

ผลของชนิดและปริมาณชีวมวลจากปาล์มน้ำมันต่อสมบัติทางกายภาพและเชิงกลของวัสดุ เชิงประกอบพอลิโพรพิลีนรีไซเคิลเพื่อการประยุกต์ใช้เป็นวัสดุทดแทนไม้

EFFECTS OF OIL PALM BIOMASS TYPE AND CONTENT ON THE PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF RECYCLED POLYPROPYLENE COMPOSITES FOR WOOD SUBSTITUTE APPLICATIONS

กู๋มมาร์ การามา¹, ธีรพงศ์ แก้วสมทอง¹, โสภิดา จรเด่น², อุไรวรรณ สุกยัง^{2*}
Kuammar Karama¹, Theerapong Kaewsomthong¹, Sopida Jornden², Uraiwan Sookyung^{2*}

¹ นักศึกษาหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

² อาจารย์ประจำหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

¹ Undergraduate Student, Bachelor of Engineering Program, Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Srivijaya

² Lecturer, Bachelor of Engineering Program, Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Srivijaya

* ผู้ประสานงานเผยแพร่ (Corresponding Author), E-mail: uraiwan.so@mutsv.ac.th

วันที่รับบทความ: 28 มิถุนายน 2569 ; วันที่ทบทวนบทความ: 11 กรกฎาคม 2569 ; วันที่ตอบรับบทความ: 28 สิงหาคม 2569 ;

วันที่เผยแพร่ออนไลน์: 31 สิงหาคม 2569

บทคัดย่อ: งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการเพิ่มมูลค่าพอลิโพรพิลีนรีไซเคิลร่วมกับวัสดุชีวมวลจากอุตสาหกรรมปาล์มน้ำมัน ได้แก่ ผงกะลาปาล์มน้ำมัน (PM) และเส้นใยปาล์มน้ำมัน (OPF) เพื่อพัฒนาวัสดุเชิงประกอบสำหรับใช้เป็นวัสดุทดแทนไม้ในงานเฟอร์นิเจอร์ โดยเตรียมวัสดุเชิงประกอบด้วยวิธีการผสมแบบปิดที่อุณหภูมิ 170 °C และความเร็วรอบ 60 รอบต่อนาที (RPM) จากนั้นขึ้นรูปเป็นแผ่นด้วยกระบวนการอัดร้อนที่อุณหภูมิ 170 °C เป็นเวลา 20 นาที ศึกษาผลของชนิดและปริมาณวัสดุชีวมวลต่อสมบัติทางกายภาพและสมบัติเชิงกล ได้แก่ ความหนาแน่น การดูดซึมน้ำ การพองตัวตามความหนา ความต้านทานแรงดัด โมดูลัสยืดหยุ่น และแรงยึดเหนี่ยวของสกรู โดยการทดสอบดำเนินการอย่างน้อย 3 ซ้ำ และรายงานผลในรูปค่าเฉลี่ย ผลการศึกษาพบว่าการเพิ่มปริมาณ PM และ OPF ส่งผลให้ความหนาแน่นและการดูดซึมน้ำของวัสดุเชิงประกอบเพิ่มขึ้น โดยสูตร PP60PM40 ให้ค่าความหนาแน่นสูงสุดเท่ากับ 1.03 ± 0.01 g/cm³ และค่าความต้านทานแรงดัดสูงสุดในกลุ่มวัสดุเชิงประกอบเท่ากับ 43.81 ± 1.72 MPa ขณะที่สูตร PP60PM20OPF20 มีค่าการพองตัวตามความหนาแน่นสูงสุดเท่ากับ 1.79% อย่างไรก็ตาม วัสดุเชิงประกอบทุกสูตรมีค่าการดูดซึมน้ำต่ำกว่า 0.35% และค่าการพองตัวตามความหนาแน่นต่ำกว่า 2% เมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐาน มอก. 966-2547 และ JIS A 5905 พบว่าวัสดุเชิงประกอบส่วนใหญ่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน JIS A 5905 ในด้านความหนาแน่น การพองตัวตามความหนา ความต้านทานแรงดัด และโมดูลัสยืดหยุ่น ผลการศึกษานี้ชี้ให้เห็นว่าการใช้พอลิโพรพิลีนรีไซเคิลร่วมกับวัสดุชีวมวลจากปาล์มน้ำมันสามารถพัฒนาวัสดุเชิงประกอบที่มีสมบัติเหมาะสมสำหรับการประยุกต์ใช้เป็นวัสดุทดแทนไม้ และเป็นแนวทางในการเพิ่มมูลค่าของเสียจากภาคอุตสาหกรรมตามแนวคิดเศรษฐกิจหมุนเวียน

คำสำคัญ: พอลิโพรพิลีนรีไซเคิล, เส้นใยปาล์มน้ำมัน, กะลาปาล์มน้ำมัน, วัสดุเชิงประกอบ

Abstract: This research aimed to enhance the value of recycled polypropylene (PP) by incorporating oil palm biomass, namely palm kernel shell (PM) and oil palm fiber (OPF), to develop composite materials for wood substitute applications in furniture manufacturing. The composites were prepared using an internal mixer at 170 °C and 60 rpm, followed by hot-press molding at 170 °C for 20 min. The effects of biomass type and content on the physical and mechanical properties of the composites were investigated, including density, water absorption, thickness swelling, modulus of rupture (MOR), modulus of elasticity (MOE), and screw withdrawal strength. The results showed that increasing PM and OPF contents led to higher composite density and water absorption. The PP60PM40 formulation exhibited the highest density of 1.03 g/cm³ and the highest MOR among the composite formulations at 43.81 MPa. The PP60PM20OPF20 formulation showed the highest thickness swelling of 1.79%. Nevertheless, all composite formulations exhibited water absorption below 0.35% and thickness swelling below 2%, indicating excellent dimensional stability. Comparison with Thai Industrial Standard TIS 966-2547 and Japanese Industrial Standard JIS A 5905 revealed that most formulations satisfied the requirements of JIS A 5905 in terms of density, thickness swelling, MOR, and MOE. The findings demonstrate that recycled polypropylene reinforced with oil palm biomass has considerable potential for the development of sustainable wood substitute materials, while simultaneously adding value to agricultural residues and supporting circular economy practices.

Key words: Recycled Polypropylene, Oil Palm Fiber, Palm Kernel Shell, Polymer Composites

1. บทนำ

ปัจจุบันปัญหาขยะพลาสติกเป็นปัญหาสิ่งแวดล้อมที่สำคัญ เนื่องจากพลาสติกมีความคงทนสูงและย่อยสลายได้ยาก ส่งผลให้เกิดการสะสมในสิ่งแวดล้อมเป็นเวลานาน โดยปริมาณขยะพลาสติกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจากการขยายตัวของเศรษฐกิจและการบริโภค โดยเฉพาะพลาสติกประเภทโพลีโพรพิลีน (PP) ซึ่งเป็นพลาสติกเทอร์โมพลาสติกที่นิยมใช้ในบรรจุภัณฑ์และผลิตภัณฑ์อุปโภคบริโภค เนื่องจากมีน้ำหนักเบา แข็งแรง ทนต่อสารเคมี และขึ้นรูปได้ง่าย แม้ว่า PP จะสามารถนำกลับมารีไซเคิลได้ แต่ยังมีข้อจำกัดด้านการคัดแยกและกระบวนการรีไซเคิล ส่งผลให้ขยะพลาสติกจำนวนมากถูกทิ้งสะสมในสิ่งแวดล้อม ก่อให้เกิดผลกระทบต่อระบบนิเวศ การอุดตันของระบบระบายน้ำ และปัญหาไมโครพลาสติกที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตและสุขภาพมนุษย์ในระยะยาว [1] แนวทางที่ได้รับความสนใจในการจัดการปัญหาขยะพลาสติก คือการนำพลาสติกกลับมาใช้ประโยชน์ในรูปแบบวัสดุเชิงประกอบ (Composite Materials) ร่วมกับวัสดุชีวมวลจากของเหลือทิ้ง

