาร์ไบด์ถูกประยุกต์ใช้สำหรับผลิตชิ้นส่วนประเภทโลหะความแข็งแรงสูง (Hardmetals) คิดเป็นร้อยละ 72% โดยส่วนใหญ่ใช้ในอุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ แมกนิฟ พลังงาน เหมืองแร่ โดยเฉพาะอุตสาหกรรมประเภทเครื่องมือตัด (Cutting Tools) ซึ่งบริษัท sandvik สามารถสร้างรายได้สูง 4.47 แสนล้านบาทต่อปี จากการจำหน่ายผลิตภัณฑ์ประเภทเครื่องมือตัดและอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง แม้สถานการณ์ในปี 2009 การเติบโตด้านยอดขายจะลดลง เนื่องด้วยกลุ่มลูกค้าในสหภาพยุโรปเกิดวิกฤตเศรษฐกิจร้ายแรงที่เรียกว่า Hamburger Crisis [11] อย่างไรก็ตามหลังจากปี 2009 ความต้องการใช้ผลิตภัณฑ์เครื่องมือตัดมีแนวโน้มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง คาดว่าอัตราการเติบโตของยอดขายจะสูงถึง 56% ในปี 2012 อัตราเฉลี่ยเท่ากับ 33.5% ต่อปี คิดเป็นอัตราส่วนระหว่างค่าใช้จ่ายด้านวิจัยกับยอดขายอยู่ที่ 2.88% โดยปัจจัยสำคัญคือ กระบวนการวิจัยและพัฒนาใหม่ๆ

เพื่อการดำเนินธุรกิจสู่ความยั่งยืนของผู้นำอุตสาหกรรมเครื่องมือตัดคือ การนำทั้งสแตนกลับมาใช้ใหม่โดยมีปริมาณสูงถึง 80 [10] ตั้งแต่ปี จากการวิเคราะห์ผู้นำของอุตสาหกรรมชนิดซีเมนต์ทั้งสแตนคาร์ไบด์พบว่ากระบวนการวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ที่มีระบบส่งผลดีต่อผลผลิตที่เพิ่มขึ้นถึง 40% ค่าใช้จ่ายลดลง 20% [10] ต่อปี

5. สรุปผล

จากงานวิจัยนี้พบว่า ทั้งสแตนมีปริมาณการบริโภคทั่วโลกไม่ต่ำกว่า 88,000 ตันต่อปี คิดเป็นเปอร์เซ็นต์แล้วประกอบด้วย จีน 34.88% ยุโรปตะวันออก 26.74% สหรัฐอเมริกา 16.27% และอื่นๆ ทั้งสแตนนำไปใช้เป็นส่วนประกอบสำหรับผลิตทั้งสแตนคาร์ไบด์ซึ่งประกอบด้วย ทั้งสแตน 93.87% คาร์บอน 6.13% จากสมบัติของคาร์บอนที่มีจุดหลอมเหลวสูง 3,550 °C ใช้ผลิตเป็นสารตั้งต้นชนิดทั้งสแตนคาร์ไบด์จึงมีสมบัติที่ดีสำหรับด้านทนการสึกหรอที่อุณหภูมิสูง ทั้งสแตนกว่าร้อยละ 70 ผลิตชิ้นส่วนโลหะแข็งที่มีจุดหลอมเหลวสูง 2,870 °C มีความแข็งแรง 1,500-2,200 Hv ที่ความหนาแน่นระหว่าง 13-15.63 g/cm³ ปริมาณการใช้ทั่วโลกคือ 63,000 ตันต่อปี ด้วยสมบัติที่ดีด้านความแข็งแรงและทนทานการสึกหรอ ผู้นำของอุตสาหกรรมการผลิตซีเมนต์ทั้งสแตนคาร์ไบด์สร้างรายได้สูงกว่า 4.47 แสนล้านบาทต่อปี มูลค่าโดยรวมเท่ากับ 9.47 แสนล้านบาท ซึ่งชิ้นส่วนประเภท

ซีเมนต์ทั้งสแตนคาร์ไบด์หลังผ่านการใช้งานแล้วสามารถนำมาผ่านกระบวนการรีไซเคิลและเวียนใช้ซ้ำได้ โดยพบว่าเป็นปัจจัยสำคัญสำหรับการสร้างความยั่งยืนให้กับผู้นำในอุตสาหกรรมผลิตซีเมนต์ทั้งสแตนคาร์ไบด์ โดยรีไซเคิลทั้งสแตนบริสุทธิ์มาใช้ใหม่เพื่อสนับสนุนอุตสาหกรรมการผลิตโลหะความแข็งแรงสูงได้อย่างต่อเนื่อง และเป็นการใช้วัสดุชนิดทั้งสแตนและทั้งสแตนคาร์ไบด์ได้อย่างคุ้มค่า ช่วยยกระดับผลผลิต ลดค่าใช้จ่าย เป็นการพัฒนางานวิศวกรรมสำเร็จที่ความยั่งยืนได้อย่างมีประสิทธิภาพ

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอบคุณสาขาวิชาวิศวกรรมจัดการอุตสาหกรรมเพื่อความยั่งยืน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร สำหรับการใช้สถานที่เพื่อการดำเนินการวิจัย

