

บทที่ 4

ผลการดำเนินงานและการวิเคราะห์

จากการศึกษาและดำเนินการผสมพอลิเมอร์ระหว่างพอลิแลคติกแอซิด (Polylactic Acid, PLA) และพอลิบิวทีลีนซัคซิเนต (Polybutylene succinate, PBS) แล้วนำตัวอย่างชิ้นงานมาทำการทดสอบด้วยเทคนิคต่างๆ ได้ผลการทดสอบดังนี้

4.1 ผลการเตรียมพอลิเมอร์ผสมที่ด้วยเครื่องอัดรีดแบบสกรูคู่

การเตรียมพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิแลคติกแอซิดและพอลิบิวทีลีนซัคซิเนตที่อัตราส่วนต่างๆ ด้วยเครื่องอัดรีดแบบสกรูคู่ พบว่าพอลิเมอร์ผสมมีลักษณะเป็นสีขาวขุ่นที่ปริมาณต่างกันไม่มีความแตกต่างกันของสีแสดงดังรูปที่ 4.1



(ก) 90:10:0

(ข) 80:20

(ค) 70:30

รูปที่ 4.1 พอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA:PBS อัตราส่วนต่างๆ

โดยเมื่อพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิแลคติกแอซิดและพอลิบิวทีลีนซัคซิเนตที่อัตราส่วนต่างๆ ที่เตรียมได้นั้น นำไปทดสอบค่าดัชนีการไหล และขึ้นรูปเป็นชิ้นงานทดสอบทางเชิงกลต่อไป

4.2 ผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิแลคติกแอซิดและพอลิบิวทีลีนซัคซิเนตที่ไม่เติมสารเติมแต่ง

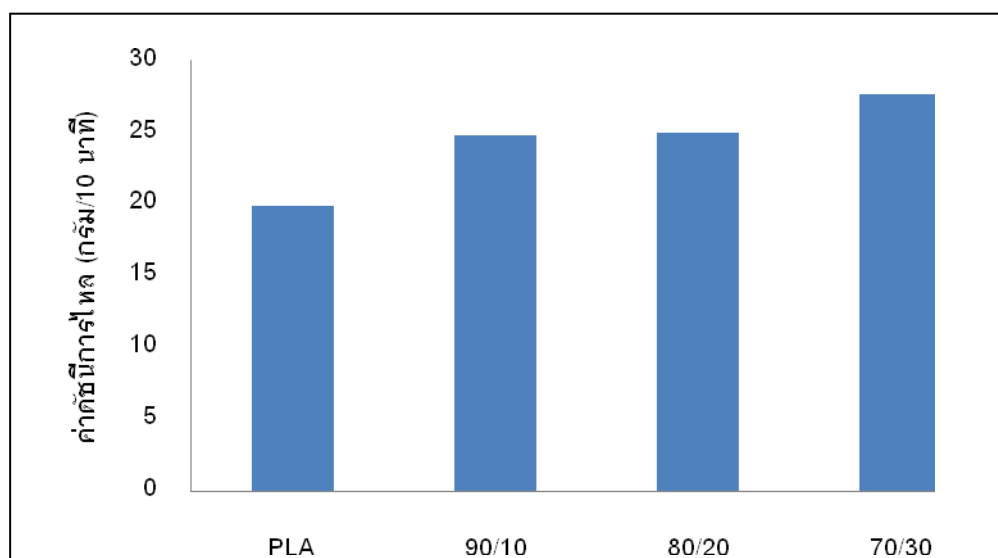
4.2.1 ผลการทดสอบดัชนีการไหล (Melt flow index)

นำเม็ดพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิแลคติกแอซิดและพอลิบิวทีลีนซัคซิเนตที่เตรียมได้นั้น ที่อัตราส่วนต่างๆ ไปทดสอบดัชนีการไหล ตามมาตรฐาน ASTM D1238 แสดงผลการทดสอบได้ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบดัชนีการไหล ของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA:PBS

PLA:PBS (%wt)	ค่า MFI (กรัม/10 นาที)
PLA	19.9
90/10	24.8
80/20	25.0
70/30	27.7
PBS*	-

จากตารางที่ 4.1 สามารถอธิบายในรูปแบบของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA:PBS ที่อัตราส่วนต่างๆ ต่อค่าดัชนีการไหลของพอลิเมอร์ (กรัม/10 นาที) แสดงดังรูปที่ 4.2



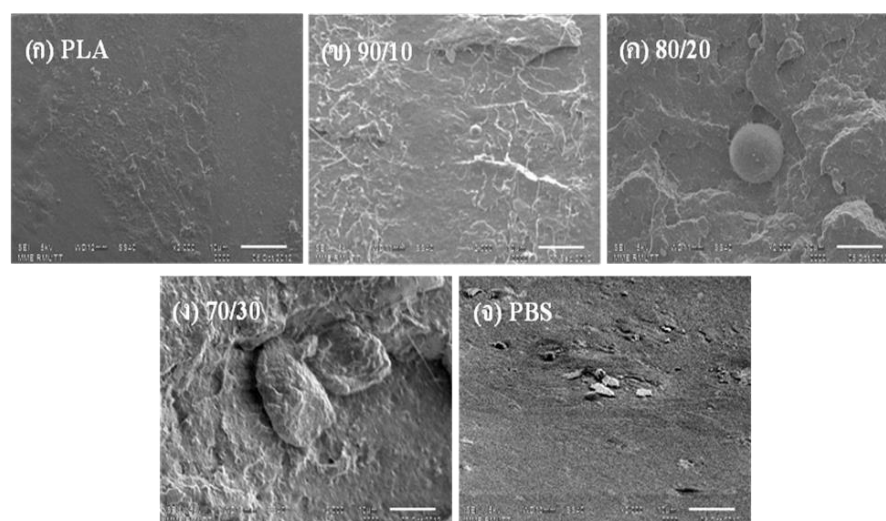
รูปที่ 4.2 ผลการทดสอบต่อค่าดัชนีการไหลพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA:PBS ที่อัตราส่วนต่างๆ

จากการทดสอบค่าดัชนีการไหลของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA:PBS ที่อัตราส่วนต่างๆ พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณของพอลิบิวทีลีนซัคซิเนตมากขึ้น ส่งผลให้ค่าดัชนีการไหลมีแนวโน้มสูงขึ้น เนื่องจากพอลิบิวทีลีนซัคซิเนต มีค่าความหนืดต่ำ ดัชนีการไหลสูงมาก เมื่อเพิ่มปริมาณของพอลิบิวทีลีนซัคซิเนตค่าความหนืดของพอลิเมอร์ผสมจึงลดลง ส่งผลถึงค่าดัชนีการไหลด้วย

การทดสอบค่าดัชนีการไหลของพอลิบิวทีลีนซัคซิเนตบริสุทธิ์ที่น้ำหนักและสภาวะการทดลองเดียวกันกับตัวอย่างอื่นๆ พบว่า พอลิบิวทีลีนซัคซิเนตบริสุทธิ์นั้น ไม่สามารถทดสอบค่าดัชนีการไหลได้ เนื่องจากพอลิบิวทีลีนซัคซิเนตบริสุทธิ์มีความหนืดต่ำมาก ค่าดัชนีการไหลสูงมากเมื่อผ่านห้องหลอมเหลวระหว่างทำการทดสอบ พบว่าไหลเป็นของเหลวไม่สามารถตัดชิ้นงานไปคำนวณค่าดัชนีการไหลได้

4.2.2 ผลการทดสอบลักษณะสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM)

พอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิแลคติกแอซิดและพอลิบิวทีลีนซัคซิเนตที่อัตราส่วนต่างๆ ได้แก่ 100:0, 90:10, 80:20, 70:30 และ 0:100 ตามลำดับ ที่นำมาใช้ในการทดสอบลักษณะสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดนั้น นำมาจากชิ้นงานที่ผ่านการทดสอบการทนแรงกระแทก เพื่อจะได้เห็นลักษณะสัณฐานวิทยาภายในของพอลิเมอร์ผสม ผลการทดสอบลักษณะสัณฐานวิทยาพบว่าพอลิเมอร์ผสม PLA:PBS ที่อัตราส่วนต่างๆ แสดงดังรูปที่ 4.3



(ก) PLA (ข) 90:10 (ค) 80:20 (ง) 70:30 (จ) PBS (กำลังขยาย 2,000 เท่า)

