



วารสารวิศวกรรมศาสตร์ ราชภัฏบรียบุรี

คณะกรรมการจัดทำวารสาร วิศวกรรมศาสตร์ ราชภัฏบรียบุรี

คณะกรรมการที่ปรึกษา

อธิการบดีมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลบรียบุรี
รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการและวิจัย
คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

กองบรรณาธิการ

ศ.(พิเศษ) อัจฉราพร ไชยะสุต	166 ซ.อาคารสงเคราะห์ ถ.พิชัย เขตดุสิต กรุงเทพฯ 10300	
ศ.ดร.ณรงค์ฤทธิ์ สมบัติสมภพ	ศูนย์ดัชนีการอ้างอิงวารสารไทย	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
รศ.ดร.สุธี อักษรกิตติ์	คณะกรรมการbin	มหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเซีย
รศ.ดร.เข้มชัย เหมะจันทร์	คณะวิทยาศาสตร์	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
รศ.ดร.ศิริวรรณ ศรีสรณ์	คณะวิศวกรรมศาสตร์	มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ (องครักษ์)
รศ.ดร.กัณวรัช พลุประาษฎ์	คณะวิศวกรรมศาสตร์	มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ (องครักษ์)
รศ.ดร.ธำรงรัตน์ มุ่งเจริญ	คณะวิศวกรรมศาสตร์	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน
รศ.ณรงค์ บวบทอง	คณะวิศวกรรมศาสตร์	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต
ผศ.ดร.สมเจตน์ พัทธพันธ์	คณะวิศวกรรมศาสตร์	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน
ผศ.ดร.ปฐมทัศน์ จิระเดชะ	คณะวิศวกรรมศาสตร์	มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ (องครักษ์)
ผศ.ดร.อังคณา พันธุ์หล่อ	วิทยาลัยวิศวกรรมศาสตร์	มหาวิทยาลัยรังสิต
ดร.ชัชวาลย์ สุรัสวดี	52/14 ถ.พหลโยธิน 45 แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900	
ผศ.ดร.ศิวกร อ่างทอง	คณะวิศวกรรมศาสตร์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลบรียบุรี
รศ.ดร.กฤษณ์ชนม์ ภูมิภิตติพิชญ์	คณะวิศวกรรมศาสตร์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลบรียบุรี
ผศ.ดร.จักรี ศรีนนท์นัฒร์	คณะวิศวกรรมศาสตร์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลบรียบุรี

หัวหน้ากองบรรณาธิการ

ผศ.ชวลิต แสงสวัสดิ์

เลขานุการ

นางสาวปรกช ลิธิ์สุวัฒน์

ผู้ช่วยเลขานุการ

นายวีรศักดิ์ หมู่เจริญ

นางสาวอมรรัตน์ ยิ้มอยู่



วารสารวิศวกรรมศาสตร์ ราชภัฏธนบุรี

บทบรรณาธิการ

วารสารวิศวกรรมศาสตร์ ราชภัฏธนบุรี หรือ JERMUTT ได้ดำเนินงานมาจนถึงปีที่ 15 และยังคงนำเสนอ
งานวิจัยของอาจารย์และนักวิจัยด้านวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีที่น่าสนใจหลายเรื่อง บทความที่น่าสนใจเหล่านี้
ได้แก่ การพัฒนาเครื่องปลูกเปลือกเผือกกึ่งอัตโนมัติ คาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์กล้วยกรอบแก้ว คุณสมบัติ
เบื้องต้นของเพสต์ มอร์ตาร์ และคอนกรีตผสมสารเพ็งกำลังอัด Properties of Borassus Fruit Fiber

กองบรรณาธิการขอขอบพระคุณคณะกรรมการผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาบทความวิจัยทุกท่าน ที่ได้สละเวลา
อันมีค่าอ่านบทความบทความเพื่อความถูกต้องทางวิชาการ ทั้งนี้หากท่านผู้อ่านมีความประสงค์จะตีพิมพ์บทความ
ขอความกรุณาโปรดจัดเตรียมต้นฉบับให้เป็นไปตามรูปแบบของทางวารสาร และจัดส่งมายังกองบรรณาธิการ หรือ
ติดต่อออนไลน์ทาง www.engineer.rmUTT.ac.th/journal และถ้ายังมีข้อสงสัยประการใดให้ติดต่อมายังสำนักงาน
วารสารวิศวกรรมศาสตร์ ราชภัฏธนบุรี เบอร์โทรศัพท์ 02-549-3493 ท่านจะได้รับความสะดวกจนพอใจ

กองบรรณาธิการ

รายนามผู้ทรงคุณวุฒิผู้พิจารณาบทความ

รศ.ดร.วันชัย ธิวัณนิจ	คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
รศ.ดร.เข็มชัย เหมะจันทร์	คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ผศ.ดร.อุษา แสงวัฒนาโรจน์	คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ผศ.ดร.สิริวรรณ กิตติเนาวรัตน์	คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ผศ.ดร.ชิตชนก มีใจชื้อ	คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง
ผศ.ดร.ทวีชัย สำราญวานิช	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา
ผศ.ดร.อาทิตย์ โสทรโยม	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสยาม
รศ.ดร.จงจินต์ ผลประเสริฐ	คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล
ผศ.ดร.อังคณา พันธุ์หล่อ	วิทยาลัยวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรังสิต
รศ.วิชัย ฉัตรทินวัฒน์	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
ผศ.ดร.ธีระพงษ์ ว่องรัตน์ไพศาล	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
ผศ.ศิวัช อัจฉริยวิริยะ	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
ผศ.ดร.พนมกร ขวาทอง	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รศ.ดร.อิสสริย์ ธรรมชาติเจริญโรจน์	อธิการบดีมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
ผศ.ดร.บรรยงค์ รุ่งเรืองด้วยบุญ	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต
รศ.ดร.เจียรนัย เล็กอุทัย	คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต
รศ.ดร.กัณวรัช พลุปราชญ์	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ (องครักษ์)
รศ.ดร.ศิริวรรณ ศรีสรณ์	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ (องครักษ์)
รศ.ดร.เวกีน ปิยรัตน์	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ (องครักษ์)
ผศ.ดร.นำคุณ ศรีสนิท	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ (องครักษ์)
ผศ.ดร.ปฐมทัศน์ จิระเดชะ	สถาบันยุทธศาสตร์ทางปัญญาและวิจัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ดร.สาธิต พุทธชัยยงค์	อธิการบดีมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
ผศ.ดร.ปทุมทิพย์ ปราบพาล	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
ดร.ประเทืองทิพย์ ปานบำรุง	คณะอุตสาหกรรมสิ่งทอ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
ศ.ดร.ก้องกิติ พุสวัตต์	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน
รศ.ดร.เพ็ญจิตร ศรีนพคุณ	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน
รศ.วัชรินทร์ วิทยกุล	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน
รศ.ดร.ธำรงรัตน์ มุ่งเจริญ	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน
ผศ.ดร.สมเจตน์ พิชร์พันธ์	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน
รศ.สิริ ชัยเสรี	คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน
รศ.ดร.วรารุณ วุฒินิษฐ์	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กำแพงแสน
รศ.ดร.ธัญญา นิยมภา	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กำแพงแสน
รศ.ดร.วิบูลย์ ชื่นแขก	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
รศ.ดร.สมิตร ส่งพิริยะกิจ	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
รศ.สมเกียรติ จงประสิทธิ์พร	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ผศ.ดร.กานต์ พนาศุภมัส	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

รศ.ดร.ปานมนัส ศิริสมบุรณ์
รศ.ดร.ชวลิต เบญจางคประเสริฐ
รศ.ดร.กนก เจนจิระพงศ์เวช
รศ.ดร.อิสระชัย งามหรุ
รศ.ดร.วิจิตร กิณเรศ
ผศ.มิ่ง โลกิจแสงทอง
ดร.ภพ จันท์เจริญสุข
รศ.ดร.วรารุณี ครูส่ง
ศ.ดร.ณรงค์ฤทธิ์ สมบัติสมภาพ
รศ.ดร.มานะ อมรกิจบำรุง
ผศ.ดร.นริส ประทินทอง
ผศ.ดร.ธนิต สวัสดิ์เสวี
ศ.ดร.โกสินทร์ จ่านงไทย
รศ.ดร.วิโรจน์ บุญอำนวยวิทยา
รศ.พรเกษม จงประดิษฐ์
ผศ.ดร.สมโพธิ อยู่ไว
ผศ.ดร.ทวิช พูลเงิน
ผศ.ดร.สุทัศน์ ลีลาทวิวัฒน์
ดร.ศิรินทร ทองแสง
รศ.ดร.รุ่งเรือง กาลศิริศิลป์
รศ.ดร.ชัยยุทธ ช่างสาร
รศ.ดร.ณฐา คุปต์ขีเฐียร
รศ.ดร.กฤษณ์ชนม์ ภูมิภิตติพิชญ์
รศ.ดร.จตุรงค์ ลังกาพินธุ์
รศ.มานพ ตันตระบัณฑิตย์
รศ.ธีระพงษ์ ไชยเฉลิมวงศ์
รศ.สุจิระ ขอจิตต์เมตต์
รศ.ดร.บุญยัง ปลั่งกลาง
ผศ.ดร.ศิวกร อ่างทอง
ผศ.ดร.วันชัย ทรัพย์สิงห์
ผศ.ดร.สมชัย หิรัญวโรดม
ผศ.ดร.ปิติศานต์ กร้ามาตร
ผศ.ดร.สมหมาย ผิวสอาด
ผศ.ดร.สมหมาย ตรีชัยภาพ
ผศ.ดร.อำนวย เรืองวารี
ผศ.ดร.ไพฑูรย์ กิตติสุนทร
ผศ.ดร.สมนึก สังข์หนู
ผศ.ดร.สมประสงค์ ภาษาประเท

[illegible]

ผศ.ดร.อภิชาติ สนธิสมบัติ
ผศ.ดร.สุนัน ปานสาคร
ผศ.ดร.จักรี ศรีนนท์ฉัตร
ผศ.ดร.สุรินทร์ แห่งมงาม
ผศ.ดร.จิรวัดน์ คชสาร
ผศ.ดร.อภินันท์ วัลภา
ผศ.ดร.ไพฑูรย์ รักเหลือ
ผศ.ดร.ศุภวิทย์ ลวณะสกล
ผศ.ดร.พุทธรพล ทองอินทร์คำ
ผศ.ดร.บุญยฤทธิ์ ประสาทแก้ว
ผศ.สุรัตน์ ตรียวนพงศ์
ผศ.ดร.จินดารัตน์ มณีเจริญ
ผศ.ดร.วีระศักดิ์ ละอองจันทร์
ผศ.ดร.มนุศักดิ์ จานทอง
ผศ.ดร.ปรัชญา เปรมปราณีรัชต์
ผศ.ดร.ระพี กาญจนะ
ผศ.ดร.ศุภสิทธิ พงศ์ศิweiseสถิตย์
ดร.มานโซ รุจิภากร
ดร.ฐนียา รัชชีสุริยะชัย
ดร.จตุพล ตั้งปากาคีต
ดร.ฉัตรชัย ศุภพิทักษ์สกุล
ดร.กุลยา สารชีวิน
ดร.บุญชัย ผึ้งไผ่งาม
อาจารย์วีระพงษ์ ครูส่ง
ผศ.ดร.เจริญ เจริญชัย
ดร.นิธิวัฒน์ ชูสกุล
ดร.สนธยา ทองอรุณศรี
ดร.นเรศ อินตะวงศ์

ผศ.ดร.เกรียงศักดิ์ แก้วกุลชัย
รศ.ดร.ยุทธชัย บรรเทึงจิตร
ดร.ประธาน วงศ์ศรีเวช
รศ.จิราภรณ์ เบญจประภาภรณ์

ดร.ชาญยุทธ กอดสุนันท์กุล
รศ.นภพินท์ อนันตรศิริชัย
รศ.ณรงค์ บวบทอง
รศ.ดร.ณรงค์ อยู่ถนอม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ตาก
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
วิทยาเขตภาคพายัพ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีแห่งสุวรรณภูมิ
ศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์แห่งชาติ (สวทช.)
คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์
ในพระบรมราชูปถัมภ์
คณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร
นักวิชาการอิสระ
นักวิชาการอิสระ
นักวิชาการอิสระ

**การเชื่อมเสียดทานแบบกวนรอยต่อชนระหว่างอะลูมิเนียมผสมแผ่นรีด 6063
และอะลูมิเนียมหล่อผสมแมกนีเซียม-ซิลิกอน**
**Friction Stir Welding of Butt Joint between 6063 Aluminum Alloy Rolled Plate
and As-cast Mg-Si Aluminum Alloy Plate**

ศิวกร อ่างทอง¹ สมศักดิ์ แก่นทอง² นฤทธิ์ คชฤทธิ์³ สุรัตน์ ตรีวัฒนพงศ์⁴ และกิตติพงษ์ กิมะพงศ์^{5*}
sivakorn.a@en.rmutt.ac.th¹, somsak.k@en.rmutt.ac.th²,
narit.k@en.rmutt.ac.th³, surat.t@en.rmutt.ac.th⁴, kittipong.k@en.rmutt.ac.th^{5*}

บทคัดย่อ

บทความนี้มีจุดประสงค์ เพื่อประยุกต์การเชื่อมเสียดทานแบบกวนในการเชื่อมรอยต่อชนระหว่างอะลูมิเนียมผสมแผ่นรีดเกรด 6063 และอะลูมิเนียมผสมแมกนีเซียม-ซิลิกอนจากการหล่อ โดยทำการเปลี่ยนแปลงตัวแปรการเชื่อมซึ่งประกอบด้วย ความเร็วรอบในการหมุนและความเร็วเดินแนวเชื่อม ผลการทดลองโดยสรุปพบว่าการเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบและความเร็วเดินแนว ส่งผลต่อความสมบูรณ์ของแนวเชื่อม ความเร็วรอบและความเร็วเดินแนวเชื่อมสูงเกินไปทำให้เกิดจุดบกพร่อง เช่น รู หรือ พื้นที่การรวมตัวไม่สมบูรณ์ของโลหะ ในโลหะเชื่อมและส่งผลทำให้ความแข็งแรงดิ่งลดลง เมื่อการเชื่อมทำให้เกิดโลหะเชื่อมสมบูรณ์ที่หมายถึงมีค่าความแข็งแรงสูง ตำแหน่งการพังทลายของชิ้นทดสอบความแข็งแรงมักเกิดที่แผ่นอะลูมิเนียมหล่อ ค่าความแข็งแรงดิ่งเฉลี่ยของรอยต่อที่สมบูรณ์มีค่าประมาณ 10-15% สูงกว่าความแข็งแรงดิ่งของอะลูมิเนียมแผ่นหล่อ การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคของชิ้นทดสอบจากสถานะการเชื่อมที่เหมาะสมเป็นสิ่งซึ่งแสดงความสมบูรณ์ของการรวมตัวของแผ่นอะลูมิเนียมทั้งสองโดยไม่มีการเกิดจุดบกพร่องใด ๆ แรงกดอัดที่เกิดจากเครื่องมือเชื่อมทำให้เกิดเกรนบีบอัดขนาดเล็กและแถบการรวมตัวขนาดเล็กที่ผิวสัมผัสระหว่างแผ่นโลหะทั้งสอง

คำสำคัญ: การเชื่อมเสียดทานแบบกวน, รอยต่อชน, ความแข็งแรงดิ่ง, อะลูมิเนียมรีด, อะลูมิเนียมหล่อ

Abstract

This paper aims to apply friction stir welding for a butt welded joint between a 6063 aluminum alloy rolled plate and a Mg-Si alloy casted-plate using various parameters such as rotating speeds and travelling speeds. The summarized results are as follows, variation of the rotating and travelling speeds affected to improve the weld quality. Higher rotating speed and higher travelling speed produced the defects such as holes or uncompleted combination of metals in the weld metal that decreased directly the joint tensile strength. When the sound weld metal that implied the high tensile strength was produced, the failure of the tensile test specimen was located at the aluminum casted-plate. The average tensile strength of the sound joint was about 10-15% higher than that of the tensile

¹⁻⁵ อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

strength of the aluminum casted-plate. Microstructure investigation of the optimum welding parameter specimen revealed that the combination of those aluminum alloy plates was completed without any defect in the weld metal. Compressed force occurring by the welding tool produced the small compacted grain in the weld metal and the small combined area band at the interface of the aluminum plate and the weld metal.

Keywords: friction stir welding, butt joint, tensile strength, aluminum rolled-plate, aluminum casted-plate,

1. บทนำ

อะลูมิเนียมเป็นโลหะสำคัญในงานอุตสาหกรรม เนื่องจากอะลูมิเนียมเป็นโลหะที่มีความหนาแน่นต่ำ หรือมีค่าประมาณหนึ่งในสามของความหนาแน่นของเหล็ก แต่ถ้าเปรียบเทียบค่าความแข็งแรงต่อน้ำหนักแล้ว พบว่า อะลูมิเนียมมีค่าสูงกว่าเหล็กกล้า [1] ในการนำเอาอะลูมิเนียมมาใช้งานในอุตสาหกรรม สามารถแบ่งแยกรูปแบบของการทำงานออกเป็น 2 ชนิด คือ อะลูมิเนียมหล่อและอะลูมิเนียมแผ่นรีด อะลูมิเนียมหล่อ คือ อะลูมิเนียมที่ได้จากการหล่อและนำไปใช้งานทันที หรือมีการแปรรูปเพียงเล็กน้อย นิยมนำมาใช้เป็นโครงสร้างรับแรงต่าง ๆ ขณะที่อะลูมิเนียมแผ่นรีด คือ การนำเอาแท่งอินกอตที่ได้จากการหลอมมาทำการรีดขึ้นรูปเป็นรูปร่างต่าง ๆ เช่น แผ่นบาง แท่งเส้น หรือลวดต่าง ๆ จึงเห็นได้ว่าอะลูมิเนียมรีดมักมีการใช้งานที่กว้างขวางกว่า ในบางกรณีอะลูมิเนียมที่เกิดจากการขึ้นรูปแตกต่างกันทั้งสอง อาจมีการนำมาใช้งานร่วมกัน เช่น ในกรณีของโครงสร้างรถยนต์ยุคใหม่ที่พยายามนำเอาอะลูมิเนียมเข้าไปใช้งานเป็นโครงสร้างตัวถังรถยนต์ การนำเอาอะลูมิเนียมที่มีการขึ้นรูปต่างกัน มาต่อเชื่อมเข้าด้วยกันนี้ จำเป็นต้องใช้กระบวนการเชื่อมต่อที่มีประสิทธิภาพในการยึดโลหะทั้งสองเข้าด้วยกัน กระบวนการเชื่อมต่อวัสดุที่มีความนิยมในงานอุตสาหกรรม เช่น การใช้รีเวท การใช้ น็อตสกรู แต่กระบวนการเหล่านี้เป็นการเชื่อมต่อที่ไม่ถาวร อาจเกิดการหลุด หลวม หรือ พังทลายได้ง่าย กระบวนการเชื่อมหลอมละลาย เป็นอีกกระบวนการที่ใช้ในการเชื่อมรอยต่ออะลูมิเนียม ที่ผ่านมามีรายงานแสดงให้เห็นถึงความยากในการเชื่อม เนื่องจากอะลูมิเนียมมีฟิล์มออกไซด์บางที่มีจุดหลอมเหลวสูง และมีสมบัติเป็นฉนวนกันความร้อน ทำให้มีความยากในการทำให้อะลูมิเนียมเกิดการหลอมละลาย และยากต่อการควบคุมความร้อน

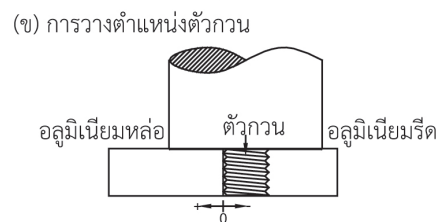
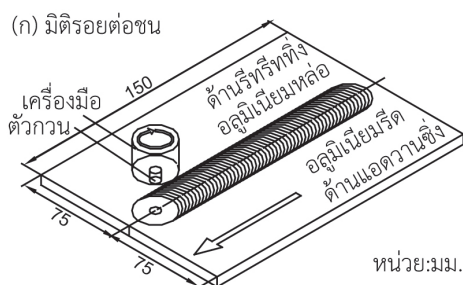
นอกจากนั้นหากพิจารณารอยต่อของวัสดุที่เกิดจากการขึ้นรูปที่แตกต่างกัน จะส่งผลให้การควบคุมความร้อนที่ลำบากยิ่งขึ้น

การเชื่อมเสียดทานแบบกวน เป็นกระบวนการเชื่อมในสถานะของแข็ง ที่มีการใช้งานอย่างแพร่หลายในงานอุตสาหกรรม เพื่อเชื่อมวัสดุที่มีความยากต่อการเชื่อม ด้วยกระบวนการเชื่อมหลอมละลาย [2-3] จากผลของการเชื่อมอะลูมิเนียมส่วนใหญ่ที่แสดงค่าความแข็งแรงของรอยต่ออะลูมิเนียมที่มีประสิทธิภาพสูง [4] จึงคาดว่ากระบวนการนี้จะสามารถประยุกต์ใช้ในการเชื่อมอะลูมิเนียมที่ผ่านการขึ้นรูปที่แตกต่างกันได้ ด้วยเหตุนี้ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการนำการเชื่อมเสียดทานแบบกวนมาประยุกต์เชื่อมรอยต่อระหว่างอะลูมิเนียมแผ่นรีด 6063 และแผ่นอะลูมิเนียมหล่อผสมแมกนีเซียม โดยทำการเปลี่ยนแปลงตัวแปรการเชื่อม เพื่อหาสภาวะการเชื่อมที่เหมาะสมในการประยุกต์ในอนาคตต่อไป

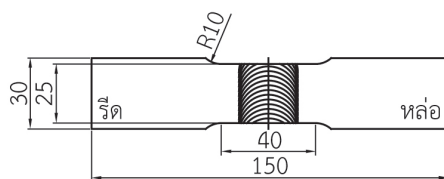
2. วิธีการทดลอง

วัสดุที่ใช้ในการทดลองประกอบด้วยวัสดุสองชนิด คือ อะลูมิเนียมผสมแผ่นรีดเกรด 6063 (Al-4.0% Mg-0.05%Mn-0.01%Cr-0.02%Cu โดยน้ำหนัก) ซึ่งต่อไปจะถูกเรียกว่า “แผ่นรีด” ขนาดกว้าง 75 มม. ยาว 150 มม. และหนา 6.3 มม. และแท่งอินกอต อะลูมิเนียมผสมแมกนีเซียม (Al-5.5%Mg-0.06%Mn-0.02%Cu โดยน้ำหนัก) ซึ่งต่อไปจะถูกเรียกว่า “แผ่นหล่อ” ถูกนำมากัดขึ้นรูปเป็นแผ่นบางขนาดกว้าง 75 มม. ยาว 150 มม. และหนา 6.3 มม. แผ่นอะลูมิเนียมทั้งสองถูกนำมาวางต่อเป็นรอยต่อดังแสดงในรูปที่ 1 (ก) โดยกำหนดให้แผ่นรีดวางอยู่ที่ด้านแอดวานซ์ซิง (Advancing side) หรือด้านที่ทิศทางการหมุนของตัวกวนและทิศทางการเดินแนวเชื่อม

มีทิศทางเดียวกัน และให้แผ่นหล่อวางอยู่ที่ด้านรีทรีทิง (Retreating side) หรือด้านที่ทิศทางการหมุนของตัวกวน และทิศทางการเดินแนวเชื่อมมีทิศทางสวนทางกัน รอยต่อถูกยึดแน่นในอุปกรณ์การจับยึดที่ยึดแน่นอีกครั้งบนเครื่องกัดแนวตั้ง เครื่องมือเชื่อมทำจากเหล็กกล้าเครื่องมือกลึง ขึ้นรูป ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางบ่าเครื่องมือ (Shoulder diameter) 20 มม. ตัวกวนที่ใช้เชื่อมถูกขึ้นรูปเป็นเกลียว ขวามาตรฐาน M6 มีความยาว 6.1 มม. ทิศทางการหมุนตามเข็มนาฬิกา ในขั้นตอนการเชื่อม ตัวกวนจะถูกสอดให้ด้านข้างของตัวกวนสัมผัสกับแผ่นรีด โดยระยะที่ตัวกวนถูกสอดเข้าไปนั้นมีค่าเท่ากับ 0.1 ถึง -0.3 มม. โดยกำหนดให้ระยะ 0.0 มม. คือ ระยะที่ด้านข้างของตัวกวนสัมผัสกับแนวของรอยต่อดังแสดงในรูปที่ 1 (ข) ความเร็วรอบของตัวกวนเท่ากับ 500-2000 rpm ความเร็วเดินแนวเชื่อม 50-200 mm/min ขึ้นงานเชื่อมถูกนำมาทำการทดสอบแรงดึงโดยมีขนาดของชิ้นทดสอบดังแสดงในรูปที่ 2 และทำการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคต่อไป



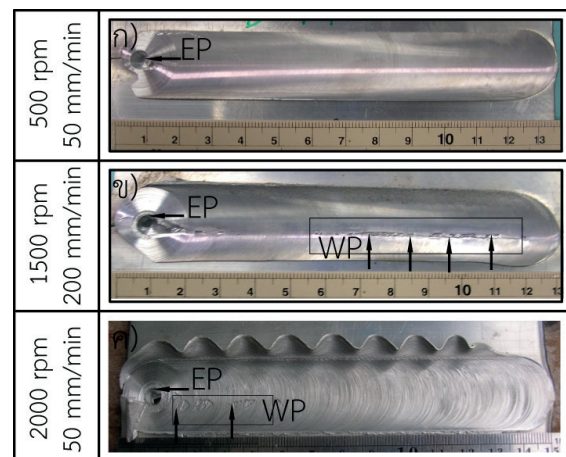
รูปที่ 1 รอยต่อชนอะลูมิเนียมรีดและหล่อ



รูปที่ 2 ชิ้นทดสอบความแข็งแรงดึง (หน่วย: มม.)

3. ผลการทดลองและการวิจารณ์

การเชื่อมเสียดทานแบบกวนสามารถทำการเชื่อมรอยต่อชนระหว่างอะลูมิเนียมแผ่นรีดและแผ่นหล่อเข้าด้วยกันได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยการเชื่อมนี้ทำให้เกิดผลการทดลองต่าง ๆ โดยที่การเปลี่ยนแปลงตัวแปรการเชื่อมประกอบไปด้วยความเร็วรอบการหมุนของตัวกวน และความเร็วเดินแนวเชื่อมทำให้เกิดผิวหน้าแนวเชื่อมที่มีความสมบูรณ์แตกต่างกัน คือ หากใช้ความเร็วรอบและความเร็วเดินแนวเชื่อมที่มีค่าต่ำ เช่น ความเร็วรอบ 500 rpm และ 50 mm/min ดังแสดงในรูปที่ 3 (ก) ผิวหน้าแนวเชื่อมมีความสมบูรณ์ ตลอดแนวเชื่อมจะไม่ปรากฏจุดบกพร่อง รุพูน หรือส่วนที่เป็นร่อง ซึ่งแสดงให้เห็นว่าโลหะรอบรอยต่อนั้นไม่สามารถประสานติดกันได้ อย่างไรก็ตามในแนวเชื่อมการเสียดทานแบบกวนที่สมบูรณ์ยังคงมีจุดบกพร่องเป็นรูกลมที่ด้านปลายของชิ้นงานดังแสดงด้วยตัวอักษร EP รูกลมนี้เกิดจากการถอนตัวกวนออกจากแนวเชื่อมและไม่สามารถกำจัดออกได้ด้วยการเชื่อมเสียดทานแบบกวนแต่สามารถกำจัดออกได้ด้วยการเชื่อมอุดรูวิธีการอื่น ๆ เช่น การเชื่อมหลอมละลาย เป็นต้น [5]



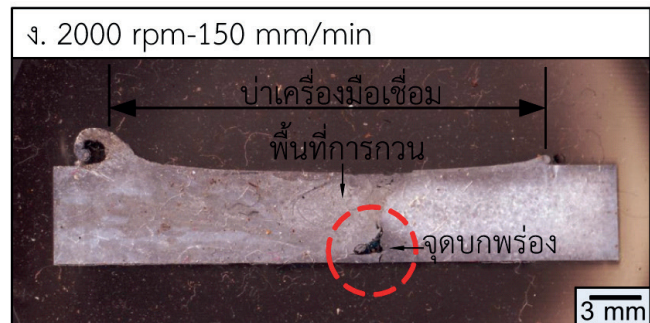
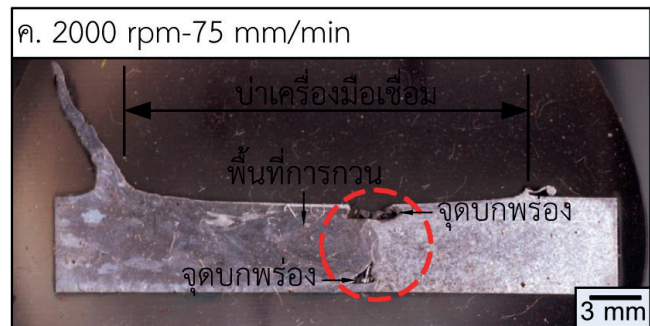
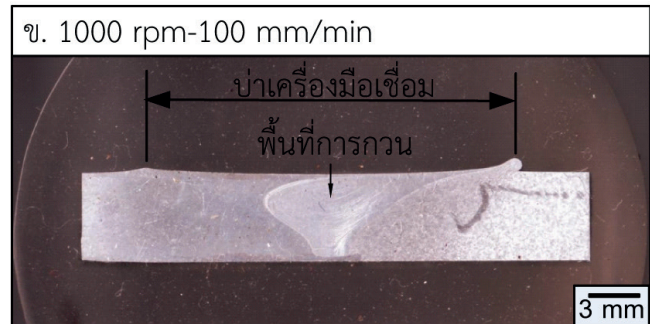
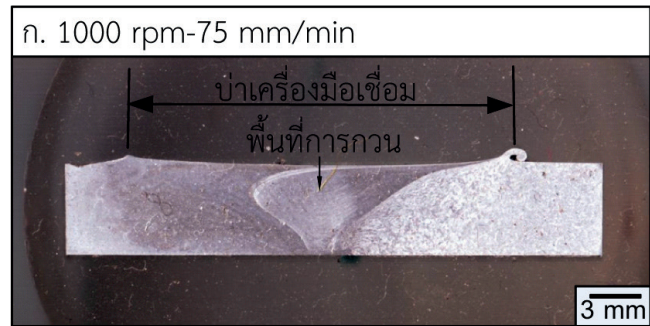
รูปที่ 3. ผิวหน้าแนวเชื่อมที่สภาวะการเชื่อมบางตัว

ตารางที่ 1. ความสมบูรณ์ของแนวเชื่อม

ความเร็วรอบ (rpm)	ความเร็วเดินแนว (mm/min)					
	50	75	100	125	150	200
500	O	O	O	O	O	O
1000	O	O	O	O	O	O
1500	O	O	O	O	O	X
2000	X	X	X	X	X	X

O=สมบูรณ์ X=ไม่สมบูรณ์

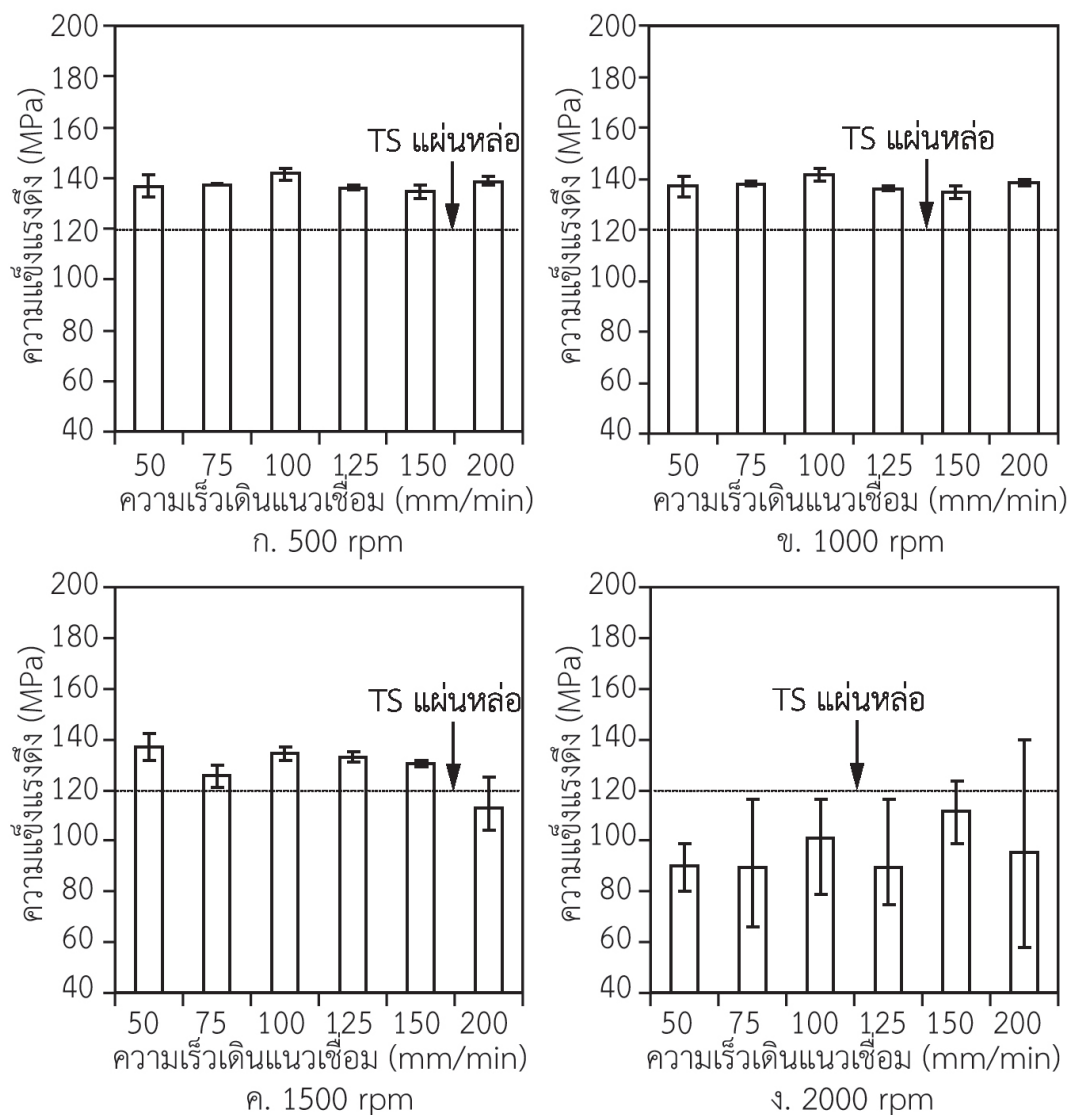
รูปแบบจุดบกพร่องที่พบ คือ พบจุดบกพร่องที่ผิวหน้าแนวเชื่อมที่เกิดจากความไม่สมบูรณ์ของการเดินแนวเชื่อม บ่าเครื่องมือด้านหลังไม่สามารถเกลี่ย กด และอัดอะลูมิเนียมหลอมเหลวเป็นแนวเชื่อมที่สมบูรณ์ ได้ดังแสดงด้วยอักษร WP ในรูปที่ 3 (ข) และ (ค) จุดบกพร่องลักษณะนี้ไม่สามารถนำไปใช้งานได้ เนื่องจากเมื่อนำไปทำการรับแรงหรือทดสอบแรงดึงแล้วจะทำให้เกิดค่าความต้านทานแรงดึงต่ำและทำให้เกิดการพังทลายได้ง่าย [6] ความเร็วรอบและความเร็วเดินแนวเชื่อมที่ตรวจพบจุดบกพร่องลักษณะนี้ คือ ความเร็วรอบ 1500 rpm-200 mm/min และความเร็วรอบ 2000 rpm ทุกความเร็วรอบ เมื่อความเร็วของการเชื่อมมีค่าสูงขึ้น คือ 2000 rpm ทำให้เกิดจุดบกพร่องอีกชนิดหนึ่งขึ้นมา คือ จุดบกพร่องที่มีลักษณะเป็นครีบขนาดใหญ่ที่เกิดขึ้นที่ด้านรีทริทึง หรือด้านบนฝั่งอะลูมิเนียมแผ่นหล่อ ดังแสดงในรูปที่ 3 (ค) จุด บกพร่องนี้ อาจไม่ส่งผลต่อความแข็งแรงดึงของรอยต่อโดยตรง แต่หากนำรอยต่อชนิดนี้ไปใช้งานอาจต้องเสียเวลาในการตกแต่งรอยต่อให้สวยงามได้



รูปที่ 4 โครงสร้างมหภาคของรอยเชื่อมที่สภาวะเชื่อมต่าง ๆ

รูปที่ 4 แสดงโครงสร้างมหภาคของรอยต่อที่เชื่อมด้วยสภาวะการเชื่อมบางตัวที่บ่งบอกให้ทราบว่า มีจุดบกพร่องเกิดขึ้นในโลหะเชื่อม เนื่องจากการเลือกสภาวะการเชื่อมที่ไม่เหมาะสม ดังเช่นที่กล่าวมาแล้วในรูปที่ 3 ที่ความเร็วรอบและความเร็วเดินแนวเชื่อมที่มีค่าต่ำไม่พบจุดบกพร่องใด ๆ ที่บริเวณโลหะเชื่อมดังแสดงในรูปที่ 4 (ก) และ (ข) สำหรับความเร็วรอบ 1000 rpm และความเร็วเดินแนวเชื่อม 75-100 mm/min ตามลำดับ อย่างไรก็ตามเมื่อทำการตรวจสอบโครงสร้างมหภาคของชิ้นทดสอบที่ใช้ความเร็วรอบในการเชื่อมสูง คือ 2000 rpm พบว่าในโลหะเชื่อมนั้นเกิดจุดบกพร่องที่บริเวณด้านบนติดผิวหน้าดังแสดงในรูปที่ 4 (ค) และ (ง) ซึ่งเป็นจุดบกพร่องรูปแบบเดียวกันดังแสดงบนผิวหน้าในรูปที่ 3 (ข) และ (ค) ขณะเดียวกันที่บริเวณมุมด้านล่าง

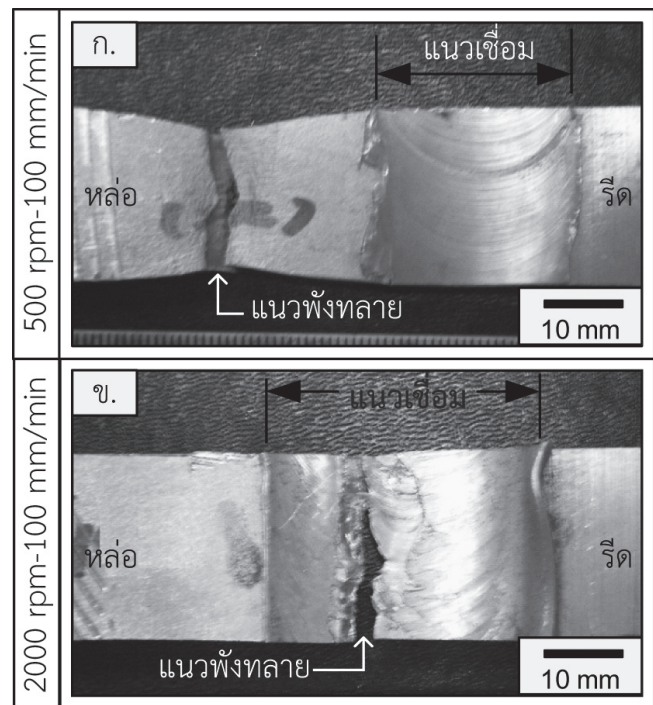
ด้านที่ติดกับแผ่นหล่อนั้นเกิดจุดบกพร่องเป็นช่องว่างขึ้น ดังแสดงในพื้นที่วงกลมของรูปที่ 4 (ค) และ (ง) การเกิดลักษณะนี้คาดว่าความเอียงของตัวกวนที่ใช้ในการเชื่อมรอยต่อนี้ ไม่สัมพันธ์กับค่าความเร็วรอบที่กำหนด หากมีการปรับเปลี่ยน เพิ่มมุมเอียงคาดว่าจะทำให้เกิดการกำจัดจุดบกพร่องนี้ลงไปได้ [5] จากการตรวจสอบผิวหน้าแนวเชื่อมและโครงสร้างมหภาคของรอยต่อสามารถสรุปผลการทดลองเบื้องต้นได้ดังแสดงในตารางที่ 1 ว่าการเชื่อมเสียดทานแบบกวนนี้สามารถทำการเชื่อมรอยต่อให้ประสานกันได้ โดยรอยต่อมีความสมบูรณ์ เมื่อทำการเชื่อมด้วยความเร็วรอบ 500-1500 rpm (แทนด้วยเครื่องหมายวงกลม) ขณะที่ความเร็วรอบที่สูงไม่สามารถทำให้เกิดแนวเชื่อมที่สมบูรณ์ได้



