

Research Article

การเสื่อมสภาพของวัสดุเชิงประกอบแซนด์วิชระหว่างพลาสติก
และแผ่นไม้ไผ่สานภายใต้สภาพแวดล้อมธรรมชาติ

Deterioration of Sandwich Composites between Plastics
and Woven Bamboo Plates under Natural Weathering

ชาตรี หอมเขียว^{a,b*} ชัยณรงค์ ศรีเวบุตร^a วรธนพร ชีววุฒิปงศ์^{a,b} สุรสิทธิ์ ระวังวงศ์^{a,b}
และ ธีรพงษ์ เหลี่ยมขุน^a

Chatree Homkhiew^{a,b*}, Chainarong Srivabut^a, Watthanaphon Cheewawuttipong^{a,b}, Surasit Rawangwong^{a,b}
and Teerapong Lemkhun^a

^a สาขาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย อำเภอเมือง จังหวัดสงขลา 90000

^a Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Srivijaya, Muang, Songkhla 90000, Thailand.

^b หน่วยวิจัยเทคโนโลยีการแปรรูปวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย อำเภอเมือง จังหวัดสงขลา 90000

^b Materials Processing Technology Research Unit, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Srivijaya, Muang, Songkhla 90000, Thailand.

ABSTRACT

Article history:

Received: 2023-07-21

Revised: 2023-10-05

Accepted: 2023-10-16

Keywords:

wood-plastic composites;

polymer;

compression molding;

mechanical property;

analysis of variance

The objective of this research was to analyze the effects of plastic types (polystyrene, polypropylene, and polylactic acid) and woven bamboo patterns (weave pattern and marble pattern) on the mechanical and physical properties of sandwich composites made from plastic and woven bamboo plates, subjected to natural weathering for 6 months. In manufacturing the sandwich composites, the sample panels were compressed using a compression molding machine. From the results of experiment, analysis of variance (ANOVA) indicated that the plastic types significantly ($p < 0.05$) affected modulus of rupture, tensile strength, shear strength, and puncture force, while with the same plastic type and woven bamboo pattern the 2-sample t -test revealed that the sandwich composites showed a significant decrease in mechanical properties ($p < 0.05$). Further, after being subjected to natural weathering for 6 months, the sandwich composites made from polypropylene showed the highest mechanical properties (7.22-16.1 MPa) and those made from polylactic acid exhibited the lowest mechanical properties (2.1-9.1 MPa). The sandwich composites made from plastic and bamboo plates with a weave pattern had significantly higher mechanical properties than those with a marble pattern, both before and after exposure to natural weathering. Finally, considering physical changes, it was revealed that the sandwich composites made from plastic and woven bamboo plates exhibited less surface roughness and fewer cracks than 100% pure plastic after exposure to natural weathering.

© 2025 Homkhiew, C., Srivabut, C., Cheewawuttipong, W., Rawangwong, S. and Lemkhun, T. Recent Science and Technology published by Rajamangala University of Technology Srivijaya

* Corresponding author.

E-mail address: chatree.h@rmutsv.ac.th

Cite this article as:

Homkhiew, C., Srivabut, C., Cheewawuttipong, W., Rawangwong, S. and Lemkhun, T. 2025. Deterioration of Sandwich Composites between Plastics and Woven Bamboo Plates under Natural Weathering. *Recent Science and Technology* 17(3): 259829.

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ผลกระทบต่อสมบัติทางกลของพลาสติก (พอลิโพรพิลีน พอลิเอทิลีน และพอลิแล็กติกแอซิด) และลวดลายสานไม้ไผ่สาน (ลายสาน และลายลูกแก้ว) ต่อสมบัติทางกลและทางกายภาพของวัสดุเชิงประกอบแกนวิหระหว่างพลาสติกและแผ่นไม้ไผ่สานภายใต้สภาพแวดล้อมธรรมชาติเป็นระยะเวลา 6 เดือน ในการผลิตวัสดุเชิงประกอบแกนวิหระหว่างพลาสติกและแผ่นไม้ไผ่สานเป็นแผ่นขึ้นงานตัวอย่างดำเนินการโดยใช้เครื่องอัดรีด ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนแสดงให้เห็นว่า ชนิดพลาสติกมีผลกระทบต่ออย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ต่อค่าความแข็งแรงดึง ค่าความแข็งแรงดึง ค่าความแข็งแรงเฉือน และค่าแรงต้านทานการทิ่มทะลุ ขณะเดียวกันค่ากลางของสองประชากรอิสระ (2-sample *t*-test) แสดงให้เห็นด้วยว่าที่ชนิดพลาสติกและแผ่นไม้ไผ่สานลายเดียวกัน วัสดุเชิงประกอบแกนวิหมีสมบัติทางกลลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) นอกจากนี้พบว่า หลังอยู่ภายใต้สภาพแวดล้อมธรรมชาติเป็นระยะเวลา 6 เดือน วัสดุเชิงประกอบแกนวิหที่ผลิตด้วยพลาสติกพอลิโพรพิลีนมีสมบัติทางกลสูงที่สุด (7.22-16.1 MPa) และวัสดุเชิงประกอบแกนวิหที่ผลิตด้วยพลาสติกพอลิแล็กติกแอซิด มีสมบัติทางกลน้อยที่สุด (2.1-9.1 MPa) ขณะเดียวกัน วัสดุเชิงประกอบแกนวิหระหว่างพลาสติกและแผ่นไม้ไผ่สานลายสาน มีสมบัติทางกลสูงกว่าวัสดุเชิงประกอบแกนวิหระหว่างพลาสติกและแผ่นไม้ไผ่สานลายลูกแก้วอย่างเห็นได้ชัด ทั้งก่อนและหลังอยู่ภายใต้สภาพแวดล้อมธรรมชาติ และเมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ แสดงให้เห็นว่า วัสดุเชิงประกอบแกนวิหระหว่างพลาสติกและแผ่นไม้ไผ่สานมีความขรุขระและรอยแตกร้าวน้อยกว่าพลาสติก 100% (Pure plastic) หลังอยู่ภายใต้สภาพแวดล้อมธรรมชาติ

คำสำคัญ: วัสดุเชิงประกอบพลาสติกและไม้, พอลิเมอร์, การอัดรีด, สมบัติทางกล, การวิเคราะห์ความแปรปรวน

1. บทนำ

ในหลายปีที่ผ่านมาจนถึงปัจจุบัน วัสดุเชิงประกอบพลาสติกเป็นหนึ่งในวัสดุที่ได้รับความนิยมในหลาย ๆ อุตสาหกรรม เช่น การบินและอวกาศ รถยนต์ เรือ และการก่อสร้าง เนื่องจากวัสดุเชิงประกอบพลาสติกมีสมบัติที่แข็งแรงและโดดเด่นหลายประการ เช่น ความหนาแน่นต่ำ ทนทานต่อสารเคมีสูง ความแข็งแรงจำเพาะ และมอดูลัสที่สูง (Cheewawuttipong *et al.*, 2022) อย่างไรก็ตาม วัสดุเชิงประกอบพลาสติกมักจะสร้างมลพิษให้กับสิ่งแวดล้อมมากขึ้นหากมีการใช้วัสดุเสริมแรงจำพวกเส้นใยสังเคราะห์ เช่น เส้นใยแก้วและเส้นใยคาร์บอน เป็นสารเสริมแรง (Reinforcement) ทำให้ผู้บริโภคเริ่มตระหนักกับปัญหานี้ (Wang and Young, 2022) ดังนั้นวัสดุเสริมแรงจำพวกเส้นใยธรรมชาติจะเข้ามาแทนที่เส้นใยดังกล่าวในการพัฒนาเป็นวัสดุเชิงประกอบพลาสติกเสริมเส้นใยธรรมชาติ

ในการปรับปรุงสมรรถนะของวัสดุเชิงประกอบพลาสติกเสริมเส้นใยธรรมชาติ นอกจากการปรับเปลี่ยนอัตราส่วนผสมของวัสดุเชิงประกอบแล้ว การปรับเปลี่ยนโครงสร้างของวัสดุเชิงประกอบเนื้อเดียวเป็นโครงสร้างแบบแซนวิช หรือวัสดุแซนวิช (Sandwich-structured) ที่ประกอบด้วยแผ่นประกบ (Face-sheet) ด้านบนและด้านล่างมีความบางแต่แข็งแรงสูง และแกนกลาง (Core) ซึ่งเป็นส่วนสำคัญของวัสดุแซนวิช ทำมาจากวัสดุอ่อนมีจุดเด่นคือ น้ำหนักน้อย มีความคงรูป และรับแรงได้ดี (Promjan *et al.*, 2022; Nasirzadeh and Sabet, 2014; Vitale *et al.*, 2017; Jaturonlux and Ratanawilai, 2023) เป็นแนวทางหนึ่งที่น่าสนใจและกำลังได้รับความนิยม โดย Promjan *et al.* (2022) ได้พัฒนาวัสดุแซนวิชจากวัสดุเชิงประกอบพลาสติกและผงไม้ยางพาราที่มีแกนกลางจากพลาสติก และพบว่า แผ่นวัสดุแซนวิชมีความสามารถในการรับแรงดึง และแรงกระแทกได้ดีขึ้นถึง 63% และ 68% ตามลำดับ เมื่อเทียบกับวัสดุเชิงประกอบพลาสติกและไม้แบบ

ชั้นเดียว Wang and Young (2022) ได้ศึกษาสมบัติทางกลของวัสดุเชิงประกอบแซนวิชพอลิโพรพิลีนเสริมแรงด้วยเส้นใยไม้ไผ่ทอ ซึ่งพบว่า วัสดุเชิงประกอบแซนวิชที่เส้นใยไผ่ผ่านปรับปรุงผิวด้วยต่างมีความต้านทานแรงดึงที่ดีกว่าเส้นใยไม้ไผ่ที่ไม่ผ่านการปรับปรุงผิว Hao *et al.* (2018) ได้พัฒนาวัสดุเชิงประกอบแซนวิชพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูงและผงไม้ที่มีแกนกลางเป็นพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำเชิงเส้นตรง โดยพบว่า วัสดุเชิงประกอบที่มีโครงสร้างเป็นแซนวิช สามารถปรับปรุงความแข็งแรงดึงและความแข็งแรงกระแทกได้ 42% และ 77% ตามลำดับ ขณะเดียวกัน Hao *et al.* (2019) ได้ศึกษาผลกระทบของปริมาณผงไม้ต่อสมบัติทางกลของวัสดุเชิงประกอบแซนวิชพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูงและผงไม้ ซึ่งพบว่า ค่าความแข็งแรงและค่ามอดูลัสการดัดเพิ่มขึ้น เมื่อเติมผงไม้เป็นส่วนผสมในแผ่นประกบของวัสดุเชิงประกอบแซนวิชมากขึ้น ผลจากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องข้างต้น จะเห็นได้ว่าวัสดุเชิงประกอบแซนวิชจะมีทั้งการนำพลาสติกล้วน วัสดุเชิงประกอบพลาสติกและไม้ และเส้นใยธรรมชาติดังเช่นไม้ไผ่มาใช้เป็นวัสดุแกนกลาง ซึ่งไม้ไผ่เป็นวัสดุที่มีความน่าสนใจในการนำมาใช้เป็นวัสดุแกนกลางเนื่องจากมีความแข็งแรงและความเหนียวสูง ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีการพัฒนาวัสดุเชิงประกอบแซนวิชโดยใช้ไม้ไผ่เป็นวัสดุแกนกลาง

