



วารสารวิศวกรรมศาสตร์ ราชภัฏธนบุรี

คณะกรรมการจัดทำวารสาร วิศวกรรมศาสตร์ ราชภัฏธนบุรี

คณะกรรมการที่ปรึกษา

อธิการบดีมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการและวิจัย
คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

กองบรรณาธิการ

ศ.(พิเศษ) อัจฉราพร ไสละสุต	166 ซ.อาคารสงเคราะห์ ถ.พิชัย เขตดุสิต กรุงเทพฯ 10300
ศ.ดร.ณรงค์ฤทธิ์ สมบัติสมภพ	ศูนย์ดัชนีการอ้างอิงวารสารไทย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
รศ.ดร.สุธี อักษรกิตติ์	คณะกรรมการbin มหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเซีย
รศ.ดร.เข้มชัย เหมะจันท	คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
รศ.ดร.ศิริวรรณ ศรีสรณ์	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ (องครักษ์)
รศ.ดร.กัณวรัช พลุปราชญ์	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 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
รศ.ดร.กฤษณ์ชนม์ ภูมิภิตติพิชญ์	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผศ.ดร.จักรี ศรีนนท์นิต	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

หัวหน้ากองบรรณาธิการ

ผศ.ชาลิต

แสงสวัสดิ์

เลขานุการ

นางสาวปรกช

สิริสุวัฒน์

ผู้ช่วยเลขานุการ

นายวิรัชศักดิ์

หมู่เจริญ

นางสาวอมรรัตน์

ยิ้มอยู่



วารสารวิศวกรรมศาสตร์ ราชภัฏธนบุรี

บทบรรณาธิการ

พระบาทสมเด็จพระปรมินทรมหาภูมิพลอดุลยเดช มหาจักรีบรมราชูปถัมภ์ จักรีนฤพดินทร
สยามินทราราช ปรมาณบพิตร เสร็จสวรรคต ปวงข้าพระพุทธเจ้าขอกราบแทบพระยุคลบาท
ส่งเสด็จสู่สวรรคาลัย และร่วมแสดงความอาลัย ด้วยสำนึกในพระมหากรุณาธิคุณเป็นล้นพ้น
อันหาที่สุดมิได้ ข้าพระพุทธเจ้ากองบรรณาธิการวารสารวิศวกรรมศาสตร์ ราชภัฏธนบุรี

อนึ่ง กองบรรณาธิการขอขอบพระคุณคณะกรรมการผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาบทความ
ทุกท่านที่ได้เสียสละเวลาช่วยอ่านบทความ และให้ข้อเสนอแนะที่ดีมีประโยชน์อย่างมาก
ต่อผู้เขียนบทความ ทำให้เนื้อหาวิชาการถูกต้องสมบูรณ์ใช้อ้างอิงได้ ทั้งนี้หากท่านผู้สนใจ
จะตีพิมพ์บทความขอได้โปรดจัดเตรียมต้นฉบับให้เป็นไปตามแบบฟอร์มของทางวารสาร หรือ
หากมีข้อสงสัยประการใดให้ติดต่อเบอร์โทรศัพท์-โทรสาร 0 2549 3493 ท่านจะได้รับทราบ
รายละเอียดเพิ่มเติมจนแน่ใจ

กองบรรณาธิการ

รายนามผู้ทรงคุณวุฒิผู้พิจารณาบทความ

รศ.ดร.วันชัย ธิวัชรนิช	คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
รศ.ดร.เข็มชัย เหมะจันทร์	คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ผศ.ดร.อุษา แสงวัฒนาโรจน์	คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ผศ.ดร.สิริวรรณ กิตติเนาวรัตน์	คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ผศ.ดร.จิตชนก มีใจเชื้อ	คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง
ผศ.ดร.ทวีชัย สำราญวานิช	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา
ผศ.ดร.อาทิตย์ โสตรโยม	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสยาม
รศ.ดร.จงจิตร 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 ขาวทอง	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รศ.ดร.อิสริย์ หาราชจรรยาโรจน์	อธิการบดีมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผศ.ดร.บรรยงค์ รุ่งเรืองด้วยบุญ	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต
รศ.ดร.เจียรนัย เล็กอุทัย	คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต
รศ.ดร.กัณวรัช พูลุประสิทธิ์	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ (องครักษ์)
รศ.ดร.ศิริวรรณ ศรีสรณ์	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ (องครักษ์)
รศ.ดร.เวทิน ปิยรัตน์	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ (องครักษ์)
ผศ.ดร.นำคุณ ศรีสนิท	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ (องครักษ์)
ผศ.ดร.ปฐมทัศน์ จิระเดชะ	สถาบันยุทธศาสตร์ทางปัญญาและวิจัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ดร.สาธิต พุทธชัยยังค์	อธิการบดีมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
ผศ.ดร.ปทุมทิพย์ ปราปพาล	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
ดร.ประทีปทิพย์ ปานบำรุง	คณะอุตสาหกรรมสิ่งทอ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
ศ.ดร.ก้องกิติ พุสสวัสดิ์	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 พชรพันธ์	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน
รศ.สิริ ชัยเสรี	คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน
รศ.ดร.วราวุธ วุฒินิชัย	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 พนาศุภมัสสุ	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

ศ.ดร.ณรงค์ฤทธิ์ สมบัติสมภาพ
รศ.ดร.มานะ อมรกิจบำรุง
ผศ.ดร.นริส ประทีนทอง
ผศ.ดร.ธนิต สวัสดิ์เสวี
ศ.ดร.โกสินทร์ จำนงไทย
รศ.ดร.วีโรจน์ 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 คุปตะฐีเยียร
รศ.ดร.ภรณ์ชนม ภูมิภิตติพิชญ์
รศ.ดร.จตุรงค์ ลังกาพินธุ์
รศ.มานพ ต้นตระกูลบัณฑิตย์
รศ.ธีระพงษ์ ไชยเฉลิมวงศ์
รศ.สุจิระ ขोजิตต์เมตต์
ผศ.ดร.ศิวกร อ่างทอง
ผศ.ดร.วันชัย ทรัพย์สิงห์
ผศ.ดร.สมชัย หิรัญโรดม
ผศ.ดร.ปิตศานต์ กรรมาทร
ผศ.ดร.บุญยัง ปลั่งกลาง
ผศ.ดร.สมหมาย ผิวสอาด
ผศ.ดร.สมหมาย ตริยไชยาพร
ผศ.ดร.อำนวย เรืองวารี
ผศ.ดร.ไพฑูรย์ กิตติสุนทร
ผศ.ดร.สมนึก สังข์หนู

[illegible]

ผศ.ดร.สมประสงค์ ภาษาประเทศ
ผศ.ดร.อภิชาติ สนธิสมบัติ
ผศ.ดร.สุนัน ปานสาคร
ผศ.ดร.จักรี ศรีนนท์ฉัตร
ผศ.ดร.สุรินทร์ แหงมงาม
ผศ.ดร.จิรวัฒน์ คชสาร
ผศ.ดร.อภินันท์ วัลภา
ผศ.ดร.ไพฑูรย์ รักเหลือ
ผศ.ดร.ศุภวิทย์ ลวณะสกุล
ผศ.ดร.พุทธพล ทองอินทร์ดำ
ผศ.ดร.บุญยฤทธิ์ ประสาทแก้ว
ผศ.สุรัตน์ ตรียวนพงศ์
ผศ.ดร.จินดารัตน์ มณีเจริญ
ดร.มาโนช รุจิการ
ดร.วีระศักดิ์ ละอองจันทร์
ดร.ชาญยุทธ กฤตสุนันท์กุล
ดร.ฐนียา รัชชีสุริยชัย
ดร.จุฑพล ตั้งปกาศิต
ดร.มนูศักดิ์ จานทอง
ดร.ปรัชญา เปรมปรมณีรัชต์
ดร.ฉัตรชัย ศุภพิทักษ์สกุล
ดร.ระพี กาญจนะ
ดร.กุลยา สาริชีวิน
ดร.ศุภลลิตี พงศ์ศิweiseสถิตย
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 บรรเทงจิตตร
ดร.ประธาน วงศ์ศรีเวช
รศ.จิราภรณ์ เบญจประกายรัตน์

รศ.นภาพินท์ 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 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
วิทยาเขตภาคพายัพ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีแห่งสุวรรณภูมิ
ศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์แห่งชาติ (สวทช.)
คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์
ในพระบรมราชูปถัมภ์
นักวิชาการอิสระ
นักวิชาการอิสระ
นักวิชาการอิสระ

การลดความสูญเสียในกระบวนการชุบแข็งอินดักชั่น
กรณีศึกษา : บริษัทตัวอย่าง
Waste Reduction in Induction Hardening Process : A Case Study

เกรียงไกร ศรีเลิศ¹ ณฐา คุปต์ขันธ์²
James_8967@hotmail.com¹, natha.k@en.rmutt.ac.th²

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการลดความสูญเสียจากกระบวนการชุบแข็งอินดักชั่นในขั้นตอนการให้ความร้อน (Induction) ซึ่งเป็นปัญหาหลักที่ส่งผลกระทบต่อการทำงานของบริษัทจากการศึกษาข้อมูลความสูญเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการชุบแข็งอินดักชั่นมีจำนวนเฉลี่ย 1,459 ชิ้นต่อเดือน โดยมีการสูญเสียในขั้นตอนการให้ความร้อนเฉลี่ย 1,171 ชิ้นต่อเดือน การออกแบบสร้างเครื่องมืออุปกรณ์ช่วยในการจับยึดชิ้นงานในขั้นตอนการให้ความร้อน ช่วยในการจับหมุนชิ้นงานขณะให้ความร้อนชุบแข็งกับชิ้นงานซึ่งเป็นสาเหตุหลักทำให้เกิดความสูญเสียกับชิ้นงานเพลาชับ (Intermediate Shaft) จึงทำให้ลดความสูญเสียในกระบวนการชุบแข็งอินดักชั่นในขั้นตอนการให้ความร้อน ผลการวิจัยพบว่าเครื่องมืออุปกรณ์ช่วยในการจับยึดชิ้นงานในขั้นตอนการให้ความร้อนสามารถลดความสูญเสียจาก 1,171 ชิ้นต่อเดือน คิดเป็นร้อยละ 0.51 ของจำนวนชิ้นงานที่ผลิตเหลือความสูญเสียจำนวน 108 ชิ้นต่อเดือน คิดเป็นร้อยละ 0.06 และสามารถลดความสูญเสียเฉพาะกระบวนการชุบแข็งอินดักชั่นจาก 1,459 ชิ้นต่อเดือน ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 0.63 เหลือ 284 ชิ้นต่อเดือน คิดเป็นร้อยละ 0.17 ของจำนวนชิ้นงานที่ผลิต หมายถึงสามารถลดการสูญเสียในการผลิตชิ้นงานได้ถึงร้อยละ 73

คำสำคัญ : การลดความสูญเสีย กระบวนการให้ความร้อน เครื่องมือคุณภาพเทคนิควิศวกรรมอุตสาหการ การออกแบบเครื่องอุปกรณ์จับยึด

¹ นักศึกษาปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

² อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

Abstract

This research aimed to study the loss reduction in the induction hardening process which was a crucial problem affecting the company's operation. It was From the date taken from the Example Company, it showed that there was an average loss of 1,459 pieces per month in the induction hardening process of the intermediate shaft production. In addition, the average loss in the induction process was 1,171 pieces per month. In order to address this problem, the jig fixture design was used as an intervention tool to turn the intermediate shaft production during the induction process. Likewise, the tool was also designed to lessen the defects of intermediate shafts, which eventually reduced loss in the induction hardening process. It revealed that the jig fixture design helped reduce the loss in the induction process from 1,171 pieces per month (0.51% of all intermediate shaft production) to 108 pieces per month (0.6%). Moreover, the specific loss in the induction hardening process was decreased from 1,459 pieces per month (0.63%) to 284 pieces per month (0.17%) which indicated that the loss was reduced by 73%

Keywords : Loss Reduction, Induction, Industrial Engineering Technique Quality Tool, Jig Fixture Design

1. บทนำ

ปัจจุบันประเทศไทยมีการเจริญเติบโตด้านอุตสาหกรรมอย่างต่อเนื่องพร้อมการแข่งขันทางธุรกิจมีความรุนแรงเพิ่มมากขึ้นทั้งภาคการผลิตและบริการ มีความจำเป็นต้องมีการแข่งขันเพื่อความอยู่รอดของธุรกิจเป็นผู้นำทางตลาดด้านการผลิตสินค้าและบริการเพื่อให้ได้คุณภาพตามที่ตลาดต้องการการปรับปรุงพัฒนาการควบคุมต้นทุนเป็นสิ่งที่สำคัญเพราะเป็นเครื่องมือในการเพิ่มประสิทธิภาพและประสิทธิผลการผลิตที่สามารถลดความบกพร่องต่าง ๆ และการลดปริมาณความสูญเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการได้โดยการนำเอาเครื่องมือทางวิศวกรรมอุตสาหกรรมมาประยุกต์ใช้ในโรงงาน ตัวอย่างประกอบด้วย [1, 3, 7] 7 Wastes, 7 QC Tools, Jig & Fixture Design เพราะ

ใช้งานได้ง่าย สามารถแก้ไขปัญหาค้นหาสาเหตุที่มาของปัญหาที่เกิดขึ้น (Induction Hardening) [2, 8, 9, 10] ได้ศึกษาหาสาเหตุที่มาของปัญหาที่เกิดขึ้น ที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการผลิตแล้ว จากการรวบรวมข้อมูลจำนวนการผลิต [13, 14, 15] จากเดือนมีนาคม พ.ศ. 2558 ถึงเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2559 ทำการผลิตภัณฑ์จำนวน 2,738,942 ชิ้น มีผลิตภัณฑ์ที่เกิดความสูญเสีย 17,505 ชิ้น คิดเป็น 0.63% จากกลุ่มผลิตภัณฑ์ ตัวอย่าง ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ (a)



ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ (b)



ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ (c)



ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ (d)



ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ (e)



ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ (f)



ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ (g)

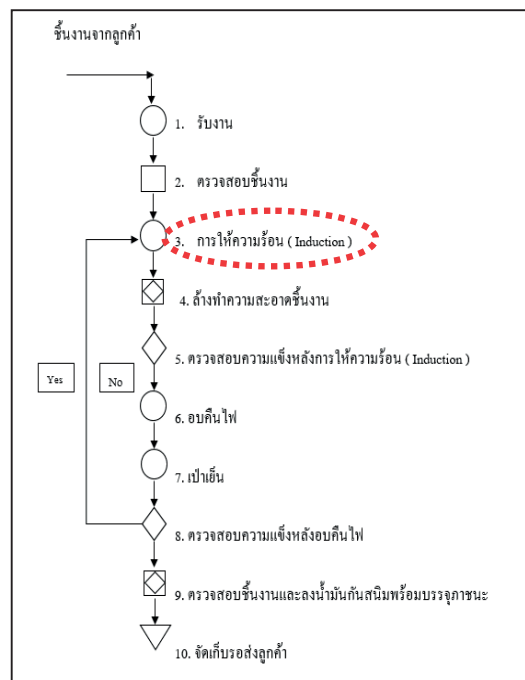
ผลิตภัณฑ์ตัวอย่างเป็นเพลาขับ (Intermediate Shaft) เป็นส่วนประกอบรถยนต์ ที่ติดตั้งในส่วนของชุดประกอบพวงมาลัยทำหน้าที่ส่วนกลาง ส่งต่อกำลังการขับเคลื่อนชุดพวงมาลัยรถยนต์

วัตถุประสงค์ของการวิจัยนี้เพื่อลดความสูญเสียจากกระบวนการผลิตชุบแข็งอินดักชั่นของผลิตภัณฑ์รุ่นตัวอย่างในกระบวนการชุบแข็งอินดักชั่น ลดลง 30% ต่อจำนวนการผลิตต่อเดือนของจำนวนผลิตภัณฑ์รุ่นตัวอย่างโดยใช้หลักเทคนิคทางด้านวิศวกรรมอุตสาหกรรม

2. วิธีการดำเนินงานวิจัย

2.1 สภาพปัญหาปัจจุบัน

ทำการศึกษาขั้นตอนการทำงานของผลิตภัณฑ์เพื่อทำการศึกษาขั้นตอนการทำงานที่ส่งผลทำให้เกิดความสูญเสียต่อผลิตภัณฑ์มากที่สุด ซึ่งผู้วิจัยทำการศึกษาเก็บข้อมูลพบว่าการขั้นตอนการผลิตขั้นตอนที่ 3 มีปัญหาที่เกิดขึ้นมากที่สุด โดยขั้นตอนการทำงานขั้นตอนที่ 4 ถึงขั้นตอนการทำงานที่ 10 พบปัญหาปริมาณน้อยมาก เพราะขั้นตอนการทำงานที่ 3 เป็นขั้นตอนการเปลี่ยนโครงสร้างของเหล็กทางกายภาพและจุลภาคตามที่ลูกค้ากำหนด ความสูญเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตเพื่อให้สามารถมองเห็นขั้นตอนการผลิตในแต่ละขั้นตอนได้อย่างชัดเจนผู้วิจัยได้นำแผนภูมิกระบวนการผลิตโดยสังเขป (Outline Process Chart) มาใช้เพื่ออธิบายขั้นตอนกระบวนการผลิตการเคลื่อนที่ของชิ้นงานที่ผ่านการตรวจสอบได้ตามข้อกำหนดของลูกค้าหรือไม่ได้ตามข้อกำหนดของลูกค้า ดังรูปที่ 2

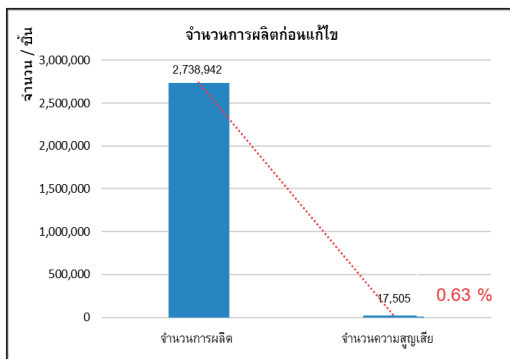


รูปที่ 2 แผนภูมิกระบวนการผลิตโดยสังเขป (Outline Process Chart)

ปริมาณความสูญเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต และกราฟเปอร์เซ็นต์การสูญเสีย จำนวนชิ้นงาน ที่ทำการผลิต ในการรวบรวมข้อมูล ดังตารางที่ 1 และรูปที่ 3

รุ่น ผลิตภัณฑ์	จำนวน การผลิต (ชิ้น)	เฉลี่ย ต่อ เดือน (ชิ้น)	จำนวน ความ สูญเสีย (ชิ้น)	ราคา ค่า ต่อ ชิ้น (บาท)	เปอร์เซ็นต์
1.	194,223	16,186	1,552	35 / 54,320	0.79
2.	271,983	22,666	1,749	35 / 61,215	0.64
3.	156,509	13,043	1,340	35 / 46,900	0.85
4.	422,293	35,191	2,973	40 / 118,920	0.70
5.	851,360	70,947	4,114	40 / 164,560	0.48
6.	310,921	25,910	2,341	30 / 70,230	0.75
7.	531,653	44,305	3,436	35 / 120,260	0.64
รวม	2,738,942	228,245	17,505	636,405	0.63
เฉลี่ย	391,278	228,245	1,459	53,034	

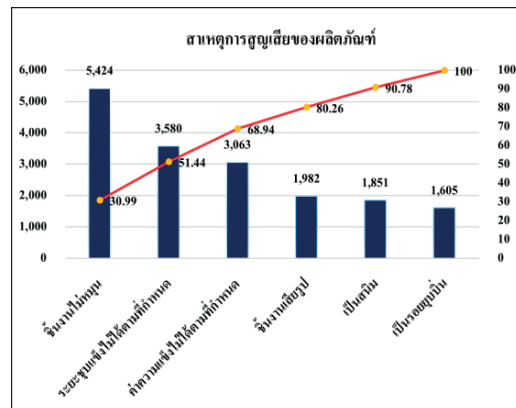
ตารางที่ 1 ยอดความสูญเสียในขั้นตอนกระบวนการผลิต



รูปที่ 3 กราฟเปอร์เซ็นต์ความสูญเสียต่อจำนวนการผลิต ก่อนทำการปรับปรุง

2.2 แนวทางแก้ไขปัญหา

ผู้วิจัยได้ศึกษาปัญหาความสูญเสียที่เกิดขึ้น ตลอดของการผลิต ที่ส่งผลให้บริษัทต้องสูญเสียเงินที่ถูกลูกค้าทำการเคลม (Claim) ซึ่งหากสามารถปรับปรุงการผลิตให้ได้คุณภาพมากขึ้น ของเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิตน้อยลง ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้เข้ามาศึกษาหาสาเหตุที่ทำให้เกิดปัญหาที่ส่งผลให้เกิดการสูญเสียในกระบวนการผลิตการชบแข็งอินดักชั่น ดังนั้นจึงได้สรุปหาสาเหตุที่ขึ้นในกระบวนการได้ดังนี้

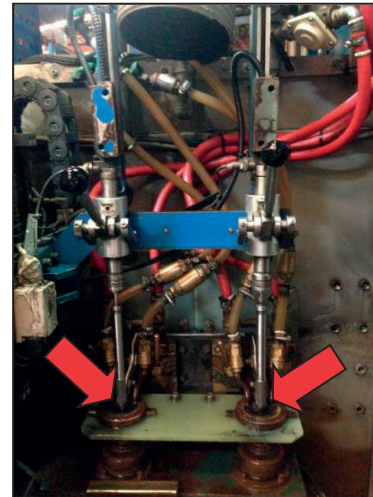


รูปที่ 4 สาเหตุความสูญเสียในขั้นตอนกระบวนการผลิต

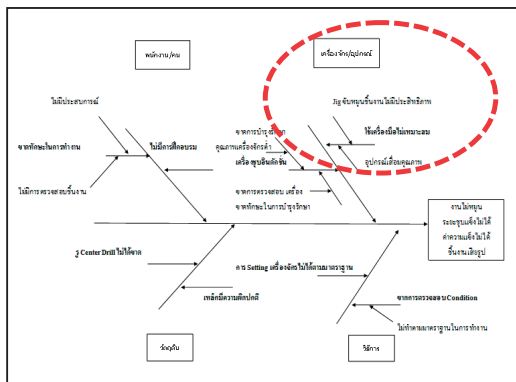
จากปัญหาที่เกิดขึ้นผู้วิจัยได้ทำการศึกษาเก็บข้อมูลพบว่าความสูญเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการให้ความความร้อนกับชิ้นงาน เป็นกระบวนการที่มีความสูญเสียมากที่สุด มีความสูญเสียเฉลี่ยประมาณ 1,171 ชิ้นต่อเดือน คิดเป็น 0.50 % ดังนั้นผู้วิจัยจึงทำการเลือกกระบวนการให้ความร้อน มาทำการแก้ไขปรับปรุงในครั้งนี้ ดังรูปที่ 5, 6



รูปที่ 5 ความสูญเสียทุกกระบวนการในการผลิต



รูปที่ 7 รูปเครื่องจักร/อุปกรณ์ในขั้นตอนการให้ความร้อนสาเหตุของการเกิดปัญหาในการสูญเสีย



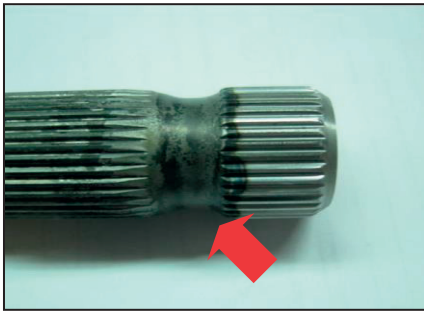
รูปที่ 6 ผลการวิเคราะห์ด้วยแผนผังเหตุและผล

จากการวิเคราะห์หาสาเหตุจากกราฟแผนภูมิพาร์โต (Pareto Diagram) และแผนผังแสดงเหตุและผล (Cause and Effect Diagram) [16] ได้ทราบถึงสาเหตุปัญหาที่เกิดขึ้นที่ส่งผลให้เกิดความสูญเสียในขั้นตอนการให้ความร้อน โดยปัญหาหลักดังนี้ ชิ้นงานไม่หมุน ระยะชุบแข็งไม่ได้ตามที่กำหนด ค่าความแข็งไม่ได้ตามที่กำหนด ชิ้นงานเสียรูป สาเหตุของปัญหาเกิดจากเครื่องจักรและอุปกรณ์ในการชุบแข็งชิ้นงาน ไม่มีประสิทธิภาพจึงส่งผลทำให้เกิดปัญหาดังกล่าว ดังรูปที่ 7

เครื่องมือจับยึด (Jig & Fixture) [4, 5] แบบเดิมที่ใช้ในการผลิตในขั้นตอนการให้ความร้อน ซึ่งเป็นสาเหตุของการเกิดปัญหาในการสูญเสีย

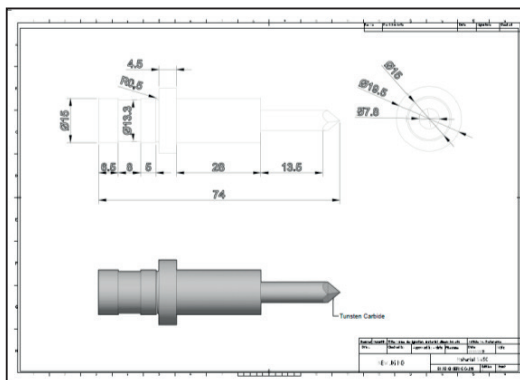


รูปที่ 8 รูปเครื่องมือจับยึด (Jig & Fixture) แบบเดิม



รูปที่ 9 รูปตัวอย่างชิ้นงานที่เกิดจากความสูญเสียที่เกิดจากขั้นตอนกระบวนการให้ความร้อน

ผู้วิจัยได้ทำการออกแบบสร้างเครื่องมือจับยึดช่วยในการขันหมุนชิ้นงาน โดยมีหลักการออกแบบโดยยึดหลักการนำไปใช้งานได้ง่ายและมีประสิทธิภาพสูง สามารถขันหมุนชิ้นงานที่มีลักษณะรูปทรงกระบอกที่มีรูย่นศูนย์ (Center Drill) ที่ช่วยในการขันหมุนได้ดี โดยทำการออกแบบให้ส่วนปลายหัวเครื่องมือจับยึดทำจาก ทังสเทนคาร์ไบด์ (Tungsten Carbide) และทำมุมปลายแหลม 60° ส่วนลำตัวใช้วัสดุ (Material) S45C ดังแสดงในรูปที่ 10, 11



รูปที่ 10 แบบเครื่องมือจับยึด แบบใหม่

ผู้วิจัยทำการเสนอแนวทางการปรับปรุงต่อผู้บริหาร ผู้จัดการแผนก มีวิธีการทดลองในการแก้ไขปัญหา ผู้จัดการแผนกอนุมัติให้ดำเนินการได้ทันที ดังรูปที่ 11



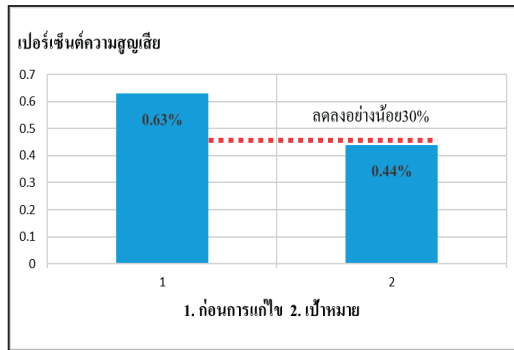
ทังสเทนคาร์ไบด์ (Tungsten Carbide)

รูปที่ 11 รูปเครื่องมือจับยึด แบบใหม่

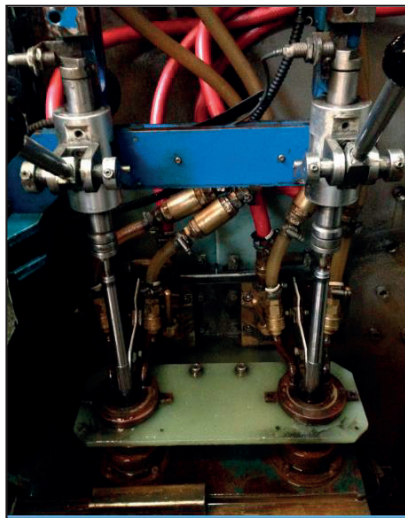
ค่าจ่ายในการทำเครื่องมือจับยึด 1,400 บาทต่อตัว จากการจัดซื้อ อุปกรณ์ ในการจัดทำ

3. ผลการวิจัย

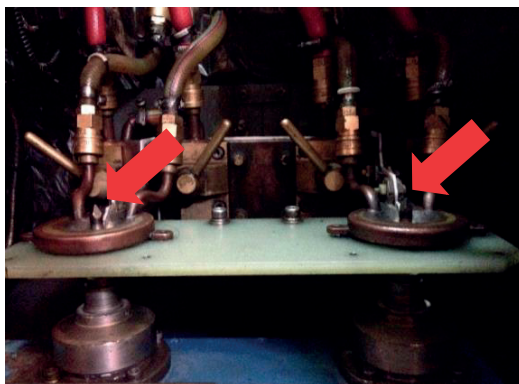
จากการเก็บข้อมูลวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาก่อนทำการปรับปรุงของบริษัทตัวอย่าง โดยการรวบรวมข้อมูลจำนวนการผลิตและจำนวนความสูญเสียที่เกิดขึ้นแล้ววางแผนดำเนินการและเก็บข้อมูลจำนวนการผลิตพร้อมจำนวนความสูญเสียที่เกิดขึ้นกับบริษัทตัวอย่าง ในกระบวนการชุบแข็งอินดักชั่นหลังจากการปรับปรุงแก้ไขเพื่อให้งานวิจัยบรรลุวัตถุประสงค์โดยการเก็บข้อมูลดำเนินการตั้งแต่เดือน มีนาคม พ.ศ. 2559 – เมษายน พ.ศ. 2559 โดยการตั้งเป้าหมายเพื่อลดความสูญเสียลงอย่างน้อย 30% ต่อจำนวนการผลิตต่อเดือน



รูปที่ 12 เปอร์เซ็นความสูญเสีย และเป้าหมาย ความสูญเสียหลังการแก้ไข



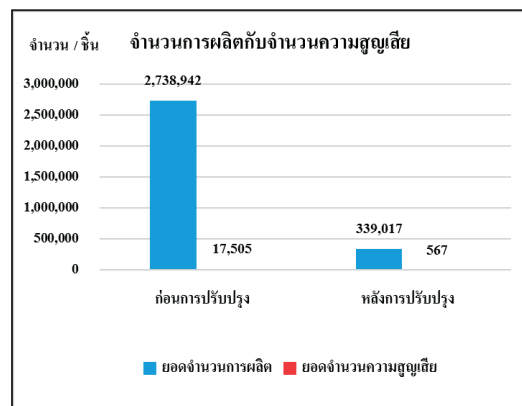
รูปที่ 13 รูปเครื่องจักร/เครื่องมือจับยึด แบบใหม่



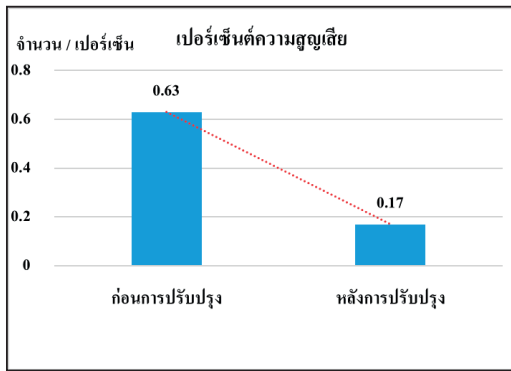
รูปที่ 14 รูปเครื่องจักร/เครื่องมือจับยึด แบบใหม่

3.1 ผลการสรุปผลการแก้ไข

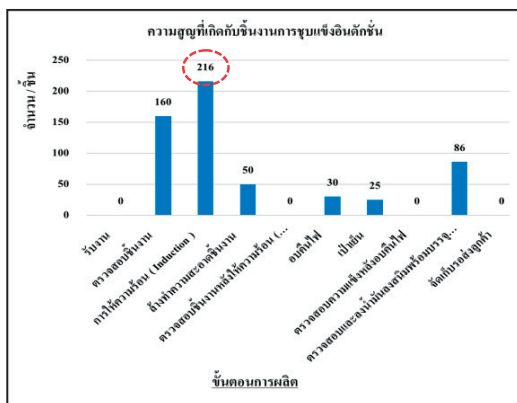
จากการค้นหาสาเหตุของปัญหาที่เกิดขึ้น และหาแนวทางแก้ไขปัญหาโดยนำเอาเทคนิค วิศวกรรมอุตสาหการเพื่อนำไปใช้ ในการแก้ไข ปัญหาในขั้นตอนการให้ความร้อนในการชุบแข็ง อินดักชันและได้นำเอาการออกแบบเครื่องมือ จับยึด ช่วยในการจับหมุนชิ้นงานขณะทำการ ให้ความร้อนชุบแข็งกับชิ้นงาน ทำให้ไม่เกิด ความสูญเสียกับชิ้นงานเพลาชับ จึงทำให้ลด ความสูญเสียในกระบวนการชุบแข็งอินดักชัน ลดน้อยลง โดยเฉลี่ย 284 ชิ้นต่อเดือน พร้อมทั้ง ขั้นตอนกระบวนการให้ความร้อนลดน้อยลง โดยเฉลี่ย 108 ชิ้นต่อเดือน ในการแก้ไขการ ออกแบบเครื่องมือจับยึดนั้น สามารถแก้ไขปัญหา ชิ้นงานไม่หมุน ระยะเวลาชุบไม่ได้ตามที่กำหนด ค่าความแข็งไม่ได้ตามที่กำหนด ชิ้นงานเสียรูป ลดน้อยลงหมดได้อย่างเป็นระบบ



รูปที่ 15 จำนวนการผลิตและจำนวนความสูญเสีย ก่อนปรับปรุงแก้ไข - หลังปรับปรุงแก้ไข



รูปที่ 16 เปอร์เซ็นจำนวนความสูญเสียก่อนปรับปรุง
แก้ไข – หลังปรับปรุงแก้ไข



รูปที่ 17 ความสูญเสียทุกกระบวนการในการผลิต
หลังปรับปรุงแก้ไข

4. สรุปผล

จากการศึกษา ปรับปรุงกระบวนการผลิต กระบวนการชุบแข็งอินดักชั่น โดยการออกแบบ เครื่องมือจับยึด โดยปกติก่อนการปรับปรุงแก้ไข ความสูญเสียของชิ้นงาน 0.63% เฉลี่ย 1,459 ชิ้นต่อเดือนลดลงเหลือร้อยละ 0.17% จำนวน เฉลี่ย 284 ชิ้นต่อเดือนลดลงได้ถึง 73 เปอร์เซ็นต์ และขั้นตอนการให้ความร้อนลดน้อยลง เดิม ความสูญเสียคิดเป็น 0.51% คิดเป็นจำนวน เฉลี่ย 1,171 ชิ้นต่อเดือน ลดลงเหลือ 0.06 % คิดเป็นจำนวนเฉลี่ย 108 ชิ้นต่อเดือน ซึ่งเป็นที่น่าพอใจในการปรับปรุงในครั้งนี้เพื่อแก้ไข

เพื่อลดความสูญเสียที่ส่งผลกระทบต่อบริษัท ตัวอย่างที่ทำการศึกษาและสามารถเพิ่ม ประสิทธิภาพในสายการผลิต

หลังจากการปรับปรุงกระบวนการผลิต แล้วผู้วิจัยพบว่าความสูญเสีย จากกระบวนการ ให้ความร้อน เป็นขั้นตอนหลักที่ทำให้เกิด ความสูญเสียมากที่สุดโดยปัญหาการสูญเสียทั้งหมด มาจากสาเหตุ ชิ้นงานไม่หมุน

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้อย่าง สมบูรณ์โดยได้รับความอนุเคราะห์อย่างยิ่งจาก รศ. ดร.ณฐา อุทัยเชิฐียร ที่คอยให้คำปรึกษาชี้แนะ แนว ขอขอบคุณบริษัทตัวอย่าง ที่ให้สถานที่ให้ ทำงานวิจัยในครั้งนี้ตลอดจนผู้มีพระคุณทุกท่าน จึงขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] ชีระวัฒน์ สมสิริกาญจนคุณ, “การปรับปรุง ประสิทธิภาพกระบวนการผลิตอย่างต่อเนื่อง เพื่อลดความสูญเสียเปล่าในกระบวนการ ผลิต,” ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะ วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น. 2552.
- [2] ยุทธณรงค์ จงจันทร์, “การเพิ่มผลผลิตสาย การผลิตเตาเหล็กหล่อ,” วิทยานิพนธ์ ปริญญามหาบัณฑิต วิศวกรรมอุตสาห การ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ธัญบุรี, 2554.
- [3] สาทิตย์ สนิลพันธ์, ณาฐา อุทัยเชิฐียร, “การ ลดความสูญเสียเปล่าในกระบวนการผลิต ชิ้นส่วนรถจักรยานยนต์โดยการบูรณา การเทคนิควิศวกรรมอุตสาหการ,” วารสารวิศวกรรมศาสตร์ราชมนกคล ธัญบุรี, 2553.

