



วารสารวิศวกรรมศาสตร์และนวัตกรรม Journal of Engineering and Innovation

บทความวิจัย

ผลกระทบของสภาวะการเตรียมผ้าไม่ถักไม่ทอ ที่มีผลต่อสมบัติเชิงกลของพอลิแล็กติกแอซิดจากกระบวนการฉีดขึ้นรูปแบบแทรกสิ่งทอ

Effect of non-woven fabric preparation conditions affecting the mechanical properties of Polylactic Acid (PLA) from textile insert injection molding

จิตาภา กรมสุริยศักดิ์ นิชนันท์ พานสร้อย กุลวดี สังข์สนธิ ณรงค์ชัย โอเจริญ*

ภาควิชาวิศวกรรมวัสดุและโลหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 12110

Jidapa Kromsuriyasak Nichanan Phansroy Kullawadee Sungsanit Narongchai O-Charoen*

Department of Materials and Metallurgical Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi Pathumthani 12110

* Corresponding author.

E-mail: narongchai.o@en.rmutt.ac.th; Telephone: 091-775 8757

วันที่รับบทความ 11 กรกฎาคม 2565; วันที่แก้ไขบทความ ครั้งที่ 1 13 ตุลาคม 2565; วันที่แก้ไขบทความ ครั้งที่ 2 14 พฤศจิกายน 2565

วันที่ตอบรับบทความ 20 ธันวาคม 2565

บทคัดย่อ

บทความนี้มุ่งเน้นถึงแนวทางในการศึกษา ปรับปรุงและพัฒนาวัสดุที่มีความสามารถในการย่อยสลายได้ทางชีวภาพ โดยการศึกษาจะมุ่งเน้นถึงกระบวนการฉีดขึ้นรูปแบบแทรกสิ่งทอ (Insert injection molding) ซึ่งจะมีพอลิเมอร์หลอมเหลวเป็นเนื้อพอลิเมอร์หลัก แล้วทำการแทรกผ้าไม่ถักไม่ทอเข้าไปภายในแม่พิมพ์ฉีด (Cavity) จากนั้นจึงทำการฉีดขึ้นรูปเป็นพอลิเมอร์เชิงประกอบ ซึ่งพอลิเมอร์ที่นำมาใช้ในกระบวนการเป็นพอลิแล็กติกแอซิด (Polylactic acid, PLA) ทั้งพอลิเมอร์หลักและผ้าไม่ถักไม่ทอ ซึ่งผ้าไม่ถักไม่ทอนี้จะถูกใช้เป็นตัวเสริมแรงในกระบวนการ ขึ้นงานที่ได้จึงมีลักษณะเป็นพอลิเมอร์เชิงประกอบเสริมแรงด้วยผ้าไม่ถักไม่ทอ โดยนำมาศึกษาสมบัติทางสัณฐานวิทยา สมบัติทางกล พบว่าพอลิเมอร์ที่เสริมแรงด้วยผ้าไม่ถักไม่ทอ ที่สภาวะการเตรียมผ้าไม่ถักไม่ทอที่ความเร็วรอบในการอัดรีด 14 rpm แรงดันหัวพ่นเส้นใย 20 psi มีสมบัติความแข็งแรงต่อแรงดึง ความแข็งแรงของการยึดติดแบบดิ่งลอก และความแข็งแรงดัดแบบ 3 จุด ดีที่สุด คือ 53.53, 11.53, 50.89 MPa ตามลำดับ เมื่อเทียบกับพอลิแล็กติกแอซิดที่ไม่มีการเสริมแรงด้วยผ้าไม่ถักไม่ทอ

คำสำคัญ

พอลิแล็กติกแอซิด พอลิเมอร์เชิงประกอบ กระบวนการฉีดขึ้นรูปแบบแทรกสิ่งทอ วัสดุย่อยสลายได้ทางชีวภาพ

Abstract

In this research, the focus will be on the improvement and development of biodegradable materials. The study has observed the insert injection molding process in which the matrix in the molten polymer and inserted non-woven fabric into the cavity. Poly (lactic acid) (PLA) has been used to be the polymer matrix and non-woven fabric as a reinforcement in the process. Accordingly, the specimens are the composite PLA that was reinforced with and without nonwoven fabric. Moreover, study the morphological properties, mechanical properties. As a result, it was found that the reinforced PLAs with non-woven fabric. Non-woven fabric preparation conditions at the melt pump 14 rpm drawing jet pressure 20 psi, tensile strength properties peel strength and the 3-point flexural strength were the best, which were 53.53, 11.53, 50.89 MPa, respectively. when compared to polymer composite without non-woven fabric.

Keywords

Poly lactic acid (PLA); polymer composite; textile insert injection molding process; biodegradable

1. บทนำ

ในปัจจุบันพบว่าปัญหาทางด้านมลพิษทางสิ่งแวดล้อมเป็นปัญหาที่ทั่วโลกให้ความสำคัญอย่างมาก ทั้งปัญหามลพิษทางน้ำ ปัญหามลพิษทางอากาศ ซึ่งปัญหาเหล่านี้ได้ส่งผลให้มีการคิดค้นพัฒนาการและปรับปรุงวัสดุด้วยเทคนิคต่างๆ เพื่อลดปัญหามลพิษดังกล่าว และเนื่องจากแหล่งปิโตรเลียมสำรองที่มีอยู่นั้นได้ลดน้อยลงอย่างรวดเร็ว การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมอย่างครอบคลุม และผลิตภัณฑ์เหล่านี้ไม่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ นั้นจึงได้กระตุ้นให้นักวิจัยสำรวจวัสดุใหม่ที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ หมุนเวียนได้ และรีไซเคิลได้ [1] เพื่อลดปัญหาที่ส่งผลกระทบต่อธรรมชาติ และสิ่งแวดล้อม จึงมีแนวคิดในการปรับปรุงและพัฒนาพลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ นั้นเป็นที่น่าสนใจเป็นอย่างมากต่อปัญหามลพิษ และการสะสมขยะของเสีย ซึ่งปัจจุบันกำลังเป็นวัสดุที่มีแนวโน้มและเป็นที่นิยมนั้นเป็นอย่างมาก ซึ่งนั่นก็คือ พอลิแลคติกแอซิด (Polylactic acid, PLA) [2] ซึ่งถือว่าเป็นทางเลือกที่ยั่งยืนสำหรับผลิตภัณฑ์ที่ได้จากแหล่งปิโตรเคมีและเป็นอีกทางเลือกที่เป็นไปได้ในการทดแทนพลาสติกสังเคราะห์ที่ได้จากการปิโตรเลียม เนื่องจากแลคไทด์ (lactide) ที่ได้นั้นผลิตได้จากการหมักจุลินทรีย์และสามารถสกัดแบ่งมาจากพืชได้ทางการเกษตรส่วนใหญ่ เช่น ข้าวสาลี ข้าวโพด มันสำปะหลัง และอ้อย นั้นส่วนแต่เป็นสารที่อุดมไปด้วยแป้ง หรือคาร์โบไฮเดรต ด้วยจุลินทรีย์เกิดเป็นกรดแลคติก (Lactic acid : $C_3H_6O_3$) ซึ่งมีกรรมวิธีคล้ายกับการหมักเบียร์ จากนั้นนำกรดแลคติกที่ได้มาเปลี่ยนโครงสร้างให้เป็น แลคไทด์ (Lactide) แล้วนำมากลั่นในระบบสุญญากาศเพื่อเปลี่ยนโครงสร้างเป็นพอลิแลคติกแอซิด (Polylactic acid, PLA) [3] โดยเม็ดพอลิเมอร์ที่ได้หลังจากการผลิตนั้นจะมีความใส สามารถถ่ายเทความชื้นและความร้อนได้ดี มีความแข็งแรงมาก มีความแข็งแรงทางกลที่ดี นอกจากนี้การประเมินวัฏจักรชีวิตของ PLA ระบุว่าต้องใช้พลังงานฟอสซิลเรซินเกือบหนึ่งในสิบเท่า เมื่อเปรียบเทียบกับพอลิเมอร์สังเคราะห์ [4-7] อีกทั้งยังเหมาะสมกับการขึ้นรูปด้วย

