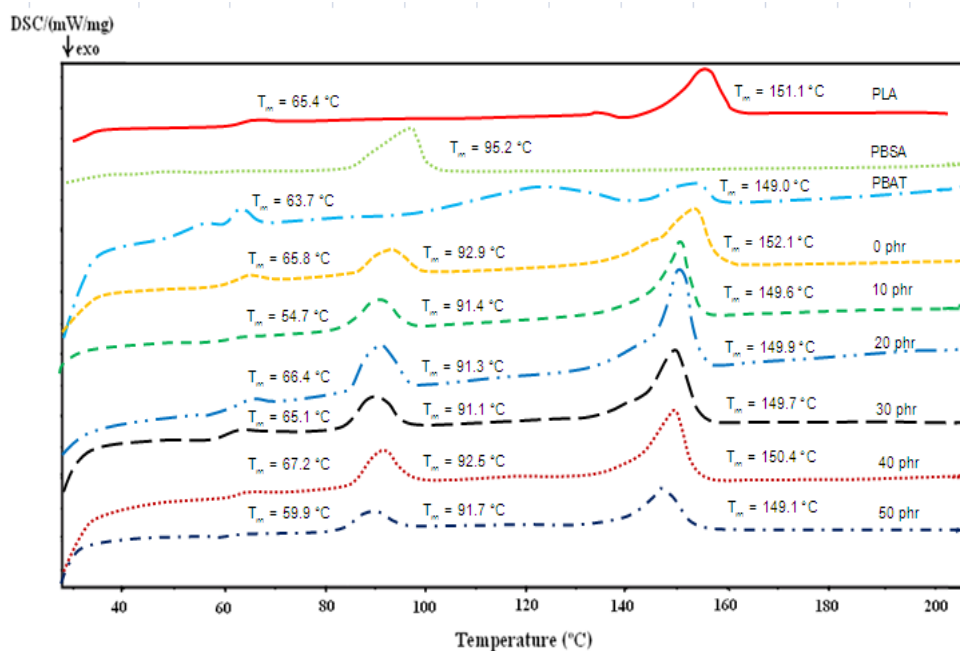


บทที่ 4
ผลการทดลองและวิจารณ์

4.1 ผลการทดสอบสมบัติทางความร้อนของพอลิเมอร์ผสมแบบหลอมผสมด้วยเครื่องอัดรีดสกรูคู่
ทำการ ทดสอบสมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริเมทรี (Differential Scanning Calorimetry, DSC) โดยทำการเลือกอัตราส่วนของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA/PBSA ที่ 80/20 และ PBAT (10-50) % โดยน้ำหนัก) มาศึกษาสมบัติทางความร้อน แสดงดังตารางที่ 4.1 และเทอร์โมแกรมแสดงดังรูปที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 สมบัติทางความร้อนของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง ที่อัตราส่วน PLA/PBSA 80/20 และที่ PBAT ต่างๆ ด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริเมทรี

ปริมาณของ PBAT (% โดยน้ำหนัก)	อุณหภูมิการหลอมเหลวผลึก (องศาเซลเซียส)		
	Peak1 (PLA)	Peak2 (PBSA)	Peak3 (PBAT)
PLA	65.4, 152	-	-
PBSA	-	95.2	-
PBAT	-	-	63.7, 149.0
0	65.8, 152.1	92.9	-
10	149.6	91.4	54.7
20	149.9	91.3	66.4
30	149.7	91.1	65.1
40	150.4	92.5	67.2
50	149.1	91.7	59.9



รูปที่ 4.1 เทอร์โมแกรม DSC แสดงสมบัติทางความร้อนของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA/PBSA/PBAT