- [4] อำนาจ มีแสง, “การออกแบบเครื่องมือจับยึดชิ้นงานเพื่อลดความสูญเสียในกระบวนการตัดท่อนยาง กรณีสึกษา โรงงานผลิตชิ้นส่วนยานยนต์,”วิทยานิพนธ์ปริญญาามหาบัณฑิต วิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, 2554.
- [5] วรรณภา พิศดวงดาว, “การลดความสูญเสียขวดพื๋อทีในสายการผลิตขาเขียว โดยประยุกต์ใช้เครื่องมือทางคุณภาพ,” วิทยานิพนธ์ ปริญญาามหาบัณฑิต วิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, 2553.
- [6] ชายชาญ แต่งผิว, “การลดความสูญเสียในกระบวนการตัดแบ่งเหล็กแผ่นรีดร้อน : กรณีศึกษาโรงงานผลิตเหล็กแผ่นรีดร้อนชนิดม้วน, ”วิศวกรรมอุตสาหการ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2554.
- [7] คชพล สิริทรัพย์อุดม, “การศึกษาวิจัยด้านการจัดการการผลิตเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพทางการผลิตและลดความสูญเสีย 7 ประการ : กรณีศึกษาสายการผลิต LEVER TILE,”การจัดการวิสาหกิจสำหรับผู้บริหาร สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น,วารสารสถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น ปีที่ 1 ฉบับที่ 1 เดือนตุลาคม 2555-มีนาคม 2556.
- [8] โกเมศร์ แจ่มจันทร์,นาย สมโชค ทรัพย์พนาชัย, “การควบคุมความถี่ 64 กิโลเฮิร์ตซ์ ด้วยเทคนิค PWM AUTO TUNE RESONANCE สำหรับการให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำ.” มหาวิทยาลัยเซนต์จอห์น 2551.
- [9] สมนึก วัฒนศิริยุกุล, “การศึกษาศักยภาพการชุปแข็งเพื่องรถไถแบบเดินตามที่ผลิตในประเทศไทย.”ภาควิชาวิศวกรรมการผลิต,คณะวิศวกรรมศาสตร์,สถาบันเทคโนโลยีพระนครเกล้าพระนครเหนือ, 2550.
- [10] ยุทธนามันมาก, “การศึกษากระบวนการชุบแข็ง และการอบคืนไฟ ของเหล็กสปิงผสมโครเมียมต่ำ,”วิทยานิพนธ์ปริญญาามหาบัณฑิต, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2552.
- [11] Miltenberg, J. and Wijngaard, J. 1994. The U- line balancing problem, Management Sciences, 40(10) : 1378-1388.
- [12] Sury, R. J. 1971. Aspects of assembly line balancing. International Journal of Production Research, 9 : 8-14.
- [13] Lowry, S.M., H. B. Maynard and G. J. Stegemerten. 1940. Time and Motion Study and Formulas for Wage Incentives, 3rd ed., NY : McGraw-Hill.
- [14] J. Choi and R. Edward Minchin. 2006. Workflow management and productivity control for asphalt pavement operations, Canadian Journal of Civil Engineering vol33, 1039-1049

- [15] Paul H.P Yeuw and Rabinda NathSen. 2006. **Productivity and quality improvement revenue increment and rejection cost reduction manual component insertion lines through the application of ergonomic**, International Journal of Industrial Ergonomics vol36, 367-377
- [16] S. Gangopadhyay, I. Das, and G. Ghoshal. 2006. **Work organization in sand core manufacturing for health and productivity**, International Journal of Industrial Ergonomics vol36, 915-920

การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของเครื่องกังหันน้ำชนิดเพลตัน โดยใช้เทคนิคพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ Pelton Turbine Efficiency Analysis Using Computational Fluid Dynamics Technique

กิตติพร โพธิ์¹, จิราภรณ์ อนันตชัยพัธนา²
kposew@gmail.com¹, chiraporn_a@rmutt.ac.th²

บทคัดย่อ

การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของเครื่องกังหันน้ำมีความจำเป็นมาก ในการออกแบบและพัฒนาคุณภาพของเครื่องกังหันน้ำ นอกจากนี้ ผู้ใช้ก็จำเป็นต้องทดสอบหาค่าประสิทธิภาพก่อนการนำเครื่องกังหันน้ำมาติดตั้งจริง เพื่อให้มั่นใจได้ว่าเครื่องกังหันน้ำสามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้ตามที่ออกแบบไว้ ซึ่งการวิเคราะห์สามารถทำได้โดยการทำการทดสอบกับโมเดลเครื่องกังหันน้ำ แต่วิธีการทดสอบกับโมเดลจะต้องใช้งบประมาณสูง ซึ่งการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของเครื่องกังหันน้ำโดยใช้เทคนิคพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ เป็นวิธีการซึ่งให้ผลเที่ยงตรงและสามารถลดงบประมาณในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพเครื่องกังหันน้ำได้จำนวนมาก การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของเครื่องกังหันน้ำในบทความนี้ได้ดำเนินการกับเครื่องกังหันน้ำชนิดเพลตัน ของโครงการไฟฟ้าพลังน้ำแม่สะงา อำเภอเมือง จังหวัดแม่ฮ่องสอน ผลการทดสอบประสิทธิภาพที่ 100% โหลด ได้ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพ 92.9 % เมื่อนำเครื่องกังหันน้ำมาติดตั้งจริง ณ.โครงการไฟฟ้าพลังน้ำแม่สะงา และดำเนินการทดสอบประสิทธิภาพที่ 100% โหลด ได้ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพ 91.7 % [2] ซึ่งแตกต่างจากผลการวิเคราะห์ด้วยวิธีเทคนิคพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณอยู่ 1.2 % แสดงให้เห็นว่าการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของเครื่องกังหันน้ำโดยใช้เทคนิคพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณสามารถนำมาใช้หาค่าประสิทธิภาพแทนการทดสอบกับโมเดลได้ดีและประหยัดงบประมาณของประเทศได้เป็นอย่างดี

คำสำคัญ: พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ กังหันน้ำชนิดเพลตัน ประสิทธิภาพ

¹วิศวกรเครื่องกลชำนาญการพิเศษ สำนักพัฒนาพลังงานทดแทน กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน

²อาจารย์ประจำสาขาวิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

Abstract

Turbine efficiency analysis was done for design and develop the quality of turbine. It also necessary for realize that the purchased turbine can generate the power exactly to the designed value. The turbine efficiency evaluation normally was done by model test which consume a large number of budget. Turbine efficiency analysis by using Computational Fluid Dynamic (CFD) technique can save these wasted budget. This study was performed to analysis the turbine efficiency of the pelton turbine of MAE SA NGA Hydroelectric power plant in Mae Hong Son Province, Thailand. The efficiency at 100 % load was 92.90 % by CFD and 91.36% by site test. The difference of the efficiency between CFD and site test was 1.2 %. It shown that the CFD technique can be used for analysis the turbine efficiency instead of the model test.

Keywords: Computational Fluid Dynamic, pelton turbine, efficiency

1. บทนำ

เครื่องกังหันน้ำเป็นอุปกรณ์ที่สำคัญที่สุดสำหรับโครงการไฟฟ้าพลังน้ำ เพราะส่งผลต่อราคาและสมรรถนะของโรงไฟฟ้า ดังนั้นการทำนายพฤติกรรมทางไฮดรอลิก และประสิทธิภาพของเครื่องกังหันน้ำก่อนนำไปใช้จริงจึงมีความสำคัญมากในทางปฏิบัติ การทำนายประสิทธิภาพของเครื่องกังหันน้ำสามารถทำได้ด้วยการคำนวณทางทฤษฎี หรือการทดสอบโมเดล การคำนวณทางทฤษฎีเพื่อทำนายค่าประสิทธิภาพนั้นจะได้เพียงค่าประสิทธิภาพ แต่จะไม่สามารถระบุถึงสาเหตุของประสิทธิภาพที่ไม่ดี และการทดสอบโมเดลต้องใช้งบประมาณและเวลาในการทำสูงมาก วิธีการหนึ่งที่สามารถใช้ในการทำนายสมรรถนะของเครื่องกังหันน้ำคือการใช้เทคนิคพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ CFD ประสิทธิภาพ

โดยรวมที่ทำนายโดย CFD เมื่อเปรียบเทียบกับผลการทดสอบด้วยโมเดล การใช้งานจริง หากมีค่าที่น่าเชื่อถือก็จะสามารถนำมาวิเคราะห์ประสิทธิภาพเครื่องกังหันน้ำแทนการทดสอบด้วยโมเดลได้ ดังนั้นวัตถุประสงค์ของการวิเคราะห์นี้ก็เพื่อทำนายประสิทธิภาพของเครื่องกังหันน้ำชนิดเพลตันโดยใช้เทคนิค CFD ค่าประสิทธิภาพโดยรวมของเครื่องกังหันน้ำสามารถหาได้โดยสมการพื้นฐาน, อัตราส่วนระหว่างกำลังขาออกและกำลังขาเข้า, โครงการไฟฟ้าพลังน้ำในประเทศไทยส่วนใหญ่จะกำหนดให้มีการทดสอบโมเดล ซึ่งต้องใช้งบประมาณจำนวนมาก การศึกษานี้เพื่อยืนยันว่าการใช้เทคนิค CFD สามารถนำมาใช้แทนการทดสอบโมเดลได้ดีซึ่งจะช่วยประหยัดงบประมาณในการก่อสร้างโครงการไฟฟ้าพลังน้ำในประเทศไทยได้จำนวนมาก

2. วัสดุอุปกรณ์และวิธีดำเนินการวิจัย

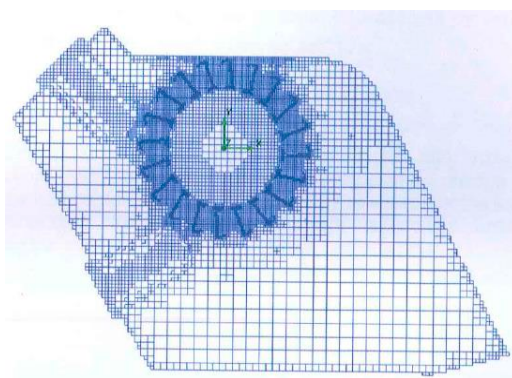
เตรียมแบบที่จำเป็น โดยการเขียนแบบสามมิติโดยใช้โปรแกรม Solid works simulation V. 2012 การวิเคราะห์กำลังของเครื่องกังหันน้ำคำนวณโดยใช้ Solid works-CFD module ซึ่งเป็นโปรแกรมการออกแบบเครื่องกล 3 มิติ ที่ทำงานบนโมโครซอฟท์วินโดวส์และพัฒนาโดย Dassault Systems Solid Works Corp. โดยใช้เครื่องมือนี้เพื่อทำเทคนิคไฟไนท์อีเลเมนต์ (Finite Element Technique, FET)

เขียนโมเดลของใบพัดและตัวเสื้อเครื่องกังหันน้ำ จากนั้นทำการแบ่งชิ้นงานออกเป็นชิ้นเล็ก ๆ ซึ่งเรียกว่าการทำโครงสร้างตาข่าย (Meshing) เป็นรูปทรงจตุรมุข หรือรูปทรงกรวยสามเหลี่ยม จากนั้นให้กำหนดขอบเขต โดยทำที่ความดันขาเข้าและหัวฉีดเปิดภายใต้ความดันบรรยากาศ โดยให้ของไหลไหลแบบผสม (Mixed flow Condition) สมการหลักที่ใช้คือ สมการนาเวียสโตก Navier Stokes Equations [4] ซึ่งพิจารณาน้ำเป็นของไหลที่อัดตัวไม่ได้ ที่สภาวะเสถียร

ในงานศึกษานี้ เป็นการใช้ระเบียบวิธีเชิงตัวเลขในการตรวจสอบประสิทธิภาพของเครื่องกังหันน้ำชนิดเพลตัน ซึ่งมีขั้นตอนการคำนวณดังนี้

การทำโครงสร้างตาข่าย เป็นขั้นตอนเตรียมการก่อนการคำนวณการไหลเชิงตัวเลข ขั้นตอนการทำโครงสร้างตาข่ายมีความสำคัญมากที่สุด ซึ่งจะส่งผลต่อความถูกต้องในการคำนวณ โดยทั่วไปโครงสร้างตาข่ายคือ ชิ้นส่วนย่อย ๆ ที่ถูกแบ่งออกมาจากชิ้นส่วนที่ต่อเนื่อง โดยจะแบ่งโครงสร้างตาข่ายออกเป็น 2 ประเภทคือ เป็นรูปแบบที่เป็นโครงสร้างที่เป็นระเบียบ และ

แบบที่ไม่เป็นระเบียบ ซึ่งแบบที่ไม่เป็นระเบียบสามารถทำได้ง่ายกว่า โดยในงานนี้เลือกใช้วิธีการสร้างตาข่ายแบบไม่เป็นระเบียบ และเพื่อให้ความถูกต้องเพิ่มขึ้น ได้แบ่งตาข่ายให้ละเอียดขึ้นในบริเวณใบพัด หลังจากเสร็จสิ้นกระบวนการสร้างโครงสร้างตาข่าย ต้องตรวจสอบคุณภาพของโครงสร้างตาข่ายที่สร้างขึ้น ปรับปรุงจุดที่โครงสร้างตาข่ายคุณภาพไม่ดี โดยโครงสร้างตาข่ายในขั้นตอนสุดท้ายได้โครงสร้างตาข่ายจำนวน 175,339 ช่อง เป็นโครงตาข่ายที่เป็นของเหลว 95,885 ช่อง ของแข็งจำนวน 19,214 ช่อง เป็นโครงตาข่ายแบบบางส่วน จำนวน 60,240 ช่อง โครงตาข่ายในขั้นสุดท้ายแสดงได้ในรูปที่ 1



รูปที่ 1 การสร้างโครงตาข่าย

ในการวิเคราะห์กระบวนการไหลสามารถแยกได้เป็นแบบราบเรียบ แบบปั่นป่วน หรือแบบผสม ในที่นี้จะพิจารณาการหมุนของใบพัด ผลกระทบจากหัวฉีด ผลกระทบจากลม สภาวะที่ขอบเขตของใบพัดเป็นการไหลแบบปั่นป่วน อย่างไรก็ตามการไหลที่ท้ายน้ำอนุมาณให้การไหลแบบคงที่

สำหรับโรงไฟฟ้าพลังน้ำ หัวน้ำรวมคือความแตกต่างระหว่างระดับน้ำที่อ่างเก็บน้ำและ

ระดับท้ายน้ำ หัวน้ำสุทธิหาได้จากการลบการสูญเสียออกจาก หัวน้ำรวม ปริมาณน้ำทั้งหมด อาจไม่ได้กระทบกับใบพัดของเครื่องกังหันน้ำ การสูญเสียอันเนื่องมาจากการกระจายของน้ำจึงถูกนำมาพิจารณาประสิทธิภาพทางกล [5] ซึ่งนิยามโดย

$$\eta_v = \frac{V_a}{V_n} \quad (1)$$

V_a คือ ปริมาตรน้ำที่กระทบกับใบกังหัน m^3

V_n คือ ปริมาตรน้ำที่ออกจากหัวฉีด m^3

เมื่อน้ำไหลผ่านใบกังหันน้ำ การสูญเสียอาจเกิดขึ้นเนื่องมาจากความเสียดทานของใบกังหัน การเปลี่ยนทิศทางการไหล หรือการสูญเสียพลังงานจลน์ที่ทางออกของกังหันน้ำ การสูญเสียทางกลศาสตร์จึงถูกพิจารณาในรูปแบบของประสิทธิภาพทางกลศาสตร์ซึ่งนิยามโดย

$$\eta_h = \frac{P_t}{P_w} \quad (2)$$

P_t คือ กำลังที่ใบกังหันน้ำผลิตได้ w

P_w คือ กำลังจากน้ำที่ทางเข้า w

กำลังที่ได้จากใบกังหันจะถูกทำให้ลดลงโดยการสูญเสียเชิงกลอันเกิดจากความเสียดทานระหว่างชิ้นส่วนที่หมุน เนื่องมาจากความเสียดทานเหล่านี้ ทำให้กำลังที่ได้ที่เพลากังหันจึงน้อยกว่ากำลังที่ใบกังหันผลิตได้ การสูญเสียเชิงกลจึงถูกพิจารณาในรูปแบบของประสิทธิภาพทางกลศาสตร์ซึ่งนิยามโดย

$$\eta_m = \frac{P_s}{P_t} \quad (3)$$

P_s คือ กำลังที่ได้จากเพลากังหันน้ำ w

P_t คือ กำลังที่ใบกังหันน้ำผลิตได้ w

ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการโดยรวมได้

$$\eta_v \times \eta_h \times \eta_m = \frac{2\pi NT / 60}{\rho g HQ} \quad (4)$$

จุดประสงค์เพื่อให้ได้แรงบิด ที่ได้จากกังหันจากการวิเคราะห์ด้วย CFD แรงที่เกิดขึ้นเนื่องจากน้ำที่กระทำต่อใบพัดกระทำที่รัศมีใบพัดคูณด้วยรัศมีใบพัดจะได้แรงบิดสุทธิ และกำลังทางกลศาสตร์เข้า [6] หาได้จาก

$$P_h = \rho g QH \quad (5)$$

เมื่อ ρ คือ ความหนาแน่นของน้ำ

$$997.342 \text{ kg} / m^3$$

g คือ ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วง

$$9.81 \text{ m} / s^2$$

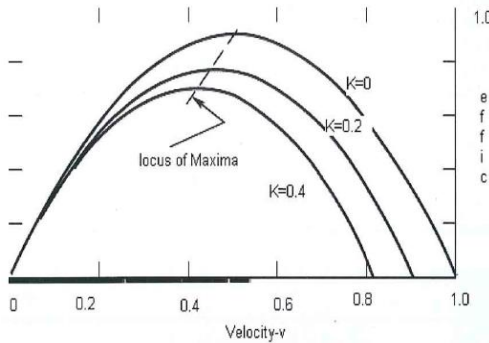
H คือ ความสูงหัวน้ำ m

Q คือ ปริมาณน้ำ m^3 / s

การสูญเสียเนื่องจากการหมุนต้านลมในเครื่องจักรที่มีการหมุน (windage loss) เกิดขึ้นเนื่องจากปรากฏการณ์ชั้นฟิล์มที่ขอบ และความเสียดทานเนื่องจากการเสียดสีเชิงโมเลกุล ดังนั้นการสูญเสียเนื่องจากการหมุนต้านลมในเครื่องจักรที่มีการหมุนจึงขึ้นอยู่กับความหนาแน่นและความบริสุทธิ์ ของของไหลรอบ ๆ ตัวหมุน

$$Loss / unit_mass_flow = KU^2 \quad (6)$$

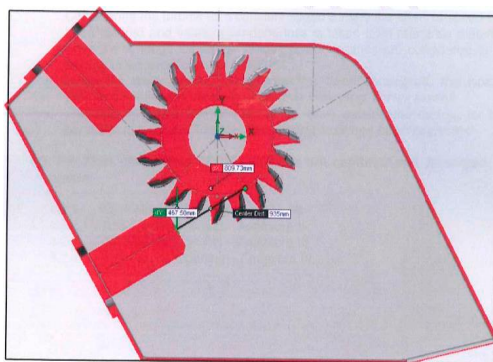
เมื่อ K คือค่าคงที่ไร้หน่วย



รูปที่ 2 การเปลี่ยนแปลงประสิทธิภาพเทียบกับอัตราส่วนความเร็วของกังหันน้ำเพลตันที่ค่า K ต่าง ๆ [1]

จากรูปที่ 2 ค่ากลางของการสูญเสียเนื่องจากการหมุนต้านลมในเครื่องจักรอยู่ที่ประมาณ 10-15 % ในการวิเคราะห์กำหนดให้มีเกณฑ์ในการวิเคราะห์ดังนี้

ผิวของท่อส่งน้ำเรียบและเสื่อกังหันเรียบ ผิวของหัวฉีด ท่อส่งน้ำ ไม่มีการบิดเบี้ยว การไหลเป็นแบบสม่ำเสมอ ภาระที่กังหันน้ำมีค่าคงที่ การไหลที่ใบกังหันเป็นแบบเรียบ ทำให้น้ำอยู่ภายใต้ความดันบรรยากาศ และไม่เกิดการสูญเสียเนื่องจากแบริง



รูปที่ 3 โมเดลของการประกอบใบกังหัน หัวฉีด และเสื่อกังหันเข้าด้วยกัน

3. ผลการวิจัยและวิจารณ์ผลการวิจัย

ผลการวิจัยจะแสดงผลของการวิเคราะห์ประสิทธิภาพโดยใช้เทคนิค CFD และผลของการทดสอบค่าประสิทธิภาพเครื่องกังหันน้ำ โดยทดสอบกับเครื่องจริงที่หน้างาน และนำผลมาเปรียบเทียบกับเพื่อพิสูจน์ความถูกต้องและแม่นยำของการวิเคราะห์ประสิทธิภาพด้วยเทคนิค CFD

3.1 ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพด้วยเทคนิค CFD

กำลังทางกลศาสตร์เมื่อเปิดน้ำ 100 %

กำลังทางทฤษฎี

$$P_h = \rho g Q H \quad (7)$$

เมื่อ H คือ ความสูงหัวน้ำ 194.1 m

Q คือ ปริมาณน้ำ 1.55 m³ / s

$$P_h = 997.342 \times 194.1 \times 1.55 \times 9.81$$

$$P_h = 2.943 \text{ MW}$$

กำลังที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วย CFD

แรงที่ผิวของกังหันเพลตัน 5,349.11 นิวตัน เมื่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของใบพัดเท่ากับ 1,340 มิลลิเมตร

$$POWER = \frac{2\pi NT}{60} \times \text{Windage loss} \quad (8)$$

เมื่อ T คือ แรงสูงสุดที่กระทำต่อหนึ่งใบของกังหันน้ำ

คูณจำนวนใบคูณรัศมีใบพัด

N คือ ความเร็วการหมุน 428.6 rpm

$$POWER = \frac{2\pi \times 428.6 \times (5,349 \times 20 \times 0.67)}{60} \times 0.85$$

$$POWER = 2.733 \text{ MW}$$

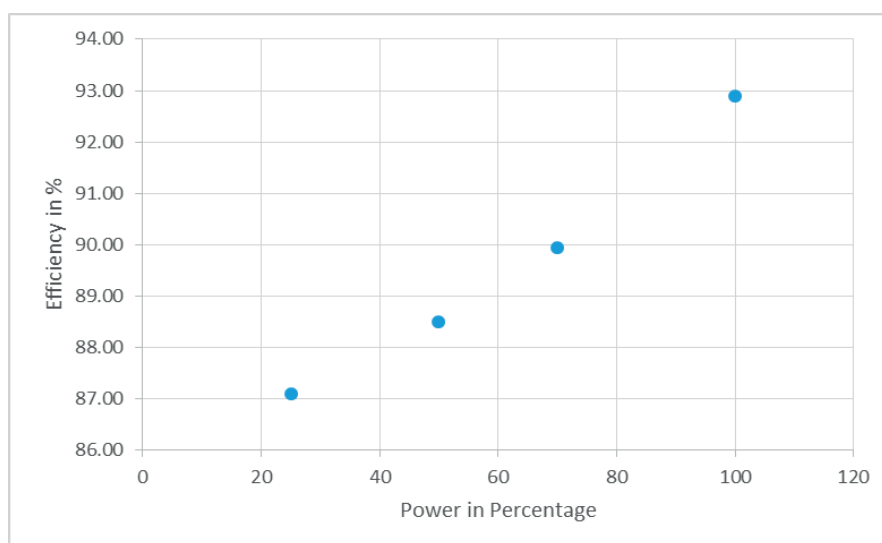
$$\text{ประสิทธิภาพเท่ากับ } \frac{\text{Output}}{\text{Input}} = \frac{2.73}{2.94} = 92.9 \%$$

ซึ่งผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพที่โหลดต่าง ๆ แสดงได้ดังตารางที่ 1

No	Load in %	Nozzle open in mm	Observed Volume flow in m ³ /sec	Input Power MW	Output Power MW	Eff %
i	100.00	126.53	1.55	2.94	2.73	92.9
ii	70.00	105.96	1.09	2.07	1.78	89.9
iii	50.00	126.88	0.78	1.48	1.27	88.5
iV	25.00	90.58	0.40	0.76	0.64	87.1

ตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพโดยใช้เทคนิค CFD

นำผลการวิเคราะห์ทั้งหมดมาพล็อตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังแลประสิทธิภาพของเครื่องกังหันน้ำ ซึ่งแสดงได้ดังรูปที่ 4



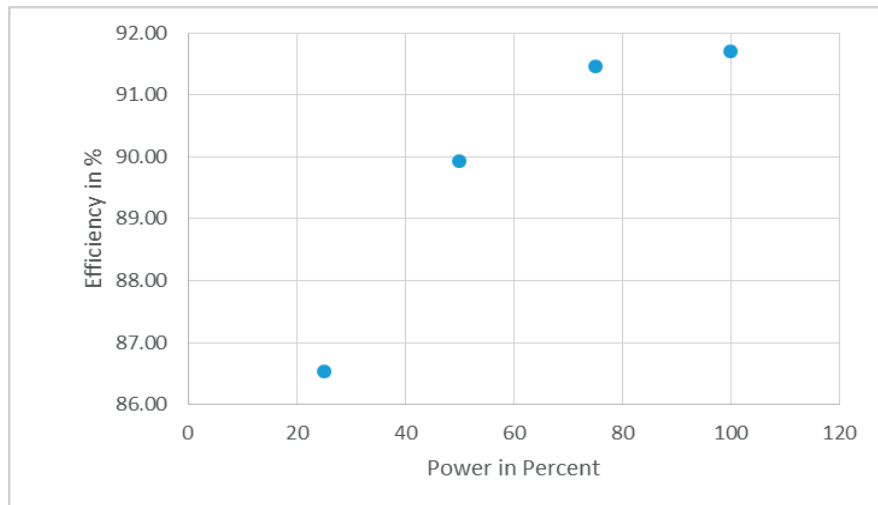
รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังและประสิทธิภาพของเครื่องกังหันน้ำโดยทดสอบ CFD

ผลการทดสอบประสิทธิภาพกับเครื่องจริง

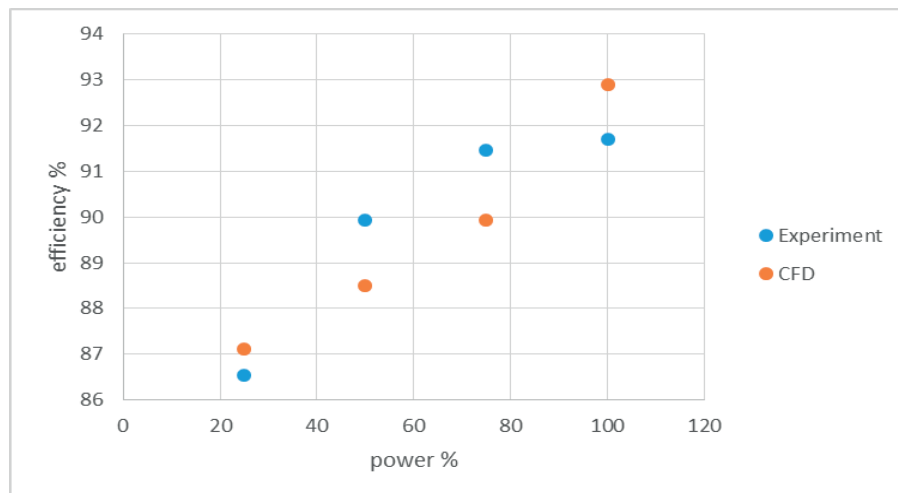
No	Load in %	Nozzle open in mm	Observe Volume flow in m ³ /sec	Input Power MW	Output Power MW	Eff %
i	100	126.53	1.50	3.01	2.68	91.70
ii	75	107.76	1.12	2.24	2.02	91.46
iii	50	126.88	0.74	1.48	1.34	89.93
iV	25	90.58	0.41	0.82	0.73	86.53

ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพโดยทดสอบกับเครื่องจริง [2]

นำผลการวิเคราะห์ทั้งหมดมาพล็อตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังและประสิทธิภาพของเครื่องกังหันน้ำ ซึ่งแสดงได้ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังและประสิทธิภาพของเครื่องกังหันน้ำโดยทดสอบกับเครื่องจริง



รูปที่ 6 เปรียบเทียบประสิทธิภาพของเครื่องกังหันน้ำโดยทดสอบกับเครื่องจริงกับการทดสอบ CFD

จากผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของเครื่องกังหันน้ำโดยใช้เทคนิค CFD และจากการทดสอบกับเครื่องจริงพบว่าประสิทธิภาพที่กำลังผลิตสูงสุดมีความแตกต่างกันเพียง 1.2 % และจากผลการทดสอบตามตารางที่ 1 และตารางที่ 2 จะพบว่าค่ากำลังทางชลศาสตร์แตกต่างกัน เนื่องจากการทดสอบด้วย CFD ใช้ความสูงหัวน้ำตามข้อมูลที่ออกแบบไว้ แต่เมื่อก่อสร้างโครงการจริงความสูงหัวน้ำเพิ่มขึ้น 6 เมตร ซึ่งผลดังกล่าวอาจมีผลกระทบต่อผลการวิเคราะห์ค่าประสิทธิภาพที่แตกต่างกันระหว่างผลจาก CFD และผลจากการทดสอบจริง และเมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพที่ได้จากการทดสอบจริงและ CFD ดังแสดงในรูปที่ 6 จะพบว่าในช่วง

ที่เครื่องกังหันน้ำรับโหลด 50-75% ผลที่ได้จากการทดสอบกับเครื่องจริง สูงกว่าผลที่ได้จาก CFD เนื่องจากในช่วงที่โหลดต่ำ ๆ เมื่อหัวฉีดเริ่มเปิดน้ำที่ออกมาจากหัวฉีดจะมีลักษณะกระจายและไหลตัดกัน ณ.จุด วนาคอนแทรคต้า Vena Contracta [3] ลำน้ำจึงเข้ากระทบใบพัดได้น้อยประสิทธิภาพในช่วงโหลดต่ำ ๆ ที่ได้จากการทดสอบจริงจึงน้อยกว่าผลที่ได้จาก CFD เมื่อโหลดเพิ่มขึ้น น้ำที่ออกมาจากหัวฉีดมีความเป็นระเบียบมากขึ้น ผลการทดสอบจริงจึงมากกว่า CFD และเมื่อโหลดสูงขึ้นถึง 100 % ปริมาณน้ำภายในเสื้อกังหันน้ำเพิ่มมากขึ้น เกิดการต้านการหมุนของใบพัดมากขึ้น ผลการทดสอบจากการทดสอบจริงจึงน้อยกว่า CFD

4. สรุปผลการวิจัย (Conclusions)

จากผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพเครื่องกังหันน้ำชนิดเพลตันโดยใช้เทคนิค CFD จะพบว่าผลการวิเคราะห์ที่ได้มีความน่าเชื่อถือโดยมีค่าประสิทธิภาพที่แตกต่างจากการทดสอบจริง 1.2 % ทำให้สามารถนำเทคนิค CFD มาใช้ในการวิเคราะห์ค่าประสิทธิภาพเครื่องกังหันน้ำของโครงการอื่น ๆ ในอนาคตได้เป็นอย่างดี

5. เอกสารอ้างอิง (References)

- [1] S.L. Dixon, C.A. Hall Fluid Mechanics and Turbomachinery, 6th ed, University of Liverpool
- [2] Operation and maintenance Manual, Contract No. 323/52 Mae sa nga Hydroelectric project, Department of alternative energy development and efficiency (2013)
- [3] John s, Gulliver, Roger E. A. Arndt, Hydropower Engineering Handbook, McGraw-hill, INC
- [4] H. R. Vallentine, Applied Hydrodynamics, London Butter Worths
- [5] M. Nechleba, Hydraulic Turbines. Their Design and Equipment. ARTIA, Prague, 1957
- [6] C.C. warnick H. A. Mayo, J. L. Carson, L. H. Sheldon, Hydropower Engineering, Prentice-hall, INC., Englewood Cliffs.

การศึกษาคุณสมบัติเชิงกลของแผ่นคอนกรีตเสริมเส้นใยผักตบชวา

Study of Mechanical Properties of Reinforced Concrete Panel with Water Hyacinth Fiber

ฐนียา รังษีสิริระชัย และสุธี ปิยะพิพัฒน์¹

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาเพื่อหาคุณสมบัติเชิงกลและความสามารถในการป้องกันความร้อนของแผ่นคอนกรีตเสริมเส้นใยจากผักตบชวาซึ่งมีกำลังรับแรงสูงสุด โดยทำการหาอัตราส่วนที่เหมาะสมของการเสริมผักตบชวากับปริมาณเส้นใยร้อยละ 0.3, 0.4 และ 0.5 โดยน้ำหนักคอนกรีต รวมถึงความยาวของเส้นใยที่ใช้มีขนาด 1.5 และ 2.5 เซนติเมตร โดยใช้ค่ากำลังอัดประลัยของคอนกรีตที่ 180 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ที่อายุการบ่ม 28 วัน จากผลการทดสอบพบว่าคอนกรีตเสริมเส้นใยผักตบชวาให้หน่วยแรงอัดและแรงดัดมากที่สุด ที่อัตราส่วนผสมของเส้นใยผักตบชวาวาว 2.5 เซนติเมตร ปริมาณผักตบชวาร้อยละ 0.3 ต่อน้ำหนักคอนกรีต โดยมีกำลังอัดและกำลังดัดเท่ากับ 111.2 และ 42.35 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตรตามลำดับ และเมื่อนำอัตราส่วนผสมดังกล่าวมาทำเป็นแผ่นผนังทดสอบเพื่อหาค่าความสามารถในการป้องกันความร้อน (ค่า k) ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่า คอนกรีตเสริมเส้นใยจากผักตบชวาสามารถป้องกันความร้อนได้ดีกว่าคอนกรีตที่ไม่มีการเสริมเส้นใยผักตบชวา ซึ่งสามารถนำไปพัฒนาเป็นผนังสำเร็จรูปที่ช่วยป้องกันความร้อนได้ดีขึ้นต่อไป

คำสำคัญ : คอนกรีต, ผักตบชวา, คุณสมบัติเชิงกล, ป้องกันความร้อน

Abstract

This research aims to study mechanical properties and thermal protection ability of reinforced concrete panel with water hyacinth fiber at maximum strength. The optimum proportion is determined by varying the amounts of fiber, i.e., 0.3, 0.4 and 0.5 % with respect to concrete weight. Moreover, the lengths of fiber are 1.5 and 2.5 cm. The compressive strength in this experiment is 180 kg/cm² for the incubation period of 28 days. From the results, it is found that the compressive and flexural strengths of concrete reach the maximum value (i.e., 111.2 and 42.33 kg/cm²) when we use fiber of length 2.5 cm at 0.3% with respect to weight of concrete. The concrete panel is reinforced by fiber according to the suggested

¹ อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

proportion (i.e., 0.3% with respect to concrete weight and length of 2.5 cm). After that the panel is conducted to find the thermal conductivity (k value). The concrete panel with fiber reinforcement shows the higher value of thermal conductivity when compared to those of without fiber reinforcement. This indicates that the panel can be further developed to a heat protection panel.

Keywords : Concrete, Water hyacinth, Mechanical properties, Thermal protection

1. บทนำ

จากคุณสมบัติของผักตบชวาในด้านความเหนียวซึ่งมีประโยชน์ทางด้านแรงดึงและน้ำหนักเบาสามารถนำไปพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีน้ำหนักน้อยลงได้ จึงมีการนำคุณสมบัติด้านต่าง ๆ เหล่านี้มาประยุกต์ใช้ในงานทางด้านวิศวกรรม โดยมีการศึกษาเกี่ยวกับการนำเส้นใยของผักตบชวามาใช้ผสมในคอนกรีตเพื่อทดสอบการทดสอบนี้สามารถนำไปพัฒนาเป็นแผ่นผนังสำเร็จรูปได้ เนื่องจากในปัจจุบันการสร้างบ้านส่วนใหญ่ โดยเฉพาะการทำบ้านจัดสรร จะมีการนำแผ่นผนังสำเร็จรูปไปใช้ในการก่อสร้าง เพราะประหยัดระยะเวลาในการก่อสร้าง และลดค่าใช้จ่าย ทำให้แผ่นผนังสำเร็จรูปนั้นเป็นที่นิยม ผนังสำเร็จรูปมีหน้าที่เหมือนผนังอาคารทั่วไป โดยวัสดุที่นำมาสร้างผนังสำเร็จรูปนั้นควรมีลักษณะที่สามารถกันความร้อนจากแสงแดดภายนอกตัวอาคาร [1], [2]

มีการศึกษาวิจัยในการนำเส้นใยต่าง ๆ เช่น ใยปอแก้ว ใยป่าน ฯลฯ มาผสมกับคอนกรีตเพื่อเสริมเส้นใยทดแทนวัสดุที่ใช้ทั่วไป รวมทั้งมีการนำผักตบชวามาเป็นส่วนผสมเพื่อพัฒนาเป็นคอนกรีตอิฐบล็อกชนิดไม่รับน้ำหนัก สำหรับใช้ในการลดการนำความร้อนเข้าสู่ตัวอาคาร ซึ่งคอนกรีตดังกล่าวช่วยลดอุณหภูมิภายในตัวอาคารได้และราคาถูกกว่าคอนกรีตบล็อกตามท้องตลาด [3], [4], [5] อย่างไรก็ตามขนาดและสัดส่วนของ

ผักตบชวาที่เหมาะสมนั้นก็เป็นส่วนสำคัญในการผสมวัสดุเช่นกัน

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทำการศึกษาคุณสมบัติเชิงกลและความสามารถในการป้องกันความร้อนของคอนกรีตเสริมเส้นใยจากผักตบชวาที่มีอัตราส่วนที่ทำให้กำลังรับแรงอัดและแรงดัดสูงสุด รวมถึงทำการเปรียบเทียบความสามารถในการป้องกันความร้อนของคอนกรีตที่เสริมเส้นใยจากผักตบชวาและคอนกรีตที่ไม่เสริมเส้นใยผักตบชวา เพื่อที่จะสามารถนำไปพัฒนาเป็นแผ่นผนังสำเร็จรูปที่มีน้ำหนักเบาและมีคุณสมบัติพิเศษด้านการป้องกันความร้อนต่อไปในอนาคต

2. อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

2.1 อุปกรณ์และเครื่องมือ

ในการศึกษาวิจัยนี้ได้ทำการทดสอบกำลังอัด กำลังดัด และการป้องกันความร้อนของคอนกรีตเสริมเส้นใยผักตบชวา เพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานทางวิศวกรรมเบื้องต้นโดยมีการทดสอบหาส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุดระหว่างเส้นใยต่อคอนกรีตโดยน้ำหนัก สำหรับการทดสอบกำลังรับแรงอัดและแรงดัด แล้วนำส่วนผสมที่ดีที่สุดไปทดสอบความสามารถในการป้องกันความร้อน โดยในการทดลองมีอุปกรณ์และเครื่องมือทดสอบดังนี้

1) แบบหล่อตัวอย่างทดสอบรูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร และสูง 30 เซนติเมตร

2) แบบหล่อตัวอย่างทดสอบรูปคานมาตรฐานขนาด 15×15×75 เซนติเมตร 3

3) เครื่องทดสอบกำลังอัดและกำลังดัดคอนกรีต

4) เครื่องชั่งที่อ่านค่าได้ละเอียดไม่น้อยกว่า 0.1 กรัม

2.2 ขั้นตอนการทดลอง

การดำเนินงานวิจัยการศึกษาความสามารถในการป้องกันความร้อนของแผ่นคอนกรีตเสริมเส้นใยผักตบชวามีขั้นตอนในการดำเนินงานต่าง ๆ ดังนี้

1) ขั้นตอนการเตรียมผักตบชวา โดยเลือกผักตบชวาที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใกล้เคียงกันมาตัดเอาเฉพาะส่วนที่เป็นก้านของผักตบชวา ตัดแบ่งผักตบชวาตามเส้นผ่านศูนย์กลางออกเป็น 4 ส่วนเท่า ๆ กัน นำผักตบชวาที่ตัดแบ่งเรียบร้อยแล้วตาก จนมีค่าความชื้นประมาณร้อยละ 5-10

2) ตัดผักตบชวาให้มีความยาวประมาณ 1.5 เซนติเมตร และ 2.5 เซนติเมตร แล้วทำการจัดเก็บผักตบชวาลงในภาชนะบรรจุปิดสุญญากาศ

3) เตรียมแบบหล่อ (Mold) โดยทำความสะอาด อย่าให้มีฝุ่นหรือเศษปูนเก่าติดอยู่ ทาน้ำมันด้านผิวในที่คอนกรีตจะสัมผัสให้ทั่ว แล้วทำการประกอบแบบหล่อโดยต้องมีการตรวจสอบสกรูสำหรับยึดแบบทุกตัวให้อยู่ในสภาพที่สมบูรณ์ ด้วยการประกอบแบบแล้วขันให้แน่น

4) คำนวณอัตราส่วนผสมคอนกรีต โดยคิดกำลังคอนกรีตที่ 180 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

5) นำผักตบชวาขนาดความยาวประมาณ 1.5 เซนติเมตร และ 2.5 เซนติเมตร ไปผสมกับคอนกรีตโดยผสมผักตบชวาในอัตราส่วนร้อยละ 0.3, 0.4 และ 0.5 ของน้ำหนักคอนกรีต

