



รายงานการวิจัย

การผลิตวัสดุก่อสร้างจากกระดาษใช้แล้ว 2 หน้า

เพื่อลดการใช้วัสดุก่อสร้าง

(Wastepaper production from 2 pages reused paper
for reduction usage of construction materials)

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจาก

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว

รหัสโครงการ SUT7-715-46-12-34



รายงานการวิจัย

การผลิตวัสดุก่อสร้างจากกระดาษใช้แล้ว 2 หน้า

เพื่อลดการใช้วัสดุก่อสร้าง

(Wastepaper production from 2 pages reused paper
for reduction usage of construction materials)

คณะผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สนั่น ตั้งสถิตย์

สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผู้ร่วมวิจัย

นายสมพงษ์ น้อยสระแก้ว

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปีงบประมาณ พ.ศ. 2546

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว

28 กันยายน 2561

รหัสโครงการ SUT7-715-46-12-34

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยเรื่อง “การผลิตวัสดุก่อสร้างจากกระดาษใช้แล้ว 2 หน้า เพื่อลดการใช้วัสดุก่อสร้าง” ได้รับการสนับสนุนงบประมาณ ซึ่งเป็นทุนอุดหนุนการวิจัยทั้งหมด จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2546

สำหรับความสำเร็จของโครงการวิจัยในครั้งนี้ ผู้วิจัยได้รับความช่วยเหลือและสนับสนุนจาก

1. ศาสตราจารย์ ดร. กิตติเทพ เฟื่องขจร ที่กระตุ้นและส่งเสริมให้ทำวิจัย รวมทั้งการทำรายงานฉบับสมบูรณ์
2. รองศาสตราจารย์ ดร. พีระพงษ์ อุฑารสกุล ที่กระตุ้นให้ทำการแก้ไขรายงาน การทำรายงานฉบับสมบูรณ์เสร็จสิ้น
3. รองศาสตราจารย์ ดร. ชาญชัย ทองโสภา ที่กระตุ้นและส่งเสริมให้ทำวิจัย รวมทั้งการทำรายงานฉบับสมบูรณ์เสร็จสิ้น
4. นางสาวนารี กลิ่นกลาง ผู้คอยติดตาม ให้ความช่วยเหลือ คำแนะนำในการจัดพิมพ์รูปเล่มรายงาน
5. นางนิชชาภัทร สิทธิคุณ เลขานุการ สถานวิจัย สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ ที่ให้คำแนะนำและความช่วยเหลือ รวมทั้งการประสานงานกับฝ่ายต่างๆ

ท้ายที่สุดนี้ ผู้วิจัยใคร่ขอแสดงความขอบพระคุณอย่างสูงต่อสถาบันวิจัยและพัฒนา ตลอดจนสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ให้โอกาสผู้วิจัยได้ทำงานวิจัยนี้จนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี เจ้าหน้าที่ศูนย์เครื่องมือและวิทยาศาสตร์ 6 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้เครื่องมือในการทดลอง และเจ้าหน้าที่ศูนย์เครื่องมือและวิทยาศาสตร์ 6/1 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ในการวิเคราะห์ ตลอดจนบุคคลอื่นๆ ที่ไม่ได้กล่าวนามในข้างต้น

บทคัดย่อ

เศษกระดาษที่เกิดขึ้นในสำนักงานในแต่ละวันมีจำนวนมาก หากนำกลับไปใช้ในกระบวนการผลิตอีกครั้ง สามารถนำเอาเยื่อกระดาษจากเศษกระดาษไปใช้ในการผลิตอีกครั้งได้เพียงร้อยละ 60 เท่านั้น นอกจากนี้ราคาของเศษกระดาษมีราคาไม่มาก ดังนั้นงานวิจัยจึงต้องการที่จะศึกษาและความเป็นไปได้ของการนำเอาเศษกระดาษมาใช้เป็นเยื่อกระดาษในการผลิตชิ้นงานแบบกระดาษแผ่นอัด ด้วยการขึ้นรูปแบบเยื่อ โดยแบ่งการศึกษาออกเป็น 3 ขั้นตอนใหญ่ๆ คือ 1. การแปรสภาพของเศษกระดาษที่ใช้แล้ว 2 หน้า ด้วยเครื่องทำลายเอกสาร 2. ผลของระยะเวลาในการแช่เศษกระดาษก่อนนำมาแปรสภาพเป็นเยื่อกระดาษ โดยเปลี่ยนระยะเวลาในการแช่เศษกระดาษ 3 ค่า คือ 1 ชั่วโมง 3 ชั่วโมง 6 ชั่วโมง 12 ชั่วโมง และ 24 ชั่วโมง ตามลำดับ โดยทำการผสมด้วยน้ำประปา และ 3. กระบวนการขึ้นรูปชิ้นงานเป็นกระดาษแผ่นอัด จากเยื่อกระดาษเปียก โดยเปลี่ยนระยะเวลาในการขึ้นรูป 3 ค่า คือ 1 ชั่วโมง 6 ชั่วโมง และ 6 ชั่วโมง ตามลำดับ จากนั้นวิเคราะห์คุณสมบัติแบบประมาณของเศษกระดาษ เยื่อกระดาษ และกระดาษแผ่นอัด รวมทั้งทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางกลของกระดาษแผ่นอัด ตามวิธีมาตรฐาน เอเอสที เอ็ม

ผลจากการศึกษา พบว่า คุณสมบัติแบบประมาณของเศษกระดาษ มีค่าความชื้นร้อยละ 2.7-4.9 เถ้าร้อยละ 10.3-13 ของแข็งอินทรีย์ร้อยละ 51.3-53.0 และคาร์บอนคงตัวร้อยละ 29.3-31.6 สำหรับคาร์บอนคงตัว สำหรับเยื่อกระดาษมีคุณสมบัติแบบประมาณ ดังนี้ ความชื้นร้อยละ 20.4-25.5 เถ้าร้อยละ 13.2-16.0 ของแข็งอินทรีย์ร้อยละ 40.7-44.4 และคาร์บอนคงตัวร้อยละ 18.3-23.2

คุณสมบัติแบบประมาณและคุณสมบัติทางกลของกระดาษแผ่นอัดที่ระยะเวลาแช่เศษกระดาษต่างๆ พบว่า ที่ระยะเวลาแช่เศษกระดาษ 3 ชั่วโมง ค่าความชื้นและค่าของแข็งระเหยง่ายมีค่าน้อยที่สุด ส่งผลให้มีค่า tensile stress มากที่สุด เนื่องจากมีค่าความหนาแน่นมากที่สุด

คุณสมบัติแบบประมาณและคุณสมบัติทางกลของกระดาษแผ่นอัด ที่ระยะเวลาแช่เศษกระดาษ 3 ชั่วโมง กับระยะเวลาในการขึ้นรูป 1 ชั่วโมง 3 ชั่วโมง และ 6 ชั่วโมง พบว่า เมื่อระยะเวลาในการขึ้นรูปกระดาษแผ่นอัดมีค่ามากขึ้น ค่าความชื้นมีค่ามากขึ้น จากร้อยละ 7.42 เป็นร้อยละ 9.42 แต่ค่าคาร์บอนคงตัวลดลง จากร้อยละ 15.77 เป็นร้อยละ 12.23 ค่าความหนาแน่น มีค่าลดลงไปเล็กน้อย จาก 443.95 กรัมต่อลิตร เป็น 442.52 กรัมต่อลิตร และค่าของแข็งค่าของแรงดึง มีค่าลดลง จาก 1.93 MPa เป็น 1.40 MPa สรุปได้ว่าชิ้นงานที่มีความชื้นน้อยที่สุด จะมีค่าคุณสมบัติทางกลมากที่สุด ซึ่งในการทดลองครั้งนี้ สภาวะที่ดีที่สุดคือ ระยะเวลาแช่เศษกระดาษเพียง 1 ชั่วโมง และใช้ระยะเวลาในการขึ้นรูปชิ้นงาน 1 ชั่วโมง

ABSTARCT

Nowadays amount of wastepaper within the office are very much. If brought them return to the paper production about 60 percent only and the price of these very low. Thus this research aims to study and what the feasibility of producing the briquette paperboard from paper pump. The research divided into 3 steps: 1) transform process the wastepaper into the shredded wastewater 2) the paper pump from shredded wastewater with tap water by varies soaking time (1, 3, 6, 12 and 24 h) 3) the producing the wet briquette wastepaper under the hydraulic press by varies the molding times (1, 3 and 6 h) and also analyzed the proximate property of wastepaper, paper pump and briquette paperboard according the ASTM methods.

Results shown that the proximate properties of wastepaper. eg., water content is 2.7-4.9 percent, ash is 10.3-123 percent, volatile matter is 29.3-31.6 and fixed carbon is 29.3-31.6 percent. And the proximate properties of paper pulp of water content, ash, volatile matter and fixed carbon are 20.5-25.5 percent, 13.2-16 percent, 40.7-44.4 percent and 18.3-23.2 percent, respectively.

The optimal properties and mechanic properties of briquette paperboard by varies the soaking time (1, 3, 6, 12 and 24 h), found that the 3 h of soaking time is very good condition due to the product has also the least water content and volatile matter but has the highest of the tensile stress due to it has the most density value.

The optimal properties and mechanic properties of briquette paperboard at the constant soaking time 3 h and varies the molding time (1 h, 3 h, 6 h) found that the optimal conditions for producing the briquette paperboard were 3 h of soaking time in the paper pulp process followed by a molding periods of 1 h. The resulting products (paperboard briquettes) had the 7.42% moisture content on a wet basis, 15.7% dry matter, 443.95 g/L density, and 1.93 MPa tensile stress at the point of failure.