รูปที่ 4.3 ลักษณะโครงสร้างสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสม PLA:PBS ที่อัตราส่วนต่างๆ

รูปที่ 4.3 แสดงลักษณะพื้นฐานของพอลิเมอร์ผสม PLA:PBS ที่อัตราส่วนต่างๆ จากรูปที่ 4.3 (ก) แสดงลักษณะพื้นฐานวิทยาของ PLA บริสุทธิ์และรูปที่ 4.3 (จ) แสดงลักษณะพื้นฐานวิทยาของ PBS บริสุทธิ์ พบว่าผิวหน้าค่อนข้างเรียบ และเมื่อนำพอลิแลคติกแอซิดและพอลิบิวทีลีนซัคซินเนตมาผสมกันที่อัตราส่วนต่างๆ ได้แก่ 90:10, 80:20 และ 70:30 แสดงลักษณะพื้นฐานวิทยาดังรูปที่ 4.3 (ข), (ค) และ (ง) ตามลำดับ พบว่าผิวหน้าขรุขระ ไม่เรียบ มีเนื้อพอลิเมอร์บางส่วนเกาะเป็นกลุ่มก้อน แสดงให้เห็นถึงการเกิดแรงกระทำบางส่วนระหว่างผิวหน้าของพอลิแลคติกแอซิดและพอลิบิวทีลีนซัคซินเนต

4.3 ผลการทดสอบสมบัติทางความร้อนของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิแลคติกแอซิดและพอลิบิวทีลีนซัคซินเนตที่ไม่เติมสารเติมแต่ง

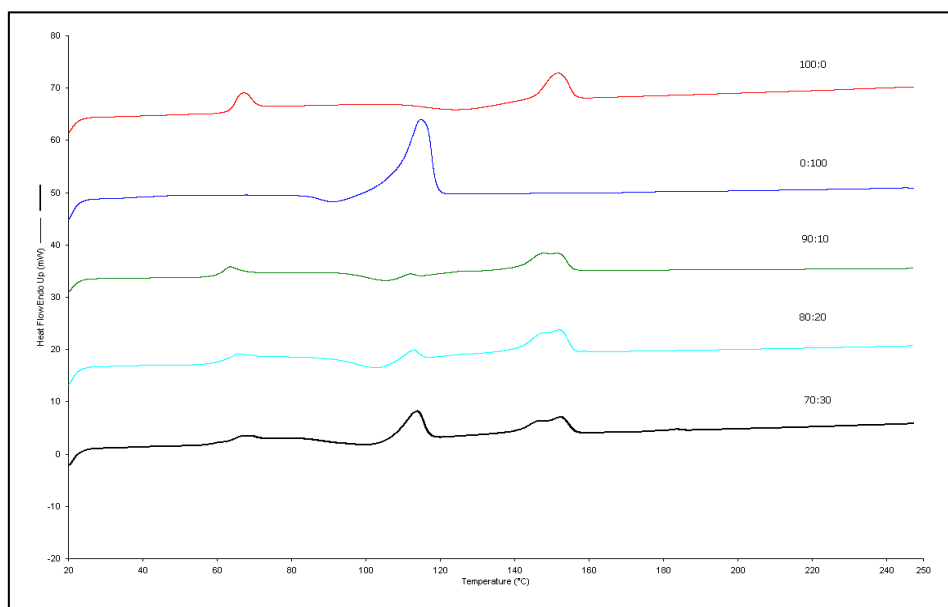
4.3.1 ผลการทดสอบทางความร้อนด้วยดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์ (Differential Scanning Calorimeter, DSC)

นำพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิแลคติกแอซิดและพอลิบิวทีลีนซัคซินเนตที่อัตราส่วนต่างๆ ได้แก่ 100:0, 90:10, 80:20, 70:30 และ 0:100 ตามลำดับ ไปทดสอบทางความร้อนด้วยดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์ แสดงผลการทดสอบดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 สมบัติทางความร้อนของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA:PBS ที่อัตราส่วนต่างๆ

อัตราส่วนของ PLA:PBS (% โดยน้ำหนัก)	อุณหภูมิ (°C)		
	Peak 1 (PLA)	Peak 2 (PBS)	Peak 3 (PLA)
PLA	67.07	-	151.79
90:10	63.40	111.77	151.49
80:20	65.73	112.76	152.15
70:30	66.91	113.83	152.47
PBS	-	114.82	-

จากตารางแสดงผลการทดสอบสมบัติทางความร้อนของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA:PBS ที่อัตราส่วนต่างๆ นั้น แสดงเป็นเทอร์โมแกรมสมบัติทางความร้อนได้ดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 เทอร์โมแกรมสมบัติทางความร้อนของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA:PBS ที่อัตราส่วนต่างๆ

จากตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.4 แสดงสมบัติทางความร้อนของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA:PBS ที่อัตราส่วนต่างๆ พบว่า PLA บริสุทธิ์แสดงค่าอุณหภูมิของการหลอมเหลวที่ 151.79 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วที่ 67.07 องศาเซลเซียส ส่วน PBS บริสุทธิ์มีค่าอุณหภูมิของการหลอมเหลว 114.82 องศาเซลเซียส แต่เมื่อนำพอลิเมอร์ทั้งสองชนิดมาผสมกันที่อัตราส่วนต่างๆ พบว่าเทอร์โมแกรมแสดงค่าอุณหภูมิของการหลอมเหลวของพอลิเมอร์ทั้งสองชนิดแยกเป็น 2 พีคอย่างชัดเจน และพบพีคของอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วของ PLA ด้วย แสดงให้เห็นว่าพอลิเมอร์ทั้งสองชนิดที่อัตราส่วนการผสมต่างๆ ไม่สามารถเข้ากันได้ [1]

4.3.2 ค่าเปอร์เซ็นต์ความเป็นผลึก (Crystallinity)

จากการทดสอบสมบัติทางความร้อนด้วยดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์ของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA:PBS ที่อัตราส่วนต่างๆ สามารถคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ความเป็นผลึกได้ โดยใช้สมการที่ 1 [16]

$$\chi_c = \frac{\Delta H_m}{\Delta H_m^0} \times \frac{100}{W} \quad (1)$$

โดยที่ $\Delta H_m^0 = 93.7 \text{ J/g}$

W = weight fraction of PLA in the sample

ΔH_m = เอนทัลปีของการหลอมเหลว (enthalpy for melting)

ΔH_m^0 = เอนทัลปีของการหลอมเหลว PLA ที่มีความเป็นผลึก 100%
(enthalpy of melting for a 100% crystalline PLA)

ซึ่งแสดงค่าเปอร์เซ็นต์ความเป็นผลึก ดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ค่าเปอร์เซ็นต์ความเป็นผลึกพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA:PBS ที่อัตราส่วนต่างๆ

PLA:PBS (wt%)	ค่าเปอร์เซ็นต์ความเป็นผลึก
100:0	15.9
90:10	18.8
80:20	18.8
70:30	17.1

ทำการวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนและพฤติกรรมการเกิดผลึกของ PLA, PBS และพอลิเมอร์ผสมวิเคราะห์โดยเทคนิค Differential Scanning Calorimetry (DSC) จากผลของการวิเคราะห์พบค่า T_m ของ PBS ที่ 114°C และ T_m ของ PLA ที่ 152°C แสดงให้เห็นการแยกเฟสของพอลิเมอร์ผสม จากตารางที่ 4.3 จากการคำนวณพบว่าเติม PBS ใน PLA ทำให้ค่าความเป็นผลึกของ PLA เพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจาก PBS ทำหน้าที่ Nucleating agent

4.4 ผลการทดสอบสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง พอลิแลคติกแอซิดและพอลิบิวทีรีน ชนิดชนิดที่ไม่เติมสารเติมแต่ง