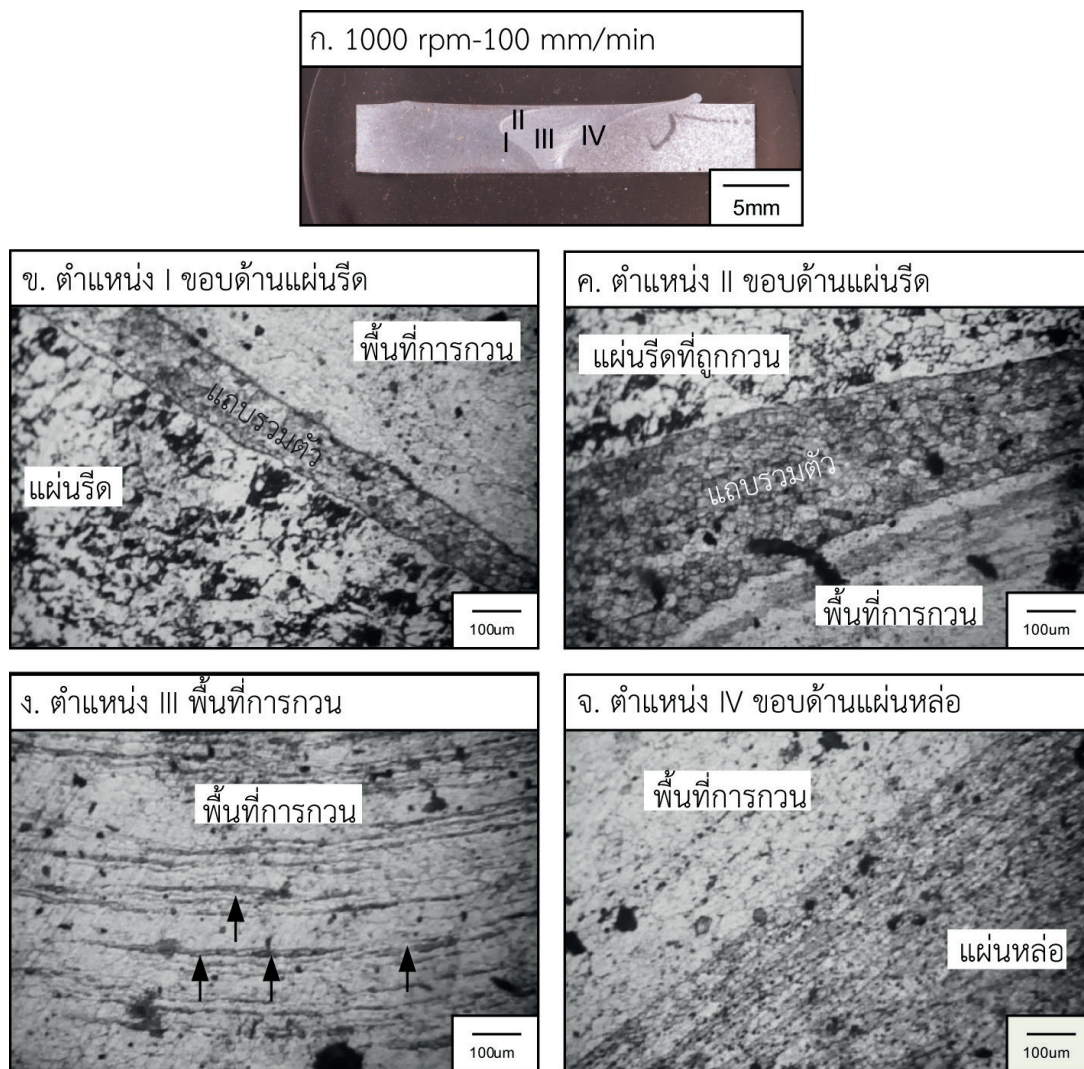
รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงดึงของแนวเชื่อม ความเร็วรอบ และความเร็วเดิน 50-200 mm/min

รูปที่ 5 แสดงผลการทดลองความแข็งแรงดึงของรอยต่อที่ค่าความเร็วรอบ และความเร็วเดิน 50-200 mm/min ผลการทดลองพบว่า ค่าความแข็งแรงของรอยต่อที่ได้จากการเชื่อมด้วยความเร็วรอบ 500-1500 rpm ที่ค่าความเร็วเดินแนวเชื่อม 50-200 mm/min นั้น มีค่าความแข็งแรงที่สูงกว่าโลหะหลักที่ใช้เชื่อม ขึ้นทดสอบเกิดการพังทลายที่บริเวณด้านแผ่นรีดที่ระยะห่างออกมาจากขอบแนวเชื่อมประมาณ 10 มม. ดังแสดงในรูปที่ 6 (ก) และเนื่องจากว่าขึ้นทดสอบเกิดการพังทลายที่แผ่นหล่อทั้งหมด ดังนั้นค่าต่ำสุดและสูงสุดของการทดลองแต่ละค่าความเร็วเดินแนวเชื่อมดังแสดงในรูปที่ 5 (ก)-(ค) สำหรับรอยต่อที่เชื่อมด้วยความเร็วรอบ 500-1500 rpm ตามลำดับนั้น จึงมีความแตกต่างกันประมาณ 2-3 MPa เท่านั้น ขณะเดียวกัน หากพิจารณาชิ้นงานที่เชื่อมด้วยความเร็วรอบ 2000 rpm นั้น รอยต่อที่ทำการเชื่อมนั้นมีค่าความแข็งแรงต่ำเนื่องจากการเกิดจุดบกพร่องในรอยต่อดังได้กล่าวไว้ในรูปที่ 3 และ 4 ขึ้นทดสอบแรงดึงทุก ๆ ค่าความเร็วเดินแนวเชื่อมที่เชื่อมด้วยความเร็วรอบ 2000 rpm นี้ ชิ้นงานเกิดการพังทลายบริเวณกึ่งกลางขึ้นทดสอบดังแสดงในรูปที่ 6 (ข) และเนื่องจากความไม่สมบูรณ์ของแนวเชื่อมไม่สม่ำเสมอตลอดชิ้นงาน ทำให้ค่าความแข็งแรงสูงสุดและต่ำสุดของรอยต่อ มีความแตกต่างกันสูงดังแสดงให้เห็นด้วยค่าความผิดพลาดในรูปที่ 5 (ง) ค่าความแข็งแรงที่ได้ของขึ้นทดสอบ

ที่เชื่อมด้วยความเร็วรอบ 2000 rpm นี้มีค่าที่ต่ำกว่าโลหะหลักที่ใช้ในการเชื่อมประมาณ 10-20% อย่างไรก็ตามในการทดลองนี้ไม่สามารถสรุปได้ว่า ความแข็งแรงของโลหะเชื่อมมีค่าสูงกว่าโลหะหลักด้านหล่อ หรือรีดเท่ากับเท่าใด จนกว่าจะมีการทดสอบสมบัติความแข็งแรงดึงของโลหะเชื่อมซึ่งเป็นตัวแปรที่ควรมีการศึกษาต่อไป ในที่นี้สามารถสรุปได้ว่าการเชื่อมเสียตทานแบบกวนสามารถเชื่อมอะลูมิเนียมผสมหล่อและแผ่นรีดเข้าด้วยกันได้และให้ความแข็งแรงสูงกว่าโลหะหลักที่ใช้เชื่อม



รูปที่ 6 ตำแหน่งการพังทลายของขึ้นทดสอบแรงดึง



รูปที่ 7 โครงสร้างจุลภาคของแนวเชื่อมที่เชื่อมด้วยความเร็วรอบ 1000 rpm และความเร็วเดินแนวเชื่อม 100 mm/min

รูปที่ 7 (ก) แสดงโครงสร้างมหภาคของรอยต่อที่เชื่อมด้วยความเร็วรอบ 1000 rpm และความเร็วเดินแนวเชื่อม 100 mm/min ที่แสดงโลหะเชื่อมมีความสมบูรณ์ ไม่เกิดจุดบกพร่องใด ๆ ทำการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคที่ตำแหน่ง I ถึง IV ซึ่งเป็นตำแหน่งที่ทำให้เกิดการประสานกันระหว่างโลหะทั้งสองชนิด บริเวณขอบของแผ่นรีดและพื้นที่การกวนดังแสดงในรูปที่ 7 (ข) พบการเกิดการอัดตัวของอะลูมิเนียมมีขนาดเกรนเล็กลงเหมือนดังการเชื่อมการเสียดทานแบบกวนในอะลูมิเนียมผสม [3-5] ทั่วไป บริเวณกึ่งกลางระหว่างแผ่นรีดและพื้นที่กวนเกิดการรวมตัวกันระหว่างอะลูมิเนียมแผ่นรีดและหล่อเกิดขึ้น และมีความแข็งแรงสูงกว่าอะลูมิเนียมแผ่นรีดและหล่อเพียงเล็กน้อย (ความแข็งแรงการรวมตัวประมาณ 85HV ความแข็งแรงแผ่นหล่อ 80HV และความแข็งแรงแผ่นรีด 77HV) แถบการรวมตัวนี้เริ่มเกิด

ที่ด้านล่างของรอยต่อ และขยายขนาดแถบมีความหนามากขึ้น เมื่อมีระยะใกล้ผิวด้านบนของแนวเชื่อมดังแสดงในรูปที่ 7 (ค)

การเกิดลักษณะนี้มีสาเหตุจากที่ด้านบนของแนวเชื่อมนั้นมีความร้อน และแรงเฉือนที่เกิดจากบ่าเครื่องมือเชื่อมสูง ทำให้โลหะทั้งสองมีโอกาสในการรวมตัวกันเพิ่มมากขึ้น ที่บริเวณกึ่งกลางของแนวเชื่อมพบวงแหวนหัวหอม (Onion ring) ก่อตัวขึ้นภายในแนวเชื่อม มีลักษณะไม่กลมมน แต่มีรูปร่างคล้ายวงแหวนหัวหอมวางซ้อนบนกรวยดังแสดงในรูปที่ 7 (ง) อย่างไรก็ตามเมื่อทำการตรวจสอบแล้ว พบว่าแถบของวงแหวนหัวหอมซึ่งแสดงการรวมตัวกันเป็นอย่างดีของโลหะเชื่อมการเสียดทานแบบกวนนั้นก่อตัวขึ้น ดังแสดงด้วยเส้นลูกศรในรูปที่ 7 (ง) ขณะเดียวกันเมื่อพิจารณารอยต่อด้านแผ่นหล่อ พบว่า

แถบการรวมตัวกันของโลหะทั้งสองไม่เกิดขึ้น อินเทอร์เฟซ (Interface) ของรอยต่อสามารถระบุได้ชัดเจนถึงพื้นที่การกวนและแผ่นหล่อ และเมื่อพิจารณาอินเทอร์เฟซของรอยต่อพบว่าโลหะทั้งสองถูกอัดและบีบเข้ากัน อย่างรุนแรงมีขนาดเล็กดังแสดงในรูปที่ 7 (ง)

4. สรุป

งานวิจัยนี้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบและความเร็วเดินแนวในการเชื่อมอะลูมิเนียมแผ่นหล่อและแผ่นรีด ผลการทดลองโดยสรุปมีดังนี้

4.1 การเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบและความเร็วเดินแนวส่งผลต่อความสมบูรณ์ของแนวเชื่อม ความเร็วรอบสูงเกินไป เช่น 2000 rpm ทำให้ได้ชิ้นงานที่ไม่มีความสมบูรณ์

4.2 ความแข็งแรงของรอยต่อที่สมบูรณ์ มีค่าความแข็งแรงสูง ตำแหน่งการพังทลายของชิ้นทดสอบแรงดึงเกิดขึ้นที่อะลูมิเนียมแผ่นหล่อ ค่าความแข็งแรงมีค่ามากกว่าอะลูมิเนียมแผ่นหล่อประมาณ 10-15%

4.3 โครงสร้างจุลภาคแสดงการรวมตัวกันของอะลูมิเนียมทั้งสอง เป็นแนวยาวจากด้านล่างสู่บนด้านแผ่นรีด แต่ด้านแผ่นหล่ออินเทอร์เฟซประสานกันโดยการเกิดการอัดแน่นของโลหะทั้งสอง

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

เอกสารอ้างอิง

- [1] ASM International. 2000. **ASM Handbook Volume 2 Properties and Selection: Nonferrous Alloy and Special-Purpose Materials**. USA: ASM International.
- [2] Thomas, W.M., Nicholas, E.D., Needham, J.C. Murch, M.G., Templesmith, P. and Dawes, C.J. 1991. **Friction Stir Welding**. UK: G.B. Patent Application 1991 No.9125978.8.
- [3] Thomas, W.M., Nicholas. 1997. "FSW. for the Transport. Indus." **Mater. & Des.** 18: 269-273.
- [4] Lee, W.B., Yeon, Y.M. and Jung, S.B. 2003. "The Improvement of Mechanical Properties of Friction-stir-welded A356 Al Alloy." **Mater. Sci. and Eng. A** 355: 154-159.
- [5] Mishra, R.S. and Ma, Z.Y. 2005. "Friction Stir Welding and Processing." **Materials Science and Engineering R**. 50: 1-78.
- [6] กิตติพงษ์ กิมะพงศ์. "อิทธิพลความเร็วเดินแนวของการเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวนต่อความแข็งแรงของรอยต่อชนอะลูมิเนียม 6063-T1" **วิศวกรรมสารฉบับวิจัยและพัฒนา** 19, 3: 47-51.

การคืนสภาพน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานจากน้ำมันเครื่องใช้แล้วโดยการสกัดด้วยตัวทำละลายผสม

Recovery of Lube Base Oil from Used Lubricant Oil by Mixed Solvent Extraction

ณัฐชา เพ็ชรยิ้ม¹

nattacha.p@en.rmutt.ac.th

บทคัดย่อ

เทคนิคการสกัดด้วยตัวทำละลายเป็นกระบวนการที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดและเป็นหนึ่งในวิธีที่มีค่าใช้จ่ายน้อยในการคืนสภาพน้ำมันพื้นฐาน (Base oil) จากน้ำมันเครื่องใช้แล้ว งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาการคืนสภาพน้ำมันพื้นฐานจากน้ำมันเครื่องใช้แล้ว โดยวิธีการสกัดด้วยตัวทำละลายผสม ตัวทำละลาย 3 ชนิดที่ศึกษา ได้แก่ 2-โพรพานอล, 1-บิวทานอล, และ เมทิลเอทิลคีโตน พบว่าที่สัดส่วนผสม 40:30:30 ร้อยละโดยน้ำหนัก สามารถลดปริมาณโลหะหนักได้มากที่สุดโดยเหลือเหล็ก 38.96 มก./กก. แคลเซียม 1565.63 มก./กก. และไม่มีอะลูมิเนียม น้ำมันที่บำบัดแล้วจะนำไปฟอกสีโดยการกลั่นสุญญากาศที่ช่วงอุณหภูมิ 320-420 องศาเซลเซียส ที่ความดัน 40 มิลลิบาร์ ผลได้ของน้ำมันพื้นฐานที่กลั่นได้ 87.34% และพบว่าไม่มีเหล็กกับอะลูมิเนียม แต่ยังคงมีแคลเซียมเหลืออยู่ 6.778 มก./กก. น้ำมันหล่อลื่นที่ได้มีคุณสมบัติตามมาตรฐานน้ำมันหล่อลื่นที่กรมธุรกิจพลังงานประกาศไว้

คำสำคัญ: การสกัดด้วยตัวทำละลาย, น้ำมันเครื่องใช้แล้ว, น้ำมันพื้นฐาน, โลหะหนัก

Abstract

Solvent extraction technique is one of the most efficiently extraction processes and the cheapest technique for recovering base oil from used lubricating oil. This research was to study recovery of base oil from used lubricant oil by mixed solvent extraction method. The three solvents were studied: 2-propanol, 1-butanol, and methyl-ethyl-ketone. The result showed that the mixture ratio by weight of solvents at 40:30:30 give the best performance of reducing the highest amount of heavy metals: Iron was reduced to 38.96 mg/kg, calcium 1565.63mg/kg and none aluminium. The color of the treated oil was also improved color by using vacuum distillation process at temperature of 320 to 420 °C with 40 mbar pressure. The distilled base oil yield was 87.34 %wt and there was no iron and aluminium found only 6.778 mg/kg of calcium remains in it. The properties of base oil meet the requirements of lubricant oil by the department of energy standard.

Keywords: solvent extraction, used lubricating oil, base oil, heavy metal.

¹ อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมเคมีและวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

1. บทนำ

ปัจจุบันอัตราการเพิ่มขึ้นของจำนวนรถยนต์ ส่งผลให้น้ำมันเครื่องใช้แล้วที่ถูกถ่ายออกมาจากรถยนต์มีปริมาณเพิ่มสูงขึ้นตามไปด้วย หากแต่ไม่มีการจัดเก็บและกำจัดอย่างถูกวิธีหรือนำน้ำมันเครื่องใช้แล้วกลับมาใช้ซ้ำอีกย่อมส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม จากการสำรวจของกรมควบคุมมลพิษพบว่า มีปริมาณน้ำมันเครื่องใช้แล้วเพียงร้อยละ 20-40 ที่มีภาคเอกชนจัดเก็บ เพื่อนำมาทำการปรับปรุงคุณภาพ แล้วจำหน่ายเป็นน้ำมันเตาเกรดซีสำหรับใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม ส่วนหน่วยงานขององค์กรท้องถิ่นเมื่อมีการจัดเก็บน้ำมันเครื่องใช้แล้วมา ก็จะใช้วิธีการเผาหรือฝังกลบ [1] กระบวนการนำน้ำมันเครื่องใช้แล้วกลับมาใช้ประโยชน์ สามารถแบ่งเป็น 4 วิธี ได้แก่ 1) การใช้กรดซัลฟิวริกเข้มข้นร่วมกับการใช้ดินขาว 2) การกลั่นสุญญากาศ 3) การสกัดด้วยตัวทำละลาย และ 4) การไพโรไลซิส โดยใช้อุณหภูมิสูงเพื่อทำลายพันธะภายในและระหว่างโมเลกุลของสารไฮโดรคาร์บอน ซึ่งแต่ละวิธีให้ผลที่ต่างกันโดยวิธีที่ 1 ถึงวิธีที่ 3 จะได้ผลิตภัณฑ์ เป็นน้ำมันพื้นฐาน (base oil) ส่วนวิธีที่ 4 จะได้น้ำมันเชื้อเพลิง หากเปรียบเทียบกันระหว่างวิธีการคืนสภาพน้ำมันพื้นฐานแล้วนั้น วิธีการใช้ตัวทำละลายจะเป็นวิธีที่เกิดมีประสิทธิภาพสูง เนื่องจากลดปริมาณโลหะหนักได้ดี ค่าใช้จ่ายขึ้นกับราคาของตัวทำละลายที่เลือกใช้ อีกทั้งยังสามารถนำกลับมาใช้ซ้ำได้อีก เทคนิคการคืนสภาพน้ำมันเครื่องด้วยการใช้ตัวทำละลายสกัดเป็นวิธีที่มีค่าใช้จ่ายน้อย ให้ประสิทธิภาพดี โดยปัจจัยที่สำคัญในการสกัด ได้แก่ ชนิดตัวทำละลาย อัตราส่วนระหว่างตัวทำละลายต่อน้ำมันเครื่อง อุณหภูมิและความดันในการสกัด Elbasher N.O. และคณะ [2] น้ำมันเครื่องใช้แล้วมีโลหะหนักหลายชนิดปนเปื้อน เช่น เหล็ก 76 มล.ก./กก. อลูมิเนียม 8 มล.ก./กก. และแคลเซียม 1,357 มล.ก./กก. เป็นต้น และเมื่อทำการเปรียบเทียบการคืนสภาพน้ำมันพื้นฐานวิธีเก่าที่ใช้กรดซัลฟิวริกเข้มข้นและดินขาว พบว่าวิธีสกัดด้วยตัวทำละลายอินทรีย์สามารถลดโลหะหนักได้มากกว่าวิธีการใช้กรดร่วมกับดินขาว Hamad A. และคณะ [3] เมื่อเติมตัวทำละลายลงในน้ำมันเครื่องใช้แล้ว ตัวทำละลายจะละลายในน้ำมันและทำให้สิ่งปนเปื้อน เช่น โลหะหนัก เถ้า และอื่น ๆ ตกตะกอนลงมา dos Reis และ Jeronimo [4] การใช้ตัวทำละลายที่ใช้สกัดน้ำมันเครื่อง

ใช้แล้วที่อัตราส่วน 0.5:1, 0.8:1 และ 1:1 โดยน้ำหนักที่อุณหภูมิห้อง พบว่า ที่อัตราส่วน 1:1 ให้ผลการลดปริมาณโลหะหนักสูงที่สุดโดยมีความสามารถในการสกัดด้วยตัวทำละลายเรียงลำดับจากมากไปน้อย ได้แก่ 1-บิวทานอล เมทิลเอทิลคีโตน 2-โพรพานอล สามารถลดปริมาณเหล็ก แมงกานีส และสังกะสี ได้มากตามลำดับ และเมื่อนำไปกลั่นสุญญากาศที่อุณหภูมิ 380-420 องศาเซลเซียส จะได้ น้ำมันพื้นฐานที่มีคุณสมบัติตามประกาศกรมธุรกิจพลังงานเรื่องน้ำมันหล่อลื่น [5]

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาการคืนสภาพน้ำมันพื้นฐานจากน้ำมันเครื่องใช้แล้วโดยใช้วิธีการสกัดด้วยตัวทำละลายอินทรีย์ผสม ซึ่งสุกัญญา แก้วผาสุขและคณะ [5] พบว่า 1-บิวทานอลสามารถลดปริมาณโลหะหนักได้ดี แต่เนื่องจากราคาต่อลิตรค่อนข้างสูง จึงส่งผลให้ค่าใช้จ่ายในการคืนสภาพ น้ำมันพื้นฐานมากไปด้วย ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาหาสัดส่วนผสมของตัวทำละลายอินทรีย์ 3 ชนิด คือ 1-บิวทานอล, เมทิลเอทิลคีโตน และ 2-โพรพานอล ที่สามารถลดปริมาณโลหะหนัก ได้แก่ เหล็ก อลูมิเนียม และแคลเซียม เพื่อลดต้นทุนในการสกัดโลหะหนักออกจากน้ำมันเครื่องใช้แล้ว และศึกษาการนำตัวทำละลายผสมมาใช้ซ้ำ

2. วิธีการทดลอง

2.1 วัตถุดิบและสารเคมี

น้ำมันเครื่องที่ใช้แล้วในงานวิจัยนี้เป็นชนิดที่ไม่ทราบแหล่งที่มา เกิดจากน้ำมันเครื่องหลายชนิดผสมกัน เมื่อนำมาวัดสมบัติต่าง ๆ ได้ผลดังตารางที่ 1 ส่วนตัวทำละลายที่ใช้ในการสกัดมีทั้งหมด 3 ชนิด ได้แก่ 2-โพรพานอล ยี่ห้อ EMSURE, 1-บิวทานอล ยี่ห้อ UNIVAR และเมทิลเอทิลคีโตน ยี่ห้อ UNILAB

2.2 การคืนสภาพน้ำมันพื้นฐานด้วยตัวทำละลายผสม

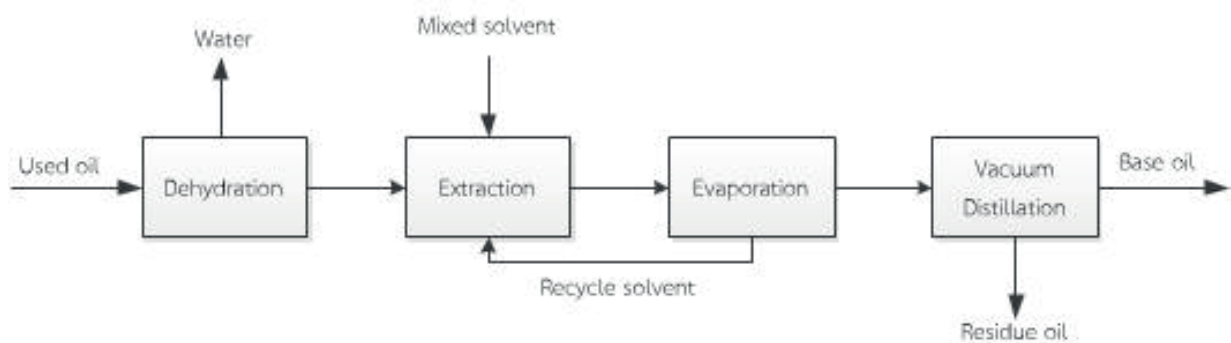
มี 4 ขั้นตอน (ดังรูปที่ 1) ประกอบด้วย การจำกัดน้ำ (Dehydration) การสกัด (Extraction) การระเหยตัวทำละลาย (Evaporation) และการกลั่นสุญญากาศ (Vacuum Distillation) ในขั้นตอนแรกนำน้ำมันเครื่องใช้แล้วมากำจัดน้ำ โดยการให้ความร้อนที่ 150 องศาเซลเซียส กวนที่ความเร็ว 200 รอบต่อนาที นาน 1 ชั่วโมง ทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง ซึ่งน้ำมันเครื่อง

จำนวน 165 กรัม ทำการผสมตัวทำละลาย 3 ชนิดคือ 2-โพรพานอล, 1-บิวทานอล และเมทิลเอทิลคีโตน ที่สัดส่วน 30:40:30, 25:40:35, 20:50:30, 40:30:30 และ 45:20:35 โดยน้ำหนัก จากนั้นนำมาสกัดกับน้ำมันเครื่อง ใช้แล้วในอัตราส่วน 1:1 ควบคุมอุณหภูมิที่ 30 องศาเซลเซียส กวนที่ความเร็ว 500 รอบต่อนาที นาน 24 ชั่วโมง แล้ว ตั้งทิ้งไว้ 7 วันเพื่อให้โลหะหนักตกตะกอน ทำการระเหย ตัวทำละลายออกจากน้ำมันด้วยระบบสุญญากาศ ตัวทำละลายจะระเหยและควบแน่นเป็นของเหลวแยกไว้ บันทึกร้าน้ำหนักตัวทำละลายที่ระเหยได้เทียบกับน้ำมันเริ่มต้น นำน้ำมันที่ผ่านการสกัดไปกรองสุญญากาศเพื่อแยก น้ำมันส่วนที่มีโลหะหนักตกตะกอนออก นำน้ำมันที่บำบัด แล้วไปวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรสโกปี (Atomic Absorption Spectrophotometer, AAS) ยี่ห้อ Varian รุ่น Spectra AA 240 FS แล้วทำการเลือกสัดส่วนตัวทำละลาย

ที่สามารถลดปริมาณโลหะหนักได้มากที่สุดมากที่สุดภายใต้สภาวะสุญญากาศ เพื่อแยกน้ำมันพื้นฐาน (Base oil) ออกมาที่ความดัน 40 มิลลิบาร์ ช่วงอุณหภูมิ 320-420 องศาเซลเซียส ในขั้นตอนนี้สามารถลดปริมาณโลหะหนัก และปรับสีของน้ำมันให้ดีขึ้น

ตารางที่ 1 คุณสมบัติของน้ำมันเครื่องใช้แล้วก่อนบำบัด

คุณสมบัติ	ค่าที่ได้
จุดวาบไฟ (°C)	200
ความถ่วงจำเพาะ	0.899
ความหนืด (cSt.) ที่อุณหภูมิ 100 °C	9.12
ค่าสี	>8 .00
ปริมาณเหล็ก (มก./กก.)	57.05
ปริมาณอะลูมิเนียม (มก./กก.)	2.90
ปริมาณแคลเซียม (มก./กก.)	2350.96



รูปที่ 1 กระบวนการบำบัดน้ำมันเครื่องใช้แล้วโดยการสกัด

ตารางที่ 2 มาตรฐานการทดสอบสมบัติของน้ำมัน

สมบัติ	มาตรฐาน	อุปกรณ์
จุดวาบไฟ °C	ASTM D93	ยี่ห้อ Pensky Martens รุ่น HFP 380
ความหนืด @40°C	ASTM D445	ยี่ห้อ Tomson รุ่น Tv 2500
ค่าสี	ASTM D1500-96	ยี่ห้อ Lovibond รุ่น petroleum AF650
ความถ่วงจำเพาะ	ASTM D1298	ไฮโดรมิเตอร์ชนิดแก้ว

2.3 การทดสอบสมบัติของน้ำมัน

น้ำมันเครื่องใช้แล้วและน้ำมันเครื่องที่ผ่านการสกัด และกลั่นสุญญากาศจนได้เป็นน้ำมันพื้นฐาน จะนำมาทดสอบสมบัติต่าง ๆ ได้แก่ จุดวาบไฟ ความหนืด ค่าสีและ

ความถ่วงจำเพาะ ตามมาตรฐาน ASTM (ดังตารางที่ 2) เพื่อเทียบกับมาตรฐานของน้ำมันหล่อลื่นที่กรมธุรกิจพลังงาน กระทรวงพลังงานได้ประกาศไว้

3. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

3.1 สัดส่วนผสมของตัวทำละลาย

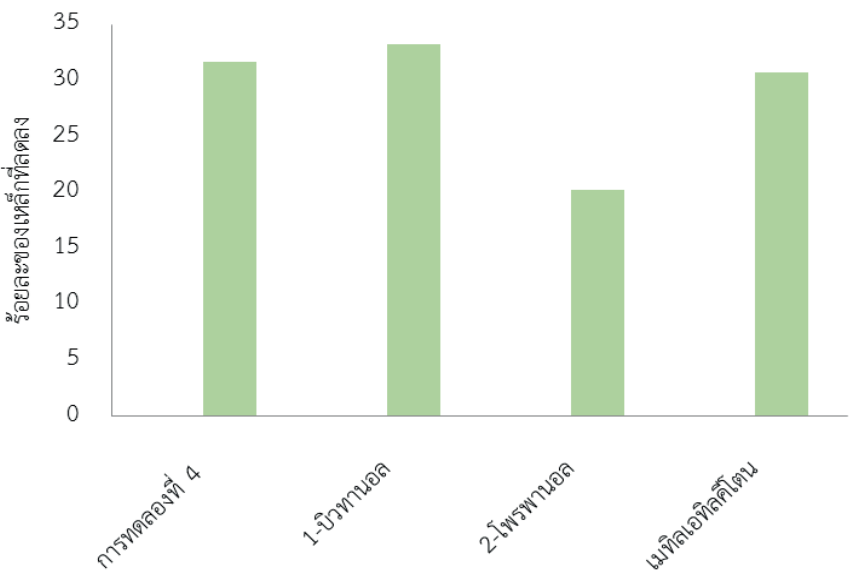
ในการศึกษาสัดส่วนผสมตัวทำละลายได้นำน้ำมันเครื่องที่ผ่านการบำบัดไปวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักด้วยเครื่องวิเคราะห์ AAS ได้ผลการวิเคราะห์ดังตารางที่ 3 โลหะหนักที่มีอยู่ในน้ำมันเครื่องใช้แล้วจากการบำบัดด้วยตัวทำละลายผสม ผลปรากฏว่าการทดลองที่ 4 สามารถลดปริมาณโลหะหนักได้ดีที่สุดกว่าทุกการทดลอง โดยมีโลหะหนักที่เหลืออยู่ในน้ำมันเครื่อง ได้แก่ เหล็ก 38.96 มก./กก. ไม่มีอะลูมิเนียม และมีแคลเซียม 1565.63 มก./กก. จากผลดังกล่าวจึงเลือกการทดลองที่ 4 มาเป็นสัดส่วนตัวทำละลายผสมที่ดีที่สุด การสูญเสียตัวทำละลาย

ของแต่ละการทดลองใกล้เคียงกันประมาณร้อยละ 30 เนื่องมาจากกระบวนการระเหย

รูปที่ 2 เปรียบเทียบร้อยละการลดลงของเหล็กระหว่างการใช้ตัวทำละลายผสม (จากการทดลองที่ 4) กับการใช้ตัวทำละลายผสมชนิดเดียว [5] พบว่าตัวทำละลายผสมมีความสามารถดีกว่าการใช้สาร 2-โพรพานอลและเมทิลเอทิลคีโตนเพียงอย่างเดียว และการใช้ 1-บิวทานอลเพียงอย่างเดียว ให้ประสิทธิภาพในการลดปริมาณของเหล็กมากที่สุด แต่เมื่อเทียบค่าใช้จ่ายของ 1-บิวทานอลในตัวทำละลายผสมมีค่าใช้จ่ายน้อยกว่าการใช้ 1-บิวทานอลเพียงอย่างเดียว แต่ให้ผลการลดปริมาณเหล็กใกล้เคียงกัน

ตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักของน้ำมันที่ผ่านการบำบัด

การทดลองที่	ตัวทำละลาย (%wt)			ปริมาณโลหะหนัก (มก./กก.)			การสูญเสียตัวทำละลาย(%wt)
	2-โพรพานอล	1-บิวทานอล	เอทิลเมทิลคีโตน	เหล็ก	อะลูมิเนียม	แคลเซียม	
1	30	40	30	44.17	0.00	1831.42	35.53
2	25	40	35	51.03	0.00	1920.81	26.72
3	20	50	30	53.71	0.30	2006.50	32.55
4	40	30	30	38.96	0.00	1565.63	31.88
5	45	20	35	49.81	0.34	2074.32	33.12



รูปที่ 2 เปรียบเทียบร้อยละการลดลงของเหล็กระหว่างตัวทำละลายชนิดเดียวกับตัวทำละลายผสม

3.2 สมบัติของน้ำมันพื้นฐาน

น้ำมันที่ผ่านการสกัดโดยใช้ตัวทำละลายในสัดส่วนของการทดลองที่ 4 มากล้นสุญญากาศที่ความดัน 40 มิลลิบาร์ ช่วงอุณหภูมิ 320-420 องศาเซลเซียส จากตารางที่ 5 พบว่าน้ำมันที่ผ่านการกลั่นสุญญากาศ หลังจากผ่านกระบวนการบำบัดด้วยตัวทำละลายผสม มีจุดวาบไฟต่ำกว่ามาตรฐานน้ำมันหล่อลื่นที่กรมธุรกิจพลังงานได้ประกาศไว้เล็กน้อย ความหนืดมากกว่า 3.8 cSt ค่าสี 4.5 ส่วนปริมาณโลหะหนักสามารถลดปริมาณเหล็ก และอะลูมิเนียมได้หมด แต่ยังคงมีแคลเซียมเหลืออยู่ปริมาณ น้อยมากเมื่อเทียบกับก่อนการบำบัด (คิดเป็นร้อยละ 71.2 ของปริมาณโลหะหนักที่ลดไปได้) ส่วนการทดลองที่ 5 ที่ใช้สัดส่วนตัวทำละลาย 45:20:35 ให้คุณสมบัติของน้ำมัน พื้นฐาน เช่น จุดวาบไฟและความหนืด น้อยกว่าการทดลอง

ที่ 4 ที่ใช้ปริมาณ 1-บิวทานอลมากกว่า ส่วนโลหะหนัก พบว่าไม่มีเหล็กและอะลูมิเนียมเหลืออยู่ แต่ยังคงมี ปริมาณแคลเซียมเหลือแต่มากกว่าการทดลองที่ 4 อีกทั้งได้ปริมาณน้ำมันพื้นฐานที่กลั่นได้น้อยกว่าเล็กน้อย

3.3 การใช้ตัวทำละลายผสมซ้ำ

เมื่อนำตัวทำละลายผสมทั้ง 5 การทดลองมาศึกษา การใช้ตัวทำละลายซ้ำ ดังตารางที่ 6 พบว่าการทดลองที่ 4 ก็ยังให้ผลการสกัดโลหะหนักที่ดีที่สุด โดยมีเหล็กเหลือ 47.49 มก./กก. อะลูมิเนียม 0 มก./กก. และ แคลเซียม 2039.17 มก./กก. แม้การนำตัวทำละลายมาใช้ซ้ำเป็นครั้งที่ 2 จะลดโลหะหนักได้ไม่เท่ากับการใช้ครั้งแรก แต่เมื่อเทียบกับ ความคุ้มค่าของการใช้วิธีการสกัดด้วยตัวทำละลายการนำมา ใช้ซ้ำทำให้ค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำมันเครื่อง

ตารางที่ 5 คุณสมบัติของน้ำมันพื้นฐานที่ผ่านกระบวนการบำบัด

คุณสมบัติ	น้ำมันเครื่อง ก่อนบำบัด	การทดลองที่ 4 หลังกลั่น	การทดลองที่ 5 หลังกลั่น	มาตรฐานน้ำมันหล่อ ลื่น [6]
จุดวาบไฟ (°C)	200	180	150	>182
ความถ่วงจำเพาะ	0.899	0.876	0.855	ไม่ระบุ
ความหนืด (cSt.) ที่อุณหภูมิ 100 °C	9.12	12	9.59	>3.8
ค่าสี	>8.0	4.5	4.5	ไม่ระบุ
ปริมาณเหล็ก (มก./กก.)	57.05	0	0	-
ปริมาณอะลูมิเนียม (มก./กก.)	2.90	0	0	-
ปริมาณแคลเซียม (มก./กก.)	2350.96	6.778	7.439	-
ปริมาณน้ำมันที่กลั่นได้ (%wt))	-	87.34	85.12	-

ค่าใช้จ่ายของตัวทำละลายผสมที่ใช้ในการทดลอง ที่ 4 คิดจากราคาของตัวทำละลายแต่ละชนิด 2-โพรพานอล ราคาลิตรละ 321 บาท 1-บิวทานอลราคาลิตรละ 590.64 บาทและเมทิลเอทิลคีโตน ราคาลิตรละ 483.64 บาท เมื่อใช้สัดส่วนผสม 40:30:30 โดยน้ำหนัก คิดเป็นค่าใช้จ่าย เฉพาะในส่วนของตัวทำละลายต่อกรัมน้ำมันเครื่องใช้แล้ว คือ 0.56 บาท เมื่อเทียบกับค่าใช้จ่ายของการทดลอง ที่ใช้ตัวทำละลายชนิดเดียวคือ 1-บิวทานอล [5] ที่สามารถ ลดปริมาณโลหะหนักเหล็กได้ดีที่สุด ซึ่งจะมีค่าใช้จ่าย อยู่ที่ 0.73 บาท/กรัม ส่วนต้นทุนด้านพลังงานโดยเฉพาะ

ที่ใช้ในขั้นตอนการกลั่นสุญญากาศ ยังไม่ได้มีการคิดคำนวณไว้

4. สรุป

การคืนสภาพน้ำมันเครื่องพื้นฐานจากน้ำมันเครื่อง ใช้แล้วโดยวิธีการสกัดด้วยตัวทำละลายผสมจาก 2-โพรพานอล, 1-บิวทานอล และเมทิลเอทิลคีโตน ที่อัตราส่วนร้อยละโดย น้ำหนักที่ 40:30:30 ให้ประสิทธิภาพในการลดปริมาณ โลหะหนักใกล้เคียงกับการใช้ตัวทำละลาย 1-บิวทานอล ที่มีราคาสูงเพียงอย่างเดียว อีกทั้งยังสามารถนำตัวทำละลาย ผสมไปใช้สกัดโลหะหนักในน้ำมันเครื่องซ้ำได้ผลเป็นที่น่าพอใจ

ตารางที่ 6 เปรียบเทียบปริมาณโลหะหนักที่สกัดครั้งแรกกับการใช้ตัวทำละลายสกัดซ้ำ

การทดลองที่	ปริมาณโลหะหนักที่เหลืออยู่ในน้ำมันที่ผ่านการบำบัดแล้ว (มก./กก.)					
	เหล็ก		อะลูมิเนียม		แคลเซียม	
	ครั้งแรก	ใช้ซ้ำ	ครั้งแรก	ใช้ซ้ำ	ครั้งแรก	ใช้ซ้ำ
1	44.17	54.81	0	2	1831.42	2002.67
2	51.03	51.9	0	1.1	1920.81	1989.40
3	53.71	54.08	0.3	1.45	2006.50	2013.34
4	38.96	47.49	0	0	1565.63	2039.17
5	49.81	52.14	0.34	1.5	2074.32	2117.03

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณทุนวิจัยที่ได้รับสนับสนุนจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) งบประมาณแผ่นดินประจำปีพ.ศ. 2559 รวมทั้งภาควิชาวิศวกรรมเคมีและวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่สนับสนุนเครื่องมือวิเคราะห์โลหะหนัก

เอกสารอ้างอิง

- [1] ณัฐชา เพ็ชรยิ้ม. 2557. คีนซีน้ำมันเครื่องใช้แล้ว ก้นเถอะ. สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี. ทริปเพิ้ล กรุ๊ปจำกัด.
- [2] N.O.Elbashirb.,S.M.Al-Zahrana., M.I.Abdul Mutalibc., A.E. Abasaeda. 2002.A method of predicting effective solventextraction parameters for recycling ofused lubricating oils”. ChemicalEngineering and Processing: Process Intensification. 41(9) :765-769.
- [3] Ahmad Hamad., Essam Al-Zubaidy., Muhammad E.Fayed. 2005. Used lubricating oil recycling using hydrocarbon solvents. Journal of Environmental Management.74:153–159.
- [4] dos Reis, M.A., Silva Jeronimo, M., 1988. Waste lubricating oil re-refining by extraction flocculation A scientific basis to design efficient solvents. Industrial and Engineering Chemistry Resrarch.27, 1222-1228.
- [5] สุกัญญา แก้วผงสุขและชลธิดา สิทธิศักดิ์. 2555. การคีนสภาพน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานน้ำมันเครื่องใช้แล้วโดยใช้การสกัดด้วยตัวทำละลาย. ภาควิชาวิศวกรรมเคมีและวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.
- [6] ประกาศกรมธุรกิจพลังงาน เรื่อง กำหนดลักษณะและคุณภาพของน้ำมันหล่อลื่น พ.ศ. 2554 [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก : http://elaw.doeb.go.th/document_doeb/349_0001.pdf (15 กันยายน 2555).