ไม้อยู่ในตระกูล Poaceae (เดิมคือ Gramineae) ในปัจจุบันพบอยู่ 47 สกุล แยกเป็น 1,250 ชนิด สำหรับประเทศไทยซึ่งอยู่ในเขตร้อน ทำให้ไม้ไผ่เจริญเติบโตได้ดี (Phungchik *et al.*, 2013) ไม้มีความสำคัญทางเศรษฐกิจในการสร้างความมั่นคงให้แก่ประเทศมากที่สุดชนิดหนึ่ง เพราะไม้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลากหลาย ได้แก่ หน่อไม้ใช้เป็นอาหาร ลำไผ่ใช้สร้างที่พักอาศัย เครื่องใช้สอยในครัวเรือน และเครื่องมือจับสัตว์น้ำหลายชนิด เป็นต้น บทบาทสำคัญของไม้ไผ่ประการหนึ่งคือการใช้ในอุตสาหกรรมกระดาษ (Phungchik *et al.*, 2013; Sun *et al.*, 2022;

Muhammad *et al.*, 2019) นอกจากนี้ ไม้ไผ่ยังได้รับการยกย่องอย่างกว้างขวางว่าเป็นวัสดุเชิงประกอบทางชีวภาพน้ำหนักเบา ซึ่งมีความแข็งแรงสูงกว่าวัสดุโลหะบางชนิด เช่น เหล็ก และอลูมิเนียม โดยธรรมชาติแล้ว ไม้ไผ่สามารถรับน้ำหนักได้มาก เช่น แรงโน้มถ่วง (แรงคงที่) แรงลม (แรงแบบไดนามิก) และอื่น ๆ อีกทั้งมีโครงสร้างน้ำหนักเบาของวัสดุเชิงประกอบช่วยรักษาเสถียรภาพของโครงสร้างที่ดีของไม้ไผ่ และปรับปรุงสมบัติแรงดึง แรงอัด การโค้งงอ และแรงเฉือนของไม้ไผ่ (Sun *et al.*, 2022) ดังนั้น การใช้ลำไม้ไผ่จะเพิ่มปริมาณมากขึ้นในอนาคต (Phungchik *et al.*, 2013; Phuangchik, 2013; Huang *et al.*, 2019; Nkeuwa *et al.*, 2022)

จากข้อมูลข้างต้น การพัฒนาวัสดุเชิงประกอบแซนวิชระหว่างพลาสติกและเส้นใยธรรมชาติยังมีความจำเป็นต่อไป เพื่อให้ได้วัสดุชนิดใหม่ที่สามารถตอบสนองการประยุกต์ใช้งานของมนุษย์ที่มีความซับซ้อนและหลากหลายมากขึ้น และต้องเป็นวัสดุที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ดังนั้น การพัฒนาวัสดุเชิงประกอบแซนวิชระหว่างพลาสติกและแผ่นไม้ไผ่สานจึงมีความน่าสนใจ เนื่องจากไม้ไผ่เป็นพืชชนิดหนึ่งที่มีศักยภาพเชิงปริมาณของประเทศไทย และเพื่อให้ได้วัสดุเชิงประกอบแซนวิชที่มีสมรรถนะสูง จึงมีความจำเป็นที่ต้องศึกษาผลกระทบชนิดพลาสติกและลวดลายสานไม้ไผ่สานต่อสมบัติทางกลและทางกายภาพของวัสดุเชิงประกอบแซนวิชระหว่างพลาสติกและแผ่นไม้ไผ่สาน อีกทั้งในการประยุกต์ใช้งานวัสดุเชิงประกอบแซนวิชมักอยู่ในสภาพแวดล้อมธรรมชาติ เช่น วัสดุก่อสร้าง วัสดุโครงสร้างอาคาร และวัสดุตกแต่งนอกอาคาร เป็นต้น การศึกษาสมบัติของวัสดุเชิงประกอบแซนวิชระหว่างพลาสติกและแผ่นไม้ไผ่สานภายใต้สภาพแวดล้อมธรรมชาติจึงเป็นสิ่งจำเป็น

2. วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้สามารถแบ่งวิธีการดำเนินการวิจัยได้เป็น 3 ส่วนหลัก คือ วัสดุที่ใช้ในการวิจัย การขึ้นรูปวัสดุเชิงประกอบแซนวิชระหว่างพลาสติกและแผ่นไม้ไผ่สาน และการวิเคราะห์และการทดสอบสมบัติ โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.1 วัสดุที่ใช้ในการวิจัย

วัสดุที่นำมาใช้ในการวิจัย ประกอบด้วย 1) พลาสติกพอลิสไตรีน (Polystyrene; PS) เกรด GP150 จัดซื้อมาจาก บริษัท ไออาร์พีซี จำกัด (มหาชน) 2) พลาสติกพอลิโพรพิลีน (Polypropylene; PP) เกรด 486N จัดซื้อมาจากบริษัท HMC Polymer จำกัด 3) พลาสติกพอลิแลคติกแอซิด (Polylactic acid; PLA) เกรด 4043D จัดซื้อมาจากบริษัท บีซี โพลีเมอร์ มาร์เก็ตติ้ง จำกัด และ 4) แผ่นไม้ไผ่สานลายสาน (Weave pattern) ดังแสดงในภาพที่ 1(a) และแผ่นไม้ไผ่สานลายลูกแก้ว (Marble pattern) ดังแสดงในภาพที่ 1(b) จัดซื้อมาจากกลุ่มฝาสานไม้ไผ่บ้านค่ายรวมมิตร ตำบลทุ่งนุ้ย อำเภอควนกาหลง จังหวัดสตูล ซึ่งทั้ง 2 ลายนี้ เป็นลาย

สานที่ความซับซ้อนแตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัดและเป็นลายสานที่ได้รับความนิยม ดังนั้น จึงเลือก 2 ลายสานนี้ในการศึกษาวิจัย โดยไม้ไผ่ที่นำมาสานมีขนาดกว้าง 15 มิลลิเมตร และหนา 2 มิลลิเมตร อย่างไรก็ตาม ก่อนการนำแผ่นไม้ไผ่สานไปขึ้นรูป แผ่นไม้ไผ่สานได้รับการอบลดความชื้นที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

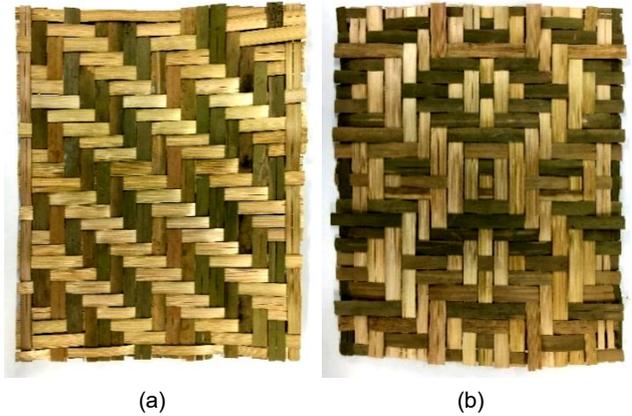


Figure 1 Weaving bamboo plates (a) weave pattern and (b) marble pattern.

2.2 การขึ้นรูปวัสดุเชิงประกอบแซนวิชระหว่างพลาสติกและแผ่นไม้ไผ่สาน

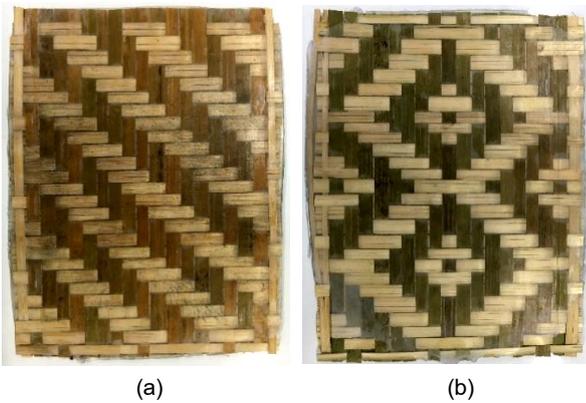
การขึ้นรูปแผ่นขึ้นงานตัวอย่างจากวัสดุเชิงประกอบแซนวิชระหว่างพลาสติกและแผ่นไม้ไผ่สานมีรายละเอียดดังนี้

1) นำเม็ดพลาสติกพอลิสไตรีน หรือพอลิโพรพิลีน หรือพอลิแลคติกแอซิด ขึ้นรูปเป็นแผ่นที่มีความหนา 1 มิลลิเมตร กว้าง 200 มิลลิเมตร และยาว 250 มิลลิเมตร เพื่อใช้เป็นแผ่นประกบ โดยใช้เครื่องอัดร้อนและมีการควบคุมอุณหภูมิการอัดร้อน 190 องศาเซลเซียส และแรงดันอัด 2,500 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เป็นเวลา 10 นาที

2) นำแผ่นพลาสติกประกบแผ่นที่ 1 วางในแม่พิมพ์ จากนั้นใส่แผ่นไม้ไผ่สานเป็นไส้กลางในแม่พิมพ์ หลังจากนั้นวางแผ่นพลาสติกประกบแผ่นที่ 2 ในแม่พิมพ์ ตามสภาวะการออกแบบการทดลองดังตารางที่ 1 หลังจากนั้นอัดวัสดุทั้งหมดด้วยเครื่องอัดร้อนที่มีอุณหภูมิ 190 องศาเซลเซียส และแรงดันอัด 2,500 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เป็นเวลา 8 นาที ซึ่งจะได้แผ่นขึ้นงานตัวอย่างจากวัสดุเชิงประกอบแซนวิชระหว่างพลาสติกและแผ่นไม้ไผ่สาน ที่มีขนาดประมาณความหนา 4 มิลลิเมตร กว้าง 200 มิลลิเมตร และยาว 250 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพที่ 2

Table 1 Experimental design of sandwich composites between plastics and weaving bamboo plates.

