

สมบัติของแผ่นคอมโพสิตผนังอาคารจากก้านดอกทานตะวัน โดยกระบวนการคงรูปด้วยวิธีการอัดร้อน Properties of Building Composite Wall Panels from Sunflower Stalks by Compression Molding

วารางคณา นิมจาริณ¹ ฉันททิพ สกุลเขมฤทัย² และ มณีรัตน์ เข็มขาว^{3*}

Warangkana Nimcharoen¹ Chuntip Sakulphaemaruehai² and Maneerat Khemkhao^{3*}

¹วิทยาลัยพลังงานและสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืนรัตนโกสินทร์ สาขาสถาปัตยกรรมผังเมือง คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และ
การออกแบบ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ 73170

²ภาควิชาวิศวกรรมวัสดุและโลหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี 12110

³วิทยาลัยพลังงานและสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืนรัตนโกสินทร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ 73170

¹Rattanakosin College for Sustainable Energy and Environment, Urban architecture, Faculty of
Architecture and Design, Rajamangala University of Technology Rattanakosin, Nakhon Pathom 73170

²Materials and Metallurgical Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology
Thanyaburi, Pathum Thani 12110

³Rattanakosin College for Sustainable Energy and Environment, Rajamangala University of Technology
Rattanakosin, Nakhon Pathom 73170

*Corresponding author: E-mail address: maneerat.khe@rmutr.ac.th

Received: 6 September 2022, Revised: 4 April 2023, Accepted: 24 April 2023, Published online: 30 August 2023

Abstract

This research aimed to compare the properties of composite wall panels made from sunflower stalks and sunflower bark, which were stabilized using a hot-pressing method. The composite wall panels were created using 60% rubber latex as a binder, with three different ratios of sunflower stalk to rubber latex (1:4, 1:5, and 1:6). The properties and thermal conductivity of the composite wall panels were analyzed. The results showed that the hot-pressing method resulted in good adhesion between the sunflower stalk and rubber latex for all three ratios, both in sunflower stalks and sunflower bark composites. The density of all composites ranged between 590 and 863 kg/m³, while the moisture content ranged from 9.12% to 14.22%. The swelling of the composites ranged from 5.66% to 12.43%, all within the range of the TIS 876-2547 and TIS 178-2549 standards. The flame-retardant rate fell within the range of 21.03-30.69 mm/min. The flexural strength ranged from 5.29 to 6.44 kg/cm², and the thermal conductivity ranged from 0.12 to 0.16 W/mK. Based on the results of the physical properties, flexural strength, and thermal conductivity, all ratios of sunflower stalk to rubber latex met the standards of TIS 876-2547 and TIS 178-2549. Thus, these composites have the potential to replace plywood and plywood chipboard for indoor wall applications.

Keywords: Composite panels, Sunflower stalks, Rubber latex, Hot-pressing

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาเปรียบเทียบสมบัติของแผ่นคอมโพสิตผนังอาคารจากก้านดอกทานตะวันในกลุ่มทั้งก้านและกลุ่มเปลือกก้าน มีกระบวนการคงรูปด้วยวิธีการอัดร้อน โดยใช้ น้ำยางพาราเข้มข้นร้อยละ 60 ทำหน้าที่เป็นสารยึดเกาะที่อัตราส่วนโดยน้ำหนักของก้านดอกทานตะวัน ต่อ น้ำยางพารา 3 อัตราส่วน คือ 1:4, 1:5 และ 1:6 ศึกษาสมบัติทางกายภาพ ค่าการดัดงอและค่าการนำความร้อนของแผ่นคอมโพสิตผนังอาคาร ผลการศึกษา พบว่า ลักษณะการเกาะยึดของเส้นใยเศษก้านดอกทานตะวันกับน้ำยางพาราด้วยวิธีการอัดร้อน น้ำยางสามารถจับยึดกับเศษก้านดอกทานตะวันได้ดี ทั้ง 3 อัตราส่วน ของทุกกลุ่มก้านดอกทานตะวัน แผ่นคอมโพสิตที่ได้มีความหนาแน่นระหว่าง 590 – 863 กก./ม³ ค่าความชื้นอยู่ที่ร้อยละ 9.12 – 14.22 ค่าการพองตัวตามความหนาอยู่ในช่วงร้อยละ 5.66 – 12.43 ซึ่งสามารถเทียบอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานมอก.876-2547 และ มอก.178-2549 ในทุกอัตราส่วนของทุกกลุ่มก้านดอกทานตะวัน การทดสอบการลามไฟตามเกณฑ์มาตรฐาน UL94 HB Test พบว่า มีอัตราการลามไฟอยู่ในช่วง 21.03-30.69 มม./นาที โดยไม่เติมสารหน่วงไฟ ซึ่งไม่เกินค่ามาตรฐาน ค่าการดัดงอและค่าการนำความร้อนในช่วง 5.29-6.44 กก./ซม.² และ 0.12 – 0.16 W/mK ตามลำดับ ซึ่งจากผลทดสอบสมบัติทางกายภาพค่าการดัดงอและค่าการนำความร้อนที่อัตราส่วน 1:4, 1:5 และ 1:6 มีสมบัติเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐาน มอก.876-2547 และมาตรฐาน มอก.178-2549 สามารถใช้ทดแทนไม้อัดและไม้อัดซีพอร์ดี มีความเหมาะสมต่อการใช้งานประเภทงานผนังภายในอาคาร

คำสำคัญ: แผ่นคอมโพสิต ก้านดอกทานตะวัน น้ำยางพารา การอัดร้อน

บทนำ

“ผนังอาคาร” เป็นส่วนสำคัญของอาคาร ใช้เพื่อแบ่งกันขอบเขตของอาคารหรือส่วนพื้นที่ต่างๆ โดยแบ่งเป็นผนังที่ใช้กันระหว่างอาคารเรียกว่า ผนังภายนอก และผนังที่ใช้แบ่งกันพื้นที่ภายในของอาคารเรียกว่า ผนังภายใน พระราชบัญญัติควบคุมอาคาร 2522 ให้คำจำกัดความของ “ผนัง” หมายความว่า ส่วนก่อสร้างในด้านตั้ง ซึ่งกั้นด้านนอกหรือระหว่างหน่วยของอาคารให้เป็นหลังหรือเป็นหน่วยแยกจากกัน [1] ดังนั้นในการใช้งานเพื่อประโยชน์ด้านการแบ่งเขตพื้นที่แล้ววัสดุผนังที่ดีควรมีคุณสมบัติป้องกันความชื้นจากภายนอกเข้ามาภายในอาคาร มีความคงทนไม่เปื่อยยุ่ยง่าย สามารถกันเสียงรบกวน กันความร้อน ทนไฟได้ในระดับหนึ่ง และมีความแข็งแรงในการยึดติดสิ่งต่างๆให้เกิดความงามได้

