วารสารเทคโนโลยีการผลิตและการจัดการ
ปีที่ 3 ฉบับที่ 2 กรกฎาคม – ธันวาคม 2567

การขึ้นรูปแผ่นคอมโพสิตสำหรับงานตกแต่งภายในอาคารจากขยะเทอร์โมพลาสติกรีไซเคิล เสริมแรงด้วยเศษสิ่งทอผ้าขาวม้า

The Forming of Composite Sheets for Indoor Decoration from Recycled Thermoplastic Waste Reinforced by Textile Waste of Loincloth

จิรวัฒน์ ใจอู่[1] สิรภพ ราษฎร์ดุษดี[2] และ พลภัทร ทิพย์บุญศรี[2*]
[1]สาขาวิชาครุศาสตร์อุตสาหการ คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, ปทุมธานี, 12110
[2]ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, ปทุมธานี, 12110
Jirawat Jai-u[1] Siraphop Raddussadee[2] and Ponlapath Tipboonsri[2*]
[1]Department of Industrial Engineering, Faculty of Industrial Education,
Rajamangala University of Technology Thunyaburi, Pathum Thani, 12110
[2]Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering,
Rajamangala University of Technology Thunyaburi, Pathum Thani, 12110
[*]Corresponding author Email: ponlapath.t@en.rmutt.ac.th
(Received: December 10, 2024; Revise: December 28, 2024; Accepted: December 31, 2024)

บทคัดย่อ

การศึกษากระบวนการขึ้นรูปแผ่นคอมโพสิตสำหรับงานตกแต่งภายในอาคารจากขยะเทอร์โมพลาสติกรีไซเคิลเสริมแรงด้วยเศษสิ่งทอผ้าขาวม้า เป็นการนำแผ่นฟิล์มพลาสติกทั้งหมด 4 ชนิดได้แก่ HDPE (High density polyethylene) LDPE (Low density polyethylene) PP (Polypropylene) และ PLA (Polylactic acid) ที่ใช้เป็นบรรจุภัณฑ์มาทดลองอัดขึ้นรูปโดยมีแผ่นผ้าขาวม้าทำหน้าที่เป็นวัสดุเสริมแรง ในการทดลองจะใช้ผ้าขาวม้าจำนวน 3, 5, 7 และ 9 ชั้น โดยทำการจัดเรียงกับแผ่นฟิล์มพลาสติก นอกจากนี้ผ้าขาวม้ากับเทอร์โมพลาสติกถูกอัดขึ้นรูปในอัตราส่วน 50:50, 30:70 และ 40:60 ขึ้นรูปที่ความดัน 10.34 Bar ที่อุณหภูมิ 200˚C ใช้ระยะเวลาในการอัดขึ้นรูปร้อนเป็นเวลา 10 minutes แผ่นคอมโพสิตมีขนาด 300 x 300 mm จากนั้นนำชิ้นงานที่ทำการอัดขึ้นรูปร้อนแล้วมาทำการทดสอบสมบัติแรงดึง (Tensile test) และทำการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค (Microstructure) จากผลการทดลองพบว่า จำนวนชั้นของผ้าขาวม้าที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้สมบัติแรงเพิ่มขึ้นตาม และปริมาณของแผ่นฟิล์มพลาสติกที่เพิ่มส่งผลให้สมบัติแรงดึงลดลง ดังนั้นการใช้จำนวนชั้นของผ้าขาวม้าสูงสุดที่ 9 ชั้น และอัตราส่วนของผ้าขาวม้ากับเทอร์โมพลาสติกในอัตราส่วน 50:50 มีสมบัติแรงดึงสูงสุด ในส่วนของชนิดพลาสติกทั้ง 4 ชนิด แผ่นฟิล์มพลาสติก PP มีค่าแรงดึงสูงสุด (Tensile strength) คือ 62.96 MPa และมีค่ามอดูลัสแรงดึง (Tensile modulus) คือ 1367.4 MPa นอกจากนี้ภาพทางสัณฐานวิทยายังช่วยยืนยันเหตุผลถึงการเพิ่มขึ้นและลดลงของสมบัติทางกล อย่างไรก็ตามแม้ว่า PP จะมีสมบัติทางกลที่ดี แต่ยังไม่ตอบสนองต่อแนวคิดความยั่งยืนทางสิ่งแวดล้อม PLA จึงถูกนำมาพิจารณาเนื่องจากคุณสมบัติการย่อยสลายได้ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม นอกจากนี้ PLA ยังมีค่า Tensile Strength ต่ำกว่า PP เพียง 13% แต่มีค่า Tensile Modulus สูงกว่า 11.5% ทำให้ PLA เป็นอีกหนึ่งทางเลือกสำหรับงานตกแต่งภายในอาคาร โดยตอบโจทย์ด้านความยั่งยืนในอนาคตได้ดียิ่งขึ้น

คำสำคัญ: แผ่นคอมโพสิต เศษผ้าขาวม้า ขยะเทอร์โมพลาสติก

Abstract

Composite sheets for indoor decoration from recycled thermoplastic waste reinforced by textile wastes of loincloth are made using 4 kinds of packaging plastic, including HDPE, LDPE, PP, and PLA, which are compressed by compression molding, which loincloth is reinforced. In the experiment, loincloth layers were used with 3, 5, 7, and 9 layers. Thermoplastic layers and loincloth layers were stacked together, and they are compressed with a ratio of thermoplastic layers and loincloth layers at 50:50, 40:60, and 30:70 wt%. The compression conditions were set up at a pressure of 10.34 Bar, a forming temperature of 200 °C, and a forming time of 10 minutes. A composite sheet size was 300 x 300 mm. After that, a composite sheet was prepared to investigate with a tensile test and microstructure. The results showed that tensile strength increased with the increase of the loincloth layer. Meanwhile, tensile strength decreased with the increase of thermoplastic layers. The highest mechanical properties were using the loincloth of 9 layers and a ratio of thermoplastic layers and loincloth layers at 50:50. All 4 kinds of thermoplastics, PP had the highest mechanical properties with a tensile strength of 62.96 MPa and a tensile modulus of 1367.4 MPa. In addition, the microstructures were confirmed to be the reason for the decrease and increase of mechanical properties. However, although PP has good mechanical properties, it does not align with the concept of environmental sustainability. Therefore, PLA is considered for its environmentally friendly degradability. In addition, PLA has a tensile strength value that is only 13% lower than that of PP, but its tensile modulus is 11.5% higher. This makes PLA a suitable material for producing composite panels for interior decoration, better aligning with future sustainability requirements.

Keywords: Composite sheet, Loincloth, Thermoplastic waste

1. บทนำ

เทอร์โมพลาสติก เป็นพลาสติกที่ใช้กันแพร่หลายที่สุดในโลกได้รับความร้อนจะอ่อนตัวและเมื่อเย็นลงจะแข็งตัว ซึ่งการหลอมเหลวและเย็นตัวนี้สามารถเกิดกลับไปกลับมาได้โดยไม่ทำให้สมบัติทางเคมีและทางกายภาพหรือโครงสร้างของพอลิเมอร์เปลี่ยนไปมากนัก ดังนั้นเทอร์โมพลาสติกจึงเป็นวัสดุที่มีสมบัติเหมาะสมสำหรับการขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ด้วยเทคนิคพื้นฐาน เช่น การฉีด การอัดรีด นอกจากนี้สมบัติของเทอร์โมพลาสติกที่นำมาหลอมใหม่และขึ้นรูปซ้ำได้ทำให้เกิดประโยชน์จากการใช้เศษวัสดุหรือของเสียจากการผลิต ในปัจจุบันประเทศไทยมีปริมาณขยะพลาสติกมากถึง 2.7 ล้านตัน หรือเฉลี่ย 7,0000 ตันต่อวัน แบ่งเป็นถุงพลาสติก 80 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งต้องใช้เวลาย่อยสลายยาวนานถึง 450 ปี ที่สำคัญหากใช้วิธีฝังกลบจะใช้พื้นที่มากกว่าขยะปกติถึง 3 เท่า [1] หรือหากนำไปเผาทำลายจะทำลายสิ่งแวดล้อมอย่างมากรวมทั้งมีสารตกค้างในสิ่งแวดล้อม เนื่องจากถุงพลาสติกทำจากเม็ดปิโตรเลียมทำให้มีการปนเปื้อนของสารตกค้างในดินและน้ำส่งผลก่อให้เกิดก๊าซเรือนกระจกซึ่งเป็นสาเหตุของภาวะโลกร้อนในปัจจุบัน จากปัญหาขยะพลาสติกทำให้เกิดความสนใจในการนำขยะพลาสติกกลุ่มถุงพลาสติกบรรจุภัณฑ์ชนิดใสมารีไซเคิล โดยจะนำมาขึ้นรูปร่วมกับวัสดุชนิดอื่น ๆ ให้มีรูปแบบการใช้งานใหม่ในลักษณะของการรีไซเคิล ถุงพลาสติกที่มีการใช้ทั่วไปได้แก่ พอลิเอทีลีน ความหนานแน่นต่ำ (Low density polyethylene ; LDPE), พอลิเอทีลีนความหนานแน่นสูง (High density polyethylene ; HDPE) และพอลิพรอพิลีน (Polyepropyrene ; PP) นอกจากนี้ยังมีการพัฒนาการใช้งานของพลาสติกย่อยสลาย

ได้พอลิแลคติคแอซิด (Polylactic-acid ; PLA) เพื่อตอบสนองความยั่งยืนในอนาคต [2] ซึ่ง PLA เป็นเทอร์โมพลาสติกที่โดดเด่นด้วยความสามารถในการย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ ผลิตจากทรัพยากรหมุนเวียน เช่น แป้งข้าวโพด อ้อย หรือมันสำปะหลัง มีคุณสมบัติเด่นในด้านความแข็งแรงสูง แต่มีข้อจำกัดเรื่องความเปราะและความทนทาน อย่างไรก็ตาม ด้วยอุณหภูมิการขึ้นรูปที่ต่ำและความทนต่อสารเคมี PLA กลายเป็นวัสดุที่ได้รับความสนใจในด้านความยั่งยืน [3, 4] แม้จะมีต้นทุนที่สูงกว่าเมื่อเทียบกับพลาสติกทั่วไป แต่ข้อได้เปรียบด้านความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมทำให้ PLA เป็นตัวเลือกที่น่าสนใจในการประเมินร่วมกับการรีไซเคิลพลาสติก