Sample code	PS	PP	PLA	Pattern
PS	✓			-
PP		✓		-
PLA			✓	-
PSW	✓			Weave
PPW		✓		Weave
PLW			✓	Weave
PSM	✓			Marble
PPM		✓		Marble
PLM			✓	Marble

**Figure 2** Sandwich composites between plastics and weaving bamboo plates (a) weave pattern and (b) marble pattern.

3) ทำการตัดแผ่นชิ้นงานตัวอย่างด้วยเลื่อยฉลุไฟฟ้าตามตำแหน่งของแผ่นชิ้นงานตัวอย่างแต่ละแผ่น เพื่อให้ได้ชิ้นงานทดสอบตามมาตรฐานการทดสอบในแต่ละประเภท จากนั้นนำชิ้นงานตัวอย่างที่ได้มาขัดตกแต่งขอบด้วยเครื่องขัดไม้ เพื่อให้ชิ้นงานทดสอบมีขนาดตามมาตรฐานการทดสอบ หลังจากนั้นนำชิ้นงานทดสอบอบลดความชื้นที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 ชั่วโมง

2.3 การทดสอบชิ้นงานภายใต้สภาพแวดล้อมธรรมชาติ

การทดสอบวัสดุเชิงประกอบแซนวิชระหว่างพลาสติกและแผ่นไม้ไผ่สานในสภาพแวดล้อมธรรมชาติ ชิ้นงานทดสอบถูกติดตั้งเข้ากับชั้นวางที่เอียง 45 องศา และด้านหน้าของชิ้นงานหันไปทางทิศใต้ (Homkhiew *et al.*, 2022) ดังแสดงในภาพที่ 3 ซึ่งเป็นการปฏิบัติตามมาตรฐาน ASTM D1435 โดยชิ้นงานทดสอบและอุปกรณ์ทั้งหมดถูกวางบนแดดฟ้าชั้น 11 อาคารศรีวิศวรวิทยา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย จังหวัดสงขลา ประเทศไทย เป็นระยะเวลา 6 เดือน ตั้งแต่วันที่ 1 เมษายน พ.ศ. 2565 ถึง วันที่ 30 กันยายน พ.ศ. 2565 ซึ่งเป็นช่วงฤดูร้อน

ของภาคใต้ฝั่งอ่าวไทย จากนั้น เมื่อครบระยะเวลา 0, 2, 4 และ 6 เดือน ชิ้นงานทดสอบถูกนำมาทดสอบสมบัติต่าง ๆ

**Figure 3** Experimental set-up for sandwich composites between plastics and weaving bamboo plates under natural weathering test.

2.4 การวิเคราะห์และการทดสอบสมบัติ

2.4.1 การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของพื้นผิวชิ้นงาน

ตัวอย่าง

การเปลี่ยนแปลงของพื้นผิววัสดุเชิงประกอบแซนวิชระหว่างพลาสติกและแผ่นไม้ไผ่สานหลังอยู่ภายใต้สภาพแวดล้อมธรรมชาติเป็นระยะเวลา 2, 4 และ 6 เดือน ดำเนินการวิเคราะห์โดยการถ่ายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์ รุ่น Zeiss Axioskop (Oberkochen, Germany)

2.4.2 การวิเคราะห์ทางสถิติ

ผลกระทบของชนิดพลาสติกต่อสมบัติทางกลของวัสดุเชิงประกอบแซนวิชดำเนินการวิเคราะห์ทางสถิติโดยการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance; ANOVA) และการเปรียบเทียบเชิงซ้อนทุกคู่ (Tukey's multiple comparison test) ในขณะเดียวกัน การวิเคราะห์ผลกระทบของสภาพแวดล้อมธรรมชาติต่อสมบัติทางกลของวัสดุเชิงประกอบแซนวิชดำเนินการโดยการทดสอบความแตกต่างของค่ากลางของสองประชากรอิสระ (2-Sample *t*-test) ซึ่งในการวิเคราะห์ทางสถิตินี้ดำเนินการที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($\alpha=0.05$) (Homkhiew *et al.*, 2021)

2.4.3 การทดสอบสมบัติทางกล

การทดสอบการดัด เพื่อหาค่าความแข็งแรงดัด (Modulus of Rupture; MOR) เป็นการทดสอบดัดแบบ 3 จุด ซึ่งปฏิบัติตามมาตรฐาน ASTM D790 โดยใช้เครื่องทดสอบสมบัติทางกลอเนกประสงค์ (รุ่น NRI-TS500-50 จาก บริษัท นรินทรอินสทรูเมนต์ จำกัด) และชิ้นงานทดสอบมีขนาด 13 มิลลิเมตร × 100 มิลลิเมตร (กว้าง × ยาว) ระยะห่างระหว่างบารองรับชิ้นงาน (Span) มีระยะ

80 มิลลิเมตร ความเร็วที่ใช้ในการทดสอบตัด คือ 2 มิลลิเมตรต่อ นาที

การทดสอบการดึง เพื่อหาค่าความแข็งแรงดึง (Tensile Strength; TS) เป็นการทดสอบดึงที่ปฏิบัติตามมาตรฐาน ASTM D638 โดยใช้เครื่องทดสอบสมบัติทางกลอเนกประสงค์ ซึ่งชิ้นงานทดสอบมีขนาด 12 มิลลิเมตร × 160 มิลลิเมตร (กว้าง × ยาว) ความเร็วที่ใช้ในการทดสอบดึง คือ 5 มิลลิเมตรต่อนาที

การทดสอบการเฉือน เพื่อหาค่าความแข็งแรงเฉือน (Shear Strength; SS) เป็นการทดสอบแรงเฉือนแบบเดี่ยว (Single shear) ที่ปฏิบัติตามมาตรฐาน ASTM D5379 โดยใช้เครื่องทดสอบสมบัติทางกลอเนกประสงค์ ซึ่งชิ้นงานทดสอบมีขนาด 20 มิลลิเมตร × 76 มิลลิเมตร (กว้าง × ยาว) ความเร็วที่ใช้ในการทดสอบแรงเฉือนคือ 2 มิลลิเมตรต่อนาที

การทดสอบการทิ่มทะลุ เพื่อหาค่าแรงต้านทานการทิ่มทะลุ (Puncture Force; PF) เป็นการวัดแรงต้านทานการทิ่มทะลุ ซึ่งในการทดสอบการทิ่มทะลุปฏิบัติตามมาตรฐาน ISO 3036 โดยใช้เครื่องทดสอบสมบัติทางกลอเนกประสงค์ และชิ้นงานทดสอบมีขนาด 80 มิลลิเมตร × 80 มิลลิเมตร (กว้าง × ยาว) ในการทดสอบใช้ความเร็ว 30 มิลลิเมตรต่อนาที นอกจากนี้ การทดสอบสมบัติทางกลทั้ง 4 ประเภท ดำเนินการทดสอบในอุณหภูมิห้อง 25 องศาเซลเซียส และทดลองแบบสุ่มจำนวน 5 ชิ้นงานตัวอย่าง

3. ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

ในการออกแบบการทดลองมีตัวแปรอิสระคือ ชนิดพลาสติก ลวดลายแผ่นไม้ไผ่สาน และระยะเวลาการตากแดด ซึ่งสามารถออกแบบสภาวะที่ใช้ในการทดลองได้ 9 สภาวะ และค่าผลตอบสนองที่ได้จากการทดสอบ ได้แก่ ค่าความแข็งแรงดึง ค่าความแข็งแรงเฉือน และค่าแรงต้านทานการทิ่มทะลุ

3.1 การเปลี่ยนแปลงพื้นผิวของวัสดุเชิงประกอบแซนวิชหลังอยู่ในสภาพแวดล้อมธรรมชาติ

ลักษณะการเปลี่ยนแปลงพื้นผิวของวัสดุเชิงประกอบแซนวิชที่ก่อนและหลังอยู่ในสภาพแวดล้อมธรรมชาติ เป็นระยะเวลา 2, 4 และ 6 เดือน แสดงในตารางที่ 2 ซึ่งสามารถสังเกตเห็นได้ว่า เมื่อวัสดุเชิงประกอบแซนวิชหลังอยู่ในสภาพแวดล้อมธรรมชาตินานขึ้น พื้นผิวของวัสดุเชิงประกอบมีความขรุขระและรอยแตกกว้างเพิ่มขึ้น เนื่องจาก ผลกระทบจากรังสียูวีจากธรรมชาติสามารถทำลายพันธะเคมีของพลาสติก ทำให้สายโซ่โมเลกุลของพลาสติกที่ผ่านสภาวะสภาพแวดล้อมมีขนาดสั้นลง ทำให้พลาสติกเกิดการแตกกว้างและมีลักษณะเปราะ ส่งผลให้อายุการใช้งานของพลาสติกลดลง (Ratanawilai and Taneerat, 2018; Srivabut *et al.*, 2021) ในขณะเดียวกัน ที่ระยะเวลาการอยู่ในสภาพแวดล้อมธรรมชาติเท่ากัน สังเกตเห็นว่า วัสดุเชิงประกอบแซนวิชที่ผลิตด้วยพลาสติกพอลิแลกติกแอซิด มีความขรุขระมากกว่าวัสดุเชิงประกอบแซนวิชที่ผลิตด้วยพลาสติกพอลิสไตรีนและพอลิโพรพิลีน เนื่องจากพลาสติกพอลิแลกติกแอซิดเป็นพลาสติกชีวภาพ (Bioplastic) ซึ่งสามารถย่อยสลายได้โดยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ และจุลินทรีย์ในธรรมชาติภายหลังจากการใช้งาน (Saengwong-ngam *et al.*, 2020) โดยมีระยะเวลาการสลายตัวได้รวดเร็วกว่าพลาสติกพอลิสไตรีนและพอลิโพรพิลีน ดังนั้น ส่งผลให้วัสดุเชิงประกอบแซนวิชที่ผลิตจากพลาสติกพอลิแลกติกแอซิดมีรอยแตกกว้างและมีการสลายตัวได้รวดเร็วกว่าพลาสติกพอลิสไตรีนและพอลิโพรพิลีนหลังผ่านสภาพแวดล้อมธรรมชาติ (Spiridon *et al.*, 2016; Gramlich *et al.*, 2006; Sangnak *et al.*, 2021) นอกจากนี้ พบด้วยว่า วัสดุเชิงประกอบแซนวิชระหว่างพลาสติกและแผ่นไม้ไผ่สานมีความขรุขระและรอยแตกกว้างน้อยกว่าพลาสติก 100% (Pure plastics) หลังอยู่ในสภาพแวดล้อมธรรมชาติ เนื่องจาก การยึดเกาะที่มีความแข็งแรงของพลาสติกที่เสริมแรงด้วยวัสดุแกนกลางแผ่นไม้ไผ่สาน ส่งผลให้วัสดุเชิงประกอบมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น (Promjan *et al.*, 2022; Oliveira *et al.*, 2022) เมื่อผ่านสภาวะธรรมชาติจึงมีความขรุขระและรอยแตกกว้างน้อยกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับพลาสติก 100% (Pure plastics)

Table 2 Optical microscopy images of the sandwich composite surfaces at different weathering stages.

