

การศึกษาการผลิตวัสดุทดแทนไม้จากเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร

STUDY ON THE MANUFACTURING WOOD SUBSTITUTED MATERIALS FROM AGRICULTURAL WASTE

ไตรรงค์ เปลียนแสง^{1*}, ปาริชาติ เตชะ^{2*}, ชุตินา ใจวิสาร¹, น้าฟน อินทัง¹
และ อรณิชา ศิริประโชติ¹

Trairong Phlansaeng^{1*}, Parichat Techa^{2*}, Chutima Jaiwisan¹, Namfon Inthang¹,
and Onnicha Siriprachot¹

¹โปรแกรมวิทยาศาสตรศึกษา คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร

²โปรแกรมวิชาการประถมศึกษา คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร

¹Program of General Science, Faculty of Education, Rajabhat Kamphaeng Phet University

²Program of Elementary Education, Faculty of Education, Rajabhat Kamphaeng Phet University

*corresponding author e-mail: kpru.pr@kpru.ac.th

(Received: 7 February 2021; Revised: 29 November 2021; Accepted: 30 November 2021)

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของปริมาณกาบแป้งเปียกและกาบอีพ็อกซีที่เหมาะสมต่อคุณสมบัติทางกายภาพและทางกลของแผ่นวัสดุทดแทนไม้โดยใช้เปลือกข้าวโพดและฟางข้าวอัดผสมกับกาบแป้งเปียกและกาบอีพ็อกซีในปริมาณ 125 กรัม 150 กรัม และ 175 กรัม ตามลำดับ จากนั้นขึ้นรูปด้วยเครื่องทดสอบคอนกรีต ทำการศึกษาลักษณะของแผ่นวัสดุทดแทนไม้วิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและสมบัติทางกล โดยเปรียบเทียบกับมาตรฐาน มอก.876-2547 ผลการวิจัยพบว่า ลักษณะสัญญาณของแผ่นวัสดุทดแทนไม้ที่ใช้กาบแป้งเปียกเป็นกาบประสานในอัตราส่วนต่างๆ มีพื้นผิวไม่ราบเรียบ ขรุขระ โค้งงอ และไม่เรียบตรง ซึ่งแตกต่างกับลักษณะสัญญาณของแผ่นวัสดุทดแทนไม้ที่ใช้กาบอีพ็อกซีเป็นกาบประสาน คือ มีพื้นผิวราบเรียบ ไม่โค้งงอ และเรียบตรง ผลการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและทางกลของแผ่นวัสดุทดแทนไม้ พบว่า แผ่นวัสดุทดแทนไม้ที่ใช้กาบแป้งเปียก มีค่าความชื้นผ่านเกณฑ์มาตรฐานทุกสัดส่วน แต่ความต้านทานแรงดัด โมดูลัสความยืดหยุ่น ความหนาแน่น การดูดซึมน้ำและการพองตัวตามความหนาไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน ส่วนแผ่นวัสดุทดแทนไม้ที่ใช้กาบอีพ็อกซีส่วนใหญ่ผ่านเกณฑ์ที่มาตรฐานกำหนด ยกเว้นแผ่นวัสดุทดแทนไม้ที่ใช้กาบอีพ็อกซีในปริมาณ 125 กรัม และทุกตัวอย่างมีค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นไม่ผ่านเกณฑ์ที่มาตรฐานกำหนด ดังนั้นจากผลการวิจัยจึงบ่งชี้ได้ว่า แผ่นวัสดุทดแทนไม้ที่ใช้เศษวัสดุ

เหลือใช้ทางการเกษตร (เปลือกข้าวโพด และฟางข้าว) กับกาวอีพ็อกซี่ในปริมาณ 150 กรัม และ 175 กรัม สามารถเป็นทางเลือกของวัสดุในการผลิตแผ่นขึ้นไม้อัดในเชิงอุตสาหกรรมได้

คำสำคัญ: เปลือกข้าวโพด ฟางข้าว กาวแป้งเปียก กาวอีพ็อกซี่ แผ่นวัสดุแทนไม้

Abstract

The aim of this research was to study the effect of a suitable amount of starch wet glue and epoxy on the physical and mechanical properties of the material sheet instead of wood by using corn husk and rice straw mixed with wet glue and epoxy in amount of 125 g 150 g and 175 g, respectively. Then the plywood was compressed by the concrete testing machine. The characteristics of the material sheet instead of wood was described. The physical properties and mechanical properties of the material sheet instead of wood was analyzed by comparing with the TIS standard 876–2547. The results show that the morphology of material sheet instead of wood used in starch wet glue as adhesive in different ratio was not smooth, rough, bent and not straight with different from the shape of the material sheet instead of wood that uses epoxy as a bonding adhesive. The surface is smooth, not rough, not bent, straight and strong. The physical and mechanical properties analysis of the material sheet instead of wood showed that the moisture content of material sheet instead of wood that uses starch wet glue as adhesive were within the acceptable levels as prescribed in the standard but the modulus of rupture, modulus of elasticity, density, water absorption and blistering according to the thickness were not pass the established standard in all proportions. As for the material sheet instead of wood that uses epoxy as adhesive, most of the samples were within the acceptable levels as prescribed in the standard, except for the material sheet instead of wood that uses epoxy in the amount of 125 g and the modulus of elasticity was not pass the established. Therefore, the results of this study found that the plywood production using agricultural waste (Corn husk and rice straw) with epoxy in the amount of 150 g and 175 g can be used as an alternative raw material source for the plywood industry.

Keywords: Corn husk, Rice straw, Starch wet glue, Epoxy, Material sheet instead of wood

บทนำ

ปัจจุบันป่าไม้ในประเทศไทยมีปริมาณลดน้อยลง เนื่องจากประชากรมีปริมาณเพิ่มขึ้น ทำให้ความต้องการในการใช้ไม้เพิ่มสูงขึ้น มีการตัดไม้ทำลายป่า รุกรานพื้นที่ป่าเพื่อประกอบอาชีพและที่อยู่อาศัย อีกทั้งทรัพยากรป่าไม้ที่มีอยู่อย่างจำกัด ทำให้ปริมาณการใช้ทรัพยากรป่าไม้ไม่เพียงพอต่อความต้องการของมนุษย์ ทรัพยากรธรรมชาติได้ถูกนำไปใช้ในด้านการพัฒนาเป็นจำนวนมาก แต่กลับก่อให้เกิดความเสื่อมโทรมลงอย่างต่อเนื่อง จึงได้ส่งผลกระทบต่อปัญหาต่างๆ ได้แก่ ระบบนิเวศของชายฝั่งทะเลถูกทำลาย รวมทั้งทรัพยากรน้ำที่ยังไม่สามารถจัดสรรให้ได้ตามความต้องการอย่างแท้จริง และทรัพยากรทางธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมยังเป็นปัญหาใหญ่ที่สำคัญ (พนุชศดี ทรงกลด และธีระ, 2559)