การพัฒนาเครื่องปอกเปลือกเผือกกึ่งอัตโนมัติ

Development of a Semiautomatic Peeled Taro Machine

ศักรินทร์ หนูนุ่ม¹ อภิรมย์ ชูเมฆา² และดลหทัย ชูเมฆา³

sakkarin_n@mail.rmutt.ac.th¹, apirom_ch@rmutt.ac.th², dolhathai_ch@rmutt.ac.th³

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ เพื่อพัฒนาและทดสอบสมรรถนะเครื่องปอกเปลือกเผือกกึ่งอัตโนมัติ วิธีการศึกษาประกอบด้วย 1) การออกแบบและสร้างเครื่องจักร โดยที่เครื่องปอกเปลือกเผือกมีส่วนประกอบ 5 ส่วนสำคัญ คือ ก. ส่วนของโครงเครื่องจักรขนาด 400x500x500 มม., ข. ชุดจับผลเผือก, ค. ชุดปอกเปลือกซึ่งเป็นใบมีด, ง. ชุดต้นกำลัง มอเตอร์ 0.5 แรงม้า 220 โวลต์ และ จ. ชุดถาดรองรับ 2) ทดสอบและประเมินสมรรถนะการทำงานของเครื่อง โดยมีปัจจัยควบคุม 3 ปัจจัย ได้แก่ ก. พันธุ์เผือก (หอม) ข. ขนาดของเผือก (เล็ก, กลาง, ใหญ่) และ ค. ความเร็วรอบชุดปอก (8, 12, 14, 16, 20, 24 รอบ/นาที) ปัจจัยที่ประเมินคือ ประสิทธิภาพการปอก เปอร์เซ็นต์เปลือกติดค้าง และอัตราการทำงานของเครื่อง 3) การวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์วิศวกรรมของเครื่องปอกเปลือกเผือก ผลการทดสอบ พบว่าสภาวะการทำงานที่เหมาะสมของเครื่องอยู่ ณ ความเร็วรอบ 8 รอบ/นาที แสดงค่าประสิทธิภาพการปอกและอัตราการทำงานของเครื่องสูงสุด สำหรับเผือกขนาด เล็ก, กลาง, ใหญ่ เท่ากับ 74.18 ± 5.72 %, 12.07 ± 1.73 กก./ชม., 76.30 ± 5.92 %, 12.08 ± 2.54 กก./ชม. และ 77.08 ± 5.53 %, 16.12 ± 2.53 กก./ชม. ตามลำดับ ทั้งนี้เครื่องสามารถทำงานได้มากกว่าแรงงานคนโดยเฉลี่ย 2 เท่า (แรงงานคนสามารถทำงานได้ 8.8 ± 4.33 กก./ชม.) เมื่อให้เข้าเครื่องในราคา 5 บ./กก. มีจุดคุ้มทุนที่ 404.54 กก./ปี และระยะเวลาการคืนทุน 4 เดือน

คำสำคัญ: เครื่องปอกเปลือก เผือก การทดสอบ

Abstract

This research was to develop and test the performance of a Semiautomatic Peeled Taro Machine. As this methodology comprising about: 1) Design and fabrication of the machine, that consisted of the 5 parts: A. a steel structure of 400x500x500 mm., B. peeled chuck unit, C. peeled blade unit, D. a 0.5 HP, 220 V, electric motor, E. supporting unit. 2) Test and evaluation of the machine performance for the controlling were taken. The 3 control factors were cultivar (Hom), grade (small, medium, large) and peeling speed (8, 12, 16, 20, 24 rpm). The evaluated factors were peeling efficiency, shell remain percentage, capacity. 3) Analysis of engineering economic. Then the result indicated that suitable working condition at 8 rpm presented the maximum efficiency and capacity for small, medium, large grade 74.18 ± 5.72 %, 12.07 ± 1.73 kg/h,

¹ นักศึกษาภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

² อาจารย์ประจำภาควิชาครุศาสตร์อุตสาหกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

³ อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

76.30±5.92 %, 12.08±2.54 kg/h and 77.08±5.53 %, 16.12±2.53 kg/h, respectively. Which higher than operated by labor approximately 2 times. (Worker skilled 8.8±4.33 kg/h). Engineering economic analysis revealed that renting the peeler at the rate of 5 baht/kg would give break event point 404.54 kg/year and payback in 4 month.

Keywords: Peeler Taro Testing

1. บทนำ

เผือกมีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Colocacia esculenta* L. อยู่ในตระกูลอะราลีย (Aracea) เป็นพืชหัว ประกอบด้วยหัวใหญ่ 1 หัว และหัวเล็ก ๆ แตกกอกรอบ ๆ สายพันธุ์ที่นิยมได้แก่ สายพันธุ์เผือกหอม มีจุดเด่นคือ หัวใหญ่ เนื้อเผือกมีสีขาวลายสีม่วง จัดเป็นพืชเศรษฐกิจที่ได้รับความนิยมบริโภค เนื่องจากมีกลิ่นหอมและรสชาติดี มีส่วนประกอบทางอาหารที่สำคัญ ได้แก่ แป้งและแร่ธาตุต่าง ๆ จึงเป็นที่ต้องการของตลาดภายในและต่างประเทศ เช่น ออสเตรเลีย ฮองกง ญี่ปุ่น เนเธอร์แลนด์ และมาเลเซีย โดยประเทศไทยมีปริมาณการปลูกเผือกอยู่ทั่วไปทุกภาคของประเทศ รวมพื้นที่ปลูกเผือกทั้งประเทศเฉลี่ยปีละ 25,000-30,000 ไร่ ผลผลิตอยู่ที่ประมาณ 45,000-65,000 ตัน ผลผลิตเฉลี่ยประมาณ 2 –2.5 ตันต่อไร่ [4]

แหล่งปลูกเผือกที่สำคัญในประเทศไทย ได้แก่ อำเภอบ้านหมอ จังหวัดสระบุรี [3] ด้วยจุดเด่นของ สภาพพื้นที่ ทำให้เผือกที่นี่มีคุณภาพดีมาก และนอกจากการขายเผือกสดสำหรับบริโภคแล้ว เกษตรกรที่นี่ยังนำเผือกมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์จากเผือก เช่น เผือกฉาบ เผือกเค็ม เป็นต้น เพื่อเพิ่มมูลค่าและสร้างรายได้อีกทางหนึ่ง ซึ่งการนำเผือกมาประกอบอาหารหรือแปรรูปนั้น จะต้องผ่านขั้นตอนการปอกเปลือกเสียก่อน แต่เนื่องจากเปลือกของเผือกนั้นจะมียางซึ่งเป็นกรดออกซาลิก [2] เมื่อสัมผัสจะทำให้เกิดอาการระคายเคืองผิว รู้สึกรคัน และเกิด อาการแพ้ จากปัญหาดังกล่าวจึงได้เกิดแนวคิดพัฒนาเครื่องปอกเปลือกเผือกขึ้นมาทดแทนแรงงานคน เพื่อลดสถานะการระคายเคืองผิวและอุบัติเหตุขณะปอกเปลือก รวมถึงเพิ่มกำลังการผลิต แต่เครื่องปอกเปลือกเผือกต้นแบบมีข้อเสียคือ ต้องอาศัย

แรงงานคนในการหมุน ชุดใบมีดด้วยมือ เพื่อทำการปอกเปลือกเผือก จึงได้มีแนวคิดที่จะพัฒนาเครื่องปอกเปลือกเผือกให้สามารถทำงานได้แบบกึ่งอัตโนมัติ และหาสภาวะการทำงานที่เหมาะสมของเครื่อง

2. อุปกรณ์และวิธีการ

2.1 ศึกษากระบวนการแปรรูปเผือก

ศึกษากระบวนการแปรรูปเผือกโดยการลงพื้นที่สำรวจและสัมภาษณ์กลุ่มเกษตรกร ซึ่งประกอบกิจการวิสาหกิจชุมชนแปรรูปเผือก ตำบลหรรเทพ อำเภอบ้านหมอ จังหวัดสระบุรี เช่น พันธุ์ ขนาด ความหนาของเปลือกเผือกซึ่งแม่บ้านเกษตรกรปอกด้วยมือ และกระบวนการแปรรูป เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการออกแบบและสร้างเครื่องปอกเปลือกเผือก รวมถึงเปรียบเทียบ การทำงานระหว่างเครื่องจักรกับแรงงานคน

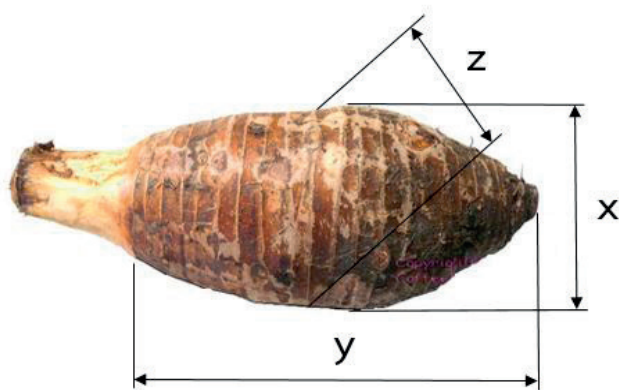
2.2 ศึกษาลักษณะทางกายภาพของเผือก

ศึกษาลักษณะทางกายภาพของผลเผือกพันธุ์หอมทั้ง 3 ขนาดคือ ขนาดเล็ก กลาง และใหญ่ ซึ่งยังไม่ผ่านกระบวนการปอกเปลือก อันได้แก่ ความกว้าง ความยาว ความหนา ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย น้ำหนัก ความหนาของเปลือก และปริมาณความชื้น พร้อมทั้งคำนวณหาค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) และสัมประสิทธิ์ความแปรปรวน (C.V.)

2.2.1 ขนาด

ทำการวัดขนาดผลเผือกด้วยเวอร์เนีย คาลิปเปอร์ (Mitutoyo, 0-150 มม.) ได้แก่ ความกว้าง (x) ความยาว (y)

และ ความหนา (z) ของเปลือก ดังรูปที่ 1 จำนวนขนาดละ 50 ผล จากนั้นนำค่าความกว้างและความหนาของผล มาคำนวณหาค่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย (สมการที่ 1) [1] วิเคราะห์หาค่าเฉลี่ย และ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน สำหรับ เป็นข้อมูลในการออกแบบและพัฒนาเครื่องปอกเปลือกเผือก



รูปที่ 1 การหาค่าขนาดของผลเผือก

$$\phi_{avg} = \frac{(X + Z)}{2} \quad (1)$$

เมื่อ ϕ_{avg} = เส้นผ่านศูนย์กลางผลเผือกเฉลี่ย (มม.)
 X = ความกว้างผลเผือก (มม.)
 Z = ความหนาผลเผือก (มม.)

2.2.2 ความหนาเปลือก

นำผลเผือกจำนวน 3 ขนาด ขนาดละ 50 ผล มาปอกเปลือก และวัดความหนาของเปลือกเผือกจำนวน 3 ตำแหน่ง คือ หัว กลาง และท้ายของผลเผือก และหาค่าเฉลี่ยความหนาของเปลือกสูงสุด เพื่อนำไปใช้กำหนดความลึกของใบมีดในการปอกเปลือกเผือก

2.2.3 น้ำหนัก

ทำการชั่งน้ำหนักผลเผือกโดยใช้เครื่องชั่งดิจิตอล (Sartorius, 0-3100 ก.) จำนวนขนาดละ 50 ผล พร้อมทั้งบันทึกค่า

2.2.4 ปริมาณความชื้น

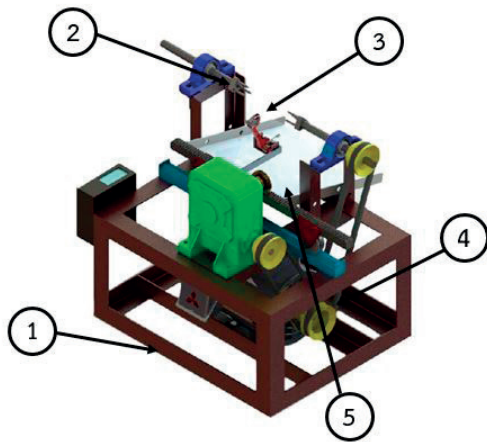
หั่นเผือกเป็นชิ้นเล็ก ๆ จำนวน 50 ชิ้นต่อขนาด แล้วบรรจุลงในถ้วยโลหะ ซึ่งผ่านกระบวนการอบไล่ความชื้น ที่อุณหภูมิ 105 °ซ. เป็นเวลา 8 ชม. จากนั้นนำเข้าตู้อบลมร้อน (Hot air oven) ที่อุณหภูมิการอบเท่ากับอุณหภูมิ 105 °C นำออกมาชั่งน้ำหนักทุก ๆ 1 ชม. จนกระทั่งมีน้ำหนักคงที่ แล้วคำนวณหาปริมาณความชื้น สมการที่ 2 [6]

$$\%MC_{wb} = \frac{W_w}{(W_w + W_d)} \quad (2)$$

เมื่อ $\%MC_{wb}$ = เปอร์เซนต์ความชื้นฐานเปียก (%)
 W_w = น้ำหนักน้ำ (ก.)
 W_d = น้ำหนักแห้ง (ก.)

2.3 ออกแบบและสร้างเครื่องปอกเปลือกเผือก

นำข้อมูลลักษณะทางกายภาพที่ผ่านการศึกษามาใช้ออกแบบและพัฒนาเครื่องปอกเปลือกเผือก เครื่องมีส่วนประกอบหลัก คือ 1. โครงเครื่อง มีขนาดความกว้าง x ความยาว x ความสูง เท่ากับ 400x500x500 มม. เพื่อให้มีขนาดกะทัดรัด ผู้ใช้เครื่องสามารถนั่งปฏิบัติงานได้ 2. ชุดจับผลเผือก เป็นสแตนเลสยึดติดกับเพลาลูกกลิ้งและสแตนเลสปลายแหลม 3 ชิ้น โดยให้เพลาลูกกลิ้งด้านขวา ยึดติดกับที่ และรับกำลังจากชุดส่งกำลัง ส่วนเพลาลูกกลิ้งด้านซ้ายสามารถปรับได้ตามขนาดความยาวของเผือก 3. ชุดปอก ประกอบด้วยใบมีดปอกผลไม้ตัดเป็นรูปตัวยู ปรับระยะคมมีดด้วยน็อตทางปลา และก้านยึดใบมีดสามารถปรับระยะได้ตามขนาดของผลเผือก ผ่านสปริงมีเหล็กเชื่อมยึดติดกับชุดปอก เพื่อทำหน้าที่ยึดชุดปอกให้ติดกับเฟืองสะพาน 4. ชุดต้นกำลัง ใช้มอเตอร์ไฟฟ้า ขนาด 0.5 แรงม้า, 220 โวลต์ ส่งกำลังสู่ชุด และสายพานผ่านเกียร์ทด 1:40 ส่งกำลังต่อไปยังเฟืองขับซึ่งทำหน้าที่ขับเฟืองสะพานที่มีชุดปอกยึดอยู่ 5.ชุดถาดรองรับ ใช้แผ่นสแตนเลสพับให้มีขนาด ความกว้าง 280 มม. ความยาว 300 มม. และความสูง 20 มม. ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 แบบเครื่องลอกเปลือกผักกึ่งอัตโนมัติ

2.4 ทดสอบสมรรถนะและประเมินผลการทำงานของเครื่อง

นำผลผักพันธุ์หอม 3 ขนาดคือ ขนาดเล็ก กลาง และใหญ่ มาทดสอบที่ความเร็วรอบชุดลอก (อัตราการป้อน ใบมีด) 5 ระดับ ได้แก่ 8, 12, 16, 18, 20 และ 24 รอบ/นาที โดยทดสอบความเร็วรอบละ 5 ผล จำนวน 5 ซ้ำ จนครบทุกความเร็วรอบ บันทึกค่าเวลาที่ใช้ในการลอก ซึ่งน้ำหนักเปลือกผักที่ลอกได้และน้ำหนักเปลือกผักที่ติดค้าง จากนั้นนำไปคำนวณหา ค่าประสิทธิภาพการลอก เปอร์เซ็นต์เปลือกติดค้าง อัตราการทำงานของเครื่อง และ พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ ดังสมการที่ 3, 4, 5 และ 6 ตามลำดับ [1]

$$P_p = \frac{W_p}{W_T} \times 100 \quad (3)$$

$$P_L = \frac{W_L}{W_T} \times 100 \quad (4)$$

$$C = \frac{W_p}{t} \quad (5)$$

$$R = IVt \quad (6)$$

เมื่อ P_p = ประสิทธิภาพการลอก (%)
 W_p = น้ำหนักเปลือกผักที่ลอกได้ (ก.)
 W_T = น้ำหนักเปลือกผักทั้งหมด (ก.)
 P_L = เปอร์เซ็นต์เปลือกติดค้าง (%)
 W_L = น้ำหนักเปลือกผักที่ติดค้าง (ก.)

C = อัตราการทำงานของเครื่อง (กก./ชม.)
 t = เวลาที่ใช้ในการลอกทั้งหมด (ชม.)
 R = พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ (วัตต์.ชม.)
 I = กระแสไฟฟ้า (แอมป์)
 V = แรงเคลื่อนไฟฟ้า (โวลต์)

2.5 ประเมินผลทางเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม

ประเมินค่าใช้จ่ายโดยรวมซึ่งมีสมมติฐานว่า กลุ่มแม่บ้านซื้อเครื่องลอกเปลือกผัก เพื่อนำมาใช้ทดแทนแรงงานคนในการลอก เพื่อนำมาคำนวณหาจุดคุ้มทุนและระยะเวลาในการคืนทุน สมการที่ 6 และ 7 [7]

$$BEP = \frac{FC}{(H - VC_{per\ kg})} \quad (7)$$

$$PBP = \frac{AC}{p} \quad (8)$$

เมื่อ BEP = จุดคุ้มทุน (กก./ปี)
 FC = ต้นทุนคงที่ (บ./ปี)
 H = ค่าเช่าเครื่อง (บ./กก.)
 $VC_{per\ kg}$ = ต้นทุนแปรผัน (บ./กก.)
 PBP = ระยะเวลาในการคืนทุน (ปี)
 p = กำไร (บ.)
 AC = ค่าใช้จ่ายรวมรายปี (บ./ปี)

3. ผลการทดลองและวิจารณ์

3.1 ผลการศึกษากระบวนการแปรรูปผัก

ศึกษากระบวนการแปรรูปผักจากกลุ่มแม่บ้านซึ่งประกอบกิจการวิสาหกิจชุมชนแปรรูปผัก พบว่าเกษตรกรใช้ผัก พันธุ์หอม ขนาดเล็ก กลาง และใหญ่ ซึ่งมีอายุการเก็บเกี่ยวไม่เกิน 1 อาทิตย์ นำมาทำการตัดที่บริเวณส่วนล่างของผลประมาณ 1.5 นิ้ว และตัดก้านสีเขียวที่ตรงส่วนบนของผลทิ้งแล้วลอกเปลือกด้วยมีด (รูปที่ 3) จนกระทั่งขาวสะอาดทั้งลูก (รูปที่ 4) ก่อนที่จะนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ผักหอมทอดกรอบสำหรับจำหน่าย



รูปที่ 3 กรรมวิธีการปอกเปลือกของแม่บ้าน



รูปที่ 4 ผลเผือกที่ผ่านการปอกด้วยแรงงานคน

3.2 ผลการศึกษาลักษณะทางกายภาพของเผือก

จากการศึกษาลักษณะทางกายภาพของเผือกพันธุ์หอม ขนาดเล็ก กลาง และใหญ่ (ตามรูปที่ 5) ให้ผลดังตารางที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ



รูปที่ 5 เผือกพันธุ์หอมทั้ง 3 ขนาด (เล็ก, กลาง และใหญ่)

ตารางที่ 1 ลักษณะทางกายภาพของเผือกขนาดเล็ก

ลักษณะทางกายภาพ	เผือกขนาดเล็ก $\bar{X} \pm S.D. (C.V.)$
ความกว้าง (มม.)	73.5 $\pm$ 3.0 (0.04)
ความยาว (มม.)	105.8 $\pm$ 7.9 (0.07)
ความหนา (มม.)	73.7 $\pm$ 2.9 (0.04)
ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย (มม.)	73.6 $\pm$ 2.9 (0.04)
ความหนาเปลือก (มม.)	3.2 $\pm$ 0.5 (0.14)
น้ำหนัก (ก.)	380.7 $\pm$ 45.3 (0.11)
ความชื้น (%)	65.57 $\pm$ 3.7 (0.20)

ตารางที่ 2 ลักษณะทางกายภาพของเผือกขนาดกลาง

ลักษณะทางกายภาพ	เผือกขนาดกลาง $\bar{X} \pm S.D. (C.V.)$
ความกว้าง (มม.)	86.7 $\pm$ 3.1 (0.03)
ความยาว (มม.)	112.6 $\pm$ 10.8 (0.09)
ความหนา (มม.)	86.4 $\pm$ 2.9 (0.03)
ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย (มม.)	86.5 $\pm$ 2.9 (0.03)
ความหนาเปลือก (มม.)	3.3 $\pm$ 0.4 (0.10)
น้ำหนัก (ก.)	535.4 $\pm$ 35.2 (0.06)
ความชื้น (%)	63.23 $\pm$ 3.4 (0.16)

ตารางที่ 3 ลักษณะทางกายภาพของเผือกขนาดใหญ่

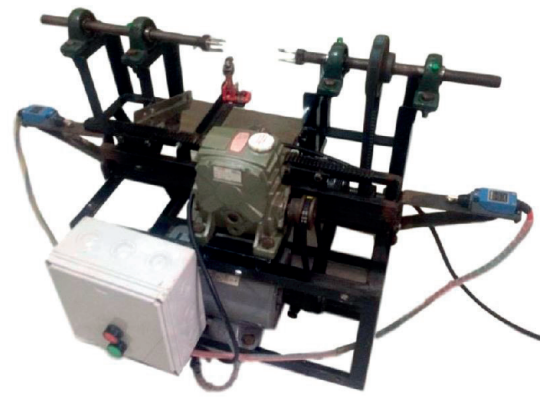
ลักษณะทางกายภาพ	เผือกขนาดใหญ่ $\bar{X} \pm S.D. (C.V.)$
ความกว้าง (มม.)	109.3 $\pm$ 4.0 (0.03)
ความยาว (มม.)	139.6 $\pm$ 9.2 (0.06)
ความหนา (มม.)	109.5 $\pm$ 4.1 (0.03)
ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย (มม.)	109.4 $\pm$ 4.0 (0.03)
ความหนาเปลือก (มม.)	3.4 $\pm$ 0.6 (0.09)
น้ำหนัก (ก.)	1,022.3 $\pm$ 73.6 (0.07)
ความชื้น (%)	62.73 $\pm$ 4.6 (0.22)

จากตารางที่ 1, 2 และ 3 พบว่า ลักษณะทางกายภาพของเผือกพันธุ์หอมก่อนนำมาทดสอบ จะนำมาใช้ในการออกแบบและสร้างเครื่องปอกเปลือกเผือก โดยเผือกขนาดเล็ก, กลาง และใหญ่ มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง

เฉลี่ยและความยาวผลเท่ากับ 73.6 ± 2.9 มม., 105.8 ± 7.9 มม., 86.5 ± 2.9 มม., 112.6 ± 10.8 มม. และ 109.4 ± 4.0 มม., 139.6 ± 9.2 มม. ตามลำดับ และยังเห็นได้ว่า ผีเสื้อแต่ละขนาดจะมีค่าเฉลี่ยของเส้นผ่านศูนย์กลางแตกต่างกัน ขนาดละประมาณ 10 มม. ในส่วนของน้ำหนักของผลผีเสื้อขนาดเล็กมีค่า 380.7 ± 45.3 ก. ขนาดกลาง 535.4 ± 35.2 ก. และขนาดใหญ่ $1,022.3 \pm 73.6$ ก. โดยผีเสื้อทั้ง 3 ขนาดจะมีค่าความหนาของเปลือก และค่าความชื้นของขนาดเล็ก, กลาง และใหญ่ เท่ากับ 3.2 ± 0.5 มม., 65.57 ± 3.7 %, 3.3 ± 0.4 มม., 63.23 ± 3.4 % และ 3.4 ± 0.6 มม., 62.73 ± 4.6 % ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกัน จนสามารถถือว่าเท่ากัน

3.3 ผลการออกแบบและสร้างเครื่องปอกเปลือกผีเสื้อ

จากการศึกษาลักษณะทางกายภาพของผีเสื้อทั้ง 3 ขนาด ซึ่งได้ว่า ผีเสื้อขนาดใหญ่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและความยาวเฉลี่ยมากที่สุดมีค่าเท่ากับ 109.4 ± 4.0 มม. และ 139.6 ± 9.2 มม. ตามลำดับ จึงได้ออกแบบและพัฒนาชุดหัวจับผลผีเสื้อให้มีระยะห่างหัวจับทั้งสองเท่ากับ 200 มม. เครื่องปอกเปลือกผีเสื้อกึ่งอัตโนมัติอาศัยหลักการทำงานโดยการเคลื่อนที่ของชุดปอก (ใบมีด) ซึ่งสามารถปรับระยะคมมีดตามขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (ขนาด) ของผีเสื้อด้วยการยืดหดของสปริง และเคลื่อนที่บนเฟืองสะพานไปกลับผ่านลิ้มิตสวิตช์เพื่อปอกเปลือกผีเสื้อ นำค่าแรงเหวี่ยงซึ่งได้จากการทดสอบหา แรงต้านระหว่างใบมีดและผลผีเสื้อด้วยเครื่อง Universal Testing Machine (UTM) ที่ความเร็วคงที่ มาคำนวณหาขนาดมอเตอร์ [5] จึงเลือกใช้มอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 0.5 แรงม้า ทำหน้าที่เป็นต้นกำลัง ส่งกำลังผ่านเกียร์ทด 1:40 สายพานมู่เล่ และมีชุดควบคุมสำหรับควบคุมการทำงานของเครื่อง แสดงไว้ดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 เครื่องปอกเปลือกผีเสื้อกึ่งอัตโนมัติ

3.4 ผลการทดสอบสมรรถนะและประเมินผลการทำงานของเครื่อง

ในการทดสอบและประเมินผลการทำงานของเครื่องปอกเปลือกผีเสื้อกึ่งอัตโนมัติ จะทำการกดสวิตช์ควบคุมให้ชุดปอกทำการปอกเปลือกผีเสื้อเพียง 1 รอบ และเคลื่อนที่กลับมายังตำแหน่งเริ่มต้น แล้วจึงกดสวิตช์เพื่อหยุดการทำงาน ให้ผลการทดสอบประสิทธิภาพ และเปอร์เซ็นต์เปลือกติดค้าง แสดงในตารางที่ 4 และ 5

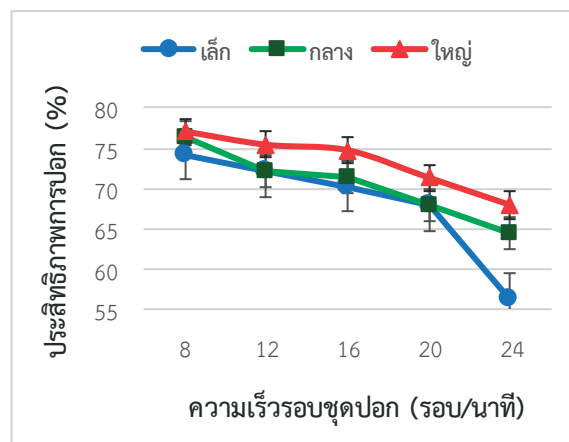
ตารางที่ 4 ประสิทธิภาพการปอกของการปอกเปลือกผีเสื้อด้วยเครื่องที่ความเร็วรอบต่าง ๆ

ความเร็วรอบ (รอบ/นาที)	ประสิทธิภาพการปอก (%) $\bar{X} \pm S.D. (C.V.)$		
	ขนาดผีเสื้อ		
	เล็ก	กลาง	ใหญ่
8	74.18 $\pm$ 5.72 (0.08)	76.30 $\pm$ 5.92 (0.07)	77.08 $\pm$ 5.53 (0.07)
12	72.16 $\pm$ 4.65 (0.06)	72.20 $\pm$ 6.05 (0.08)	75.43 $\pm$ 6.56 (0.15)
16	70.21 $\pm$ 7.52 (0.10)	71.30 $\pm$ 5.87 (0.04)	74.75 $\pm$ 8.11 (0.11)
20	67.96 $\pm$ 9.39 (0.13)	67.95 $\pm$ 8.68 (0.12)	71.33 $\pm$ 5.37 (0.07)
24	56.28 $\pm$ 9.80 (0.17)	64.54 $\pm$ 8.88 (0.17)	67.94 $\pm$ 8.46 (0.12)

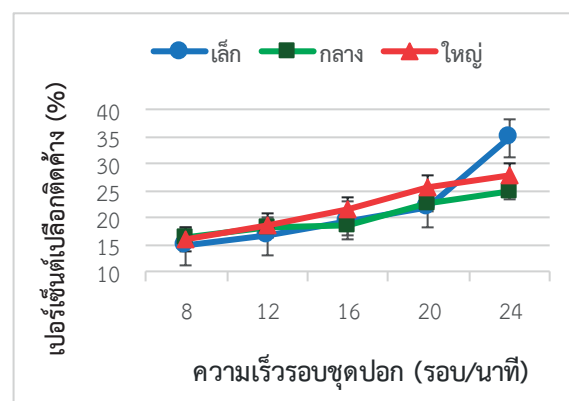
ตารางที่ 5 เปอร์เซ็นต์เปลือกติดค้างของการปกเปลือกฝือกด้วยเครื่องที่ความเร็วรอบต่าง ๆ

ความเร็วรอบ (รอบ/นาที)	เปอร์เซ็นต์เปลือกติดค้าง (%) $\bar{X} \pm S.D. (C.V.)$		
	ขนาดฝือก		
	เล็ก	กลาง	ใหญ่
8	14.84 $\pm$ 3.80 (0.25)	16.38 $\pm$ 2.70 (0.16)	15.82 $\pm$ 2.64 (0.17)
12	16.54 $\pm$ 5.09 (0.30)	18.07 $\pm$ 6.92 (0.31)	18.54 $\pm$ 10.66 (0.57)
16	19.41 $\pm$ 8.95 (0.46)	18.41 $\pm$ 5.41 (0.29)	21.40 $\pm$ 5.45 (0.25)
20	21.79 $\pm$ 7.89 (0.36)	22.63 $\pm$ 7.13 (0.31)	25.81 $\pm$ 5.08 (0.24)
24	34.82 $\pm$ 9.72 (0.27)	24.82 $\pm$ 8.19 (0.38)	27.77 $\pm$ 8.57 (0.31)

ตารางที่ 4 และ 5 แสดงค่าประสิทธิภาพการปกและเปอร์เซ็นต์เปลือกติดค้างของการปกเปลือกฝือกด้วยเครื่อง จำนวน 3 ขนาด ทั้ง 5 ความเร็วรอบชุดปกพบว่า ณ ความเร็วรอบต่ำที่สุดคือ 8 รอบ/นาที เครื่องสามารถปกเปลือกฝือกขนาด เล็ก, กลาง และใหญ่ โดยให้ค่าประสิทธิภาพการปกเปลือกสูงที่สุดเท่ากับ 74.18 $\pm$ 5.72% (C.V.0.08), 76.30 $\pm$ 5.92% (C.V. 0.07) และ 77.08 $\pm$ 5.53 % (C.V. 0.07) ตามลำดับ และค่าเปอร์เซ็นต์เปลือกติดค้างน้อยที่สุดเท่ากับ 14.84 $\pm$ 3.80% (C.V. 0.25), 16.38 $\pm$ 2.70% (C.V. 0.16) และ 15.82 $\pm$ 2.64% (C.V.0.17) ตามลำดับ เมื่อระดับความเร็วรอบชุดปกมีค่าสูงขึ้น ค่าประสิทธิภาพของการปกเปลือกจะมีค่าลดลง ในขณะที่ค่าเปอร์เซ็นต์เปลือกติดค้างมีค่าสูงขึ้น จนกระทั่งความเร็วรอบชุดปกที่สูงเกินไป (20 และ 24 รอบ/นาที) ค่าประสิทธิภาพการปกจะมีค่าลดลงมาก สาเหตุมาจากความเร็วรอบชุดปกสูงเกินไป ใบมีดไม่สามารถปกเปลือกฝือกได้ทัน มีผลให้เปอร์เซ็นต์เปลือกติดค้างสูงมากขึ้นตาม



รูปที่ 7 ประสิทธิภาพการปกของการปกเปลือกฝือกด้วยเครื่อง ที่ความเร็วรอบต่าง ๆ



รูปที่ 8 เปอร์เซ็นต์เปลือกติดค้างของการปกเปลือกฝือกด้วยเครื่อง ที่ความเร็วรอบต่าง ๆ

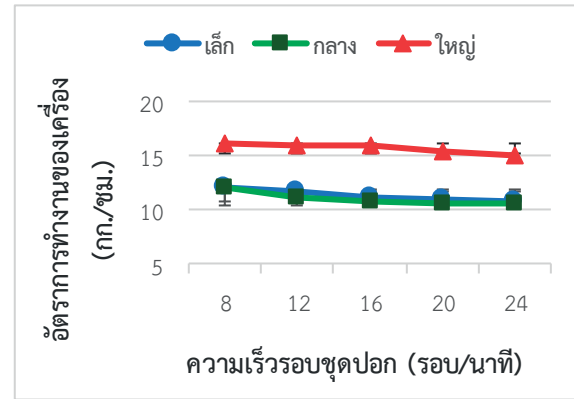
จากรูปที่ 7 และ 8 พิจารณาว่าเปลือกฝือกที่ปกได้ (ประสิทธิภาพการปก) และเปลือกติดค้าง (เปอร์เซ็นต์เปลือกติดค้าง) ที่ความเร็วรอบชุดปก 5 ระดับแสดงให้เห็นว่า ที่ความเร็วรอบ 8 รอบ/นาที ค่าประสิทธิภาพการปกเปลือกฝือกสูงที่สุด และเปอร์เซ็นต์เปลือกติดค้างต่ำที่สุดและเมื่อความเร็วรอบเพิ่มขึ้น ค่าประสิทธิภาพการปกจะมีค่าลดลง และในทางตรงกันข้าม ค่าเปอร์เซ็นต์เปลือกติดค้างจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามความเร็วรอบชุดปก ซึ่งมีแนวโน้มไปในทางเดียวกันกับฝือกทั้ง 3 ขนาด (ตามรูปที่ 7 และ 8) เนื่องจากที่ระดับความเร็วรอบต่ำมีผลให้ชุดปก (ใบมีด) มีความเร็วช้า เคลื่อนตัวช้า ใบมีดสัมผัสเปลือกฝือกได้นาน สามารถปกเปลือกฝือกได้หมด เปลือกติดค้างเหลือน้อย ขณะที่ความเร็วรอบสูง

เปลือกเผือกมีระยะเวลาสัมผัสกับไอน้ำน้อย โอกาสเกิดเปลือกติดค้างจึงมากตาม ทั้งนี้เพราะไอน้ำไม่สามารถปกเปลือกได้ทัน โดยความเร็วของชุดปกไม่ควรต่ำกว่าระดับ 8 รอบ/นาที่ ด้วยเหตุผลคือ ความเร็วรอบต่ำเกินไป ทำให้ความเร็วในการเคลื่อนที่ของไอน้ำช้ามาก ผลเผือกสัมผัสกับไอน้ำนาน จนกระทั่งปกกินเนื้อเผือก

ตารางที่ 6 อัตราการทำงานของการปกเปลือกเผือกด้วยเครื่องที่ความเร็วรอบต่าง ๆ

ความเร็วรอบ (รอบ/นาที่)	อัตราการทำงาน of เครื่อง (กก./ชม.) $\bar{X} \pm S.D. (C.V.)$		
	ขนาดเผือก		
	เล็ก	กลาง	ใหญ่
8	12.07 $\pm$ 1.73 (0.14)	12.08 $\pm$ 2.54 (0.13)	16.12 $\pm$ 2.53 (0.19)
12	11.68 $\pm$ 1.39 (0.15)	11.11 $\pm$ 2.20 (0.27)	16.03 $\pm$ 3.82 (0.20)
16	11.15 $\pm$ 2.39 (0.19)	10.75 $\pm$ 2.45 (0.20)	15.89 $\pm$ 4.65 (0.25)
20	10.99 $\pm$ 3.10 (0.18)	10.65 $\pm$ 5.39 (0.32)	15.40 $\pm$ 6.37 (0.22)
24	10.69 $\pm$ 8.41 (0.24)	10.57 $\pm$ 6.02 (0.30)	14.98 $\pm$ 7.44 (0.29)

ผลการทดสอบในตารางที่ 6 เปรียบเทียบค่าอัตราการทำงาน of เครื่อง ที่ได้ในแต่ละความเร็วรอบ เมื่อพิจารณาผลเผือกหอมที่ขนาดเดียวกัน พบว่า ณ ความเร็วรอบ 8 รอบ/นาที่ ให้ผลการปกเปลือกเผือกได้อัตราการทำงานมากที่สุด โดยที่เผือกขนาดเล็ก, กลาง และใหญ่ เครื่องสามารถทำการปกเปลือกได้ในอัตรา 12.07 $\pm$ 1.73 กก./ชม., 12.08 $\pm$ 2.54 กก./ชม. และ 16.12 $\pm$ 2.53 กก./ชม. ตามลำดับ จากผลดังกล่าวบ่งชี้ว่า ความเร็วรอบสูงเกินไป ส่งผลต่อการปกเปลือกเผือก โดยได้เปลือกในปริมาณน้อย เพราะความเร็วรอบสูง ไอน้ำไม่สามารถปกเปลือกได้ทัน นอกจากนี้ยังพบอีกว่า ที่ความเร็วรอบต่ำ (8 รอบ/นาที่) ค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวน (C.V.) จะมีค่าน้อยตาม เนื่องจากไอน้ำสามารถปกเปลือกได้อย่างต่อเนื่อง มีผลให้ปกเปลือกเผือกได้สม่ำเสมอ

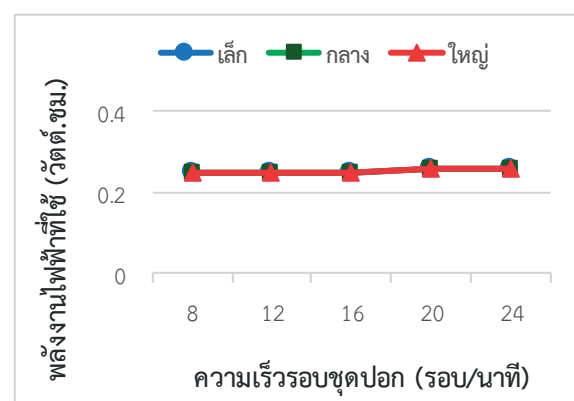


รูปที่ 9 อัตราการทำงาน of เครื่องที่ความเร็วรอบต่าง ๆ

จากรูปที่ 9 แสดงแนวโน้มของกราฟอัตราการทำงาน of เครื่อง จะเห็นได้ว่า ที่ความเร็วรอบ 8 รอบ/นาที่ ให้อัตราการทำงานมีค่าสูงที่สุด กับเผือกทั้ง 3 ขนาด (เล็ก, กลาง และใหญ่) และมีค่าลดลงตามระดับ of ความเร็วรอบที่เพิ่มขึ้น

ตารางที่ 7 พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการปกเปลือกเผือกด้วยเครื่องที่ความเร็วรอบต่าง ๆ

ความเร็วรอบ (รอบ/นาที่)	พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ (วัตต์.ชม.)		
	ขนาดเผือก		
	เล็ก	กลาง	ใหญ่
8	0.25	0.25	0.25
12	0.25	0.25	0.25
16	0.25	0.25	0.25
20	0.26	0.26	0.26
24	0.26	0.26	0.26



รูปที่ 10 พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการปกเปลือกเผือกเครื่องที่ความเร็วรอบต่าง ๆ

