



**การเตรียมพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิแลคติกแอซิด พอลิบิวทีลีนซัคซินेटโคอะดิเพต
และพอลิบิวทีลีน อดิเพต เทอเลฟทาเลต (PBAT) เพื่อใช้ในอุตสาหกรรมเป่าฟิล์ม**
**Preparation of Polymer Blends between Poly (L-lactic acid), Poly(butylene
succinate-co-adipate) and Poly(butylene adipate-co-terephthalate)**
for Blow Film Industrial Application

สมหมาย ผิวสะอาด^{1*} สรพงษ์ ภาสุปรีย์¹ ภูริทัต ไชยหลัก¹ อุบล อินทร์ศวร¹ และวีราภรณ์ ผิวสะอาด²
¹ ภาควิชาวิศวกรรมวัสดุและโลหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
² ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

อำเภอธัญบุรี จังหวัดปทุมธานี, รหัสไปรษณีย์ 12110

E-mail: spivsart@yahoo.com*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการเตรียมพอลิเมอร์ผสมเพื่อการประยุกต์ใช้ในการขึ้นรูปฟิล์มพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพโดยใช้พอลิแลคติกแอซิด (PLA) เป็นเมทริกซ์ และผสมกับพอลิเมอร์ย่อยสลายได้ทางชีวภาพเพื่อปรับปรุงสมบัติของพอลิแลคติกแอซิดให้เหมาะสมกับการขึ้นรูปฟิล์ม จากการศึกษาพบว่าพอลิเมอร์ผสมพอลิแลคติกแอซิดกับพอลิบิวทีลีนอะดิเพตเทอเลฟทาเลต (PBAT) ซึ่งเป็นพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพและมีสมบัติความยืดหยุ่นที่เหมาะสมกับการปรับปรุงคุณภาพของพอลิแลคติกแอซิด แต่อย่างไรก็ตามพอลิเมอร์ผสมไม่สามารถขึ้นรูปฟิล์มได้ดี และฟิล์มที่ได้มีความขุ่น และแข็งเปราะ ฉีกขาดง่าย คณะผู้วิจัยจึงได้ศึกษาการเตรียมพอลิเมอร์ผสมจากพอลิเมอร์ 3 ชนิด โดยการเพิ่มพอลิบิวทีลีนซัคซินेटโคอะดิเพต (PBSA) ในพอลิเมอร์ผสมและขึ้นรูปฟิล์มได้ พอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA/PBSA/PBAT เตรียมโดยใช้เครื่องอัดรีดสกรูคู่ ซึ่งสามารถเข้ากันได้ดีในทุกอัตราส่วน พบว่าการเพิ่มปริมาณ PBAT ทำให้ความทนทานต่อแรงดึง ค่ายังสีมอดูลัสและเปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาดลดลง อัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่าง PLA/PBSA/PBAT คือ 80/20/10 wt% เนื่องจากมีความทนทานต่อแรงดึงสูงที่สุด การปรับเปลี่ยนกระบวนการเป่าฟิล์มโดยใช้เครื่องอัดรีดสกรูคู่มาต่อเข้ากับเครื่องเป่าฟิล์มพบว่าที่อัตราส่วน PLA/PBSA/PBAT : 60/40/40 wt% สามารถขึ้นรูปฟิล์มได้ดีและฟิล์มที่ได้เข้าเป็นเนื้อเดียวกัน และมีความทนทานต่อแรงดึงสูง เหมาะสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้กับภาคอุตสาหกรรมการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ฟิล์ม

คำสำคัญ พอลิแลคติกแอซิด พอลิบิวทีลีนอะดิเพตเทอเลฟทาเลต พอลิบิวทีลีนซัคซินेटโคอะดิเพต พลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ ฟิล์ม