โดยประเทศไทยนั้นจัดเป็นประเทศเกษตรกรรมที่สำคัญแห่งหนึ่งของโลก ทำให้มีวัสดุเหลือใช้จากพืชผลทางการเกษตรและวัชพืชต่างๆ มากถึง 38 ล้านตันต่อปี โดย 3 ใน 4 ของจำนวนทั้งหมดนั้นมาจากภาคการเกษตร ซึ่งถือเป็นปัจจัยหนึ่งที่สำคัญได้ส่งผลกระทบต่อปัญหาทางด้านขยะและการทำลายสิ่งแวดล้อม (ณัชชกาภรณ์ และสาลิณี, 2561) วัสดุที่เหลือใช้ทางการเกษตรเป็นวัสดุที่เหลือจากการเก็บเกี่ยวผลผลิตของเกษตรกร ซึ่งจะถูกทิ้งไว้ในสวนไร่นา เช่น ฟางข้าว ต้นถั่ว เหง้ามันสำปะหลัง ต้นอ้อย ต้นข้าวโพด โดยวัสดุเหล่านี้ยังไม่มีการนำไปใช้ประโยชน์หรือใช้ประโยชน์ได้ไม่เต็มประสิทธิภาพ (จำนง, 2556) จึงเกิดแนวคิดที่จะทำวัสดุที่สามารถทดแทนไม้โดยใช้วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมาพัฒนาเป็นวัสดุแทนไม้ เพื่อให้เกิดประโยชน์ลดการทิ้งและการเผาทำลาย ซึ่งจะก่อให้เกิดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในชั้นบรรยากาศที่เป็นแก๊สเรือนกระจกส่งผลกระทบต่อสภาวะโลกร้อนตามมา กลายเป็นปัญหาสิ่งแวดล้อม (ณัชชกาภรณ์ และสาลิณี, 2561)

ข้าวโพดและฟางข้าวเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญอย่างหนึ่งของประเทศไทย แต่ส่วนที่ถูกนำมาใช้มีเพียงผลข้าวโพดและข้าวเท่านั้น ส่วนอื่นๆ จะเหลือเป็นวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมักถูกปล่อยให้แห้งแล้วเผาทำลาย ทำให้มีวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรเป็นจำนวนมาก ในขณะที่ความจำเป็นในการใช้ไม้เพื่อปลูกสิ่งก่อสร้างหรือทำกิจกรรมต่างๆ ในการดำเนินชีวิตยังคงมีอยู่จึงทำให้วัสดุแทนไม้เป็นอีกแนวทางหนึ่งที่จะตอบสนองความต้องการใช้ไม้ได้ในอนาคต แผ่นวัสดุแทนไม้ที่ได้สามารถนำมาใช้ในงานสถาปัตยกรรมภายในและงานเฟอร์นิเจอร์ต่างๆ การผลิตแผ่นวัสดุแทนไม้จากเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร เป็นการสร้างสรรค์ผลิตภัณฑ์นวัตกรรมใหม่และส่งผลกระทบต่อการใช้ประโยชน์ทางพาณิชย์ (ณัชชกาภรณ์ และสาลิณี, 2561)

คณะผู้วิจัยได้สังเกตเห็นปัญหาที่เกิดขึ้นจึงมีแนวคิดในการนำเศษเหลือใช้จากการเกษตรที่ต้องกำจัดทิ้งเหล่านี้ มาสร้างให้เกิดประโยชน์และคุ้มค่าทางด้านเศรษฐกิจและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเหมาะสมของการผลิตแผ่นขึ้นไม้อัดจากเปลือกข้าวโพดและฟางข้าว พร้อมทั้งวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและสมบัติเชิงกล โดยการนำ

เปลือกข้าวโพดและฟางข้าวมาผ่านกระบวนการบดและอัดขึ้นรูปเป็นแผ่น พร้อมทั้งพิจารณาสมบัติต่างๆ ทางด้านเทคนิควิศวกรรม เปรียบเทียบกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมของแผ่นขึ้นไม้อัดชนิดอัดราบ (มอก.876–2547) เพื่อให้ได้ซึ่งคุณภาพและสามารถนำไปใช้ได้จริง ช่วยลดปัญหาการตัดไม้ทำลายป่า และนำวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมาใช้ให้เกิดประโยชน์แทน การเผาทำลายที่ก่อให้เกิดมลพิษทางอากาศ ช่วยกำจัดเปลือกข้าวโพดและฟางข้าวในพื้นที่ อีกทั้งเพื่อก่อให้เกิดมูลค่าเพิ่มกับวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรได้อีกทางหนึ่งลดปัญหาการขาดแคลนไม้

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การเตรียมวัตถุดิบ

งานวิจัยนี้นำเปลือกข้าวโพดและฟางข้าวมาตัดด้วยเครื่องสับหญ้าสับย่อยออกประสงค์ เพื่อลดขนาดของวัตถุดิบให้ได้ขนาด 1–2 เซนติเมตร (cm) และนำไปตากจนแห้ง ให้มีความชื้นเฉลี่ย 4–10%

2. การเตรียมกาวประสาน

กาวที่ใช้ในงานวิจัยนี้ คือ กาวแบ่งเปียกและกาวอีพ็อกซี การเตรียมกาวแบ่งเปียก ใช้ปริมาณแบ่งมันสำปะหลัง 125 กรัม (g) 150 g และ 175 g ละลายในน้ำ 500 มิลลิลิตร (ml) คนให้เข้ากันแล้วกวนด้วยไฟอ่อนจนกาวแบ่งเปียกมีลักษณะสีขาวใส การเตรียมกาวอีพ็อกซี ใช้กาวอีพ็อกซี Resin (Part A) ผสมกับ Hardener (Part B) ในอัตราส่วน (Part A : Part B) ต่างกันได้แก่ Part A 90 g : Part B 35 g Part A 105 g : Part B 45 g และ Part A 120 g : Part B 55 g ตามลำดับ คนให้เข้ากันเป็นเวลา 5–10 นาที หลังจากนั้นใช้เวลาในการทำงาน 3–4 ชั่วโมง ก่อนที่กาวอีพ็อกซีจะแห้งและใช้งานไม่ได้