โดยแนวคิด “Circular economy” หรือเศรษฐกิจหมุนเวียน มีหลักการที่คำนึงถึงการออกแบบสินค้าและบริการที่เน้นการรักษาต้นทุนด้านทรัพยากรธรรมชาติ เพิ่มประสิทธิภาพในการใช้ทรัพยากรให้เกิดประโยชน์ด้วยการหมุนเวียนวัสดุดิบ เพื่อลดการเกิดของเสียและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมให้ได้มากที่สุด [2] จากแนวคิดดังกล่าวเห็นได้ว่าลักษณะภูมิประเทศและสภาพอากาศของประเทศไทยมีความเหมาะสมต่อการทำเกษตรกรรม ส่งผลให้มีผลผลิตทางการเกษตรและของเหลือทิ้งจากการเกษตรเป็นจำนวนมาก ซึ่งของเสียจากการทำการเกษตรและวัสดุเหลือใช้จากการเกษตรนั้นสามารถนำมาสร้างสรรค้ให้เกิดประโยชน์ใหม่หรือผลิตภัณฑ์ใหม่ได้อีก และจากสถานะเศรษฐกิจในปัจจุบัน การหันมาพึ่งพาตนเองในด้านกระบวนการผลิต หรือการสร้างผลิตภัณฑ์เพื่อให้มีการใช้วัสดุดิบ การใช้ทรัพยากรธรรมชาติ และการใช้พลังงานให้เกิดประโยชน์อย่างมีประสิทธิภาพ รวมถึงการให้ความสำคัญในการลดผลกระทบต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อมให้ได้มากที่สุดนั้น จะสามารถส่งผลกระทบต่อชุมชนและประเทศอย่างยั่งยืนได้

จึงนำไปสู่การพัฒนาการผลิตแผ่นคอมโพสิตสำหรับงานผนังอาคาร จากเอกสารรายงานทางวิชาการได้มีการศึกษาแผ่นคอมโพสิตที่ได้จากต้นมันสำปะหลัง มีความหนาแน่น 800 กก./ลบ.ม มีความหนา 10 มม. มาเป็นแผ่นผนังภายในอาคารแทนการใช้ไม้อัด พบว่าสามารถลดความร้อนเข้าสู่อาคารได้ดีกว่าไม้อัด 3.03 องศาเซลเซียส [3] และการศึกษาการใช้เส้นใยจากไม้ไผ่ผสมกับกาวเรซินอัดขึ้นรูปโดยวิธีการอัดร้อน ค่าการนำความร้อนของผลิตภัณฑ์อยู่ในช่วงระหว่าง 0.08 ถึง 0.34 W/mK. ตามค่าความหนาแน่นซึ่งสามารถใช้เป็นแผ่นผนังอาคารได้ [4] เป็นการเพิ่มคุณค่าแก่วัสดุเหลือใช้

สามารถลดปริมาณขยะ ลดมลพิษที่เกิดจากการเผาทำลาย สร้างรายได้ให้กับชุมชนและยังสะท้อนอัตลักษณ์ทางสถาปัตยกรรมพื้นถิ่นได้อีกด้วย

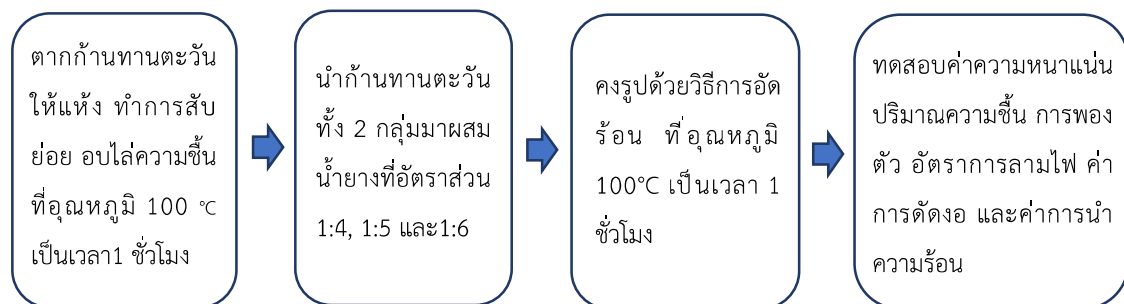
ดอกทานตะวันในประเทศไทย มีการเพาะปลูกมากในพื้นที่ภาคกลาง ภาคเหนือ และภาคตะวันออกเฉียงเหนือ จะทำการเพาะปลูกเป็นพืชที่ 2 หลังจากการปลูกข้าวโพดและพืชตระกูลถั่ว สามารถปลูกได้ดีในทุกสภาพดิน หลังจากการเก็บเกี่ยวเมล็ดทานตะวันแล้วจะมีส่วนเหลือทิ้งคือส่วนของลำต้น เกษตรกรจะใช้วิธีการกำจัดโดยการไถกลบหรือการเผาทำลาย ทำให้ไม่เกิดมูลค่าและส่งผลทำให้เกิดฝุ่น ควัน เกิดผลกระทบต่อคุณภาพอากาศและสภาพแวดล้อม และจากเอกสารงานวิจัย พบว่า วัสดุอาคารที่มีคุณสมบัติในการเป็นฉนวนกันความร้อนที่ดี ควรเป็นวัสดุที่มีความหนาแน่นน้อยและมีค่าการนำความร้อนที่ต่ำ [5] ซึ่งกลุ่มพืชที่เป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรจะมีโครงสร้างที่ประกอบด้วยสารอินทรีย์ มีลักษณะของเส้นใยพืชเป็นโพรงอากาศทำให้มีค่าการนำความร้อนต่ำและมีสมบัติในการเป็นฉนวนกันความร้อนได้ อีกทั้งยังหาได้ง่ายและไม่เป็นมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม [6] ก้านดอกทานตะวันมีคุณสมบัติที่เหมาะสมต่อการพัฒนาเป็นวัสดุอาคารเนื่องจากมีคุณสมบัติในการเป็นฉนวนกันความร้อน ฉนวนกันเสียง [7] ค่าความหนาแน่นจัดอยู่ในกลุ่มความหนาแน่นปานกลางและมีค่าการนำความร้อนที่ต่ำกว่าเมื่อเทียบกับโพลียูรีเทน [8] และก้านดอกทานตะวันจัดอยู่ในกลุ่มวัสดุธรรมชาติที่อยู่ในระยะทดลอง มีความน่าสนใจในการนำมาพัฒนาและเพิ่มมูลค่า [3]

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบสมบัติของแผ่นคอมโพสิตจากก้านดอกทานตะวันของเศษก้านดอกทานตะวันในกลุ่มทั้งก้านและเปลือกก้าน ที่มีน้ำยางพาราพริวัลลาโนสเป็นสารยึดเกาะ ด้วยกระบวนการคงรูปแผ่นคอมโพสิตโดยวิธีการอัดร้อน ที่อัตราส่วนโดยน้ำหนักของเศษก้านดอกทานตะวัน ต่อ น้ำยางพารา 1:4 1:5 และ 1:6 ทำการทดสอบสมบัติทางกายภาพของแผ่นคอมโพสิต การตัดจอบ และการนำความร้อน

