

แผ่นฉนวนความร้อนจากแกลบและซีลี้อยู่โดยใช้น้ำยางพาราเป็นตัวประสาน  
THERMAL INSULATION BOARD FROM RICE HUSK AND SAWDUST USING  
NATURAL RUBBER LATEX AS BINDER

สิงหนเดช แดงจวง\* , เซาวฤทธิ์ วันเสาร์, นพดล บุญยรัตพันธุ์,  
วิศิษฐ์ มหานิล และ กนกวรรณ มารักษ์

Singhadej Tangjuank\*, Chaowarit Wansao, Noppadol Bunyarattaphan,  
Wisit Mahanil and Kanokwan Marak

สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี

Department of Physics, Faculty of Science and Technology, Uttaradit Rajabhat University

Received: 13 March 2023

Revised: 21 June 2023

Accepted: 5 July 2023

### บทคัดย่อ

เนื่องจากปัญหาโลกร้อน วัสดุฉนวนความร้อนส่วนใหญ่จะถูกใช้ในตึกอาคารสำหรับการเพิ่มประสิทธิภาพทางด้านพลังงาน และการอนุรักษ์พลังงาน อย่างไรก็ตามการผลิตฉนวนความร้อนส่วนมากจะทำจากใยสังเคราะห์ และกาวสังเคราะห์เชื่อมประสานที่ใช้พอร์มัลดีไฮด์เป็นสารพื้นฐานซึ่งจะส่งผลกระทบต่อสุขภาพ และสิ่งแวดล้อม เพื่อที่แก้ปัญหาเหล่านี้ งานวิจัยนี้ได้ใช้วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรโดยใช้แกลบ และซีลี้อยู่ ผลิตเป็นแผ่นฉนวนความร้อน และใช้ตัวเชื่อมประสานทำจากน้ำยางธรรมชาติ สำหรับการผลิตแผ่นฉนวนความร้อนแกลบ : ซีลี้อยู่ ในอัตราส่วน 1:0, 0:1, 1:1, 1:2, และ 2:1 แต่ละอัตราส่วนนำมาผสมกับน้ำยางธรรมชาติ 125%, 100% และ 75% แผ่นบอร์ดจะถูกเตรียมแบบอัดร้อนในเครื่องอัดไฮโดรลิกที่อุณหภูมิ 120 °C เป็นเวลา 15 นาที แผ่นบอร์ดที่เตรียมได้นำไปทดสอบหาค่า ความหนาแน่น และค่าการซึมน้ำ (WA) โดยการทดสอบจะเป็นไปตามมาตรฐาน Japanese Industrial Standard (JIS A5905) การทดสอบสมบัติเชิงกลเพื่อหาความแข็งแรงของบอร์ดทดสอบหาค่ามอดูลัสความยืดหยุ่น และการต้านแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า ผลจากการทดสอบได้ ค่าความ

\* Corresponding author: สิงหนเดช แดงจวง

E-mail: newton2509@yahoo.com

หนาแน่นของบอร์ดอยู่ในช่วง 672.86 ถึง 889.31  $\text{kg/m}^3$  ค่า WA อยู่ในช่วง 11.913 ถึง 53.335% หลังจากจุ่มน้ำเป็นเวลา 2 และ 24 ชั่วโมง นอกจากนี้ค่าการนำความร้อนของบอร์ดลดน้อยลงจากงานวิจัยนี้ยังมีค่าที่ต่ำมากเป็นอย่างดี ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 0.096 ถึง 0.105  $\text{W/m.K}$  ดังนั้นบอร์ดลดน้อยลงจากงานวิจัยนี้จึงมีความเหมาะสมในเรื่องของการประหยัดพลังงานเมื่อนำไปใช้เป็นฉนวนความร้อนสำหรับผนังและเพดาน อีกทั้งการนำวัสดุเหลือใช้มาใช้ประโยชน์และเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมด้วย

**คำสำคัญ:** ฉนวนความร้อน, น้ำยางธรรมชาติ, แกลบ, ขี้เลื่อย

### Abstract

Due to global warming problem, thermal insulation materials are used as one of the most energy efficiency improvement in building and means of energy conservation in building. However, their production involves the use of synthetic fabrics and production of formaldehyde-based adhesives, with the consequent impact on the environment and health. To confront these major problems, this research uses rice husk and sawdust, an agricultural waste, as raw material for the production of thermal insulation boards bonded with natural rubber latex. For the production of the boards, rice husk : sawdust ratios of 1:0, 0:1, 1:1, 1:2, and 2:1 were mixed with 125%, 100% and 75% natural rubber. The boards were produced by hot press method at temperature of 120 °C for 15 minutes in hydraulic press machine. Density and water absorption (WA), were evaluated based on Japanese Industrial Standard (JIS A5905). Mechanical properties ie., modulus of elasticity and Internal bonding were tested for strength of boards. The results showed that the density ranged from 672.86 to 889.31  $\text{kg/m}^3$ , WA ranged from 11.913 to 53.335% after 2 and 24 h immersion. Additionally, the thermal insulation boards had fairly low thermal conductivity, ranging from 0.096–0.105  $\text{W/m.K}$ . As an environmentally friendly and renewable material, this thermal insulation material is of interest for energy

saving purposes when it is used as building insulation material for walls or ceilings.

**Keywords:** thermal insulation material, natural rubber, rice husk, sawdust.

## บทนำ

ด้วยการพัฒนาทางเศรษฐกิจและสังคม และความต้องการของประชาชน สำหรับการดำรงชีวิตในสิ่งแวดล้อมที่ดีกว่าได้เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว พลังงานจึงถูกใช้ในส่วนของที่พักอาศัย การพาหนะขนส่ง และอุตสาหกรรมเพิ่มขึ้นตามไปด้วย การบริโภคหรือการใช้พลังงานจึงได้กลายมาเป็นประเด็นหลักที่สำคัญสำหรับการดำรงชีวิต การใช้พลังงานในตึกและบ้านเรือนที่อยู่อาศัยซึ่งถูกใช้ในเรื่องการทำความร้อน และความเย็นมีเพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ และการบริโภคนี้ส่งผลต่อการเกิดมลภาวะโลก ของการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกของโลก ดังนั้นการอนุรักษ์พลังงานในตึกจึงเป็นเรื่องที่สำคัญของประชาชนทั่วโลก เช่นการใช้พลังงานอย่างประหยัด และการส่งเสริมผลิตภัณฑ์ที่ปราศจากมลภาวะ การประหยัดพลังงานในตึกโดยหลักใหญ่ได้แก่ การออกแบบสถาปัตยกรรมที่มีประสิทธิภาพเพื่อประหยัดพลังงาน การใช้อุปกรณ์การประหยัดพลังงาน และระบบการจ่ายพลังงานในตึกที่มีประสิทธิภาพ จากที่กล่าวมานั้นฉนวนความร้อนในตึกจึงเป็นหนึ่งในเทคโนโลยีหลักๆในการประหยัดพลังงาน เนื่องจากช่วยลดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ตัวอาคารทำให้ช่วยลดการทำงานของเครื่องปรับอากาศ ส่งผลให้ลดค่าไฟฟ้าหรือลดการใช้ไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้การลดการใช้พลังงานไฟฟ้าก็จะส่งผลทางบวกต่อสิ่งแวดล้อมคือเกี่ยวพันกับการปลดปล่อย CO<sub>2</sub> ก็จะลดลงไปด้วย (Zhou et al., 2010; Paiva et al., 2012; Vitrone et al., 2022)