3. การขึ้นรูปแผ่นขึ้นไม้อัด

เตรียมเปลือกข้าวโพดและฟางข้าวอย่างละ 100 g ทั้งหมด 12 ตัวอย่าง ผสมกับกาวแบ่งเปียก 125 g 150 g และ 175 g และผสมกับกาวอีพ็อกซี 125 g 150 g และ 175 g ทำเป็นแผ่นในบล็อกขึ้นรูป อัดแผ่นวัสดุทดแทนไม้ด้วยเครื่องทดสอบคอนกรีตที่มีลักษณะการใช้แรงกดลงอย่างต่อเนื่อง ให้ความหนา 1 cm โดยแผ่นที่ใช้กาวแบ่งเปียกกดอัดเป็นเวลา 5–10 นาที ตาก 2–3 วัน เนื่องจากเมื่อนำไปตากแดดแล้วจะทำให้แผ่นวัสดุแทนไม้แห้งเร็ว กาวไม่เน่าเสีย แต่แผ่นที่ใช้กาวอีพ็อกซีต้องกดอัดเป็นเวลาอย่างน้อย 10 ชั่วโมง เนื่องจากกาวไม่เซตตัวแข็ง เมื่อได้แผ่นวัสดุแทนไม้นำไปตัดเป็นชิ้นทดสอบเพื่อนำไปทดสอบสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางกล

4. วิธีวิเคราะห์ข้อมูล

4.1 การศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของแผ่นวัสดุแทนไม้จากวัสดุเหลือใช้

ทางการเกษตร

การทดสอบความชื้นของแผ่นวัสดุแทนไม้ ทำได้โดยตัดชิ้นทดสอบให้ได้ขนาด 50X50 มิลลิเมตร (mm) จำนวน 6 ชิ้น แล้วนำไปซังเป็นน้ำหนักชิ้นทดสอบก่อนอบแห้ง ให้ได้มวลที่แน่นอน ถึง 0.01 g เข้าตู้อบความร้อนที่อุณหภูมิ 103±2 °C จนได้มวลคงที่ นำมาใส่ในเคซิเตเตอร์ปล่อยให้เย็น ซังชิ้นทดสอบเป็นน้ำหนักชิ้นทดสอบหลังอบแห้ง ดังสมการที่ 1

$$\text{ความชื้นของไม้ (\%)} = \frac{\text{น้ำหนักชิ้นทดสอบก่อนอบแห้ง} - \text{น้ำหนักชิ้นทดสอบหลังอบแห้ง} \times 100}{\text{น้ำหนักชิ้นทดสอบหลังอบแห้ง}} \quad (1)$$

การทดสอบความหนาแน่น ทำได้โดยตัดชิ้นทดสอบให้ได้ขนาด 50X50 mm จำนวน 6 ชิ้น ซังชิ้นทดสอบให้ได้มวลที่แน่นอนถึง 0.01 g ใช้เวอร์เนียสคาร์ลิปเปอร์วัดความหนาตรงจุดกึ่งกลางและวัดความกว้างความยาวของชิ้นทดสอบ โดยวางเครื่องมือให้ทำมุมกับแนวระนาบกับชิ้นทดสอบประมาณ 45 °C แล้วคำนวณค่าความหนาแน่นตามเกณฑ์มาตรฐาน มอก. 876–2547 (กระทรวงอุตสาหกรรม, 2547) ดังสมการที่ 2

$$\text{ความหนาแน่น} = \frac{m}{v} \times 10^6 \quad (2)$$

เมื่อ m คือ มวลของชิ้นทดสอบมีหน่วยเป็น kg

v คือ ปริมาตรของชิ้นทดสอบมีหน่วยเป็น m^3

การทดสอบค่าการดูดซึมน้ำ ทำได้โดยตัดให้มีขนาด 50X50 mm จำนวน 8 ชิ้น ซังมวลของชิ้นทดสอบเป็นมวลของชิ้นทดสอบก่อนแช่น้ำ แช่ชิ้นทดสอบในน้ำที่อุณหภูมิ 20±2 °C โดยตั้งชิ้นทดสอบให้ตั้งฉากกับระดับผิวน้ำให้ เมื่อแช่ชิ้นทดสอบครบ 1 ชั่วโมง รีบนำชิ้นทดสอบขึ้นมาซับน้ำที่ผิวออกให้หมดด้วยผ้าหมาด แล้วปล่อยให้อุณหภูมิห้อง 1 ชั่วโมง นำชิ้นทดสอบขึ้นมาซังเป็นมวลหลังแช่น้ำ แล้วคำนวณหาค่าการดูดซึมน้ำตามเกณฑ์มาตรฐาน มอก. 876–2547 (กระทรวงอุตสาหกรรม, 2547) ดังสมการที่ 3

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

เมื่อ m_1 คือ มวลของชิ้นทดสอบก่อนแช่น้ำมีหน่วยเป็น g

m_2 คือ มวลของชิ้นทดสอบหลังแช่น้ำมีหน่วยเป็น g

การทดสอบค่าการพองตัวของวัสดุตามความหนา ทำได้โดยตัดชิ้นทดสอบขนาด 50X50 mm จำนวน 8 ชิ้น วัดความหนาของชิ้นทดสอบเป็นความหนาก่อนแช่น้ำ หลังจากนั้นแช่ชิ้นทดสอบในน้ำสะอาดที่อุณหภูมิ 20±2 °C เมื่อแช่ชิ้นทดสอบครบ 1 ชั่วโมง แล้วรีบนำชิ้นทดสอบขึ้นมาชั่งน้ำหนักที่ผิวออกให้หมดด้วยผ้าหมาดแล้วปล่อยให้อุณหภูมิห้อง 1 ชั่วโมง นำชิ้นทดสอบขึ้นมาวัดความหนาตามตำแหน่งเดิมเป็นความหนาหลังแช่น้ำ แล้วหาค่าการพองตัวของวัสดุตามความหนาตามเกณฑ์มาตรฐาน มอก. 876-2547 (กระทรวงอุตสาหกรรม, 2547) ดังสมการที่ 4

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

เมื่อ t_1 คือ ความหนาของชิ้นทดสอบก่อนแช่น้ำมีหน่วยเป็น ml

t_2 คือ ความหนาของชิ้นทดสอบหลังแช่น้ำมีหน่วยเป็น ml

4.2 การศึกษาคุณสมบัติเชิงกลของแผ่นวัสดุแทนไม้จากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร

ทดสอบคุณสมบัติการแตกหัก ตัดชิ้นทดสอบขนาด 50X50 mm จำนวน 12 ชิ้น กำหนดจุดกึ่งกลางบนตัวอย่างที่จะใช้เป็นจุดให้แรงกด ทดสอบชิ้นตัวอย่างทดสอบด้วยเครื่อง Load Frame 10,000 L.B. โดยวางบน Rider ให้ระยะระหว่าง Rider ทั้งสองตัวห่างกัน 120 mm ทำการทดสอบแรงดัดโค้งโดยการกดด้วยความเร็วคงที่ 10 mm/min จนกระทั่งตัวอย่างเกิดการแตกหักอ่านค่า Breaking load และบันทึกผลการคำนวณค่าโมดูลัสการแตกกร้าว (Modulus of rupture; MOR) ตามเกณฑ์มาตรฐาน มอก. 876-2547 (กระทรวงอุตสาหกรรม, 2547) ดังสมการที่ 5

$$\text{MOR} = \frac{3 \times P \times L}{2 \times b \times d^2} \quad (5)$$

เมื่อ MOR คือ โมดูลัสการแตกกร้าว (Modulus of rupture; MOR)

