

การเตรียมเส้นใยของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิแลคติกแอซิดและพอลิบิวทิลีนซัคซิเนต สำหรับงานด้านสิ่งทอ

Preparation of Polymer Blends Fiber Between Poly (lactic acid) and Poly (butylene succinate) for Textile Applications

ลลิตา จอมแปง¹ สุภาภรณ์ ทุมสอน^{2*} เจษฎา วงษ์อ่อน³ นรินทร์ กาบบัวทอง⁴ นที ศรีสวัสดิ์²
และ ณรงค์ชัย โอเจริญ¹

¹ภาควิชาวิศวกรรมเคมีและวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี จังหวัดปทุมธานี 12110

²ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งทอ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี จังหวัดปทุมธานี 12110

³สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330

⁴สถาบันวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยี จังหวัดพระนครศรีอยุธยา 13170

บทคัดย่อ

การเตรียมพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิแลคติกแอซิด (PLA) กับพอลิบิวทิลีนซัคซิเนต (PBS) ที่อัตราส่วนผสม PBS ที่ 0-50 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก (wt%) โดยกระบวนการหลอมเหลวด้วยเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนคู่ จากนั้นทำการขึ้นรูปเป็นเส้นใยด้วยกระบวนการปั่นแบบหลอมเหลว ด้วยเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว โดยศึกษาสมบัติทางความร้อน สมบัติเชิงกล และโครงสร้างจุลภาคของพอลิเมอร์ผสม และเส้นใยที่ขึ้นรูปได้ จากการศึกษาพบว่า จุดหลอมเหลวของ PLA นั้นมีค่าสูงกว่า PBS มาก โดยที่จุดหลอมเหลวและความเป็นผลึกลดลง ของ PLA ในพอลิเมอร์ผสมมีค่าลดลง เมื่อมีการผสม PBS ในปริมาณที่เพิ่มขึ้น จากการศึกษาโครงสร้างจุลภาคด้วยเทคนิค SEM พบว่าเกิดการแยกเฟสระหว่าง PLA กับ PBS ในพอลิเมอร์ผสม เมื่อปริมาณ PBS มากกว่า 20 wt% เมื่อพิจารณาผลการศึกษาสมบัติเชิงกลพบว่า การเพิ่มปริมาณ PBS จะช่วยทำให้พอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA:PBS มีแนวโน้มที่จะมีความยืดหยุ่นมากขึ้น อย่างไรก็ตามที่ปริมาณการผสม PBS ในปริมาณมากกว่า 10 wt% จะเกิดความไม่เข้ากันของพอลิเมอร์ผสม ส่งผลให้มีแรงยึดเหนี่ยวลดลง ซึ่งจำเป็นต้องพัฒนาความเข้ากันระหว่าง PLA และ PBS ส่งผลให้สามารถขึ้นรูปเส้นใยของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA กับ PBS และสามารถนำไปใช้ในงานด้านสิ่งทอต่อไป

Abstract

Biodegradable polymer blend fibers were prepared by melt spinning technique. Poly(lactic acid) (PLA) and poly(butylene succinate) (PBS) were blended in a twin screw extruder at various contents of PBS at 0-50 wt%. PLA/PBS blends were melt spun using a single screw extruder equipped with multifilaments spinnerette. The effect of PBS contents on morphology, thermal properties, and mechanical performance of PLA/PBS blend fiber was investigated. SEM micrographs indicated that the addition of PBS at 10 wt% showed miscibility of PLA/PBS blends while the other contents of PBS exhibited phase separation of the blends. The incorporation of PBS affected on the declination of crystallinity in the blends. It can be noted that the addition of PBS could enhance the elasticity of PLA/PBS blend fibers.

คำสำคัญ : พอลิแลคติกแอซิด พอลิบิวทิลีนซัคซิเนต พอลิเมอร์ผสม การขึ้นรูปเส้นใย สิ่งทอ

Keywords : poly(lactic acid), poly(butylenes succinate), polymer blend, , fiber spinning, textile

*ผู้นิพนธ์ประสานงานไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ supaphorn.t@mutt.ac.th โทร. 0 2549 3450

