

การศึกษาอัตราส่วนความหนาและวัสดุชั้นแกนกลางจากเส้นใยไฟเบอร์และพลาสติก โพลีโพรพิลีนรีไซเคิลต่อสมบัติทางเสียงและทางกลของวัสดุเชิงประกอบแซนด์วิช

The Study of Thickness Ratio and Bamboo Fiber and Recycled-Polypropylene Core Layer on Acoustic and Mechanical Properties of Sandwich Composites

นพณัฐ จาตุรณกุลชัย และ ธเนศ รัตนวิไล *

Noppanat Jaturonlux and Thanate Ratanawilai *

Received: 23 March 2022, Revised: 19 May 2022, Accepted: 27 May 2022

บทคัดย่อ

วัสดุก่อสร้างโดยส่วนใหญ่จะมุ่งเน้นความสำคัญไปที่ความแข็งแรงในการใช้งาน แต่มีลักษณะทางเสียงก็เป็นอีกปัญหาหนึ่งที่หลีกเลี่ยงได้ยาก วัสดุโครงสร้างแซนด์วิชจึงเป็นแนวทางในการตอบโต้ได้ทั้งในด้านความแข็งแรงและการป้องกันเสียงรบกวน วัสดุแซนด์วิชมีความยืดหยุ่นสูงที่สามารถเพิ่มสมบัติต่างๆ เข้าไปในแกนกลางของโครงสร้างได้ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์หลักในการศึกษาผลกระทบของชนิดวัสดุแกนกลาง และอัตราส่วนความหนาของวัสดุชั้นผิวหน้าและชั้นแกนกลางของโครงสร้างแซนด์วิช ที่มีผลต่อสมบัติทางกลและสมบัติทางเสียง (สัมประสิทธิ์การป้องกันเสียง) โดยวัสดุแกนกลางที่เลือกศึกษา ได้แก่ เส้นใยไฟเบอร์และพลาสติกรีไซเคิลชนิด โพลีโพรพิลีน (rPP) ที่อัตราส่วนความหนาของชั้นผิวหน้า 2 ด้านและชั้นแกนกลาง 3 ระดับ ได้แก่ 2-6-2, 3-4-3 และ 4-2-4 มิลลิเมตร จากผลการทดสอบและเปรียบเทียบโครงสร้างแซนด์วิชกับวัสดุเชิงประกอบพลาสติกและไม้แบบชั้นเดียว พบว่าโครงสร้างแซนด์วิชที่ทุกระดับความหนา มีค่าสัมประสิทธิ์การลดเสียงและค่าความแข็งแรงเพิ่มขึ้น แต่ค่าความแข็งแรงดัดและค่าความแข็งแรงอัดมีแนวโน้มลดลงอย่างมีนัยสำคัญ สำหรับวัสดุแกนกลางจากเส้นใยไฟเบอร์ให้ค่าการลดเสียงสูงกว่าพลาสติก rPP อย่างมีนัยสำคัญ ขณะที่พลาสติก rPP ให้สมบัติทางกลโดยรวมสูงกว่าเส้นใยไฟเบอร์อย่างมีนัยสำคัญเช่นกัน นอกจากนี้ผลการทดสอบการปรับอัตราส่วนความหนาพบว่าเมื่อความหนาของชั้นแกนกลางที่เพิ่มมากขึ้นจาก 4-2-4 เป็น 2-6-2 มิลลิเมตร ส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของค่า

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา 90112

Department of Industrial and Manufacturing Engineering, Faculty of Engineering, Prince of Songkla University, Hat Yai, Songkhla 90112, Thailand.

* ผู้นิพนธ์ประสานงาน ไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ (Corresponding author, e-mail): thanate.r@psu.ac.th Tel: 0 7428 7151

การลดเสียง ค่าสมบัติการดัดและความแข็งพื้นผิว แต่มีการลดลงของค่าสมบัติการอัดอย่างมีนัยสำคัญเช่นกัน

คำสำคัญ: โครงสร้างแซนด์วิช, วัสดุเชิงประกอบพลาสติกและไม้, เส้นใยไฟเบอร์, โพรลีนโพลิเอทิลีนรีไซเคิล, สมบัติทางเสียง

ABSTRACT

The construction materials mostly focus on overall mechanical properties. One of pollutions often found is the noise pollution. For this reason, the sandwich structure is the source of solution for this kind of problem. This structure can add various insulation for different properties into the sandwich composites. This study focuses on the material of the core layer and the thickness ratio between the face sheet and the core layers of the sandwich structure. Therefore, the objective of this research is to study the behaviors of the core material and the thickness ratio between face sheet layer and core layer that influence both an acoustic and mechanical properties. The raw materials for the core layer include bamboo fiber and recycled polypropylene (rPP) with three different thickness ratios for the face sheet and the core layers namely 2-6-2, 3-4-3, and 4-2-4 mm. The results revealed that the sandwich structure, compared to the wood plastic composites (WPCs), had a significant influence on the increase of noise reduction coefficient and hardness values whereas the flexural strength and compressive strength decreased significantly. Additionally, increasing thickness ratio from 4-2-4 to 2-6-2 mm had an influence on the increase of noise reduction coefficient and flexural and hardness values whereas the compressive value decreased significantly. Furthermore, the bamboo fiber as a core layer significantly provided higher noise reduction value than that of rPP. On the other hand, the rPP gave significantly higher overall mechanical properties than that of bamboo fibers as a core layer.

Key words: sandwich structure, wood plastic composites, bamboo fiber, recycled polypropylene, acoustic property

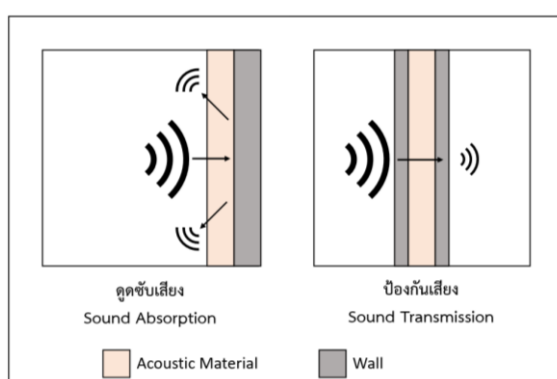
บทนำ

จากการเพิ่มขึ้นของจำนวนประชากรส่งผลให้มีปริมาณบ้านเรือน สำนักงาน และอาคารต่างๆ เพิ่มมากขึ้น จากข้อมูลปริมาณสิ่งก่อสร้างเมื่อปี พ.ศ. 2560 แสดงให้เห็นถึงจำนวนอาคารที่เป็นประเภท โรงเรือนและมีใช้โรงเรือนมีจำนวนกว่า 34,000 ราย และ 5,100 ราย โดยในประเภทของอาคารโรงเรือนเป็นอาคารเพื่ออยู่อาศัยมากกว่า 63.9% และเป็นอาคารพาณิชย์ 15.5% (National Statistical Office, 2017) เมื่อพิจารณาถึงปัจจัยในการก่อสร้างอาคารต่างๆ มัก

มุ่งเน้นในการทำให้อาคารมีความแข็งแรง อย่างไรก็ตาม มลภาวะทางเสียงก็เป็นอีกหนึ่งปัจจัยหลักของการใช้อาคารทั้งในที่ทำงานหรือที่อยู่อาศัย โดยทั่วไปแล้ว มลภาวะสามารถแบ่งออกได้ 4 ประเภท ได้แก่ มลภาวะทางดิน มลภาวะทางน้ำ มลภาวะทางอากาศ และมลภาวะทางเสียง (Hussain and Keçili, 2020) โดยที่มลภาวะทางเสียงเป็นผลพวงจากการเกิดและเพิ่มขึ้นของถนนและอาคารบ้านเรือน จากข้อมูลการเก็บค่าเฉลี่ยเสียงในประเทศไทยในปี 2563 พบว่าพื้นที่ทั่วไปและพื้นที่ริมถนนในเขตพื้นที่จังหวัด

กรุงเทพมหานคร มีค่าเฉลี่ยสูงกว่า 56.8 และ 68.5 เดซิเบล ตามลำดับ ในส่วนพื้นที่ต่างจังหวัด พบว่าพื้นที่ทั่วไป และพื้นที่ริมถนนมีปริมาณเสียงเฉลี่ย 55.9 และ 62.6 เดซิเบล ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าพื้นที่ริมถนนมีมลภาวะทางเสียงสูงกว่าพื้นที่ทั่วไปถึง 12% สำหรับพื้นที่ต่างจังหวัด และ 20% ในพื้นที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร ซึ่งอาจกล่าวได้ว่า ปริมาณถนนและอาคารในจังหวัดกรุงเทพมหานครมีปริมาณมากกว่าในเขตต่างจังหวัด จึงส่งผลให้เกิดมลภาวะทางเสียงที่สูงกว่า (Air Quality & Noise Management Division, 2020) ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อสุขภาพได้หากได้ยินเสียงในระดับที่สูงหรือเป็นเวลายาวนานเกินไป เว้นแต่จะได้รับการป้องกันเพื่อลดมลภาวะทางเสียงที่เข้ามาบรรจบกัน จะเห็นได้ว่ามลภาวะทางเสียงเป็นปัจจัยภายนอกที่ควบคุมไม่ได้หรือควบคุมได้ยากและยังส่งผลให้เกิดความรำคาญในการทำงานหรืออยู่อาศัย อีกทั้งยังเป็นส่วนสำคัญที่ก่อให้เกิดโรคนอนไม่หลับ ได้อีกด้วย ในกรณีรุนแรงอาจทำให้ถึงขั้นการสูญเสียการได้ยินได้ (Abdallah, 2017) ดังนั้น ปัญหามลภาวะทางเสียงจึงเป็นปัญหาควรให้ความสำคัญและหาแนวทางป้องกันก่อนที่จะเกิดความสูญเสียตามมา