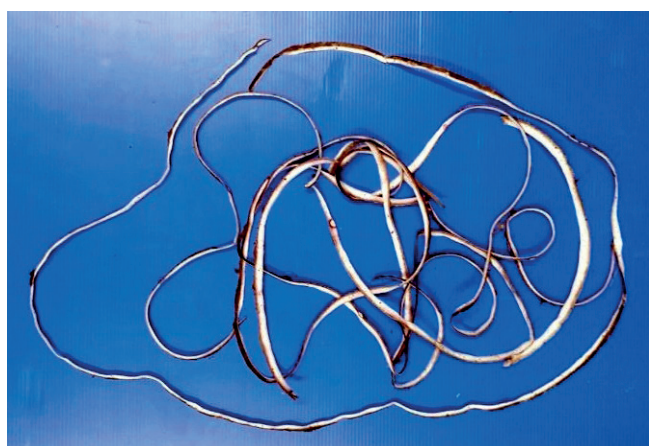
เมื่อพิจารณาตารางที่ 7 และรูปที่ 10 จะพบว่า พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการลอกเปลือกด้วยเครื่องที่ ความเร็วรอบ 8, 12 และ 16 รอบ/นาที ใช้พลังงานไฟฟ้า เท่ากับ 0.25 วัตต์.ชม. ในส่วนของความเร็วรอบ 20 และ 24 รอบ/นาที ใช้พลังงานไฟฟ้า 0.26 วัตต์.ชม.ซึ่งให้ค่า มากกว่าเพียงเล็กน้อย สามารถอนุมานได้ว่าเท่ากัน



รูปที่ 11 ผลเปลือกที่ผ่านการลอกด้วยเครื่องที่ระดับความเร็วรอบต่ำ (8 รอบ/นาที)



รูปที่ 12 ผลเปลือกที่ผ่านการลอกด้วยเครื่องที่ระดับความเร็วรอบสูง (12, 16, 20 และ 24 รอบ/นาที)



รูปที่ 13 เปลือกเปลือกที่ได้จากการลอกด้วยเครื่อง

ตารางที่ 8 ความหนาของเปลือกเปลือกที่ลอกด้วยเครื่องและ แรงงานคน

ความเร็วรอบ (รอบ/นาที)	ความหนาเปลือก (มม.) $\bar{X} \pm S.D. (C.V.)$		
	ขนาดเปลือก		
	เล็ก	กลาง	ใหญ่
8	3.5±0.7 (0.04)	3.5±0.5 (0.05)	3.6±0.9 (0.04)
12	3.1±1.2 (0.04)	3.2±0.8 (0.07)	3.1±0.7 (0.05)
16	3.1±1.4 (0.05)	3.0±1.6 (0.05)	3.2±1.1 (0.06)
20	3.0±1.2 (0.07)	2.9±1.0 (0.06)	2.9±0.8 (0.05)
24	2.9±2.2 (0.09)	2.9±1.4 (0.07)	2.8±1.2 (0.06)
แรงงานคน	5.5±5.6 (0.37)		

พิจารณาความหนาเปลือกของความเร็วดูดลอก 5 ระดับ ได้แก่ 8, 12, 16, 20, 24 รอบ/นาที (ตารางที่ 8) จะพบว่า ความเร็วรอบ 8 รอบ/นาที เครื่องสามารถ ลอกเปลือกได้ขนาดใกล้เคียงกับค่าความหนาของเปลือก เปลือกที่วัดได้ ซึ่งมีค่าความหนาของเปลือกตั้งแต่ 3.2±0.5 ถึง 3.4±0.6 มม. แต่ที่ความเร็วรอบ 12, 16, 20 และ 24 รอบ/นาที ความหนาเปลือกที่ลอกได้มีค่าน้อยกว่า ความหนาเปลือกเปลือกจริง เหตุผลเพราะความเร็วรอบที่สูงขึ้น ใบมีดเคลื่อนที่เร็ว มีเวลาสัมผัสเปลือกเปลือกได้น้อย ทำให้ ความลึกของการลอกเปลือกเปลือกมีค่าน้อยกว่า ความหนา ของเปลือกเปลือกเมื่อเปรียบเทียบกับความหนาของเปลือกเปลือก ที่ผ่านการลอกด้วยแรงงานคน มีค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$), ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน (S.D.) และสัมประสิทธิ์ความแปรปรวน (C.V.) สูงกว่า ความหนาของเปลือกซึ่งลอกด้วยเครื่องในทุก ๆ ความเร็วรอบ สาเหตุมาจาก การลอกเปลือกเปลือก ด้วยแรงงานคนอาศัยการลอกโดยการประมาณความหนา ของเปลือก และถ้ายังมีผิวเปลือกชั้นในซึ่งมีสีอมม่วงอ่อน ๆ ปรากฏอยู่ ก็ยังต้องลอกซ้ำอีก จนกระทั่งเห็นสีขาวของเปลือก ถือว่านำไปใช้แปรรูปได้ จึงส่งผลต่อความหนาของเปลือก

ตารางที่ 9 อัตราการทำงานของการปอกเปลือกผักด้วยเครื่อง
กับแรงงานคน

อัตราการทำงานเฉลี่ย ของเครื่อง (กก./ชม.)	ความสามารถในการปอก ของแรงงานคน(กก./ชม.)
$\bar{X} \pm S.D. (C.V.)$	
13.42 $\pm$ 2.27 (0.17)	8.8 $\pm$ 4.33 (0.49)

ความสามารถในการปอกเปลือกผักของแรงงาน
คน 8.8 $\pm$ 4.33 (0.49) กก./ชม. อัตราการทำงานเครื่อง
ปอกเปลือกผัก เมื่อทำการปอกเปลือกผัก 3 ขนาด
มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 13.42 $\pm$ 2.27 (0.17) กก./ชม. ซึ่งเครื่อง
สามารถทำงานได้มากกว่าแรงงานคนประมาณ 2 เท่า
ดังตารางที่ 9

3.5 ผลการประเมินผลทางเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม

ต้นทุนในการสร้างเครื่องปอกเปลือกผักกึ่ง
อัตโนมัติ แสดงดังตารางที่ 10 และผลการวิเคราะห์จุดคุ้มทุน
และระยะเวลาในการคืนทุนตามหลักเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม
ได้ผลตามตารางที่ 11

ตารางที่ 10 ต้นทุนสำหรับสร้างเครื่องปอกเปลือกผัก

ส่วนประกอบเครื่อง	ราคา (บ.)
1. โครงเครื่อง, ชุดปอก, ชุดจับผลผัก และชุดถาดรองรับ	9,000
2. มอเตอร์ 0.5 แรงม้า 1 เฟส	3,500
3. สายพาน, มู่เล่ และเพลลา	3,500
4. ลิมิตสวิตช์และชุดควบคุม	4,000
5. เกียร์ทดรอบ 1:40	6,500
6. แรงงาน	8,500
รวม	35,000

ตารางที่ 11 จุดคุ้มทุนและระยะเวลาในการคืนทุน

จุดคุ้มทุน (กก./ปี)	ระยะเวลาการคืนทุน (ปี)
404.54	0.34

ตารางที่ 10 และ 11 กล่าวโดยสังเขปได้ว่า เครื่อง
ปอกเปลือกผักมีต้นทุนในการสร้างเท่ากับ 35,000 บ.
และถ้าให้เข้าเครื่องในอัตรา 5 บ./กก. จะมีจุดคุ้มทุน
และ ระยะเวลาการคืนทุนที่ 404.54 กก./ปี และ 4 เดือน
ตามลำดับ

4. สรุป

เครื่องปอกเปลือกผักที่พัฒนาขึ้น มีการทำงาน
แบบกึ่งอัตโนมัติ ต่อยอดจากเครื่องเดิม ซึ่งอาศัยแรงงาน
คนหมุนชุดมีด โดยพัฒนาชุดปอกให้เคลื่อนที่ไปและกลับ
ด้วยลิมิตสวิตช์ จนกระทั่งสามารถปอกเปลือกผักได้หมดผล
มีสภาวะการทำงานที่ดีที่สุดของเครื่อง คือ ความเร็วรอบ
ชุดปอก 8 รอบ/นาที ให้ประสิทธิภาพการปอกและอัตรา
การทำงานเครื่อง สำหรับผักขนาดเล็ก, กลาง และ
ใหญ่ เท่ากับ 74.18 $\pm$ 5.72%, 12.07 $\pm$ 1.73 กก./ชม.,
76.30 $\pm$ 5.92%, 12.08 $\pm$ 2.54กก./ชม. และ 77.08 $\pm$ 5.53 %,
16.12 $\pm$ 2.53 กก./ชม. เครื่องทำงานได้มากกว่าแรงงาน
คนประมาณ 2 เท่า ซึ่งแรงงานคนสามารถปอกเปลือก
ผักได้ 8.8 $\pm$ 4.33 กก./ชม. มีจุดคุ้มทุนที่ 404.54 กก./ปี
และระยะเวลาในการคืนทุน 4 เดือน

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ ที่สนับสนุน
ทุนวิจัย และขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมเกษตร มหาวิทยาลัย
เทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี สำหรับ ความอนุเคราะห์อุปกรณ์
และเครื่องมือ สำหรับทำวิจัย

เอกสารอ้างอิง

[1] ดลหทัย ชูเมฆา, อภิรมย์ ชูเมฆา, จักรพันธ์ แก้วไทรสุน
และวริยส แฉ่งประเสริฐ. 2557. การสร้างและ
ทดสอบเครื่องปอกเปลือกผักต้นแบบ. วารสาร
วิทยาศาสตร์เกษตร 45: 3/1 (พิเศษ) :385-388

[2] นิตดา หงษ์วิวัฒน์, 2547. ผักและสุขภาพ vegetable
& health. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: พรณิ
การพิมพ์. หน้า 67

- [3] เพื่อกหอม พืชหลังไรรณา สร้างรายได้งามของคน
บ้านหม้อ สระบุรี. [ออนไลน์]. ม.ป.ป. เข้าถึง
ได้จาก : [http://www.vigotech.co.th/index.
php?lay=show&ac=article&id=539826202&N](http://www.vigotech.co.th/index.php?lay=show&ac=article&id=539826202&N),
(11 ตุลาคม 2558)
- [4] มาลินี พัทธ์, สมศรี บุญเรือง และรังสิมันต์ สัมฤทธิ์,
2539. **การปลูกเผือก**. กรุงเทพฯ: เอกสารวิชาการ กอง
ส่งเสริมพืชไร่ กรมส่งเสริมการเกษตร
- [5] วรวิทย์ อึ้งภากรณ์ และชาญ ถนัดงาน. 2549.
การออกแบบเครื่องจักรกล เล่ม 1. กรุงเทพฯ:
ซีเอ็ดยูเคชั่น.
- [6] อภิรมย์ ชูเมฆา, สถาพร วีระสุนทร และดลหทัย
ชูเมฆา. 2558. **การวิเคราะห์เนื้อสัมผัสของกล้วย
น้ำว่าสำหรับการออกแบบเครื่องเคียนกล้วย**.
วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร 46: 3/1. (พิเศษ)
:441-444
- [7] Bundit Jarimopas, Dolhathai Rachanukroh
and Paul Chen. 2002. **Guava Sizing
Machine**. Silpakorn University International
Journal, Vol. 2 No. 2: 165-167

**การลดการดัดตัวกลับของเหล็กกล้าความแข็งแรงสูงพิเศษเกรด
JIS-SPFC980Y ในการพับขึ้นรูปตัววี
A spring-back reduction of advanced high strength steel grade
JIS-SPFC980Y in V-bending die**

ภาสพิรุฬห์ วัชรศรีสำเริง¹ ณัฐชานันท์ อังศุเศรณี² และกัณวริช พลุปราชญ์³
b.sresomroeng@gmail.com¹, n.angsuseranee@gmail.com², pganwarich@yahoo.com³

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ใช้ระเบียบวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์ ช่วยจำลองการพับขึ้นรูปตัววี เพื่อศึกษาวิธีการลดปัญหาการดัดตัวกลับของเหล็กกล้าความแข็งแรงสูงพิเศษในการพับขึ้นรูปตัววีด้วยเทคนิคการอัดกระแทก วัสดุชิ้นงานที่ใช้ศึกษา คือเหล็กกล้าความแข็งแรงสูงพิเศษเกรด JIS-SPFC980Y การทดลองพับขึ้นรูปตัววีถูกใช้เพื่อตรวจสอบความแม่นยำของผลการจำลองการพับขึ้นรูปตัววี ผลการศึกษาพบว่า การพับขึ้นรูปตัววีด้วยเทคนิคการอัดกระแทกชิ้นงานช่วยลดปัญหาการดัดตัวกลับของชิ้นงานหลังการพับขึ้นรูปตัววีได้ แต่ต้องใช้แรงในการขึ้นรูปสูง ชิ้นงานที่ได้หลังกระบวนการดังกล่าวมีความหนาลดลงตามระยะการอัดกระแทกที่กำหนด อย่างไรก็ตามการกำหนดระยะการอัดกระแทกที่ไม่เหมาะสม นอกจากแก้ปัญหาการดัดตัวกลับของชิ้นงานหลังการขึ้นรูปไม่ได้แล้ว ชิ้นงานหลังการพับขึ้นรูปตัววีอาจเกิดการดัดตัวไปได้

คำสำคัญ: การดัดตัวกลับ เหล็กกล้าความแข็งแรงสูงพิเศษ การพับขึ้นรูปตัววี

Abstract

This research applied the finite element method (FEM) to simulate V-bending process in order to investigate a spring-back reduction method in V-bending of advanced high strength steel (AHSS) through bottoming technique. The material workpiece is AHSS JIS-SPFC980Y grade. The V-bending experiment was used for checking an accuracy on FEM and the result has shown that, the bottoming technique was able to reduce spring-back problem of workpiece after V-bending but it is required high forming force and also the thickness of workpiece would be decreased as follow as the value of bottoming distance. However to define the invalidate value of bottoming distance, moreover not to solve spring-back problem. It maybe occur spring-go on workpiece after V-bending.

Keywords: Spring-back, Advanced high strength steel, V-bending

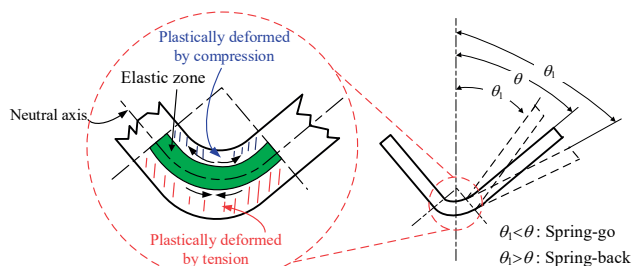
¹ หัวหน้าศูนย์เทคโนโลยีแม่พิมพ์ สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องมือและแม่พิมพ์ คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ

² อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยปทุมธานี

³ รองศาสตราจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

1. บทนำ

การพับเป็นกระบวนการพื้นฐานที่สำคัญ กระบวนการหนึ่งในกระบวนการขึ้นรูปโลหะ ปัญหาสำคัญของกระบวนการนี้คือ รูปทรงของชิ้นงานหลังการขึ้นรูปที่ได้ ไม่เป็นไปตามที่ต้องการหรือที่ได้ออกแบบไว้ เช่น เกิดการดัดตัวกลับ (Spring-back) หรือการดัดตัวไป (Spring-go) ดังรูปที่ 1 โดยการดัดหรือพับโลหะแผ่น เนื้อวัสดุจะเกิดความเค้นขึ้นที่บริเวณรัศมีการพับ (Bend radius) เท่านั้น บริเวณอื่นจะไม่มีเกิดความเค้นเกิดขึ้นเลย โลหะที่ผิวนอกของรัศมีการพับจะถูกดึงยืดออก และเนื้อวัสดุบริเวณดังกล่าวจะเกิดความเค้นดึง (Tensile stress) ส่วนโลหะที่อยู่ผิวด้านในของรัศมีการพับจะเกิดการอัดตัวภายใต้ความเค้นอัด (Compressive stress) ดังนั้น ถ้ามีการฉีกขาดจะเกิดที่ผิวชิ้นงานด้านนอกของรัศมีการพับ แต่ถ้ามีรอยย่น (Wrinkle) จะปรากฏขึ้นที่ผิวด้านในของรัศมีการพับ ความเค้นจะเกิดมากที่สุดที่ผิวชิ้นงานด้านนอกสุดทั้งสองด้านของความหนาของโลหะแผ่น แล้วค่อย ๆ ลดลงเมื่อเข้าใกล้เส้นแกนกลาง (Neutral axis) ดังนั้น บริเวณเส้นแกนกลางจะมีความเค้นเกิดขึ้นต่ำกว่าค่าความเค้นคราก (Yield stress) ของวัสดุชิ้นงานหรืออยู่ในช่วงยืดหยุ่น (Elasticity) เมื่อแผ่นเคลื่อนที่ออกจากด้ายโลหะส่วนนี้จะพยายามดัดตัวกลับสู่รูปทรงเดิม แต่โลหะส่วนที่อยู่ห่างจากเส้นแกนกลางจะมีความเค้นเกิดขึ้นมากเกินค่าความเค้นคราก ทำให้ด้านการกลับสู่รูปทรงเดิม ดังนั้นเมื่อพับโลหะจนเปลี่ยนรูปทรงแล้ว จะยังคงมีเนื้อโลหะบางส่วนอยู่ในสภาวะยืดหยุ่น (Elasticity zone) ปนอยู่ จึงเป็นผลให้เกิดการดัดตัวกลับ ($\theta_1 > \theta$) ของโลหะชิ้นงานรูปทรงที่ได้ไม่เป็นไปตามองศาของการพับ สำหรับการดัดตัวไปของชิ้นงานหลังการขึ้นรูป จะเกิดในลักษณะของชิ้นงานที่ได้หลังการพับมีมุมพับที่ได้้น้อยกว่ามุมที่ต้องการพับ ($\theta_1 < \theta$) การเกิดการดัดตัวกลับของชิ้นงานหลังการขึ้นรูปเกิดจากหลายปัจจัยเช่น ชนิดของวัสดุ ความหนาของวัสดุ และมุมของการพับ [1]



รูปที่ 1 กลไกการเปลี่ยนรูปบริเวณมุมพับ [1]

ปัจจุบันมีการใช้เหล็กกล้าความแข็งแรงสูง (High strength steel; HSS) และเหล็กกล้าความแข็งแรงสูงพิเศษ (Advanced high strength steel; AHSS) เป็นวัตถุดิบในการผลิตชิ้นส่วนรับแรงสำหรับยานยนต์ แต่เนื่องจากค่าความแข็งแรงของวัสดุที่เพิ่มสูงขึ้น ส่งผลให้ความสามารถในการขึ้นรูป (Formability) ของวัสดุดังกล่าวมีค่าลดลง พบปัญหาการดัดตัวกลับและดัดตัวไปในกระบวนการพับขึ้นรูปที่รุนแรง เมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการพับขึ้นรูปวัสดุโลหะที่มีค่าความแข็งแรงต่ำกว่า [2-5]

Bhadpiroon และคณะ [2, 4] ศึกษาการลดปัญหาการดัดตัวกลับของชิ้นงาน HSS โดยการใช้ค่าเคลียร์แรนซ์ (Clearance) หรือช่องว่างระหว่างพินซ์ตายที่มีค่าน้อย ความหนาชิ้นงานที่ทำการพับขึ้นรูปตัวยู (U-bending) โดยพบว่าโลหะแผ่นที่มีค่าความแข็งแรงสูงจะเกิดการดัดตัวกลับมากกว่าโลหะแผ่นที่มีค่าความแข็งแรงต่ำ การใช้ค่าเคลียร์แรนซ์น้อยกว่าความหนาชิ้นงานสามารถลดปัญหาการเกิดการดัดตัวกลับของชิ้นงานหลังการพับขึ้นรูปตัวยูได้ แต่กรณีที่ใช้แม่พิมพ์ที่มีค่าเคลียร์แรนซ์น้อยเกินไปจะส่งผลให้ชิ้นงานหลังการพับขึ้นรูปตัวยูเกิดการดัดตัวไป ทั้งนี้เป็นผลเนื่องมาจากค่าความเค้นอัดที่เกิดขึ้นในเนื้อวัสดุบริเวณผิวด้านนอกของผนังชิ้นงาน

Mohammad Ali Farsi และ Behrooz Arezoo [6] ศึกษาตัวแปรของกระบวนการพับขึ้นรูปตัววีที่มีผลต่อปริมาณการดัดตัวกลับ จากการศึกษาพบว่าปริมาณการดัดตัวกลับของชิ้นงานโลหะแผ่นหลังการพับขึ้นรูปตัววีขึ้นอยู่กับความหนาของวัสดุ มุมของพินซ์และด้าย รัศมีมุมดัดที่พินซ์ ความกว้างของด้าย และขนาดของรูที่เจาะบนชิ้นงานบริเวณมุมพับ Sutasn Thipprakmas [7-8] ศึกษาการลดปริมาณการดัดตัวกลับของชิ้นงานเหล็ก HSS เกรด JIS-SPFH590 และอะลูมิเนียมเกรด Al1100-0 หลังการพับขึ้นรูปตัววี โดยใช้วิธีการทางไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite element method; FEM) ศึกษากลไกการเกิดการดัดตัวกลับและดัดตัวไป จากการศึกษาพบว่าคอยน์บีด (Coin bead) ช่วยสร้างความเค้นให้แก่ชิ้นงานบริเวณมุมพับและข้างมุมพับ ซึ่งการกำหนดตำแหน่งกดของคอยน์บีดที่เหมาะสมสามารถลดการเกิดการดัดตัวกลับและการดัดตัวไปของชิ้นงานรูปตัววีหลังการพับขึ้นรูปได้ นอกจาก

การศึกษารูปร่างของเครื่องมือและแม่พิมพ์เพื่อแก้ปัญหาคุณภาพรูปทรงของชิ้นงานจากงานวิจัยข้างต้นแล้ว ในระยะหลังมีการใช้อุณหภูมิเข้ามาช่วยในการลดปัญหารูปทรงหลังการพับขึ้นรูปไม่ได้ตามที่ต้องการ [9-12]

จากงานวิจัยที่ผ่านมา การแก้ปัญหาคุณภาพรูปทรงของชิ้นงานโลหะแผ่นหลังการพับขึ้นรูปตัววี สามารถทำได้โดยการออกแบบแม่พิมพ์ให้มีตัวแปรของกระบวนการ เช่น รัศมีพ้นซ์และรัศมีตายให้มีความเหมาะสม การสร้างความเค้นอัดให้แก่ชิ้นงานบริเวณมุมพับด้วยปัด รวมถึงการให้อุณหภูมิแก่ชิ้นงานก่อนและขณะทำการขึ้นรูป แต่ยังไม่มีการใช้เทคนิคอัดกระแทก (Bottoming) ชิ้นงาน ซึ่งมีการรายงานผลการวิจัยว่าสามารถลดปัญหาการดัดตัวกลับของชิ้นงานหลังการพับขึ้นรูปตัววี (U-bending) ได้ [3] ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงสนใจศึกษาการลดการดัดตัวกลับของชิ้นงานหลังการพับขึ้นรูปตัววีด้วยวิธีการอัดกระแทกกับวัสดุ AHSS และใช้การจำลองการพับขึ้นรูปตัววีด้วยระเบียบวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์ศึกษาสภาวะความเค้นที่เกิดขึ้นงานหลังการพับขึ้นรูปดังกล่าวเพื่ออธิบายกลไกการลดปัญหาการดัดตัวกลับของวัสดุชิ้นงานหลังการพับขึ้นรูปตัววีด้วยเทคนิคการอัดกระแทกชิ้นงาน

2. การทดลองและการจำลองการพับขึ้นรูปตัววี

2.1 การทดลองการพับขึ้นรูปตัววี

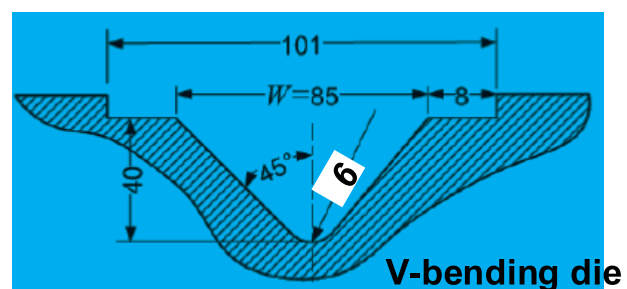
ชิ้นงาน AHSS เกรด JIS-SPFC980Y ความหนา 2 มิลลิเมตร ขนาดความกว้าง 20 มิลลิเมตร ยาว 100 มิลลิเมตร ถูกใช้ในการศึกษาปัญหาการดัดตัวกลับของชิ้นงานหลังการพับขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์พับขึ้นรูปตัววี โดยมีรัศมีมุมดัดเท่ากับ 6 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นค่าแนะนำที่ทำให้เกิดการดัดตัวกลับน้อยที่สุดสำหรับการพับขึ้นรูปเหล็กกล้าคาร์บอนที่ต้องการมุมดัดเท่ากับ 90° [1]

ชิ้นงานวัสดุเกรด JIS-SPCC ที่มีค่าความแข็งแรงดึง (Tensile strength) 311 นิวตัน/ตารางมิลลิเมตร และวัสดุ HSS เกรด JIS-SPFH590 ที่มีค่าความแข็งแรงดึง 612 นิวตัน/ตารางมิลลิเมตร ซึ่งเป็นวัสดุที่มีความแข็งแรงต่ำกว่าวัสดุ AHSS ถูกนำมาพับขึ้นรูปตัววีเพื่อเปรียบเทียบปัญหาการดัดตัวกลับของชิ้นงานหลังการพับขึ้นรูปด้วยเงื่อนไขการทดลองเดียวกันกับชิ้นงานเกรด JIS-SPFC980Y

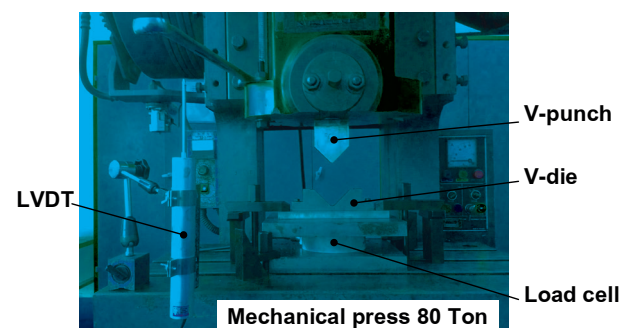
โดยรายละเอียดรูปทรงของแม่พิมพ์ที่ใช้ในการทดลองแสดงในรูปที่ 2

ชุดแม่พิมพ์พับขึ้นรูปตัววีถูกติดตั้งบนเครื่องเพรสแบบแมคคานิกส์ (Mechanical press) ขนาด 80 ตัน แรงและระยะทางที่ใช้ในการพับขึ้นรูปสำหรับการทดลองครั้งนี้ ถูกวัดด้วยโหลดเซลล์ (Load cell) และอุปกรณ์วัดระยะทาง (Linear variable differential transformer; LVDT) ดังรูปที่ 3 ต่อเข้ากับอุปกรณ์ประมวลผลแรงและระยะทาง

ทดลองพับขึ้นรูปตัววีทั้ง 3 วัสดุ จำนวนวัสดุชิ้นงานละ 9 ชิ้น ที่ระยะทางการเคลื่อนที่ของพ้นซ์เท่ากับ 40 มิลลิเมตร (วัดตั้งแต่ปลายพ้นซ์แต่ละผิวชิ้นงาน) ซึ่งเป็นระยะทางในการพับขึ้นรูปที่พ้นซ์ยังไม่อัดกระแทกชิ้นงาน ผลลักษณะของรูปทรงชิ้นงานที่เกิดขึ้นพิจารณาจากค่าองศาการดัดกลับ ซึ่งวัดโดยใช้เครื่องโปรไฟล์โปรเจกเตอร์ (Profile projector) ผลของแรงกับระยะทางในการพับขึ้นรูปตัววี และองศาการดัดตัวกลับที่ได้จากการทดลองถูกใช้เพื่อตรวจสอบความแม่นยำกับผลการจำลองการพับขึ้นรูปตัววีด้วยวิธีการทางไฟไนต์เอลิเมนต์



รูปที่ 2 รายละเอียดแม่พิมพ์พับขึ้นรูปตัววี



รูปที่ 3 การติดตั้งชุดแม่พิมพ์พับขึ้นรูปตัววี

2.2 การจำลองการพับขึ้นรูปตัววี

การจำลอง (Simulation) การพับขึ้นรูปตัววี เพื่อศึกษาการลดปัญหาการติดตัวกลับของชิ้นงาน AHSS ด้วยเทคนิควิธีการอัดกระแทกในงานนี้ ใช้ระเบียบวิธี ไฟไนต์เอลิเมนต์ด้วยซอฟต์แวร์ DEFORM 2D มาวิเคราะห์ สภาวะความเค้นที่เกิดขึ้นในเนื้อชิ้นงาน โดยจำลองเฉพาะ วัสดุเหล็กกล้าความแข็งแรงสูงพิเศษ เกรด JIS-SPFC980Y แบ่งการจำลองการขึ้นรูปเป็น 5 เงื่อนไขที่ระยะอัดกระแทก ชิ้นงานตามร้อยละของความหนาชิ้นงาน (%t) แตกต่างกัน คือ 0%t (ไม่อัดกระแทกชิ้นงาน) 5%t, 10%t, 15%t และ 20%t

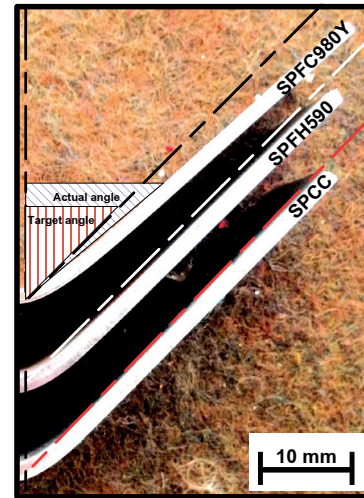
เงื่อนไขของการจำลองการพับขึ้นรูปตัววีถูกกำหนด ให้เป็นไปตามการทดลองการพับขึ้นรูปตัววี โดยชิ้นงาน เริ่มต้นถูกกำหนดให้มีสมบัติอยู่ในช่วงยืดหยุ่นและเปลี่ยน รูปถาวร หรืออีลาสโต-พลาสติก (Elasto-plastic) กำหนด ให้ชิ้นงานมี เมช (Mesh) เท่ากับ 2,500 เอลิเมนต์ โดยที่ บริเวณมุมพับซึ่งเป็นบริเวณที่มีการเปลี่ยนรูปจะกำหนดให้ มีความละเอียดของเมชมากกว่าบริเวณอื่นเพื่อความ เที่ยงตรงในการพิจารณาสภาวะความเค้นที่เกิดขึ้น พันช์ และตายกำหนดให้มีสมบัติเป็นวัตถุแข็งเกร็ง (Rigid body) เนื่องจากไม่พิจารณาการเปลี่ยนรูปชิ้นส่วนดังกล่าว ความเร็วในการเคลื่อนที่ของพันช์กำหนดให้มีค่าเท่ากับ การทดลองคือ 10 มิลลิเมตร/วินาที

พฤติกรรมของการเปลี่ยนรูปของวัสดุแทนด้วยสมการ ความเค้นไหล (Flow stress; s) ดังสมการที่ (1) เมื่อ σ คือความเคียดจริง (True strain) โดยค่าที่ใช้ป้อน ให้กับซอฟต์แวร์ ได้จากการทดสอบแรงดึง ตามมาตรฐาน ASTM E8 จำนวน 5 ชิ้นทดสอบ และการทดสอบความแข็ง (Hardness testing) ค่าเฉลี่ยที่ได้จากการทดสอบ แสดงใน ตารางที่ 1

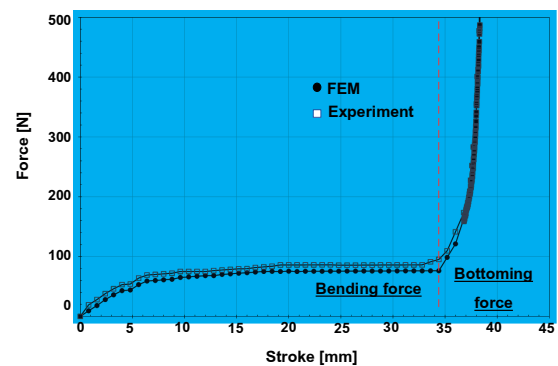
$$\sigma = K\varepsilon^n \quad (1)$$

ตารางที่ 1 สมบัติของวัสดุในการจำลองการพับขึ้นรูป

AHSS JIS-SPFC980Y grade	
Tensile strength [N/mm ²]	1002
Yield strength [N/mm ²]	605
Elongation [%]	16
Elastic modulus [GPa]	206
Poisson's ratio (ν)	0.30
Strength coefficient; K	1500
Strain hardening exponent; n	0.12



รูปที่ 4 ชิ้นงานที่ได้จากการทดลองพับขึ้นรูปตัววี



รูปที่ 5 กราฟแรงและระยะทางในการพับขึ้นรูปตัววี

3 ผลการทดลองและจำลองการพับขึ้นรูปตัววี

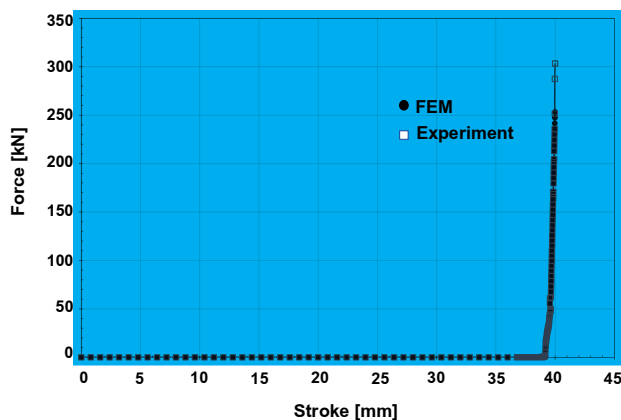
3.1 ผลการทดลองพับขึ้นรูปตัววี

ชิ้นงานที่ได้จากการพับขึ้นรูปตัววีของวัสดุ แต่ละเกรดที่ระยะกดเท่าความหนาชิ้นงานทั้ง 9 ชิ้น เมื่อนำมาวัดมุมพับหลังจากการขึ้นรูปด้วยโปรไฟล์ โปรเจกเตอร์พบว่าวัสดุเกรด JIS-SPCC, JIS-SPFH590 และ JIS-SPFC980Y มีมุมติดกลับเฉลี่ยเท่ากับ 0.28°, 1.65°

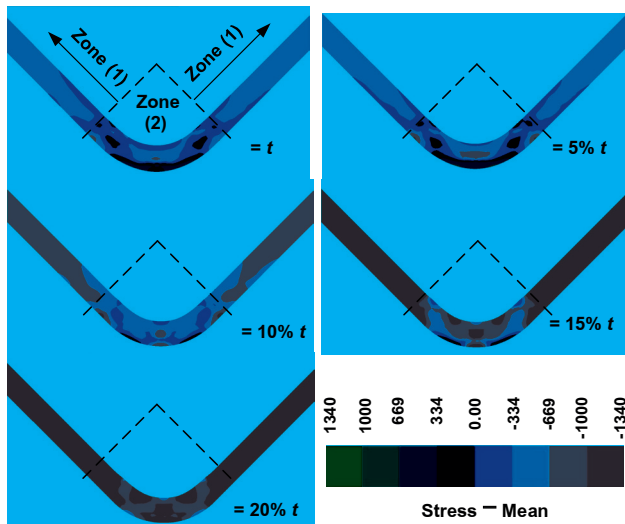
และ 4.45° ตามลำดับ ซึ่งงานที่ได้จากการพับขึ้นรูปตัววีของทั้งสามวัสดุแสดงเปรียบเทียบกันดังรูปที่ 4

3.2 ผลการจำลองการพับขึ้นรูปตัววี

ผลของแรงและระยะทางที่ใช้ในการขึ้นรูป และองศาการดัดตัวกลับของชิ้นงานหลังการพับขึ้นรูปที่ได้จากการทดลอง ถูกนำมาเปรียบเทียบกับผลการจำลองการพับขึ้นรูปตัววีกรณี $0\%t$ เพื่อตรวจสอบว่าโมเดลและสมบัติทางกลของวัสดุที่กำหนดในการจำลองการพับขึ้นรูปตัววีมีความเหมาะสมหรือไม่



รูปที่ 6 การเปรียบเทียบกราฟแรงและระยะทางในการพับขึ้นรูปตัววี กรณี $0\%t$ ระหว่างการทดลอง และ FEM



รูปที่ 7 สถานะความเค้นที่เกิดขึ้นในเนื้อวัสดุชิ้นงาน

ผลการเปรียบเทียบระยะทางและแรงในการพับขึ้นรูป แสดงเป็นกราฟดังรูปที่ 5 ซึ่งมีลักษณะของกราฟมีแนวโน้มเดียวกัน และองศาการดัดตัวกลับที่ได้จากการจำลอง

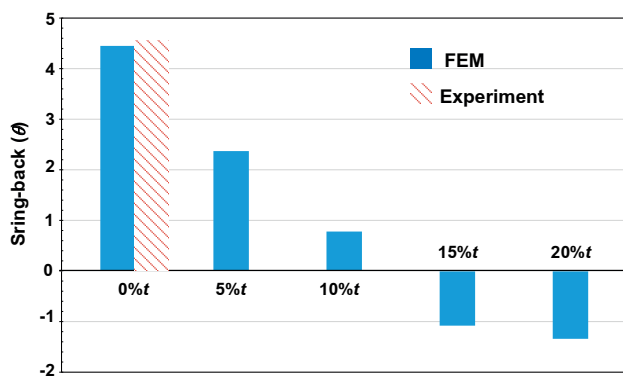
การพับขึ้นรูปตัววีกรณี $0\%t$ มีค่าเท่ากับ 4.38° ซึ่งมีค่าแตกต่างจากผลการทดลองอยู่ร้อยละ 1.57 ดังนั้นโมเดลและสมบัติทางกลของวัสดุที่กำหนดในการจำลองการพับขึ้นรูปตัววีจึงมีความเหมาะสมในการใช้เพื่อจำลองการพับขึ้นรูปตัววีครั้งนี้

รูปที่ 5 แสดงแรงที่ใช้ในการพับขึ้นรูปตัววีครั้งนี้ แบ่งเป็น 2 ช่วง คือในช่วงระยะการเคลื่อนที่ของพันทั้งตั้งแต่ 0 ถึง 34 มิลลิเมตร แรงในช่วงดังกล่าวเป็นแรงที่ใช้เพื่อเอาชนะค่าความแข็งแรงของวัสดุในการพับขึ้นรูปตัววี (Bending force) และเมื่อพันทั้งยังคงเคลื่อนที่ต่อ ชิ้นงานจะถูกพันทั้งอัดกระแทก (Bottoming) กับตายตั้งแต่ระยะการเคลื่อนที่พันทั้งเท่ากับ 35 ถึง 40 มิลลิเมตร จึงทำให้แรงเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว แรงอัดกระแทกสูงสุดที่ได้จากการทดลองและการจำลองการพับขึ้นรูปตัววีแสดงในรูปที่ 6

รูปที่ 5 และรูปที่ 6 แสดงให้เห็นว่า ชิ้นงานถูกพันทั้งอัดกระแทกกับตายตั้งแต่การเคลื่อนที่ของพันทั้งที่ระยะ 35 มิลลิเมตร แม้ว่าเป็นการขึ้นรูปกรณี $0\%t$ ซึ่งเมื่อพิจารณาสถานะความเค้นที่เกิดขึ้นในเนื้อวัสดุจากผลการจำลองการพับขึ้นรูปตัววีดังรูปที่ 7 พบว่าเกิดความเค้นอัดขึ้นในเนื้อชิ้นงานบริเวณที่ (1) และเมื่อพันทั้งเคลื่อนที่จนถึงระยะ 40 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นตำแหน่งสุดท้ายของพันทั้งในการพับขึ้นรูปตัววีชิ้นงานกรณี $0\%t$ ณ ตำแหน่งนี้ บริเวณที่ (2) หรือมุมพับ สถานะความเค้นที่เกิดขึ้นจะเป็นไปตามทฤษฎี ดังรูปที่ 1 คือที่ผิวด้านในของมุมพับเกิดความเค้นอัด และที่ผิวด้านนอกของมุมพับเกิดความเค้นดึงขึ้น ในกรณีที่ให้พันทั้งเคลื่อนที่อัดกระแทกเนื้อวัสดุชิ้นงาน ความเค้นอัดที่เกิดขึ้นในเนื้อวัสดุชิ้นงานจะช่วยลดสถานะยึดหยุ่นที่บริเวณเส้นแกนกลางของวัสดุชิ้นงาน จึงช่วยลดปัญหาการดัดตัวกลับของชิ้นงานหลังการพับขึ้นรูปได้ ผลการวัดองศาการดัดตัวกลับของชิ้นงานหลังการจำลองการพับขึ้นรูปตัววีด้วยโปรแกรมโปรเจกเตอร์ดังรูปที่ 8

จากการจำลองการพับขึ้นรูปตัววีด้วยเทคนิคการอัดกระแทกชิ้นงานสามารถลดปริมาณการดัดตัวกลับของชิ้นงานหลังการพับขึ้นรูปตัววีได้ แต่การกดอัดกระแทก

ขึ้นงานด้วยระยะการอัดกระแทกมากเกินไป จะทำให้ขึ้นงานเกิดการติดตัวไป อีกทั้งต้องใช้แรงสูง ขึ้นงานที่ได้จะมีความหนาลดลงจากความหนาขึ้นงานเริ่มต้นทั่วทั้งชิ้นที่โดนอัดกระแทก ดังนั้นกรณีต้องการลดปัญหาการติดตัวกลับของขึ้นงานหลังการพับขึ้นรูปตัววี ที่ไม่ต้องการลดความหนาขึ้นงานทั่วทั้งแผ่นขึ้นงานที่โดนอัดกระแทก ผู้ออกแบบอาจออกแบบให้พื้นที่มีปัดอัดกระแทกเฉพาะที่บริเวณมุมพับ เพื่อให้บริเวณดังกล่าวเกิดการเปลี่ยนรูปถาวรให้มากที่สุด เพื่อลดปัญหาการเกิดการติดตัวกลับของขึ้นงานหลังการพับขึ้นรูป เช่นงานวิจัยที่ผ่านมา [7-8]



รูปที่ 8 ปริมาณการติดตัวกลับและการติดตัวไป

4 สรุป

ปัญหาสำคัญในการพับขึ้นรูปตัววีเหล็กกล้าที่มีค่าความแข็งแรงสูงได้แก่ ปัญหาการติดตัวกลับของขึ้นงานหลังการพับขึ้นรูป จากการทดลองและการจำลองการทำงานการพับขึ้นรูปตัววีในงานวิจัยนี้ สรุปได้ดังนี้

1. การพับขึ้นรูปตัววีด้วยการอัดกระแทกขึ้นงานสามารถลดปริมาณการเกิดการติดตัวกลับของขึ้นงานหลังขึ้นรูปได้ เนื่องจากวิธีการนี้ เป็นการสร้างความเค้นอัดในเนื้อวัสดุ ทำให้ช่วยลดสภาวะยึดหยุ่นที่บริเวณเส้นแกนกลางของเนื้อวัสดุขึ้นงาน
2. การอัดกระแทกเนื้อวัสดุขึ้นงานเพื่อต้องการลดปัญหาการเกิดการติดตัวกลับของขึ้นงานหลังการพับขึ้นรูปตัววี จำเป็นต้องใช้แรงในการขึ้นรูปสูง และขึ้นงานที่ได้จะมีความหนาลดลงทั่วทั้งชิ้นงานตามระยะอัดกระแทกที่กำหนด

3. การอัดกระแทกขึ้นงานที่ระยะการกดไม่เหมาะสม ส่งผลให้ขึ้นงานเกิดการติดตัวกลับ และติดตัวไป

5 กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนงบประมาณจากกองทุนส่งเสริมงานวิจัยประจำปีงบประมาณ 2559 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ รหัสโครงการหมายเลข 59205003 และขอขอบคุณภาควิชาชีพวิศวกรรมเครื่องมือและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ที่เอื้อเฟื้อซอฟต์แวร์ในงานวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- [1] Donald F. Eary and Edward A. Reed, 1974. **Technique of press working sheet metal**, 2nd Edition. Prentice-Hall, Inc.
- [2] ภาสพิรุฬห์ ศรีสำเรือง, คมกริช ละวรรณวงษ์, วารุณี เปรมานนท์, พงศ์พันธ์ แก้วดาทิพย์ และอนรรฆ ชันธะชวนะ, 2550. **อิทธิพลของเคลือบแรนซ์ที่มีผลต่อการติดตัวกลับในการดัดงอรูปเหล็กกล้าความแข็งแรงสูง**. การประชุมเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 21, 17-19 ตุลาคม 2550, โรงแรมเวลคัม จอมเทียน ปิซ. ชลบุรี.
- [3] P.Kaewtatip, N.Prasitkhetkhan, A.Khantachawana, V.Premanond, R.Hato, B.Sresomroeng and N.Koga, 2008. **Bendability and Forming Behaviour of High Strength Steel in U Bending Operation**. The proceeding of 9th International Conference on Technology of Plasticity, September 7-11, 2008, Hotel Hyundai, Gyeon gju, Korea: 295.
- [4] B.Sresomroeng, V Premanond, P.Kaewtatip, A.Khantachawana, N.Koga, 2010. **Investigation of the Influences of Bending Die Clearance on Springback Values of High Strength Steel Using FEM**. International Conference on Materials Processing Technology 2010, January 5-6, 2010, Bangkok, THAILAND.