6) ผสมคอนกรีตด้วยเครื่องผสม (Mixer) โดยเวลาที่ใช้ในการผสมไม่ควรสั้นกว่า 3 นาที หลังจากนั้นนำคอนกรีตไปเทในแบบหล่อแล้วตั้งทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง แล้วจึงนำคอนกรีตออก

7) นำมาทดสอบแรงดัดและแรงอัดด้วยเครื่องทดสอบที่อายุ 28 วัน ตามมาตรฐาน ASTM

8) เมื่อได้สัดส่วนตามการทดสอบกำลังอัดและกำลังดัดที่ดีที่สุดแล้วจะทำการประกอบแบบหล่อตัวอย่างโดยใช้ไม้แบบให้มีขนาด 30×30×2.5 เซนติเมตร เพื่อนำไปทดสอบหาความสามารถในการป้องกันความร้อน โดยใช้อัตราส่วนผสมที่ให้กำลังมากที่สุดจากการทดลองขั้นต้น

3. ผลการทดลองและอภิปรายผล

3.1 กำลังอัด

ผลการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตเสริมเส้นใยผักตบชวาขนาด 1.5 และ 2.5 เซนติเมตร ตามอัตราส่วนร้อยละ 0.3, 0.4 และ 0.5 ของน้ำหนักคอนกรีต โดยใช้ค่ากำลังอัดประลัยของคอนกรีตที่ 180 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ที่อายุการบ่ม 28 วัน ดังแสดงตามตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลการทดสอบกำลังอัด

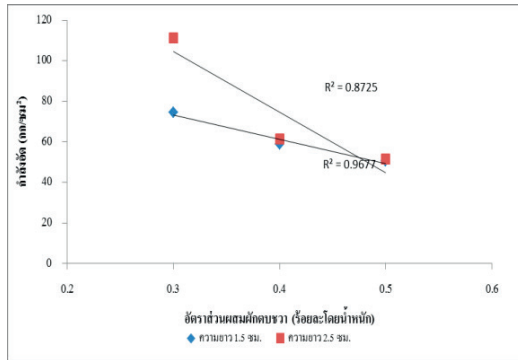
ความยาว ของเส้นใย ผักตบชวา (เซนติเมตร)	กำลังอัดเฉลี่ย (กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร) ที่อัตราส่วนผักตบชวา (ร้อยละ)			
	0	0.3	0.4	0.5
1.5	157.9	74.5	58.7	50.5
2.5		111.2	61.5	51.4

จากตารางที่ 1 ซึ่งเป็นผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตเสริมเส้นใยผักตบชวาที่อัตราส่วนผักตบชวาร้อยละ 0.3, 0.4 และ 0.5 ต่อน้ำหนักคอนกรีต ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่า คอนกรีตที่เสริมเส้นใยผักตบชวาทั้ง 2 ขนาดในทุกอัตราส่วนผสม ค่ากำลังอัดที่ได้นั้นมีค่าน้อยกว่าคอนกรีตที่ไม่มีการผสมเส้นใยผักตบชวาคิดเป็น 83.4, 99.2 และ 107.4 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตรของขนาดเส้นใยความยาว 1.5 เซนติเมตรตามลำดับ และคิดเป็น 46.7, 96.4 และ 106.5 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตรของขนาดเส้นใยความยาว 2.5 เซนติเมตรตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกำลังอัดระหว่างคอนกรีตเสริมเส้นใยผักตบชวาที่ให้กำลังอัดสูงสุดกับคอนกรีตที่ไม่ได้ผสมเส้นใยผักตบชวา พบว่ามีความแตกต่างกันร้อยละ 29.6 สาเหตุที่เป็นเช่นนี้อาจเกิดจากการผสมเส้นใยผักตบชวาเข้าไปในคอนกรีตนั้นก่อให้เกิดช่องว่างในตัวคอนกรีตอันเนื่องมาจากซีเมนต์เพสต์ (Cement Paste) บางส่วนถูกแทนที่ด้วยผักตบชวาซึ่งทำให้การจับตัวกันของคอนกรีตไม่เป็นเนื้อเดียวกัน โดยจะเห็นได้ว่าที่อัตราส่วนผสมที่ร้อยละ 0.3 ต่อน้ำหนักคอนกรีต ซึ่งเป็นอัตราส่วนผสมน้อยที่สุดนั้นให้กำลังรับแรงอัดมากกว่าส่วนผสมอื่น และมีย่าน้อยลงตามอัตราส่วนผสมที่มากขึ้นด้วย นอกจากนี้

ช่องว่างที่เกิดขึ้นอาจเกิดจากในช่วงของการกวนผสมนั้นเกิดจากผลของ Balling Effect เกิดจากการกระจุกตัวกันของผักตบชวา ณ จุดใดจุดหนึ่งในเนื้อของคอนกรีตทำให้การผสมไม่ทั่วถึง ส่งผลให้รับกำลังอัดได้น้อยกว่าคอนกรีตล้วนที่มีการรวมตัวกันของคอนกรีตที่สมบูรณ์

เมื่อเปรียบเทียบคอนกรีตเสริมเส้นใยผักตบชวาขนาด 2.5 เซนติเมตร และที่ขนาด 1.5 เซนติเมตร จะพบว่า คอนกรีตเสริมเส้นใยผักตบชวาขนาด 2.5 เซนติเมตร จะมีค่าความสามารถในการรับกำลังอัดได้มากกว่า คอนกรีตเสริมเส้นใยผักตบชวาขนาด 1.5 เซนติเมตร พิจารณาที่อัตราส่วนผสมร้อยละ 0.3, 0.4 และ 0.5 ต่อน้ำหนักคอนกรีต มีอัตราความแตกต่างในการรับกำลังอัดร้อยละ 33.03, 4.66 และ 1.78 ตามลำดับ สาเหตุเนื่องจากคอนกรีตเสริมเส้นใยผักตบชวาขนาด 2.5 เซนติเมตร มีพื้นที่รอบผิวมากกว่าขนาด 1.5 เซนติเมตร จึงทำให้มีแรงดึงผิวมากสามารถจับตัวกันได้ดีกว่า

ที่คอนกรีตผสมเส้นใยผักตบชวาขนาด 2.5 เซนติเมตร อัตราส่วนผสมร้อยละ 0.3 ต่อน้ำหนักคอนกรีต พบว่าให้กำลังอัดสูงสุดโดยเฉลี่ยเท่ากับ 111.2 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร เมื่อเปรียบเทียบกับคอนกรีตที่ผสมผักตบชวาในอัตราส่วนต่าง ๆ เนื่องจากคุณสมบัติด้านความเหนียวของเส้นใยผักตบชวา ทำให้สามารถรับกำลังอัดได้มากถึงแม้จะมีช่องว่างในคอนกรีตมากกว่าเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับผักตบชวาขนาด 1.5 เซนติเมตร ตลอดจนผักตบชวาขนาด 2.5 เซนติเมตรนั้น มีพื้นที่รอบผิวตลอดความยาวมากกว่า จึงทำให้มีหน่วยแรงยึดเกาะ (Bond Stress ; mS) ระหว่างผิวของผักตบชวาและคอนกรีตได้ดีกว่า



รูปที่ 1 ความสัมพันธ์ของค่าแวนโน้มระหว่างกำลังรับแรงอัดกับอัตราส่วนผสมผกตบขว

จากรูปที่ 1 แสดงความสัมพันธ์ของค่าแวนโน้มระหว่างกำลังรับแรงอัดกับอัตราส่วนผสมผกตบขว จะเห็นว่าความสัมพันธ์ของค่าแวนโน้ม (Coefficient determination ; R²) ของข้อมูลอัตราส่วนผสมผกตบขวที่ร้อยละ 0.3, 0.4 และ 0.5 ต่อหน้าหนักคอนกรีต มีค่าความสัมพันธ์ลดลงแปรผันตรงกับค่ากำลังอัดที่มีค่าแวนโน้มลดลงเช่นกันตามปริมาณอัตราส่วนผสมของผกตบขวที่เพิ่มขึ้น ทั้งขนาดความยาวของผกตบขว 1.5 และ 2.5 เซนติเมตร จากการทดสอบกำลังรับแรงอัดที่ลดลง จะเห็นว่าความสัมพันธ์ของข้อมูลอัตราส่วนผสมของผกตบขวที่ร้อยละ 0.3, 0.4 และ 0.5 ต่อหน้าหนักคอนกรีต มีค่าความสัมพันธ์สมการถดถอย (Coefficient determination ; R²) ที่ 0.87 และ 0.97 ตามลำดับ อยู่ในเกณฑ์ที่มีความสัมพันธ์กันดีมากและมีความน่าเชื่อถือสูง ดังแสดงตามรูปที่ 1

3.2 กำลังดัด

ผลการทดสอบกำลังดัดของคอนกรีตเสริมเส้นใยผกตบขวขนาด 1.5 และ 2.5 เซนติเมตร ตามอัตราส่วนร้อยละ 0.3, 0.4 และ 0.5 ของหน้าหนักคอนกรีต โดยใช้ค่ากำลังอัดประลัยของคอนกรีตที่ 180 กิโลกรัมต่อตาราง

เซนติเมตร ที่อายุการบ่ม 28 วัน ดังแสดงตามตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบกำลังดัด

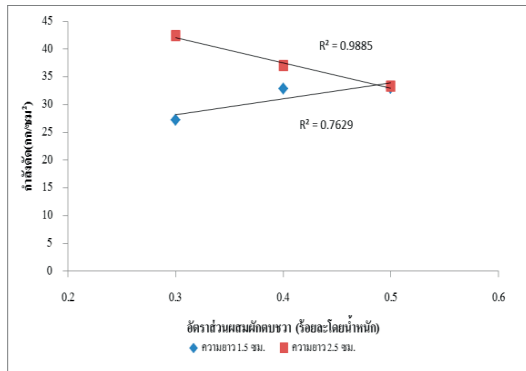
ความยาวของเส้นใยผกตบขว (เซนติเมตร)	กำลังดัดเฉลี่ย (กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร) ที่อัตราส่วนผกตบขว (ร้อยละ)			
	0	0.3	0.4	0.5
1.5	41.7	27.2	32.9	33.0
2.5		42.4	37.0	33.3

จากตารางที่ 2 ซึ่งเป็นผลการทดสอบกำลังดัดของคอนกรีตเสริมเส้นใยผกตบขวที่อัตราส่วนผกตบขวร้อยละ 0.3, 0.4 และ 0.5 ต่อหน้าหนักคอนกรีต ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่า คอนกรีตที่เสริมเส้นใยผกตบขวทั้ง 2 ขนาดในทุกอัตราส่วนผสม ค่ากำลังดัดที่ได้นั้นมีค่าน้อยกว่าคอนกรีตที่ไม่มีการผสมเส้นใยผกตบขวคิดเป็น 14.5, 8.8 และ 8.7 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตรของขนาดเส้นใยความยาว 1.5 เซนติเมตรตามลำดับ และคิดเป็น -0.7, 4.7 และ 8.4 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตรของขนาดเส้นใยความยาว 2.5 เซนติเมตรตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกำลังดัดระหว่างคอนกรีตเสริมเส้นใยผกตบขวที่ให้กำลังดัดสูงสุดกับคอนกรีตที่ไม่ได้ผสมเส้นใยผกตบขว พบว่ามีความแตกต่างกันร้อยละ 1.66 เนื่องจากผลการผสมเส้นใยผกตบขวเข้าไปในคอนกรีตนั้นก่อให้เกิดช่องว่างในตัวคอนกรีตอันเนื่องมาจากซีเมนต์เพสต์ (Cement Paste) บางส่วนถูกแทนที่ด้วยผกตบขวซึ่งทำให้การจับตัวกันของคอนกรีตไม่เป็นเนื้อเดียวกัน โดยจะเห็นได้ว่าที่อัตราส่วนผสมที่ร้อยละ 0.3 ต่อหน้าหนักคอนกรีต ซึ่งเป็นอัตราส่วนผสมน้อยที่สุดนั้นให้กำลังรับแรงดัดมากกว่าส่วนผสมอื่น และมีค่าน้อยลงตามอัตราส่วนผสมที่มากขึ้น ด้วยช่องว่างที่เกิดขึ้นอาจเกิดจากในช่วงของการ

กวนผสมนั้นเกิดจาก Balling Effect ที่มีการกระจุกตัวกันของผักตบชวา ณ จุดใดจุดหนึ่งในเนื้อของคอนกรีตทำให้การผสมไม่ทั่วถึง ส่งผลให้รับกำลังดัดได้น้อยกว่าคอนกรีตล้วนที่มีการรวมตัวกันของคอนกรีตที่สมบูรณ์

เมื่อเปรียบเทียบคอนกรีตเสริมเส้นใยผักตบชวาวขนาด 2.5 เซนติเมตร และที่ขนาด 1.5 เซนติเมตร จะพบว่า คอนกรีตเสริมเส้นใยผักตบชวาวขนาด 2.5 เซนติเมตร จะมีค่าความสามารถในการรับกำลังดัดได้มากกว่า คอนกรีตเสริมเส้นใยผักตบชวาวขนาด 1.5 เซนติเมตร พิจารณาที่อัตราส่วนผสมร้อยละ 0.3, 0.4 และ 0.5 ต่อน้ำหนักคอนกรีต มีอัตราความแตกต่างในการรับกำลังดัดร้อยละ 35.75, 11.11 และ 1.06 ตามลำดับ สาเหตุเนื่องจากคอนกรีตเสริมเส้นใยผักตบชวาวขนาด 2.5 เซนติเมตร มีพื้นที่รอบผิวมากกว่าขนาด 1.5 เซนติเมตร จึงทำให้มีแรงยึดเหนี่ยวมากสามารถจับตัวกันได้ดีกว่า

ที่คอนกรีตผสมเส้นใยผักตบชวาวขนาด 2.5 เซนติเมตร อัตราส่วนผสมร้อยละ 0.3 ต่อน้ำหนักคอนกรีต พบว่าให้กำลังดัดสูงสุดโดยเฉลี่ยเท่ากับ 42.4 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร เมื่อเปรียบเทียบกับคอนกรีตที่ผสมผักตบชวาในอัตราส่วนต่าง ๆ เนื่องจากคุณสมบัติด้านความเหนียวของเส้นใยผักตบชวา ทำให้สามารถรับกำลังดัดได้มากถึงแม้จะมีช่องว่างในคอนกรีตมากกว่าเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับผักตบชวาขนาด 1.5 เซนติเมตร ตลอดจนผักตบชวาวขนาด 2.5 เซนติเมตรนั้น มีพื้นที่รอบผิวตลอดความยาวมากกว่า จึงทำให้มีหน่วยแรงยึดเกาะ (bond stress ; mS) ระหว่างผิวของผักตบชวาและคอนกรีตได้ดีกว่า

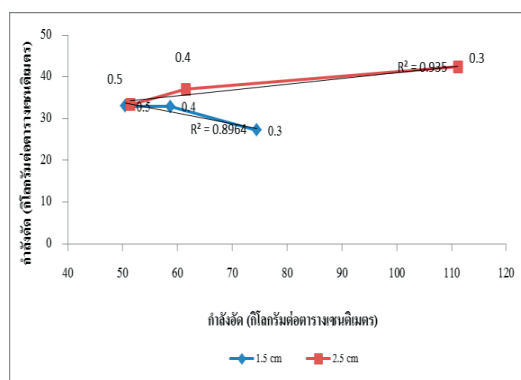


รูปที่ 2 ความสัมพันธ์ของค่าแนวโน้มระหว่างกำลังรับแรงดัดกับอัตราส่วนผสมผักตบชวา

จากรูปที่ 2 แสดงความสัมพันธ์ของค่าแนวโน้มระหว่างกำลังรับแรงดัดกับอัตราส่วนผสมผักตบชวา จะเห็นว่าความสัมพันธ์ของแนวโน้ม (Coefficient determination ; R2) ของข้อมูลอัตราส่วนผสมผักตบชวาที่ร้อยละ 0.3, 0.4 และ 0.5 ต่อน้ำหนักคอนกรีต มีแนวโน้มความสัมพันธ์ลดลงแปรผกผันตรงกับค่ากำลังดัดที่มีแนวโน้มลดลงเช่นกันตามปริมาณอัตราส่วนผสมของผักตบชวาที่เพิ่มขึ้น ทั้งขนาดความยาวของผักตบชวา 1.5 และ 2.5 เซนติเมตร จากผลการทดสอบกำลังรับแรงดัดที่ลดลง จะเห็นว่าความสัมพันธ์ของข้อมูลที่อัตราส่วนผสมของผักตบชวาที่ร้อยละ 0.3, 0.4 และ 0.5 ต่อน้ำหนักคอนกรีตมีค่าความสัมพันธ์สมการถดถอย (Coefficient determination ; R2) ที่ 0.76 และ 0.99 ตามลำดับ อยู่ในเกณฑ์ที่มีความสัมพันธ์กันดีมากและมีความน่าเชื่อถือสูง ดังแสดงตามรูปที่ 2

3.3 อัตราส่วนที่เหมาะสมของคอนกรีตเสริมเส้นใยผักตบชวา

จากการทดสอบหาค่ากำลังอัด และแรงดัด ได้สร้างกราฟความสัมพันธ์เพื่อใช้เป็นอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุดและมีคุณสมบัติที่จะสามารถนำไปผลิตแผ่นผนังสำเร็จรูปทั่วไปได้ จากการทดสอบคอนกรีตเสริมเส้นใยผักตบชวาทั้งสองกรณี พบว่ากำลังอัดมากที่สุดเท่ากับ 111.2 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และกำลังดัดมากที่สุดเท่ากับ 42.35 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ที่ความยาวผักตบชวา 2.5 เซนติเมตร ของอัตราส่วนผสมร้อยละ 0.3 ต่อน้ำหนักคอนกรีต เนื่องจากผักตบชวาขนาด 2.5 เซนติเมตร มีพื้นที่ผิวมากกว่าจึงทำให้เกิดหน่วยแรงยึดเกาะมาก มีผลให้ผักตบชวากับคอนกรีตสามารถยึดจับตัวกัน และสามารถรับแรงได้มากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับอัตราส่วนผสมอื่น ตลอดจนคุณสมบัติความเหนียวของเส้นใยผักตบชวา ซึ่งเกิดจากการเรียงตัวในเนื้อคอนกรีตที่คลุกเคล้ากันในลักษณะระเกะระกะ ดังนั้นจึงได้นำเอาส่วนผสมที่เหมาะสมดังกล่าวนี้ไปทำการทดสอบหาค่าความสามารถในการป้องกันความร้อนต่อไป ดังแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดและกำลังรับแรงดัด

3.4 ความสามารถในการป้องกันความร้อน

จากผลการทดสอบค่าความต้านทานความร้อนของคอนกรีตเสริมเส้นใยผักตบชวาขนาด 2.5 เซนติเมตร ตามอัตราส่วนร้อยละ 0.3 ต่อน้ำหนักคอนกรีต และคอนกรีตที่ไม่ได้เสริมเส้นใยผักตบชวา โดยใช้ค่ากำลังอัดเฉลี่ยของคอนกรีตที่ 180 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ที่อายุการบ่ม 28 วัน พบว่าคอนกรีตเสริมเส้นใยผักตบชวามีค่าความต้านทานความร้อน 0.141 ตารางเมตรต่อเคลวินต่อวัตต์ ซึ่งมีค่ามากกว่าคอนกรีตที่ไม่ได้เสริมเส้นใยผักตบชวา ซึ่งมีค่าความต้านทานความร้อนเท่ากับ 0.130 ตารางเมตรต่อเคลวินต่อวัตต์ สาเหตุที่เป็นเช่นนี้ อาจเกิดจากการผสมเส้นใยผักตบชวาเข้าไปในคอนกรีตนั้นก่อให้เกิดช่องว่างในตัวของคอนกรีตอันเนื่องมาจากซีเมนต์เพสต์ (Cement Paste) บางส่วนถูกแทนที่ด้วยผักตบชวา ช่องว่างที่เกิดขึ้นนี้จะทำหน้าที่ดูดซับความร้อนไว้ และลดการส่งผ่านความร้อนจากด้านหนึ่งไปยังอีกด้านหนึ่งทำให้คอนกรีตที่เสริมเส้นใยผักตบชวามีค่าความต้านทานความร้อนมากกว่าคอนกรีตที่ไม่ได้เสริมเส้นใยผักตบชวา ดังนั้นเมื่อนำไปทำเป็นแผ่นผนังสำเร็จรูปที่มีค่าความต้านทานความร้อนมาก จะมีความสามารถในการป้องกันความร้อนมาก เมื่อคอนกรีตเสริมเส้นใยผักตบชวานั้นมีความต้านทานความร้อนมากกว่าคอนกรีตที่ไม่ได้เสริมเส้นใยผักตบชวา แสดงให้เห็นว่าคอนกรีตที่เสริมเส้นใยผักตบชวานั้นมีความสามารถในการป้องกันความร้อนมากกว่าคอนกรีตที่ไม่ได้เสริมเส้นใยผักตบชวา สาเหตุเกิดจากคอนกรีตที่มีการเสริมเส้นใยผักตบชวานั้นเป็นวัสดุที่ประกอบด้วยช่องโพรงเล็ก ๆ (Close cell) และช่องอากาศภายในวัสดุที่มีลักษณะเป็นแบบปิดทึบ (Totally Enclosed) เรียกว่าฉนวนมวลสาร (Mass Insulation) นั่นเอง

ซึ่งช่องเล็ก ๆ เหล่านี้เกิดขึ้นจากเส้นใยเซลลูโลส ดังนั้นคอนกรีตเสริมเส้นใยผักตบชวามีคุณสมบัติที่สามารถนำมาทำเป็นแผ่นผนังสำเร็จรูปทั่วไปได้

4. สรุปผล

จากการศึกษาการทดสอบกำลังรับแรงอัด กำลังรับแรงดัดและความสามารถในการป้องกันความร้อนของแผ่นคอนกรีตเสริมเส้นใยผักตบชวาสามารถสรุปได้ดังนี้ 1) การทดสอบกำลังรับแรงอัด และกำลังรับแรงดัดของคอนกรีตเสริมเส้นใยผักตบชวาขนาด 1.5 เซนติเมตร 2.5 เซนติเมตร อัตราส่วนร้อยละ 0.3, 0.4 และ 0.5 ต่อน้ำหนักคอนกรีต จะพบว่าคอนกรีตเสริมเส้นใยผักตบชวาที่ขนาดความยาวของเส้นใย 2.5 เซนติเมตร อัตราส่วนผสมร้อยละ 0.3 ต่อน้ำหนักคอนกรีต จะมีกำลังรับแรงอัด (111.2 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร) และกำลังรับแรงดัด (42.35 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร) มากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับคอนกรีตเสริมเส้นใยผักตบชวาที่ขนาด และอัตราส่วนผสมต่าง ๆ และ 2) คอนกรีตเสริมเส้นใยผักตบชวามีค่าความต้านทานความร้อนมากกว่าคอนกรีตที่ไม่ได้เสริมเส้นใยผักตบชวา แสดงว่าคอนกรีตเสริมเส้นใยผักตบชวามีความสามารถในการป้องกันความร้อนได้ดีกว่าคอนกรีตที่ไม่ได้เสริมเส้นใยผักตบชวา

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่ให้การสนับสนุนเครื่องมืออุปกรณ์และสถานที่เพื่อการวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- [1] ประโยชน์ผักตบชวา. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก : <http://www.school.net.th/library/webcontest2003/100team/dlbs085/interEx/informate/pak-tob/useful.htm> (14 กันยายน 2558).
- [2] ฉนวนกันความร้อน. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก : <http://www.rf-foam.com/index.php?lay=show&ac=article&Id=538770015> (10 ธันวาคม 2557).
- [3] สุวัฒน์ชัย ปลื้มฤทัย, 2551. การพัฒนาคอนกรีตบล็อกจากผักตบชวา. วิทยานิพนธ์ปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาสถาปัตยกรรม. มหาวิทยาลัยศิลปากร.
- [4] พยุงศักดิ์ ศรีอำไพ. ศึกษาคุณสมบัติเชิงกลและคุณสมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์มอร์ต้าเสริมเส้นใยผักตบชวา. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก : <http://tinyurl.com/311-0024Abstract-doc> (1 ธันวาคม 2554).
- [5] กิตติ เต็มมธุรพจน์, โสภา วิศิษฎ์ศักดิ์และโจเซฟ เคดารี, 2554. การพัฒนากะลาปาล์มบล็อกน้ำหนักเบาที่มีประสิทธิภาพในการลดความร้อนเข้าสู่อาคาร. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอาคาร คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

การศึกษาสมบัติการป้องกันยูวีและการต้านทานแบคทีเรียของ ผ้าฝ้ายที่ตกแต่งด้วยเซรีซินจากน้ำลอกกาวยไหม

Alternative study on UV protection and Anti-bacterial properties of cotton fabric finished with sericin from degumming solution

กุลธิดา เบญจมาลา¹ และ สุจิระ ขอจิตต์เมตต์²

บทคัดย่อ

เซรีซิน (Sericin) หรือกาวยไหม เป็นโปรตีนธรรมชาติที่มีกรดอะมิโน 16 ชนิดที่มีประโยชน์ เซรีซินทำหน้าที่เคลือบและยึดไฟโบรอิน (Fibroin) หรือเส้นใยไหมไว้ด้วยกัน ในการผลิตผ้าไหม จึงต้องมีขั้นตอนการลอกกาวยไหม ซึ่งเป็นการกำจัดเซรีซินออกเหลือแต่เส้นใยไหมเพื่อนำไปทอ ส่วนน้ำลอกกาวยไหมที่มีเซรีซินผสมอยู่จะถูกทิ้งโดยไม่ได้นำมาใช้ให้เกิดประโยชน์ เพื่อเป็นการลดของเสียและเพิ่มมูลค่าให้กับผ้าฝ้ายทอ ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะศึกษาการนำเซรีซินจากน้ำลอกกาวยไหม มาตกแต่งบนผ้าฝ้ายทอหลายชุด โดยวิธี จุ่มอัด-อบแห้ง (pad-dry) เพื่อเพิ่มสมบัติการป้องกันรังสียูวี และการต้านทานแบคทีเรียให้แก่ผ้าฝ้าย งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสมบัติการป้องกันยูวี และการต้านทานแบคทีเรียของผ้าฝ้ายที่ตกแต่งด้วยเซรีซินจากน้ำลอกกาวยไหมในสภาวะต่าง ๆ จากผลการทดสอบการป้องกันรังสียูวีและการต้านทานแบคทีเรียของผ้าฝ้ายที่ตกแต่งด้วยเซรีซินจากน้ำลอกกาวยไหม พบว่าความเข้มข้นของเซรีซินและอุณหภูมิการอบแห้งมีผลต่อสมบัติการป้องกันยูวี และการต้านทานแบคทีเรียของผ้าฝ้าย โดยผ้าฝ้ายที่ตกแต่งด้วยเซรีซินจากน้ำลอกกาวยไหมที่ใช้ปริมาณเซรีซินเข้มข้น 3.0% จุ่มอัดด้วยเครื่องบีบอัดที่ 95% pick up แล้วอบแห้งด้วยเครื่องเซตหน้าผ้า ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 นาที เป็นสภาวะที่ดีที่สุดในการตกแต่ง จากผลการทดลอง ยืนยันได้ว่าเซรีซินจากน้ำลอกกาวยไหมมีศักยภาพนำมาประยุกต์ใช้ตกแต่งบนผ้าฝ้าย เพื่อการป้องกันรังสียูวีและต้านทานแบคทีเรีย

คำสำคัญ: การลอกกาวยไหม, เซรีซิน, การป้องกันยูวี, การต้านทานแบคทีเรีย

¹ นักศึกษาปริญญาโท สาขาวิชาสิ่งทอ ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งทอ คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

² อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมสิ่งทอ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

Abstract

Sericin is natural protein which has 16 types of usable amino acid. Sericin was coated on fibroin and stick fibroin or silk fiber together. Silk degumming is a process of silk fabric production, to extract sericin off, to get fibroin fiber for weaving. The degumming solution containing sericin will not be used for any benefit. Therefore, to reduce waste and value-added woven fabric, the researcher aims to study using sericin from degumming solution treat on plain weave cotton fabric by pad-dry method to enhance UV protection and Anti-bacterial properties of cotton fabric. This research proposes to examine UV protection and Anti-bacterial properties of finished cotton fabric with sericin from degumming solution for various condition. According to the results, the sericin concentration and drying temperature effect on UV protection and anti-bacterial properties of finished cotton fabric. The cotton fabric was finished with 3.0% concentration of sericin from degumming solution, padded with 95% pick-up by padder machine and dried at 100°C by stenter machine for 1 minute is the best condition for finishing. The results confirmed that sericin have potential application for cotton fabric finishing and producing UV protection and Anti-bacterial protection

Keywords: Silk Degumming, Sericin, UV protection, Anti-bacterial

1. บทนำ

การปลูกหม่อนเลี้ยงไหมเพื่อการทอผ้าไหมในประเทศไทยมีมายาวนาน โดยเฉพาะในภาคอีสานเป็นแหล่งผลิตผ้าไหมที่ใหญ่ที่สุดในประเทศไทย โดยเริ่มต้นจากการปลูกหม่อนเลี้ยงไหมเพื่อทอผ้าไหมใช้ในครัวเรือน จนพัฒนาเป็นการปลูกหม่อนเลี้ยงไหมเพื่อทอผ้าไหมในระดับอุตสาหกรรมในปัจจุบัน ในการผลิตผ้าไหมจะมีขั้นตอนการลอกกาไหม (Silk Degumming) เนื่องจากเส้นไหม (Silk Fiber) เป็นเส้นใยโปรตีนจากธรรมชาติประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ส่วนที่เป็นเส้นใยไหมเรียกว่าไฟโบรอิน (Fibroin) และส่วนที่เป็นกาไหมเรียกว่าเซรีซิน (Sericin) ซึ่งเป็นโปรตีนธรรมชาติที่มีกรดอะมิโน 16 ชนิด ช่วยต้านอนุมูลอิสระ และช่วยกำจัดเชื้อแบคทีเรียบางชนิด[1] การลอกกาไหมเป็นการขจัด เซรีซินที่ทำหน้าที่เคลือบและ

ยึดเส้นใยไหมไว้ด้วยกันให้หลุดออกเหลือแต่เส้นใยไหมนำไปทอหรือย้อมต่อไป ส่วนน้ำที่ได้จากการลอกกาไหมที่มีเซรีซินผสมอยู่นั้นเรียกว่าน้ำลอกกาไหม (Degumming Solution) จะถูกทิ้งโดยไม่ได้นำไปใช้ให้เกิดประโยชน์

ปัจจุบันมีการศึกษาวิจัยสมบัติของเซรีซินกันอย่างแพร่หลายโดยมีการวิจัยพัฒนาแผ่นเนื้อเยื่อปิดแผลจากเซรีซิน ช่วยกระตุ้นคอลลาเจน[2] มีการศึกษาทางด้านเภสัชวิทยาพบว่าเซรีซินมีฤทธิ์ยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์[3] เซรีซินยังถูกวิจัยและพัฒนาเป็นผงไหมเพื่อใช้ทำเครื่องสำอางและอาหารเสริม[1] และมีการศึกษาการประยุกต์ใช้เซรีซินมาตกแต่งบนผ้าโพลีเอสเตอร์ซึ่งช่วยเพิ่มสมบัติการป้องกันรังสียูวีได้ในระดับดี-ดีมาก[4]

ปัจจุบันผู้บริโภคมีความต้องการผ้าที่มีสมบัติพิเศษในการสวมใส่ นอกเหนือจากสมบัติพื้นฐานของผ้าเอง เช่น สวมใส่สบาย ระบาย

ความชื้นได้ดี สามารถป้องกันรังสียูวีได้ ด้านทานต่อแบคทีเรียได้ และผ้าฝ้ายก็เป็นผ้าที่ได้รับความนิยมในการสวมใส่ เพราะดูความชื้นได้ดี ระบายความชื้นได้เร็ว ไม่สะสมความร้อนและไฟฟ้าสถิต จึงสวมใส่สบาย ใส่ได้ทุกฤดูกาล แต่มีข้อเสียคือ ยับง่าย มีความสามารถในการป้องกันรังสียูวีน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับผ้าเรยอน ไหม ขนสัตว์ ไนลอน และโพลีเอสเตอร์ ภายใต้สภาวะเดียวกัน และมีความสามารถในการต้านทานต่อแบคทีเรีย และเชื้อราต่ำ เมื่อผ้าฝ้ายเปียกชื้น จะมีจุดดำ ๆ เกิดขึ้น มีกลิ่นเหม็นอับ และเปื่อยง่าย [5]

จากที่กล่าวมาข้างต้นผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะศึกษาความเป็นไปได้ในการนำเซรีซินจากน้ำลอกกาไหมมาตกแต่งบนผ้าฝ้าย 100% ทอลายขัดโดยวิธี จุ่มอัด-อบแห้ง (pad-dry) ในสภาวะที่แตกต่างกัน เพื่อเพิ่มสมบัติการป้องกันรังสียูวีและการต้านทานแบคทีเรียให้แก่ผ้าฝ้าย และทำการทดสอบการป้องกันรังสียูวีและการต้านทานแบคทีเรียของผ้าฝ้ายที่ไม่ผ่านการตกแต่งกับผ้าฝ้ายที่ตกแต่งด้วยเซรีซินจากน้ำลอกกาไหมในสภาวะต่าง ๆ เปรียบเทียบกัน เพื่อศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการตกแต่ง เพราะหากสามารถนำเซรีซินจากน้ำลอกกาไหมมาตกแต่งบนผ้าฝ้ายได้จะทำให้เกิดประโยชน์เป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับน้ำทิ้งในขั้นตอนการลอกกาไหม ช่วยลดมลภาวะทางสิ่งแวดล้อม และเพิ่มสมบัติพิเศษนอกเหนือจากสมบัติพื้นฐานให้กับผ้าฝ้าย เป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับผ้าฝ้าย อีกทั้งยังสามารถนำผลการวิจัยไปใช้ให้เกิดประโยชน์ในด้านต่าง ๆ ได้

2. วิธีการทดลอง

นำรังไหมตัด (Pierced Cocoon) พันธุ์นางลายซึ่งเป็นไหมสีเหลืองพันธุ์พื้นเมืองไทยมาลอกกาไหมออกด้วยน้ำกลั่นภายใต้ความดันสูง (High Pressure Degumming) ในอัตราส่วน

รังไหม (g) : น้ำกลั่น (ml) เท่ากับ 1:40 ที่อุณหภูมิ 115 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 37 นาที [6] นำสารละลายเซรีซินที่ได้มาทำให้เป็นผงด้วยวิธี Freeze Dry เพื่อแยกการหาความเข้มข้นของเซรีซินในการตกแต่ง จากนั้นตักแต่งผ้าฝ้าย 100% ทอลายขัด โครงสร้าง 40x40/133x72 ที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกและการฟอกขาว ด้วยเซรีซินที่มีความเข้มข้นดังนี้ 0.5%, 1.0%, 1.5%, 2.0%, 2.5% และ 3.0% โดยวิธี จุ่มอัด-อบแห้งด้วยเครื่องบีบอัด (Padder M/C) ที่ 95% Pick up และอบแห้งด้วยเครื่องเซตหน้าผ้า (Stenter M/C) ที่อุณหภูมิ 100, 120 และ 140 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 นาที ตามลำดับ จากนั้นบันทึกลักษณะสัณฐานของผ้าฝ้ายก่อนการตกแต่งและผ้าฝ้ายที่ตกแต่งด้วยเซรีซินจากน้ำลอกกาไหมด้วยเครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM) รุ่น JEM-6510, บริษัท JEOL (Japan) แล้วทำการทดสอบสมบัติการป้องกันรังสียูวี (UV Protection) โดยใช้มาตรฐานการทดสอบ AATCC 183 เพื่อดูค่าความสามารถในการป้องกันรังสียูวี (Ultraviolet Protection Factor : UPF) โดยระดับการป้องกันรังสียูวีสามารถกำหนดเป็น 3 ระดับ คือ ระดับการป้องกันรังสียูวี “ดี (Good)” ค่า UPF อยู่ในช่วง 15-24, ระดับการป้องกันรังสียูวี “ดีมาก (Very Good)” ค่า UPF อยู่ในช่วง 25-39 และระดับการป้องกันรังสียูวี “ดีเยี่ยม (Excellent)” ค่า UPF เท่ากับ 40 หรือมากกว่า [7,8] และสมบัติการต้านทานแบคทีเรีย (Anti-Bacterial) โดยใช้มาตรฐานการทดสอบการยับยั้งเชื้อ (Inhouse Standard Method) เพื่อหา Clear Zone (mm) คือบริเวณที่เกิดการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย ซึ่งวัดระยะจากจุดกึ่งกลางของชิ้นตัวอย่างถึงขอบบริเวณที่เกิดการยับยั้ง ที่ศูนย์เครื่องมือ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล

ธัญบุรี แล้วเปรียบเทียบสมบัติการป้องกันรังสียูวี และการต้านทานแบคทีเรียของผ้าฝ้าย

3. ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

จากการศึกษาสมบัติการป้องกันรังสียูวี และการต้านทานแบคทีเรียของผ้าฝ้ายที่ตกแต่งด้วยเซรีซินจากน้ำลอกกาไหมที่ความเข้มข้น 0.5%, 1.0%, 1.5%, 2.0%, 2.5% และ 3.0% โดยวิธี จุ่มอัด-อบแห้งด้วยเครื่องบีบอัด (Padder M/C) ที่ 95% Pick up และอบแห้งด้วยเครื่องเซตหน้าผ้า (Stenter M/C) ที่ อุณหภูมิ 100, 120 และ 140 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 นาที ตามลำดับ ตัวแปรที่ทำการศึกษาประกอบไปด้วย ความเข้มข้นของเซรีซินและอุณหภูมิในการอบแห้ง ผลที่ได้เป็นดังนี้

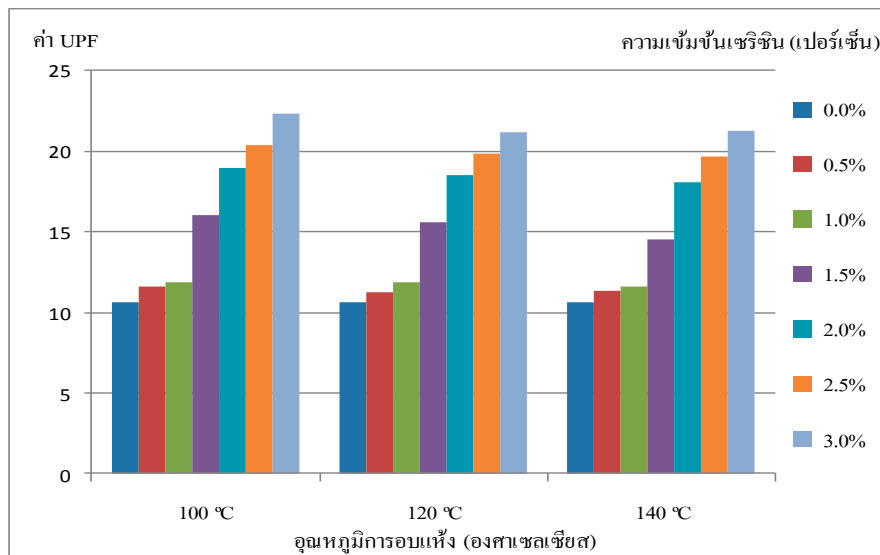
3.1 ค่าการป้องกันรังสียูวี (UPF)

