



**การเตรียมเส้นใยจากพอลิเมอร์สมาระหว่างพอลิแลกติกแอซิด (PLA) และพอลิไฮดรอกซี่-บิวทิเรต้าเรอเรต (PHBV) เพื่อใช้ในอุตสาหกรรมสิ่งทอ**

**Preparation of Poly(lactic acid) and (Poly[(R)-3-hydroxybutyrate-co-(R)-3-hydroxyvalerate] (PHBV) blends for Textile Industrials**

สมหมาย ผิวสอาด<sup>1</sup> สรพงษ์ ภาสุปรีญ<sup>1</sup> ณรงค์ชัย โอเจริญ และนที ศรีสวัสดิ์<sup>2</sup>  
กัญญา ศรีวารินทร์<sup>1</sup> วิศชยา รุ่งเรือง<sup>1</sup> ปียะพงษ์ รักช่วย<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ภาควิชาวิศวกรรมวัสดุและโลหการ และ <sup>2</sup>ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งทอ คณะวิศวกรรมศาสตร์  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

39 หมู่ 1 ถนนรังสิต นครนายก ตำบลคลองಹง อําเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี รหัสไปรษณีย์ 12110

E-mail: spiva@yahoo.com

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาพอลิเมอร์สมาระหว่างพอลิแลกติกแอซิด (PLA) และพอลิไฮดรอกซี่-บิวทิเรต้าเรอเรต (PHBV) สำหรับการประยุกต์ใช้งานเส้นใยยืดหยุ่นได้ทางชีวภาพ เตรียมโดยการหลอมผสมด้วยเครื่องอัตโนมัติแบบสกรูที่อุณหภูมิ 180-190 °C ความเร็วรอบ 80 รอบ/นาที ที่อัตราส่วนของ PLA:PHBV เท่ากัน 100:0, 90:10, 80:20, 70:30, 60:40, 50:50 และ 0:100 g/mol โดยเดินพอลิเอทิลีนไอกล็อกอล น้ำหนักโมเลกุล 6000 และ 4000 ที่ปริมาณ 2, 4, 6, 8 และ 10 phr เป็นสารเชื่อมประสาน การขึ้นรูปเส้นใยด้วยเทคโนโลยีการปั่นเส้นโดยแบบหลอมเหลวทำโดยผสมพอลิเมอร์แบบแห้งที่อัตราส่วนของ PLA:PHBV ที่ 100:0, 95:5, 90:10, 85:15 และ 80:20 โดยน้ำหนักด้วยเครื่องอัตโนมัติสกรูที่อุณหภูมิ 210 – 235 °C ความเร็วรอบ 9 รอบ/นาที ซึ่งให้เส้นใยที่ดกอย่างอิสระที่ความเร็วในการรีด 450, 500 และ 550 เมตร/นาที จากนั้นศึกษาสมบัติทางความร้อน สมบัติเชิงกล และสมบัติทางกายภาพของเส้นใย จากการศึกษาสมบัติทางความร้อนพบว่า เส้นใยที่เตรียมจากพอลิเมอร์ผสมแบบหลอมเหลวระหว่าง PLA:PHBV (80:20) โดยเดิน PEG เป็นสารเชื่อมประสาน พบว่าพอลิเมอร์ผสมปักกี้อยู่ด้วยการหลอมเหลวพลิก จำนวน 2 พีซ ซึ่งปราศจากพิษของ PLA และ PHBV มีค่าประมาณ 151 และ 168 °C ตามลำดับ การเดิน PEG ที่มีน้ำหนักโมเลกุล 4000 g/mol ทำให้พอลิเมอร์ผสมเข้ากันได้ดียิ่งขึ้น และเส้นใยที่ได้มีความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้น จากการทดสอบสมบัติการเรียงตัวด้วยความเร็วเชิงของเส้นใยที่เตรียมจากพอลิเมอร์สมาระหว่าง PLA:PHBV (80:20) โดยเดิน PEG เท่ากัน 4 phr ที่น้ำหนักโมเลกุล 4000 g/mol มีค่า Sonic velocity และ Modulus มีค่า 1.79 C และ 36.82 grams/denier E ตามลำดับ