ปัจจุบันการป้องกันมลภาวะทางเสียงมีหลากหลายวิธีการ หนึ่งในวิธีการที่มีการใช้กันอย่างแพร่หลาย ได้แก่ การเลือกใช้วัสดุฉนวนกันเสียงหรือวัสดุอะคูสติก โดยที่วัสดุอะคูสติกทำหน้าที่ดูดซับพลังงานเสียงที่ผ่านวัสดุไปทำให้มีพลังงานลดน้อยลง ส่งผลให้เสียงเบาลง โดยที่การใช้งานวัสดุอะคูสติกสำหรับบุบริเวณผนังภายในห้อง มักเรียกว่า วัสดุอะคูสติกแบบนี้ว่า วัสดุดูดซับเสียง เนื่องจากกลไกการทำงานของวัสดุดูดซับเสียงจะทำหน้าที่รับพลังงานเสียงผ่านและดูดซับเสียงไว้ ทำให้พลังงานเสียงที่สะท้อนกลับออกมายังผู้ใช้งานลดน้อยลง ลดอาการของเสียงสะท้อนได้ดี ในอีกรูปแบบของการใช้งาน คือ การนำวัสดุอะคูสติกใส่ไว้ในผนัง โดยมักกลไกการทำงานคือการทำให้เสียงที่ส่งผ่านผนังห้องจะต้องผ่านวัสดุอะคูสติก เป็นการลดพลังงานเสียงที่ผ่านผนังห้องทำให้ผู้รับเสียงที่อยู่ห้องที่ติดกันได้รับพลังงานเสียงที่ลดน้อยลง โดยวัสดุประเภทนี้มักเรียกว่า ฉนวนกันเสียง (Peng, 2017) จะเห็นได้ว่า หากวัสดุอะคูสติกบุติดกับผนังจะช่วยลดการเกิดเสียงก้อง หากอยู่ภายในผนังช่วยลดปริมาณเสียงส่งผ่านระหว่างห้อง แสดงดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ประเภทสมบัติทางเสียง

วัสดุอะคูสติกโดยทั่วไปจะมีลักษณะภายในเป็นรูปแบบโครงข่าย (Network) มีช่องว่างภายในจำนวนมากที่มีความซับซ้อน ไม่มีรูปแบบตายตัว ซึ่ง

เรียกชื่อวัสดุตามโครงสร้างแบบนี้ว่า “วัสดุรูพรุน” โดยวัสดุอะคูสติกในปัจจุบันมักสร้างจากวัสดุสังเคราะห์ เช่น เซลูล่าโฟม เส้นใยแก้ว และเส้นใย

หิน เป็นต้น (Chin *et al.*, 2018; Putra *et al.*, 2018) วัสดุเหล่านี้จะถูกนำมาสร้างเป็นฉนวนกันเสียง เนื่องจากให้ค่าในการดูดซับและป้องกันเสียงได้ดี อย่างไรก็ตามข้อจำกัดของวัสดุสังเคราะห์เหล่านี้คือการส่งผลกระทบต่อร่างกายเมื่อเกิดการสัมผัสกับหรือสูดดมเข้าไป เช่น เส้นใยแก้วซึ่งมีส่วนประกอบหลักของเรซิน (Resin) และเส้นใยขนาดเล็ก โดยเรซินเป็นสารทำให้เกิดการระคายเคืองต่อดวงตาและผิวหนัง หากเกิดสูดดมเข้าไปในร่างกายทำให้เกิดการตกค้างภายในและส่งผลให้หายใจติดขัด นอกจากนี้ยังอาจทำให้เกิดผื่นคันและระคายเคืองต่อดวงตาอีกด้วย (Singh and Bhalla, 2017) อีกทั้งในกระบวนการผลิตเส้นใยสังเคราะห์มีการปล่อยของเสียทางน้ำและอากาศ รวมถึงการขึ้นรูปของผลิตภัณฑ์ที่ต้องมีการใช้พลังงานสูง (Afolabi *et al.*, 2020) ซึ่งส่งผลกระทบต่อปัญหาสิ่งแวดล้อมอีกด้วย

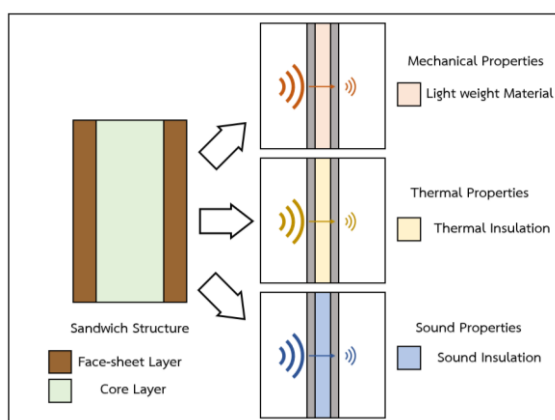
ในปัจจุบันได้มีงานวิจัยที่ทำการศึกษาและค้นคว้าเพื่อหาวัสดุที่สามารถทดแทนการใช้วัสดุสังเคราะห์ โดยเส้นใยธรรมชาติเป็นหนึ่งในวัสดุที่ได้รับความสนใจเป็นอย่างมาก โดยต้องเลือกวัสดุที่มีสมบัติความหนาแน่นต่ำเพื่อให้เหมาะต่อการนำไปเป็นวัสดุอะคูสติก ไม่มีผลกระทบต่อผู้ใช้งานและสิ่งแวดล้อม เช่น การนำเส้นใยปาล์มน้ำมันมาทำอัดขึ้นรูปในลักษณะทรงกระบอกที่มีความหนา 10-50 มิลลิเมตร เพื่อศึกษาสมบัติการดูดซับเสียงที่ให้ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง (Sound Absorption Coefficient : SAC) ที่ 0.84-0.9 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับเส้นใยสังเคราะห์ (Or *et al.*, 2017) นอกจากนี้ ยังมีการนำส่วนของลำต้นของพืชมาประยุกต์ใช้เป็นวัสดุดูดซับเสียง เช่น การนำลำต้นไผ่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 - 7 มิลลิเมตร จัดเรียงกันในรูปแบบแนวยาวและแนวขวาง ที่ให้ค่า SAC ที่ดีที่สุดที่ 0.8 ซึ่งใกล้เคียงกับเส้นใยสังเคราะห์เช่นกัน (Putra *et al.*, 2015) ดังนั้น วัสดุจากธรรมชาติ