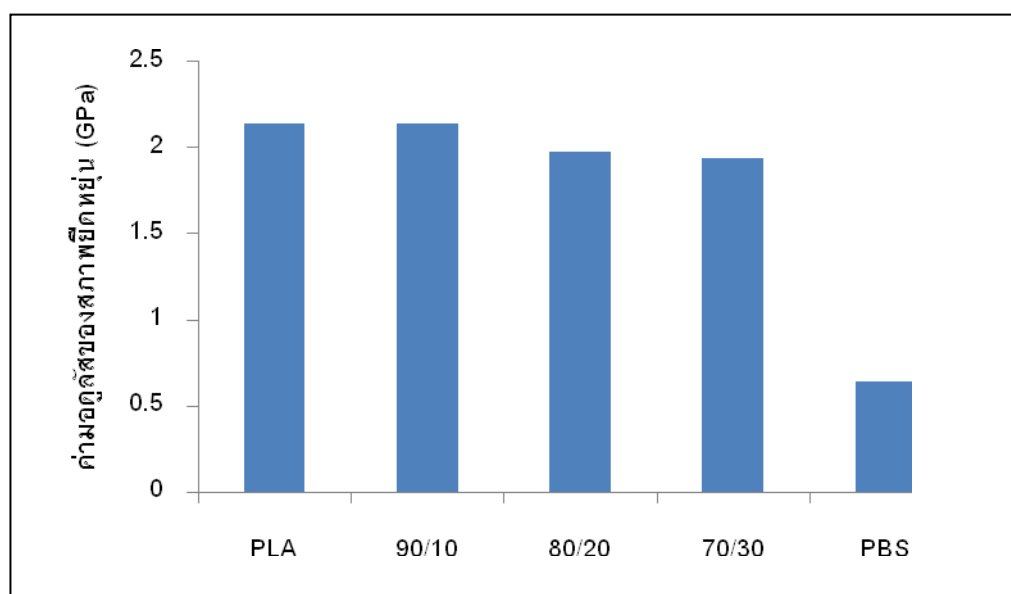
4.4.1 ผลการทดสอบการทนทานต่อแรงดึง (Tensile test)

ทำการทดสอบการทนทานต่อแรงดึง ตามมาตรฐาน ASTM D 638-84 ของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA:PBS ที่อัตราส่วนต่างๆ นั้น แสดงผลการทดสอบเป็นค่ามอดูลัสของสภาพยืดหยุ่นดังตารางที่ 4.4 และการทนต่อแรงดึงแสดงดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.4 ผลการทดสอบค่ามอดูลัสของสภาพยืดหยุ่นของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA:PBS

PLA:PBS (wt%)	ค่ามอดูลัสของสภาพยืดหยุ่น (GPa)
PLA	2.14 ± 0.03
90:10	2.14 ± 0.07
80:20	1.98 ± 0.05
70:30	1.94 ± 0.02
PBS	0.64 ± 0.02

ผลที่ได้จากตารางที่ 4.4 นำมาแสดงในรูปแบบกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่ามอดูลัสของสภาพยืดหยุ่นกับพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA:PBS ที่อัตราส่วนต่างๆ แสดงดังรูปที่ 4.5



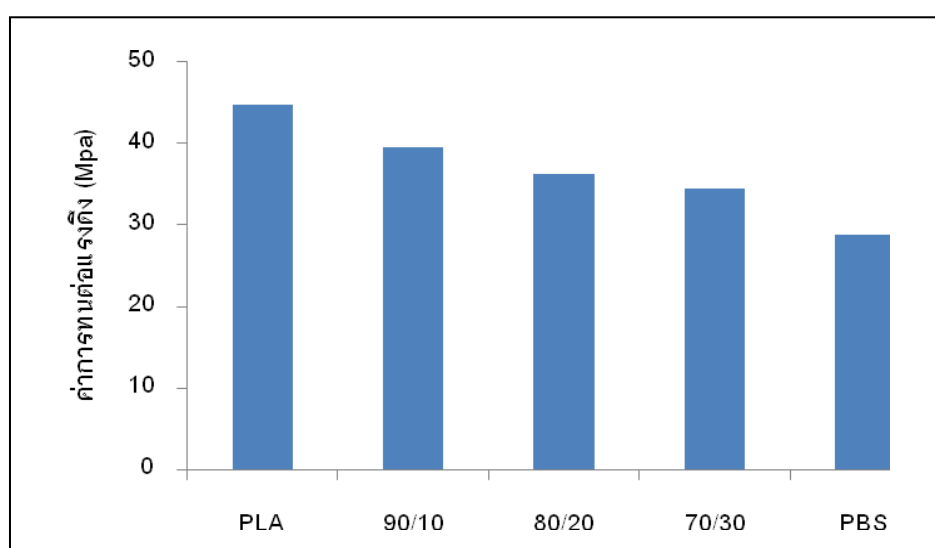
รูปที่ 4.5 ค่ามอดูลัสของสภาพยืดหยุ่นของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA:PBS ที่อัตราส่วนต่างๆ

จากตารางที่ 4.4 แสดงค่ามอดูลัสของสภาพยืดหยุ่นของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA:PBS ที่อัตราส่วนต่างๆ พบว่า PLA และ PBS บริสุทธิ์ ให้ค่ามอดูลัสของสภาพยืดหยุ่นที่แตกต่างกัน PLA มีค่ามอดูลัสของสภาพยืดหยุ่นเป็น 2.14 GPa ส่วน PBS มีค่ามอดูลัสของสภาพยืดหยุ่นเป็น 0.64 GPa เมื่อเติม PBS ลงใน PLA พบว่ามีค่ามอดูลัสของสภาพยืดหยุ่นมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อย จากอัตราส่วน PLA:PBS เท่ากับ 90:10 ค่ามอดูลัสของสภาพยืดหยุ่นไม่เปลี่ยนแปลง เนื่องจากการกระจายตัวที่ดีของ PBS บนเมทริกซ์ของ PLA และเช่นเดียวกับพอลิเมอร์ผสม PLA:PBS อัตราส่วน 80:20 และ 70:30 ที่มีการลดลงของมอดูลัสเพียงเล็กน้อย

ตารางที่ 4.5 ผลการทดสอบค่าการทนต่อแรงดึงของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA:PBS ที่อัตราส่วนต่างๆ

PLA:PBS (wt%)	ค่าการทนต่อแรงดึง (MPa)
PLA	44.82 ± 2.80
90:10	39.56 ± 1.52
80:20	36.26 ± 2.23
70:30	34.44 ± 1.83
PBS	28.79 ± 1.37

จากตารางที่ 4.5 นำมาแสดงในรูปแบบกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการทนต่อแรงดึงกับพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA:PBS ที่อัตราส่วนต่างๆ แสดงดังรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 ค่าการทนต่อแรงดึงของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA:PBS ที่อัตราส่วนต่างๆ

จากผลการทดสอบค่าการทนต่อแรงดึงของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA:PBS ที่อัตราส่วนต่างๆ ได้แก่ 90:10, 80:20 และ 70:30 พบว่าค่าการทนต่อแรงดึงมีแนวโน้มที่ลดลงในทิศทางที่เป็นเส้นตรงตามปริมาณของ PBS ที่เพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นว่าการกระจายตัวที่ดีของ PBS บนเมทริกซ์ของ PLA แต่ผลของการทดสอบแสดงให้เห็นว่าไม่เกิดการรวมตัวระหว่างเฟสของ PLA และ PBS ดังนั้นสารเชื่อมประสานจึงมีความจำเป็นในระบบพอลิเมอร์ผสม PLA:PBS

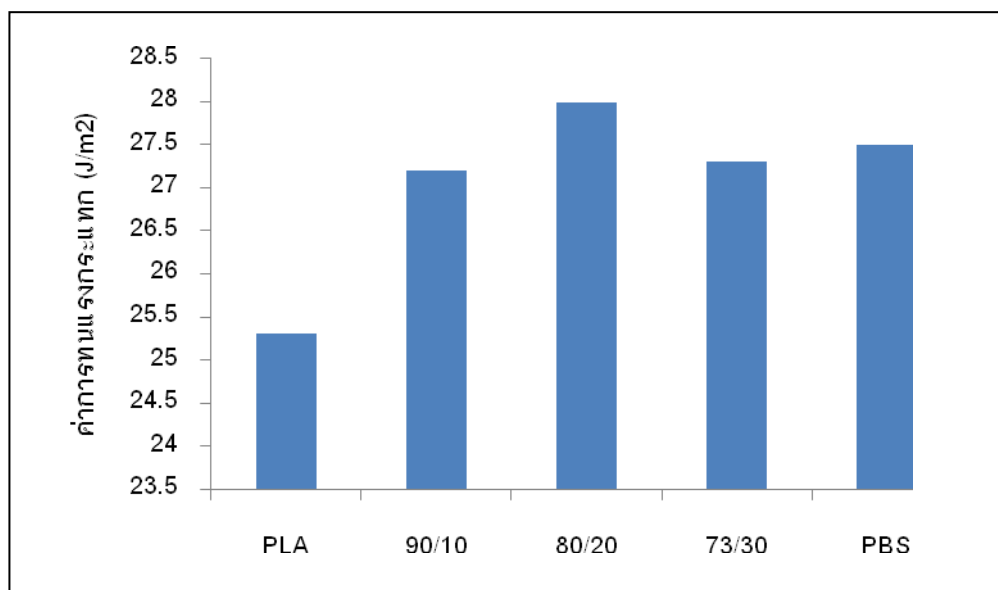
4.4.2 ผลการทดสอบการทนทานต่อแรงกระแทก (Izod Impact strength)