คำหลัก พอลิแลกติกแอซิด พอลิไฮดรอกซี่-บิวทิเรต้าเรอเรต พอลิเมอร์ผสม เส้นใยยืดหยุ่นได้ทางชีวภาพ เทคนิค การปั่นเส้นโดยแบบหลอมเหลว

### 1. บทนำ

ในปัจจุบันได้มีการศึกษาเพื่อค้นคว้าและพัฒนาคิดค้นการผลิตเส้นใยที่เป็นมีเดรตต์อัลฟ์แวดล้อม ทั้งนี้เนื่องมาจากการเส้นใยที่ผลิตให้ในปัจจุบันส่วนใหญ่ผลิตจากพอลิเมอร์ที่สังเคราะห์จากอุตสาหกรรมปิโตรเคมี ซึ่งไม่สามารถย่อยสลายได้เองในธรรมชาติ จึงเป็นปัญหาหนึ่งที่ส่งผลกระทบอย่างมากซึ่งเป็นภัยต่อโลก ผลิตภัณฑ์ที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพจึงเป็นวัสดุที่ได้รับความสนใจสำหรับอุตสาหกรรมสิ่งทอ เส้นใยที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพที่มีการศึกษาผลิตเป็นเส้นใยในกลุ่มพอลิเอสเทอร์ เช่น พอลิแลกติกแอซิด (Polylactic acid, PLA) หรือพอลิแลกไทด์ (Polylactide) ซึ่งเป็นเทอร์โมพลาสติกอะลิฟาติกพอลิเอสเทอร์ แบบเส้นตรง สังเคราะห์จากปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแบบเปิดวง (Ring-opening polymerization) สารประกอบแอกไทด์ พอลิแลกติกแอซิดมีโครงสร้างการจัดเรียงด้วย 2 แบบ คือ D- และ L- มีเชื่อว่า PDLLA และ PLLA ตามลำดับ พอลิเมอร์ที่ประกอบด้วยส่วนผสมทั้ง D- และ L- ในโครงสร้างเรียกว่า Poly(dl-lactide) หรือ PDLLA เป็นพอลิเมอร์แบบอสัมฐานที่มีหมุนเวียน (Methyl group) จัดเรียงด้วยเป็นแบบ Syndiotactic และ Atactic ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบสมบัติ เชิงกลและสมบัติทางความร้อนพบว่า PLLA และ PDLLA มีสมบัติ เชิงกล เช่น การทนต่อแรงดึงและค่ามอดูลัส และสมบัติทางความร้อนสูงกว่า PDLLA แต่ PDLLA มีเปอร์เซ็นต์การยึดตัว ณ จุดขาดสูง และสามารถย่อยสลายได้ภายในเวลาที่รวดเร็วกว่าโอมิ-พอลิเมอร์ในปัจจุบันมีเพียง PLLA ซึ่งเป็นไอโซเมอร์ที่มีมากในธรรมชาติที่มีการผลิตเชิงการค้า PDLLA ยังไม่มีการผลิต แต่อย่างไร ก็ตามพบว่า พอลิเมอร์ที่ผลิตใช้เชิงการค้าจากบริษัท Nature Works เป็นพอลิแลกติกแอซิดประเภท PDLLA กล่าวคือมีปริมาณของ PLLA และ PDLLA ผสมกันอยู่ [6,9]

พอลิไฮดรอกซี่-บิวทิเรต้าเรอเรต (Poly[(R)-3-hydroxybutyrate-co-(R)-3-hydroxyvalerate]) (PHBV) เป็นพอลิเมอร์ย่อยสลายได้ทางชีวภาพตระกูลพอลิไฮดรอกซี่อัลคาโนเอต (Polyhydroxy alkanoate, PHA) ประกอบด้วยโคพอลิเมอร์