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] Dr.Wolf-W.Albrecht, Hard Metal (WC-Co), retired Director of H.C. Starck, Germany, and November 2008.
- [2] A. S. Kurlov and A. I. Gusev, Tungsten Carbides and W-C Phase Diagram, ISSN 0020-1685, Inorganic Materials, 2006, Vol. 42, No. 2, pp. 121-127.
- [3] H. Okamoto, C-W (Carbon-Tungsten), Journal of Phase Equilibria and Diffusion Vol. 29 No.6 2008.
- [4] Kuo-Ming Tsai “The effect of consolidation parameters on the mechanical properties of binderless tungsten carbide” National Chin-Yi University of Technology, 2010.
- [5] X.Q. Ou, D.H. Xiao, T.T. Shen, M. Song, Y.H. He, Characterization and preparation of ultra-fine grained WC-Co alloys with minor La-additions, Int. Journal of Refractory Metals and Hard Materials 31 (2012) 266-273.
- [6] A.S. Bolokang a, M.J. Phasha b, , D.E. Motaung c, S. Bhero, Metastable phases in the Co-W system traced from elemental Co and W powders, Int. Journal of Refractory Metals and Hard Materials 31 (2012) 274-280.
- [7] M. Mohammadpour a, P. Abachi a, N. Parvin b, K. Pourazrang a, Study of cemented carbonitrides with nickel as binder: Experimental investigations and computer calculations Int. Journal of Refractory Metals and Hard Materials 31 (2012) 164-170
- [8] www.metal-powder.net, January 2009.
- [9] <http://tungsten-cemented-carbide.com/>
- [10] www.hardmaterials.sandvik.com.
- [11] Surut Petchsakunwong, World Economic Crisis 2008-2009: Cause & Effect, January-June 2011

การศึกษาเพื่อระบุโอกาสเพิ่มมูลค่ากากอะซีโตน A Study to identify opportunities to add value of acetone waste

วราวุฒิ กาญจนกิตติชัย^{1*}, วิโรจน์ ฤทธิ์ทอง², สหรัตน์ วงษ์ศรีษะ¹

¹สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรมเพื่อความยั่งยืน¹

warawutk62@gmail.com

²สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

1381 ถนนพิบูลสงคราม เขตบางซื่อ กรุงเทพมหานคร 10800

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการนำเสนอโอกาสเพิ่มมูลค่ากากอะซีโตน วัตถุประสงค์ของการศึกษาคือการระบุโอกาสเพิ่มมูลค่ากากอะซีโตน การทำวิจัยใช้วิธีการสืบค้นข้อมูลอุตสาหกรรมควบคู่ไปกับทิศทางการอุตสาหกรรมของประเทศไทย เครื่องมือวิจัยใช้หลักสถิติร่วมกับเครื่องมือการวิเคราะห์จุดแข็ง จุดอ่อน โอกาส อุปสรรคของธุรกิจ ผลของการวิจัยสามารถระบุโอกาสการเพิ่มมูลค่ากากอะซีโตนเป็นสามส่วนคือ โอกาสที่จะทำส่วนแบ่งตลาดการทำรีไซเคิลกากอะซีโตนเนื่องจากมีจำนวนการใช้มากและมีคู่แข่งทางธุรกิจน้อย, พัฒนาเครื่องรีไซเคิลเพื่อจำหน่ายให้กับอุตสาหกรรมที่มีกากอะซีโตนและโอกาสเป็นที่ปรึกษาด้านการทำระบบรีไซเคิลให้กับอุตสาหกรรม ทั้งหมดนี้เป็นโอกาสที่จะทำธุรกิจที่เกี่ยวข้องกับการรักษาสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืน

คำสำคัญ: Acetone waste ; Acetone Recovery ; Add-Value of acetone waste.

Abstract

This research presents an opportunity to add value acetone waste. The purpose of this study is to identify opportunities to add value acetone waste. Research using the search industry, along with industry trends of Thailand. Research tools used in conjunction with statistical analysis with business. Result of the research found three opportunity The first, Opportunity to market to recycling waste acetone due to the large number and small business competitors. second, Development of recycling machines for sale. Finally, As a consultant to the industry recycling system. All of this is the opportunity that identify to do business related to environmental sustainability.

Key words: Acetone waste ; Acetone Recovery ; Add-Value of acetone waste.

1. บทนำ (Introduction)

แนวทางการพัฒนาอุตสาหกรรมของประเทศไทยจากการใช้แผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติฉบับที่ผ่านมา (พ.ศ.2535 – พ.ศ.2554) ผนวกกับเป้าหมายการเป็นผู้นำในกลุ่มประชาคมอาเซียนของประเทศไทยตามแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติฉบับปัจจุบัน (พ.ศ.2555-2559) พบว่าประเทศไทยมีความคาดหวังที่จะเป็นประเทศผู้นำทางด้านอุตสาหกรรมการผลิตของภูมิภาคอาเซียน ใช้แนวนโยบายเชิงกลยุทธ์ส่งเสริมการลงทุนของผู้ประกอบการธุรกิจภาคเอกชนทั้งในและนอกประเทศอย่างต่อเนื่อง กิจกรรมของอุตสาหกรรมภาคการผลิต ทำให้เกิดกากทางอุตสาหกรรม (Industrial Waste) ขึ้นเป็นจำนวนมาก ซึ่งอาจก่อปัญหาสิ่งแวดล้อมได้ถ้าไม่มีการจัดการอย่างแท้จริง อะซีโตนเป็นวัตถุดิบของอุตสาหกรรมชนิดหนึ่งในอุตสาหกรรมที่ต้องใช้สีและตัวทำละลายในกระบวนการผลิตและผลจากการใช้งานจะทำให้เกิดกากอะซีโตนที่ด้อยมูลค่าตกค้างและสะสมอยู่ในโรงงานอุตสาหกรรมของประเทศไทย กลุ่มอุตสาหกรรมการผลิตที่ใช้อะซีโตนในปริมาณมากได้แก่ อุตสาหกรรมการผลิต