ทางการเกษตร เช่น เส้นใยปาล์ม น้ำมัน เส้นใยมะพร้าว ชังข้าวโพด และฟางข้าว ซึ่งเป็นวัสดุที่มีปริมาณมาก ราคาต่ำ น้ำหนักเบา และสามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ วัสดุเหล่านี้จึงเหมาะสำหรับใช้เป็นวัสดุเสริมแรงในวัสดุเชิงประกอบ ช่วยเพิ่มสมบัติด้านความแข็งแรงและเพิ่มมูลค่าให้กับวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรได้อย่างมีประสิทธิภาพ [2], [3], [4]

ประเทศไทยเป็นหนึ่งในผู้ผลิตน้ำมันปาล์มรายสำคัญของโลก ส่งผลให้เกิดวัสดุเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตน้ำมันปาล์มเป็นจำนวนมาก เช่น เส้นใยปาล์ม น้ำมัน (Oil Palm Fiber; OPF) และกะลาปาล์ม น้ำมัน (Palm Kernel Shell Mesh; PM) ดังแสดงในภาพที่ 1 วัสดุเหลือทิ้งดังกล่าวมักถูกนำไปใช้ประโยชน์ในมูลค่าต่ำ เช่น เชื้อเพลิงชีวมวล หรือถูกกองทิ้งในพื้นที่โรงงาน ซึ่งอาจก่อให้เกิดปัญหาด้านการจัดการของเสีย และผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในระยะยาว อย่างไรก็ตาม เส้นใยปาล์ม น้ำมันมีองค์ประกอบหลักเป็นเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลส ทำให้มีคุณสมบัติด้านการเสริมแรงที่ดี ขณะที่กะลาปาล์ม น้ำมันมีปริมาณลิกนินสูงและมีลักษณะเป็นอนุภาคแข็ง จึงมี

ศักยภาพในการเพิ่มความแข็งแรงและความทนทานของวัสดุเชิงประกอบ [3], [5]



(ก)



(ข)

ภาพที่ 1 ของเสียจากโรงงานปาล์มน้ำมัน (ก) เส้นใยปาล์มน้ำมัน (ข) กะลาปาล์มน้ำมัน (บริษัท ลากทวิ อินดัสตรีส์ จำกัด)

งานวิจัยที่ผ่านมาได้ศึกษาการใช้เส้นใยปาล์มน้ำมันหรือกะลาปาล์มน้ำมันเป็นวัสดุเสริมแรงในพอลิเมอร์หลายชนิด เช่น พอลิเอทิลีน พอลิโพรพิลีน และวัสดุเชิงประกอบพลาสติกไม้ (Wood-Plastic Composites; WPCs) โดยพบว่าวัสดุชีวมวลจากปาล์มน้ำมันสามารถช่วยเพิ่มความแข็งแรงและลดต้นทุนการผลิตได้ อย่างไรก็ตาม งานวิจัยส่วนใหญ่มักศึกษาวัสดุชีวมวลแต่ละชนิดแยกจากกัน หรือดำเนินการภายใต้ชนิดพอลิเมอร์ อัตราส่วนผสม และกระบวนการผลิตที่แตกต่างกัน ส่งผลให้การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเส้นใยปาล์มน้ำมันและกะลาปาล์มน้ำมันต่อสมบัติของวัสดุเชิงประกอบทำได้

อย่างจำกัด นอกจากนี้ ยังพบว่ามีข้อมูลเกี่ยวกับการใช้พอลิโพรพิลีนรีไซเคิล เป็นเมทริกซ์ร่วมกับวัสดุชีวมวลทั้งสองชนิดภายใต้สภาวะการผลิตเดียวกันค่อนข้างน้อย โดยเฉพาะการประเมินสมบัติของวัสดุเทียบกับมาตรฐานวัสดุแผ่นที่ใช้ในงานเฟอร์นิเจอร์และงานตกแต่งภายใน

ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงศึกษาผลของชนิดและปริมาณวัสดุชีวมวลจากอุตสาหกรรมปาล์มน้ำมัน ได้แก่ เส้นใยปาล์มน้ำมันและกะลาปาล์มน้ำมัน ต่อสมบัติทางกายภาพและสมบัติเชิงกลของวัสดุเชิงประกอบจากพอลิโพรพิลีนรีไซเคิล ภายใต้กระบวนการผลิตเดียวกัน เพื่อประเมินศักยภาพของวัสดุสำหรับการใช้เป็นวัสดุทดแทนไม้ อันจะเป็นแนวทางในการเพิ่มมูลค่าให้กับของเสียจากภาคอุตสาหกรรมและส่งเสริมการใช้ทรัพยากรตามแนวคิดเศรษฐกิจหมุนเวียน (Circular Economy) นอกจากนี้ สมบัติของวัสดุที่พัฒนาขึ้นยังถูกนำมาเปรียบเทียบกับข้อกำหนดของมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 966-2547 แผ่นใยไม้อัดความหนาแน่นปานกลาง (Medium Density Fiberboards: MDF) [5] และมาตรฐานอุตสาหกรรมญี่ปุ่น JIS A 5905:2014 Fiberboards [6] ซึ่งเป็นมาตรฐานที่ใช้กำหนดคุณสมบัติของวัสดุแผ่นสำหรับงานเฟอร์นิเจอร์และงานตกแต่งภายในอย่างแพร่หลาย เพื่อประเมินความเป็นไปได้ในการนำวัสดุเชิงประกอบที่พัฒนาขึ้นไปประยุกต์ใช้ในอนาคต ทั้งนี้ งานวิจัยมุ่งเน้นการประเมินสมรรถนะของวัสดุโดยอ้างอิงเกณฑ์มาตรฐานดังกล่าว มิได้ครอบคลุมการออกแบบ การผลิต หรือการทดสอบผลิตภัณฑ์เฟอร์นิเจอร์ต้นแบบโดยตรง

2. วัตถุประสงค์การวิจัย

- 2.1 ศึกษาผลกระทบของชนิดและปริมาณวัสดุชีวมวลเส้นใยปาล์มน้ำมันและกะลาปาล์มน้ำมันต่อสมบัติวัสดุเชิงประกอบ
- 2.2 เพื่อพัฒนาวัสดุเชิงประกอบจากขยะพลาสติกผสมวัสดุชีวมวลสำหรับงานเฟอร์นิเจอร์

3. ขอบเขตการวิจัย

- 3.1 ใช้พอลิโพรพิลีนรีไซเคิลจากขยะพลาสติกประเภทฝาเป็นวัสดุเนื้อพื้น และใช้ผงกะลาปาล์มน้ำมันกับเส้นใยปาล์มน้ำมันเป็นสารเสริมแรง โดยเส้นใยปาล์มน้ำมันร่อนผ่านตะแกรง

ขนาด 40 mesh และกะลาปาล์มน้ำมันร้อนผ่านตะแกรงขนาด 80 mesh

3.2 ศึกษาสูตรวัสดุเชิงประกอบจำนวน 10 สูตร โดยแปรปริมาณพอลิโพรพิลีนรีไซเคิลร้อยละ 60-100 โดยน้ำหนัก และวัสดุชีวมวลร้อยละ 0-40 โดยน้ำหนัก ทั้งในรูปของการเติมผงกะลาปาล์มน้ำมัน เส้นใยปาล์มน้ำมัน และการเติมรวมกัน

3.3 เตรียมวัสดุเชิงประกอบด้วยเครื่องผสมแบบปิด ที่อุณหภูมิ 170 °C และความเร็วรอบ 60 rpm จากนั้นขึ้นรูปเป็นแผ่นด้วยกระบวนการอัดร้อนที่อุณหภูมิ 170 °C เป็นเวลา 20 นาที

3.4 ทดสอบสมบัติทางกายภาพและเชิงกล ได้แก่ ความหนาแน่น การดูดซึมน้ำ การพองตัวตามความหนา ความต้านทานแรงดัด โมดูลัสยืดหยุ่น ความแข็งแบบชาร์ดี และแรงยึดเหนี่ยวของสกรู พร้อมเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐาน มอก. 966-2547 และ JIS A 5905:2014 เพื่อประเมินศักยภาพในการใช้เป็นวัสดุทดแทนไม้สำหรับงานเฟอร์นิเจอร์