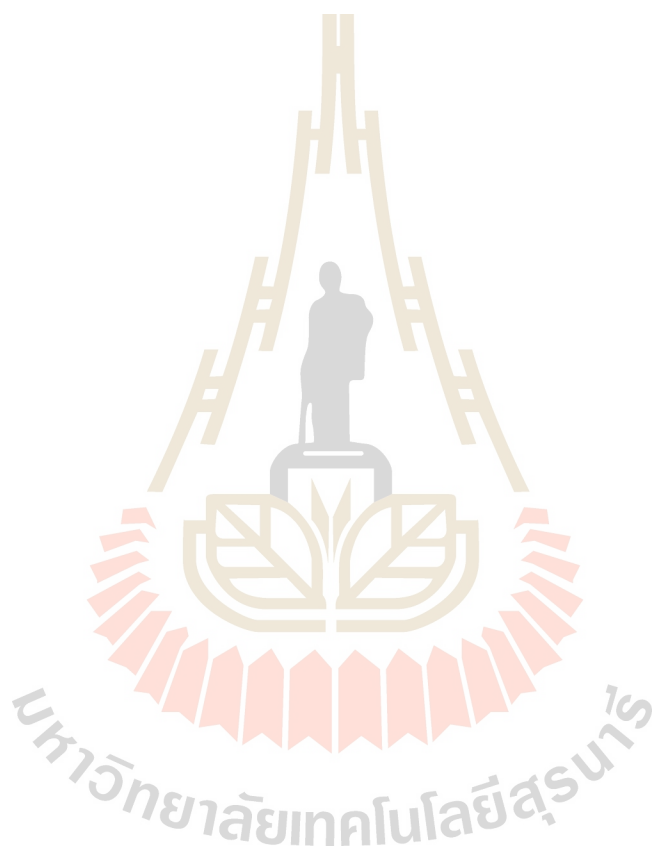
สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	1
บทคัดย่อ	2
สารบัญ	4
สารบัญตาราง	5
สารบัญภาพ	6
บทที่ 1 บทนำ	7
บทที่ 2 วิธีดำเนินการวิจัย	9
บทที่ 3 ผลการทดลองและวิเคราะห์ข้อมูล	13
บทที่ 4 บทสรุปและข้อเสนอแนะ	18
บรรณานุกรม	19
ภาคผนวก	20
ประวัติผู้วิจัย	35



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 คุณสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางกล ของตัวอย่างเศษกระดาษและเยื่อกระดาษ	13
3.2 คุณสมบัติแบบประมาณของกระดาษแผ่นอัด	13
3.3 คุณสมบัติทางกลของกระดาษแผ่นอัด	14



สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 กระจกที่ใช้แล้วที่ผ่านการตัดด้วยเครื่องทำลายเอกสารแบบไฟฟ้า ยี่ห้อ Olympia รุ่น Olympia PS-15	9
2.2 เยื่อกระจกที่ใช้เป็นวัตถุดิบในการขึ้นรูปเป็นกระจกแผ่นอัดด้วยเครื่องไฮดรอลิก	10
2.3 เครื่องอัดแบบไฮดรอลิก ของบริษัท Minchen Machinery จำกัด รุ่น HP 60	10
2.4 แม่พิมพ์ที่ใช้ในการขึ้นรูปกระจกแผ่นอัด	11
2.5 ตัวอย่างของชิ้นงาน (กระจกแผ่นอัด)	11
2.6 แสดงชิ้นงานที่นำไปวิเคราะห์คุณสมบัติทางกล	12
2.7 เครื่องทดสอบคุณสมบัติทางกล (An Instron Universal Testing Machine for determination of tensile stress of test pieces)	12
3.1 เปรียบเทียบคุณลักษณะของกระจกแผ่นอัด ที่ค่าคงที่ระยะเวลาการแช่กระจก 1 ชั่วโมง และแปรผันค่าระยะเวลาในการขึ้นรูปชิ้นงาน (1 h, 3 h, 6 h, 12 h และ 24 h) (a) ความชื้น (b) คาร์บอนคงตัว (c) ความหนาแน่น (d) แรงดึง	15
3.2 เปรียบเทียบคุณลักษณะของกระจกแผ่นอัด ที่ค่าคงที่ระยะเวลาการแช่กระจก 3 ชั่วโมง และแปรผันค่าระยะเวลาในการขึ้นรูปชิ้นงาน (1 h, 3 h, 6 h, 12 h และ 24 h) (a) ความชื้น (b) คาร์บอนคงตัว (c) ความหนาแน่น (d) แรงดึง	15
3.3 เปรียบเทียบคุณลักษณะของกระจกแผ่นอัด ที่ค่าคงที่ระยะเวลาการแช่กระจก 6 ชั่วโมง และแปรผันค่าระยะเวลาในการขึ้นรูปชิ้นงาน (1 h, 3 h, 6 h, 12 h และ 24 h) (a) ความชื้น (b) คาร์บอนคงตัว (c) ความหนาแน่น (d) แรงดึง	16
3.4 เปรียบเทียบคุณลักษณะของกระจกแผ่นอัด (S3M1, S3M3 และ S3M6) (a) ความชื้น (b) คาร์บอนคงตัว (c) ความหนาแน่น (d) แรงดึง	17

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาการวิจัย

กระดาษนับว่าเป็นสินค้าที่มีความสำคัญอย่างมากต่อการใช้ชีวิตประจำวันไปแล้ว แต่ในแต่ละวันกิจกรรมของมนุษย์มีส่วนที่เกี่ยวข้องกับกระดาษเสมอ เช่น การทำงาน การหาความรู้ใหม่ แม้ว่าจะสามารถอ่านเอกสารหรือหนังสือได้ตามสื่ออิเล็กทรอนิกส์ก็ตาม บางครั้งอาจต้องมีการพิมพ์ออกมา เพื่อความสะดวกในการใช้ประโยชน์ หรืออ้างอิง ปฏิทิน กระดาษพิมพ์เขียน หนังสือเรียน หนังสือสารคดี เป็นต้น ปริมาณการใช้กระดาษของประเทศไทยในกิจกรรมต่างๆ เช่น ใบปลิว ใบขอบริจาค แคตตาล็อก หนังสือราชการ หนังสือที่ใช้เรียนของนักเรียนและนักศึกษา เป็นต้น โดยเฉลี่ยมีค่าไม่ต่ำกว่า 45.6 กิโลกรัมต่อคนต่อวัน [1] โดยการนำเอากระดาษที่ใช้แล้วนำกลับมาใช้ใหม่ มีค่าเพียงร้อยละ 60 ของความมต้องการใช้เยื่อกระดาษในกระบวนการผลิตกระดาษของโรงงานอุตสาหกรรมกระดาษ ซึ่งมีความต้องการเยื่อกระดาษจากเศษกระดาษมากกว่า 1.5 ล้านตันต่อปีเท่านั้น [1] วัตถุดิบที่ใช้ในกระบวนการผลิตเยื่อกระดาษมาจาก 2 ส่วน คือ ส่วนที่เป็นไม้ ร้อยละ 92 และอีกส่วน เป็นที่ไม่ใช่ไม้ หรือมาจากผลผลิตจากการเกษตร ที่มีลักษณะเป็นเส้นใย ร้อยละ 8 [2-5] ซึ่งจะเห็นได้ว่าวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตเยื่อกระดาษมาจากต้นไม้เป็นส่วนใหญ่ ทำให้เกิดการตัดต้นไม้ เพื่อใช้เป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตเยื่อกระดาษ ส่งผลให้พื้นที่สีเขียวของประเทศลดลงไป ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาพอากาศ และผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เช่น น้ำแล้ง น้ำท่วม

จะเห็นได้ว่าเยื่อกระดาษที่ใช้ในการผลิตกระดาษ ส่วนใหญ่ได้มาจากการตัดต้นไม้และมีการใช้พลังงานมากในแต่ละขั้นตอนของกระบวนการผลิต จึงควรมีแนวทางหรือมาตรการในการลดปริมาณการใช้กระดาษ มีการใช้กระดาษให้เกิดประโยชน์มากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ และมีการนำเอากระดาษที่ใช้แล้วกลับมาใช้ใหม่ในกระบวนการผลิตเยื่อกระดาษ เพื่อลดการตัดต้นไม้ รวมทั้งการใช้พลังงานในกระบวนการผลิตกระดาษ [6-7]

งานวิจัยจึงต้องการหาแนวทางในการนำเอากระดาษจากสำนักงานบางแห่ง ของมหาวิทยาลัย มาใช้เป็นวัตถุดิบเริ่มต้น (เยื่อกระดาษ) ในการผลิตกระดาษแผ่นอัด โดยมีการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ และทางกลศาสตร์ของผลิตภัณฑ์ที่ได้

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อผลิตผลิตภัณฑ์ (กระดาษแผ่นอัด) จากกระดาษใช้แล้ว 2 หน้า ภายในมหาวิทยาลัย เทคโนโลยีสุรนารี เพื่อทดแทนการใช้วัสดุก่อสร้าง

2. เป็นแนวทางเลือกหนึ่งในการใช้ประโยชน์จากกระดาษใช้แล้ว ในรูปของกระดาษแผ่นอัด
3. เป็นข้อมูลพื้นฐานในการพัฒนากระบวนการผลิตวัสดุก่อสร้าง (กระดาษแผ่นอัด) ในอนาคต สำหรับชุมชน และอุตสาหกรรม จากการใช้เยื่อกระดาษที่ได้มาจากกระดาษใช้แล้ว 2 หน้า

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. ศึกษาผลของระยะเวลาในการแช่กระดาษ และระยะเวลาในการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ (กระดาษแผ่นอัด)
2. ทำการผลิตผลิตภัณฑ์ (กระดาษแผ่นอัด) จากกระดาษใช้แล้ว 2 หน้า ด้วยเทคโนโลยีที่มีอยู่
3. ทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพและทางกลศาสตร์ของผลิตภัณฑ์ที่ได้ (กระดาษแผ่นอัด)

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

1. เป็นการลดปริมาณของเสียจากกระดาษใช้แล้ว ซึ่งเป็นวิธีการหนึ่งของการจัดการของเสีย
2. ทราบแนวทางและความเป็นไปได้ของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระดาษใช้แล้ว 2 หน้า
3. ทราบคุณสมบัติทางกายภาพและทางกลศาสตร์ของผลิตภัณฑ์ที่ได้
4. เป็นข้อมูลพื้นฐานในการนำเอาของเสียอื่นๆ ที่มีลักษณะเดียวกับเศษกระดาษที่ใช้แล้ว 2 หน้า มาใช้ให้เกิดประโยชน์ใน
5. เป็นแนวทางหนึ่งในการสร้างความเจริญให้กับชุมชน จากการสร้างรายได้จากของเสีย จากการถ่ายทอดเทคโนโลยีของงานวิจัยไปสู่ชุมชน

บทที่ 2

วิธีดำเนินการวิจัย

2.1 วัสดุที่ใช้ในการทดลอง

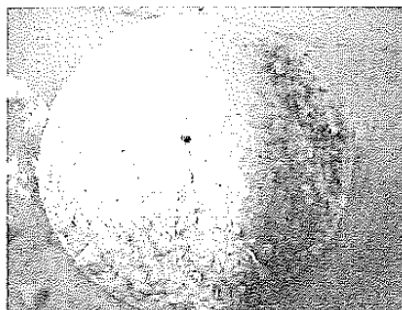
วัสดุที่ใช้ในการทดลอง ได้แก่ กระดาษใช้แล้วจากสำนักงาน สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี กระดาษใช้แล้วที่ผ่านการตัดด้วยเครื่องทำลายเอกสารแบบไฟฟ้า ยี่ห้อ Olympia รุ่น Olympia PS-15 ซึ่งกระดาษที่ได้จะเป็นดังภาพที่ 2.1 มีขนาดความหนา 4 มิลลิเมตร และยาว 10 เซนติเมตร และน้ำประปา



ภาพที่ 2.1 กระดาษใช้แล้วที่ผ่านการตัดด้วยเครื่องทำลายเอกสารแบบไฟฟ้า
ยี่ห้อ Olympia รุ่น Olympia PS-15