ยานยนต์, อุตสาหกรรมไฟเบอร์กลาสและอุตสาหกรรมพอลิเอทิลีน เป็นต้น อุตสาหกรรมที่จะเติบโตมากควบคู่ไปกับ
สังคมเศรษฐกิจประชาคมอาเซียนของประเทศเป็นกลุ่มของอุตสาหกรรมยานยนต์ซึ่งมีแนวโน้มจะเพิ่มจำนวนการผลิตมากกว่า
ที่เป็นอยู่ในปัจจุบันโดยประมาณการคาดว่าจะมากกว่า 2 ล้านคันต่อปี ดังนั้นการใช้อะซีโตนจะต้องเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วยคาด
การว่าจะมากกว่าค่าเฉลี่ยนำเข้าที่ผ่านมามีปีละ 37,295.18 ตัน มูลค่า 1,193,445,760 บาท ผลกระทบทางตรงของผู้ประกอบการ
คือต้นทุนการผลิต ผลกระทบต่อเนื่องจากการผลิตรถยนต์จะทำให้เกิดกาก อะซีโตนที่เสื่อมมูลค่าจากการใช้งานที่แปรผัน
ตรงกับจำนวนการผลิตก็ต้องเพิ่มขึ้นตามไปด้วย

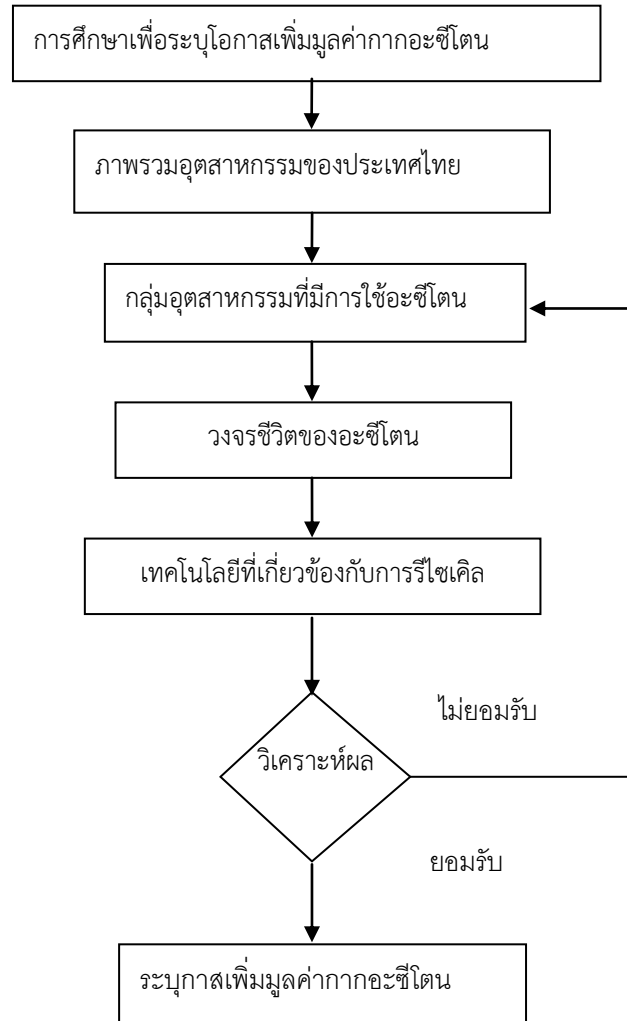
ในปัจจุบันการใช้อะซีโตนของอุตสาหกรรมที่ต้องสั่งซื้อและนำเข้าจากต่างประเทศ ทำให้ผู้ประกอบการมีต้นทุนสูง จำนวน
กากอะซีโตนที่เสื่อมมูลค่าจากการใช้งานของภาคอุตสาหกรรมก็เพิ่มจำนวนมากขึ้นซึ่งอาจก่อให้เกิดปัญหาต่อสิ่งแวดล้อมได้
การจัดการอุตสาหกรรมเพื่อความยั่งยืนจึงมีความสำคัญต่อการเติบโตของอุตสาหกรรมของประเทศไทยที่ต้องนำมาใช้
ดำเนินการให้ครอบคลุมทั้งด้านการประกอบธุรกิจ สังคมและสิ่งแวดล้อม วิธีการของการจัดการเพื่อความยั่งยืนมีตั้งแต่ลดการ
ใช้ทรัพยากรธรรมชาติ ลดการขนส่ง ลดการใช้พลังงานและพยายามทำ รีไซเคิลและลดปัญหาสิ่งแวดล้อม