อย่างไรก็ตาม เนื่องจากฉนวนกันความร้อนโดยทั่วไปสามารถผลิตจากวัสดุอนินทรีย์ เช่น จากใยแก้ว (Fiber wool) ใยหิน (Rock wool) แร่เวอร์มิคูไลท์ (vermiculite) โฟม (expanded polystyrene foam; EPS), extruded polystyrene (XPS) และโพลียูรีเทน (polyurethane) ถึงแม้ว่าฉนวนความร้อนที่ทำจากวัสดุอนินทรีย์จะมีสมบัติด้านการลุกติดไฟได้ดีแต่ก็มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เมื่อเสื่อมสภาพการแตกหักจะมีฝุ่นหรือผงเล็กๆ จำนวนมากมายซึ่งมีความเป็นพิษต่อร่างกายโดยเมื่อผ่านเข้าสู่ร่างกายทางระบบหายใจเป็นระยะเวลานานจะทำให้ผู้รับเกิดอาการป่วยได้เช่น โรคนอสมอสโตซิส (Asbestosis) หรือโรคปอดเรื้อรัง

โรคเนื้องอก และโรคมะเร็งบริเวณอื่นๆของร่างกาย และฉนวนความร้อนจากวัสดุอินทรีย์ เมื่อมีการลุกติดไฟจะทำให้เกิดแก๊สพิษเป็นปริมาณมาก เนื่องจาก EPS, XPS เริ่มหลอมละลาย ที่อุณหภูมิ 80 °C ด้วยการคำนึงถึงการปกป้องสิ่งแวดล้อม และประกันความปลอดภัย จึงชัดเจนแล้วว่าการค้นหาวัสดุใหม่เพื่อทดแทนวัสดุฉนวนความร้อนดั้งเดิมจึงจะสามารถช่วยแก้ปัญหาตั้งที่กล่าวมาข้างต้นได้ งานวิจัยที่หลากหลายเกี่ยวกับการผลิตปาร์ติเกิลบอร์ดที่ผลิตจากวัสดุธรรมชาติจึงสามารถเป็นตัวเลือกในการทำเป็นฉนวนความร้อนที่ดีได้ (Carvalho et al., 2013; Panyakaew & Fotios, 2011; Evon et al., 2014) Sisal, kenaf, hemp, jute ไยมะพร้าว แกลบ และขี้เลื่อย ถูกค้นพบว่าเหมาะสมที่นำมาใช้แทนแก้วที่เป็นไฟเบอร์ที่ใช้เสริมแรงพลาสติกในฉนวนความร้อน (Asdrubali et al., 2015; Liu et al., 2017; Tudor et al., 2018; Olupot et al., 2022; Kariuki et al., 2020) และส่วนใหญ่การผลิตปาร์ติเกิลบอร์ดผลิตโดยใช้กาวเรซินที่ประกอบด้วยฟอร์มัลดีไฮด์ เชื่อมกับเส้นใยธรรมชาติจากทั้งภาคเกษตรกรรมและอุตสาหกรรมผสมในอัตราส่วนต่างๆโดยน้ำหนักเพื่อผลิตบอร์ดฝ้าเพดาน

ดังนั้นจุดประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อที่จะศึกษาสมบัติเชิงกายภาพ เชิงกล และประสิทธิภาพการนำความร้อน ของแผ่นฉนวนความร้อนผลิตจาก แกลบ และขี้เลื่อย โดยใช้ น้ำยางพาราเป็นตัวประสานในสัดส่วนต่างๆตามที่กำหนดไว้ และเป็นการเพิ่มมูลค่าในการนำ วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรกลับมาใช้ประโยชน์ได้อีก นอกจากนี้กาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์ซึ่งเป็น สารเชื่อมประสานที่นิยมใช้ในปัจจุบันในการผลิตปาร์ติเกิลบอร์ดเนื่องจากราคาถูก อย่างไรก็ตาม ฟอร์มัลดีไฮด์ที่ถูกปลดปล่อยมาจากปาร์ติเกิลบอร์ดทั้งจากกระบวนการผลิต และการนำไปใช้งานจะเป็นสารที่ก่อมะเร็ง จากการปลดปล่อยฟอร์มัลดีไฮด์นี้จึงเป็นปัญหาต่อสุขภาพ ของมนุษย์อย่างรุนแรง (Vitrono et al., 2022) จากผลกระทบดังกล่าวงานวิจัยนี้จึงได้ใช้น้ำ ยางพาราเป็นตัวประสานแทนกาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์ เนื่องจากปลอดภัยจากสารพิษไม่เป็น อันตรายต่อสุขภาพ และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม อีกทั้งเป็นการนำน้ำยางพาราที่เป็นผลผลิต จากเกษตรกรของประเทศไทยที่ปลูกได้เป็นจำนวนมากมาใช้ประโยชน์และเพิ่มมูลค่าได้อีก ทางหนึ่งด้วย

## วิธีดำเนินการวิจัย

การดำเนินการวิจัยการผลิตแผ่นฉนวนความร้อน ทดสอบตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 876-2547 และมาตรฐานอุตสาหกรรมกำหนดไว้ตาม JIS A 5905 มีดังนี้

### 1. วิธีการผลิตแผ่นพาร์ติเกิลบอร์ดจากแกลบและซีลี้อยู่กับน้ำยางธรรมชาติ

1.1 การเตรียมแกลบและซีลี้อยู่ นำแกลบข้าวโรงสีข้าว และซีลี้อยู่ไม้ที่มาจาก การใส่ไม้ทำเฟอร์นิเจอร์จังหวัดอุดรธานีทั้งสองมาตากแดดทิ้งไว้ 1 วัน จากนั้นนำมาบด ให้ละเอียดแล้วนำมาร่อนในตะแกรกร่อนขนาด 60 mesh เพื่อให้ได้ผงแกลบและซีลี้อยู่ที่มี ขนาดเท่ากันโดยมีขนาด ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ผงแกลบและผงซีลี้อยู่ที่ผ่านการบดและร่อนแล้ว