2.2 การเตรียมเยื่อกระดาษ

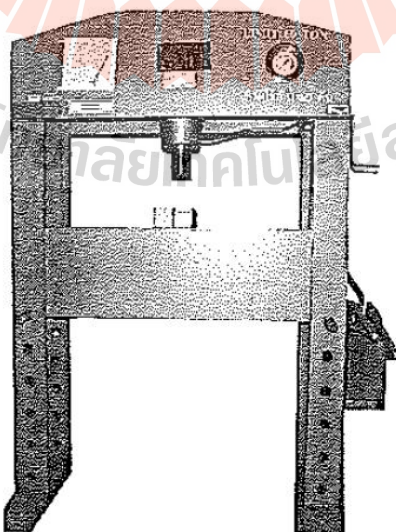
ทำการชั่งน้ำหนักของกระดาษใช้แล้ว ดังภาพที่ 2.1 ให้ได้ปริมาณ 140 กรัม แบ่งไปวิเคราะห์คุณสมบัติแบบประมาณ (Proximate property) ตามวิธีการวิเคราะห์มาตรฐาน ASTM และที่เหลือนำไปใส่ลงในถังพลาสติก ซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 16 เซนติเมตร และลึกทั้งสิ้น 16 เซนติเมตร เติมน้ำประปาจำนวน 2 ลิตร ลงในถังไบพลาสติกที่มีเศษกระดาษ จับเวลาการแช่กระดาษให้ได้ 1 ชั่วโมง จากนั้นทำการเปลี่ยนระยะเวลาการแช่เศษกระดาษเป็น 3 ชั่วโมง 6 ชั่วโมง 12 ชั่วโมง และ 24 ชั่วโมง ตามลำดับ เมื่อครบระยะเวลาการแช่เศษกระดาษ นำส่วนผสมทั้งหมดเติมลงในเครื่องปั่น เพื่อทำให้เป็นเยื่อกระดาษ จนกว่าจะเป็นเนื้อเดียวกัน ดังภาพที่ 2.2 จากนั้นเทเยื่อกระดาษกลับลงในถังพลาสติกใบเดิม นำเอาเยื่อกระดาษ 5 กรัม ไปวิเคราะห์คุณสมบัติแบบประมาณ ตามวิธีการวิเคราะห์มาตรฐาน ASTM



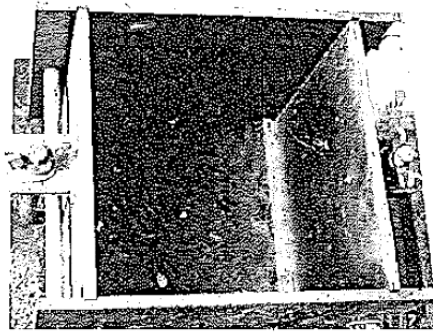
ภาพที่ 2.2 เยื่อกระดาษที่ใช้เป็นวัตถุดิบในการขึ้นรูปเป็นกระดาษแผ่นอัดด้วยเครื่องไฮดรอลิก

2.3 กระบวนการขึ้นรูปกระดาษแผ่นอัด

นำเยื่อกระดาษส่วนที่เหลือในข้อที่ 2.2 ซึ่งถูกใช้เป็นวัตถุดิบในการขึ้นรูปเป็นกระดาษแผ่นอัดด้วยเครื่องอัดแบบไฮดรอลิก ของบริษัท Minchen Machinery จำกัด รุ่น HP 60 ซึ่งแสดงไว้ในภาพที่ 2.3 เทลงในแม่พิมพ์ขนาดความกว้าง 15 เซนติเมตร ยาว 15 เซนติเมตร และลึก 5 เซนติเมตร ดังภาพที่ 2.4 จากนั้นทำการขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดไฮดรอลิก ทำการอัดชิ้นงาน ด้วยแรงอัด 2.2 MPa และคลายการอัดชิ้นงานหลายๆ ครั้ง เพื่อป้องกันความเสียหายของชิ้นงาน และทำให้ชิ้นงานเกิดการอัดเป็นกระดาษที่มีปราศจากความชื้น ทำการอัดชิ้นงานเป็นระยะเวลา 1 ชั่วโมง ซึ่งจะได้ชิ้นงานที่มีความหนา 5 มิลลิเมตร ดังภาพที่ 2.5 จากนั้นเปลี่ยนระยะเวลาในการอัดชิ้นงานจากเยื่อกระดาษใหม่ด้วยระยะเวลาการขึ้นรูปเป็น 3 ชั่วโมง และ 6 ชั่วโมง ตามลำดับ



ภาพที่ 2.3 เครื่องอัดแบบไฮดรอลิก ของบริษัท Minchen Machinery จำกัด รุ่น HP 60



ภาพที่ 2.4 แม่พิมพ์ที่ใช้ในการขึ้นรูปกระดาดแผ่นอัด



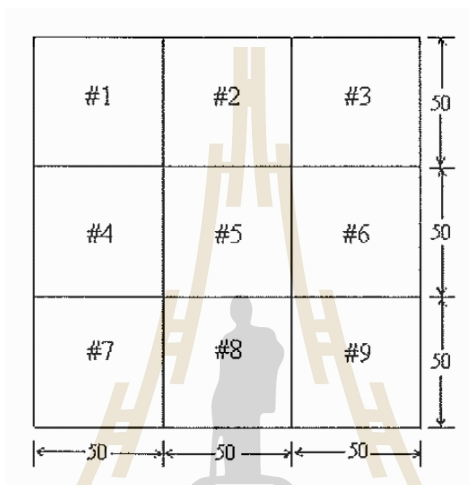
ภาพที่ 2.5 ตัวอย่างของชิ้นงาน (กระดาดแผ่นอัด)

ระยะเวลาในการแช่เศษกระดาดที่ผ่านการตัดแล้ว (1 ชั่วโมง, 3 ชั่วโมง, 6 ชั่วโมง, 12 ชั่วโมง และ 24 ชั่วโมง) และระยะเวลาในการขึ้นรูปกระดาดแผ่นอัดที่ใช้ในการทดลอง ค่าแรกจะเป็น 1 ชั่วโมง ดังนั้นสัญลักษณ์ของกระดาดแผ่นอัด ที่ได้จากการแช่เศษกระดาด 1 ชั่วโมง และทำการขึ้นรูปเป็นระยะเวลา 1 ชั่วโมง (S 1 h – M 1 h) เขียนเป็นตัวย่อว่า S1M1 และค่าอื่นๆ จะเป็น S1M3, S1M6 ตามลำดับ สำหรับระยะเวลาในการแช่เศษกระดาด 1 ชั่วโมง ส่วนระยะเวลาในการแช่เศษกระดาด 3 ชั่วโมง 6 ชั่วโมง 12 ชั่วโมง และ 24 ชั่วโมง ตามลำดับ ตัวย่อของชิ้นงานจะเป็นดังนี้ S3M1, S3M3, S3M6, S6M1, S6M3, S6M6, S12M1, S12M3, S12M6 และ S24M1, S24M3, S24M6 ตามลำดับ

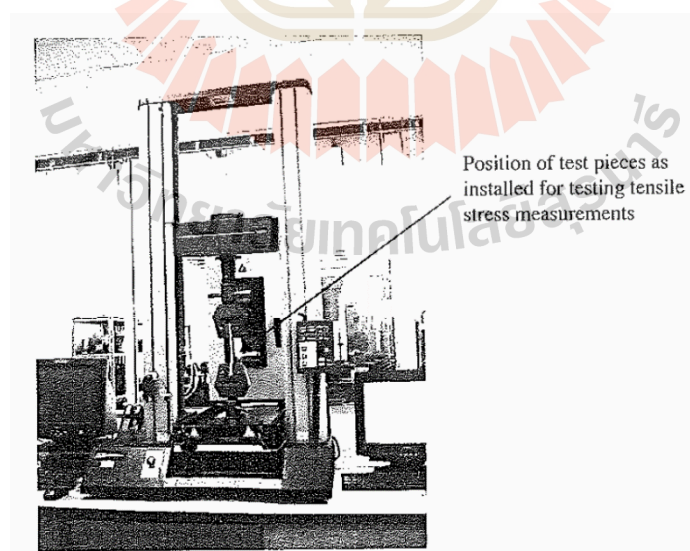
กระดาดแผ่นอัดที่แห้งแล้วและอยู่ในสภาพที่ดี จะมีการตัดชิ้นงานออกมา 3 ชิ้น ขนาด 1 เซนติเมตร x 1 เซนติเมตร เพื่อวิเคราะห์คุณสมบัติแบบประมาณ ตามวิธีการวิเคราะห์มาตรฐาน ASTM

2.4 กระบวนการทดสอบคุณสมบัติทางกล

กระดาษแผ่นอัดตัวอย่างเดียวกันที่ผ่านระยะเวลาการแช่เศษกระดาษและระยะเวลาการขึ้นรูปเดียวกัน อีกแผ่น จะถูกตัดออกเป็นแบ่งออกเป็น 9 ส่วน ด้วยคัตเตอร์ และจะนำเอาส่วนที่ 1 (#1), 3 (#1), 5 (#1), 7 (#1) และ 9 (#1) ดังภาพที่ 2.6 ไปวิเคราะห์หาค่าคุณสมบัติทางกล คือ แรงดึง (Tensile stress) ด้วยเครื่อง Instron Universal Testing Machine ดังภาพที่ 2.7 ซึ่งตั้งอยู่ที่อาคารศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 6/1 (F6/1)



ภาพที่ 2.6 แสดงชิ้นงานที่นำไปวิเคราะห์คุณสมบัติทางกล



ภาพที่ 2.7 เครื่องทดสอบคุณสมบัติทางกล

(An Instron Universal Testing Machine for determination of tensile stress of test pieces)

บทที่ 3

ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

3.1 สมบัติทางกายภาพของเศษกระดาษและเยื่อกระดาษ

คุณสมบัติทางกายภาพของตัวอย่างเศษกระดาษและเยื่อกระดาษ เป็นดังตารางที่ 3.1 ซึ่งพบว่ามีความแตกต่างกัน ซึ่งอาจจะมาจากความแตกต่างของระยะเวลาในการแช่กระดาษ โดยระยะเวลาในการแช่เศษกระดาษที่นานขึ้น มีผลโดยตรงต่อค่าความชื้น ส่งผลให้จำนวนครั้งในการอัดและคลายเครื่องอัดไฮดรอลิกในขั้นตอนของการขึ้นรูปกระดาษแผ่นอัดมีมากกว่าเยื่อกระดาษที่ได้จากการแช่เศษกระดาษที่ระยะเวลา น้อยกว่า

ตารางที่ 3.1 คุณสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางกล ของตัวอย่างเศษกระดาษและเยื่อกระดาษ

Sample	Proximate properties (%)			
	Moisture content	Ash	Volatile matter	Fixed carbon
Wastepaper	2.7-4.9	10.3-13.0	51.3-55.0	29.3-31.6
Paper pulp	20.4-25.5	13.2-16.0	40.7-44.4	18.3-23.2

3.2 คุณสมบัติแบบประมาณของกระดาษแผ่นอัด

คุณสมบัติแบบประมาณของกระดาษแผ่นอัดเป็นดังตารางที่ 3.2 ซึ่งพบว่ามีความแตกต่างกัน ซึ่งพบว่าขึ้นกับระยะเวลาในการแช่เศษกระดาษมากกว่าระยะเวลาในการขึ้นรูปขึ้นงาน