ระหว่าง Poly-3-hydroxybutyric acid (PHB) และ Poly-3-hydroxyvaleric acid (PHV) ซึ่ง PHB และ PHV โคพอลิเมอร์ได้มาจากการหมักของกลูโคส (glucose) และการดีโพโรไฟโอลนิก (Propionic acid) มีความเป็นหลักค่า มี  $T_m$  เท่ากับ 143 และ  $T_g$  เท่ากับ -4 °C ดังนั้นจึงมีความยืดหยุ่นและสามารถผลิตได้ง่ายสามารถนำไปใช้งานในกระบวนการการผลิต เช่น การผลิตชุด และพิล์มที่ป้องกันสายพันธุ์ทางชีวภาพเสื่อมผ้า วัสดุผสม เมมเบรน และทางการแพทย์ [1]

ดังนั้นในงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการปรับปรุงสมบัติเชิงกลของเส้นใยโพลีแลกทิกแอซิดให้มีสมบัติทางกายภาพและสมบัติความร้อนที่เหมาะสมกับการนำไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมสิ่งทอและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม โดยการเตรียมเส้นใยจากโพลิเมอร์สมควรห่วงพาลีแลกทิกแอซิดและพอลีไธอะกอฟซีบีวีทีเดรเวอเรต (Poly[(R)-3-hydroxybutyrate-co-(R)-3-hydroxyvalerate] (PHBV) และศึกษาสมบัติทางความร้อนทางกายภาพ และทางกลของโพลิเมอร์สมและเส้นใยที่ผลิตได้ [7-8]

## 2. วิธีทดสอบ

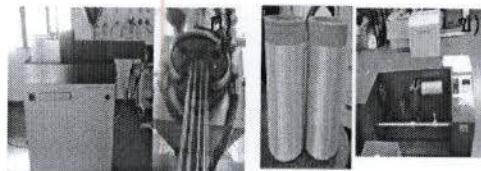
## 2.1 วัสดุและอุปกรณ์

พลาสติก PLA เกรด 3001D บริษัท Nature work co., Ltd มีความหนาแน่น  $1.26 \text{ g/cm}^3$  และมีค่าดัชนีการหล่อ  $4-8 \text{ g/10 min}$  มีน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ย  $120,000 \text{ g/mol}$  มี  $T_g$  และอุณหภูมิการหลอมผสานเท่ากัน  $51$  and  $150^\circ\text{C}$  มีความเป็นผลึกที่สูง ทำให้มีความแข็งค่อนข้างมากกว่าอุณหภูมิห้อง พลาสติก PHBV เกรด Y100P บริษัท ENMAT co., Ltd , มีค่าบั้งมดคูลัส  $900 \text{ MPa}$  มี  $T_g$  และอุณหภูมิการหลอมผสานเท่ากัน  $5-150^\circ\text{C}$

