

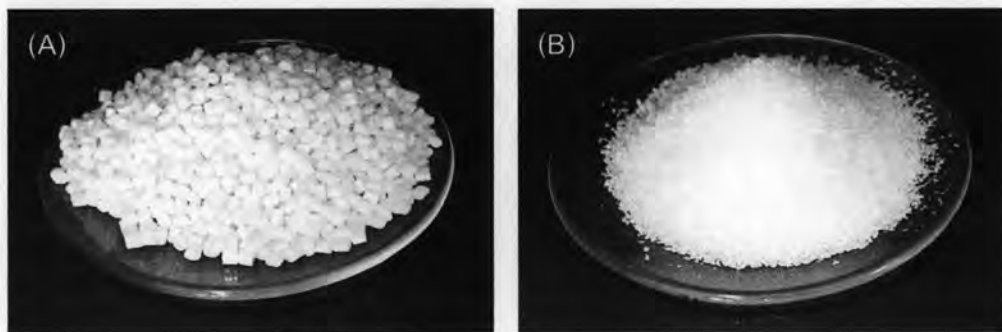
บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 การเตรียมวัตถุดิบ

4.1.1 การเตรียมผงเพต

เม็ดเพตที่ได้รับมาจากบริษัท ไทยโพลีเอสเตอร์ จำกัด ต้องนำมาบดหยาบให้มีขนาดเล็กลงด้วยเครื่องบดหยาบก่อนก่อนที่จะนำไปใช้ ในการบดได้ใช้ตะแกรงร่อนเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 มิลลิเมตร เพื่อคัดแยกผงเพตให้ได้ขนาดสม่ำเสมอ ผงเพตที่ได้มีลักษณะทางกายภาพที่เห็นดังแสดงในรูปที่ 4.1 (B) จะได้ผงของเพตที่มีขนาดผงบ่นน้อยกว่า 1 มิลลิเมตร ทำการร่อนด้วยตะแกรงร่อนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.8 มิลลิเมตร เพื่อคัดเอาผงเพตที่ละเอียดเกินไปออกทำให้ได้ผงเพตที่มีขนาดใกล้เคียงกัน คืออยู่ในช่วง 0.8-1 มิลลิเมตร ซึ่งเห็นว่าผงเพตมีผิวขรุขระ และมีพื้นที่ผิวมากขึ้น ทั้งนี้เพื่อช่วยทำให้ฟิล์มแป้งยึดเกาะติดแน่นที่ผิวของเพตได้มากที่สุด

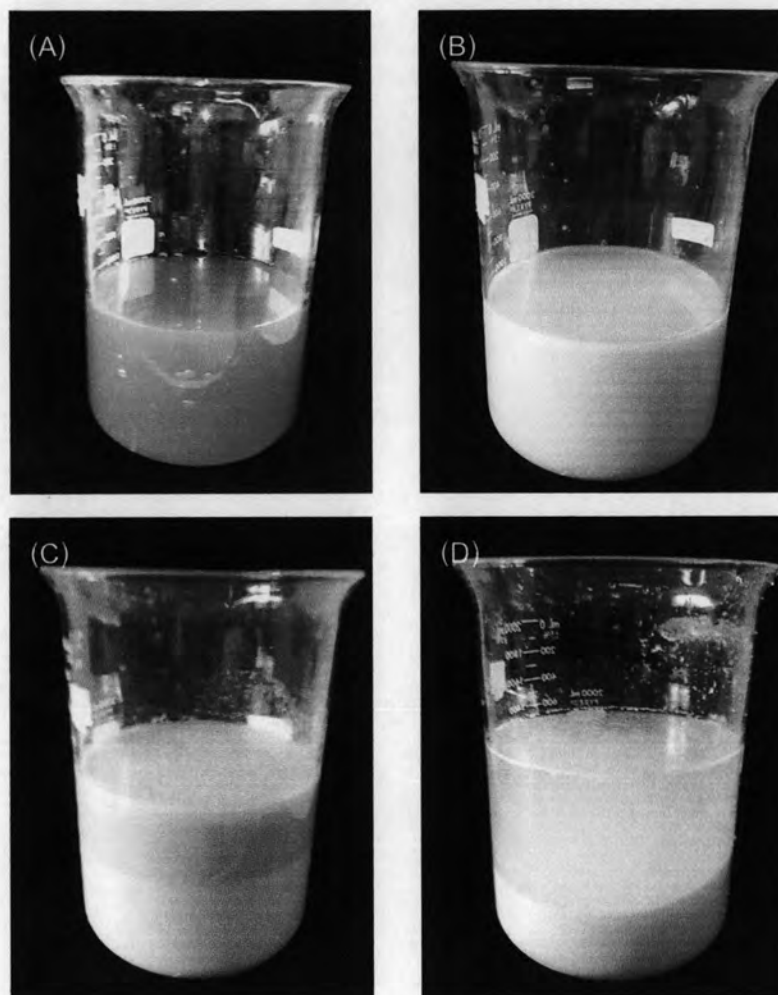


รูปที่ 4.1 แสดง (A) เม็ดเพตและ (B) เพตที่ผ่านการบดด้วยเครื่องพัลวาไรเซอร์

4.1.2 การตัดแปรผิวเพตด้วยสารพอลิเอทิลีนไกลโคเลตบิสฟีนอลเอ

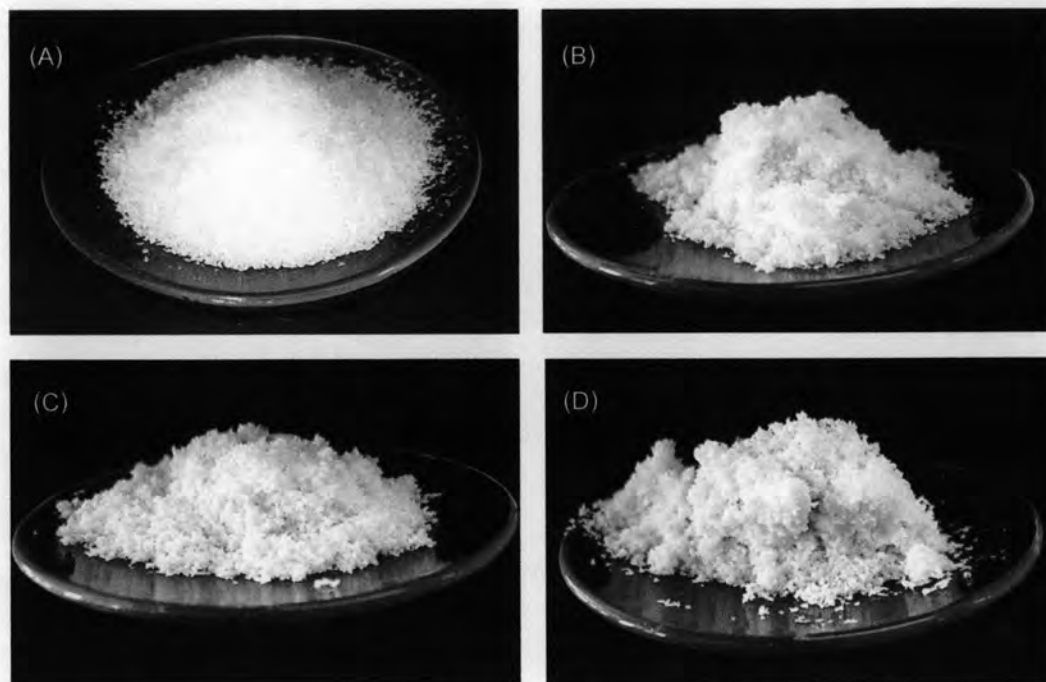
เตรียมสารละลายของสารช่วยผสม (พอลิเอทิลีนไกลโคเลตบิสฟีนอลเอ) โดยใช้น้ำเป็นตัวทำละลายที่ความเข้มข้น 10, 20 และ 30 g/100 g PET เทียบกับปริมาณของผงเพต เนื่องจากสารละลายที่ได้มา มีความเป็นต่างสูงจึงไม่มีความเหมาะสมในการใช้งานกับเพต จึงได้ทำการปรับค่าพีเอชของสารละลายที่เตรียมได้ให้มีค่าพีเอชระหว่าง 5-6 โดยการเติมกรดอะซิติก ภายหลังจากเติมกรดอะซิติกสารละลายใสของพอลิเอทิลีนไกลโคเลตบิสฟีนอลเอจะมีลักษณะขุ่น (รูปที่ 4.2) หลังจากนั้นนำผงเพตลงแช่ในสารละลายสารช่วยผสม ซึ่งสารช่วยผสมมีความสามารถในการเกาะติดกับผงเพตได้ดี โดยสังเกตจากสารละลายขาวขุ่นในตอนแรกจะใสขึ้นเนื่องจากที่สารช่วยผสมเข้าไปเกาะติดกับผิวของเพตนั่นเอง เมื่อการเกาะติดเกิดขึ้นจนสมบูรณ์แล้วได้ทำการกรองผงเพต จากนั้นนำไปอบผึ่งเพื่อเคลือบสารช่วยผสมลงบนผิวของผงเพต ภายหลังจากการอบพบว่าสีของ