P คือ Breaking load มีหน่วยเป็น N

L คือ ช่วงความยาวมีหน่วยเป็น mm

b คือ ความกว้างของชิ้นงานทดสอบมีหน่วยเป็น mm

d คือ ความสูงของชิ้นงานทดสอบมีหน่วยเป็น mm

การทดสอบคุณสมบัติการดัดโค้ง ตัดชิ้นทดสอบขนาด 50X50 mm จำนวน 12 ชิ้น กำหนดจุดกึ่งกลางบนตัวอย่างที่จะใช้เป็นจุดให้แรงกด ทดสอบชิ้นตัวอย่างทดสอบด้วยเครื่อง Load Frame 10,000 L.B. โดยวางบน Rider ให้ระยะระหว่าง Rider ทั้งสองตัวห่างกัน

120 mm ทำการทดสอบแรงดัดโค้งโดยการกดด้วยความเร็วคงที่ 10 mm/min จนกระทั่งตัวอย่างโค้งจนเกือบหักคำนวณหาโมดูลัสยืดหยุ่น (Modulus of elasticity; MOE) ตามเกณฑ์มาตรฐาน มอก. 876–2547 (กระทรวงอุตสาหกรรม, 2547) ดังสมการที่ 6

$$MOE = \frac{m \times L^3}{4 \times b \times d^3} \quad (6)$$

เมื่อ MOE คือ โมดูลัสยืดหยุ่น (Modulus of elasticity, MOE)

m คือ ความชันระหว่างค่าแรงที่เพิ่มขึ้นและค่าระยะแอนตัวที่เพิ่มขึ้น

L คือ ช่วงความยาว มีหน่วยเป็น mm

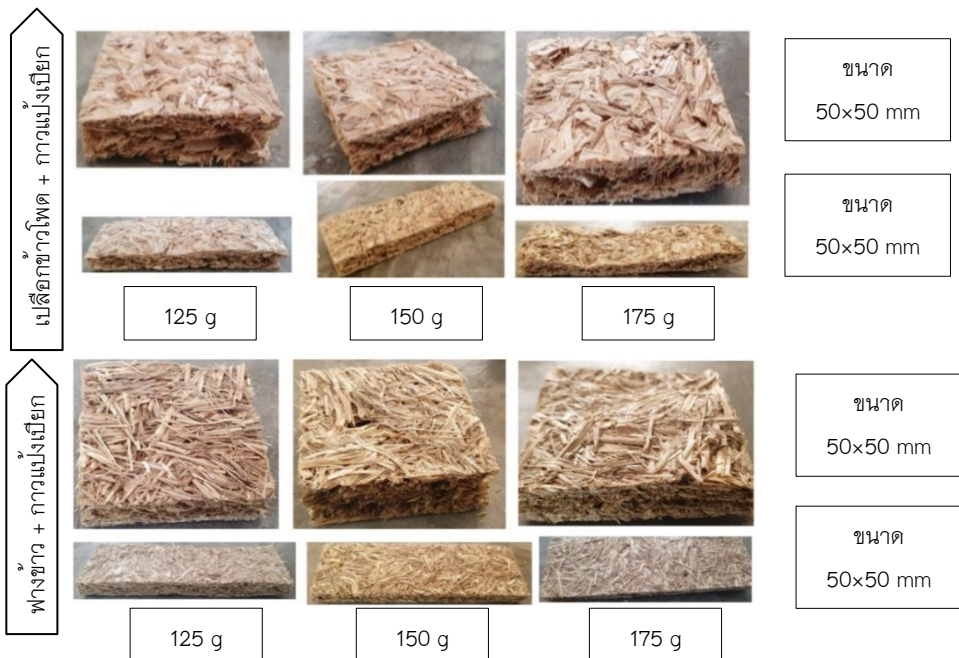
b คือ ความกว้างของชิ้นงานทดสอบมีหน่วยเป็น mm

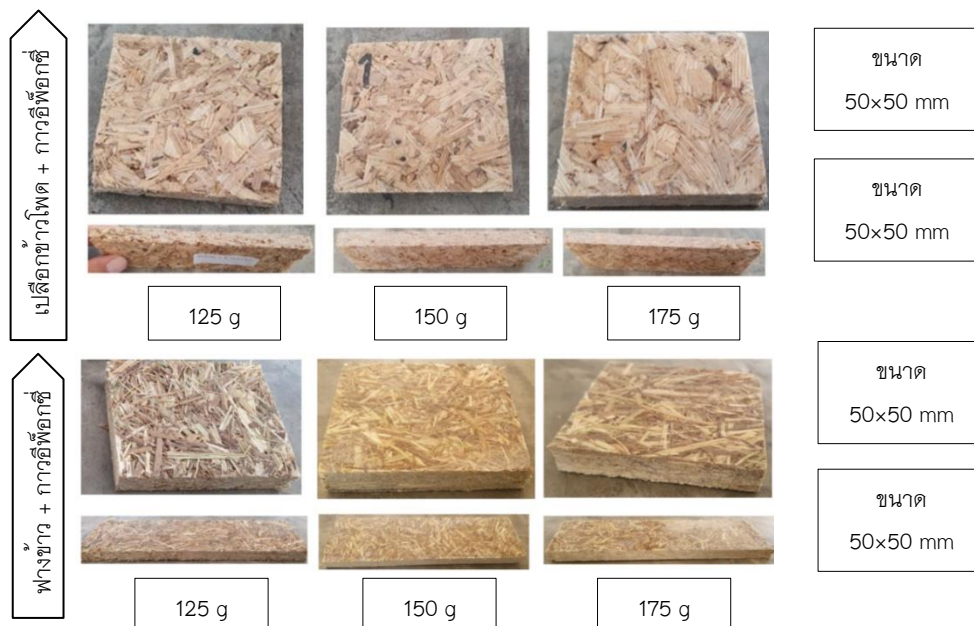
d คือ ความสูงของชิ้นงานทดสอบมีหน่วยเป็น mm

ผลการวิจัย

1. ลักษณะพื้นฐานของแผ่นวัสดุแทนไม้

การประสานที่ศึกษามีความแตกต่างกัน ทำให้วิธีการเตรียมกาวประสานนั้นแตกต่างกันออกไป มีลักษณะพื้นฐาน ดังภาพที่ 1