กระบวนการต่าง ๆ ทั้งกระบวนการอัดรีดเส้นใย กระบวนการฉีดขึ้นรูป และยังสามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ

พอลิเมอร์เชิงประกอบ (Polymer Composite) [8] คือวัสดุที่ประกอบด้วยองค์ประกอบสองส่วน (หรือมากกว่า) ที่แตกต่างกัน ส่วนแรกคือส่วนที่เสริมแรง นั้นเป็นส่วนที่เป็นโครงสร้างที่ให้ความแข็งแรงแก่พอลิเมอร์เชิงประกอบ วัสดุที่เป็นส่วนเสริมแรงจะต้องมีความแข็งแรงและมีโมดูลัสสูง ซึ่งทำหน้าที่เป็นส่วนที่รับแรงหลัก (Principle load-carrying members) ของพอลิเมอร์เชิงประกอบ ส่วนที่สองคือเมทริกซ์ (Matrix) เป็นวัสดุที่ทำหน้าที่ยึดส่วนเสริมแรงเข้าด้วยกันให้อยู่ในตำแหน่งและเรียงตัวตามกำหนด โดยจะล้อมรอบและปกป้องส่วนเสริมแรงจากการเสียหายเนื่องจากสิ่งแวดล้อม เช่น อุณหภูมิ ความชื้น เป็นต้นซึ่งตัวเมทริกซ์มีความแข็งแรงและโมดูลัสน้อยกว่าส่วนเสริมแรง เมทริกซ์เป็นองค์ประกอบที่มีความต่อเนื่อง (Continuous phase) จะทำหน้าที่เป็นตัวกลางถ่ายเทแรงที่ได้รับ (Load transfer medium) ไปสู่ส่วนเสริมแรง ซึ่งพอลิเมอร์เชิงประกอบถือเป็นวัสดุที่นิยมและมีการใช้มากในปัจจุบัน พอลิเมอร์เชิงประกอบจัดเป็นวัสดุวิศวกรรม (Engineering materials) ที่สำคัญอีกชนิดหนึ่งปัจจุบันมีการใช้พอลิเมอร์เชิงประกอบเป็นวัสดุโครงสร้างและรับแรงสำหรับงานวิศวกรรม เช่น ใช้เป็นส่วนประกอบของเครื่องบิน รถยนต์ เรือ เฟอร์นิเจอร์ อุปกรณ์กีฬา เป็นต้น ทั้งนี้เนื่องจากพอลิเมอร์เชิงประกอบมีคุณสมบัติหลายประการที่สำคัญที่สุดคือ มีความแข็งแรงสูง แต่มีน้ำหนักเบา เมื่อเทียบกับวัสดุอื่น ๆ เช่น โลหะ หรือเซรามิกส์ ดังนั้นพอลิเมอร์เชิงประกอบจึงมีความแข็งแรงจำเพาะ (Specific strength) สูง ดังนั้นเมื่อใช้พอลิเมอร์เชิงประกอบในส่วนโครงสร้าง เช่น ยานพาหนะ จะทำให้วัสดุมีความแข็งแรงสูงแต่น้ำหนักเบาเคลื่อนที่ได้เร็วขึ้น มีประสิทธิภาพและประหยัดพลังงานมากขึ้น นอกจากนี้พอลิเมอร์เชิงประกอบได้ถูกนำมาใช้ และเป็นที่รู้จักกันอย่างแพร่หลาย ซึ่งมีข้อดีหลายประการ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการรวมกันของคุณสมบัติของพอลิเมอร์ที่แตกต่างกัน 2 ชนิด หรือมากกว่านั้น ซึ่งนั้นจะส่งผลทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณสมบัติในด้านต่าง ๆ ที่โดดเด่นมากขึ้น

เมื่อเทียบกับพอลิเมอร์ชนิดเดียว และข้อจำกัดอีกประการหนึ่งของพอลิเมอร์เชิงประกอบที่มีส่วนประกอบที่แตกต่างกันทำให้การนำกลับมาใช้ใหม่และการรีไซเคิลเป็นไปได้ค่อนข้างยาก