ตารางที่ 3.2 คุณสมบัติแบบประมาณของกระดาษแผ่นอัด

Products	Moisture Content			Ash			Volatile matter			Fixed carbon		
	Range	Avg [*]	SD ^{**}	Range	Avg [*]	SD ^{**}	Range	Avg [*]	SD ^{**}	Range	Avg [*]	SD ^{**}
S1M1	9-12.6	10.33	1.97	16.6-18.1	17.59	0.84	59.5-63.4	61.98	2.12	9.5-11.0	10.10	0.83
S1M3	9.8-11.7	10.42	1.10	15.2-17.2	16.15	1.01	63.4-65.9	64.52	1.20	7.2-10.8	8.91	1.79
S1M6	9.5-10.8	10.29	0.70	14.7-16.0	15.49	0.73	63.0-68.9	65.39	2.38	7.9-10.5	8.83	1.47
S3M1	6.5-9.0	7.42	1.33	16.1-16.4	16.27	0.13	59.1-61.3	60.53	1.22	15.7-16.0	15.77	0.17
S3M3	7.1-9.4	8.02	1.25	16.1-18.6	17.30	1.25	61-61.2	60.93	0.25	13.3-14.5	13.74	0.64
S3M6	8.3-10.7	9.42	1.21	15.3-16.4	16.00	0.60	60.5-65.4	62.34	2.66	9-14.8	12.23	2.97
S6M1	7.2-10.3	8.56	1.57	15.9-19.5	17.27	1.97	63.6-66.1	64.79	1.22	11.3-12.9	9.38	4.61
S6M3	7.2-11.7	8.77	1.77	13.5-16.6	15.13	1.54	65.3-66.3	65.87	0.50	9.5-11.0	10.23	0.74
S6M6	9.3-10.5	9.70	0.66	8.5-12.4	10.51	1.96	38-72.5	70.13	2.26	8.9-10.3	9.66	0.70
S12M1	11.7-12.4	11.97	0.37	14.6-20	17.23	2.70	60.9-64.1	62.53	1.65	5.1-12.9	8.27	4.08
S12M3	11.5-13.7	12.58	1.10	14.8-16.1	15.28	0.74	60.8-62.4	61.80	0.88	5-12.9	10.35	2.15
S12M6	10.4-11.3	11.00	0.55	14.5-16.9	15.81	1.23	63.1-66.7	64.47	1.91	5.1-12.1	8.71	3.48
S24M1	10.2-11.9	11.48	0.64	15.2-23.8	18.53	4.61	54.1-58.6	57.02	2.53	10.4-14.3	12.97	2.27
S24M3	10.8-14.3	12.63	1.77	13.5-16.5	14.71	1.58	60.8-65.6	63.95	2.74	6.7-12.0	8.71	2.83
S24M6	14.4-15.9	15.11	0.73	10.7-11.5	11.17	0.45	62.7-67	65.16	2.23	7.3-10.0	8.56	1.33

* Avg = Average value and **SD = Standard deviation value, S = The soaking time, M = The molding period
The first numerical set placed after the abbreviated S instant for the duration time of soaked shredded paper with tap water.

The second numerical set placed after the abbreviated M instant for the molding period of casting of the paper pulp into products.

3.3 คุณสมบัติทางกลของกระดาษแผ่นอัด

คุณสมบัติทางกลของตัวอย่างกระดาษแผ่นอัดเป็นดังตารางที่ 3.3 ซึ่งพบว่ามีความแตกต่างกัน ซึ่งขึ้นกับระยะเวลาในการแช่เศษกระดาษมากกว่าระยะเวลาในการขึ้นรูปชิ้นงาน ซึ่งเป็นไปในทำนองเดียวกับคุณสมบัติแบบประมาณของกระดาษแผ่นอัด

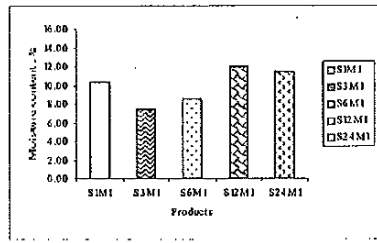
ตารางที่ 3.3 คุณสมบัติทางกลของกระดาษแผ่นอัด

Products	Bulk Density (g/L)			Tensile Stress (MPa)		
	Range	Avg [*]	SD ^{**}	Range	Avg [*]	SD ^{**}
S1M1	435.51-437.45	436.34	1.00	0.67-1.01	1.13	0.43
S1M3	431.73-443.21	436.22	6.13	1.02-2.02	1.36	0.57
S1M6	435.87-439.39	438.11	1.95	1.10-1.96	1.50	0.43
S3M1	443.11-445.46	443.95	1.31	1.64-2.30	1.93	0.34
S3M3	440.05-443.98	442.21	1.99	1.02-1.99	1.51	0.49
S3M6	438.47-442.25	442.52	0.91	1.07-2.01	1.40	0.53
S6M1	440-442.19	440.92	1.14	0.98-1.71	1.27	0.39
S6M3	440.05-441.74	440.99	0.86	0.95-1.56	1.24	0.31
S6M6	439.39-442.91	440.71	1.91	0.96-1.42	1.23	0.24
S12M1	429.49-445.16	436.51	7.96	0.94-1.82	1.28	0.47
S12M3	435.-77-439.39	437.99	1.95	1.02-1.99	1.35	0.55
S12M6	441.07-443.98	442.14	0.81	1.01-1.97	1.57	0.50
S24M1	439.13-440.41	439.90	0.67	1.01-1.07	1.14	0.18
S24M3	437.3-440.87	439.03	1.79	1.02-1.15	1.11	0.08
S24M6	438.47-440.87	439.57	1.21	1.07-1.52	1.23	0.25

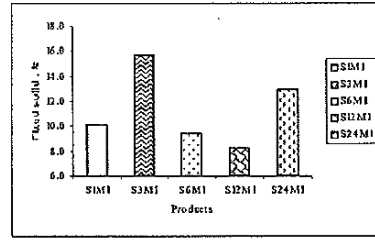
* Avg = Average value and **SD = Standard deviation value, S = The soaking time, M = The molding period
 The first numerical set placed after the abbreviated S instant for the duration time of soaked shredded paper with tap water.
 The second numerical set placed after the abbreviated M instant for the molding period of casting of the paper pulp into products.

3.4 ผลของระยะเวลาในการแช่เศษกระดาษ

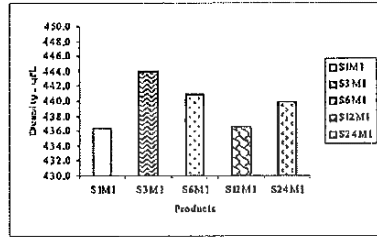
ผลของระยะเวลาในการแช่เศษกระดาษต่อคุณสมบัติแบบประมาณและคุณสมบัติทางกลของกระดาษแผ่นอัด พบว่า ที่ระยะเวลาการแช่เศษกระดาษ 3 ชั่วโมง จะมีค่าความชื้นและค่าของแข็งระเหยง่ายน้อยที่สุด ส่งผลให้มีค่า tensile stress มากที่สุด เนื่องจากมีค่าความหนาแน่นมากที่สุด ดังภาพที่ 3.1-3.3 ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของวิมลพร โสภณ [15]



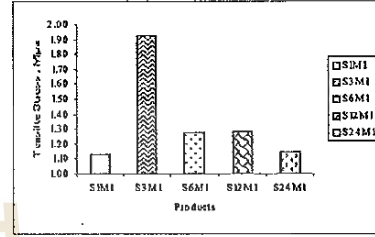
(a)



(b)

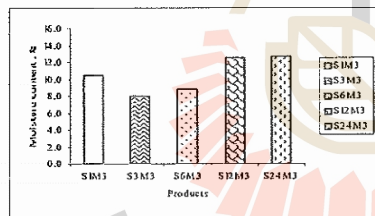


(c)

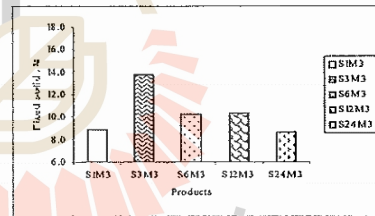


(d)

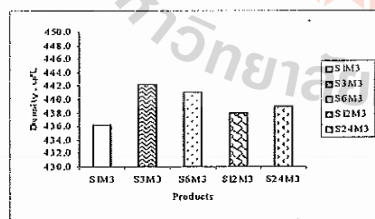
ภาพที่ 3.1 เปรียบเทียบคุณลักษณะของกระดาษแผ่นอัด ที่ค่าคงที่ระยะเวลาการแช่กระดาษ 1 ชั่วโมง และแปรผันค่าระยะเวลาในการขึ้นรูปขึ้นงาน (1 h, 3 h, 6 h, 12 h และ 24 h)
(a) ความชื้น (b) คาร์บอนคงตัว (c) ความหนาแน่น (d) แรงดึง



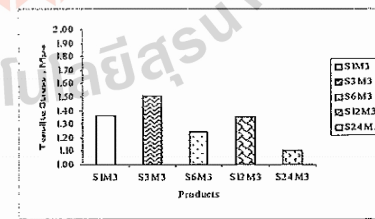
(a)



(b)

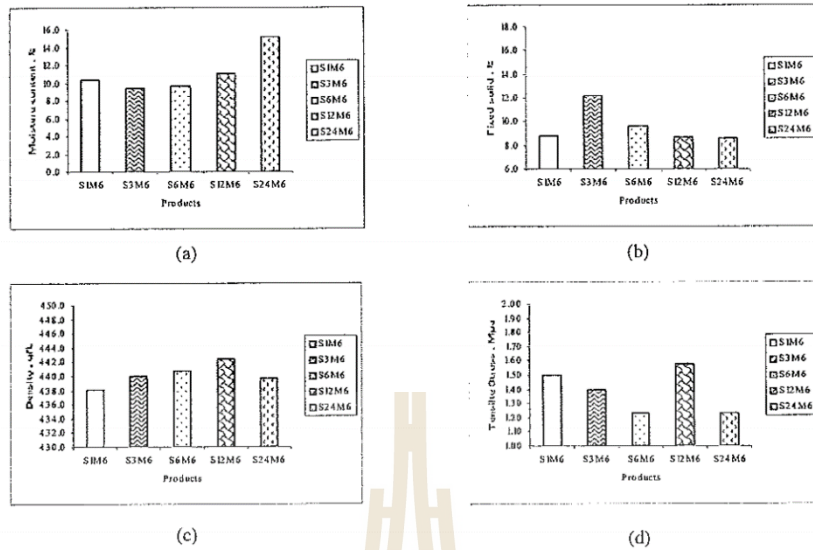


(c)



(d)

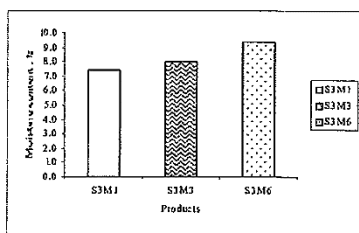
ภาพที่ 3.2 เปรียบเทียบคุณลักษณะของกระดาษแผ่นอัด ที่ค่าคงที่ระยะเวลาการแช่กระดาษ 3 ชั่วโมง และแปรผันค่าระยะเวลาในการขึ้นรูปขึ้นงาน (1 h, 3 h, 6 h, 12 h และ 24 h)
(a) ความชื้น (b) คาร์บอนคงตัว (c) ความหนาแน่น (d) แรงดึง



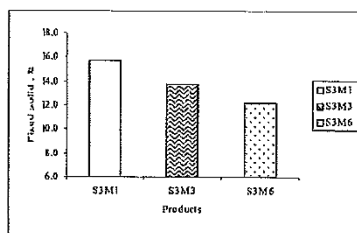
ภาพที่ 3.3 เปรียบเทียบคุณลักษณะของกระดาษแผ่นอัด ที่ค่าคงที่ระยะเวลาการแช่กระดาษ 6 ชั่วโมง และแปรผันค่าระยะเวลาในการขึ้นรูปชิ้นงาน (1 h, 3 h, 6 h, 12 h และ 24 h)
 (a) ความชื้น (b) คาร์บอนคงตัว (c) ความหนาแน่น (d) แรงดึง