จากตารางที่ 4.1 สามารถอธิบายสมบัติทางความร้อนของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA/PBSA/PBAT ที่อัตราส่วนต่างๆ จากการทดสอบสมบัติทางความร้อนของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA/PBSA/PBAT พบว่าหลังการผสมพอลิเมอร์ทั้ง 3 ชนิด มีการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางความร้อน ซึ่งอุณหภูมิการหลอมเหลวของ PLA มีค่าประมาณ 152 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิการหลอมเหลวของ PBSA มีค่าประมาณ 95 องศาเซลเซียส หลังจากนำ PLA ผสมด้วย PBSA พบว่าการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางความร้อนเล็กน้อย การเปลี่ยนแปลงจากการศึกษาสมบัติทางความร้อนของพอลิเมอร์ผสมในทางทฤษฎี เทอร์โมแกรมแสดงสมบัติทางความร้อน จะแสดงอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะและเมื่อทำการผสมพอลิเมอร์ทั้ง 3 ชนิด พบว่าปรากฏอุณหภูมิหลอมเหลวหลักเป็น 3 พิก แสดงให้เห็นว่าพอลิเมอร์นั้นสามารถเข้ากันได้บางส่วน แต่ในเฟสของ PBAT พบว่าการหลอมเหลวหลักลดลงอย่างเห็นได้ชัดเจน แสดงให้เห็นว่า PBAT สามารถเข้ากันได้ดีเมื่อเทียบกับการเติม PBSA จึงมีความเป็นไปได้ว่า PLA สามารถเข้ากันได้กับ PBAT มากกว่า PBSA

4.2 ผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพ

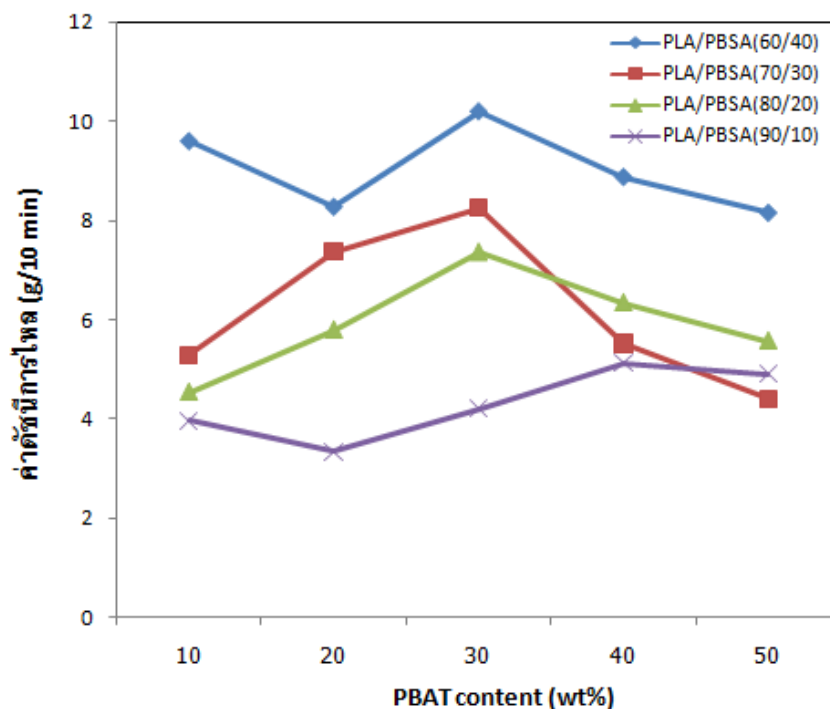
1. ผลการทดสอบดัชนีการไหล (Melt flow index, MFI) ตามมาตรฐาน ASTM D 1238-98

ผลการทดสอบดัชนีการไหล (Melt flow index, MFI) ตามมาตรฐาน ASTM D 1238-98 ผลการทดสอบดัชนีการไหลของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA/PBSA/PBAT ซึ่งทำการทดสอบโดยใช้อุณหภูมิ 190 องศาเซลเซียส น้ำหนักของ Piston 2.16 กิโลกรัม แสดงดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบดัชนีการไหลของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA/PBSA/PBAT โดยเติม PBAT ที่แตกต่างกัน

อัตราส่วน	MFI (g/10 min)				
ปริมาณ PBAT	10	20	30	40	50
90/10	3.97	3.35	4.21	5.12	4.90
80/20	4.53	5.79	7.36	6.34	5.57
70/30	5.28	7.37	8.24	5.52	4.41
60/40	9.6	8.28	10.2	8.88	8.16

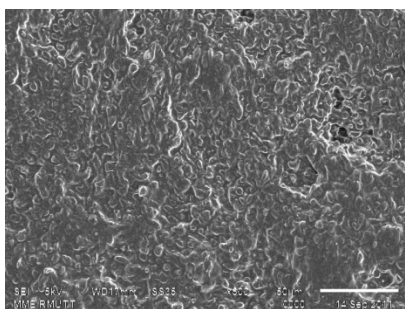
ผลการทดสอบดัชนีการไหลของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA/PBSA/PBAT ที่อัตราส่วนดังตารางที่ 4.2 สามารถอธิบายในรูปของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีการไหล (กรัม/10นาทีก) กับปริมาณของ PBAT ที่แตกต่างกัน ดังรูปที่ 4.2