4. วิธีดำเนินการวิจัย

4.1 เตรียมพอลิโพรพิลีนรีไซเคิลและวัสดุชีวมวล ขยะพลาสติกกรีไซเคิลชนิดโพลีโพรพิลีน (Polypropylene ,PP) เลือกใช้จากขยะประเภทฝา ทำการบดย่อยให้มีขนาดเล็ก โดยนำทำความสะอาดและนำไปบดละเอียดด้วยเครื่องบดย่อยยี่ห้อ

GRINDER MACHINE ความเร็วรอบ 34,000 รอบ/นาที ทำหน้าที่เป็นเมทริกซ์ (Matrix) หรือเป็นวัสดุเนื้อพื้นในการผสมวัสดุพลาสติกโพรพิลีนก่อนและหลังบดย่อยแสดงดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 การเตรียมพอลิโพรพิลีนรีไซเคิล

เส้นใยปาล์มน้ำมันและกะลาปาล์มน้ำมัน ที่ใช้เป็นสารเสริมแรงในงานวิจัยนี้ได้รับจากบริษัท ลาภทวีอินดัสตริสส์ จำกัด โดยนำวัสดุทั้งสองชนิดมาบดย่อยด้วยเครื่องบดย่อย จากนั้นร่อนคัดแยกขนาดด้วยเครื่องร่อนเพื่อให้ได้ขนาดอนุภาคที่สม่ำเสมอและเหมาะสมต่อการผลิตวัสดุเชิงประกอบ โดยเส้นใยปาล์มน้ำมันร้อนผ่านตะแกรงขนาด 40 mesh และกะลาปาล์มน้ำมันร้อนผ่านตะแกรงขนาด 80 mesh เป็นเวลา 10 นาที ก่อนนำไปใช้เป็นสารเสริมแรงร่วมกับเมทริกซ์พอลิโพรพิลีนรีไซเคิล ทั้งนี้ ขั้นตอนการเตรียมวัสดุชีวมวลตั้งแต่วัตถุดิบเริ่มต้น การบดย่อย การร่อนคัดแยกขนาด และวัสดุที่ผ่านการเตรียมแล้ว แสดงดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 การเตรียมเส้นใยปาล์มน้ำมันและกะลาปาล์มน้ำมัน

4.2 ผสมและขึ้นรูปวัสดุเชิงประกอบ พอลิโพรพิลีน รีไซเคิล ถูกนำมาผสมร่วมกับเส้นใยปาล์มน้ำมัน (Oil Palm Fiber; OPF) หรือผงกะลาปาล์มน้ำมัน (Palm Kernel Shell; PM) ตามสัดส่วนที่กำหนดแสดงดังตารางที่ 1 โดยใช้เครื่องผสมแบบปิด (internal mixer) ที่อุณหภูมิ 170 °C และความเร็วรอบ 60 rpm เวลาในการผสม 5 นาที จนได้วัสดุเชิงประกอบที่มีการกระจายตัวของสารเติมแต่งอย่างสม่ำเสมอ จากนั้นนำวัสดุเชิงประกอบที่ได้ใส่ลงในแม่พิมพ์และขึ้นรูป

ด้วยเครื่องอัดร้อนที่อุณหภูมิ 170 °C เป็นเวลา 20 นาที แรงดันอัด 1,500 psi โดยทำการกดอัดจำนวน 3 ครั้ง ครั้งละ 3 วินาที เพื่อช่วยไล่อากาศและเพิ่มความสม่ำเสมอของแผ่นวัสดุ หลังจากนั้นปล่อยให้เย็นภายใต้แรงกดเป็นเวลา 10 นาที ก่อนนำออกจากแม่พิมพ์เพื่อให้ได้แผ่นวัสดุเชิงประกอบ สำหรับการตัดขึ้นทดสอบและศึกษาสมบัติต่าง ๆ ต่อไป ดังแสดงภาพที่ 4



ภาพที่ 4 การผสมและขึ้นรูปวัสดุเชิงประกอบ

ตารางที่ 1 สูตรการผสมและสัดส่วนปริมาณวัสดุเชิงประกอบ

Sample	สัดส่วนปริมาณ (wt%)		
	PP	PM	OPF
PP100	100	-	-
PP80 PM20	80	20	-
PP70 PM30	70	30	-
PP60 PM40	60	40	-
PP80 OPF20	80	-	20
PP70 OPF30	70	-	30
PP60 OPF40	60	-	40
PP80 PM10 OPF10	80	10	10
PP70 PM15 OPF15	70	15	15
PP60 PM20 OPF20	60	20	20

หมายเหตุ: PP คือ พอลิโพรพิลีน PM คือ กะลาปาล์ม OPF คือ เส้นใยปาล์มน้ำมัน

4.3 ทดสอบสมบัติทางกายภาพและทางกล การทดสอบสมบัติทางกายภาพของวัสดุเชิงประกอบประกอบด้วย การวัดความหนาแน่นและการพองตัวตามความหนาตามมาตรฐาน JIS A 5905 และการทดสอบการดูดซึมน้ำตามมาตรฐาน ASTM D570 ส่วนสมบัติทางกลประกอบด้วย การทดสอบความต้านทานแรงดัดและมอดูลัสยืดหยุ่น (MOR และ MOE) ตามมาตรฐาน ASTM D790 และการทดสอบแรงยึดเหนี่ยวของสกรูตามมาตรฐาน ASTM D1037 การทดสอบความแข็งแบบชอร์ดูโรมิเตอร์ (Shore Durometer) ตามมาตรฐาน ASTM D2240 เพื่อประเมินความเหมาะสมของวัสดุเชิงประกอบสำหรับการใช้งานเป็นวัสดุทดแทนไม้

4.3.1 การทดสอบความหนาแน่น (Density) ตามมาตรฐาน JIS A 5905:2014 โดยเตรียมชิ้นทดสอบตามขนาดที่กำหนด ชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งที่มีความละเอียด 0.01 กรัม และวัดความกว้าง ความยาว และความหนาของชิ้นทดสอบ

จากนั้นนำค่ามวลและปริมาตรที่คำนวณได้ไปหาค่าความหนาแน่นของวัสดุตามสมการ (1)

$$Density = \frac{M}{V} \times 10^6 \dots\dots\dots (1)$$

โดยที่

Density แทน ความหนาแน่นของวัสดุ (kg/m³)

M แทน มวลของชิ้นทดสอบ (g)

V แทน ปริมาตรของชิ้นทดสอบ (mm³)

4.3.2 การทดสอบการพองตัวตามความหนา (Thickness Swelling) ทดสอบตามมาตรฐาน JIS A 5905:2014 โดยเตรียมชิ้นทดสอบตามขนาดที่กำหนด วัดความหนาเริ่มต้นของชิ้นทดสอบ (*t*₁) จากนั้นนำไปแช่ในน้ำกลั่นที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง เมื่อครบเวลานำชิ้นทดสอบขึ้นจากน้ำ ชั่งน้ำหนักส่วนเกินบนผิวออก และวัดความหนาหลังการแช่ (*t*₂) แล้วคำนวณค่าการพองตัวตามความหนาตามสมการ (2)

$$Thickness\ Swelling = \frac{t_2 - t_1}{t_1} \times 100 \dots\dots\dots (2)$$

โดยที่

Thickness Swelling แทน การพองตัวตามความหนา (%)

*t*₁ แทน ความหนาของชิ้นทดสอบก่อนแช่ (*t*₁) (mm)

*t*₂ แทน ความหนาของชิ้นทดสอบหลังแช่ (*t*₂) (mm)

4.3.3 การทดสอบการดูดซึม น้ำ (Water absorption) ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D570 โดยเตรียมชิ้นทดสอบขนาด 50 × 50 × 4 mm นำชิ้นทดสอบไปอบที่อุณหภูมิ 50 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อกำจัดความชื้น จากนั้นชั่งน้ำหนักเริ่มต้นของชิ้นทดสอบ (*W*₁) แล้วนำไปแช่ในน้ำกลั่นที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง เมื่อครบเวลานำชิ้นทดสอบขึ้นจากน้ำ ชั่งน้ำหนักส่วนเกินบนผิวออก และชั่งน้ำหนักอีกครั้ง (*W*₂) จากนั้นคำนวณค่าการดูดซึมน้ำตามสมการ (3)

$$Water\ absorption = \frac{W_2 - W_1}{W_1} \times 100 \dots\dots\dots (3)$$

โดยที่

Water absorption แทน การดูดซึมน้ำ (%)