3.5 ผลของระยะเวลาในการแช่เศษกระดาษและระยะเวลาในการขึ้นรูปกระดาษแผ่นอัด

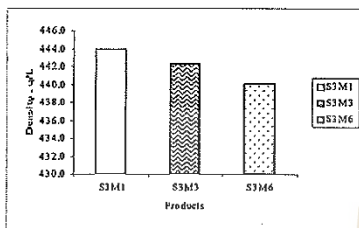
เมื่อนำเอาข้อมูลของกระดาษแผ่นอัดที่ใช้ระยะเวลาในการแช่เศษกระดาษ 3 ชั่วโมง เท่านั้น และระยะเวลาในการขึ้นรูป 1 ชั่วโมง 3 ชั่วโมง และ 6 ชั่วโมง มาเปรียบเทียบกับ เพื่อดูผลของระยะเวลาในการขึ้นรูปชิ้นงาน (กระดาษแผ่นอัด) ที่ดีที่สุด พบว่า เมื่อระยะเวลาในการขึ้นรูปกระดาษแผ่นอัดมีค่ามากขึ้น ค่าความชื้นมีค่ามากขึ้น ดังภาพที่ 3.4 (a) จากร้อยละ 7.42 เป็นร้อยละ 9.42 แต่ค่าคาร์บอนคงตัวลดลง ดังภาพที่ 3.4 (b) จากร้อยละ 15.77 เป็นร้อยละ 12.23 ค่าความหนาแน่น มีค่าลดลงไปเล็กน้อย ดังภาพที่ 3.4 (c) จาก 443.95 กรัมต่อลิตร เป็น 442.52 กรัมต่อลิตร และค่าของแข็งค่าของแรงดึง มีค่าลดลง ดังภาพที่ 3.4 (d) จาก 1.93 MPa เป็น 1.40 MPa แสดงว่า ชิ้นงานที่มีความชื้นน้อยที่สุด จะมีค่าคุณสมบัติทางกลมากที่สุด ตรงกับชิ้นงานที่ใช้ระยะเวลาในการแช่เศษกระดาษเพียง 1 ชั่วโมง และใช้ระยะเวลาในการขึ้นรูปชิ้นงาน 1 ชั่วโมง



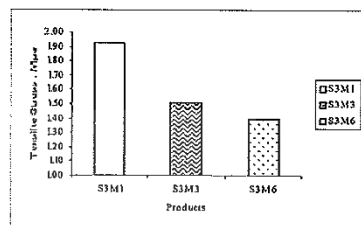
(a)



(b)



(c)



(d)

ภาพที่ 3.4 เปรียบเทียบคุณลักษณะของกระดาษแผ่นอัด (S3M1, S3M3 และ S3M6)

(a) ความชื้น (b) คาร์บอนคงตัว (c) ความหนาแน่น (d) แรงดึง

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 4

บทสรุป

4.1 สรุปผลการวิจัย

ผลจากการวิจัยพบว่าเศษกระดาษที่ใช้แล้ว 2 หน้า สามารถนำมาใช้ทดแทนวัสดุก่อสร้างภายในอาคาร เพราะมีคุณสมบัติทางกลที่เหมาะสม ซึ่งขึ้นกับระยะเวลาในการแช่เศษกระดาษและระยะเวลาในการขึ้นรูปขึ้นงาน แสดงให้เห็นว่าแนวทางในการนำเอาเศษกระดาษมาใช้ซ้ำ เพื่อก่อให้เกิดมูลค่ามากขึ้น มีความเป็นไปได้ในการสร้างรายได้ให้กับชุมชน และอุตสาหกรรม

4.2 ข้อเสนอแนะ

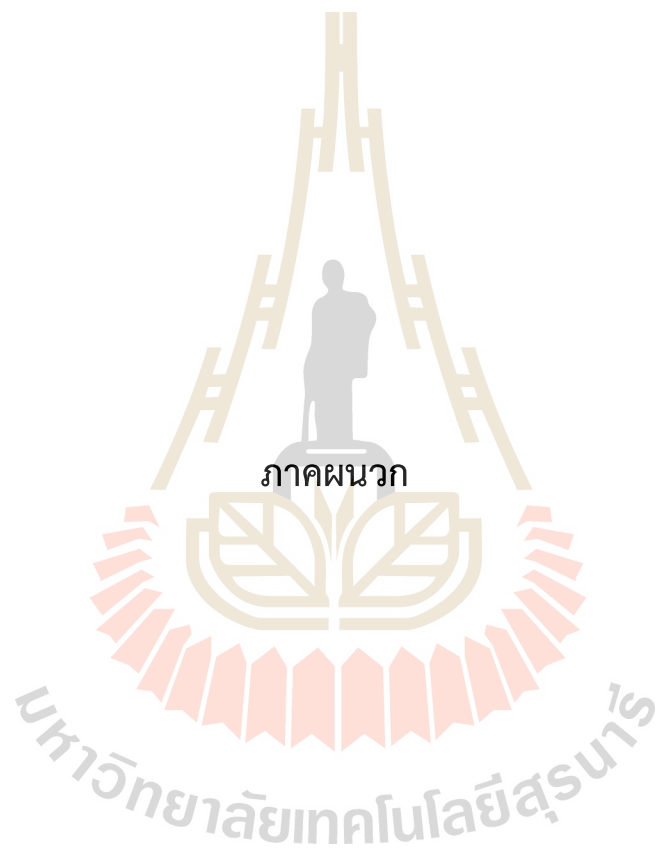
1. ควรมีการพิจารณาวัสดุเหลือใช้อื่นๆ ที่มีคุณสมบัติเหมือนเศษกระดาษ ซึ่งมีเส้นใย และสามารถนำมาปั่นเป็นเยื่อได้ นำมาทำการทดลองขึ้นรูปในลักษณะของกระดาษแผ่นอัด
2. ศึกษาคุณสมบัติอื่นๆ และผลกระทบที่อาจจะเกิดขึ้นต่อสุขภาพอนามัยมนุษย์เมื่อมีการนำเอาชิ้นงานไปใช้งาน

บรรณานุกรม

1. มุลนิธิศูนย์สื่อเพื่อการพัฒนา (2543). “ลดขยะรักษาชีวิตต้นไม้ด้วยเศษกระดาษในสำนักงานกับโครงการเพื่อต้นไม้”. โครงการกระดาษเพื่อต้นไม้-มูลนิธิศูนย์สื่อเพื่อการพัฒนา. (ออนไลน์) ได้จาก <http://www.thaienvironment.net> เมื่อวันที่ 21 มกราคม 2544.
2. บุรฉัตร ฉัตรวีระ และพิชัย นิमितยงสกุล. (2538). “สภาพลักษณะและคุณสมบัติทางกลศาสตร์ของเส้นใยธรรมชาติในประเทศกำลังพัฒนา”. วารสารวิศวกรรมสาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. ฉบับที่ 9 เล่มที่ 25. หน้า 123-127.
3. นัยนา นิยมวัน และคณะ. (2530). “กระดาษสาไทย”. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. ปีที่ 2. ฉบับที่ 2. หน้า 17-25.
4. บริษัทเนเซอรัล อินซูเลชั่น (ประเทศไทย) จำกัด. (2543). บ้านและสวน. ปีที่ 24. ฉบับที่ 284. หน้า 36.
5. Jon Vogler. (1974). *Work from waste*. Intermediate Technology Publication Ltd. Great Britain. Pp. 3-36.
6. ฝ่ายการใช้ประโยชน์จากของเสีย กองจัดการสารอันตรายและกากของเสีย กรมควบคุมมลพิษ. (2536). “ประโยชน์และโทษของกระดาษ”. เอกสารเผยแพร่ เรื่อง ประโยชน์และโทษของมูลฝอย. หน้า 25-46.
7. ฝ่ายการใช้ประโยชน์จากของเสีย กองจัดการสารอันตรายและกากของเสีย กรมควบคุมมลพิษ. (2536). “อุตสาหกรรมกระดาษและผลิตภัณฑ์กระดาษ”. เอกสารเผยแพร่ เรื่อง การศึกษาสำรวจการใช้ประโยชน์ของเสียและการลดปริมาณของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม ในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล. หน้า 62-64.
8. ASTM. (1998). *Annual Books of ASTM standards*. Standard Test Method for Moisture Content of Paper and Paperboard by Oven-Drying D644-94. ASTM International. West Conshohocken. PA. USA. p. 32-33.
9. ASTM. (1998). *Annual Books of ASTM standards*. Standard Test Method for Ash in Paper and Paperboard. D586-96. ASTM International. West Conshohocken. PA. USA. p. 11-13.

10. ASTM. (1998). Annual Books of ASTM standards. Standard Test Method for Thickness of Paper and Paperboard. D645/D645M-96. ASTM International. West Conshohocken. PA. USA. p. 34-36.
11. ASTM. (1998). Annual Books of ASTM standards. Standard Test Method for Tensile Stress Properties of Paper and Paperboard Using Constant-Rate-Elongation Apparatus D828-93. ASTM International. West Conshohocken. PA. USA. p. 102-108.
12. วิมลพร โสภณ. (2545). การศึกษาคุณสมบัติการดูดซับเสียงของแผ่นกั้นห้องที่ผลิตจากกระดาษใช้แล้ว. วิศวกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร.





บทความที่ได้รับตีพิมพ์

Sanan T. and Sompop S.(2012). Technique for production of Paperbord Briquette from Wastepaper. Suranaree Journal of Science and Technology. Vol.19. no. 2. P. 79-92.

TECHNIQUE FOR PRODCUTION OF PAPERBOARD BRIQUETTE FROM WASTEPAPER

Sanan Tangsathit^{1*} and Sompop Sanongraj^{2,3}

Received: Apr 9, 2012; Revised: May 16, 2012; Accepted: Jun 1, 2012

Abstract

The goal of this research was to study techniques for producing paperboard briquette from A4-wastepaper using no binder with 50-kN of mechanical compression. The steps of this process were classified into 3 stages: (1) a shredding process using A4-wastepaper as raw material, (2) a paper pulp produced from shredded wastepaper by mixing the shredded wastepaper with tap water, and (3) a molding process for producing the wet paperboard briquette from the paper pulp. The proximate composition and selected physical properties of the wastepaper, paper pulp, and paperboard briquette products were measured according to ASTM Standard Methods. These properties included density and tensile stress of the paperboard briquette products according to ASTM Standard Methods. Various soaking times (1, 3, 6, 12, and 24 h) and molding periods (1, 3, and 6 h) were studied to find the optimal conditions for production of the paperboard briquette. The study investigated paperboard briquette production from A4-wastepaper with 2.2 MPa hydraulic compression using no binder in the raw material. It was found that the optimal conditions for producing the paperboard briquette were 3 h of soaking time in the paper pulp process followed by a molding period of 1 h. The resulting products had 7.42% (wt/wt) moisture content on a wet basis, 15.77% (wt/wt) dry matter, 443.95 g/L density, and 1.93 MPa tensile stress at the point of failure.