ผ้าเป็นปัจจัย 4 [5] ของมนุษย์โดยส่วนใหญ่ทำมาจากเส้นใยที่มาจากธรรมชาติ ได้แก่ พืช สัตว์ และแร่ธาตุต่าง ๆ ประโยชน์ของผ้า คือ การนำมาตัดเย็บเป็นเครื่องนุ่งห่มเครื่องใช้ประเภทผ้าต่าง ๆ ในประเทศไทยก็ได้มีการทอผ้าขึ้นมาเพื่อใช้ในการนุ่งห่มปกปิดร่างกายที่มีมาแต่โบราณ เช่น ผ้าทอ ที่มีเอกลักษณ์เฉพาะในแต่ละภูมิภาค ซึ่งจะมีผ้าประเภทหนึ่งที่ไม่อาจเจาะจงได้ว่าเป็นผ้าของภาคใดเป็นพิเศษเพราะมีการทอเพื่อใช้สอยอยู่ในทุกภาคของประเทศไทย คือ ผ้าขาวม้า ที่มีลักษณะเป็นผ้าลายตาหมากรุก ปัจจุบัน ผ้าขาวม้า เป็นที่รู้จักอย่างแพร่หลายและมีโรงงานผลิตเกิดขึ้นมากมาย โดยในกระบวนการผลิตส่วนใหญ่จะใช้เครื่องจักรในการทอผ้าขาวม้า ซึ่งส่งผลให้เกิดของเสียจากการผลิตในปริมาณที่ไม่น้อย นอกจากนี้ ยังพบปัญหาที่เกิดขึ้นบ่อยครั้งในกระบวนการทอ เช่น รอยเส้นหรือรอยนูน ที่ปรากฏเด่นชัดบนผืนผ้า ซึ่งไม่ใช่ลวดลายตามแบบการทอ ทำให้ผ้าในบริเวณที่มีตำหนิดังกล่าวกลายเป็นของเสีย ไม่สามารถจำหน่ายได้ในราคาสูงเทียบเท่าผ้าที่สมบูรณ์ อย่างไรก็ตาม เนื่องจากผ้าขาวม้าผลิตจาก เส้นใยฝ้ายที่แข็งแรงและมีการทนต่อการสึกหรอได้ดี [6] ความหนาแน่นต่ำ นำความร้อนได้ดี มีความยืดหยุ่นสูง ยืดหยุ่นได้ดี และเป็นวัสดุหมุนเวียนได้ [7-9] จึงมีศักยภาพในการนำของเสียจากกระบวนการผลิตกลับมาใช้ประโยชน์ เช่น การนำมาเป็นวัสดุเสริมแรงเพื่อเพิ่มความแข็งแรงในผลิตภัณฑ์อื่น ๆ ซึ่งนอกจากจะลดปริมาณของเสียแล้ว ยังสนับสนุนแนวคิด ความยั่งยืนด้านสิ่งแวดล้อม ได้อย่างมีประสิทธิภาพอีกด้วย

ดังนั้นจึงมีแนวคิดที่จะใช้เศษผ้าขาวม้าที่ได้จากโรงงานนำมาทดลองขึ้นรูปเป็นแผ่นคอมโพสิตจากเทอร์โมพลาสติกรีไซเคิลจากถุงพลาสติกรีไซเคิลชนิด LDPE, HDPE และ PP เปรียบเทียบกับพลาสติกย่อยสลายได้จาก PLA เสริมแรงด้วยเศษสิ่งทอผ้าขาวม้า โดยจะทำการขึ้นรูปเป็นแผ่นวัสดุคอมโพสิตด้วยกระบวนการอัดขึ้นรูปรวมทั้งศึกษาสมบัติทางกล เพื่อหาสัดส่วนของพลาสติกรีไซเคิลที่เหมาะสมสำหรับขึ้นรูป และสามารถใช้เป็นแผ่นคอมโพสิตสำหรับตกแต่งภายในอาคารอีกทั้งยังเป็นแนวทางในการเลือกวัสดุจากเศษผ้าเหลือใช้กับพลาสติกที่สามารถนำมาใช้ได้จริง ซึ่งจากงานวิจัยมีการใช้เศษผ้าเสริมแรงใน PP [10, 11] การใช้เศษผ้าเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตในคอนกรีต [12] การใช้เส้นใยฝ้ายในการเสริมแรงใน LDPE [13] การใช้เส้นใยฝ้ายเสริมแรงใน PLA [8] มีการใช้ผงฝ้ายและเส้นใยฝ้ายเสริมแรงในอีพ็อกซี่ [14, 15] จากข้อมูลที่กล่าวมา ยังไม่มีการศึกษาการใช้เศษผืนผ้าขาวม้าเป็นวัสดุเสริมแรงในพลาสติกรีไซเคิลชนิด LDPE, HDPE และ PP รวมถึงแผ่นฟิล์มพลาสติก PLA การศึกษานี้จึงมุ่งเน้นการเพิ่มมูลค่าให้กับวัสดุเหลือใช้ โดยเปลี่ยนให้กลายเป็นทรัพยากรหมุนเวียน ซึ่งสอดคล้องกับแนวคิดความยั่งยืนและการใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่าในอนาคต

2. วัสดุและวิธีการทดลอง

2.1. วัสดุ

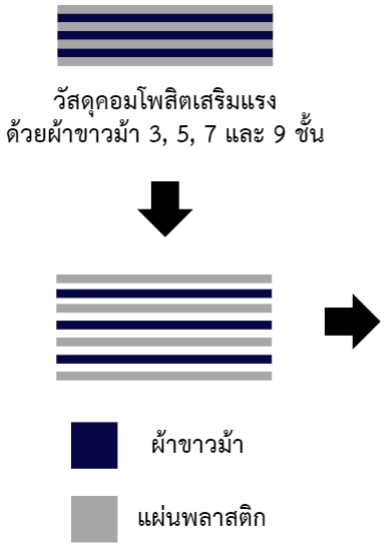
ในการทดลองผ้าขาวม้าที่ทำมาจากฝ้ายถูกใช้เป็นเส้นใยเสริมแรงในแผ่นวัสดุคอมโพสิต และถุงพลาสติกใช้แล้ว 4 ชนิดถูกนำมาใช้เป็นวัสดุเนื้อพื้นได้แก่ ถุงพลาสติก HDPE (High density polyethylene) ที่ความหนาแน่น 0.95 g/cm^3 ถุงพลาสติก LDPE (Low density polyethylene) ที่ความหนาแน่น 0.92 g/cm^3 ถุงพลาสติก PP (Polypropylene) ที่ความหนาแน่น 0.92

g/cm^3 และ ถุงพลาสติก PLA (Polylactic acid) ที่ความหนาแน่น 1.23 g/cm^3

2.2. วิธีการทดลอง

ในการทดลองผ้าขาวม้าถูกตัดให้มีขนาด 300 x 300 mm และนำไปอบที่อุณหภูมิ 80˚C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่แนะนำสำหรับการไล่ความชื้นของเส้นใยจากธรรมชาติ [16] หลังจากนั้นนำไปรีดด้วยเตารีดให้เรียบที่อุณหภูมิ 80 ˚C ในส่วนของถุงพลาสติกทั้ง 4 ชนิด ถูกนำมาตัดให้มีขนาด 300 x 300 mm ก่อนนำไปขึ้นรูป แผ่นวัสดุคอมโพสิตถูกออกแบบโครงสร้างตามชั้นของแผ่นผ้าขาวม้าที่แตกต่างกันได้แก่ 3, 5, 7 และ 9 ชั้น (ซึ่งใช้โค้ดว่า 3L, 5L, 7L และ 9L ตามลำดับ) ในกรณีของการใช้วัสดุเนื้อพื้นที่เป็น PLA ไม่สามารถขึ้นรูปวัสดุคอมโพสิตที่มีจำนวนชั้นของผ้าขาวม้าเกิน 7 ชั้นได้ เนื่องจากแม่พิมพ์ถูกกำหนดความหนาที่ 3 mm เมื่อนำ PLA มาขึ้นรูป PLA มีลักษณะความแข็งเปราะกว่าวัสดุเนื้อพื้นตัวอื่นจึงทำให้หลังขึ้นรูปเสร็จชิ้นงานเกิดการแตกหักเมื่อนำออกจากแม่พิมพ์ และนอกจากนี้อัตราส่วนระหว่างชั้นของผ้าขาวม้าและถุงพลาสติกที่เป็นวัสดุเนื้อพื้นถูกทดลองขึ้นรูปที่อัตราส่วนที่แตกต่างกันได้แก่ 50:50, 40:60 และ 30:70 wt% อัตราส่วนของผ้าขาวม้าถูกออกแบบตามงานวิจัยที่แนะนำช่วงการเสริมแรงแบบผืนผ้าไว้ที่ 30-60 % [17] แต่ละชั้นของผ้าขาวม้าและพลาสติกจะถูกวางสลับกันดังตัวอย่างในรูปที่ 1 ในการขึ้นรูปแผ่นคอมโพสิตจะขึ้นรูปด้วยกระบวนการอัดขึ้นรูปร้อนที่อุณหภูมิ 200˚C ใช้แรงดันอัดที่ 10.34 bar (1 MPa) ที่ออกแบบตามงานวิจัยก่อนหน้า [18] เป็นเวลา 10 นาที แม่พิมพ์ที่ใช้ขึ้นรูปมีขนาด 300 x 300 x 3 mm ซึ่งชิ้นงานจะถูกควบคุมความหนาด้วย Spacer หลังจากขึ้นรูปเสร็จแผ่นคอมโพสิตถูกนำไปตัดเป็นชิ้นทดสอบ ในรูปที่ 2 แสดงขั้นตอนการขึ้นรูปแผ่นคอมโพสิตผ้าขาวม้า