จากผลการทดลองการป้องกันรังสียูวีของผ้าฝ้ายที่ไม่ผ่านการตกแต่งเปรียบเทียบกับผ้าฝ้ายที่ตกแต่งด้วยเซรีซินที่สถานะต่าง ๆ จากรูปที่ 1 พบว่าผ้าฝ้ายที่ผ่านการตกแต่งด้วยเซรีซินมีค่า UPF สูงกว่าผ้าฝ้ายที่ไม่ผ่านการตกแต่งและค่าการป้องกันรังสียูวี(UPF)ของผ้าที่ผ่านการตกแต่งมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นตามความเข้มข้นของเซรีซินที่ใช้ในการตกแต่งโดยผ้าฝ้ายที่ไม่ผ่านการตกแต่งมีค่า $UPF = 10.65$ มีการป้องกันรังสียูวีได้ไม่ดี (ค่า $UPF < 15$) ส่วนผ้าฝ้ายที่ตกแต่งด้วยเซรีซินเข้มข้น 3.0% จุ่มอัดด้วยเครื่องบีบอัดที่ 95% pick up แล้วอบแห้งที่อุณหภูมิ 100 องศา

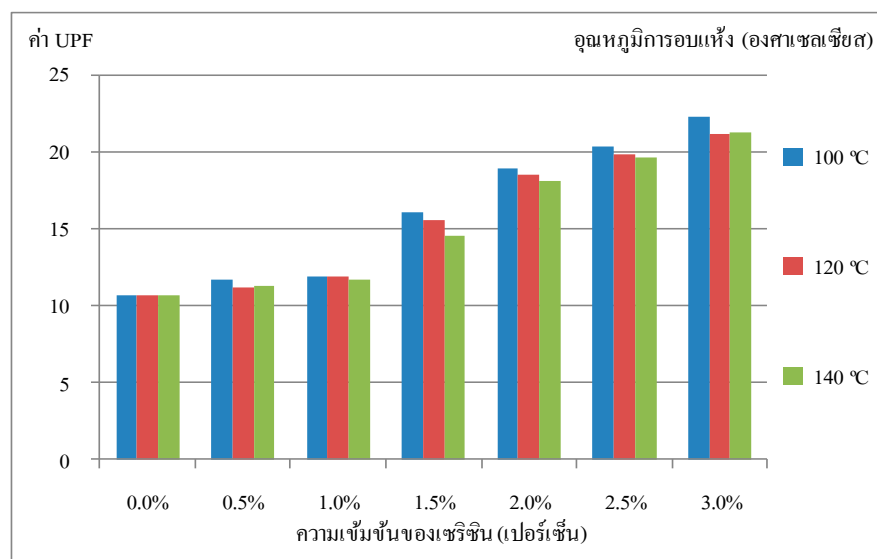
เซลเซียส เป็นเวลา 1 นาที มีสมบัติการป้องกันรังสียูวีได้ดีที่สุด มีค่า $UPF = 22.32$ มีการป้องกันรังสียูวีอยู่ในระดับดี (ค่า UPF อยู่ในช่วง 15-24) และจากรูปที่ 2 พบว่าค่าการป้องกันรังสียูวี (UPF) ของผ้าฝ้ายลดลงเมื่ออุณหภูมิการตกแต่งเพิ่มขึ้นเนื่องจากโครงสร้างเซรีซินเป็นโปรตีนจึงเปลี่ยนแปลงจากความร้อนได้ง่าย [9]

3.2 ค่าการต้านทานแบคทีเรีย

จากผลการทดลองการต้านทานแบคทีเรียของผ้าฝ้ายที่ไม่ผ่านการตกแต่งเปรียบเทียบกับผ้าฝ้ายที่ตกแต่งด้วยเซรีซินที่สถานะต่าง ๆ จากตารางที่ 1 พบว่าผ้าฝ้ายที่ไม่ได้ตกแต่งและตกแต่งด้วยเซรีซินเข้มข้น 1.0% และ 1.5% ไม่สามารถต้านทานแบคทีเรียได้ ส่วนผ้าฝ้ายที่ตกแต่งด้วยเซรีซินเข้มข้น 2.0%, 2.5% และ 3.0% สามารถต้านทานแบคทีเรียได้เนื่องจากเซรีซินมีฤทธิ์ยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์[3] เมื่อนำมาตกแต่งบนผ้าฝ้ายด้วยความเข้มข้นและสถานะที่เหมาะสมจะสามารถต้านทานแบคทีเรียได้ จากรูปที่ 3 พบว่าสมบัติการต้านทานแบคทีเรียของผ้าฝ้ายลดลงเมื่ออุณหภูมิการตกแต่งสูงขึ้น และผ้าฝ้ายที่ตกแต่งด้วยเซรีซินเข้มข้น 3.0% จุ่มอัดด้วยเครื่องบีบอัดที่ 95% pick up แล้วอบแห้งที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 1 นาที มีสมบัติการต้านทานแบคทีเรียได้ดีทั้งเชื้อ *Staphylococcus aureus* (clear zone = 3.0mm.) และ *Klebsiella pneumonia* (clear zone = 2.0 mm.) ดังรูปที่ 4



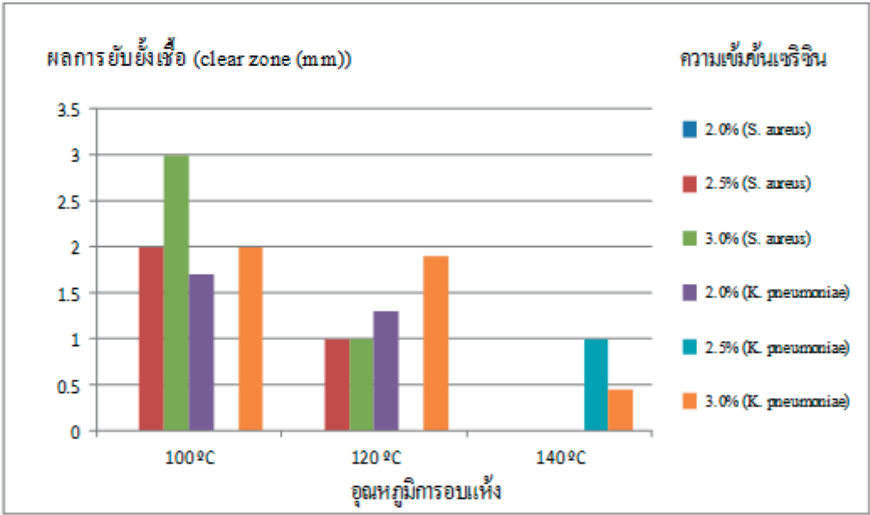
รูปที่ 1 ผลการทดลองการป้องกันรังสียูวีของผ้าฝ้ายที่ตกแต่งด้วยเซรีซินที่ความเข้มข้นต่างๆ



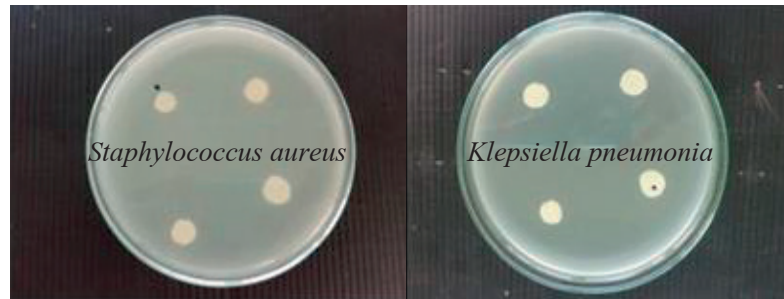
รูปที่ 2 ผลการทดลองการป้องกันรังสียูวีของผ้าฝ้ายที่ตกแต่งด้วยเซรีซินที่อุณหภูมิการอบแห้งต่างๆ

ตารางที่ 1 ผลการทดลองการต้านทานแบคทีเรียของผ้าฝ้ายที่ตกแต่งด้วยเซรีซินที่ความเข้มข้นและอุณหภูมิการอบแห้งต่างๆ

สภาวะการตกแต่ง			ผลการทดสอบการยับยั้งเชื้อ (mm)		วิธีการทดสอบ	หมายเหตุ
ความเข้มข้นเซรีซิน (%)	อุณหภูมิ (°C)	เวลา (min)	<i>Staphylococcus aureus</i> (2.91x10 ⁹ CFU/ml)	<i>Klepsiella pneumonia</i> (2.4x10 ⁷ CFU/ml)		
0.0	-	-	ไม่ยับยั้ง	ไม่ยับยั้ง	Inhouse Standard Method	*เกิด clear zone รอบชิ้นตัวอย่าง เชื้อบริเวณรอบชิ้นตัวอย่างจางลง
1.0	100	1	ไม่ยับยั้ง	ไม่ยับยั้ง		
	120		ไม่ยับยั้ง	ไม่ยับยั้ง		
	140		ไม่ยับยั้ง	ไม่ยับยั้ง		
1.5	100	1	ไม่ยับยั้ง	ไม่ยับยั้ง		
	120		ไม่ยับยั้ง	ไม่ยับยั้ง		
	140		ไม่ยับยั้ง	ไม่ยับยั้ง		
2.0	100	1	ไม่ยับยั้ง	1.7*		
	120		ไม่ยับยั้ง	1.3*		
	140		ไม่ยับยั้ง	ไม่ยับยั้ง		
2.5	100	1	2.0*	ไม่ยับยั้ง		
	120		1.0*	ไม่ยับยั้ง		
	140		ไม่ยับยั้ง	1.0*		
3.0	100	1	3.0*	2.0*		
	120		1.0*	1.9*		
	140		ไม่ยับยั้ง	0.44*		



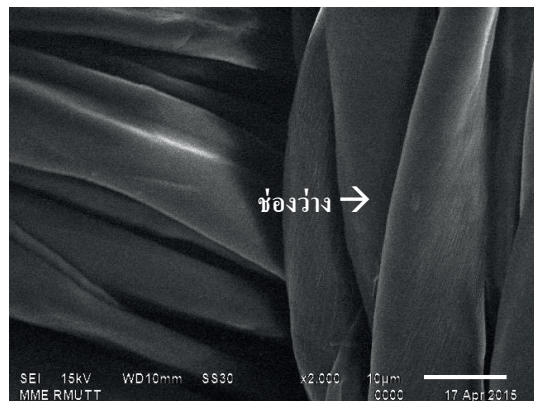
รูปที่ 3 ผลการทดลองการต้านทานแบคทีเรียของผ้าฝ้ายที่ตกแต่งด้วยเซรีซินที่ความเข้มข้นต่างๆ



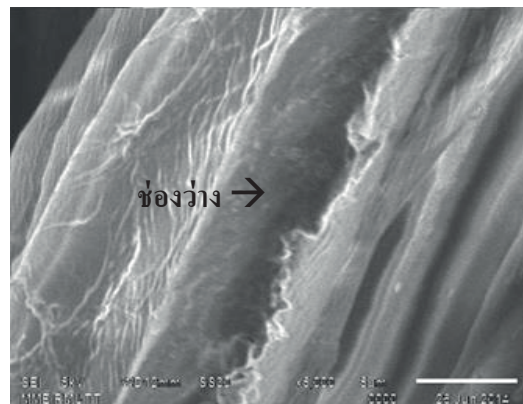
รูปที่ 4 ขัณฑ์ทดสอบการต้านทานแบคทีเรียของผ้าฝ้ายที่ตกแต่งด้วยเซริซินเข้มข้น 3.0%,
อบแห้งที่อุณหภูมิ 100°C, เป็นเวลา 1 นาที

3.3 สัณฐานวิทยาของผ้า

การวิเคราะห์ลักษณะภาพขยายของผิวผ้าฝ้ายที่ไม่ผ่านการตกแต่งเปรียบเทียบกับผ้าฝ้ายที่ผ่านการตกแต่งด้วยเซริซินที่ความเข้มข้น 3.0% จุ่มอัดด้วยเครื่องบีบอัดที่ 95% pick up แล้วอบแห้งด้วยเครื่องเซตหน้าผ้าที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 นาที ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด (Scanning Electron Microscopy : SEM) รุ่น JEM-6510, บริษัท JEOL (Japan) ด้วยกำลังขยาย 500 เท่า, ที่อุณหภูมิ 25°C พบว่า ผิวของผ้าฝ้ายที่ไม่ผ่านการตกแต่งจะมีช่องว่างระหว่างเส้นใย ส่วนผิวของผ้าฝ้ายที่ผ่านการตกแต่งจะมีเซริซินเคลือบและปิดช่องว่างระหว่างเส้นใยไว้ ดังรูปที่ 5 และรูปที่ 6 มีผลทำให้โครงสร้างของผ้าแน่นขึ้น จึงช่วยลดซับรังสียูวีที่ส่องลงมาบนผ้าทำให้รังสียูวีส่องทะลุผ่านผ้าไปได้ในปริมาณที่ลดลง เห็นได้จากผ้าฝ้ายที่ผ่านการตกแต่งด้วยเซริซินมีค่า UPF สูงกว่าผ้าฝ้ายที่ไม่ผ่านการตกแต่ง



รูปที่ 5 ภาพขยายของผิวผ้าฝ้ายที่ไม่ผ่านการตกแต่ง



รูปที่ 6 ภาพขยายของผิวผ้าฝ้ายที่ตกแต่งด้วยเซริซิน 3.0%

จากการวิเคราะห์ข้างต้นสามารถกล่าวได้ว่าความเข้มข้นของเซริซินและอุณหภูมิการตากแห้งมีผลต่อสมบัติการป้องกันยูวีและสมบัติการต้านทานแบคทีเรียของผ้าฝ้าย โดยผ้าฝ้ายที่ตากแห้งด้วยเซริซินเข้มข้น 3.0% จุ่มอัดด้วยเครื่องบีบอัดที่ 95% pick up แล้วอบแห้งด้วยเครื่องเซตหน้าผ้าที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 นาที มีสมบัติการป้องกันรังสียูวีและสมบัติการต้านทานแบคทีเรียได้ดีทั้งเชื้อ *Staphylococcus aureus* และ *Klebsiella pneumonia*

ค่า UPF และ Clear zone ของผ้าฝ้ายที่ผ่านการตากแห้งด้วยเซริซิน มีแนวโน้มสูงขึ้นตามความเข้มข้น เซริซินที่ใช้ในการตากแห้ง และ มีค่าลดลงเมื่อใช้อุณหภูมิการอบแห้งสูงขึ้น ดังนั้นการตากแห้งผ้าฝ้ายด้วยเซริซินจึงไม่เหมาะสมกับการตากแห้งที่อุณหภูมิสูง เพราะทำให้สมบัติการป้องกันยูวีและสมบัติการต้านทานแบคทีเรียของผ้าฝ้ายลดลง

4. สรุป

จากผลการทดลองการนำเซริซินจากน้ำลอกกาไหมมาตากแห้งบนผ้าฝ้ายที่สภาวะต่าง ๆ เมื่อทดสอบสมบัติการป้องกันรังสียูวี และการต้านทานแบคทีเรียของผ้าฝ้ายที่ไม่ผ่านการตากแห้งเปรียบเทียบกับผ้าฝ้ายที่ผ่านการตากแห้งที่สภาวะต่าง ๆ พบว่าผ้าฝ้ายที่ตากแห้งด้วยเซริซินมีสมบัติการป้องกันยูวีและสมบัติการต้านทานแบคทีเรียเพิ่มขึ้น โดยผ้าฝ้ายที่ตากแห้งด้วยเซริซินเข้มข้น 3.0% จุ่มอัดด้วยเครื่องบีบอัด

ที่ 95% pick up แล้วอบแห้งด้วยเครื่องเซตหน้าผ้าที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 นาที มีค่า UPF = 22.32 มีการป้องกันรังสียูวีในระดับดี และสามารถป้องกันแบคทีเรียได้ทั้งเชื้อ *Staphylococcus aureus* (clear zone = 3.0mm.) และ *Klebsiella pneumonia* (clear zone = 2.0 mm.) ซึ่งเป็นความเข้มข้นและสภาวะการตากแห้งที่เหมาะสมที่สุด จึงสรุปได้ว่าสามารถนำเซริซินจากน้ำลอกกาไหมมาตากแห้งลงบนผ้าฝ้ายเพื่อเพิ่มสมบัติการป้องกันรังสียูวีและเพิ่มสมบัติการต้านทานแบคทีเรียให้แก่ผ้าฝ้ายได้อีกทั้งยังเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับผ้าฝ้ายและเป็นการนำของเหลือจากการลอกกาไหมกลับมาใช้ให้เกิดประโยชน์

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จจุลวงได้อย่างสมบูรณ์ เพราะได้รับความช่วยเหลือและคำชี้แนะต่าง ๆ จากคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งทอ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี และคณาจารย์ สาขาวิชาเทคโนโลยีเคมีสิ่งทอ คณะอุตสาหกรรมสิ่งทอและออกแบบแฟชั่น มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร และได้รับความอนุเคราะห์ใช้เครื่องมือ/อุปกรณ์ รวมทั้งห้องปฏิบัติการ จากสาขาวิชาเทคโนโลยีเคมีสิ่งทอ คณะอุตสาหกรรมสิ่งทอและออกแบบแฟชั่น มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร, ศูนย์เครื่องมือ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, ศูนย์เครื่องมือคณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, บริษัทวีเอฟ โซลส์ซิ่ง (ประเทศไทย) จำกัด และบริษัททองเสียง

เอกสารอ้างอิง

- [1] สถาบันหม่อนไหมแห่งชาติเฉลิมพระเกียรติสมเด็จพระนางเจ้าสิริกิติ์พระบรมราชินีนาถ. **ผงไหม ผลิตภัณฑ์เครื่องใช้จากภูมิปัญญาไทย**. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก: http://203.154.212.59/qthaisilk_sub/view_updatenews.php? (Aug 25, 2012)
- [2] พรอนงค์ อร่ามวิทย์. **แผ่นเนื้อเยื่อปิดแผลจากโปรตีนกาวไหม**. งานวิจัย. ภาควิชาเกษตรกรรมปฏิบัติ. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก: http://www.research.chula.ac.th/rs_news/2553/N009_01.html (Nov 24, 2010)
- [3] Sarovat, S., Sudatis, B., Meesilpa, P., Grady, B.P., Magaraphan, R., 2003, "The use of sericin as an anti-oxidant and antimicrobial for polluted air treatment", Mater. Sci., 5 : 193-198.
- [4] Gulrajani, M. L., Brahma, K. P., Senthil-Kumar, P., Purwar, R., 2008, "Application of silk sericin to Polyester fabric", Journal of Applied Polyester Science, 109 : 314-321.
- [5] สารานุกรมเสรี. **ผ้าฝ้าย cotton**. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก: <http://th.wikipedia.org/wiki/%E0%B9%81%E0%B8%9A%E0%B8%84%E0%B8%97%E0%B8%B5%E0%B9%80%E0%B8%A3%E0%B8%B5%E0%B8%A2> (Sep 16, 2012)
- [6] รังสิมา ชลคุป, ศรัณยู พิริเยศยางกูร, ศุภานัน สมโลก, พจนารถ สุวรรณรุจิ, สุชาดา อุชชิน. **การศึกษาสมบัติการรีดเรียบของผ้าฝ้ายที่ตกแต่งด้วยเซรีซิน**. บทความ การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 45. สาขาอุตสาหกรรมเกษตร. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. หน้า 602-610.
- [7] Mongkhorrattanasit,R.,Krystufex,J.,Wiener, J.,Vikova, M., 2011, "UV properties of silk fabric dyed with eucalyptus leaf extract", The Journal of The Textile Institute. 102, 3 : 272-279.
- [8] Mongkhorrattanasit, R.,Krystufex, J.,Wiener, J.,Vikova, M., 2011, "Dyeing Fastness, and UV properties of silk and wool fabric dyed with Eucalyptus leaf extract by the Exhaustion Process", Fibres & Textiles in Eastern Europe. 19,3 : 94-99.
- [9] โมโตอิ มินะกาวะ, เออิจิชิ คาวาอิ, เข็มชัย เหมะจันท. 2530, **วิทยาการไหม เล่ม1**. คณะกรรมการส่งเสริมสินค้าไหมไทย กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม. หน้า 38.

การออกแบบและสร้างเครื่องแยกเส้นใยลูกตาลสุก

Design and Fabrication of Palmyra Fruit Fibre Separating Machine

จตุรงค์ ลังกาพินธุ์^{1*} สุนัน ปานสาคร¹ รุ่งเรือง กาลศิริศิลป์¹

อโณทัย นานบุญ¹ และณัฐพงษ์ ดอกกะฐิน¹

บทคัดย่อ

เครื่องแยกเส้นใยลูกตาลสุกถูกออกแบบและสร้างขึ้นเพื่อลดเวลาและแรงงานในการแยกเส้นใยจากเมล็ดตาลสุก เครื่องต้นแบบประกอบด้วย โครงสร้างเครื่อง ชุดแยกเส้นใยลูกตาลสุก มีลักษณะเป็นตะแกรงหมุนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 400 มิลลิเมตร ระบบส่งกำลัง และใช้มอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 1 แรงม้าเป็นต้นกำลัง การทำงานของเครื่องเริ่มจากผู้ควบคุมเครื่องป้อนลูกตาลสุกที่ผ่านการยีเนื้อตาลแล้วลงในช่องป้อนทางด้านหน้าของเครื่องเข้าสู่ชุดแยกเส้นใย ซึ่งเมล็ดตาลจะหมุนทำให้เส้นใยที่ติดกับเมล็ดตาลถูกตัดด้วยใบมีดที่อยู่ภายในชุดแยกเส้นใย โดยเส้นใยที่ถูกตัดแยกแล้วจะไหลลงช่องทางออกทางด้านล่างของเครื่อง จากผลการทดสอบพบว่าเครื่องต้นแบบสามารถทำงานได้ดีที่ความเร็วรอบของชุดแยกเส้นใยลูกตาล 400 รอบต่อนาที มีเปอร์เซ็นต์การแยกเส้นใยลูกตาลสุก $94.3 \pm 1.5\%$ ความสามารถในการทำงาน 4.8 ± 0.3 กิโลกรัมต่อชั่วโมง และมีอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้า 0.68 กิโลวัตต์-ชั่วโมง จากการวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมพบว่าเมื่อใช้เครื่องต้นแบบทำงาน 1,440 ชั่วโมงต่อปี มีค่าใช้จ่ายเฉลี่ยของเครื่อง 9 บาทต่อกิโลกรัม ระยะเวลาคืนทุน 6 เดือน และการใช้งานที่คุ้มค่าคุ้มทุน 164 ชั่วโมงต่อปี

คำสำคัญ : ต้นตาล, ลูกตาลสุก, เส้นใยลูกตาลสุก, เครื่องแยก

ABSTRACT

This research was to design and fabricate a prototype of the Palmyra fruit fibre separating machine to minimize the time and labor requirements. The prototype consists of the main frame, separating unit which diameter of separating rotor was 400 mm, a power transmission unit and a 1 hp electric motor which was used as a prime mover. In the operation, the ripe palmyra fruit without pulp were fed manually into feeding chute in front of the machine towards the separating unit. Then the fibre of fruit were cut by cutting blade of separating unit, and fell through the chute at the

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;

bottom of the machine. According to the experimental results, the optimal performance was achieved when the machine was operated at 400 rpm of separating rotor speed. The percentage of separation was found to be $94.3 \pm 1.5\%$ at working capacity of 4.8 ± 0.3 kg/hour where the energy consumption was 0.68 kW-hour. Furthermore, an engineering economic analysis showed that, at an annual usage rate of 1,440 hours, the machine cost was on average THB 9 per kilogram, the payback period was 6 months and the breakeven point was 164 hours per year.

Keyword : Asian Palmyra Palm, Ripe Palmyrah Fruit, Palmyrah Fruit Fibre, Separating Machine

1. คำนำ

ตาลโตนดเป็นปาล์มชนิดหนึ่งพบได้ทั่วไปในประเทศไทย เช่น จังหวัดสงขลา เพชรบุรี ราชบุรี สุพรรณบุรี นครปฐม ชัยนาท พิษณุโลก และ จังหวัดอื่น ๆ [1, 2] ผลผลิตจากต้นตาลเป็นสินค้าเกษตรที่ช่วยเพิ่มรายได้เสริมให้กลุ่มเกษตรกรที่ปลูกตาลไว้ตามคันนา หรือเป็นรายได้หลักให้แก่เกษตรกรที่ปลูกตาลในเชิงพาณิชย์ เช่น เกษตรกร อำเภอบ้านลาด จังหวัดเพชรบุรี หรือกลุ่มแม่บ้านเกษตรกร อำเภอบัวโบสถ์ จังหวัดพิษณุโลก [3]

ปัจจุบันภาคอุตสาหกรรมสิ่งทอมีนโยบายเร่งส่งเสริมการศึกษาวิจัยในการหาวัสดุสิ่งทอที่เป็นธรรมชาติเพื่อทดแทนเส้นใยสังเคราะห์ ซึ่งเส้นใยลูกตาลเป็นส่วนที่เหลือทิ้งจากกระบวนการยี้น้ำตาลจากผลตาลโตนดสุก และมีปริมาณเหลือทิ้งในท้องถิ่นเป็นจำนวนมาก ในหลาย ๆ จังหวัด จากผลการวิจัยพบว่าเส้นด้ายผสมของเส้นใยลูกตาลและฝ้ายมีความแข็งแรงของความต้านแรงดึงและการยืดตัวขณะขาดดีกว่าเส้นด้ายฝ้าย จากการสัมผัสและการสังเกตด้วยตาพบว่าเส้นด้ายใยลูกตาลมีความเงามันของเส้นด้ายและผิวสัมผัสจึงมีการสะท้อนแสงได้ดีมาก ดังนั้นเส้นด้ายใยลูกตาลจึงถือได้ว่าเป็นนวัตกรรมเส้นด้ายใหม่ que แสดงถึงความเป็น

อัตลักษณ์และเอกลักษณ์ของความเป็นไทย มีความแปลกใหม่ และสร้างมูลค่าให้กับผ้าทอไทย อีกทั้งช่วยรักษาสีสิ่งแวดล้อมและการจัดการทรัพยากรเหลือทิ้งในท้องถิ่นที่ยั่งยืน [4, 5]

วิธีการตัดเส้นใยลูกตาลออกจากเต้าตาลสุกหลังการยี้น้ำตาลของเกษตรกร หรือผู้ประกอบการที่ยี้น้ำตาลขายในปัจจุบัน จะใช้กรรไกรตัดเส้นใยลูกตาลให้มีความยาวประมาณ 3-5 เซนติเมตร ล้างให้สะอาดด้วยน้ำสะอาดตากแดดให้แห้ง และอัดก้อนเส้นใยเพื่อเตรียมส่งโรงงานผลิตเส้นด้าย [6] ดังรูปที่ 1 ซึ่งจะเห็นว่ขั้นตอนดังกล่าวยังใช้แรงงานคนเป็นหลัก ทำให้เสียเวลาและแรงงานในการตัดเส้นใยลูกตาลสุกค่อนข้างมาก จากการสืบค้นข้อมูล พบว่ามีการประยุกต์ใช้เครื่องถอนขนไก่มาใช้ดึงเส้นใยลูกตาลสุกมีประสิทธิภาพในการดึงเส้นใยให้หลุดออกมาจากกะลาตาลประมาณ 95-98 % ใช้เวลาดึงเส้นใยออก 7 นาที โดยใน 1 ชั่วโมงเครื่องสามารถดึงเส้นใยแห้งได้ประมาณ 2.5 กิโลกรัม และเส้นใยเปียก 8 กิโลกรัม [7] ซึ่งในการทำงานของเครื่องดังกล่าวผู้ควบคุมเครื่องจะต้องคอยเก็บเส้นใยที่พันชุดดึงและเก็บเมล็ดตาลออกจากเครื่องก่อนที่จะป้อนเมล็ดตาลชุดใหม่ทำให้ค่อนข้างเสียเวลาในการทำงาน ดังนั้นจึงควรวิจัยเพื่อพัฒนาเครื่องแยกเส้นใย

ลูกตาลสุกที่สามารถทำงานต่อจากเครื่องแยกเนื้อตาลสุก [8] เพื่อใช้ทดแทนแรงงานคน แก้ไขปัญหาดังกล่าวข้างต้น และช่วยพัฒนาผลิตภัณฑ์วิสาหกิจชุมชนของประเทศไทยให้มีความเข้มแข็งต่อไป



รูปที่ 1 วิธีการตัดแยกเส้นใยลูกตาลสุกเพื่อจำหน่ายในปัจจุบัน [6]

2. อุปกรณ์และวิธีการ

2.1 ศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้องต่อการออกแบบ

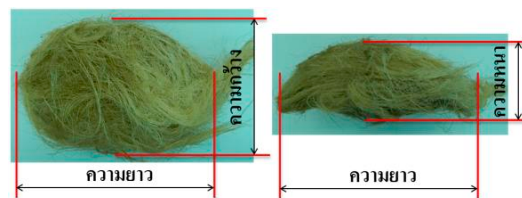
ก) ศึกษาปัญหาในขั้นตอนการแยกเส้นใยลูกตาลสุกในปัจจุบัน

วัตถุประสงค์เพื่อให้ทราบถึงปัญหาและข้อมูลในการตัดแยกเส้นใยลูกตาลสุกของเกษตรกรหรือผู้ประกอบการ เพื่อใช้วิเคราะห์ค่าใช้จ่ายเชิงเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม จากการศึกษาพบว่าค่าแรงงานในการแยกเส้นใยลูกตาลสุก 13-15 บาทต่อกิโลกรัม เกษตรกรหนึ่งคนสามารถตัดเส้นใยตาลสุกได้ประมาณ 3 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ได้เส้นใยเปียกประมาณ 0.5-0.6 กิโลกรัม ขณะทำงานมีความเหนื่อยล้าและไม่ปลอดภัย เช่น เกิดอุบัติเหตุจากคมของกรรไกรที่ใช้ตัด

ข) การศึกษาลักษณะทางกายภาพของเต้าตาลสุก

วัตถุประสงค์เพื่อให้ทราบถึงลักษณะทางกายภาพของเต้าตาลสุกหลังการยีเนื้อตาล

ได้แก่ ความยาว ความกว้าง และความหนาของเต้าตาลสุกที่มีขนาดใหญ่ที่สุดและเล็กที่สุด ดังรูปที่ 2 สำหรับใช้เป็นข้อมูลในการออกแบบชุดตัดแยกเส้นใยลูกตาลสุกและการปรับตั้งระยะต่าง ๆ ที่จำเป็นของเครื่องต้นแบบ จากการศึกษาโดยสุ่มวัดเต้าตาลสุกจำนวน 50 ลูก ด้วยเวอร์เนียคาร์ลิปเปอร์ พบว่าความกว้างของเต้าตาลสุกมีค่าระหว่าง 75-85 มิลลิเมตร มีค่าเฉลี่ย 80.1 ± 3.4 มิลลิเมตร ความยาวของเต้าตาลสุกมีค่าระหว่าง 92-155 มิลลิเมตร มีค่าเฉลี่ย 119.7 ± 19.8 มิลลิเมตร และความหนาของเต้าตาลสุกมีค่าระหว่าง 40-60 มิลลิเมตร มีค่าเฉลี่ย 49.9 ± 5.8 มิลลิเมตร ซึ่งจากผลการวัดดังกล่าวจึงได้ออกแบบขนาดรูของถังตัดเส้นใยลูกตาลสุกให้มีขนาดเล็กกว่าความหนาของเต้าตาลสุก เพื่อไม่ให้เส้นใยตาลและเมล็ดตาลปะปนกันหลังจากการตัดแยกเส้นใย



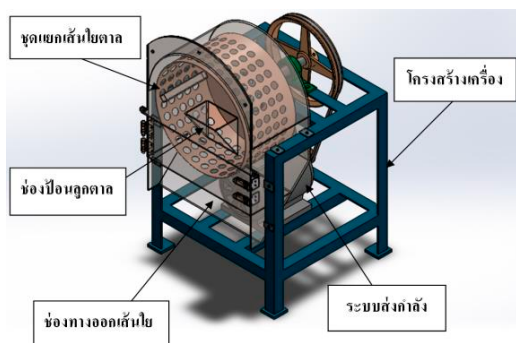
รูปที่ 2 ลักษณะทางกายภาพของเต้าตาลสุก

2.2 ออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบ

หลังจากการรวบรวมข้อมูลที่จำเป็นต่อการออกแบบ เครื่องต้นแบบได้ถูกออกแบบโดยใช้หลักการออกแบบทางวิศวกรรม [9, 10] และใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบและเขียนแบบ [11] ซึ่งเครื่องต้นแบบประกอบด้วยส่วนประกอบหลัก คือ โครงสร้างเครื่อง ชุดตัดแยกเส้นใยลูกตาลสุกที่สร้างจากสแตนเลส ซึ่งมีลักษณะเป็นทรงกระบอกเส้นผ่านศูนย์กลาง 400 มิลลิเมตร เจาะรูขนาด 30 มิลลิเมตร โดยรอบพื้นผิวของทรงกระบอก และมีใบมีดตัด

ติดตั้งตามแนวรัศมี 3 ชุด ทำหน้าที่หมุนตัดเส้นใยลูกตาลออกจากเมล็ด โดยใช้พูลเลย์และสายพานเป็นอุปกรณ์ส่งกำลังจากมอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 1 แรงม้า ไปยังชุดตัดแยกเส้นใยลูกตาลสด ดังรูปที่ 3(ก)

การทำงานของเครื่องเริ่มจากผู้ควบคุมป้อนลูกตาลสดที่ผ่านการยีเนื้อตาลแล้วลงในช่องป้อนลูกตาลทางด้านหน้าของเครื่อง แล้วชุดตัดแยกเส้นใยลูกตาลจะหมุนนำเมล็ดไปติดกับชุดใบมีดตัดเพื่อแยกเส้นใยตาลออกจากเมล็ด เส้นใยที่ถูกตัดแยกจะไหลออกจากช่องทางออกลงสู่ภาชนะรองรับ เมื่อเส้นใยลูกตาลถูกตัดออกจากเมล็ดจนหมด ปิดเครื่องแล้วเปิดฝาครอบหน้าและนำเมล็ดตาลออกจากเครื่อง ซึ่งเครื่องต้นแบบที่สร้างเสร็จแสดงดังรูปที่ 3(ข)



ก) แบบเครื่องต้นแบบด้วยโปรแกรมด้าน CAD



ข) เครื่องแยกเส้นใยลูกตาลสดต้นแบบรูปที่ 3 แบบและเครื่องแยกเส้นใยลูกตาลสดต้นแบบ

2.3 ทดสอบและประเมินสมรรถนะเครื่องต้นแบบ

เครื่องต้นแบบได้ถูกทดสอบและประเมินสมรรถนะในการทำงาน รวมทั้งคุณภาพในการแยกเส้นใยลูกตาลสด โดยใช้เปอร์เซ็นต์การแยกเส้นใยลูกตาลสด ความสามารถในการทำงาน และอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้า เป็นค่าชี้ผลการศึกษา ซึ่งคำนวณได้จากสมการ ดังนี้

$$1) \text{ เปอร์เซ็นต์การแยกเส้นใยลูกตาลสด (\%)} = \frac{\text{น้ำหนักเส้นใยลูกตาลที่ได้จากการแยก}}{\text{น้ำหนักเส้นใยลูกตาลสดทั้งหมด}} \quad (1)$$

$$2) \text{ ความสามารถในการทำงาน (kg/hr)} = \frac{\text{น้ำหนักเส้นใยลูกตาลที่แยกได้ทั้งหมด}}{\text{เวลาในการทำงานทั้งหมด}} \quad (2)$$

$$3) \text{ อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้า (kW-hr)} = \frac{\text{อ่านค่าอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าจากอุปกรณ์ กิโลวัตต์-ชั่วโมงมิเตอร์ที่ต่อกับมอเตอร์ไฟฟ้าของเครื่องต้นแบบขณะทดสอบ}}{\quad}$$

ใช้ลูกตาลสดพันธุ์ผสมที่ผ่านการยีเนื้อตาลแล้วความกว้างเฉลี่ยของเต้าตาลสดมีค่าเท่ากับ 80.2 ± 2.5 มิลลิเมตร ความยาวเฉลี่ยของเต้าตาลสดเท่ากับ 125 ± 18.5 มิลลิเมตร และความหนาเฉลี่ยของเต้าตาลสดเท่ากับ 48 ± 6.1 มิลลิเมตร (สุ่มวัด 25 ลูก) ตลอดการทดสอบ จากการทดสอบเบื้องต้นพบว่าเมื่อเดินเครื่องที่ความเร็วชุดแยกเส้นใยมากกว่า 400 รอบต่อนาที เครื่องจะเริ่มสั่นสะเทือน ดังนั้นจึงได้เลือกทดสอบเครื่องต้นแบบที่ความเร็วของชุดแยกเส้นใยลูกตาลสดที่ 300, 350 และ 400 รอบต่อนาที ตามลำดับ โดยแต่ละการทดลองจะใช้เต้าตาล 4 ลูก ทำซ้ำ 3 ซ้ำ ทำงานครั้งละ 3 นาที (จากการทดลองเมื่อเครื่องทำงานมากกว่า 3 นาทีไม่มีผลทำให้เส้นใยลูกตาลหลุดออกมา

มากกว่าเดิม) บันทึกน้ำหนักของเส้นใยลูกตาลสุกที่ได้จากการแยกด้วยเครื่อง น้ำหนักเส้นใยที่ติดกับลูกตาลสุก น้ำหนักลูกตาลสุกทั้งหมด และกำลังไฟฟ้าที่ใช้ เพื่อคำนวณค่าชั่วโมงการศึกษา และหาค่าใช้จ่าย ระยะเวลาคืนทุน และจุดคุ้มทุน ในการใช้เครื่องแยกเส้นใยลูกตาลสุก

2.4 การวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์

2.4.1 การวิเคราะห์และประเมินค่าใช้จ่ายโดยเฉลี่ย

วิธีการประเมินค่าใช้จ่ายโดยรวมเกี่ยวกับต้นทุนในการใช้งานเครื่องแยกเส้นใยลูกตาลสุก สมมติว่าเกษตรกรซื้อเครื่องแยกเส้นใยลูกตาลสุก แทนวิธีการใช้แรงงานคน ซึ่งค่าใช้จ่ายโดยรวมจะประกอบด้วยต้นทุนคงที่ (Fixed cost) และต้นทุนผันแปร (Variable cost) โดยต้นทุนคงที่ได้แก่ ค่าเสื่อมราคาของเครื่อง (คิดค่าเสื่อมราคาโดยวิธีเส้นตรงเมื่อประมาณอายุการใช้งานของเครื่องแยกเส้นใยลูกตาลสุกได้ 5 ปี) และค่าเสียโอกาสของเงินทุน (คิดอัตราดอกเบี้ย 10%) ซึ่งค่าใช้จ่ายที่เป็นต้นทุนคงที่จะไม่เปลี่ยนแปลงไปตามปริมาณของการแยกเส้นใยลูกตาลสุก [12]

2.4.2 การวิเคราะห์ระยะเวลาคืนทุน (Pay-back period)

เป็นการคาดคะเนว่า เมื่อลงทุนใช้เครื่องแยกเส้นใยลูกตาลสุกไปแล้ว จะได้รับผลตอบแทนกลับคืนมาในจำนวนเงินเท่ากับที่ลงทุนไปแล้วภายในระยะกี่ปี โดยคิดจากราคาในการลงทุนซื้อเครื่องแยกเส้นใยลูกตาลสุก หากรับผลประโยชน์สุทธิที่คาดว่าจะได้รับในการใช้งานเครื่องแยกเส้นใยลูกตาลสุก 5 ปี [12]