## 2.2 การเตรียมพอลิเมอร์สมรรถห่วง PLA/PHBV

ชั้นน้ำหนักของพอลิเมอร์ระหว่าง PLA:PHBV ที่อัตราส่วนตั้งนี้ 100:0, 90:10, 80:20, 70:30, 60:40, 50:50 และ 0:100 (% โดยน้ำหนัก) นำมีด PLA และมีด PHBV มาอยู่ในความร้อนที่อุณหภูมิ 80 °C เป็นเวลา 8 ชั่วโมง ทำการหลอมผสมพลาสติกที่อัตราส่วนต่าง ๆ ด้วยเครื่องอัดรีดแบบสกรูคู่ โดยอุณหภูมิการผสมจาก Hopper ถึงหัว Die เท่ากัน 180 และ 190 °C ตามลำดับ ที่ความเร็วของสกรู เท่ากัน 80 รอบ/นาที นำพลาสติกที่ผสมกันแล้วมาตัดเป็นเม็ดด้วยเครื่องตัดเม็ดพลาสติก แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 80 °C เป็นเวลา 8 ชั่วโมง นำเม็ดพลาสติกที่ได้จากขั้นตอนการเตรียมพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA:PHBV มาขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดชั้นรูป โดยใส่ลงในแม่พิมพ์ขนาด 20x20x0.03 cm จำนวน 150 g เพื่อทำการอัดชั้นรูป โดยใช้อุณหภูมิ 230 °C เป็นเวลา 4 นาที เพื่อให้มีเดพลาสติกหลอมผสมกัน และหล่อเย็นที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 6 นาที จากนั้นนำชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์เพื่อนำไปเติร์นเป็นชิ้นงานทดสอบตามมาตรฐานการทดสอบ และทำการขึ้นรูปสไลน์ด้วยกระบวนการการบันเลนในด้วยเครื่องอัดรีดแบบสกรูเดียวจากเครื่อง Fournie' Modular Melt Spinning

Machine นำเม็ดเม็ดพลาสติก PLA เกรด 3001D และ เม็ดพลาสติก PHBV เกรด Y100P และเม็ดพอลิเมอร์ฟลัมที่เตรียมได้จากเครื่องอัดรีดสกรูซึ่งป้อนให้แห้งที่อุณหภูมิ 80 °C เป็นเวลา 12 ชั่วโมง ในตู้อบเม็ดแบบลมร้อนแห้ง (Dry-air Chip Dryer) จากนั้นนำเม็ดพลาสติกไปวัดค่าดัชนีการไหลและทดสอบสมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิค DSC นำเม็ดพลาสติกไปขึ้นรูปเป็นเส้นโดยด้วยเครื่องอัดรีดสกรูเดี่ยว โดยทำการอัดรีดภายใต้อุณหภูมิ 200, 220, 230 (Zone Extruder) 235 (Connector) และ 235 °C (Die) ความเร็ว rob ในการอัดรีด คือ 8 รอบต่อนาที, Spin Pack ขนาด 5 รู (เส้นผ่าศูนย์กลางรู 0.5 mm (L/D = 2)) โดยฉีดเส้นไปให้ตอกอย่างอิสระ และทำการทดสอบสมบัติทางกายภาพและทางความร้อนของเส้นไป นำเส้นไปที่ได้ไปทำการม้วนเก็บเข้าหลอดโดยใช้อัตราการลด (Draw) ขนาดที่ 3:1 เท่า ด้วยความเร็วของอุกรักษ์ 25 m/min และให้เส้นไขัดเรียงตัวใหม่โดยการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 70 °C และทำการดึงม้วนเก็บ ที่ความเร็ว 75 m/min ตั้งรูปที่ 1



รูปที่ 1 ก) และ ข) การขึ้นรูปเส้นโดยกระบวนการบัน้ำเส้น  
โดยด้วยเครื่องอัดรีดแบบสกรูเดียวจากเครื่อง Fourné' Modular  
Melt Spinning

### 2.3 สมบัติทางความร้อน

ทำการทดสอบสมบัติทางความร้อนของพอดิเมอร์ผสมระหว่าง PLA:PHBV 100:0, 90:10 80:20, 70:30, 60:40, 50:50 และ 0:100 (%) โดยน้ำหนักก็ ด้วยเทคนิคดิฟเฟอร์เรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริเมทร์ [2] โดยเดรี่ยมด้วยย่างประมาณ 5-15 mg นำตัวอย่างที่เตรียมมาลงในภาชนะอโลมีเนียม (Pan) แล้วนำไปอัดปิดฝาด้วยค่าช่วงอุณหภูมิที่ 30 - 250 °C พลังงานที่วัดออกมานะจะเป็น mW สามารถหาพื้นที่ได้รู้ที่เรียกว่า "Heat Flux" โดยแบ่งตามลักษณะพฤติกรรมทางความร้อน