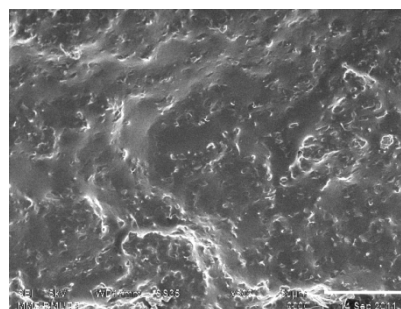
รูปที่ 4.2 ผลของปริมาณ PBAT ที่แตกต่างกันของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA/PBSA/PBAT ต่อค่าดัชนีการไหล

จากรูปที่ 4.2 แสดงค่าดัชนีการไหลของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA/PBSA/PBAT พบว่า พอลิเมอร์ผสมมีค่าดัชนีการไหลตามปริมาณของ PBAT ที่เพิ่มขึ้น แสดงว่า PBSA มีมวลโมเลกุลสูงกว่า PLA จึงมีค่าดัชนีการไหลต่ำกว่า หลังการผสมพอลิเมอร์ทั้ง 2 ชนิด ค่าดัชนีการไหลของพอลิเมอร์ผสมนั้นเป็นไปตามแนวโน้มของกฎการผสม เนื่องจากค่าดัชนีการไหลของพอลิเมอร์ผสมมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณ PBAT ที่เพิ่มขึ้นทั้งนี้เนื่องจาก เมื่อปริมาณของ PBAT มากขึ้น จะทำให้ความหนืดของพอลิเมอร์ผสมมีความหนืดเพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าดัชนีการไหลลดลง และค่าดัชนีการไหลจะลดลงเมื่ออัตราส่วน PLA/PBSA ลดลงเช่นเดียวกัน

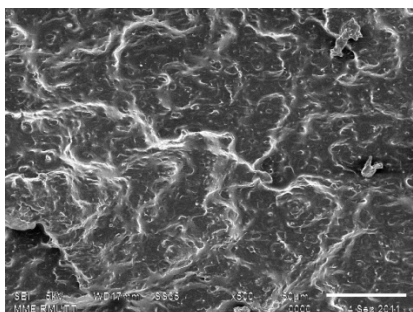
2. ผลการทดสอบ ลักษณะสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscopy, SEM) ผลการทดสอบ ลักษณะสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA/PBSA ที่ 90/10, 80/20, 70/30 และ 60/40 และ PBAT (10-50) % โดยน้ำหนัก) แสดงดังรูปที่ 4.3, 4.4, 4.5 และ 4.6 ตามลำดับ



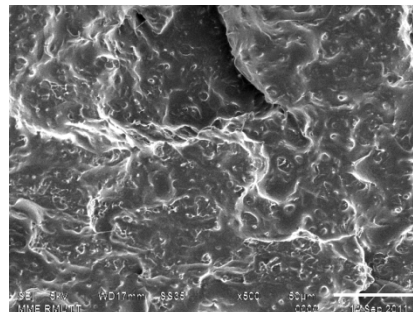
(ก)



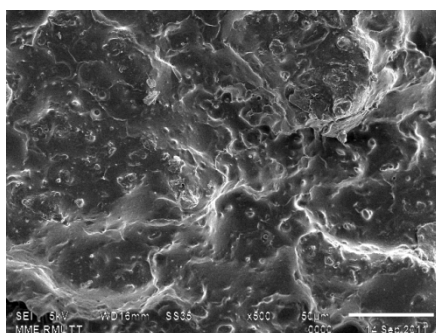
(ข)



(ค)



(ง)



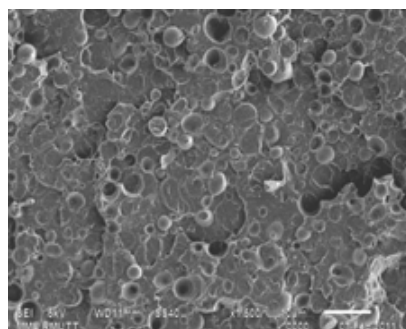
(จ)