1. บทนำ

ปัจจุบันปริมาณการใช้งานพอลิเมอร์เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะพอลิเมอร์สังเคราะห์ในกลุ่มพลาสติกชนิดที่คือ น้ำหนักเบา มีความแข็งแรงสูง ทนทานต่อสารเคมีต่าง ๆ และสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ นำไปผลิตเป็นอุปกรณ์ หรือเครื่องมือเครื่องใช้ต่าง ๆ ได้ อย่างไรก็ตาม เมื่ออัตราการผลิตและการใช้งานพลาสติกเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ส่งผลให้เกิดปัญหาในการกำจัดขยะพลาสติก และปัญหาสิ่งแวดล้อม เนื่องจากความคงทนต่อสภาวะแวดล้อมของพลาสติก และไม่สามารถย่อยสลาย ดังนั้นแนวทางหนึ่งในการลดปัญหาดังกล่าว คือ การใช้พลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้

พลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้ เช่น พอลิแลคติกแอซิด (PLA) พอลิบิวทิลีนซัคซิเนต (PBS) พอลิไฮดรอกซีอัลคาโนเอต (PHA) มีสมบัติที่เหมาะสมในการขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ปัจจุบัน PLA และ PBS มีปริมาณการใช้งานเพิ่มขึ้น แต่ข้อเสียของพลาสติกทั้งสองชนิด คือ มีราคาแพง และเสื่อมสภาพทางความร้อนได้ง่ายจากกระบวนการผลิต นอกจากนี้ PLA มีลักษณะแข็งเปราะ ขณะที่ PBS มีการยึดตัวที่ดี ดังนั้นการปรับปรุงการใช้งาน PLA และ PBS สามารถทำได้โดยการเตรียมเป็นพอลิเมอร์ผสม หรือการใช้สารเติมแต่งเพื่อปรับปรุงสมบัติ เช่น นาโนเคลย์ หรือเส้นใยธรรมชาติ

ในปี 2007 Bhatia และคณะ ศึกษาพอลิเมอร์ผสมที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ PLA และ PBS เพื่อนำมาใช้เป็นบรรจุภัณฑ์ จากการศึกษาพบว่า การยึดตัวของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA และ PBA เพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณ PBS ในพอลิเมอร์ผสมเพิ่มขึ้น และการศึกษาพบว่าพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA และ PBS มีความสามารถในการเข้ากันได้บางส่วน จากการศึกษาวิเคราะห์ตรวจสอบสมบัติทางความร้อน สมบัติทางกล และสัญญาณวิทยา

Yokohara และ Yamaguchi ได้ศึกษาสมบัติและโครงสร้างของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA และ PBS ผลจากการศึกษาพบว่าพอลิเมอร์ทั้งสองชนิดมีการผสมแบบไม่เข้ากัน (immiscible blend) พอลิเมอร์เกิดการแยกเฟสออกจากกันอย่างชัดเจน และที่อัตราส่วน PLA/PBS ที่ 80/20 พบการกระจายตัวที่ดีของ PBS บน PLA ทำให้พอลิเมอร์ผสมมีสมบัติการยึดตัวเพิ่มมากขึ้น

ในการประยุกต์ใช้ PLA และ PBS ในงานด้านสิ่งทอ จากการขึ้นรูปเส้นใยสังเคราะห์ด้วยเทคนิคการปั่นหลอม (melt spinning) ที่มีลักษณะเป็นเส้นใยยาวแบบต่อเนื่อง พบว่า PLA ยังมีศักยภาพในการขึ้นรูปต่ำ เนื่องจาก PLA เปราะ และมีการยึดตัวน้อย ไม่เหมาะสมในการขึ้นรูปเป็นเส้นใยยาวแบบต่อเนื่อง (continuous filament) จากปัญหาดังกล่าว จึงได้มีการศึกษาวิธีการปรับปรุงการขึ้นรูปเส้นใย PLA โดยผสมกับ PBS ที่มีความยืดหยุ่นดี สามารถทนความร้อนได้ถึง 200 °C โดยไม่เสียสภาพ และมีความเหนียวสูง

งานวิจัยนี้เป็นการปรับปรุงสมบัติของเส้นใยสังเคราะห์จากพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA และ PBS สำหรับกระบวนการขึ้นรูปเส้นใยสังเคราะห์แบบเส้นใยยาวต่อเนื่อง และเพิ่มศักยภาพเชิงพาณิชย์ของผลิตภัณฑ์ โดยการศึกษาอิทธิพลของกระบวนการผลิต ได้แก่ สัดส่วนของพอลิเมอร์ผสม และความเร็วในการหมุนเก็บเส้นใย ที่มีต่อสมบัติของเส้นใยพอลิเมอร์ผสม PLA/PBS