1.2 การเตรียมตัวประสาน เริ่มจากเทแอมโมเนียมคลอไรด์ความเข้มข้นร้อยละ 1.5 จากนั้นเทพาราฟินอิมัลชัน ใช้ในอัตราส่วน 7% ลงในบีกเกอร์ คนให้เข้ากันซึ่งใช้ระยะเวลา ประมาณ 1 นาที จากนั้นเทลงในบีกเกอร์น้ำยางธรรมชาติแล้วคนให้เข้ากันอีกครั้ง โดยใช้ ระยะเวลาประมาณ 1 นาที

1.3 การขึ้นรูปแผ่นพาร์ติเกิลบอร์ด เป็นการอัดขึ้นรูปแบบใช้ความร้อน โดยการ นำส่วนผสมอัตราส่วนของแกลบและซีลี้อยู่ต่อน้ำยางพาราที่ใช้ในการผลิตแผ่นพาร์ติเกิลบอร์ด คือเตรียมแกลบกับผงซีลี้อยู่รวม 600 กรัม ในอัตราส่วน 1:0, 0:1, 1:1, 1:2, 2:1 และนำผง ที่เตรียมไว้มาผสมกับน้ำยางพาราในอัตราส่วน 125%, 100% และ 75% โดยน้ำหนักของ ส่วนผสมแกลบ และซีลี้อยู่ ดังแสดงการชั่งน้ำหนักตามอัตราส่วนที่แสดงในตารางที่ 1 และ บดส่วนผสมให้เข้ากัน แล้วนำไปอัดที่เครื่องอัดความร้อนขนาด 300x300x10 มิลลิเมตร ด้วยความร้อน 120 °C เป็นเวลา 15 นาที ดังรูปที่ 2

### ตารางที่ 1. ส่วนผสมอัตราส่วนของแกลบและซีลี้อยต่อน้ำยารพารา

อัตราส่วน แกลบ : ซีลี้อย (รวม 600 g)	ปริมาณน้ำยารพารา (g)		
	75 %	100 %	125 %
1 : 0	450	600	750
0 : 1	450	600	750
1 : 1	450	600	750
2 : 1	450	600	750



รูปที่ 2 แผ่นบอร์ดในเครื่องอัด

## 2. วิธีการทดสอบสมบัติเชิงกายภาพ (Physical properties)

2.1 การทดสอบความหนาแน่น (Density) ตัดแผ่นชิ้นงานทดสอบค่าความหนาแน่น ให้มีขนาดความกว้าง 50 มิลลิเมตร และความยาว 50 มิลลิเมตร นำชิ้นทดสอบมาชั่งโดยใช้เครื่องชั่งที่มีความละเอียดถึง 0.001 กรัม แล้ววัดความกว้างและความยาวที่แนวกึ่งกลางของชิ้นทดสอบ และวัดความหนาตรงจุดกึ่งกลางของชิ้นทดสอบกำหนดไว้ตามมาตรฐานอุตสาหกรรม JIS A 5905 หาค่าเฉลี่ยแล้วคำนวณหาค่าความหนาแน่นของแผ่นทดสอบคำนวณได้จากสมการที่ 1

$$\rho = \frac{M}{V} \times 10^6 \quad (1)$$

เมื่อ  $\rho$  ค่า ความหนาแน่นมีหน่วยเป็นกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ( $\text{kg/m}^3$ )

$M$  คือ มวลของชิ้นงานทดสอบ เป็นกรัม (g)

$V$  คือ ปริมาตรของชิ้นทดสอบเป็น ลูกบาศก์มิลลิเมตร ( $\text{mm}^3$ )

2.2 การทดสอบการดูดซึมน้ำ (Water absorption) ตัดชิ้นทดสอบมีขนาดความกว้าง 50 มิลลิเมตร และความยาว 50 มิลลิเมตร นำชิ้นทดสอบแต่ละชิ้นมาชั่งน้ำหนักโดยใช้เครื่องชั่งที่มีความละเอียดถึง 0.01 กรัม และชั่งน้ำหนักทดสอบกำหนดไว้ตามมาตรฐานอุตสาหกรรม JIS A 5905 แล้วคำนวณจากสมการที่ 2

$$\text{หาค่าการดูดซึมน้ำ } WA = \frac{W_2 - W_1}{W_1} \times 100\% \quad (2)$$

เมื่อ WA คือ ค่าการดูดซึมน้ำ มีหน่วยเป็น เปอร์เซ็นต์ (%)

$W_1$  คือ น้ำหนักก่อนแช่น้ำ มีหน่วยเป็นกรัม (g)

$W_2$  คือ น้ำหนักหลังแช่น้ำ มีหน่วยเป็นกรัม (g)

### 3. การทดสอบสมบัติเชิงกล

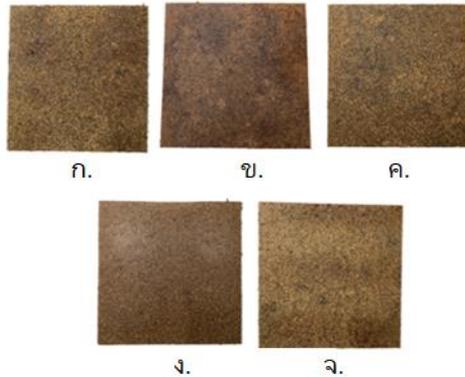
3.1 การทดสอบค่ามอดูลัสยืดหยุ่น (Modulus of elasticity; MOE) การหาค่ามอดูลัสยืดหยุ่นเพื่อทดสอบหาความแข็งแรงของชิ้นงาน งานวิจัยนี้ได้ทำการทดสอบที่ศูนย์นวัตกรรมและเทคโนโลยีทางอาคาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์อ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM D143 ชิ้นฉนวนทดสอบที่ใช้มีขนาดกว้างยาว 50x275 มิลลิเมตรหนา 10 มิลลิเมตร

3.2 ความต้านทานแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า (Internal bonding strength; IB) การหาค่าต้านทานแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้าเพื่อทดสอบความแข็งแรงในการยึดเหนี่ยวภายใน งานวิจัยนี้ได้ทำการทดสอบที่ศูนย์นวัตกรรมและเทคโนโลยีทางอาคาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ชิ้นฉนวนทดสอบที่ใช้มีขนาด กว้างยาว 50x50 มิลลิเมตรหนา 10 มิลลิเมตรทดสอบด้วยการติดผิวหน้าของชิ้นทดสอบด้วยกาวร้อนเหลวกับแผ่นดิ่งโลหะ แล้วดึงให้ชิ้นทดสอบแยกออกจากกันคือจนเกิดรอยแยกในชั้นไส้ อ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM D4541