Keywords: Wastepaper, paperboard briquette, paper pulp, hydraulic compression

Introduction

Currently, pulp and paper production is one of the world's highest demands in the industrial sectors. Advances in pulp and paper technology have mitigated many environmental problems. The use of alternate raw materials reduces greenhouse gas effects since the cutting of rain forests and original growth forests is rarely practiced today. Raw materials for the pulp production are obtained from wood fibrous raw materials

¹ Environmental Engineering Program, Faculty of Engineering, Ubon Ratchathani University, Ubon Ratchathani 34190 Thailand, Email: sanan@sut.ac.th

² Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering, Ubon Ratchathani University, Ubon Ratchathani 34190 Thailand, Email: sompopsanongraj@yahoo.com

³ National Center of Excellence for Environmental and Hazardous Waste Management, Ubon Ratchathani University, Ubon Ratchathani 34190 Thailand, E-mail: sompopsanongraj@yahoo.com

* Corresponding author

and non-wood fibrous raw materials. Some of these are shown in Figure 1. For example, raw materials for pulp production in Thailand were bagasse, kenaf, bamboo, rice straw, Burma grass, eucalyptus and waste paper or waste paper pulp (Abad *et al.*, 2000).

Recently, environmental problems have necessitated cleaner technology in paper making. New non-fibrous wood and residual materials have been substituted for traditional fibrous wood raw materials. Less polluting cooking and pulp bleaching processes have been developed (Akkarakultron, 1996). Procedures employing cleaner technology have been applied to achieve increased production with minimal effects on the environment. They more efficiently utilize and recycle expensive and scarce chemicals and raw materials. This technology is often referred to as low and non-waste technology (Müller, 2000).

Waste management principals can be referred to as the 3R's: reduction, reuse, and recycling. Responsible disposal of wastepaper employs the 3 R's. Paper usage may be reduced through maximization. In this practice, paper is more efficiently used before being recycled. Additionally, waste paper can be transformed into value-added products. These could include fiber-cement composites (Thaemngoen *et al.*, 2003), granular and sheet activated carbon (Littrell *et al.*, 2002; Uradei *et al.*, 2000; Khezami *et al.*, 2007; Masahiro *et al.*, 2004; Malikov *et al.*, 2007; Yorgun *et al.*, 2009), and activated carbon monoliths

(Kercher and Nagle, 2003; Nakagawa *et al.*, 2007). However, some important techniques and details concerning the production of these products are proprietary in nature and therefore not available in the scientific literature.

A case study of the recycling of solid waste in the Suranaree University of Technology, Nakhon Rachasima, Thailand found that the average amount of solid waste each day was 21333 km (Srisawang, 2002). Moreover, a related study found that the quantity of discarded office wastepaper was approximately 60% of all waste each day (Umnoi, 1997).

The molding process of paperboard from pulp is divided into 2 types : the cold process and the hot process. These processes may involve heat usage or may be done without application of heat (Usaborisut and Mahayosanun, 2005). Furthermore, a general cold process can be classified into 2 types. These include the hydraulic pressing and screw pressing systems as shown in Figure 2 (Loloon *et al.*, 2008; Usaborisut and Mahayosanun, 2005).

The main objective of the present work was to study the techniques for production of paperboard briquette from A4-wastepaper. It was our goal to do so using no binder in a cold process. A 50 kN hydraulic system capable of producing a pressure of 2.2 MPa was used to elucidate the best conditions for production of the briquette products. Experimental conditions varied, including the soaking time and molding periods. Experimental results are reflected in the

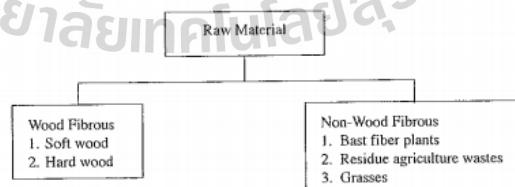


Figure 1. Raw materials for production of paper pulp in Thailand (Akkharakultron, 1996)

proximate properties of the paperboard briquette products and the tensile stress of the dried paperboard briquette products. These properties were measured according to ASTM standards methods as shown in Table 1 (ASTM, 1997; 1998; 2010).

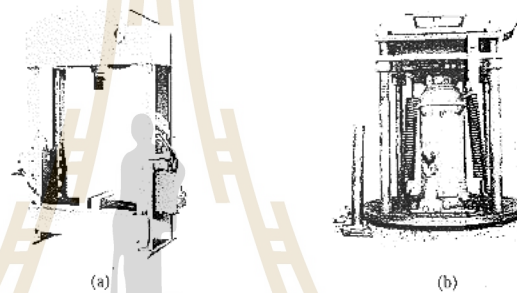


Figure 2. General instruments for casting specimens by cold processes (a) Hydraulic compression system, (b) Screw system (Usaborisut and Mahayosamun, 2005; Looon *et al.*, 2008)

Table 1. ASTM standards methods

Items	Wastepaper	Paper pulp	Briquette products	Standard methods
Tensile Stress	-	-	✓	ASTM D828-93 (ASTM, 1998)
Moisture Content	✓	✓	✓	ASTM D644-94 (ASTM, 1998)
Ash	✓	✓	✓	ASTM D586-96 (ASTM, 1998)
Volatile Matter	✓	✓	✓	ASTM D3175-8 (a)-97 (ASTM, 1998)
Fixed Carbon	✓	✓	✓	ASTM D3172-89 (ASTM, 1997)
Length, width	✓	✓	✓	-
Thickness	✓	✓	✓	ASTM D645M-96 (ASTM, 1998)
Bulk Density	-	-	✓	ASTM C559-90 (ASTM, 2010)

✓ = Check these properties of sample.

Materials and Methods

Materials

Wastepaper as a raw material in this study was obtained from numerous collection points within the Institute of Engineering, Suranaree University of Technology, Nakhon Rachasima, Thailand.



Figure 3. A sample of A4-wastepaper after passing through an electric shredder

Material Preparation

Material preparations in the study are divided into 2 stages. They were shredding of the A4-wastepaper and paper pulp preparation from the shredded paper.

Shredding Preparation

In the first step, A4-wastepaper was shredded (4 mm width \times 10 cm length) using an electric shredder. A sample of this shredded wastepaper is shown in Figure 3. The specifications of the electric shredder are shown in Table 2. Samples of the shredded wastepaper were used to determine the proximate properties of the raw material used in this study. The moisture content, ash content, volatile matter, and fixed carbon were determined according to ASTM standards methods (Table 1). The results are shown in Table 3.

Paper Pulp Preparation

Approximately 140 g of A4-wastepaper was weighed and put in a plastic tank

Table 2. Specifications of the electric shredder used in this study

Items	Details
Trade Name	Paper Shredder
Model	Olympia PS-15
Cutting Style	High Security Cross Cut
Cutting Size	4 mm Width \times 10 cm Length
Throat	140 mm
Feed Capacity	8 Sheets (A4)
Safety Feature	Automatic Reverse in case of over load
Dimension (W \times D \times H)	160 \times 250 \times 300 mm
Weight	2.5 kg Approx

Table 3. Properties of wastepaper and paper pulp

Sample	Proximate properties (%)			
	Moisture content	Ash	Volatile matter	Fixed carbon
Wastepaper	2.7-4.9	10.3-13.0	51.3-55.0	29.3-31.6
Paper pulp	20.4-25.5	13.2-16.0	40.7-44.4	18.3-23.2

(diameter 16 cm × depth 16 cm). Then 2 L of tap water were added to the shredded wastepaper. Treatments included the following soaking times: 1, 3, 6, 12, and 24 h. After soaking, the resulting mixtures were poured into the vessel of an electric blender. The blender was operated at high speed for 3-5 min. This was done 1-2 times until sample textures were homogeneous as shown in Figure 4. The homogeneous paper pulp samples were poured back into their original

raw material tanks. Samples of the homogenate having masses of approximately 5 g were removed to determine their proximate properties. The methods used for the proximate analyses are shown in Table 1. The results of the proximate analyses are shown in Table 3.

Paperboard Briquette Production Process.

Homogenous paper pulp was poured from the plastic tank into specimen setting

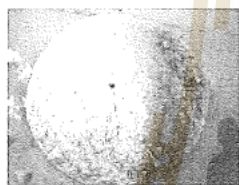


Figure 4. An example of homogenous paper pulp sample to be used as raw material for production of paperboard briquette products

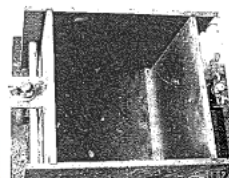


Figure 5. A specimen setting mold in this study for production of paper-board briquette products

Table 4. Specifications of hydraulic press used in this study

Items	Details
Trade Name	Press (Minchen Machinery CO., Ltd., Thailand)
Model	HP 60
Over Height	1930 mm
Working Width	800 mm
Frame Width	1080 mm
Overall Width	1295 mm
Working Width of Side	305 mm
Frame Wide of Side	390 mm
Over Wide of Side	915 mm
Frame Hole	40 mm
Distance between Frame Hole	133 mm
Piston Rod Diameter	89 mm
Ram Stoke	185 mm
Working Height Ram to Table	830 mm
Net Weight	665 kg

molds having dimensions of 15 cm (width) × 15 cm (length) × 5 mm (depth) as shown in Figure 5. The slurry was cast into the shape of a wetted paperboard briquette having dimensions of 15 cm (width) × 15 cm (length) × 5 mm (depth). A hydraulic press capable of 50-kN pressure (Model: HP 60, Minchen Machinery Co. Ltd., Thailand) was used to apply 2.2 MPa pressure to the samples. The proximate analyses of the resulting briquettes are shown in Figure 6. The specifications of the hydraulic press are given in Table 4.

The samples were allowed to cure at the ambient temperature following the molding periods of 1, 3, and 6 h. At the conclusion of the curing periods, samples were removed from their molds. The textures of the resulting samples were examined for uniformity and cracking. Uniform samples were selected and weighed with a 4 digit-balance (Model XT 6200, Precisa Gravimetrics, Dietikon, Switzerland).