2.4.3 การวิเคราะห์จุดคุ้มทุน (Break-even point)

เป็นการคำนวณหาจุดคุ้มทุนในการใช้เครื่องแยกเส้นใยลูกตาลสุกต้นแบบ โดยการ

เปรียบเทียบระหว่างต้นทุนในการแยกเส้นใยลูกตาลสุกจากการใช้เครื่องต้นแบบและการแยกเส้นใยลูกตาลด้วยแรงงานคน

3. ผลการวิจัย

รูปที่ 4 แสดงเต้าตาลสุกหลังการยี เนื้อตาลออกแล้วก่อนการทดสอบ (ก) ซึ่งหลังจากได้นำไปทดสอบโดยเครื่องแยกเส้นใยลูกตาลสุกต้นแบบแล้ว จะได้เส้นใยลูกตาลสุก (ข) ที่พร้อมจะนำไปล้างให้สะอาด ตากแดดให้แห้ง เพื่อเตรียมนำไปจำหน่ายต่อไป และยังได้เมล็ดตาล (ค) ซึ่งเกษตรกรจะนำไปเพาะเพื่อให้เกิดจาวตาลสำหรับนำไปทำขนมต่อไป



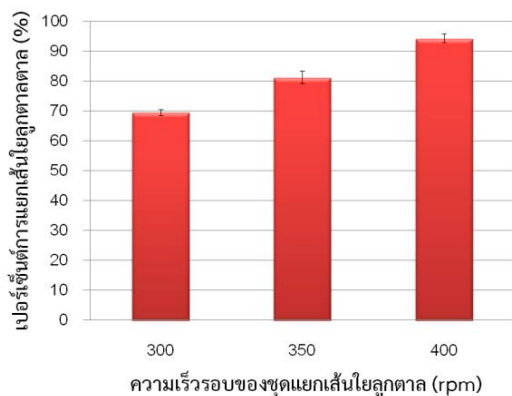
รูปที่ 4 ก) เต้าตาลสุกที่ใช้ทดสอบ
ข) เส้นใยลูกตาล
และ ค) เมล็ดตาลที่ได้จากการทดสอบ

ผลการทดสอบเครื่องแยกเส้นใยลูกตาลสุกที่ความเร็วรอบของชุดแยกเส้นใยลูกตาลสุกต่าง ๆ จะนำเสนอตามค่าชั่วโมงการศึกษา ดังนี้

3.1 เพอร์เซ็นต์การแยกเส้นใยลูกตาลสุก

จากการทดสอบเครื่องแยกเส้นใยลูกตาลสุกที่ความเร็วรอบของชุดแยกเส้นใยลูกตาลสุกต่าง ๆ พบว่าที่ความเร็วรอบของชุดแยกเส้นใย

ลูกตาลูก 300, 350 และ 400 รอบต่อนาที เครื่องต้นแบบสามารถแยกเส้นใยลูกตาลูกได้ 69.5 ± 1.0 , 81.2 ± 2.0 และ $94.3 \pm 1.5\%$ ตามลำดับ ดังรูปที่ 5 ซึ่งผลการทดสอบดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าเปอร์เซ็นต์การแยกเส้นใยลูกตาลูกจะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มความเร็วรอบของชุดแยกเส้นใยลูกตาลูก เนื่องจากแรงเหวี่ยงที่เพิ่มขึ้นตามความเร็วรอบการหมุนของชุดแยกเส้นใยจะทำให้เมล็ดตาลูกมากขึ้นและเส้นใยที่ติดกับเมล็ดจะถูกตัดเฉือนด้วยแรงตัดเฉือนที่มากขึ้นเช่นกัน เป็นผลให้เส้นใยลูกตาลูกถูกตัดแยกออกจากเมล็ดได้มากขึ้นตาม อย่างไรก็ตาม ความเร็วในการทำงานของชุดแยกเส้นใยลูกตาลูกไม่ควรเกิน 400 รอบต่อนาที เนื่องจากเครื่องต้นแบบจะเกิดการสั่นสะเทือน ซึ่งอาจจะ เป็นสาเหตุทำให้ชิ้นส่วนของเครื่องแยกเส้นใยลูกตาลูกเกิดความเสียหายได้

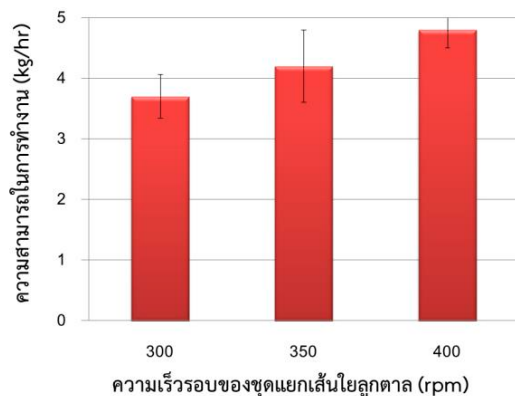


รูปที่ 5 เปอร์เซนต์การแยกเส้นใยลูกตาลูกที่ความเร็วรอบของชุดแยกเส้นใยลูกตาลูกต่าง ๆ

3.2 ความสามารถในการทำงานของเครื่อง

ผลการทดสอบ ดังรูปที่ 6 แสดงให้เห็นว่าที่ความเร็วรอบของชุดแยกเส้นใยลูกตาลูก 300, 350 และ 400 รอบต่อนาที เครื่องต้นแบบสามารถทำงานได้ 3.7 ± 0.4 , 4.2 ± 0.6 และ 4.8 ± 0.3 กิโลกรัมชั่วโมง ตามลำดับ

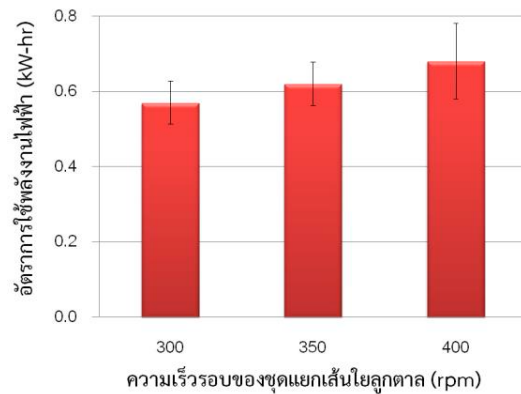
ความเร็วรอบของชุดแยกเส้นใยลูกตาลูกที่เหมาะสมในการทำงาน คือ 400 รอบต่อ นาที มีความสามารถในการทำงานได้เส้นใยลูกตาลูกเปียกเฉลี่ย 4.8 กิโลกรัมชั่วโมง หรือคิดเป็น 38.4 กิโลกรัมต่อวัน (1 วันทำงาน 8 ชั่วโมง) เมื่อเปรียบเทียบกับ การแยกเส้นใยลูกตาลูกของเกษตรกรที่ทำงานได้เพียง 4.8 กิโลกรัมต่อวัน จะเห็นว่าเครื่องต้นแบบสามารถทำงานได้มากกว่าเกษตรกรถึง 33.6 กิโลกรัมต่อวัน



รูปที่ 6 ความสามารถในการทำงานที่ความเร็วรอบของชุดแยกเส้นใยลูกตาลูกต่าง ๆ

3.3 อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้า

จากผลการทดสอบดังรูปที่ 7 จะเห็นว่าช่วงความเร็วรอบที่ใช้ขับชุดแยกเส้นใยลูกตาลูกทั้งสามความเร็ว มีการใช้พลังงานไฟฟ้าเพิ่มขึ้นตามความเร็วการหมุนของชุดแยกเส้นใยลูกตาลูก มีค่าระหว่าง 0.57-0.68 กิโลวัตต์-ชั่วโมง ซึ่งจะนำค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ความเร็วการหมุนของชุดแยกเส้นใยลูกตาลูก 400 รอบต่อ นาที เท่ากับ 0.68 กิโลวัตต์-ชั่วโมง ไปเป็นค่าใช้จ่ายในการวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมต่อไป



รูปที่ 7 อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าที่ความเร็วรอบของชุดแยกเส้นใยลูกตาลต่าง ๆ

3.4 ผลการวิเคราะห์และประเมินผลเชิงเศรษฐศาสตร์

จากผลการวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม โดยคิดที่ราคาเครื่องต้นแบบ 20,000 บาท อายุการใช้งาน 5 ปี อัตราดอกเบี้ย 10% ใช้ผู้ควบคุมเครื่อง 1 คน ความสามารถในการทำงาน 4.8 กิโลกรัมชั่วโมง อัตราการใช้พลังงานไฟฟ้า 0.68 กิโลวัตต์-ชั่วโมง เมื่อใช้เครื่องต้นแบบทำงาน 6 เดือน หรือ 1,440 ชั่วโมงต่อปี (ทำงานวันละ 8 ชั่วโมง) มีค่าใช้จ่ายเฉลี่ยของเครื่อง 9 บาทต่อกิโลกรัม ระยะเวลาคืนทุน 6 เดือน และการใช้งานที่จุดคุ้มทุน 164 ชั่วโมงต่อปี เมื่อเปรียบเทียบกับแรงงานคน 1 คน มีค่าใช้จ่ายเฉลี่ย 15 บาทต่อกิโลกรัม

4. สรุปผลการทดลอง

การตัดแยกเส้นใยลูกตาลสุกออกจากเมล็ดเพื่อนำไปจำหน่ายของเกษตรกรเป็นขั้นตอนหนึ่งที่ใช้แรงงานคนเป็นหลัก ซึ่งมีปัญหาอยู่หลายประการ ได้แก่ ใช้เวลาในการทำงานมาก

ความเสี่ยงจากการเกิดอุบัติเหตุระหว่างปฏิบัติงาน เพื่อผ่อนคลายปัญหาดังกล่าวจึงได้ออกแบบและสร้างเครื่องแยกเส้นใยลูกตาลสุกต้นแบบ โดยใช้ข้อมูลจากการศึกษาข้อมูลที่เป็นต่อการออกแบบจนได้เครื่องต้นแบบที่มีส่วนประกอบหลัก คือ โครงสร้างเครื่อง ชุดแยกเส้นใย ระบบส่งกำลัง และใช้มอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 1 แรงม้าเป็นต้นกำลัง จากการทดสอบสมรรถนะการทำงานของเครื่องต้นแบบ พบว่าสามารถทำงานได้ดีที่ความเร็วรอบของชุดแยกเส้นใยลูกตาล 400 รอบต่อนาที มีเปอร์เซ็นต์การแยกเส้นใยลูกตาลสุก $94.3 \pm 1.5\%$ ความสามารถในการทำงาน 4.8 ± 0.3 กิโลกรัมต่อชั่วโมง และมีอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้า 0.68 กิโลวัตต์-ชั่วโมง เมื่อใช้เครื่องต้นแบบทำงาน 1,440 ชั่วโมงต่อปี มีค่าใช้จ่ายเฉลี่ยของเครื่อง 9 บาทต่อกิโลกรัม ระยะเวลาคืนทุน 6 เดือน และใช้งานที่จุดคุ้มทุน 164 ชั่วโมงต่อปี เครื่องต้นแบบใช้งานได้ดีกับเมล็ดตาลสุกเส้นใยสดที่ผ่านการยี้โดยเครื่องแยกเนื้อตาลสุก [8] หรือแรงงานคน แต่มีข้อจำกัดในการใช้งานกับเมล็ดตาลแห้งซึ่งต้องนำเมล็ดตาลไปแช่น้ำก่อนเพื่อให้เส้นใยอ่อนนุ่มอย่างน้อย 3-4 วัน ซึ่งเป็นประเด็นที่ควรจะไปพิจารณาในการพัฒนาเครื่องต้นแบบต่อไป

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากงบประมาณรายได้ของคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี และขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มทร. ธัญบุรี ที่สนับสนุนสถานที่และอุปกรณ์ในการสร้างและทดสอบต่าง ๆ

เอกสารอ้างอิง

- [1] พจน์ สัจจะ, 2540. **ชุดสารคดีอาหาร** : โลภวัฒนธรรมของอาหาร. สำนักพิมพ์ แสงแดด, กรุงเทพฯ. 175 น.
- [2] Wikipedia. **ตาล**, [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก : <http://th.wikipedia.org> (15 กุมภาพันธ์ 2558).
- [3] ทวีศักดิ์ ชัยเรืองยศ, **ตาลโตนด**. เทคโนโลยีชาวบ้าน, หนังสือพิมพ์มติชน, [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก : <http://info.matichon.co.th/techno/> (15 มีนาคม 2558).
- [4] พิทักษ์ อุปัญญา และ จันทรเพ็ญ อุปัญญา. 2553. รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ การพัฒนาเส้นใยตาลในเชิงอุตสาหกรรมสิ่งทอ. สถาบันพัฒนาอุตสาหกรรมสิ่งทอ, กรุงเทพฯ.
- [5] พิทักษ์ อุปัญญา และ จันทรเพ็ญ ชุมแสง, 2554, รายงานการวิจัยการใช้เส้นด้ายใยลูกตาล มาพัฒนาคุณภาพผ้าทอพื้นบ้าน ทนอดหนุนการวิจัยประเภทโครงการสนับสนุนการวิจัยขยายผลสู่การปฏิบัติและพัฒนาต่อยอดงานวิจัยและสิ่งประดิษฐ์ จากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.)
- [6] จันทรเพ็ญ ชุมแสง และพิทักษ์ อุปัญญา, 2556. รายงานการวิจัยการถ่ายทอดเทคโนโลยีการสร้างมูลค่าเพิ่มวัสดุเหลือทิ้งจากตาลโตนดแบบมีส่วนร่วมของชุมชน โดยการจัดการองค์ความรู้ภาคปฏิบัติการชุมชน. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก : http://www.thai-explore.net/file_upload/submitter/file_doc/.pdf (15 กุมภาพันธ์ 2558).
- [7] รัตน์พล มงคลรัตนาสีทธิ์, 2558. การประยุกต์ใช้เส้นใยจากผลตาลสำหรับสิ่งทอเทคนิค, [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก : <http://www.nstda.or.th/nac2015/download/presentation/April2/CC404-Rattanaphol.pdf> (15 ธันวาคม 2558).
- [8] จตุรงค์ ลังกาพินธุ์, สุนัน ปานสาคร, ภูรินทร์ อัครกุลธร, สุกฤษฎี สร้อยแมน และ ศุภณัฐ สร้อยแมน. 2559. การออกแบบและสร้างเครื่องแยกเนื้อตาลสุก. วารสารวิศวกรรมศาสตร์ ราชมนักลธัญบุรี ปีที่ 14 ฉบับที่ 1 (มกราคม-มิถุนายน).
- [9] Krutz, G., Thomson, L., Claar, P. 1994. Design of Agricultural Machinery. John Wiley and Sons. New York Chichester Brisbane, Toronto, Singapore. 472 P.
- [10] Shigley, J.E., Mischke, C.R. 1989. Mechanical Engineering Design. 5th Edition, McGraw-Hill Book Company, USA. 779 P.
- [11] จตุรงค์ ลังกาพินธุ์. 2555. ออกแบบและเขียนแบบวิศวกรรมด้วยโปรแกรม SolidWorks (ฉบับเรียนลัดด้วยตัวเอง). สำนักพิมพ์ทริปเพิ้ล เอ็ดดูเคชั่น จำกัด. 192 น.
- [12] Hunt, D. 2001. Farm Power and Machinery. (10th Edition). Ames, Iowa, USA : Iowa State University Press.

ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงเฉือน และกำลังรับแรงดัดของดินเหนียวผสมซีเมนต์และทราย

Relationship of Shear Strength with Modulus of Rupture for Soft Clay mixed by Cement and Sand

สุธี ปิยะพิพัฒน์¹

suthee.p@en.rmutt.ac.th¹

บทคัดย่อ

ผลกระทบของการผสมทรายในดินซีเมนต์ได้ถูกตรวจสอบในห้องปฏิบัติการ ด้วยการทดสอบแรงกดแกนเดียว การทดสอบแรงอัดสามแกนแบบยูบอว์ดัตว์-ไม่ระบายน้ำ และการทดสอบแรงดัดด้วยวิธีกีดกันสองจุดจากการแบ่งแกนออกเป็นสามส่วนเท่า ๆ กัน ดินตัวอย่างที่นำมาทดสอบได้แก่ดินเหนียวกรุงเทพฯ ส่วนทรายที่ใช้ได้แก่ ทรายจากจังหวัดกาญจนบุรีที่มีขนาดของเม็ดทรายผ่านตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 4 แต่ค้างบนตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 10 สำหรับซีเมนต์ที่ผสมเป็นปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 มีขั้นตอนในการเตรียมตัวอย่างดังต่อไปนี้ เริ่มจากนำตัวอย่างดินเหนียวมาผสมกับทรายในปริมาณ 0, 10, 20, 30 และ 40% ของน้ำหนักดินเหนียวแห้งตามลำดับ จากนั้นนำส่วนผสมที่ได้ไปผสมกับซีเมนต์ที่ปริมาณ 10, 15 และ 20% โดยน้ำหนักแห้งของส่วนผสม แล้วนำไปบรรจุในมอดด์ทดสอบ 2 แบบ ได้แก่ 1) มอดด์ทรงกระบอกที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเท่ากับ 3.5 เซนติเมตร และมีความสูงเท่ากับ 7 เซนติเมตร สำหรับเป็นตัวอย่างทดสอบแรงกดแกนเดียว และการทดสอบแรงอัดสามแกนแบบยูบอว์ดัตว์-ไม่ระบายน้ำ 2) มอดด์รูปคานที่มีขนาด 7.5x7.5x35 ลูกบาศก์เซนติเมตร สำหรับใช้ทดสอบหาค่าแรงดัด ใช้อายุการบ่ม 28 วัน ได้ผลดังนี้ การเพิ่มขึ้นของปริมาณทรายในส่วนผสม ทำให้ค่าแรงกดอัดแกนเดียว ค่าองศาความเสียดทานภายใน และโมดูลัสการแตกร้าวสูงขึ้นตาม และความสัมพันธ์ระหว่างผลการทดสอบของทั้งสามการทดสอบกับปริมาณที่ผสมเพิ่มได้ถูกนำเสนอ

คำสำคัญ : ดินซีเมนต์, การทดสอบแรงเฉือนแบบยูบอว์ดัตว์-ไม่ระบายน้ำ, โมดูลัสการแตกร้าว

¹ อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

Abstract

The effect of sand mixed with soil cement has been investigated by laboratory tests as the unconfined compression test, the consolidated-undrained test and the third-point loading test. The soil sample is Bangkok clay and the sand used is Kanjanaburi sand, passing through sieve No. 4 but retained on sieve No. 10. The cement used is a portland cement type 1. For the procedures of specimen preparation, firstly the clay sample was mixed by sand of 0, 10, 20, 30 and 40% by dry weight of clay respectively. Then the aggregate as clay-sand mixer was mixed with cement of 10, 15 and 20% by dry weight. The water content of aggregate was adjusted to higher than the liquid limit of aggregate about 5%. Then the aggregate was mixed by cement and put it into 2 kinds of mould as 1) the cylinder mould with a diameter of 3.5 cm and a high of 7 cm for the unconfined compression test and the CU test and 2) the beam mould with the size of 7.5'7.5'35 cm³ for the third point loading test. The curing day used is 28 days. As results, the higher amount of sand, the higher unconfined compressive strength (q_u), angle of internal friction and modulus of rupture. The relationships among the results of 3 types of testing with the quantity of sand mixed were demonstrated.

Keywords : soil cement, CU test, modulus of rupture.

1 บทนำ

เทคนิคการปรับปรุงคุณภาพชั้นดินเหนียว ด้วยการใช้ซีเมนต์เข้าไปผสมกับชั้นดินเหนียว เพื่อให้ซีเมนต์ทำปฏิกิริยากับดินเหนียวจับตัวกันเป็นลักษณะแท่งทรงกระบอกในชั้นดินหรือที่เรียกว่า เสาเข็มดินซีเมนต์ เป็นวิธีที่ถูกนำมาใช้กันอย่างแพร่หลายโดยเฉพาะในประเทศไทย [1,2] กลุ่มของเสาเข็มดินซีเมนต์ทำหน้าที่ลดการทรุดตัว และเพิ่มความแข็งแรงให้กับชั้นดินเหนียวที่ถูกปรับปรุง [3, 4] จากการ

ศึกษาของ Chai et al. [5] และ Pongsivasathit et al. [6] พบว่าในกรณีที่เสาเข็มดินซีเมนต์แบบไม่หยั่งลึก (Floating soil-cement column) มีค่าโมดูลัสของยังค์ (Young's Modulus, E_{50}) สูงขึ้น ยิ่งทำให้สามารถลดการทรุดตัวของชั้นดินเหนียวได้มากขึ้น

แนวความคิดในการเพิ่มค่า E_{50} ของดินซีเมนต์ ด้วยการใช้ทรายเข้าไปผสมในชั้นดินเหนียวอ่อนก่อน แล้วจากนั้นจึงทำการผสมซีเมนต์เข้าไป ซึ่งวิธีนี้เป็นการลดปริมาณการใช้ซีเมนต์ลง

ทำให้ต้นทุนการก่อสร้างลดลงอีกด้วย เป็นสิ่งที่น่าศึกษาอยู่ ดังนั้นโครงการวิจัยนี้จึงทำการศึกษาคูณสมบัติของดินซีเมนต์ที่มีส่วนผสมของทรายอยู่ไม่เกินร้อยละ 50 เพื่อหาค่าพารามิเตอร์กำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ และกำลังรับแรงดัดของดินเหนียวปนทรายผสมซีเมนต์ในอัตราส่วนของซีเมนต์และทรายต่าง ๆ เพื่อดูผลกระทบของทรายที่ใส่เพิ่มเข้าไปในส่วนผสม และใช้เป็นฐานข้อมูลในการออกแบบเสาเข็มดินซีเมนต์ในกรณีชั้นดินเหนียวอ่อนมีทรายผสมอยู่ไม่เกินร้อยละ 50 และเป็นข้อมูลสำคัญสำหรับการวิเคราะห์ชั้นสูงในงานวิศวกรรมปฐพีต่อไป

2 การเตรียมตัวอย่างการทดสอบ

สำหรับดินเหนียวที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นดินเหนียวกรุงเทพฯ ที่ความลึก 4 – 5 เมตร บริเวณไบเทคบางนา เก็บตัวอย่างดินแบบถูกรบกวน (Undisturbed sample) มีคุณสมบัติเบื้องต้นดังแสดงในตารางที่ 1 สำหรับทรายที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นตัวอย่างทรายแม่น้ำจากอำเภотаมะกา จังหวัดกาญจนบุรี ที่ผ่านการร่อนด้วยตะแกรงเบอร์ 4 แต่ค้ำบนตะแกรงเบอร์ 10

ตารางที่ 1 คุณสมบัติทางกายภาพของดินเหนียว

คุณสมบัติของดินทางกายภาพ	
Natural Water Content (%)	56.73
Specific Gravity, Gs	2.69
Liquid Limit, LL (%)	40.00
Plastic Limit, PL (%)	25.48
Plastic Index, PI (%)	14.52

ในการเตรียมตัวอย่างเพื่อทดสอบคุณสมบัติของดินเหนียวปนทรายผสมซีเมนต์เริ่มจากนำดินเหนียวมาผสมกับทราย จากนั้นเติมน้ำในส่วนผสมให้มีปริมาณความชื้น มากกว่าค่าพิกัดความเหลว (Liquid limit) ของส่วนผสมประมาณ 5% เพื่อให้ง่ายต่อการผสม จากนั้นทำการผสมซีเมนต์เพสต์ด้วยอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (w/c ratio) เท่ากับ 1 : 1 แล้วนำซีเมนต์เพสต์ที่ได้ผสมเข้ากับส่วนผสมของดินเหนียวปนทรายที่เตรียมไว้ ด้วยเครื่องผสมคอนกรีตให้เข้ากัน ในตารางที่ 2 แสดงถึงปริมาณซีเมนต์และทรายสำหรับการศึกษาในครั้งนี้

เมื่อส่วนผสมเข้ากันดีแล้ว นำไปบรรจุใส่ในแบบหล่อเตรียมตัวอย่าง 2 แบบ ดังแสดงในรูปที่ 1 ซึ่งได้แก่ แบบคานขนาด $7.5 \times 7.5 \times 35 \text{ cm}^3$ สำหรับทดสอบหาค่ากำลังรับแรงดัดด้วยวิธี Third point loading test และแบบทรงกระบอกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3.5 cm สูง 7 cm เพื่อทดสอบหาค่าแรงกดแกนเดียว และทดสอบแรงอัดสามแกนแบบยุบอัดตัว-ไม่ระบายน้ำ (CU test) จากนั้นเมื่อดินซีเมนต์เริ่มจับตัวจึงถอดออกจากแบบหล่อเตรียมตัวอย่าง แล้วนำมาห่อหุ้มด้วยแผ่นพลาสติกใสแบบบาง เพื่อป้องกันความชื้นไม่ให้ระเหยออกไป บ่มตัวอย่างเป็นเวลา 28 วัน ก่อนนำไปทดสอบจำนวนตัวอย่างการทดสอบในแต่ละกรณีถูกแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 สัดส่วนของปริมาณทรายและซีเมนต์ในกรณีต่าง ๆ

กรณี	ส่วนผสมในดินเหนียว		ปริมาณซีเมนต์ (% โดยน้ำหนัก ดินเหนียวแห้ง +ทราย)	จำนวนตัวอย่างทดสอบ		
	ปริมาณทราย (% ของน้ำหนัก ดินเหนียวแห้ง)	ปริมาณน้ำ (% ของน้ำหนัก ดินเหนียวแห้ง+ทราย)		Unconfined compression test	CU test	Third-point loading test
1	0	45.00	10	5	2	3
			15	5	2	3
			20	5	2	3
2	10	37.6	10	5	2	3
			15	5	2	3
			20	5	2	3
3	20	35.20	10	5	2	3
			15	5	2	3
			20	5	2	3
4	30	33.06	10	5	2	3
			15	5	2	3
			20	5	2	3
5	40	31.35	10	5	2	3
			15	5	2	3
			20	5	2	3

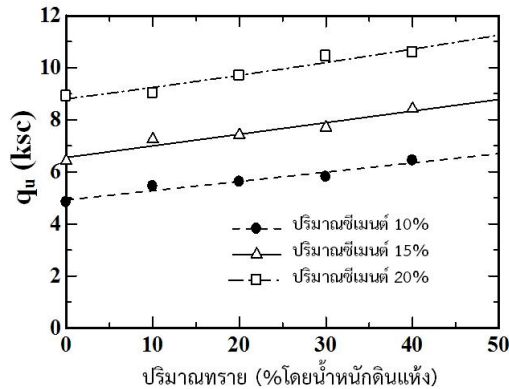


รูปที่ 1 การจัดทำตัวอย่างการทดสอบ

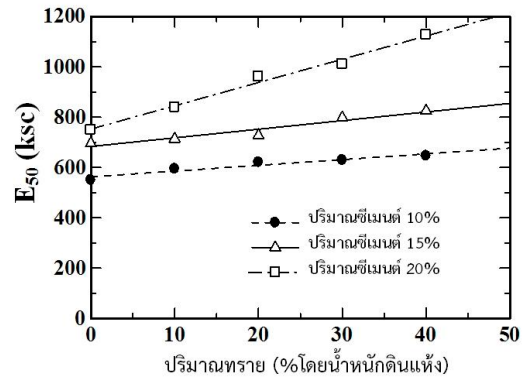
3 การวิเคราะห์ผลการทดสอบ

3.1 การวิเคราะห์ผลการทดสอบหาค่าแรงกด แกนเดียว

สำหรับการทดสอบแรงกดแกนเดียว
เพื่อหาค่า q_u ของดินเหนียวผสมซีเมนต์และ
ทรายในอัตราส่วนต่าง ๆ อ้างอิงตามมาตรฐาน
ASTM D 2166 นำผลทดสอบที่ได้มาหาค่าเฉลี่ย
ได้ผลทดสอบดังต่อไปนี้



รูปที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Unconfined Compressive Strength (q_u) กับปริมาณทรายที่อัตราส่วนผสมต่าง ๆ



รูปที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Modulus of Elasticity (E_{50}) กับปริมาณทรายที่ปริมาณซีเมนต์ต่าง ๆ

3.1.1 อิทธิพลของปริมาณทรายที่มีผลต่อค่า q_u

จากผลการทดสอบ พบว่าค่า q_u มีแนวโน้มสูงเพิ่มขึ้นตามปริมาณทรายที่เพิ่มขึ้นในทุกอัตราส่วนผสม อย่างมีนัยสำคัญ และมีความสัมพันธ์ระหว่างค่า q_u กับปริมาณทรายเป็นลักษณะสมการเส้นตรง ดังแสดงในรูปที่ 2 การเพิ่มปริมาณทรายซึ่งเป็นดินเม็ดหยาบที่ผสมลงไป ในดินเหนียว เม็ดของทรายสามารถช่วยให้ความสามารถในการรับแรงของดินซีเมนต์ดีขึ้น เกิดการส่งถ่ายแรงระหว่างเม็ดดินดีขึ้นกว่ากรณีมีดินเม็ดละเอียดหรือดินเหนียวเพียงอย่างเดียว เพราะ ปกติดินทรายนั้นสามารถรับน้ำหนักได้ดีกว่าดินเหนียวอยู่แล้ว

3.1.2 อิทธิพลของปริมาณทรายที่มีผลต่อค่า E_{50}

พบว่าค่า E_{50} มีแนวโน้มที่คล้ายกันกับค่า q_u การเพิ่มขึ้นของค่า E_{50} มีผลเนื่องจากทรายที่ใส่ผสมเพิ่มลงไป ในดินเหนียว ดังแสดงในรูปที่ 3 โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีที่ปริมาณซีเมนต์เท่ากับ 20% พบว่ามีอัตราการเพิ่มขึ้นของค่า E_{50} สูงที่สุด

3.2 การวิเคราะห์ผลการทดสอบแรงอัดสามแกน

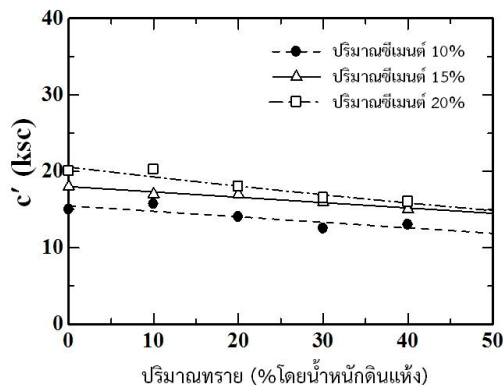
การศึกษาลักษณะของปริมาณทรายเป็นต่อค่าพารามิเตอร์กำลังรับแรงเฉือนของดินเหนียวปนทรายผสมซีเมนต์ที่อัตราส่วนต่าง ๆ ใช้วิธีทดสอบแรงอัดสามแกนแบบยุบอัดตัว-ไม่ระบายน้ำ หรือ CU test ตามมาตรฐาน ASTM D 4767-95 ดังแสดงในรูปที่ 4 กำหนดให้มีค่าความดันรอบด้าน (Confining pressure) ที่ 150, 250 และ 350 กิโลปาสคาล ตามลำดับ เพื่อให้ตัวอย่างทดสอบเกิดการยุบอัดตัวคายน้ำ จากนั้นทำการกดตัวอย่างจนวิบัติ นำค่าหน่วยแรงตามแนวแกนสูงสุด (Maximum deviator stress) ที่ได้มาวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์กำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ ได้ผลดังต่อไปนี้



รูปที่ 4 การทดสอบแบบ CU test

3.2.1 อิทธิพลของปริมาณทรายที่มีผลต่อค่าแรงยึดเกาะ

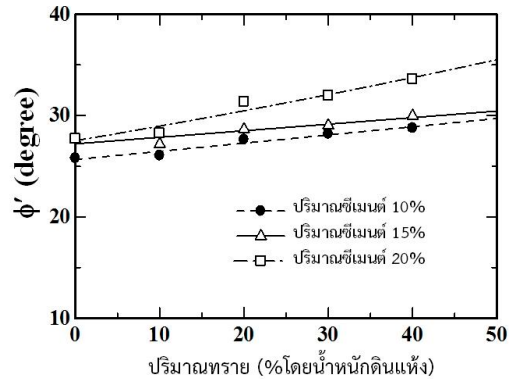
ผลการวิเคราะห์ถูกแสดงในรูปที่ 5 พบว่าปริมาณทรายมีอิทธิพลต่อค่าแรงยึดเกาะประสิทธิผล (c') น้อย ปริมาณทรายที่ผสมในส่วนผสมทำให้ค่า c' มีค่าลดลงเพียงเล็กน้อย ทั้งนี้ค่า c' ที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่เกิดจากอิทธิพลของปริมาณซีเมนต์ที่มาผสมมากกว่าจากการเติมทรายเข้ามาในส่วนผสม



รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงยึดเกาะประสิทธิผล (c') กับปริมาณทรายที่อัตราส่วนผสมต่าง ๆ

3.2.2 อิทธิพลของปริมาณทรายที่มีผลต่อค่ามุมเสียดทานภายใน

จากรูปที่ 6 พบว่า การเพิ่มขึ้นของปริมาณทรายในส่วนผสมมีผลทำให้ค่ามุมเสียดทานภายใน (ϕ') เพิ่มขึ้นในทุกส่วนผสมอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากทรายมีส่วนทำให้แรงเสียดทานภายในระหว่างเม็ดดินมีค่าเพิ่มขึ้นก่อนผสมซีเมนต์อยู่แล้ว เมื่อนำมาผสมซีเมนต์ยิ่งทำให้มีแนวโน้มของแรงเสียดทานภายในสูงขึ้นในขณะที่ดินซีเมนต์ถูกเฉือน ความสัมพันธ์ระหว่างค่า ϕ' และปริมาณทรายเป็นลักษณะของสมการเชิงเส้น



รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า มุมเสียดทานภายใน (ϕ') กับปริมาณทรายที่อัตราส่วนผสมต่าง ๆ

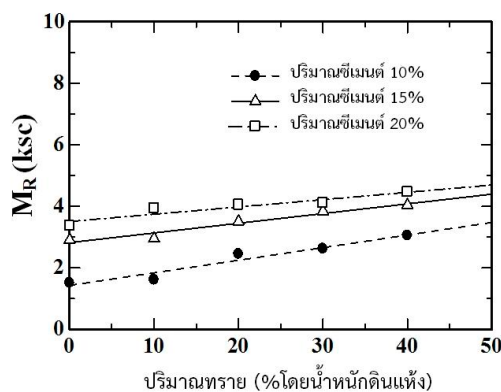
3.3 การวิเคราะห์ผลการทดสอบแรงดัด

การทดสอบตัวอย่างดินซีเมนต์เพื่อหากล้างรับแรงดัด ใช้วิธีทดสอบแบบ Third point loading ตามมาตรฐาน ASTM D 1635 ดังแสดงในรูปที่ 7 ค่ากำลังรับแรงดัดถูกคำนวณอยู่ในเทอมของค่าโมดูลัสการแตกกร้าว (Modulus of rupture, M_R) ค่า M_R ที่สูงกว่า แสดงว่ามีความสามารถในการรับแรงดัดที่มากกว่า



รูปที่ 7 การทดสอบแรงดัดแบบ Third point loading

ปริมาณทรายที่ใส่เพิ่มมีอิทธิพลต่อค่า M_R ดังแสดงในรูปที่ 8 ค่า M_R มีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อมีปริมาณทรายเข้ามาผสมมากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ การเติมทรายเข้าไปทำให้ดินซีเมนต์มีความแข็งแรงมากขึ้น การจับตัวของซีเมนต์กับมวลรวมดีขึ้นเป็นผลทำให้ค่ากำลังรับแรงดัดสูงขึ้น มีความสัมพันธ์ระหว่างค่า M_R และปริมาณทรายเป็นลักษณะเชิงเส้น นอกจากนี้ค่า M_R เพิ่มขึ้นตามปริมาณซีเมนต์ที่สูงขึ้น สอดคล้องกับการศึกษาของ ศุภสิทธิ์ [7]

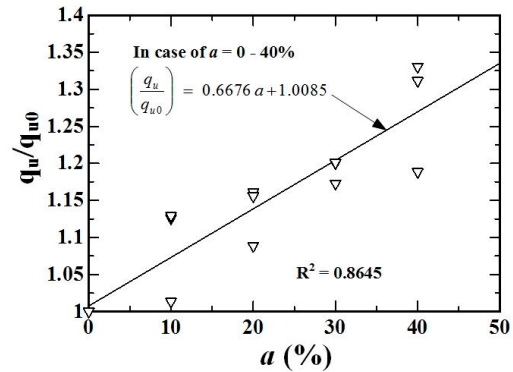


รูปที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าโมดูลัสการแตกร้าว (M_R) กับปริมาณซีเมนต์ที่อัตราส่วนผสมต่าง ๆ

4 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของค่าพารามิเตอร์

4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า q_u , E_{50} และปริมาณทราย

ถ้ากำหนดให้ค่า q_{u0} และ q_u คือค่าแรงกดแกนเดียวในหน่วย ksc ของดินซีเมนต์ที่ไม่มีทรายผสมและมีทรายผสมตามลำดับ และให้ค่า a คือปริมาณทรายที่ผสมในดินเหนียวเป็นเปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักดินเหนียวแห้ง จากนั้นนำมาเขียนรูปความสัมพันธ์ระหว่าง (q_u/q_{u0}) และ a ได้ดังแสดงในรูปที่ 9 ซึ่งมีความสัมพันธ์แบบเชิงเส้นที่มีค่า $R^2 = 0.8645$ สามารถเขียนเป็นรูปสมการดังนี้



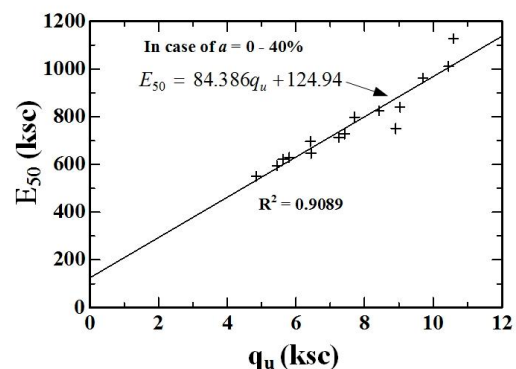
รูปที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า (q_u/q_{u0}) และ a

$$\left(\frac{q_u}{q_{u0}}\right) = 0.6676 a + 1.0085 \quad (1)$$

เมื่อค่า a มีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 40 %

สำหรับความสัมพันธ์ระหว่างค่า E_{50} และ q_u ของดินซีเมนต์ผสมทรายระหว่าง 0 ถึง 40 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักดินเหนียวแห้งในปริมาณซีเมนต์ต่าง ๆ ถูกแสดงในรูปที่ 10 ความสัมพันธ์เป็นแบบสมการเชิงเส้น ดังแสดงด้วยสมการที่ 2 มีค่า $R^2 = 0.9089$ แสดงให้เห็นว่า ค่า q_u เพิ่มทำให้ค่า E_{50} เพิ่มขึ้นตาม ดังสมการต่อไปนี้

$$E_{50} = 84.386q_u + 124.94 \quad (2)$$



รูปที่ 10 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า E_{50} และ q_u

4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า c' , q_u และปริมาณทราย

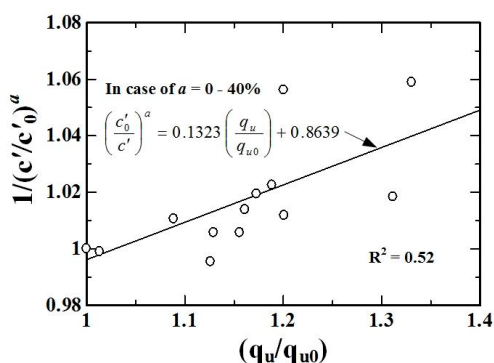
ในทำนองเดียวกันกับหัวข้อที่ 4.1 กำหนดให้ ค่า c'_0 และ c' คือค่าแรงยึดเกาะในหน่วย ksc ของดินซีเมนต์ที่ไม่มีทรายผสม และมีทรายผสมในอัตราส่วนต่าง ๆ ตามลำดับ นำผลการทดสอบมาวิเคราะห์ สามารถเขียนรูปความสัมพันธ์ระหว่าง (q_u/q_{u0}) และ $(c'/c'_0)^a$ ได้ดังแสดงในรูปที่ 11 พบว่ามีลักษณะความสัมพันธ์แบบสมการเชิงเส้น ที่มีค่า $R^2 = 0.52$ มีรูปแบบสมการดังต่อไปนี้

$$\left(\frac{c'_0}{c'}\right)^a = 0.1323\left(\frac{q_u}{q_{u0}}\right) + 0.8639 \quad (3)$$

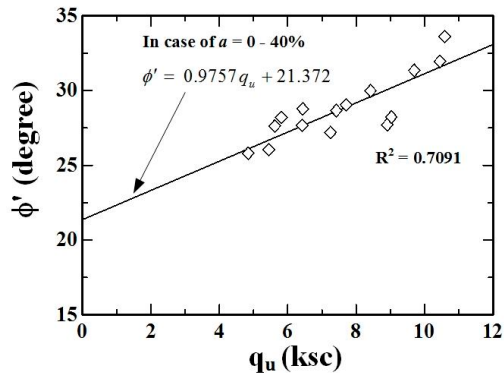
4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า ϕ' และ q_u

ในรูปที่ 12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า ϕ' และ q_u พบว่ามีลักษณะเป็นสมการเชิงเส้น ที่มีค่า $R^2 = 0.7091$ การเพิ่มขึ้นของค่า q_u ทำให้ค่า ϕ' เพิ่มขึ้นตามเป็นลักษณะสมการเชิงเส้น มีรูปแบบสมการความสัมพันธ์ดังนี้

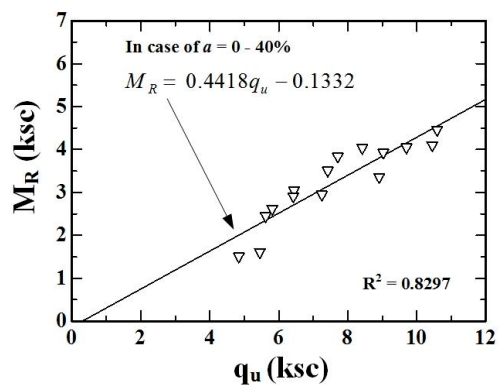
$$\phi' = 0.9757q_u + 21.372 \quad (4)$$



รูปที่ 11 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า (q_u/q_{u0}) และ $(c'/c'_0)^a$



รูปที่ 12 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า ϕ' และ q_u



รูปที่ 13 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า M_R และ q_u

4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า M_R และ q_u

สำหรับความสัมพันธ์ระหว่างค่า M_R และ q_u ของดินซีเมนต์ผสมทรายในปริมาณ 0 ถึง 40 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักดินเหนียวแห้ง ถูกแสดงในรูปที่ 13 มีลักษณะเป็นสมการเชิงเส้น ที่มีค่า $R^2 = 0.8297$ การเพิ่มขึ้นของค่า q_u ส่งผลให้ค่า M_R สูงขึ้นตาม และสามารถเขียนในรูปสมการดังนี้

$$M_R = 0.4418q_u - 0.1332 \quad (5)$$

5 สรุปผลการศึกษา

โครงการวิจัยนี้เป็นการศึกษาผลกระทบของการเพิ่มปริมาณทรายในดินเหนียวที่ผสมซีเมนต์ในปริมาณต่าง ๆ มีผลสรุปดังนี้

1) ปริมาณทรายในส่วนผสมของดินซีเมนต์มีผลทำให้ค่า q_u , ϕ' และ M_R เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ แต่อย่างไรก็ตาม สำหรับค่า c' เกิดการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

2) ค่า E_{50} , ϕ' และ M_R มีความสัมพันธ์กับค่า q_u เป็นแบบสมการเชิงเส้น

3) สมการความสัมพันธ์ ระหว่างค่า c' , q_u และปริมาณทราย เพื่อใช้ในการหาค่า q_u และ c' ของดินซีเมนต์ที่มีทรายผสมอยู่ เมื่อทราบค่า q_u ของดินซีเมนต์ที่ไม่ได้ผสมทรายเพิ่มหรือค่า q_{u0} สำหรับกรณีมีทรายผสมอยู่ในปริมาณไม่เกิน 40 % โดยน้ำหนักดินเหนียวแห้ง ได้ถูกนำเสนอขึ้นมา

6 กิตติกรรมประกาศ

บทความนี้เป็นส่วนหนึ่งของการวิจัยเรื่อง การศึกษาการพัฒนากำลังของวัสดุชั้นพื้นทางผสมซีเมนต์ ซึ่งได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ด้วยทุนงบประมาณแผ่นดิน ประจำปี 2559 (วช.) จึงขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Broms, B. B., and Boman, P. O., 1979. "Lime column a new foundation method". *Journal of Geotechnical Engineering Division, ASCE*, 105(GT4), pp. 539-556.