- [5] Bhadpiroon Sresomroeng, Pakorn Chumrum, Jiraporn Sripraserd and Varunee Premanond, 2011. **Sidewall-curl prediction in U-bending process of advanced high strength steel.** The Second TSME International Conference on Mechanical Engineering, 19-21 October, 2011, Krabi, Thailand.
- [6] Mohammad Ali Farsi and Behrooz Arezoo, 2011. **Bending Force and Spring-Back in V-Die-Bending of Perforated Sheet-Metal Components.** J. of the Braz. Soc. of Mech. Sci. & Eng: 45-51.
- [7] Sutasn Thipprakmas, 2011. **Finite element analysis on the coined-bead mechanism during the V-bending process.** Materials and Design Vol.32: 4909-4917.
- [8] Sutasn Thipprakmas, 2013. **Finite element analysis of sided coined-bead technique in precision V-bending process.** Int J Adv Manuf Technol Vol.65: 679-688.
- [9] F Ozturk, S Toros, S Kilic, 2009. **Tensile and Spring-Back Behavior of DP600 Advanced High Strength Steel at Warm Temperatures.** JOURNAL OF IRON AND STEEL RESEARCH. INTERNANAL. Vol.16: 41-46.
- [10] F. STACHOWICZ, T. TRZEPIECINSKI, T. PIEJA, 2010. **Warm forming of stainless steel sheet.** ARCHIVES OF CIVIL AND MECHANICAL ENGINEERING: 85-94.
- [11] Katsuyoshi Ikeuchi and Jun Yanagimoto, 2011. **Valuation method for effects of hot stamping process parameters on product properties using hot forming simulator.** Journal of Materials Processing Technology, Vol.211: 1441-1447.
- [12] Ken-ichiro MORI, 2012. **Smart hot stamping of ultra-high strength steel parts.** Trans. Nonferrous Met. Soc. China, Vol.22: 496-503.

การศึกษาและทดสอบเครื่องแกะเมล็ดบัวหลวง

Study and Testing of a Lotus Seed Peeling Machine

จตุรงค์ ลังกาพินธุ์^{1*}, สุนัน ปานสาคร¹, รุ่งเรือง กาลศิริศิลป์¹, มาสสุภา โพธิ์รอด¹, ณัฐวุฒิ โคตรพรหมศรี¹

jaturong.l@en.rmutt.ac.th¹, sunan.p@en.rmutt.ac.th¹,

rrka1965@yahoo.com¹, MAYKUME_JUNG@hotmail.com¹, nuttiwut_ame@hotmail.com

บทคัดย่อ

เครื่องแกะเมล็ดบัวหลวงได้ถูกออกแบบและสร้างขึ้นเพื่อลดเวลาและแรงงานในการแกะเมล็ดบัวหลวงของเกษตรกร เครื่องต้นแบบประกอบด้วย โครงสร้างเครื่อง ชุดใบมีดกรีด กลไก Scotch Yoke ระบบส่งกำลัง และใช้มอเตอร์ไฟฟ้า ขนาด 0.25 แรงม้า เป็นต้นกำลัง การทำงานของเครื่องเริ่มจากผู้ควบคุมเครื่องป้อนเมล็ดบัวหลวงลงในช่องป้อน ทางด้านบนของเครื่อง หลังจากนั้นเมล็ดบัวหลวงจะถูกลำเลียงเข้าไปในชุดใบมีดกรีดโดยการเคลื่อนที่ของกลไก Scotch Yoke ซึ่งชุดใบมีดกรีดทำหน้าที่กรีดตัดเปลือกตามแนวเส้นรอบวงของเมล็ดบัวหลวงและปล่อยให้เมล็ด บัวหลวงร่วงสู่ช่องทางออกทางด้านล่างของเครื่อง จากการทดสอบที่ความเร็วเฉลี่ยของชุดใบมีดกรีดที่ 7.5, 8.5 และ 9.5 เมตรต่อวินาที ตามลำดับ พบว่าเครื่องแกะเมล็ดบัวหลวงต้นแบบสามารถทำงานได้ดีที่ความเร็วเฉลี่ยของชุด ใบมีดกรีด 7.5 เมตรต่อวินาที มีเปอร์เซ็นต์ในการแกะเมล็ดบัว 79.8% เมล็ดบัวไม่มีความเสียหาย มีความสามารถในการ ทำงาน 2 ± 0.21 กิโลกรัมต่อชั่วโมง อัตราการใช้พลังงานไฟฟ้า 0.8 กิโลวัตต์-ชั่วโมง จากการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ วิศวกรรมพบว่าเมื่อใช้เครื่องแกะเมล็ดบัวหลวง 1,440 ชั่วโมงต่อปี มีค่าใช้จ่ายเฉลี่ยของเครื่อง 6.9 บาทต่อกิโลกรัม ระยะคืนทุน 11.4 เดือน และจุดคุ้มทุน 185.3 ชั่วโมงต่อปี

คำสำคัญ: เมล็ดบัวหลวง, เครื่องแกะ, บัวหลวง

Abstract

This research was to design and fabricate of a lotus seed peeling machine prototype to minimize the peeling time and number of labor requirement in the fresh lotus seed shell removing. The prototype consisting of main frame, cutting blade unit, Scotch Yoke mechanism, the power transmission unit and 0.25 hp electric motor was used as a prime mover. In the operation, the lotus seeds were fed manually into feeding chute at the top of machine. Then the lotus seeds were conveyed to cutting blade unit by Scotch Yoke mechanism, and left through in outlet chute of the machine after peeling. Results of testing at the average speed of blade 7.5, 8.5 and 9.5 m/min respectively, indicated that the optimal performance was achieved when

¹ ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

39 หมู่ 1 ต. คลองหก อ. ธัญบุรี จ.ปทุมธานี 12110 โทรศัพท์: +66(2)-549-3328

โทรสาร: +66(2)-549-3581 E-mail: * jaturong.l@en.rmutt.ac.th;

the machine was operated at average speed of blade 7.5 m/min. The percentage of peeling were 79.8%, no percentage of damaged seeds, working capacity was found to be 2 ± 0.21 kg/hour and consumed 0.8 kW-hour of energy. An engineering economic analysis showed that, at an annual usage rate of 1,440 hours, the machine cost was on average THB 6.9 per kilogram, payback period 11.4 months and the break-even point of the machine was 185.3 hours per year.

Keywords: Lotus seed, Peeling Machine, Lotus

1. บทนำ

ส่วนประกอบของบัว เช่น รากบัว ไหลบัว เมล็ดบัว ดอกบัว และ ใบบัว ยังมีสรรพคุณใช้เป็นส่วนผสมสำคัญในตำรายาจีนโบราณเป็นยาอายุวัฒนะ [1] จึงทำให้ประเทศจีนสนับสนุนให้บัวเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญอย่างหนึ่งของประเทศ สำหรับประเทศไทยได้มีการสนับสนุนให้ปลูกบัวเพิ่มขึ้นโดยเฉพาะในพื้นที่ที่มีน้ำท่วมขังไม่สามารถปลูกพืชชนิดอื่นได้ โดยมีพื้นที่ปลูกบัวประมาณ 5,000 ไร่ กระจายอยู่ทั่วทุกภาคของประเทศ เช่น นนทบุรี นครปฐม สุพรรณบุรี อุบลราชธานี ขอนแก่น พิจิตร พะเยา นครสวรรค์ พิษณุโลก และพัทลุง [2] นาบัวสามารถดูแลรักษาง่ายกว่านาข้าว มีโรคและแมลงรบกวนน้อยใช้น้ำน้อยกว่า สามารถเก็บเกี่ยวผลผลิตทั้งในรูปดอกตูมและเก็บเมล็ด ซึ่งผลผลิตทั้งสองรูปแบบนี้ยังเป็นที่ต้องการของทั้งในประเทศและต่างประเทศ ดังนั้นจากสภาพปัจจุบันที่เกษตรกรผู้ทำนาประสบปัญหาทั้งในเรื่องการขาดน้ำและราคาข้าวไม่แน่นอน นาบัวจึงเป็นทางเลือกใหม่ทางหนึ่งที่มีความเหมาะสมกับพื้นที่นาข้าว [3, 4, 5] ปัจจุบันเมล็ดบัวยังสามารถนำมาแปรรูปเป็นสินค้าโอท็อปของจังหวัดที่มีการทำนาบัว เช่น วิสาหกิจชุมชนกลุ่มสตรีสหกรณ์บึงสีไฟ อ.เมือง จ.พิจิตร ผลิตเมล็ดบัวอบกรอบบรรจุกล่องพลาสติกและดีบัวแคปซูลจำหน่ายเป็นสินค้าโอท็อป ซึ่งมียอดจำหน่ายแต่ละปีกว่า 1.2 ล้านบาท [6] นอกจากนี้ยังเป็นส่วนประกอบหลักของไส้ขนมไหว้พระจันทร์ใส่ลูกบัวของโรงงานผลิตขนมไหว้พระจันทร์ต่าง ๆ สำหรับส่งขายทั่วประเทศ เช่น โรงงานผลิตขนมไหว้พระจันทร์ เอส แอนด์ พี เป็นต้น

วิธีการเก็บเมล็ดบัวหลวงสดเพื่อจำหน่ายในปัจจุบันเกษตรกรจะเก็บฝักบัวแล้วนำมาแกะหรือนวดเอาเมล็ดออกจากฝัก [7] จากนั้นใช้มีดกรีดรอบเมล็ดบัว แล้วใช้มือแกะเปลือกออกดังรูปที่ 1 ลอกเยื่อและแหว่งดีบัวออก [8] เตรียมที่จะแปรรูปต่อไป จะเห็นว่าขั้นตอนการแกะเปลือก ยังใช้แรงงานคนเป็นหลักทำให้เกษตรกรเสี่ยงต่อการถูกมีดบาด และใช้เวลาในการแกะสูง ส่วนเครื่องแกะเมล็ดบัวหลวงที่มีใช้ในต่างประเทศ เช่น ในประเทศจีนนั้นไม่เหมาะที่จะนำมาใช้แกะเมล็ดบัวพันธุ์ที่นิยมปลูกในประเทศไทยเนื่องจากเมล็ดบัวมีลักษณะทางกายภาพที่แตกต่างกัน เครื่องแกะเมล็ดบัวหลวงที่ใช้งานอยู่ในปัจจุบันยังมีข้อจำกัดที่ควรนำมาพัฒนาต่อไป เช่น การป้อนเมล็ดบัวเข้าช่องป้อนจะต้องป้อนทีละเมล็ดและเปอร์เซ็นต์ความเสียหายจากการแกะของเครื่องค่อนข้างสูง [9, 10] ดังนั้นจึงควรทำการวิจัยเพื่อลดปัญหาดังกล่าวข้างต้น เพื่อให้ได้เครื่องแกะเมล็ดบัวหลวงที่ทำงานได้เป็นอย่างดีต่อไป



ก) การใช้มีดกรีดรอบเมล็ดบัว



ข) การใช้มือแกะเปลือกออก

รูปที่ 1 การแกะเมล็ดบัวหลวงด้วยแรงงานคน

2. อุปกรณ์และวิธีการ

2.1 ศึกษาข้อมูลที่เป็นต่อการออกแบบ

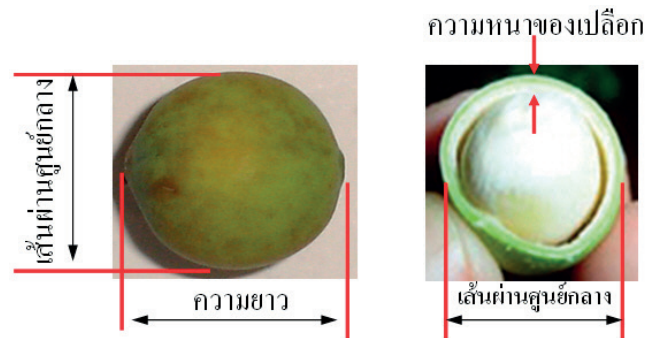
ก) ศึกษาปัญหาในขั้นตอนการแกะเมล็ดบัวหลวงในปัจจุบัน

วัตถุประสงค์เพื่อให้ทราบข้อมูลและปัญหาการแกะเมล็ดบัวหลวงของเกษตรกร เพื่อใช้วิเคราะห์ค่าใช้จ่ายเชิงเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม จากการศึกษาโดยสัมภาษณ์วิสาหกิจชุมชนกลุ่มสตรีสหกรณ์บึงสีไฟ อ.เมือง จ.พิจิตร พบว่า แรงงานในกระบวนการผลิตมาจากแรงงานในกลุ่มสหกรณ์ในชุมชนซึ่งมีสมาชิก 30 คน วัตถุดิบมาจากแหล่งปลูกในท้องถิ่น บางช่วงในกรณีตลาดมีความต้องการสูงจะหาวัตถุดิบเพิ่มจากแหล่งอื่นเพื่อให้เพียงพอต่อความต้องการ ปกติจะทำการผลิตต่อเนื่องทุกวัน มีกำลังผลิตเมล็ดบัวอบกรอบโดยเฉลี่ย 1,000 กิโลกรัมต่อเดือน ค่าแรงงาน 300 บาทต่อวัน ปัญหาในกระบวนการผลิตที่พบ คือ แรงงานในการผลิตไม่เพียงพอโดยเฉพาะช่วงที่ต้องการผลผลิตสูงเนื่องจากใช้แรงงานคนเป็นหลัก มีความเหนื่อยยากและความไม่ปลอดภัยในการทำงาน เช่น อุบัติเหตุจากมีดแกะเปลือกบาดมือ นอกจากนี้ยังขาดแคลนเครื่องจักรสำหรับช่วยในการผลิต เช่น เครื่องแกะเมล็ดบัวหลวง เครื่องทอดอัตโนมัติ เป็นต้น รวมทั้งต้องการพัฒนารูปแบบของบรรจุภัณฑ์ให้น่าสนใจมากขึ้น

ข) การศึกษาลักษณะทางกายภาพของเมล็ดบัวหลวง

วัตถุประสงค์เพื่อให้ทราบถึงลักษณะทางกายภาพของเมล็ดบัวหลวง ได้แก่ เส้นผ่านศูนย์กลาง ความยาวของเมล็ดบัวหลวง และความหนาของเปลือกเมล็ดบัวหลวง ดังรูปที่ 2 สำหรับใช้เป็นข้อมูลในการออกแบบชุดโม่และเครื่องปรับแต่งต่าง ๆ ที่จำเป็นในการออกแบบเครื่องจากการศึกษาโดยสุ่มวัดเมล็ดบัวหลวงจำนวน 100 เมล็ด ด้วยเวอร์เนียคาร์ลิปเปอร์ พบว่าเส้นผ่านศูนย์กลางของเมล็ดบัวหลวงมีค่าระหว่าง 13-15 mm มีค่าเฉลี่ย 14.6 ± 0.6 mm ความยาวมีค่าระหว่าง 20-22 mm มีค่าเฉลี่ย 21.3 ± 0.8 mm และความหนาของเปลือกมีค่าระหว่าง 0.9-1.2 mm มีค่าเฉลี่ย 1.1 ± 0.2 mm ซึ่งเส้นผ่านศูนย์กลางและความ

ยาวของเมล็ดบัวหลวงได้ถูกนำไปใช้ออกแบบความกว้างและความสูงของช่องบ่อนเมล็ดบัวหลวงของชุดโม่มีดกรีด ส่วนความหนาของเปลือกใช้กำหนดความลึกในการตัดของโม่มีดกรีด

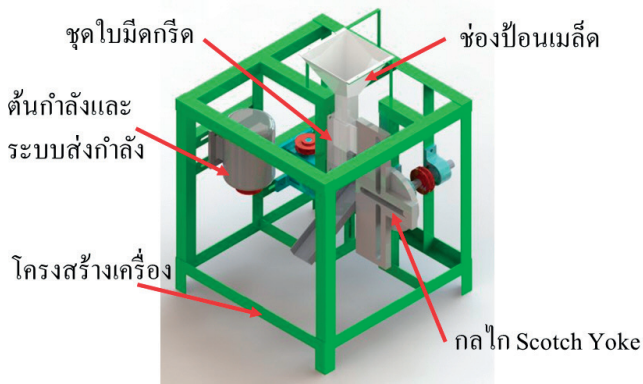


รูปที่ 2 ลักษณะทางกายภาพของเมล็ดบัวหลวง

2.2 ออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบ

หลังจากการรวบรวมข้อมูลที่เป็นต่อการออกแบบเครื่องแกะเมล็ดบัวหลวงต้นแบบได้ถูกออกแบบโดยใช้หลักการออกแบบทางวิศวกรรม และใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบและเขียนแบบ [11] มีส่วนประกอบหลักคือ โครงสร้างเครื่อง ช่องบ่อนเมล็ด ชุดโม่มีดกรีดซึ่งประกอบด้วยโม่มีด 2 ชุด โม่มีดชุดแรกยึดอยู่กับที่ในเรือนโม่มีดที่ติดตั้งกับโครงสร้างเครื่อง โม่มีดชุดที่ 2 จะยึดติดกับกลไก Scotch Yoke [12] เพื่อให้สามารถเคลื่อนที่ขึ้น-ลงได้ และใช้มอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 0.25 แรงม้า เป็นต้นกำลัง ซึ่งส่งกำลังไปขับเคลื่อนกลไก Scotch Yoke โดยใช้ฟุเลย์และสายพาน [13, 14] เนื่องจากออกแบบง่าย ไม่เกิดเสียงดังขณะทำงาน ราคาถูก และหาซื้อง่าย ดังรูปที่ 3 (ก)

การทำงานของเครื่องเริ่มจากผู้ควบคุมเครื่องบ่อนเมล็ดบัวหลวงลงในช่องบ่อนเมล็ดทางด้านบนของเครื่อง หลังจากนั้นเมล็ดบัวหลวงจะถูกลำเลียงเข้าไปในชุดโม่มีดกรีดโดยการเคลื่อนที่ของกลไก Scotch Yoke ซึ่งโม่มีดที่ติดกับเรือนโม่มีดและกลไก Scotch Yoke จะทำหน้าที่กรีดตัดเปลือกตามแนวเส้นรอบวงของเมล็ดบัวหลวง และปล่อยให้เมล็ดบัวหลวงร่วงสู่ช่องทางออกทางด้านล่างของเครื่อง ซึ่งเครื่องต้นแบบที่สร้างเสร็จแสดงดังรูปที่ 3(ข)



1) แบบเครื่องต้นแบบด้วยโปรแกรมด้าน CAD



2) เครื่องแกะเมล็ดบัวหลวงต้นแบบ

รูปที่ 3 แบบและเครื่องแกะเมล็ดบัวหลวงต้นแบบ

2.3 ทดสอบและประเมินสมรรถนะเครื่องต้นแบบ

เครื่องต้นแบบได้ถูกทดสอบและประเมินสมรรถนะในการทำงาน รวมทั้งคุณภาพในการแกะเมล็ดบัวหลวง โดยใช้เปอร์เซ็นต์การแกะเมล็ด เปอร์เซ็นต์ความเสียหายของเมล็ด ความสามารถในการทำงาน และอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้า เป็นค่าชี้ผลการศึกษา ซึ่งคำนวณได้จากสมการ ดังนี้

1) เปอร์เซ็นต์การแกะเมล็ด (%)

$$\frac{\text{น้ำหนักของเมล็ดบัวหลวงที่แกะเปลือกได้}}{\text{น้ำหนักของเมล็ดบัวหลวงทั้งหมด}} \times 100 \quad (1)$$

2) เปอร์เซ็นต์ความเสียหายของเมล็ด (%)

$$\frac{\text{น้ำหนักของเมล็ดบัวหลวงที่เสียหาย}}{\text{น้ำหนักของเมล็ดบัวหลวงทั้งหมด}} \times 100 \quad (2)$$

3) ความสามารถในการทำงาน (kg/hr)

$$\frac{\text{น้ำหนักของเมล็ดบัวหลวงที่แกะเปลือกได้ทั้งหมด}}{\text{เวลาในการทำงานทั้งหมด}} \quad (3)$$

4) อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้า (kW-hr)

$$= \frac{IVt}{1000} \quad (4)$$

เมื่อ I = กระแสไฟฟ้า (แอมแปร์)

V = แรงเคลื่อนไฟฟ้า (โวลต์)

t = เวลา (ชั่วโมง)

การทดสอบใช้เมล็ดบัวหลวงปทุมเส้นผ่านศูนย์กลางของเมล็ดบัวหลวงมีค่าระหว่าง 12.5-15 mm มีค่าเฉลี่ย 14.5 ± 0.5 mm ความยาวมีค่าระหว่าง 20-22 mm มีค่าเฉลี่ย 21.4 ± 0.7 mm และความหนาของเปลือกมีค่าระหว่าง 0.9-1.2 mm มีค่าเฉลี่ย 1.1 ± 0.15 mm (สุ่มวัด 50 เมล็ด) ตลอดการทดสอบ จากการทดสอบเบื้องต้นพบว่าเมื่อเดินเครื่องที่ความเร็วเฉลี่ยของชุดใบมีดกรีดมากกว่า 9.5 m/min ชุดใบมีดที่ยึดติดกับกลไก Scotch Yoke จะเคลื่อนที่เร็วเกินไปไม่สามารถทำให้เมล็ดบัวหลวงหมุนกลิ้งในเรือนใบมีดเพื่อให้เปลือกถูกตัดฉีกครบรอบตามเส้นรอบวงได้ ดังนั้นจึงได้เลือกทดสอบที่ความเร็วเฉลี่ยของชุดใบมีดกรีดที่ 7.5, 8.5 และ 9.5 m/min ตามลำดับ โดยแต่ละการทดลองใช้เมล็ดบัวหลวง 0.5 kg ทำซ้ำ 3 ซ้ำ และบันทึกเวลาที่ใช้ในการทำงานทั้งหมด กระแสไฟฟ้า น้ำหนักเมล็ดบัวที่แกะได้ น้ำหนักเมล็ดบัวที่แกะไม่ได้ และน้ำหนักเมล็ดบัวที่เสียหาย เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการคำนวณค่าชี้ผลการศึกษา และวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม เช่น ค่าใช้จ่าย ระยะเวลาคืนทุน และ จุดคุ้มทุน ในการใช้เครื่องแกะเมล็ดบัวหลวง

2.4 การวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์

2.4.1 การวิเคราะห์และประเมินค่าใช้จ่ายโดยเฉลี่ย

วิธีการประเมินค่าใช้จ่ายโดยรวมเกี่ยวกับต้นทุนในการใช้งานเครื่องแกะเมล็ดบัวหลวง สมมติว่าเกษตรกรซื้อเครื่องแกะเมล็ดบัวหลวงแทนวิธีใช้แรงงานคน ซึ่งค่าใช้จ่ายโดยรวมจะประกอบด้วยต้นทุนคงที่ (Fixed cost) และต้นทุนผันแปร (Variable cost) โดยต้นทุนคงที่ได้แก่ค่าเสื่อมราคาของเครื่อง (คิดค่าเสื่อมราคาโดยวิธีเส้นตรงเมื่อประมาณอายุการใช้งานของเครื่องแกะเมล็ดบัวหลวงได้ 5 ปี) และค่าเสียโอกาสของเงินทุน (คิดอัตราดอกเบี้ย 10%) ซึ่งค่าใช้จ่ายที่เป็นต้นทุนคงที่จะไม่เปลี่ยนแปลงไปตามปริมาณของการแกะเมล็ดบัวหลวง [15]

2.4.2 การวิเคราะห์ระยะเวลาคืนทุน (Pay-back period)

เป็นการคาดคะเนว่า เมื่อลงทุนใช้เครื่องแกะเมล็ดบัวหลวงไปแล้ว จะได้รับผลตอบแทนกลับคืนมาในจำนวนเงินเท่ากับที่ลงทุนไปแล้วภายในระยะกี่ปี โดยคิดจากราคาในการลงทุนซื้อเครื่องแกะเมล็ดบัวหลวงหารกับผลประโยชน์สุทธิที่คาดว่าจะได้รับในการใช้งานเครื่องแกะเมล็ดบัวหลวง 5 ปี [15]

2.4.3 การวิเคราะห์จุดคุ้มทุน (Break-even point)

เป็นการคำนวณหาจุดคุ้มทุนในการใช้เครื่องแกะเมล็ดบัวหลวงต้นแบบ โดยการเปรียบเทียบระหว่างต้นทุนในการแกะเมล็ดบัวหลวงจากการใช้เครื่องต้นแบบและการแกะเมล็ดบัวหลวงด้วยแรงงานคน

3. ผลการวิจัย

ในการทดสอบสมรรถนะการทำงานของเครื่องแกะเมล็ดบัวหลวงต้นแบบ ผลแสดงดังรูปที่ 4 โดยรูปที่ 4 (ก) แสดงเมล็ดบัวหลวงที่ใช้ทดสอบ หลังจากได้นำไปทดสอบโดยเครื่องแกะเมล็ดบัวหลวงแล้ว จะได้เมล็ดบัวหลวงที่ถูกชุดใบมีดกรีดเปลือกโดยรอบเมล็ด ดังรูปที่ 4 (ข) เกษตรกรสามารถที่จะใช้มือดึงเมล็ดในออกจากเปลือกได้โดยง่าย หรือใช้ภาชนะใส่น้ำรองที่ช่องทางออกของเครื่องแกะเมล็ดบัวหลวงจะทำให้เปลือกแยกออกจากเมล็ด

บัวหลวง โดยเปลือกจะลอยน้ำส่วนเมล็ดในสีขาวยังจะจมน้ำ ซึ่งเมล็ดในบัวหลวงที่ได้พร้อมที่จะนำไปแปรรูปผลิตเป็นเมล็ดบัวอบกรอบต่อไปดังรูปที่ 4 (ค) ทั้งนี้รูปที่ 4 (ง) แสดงเมล็ดบัวหลวงที่เสียหายจากการทดสอบ โดยพิจารณาจากเมล็ดบัวที่มีรอยแตกเสียหายทุก ๆ แบบจากเมล็ดเต็ม ซึ่งจะถือว่าเป็นเมล็ดบัวที่เสียหาย



ก)



ข)



ค)



ง)

รูปที่ 4 การทดสอบสมรรถนะการทำงานของเครื่องแกะเมล็ดบัวหลวงต้นแบบ:

ก) เมล็ดบัวหลวงที่ใช้ทดสอบ

ข) เมล็ดบัวหลวงที่ได้จากการทดสอบ

ค) เมล็ดบัวหลวงที่ไม่เสียหาย

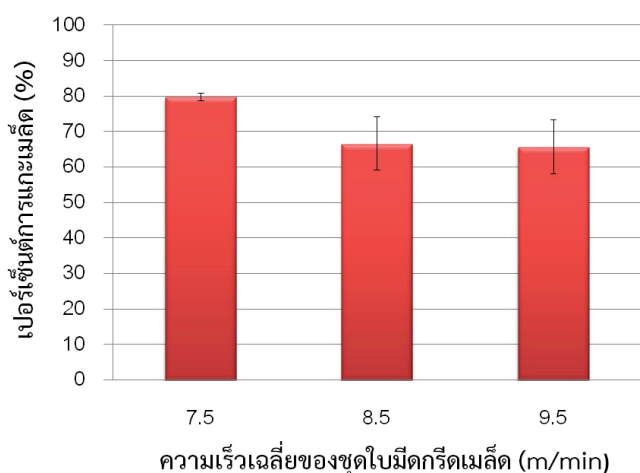
และ ง) เมล็ดบัวหลวงที่เสียหาย

ผลการทดสอบเครื่องแกะเมล็ดบัวหลวงที่ความเร็วเฉลี่ยของชุดใบมีดกรีดต่าง ๆ จะนำเสนอตามค่าชี้ผลการศึกษา ดังนี้

3.1 เปอร์เซนต์การแกะเมล็ด

จากการทดสอบเครื่องแกะเมล็ดบัวหลวงที่ความเร็วของชุดใบมีดกรีดต่าง ๆ พบว่าที่ความเร็วเฉลี่ยของชุดใบมีดกรีด 7.5, 8.5 และ 9.5 m/min เครื่องต้นแบบสามารถแกะเมล็ดบัวหลวงได้ 79.8, 66.6 และ 65.6% ตามลำดับ ดังรูปที่ 5 ซึ่งผลการทดสอบดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า เปอร์เซนต์การแกะเมล็ดบัวหลวงจะลดลงเมื่อเพิ่มความเร็วของชุดใบมีดกรีด เนื่องจากเมื่อชุดใบมีดที่ยึดติดกับกลไก

Scotch Yoke เคลื่อนที่เร็วขึ้นใบมีดจะฉีกเปลือกของเมล็ดบัวหลวงในลักษณะของการไถมากกว่าการเฉือนที่ทำให้เมล็ดบัวหลวงหมุนกลิ้งไปตัดกับใบมีดอีกชุดที่ติดตั้งในเรือนใบมีด จึงทำให้ใบมีดไม่สามารถตัดฉีกเปลือกได้ครบรอบตามเส้นรอบวงของเมล็ดและนำเมล็ดในออกมาจากเปลือกได้ ในทางกลับกันเมื่อลดความเร็วของชุดใบมีดกรีดลงจะส่งผลต่อความสามารถในการทำงานของเครื่องเช่นกัน เนื่องจากจำนวนของเมล็ดบัวที่กลไก Scotch Yoke ลำเลียงเข้าไปตัดฉีกในชุดใบมีดจะน้อยลงตาม ดังนั้นความเร็วของชุดใบมีดกรีดที่เหมาะสมที่ทำให้เมล็ดกลิ้งตัดฉีกกับใบมีดได้ดี คือ 7.5 m/min มีเปอร์เซ็นต์การแกะเมล็ดบัวหลวง 79.8% ซึ่งเมล็ดบัวที่ตัดเปลือกได้ไม่ครบรอบ และไม่มีความเสียหายอีก 19-20% จากการทดสอบสามารถนำกลับมาป้อนเข้าเครื่องซ้ำได้จนกว่าใบมีดจะกรีดจนรอบเมล็ดและสามารถนำเมล็ดในออกมาจากเปลือกได้

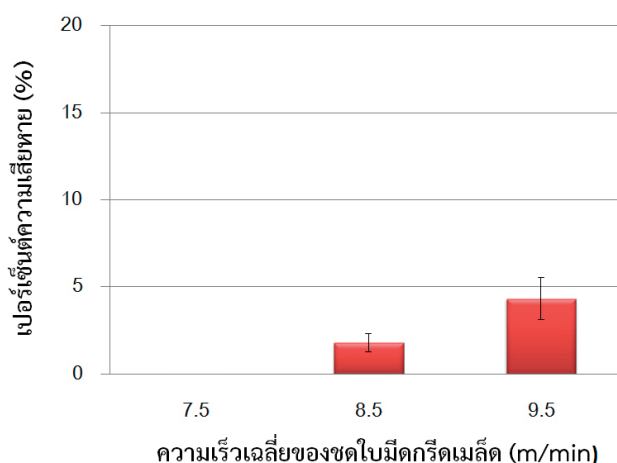


รูปที่ 5 เปอร์เซ็นต์การแกะเมล็ดบัวหลวงที่สมบูรณ์ที่ความเร็วชุดใบมีดกรีดต่าง ๆ ของเครื่องแกะเมล็ดบัวหลวงต้นแบบ

3.2 เปอร์เซ็นต์ความเสียหายของเมล็ด

ผลการทดสอบ ดังรูปที่ 6 แสดงให้เห็นว่าที่ความเร็วเฉลี่ยของชุดใบมีดกรีด 7.5, 8.5 และ 9.5 m/min มีเปอร์เซ็นต์ความเสียหายของเมล็ด 0, 1.8 และ 4.3% ตามลำดับ ซึ่งผลการทดสอบดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าเมล็ดบัวหลวงไม่เกิดความเสียหายเมื่อทดสอบที่ความเร็วเฉลี่ยของชุดใบมีดกรีดที่ 7.5 m/min และมีความเสียหาย

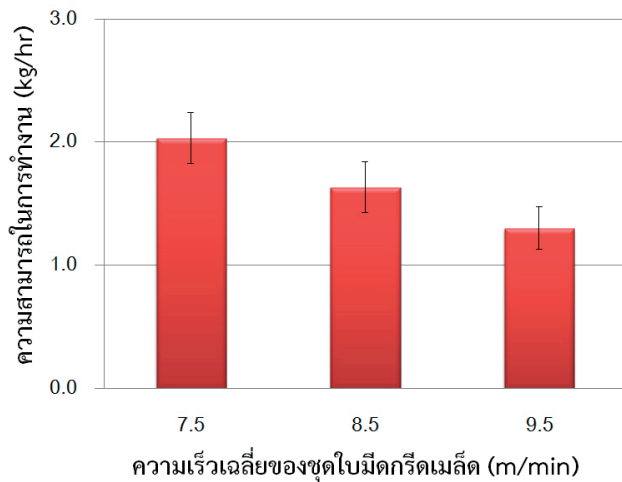
เพิ่มขึ้นเมื่อความเร็วของชุดใบมีดกรีดเพิ่มขึ้น เนื่องจากเมื่อชุดใบมีดที่ยึดติดกับกลไก Scotch Yoke เคลื่อนที่เร็วขึ้นแรงเฉือนของใบมีดที่ตัดฉีกเปลือกของเมล็ดบัวจะมากขึ้นเป็นผลทำให้เนื้อในของเมล็ดบัวหลวงบางส่วนแตกเสียหายจากแรงดังกล่าว ดังนั้นความเร็วของชุดใบมีดกรีดที่เหมาะสม คือ 7.5 m/min ซึ่งเป็นความเร็วที่ทำให้แรงเฉือนของใบมีดไม่ทำให้เมล็ดบัวแตกเสียหาย



รูปที่ 6 เปอร์เซ็นต์ความเสียหายของเมล็ดบัวหลวงที่ความเร็วชุดใบมีดกรีดต่าง ๆ ของเครื่องแกะเมล็ดบัวหลวงต้นแบบ

3.3 ความสามารถในการทำงานของเครื่อง

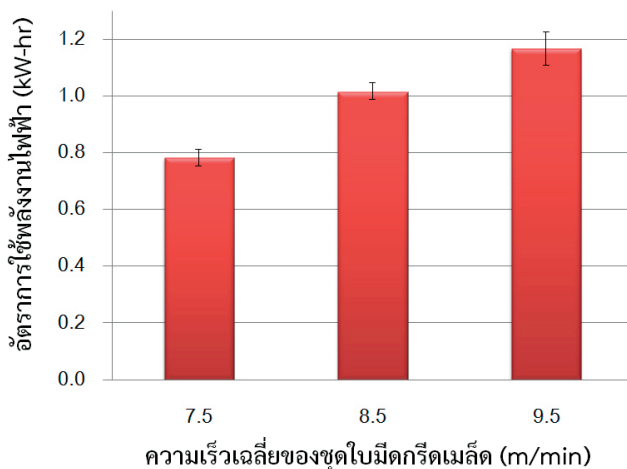
ผลการทดสอบ ดังรูปที่ 7 แสดงให้เห็นว่าความเร็วเฉลี่ยของชุดใบมีดกรีดที่ 7.5, 8.5 และ 9.5 m/min เครื่องต้นแบบสามารถแกะเมล็ดบัวหลวงได้ 2 ± 0.21 , 1.6 ± 0.21 และ 1.3 ± 0.17 กิโลกรัมชั่วโมง ตามลำดับ เห็นได้ว่าความสามารถในการแกะเมล็ดบัวหลวงลดลงเมื่อเพิ่มความเร็วของชุดใบมีดกรีด เนื่องจากเมื่อเพิ่มความเร็วของชุดใบมีดที่ยึดติดกับกลไก Scotch Yoke เปอร์เซ็นต์การแกะเมล็ดบัวหลวงลดลง และเปอร์เซ็นต์ความเสียหายของเมล็ดเพิ่มขึ้นดังที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น ดังนั้นจึงเลือกใช้ความสามารถในการทำงานที่ชุดใบมีดกรีดมีความเร็วเฉลี่ย 7.5 m/min ไปใช้ในการวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมต่อไป ซึ่งมีความสามารถในการทำงานเท่ากับ 2 ± 0.21 กิโลกรัมชั่วโมง



รูปที่ 7 ความสามารถในการทำงานที่ความเร็วชุดไบนิตกริตต่าง ๆ ของเครื่องแกะเมลิ็ดบัวหลวงต้นแบบ

3.3 อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้า

จากผลการทดสอบ ดังรูปที่ 8 พบว่าช่วงความเร็วที่ใช้ชุดไบนิตกริตทั้งสามความเร็ว มีการใช้พลังงานไฟฟ้าเพิ่มขึ้นตามความเร็วการหมุนของมอเตอร์ไฟฟ้ามีค่าระหว่าง 0.8-1.2 กิโลวัตต์-ชั่วโมง ซึ่งจะนำค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าของมอเตอร์ขับที่ทำให้ชุดไบนิตกริตที่ความเร็วเฉลี่ย 7.5 m/min เท่ากับ 0.8 กิโลวัตต์-ชั่วโมง ไปเป็นค่าใช้จ่ายในการวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมต่อไป



รูปที่ 8 อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าที่ความเร็วชุดไบนิตกริตต่าง ๆ ของเครื่องแกะเมลิ็ดบัวหลวงต้นแบบ