งานวิจัยนี้จึงได้มีการศึกษาพอลิเมอร์เชิงประกอบชีวภาพที่ทำจากวัสดุที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพทั้งตัวเมทริกซ์หลักและตัวที่ใช้เสริมแรงเป็นวัสดุชนิดเดียวกัน [9] จึงทำให้ส่งผลต่อการนำกลับมารีไซเคิลหรือการนำกลับมาใช้ใหม่และการย่อยสลายทางชีวภาพ อีกทั้งเมื่อเปรียบเทียบกับพอลิเมอร์เชิงประกอบแบบสังเคราะห์จากปิโตรเลียมทั่วไปแล้วพบว่าการใช้พอลิเมอร์เชิงประกอบชีวภาพนั้นมีประโยชน์เฉพาะตัว เช่น ความสามารถในการรีไซเคิล การหมุนเวียนและความสามารถในการย่อยสลายได้ทางชีวภาพ [10-12] และยังมีข้อดีที่เกี่ยวกับพอลิเมอร์เชิงประกอบที่เสริมแรงด้วยตนเองว่ามีประสิทธิภาพทางกลที่ดีขึ้น เนื่องจากการยึดเกาะที่ส่วนเสริมแรงและเมทริกซ์ที่เพิ่มขึ้นเพราะวัสดุที่ใช้เป็นชนิดเดียวกัน ซึ่งกระบวนการที่เราจะใช้ในการศึกษาครั้งนี้ ใช้โดยเทคนิคการฉีดแบบแทรกสิ่งทอ (Textile Insert Injection Molding) [13,14] ซึ่งกระบวนการฉีดขึ้นรูปนี้มีความสามารถผลิตผลิตภัณฑ์ที่มีความเป็นมิติ ซึ่งการฉีดแบบแทรกสิ่งทอสามารถผลิตชิ้นส่วนต่างๆในอุปกรณ์ยานยนต์ อุปกรณ์ทางการแพทย์ สินค้าอุปโภคบริโภค โดยทั่วไปการใช้เทคนิคนี้จะสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ทั้งสององค์ประกอบและยังช่วยลดการใช้กาและค่าประกอบได้ [15] เทคนิคการฉีดแบบแทรกสิ่งทอนี้จะเป็นการฉีดจะแทรกผ้าเข้าไป โดยแม่พิมพ์จะเริ่มเปิดเพียงบางส่วนก่อนที่จะทำการฉีดเรซิน เมื่อฉีดเรซินเข้าไป แม่พิมพ์จะถูกปิดเมื่อความดันและความเร็วในการอัดกับการแทรกตัวของผ้าเต็มที่ ในกรณีผ้าจะปรากฏบนพื้นผิวแม่พิมพ์ ในกระบวนการผลิตนี้สามารถผลิตได้แบบอัตโนมัติและมีประโยชน์ในงานผลิตที่สามารถใช้งานแบบแทรกผ้าเส้นใยธรรมชาติจากด้านนอกหรือด้านในของแม่พิมพ์ได้ [16,17] จะได้รูปลักษณะของชิ้นงานที่ออกมาดีกว่า เพราะผ้าได้ถูกจัดวางไว้ตรงกลางของชิ้นส่วน ซึ่งส่งผลต่อการปรับปรุงคุณสมบัติทางกลของชิ้นงาน Andrzejewski และคณะ [18] ใช้วิธีเดียวกันในการเตรียม ปัจจุบันมักใช้เพื่อเป็นการลดต้นทุนและเวลาที่ใช้ในการผลิตวัสดุเชิงประกอบได้เป็นอย่างมาก การเสริมแรงด้วยผ้าทอ หรือผ้าไม่ถักไม่ทอโดยทั่วไปจะถูกใช้กับกระบวนการฉีดขึ้นรูป [19] ทั้งนี้พอลิแลคติกแอซิด (Polylactic acid, PLA) เป็น

วัสดุที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพด้วยสภาวะการทดสอบที่แตกต่างกันเพื่อศึกษาคุณสมบัติของการเสริมแรงในพอลิเมอร์เชิงประกอบที่ดีและเหมาะสมที่สุด

2. วิธีการทดสอบ

2.1 วัสดุที่ใช้ในการทดสอบ

พอลิแลคติกแอซิด (Polylactic Acid, PLA) เกรด 6100D สำหรับขึ้นรูปผ้าไม่ถักไม่ทอมีความหนาแน่น (Density) = 1.24 g/cm³, อัตราการไหล (Melt Flow Rate), (ASTM D1238) = 24 g/10 min, อุณหภูมิหลอมเหลว (Melting Temperature; T_m)= 165-180 °C, อุณหภูมิคล้ายแก้ว (Glass Transition Temperature; T_g)= 55-60 °C จากบริษัท NatureWorks LLC product สำหรับขึ้นรูปผ้าไม่ถักไม่ทอ

พอลิแลคติกแอซิด (Polylactic Acid, PLA) เกรด 3052D จากบริษัท NatureWorks LLC product สำหรับฉีดขึ้นรูปมีความหนาแน่น (Density) = 1.24 g/cm³, อัตราการไหล (Melt Flow Rate), (ASTM D1238) = 10-30g/10min, อุณหภูมิหลอมเหลว (Melting Temperature; T_m) = 145-155 °C, อุณหภูมิคล้ายแก้ว (Glass Transition Temperature; T_g) = 55-65 °C จากบริษัท NatureWorks LLC product

2.2 ขั้นตอนการทดสอบ

การทดสอบดัชนีการไหล (Melt Flow Index, MFI) เป็นการวัดค่าการไหลของพลาสติกหลอมเหลวถือเป็นวิธีที่ใช้ในการควบคุมคุณภาพของเทอร์โมพลาสติก การทดสอบเป็นการหลอมเหลวพลาสติกในกระบอกทดสอบ (Cylinder) ด้วยอุณหภูมิที่กำหนด โดยอุณหภูมิที่ใช้ 210 °C เพื่อให้เป็นอุณหภูมิเดียวกับสภาวะที่ใช้ในการเตรียมชิ้นงานทดสอบ แล้วใช้น้ำหนักกด 2.16 Kg ตามค่าที่กำหนดเช่นกัน กดลงบนแท่งกด (Piston) โดยให้แท่งจะกระทำกับเนื้อพลาสติกหลอมเหลวที่อยู่ในกระบอกทดสอบ พลาสติกเหลวจะไหลผ่านออกมาจากหัวตายน์ จากนั้นจึงนำพลาสติกออกมาตัดเพื่อนำไปชั่งน้ำหนักเทียบกับเวลา 10 นาที จึงได้ค่าของดัชนีการไหล (MFI) ของพลาสติก ซึ่งหน่วยเป็น กรัม/10 นาที

การทดสอบสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์เชิงประกอบจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) (JEOL, LSM- 6510) ที่

กำลังขยาย 500 เพื่อทำให้เกิดภาพที่การมองเห็นได้ โดยภาพที่แสดงออกมานั้นจะมีลักษณะ 2 มิติ

การทดสอบความแข็งแรงต่อแรงดึง (Tensile Strength) ด้วยเครื่อง Universal Testing Machine Model H50KS ลักษณะชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบจะมีลักษณะเป็นดัมเบล โดยเตรียมชิ้นงานตามมาตรฐาน Type I มีความยาว 165 มิลลิเมตร กว้าง 13.5 มิลลิเมตร Gate length, (mm) 50 และความเร็วในการดึงชิ้นงานที่ 5 มิลลิเมตรต่อนาที ซึ่งทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D638 โดยมีทำการทดสอบอย่างน้อย 10 ตัวอย่าง จากนั้นหาค่าเฉลี่ย

การทดสอบความแข็งแรงของการยึดติดแบบดึงลอก (Peel Strength) ด้วยเครื่อง Universal Testing Machine Model H50KS ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D638 เตรียมชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบโดยใส่แผ่นไวนิลด้านหนึ่งของชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบเพื่อป้องกันการติดกันของผ้าไม่ถักไม่ทอและเนื้อเมตริกซ์ จะกำหนดความเร็วในการดึงชิ้นงานทดสอบที่ 5 มิลลิเมตรต่อนาที ทำการทดสอบอย่างน้อย 10 ตัวอย่าง

การทดสอบความแข็งแรงต่อแรงดัดแบบ 3 จุด (Three-point bending) Universal Testing Machine Model H50KS ชิ้นทดสอบกำหนดให้มีขนาดกว้าง 10.5 มิลลิเมตร ยาว 90 มิลลิเมตร หนา 4.16 มิลลิเมตร ความเร็วในการดึงชิ้นงานทดสอบที่ 5 มิลลิเมตรต่อนาที Support Span, (mm) 66.5 และ Position limit, (mm) 30 ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D790 ทำการทดสอบอย่างน้อย 10 ตัวอย่าง จากนั้นหาค่าเฉลี่ย