รูปที่ 4.3 ลักษณะโครงสร้างสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA/PBSA (90/10)

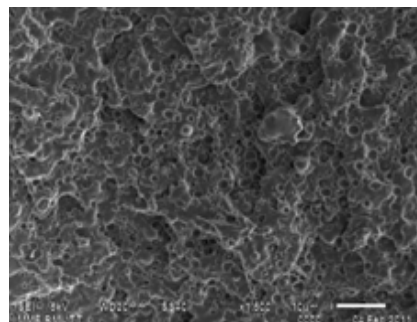
(ก) PBAT 10 % โดยน้ำหนัก (ข) PBAT 20 % โดยน้ำหนัก (ค) 30 % โดยน้ำหนัก PBAT

(ง) PBAT 40 % โดยน้ำหนัก และ (จ) PBAT 50 % โดยน้ำหนัก (magnification x500)

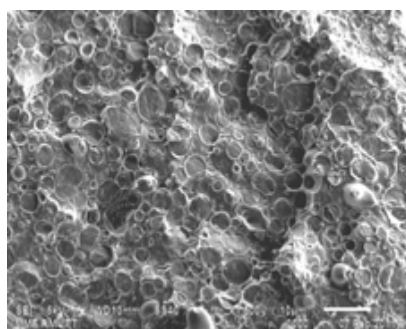
ผลการทดสอบลักษณะสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA/PBSA ที่ 80/20 และ PBAT (10-50) % โดยน้ำหนัก) แสดงดังรูปที่ 4.4



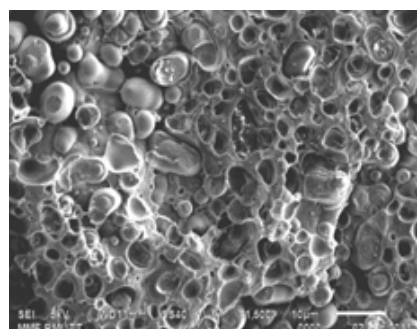
(ก)



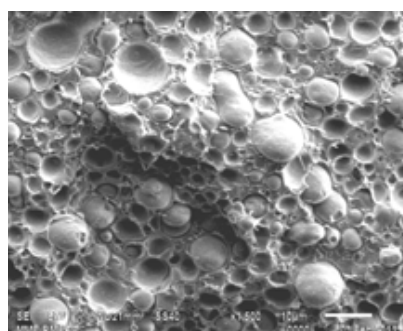
(ข)



(ค)



(ง)



(จ)

รูปที่ 4.4 ลักษณะโครงสร้างสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA/PBSA (80/20)

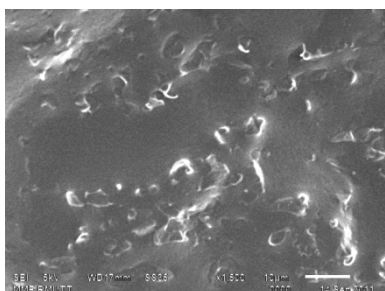
(ก) PBAT 10 % โดยน้ำหนัก (ข) PBAT 20 % โดยน้ำหนัก (ค) 30 % โดยน้ำหนัก PBAT

(ง) PBAT 40 % โดยน้ำหนัก และ (จ) PBAT 50 % โดยน้ำหนัก (magnification x1500)

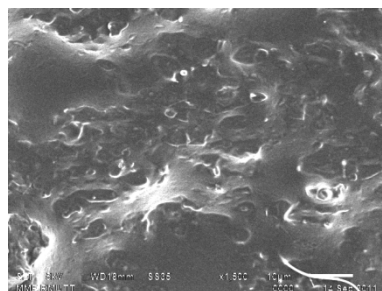
ลักษณะโครงสร้างสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA/PBSA/PBAT โดยรูปที่ 4.4 ในพอลิเมอร์ผสมที่ PBAT 10 % โดยน้ำหนัก รูปที่ (ก) แสดงพื้นผิวเรียบมีการกระจายตัวของอนุภาค PBAT ในพอลิเมอร์ผสมที่ PBAT 20 % โดยน้ำหนัก รูปที่ (ข, ค , ง และ จ) แสดงให้เห็นถึงการแยกเฟสของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA/PBSA/PBAT อย่างเห็นได้ชัด