### 4. การทดสอบสมบัติการนำความร้อน

การทดสอบหาค่าการนำความร้อนเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์สภาพในการนำความร้อนของแผ่นฉนวนความร้อนเป็นการทดสอบที่สำคัญมากที่สุดเพราะจะเป็นค่าที่บ่งชี้ถึงคุณภาพของฉนวนความร้อนที่เตรียมได้ว่าจะมีคุณภาพเป็นอย่างไร สภาพการนำความร้อนเป็นสมบัติของเนื้อสารที่มีความสัมพันธ์กับความสามารถในการนำความร้อน และแสดงถึงการเป็นฉนวนความร้อน สภาพการนำความร้อนที่ต่ำสารนั้นก็จะมีความเป็นฉนวนความร้อนที่สูง โดยในการทดสอบนี้จะยึดตามมาตรฐานการทดสอบ ASTM C518 งานวิจัยนี้ได้ทำการทดสอบที่ศูนย์นวัตกรรมและเทคโนโลยีทางอาคารมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

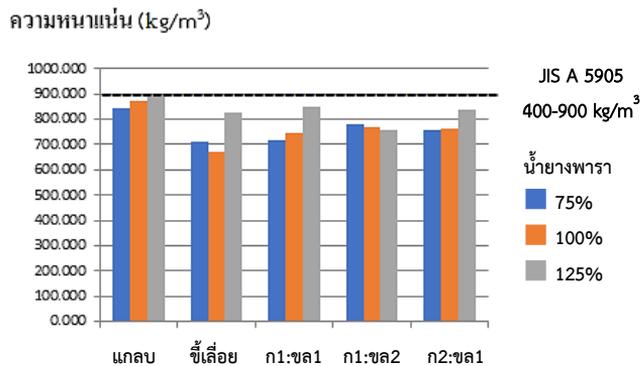
### ผลการวิจัยและอภิปรายผล



รูปที่ 3 แผ่นปาร์ติเกิลบอร์ดผสมน้ำยางพารา 125% ที่อัตราส่วนผงแกลบและผงซีลี้อย่างนี้ ก. 1:0, ข. 0:1, ค. 1:1, ง. 1:2, จ. 2:1

ในการวิจัยได้เตรียมแผ่นปาร์ติเกิลบอร์ดจากการขึ้นรูปโดยวิธีอัดร้อน (hot press) ในขนาด 300x300x10 มิลลิเมตร ด้วยผงแกลบกับผงซีลี้อยู่ โดยผสมผงแกลบและผงซีลี้อยู่ในอัตราส่วน 1:0, 0:1, 1:1, 1:2, 2:1 นำมาผสมกับน้ำยางพาราในอัตราส่วน 75%, 100% และ 125% การเตรียมในแต่ละเงื่อนไขการผสมจะการทำซ้ำ 5 ครั้งต่อเงื่อนไขการผสมด้วยกัน เมื่อนำไปอัดแผ่นในเครื่องอัดไฮดรอลิกโดยวิธีการอัดร้อน และได้แผ่นฉนวนความร้อนที่อัดแน่นเป็นแผ่นได้อย่างดีแสดงได้ดังรูปที่ 3

### ผลการทดสอบความหนาแน่น



รูปที่ 4 กราฟแสดงความหนาแน่นของปาร์ติเกิลบอร์ดแต่ละอัตราส่วน

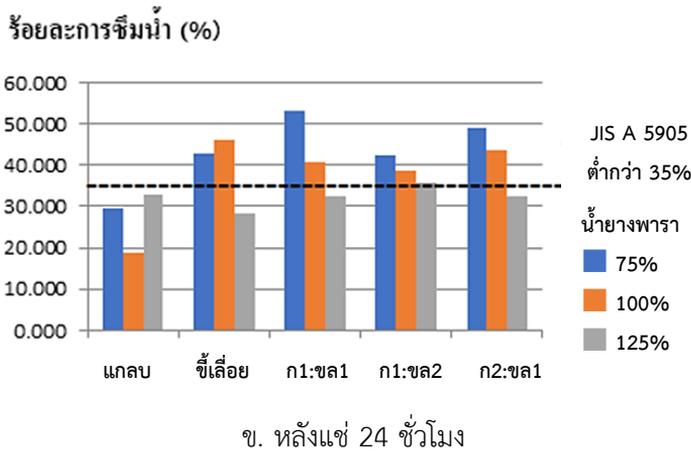
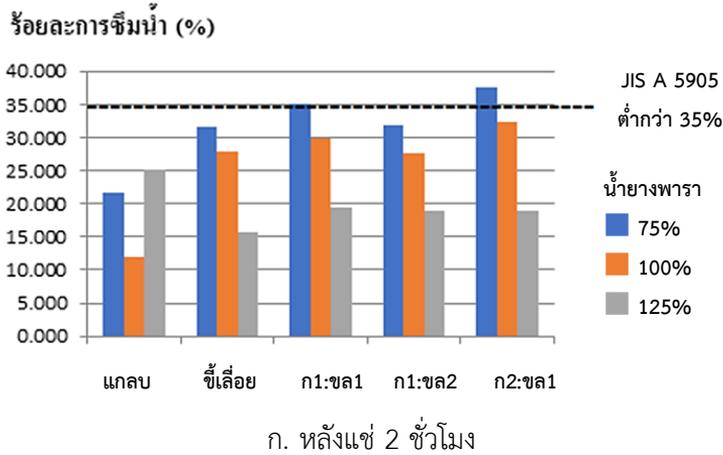
จากข้อมูลการวัดดังรูปที่ 4 พบว่าความหนาแน่นของแผ่นปาร์ติเกิลบอร์ดที่เตรียมจากผสมผงแกลบและผงซีลี้อยในอัตราส่วน 1:0, 0:1, 1:1, 1:2, 2:1 มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณของน้ำยางพาราที่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากการเพิ่มน้ำยางพาราจะไปช่วยอุดช่องว่างระหว่างการเกาะเกี่ยวกันของผงแกลบ และผงซีลี้อยให้มีการยึดเหนี่ยวกันได้ดีขึ้น จึงทำให้เกิดการอัดตัวของแผ่นปาร์ติเกิลบอร์ดเพิ่มขึ้น โดยความหนาแน่นของแผ่นบอร์ดจากอัตราส่วนแกลบ และซีลี้อยข้างต้นที่มีน้ำยางพารา 75% มีค่าเฉลี่ยดังนี้  $844.22 \text{ kg/m}^3$ ,  $710.53 \text{ kg/m}^3$ ,  $715.35 \text{ kg/m}^3$ ,  $780.83 \text{ kg/m}^3$ ,  $756.24 \text{ kg/m}^3$  ตามลำดับ ความหนาแน่นของแผ่นบอร์ดที่มีน้ำยางพารา 100% มีค่าเฉลี่ยดังนี้  $870.51 \text{ kg/m}^3$ ,  $672.86$ ,  $743.65 \text{ kg/m}^3$ ,  $768.07 \text{ kg/m}^3$ ,  $760.64 \text{ kg/m}^3$  ตามลำดับ ความหนาแน่นของแผ่นบอร์ดที่มีน้ำยางพารา 125% มีค่าเฉลี่ยดังนี้  $889.31 \text{ kg/m}^3$ ,  $826.67 \text{ kg/m}^3$ ,  $848.99 \text{ kg/m}^3$ ,  $754.27 \text{ kg/m}^3$ ,  $836.29 \text{ kg/m}^3$  แต่สำหรับบอร์ดที่เตรียมจากผสมผงแกลบและผงซีลี้อยในอัตราส่วน 1:2 มีค่าความหนาแน่นของแผ่นบอร์ดสูงกว่าเมื่อเทียบกับอัตราส่วน 1:1 และ 2:1 ทั้งนี้อาจเนื่องจากการเกาะเกี่ยวระหว่างผงแกลบ และซีลี้อยสม่ำเสมอทั้งแผ่นมากกว่าจึงอัดตัวได้มากกว่า และทำให้ความหนาแน่นมีแนวโน้มสูงกว่าอัตราส่วนอื่นๆ