ผงเพตจะมีสีชมพูอ่อนๆ และมีความเข้มข้นเพิ่มขึ้นเล็กน้อยตามปริมาณของสารช่วยผสม โดยผิวของผงเพตจะเปลี่ยนสภาพจากสมบัติไฮโดรโฟบิก เป็นสภาพไฮโดรฟิลิก



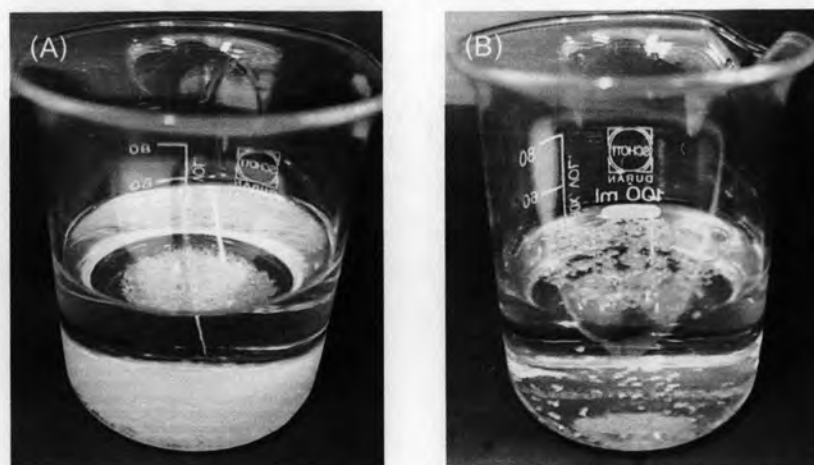
รูปที่ 4.2 การตัดแปรผิวเพตด้วยสารพอลิเอทิลีนไกลโคเลตบิสฟีนอลเอ

จากรูปที่ 4.2 ก่อนทำการปรับค่าพีเอช สารละลายของสารช่วยผสมจะมีค่าพีเอชเท่ากับ 12 (รูปที่ 4.2 A) เมื่อหยดกรดอะเซติกลงไป สารละลายจะเปลี่ยนจากสีน้ำตาลเข้มไปเป็นสีขาวขุ่น (รูปที่ 4.2 B) ซึ่งมีค่าพีเอชเท่ากับ 6 ใส่ผงเพต นำผงเพตจำนวน 600 กรัม ใส่ลงในสารละลาย (รูปที่ 4.2 C) คนสารละลายให้เข้ากันดี หลังจากนั้นเมื่อแช่ทิ้งไว้สักพักสีของสารละลายจะใสขึ้น (รูปที่ 4.2 D) ต่อมานำไปกรองจนเหลือแต่ผงเพตและนำไปอบเพื่อเคลือบสารช่วยผสมลงบนผิวผงเพต พบว่าสีของผงเพตจะเข้มข้นขึ้นเล็กน้อยตามปริมาณสารช่วยผสม โดยสีที่เข้มข้นนั้นเกิดจากสีของสารช่วยผสม ตามรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 เพตที่ผ่านการเคลือบผิวด้วยสารช่วยผสม สัดส่วนโดยน้ำหนักของสารช่วยผสม (A) เพตบริสุทธิ์, (B) 10, (C) 20 และ (D) 30 g/100 g PET ตามลำดับ

เพื่อทำการยืนยันว่าผิวของผงเพตเปลี่ยนสภาพจากสมบัติไฮโดรโฟบิก เป็นสภาพไฮโดรฟิลิก จึงทดสอบโดยนำผงเพตที่ผ่านการปรับสภาพผิวแล้วไปใส่ลงในน้ำมันและสังเกตการจมตัวของผงเพต ซึ่งพบการเปลี่ยนแปลงคือผงเพตที่ปรับสภาพผิวแล้ว (รูปที่ 4.4 B) จะสามารถลอยอยู่บนผิวน้ำมันเป็นระยะเวลาหนึ่งก่อนจมตัวลง ในขณะที่เพตปกติ (รูปที่ 4.4 A) จะจมตัวลงในน้ำมันทันที ทั้งนี้เนื่องจากผงเพตดัดแปรผิวมีสภาพเป็นไฮโดรฟิลิกมากขึ้น ทำให้มีพลังงานผิวมากขึ้น จึงทำให้ไม่เข้ากับน้ำมันซึ่งมีพลังงานผิวดำกว่านั่นเอง












รูปที่ 4.4 แสดงการทดสอบสมบัติของผิวเพตโดยที่ (A) ก่อนปรับสภาพผิวและ (B) หลังปรับสภาพผิว

4.1.3 การเคลือบผิวพेटด้วยฟิล์มแป้งมันสำปะหลัง

หลังจากตัดแปรมีวงพेटด้วยสารช่วยผสมแล้ว จึงเคลือบวงพेटด้วยฟิล์มแป้งมันสำปะหลัง โดยในการทดลองนี้ได้เคลือบฟิล์มแป้งที่สัดส่วนโดยน้ำหนักต่างๆดังนี้ พेट : แป้ง , 90 : 10, 80 : 20 และ 70 : 30 ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.1 พบว่าในกรณีของวงพेटที่มีการตัดแปรมีวง จะได้ฟิล์มแป้งห่อหุ้มวงพेट ที่มีการยึดเกาะติดแน่นได้ดีซึ่งยืนยันได้จากผลการทดสอบด้วยเทคนิค SEM ในขณะที่วงพेटที่ไม่ผ่านการตัดแปรมีวงฟิล์มแป้งจะไม่มีการเกาะติดกับวงพेट เทเจลดแป้งที่เข้ากันดีกับวงพेटแล้วลงบนภาดอะคริลิก ทิ้งให้เจลดแห้งจนเคลือบบนวงพेट นำมาทำให้ร้อนจะได้วงพेटที่มีฟิล์มแป้งเคลือบอยู่ ดังแสดงในรูปตามตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ตารางแสดงภาพวงพेटที่เคลือบผิวด้วยฟิล์มแป้ง

สูตร	สารช่วยผสม (g/100 g PET)	สัดส่วน พेट : แป้งมันสำปะหลัง	ภาพการเคลือบผิวพेटด้วยฟิล์ม แป้งมันสำปะหลัง
1	10	90 : 10	
2	10	80 : 20	
3	10	70 : 30	
4	20	90 : 10	
5	20	80 : 20	