สรุปได้ว่าจากผลการทดสอบแสดงลักษณะสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA/PBSA/PBAT โดยเติม PBAT 10, 20, 30, 40 และ 50 % โดยน้ำหนัก พบว่า ปริมาณ PBAT ที่ 20 % โดยน้ำหนัก มีการเข้ากันได้ดีก่อนข้างกระจายตัวสม่ำเสมอดีกว่าในอัตราส่วนที่ PBAT 30, 40 และ 50 % โดยน้ำหนัก ซึ่งที่อัตราส่วนดังกล่าวมีการแยกเฟสกันอย่างเห็นได้ชัดเจนจากรูป

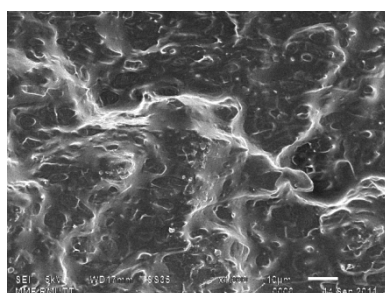
2.2 ผลการทดสอบลักษณะสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA/PBSA/PBAT (70/30/10-50% โดยน้ำหนัก) แสดงดังรูปที่ 4.5



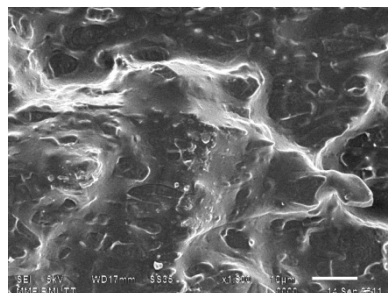
(ก)



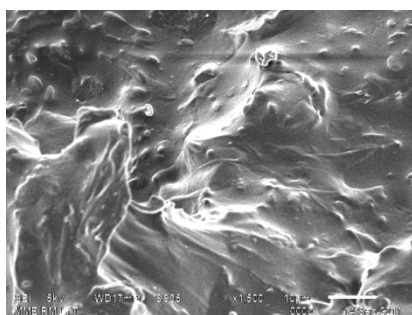
(ข)



(ค)



(ง)



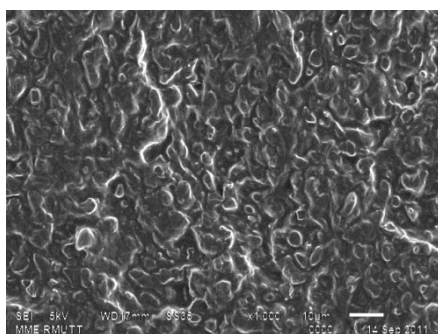
(จ)

รูปที่ 4.5 ลักษณะโครงสร้างพื้นฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA/PBSA(70/30)

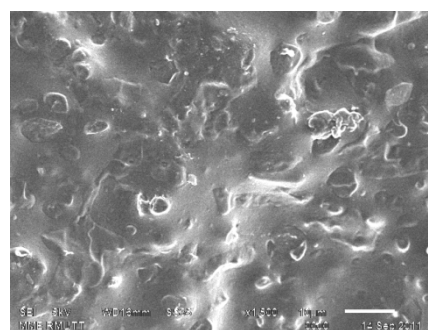
(ก) PBAT 10 % โดยน้ำหนัก (ข) PBAT 20 % โดยน้ำหนัก (ค) PBAT 30 % โดยน้ำหนัก

(ง) PBAT 40 % โดยน้ำหนัก (จ) PBAT 50 % โดยน้ำหนัก (magnification x1500)

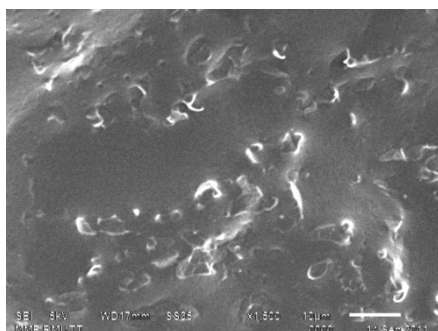
2.3 ผลการทดสอบลักษณะพื้นฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA/PBSA/PBAT (60/40/10-50% โดยน้ำหนัก) แสดงดังรูปที่ 4.6