จึงนับเป็นทางเลือกหนึ่งในการนำมาประยุกต์แทนวัสดุอะคูสติกสังเคราะห์

เพื่อให้การประยุกต์ใช้งานของวัสดุอะคูสติกที่มีหลากหลาย “โครงสร้างแซนด์วิช” จึงถูกเลือกนำมาใช้ โดยโครงสร้างแซนด์วิชจัดเป็นโครงสร้างประเภทหนึ่งของวัสดุเชิงประกอบ (Composite Materials) ที่มีความยืดหยุ่นในการใช้งาน สามารถปรับเปลี่ยนองค์ประกอบให้เหมาะสมกับความต้องการของผู้ใช้งานได้ โดยส่วนประกอบของโครงสร้างแซนด์วิชประกอบด้วยวัสดุ 2 ชนิดที่แตกต่างกัน มีการจัดเรียงเป็นชั้น ตั้งแต่ 3 ชั้นขึ้นไป โดยมี “ชั้นผิวหนัง” (Face-sheet Layer) เป็นแผ่นประกบทั้งสองด้านทำหน้าที่ให้ความแข็งแรงและคงทน ส่วน “ชั้นแกนกลาง” (Core Layer) มักทำจากวัสดุอ่อนที่ทำหน้าที่แตกต่างกันตามการประยุกต์ใช้งาน เช่น การเลือกใช้วัสดุฉนวนเพื่อเพิ่มสมบัติการกันความร้อน ความเย็น หรือเสียง แสดงดังภาพที่ 2 โดยทั่วไปชั้นผิวหนังจะมีความหนาน้อยกว่าชั้นแกนกลาง จึงทำให้โครงสร้างแซนด์วิชมีสมบัติทางกลสูงแต่น้ำหนักเบา โดยมีงานวิจัยที่มีการประยุกต์ใช้โอลูมิเนียมเป็นชั้นผิวหนังของโครงสร้างแซนด์วิชและใช้โพลีเอทิลีนเป็นแกนกลาง ซึ่งช่วยเพิ่มสมบัติทางกลให้สูงขึ้น (Dalai and Sreekanth, 2021) หรือการเลือกใช้วัสดุเชิงประกอบพลาสติกและไม้เป็นชั้นผิวหนังและมีการเลือกใช้พลาสติกหลากหลายชนิดในชั้นแกนกลาง (Promjan *et al.*, 2021) นอกจากนี้ ยังพบว่าโครงสร้างแซนด์วิชมีบทบาทสำคัญในการใช้งานในอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น อุตสาหกรรมวัสดุยานยนต์ เครื่องบิน รถไฟ และวัสดุก่อสร้าง เป็นต้น (Styles *et al.*, 2007; ALRahman *et al.*, 2013; Patel and Modi, 2013) จากงานวิจัยที่ผ่านมาแสดงให้เห็นถึงความสำคัญของวัสดุแซนด์วิชและยังคงมีอีกหลายปัจจัยที่ต้องศึกษา เช่น ชนิดของวัสดุ โครงสร้างชั้นแกนกลางหรืออัตราส่วนความหนา เป็นต้น ดังนั้น การเปรียบเทียบวัสดุแกนกลางจากวัสดุธรรมชาติและวัสดุสังเคราะห์ ได้แก่ เส้นใยไผ่ ทำหน้าที่เป็น

วัสดุอะลูมิเนียม และพลาสติกโพรลีนโฟลีนรีไซเคิลของวัสดุแซนด์วิช ที่มีชั้นผิวหน้าทำจากวัสดุเชิงประกอบพลาสติกและผงไม้ยางพารา และอัตราส่วนความหนาของชั้นผิวหน้าและชั้นแกนกลางที่ส่งผลต่อสมบัติการป้องกันเสียง และสมบัติทางกลของวัสดุแซนด์วิช จึงเป็นวัตถุประสงค์หลักของงานวิจัยนี้ โดยการเลือกศึกษาพลาสติกโพรลีนโฟลีนรีไซเคิล

(recycled polypropylene : rPP) เนื่องจากเป็นพลาสติกที่มีการใช้งานอย่างแพร่หลาย อีกทั้งยังช่วยส่งเสริมการนำพลาสติกรีไซเคิลกลับมาใช้ใหม่ สำหรับผงไม้ยางพาราที่ทำหน้าที่เป็นเส้นใยเสริมแรง จัดเป็นวัสดุเหลือใช้จากอุตสาหกรรมแปรรูปไม้ยางพารา จึงถูกนำมาใช้ให้เกิดมูลค่า



ภาพที่ 2 โครงสร้างวัสดุแซนด์วิช

วิธีดำเนินการวิจัย

การดำเนินงานวิจัย มีองค์ประกอบหลัก 3 ชนิด ได้แก่ วัสดุ ขั้นตอนการขึ้นรูป และการทดสอบชิ้นงาน

1. วัสดุ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาสมบัติของวัสดุแซนด์วิช ที่มีชั้นแผ่นประกบ คือวัสดุเชิงประกอบพลาสติกและไม้ที่มีองค์ประกอบของพลาสติก rPP จากบริษัท วิทยาอินเตอร์เทรด จำกัด (จังหวัดสมุทรปราการ) และเส้นใยเสริมแรงผงไม้ยางพารา (RWF) เป็นผงขี้เลื่อยของอุตสาหกรรมเฟอร์นิเจอร์ นอกจากนี้ มีการเพิ่มสารเติมแต่ง ได้แก่ สารคู่ควบ จากบริษัท Sigma-aldrich จำกัด สารต้านรังสียูวี จากบริษัท ทีเอช คลเลอรี่ จำกัด (สมุทรปราการ ประเทศไทย) และสารหล่อลื่น จากบริษัท Nippon Seiro จำกัด โดยสารเหล่านี้เป็นการเสริมสมบัติของวัสดุเชิงประกอบ อีก

ทั้งยังช่วยในการขึ้นรูปได้ดียิ่งขึ้น สำหรับวัสดุชั้นแกนกลางของวัสดุแซนด์วิช มี 2 ชนิด ได้แก่ พลาสติก rPP และเส้นใยไผ่ (BBF) ได้รับจากโรงงานเฟอร์นิเจอร์ไม้ไผ่ในพื้นที่จังหวัดสงขลา เพื่อให้การขึ้นรูปเมื่อใช้เส้นใยไผ่เป็นชั้นแกนกลาง จำเป็นต้องใช้กาวยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์เป็นตัวประสานเพื่อให้เส้นใยสามารถคงรูปอยู่ได้ (Anisuzzaman *et al.*, 2014) นอกจากนี้ยังมีสารประสานที่ใช้ในการเชื่อมต่อระหว่างชั้นผิวหน้าและชั้นแกนกลางจากเส้นใยไผ่ คือ กาวโพลียูรีเทนซิลแลนท์ จากบริษัท ทีโอเอ เพ้นท์ จำกัด (ประเทศไทย)

2. กระบวนการขึ้นรูปชิ้นงานทดสอบ

ในขั้นแรกทำการขึ้นรูปวัสดุเชิงประกอบพลาสติกและผงไม้เพื่อทำเป็นแผ่นประกบของวัสดุแซนด์วิช โดยนำผงไม้ยางพารามาผ่านกระบวนการบดย่อยขนาดและทำการร่อนเพื่อให้ได้ขนาดไม่เกิน 80 เมช และทำการอบไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา

6 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำส่วนประกอบวัสดุเชิงประกอบพลาสติกและไม้ได้แก่ เม็ดพลาสติกพอลิโพรพิลีน ร้อยละ 50.3 ผงไม้ยางพารา ร้อยละ 44.5 สารกึ่งควบ ร้อยละ 3.9 สารต้านทานรังสียูวี ร้อยละ 0.2 และสารหล่อลื่น ร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก ซึ่งเป็นสูตรที่เหมาะสมในการขึ้นรูปวัสดุเชิงประกอบจากพลาสติก rPP และ ผงไม้ยางพารา (Homkhiew *et al.*, 2014) มาทำการผสมเข้าด้วยกันด้วยเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนคู่ (Twin Screw Extruder) รุ่น EMT-26 อุณหภูมิในการอัดรีดอยู่ในช่วง 170-190 องศาเซลเซียส ที่ความเร็วเกลียว 50 รอบต่อนาที ทำให้ได้วัสดุเชิงประกอบพลาสติกและไม้ที่มีเนื้อเดียวกัน นำมาตัดให้มีขนาดความยาวไม่เกิน 4 - 5 มิลลิเมตร เพื่อให้มีการกระจายตัวที่ดีในการนำไปอัดขึ้นรูปด้วยกระบวนการอัดรีดที่แรงดัน 70.3×10^4 กิโลกรัมแรงต่อตารางเซนติเมตร อุณหภูมิ 190 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที จะได้ชิ้นงานแผ่นเรียบที่มีความหนา 2, 3 และ 4 มิลลิเมตร สำหรับชิ้นผิวหน้าของวัสดุแซนด์วิช และขนาด 10 มิลลิเมตร สำหรับชิ้นงานอ้างอิง

ในส่วนของชิ้นแกนกลางจะทำการศึกษาวัสดุ 2 ชนิด ได้แก่ พลาสติก rPP และเส้นใย โดยนำเส้นใยเหล่านั้นมาทำการบดและร่อนแยกขนาดให้อยู่ในช่วง 40 - 60 เมช ทำการอบไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง จากนั้นทำการผสมเส้นใยเข้ากับกาวยูเรียฟอรัมาลดีไฮด์ ทำหน้าที่เป็นตัวประสานในอัตราส่วนร้อยละ 90 และร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ ด้วยเครื่องปั่นผสมเพื่อให้สารประสานกระจายตัวไปยังเส้นใยได้อย่างทั่วถึง จากนั้นทำการอัดรีด ที่แรงดัน 70.3×10^4 กิโลกรัมแรงต่อตารางเซนติเมตร อุณหภูมิ 190 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที เพื่อขึ้นรูปชิ้นงานแผ่นผิวเรียบที่ขนาดความหนา 2, 4 และ 6 มิลลิเมตร เพื่อใช้เป็นชิ้นแกนกลางของวัสดุแซนด์วิช ในส่วนของพลาสติก rPP ที่นำมาใช้ทำแกนกลางนั้น ได้รับจากโรงงานผลิต

เม็ดพลาสติก มีลักษณะเป็นเม็ดเล็กทรงกระบอกยาวประมาณ 2 - 4 มิลลิเมตร นำมาทำการอัดรีดขึ้นรูปให้มีขนาดและความหนาเช่นเดียวกันกับแกนกลางจากเส้นใยไฟ