6	20	70 : 30	
7	30	90 : 10	
8	30	80 : 20	
9	30	70 : 30	

4.2 การเตรียมพอลิเมอร์ผสมระหว่างเพตและแป้งด้วยเครื่องอัดรีดแบบสกรูคู่

เครื่องมือที่ใช้ในการผสมเพตและแป้งมันสำปะหลังในการทดลองนี้คือ เครื่องอัดรีดแบบสกรูคู่ โดยพบว่าในการเตรียมพอลิเมอร์ผสมระหว่างเพตและแป้งมันสำปะหลังนั้นการปรับอุณหภูมิในแต่ละโซนของบาร์เรลสกรูมีผลอย่างมากต่อการเตรียมพอลิเมอร์ผสม โดยการปรับอุณหภูมิที่ต่ำเกินไปทำให้เกิดปัญหาต่างๆ เช่นทำให้แรงบิด (torque) สูงจนเกินกว่าที่เครื่องจะสามารถทำงานต่อไปได้ เนื่องจากพอลิเมอร์ผสมยังหลอมตัวไม่ดีพอ หรือถ้าปรับตั้งอุณหภูมิที่สูงเกินไปจะทำให้ฟิล์มแป้งไหม้และความหนืดของพอลิเมอร์ผสมลดลงอย่างมาก การไหลของพอลิเมอร์จะไม่ต่อเนื่อง พอลิเมอร์จะไหลออกมาในลักษณะเป็นหยดๆ และมีสีดำเนื่องจากแป้งเกิดการสลายตัวเมื่ออุณหภูมิของบาร์เรลสกรูสูงกว่า 255 องศาเซลเซียส ดังนั้นการปรับอุณหภูมิในแต่ละโซนของสกรูจึงมีความสำคัญเพื่อให้ได้พอลิเมอร์ผสมที่ไม่มีสีเข้ม และการไหลออกมาแบบต่อเนื่อง ดังแสดงในตารางที่ 4.2 ซึ่งจากตารางทำให้สรุปได้ว่า ความเข้มข้นของสารช่วยผสมมีอิทธิพลต่อการปรับอุณหภูมิของบาร์เรลสกรู โดยจะสังเกตเห็นว่าในสูตรที่ใช้ความเข้มข้นของสารช่วยผสมสูงขึ้น ส่งผลให้อุณหภูมิของบาร์เรลลดลง ซึ่งช่วยทำให้ฟิล์มแป้งเสียสภาพน้อยลงตามลำดับ

ตารางที่ 4.2 แสดงอุณหภูมิที่ใช้ในการขึ้นรูปของพอลิเมอร์ผสม




สูตร	สารช่วยผสม (g/100g PET)	สัดส่วน เพต : แป้งมันสำปะหลัง	อุณหภูมิในช่วงต่างๆของสกรู (องศาเซลเซียส)				
			ช่วงที่ 1	ช่วงที่ 2	ช่วงที่ 3	ช่วงที่ 4	ช่วงที่ 5
1	0	100 : 0 (เพตบริสุทธิ์)	260	258	250	250	255
2	10	100 : 0	253	249	242	242	248
3	20	100 : 0	240	237	233	233	238
4	30	100 : 0	233	230	225	225	230
5	10	90 : 10	255	250	245	245	250
6	10	80 : 20	248	243	238	238	243
7	10	70 : 30	240	235	230	230	235
8	20	90 : 10	245	240	235	235	240
9	20	80 : 20	239	234	230	230	234
10	20	70 : 30	232	227	222	222	227
11	30	90 : 10	240	235	230	230	235
12	30	80 : 20	235	230	225	225	230
13	30	70 : 30	230	225	220	220	225

การปรับอุณหภูมิของบาร์เรลสกรูในตารางที่ 4.2 เพื่อให้ได้พอลิเมอร์ผสมที่มีความหนืดใกล้เคียงกันในแต่ละสูตร จึงใช้ค่าแรงบิดของบาร์เรลสกรู (torque) มาช่วยในการปรับอุณหภูมิ ซึ่งเมื่อขณะอัดรีดพอลิเมอร์ผสมในแต่ละสูตรให้มีความหนืดใกล้เคียงกัน แรงบิดของบาร์เรลสกรูที่วัดได้ก็จะมีค่าเท่ากันด้วย โดยแรงบิดที่ใช้ในการอัดรีดมีค่า 11 N/m^2

จากรูปในตาราง 4.3 ซึ่งแสดงรูปและลักษณะของชิ้นงานที่ผ่านการขึ้นรูปแล้ว จะสังเกตได้ว่าพอลิเมอร์ผสมที่ได้จากการผ่านการอัดรีดในเครื่องอัดรีดแบบสกรูคู่ มีสีเข้มขึ้นตามปริมาณของแป้ง พบรูพรุนของพอลิเมอร์ผสมภายในชิ้นงาน น้ำหนักเบา และเปราะมากขึ้นเมื่อเทียบกับเพตบริสุทธิ์

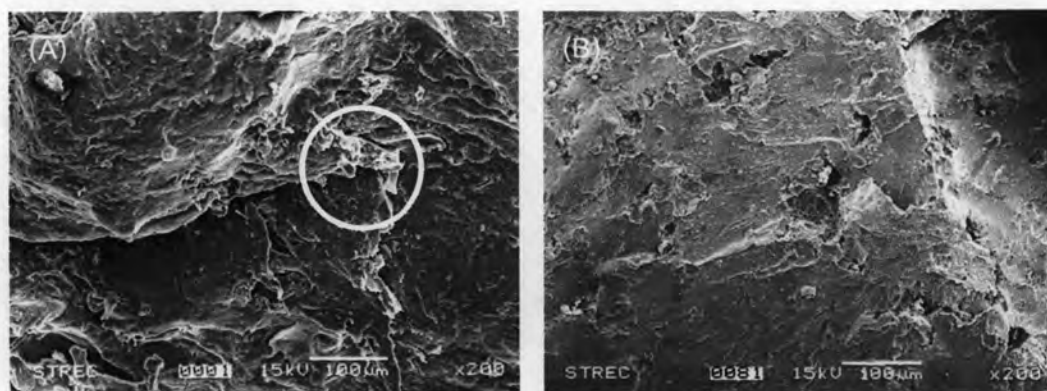
ตารางที่ 4.3 ตารางแสดงรูปและลักษณะของชิ้นงานที่ผ่านการขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดรีดแบบสกรูคู่

รูป	ส่วนผสม และลักษณะของชิ้นงาน
	<p>1) สัดส่วน เทต : แป้งมันสำปะหลัง, 90 : 10 สารช่วยผสม 10 g/100 g PET ลักษณะของชิ้นงาน ผิวชิ้นงานเรียบ แข็ง มีสีขาว เนื้อแน่น</p>
	<p>2) สัดส่วน เทต : แป้งมันสำปะหลัง, 80 : 20 สารช่วยผสม 10 g/100 g PET ลักษณะของชิ้นงาน ผิวชิ้นงานขรุขระเล็กน้อย สีเข้มขึ้นเล็กน้อย เนื้อชิ้นงานมีรูพรุนเล็กน้อย</p>
	<p>3) สัดส่วน เทต : แป้งมันสำปะหลัง, 70 : 30 สารช่วยผสม 10 g/100 g PET ลักษณะของชิ้นงาน ผิวชิ้นงานขรุขระเล็กน้อย สีขาวปนเหลืองอ่อน เนื้อมีรูพรุน ปรราะ</p>
	<p>4) สัดส่วน เทต : แป้งมันสำปะหลัง, 90 : 10 สารช่วยผสม 20 g/100 g PET ลักษณะของชิ้นงาน ผิวชิ้นงานขรุขระ สีขาวปนเทา เนื้อมีรูพรุน</p>
	<p>5) สัดส่วน เทต : แป้งมันสำปะหลัง, 80 : 20 สารช่วยผสม 20 g/100 g PET ลักษณะของชิ้นงาน ผิวชิ้นงานขรุขระ สีขาวปนเทา เนื้อมีรูพรุน</p>
	<p>6) สัดส่วน เทต : แป้งมันสำปะหลัง, 70 : 30 สารช่วยผสม 20 g/100 g PET ลักษณะของชิ้นงาน ผิวชิ้นงานขรุขระ สีขาวปนเทา เนื้อมีรูพรุน</p>

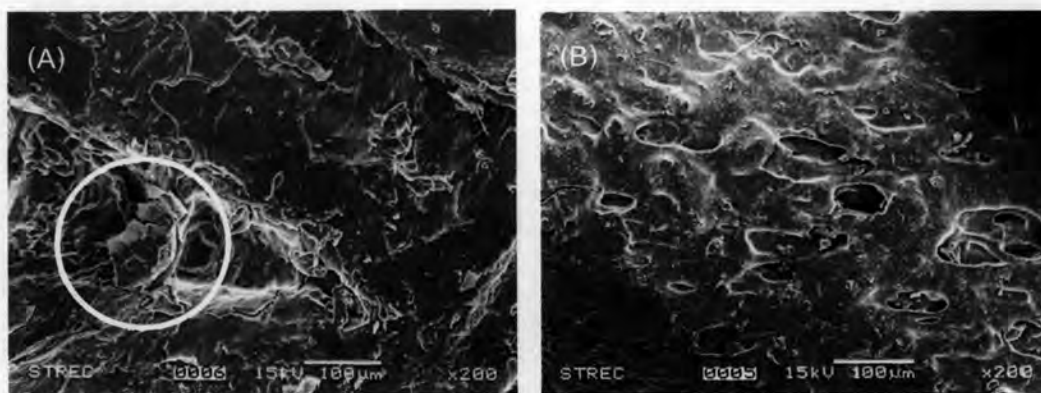
	<p>7) สัดส่วน เพต : แป้งมันสำปะหลัง, 90 : 10 สารช่วยผสม 30 g/100 g PET ลักษณะของชิ้นงาน ผิวชิ้นงานขรุขระ สีขาว เนื้อมีรูพรุน</p>
	<p>8) สัดส่วน เพต : แป้งมันสำปะหลัง, 80 : 20 สารช่วยผสม 30 g/100 g PET ลักษณะของชิ้นงาน ผิวชิ้นงานขรุขระเล็กน้อย สีขาว เนื้อมีรูพรุนเล็กน้อย</p>
	<p>9) สัดส่วน เพต : แป้งมันสำปะหลัง, 70 : 30 สารช่วยผสม 30 g/100 g PET ลักษณะของชิ้นงาน ผิวชิ้นงานขรุขระเล็กน้อย สีขาวปนเหลือง เนื้อมีรูพรุนเล็กน้อย</p>