วิธีการวิจัย

1. วัสดุ อุปกรณ์และการขึ้นรูปชิ้นงาน นำก้านดอกทานตะวันซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร ที่ได้มาจากการเก็บเกี่ยวดอกทานตะวันและเมล็ดทานตะวันจากไร่ทานตะวันจำปี อำเภอน้ำขุ่น จังหวัดลพบุรี มาทำการตากแดดให้แห้ง (ภาพที่ 1-3) แบ่งกลุ่มก้านดอกทานตะวันออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มทั้งก้าน และกลุ่มเปลือกก้าน นำก้านดอกทานตะวันทั้ง 2 กลุ่มไปบดย่อยด้วยเครื่องสับย่อยให้ได้ขนาดเฉลี่ย 0.3 – 1.00 เซนติเมตร (ภาพที่ 4) โดยใช้เครื่องสับไฟฟ้ารุ่น 182U (BOSCO ประเทศไทย) ความจุ 100-180 กก. / ชั่วโมง (ภาพที่ 5) อบไล่ความชื้นที่ 100 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 ชั่วโมง [6] นำเศษก้านดอกทานตะวันที่บดย่อยและอบไล่ความชื้นแล้วทั้ง 2 กลุ่มมาผสมกับน้ำยางธรรมชาติพริวัลลาโนส HM (บริษัทไทยรับเบอร์ลาเท็กซ์กรุ๊ป จำกัด มหาชน) ในอัตราส่วนโดยน้ำหนักของเศษก้านดอกทานตะวัน ต่อ น้ำยางพารา 3 อัตราส่วน คือ 1:4 1:5 และ 1:6 ที่น้ำหนักเศษก้านทานตะวันที่ 110 กรัม เทใส่แม่พิมพ์ขนาด 20 x 20 x 1.5 เซนติเมตร (ภาพที่ 6-7) ทำการคงรูปแผ่นคอมโพสิตด้วยวิธีการอัดร้อน (LP-S-20, LAB TECH Engineering ประเทศไทย) (ภาพที่ 8) แรงอัดที่ 1500 psi หรือ 100 กก./ cm^2 ขนาดแท่น 20 x 20 เซนติเมตร ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ดังแผนภูมิที่ 1

แผนภูมิที่ 1 ขั้นตอนการเตรียมวัสดุและการคงรูปแผ่นคอมโพสิตด้วยวิธีการอัดร้อน





ภาพที่ 1 ก้านดอกทานตะวันที่ผ่านการเก็บเกี่ยวและนำมาทำการตากแห้ง



ก).



ข).

ภาพที่ 2 (ก) ก้านดอกทานตะวันที่ทำการตากแห้งแล้ว (ข) ก้านดอกทานตะวันที่มีเปลือกก้านหุ้มแก่นรูปพุนภายในก้าน

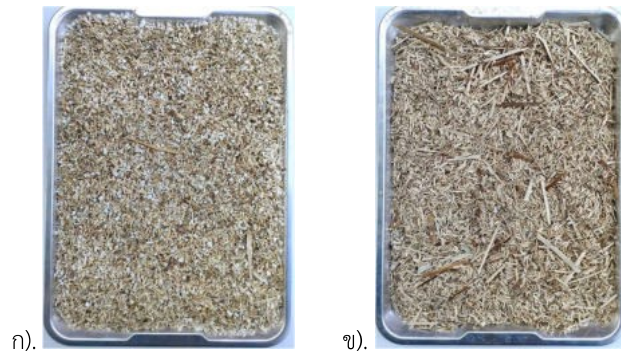


ก)



ข).

ภาพที่ 3 ลักษณะส่วนประกอบของก้านดอกทานตะวันที่ประกอบด้วย (ก)แก่นรูปพุนภายในก้าน และ(ข)เปลือกก้าน



ภาพที่ 4 ก้านดอกทานตะวันที่ผ่านกระบวนการสับย่อย (ก).ทั้งก้าน (ข).เปลือกก้าน



ภาพที่ 5 เครื่องสับย่อยไฟฟ้า



ภาพที่ 6 การชั่งตวงส่วนผสมอัตราส่วนของเศษก้านดอกทานตะวัน ต่อ น้ำยางพารา



ภาพที่ 7 การผสมอัตราส่วนของเศษก้านดอกทานตะวัน ต่อน้ำยาง และการเทใส่แม่พิมพ์



ภาพที่ 8 เครื่องอัดรีด Compression molding

2. การทดสอบสมบัติของแผ่นคอมโพสิต นำชิ้นงานตัวอย่างของ 2 กลุ่มก้านดอกทานตะวันไปทำการทดสอบหาค่าความหนาแน่น ปริมาณความชื้น การพองตัว อัตราการลามไฟ ค่าการตัดงอ และค่าการนำความร้อน ดังนี้

2.1 ความหนาแน่น [9] ใช้ชิ้นทดสอบขนาด $5 \times 5 \times 1.5$ เซนติเมตร แสดงในภาพที่ 9 นำไปชั่งน้ำหนักอย่างละเอียด วัดความกว้างของชิ้นทดสอบขนานกับขอบ โดยใช้เวอร์เนียเป็นเครื่องมือวัด แล้วหาค่าเฉลี่ยความหนาแน่นจากสมการที่ 1 [10-11] ตามมาตรฐาน มอก.178-2547 [12]

$$\text{สมการ} \quad \rho = \frac{M}{v} \quad (1)$$

เมื่อ ρ คือ ความหนาแน่น ของวัสดุมีหน่วยเป็นกิโลกรัม ต่อ ลูกบาศก์เมตร (กก./ม.³)

M คือ มวลรวมของวัสดุ มีหน่วยเป็นกิโลกรัม (กก.)

v คือ ปริมาตรรวมของวัสดุ มีหน่วยเป็นลูกบาศก์เมตร (ม.³)

2.2 ปริมาณความชื้น [13] โดยการเทียบน้ำหนักก่อนอบแห้งกับน้ำหนักหลังอบแห้งของชิ้นฉนวนทดสอบ ชั่งน้ำหนักของชิ้นฉนวนทดสอบขนาด $5 \times 5 \times 1.5$ เซนติเมตร แสดงในภาพที่ 9 ก่อนอบแห้งด้วยเครื่องชั่งน้ำหนักดิจิตอล หลังจากนั้นนำมาอบที่อุณหภูมิ 103 ± 2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 ชั่วโมง ชั่งน้ำหนักเป็นน้ำหนักหลังอบแห้ง นำมาคำนวณหาค่าปริมาณความชื้นตามสมการที่ 2 ตามมาตรฐาน มอก.178-2549 [14]

$$\text{สมการ} \quad \text{ค่าปริมาณความชื้น (\%)} = \left(\frac{M1-M}{M0} \right) \times 100 \quad (2)$$

เมื่อ $M0$ = น้ำหนักหลังอบ มีหน่วยเป็น กรัม (ก.)