ดังนั้นจากแนวทางการจัดการอุตสาหกรรมเพื่อความยั่งยืนจึงนำมาสู่แนวคิดของโครงการวิจัยต้องการศึกษาเพื่อหาโอกาสเพิ่ม
มูลค่าของกากอะซีโตนที่เสื่อมมูลค่าแล้วให้สามารถนำกลับมาใช้ซ้ำได้ ซึ่งเป็นการลดจำนวนการใช้ทรัพยากรธรรมชาติลดการขนส่ง
และลดปัญหาสิ่งแวดล้อม ซึ่งเป็นไปตามแนวทางการจัดการตามแนวทางเพื่อความยั่งยืนของประเทศไทย การทำวิจัยมี
วัตถุประสงค์หลักต้องการศึกษาเพื่อหาโอกาสเพิ่มมูลค่ากากอะซีโตนที่เป็นกากของอุตสาหกรรม โดยตั้งคำถามวิจัยไว้ว่า “ มี
โอกาสใดบ้างที่สามารถเพิ่มมูลค่าของกากอะซีโตน ”

2. วิธีศึกษา (Methodology)

วิธีศึกษาเริ่มดำเนินการเป็น 4 ขั้นตอน

1. ศึกษาภาพรวมของอุตสาหกรรมของประเทศไทย
2. ศึกษาอุตสาหกรรมที่มีการใช้อะซีโตน
3. ศึกษาวงจรชีวิตของอะซีโตนในอุตสาหกรรมการผลิต
4. ศึกษาเทคโนโลยีที่นำมาเพิ่มมูลค่ากากอะซีโตน



ภาพที่ 1 แสดงขั้นตอนศึกษาเพื่อระบุโอกาสเพิ่มมูลค่ากากอะซีโตน

2.1 ศึกษาอุตสาหกรรมภาคการผลิตของประเทศเพื่อสรุปภาพโดยรวมและแนวโน้มของอุตสาหกรรมประเภทยานยนต์ของประเทศไทยที่สอดคล้องกับการเข้าสู่สังคมเศรษฐกิจอาเซียนและรวมตัวเป็นฐานการผลิตเดียวกันของภูมิภาคแล้วจัดกลุ่มเพื่อกำหนดเป้าหมาย



(ก)



(ข)

ภาพที่ 2 แสดงอุตสาหกรรมและความร่วมมือกันให้มีฐานการผลิตเดียวในสังคมเศรษฐกิจอาเซียน

ที่มา(ก) : http://www.ost.co.th/index.php?lay=show&ac=cat_show_pro_detail&pid=204058

ที่มา(ข) : <http://www.rsunews.net/index.php/news/detail/3415>

2.2 ศึกษากลุ่มอุตสาหกรรมในประเทศไทยที่มีการใช้อะซีโตนที่ใช้เป็นตัวทำละลายเพื่อกำหนดเป็นกรอบไว้กลุ่มอุตสาหกรรมที่เป็นเป้าหมายคืออุตสาหกรรมการผลิตยอนต์เนื่องจากมีการใช้อะซีโตนในการผลิตมากและมีความชัดเจนในเรื่องของกากอะซีโตน จากการใช้ในการล้างเครื่องมือและอุปกรณ์การพ่นสีในสายการผลิตแบบต่อเนื่อง



ภาพที่ 3 แสดงอุตสาหกรรมที่มีการใช้อะซีโตนและมีกากอะซีโตนมาก
ที่มา: <http://www.youtube.com/watch?v=uww2Zt2MssA&feature=related>
<http://www.youtube.com/watch?v=qhCXFsQ6kKQ&feature=related>

2.3 ศึกษาวงจรชีวิตของอะซีโตนด้านที่เข้ามาและที่ไปและทางด้านจำนวนและมูลค่าจากพอร์ตท่าเรือที่ผ่านพิธีศุลกากรของประเทศไทย



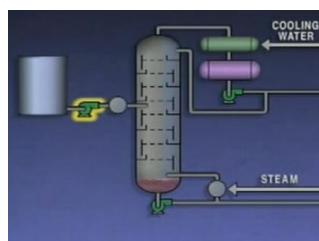
ภาพที่ 4 แสดงการหน้าเว็บไซต์ที่สืบค้นข้อมูลนำเข้าและส่งออกอะซีโตน
ที่มา: <http://www2.customs.go.th/Statistic/Index.jsp>

2.4 ศึกษาเทคโนโลยีในการรีไซเคิลแบบหอกกลั่น

2.4.1 เทคโนโลยีการทำให้สารบริสุทธิ์ด้วยวิธีการกลั่น(Distillation)



(ก)



(ข)