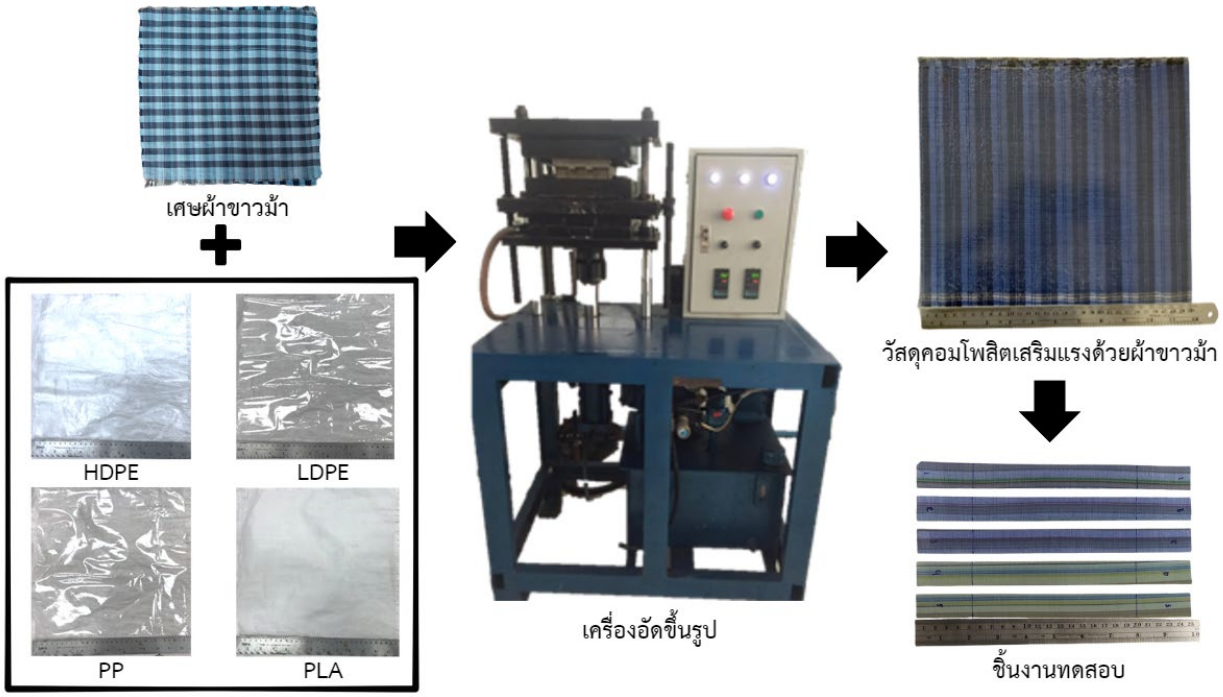
ในการวิจัยการทดสอบสมบัติแรงดึง (Tensile test) ASTM D3039 [19] ชิ้นงานทดสอบถูกเตรียมให้มีขนาดกว้างยาวหนา 25 x 250 x 3 mm ถูกทดสอบเป็นจำนวน 5 ชิ้นในแต่ละอัตราส่วน ในการทดสอบใช้เครื่องทดสอบ Universal testing machine ใช้ความเร็วดึง 5 mm/min นอกจากนี้โครงสร้างระดับจุลภาคถูกตรวจสอบเพื่อตรวจดูการแทรกซึมของพลาสติกในผ้าขาวม้าโดยใช้กล้องจุลทรรศน์ที่กำลังขยาย 10 เท่า ชิ้นงานสำหรับการตรวจสอบโครงสร้างระดับจุลภาคถูกเตรียมโดยนำชิ้นงานที่ถูกดึงจนขาดนำมาหล่อด้วยเรซินพอลิเอสเทอร์ชนิดไม่อิ่มตัวและทำการขัดโครงสร้าง



ชิ้นทดสอบ	จำนวนชั้นเส้นใย (ชั้น)	จำนวนแผ่นพลาสติก (แผ่น)
3L/PLASTIC-50:50	3	6
3L/PLASTIC-40:60	3	10
3L/PLASTIC-30:70	3	15
5L/PLASTIC-50:50	5	11
5L/PLASTIC-40:60	5	16
5L/PLASTIC-30:70	5	26
7L/PLASTIC-50:50	7	15
7L/PLASTIC-40:60	7	22
7L/PLASTIC-30:70	7	36
9L/PLASTIC-50:50	9	20
9L/PLASTIC-40:60	9	30
9L/PLASTIC-30:70	9	46

หมายเหตุ L = จำนวนชั้นของผ้าขาวม้า PLASTIC = HDPE, PP, LDPE, PLA

รูปที่ 1 ตำแหน่งการจัดวางวัสดุ



รูปที่ 2 ขั้นตอนการขึ้นรูปแผ่นคอมโพสิตผ้าขาวม้า

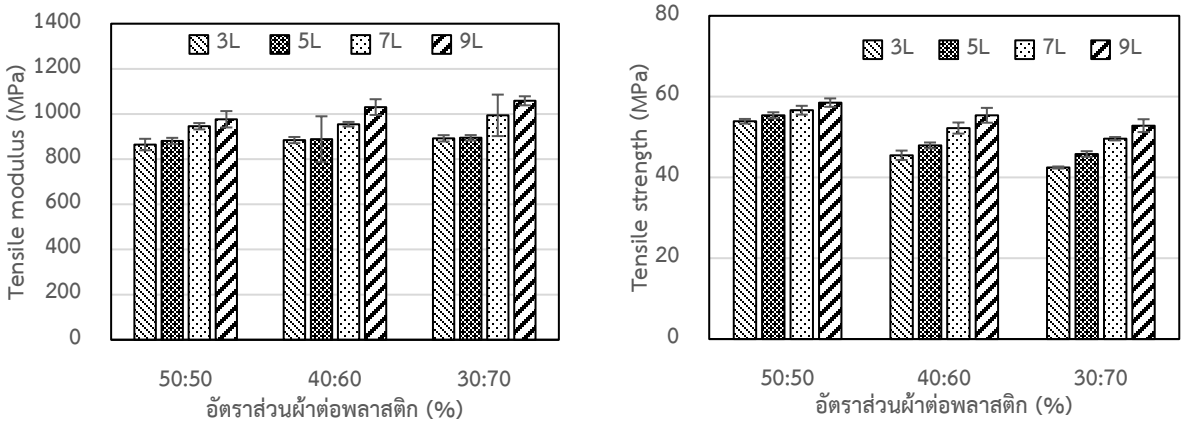
3. ผลการทดลอง

3.1 ผลการทดสอบสมบัติทางกล

ในการทดลองจะแบ่งวัสดุเนื้อพื้นเป็น 4 ชนิดได้แก่ HDPE, LDPE, PP และ PLA หลังจากที่ทราบถึงจำนวนชั้นของผ้าขาวม้า อัตราส่วนของผ้าขาวและเทอร์โมพลาสติก ที่มีสมบัติทางกลที่ดีที่สุดจะถูกนำไปเปรียบเทียบในส่วนของพลาสติกที่แตกต่างชนิดกัน

ค่า Tensile modulus ของแผ่นคอมโพสิต HDPE เสริมแรงด้วยผ้าขาวม้าที่ได้จากการทดสอบสมบัติแรงดึงแสดงดังรูปที่ 3 ก) พบว่าค่า Tensile modulus เพิ่มขึ้นตามปริมาณชั้นของผ้าขาวม้าที่เพิ่มขึ้น ดังนั้นผ้าขาวม้าที่มีชั้นมากที่สุดส่งผลให้สมบัติ Tensile modulus สูงสุด ในส่วนของปริมาณของฟิล์มพลาสติกที่เพิ่มขึ้นมีผลแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย แผ่นคอมโพสิตที่มีชั้นผ้าขาวม้า 9 ชั้น มีอัตราส่วน ผ้าขาวม้า HDPE 30:70 มีสมบัติ Tensile modulus สูงสุดคือ 1058.40 MPa ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ ดวงแข บุตรกูล [6] ได้กล่าวไว้ค่ามอดูลัสจะลดลงเมื่อปริมาณของเส้นใยเกินร้อยละ 45 และจะเพิ่มขึ้นโดยการเพิ่มความสามารถในการเข้ากันระหว่างพอลิเมอร์กับเส้นใยธรรมชาติ

ค่า Tensile strengthของแผ่นคอมโพสิต HDPE เสริมแรงด้วยผ้าขาวม้าที่ได้จากการทดสอบสมบัติ Tensile strength แสดงดังรูปที่ 3 ข) พบว่าสมบัติ Tensile strength เพิ่มขึ้นตามปริมาณชั้นของผ้าขาวม้าที่เพิ่มขึ้น ดังนั้นผ้าขาวม้าที่มีชั้นมากที่สุดส่งผลให้สมบัติ Tensile strength สูงสุด นอกจากนี้ปริมาณของฟิล์มพลาสติกที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้สมบัติ Tensile strength ลดลง ดังนั้นอัตราส่วนระหว่างผ้าขาวม้าต่อแผ่นฟิล์มที่อัตราส่วน 50:50 จึงมีสมบัติ Tensile strength สูงสุด ซึ่งแผ่นคอมโพสิตที่มีชั้นผ้าขาวม้า 9 ชั้น มีอัตราส่วน ผ้าขาวม้า HDPE 50:50 มีสมบัติ Tensile strength สูงสุดคือ 58.52 MPa ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ N.I.S. Anuar [20] และ P. Sneha Latha [21] เมื่อเส้นใยเสริมแรงเพิ่มขึ้นส่งผลให้สมบัติ Tensile strength เพิ่มขึ้น

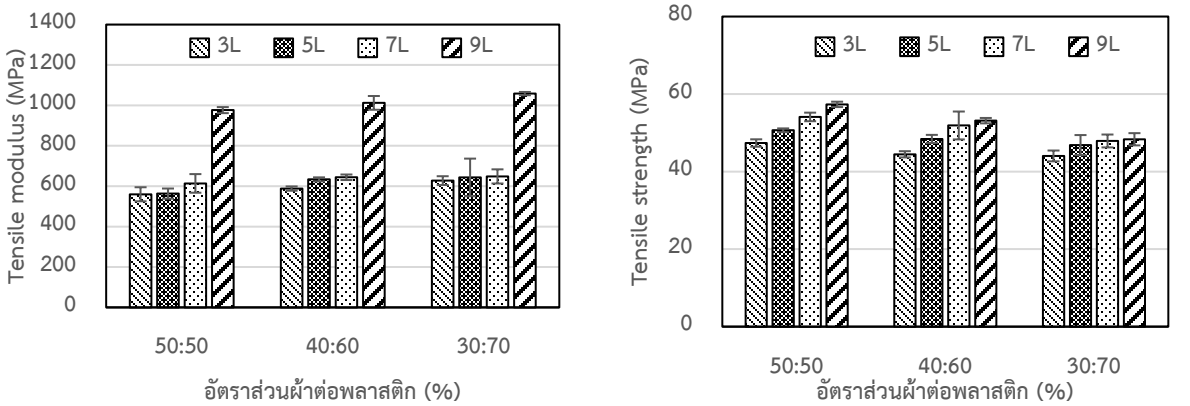


ก) ผลค่า Tensile modulus ข) ผลค่า Tensile strength

รูปที่ 3 ผลการทดสอบแรงดึงของผ้าขาวม้าเสริมแรงใน HDPE

ค่า Tensile modulus ของแผ่นคอมโพสิต LDPE เสริมแรงด้วยผ้าขาวม้าที่ได้จากการทดสอบสมบัติ Tensile strength แสดงดังรูปที่ 4 ก) พบว่าค่า Tensile modulus เพิ่มขึ้นตามปริมาณชั้นของผ้าขาวม้าที่เพิ่มขึ้น ดังนั้นผ้าขาวม้าที่มีชั้นมากที่สุดส่งผลให้สมบัติ Tensile modulus สูงสุด ในส่วนของปริมาณของฟิล์มพลาสติกที่เพิ่มขึ้นมีผลแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย แผ่นคอมโพสิตที่มีชั้นผ้าขาวม้า 9 ชั้น มีอัตราส่วน ผ้าขาวม้า LDPE 30:70 มีสมบัติ Tensile modulus สูงสุดคือ 720.20 MPa ซึ่งมีลักษณะเดียวกันกับพลาสติกชนิด HDPE แต่ LDPE จะมีค่า Tensile modulus ที่ต่ำกว่าหมายความว่า LDPE จะความยืดหยุ่นที่สูงกว่าตามสมบัติพื้นฐานของ LDPE [22]