2.3 การเตรียมชิ้นงานทดสอบ

การเตรียมผ้าไม่ถักไม่ทอจากพอลิแลกติกแอซิด ก่อนการขึ้นรูปนำพอลิแลกติกแอซิดอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 80 °C เป็นเวลา 6 ชั่วโมง ในตู้อบเม็ดแบบลมร้อนแห้ง (Dry-air Chip Dryer) หลังจากนั้นขึ้นรูปด้วยเครื่อง Thermo HAAKE® PolyDrive (Single Screw Extruder) ดังแสดงในรูปที่ 1 โดยทำการอัดรีดภายใต้อุณหภูมิ 230 °C (Zone Extruder) ความเร็วรอบในการอัดรีด (Melt pump) คือ 8, 10, 12, 14 รอบต่อนาที ดังแสดงในตารางที่ 1 ทำการขึ้นรูปผ้าไม่ถักไม่ทอด้วยวิธีการ Spun-bonded หลังจากที่ถูกหลอมและอัดรีดผ่านหัวสปินเนอเรต เส้นใยสังเคราะห์ที่ได้จะถูกนำเข้าสู่ด้วยเครื่อง

พ่นเส้นใย (Drawing jet) ดังแสดงในรูปที่ 2 ด้วยความเร็วสายพานรองรับคงที่ที่ 10 m/min ปรับแรงดันหัวพ่นเส้นใย (Drawing Jet pressure) ที่ 15, 20 และ 25 psi ตามลำดับเพื่อเก็บตัวอย่างของผ้าไม่ถักไม่ทอ โดยมีน้ำหนักต่อพื้นที่ดังแสดงในตารางที่ 2

การเตรียมวัสดุเชิงประกอบ โดยการนำชิ้นงานผ้าไม่ถักไม่ทอที่ขึ้นรูปเป็นแผ่นเสร็จแล้วมาตัดให้ได้ขนาดเท่าเบาในแม่พิมพ์ (Cavity) มีความยาว 115 มิลลิเมตร กว้าง 13.5 มิลลิเมตร แล้วนำมาติดแนบบนแม่พิมพ์ ตัวเมีย (Cavity) ตามทิศทางการไหลของเหลวโดยใช้เทปกาวสองหน้า [20] ดังแสดงในรูปที่ 3 ก) ของเครื่องฉีดขึ้นรูป (Injection Molding, ARBURG 470C) โดยการใช้เทคนิค Textile Insert Injection Molding ดังแสดงในรูปที่ 3 ข) จากนั้นทำการฉีดขึ้นรูปพอลิเมอร์เชิงประกอบที่เสริมแรงด้วยผ้าไม่ถักไม่ทอโดยเครื่องฉีดขึ้นรูป (Injection Molding) ใช้ช่วงอุณหภูมิในการฉีดที่ 190-210 °C Screw speed 100-175 rpm, Back Pressure 50-100 psi ฉีดออกมาได้ชิ้นงานที่เป็นวัสดุเชิงประกอบ ดังแสดงในรูปที่ 3 ค)

ตารางที่ 1 แสดงสภาวะที่ใช้ในการเตรียมผ้าไม่ถักไม่ทอ

อุณหภูมิ (°C)	ความเร็วรอบในการอัดรีด (rpm)	แรงดันหัวพ่นเส้นใย (psi)
230°	8	15
	10	
	12	
	14	
	8	20
	10	
	12	
	14	
	8	25
	10	
	12	
	14	



รูปที่ 1 เครื่องขึ้นรูปผ้าไม่ถักไม่ทอ (Thermo HAAKE® PolyDrive (Single Screw Extruder))



ก) สายพานรองรับเส้นใยที่ถูกพ่นผ่านด้วยแรงดัน



ข) เครื่องพ่นเส้นใย (Drawing jet)

รูปที่ 2 เครื่องพ่นเส้นใยและสายพานในการรองรับผ้าไม่ถักไม่ทอจากกระบวนการ Spun-bonded

ตารางที่ 2 แสดงความสัมพันธ์น้ำหนักต่อพื้นที่ของผ้าไม่ถักไม่ทอ

สภาวะใช้เตรียม ผ้าไม่ถักไม่ทอ (rpm/psi)	ค่าเฉลี่ยความสัมพันธ์น้ำหนักต่อพื้นที่ (g/m ²)		
	15 psi	20 psi	25 psi
8 rpm	114.60	88.25	75.40
10 rpm	184.35	111.75	99.73
12 rpm	231.50	121.81	111.75
14 rpm	267.75	124.50	117.25



ก) วางผ้าไม่ถักไม่ทอลงในแม่พิมพ์ (Cavity)



ข) เครื่องฉีดขึ้นรูป (Injection Molding, ARBURG 470C)



ค) ตัวอย่างชิ้นงานคิมเบลทั้งแบบแทรก และไม่แทรกผ้าไม่ถักไม่ทอ

รูปที่ 3 เทคนิคการฉีดขึ้นรูปแบบแทรกสิ่งทอ Textile Insert Injection Molding ด้วยเครื่องฉีดขึ้นรูป (Injection Molding, ARBURG 470C)