1. บทนำ

พลาสติกเป็นวัสดุที่มีการนำมาใช้งานอย่างกว้างขวาง ทั้งในรูปของผลิตภัณฑ์ที่เป็นของแข็งและบรรจุภัณฑ์ต่างๆ ทั้งนี้เนื่องจากสมบัติของพลาสติกที่มีน้ำหนักเบา ราคาถูก คงทนต่อการย่อยสลาย และขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์รูปร่างต่างๆ ได้ง่าย แต่ผลิตภัณฑ์พลาสติกภายหลังจากการใช้งานจะถูกทิ้งให้กลายเป็นขยะซึ่งก่อให้เกิดปัญหาปริมาณของขยะพลาสติกที่ไม่ย่อยสลายเพิ่มมากขึ้น ก่อให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม เพื่อเป็นการแก้ปัญหาขยะพลาสติกที่ไม่ย่อยสลายหรือย่อยสลายได้ยากและก่อให้เกิดปัญหาต่อสิ่งแวดล้อมหลายประเทศทั่วโลกได้ให้ความสนใจพัฒนาพลาสติกที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพมากขึ้นและมีการรณรงค์การใช้พลาสติกชีวภาพมากขึ้น พลาสติกที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพหลายชนิดถูกผลิตขึ้น ในทางการค้า เช่น (Polyhydroxyalkanoate, PHA) พอลิแลคติกแอซิด (Polylactic Acid, PLA) และพอลิคาโพรแลคโตน (Polycaprolactone, PCL) [1]

พอลิแลคติกแอซิด (PLA) เป็นพอลิเอสเทอร์แบบกึ่งผลึกที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ มีสมบัติเชิงกลสูง จึงสามารถนำมาผ่านกระบวนการขึ้นรูปต่างๆ ตามการใช้งานได้ แต่พอลิแลคติกแอซิดที่ผ่านกระบวนการสังเคราะห์มาแล้ว ยังไม่สามารถที่จะนำขึ้นรูปด้วยกระบวนการเป่าฟิล์มได้ เนื่องจากมีน้ำหนักโมเลกุล ที่ค่อนข้างต่ำ มีอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (Glass Transition Temperature, T_g) ที่สูงประมาณ 50 – 60 °C มีความเป็นผลึกที่สูง ทำให้มีความแข็งค่อนข้างมากที่อุณหภูมิห้อง และมีค่าดัชนีการหักเหที่สูง ซึ่งเมื่อนำคุณสมบัติดังกล่าวมาเปรียบเทียบกับพลาสติกทางการค้าที่ขึ้นรูปด้วยกระบวนการเป่าฟิล์ม (Blow Film) โดยทั่วไป เช่น พอลิเอทิลีน (Polyethylene, PE) จะมีอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว อยู่ที่ -120 °C มีค่าดัชนีการหักเหที่ต่ำ เป็นต้น จากข้อจำกัดดังกล่าวจึงเป็นอุปสรรคต่อกระบวนการขึ้นรูปโดยกระบวนการเป่าฟิล์ม ซึ่งเป็นวิธีการขึ้นรูปเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่นำมาใช้งานกันมากที่สุดในปัจจุบัน นอกจากจะอาศัยสมบัติของ



พอลิเมอร์ที่เหมาะสมแล้ว กระบวนการขึ้นรูปยังต้องอาศัยเทคนิคพิเศษเพิ่มเติม เพื่อให้ได้ฟิล์มพลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ และมีสมบัติที่ใกล้เคียงกับพลาสติกที่ใช้ในปัจจุบันด้วย [2]

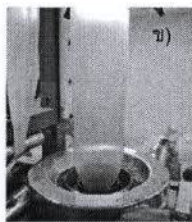
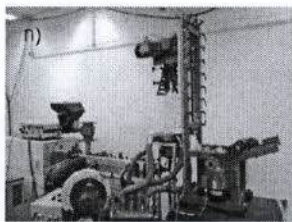
2. วิธีทดลอง

2.1 วัสดุและอุปกรณ์

พลาสติก PLAเกรด 4042D บริษัท Nature work มีความหนาแน่น 1.26 g/cm^3 และมีค่าดัชนีการไหล $4-8 \text{ g/10 min}$ มีน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ย $120,000 \text{ g/mol}$ มีอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (Glass Transition Temperature, T_g) และอุณหภูมิการหลอมผลึกเท่ากับ 51 and 150°C มีความเป็นผลึกที่สูง ทำให้มีความแข็งแรงค่อนข้างมากที่อุณหภูมิห้อง พลาสติก PBSA บริษัท Showa High Polymer Co, Ltd (Bionolle®) Ire Chemical (EnPol) และพลาสติก PBAT (Ecoflex FBX 7011) ความหนาแน่น 1.23 g/cm^3 ค่าดัชนีการไหล 2 g/10 min