ค่า Tensile strength ของแผ่นคอมโพสิต LDPE เสริมแรงด้วยผ้าขาวม้าที่ได้จากการทดสอบสมบัติ Tensile strength แสดงดังรูปที่ 4 ข) พบว่าสมบัติ Tensile strength เพิ่มขึ้นตามปริมาณชั้นของผ้าขาวม้าที่เพิ่มขึ้น ดังนั้นผ้าขาวม้าที่มีชั้นมากที่สุดส่งผลให้สมบัติ Tensile strength สูงสุด นอกจากนี้ปริมาณของฟิล์มพลาสติกที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้สมบัติ Tensile strength ลดลง ดังนั้นอัตราส่วนระหว่างผ้าขาวม้าต่อแผ่นฟิล์มที่อัตราส่วน 50:50 จึงมีสมบัติ Tensile strength สูงสุด ซึ่งแผ่นคอมโพสิตที่มีชั้นผ้าขาวม้า 9 ชั้น มีอัตราส่วน ผ้าขาวม้า LDPE 50:50 มีสมบัติ Tensile strength สูงสุดคือ 57.34 MPa ซึ่งมีค่าสมบัติ Tensile strength ไปในทิศทางเดียวกันกับพลาสติกชนิด HDPE

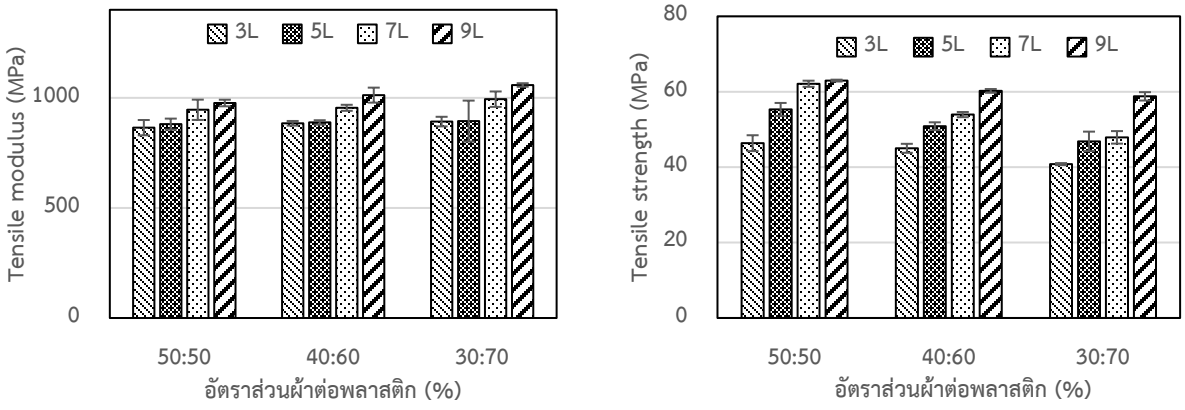


ก) ผลค่า Tensile modulus ข) ผลค่า Tensile strength

รูปที่ 4 ผลการทดสอบแรงดึงของผ้าขาวม้าเสริมแรงใน LDPE

ค่า Tensile modulus ของแผ่นคอมโพสิต PP เสริมแรงด้วยผ้าขาวม้าที่ได้จากการทดสอบสมบัติแรงดึงแสดงดังรูปที่ 5 ก) พบว่าค่า Tensile modulus เพิ่มขึ้นตามปริมาณชั้นของผ้าขาวม้าที่เพิ่มขึ้น ดังนั้นผ้าขาวม้าที่มีชั้นมากที่สุดส่งผลให้สมบัติ Tensile modulus สูงสุด ในส่วนของปริมาณของฟิล์มพลาสติกที่เพิ่มขึ้นมีผลแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย แผ่นคอมโพสิตที่มีชั้นผ้าขาวม้า 9 ชั้น มีอัตราส่วน ผ้าขาวม้า PP 30:70 มีสมบัติ Tensile modulus สูงสุดคือ 1367.4 MPa มีค่า Tensile modulus เป็นลักษณะเดียวกันกับพลาสติก HDPE และ LDPE แต่ PP มีค่า Tensile modulus ที่มากกว่า HDPE และ LDPE หมายความว่า PP มีความยืดหยุ่นน้อยหรือแข็งกว่า [23]

ค่า Tensile strength ของแผ่นคอมโพสิต PP เสริมแรงด้วยผ้าขาวม้าที่ได้จากการทดสอบสมบัติ Tensile strength แสดงดังรูปที่ 5 ข) พบว่าสมบัติ Tensile strength เพิ่มขึ้นตามปริมาณชั้นของผ้าขาวม้าที่เพิ่มขึ้น ดังนั้นผ้าขาวม้าที่มีชั้นมากที่สุดส่งผลให้สมบัติ Tensile strength สูงสุด นอกจากนี้ปริมาณของฟิล์มพลาสติกที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้สมบัติ Tensile strength ลดลง ดังนั้นอัตราส่วนระหว่างผ้าขาวม้าต่อแผ่นฟิล์มที่อัตราส่วน 50:50 จึงมีสมบัติ Tensile strength สูงสุด ซึ่งแผ่นคอมโพสิตที่มีชั้นผ้าขาวม้า 9 ชั้น มีอัตราส่วน ผ้าขาวม้า PP 50:50 มีสมบัติ Tensile strength สูงสุดคือ 62.96 MPa มีค่า Tensile strength เป็นลักษณะเดียวกันกับพลาสติก HDPE และ LDPE

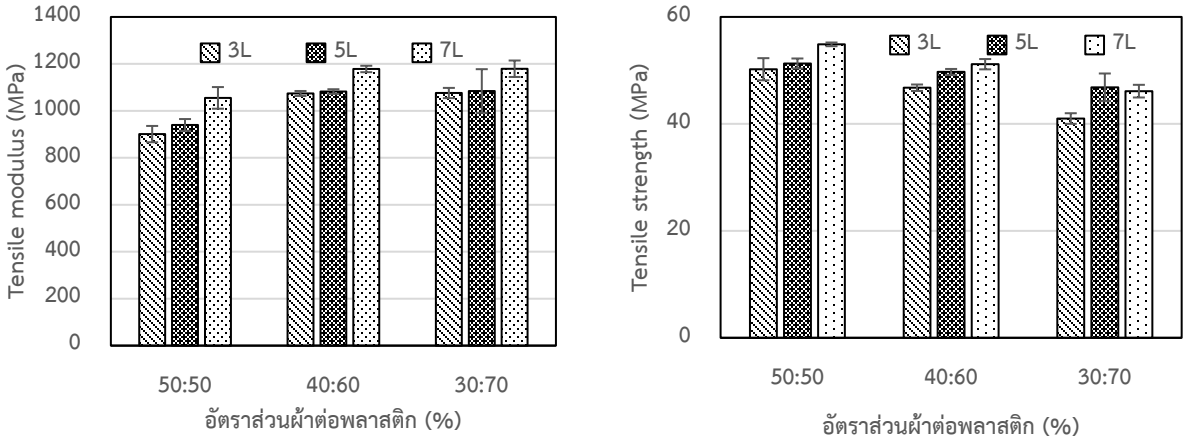


ก) ผลค่า Tensile modulus ข) ผลค่า Tensile strength

รูปที่ 5 ผลการทดสอบแรงดึงของผ้าขาวม้าเสริมแรงใน PP

ค่า Tensile modulus ของแผ่นคอมโพสิต PLA เสริมแรงด้วยผ้าขาวม้าที่ได้จากการทดสอบสมบัติแรงดึงแสดงดังรูปที่ 6 ก) พบว่าค่า Tensile modulus เพิ่มขึ้นตามปริมาณชั้นของผ้าขาวม้าที่เพิ่มขึ้น ในส่วนของปริมาณของฟิล์มพลาสติกที่เพิ่มขึ้นมีผลแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย แผ่นคอมโพสิตที่มีชั้นผ้าขาวม้า 7 ชั้น มีอัตราส่วน ผ้าขาวม้า PLA 30:70 มีสมบัติ Tensile modulus สูงสุดคือ 1179.40 MPa มีค่า Tensile modulus เป็นลักษณะเดียวกันกับพลาสติก HDPE PP และ LDPE

ค่า Tensile strength ของแผ่นคอมโพสิต PLA เสริมแรงด้วยผ้าขาวม้าที่ได้จากการทดสอบสมบัติแรงดึงแสดงดังรูปที่ 6 ข) พบว่าสมบัติ Tensile strength เพิ่มขึ้นตามปริมาณชั้นของผ้าขาวม้าที่เพิ่มขึ้น ดังนั้นผ้าขาวม้าที่มีชั้นมากที่สุดส่งผลให้สมบัติ Tensile strength สูงสุด นอกจากนี้ปริมาณของฟิล์มพลาสติกที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้สมบัติ Tensile strength ลดลง ดังนั้นอัตราส่วนระหว่างผ้าขาวม้าต่อแผ่นฟิล์มที่อัตราส่วน 50:50 จึงมีสมบัติ Tensile strength สูงสุด ซึ่งแผ่นคอมโพสิตที่มีชั้นผ้าขาวม้า 7 ชั้น มีอัตราส่วน ผ้าขาวม้า PLA 50:50 มีสมบัติ Tensile strength สูงสุดคือ 54.87 MPa มีค่า Tensile strength เป็นลักษณะเดียวกันกับพลาสติก HDPE PP และ LDPE