เมื่อได้แผ่นประกบและแผ่นแกนกลางแล้ว จึงทำการขึ้นรูปชิ้นงานแซนด์วิชโดยมีการเรียงชั้นของวัสดุแซนด์วิชตามลำดับ คือ แผ่นประกบ-แกนกลาง-แผ่นประกบ โดยมีอัตราส่วนความหนาแต่ละชั้นดังนี้ 2-6-2, 3-4-3 และ 4-2-4 มิลลิเมตร ตามลำดับ และมีความหนารวมทั้งสามชั้น 10 มิลลิเมตร สำหรับชิ้นแกนกลางที่ทำจากเส้นใยไฟจะใช้สารประสานกาวโพลียูรีเทนซิลแลนท์ ในการเชื่อมต่อระหว่างชั้นผิวหน้าและชิ้นแกนกลาง ทำการอัดเย็นที่แรงดัน 70.3×10^4 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร เป็นเวลา 6 ชั่วโมง เพื่อให้สารประสานเกิดการประสานระหว่างชั้นได้อย่างทั่วถึง ในส่วนของการขึ้นรูปชิ้นงานแซนด์วิชที่มีแกนกลางทำจากพลาสติก rPP สามารถประสานกับแผ่นประกบได้ผ่านกระบวนการอัดรีดโดยไม่ต้องใช้ตัวประสานช่วย

3. วิธีการทดสอบ

งานวิจัยนี้ดำเนินการทดสอบสมบัติของชิ้นงาน 2 ประเภท ได้แก่ สมบัติการป้องกันเสียงและสมบัติทางกล โดยมีรายละเอียดการทดสอบดังนี้

3.1 การทดสอบสมบัติการป้องกันเสียง

ทำการทดสอบสมบัติการป้องกันเสียงตามมาตรฐาน ASTM E90 ด้วยห้องทดสอบเสียงสะท้อน (Reverberation room) ที่มีฉนวนกันเสียงสี่เหลี่ยมตามข้อมูลอ้างอิง (Papanikolaou and Trochides, 1985) เป็นการทดสอบเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การลดเสียง โดยการใช้ห้องกำเนิดเสียงที่ทำหน้าเป็นแหล่งกำเนิดพลังงานเสียง ส่งพลังงานผ่านชิ้นงานทดสอบซึ่งจัดวางอยู่บริเวณช่องว่างของห้องกำเนิดเสียง ทำการวัดและเก็บค่าพลังงานเสียงที่ลดลงเปรียบเทียบกับแหล่งกำเนิดเสียงที่ปล่อยพลังงานเสียงด้วยคลื่น

ความถี่ 1/1 ออกเทฟ (1/1 Octave band) ได้แก่ 500, 1,000, 2,000, 4,000 และ 8,000 เฮิรตซ์ โดยมีขนาดชิ้นงานทดสอบที่ $150 \times 240 \times 10$ มิลลิเมตร³ แสดงดังภาพที่ 3(ก) และทำการทดสอบซ้ำ 3 ตัวอย่าง

3.2 การทดสอบสมบัติทางกล

ทำการทดสอบสมบัติความแข็งแรงดัด ตามมาตรฐานการทดสอบ ASTM D790-92 ซึ่งเป็นการทดสอบการดัดงอแบบ 3 จุด (Three point bending) ด้วยเครื่องทดสอบอเนกประสงค์ (Instron Universal Tester Machine, Model 5582) ชิ้นงานทดสอบมีขนาด $13 \times 100 \times 10$ มิลลิเมตร³ (กว้าง×ยาว×หนา) แสดงดังภาพที่ 3(ข) การทดสอบสมบัติการอัด ตามมาตรฐาน

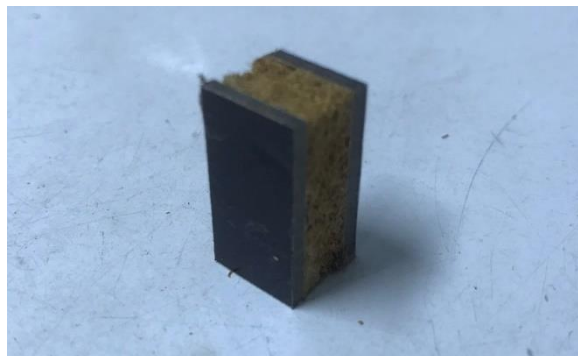
การทดสอบ ASTM D6108-97 ด้วยเครื่องทดสอบอเนกประสงค์ (Universal Tester Machine) มีขนาดชิ้นงาน $10 \times 20 \times 10$ มิลลิเมตร³ (กว้าง×ยาว×หนา) แสดงดังภาพที่ 3(ค) ความเร็วในกดอัด 0.5 มิลลิเมตรต่อวินาที สำหรับการทดสอบสมบัติความแข็งพื้นผิว ตามมาตรฐานการทดสอบ ASTM D2240 ด้วยเครื่องทดสอบความแข็งผิวแบบพกพา (Durometer แบบ Shore D) มีขนาดชิ้นงาน $16 \times 16 \times 10$ มิลลิเมตร³ (กว้าง×ยาว×หนา) แสดงดังภาพที่ 3(ง) โดยทั้ง 3 การทดสอบ จะทำที่อุณหภูมิห้อง 25 องศาเซลเซียส และทดสอบซ้ำ 5 ตัวอย่าง ในแต่ละประเภทของการทดสอบ



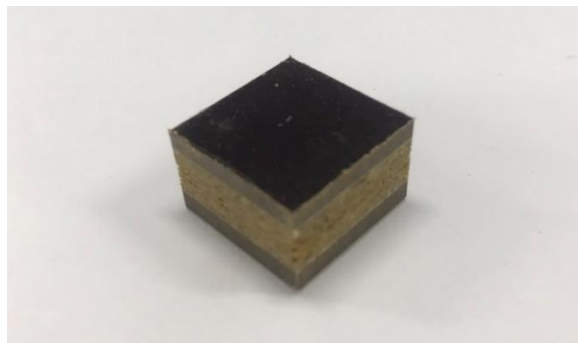
(ก) ชิ้นงานทดสอบสมบัติการป้องกันเสียง



(ข) ชิ้นงานทดสอบสมบัติการดัด



(ค) ชิ้นงานทดสอบสมบัติการอัด



(ง) ชิ้นงานทดสอบสมบัติความแข็งแรงพื้นผิว

ภาพที่ 3 ตัวอย่างชิ้นงานทดสอบวัสดุแกนฉนวนกึ่งกลางจากเส้นใยไฟเบอร์อัตราส่วนความหนา 2/6/2

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

1. ผลการทดสอบสมบัติการป้องกันเสียง

จากผลการทดสอบดังแสดงในตารางที่ 1 จะเห็นว่าค่าสัมประสิทธิ์การลดเสียงของวัสดุแกนฉนวนกึ่งกลางที่ทำจากเส้นใยไฟเบอร์ที่มีความหนา 2-6-2 มิลลิเมตร ให้ค่าสูงสุด 35.53 เดซิเบล ที่ช่วงคลื่นความถี่เสียง 2,000 เฮิรตซ์ ในขณะที่ความหนา 4-2-4 มิลลิเมตร ให้ค่าต่ำสุด 24.73 เดซิเบล ที่ช่วงคลื่นความถี่เสียง 500 เฮิรตซ์ สำหรับกรณีที่ชั้นแกนกลางทำจาก rPP ที่ความหนา 3-4-3 มิลลิเมตร ให้ค่าสูงสุด 30.56 เดซิเบล ที่ช่วงคลื่นความถี่เสียง 2,000 เฮิรตซ์ ในขณะที่ความหนา 2-6-2 มิลลิเมตร ให้ค่าต่ำสุด 20.26 เดซิเบล ที่ช่วงคลื่นความถี่เสียง 4,000 เฮิรตซ์ นอกจากนี้ยังสังเกตได้จากภาพที่ 4 ได้ว่าค่าสัมประสิทธิ์การลดเสียงของชั้นแกนกลางจากเส้นใยไฟเบอร์จะให้ค่าที่สูงกว่าแกนกลางจากพลาสติก rPP ที่คลื่นความถี่เสียงเดียวกัน เนื่องจากโครงสร้างของเส้นใยไฟเบอร์มีจำนวนและขนาดช่องว่างระหว่างเส้นมากกว่า rPP ส่งผลให้เส้นใยไฟเบอร์มีค่าสัมประสิทธิ์การลดเสียงสูงกว่า rPP นอกจากนี้ เมื่อพิจารณาวัสดุเชิงประกอบพลาสติกและไม้เพียงชั้นเดียวซึ่งใช้เป็นตัวควบคุม จะเห็นได้ว่าค่าสัมประสิทธิ์การลดเสียงน้อยกว่าวัสดุแกนฉนวนกึ่งกลางที่มีแกนกลางจากเส้นใยไฟเบอร์และ rPP ที่ทุกระดับความหนา ดังนั้นการเพิ่มขึ้นของชั้นแกนกลาง ส่งผลให้พลังงานเสียงส่งผ่านวัสดุแต่ละ