$M1$ = น้ำหนักก่อนอบ มีหน่วยเป็น กรัม (ก.)

2.3 การพองตัว [15] นำชิ้นทดสอบขนาด $5 \times 5 \times 1.5$ เซนติเมตร แสดงในภาพที่ 9 วัดความหนาขึ้นทดสอบทั้ง 4 มุม หาค่าเฉลี่ยความหนาก่อนแช่น้ำ นำชิ้นงานทดสอบแช่น้ำที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำชิ้นทดสอบขึ้นจากน้ำ วัดความหนาขึ้นงานตามตำแหน่งเดิม หาค่าเฉลี่ยความหนาหลังแช่น้ำตามมาตรฐานมอก. 876-2547 [12] ดังสมการที่ 3

$$\text{สมการ} \quad \text{ค่าเฉลี่ยความหนา(การพองตัว)} \quad t = \left(\frac{t2-t1}{t1} \right) \times 100 \quad (3)$$

เมื่อ $t1$ = ความหนาก่อนแช่น้ำ มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร (มม.)

$t2$ = ความหนาหลังแช่น้ำ มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร (มม.)



ภาพที่ 9 ขนาดชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบหาค่าความหนาแน่น ปริมาณความชื้น การพองตัวและค่าการนำความร้อน

2.4 อัตราการลามไฟ [16] การเตรียมชิ้นงานและการทดสอบแบบ UL94 HB-TEST [17] กำหนดระยะเวลาการไหม้ของชิ้นงาน โดยตัดชิ้นงานขนาด $127 \times 15 \times 10$ มิลลิเมตร วัดจากหัวท้ายเข้ามาด้านละ 25 มิลลิเมตร จากนั้นยึดชิ้นงานกับ clamp ตามแนวนอน ตั้งความสูงของเปลวไฟที่ 25 มิลลิเมตร ความเอียงของตะเกียงที่ 45 องศา จ่อเปลวไฟที่ชิ้นงานนาน 30 วินาที แสดงในภาพที่ 10 จับเวลาการเผาไหม้จากรยะแรกถึงระยะสุดท้าย หาค่าอัตราการลามไฟตามสมการที่ 4

$$\text{สมการ} \quad \text{อัตราการเผาไหม้ (Rate of burning)} = \left(\frac{S}{t-t_0} \right) \quad (4)$$

เมื่อ S = ความยาวของชิ้นงานในช่วงที่กำหนด มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร (มม.)

t_0 = เวลาที่ใช้ในการเผาไหม้เริ่มต้นจนถึงขีดแรก มีหน่วยเป็นนาทีก่อน (นาทีก่อน)

t = เวลาที่ใช้ในการเผาไหม้เริ่มต้นจนถึงขีดที่สอง มีหน่วยเป็นนาทีก่อน (นาทีก่อน)



ภาพที่ 10 การทดสอบการลามไฟแนวนอน ตามมาตรฐาน UL-94

2.5 การดัดงอ [18] นำชิ้นงานขนาด 13 x 70 x 3.5 มิลลิเมตร ไปทดสอบหาค่าการดัดงอแบบ 3 จุด ด้วยเครื่อง Universal testing machine (Instron 5569) Load cell 1 กิโลนิวตัน ภายใต้อัตราเร็วในการกด 1.28 มิลลิเมตร ต่อ นาที และระยะระหว่างแท่นค้ำยัน 48 มิลลิเมตร แสดงในภาพที่ 11-12 นำมาคำนวณหาค่าการดัดงอตามสมการที่ 5 ตามมาตรฐานการทดสอบ ASTM D790 [19] และ มาตรฐานการทดสอบกำลังต้านทานแรงดัดของไม้ [20]

$$\text{สมการ แรงดัดงอ} = \frac{3FL}{2WH^2} \quad (5)$$

- เมื่อ F = แรงที่ทำให้เกิดการแตกของวัสดุ มีหน่วยเป็นกิโลกรัม (กก.)
- L = ระยะห่างระหว่างตำแหน่งของวัสดุที่รองรับตัวอย่าง มีหน่วยเป็นเซนติเมตร (ซม.)
- W = ความกว้างของตัวอย่าง มีหน่วยเป็นเซนติเมตร (ซม.)
- H = ความสูงของตัวอย่าง มีหน่วยเป็นเซนติเมตร (ซม.)



ภาพที่ 11 เครื่องทดสอบ Universal testing machine (INSTRON 5569)



ภาพที่ 12 ลักษณะการวางชิ้นทดสอบ และการกวดทดสอบการติดตั้ง

2.6 ค่าการนำความร้อน [21] ทำการทดสอบด้วยเครื่อง Hot Disk Thermal Constant Analyser (Hot Disk) แสดงในภาพที่ 13 ที่สภาวะทดสอบอุณหภูมิห้องที่ประเภท Kapton Insulation (Sensor No. C7577, Radius=2.001 มิลลิเมตร ใช้ชิ้นงานทดสอบ ขนาด 5 × 5 × 1.5 เซนติเมตร แสดงในภาพที่ 9 โดยทำการวางชิ้นงานตัวอย่าง 2 ชั้นแบบประกบคู่ และวางสายเซนเซอร์ไว้ตรงกลางระหว่างชิ้นงานทั้ง 2 ชั้น ทำการปล่อยกระแสไฟฟ้า แสดงในภาพที่ 13 หาค่าการนำความร้อนตามสมการที่ 6

$$\text{สมการ} \quad K = \frac{Q L}{A \Delta T} \quad (6)$$

- เมื่อ K = สภาพนำความร้อน มีหน่วยเป็นวัตต์ต่อเมตรเคลวิน(W/mK)
 Q = ความร้อนที่ไหลผ่านต่อพื้นที่ผิวตัวอย่าง มีหน่วยเป็นวัตต์ (W)
 A = พื้นที่ที่ความร้อนไหลผ่าน มีหน่วยเป็นตารางเมตร (ม.²)
 L = ความหนาของชิ้นทดสอบ มีหน่วยเป็นเมตร (ม.)
 ΔT = อุณหภูมิที่แตกต่างระหว่างผิวด้านอุณหภูมิสูงและด้านอุณหภูมิต่ำมีหน่วยเป็นเคลวิน (K)









ภาพที่ 13 เครื่องทดสอบ Hot Disk Thermal Constant Analyser และลักษณะการวางแผ่นชิ้นงานทดสอบ

ที่มา: ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ <https://www.mtec.or.th/technical-service-2/thermal-analysis/>