## 2.4 สมนติทางภาษา

การวัดดัชนีการไหล (Melt Flow Index, MFI) ตามมาตรฐาน ASTM D 1238-98 [3] ผลการวัดดัชนีการไหลของพอลิเมอร์ส่วนหัว PLA:PHBV 100:0, 90:10 80:20, 70:30, 60:40, 50:50 และ 0:100 (%) โดยน้ำหนัก ซึ่งทำการทดสอบโดยใช้อุณหภูมิ 190 °C น้ำหนักของ Piston อุญที่ 2.16 Kg พลาสติกเหลวจะไหลผ่านหัวด้ายน์ออกมา หลังจากนั้นนำพลาสติกที่ไหลออกมาไปชั่งน้ำหนักเทียบกับเวลา 10 นาที เราก็จะได้ค่าของ MFI ของพลาสติก ซึ่งมีหน่วยเป็น g/10min ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดน้ำหนักของพอลิเมอร์ [3-4]



## 2.5 สมบัติเชิงกล

ทำการทดสอบการทนทานต่อแรงดึง (Tensile Strength) และการทนแรงกระแทก (Impact Strength) ของพอลิเมอร์ผสม ระหว่าง PLA:PHBV 100:0, 90:10 80:20, 70:30, 60:40, 50:50 และ 0:100 (% โดยน้ำหนัก) ตามมาตรฐาน ASTM D 638-84 [3-5] และ ASTM D 256-84 [4] ตามลำดับ

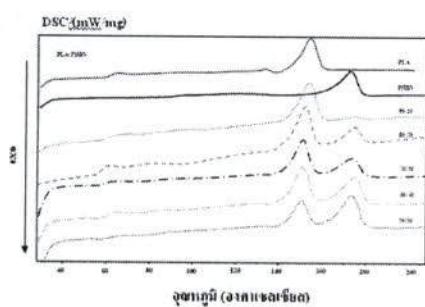
## 3. ผลการทดลองและอภิปราย

### 3.1 สมบัติทางความร้อน

จากการทดสอบสมบัติทางความร้อนของพอลิเมอร์และพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA:PHBV พบว่า หลังการผสมพอลิเมอร์ทั้ง 2 ชนิด (PLA และ PHBV) พบว่าอุณหภูมิการหลอมเหลวของ PLA มีค่าประมาณ  $151^{\circ}\text{C}$  และอุณหภูมิการหลอมเหลวของ PHBV มีค่าประมาณ  $175^{\circ}\text{C}$  และในส่วนของพอลิเมอร์ผสมมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิการหลอมเหลวเล็กๆ (Melting Temperature,  $T_m$ ) ปรากฏ 2 พีคและค่ามีลักษณะเข้าใกล้กันมากที่สุดที่อัตราส่วน 90:10 และ 80:20 และพบว่า ที่อัตราส่วนนี้เฟสของ PHBV มีค่า  $T_m$  ลดลง ส่วนที่อัตราส่วนอื่น ๆ ไม่มีการเปลี่ยนแปลงค่า  $T_m$  แสดงให้เห็นว่าภายหลังจากการเติม PHBV ลงไปในระหว่างการเตรียมพอลิเมอร์ผสม สังผอยให้เฟสของ PLA มีความแข็งเประขึ้น และพอลิเมอร์เข้ากันได้บางส่วนที่อัตราส่วนดังกล่าว แต่ที่อัตราส่วนอื่น ๆ พอลิเมอร์เข้ากันได้น้อย เนื่องจาก  $T_m$  ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง

ตารางที่ 1 สมบัติทางความร้อนของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA/PHBV ที่อัตราส่วนต่าง ๆ ด้วยเทคนิค DSC