Finally, samples of selected products were dried in a hot air oven at 105-110°C overnight according to ASTM standards methods (Table 1). Upon removal from the

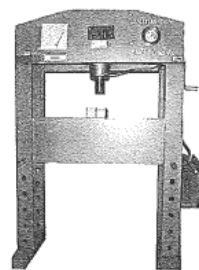


Figure 6. The 50-kN hydraulic press (Model: HP 60, Minchen Machinery CO., Ltd., Thailand)

Table 5. Proximate properties of briquette products

Products	Moisture Content			Ash			Volatile matter			Fixed carbon		
	Range	Avg*	SD**	Range	Avg*	SD**	Range	Avg*	SD**	Range	Avg*	SD**
S1M1	9-12.6	10.33	1.97	16.6-18.1	17.59	0.84	59.5-63.4	61.98	2.12	9.5-11.0	10.10	0.83
S1M3	9.8-11.7	10.42	1.10	15.2-17.2	16.15	1.01	63.4-65.9	64.52	1.20	7.2-10.8	8.91	1.79
S1M6	9.5-10.8	10.29	0.70	14.7-16.0	15.49	0.73	63.0-68.9	65.39	2.38	7.9-10.5	8.83	1.47
S3M1	6.5-9.0	7.42	1.33	16.1-16.4	16.27	0.13	59.1-61.3	60.53	1.22	15.7-16.0	15.77	0.17
S3M3	7.1-9.4	8.02	1.25	16.1-18.6	17.30	1.25	61-61.2	60.93	0.25	13.3-14.5	13.74	0.64
S3M6	8.3-10.7	9.42	1.21	15.3-16.4	16.00	0.60	60.5-65.4	62.34	2.66	9-14.8	12.23	2.97
S6M1	7.2-10.3	8.56	1.57	15.9-19.5	17.27	1.97	63.6-66.1	64.79	1.22	11.3-12.9	9.38	4.61
S6M3	7.2-11.7	8.77	1.77	13.5-16.6	15.13	1.54	65.3-66.3	65.87	0.50	9.5-11.0	10.23	0.74
S6M6	9.3-10.5	9.70	0.66	8.5-12.4	10.51	1.96	38-72.5	70.13	2.26	8.9-10.3	9.66	0.70
S12M1	11.7-12.4	11.97	0.37	14.6-20	17.23	2.70	60.9-64.1	62.53	1.65	5.1-12.9	8.27	4.08
S12M3	11.5-13.7	12.58	1.10	14.8-16.1	15.28	0.74	60.8-62.4	61.80	0.88	5-12.9	10.35	2.15
S12M6	10.4-11.3	11.00	0.55	14.5-16.9	15.81	1.23	63.1-66.7	64.47	1.91	5.1-12.1	8.71	3.48
S24M1	10.2-11.9	11.48	0.64	15.2-23.8	18.53	4.61	54.1-58.6	57.02	2.53	10.4-14.3	12.97	2.27
S24M3	10.8-14.3	12.63	1.77	13.5-16.5	14.71	1.58	60.8-65.6	63.95	2.74	6.7-12.0	8.71	2.83
S24M6	14.4-15.9	15.11	0.73	10.7-11.5	11.17	0.45	62.7-67	65.16	2.23	7.3-10.0	8.56	1.33

* Avg = Average value and **SD = Standard deviation value, S = The soaking time, M = The molding period
The first numerical set placed after the abbreviated S instant for the duration time of soaked shredded paper with top water.
The second numerical set placed after the abbreviated M instant for the molding period of casting of the paper pulp into products.

oven, the samples were placed in a desiccator and allowed to cool to room temperature for about 3 h. The masses of the dried products were measured. One sample from each treatment was selected for measurement of the proximate properties. The methods to determine the proximate properties, including tensile stress, according to ASTM standards methods are shown in Table 1. Figure 7 shows a sample of the dried paperboard briquette product.

Determination of Properties of Wastepaper, Paper Pulp, and Paperboard Briquettes.

Shredded A4-wastepaper was used as raw material for making paper pulp. The resulting samples were used to measure the proximate properties (moisture content, ash, volatile solid, and fixed solid) according to ASTM standards methods, as shown in Table 1. Additionally proximate analyses of the paper pulp used for producing the briquettes were

conducted. Proximate analyses were also done for the briquettes produced in this study. These results are shown in Table 5. The densities and tensile stresses of the briquettes, determined according to ASTM standards methods, are presented in Table 6.

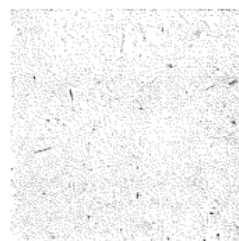


Figure 7. A digital image of dried paper-board briquette product sample

Table 6. Bulk Density and Tensile stress of briquette products

Products	Bulk Density (g/L)			Tensile Stress (MPa)		
	Range	Avg*	SD**	Range	Avg*	SD**
S1M1	435.51-437.45	436.34	1.00	0.67-1.01	1.13	0.43
S1M3	431.73-443.21	436.22	6.13	1.02-2.02	1.36	0.57
S1M6	435.87-439.39	438.11	1.95	1.10-1.96	1.50	0.43
S3M1	443.11-445.46	443.95	1.31	1.64-2.30	1.93	0.34
S3M3	440.05-443.98	442.21	1.99	1.02-1.99	1.51	0.49
S3M6	438.47-442.25	442.52	0.91	1.07-2.01	1.40	0.53
S6M1	440-442.19	440.92	1.14	0.98-1.71	1.27	0.39
S6M3	440.05-441.74	440.99	0.86	0.95-1.56	1.24	0.31
S6M6	439.39-442.91	440.71	1.91	0.96-1.42	1.23	0.24
S12M1	429.49-445.16	436.51	7.96	0.94-1.82	1.28	0.47
S12M3	435.77-439.39	437.99	1.95	1.02-1.99	1.35	0.55
S12M6	441.07-443.98	442.14	0.81	1.01-1.97	1.57	0.50
S24M1	439.13-440.41	439.90	0.67	1.01-1.07	1.14	0.18
S24M3	437.3-440.87	439.03	1.79	1.02-1.15	1.11	0.08
S24M6	438.47-440.87	439.57	1.21	1.07-1.52	1.23	0.25

* Avg = Average value and **SD = Standard deviation value, S = The soaking time, M = The molding period
The first numerical set placed after the abbreviated S instant for the duration time of soaked shredded paper with tap water.
The second numerical set placed after the abbreviated M instant for the molding period of casting of the paper pulp into products.

Moisture Content

The masses of the test pieces (m_1) were determined and then dried in a hot air oven at $103 \pm 2^\circ\text{C}$ over night according to ASTM standards methods (Table 1). The test pieces were cooled to room temperature, and then the mass of each dried test piece (m_0) was determined. The moisture content of the test pieces was calculated using Equation 1.

$$\text{Moisture content: \%} = \left[\frac{m_1 - m_0}{m_1} \right] * 100 \quad (1)$$

where, m_0 = mass (g) of the test piece after being heated

m_1 = mass (g) of the original test piece

Ash

Crucibles with their covers were placed in a muffle furnace and heated to $525 \pm 25^\circ\text{C}$ for 30-60 min according to ASTM standards methods (Table 1). After heating, they were allowed to cool slightly and then placed in a desiccator. All crucibles were cooled to room temperature in the desiccator. The mass of each crucible was determined (B). The weighed crucibles were filled with a paper pulp sample of about 1 g. Then the mass of each crucible plus the original specimen sample (C) was measured. The weighed crucibles were placed with their covers in the muffle furnace at $525 \pm 25^\circ\text{C}$ for 30-60 min. After heating, the crucibles were removed from the muffle furnace and allowed to cool slightly and then placed in a desiccator. After all the crucibles were cooled to room temperature, the mass of each crucible plus the specimen sample (D) was determined. The ash content of each specimen was calculated according to Equation 2:

$$\text{Ash (\%)} = \left[\frac{D - B}{C - B} \right] * 100 \quad (2)$$

where, B = mass (g) of each ignited crucible

C = mass (g) of each ignited crucible plus the original specimen sample

D = mass (g) of each ignited crucible plus the ashes of the specimen sample

Volatile Matter

The crucibles with their covers were placed in a muffle furnace and heated to $950 \pm 25^\circ\text{C}$ for 7 min ± 10 sec according to ASTM standards methods (Table 1). After heating, the crucibles were allowed to cool slightly. Following this, they were placed in a desiccator. All crucibles were cooled to room temperature, and then the mass of each crucible was determined (B). The crucibles were filled with 1 g of sample and then weighed to arrive at a mass for each crucible plus the original sample (C). The crucibles with their covers were heated at $950 \pm 25^\circ\text{C}$ for 7 min ± 10 sec. After heating, the crucibles were allowed to cool slightly and then placed in a desiccator where they cooled to room temperature. The mass of each crucible plus the de-volatilized matter of the sample (D) was measured. The volatile matter of each sample was calculated according to the following Equation 3:

$$\text{Volatile matter (\%)} = \left[\frac{C - D}{C - B} \right] * 100 \quad (3)$$

where, B = mass (g) of each ignited crucible

C = mass (g) of each ignited crucible plus the original specimen sample

D = mass (g) of each ignited crucible plus the de-volatilized specimen sample

Fixed Carbon

The fixed carbon of the specimen sample was calculated by difference according to ASTM standards methods (Table 1) as follows in Equation 4:

$$\text{Fixed Carbon (\%)} = 100 - \text{Ash} - \text{Volatile Matter} \quad (4)$$

where, Ash = ash content (%) in each specimen sample

Volatile matter = volatile matter (%) in each specimen sample

sample after being heated

Bulk Density

The lengths, widths, and thicknesses of each test piece were measured at 3 points according to ASTM standards methods (Table 1) as shown in Figure 8. The mean values of the length, width, and also thickness of each test piece was determined. The mass of each dried test piece was determined. The bulk density of the test pieces was calculated according to ASTM standards methods (Table 1) as the following Equation 5:

$$\text{Bulk density (g/cubic mm)} = \left[\frac{m_s}{l * w * t} \right] \quad (5)$$

- where, m_s = mass (g) of the specimen sample after being heated
- l = mean value of length (mm) of the specimen sample after being heated
- w = mean value of width (mm) of the specimen sample after being heated
- t = mean value of thickness (mm) of the specimen

Tensile Stress

Test pieces were cut into 9 sections as shown in Figures 8 and 9. The lengths and widths of sections #1, #3, #5, #7, and #9 were measured. Selected samples were placed in position to test the tensile stress according to ASTM standards methods (Table 1) with an Instron Universal Testing Machine as shown in Figure 10. The instrument was set to determine the tensile stress at a sample's failure. When the test piece was broken, the maximum tensile stress used was recorded. The tensile stress of each section was calculated according to Equation 6. The average values of the tensile stresses were also determined and are shown in Table 6.

$$\text{Tensile Stress (MPa)} = \left[\frac{P_{\max}}{b * l} \right] \quad (6)$$

- where, P_{\max} = maximum tensile force (N)
- b = width (mm) of test section of the test pieces
- l = thickness (mm) of test section of the test pieces

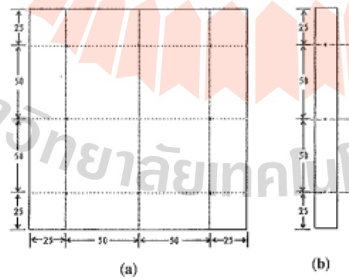


Figure 8. Points at which lengths, widths and thicknesses (mm) of test pieces were measured (a) Planview (b) Side view

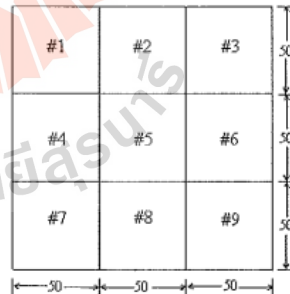


Figure 9. Selected sections for determination of testing tensile stress of specimen sample. Dimensions are in mm

Results and Discussion

Characterisation of Wastepaper and Paper Pulp

Wastepaper in this study had proximate properties in the ranges of 2.7-4.9%, 10.3-13.0%, 51.3-55.0%, and 29.3-31.6% for moisture content, ash content, volatile matter, and fixed carbon, respectively. Paper pulp produced in this study had proximate properties ranging from 20.4-25.5%, 13.2-16.0%, 40.7-44.4%, and 18.3-23.2% for moisture content, ash content, volatile matter, and fixed carbon, respectively. These results are shown in Table 3.