2.2 การเตรียมพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA/PBSA/PBAT

ซึ่งน้ำหนักของพอลิเมอร์ระหว่าง PLA/PBSA/PBAT ที่ PLA/PBSA (80/20/10-50 wt%) นำเม็ด PLA เม็ด PBSA และเม็ด PBAT มาบดไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 80°C เป็นเวลา 8 ชั่วโมง ทำการหลอมผสมพลาสติกที่อัตราส่วนต่างๆ ด้วยเครื่องอัดรีดแบบสกรูคู่ โดยอุณหภูมิการผสมจาก Hopper ถึงหัว Die เป็น 180 และ 190°C ตามลำดับ และความเร็วรอบสกรู เท่ากับ 80 รอบ/นาที นำพลาสติกที่ผสมกันแล้วมาตัดเป็นเม็ดด้วยเครื่องตัดเม็ดพลาสติก แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 80°C เป็นเวลา 8 ชั่วโมง นำเม็ดพลาสติกที่ได้มาขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดขึ้นรูปเพื่อทดสอบสมบัติและขึ้นรูปฟิล์ม โดยเครื่อง Blow Film โดยสภาวะที่ใช้ เป็น 180 , 180 , 190 และ 190°C ตามลำดับ มีการปรับเปลี่ยนกระบวนการเป่าฟิล์ม โดยการใช้เครื่องอัดรีดสกรูคู่มาต่อเข้ากับเครื่องเป่าฟิล์ม (ดังรูปที่ 1) โดยใช้อุณหภูมิ 165 , 170 , 175 , 180 , 180 , 190 , 180 และ 180°C และมีความเร็วของสกรู 100 รอบ/นาที และความเร็วในการเป่าเม็ดพลาสติก เท่ากับ 30 รอบ/นาที ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ก) และ ข) การขึ้นรูปฟิล์มด้วยหัว Die Blow Film ที่ติดตั้งกับเครื่อง Twin Screw Extruder

2.3 สมบัติทางความร้อน

การทดสอบสมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริเมทรี (Differential Scanning Calorimetry, DSC) [3] ทำการทดสอบสมบัติทางความร้อนของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง

PLA/PBSA/PBAT (80/20/10-50 wt%) ด้วยเทคนิค DSC เตรียมตัวอย่างประมาณ $5-15 \text{ mg}$ นำตัวอย่างที่เตรียมได้ใส่ลงในภาชนะอลูมิเนียม (Pan) แล้วนำไปอัดปิดฝาตั้งค่าช่วงอุณหภูมิที่ $50 - 300^\circ\text{C}$ พลังงานที่วัดออกมาจะเป็น mW สามารถวัดหาพื้นที่ใต้รูปที่เรียกว่า "Heat Flux" โดยแปรตามลักษณะพฤติกรรมทางความร้อน

2.4 สมบัติทางกายภาพ

การทดสอบดัชนีการไหล (Melt Flow Index, MFI) ตามมาตรฐาน ASTM D 1238-98 [4] ผลการทดสอบดัชนีการไหลของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA/PBSA/PBAT (80/20/10-50 wt%) ซึ่งทำการทดสอบโดยใช้ อุณหภูมิ 190°C น้ำหนักของ Piston 2.16 kg พลาสติกเหลวก็จะไหลผ่านหัวดาย์นออกมา หลังจากนั้นก็นำพลาสติกที่ไหลออกมาไปชั่งน้ำหนักเทียบกับเวลา 10 นาที ก็จะได้อัตราของ MFI ของพลาสติก ซึ่งมีหน่วยเป็น g/10 min ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดกับน้ำหนักของพอลิเมอร์ [4,5]

2.5 สมบัติเชิงกล

การทดสอบการทนทานต่อแรงดึง (Tensile Strength) ตามมาตรฐาน ASTM D 638-84 [4,6] ของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA/PBSA/PBAT ที่อัตราส่วน (80/20/10-50 wt%) ค่ายังสัมมอดูลัสและเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด การทดสอบการทนแรงกระแทกตามมาตรฐาน ASTM D 256-84 [4] ของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA/PBSA/PBAT (80/20/10-50 wt%)

2.6 ลักษณะสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์

ลักษณะสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA/PBSA/PBAT ที่อัตราส่วน 80/20/10-50 wt% สามารถวิเคราะห์ได้โดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope SEM) โดยใช้ลำอิเล็กตรอนสแกนไปบนผิวหน้าของชิ้นงานตัวอย่าง ทำให้เกิดการกระเจิงของอิเล็กตรอน (Scattered Electron) และเกิดสัญญาณรูปภาพที่สามารถเห็นผิวหน้าและโครงสร้างของพอลิเมอร์ เนื่องจากมีกำลังขยายสูงและเป็นภาพสามมิติ [3] โดยทดสอบภายใต้สภาวะสุญญากาศด้วยกระแสไฟฟ้า 15 kV