4.2.1 สัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสม เพต/แป้งมันสำปะหลัง ก่อนและหลังขึ้นรูปจากเครื่องอัดรีดแบบสกรูคู่ด้วยเทคนิค SEM

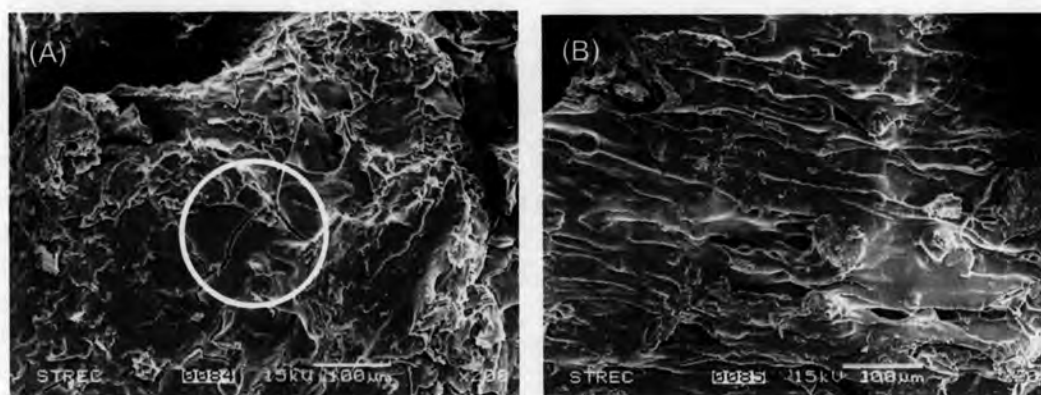
รูปที่ 4.5 – 4.7 แสดงการเปรียบเทียบสัณฐานวิทยาที่กำลังขยาย 200 เท่าของพอลิเมอร์ผสม เพต/พอลิเอทิลีนไกลโคเลตบิสฟีนอลเอ/แป้งมันสำปะหลัง โดยมีปริมาณ พอลิเอทิลีนไกลโคเลตบิสฟีนอลเอ 10 g/100 g PET และสัดส่วน เพต : แป้งมันสำปะหลัง, 90 : 10, 80 : 20, 70 : 30



รูปที่ 4.5 แสดงการเปรียบเทียบสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสม ที่มีปริมาณสารช่วยผสม 10 g/100 g PET และสัดส่วน เพต : แป้งมันสำปะหลัง, 90 : 10 โดยที่ (A) ก่อนผสมด้วยเครื่องอัดรีดแบบสกรูคู่ (B) หลังผสมด้วยเครื่องอัดรีดแบบสกรูคู่



รูปที่ 4.6 แสดงการเปรียบเทียบสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสม ที่มีปริมาณสารช่วยผสม 10 g/100 g PET และสัดส่วน เพต : แป้งมันสำปะหลัง, 80 : 20 โดยที่ (A) ก่อนผสมด้วยเครื่องอัดรีดแบบสกรูคู่ (B) หลังผสมด้วยเครื่องอัดรีดแบบสกรูคู่



รูปที่ 4.7 แสดงการเปรียบเทียบสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสม ที่มีปริมาณสารช่วยผสม 10 g/100 g PET และสัดส่วน เพต : แป้งมันสำปะหลัง, 70 : 30 โดยที่ (A) ก่อนผสมด้วยเครื่องอัดรีดแบบสกรูคู่ (B) หลังผสมด้วยเครื่องอัดรีดแบบสกรูคู่

จากรูปที่ 4.5-4.7 จะเห็นว่าเมื่อเคลือบแป้งมันสำปะหลังบนเพตที่ผ่านการเคลือบผิวด้วยพอลิเอทิลีนไกลโคเลตบิสฟีนอลเอแล้ว ก่อนผสมด้วยเครื่องอัดรีดแบบสกรูคู่ (รูป A) พบชั้นของแป้งเคลือบบนผิวของเพตอยู่ เมื่อเทียบกับเพตที่เคลือบด้วยแป้งแล้วแต่ยังไม่ได้มีการตัดแปรผิว แป้งจะจับตัวกันเองเป็นฟิล์มแป้งไม่ได้เคลือบอยู่บนผิวของผงเพต และหลังจากผสมด้วยเครื่องอัดรีดแบบสกรูคู่แล้วชั้นของแป้งที่พบจะหายไป (รูป B) โดยที่เนื้อของพอลิเมอร์ผสมจะเกิดรูพรุนขึ้น

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบรูปที่ 4.5(A) , 4.6(A) และ 4.7(A) พบว่า 4.5(A) ชั้นของแป้งจะเป็นฟิล์มบางๆเคลือบอยู่ที่ผิวของเพตเนื่องจากมีปริมาณของแป้งที่น้อย และเมื่อเพิ่มสัดส่วน เพต : แป้งมันสำปะหลังเป็น 80 : 20(รูปที่ 4.6A), 70 : 30(รูปที่ 4.7A) จะพบรอยแตกของชั้นแป้งที่เคลือบอยู่ (ส่วนที่อยู่ในวงกลม) เนื่องจากปริมาณแป้งที่มากขึ้น

4.3 การวิเคราะห์พอลิเมอร์ผสม

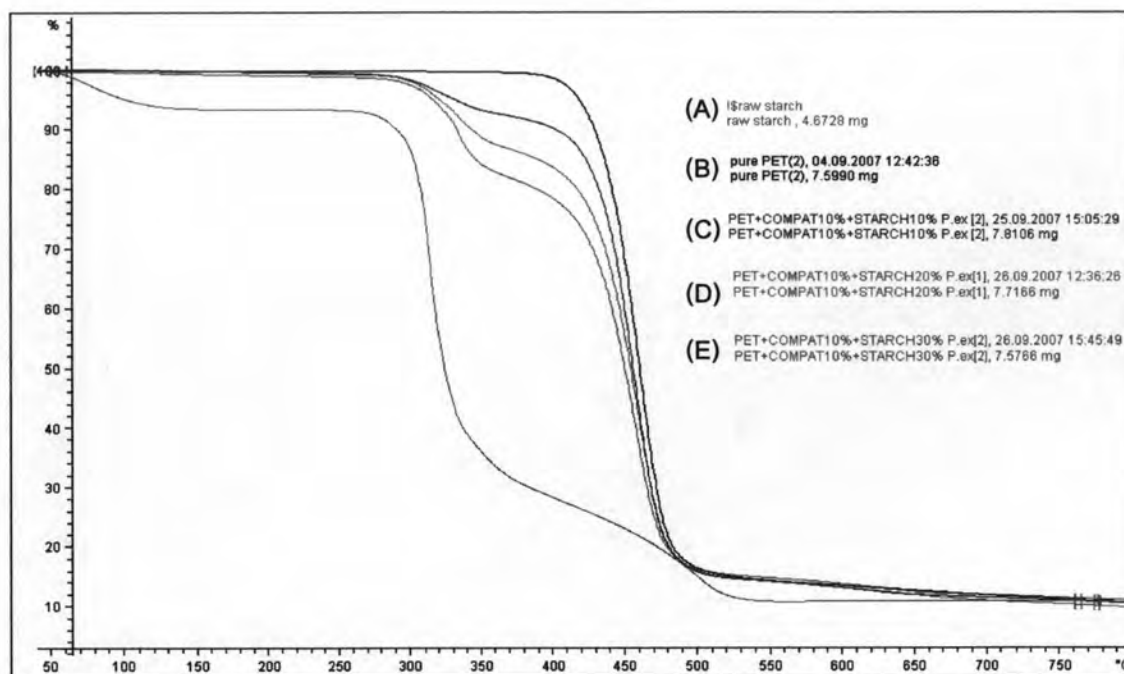
4.3.1 การวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิคเทอร์โมกราวิเมตริกอนาไลซิส (TGA)