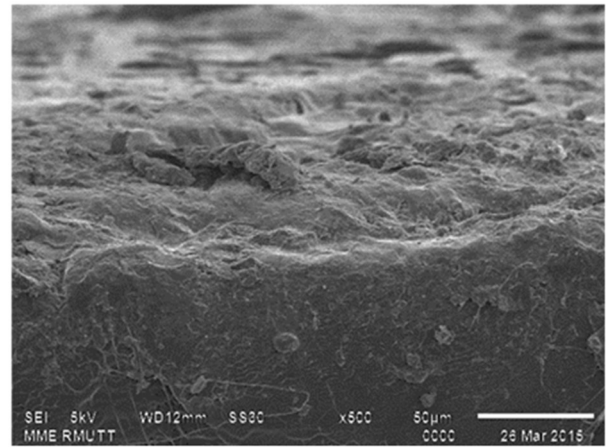
3. การทดสอบและวิเคราะห์ผล

3.1 การทดสอบสัณฐานวิทยา

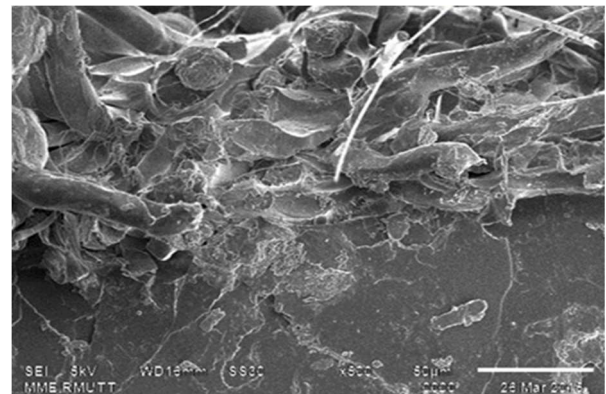
ผลจากการวิเคราะห์จากภาพถ่าย SEM ที่กำลังขยาย 500 เท่า แสดงให้เห็นถึงการยึดเกาะกันระหว่างผ้าไม่ถักไม่ทอกับเนื้อพอลิเมอร์ ดังแสดงในรูปที่ 4 พบว่าการยึดติดกันของผ้าไม่ถักไม่ทอที่ผิวของเนื้อพอลิเมอร์ และผ้าไม่ถักไม่ทอนั้นมีลักษณะซ้อนกันเป็นชั้น ๆ มีเส้นใยจากผ้าบางส่วนที่ถูกหลอมเป็นเนื้อเดียวกันกับเนื้อพอลิเมอร์ซึ่งเป็นผลมาจากการปรับสภาวะการขึ้นรูปผ้าไม่ถักไม่ทอที่แตกต่างกัน จึงส่งผลให้เกิดความแตกต่างในเรื่อง ขนาดของเส้นใย ความหนา น้ำหนัก และความแข็งแรงของผ้าไม่ถักไม่ทอ จากรูป (ก) นั้นแสดงให้เห็นถึงการหลอมละลายเกือบเป็นเนื้อเดียวกันระหว่างผ้าไม่ถักไม่ทอและเนื้อพอลิเมอร์ ซึ่งจะเห็นได้ชัดว่าชิ้นงานมีความแข็งแรงที่ลดลง เนื่องจากผ้าไม่ทอไม่ทอมีความหนาแน่นที่น้อยเป็นผลมาจากความเร็วรอบในการอัดรีด และแรงดันหัวพ่นเส้นใย ที่ใช้ในการขึ้นรูปต่ำ แต่ในทางกลับกันหากให้ความเร็วรอบในการอัดรีด และแรงดันหัวพ่นเส้นใย ในการขึ้นรูปที่เพิ่มขึ้น จะส่งผลให้ผ้าไม่ถักไม่ทอยังสามารถคงรูปอยู่ และมีความหนาแน่นที่เพิ่มขึ้น ในขณะที่ความเร็วรอบในการอัดรีดเท่ากัน ดังแสดงในภาพ (ข), (ค) แต่แรงดันหัวพ่นเส้นใยสูง จึงส่งผลให้เกิดความเป็นใยสูงตามไปด้วย นั่นจึงสอดคล้องกับผลการทดสอบการความแข็งแรงต่อแรงดึง (Tensile Strength) และการทดสอบความต้านทานต่อแรงดึงที่ผิว (Peel Strength)

3.2 การทดสอบความแข็งแรงต่อแรงดึง (Tensile Strength)

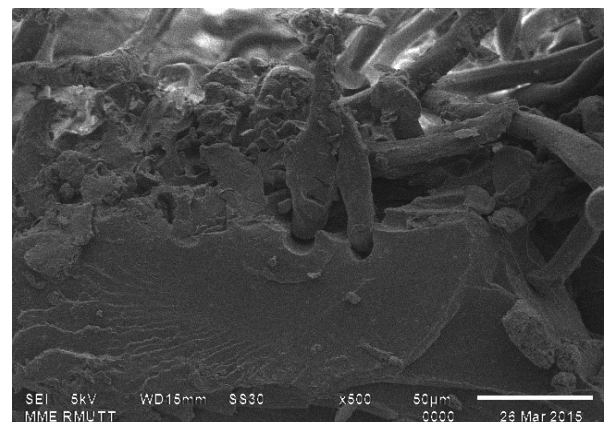
จากการแสดงผลการทดสอบความแข็งแรงของพอลิเมอร์เชิงประกอบที่เสริมแรงด้วยผ้าไม่ถักไม่ทอที่มีความเร็วรอบในการอัดรีด 8, 10, 12, 14 rpm ความดันที่หัวพ่นเส้นใย 15, 20, 25 psi และ พอลิแลกติกแอซิดที่ไม่มีการเสริมแรงด้วยผ้าไม่ถักไม่ทอ สังเกตได้ว่าผลจากการวิเคราะห์จากกราฟแสดงในรูปที่ 5 และผลการทดสอบตารางที่ 3 เห็นได้ชัดว่าพอลิเมอร์เชิงประกอบที่มีการเสริมแรงด้วยผ้าไม่ถักไม่ทอที่ถูกขึ้นรูปด้วยสภาวะต่าง ๆ นั้น



ก) ผ้าไม่ถักไม่ทอที่ความเร็วรอบในการอัดรีดที่ 8 rpm 15 psi



ข) ผ้าไม่ถักไม่ทอที่ความเร็วรอบในการอัดรีดที่ 14 rpm 20 psi



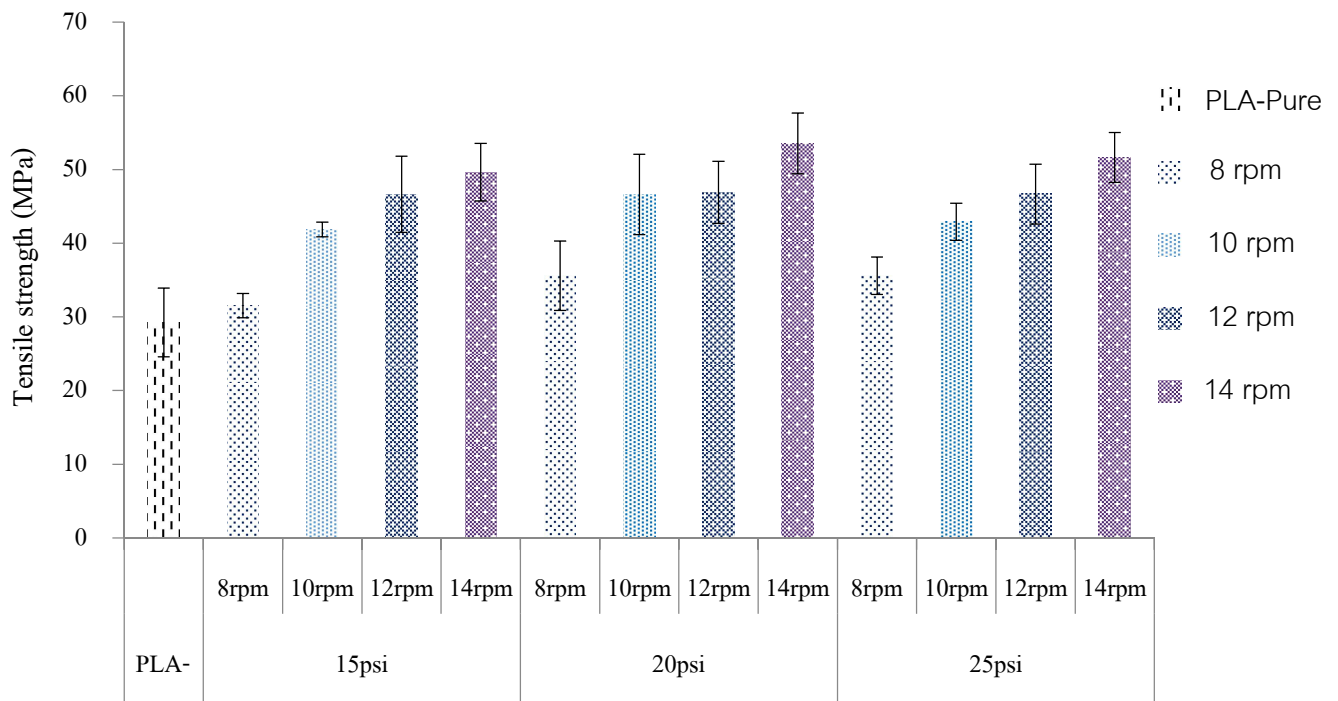
ค) ผ้าไม่ถักไม่ทอความเร็วรอบในการอัดรีดที่ 14 rpm 25 psi