- [2] Bergado, D. T., Chai, J. C., Alfaro, M. C. and Balasubramaniam, A. S., 1994. *Improvement Techniques of Soft Ground in subsiding and Lowland Environment*. Balkema, Rotterdam, 222 p.
- [3] Taguchi T, Hino T, Suzuki M and Yamamoto T (2007) Consideration on applying of unconfined compressive strength evaluation of soil-cement column cured under stress to Saga lowland. *Proceedings of the International Symposium on Geotechnical Engineering, Ground Improvement and Geosynthetics for Human Security and Environmental Preservation*, Bangkok, Thailand, pp. 659-667.
- [4] Igaya Y, Hino T and Chai JC (2010) Behavior of trial embankments and the results of environmental monitoring for the Ariake sea coastal road project. *Proceedings of the 7th International Symposium on Lowland Technology*, Saga, Japan, 2010, 260-271.
- [5] Chai, J. C., Miura, N., Kirekawa, T. and Hino, T., 2009. "Settlement prediction for soft ground improved by columns". *Ground Improvement, Proceeding of Institute of Civil Engineers. UK*. Vol. 162.

- [6] Pongsivasathit, S., Chai, J. C. and Ding W. (2012). "Consolidation settlement of floating-column-improved soft clayey deposit". Ground Improvement, Proceeding of Institute of Civil Engineers, UK, Vol. 166, pp. 44-58.
- [7] ศุภสิทธิ พงศ์ศิวัะสถิตย์, "การศึกษาคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินเหนียวผสมซีเมนต์และปูนขาว", วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิศวกรรมโยธา, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, พ.ศ.2543, หน้า 152-156.

ผลกระทบของการใช้เถ้าแกลบแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ต่อคุณสมบัติด้านกำลังอัดของคอนกรีตภายใต้การหล่อแบบอัดความดัน Effect of Using Rice husk ash to Replace Portland Cement on Compressive strength of Concrete Under Pressure mold

สุชีพร ศรีชู¹ และ จตุพล ตั้งปกาศิต^{2*}

nong_cheep@hotmail.com¹, jatuphon_t@rmutt.ac.th^{2*}

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ เพื่อศึกษาผลกระทบของการใช้เถ้าแกลบแทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วนที่มีผลต่อคุณสมบัติด้านกำลังอัดของคอนกรีตภายใต้การหล่อแบบอัดความดัน โดยออกแบบกำลังอัดที่อายุ 28 วันของคอนกรีตมาตรฐาน ซึ่งเท่ากับ 240 กก./ตร.ซม. ใช้เถ้าแกลบจากโรงไฟฟ้าชีวมวลของ บริษัท เอ.ที.ไบโอพาวเวอร์ จำกัด จ.พิจิตร มี 2 ขนาด คือ เถ้าแกลบไม่บด และเถ้าแกลบบดละเอียด แทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ในอัตราร้อยละ 10 และ 20 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน ทำการทดสอบกำลังอัดที่อายุ 7, 28, 60 และ 90 วัน ผลการทดสอบพบว่า การพัฒนา กำลังอัดของคอนกรีตเมื่อทำการหล่อแบบความดันโดยการแทนที่เถ้าแกลบบดละเอียด (GRH) ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 จะมีกำลังรับแรงอัดสูงกว่าคอนกรีตแทนที่ด้วยเถ้าแกลบไม่บด (URH) และคอนกรีตมาตรฐาน (CON-P) สำหรับการพัฒนา กำลังอัดของคอนกรีตภายใต้การหล่อแบบอัดความดัน การแทนที่เถ้าแกลบบดละเอียด (GRH) ในอัตราส่วนร้อยละ 20 มีค่ากำลังอัดสูงกว่าในปริมาณการแทนที่ร้อยละ 10

คำสำคัญ : เถ้าแกลบ, กำลังอัด, การหล่อแบบอัดความดัน

Abstract

The objective of this research is to study the effect of the use of rice husk ash (RHA) as a partial replacement of cement on the compressive strength for concrete under pressure mold. By using 28-day compressive, of which equals to 240 ksc. Using RHA from biomass power plant - A.T. Biopower Co.,Ltd. in Phichit province. Two types of RHA, ground (GRH) and unground (URH) are used to replace Portland cement at 10% and 20% by weight of binder. The compressive strengths

* Corresponding author

¹ นักศึกษาปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

² อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

of concrete are tested at 7, 28, 60 and 90 days, and they all show that the replacement of GRH in Portland cement type I give higher strength of concrete than URH and CON-P. For the development for compressive strength of concrete under pressure mold, the replacement of GRH at 20% by weight in Portland cement can produce higher compressive strength than the replacement of GRH at 10%.

Keywords : Rice husk ash, Compressive strength, pressure mold.

1. บทนำ

ในปัจจุบันได้มีการนำแนวคิดเรื่องคอนกรีตสีเขียว (Green Concrete) มาใช้กันมากขึ้น ซึ่งแบ่งได้เป็นคอนกรีตผสมของเสียหรือผลพลอยได้จากอุตสาหกรรม คอนกรีตที่ผสมจากมวลรวมที่ถูกใช้แล้วนำกลับมาใช้ใหม่ และคอนกรีตผสมวัสดุเฉื่อยที่สามารถนำมาใช้เพื่อพัฒนาคุณสมบัติของคอนกรีต [1] การนำวัสดุเหลือทิ้งจากภาคอุตสาหกรรมมาใช้ในอุตสาหกรรมคอนกรีต โดยการนำมาใช้แทนที่บางส่วนในปูนซีเมนต์เพื่อวัตถุประสงค์ในการลดปริมาณปูนซีเมนต์ในส่วนผสมที่ใช้ทำคอนกรีต โดยที่คอนกรีตยังคงคุณสมบัติไม่ต่างจากเดิมหรือมีคุณสมบัติดีกว่าเดิม [2] ทำให้คอนกรีตมีราคาถูกลงและยังเป็นการช่วยลดปัญหาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอีกด้วย

เถ้าแกลบก็เป็นผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมการผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าชีวมวล โดยมีองค์ประกอบทางเคมีที่เป็นซิลิกา (silica) สูง เหมาะสำหรับการนำมาทำเป็นวัสดุปอซโซลานเพื่อใช้แทนที่บางส่วนในปูนซีเมนต์ โดยสามารถให้กำลังอัดเท่ากับการใช้ปูนซีเมนต์ปกติ ที่ปริมาณการใช้ไม่เกินร้อยละ 20 [3, 4]

นอกจากการนำวัสดุเหลือทิ้งมาใช้แทนที่ในปูนซีเมนต์เพื่อลดปัญหาทางสิ่งแวดล้อมแล้วยังมีการศึกษาวิจัยในด้านการพัฒนาคอนกรีตให้มีคุณภาพดีขึ้นโดยสามารถลดการใช้ปริมาณ

ปูนซีเมนต์ลง ซึ่งก็เป็นแนวทางในการลดปัญหาทางด้านมลภาวะทางสิ่งแวดล้อมอีกทางหนึ่งด้วย โดยมีการศึกษาการหล่อคอนกรีตภายใต้แบบอัดความดันสามารถพัฒนาให้คอนกรีตมีกำลังสูงขึ้นโดยไม่ต้องใช้ปริมาณปูนซีเมนต์เพิ่มขึ้น หมายความว่า ถ้าใช้คอนกรีตที่มีกำลังอัดเท่าเดิม การใช้แบบหล่ออัดความดันจะสามารถลดปริมาณการใช้ปูนซีเมนต์ลงได้ [5] จะเห็นได้ว่า ถ้ามีการหล่อคอนกรีตแบบอัดความดันและการใช้เถ้าแกลบแทนที่ในปูนซีเมนต์ร่วมกันจะส่งผลให้คอนกรีตสามารถลดการใช้ปูนซีเมนต์ลงได้มาก ซึ่งในอุตสาหกรรมการผลิตคอนกรีตสำเร็จรูปได้มีการพัฒนาระบบการผลิตอย่างต่อเนื่อง โดยอุตสาหกรรมการผลิตเสาเข็มกลมแรงเหวี่ยงอัดแรง (Spun pile) ซึ่งรูปแบบการผลิตใช้กรรมวิธีการปั่นคอนกรีตในแบบหล่อที่หมุนด้วยความเร็วสูง ทำให้คอนกรีตมีความหนาแน่นสูงกว่าคอนกรีตที่หล่อด้วยวิธีธรรมดา [6] จากแนวคิดดังกล่าวจึงเป็นที่มาของงานวิจัยนี้ ซึ่งมีจุดมุ่งหมายที่จะเพิ่มทางเลือกในการผลิตคอนกรีตสำเร็จรูปที่มีการพัฒนาวิธีการหล่อคอนกรีตโดยใช้แบบหล่ออัดความดันและการใช้เถ้าแกลบแทนที่ในปูนซีเมนต์ซึ่งจะเป็นการลดต้นทุนในการผลิตและลดปัญหาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเพราะสามารถลดการใช้ปูนซีเมนต์ลงได้มาก โดยจะทำการศึกษาผลกระทบของการใช้เถ้าแกลบจาก

โรงไฟฟ้าชีวมวลแทนที่ปูนซีเมนต์ต่อคุณสมบัติด้านกำลังอัดของคอนกรีตภายใต้การหล่อแบบอัดความดันที่มีการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าแกลบร้อยละ 10 และ 20 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน

2 วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาการพัฒนา กำลังอัดของคอนกรีตที่ใช้เถ้าแกลบแทนที่ในปูนซีเมนต์ภายใต้การหล่อแบบอัดความดัน

3.การเตรียมตัวอย่างและการทดสอบ

3.1 วัสดุที่ใช้ในการวิจัย

3.1.1 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1

3.1.2 เถ้าแกลบ ใช้เถ้าแกลบที่ได้จากกระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้าจากเถ้าของ บริษัท เอ.ที. ไบโอฟาวเวอร์จำกัด จังหวัดพิจิตร มี 2 ขนาด คือเถ้าแกลบไม่บด และเถ้าแกลบบดละเอียด มีขนาดค้ำบนตะแกรงเบอร์ 325 ร้อยละ 86 และ 7 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ

3.1.3 ทราย ใช้ทรายแม่ น้ำ ร้อนผ่านตะแกรงเบอร์ 4

3.1.4 สารลดน้ำพิเศษ

3.1.5 หิน ใช้หินที่มีขนาดใหญ่สุดไม่เกิน 20 มม.

3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษา

3.2.1 แบบหล่ออัดความดัน ขนาด กว้างxยาวxสูง เท่ากับ 10x10x11 ซม. ดังแสดงในรูปที่ 1 (ก) โดยการใส่คอนกรีตให้มีความสูงเท่ากับ 11 ซม. เมื่อปิดฝาและดำเนินการขึ้นน็อตที่บนฝาจะทำให้ฝาแบบหล่ออัดคอนกรีตเหลือความสูง 10 ซม.

3.2.2 แบบหล่อคอนกรีตธรรมดา มีขนาด 10x10x10 ซม. ดังแสดงในรูปที่ 1 (ข)

3.3 วิธีการทดสอบ

3.3.1 ออกแบบส่วนผสมคอนกรีตมีกำลังอัดเท่ากับ 240 กก./ตร.ซม. ที่อายุ 28 วัน ในตารางที่ 1 โดยวิธีของ ACI [7]

3.3.2 หล่อตัวอย่างคอนกรีตด้วยแบบหล่อธรรมดาและ แบบอัดความดันคงที่โดยการขึ้นน็อตที่บนฝาจะทำให้ฝาแบบหล่ออัดคอนกรีตที่มีปริมาณของความสูงเดิม 11 ซม. ให้เหลือความสูง 10 ซม. จากนั้นจะทำการถอดแบบเมื่อคอนกรีตมีอายุครบ 24 ชั่วโมง แล้วทำการบ่มด้วยน้ำ

3.3.3 ทำการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตเมื่ออายุของคอนกรีต 7, 28, 60 และ 90 วัน



(ก)



(ข)

รูปที่ 1 (ก) แบบหล่ออัดความดัน (ข) แบบหล่อพลาสติกแข็ง

ตารางที่ 1 อัตราส่วนผสมคอนกรีต

Sample	Mix Proportion (by weight)						
	C (kg)	RH (kg)	S (kg)	R (kg)	W (kg)	SP* (kg)	Slump (cm.)
CON-N	316	-	739	1,090	211.42	-	10.30
CON-P	316	-	739	1,090	211.42	-	10.30
URH10-SP-N	284.40	31.60	739	1,090	210.88	1.09	11.70
URH20-SP-N	252.80	63.20	739	1,090	210.32	2.20	7.50
URH10-SP-P	284.40	31.60	739	1,090	210.88	1.09	11.70
URH20-SP-P	252.80	63.20	739	1,090	210.32	2.20	7.50
GRH10-SP-N	284.40	31.60	739	1,090	210.88	1.09	12.10
GRH20-SP-N	252.80	63.20	739	1,090	210.32	2.20	8.90
GRH10-SP-P	284.40	31.60	739	1,090	210.88	1.09	12.10
GRH20-SP-P	252.80	63.20	739	1,090	210.32	2.20	8.90

หมายเหตุ : *ปริมาณน้ำที่ใช้ในส่วนผสมสำหรับตัวอย่างที่ใช้สารลดน้ำพิเศษจะคือน้ำที่ผสมอยู่ในสารลดน้ำพิเศษร้อยละ 50 โดยปริมาณการใส่สารลดน้ำพิเศษใช้ค่า Slump เท่ากับ 10 ± 2.5 ซม. เป็นเกณฑ์ควบคุม

สำหรับสัญลักษณ์ที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ประกอบด้วย CON หมายถึง ตัวอย่างคอนกรีตมาตรฐาน, URH และ GRH หมายถึง เถ้าแกลบไม่บดและเถ้าแกลบบดละเอียด, SP หมายถึง สารลดน้ำพิเศษ, N และ P หมายถึง ตัวอย่างแบบหล่อธรรมดาและการหล่อแบบอัดความดัน ส่วนตัวเลข 10 และ 20 แสดงถึงร้อยละการแทนที่ของเถ้าแกลบในปูนซีเมนต์โดยน้ำหนักวัสดุประสาน ตัวอย่างการอ่านสัญลักษณ์ URH10-SP-P หมายถึง คอนกรีตผสมเถ้าแกลบไม่บด (URH) แทนที่ในปูนซีเมนต์ ร้อยละ 10 โดยเติมสารลดน้ำพิเศษ (SP) เพื่อปรับค่ายุบตัว โดยการหล่อตัวอย่างแบบอัดความดัน, CON-N หมายถึง คอนกรีตมาตรฐานที่หล่อด้วยแบบหล่อธรรมดา, CON-P หมายถึง คอนกรีตมาตรฐานที่หล่อด้วยแบบอัดความดัน

4. ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล

4.1 องค์ประกอบทางเคมีและทางกายภาพของเถ้าแกลบ

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีและคุณสมบัติทางกายภาพของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และเถ้าแกลบแสดงในตารางที่ 2 และ 3 ตามลำดับ พบว่าเถ้าแกลบ มีปริมาณ SiO_2 สูงถึงร้อยละ 90.62 ในขณะที่มีองค์ประกอบอื่นในปริมาณน้อยและการศึกษาที่ผ่านมา พบว่า การปรับปรุงคุณภาพวัสดุปอซโซลานโดยการบดไม่มีผลทำให้องค์ประกอบเคมีเปลี่ยนแปลง [8] และเถ้าแกลบบดละเอียดเมื่อเปรียบเทียบกับเถ้าแกลบบอนุภาคขนาดใหญ่ มีองค์ประกอบทางเคมีไม่แตกต่างกัน [9]

ในส่วนของคุณสมบัติทางกายภาพของ
 แก้วเคลือบ พบว่า ค่าความถ่วงจำเพาะของ
 แก้วเคลือบไม่บด (URH) และแก้วเคลือบบดละเอียด
 (GRH) เท่ากับ 1.99 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าปูนซีเมนต์
 ปอร์ตแลนด์ ในขณะที่ความละเอียดโดยการหา
 ปริมาณอนุภาคที่ค้ำบนตะแกรงมาตรฐานเบอร์
 325 พบว่า แก้วเคลือบไม่บด (URH) และ
 แก้วเคลือบบดละเอียด (GRH) มีขนาดอนุภาค
 ค้ำบนตะแกรงเบอร์ 325 ร้อยละ 86 และ
 7 ตามลำดับ จะเห็นว่า แก้วเคลือบไม่บดมีขนาด
 อนุภาคใหญ่กว่าปูนซีเมนต์ และแก้วเคลือบบด
 มีขนาดอนุภาคเล็กกว่าปูนซีเมนต์

ตารางที่ 2 องค์ประกอบทางเคมีของปูนซีเมนต์และ
 แก้วเคลือบ

องค์ประกอบทางเคมี (ร้อยละ)	ปูนซีเมนต์ ปอร์ตแลนด์	แก้วเคลือบ
SiO ₂	20.40	90.62
Al ₂ O ₃	5.40	0.25
Fe ₂ O ₃	3.10	0.20
CaO	63.71	0.85
MgO	1.04	0.35
K ₂ O	0.54	2.17
SO ₃	2.90	0.13
Na ₂ O	0.08	0.04
LOI	2.83	5.39

ตารางที่ 3 คุณสมบัติทางกายภาพของปูนซีเมนต์และ
 แก้วเคลือบ

คุณสมบัติ ทางกายภาพ	ปูนซีเมนต์ ปอร์ตแลนด์	แก้วเคลือบ	
		ไม่บด	บด ละเอียด
ความถ่วงจำเพาะ	3.18	1.99	1.99
ร้อยละค้ำบน ตะแกรงเบอร์ 325	13.5	86	7

4.2 ผลกระทบเนื่องจากความหนาแน่น

ตารางที่ 4 แสดงค่าเฉลี่ยความหนาแน่น
 ของตัวอย่างคอนกรีตกำลังอัด 240 กก./ตร.ซม.
 พบว่า คอนกรีตมาตรฐานที่หล่อด้วยแบบ
 หล่อธรรมดา (CON-N) จะมีค่าเฉลี่ยหน่วย
 น้ำหนักของคอนกรีต เท่ากับ 2,377 กก./ลบ.ม.
 แต่เมื่อทำการหล่อแบบอัดความดัน (CON-P)
 จะมีค่าเฉลี่ยหน่วยน้ำหนักของคอนกรีต เท่ากับ
 2,484 กก./ลบ.ม. จะเห็นได้ว่าหน่วยน้ำหนักของ
 คอนกรีตมีค่าเพิ่มขึ้นจากการหล่อแบบอัดความ
 ดัน เท่ากับ 107 กก./ลบ.ม. หรือ เพิ่มขึ้นร้อยละ
 4.50 คอนกรีตที่แทนที่แก้วเคลือบไม่บด (URH)
 ในปูนซีเมนต์ร้อยละ 10 ของตัวอย่างคอนกรีต
 (URH10-SP-N) หน่วยน้ำหนักของคอนกรีต
 มีค่าเพิ่มขึ้นจากการหล่อแบบอัดความดัน
 (URH10-SP-P) เท่ากับ 111 กก./ลบ.ม. หรือ
 เพิ่มขึ้นร้อยละ 4.71 และตัวอย่างคอนกรีตแทนที่
 แก้วเคลือบไม่บด (URH) ในปูนซีเมนต์ร้อยละ
 20 (URH20-SP-N) หน่วยน้ำหนักของคอนกรีต
 มีค่าเพิ่มขึ้นจากการหล่อแบบอัดความดัน
 (URH20-SP-P) เท่ากับ 169 กก./ลบ.ม. หรือ
 เพิ่มขึ้นร้อยละ 7.20 คอนกรีตที่แทนที่แก้วเคลือบ
 บดละเอียด (GRH) ในปูนซีเมนต์ร้อยละ 10 ของ
 ตัวอย่างคอนกรีต (GRH10-SP-N) หน่วยน้ำหนัก
 ของคอนกรีตมีค่าเพิ่มขึ้นจากการหล่อแบบอัด
 ความดัน (GRH10-SP-P) เท่ากับ 166 กก./ลบ.ม.
 หรือ เพิ่มขึ้นร้อยละ 7.05 และตัวอย่างคอนกรีต
 แทนที่แก้วเคลือบบดละเอียด (GRH) ในปูนซีเมนต์
 ร้อยละ 20 (GRH20-SP-N) หน่วยน้ำหนักของ
 คอนกรีตมีค่าเพิ่มขึ้นจากการหล่อแบบอัดความ
 ดัน (GRH20-SP-P) เท่ากับ 146 กก./ลบ.ม. หรือ
 เพิ่มขึ้นร้อยละ 6.16 จะเห็นได้ว่าหน่วยน้ำหนัก
 ของตัวอย่างคอนกรีตกำลังอัด 240 กก./ตร.ซม.
 ของตัวอย่างคอนกรีตมาตรฐาน (CON), ตัวอย่าง
 คอนกรีตที่แทนที่ด้วยแก้วเคลือบไม่บด (URH) และ

เก้าอี้แบบดัดละเอียด (GRH) ในปูนซีเมนต์อัตรา ร้อยละ 10 และ 20 มีค่าเพิ่มขึ้นเป็นผลมาจากการหล่อแบบอัดความดันมีผลทำให้มวลรวม อยู่ชิดกันมากขึ้นช่องว่างระหว่าง มวลรวมน้อยลง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัย ที่ผ่านมา [5, 10] พบว่า เมื่อมวลรวม อยู่ชิดกันมาก ๆ ความหนาแน่น ก็ย่อมเพิ่มสูงขึ้นด้วย

เมื่อพิจารณาปริมาณการแทนที่ของเก้าอี้แบบเทียบกับความหนาแน่นของตัวอย่างคอนกรีตที่ เพิ่มขึ้นภายใต้การหล่อแบบอัดความดัน จะเห็นว่า คอนกรีตที่มีการแทนที่เก้าอี้แบบดัดละเอียด (GRH) ในปริมาณร้อยละ 20 จะมีค่าความหนาแน่นที่เพิ่มขึ้นน้อยกว่าตัวอย่างของคอนกรีตที่แทนที่เก้าอี้แบบ GRH ร้อยละ 10 เนื่องจากค่าความถ่วงจำเพาะของเก้าอี้แบบ GRH มีค่าน้อยกว่าปูนซีเมนต์ การแทนที่ในปริมาณที่มากขึ้น ทำให้ความหนาแน่นต่ำลง ส่วนคอนกรีตที่มีการแทนที่เก้าอี้แบบไม่บด (URH) ในปริมาณร้อยละ 20 จะมีความหนาแน่นที่เพิ่มขึ้นสูงกว่าตัวอย่างของคอนกรีตที่แทนที่เก้าอี้แบบ URH ร้อยละ 10 เนื่องจากคอนกรีตผสมเก้าอี้แบบ URH มีค่า Slump น้อย การหล่อคอนกรีตให้แน่นด้วยแบบหล่อธรรมดาทำได้ค่อนข้างยาก การแทนที่เก้าอี้แบบ URH ในปริมาณมากขึ้นความหนาแน่น จึงน้อยลง ส่งผลให้ค่าผลต่างของความหนาแน่นของคอนกรีตที่หล่อด้วยแบบหล่อธรรมดากับการหล่อแบบอัดความดันมีค่าสูงขึ้นจากการแทนที่เก้าอี้แบบ URH เพิ่มขึ้น

ตารางที่ 4 การเปรียบเทียบหน่วยน้ำหนักของคอนกรีต

ตัวอย่างของคอนกรีต	หน่วยน้ำหนักเฉลี่ย (กก./ลบ.ม.)	ผลต่าง (กก./ลบ.ม.)	เพิ่มขึ้น (%)
CON-N	2,377	107	4.50
CON-P	2,484		
URH10-SP-N	2,358	111	4.71
URH10-SP-P	2,469		
URH20-SP-N	2,348	169	7.20
URH20-SP-P	2,517		
GRH10-SP-N	2,356	166	7.05
GRH10-SP-P	2,522		
GRH20-SP-N	2,369	146	6.16
GRH20-SP-P	2,515		

4.3 ค่ากำลังอัดของคอนกรีต

ตารางที่ 5 แสดงค่ากำลังอัดและร้อยละของคอนกรีต พบว่า คอนกรีต CON-N มีกำลังอัดที่อายุ 7 และ 90 วัน เท่ากับ 264 และ 356 กก./ตร.ซม. ตามลำดับ ส่วนคอนกรีต CON-P มีกำลังอัดที่อายุ 7 วัน และ 90 วัน มีค่าเท่ากับ 371 และ 526 กก./ตร.ซม. หรือคิดเป็นร้อยละ 141 และ 148 ของคอนกรีต CON-N ตามลำดับ แสดงว่ากำลังอัดของตัวอย่างคอนกรีต CON-P มีค่าเพิ่มขึ้นตามอายุที่เพิ่มขึ้นและมีค่าสูงกว่าคอนกรีต CON-N

ตารางที่ 5 กำลังอัดและร้อยละของตัวอย่างคอนกรีต

ตัวอย่างของคอนกรีต	กำลังอัด (กก./ตร.ซม. – (%))			
	7 วัน	28 วัน	60 วัน	90 วัน
CON-N	264 (100)	290 (100)	329 (100)	356 (100)
CON-P	371 (141)	413 (142)	465 (141)	526 (148)
URH10-SP-N	264 (100)	287 (99)	329 (100)	360 (101)
URH10-SP-P	366 (139)	431 (149)	460 (140)	521 (146)
URH20-SP-N	258 (98)	286 (99)	327 (99)	352 (99)
URH20-SP-P	360 (136)	411 (142)	464 (141)	521 (146)
GRH10-SP-N	269 (102)	328 (113)	341 (104)	363 (102)
GRH10-SP-P	376 (142)	461 (159)	490 (149)	534 (150)
GRH20-SP-N	271 (103)	336 (116)	346 (105)	368 (103)
GRH20-SP-P	380 (144)	470 (162)	491 (149)	545 (153)

หมายเหตุ : การเทียบร้อยละของกำลังอัดเทียบจากกำลังอัดของตัวอย่างคอนกรีต CON-N

ส่วนคอนกรีตที่แทนที่เถ้ากลบไม่บด (URH) ในปูนซีเมนต์อัตราร้อยละ 10 และ 20 ของตัวอย่างคอนกรีต URH10-SP-N และ URH20-SP-N มีกำลังอัดที่อายุ 7 และ 90 วัน เท่ากับ 264, 258 และ 360, 352 กก./ตร.ซม. หรือคิดเป็นร้อยละ 100, 98 และ 101, 99 ของ คอนกรีตมาตรฐาน (CON-N) ตามลำดับ และ คอนกรีตที่แทนที่ด้วยเถ้ากลบบดละเอียด (GRH) ในปูนซีเมนต์อัตรา ร้อยละ 10 และ 20 ของ ตัวอย่างคอนกรีต GRH10-SP-N และ GRH20-SP-N มีกำลังอัด ที่อายุ 7 และ 90 วัน เท่ากับ 269, 271 และ 363, 368 กก./ตร.ซม. หรือ คิดเป็นร้อยละ 102, 103 และ 102, 103 ของคอนกรีตมาตรฐาน (CON-N) ตามลำดับ จะเห็นว่า กำลังอัดของตัวอย่างคอนกรีต URH10-SP-N มีค่ากำลังอัดใกล้เคียงกับ CON-N เนื่องจากการควบคุมค่า Slump ของการหล่อ ตัวอย่างคอนกรีตที่ผสมเถ้ากลบโดยใส่สารลดน้ำพิเศษ เพื่อควบคุมอัตราส่วน W/C

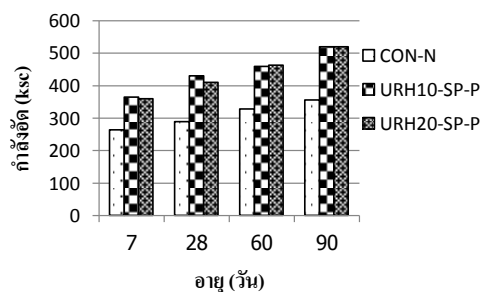
ให้เท่าเดิม และจากอัตราการแทนที่เถ้ากลบ ในปริมาณที่น้อยไม่เกินร้อยละ 10 จึงส่งผล กระทบต่อค่ากำลังอัดเพียงเล็กน้อยจากปริมาณ ปูนซีเมนต์ที่ลดลงจากการแทนที่ ซึ่งสอดคล้องกับ งานวิจัยที่ผ่านมา พบว่า กำลังอัดของมอร์ต้าร์ ที่ใช้ทรายแม่น้ำบดซึ่งเป็นวัสดุเฉื่อยมีความ เป็นผลึกสูงไม่ทำปฏิกิริยาทางเคมีแทนที่ใน ปูนซีเมนต์ในปริมาณน้อยจะทำให้กำลังอัดลดลง เล็กน้อย [11] และการใช้อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุ ประสานคงที่จะไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงกำลัง อัดของคอนกรีต แต่เมื่อมีการเพิ่มอัตราส่วน น้ำต่อวัสดุประสานจะส่งผลให้กำลังอัดของ คอนกรีตผสมเถ้าปาล์มน้ำมันมีค่าลดลง [12] ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบค่ากำลังอัดของตัวอย่าง คอนกรีต URH20-SP-N กับตัวอย่างคอนกรีต CON-N พบว่า ค่ากำลังอัดของ URH20-SP-N ทุกอายุการทดสอบมีทิศทางต่ำกว่าตัวอย่าง CON-N จะเห็นได้ว่า การแทนที่เถ้ากลบ ในปูนซีเมนต์ที่เพิ่มขึ้นมีผลต่อค่ากำลังอัด

ลดลง ซึ่งเป็นผลเนื่องจากปริมาณปูนซีเมนต์ลดลงมากขึ้นจากการแทนที่ในปริมาณที่เพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 20 ทำให้กำลังอัดที่เกิดจากปฏิกิริยาไฮเดรชันลดลงมาก ส่วนของกำลังอัดที่ได้ปฏิกิริยาปอซโซลานที่เกิดขึ้นยังไม่มากพอที่จะสามารถชดเชยกำลังอัดในส่วนที่หายไปได้ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านมาที่พบว่า มอร์ตาร์ที่แทนที่ด้วยเถ้าปาล์มน้ำมันก่อนบดจะมีกำลังอัดลดลงเมื่ออัตราการแทนที่มากขึ้น [8] และคอนกรีตที่ผสมเถ้าปาล์มน้ำมันบดละเอียดเมื่อเพิ่มอัตราส่วนร้อยละที่มากขึ้น กำลังอัดจะมีค่าลดลง [12]

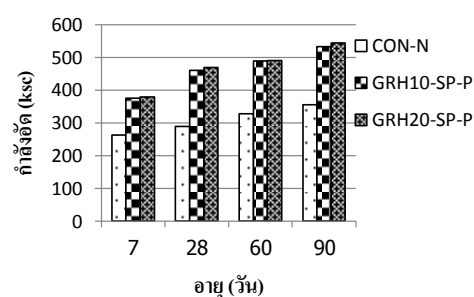
เมื่อทำการหล่อคอนกรีตที่แทนที่ด้วยเถ้าแกลบไม่บด (URH) และเถ้าแกลบบดละเอียด (GRH) ในปูนซีเมนต์ภายใต้การหล่อแบบอัดความดัน พบว่า กำลังอัดของตัวอย่างคอนกรีต URH10-SP-P, URH20-SP-P ที่อายุ 7 วัน และ 90 วัน มีค่าเท่ากับ 366, 360 และ 521, 521 กก./ตร.ซม. หรือคิดเป็นร้อยละ 139, 136 และ 146, 146 ของคอนกรีตมาตรฐาน (CON-N) ตามลำดับ และค่ากำลังอัดของตัวอย่างคอนกรีต GRH10-SP-P, GRH20-SP-P ที่อายุ 7 วัน และ 90 วัน เท่ากับ 376, 380 และ 534, 545 กก./ตร.ซม. หรือคิดเป็นร้อยละ 142, 144 และ 150, 153 ของคอนกรีตมาตรฐาน (CON-N) ตามลำดับ แสดงว่า กำลังอัดของตัวอย่างคอนกรีต URH10-SP-P, URH20-SP-P, GRH10-SP-P, GRH20-SP-P มีค่าเพิ่มขึ้นตามอายุที่เพิ่มขึ้นและมีค่าสูงกว่าคอนกรีตที่มีการแทนที่ในปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าแกลบชนิดเดียวกันในอัตราการแทนที่เท่ากันของตัวอย่างคอนกรีต URH10-SP-N, URH20-SP-N, GRH10-SP-N, GRH20-SP-N ซึ่งเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับตัวอย่างคอนกรีต CON-P

ผลกำลังอัดคอนกรีตข้างต้น แสดงให้เห็นว่ากำลังอัดของตัวอย่างคอนกรีต CON-P,

URH10-SP-P, URH20-SP-P, GRH10-SP-P, GRH20-SP-P ภายใต้การหล่อแบบอัดความดันมีค่าเพิ่มขึ้นตามอายุที่เพิ่มขึ้นและมีค่าสูงกว่าคอนกรีตที่หล่อด้วยแบบหล่อธรรมดาเพราะเมื่อคอนกรีตอยู่ภายใต้ความดัน มีผลทำให้ช่องว่างในคอนกรีตลดลงจึงเป็นการช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของซีเมนต์เพสต์ในการยึดมวลรวมให้แน่นมากขึ้นสอดคล้องกับงานวิจัย ที่ผ่านมา [5, 10] พบว่า ค่ากำลังอัดของคอนกรีตจะมีค่าสูงขึ้นเมื่อคอนกรีตอยู่ภายใต้การหล่อที่มีแรงดันบีบอัดเพราะทำให้ช่องว่างในคอนกรีตลดลงจึงเป็นการช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของซีเมนต์เพสต์ในการยึดมวลรวมให้แน่นมากขึ้น