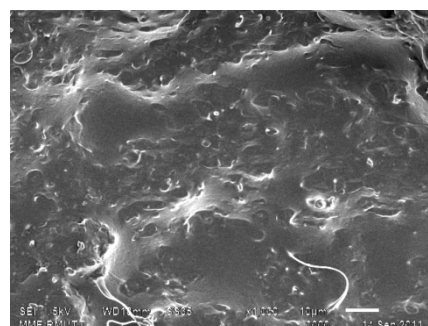
(ก)



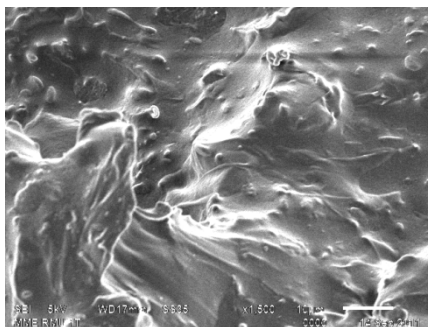
(ข)



(ค)



(ง)



(ง)

รูปที่ 4.6 ลักษณะโครงสร้างสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA/PBSA (60/40)

(ก) PBAT 10 % โดยน้ำหนัก (ข) PBAT 20 % โดยน้ำหนัก (ค) PBAT 30 % โดยน้ำหนัก

(ง) PBAT 40 % โดยน้ำหนัก และ (จ) PBAT 50 % โดยน้ำหนัก (magnification x1500)

ลักษณะโครงสร้างสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA/PBSA/PBAT โดยรูปที่ 4.6 (ก) แสดงพื้นผิวเรียบที่มีลักษณะการแยกเฟสเล็กน้อยของพอลิเมอร์ผสม ระหว่าง PLA/PBSA/PBAT ที่ปริมาณ PBAT 10 % โดยน้ำหนัก รูปที่ (ข) แสดงพื้นผิวเรียบที่มีลักษณะการแยกเฟสเล็กน้อย รูปที่ (ค) แสดงพื้นผิวที่มีลักษณะเรียบมากขึ้นที่ปริมาณ PBAT 30 % โดยน้ำหนัก รูปที่(ง) แสดงการกระจายตัวของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA/PBSA/PBAT ที่ปริมาณ PBAT 40 โดยมีการกระจายตัวของอนุภาค PBSA ค่อนข้างเล็ก และรูปที่ (จ) แสดงการกระจายตัวของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA/PBSA/PBAT ที่ปริมาณ PBAT 50 % โดยน้ำหนัก พบว่าพอลิเมอร์มีความเข้ากันได้มากขึ้น

4.3 ผลการทดสอบสมบัติเชิงกล

1. ผลการทดสอบความทนทานต่อแรงดึง (Tensile strength)

การทดสอบความทนทานต่อแรงดึง ตามมาตรฐาน ASTM D 638-84 ของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA/PBSA/PBAT ที่อัตราส่วน (90/10, 80/20, 70/30 และ 60/40 ที่ PBAT 10-50 % โดยน้ำหนัก) สามารถวัดความทนทานต่อแรงดึง เปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด และค่ายังสัมมูลัส แสดงดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบความทนทานต่อแรงดึง ของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง
PLA/PBSA/PBAT ที่อัตราส่วนต่างๆ

อัตราส่วน	ความทนทานต่อแรงดึง (MPa)				
ปริมาณ PBAT	10	20	30	40	50
90/10	40.82	51.12	40	39.72	36.21
80/20	36.32	40.71	32.8	27.08	21.8
70/30	29.6	30.85	19.94	18.32	18.01
60/40	23.48	25.71	20.46	20.17	17.46

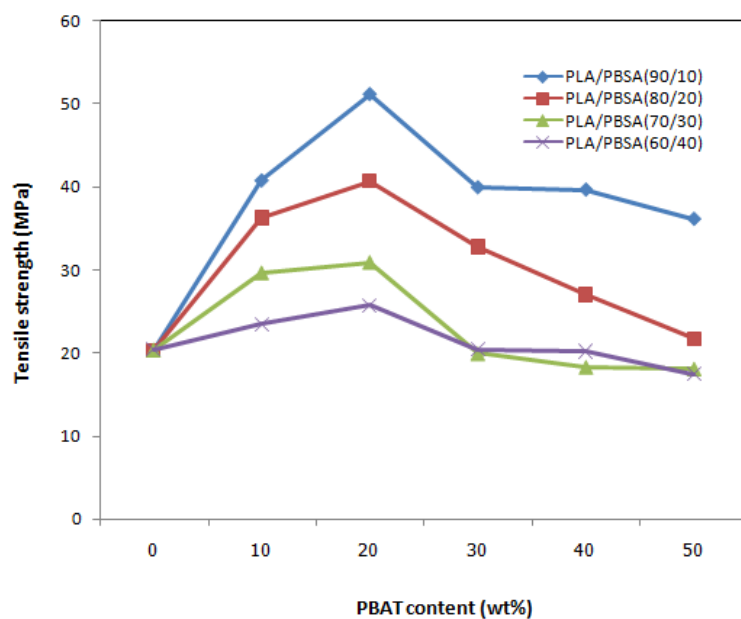
ตารางที่ 4.4 ผลการทดสอบเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด ของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง
PLA/PBSA/PBAT ที่อัตราส่วนต่างๆ