2. วิธีการทดลอง

2.1 วัสดุ

- PLA เกรด 3052D (NatureWorks, LLC, USA.) ค่าดัชนีการไหล (MFR) 14 g/10 min
- PBS เกรด FZ91PD (Mitsubishi Chemical Corporation, Japan) ค่าดัชนีการไหล (MFR) 6 g/10 min

2.2 การเตรียมตัวอย่าง

เตรียมพอลิเมอร์ผสมด้วยเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนคู่ อัตราส่วนระหว่าง PLA:PBS คือ 100:0, 90:10, 80:20, 70:30, 60:40, 50:50 และ 0:100 wt% อุณหภูมิในการขึ้นรูป 140-165 °C ความเร็วรอบของสกรู 80 rpm

นำเม็ดพอลิเมอร์ผสมอบที่อุณหภูมิ 80 °C เป็นเวลา 12 ชั่วโมง จากนั้นขึ้นรูปตัวอย่างทดสอบด้วยกระบวนการอัดร้อน (compression molding) ที่อุณหภูมิ 190 °C และขึ้นรูปเส้นใยพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA/PBS ด้วยกระบวนการปั่นแบบหลอมเหลว (melt spinning) ด้วยเครื่องอัดรีดแบบเกลียวนอนเดียว ที่อุณหภูมิ 190-230 °C ที่อัตราเร็วการหมุนเก็บเส้นใย 50, 100 และ 150 m/min

2.3 วิธีการทดสอบและวิเคราะห์ผล

- ทดสอบสมบัติสมบัติทางความร้อน ด้วยเทคนิค Differential scanning calorimeter (DSC) ที่อุณหภูมิ 30-200 °C ที่อัตราการให้ความร้อน 10 °C /min และอัตราการเย็นตัว 5 °C /min
- ศึกษาโครงสร้างจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกวาด (Scanning electron microscope) (JEOL/JSM5410) ทำการเคลือบผิวตัวอย่างด้วยทองก่อนนำไปทดสอบ
- ทดสอบสมบัติสมบัติทางกลของตัวอย่าง ด้วยเครื่องทดสอบอเนกประสงค์ Instron universal testing machine (INSTRON 5560) ตามมาตรฐาน ASTM D 638 ที่อัตราการดึง 10 mm/min

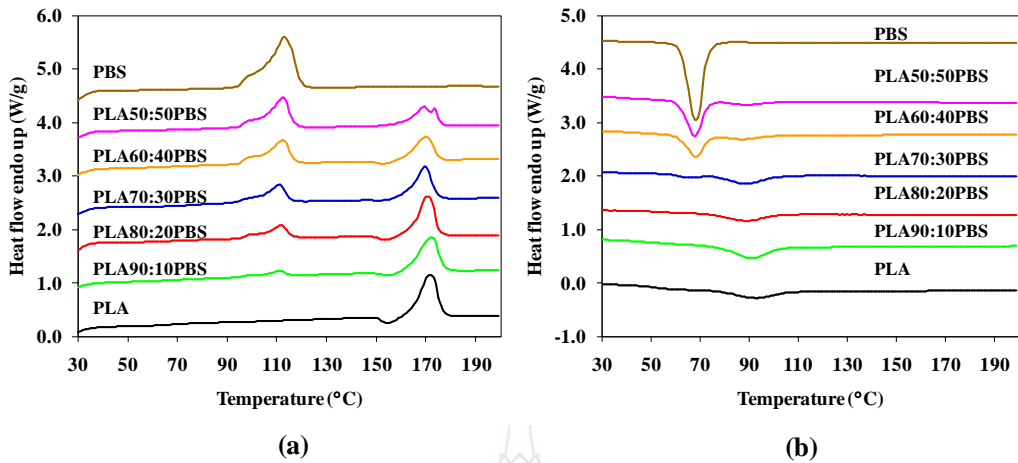
3. ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

3.1 สมบัติทางความร้อนของพอลิเมอร์ผสม PLA/PBS

รูปที่ 1 แสดงกราฟการทดสอบทางความร้อนจากเทคนิค Differential scanning calorimetry (DSC) ของพอลิเมอร์ผสม PLA/PBS จากรูปที่ 1 (a) เป็นกราฟ DSC ของการดูดความร้อนที่แสดงให้เห็นถึงอุณหภูมิการหลอมเหลวของพอลิเมอร์ (melting temperature, T_m) ได้แก่ PLA และ PBS จากผลการทดลองค่า T_m ของ PBS และ PLA อยู่ที่ 113 °C และ 171 °C ตามลำดับในกราฟ DSC ของพอลิเมอร์ผสม PLA/PBS แสดงให้เห็นค่า T_m ของ PBS และ PLA อย่างชัดเจน และไม่มีการเลื่อนเข้าหากันของค่า T_m ในพอลิเมอร์ผสม แสดงว่าพอลิเมอร์ผสม PLA/PBS เป็นพอลิเมอร์ผสมแบบไม่เข้ากัน (immiscible blend)