เทคนิคการวิเคราะห์ด้วยเครื่องเทอร์โมกราวิเมตริกอนาไลเซอร์ ถูกนำมาใช้ในการทดลองนี้มีจุดประสงค์เพื่อหาปริมาณร้อยละของแป้งในพอลิเมอร์ผสม และผลของสารช่วยผสมที่ใช้ต่อเสถียรภาพทางความร้อนของพอลิเมอร์ผสม เทอร์โมแกรมที่ได้แสดงไว้ในรูปที่ 4.8-4.10

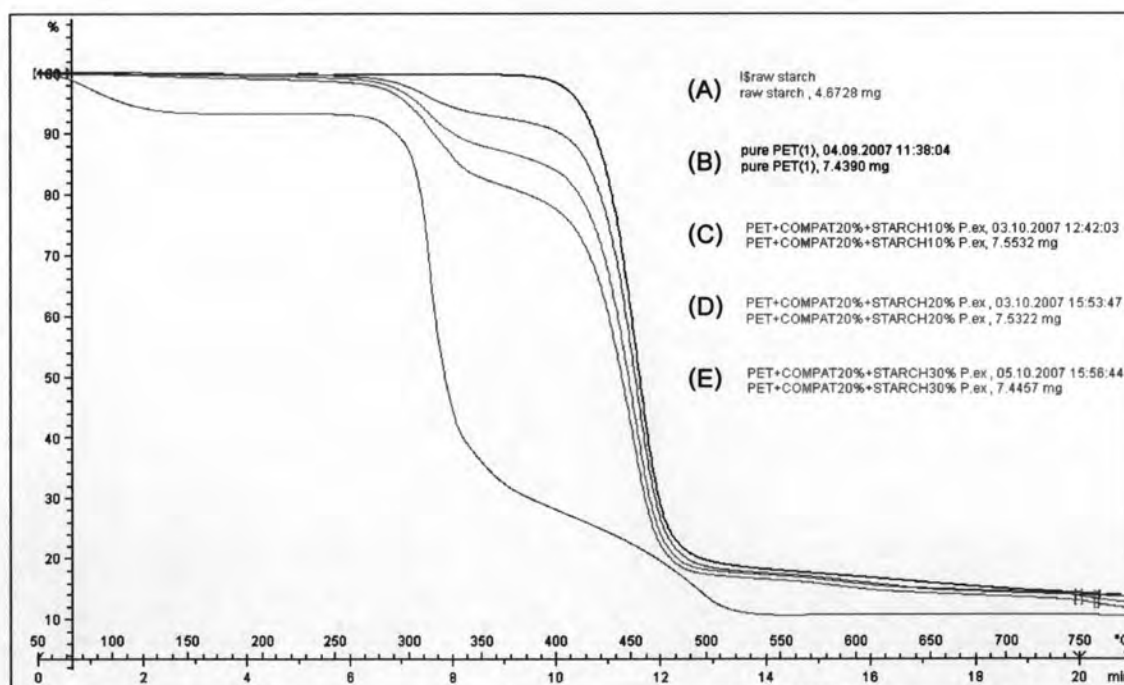
จากรูปที่ 4.8 แสดงให้เห็นว่า พอลิเมอร์ผสมเพต/แป้งมันสำปะหลัง มีการสลายตัวแบบสองขั้น โดยพบว่าในขั้นแรกพอลิเมอร์ผสมสลายตัวในช่วงอุณหภูมิระหว่าง 305-330 องศาเซลเซียส ซึ่งพอจะบอกได้ว่าเนื่องมาจากการสลายตัวของส่วนของแป้งมันสำปะหลัง เนื่องจากแป้งมีเสถียรภาพทางความร้อนต่ำกว่าเพต การสลายตัวนี้เกิดขึ้นจากการสลายพันธะภายในโมเลกุลของแป้งเช่นพันธะอีเทอร์ และหมู่อัลดีไฮด์ซึ่งเป็นหมู่ที่ไวต่อการถูกทำลายเมื่อได้รับความร้อน จากรูปเทอร์โมแกรมจะสังเกตได้อย่างชัดเจนว่าในสูตรพอลิเมอร์ผสมที่มีแป้งมากขึ้นจะเห็นร้อยละการสลายในช่วงอุณหภูมิ 305-330 องศาเซลเซียสมากขึ้นตามลำดับ และจากเทอร์โมแกรมนี้ได้ข้อมูลว่าเพตสลายตัวที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ดังนั้นการสลายตัวที่ต่ำกว่า 400 องศาเซลเซียสนั้นพอจะกล่าวได้ว่าเนื่องมาจากการสลายตัวของแป้ง จากเทอร์โมแกรมสามารถคำนวณหาร้อยละของแป้งในพอลิเมอร์ผสมได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ตารางแสดงร้อยละของแป้งที่คำนวณได้จากเทอร์โมแกรม

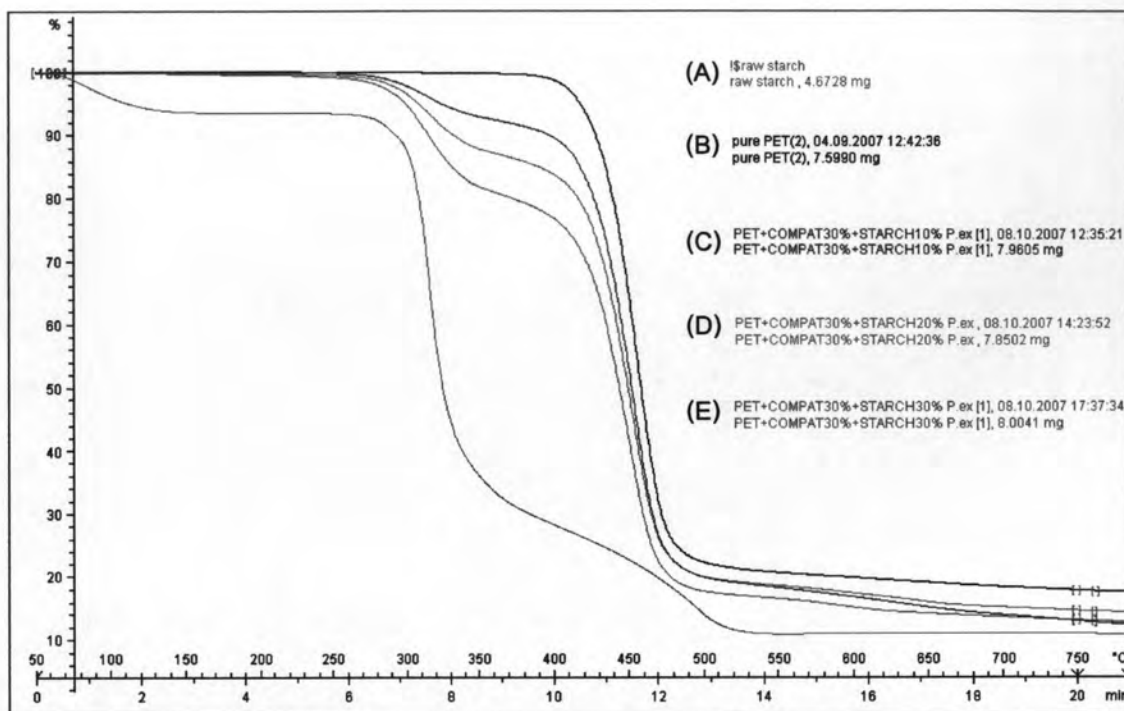
สูตร (PET : Starch)	ความเข้มข้นของสารช่วยผสม (g/100 g PET)	ร้อยละของแป้งที่คำนวณได้ จากเทอร์โมแกรม และ อุณหภูมิเริ่มการสลายตัวของ แป้งมันสำปะหลัง
1) 90 : 10 (รูปที่ 4.8 B)	10	7.7 @ 298.21 °C
2) 80 : 20 (รูปที่ 4.8 C)	10	13.6 @ 301.93 °C
3) 70 : 30 (รูปที่ 4.8 D)	10	21.4 @ 315.29 °C
4) 90 : 10 (รูปที่ 4.9 B)	20	8.0 @ 296.92 °C
5) 80 : 20 (รูปที่ 4.9 C)	20	14.0 @ 291.22 °C
6) 70 : 30 (รูปที่ 4.9 D)	20	21.8 @ 291.86 °C
7) 90 : 10 (รูปที่ 4.10B)	30	8.2 @ 290.75 °C
8) 80 : 20 (รูปที่ 4.10C)	30	14.4 @ 290.32 °C
9) 70 : 30 (รูปที่ 4.10D)	30	22.7 @ 289.85 °C