รูปที่ 4 แสดงถึงการยึดติดกันระหว่างเนื้อพอลิเมอร์และผ้าไม่ถักไม่ทอที่ความเร็วในการอัดรีดที่แตกต่างกัน

พบว่าส่งผลต่อความแข็งแรงต่อแรงดึงของพอลิเมอร์เชิงประกอบให้มีความต้านทานต่อแรงดึงเพิ่มขึ้น เนื่องจากผ้าไม่ถักไม่ทอที่ขึ้นรูปด้วยสถานะความเร็วรอบในการอัดรีดเพิ่มขึ้น และความดันที่หัวพ่นเส้นใยเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ผ้าไม่ถักไม่ทอในพอลิเมอร์เชิงประกอบมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น จากการทดสอบนี้พบว่าพอลิเมอร์เชิงประกอบเสริมแรงมีค่าความแข็งแรงต่อแรงดึงสูงสุดที่ความเร็วรอบในการอัดรีด 14 rpm และแรงดันหัวพ่นเส้นใย 20 psi ซึ่งจะเห็นได้ชัดว่าสอดคล้องกับผลทดสอบทางสัญญาณวิทยาว่า ส่วนของเส้นใยและเนื้อพอลิเมอร์มีความเข้ากันได้ดีที่สุดในค่าความแข็งแรงเพิ่มขึ้นร้อยละ 30.15 อีกทั้งทุกกรณีมีค่าความแข็งแรงมากกว่าพอลิแล็กติกแอซิดที่ไม่มีการเสริมแรงด้วยผ้าไม่ถักไม่ทอ

ตารางที่ 3 แสดงผลเฉลี่ยจากการทดสอบความแข็งแรงต่อแรงดึงพอลิเมอร์เชิงประกอบที่ถูกเสริมแรงด้วยผ้าไม่ถักไม่ทอที่สภาวะการเตรียมผ้าความเร็วรอบ 8, 10, 12, 14 rpm ความดันที่หัวฉีดเส้นใย 15, 20, 25 psi และ PLA Pure

สภาวะใช้เตรียม ผ้าไม่ถักไม่ทอ (rpm/psi)	ค่าเฉลี่ยการทดสอบความแข็งแรงต่อแรงดึง (MPa)		
	15 psi	20 psi	25 psi
PLA Pure	29.15±4.66		
8 rpm	31.54±1.65	35.6±4.70	35.38±2.53
10 rpm	41.48±1.00	46.63±5.45	42.91±2.53
12 rpm	46.65±5.17	46.89±4.21	46.66±4.07
14 rpm	49.63±3.91	53.53±4.11	51.63±3.38



รูปที่ 5 กราฟแท่งแสดงผลการทดสอบความแข็งแรงต่อแรงดึงพอลิเมอร์เชิงประกอบที่ถูกเสริมแรงด้วยผ้าไม่ถักไม่ทอที่สภาวะการเตรียมผ้าสภาวะการเตรียมผ้า ความเร็วรอบ 8, 10, 12, 14 rpm ความดันที่หัวฉีดเส้นใย 15, 20, 25 psi และ PLA Pure

3.3 การทดสอบความแข็งแรงของการยึดติดแบบดึงลอก (Peel strength)

ทำการทดสอบโดยการดึงผ้าออกจากชิ้นงานที่เป็นส่วนของเนื้อพอลิเมอร์ให้แยกออกจากกัน โดยจะทำการจับชิ้นส่วนของผ้าไม่ถักไม่ทอไว้ด้านบน และจับชิ้นส่วนของด้านที่ไม่มีผ้าไว้ด้านล่าง ดังรูปที่ 6 ก) แล้วทำการดึงออกจากกันด้วย

ความเร็วคงที่ ดังแสดงในรูปที่ 6 ข) ซึ่งผลจากการวิเคราะห์จากกราฟแสดงการทดสอบความแข็งแรงของการยึดติดแบบดึงลอกของพอลิเมอร์เชิงประกอบที่มีสภาวะการเตรียมผ้าความเร็วรอบในการอัดรีด ที่ 8, 14 rpm และความดันที่หัวพ่นเส้นใย 15, 20, 25 psi ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 7 และตารางที่ 4 พบว่าที่สภาวะการเตรียมผ้าด้วย ความเร็วรอบใน

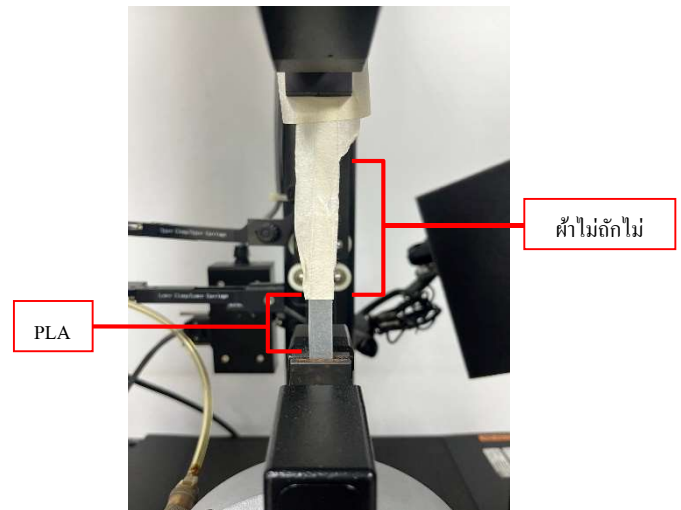
การอัดรีด ที่ 8 rpm มีความแข็งแรงต่อแรงดึงน้อยกว่าพอลิเมอร์เชิงประกอบที่เสริมแรงด้วยผ้าไมลิกไม่ทอที่ความเร็วรอบในการอัดรีด 14 rpm เนื่องจากเส้นใยหลอมละลายเพราะการเกิดช่องว่างระหว่างเส้นใยในผ้าไมลิกไม่ทอที่มากทำให้ผ้าไมลิกไม่ทอมีลักษณะบาง ส่งผลให้เกิดการหลอมเป็นเนื้อเดียวกับเนื้อพอลิเมอร์ อีกทั้งวัสดุที่ใช้ทั้งสองแบบเป็นวัสดุตระกูลเดียวกัน ชนิดเดียวกัน จึงมีจุดหลอมเหลวที่ใกล้เคียงกัน