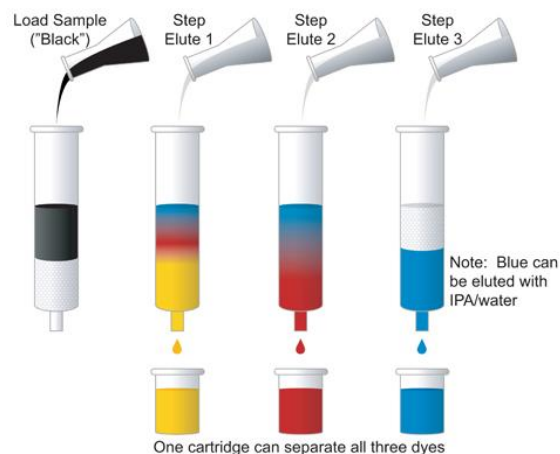
ภาพที่ 5 (ก)แสดงหอกกลั่น (ข)แสดงโครงสร้างของหอกกลั่น
ที่มา : http://www.youtube.com/watch?v=vscX_zawdOw&NR

2.4.2 เทคโนโลยีกลั่นแบบสุญญากาศและเมมเบรน (Vacuum Membrain Distillation)



ภาพที่ 6 แสดงลักษณะของเครื่องกลั่นแบบสุญญากาศและเมมเบรน
ที่มา : www.Elsevier.com/Locate/desal

2.4.3 เทคโนโลยีทำให้สารบริสุทธิ์ด้วยวิธีโครมาโทกราฟี



ภาพที่ 7 แสดงหลักการของโครมาโทกราฟี

ที่มา : www.waters.com/webassets/cms/category/media/other_images/primer_d

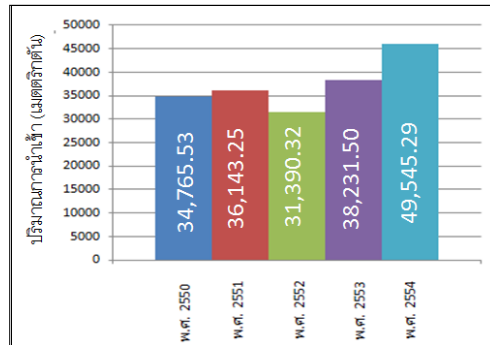
3. ผลของการศึกษา(Result)

จากการศึกษาข้อมูลเรื่องของอะซีโตนที่ใช้ในอุตสาหกรรมการผลิต ทำให้สามารถระบุโอกาสได้ 3 คือ

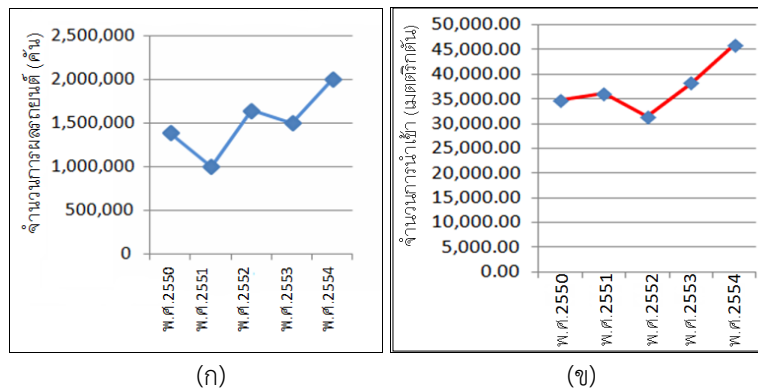
3.1 โอกาสมีส่วนแบ่งตลาดการใช้เซลลูลาร์อะซีโตน

เหตุผล เนื่องจากมีโรงงานอุตสาหกรรมการผลิตจำนวนมากในประเทศไทย (แสดงในภาพที่ 1) จากการศึกษพบว่าอะซีโตนได้จากการนำเข้าจากต่างประเทศ มีสถิติการนำเข้าอะซีโตนมาใช้ในประเทศไทยย้อนหลัง 5 ปี มีค่าเฉลี่ยปีละ 37,295.18 ตัน มูลค่า 1,193,445,760 บาท(แสดงในภาพที่ 7) และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามการเติบโตของอุตสาหกรรม(แสดงในภาพที่ 8) ในทิศทางของการเข้าสู่สังคมเศรษฐกิจประชาคมอาเซียนของประเทศไทย กลุ่มอุตสาหกรรมที่มีการใช้อะซีโตนมากและมีแนวโน้มการใช้เพิ่มขึ้นชัดเจนคือกลุ่มอุตสาหกรรมการผลิตยอนต์ซึ่งปัจจุบันมีจำนวนโรงงานผลิตและประกอบยอนต์ในประเทศไทยมากถึง 709 โรงงาน โรงงานผลิตยอนต์นั้นมีการใช้อะซีโตนเพื่อใช้ล้างทำความสะอาดเครื่องมือและอุปกรณ์งานพ่นและเคลือบสี ภายหลังจากการใช้งานแล้วก่อให้เกิดกากของอะซีโตนในกระบวนการผลิตจำนวนมาก (แสดงในภาพที่ 2) ผลศึกษากากอะซีโตนของกระบวนการผลิตต้อง