ผลการทดสอบการทนทานต่อแรงกระแทกตามมาตรฐาน ASTM D 256-84 ของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA:PBS ที่อัตราส่วนต่างๆ นั้น แสดงผลการทดสอบดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 การทนทานต่อแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA:PBS ที่อัตราส่วนต่างๆ

PLA:PBS (wt%)	ค่าการทนแรงกระแทก (J/m^2)
PLA	25.3 ± 1.86
90:10	27.2 ± 1.30
80:20	28.0 ± 1.69
70:30	27.3 ± 2.22
PBS	27.5 ± 2.06

ผลที่ได้สามารถอธิบายในรูปแบบกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการทนแรงกระแทกกับพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA:PBS ที่อัตราส่วนต่างๆ แสดงดังรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 ค่าการทนแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA:PBS ที่อัตราส่วนต่างๆ

จากตารางที่ 4.6 แสดงค่าการทนแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA:PBS ที่อัตราส่วนต่างๆ พบว่า PLA และ PBS บริสุทธิ์ ให้ค่าการทนแรงกระแทกที่แตกต่างกัน PLA มีค่าการทนแรงกระแทกต่ำเท่ากับ 25.3 J/m^2 ส่วน PBS มีค่าการทนแรงกระแทกเท่ากับ 27.5 J/m^2 เมื่อเติม PBS ลงใน PLA ค่าการทนแรงกระแทกเพิ่มขึ้นเนื่องจากการกระจายตัวของอนุภาค PBS บนเมทริกซ์ PLA เนื่องจาก PBS มีโครงสร้างของอีลาสโตเมอร์ที่ช่วย absorb แรงกระทำ พบว่าที่อัตราส่วน PLA:PBS เท่ากับ 80:20 มีค่าการทนแรงกระแทกสูงสุดเท่ากับ 28.0 J/m^2 ซึ่งสอดคล้องกับการวิเคราะห์โครงสร้างอณูฐานที่พบว่าอัตราส่วนนี้ขนาดของอนุภาค PBS ที่กระจายตัวบนเมทริกซ์ PLA มีขนาดเล็กและมีการกระจายตัวที่ดี อนุภาค PBS จึงสามารถรับแรงกระแทกได้มากที่สุด

ตอนที่ 2 พอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิแลคติกแอซิดและพอลิบิวทีลีนซัคซิเนตที่เติมสารเติมแต่ง

การทดลองตอนที่ 2 เป็นการศึกษาสารเติมสารเติมแต่งลงในพอลิเมอร์ผสม เพื่อปรับปรุงสมบัติเชิงกลให้ดีขึ้น โดยเลือกศึกษาสารเติมแต่ง 2 ชนิด ได้แก่ ทัลคัม ขนาดอนุภาค 5 ไมครอนและพอลิเอทิลีนไกลคอล น้ำหนักโมเลกุล 6,000 ซึ่งทำการเติมลงไปในพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิแลคติกแอซิดและพอลิบิวทีลีนซัคซิเนตที่ปริมาณ 10 wt%

4.5 ผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิแลคติกแอซิดและพอลิบิวทีลีนซัคซิเนตที่เติมสารเติมแต่ง

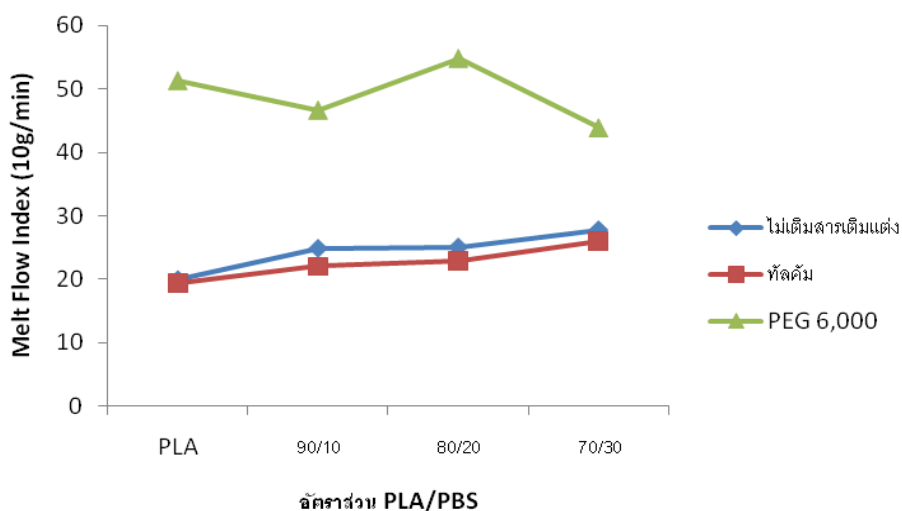
4.5.1 ผลการทดสอบดัชนีการไหล (Melt Flow Index, MFI) ตามมาตรฐาน ASTM D1238-98

นำพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิแลคติกแอซิดและพอลิบิวทีลีนซัคซิเนตที่อัตราส่วนต่างๆ ได้แก่ 100:0, 90:10, 80:20, 70:30 และ 0:100 ตามลำดับ ที่เติมทัลคัมและพอลิเอทิลีนไกลคอล เป็นสารเติมแต่งที่ปริมาณ 10 wt% ที่ผ่านการผสมด้วยเครื่องอัลตร้าสกรูแล้ว มาทำการทดสอบค่าดัชนีการไหล ตามมาตรฐาน ASTM D1238-98 ที่น้ำหนักกด 2.16 kg ได้ผลการทดสอบดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 ค่าดัชนีการไหล (กรัม/10 นาที) ของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA : PBS ที่อัตราส่วนต่างๆ ที่เติมทัลคัมและพอลิเอทิลีนไกลคอล

PLA:PBS (%wt)	MFI (g/10 min)		
	ไม่เติมสารเติมแต่ง	ทัลคัม	PEG 6,000
		10 wt%	10 wt%
100:0	19.9	19.3	51.3
90:10	24.8	22.0	46.7
80:20	25.0	22.8	54.8
70:30	27.7	26.0	43.9

จากตารางที่ 4.7 สามารถอธิบายในรูปแบบของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA:PBS ที่อัตราส่วนต่างๆ ที่เติมทัลคัมและพอลิเอทิลีนไกลคอลต่อค่าดัชนีการไหลของพอลิเมอร์ (กรัม/10 นาที) แสดงดังภาพที่ 4.8



รูปที่ 4.8 ค่าดัชนีการไหล (กรัม/10 นาที) ของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA : PBS ที่อัตราส่วนต่างๆ ที่เติมพลาสติกและพอลิเอทิลีน ไกลคอล

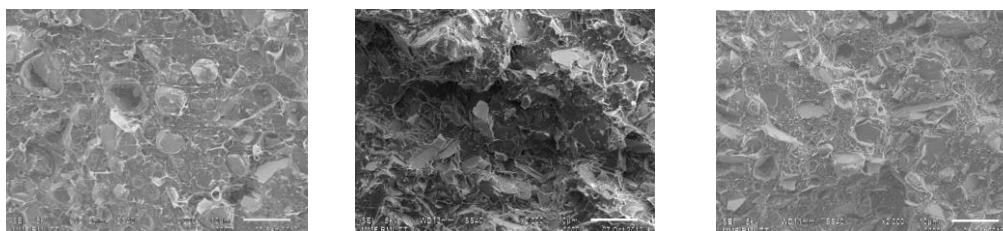
ผลการทดสอบค่าดัชนีการไหลของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA:PBS ที่อัตราส่วนต่างๆ และที่เติมพลาสติกและพอลิเอทิลีน ไกลคอล แสดงดังตารางที่ 4.7 พบว่าการเติมพลาสติกในพอลิเมอร์ผสมนั้น ค่าดัชนีการไหลเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย กล่าวคือการเติมพลาสติกไม่มีผลต่อค่าดัชนีการไหลของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA:PBS ที่อัตราส่วนต่างๆ แม้ว่า PLA เสื่อมสภาพได้ง่ายที่อุณหภูมิสูง แต่จากผลการทดลองยืนยันว่า พลาสติกเพิ่มความเสถียรต่อความร้อนให้กับพอลิเมอร์