เมื่อพิจารณากราฟการคายความร้อนของพอลิเมอร์ในรูปที่ 1 (b) จะเห็นกราฟที่แสดงอุณหภูมิการเกิดผลึกของพอลิเมอร์ (crystallization temperature, T_c) จากผลการทดลองค่า T_c ของ PBS และ PLA อยู่ที่ 68.3 °C และ 92.8 °C ตามลำดับ โดยที่จะพบอุณหภูมิในการเกิดผลึกทั้งของ PBS และ PLA ในพอลิเมอร์ผสม

ตารางที่ 1 และ 2 สรุปผลการทดสอบทางความร้อน ได้แก่อุณหภูมิการหลอมเหลว (T_m) อุณหภูมิการเกิดผลึก (T_c) และปริมาณความเป็นผลึก (crystallinity) ของ PLA และ PBS ในพอลิเมอร์ผสม จากการทดลอง ปริมาณความเป็นผลึกของ PLA ในพอลิเมอร์ผสมมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณ PBS ในพอลิเมอร์ผสมเพิ่มขึ้น ซึ่ง PBS ในพอลิเมอร์ผสมมีลักษณะเป็นตัวก่อผลึก ทำให้ PLA สามารถเกิดผลึกได้เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ปริมาณความเป็นผลึกเพิ่มมากขึ้น ในขณะที่ PLA อาจไปขัดขวางการเกิดผลึกของ PBS ในพอลิเมอร์ผสม ทำให้ปริมาณความเป็นผลึกของ PBS ในพอลิเมอร์ผสมลดลง



รูปที่ 1 กราฟ DSC ของพอลิเมอร์และพอลิเมอร์ผสม PLA/PBS
(a) กราฟของการให้ความร้อน (b) กราฟของการเย็นตัว

ตารางที่ 1 สมบัติทางความร้อนของ PLA ในพอลิเมอร์ผสม PLA/PBS

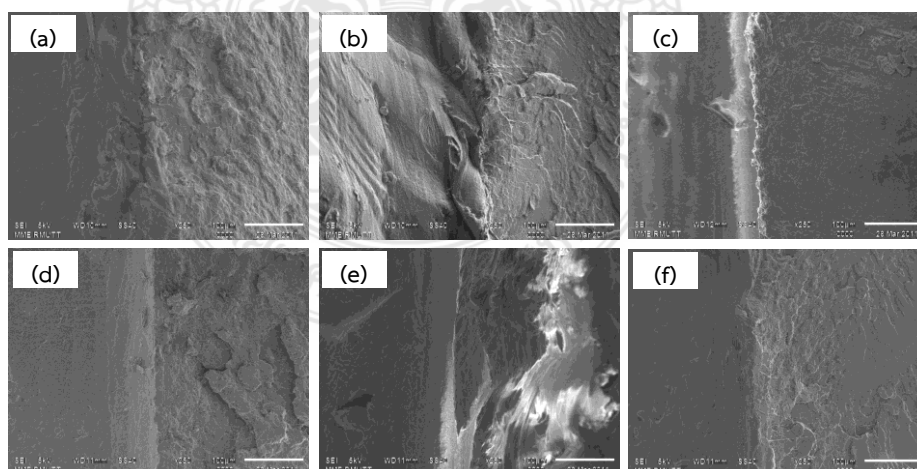
PLA:PBS blend	PLA		Crystallinity (%)
	T_m (°C)	T_c (°C)	
PLA	171.5	92.8	407
90:10	172.2	90.9	42.6
80:20	170.6	88.7	45.2
70:30	169.4	88.7	47.4
60:40	170.0	87	40.5
50:50	169.3, 173.3	89	50.8
PBS	-	-	-