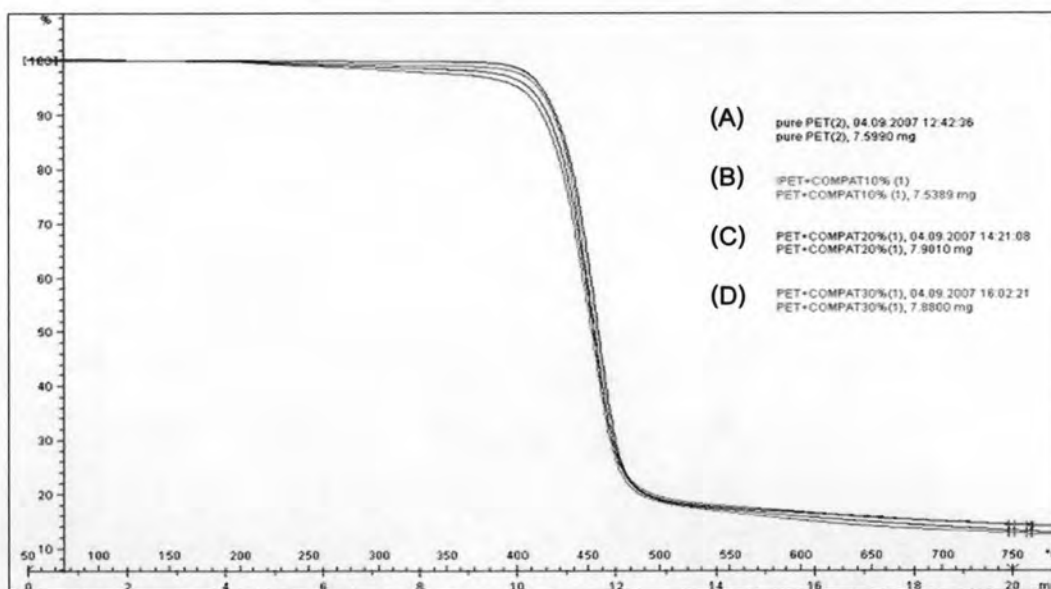
รูปที่ 4.8 เทอร์โมแกรมของ (A) แป้งมันสำปะหลัง (B) เพต (C) พอลิเมอร์ผสม เพต 90 : แป้งมันสำปะหลัง 10 (D) 80 : 20, (E) 70 : 30 โดยในทุกสูตรของพอลิเมอร์ผสม ส่วนของผงเพต ได้ผ่านการดัดแปรด้วยสารช่วยผสมความเข้มข้น 10 g/100 g PET



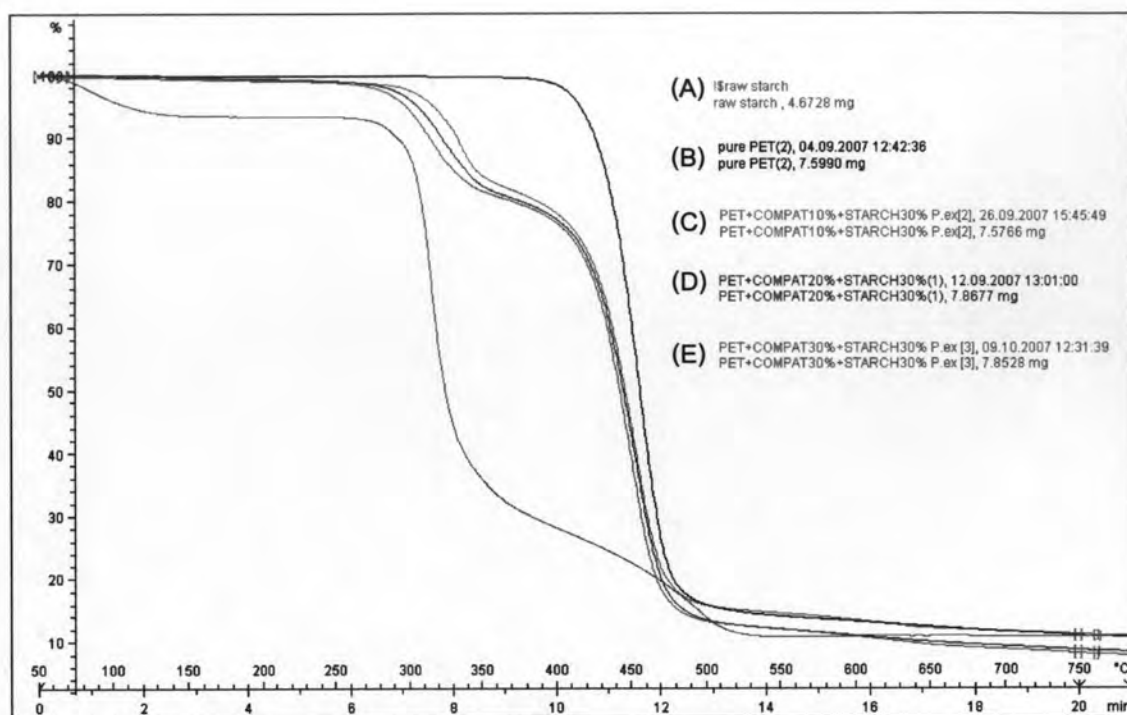
รูปที่ 4.9 เทอร์โมแกรมของ (A) แป้งมันสำปะหลัง (B) เพต (C) พอลิเมอร์ผสม เพต 90 : แป้งมันสำปะหลัง 10 (D) 80 : 20, (E) 70 : 30 โดยในทุกสูตรของพอลิเมอร์ผสม ส่วนของผงเพต ได้ผ่านการดัดแปรด้วยสารช่วยผสมความเข้มข้น 20 g/100 g PET



รูปที่ 4.10 เทอร์โมแกรมของ (A) แป้งมันสำปะหลัง (B) เพต (C) พอลิเมอร์ผสม เพต 90 : แป้งมันสำปะหลัง 10 (D) 80 : 20, (E) 70 : 30 โดยในทุกสูตรของพอลิเมอร์ผสม ส่วนของผงเพต ได้ผ่านการดัดแปรด้วยสารช่วยผสมความเข้มข้น 30 g/100 g PET



รูปที่ 4.11 กราฟเสถียรภาพทางความร้อนของ (A) เพต และ เพต/พอลิเอทิลีนไกลโคเลต บิสฟีนอลเอ โดยมีปริมาณพอลิเอทิลีนไกลโคเลตบิสฟีนอลเอที่ (B) 10 (C) 20 (D) 30 g/100 g PET