*W*₁ แทน น้ำหนักของชิ้นทดสอบก่อนแช่ (*W*₁) (g)

*W*₂ แทน น้ำหนักของชิ้นทดสอบหลังแช่ (*W*₂) (g)

4.3.4 ทดสอบความต้านทานแรงดัด (Modulus of Rupture; MOR) และมอดูลัสยืดหยุ่น (Modulus of Elasticity; MOE) ดำเนินการตามมาตรฐาน ASTM D790 โดยใช้การทดสอบแรงดัดแบบสามจุด (Three-point bending test) ชิ้นทดสอบถูกวางบนแท่นรองรับและรับแรงกดที่กึ่งกลางของชิ้นงานจนกระทั่งเกิดการแตกหัก จากนั้นนำค่าที่ได้มาคำนวณหาความต้านทานแรงดัดและมอดูลัสยืดหยุ่นตามสมการ (4) และ (5)

$$MOR = \frac{3FL}{2wt^2} \dots\dots\dots (4)$$

$$MOE = \frac{L^3F}{4wt^3\delta} \dots\dots\dots (5)$$

โดยที่

MOR แทน ความต้านทานแรงดัด (MPa)

MOE แทน มอดูลัสยืดหยุ่น (MPa)

F แทน แรงสูงสุดก่อนชิ้นทดสอบแตกหัก (N)

L แทน ระยะห่างระหว่างแท่นรองรับ (mm)

w แทน ความกว้างของชิ้นทดสอบ (mm)

t แทน ความหนาของชิ้นทดสอบ (mm)

δ แทน ค่าการโก่งตัวของชิ้นทดสอบที่แรง *F* (mm)

4.3.5 ทดสอบการทดสอบแรงยึดเหนี่ยวของสกรู (Screw Withdrawal Strength) ตามมาตรฐาน ASTM D1037 โดยเตรียมชิ้นทดสอบตามขนาดที่กำหนด และขันสกรูให้ตึงจากกับผิวชิ้นทดสอบ โดยกำหนดความลึกของการฝังสกรูประมาณ 2/3 ของความหนาชิ้นทดสอบ จากนั้นติดตั้งชิ้นทดสอบบนเครื่องทดสอบแรงดึงสากล (Universal Testing Machine; UTM) และดึงสกรูออกในแนวตั้งฉากกับผิววัสดุด้วยอัตราเร็วหัวกด 2 mm/min บันทึกค่าแรงสูงสุดก่อนสกรูหลุดออกจากชิ้นทดสอบ และนำมาคำนวณค่าแรงยึดเหนี่ยวของสกรูตามสมการ (6)

$$\text{Screw Withdrawal Strength} = \frac{F}{D \times L} \dots\dots\dots(6)$$

โดยที่

Screw Withdrawal Strength แทน แรงยึดเหนี่ยว
ของสกรู (MPa)

F แทน แรงดึงสูงสุดก่อนสกรูหลุดออกจาก
ชิ้นทดสอบ (N)

D แทน เส้นผ่านศูนย์กลางของสกรู (mm)

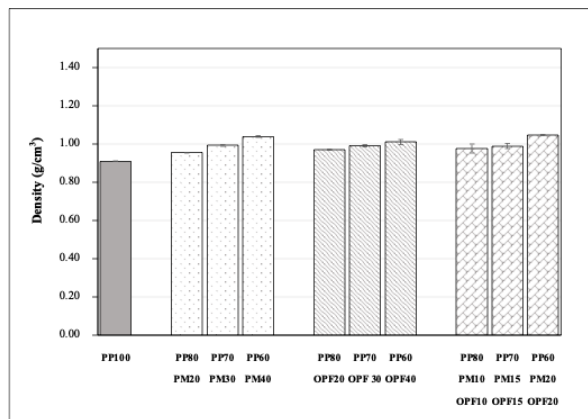
L แทน ความลึกของการฝังสกรู (mm)

4.3.6 การทดสอบความแข็งทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D2240 โดยใช้เครื่องทดสอบความแข็งแบบชอร์ดูโร-มิเตอร์ชนิด Shore D ชิ้นทดสอบถูกวางบนพื้นผิวเรียบและแข็ง จากนั้นกดหัวกดของเครื่องให้ตั้งฉากกับผิวชิ้นทดสอบจนสัมผัสเต็มพื้นที่ และอ่านค่าความแข็งหลังจากสัมผัสชิ้นทดสอบ 1 วินาที ทำการวัดอย่างน้อย 5 ตำแหน่ง บนชิ้นทดสอบ โดยแต่ละตำแหน่งอยู่ห่างกันและห่างจากขอบชิ้นงานไม่น้อยกว่า 6 mm แล้วนำค่าที่ได้มาหาค่าเฉลี่ยเพื่อรายงานเป็นค่าความแข็งของวัสดุ

5. ผลการวิจัย

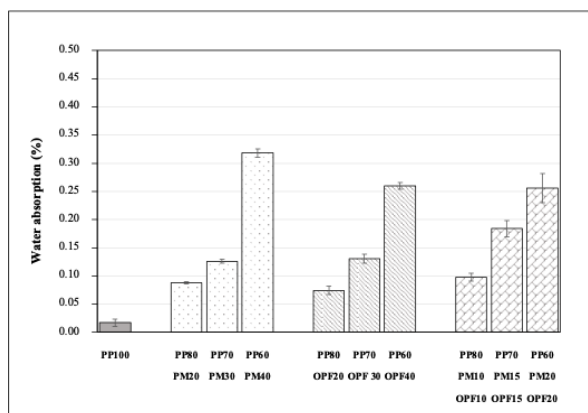
5.1 ศึกษาผลกระทบของชนิดและปริมาณวัสดุชีวมวลเส้นใยปาล์มน้ำมันและกะลาปาล์มต่อสมบัติวัสดุเชิงประกอบ มีดังนี้

5.1.1 ความหนาแน่น ผลการทดสอบความหนาแน่นของวัสดุเชิงประกอบแสดงดังภาพที่ 5 พบว่า การเติมผงกะลาปาล์มน้ำมัน (PM) และเส้นใยปาล์มน้ำมัน (OPF) ส่งผลให้ความหนาแน่นของวัสดุเชิงประกอบมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณสารเสริมแรงเพิ่มขึ้น โดยสูตร PP60/PM40 ให้ค่าความหนาแน่นสูงสุดประมาณ 1.03 g/cm³ ขณะที่พลาสติกพอลิโพรพิลีนบริสุทธิ์ (PP100) มีค่าความหนาแน่นต่ำสุดประมาณ 0.90 g/cm³ สำหรับวัสดุเชิงประกอบแบบผสมระหว่าง PM และ OPF พบว่าการเพิ่มปริมาณสารเสริมแรงรวมส่งผลให้ความหนาแน่นเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน โดยสูตร PP60/PM20/OPF20 มีค่าความหนาแน่นสูงสุดในกลุ่มนี้



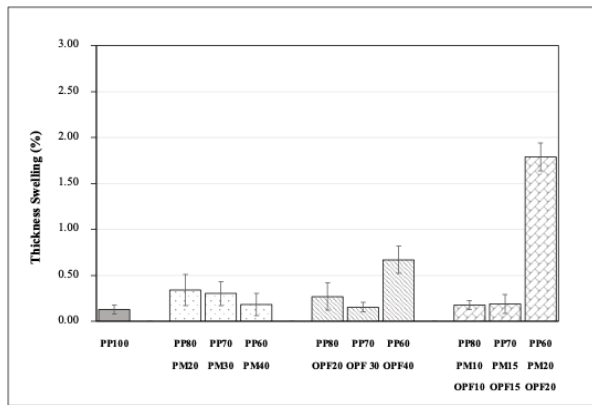
ภาพที่ 5 ความหนาแน่นของวัสดุเชิงประกอบที่มีการแปรปริมาณกะลาปาล์มและเส้นใยปาล์มน้ำมัน