ชั้นนั้นจะช่วยลดพลังงานเสียงโดยการดูดซับไว้ในชั้นวัสดุเหล่านั้น (Peng, 2017)

เมื่อพิจารณาปัจจัยอัตราส่วนความหนาของวัสดุแกนฉนวนกึ่งกลาง พบว่าการเพิ่มความหนาของชั้นแกนกลางจากเส้นใยไฟเบอร์มีแนวโน้มที่ให้ค่าสัมประสิทธิ์การลดเสียงเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากวัสดุแกนกลางจากเส้นใยไฟเบอร์มีลักษณะเป็นวัสดุรูพรุน ดังแสดงในภาพที่ 5 ที่ความหนาของชั้นเส้นใยที่มากขึ้นส่งผลให้มีพื้นที่รูพรุนเพิ่มขึ้นและสามารถการดูดซับเสียงเพิ่มมากขึ้นด้วย (Putra *et al.*, 2018) แต่ในส่วนวัสดุแกนฉนวนกึ่งกลางที่เป็นพลาสติกชนิด rPP นั้น การเพิ่มความหนาของชั้นแกนกลางจาก 4-2-4 เป็น 2-6-2 มิลลิเมตร มีแนวโน้มที่ให้ค่าสัมประสิทธิ์การลดเสียงลดน้อยลง ซึ่งเป็นพฤติกรรมที่สวนทางกันกับชั้นแกนกลางเส้นใยไฟเบอร์ เนื่องจากชั้นแกนกลางซึ่งเป็นพลาสติกช่วยส่งผ่านพลังงานเสียงได้ดี ส่งผลให้วัสดุแกนฉนวนกึ่งกลางที่มีความหนา 2-6-2 มิลลิเมตร ซึ่งมีแกนกลางเป็นพลาสติกหนา 6 มิลลิเมตร ให้ค่าสัมประสิทธิ์การลดเสียงมีค่าที่น้อยกว่าวัสดุแกนฉนวนกึ่งกลางที่มีความหนา 4-2-4 มิลลิเมตร

เมื่อนำผลการทดสอบมาทำการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวน (one-way ANOVA) โดยมีปัจจัยในการวิเคราะห์ ได้แก่ วัสดุแกนฉนวนกึ่งกลางที่มีชั้นแกนกลางจากเส้นใยไฟเบอร์และพลาสติก rPP ที่ระดับอัตราส่วนความหนา 2-6-2, 3-4-3 และ 4-

2-4 มิลลิเมตร โดยมีชิ้นงานควบคุม (Control sample) คือ WPCs โดยเริ่มจากการวิเคราะห์ความพอเพียงของรูปแบบจำลอง ดังภาพที่ 6 (ก) ซึ่งแสดง Normal probability ของค่าสัมประสิทธิ์การลดเสียงที่ 500 เฮิร์ตซ์ ไม่พบค่าผิดปกติภายในกราฟและข้อมูลมีลักษณะใกล้เคียงกับเส้นตรง จึงสรุปได้ว่าข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติ ภาพที่ 6 (ข) แสดงความแปรปรวนคงที่ของค่าความผิดพลาดพบว่า ค่าความแปรปรวนมีความสม่ำเสมอ ภาพที่ 6 (ค) แสดงความเป็นอิสระของข้อมูล ซึ่งมีการกระจายตัวรอบค่าศูนย์โดยไม่มีรูปแบบที่ชัดเจน แสดงให้เห็นว่าข้อมูลเป็นอิสระต่อกัน เมื่อทำการวิเคราะห์ความพอเพียงของรูปแบบจำลองของค่าสัมประสิทธิ์การลดเสียงที่ช่วงคลื่น 500, 1,000, 2,000, 4000 และ 8,000 เฮิร์ตซ์ พบว่าทุกชุดข้อมูลมีการแจกแจงแบบ

ปกติ มีค่าความแปรปรวนสม่ำเสมอ และข้อมูลเป็นอิสระต่อกันที่ทุกคลื่นความถี่ที่ทำการทดสอบ

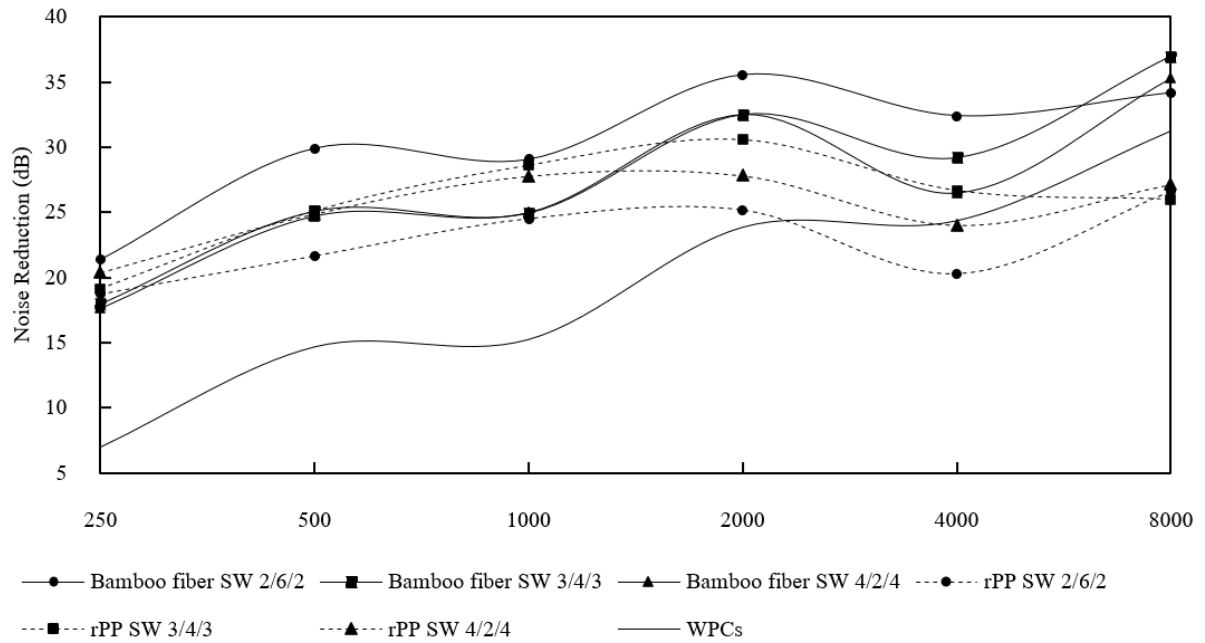
จากผลการวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การลดเสียงที่ช่วงคลื่นที่ 500, 1,000, 2,000 และ 4,000 เฮิร์ตซ์ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ขณะที่ช่วงคลื่นความถี่เสียง 8,000 เฮิร์ตซ์ มีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) ตามลำดับ นอกจากนี้การเปรียบเทียบความแตกต่างของแต่ละปัจจัยด้วยวิธี the Fisher LSD Method แสดงให้เห็นถึงกลุ่มความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (Group : ^{A,B,C,D,E}) แสดงดังตารางที่ 1 เช่น ที่ช่วงคลื่นความถี่ 500 เฮิร์ตซ์ ชิ้นงานวัสดุแซนวิชแกนกลางเส้นใยไฟเบอร์ ที่ความหนา 2-6-2 และ 3-4-3 มิลลิเมตร มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ขณะที่ความหนา 3-4-3 และ 4-2-4 มิลลิเมตร มีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ

ตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว ของชิ้นงานทดสอบที่มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การลดเสียง (เดซิเบล)

Sound frequency (Hz)	Sandwich with core wood composites (Bamboo fiber)			Sandwich with core pure plastics (rPP)			Control (WPCs)
	2/6/2	3/4/3	4/2/4	2/6/2	3/4/3	4/2/4	WPCs
500	29.90 ^A	25.10 ^B	24.73 ^B	21.63 ^B	25.10 ^B	24.90 ^B	14.66 ^C
1,000	29.06 ^A	24.96 ^{BC}	25.00 ^{BC}	24.50 ^{AB}	28.60 ^A	27.80 ^C	15.23 ^D
2,000	35.53 ^A	32.50 ^{AB}	32.53 ^{AB}	25.16 ^{CD}	30.56 ^{BC}	27.83 ^{CD}	23.86 ^E
4,000	32.40 ^A	29.20 ^C	26.50 ^{BC}	20.26 ^D	26.66 ^{BC}	24.03 ^C	24.36 ^C
8,000*	34.16	36.96	35.30	26.60	26.00	27.16	31.26

* Value is insignificant

^{A, B, C, D, E} Grouping information using the Fisher LSD method and 95% confidence