3.4 ผลการวิเคราะห์และประเมินผลเชิงเศรษฐศาสตร์

จากผลการวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม โดยคิดที่ราคาเครื่องต้นแบบ 10,800 บาท อายุการใช้งาน 5 ปี อัตราดอกเบี้ย 10% ใช้ผู้ควบคุมเครื่อง 1 คน ความสามารถในการทำงาน 2 ± 0.21 กิโลกรัมชั่วโมง อัตราการใช้พลังงานไฟฟ้า 0.8 กิโลวัตต์-ชั่วโมง เมื่อใช้เครื่องต้นแบบทำงาน 6 เดือน หรือ 1,440 ชั่วโมงต่อปี (ทำงานวันละ 8 ชั่วโมง) มีค่าใช้จ่ายเฉลี่ยของเครื่อง 6.9 บาทต่อกิโลกรัม ระยะเวลาคืนทุน 0.95 ปี หรือ 11.4 เดือน จุดคุ้มทุน 185.3 ชั่วโมงต่อปี เมื่อเปรียบเทียบกับแรงงานคน 1 คน ที่มีค่าใช้จ่ายเฉลี่ย 10 บาทต่อกิโลกรัม

4. สรุปผลการทดลอง

การแกะเมลิ็ดบัวหลวงเป็นขั้นตอนที่ใช้แรงงานคนเป็นหลัก ซึ่งมีปัญหายุ่งยากหลายประการได้แก่ ใช้เวลาในการปฏิบัติงานมาก เกิดความเมื่อยล้าในการทำงาน ความไม่ปลอดภัยในการปฏิบัติงานอันเกิดจากอุบัติเหตุระหว่างการแกะเมลิ็ดบัว รวมทั้งเครื่องแกะเมลิ็ดบัวหลวงที่ใช้อยู่ในปัจจุบันมีเปอร์เซ็นต์ความเสียหายสูง จึงได้ออกแบบและสร้างเครื่องแกะเมลิ็ดบัวหลวง โดยศึกษาสมบัติต่าง ๆ ของเมลิ็ดบัวหลวง และวิธีการแกะเมลิ็ดบัวที่เหมาะสมจนได้เครื่องต้นแบบที่มีส่วนประกอบหลักคือ โครงสร้างเครื่อง ชุดไบนิตกริต กลไก Scotch Yoke ระบบส่งกำลัง และใช้มอเตอร์ไฟฟ้าเป็นต้นกำลัง จาก การทดสอบเครื่องสามารถทำงานได้ดีที่สุดที่ชุดไบนิตกริตมีความเร็วเฉลี่ย 7.5 m/min มีเปอร์เซ็นต์ในการแกะเมลิ็ดบัว $79.8 \pm 1.1\%$ เมลิ็ดบัวไม่มีความเสียหาย มีความสามารถในการทำงาน 2 ± 0.21 กิโลกรัมต่อชั่วโมง อัตราการใช้พลังงานไฟฟ้า 0.8 กิโลวัตต์-ชั่วโมง ซึ่งเครื่องแกะเมลิ็ดบัวหลวงที่ได้วิจัยนี้ได้แก้ปัญหการบ่อนเมลิ็ดบัวโดยผู้ใช้เครื่องไม่จำเป็นต้องบ่อนเมลิ็ดบัวที่ละเมลิ็ดเข้าช่องบ่อน และยังช่วยลดเปอร์เซ็นต์ความเสียหายของเมลิ็ดบัวหลวงที่แกะโดยเครื่องจักรกลได้ตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ นอกจากนั้นยังสามารถพัฒนาเครื่องต้นแบบให้มีความสามารถในการงานมากขึ้นโดยการเพิ่มจำนวนของชุดไบนิตกริต

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากงบประมาณรายจ่ายประจำปี 2559 ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี โดยคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) รวมทั้งภาควิชาชีพวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ที่สนับสนุนสถานที่และอุปกรณ์ในการทดสอบต่าง ๆ

เอกสารอ้างอิง

- [1] กมลวรรณ เตชะวณิช. 2554. คู่มือปลูกและดูแลดอกบัว ราชนิมน้ำ-ประดับสวนสวย. กรุงเทพฯ : ไทยควอลิตี้บุ๊คส์ 128 หน้า
- [2] กรมส่งเสริมการเกษตร. 2554. สถานการณ์การผลิตบัว. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก : <http://www.doae.go.th/LIBRARY/>. (24 มกราคม 2555).
- [3] ทวีพงศ์ สุวรรณโร. 2550. การทำนาบัว. เอกสารอิเล็กทรอนิกส์. สำนักส่งเสริมและฝึกอบรมมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 12 หน้า
- [4] นิรนาม. 2559. นครพนมพลิกวิกฤต ทำนาบัวพืชศก. ขายดีโกยรายได้เดือนละ 3-4 หมื่นบาท. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก: <http://www.matichon.co.th/news>. (23 เมษายน 2559).
- [5] สุจิต เมืองสุข. 2559. กว่าจะมีวันนี้ ชาวปากคาดบึงกาฬ ผู้ชีวิตลองผิดลองถูกปลูกบัวเก็บผักขายฝักละบาท กำละสิบ เป็นอาชีพภาคภูมิใจ. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก: https://www.khaosod.co.th/view_newsonline.php?newsid. (25 พฤษภาคม 2559).
- [6] พรพรรณ วิจิตรวิทยาพงศ์. 2552. เมล็ดบัวแปรรูปที่พิจิตร สร้างงานเงิน ให้ชาวบึงสีไฟ. คอลัมน์ชุมชน เข้มแข็ง หนังสือพิมพ์มติชน. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก: http://www.matichon.co.th/matichon/view_news. (24 มกราคม 2555).
- [7] จตุรงค์ ลังกาพินธุ์ สุนัน ปานสาคร และ ภูรินทร์ อัครกุลธร. 2558. การศึกษาและทดสอบเครื่องนวดเมล็ดบัวหลวง. วารสารแก่นเกษตร มหาวิทยาลัยขอนแก่น ปีที่ 43 ฉบับที่ 1 ประจำเดือน มกราคม-มีนาคม 2558.
- [8] จตุรงค์ ลังกาพินธุ์ สุนัน ปานสาคร และ ภูรินทร์ อัครกุลธร. 2557. การพัฒนาเครื่องแหงตีบัว. วารสารสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ปีที่ 20 ฉบับที่ 1 (มกราคม-มิถุนายน 2557).
- [9] จตุรงค์ ลังกาพินธุ์ ภูรินทร์ อัครกุลธร ประมวล สุขพัฒน์ ลือชา เนตรศรีไพบูลย์ และธัมจักร พูลประเสริฐ. 2552. การออกแบบและพัฒนาเครื่องแกะเมล็ดบัวหลวง, เอกสารรวบรวมผลงานโครงการที่ได้รับทุนวิจัยโครงการ IRPUS ประจำปี 2552.
- [10] ประเสริฐ วิโรจน์ชีวัน, สมใจ เพียรประสิทธิ์ และ นนท โชติ อุดมศรี. 2557. การพัฒนาเครื่องแกะเมล็ดบัว. การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 28 (15-17 ตุลาคม 2557).
- [11] จตุรงค์ ลังกาพินธุ์. 2555. ออกแบบและเขียนแบบวิศวกรรมด้วยโปรแกรม SolidWorks (ฉบับเรียนได้ด้วยตัวเอง). สำนักพิมพ์ทริปเพิ้ล เอ็ดดูเคชั่น จำกัด. 192 หน้า.
- [12] จตุรงค์ ลังกาพินธุ์. 2558. ทฤษฎีของเครื่องจักรกลเกษตร. สำนักพิมพ์ทริปเพิ้ล เอ็ดดูเคชั่น จำกัด, กรุงเทพฯ. 320 หน้า.
- [13] Krutz, G., Thomson, L. and Claar, P. 1994. Design of Agricultural Machinery. John Wiley and Sons. New York Chichester Brisbane, Toronto, Singapore. 472 P.
- [14] Shigley, J.E. and Mischke, C.R. 1989. Mechanical Engineering Design. 5th Edition, McGraw-Hill Book Company, USA. 779 P.
- [15] Hunt, D. 2001. Farm Power and Machinery. (10th Edition). Ames, Iowa, USA: Iowa State University Press. 360 P.

คาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์กล้วยกรอบแก้ว

Carbon Footprint for Production of Banana Crisps

สุรัชย์ ณรัฐ จันทร์ศรี¹ และอนุสรณ์ บุญปก²
k_aew474@yahoo.com¹, iamanusorn@gmail.com²

บทคัดย่อ

การประเมินการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกของผลิตภัณฑ์กล้วยกรอบแก้วหวานขนาด 160 กรัม พร้อมบรรจุภัณฑ์ตามการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ผลิตภัณฑ์ขององค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (มหาชน) มีขอบเขตการประเมินการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดวัฏจักรแบบเต็มรูปแบบ (Candle to Grave หรือ Business to Customer หรือ B2C) ตั้งแต่ขั้นการได้มาซึ่งวัตถุดิบและบรรจุภัณฑ์ กระบวนการผลิต การจัดจำหน่าย การใช้งาน จนถึงขั้นการกำจัดของเสีย จากการศึกษาพบว่า ผลิตภัณฑ์มีค่าการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกเท่ากับ 0.35 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า เกิดจากการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกของการได้มาและการใช้ประโยชน์วัตถุดิบ พลังงาน และทรัพยากรคิดเป็น 0.34 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า และของการขนส่งวัตถุดิบ พลังงาน และทรัพยากรคิดเป็น 0.01 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า กล้วยดิบเป็นวัตถุดิบหลักที่ส่งผลต่อการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกของผลิตภัณฑ์ในขั้นการได้มาซึ่งวัตถุดิบและบรรจุภัณฑ์มากที่สุด รองลงมาได้แก่ น้ำมันพืชและน้ำตาล สำหรับแก๊สหุงต้มจะส่งผลต่อการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกของผลิตภัณฑ์ในขั้นกระบวนการผลิตมากที่สุด แต่อย่างไรก็ตามก็ยังน้อยกว่าการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในขั้นการได้มาซึ่งวัตถุดิบและบรรจุภัณฑ์ ในการลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกของผลิตภัณฑ์นี้ ผู้ผลิตควรมุ่งเน้นที่ปรับเปลี่ยนกระบวนการผลิตเพื่อลดการใช้แก๊สและน้ำมันอันส่งผลต่อการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกของผลิตภัณฑ์

คำสำคัญ: ก๊าซเรือนกระจก คาร์บอนฟุตพริ้นท์ กล้วยกรอบแก้ว

Abstract

Carbon footprint for 160 g of sweet banana crisps including with packaging was investigated according to the reference method of carbon footprint for product providing by Thailand Greenhouse Gas Management Organization (Public Organization) (TGO). The scope of study focused on candle to grave or business to customer (B2C). The data was beginning to collect from raw materials and packaging stage, manufacturing processes stage, distribution stage, utilization stage and be finished in disposal stage. Results indicated that the carbon footprint of this product was 0.35 kgCO₂eq which was obtained from the procurement and utilization and from the transportation of raw material, energy and resource approximately 0.34 and 0.01 kgCO₂eq, respectively. Raw banana was significant

¹ อาจารย์ประจำสาขาวิทยาศาสตร์ทั่วไป คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏชัยภูมิ

² อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม วิทยาลัยพลังงานและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยพะเยา

for promoting a large number of the greenhouse gas emission in the first stage of scope followed by vegetable oil and sugar. In the manufacturing processes stage, liquefied petroleum gas was the main resource to emit the greenhouse gas a lot however be inferior to the previous one. For reducing the greenhouse gas emission, the producer should be focused on the stage of manufacturing process in term of depth frying.

Keywords: greenhouse gas, carbon footprint, banana crisps.

1. บทนำ

กล้วยกรอบแก้วเป็นสินค้าหนึ่งตำบลหนึ่งผลิตภัณฑ์ (OTOP) ห้าดาวประเภทผลิตภัณฑ์แปรรูปจากกล้วย ที่ผ่านการรับรองมาตรฐานอาหารปลอดภัยของกลุ่มแม่บ้านเกษตรกรบ้านหนองบ่อ ตำบลโนนแดง อำเภอบ้านเขว้า จังหวัดชัยภูมิ เป็นที่รับการยอมรับจากกลุ่มผู้บริโภคทั้งภายในและต่างจังหวัด ผลิตภัณฑ์กล้วยกรอบแก้วมียอดขายไม่ต่ำกว่าเดือนละ 1.6 ตันและสร้างรายได้ให้กับกลุ่มฯ ไม่น้อยกว่าเดือนละ 3 แสนบาท [1] การผลิตกล้วยกรอบแก้วตามมาตรฐานและเพียงพอต่อความต้องการของผู้บริโภคนั้นจะต้องใช้ทรัพยากรและพลังงานในการผลิตสูงมาก ซึ่งส่งผลต่อปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกสู่ชั้นบรรยากาศของโลก ดังนั้นเพื่อการสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับผลิตภัณฑ์ และสร้างความตระหนักในการมีส่วนร่วมในการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกให้กับผู้ผลิตและผู้บริโภค การศึกษาในครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกของผลิตภัณฑ์กล้วยกรอบแก้วหวานขนาด 160 กรัม พร้อมบรรจุภัณฑ์ แบบเต็มรูปแบบ หรือตลอดวัฏจักรของผลิตภัณฑ์ (Candle to Grave หรือ Business to Customer หรือ B2C) [2] เพื่อให้ทราบถึงการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก อันนำไปสู่แนวทางการลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก ที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด และส่งเสริมการดำเนินงานด้านการจัดการสิ่งแวดล้อมอย่างเป็นระบบเพื่อสร้างมาตรฐานด้านสิ่งแวดล้อมให้กับผลิตภัณฑ์แปรรูปกล้วยของกลุ่มแม่บ้านเกษตรกรบ้านหนองบ่อ ตำบลโนนแดง อำเภอบ้านเขว้า จังหวัดชัยภูมิ

2. วิธีการดำเนินการ

การประเมินการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกของผลิตภัณฑ์ทั่วไปนั้นได้ดำเนินการตามกรอบการดำเนินงานของการประเมินการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกของผลิตภัณฑ์ เริ่มจากการกำหนดเป้าหมายภายใต้ขอบเขตการศึกษาของประเมินวัฏจักรรูปแบบที่เหมาะสมรูปแบบใดรูปแบบหนึ่งใน 2 รูปแบบนี้ คือ 1) การประเมินผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ตั้งแต่การได้มาซึ่งวัตถุดิบและบรรจุภัณฑ์จนกระทั่งได้ผลิตภัณฑ์มา (Cradle to Gate หรือ Business to Business: B2B) ซึ่งขอบเขตการศึกษานี้จะไม่รวมขั้นตอนการใช้งานและการกำจัดของเสีย 2) การประเมินผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ตั้งแต่การได้มาซึ่งวัตถุดิบและบรรจุภัณฑ์ กระบวนการผลิต การกระจายสินค้า การนำไปใช้ประโยชน์ จนถึงการจัดของเสียหลังหมดอายุการใช้งาน (Candle to Grave หรือ Business to Consumer: B2C) [2-5] เมื่อกำหนดเป้าหมายและขอบเขตการศึกษาได้แล้วจึงวิเคราะห์บัญชีรายการสิ่งแวดล้อมเพื่อแสดงชนิดและปริมาณของสารเข้า (Input) และสารขาออก (Output) ของผลิตภัณฑ์ที่สอดคล้องตามขอบเขตการศึกษาที่กำหนดขึ้น โดยเป็นข้อมูลที่จัดแสดงในบัญชีรายการสิ่งแวดล้อมเป็นข้อมูลที่ได้จากทั้งข้อมูลปฐมภูมิ (ข้อมูลที่สามารถเข้าถึงได้) ได้แก่ ปริมาณการใช้ทรัพยากรและพลังงาน ปริมาณวัสดุเหลือทิ้ง และข้อมูลทุติยภูมิ (ไม่มีข้อมูลปฐมภูมิหรือไม่สามารถเข้าถึงข้อมูลได้) ได้แก่ ข้อมูลจากบัญชีรายการวิจัยที่คัดกรองแล้ว ฐานข้อมูลที่เผยแพร่ทั่วไป และข้อมูลที่ตีพิมพ์โดยองค์กรระหว่างประเทศ รวมทั้งข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการผลิตน้ำ พลังงานไฟฟ้าที่เป็นข้อมูลระดับประเทศ

[4-5] จากนั้นแปรข้อมูลการใช้ทรัพยากรและการปลดปล่อยมวลสารที่ได้จากการวิเคราะห์บัญชีรายการสิ่งแวดล้อมตามขอบเขตการศึกษาที่กำหนดขึ้นให้อยู่ในรูปแบบของการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก โดยใช้ข้อมูลค่าสัมประสิทธิ์การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Emission factor: EF) จากองค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) [6] และนำผลการศึกษาที่ได้มาวิเคราะห์เพื่อให้ได้ข้อสรุปสำหรับใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาปรับปรุงขั้นตอนในวัฏจักรที่ก่อให้เกิดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกสูงสุด

2.1 การกำหนดเป้าหมายและขอบเขตการศึกษา

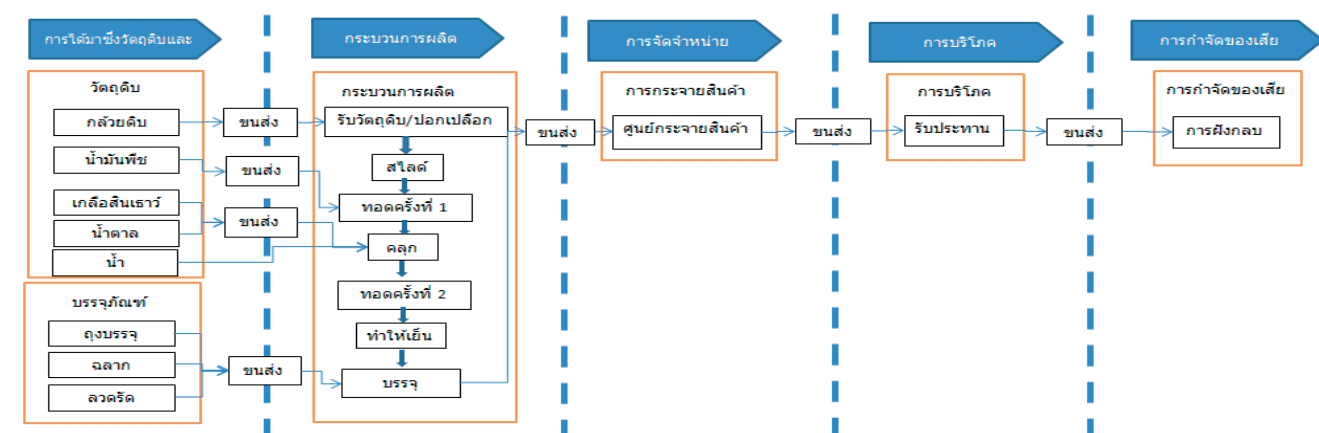
การศึกษาค้างนี้เป็นการประเมินค่าการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกแบบตลอดวัฏจักร (Cradle to Grave หรือ Business to Consumer: B2C) ของผลิตภัณฑ์กล้วยกรอบแก้วหวานขนาด 160 กรัม พร้อมบรรจุภัณฑ์ (Function unit: FU) ซึ่งเป็นสินค้าประเภทที่มียอดขายสูงสุดของกลุ่มแม่บ้านเกษตรกรบ้านหนองบ่อ ตำบลโนนแดง อำเภอบ้านเขว้า จังหวัดชัยภูมิ มีขอบเขตครอบคลุมถึงการได้มาซึ่งวัตถุดิบและบรรจุภัณฑ์ กระบวนการผลิต การจัดจำหน่าย การบริโภค และการกำจัดของเสีย ดังแสดงในรูปที่ 1

2.2 การวิเคราะห์บัญชีรายการสิ่งแวดล้อม

ข้อมูลผลิตภัณฑ์กล้วยกรอบแก้วหวานขนาด 160 กรัม พร้อมบรรจุภัณฑ์ที่รวบรวมได้เป็นข้อมูลสารขาเข้าและสารขาออกตลอดวัฏจักรของผลิตภัณฑ์เต็มรูปแบบตั้งแต่การได้มาซึ่งวัตถุดิบและบรรจุภัณฑ์ กระบวนการผลิต การจัดจำหน่าย การบริโภค และการกำจัดของเสีย ทั้งที่เป็นข้อมูลปฐมภูมิ และข้อมูลทุติยภูมิ ได้แก่ ปริมาณการใช้ทรัพยากรและพลังงาน ปริมาณผลิตภัณฑ์ร่วม ปริมาณวัสดุเหลือ ปริมาณของเสีย ดังแสดงในรูปที่ 1 รวมถึงปริมาณการใช้พลังงานสำหรับการขนส่งในทุกขั้นตอน

2.3 การประเมินค่าการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก

การประเมินค่าการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Carbon footprint: CF) ของผลิตภัณฑ์กล้วยกรอบแก้วหวานขนาด 160 กรัม พร้อมบรรจุภัณฑ์ เป็นการแปรข้อมูลปฐมภูมิและทุติยภูมิที่รวบรวมได้จากการวิเคราะห์บัญชีรายการทางสิ่งแวดล้อมให้อยู่ในหน่วยของน้ำหนักของ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (kgCO_2eq) [2-5]



รูปที่ 1 ขอบเขตการประเมินการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกของกล้วยกรอบแก้วหวานขนาด 160 กรัม พร้อมบรรจุภัณฑ์

3. ผลการศึกษา

ค่าการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกของผลิตภัณฑ์กล้วยกรอบแก้วหวานขนาด 160 กรัม พร้อมบรรจุภัณฑ์ เกิดจากการประเมิน 2 ส่วน คือ การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกของการได้มาและการใช้ประโยชน์วัตถุดิบ พลังงานและทรัพยากร และการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกของการขนส่งวัตถุดิบ พลังงาน และทรัพยากร

ผลิตภัณฑ์กล้วยกรอบแก้วหวานขนาด 160 กรัม พร้อมบรรจุภัณฑ์มีการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกคิดเป็น 0.35 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า โดยเกิดจากการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกของการได้มาและการใช้ประโยชน์วัตถุดิบ พลังงานและทรัพยากรคิดเป็น 0.34 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า และของการขนส่งวัตถุดิบ พลังงาน และทรัพยากรคิดเป็น 0.01 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า ดังแสดงในตารางที่ 2 ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับค่าการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกของผลิตภัณฑ์ที่ได้รับการขึ้นทะเบียนคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะเดียวกัน พบว่า ผลิตภัณฑ์กล้วยกรอบแก้วหวานขนาด 160 กรัม พร้อมบรรจุภัณฑ์มีค่าน้อยกว่าถึง 2.85 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า [7]

ค่าการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกของกล้วยกรอบแก้วที่เกิดจากการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกของการได้

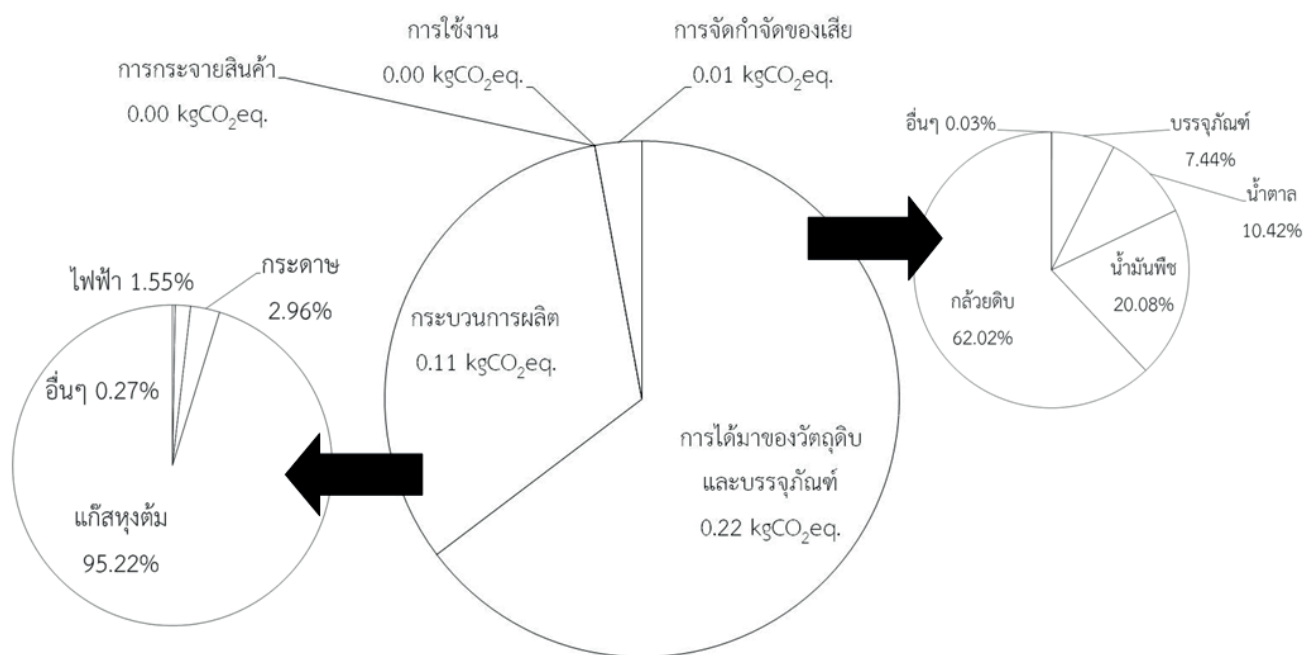
มาและการใช้ประโยชน์วัตถุดิบ พลังงานและทรัพยากร ดังแสดงในรูปที่ 2 ได้มาจากการขึ้นการได้มาซึ่งวัตถุดิบและบรรจุภัณฑ์ ขึ้นกระบวนการผลิต ขึ้นการจัดจำหน่าย ขึ้นการใช้งานและขึ้นการกำจัดของเสียคิดเป็น 0.22, 0.11, 0.00, 0.00 และ 0.01 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าตามลำดับ ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกของผลิตภัณฑ์ขึ้นการได้มาซึ่งวัตถุดิบและบรรจุภัณฑ์เกิดจากการใช้วัตถุดิบและบรรจุภัณฑ์ 3 ลำดับแรกได้แก่ กล้วยดิบ น้ำมัน และน้ำตาล ในสัดส่วนร้อยละ 62.02, 20.08 และ 10.42 ตามลำดับ และปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกของผลิตภัณฑ์ขึ้นกระบวนการผลิตใช้แก๊สหุงต้มสัดส่วนมาสุดถึงร้อยละ 95.22 เพราะการผลิตกล้วยกรอบแก้วหวานมีการทอดกล้วยซ้ำ 2 ครั้ง คือ ครั้งแรกเป็นการทอดกล้วยดิบ และครั้งที่สองเป็นการทอดเพื่อเคลือบกล้วยด้วยน้ำตาลและส่วนประกอบอื่น ๆ จึงส่งผลให้ต้องใช้น้ำมัน (ขึ้นการได้มาซึ่งวัตถุดิบและบรรจุภัณฑ์) และแก๊สหุงต้ม (ขึ้นกระบวนการผลิต) ในปริมาณมาก ส่วนขึ้นการจัดจำหน่ายไม่มีการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก เนื่องจากกลุ่มแม่บ้านเกษตรกรบ้านหนองบ่อ ตำบลโนนแดง อำเภอบ้านเขว้า จังหวัดชัยภูมิ ได้จัดจำหน่ายผลิตภัณฑ์กล้วยกรอบแก้วหวานสถานที่เดียวกับที่ผลิต และอีกทั้งกล้วยกรอบแก้วหวานเป็นของว่างที่สามารถรับประทานได้ทันทีจึงทำให้การใช้งานผลิตภัณฑ์กล้วยกรอบแก้วหวานไม่มีการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก

ตารางที่ 2 ผลการประเมินการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกของผลิตภัณฑ์กล้วยกรอบแก้ว 160 กรัม พร้อมบรรจุภัณฑ์

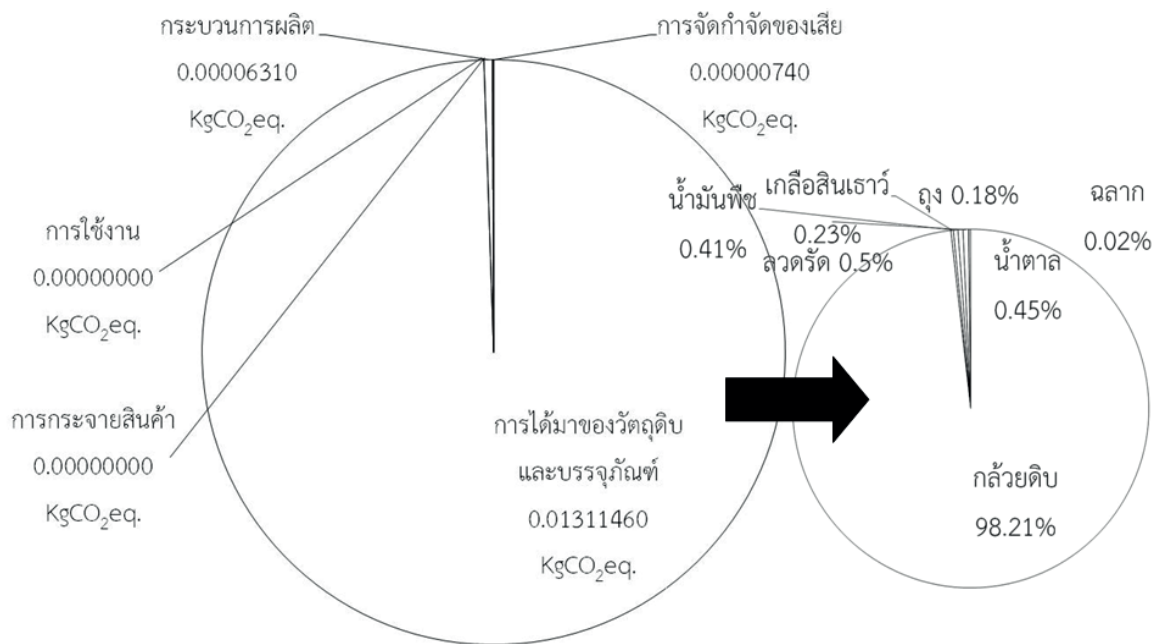
ช่วงวัฏจักรชีวิต	การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกของการได้มาและการใช้ประโยชน์วัตถุดิบ พลังงาน และทรัพยากร (kgCO ₂ eq.)	การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกของการขนส่ง วัตถุดิบ พลังงาน และทรัพยากร (kgCO ₂ eq.)	ผลรวมการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก (kgCO ₂ eq.)
1. การได้มาของวัตถุดิบและบรรจุภัณฑ์	0.22	0.01	0.23
2. กระบวนการผลิต	0.11	0.00	0.11
3. การกระจายสินค้า	0.00	0.00	0.00
4. การใช้งาน	0.00	0.00	0.00
5. การกำจัดกำจัดของเสีย	0.01	0.00	0.01
	0.34	0.01	0.35

แม้ค่าการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกของผลิตภัณฑ์กล้วยกรอบแก้วที่เกิดจากการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกของการขนส่งวัตถุดิบ พลังงาน และทรัพยากรมีค่าคิดเป็นร้อยละ 3 ของการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมดซึ่งไม่กระทบต่อการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกของผลิตภัณฑ์เท่าใดนัก การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกเกิดจากขั้นการได้มาจกวัตถุดิบขั้นกระบวนการผลิต และขั้นการกำจัดของเสีย พบว่าส่วนมากเกิดจากขั้นการได้มาของวัตถุดิบและผลิตภัณฑ์ทั้งหมดคิดเป็น 0.01 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า ส่วนอีกสองขั้นมีการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกน้อยกว่า 0.01 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่ามากจนถือว่าไม่มีการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกเลย จึงไม่พิจารณาการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากสองขั้นตอนนี้ ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกของผลิตภัณฑ์ด้าน

การขนส่งของขั้นการได้มาซึ่งวัตถุดิบและบรรจุภัณฑ์เกิดจากการขนส่งวัตถุดิบและบรรจุภัณฑ์ 3 ลำดับแรกได้แก่ กล้วยดิบ ลวอร์ด และน้ำตาลในสัดส่วนร้อยละ 98.21, 0.50 และ 0.45 ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 3 การขนส่งกล้วยดิบมีสัดส่วนมากที่สุดเนื่องจากกล้วยดิบที่นำมาใช้เป็นกล้วยดิบที่ต้องนำมาจากจังหวัดเลยซึ่งมีระยะทางห่างจากสถานที่ผลิตประมาณ 200 กิโลเมตร ซึ่งในการจัดส่งใช้กล้วยมากถึง 3.6 ตันต่อปี ส่วนวัตถุดิบและบรรจุภัณฑ์อื่น ๆ มีการใช้ในสัดส่วนที่ต่ำกว่าเมื่อเทียบกับการใช้กล้วยดิบ จึงส่งผลต่อการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกของผลิตภัณฑ์กล้วยกรอบแก้วหวานขนาด 160 กรัม พร้อมบรรจุภัณฑ์ ด้านการขนส่งวัตถุดิบ พลังงาน และทรัพยากรน้อยมาก เป็นเพราะระยะทางขนส่งที่ใกล้กว่า จึงทำให้มีสัดส่วนพลังงานในการขนส่งต่อหน่วยต่ำ



รูปที่ 2 สัดส่วนการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกของการได้มาและการใช้ประโยชน์วัตถุดิบ พลังงานและทรัพยากร



รูปที่ 3 สัดส่วนการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกของการขนส่งวัตถุดิบ พลังงาน และทรัพยากร

การศึกษาชี้ให้เห็นว่าขั้นตอนการได้มาซึ่งกล้วยดิบ มีการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุดทั้งการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกของการได้มาและการใช้ประโยชน์วัตถุดิบ พลังงานและทรัพยากร และการขนส่งวัตถุดิบ พลังงาน และทรัพยากร รองลงมาคือ การได้มาซึ่งน้ำตาล เนื่องจากวัตถุดิบทั้งสองเป็นวัตถุดิบหลักในการทำผลิตภัณฑ์กล้วยกรอบแก้วหวานขนาด 160 กรัม พร้อมบรรจุภัณฑ์ จึงไม่สามารถลดปริมาณการใช้งานลงได้ ดังนั้นการพิจารณาการลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกของการได้มาซึ่งวัตถุดิบทั้งสองนี้ไม่อาจจะทำได้แน่นอน แต่เนื่องด้วยในการทอดกล้วยกรอบแก้วหวานมีการทอด 2 ครั้ง ส่งผลต่อการใช้น้ำมันพืชและแก๊สหุงต้มในปริมาณที่มาก ผู้ผลิตควรปรับเปลี่ยนกระบวนการผลิตจากการทอดปกติมาเป็นการทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ เพื่อลดการใช้ น้ำมันพืชและแก๊สหุงต้ม หรืออาจจะมีการนำพลังงานในรูปแบบอื่นมาใช้ในกระบวนการผลิตเพื่อลดการใช้แก๊สหุงต้มลง

4.สรุป

การประเมินการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกของผลิตภัณฑ์กล้วยกรอบแก้วหวานขนาด 160 กรัม พร้อมบรรจุภัณฑ์ มีค่า 0.35 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์ เทียบเท่า ขั้นตอนการได้มาซึ่งวัตถุดิบและบรรจุภัณฑ์ เป็นขั้นที่ปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุดจากวัตถุดิบหลักและกล่องบรรจุภัณฑ์และรองลงมาเป็นขั้นกระบวนการผลิต ผู้ผลิตจึงควรมุ่งเน้นรูปแบบกระบวนการผลิตกล้วยกรอบแก้ว

5.กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณกลุ่มแม่บ้านเกษตรกรบ้านหนองบ่อ ตำบลโนนแดง อำเภอบ้านเขว้า จังหวัดชัยภูมิ ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่ในการเก็บข้อมูล รวมทั้งความรู้ในการผลิตกล้วยกรอบแก้ว

เอกสารอ้างอิง

- [1] ชาตรี ทวีนาท และธนะ ศุภวัชรินทร์. กล้วยกรอบแก้ว “นกระจิบ” จ.ชัยภูมิ สูดยอด “OTOP หัวดาว”. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก : [http:// www.banmuang.co.th](http://www.banmuang.co.th) (14 กันยายน 2559).
- [2] คณะกรรมการเทคนิคด้านคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์, 2558. แนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ ภายใต้โครงการส่งเสริมการใช้คาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์. พิมพ์ครั้งที่ 5. กรุงเทพฯ: องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน).
- [3] พงษ์เทพ สุวรรณวารี, ชนิษฐา มีวาสนา, กัลยาณี กุลชัย และมนัสวี พานิชนอก, 2557. รายงานการวิจัยเรื่องวอเตอร์และคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของการผลิตน้ำตาลทรายขาวในภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนล่างของประเทศไทย กรณีศึกษา: จังหวัดนครราชสีมา ชัยภูมิ บุรีรัมย์ และสุรินทร์. รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- [4] รัตนารรรณ มั่งคั่ง, แซบเปียร์ กิ่วลา, งามทิพย์ ภู่วโดม และสิรินทรเทพ เต้าประยูร, 2554. “คาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ข้าว,” วิศวกรรมสาร มก. 75, 24 (มกราคม - มีนาคม) : 53-60, 2554.
- [5] ปฐม ประสาทเขตการ และสิริลักษณ์ เจียราร, 2558. “คาร์บอนฟุตพริ้นท์ของกระบวนการแปรรูปเมล็ดกาแฟโรบัสต้าในวิสาหกิจชุมชน”. โครงการประชุมวิชาการเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษาแห่งชาติ ครั้งที่ 34. 27 มีนาคม 2558. มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- [6] องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน). Emission Factor. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก: [http:// thaicarbonlabel.tgo.or.th](http://thaicarbonlabel.tgo.or.th) (10 กันยายน 2559).
- [7] องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน). บริษัทและผลิตภัณฑ์ที่ขึ้นทะเบียนคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก: <http://thaicarbonlabel.tgo.or.th> (10 กันยายน 2559).

คุณสมบัติเบื้องต้นของเพสต์ มอร์ตาร์ และคอนกรีตผสมสารเพิ่มกำลังอัด

Basic Properties of Pastes, Mortars and Concrete Containing Strength Enhancing Mineral Admixture

ปิติศานต์ กร้ามาตร¹ อธิกานต์ ธิวงค์คำ² ปานเทพ จุลนิพิฐวงษ์³ และ สมนึก ตั้งเต็มสิริกุล⁴

pitisan.k@en.rmutt.ac.th¹, zerotype07@gmail.com², parntheop@siit.tu.ac.th³, somnuk@siit.tu.ac.th⁴

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มุ่งศึกษาคุณสมบัติเบื้องต้นของคอนกรีตผสมสารเพิ่มกำลังอัด โดยใส่เพิ่มสารเพิ่มกำลังอัด (Addition) และโดยการแทนที่สารเพิ่มกำลังอัด (Replacement) ร้อยละ 5.5, 6.5 และ 7.5 โดยน้ำหนักในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 (OPC) ผลการศึกษา พบว่า การขยายตัวออโตแคลฟของเพสต์ผสมสารเพิ่มกำลังอัดมีค่าน้อยกว่าของ OPC ล้วน โดยการขยายตัวออโตแคลฟของเพสต์ Replacement มีค่าน้อยกว่าของ Addition และการผสมสารเพิ่มกำลังอัดในปริมาณที่มากให้ค่าการขยายตัวออโตแคลฟมากขึ้น ส่วนการขยายตัวในสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ของมอร์ตาร์ผสมสารเพิ่มกำลังอัดมีค่ามากกว่าของ OPC ล้วน โดยการขยายตัวในสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ของมอร์ตาร์ Replacement มีค่าน้อยกว่าของ Addition และการใส่สารเพิ่มกำลังอัดในปริมาณที่มากให้ค่าการขยายตัวของมอร์ตาร์ในสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์มากขึ้น นอกจากนี้ พบว่า คอนกรีตผสมสารเพิ่มกำลังอัดมีทั้งค่าการยุบตัวและการสูญเสียค่าการยุบตัวน้อยกว่า ในขณะที่ค่าการก่อดัวมีค่ามากกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับของ OPC ล้วน โดยการผสมสารเพิ่มกำลังอัดในปริมาณที่ต่างกันให้ทั้งค่าการยุบตัว การสูญเสียค่าการยุบตัว และการก่อดัวของคอนกรีตที่ไม่แตกต่างกัน สุดท้ายพบว่กำลังอัดประลัยของคอนกรีต Addition มีค่ามากกว่า ในขณะที่ของ Replacement มีแนวโน้มต่ำกว่าหรือใกล้เคียงกับของ OPC ล้วน โดยทั้งคอนกรีต Addition และ Replacement เมื่อใส่สารเพิ่มกำลังอัดในปริมาณที่ต่างกันให้กำลังอัดประลัยที่ไม่แตกต่างกัน ส่วนกำลังดึงของคอนกรีตผสมสารเพิ่มกำลังอัดนั้นมีค่าใกล้เคียงกับของ OPC ล้วน

คำสำคัญ: สารเพิ่มกำลังอัด, การขยายตัว, การก่อดัว, กำลังอัดประลัย, กำลังดึง

¹ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ² นักศึกษาปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

³ นักวิจัย ศูนย์วิจัยเทคโนโลยีการก่อสร้างและบำรุงรักษา สถาบันเทคโนโลยีนานาชาติสิรินธร มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

⁴ ศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมและเทคโนโลยีโยธา สถาบันเทคโนโลยีนานาชาติสิรินธร มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

Abstract

This research was aimed to study the basic properties of concrete containing strength enhancing mineral admixture (SA). The SA was used to add and partial replacement of 5.5, 6.5 and 7.5% by weight of Portland cement type 1 (OPC). The study found that the autoclave expansion of paste containing SA was lesser than that of OPC paste. The autoclave expansion of paste containing SA with partial replaced was lower than that of paste contained SA addition. Moreover, the more SA was mixed, the more autoclave expansion occurred. Furthermore, mortar containing SA having expanded in calcium hydroxide solution was more than OPC mortar. The expansion in calcium hydroxide solution of mortar containing SA with partial replaced was lower than that of mortar contained SA addition. In addition, the more SA was used, the more expansion in calcium hydroxide solution occurred. Besides, slump and slump loss of concrete containing SA was lower whereas its setting time was higher when compared to those of OPC concrete. Nevertheless, whether the more or less using SA quantity, the result of slump, slump loss and setting time of concrete would be the same. Finally, compressive strength of concrete contained SA addition was higher than that of OPC concrete. Whereas the compressive strength of concrete containing SA with partial replaced had the same tendency lower than or close to that of OPC concrete. The different of using SA quantity, the compressive strength of concrete was no different. As well, tensile strength of concrete containing SA had the same tendency to that of OPC concrete.