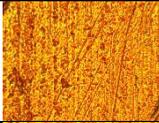
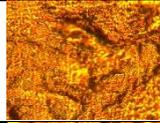
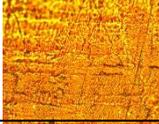
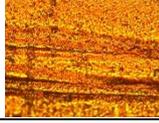
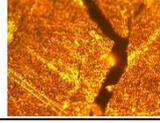
Code	Un-weathered	Weathered for 2 months	Weathered for 4 months	Weathered for 6 months
PS				
PP				
PLA				

Table 2 (Continuous)

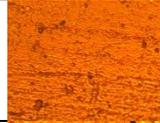
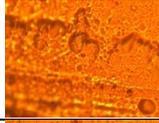
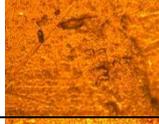
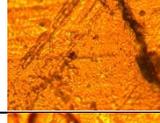
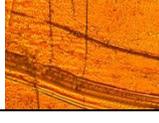
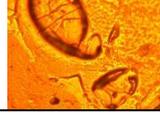
Code	Un-weathered	Weathered for 2 months	Weathered for 4 months	Weathered for 6 months
PSW				
PPW				
PLW				
PSM				
PPM				
PLM				

Table 3 Results of the statistical analysis on the effects of plastic types and exposure time on the mechanical properties of the sandwich composites.

Code	Modulus of rupture (MPa)			Tensile strength (MPa)			Shear strength (MPa)			Puncture force (N)		
	0 M	6 M	% Loss	0 M	6 M	% Loss	0 M	6 M	% Loss	0 M	6 M	% Loss
PS	38.7 ^{aA}	15.8 ^{aB}	59.2	13.3 ^{aA}	4.56 ^{abB}	65.7	24.3 ^{aA}	6.8 ^{aB}	72.0	-	-	-
PP	49.2 ^{bA}	19.1 ^{bB}	61.2	23.5 ^{bA}	7.2 ^{aB}	69.4	35.5 ^{bA}	13.0 ^{bB}	63.4	-	-	-
PLA	72.8 ^{cA}	9.4 ^{cB}	87.1	46.7 ^{cA}	2.5 ^{bB}	94.6	49.4 ^{cA}	6.0 ^{aB}	87.9	-	-	-
<i>p</i> -value	0.000*	0.000*	-	0.000*	0.032*	-	0.000*	0.009*	-	-	-	-
PSW	30.1 ^{aA}	12.3 ^{abB}	59.1	54.0 ^{aA}	8.90 ^{aB}	83.5	64.7 ^{aA}	15.3 ^{aB}	76.4	13.2 ^{aA}	4.2 ^{aB}	68.2
PPW	38.2 ^{bA}	15.0 ^{aB}	60.7	74.8 ^{bA}	12.16 ^{aB}	83.7	71.0 ^{bA}	16.1 ^{aB}	77.3	17.6 ^{bA}	4.6 ^{aB}	73.9
PLW	67.1 ^{cA}	9.1 ^{bB}	86.4	100.5 ^{cA}	3.51 ^{bB}	96.5	87.7 ^{cA}	7.0 ^{bB}	92.0	18.3 ^{bA}	3.4 ^{aB}	81.4
<i>p</i> -value	0.000*	0.001*	-	0.000*	0.002*	-	0.000*	0.006*	-	0.0287*	0.102	-
PSM	29.5 ^{aA}	7.7 ^{aB}	73.9	48.3 ^{aA}	5.99 ^{aB}	87.6	55.3 ^{aA}	14.3 ^{aB}	74.1	12.2 ^{aA}	3.7 ^{aB}	69.7
PPM	32.4 ^{aA}	12.6 ^{bB}	61.1	69.6 ^{bA}	7.22 ^{aB}	89.6	63.1 ^{bA}	14.4 ^{aB}	77.2	13.3 ^{abA}	4.3 ^{aB}	67.7
PLM	49.4 ^{bA}	7.4 ^{aB}	85.0	99.8 ^{cA}	2.10 ^{bB}	97.9	82.5 ^{cA}	5.7 ^{bB}	93.1	15.1 ^{bA}	2.9 ^{aB}	80.8
<i>p</i> -value	0.000*	0.006*	-	0.000*	0.011*	-	0.000*	0.002*	-	0.0351*	0.163	-

Note: M: Month; Means within each column of each formulation at 0 M and 6 M with the same superscripts a-c indicate no significant difference ($\alpha = 0.05$) according to ANOVA. Different superscripts A-B of each property and code indicate a significant difference ($\alpha = 0.05$) between mechanical properties of the composites before and after 6 months of natural weathering. Percentage loss was calculated after 6 months of natural weathering.

3.2 การวิเคราะห์ผลทางสถิติในการเสื่อมสภาพสมบัติทางกลของวัสดุเชิงประกอบแกนวิช

ผลการวิเคราะห์ทางสถิติในผลกระทบของชนิดพลาสติกและสภาพแวดล้อมธรรมชาติต่อสมบัติทางกลของวัสดุเชิงประกอบแกนวิชระหว่างพลาสติกและแผ่นไม้ไผ่สาน แสดงดังตารางที่ 3 ซึ่งจากการวิเคราะห์ความแปรปรวนพบว่า ชนิดพลาสติก (พอลิโพรพิลีน และพอลิแล็กติกแอซิด) มีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ต่อสมบัติทางกลคือ ค่าความแข็งแรงดัด ค่าความแข็งแรงดึง ค่าความแข็งแรงเฉือน และค่าแรงต้านทานการทิ่มทะลุ นอกจากนี้ เมื่อวิเคราะห์โดยใช้การเปรียบเทียบเชิงซ้อนทุกคู่ แสดงให้เห็นว่า หลังอยู่ภายใต้สภาพแวดล้อมธรรมชาติเป็นระยะเวลา 6 เดือน วัสดุเชิงประกอบแกนวิชระหว่างพอลิโพรพิลีนและแผ่นไม้ไผ่สานลายสาน (ตัวอักษร a) มีค่าความแข็งแรงดัดน้อยกว่าวัสดุเชิงประกอบแกนวิชระหว่างพอลิโพรพิลีนและแผ่นไม้ไผ่สานลายสาน (ตัวอักษร a) อย่างไม่มีนัยสำคัญ แต่ให้ค่าความแข็งแรงดึงสูงกว่าวัสดุเชิงประกอบแกนวิชระหว่างพอลิแล็กติกแอซิดและแผ่นไม้ไผ่สานลายสาน (ตัวอักษร b) อย่างมีนัยสำคัญ ($\alpha = 0.05$)

เมื่อวิเคราะห์ผลกระทบสภาพแวดล้อมธรรมชาติโดยใช้ 2-Sample *t*-test พบว่า ที่ชนิดพลาสติกและแผ่นไม้ไผ่สานลายเดียวกัน วัสดุเชิงประกอบแกนวิชมีสมบัติทางกล คือ ค่าความแข็งแรงดัด ค่าความแข็งแรงดึง ค่าความแข็งแรงเฉือน และค่าแรงต้านทานการทิ่มทะลุ ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ยกตัวอย่างวัสดุเชิงประกอบแกนวิชระหว่างพอลิโพรพิลีนและแผ่นไม้ไผ่สานลายลูกแก้ว ก่อนอยู่ภายใต้สภาพแวดล้อมธรรมชาติ (ตัวอักษร A) มีค่าความแข็งแรงดัดสูงกว่าหลังอยู่ภายใต้สภาพแวดล้อมธรรมชาติเป็นระยะเวลา 6 เดือน (ตัวอักษร B) อย่างมีนัยสำคัญ ($\alpha = 0.05$) นอกจากนี้ พบด้วยว่า วัสดุเชิงประกอบแกนวิชที่ผลิตด้วยพลาสติกพอลิแล็กติกแอซิด มีเปอร์เซ็นต์การสูญเสีย (% Loss) ของทุกสมบัติทางกลมากกว่าที่ผลิตด้วยพลาสติกพอลิโพรพิลีนและพอลิโพรพิลีนอย่างชัดเจน หลังอยู่ภายใต้สภาพแวดล้อมธรรมชาติเป็นระยะเวลา 6 เดือน ในขณะที่เดียวกันพบด้วยว่า วัสดุเชิงประกอบแกนวิชที่ผลิตด้วยพลาสติกพอลิโพรพิลีน มีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียสมบัติทางกลแตกต่างกันเพียงเล็กน้อยเมื่อเทียบวัสดุเชิงประกอบแกนวิชที่ผลิตด้วยพลาสติกพอลิโพรพิลีน

3.3 การเสื่อมสภาพในความแข็งแรงดัด

ผลกระทบของชนิดพลาสติกและสภาพแวดล้อมธรรมชาติต่อค่าความแข็งแรงดัดของวัสดุเชิงประกอบแกนวิช

