

สมบัติทางกล ทางกายภาพ และทางความร้อนของแผ่นใยไม้อัดที่ไม่มีตัวประสาน จากผงแกลบและผงฟางข้าว

ชาตรี หอมเขียว^{1,2*} สุรสิทธิ์ ระวังวงศ์^{1,2} วรพงศ์ บุญช่วยแทน^{1,2} พศิกา แก้วพอม¹
และ รัชฎูญาศ ทองขาวเฟือก¹

บทคัดย่อ

แกลบและฟางข้าวเป็นวัสดุเหลือใช้ที่มีเป็นจำนวนมากในประเทศไทย ทั้งยังมีมูลค่าต่ำ อย่างไรก็ตามวัสดุเหล่านี้มีศักยภาพต่อการนำมาใช้เป็นตัวเติมผลิตรวมแผ่นใยไม้อัดที่ไม่มีตัวประสาน ดังนั้นบทความนี้นำเสนอผลกระทบของขนาดอนุภาคและชนิดวัตถุดิบ (แกลบ และฟางข้าว) ต่อสมบัติทางกล ทางกายภาพ และทางความร้อนของแผ่นใยไม้อัดที่ไม่มีตัวประสาน ซึ่งขนาดอนุภาคที่ใช้ศึกษามี 4 ช่วง คือ ขนาดเล็กกว่า 150 μm ขนาด 150 ถึง เล็กกว่า 212 μm ขนาด 212 ถึง เล็กกว่า 425 μm และขนาดเล็กกว่า 425 μm ในการผลิตแผ่นใยไม้อัดเป็นชิ้นงานตัวอย่างกระทำโดยใช้เครื่องอัดร้อนที่ควบคุมอุณหภูมิอยู่ที่ 220 °C และแรงดันอัด 17.23 MPa เป็นระยะเวลา 25 นาที และผลจากการทดลองพบว่า ขนาดอนุภาคและชนิดวัตถุดิบมีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญต่อค่าความแข็งแรงดัด ค่ามอดูลัสการดัด และค่าความแข็งแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้าของแผ่นใยไม้อัดที่ไม่มีตัวประสาน โดยแผ่นใยไม้อัดมีค่าความแข็งแรงดัด ค่ามอดูลัสการดัด ค่าความแข็งแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า และค่าการนำความร้อนเพิ่มขึ้นตามขนาดอนุภาคที่เล็กลง แต่ค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำและค่าเปอร์เซ็นต์การพองตัวกลับลดลง เช่นเดียวกันพบว่า แผ่นใยไม้อัดที่ผลิตจากผงฟางข้าวมีค่าความแข็งแรงดัด ค่ามอดูลัสการดัด และค่าการนำความร้อนสูงกว่าแผ่นใยไม้อัดที่ผลิตจากผงแกลบ นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐานแผ่นใยไม้อัด พบด้วยว่าแผ่นใยไม้อัดที่ผลิตจากผงแกลบและที่ผลิตจากผงฟางข้าวขนาดเล็กกว่า 150 μm มีค่าความแข็งแรงดัด ค่ามอดูลัสการดัด ค่าความแข็งแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า และค่าเปอร์เซ็นต์การพองตัวผ่าน Japanese Industrial Standard A 5905 เกณฑ์ Type 5 เป็นอย่างน้อย

คำสำคัญ : แผ่นใยไม้อัดที่ไม่มีตัวประสาน, ขนาดอนุภาค, ชนิดเส้นใยธรรมชาติ, การวิเคราะห์สถิติ, การอัดร้อน

¹ สาขาวิศวกรรมอุตสาหกรรม, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

² หน่วยวิจัยเทคโนโลยีการแปรรูปวัสดุ, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

* ผู้ติดต่อ, อีเมล: chatree.h@rmutsv.ac.th รับเมื่อ 11 กันยายน 2560 ตอบรับเมื่อ 24 ตุลาคม 2560

Mechanical, Physical and Thermal Properties of Binderless Fiberboard from Rice Husk Flour and Rice Straw Flour

Chatree Homkhiew^{1,2*} Surasit Rawangwong^{1,2} Worapong Boonchouytan^{1,2} Pasika Kaewpom¹
and Tanyamas Thongkaowphueak¹

Abstract

Rice husk and rice straw are waste materials generated largely in Thailand, as well as low value. However, these materials have the potentials to be used as raw materials for the production of binderless fiberboard. Therefore, this paper presents the effect of particle sizes and material types (rice husk and rice straw) on mechanical, physical and thermal properties of binderless fiberboard. The particle sizes used in experiment consist of 4 class interval; 1) smaller than 150 μm , 2) 150 to less than 212 μm , 3) 212 to less than 425 μm and 4) smaller than 425 μm . In manufacturing the sample fiberboard, the materials were pressed with a hot compression machine controlling temperature 220 $^{\circ}\text{C}$ and pressure 17.23 MPa for 25 min. According to the results, the particle sizes and material types significantly affected modulus of rupture (MOR), modulus of elasticity (MOE) and internal bond strength (IBS) of binderless fiberboard. The fiberboard produced with smaller particle sizes showed higher MOR, MOE, IBS and thermal conductivity, whereas percentage of water absorption and thickness swelling (TS) reduced. Likewise, the results also indicate that the fiberboard made from rice straw flour gave better MOR, MOE and thermal conductivity than the fiberboard from rice husk flour. Moreover, when compared to standard of fiberboard, the binderless fiberboard produced from rice husk flour or rice straw flour with size of smaller than 150 μm had MOR, MOE, IBS and TS passing requirements of Japanese Industrial Standard A 5905 in at least Type 5.

Keywords : Binderless fiberboard, Particle size, Natural fiber type, Statistical analysis, Hot compression

¹ Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Srivijaya.

² Materials Processing Technology Research Unit, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Srivijaya.

* Corresponding author, E-mail: chatree.h@rmutsv.ac.th Received 11 September 2017, Accepted 24 October 2017

1. บทนำ

ข้าว เป็นพืชอาหารประจำชาติไทยที่มีตำนานประวัติศาสตร์มายาวนานไม่น้อยกว่า 5,500 ปี [1] และในปีเพาะปลูก 2558-2559 ประเทศไทยมีพื้นที่เพาะปลูกข้าวจำนวนมาก ประมาณ 58 ล้านไร่ ซึ่งให้ผลผลิตประมาณ 24 ล้านตัน [2] นอกจากนี้มีการรายงานด้วยว่าในปีเพาะปลูก 2549-2550 มีปริมาณการผลิตข้าวทั้งประเทศเท่ากับ 28.61 ล้านตัน ซึ่งจากผลผลิตนี้มีแกลบที่สามารถนำมาใช้งานได้ประมาณ 3.09 ล้านตัน และฟางข้าวที่สามารถนำมาใช้งานได้ประมาณ 3.40 ล้านตัน [3] จากข้อมูลเหล่านี้เห็นได้ว่าปริมาณแกลบและฟางข้าวที่เกิดขึ้นในแต่ละปีมีปริมาณที่สูงมาก ดังนั้นนักวิจัยจึงได้พยายามนำวัสดุเหลือใช้เหล่านี้มาใช้ประโยชน์และเพิ่มมูลค่า โดยในปัจจุบันนิยมนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงชีวมวล อย่างไรก็ตามเนื่องจากวัสดุทั้ง 2 ชนิดนี้มีปริมาณที่สูงและมีมูลค่าที่ต่ำมาก ๆ ดังนั้นวัสดุเหลือใช้เหล่านี้จึงมีความเหมาะสมและเป็นไปได้ที่จะนำมาใช้เป็นวัตถุดิบผลิตแผ่นใยไม้อัด (Fiberboard) ซึ่งจะสามารถเพิ่มมูลค่าให้แก่วัสดุเหล่านี้ ตลอดจนเป็นวิธีการกำจัดที่ปลอดภัยและไม่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

แผ่นใยไม้อัด เป็นวัสดุที่พัฒนาขึ้นมาเพื่อใช้ทดแทนไม้ธรรมชาติ ที่มีปริมาณลดน้อยลงเรื่อย ๆ และมีราคาสูงขึ้น [4] ซึ่งสามารถผลิตได้โดยการใช้ไม้หรือพืชทางการเกษตรเป็นวัตถุดิบ โดยการแยกไม้หรือพืชให้ออกมาเป็นเส้นใย จากนั้นนำเส้นใยมาผสมกับกาว และอัดเป็นแผ่นด้วยความร้อนและแรงดันอัด ในการผลิตแผ่นใยไม้อัด กาวที่นำมาใช้เป็นตัวประสานมักมีส่วนผสมของสารฟอร์มัลดีไฮด์ ซึ่งเป็นสารที่ส่งผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมและสุขภาพของคน [4-5] ดังนั้นในปัจจุบันนักวิจัยจึงได้พยายามพัฒนาแผ่นใยไม้อัดปลอดสารพิษที่ปราศจากสารฟอร์มัลดีไฮด์ เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม และปลอดภัยต่อผู้ใช้งาน กระนั้นแผ่นใยไม้อัดที่ไม่มีตัวประสาน (Binderless Fiberboard; BP) จึงเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีความน่าสนใจต่อการวิจัยและพัฒนา เนื่องจากผลิตจากวัสดุธรรมชาติ 100% ไม่มีสารเคมีเจือปน ทำให้เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและผู้ใช้ งาน ตลอดจนสามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ [4, 6] อย่างไรก็ตามเนื่องด้วยการไม่มีตัวประสานเป็นส่วนผสมในแผ่นใยไม้อัด ทำให้แผ่นใยไม้อัดชนิดนี้มีความแข็งแรงแต่เปราะ ดังนั้นการเพิ่มความแข็งแรงและความสามารถยึดหยุ่นของแผ่นใยไม้อัดชนิดนี้โดยการใช้เส้นฟิล์มพลาสติกเป็นแกนกลางจึงเป็นแนวทางที่น่าสนใจ และจากการสำรวจงานวิจัยในอดีต องค์ความรู้ที่เปิดเผยเกี่ยวกับการผลิตแผ่นใยไม้อัดที่ไม่มีตัวประสานนี้ยังมีอยู่เพียงเล็กน้อย ซึ่งส่วนใหญ่เป็นการศึกษาความสามารถในการนำวัสดุเหลือใช้ที่มีเป็นจำนวนมากของประเทศนั้น ๆ มาพัฒนาเป็นแผ่นใยไม้อัดที่ไม่มีตัวประสาน [4]

Nonaka และคณะ [7] นำขานอ้อยมาใช้ผลิตเป็นแผ่นใยไม้อัดที่ไม่มีตัวประสาน โดยใช้อุณหภูมิการอัดที่สูง ซึ่งสมบัติทางกลของแผ่นใยไม้อัดจากขานอ้อยสามารถปรับปรุงได้ด้วยการเพิ่มอุณหภูมิการอัดร้อนเช่นเดียวกัน Hidayat และคณะ [8] ใช้เมล็ดสนุดำหลังการบีบน้ำมันผลิตเป็นแผ่นใยไม้อัดที่ไม่มีตัวประสาน โดยพบว่าแผ่นใยไม้อัดที่ไม่มีตัวประสานนี้มีสมบัติที่เทียบเท่าได้กับแผ่นใยไม้อัดที่จำหน่ายในเชิงพาณิชย์ ในขณะที่ Nadhari และคณะ [9] ผลิตแผ่นใยไม้อัดที่ไม่มีตัวประสานจากผงไม้กระถินและจากผงไม้ปาล์ม น้ำมัน และพบว่าแผ่นใยไม้อัดที่ผลิตจากผงไม้กระถินมีความแข็งแรงดัดและความแข็งแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า

ต่ำกว่าที่ผลิตจากผงไม้ปาล์มน้ำมัน เช่นเคียวกัน Lamaming และคณะ [10] เปิดเผยด้วยว่า แผ่นใยไม้อัดที่ไม่มีตัวประสานที่ผลิตจากผงไม้ปาล์มน้ำมันอายุ 27 ถึง 38 ปี มีความแข็งแรงคัดและความแข็งแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้าต่ำกว่าที่ผลิตจากผงไม้ปาล์มน้ำมันอายุ 11 ปี นอกจากนี้ ชาตรี และคณะ [4] ใช้ผงไม้ยางพาราและผงไม้ปาล์มน้ำมันเป็นส่วนผสมในแผ่นใยไม้อัดที่ไม่มีตัวประสาน และพบว่าแผ่นใยไม้อัดจากผงไม้ยางพารามีสมบัติความแข็งแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า ความแข็งแรงคัดดีกว่า แต่สมบัติการดูดซับน้ำและการพองตัวต่ำกว่า แผ่นใยไม้อัดจากผงไม้ปาล์มน้ำมัน จากข้อมูลเหล่านี้สามารถสรุปได้ว่า สายพันธุ์หรือชนิดของไม้หรือพืชทางการเกษตรเป็น ปัจจัยที่มีความสำคัญและมีผลกระทบต่อสมบัติทางกลและทางกายภาพของแผ่นใยไม้อัดที่ไม่มีตัวประสาน [6] เพราะไม้หรือพืชแต่ละชนิดมีโครงสร้าง ไม้ รูพรุน และองค์ประกอบทางเคมีที่แตกต่างกัน [6, 11-12] นอกจากนี้จากงานวิจัยในอดีตยังไม่พบการนำแกลบและฟางข้าวมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตแผ่นใยไม้อัดที่ไม่มีตัวประสาน และใช้แผ่นฟิล์มพลาสติกเป็นแกนกลางเพื่อเสริมแรงให้แก่แผ่นใยไม้อัดที่งานวิจัยนี้จะเปิดเผย

จากสถานการณ์ในปัจจุบัน เห็นได้ว่าประเทศไทยยังมีการปลูกข้าวอยู่เป็นจำนวนมาก ซึ่งในกระบวนการผลิตข้าว ทำให้เกิดเศษวัสดุเหลือใช้ คือ แกลบ และฟางข้าว เป็นจำนวนมาก ทั้งยังมีมูลค่าต่ำ ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้ต่อการนำมาใช้เป็นวัตถุดิบผลิตแผ่นใยไม้อัดที่ไม่มีตัวประสาน อย่างไรก็ตามก่อนการนำวัสดุเหล่านี้ไปใช้ประโยชน์ จำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องศึกษาผลกระทบของขนาดผงแกลบและฟางข้าวต่อสมบัติทางกล ทางกายภาพ และทางความร้อนของแผ่นใยไม้อัดที่ไม่มีตัว

ประสาน ตลอดจนศึกษาศักยภาพเชิงเปรียบเทียบระหว่างการใส่ผงแกลบและฟางข้าวเป็นวัตถุดิบในการผลิตแผ่นใยไม้อัด ซึ่งองค์ความรู้จากงานวิจัยนี้จะ เป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาแผ่นใยไม้อัดที่ไม่มีตัวประสานทดแทนไม้ธรรมชาติในอนาคตต่อไป

2. วัสดุและวิธีการทดลอง

2.1 วัสดุและการเตรียมวัตถุดิบ

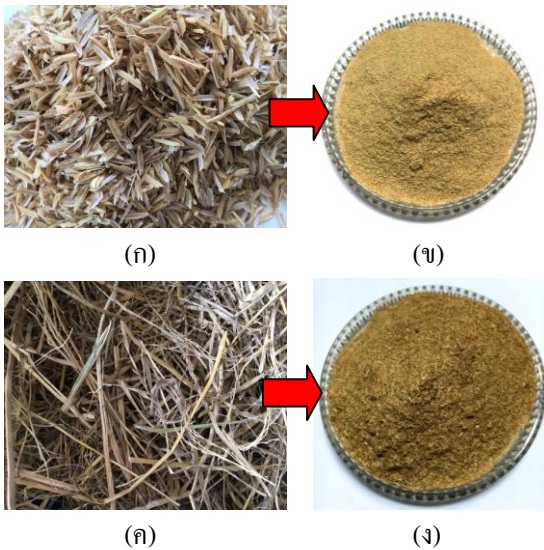
แกลบและฟางข้าวที่นำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตแผ่นใยไม้อัดที่ไม่มีตัวประสานจัดหามาจาก อำเภอระโนด จังหวัดสงขลา (ประเทศไทย) ซึ่งเป็นวัสดุเหลือใช้ที่มีเป็นจำนวนมากในอำเภอนี้ และแผ่นพลาสติกฟิล์มพีวีซีหนา 0.5 mm. ถูกนำมาใช้เป็นแกนกลางแผ่นใยไม้อัดเพื่อเพิ่มความแข็งแรง

นอกจากนี้ก่อนนำไปขึ้นรูปเป็นแผ่นใยไม้อัด แกลบและฟางข้าวถูกนำไปย่อยลดขนาดและบดให้มีขนาดเล็ก โดยใช้เครื่องบดแบบค้อน (Hammer mill) ซึ่งลักษณะของผงแกลบและฟางข้าวที่บดแล้วแสดงในรูปที่ 1 จากนั้นนำไปร่อนให้ผ่านตะแกรงขนาดต่าง ๆ ดังแสดงรายละเอียดในตารางที่ 1 หลังจากนั้นนำผงแกลบและฟางข้าวไปอบที่อุณหภูมิ 110 °C เป็นเวลา 8 ชั่วโมง เพื่อลดความชื้นในวัตถุดิบ

2.2 การขึ้นรูปแผ่นใยไม้อัดที่ไม่มีตัวประสาน

นำผงแกลบหรือฟางข้าว ปริมาณ 115 g เทใส่ในกรอบแม่พิมพ์ขนาดกว้าง 150 × ยาว 250 × สูง 50 mm³ จากนั้นใส่แผ่นฟิล์มพลาสติกขนาดกว้างและยาวเท่าแม่พิมพ์ และใส่ผงแกลบหรือฟางข้าวอีก ปริมาณ 115 g ต่อจากนั้นอัดขึ้นรูปโดยใช้เครื่องอัดร้อนที่ควบคุมอุณหภูมิอยู่ที่ 220 °C และแรงดันอัดประมาณ

17.23 MPa เป็นระยะเวลา 25 min เพื่อให้ได้แผ่นชิ้นงาน ตัวอย่างที่มีความหนาแน่นเฉลี่ย 1.0 g/cm^3 ดังแสดงในรูปที่ 2 ซึ่งในแต่ละเงื่อนไขการทดลอง ชิ้นรูปแผ่นชิ้นงานแบบสุ่มสมบูรณ์ 3 แผ่นตัวอย่าง จากนั้นนำชิ้นงานตัวอย่างไปตัดเป็นชิ้นงานทดสอบ เพื่อทดสอบสมบัติทางกล ทางกายภาพ และทางความร้อนต่อไป



รูปที่ 1 ลักษณะ (ก) แกลบก่อนบด (ข) ผงแกลบหลังบด (ค) ฟางข้าวก่อนบด และ (ง) ผงฟางข้าวหลังบด

2.3 การทดสอบสมบัติทางกล

การทดสอบดัด (Flexural test) และการทดสอบดึง (Tensile test) เป็นการทดสอบที่ปฏิบัติตามมาตรฐาน Japanese Industrial Standard (JIS) A 5905 [13] โดยใช้เครื่องทดสอบสมบัติทางกลเอกประสงค์ (รุ่น NRI-TS500-50 จาก บริษัท นรินทร์ อินสทรูमेंท์ จำกัด สมุทรปราการ ประเทศไทย) ในการทดสอบดัดเป็นการทดสอบดัดแบบ 3 จุด เพื่อหาค่าความแข็งแรงดัด (Modulus of Rupture; MOR) และค่ามอดูลัสการดัด

(Modulus of Elasticity; MOE) โดยชิ้นงานทดสอบมีขนาดกว้าง $50 \times$ ยาว $200 \times$ หนา 6 mm^3 ซึ่งระยะห่างระหว่างแท่นรองรับชิ้นงาน (Span) มีระยะ 150 mm ความเร็วที่ใช้ในการทดสอบดัดคือ 10 mm/min ในขณะที่การทดสอบดึงเป็นการทดสอบแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า เพื่อหาค่าความแข็งแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า (Internal Bond Strength; IBS) ซึ่งชิ้นงานทดสอบมีขนาดกว้าง $50 \times$ ยาว $50 \times$ หนา 6 mm^3 โดยความเร็วที่ใช้ในการทดสอบดึงคือ 2 mm/min และการทดสอบทั้งหมดกระทำที่อุณหภูมิห้อง 25°C

ตารางที่ 1 ขนาดผงแกลบและผงฟางข้าวที่ใช้ในการทดลอง

Sample code	Material Types	Size class interval	
		Mesh	μm
H<425		Pass 40	<425
H<425 to 212*	Rice	40 to 70	<425 to ≥ 212
H<212 to 150	husk	70 to 100	<212 to ≥ 150
H<150		Pass 100	<150
S<425		Pass 40	<425
S<425 to 212	Rice	40 to 70	<425 to ≥ 212
S<212 to 150**	straw	70 to 100	<212 to ≥ 150
S<150		Pass 100	<150

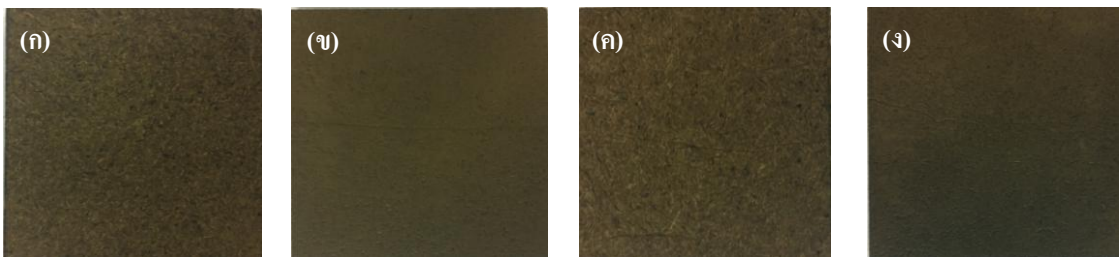
* H<425 to 212 หมายถึง ผงแกลบที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 40 เมช แต่ไม่ผ่านเบอร์ 70 เมช และ **S<212 to 150 หมายถึง ผงฟางข้าวที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 70 เมช แต่ไม่ผ่านเบอร์ 100 เมช

2.4 การทดสอบสมบัติทางกายภาพ

การทดสอบการดูดซับน้ำเป็นการปฏิบัติตามมาตรฐาน JIS A 5905 เพื่อหาค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำ (Water Absorption; WA) และค่าเปอร์เซ็นต์การพองตัว

(Thickness Swelling; TS) ซึ่งชิ้นงานทดสอบมีขนาด กว้าง 50 × ยาว 50 ×หนา 6 mm³ ก่อนการทดสอบนำ ชิ้นงานตัวอย่างไปอบที่อุณหภูมิ 50 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อกำจัดความชื้นในชิ้นงาน จากนั้นชั่ง น้ำหนักและวัดความหนาชิ้นงานก่อนการแช่น้ำทันที ด้วยเครื่องชั่งที่มีความละเอียด 0.01 g และเวอร์เนียร์ ดิจิตอลที่ให้ความละเอียด 0.01 mm ตามลำดับ จากนั้น

นำชิ้นงานทดสอบแช่ในน้ำที่อุณหภูมิห้อง 25 °C โดยแช่ ให้ขอบบนของชิ้นงานอยู่ใต้ระดับผิวน้ำ 1 cm หลังจาก ครบเวลา 24 ชั่วโมง ชิ้นงานถูกหยิบขึ้นจากน้ำ ถูกซับน้ำ ที่ผิวออก และถูกชั่งน้ำหนักและวัดความหนาทันที จากนั้นนำค่าที่ได้มาคำนวณหาค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับ น้ำ และค่าเปอร์เซ็นต์การพองตัว



รูปที่ 2 แผ่นโพลิอิมิดที่ไม่มีตัวประสานที่ผลิตจาก (ก) พงเกลบขนาด 212 ถึง เล็กกว่า 425 μm (ข) พงเกลบขนาดเล็ก กว่า 150 μm (ค) พงฟางข้าวขนาด 212 ถึง เล็กกว่า 425 μm และ (ง) พงฟางข้าวขนาดเล็กกว่า 150 μm

2.5 การวิเคราะห์โครงสร้างสัณฐานวิทยา

การวิเคราะห์การยึดเกาะระหว่างอนุภาคของวัสดุ และรูพรุนภายในโครงสร้างของแผ่นโพลิอิมิดที่ไม่มีตัว ประสานกระทำโดยการส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์ อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscopy; SEM, Model. Quanta 400, FEI company, USA) ที่กำลังขยาย 100 เท่า อย่างไรก็ตามก่อนการส่อง ด้วย SEM บริเวณผิวหน้าที่แตกหักของชิ้นงานได้เคลือบ ด้วยทองคำ เพื่อให้พื้นผิวมีคุณสมบัตินำไฟฟ้า

2.6 การทดสอบสมบัติทางความร้อน

การทดสอบสมบัติทางความร้อนเป็นการทดสอบ การนำความร้อน (Thermal Conductivity Analysis; TCA) และการสูญเสียน้ำหนักเมื่อได้รับความร้อน (Thermogravimetric Analysis; TGA) ซึ่งในการทดสอบ

TCA กระทำด้วยเครื่อง Thermal constant analyser (TPS 2500S, Hot disk, Sweden) โดยชิ้นงานทดสอบมี ขนาดกว้าง 50 × ยาว 50 ×หนา 6 mm³ นอกจากนี้ใน การทดสอบ TGA กระทำด้วยเครื่อง Perkin Elmer (TGA-7, USA) โดยใช้ปริมาณตัวอย่างประมาณ 5-8 mg และให้ความร้อนที่อัตราคงที่ คือ 10 °C/min จาก อุณหภูมิ 40 ถึง 800 °C

3. ผลการทดลองและอภิปรายผล

3.1 การวิเคราะห์ผลทางสถิติในผลกระทบของขนาด อนุภาคและชนิดวัสดุ

ผลการทดสอบสมบัติทางกลและทางกายภาพ สามารถนำมาใช้วิเคราะห์ผลทางสถิติโดยใช้การ ทดสอบความแปรปรวนสองทาง (Two-Way ANOVA) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (α=0.05) ในการวิเคราะห์

กระทำโดยใช้โปรแกรม Minitab ซึ่งสามารถแสดงผลการวิเคราะห์ดังรูปที่ 3 ผลที่ได้แสดงให้เห็นว่า ขนาดผงแกลบและผงฟางข้าวมีผลกระทบต่อค่าความแข็งแรงตัด ค่ามอดูลัสการตัด ค่าความแข็งแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า ค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำ และค่าเปอร์เซ็นต์การพองตัว อย่างมีนัยสำคัญ ($P\text{-value} < 0.05$) ในขณะที่ชนิดวัตถุดิบ (แกลบ และฟางข้าว) มีผลกระทบต่อค่าความแข็งแรงตัด ค่ามอดูลัสการตัด และค่าความแข็งแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า อย่างมีนัยสำคัญ ($P\text{-value} < 0.05$) เช่นกัน อย่างไรก็ตามการเกิดอันตรกิริยาระหว่างขนาดอนุภาคและชนิดวัตถุดิบมีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญ ($P\text{-value} < 0.05$) ต่อค่ามอดูลัสการตัด และค่าความแข็งแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า เท่านั้น

Two-way ANOVA: Modulus of Rupture					
Source	DF	SS	MS	F	P
Particle size	3	71.446	23.8155	31.14	0.000
Raw material type	1	74.789	74.7887	97.78	0.000
Interaction	3	4.287	1.4289	1.87	0.162
Error	24	18.356	0.7649		
Total	31	168.878			

Two-way ANOVA: Modulus of Elasticity					
Source	DF	SS	MS	F	P
Particle size	3	2379966	793322	26.99	0.000
Raw material type	1	6288144	6288144	213.95	0.000
Interaction	3	648791	216264	7.36	0.001
Error	24	705372	29391		
Total	31	10022273			

Two-way ANOVA: Internal Bond Strength					
Source	DF	SS	MS	F	P
Particle size	3	4.67170	1.55723	190.34	0.000
Raw material type	1	0.31266	0.31266	38.22	0.000
Interaction	3	0.81457	0.27152	33.19	0.000
Error	24	0.19635	0.00818		
Total	31	5.99528			

Two-way ANOVA: Water Absorption					
Source	DF	SS	MS	F	P
Particle size	3	1509.86	503.287	10.69	0.000
Raw material type	1	87.93	87.930	1.87	0.184
Interaction	3	141.09	47.031	1.00	0.410
Error	24	1129.42	47.059		
Total	31	2868.30			

Two-way ANOVA: Thickness Swelling					
Source	DF	SS	MS	F	P
Particle size	3	80.309	26.7697	9.44	0.000
Raw material type	1	11.414	11.4137	4.03	0.056
Interaction	3	10.181	3.3938	1.20	0.332
Error	24	68.039	2.8350		
Total	31	169.943			

รูปที่ 3 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบ Two-way ANOVA ด้วยโปรแกรม Minitab

3.2 สมบัติการตัดของแผ่นใยไม้อัดที่ไม่มีตัวประสาน

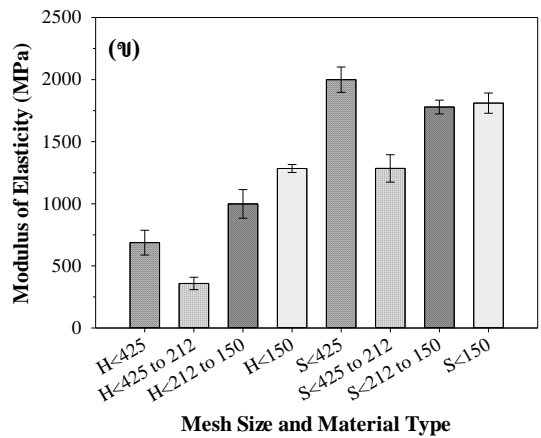
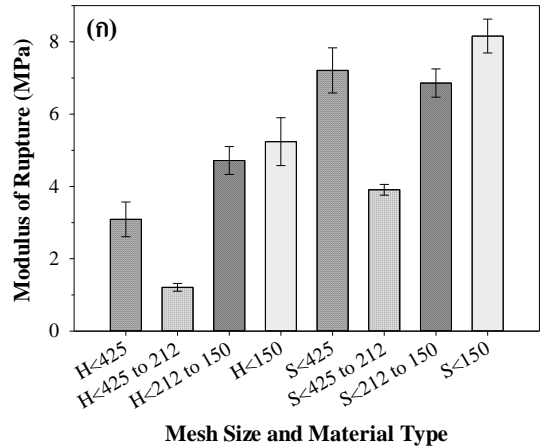
ความผันแปรของค่าความแข็งแรงตัดและค่ามอดูลัสการตัดของแผ่นใยไม้อัดที่ไม่มีตัวประสาน เนื่องมาจากผลกระทบของขนาดอนุภาคและชนิดวัตถุดิบแสดงในรูปที่ 4 ซึ่งพบว่า แผ่นใยไม้อัดที่ผลิตจากผงแกลบและผลิตจากผงฟางข้าวขนาดเล็กกว่า $425 \mu\text{m}$ มีค่าความแข็งแรงตัดและค่ามอดูลัสการตัดสูงกว่าแผ่นใยไม้อัดที่ผลิตจากผงขนาด 212 ถึง เล็กกว่า $425 \mu\text{m}$ เนื่องจากขนาดเล็กกว่า $425 \mu\text{m}$ เป็นอนุภาคที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 40 เมช แล้วมีการนำมาใช้เป็นส่วนผสมทั้งหมด ซึ่งมีการผสมกันของอนุภาคทั้งขนาดใหญ่และขนาดเล็ก ในขณะที่ขนาด 212 ถึง เล็กกว่า $425 \mu\text{m}$ ประกอบด้วยอนุภาคขนาดใหญ่เท่านั้น ทำให้การยึดเกาะระหว่างอนุภาคของเส้นใยธรรมชาติขนาดเล็กกว่า $425 \mu\text{m}$ มีประสิทธิภาพมากกว่า หลังจากนั้นเมื่อใช้ผงแกลบและผงฟางข้าวที่มีขนาดเล็กลง พบว่าทั้งความแข็งแรงตัดและมอดูลัสการตัดของแผ่นใยไม้อัดมีค่าเพิ่มขึ้นตามขนาดของอนุภาคที่เล็กลง โดยแผ่นใยไม้อัดที่ผลิตจากผงแกลบขนาดเล็กกว่า $150 \mu\text{m}$ มีค่าความแข็งแรงตัดและค่ามอดูลัสการตัดสูงกว่าที่ผลิตจากผงแกลบขนาด 212 ถึง เล็กกว่า $425 \mu\text{m}$ ประมาณ 333% และ 259% ตามลำดับ ในขณะที่แผ่นใยไม้อัดที่ผลิตจากผงฟางข้าวขนาดเล็กกว่า $150 \mu\text{m}$ มีค่าความแข็งแรงตัดและค่ามอดูลัสการตัดสูงกว่าที่ผลิตจากผงฟางข้าวขนาด 212 ถึง เล็กกว่า $425 \mu\text{m}$ ประมาณ 109% และ 41% ตามลำดับ เช่นกัน สิ่งนี้เป็นเพราะการประสานยึดติดกันระหว่างอนุภาคขนาดเล็กเกิดขึ้นได้ดีกว่าอนุภาคขนาดใหญ่ เนื่องจากช่องว่างที่เกิดขึ้นระหว่างอนุภาคจะเล็กและน้อยลง เมื่อใช้ผงขนาดที่เล็กกว่าผลิตเป็นแผ่นใยไม้อัด ส่งผลให้การประสานระหว่างอนุภาคเกิดขึ้นได้ง่าย

ขึ้น เหตุผลเหล่านี้สามารถพิสูจน์ได้จากโครงสร้าง
 สัณฐานวิทยาในรูปที่ 5 โดยในรูป 5(ข) และ 5(จ) เป็น
 แผ่นใยไม้อัดที่ผลิตจากผงขนาด 212 ถึง เล็กกว่า
 425 μm จะเห็นได้ว่ามีช่องว่างขนาดใหญ่เกิดขึ้น
 ระหว่างอนุภาคของวัสดุ ตลอดจนมีการเกาะตัวกันแบบ
 หลวม ๆ ในขณะที่รูป 5(ค) และ 5(ฉ) เป็นแผ่นใยไม้อัด
 ที่ผลิตจากผงขนาดเล็กกว่า 150 μm จะมีช่องว่างหรือรู
 พรุนในขนาดที่เล็กกว่า โดยเฉพาะแผ่นใยไม้อัดที่มีผง
 ฟางข้าวเป็นส่วนผสม แทบจะไม่มีรูพรุนเกิดขึ้นภายใน
 โครงสร้าง ดังนั้นเมื่อมีแรงมากระทำต่อแผ่นใยไม้อัดที่
 ผลิตด้วยผงขนาดเล็กกว่า จะส่งผลให้การถ่ายทอดแรง
 ระหว่างอนุภาคภายในโครงสร้างของวัสดุเกิดขึ้นได้ดี
 และมีประสิทธิภาพมากกว่า ทำให้แผ่นใยไม้อัดมี
 ความสามารถต้านทานต่อแรงที่กระทำได้สูงขึ้น

นอกจากนี้มีการพบสิ่งที่น่าสนใจ คือ แผ่นใยไม้อัดที่
 ผลิตจากผงฟางข้าวขนาดเล็กกว่า 425 μm กลับมีค่า
 โมดูลัสการดัดสูงกว่าที่ผลิตจากผงฟางข้าวขนาดเล็ก
 กว่า 150 μm ประมาณ 10% สิ่งนี้เป็นไปได้ว่า การผสม
 กันระหว่างผงฟางข้าวขนาดใหญ่และขนาดเล็กจะส่งผล
 ให้แผ่นใยไม้อัดมีความแข็งแรงมากขึ้น เนื่องจากผงฟาง
 ข้าวมีลักษณะเป็นเส้นใยยาว

จากรูปที่ 4 ยังพบด้วยว่า แผ่นใยไม้อัดที่ผลิตจากผง
 ฟางข้าวมีค่าความแข็งแรงดัดและค่าโมดูลัสการดัดสูง
 กว่าแผ่นใยไม้อัดที่ผลิตจากผงแกลบอย่างชัดเจน เมื่อ
 เปรียบเทียบที่ขนาดอนุภาคเท่ากัน สิ่งนี้สามารถอธิบาย
 เหตุผลได้จาก โครงสร้างสัณฐานวิทยาในรูปที่ 5 โดยจะ
 เห็นได้อย่างชัดเจนว่า แผ่นใยไม้อัดที่ผลิตจากผงแกลบมี
 รูพรุน และช่องว่างระหว่างอนุภาคเกิดขึ้นเป็นจำนวน
 มากกว่าแผ่นใยไม้อัดที่ผลิตจากผงฟางข้าว ดังนั้นแผ่น
 ใยไม้อัดที่ผลิตจากผงแกลบจึงมีความสามารถต้านทาน

ต่อแรงดัดได้น้อยกว่า ส่งผลให้มีค่าความแข็งแรงดัด
 และค่าโมดูลัสการดัดที่ด้อยกว่า

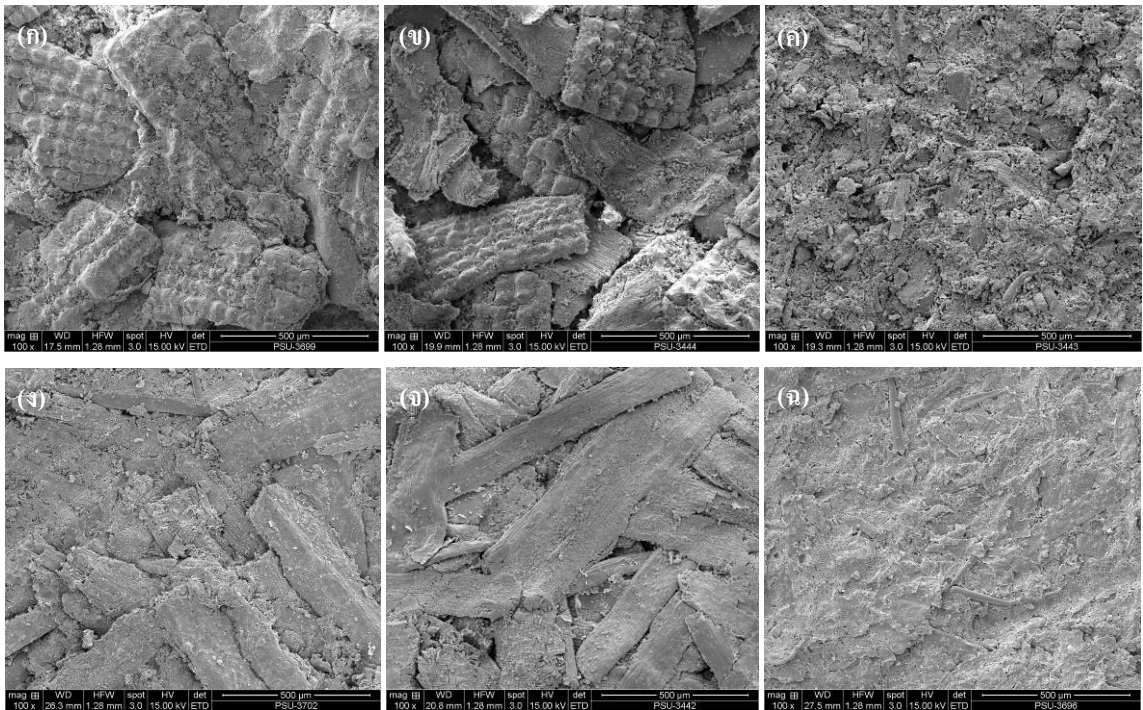


รูปที่ 4 ค่า (ก) ความแข็งแรงดัด และ (ข) โมดูลัสการดัด
 ของแผ่นใยไม้อัดที่ไม่มีตัวประสานที่มีขนาดอนุภาค
 และชนิดวัสดุแตกต่างกัน

มาตรฐาน JIS A 5905 [13] ได้แบ่งระดับชั้นคุณภาพ
 ของแผ่นใยไม้อัดออกเป็น Type 30, Type 25, Type 15
 และ Type 5 โดยระดับชั้นที่มีคุณภาพสูงสุด คือ Type
 30 และต่ำสุด คือ Type 5 ดังนั้นเมื่อเปรียบเทียบค่าความ

แข็งแรงดีและค่ามอดูลัสการดัดพบว่า แผ่นใยไม้อัดที่ไม่มีตัวประสานที่ผลิตจากผงฟางข้าวขนาดเล็กกว่า 425 μm ผงขนาด 150 ถึง เล็กกว่า 212 μm และผงขนาดเล็กกว่า 150 μm มีค่าความแข็งแรงดัดผ่านมาตรฐาน JIS A 5905 Type 5 (MOR = 5 or over MPa) เช่นเดียวกัน

ในค่ามอดูลัสการดัดพบว่า แผ่นใยไม้อัดที่ผลิตจากผงเกลบขนาด 150 ถึง เล็กกว่า 212 μm และผงขนาดเล็กกว่า 150 μm และที่ผลิตจากผงฟางข้าวทุกขนาดมีค่ามอดูลัสการดัดผ่านมาตรฐาน JIS A 5905 Type 5 (MOE = 800 or over MPa)



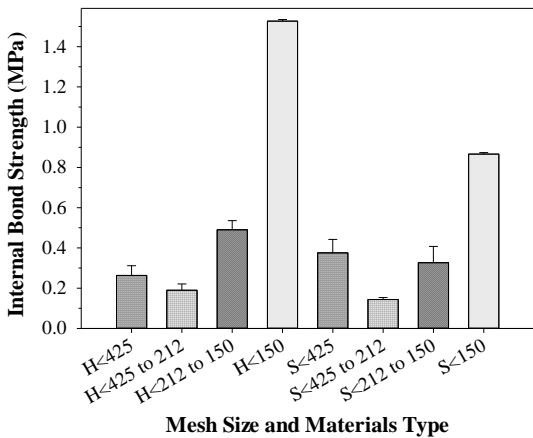
รูปที่ 5 โครงสร้างพื้นฐานวิทยาของแผ่นใยไม้อัดที่ไม่มีตัวประสานในสูตร (ก) H<425 (ข) H<425 to 212 (ค) H<150 (ง) S<425 (จ) S<425 to 212 และ (ฉ) S<150 ที่กำลังขยาย 100 เท่า

3.3 สมบัติการดึงของแผ่นใยไม้อัดที่ไม่มีตัวประสาน

รูปที่ 6 แสดงผลกระทบของขนาดอนุภาคและชนิดวัตถุดิบต่อค่าความแข็งแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้าของแผ่นใยไม้อัดที่ไม่มีตัวประสาน ซึ่งมีพฤติกรรมที่คล้ายคลึงกับสมบัติการดัด โดยพบว่าความแข็งแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้าของแผ่นใยไม้อัดทั้งที่ผลิตจากผงเกลบและที่ผลิตจากผงฟางข้าวมีค่าเพิ่มขึ้นตามขนาด

ของอนุภาคที่เล็กลง แผ่นใยไม้อัดที่ผลิตจากผงเกลบและที่ผลิตจากผงฟางข้าวขนาดเล็กกว่า 150 μm มีค่าความแข็งแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้าสูงกว่าที่ผลิตจากผงขนาด 212 ถึง เล็กกว่า 425 μm ประมาณ 705% และ 521% ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับผลของ Marashdeh และคณะ [14] ที่พบว่า แผ่นใยไม้อัดที่ไม่มีตัวประสานที่ผลิตจากผงไม้ต้นโกงกางขนาดเล็กกว่า 50 μm มีค่า

ความแข็งแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้าสูงกว่าแผ่นใยไม้อัดที่ผลิตจากผงไม้ต้น โกงกางขนาด 50-74 μm และ 74-147 μm ประมาณ 81% และ 75% ตามลำดับ พฤติกรรมเหล่านี้เกิดขึ้นจากเมื่อขนาดอนุภาคผงไม้เล็กลง จะส่งผลให้อนุภาคผงไม้ถูกบีบอัดแน่นกันในโครงสร้างแผ่นใยไม้อัดมากขึ้น ทำให้เซลล์เนื้อเยื่อแนบชิดกันมากขึ้น เป็นสาเหตุให้แผ่นใยไม้อัดมีความแข็งแรงมากขึ้น [14]



รูปที่ 6 ค่าความแข็งแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้าของแผ่นใยไม้อัดที่ไม่มีตัวประสานที่มีขนาดอนุภาคและชนิดวัตถุดิบแตกต่างกัน

นอกจากนี้พบว่า แผ่นใยไม้อัดที่ผลิตจากผงแกลบและที่ผลิตจากผงฟางข้าวขนาดเล็กกว่า 425 μm มีค่าความแข็งแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้าสูงกว่าที่ผลิตจากผงขนาด 212 ถึง เล็กกว่า 425 μm ประมาณ 37% และ 171% ตามลำดับ เหตุผลของพฤติกรรมนี้สามารถอธิบายได้ว่า ผงขนาดเล็กกว่า 425 μm มีทั้งอนุภาคขนาดใหญ่และอนุภาคขนาดเล็กเป็นส่วนประกอบในแผ่นใยไม้อัด ในขณะที่ผงขนาด 212 ถึง เล็กกว่า 425 μm มีเฉพาะอนุภาคขนาดใหญ่เป็นส่วนประกอบ

เท่านั้น ซึ่งสามารถพิสูจน์ได้จากโครงสร้างฐานวิทยาในรูปที่ 5 ส่งผลให้แผ่นใยไม้อัดที่ผลิตจากผงขนาดเล็กกว่า 425 μm มีรูพรุนและช่องว่างที่เกิดขึ้นภายในโครงสร้างน้อยกว่า

ในการวิเคราะห์ผลกระทบของชนิดวัตถุดิบต่อค่าความแข็งแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า พบด้วยว่าแผ่นใยไม้อัดที่ผลิตจากผงแกลบมีค่าความแข็งแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้าสูงกว่าแผ่นใยไม้อัดที่ผลิตจากผงฟางข้าว เมื่อเปรียบเทียบที่ขนาดอนุภาคเท่ากัน เนื่องจากแกลบมีสารลิกนิน (Lignin) เป็นองค์ประกอบทางเคมีในปริมาณที่มากกว่า ดังแสดงในตารางที่ 2 ซึ่งความสามารถการยึดเกาะระหว่างอนุภาคของผงแกลบ หรือผงฟางข้าวขึ้นอยู่กับปริมาณของสารลิกนินนี้ โดยการยึดเกาะของอนุภาควัสดุเกิดขึ้นจากการเชื่อมโยงของสารลิกนิน (Cross-linking of lignin) ภายในโครงสร้างแผ่นใยไม้อัด [4, 6, 15] ดังนั้นวัสดุที่มีปริมาณสารลิกนินมากกว่าจึงมีการยึดเกาะระหว่างอนุภาคภายในโครงสร้างที่ดีกว่า เป็นสาเหตุให้แผ่นใยไม้อัดที่มีส่วนผสมของแกลบมีความแข็งแรงดึงสูงกว่า หรือมีความสามารถต้านทานแรงดึงที่มากกว่า

ตารางที่ 2 องค์ประกอบทางเคมีแกลบและฟางข้าว [16]

Material	Chemical composition (wt%)				
	Type	Cellulose	Hemicellulose	Lignin	Ash
Rice Husk		35-45	19-25	20	14-17
Rice Straw		41-57	33	8-19	8-38

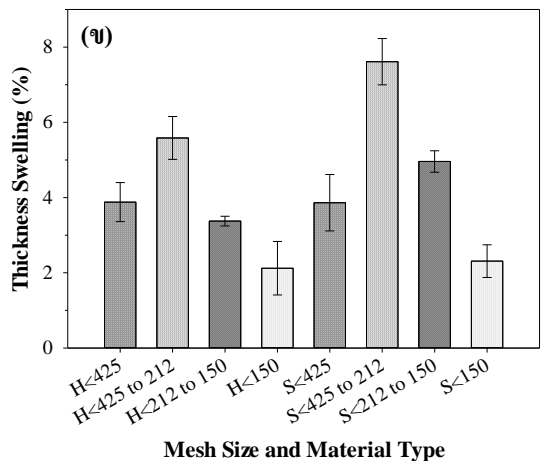
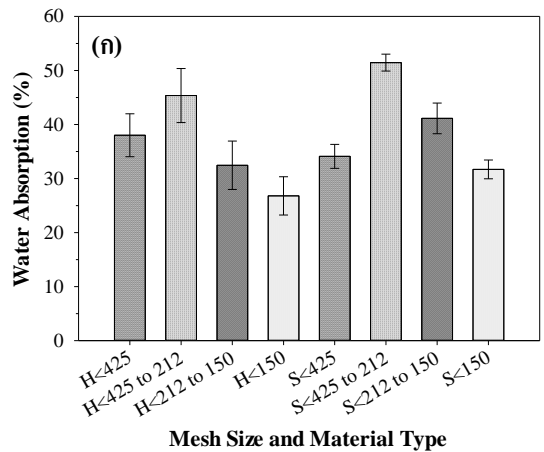
เมื่อนำค่าความแข็งแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้ามาเปรียบเทียบกับมาตรฐาน JIS A 5905 [13] พบว่าแผ่นใยไม้อัดที่ผลิตจากผงแกลบและที่ผลิตจากผงฟางข้าว

ขนาดเล็กกว่า 150 μm มีค่าความแข็งแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้าผ่านมาตรฐานระดับชั้นคุณภาพขั้นสูงของ JIS A 5905 Type 30 (IBS = 0.5 or over MPa) เช่นเดียวกับแผ่นใยไม้อัดที่ผลิตจากผงขนาดเล็กกว่า 425 μm และผงขนาด 150 ถึง เล็กกว่า 212 μm มีค่าความแข็งแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้าผ่านมาตรฐานขั้นต่ำ JIS A 5905 Type 5 (IBS = 0.2 or over MPa) อย่างไรก็ตามแผ่นใยไม้อัดทั้งที่ผลิตจากผงแกลบและที่ผลิตจากผงฟางข้าวขนาด 212 ถึง เล็กกว่า 425 μm มีค่าความแข็งแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้าไม่ผ่านมาตรฐาน JIS A 5905

3.4 สมบัติการดูดซับน้ำและการพองตัวของแผ่นใยไม้อัดที่ไม่มีตัวประสาน

ค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำและค่าเปอร์เซ็นต์การพองตัวของแผ่นใยไม้อัดที่ไม่มีตัวประสานที่ผลิตจากผงแกลบและที่ผลิตจากผงฟางข้าว หลังจากถูกแช่น้ำเป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง แสดงในรูปที่ 7 ซึ่งพบว่าแผ่นใยไม้อัดที่ไม่มีตัวประสานทั้งที่ผลิตจากผงแกลบและที่ผลิตจากผงฟางข้าวมีค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำและค่าเปอร์เซ็นต์การพองตัวลดลงตามขนาดของอนุภาคที่เล็กลง พฤติกรรมนี้สามารถพิจารณาได้จากโครงสร้างสัณฐานวิทยาของแผ่นใยไม้อัดในรูปที่ 5 เช่นกัน ซึ่งจะเห็นได้ว่า เมื่อแผ่นใยไม้อัดที่ไม่มีตัวประสานผลิตด้วยผงแกลบและผงฟางข้าวที่มีขนาดเล็กกว่า รูพรุนและช่องว่างภายในโครงสร้างจะเกิดขึ้นน้อยและเล็กกว่าแผ่นใยไม้อัดที่ผลิตมาจากผงแกลบและผงฟางข้าวขนาดใหญ่ ทำให้การแทรกซึมของน้ำเข้าสู่โครงสร้างแผ่นใยไม้อัดที่ผลิตด้วยผงไม้ขนาดใหญ่เกิดขึ้นได้ง่ายและรวดเร็วกว่า ตลอดจนเป็นการเพิ่มที่อยู่ให้กับน้ำภายในโครงสร้างมากขึ้น Steckel และคณะ [17] กล่าวด้วยว่า

วัสดุที่เสริมแรงด้วยผงไม้ที่มีขนาดอนุภาคใหญ่ขึ้น มีการดูดซับน้ำและค่าสัมประสิทธิ์การแทรกซึมของน้ำเพิ่มขึ้น



รูปที่ 7 ค่า (ก) เปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำ และ (ข) เปอร์เซ็นต์การพองตัวของแผ่นใยไม้อัดที่ไม่มีตัวประสานที่มีขนาดอนุภาคและชนิดวัตถุดิบแตกต่างกัน

นอกจากนี้ยังพบว่า แผ่นใยไม้อัดที่ผลิตจากผงแกลบมีค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำและค่าเปอร์เซ็นต์

การพองตัวต่ำกว่าแผ่นใยไม้อัดที่ผลิตจากผงฟางข้าวเล็กน้อย เมื่อเปรียบเทียบที่ขนาดอนุภาคเท่ากัน เนื่องจากแกลบมีสารเซลลูโลส (Cellulose) และเฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose) เป็นองค์ประกอบทางเคมีน้อยกว่าฟางข้าว ดังแสดงในตารางที่ 2 โดยคุณสมบัติของเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสเป็นสารที่ชอบดูดซับน้ำ (Hydrophilic) [6, 11, 18-19] ในขณะที่ลิกนิน (Lignin) เป็นสารที่ไม่ชอบดูดซับน้ำ (Hydrophobic) [11, 19] ดังนั้นวัสดุธรรมชาติที่มีสารเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสน้อยกว่า จะมีอัตราการดูดซับน้ำที่ต่ำกว่า

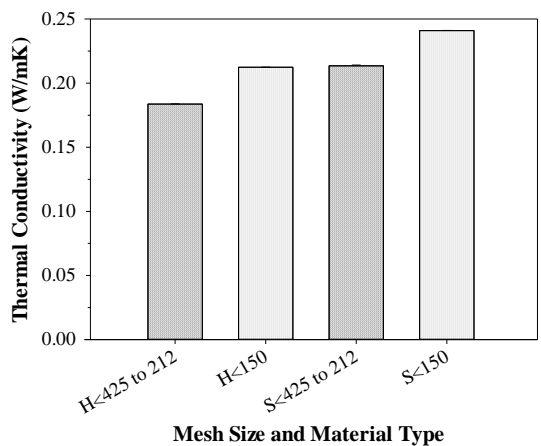
เมื่อนำค่าเปอร์เซ็นต์การพองตัวมาเปรียบเทียบกับมาตรฐาน JIS A 5905 [13] พบว่า แผ่นใยไม้อัดที่ไม่มีตัวประสานทุกสูตรผ่านมาตรฐาน JIS A 5905 Type 15, 25 และ 30 โดยมาตรฐาน JIS A 5905 กำหนดไว้ว่า แผ่นใยไม้อัดหนา 7 mm. หรือนาน้อยกว่า 7 mm. ต้องมีค่าเปอร์เซ็นต์การพองเท่ากับหรือน้อยกว่า 17%

3.5 สมบัติการนำความร้อนของแผ่นใยไม้อัดที่ไม่มีตัวประสาน

รูปที่ 8 แสดงสมบัติการนำความร้อนของแผ่นใยไม้อัดที่ไม่มีตัวประสานที่มีขนาดอนุภาคและชนิดวัตถุดิบแตกต่างกัน ซึ่งพบว่าเมื่อขนาดผงแกลบและผงฟางข้าวเล็กลง ส่งผลให้ค่าการนำความร้อนของแผ่นใยไม้อัดที่ไม่มีตัวประสานมีค่าเพิ่มขึ้น โดยแผ่นใยไม้อัดที่ผลิตจากผงแกลบและที่ผลิตจากผงฟางข้าวขนาดเล็กกว่า 150 μm มีค่าการนำความร้อนสูงกว่าที่ผลิตจากผงขนาด 212 ถึง เล็กกว่า 425 μm ประมาณ 16% และ 13% ตามลำดับ

ดังนั้นจากผลเหล่านี้สามารถกล่าวได้ว่า แผ่นใยไม้อัดที่ไม่มีตัวประสานที่ผลิตจากอนุภาคขนาดใหญ่

มีความเป็นฉนวนกันความร้อนดีกว่าแผ่นใยไม้อัดที่ผลิตจากอนุภาคขนาดเล็ก เนื่องจากการใช้ผงขนาดใหญ่ขึ้น ส่งผลให้โครงสร้างภายในแผ่นใยไม้อัดเกิดรูพรุนและช่องว่างมากขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 5 เช่นเดียวกัน สุทัศน์ และชนากร [20] รายงานว่า ค่าการนำความร้อนลดลงตามปริมาณความพรุนตัวของชิ้นงานที่เพิ่มขึ้น นอกจากนี้เมื่อนำค่าการนำความร้อนของแผ่นยิบซัม (0.2820 W/mK) และ ไม้อัด (0.2290 W/mK) [21] มาเปรียบเทียบกับค่าการนำความร้อนของแผ่นใยไม้อัดที่ไม่มีตัวประสานพบว่า แผ่นใยไม้อัดที่ผลิตจากผงแกลบและที่ผลิตจากผงฟางข้าวมีค่าการนำความร้อนต่ำกว่ายิบซัมและไม้ ยกเว้นแผ่นใยไม้อัดที่ผลิตจากผงฟางข้าวขนาดเล็กกว่า 150 μm ซึ่งมีค่าการนำความร้อนที่สูงกว่า



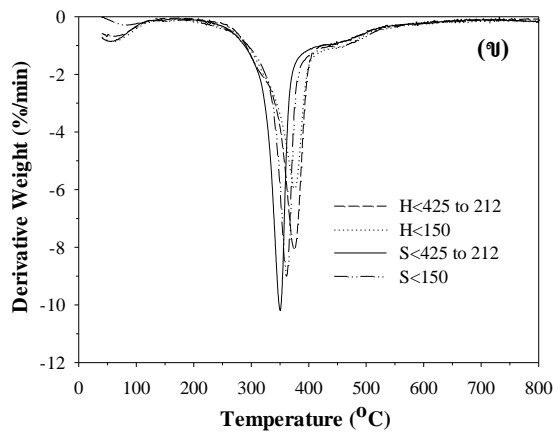
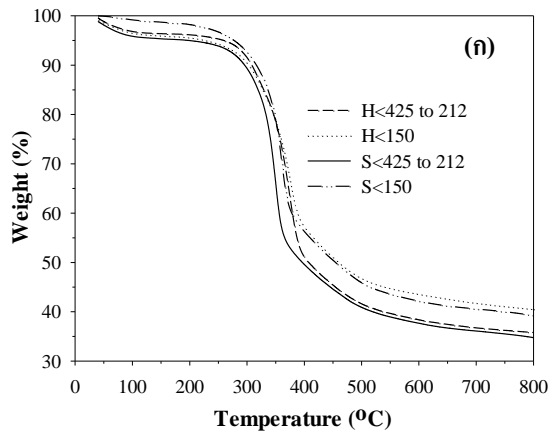
รูปที่ 8 ค่าการนำความร้อนของแผ่นใยไม้อัดที่ไม่มีตัวประสานที่มีขนาดอนุภาคและชนิดวัตถุดิบแตกต่างกัน

ในการวิเคราะห์ผลกระทบของชนิดวัตถุดิบพบว่า แผ่นใยไม้อัดที่ไม่มีตัวประสานที่ผลิตจากผงแกลบมีค่าการนำความร้อนต่ำกว่าแผ่นใยไม้อัดที่ผลิตจากผงฟางข้าว เมื่อเปรียบเทียบที่ขนาดอนุภาคเท่ากัน นั้น

หมายความว่า แผ่นใยไม้อัดที่ไม่มีตัวประสานที่ผลิตจากผงเคลือบมีความเป็นฉนวนกันความร้อนได้ดีกว่าแผ่นใยไม้อัดที่ผลิตจากผงฟางข้าว เนื่องจากโครงสร้างภายในของแผ่นใยไม้อัดที่ผลิตจากผงฟางข้าวมีความหนาแน่นมากกว่าแผ่นใยไม้อัดที่ผลิตจากผงเคลือบ ซึ่งสามารถพิจารณาได้จากรูปที่ 5 โดยจะเห็นได้ว่าแผ่นใยไม้อัดที่ผลิตจากฟางข้าวมีรูพรุนหรือช่องว่างภายในโครงสร้างที่น้อยกว่า และในความเป็นจริงวัสดุที่มีความหนาแน่นสูงจะมีคุณสมบัติความเป็นฉนวนกันความร้อนที่ดี (มีค่าการนำความร้อนสูง) [22-23]

3.6 สมบัติการสูญเสียน้ำหนักเมื่อได้รับความร้อน

การวิเคราะห์การสูญเสียน้ำหนักเมื่อได้รับความร้อน (TGA) และการสูญเสียน้ำหนักที่เปลี่ยนไปตามอุณหภูมิ (Derivative Thermogravimetric; DTG) ของแผ่นใยไม้อัดที่ไม่มีตัวประสานที่ผลิตจากผงเคลือบและผงฟางข้าว แสดงในรูปที่ 9 ซึ่งพบว่า การเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักเมื่อได้รับความร้อนมีอยู่เพียงช่วงเดียว เนื่องจากแผ่นใยไม้อัดมีส่วนผสมของผงเคลือบหรือผงฟางข้าว 100% โดยการสลายตัว (TGA) ของผงเคลือบและผงฟางข้าว เริ่มต้นที่อุณหภูมิประมาณ 280 °C ปกติสารเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสของเส้นใยธรรมชาติจะสลายตัวที่อุณหภูมิช่วง 274–459 °C [24] ในขณะที่อัตราการสูญเสียน้ำหนักสูงสุด (DTG) เกิดขึ้นที่อุณหภูมิประมาณ 374, 375, 350 และ 361 °C สำหรับแผ่นใยไม้อัดที่ผลิตจากผงเคลือบขนาด 212 ถึง เล็กกว่า 425 μm ที่ผลิตจากผงเคลือบขนาดเล็กกว่า 150 μm ที่ผลิตจากผงฟางข้าวขนาด 212 ถึง เล็กกว่า 425 μm และที่ผลิตจากผงฟางข้าวขนาดเล็กกว่า 150 μm ตามลำดับ



รูปที่ 9 ค่าการสูญเสียน้ำหนักเมื่อได้รับความร้อน (TGA) และ (ข) ค่าการสูญเสียน้ำหนักที่เปลี่ยนไปตามอุณหภูมิ (DTG) ของแผ่นใยไม้อัดที่ไม่มีตัวประสานที่มีขนาดอนุภาคและชนิดวัตถุดิบแตกต่างกัน

ในตารางที่ 3 แสดงเปอร์เซ็นต์น้ำหนักของแผ่นใยไม้อัดที่ไม่มีตัวประสานที่อุณหภูมิต่าง ๆ โดยค่าที่สูงกว่าของเปอร์เซ็นต์น้ำหนักแสดงถึงการเสถียรทางความร้อนที่สูงกว่า [24-26] และผลแสดงให้เห็นว่า เมื่อผลิตแผ่นใยไม้อัดด้วยผงขนาด 212 ถึง เล็กกว่า 425 μm การใช้ผงเคลือบเป็นส่วนผสมให้ค่าการเสถียรทางความร้อนสูงกว่าการใช้ผงฟางข้าว ในขณะที่การใช้ผงฟางข้าว

ขนาดเล็กกว่า 150 μm ผลิตแผ่นใยไม้อัดให้ค่าการเสถียรทางความร้อนสูงกว่าการใช้ผงฟางข้าวขนาด 212 ถึง เล็กกว่า 425 μm

ตารางที่ 3 เปอร์เซนต์น้ำหนักของแผ่นใยไม้อัดที่ไม่มีตัวประสาน ที่อุณหภูมิต่าง ๆ

Tem. (°C)	Weight (%)			
	H<425 to 212	H<150	S<425 to 212	S<150
100	96.82	96.53	95.85	99.17
200	96.15	95.59	94.98	98.22
300	91.53	90.37	89.31	92.59
350	78.53	78.45	65.99	78.89
400	51.09	57.15	49.58	56.26
450	45.41	51.02	44.58	50.44
500	41.60	46.78	40.89	45.90

4. สรุปผล

ผลกระทบของขนาดอนุภาคและชนิดวัตถุดิบ (แกลบ และฟางข้าว) ต่อสมบัติของแผ่นใยไม้อัดที่ไม่มีตัวประสาน ได้มีการศึกษา และพบว่าขนาดอนุภาคและชนิดวัตถุดิบมีผลกระทบต่อค่าความแข็งแรงตัด ค่ามอดูลัสการตัด และค่าความแข็งแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้าของแผ่นใยไม้อัดที่ไม่มีตัวประสานอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความมีนัยสำคัญ 0.05 ($\alpha = 0.05$) โดยค่าความแข็งแรงตัด ค่ามอดูลัสการตัด ค่าความแข็งแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า และค่าการนำความร้อนของแผ่นใยไม้อัดมีค่าเพิ่มขึ้นตามขนาดของอนุภาคที่เล็กลง แต่ค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำและค่าเปอร์เซ็นต์การพองตัวกลับลดลงตามขนาดของอนุภาคที่เล็กลง เนื่องจากเมื่อขนาดอนุภาคแกลบและฟางข้าวเล็กลง ส่งผลให้ผงแกลบและฟางข้าวถูกบีบอัดแน่นมากขึ้นใน

โครงสร้างแผ่นใยไม้อัด ทำให้เซลล์เนื้อเยื่อแนบชิดกันมากขึ้น นอกจากนี้พบว่า แผ่นใยไม้อัดที่ผลิตจากผงฟางข้าวมีค่าความแข็งแรงตัด ค่ามอดูลัสการตัด และค่าการนำความร้อนสูงกว่าแผ่นใยไม้อัดที่ผลิตจากผงแกลบเมื่อเปรียบเทียบกับขนาดอนุภาคเท่ากัน เพราะแผ่นใยไม้อัดที่ผลิตจากผงฟางข้าวมีรูพรุน และช่องว่างระหว่างอนุภาคเกิดขึ้นจำนวนน้อยกว่าแผ่นใยไม้อัดที่ผลิตจากผงแกลบ อย่างไรก็ตามเมื่อผลิตแผ่นใยไม้อัดด้วยผงขนาด 212 ถึง เล็กกว่า 425 μm การใช้ผงแกลบเป็นส่วนผสมให้ค่าการเสถียรทางความร้อนสูงกว่าการใช้ผงฟางข้าว

เมื่อเปรียบเทียบค่าความแข็งแรงตัด ค่ามอดูลัสการตัด ค่าความแข็งแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า และค่าเปอร์เซ็นต์การพองตัวกับมาตรฐาน JIS A 5905 พบว่าแผ่นใยไม้อัดที่ผลิตจากผงแกลบและที่ผลิตจากผงฟางข้าวขนาดเล็กกว่า 150 μm มีสมบัติเหล่านี้ผ่านมาตรฐานขั้นต่ำ JIS A 5905 Type 5 เป็นอย่างน้อย

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากงบประมาณเงินแผ่นดิน (รหัสข้อเสนองการวิจัย 2560A17102145) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย ประจำปี 2560 และสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ

6. เอกสารอ้างอิง

[1] P. Weerapat, “History of Rice”, Available: <http://www.arda.or.th/kasetinfo/rice/rice-histories.html>, 27 July 2015. (in Thai)

[2] Thai Rice Exporters Association, “Rice Product”, Available: <http://www.thairiceexporters.or.th/production.htm>, 26 June 2017. (in Thai)

- [3] Group of Biomass Energy, “Biomass Energy”, Bureau of Energy Research, Department of Alternative Energy Department and Efficiency, Ministry of Energy, (in Thai)
- [4] C. Homkhiew, S. Rawangwong and W. Boonchouytan, “Optimizing Condition for Manufacturing the Binderless Particleboard by Response Surface Methodology”, *The Journal of Industrial Technology* 11(2), 2015, pp. 40–55. (in Thai)
- [5] R. Hashim, N. Said, J. Lamaming, M. Baskaran, O. Sulaiman, M. Sato, S. Hiziroglu and T. Sugimoto, “Influence of Press Temperature on the Properties of Binderless Particleboard Made from Oil Palm Trunk”, *Materials and Design* 32(5), 2011, pp. 2520–2525.
- [6] C. Homkhiew, S. Rawangwong and W. Boonchouytan, “Influence of Wood Species and Thickness Sizes on Mechanical and Physical Properties of Binderless Particleboard”, *Ladkrabang Engineering Journal* 33(1), 2016, pp. 18–23. (in Thai)
- [7] S. Nonaka, K. Umemura and S. Kawai, “Characterization of Bagasse Binderless Particleboard Manufactured in High-Temperature Range”, *Journal of Wood Science* 59(1), 2013, pp. 50–56.
- [8] H. Hidayat, E.R.P. Keijsers, U. Prijanto, J.E.G. Dam and H.J. Heeres, “Preparation and Properties of Binderless Boards from *Jatropha Curcas* L. Seed Cake”, *Industrial Crops and Products* 52, 2014, pp. 245–254.
- [9] W.N.A.W. Nadhari, R. Hashim, S. Hiziroglu, O. Sulaiman, J.G. Boon, K.M. Salleh, M.F. Awalludin, M. Sato and T. Sugimoto, “Measurement of Some Properties of Binderless Composites Manufactured from Oil Palm Trunks and Acacia Mangium”, *Measurement* 50, 2014, pp. 250–254.
- [10] J. Lamaming, R. Hashim, O. Sulaiman, T. Sugimoto, M. Sato and S. Hiziroglu, “Measurement of Some Properties of Binderless Particleboard Made from Young and Old Oil Palm Trunks”, *Measurement* 47, 2014, pp. 813–819.
- [11] H. Bouafif, A. Koubaa, P. Perre and A. Cloutier, “Effects of Fiber Characteristics on the Physical and Mechanical Properties of Wood Plastic Composites”, *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing* 40(12), 2009, pp. 1975–1981.
- [12] C. Homkhiew, “Development and Applications of Natural Fiber/Thermoplastic Composites for Industrial”, *The Journal of Industrial Technology* 10(2), 2014, pp. 97–110. (in Thai)
- [13] JIS-A 5905, Particleboards. Japanese Standards Association. Tokyo, Japan, 2003.
- [14] M.W. Marashdeh, R. Hashim, A.A. Tajuddin, S. Bauk and O. Sulaiman, “Effect of Particle Size on the Characterization of Binderless Particleboard Made from *Rhizophora* spp. Mangrove Wood for Use as Phantom Material”, *BioResources* 6(4), 2011, pp. 4028–4044.

- [15] N. Saadaoui, A. Rouilly, K. Fares and L. Rigal, “Characterization of Date Palm Lignocellulosic by-Products and Self-Bonded Composite Materials Obtained Thereof”, *Materials and Design* 50, 2013, pp. 302–308.
- [16] F. Yao, Q. Wu, Y. Lei and Y. Xu, “Rice Straw Fiber-Reinforced High-Density Polyethylene Composite: Effect of Fiber Type and Loading”, *Industrial Crops and Products* 28(1), 2008, pp. 63–72.
- [17] V. Steckel, C.M. Clemons and H. Thoemen, “Effects of Material Parameters on the Diffusion and Sorption Properties of Wood-Flour/Polypropylene Composites”, *Journal of Applied Polymer Science* 103(2), 2007, pp. 752–763.
- [18] C. Homkhiew, T. Ratanawilai, S. Rawangwong and W. Boonchouytan, “Effect of Temperatures and Water Types on Water Absorption of Rubberwood Flour-Polypropylene Composites”, *Ladkrabang Engineering Journal* 32(2), 2015, pp. 49–54. (in Thai)
- [19] C. Homkhiew, “Factors Affecting Water Absorption Behavior of Wood-Plastic Composites”, *The Journal of Industrial Technology* 11(2), 2015, pp. 94–111. (in Thai)
- [20] S. Janbuala and T. Wasanapiampong, “The Development of Lightweight Clay Brick with Added Bagasse Ash”, *SDU Research Journal Sciences and Technology* 10(1), 2017, pp. 13–30. (in Thai)
- [21] N. Padkho, “The Production and Study property of Insulation wall light Board from Bagasse Fiber for using in Architecture work”, *Journal of Engineering RMUTT* 13(2), 2015, pp. 11–20. (in Thai)
- [22] Bureau of Energy Efficiency Promotion “Heat Insulation”, Department of Alternative Energy Department and Efficiency, Ministry of Energy, <http://www2.dede.go.th>, 2005. (in Thai)
- [23] P. Khamput, “Use of Para-rubber to Improve Strength and Insulation Properties of Autoclaved Aerated Lightweight Concrete”, *KMUTT Research and Development Journal* 30(2), 2007, pp. 363–376. (in Thai)
- [24] M.A. Syed, S. Akhtar and A.A.S. Syed, “Studies on the Physico-Mechanical, Thermal, and Morphological Behaviors of High Density Polyethylene/Coleus Spent Green Composites”, *Journal of Applied Polymer Science* 119(4), 2011, pp. 1889–1895.
- [25] T. Jeevananda and Siddaramaiah, “Thermal and Morphological Studies on Ethylene-Vinyl Acetate Copolymer–Polyaniline Blends”, *Thermochim Acta* 376(1), 2001, pp. 51–61.
- [26] T. Ratanawilai, N. Thanawattanasirikul and C. Homkhiew, “Mechanical and Thermal Properties of Oil Palm Wood Sawdust Reinforced Post-Consumer Polyethylene Composites”, *ScienceAsia* 38(3), 2012, pp. 289–294.