Keywords: strength enhancing mineral admixture, expansion, setting time, compressive strength, tensile strength

1. บทนำ

ปัจจุบันการค้นคว้าวิจัยทางด้านวัสดุคอนกรีต นักวิจัยและวิศวกรมีความรู้ความเข้าใจมากขึ้น และได้มีงานวิจัยที่ระบุแนวทางการเลือกสัดส่วนผสมที่เหมาะสมกับสมรรถนะของคอนกรีต ทำให้มีผู้คิดค้นสารสังเคราะห์เพื่อช่วยปรับปรุงปฏิกิริยาในส่วนผสมปูนซีเมนต์ โดยสารที่สังเคราะห์จะทำปฏิกิริยาเพิ่มเติมให้ได้มาซึ่งสารที่ก่อให้เกิดกำลังในคอนกรีตเพิ่มเติม มีนักวิจัยได้ทดลองแทนที่สารผสมเพิ่มกำลังอัดในคอนกรีต และพบว่าทำให้ปฏิกิริยาในช่วงอายุเริ่มแรกสามารถพัฒนากำลังไปได้ดี [1] ทำให้มีการประเมินกันว่า การแทนที่สารเพิ่มกำลังอัดจะช่วยทำให้คุณสมบัติของคอนกรีตเปลี่ยนแปลงไปทั้งในด้านของคุณสมบัติเบื้องต้นและด้านความคงทน [2]

การศึกษาค้นคว้าครั้งนี้เป็นการศึกษาถึงคุณสมบัติของสารเพิ่มกำลังอัด รวมทั้งเพื่อหาปริมาณที่เหมาะสมในการ

ใช้งานสารเพิ่มกำลังอัดอย่างมีประสิทธิภาพ โดยได้ศึกษาถึงการขยายตัวของโอโตแคลฟของเพสต์ การขยายตัวในสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ของมอร์ตาร์ ค่าการยุบตัว การสูญเสียค่าการยุบตัว การก่อตัว กำลังอัดประลัย และกำลังดึงของคอนกรีตผสมสารเพิ่มกำลังอัด เพื่อนำผลงานวิจัยอันเป็นประโยชน์นี้ไปใช้พัฒนาเทคโนโลยีด้านวัสดุคอนกรีตต่อไป

2. รายละเอียดวิธีการศึกษา

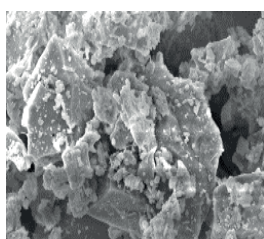
2.1 วัสดุประสานที่ใช้ในการศึกษา

วัสดุประสานที่ใช้ได้แก่ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ตามมาตรฐาน มอก.15-2555 [3] และสารเพิ่มกำลังอัด โดยตารางที่ 1 แสดงองค์ประกอบทางเคมี ความถ่วงจำเพาะ และความละเอียดโดยวิธีเบลนของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และสารเพิ่มกำลังอัด

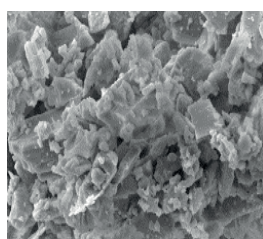
ส่วนรูปที่ 1 แสดงภาพถ่ายขยายกำลังสูง (3,500 เท่า) ของอนุภาคปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และสารเพิ่มกำลังอัด ซึ่งรูปร่างของอนุภาคของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และสารเพิ่มกำลังอัด มีลักษณะเป็นเหลี่ยม ผิวขรุขระ ขนาดไม่แน่นอนแตกต่างกันไป

ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางเคมี ความถ่วงจำเพาะ และความละเอียดโดยวิธีเบลนของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และสารเพิ่มกำลังอัด

องค์ประกอบทางเคมี (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	ปูนซีเมนต์ ประเภทที่ 1	สารเพิ่ม กำลังอัด
SiO ₂	18.93	1.94
Al ₂ O ₃	5.51	1.39
Fe ₂ O ₃	3.31	0.61
CaO	65.53	42.97
MgO	1.24	0.10
Na ₂ O	<0.01	-
K ₂ O	0.31	-
SO ₃	2.88	49.50
LOI	1.06	3.78
ความถ่วงจำเพาะ	3.12	2.95
ความละเอียดโดย วิธีเบลน (ชม. ² /ก.)	3,300	2,984



ก) ปูนซีเมนต์ประเภทที่ 1



ข) สารเพิ่มกำลังอัด

รูปที่ 1 ภาพถ่ายขยายกำลังสูง (3,500 เท่า) ของอนุภาคปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และสารเพิ่มกำลังอัด

2.2 การขยายตัวของออตเคลฟของเพสต์

วิธีการวัดการขยายตัวของออตเคลฟของตัวอย่างเพสต์ (ขนาด 25x25x285 มม.) ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C 151/C 151M - 15 [4] โดยหลังจากถอด

แบบที่อายุตัวอย่างเพสต์ 24 ชั่วโมง วัดความยาวทันที แล้วนำใส่ออตเคลฟให้ผิวทุกด้านของชิ้นทดสอบถูกไอน้ำชนิดอิ่มตัว เพิ่มอุณหภูมิของออตเคลฟให้ความดันของไอน้ำเพิ่มขึ้นเป็น 2 MPa ภายในเวลา 45 ถึง 75 นาที ควบคุมความดันอยู่ในระดับ 2 ± 0.07 MPa เป็นเวลา 3 ชั่วโมง แล้วปล่อยให้ออตเคลฟเย็นลงจนความดันลดต่ำกว่า 0.07 MPa เมื่อครบ 1½ ชั่วโมง ให้เปิดลิ้นระบายอากาศให้ความดันที่ค้างอยู่ภายในออตเคลฟเท่าความดันบรรยากาศ แล้วนำชิ้นทดสอบออกไปแช่ในน้ำที่มีอุณหภูมิสูงกว่า 90 °C จากนั้นให้อุณหภูมิ น้ำลดลง 23 °C ภายในเวลา 15 นาที โดยค่อย ๆ เติมน้ำเย็นลงไป ปล่อยให้ชิ้นทดสอบให้แช่ในน้ำที่อุณหภูมิ 23 °C ต่อไปอีก 15 นาที แล้วทำให้ชิ้นทดสอบแห้งและวัดความยาวอีกครั้ง

2.3 การขยายตัวในสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ของมอร์ตาร์

วิธีการวัดการขยายตัวในสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ของตัวอย่างมอร์ตาร์ (ขนาด 25x25x285 มม.) หลังจากถอดแบบที่อายุตัวอย่างมอร์ตาร์ 24 ชั่วโมง แล้วนำตัวอย่างบ่มในน้ำที่ผสมสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ทดสอบการขยายตัวในสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่อายุ 14 วัน ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C 1038 - 04 [5]

2.4 ค่าการยุบตัวและการสูญเสียค่าการยุบตัวของคอนกรีต

วิธีการทดสอบการยุบตัวและการสูญเสียค่าการยุบตัวของตัวอย่างคอนกรีต ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C 143/C 143M - 98 [6] โดยวัดค่าการยุบตัวของคอนกรีตเมื่อเวลาผ่านไป ที่ 0 15 30 45 และ 60 นาที

2.5 การก่อตัวของคอนกรีต

วิธีการทดสอบการก่อตัวของตัวอย่างคอนกรีต โดยใช้คอนกรีตส่วนที่ร้อนผ่านตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 4 เทลงแบบหล่อ (ขนาด 150x150x150 มม.) ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C 403/C 403M - 99 [7]

2.6 กำลังอัดประลัยของคอนกรีต

วิธีการทดสอบกำลังอัดประลัยของตัวอย่างคอนกรีต (ขนาด 100x100x100 มม.) หลังจากถอดแบบที่อายุตัวอย่างคอนกรีต 24 ชั่วโมง แล้วนำตัวอย่างบ่มในน้ำ ทดสอบกำลังอัดประลัยที่อายุ 7 วัน และ 28 วัน ทดสอบตามมาตรฐาน BS 1881 : PART 108 [8]

2.7 กำลังดึงของคอนกรีต

วิธีการทดสอบกำลังดึงของคอนกรีต ใช้โดยวิธีการตัดของตัวอย่างคอนกรีต (ขนาด 100x100x300 มม.) หลังจากถอดแบบที่อายุตัวอย่างคอนกรีต 24 ชั่วโมง แล้วนำตัวอย่างบ่มในน้ำ ทดสอบกำลังดึงที่อายุ 7 วัน และ 28 วัน ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C 78 - 94 [9]

2.8 สัดส่วนผสมที่ใช้ในการศึกษา

สัดส่วนผสมของเพสต์ มอร์ตาร์ และคอนกรีตที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ แยกตามคุณสมบัติด้านต่าง ๆ ที่ศึกษา ซึ่งได้แก่ การขยายตัวออโตเคเฟลของเพสต์ การขยายตัวในสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ของมอร์ตาร์ ค่าการยุบตัว การสูญเสียค่าการยุบตัว การก่อตัว กำลังอัดประลัย และกำลังดึงของคอนกรีต ซึ่งสัดส่วนผสมของเพสต์ มอร์ตาร์ และคอนกรีตที่ใช้ แสดงดังตารางที่ 2 3 และ 4 ตามลำดับ

การใช้สัญลักษณ์ของสัดส่วนผสมในการศึกษาเป็นดังนี้ P หมายถึง เพสต์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ล้วน, P5.5Ad หมายถึง เพสต์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 โดยใส่เพิ่มสารเพิ่มกำลังอัด (Addition) ร้อยละ 5.5, M หมายถึง มอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ล้วน, M7.5Re หมายถึง มอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 โดยการแทนที่สารเพิ่มกำลังอัด (Replacement) ร้อยละ 7.5, g หมายถึง อัตราส่วนของเพสต์ต่อช่องว่างในคอนกรีต, C g=1.40 หมายถึง คอนกรีตปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ล้วน ใช้อัตราส่วนของเพสต์ต่อช่องว่างในคอนกรีต เท่ากับ 1.40 และ C6.5Re g=1.40 หมายถึง คอนกรีตปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 โดยการแทนที่สารเพิ่มกำลังอัด (Replacement) ร้อยละ 6.5 และใช้อัตราส่วนของเพสต์ต่อช่องว่างในคอนกรีต เท่ากับ 1.40 เป็นต้น

ตารางที่ 2 สัดส่วนผสมของเพสต์ที่ใช้ในการทดสอบการขยายตัวออโตเคเฟล

ส่วนผสม	สัญลักษณ์	สัดส่วนผสมโดยน้ำหนัก (กรัม)		
		ปูนซีเมนต์ประเภทที่ 1	สารเพิ่มกำลังอัด	น้ำ
1	P	100	-	25.5
2	P5.5Ad	100	5.5	25.5
3	P6.5Ad	100	6.5	25.5
4	P7.5Ad	100	7.5	25.5
5	P5.5Re	94.5	5.5	25.5
6	P6.5Re	93.5	6.5	25.5
7	P7.5Re	92.5	7.5	25.5

หมายเหตุ น้ำใช้เท่ากับปริมาณน้ำที่เหมาะสมของเพสต์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ล้วน

ตารางที่ 3 สัดส่วนผสมของมอร์ตาร์ที่ใช้ในการทดสอบการขยายตัวในสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์

ส่วนผสม	สัญลักษณ์	สัดส่วนผสมโดยน้ำหนัก (กรัม)			
		ปูนซีเมนต์ประเภทที่ 1	สารเพิ่มกำลังอัด	ทราย	น้ำ
1	M	100	-	275	48.6
2	M5.5Ad	100	5.5	275	48.6
3	M6.5Ad	100	6.5	275	48.6
4	M7.5Ad	100	7.5	275	48.6
5	M5.5Re	94.5	5.5	275	48.6
6	M6.5Re	93.5	6.5	275	48.6
7	M7.5Re	92.5	7.5	275	48.6

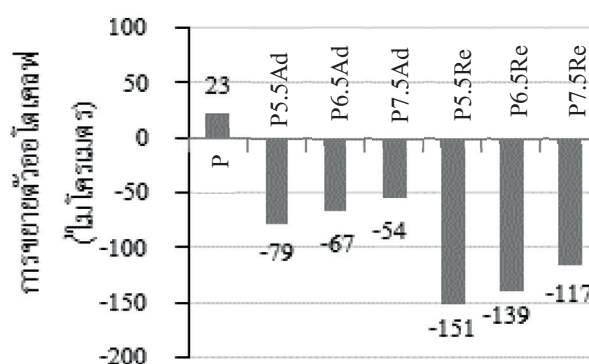
ตารางที่ 4 สัดส่วนผสมของคอนกรีตต่อ 1 ลูกบาศก์เมตร ใช้อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.30 โดยน้ำหนัก

ส่วนผสม	สัญลักษณ์	สัดส่วนผสมโดยน้ำหนัก (กิโลกรัม)					
		ปูนซีเมนต์ประเภท 1	สารเพิ่มกำลังอัด	ทราย	หิน	น้ำ	สารลดน้ำ
1	C g=1.38	520	-	727	1047	151	5.2
2	C g=1.40	520	-	727	1047	151	5.2
3	C5.5Ad g=1.38	520	28.6	727	1047	151	5.2
4	C6.5Ad g=1.38	520	33.8	727	1047	151	5.2
5	C7.5Ad g=1.38	520	39.0	727	1047	151	5.2
6	C5.5Re g=1.40	491	28.6	727	1047	151	5.2
7	C6.5Re g=1.40	486	33.8	727	1047	151	5.2
8	C7.5Re g=1.40	481	39.0	727	1047	151	5.2

3. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

3.1 การขยายตัวของโตนของเพสต์

รูปที่ 2 แสดงการขยายตัวของโตนของเพสต์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ล้วน และเพสต์ผสมสารเพิ่มกำลังอัด ทั้งที่ใส่เพิ่มสารเพิ่มกำลังอัด (Addition) และโดยการแทนที่สารเพิ่มกำลังอัด (Replacement) ร้อยละ 5.5, 6.5 และ 7.5 โดยน้ำหนัก พบว่า การขยายตัวของโตนของเพสต์ทั้ง Addition และ Replacement มีค่าน้อยกว่าของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ล้วน โดยทุกส่วนผสมที่ใส่สารเพิ่มกำลังอัด ไม่มีการขยายตัวแต่กลับมีการขยายตัวติดลบ (หดตัว) โดยการหดตัวของเพสต์ Replacement มีค่ามากกว่าของ Addition อาจเป็นไปได้เพราะเพสต์ Replacement เป็นการลดปริมาณของปูนซีเมนต์ลง ทำให้ลดปริมาณของ free lime ส่งผลให้การขยายตัวน้อยลง (การหดตัวมากขึ้น) และพบว่า ทั้งเพสต์ Addition และ Replacement เมื่อใส่สารเพิ่มกำลังอัดในปริมาณที่มากขึ้น ให้ค่าการขยายตัวมากขึ้น (การหดตัวที่น้อยลง) ทั้งนี้อาจเป็นเพราะเมื่อเพิ่มปริมาณสารเพิ่มกำลังอัด ทำให้ปริมาณของ SO_3 มากขึ้น ส่งผลให้การขยายตัวเพิ่มขึ้น [10]

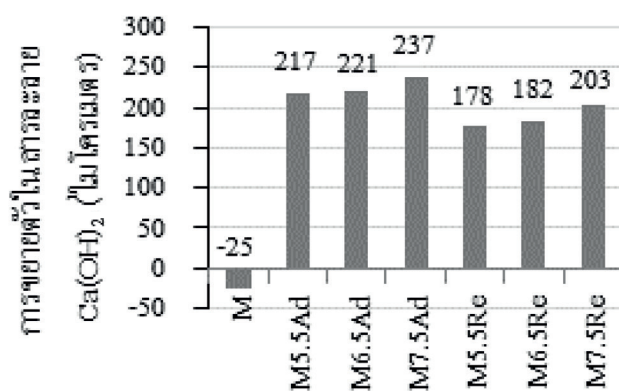


รูปที่ 2 การขยายตัวของโตนของเพสต์

3.2 การขยายตัวในสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ของมอร์ตาร์

รูปที่ 3 แสดงการขยายตัวในสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ของมอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ล้วน และมอร์ตาร์ผสมสารเพิ่มกำลังอัด ทั้ง Addition และ Replacement ร้อยละ 5.5, 6.5 และ 7.5 โดยน้ำหนัก พบว่า การขยายตัวในสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ของมอร์ตาร์ผสมสารเพิ่มกำลังอัดที่อายุ 14 วัน ทั้ง Addition และ Replacement มีค่ามากกว่าของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ล้วน ทั้งนี้อาจเป็นเพราะสารเพิ่มกำลังอัดมีปริมาณของ SO_3 ที่ค่อนข้างสูง เมื่อ

เปรียบเทียบกับปูนซีเมนต์ ทำให้เกิดแอทริงใจท์มาก [10] ส่งผลให้เกิดการขยายตัวในสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์มาก และพบว่า การขยายตัวในสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ของมอร์ตาร์ Addition มีค่ามากกว่าของ Replacement ทั้งนี้เป็นไปได้เพราะการ Replacement เป็นการลดปริมาณปูนซีเมนต์ลง นอกจากนี้มอร์ตาร์ทั้ง Addition และ Replacement เมื่อใส่สารเพิ่มกำลังอัดในปริมาณที่มากขึ้น ให้ค่าการขยายตัวในสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่มากกว่าเมื่อใส่ในปริมาณน้อย ทั้งนี้เป็นไปได้เพราะปริมาณของ SO_3 มากขึ้น



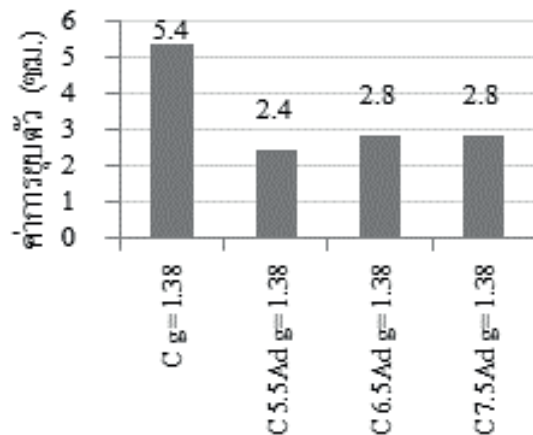
รูปที่ 3 การขยายตัวในสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ของมอร์ตาร์

3.3 ค่าการยุบตัวและการสูญเสียค่าการยุบตัวของคอนกรีต

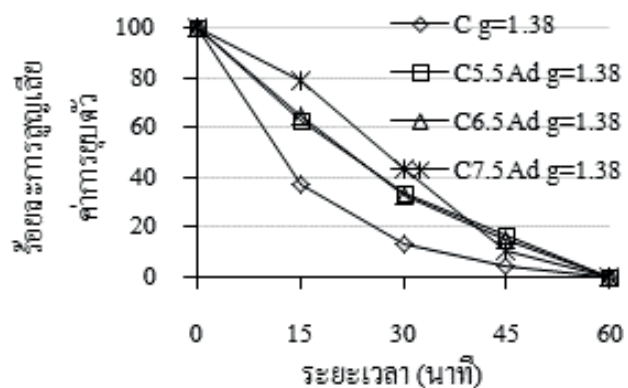
รูปที่ 4 แสดงค่าการยุบตัวของคอนกรีตปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ล้วน และคอนกรีตผสมสารเพิ่มกำลังอัด โดย Addition ร้อยละ 5.5, 6.5 และ 7.5 โดยน้ำหนักใช้อัตราส่วนของเพสต์ต่อช่องว่างในคอนกรีต เท่ากับ 1.38 พบว่า ค่าการยุบตัวของคอนกรีตผสมสารเพิ่มกำลังอัดน้อยกว่าของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ล้วน อาจเป็นเพราะสารเพิ่มกำลังอัด มีค่า LOI ที่สูงกว่า ทำให้มีความต้องการน้ำที่มากกว่า ส่งผลให้ค่าการยุบตัวมีค่าน้อยลง ส่วนเมื่อผสมสารเพิ่มกำลังอัดในปริมาณที่ต่างกัน ให้ค่าการยุบตัวที่ใกล้เคียงกัน

รูปที่ 5 แสดงการสูญเสียค่าการยุบตัวของคอนกรีตปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ล้วน และคอนกรีตผสมสารเพิ่มกำลังอัดโดย Addition ร้อยละ 5.5 6.5 และ 7.5 โดยน้ำหนัก โดยใช้อัตราส่วนของเพสต์ต่อช่องว่าง

ในคอนกรีต เท่ากับ 1.38 พบว่า การสูญเสียค่าการยุบตัวของคอนกรีตต่ำกว่าของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ล้วน ทั้งนี้อาจเป็นเพราะสารเพิ่มกำลังอัดมีปริมาณของ SO_3 ค่อนข้างสูง ซึ่งไปขัดขวางการเกิดไฮเดรชัน ของ C_3A และ C_4AF [10] ส่งผลให้การสูญเสียค่าการยุบตัวเกิดขึ้นช้าลง



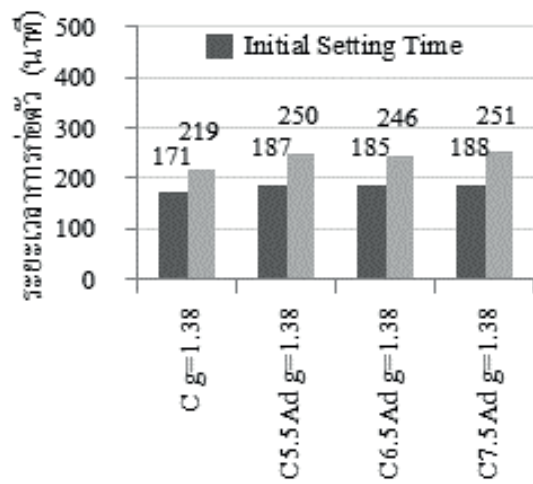
รูปที่ 4 ค่าการยุบตัวของคอนกรีต Addition



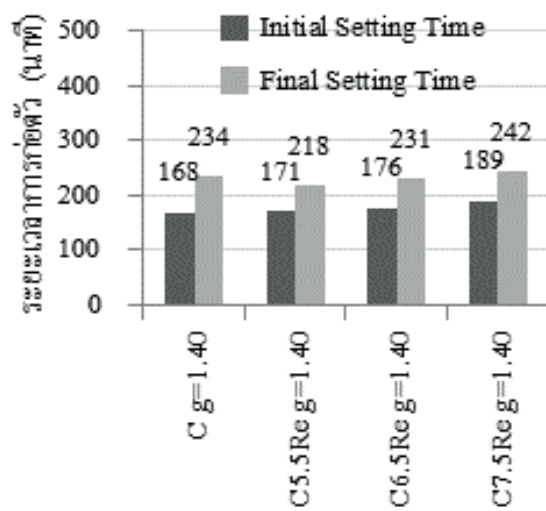
รูปที่ 5 การสูญเสียค่าการยุบตัวของคอนกรีต Addition

3.4 การก่อตัวของคอนกรีต

รูปที่ 6 แสดงการก่อตัวของคอนกรีตปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ล้วน และคอนกรีตผสมสารเพิ่มกำลังอัด ทั้ง Addition และ Replacement ร้อยละ 5.5, 6.5 และ 7.5 โดยน้ำหนัก โดยคอนกรีต Addition และ Replacement ใช้อัตราส่วนของเพสต์ต่อช่องว่างในคอนกรีตเท่ากับ 1.38 และ 1.40 ตามลำดับ พบว่า การก่อตัวของคอนกรีต Addition นานกว่าเล็กน้อย ในขณะที่ของคอนกรีต Replacement ไม่แตกต่าง เมื่อเปรียบเทียบกับก่อตัวของคอนกรีตปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ล้วน



ก) Addition



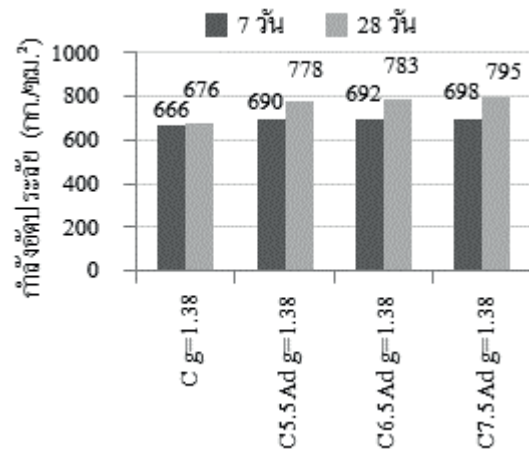
ข) Replacement

รูปที่ 6 การก่อตัวของคอนกรีต

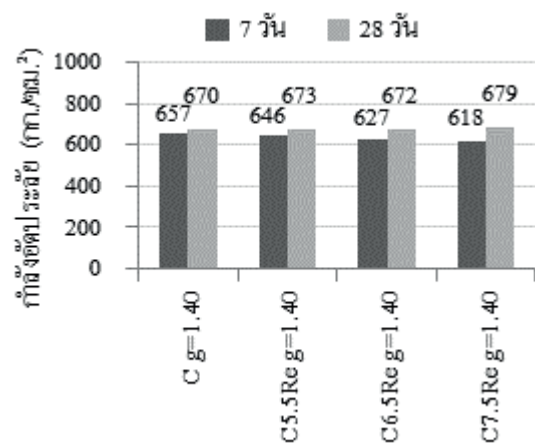
3.5 กำลังอัดประลัยของคอนกรีต

รูปที่ 7 แสดงกำลังอัดประลัยของคอนกรีตปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ล้วน และคอนกรีตผสมสารเพิ่มกำลังอัด พบว่า กำลังอัดประลัยของคอนกรีต Addition ทั้งที่อายุ 7 วัน และ 28 วัน มีค่ามากกว่าของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ล้วน ทั้งนี้อาจเป็นเพราะสารเพิ่มกำลังอัดทำปฏิกิริยาเกิดผลผลิตที่ก่อให้เกิดกำลังมากขึ้น จึงส่งผลให้กำลังอัดประลัยสูงขึ้น [1] ส่วนกำลังอัดประลัยของคอนกรีต Replacement ที่อายุ 7 วัน มีค่าน้อยกว่า ในขณะที่อายุ 28 วัน มีค่าใกล้เคียงกัน เมื่อเปรียบเทียบกับของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ล้วน

ทั้งนี้อาจเป็นเพราะผลการลดปริมาณของปูนซีเมนต์ลง มีผลมากกว่าผลจากการทำปฏิกิริยาของสารเพิ่มกำลังอัด นอกจากนี้พบว่า คอนกรีตทั้ง Addition และ Replacement เมื่อใส่สารเพิ่มกำลังอัดในปริมาณที่ต่างกัน ให้กำลังอัดประลัยที่ไม่แตกต่างกัน



ก) Addition

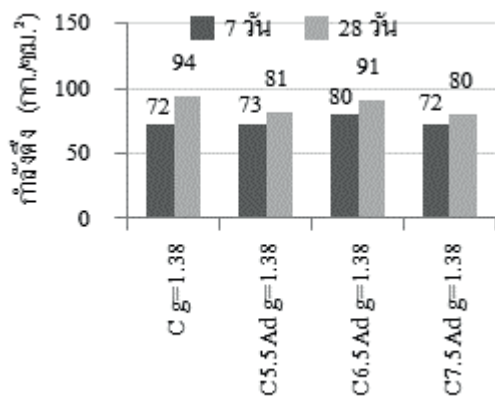


ข) Replacement

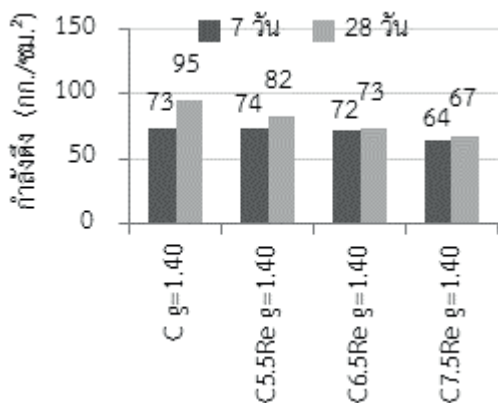
รูปที่ 7 กำลังอัดประลัยของคอนกรีต ที่อายุ 7 วัน และ 28 วัน

3.6 กำลังดึงของคอนกรีต

รูปที่ 8 แสดงกำลังดึงของคอนกรีตปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ล้วน และคอนกรีตผสมสารเพิ่มกำลังอัด พบว่า กำลังดึงของคอนกรีตทั้ง Addition และ Replacement มีค่าใกล้เคียงกับของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ล้วน



ก) Addition



ข) Replacement

รูปที่ 8 กำลังดึงของคอนกรีตที่อายุ 7 วัน และ 28 วัน

4. สรุป

จากการศึกษาคุณสมบัติเบื้องต้นของคอนกรีตผสมสารเพิ่มกำลังอัด สามารถสรุปได้ดังนี้

1) การขยายตัวออโตแคลฟของเพสต์ผสมสารเพิ่มกำลังอัดมีค่าน้อยกว่าของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ล้วน โดยการขยายตัวออโตแคลฟของเพสต์ Replacement มีค่าน้อยกว่าของ Addition และการใส่สารเพิ่มกำลังอัดในปริมาณที่มากให้ค่าการขยายตัวออโตแคลฟของเพสต์มากขึ้น

2) การขยายตัวในสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ของมอร์ตาร์ผสมสารเพิ่มกำลังอัดมีค่ามากกว่าของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ล้วน โดยการขยายตัวในสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ของมอร์ตาร์ Replacement มีค่าน้อยกว่าของ Addition และการใส่สารเพิ่มกำลังอัดในปริมาณที่มากให้ค่าการขยายตัวในสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์มากขึ้น

3) ค่าการยุบตัวและการสูญเสียค่าการยุบตัวของคอนกรีตผสมสารเพิ่มกำลังอัดมีค่าน้อยกว่าของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ล้วน โดยคอนกรีตที่ผสมสารเพิ่มกำลังอัดในปริมาณที่ต่างกัน ให้ทั้งค่าการยุบตัวและการสูญเสียค่าการยุบตัวไม่แตกต่างกัน ในขณะที่การก่อตัวของคอนกรีตผสมสารเพิ่มกำลังอัดมีค่าใกล้เคียงกับของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ล้วน

4) กำลังอัดประลัยของคอนกรีต Addition มีค่ามากกว่า ในขณะที่ของ Replacement มีแนวโน้มต่ำกว่าหรือไม่แตกต่าง เมื่อเปรียบเทียบกับของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ล้วน ส่วนกำลังดึงของคอนกรีตผสมสารเพิ่มกำลังอัดมีค่าใกล้เคียงกับของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ล้วน

5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณศูนย์วิจัยเทคโนโลยีการก่อสร้างและบำรุงรักษา (CONTEC) สถาบันเทคโนโลยีนานาชาติสิรินธร มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ และภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

เอกสารอ้างอิง

- [1] Panthep Julnipitawong and Somnuk Tangtermsirikul, Investigation on Performance of Concrete and Mortar Using Active Chemical Compound Rockfil-HSM, Final Report Submission to BKG Group Corporation, 2013.
- [2] Panthep Julnipitawong and Somnuk Tangtermsirikul, A Study on Effect of Strength Accelerating Compound on Properties of Concrete and Mortar, volume 2, No. 1, January – June 2014, pp. 17-29.
- [3] สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, มอก. 15 - 2555: มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ปูนซีเมนต์

ปอร์ตแลนด์, เล่ม 1 ข้อกำหนดเกณฑ์คุณภาพ,
กระทรวงอุตสาหกรรม, กรุงเทพมหานคร, พ.ศ.
2555.

- [4] American Society for Testing and Materials,
ASTM C 151/C 151M – 15: Standard
Test Method for Autoclave Expansion of
Hydraulic Cement, Annual Book of ASTM
Standards, 2015.
- [5] American Society for Testing and Materials,
ASTM C 1038 - 04: Standard Test Method
for Standard Test Method for Expansion
of Hydraulic Cement Mortar Bars Stored
in Water, Annual Book of ASTM Standards,
2004.
- [6] American Society for Testing and Materials,
ASTM C 143/C 143M - 98: Standard Test
Method for Slump of Hydraulic-Cement
Concrete, Annual Book of ASTM Standards,
1998.
- [7] American Society for Testing and Materials,
ASTM C 403/C 403M - 99: Standard Test
Method for Time of Setting of Concrete
Mixtures by Penetration Resistance, Annual
Book of ASTM Standards, 1999.
- [8] British Standard Institute, BS 1881: Part 108
Method of Making Test Cube from Fresh
Concrete, London, 1983.
- [9] American Society for Testing and Materials,
ASTM C 78 - 94: Standard Test Method for
Flexural Strength of Concrete (Using Simple
Beam with Third-Point Loading), Annual
Book of ASTM Standards, 1994.
- [10] ปริญญา จินดาประเสริฐ และชัย จตุรพิทักษ์กุล,
ปูนซีเมนต์ ปอซโซลาน และคอนกรีต, พิมพ์ครั้งที่
5, สมาคมคอนกรีตไทย, พ.ศ. 2551.

Properties of Borassus Fruit Fiber

Kitiyaphan Pholam¹, Ed Sarobol², and Rattanaphol Mongkholrattanasit³
k_pholam@yahoo.co.th¹, agreed@ku.ac.th², rattanaphol.m@rmutp.ac.th³

Abstract

Borassus fruit fiber is a waste material from Borassus flour production, which is popular in Phetchaburi province, Thailand. Natural fiber developments for textile industry create value added benefits of agricultural waste material and increase farmers' income. This paper focused on Borassus fruit fibers by studying their important properties such as physical, chemical, mechanical and structural aspects when they were scoured and bleached. They were determined according to ASTM standard and SEM, XRD and FTIR instruments were used. Highlight properties of fibers indicated that fibers consisted of three main components namely, α -cellulose, hemicellulose and lignin. When they were scoured and bleached, results showed that the percentage of α -cellulose was increased on scoured and bleached fibers but the percentage of hemicellulose and lignin was decreased. The crystallinity of untreated fiber was 67.16% and it was increased to 68.97% and 71.50% when the fibers were scoured and bleached respectively. Fiber diameter, length and linear density after scouring and bleaching were reduced. Tensile strength property was increased on scoured fiber but it was decreased on bleached fiber. For fiber surface morphology, we found that scoured and bleached fibers were cleaner than untreated fiber and numerous pores or pits were revealed on bleached fiber surface.

Keywords: Borassus fruit fiber, Cellulose fiber properties, FTIR, SEM and XRD

¹ Department of Tropical Agriculture, Faculty of Agriculture, Kasetsart University

² Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Kasetsart University

³ Department of Textile Chemistry Technology, Faculty of Industrial Textiles and Fashion Design, Rajamangala University of Technology Phra Nakhon

1. Introduction

Thailand is an agricultural country. Thai government has encouraged production of various economic crops for exports such as rice, corn, sugarcane, cassava, oil palm, and rubber tree [1]. Harvesting or transformation into instant products, results in a large amount of crop residues/waste. This issue has increased an awareness of the Thai textile industry about environmental friendliness, valued added textiles, and eco-innovative textiles, and led to a greater focus on recycling and use of waste as raw materials, eco-design, renewable material, waste management, and novel technology. Many textile companies have tried to develop upstream production by using waste materials from such crops as pineapple, banana, and coconut fibers to serve the textile [2].

Borassus (*Borassus flabellifer* L.) is a plant in the *Arecaceae* family. Other common names of Borassus are Palmyrah or Toddy palm. Borassus is one of the most important economic plants. It has a range of utilization especially in Cambodia and India. Its fruit is used to make food products. The ripe fruit shell is used as a fiber source for textile fiber, “cellulose fiber” [3-4]. In Thailand also, Borassus is an economic crop in many provinces such as Sukhothai, Suphan Buri, Phetchaburi and Songkhla. Phetchaburi province has the largest quantity of Borassus. There are about 336,027 rai of land used for growing the Borassus trees. The harvesting areas are about 296,125 rai and about 101,156 tonnes a year of Borassus product are produced [5]. Our study of Borassus fruit fiber properties in Thailand is a guideline for future development in the textile industry. In addition, it is creating value added function for waste material and increasing

the farmers’ income.

2. Materials and methods

2.1 Materials

Materials used this study were matured Borassus fruit fiber, collected from the Borassus flour production in Phetchaburi province, Thailand, and commercial grade chemicals such as detergent, amylase enzyme, hydrogen peroxide, sodium hydroxide, and sodium silicate.

2.2 Methods

2.2.1 Samples preparation

Borassus fruit fibers, were rinsed with water to remove dirt, mud and other water-soluble impurities until clean, and then dried in sunlight for two days. Then they were scoured and bleached [6].

2.2.1.1. Scouring

The 100 g of dried Borassus fruit fibers were scoured in a solution (1:20 fiber to liquor ratio) containing 0.5% detergent, 2% sodium hydroxide at 100 °C for 1 h. The fibers were rinsed in water until clean.

2.2.1.2 Bleaching

Scoured fibers were bleached in a solution (1:20 fiber to liquor ratio) containing 3% hydrogen peroxide, 0.25% sodium hydroxide, 0.5% sodium silicate, 1% sodium carbonate at 100 °C for 20 minutes. The fibers were rinsed in water until clean.

2.2.2 Fiber properties testing

2.2.2.1 Fiber composition

The percentages of α -cellulose, hemicellulose, and lignin were analyzed using the Van Soest detergent procedure (acid detergent fiber (ADF), neutral detergent fiber (NDF), and acid detergent lignin (ADL)) [7-8].

2.2.2.2 Fiber length

Fiber length was tested according to the ASTM D 5103 – 01 Standard test method for length and length Distribution of Manufactured Staple Fibers (Single-Fiber Test) [9]. Each sample was taken for measurement by measuring scale and an average length was reported.

2.2.2.3 Linear density

Linear density was measured according to the ASTM D1577-01 Standard test method for linear density of textile fiber [10] at standard atmospheric conditions. Sample was measured for weight (W) and length (L) and fiber denier was calculated using equation (1).

$$\text{Denier} = \frac{(W \times 9000)}{(N \times L)} \quad (1)$$

Where N is number of fibers in each sample

2.2.2.4 Tensile properties

Tensile strength was determined according to the ASTM D3822-01 Standard test method for tensile properties of single textile fibers [11] using Hounsfield Universal Testing Machine-TX0121- Model H50KS at a cross head speed of 5 mm/min, maintaining at a gauge length of 50 mm. An average of 10 test results was reported.

2.2.2.5 Scanning electron microscope (SEM)

Fiber diameter and surface morphology were investigated using a Scanning electron microscope (SEM). Samples were coated with gold using a JEOL- model JFC-1600 AUTO fine Coater. SEM images of the fiber samples were recorded using a JEOL- model JSM-6510 Scanning electron microscope with accelerating voltage of 5 KV.

2.2.2.6 X-ray diffraction (XRD)

Fiber crystallinity was determined using X-ray diffraction (XRD). The wide-angle X-ray diffraction spectra of the fibers were recorded on an X' Pert Pro, PANalytical model. The system has a rotating anode generator with a copper target and wide-angle powder goniometer. The samples were scanned between the angles (2θ) from 5 to 50° to obtain the equatorial reflections. Percentage crystallinity was determined using the wide-angle X-ray diffraction counts at 2θ angle close to 22° and 18° . Among these, the low angle reflection (18°) is of low intensity, representing I_{18} of amorphous region and the other reflection (22°) has higher intensity, and it represented I_{22} of crystalline region in cellulosic fiber [12]. Percentage of crystalline (%crystalline) was calculated using equations (2).

$$\% \text{ Crystalline} = \frac{I_{22}}{(I_{22} + I_{18})} \times 100 \quad (2)$$

Where I_{22} and I_{18} are crystalline and amorphous intensities at 2θ scale close to 22° and 18° , respectively.

2.2.2.7 Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FT-IR)

Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FT-IR) spectra of all samples run on Perkin Elmer, frontier model spectrophotometer using KBr pellets. Samples were powdered with KBr and pellets were used for recording the spectra in transmission mode in the $4000\text{-}500 \text{ cm}^{-1}$ region with 32 scans in case at a resolution of 4 cm^{-1} .