5.1.2 การดูดซึมน้ำ ผลการทดสอบการดูดซึมน้ำหลังแช่น้ำ 24 ชั่วโมง แสดงดังภาพที่ 6 พบว่าการเติมวัสดุชีวมวลทุกชนิดส่งผลให้การดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับ PP100 โดยสูตร PP60/PM40 มีค่าการดูดซึมน้ำสูงสุดรองลงมาคือสูตร PP60/OPF40 และสูตร PP60/PM20/OPF20



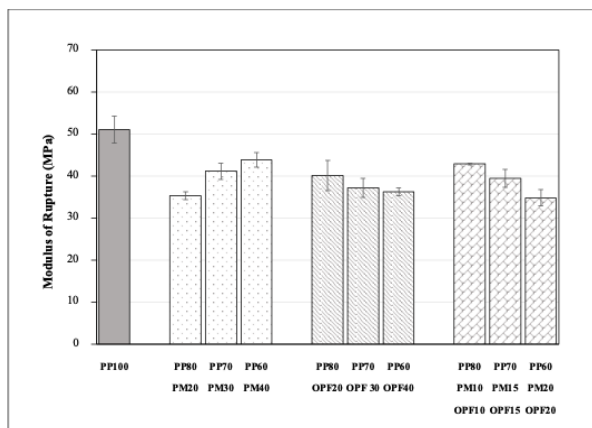
ภาพที่ 6 การดูดซึมน้ำของวัสดุเชิงประกอบที่มีการแปรปริมาณกะลาปาล์มและเส้นใยปาล์มน้ำมัน

5.1.3 การพองตัวตามความหนา ผลการทดสอบการพองตัวตามความหนาหลังแช่น้ำ 24 ชั่วโมง แสดงดังภาพที่ 7 พบว่าค่าการพองตัวของวัสดุเชิงประกอบส่วนใหญ่อยู่ในช่วงต่ำกว่า 1% อย่างไรก็ตาม สูตร PP60/PM20/OPF20 แสดงค่าการพองตัวสูงที่สุด 1.8% ในขณะที่สูตรอื่นมีค่าการพองตัวต่ำกว่าอย่างชัดเจน



ภาพที่ 7 การพองตัวของวัสดุเชิงประกอบที่มีการแปร ปริมาณกะลาปาล์มและเส้นใยปาล์มน้ำมัน

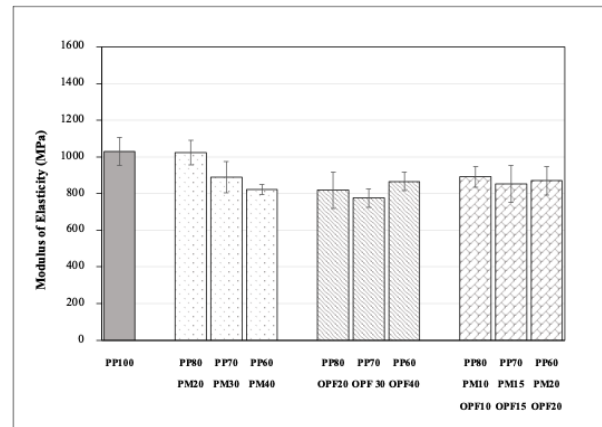
5.1.4 ความต้านทานแรงดัด (MOR) ผลการทดสอบความต้านทานแรงดัดแสดงดังภาพที่ 8 พบว่า PP100 มีความต้านทานแรงดัดสูงสุด 50 MPa เมื่อเติมสารเสริมแรงค่าความต้านทานแรงดัดมีแนวโน้มลดลง อย่างไรก็ตาม การเพิ่มปริมาณ PM จาก 20% เป็น 40% ส่งผลให้ค่าความต้านทานแรงดัดเพิ่มขึ้นจาก 35 MPa เป็น 43 MPa ขณะที่สูตรที่มี OPF เพียงอย่างเดียวมีแนวโน้มลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใย



ภาพที่ 8 ความต้านทานแรงดัดของวัสดุเชิงประกอบที่มีการแปร ปริมาณกะลาปาล์มและเส้นใยปาล์มน้ำมัน

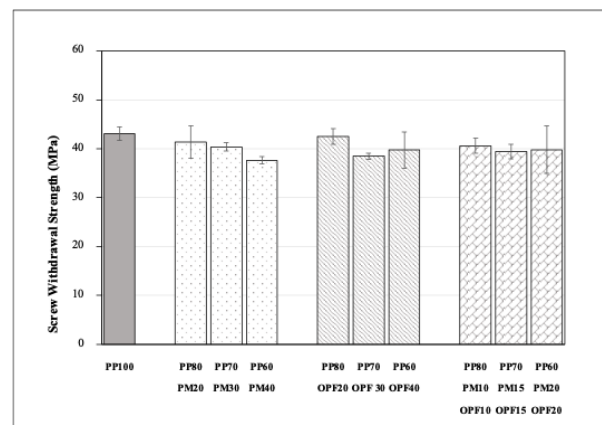
5.1.5 มอดูลัสยืดหยุ่น (MOE) ผลการทดสอบมอดูลัสยืดหยุ่นแสดงดังรูปที่ 9 พบว่า PP100 มีค่า MOE สูงสุด 1,030 MPa สำหรับกลุ่มที่เติม PM ค่า MOE ลดลงเมื่อ

เพิ่มปริมาณ PM โดยสูตร PP60/PM40 มีค่า MOE ต่ำสุด 821 MPa ส่วนกลุ่ม OPF และกลุ่มผสม PM/OPF มีค่าอยู่ในช่วง 770–890 MPa



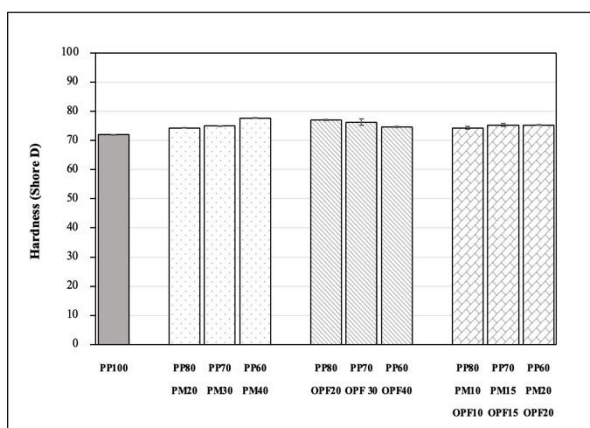
ภาพที่ 9 มอดูลัสยืดหยุ่นของวัสดุเชิงประกอบที่มีการแปร ปริมาณกะลาปาล์มและเส้นใยปาล์มน้ำมัน

5.1.6 แรงยึดเหนี่ยวของสกรู ผลการทดสอบแรงยึดเหนี่ยวของสกรูแสดงดังภาพที่ 10 พบว่าทุกสูตรมีค่าอยู่ในช่วงประมาณ 37–43 MPa โดย PP100 มีค่าแรงยึดเหนี่ยวสูงสุด 43 MPa ขณะที่สูตรที่เติมสารเสริมแรงยังคงให้ค่าแรงยึดเหนี่ยวอยู่ในระดับใกล้เคียงกัน แสดงถึงความสามารถในการยึดเกาะสกรูที่ดีของวัสดุเชิงประกอบ



ภาพที่ 10 แรงยึดเหนี่ยวสกรูของวัสดุเชิงประกอบที่มีการแปร ปริมาณกะลาปาล์มและเส้นใยปาล์มน้ำมัน