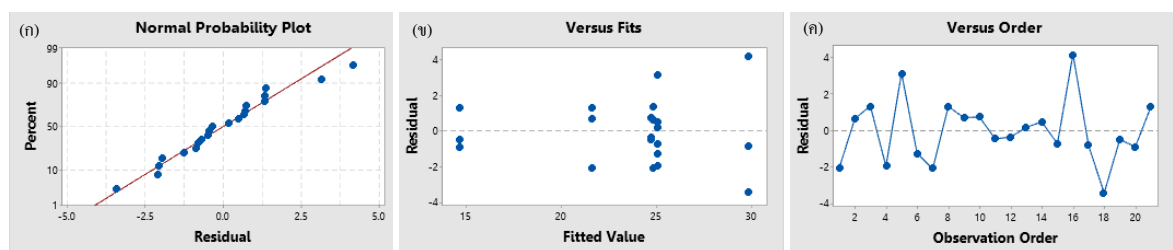
ภาพที่ 4 ผลการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การลดเสียงของชิ้นงานทดสอบ



(ก) ภาพถ่ายที่กล้องขยาย 5 เท่า

(ข) ภาพถ่ายที่กล้องขยาย 10 เท่า

ภาพที่ 5 ลักษณะภายในแกนกลางจากเส้นใยไผ่



(ก) กราฟ Normal probability

(ข) กราฟ Versus Fits

(ค) กราฟ Versus Order

ภาพที่ 6 การวิเคราะห์ความพอเพียงของรูปแบบจำลองของค่าสัมประสิทธิ์การลดเสียง ที่คลื่อนความถี่ 500 เฮิรตซ์

2. ผลการทดสอบสมบัติการดัด

จากผลการทดสอบแรงดัด แสดงดังภาพที่ 7 และ 8 พบว่า วัสดุแซนดวิชที่มีแกนกลางเส้นใยไฟเบอร์ มีค่าความแข็งแรงดัดเฉลี่ยในช่วง 12.4-15.1 เมกะปาสคาล ขณะที่ส่วนแกนกลาง rPP ให้ค่าเฉลี่ยในช่วง 34.9-42.5 เมกะปาสคาล จะเห็นได้ว่า การเพิ่มขึ้นแกนกลางเส้นใยไฟเบอร์ ส่งผลให้ค่าความแข็งแรงดัดของวัสดุแซนดวิชลดลง เมื่อเทียบกับวัสดุเชิงประกอบพลาสติกและไม้แบบชั้นเดียว ที่ให้ค่าเฉลี่ย 29.1 เมกะปาสคาล เนื่องจากรูปแบบภายในชั้นแกนกลางเป็นมีลักษณะที่เส้นใยมีการยึดเกาะกันเป็นโครงข่ายซึ่งมีช่องว่างระหว่างเส้นใยเหล่านั้น ทำให้เส้นใยเกิดการแตกหักได้ง่าย ดังแสดงในภาพที่ 5 ในขณะที่การเพิ่มขึ้นของชั้นแกนกลางจากพลาสติก rPP ส่งผลให้ค่าความแข็งแรงดัดเพิ่มขึ้นเช่นกัน กล่าวได้ว่าวัสดุในชั้นแกนกลางของโครงสร้างแซนดวิชมีส่วนสำคัญที่ส่งผลต่อสมบัติการดัดที่เพิ่มขึ้นหรือลดลง ในส่วนของค่ามอดูลัสแรงดัด ยังคงมีแนวโน้มเช่นเดียวกันกับค่าความแข็งแรงดัด แสดงดังภาพที่ 8 เมื่อพิจารณาการเพิ่มความหนาของชั้นแกนกลางของวัสดุแซนดวิชจากแกนกลางพลาสติก rPP ดังแสดงในภาพที่ 7 ที่อัตราส่วนความหนา 4-2-4 มิลลิเมตร ให้ค่าเฉลี่ย 34.9 เมกะปาสคาล เมื่อความหนาของชั้นแกนกลางเพิ่มขึ้นตามสัดส่วนความหนาของวัสดุแซนดวิชเป็น 2-6-2 มิลลิเมตร ส่งผลให้มีค่าเฉลี่ยเพิ่มขึ้นถึง 42.5 เมกะปาสคาล ซึ่งเป็นแนวโน้มเช่นเดียวกันกับแกนกลางจากเส้นใยไฟเบอร์ ดังนั้นการเพิ่มขึ้นของชั้นแกนกลางส่งผลต่อค่าความ

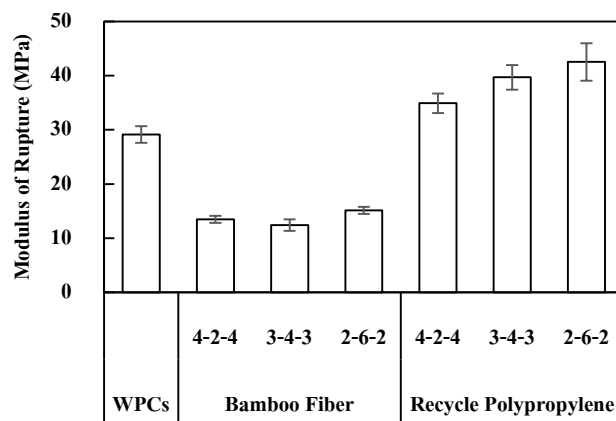
แข็งแรงดัด การโค้งตัว และความเค้นเฉือน อีกทั้งความเค้นที่เกิดขึ้นสามารถกระจายภายในชั้นแกนกลางได้ดีมากขึ้น เป็นผลให้สมบัติการดัดเพิ่มมากขึ้นเมื่อชั้นแกนกลางมีความหนาที่เพิ่มมากขึ้น (Promjan *et al.*, 2021)

นอกจากนี้ ได้มีการวิเคราะห์ความพอเพียงของรูปแบบจำลองเช่นเดียวกับการทดสอบสมบัติป้องกันเสียง พบว่าทุกชุดข้อมูลของค่าความแข็งแรงดัดและมอดูลัสแรงดัด มีการแจกแจงแบบปกติ มีค่าความแปรปรวนสม่ำเสมอและข้อมูลเป็นอิสระต่อกัน เมื่อทำการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ ดังแสดงในตารางที่ 2 พบว่า วัสดุแซนดวิชมีชั้นแกนกลางจากพลาสติก rPP ที่ความหนา 2-6-2 มิลลิเมตร ให้ค่าความแข็งแรงดัดสูงสุด (42.52 เมกะปาสคาล) มากกว่าวัสดุเชิงประกอบพลาสติกและไม้กว่า 45.87% สำหรับค่ามอดูลัสแรงดัดที่ความหนา 2-6-2 มิลลิเมตร ก็ให้ค่าสูงสุด (2,409.13 เมกะปาสคาล) เช่นเดียวกันและสูงกว่าชิ้นงานอ้างอิงถึง 5.52% ซึ่งค่าแรงดัดระหว่างวัสดุแซนดวิชมีชั้นแกนกลางจากพลาสติก rPP และวัสดุเชิงประกอบพลาสติกและไม้ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ขณะที่วัสดุแซนดวิชที่มีชั้นแกนกลางจากเส้นใยไฟเบอร์ ให้ค่าความแข็งแรงดัดและมอดูลัสแรงดัดน้อยที่สุดในกลุ่มชิ้นงานทดสอบ ที่ทุกระดับความหนา โดยการเปลี่ยนแปลงความหนาของชั้นแกนกลางของเส้นใยไฟเบอร์ให้ค่าความแข็งแรงดัดและมอดูลัสแรงดัดที่มีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ

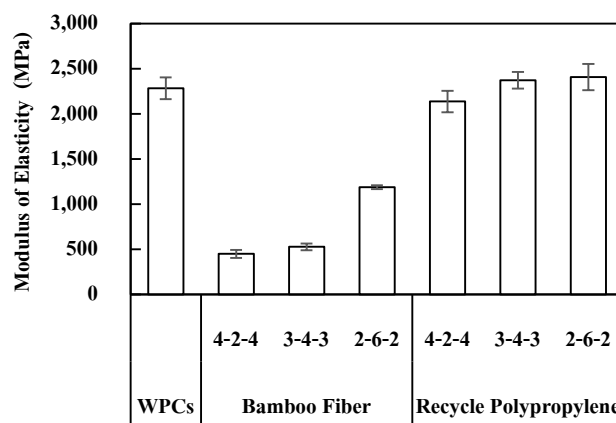
ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว ของชิ้นงานทดสอบที่มีผลต่อสมบัติทางกล