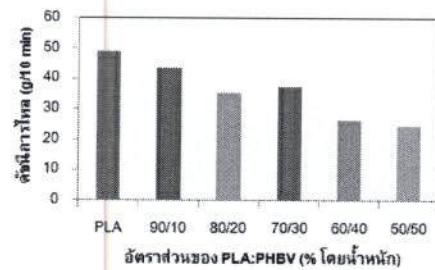
อัตราส่วนของ PLA:PHBV (% โดยน้ำหนัก)	$T_m$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	
	Peak 1 (PLA)	Peak 2 (PHBV)
100:0	151.1	-
90:10	152.4	173.0
80:20	151.6	173.4
70:30	151.7	174.6
60:40	150.6	174.7
50:50	150.7	174.1
0:100	-	174.5



รูปที่ 2 เทอร์โมแกรม DSC แสดงสมบัติทางความร้อนของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA:PHBV

### 3.2 สมบัติทางกายภาพ

ค่าดัชนีการไหลของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA:PHBV ตามลำดับ พบว่า PHBV มีค่าดัชนีการไหลสูงกว่า PLA โดยที่ PLA มีค่าดัชนีการไหลเท่ากับ  $8.46 \text{ g}/10\text{min}$  และพอลิเมอร์ผสมมีค่าดัชนีการไหลเพิ่มขึ้นตามปริมาณของ PHBV ที่เพิ่มขึ้น แสดงว่า PHBV มีมวลโมเลกุลต่ำกว่า PLA จึงมีค่าดัชนีการไหลสูง หลังการผสมพอลิเมอร์ทั้ง 2 ชนิด ค่าดัชนีการไหลของพอลิเมอร์ผสมนั้น เป็นไปตามแนวโน้มของกฎการผสม เนื่องจากค่าดัชนีการไหลของพอลิเมอร์ผสมมีค่าสูงกว่า PLA และปริมาณการไหลก็มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณของ PHBV ที่เพิ่มขึ้น ในขณะที่ความหนาแน่น มีแนวโน้มลดลง ทั้งนี้เนื่องจาก PLA มีค่า  $T_m$  ต่ำกว่า PHBV เมื่อทำการผสมพอลิเมอร์และแสดงสมบัติ PLA มากกว่า PHBV เนื่องจากอัตราส่วนการผสมจะใช้ปริมาณของ PLA สูงกว่า



รูปที่ 3 ผลของอัตราส่วนต่าง ๆ ของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA/PHBV ที่อัตราส่วนต่าง ๆ ด้วยค่าดัชนีการไหล

จากการที่ 2 แสดงความทนทานต่อแรงดึงของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA/PBSA/PBAT พบว่า PLA มีความทนทานต่อแรงดึงเท่ากับ  $49.03 \text{ MPa}$  PHBV มีความทนทานต่อแรงดึงเท่ากับ  $10.24 \text{ MPa}$  ซึ่งเห็นได้ว่า PHBV มีความทนทานต่อแรงดึงต่ำกว่า PLA หลังการผสมพอลิเมอร์ทั้ง 2 ชนิด พบว่า ค่าความทนทานต่อแรงดึงลดลงตามปริมาณของ PHBV ที่เพิ่มขึ้น และแสดงว่า ที่อัตราส่วนดังกล่าว พอลิเมอร์ผสมทั้ง 2 ชนิด มีความเข้ากันได้บางส่วน และเมื่อพิจารณาที่อัตราส่วน 60:40 และ 50:50 ของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA:PHBV พบว่า ความทนทานต่อแรงดึง มีค่าต่ำ และแสดงว่าที่อัตราส่วนดังกล่าว พอลิเมอร์ผสมไม่สามารถผสมเข้าเป็นเนื้อเดียวกันและเกิดการแยกเฟสอย่างชัดเจน ทำให้ความแข็งแรงของพอลิเมอร์ผสมลดลง เนื่องจากแรงดึงเนื้อเยื่าระหว่างโมเลกุลของพอลิเมอร์ผสมมีค่าน้อย ซึ่งผลที่ได้สอดคล้องกับสมบัติทางความร้อนของพอลิเมอร์ผสมด้วยเทคนิค DSC ที่อุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วซึ่งปรากฏพีค 2 พีค แสดงว่า พอลิเมอร์ผสมทั้ง 2 ชนิด ไม่สามารถผสมเป็นเนื้อเดียวกันได้