ค่าดัชนีการไหลของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA:PBS ที่อัตราส่วนต่างๆ ที่เติมพอลิเอทิลีน ไกลคอลนั้น พบว่าให้ค่าดัชนีการไหลสูงมาก ได้แก่ PLA บริสุทธิ์จากเดิมค่าดัชนีการไหลเป็น 19.9 กรัม/10 นาที เปลี่ยนเป็น 51.3 กรัม/10 นาที และเช่นเดียวกับพอลิเมอร์ผสม PLA:PBS ที่อัตราส่วน 90:10, 80:20 และ 70:30 ที่มีค่าดัชนีการไหลเพิ่มขึ้นมากทุกอัตราส่วน ทั้งนี้เนื่องจากพอลิเอทิลีน ไกลคอล เป็นพอลิเมอร์ที่มีค่าดัชนีการไหลสูง และผลจากการทดสอบยืนยันการรวมตัวของพอลิเอทิลีน ไกลคอลและพอลิเมอร์เมทริกซ์

และการทดสอบค่าดัชนีการไหลของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA:PBS ที่อัตราส่วนต่างๆ ที่เติมพอลิเอทิลีน ไกลคอลนั้น พบว่าให้ค่าดัชนีการไหลสูงมาก ได้แก่ PLA บริสุทธิ์จากเดิมค่าดัชนีการไหลเป็น 19.9 กรัม/10 นาที เปลี่ยนเป็น 51.3 กรัม/10 นาที และเช่นเดียวกับพอลิเมอร์ผสม PLA:PBS ที่อัตราส่วน 90:10, 80:20 และ 70:30 ที่มีค่าดัชนีการไหลเพิ่มขึ้นมากทุกอัตราส่วน ทั้งนี้เนื่องจากพอลิเอทิลีน ไกลคอล เป็นพอลิเมอร์ที่มีค่าดัชนีการไหลสูง และผลจากการทดสอบยืนยันการรวมตัวของพอลิเอทิลีน ไกลคอลและพอลิเมอร์เมทริกซ์

4.5.2 ผลการทดสอบลักษณะพื้นฐานวิทยาของพอลิเมอร์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM)

พอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิแลคติกแอซิดและพอลิবিวิธินซักซิเนตที่อัตราส่วนต่างๆ ได้แก่ 100:0, 90:10, 80:20, 70:30 และ 0:100 ตามลำดับ ที่เติมทัลคัมและพอลิเอทธิลีนไกลคอล เป็นสารเติมแต่งที่ปริมาณ 10 wt% โดยนำมาใช้ในการทดสอบลักษณะพื้นฐานวิทยาของพอลิเมอร์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดนั้น มาจากชิ้นงานที่ผ่านการทดสอบการทนแรงกระแทกเพื่อจะได้เห็นลักษณะพื้นฐานวิทยาภายในของพอลิเมอร์ผสม ผลการทดสอบลักษณะพื้นฐานวิทยาพบว่าพอลิเมอร์ผสม PLA:PBS ที่อัตราส่วนต่างๆ ที่เติมทัลคัมและพอลิเอทธิลีนไกลคอลแสดงดังรูปที่ 4.9 และ 4.10 ตามลำดับ



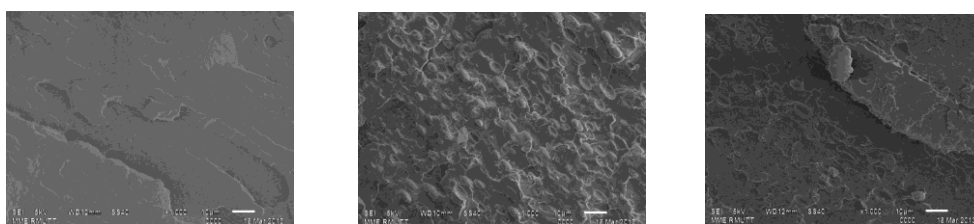
ก) 90:10

ข) 80:20

ค) 70:30

รูปที่ 4.9 ลักษณะโครงสร้างพื้นฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสม PLA:PBS ที่อัตราส่วนต่างๆ ที่ปริมาณทัลคัม 10 % โดยน้ำหนัก (กำลังขยาย 2,000 เท่า)

พอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิแลคติกแอซิดและพอลิবিวิธินซักซิเนตที่อัตราส่วนต่างๆ ที่เติมทัลคัมเป็นสารเติมแต่งที่ปริมาณ 10 wt% พบว่าลักษณะพื้นฐานวิทยาในทุกตัวอย่างให้ผลเหมือนกัน คือผิวขรุขระ ไม่เรียบ ทัลคัมซึ่งมีลักษณะเป็นแผ่นบางๆ กระจายอยู่ทั่วเนื้อพอลิเมอร์ผสม เนื่องจากทัลคัมประกอบด้วยชั้นของ Brucite ($Mg(OH)_2$) ที่แทรกอยู่ระหว่างชั้นของ Silica (SiO_2) จึงเห็นเป็นลักษณะทางกายภาพเป็นแผ่นบางๆ [15]



ก) 90:10

ข) 80:20

ค) 70:30

รูปที่ 4.10 ลักษณะ โครงสร้างพื้นฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสม PLA:PBS ที่อัตราส่วนต่างๆ ที่ปริมาณพอลิเอทธิลีนไกลคอล 10 % โดยน้ำหนัก (กำลังขยาย 2,000 เท่า)

พอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิแลคติกแอซิดและพอลิบิวทีลีนซัคซิเนตที่อัตราส่วนต่างๆ ที่เติมพอลิเอทธิลีนไกลคอล เป็นสารเติมแต่งที่ปริมาณ 10 wt% พบว่าลักษณะพื้นฐานวิทยาของ PLA:PBS ที่อัตราส่วน 80:20 ผิวขรุขระ ไม่เรียบ มีเนื้อพอลิเมอร์บางส่วนเกาะเป็นกลุ่มก้อน แสดงให้เห็นถึงการเกิดแรงกระทำบางส่วนระหว่างผิวหน้าของพอลิแลคติกแอซิดและ พอลิบิวทีลีนซัคซิเนต แต่ลักษณะพื้นฐานวิทยาของ PLA:PBS ที่อัตราส่วน 90:10 และ 70:30 นั้น ผิวหน้าค่อนข้างเรียบ แต่ยังคงเห็นการแยกเฟสของเนื้อพอลิเมอร์

4.6 ผลการทดสอบสมบัติทางความร้อนของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิแลคติกแอซิดและพอลิบิวทีลีนซัคซิเนตที่เติมสารเติมแต่ง

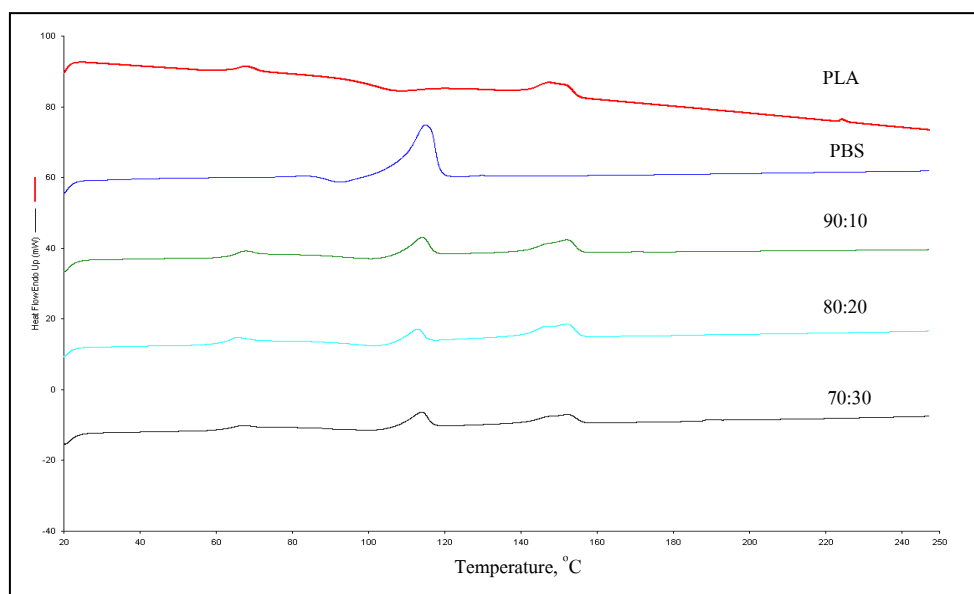
4.6.1 ผลการทดสอบทางความร้อนด้วยดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์ (Differential Scanning Calorimeter, DSC)

พอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิแลคติกแอซิดและพอลิบิวทีลีนซัคซิเนตที่อัตราส่วนต่างๆ ได้แก่ 100:0, 90:10, 80:20, 70:30 และ 0:100 ตามลำดับ ที่เติมทาลคัมและพอลิเอทธิลีนไกลคอล เป็นสารเติมแต่งที่ปริมาณ 10 wt% โดยนำมาใช้ในการทดสอบสมบัติทางความร้อนของพอลิเมอร์ด้วยดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์นั้น พบว่าเทอร์โมแกรมแสดงสมบัติทางความร้อนของพอลิเมอร์ผสม PLA:PBS ที่อัตราส่วนต่างๆ ที่เติมทาลคัม แสดงดังตารางที่ 4.8 และรูปที่ 4.11 และพอลิเมอร์ผสม PLA:PBS ที่อัตราส่วนต่างๆ ที่เติมพอลิเอทธิลีนไกลคอล แสดงดังตารางที่ 4.9 และรูปที่ 4.12

ตารางที่ 4.8 สมบัติทางความร้อนของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA:PBS ที่อัตราส่วนต่างๆ ที่เติมทัลคัมที่ปริมาณ 10 wt%

อัตราส่วนของ PLA:PBS (% โดยน้ำหนัก)	อุณหภูมิ (°C)		
	Peak 1 (PLA)	Peak 2 (PBS)	Peak 3 (PLA)
PLA	67.97	-	147.91
90:10	67.46	114.15	152.10
80:20	65.48	112.85	152.05
70:30	66.58	113.98	152.23
PBS	-	114.97	-

จากตารางที่ 4.8 แสดงผลการทดสอบสมบัติทางความร้อนของพอลิเมอร์ด้วยดีฟเฟอร์เรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์นั้น สามารถอธิบายในรูปแบบของเทอร์โมแกรมทางความร้อนของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA:PBS ที่อัตราส่วนต่างๆ ที่เติมทัลคัม แสดงดังรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.11 เทอร์โมแกรมสมบัติทางความร้อนของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA:PBS ที่อัตราส่วนต่างๆ ที่ปริมาณทัลคัม 10 wt%

จากรูปที่ 4.11 แสดงสมบัติทางความร้อนของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA:PBS ที่อัตราส่วนต่างๆ พบว่า PLA บริสุทธิ์แสดงค่าอุณหภูมิของการหลอมเหลวที่ 151.79 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วที่ 67.07 องศาเซลเซียส ส่วน PBS บริสุทธิ์มีค่าอุณหภูมิของการหลอมเหลว 114.82 องศาเซลเซียส แต่เมื่อนำพอลิเมอร์ทั้งสองชนิดมาผสมกันที่อัตราส่วนต่างๆ พบว่าเทอร์โมแกรมแสดงค่าอุณหภูมิของการหลอมเหลวของพอลิเมอร์ทั้งสองชนิดแยกเป็น 2 พีคอย่างชัดเจน และพบพีคของอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วของ PLA ด้วย แสดงให้เห็นว่าพอลิเมอร์ทั้งสองชนิดที่อัตราส่วนการผสมต่างๆ ไม่สามารถเข้ากันได้ [1]

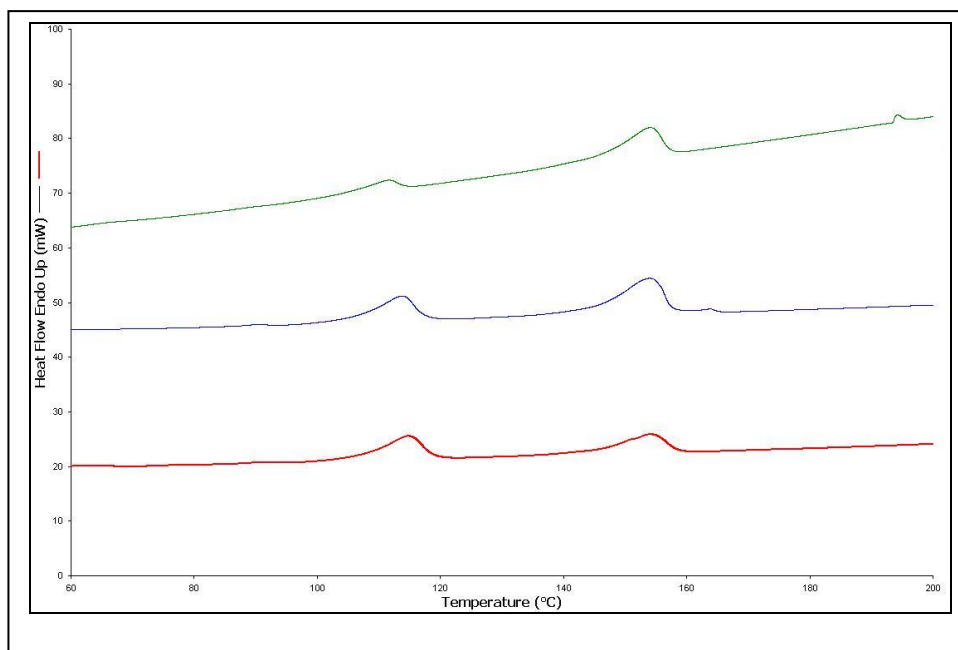
เมื่อเติมทาลคัมในพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA:PBS ที่อัตราส่วนต่างๆ พบว่าเทอร์โมแกรม แสดงค่าอุณหภูมิของการหลอมเหลวของพอลิเมอร์ทั้งสองชนิดแยกเป็น 2 พีคอย่างชัดเจน และพบพีคของอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วของ PLA ด้วย แสดงให้เห็นว่าพอลิเมอร์ทั้งสองชนิดที่อัตราส่วนการผสมต่างๆ ไม่สามารถเข้ากันได้ [1] เหมือนในพอลิเมอร์ผสม PLA:PBS ที่อัตราส่วนต่างๆ ที่ไม่เติมทาลคัม นั้นหมายความว่า การเติมทาลคัม ไม่มีผลต่อค่าอุณหภูมิของการหลอมเหลวของพอลิเมอร์ทั้งสองชนิด

ตารางที่ 4.9 สมบัติทางความร้อนของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA:PBS ที่อัตราส่วนต่างๆ

ที่เติมพอลิเอทธิลีน ไกลคอลที่ปริมาณ 10 wt%

อัตราส่วนของ PLA:PBS (% โดยน้ำหนัก)	อุณหภูมิ (°C)	
	Peak 1 (PBS)	Peak 2 (PLA)
PLA	-	153.49
90:10	111.48	154.02
80:20	113.8	154.04
70:30	114.77	154.13
PBS	120.74	-

จากตารางที่ 4.9 แสดงผลการทดสอบสมบัติทางความร้อนของพอลิเมอร์ด้วยดิฟเฟอเรนเชียล สแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์นั้น สามารถอธิบายในรูปแบบของเทอร์โมแกรมทางความร้อนของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA:PBS ที่เติมพอลิเอทธิลีนไกลคอล แสดงดังรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.12 เทอร์โมแกรมสมบัติทางความร้อนของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA:PBS ที่อัตราส่วน
ต่างๆ ที่ปริมาณพอลิเอทิลีน ไกลคอล 10 wt%

เมื่อเติมพอลิเอทิลีน ไกลคอลในพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA:PBS ที่อัตราส่วนต่างๆ พบว่าเทอร์โมแกรมแสดงค่าอุณหภูมิของการหลอมเหลวของพอลิเมอร์ทั้งสองชนิดแยกเป็น 2 พิกอย่างชัดเจนเช่นกัน แสดงให้เห็นว่าพอลิเมอร์ทั้งสองชนิดที่อัตราส่วนการผสมต่างๆ ไม่สามารถเข้ากันได้ [1] เหมือนในพอลิเมอร์ผสม PLA:PBS ที่อัตราส่วนต่างๆ ที่ไม่เติมสารเติมแต่ง นั้นหมายความว่า การเติมพอลิเอทิลีน ไกลคอลไม่มีผลต่อค่าอุณหภูมิของการหลอมเหลวของพอลิเมอร์ทั้งสองชนิด