3. ผลการทดลองและอภิปราย

3.1 สมบัติทางความร้อน

จากการทดสอบสมบัติทางความร้อนของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA/PBSA/PBAT ที่อัตราส่วนต่างๆ พบว่าหลังการผสมพอลิเมอร์ทั้ง 3 ชนิด มีการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางความร้อน ซึ่งอุณหภูมิการหลอมเหลวของ PLA มีค่าประมาณ 152 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิการหลอมเหลวของ PBSA มีค่าประมาณ 95°C หลังจากนำ PLA ผสมด้วย PBSA พบว่า มีการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางความร้อนเล็กน้อย การเปลี่ยนแปลงจากการศึกษาสมบัติ

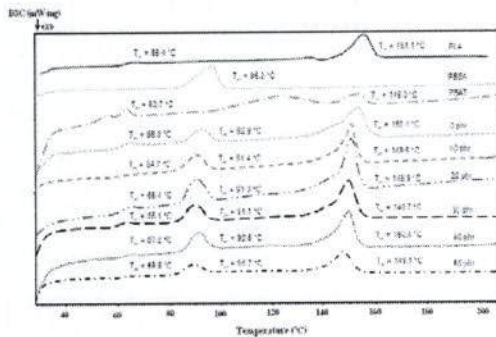


ทางความร้อนของพอลิเมอร์ผสมในทางทฤษฎี [2] เทอร์โมแกรมแสดงสมบัติทางความร้อน แสดงอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะและเมื่อทำการผสมพอลิเมอร์ทั้ง 3 ชนิดพบว่า ปรากฏอุณหภูมิหลอมเหลวหลักเป็น 3 พิกัด แสดงให้เห็นว่าพอลิเมอร์นั้นสามารถเข้ากันได้บางส่วน แต่ในเฟสของ PBAT พบว่าการหลอมเหลวหลักลดลงอย่างเห็นได้ชัดจน แสดงให้เห็นว่า PBAT สามารถเข้ากันได้ดีเมื่อเทียบกับการเติม PBSA จึงมีความเป็นไปได้ว่า PLA สามารถเข้ากันได้กับ PBAT มากกว่า PBSA

ตารางที่ 1 สมบัติทางความร้อนของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA/PBSA/PBAT ที่อัตราส่วนต่างๆ ด้วยเทคนิค DSC

PBAT content (wt%)	Melting temperature, T_m (°C)		
	Peak 1 (PLA)	Peak 2 (PBSA)	Peak 3 (PBAT)
PLA	151.3	-	-
PBSA	-	92.7	-
PBAT	-	-	106.0
0 ^a	148.6	94.2	-
10 ^a	149.1	94.5	-
20 ^a	149.5	94.5	-
30 ^a	149.6	93.6	-
40 ^a	149.3	93.5	-
50 ^a	149.4	92.5	-

^aPLA/PBSA = 80/20

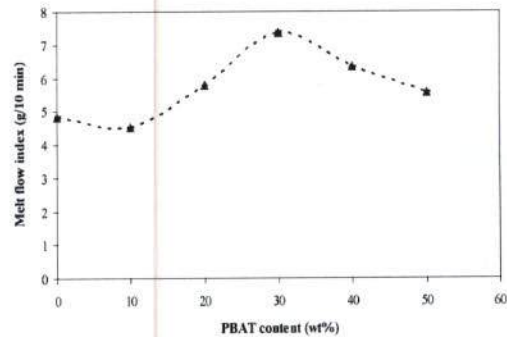


รูปที่ 2 เทอร์โมแกรม DSC แสดงสมบัติทางความร้อนของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA/PBSA/PBAT