รูปที่ 2 เปรียบเทียบกำลังอัดของคอนกรีต CON กับคอนกรีตแทนที่เถ้าแกลบ (URH)



รูปที่ 3 เปรียบเทียบกำลังอัดของคอนกรีต CON กับคอนกรีตแทนที่เถ้าแกลบ (GRH)

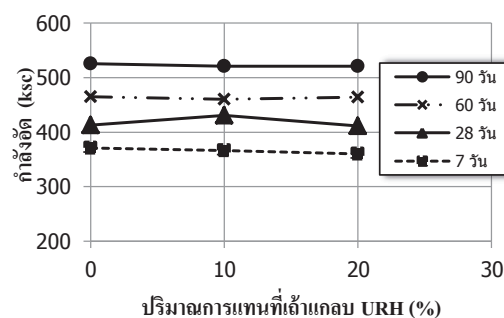
จากรูปที่ 2 แสดงการเปรียบเทียบค่ากำลังอัดของตัวอย่างคอนกรีตมาตรฐาน (CON-N) ที่หล่อด้วยแบบหล่อธรรมดากับตัวอย่างคอนกรีต

ที่แทนที่ด้วยเถาเกลบไม้บด (URH) ในปูนซีเมนต์ ภายใต้การหล่อแบบอัดความดัน พบว่ากำลังอัดของคอนกรีตที่แทนที่ด้วยเถาเกลบไม้บด (URH) ทุกอัตราการแทนที่และทุกอายุของการทดสอบตัวอย่างคอนกรีตโดยมีค่าสูงกว่ากำลังอัดมาตรฐาน ซึ่งกำลังอัดของตัวอย่างคอนกรีต CON-N, URH10-SP-P, URH20-SP-P ที่อายุ 7 และ 90 วัน เท่ากับ 264, 366, 360 และ 356, 521, 521 กก./ตร.ซม. หรือคิดเป็นร้อยละ 100, 139, 136 และ 100, 146, 146 ตามลำดับ และเมื่อทำการเปรียบเทียบค่ากำลังอัดของตัวอย่างคอนกรีตมาตรฐาน (CON-N) ที่หล่อด้วยแบบหล่อธรรมดา กับตัวอย่างคอนกรีตที่แทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถาเกลบบดละเอียด (GRH) ภายใต้การหล่อแบบอัดความดันดังแสดงในรูปที่ 3 พบว่ากำลังอัดของคอนกรีตที่แทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถาเกลบบดละเอียด (GRH) ทุกอัตราการแทนที่และทุกอายุการทดสอบมีค่าสูงกว่ากำลังอัดของตัวอย่างคอนกรีตมาตรฐาน โดยกำลังอัดของตัวอย่างคอนกรีต CON-N, GRH10-SP-P, GRH20-SP-P ที่อายุ 7 และ 90 วัน เท่ากับ 264, 376, 380 และ 356, 534, 545 กก./ตร.ซม. หรือคิดเป็นร้อยละ 100, 142, 144 และ 100, 150, 153 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าคอนกรีตที่แทนที่ด้วยเถาเกลบ URH และ GRH ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ปริมาณร้อยละ 10 และเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 20 ภายใต้การหล่อแบบอัดความดันจะมีค่ากำลังอัดสูงกว่าตัวอย่างคอนกรีตมาตรฐานแบบหล่อธรรมดา จากผลที่ได้เห็นได้ว่ากำลังอัดที่เพิ่มขึ้นมีค่าสูงโดยเฉลี่ยมากกว่าร้อยละ 40 ซึ่งมีแนวโน้มสามารถพัฒนาให้คอนกรีตใช้เถาเกลบแทนที่ในปูนซีเมนต์ได้เพิ่มขึ้นภายใต้การหล่อแบบอัดความดัน ซึ่งเป็นการลดปริมาณการใช้ปูนซีเมนต์ลงและลดปัญหาทางสิ่งแวดล้อมโดยที่ กำลังอัดของ

คอนกรีตยังคงมีค่าเท่าเดิม สอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านมา [5] พบว่า การหล่อคอนกรีตภายใต้แรงดันจะสามารถลดปูนซีเมนต์ลงได้ เมื่อเปรียบเทียบกำลังอัดของคอนกรีตที่ออกแบบกำลังอัด เท่ากับ 400 กก./ตร.ซม. ใช้แบบหล่อธรรมดาจะมีค่ากำลังอัดเท่ากับคอนกรีตที่ออกแบบกำลังอัดเท่ากับ 300 กก./ตร.ซม. ใช้แบบหล่ออัดความดัน ผลที่ได้สามารถพัฒนาให้คอนกรีตมีกำลังสูงขึ้นโดยไม่ต้องใช้ปริมาณปูนซีเมนต์เพิ่ม

4.4 ผลกระทบร้อยละการแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ด้วยเถาเกลบต่อค่ากำลังอัดของคอนกรีต ภายใต้การหล่อแบบอัดความดัน

จากรูปที่ 4 เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถาเกลบไม้บด (URH) กับค่ากำลังอัดของคอนกรีต ภายใต้การหล่อแบบอัดความดันพบว่า ค่ากำลังอัดของคอนกรีตที่ทำการหล่อแบบอัดความดัน



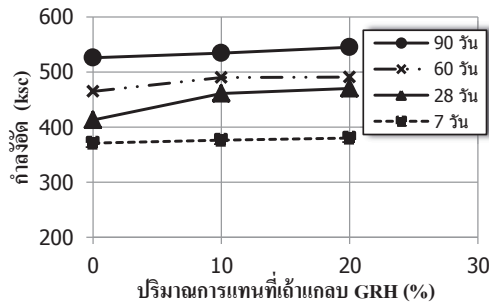
รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการแทนที่ปูนซีเมนต์ ด้วยเถาเกลบไม้บด (URH) กับค่ากำลังอัดของคอนกรีตภายใต้การหล่อแบบอัดความดัน

ของตัวอย่างคอนกรีตที่แทนที่ด้วยเถาเกลบไม้บด (URH) ในปริมาณการแทนที่ร้อยละ 10 และ 20 ของตัวอย่างคอนกรีต URH10-SP-P และ URH20-SP-P มีค่าใกล้เคียง

กับตัวอย่าง CON-P ถึงแม้ว่าเถาเกลบไม่บด มีอนุภาคขนาดใหญ่และมีความพรุนสูงมาก [3] จากการแทนที่เถาเกลบไม่บด (URH) ทำให้กำลังอัดลดลงจากปฏิกิริยาไฮเดรชันที่หายไป แต่กำลังอัดที่ได้ปฏิกิริยาปอซโซลานที่เกิดขึ้น และการหล่อแบบอัดความดันสามารถชดเชยกำลังอัดได้เพียงพอทำให้มีค่าไม่แตกต่างกัน และเมื่อพิจารณาปริมาณการแทนที่เถาเกลบไม่บด (URH) ของตัวอย่างคอนกรีต URH10-SP-P กับ URH20-SP-P พบว่า ในช่วงอายุ 7 ถึง 28 วัน กำลังอัดของ URH10-SP-P มีค่าสูงกว่า URH20-SP-P อยู่เล็กน้อยเนื่องจากการแทนที่ในปริมาณน้อย จะไม่ส่งผลกระทบต่อกำลังอัดมากนักและยังมีกำลังอัดที่ได้จากปฏิกิริยาปอซโซลานเกิดขึ้นจึงเป็นผลทำให้ค่าสูงกว่าเล็กน้อย แต่ที่อายุ 60 วันขึ้นไป กำลังอัดของ URH10-SP-P และ URH20-SP-P มีค่าใกล้เคียงกัน แสดงว่าการพัฒนา กำลังอัดของคอนกรีตที่แทนที่เถาเกลบไม่บด (URH) ภายใต้การหล่อแบบอัดความดัน ในช่วงอายุ 7 ถึง 28 วัน เป็นผลได้จากปฏิกิริยาไฮเดรชันเป็นหลัก ในส่วนของปฏิกิริยาปอซโซลานเกิดขึ้นยังไม่มากเนื่องจากเถาเกลบไม่บดมีอนุภาคใหญ่ การแทนที่เถาเกลบเพิ่มขึ้นทำให้ปูนซีเมนต์ลดลงค่ากำลังอัดจึงต่ำลงและเมื่อคอนกรีตมีอายุ 60 วันขึ้นไป กำลังอัดที่เกิดจากปฏิกิริยาปอซโซลานสามารถชดเชยกำลังอัดที่ลดลงเนื่องจากการลดปูนซีเมนต์ได้ การแทนที่เถาเกลบในปริมาณร้อยละ 20 จึงสามารถพัฒนา กำลังอัดให้มีค่าใกล้เคียงกับคอนกรีตที่มีการแทนที่เถาเกลบในปริมาณร้อยละ 10 สอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านมา [2] การพัฒนา กำลังอัดจากปฏิกิริยาปอซโซลานมีการพัฒนาช้า แต่เมื่อมีอายุมากขึ้นจะพัฒนา กำลังอัดมากขึ้นและยังขึ้นอยู่กับขนาดของวัสดุปอซโซลานด้วย คือวัสดุละเอียดจะเกิดปฏิกิริยาปอซโซลานได้มากกว่าวัสดุที่หยาบกว่า

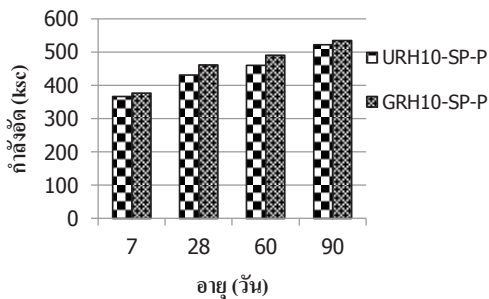
จากรูปที่ 5 เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถาเกลบบดละเอียด (GRH) กับค่ากำลังอัดของคอนกรีตภายใต้การหล่อแบบอัดความดัน พบว่า ค่ากำลังอัดของคอนกรีตที่ทำการหล่อแบบอัดความดันของตัวอย่างคอนกรีตที่แทนที่ด้วยเถาเกลบบดละเอียด (GRH) ในปริมาณการแทนที่ร้อยละ 10 และ 20 ของตัวอย่างคอนกรีต GRH10-SP-P และ GRH20-SP-P มีค่าสูงกว่า CON-P เนื่องจากความละเอียดของเถาเกลบมีผลทำให้สามารถทำปฏิกิริยาปอซโซลานได้ดีและอนุภาคที่มีความละเอียดสูงทำให้สามารถแทรกสอดช่องว่างของซีเมนต์เพสต์ได้ดีส่งผลให้คอนกรีตมีค่ากำลังอัดสูงขึ้น

และเมื่อพิจารณาปริมาณการแทนที่เถาเกลบบดละเอียด (GRH) ของตัวอย่างคอนกรีต GRH10-SP-P กับ GRH20-SP-P พบว่า ค่ากำลังอัดของ GRH20-SP-P มีค่าสูงกว่า GRH10-SP-P ทุกอายุการทดสอบ แสดงว่า การพัฒนา กำลังอัดของคอนกรีตที่แทนที่เถาเกลบบดละเอียด (GRH) ภายใต้การหล่อแบบอัดความดัน การแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถาเกลบในปริมาณที่ร้อยละ 20 มีกำลังอัดที่เกิดจากปฏิกิริยาปอซโซลานเพิ่มขึ้นสูงกว่า โดยสามารถชดเชยกำลังอัดที่หายไปจากการลดลงของปูนซีเมนต์ได้จึงทำให้มีค่ากำลังอัดสูงกว่าคอนกรีตที่มีการแทนที่เถาเกลบในปริมาณร้อยละ 10 สอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านมา [3] พบว่า การใช้เถาเกลบในปริมาณที่เหมาะสมจะส่งผลดีต่อกำลังอัดซึ่งกำลังอัดมอร์ตาร์ที่ผสมเถาเกลบที่มีความละเอียดสูงส่วนผสมที่ใช้เถาเกลบแทนที่ปูนซีเมนต์ ร้อยละ 20 ถึง 40 โดยน้ำหนักให้กำลังค่อนข้างสูง แต่การใช้เถาเกลบแทนที่ปูนซีเมนต์มากเกินไปทำให้กำลังอัดของคอนกรีตต่ำกว่าคอนกรีตที่ไม่ผสมเถาเกลบ



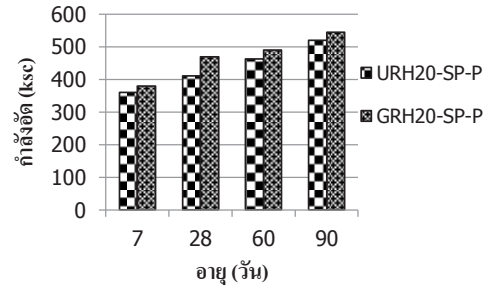
รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าแกลบบดละเอียด (GRH) กับค่ากำลังอัดของคอนกรีตภายใต้การหล่อแบบอัดความดัน

4.5 ผลกระทบของความละเอียดของเถ้าแกลบต่อค่ากำลังอัดของคอนกรีตภายใต้การหล่อแบบอัดความดัน



รูปที่ 6 เปรียบเทียบกำลังอัดคอนกรีตแทนที่เถ้าแกลบร้อยละ 10

จากรูปที่ 6 เมื่อพิจารณาผลการเปรียบเทียบค่ากำลังอัดของคอนกรีตที่ผสมเถ้าแกลบร้อยละ 10 ภายใต้การหล่อแบบอัดความดันของตัวอย่างคอนกรีตที่แทนที่ด้วยเถ้าแกลบไม่บด (URH10-SP-P) และเถ้าแกลบบดละเอียด (GRH10-SP-P) ในปูนซีเมนต์อัตราร้อยละ 10 พบว่า กำลังอัดของตัวอย่างคอนกรีต GRH10-SP-P มีค่าสูงกว่า URH10-SP-P ทุกอายุการทดสอบ เนื่องจากเถ้าแกลบที่บดละเอียดสามารถทำปฏิกิริยาปอซโซลานได้ดีและสามารถอุดช่องว่างภายในเนื้อคอนกรีตได้ดีกว่า



รูปที่ 7 เปรียบเทียบกำลังอัดของคอนกรีตแทนที่เถ้าแกลบ ร้อยละ 20

และจากรูปที่ 7 เมื่อพิจารณาผลการเปรียบเทียบค่ากำลังอัดของคอนกรีตที่ผสมเถ้าแกลบร้อยละ 20 ภายใต้การหล่อแบบอัดความดัน ของตัวอย่างคอนกรีตที่แทนที่ด้วยเถ้าแกลบไม่บด (URH20-SP-P) และเถ้าแกลบบดละเอียด (GRH20-SP-P) ในปูนซีเมนต์ อัตราร้อยละ 20 พบว่า กำลังอัดของตัวอย่างคอนกรีต GRH20-SP-P มีค่าสูงกว่า URH20-SP-P ทุกอายุการทดสอบซึ่งเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับค่ากำลังอัดของคอนกรีตที่ผสมเถ้าแกลบร้อยละ 10 จะเห็นได้ว่า คอนกรีตที่ทำการหล่อแบบอัดความดัน ตัวอย่างคอนกรีตที่แทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าแกลบบดละเอียด (GRH) สามารถพัฒนากำลังอัดได้สูงกว่าคอนกรีตที่แทนที่เถ้าแกลบไม่บด (URH) เนื่องจากความละเอียดของเถ้าแกลบทำให้สามารถทำปฏิกิริยาปอซโซลานได้ดีและอนุภาคที่มีความละเอียดสูงทำให้สามารถแทรกอุดช่องว่างของซีเมนต์เฟสได้ ส่งผลให้คอนกรีตมีค่ากำลังอัดสูงขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านมา พบว่า เถ้าแกลบบดละเอียดมีการทำปฏิกิริยาปอซโซลานสูง ที่ส่วนผสมเดียวกัน คอนกรีตผสมเถ้าแกลบบดละเอียดมีกำลังอัดที่อายุตั้งแต่ 28 วันขึ้นไปสูงกว่าคอนกรีตธรรมดา [9] และกำลังของมอร์ตาร์ที่มีเถ้าถ่านหินผสมอยู่จะขึ้นอยู่กับความละเอียดของเถ้าถ่านหิน โดยมอร์ตาร์ที่ผสมเถ้าถ่านหินละเอียดที่สุดให้

กำลังอัดสูงสุด ส่วนมอร์ตาร์ที่ผสมเข้ากัน หิน ขนาดหยาบที่สุดจะให้ค่ากำลังอัดต่ำสุด [13]

5. สรุปผลการทดลอง

ผลการทดลองจากงานวิจัยครั้งนี้สามารถสรุปได้ ดังนี้

1. การพัฒนากำลังอัดของคอนกรีตเมื่อทำการหล่อแบบอัดความดันการแทนที่เถ้าแกลบ บดละเอียด (GRH) ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1 จะมีกำลังรับแรงอัดสูงกว่าคอนกรีต แทนที่ด้วยเถ้าแกลบไม่บด (URH) และคอนกรีต มาตรฐาน (CON-P) โดยการแทนที่เถ้าแกลบ บดละเอียด (GRH) ในอัตราส่วนร้อยละ 20 มีค่า กำลังอัดสูงกว่าในปริมาณการแทนที่ร้อยละ 10
2. การพัฒนากำลังอัดของคอนกรีตเมื่อทำการหล่อแบบอัดความดันการแทนที่เถ้าแกลบไม่บด (URH) ในอัตราส่วนร้อยละ 10 และ 20 ใน ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 จะมีกำลัง รับแรงอัดใกล้เคียงคอนกรีตมาตรฐาน (CON-P)

6. กิตติประกาศ

ขอขอบคุณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่ให้การสนับสนุนทุนวิจัยงบประมาณประจำปี 2560 และ บริษัท เอ.ที.ไบโอพาวเวอร์ จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์วัสดุในการทำงานวิจัยครั้งนี้

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] เดชขจร เจริญรัตนภิรมย์, “GREENCON CRETE คอนกรีตสีเขียวเพื่อสิ่งแวดล้อม,” วารสารคอนกรีต TCA e-magazine ฉบับที่ 16 ประจำเดือน สิงหาคม 2548.

- [2] จตุพล ตั้งปกาศิต, แสง ทรงหมู่, ชัย จาตุรพิทักษ์กุล, และ ไกรวุฒิ เกียรติโกมล, 2548. “การศึกษาค่าดัชนีกำลังของ มอร์ตาร์ที่เกิดจากไฮดรชันการอัดตัวอนุภาคและปฏิกิริยา ปอซโซลานของเถ้าแกลบ-เปลือกไม้และเถ้าปาล์ม น้ำมัน,” วารสารวิจัยและพัฒนา มจร. ปีที่ 28 ฉบับที่ 4 ตุลาคม-ธันวาคม 2548, หน้า 465 ถึง 475.

- [3] ปริญา จินดาประเสริฐ, และ ชัย จาตุรพิทักษ์กุล, 2555. ปูนซีเมนต์ปอซโซลานและคอนกรีต. สมาคมคอนกรีตแห่งประเทศไทย (ส.ค.ท.).พิมพ์ครั้งที่ 7.

- [4] V. Sata, J. Tangpagasit, C. Jaturapitakkul, and P. Chindaprasit., 2012, “Effect of W/B ratios on pozzolanic reaction of biomass ashes in Portland” Cement & Concrete Composites, Vol.34, No.1, pp.94-100.

- [5] สุภษ ฌณรัตน์, ชานาญกิจ ศิริยานนท์, พิเชษฐ์ สร้อยสำโรง, สมคิด กุลสุวรรณ, นพรัตน์ วิลารักษ์ และ จตุพล ตั้งปกาศิต, “กำลังอัดของคอนกรีตภายใต้แบบหล่อแบบอัดความดัน,” การประชุมวิชาการคอนกรีต ประจำปี ครั้งที่ 10. วันที่ 20-22 ตุลาคม 2557 ณ โรงแรมดุสิตไฮสแลนด์ รีสอร์ท จังหวัด เชียงราย บทความที่ MAT 63.

- [6] บริษัท ฌรงค์ไมโครสปัน จำกัด. เสาค้ำ Spun Micropile. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก : www.narongmicrospun.com

- [7] American concrete Institute. ACI 211. 1-91 : Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavy-weight, and Mass concrete and ACI 201. 2R-92 : Guide to Durable concrete, ACI Manual of concrete Practice, Part1, Michigan, 2000.
- [8] วีรชาติ ตั้งจิรภัทร, จตุพล ตั้งปกาศิต, ศักดิ์สินธุ์ แวค์คุ้ม, และชัย จาตุรพิทักษ์กุล, 2546. “วัสดุปอซโซลานชนิดใหม่จากเถ้าปาล์ม น้ำมัน,” วารสารวิจัยและพัฒนา มจร. ปีที่ 26 ฉบับที่ 4 ตุลาคม-ธันวาคม 2546, หน้า 459 ถึง 473.
- [9] บุรฉัตร ฉัตรวิระ และวัชรกร วงศ์คำจันทร์, 2544. “พฤติกรรมทางกลของคอนกรีตผสมเถ้าแกลบละเอียด,” วารสารวิจัยและพัฒนา มจร. ปีที่ 24 ฉบับที่ 3 กันยายน-ธันวาคม 2544, หน้า 327 ถึง 341.
- [10] สมิตร์ ส่งพิริยะกิจ, ชัยรัตน์ ธีระวัฒนสุข, กันตพงศ์ ผิวเหลือง, ธีรวัจน์ ผกผำ และ รัฐพล เจียวิริยะบุญมา, 2549. “กำลังอัดของคอนกรีตเมื่อก่อตัวภายใต้แรงดัน สูง,” การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 11, วันที่ 20-22 เมษายน 2549 ณ โรงแรมเมอร์ลินบีช จังหวัดภูเก็ต. บทความที่ MAT 58.
- [11] จตุพล ตั้งปกาศิต, แสง ทรงแหม้, ชัย จาตุรพิทักษ์กุล, และไกรวุฒิ เกียรติโกมล, 2550. “การศึกษาผลกระทบของการอัดตัวของอนุภาคต่อค่าดัชนีกำลังของมอร์ตาร์ ตามมาตรฐาน ASTM C 618 โดยใช้ทรายแม่น้ำบดละเอียด,” วารสารวิจัยและพัฒนา มจร. ปีที่ 30 ฉบับที่ 1 มกราคม-มีนาคม 2550, หน้า 141 ถึง 151.
- [12] สุวัฒน์ งามจันทร์, วชิกรณ์ เสนาวัง, วีรชาติ ตั้งจิรภัทร, และ ชัย จาตุรพิทักษ์กุล, 2558. “ผลกระทบของอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานต่อกำลังอัด การซึมของน้ำ และการแทรกซึมของคลอไรด์ของคอนกรีตที่ผสมเถ้าปาล์มน้ำมัน,” การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 20, วันที่ 8-10 กรกฎาคม 2558 ณ จังหวัดชลบุรี, หน้า 1 ถึง 6.
- [13] จตุพล ตั้งปกาศิต, “การศึกษาค่าดัชนีกำลังและผลของขนาดเถ้าถ่านหินแม่เมาะที่ผสมกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1,” วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, ภาควิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, พ.ศ. 2541.

**ผลกระทบของการใช้เถ้าถ่านหิน ทราຍบดละเอียด ตะกอนน้ำประปา
แทนที่ในปูนซีเมนต์ต่อกำลังอัด การหดตัวแบบแห้ง
และการหดตัวแบบบอโตจีนัส ของคอนกรีต**
**The Effect of Using Fly Ash, Ground Sand and Water Supply
Excess Sludge as Replacement Portland Cement Due
to Compressive Strerngth Drying Shrinkage
and Autogenous Shrinkage of Concrete**

ดร.จตุพล ตั้งปกาศิต^{1*} ศิวกร อ่างทอง² พนมศักดิ์ คงจีน³
jatuphon_t@rmutt.ac.th¹, sivakorn.a@en.rmutt.ac.th², panomsak_sak@hotmail.com³

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาถึงผลของการใช้ เถ้าถ่านหิน ทราຍบด และ ตะกอนน้ำประปา ต่อกำลังอัด การหดตัวแบบแห้ง และการหดตัวแบบบอโตจีนัสของคอนกรีต โดยใช้การแทนที่ร้อยละ 10 และ 20 โดยน้ำหนักของวัสดุประสาน ใช้วัสดุแทนที่ให้มีความหนาแน่นเท่ากับปูนซีเมนต์ เพื่อลดผลกระทบจากขนาดอนุภาค ทำการทดสอบกำลังอัดประลัยของตัวอย่างขนาด 15 x 15 x 15 เซนติเมตร ที่อายุ 7, 14, 28 และ 60 วัน สำหรับ การหดตัวแบบแห้ง และการหดตัวแบบบอโตจีนัส ใช้ตัวอย่างขนาด 7.5 x 7.5 x 28.5 เซนติเมตร บ่มในอากาศ บ่มน้ำ และหุ้มพลาสติก จากผลการทดสอบ พบว่าการใช้เถ้าถ่านหินแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 มีผลให้กำลังอัดประลัยของคอนกรีตช่วงอายุต้นน้อยกว่าคอนกรีตปกติ แต่เมื่ออายุมากขึ้นจะมีการพัฒนากำลังอัดเพิ่มขึ้น และมีค่ากำลังอัดสูงกว่าคอนกรีตปกติ คอนกรีตที่ใช้ทราຍบดละเอียดและตะกอนน้ำประปาแทนที่ในปูนซีเมนต์จะมีค่าต่ำกว่าคอนกรีตปกติ โดยในช่วงอายุต้นกำลังอัดของคอนกรีตตะกอนน้ำประปาจะสูงกว่าของทราຍบด การหดตัวแบบแห้งและการหดตัวแบบบอโตจีนัสของคอนกรีตที่ใช้เถ้าถ่านหินแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 มีการหดตัวลดลง แต่การใช้ทราຍบดละเอียด และตะกอนน้ำประปามีผลต่อการหดตัวที่มากขึ้น อย่างไรก็ตามการแทนที่เถ้าถ่านหินร้อยละ 20 มีการหดตัวน้อยที่สุด และ การบ่มในน้ำจะทำให้การหดตัวของคอนกรีตเกิดขึ้นน้อยที่สุด

คำสำคัญ: การหดตัวแบบแห้ง, การหดตัวแบบบอโตจีนัส, เถ้าถ่านหิน, ทราຍบดละเอียด, ตะกอน
ประปา

^{*} Corresponding author

¹ อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

² อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

³ นักศึกษาปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ABSTRACT

This research aim to study the effects of using fly ash. Ground sand, water supply excess sludge were used to partially replace in Portland cement type I due to compressive strength, drying shrinkage and autogenous shrinkage. Each materials were used to replace Portland cement in the ratios of 10 and 20 percent Due to avoid the effect of particle size of materials, fly ash. Ground sand, water supply excess sludge have the same particle size as Portland cement. The compressive of concrete 15 x 15 x 15 cm. were determined at age of 7, 14, 28 and 60 days. Both of drying shrinkage, autogenous shrinkage were used 7.5 x 7.5 x 28.5 cm. in air, water and plastic curing. From the results it was found that the compressive strength of concrete containing fly ash at early age was lower strength than normal concrete. At later age the compressive of concrete containing fly ash was better than normal concrete. For compressive of concrete containing sandy ground and water supply excess sludge were lower than normal concrete. For drying shrinkage and autogenous shrinkage was decreased by using fly ash replacement level. But concretes containing ground sand and water supply excess sludge had more shrinkage than normal concrete. Moreover, autogenous and total shrinkage of concrete were reduced by using fly ash with water curing.

Keywords: drying shrinkage, autogenous shrinkage, fly ash, ground sand, water supply excess sludge

บทนำ

ปัจจุบันโครงสร้างอาคารและสิ่งก่อสร้างต่าง ๆ ที่เห็นอยู่ทั่วไป เป็นโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กเป็นส่วนใหญ่ การออกแบบส่วนผสมของคอนกรีตให้มีความสามารถในการรับแรงต้านทานแรงอัดกำลังตามที่ได้ออกแบบไว้ ซึ่งความสามารถในการรับกำลังและความคงทนของคอนกรีตได้นั้น ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ เป็นส่วนประกอบหลายอย่าง เช่น การออกแบบส่วนผสมของคอนกรีต อัตราส่วนผสม และน้ำที่นำมาใช้ในการผสมคอนกรีต ตลอดจนการบ่มคอนกรีต ซึ่งการบ่มที่ไม่ดีจะมีผลต่อการรับกำลังของคอนกรีต และยังจะทำให้ความทนทานสามารถในการรับแรงและอายุการใช้งานของโครงสร้างลดลง [1]

จากปัญหาดังกล่าวข้างต้น และเพื่อลดต้นทุนการผลิตคอนกรีต รวมถึงการลดมลภาวะทางสิ่งแวดล้อมจากอุตสาหกรรมการผลิตปูนซีเมนต์ รวมถึงอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องในปัจจุบัน จึงได้มีการวิจัยและพัฒนาในการนำวัสดุเหลือทิ้งมาใช้เป็นส่วนผสมในคอนกรีต โดยจากงานวิจัย ที่ผ่านมามีพบว่า ถ้าถ่านหินมีคุณสมบัติที่ดีในการนำมาใช้ในงานคอนกรีต อีกทั้งยังมีปริมาณที่มากและมีการนำไปใช้กันอย่างแพร่หลาย แต่จากปัญหาทางสิ่งแวดล้อมในปัจจุบันวัสดุเหลือทิ้งจากภาคอุตสาหกรรมมีปัญหามากขึ้น เนื่องจากไม่สามารถหาที่ทิ้งได้ โดยเฉพาะตะกอนน้ำประปาจากโรงงานผลิตน้ำประปาก็ประสบปัญหานี้เช่นกัน แต่จากการศึกษาที่ผ่านมา ๆ มายังไม่สามารถนำตะกอน

น้ำประปาไปใช้งานในเชิงพาณิชย์ได้ อีกทั้งงานวิจัยที่ผ่านมายังมีปริมาณไม่มากพอที่จะเป็นข้อมูลในการนำตะกอนน้ำประปาไปใช้งาน ซึ่งจากคุณสมบัติเบื้องต้นของตะกอนน้ำประปา [2] มีลักษณะละเอียดเป็นทรายปนดิน ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อการทำงานของคอนกรีตได้เมื่อนำไปใช้งาน อีกทั้งยังไม่ได้มีข้อมูลเกี่ยวกับการศึกษาถึงผลกระทบของการใช้ตะกอนน้ำประปาเกี่ยวกับการหดตัวของคอนกรีต โดยปริมาณการใช้แทนที่ในปูนซีเมนต์ไม่เกินร้อยละ 20 จะไม่ส่งผลกระทบต่อค่ากำลังอัดที่ลดลงมากนัก [3]

งานวิจัยนี้ มุ่งเน้นการศึกษาผลกระทบของการใช้เถ้าถ่านหิน ทรายแม่น้ำบดละเอียด และ ตะกอนน้ำประปา ที่มีขนาดอนุภาคเท่ากับปูนซีเมนต์เพื่อไม่ให้มีผลกระทบของขนาดอนุภาคที่ต่างกัน [4] ต่อกำลังอัด การหดตัวแบบแห้ง และการหดตัวแบบบอโตจีนัส ซึ่งในที่นี้ใช้แทนที่ปูนซีเมนต์ ร้อยละ 10 และ 20 ตามลำดับ

2. วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาถึงผลกระทบของการใช้เถ้าถ่านหิน ทรายแม่น้ำ ตะกอนน้ำประปา ที่มีขนาดอนุภาคเท่ากับปูนซีเมนต์ต่อกำลังอัด การหดตัวแบบแห้ง และการหดตัวแบบบอโตจีนัส โดยใช้แทนที่ปูนซีเมนต์ร้อยละ 10 และ 20 โดยน้ำหนักเปรียบเทียบกับคอนกรีตปูนซีเมนต์ล้วน

3. วัสดุและการทดลอง

3.1 วัสดุที่ใช้ในการทดลอง

- ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1
- เถ้าถ่านหินจากโรงไฟฟ้าแม่เมาะ จังหวัดลำปาง
- ทรายแม่น้ำบดละเอียด
- ตะกอนน้ำประปาจากโรงผลิตน้ำประปาบางเขน กรุงเทพฯ
- มวลรวมละเอียด ตามมาตรฐาน ASTM C33 [5] มีค่าโมดูลัสความละเอียดเท่ากับ 3.12

และความถี่จำเพาะเท่ากับ 2.65

- มวลรวมหยาบตามมาตรฐาน ASTM C33 [5] มีค่าโมดูลัสความละเอียดเท่ากับ 7.35 และความถี่จำเพาะเท่ากับ 2.71

3.2 การเตรียมตัวอย่างและขั้นตอนการทำวิจัย

วิธีการผสมและเตรียมตัวอย่างคอนกรีต โดยวัสดุที่ใช้คือ เถ้าถ่านหิน ทรายแม่น้ำ และ ตะกอนน้ำประปา นำมาบดให้ละเอียด โดยมีน้ำหนักจากร้อยละ 13.5 บนตะแกรงเบอร์ 325 ซึ่งเป็นปริมาณน้ำหนักจากร้อยละ 325 ของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 โดยเถ้าถ่านหินบดมีขนาดน้ำหนักจากร้อยละ 325 เบอร์ 325 เท่ากับร้อยละ 13.2 ทรายแม่น้ำบดมีขนาดน้ำหนักจากร้อยละ 325 เบอร์ 325 เท่ากับร้อยละ 13.4 และ ตะกอนประปาบดมีขนาดน้ำหนักจากร้อยละ 325 เบอร์ 325 เท่ากับร้อยละ 13.7 นำมาใช้แทนที่ปูนซีเมนต์ในอัตราส่วนร้อยละ 10 และ 20 โดยน้ำหนัก ออกแบบกำลังอัดประลัยที่ 240 กก/ซม² และค่าการยุบตัวที่ 7 ± 2.5 เซนติเมตร.