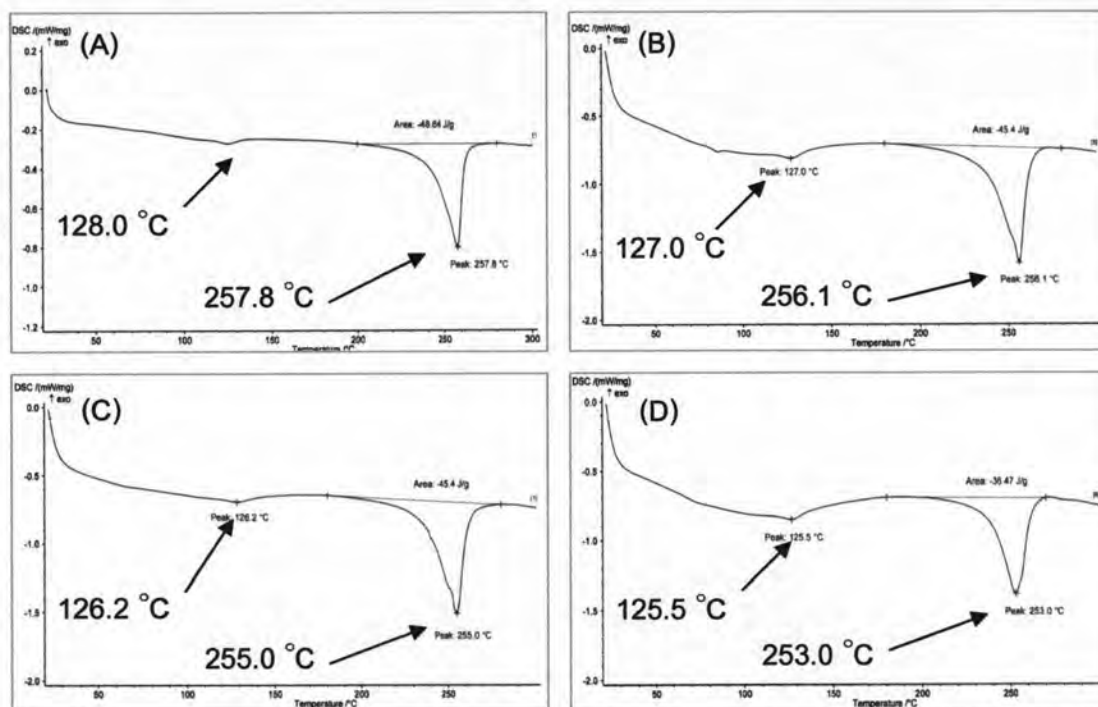
รูปที่ 4.12 กราฟเสถียรภาพทางความร้อนของ (A) แป้งมันสำปะหลัง (B) เพต และ พอลิเมอร์ผสมที่มีอัตราส่วนเพต : แป้งมันสำปะหลัง 70 : 30 โดยที่ส่วนของผงเพตได้ผ่านการตัดแปรรด้วยสารช่วยผสมความเข้มข้น (C) 10, (D) 20 และ (E) 30 g/100 g PET

จากรูปที่ 4.11 จะเห็นได้ว่าเพตที่ถูกตัดแปรรด้วยพอลิเอทิลีนไกลโคเลตบิสฟีนอลเอ จะมีการเริ่มต้นสลายตัวที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ซึ่งใกล้เคียงกับอุณหภูมิการสลายตัวของเพตบริสุทธิ์ และอุณหภูมิเริ่มต้นสลายตัวจะลดลงเล็กน้อยเมื่อส่วนผสมของพอลิเอทิลีนไกลโคเลตบิสฟีนอลเอมากขึ้น ที่ 10 , 20 และ 30 g/100 g PET

รูปที่ 4.12 แสดงกราฟเสถียรภาพทางความร้อนของพอลิเมอร์ผสม ซึ่งมีสัดส่วนแป้งมันสำปะหลังคงที่ที่ 70 : 30 และใช้ปริมาณ พอลิเอทิลีนไกลโคเลตบิสฟีนอลเอ ที่ 10, 20 และ 30 g/100 g PET พบว่าแป้งมันสำปะหลังบริสุทธิ์ (รูปที่ 4.12 A) จะมีอุณหภูมิเริ่มการสลายตัวที่ 294.56 องศาเซลเซียส และจะสลายตัวไปอย่างรวดเร็ว ในขณะที่พอลิเมอร์ผสม (รูปที่ 4.12 C, D, E) จะเริ่มมีการสลายตัวที่อุณหภูมิ 290 องศาเซลเซียสและมีการสลายตัวที่ช้ากว่าแป้งบริสุทธิ์ โดยสังเกตจากความชันของกราฟค่อยๆลดลงที่อุณหภูมิเริ่มการสลายตัวของแป้งไปสิ้นสุดที่อุณหภูมิเริ่มการสลายตัวของเพต

4.3.2 การวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิคดีพีเพอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริเมทรี (DSC)

นำเพต, พอลิเมอร์ผสมเพต/แป้งมันสำปะหลัง/พอลิเอทิลีนไกลโคเลตบิสฟีนอลเอ ที่ผ่านการผสมและขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดรีดแบบสกรูคู่มาวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิคดีพีเพอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริเมทรี (DSC) ได้ผลการวิเคราะห์เป็นเทอร์โมแกรมดังแสดงในรูปที่ 4.13

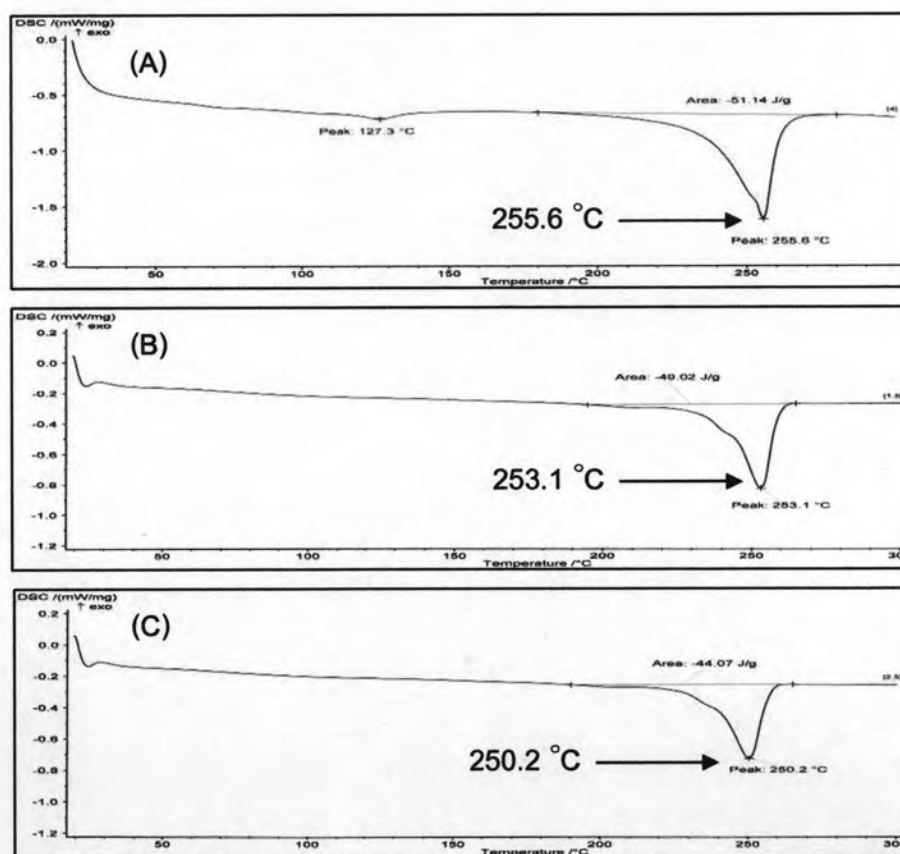


รูปที่ 4.13 เทอร์โมแกรมศึกษาสมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิค DSC ของ (A) เพตบริสุทธิ์ และ เพต/พอลิเอทิลีนไกลโคเลตบิสฟีนอลเอ โดยมีปริมาณพอลิเอทิลีนไกลโคเลตบิสฟีนอลเอ ที่ (B) 10 (C) 20 (D) 30 g/100 g PET

จากรูปที่ 4.13 เป็นการเปรียบเทียบเทอร์โมแกรม DSC ของ (A) เพตบริสุทธิ์ และเพตที่ได้ผ่านการดัดแปรด้วยสารช่วยผสมพอลิเอทิลีนไกลโคเลตบิสฟีนอลเอที่สัดส่วน (B) 10, (C) 20 และ (D) 30 g/100 g PET ตามลำดับ พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณของพอลิเอทิลีนไกลโคเลตบิสฟีนอลเอที่ทำหน้าที่เป็นสารช่วยผสมนั้น จะทำให้มีอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (T_g) และอุณหภูมิหลอม (T_m) ลดลงเมื่อเทียบกับเพตบริสุทธิ์ คืออุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วลดลงจาก 128.0 เป็น 125.5 องศาเซลเซียส อุณหภูมิหลอมลดลงจาก 257.80 องศาเซลเซียส ไปเป็น 253.00 องศาเซลเซียส ที่ปริมาณพอลิเอทิลีนไกลโคเลตบิสฟีนอลเอ 30g/100 g PET ดังแสดงในตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 แสดงอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (T_g) และอุณหภูมิหลอม (T_m) ที่ได้จากการวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริเมทรี (DSC)