ระหว่างพลาสติกและแผ่นไม้ไผ่สาน แสดงดังภาพที่ 4 โดยแสดงให้เห็นว่า ก่อนอยู่ภายใต้สภาพแวดล้อมธรรมชาติ วัสดุเชิงประกอบแกนวิชที่ผลิตด้วยพลาสติกพอลิแล็กติกแอซิด มีค่าความแข็งแรงดัดสูงที่สุด (67.1 MPa และ 49.4 MPa ที่เสริมแรงด้วยแผ่นไม้ไผ่สานลายสานและลายลูกแก้ว ตามลำดับ) รองลงมาเป็นวัสดุเชิงประกอบแกนวิชที่ผลิตด้วยพลาสติกพอลิโพรพิลีน (38.2 MPa และ 32.4 MPa) และวัสดุเชิงประกอบแกนวิชที่ผลิตด้วยพลาสติกพอลิโพรพิลีน มีค่าความแข็งแรงดัดต่ำที่สุด (30.1 MPa และ 29.5 MPa) อย่างไรก็ตาม หลังอยู่ภายใต้สภาพแวดล้อมธรรมชาติเป็นระยะเวลา 6 เดือน วัสดุเชิงประกอบแกนวิชที่ผลิตด้วยพลาสติกพอลิโพรพิลีน มีค่าความแข็งแรงดัดมากที่สุด (15.0 MPa และ 12.6 MPa) และวัสดุเชิงประกอบแกนวิชที่ผลิตด้วยพลาสติกพอลิแล็กติกแอซิด มีค่าความแข็งแรงดัดน้อยที่สุด (9.1 MPa และ 7.4 MPa) เนื่องจาก พลาสติกพอลิโพรพิลีนมีการเชื่อมต่อกับพันธะโมเลกุลที่เกิดจากปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแบบลูกโซ่ของโพรพิลีน โดยพันธะดังกล่าวมีความทนต่อไขมันและตัวทำละลายอินทรีย์เกือบทั้งหมด คุณสมบัติที่มีความแข็งแรง ทนต่อแรงกระแทก ทนทานต่อการขีดข่วน ไม่เสีรูปร่าง ซึ่งไอน้ำและออกซิเจนมีการซึมผ่านได้น้อย (Xu *et al.*, 2016; Guo *et al.* 2019; Homkiew *et al.*, 2014) ส่งผลให้วัสดุเชิงประกอบแกนวิชที่ผลิตด้วยพลาสติกพอลิโพรพิลีน มีความแข็งแรงมากกว่าวัสดุเชิงประกอบแกนวิชที่ผลิตด้วยพลาสติกพอลิแล็กติกแอซิดและพอลิโพรพิลีน โดยผลการวิจัยสอดคล้องกับงานวิจัยของ Ratanawilai and Taneerat (2018) ซึ่งได้ทำการเปรียบเทียบพลาสติกแต่ละชนิดต่อสมบัติทางกลและทางกายภาพภายใต้สภาวะธรรมชาติ พบว่า พลาสติกพอลิโพรพิลีนมีการต้านทานแรงดัด แรงดึง และแรงอัดมากที่สุด ในขณะที่เดียวกันพบด้วยว่า วัสดุเชิงประกอบแกนวิชมีค่าความแข็งแรงดัดลดลงอย่างเห็นได้ชัดตามระยะเวลาการอยู่ภายใต้สภาพแวดล้อมธรรมชาติที่เพิ่มขึ้น 2, 4 และ 6 เดือน เนื่องจากระยะเวลาในการอยู่ภายใต้สภาพแวดล้อมธรรมชาติมีผลอย่างมีนัยสำคัญ ($\alpha = 0.05$) ต่อความแข็งแรงดัด กล่าวคือ วัสดุเชิงประกอบแกนวิชภายใต้สภาพแวดล้อมธรรมชาติเป็นระยะเวลา 6 เดือน มีค่าความแข็งแรงดัดน้อยที่สุด (Ratanawilai and Taneerat 2018; Srivabut *et al.*, 2021) ตัวอย่างเช่นวัสดุเชิงประกอบแกนวิชจากพลาสติก 3 ชนิดและแผ่นไม้ไผ่สานลายสาน PSW, PPW และ PLW มีค่าความแข็งแรงดัด เท่ากับ 12.3, 15.0 และ 9.1 MPa โดยมีเปอร์เซ็นต์การลดลงของค่าความแข็งแรงดัด เท่ากับ 59.1, 60.7 และ 86.4 ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 3

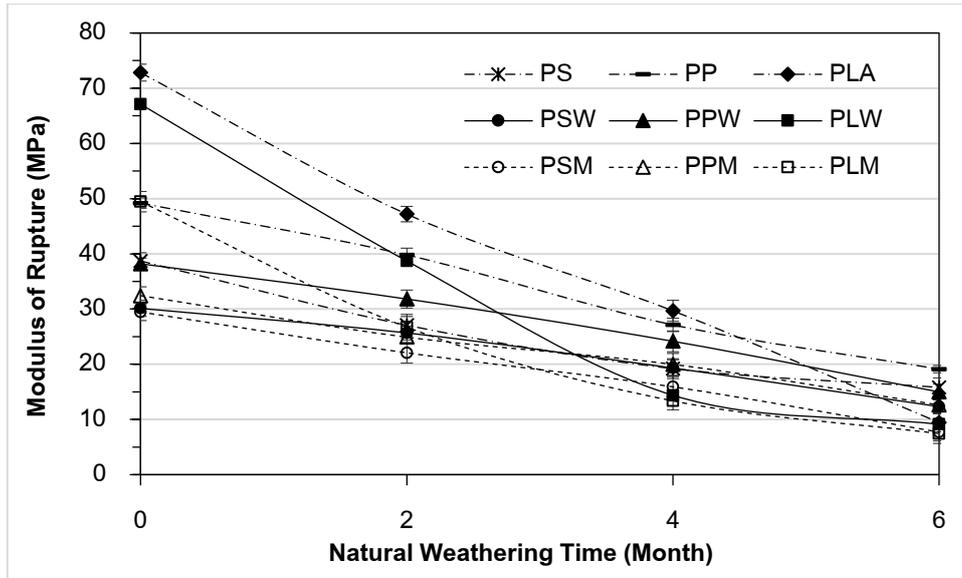


Figure 4 Deterioration in modulus of rupture of the sandwich composites between plastics and weaving bamboo plates under natural weathering.

ภาพที่ 4 แสดงผลกระทบของรูปแบบลวดลายแผ่นไม้ไผ่สานอีกด้วย โดยชี้ให้เห็นว่า วัสดุเชิงประกอบแซนวิชระหว่างพลาสติกและแผ่นไม้ไผ่สานลายสาน มีความแข็งแรงดัดสูงกว่า วัสดุเชิงประกอบแซนวิช ระหว่างพลาสติกและแผ่นไม้ไผ่สานลาย ลูกแก้วอย่างเห็นได้ชัด ทั้งก่อนและหลังอยู่ภายใต้สภาพแวดล้อมธรรมชาติ เนื่องจากวิธีการสานลวดลายแผ่นไม้ไผ่สานแบบลายสาน มีความแข็งแรงมากกว่าวิธีการสานลวดลายแผ่นไม้ไผ่สานแบบลาย ลูกแก้ว ซึ่งเหตุผลอาจเกิดมาจากการจัดเรียงตัวของแผ่นไม้ไผ่สาน ลายนี้มีการคละสลักกันในทุกทิศทางเดียวกัน ส่งผลให้แผ่นไม้ไผ่สาน ลายนี้มีความแข็งแรง ทนทาน และแน่นหนากว่าลวดลายอื่น ๆ (Noivangklung, 1990; Sikka *et al.*, 2015) นอกจากนี้ พบด้วยว่า วัสดุเชิงประกอบแซนวิชระหว่างพลาสติกและแผ่นไม้ไผ่สานมีความแข็งแรงดัดน้อยกว่าพลาสติก 100% ทั้งก่อนและหลังอยู่ ภายใต้สภาพแวดล้อมธรรมชาติ เนื่องจากวัสดุเชิงประกอบ แซนวิชระหว่างพลาสติกและแผ่นไม้ไผ่สานมีลักษณะเป็นชั้น ๆ ซึ่ง แต่ละชั้นไม่ได้ยึดเกาะด้วยพันธะโมเลกุล ส่งผลให้วัสดุทั้ง 2 ชนิด เมื่อผสมกันแล้วไม่ได้เป็นเนื้อเดียวกัน ซึ่งมีความแตกต่างกับ พลาสติก 100% (Pure plastics) ที่มีการยึดเกาะด้วยพันธะโมเลกุล และเป็นเนื้อเดียวกัน (Promjan *et al.*, 2022; Vitale *et al.*, 2017) ด้วยเหตุนี้ จึงส่งผลให้ วัสดุเชิงประกอบแซนวิชระหว่างพลาสติก และแผ่นไม้ไผ่สาน มีความแข็งแรงดัดที่น้อยกว่าพลาสติก 100%

3.4 การเสื่อมสภาพในความแข็งแรงดัด

ภาพที่ 5 แสดงความผันแปรในค่าความแข็งแรงดัดของ วัสดุเชิงประกอบแซนวิชระหว่างพลาสติกและแผ่นไม้ไผ่สานที่มี ผลกระทบมาจากชนิดพลาสติก รูปแบบลวดลายแผ่นไม้ไผ่สาน และสภาพแวดล้อมธรรมชาติ ซึ่งชี้ให้เห็นว่า มีพฤติกรรมที่ คล้ายคลึงกับค่าความแข็งแรงดัด โดยก่อนอยู่ภายใต้สภาพแวดล้อม

ธรรมชาติ วัสดุเชิงประกอบแซนวิชที่ผลิตด้วยพลาสติกพอลิแลกติก แอซิด มีค่าความแข็งแรงดัดมากที่สุด (100.5 MPa และ 99.8 MPa ที่เสริมแรงด้วยแผ่นไม้ไผ่สานลายสานและลายลูกแก้ว ตามลำดับ) และวัสดุเชิงประกอบแซนวิชที่ผลิตด้วยพลาสติกพอลิสไตรีน มีค่า ความแข็งแรงดัดน้อยที่สุด (54.0 MPa และ 48.3 MPa) ทว่าหลังอยู่ ภายใต้สภาพแวดล้อมธรรมชาติเป็นระยะเวลา 6 เดือน วัสดุเชิง ประกอบแซนวิชที่ผลิตด้วยพลาสติกพอลิโพรพิลีน มีค่าความ แข็งแรงดัดสูงที่สุด (12.6 MPa และ 7.22 MPa) และวัสดุเชิง ประกอบแซนวิชที่ผลิตด้วยพลาสติกพอลิแลกติกแอซิด มีค่าความ แข็งแรงดัดต่ำที่สุด (3.51 MPa และ 2.10 MPa) เนื่องจาก คุณสมบัติ เฉพาะตัวของพลาสติกพอลิแลกติกแอซิดซึ่งเป็นพลาสติกชีวภาพ เมื่อมีการเสริมแรงด้วยแผ่นไม้ไผ่สานซึ่งเป็นวัสดุธรรมชาติทำให้มี การยึดเกาะของจุลินทรีย์ระหว่างวัสดุทั้ง 2 ชนิด เกิดขึ้น ส่งผลให้ ก่อนอยู่ภายใต้สภาพแวดล้อมธรรมชาติ วัสดุเชิงประกอบแซนวิชที่ ผลิตด้วยพลาสติกพอลิแลกติกแอซิด มีค่าความแข็งแรงดัดมากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุเชิงประกอบแซนวิชที่ผลิตด้วยพลาสติก พอลิสไตรีนและพอลิโพรพิลีน (Saengwong-ngam *et al.*, 2020; Spiridon *et al.*, 2016) ตัวอย่างเช่นวัสดุเชิงประกอบแซนวิชจาก พลาสติก 3 ชนิด และแผ่นไม้ไผ่สานลายลูกแก้ว PSM, PPM และ PLM ก่อนอยู่ภายใต้สภาพแวดล้อมธรรมชาติ มีค่าความแข็งแรงดัด เท่ากับ 48.3, 69.6 และ 99.8 MPa ตามลำดับ นอกจากนี้ พบด้วย ว่าวัสดุเชิงประกอบแซนวิชมีค่าความแข็งแรงดัดลดลงอย่างรวดเร็ว โดยเฉพาะวัสดุเชิงประกอบแซนวิชที่ผลิตด้วยพลาสติกพอลิแลกติก แอซิด เมื่ออยู่ภายใต้สภาพแวดล้อมธรรมชาติเป็นระยะเวลา 2 เดือน หลังจากนั้นแนวโน้มลดลงอย่างช้า ๆ เมื่ออยู่ภายใต้ สภาพแวดล้อมธรรมชาตินานขึ้นเป็นระยะเวลา 4-6 เดือน เนื่องจาก ผลกระทบของสภาพแวดล้อมธรรมชาติต่อวัสดุเชิงประกอบแซนวิช ที่ผลิตด้วยพลาสติกพอลิแลกติกแอซิดซึ่งเป็นพลาสติกชีวภาพและ