Properties	Sandwich with core wood composites			Sandwich with core pure plastics			Control sample (WPCs)
	2-6-2	3-4-3	4-2-4	2-6-2	3-4-3	4-2-4	
Modulus of Rupture	15.15 ^D	12.41 ^D	13.51 ^D	42.52 ^A	39.70 ^A	34.911 ^B	29.148 ^C
Modulus of Elasticity	1188.81 ^D	527.64 ^D	449.67 ^D	2409.13 ^A	2371.22 ^A	2137.22 ^B	2283.03 ^{AB}
Compressive Strength	12.59 ^E	21.57 ^D	30.50 ^C	55.20 ^A	57.22 ^A	38.47 ^B	32.38 ^C
Compressive Modulus	-	734.51 ^E	896.83 ^{DE}	1340.95 ^B	1712.91 ^A	1210.35 ^{BC}	1027.26 ^{CD}
Hardness (Shore D)	74.68 ^{BC}	74.52 ^{BC}	74.67 ^{BC}	76.5 ^{AB}	77.4 ^A	75 ^{BC}	73.18 ^C

A, B, C, D, E Grouping information using the Fisher LSD method and 95% confidence



ภาพที่ 7 ค่าความแข็งแรงดัดของชิ้นงานทดสอบ



ภาพที่ 8 ค่ามอดูลัสแรงดัดของชิ้นงานทดสอบ

3. ผลการทดสอบสมบัติการอัด

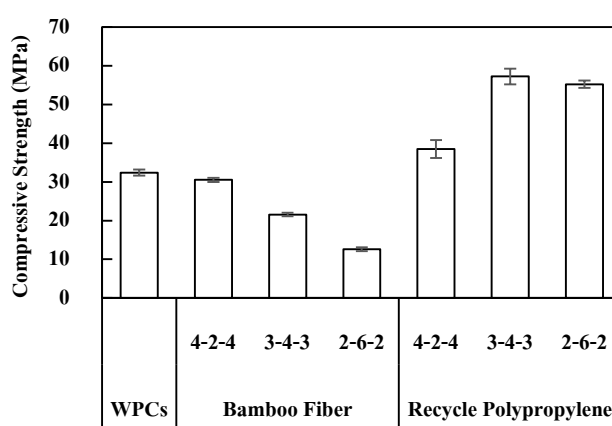
ผลการทดสอบแรงอัด ดังแสดงในภาพที่ 9 และ 10 จะเห็นได้ว่าค่าความแข็งแรงอัดของวัสดุแซนดวิช

จากแกนกลางเส้นใยไฟเบอร์ให้ค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 12.5 - 30.5 เมกะปาสคาล ซึ่งน้อยกว่าค่าจากแกนกลางจากพลาสติก rPP ที่ให้ค่าเฉลี่ยในช่วง 38.4 - 57.2 เมกะปาสคาล

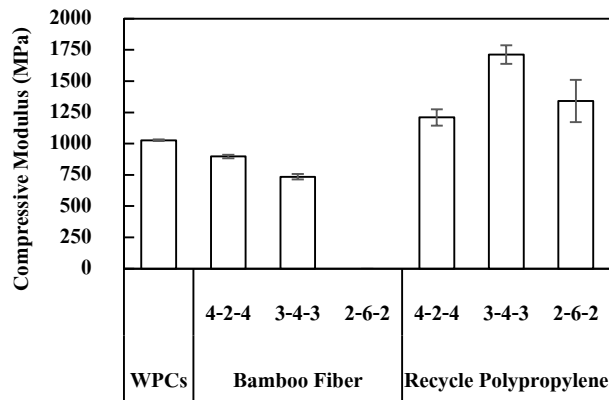
เนื่องจากเส้นใยไผ่ มีค่าสมบัติทางกลด้อยกว่า rPP ส่งผลให้วัสดุแซนดวิชที่มีเส้นใยไผ่เป็นแกนกลางให้ค่าต่ำกว่า เมื่อเพิ่มความหนาชั้นแกนกลางของพลาสติก rPP พบว่าค่าความแข็งแรงอัดมีแนวโน้มสูงมากขึ้น เนื่องจากความหนาชั้นแกนที่เพิ่มขึ้นส่งผลต่อความเค้นอัดสามารถกระจายตัวได้ดีขึ้น ซึ่งมีพฤติกรรมไปในแนวทางเดียวกันกับความสามารถในการรับแรงคดวัสดุแซนดวิช อย่างไรก็ตามความหนาของชั้นแกนกลางที่มากเกินไปอาจส่งผลต่อความสามารถในการรับแรงของชั้นผิวหน้าให้ลดน้อยลง ส่งผลให้สมบัติการอัดโดยรวมเริ่มลดลง สังเกตได้จากความหนาแกนกลางที่ 3-4-3 มิลลิเมตร (57.2 เมกะปาสกาล) ลดลงเมื่อมีความหนา 2-6-2 มิลลิเมตร (55.206 เมกะปาสกาล) เมื่อพิจารณาแกนกลางจากเส้นใยไผ่จะส่งผลให้ค่าความแข็งแรงอัดลดน้อยลงเมื่อความหนาของชั้นแกนกลางเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากแกนกลางของเส้นใยไผ่มีการยึดติดกันของเส้นใยในรูปแบบ

ของวัสดุที่มีรูพรุน จึงเกิดการแตกหักได้ง่าย ส่งผลให้ความสามารถในการรับความเค้นอัดรับแรงได้ลดลง ดังนั้นการเพิ่มความหนาของชั้นแกนกลางจากเส้นใยไผ่ทำให้ค่าความแข็งแรงอัดลดลง นอกจากนี้ผลการทดสอบค่ามอดูลัสแรงอัดก็ให้ผลไปในทิศทางเดียวกันกับค่าความแข็งแรงอัด (Lee *et al.*, 2018)

เมื่อทำการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ ดังแสดงในตารางที่ 2 พบว่าวัสดุแซนดวิชที่มีชั้นแกนกลางจากพลาสติก rPP ที่ความหนา 3-4-3 มิลลิเมตร ให้ค่าความแข็งแรงอัด (57.22 เมกะปาสกาล) และค่ามอดูลัสแรงอัด (1,712.91 เมกะปาสกาล) ซึ่งมากกว่าวัสดุเชิงประกอบพลาสติกและไม้กว่า 76.71% และ 66.74% ตามลำดับ โดยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) จากชิ้นงานทดสอบอื่นๆ ขณะที่วัสดุแซนดวิชมีชั้นแกนกลางจากเส้นใยไผ่ ให้ค่าความแข็งแรงอัดและมอดูลัสแรงอัดน้อยที่สุดในกลุ่มชิ้นงานทดสอบ ซึ่งให้ผลไปในทิศทางเดียวกันกับสมบัติการคด



ภาพที่ 9 ค่าความแข็งแรงอัดของชิ้นงานทดสอบ

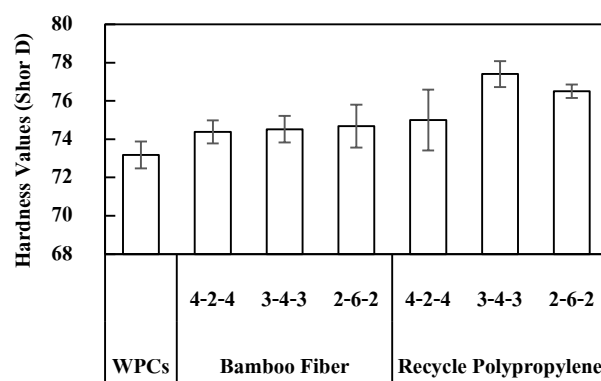


ภาพที่ 10 ค่ามอดูลัสแรงอัดของชิ้นงานทดสอบ

4. ผลการทดสอบสมบัติความแข็งผิวพื้นผิว

ผลการทดสอบสมบัติความแข็งพื้นผิว ดังแสดงในภาพที่ 11 พบว่าค่าความแข็งพื้นผิวของวัสดุแกนคิ้วที่มีแกนกลางจากเส้นใยไผ่ ให้ค่าความแข็งพื้นผิวเฉลี่ย 74.3 - 74.6 ขณะที่แกนกลางจากพลาสติก rPP ให้ค่าเฉลี่ย 75 - 77.4 ของทุกระดับความหนา จะเห็นได้ว่าแนวโน้มของวัสดุแกนคิ้วและวัสดุเชิงประกอบพลาสติกแบบเนื้อเดียวกัน ให้ค่าใกล้เคียงกันอันเนื่องจากวัสดุชั้นผิวหน้าเป็นวัสดุชนิดเดียวกัน จึงให้ค่าที่ใกล้เคียงกัน เมื่อพิจารณาวัสดุแกนคิ้วสังเกตได้ว่าชั้นแกนกลางจากเส้นใยไผ่ที่ทุกระดับความหนาและแกนกลางจาก rPP ที่ความหนา 4-2-4 มิลลิเมตร ให้ค่าเฉลี่ยที่ใกล้เคียงกัน อย่างไรก็ตาม แกนกลางจาก rPP ที่ความหนา 3-4-3 มิลลิเมตร และ