3.2 สมบัติทางกายภาพ

ค่าดัชนีการไหลของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA/PBSA/PBAT พบว่า PBSA มีค่าดัชนีการไหลต่ำกว่า PLA โดยที่ PLA มีค่าดัชนีการไหลเท่ากับ 8.46 g/10 min และพอลิเมอร์ผสมมีค่าดัชนีการไหลตามปริมาณของ PBAT ที่เพิ่มขึ้น แสดงว่า PBSA มีมวลโมเลกุลสูงกว่า PLA จึงมีค่าดัชนีการไหลต่ำกว่า หลังการผสมพอลิเมอร์ทั้ง 2 ชนิด ค่าดัชนีการไหลของพอลิเมอร์ผสมนั้นเป็นไปตามแนวโน้มของกฎการผสม [8] เนื่องจากค่าดัชนีการไหลของ

พอลิเมอร์ผสมมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณ PBAT ที่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อปริมาณของ PBAT มากขึ้น ทำให้ความหนืดของพอลิเมอร์ผสมมีความหนืดเพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าดัชนีการไหลลดลง [9,10] ดังนั้นปริมาณ PBAT ที่เหมาะสมสำหรับการขึ้นรูปฟิล์ม คือ ปริมาณ PBAT ที่ 10 และ 20 wt%



รูปที่ 3 ผลของปริมาณ PBAT ที่แตกต่างกันของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA/PBSA (80/20 wt%) ต่อค่าดัชนีการไหล

3.3 สมบัติเชิงกล

ความทนทานต่อแรงดึงของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA/PBSA/PBAT พบว่า PLA มีความทนทานต่อแรงดึงดังแสดงในตารางที่ 2 หลังการผสมพอลิเมอร์ทั้ง 3 ชนิด พบว่าความทนทานต่อแรงดึงลดลงตามปริมาณของ PBAT ที่เพิ่มขึ้น [7] แสดงว่าอัตราส่วนดังกล่าว พอลิเมอร์ผสมทั้ง 3 ชนิด มีความเข้ากันได้บางส่วน และเมื่อพิจารณาที่อัตราส่วนของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA/PBSA/PBAT พบว่า ไม่เป็นไปตามกฎของการผสม โดยมีความทนทานต่อแรงดึงต่ำ เนื่องจาก PBAT มีความยืดหยุ่นสูงกว่า PLA และ PBSA ดังนั้นเมื่อผสมลงไปจึงทำให้ความแข็งแรงของพอลิเมอร์ผสมลดลง [7,8] ซึ่งผลที่ได้สอดคล้องกับสมบัติทางความร้อนของพอลิเมอร์ผสมด้วยเทคนิค DSC ที่อุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วปรากฏพิกัด 2 พิกัด แสดงว่า พอลิเมอร์ผสมทั้ง 3 ชนิดไม่สามารถผสมเป็นเนื้อเดียวกันได้ เปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด พบว่า PLA มีเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด ต่ำกว่า PBSA โดยที่ PLA มีเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด เท่ากับ 3.47% และ PBSA มีเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด เท่ากับ 4.99% หลังการผสมพอลิเมอร์ทั้ง 3 ชนิด พบว่า เปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด เพิ่มขึ้น และเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด แปรผกผันตรงกับความทนทานต่อแรงดึง ค่ายังสัมมอดูลัส พบว่า PLA มีค่ายังสัมมอดูลัสเท่ากับ 2646.24 MPa และ PBSA มีค่ายังสัมมอดูลัสเท่ากับ 456.4 MPa และ PBAT เท่ากับ 100.79 MPa ดังแสดงในตารางที่ 2 หลังการผสมพอลิเมอร์ทั้ง 3 ชนิด พบว่าค่ายังสัมมอดูลัสลดลงเมื่อปริมาณของ PBAT เพิ่มขึ้น และค่ายังสัมมอดูลัสแปรผกผันตามกับความทนทานต่อแรงดึง ในส่วนของการศึกษาความทนทานต่อแรงกระแทกพบว่าความทนทานต่อแรงกระแทกมีแนวโน้มลดลงตามปริมาณของ PBAT ที่เพิ่มขึ้น [7] และมีค่ามากที่สุดที่ปริมาณ



PBAT เท่ากับ 20 wt% ทั้งนี้เนื่องจากที่ปริมาณ PBAT 20 wt% ทำให้พอลิเมอร์ผสมเข้ากันได้ดีกว่าอัตราส่วนอื่นๆ และที่อัตราส่วนของพอลิเมอร์ผสมอื่นๆ พอลิเมอร์สามารถเข้ากันได้น้อยลง ส่งผลให้ความทนทานต่อแรงกระแทกลดลง