อัตราส่วน	เปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด (%)				
ปริมาณ PBAT	10	20	30	40	50
90/10	6.97	7.12	7.1	6.5	6
80/20	6.94	5.05	4	3.44	3.68
70/30	3.6	4.1	3.48	3.5	3.02
60/40	3.6	6.85	3.5	3.7	3.1

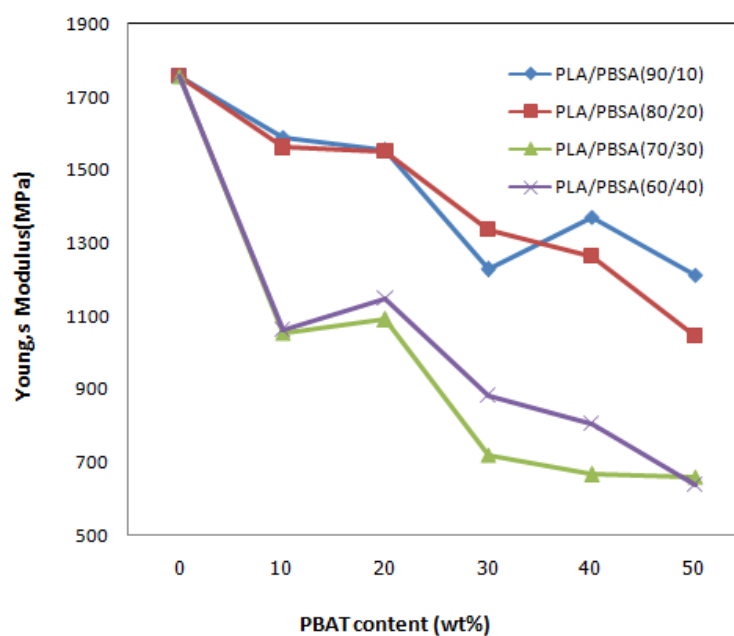
ตารางที่ 4.5 ผลการทดสอบค่ายัง้ํมอดูลัส ของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง
PLA/PBSA/PBAT ที่อัตราส่วนต่างๆ

อัตราส่วน	ค่ายัง้ํมอดูลัส (MPa)				
ปริมาณ PBAT	10	20	30	40	50
90/10	1590.1	1553	1227	1370	1212.2
80/20	1561.34	1551.99	1336.72	1264.46	1044.77
70/30	1055	1091	719	667	660
60/40	1062.48	1147.47	881.84	806.06	640.13

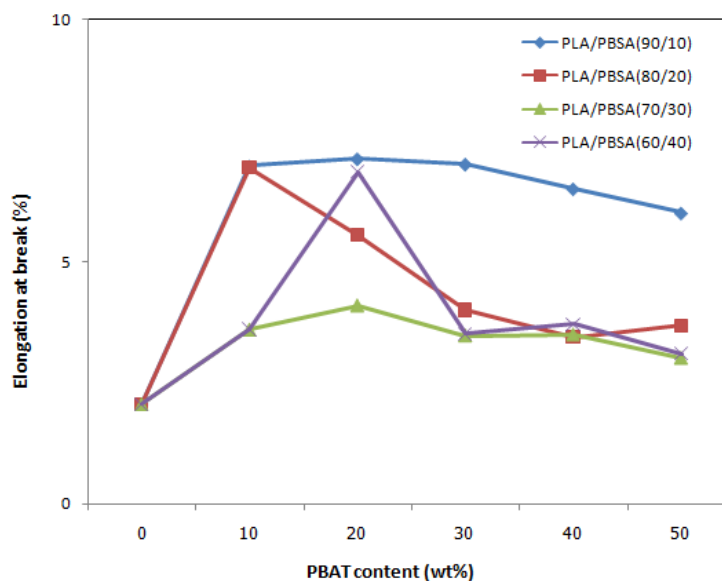
ผลที่ได้สามารถอธิบายในรูปของความสัมพันธ์ระหว่างความทนทานต่อแรงดึง เปอร์เซ็นต์การยืด ้น จุดขาด และ ค่ายัง้ํมอดูลัส กับอัตราส่วนต่างๆ ของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA/PBSA/PBAT แสดงดังรูปที่ 4.7, 4.8 และ 4.9 ตามลำดับ