เบอร์เซ็นต์การยึดตัว ณ จุดขาด พนว PLA มีเบอร์เซ็นต์การยึดตัว ณ จุดขาด ต่ำกว่า PHBV โดยที่ PLA มีเบอร์เซ็นต์การยึดตัว ณ จุดขาด เท่ากับ 3.18% และ PHBV มีเบอร์เซ็นต์การยึดตัว ณ จุดขาด เท่ากับ 4.66% [10] จะเห็นได้ว่า PHBV มีค่าสูงกว่า ทั้งนี้เนื่องจาก PHBV มีลักษณะโครงสร้างเป็นแบบอสังฐาน จึงมีความเป็นไปได้ที่จะแสดงสมบัติด้านความยืดหยุ่น ในขณะเดียวกันเมื่อทำการทดสอบพอลิเมอร์ทั้ง 2 ชนิด พนว PLA มีเบอร์เซ็นต์การยึดตัว ณ จุดขาด ลดลงและคงที่ อัตราส่วนของพอลิเมอร์ผสมเท่ากับ 60:40 และ 50:50 ซึ่งที่อัตราส่วนดังกล่าวสามารถทำให้ทราบว่าพอลิเมอร์ผสมทั้ง 2 ชนิด ไม่สามารถสม เป็นเนื้อเดียวกันได้ในทุกอัตราส่วน และเบอร์เซ็นต์การยึดตัว ณ จุดขาด แปรผันตรงกับความทนทานต่อแรงดึง

ค่าบั้งส้มอุดลั๊ส พนว PLA มีค่าบั้งส้มอุดลั๊สเท่ากับ 2147.10 MPa และ PHBV มีค่าบั้งส้มอุดลั๊สเท่ากับ 467.83 MPa หลังการทดสอบพอลิเมอร์ทั้ง 2 ชนิด พนว PLA ค่าบั้งส้มอุดลั๊สลดลงเมื่อปริมาณของ PHBV เพิ่มขึ้นและมีค่ามากที่สุดที่อัตราส่วน 90:10 และ 80:20 ซึ่งค่าบั้งส้มอุดลั๊สแปรผันตามกับความทนทานต่อแรงดึง

ตารางที่ 2 สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA:PHBV

อัตราส่วนของ (%โดยน้ำหนัก)	ความทนทาน (MPa)	เบอร์เซ็นต์ การยึดตัว (%)	ค่าบั้งส้ม <sup>a</sup> (MPa)
PLA	49.03	3.18	2147.10
90:10	43.58	2.91	2106.10
80:20	35.27	2.34	2054.31
70:30	37.38	2.80	1869.45
60:40	26.28	2.69	1536.47
50:50	24.6	2.77	1419.95
PHBV	10.24	4.66	467.83

#### 4. สรุป

การทดสอบสมบัติทางความร้อนตัวเทคนิค DSC ของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA:PHBV พนว PLA มีค่า  $T_m$  ประมาณ 151 °C และ PHBV มีค่า  $T_m$  ประมาณ 175 °C หลังจากการทดสอบพอลิเมอร์พบว่า ที่อัตราส่วน 90:10 และ 80:20 มีการเปลี่ยนแปลงค่า  $T_m$  เล็กน้อย และว่าพอลิเมอร์เข้ากันได้บางส่วน และ ค่าดัชนีการไหลของ PLA มีค่าดัชนีการไหล เท่ากับ 8.46 g/10min และพอลิเมอร์ผสมที่อัตราส่วน 90:10 และ 80:20 (% โดยน้ำหนัก) มีค่าดัชนีการไหล 9.24 และ 12.72 g/10min หลังจากนำพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA:PHBV (80:20) เดิน PEG ปริมาณ 2, 4, 6, 8 และ 10 phr เป็นสารเชื่อมประสาน พนว PEG 4 phr ที่น้ำหนักโมเลกุล 4000 g/mol มีค่าดัชนีการไหล 12.78 g/10min เหมาะสมสำหรับการนำไปใช้รูปเส้นใน ส่วนของค่าความทนทานต่อแรงดึงของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง

PLA:PHBV ที่อัตราส่วน 90:10 และ 80:20 มีค่าเท่ากับ 43.58 MPa และ 35.27 MPa ตามลำดับ และมีค่าเบอร์เซ็นต์การยึดตัว ณ จุดขาด เท่ากับ 2.91% และ 2.34% ตามลำดับ นอกจากนี้มีค่าบั้งส้มอุดลั๊ส เท่ากับ 2106.10 MPa และ 2054.31 MPa ตามลำดับ ซึ่งมีค่าสูงที่สุด

#### กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ ที่ให้ทุนสนับสนุนงานวิจัยประจำปีงบประมาณ 2554

#### เอกสารอ้างอิง

- [1] ธนาวดี ลี้จากภัย. 2549. พลาสติกย่อยสลายได้เพื่อสิ่งแวดล้อม. ปทุมธานี : ไทยอे�ฟ เฟคท์สตูดิโอ.
- [2] ปืนสุภา ปิติรักษ์สกุล. 2545." การวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะของพอลิเมอร์." กรุงเทพมหานคร: มหาวิทยาลัยรามคำแหง
- [3] อำนวย ลากาเกษมสุข. Testing.2553.มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
- [4] ณรงค์ฤทธิ์ สมบัติสมภพและชาคริต สิริสิงห์. 2544. "พัฒนาระบบการไหลของพอลิเมอร์หลอมเหลวและการนำไปใช้งาน." กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
- [5] จินเดมัย สุวรรณประทีป (2547) "การทดสอบสมบัติทางเชิงกลของพลาสติก" กรุงเทพฯ: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น)
- [6] D.S.Rosa,C.G.F.Guedes,C.M.Oliveira,M.I Felisberti, "Processing and Properties of Mixtures of PHB-V with Post-consumer LDPE." J Polymer Environ (2008) 16:230-240
- [7] Wan Meng,Zhi-Cai Xing,Kyung-Hye Jung,Se-Yong Kim,Jiang Yuan,Inn-kyu Kang,Sung Chul Yoon,Hong In Shin, "Synthesis of gelatin-containing PHBV nanofiber mats for biomedical application." J Mater Sci:Mater Med (2008) 19:2799-2807.
- [8] Soma Pal Shaha,A.Patra,A.K.Paul.2007."Studies on intracellular degradation of polyhydroxyalcanoic acid-polyethylene glycol copolymer accumulated by Azotobacter chroococcum MAL-201." Journal of BioTechnology 137.pp325-330.
- [9] B.M.P.Ferreira,C.A.CZavaglia,E.A.R.Duek.2002."Films of PLLA/PHBV Thermal morphological and mechanical characterization." Journal of Applied Polymer Science.Vol 86.Issue 11.pp 2898-2906.
- [10] Derval dos Santos Rosa, Maria Regina Colil, Critina das Gracas, Fassina Guedes and Túlio Redrigues.



"Biodegradability of thermally Aged PHB, PHB-V and PCI in soil compostage". Universidade Sao Francisco, Rua Alexandre Brabosa, Brazil. Journal of Applied Polymer Science.Vol.12, No.4, October 2004, pp.293-245.