ตารางที่ 4 แสดงผลเฉลี่ยการทดสอบความต้านทานต่อแรงดึงที่ผิวของพอลิเมอร์เชิงประกอบที่ถูกเสริมแรงด้วยผ้าไมลิกไม่ทอที่สภาวะการเตรียมผ้าด้วย ความเร็วรอบ 8, 14 rpm ความดันที่หัวฉีดเส้นใย 15, 20, 25 psi

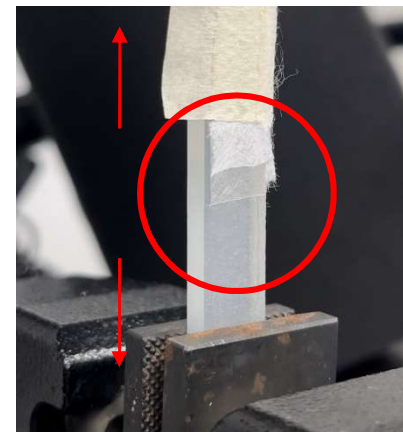
สภาวะใช้เตรียม ผ้าไมลิกไม่ทอ (rpm/psi)	ค่าเฉลี่ยการทดสอบความต้านทานต่อแรงดึงที่ผิว (MPa)		
	15 psi	20 psi	25 psi
8 rpm	4.61±0.20	5.01±0.28	7.19±0.30
14 rpm	11.40±0.63	11.53±0.66	11.44±0.65

3.4 การทดสอบความแข็งแรงต่อแรงดัดแบบ 3 จุด (Three-point bending)

จากผลการทดสอบความแข็งแรงต่อแรงดัดของชิ้นงานทดสอบซึ่งแสดงในรูปที่ 8, 9 และตารางที่ 5 เมื่อให้แรงกระทำในด้านที่มีการเสริมแรงด้วยผ้าไมลิกไม่ทอนั้น พบว่าสามารถช่วยรับแรงก่อนเกิดการแตกหักได้ เมื่อให้แรงบนผิวด้านที่เสริมแรงด้วยผ้าที่สภาวะการขึ้นรูป ความเร็วรอบในการอัดรีด 14 rpm ดังแสดงในรูปที่ 9 พบว่ามีความแข็งแรงต่อแรงดัดเนื่องจากเกิดการหลอมละลายของเส้นใยในผ้าที่มีขนาดของเส้นใย ความหนาและการยึดติดกันของเส้นใยแบบหนาแน่นจึงทำให้มีช่องว่างระหว่างเส้นใยน้อยส่งผลให้เส้นใยบางส่วนหลอมละลายและจะเห็นเส้นใยทับซ้อนกันไปมาแบบหนาแน่น

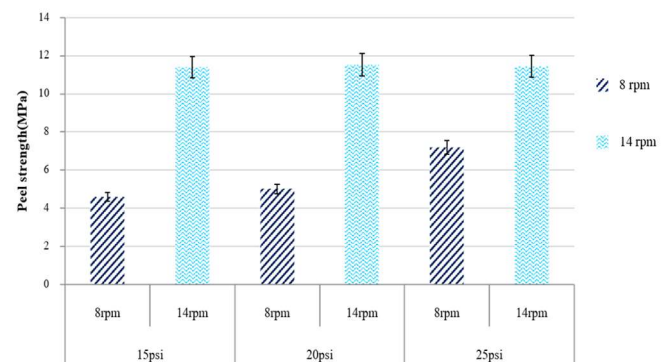


ก) ตัวอย่างชิ้นงานทดสอบก่อนทำการดึงลอก



ข) ตัวอย่างชิ้นงานขณะทำการดึงลอก

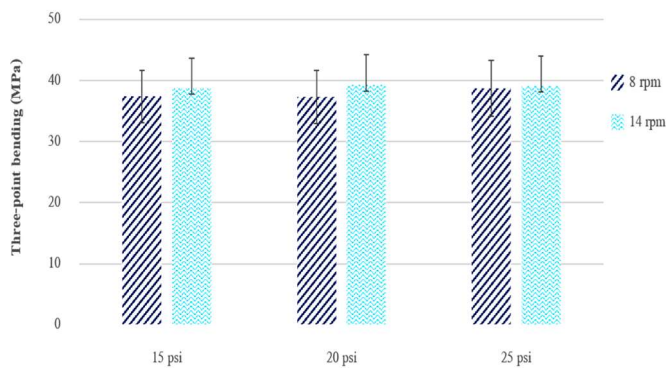
รูปที่ 6 แสดงตัวอย่างชิ้นงาน ขณะทำการทดสอบความแข็งแรงต่อแรงดึงที่ผิว (Peel Strength) ของพอลิเมอร์เชิงประกอบที่ถูกเสริมแรงด้วยผ้าไมลิกไม่ทอ



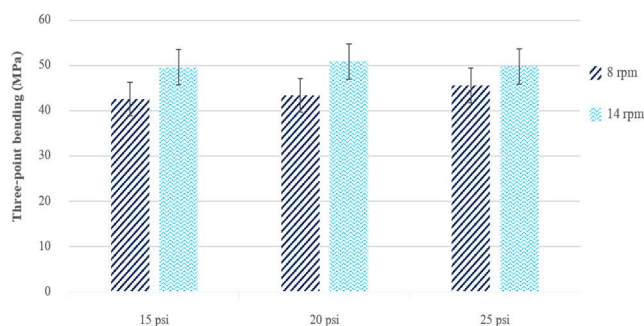
รูปที่ 7 กราฟแสดงการทดสอบความแข็งแรงต่อแรงดึงที่ผิว (Peel Strength) ที่สภาวะการเตรียมผ้าสภาวะการเตรียมผ้า ความเร็วรอบ 8, 14 rpm ความดันที่หัวฉีดเส้นใย 15, 20, 25 psi

ตารางที่ 5 แสดงผลเฉลี่ยการทดสอบความแข็งแรงต่อแรงดัดแบบ 3 จุด ของพอลิเมอร์เชิงประกอบที่ถูกเสริมแรงด้วยผ้าไม่กักไม่ทอสภาวะการเตรียมผ้า ความเร็วรอบ 8, 14 rpm ความดันที่หัวฉีดเส้นใย 15, 20, 25 psi

สภาวะที่ใช้เตรียมผ้าไม่กักไม่ทอ	ผลการทดสอบความแข็งแรงต่อแรงดัดแบบ 3 จุด (MPa)	
	ด้านที่เสริมแรง	ด้านที่ไม่มีการเสริมแรง
8 rpm 15 psi	42.59±4.25	37.37±3.73
14 rpm 15 psi	49.6±4.9	38.74±3.85
8 rpm 20 psi	43.36±4.3	37.31±3.7
14 rpm 20 psi	50.89±5	39.24±3.92
8 rpm 25 psi	45.63±4.55	38.73±3.85
14 rpm 25 psi	49.79±4.95	39.09±3.9