ภาพที่ 1 ลักษณะพื้นฐานของแผ่นวัสดุแทนไม้

จากภาพที่ 1 พบว่า การผลิตแผ่นวัสดุแทนไม้จากเปลือกข้าวโพดและฟางข้าวกับ กาวแป้งเปียก ลักษณะภายนอกมีพื้นผิวไม่ราบเรียบ ขรุขระ แผ่นวัสดุแทนไม้โค้งงอ ไม่เรียบตรง และแผ่นวัสดุแทนไม้ที่ทำจากเปลือกข้าวโพดจะมีลักษณะหยาบกว่าแผ่นวัสดุแทนไม้ที่ทำจากฟางข้าว การจัดเรียงตัวภายในของแผ่นวัสดุแทนไม้ที่ทำจากเปลือกข้าวโพดกับกาวแป้งเปียกในปริมาณ 125 g ทำให้มีลักษณะกลวงมากที่สุด ส่วนแผ่นวัสดุแทนไม้ที่ทำจากฟางข้าวกับกาวแป้งเปียก ในปริมาณ 150 g มีลักษณะกลวงมากที่สุด

การผลิตแผ่นวัสดุแทนไม้จากเปลือกข้าวโพดและฟางข้าวกับกาวอีพ็อกซี จะเห็นได้ ว่าลักษณะภายนอกของแผ่นวัสดุแทนไม้ มีพื้นผิวราบเรียบ แผ่นวัสดุแทนไม้ไม่โค้งงอ เรียบตรง การจัดเรียงตัวภายในของแผ่นวัสดุแทนไม้ที่ทำจากฟางข้าวเรียงชิดติดกันได้ดีกว่าแผ่นวัสดุ แทนไม้ที่ทำจากเปลือกข้าวโพด และการจัดเรียงตัวภายในของแผ่นวัสดุแทนไม้ที่ทำจากเปลือก ข้าวโพดและฟางข้าว จะมีลักษณะที่เรียงชิดติดกันมากขึ้น เมื่อเพิ่มปริมาณกาวอีพ็อกซี

แผ่นวัสดุแทนไม้ที่ใช้กาวอีพ็อกซีเป็นกาวประสานจะมีลักษณะภายนอกและ การจัดเรียงตัวภายในได้ดีกว่าแผ่นที่ทำมาจากกาวแป้งเปียก แสดงให้เห็นว่าหากเปรียบเทียบ กาวประสานที่ใช้ในการผลิตแผ่นวัสดุแทนไม้ กาวอีพ็อกซีนั้นดีกว่ากาวแป้งเปียกอย่างเห็นได้ชัด

2. การศึกษาคุณสมบัติของแผ่นวัสดุแทนไม้

2.1 การศึกษาคุณสมบัติเชิงกลแผ่นวัสดุแทนไม้

ผลการศึกษาสมบัติเชิงกลทดสอบเปรียบเทียบกับมอก. 876–2547

ตารางที่ 1 คุณสมบัติเชิงกลแผ่นวัสดุแทนไม้

ชนิดเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร	ชนิดกาวประสาน	ปริมาณ (g)	MOR (MPa)	MOE (MPa)
มอก.876-2547	-	-	≥14	≥1800
ฟางข้าว 100 g	กาวแป้งเปียก	125	1.9	21.8
		150	0.9	7.9
		175	2.2	24.4
	กาวอีพ็อกซี	125	10.6	198.2
		150	22.5	484.1
		175	18.7	400.9
เปลือกข้าวโพด 100 g	กาวแป้งเปียก	125	1.1	1.8
		150	0.8	6.0
		175	1.6	44.8
	กาวอีพ็อกซี	125	9.2	101.1
		150	16.8	228.0
		175	14.8	325.8

ผลการศึกษาโมดูลัสของการแตกหัก (MOR) จากตารางที่ 1 พบว่าแผ่นขึ้นวัสดุแทนไม้ที่ทำจากฟางข้าวกับกาวแป้งเปียก และเปลือกข้าวโพดกับกาวแป้งเปียก ในปริมาณ 150 g มีค่าความต้านทานแรงดัดที่แปรผกผันกับปริมาณกาวประสาน ซึ่งเป็นค่าที่น้อยที่สุดจากทั้ง 3 ตัวอย่าง คือ 0.9 MPa และ 0.8 MPa ตามลำดับ แต่ในแผ่นที่ทำจากฟางข้าวกับกาวอีพ็อกซี และเปลือกข้าวโพดกับกาวอีพ็อกซี ในปริมาณ 150 g กลับแปรผกผันให้ค่าที่สูงที่สุดจากทั้ง 3 ตัวอย่าง คือ 22.5 MPa และ 16.8 MPa เมื่อเปรียบเทียบเศษวัสดุทั้งสองชนิดจะเห็นได้ว่าแผ่นขึ้นวัสดุแทนไม้ที่ทำจากฟางข้าวดีกว่าแผ่นที่ทำจากเปลือกข้าวโพด และแผ่นวัสดุแทนไม้จากกาวอีพ็อกซีดีกว่าแผ่นที่ทำจากกาวแป้งเปียก แผ่นขึ้นวัสดุแทนไม้ที่ผ่านตามเกณฑ์มาตรฐาน มอก. 876–2547 มี 4 ตัวอย่าง คือ แผ่นขึ้นวัสดุแทนไม้ที่ทำจากเศษวัสดุแทนไม้กับกาวอีพ็อกซีในปริมาณ 150 g และ 175 g ที่มีค่าความต้านทานแรงดัดมากกว่า 14 MPa

ผลการศึกษาโมดูลัสยืดหยุ่น (MOE) จากตารางที่ 1 พบว่าแผ่นขึ้นวัสดุแทนไม้ที่ทำจากฟางข้าวกับกาวแป้งเปียก ในปริมาณ 150 g มีค่าความยืดหยุ่นที่แปรผกผันกับปริมาณกาวประสาน ซึ่งเป็นค่าที่น้อยที่สุด คือ 7.9 MPa แต่ในแผ่นที่ทำจากฟางข้าวกับกาวอีพ็อกซีในปริมาณ 150 g กลับแปรผกผันให้ค่าที่สูงที่สุด คือ 484.1 MPa ซึ่งเป็นแผ่นที่ให้ค่าที่ดีที่สุดจากทั้ง

12 ตัวอย่าง แผ่นขึ้นวัสดุแทนไม้ที่ทำจากเปลือกข้าวโพดกับกาวประสานทั้ง 2 ชนิด ให้ค่าที่แปรผันตรงตามปริมาณกาวประสาน แผ่นที่ดีที่สุดที่ทำจากเปลือกข้าวโพด คือ เปลือกข้าวโพดกับกาวอีพ็อกซี ในปริมาณ 175 g แผ่นขึ้นวัสดุแทนไม้ทั้ง 12 ตัวอย่าง ไม่ผ่านมาตรฐาน เนื่องจากมีค่าโมดูลัสยืดหยุ่น ต่ำไม่ต่ำกว่า 1800 MPa แผ่นขึ้นวัสดุแทนไม้ที่ดีที่สุด คือ แผ่นขึ้นวัสดุแทนไม้ที่ทำจากฟางข้าวกับกาวอีพ็อกซีในปริมาณ 150 g