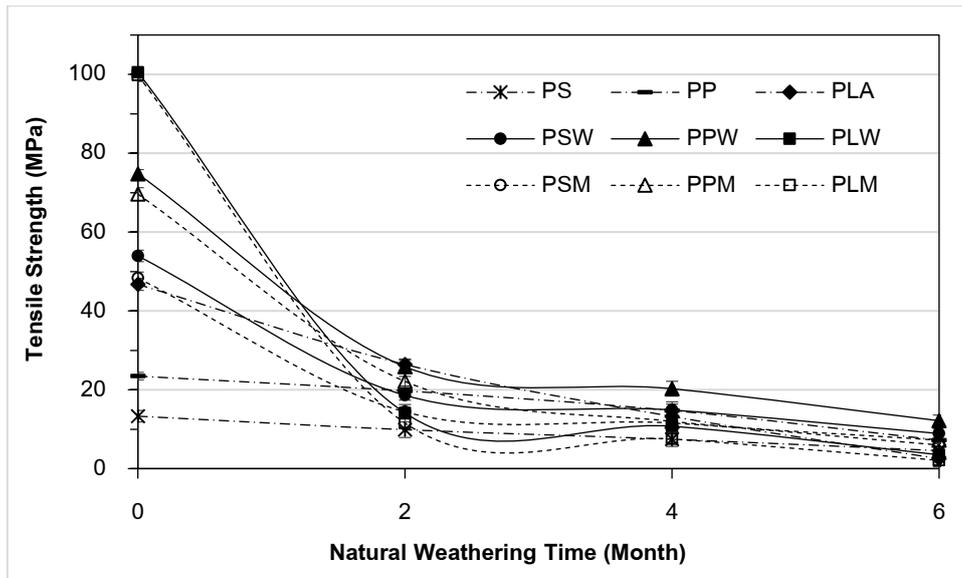


Figure 5 Deterioration in tensile strength of the sandwich composites between plastics and weaving bamboo plates under natural weathering.

แผ่นไม้ไผ่สาน เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาให้จุลินทรีย์ที่อยู่ในพลาสติกและแผ่นไม้ไผ่สานให้มีการสลายตัวอย่างรวดเร็ว ส่งผลให้ค่าความแข็งแรงดิ่งลดลงอย่างรวดเร็ว (Vitale *et al.*, 2017; Sangnak *et al.*, 2021) เมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุเชิงประกอบแซนวิชที่ผลิตด้วยพลาสติกพอลิโพรพิลีนและพอลิเอทิลีน

ผลกระทบของรูปแบบลวดลายแผ่นไม้ไผ่สานต่อค่าความแข็งแรงดิ่งของวัสดุเชิงประกอบแซนวิช แสดงอีกด้วยในภาพที่ 5 โดยแสดงให้เห็นว่า วัสดุเชิงประกอบแซนวิชระหว่างพลาสติกและแผ่นไม้ไผ่สานลายสาน มีค่าความแข็งแรงดิ่งสูงกว่าวัสดุเชิงประกอบแซนวิชระหว่างพลาสติกและแผ่นไม้ไผ่สานลายลูกแก้วเพียงเล็กน้อย ทั้งก่อนและหลังอยู่ภายใต้สภาพแวดล้อมธรรมชาติ เนื่องจากลวดลายของแผ่นไม้ไผ่สานนั้น มีลวดลายที่คล้าย ๆ กัน ลักษณะการสานมีการสลับกัน 2 ทิศทาง (แนวยาวและแนวขวาง) (Noivangklung, 1990; Sikka *et al.*, 2015) ดังนั้น ความแตกต่างของลวดลายแผ่นไม้ไผ่สานทั้ง 2 แบบ จึงให้ค่าความแข็งแรงดิ่งที่ต่างกันเพียงเล็กน้อย โดยสอดคล้องกันค่าความแข็งแรงดิ่ง กล่าวคือ วัสดุเชิงประกอบแซนวิชระหว่างพลาสติกและแผ่นไม้ไผ่สานลายสาน มีค่าความแข็งแรงดิ่งสูงกว่าวัสดุเชิงประกอบแซนวิชระหว่างพลาสติกและแผ่นไม้ไผ่สานลายลูกแก้ว ในขณะที่เดียวกัน พบด้วยว่า วัสดุเชิงประกอบแซนวิช ระหว่างพลาสติกและแผ่นไม้ไผ่สานมีค่าความแข็งแรงดิ่งสูงกว่าพลาสติก 100% อย่างเห็นได้ชัด ทั้งก่อนและหลังอยู่ภายใต้สภาพแวดล้อมธรรมชาติ เนื่องจากแผ่นไม้ไผ่สานเป็นตัวเสริมแรงให้แก่พลาสติก โดยลักษณะการสานมีการสลับกัน 2 ทิศทาง (Noivangklung, 1990) ด้วยเหตุนี้ วัสดุเชิงประกอบแซนวิชระหว่างพลาสติกและแผ่นไม้ไผ่สานมีค่าความแข็งแรงดิ่งสูงกว่าพลาสติก 100%

3.5 การเสื่อมสภาพในความแข็งแรงเฉือน

ผลกระทบของชนิดพลาสติก รูปแบบลวดลายแผ่นไม้ไผ่สาน และสภาพแวดล้อมธรรมชาติต่อค่าความแข็งแรงเฉือนของวัสดุเชิงประกอบแซนวิชระหว่างพลาสติกและแผ่นไม้ไผ่สาน แสดงดังภาพที่ 6 ซึ่งชี้ให้เห็นว่ามีพฤติกรรมเช่นเดียวกับค่าความแข็งแรงดิ่งและค่าความแข็งแรงดิ่ง โดยก่อนอยู่ภายใต้สภาพแวดล้อมธรรมชาติ วัสดุเชิงประกอบแซนวิชที่ผลิตด้วยพลาสติกพอลิแลกติกแอซิด มีค่าความแข็งแรงเฉือนสูงที่สุด (87.7 MPa และ 82.5 MPa ที่เสริมแรงด้วยแผ่นไม้ไผ่สานลายสานและลายลูกแก้ว ตามลำดับ) รองลงมาเป็นวัสดุเชิงประกอบแซนวิชที่ผลิตด้วยพลาสติกพอลิโพรพิลีน (71.0 MPa และ 63.1 MPa) และวัสดุเชิงประกอบแซนวิชที่ผลิตด้วยพลาสติกพอลิโพรพิลีน มีค่าความแข็งแรงเฉือนต่ำที่สุด (64.7 MPa และ 55.3 MPa) อย่างไรก็ตาม หลังอยู่ภายใต้สภาพแวดล้อมธรรมชาติเป็นระยะเวลา 6 เดือน วัสดุเชิงประกอบแซนวิชที่ผลิตด้วยพลาสติกพอลิโพรพิลีน มีค่าความแข็งแรงเฉือนสูงที่สุด (16.1 MPa และ 14.4 MPa) และวัสดุเชิงประกอบแซนวิชที่ผลิตด้วยพลาสติกพอลิแลกติกแอซิด มีค่าความแข็งแรงเฉือนต่ำที่สุด (7.0 MPa และ 5.7 MPa) โดยผลการทดลองมีความสอดคล้องกับการเสื่อมสภาพในความแข็งแรงดิ่งและความแข็งแรงดิ่งก่อนหน้า (Saengwong-ngam *et al.*, 2020; Spiridon *et al.*, 2016) โดยอาจเกิดขึ้นจากคุณสมบัติเฉพาะตัวของพลาสติกชนิดพอลิโพรพิลีน มีการยึดเกาะด้วยพันธะโมเลกุลที่หนาแน่น ส่งผลให้พลาสติกชนิดนี้มีความแข็งและเหนียว ด้านทานต่อการกัดกร่อนน้ำซึมผ่านได้ยาก และทนต่อสภาพอากาศและความชื้นได้ดี ด้วยเหตุนี้ วัสดุเชิงประกอบแซนวิชที่ผลิตด้วยพลาสติกพอลิโพรพิลีน จึงมีค่าความแข็งแรงเฉือนสูงที่สุด ในขณะที่เดียวกัน พบด้วยว่า วัสดุเชิงประกอบแซนวิชมีค่าความแข็งแรงเฉือนลดลงอย่างเป็นเส้นตรง

เมื่ออยู่ภายใต้สภาพแวดล้อมธรรมชาติที่เพิ่มขึ้นในช่วง 2-6 เดือน โดยค่าความแข็งแรงที่ลดลงอย่างรวดเร็วในนั้น เหตุผลหนึ่งเกิดจาก ลวดลายของแผ่นไม้ไผ่สานที่มีลักษณะการสานเพียง 2 ทิศทาง เท่านั้น (แนวยาวและแนวขวาง) ซึ่งไม่ได้ตั้งฉากกับแนวแรงการ ทดสอบการเฉือน (Hao *et al.*, 2018; Hao *et al.*, 2019) จึงไม่ เหมาะสมในการรับแรงเฉือนของการใช้งานของวัสดุเชิงประกอบ ส่งผลให้ค่าความแข็งแรงเฉือนลดลงอย่างรวดเร็วและเป็นเส้นตรง โดยผลงานวิจัยได้สอดคล้องกับรายงานวิจัยของ Gramlich *et al.* (2006) ซึ่งได้ศึกษาการต้านทานแรงเฉือนของวัสดุเชิงประกอบ พลาสติกและไม้ พบว่า อัตราการลดลงของการต้านทานแรงเฉือน เท่ากับ 60-90% หลังการผ่านสภาพแวดล้อมธรรมชาติเป็น ระยะเวลา 6 เดือน

ภาพที่ 6 แสดงให้เห็นด้วยว่า ทั้งก่อนและหลังอยู่ภายใต้ สภาพแวดล้อมธรรมชาติ วัสดุเชิงประกอบแซนวิช ระหว่าง พลาสติกและแผ่นไม้ไผ่สานลายสาน มีค่าความแข็งแรงเฉือน