รูปที่ 8 บนด้านที่ไม่มีการเสริมแรงด้วยผ้าไม่กักไม่ทอ มีหน่วยเป็น MPa



รูปที่ 9 บนด้านที่มีการเสริมแรงด้วยผ้าไม่กักไม่ทอ มีหน่วยเป็น MPa

4. สรุปผลการทดสอบ

จากการทดสอบสรุปได้ว่า ผลการทดสอบลักษณะทางสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) แสดงให้เห็นถึงการยึดติดกันของผ้าไม่กักไม่ทอและเนื้อพอลิเมอร์ โดยบางส่วนที่หลอมเป็นเนื้อเดียวกันนั้น เป็นผลจากความเร็วยรอบในการอัดรีดที่ใช้ในการเตรียมผ้าไม่กักไม่ทอที่เพิ่มขึ้น ในส่วนของการทดสอบเชิงกลนั้น การทดสอบความแข็งแรงต่อแรงดึง พบว่าผ้าไม่กักไม่ทอที่เสริมแรงในพอลิเมอร์เชิงประกอบนั้น ส่งผลต่อความต้านทานต่อแรงดึงที่ดีขึ้นถึง 53.53 MPa ความแข็งแรงต่อแรงดึงที่ผิวมีความแข็งแรงมากที่สุดถึง 11.53 MPa และการทดสอบความแข็งแรงต่อแรงดัดแบบ 3 จุด โดยให้แรงที่ด้านผิวของผ้าไม่กักไม่ทอมีความแข็งแรงมากที่สุดเช่นเดียวกัน ซึ่งจะเห็นได้ว่าสมบัติทางกลนั้นมีค่าความแข็งแรงเพิ่มขึ้นในทุกๆกรณี ที่สภาวะการเตรียมผ้า 14 rpm 20 psi สอดคล้องกับการทดสอบทางสัณฐานวิทยา ทั้งนี้พบว่าการขึ้นรูปขึ้นงานด้วยกระบวนการฉีดแบบแทรกสิ่งทอ (Insert injection molding) จากพอลิแล็กติกแอซิดคงสภาพของผ้าไม่กักไม่ทอที่ใช้ในการเสริมแรง ผ้าที่ถูกเตรียมด้วยความเร็วยรอบในการอัดรีดที่สูงขึ้นและแรงดันที่คงที่นั้นจะส่งผลต่อความแข็งแรงและการจัดเรียงตัวแบบทึบซ้อนกันอย่างหนาแน่นของเส้นใยได้เป็นอย่างดี นั้นจึงแสดงให้เห็นว่า เมื่อเปรียบเทียบความเร็วยรอบในการอัดรีดที่ 8 rpm และ 14 rpm จะเห็นได้ว่าค่าที่ความเร็วสูงสุดส่งผลต่อความแข็งแรงทางกลที่สูงขึ้นตาม

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนเครื่องมือและอุปกรณ์ในการดำเนินงานวิจัยจาก คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

เอกสารอ้างอิง

- [1] Scaffaro R, Maio A, Gulino EF, Megna B. Structure-property relationship of PLA-Opuntia Ficus Indica biocomposites. *Composites Part B: Engineering*. 2019;167:199-206.
- [2] Nampoothiri KM, Nair NR, John RP. An overview of the recent developments in polylactide (PLA)

- research. *Bioresour Technol.* 2010;101(22): 8493-8501.
- [3] Avinc O, Khoddami A. Overview of poly (lactic acid) (PLA) fibre. *Fibre Chemistry.* 2009;41(6): 391-401.
- [4] Scaffaro R, Lopresti F, Botta L. PLA based bio composites reinforced with *Posidonia oceanica* leaves. *Composites Part B: Engineering.* 2018; 139:1-11.
- [5] Scaffaro R, Maio A, Gulino EF, Pitarresi G. Lignocellulosic fillers and graphene nanoplatelets as hybrid reinforcement for polylactic acid: effect on mechanical properties and degradability. *Composites Science and Technology.* 2020; 190:108008.
- [6] Bher A, Unalan IU, Auras R, Rubino M, Schvezov CE. Graphene modifies the biodegradation of poly (lactic acid)-thermoplastic cassava starch reactive blend films. *Polymer Degradation and Stability.* 2019; 164:187-197.
- [7] Gunti R, Prasad AR, Gupta A. Mechanical and degradation properties of natural fiber-reinforced PLA composites: jute, sisal, and elephant grass. *Polymer Composites.* 2018;39(4):1125-36.
- [8] Shekar HS, Ramachandra M. Green composites: a review. *Materials Today: Proceedings.* 2018; 5(1): 2518-2526.
- [9] Limpanuphap S. *Composite definition.* Available from <https://www.yumpu.com/fr/document/read/48945252/10-> (in Thai) [Accessed 2014 April 02].
- [10] Gholampour A, Ozbakkaloglu T. A review of natural fiber composites: Properties, modification and processing techniques, characterization, applications. *Journal of Materials Science.* 2020;55(3):829-92.
- [11] Sanjay M, Madhu P, Jawaidd M, Senthamaraiannan P, Senthil S, Pradeep S. Characterization and properties of natural fiber polymer composites: A comprehensive review. *Journal of Cleaner Production.* 2018;172:566-81.
- [12] Beauson J, Schillani G, van der Schueren L, Goutianos S. The effect of processing conditions and polymer crystallinity on the mechanical properties of unidirectional self-reinforced PLA composites. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing.* 2022;152:106668.
- [13] Leong YW, Thitithanasarn S, Yamada K, Hamada H. Compression and injection molding techniques for natural fiber composites *Natural Fibre Composites: Materials, Processes and Applications.* 2014;216-232.
- [14] Wang J, Mao Q, Jiang N, Chen J. Effects of injection molding parameters on properties of insert-injection molded polypropylene single-polymer composites. *Polymers.* 2021;14(1):23.
- [15] Wang J, Wang D, Mao Q, Chen J. Fabric insert injection molding for the preparation of ultra-high molecular weight polyethylene / high-density polyethylene two - component self-reinforced composites. *Polymers.* 2022;14(20): 4384.
- [16] Prasan J. Nonwoven. Available from https://www2.mtecor.th/th/e-magazine/admin/upload/246_21-27.pdf (in Thai) [Accessed 2009 October – December].
- [17] Wang J, Chen D, Wang S, Du Z, Jiang N, Peng J. Insert injection molding of low- density polyethylene single- polymer composites reinforced with ultrahigh- molecular- weight polyethylene fabric. *Journal of Thermoplastic Composite Materials.* 2018;31(8):1013-28.
- [18] Andrzejewski J, Przyszczykowski P, Szostak M. Development and characterization of poly (ethylene terephthalate) based injection molded self-reinforced composites. Direct reinforcement by overmolding the composite inserts. *Materials & Design.* 2018;153:273-86.

- [19] Jeong E, Kim Y, Hong S, Yoon K, Lee S. Innovative Injection Molding Process for the Fabrication of Woven Fabric Reinforced Thermoplastic Composites. *Polymers*. 2022;14(8):1577.
- [20] Mao Q, Hong Y, Wyatt TP, Chen J, Wang Y, Wang J, et al. Insert injection molding of polypropylene single-polymer composites. *Composites Science and Technology*. 2015;106:47-54.