3. Results and Discussion

3.1 Fiber composition

Borassus fruit fiber is lignocellulosic fiber containing three main components; α -cellulose, hemicellulose and lignin. Table 1 shows that untreated Borassus fruit fiber consists of 43.81% α -cellulose, 35.36% hemicellulose and 13.54% lignin. These results were slightly different to the Borassus fruit fiber from India 45.67% α -cellulose, 32.76% hemicellulose and 21.53% lignin [13]. Before dyeing, fibers were scoured and bleached for improving fiber properties, cleaning and whitening. Scouring and bleaching changed the fiber composition (α -cellulose, hemicellulose and lignin). Scoured fiber contained 51.77% α -cellulose, 27.01% hemicellulose and 13.48% lignin and bleached fiber contained 56.25% α -cellulose, 17.58% hemicellulose and 12.93% lignin. It was noteworthy that the percentages of α -cellulose increased because hemicellulose and lignin decreased. It might be that the hemicellulose and lignin were easily damaged by alkaline. The α -cellulose component of raw Borassus fruit fiber was similar to coir fiber that had 43.44% α -cellulose [14], probably due to both of them being extracted from husks that cover its seed.

Table 1 Borassus fruit fiber composition

Fiber type	Lignin (%)	Hemicellulose (%)	α -cellulose (%)
Raw fiber	13.54	35.36	43.81
Scoured fiber	13.48	27.01	51.77
Bleached fiber	12.93	17.58	56.25

3.2 Fiber length

Table 2 shows that the average length of raw Borassus fruit fiber was 12.50 cm for crude fiber and 6.20 cm for fine fiber. The fiber length after scouring and bleaching, its average length was 11.06 cm for crude fiber and 5.69 cm for fine fiber and the bleached fiber was 10.60 cm for crude fiber and 5.14 cm for fine fiber. It was noticed that the fiber lengths reduced after scouring and bleaching due to losing the hemicellulose and lignin. Bleaching with hydrogen peroxide decreased cellulose fiber length and this method made the fiber more flexible [15].

Table 2 Fiber length

Fiber Samples	Max (cm)	Min (cm)	Average ($\bar{X}$)	SD
Raw fiber (Crude)	27	1	12.50	12.93
Raw fiber (Fine)	21	1	6.20	6.06
Scoured fiber (Crude)	25	1	11.06	14.82
Scoured fiber (Fine)	20	1	5.69	5.02
Bleached fiber (Crude)	22	1	10.60	9.01
Bleached fiber (Fine)	18	1	5.14	5.65

3.3 Linear density and tenacity properties of Borassus fruit fiber

Borassus fruit contains 30-40% of crude fiber and 60-70% of fine fiber. Linear density of Borassus fruit fiber shows in Table 3 to be 337 and 85 denier for raw crude and raw fine fibers, respectively. They were reduced to 274 and 62 denier after scouring and further reduced to 228 and 55 denier after bleaching. It was observed that the size of scoured and bleached fibers were smaller than raw fiber because fiber linear density reduced after scouring and bleaching. This is consistent with Boopathi's research result that alkali treatment decrease the fiber diameter; fiber diameter was not uniform throughout the length and fiber diameter was getting reduced with respect to the increase in alkali treatment percentage [16].

For tensile properties of fibers, data supported that the tenacity at break of raw fiber were 223gf/den for crude fiber, and 6gf/den for fine fiber. Their strength increased on scouring treatment to 262gf/den for crude fiber and 7gf/den for fine fiber, on the other hand, after bleaching the fiber strength was decreased to 204gf/den for crude fiber and 5gf/den for fine fiber. The percentages of fiber elongation were reduced when they were scoured and bleached. Crude fibers elongation percentage was reduced from 56 to 47 and 46 and fine fibers elongation percentage was reduced from 42 to 40 and 39 respectively (Table 3). It is noticed that the fiber strength increased with scouring but decreased with bleaching. It might be due to alkali concentration of bleaching was stronger than scouring because of the higher concentration percentage and the longer soaking time, the more fiber strength reduced [17-18].

Table 3 Linear density and tenacity properties of the Borassus fruit fiber

Fiber Samples	Linear density (denier)	Tenacity (gf/den)	Elongation (%)
Raw fiber (Crude)	337	223	56
Raw fiber (Fine)	85	6	42
Scoured fiber (Crude)	274	262	47
Scoured fiber (Fine)	62	7	40
Bleached fiber (Crude)	228	204	46
Bleached fiber (Fine)	55	5	39

3.4 Scanning electron microscope (SEM)

SEM technique was used to investigate the cross section and surface morphology of Borassus fruit fiber. Figure 1 shows SEM micrographs for cross sections of (a) raw fiber, (c) scoured fiber and (e) bleached fiber. The fiber cross section outline reveals that most fibers have an oval shape and they have small air cavities all over their structure. When fibers were scoured and bleached, their cross sectional structures were not different in appearance. For fiber diameters, from the SEM images it was noticed that the diameters of raw, scoured and bleached fibers were almost similar. The diameter range of crude fibers was between 200-425 μm and between 25-150 μm for fine fiber. It was noted that the dimensions started much smaller than Borassus fruit fiber from India, which has dimensions starting from 90 μm [19]. This difference in size and quality of fiber might be due to the different research method and different

species, whether, soil or planting of *Borassus*.

Fiber surface morphologies are shown in Figure 1 as (b) raw fiber, (d) scoured fiber and (f) bleached fiber. Figure 1(b) indicates impurities on raw fiber. Scoured fiber's surface seems to be smooth in comparison with raw fiber (see Figure 1d). On the other hand, micrograph of bleached fiber in Figure 1(f) reveals a lot of micro pores or pits on its surface. Moreover bleached fiber surface become rougher than raw and scoured fibers and also showed some scrapes along the surface.

In this case, it was probably due to some hemicellulose, lignin and impurities being removed from fiber. Consequently, in this study, the results of bleaching treatment were very important for modification of fiber surface morphology to enhance properties such as whiteness, flexibility, heat transfer, sound absorption and composites material.

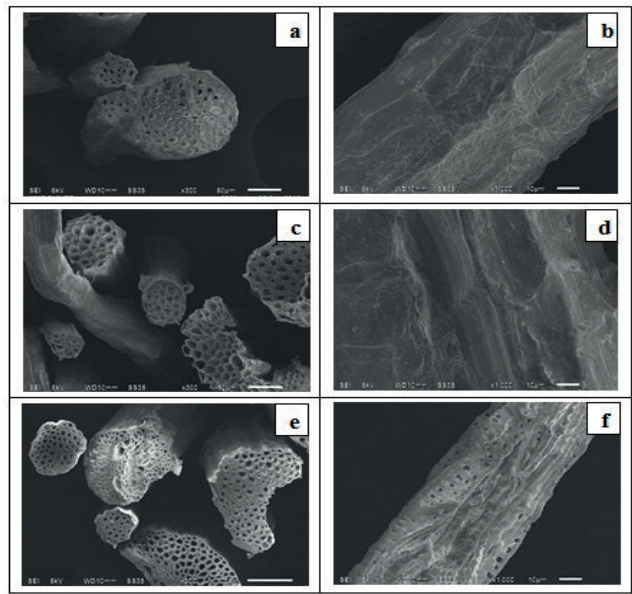


Figure 1 Scanning electron micrographs of (a) cross section of raw fiber, (b) surface of raw fiber, (c) cross section of scoured fiber, (d) surface of scoured fiber, (e) cross section of bleached fiber, and (f) surface of bleached fiber

3.5 X-ray diffraction (XRD)

Cellulose fiber contains crystalline and amorphous regions in different quantities. In this research X-ray diffraction (XRD) was used to investigate the crystalline percentage and crystalline index in *Borassus* fruit fiber. From Figure 2, results showed that peaks of around 22° and 16° 2θ reflection were assigned to the crystalline phase and peak of 18° 2θ reflection was assigned to amorphous phase. This information was used to calculate for crystallinity percentage shown in Table 4. Results indicated that the percentage of crystalline of raw fiber was 67.16%, of scoured fiber was 68.97% and of bleached fiber was 71.50%, respectively. It was observed that the crystalline percentage shown in scoured and bleached fibers were higher than in raw fiber due to the removal of hemicellulose and lignin from the amorphous area in the fiber structure [20-21].

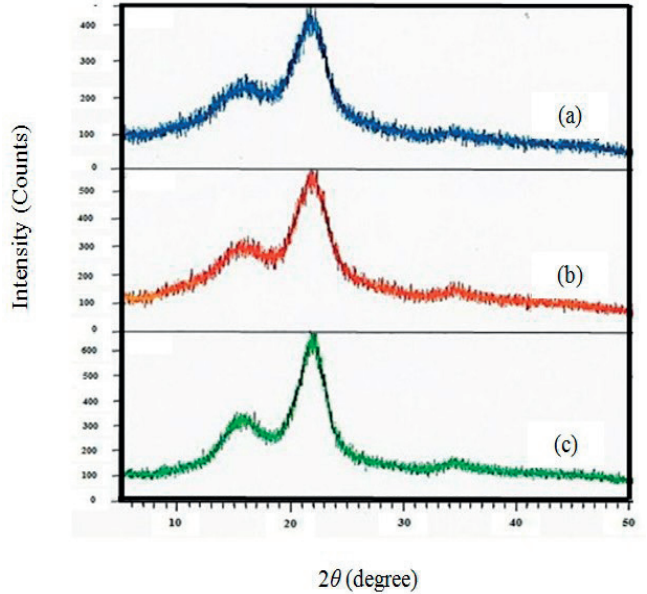


Figure 2 XRD analysis (a) Untreated fiber, (b) Scoured fiber, and (c) Bleached fiber

Table 4 Percentage crystallinity (% Crystalline) of raw fiber, scoured fiber, and bleached fiber

Samples	At 2θ (degree)		% Crystalline
	I_{22}	I_{18}	
Raw fiber	450	220	67.16
Scoured fiber	600	270	68.97
Bleached fiber	680	270	71.50

3.6 Fourier transforms infrared spectroscopy (FT-IR)

FT-IR analysis was done to identify chemical structure of fiber. Figure 3 shows evidence of structural modification of raw, scoured and bleached Borassus fruit fibers. The peak area within region $4000\text{--}2995\text{ cm}^{-1}$ showed OH stretching vibration of cellulose [22]. In this case, the peaks were located at 3321 and 2995 cm^{-1} for all samples, there are no differences or changes. It indicated that the cellulose was not decomposed from scouring and bleaching treatments. The absorption bands around $1765\text{--}1715\text{ cm}^{-1}$ corresponded to C=O stretch of carbonyl group of hemicellulose of the fiber [22]. In this research, results showed that the peak at 1725 cm^{-1} of raw and scoured fibers still appeared but it disappeared in bleached fiber. This phenomenon was an indication of the removal of hemicellulose from Borassus fruit fibers during bleaching treatment. The characteristic peak located at about 1632 cm^{-1} corresponded to C=C stretch of benzene and the 1613 cm^{-1} peak corresponded to C=C stretch of Aromatic skeletal of lignin [22]. These peaks were seen in raw fiber but became weaker, or were reduced with the scoured and bleached fibers. Lignin was also seen at peak 1247 cm^{-1} corresponding

to C-O stretching vibration of acetyl group [23]. This peak appeared in both raw and scoured fiber but was reduced with the bleached fiber. We can be observed that lignin was removed by bleaching treatment. From the research results we can be interpreted that the hemicellulose and lignin components were the most damaged with bleaching treatment. The scouring treatment was able to eliminate just some hemicellulose, lignin and impurities on the fiber surface because this treatment involved a dilute alkaline solution. These results were consistent with the composition analysis and SEM results.

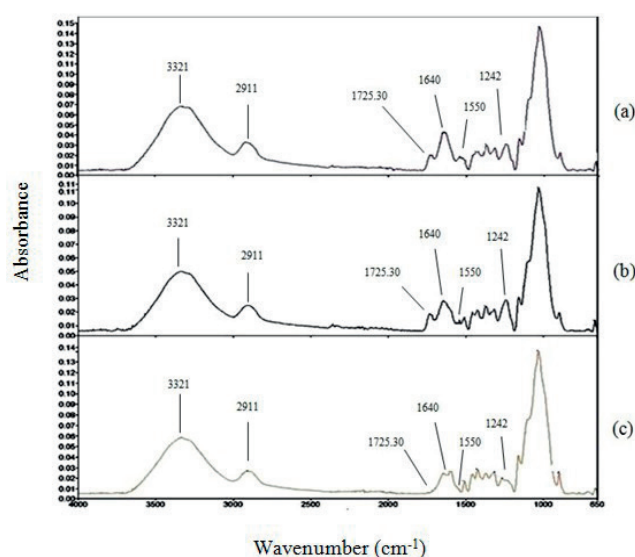


Figure 3 FTIR analysis

- (a) Raw fiber,
- (b) Scoured fiber,
- and (c) Bleached fiber

4. Conclusions

Borassus fruit fibers used in this study were waste material from Borassus flour production in Phetchaburi province, Thailand. They were scoured and bleached and their properties were investigated. Results indicated that the fiber composition contained three main components, which were

α -cellulose, hemicellulose and lignin. After scouring and bleaching, α -cellulose percentage increased because the hemicellulose and lignin percentages decreased. Fiber diameter, length and linear density were reduced after treatments. Tensile strength of scoured fiber increased from that of raw fiber but it decreased after bleaching. For the fiber surface morphology, we found that scoured and bleached fibers were cleaner than raw fiber and numerous pores or pits appeared on bleached fiber surface. These results were supported by XRD, FT-IR and SEM analysis of raw, scoured and bleached fibers. From research results, Borassus fruit fibers properties are good for products development for example; textile products, green composite material, thermal protection material and sound absorption material etc.

5. Acknowledgements

The author would like to thank the National Research Council of Thailand (NRCT), Rajamangala University of Technology Thanyaburi and Kasetsart University for supporting the scholarship and the department of Materials and Metallurgical Engineering, RMUTT for assisting of testing.

6. References

- [1] Farmthailand. 2013. **The export of agricultural products of Thailand**. AvailableSource: <http://www.farmthailand.com/399>, April 16, 2015.
- [2] Sirikasemlert, C. 2009. Eco textile, pp. 86-91 In Thailand Textile Institute., eds. **Innovative Textiles**. P2 design and print co., Ltd. Bangkok, Thailand.
- [3] Palmpedia. n.d. **Borassus flabellifer**. Available Source: http://www.palmpedia.net/wiki/Borassus_flabellifer, June 3, 2015.
- [4] Philippine medicinal plants. n.d. **Palmira**. AvailableSource: <http://stuartxchange.com/Palmira.html>, June 3, 2015.
- [5] Phetchaburi Provincial Agricultural Extension Office. 2016. **Agricultural areas (2015)**. Available Source: www.phetchaburi.doae.go.th, May 3, 2016.
- [6] Mongkhlorattanasit, R., J. Klayjoy, K. Arayaklua, K. Mahain, S. Jankeaw, S. Chonsakorn and N. Panrattanasin. 2014. **Development of Borassus Fruit Fiber for Heat Insulation and Application for Technical Textile**. Thailand Textile Institute.
- [7] Goering, HK and PJ. Van Soest. 1970. **Forage fiber analyses (apparatus, reagent, procedures, and some applications)**. Agriculture Handbook No. 379, Agric Res Serv, USDA, Washington, DC, USA.
- [8] Van soest PJ, JB Robertson, and BA Lewis. 1991. **Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition**. J Dairy Zci 74: 3583-3597.
- [9] ASTM International. 2005a. ASTM D 5103 – 01 Standard test method for length and length Distribution of Manufactured Staple Fibers (Single-Fiber Test). **ASTM Standards Book of Standard**, vol. 07.01: D 76-D 4391.
- [10] ASTM International. 2005b. ASTM D1577-01 Standard test method for linear density of textile fiber. **ASTM Standards Book of Standard**, vol. 07.01: D 76-D 4391.

- [11] ASTM International. 2005c. ASTM D3822-01 Standard test method for tensile properties of single textile fiber. **ASTM Standards Book of Standard**, vol. 07.0: D 76-D 4391.
- [12] Susheel, K. and B.S. Kaith. 2009. **Synthesis of flax-g-copolymers under pressure for use in phenolic composites as reinforcement**. J. Chil. Chem. Soc., 54, No 2.
- [13] Obi Reddy, K., B. R. Guduri and A. Varada Rajulu. 2009. Structural Characterization and Tensile Properties of Borassus Fruit Fibers. **Journal of Applied Polymer Science** 114: 603–611.
- [14] Mathai, M P. 2005. **Coir. Bast and other plant fibers**. Woodhead Publishing Limited. Cambridge, England.
- [15] Chen, Y., J. Wan, Y. Ma, X. Dong, Y. Wang and M. Huang. 2015. **Fiber properties of de-inked old newspaper plum after bleaching with hydrogen peroxide**. Bioresources 10(1): 1857-1868.
- [16] Boopathi, L., P.S. Sampath and K. Mylsamy. 2012. Investigation of Physical, Chemical and Mechanical Properties of Raw and Alkali Treated Borassus Fruit Fiber. **Composites: Part B** 43: 3044–3052.
- [17] Bachtiar, D., S. M. Sapuan and M. M. Hamdan. 2008. **The effect of alkaline treatment on tensile properties of sugar palm fibre reinforced epoxy composites**. Materials & Design, 29: 1285-1290.
- [18] Obi Reddy, M. Shukla, C.U. Maheswari and A. V. Rajulu. 2012. **Mechanical and physical characterization of sodium hydroxide treated Borassus fruit fibers**. Journal of Forestry Research 23(4): 667-674
- [19] Saravanan, D., N. Pallavi, R. Balaji and R. Parthiban. 2008. Investigations into structural aspects of Borassus flabellifer L (palmyrah palm) fruit fibres. **Journal of the Textile Institute** 99 (2): 133-140
- [20] Rayung, M., N. A. Ibrahim, N. Zainuddin, W. Z. Saad, N. I. A. Razak, and B. W. Chieng. 2014. **The effect of fiber bleaching treatment on the properties of poly(lactic acid)/oil palm empty fruit bunch fiber composites**. Int. J. Mol. Sci., 15: 14728-14742
- [21] Sgriccia, N., M.C. Hawley, and M. Misra. 2008. Characterization of natural fiber surface and natural fiber composites. Composites: Part A, 1632-1637
- [22] Moran, J.I., V.A. Alvarez, V.P. Cyras and A. Va'zquez. 2008. Extraction of cellulose and Preparation of nanocellulose from sisal fiber. **Cellulose**. 15: 149-159
- [23] Zhang, X., F. Wang and L. M. Keer. 2015. **Influence of surface modification on the microstructure and thermos-mechanical properties of bamboo fiber**. Materials, 8, 6597-6608.

**รูปแบบของบทความสำหรับ
วารสารวิศวกรรมศาสตร์ ราชมนกคณัฐบุรี**
**Manuscript Preparation Guidelines for the Papers Submitted
to Journal of Engineering, RMUTT**

ขวลิต แสงสวัสดิ์¹ สมชัย หิรัญโรดม² และอภิชาติ สนธิสมบัติ³
sangswasd@rmutt.ac.th¹, somchai.h@en.rmutt.ac.th², apichart.s@en.rmutt.ac.th³

บทคัดย่อ

บทความนี้กล่าวเกี่ยวกับรูปแบบและวิธีการส่งบทความเพื่อเสนอต่อกองบรรณาธิการวารสารวิศวกรรมศาสตร์ ราชมนกคณัฐบุรี ผู้ส่งบทความจะต้องยึดรูปแบบตามบทความนี้อย่างเคร่งครัด บทความใดที่มีรูปแบบไม่ถูกต้อง จะถูกส่งคืนและไม่พิจารณาอีก บทความต้องมีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ แต่ภาษาควรมีเพียงย่อหน้าเดียว และความยาวไม่เกิน 25 บรรทัด

คำสำคัญ: วิธีการส่งบทความ รูปแบบบทความ ขนาดตัวอักษร รูปแบบตัวอักษร การเว้นบรรทัด

Abstract

This article describes a submission procedure and a format of the manuscript for the Journal of Engineering, RMUTT. Authors are required to strictly follow the guidelines provided here : otherwise, the manuscript will be rejected immediately and not be considered again. A good abstract should have only one paragraph. Both Thai and English abstracts are required, the length of each should not exceed 25 lines.

Keywords: submission procedure, manuscript format, font side, font style and blank line.

1. ข้อกำหนดทั่วไป

บทความต้องประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ ตามลำดับต่อไปนี้คือ ชื่อเรื่องภาษาไทย ชื่อเรื่องภาษาอังกฤษ ชื่อผู้เขียนบทความ อีเมล สถาบัน ที่อยู่สถาบันอย่างละเอียด บทความย่อภาษาไทย บทความย่อภาษาอังกฤษ เนื้อเรื่องแบ่งเป็น บทนำ เนื้อความหลัก สรุป กิตติกรรมประกาศ (ถ้ามี) เอกสารอ้างอิง และภาคผนวก (ถ้ามี)

2. คำแนะนำในการเขียนและพิมพ์

2.1 คำแนะนำทั่วไป

บทความที่เสนอจะต้องพิมพ์เป็นภาษาไทย หรือภาษาอังกฤษ ตามรูปแบบที่กำหนด ซึ่งพร้อมที่จะนำไปถ่ายเพลท เพื่อพิมพ์ออฟเซตได้ทันที

¹ อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมเคมีและวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

² อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

³ อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมสิ่งทอ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

การพิมพ์ให้พิมพ์ลงบนกระดาษ A4 โดยพิมพ์เป็นสองคอลัมน์ตามรูปแบบบทความนี้ ขนาดของคอลัมน์เป็นไปตามที่กำหนด จะต้องพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์เลเซอร์ที่มีความละเอียดไม่น้อยกว่า 300 dpi.

ให้พิมพ์โดยไม่เว้นบรรทัด เมื่อจะขึ้นหัวข้อใหม่ให้เว้นบรรทัด 1 บรรทัด และจะต้องพิมพ์ให้เต็มคอลัมน์ก่อนที่จะขึ้นคอลัมน์ใหม่ หรือขึ้นหน้าใหม่ ห้ามเว้นที่เหลือไว้ว่างเปล่า

การลำดับหัวข้อในส่วนหนึ่งของเนื้อเรื่องนี้ ให้ใส่เลขกำกับโดยให้บทนำเป็นหัวข้อหมายเลข 1 และหากมีการแบ่งหัวข้อย่อย ก็ใช้เลขระบบทศนิยมกับหัวข้อย่อย เช่น 2.1 เป็นต้น

ให้ใส่เลขเรียงลำดับหน้าด้วยดินสอไว้ที่มุมขวาบนของกระดาษทุกหน้า

2.2 ขนาดตัวอักษรและการเว้นระยะ

พิมพ์บทความภาษาไทยด้วยตัวอักษรรูปแบบ “TH SarabunPSK”

ชื่อเรื่องบทความให้ใช้ตัวอักษรขนาด 16 พอยน์ ตัวเข้ม

ชื่อผู้เขียน สถาบันให้ใช้ตัวอักษรขนาด 14 พอยน์ ตัวปกติ

ชื่อหัวข้อย่อยให้ใช้ตัวอักษรขนาด 14 พอยน์ ตัวเข้ม
บทคัดย่อและเนื้อความต่าง ๆ ให้ใช้ตัวอักษรขนาด 14 พอยน์ ตัวปกติ

สมการต่าง ๆ ให้ใช้ตัวอักษรขนาด 14 พอยน์ หรือตัวอักษร TH SarabunPSK 14 พอยน์

การเว้นระยะบรรทัดห่างในแนวตั้งแบบ exactly 16 พอยน์

ให้จัดเนื้อเรื่องในแต่ละบรรทัดเรียงชิดซ้ายและขวาอย่างสวยงาม

2.3 ชื่อเรื่อง ชื่อผู้แต่ง และชื่อหัวข้อ

การพิมพ์ชื่อเรื่องให้วางตำแหน่งกลางหน้ากระดาษแบบคอลัมน์เดียว

ชื่อผู้เขียน และ อีเมล ให้พิมพ์ไว้ได้ชื่อเรื่องและอยู่กลางหน้ากระดาษแบบคอลัมน์เดียว

ไม่ต้องระบุตำแหน่งวิชาการ หรือสถานะของนักศึกษาใด ๆ ทั้งสิ้น

ชื่อหัวข้อย่อยต่าง ๆ ให้วางตำแหน่งชิดขอบซ้าย

2.4 การจัดทำรูปภาพ

รูปภาพจะต้องมีความกว้างไม่เกิน 81 มม. เพื่อให้ง่ายในการพิมพ์ได้ หรือกรณีจำเป็นจริง ๆ เพื่อรักษารายละเอียดในภาพ อาจยอมให้มีความกว้างได้เต็มหน้ากระดาษ(กว้าง 168 มม.)

ตัวอักษรทั้งหมดในภาพจะต้องมีขนาดใหญ่สามารถอ่านได้สะดวก และต้องไม่เล็กกว่าตัวอักษรในเนื้อเรื่อง

รูปภาพทุกรูปจะต้องมีหมายเลข และคำบรรยายใต้ภาพ หมายเลขและคำบรรยายรวมกันแล้วควรมีความยาวไม่เกิน 2 บรรทัด

คำบรรยายใต้ภาพห้ามใช้คำว่า “แสดง” เช่น ห้ามเขียนว่า “รูปที่ 1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง..” ที่ถูกต้องควรเป็น “รูปที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่าง..”

รูปลายเส้นจะต้องเป็นเส้นหมึกดำ ส่วนรูปถ่ายควรจะเป็นรูปขาวดำที่มีความคมชัด รูปสีอนาล็อกให้ใช้ได้รูปภาพควรมีรายละเอียดเท่าที่จำเป็นเท่านั้น เช่น ภาพถ่ายรูปคลื่นจากออสซิลโลสโคปที่ปรากฏให้เป็นเฉพาะจอภาพเป็นต้น และเพื่อความสวยงามให้เว้นบรรทัดเหนือรูปภาพ 1 บรรทัดและเว้นใต้คำบรรยาย 1 บรรทัด

2.5 การเขียนสมการ

สมการทุกสมการจะต้องมีหมายเลขกำกับอยู่ภายในวงเล็บและเรียงลำดับที่ถูกต้อง ควรใช้ตัวพยัญชนะเอียงแสดงถึงพารามิเตอร์หรือตัวแปรในสมการ ตำแหน่งของหมายเลขสมการจะต้องอยู่ชิดขอบด้านขวาของคอลัมน์ เว้นหนึ่งบรรทัดก่อนเขียนสมการ และเว้นหนึ่งบรรทัดหลังเขียนสมการ จัดให้สมการอยู่ตรงกลางคอลัมน์ ดังตัวอย่างนี้

$$a + b = c \quad (1)$$

เริ่มเขียนคำอธิบายตั้งแต่บรรทัดนี้

2.6 การจัดการทำตาราง

ตัวอักษรในตารางจะต้องไม่เล็กกว่าตัวอักษรในเนื้อเรื่อง ควรตีเส้นกรอบตารางด้วยหมึกดำให้ชัดเจน

ตารางทุกตารางจะต้องมีหมายเลข และคำบรรยายกำกับเหนือตาราง หมายเลขกำกับและคำบรรยายนี้รวมกันแล้วควรมีความยาวไม่เกิน 2 บรรทัด คำบรรยายเหนือตารางห้ามใช้คำว่า “แสดง” เช่นเดียวกับกรณีรูปภาพ

เพื่อความสวยงามให้เว้นบรรทัดเหนือตาราง 1 บรรทัด และเว้นบรรทัดใต้คำบรรยายรูปภาพ 1 บรรทัด

2.7 การอ้างอิงและเอกสารอ้างอิง

การอ้างอิงเอกสารในบทความ ให้ใช้ระบบตัวเลข (Numerical System) โดยใส่ตัวเลขของเอกสารอ้างอิงไว้ในวงเล็บ เช่น [1] ที่ท้ายข้อความที่อ้างอิงถึง

2.8 ความยาวของบทความ

เมื่อรวมทุกส่วนแล้ว แต่ละบทความมีความยาวดังนี้ บทความทั่วไปมีความยาว 10 หน้ากระดาษ A4 บทความรับเชิญมีความยาวไม่เกิน 12 หน้ากระดาษ A4

3. กรณีบทความภาษาอังกฤษ

ผู้พิมพ์บทความเป็นภาษาอังกฤษ กรุณาดูคำแนะนำวิธีการพิมพ์บทความภาษาอังกฤษที่แนบมาด้วย

4. การส่งบทความ

ผู้เขียนสามารถส่งต้นฉบับ ทางเว็บไซต์ออนไลน์ของวารสารวิศวกรรมศาสตร์ ราชมนคลชัยบุรี www.engineer.rmutt.ac.th/journal/ (เลือกเมนู Online Submission) หรือ เข้าสู่ระบบโดยตรงผ่านทาง <http://www.enclm.rmutt.ac.th/enjournal/> โดยต้องทำการลงทะเบียนเพื่อสมัครสมาชิกวารสารและนำส่งวารสารต้นฉบับ ในรูปแบบ “Word ไฟล์” อีกทั้งต้องส่ง “แบบฟอร์มการส่งบทความทางวิชาการ เพื่อลงตีพิมพ์ในวารสารวิศวกรรมศาสตร์ ราชมนคลชัยบุรี” มายังอีเมล enjournal@en.rmutt.ac.th หรือ จัดส่งไปรษณีย์

มายัง “กองบรรณาธิการวารสารวิศวกรรมศาสตร์ ราชมนคลชัยบุรี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลชัยบุรี 39 หมู่ 1 ถ.รังสิต-นครนายก ต.คลองหลวง อ.ชัยบุรี จ.ปทุมธานี 12110” จึงจะถือว่า การส่งวารสารนั้นเสร็จสมบูรณ์ หากขั้นตอนการนำส่งวารสารทั้ง 2 ขั้นตอน คือ การส่งวารสารทางเว็บไซต์ออนไลน์ และการนำส่งแบบฟอร์มการส่งบทความมายังอีเมล enjournal@en.rmutt.ac.th ไม่ครบถ้วนทั้ง 2 ขั้นตอน บทความนั้นจะถูกละทิ้ง และไม่สามารถผ่านการพิจารณาได้

5. สรุป

ผู้เขียนบทความกรุณาตรวจสอบบทความอย่างรอบคอบโดยใช้เวลาอย่างเพียงพอก่อนส่งให้คณะกรรมการพิจารณา จะทำให้บทความของท่านมีคุณภาพสูงและผ่านการพิจารณาได้ง่ายขึ้น

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณผู้เขียนบทความทุกท่านที่ให้ความร่วมมือรักษาระเบียบการเขียนบทความอย่างเคร่งครัด

เอกสารอ้างอิง

- [1] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์. **พลังงานทดแทน**. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก : <http://dede.go.th/dede/index.php> (30 มีนาคม 2552).
- [2] ฉวีวรรณ รมยานนท์, 2545. **เขียนแบบเทคนิค 2**. กรุงเทพฯ: ซีเอ็ดดูเคชั่น.
- [3] ถาวร รัตนพรประดิษฐ์, 2551. **ศึกษาความเป็นไปได้ของการเมอร์เซอร์ไรส์ทางแกว เปรียบเทียบกับการเมอร์เซอร์ ไรส์ผืนผ้าเดนิม**. วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาสิ่งทอ. มหาวิทยาลัย เทคโนโลยีราชมงคลชัยบุรี.
- [4] ส.วงศ์ศรีตระกูล, 2552. “วช.หนุนแม่โจ้สร้างฟาร์กักหน้ลผลิตไฟฟ้าในเขตภาคเหนือตอนล่าง,” **Engineering Today**. 7,75 (มีนาคม) : 51-56.

Manuscript Preparation Guidelines for the Papers Submitted to Journal of Engineering, RMUTT

C.Sangswasd¹, S.Hiranvarodom², and A.Sonthisombat³

sangswasd@rmutt.ac.th¹, somchai.h@en.rmutt.ac.th², apichart.s@en.rmutt.ac.th³

Abstract

Your manuscript will appear in A4 sized photocopy exactly the same as it is received. Please follow the guideline explicitly. English papers should begin with the English abstracts. No Thai abstract is required. The abstract should include a concise statement of objectives and a summary of important results.

Keywords: submission procedure, manuscript format, font size, font style, blank line

1. General Introduction

Contributed papers are limited to 6 pages including all figures and tables. Invited papers have an 8 pages limit. Each manuscript typically contains the following sections: Title, Authors name (Nonacademic position is required., E-mail, Address in details (Give phone and Fax. Numbers, if available.), Abstract, Text, Acknowledgment (If preferred), References.

2. Style and format

2.1 General

Manuscripts are typed single space except for headings. Font type should mimic TH SarabunPSK #10 (shown here). Right – hand justification is recommended.

Type your manuscripts on A4 (21 cm x 29.7 cm) sheets. The sheet should be divided into a two – column width of 81 mm with a space between columns of 6 mm (a total width of 168 mm). This permits side margin of 21 mm each. The top and bottom margins should be 29 mm.

2.2 Title Block

The title should appear in upper and lower case without underlining, centered across both columns. Type the author's name and affiliation also in upper and lower case letters centered under the title. In case of multi-authorship, group the authors and identify each author by superscript numbers corresponding to the organization which should be grouped below authors.

¹ Department of chemical and Materials Engineering Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi

² Department of Electrical Engineering Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi

³ Department of Textile Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi

2.3 Headings and Subheadings

Heading and subheadings are in upper and lower case bold letter without underlining, if available. They should appear with sequential numbers, left – hand justified in the column.

2.4 Equations

Equations are to be numbered consecutively throughout the text. The equation number should be placed in parenthesis and flushed with the right – hand margin of the column. Italic alphabets are recommended for equation parameters.

$$a + b = c \quad (1)$$

Leave a blank line before and after equations. A long equation should appear across the columns by interrupting the opposite column with column-termination and column-initiation bars.

3. References

References are to be listed and numbered at the end of the papers. Refer to them in the text as [1].

4. Illustrations

Figures, tables and line drawings should be positioned within the text. They may conform to either a one-column or two-column width and must be black ink or high contrast black-and-white reproductions. They must include captions.

5. Submission of Your Manuscripts

Please submit the manuscripts on the website of JOURNAL OF ENGINEERING, RMUTT www.engineer.rmutt.ac.th/journal/ (Select Online Submission menu) or direct way by the website of <http://www.enclm.rmutt.ac.th/enjournal/>. After that you have to register to be a member of Journal of Engineering, RMUTT and submit the manuscripts by “Word file”. Moreover, you have to send the technical article form for publishing on this journal back to “enjournal@en.rmutt.ac.th” or by mail to “Publication department of Journal of Engineering, RMUTT, Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Rangsit – Nakhonnayok Rd. Klong 6, Thanyaburi, Pathumthani, Thailand 12110”. If no completed on 2 steps such as submission online and send back the technical article form to enjournal@en.rmutt.ac.th or Publication department address, your articles will be rejected and cannot be considered.

6. Conclusions

Your paper should be carefully checked.

7. Acknowledgment

Thank you for your good cooperation.

References

- [1] Crawford, R.J. 2005. **Plastics Engineering**. 3rd ed. Oxford : Elsevier Butterworth-Heinemann.
- [2] Samuel Forest, 2008 “Micromorphic Approach for Gradient Elasticity Viscoplasticity, and Damage,” **Journal of Engineering Mechanics**. 135, 3 (March) : 117-131.

- [3] Somjate Patcharaphun, 2008. “Numerical and Experimental validation of Skin and Core Material Distribution in Sandwich Injection Moldings”, **Journal of Research in Engineering and Technology**. 5, 4 (October - December) : 433-444.
- [4] Thaworn Rattanaphornpradit, 2551. **Feasibility Study of Mercerized Denim Garmen Versus Mercerized DenimFabric**. Master of Art’s Thesis. Rajamangala University of Technology Thamyaburi
- [5] Wikipedia. **Technology**. [Online] Available : <http://Wikipedia.org> (30 March 2009).



สมาชิกเลขที่

.....

ใบสมัครสมาชิกวารสารวิศวกรรมศาสตร์ ราชภัฏบรีย

วันที่สมัคร

ข้าพเจ้า นาย/นาง/นางสาว สกุล อาชีพ

ที่อยู่ (สำหรับจัดส่งวารสาร) เลขที่ ถนน แขวง/ตำบล

เขต/อำเภอ จังหวัด รหัสไปรษณีย์

โทรศัพท์ โทรสาร e-mail

มีความประสงค์สมัครเป็นสมาชิก

อัตราค่าสมาชิก

วารสารวิศวกรรมศาสตร์ ราชภัฏบรีย ปี	1 ปี 2 ฉบับ 120 บาท	(สำหรับบุคคลทั่วไป)
	80 บาท	(สำหรับนักศึกษา)
ต่ออายุสมาชิก ปี	1 ปี 2 ฉบับ 120 บาท	(สำหรับบุคคลทั่วไป)
	80 บาท	(สำหรับนักศึกษา)

พร้อมกันนี้ได้ส่งค่าสมาชิก จำนวน บาท

จำนวนเงินตัวอักษร

ชำระเงินโดยวิธี

ธนาคติ ส่งจ่าย

ตัวแลกเงินไปรษณีย์ ส่งจ่าย

โอนเงินเข้าบัญชีธนาคาร ชื่อบัญชี เลขที่บัญชี

หมายเหตุ 1. กรุณาส่งสำเนาใบเข้าบัญชี (pay-in-slip) หรือโทรสารมายังสำนักงาน

คณะวิศวกรรมศาสตร์ พร้อมเขียนชื่อ - นามสกุล และหมายเลขสมาชิก (ถ้ามี)

2. นักศึกษาที่สมัครทางไปรษณีย์ กรุณาส่งสำเนาบัตรประจำตัวนักศึกษาแนบมาด้วย

ลงชื่อ ผู้สมัคร
(.....)

วารสารวิศวกรรมศาสตร์ ราชภัฏบรีย คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชภัฏบรีย

39 หมู่ 1 ถนนรังสิต-นครนายก ตำบลคลองหก อำเภอธัญบุรี จังหวัดปทุมธานี 12110

โทรศัพท์ 0-2549-3493 โทรสาร 0-2549-3479

www.engineer.rmutt.ac.th/journal e-mail: enjournal@en.rmutt.ac.th

แบบฟอร์มการส่งบทความทางวิชาการ

เพื่อลงตีพิมพ์ในวารสารวิศวกรรมศาสตร์ ราชมนกคฉัณบุรื

ข้าพเจ้า ☐ นาย ☐ นาง ☐ นางสาว ☐ อื่นๆ (โปรดระบุ).....

ชื่อ-สกุล.....

(ภาษาอังกฤษ).....

ตำแหน่งทางวิชาการ (โปรดระบุ) ☐ ศาสตราจารย์ ☐ รองศาสตราจารย์ ☐ ผู้ช่วยศาสตราจารย์

อื่นๆ(โปรดระบุ).....

ที่อยู่ (ที่ติดต่อได้).....

โทรศัพท์ที่ทำงาน โทรศัพท์มือถือ

โทรสาร.....อีเมล.....

มีความประสงค์ขอส่งบทความ เรื่อง:

ข้อ ๕. ข้อความ (ภาษาไทย).....

ข้อ ๕- ขอบทความ (ภาษาอังกฤษ).....

การตรวจสอบ ☐ ทำการลงทะเบียน และ ส่งวารสารต้นฉบับใน เว็บไซต์

www.engineer.rmutt.ac.th/journal/ หรือ

<http://www.encm.rmUTT.ac.th/enjournal/>. เรียบร้อยแล้ว

วันที่ ส่งวารสารต้นฉบับ เข้าสู่ระบบออนไลน์

ข้าพเจ้าขอรับรองว่า บทความนี้เป็นผลงานของข้าพเจ้าและผู้ร่วมงานตามชื่อที่ระบุไว้ในบทความจริง และบทความนี้ไม่เคยลงตีพิมพ์ในวารสารใดมาก่อน และข้าพเจ้าจะไม่นำส่งบทความนี้ไปพิจารณาลงตีพิมพ์ในวารสารอื่นภายใน 60 วัน นับจากวันที่ข้าพเจ้าส่งบทความ

ลงนาม.....

วันที่ เดือน พ.ศ.

TECHNICAL ARTICLE FORM
FOR PUBLISHING ON JOURNAL OF ENGINEERING, RMUTT

Title ☐ Mr. ☐ Ms. ☐ Others (Please specify).....

Name-Surnames

Academic Positions (Please specify) ☐ Professor ☐ Associate Professor ☐ Assistant Professor

Others (Please specify).....

Address (for Contact).....

.....

.....

Office Phone Number..... Mobile Phone Number.....

Fax Number..... E-mail.....

Name of Article:.....

.....

.....

Submission Checklist

☐ Already register and submit the manuscripts on

www.engineer.rmutt.ac.th/journal/ or <http://www.encm.rmutt.ac.th/enjournal/>.

The days of Online Submission

I promise this article belongs to me and co-authors as the name indicated in the article.
In addition, this article has not been previously published on another journal. Furthermore, I will
not submit this article on another journal within 60 days from the day of my submission on the
JOURNAL OF ENGINEERING, RMUTT.

Sign

(.....)

...../...../.....