3.2.1 ใช้แบบหล่อขนาด $15 \times 15 \times 15$ เซนติเมตร ในรูปที่ 1 และขนาด $7.50 \times 7.50 \times 28.50$ เซนติเมตร ในรูปที่ 2 สำหรับการหล่อคอนกรีต เมื่ออายุครบ 24 ชั่วโมง ทำการถอดแบบแล้วนำแท่งคอนกรีตตัวอย่างไปบ่มในน้ำ

3.2.2 ตัวอย่างขนาด $15 \times 15 \times 15$ เซนติเมตร สำหรับการทดสอบกำลังอัดประลัยที่อายุ 7, 14, 28, 60 วัน

3.2.3 ตัวอย่างขนาด $7.50 \times 7.50 \times 28.50$ เซนติเมตร เก็บตัวอย่างบ่มในอากาศ, บ่มน้ำ และหุ้มพลาสติก สำหรับการวัดการหดตัวของแท่งคอนกรีตช่วงอายุ 1 ถึง 60 วัน

3.2.4 บันทึกข้อมูลและนำผลที่ได้มาวิเคราะห์เพื่อเปรียบเทียบผลกระทบต่อการรับกำลังอัดของคอนกรีต การหดตัวแบบแห้ง และการหดตัวแบบบอโตจีนัส



รูปที่ 1 แบบหล่อคอนกรีต
ขนาด 7.50 x 7.50 x 28.50 เซนติเมตร



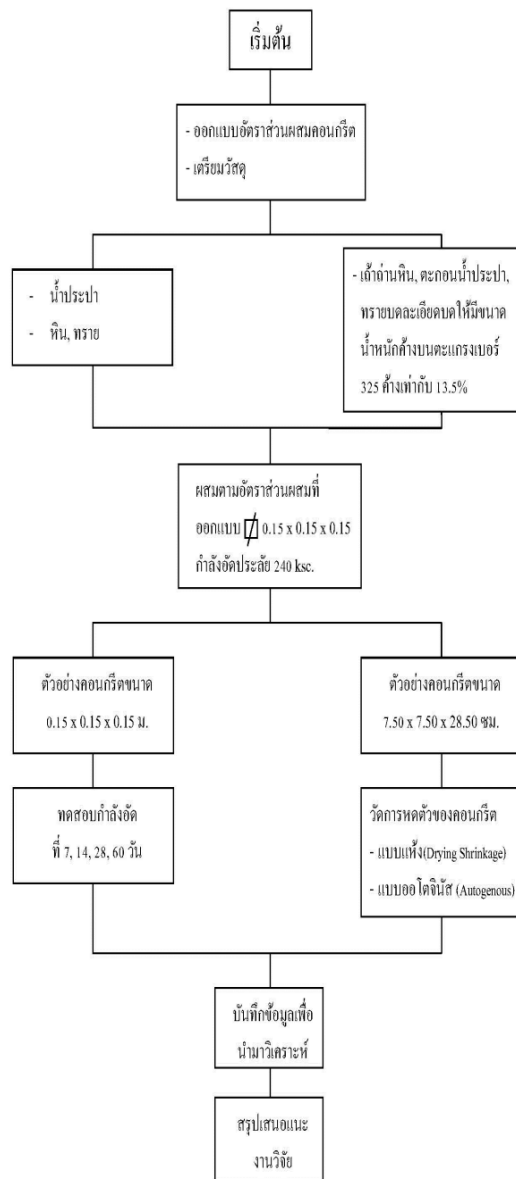
รูปที่ 2 แบบหล่อคอนกรีต
ขนาด 15 x 15 x 15 เซนติเมตร

3.3 วิธีการทดสอบกำลังอัดและการหดตัวของคอนกรีต

3.3.1 การทดสอบหาลำไส้อัดคอนกรีตขนาด 15 x 15 x 15 เซนติเมตร. ที่อายุ 7, 14, 28 และ 60 วัน

3.3.2 การทดสอบการหดตัวแบบแห้ง โดยประยุกต์ใช้จากมาตรฐาน ASTM C596 [6] ทำการหล่อตัวอย่างคอนกรีต ขนาด 7.5 x 7.5 x 28.5 เซนติเมตร. โดยถอดแบบที่อายุ 24 ชั่วโมง แล้วนำไปบ่มในน้ำ 7 วัน อุณหภูมิในระหว่างการบ่มเท่ากับ 30±2 องศาเซลเซียส เมื่อเสร็จสิ้นการบ่มในน้ำ นำขึ้นตัวอย่างขึ้นจากน้ำแล้วเช็ดผิวให้แห้งด้วยผ้า หลังจากนั้นนำขึ้นตัวอย่างวัดความยาวเทียบกับแท่งโลหะความยาวคงที่มาตรฐาน

ซึ่งค่าที่ได้จะใช้เป็นค่าความยาวเริ่มต้น เมื่อวัดค่าความยาวแล้วนำขึ้นตัวอย่างบ่มในอากาศ อุณหภูมิเฉลี่ย 30±2 องศาเซลเซียส หลังจากนั้นทำการวัดความยาวเทียบกับแท่งโลหะความยาวคงที่มาตรฐาน อายุการบ่มในอากาศ ช่วงอายุ 7 ถึง 60 วัน เพื่อหาค่าร้อยละของการหดตัวแบบแห้งที่อายุบ่ม และค่าที่วัดได้ในช่วงอายุต่าง ๆ กัน จะนำไปคำนวณค่าร้อยละของการหดตัวแบบแห้ง



รูปที่ 3 แผนผังขั้นตอนการทำวิจัย

3.3.3 การทดสอบการหดตัวแบบออโตจีนัส โดยทำการหล่อตัวอย่างคอนกรีตขนาด $7.5 \times 7.5 \times 28.5$ เซนติเมตร โดยถอดแบบที่อายุ 24 ชั่วโมง หลังจากถอดแบบแล้ววัดความยาวเริ่มต้น ตัวอย่างจะมีอายุที่ 1 วัน แล้วทำการบ่มด้วยการหุ้มพลาสติก ช่วงอายุ 1 ถึง 60 วัน และเก็บในห้องบ่ม เริ่มวัดการหดตัวตามวิธีประยุกต์จากมาตรฐานเดียวกับที่ใช้ในการวัดการหดตัวแบบแห้ง

ตารางที่ 1 อัตราส่วนผสมของคอนกรีตที่ใช้ในการศึกษา

สัญลักษณ์	อัตราส่วนผสม 1 ลบม. (กก)				
	ปูนซีเมนต์	วัสดุแทนที่	น้ำ	ทราย	หิน
CEM	327.00	-	180	785	1,134
FAMM 10	294.30	32.70	180	785	1,134
FAMM 20	261.60	65.40	180	785	1,134
SAN 10	294.30	32.70	180	785	1,134
SAN 20	261.60	65.40	180	785	1,134
WSS 10	294.30	32.70	180	785	1,134
WSS 20	261.60	65.40	180	785	1,134

ความหมายสัญลักษณ์

CEM หมายถึง ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1

FAMM หมายถึง เถ้าถ่านหินแม่เมาะ จากโรงไฟฟ้าแม่เมาะ จังหวัดลำปาง

SAN หมายถึง ทรายแม่น้ำบดละเอียด

WSS หมายถึง ตะกอนน้ำประปา จากโรงผลิตประปาบางเขน

10, 20 หมายถึง วัสดุแทนที่ปูนซีเมนต์ร้อยละ 10 และ 20

DS1 หมายถึง วิธีบ่มในอากาศ

DS2 หมายถึง วิธีบ่มในน้ำ

AS1 หมายถึง วิธีหุ้มพลาสติก

4. ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล

4.1 กำลังรับแรงอัด

จากผลการทดลองกำลังรับแรงอัดของตัวอย่างคอนกรีต ตามตารางที่ 2 และรูปที่ 4 พบว่าตัวอย่างคอนกรีตที่ผสมปูนซีเมนต์ล้วน CEM มีการพัฒนากำลังมากขึ้นตามอายุที่มากขึ้น โดยช่วงอายุ 14 วันแรกจะมีการพัฒนากำลังที่เร็ว แต่เมื่ออายุมากขึ้นจะมีการพัฒนากำลังช้าลง ซึ่งเป็นไปตามคุณสมบัติทั่วไปของคอนกรีต แต่เมื่อมีการแทนที่เถ้าถ่านหินในปูนซีเมนต์ จะพบว่าการใช้เถ้าถ่านหินแทนที่ในปูนซีเมนต์ร้อยละ 10 โดยน้ำหนักของตัวอย่างคอนกรีต FAMM 10 กำลังอัดของคอนกรีตในช่วงอายุดันจะมีการพัฒนาน้อยกว่าตัวอย่างของคอนกรีต CEM แต่ช่วงอายุปลายจะมีการพัฒนากำลังอัดสูงกว่าตัวอย่างคอนกรีต CEM โดยตัวอย่างคอนกรีต FAMM 10 ที่ใช้เถ้าถ่านหินแทนที่ในปูนซีเมนต์ร้อยละ 10 มีค่ากำลังอัดสูงสุดที่อายุ 60 วัน มีค่าเท่ากับ 312 กก/ซม.² มีค่ามากกว่าของตัวอย่างคอนกรีตธรรมดา CEM ที่มีค่ากำลังอัดเท่ากับ 288 กก/ซม.² ซึ่ง FAMM 10 มีค่าสูงกว่าเท่ากับ 24 กก/ซม.² สำหรับตัวอย่างคอนกรีต FAMM 20 พบว่ามีการรับแรงอัดมีทิศทางเหมือนกับตัวอย่างคอนกรีต FAMM 10 แต่มีค่ากำลังอัดต่ำกว่าตัวอย่าง FAMM 10 โดยที่อายุ 60 วัน ค่ากำลังอัดของตัวอย่าง FAMM 20 มีค่าสูงกว่าตัวอย่าง CEM เท่ากับ 8 กก/ซม.²

สำหรับการใช้ทรายบด ซึ่งเป็นวัสดุเฉื่อยที่ไม่ทำปฏิกิริยาทางเคมี [4] พบว่า เมื่อมีการแทนที่ทรายบดในปูนซีเมนต์ จะมีผลต่อกำลัง

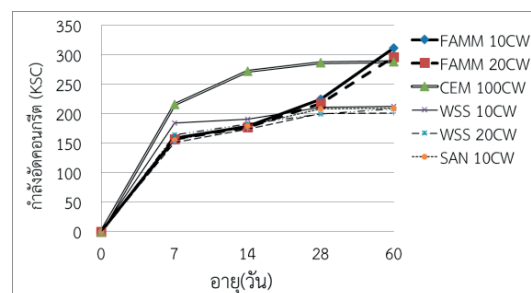
อัตราที่ลดลงเนื่องจากปริมาณปูนซีเมนต์ลดลงโดยการแทนที่มากขึ้น กำลังอัดก็จะลดลงมากขึ้น ซึ่งสังเกตเห็นได้จากกราฟที่แสดงค่ากำลังอัดในรูปที่ 4 ของตัวอย่าง SAN 10 และ SAN 20 การแทนที่ในปูนซีเมนต์ด้วยทรายบดละเอียดร้อยละ 10 ของตัวอย่างคอนกรีต SAN 10 พบว่ามีการพัฒนากำลังรับแรงอัดทุกช่วงอายุ มีกำลังรับแรงอัดต่ำกว่าตัวอย่างคอนกรีต CEM แต่มีการพัฒนากำลังเพิ่มขึ้นตามอายุที่มากขึ้น เหมือนกับตัวอย่างคอนกรีต CEM สำหรับตัวอย่างคอนกรีต SAN 20 พบว่ามีการพัฒนากำลังรับแรงอัดมีทิศทางเหมือนกับตัวอย่างคอนกรีต SAN 10 สำหรับตัวอย่างคอนกรีตที่แทนที่ด้วยตะกอนน้ำประปา WSS 10 ร้อยละ 10 พบว่ามีการพัฒนากำลังรับแรงอัดช่วงอายุต้น และอายุปลายมีการพัฒนากำลังรับแรงอัดต่ำกว่าตัวอย่างคอนกรีต CEM และตัวอย่างคอนกรีต WSS 20 ก็มีทิศทางการพัฒนาการรับกำลังแรงอัดเหมือนกับตัวอย่างคอนกรีต WSS 10 แต่มีค่าน้อยกว่า

นอกจากนี้ผลการทดสอบแรงอัดของตัวอย่างคอนกรีตดังรูปที่ 4 แสดงให้เห็นถึงการพัฒนากำลังอัดของเถาถ่านหินได้อย่างชัดเจน จากกราฟของตัวอย่างที่มีการแทนที่ร้อยละ 10 ของตัวอย่างคอนกรีต FAMM 10 และ SAN 10 ซึ่งในช่วงอายุ 14 วันแรก ค่ากำลังอัดไม่มีความแตกต่างกัน แสดงได้ว่าการกำลังอัดของตัวอย่างคอนกรีต FAMM 10 ได้มาจากปฏิกิริยาไฮเดรชันเพียงอย่างเดียว แต่เมื่อคอนกรีตมีอายุมากขึ้น จากข้อมูลที่อายุ 28 และ 60 วัน พบว่ากำลังอัดของตัวอย่างคอนกรีต FAMM 10 มีค่ามากกว่ากำลังอัดของตัวอย่าง SAN 10 ซึ่งเป็นผลมาจากการเกิดปฏิกิริยาปอซโซลาน และเมื่ออายุมากขึ้นก็จะเกิดปฏิกิริยาปอซโซลานมากขึ้นด้วย ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ จตุพล [7] ที่แสดงให้เห็นถึงการพัฒนากำลังของปฏิกิริยา

ปอซโซลาน โดยเมื่ออายุมากขึ้นปฏิกิริยาปอซโซลานก็จะมากขึ้นด้วยเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างคอนกรีต WSS 10 และ WSS 20 พบว่าทิศทางการพัฒนากำลังอัดก็เป็นไปในทิศทางเดียวกันกับตัวอย่างคอนกรีต SAN 10 และ SAN 20 ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าตะกอนน้ำประปาไม่ทำปฏิกิริยาปอซโซลานเหมือนกับทรายบดละเอียด

ตารางที่ 2 การทดสอบกำลังอัดคอนกรีต

ตัวอย่างคอนกรีต	กำลังอัดคอนกรีต (KSC)			
	7	14	28	60
CEM	215	272	287	288
FAMM 10	158	178	225	312
FAMM 20	157	177	217	296
SAN 10	155	179	208	209
SAN 20	152	173	201	201
WSS 10	184	190	210	212
WSS 20	164	183	199	209



รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดของตัวอย่างคอนกรีตกับเวลาที่ทดสอบ

4.2 การหัตถ์ของคอนกรีต

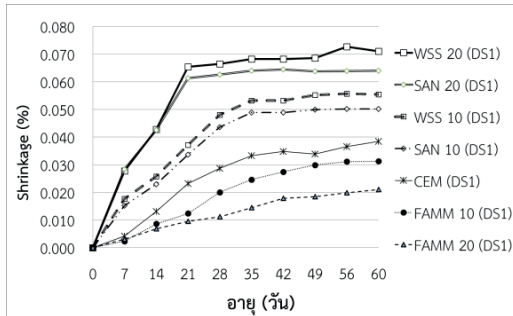
4.2.1 จากผลการทดสอบการหัตถ์ของคอนกรีต ในสภาพบ่มในอากาศ ดังแสดงในรูปที่ 5 ตัวอย่างคอนกรีต CEM จะมีการหัตถ์มากในช่วงอายุ 28 วันแรก แต่เมื่ออายุมากกว่า 28 วัน จะมีทิศทางการหัตถ์ที่มีอัตรา

น้อยลง แต่เมื่อมีการใช้ทรายบดที่มีขนาดเท่ากับขนาดของปูนซีเมนต์ จะพบว่าการหดตัวมีค่ามากกว่าคอนกรีต CEM ทั้งการแทนที่ทรายบดในปูนซีเมนต์ร้อยละ 10 และ 20 โดยในช่วงอายุ 28 วันแรก จะมีการหดตัวที่สูง ซึ่งเป็นผลมาจากการที่ใช้ทรายบดแทนที่ในปูนซีเมนต์ จึงมีปริมาณปูนซีเมนต์ในส่วนผสมน้อยกว่าคอนกรีต CEM จึงมีน้ำที่เหลือจากการทำปฏิกิริยามากกว่า และน้ำส่วนเกินนี้จะระเหยออกไปสู่ภายนอกได้มากกว่า อีกทั้งการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันก็น้อยกว่า ก็มีผลต่อความแข็งแรงของคอนกรีต ทำให้เกิดการหดตัวที่สูงกว่า แต่เมื่ออายุของตัวอย่างคอนกรีต SAN 10 และ SAN 20 มากกว่า 28 วันขึ้นไป ก็จะมีอัตราการหดตัวที่น้อย สำหรับตัวอย่าง WSS 10 และ WSS 20 ซึ่งใช้ตะกอนน้ำประปาแทนที่ในปูนซีเมนต์ร้อยละ 10 และ 20 ตามลำดับ พบว่าทิศทางการหดตัวจะมีทิศทางไปในทางเดียวกันกับตัวอย่าง SAN 10 และ SAN 20

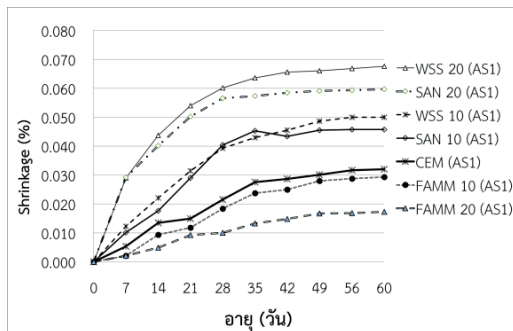
สำหรับการใช้เถ้าถ่านหินแทนที่ในปูนซีเมนต์ จะพบว่าทิศทางการหดตัวของตัวอย่างคอนกรีตมีทิศทางการหดตัวที่น้อยลง เมื่อมีการใช้ปริมาณเถ้าถ่านหินที่มากขึ้นจากคอนกรีต FAMM 10 เป็น FAMM 20 ซึ่งใช้เถ้าถ่านหินแทนที่ในปูนซีเมนต์ร้อยละ 10 และ 20 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาในช่วงอายุ 14 วันแรก ปริมาณการแทนที่ในปูนซีเมนต์จะยังไม่เห็นผลต่างกันมาก ซึ่งตัวอย่างคอนกรีตเกิดการสูญเสียน้ำอิสระตลอดเวลาและปฏิกิริยาปอซโซลานยังเกิดเพียงเล็กน้อย แต่เมื่อเถ้าถ่านหินที่ใช้แทนที่ในปูนซีเมนต์ทำปฏิกิริยาปอซโซลานมากขึ้นก็ช่วยในการหดตัวของคอนกรีตให้น้อยลง ซึ่งผลที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของปิติศานต์ [8] ที่พบว่าการใช้เถ้าถ่านหินแทนที่ในปูนซีเมนต์มีผลทำให้การหดตัวในคอนกรีตลดลง

4.2.2 การทดสอบการหดตัวของคอนกรีตแบบอโตจีนิส โดยวิธีหุ้มพลาสติก จากการพิจารณาการหดตัวของตัวอย่าง FAMM 10 และ FAMM 20 ดังรูปที่ 6 มีค่าการหดตัวต่ำ และตัวอย่างคอนกรีต WSS 20 และ SAN 20 จะมีค่าการหดตัวสูง และพบว่าตัวอย่างที่แทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าถ่านหินในปริมาณมาก ยิ่งทำให้การหดตัวแบบอโตจีนิสลดลง การแทนที่เถ้าถ่านหินในปริมาณมากขึ้นจะช่วยเพิ่มปริมาณน้ำอิสระให้แก่ปฏิกิริยาไฮเดรชันของปูนซีเมนต์มากขึ้น เนื่องจากการหดตัวแบบอโตจีนิสเป็นผลจากการใช้น้ำในกระบวนการของปฏิกิริยาไฮเดรชัน ซึ่งหมายความว่าหากมีปริมาณน้ำอิสระมากจะสามารถลดการหดตัวได้ยิ่งขึ้น และอัตราการเกิดปฏิกิริยาปอซโซลาน ของเถ้าถ่านหินช้ากว่าอัตราการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันของปูนซีเมนต์ เมื่อเทียบกับตัวอย่างคอนกรีต CEM ถึงแม้ว่าปฏิกิริยาปอซโซลานจะเกิดในระยะยาว แต่ซีเมนต์เฟลสก็มีความแข็งแรงมากขึ้นในระยะยาว ซึ่งทนต่อการหดตัว

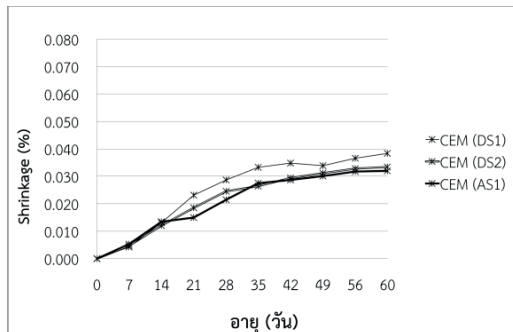
4.2.3 การทดสอบการหดตัวรวม โดยวิธีบ่มในอากาศ บ่มในน้ำ และหุ้มพลาสติก จะพบว่าตัวอย่างคอนกรีต CEM ในรูปที่ 7 ด้วยวิธีการบ่มในอากาศจะมีค่าการหดตัวมากที่สุดเนื่องจากมีการสูญเสียน้ำมากที่สุดสำหรับการบ่มในน้ำ จะมีค่าการหดตัวน้อยที่สุด และการหุ้มพลาสติกจะมีค่าการหดตัวที่มากกว่าการบ่มในน้ำเล็กน้อย แต่เมื่อใช้เถ้าถ่านหินแทนที่ในปูนซีเมนต์ของตัวอย่างคอนกรีต FAMM10 และ FAMM20 ซึ่งพบว่าการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าถ่านหินแทนที่ร้อยละ 10 ตัวอย่าง FAMM10 การบ่มในน้ำจะมีการหดตัวน้อยที่สุด และ การบ่มในอากาศจะมีค่ามากที่สุด ในรูปที่ 8 ซึ่งมีค่าการหดตัวไปในทิศทางเดียวกันกับตัวอย่าง CEM



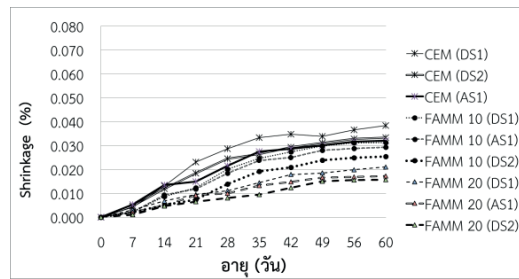
รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างการหดตัวแบบแห้งของคอนกรีตที่แทนที่ด้วย เถ้าถ่านหิน ทราบยบดละเอียด และตะกอนน้ำประปา ร้อยละ 10 และ 20 บ่มโดยวิธีบ่มในอากาศ



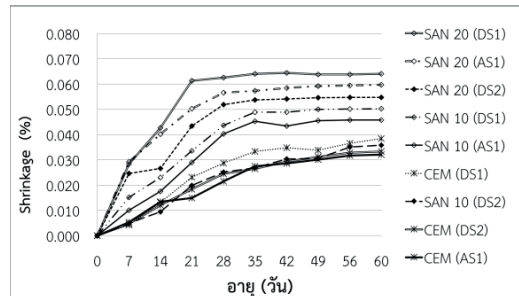
รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างการหดตัวแบบบอโตจีนัสของคอนกรีตที่แทนที่ด้วย เถ้าถ่านหิน ทราบยบดละเอียด และตะกอนน้ำประปา ร้อยละ 10 และ 20 บ่มโดยวิธีหุ้มพลาสติก



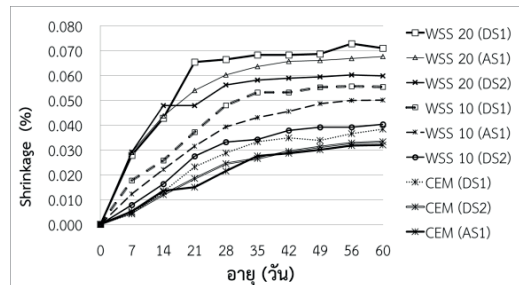
รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างการหดตัวของคอนกรีตบ่มโดยวิธีในอากาศ ในน้ำ และหุ้มพลาสติก



รูปที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างการหดตัวรวมของคอนกรีตที่แทนที่ด้วยเถ้าถ่านหิน ร้อยละ 10 และ 20 บ่มโดยวิธีในอากาศ ในน้ำ และหุ้มพลาสติก



รูปที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่างการหดตัวรวมของคอนกรีตที่แทนที่ด้วยทราบยบดละเอียด ร้อยละ 10 และ 20 บ่มโดยวิธีในอากาศ ในน้ำ และหุ้มพลาสติก



รูปที่ 10 ความสัมพันธ์ระหว่างการหดตัวรวมของคอนกรีตที่แทนที่ด้วยตะกอนน้ำประปา ร้อยละ 10 และ 20 บ่มโดยวิธีบ่มในอากาศ ในน้ำ และหุ้มพลาสติก

สำหรับการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้า-
ถ่านหินแทนที่ร้อยละ 20 ตัวอย่าง FAMM20
ก็มีทิศทางไปในทางเดียวกันคือการบ่มในน้ำจะมี
ผลทำให้ค่าการหดตัวน้อยกว่าการบ่มด้วยวิธีอื่น
ซึ่งผลการหดตัวรวมทั้งหมดของทั้ง 2 กรณี
จะมีลักษณะเดียวกัน คือ คอนกรีตที่ใช้เถ้าถ่านหิน
แทนที่ปูนซีเมนต์ จะมีการหดตัวรวมทั้งหมด
จะมีค่าน้อยที่สุด และการแทนที่ที่มากขึ้นของ
เถ้าถ่านหินมีผลทำให้การหดตัวรวมลดลงมากขึ้น
ซึ่งการใช้เถ้าถ่านหินแทนที่ในปูนซีเมนต์จะเกิด
ปฏิกิริยาปอซโซลาน ซึ่งช่วยในการหดตัวของ
คอนกรีต ซึ่งมีแนวโน้มในทิศทางเดียวกันกับการ
หดตัวแบบแห้งและแบบออโตจินัส

5. บทสรุป

จากการทำวิจัยในครั้งนี้สามารถสรุป
ข้อมูลในการพัฒนาคุณภาพคอนกรีตให้มี
คุณสมบัติเหมาะสม และมีความทนทานสามารถ
ใช้งานได้ดียิ่งขึ้น ดังนี้

5.1 การรับกำลังแรงอัดของคอนกรีต
พบว่าตัวอย่างคอนกรีตล้วน จะมีการพัฒนา
กำลังรับแรงอัดช่วงอายุ 14 วัน ได้เร็วและจะ
มีการพัฒนากำลังรับแรงอัดช้าลงเมื่ออายุของ
ตัวอย่างเพิ่มขึ้น แต่พบว่าตัวอย่างคอนกรีตแทนที่
ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าถ่านหิน ร้อยละ 10 และ 20
มีทิศทางการพัฒนากำลังรับแรงอัดช่วงอายุ 14
วันช้า และเมื่ออายุของตัวอย่างคอนกรีตมากขึ้น
จะมีการพัฒนากำลังรับแรงอัดเพิ่มขึ้นตามลำดับ
สำหรับตัวอย่างคอนกรีตทรายบดละเอียดและ
ตะกอนน้ำประปา มีการพัฒนาการรับกำลังรับ
แรงอัดได้น้อยในช่วงอายุเท่ากัน เมื่อเทียบกับ
ตัวอย่างคอนกรีตปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ และ
เถ้าถ่านหิน

5.2 การหดตัวของตัวอย่างคอนกรีต
พบว่าการหดตัวแบบแห้ง ช่วงอายุ 14 วัน จะมี
การหดตัวสูง และเมื่ออายุมากกว่า 28 วันขึ้นไป
การหดตัวของตัวอย่างคอนกรีตมีการหดตัว
น้อยลง และตัวอย่างคอนกรีตแทนที่ปูนซีเมนต์
ด้วยเถ้าถ่านหิน ร้อยละ 20 จะมีการหดตัว
น้อยที่สุดเมื่อเทียบกับการหดตัวของคอนกรีต
ปูนซีเมนต์, ทรายบดละเอียด, ตะกอนน้ำประปา
ผลมาจากวัสดุดังกล่าวไม่ทำปฏิกิริยาปอซโซลาน
ไม่ได้ช่วยเป็นวัสดุประสานและแทนที่ปูนซีเมนต์
มีผลต่อการหดตัวของคอนกรีต เมื่อเทียบกับการ
หดตัวแบบออโตจินัสของตัวอย่างคอนกรีต
แทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าถ่านหินร้อยละ 20
มีทิศทางการหดตัวน้อยลงเหมือนกับการหด
ตัวแบบแห้ง แต่การหดตัวแบบแห้งจะมีค่าการ
หดตัวของตัวอย่างคอนกรีตมากกว่าการหดตัว
แบบออโตจินัส เนื่องจากตัวอย่างคอนกรีตยังม
ีการสูญเสียของน้ำอิสระสู่ภายนอกอย่างรวดเร็ว
และตลอดเวลาถึงอายุจะมากขึ้น แต่การทำปฏ
ิกิริยาไฮเดรชันจะมีผลต่อการหดตัวของตัวอย่าง
คอนกรีตช้ากว่าและน้อยลงในช่วงเวลาเท่ากัน

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี
ราชมงคลธัญบุรี ที่ให้การสนับสนุนทุนวิจัย
งบประมาณประจำปี 2558 งานวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] ศ.ดร.ปริญญา จินตประเสริฐ, ศ.ดร.ชัย จาตุรพิทักษ์กุล, 2555. **ปูนซีเมนต์ปอซโซลานและคอนกรีต**. กรุงเทพฯ : สมาคมคอนกรีตไทย (ส.ค.ท.).
- [2] นายจิตรกร วงศ์กรขวลิต, 2544. **คุณสมบัติทางเคมีของเถ้าตะกอนสลัดที่เกิดจากการผลิตน้ำประปา และนำไปใช้ในงานเป็นวัสดุปอซโซแลนในงานคอนกรีต**. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย. มหาวิทยาลัย ธรรมศาสตร์
- [3] จตุพล ตั้งปกาศิต, แสวง ทรงหมู่, ชัย จาตุรพิทักษ์กุล, และ ไกรวุฒิ เกียรติโกมล, 2548. “การศึกษาค่าดัชนีกำลังของ มอร์ตาร์ที่เกิดจากไฮดรชัน การอัดตัวอนุภาคและปฏิกิริยาปอซโซลาน ของเถ้ากลบ-เปลือกไม้ และเถ้าปาล์มน้ำมัน,” วารสารวิจัยและพัฒนา มจร. ปีที่ 28 ฉบับที่ 4 ตุลาคม-ธันวาคม 2548, หน้า 465 ถึง 475.
- [4] นายจตุพล ตั้งปกาศิต และคณะ. (2549). **กำลังอัดของอนุภาคต่อค่าดัชนีกำลังของมอร์ตาร์ ตามมาตรฐาน ASTM C618 โดยใช้ทรายแม่น้ำบดละเอียด**. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- [5] American Society for Testing and Material, **Annual Book of ASTM C33 Standard**, V 04.02, Easton, Md., USA., 2001.
- [6] American Society for Testing and Material, **Annual Book of ASTM C596 Standard**, V 04.02, Easton, Md., USA., 2001.
- [7] จตุพล ตั้งปกาศิต, “การศึกษาค่าดัชนีกำลังและผลของขนาดเถ้าถ่านหินแม่เมาะที่ผสมกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1,” วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตร มหาบัณฑิต, ภาควิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, พ.ศ.2541.
- [8] ผศ.ดร.ปิตินันต์ กร้ามาตร. (2553). **คุณสมบัติเบื้องต้นของคอนกรีตผสมเถ้าถ่านหินและผงหินปูน**. รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา วิศวกรรมศาสตร์. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี งบประมาณประจำปี2553.

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

ขวลลต สสงสวลสดี¹ สมลชัย หลรุลญวโรดม² และอภลชาติ สนนลสมบัตล³
sangswasd@rmutt.ac.th¹, somchai.h@en.rmutt.ac.th², apichart.s@en.rmutt.ac.th³

บทคัดย่อ

บทความนลล่าวเกลยวบลรูปแบบและวลลการส่งบทความเพลลเสนอต่อกองบรรณาธลการวารสารวศลกรรมศาสตรลราชมนคลธัญบุรี ผู้ส่งบทความจะตลองยลดรูปแบบตามบทความนลลอย่างเครงครลดบทความใดทลมีรูปแบบไม่ถูกตลอง จะถูกส่งคลนและไม่พลจารณาอลลท บทความยลตลองมลลทลงภาษาไทยและภาษาอังกฤษ แต่ละภาษาควรมลลเพลยงยลหน้าเดลยว และความยาวไม่เกลน 25 บรรทด

คําสําคัญ : วลลการส่งบทความ รูปแบบบทความ ขนาดตัวอักษร รูปแบบตัวอักษร การเว่นบรรทด

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.

¹อาจารย์ประจําภาควลลวศลกรรมเคมลและวสตุ คณะวศลกรรมศาสตรล มหาวลทยาลลยเทคโนโลยีราชมนคลธัญบุรี

²อาจารย์ประจําภาควลลวศลกรรมพลพา คณะวศลกรรมศาสตรล มหาวลทยาลลยเทคโนโลยีราชมนคลธัญบุรี

³อาจารย์ประจําภาควลลวศลกรรมลลลทอ คณะวศลกรรมศาสตรล มหาวลทยาลลยเทคโนโลยีราชมนคลธัญบุรี

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

การพิมพ์ให้พิมพ์ลงบนกระดาษ A4 โดยพิมพ์เป็นสองคอลัมน์ตามรูปแบบบทความนี้ ขนาดของคอลัมน์เป็นไปตามที่กำหนด จะต้องพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์เลเซอร์ที่มีความละเอียดไม่น้อยกว่า 300 dpi.

ให้พิมพ์โดยไม่เว้นบรรทัด เมื่อจะขึ้นหัวข้อใหม่ให้เว้นบรรทัด 1 บรรทัด และจะต้องพิมพ์ให้เต็มคอลัมน์ก่อนที่จะขึ้นคอลัมน์ใหม่หรือขึ้นหน้าใหม่ ห้ามเว้นที่เหลือไว้ว่างเปล่า

การลำดับหัวข้อในส่วนของเนื้อเรื่องนี้ให้ใส่เลขกำกับโดยให้บทนำเป็นหัวข้อหมายเลข 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

บทความย่อและเนื้อความต่าง ๆ ให้ใช้ตัวอักษรขนาด 14 พอยน์ ตัวปกติ

สมการต่าง ๆ ให้ใช้ตัวอักษรขนาด 14 พอยน์ หรือตัวอักษร TH SarabunPSK 14 พอยน์

การเว้นระยะบรรทัดทั้งในแนวตั้งแบบ exactly 16 พอยน์

ให้จัดเนื้อเรื่องในแต่ละบรรทัดเรียงชิดซ้ายและขวาอย่างสวยงาม

2.3 ชื่อเรื่อง ชื่อผู้แต่ง และชื่อหัวข้อ

การพิมพ์ชื่อเรื่อง ให้วางตำแหน่งกลางหน้ากระดาษแบบคอลัมน์เดียว

ชื่อผู้เขียน และ อีเมล ให้พิมพ์ไว้ใต้ชื่อเรื่องและอยู่กลางหน้ากระดาษแบบคอลัมน์เดียว

ไม่ต้องระบุตำแหน่งวิชาการ หรือสถานะของนักศึกษาใด ๆ ทั้งสิ้น

ชื่อหัวข้อย่อยต่าง ๆ ให้วางตำแหน่งชิดขอบซ้าย

2.4 การจัดทำรูปภาพ

รูปภาพจะต้องมีความกว้างไม่เกิน 81 มม. เพื่อให้ลงในหนึ่งคอลัมน์ได้ หรือกรณีจำเป็นจริง ๆ เพื่อรักษารายละเอียดในภาพอาจยอมมิให้ความกว้างได้เต็มหน้ากระดาษ (กว้าง 168 มม.)

ตัวอักษรทั้งหมดในภาพจะต้องมีขนาดใหญ่สามารถอ่านได้สะดวก และต้องไม่เล็กกว่าตัวอักษรในเนื้อเรื่อง

รูปภาพทุกรูปจะต้องมีหมายเลข และคำบรรยายใต้ภาพ หมายเลขและคำบรรยายรวมกันแล้วควรมีความยาวไม่เกิน 2 บรรทัด

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

รูปลายเส้นจะต้องเป็นเส้นหมึกดำ ส่วนรูปถ่ายควรจะเป็นรูปขาวดำที่มีความคมชัด รูปสีอนุโลมให้ใช้ได้รูปภาพควรมีรายละเอียดเท่าที่จำเป็นเท่านั้น เช่น ภาพถ่ายรูปคลื่นจากออสซิลโลสโคปที่ปรากฏให้เป็นเฉพาะจอภาพเป็นต้น และเพื่อความสวยงามให้เว้นบรรทัดเหนือรูปภาพ 1 บรรทัดและเว้นใต้คำบรรยาย 1 บรรทัด

2.5 การเขียนสมการ

สมการทุกสมการจะต้องมีหมายเลขกำกับอยู่ภายในวงเล็บและเรียงลำดับที่ถูกต้องควรใช้ตัวพยัญชนะเอียงแสดงถึงพารามิเตอร์หรือตัวแปรในสมการ ตำแหน่งของหมายเลขสมการจะต้องอยู่ชิดขอบด้านขวาของคอลัมน์ เว้นหนึ่งบรรทัดก่อนเขียนสมการ และเว้นหนึ่งบรรทัดหลังเขียนสมการ จัดให้สมการอยู่ตรงกลางคอลัมน์ ดังตัวอย่างนี้

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

เริ่มเขียนคำอธิบายตั้งแต่บรรทัดนี้

2.6 การจัดทำตาราง

ตัวอักษรในตารางจะต้องไม่เล็กกว่าตัวอักษรในเนื้อเรื่อง ควรตีเส้นกรอบตารางด้วยหมึกดำให้ชัดเจน

ตารางทุกตารางจะต้องมีหมายเลขและคำบรรยายกำกับเหนือตาราง 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. กรณิบทความภาษาอังกฤษ

ผู้พิมพ์บทความเป็นภาษาอังกฤษ กรุณาดูคำแนะนำ วิธีการพิมพ์บทความภาษาอังกฤษที่แนบมาด้วย

4. การส่งบทความ

ผู้เขียนสามารถส่งต้นฉบับ ทางเว็บไซต์ออนไลน์ ของวารสารวิศวกรรมศาสตร์ ราชวมงคลวิทยุ www.engineer.rmutt.ac.th/journal/ (เลือกเมนู Online Submission) หรือ เข้าสู่ระบบโดยตรงผ่านทาง <http://www.encm.rmutt.ac.th/enjournal/> โดยต้องทำการลงทะเบียนเพื่อสมัครสมาชิกวารสารและ

นำส่งวารสารต้นฉบับ ในรูปแบบ “Word ไฟล์” อีกทั้งต้องส่ง “แบบฟอร์มการส่งบทความทางวิชาการ เพื่อลงตีพิมพ์ในวารสารวิศวกรรมศาสตร์ ราชชมงคลธัญบุรี” มายังอีเมล enjournal@en.rmutt.ac.th หรือ จัดส่งไปรษณีย์มายัง “กองบรรณาธิการวารสารวิศวกรรมศาสตร์ ราชชมงคลธัญบุรี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี 39 หมู่ 1 ถ.รังสิต-นครนายก ต.คลองหลวง อ.ธัญบุรี จ.ปทุมธานี 12110” จึงจะถือว่า การส่งวารสารนั้นเสร็จสมบูรณ์ หากขั้นตอนการนำส่งวารสารทั้ง 2 ขั้นตอน คือ การส่งวารสารทางเว็บไซต์ออนไลน์ และการนำส่งแบบฟอร์มการส่งบทความมายังอีเมล enjournal@en.rmutt.ac.th ไม่ครบถ้วนทั้ง 2 ขั้นตอนบทความนั้นจะถูกส่งคืน และไม่สามารถผ่านการพิจารณาได้

5.สรุป

ผู้เขียนบทความกรุณาตรวจสอบบทความอย่างรอบคอบโดยใช้เวลาอย่างเพียงพอก่อนส่งให้คณะกรรมการพิจารณาจะทำให้บทความของท่านมีคุณภาพสูงและผ่านการพิจารณาได้ง่ายขึ้น

6.กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณผู้เขียนบทความทุกท่านที่ให้ความร่วมมือรักษาระเบียบการเขียนบทความอย่างเคร่งครัด

เอกสารอ้างอิง

- [1] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานทดแทน. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก : <http://dede.go.th/dede/index.php> (30 มีนาคม 2552) .
- [2] ฉวีวรรณ รมยานนท์, 2545. **เขียนแบบเทคนิค 2**. กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดดูเคชั่น.
- [3] ถาวร รัตนพรประดิษฐ์, 2551. **ศึกษาความเป็นไปได้ของการเมอร์เซอร์ไรส์กางเกง เปรียบเทียบกับการเมอร์เซอร์ไรส์ผืนผ้าเดนิม**. วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาสิ่งทอ. มหาวิทยาลัย เทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.
- [4] ส.วงศ์ศรีตระกูล, 2552. “วช.หนุนแม่ใจสร้างฟาร์กักหน้ลมผลิตไฟฟ้าในเขตภาคเหนือตอนล่าง,” **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.

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. Style and format

2.1 General

Manuscripts are typed single space except for headings. Font type

2.2 Title Block

The title should appear in upper and lower case without underlining, centered across both columns. Type

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

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

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

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.

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 not 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 Denim Fabric**. Master of Art’s Thesis. Rajamangala University of Technology Thamyaburi
- [5] Wikipedia. **Technology**. [Online] Available : [http ://Wikipedia.org](http://Wikipedia.org) (30 March 2009).



สมาชิกเลขที่

.....

ใบสมัครสมาชิกวารสารวิศวกรรมศาสตร์ ราชภัฏบุรีรัมย์

วันที่สมัคร

ข้าพเจ้า นาย/นาง/นางสาว สกุล อาชีพ

ที่อยู่ (สำหรับจัดส่งวารสาร) เลขที่ ถนน แขวง/ตำบล

เขต/อำเภอ จังหวัด รหัสไปรษณีย์

โทรศัพท์ โทรสาร e-mail

มีความประสงค์สมัครเป็นสมาชิก

อัตราค่าสมาชิก

วารสารวิศวกรรมศาสตร์ ราชภัฏบุรีรัมย์ 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

ธนาคาส่งจ่าย

ตั๋วแลกเงินไปรษณีย์ ส่งจ่าย

โอนเงินเข้าบัญชีธนาคาร ชื่อบัญชี เลขที่บัญชี

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

คณะวิศวกรรมศาสตร์ พร้อมเขียนชื่อ - นามสกุล และหมายเลขสมาชิก (ถ้ามี)

2. นักศึกษาที่สมัครทางไปรษณีย์ กรุณาส่งสำเนาบัตรประจำตัวนักศึกษาแนบมาด้วย

ลงชื่อ ผู้สมัคร

(.....)

แบบฟอร์มการส่งบทความทางวิชาการ
เพื่อลงตีพิมพ์ในวารสารวิศวกรรมศาสตร์ ราชมนคลัญบุรี

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

ชื่อ-สกุล.....

(ภาษาอังกฤษ).....

ตำแหน่งทางวิชาการ (โปรดระบุ) ☐ ศาสตราจารย์ ☐ รองศาสตราจารย์ ☐ ผู้ช่วยศาสตราจารย์

อื่นๆ(โปรดระบุ).....

ที่อยู่ (ที่ติดต่อได้).....

โทรศัพท์ที่ทำงาน..... โทรศัพท์มือถือ.....

โทรสาร..... อีเมล.....

มีความประสงค์ขอส่งบทความ เรื่อง:

ชื่อบทความ (ภาษาไทย).....

ชื่อบทความ (ภาษาอังกฤษ).....

การตรวจสอบ

☐ ทำการลงทะเบียน และ ส่งวารสารต้นฉบับใน เว็บไซต์

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

<http://www.enclm.rmutt.ac.th/enjournal/> .เรียบร้อยแล้ว

วันที่ ส่งวารสารต้นฉบับ เข้าระบบออนไลน์

ข้าพเจ้าขอรับรองว่า บทความนี้เป็นผลงานของข้าพเจ้าและผู้ร่วมงานตามชื่อที่ระบุไว้ในบทความจริง และบทความนี้ไม่เคยลงตีพิมพ์ในวารสารใดมาก่อน และข้าพเจ้าจะไม่นำส่งบทความนี้ไปพิจารณาตีพิมพ์ในวารสารอื่นภายใน 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.enclm.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

(.....)

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