4.7 ผลการทดสอบสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิแลคติกแอซิดและพอลิบิวทีลีน ซัคซิเนตที่เติมสารเติมแต่ง

4.7.1 ผลการทดสอบการทนทานต่อแรงดึง (Tensile Test)

ทำการทดสอบการทนทานต่อแรงดึง ตามมาตรฐาน ASTM D 638-84 ของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA:PBS ที่อัตราส่วนต่างๆ ที่เติมทาลค์ัมและพอลิเอทิลีน ไกลคอล เป็นสารเติมแต่งที่ปริมาณ 10 wt% นั้น แสดงผลการทดสอบเป็นค่ามอดูลัสของสภาพยืดหยุ่น ดังตารางที่ 4.10 และการทนต่อแรงดึงแสดงดังตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.10 ผลการทดสอบค่ามอดูลัสของสภาพยืดหยุ่นของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA:PBS ที่อัตราส่วนต่างๆ ที่เติมทัลคัมและพอลิเอทธิลีน ไกลคอล เป็นสารเติมแต่งที่ปริมาณ 10wt%

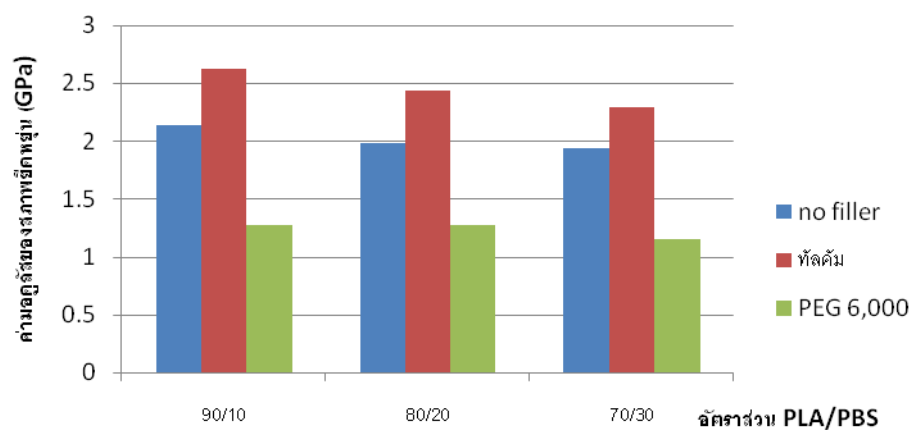
ค่ามอดูลัสของสภาพยืดหยุ่น (GPa)			
PLA:PBS (wt%)	ไม่เติมสารเติมแต่ง	ทัลคัม	PEG 6,000
		10 (wt%)	10 (wt%)
PLA	2.14	2.90	-
90:10	2.14	2.62	1.27
80:20	1.98	2.44	1.268
70:30	1.94	2.29	1.153
PBS	0.64	0.87	-

ตารางที่ 4.11 ผลการทดสอบค่าการทนต่อแรงดึงของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA:PBS ที่อัตราส่วนต่างๆ ที่เติมทัลคัมและพอลิเอทธิลีน ไกลคอล เป็นสารเติมแต่งที่ปริมาณ 10wt%

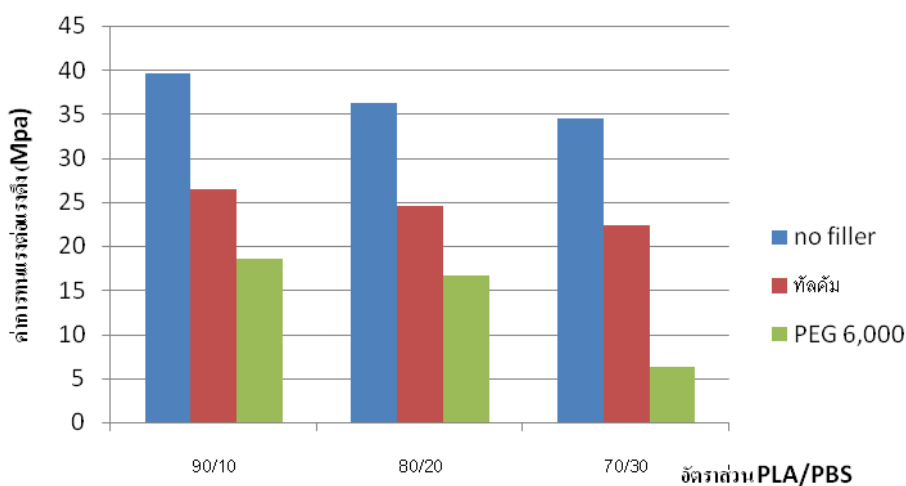
ค่าการทนต่อแรงดึง (MPa)			
PLA:PBS (wt%)	ไม่เติมสารเติมแต่ง	ทัลคัม	PEG 6,000
		10 (wt%)	10(wt%)
PLA	44.82	28.96	-
90:10	39.56	26.38	18.53
80:20	36.26	24.48	16.67
70:30	34.44	22.31	6.25
PBS	28.79	20.32	-

จากตารางที่ 4.10 และ 4.11 แสดงผลการทดสอบเป็นค่ามอดูลัสของสภาพยืดหยุ่นและการทนต่อแรงดึงของ

จากตารางที่ 4.10 และ 4.11 แสดงผลการทดสอบเป็นค่ามอดูลัสของสภาพยืดหยุ่นและการทนต่อแรงดึงของพอลิเมอร์นั้น สามารถอธิบายในรูปแบบกราฟความสัมพันธ์แสดงดังรูปที่ 4.13 และ 4.14 ตามลำดับ



รูปที่ 4.13 ค่ามอดูลัสของสภาพยืดหยุ่นของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA:PBS ที่อัตราส่วนต่างๆ ที่เติมทัลคัมและพอลิเอทิลีน ไกลคอล เป็นสารเติมแต่งที่ปริมาณ 10 wt%



รูปที่ 4.14 การทนต่อแรงดึงของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA:PBS ที่อัตราส่วนต่างๆ ที่เติมทัลคัมและพอลิเอทิลีน ไกลคอล เป็นสารเติมแต่งที่ปริมาณ 10 wt%

การเติมทาล์คัมลงในพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA:PBS นั้น ทำให้ค่ามอดูลัสของสภาพยืดหยุ่นสูงขึ้น เนื่องจากการเติมทาล์คัมในพอลิเมอร์ผสมพบว่าปริมาณความเป็นผลึกเพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นการทำหน้าที่เป็น Nucleating agent ของทาล์คัม ดังนั้นแรงกระทำระหว่างผิวของ PLA และ PBS จึงเพิ่มขึ้น และทาล์คัมมีลักษณะเป็นแผ่นบางๆ กระจายอยู่ทั่วเนื้อพอลิเมอร์ผสม ซึ่งทาล์คัมประกอบด้วยชั้นของ Brucite ($Mg(OH)_2$) ที่แทรกอยู่ระหว่างชั้นของ Silica (SiO_2) จึงเห็นเป็นลักษณะทางกายภาพเป็นแผ่นบางๆ [15] แต่การเติมพอลิเอทิลีนไกลคอล ทำให้ค่ามอดูลัสของสภาพยืดหยุ่นของพอลิเมอร์ผสมลดลงจากเดิมก่อนเติมสารเติมแต่งในทุกอัตราส่วน เนื่องจากพอลิเอทิลีนไกลคอลทำหน้าที่เป็นพลาสติกไซเซอร์ การเติมลงในพอลิเมอร์ผสมทำให้นิ่มขึ้น และพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตมีเฟสของแข็งยังทำให้พอลิเมอร์ผสมนิ่ม ส่งผลให้ค่ามอดูลัสของสภาพยืดหยุ่นลดลง

การทนต่อแรงดึงของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA:PBS ที่อัตราส่วนต่างๆ ที่เติมทาล์คัมและพอลิเอทิลีนไกลคอล พบว่าแนวโน้มลดลงทั้งคู่ เนื่องจากทั้งทาล์คัมและพอลิเอทิลีนไกลคอลมิได้ทำหน้าที่เป็นสารเชื่อมประสาน จากลักษณะพื้นฐานวิทยาแสดงถึงการแยกเฟสของพอลิเมอร์ผสมที่เติมสารเติมแต่ง จึงส่งผลต่อสมบัติเชิงกล