ผลการวิจัยและอภิปรายผลงานวิจัย

การทดสอบการคงรูปแผ่นคอมโพสิตผนังอาคารจากก้านดอกทานตะวัน ในส่วนทั้งก้านดอกทานตะวันและส่วนเปลือกก้านดอกทานตะวัน โดยการบดย่อยก้านดอกทานตะวันให้มีขนาดเล็กประมาณ 0.3-1.00 เซนติเมตร เมื่อก้านดอกทานตะวันมีขนาดเล็กลงช่วยทำให้น้ำยางพาราพรีวัลคาไนซ์ ที่ใช้เป็นสารยึดเกาะสามารถจับยึดเกาะกับเศษก้านทานตะวันได้ดี และการทดลองการคงรูปด้วยการอัดร้อนในอุณหภูมิที่ทำให้ยางคงรูป 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ด้วยแรงอัด 1500 psi แผ่นคอมโพสิตที่ได้จากกระบวนการทำให้น้ำยางคงรูปด้วยเครื่องอัดร้อน ใช้ปริมาณอัตราส่วนโดยน้ำหนักของเศษก้านดอกทานตะวัน ต่อ น้ำยางพาราที่อัตราส่วน 1:4 1:5 และ 1:6 แสดงดังตารางที่ 1 พบว่า มีลักษณะเป็นแผ่นเรียบมีช่องอากาศน้อย เส้นใยแต่ละเส้นชิดกันได้ดี มีความยืดหยุ่นและสามารถคืนรูปได้เมื่อทำการบิดงอชิ้นงาน น้ำหนักของแผ่นคอมโพสิตมีความสัมพันธ์โดยตรงกับปริมาณน้ำยางพาราเมื่ออัตราส่วนของปริมาณน้ำยางเพิ่มขึ้น น้ำหนักของแผ่นคอมโพสิตก็เพิ่มขึ้นด้วย ซึ่งในการศึกษาทดลองได้ทำการทดลองขึ้นรูปแผ่นคอมโพสิตโดยใช้อัตราส่วนโดยน้ำหนักของเศษก้านดอกทานตะวัน ต่อ น้ำยางพาราพรีวัลคาไนซ์ ที่อัตราส่วน 1:2 1:3 พบว่า แผ่นคอมโพสิตที่ได้มีลักษณะเป็นแผ่นโปร่งมีช่องว่างรูพรุนมาก จึงพิจารณาเลือกการทดสอบการคงรูปและทดสอบสมบัติของแผ่นคอมโพสิตที่อัตราส่วนโดยน้ำหนักของเศษก้านดอกทานตะวัน ต่อ น้ำยางพาราพรีวัลคาไนซ์ที่อัตราส่วน 1:4 1:5 และ 1:6 ในการทดสอบ ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แผ่นคอมโพสิตจากก้านดอกทานตะวันด้วยวิธีอัดร้อน

ลักษณะแผ่นคอมโพสิตจากก้านดอกทานตะวันที่ใช้ในรายงานธรรมชาติเป็นสารยึดเกาะ ทั้ง 2 กลุ่ม ที่อัตราส่วนต่างๆ			
ส่วนของก้านดอกทานตะวันที่ใช้	อัตราส่วน	ลักษณะชิ้นงานด้านหน้า	ลักษณะชิ้นงานด้านข้าง
ทั้งก้าน	1:4		
ทั้งก้าน	1:5		
ทั้งก้าน	1:6		

ตารางที่ 1 แผ่นคอมโพสิตจากก้านดอกทานตะวันด้วยวิธีอัดร้อน (ต่อ)

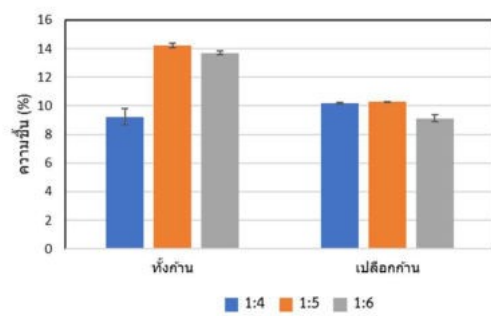
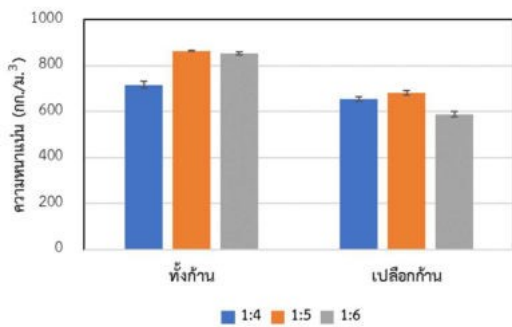
ลักษณะแผ่นคอมโพสิตจากก้านดอกทานตะวันที่ใช้ใยธรรมชาติเป็นสารยึดเกาะ ทั้ง 2 กลุ่ม ที่อัตราส่วนต่างๆ			
ส่วนของก้านดอกทานตะวันที่ใช้	อัตราส่วน	ลักษณะชิ้นงานด้านหน้า	ลักษณะชิ้นงานด้านข้าง
เปลือกก้าน	1:4		
เปลือกก้าน	1:5		
เปลือกก้าน	1:6		

แผ่นคอมโพสิตทุกอัตราส่วนมีค่าความหนาแน่นอยู่ระหว่าง 588.61- 864.24 กก./ม.³ แสดงในแผนภูมิที่ 14(ก) ซึ่งอยู่ในช่วงตามมาตรฐานมอก.876-2547 ประเภทไม้อัดชนิดอัดราบที่ความหนาแน่น 400-900 กก./ม.³ [12] และประเภทไม้อัดฮาร์ดบอร์ด ความหนาแน่นปานกลางที่ 640 กก./ม.³ ไม้อัดซีพอร์ดที่ความหนาแน่น 800 กก./ม.³ ตามประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม พ.ศ.2539 และประกาศกระทรวงพลังงาน พ.ศ.2564 [10-11] ซึ่งความหนาแน่นของแผ่นคอมโพสิตจากกลุ่มทั้งก้านจะมีค่าความหนาแน่นมากกว่าแผ่นคอมโพสิตจากกลุ่มเปลือกก้านทุกอัตราส่วน ซึ่งความหนาแน่นของแผ่นคอมโพสิตจากกลุ่มทั้งก้านจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อมีการเพิ่มอัตราส่วนของน้ำยางพารา ขณะที่ความหนาแน่นของแผ่นคอมโพสิตจากกลุ่มเปลือกก้านจะมีแนวโน้มลดลง โดยค่าความหนาแน่นจะส่งผลต่อความทนทาน อายุการใช้งานและการนำไปใช้ประโยชน์ของแผ่นวัสดุชนิดนั้นๆ