The results showed that the moisture contents of the paper pulp produced for all molding times increased due to water absorption into the shredded material. However, both the volatile matter and fixed carbon of those materials decreased, as shown in Table 3.

Characterisation of Paperboard Briquette Products at Constant Molding Periods (1, 3, and 6 h) and Varied Soaking Times (1, 3, 6, 12, and 24 h)

The proximate properties of the paperboard briquette products are shown in Table 5. The

densities and tensile stresses of these products are shown in Table 6.

All samples of the paperboard briquette had moisture contents much less than those of the paper pulps (20.4-25.5%) from which they were produced. This is a result of the pressure loading of the samples with a 50-kN hydraulic press. Thus, water was pressed from the paper pulp samples.

The molding times of 1, 3, and 6 h were each examined for each of the 1, 3, 6, 12, and 24 h soaking times. For all molding times, it was found that the briquette products exhibited the highest densities, tensile stresses at failure, fixed solids content, and lowest moisture contents with the soaking time of 3 h. These results are shown graphically in Figures 11-13 and in tabular form in Tables 5 and 6. Also these results are consistent with those reported earlier (Sophon, 2003).

Effects of Both the Soaking Times and Molding Periods on the Properties of Paperboard Briquette Products

Figure 14 compares the properties of S3M1, S3M3, and S3M6 products. It was

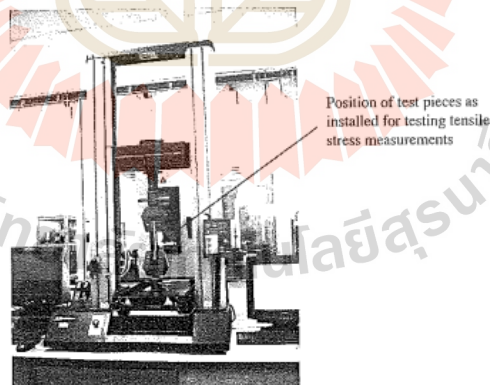


Figure 10. An Instron Universal Testing Machine for determination of tensile stress of test pieces

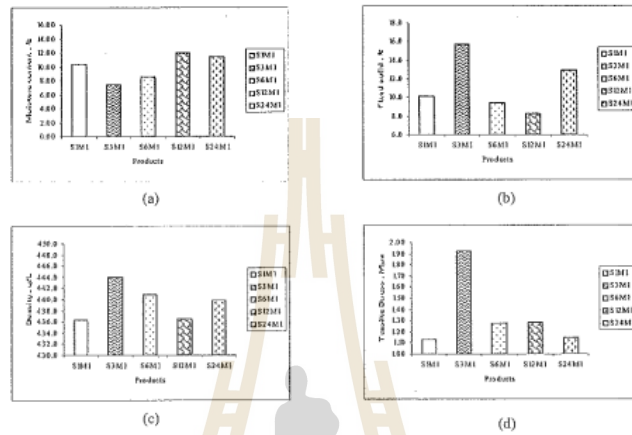


Figure 11. Characterisation of paperboard briquette products at a constant molding period 1 h and varied soaking time (1, 3, 6, 12, and 24 h).
(a) Moisture Content (b) Fixed Carbon (c) Bulk Density (d) Tensile Stress

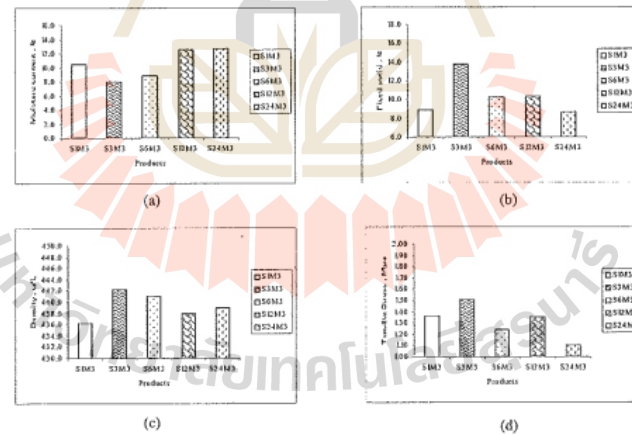


Figure 12. Characterisation of paperboard briquette products at a constant molding period 3 h and varied soaking time (1, 3, 6, 12, and 24 h).
(a) Moisture Content (b) Fixed Carbon (c) Bulk Density (d) Tensile Stress

found that the moisture content of the products was gradually increased from 7.42% to 9.42% with increasing the molding time. This is shown in Figure 14(a). The fixed carbon levels of the products decreased from 15.77% to 12.23% as the molding times were increased from 1 to 6 h. This is shown in Figure 14(b). The density of the products decreased slightly from 443.95 g/L to 442.52 g/L with increasing the molding time, as shown in Figure 14(c). Lastly, the tensile stresses of the products decreased from 1.93 MPa to 1.40 MPa, as shown in Figure 14(d). The product S3M1 had the lowest moisture content (7.42%), as shown in Figure 14(a). However, it had the highest fixed carbon (15.77%), the highest density (443.95 g/L), and the highest tensile stress at failure (1.93 MPa) of the samples with 3 h soaking times. So we can conclude that products made from paper pulp with 3 h of soaking time followed by 1 h of molding time had the best properties for the production of paperboard briquettes. In other words, they exhibited the lowest moisture contents, and

the highest values for fixed carbon, density, and tensile stress.

Conclusions

The findings of the study provide substantial support for the production of paperboard briquette products from A4-wastepaper using no binder and using a hydraulic compression machine with a pressure of 2.2 MPa.

Results indicated that the S3M1 products, i.e. those made with 3 h of soaking time and 1 h of molding time exhibited the most favorable properties. They showed the lowest moisture content (7.42%), and the highest values for fixed carbon (15.77%), density (443.95 g/L), and tensile stress (1.93 MPa).

Acknowledgements

We would like to gratefully acknowledge support of this work by the Institute of Research and Development of Suranaree University of Technology, Nakhon Rachasima,

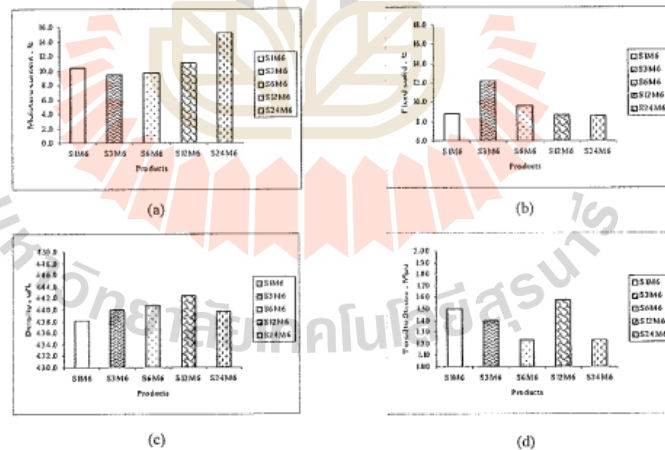


Figure 13. Characterisation of paperboard briquette products at a constant molding period 6 h and varied soaking time (1, 3, 6, 12, and 24 h).
(a) Moisture Content (b) Fixed Carbon (c) Bulk Density (d) Tensile Stress

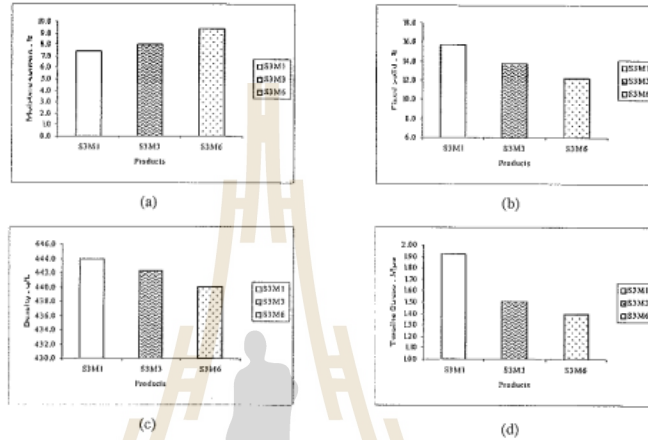


Figure 14. Comparison properties of paperboard briquette products (S3M1, S3M3, and S3M6). (a) Moisture Content (b) Fixed Carbon (c) Bulk Density (d) Tensile Stress

Thailand. The University generously provided financial support, use of equipment, and a valuable scholarship from the National Science and Technology Development Agency (NSTDA). Finally, the corresponding author would like to express his great appreciation to Assistant Professor Dr. Sompop Sanongraj, his advisor at the Ubon Rachathani University, Ubon Rachathani, Thailand, for giving his valuable guidance in this research.

References

Abad, S., Santes, V., and Parajo, J.C. (2000). Formic acid-oxoformic acid pulping of aspen wood: an optimization study. *Holzforschung*, 54(5): 544-552.

Akkarakultron, P. (1996). The status of usage of waste paper in Thailand and its evaluation in the future [Msc. Thesis]. Department of Environmental Technology, School of Energy and Materials, King Mongkut's Institute of Technology of Thonburi, Bangkok, Thailand, 102p.

ASTM. (1997). Annual Book of ASTM Standards. Standard Practice for Proximate Analysis of Coal and Coke D3172-89. ASTM International,

West Conshohocken, PA, USA, p. 300-302.

ASTM. (1998). Annual Book of ASTM Standards. Standard Test Method for Tensile Properties of Paper and Paperboard Using Constant-Rate-Elongation Apparatus D828-93. ASTM International, West Conshohocken, PA, USA, p. 102-108.

ASTM. (1998). Annual Book of ASTM Standards. Standard Test Method for Moisture Content of Paper and Paperboard by Oven-Drying D644-94. ASTM International, West Conshohocken, PA, USA, p. 32-33.

ASTM. (1998). Annual Book of ASTM Standards. Standard Test Method for Ash in Pulp, Paper and Paperboard D586-96. ASTM International, West Conshohocken, PA, USA, p. 11-13.

ASTM. (1998). Annual Book of ASTM Standards. Standard Test Method for Volatile Matter in the Analysis Sample of Coal and Coke D3175-89a-97. ASTM International, West Conshohocken, PA, USA, p. 306-308.

ASTM. (1998). Annual Book of ASTM Standards. Standard Test Method for Thickness of Paper and Paperboard D645/D645M-96. ASTM International, West Conshohocken, PA, USA, p. 34-36.

ASTM. (2010). Annual Book of ASTM Standards. Standard Test Method for Bulk Density by

ประวัติผู้วิจัย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สนั่น ตั้งสถิตย์ เป็นอาจารย์ประจำ สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม สำนักวิชา วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี เกิดที่อำเภอเมือง จังหวัดอุดรธานี สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี เมื่อปี พ.ศ. 2531 และสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาโท สาขาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะพลังงานและสิ่งแวดล้อม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี เมื่อปี พ.ศ. 2535 มีประสบการณ์ในงานวิจัยทางการใช้ประโยชน์จากของเสีย (Waste Utilization) การออกแบบ และแก้ไขปัญหาในการเดินระบบบำบัดน้ำเสีย (Design, Adjustment and Operation of Wastewater Treatment Plants)

สถานที่ติดต่อ คือที่ สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี 111 ถนนมหาวิทยาลัย ตำบลสุรนารี อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา 30000.