มากกว่าวัสดุเชิงประกอบแซนวิชระหว่างพลาสติกและแผ่นไม้ไผ่ สานลายลูกแก้วอย่างชัดเจน จากผลการทดลองนี้ อาจเกิดขึ้นจาก ความแข็งแรงของลวดลายแบบสานที่มีความแน่น มีช่องว่างจาก การสานน้อย มีความสม่ำเสมอ และมีทิศทางการสานไปในทิศทาง เดียวกัน (Noivangklung, 1990; Sikka *et al.*, 2015) ดังนั้น วัสดุ เชิงประกอบแซนวิชระหว่างพลาสติกและแผ่นไม้ไผ่สานลายสาน มีค่าความแข็งแรงเฉือนมากกว่าวัสดุเชิงประกอบแซนวิชระหว่าง พลาสติกและแผ่นไม้ไผ่สานลายลูกแก้ว นอกจากนี้พบว่า ทั้งก่อนและหลังอยู่ภายใต้สภาพแวดล้อมธรรมชาติ วัสดุเชิง ประกอบแซนวิชระหว่างพลาสติกและแผ่นไม้ไผ่สานมีค่าความ แข็งแรงเฉือนสูงกว่าพลาสติก 100% อย่างเห็นได้ชัด ซึ่งการ เสริมแรงพลาสติกด้วยแผ่นไม้ไผ่สานหรือวัสดุธรรมชาติอื่น ๆ เหมาะสมกับการใช้งานพลาสติกที่ต้องการความแข็งแรงเพิ่มขึ้น อาทิเช่น วัสดุโครงสร้าง เป็นต้น

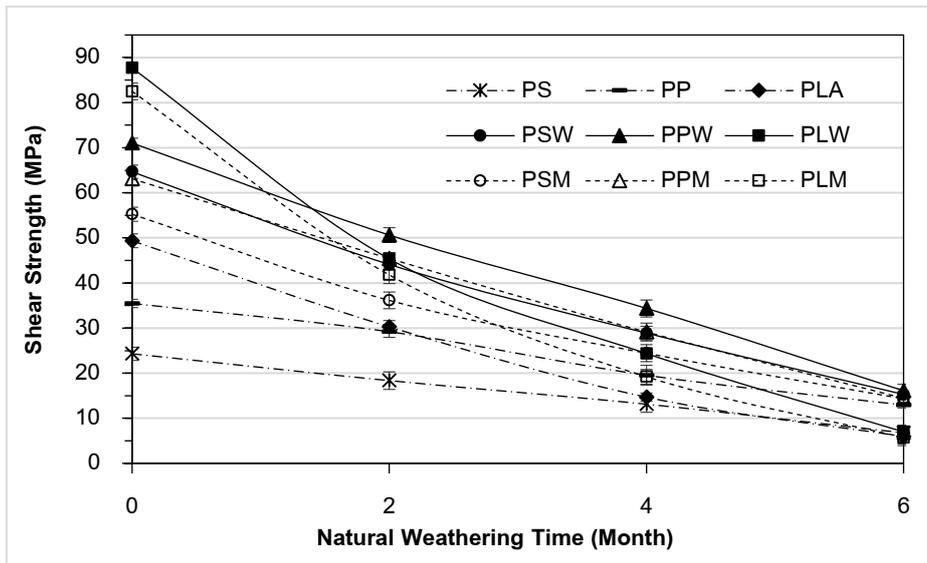


Figure 6 Deterioration in shear strength of the sandwich composites between plastics and weaving bamboo plates under natural weathering.

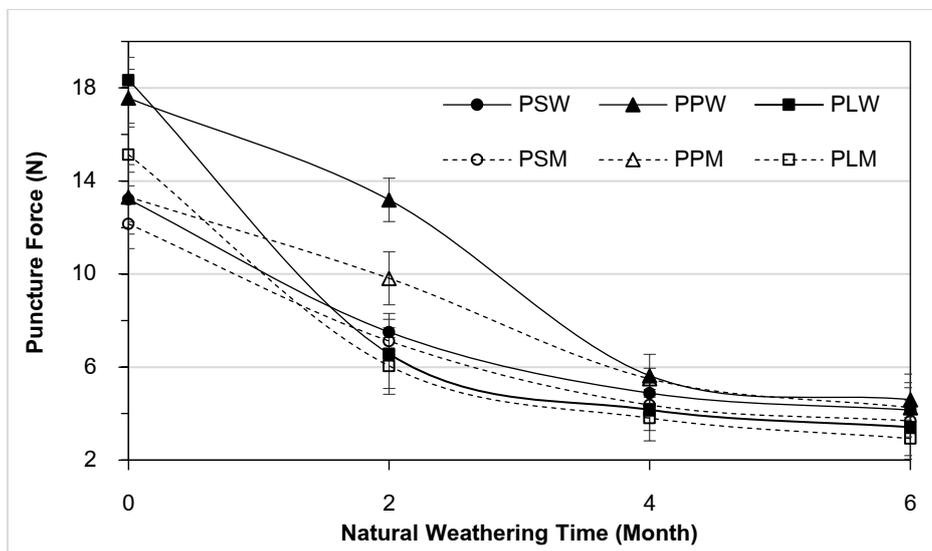


Figure 7 Deterioration in puncture force of the sandwich composites between plastics and weaving bamboo plates under natural weathering.

3.6 การเสื่อมสภาพในแรงต้านทานการทิ่มทะลุ

ภาพที่ 7 แสดงความผันแปรในค่าแรงต้านทานการทิ่มทะลุของวัสดุเชิงประกอบแกนวิหระหว่างพลาสติกและแผ่นไม้ไผ่สาน ที่มีผลกระทบมาจากชนิดพลาสติก รูปแบบลวดลายแผ่นไม้ไผ่สาน และสภาพแวดล้อมธรรมชาติ โดยแสดงให้เห็นว่า ก่อนอยู่ภายใต้สภาพแวดล้อมธรรมชาติ วัสดุเชิงประกอบแกนวิหะที่ผลิตด้วยพลาสติกพอลิโพรพิลีน มีค่าแรงต้านทานการทิ่มทะลุต่ำที่สุด (13.2 N และ 12.2 N ที่เสริมแรงด้วยแผ่นไม้ไผ่สานลายสานและลายลูกแก้ว ตามลำดับ) และวัสดุเชิงประกอบแกนวิหะที่ผลิตด้วยพลาสติกพอลิแล็กติกแอซิด มีค่าแรงต้านทานการทิ่มทะลุสูงที่สุด (18.3 N และ 15.1 N) ซึ่งผลการทดลองนี้มีความสอดคล้องกับการทดสอบแรงดึง (Saengwong-ngam *et al.*, 2020; Spiridon *et al.*, 2016) อย่างไรก็ตาม หลังอยู่ภายใต้สภาพแวดล้อมธรรมชาติเป็นระยะเวลา 6 เดือน กลับพบว่า วัสดุเชิงประกอบแกนวิหะที่ผลิตด้วยพลาสติกพอลิแล็กติกแอซิด มีค่าแรงต้านทานการทิ่มทะลุต่ำที่สุด (3.4 N และ 2.9 N) และวัสดุเชิงประกอบแกนวิหะที่ผลิตด้วยพลาสติกพอลิโพรพิลีน มีค่าแรงต้านทานการทิ่มทะลุมากที่สุด (4.6 N และ 4.3 N) เนื่องจากพลาสติกชนิดพอลิโพรพิลีนมีค่าดัชนีการหลอมไหล (Melt Flow Index; MFI) เท่ากับ 5.0-6.0 กรัม/10 นาที ซึ่งมีค่าที่น้อยเมื่อเปรียบเทียบกับพลาสติกชนิดพอลิโพรพิลีนและพอลิแล็กติกแอซิด ส่งผลให้มีคุณสมบัติเฉพาะตัว คือ มีความแข็งและเหนียว ทนทานต่อการกัดกร่อน และทนทานต่อการกระแทกได้ดี จึงเหมาะสมกับการผลิตผลิตภัณฑ์ประเภทบรรจุภัณฑ์ ซึ่งผลิตภัณฑ์เหล่านี้มีการต้านทานต่อการทิ่มทะลุได้ดี โดยเฉพาะส่งผลให้วัสดุเชิงประกอบแกนวิหะที่ผลิตด้วยพลาสติกพอลิโพรพิลีนมีค่าแรงต้านทานการทิ่มทะลุมากที่สุด นอกจากนี้ พบด้วยว่าวัสดุเชิงประกอบแกนวิหะมีค่าแรงต้านทานการทิ่มทะลุลดลงอย่างรวดเร็วเมื่ออยู่ภายใต้สภาพแวดล้อมธรรมชาติเป็นระยะเวลา 2-4 เดือน หลังจากนั้นมีความเหนียวลดลงอย่างช้า ๆ เมื่ออยู่ภายใต้สภาพแวดล้อมธรรมชาตินานขึ้นเป็นระยะเวลา 6 เดือน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Srivabut *et al.* (2021) กล่าวว่า ในช่วงระยะเวลา 2-4 เดือน วัสดุเชิงประกอบแกนวิหะมีส่วนประกอบของน้ำ ออกซิเจน และธาตุอื่น ๆ ที่ก่อให้เกิดปฏิกิริยาการสลายตัวอย่างรวดเร็วจากการอยู่ภายใต้สภาพแวดล้อมทางธรรมชาติ ดังนั้น ในช่วงระยะเริ่มต้นจนถึง 4 เดือน ของการอยู่ภายใต้สภาวะแวดล้อมธรรมชาติ โดยมีปัจจัยที่เกี่ยวข้อง คือ อุณหภูมิ เวลา และสภาวะอื่น ๆ ส่งผลให้ค่าแรงต้านทานการทิ่มทะลุของวัสดุเชิงประกอบลดลงอย่างรวดเร็ว นอกจากนี้ ในภาพที่ 7 ยังชี้ให้เห็นด้วยว่า วัสดุเชิงประกอบแกนวิหะระหว่างพลาสติกและแผ่นไม้ไผ่สานลายสาน มีค่าแรงต้านทานการทิ่มทะลุสูงกว่าวัสดุเชิงประกอบแกนวิหะระหว่างพลาสติกและแผ่นไม้ไผ่สานลายลูกแก้ว ทั้งก่อนและหลังอยู่ภายใต้สภาพแวดล้อมธรรมชาติ เหตุผลอาจเกิดจากลวดลายของการสานแผ่นไม้ไผ่ซึ่งแผ่นไม้ไผ่สานลายสานนั้น มีการจัดเรียงของการสานในทิศทางเดียวกัน มีความแน่น และเกิดช่องว่างจากการสานน้อยกว่า ส่งผลให้

วัสดุเชิงประกอบแกนวิหะระหว่างพลาสติกและแผ่นไม้ไผ่สานลายสาน มีค่าแรงต้านทานการทิ่มทะลุสูงกว่าวัสดุเชิงประกอบแกนวิหะระหว่างพลาสติกและแผ่นไม้ไผ่สานลายลูกแก้ว (Noivangklung, 1990; Sikka *et al.*, 2015)