5.1.7 ความแข็ง ผลการทดสอบความแข็งแสดงดังรูปที่ 11 พบว่า วัสดุเชิงประกอบทุกสูตรมีค่าความแข็งอยู่ในช่วง 72–77 Shore D โดยการเติมผงกะลาปาล์มน้ำมัน (PM) มีแนวโน้มทำให้ค่าความแข็งเพิ่มขึ้นเล็กน้อย เมื่อเพิ่มปริมาณ PM จาก 20 เป็น 40 wt% ซึ่งสูตร PP60PM40 ให้ค่าความแข็งสูงที่สุดประมาณ 77 Shore D ขณะที่การเติมเส้นใยปาล์มน้ำมัน (OPF) และการเติม PM ร่วมกับ OPF ส่งผลให้ค่าความแข็งเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับพอลิโพรพิลีนรีไซเคิล (PP100) โดยค่าความแข็งของทุกสูตรยังคงอยู่ในระดับใกล้เคียงกัน แสดงให้เห็นว่าการเติมวัสดุชีวมวลในช่วงองค์ประกอบที่ศึกษายังไม่ส่งผลต่อความแข็งของวัสดุเชิงประกอบอย่างมีนัยสำคัญ



ภาพที่ 11 ความแข็งของวัสดุเชิงประกอบที่มีการแปรปริมาณกะลาปาล์มและเส้นใยปาล์มน้ำมัน

5.2 พัฒนาวัสดุเชิงประกอบจากขยะพลาสติกผสมวัสดุชีวมวลสำหรับงานเฟอร์นิเจอร์

5.2.1 การเปรียบเทียบสมบัติของวัสดุเชิงประกอบกับมาตรฐาน มอก. 966-2547 และ JIS A 5905 ผลการเปรียบเทียบสมบัติของวัสดุเชิงประกอบกับมาตรฐาน มอก. 966-2547 แสดงดังตารางที่ 2 พบว่าทุกสูตรผ่านเกณฑ์ด้านการพองตัวตามความหนา (TSW) การดูดซึมน้ำ (WA) และความต้านทานแรงดัด (MOR) ขณะที่ไม่ผ่านเกณฑ์ด้านมอดูลัสยืดหยุ่น (MOE) และความหนาแน่น (Density) เมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐาน JIS A 5905 ดังแสดงในตารางที่ 3 พบว่าวัสดุเชิงประกอบส่วนใหญ่ผ่านเกณฑ์ที่กำหนดด้านการ

พองตัวตามความหนา (TSW) ความต้านทานแรงดัด (MOR) และมอดูลัสยืดหยุ่น (MOE) โดยมีเพียงสูตร PP70OPF30 ที่มีค่า MOE ต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน ขณะที่ทุกสูตรผ่านเกณฑ์ด้านความหนาแน่นตามมาตรฐาน JIS A 5905 ผลการเปรียบเทียบดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าวัสดุเชิงประกอบที่พัฒนาขึ้นมีสมบัติสอดคล้องกับข้อกำหนดของมาตรฐาน JIS A 5905

ตารางที่ 2 การเปรียบเทียบสมบัติของวัสดุเชิงประกอบกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 966-2547

สูตร	Density	WA	TSW	MOR	MOE
PP100	X	✓	✓	✓	X
PP80PM20	X	✓	✓	✓	X
PP70PM30	X	✓	✓	✓	X
PP60PM40	X	✓	✓	✓	X
PP80OPF20	X	✓	✓	✓	X
PP70OPF30	X	✓	✓	✓	X
PP60OPF40	X	✓	✓	✓	X
PP80PM10OPF10	X	✓	✓	✓	X
PP70PM15OPF15	X	✓	✓	✓	X
PP60PM20OPF20	X	✓	✓	✓	X

หมายเหตุ: ✓ = ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน,

X = ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน

ตารางที่ 3 การเปรียบเทียบสมบัติของวัสดุเชิงประกอบกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม JIS A 5905

สูตร	Density	TSW	MOR	MOE
PP100	✓	✓	✓	✓
PP80PM20	✓	✓	✓	✓
PP70PM30	✓	✓	✓	✓
PP60PM40	✓	✓	✓	✓
PP80OPF20	✓	✓	✓	✓
PP70OPF30	✓	✓	✓	X
PP60OPF40	✓	✓	✓	✓
PP80PM10OPF10	✓	✓	✓	✓
PP70PM15OPF15	✓	✓	✓	✓

สูตร	Density	TSW	MOR	MOE
PP60PM20OPF20	✓	✓	✓	✓

6. สรุปผลและอภิปรายผล

6.1 สรุปผลการวิจัย การวิจัยนี้ศึกษาการใช้พอลิโพรพิลีนรีไซเคิลร่วมกับผงกะลาปาล์มน้ำมัน (PM) และเส้นใยปาล์มน้ำมัน (OPF) เพื่อพัฒนาวัสดุเชิงประกอบสำหรับประยุกต์ใช้เป็นวัสดุทดแทนไม้ในงานเฟอร์นิเจอร์

6.1.1 ผลของชนิดและปริมาณวัสดุชีวมวลต่อสมบัติของวัสดุเชิงประกอบ การเติม PM และ OPF ส่งผลให้ความหนาแน่นและการดูดซึมน้ำของวัสดุเชิงประกอบมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณวัสดุชีวมวล โดยสูตร PP60PM40 ให้ค่าความหนาแน่นสูงสุดเท่ากับ 1.03 g/cm^3 และมีการดูดซึมน้ำสูงที่สุด อย่างไรก็ตาม วัสดุเชิงประกอบทุกสูตรมีค่าการดูดซึมน้ำต่ำกว่า 0.35% แสดงให้เห็นว่าวัสดุยังคงมีความสามารถในการต้านทานการดูดซึมน้ำได้ดี ค่าการพองตัวตามความหนาของวัสดุเชิงประกอบส่วนใหญ่อยู่ในระดับต่ำกว่า 1% โดยสูตร PP60PM20OPF20 ให้ค่าสูงสุดเท่ากับ 1.79% ทั้งนี้ วัสดุทุกสูตรมีค่าการพองตัวตามความหนาดังกล่าว 2% แสดงให้เห็นถึงการคงรูปร่างที่ดีหลังการแช่น้ำเป็นเวลา 24 ชั่วโมง สำหรับสมบัติเชิงกล พบว่า PP100 ให้ค่าความต้านทานแรงดัดสูงสุดประมาณ 50 MPa เมื่อเติมวัสดุชีวมวล ค่าความต้านทานแรงดัดโดยรวมมีแนวโน้มลดลง อย่างไรก็ตาม ในกลุ่มวัสดุเชิงประกอบ สูตร PP60PM40 ให้ค่าความต้านทานแรงดัดสูงสุดเท่ากับ 43.81 MPa และให้ค่าสูงกว่าสูตรที่เติม OPF เพียงชนิดเดียวและสูตรที่เติม PM ร่วมกับ OPF ค่ามอดูลัสยืดหยุ่นของวัสดุเชิงประกอบส่วนใหญ่อยู่ในช่วงประมาณ 770-890 MPa และมีแนวโน้มลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณวัสดุชีวมวล ขณะที่แรงยึดเหนี่ยวของสกรูของทุกสูตรมีค่าอยู่ในช่วงประมาณ 37-43 MPa ซึ่งใกล้เคียงกับ PP100 แสดงให้เห็นว่าการเติมวัสดุชีวมวลไม่ส่งผลกระทบต่อความสามารถในการยึดเหนี่ยวของสกรู

6.1.2 การพัฒนาวัสดุเชิงประกอบจากขยะพลาสติกและวัสดุชีวมวลสำหรับงานเฟอร์นิเจอร์ เมื่อเปรียบเทียบกับสมบัติของวัสดุเชิงประกอบกับมาตรฐาน มอก. 966-2547

พบว่าวัสดุทุกสูตรผ่านเกณฑ์ด้านการดูดซึมน้ำ การพองตัวตามความหนา และความต้านทานแรงดัด แต่ไม่ผ่านเกณฑ์ด้านความหนาแน่นและมอดูลัสยืดหยุ่น เมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐาน JIS A 5905 พบว่าวัสดุเชิงประกอบทุกสูตรผ่านเกณฑ์ด้านความหนาแน่น การพองตัวตามความหนา และความต้านทานแรงดัด ส่วนด้านมอดูลัสยืดหยุ่นพบว่าวัสดุเกือบทุกสูตรผ่านเกณฑ์ ยกเว้นสูตร PP70OPF30 จากผลการศึกษาทั้งหมด สูตร PP60PM40 เป็นสูตรที่มีศักยภาพสูงที่สุดในกลุ่มวัสดุเชิงประกอบ เนื่องจากให้ค่าความหนาแน่นและความต้านทานแรงดัดสูงสุด ขณะที่ยังคงมีการดูดซึมน้ำและการพองตัวตามความหนาอยู่ในระดับต่ำ จึงมีความเหมาะสมเบื้องต้นสำหรับนำไปพัฒนาต่อเป็นวัสดุทดแทนไม้สำหรับงานเฟอร์นิเจอร์และงานตกแต่งภายใน