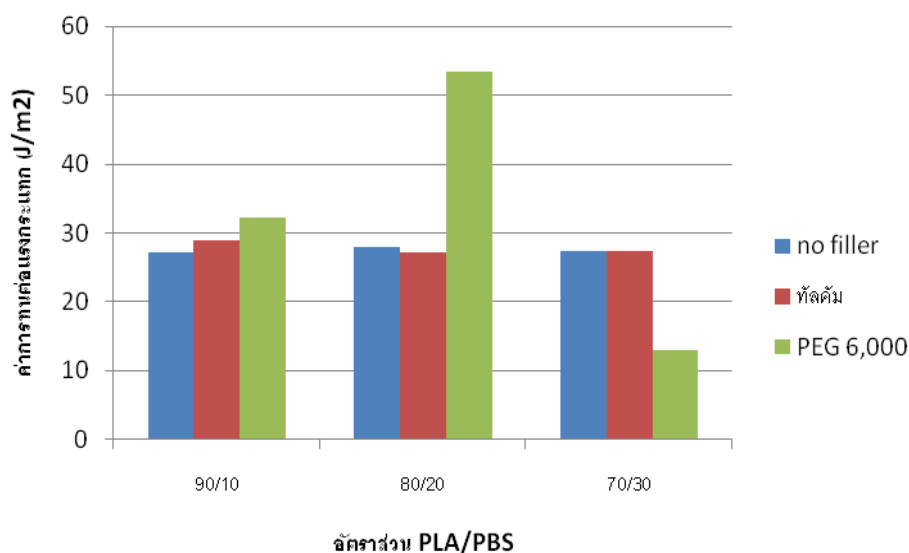
4.7.2 ผลการทดสอบการทนทานต่อแรงกระแทก (Izod Impact Strength)

ผลการทดสอบการทนต่อแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA:PBS ที่อัตราส่วนต่างๆ ที่เติมทาล์คัมและพอลิเอทิลีนไกลคอล เป็นสารเติมแต่งที่ปริมาณ 10 wt% นั้น แสดงผลการทดสอบ ดังตารางที่ 4.12

ตารางที่ 4.12 ผลการทดสอบการทนต่อแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA:PBS ที่อัตราส่วนต่างๆ ที่เติมทาล์คัมและพอลิเอทิลีนไกลคอลเป็นสารเติมแต่งที่ปริมาณ 10 wt%

ค่าการทนต่อแรงกระแทก (J/m^2)			
PLA:PBS (wt%)	ไม่เติมสารเติมแต่ง	ทาล์คัม	PEG 6,000
		10 (wt%)	10 (wt%)
PLA	25.3	27.1	-
90:10	27.2	29.0	32.29
80:20	28.0	27.1	53.33
70:30	27.3	27.4	13.06
PBS	27.5	27.5	-

จากตารางที่ 4.12 แสดงผลการทดสอบการทนทานต่อแรงกระแทกนั้น สามารถอธิบายในรูปแบบกราฟความสัมพันธ์แสดงดังรูปที่ 4.15



รูปที่ 4.15 การทนต่อแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA:PBS ที่อัตราส่วนต่างๆ ที่เติมทาลค์มและพอลิเอทรีลีน ไกลคอล เป็นสารเติมแต่งที่ปริมาณ 10 wt%

ผลการทดสอบการทนต่อแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA:PBS ที่อัตราส่วนต่างๆ ที่เติมทาลค์มมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย ที่พอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA:PBS ที่อัตราส่วน 90:10 ให้ค่าการทนต่อแรงกระแทกสูงกว่าอัตราส่วนอื่น และพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PLA:PBS ที่อัตราส่วนต่างๆ ที่เติมพอลิเอทรีลีน ไกลคอลนั้น ให้ค่าการทนต่อแรงกระแทกสูงกว่าการเติมทาลค์มทั้งที่อัตราส่วน 90:10 และ 80:20 อาจเนื่องมาจาก PEG เกิดการแตกตัวของสายโซ่โมเลกุลพลาสติกสามารถเข้าไปแทรกตัวในชั้น PEG แล้วทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างโมเลกุลที่เป็นแบบบอสันฐานของพอลิเมอร์ผสมให้สามารถรับแรงกระแทกได้มากขึ้น แต่ที่อัตราส่วน 70:30 ค่าการทนต่อแรงกระแทกลดลงอย่างชัดเจน น่าจะเกิดจากการแยกเฟสของพอลิเมอร์ผสมการกระจายตัวของพอลิเอทรีลีน ไกลคอลในเมทริกซ์ไม่ดี

ตอนที่ 3 การขึ้นรูปชิ้นงานด้วยกระบวนการฉีด

3.1 การขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ ณ บริษัท ไทยรุ่งเรือง อินโนเวชั่น จำกัด



รูปที่ 4.16 ศึกษาและการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ ณ บริษัท ไทยรุ่งเรือง อินโนเวชั่น จำกัด

จากการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์จริงในระดับอุตสาหกรรม ณ บริษัท ไทยรุ่งเรือง อินโนเวชั่น จำกัด นั้น ซึ่งบริษัท ไทยรุ่งเรือง อินโนเวชั่น จำกัด เป็นบริษัทผลิตบรรจุภัณฑ์สำหรับบรรจุเครื่องสำอางค์ หลากหลายรูปแบบ ในการทดลองเราเลือกผลิตภัณฑ์และทำการขึ้นได้ดังรูปที่ 4.17



รูปที่ 4.17 ผลิตภัณฑ์ตลับบรรจุแป้งทาน้ำ

จากรูปที่ 4.17 ผลผลิตภัณฑ์ดัดแปลงบรรจุภัณฑ์น้ำนั้น มีสีขาวขุ่นเป็นสีที่เกิดจากเนื้อพลาสติกเอง ส่วนสีฟ้าเป็นสีที่ได้ลงเติมในผลิตภัณฑ์ดัดแปลงบรรจุภัณฑ์น้ำด้วย แต่ยังมีปัญหาเรื่องลายเส้นของสีที่แสดงเป็นริ้วรอยบนชิ้นงาน

3.2 ผลการทดสอบตามข้อกำหนดเบื้องต้นของโรงงาน

3.2.1 ตรวจสอบตัวล็อกของชิ้นงาน

ในการทดสอบเบื้องต้นของโรงงาน หลังจากขึ้นรูปชิ้นงานแล้ว ทำโดยการปิดฝา ดัดแปลงให้สนิท แล้วทำการ โคนลงที่พื้น หากตัวล็อกทำงานปกติ ฝาของดัดแปลงต้องไม่เปิดออก ซึ่งชิ้นงานของเราทุกชุดผ่านการทดสอบข้อกำหนดนี้

3.2.2 ตรวจสอบการแตกหักของข้อพับของชิ้นงาน

ในการทดสอบเบื้องต้นของโรงงาน หลังจากขึ้นรูปชิ้นงานแล้ว ทำการพับงอ บริเวณข้อต่อไปมาดังรูปที่ 4.18 พบว่าไม่ผ่านการทดสอบในข้อนี้ หากจะนำไปใช้งานจริงต้องเลือกผลิตภัณฑ์ที่ฝาเปิด-ปิดเป็นแบบเกลียวแทน



รูปที่ 4.18 บริเวณที่ตรวจสอบการพับงอ

3.2.3 ตรวจสอบการยึดติดของหมึกพิมพ์บนชิ้นงาน

หลังจากขึ้นรูปชิ้นงานแล้ว นำไปป้อนหรือพิมพ์ลวดลายหรือยี่ห้อสินค้าตามตรงการ
ดังรูป 4.19



รูปที่ 4.19 ชิ้นงานที่พิมพ์ลวดลายแล้ว

การทดสอบคือ การใช้สติกเกอร์ไสตติกลงบนลวดลายนั้น แล้วลอกออกอย่างรวดเร็ว โดยที่ไม่มีสีติดมากับสติกเกอร์ พบว่าทุกสูตรผ่านการทดสอบ ปกติแล้วพิมพ์ลวดลายลงบนชิ้นงานนั้น ต้องผ่านการปรับผิวก่อนจึงจะพิมพ์หมึกลงบนชิ้นงานได้ แต่ชิ้นงานที่เราเตรียมได้ ไม่ต้องผ่าน ปรับปรุงผิวหน้า สามารถพิมพ์ลวดลายลงบนผิวชิ้นงานได้ทันที จึงเป็นการลดขั้นตอนและลด ค่าใช้จ่ายด้วย