4. สรุป

ผลจากการศึกษาผลกระทบชนิดพลาสติก (พอลิโพรพิลีน พอลิโพรพิลีน และพอลิแล็กติกแอซิด) และลวดลายสานไม้ไผ่สาน (ลายสาน และลายลูกแก้ว) ต่อสมบัติทางกลและทางกายภาพของวัสดุเชิงประกอบแกนวิหะระหว่างพลาสติกและแผ่นไม้ไผ่สานภายใต้สภาพแวดล้อมธรรมชาติเป็นระยะเวลา 6 เดือน พบว่า ชนิดพลาสติกมีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ต่อค่าความแข็งแรงดึง ค่าความแข็งแรงดึง ค่าความแข็งแรงเหนียว และค่าแรงต้านทานการทิ่มทะลุ และที่ชนิดพลาสติกและแผ่นไม้ไผ่สานลายเดียวกัน วัสดุเชิงประกอบแกนวิหะมีสมบัติทางกลลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) หลังอยู่ภายใต้สภาพแวดล้อมธรรมชาติเป็นระยะเวลา 6 เดือน เนื่องจาก ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจากปัจจัยสภาพแวดล้อม เช่น อุณหภูมิ ความชื้น เวลา และความชื้น ส่งผลให้วัสดุเชิงประกอบแกนวิหะมีการต้านทานสมบัติทางกลที่ลดลงโดยวัสดุเชิงประกอบแกนวิหะที่ผลิตด้วยพลาสติกพอลิโพรพิลีนมีสมบัติทางกลสูงที่สุด รองลงมาเป็นวัสดุเชิงประกอบแกนวิหะที่ผลิตด้วยพลาสติกพอลิโพรพิลีน และวัสดุเชิงประกอบแกนวิหะที่ผลิตด้วยพลาสติกพอลิแล็กติกแอซิด มีสมบัติทางกลน้อยที่สุด นอกจากนี้ ทั้งก่อนและหลังอยู่ภายใต้สภาพแวดล้อมธรรมชาติ วัสดุเชิงประกอบแกนวิหะระหว่างพลาสติกและแผ่นไม้ไผ่สานลายสานมีสมบัติทางกลสูงกว่าวัสดุเชิงประกอบแกนวิหะระหว่างพลาสติกและแผ่นไม้ไผ่สานลายลูกแก้วอย่างเห็นได้ชัด เนื่องจาก ลวดลายการสานนั้นส่งผลต่อสมบัติทางกลอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) โดยแผ่นไม้ไผ่สานลายสานมีการจัดเรียงไม้ไผ่ในทิศทางเดียวกัน มีความแน่นมากกว่า และเกิดช่องว่างจากการสานน้อยกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับแผ่นไม้ไผ่สานลายลูกแก้ว และพบด้วยว่า วัสดุเชิงประกอบแกนวิหะระหว่างพลาสติกและแผ่นไม้ไผ่สานมีค่าความแข็งแรงดึงและค่าความแข็งแรงเหนียวสูงกว่าพลาสติก 100% อย่างเห็นได้ชัดทั้งก่อนและหลังอยู่ภายใต้สภาพแวดล้อมธรรมชาติ โดยเมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ แสดงให้เห็นว่า วัสดุเชิงประกอบแกนวิหะระหว่างพลาสติกและแผ่นไม้ไผ่สานมีความขรุขระและรอยแตกร้าวน้อยกว่าพลาสติก 100% หลังอยู่ภายใต้สภาพแวดล้อมธรรมชาติ ดังนั้น วัสดุเชิงประกอบแกนวิหะระหว่างพลาสติกและแผ่นไม้ไผ่สานจึงมีความเป็นไปได้ในการนำไปประยุกต์ใช้งานเป็นวัสดุก่อสร้าง วัสดุโครงสร้างอาคาร และวัสดุตกแต่งนอกอาคาร

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากกองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัย และนวัตกรรม (กสว.) และมหาวิทยาลัย

เทคโนโลยีราชภัฏศรีวิชัย ประจำปีงบประมาณ 2565 ภายใต้ชุดโครงการ “การพัฒนานวัตกรรมจากไม้ไผ่เพื่อเพิ่มมูลค่าให้กับวิสาหกิจชุมชนผู้ผลิตผลิตภัณฑ์ไม้ไผ่ จังหวัดสตูล”

6. เอกสารอ้างอิง

- Cheewawuttipong, W., Homkhiew, C. and Rawangwong, S. 2022. A comparative study on the effect of oil palm fiber contents and types on properties of rubberwood sawdust-polypropylene composites. **Rajamangala University of Technology Srivijaya Research Journal** 14(1): 31-46. (in Thai)
- Gramlich, W.M., Gardner, D.J. and Neivandt, D.J. 2006. Surface treatments of wood-plastic composites (WPCs) to improve adhesion. **Journal of Adhesion Science and Technology** 20(16): 1873-1887.
- Guo, G., Finkenstadt, V.L. and Nimmagadda, Y. 2019. Mechanical properties and water absorption behavior of injection-molded wood fiber/carbon fiber high-density polyethylene hybrid composites. **Advanced Composites and Hybrid Materials** 2: 690-700.
- Hao, X., Yi, X., Sun, L., Tu, D., Wang, Q. and Ou, R. 2019. Mechanical properties, creep resistance, and dimensional stability of core/shell structured wood flour/polyethylene composites with highly filled core layer. **Construction and Building Materials** 226: 879-887.
- Hao, X., Zhou, H., Xie, Y., Mu, H. and Wang, Q. 2018. Sandwich-structured wood flour/HDPE composite panels: Reinforcement using a linear low-density polyethylene core layer. **Construction and Building Materials** 164: 489-496.
- Homkhiew, C., Ratanawilai, T. and Thongruang, W. 2014. The optimal formulation of recycled polypropylene/rubberwood flour composites from experiments with mixture design. **Composites Part B: Engineering** 56: 350-357.
- Homkhiew, C., Rawangwong, S. and Boonchouytan, W. 2021. Effects of ground rubber tire and natural rubber contents on mechanical properties of thermoplastic elastomer. **Rajamangala University of Technology Srivijaya Research Journal** 13(3): 553-567. (in Thai)
- Homkhiew, C., Srivabut, C., Rawangwong, S. and Boonchouytan, W. 2022. Performance of wood-plastic composites manufactured from post-consumer plastics and wood waste under coastal weathering in Thailand. **Fibers and Polymers** 23(9): 2679-2693.
- Huang, Y., Ji, Y. and Yu, W. 2019. Development of bamboo scrimber: a literature review. **Journal of Wood Science** 65(25): 1-10.
- Jaturonlux, N. and Ratanawilai, T. 2023. The study of thickness ratio and bamboo fiber and recycled-polypropylene core layer on acoustic and mechanical properties of sandwich composites. **Rajamangala University of Technology Srivijaya Research Journal** 15(2): 477-493. (in Thai)
- Muhammad, A., Rahman, Md.R., Hamdan, S. and Sanaullah, K. 2019. Recent developments in bamboo fiber-based composites: a review. **Polymer Bulletin** 76: 2655-2682.
- Nasirzadeh, R. and Sabet, A.R. 2014. Study of foam density variations in composite sandwich panels under high velocity impact loading. **International Journal of Impact Engineering** 63: 129-139.
- Nkeuwa, W.N., Zhang, J., Semple, K.E., Chen, M., Xia, Y. and Dai, C. 2022. Bamboo-based composites: a review on fundamentals and processes of bamboo bonding. **Composites Part B: Engineering** 235: 1-20.
- Noivangklung, P. 1990. Bamboo weaving patterns. **Journal of the National Research Council of Thailand** 22(2): 1-51. (in Thai)
- Oliveira, L.Á., Vieira, M.M., Santos, J.C., Freire, R.T.S., Tonatto, M.L.P., Panzera, T.H., Zamani, P. and Scarpa, F. 2022. An investigation on the mechanical behaviour of sandwich composite structures with circular honeycomb bamboo core. **Discover Mechanical Engineering** 1(7): 1-19.
- Phuangchik, T. 2013. Is bamboo amazing plant. **Thai Science and Technology Journal** 21(2): 179-185. (in Thai)
- Phungchik, T., Promklai, P. and Jirakiattikul, Y. 2013. Study on growth of some bamboo varieties. **Thai Science and Technology Journal** 21(6): 533-542. (in Thai)
- Promjan, J., Ratanawilai, T. and Homkhiew, C. 2022. The property of sandwich-structure rubberwood-plastic composites with different plastic core layer. **The Journal of KMUTNB** 32(3): 700-711. (in Thai)
- Ratanawilai, T. and Taneerat, K. 2018. Alternative polymeric matrices for wood-plastic composites: Effects on mechanical properties and resistance to natural

weathering. **Construction and Building Materials** 172: 349-357.

- Saengwong-ngam, R., Matan, N. and Matan, N. 2020. Physical properties, mechanical properties and antifungal activity of PLA bioplastic film containing *Michelia Alba oil* on brown rice. **Journal of Science and Technology, Ubon Ratchathani University** 22(1): 14-21. (in Thai)
- Sangnak, P. Phetphaisit, C.W. and Seananud, P. 2021. Influence of natural rubber/modified chitosan on barrier, thermal and mechanical properties of PLA film packaging. **Thai Science and Technology Journal** 29(1): 46-61. (in Thai)
- Sikka, S., Sikka, P. and Chiarakul, T. 2015. Development of bamboo handicraft in Isaan. **Art and Architecture Journal Naresuan University** 6(1): 110-120. (in Thai)
- Spiridon, I., Darie, R.N. and Kangas, H. 2016. Influence of fiber modifications on PLA/fiber composites; Behavior to accelerated weathering. **Composites Part B: Engineering** 92: 19-27.
- Srivabut, C., Ratanawilai, T. and Hiziroglu, S. 2021. Statistical modeling and response surface optimization on natural weathering of wood-plastic composites with calcium carbonate filler. **Journal of Material Cycles and Waste Management** 23: 1503-1517.
- Sun, H., Li, H., Dauletbek, A., Lorenzo, R., Corbi, I., Corbi, O. and Ashraf, M. 2022. Review on materials and structures inspired by bamboo. **Construction and Building Materials** 325: 1-24.
- Vitale, J.P., Francucci, G., Xiong, J. and Stocchi A. 2017. Failure mode maps of natural and synthetic fiber reinforced composite sandwich panels. **Composites Part A: Applied Science and Manufacturing** 94: 217-225.
- Wang, B.J. and Young, W.B. 2022. The natural fiber reinforced thermoplastic composite made of woven bamboo fiber and polypropylene. **Fibers and Polymers** 23: 155-163.
- Xu, K., Tu, D., Chen, T., Zhong, T. and Lu, J. 2016. Effects of environmental-friendly modified rubber seed shell on the comprehensive properties of high density polyethylene/rubber seed shell composites. **Industrial Crops and Products** 91: 132-141.