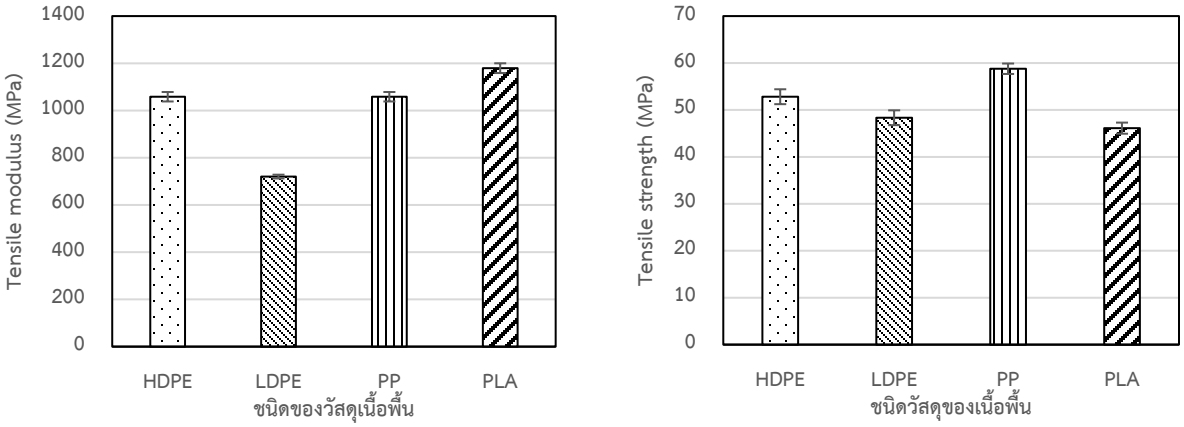


ก) ผลค่า Tensile modulus ข) ผลค่า Tensile strength

รูปที่ 6 ผลการทดสอบแรงดึงของผ้าขาวม้าเสริมแรงใน PLA

ผลการทดสอบแรงดึงของวัสดุเนื้อพื้น HDPE LDPE และ PP ที่มีจำนวนชั้นของผ้าขาวม้า 9 และวัสดุเนื้อพื้น PLA ที่มีจำนวนชั้นของผ้าขาวม้า 7 และมีอัตราส่วนระหว่างผ้าขาวม้าต่อแผ่นฟิล์ม 50:50 ของพลาสติกแต่ละชนิดถูกนำมาเปรียบดังแสดงในรูปที่ 7 ก) พบว่า พลาสติก PP มีค่า Tensile strength สูงสุดที่ 62.96 MPa และในรูปที่ 7 ข) แสดงค่า Tensile modulus ที่มีจำนวนชั้นของผ้าขาวม้า 9 ชั้น และมีอัตราส่วนระหว่างผ้าขาวม้าต่อแผ่นฟิล์ม 50:50 ของพลาสติก พบว่าพลาสติกชนิด PP มีค่า Tensile modulus สูงสุดที่ 1367.4 MPa ซึ่งค่า Tensile modulus มีแนวโน้มลดลงสอดคล้องกับค่า Tensile strength ที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากสมบัติพื้นฐานของวัสดุเนื้อพื้นที่แตกต่างกันจึงส่งผลให้มีค่าที่แตกต่างกัน

วัสดุคอมโพสิต PP จึงมีความน่าสนใจที่จะนำไปใช้ทำเป็นแผ่นตกแต่งภายในอาคารเนื่องจากมีสมบัติทางกลที่สูงที่สุด แต่ในทางกลับกัน PP ยังเป็นวัสดุที่ยังไม่สอบสนองต่อความต้องการด้านการยั่งยืน (Sustainability) มากนัก ถ้าเทียบกับ PLA แล้ว PLA มีความตอบสนองต่อความต้องการแบบยั่งยืนมากกว่า PP ถึงแม้สมบัติในค่า Tensile strength จะต่ำกว่า PP ประมาณ 13 % แต่ค่า Tensile strength สูงกว่า 11.5 % ดังนั้นถ้าพิจารณาด้านการตอบสนองต่อความยั่งยืนทางสิ่งแวดล้อม PLA จึงถูกนำมาพิจารณาเนื่องจากสมบัติการเสื่อมสลายของตัวมันเอง



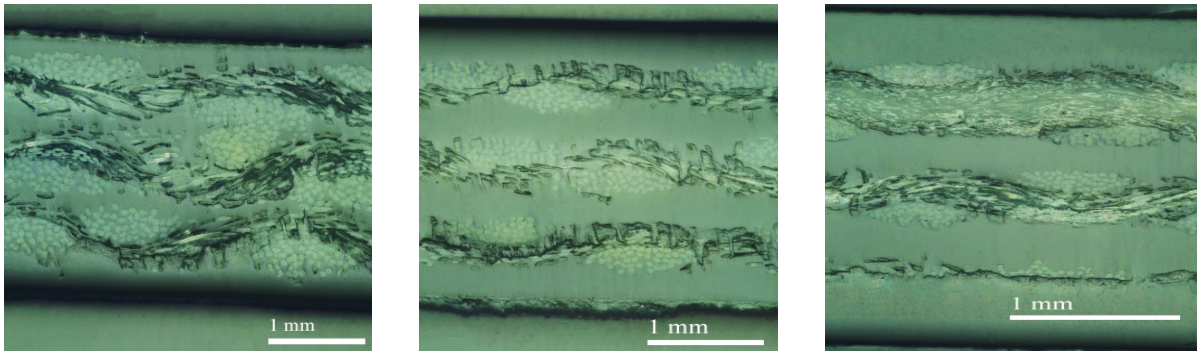
ก) ผลค่า Tensile modulus ข) ผลค่า Tensile strength

รูปที่ 7 ผลการทดสอบแรงดึงของผ้าขาวม้าเสริมแรงในพลาสติกทั้ง 4 ชนิด

3.2 ผลการตรวจสอบโครงสร้างระดับจุลภาค

ในการทดลองเลือกวัสดุคอมโพสิตที่เสริมแรงด้วยผ้าขาวม้าที่มีอัตราส่วนผ้าต่อพลาสติก 50:50 ที่มีจำนวนชั้นของผ้าข้าวม้าที่แตกต่างกัน มาตรวจสอบโครงสร้างระดับจุลภาค เนื่องจากอัตราส่วนนี้ให้สมบัติ Tensile strength สูงที่สุด

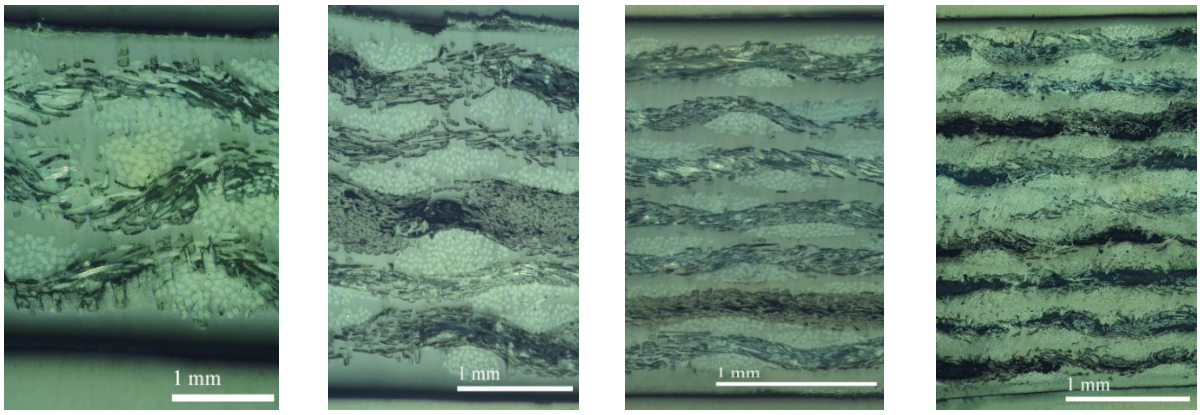
รูปที่ 8 แสดงภาพโครงสร้างระดับจุลภาคของแผ่นคอมโพสิตพลาสติก HDPE ที่มีอัตราส่วนระหว่างผ้าขาวม้าต่อแผ่นฟิล์ม 50:50, 40:60 และ 30:70 จะเห็นได้ว่าจุดสีขาวเล็กๆ คือส่วนที่เป็นเส้นใยจากผ้าขาวม้า ส่วนพื้นที่สีขาวคือพื้นที่ของเรซิน HDPE จากรูปจะเห็นได้ชัดว่าเมื่อเพิ่มอัตราส่วนของ HDPE ระยะห่างระหว่างชั้นของเส้นใยเพิ่มขึ้นดังนั้นเรซินได้เข้าไปเพิ่มพื้นที่ระหว่างชั้นของเส้นใย แต่สมบัติทางกลมีการเปลี่ยนเล็กน้อยเนื่องจากปริมาณเส้นใยเท่าเดิมและถูกกำหนดความหนาที่ทำเดิม นี้จึงเป็นการยืนยันการลดลงของสมบัติทางกลเพียงเล็กน้อย จากภาพโครงสร้างระดับจุลภาคมีความสอดคล้องกับงานวิจัย W. J. B. Grouve and R. Akkerman [24] ซึ่งยืนยันว่าพื้นที่สีขาวนั้นคือพื้นที่ของเรซิน



3L/HDPE-50:50 3L/HDPE-40:60 3L/HDPE-30:70

รูปที่ 8 โครงสร้างระดับจุลภาคของแผ่นคอมโพสิตพลาสติก HDPE ที่มีอัตราส่วนระหว่างผ้าขาวม้าต่อแผ่นฟิล์มที่แตกต่างกัน

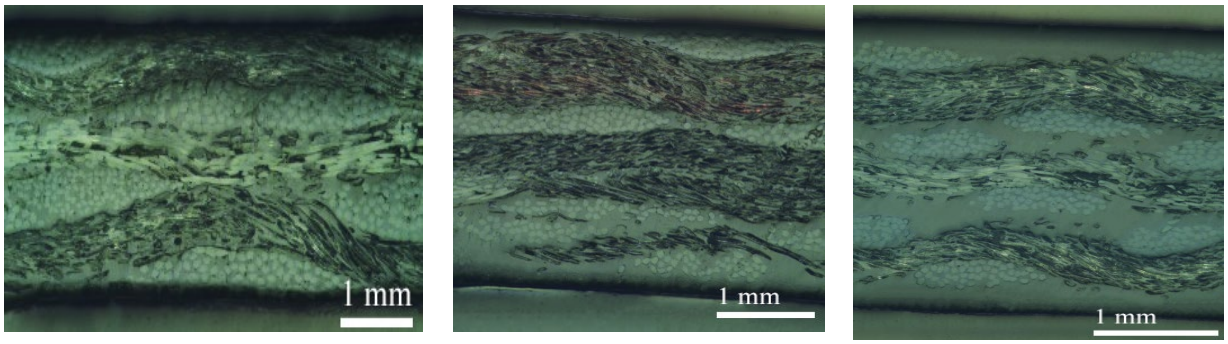
รูปที่ 9 แสดงภาพโครงสร้างระดับจุลภาคของแผ่นคอมโพสิตพลาสติก HDPE ที่มีจำนวนชั้นของผ้าขาวม้าที่ 3, 5, 7 และ 9 ชั้น จะเห็นได้ว่าโครงสร้างของวัสดุคอมโพสิตมีจำนวนของชั้นผ้าขาวม้าเพิ่มขึ้นตามจำนวนของผ้าขาวม้าที่กำหนด นี้จึงเป็นผลยืนยันถึงการเพิ่มขึ้นในค่า Tensile modulus และ Tensile strength เมื่อจำนวนชั้นของผ้านขาวม้าเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ชั้นของผ้าขาวม้ายังมีความเรียบตรงมากขึ้นเมื่อมีจำนวนชั้นที่เพิ่มมากขึ้นเนื่องจากถูกบังคับความหนาที่ 3 mm.