ตารางที่ 2 สมบัติทางความร้อนของ PBS ในพอลิเมอร์ผสม PLA/PBS

PLA:PBS blend	PBS		
	T_m (°C)	T_c (°C)	Crystallinity (%)
PLA	-	-	-
90:10	111.1	-	49.3
80:20	111.8	-	-
70:30	110.7	66.1	56.1
60:40	112.4	68.2	58.2
50:50	112.5	67.8	53.7
PBS	113.0	68.3	63.8

3.2 โครงสร้างจุลภาคของพอลิเมอร์ผสม PLA/PBS

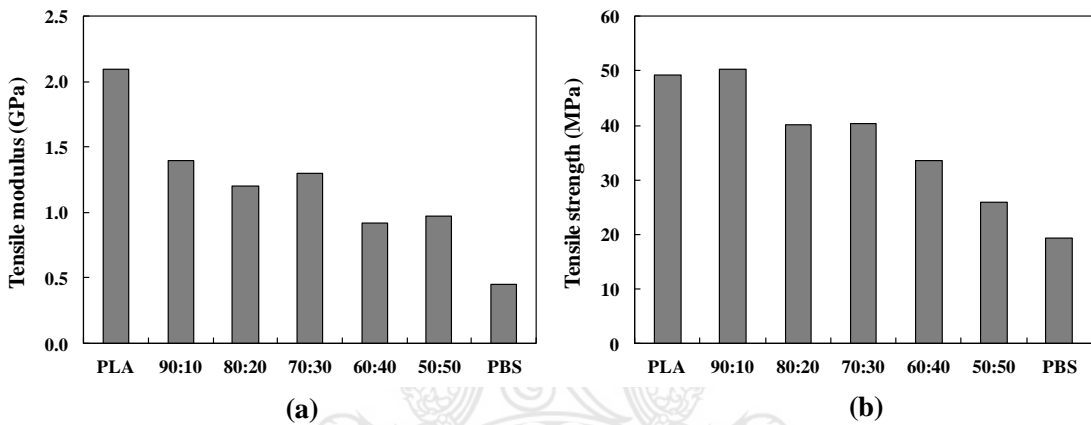
โครงสร้างจุลภาคของพอลิเมอร์ PLA และพอลิเมอร์ผสม PLA/PBS ที่อัตราส่วนต่าง ๆ แสดงดังรูปที่ 2 จากผลการทดลองในรูปที่ 2 แสดงลักษณะการแตกหักแบบเปราะของ PLA และพอลิเมอร์ผสม PLA/PBS จากโครงสร้างจุลภาคของพอลิเมอร์ผสมในรูปที่ 2 (b) ถึงรูปที่ 2 (f) จะพบการแยกเฟสของ PLA และ PBS โดยอนุภาคของ PBS จะกระจายอยู่บนโครงสร้างหลักของ PLA อย่างไรก็ตามอนุภาคของ PBS มีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ ซึ่งน่าจะส่งผลให้พอลิเมอร์ผสมมีความเหนียวเพิ่มขึ้นได้



รูปที่ 2 โครงสร้างจุลภาคจากเทคนิค SEM (a) PLA และพอลิเมอร์ผสม PLA/PBS (b) 90:10 (c) 80:20 (d) 70:30 (e) 60:40 (f) 50:50 (ขนาดสเกล 100 μm)

3.3 สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสม PLA/PBS

รูปที่ 3 แสดงสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์และพอลิเมอร์ผสม PLA/PBS จากการทดสอบด้วยตัวอย่างชิ้นงานจากการขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดรีด รูปที่ 3 แสดงค่าโมดูลัส (tensile modulus) และความแข็งแรงดึง (tensile strength) ของพอลิเมอร์ผสม PLA/PBS ที่อัตราส่วนต่าง ๆ จากรูป พบว่า ค่าโมดูลัสของ PLA มีค่าสูงที่สุด และ PBS มีค่าน้อยที่สุด โดยที่ค่าโมดูลัสของพอลิเมอร์ผสม จะลดลงเมื่อปริมาณ PBS ในพอลิเมอร์ผสมเพิ่มมากขึ้น ในขณะที่ความแข็งแรงดึง (tensile strength) ให้ผลการทดลองในแบบเดียวกัน คือค่าความแข็งแรงดึงของพอลิเมอร์ผสมลดลงเมื่อปริมาณ PBS เพิ่มมากขึ้น การลดลงของค่าโมดูลัสและความแข็งแรงดึงของพอลิเมอร์ผสม น่าจะเป็นผลมาจากความไม่แข็งแรง และความยืดหยุ่นของ PBS รวมไปถึงการยึดเกาะที่ไม่ดีระหว่างอนุภาคของ PBS กับโครงสร้างหลัก PLA ทำให้สมบัติเชิงกลด้านความแข็งแรงดึงลดลง