2.2 การศึกษาคุณสมบัติเชิงกายภาพแผ่นวัสดุแทนไม้

ผลการศึกษาคูณสมบัติเชิงกายภาพแผ่นวัสดุแทนไม้ ได้แก่ ความชื้น ความหนาแน่น การดูดซึมน้ำ การพองตัวตามความหนาเปรียบเทียบกับ มอก. 876–2547 ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 คุณสมบัติเชิงกายภาพแผ่นวัสดุแทนไม้

ชนิดเศษวัสดุ เหลือใช้ ทางการเกษตร	ชนิด กาวประสาน	ปริมาณ g	ความชื้น %	ความหนาแน่น kg/m ³	การดูด ซึมน้ำ %	การพองตัวตาม ความหนา%	
มอก. 876–2547	-	-	3–14	400–900	≤12	≤12	
		125	5.97	209	349.84	x	
	กาวแป้งเปียก	150	6.68	267	280.50	x	
	ฟางข้าว 100 g		175	5.80	338	259.31	36.26
			125	4.41	603	10.55	1.98
		กาวอีพ็อกซี	150	3.57	619	3.63	2.4
เปลือกข้าวโพด 100 g		175	2.58	790	2.22	0.97	
		125	5.67	208	226.06	x	
	กาวแป้งเปียก	150	5.85	220	254.05	x	
		175	6.32	264	256.24	35.9	
		125	4.93	490	19.89	1.96	
	กาวอีพ็อกซี	150	3.88	708	7.53	4.32	
		175	2.81	770	3.70	0.93	

หมายเหตุ X หมายถึง ค่าที่ทำไม่ได้ เนื่องจากวัสดุแทนไม้ที่อัดไม้ไม่มีความเป็นแผ่นสมบูรณ์

ผลการทดสอบค่าความชื้นของแผ่นขึ้นวัสดุแทนไม้ทั้ง 12 ตัวอย่าง จากตารางที่ 2 พบว่า แผ่นขึ้นวัสดุแทนไม้ที่ทำจากกาวแป้งเปียก มีค่าความชื้นอยู่ในช่วง 5–7% และแผ่นขึ้นวัสดุแทนไม้ที่ทำจากกาวอีพ็อกซี มีค่าความชื้นอยู่ในช่วง 2–6% ซึ่งมีค่าน้อยกว่าแผ่นขึ้นวัสดุแทนไม้ที่ทำจากกาวแป้งเปียกเป็นกาวประสาน ค่าความชื้นของแผ่นขึ้นวัสดุแทนไม้ทั้ง 12 ตัวอย่าง ผ่านตามเกณฑ์มาตรฐาน มอก.876–2547 ที่กำหนดให้มีความชื้นเฉลี่ยต้องอยู่ในช่วง 3% ถึง 14%

ผลการทดสอบค่าความหนาแน่นทั้ง 12 ตัวอย่าง จากตารางที่ 2 พบว่าแผ่นขึ้นวัสดุแทนไม้ที่ทำจากกาวแป้งเปียก และแผ่นที่ทำจากกาวอีพ็อกซี มีค่าความหนาแน่นอยู่ในช่วง

200–340 kg/m³ และ 490–790 kg/m³ ตามลำดับ แผ่นที่ทำจากกาวยีพ็อกซีทั้งหมดมีค่าผ่านตามเกณฑ์มาตรฐาน มอก.876–2547 เนื่องจากมีค่าความหนาแน่นเฉลี่ยต้องอยู่ในช่วง 400–900 kg/m³

การทดสอบค่าการดูดซึมน้ำ จากตารางที่ 2 พบว่าแผ่นชั้นวัสดุแทนไม้ที่ทำจากกาวยีพ็อกซีและกาวยีพ็อกซีเป็นกาวยีพ็อกซีเป็นกาวยีพ็อกซี มีค่าการดูดซึมน้ำอยู่ในช่วง 226.06–349.84% และ 2.22–19.89% ตามลำดับ และแผ่นที่ทำจากกาวยีพ็อกซีในปริมาณ 125 g มีความสามารถในการดูดซึมน้ำที่ค่อนข้างสูง แสดงให้เห็นว่าหากต้องการใช้กาวยีพ็อกซีเป็นกาวยีพ็อกซี ควรใช้ในปริมาณมากกว่า 125 g ขึ้นไป ดังนั้นแผ่นชั้นวัสดุแทนไม้ที่มีค่าผ่านตามเกณฑ์มาตรฐาน มอก. 876–2547 มี 5 ตัวอย่าง คือ แผ่นชั้นวัสดุแทนไม้ที่ทำจากกาวยีพ็อกซียกเว้น แผ่นที่ทำมาจากเปลือกข้าวโพดกับกาวยีพ็อกซีในปริมาณ 125 g เนื่องจากมีค่าการทดสอบค่าการดูดซึมน้ำเฉลี่ยไม่เกิน 12%

การทดสอบค่าการพองตัวตามความหนา จากตารางที่ 2 พบว่าแผ่นชั้นวัสดุแทนไม้ที่ทำจากกาวยีพ็อกซีในปริมาณ 125 และ 150 g ไม่สามารถหาค่าการพองตัวตามความหนาได้ เนื่องจากแผ่นชั้นวัสดุแทนไม้พองตัวละลายจนไม่เป็นแผ่น แต่แผ่นที่ทำจากกาวยีพ็อกซีในปริมาณ 175 g มีค่าการพองตัวตามความหนาอยู่ในช่วง 35.9–36.26% และแผ่นที่ทำจากกาวยีพ็อกซีมีค่าการพองตัวตามความหนาอยู่ในช่วง 0.93–4.32% ซึ่งเป็นค่าผ่านตามเกณฑ์มาตรฐาน มอก. 876–2547 ทั้ง 6 ตัวอย่าง เนื่องจากมีค่าการพองตัวตามความหนาเฉลี่ยไม่เกิน 12%