2-6-2 มิลลิเมตร มีแนวโน้มสูงขึ้นอาจเกิดผลให้ความแข็งพื้นผิวส่งแรงผ่านมายังชั้นแกนกลางจึงช่วยให้ชั้นผิวหน้ามีแรงต้านที่เพิ่มมากขึ้น (Dalai and Sreekanth, 2021) เมื่อทำการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ ดังแสดงในตารางที่ 2 พบว่าชิ้นงานแกนคิ้วที่มีชั้นแกนกลางจากเส้นใยไผ่ที่ทุกระดับความหนามีค่าความแข็งพื้นผิวที่แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ แต่เมื่อทำการเปรียบเทียบกับชิ้นงานที่มีแกนกลางจากพลาสติก rPP ที่ความหนา 2-6-2 และ 3-4-3 มิลลิเมตร พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเปรียบเทียบวัสดุแกนคิ้วที่มีแกนกลางจากพลาสติก rPP กับวัสดุเชิงประกอบพลาสติกและไม้ พบว่าวัสดุแกนคิ้วมีค่าความแข็งผิว (77.4) เพิ่มขึ้น 5.7%



ภาพที่ 11 ผลการทดสอบค่าความแข็งพื้นผิว

สรุป

จากการศึกษาปัจจัยชนิดของชั้นแกนกลางจากเส้นใยไฟเบอร์และพลาสติก rPP และอัตราส่วนความหนาของชั้นแกนกลางและชั้นผิวหน้าที่ 2-6-2, 3-4-3 และ 4-2-4 มิลลิเมตร ถึงผลกระทบที่มีผลต่อสมบัติการป้องกันเสียง สมบัติการตัด สมบัติการอัดและความแข็งพื้นผิว พบว่าการเพิ่มขึ้นของชั้นแกนกลางส่งผลต่อสมบัติทางกลอย่างมีนัยสำคัญ และการเพิ่มความหนาของชั้นแกนกลางที่มากเกินไปอาจส่งผลให้สมบัติทางกลเริ่มลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุชั้นแกนกลางระหว่างเส้นใยไฟเบอร์และพลาสติก rPP ของวัสดุแซนด์วิช พบว่าเส้นใยไฟเบอร์ให้สมบัติป้องกันเสียงสูงกว่าพลาสติก rPP ขณะที่พลาสติก rPP ให้สมบัติทางกลโดยรวมสูงกว่าเส้นใยไฟเบอร์ โดยที่ชั้นงานแซนด์วิชที่มีแกนกลางเป็นเส้นใยไฟเบอร์ ความหนา 2-6-2 มิลลิเมตร ให้ค่าสัมประสิทธิ์การลดเสียงดีที่สุดในช่วง 24.73 - 35.53 เดซิเบล ที่ช่วงคลื่นความถี่เสียง 500 - 8,000 เฮิรตซ์ แกนกลางจากพลาสติก rPP ความหนา 4-2-4 มิลลิเมตร ให้ค่าความแข็งแรงดัดและมอดุลัสแรงดัดได้สูงสุดที่ 42.52 และ 2,409.13 เมกะปาสคาล ตามลำดับ และที่ความหนา 3-4-3 มิลลิเมตร ให้ค่าความแข็งแรงอัด มอดุลัสแรงอัด และความแข็งพื้นผิวได้สูงสุด ที่ 57.22 และ 1,712.91 เมกะปาสคาล และ 77.4 ตามลำดับ นอกจากนี้ผลงานวิจัยนี้ได้แสดงถึงแนวโน้มพฤติกรรมของโครงสร้างแซนด์วิชสามารถช่วยเป็นแนวทางในการเลือกใช้วัสดุ เช่นการประยุกต์ใช้ฉนวนชนิดอื่นๆ ในชั้นแกนกลางหรือการปรับเปลี่ยนชั้นผิวหน้าที่แข็งแรงยิ่งขึ้น อีกทั้งการปรับอัตราส่วนความหนาที่มีผลต่อพฤติกรรมของสมบัติต่างๆ ได้อย่างเหมาะสมต่อสภาวะการใช้งานที่แตกต่างกัน

กิตติกรรมประกาศ

ผลงานนี้ได้รับการสนับสนุนจากงบประมาณแผ่นดิน ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ รหัสโครงการ

ENG6201136s และ ทุนอุดหนุนการวิจัยเพื่อทำวิทยานิพนธ์จากบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อีกทั้งงานวิจัยได้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี โดยได้รับคำแนะนำจากกลุ่มวิจัยเทคโนโลยีไม้อย่างพาราและการจัดการสาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรมและการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

เอกสารอ้างอิง

- Abdallah, T. 2017. Environmental Impacts, pp. 45-59. In Abdallah T., ed. **Sustainable Mass Transit**. Elsevier, United State.
- Afolabi, L.O., Ariff, Z.M., Hashim, S.F.S., Alomayri, T., Mahzan, S., Kamarudin, K.A. and Muhammad, I.D. 2020. Syntactic Foams Formulations, Production Techniques, and Industry Applications: A Review. **Journal of Materials Research and Technology** 9(5): 10698-10718.
- Air Quality & Noise Management Division. 2020. **Situation and Management of Air Pollution and Noise Problems in 2020**. Department Pollution Control. Available Source: Thailand <https://www.pcd.go.th/publication/14100>, April 3, 2022. (in Thai).
- ALRahman, L.A., Raja, R.I. and Rahman, R.A. 2013. Experimental Study on Natural Fibers for Green Acoustic Absorption Materials. **American Journal of Applied Sciences** 10(10): 1307-1314.
- Anisuzzaman, S.M., Bono, A., Krishnaiah, D., Ismail, N.M. and Mansuit, H. 2014. The Performance of Melamine Urea Formaldehyde (MUF) Based Particleboard with Wheat Flour as Filler. **Jurnal Teknologi (Sciences and Engineering)** 68(1): 61-69.

- Chin, D.D.V.S., Yahya, M.N.B., Che Din, N.B. and Ong, P. 2018. Acoustic properties of biodegradable composite micro-perforated panel (BC-MPP) made from kenaf fibre and polylactic acid (PLA). **Applied Acoustics** 138: 179-187.
- Dalai, N. and Sreekanth, P.S.R. 2021. UHMWPE / Nanodiamond Nanocomposites for Orthopaedic Applications: A Novel Sandwich Configuration Based Approach. **Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials** 116: 104327.
- Hussain, C.H. and Keçili, R. 2020. Environmental pollution and environmental analysis, pp. 1-36. *In* Hussain, C. and Keçili, R., eds. **Modern Environmental Analysis Techniques for Pollutants**. Elsevier, United State.
- National Statistical Office. 2017. **Data Processing of Construction Areas, 2017**. National Statistical Office (Thailand). Available Source: <http://www.nso.go.th/sites/2014/Pages/News/2561/N24-04-61-1.aspx>, February 11, 2022. (in Thai)
- 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: 350-57.
- Lee, J.H., Kang, S.H., Ha, Y.J. and Hong, S.G. 2018. Structural Behavior of Durable Composite Sandwich Panels with High Performance Expanded Polystyrene Concrete. **International Journal of Concrete Structures and Materials** 12(1): DOI 10.1186/s40069-018-0255-6.
- Or, K.H., Putra, A. and Selamat, M.Z. 2017. Oil Palm Empty Fruit Bunch Fibres as Sustainable Acoustic Absorber. **Applied Acoustics** 119: 9-16.
- Papanikolaou, G. and Trochides, A. 1985. Design of a Test Facility for Transmission Loss Measurement. **Applied Acoustics** 18(5): 315-323.
- Patel, J.M. and Modi, B.A. 2013. Stiffness and Thermal Analysis of Doubly Curve Sandwich Panel for an Automobile Application. **Procedia Engineering** 51: 655-664.
- Peng, L. 2017. Sound absorption and insulation functional composites, pp. 333-373. *In* Fan, M. and Fu, F., eds. **Advanced High Strength Natural Fibre Composites in Construction**. Woodhead Publishing, Singapore.
- Promjan, J., Ratanawilai, T. and Homkhiew, C. 2021. The Property of Sandwich-Structure Rubberwood -Plastic Composites with Different Plastic Core Layer. **The Journal of King Mongkut's University of Technology North Bangkok** 32(3): 700-711. (inThai)
- Putra, A., Or, K.H., Selamat, M.Z., Nor, M.J.M., Hassan, M.H. and Prasetyo, I. 2018. Sound Absorption of Extracted Pineapple-Leaf Fibres. **Applied Acoustics** 136: 9-15.
- Putra, A., Khair, F.A. and Nor, M.J.M. 2015. Utilizing Hollow-Structured Bamboo as Natural Sound Absorber. **Archives of Acoustics** 40(4): 601-608.
- Singh, Z. and Bhalla, S. 2017. Advance Research in Textile Engineering Toxicity of Synthetic Fibres & Health. **Advance Reserach in Textile Engineering** 2(1): 1-4.

Styles, M., Compston, P. and Kalyanasundaram, S.
2007. The Effect of Core Thickness on the
Flexural Behaviour of Aluminium Foam

Sandwich Structures. **Composite Structures**
80(4): 532-538.