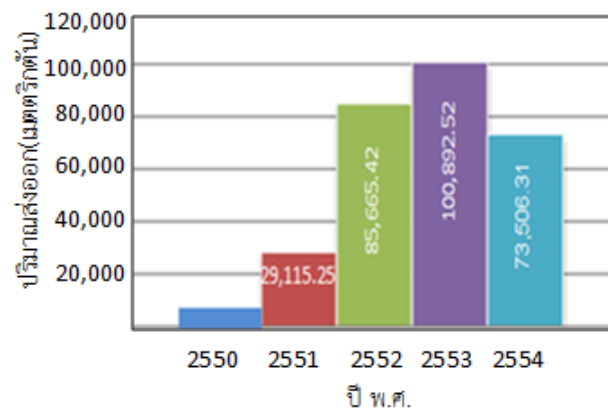
เก็บรักษาเพื่อรอการจำหน่ายออกไป(แสดงในภาพที่ 9) ด้วยเหตุนี้จึงเป็นช่องว่างของการทำรีไซเคิลมากพอสมควรเนื่องจากในปัจจุบันมีผู้ประกอบการด้านนี้อยู่น้อยรายในประเทศไทย



ภาพที่ 8 แสดงจำนวนการนำเข้าอะซีไตนจากต่างประเทศ



ภาพที่ 9 แสดงแนวโน้มจำนวนการผลิตอะซีไตน (ก) และแนวโน้มการนำเข้าอะซีไตนมาใช้ (ข)



ภาพที่ 10 แสดงจำนวนการส่งออกกากอะซีไตนไปต่างประเทศ

ตารางที่ 1 แสดงผลการวิเคราะห์เพื่อระบุโอกาสเพิ่มมูลค่ากากอะซีโตนด้วย (SWOT Analysis)

จุดแข็ง (Strength)	- ประเทศไทยจะเป็นฐานการผลิตของประชาคมอาเซียน - นโยบายส่งเสริมความยั่งยืนการจัดการสิ่งแวดล้อมของโลก - เงินทุนจากยุโรปและอเมริกาย้ายเข้าสู่อาเซียนและประเทศไทย - โครงข่ายผู้ประกอบการใหญ่-เล็กมีมากขึ้น
จุดอ่อน (Weakness)	-ประเทศไทยขาดเทคโนโลยีและกระบวนการ R&D ทางด้านกู้คืนคุณสมบัติกากอะซีโตน -ผู้ที่มีทุนยังขาดความเข้าใจด้านสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากของสารอินทรีย์เหลว
โอกาส (Opportunity)	- การผลิตของอุตสาหกรรมมีแนวโน้มใช้อะซีโตนเป็นวัตถุดิบมากขึ้น - การจัดการสิ่งแวดล้อมตามแนวนโยบายของประเทศไทยมีผลต่อโอกาสการเพิ่มมูลค่ากากอะซีโตนสูงขึ้น -เงินทุนจากยุโรปและอเมริกามีแนวโน้มย้ายเข้าสู่อาเซียน - โครงข่ายผู้ประกอบการใหญ่-เล็กได้รับการส่งเสริมมากขึ้น
อุปสรรค (Threat)	-ประเทศจีนมีผู้ประกอบการด้านการกู้คืนคุณสมบัติกากอะซีโตนรายใหญ่ โดยรับซื้อกากอะซีโตนของประเทศไทย -ประเทศไทยเริ่มมีผู้ประกอบการกู้คืนคุณสมบัติสารอินทรีย์เหลว

โอกาสการมีส่วนแบ่งตลาดการรีไซเคิลโดยวิเคราะห์จากจุดแข็ง(Strength)ของโอกาสที่เป็นการเติบโตของอุตสาหกรรมการผลิตยานยนต์ของประเทศไทยซึ่งคาดการณ์ว่าจะต้องมียอดการผลิตสูงขึ้นมากกว่าปัจจุบัน ทำให้ปริมาณการใช้อะซีโตนและจำนวนกากของอะซีโตนจะต้องเพิ่มขึ้นแบบแปรผันตรงกับจำนวนการผลิตยานยนต์ผนวกกับการอยู่ในระหว่างการรณรงค์ของสหภาพยุโรปด้านสิ่งแวดล้อมและมาตรการการคลังเพื่อสิ่งแวดล้อมของประเทศ ที่เกิดจากมาตรการเคลื่อนย้ายกากเคมีภัณฑ์ทำให้เกิดช่องว่างของโอกาสการทำรีไซเคิลกากอะซีโตนที่มีคู่แข่งในการทำรีไซเคิลอยู่น้อยรายในประเทศไทย ส่วนจุดอ่อน(Weakness)และอุปสรรคของโอกาสการทำรีไซเคิลกากอะซีโตนเกิดจากประเทศไทยขาดการทำวิจัยและพัฒนา(R&D)ด้านการรีไซเคิลและที่สำคัญคือประเทศจีนอาจเข้ามาลงทุนการทำรีไซเคิลในประเทศไทย

3.2 โอกาสการพัฒนาเครื่องรีไซเคิลขนาดเล็กเพื่อจำหน่าย

เหตุผล เนื่องจากมีโรงงานผลิตทั้งขนาดใหญ่ ขนาดกลางและขนาดเล็กที่มีการใช้อะซีโตนทั้งภายในประเทศและกลุ่มประเทศสังคมเศรษฐกิจอาเซียนที่จะเกิดขึ้นเป็นจำนวนมาก ผลจากการเติบโตทางด้านอุตสาหกรรมยานยนต์ของประเทศไทยและในภูมิภาคอาเซียนจะทำให้โรงงานผลิตเพิ่มจำนวนการใช้อะซีโตนมากขึ้นซึ่งจะทำให้ต้นทุนการผลิตสูง การพัฒนาเครื่องรีไซเคิลกากของอะซีโตนขนาดเล็กจะช่วยให้สามารถนำกากอะซีโตนกลับมาใช้ซ้ำได้ก็จะการลดต้นทุนการผลิตลง การนำเสนอให้ใช้เครื่องรีไซเคิลที่พัฒนาขึ้นกับผู้ประกอบการย่อมได้รับการตอบรับได้เพราะเป็นแนวทางลดต้นทุนการผลิตให้ต่ำลง