6.2 อภิปรายผลการวิจัย

6.2.1 ผลของชนิดและปริมาณวัสดุชีวมวลต่อสมบัติของวัสดุเชิงประกอบ การเพิ่มปริมาณ PM และ OPF ส่งผลให้ความหนาแน่นของวัสดุเชิงประกอบเพิ่มขึ้น ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าสูตรที่มีปริมาณ PM สูงให้ค่าความหนาแน่นมากกว่าสูตรที่มี OPF ในสัดส่วนเดียวกัน ซึ่งอาจอธิบายได้จาก PM มีลักษณะเป็นอนุภาคแข็งและมีขนาดเล็กกว่า OPF จึงอาจสามารถจัดเรียงตัวภายในเมทริกซ์ได้แน่นกว่า ส่งผลให้ค่าความหนาแน่นเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตาม งานวิจัยนี้ไม่ได้ศึกษาลักษณะทางจุลภาคของวัสดุ จึงไม่สามารถยืนยันการกระจายตัวหรือการลดลงของช่องว่างภายในโครงสร้างได้โดยตรง [6] การดูดซึมน้ำและการพองตัวตามความหนาที่เพิ่มขึ้นเมื่อเติมวัสดุชีวมวล เป็นผลมาจากองค์ประกอบลิกโนเซลลูโลสของ PM และ OPF โดยเฉพาะเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลส ซึ่งมีหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) ที่สามารถสร้างพันธะกับโมเลกุลน้ำได้ เมื่อเพิ่มปริมาณวัสดุชีวมวลจึงทำให้วัสดุมีตำแหน่งที่สามารถจับกับน้ำเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ ช่องว่างระหว่างเมทริกซ์พอลิโพรพิลีนกับวัสดุชีวมวลอาจเป็นเส้นทางให้น้ำแทรกซึมเข้าสู่โครงสร้างของวัสดุได้ง่ายขึ้น [7], [8], [9], [10], [11], [12] อย่างไรก็ตาม ค่าการดูดซึมน้ำต่ำกว่า 0.35% และค่าการพองตัวตามความหนาดังกล่าว 2% ของวัสดุทุกสูตรแสดงให้เห็นว่าเมทริกซ์พอลิโพรพิลีนรีไซเคิลซึ่งมีสมบัติ

ไม่ชอบน้ำสามารถห่อหุ้มอนุภาคและเส้นใยชีวมวลได้ในระดับหนึ่ง จึงช่วยจำกัดการแทรกซึมของน้ำและรักษาเสถียรภาพทางมิติของวัสดุได้ดี การเติมวัสดุชีวมวลส่งผลให้ค่าความต้านทานแรงดัดของวัสดุส่วนใหญ่ต่ำกว่า PP100 ซึ่งเป็นผลที่ตรวจวัดได้จากการทดลอง ส่วนสาเหตุที่ทำให้ค่าความต้านทานแรงดัดลดลงนั้น อาจเกี่ยวข้องกับ ความแตกต่างด้านสภาพผิวระหว่างพอลิโพรพิลีนที่ไม่มีขั้วกับวัสดุลิกโนเซลลูโลสที่มีขั้ว ทำให้การยึดเกาะระหว่างเฟสและการถ่ายโอนแรงมีประสิทธิภาพลดลง อย่างไรก็ตาม สมมติฐานดังกล่าวยังไม่ได้รับการยืนยันจากการวิเคราะห์โครงสร้างระดับจุลภาค เช่น SEM หรือการวิเคราะห์พื้นผิวการแตกหักเมื่อเปรียบเทียบระหว่าง PM และ OPF พบว่า PM ให้ค่าความต้านทานแรงดัดสูงกว่า OPF ในทุกระดับของการเติมชีวมวล โดยเฉพาะสูตร PP60PM40 ซึ่งให้ค่า MOR สูงที่สุดในกลุ่มวัสดุเชิงประกอบ ขณะที่สูตรที่เติม OPF มีแนวโน้มให้ค่า MOR ลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใย ผลดังกล่าวอาจสัมพันธ์กับลักษณะของ PM ที่เป็นอนุภาคแข็งและมีปริมาณลิกนินสูง ซึ่งสามารถรองรับแรงอัดและแรงดัดได้ดีกว่า ในขณะที่ OPF มีลักษณะเป็นเส้นใยที่มีอัตราส่วนความยาวต่อเส้นผ่านศูนย์กลางสูงกว่า จึงอาจเกิดการเรียงตัวหรือการกระจุกตัวระหว่างการผสมได้ง่ายกว่า ส่งผลให้ประสิทธิภาพการรับและถ่ายโอนแรงลดลง ทั้งนี้ กลไกดังกล่าวเป็นเพียงข้อสันนิษฐานที่อ้างอิงจากแนวโน้มของผลการทดลองและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง [13-14] นอกจากนี้ อนุภาค PM ขนาด 80 mesh อาจมีการกระจายตัวในเมทริกซ์ได้สม่ำเสมอกว่าเส้นใย OPF ขนาด 40 mesh ในทางตรงกันข้าม การเพิ่ม OPF ทำให้ค่าความต้านทานแรงดัดมีแนวโน้มลดลง อาจเกิดจากการรวมตัวของเส้นใย การเปียกผิวของเส้นใยด้วยพอลิโพรพิลีนไม่สมบูรณ์ และการเกิดช่องว่างบริเวณรอยต่อระหว่างเส้นใยกับเมทริกซ์ โดยเฉพาะเมื่อปริมาณเส้นใยเพิ่มขึ้น ส่งผลให้เกิดจุดรวมความเค้นและทำให้วัสดุเสียหายได้ง่ายขึ้นภายใต้แรงดัด ค่ามอดูลัสยืดหยุ่นที่ลดลงเมื่อเติม PM และ OPF สะท้อนให้เห็นว่าการเติมวัสดุชีวมวลในสภาวะที่ไม่มีสารช่วยยึดประสานอาจยังไม่สามารถเพิ่มความแข็งแรงของวัสดุได้อย่างมีประสิทธิภาพ ปัจจัยสำคัญอาจมา

จากการยึดเกาะระหว่างเฟสและการกระจายตัวของวัสดุชีวมวล ดังนั้น การใช้สารช่วยยึดประสาน เช่น Maleic Anhydride-Grafted Polypropylene อาจช่วยปรับปรุงการยึดเกาะระหว่างพอลิโพรพิลีนกับวัสดุชีวมวลและเพิ่มสมบัติเชิงกลของวัสดุได้ สำหรับแรงยึดเหนี่ยวของสกรูที่มีค่าใกล้เคียงกันในทุกสูตร แสดงให้เห็นว่าโครงสร้างของวัสดุเชิงประกอบยังคงสามารถต้านทานแรงดึงออกของสกรูได้ แม้ว่าจะมีการเติม PM หรือ OPF สูงถึงร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก สมบัตินี้มีความสำคัญต่อการนำวัสดุไปประกอบเป็นเฟอร์นิเจอร์ เนื่องจากวัสดุต้องสามารถรองรับการยึดติดด้วยสกรูหรืออุปกรณ์ยึดจับต่าง ๆ ได้ ผลการทดสอบความแข็งแบบชอร์ดี (Shore D Hardness) พบว่าค่าความแข็งของวัสดุทุกสูตรอยู่ในช่วงประมาณ 72–77 Shore D โดยมีความแตกต่างกันเพียงเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับ PP100 แสดงให้เห็นว่าการเติม PM และ OPF ในช่วงองค์ประกอบที่ศึกษายังไม่ส่งผลต่อความแข็งของวัสดุเชิงประกอบอย่างชัดเจน อย่างไรก็ตาม สูตรที่มี PM ในปริมาณสูงมีแนวโน้มให้ค่าความแข็งเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ซึ่งอาจสัมพันธ์กับลักษณะของ PM ที่เป็นอนุภาคแข็งและความแข็งมากกว่าเส้นใยพอลิเมอร์ ดังนั้น ความแตกต่างของค่าความแข็งที่พบยังอยู่ในช่วงแคบ จึงสะท้อนว่าการเติมวัสดุชีวมวลภายใต้สภาวะการผลิตที่ใช้ในงานวิจัยนี้ไม่มีผลต่อความแข็งของเมทริกซ์พอลิโพรพิลีนรีไซเคิลอย่างเด่นชัด