รูปที่ 3 สมบัติเชิงกลของของ PLA, PBS และพอลิเมอร์ผสม โมดูลัส (tensile modulus)

(b) ความแข็งแรงดึง (tensile strength)

3.4 ลักษณะเส้นใยของพอลิเมอร์ผสม PLA/PBS

รูปที่ 4 แสดงเส้นใยของพอลิเมอร์ผสมที่ได้จากการขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดรีดแบบเกลียวทวนอนเดี่ยวที่ต่อกับหัวดายแบบ multifilament จากการขึ้นรูปสามารถเก็บเส้นใยได้ที่อัตราการหมุนเก็บเส้นใยต่ำกว่า 150 m/min เนื่องจากพอลิเมอร์ผสม PLA/PBS เป็นพอลิเมอร์ผสมแบบไม่เข้ากัน ดังนั้นเส้นใยที่ได้จึงมีผิวที่ไม่เรียบ และการเก็บเส้นใยได้ไม่ต่อเนื่อง จากการทดลอง สามารถขึ้นรูปเส้นใยได้ดีที่อัตราส่วนของพอลิเมอร์ผสม PLA/PBS ที่ 90:10 ที่อัตราการหมุนเก็บเส้นใย 50 m/min



รูปที่ 4 การขึ้นรูปเส้นใยของ PLA, PBS และพอลิเมอร์ผสม PLA/PBS

4. สรุป

จากการศึกษาพบว่าพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA และ PBS เป็นพอลิเมอร์ผสมแบบไม่เข้ากัน และอนุภาคของ PBS มีการยึดเกาะที่ไม่ดีกับโครงสร้างหลัก PLA ทำให้ค่าโมดูลัสและความแข็งแรงดึงของพอลิเมอร์ผสมลดลง อย่างไรก็ตามการเกิดผลึกของ PLA ในพอลิเมอร์ผสมเพิ่มมากขึ้น และ PBS มีการกระจายตัวได้ดีบนโครงสร้างหลัก PLA ทำให้การยึดตัวและความเหนียวของพอลิเมอร์ผสมเพิ่มขึ้น และสามารถขึ้นรูปเส้นใยของพอลิเมอร์ผสม PLA/PBS ได้ที่อัตราส่วน 90:10 ที่อัตราการหมุนเก็บเส้นใย 50 m/min สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในงานด้านสิ่งทอต่อไป

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณสถาบันวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยี ปตท. บริษัท ปตท. จำกัด (มหาชน) ในการสนับสนุนทุนในการดำเนินงานวิจัย

6. เอกสารอ้างอิง

- Bhatia, A., Gupta, R., Bhattacharya, S. and Choi, H. 2007. Compatibility of Biodegradable Poly (lactic acid) (PLA) and Poly (butylene succinate) (PBS) Blends for Packaging Application. Korea-Australia Rheology Journal, 19: 125-131
- Yokohara, T., Yamaguchi, M. 2008. Structure and Properties for Biomass-Based Polyester Blends of PLA and PBS. European Polymer Journal, 44: 677-685
- Chen, G., Kim, H., Kim, E. and Yoon, J. 2005. Compatibilization-like Effect of Reactive Organoclay on the Poly(l-lactide)/Poly(butylene succinate) Blends. Polymer, 46: 11829-11836
- Shibata, M., Ozawa, K., Teramoto, N., Yosomiya, R. and Takeishi, H. 2003. Biocomposites Made from Short Abaca Fiber and Biodegradable Polyesters. Macromolecular Materials and Engineering, 288: 35-43
- Abhijit, P., Krishans, M. and Kumar, S., Edited. 2010. Rheology of complex fluids. Springer New York Dorecht Heidelberg, London: 3-35
- Correlo, V.M., Boesel, L.F., Bhattacharya, M., Mano, J.F., Neves, N.M. and Reis, R.L. 2005. Properties of Melt Process Chitosan and Aliphatic Polyester Blends. Materials Science and Engineering: A, 403: 57-68
- Fambri, L., Pegoretti, A., Fenner, R., Incardona, S.D. and Migliaresi, C. 1995. Biodegradable Fibres of Poly(L-lactic acid) Produced by Melt Spinning. Polymer, 38: 79-85
- Technical newsletter. Crystallinity in plastics, Zeus Industrial Products, Inc.