รูปที่ 4.7 ผลของปริมาณ PBAT ที่แตกต่างกันของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA/PBSA (90/10, 80/20, 70/30 และ 60/40 % โดยน้ำหนัก) ต่อความทนทานต่อแรงดึง



รูปที่ 4.8 ผลของปริมาณ PBAT ที่แตกต่างกันของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA/PBSA (90/10, 80/20, 70/30 และ 60/40 % โดยน้ำหนัก) ต่อค่ายังส์มอดุลัส



รูปที่ 4.9 ผลของปริมาณ PBAT ที่แตกต่างกันของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA/PBSA/PBAT (90/10, 80/20, 70/30 และ 60/40 % โดยน้ำหนัก) ต่อเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด

จากตารางที่ 4.3 แสดงความทนทานต่อแรงดึงของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA/PBSA/PBAT พบว่า PBAT มีความทนทานต่อแรงดึงต่ำกว่า PLA หลังการผสมพอลิเมอร์ทั้ง 3 ชนิด พบว่าความทนทานต่อแรงดึงลดลงตามปริมาณของ PBAT ที่เพิ่มขึ้น และเมื่อเพิ่มปริมาณ PLA/PBSA ก็แสดงให้เห็นว่า ความทนทานต่อแรงดึงลดลง เช่นเดียวกัน แสดงว่าที่อัตราส่วนดังกล่าว พอลิเมอร์ผสมทั้ง 3 ชนิด มีความเข้ากันได้บางส่วน และเมื่อพิจารณาที่อัตราส่วน ของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA/PBSA/PBAT พบว่าความไม่เป็นไปตามกฎของการผสม โดยมีความทนทานต่อแรงดึงมีต่ำ ทั้งนี้เนื่องจาก PBAT มีความยืดหยุ่นสูงกว่า PLA และ PBSA ดังนั้นเมื่อผสมลงไปจึงทำให้ความแข็งแรงของพอลิเมอร์ผสมลดลง ซึ่งผลที่ได้สอดคล้อง กับสมบัติทางความร้อนของพอลิเมอร์ผสมด้วยเทคนิค DSC ที่อุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วปรากฏที่ 2 พิก แสดงว่า พอลิเมอร์ผสมทั้ง 2 ชนิดไม่สามารถผสมเป็นเนื้อเดียวกันได้

เปอร์เซ็นต์การยืด ้น จุดขาด แสดงดังรูปที่ 4.9 พบว่า PLA มีเปอร์เซ็นต์การยืด ้น จุดขาด ต่ำกว่า PBSA โดยที่หลังการผสมพอลิเมอร์ทั้ง 2 ชนิด พบว่าเปอร์เซ็นต์การยืด ้น จุดขาดเพิ่มมากขึ้น ตามปริมาณ PBAT ที่เพิ่มขึ้นและตามปริมาณอัตราส่วน ของ PLA/PBSA ที่เพิ่มขึ้น ด้วยส่งผล และเปอร์เซ็นต์การยืด ้น จุดขาด แปรผันตรงกับความทนทานต่อแรงดึง

ค่ายังสัมมูลัส แสดงดังรูปที่ 4.8 พบว่า หลังการผสมพอลิเมอร์ทั้ง 3 ชนิด พบว่าค่า ยังสัมมูลัสลดลงเมื่อปริมาณของ PBAT เพิ่มขึ้น และตามปริมาณอัตราส่วน ของ PLA/PBSA ที่เพิ่มขึ้น ด้วยส่งผลให้ค่ายังสัมมูลัสแปรผันตามกับความทนทานต่อแรงดึง