จากค่าเฉลี่ยของแผ่นปาร์ติเกิลบอร์ดทั้งหมด จะอยู่ในช่วง  $600\text{--}900 \text{ kg/m}^3$  ซึ่งเป็นช่วงที่มาตราฐานอุตสาหกรรมกำหนดไว้ตาม JIS A 5905 คือ  $400\text{--}900 \text{ kg/m}^3$

#### ผลการทดสอบค่าการซึมน้ำ

ในการหาค่าความซึมน้ำของแผ่นปาร์ติเกิลบอร์ดแสดงได้ดังรูปที่ 5 จากข้อมูลการวัดพบว่าค่าการซึมน้ำแช่ 2 ชั่วโมง (รูปที่ 5ก.) แผ่นปาร์ติเกิลบอร์ดที่เตรียมจากผสมผงแกลบและผงซีลี้อยในอัตราส่วน 1:0, 0:1, 1:1, 1:2, 2:1 ค่าการซึมน้ำมีแนวโน้มลดลงเมื่อปริมาณของน้ำยางพาราเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากการเพิ่มน้ำยางพาราจะไปช่วยอุดช่องว่างหรือรูพรุนทำให้เกิดจากการเกาะเกี่ยวกันระหว่างผงแกลบ และผงซีลี้อยได้ดีขึ้น โดยค่าการซึมน้ำของแผ่นบอร์ดที่มีน้ำยางพารา 75% มีค่าเฉลี่ยดังนี้ 21.596%, 31.705%, 35.053%, 31.869%, 37.699% ตามลำดับ ค่าการซึมน้ำของแผ่นบอร์ดที่มีน้ำยางพารา 100% มีค่าเฉลี่ยดังนี้ 11.913%, 27.945%, 29.857%, 27.516%, 32.282% ตามลำดับ ค่าการซึมน้ำของแผ่นบอร์ดที่มีน้ำยางพารา 125% มีค่าเฉลี่ยดังนี้ 25.100%, 15.813%, 19.419%, 18.910%, 18.983% ตามลำดับ แต่สำหรับบอร์ดที่เตรียมจากผสมผงแกลบและผงซีลี้อยในอัตราส่วน 1:2 มีค่าการซึมน้ำต่ำกว่าอัตราส่วน 1:1 และ 2:1 ทั้งนี้เมื่อพิจารณาจากค่าความหนาแน่น

จะเห็นได้ว่าจะมีค่าความหนาแน่นมากกว่าอัตราส่วนผสมอื่นๆ ซึ่งทำให้มีรูพรุนน้อยกว่าค่าการซึมน้ำจึงลดลง



รูปที่ 5 กราฟแสดงร้อยละการซึมน้ำ

หลังจากแช่น้ำในอุณหภูมิห้องเป็นเวลา 2 ชั่วโมง วัดค่าแล้วแช่น้ำต่ออีก 22 ชั่วโมง แผ่นปาร์ติเกิลบอร์ดที่ใช้วัดแล้วคำนวณตามสูตร ค่าที่วัดได้แสดงได้ดังรูปที่ 5ข. โดยค่าการซึมน้ำของแผ่นบอร์ดที่มีน้ำยางพารา 75% มีค่าเฉลี่ยดังนี้ 29.569%, 42.938%, 53.335%, 42.184%, 48.917% ตามลำดับ ค่าการซึมน้ำของแผ่นบอร์ดที่มีน้ำยางพารา 100% มีค่าเฉลี่ยดังนี้ 18.590%, 46.120%, 40.614%, 38.509%, 43.711% ตามลำดับ ค่าการซึมน้ำของ

แผ่นบอร์ดที่มีน้ำยางพารา 125% มีค่าเฉลี่ยดังนี้ 32.840%, 28.451%, 32.264%, 35.782%, 32.431% ตามลำดับ

จากค่าเฉลี่ยของแผ่นปาร์ติเกิลบอร์ดที่มีน้ำยางพารา 75% ที่เตรียมจากผงแกลบ และแผ่นบอร์ดที่มีน้ำยางพารา 100% ที่เตรียมจากผงแกลบ และแผ่นบอร์ดที่มีน้ำยางพารา 125% ที่เตรียมจาก ผงแกลบ และผงซีลี้อย โดยมีการผสมผงแกลบและผงซีลี้อยในอัตราส่วน 1:1, 2:1 อยู่ในช่วงต่ำกว่าร้อยละ 35 ซึ่งเป็นช่วงที่มาตรฐานอุตสาหกรรมกำหนดไว้ตาม JIS A 5905 คือ ต่ำกว่าร้อยละ 35 ส่วนแผ่นบอร์ดที่มีน้ำยางพารา 75% ที่เตรียมจากซีลี้อย และการผสมผงแกลบและผงซีลี้อยในอัตราส่วน 1:1, 1:2, 2:1 แผ่นบอร์ดที่มีน้ำยางพารา 100% ที่เตรียมจากผงซีลี้อย และผสมผงแกลบและผงซีลี้อยในอัตราส่วน 1:1, 1:2, 2:1 แผ่นบอร์ดที่มีน้ำยางพารา 125% ที่เตรียมจากผงแกลบ และบอร์ดผสมผงแกลบและผงซีลี้อย ในอัตราส่วน 1:2 มีค่าร้อยละการซึมน้ำสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐาน โดยทั่วไปแล้วบอร์ดที่มีความหนาแน่นต่ำจะดูดซับน้ำได้มากกว่าบอร์ดที่มีความหนาแน่นสูง ทั้งนี้เนื่องจากบอร์ดที่มีความหนาแน่นต่ำจะมีรูอากาศ และช่องว่างใหญ่กว่าแผ่นที่มีความหนาแน่นสูงกว่า (Tangjuank, 2011; Khedari et al., 2003; Xu et al., 2004)