3.3 โอกาสเป็นที่ปรึกษาดำเนินการทำให้ระบบรีไซเคิลให้กับโรงงานผลิตที่ใช้อะซีโตนเป็นวัตถุดิบ

เหตุผล เนื่องจากโรงงานอุตสาหกรรมการผลิตยังขาดกระบวนการจัดการกับกากอะซีโตน โดยได้วิเคราะห์จากผลการส่งออกกากอะซีโตนไปต่างประเทศเป็นจำนวนมาก(แสดงในภาพที่ 6)โอกาสนำเสนอการทำให้ระบบรีไซเคิลให้กับโรงงานผลิตที่ใช้อะซีโตนก็ย่อมมีความเป็นไปได้

4. อภิปรายผล(Discussion)

4.1 เมื่อวิเคราะห์โอกาสมีส่วนแบ่งตลาดการทำรีไซเคิลกากอะซีโตน ที่ได้ศึกษาจากทิศทางการพัฒนาอุตสาหกรรมของประเทศไทย พบว่ามีอุตสาหกรรมการผลิตประเภทต่างๆเกิดขึ้นมากและกระจายอยู่ทั่วทุกภูมิภาคของประเทศ อุตสาหกรรมเหล่านี้เป็นฐานอุตสาหกรรมผลิตสินค้าของประเทศไทย กลุ่มของอุตสาหกรรมที่โครงการนี้สนใจศึกษาและนำมา

พิจารณาเป็นอุตสาหกรรมการผลิตยนต์ที่ผลิตภัณฑ์เกี่ยวข้องกับเรื่องของสีและเรซินที่ใช้อะซีโตนเป็นวัตถุดิบการผลิตและมีการอะซีโตนที่มีสารปนเปื้อนตกค้างอยู่ ทั้งนี้เนื่องจากอะซีโตนถูกใช้เป็นน้ำมันล้างเพื่อทำความสะอาดซึ่งสมควรที่จะนำเทคโนโลยีที่เหมาะสมมาจัดการเพื่อคุ้มครองสมบัติของอะซีโตนให้สามารถนำกลับมาใช้ซ้ำในอุตสาหกรรมได้ อะซีโตนของอุตสาหกรรมผลิตต้องนำเข้าจากต่างประเทศ มวลรวมการนำเข้าอะซีโตนช่วงระหว่าง พ.ศ.2550-2554 มีจำนวน 186,475.87 ตัน มีมูลค่า5,994,246,100 บาท ถ้าไม่มีการศึกษาเพื่อเพิ่มมูลค่าการอะซีโตนที่จะต้องพัฒนาเทคโนโลยีมาใช้ในการรีไซเคิลการอะซีโตนในประเทศไทยก็จะต้องมีการนำเข้าอะซีโตนซึ่งเป็นการซื้อเข้ามาใช้ตลอดไปและยังเป็นการใช้ทรัพยากรที่ไม่สอดคล้องกับแนวทางของความยั่งยืน

4.2 โอกาสการพัฒนาเครื่องรีไซเคิลขนาดเล็ก เมื่อวิเคราะห์ผลจากการส่งออกการอะซีโตนไปต่างประเทศเป็นอย่างมากโดยมีค่าเฉลี่ยย้อนหลัง 5 ปี เท่ากับ 57,835.93 ตัน ส่วนต่างผลการนำเข้าและส่งออกพบว่าปริมาณส่งออกมากกว่าการนำเข้า มีสาเหตุจากสภาพการที่ผ่านมา 3 ส่วนที่นำมาพิจารณาคือ

4.2.1 สาเหตุเนื่องจากมาตรการและแรงจูงใจป้องกันปัญหาทางด้านสิ่งแวดล้อมและมีมวลรวมของการอะซีโตนสะสมอยู่ในปีก่อนหน้าอยู่จำนวนมากซึ่งเป็นไปได้ว่ายังขาดกระบวนการจัดการการอะซีโตนในประเทศจึงได้มีการเร่งรัดส่งออกการอะซีโตนไปต่างประเทศ

4.2.2 สาเหตุเนื่องจากมาตรการเกี่ยวกับการเคลื่อนย้ายกากเคมีภัณฑ์อันตราย (ROSH, REACH) ของกลุ่มประชาคมยุโรปมีความชัดเจนในการดำเนินการแล้วทำให้มีการเร่งรัดส่งออกการอะซีโตนออกไปต่างประเทศ

4.2.3 สาเหตุเนื่องจากกลุ่มประเทศที่รับซื้อการอะซีโตนทุ่มการแข่งขันไปเพิ่มมูลค่าการอะซีโตนด้วยการทำ รีไซเคิลเพื่อทำกำไรกับอุตสาหกรรมผลิตยานยนต์ของประเทศไทยและกลุ่มประชาคมเศรษฐกิจอาเซียนในอนาคต