ตารางที่ 2 สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง

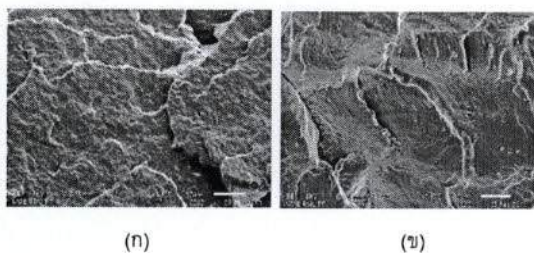
PLA/PBSA/PBAT

PBAT content (wt%) ^a	Tensile strength (MPa)	Elongation at break (%)	Young's Modulus (MPa)	Impact strength (J/m)
0	20.39 (2.37) ^b	2.06 (0.54)	1756.33 (100.29)	2.99 (0.35)
10	36.32 (2.12) ^b	6.94 (1.92)	1561.34 (28.32)	20.58 (3.63)
20	40.71 (6.28) ^b	5.55 (1.45)	1551.99 (73.23)	26.97 (2.52)
30	32.80 (0.84) ^b	4.00 (0.54)	1336.72 (71.49)	13.90 (4.42)
40	27.08 (1.40) ^b	3.44 (0.09)	1264.46 (35.04)	7.67 (1.57)
50	21.80 (0.99) ^b	3.68 (0.34)	1044.77 (17.66)	7.80 (1.52)

^a PLA/PBSA=80/20, ^b Standard Deviation

3.4. ลักษณะสัณฐานวิทยา

ลักษณะโครงสร้างสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA/PBSA/PBAT โดยรูปที่ 4 (ก) แสดงให้เห็นพฤติกรรมแข็งเปราะของ PLA โดยรูปที่ 4 (ข) และ (ค) แสดงให้เห็นความเหนียวของ PBSA และ PBAT รูปที่ 4(ง) แสดงการแยกเฟสของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA/PBSA (80/20 wt%) รูปที่ 4 (จและฉ) แสดงพื้นผิวเรียบที่มีลักษณะการแยกเฟสเล็กน้อยของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA/PBSA/PBAT ที่ปริมาณ PBAT ต่างๆ โดยมีการกระจายตัวของอนุภาค PBSA ค่อนข้างเล็ก เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของปริมาณ PBAT ทำให้ขนาดอนุภาคมีขนาดใหญ่ ในขณะที่การเพิ่มปริมาณของ PBAT (รูปที่ 4 (ซและซ)), เนื่องจากอาจมีความเหนียวตามปริมาณ PBAT ที่เพิ่มขึ้น และพบว่าพอลิเมอร์มีความเข้ากันได้มากขึ้น



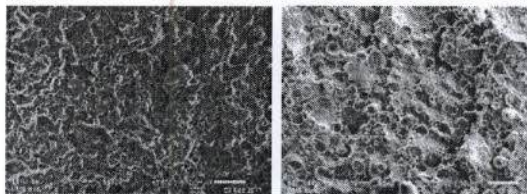
(ก)

(ข)



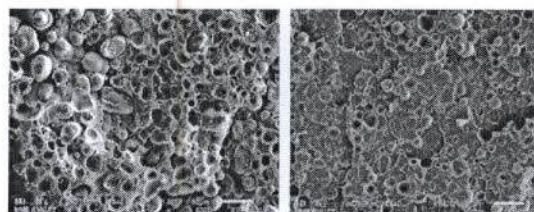
(ค)

(ง)



(จ)

(ฉ)



(ซ)

(ซ)

รูปที่ 4 ลักษณะโครงสร้างสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA/PBSA/PBAT (ก) PLA, (ข) PBAT, (ค) PBSA, (ง) PLA/PBSA=80/20 wt%, (จ) 10 wt% PBAT, (ฉ) 20 wt% PBAT (ซ) 30 wt% PBAT และ (ซ) 40 wt% PBAT (magnification x1500)

แสดงลักษณะสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA/PBSA/PBAT โดยเติม PBAT 10, 20 และ 30 wt% พบว่าพื้นผิวการแตกหักของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA/PBSA/PBAT มีการเข้ากันได้บางส่วนและมีการแยกเฟสกันเล็กน้อย และพบว่าสมบัติเชิงกลสูงขึ้น โดยเมื่อมีการผสม PBAT ลงใน PLA/PBSA เพิ่มขึ้น พบว่า พื้นผิวที่เกิดการแตกหักของ PLA/PBSA/PBAT มีความเรียบมากขึ้น ซึ่งเป็นลักษณะของวัสดุที่เหนียว

4. สรุป

การเตรียมพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA/PBSA/PBAT โดยใช้เครื่องอัดรีดสกรูคู่ สามารถเข้ากันได้ดีในทุกอัตราส่วน โดยเมื่อปริมาณ PBAT เพิ่มขึ้น ความทนทานต่อแรงดึง ค่ายังสัมมูลัส และเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาดลดลง โดยอัตราส่วนที่เหมาะสมคือ 80/20/10 wt% เนื่องจากมีความทนทานต่อแรงดึงสูงสุดที่อัตราส่วนพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA/PBSA/PBAT (80/20/30wt%) พบว่า พิล์มของพอลิเมอร์ผสมมีลักษณะสีขาวขุ่นและหนา แต่ยังมีบางส่วนที่เกิดการไม่เข้ากัน การปรับเปลี่ยนกระบวนการเป่าฟิล์มโดยใช้เครื่องอัดรีด สกรูคู่มาต่อเข้ากับ



เครื่องเป่าฟิล์ม พบว่า ที่อัตราส่วน PLA/PBSA/PBAT (60/40/40 wt%) สามารถขึ้นรูปฟิล์มได้ดีและฟิล์มที่ได้เข้าเป็นเนื้อเดียวกัน และมีความทนทานต่อแรงดึงสูงกว่าที่อัตราส่วน PLA/PBSA/PBAT (60/40/50 wt%) ซึ่งเหมาะสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้กับภาคอุตสาหกรรมเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ฟิล์มที่มีคุณภาพมากยิ่งขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยภายใต้โครงการบริหารจัดการด้านวิจัยและพัฒนาพลาสติกชีวภาพ พ.ศ. 2553

เอกสารอ้างอิง

- [1] ธนาวดี ลี้จากภัย. 2549. พลาสติกย่อยสลายได้เพื่อสิ่งแวดล้อม. ปทุมธานี.
- [2] ศุภมาศ เงินเรืองโรจน์, วิภาวี โสขุมา และวราสินธุ์ มิตะสีดา. 2552. การเตรียมพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิแลคติกแอซิดและพอลิบิวทิลีนอดิเพทาเทเลฟทาเลทเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมเป่าฟิล์ม. ปรินญานันท์ภาควิชาวิศวกรรมวัสดุและโลหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี. หน้า 54-58.
- [3] ปิ่นสุภา ปิติรักษ์สกุล. 2545. การวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะของพอลิเมอร์. มหาวิทยาลัยรามคำแหง. กรุงเทพฯ.
- [4] อำนวย ลากเกษมสุข. 2553. Testing. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.
- [5] ณรงค์ฤทธิ์ สมบัติสมภพ และชาคริต สิริสิงห์. 2554. พฤติกรรมการไหลของพอลิเมอร์หลอมเหลวและการนำไปใช้งาน. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. กรุงเทพฯ.
- [6] จินตมัย สุวรรณประทีป. 2547. การทดสอบสมบัติทางเชิงกลของพลาสติก. สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น) กรุงเทพฯ.
- [7] Zhang N., Wang Q., Ren J., and Wang L. 2009. Preparation and properties of biodegradable poly(lactic acid)/poly(butylenes adipate-co-terephthalate) blend with glycidyl methacrylate as reactive processing agent. Journal of Materials Science, 44:250-256.
- [8] Ray S.S., Jagita B., and Most B. 2007. Effect of organoclay on thermophology and properties of poly(propylene)/poly(butylenesuccinatecoadipate) blends. Macromolecular Materials and Engineering, 6 :729-747.
- [9] Sweet G. E., and Bel J.P.I., 1972. Multiple endotherm Melting behavior in relation to polymer morphology. Journal of Apply Polymer Science. Part A-2: Polymer Physics, 10:1273-1238.
- [10] Miyata T., and Masuko T. 1998. Crystallization behavior of poly(L-lactide). Polymer, 39:5515-5521.

- [11] Chen G. X., and Youm J.S. 2005. Nanocomposite polymer. Journal of Applied Polymer Science, 25:939-945.
- [12] Chahal S. P. 1997. Lactic Acid. In: Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry, 5th Edition, Wiley VCH, Germany.