เช่นเดียวกับค่าความชื้นที่แสดงในแผนภูมิที่ 14(ข) พบว่า แผ่นคอมโพสิตจากกลุ่มทั้งก้านจะมีค่าแปรผันโดยตรงกับอัตราส่วนน้ำยางพาราที่เพิ่มขึ้น ขณะที่ค่าความชื้นของแผ่นคอมโพสิตจากกลุ่มเปลือกก้านจะแปรผกผัน โดยมีค่าปริมาณความชื้นเฉลี่ยของแผ่นคอมโพสิตจากกลุ่มทั้งก้านและจากกลุ่มเปลือกก้านทุกอัตราส่วนอยู่ในช่วงร้อยละ 8.97-14.20 ซึ่งทุกอัตราส่วนผ่านเกณฑ์มาตรฐาน มอก.178-2549 ที่มีค่าความชื้นมาตรฐานที่ร้อยละ 7 - 15 [14] โดยมีชิ้นงานทดสอบผ่านเกณฑ์มาตรฐาน มอก.876-2547 ที่มีช่วงค่าความชื้นมาตรฐานที่ร้อยละ 4 - 13 [12] ได้แก่ แผ่นคอมโพสิตจากกลุ่มทั้งก้านที่อัตราส่วน 1:4 มีค่าความชื้นที่ร้อยละ 9.226 และจากกลุ่มเปลือกก้านที่อัตราส่วน 1:4, 1:5 และ 1:6 มีค่าความชื้นร้อยละ 10.183, 10.270 และ 9.123 ตามลำดับ โดยแผ่นคอมโพสิตจากกลุ่มทั้งก้านมีค่าความชื้นที่สูงกว่ากลุ่มเปลือกก้าน เนื่องจากแก่นสีขาวภายในก้านเป็นรูพรุนมีลักษณะคล้ายฟองน้ำ เมื่อเพิ่มปริมาณน้ำยางทำให้เส้นใยในกลุ่มทั้งก้านดูดซึมน้ำยางไว้ได้มากขึ้น ส่งผลให้มีปริมาณความชื้นที่สูงตามไปด้วย

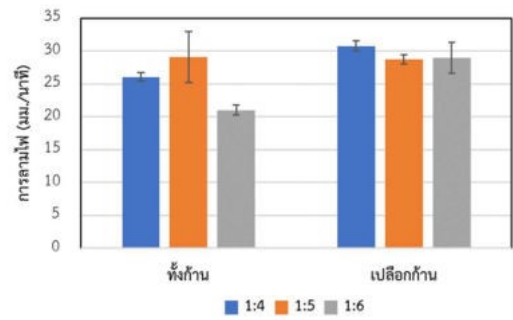
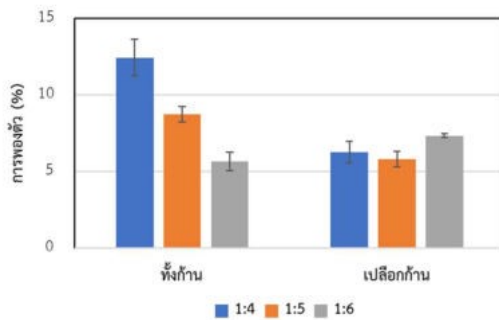
การพองตัวของแผ่นคอมโพสิตเมื่อนำไปแช่น้ำเป็นเวลา 24 ชั่วโมง พบว่า ค่าการพองตัวของแผ่นคอมโพสิตจากกลุ่มทั้งก้านจะมีค่าลดลง เมื่อเพิ่มอัตราส่วนของน้ำยางพารา ขณะที่การพองตัวของแผ่นคอมโพสิตจากกลุ่มเปลือกก้านจะมีค่าต่ำสุดที่อัตราส่วน 1:5 ดังแสดงในภาพที่ 14(ค) โดยค่าการพองตัวตามความหนาเฉลี่ยของทั้ง 2 กลุ่มก้านในทุกอัตราส่วนมีค่าการพองตัวอยู่ในช่วงร้อยละ 5.666 -12.434 ซึ่งอยู่ในค่ามาตรฐานมอก.876-2547 ที่มีค่ามาตรฐานการพองตัวไม่เกินร้อยละ 12 [12] โดยแผ่นคอมโพสิตจากกลุ่มเปลือกก้านจะมีค่าการพองตัวที่ต่ำกว่าแผ่นคอมโพสิตจากกลุ่มทั้งก้าน เนื่องจากความสามารถในการพองตัวของเปลือกก้านดอกทานตะวันที่มีลักษณะเป็นเปลือกแข็งส่งผลให้มีการพองตัวได้น้อย

การทดสอบการลามไฟ แสดงในภาพที่ 14(ง) พบว่า ในทุกอัตราส่วนมีระยะอัตราการลามไฟอยู่ที่ 20.971 - 30.730 มม./นาท ที่ซึ่งไม่เกิน 40 มม./นาท ตามเกณฑ์มาตรฐาน UL94 HB-TEST [17] โดยระยะเวลาการลามไฟในอัตราส่วน 1:6 ของกลุ่มทั้งก้านเป็นระยะเวลาการลามไฟที่ช้าที่สุดที่ระยะ 20.90 มม./นาท การลามไฟจะช้าลงในแผ่นคอมโพสิตจากกลุ่มทั้งก้านและกลุ่มเปลือกก้านเมื่อมีการเพิ่มอัตราส่วนของน้ำยางพารา และค่าการลามไฟของแผ่นคอมโพสิตจากกลุ่มทั้งก้านจะเกิดขึ้นช้ากว่าส่วนของกลุ่มเปลือกก้าน เนื่องจากแผ่นคอมโพสิตกลุ่มทั้งก้านมีค่าความชื้นที่สูงกว่ากลุ่มเปลือกก้านจากปริมาณน้ำที่เป็นส่วนประกอบในน้ำยางพารา จึงมีผลทำให้อัตราการลามไฟในกลุ่มทั้งก้านเกิดขึ้นช้ากว่ากลุ่มเปลือกก้าน จากค่าความชื้นที่มีมากกว่า และเมื่อแผ่นคอมโพสิตมีความหนาแน่นมากส่งผลให้อัตราการลามไฟเกิดขึ้นช้าลง เนื่องจากการอัดแน่นชิดกันของเส้นใยและน้ำยางพารา จึงทำให้เกิดปฏิกิริยาในการเผาไหม้ที่ช้ากว่าแผ่นคอมโพสิตที่มีความหนาแน่นน้อย



ก)

ข)