จากสภาพการที่ผ่านมาชี้ให้เห็นว่าประเทศไทยยังขาดกระบวนการจัดการกับการอะซีโตนอยู่อีกมากการพัฒนาเครื่องรีไซเคิลขนาดเล็กจึงเป็นโอกาสที่สามารถตอบสนองความต้องการของอุตสาหกรรมได้

5.สรุปผล(Conclusion)

จากการศึกษาเพื่อหาโอกาสเพิ่มมูลค่าการอะซีโตนของอุตสาหกรรมเป็นเชิงตรรกะที่นำมา สรุปผลได้ดังนี้

5.1 โอกาสมีส่วนแบ่งตลาดการทำรีไซเคิลการอะซีโตนในประเทศไทยได้มาก ข้อมูลที่วิเคราะห์ได้จากแนวโน้มของอุตสาหกรรมยานยนต์ของประเทศไทยกับการเข้าสู่สังคมเศรษฐกิจอาเซียน

5.2 โอกาสพัฒนาเครื่องรีไซเคิลขนาดเล็กเพื่อจำหน่ายให้กับอุตสาหกรรมที่ใช้อะซีโตน ข้อมูลที่วิเคราะห์เป็นผลจากการส่งออกการอะซีโตนเป็นจำนวนมาก

5.3 โอกาสที่รับเป็นที่ปรึกษาการทำระบบรีไซเคิลในโรงงานผลิตที่ใช้อะซีโตนเป็นวัตถุดิบ วิเคราะห์จากต้นทุนการผลิตของอุตสาหกรรมยานยนต์กับการเข้าสู่สังคมเศรษฐกิจประชาคมอาเซียนด้านการใช้อะซีโตน

กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgement)

ขอขอบคุณ ผศ.ดร.วิโรจน์ ฤทธิ์ทอง และ ผศ.สพรัตน์ วงษ์ศรีชนะ ที่กรุณาให้คำแนะนำปรึกษาการทำงานวิจัยครั้งนี้ด้วยดีเสมอมา ขอขอบคุณกรมพัฒนาธุรกิจการค้า กระทรวงพาณิชย์ ที่ให้ความอนุเคราะห์ออกเอกสารการสืบค้นและหนังสือรับรองเอกสาร,กรมโรงงานอุตสาหกรรม,กรมศุลกากร และหน่วยงานอื่นๆ ที่กรุณาให้บริการข้อมูลค้นคว้าอิเล็กทรอนิกส์ทางเว็บไซต์

เอกสารอ้างอิง(References.)

- [1] แผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติฉบับที่1-11 พ.ศ.2555-2559 สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ
- [2] สุทัศน์ เศรษฐ์บุญสร้าง ประชาคมอาเซียน 2558 พ.ศ. 2555 สำนักงานข้าราชการพลเรือน
- [3] แผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติฉบับที่7 พ.ศ.2535-2539 สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ
- [4] บัญชีประเภทโรงงานอุตสาหกรรม พ.ศ.2535 พระราชบัญญัติโรงงานกองควบคุมโรงงานกระทรวงอุตสาหกรรม

- [5] กิตติ์สิริ แก้วพิพัฒน์ พ.ศ.2551 แนวการจัดการของเสียอุตสาหกรรมในต่างประเทศกับทิศทางการพัฒนาบริหารจัดการในประเทศไทย สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย
- [6] รายสถิตินำเข้า-ส่งออกตามพิกัดอัตราศุลกากร พ.ศ.2550 กรมศุลกากร
- [7] วราพรรณด้านอุตราและคณะพ.ศ.2547,โครงการนำร่องแนวทางการจัดเก็บวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว, สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย
- [8] รตาวรรณ ศิลปโกชากุล พ.ศ.2547 การเตรียมตัวเพื่อรับการประกาศใช้ระเบียบว่าด้วยสารเคมีของสหภาพยุโรป สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย
- [9] รัชดา สิงคาลวณิช : ประกาศกรมโรงงานอุตสาหกรรม พ.ศ.2551 กระทรวงอุตสาหกรรม
- [10] Pius K.W. Lau, Albert Koeing : 2001 การจัดการและการรีไซเคิลกากสารอินทรีย์เหลวจากอุตสาหกรรมในประเทศฮ่องกง มหาวิทยาลัยประเทศฮ่องกง(Cemosphere)
- [11] Hideki Tsukamoto : 2003 ระบบการจัดการกำจัดของเสีย United State Patent Application Publication
- [12] รายงานประจำปีบริษัทไทยรุ่งยูเนี่ยนคาร์ จำกัด (มหาชน) พ.ศ.2552
- [13] รายงานประจำปีสมาคมคมอุตสาหกรรมยานยนต์ไทย พ.ศ.2553
- [14] ร่างพระราชบัญญัติมาตรการการคลังเพื่อสิ่งแวดล้อม พ.ศ.2554 .กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม
- [15] รายงานประจำปีสรุปภาวะเศรษฐกิจอุตสาหกรรมและแนวโน้มพ.ศ.2554 สำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรมกระทรวงอุตสาหกรรม