

การผลิตแผ่นขึ้นไม้อัดจากใบตะไคร้และฟางข้าว

Production of Particleboard from Lemongrass Leaves and Rice Straws

จารุณี เข้มพิล^{1*} ชญานิศ นามไพร² และ อลิษา แก้วใส²

¹สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม

²สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม

80 ถนนนครสวรรค์ ต.ตลาด อ.เมือง จ.มหาสารคาม 44000

E-mail: Jarunee.kh@rmu.ac.th

Jarunee Khempila^{1*}, Chayanis Namprai² and Alisa Kaewsai²

¹Program of Physics, Faculty of Science and Technology, Rajabhat Mahasarakham University

²Program of Science, Faculty of Education, Rajabhat Mahasarakham University,

80 Nakhon Sawan Rd., Talat, Mueang, Maha Sarakham 44000, Thailand

E-mail: Jarunee.kh@rmu.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการผลิตแผ่นขึ้นไม้อัดจากใบตะไคร้ร่วมกับฟางข้าวจำนวน 3 สัดส่วน ได้แก่ ใบตะไคร้ 100% , ใบตะไคร้ 50% ผสมฟางข้าว 50% และ ฟางข้าว 100% โดยน้ำหนัก พร้อมทั้งวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและทางกล กระบวนการผลิตใช้กาว pMDI เป็นตัวประสานในปริมาณ 7% โดยน้ำหนักของวัสดุแห้ง ซึ่งทำการอัดร้อนด้วยเครื่องอัดไฮดรอลิกที่ความดัน 147 bar อุณหภูมิ 120°C เป็นเวลา 5 นาที ภายใต้การควบคุมให้แผ่นมีความหนาแน่นอยู่ในช่วง 400-900 kg/m³ และมีขนาด 450 mm × 450 mm × 10 mm เพื่ออธิบายลักษณะของแผ่นขึ้นไม้อัดที่ได้จึงทำการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ (ความหนาแน่น ความชื้น การดูดซึมน้ำ และการพองตัวตามความหนา) และสมบัติทางกล (ความต้านทานแรงดัดและ โมดูลัสความยืดหยุ่น) เปรียบเทียบกับมาตรฐาน มอก. 876-2547 ผลการวิจัยพบว่า แผ่นขึ้นไม้อัดที่ได้ไม่มีกลิ่นหรือสีของการไหม้ ผิวของแผ่นเนียนเรียบ ไม่มีการกระจุกตัวของวัสดุ ไม่มีการโก่งตัวหรือบิดงอ ผลการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของแผ่นเทียบกับมาตรฐาน พบว่า สมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ความหนาแน่น ความชื้น การดูดซึมน้ำ และการพองตัวตามความหนา มีค่าผ่านเกณฑ์ที่มาตรฐานกำหนดทุกสัดส่วน และผลการวิเคราะห์สมบัติทางกล ได้แก่ ความต้านแรงดัดและ โมดูลัสความยืดหยุ่น มีค่าผ่านเกณฑ์ที่มาตรฐานกำหนดทุกสัดส่วน ยกเว้นสัดส่วนที่ขึ้นรูปด้วยฟางข้าว 100% พบว่ามีค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นเฉลี่ยไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน ดังนั้นจากผลการวิจัยจึงบ่งชี้ได้ว่าใบตะไคร้และใบตะไคร้ผสมฟางข้าวสามารถเป็นทางเลือกของวัสดุในการผลิตแผ่นขึ้นไม้อัดในเชิงอุตสาหกรรมได้

คำสำคัญ: แผ่นขึ้นไม้อัด, ใบตะไคร้, ฟางข้าว

Abstract

The aim of this research was to study the particleboard production from lemongrass leaves and rice straw. They were produced in the following proportions: 100% lemongrass leaves; 50% lemongrass leaves and 50% rice straw; and 100% rice straw. Also, the physical-mechanical properties of particleboards were assessed. For production of particleboard, pMDI was used as binder at 7% based on the dry weight. The press conditions and production plan of particleboards were as follows; 120°C pressing temperature, 147 bar pressure, and 5 min of pressing time. The particleboards were produced at 400-900 kg/m³ density and 450 mm × 450 mm × 10 mm dimension. In order to characterize the manufactured particleboards, their physical (density; moisture content; water absorption and thickness swelling) and mechanical properties (modulus of rupture and modulus of elasticity) were assessed and performed according to Thai Industrial Standard (TIS 876-2547) standards. The results showed that, the panel was odorless and colorless of burning, smooth surface, not bent or twisted shape and not noticed a cluster of material. Physical properties were determined average density, moisture content, water absorption, thickness swelling and has met the requirements of standards. Also, mechanical properties were determined average modulus of rupture and modulus of elasticity and has met the minimum requirements of standards, except with the proportion of 100% rice straw. Thus, the results of the study demonstrate that lemongrass leaves and lemongrass leaves with rice straw can be an alternative raw material source for particleboard industry.

Keywords: Particleboard, Lemongrass leaves, Rice straws

1. บทนำ

สืบเนื่องจากการขยายตัวของประชากรโลกทำให้ความต้องการในการใช้ไม้เพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้ทรัพยากรป่าไม้ที่มีอยู่อย่างจำกัดลดปริมาณลงอย่างมาก เพื่อให้สามารถใช้ทรัพยากรป่าไม้ที่มีอยู่อย่างจำกัดให้เกิดประโยชน์สูงสุดประกอบกับปัจจุบันเทคโนโลยีทางการใช้ประโยชน์จากเศษไม้เพื่อผลิตเป็นอุตสาหกรรมมีความเจริญก้าวหน้าอย่างมาก จึงได้มีการคิดค้นแผ่นขึ้นไม้อัดทดแทนไม้ธรรมชาติ (wood-based panels) เช่น การผลิตแผ่นขึ้นไม้อัด (particleboard) ซึ่งแผ่นขึ้นไม้อัด หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ทำจากชิ้นไม้ หรือวัสดุลิกโนเซลลูโลส (lignocellulose material) อัดด้วยเครื่องอัดร้อนในทิศทางตั้งฉากกับระนาบของแผ่น มีคุณสมบัติใกล้เคียงไม้ธรรมชาติทุกประการ ปัจจุบันมีการใช้แผ่นขึ้นไม้อัดอย่างแพร่หลายเพื่อทดแทนไม้แปรรูป เพื่อผลิตเครื่องเรือนที่ใช้กันโดยทั่วไป ไม้ที่ใช้เป็นวัตถุดิบจะเป็นไม้นขนาดเล็กหรือเศษเหลือจากการแปรรูปไม้ นอกจากวัตถุดิบจำพวก

ไม่แล้ว จากการสืบค้นผลงานทางวิชาการพบว่ายังมีการคิดค้นและพัฒนาอย่างต่อเนื่องเพื่อสรรหาวัสดุชนิดอื่นๆ ที่สามารถนำมาเป็นวัตถุดิบในการผลิตแผ่นขึ้นไม้อัดได้ ด้วยวัตถุดิบประเภทหลักที่แตกต่างกัน อาทิ ใบสนทะเล ใบหญ้าสาบหลว ต้นรูปฤาษี เส้นใยหญ้าคา [1-4] ได้มีการนำมาผลิตเป็นแผ่นขึ้นไม้อัดทั้งนี้เพื่อเป็นแนวทางในการเพิ่มมูลค่าให้กับวัตถุดิบจำพวกวัชพืชและวัสดุจากธรรมชาติ หรือจำพวก เปลือกข้าวโพด เปลือกหมาก ฟางข้าว ได้นำมาเป็นวัตถุดิบเช่นกัน นอกจากนี้เป็นแนวทางในการกำจัดวัสดุเหลือทิ้งหรือเศษเหลือทางการเกษตรแล้วยังช่วยลดการทำลายด้วยการเผาไหม้ที่ส่งผลต่อมลพิษทางอากาศได้อีกด้วย [5-6] วัตถุดิบจำพวก ขี้เลื่อยจากโรงไม้ เศษเหลือไม้กฤษณาจากกระบวนการกลั่นน้ำมันหอมระเหย กากใบชาจากอุตสาหกรรมเครื่องดื่ม เศษกระดาษจากอุตสาหกรรมกระดาษ [7-10] สามารถนำมาขึ้นรูปเป็นแผ่นขึ้นไม้อัดได้เช่นกันซึ่งนอกจากช่วยกำจัดขยะแล้วยังช่วยเพิ่มมูลค่าให้กับวัสดุเหลือทิ้งจากกระบวนการต่างๆ ในอุตสาหกรรมอีกทางหนึ่ง นอกจากนี้วัตถุดิบประเภทเพื่อนำมาผลิตแผ่นขึ้นไม้อัดแล้วยังพบการศึกษานิตและปริมาณของตัวประสานที่เหมาะสมกับวัตถุดิบจำพวก ผักตบชวา เศษเหลือทิ้งของไม้เสม็ดขาว [11-12] ซึ่งทั้งชนิดและปริมาณของตัวประสานล้วนส่งผลต่อสมบัติทางกายภาพและทางกลของแผ่นเป็นอย่างมาก รวมถึงการจัดเรียงชั้นวัสดุต่างส่งผลต่อสมบัติของแผ่นอัดที่ได้เช่นกัน [13] การพัฒนาอย่างต่อเนื่องของการผลิตแผ่นขึ้นไม้อัดมิได้มุ่งเน้นเพียงการสรรหาวัตถุดิบใหม่เท่านั้น ยังพบการวิจัยที่ทำการปรับปรุงกระบวนการผลิตให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น เช่น การปรับปรุงความร้อนให้กับไม้ไฟซึ่งพบว่ามีความสมบัติโดยรวมต่อแผ่นขึ้นไม้อัดดีกว่าไม้ไฟที่ไม่ผ่านการปรับปรุงด้วยความร้อน [14]

ตะไคร้เป็นพืชสมุนไพรชนิดหนึ่งที่ผูกพันกับวิถีชีวิตของคนไทยเรามาตั้งแต่อดีต ลำต้นของต้นตะไคร้เป็นส่วนที่นำมาใช้ประโยชน์ได้โดยเป็นส่วนหนึ่งของเครื่องแกงเพื่อการบริโภคเป็นอาหาร หรือนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อาหารและสมุนไพร ส่วนใบของต้นตะไคร้นั้นมิได้มีการนำมาใช้ประโยชน์เท่าใดนัก เกษตรกรจึงตัดใบทิ้งตั้งแต่เริ่มต้นกระบวนการเก็บเกี่ยวผลิตผล อีกทั้งต้องหาทางกำจัดโดยวิธีการต่างๆ เช่น เผาทำลายหรือปล่อยทิ้งให้เป็นปฏิกูลตามธรรมชาติ ซึ่งวิธีการเหล่านี้ล้วนเป็นการสร้างมลภาวะให้แก่สภาพแวดล้อมทั้งสิ้นโดยเฉพาะการเผาทำลายซึ่งเป็นการก่อให้เกิดมลภาวะทางอากาศ เศษเหลือทางการเกษตรที่นิยมกำจัดด้วยการเผาเช่นกันอีกชนิดหนึ่งคือ ดอกขี้ข้าวและฟางข้าว จากสถานการณ์และภาวะปัจจุบัน การทำนาของเกษตรกรในเขตชลประทานภาคกลาง สามารถทำนาต่อเนื่อง 2-3 ครั้งต่อปี ทำให้มีรอบการผลิตค่อนข้างรวดเร็วประมาณ 12 ถึง 21 วัน เพื่อให้ทันต่อฤดูกาลผลิต ทำให้เกษตรกรเกือบทุกรายเผาฟางก่อนฤดูทำนา โดยไถกลบเศษฟางที่เหลือจากการเผากับดอกขี้ข้าวลงไปในพื้นที่ที่มีการระบายอากาศไม่ดีขาดออกซิเจน เกิดก๊าซมีเทน (CH_4) บางชนิด ปลดปล่อยสู่ชั้นบรรยากาศ ซึ่งมีผลเสียต่อสภาวะแวดล้อมของโลก ทำให้จุลินทรีย์ดินบางชนิดมีอัตราการเจริญเติบโตต่ำ การย่อยสลายเป็นไปอย่างช้าๆ ทำให้ข้าวที่ปลูกใหม่แสดงอาการขาดไนโตรเจนชั่วคราว ดังนั้นเกษตรกรไม่ควรเผาฟางข้าวหลังเก็บเกี่ยวเพราะจะทำให้สูญเสียคาร์บอนที่เป็นอาหารของจุลินทรีย์ดิน ที่จะนำไปก่อให้เกิดกิจกรรมที่เป็นประโยชน์ต่อพืช ทำให้ดินเสื่อมคุณภาพขาดความสมบูรณ์ ทั้งนี้ประเทศไทยยังต้องมีความรับผิดชอบในการช่วยลดภาวะโลกร้อนและเร่งสรรหาวิธีการหยุดสร้างมลพิษจากการเผาฟางและบริหารจัดการองค์ความรู้นวัตกรรม สิ่งประดิษฐ์

ทรัพยากร ภูมิปัญญาของประเทศ ผู้การใช้ประโยชน์เชิงพาณิชย์ การใช้ประโยชน์โดยชุมชน ท้องถิ่นและ
สาธารณะ ตลอดจนการพัฒนาเศรษฐกิจเชิงสร้างสรรค์ต่อสิ่งแวดล้อม

คณะผู้วิจัยได้สังเกตเห็นปัญหาที่เกิดขึ้นจึงมีแนวคิดในการนำเศษเหลือจากการเกษตรที่ต้องกำจัดทิ้งเหล่านี้
มาสร้างให้เกิดประโยชน์และคุณค่าทางด้านเศรษฐกิจและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม โดยการนำใบตะไคร้ร่วมกับฟาง
ข้าวมาผ่านกระบวนการบดและอัดขึ้นรูปเป็นแผ่น พร้อมทั้งพิจารณาสมบัติต่างๆ ทางด้านเทคนิควิศวกรรม
เปรียบเทียบกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมของแผ่นขึ้นไม้อัดชนิดอัดราบ (มอก. 876-2547) เพื่อให้ได้ซึ่ง
คุณภาพและสามารถนำไปใช้ได้จริง ช่วยลดปัญหาการกำจัดใบตะไคร้และฟางข้าวในพื้นที่ อีกทั้งเพื่อก่อให้เกิด
มูลค่าเพิ่มกับวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรได้อีกทางหนึ่ง

2. วัตถุประสงค์

1. เพื่อผลิตแผ่นขึ้นไม้อัดจากใบตะไคร้ร่วมกับฟางข้าว
2. เพื่อวิเคราะห์และเปรียบเทียบสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางกลของแผ่นขึ้นไม้อัดจากใบตะไคร้
ร่วมกับฟางข้าว ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมของแผ่นขึ้นไม้อัดชนิดอัดราบ (มอก. 876-2547)

3. วิธีดำเนินงานวิจัย

3.1 การขึ้นรูปแผ่นขึ้นไม้อัด

กระบวนการขึ้นรูปแผ่นขึ้นไม้อัดเริ่มต้นด้วยการทำแห้งใบตะไคร้และฟางข้าวโดยวิธีการตากแดดตาม
ธรรมชาติให้มีความชื้นเหลือประมาณ 10% ซึ่งตรวจวัดด้วยเครื่องวัดความชื้น แล้วทำการชั่งใบตะไคร้ ฟางข้าว
แห้งและตัวประสานให้ได้สัดส่วนตามที่คำนวณ ซึ่งได้ทำการอัดขึ้นรูปแผ่นขึ้นไม้อัดจำนวน 3 สักส่วน โดย
สักส่วนที่ 1 มีปริมาณใบตะไคร้ 100% สักส่วนที่ 2 มีปริมาณใบตะไคร้ 50% ผสมฟางข้าว 50% และสักส่วนที่ 3 มี
ปริมาณฟางข้าว 100% โดยสับย่อยวัสดุแล้วนำไปผสมเข้ากับกาว Polymeric methylene diphenyl diisocyanate
(pMDI) ด้วยเครื่องผสมกาวแบบพ่นละออง แล้วจึงโรยใบตะไคร้และฟางข้าวที่ผสมกาวในแม่พิมพ์ซึ่งมีขนาด
450 mm × 450 mm แล้วทำการอัดเย็นเพื่อไล่อากาศ จากนั้นจึงนำเข้าเครื่องอัดร้อนดังรูปที่ 1 ด้วยการตั้งค่าอุณหภูมิ
ในการอัดไว้ที่ 120 °C และแรงดันในการอัด 147 bar ให้ได้ความหนาของแผ่น 10 mm เป็นเวลา 5 นาที แล้วปรับ
สภาพโดยวางแผ่นในแนวตั้งในตะแกรงระบายอากาศ ในสภาพแวดล้อมที่อุณหภูมิห้องปกติเป็นเวลา 24 ชั่วโมง
ก่อนตัดย่อยเป็นชิ้นทดสอบเพื่อนำไปทดสอบสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางกล



รูปที่ 1 เครื่องฮีตร้อนไฮโดรลิก 3 เฟส กำลังอัด 30 ตัน

3.2 การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและสมบัติทางกลของแผ่นชิ้นไม้อัด [15]

3.2.1 การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ

การทดสอบปริมาณความหนาแน่น สามารถทำได้โดยตัดชิ้นทดสอบขนาด 50 mm × 50 mm จำนวน 3 ชิ้น ซึ่งชิ้นทดสอบให้ได้มวลที่แน่นอนถึง 0.01 g ด้วยเครื่องชั่งดิจิตอลซึ่งมีความละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง ดังรูปที่ 2 แล้วจึงใช้เวอร์เนียร์คาร์ลิปเปอร์วัดความหนาตรงจุดกึ่งกลาง ความกว้างและความยาวของชิ้นทดสอบ โดยวางเครื่องมือให้ทำมุมกับแนวระนาบของชิ้นทดสอบ ประมาณ 45° โดยสามารถคำนวณค่าความหนาแน่น ดังแสดงในสมการที่ (1) เมื่อ ρ คือ ความหนาแน่น (kg/m^3), m คือ มวลของชิ้นทดสอบ (kg) และ V คือ ปริมาตรของชิ้นทดสอบ (m^3)

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (1)$$



(ก)



(ข)

รูปที่ 2 (ก) การชั่งมวลของชิ้นทดสอบ และ (ข) การอบชิ้นทดสอบในตู้อบลมร้อน

การทดสอบปริมาณความชื้น สามารถทำได้โดยตัดชิ้นทดสอบขนาด 50 mm × 50 mm จำนวน 3 ชิ้น ใช้วิธี Oven Dry Method ชั่งชิ้นทดสอบให้ได้มวลที่แน่นอนถึง 0.01 g เป็นมวลของชิ้นทดสอบก่อนอบ แล้วทำการอบชิ้นทดสอบในเตาอบที่อุณหภูมิ 103 ± 2 °C จนได้มวลคงที่ คือมวลของชิ้นทดสอบ เมื่อชั่ง 2 ครั้งเป็นเวลาห่างกัน 6 ชั่วโมง ต้องไม่แตกต่างกันเกิน 0.1% ของมวลของชิ้นทดสอบ แล้วนำมาใส่ในเคชเคเตอร์ปล่อยให้เย็น แล้วจึงทำการชั่งชิ้นทดสอบ เป็นมวลของชิ้นทดสอบหลังอบแห้ง โดยสามารถคำนวณค่าปริมาณความชื้นได้จากสมการที่ (2) เมื่อ m_1 คือ มวลของชิ้นทดสอบก่อนอบ (g), m_2 คือ มวลของชิ้นทดสอบหลังอบ (g)

$$\text{Moisture content (\%)} = \left(\frac{m_1 - m_2}{m_2} \right) \times 100 \quad (2)$$

การทดสอบค่าการดูดซึมน้ำ สามารถทำได้โดย ตัดชิ้นทดสอบขนาด 50 mm × 50 mm จำนวน 8 ชิ้น ชั่งมวลของชิ้นทดสอบเป็นมวลของชิ้นทดสอบก่อนแช่น้ำ หลังจากนั้นแช่ชิ้นทดสอบในน้ำสะอาดที่อุณหภูมิ 20 ± 2 °C โดยตั้งชิ้นทดสอบให้ได้ฉากกับระดับผิวน้ำให้ ขอบบนอยู่ใต้ระดับผิวน้ำ ประมาณ 25 mm แต่ละชิ้นต้องห่างจากกัน และต้องห่างจากผนังและก้นภาชนะที่ใส่ไม่น้อยกว่า 10 mm เมื่อแช่ชิ้นทดสอบครบ 1 ชั่วโมง แล้วรีบนำชิ้นทดสอบขึ้นมาซับน้ำที่ผิวออกให้หมดด้วยผ้าหมาด แล้วปล่อยไว้ที่อุณหภูมิห้อง โดยวางให้ขอบด้านใดด้านหนึ่งอยู่บนแผ่นวัสดุที่ไม่ดูดซึมน้ำ เช่น พลาสติก กระดาษ แล้วจึงปล่อยชิ้นทดสอบไว้อีก 1 ชั่วโมง นำชิ้นทดสอบขึ้นมาชั่งเป็นมวลหลังแช่น้ำ โดยสามารถหาค่าการดูดซึมน้ำได้จากสมการที่ (3) เมื่อ m_1 คือ มวลของชิ้นทดสอบก่อนแช่น้ำ (g), m_2 คือ มวลของชิ้นทดสอบหลังแช่น้ำ (g)

$$\text{Water Absorption (\%)} = \left(\frac{m_2 - m_1}{m_1} \right) \times 100 \quad (3)$$

การทดสอบค่าการพองตัวตามความหนา สามารถทำได้โดยตัดชิ้นทดสอบขนาด 50 mm × 50 mm จำนวน 8 ชิ้น วัดความหนาของชิ้นทดสอบเป็นความหนาก่อนแช่น้ำ หลังจากนั้นแช่ชิ้นทดสอบในน้ำสะอาดที่อุณหภูมิ 20 ± 2 °C โดยตั้งชิ้นทดสอบให้ได้ฉากกับระดับผิวน้ำให้ขอบบนอยู่ใต้ระดับผิวน้ำ ประมาณ 25 mm แต่ละชิ้นต้องห่างจากกัน และต้องห่างจากผนังและก้นภาชนะที่ใส่ไม่น้อยกว่า 10 mm เมื่อแช่ชิ้นทดสอบครบ 1 ชั่วโมง แล้วรีบนำชิ้นทดสอบขึ้นมาซับน้ำที่ผิวออกให้หมดด้วยผ้าหมาด แล้วปล่อยไว้ที่อุณหภูมิห้อง โดยวางให้ขอบด้านใดด้านหนึ่งอยู่บนแผ่นวัสดุที่ไม่ดูดซึมน้ำ เช่น พลาสติก กระดาษ แล้วจึงปล่อยชิ้นทดสอบไว้อีก 1 ชั่วโมง นำชิ้นทดสอบขึ้นมาวัดความหนาตามตำแหน่งเดิม เป็นความหนาหลังแช่น้ำ โดยสามารถหาค่าการพองตัวตามความหนาได้จากสมการที่ (4) เมื่อ t_1 คือ ความหนาของชิ้นทดสอบก่อนแช่น้ำ (mm), t_2 คือ ความหนาของชิ้นทดสอบหลังแช่น้ำ (mm)

$$\text{Thickness Swelling (\%)} = \left(\frac{t_2 - t_1}{t_1} \right) \times 100 \quad (4)$$

3.2.2 การวิเคราะห์สมบัติทางกล

การทดสอบความต้านแรงดัดและ โมดูลัสยืดหยุ่น สามารถทำได้โดย ตัดชิ้นทดสอบขนาด $50 \text{ mm} \times L \text{ mm}$ จำนวน 12 ชิ้น ($L=15$ เท่าของความหนาของชิ้นทดสอบ) วางชิ้นทดสอบบนแท่งรองรับซึ่งมีระยะห่างกัน 15 เท่าของความหนาของชิ้นทดสอบ (ตัวเลขที่ได้ให้ปัดเป็นเลขจำนวนเต็มของ 10 mm) แต่ต้องไม่น้อยกว่า 150 mm ให้ปลายชิ้นทดสอบยื่นออกไปจากจุดที่รองรับข้างละประมาณ 25 mm ให้แรงกดลงที่จุดกึ่งกลางของชิ้นทดสอบ โดยมีอัตราการเพิ่มแรงกดอย่างสม่ำเสมอ เวลาที่ใช้ตั้งแต่เริ่มกด จนกระทั่งชิ้นทดสอบหักต้องไม่น้อยกว่า 30 วินาที แต่ไม่มากกว่า 90 วินาที (ความเร็วในการกดประมาณ 10 (mm/min)) ซึ่งจะทดสอบโดยใช้เครื่อง Universal Testing Machine(UTM) ดังรูปที่ 3 ซึ่งสามารถคำนวณค่าความต้านแรงดัดและค่าโมดูลัสยืดหยุ่นได้จากสมการที่ (5) และ (6) ตามลำดับ เมื่อ f_m คือ ความต้านแรงดัด (MPa), f_{max} คือ แรงกดสูงสุดที่ชิ้นทดสอบรับได้ (N), l_1 คือ ระยะห่างของแท่งรองรับ (mm), b คือ ความกว้างที่จุดกึ่งกลางด้านยาวของชิ้นทดสอบ (mm), t คือ ความหนาที่จุดกึ่งกลางของชิ้นทดสอบ (mm), E_m คือ โมดูลัสยืดหยุ่น (MPa), $(F_2 - F_1)$ คือ แรงกดที่เพิ่มขึ้นในช่วงที่เส้นกราฟเป็นเส้นตรง (N) และ $(a_2 - a_1)$ คือ ระยะแอนตัวที่เพิ่มขึ้นในช่วงที่เส้นกราฟเป็นเส้นตรง (mm)



รูปที่ 3 การทดสอบค่าความต้านแรงดัดและค่าโมดูลัสความยืดหยุ่น

$$f_m = \frac{3f_{max}l_1}{2bt^2} \quad (5)$$

$$E_m = \frac{l_1^3(F_2 - F_1)}{4bt^3(a_2 - a_1)} \quad (6)$$

4. ผลการวิจัยและอภิปรายผล

4.1 ผลการขึ้นรูปแผ่นขึ้นไม้อัดจากใบตะไคร้ร่วมกับฟางข้าว

จากการนำเศษใบตะไคร้ร่วมกับฟางข้าว ที่ผ่านการบดสับแล้วมาขึ้นรูปเป็นแผ่นขึ้นไม้อัด ภายใต้สภาวะในการขึ้นรูปด้วยกาว pMDI เป็นตัวประสานในปริมาณ 7% ของน้ำหนักวัสดุแห้ง โดยอัดด้วยเครื่องอัดร้อนที่อุณหภูมิ 120 °C เป็นเวลา 5 นาที แรงดันในการอัดร้อนมีค่าเป็น 147 bar ในแม่พิมพ์ที่มีขนาด 450 mm × 450 mm ให้ความหนาของแผ่นมีค่า 10 mm ซึ่งเป็นค่าความหนาของแผ่นที่ผลิตอ้างอิงตามความหนาของไม้อัดที่วางขายเชิงพาณิชย์ หลังการอัดขึ้นรูปได้แผ่นขึ้นไม้อัดดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 แผ่นขึ้นไม้อัดจากใบตะไคร้ร่วมกับฟางข้าวที่ได้จากการอัดขึ้นรูปร้อน

จากรูปที่ 4 พบว่า หลังการอัดขึ้นรูปได้แผ่นขึ้นไม้อัดที่ไม่มีกลิ่นหรือสีของการไหม้ ผิวมีลักษณะที่เรียบ ไม่มีการกระจุกตัวของวัสดุอยู่บริเวณจุดใดจุดหนึ่งของแผ่น หลังการปรับสภาพพบว่า ไม่มีการโก่งตัว หรือบิดงอ หรือผิวมีการโป่งพอง แผ่นขึ้นไม้อัดที่ผลิตได้มีขนาด 400 mm × 400 mm ซึ่งจะมีขนาดเล็กกว่าขนาดแม่พิมพ์ เนื่องจากในขั้นตอนการอัดร้อน แผ่นควบคุมความร้อนด้านบนและด้านล่างของเครื่องอัดร้อนไม่มีขอบด้านข้างเพื่อป้องกันการหลุดขอบของวัสดุ จึงต้องทำการตัดตกแต่งขอบของแผ่นทิ้งส่งผลให้แผ่นขึ้นไม้อัดที่ผลิตได้มีขนาดเล็กกว่าขนาดของแม่พิมพ์

4.2 ผลการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของแผ่นขึ้นไม้อัด

4.2.1 ผลการวิเคราะห์ความหนาแน่น

ผลการทดสอบค่าความหนาแน่นของแผ่นขึ้นไม้อัด 3 สัดส่วน จำนวน 9 ชิ้นทดสอบ พบว่ามีค่าอยู่ในช่วง 814-890 kg/m³ โดยมีค่าสัมประสิทธิ์ของการแปรผัน(coefficient of variation) เท่ากับ 3.79% ซึ่งการแปรผันมีค่าน้อยมากจึงสามารถละทิ้งผลเนื่องจากความผันแปรของค่าความหนาแน่นของชิ้นทดสอบที่มีต่อสมบัติทางกายภาพและทางกลได้ [16] โดยค่าความหนาแน่นเฉลี่ยของสัดส่วนที่ 1 2 และ 3 มีค่าเป็น 845.73 863.23 และ 832.15 kg/m³ ตามลำดับ ซึ่งมีค่าอยู่ในเกณฑ์ที่มาตรฐานกำหนดคือ ระบุให้มีค่าความหนาแน่นอยู่ในช่วง 400-900 kg/m³

นอกจากนี้ก็จะสังเกตได้ว่าความหนาแน่นเฉลี่ยของทุกสัดส่วนมีค่าใกล้เคียงกันเนื่องจากในขั้นตอนการอัดเย็นได้ทำการโรยชั้นวัสดุอย่างสม่ำเสมอและชั้นวัสดุกระจายเท่าๆ กัน

4.2.2 ผลการวิเคราะห์ปริมาณความชื้น

ผลการทดสอบค่าความชื้นของแผ่นขึ้นไม้อัดสัดส่วนที่ 1 2 และ 3 พบว่ามีค่าความชื้นเฉลี่ยเป็น 3.10 3.12 และ 3.85% ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานที่ระบุให้มีค่าปริมาณความชื้นอยู่ในช่วง 3-14% พบว่าแผ่นขึ้นไม้อัดทุกชั้นทดสอบและทุกสัดส่วนมีค่าปริมาณความชื้นผ่านเกณฑ์มาตรฐาน ทั้งนี้เนื่องจากในขั้นตอนการผลิตแผ่นได้ควบคุมความชื้นของใบตะไคร้ที่นำมาผลิตในทุกขั้นตอน โดยความชื้นของวัสดุที่เหมาะสมสำหรับการผลิตแผ่นขึ้นไม้อัด คือ วัสดุก่อนการผสมกาวควรมีความชื้นอยู่ในช่วง 3-6% และความชื้นของวัสดุหลังการผสมกาวควรมีความชื้นอยู่ในช่วง 8-14% ดังนั้น แผ่นขึ้นไม้อัดที่ผลิตได้จึงมีความชื้นอยู่ในช่วงที่มาตรฐานกำหนด

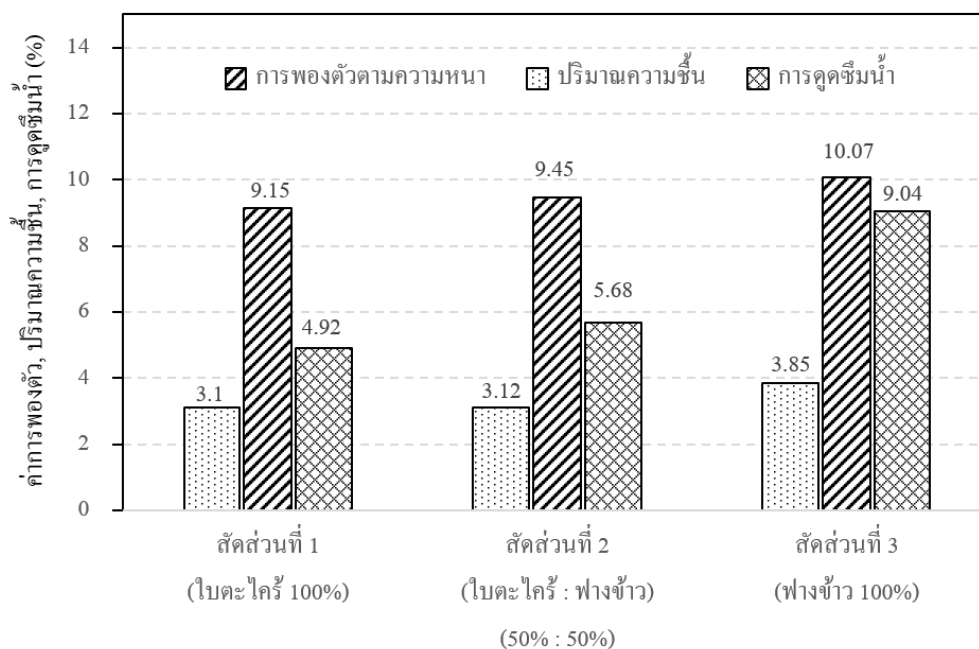
4.2.3 ผลการวิเคราะห์การดูดซึมน้ำ

ผลการทดสอบค่าการดูดซึมน้ำของแผ่นขึ้นไม้อัดพบว่า สัดส่วนที่ 1 2 และ 3 มีค่าการดูดซึมน้ำเฉลี่ยเป็น 4.92 5.68 และ 9.04% ตามลำดับ ซึ่งผ่านเกณฑ์ที่มาตรฐานกำหนดคือ ระบุให้มีค่าการดูดซึมน้ำไม่เกิน 12% จากรูปที่ 5 สังเกตได้ว่าสัดส่วนที่ 3 ซึ่งขึ้นรูปจากฟางข้าวด้วยสัดส่วน 100% มีค่าการดูดซึมน้ำมากที่สุด รองลงมาคือสัดส่วนที่ 2 ซึ่งขึ้นรูปจากการผสมฟางข้าวด้วยสัดส่วน 50% และสัดส่วนที่ 1 ซึ่งขึ้นรูปจากใบตะไคร้ด้วยสัดส่วน 100% พบว่ามีค่าการดูดซึมน้ำน้อยที่สุด อธิบายได้จากองค์ประกอบทางเคมีของใบตะไคร้และฟางข้าวดังแสดงในตารางที่ 1 เนื่องจากเส้นใยของฟางข้าวประกอบไปด้วยเซลลูโลส (Cellulose) และเฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose) เป็นองค์ประกอบทางเคมีมากถึงร้อยละ 32.15 และ 28 ตามลำดับ โดยโครงสร้างของเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสมีกลุ่มฟังก์ชันนอลของไฮดรอกซิล (-OH) ซึ่งทำหน้าที่ดึงดูดน้ำได้ดีเนื่องจากการสร้างพันธะไฮโดรเจนกับน้ำ [19] จึงส่งผลให้สัดส่วนที่ผสมฟางข้าวคือสัดส่วนที่ 2 และ 3 มีค่าการดูดซึมน้ำมากกว่าสัดส่วนที่ 1 ซึ่งการดูดซึมน้ำของวัสดุเชิงประกอบนอกจากเกิดจากการจับตัวกันระหว่างพันธะไฮโดรเจนของโมเลกุลน้ำกับหมู่ไฮดรอกซิลที่อยู่ในผนังเซลล์เซลลูโลสแล้วยังเกิดจากการแพร่ของโมเลกุลน้ำเข้าสู่ผิวหน้าระหว่างเนื้อวัสดุอีกด้วย [20]

4.2.4 ผลการวิเคราะห์การพองตัวตามความหนา

ผลการทดสอบค่าการพองตัวตามความหนาของแผ่นขึ้นไม้อัดพบว่า สัดส่วนที่ 1 2 และ 3 มีค่าการพองตัวตามความหนาเฉลี่ยเป็น 9.15 9.45 และ 10.07% ตามลำดับ ซึ่งผ่านเกณฑ์ที่มาตรฐานกำหนดคือ ระบุให้มีค่าการพองตัวตามความหนาไม่เกิน 12% จากรูปที่ 5 สังเกตได้ว่าแผ่นขึ้นไม้อัดสัดส่วนที่ 2 มีค่าการพองตัวตามความหนามากกว่าสัดส่วนที่ 1 เนื่องจากเส้นใยของฟางข้าวที่ผสมในสัดส่วนที่ 2 นั้นมีหมู่ไฮดรอกซิลทำให้มีความสามารถในการดูดซึมน้ำได้ดี ซึ่งต้นข้าวเป็นพืชที่มีเนื้อเยื่อกลางลำต้น(pith) เมื่อเก็บเกี่ยวจะทำให้เนื้อเยื่อในลำต้นนี้แห้งและสลายตัวไปกลายเป็นช่องกลางลำต้นส่งผลให้เมื่อมีฟางข้าวผสมมากขึ้น อนุภาคของน้ำจึงเข้าไปแทรกอยู่ในเส้นใยของฟางข้าวได้มาก การพองตัวจึงเกิดขึ้นได้มากกว่า ซึ่งสอดคล้องกับสัดส่วนที่ 3 ซึ่งมีค่าการพองตัวตามความหนามากที่สุด เนื่องจากมีส่วนผสมของฟางข้าวเพียงชนิดเดียว ซึ่งการบวมของวัสดุเชิงประกอบ

หรือการพองตัวตามความหนาแน่นค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณของเส้นใย ปริมาณการดูดซึมน้ำหรือความชื้น เมื่อขึ้นทดสอบของแผ่นขึ้นไม้อัดผ่านการแช่น้ำจะทำให้เกิดการบวมและเมื่อนำขึ้นจากการแช่น้ำหรือสัมผัสกับความชื้นที่ลดลงจะทำให้ขึ้นทดสอบเกิดการแห้งและหดตัวได้ไม่เท่าเดิมเกิดเป็นช่องว่างทำให้สูญเสียการยึดเกาะกันภายในชิ้นงาน การแทรกซึมของน้ำเข้าสู่โครงสร้างวัสดุจะเป็นไปได้ง่ายขึ้นและแทรกซึมได้ลึกขึ้นในเวลาสั้นลงเพราะความเสียหายในโครงสร้างที่เกิดขึ้นจากการแช่น้ำในครั้งแรก ที่สร้างเส้นทางการแทรกซึมของน้ำ [20-22]



รูปที่ 5 ผลการทดสอบและเปรียบเทียบสมบัติทางกายภาพของแผ่นขึ้นไม้อัดที่สัดส่วนต่างๆ

ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางเคมีของใบตะไคร้และฟางข้าว (%W) [17-18]

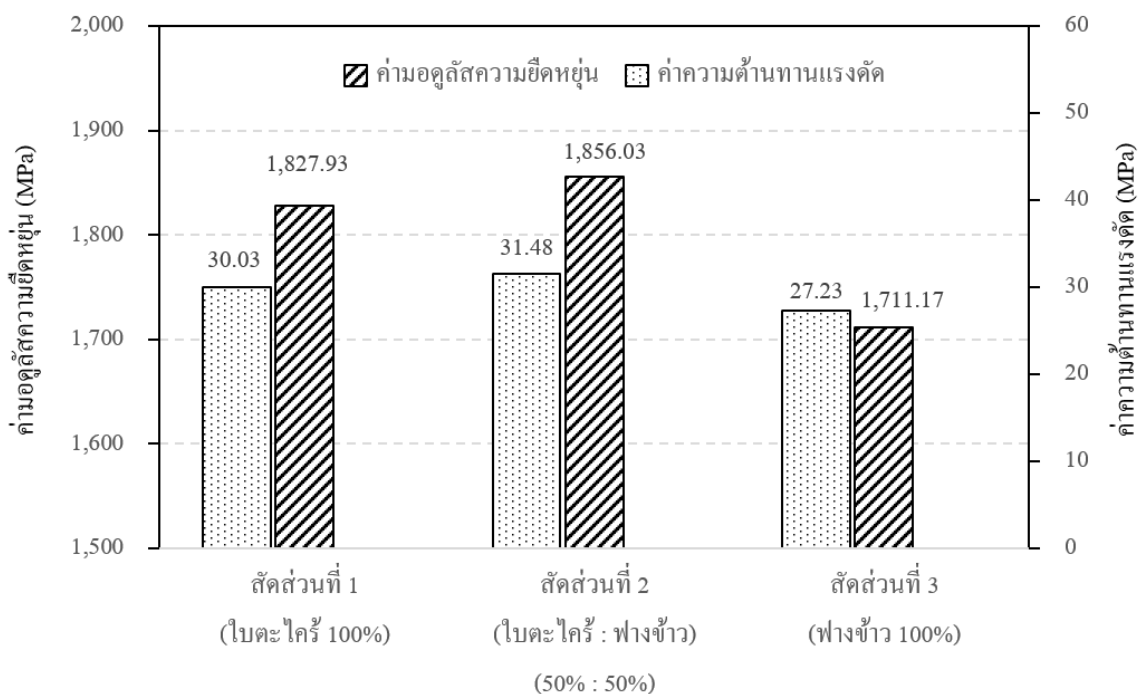
ชนิดของวัสดุ	เซลลูโลส	เฮมิเซลลูโลส	ลิกนิน
ฟางข้าว	32.15	28	19.64
ใบตะไคร้	29.9	28.5	7-11

4.3 ผลการวิเคราะห์สมบัติทางกลของแผ่นขึ้นไม้อัด

4.3.1 ผลการวิเคราะห์โมดูลัสความยืดหยุ่น

ผลการทดสอบค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นของแผ่นขึ้นไม้อัดพบว่า สัดส่วนที่ 1 2 และ 3 มีค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นเฉลี่ยเป็น 1,827.93 1,856.03 และ 1,711.17 MPa ตามลำดับ ซึ่งตามเกณฑ์ที่มาตรฐานกำหนด คือระบุให้มีค่าไม่น้อยกว่า 1,800 MPa จึงผ่านเกณฑ์เพียง 2 สัดส่วนคือ สัดส่วนที่ 1 และ 2 เนื่องจากเป็นสัดส่วนที่มีส่วนผสมของใบตะไคร้ ซึ่งขึ้นใบตะไคร้ที่ได้จากการสับย่อยในงานวิจัยนี้เป็นชิ้นที่มีความเพียวหมายถึงมีความกว้างของ

เส้นใยน้อยเมื่อเทียบกับความยาว เมื่อทำการอัดขึ้นรูปจะมีผิวสัมผัสระหว่างชั้นวัสดุได้มากจึงช่วยให้สามารถรับแรงได้ดี ทั้งขนาดและรูปทรงของชิ้นวัสดุต่างส่งผลต่อความแข็งแรงของแผ่น [23] และสังเกตพบว่าสัดส่วนที่ 2 มีค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นมากกว่าสัดส่วนที่ 1 เพียงเล็กน้อยอาจเนื่องด้วยสัดส่วนที่ 2 มีค่าความหนาแน่นมากกว่าเนื่องจากค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นมีค่ามากขึ้นตามค่าความหนาแน่น[24] เมื่อพิจารณาสัดส่วนที่ 3 ซึ่งประกอบด้วยฟางข้าว 100% พบว่ามีค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นเหลือน้อยที่สุดและไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน ถึงแม้ฟางข้าวจะมีสมบัติยืดหยุ่นสูงเมื่อมีแรงกระทำส่งผลให้แผ่นผิดรูปแต่สามารถคืนสู่สภาพเดิมได้อย่างรวดเร็ว แต่เศษฟางข้าวทั้งส่วนของใบและลำต้นที่ผ่านการสับย่อยทำให้ได้ชิ้นวัสดุที่สั้นส่งผลให้เกิดการเรียงตัวกันแบบไม่แน่นอนและผิวสัมผัสระหว่างชั้นวัสดุมีค่าน้อยลง จึงมีแนวโน้มที่วัสดุจะกระจายไม่สม่ำเสมอและจับตัวเป็นกลุ่มทำให้เกิดช่องว่างในเนื้อวัสดุได้มากขึ้น ซึ่งช่องว่างนี้ส่งผลให้เกิดความไม่เป็นเนื้อเดียวกันของวัสดุทำให้เกิดเป็นจุดอ่อนเมื่อได้รับแรงจึงส่งผลให้สัดส่วนที่ 3 รับแรงได้น้อยที่สุด



รูปที่ 6 ผลการทดสอบและเปรียบเทียบสมบัติทางกลของแผ่นขึ้นไม้อัดที่สัดส่วนต่างๆ

4.3.2 ผลการวิเคราะห์ความต้านทานแรงดัด

ผลการทดสอบค่าความต้านทานแรงดัดของแผ่นขึ้นไม้อัดพบว่า สัดส่วนที่ 1 2 และ 3 มีค่าความต้านทานแรงดัดเป็น 30.03 31.48 และ 27.23 MPa ตามลำดับ ซึ่งผ่านเกณฑ์ที่มาตรฐานกำหนดคือ ระบุให้มีค่าไม่น้อยกว่า 14 MPa จากการเปรียบเทียบผลการทดสอบดังรูปที่ 6 พบว่าสัดส่วนที่ 2 มีค่าความต้านทานแรงดัดมากที่สุด

รองลงมาคือสัดส่วนที่ 1 และน้อยที่สุดคือสัดส่วนที่ 3 อธิบายได้ว่าสัดส่วนที่ 1 และ 2 นั้นมีส่วนผสมของใบตะไคร้ ซึ่งขึ้นใบตะไคร้มีลักษณะรูปร่างเพรียวและยาว พื้นที่สัมผัสระหว่างชิ้นวัสดุจึงมีค่ามากซึ่งช่วยกระจายความเค้นที่เกิดจากการตัดได้สม่ำเสมอไปตลอดทั้งแผ่นจึงรับแรงที่กระทำได้ดี ความแข็งแรงและความต้านทานแรงดัดของสัดส่วนที่ 1 และ 2 จึงมีค่ามาก เมื่อพิจารณาสัดส่วนที่ 3 ซึ่งมีค่าความต้านทานแรงดัดน้อยที่สุด อธิบายได้ว่าเนื่องจากสัดส่วนนี้ประกอบด้วยฟางข้าว 100% ซึ่งเศษฟางข้าวมีลักษณะเป็นชิ้นที่สั้นกว่าใบตะไคร้ทำให้เรียงตัวกันแบบไม่แน่นอนเกิดเป็นช่องว่างระหว่างชิ้นวัสดุที่มากขึ้นส่งผลให้ความเค้นไม่สามารถเคลื่อนที่หรือกระจายตัวอย่างต่อเนื่องได้ตลอดทั้งแผ่น จึงกระจายความเค้นที่เกิดจากการตัดได้ไม่สม่ำเสมอตลอดทั้งแผ่น [25]

ภายหลังการทดสอบโดยออกแรงกดขึ้นทดสอบจนกระทั่งเกิดการแตกหักแล้วทำการสังเกตบริเวณที่รับความเค้นของชิ้นทดสอบพบว่า เกิดความเค้นอัดที่ด้านบนของแผ่น ความเค้นดึงที่ด้านล่าง และความเค้นเฉือนขึ้นตรงแนวแกนกลาง (เป็นความเค้นขนานเสี้ยน) เมื่อขึ้นตัวอย่างได้รับน้ำหนักจนเกิดการแตกหัก ลักษณะการแตกหักจึงเกิดขึ้นเนื่องจากความเค้นทั้งสาม พบว่ารูปแบบของการเสียรูปหรือการวิบัติของชิ้นตัวอย่างทดสอบดังรูปที่ 7 สอดคล้องกับรูปแบบ splintering คือรอยแตกแบบฟันปลา ซึ่งเป็นการเสียรูปเนื่องจากแรงดึงเสี้ยนประสานขึ้นทดสอบทั้ง 3 สัดส่วนจะขาดบริเวณส่วนล่างแต่ไม่ได้ขาดโดยแยกเป็นสองส่วน จากรูปแสดงให้เห็นว่าเนื้อวัสดุของสัดส่วนที่ 1 และ 2 มีความเหนียวมากเนื่องจากการเรียงตัวของใบตะไคร้ที่บางและยาวเมื่อเทียบกับสัดส่วนที่ 3 ซึ่งขึ้นรูปจากฟางข้าวที่มีลักษณะของชิ้นที่สั้น แม้จะรับแรงได้มากแต่ชิ้นทดสอบมีความเปราะ



รูปที่ 7 ลักษณะการเสียรูปของชิ้นทดสอบเมื่อทดสอบความต้านทานแรงดัด

5. สรุป

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเหมาะสมของการผลิตแผ่นขึ้นไม้อัดจากใบตะไคร้ร่วมกับฟางข้าว พร้อมทั้งวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและทางกลเพื่อเป็นทางเลือกของวัสดุในการผลิตแผ่นขึ้นไม้อัด จำนวน

3 สัดส่วน ได้แก่ ไบอะไคร์ 100% , ไบอะไคร์ 50% ผสมฟางข้าว 50% และ ฟางข้าว 100% โดยน้ำหนัก ภายใต้การควบคุมให้แผ่นมีความหนาแน่นในช่วง $400-900 \text{ kg/m}^3$ ที่ความหนา 10 mm ตัวประสานที่ใช้คือ กาว pMDI ในปริมาณ 7% โดยน้ำหนักของวัสดุแห้ง และอัดร้อนด้วยเครื่องอัดไฮโดรลิกที่ความดัน 147 bar อุณหภูมิ 120°C เป็นเวลา 5 นาที โดยทำการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ความหนาแน่น ปริมาณความชื้น การดูดซึมน้ำ การพองตัวตามหนา และสมบัติทางกล ได้แก่ ความต้านทานแรงดัดและโมดูลัสความยืดหยุ่น และเปรียบเทียบสมบัติกับมาตรฐาน มอก. 876-2547 (แผ่นขึ้นไม้อัดชนิดอัดราบ)

ผลการวิจัยพบว่าสามารถขึ้นรูปแผ่นขึ้นไม้อัดจากไบอะไคร์ร่วมกับฟางข้าวได้ โดยแผ่นที่ได้ไม่มีกลิ่นหรือสีของการไหม้ ผิวเนียนเรียบ ไม่มีการกระจุกตัวของวัสดุอยู่บริเวณจุดใดจุดหนึ่งของแผ่น ไม่มีการโก่งตัว บิดงอ หรือโป่งพองภายหลังการปรับสภาพ ผลการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของสัดส่วนที่ 1 2 และ 3 พบว่ามีค่าความหนาแน่นเฉลี่ยเป็น 845.73 863.23 และ 855.19 kg/m^3 ความชื้นเฉลี่ยมีค่าเป็น 3.10 3.12 และ 3.85% การดูดซึมน้ำเฉลี่ยมีค่าเป็น 4.92 5.68 และ 9.04% และการพองตัวตามความหนาเฉลี่ยมีค่าเป็น 9.15 9.45 และ 10.07% ตามลำดับ โดยผ่านเกณฑ์ตามมาตรฐานทุกสัดส่วน นอกจากนี้จากการวิเคราะห์สมบัติเชิงกลของสัดส่วนที่ 1 2 และ 3 พบว่า ความต้านแรงดัดเฉลี่ยมีค่าเป็น 30.03 31.48 และ 27.23 MPa โมดูลัสความยืดหยุ่นเฉลี่ยมีค่าเป็น 1,827.93 1,856.03 และ 1,711.17 MPa ตามลำดับ ซึ่งทุกสัดส่วนผ่านเกณฑ์ที่มาตรฐานกำหนด ยกเว้นสัดส่วนที่ 3 มีค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน

กิตติกรรมประกาศ

ขอบพระคุณศูนย์วิจัยและพัฒนาวัสดุทดแทนไม้เพื่อชุมชน จังหวัดขอนแก่น ที่ให้ความอนุเคราะห์ใช้เครื่องมือและเครื่องจักรเพื่อการผลิตแผ่นขึ้นไม้อัด และขอบพระคุณสาขาวิชาฟิสิกส์และฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม ที่ให้ความอนุเคราะห์ใช้เครื่องทดสอบสมบัติเชิงกล UTM. (Universal Testing Machine) จนสำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์ของการวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- [1] พัฒนะ ไสภณ, “การศึกษาการผลิตแผ่นขึ้นไม้อัดจากใบหญ้าสลาบลาง,” วิทยานิพนธ์สถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และผังเมือง มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, ประเทศไทย, 2550.
- [2] สิริชัย จีรวงศ์สุรณ, วิศิษฐ์ ลีลาผากุล และ นิชาภา มินาบูลย์, “การศึกษาแผ่นไม้อัดจากใบสนทะเลเพื่อเพิ่มมูลค่าจากขยะธรรมชาติ,” รายงานการวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์, ประเทศไทย, 2556.
- [3] ทศพร โพธิ์เนียม, “การผลิตแผ่นขึ้นไม้อัดจากต้นรูปถ่ายและการประยุกต์ใช้สำหรับงานประดิษฐ์,” วิทยานิพนธ์ศิลปกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีศิลปกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏธนบุรี, ประเทศไทย, 2559.

- [4] สมพงษ์ พิธิยานต์, ประยูร สุรินทร์ และ กิตติศักดิ์ บัวศรี, “การศึกษาแผ่นผลิตภัณฑ์จากเส้นใยหูกาคาอัดผสมน้ำยางธรรมชาติ,” ประชุมวิชาการระดับชาติ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ครั้งที่ 1, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ, นนทบุรี, 2559, หน้า 130-136.
- [5] ชนะชัย วงศ์นาค, นิตยา พัดเกาะ และ กิตติศักดิ์ บัวศรี, “การศึกษาสมบัติและทดลองการทำแผ่นขึ้นไม้อัดเรียงขึ้นจากฟางข้าวและเปลือกข้าวโพด,” รายงานการวิจัย สาขาวิศวกรรมศาสตร์และอุตสาหกรรมวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี วิทยาเขตนครราชสีมา, ประเทศไทย, 2552.
- [6] ศราวุธ จันทร์กลาง และ จูติ หมอรักษา, “การศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตปาร์ติเกิลบอร์ดจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร,” รายงานการวิจัย สาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม การเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก, ประเทศไทย, 2556.
- [7] ณัฏฐกรภรณ์ จรรย์เจริญ และ สาลินี อาจรรย์, “การผลิตแผ่นขึ้นไม้อัดจากเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร,” วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, ปีที่ 28, ฉบับที่ 2, 2561, หน้า 469-476.
- [8] อิศริย์ ฮาปินใจ, วิวัฒน์ หาญวงศ์จิวัฒน์ และ นิคม แผลมสีก, “แผ่นขึ้นไม้อัดจากเศษเหลือไม้กฤษณา,” วารสารวนศาสตร์, ปีที่ 29, ฉบับที่ 2, 2553, หน้า 73-82.
- [9] อาทิตยา กาญจนะ, “การศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้กากใบชาจากอุตสาหกรรมเครื่องดื่มทดแทนการใช้ขึ้นไม้สับในการผลิตแผ่นพาร์ติเกิล,” วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต คณะการจัดการเทคโนโลยี อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, ประเทศไทย, 2557.
- [10] นวรัตน์ เหลืองไตรรัตน์, จตุรงค์ เลาหะเพ็ญแสง และ ทรงวุฒิ เอกวุฒิงศา, “การศึกษาแนวทางการแปรรูปวัสดุเหลือใช้จากอุตสาหกรรมกระดาษ,” วารสารวิชาการศิลปสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร, ปีที่ 5, ฉบับที่ 1, 2557, หน้า 41-55.
- [11] ฤทธิชัย สังคมทิพย์ และ ประยูร สุรินทร์, “การขึ้นรูปแผ่นเส้นใยอัดความหนาแน่นปานกลางจากผักตบชวา โดยใช้เทคนิคการออกแบบการทดลอง,” การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม, ชลบุรี, 2554, หน้า 52-59.
- [12] พนุชศิ เียนใจ, ทรงกลด จารุสมบัติ และ ชีระ วิณิน, “การผลิตแผ่นขึ้นไม้อัดจากเศษเหลือทิ้งของไม้เสมีดขาว,” วารสารวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีล่องกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์, ปีที่ 11, ฉบับที่ 2, 2559, หน้า 131-140.
- [13] ทรงกลด จารุสมบัติ, วัลยุทธ เพื่องวิวัฒน์, ปิยะวดี บัวจงกล และ วรกิจ สุนทรบุระ, การพัฒนาอุตสาหกรรมแผ่นขึ้นไม้อัดเรียงเส้นจากไม้ผล [Online], Available: <http://www.thaiscience.info/Journals/Article/TJOF/10978165.pdf> [12 กุมภาพันธ์ 2561].
- [14] วรธรรม อุณจิตติชัย, วรวิทย์ พลทัสสะ, ธดาภรณ์ ชำนาญกิจ และ วริญญา โลมรัตน์, การใช้ประโยชน์ไม้ไผ่ที่ผ่านการปรับปรุงความร้อนเพื่อผลิตเป็นแผ่นปาร์ติเกิลบอร์ด [Online], Available: http://forprod.forest.go.th/forprod/Project_research58/ [12 กุมภาพันธ์ 2561].

- [15] มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมแผ่นขึ้นไม้อัดชนิดอัดราบ มอก.876-2547 [Online], Available: http://www.fio.co.th/p/tisi_fio/fulltext/TIS876-2547.pdf [20 พฤศจิกายน 2560].
- [16] X. Li, Z. Cai, J.E. Winandy and A.H. Basta, "Selected properties of particleboard panels manufactured from rice straws of different geometries," *Bioresource Technology Journal*, Vol. 101, No. 12, 2010, pp. 4662-4666.
- [17] B.T. Shawky, M.G. Mahmoud, E.A. Ghazy, M.M.S. Asker and G.S. Ibrahim, "Enzymatic hydrolysis of rice straw and corn stalks for monosugars production," *Journal of Genetic Engineering and Biotechnology*, Vol. 9, No. 1, 2011, pp. 59-63.
- [18] การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบที่ไม่ใช่ไม้สำหรับอุตสาหกรรมเยื่อและกระดาษ [Online], Available: <http://www.lib.ku.ac.th/KUCONF/KC3609011.pdf> [14 กุมภาพันธ์ 2562].
- [19] ชาตรี หอมเขียว, "สมบัติทางกล ทางกายภาพ และทางความร้อนของแผ่นใยไม้อัดที่ไม่มีตัวประสานจากผงเกล็ดและผงฟางข้าว," *วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม*, ปีที่ 13, ฉบับที่ 3, 2560, หน้า 85-100.
- [20] H. Hussin, M.M. Salleh, C.C. Siong, M.A. Naser, S. Abd-Aziz and A.F.M. AlJunid, "Optimization of biovanillin production of lemongrass leaves hydrolysates through phanerochaete chrysosporium," *Jurnal Teknologi*, Vol. 77, No. 31, 2015, pp. 55-61.
- [21] A. Ashori and S. Sheshmani, "Hybrid Composites Made from Recycled Materials: Moisture Absorption and Thickness Swelling Behavior," *Bioresource Technology Journal*, Vol. 101, No. 12, 2010, pp. 4717-4720.
- [22] ชาตรี หอมเขียว, "ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อพฤติกรรมการดูดซับน้ำของวัสดุเชิงประกอบพลาสติกและไม้," *วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม*, ปีที่ 11, ฉบับที่ 2, 2558, หน้า 94-111.
- [23] B. Kord, H. Zare and A. Hosseinzadeh, "Evaluation of the mechanical and physical properties of particleboard manufactured from canola (*Brassica napus*) straws," *Maderas. Ciencia y tecnología*, Vol. 18, No. 1, 2016, pp. 9-18.
- [24] บุญญรัตน์ พิมพ์ม, ปิยวรา แดงนา และ ปานใจ สือประเสริฐสิทธิ์, "การพัฒนานวนกันความร้อนจากฟางข้าว," *การประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยมหาสารคาม ครั้งที่ 13, มหาสารคาม*, 2560, หน้า 358-367.
- [25] L.D. Varanda et al., "Evaluation of modulus of elasticity in static bending of particleboards manufactured with *Eucalyptus grandis* wood and oat hulls," *Acta Scientiarum. Technology Journal*, Vol. 36, No. 3, 2014, pp. 405-411.