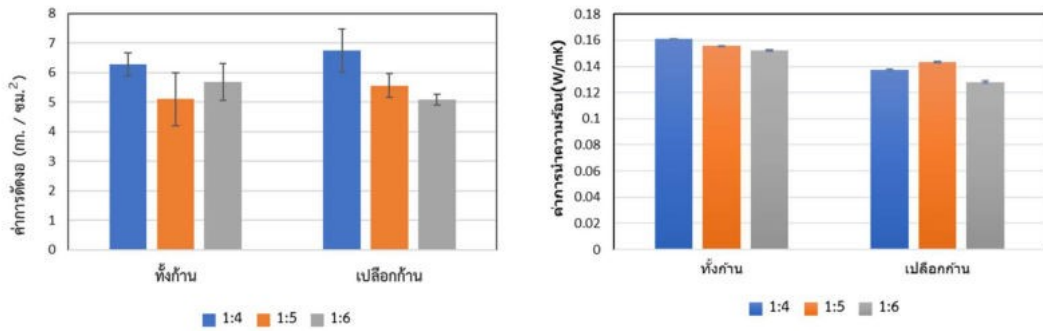
ค)

ง)

ภาพที่ 14 ผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพ (ก) ความหนาแน่น (ข) ความชื้น (ค) การพองตัว (ง) การลามไฟ

การตั้งของแผ่นคอมโพสิตจากกลุ่มทั้งก้อนและกลุ่มเปลือกก้อน มีค่าอยู่ในช่วง 5.29 - 6.44 กก./ซม.² ซึ่งการเพิ่มอัตราส่วนของน้ำยาพาราไม่มีผลต่อค่าการตั้งของแผ่นคอมโพสิตจากกลุ่มทั้งก้อน ขณะที่เมื่อเพิ่มอัตราส่วนน้ำยาพารา จะทำให้ค่าการตั้งของแผ่นคอมโพสิตจากกลุ่มเปลือกก้อนมีแนวโน้มลดลง แสดงในภาพที่ 15 (ก)

ค่าการนำความร้อน ที่การทดสอบด้วยเครื่อง Hot Disk ดังแสดงในภาพที่ 15(ข) พบว่า แผ่นคอมโพสิตทุกอัตราส่วนมีค่าการนำความร้อนอยู่ระหว่าง 0.128 – 0.161 W/mK ซึ่งเป็นไปตามประกาศประกาศกระทรวงพลังงาน พ.ศ. 2564 ประเภทไม้อัดฮาร์ดบอร์ดความหนาแน่นปานกลาง ที่ค่าการนำความร้อน 0.123 W/mK และไม้อัดชิพบอร์ดที่ 0.144 W/mK [10-11] โดยแผ่นคอมโพสิตจากกลุ่มทั้งก้อนมีค่าการนำความร้อนสูงกว่ากลุ่มเปลือกก้อนในทุกอัตราส่วน และปริมาณน้ำยาพาราที่เพิ่มขึ้นส่งผลต่อค่าการนำความร้อนที่ลดลง และค่าการนำความร้อนมีความสัมพันธ์กับค่าความหนาแน่น โดยพบว่า ในอัตราส่วน 1:6 จากกลุ่มเปลือกก้อน มีค่าการนำความร้อนต่ำที่สุดที่ 0.128 W/mK และมีค่าความหนาแน่นน้อยที่สุดด้วย ซึ่งหมายความว่า ค่าความหนาแน่นที่ได้มีผลต่อค่าการนำความร้อนของแผ่นคอมโพสิตด้วย แผ่นคอมโพสิตที่มีความหนาแน่นที่ต่ำ เกิดจากการมีช่องว่างภายในแผ่นคอมโพสิตที่ทำให้อากาศเข้าไปแทรกตัวอยู่ภายในได้มากกว่า เมื่อมีค่าความหนาแน่นต่ำหรือความหนาแน่นน้อย จึงส่งผลให้มีค่าการนำความร้อนต่ำด้วย



ก)

ข

ภาพที่ 15 ผลการทดสอบสมบัติทางกล (ก) การดัดงอ และสมบัติทางความร้อน (ข) การนำความร้อน

สรุปผลการวิจัย

แผ่นคอมโพสิตผนังอาคารจากก้านดอกทานตะวันในกลุ่มทั้งก้าน และกลุ่มเปลือกก้าน ที่อัตราส่วนโดยน้ำหนักของเศษก้านดอกทานตะวัน ต่อ น้ำยางพาราที่ 1:4, 1:5 และ 1:6 เป็นอัตราส่วนที่น้ำยางพาราสามารถจับยึดเศษก้านทานตะวันได้ดี แผ่นคอมโพสิตที่ได้จากกระบวนการทำให้น้ำยางคงรูปด้วยวิธีการอัดร้อน ให้ค่าความหนาแน่นอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน มอก.876-2547 และ อยู่ในเกณฑ์ตามประกาศกระทรวงพลังงาน พ.ศ. 2564 ปริมาณความชื้นของกลุ่มทั้งก้านที่อัตราส่วน 1:5 และ 1:6 มีค่าความชื้นสูงกว่ากลุ่มเปลือกก้านที่อัตราส่วนเดียวกัน โดยมีค่าความชื้นในทุกอัตราส่วนอยู่ในช่วงร้อยละ 9.123 – 14.225 และทุกอัตราส่วนมีค่าการพองตัวตามความหนาอยู่ในช่วงร้อยละ 5.666 – 12.434 มีอัตราการลามไฟที่ระยะการเผาไหม้ในช่วง 20.971-30.730 มม./นาที่ โดยไม่เติมสารหน่วงไฟ และมีค่าการดัดงออยู่ในช่วง 5.093-6.743 กก./ซม.² ซึ่งผลทดสอบสมบัติทางกายภาพของคอมโพสิตจากก้านดอกทานตะวันที่อัตราส่วนโดยน้ำหนักของเศษก้านดอกทานตะวัน ต่อ น้ำยางพาราที่อัตราส่วน 1:4, 1:5 และ 1:6 เป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐาน มอก.876-2547 มาตรฐาน มอก.178-2549 และมาตรฐาน UL94 HB-TEST ทุกอัตราส่วนของทั้ง 2 กลุ่มก้าน มีความเหมาะสมสำหรับงานผนังภายในอาคาร ค่าการนำความร้อนของแผ่นคอมโพสิตผนังอาคารจากก้านดอกทานตะวันที่ได้จากกลุ่มเปลือกก้านที่อัตราส่วน 1:6 ให้ค่าการนำความร้อนต่ำสุดที่ 0.1281 W/mk เป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานเกณฑ์ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน ตามประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม พ.ศ.2539 และประกาศกระทรวงพลังงาน พ.ศ.2564 และมีค่าความหนาแน่นน้อยที่สุดที่ 590.385 กก./ม.³ ด้วยเช่นกัน เห็นได้ว่าเมื่อแผ่นคอมโพสิต มีค่าความหนาแน่นน้อยมีผลสัมพันธ์กับค่าการนำความร้อนที่ดี ทำให้แผ่นคอมโพสิตผนังอาคารจากก้านดอกทานตะวันมีคุณสมบัติในการเป็นฉนวนกันความร้อนให้กับผนังอาคารได้อีกด้วย และยังสามารถประยุกต์ใช้เป็นแผ่นรองพื้นในการกันความร้อนก่อนการปูวัสดุปิดผิวพื้น ในการศึกษาขั้นต่อไปควรทำการศึกษาถึงแนวโน้มการใช้งานในลักษณะคุณสมบัติที่ช่วยให้ความยืดหยุ่นในส่วนของการใช้เป็นแผ่นพื้นอาคาร ในการใช้งานสำหรับผู้สูงอายุและเด็กเล็ก