6.2.2 ศักยภาพของวัสดุเชิงประกอบสำหรับใช้เป็นวัสดุทดแทนไม้ในงานเฟอร์นิเจอร์ การที่วัสดุเชิงประกอบส่วนใหญ่ผ่านข้อกำหนดของมาตรฐาน JIS A 5905 ด้านความหนาแน่น การพองตัวตามความหนา ความต้านทานแรงดัดและมอดูลัสยืดหยุ่น แสดงให้เห็นว่าวัสดุที่พัฒนาขึ้นมีสมบัติพื้นฐานใกล้เคียงกับวัสดุแผ่นใยไม้บางประเภท และมีศักยภาพสำหรับนำไปพัฒนาเป็นวัสดุทดแทนไม้ในงานเฟอร์นิเจอร์ที่ไม่รับภาระสูง เช่น แผ่นตกแต่ง แผ่นปิดผิวชั้นวางของหรือส่วนประกอบภายในเฟอร์นิเจอร์ อย่างไรก็ตาม วัสดุทุกสูตรยังไม่ผ่านเกณฑ์ความหนาแน่นและมอดูลัสยืดหยุ่นของมาตรฐาน มอก. 966-2547 จึงไม่ควรสรุปว่าวัสดุสามารถใช้ทดแทนแผ่นใยไม้อัดความหนาแน่นปานกลางได้

โดยสมบูรณ์ แต่ควรพิจารณาว่าเป็นการประเมินศักยภาพเบื้องต้นโดยใช้มาตรฐานดังกล่าวเป็นเกณฑ์อ้างอิง เนื่องจากวัสดุที่พัฒนาขึ้นเป็นวัสดุเชิงประกอบเทอร์มอพลาสติก มีใช้แผ่นใยไม้อัดที่ผลิตจากเส้นใยไม้และกาวประสานโดยตรง สูตร PP60PM40 มีความเหมาะสมมากที่สุดในกลุ่มวัสดุเชิงประกอบ เนื่องจากให้ค่าความต้านทานแรงดัดสูง มีความหนาแน่นมาก และยังคงมีเสถียรภาพทางมิติที่ดี อย่างไรก็ตาม ก่อนนำไปใช้ในผลิตภัณฑ์เฟอร์นิเจอร์จริง ควรมีการศึกษาสมบัติเพิ่มเติม ได้แก่ ความทนทานต่อแรงกระแทก การคืบ การสึกหรอ การทนต่อสภาพอากาศ การลามไฟ และความคงทนของการยึดสกรู รวมทั้งควรทดลองผลิตชิ้นงานหรือผลิตภัณฑ์ต้นแบบเพื่อประเมินสมรรถนะภายใต้สภาวะการใช้งานจริง

7. ข้อเสนอแนะ

7.1 ข้อเสนอแนะในการวิจัย ควรศึกษาการใช้สารช่วยยึดประสานระหว่างพอลิโพรพิลีนรีไซเคิลกับวัสดุชีวมวล รวมถึงศึกษาสมบัติด้านความทนทานและการใช้งานระยะยาว เพื่อเพิ่มศักยภาพของวัสดุเชิงประกอบสำหรับการใช้งานจริง

7.2 ข้อเสนอแนะในการนำผลการวิจัยไปใช้ วัสดุเชิงประกอบสูตร PP60PM40 มีศักยภาพสำหรับการพัฒนาเป็นวัสดุทดแทนไม้ในงานเฟอร์นิเจอร์และงานตกแต่งภายในที่ไม่รับภาระสูง โดยควรมีการผลิตชิ้นงานต้นแบบและทดสอบการใช้งานจริงก่อนนำไปใช้ในเชิงพาณิชย์

8. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ขอขอบคุณสาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย ที่ให้การสนับสนุนด้านเครื่องมือ อุปกรณ์ และสถานที่ในการดำเนินงานวิจัยจนสำเร็จลุล่วงด้วยดี

9. เอกสารอ้างอิง

- [1] Pilapitiya, P. N. T. and Ratnayake, A. S. 2024. "The world of plastic waste: A review," *Cleaner Materials*, 11: p. 100220. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.clema.2024.100220>

- [2] Panthapulakkal, S. and Sain, M. 2007. "Agro-residue reinforced high-density polyethylene composites: Fiber characterization and analysis of composite properties," *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 38(6): pp. 1445-1454. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2007.01.015>
- [3] Aisyah, H. A. and et al. 2024. "Oil palm fiber hybrid composites: A recent review," *Journal of Renewable Materials*, 12(10): pp. 1661-1689. [Online]. Available: <https://doi.org/10.32604/jrm.2024.055217>
- [4] Gairola, S. P. and et al. 2025. "Analyze the mechanical properties of rice straw fiber mixed with polymer composite: A review," *Next Research*, p. 101125. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.nexres.2025.101125>
- [5] *Medium Density Fibreboards (MDF)*, Thai Industrial Standard 966-2547, 2004. (in Thai)
- [6] *Fiberboards*, Japanese Industrial Standard A 5905:2014, 2014.
- [7] Aisyah, H. A. and et al. 2026. "Enhancements in oil palm fiber for composite material development," *Journal of Renewable Materials*, 14(3): pp. 1-23. [Online]. Available: <https://doi.org/10.32604/jrm.2025.02025-0141>
- [8] 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," *RMUTSV Research Journal*, 14(1): pp. 31-46. [Online]. Available: <https://li01.tci-thaijo.org/index.php/rmutsvrj/article/view/242810> (in Thai)

- [9] Fang, T. W. and et al. 2017. "Water absorption and thickness swelling of oil palm empty fruit bunch (OPEFB) and seaweed composite for soil erosion mitigation," *Journal of Physical Science*, 28(2): pp. 1-17. [Online]. Available: <https://doi.org/10.21315/jps2017.28.2.1>
- [10] Almeida-Naranjo, C. E. and et al. 2022. "Water absorption behavior of oil palm empty fruit bunch (OPEFB) and oil palm kernel shell (OPKS) as fillers in acrylic thermoplastic composites," *Materials*, 15(14): pp. 1-17. [Online]. Available: <https://doi.org/10.3390/ma15144854>
- [11] Shibata, S., Senaha, I. and Abral, H. 2014. "Effect of time-dependent moisture absorption on surface roughness of bagasse and oil palm fibers/polypropylene composites," *BioResources*, 9(3): pp. 4430-4440. [Online]. Available: <https://doi.org/10.15376/biores.9.3.4430-4440>
- [12] Lee, C. L. and et al. 2023. "Characterisation of polypropylene composite reinforced with chemi-thermomechanical pulp from oil palm trunk via injection moulding process," *Polymers*, 15(6): pp. 1-21. [Online]. Available: <https://doi.org/10.3390/polym15061400>
- [13] Kayaba, A. M. and et al. 2025. "Synergistic effects of micro- and macro-sized palm kernel shell fillers on the tensile properties of HDPE composites," *Royal Society Open Science*, 12(7): pp. 1-9. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1098/rsos.241911>
- [14] Chima, E. and et al. 2025. "Development of composite materials using agricultural waste: Emphasis on palm kernel shell (PKS) as reinforcing agent – A contextual review," *SSR*
- Journal of Arts, Humanities and Social Sciences*, 2(10): pp. 24-34. [Online]. Available: <https://doi.org/10.5281/zenodo.17476226>