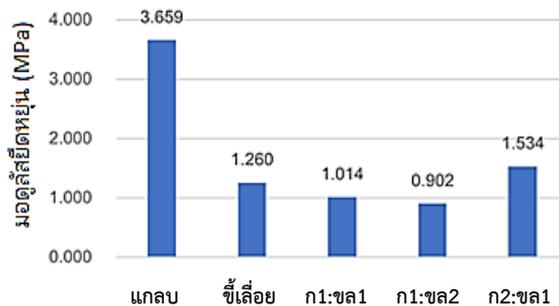
#### การทดสอบสมบัติเชิงกล

จากผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพพบว่าชิ้นงานที่เตรียมโดยตัวประสานน้ำยางพารา 125% จะมีความหนาแน่นที่เหมาะสมและการทำเป็นแผ่นได้ดี จึงได้นำมาทดสอบสมบัติเชิงกลต่อไป

#### ผลการทดสอบค่ามอดูลัสยืดหยุ่น (Modulus of elasticity; MOE)

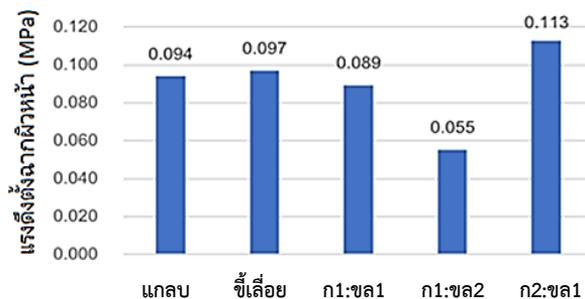
จากรูปที่ 6 จะพบว่าค่า MOE ของแผ่นชิ้นงานทุกอัตราส่วนมีค่า MOE อยู่ในช่วง 0.902–3.659 MPa และแผ่นชิ้นงานที่เตรียมจากแกลบจะมีค่า MOE สูงสุดคือ 3.659 MPa และแผ่นชิ้นงานที่เตรียมจากอัตราส่วนของ แกลบ : ซีลี้อย เป็น 2:1 มีค่า MOR ต่ำสุดคือ 0.902 MPa ดังนั้นค่า MOE สำหรับบอร์ดที่เตรียมจากแกลบมีค่า MOE สูงสุด แต่บอร์ดเตรียมจากงานวิจัยนี้ทุกอัตราส่วนมีค่าต่ำกว่ามาตรฐานมาก เมื่อเทียบกับมาตรฐานอุตสาหกรรม มอก. 966-2547 และมาตรฐาน ANSI A208 ซึ่งกำหนดค่าต่ำสุด MOE ของบอร์ดความหนาแน่นต่ำไว้ที่ 550 MPa (ANSI A208.1; 1999; Vidil et al., 2016) การที่บอร์ดที่มีค่า MOE ต่ำนี้ ทั้งนี้เนื่องจากความสามารถในการยึดเกาะระหว่างวัสดุกับวัสดุไม่ดีพอ และวัสดุกับวัสดุประสานปริมาณของสารยึดติดน้อยกระจายไม่สม่ำเสมอตลอดชิ้นงาน จึงทำให้

ประสิทธิภาพการเชื่อมประสานก็จะลดลงตามมามีด้วย จึงทำให้ไม่สามารถต้านแรงตัดได้ดีพอ (Ikubanni et al., 2018; Banjo et al., 2016) แต่อย่างไรก็ตามค่า MOE ที่ได้จากงานวิจัยนี้ก็มีผลใกล้เคียงจากงานวิจัยท่านอื่นๆที่เตรียมบอร์ตจากวัสดุธรรมชาติเช่นกัน และก็ได้ค่า MOE ไม่ผ่านมาตรฐาน ได้แก่ Banjo et al. (2016) เตรียมบอร์ตที่ผลิตจากซังข้าวโพดและซีลี้อยู่โดยใช้กาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์เป็นตัวประสานก็ได้ค่า MOE อยู่ในช่วง 50-80 MPa เช่นเดียวกัน Sekaluvu et al. (2014) เตรียมบอร์ตที่ผลิตจากซังข้าวโพดใช้กาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์เป็นตัวประสานก็ได้ค่า MOE อยู่ในช่วง 5-61 MPa สำหรับบอร์ตที่เตรียมจากแกลบและซีลี้อยู่ได้ค่า MOE อยู่ในช่วง 13-26 MPa รายงานโดย Olupot et al. (2022) และ 15-40 MPa รายงานโดย Kariuki et al. (2020) ตามลำดับ ดังนั้นบอร์ตที่เตรียมได้จากงานวิจัยนี้จึงไม่สามารถใช้กับงานโครงสร้างที่รองรับน้ำหนักได้ แต่สามารถใช้งานเกี่ยวกับฉนวนความร้อนของผนัง และเพดานได้