3L/HDPE-50:50 5L/HDPE-40:60 7L/HDPE-50:50 9L/HDPE-40:60

รูปที่ 9 โครงสร้างระดับจุลภาคของแผ่นคอมโพสิตพลาสติก HDPE ที่มีจำนวนชั้นของผ้าขาวม้าที่แตกต่างกัน

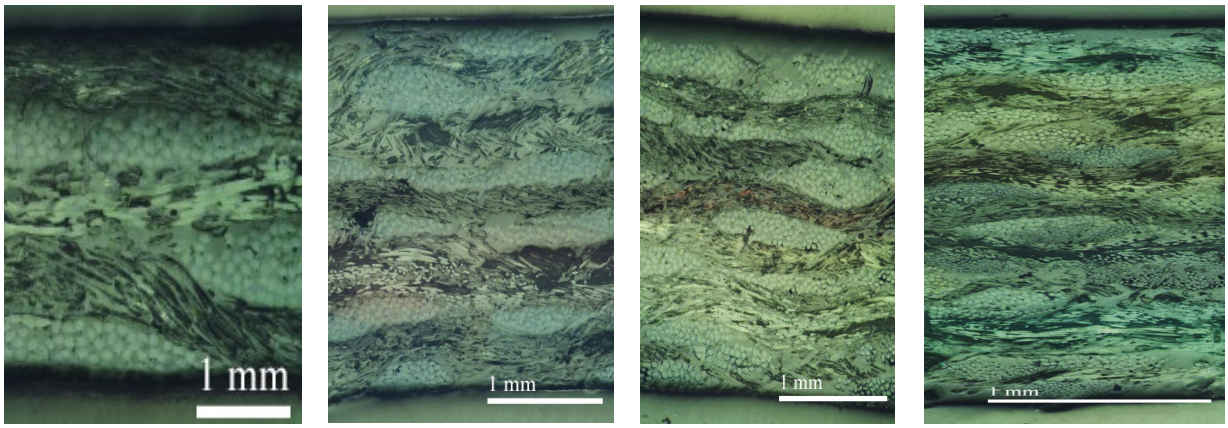
รูปที่ 10 แสดงภาพโครงสร้างระดับจุลภาคของแผ่นคอมโพสิตพลาสติก LDPE ที่มีอัตราส่วนระหว่างผ้าขาวม้าต่อแผ่นฟิล์ม 50:50, 40:60 และ 30:70 จากรูปจะเห็นได้ชัดว่าเมื่อเพิ่มอัตราส่วนของ LDPE ระยะห่างระหว่างชั้นของเส้นใยเพิ่มขึ้น ดังนั้นเรซินได้เข้าไปเพิ่มพื้นที่ระหว่างชั้นของเส้นใย แต่สมบัติทางกลมีการเปลี่ยนเล็กน้อยเนื่องจากปริมาณเส้นใยเท่าเดิมและถูกกำหนดความหนาที่ทำเดิม ซึ่งมีลักษณะเดียวกับวัสดุคอมโพสิต HDPE พื้นที่สีดำกับจุดวงกลมสีขาวเป็นลักษณะของเส้นใยผ้าขาวม้าเช่นเดียวกัน แต่เนื่องจากผ้าขาวม้ามีหลายสีจึงเกิดภาพเป็นสีอื่น



3L/LDPE-50:50 3L/LDPE-40:60 3L/LDPE-30:70

รูปที่ 10 โครงสร้างระดับจุลภาคของแผ่นคอมโพสิตพลาสติก LDPE ที่มีอัตราส่วนระหว่างผ้าขาวม้าต่อแผ่นฟิล์มที่แตกต่างกัน

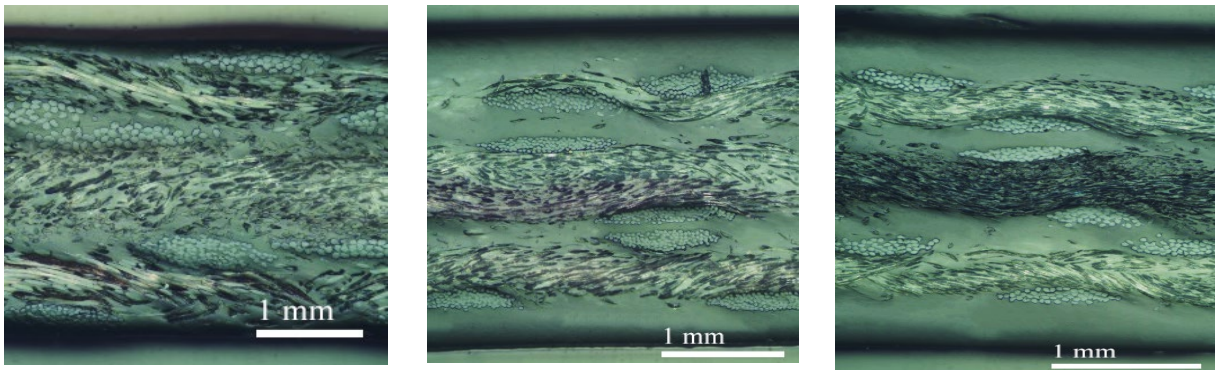
รูปที่ 11 แสดงภาพโครงสร้างระดับจุลภาคของแผ่นคอมโพสิตพลาสติก LDPE ที่มีจำนวนชั้นของผ้าขาวม้าที่ 3, 5, 7 และ 9 ชั้น จะเห็นได้ว่าโครงสร้างของวัสดุคอมโพสิตมีจำนวนของชั้นผ้าขาวม้าเพิ่มขึ้นตามจำนวนของผ้าขาวม้าที่กำหนด นี้จึงเป็นผลยืนยันถึงการเพิ่มขึ้นในค่า Tensile modulus และ Tensile strength เมื่อจำนวนชั้นของผ้านขาวม้าเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ชั้นของผ้าขาวม้ายังมีความเรียบตรงมากขึ้นเมื่อมีจำนวนชั้นที่เพิ่มมากขึ้น ซึ่งมีลักษณะคล้ายกับวัสดุคอมโพสิต HDPE แต่จะมีชั้นของเรซินที่ไม่เป็นระเบียบเท่าอาจเกิดจากความหนืดของวัสดุ



3L/LDPE-50:50 5L/LDPE-50:50 7L/LDPE-50:50 9L/LDPE-50:50

รูปที่ 11 โครงสร้างระดับจุลภาคของแผ่นคอมโพสิตพลาสติก LDPE ที่มีจำนวนชั้นของผ้าขาวม้าที่แตกต่างกัน

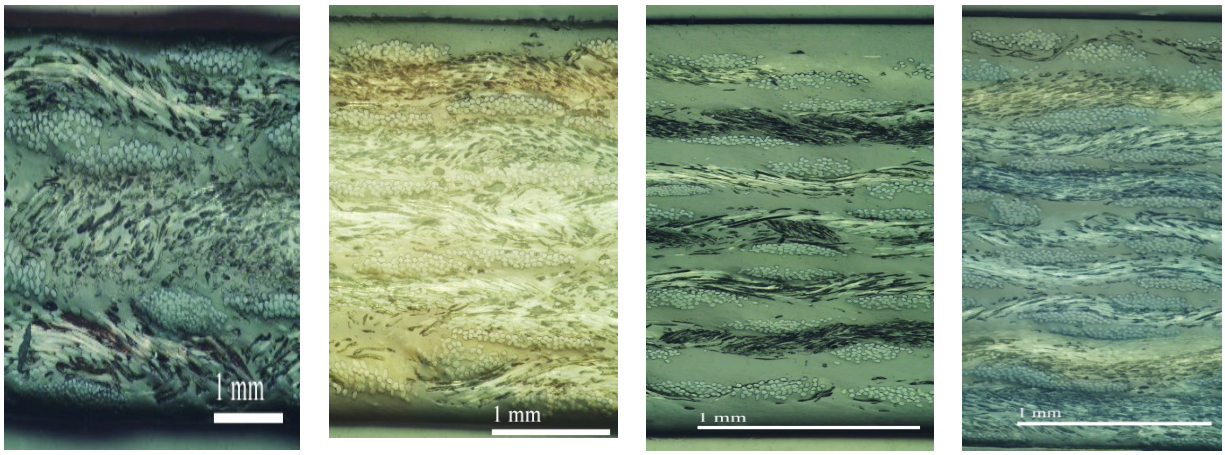
รูปที่ 12 แสดงภาพโครงสร้างระดับจุลภาคของแผ่นคอมโพสิตพลาสติก PP ที่มีอัตราส่วนระหว่างผ้าขาวม้าต่อแผ่นฟิล์ม 50:50, 40:60 และ 30:70 จากรูปจะเห็นได้ชัดว่าเมื่อเพิ่มอัตราส่วนของ PP ระยะห่างระหว่างชั้นของเส้นใยเพิ่มขึ้น ดังนั้นเรซินได้เข้าไปเพิ่มพื้นที่ระหว่างชั้นของเส้นใย แต่สมบัติทางกลมีการเปลี่ยนเล็กน้อยเนื่องจากปริมาณเส้นใยเท่าเดิมและถูกกำหนดความหนาที่เท่าเดิม ซึ่งมีลักษณะเดียวกับวัสดุคอมโพสิต HDPE และ LDPE



3L/PP-50:50 3L/PP-40:60 3L/PP-30:70

รูปที่ 12 โครงสร้างระดับจุลภาคของแผ่นคอมโพสิตพลาสติก PP ที่มีอัตราส่วนระหว่างผ้าขาวม้าต่อแผ่นฟิล์มที่แตกต่างกัน