เอกสารอ้างอิง

- [1] กฎกระทรวง ฉบับที่ 55(พ.ศ. 2543) ออกตามความในพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522. ข้อ 1 (ออนไลน์) สืบค้นเมื่อ 23 กันยายน 2565, จาก <https://asa.or.th>
- [2] ธนันธร มหาพรประจักษ์. **Circular economy** ทางออกของปัญหาสิ่งแวดล้อม. ธนาคารแห่งประเทศไทย.(ออนไลน์) 2562. สืบค้นเมื่อ 3 พฤษภาคม 2565, จาก https://www.bot.or.th/Thai/ResearchAndPublications/articles/Pages/Article_30Jul2019.aspx
- [3] Bozsaky, David., (2019). "Nature-Based Thermal Insulation Materials from Renewable Resources – A State-Of-The-Art Review" *Slovak Journal of Civil Engineering*. 27(1), 52-59.
- [4] Eschenhagen, Arne; Raj, Magdalena; Rodrigo, Natalia; Zamora, Alejandro; Labonne, Laurent; Evon, Philippe; Welemane, H el ene., (2019). Investigation of Miscanthus and Sunflower Stalk Fiber-Reinforced Composites for Insulation Applications. *Advances in Civil Engineering*, 1–7.
- [5] ธนัญชัย ปทุมวรกิจ, พันธดา พุฒิไพโรจน์, วรธรรม อุจน์จิตติชัย, พรรณจิรา ทิศาวิภาต., (2006) “ประสิทธิภาพการป้องกันความร้อนของฉนวนอาคารจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร” *Journal of Architectural/Planning Research and Studies*. 4. Faculty of Architecture and Planning, Thammasat University
- [6] อนุภา สุกุลพาณิชย์., (2559). การพัฒนาฉนวนกันความร้อนสู่อาคารจากขี้ข้าวโพดและน้ำยางธรรมชาติ. *Veridian E-Journal, Silpakorn University*. 9 (1), 1688-1702.
- [7] Stefan de Carvalho, Patricia; Nora, Macklini Dalla; Cantorski da Rosa, Leandro., (2020). Development of an acoustic absorbing material based on sunflower residue following the cleaner production techniques. *Journal of Cleaner Production*. 270 (10), 122478.
- [8] Wang, Hao; Chiang, Pen-Chi; Cai, Yanpeng; Li, Chunhui; Wang, Xuan; Chen, Tse-Lun; Wei, Shiming; Huang, Qian., (2018). Application of Wall and Insulation Materials on Green Building: A Review. *Sustainability*. 10 (9), 3331.
- [9] โรสลีนา จาราแวง., (2559). การพัฒนาฉนวนกันความร้อนจากพืชในเขตท้องถิ่น. มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา
- [10] ประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม เรื่อง คำสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุ ค่าความต้านทานความร้อน ของฟิล์มอากาศ ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า ค่าความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างภายในและภายนอกอาคารสัมประสิทธิ์การบังแดดของหน้าต่าง และค่าตัวประกอบรังสีอาทิตย์ เล่ม 113 ตอนพิเศษ 21ง ราชกิจจานุเบกษา 17 กรกฎาคม 2539
- [11] ประกาศกระทรวงพลังงาน เรื่อง หลักเกณฑ์ วิธีการคำนวณ และการรับรองผลการตรวจประเมินในการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงานแต่ละระบบ การใช้พลังงานโดยรวมของอาคาร และการใช้พลังงานหมุนเวียนในระบบต่าง ๆ ของอาคาร พ.ศ. 2564. เล่ม 138 ตอนพิเศษ 315 ง ราชกิจจานุเบกษา 24 ธันวาคม 2564
- [12] มาตรฐานอุตสาหกรรม. มอก.876–2547. แผ่นขึ้นไม้อัดชนิดราบ. สำนักมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม. ประกาศในพระราชกิจจานุเบกษา ฉบับทั่วไปเล่ม 121 ตอนที่ 63ง วันที่ 5 สิงหาคม 2547
- [13] สุภิญญา ธาราดล.,(2559). การพัฒนาผลิตภัณฑ์ขี้ข้าวโพดอัดขึ้นรูปเพื่องานประดิษฐ์. วิทยานิพนธ์ปริญญา ดุษฎีบัณฑิต มหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.
- [14] มาตรฐานอุตสาหกรรม. มอก.178–2549. แผ่นไม้อัด. สำนักมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม. ประกาศในพระราชกิจจานุเบกษา ฉบับประกาศและงานทั่วไปเล่ม 124 ตอนพิเศษ 28ง วันที่ 12 มีนาคม 2550

- [15] Phairat Usubharatana, Hampon Phungrassami., (2019). LIFE CYCLE ASSESSMENT OF BIO-BASED THERMAL INSULATION MATERIALS FORMED BY DIFFERENT METHODS. *Environmental Engineering and Management Journal*. 18(7), 1471-1486
- [16] จินดาพร สืบชำเพชร และ ชีระวิทย์ พลโคกก่อง., (2022). แผ่นขึ้นไม้อัดต้านทานการลามไฟจากเปลือกข้าวโพดเคลือบเจลาตินปลา. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์*. 6 (1), 17-27.
- [17] มาตรฐาน UL94 HB-TES. (2001) *Test for Flammability of Plastic Materials for Parts in Devices and Appliances*. ISBN 0-7629-0082-2.,1-52 (ออนไลน์) สืบค้นเมื่อ 5 กุมภาพันธ์ 2565, จาก <http://file.yzimgs.com/174750/20078119548234314385.pdf>
- [18] ปรีย นิลแสงรัตน์., (2560). การผลิตฉนวนกันความร้อนจากเส้นใยหญ้าคาและยางพารา. มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม.
- [19] มาตรฐาน ASTM D790 “Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials” January 18, 2018
- [20] **มาตรฐานการทดสอบไม้**. มยพ.1224-51: มาตรฐานการทดสอบกำลังต้านทานแรงดัดของไม้.สำนักควบคุมและตรวจสอบอาคาร กรมโยธาธิการและผังเมือง พ.ศ.2551
- [21] พัชร อ่อนพรม, ปรียาภรณ์ รัตนติสร้อย, ศตวรรษ ทองชาติ, ศิริวรรณ ประดิษฐ์ด้วง, เมลณี นิลทะวัช., (2565). การศึกษาสมบัติทางวิศวกรรมของฉนวนกันความร้อนจากขี้เลื่อย. *วารสารวิจัยและนวัตกรรมการอาชีวศึกษา*. 6 (1), 43-51.