รูปที่ 6 กราฟแสดงมอดูลัสยืดหยุ่น

### ผลการทดสอบค่าความต้านทานแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า (IB)

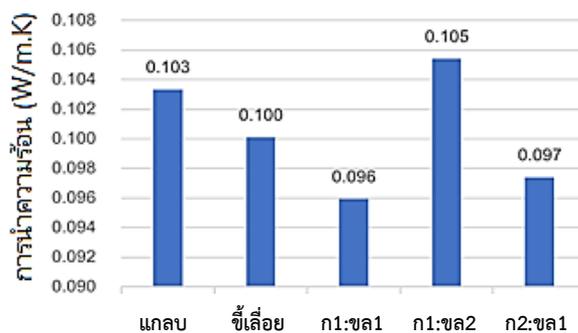


รูปที่ 7 กราฟแสดงแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า

จากรูปที่ 7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานแรงดึงตั้งฉากผิวหน้ากับวัสดุที่ผสมในอัตราส่วนต่างๆ จะพบว่าค่า IB ของแผ่นชิ้นงานทุกอัตราส่วนมีค่า IB อยู่ในช่วง 0.055–0.113 MPa และแผ่นชิ้นงานที่เตรียมจากอัตราส่วนของ แกลบ : ชี้เลื่อย เป็น 2:1 จะมีค่า IB สูงสุดคือ 0.113 MPa และแผ่นชิ้นงานที่เตรียมจากอัตราส่วนของ แกลบ : ชี้เลื่อย เป็น 1:2 มีค่า IB ต่ำสุดคือ 0.055 MPa ผลการศึกษานี้ที่อัตราส่วนผสม แกลบ : ชี้เลื่อย เป็น 2:1 มีค่าต้านทานดึงผิวหน้าที่ผ่านตามมาตรฐานกำหนดโดยที่ค่ามาตรฐานต่ำสุดมีค่า 0.1 MPa อ้างอิงตามมาตรฐาน ANSI A208 (1999) สำหรับแผ่นบอร์ดที่มีความหนาแน่นต่ำ และสำหรับแผ่นชิ้นงานอัตราส่วนอื่นๆที่มีค่า IB ไม่ถึงค่ามาตรฐานผลนี้อธิบายได้ว่าเนื่องจากอาจเกิดจากการเชื่อมประสานกันระหว่างวัสดุชี้เลื่อยและแกลบไม่ดีพอ และการกระจายของวัสดุประสานไม่สม่ำเสมอในบางจุดของบอร์ด อย่างไรก็ตามการศึกษานี้บอร์ดที่เตรียมได้ก็มีค่า IB ต่ำอยู่ในช่วงที่เหมาะสมกับแผ่นฉนวนความร้อนทั่วไป อย่างเช่น ไฟเบอร์แก้ว และใยหิน โดยมีค่า IB อยู่ในช่วง 0-003–0-08 MPa (Pfundstein et al., 2012) และจากรายงานวิจัยของ Vidil et al. (2016) ซึ่งเตรียมฉนวนความร้อนจากไบโอมะพร้าวได้ค่า IB อยู่ในช่วง 0-04–0-05 MPa.

#### การทดสอบค่าการนำความร้อน

การทดสอบการนำความร้อนของแผ่นฉนวนจะเป็นการทดสอบที่สำคัญมากที่สุด เพราะจะเป็นค่าที่บ่งชี้ถึงคุณภาพของฉนวนความร้อนที่เตรียมได้ว่าจะมีคุณภาพเป็นอย่างไร สภาพการนำความร้อนเป็นสมบัติของเนื้อสารที่มีความสัมพันธ์กับความสามารถในการนำความร้อน และแสดงถึงการเป็นฉนวนความร้อน สภาพการนำความร้อนที่ต่ำสารก็จะมีความเป็นฉนวนความร้อนที่สูง โดยในการทดสอบนี้จะยึดตามมาตรฐานการทดสอบ ASTM C518 ผลการทดสอบแสดงได้ในรูปที่ 8



รูปที่ 8 กราฟแสดงค่าการนำความร้อนของแผ่นปาร์ติเกิลบอร์ดแต่ละอัตราส่วน

จากผลการทดสอบพบว่าแผ่นฉนวนความร้อนที่เตรียมมีค่าการนำความร้อนโดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 0.096–0.105 W/m.K และแผ่นชิ้นงานที่อัตราส่วนของผสม แกลบ : ซีลี้อย เป็น 1:1 และ 2:1 มีค่าใกล้เคียงกันคือ 0.096 และ 0.097 W/m.K และถือได้ว่ามีการนำความร้อนต่ำที่สุด หรือกล่าวได้ว่ามีค่าการเป็นฉนวนความร้อนที่ดี สำหรับแผ่นฉนวนความร้อนที่มีค่าการนำความร้อนสูงนั้นทั้งนี้เป็นเพราะแผ่นฉนวนความร้อนมีการจัดเรียงตัวของเส้นใยมีความเป็นระเบียบและยึดเกาะกันอย่างหนาแน่นมากกว่าแผ่นฉนวนความร้อนอัตราส่วนอื่นๆ จึงทำให้มีการส่งผ่านความร้อนได้ดึ้นเอง โดยทั่วไปแผ่นฉนวนที่มีความหนาแน่นสูงก็จะมี การนำความร้อนสูง และแผ่นที่มีความหนาแน่นต่ำกว่าก็จะมีค่าการนำความร้อนต่ำกว่า ทั้งนี้ เนื่องจากแผ่นชิ้นงานจะประกอบด้วยรูพรุน หรือช่องว่างมากกว่าจึงทำให้มีค่าการนำความร้อนที่ต่ำกว่า (Sondergege et al., 2009; Troppová et al., 2015)

ดังนั้นแสดงว่าแผ่นชิ้นงานที่เตรียมด้วยอัตราส่วนผสม แกลบ : ซีลี้อย เป็น 1:1 และ 2:1 อัตราส่วนนี้มีค่าเหมาะสมมากที่สุดสำหรับคุณภาพของฉนวนความร้อนที่ดี อย่างไรก็ตามสมบัติความร้อนที่เตรียมได้จากการศึกษานี้ที่อัตราส่วนอื่นๆก็อยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ว่ามีค่าที่เหมาะสมสำหรับนำไปใช้การทำฉนวนความร้อนได้ โดยทั่วไปองค์ประกอบวัสดุฉนวนความร้อน สำหรับตึกและอาคารบ้านเรือน จะมีค่าการนำความร้อนต่ำกว่า 0.25 W/m.k (Wang, 1988) และจากรายงานการวิจัยอื่นๆ ใยแก้ว และกระดาษก็มีค่าการนำความร้อน 0.058 W/m.K (Cao et al., 2015; Böhmer, 2001) จากตารางที่ 2 เมื่อเทียบกับค่าการนำความร้อนของ ฉนวนความร้อนที่ทำจากวัสดุเส้นใยธรรมชาติอื่นๆ เช่น เตรียมจากใบมะพร้าว 0.135–0.152 W/m.K เตรียมจากใบส้ปประรด 0.035–0.043 W/m.K เตรียมจากเปลือกทุเรียนและเปลือก มะพร้าว 0.064–0.1043 เตรียมจากใยฝ้าย 0.059–0.082 W/m.K เตรียมจากชานอ้อยและ เปลือกมะพร้าว 0.046–0.068 W/m K และ 0.049–0.055 W/m.K (Vidil et al., 2016; Tangjuank, 2011; Khedari et al., 2003; Zhou et al., 2010; Panyakaew et al., 2011) ดังนั้นแสดงว่าฉนวนความร้อนจากที่เตรียมได้จากงานวิจัยนี้มีศักยภาพมากในการผลิตเป็น ฉนวนความร้อนที่มีคุณภาพสูง

## ตารางที่ 2 แสดงค่าการนำความร้อนของฉนวนความร้อนจากวัสดุอื่น ๆ

ชนิดของบอร์ด	การนำความร้อน (W/m.K)	อ้างอิง
แกลบผสมซีลี้อย	0.096	งานวิจัยนี้
ใบมะพร้าว	0.135 - 0.152	Vidil et al., (2016)
ใยแก้ว	0.058	Cao et al., (2015)
ชานอ้อย	0.046-0.068	Panyakaew et al., (2011)
ใบสับปะรด	0.035-0.043	Tangjuank, (2011)
ใยฝ้าย	0.059-0.082	Zhou et al., (2010)