รูปที่ 13 แสดงภาพโครงสร้างระดับจุลภาคของแผ่นคอมโพสิตพลาสติก PP ที่มีจำนวนชั้นของผ้าขาวม้าที่ 3, 5, 7 และ 9 ชั้น จะเห็นได้ว่าโครงสร้างของวัสดุคอมโพสิตมีจำนวนของชั้นผ้าขาวม้าเพิ่มขึ้นตามจำนวนของผ้าขาวม้าที่กำหนด นี้จึงเป็นผลยืนยันถึงการเพิ่มขึ้นในค่า Tensile modulus และ Tensile strength เมื่อจำนวนชั้นของผ้านขาวม้าเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ชั้นของผ้าขาวม้ายังมีความเรียบตรงมากขึ้นเมื่อมีจำนวนชั้นที่เพิ่มมากขึ้น ซึ่งมีลักษณะคล้ายกับวัสดุคอมโพสิต HDPE และ LDPE

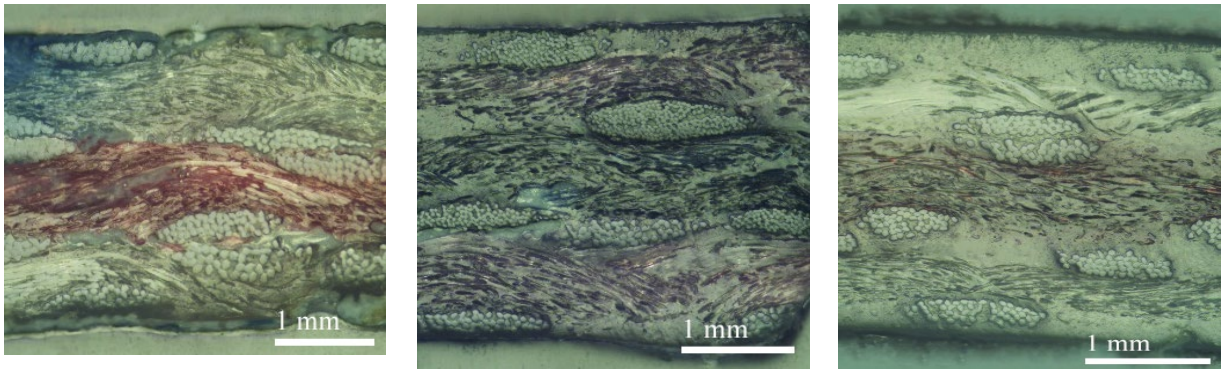


3L/PP-50:50 5L/PP-50:50 7L/PP-50:50 9L/PP-50:50

รูปที่ 13 ภาพสัณฐานวิทยาของแผ่นคอมโพสิตพลาสติก PP ที่มีผ้าขาวม้า 9 ชั้น มีอัตราส่วนระหว่างผ้าขาวม้าต่อแผ่นฟิล์ม 50:50

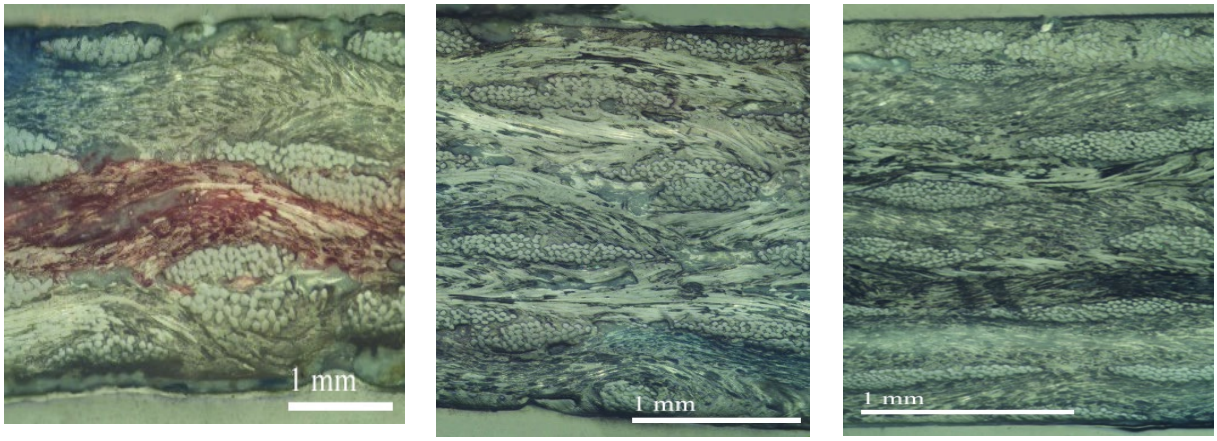
รูปที่ 14 แสดงภาพโครงสร้างระดับจุลภาคของแผ่นคอมโพสิตพลาสติก PLA ที่มีอัตราส่วนระหว่างผ้าขาวม้าต่อแผ่นฟิล์ม 50:50, 40:60 และ 30:70 จากรูปจะเห็นได้ชัดว่าเมื่อเพิ่มอัตราส่วนของ PLA ระยะห่างระหว่างชั้นของเส้นใยเพิ่มขึ้นดังนั้นเรซินได้

เข้าไปเพิ่มพื้นที่ระหว่างชั้นของเส้นใย แต่สมบัติทางกลมีการเปลี่ยนเล็กน้อยเนื่องจากปริมาณเส้นใยเท่าเดิมและถูกกำหนดความหนาที่ทำเดิม ซึ่งมีลักษณะเดียวกับวัสดุคอมโพสิต HDPE, LDPE และ PP



3L/PLA-50:50 3L/PLA-40:60 3L/PLA-30:70

รูปที่ 14 โครงสร้างระดับจุลภาคของแผ่นคอมโพสิตพลาสติก PLA ที่มีอัตราส่วนระหว่างผ้าขาวม้าต่อแผ่นฟิล์มที่แตกต่างกัน



3L/PLA-50:50 5L/PLA-50:50 7L/PLA-50:50

รูปที่ 15 ภาพสัณฐานวิทยาของแผ่นคอมโพสิตพลาสติก PLA ที่มีผ้าขาวม้า 9 ชั้น มีอัตราส่วนระหว่างผ้าขาวม้าต่อแผ่นฟิล์ม 50:50

รูปที่ 15 แสดงภาพโครงสร้างระดับจุลภาคของแผ่นคอมโพสิตพลาสติก PLA ที่มีจำนวนชั้นของผ้าขาวม้าที่ 3, 5, 7 และ 9 ชั้น จะเห็นได้ว่าโครงสร้างของวัสดุคอมโพสิตมีจำนวนของชั้นผ้าขาวม้าเพิ่มขึ้นตามจำนวนของผ้าขาวม้าที่กำหนด นี้จึงเป็นผลยืนยันถึงการเพิ่มขึ้นในค่า Tensile modulus และ Tensile strength เมื่อจำนวนชั้นของผ้าขาวม้าเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ชั้นของผ้าขาวม้ายังมีความเรียบตรงมากขึ้นเมื่อมีจำนวนชั้นที่เพิ่มมากขึ้น ซึ่งมีลักษณะคล้ายกับวัสดุคอมโพสิต HDPE, LDPE และ PP

โครงสร้างระดับจุลภาคของวัสดุคอมโพสิตทั้ง 4 ชนิด มีลักษณะคล้ายกันแต่ไม่สามารถใช้อธิบายความแตกต่างของค่าความแข็งแรงในแต่ละชนิดได้เนื่องจากสมบัติพื้นฐานของวัสดุเนื้อพื้น HDPE LDPE PP และ PLA แตกต่างกัน อย่างไรก็ตามสามารถอธิบายความแตกต่างของความแข็งแรงได้โดยโครงสร้างพื้นฐานทางเคมีที่แตกต่างกันของพลาสติกชนิด HDPE LDPE PP และ PLA [25]

ผลการทดสอบสมบัติทางกลของ PP และ PLA ถูกเลือกนำมาตรวจสอบการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One-way analysis of variance: ANOVA) เพื่อตรวจสอบว่าจำนวนชั้นของการเสริมแรงด้วยผืนผ้าขาวม้าส่งผลต่อสมบัติทางกลของวัสดุคอมโพสิตจริงหรือไม่ ตารางที่ 1-2 แสดงผลการตรวจสอบ One-way ANOVA ของค่า Tensile modulus และ Tensile strength ของแผ่นคอมโพสิตพลาสติก PP ที่เสริมแรงด้วยผืนผ้าขาวม้าที่แตกต่างกัน โดยกำหนดระดับนัยสำคัญ (Significant level) ที่ 5 % หรือ 0.05 ซึ่งกำหนด Hypothesis test H_0 = จำนวนชั้นของผืนผ้าขาวม้ามีผลการทดสอบแรงดึงไม่แตกต่างกัน, H_1 = จำนวนชั้นของผืนผ้าขาวม้าอย่างน้อย 1 ชั้นมีผลการทดสอบแรงดึงแตกต่างกัน จากผลการทดลองพบว่าค่า P-value ทั้งการตรวจสอบค่า Tensile modulus และ Tensile strength มีค่าใกล้เคียงกับ 0 ดังนั้นจึงปฏิเสธ H_0 เนื่องจากมีค่า P-value ต่ำกว่าค่า Significant level หมายความว่า จำนวนชั้นของผืนผ้าขาวม้าอย่างน้อย 1 ชั้นมีผลการทดสอบแรงดึงแตกต่างกัน หมายความว่าจำนวนชั้นของแผ่นผ้าขาวม้าส่งผลต่อสมบัติทางกลของแผ่นคอมโพสิตพลาสติก PP (Tensile modulus และ Tensile strength) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ตารางที่ 3-4 แสดงผลการตรวจสอบ One-way ANOVA ของค่า Tensile modulus และ Tensile strength ของแผ่นคอมโพสิตพลาสติก PLA พบว่าค่า P-value ทั้งการตรวจสอบค่า Tensile modulus และ Tensile strength มีค่าใกล้เคียงกับ 0 ดังนั้นจึงปฏิเสธ H_0 เนื่องจากมีค่า P-value ต่ำกว่า ค่า Significant level หมายความว่า จำนวนชั้นของผืนผ้าขาวม้าอย่างน้อย 1 ชั้นมีผลการทดสอบแรงดึงแตกต่างกัน หมายความว่า จำนวนชั้นของแผ่นผ้าขาวม้าส่งผลต่อสมบัติทางกลของแผ่นคอมโพสิตพลาสติก PLA (Tensile modulus และ Tensile strength) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางที่ 1 ผลการตรวจสอบ One-way ANOVA ของค่า Tensile modulus ของแผ่นคอมโพสิตพลาสติก PP

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-value
Number of Loincloth layer	3	42261	14087.1	23.97	0.000
Error	16	9402	587.7		
Total	19	51664			

ตารางที่ 2 ผลการตรวจสอบ One-way ANOVA ของค่า Tensile strength ของแผ่นคอมโพสิตพลาสติก PP