อภิปรายผล

ผลการทดสอบสมบัติเชิงกลด้วยการทดสอบโมดูลัสการแตกร้าว (MOR) และโมดูลัสยืดหยุ่น (MOE) พบว่าการเพิ่มปริมาณกาวยีพ็อกซีส่งผลให้ค่าโมดูลัสการแตกร้าว (MOR) และโมดูลัสยืดหยุ่น (MOE) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เนื่องจากความหนาแน่นของแผ่นวัสดุแทนไม้เพิ่มสูงขึ้น นอกจากนี้ความหนาแน่นของแผ่นไม้ยังขึ้นอยู่กับความหนาของเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร จะเห็นได้จากฟางข้าวมีลักษณะบางและยาว ทำให้มีสัดส่วนความเปียวสูง (สัดส่วนความเปียว คือ ความยาว/ความหนา การมีสัดส่วนความเปียวมากจะส่งผลให้แผ่นวัสดุแทนไม้รับแรงได้ดีและมีความยืดหยุ่น) การเรียงซ้อนกันระหว่างชั้นไม้ไม่ดี แผ่นวัสดุแทนไม้จึงมีช่องว่างน้อยลง ส่งผลให้ความสามารถการกระจายความเค้นที่เกิดจากแรงดันและสม่าเสมอตลอดทั่วทั้งแผ่น แต่เปลือกข้าวโพดที่มีลักษณะหนากว่าฟางข้าว เมื่อนำไปอัดเป็นแผ่นวัสดุแทนไม้ ทำให้แผ่นวัสดุแทนไม้มีช่องว่างมาก ไม่สามารถกระจายความเค้น (Street) ที่เกิดจากแรงดัดได้สม่าเสมอความสามารถในการต้านการโก่งหรือความแข็งตึงน้อยส่งผลให้มีโมดูลัสยืดหยุ่น (MOE) น้อยลง (อาทิตยา, 2557) สอดคล้องกับงานวิจัยของ พรชัย กนกศักดิ์ และดำรง (ม.ป.ป.) พบว่า จากการเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์กาวยีพ็อกซีที่แตกต่างกัน ยิ่งเปอร์เซ็นต์กาวยีพ็อกซีที่เพิ่มมากขึ้นค่าสัมประสิทธิ์ของการแตกหัก

มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามไปด้วย และเป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้ค่าความแข็งแรงเพิ่มสูงขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของ ลิริชัย และคณะ (2556) พบว่าความหนาแน่นของแผ่นและปริมาณกาวที่เพิ่มขึ้น มีผลทำให้ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของแผ่นไม้อัดจากใบสนทะเลเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของ พนุชคดี ทรงกลด และธีระ (2559) พบว่าการเพิ่มปริมาณกาวไอโซไซยานเนต และกาวยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์ ส่งผลให้แผ่นขึ้นไม้อัดจากเศษเหลือทิ้งของไม้เสม็ดขาว มีค่าค่าโมดูลัสแตกหักและค่าโมดูลัสยืดหยุ่นเพิ่มสูงขึ้น

ผลการผลิตแผ่นวัสดุแทนไม้ที่ทำจากกาวแป้งเปียกมีความชื้นเฉลี่ย (5–6%) สูงกว่าแผ่นขึ้นวัสดุแทนไม้ที่ทำจากกาวอีพ็อกซี (2–4%) สอดคล้องกับงานวิจัยของ วรณวิภา และคณะ (2561) พบว่า แผ่นรองแก้วที่ขึ้นรูปด้วยกาวแป้งเปียก จะมีค่าเฉลี่ยความชื้นสูงกว่าแผ่นรองแก้วที่ขึ้นรูปด้วยกาวลาเท็กซ์ เนื่องจากกาวแป้งเปียกมีน้ำเป็นส่วนผสมจึงทำให้แผ่นรองแก้วมีความชื้นสูงตามไปด้วย หากพิจารณาสมบัติการดูดซึมน้ำและการพองตัวตามความหนาจะพบว่า แผ่นวัสดุแทนไม้ที่ทำจากกาวแป้งเปียกมีค่าการดูดซึมน้ำและการพองตัวตามความหนาสูงกว่าแผ่นขึ้นวัสดุแทนไม้ที่ทำจากกาวอีพ็อกซี เนื่องจากแผ่นวัสดุแทนไม้ถูกผลิตจากวัสดุธรรมชาติที่มีเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบหลัก เป็นสารที่ชอบดูดซับน้ำ เมื่อนำแผ่นวัสดุแทนไม้ไปแช่ในน้ำจะมีค่าการดูดซับน้ำและการพองตัวตามความหนาที่สูง (ชาตรี และคณะ, 2557) ทั้งเมื่อนำเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรผสมกับกาวประสาน กาวแป้งเปียกมีสมบัติการละลายน้ำ แต่กาวอีพ็อกซีมีคุณสมบัติเป็นตัวเชื่อมประสานที่ไม่ละลายน้ำ ส่งผลสามารถลดการดูดซึมน้ำและค่าการพองตัวตามความหนาได้ สอดคล้องกับงานวิจัยของ วรณวิภา และคณะ (2561) พบว่า แผ่นรองแก้วที่มีกาวแป้งเปียกเป็นวัสดุประสานจะมีค่าการดูดซึมน้ำและการพองตัวตามความหนาสูงกว่าแผ่นรองแก้วที่มีกาวลาเท็กซ์เป็นวัสดุประสาน เนื่องจากกาวลาเท็กซ์ผลิตจากพอลิเมอร์ Epoxy จะมีคุณสมบัติเป็นตัวเชื่อมประสาน ทนน้ำ ทนสารเคมี และเป็นฉนวน

จากการสืบค้นผลงานทางวิชาการพบว่ายังมีการคิดค้นและพัฒนาอย่างต่อเนื่องเพื่อสรรหาวัตถุดิบชนิดอื่นๆ ที่สามารถนำไปเป็นวัสดุในการผลิตแผ่นวัสดุแทนไม้ อาทิ การผลิตแผ่นขึ้นไม้อัดจากใบตะไคร้และฟางข้าวที่ได้มีแนวคิดที่จะนำเศษเหลือจากเศรษฐกิจที่ต้องกำจัดทิ้งมาสร้างประโยชน์และคุณค่าทางเศรษฐกิจและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม (จารุณี, 2562) เช่นเดียวกับงานวิจัยของ อาหมาด และคณะ (2557) ที่มีวัตถุประสงค์ นำต้นปาล์มน้ำมันมีอายุ 25 ปี ที่ต้องถูกตัดทิ้ง ได้ทำวิจัยเพื่อที่จะนำไปผ่านการย่อยและการนำไปขึ้นรูปเป็นไม้อัดเพื่อสร้างมูลค่าเพิ่ม และสามารถใช้งานแทนไม้จริงจากธรรมชาติที่เติบโตไม่ทันต่อความต้องการ ดังนั้นแผ่นวัสดุแทนไม้ที่ได้จึงสามารถนำมาใช้ในงานสถาปัตยกรรมภายในและงานเฟอร์นิเจอร์ต่างๆ การผลิตแผ่นวัสดุแทนไม้จากเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร เป็นการสร้างสรรค์ผลิตภัณฑ์นวัตกรรมใหม่และส่งผลต่อการใช้ประโยชน์ทางพาณิชย์ (ณัชชกาภรณ์ และสาสินี, 2561)

สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้สามารถผลิตวัสดุทดแทนไม้จากเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรได้ โดยทำการศึกษาความเหมาะสมของการผลิตแผ่นขึ้นไม้อัดจากเปลือกข้าวโพดและฟางข้าว พร้อมทั้งวิเคราะห์สมบัติ พบว่า ลักษณะพื้นฐานของแผ่นวัสดุทดแทนไม้ที่ใช้กาบแป้งเปียกมีคุณภาพต่ำกว่าแผ่นวัสดุทดแทนไม้ที่มีกาบอีพ็อกซีอย่างเห็นได้ชัด การศึกษาคุณสมบัติเชิงกลโดยการตรวจสอบวัดค่าโมดูลัสของการแตกหัก (MOR) และโมดูลัสยืดหยุ่น (MOE) พบว่าเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐาน มอก.876-2547 มีเพียง 4 ตัวอย่าง ที่ผ่านมาตรฐานค่าโมดูลัสของการแตกหัก (MOR) แต่ไม่ผ่านค่าโมดูลัสยืดหยุ่น (MOE) ทั้ง 12 ตัวอย่าง ส่วนการทดสอบคุณสมบัติเชิงกายภาพ พบว่าผ่านมาตรฐาน มอก.876-2547 มีเพียง 5 ตัวอย่าง คือ แผ่นวัสดุทดแทนไม้ที่ทำมาจากกาบอีพ็อกซีเป็นกาบประสาน ยกเว้นแผ่นวัสดุทดแทนไม้ที่ทำมาจากกาบอีพ็อกซีในปริมาณ 125 g ที่มีค่าการดูดซึมน้ำ 19.89% ซึ่งเป็นค่าที่สูงกว่าเกณฑ์ แสดงให้เห็นว่าเมื่อเปรียบเทียบความเหมาะสมของวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรในการทำวัสดุทดแทนไม้นั้น การทำวัสดุทดแทนไม้จากฟางข้าวมีความเหมาะสมมากกว่าเปลือกข้าวโพด แต่หากเปรียบเทียบความเหมาะสมของกาบประสาน จะพบว่าการทำวัสดุทดแทนไม้จากกาบอีพ็อกซีมีความเหมาะสมมากกว่ากาบแป้งเปียก

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยการศึกษาการผลิตวัสดุทดแทนไม้จากเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร สำเร็จ ลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากผู้วิจัยได้รับความช่วยเหลือจากอาจารย์และเจ้าหน้าที่ประจำโปรแกรม วิชาวิทยาศาสตร์ทั่วไป และโปรแกรมวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมโยธาทุกท่านที่ให้คำแนะนำและ ใช้อุปกรณ์มืออุปกรณ์ และห้องปฏิบัติการเพื่อการผลิตแผ่นขึ้นไม้อัด และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ไตรรงค์ เปลี่ยนแสง ที่ให้คำปรึกษาและข้อเสนอแนะในการทำวิจัย ขอขอบคุณโปรแกรมวิชา วิทยาศาสตร์ทั่วไป คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร และทุกท่านที่ให้คำแนะนำ จนสำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์ของการวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- จารุณี เข้มพิลา, ชญานิศ นามโพ, และอลิษา แก้วใส. (2562). การผลิตแผ่นขึ้นไม้อัดจากใบตะไคร้และฟาง. *วารสารวิชาการปทุม*, 9(24), 1-15.
- จำนง คำมูล. (2556). *วัสดุที่เหลือใช้ทางการเกษตร*. สืบค้นเมื่อวันที่ 19 กันยายน 2662, จาก <https://bit.ly/2kUz6y7>.
- ชาติรี หอมเขียว, วรพงศ์ บุญช่วยแทน, และวรรณพร ชิววุฒิพงศ์. (2557). ผลกระทบของปริมาณเส้นใยผลตาดินด และแป้งมันสำปะหลังต่อสมบัติของแผ่นใยไม้อัดปลอดสารพิษ. *วารสารวิศวกรรมลาดกระบัง*, 33(3), 41-55.
- ณัชชกรณณ์ จรรย์จารุพัฒน์, และสาลินี อาจารย์. (2561). การผลิตแผ่นขึ้นไม้อัดจากเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร. *วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ*, 28(2), 469-476.

- พณูชติ เย็นใจ, ทรงกลด จารุสมบัติ, และธีระ วีณิน. (2559). การผลิตแผ่นขึ้นไม้อัดจากเศษเหลือทิ้งของไม้เล็ม็ดขาว. **วารสารวิจัยและพัฒนา วไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์**, 11(2), 131–140.
- พรชัย ราชตะนะพนธ์, กนกศักดิ์ ลอยเลิศ, และดำรง ใจเขื่อนแก้ว. (ม.ป.ป.). **ผลของปริมาณของกาวแป้งผสมและขนาดผงจากเปลือกมะขามต่อคุณสมบัติของแผ่นขึ้นไม้อัด**. สืบค้นเมื่อวันที่ 28 เมษายน พ.ศ. 2564, จาก <https://bit.ly/3xqnzXT>.
- นวรรตน์ เหลืองไตรรัตน์, จตุรงค์ เลาะห์เพ็ญแสง, และทรงวุฒิ เอกวุฒิมวงศา. (2557). การศึกษาแนวทางการแปรรูปวัสดุเหลือใช้จากอุตสาหกรรมกระดาษ. **วารสารวิชาการ ศิลปสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร**, 5(1), 41–55.
- มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.876–2547. (2547). **แผ่นไม้อัดชนิดอัดเรียบ**. สืบค้นเมื่อวันที่ 29 เมษายน 2564, จาก <https://bit.ly/3gRjQRY>.
- วรธรรม อุ๋นจิตติชัย. (2555). **วัสดุทดแทนไม้**. กรุงเทพฯ: กลุ่มงานพัฒนาอุตสาหกรรมไม้ สำนักวิจัยและพัฒนาการป่าไม้ กรมป่าไม้.
- วรรณวิภา ไชยชาญ, เตือนใจ ปิยัง, และวีระศักดิ์ ไชยชาญ. (2561). **การผลิตแผ่นรองแก้วจากก้อนเชื้อเห็ดใช้**. สืบค้นเมื่อวันที่ 28 เมษายน 2564, จาก <https://bit.ly/3aR4cxr>.
- สิริชัย จิรวงศ์นุสรณ์, วิศิษฐ์ สีลาผาดิกุล, และณิชาภา มินาบูลย์. (2556). **การผลิตไม้อัดจากใบสนทะเลเพื่อเพิ่มมูลค่าจากขยะธรรมชาติ**. สืบค้นเมื่อวันที่ 19 พฤษภาคม พ.ศ. 2564, จาก <https://bit.ly/2QtKNLQ>.
- อาทิตยา กาญจนะ. (2557). **การศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้กากใบชาจากอุตสาหกรรมเครื่องดื่มทดแทนการใช้ชิ้นไม้สับในการผลิตแผ่นปาร์ติเกิล**. สืบค้นเมื่อวันที่ 19 พฤษภาคม 2564, จาก <https://bit.ly/3hANPJK>.
- อาหมาด ปานหลี่, รอยพิมพ์ใจ เพชรกุล, และวรัญญา ศรีเดช. (2557). การผลิตไม้อัดจากต้นปาล์มน้ำมันและการทดสอบสมบัติเชิงกล. **WICHA JOURNAL**, 33(2), 11–18.