### สรุปผลการวิจัย

ในการวิจัยได้เตรียมแผ่นบอร์ดจากการขึ้นรูปโดยวิธีอัดร้อน (hot press) ในขนาด 300x300x10 มิลลิเมตร ด้วยการผสมผงแกลบและผงซีลี้อยในอัตราส่วน 1:0, 0:1, 1:1, 1:2, 2:1 นำมาผสมกับน้ำยางพาราในอัตราส่วน 125%, 100% และ 75% ผลจากการวิจัยการผลิตแผ่นบอร์ดที่เตรียมจากแกลบและซีลี้อย พบว่าอัตราส่วนของวัตถุดิบต่อตัวประสานที่เหมาะสมสำหรับการนำไปใช้ คือ อัตราส่วนของแกลบต่อซีลี้อย 2:1 ผสมกับน้ำยางพารา 125% จากการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพพบว่า มีค่าความหนาแน่น 836.29 kg/m<sup>3</sup> ค่าการซึมน้ำร้อยละ 32.431 ค่าความต้านทานแรงดึงตั้งฉากผิวหน้า 0.113 MPa ซึ่งมีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม JIS A 5905 Particleboards และมาตรฐาน ANSI A208 และค่าการนำความร้อนเฉลี่ย 0.097 W/m.K ซึ่งยอมรับได้ว่ามีค่าที่เหมาะสมสำหรับนำไปใช้การทำฉนวนความร้อนได้

### กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณกองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (ววน.) ปีงบประมาณ พ.ศ. ๒๕๖๕ ผู้ให้ทุนสนับสนุนโครงการวิจัยผ่านมหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี และขอขอบคุณมหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานีที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่ในการดำเนินงานวิจัยนี้จนสำเร็จ ลุล่วงไปด้วยดี

## เอกสารอ้างอิง

- Asdrubali, F., D'Alessandro, F., & Schiavoni, S. (2015). A review of unconventional sustainable building insulation materials. *Sustainable Materials and Technologies*, 4, 1-17.
- ANSI (American National Standards Institute). (1999). ANSI A208.1-1999: Particleboard. ANSI, Washington, DC, USA.
- Banjo, A. A., Afolayan, J. O., & Ogunji, O. E. (2016). Some properties of composite corncob and sawdust particle boards. *Construction and Building*, 127, 436-441.
- Bøhmer, E. (2001). Thermal properties. In: Borch, J., Lyne, M. B., Mark, R. E., Habeger, C. C. (eds) Handbook of physical testing of paper. vol 2. CRC Press, New York, 389-427.
- Cao, X., Liu, J. J., Cao, X. D., Li, Q., Hu, E., & Fan, F. H. (2015). Study of the thermal insulation properties of the glass fiber board used for interior building envelope. *Energy Building*, 107, 49-58.
- Carvalho, S. T. M., Mendes, L. M., César, A. A., & Yanagi, T. (2013). Thermal properties of chipboard panels made of sugar cane bagasse (*Saccharum officinarum* L.). *Materials Research*, 16(5), 1183-1189.
- Evon, P., Vandenbossche, V., Pontalier, P. Y., & Rigal, L. (2014). New thermal insulation fiberboards from cake generated during biorefinery of sunflower whole plant in a twin-screw extruder. *Industrial Crops and Products*, 52, 354-362.
- Kariuki, S. W., Wachira, J., Kawira, M., & Murithi, G. (2020). Crop residues used as lignocellulose materials for particleboards formulation. *Heliyon*, 6(e05025), 1-8.
- Khedari, J., Charoenvai, S., & Hirunlabh, J. (2003). New insulating particleboards from durian peel and coconut coir. *Building and Environment*, 38(3), 435-441.

- Ikubanni, P. P., Adeleke, A. A., Adediran, A. A., & Agboola, O. O. (2018). Physico-mechanical properties of particleboards produced from locally sourced materials. *International Journal of Engineering Research in Africa*, *39*, 112–118.
- Liu, L. F., Li, H. Q., Lazzaretto, A., Manente, G., Tong, C. Y., Liu, G. B., & Li, N. P. (2017). The development history and prospects of biomass-based insulation materials for buildings. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *69*, 912–932.
- Olupot, P. W., Menya, E., Lubwama, F., Ssekaluvi, L., Nabuuma, B., & Wakatuntu, J. (2022). Effects of sawdust and adhesive type on the properties of rice husk particleboards. *Results in Engineering*, *16*(100775), 1-9.
- Paiva, A., Pereira, S., & Sá, A. (2012). A contribution to the thermal insulation performance characterization of corn cob particleboards. *Energy and Buildings*, *45*, 274–279.
- Panyakaew, S., & Fotios, S. (2011). New thermal insulation boards made from coconut husk and bagasse. *Energy and Buildings*, *43*(7), 1732–1739.
- Pfundstein, M., Gellert, R., Spitzner, M., & Rudolphi, A. (2012). Insulating Materials: Principles, Materials, Applications. <https://doi.org/10.11129/detail.9783034614757>.
- Sekaluvu, L., Tumutegereize, P., & Kiggundu, N. (2014). Investigation of Factors Affecting the Production and Properties of Maize Cob-Particleboards. *Waste and Biomass Valorization*, *5*, 27-32.
- Sonderregger, W., & Niemz, P. (2009). Thermal conductivity and water vapour transmission properties of wood-based materials. *European Journal of Wood and Wood Products*, *67*(3), 313–321.
- Tanguank, S. (2011). Thermal insulation and physical properties of particleboards from pineapple leaves. *International Journal of Physical Science*, *6*(19), 4528–4532.

- Troppová, E., Švehlík, M., Tippner, J., & Wimmer, R. (2015). Influence of temperature and moisture content on the thermal conductivity of wood-based fibreboards. *Materials and Structures*, 48(12), 4077–4083.
- Tudor, E. M., Barbu, M. C., Petutschnigg, A., & Reh, R. (2018). Added-value for wood bark as a coating layer for flooring tiles. *Journal of Cleaner Production*, 170, 1354–1360.
- Vidil, L., Fiorelli, J., & Bilba K. (2016). Thermal insulating particle boards reinforced with coconut leaf sheaths. *Green Materials*. <http://dx.doi.org/10.1680/jgrma.15.00029>.
- Vitrone, F., Ramos, D., Vitagliano, V., Ferrando, F., & Salvad, J. (2022). All-lignocellulosic fiberboards from giant reed (*Arundo donax* L.): Effect of steam explosion pre-treatment on physical and mechanical properties. *Construct Build Mater*, 319(126064), 1-12.
- Wang, S. H. (1988). *Construction Materials Science*. China: Construction Industry Publisher.
- Xu, J., Sugawara, R., Widyorini, R., Han, G., & Kawai S. (2004). Manufacture and properties of low- density binderless particleboard from kenaf core. *Journal of Wood Science*, 50(1), 62–67.
- Zhou, X., Zheng, F., Li, H., & Lu, C. (2010). An environment friendly thermal insulation material from cotton stalk fibers. *Energy and Buildings*, 42(7), 1070–1074.