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-value
Number of Loincloth layer	3	887.19	295.731	145.36	0.000
Error	16	32.55	2.035		
Total	19	919.75			

ตารางที่ 3 ผลการตรวจสอบ One-way ANOVA ของค่า Tensile modulus ของแผ่นคอมโพสิตพลาสติก PLA

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-value
Number of Loincloth layer	2	64283	32141.4	32.25	0.000
Error	12	11959	996.6		
Total	14	76242			

ตารางที่ 4 ผลการตรวจสอบ One-way ANOVA ของค่า Tensile strength ของแผ่นคอมโพสิตพลาสติก PLA

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-value
Number of Loincloth layer	2	59.22	29.611	16.88	0.000
Error	12	21.05	1.754		
Total	14	80.27			

4. สรุปผลการทดลอง

ในการทดลองทดลองอัดแผ่นคอมโพสิตจากพลาสติก 4 ชนิดโดยมีผ้าขาวม้าเป็นวัสดุเสริมแรง พบว่าโครงสร้างของวัสดุคอมโพสิตที่ได้ทำการออกแบบสามารถอัดขึ้นรูปได้ทุกโครงสร้าง แผ่นคอมโพสิตที่ได้ถูกนำไปทดสอบสมบัติแรงดึงและตรวจสอบโครงสร้าง จากผลการทดลองสรุปได้ว่าจำนวนชั้นของผ้าขาวม้าที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้สมบัติแรงดึงเพิ่มขึ้นตาม ปริมาณของเทอร์โมพลาสติกที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้สมบัติแรงดึงลดลง เนื่องจากมีปริมาณของเรซินหรือเทอร์โมพลาสติกเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ผลการตรวจสอบโครงสร้างวัสดุเป็นการยืนยันถึงพื้นที่สีขาวหรือพื้นที่เรซินที่เพิ่มขึ้นจะส่งผลให้สมบัติแรงดึงลดลง ในส่วนของเทอร์โมพลาสติกที่แตกต่างกันพบว่า PP มีสมบัติแรงดึงที่สูงที่สุด เนื่องจากสมบัติพื้นฐานของตัวมันเอง ดังนั้นโครงสร้างวัสดุที่มีผ้าขาวม้า 9 ชั้น และมีอัตราส่วนผ้าขาวม้าและเทอร์โมพลาสติก 50:50 wt% มีสมบัติทางกลดีที่สุด แต่เนื่องด้วยวัสดุเนื้อพื้น PP ยังไม่ตอบสนองต่อความยั่งยืน PLA จึงถูกนำมาพิจารณาเนื่องด้วยสมบัติการย่อยสลายได้ที่ตอบสนองต่อความยั่งยืนในด้านสิ่งแวดล้อม และมีค่า Tensile strength ต่ำกว่า PP เพียงแค่ 13 % แต่มีค่า Tensile modulus ที่สูงกว่า 11.5 % ดังนั้น PLA จึงถูกนำมาพิจารณาในการทำแผ่นคอมโพสิตสำหรับงานตกแต่งภายในอาคารเพื่อตอบสนองความยั่งยืนในอนาคต ในทางกลับกัน PP ถูกนำมาพิจารณาในการทำแผ่นแผ่นคอมโพสิตสำหรับงานตกแต่งภายในอาคารเพื่อตอบสนองทางด้านราคาต้นทุนต่ำ

4. กิติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี และเจ้าหน้าที่ ที่อำนวยความสะดวกในการใช้เครื่องมือขึ้นรูป เครื่องมือทดสอบต่าง ๆ

5. เอกสารอ้างอิง

[1] Department of Marine and Coastal Resources, “Plastic Waste, A National Problem” https://www.thaipost.net/main/detail/17790. (accessed 12/10, 2024). (in Thai)

[2] A. K. Trivedi, M. K. Gupta, and H. Singh, “PLA based biocomposites for sustainable products: A review,” *Advanced Industrial and Engineering Polymer Research,* vol. 6, no. 4, pp. 382-395, 2023/10/01/ 2023, doi: https://doi.org/10.1016/j.aiepr.2023.02.002.

[3] N. Shekhar and A. Mondal, “Synthesis, properties, environmental degradation, processing, and applications of Polylactic Acid (PLA): an overview,” *Polymer Bulletin,* vol. 81, no. 13, pp. 11421-11457, 2024/08/01 2024, doi: 10.1007/s00289-024-05252-7.

[4] S. Farah, D. G. Anderson, and R. Langer, “Physical and mechanical properties of PLA, and their functions in widespread applications — A comprehensive review,” *Advanced Drug Delivery Reviews,* vol. 107, pp. 367-392, 2016/12/15/ 2016, doi: https://doi.org/10.1016/j.addr.2016.06.012.

[5] "Natural Fiber Fabrics and Synthetic Polyester Fiber Fabrics, Which Fabric Should I Choose?" https://www.jongstit.com/th/blog/. (accessed 12/10, 2024). (in Thai)

[6] "5 - Cotton reinforced polymer composites," in *Tribology of Natural Fiber Polymer Composites*, N. Chand and M. Fahim Eds.: Woodhead Publishing, 2008, pp. 129-161.

[7] Z. Zupin and K. Dimitrovski, "Mechanical Properties of Fabrics Made from Cotton and Biodegradable Yarns Bamboo, SPF, PLA in Weft," 2010.

[8] B. Wankhede, H. Bisaria, S. Ojha, and V. S. Dakre, "A review on cotton fibre-reinforced polymer composites and their applications," *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part L: Journal of Materials: Design and Applications,* vol. 237, no. 6, pp. 1347-1362, 2023, doi: 10.1177/14644207221143876.

[9] A. Kushwaha, K. Chaudhary, and C. Prakash, "A study on the mechanical properties of pineapple, bamboo, and cotton woven fabrics," *Biomass Conversion and Biorefinery,* vol. 14, no. 14, pp. 16307-16318, 2024/07/01 2024, doi: 10.1007/s13399-023-03841-6.

[10] P. Kiss, W. Stadlbauer, C. Burgstaller, and V.-M. Archodoulaki, "Development of high-performance glass fibre-polypropylene composite laminates: Effect of fibre sizing type and coupling agent concentration on mechanical properties," *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing,* vol. 138, p. 106056, 2020/11/01/ 2020, doi: https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2020.106056.

[11] E. Ferede, G. Gebru, T. Worku, T. Jambo, D. Atalie, and W. Zerefa, "Production and Characterization of Recycled Polypropylene Composite Reinforced with Cotton Fabric Waste," *Journal of Engineering,* vol. 2024, pp. 1-13, 05/18 2024, doi: https://10.1155/2024/9247702.

[12] P. Sadrolodabaee, J. Claramunt, M. Ardanuy, and A. d. l. Fuente, "Characterization of a textile waste nonwoven fabric reinforced cement composite for non-structural building components," *Construction and Building Materials,* vol. 276, p. 122179, 2021/03/22/ 2021, doi: https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.122179.

[13] S. Radoor, J. Karayil, J. M. Shivanna, A. Jayakumar, J. Parameswaranpillai, and S. Siengchin, "Chapter 17 - Cotton fibers, their composites and applications," in *Plant Fibers, their Composites, and Applications*, S. Mavinkere Rangappa, J. Parameswaranpillai, S. Siengchin, T. Ozbakkaloglu, and H. Wang Eds.: Woodhead Publishing, 2022, pp. 379-390.

[14] S. Ramprasad, M. Venkata Ramana, and M. Manzoor Hussain, "Investigation on cotton dust-reinforced epoxy composites," *Materials Today: Proceedings,* 2023/03/04/ 2023, doi: https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.02.230.

[15] B. Wankhede, V. Dakre, D. Bodhankar, and A. Kamble, "Evaluation of Performance of Cotton Fiber Reinforced Epoxy Composites," *Journal of Physics: Conference Series,* vol. 2763, p. 012008, 05/01 2024, doi: 10.1088/1742-6596/2763/1/012008.

[16] J. F. d. B. Diniz *et al.*, "Drying of sisal fibers in oven with forced air circulation: An experimental study," *Research, Society and Development,* vol. 9, no. 10, p. e8639109342, 10/23 2020, doi: 10.33448/rsd-v9i10.9342.

[17] P. K. Mallick, *Fiber-Reinforced Composites: Materials, Manufacturing, and Design, Third Edition*. CRC Press, 2007.

[18] S. Wanida, "Study of Mechanical Properties of Polypropylene Composite Materials Reinforced with Duck Feathers, Chicken Feathers and Dog Feathers," *Rajamangala University of Technology Thanyaburi. Faculty of Engineering. Department of Materials Engineering,* Rajamangala University of Technology Thanyaburi, 2017.

[19] A. International, "ASTM D3039/D3039M-00 (2000) Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials," 2000.

[20] N. I. S. Anuar, S. Zakaria, S. Gan, C.-h. Chia, C. Wang, and J. Harun, "Comparison of the morphological and mechanical properties of oil Palm EFB fibres and kenaf fibres in nonwoven reinforced composites," *Industrial Crops and Products,* vol. 127, pp. 55-65, 01/01 2019, doi: 10.1016/j.indcrop.2018.09.056.

[21] P. S. Latha, M. V. Rao, V. K. Kumar, G. Raghavendra, S. Ojha, and R. inala, "Evaluation of mechanical and tribological properties of bamboo–glass hybrid fiber reinforced polymer composite," *Journal of Industrial Textiles,* vol. 46, no. 1, pp. 3-18, 2016, doi: https://10.1177/1528083715569376.

[22] J. L. Jordan, D. T. Casem, J. M. Bradley, A. K. Dwivedi, E. N. Brown, and C. W. Jordan, "Mechanical Properties of Low Density Polyethylene," *Journal of Dynamic Behavior of Materials,* vol. 2, no. 4, pp. 411-420, 2016/12/01 2016, doi: 10.1007/s40870-016-0076-0.

[23] S. Salih, A. a. Hamood, and A. Abd Alsalam, "Comparison of the characteristics of LDPE: PP and HDPE: PP polymer blends," *Modern Applied Science,* vol. 7, pp. 33-42, 02/22 2013, doi: 10.5539/mas.v7n3p33.

[24] W. Grouve and R. Akkerman, "Consolidation process model for film stacking glass/PPS laminates," *Plastics, Rubber and Composites,* vol. 39, 06/01 2010, doi: https://10.1179/174328910X12647080902457.

[25] S. Krause, "Polymer Chemistry: An Introduction, 3rd Edition (Stevens, Malcolm P.)," *Journal of Chemical Education,* vol. 77, no. 1, p. 35, 2000/01/01 2000, doi: 10.1021/ed077p35.