สัดส่วนของพอลิเมอร์ผสม	อุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (T_g) , (องศาเซลเซียส)	อุณหภูมิหลอม (T_m) , (องศาเซลเซียส)
เพตบริสุทธิ์	128.0	257.8
เพต/พอลิเอทิลีนไกลโคเลตบิสฟีนอลเอ 10 g/100 g PET	127.0	256.1
เพต/พอลิเอทิลีนไกลโคเลตบิสฟีนอลเอ 20 g/100 g PET	126.2	255.0
เพต/พอลิเอทิลีนไกลโคเลตบิสฟีนอลเอ 30 g/100 g PET	125.5	253.0



รูปที่ 4.14 เทอร์โมแกรม DSC ของ (A) พอลิเมอร์ผสมอัตราส่วน เพต 90 : แป้งมันสำปะหลัง 10, (B) 80 : 20, (C) 70 : 30 โดยในทุกสูตรของพอลิเมอร์ผสม ส่วนของผงเพตได้ผ่านการตัดแปรด้วยสารช่วยผสมความเข้มข้น 10 g/100 g PET

เมื่อเปรียบเทียบเทอร์โมแกรม DSC ของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพेटตัดแปรร่วมด้วย พอลิเอทิลีนไกลโคเลตบิสฟีนอลเอและแป้งมันสำปะหลัง ที่ปริมาณสัดส่วนพेट : แป้งมันสำปะหลังที่ 90:10, 80:20 และ 70:30 โดยใช้สารพอลิเอทิลีนไกลโคเลตบิสฟีนอลเอปริมาณคงที่คือ 10 g/100 g PET ดังรูปที่ 4.14 พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณแป้งมันสำปะหลังจะทำให้อุณหภูมิหลอม (T_m) ลดลงตามตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 อุณหภูมิหลอม (T_m) ที่ได้จากการวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริเมทรี (DSC)

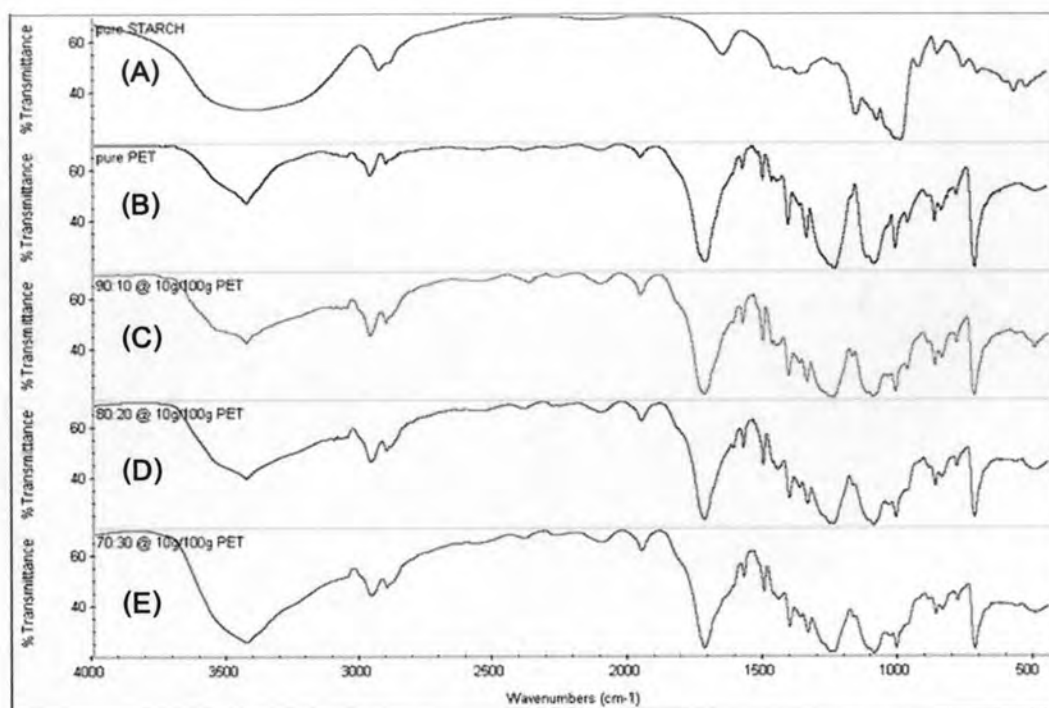
สัดส่วนของพอลิเมอร์ผสม พेट : แป้งมันสำปะหลัง (ปริมาณสารช่วยผสมที่ใช้)	อุณหภูมิหลอม(T_m) ,(°C)
90 : 10 (สารช่วยผสม 10 g/100 g PET)	255.6
80 : 20 (สารช่วยผสม 10 g/100 g PET)	253.1
70 : 30 (สารช่วยผสม 10 g/100 g PET)	250.2

จะเห็นได้ว่าปริมาณของ พอลิเอทิลีนไกลโคเลตบิสฟีนอลเอและแป้งมันสำปะหลัง มีผลต่ออุณหภูมิหลอม (T_m) ของพอลิเมอร์ผสมโดยเมื่อเพิ่มปริมาณ พอลิเอทิลีนไกลโคเลตบิสฟีนอลเอ จะทำให้อุณหภูมิหลอม (T_m) ของพอลิเมอร์ผสมลดลง และเมื่อเพิ่มปริมาณแป้ง อุณหภูมิหลอม (T_m) ที่ได้จากการวิเคราะห์ก็มียาลดลงเช่นกัน

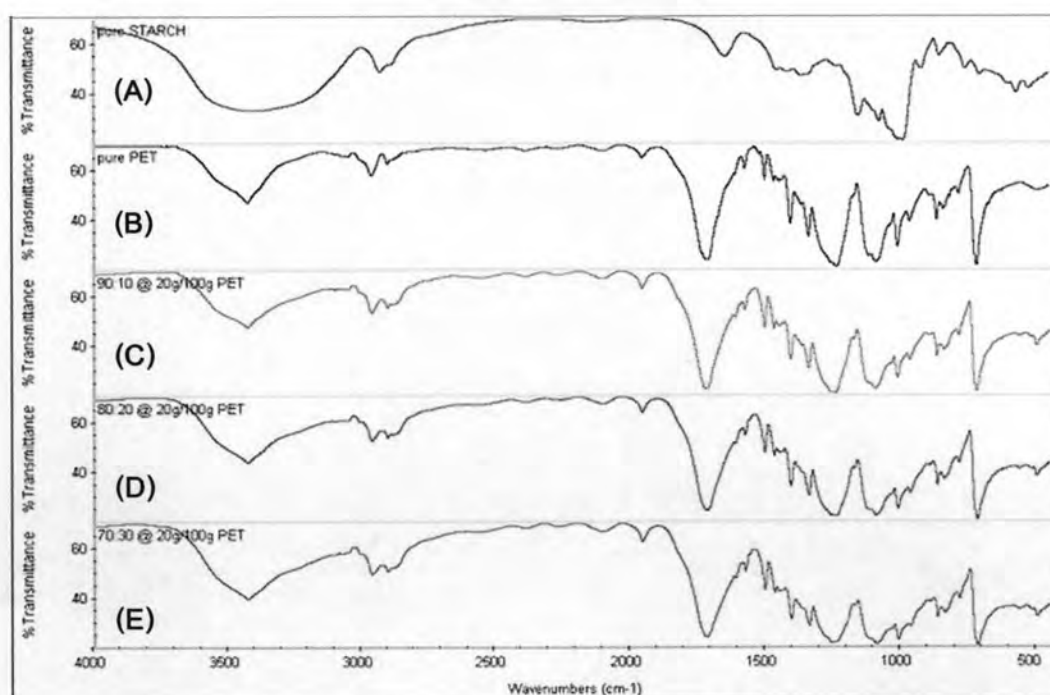
การลดลงของอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงสถานะคล้ายแก้ว (T_g) และอุณหภูมิหลอม (T_m) ที่พบนั้น อาจเกิดจาก 2 กรณี กรณีแรกคือเกิดจาก heat history ของพอลิเมอร์ผสมในขั้นตอนการผสมที่อุณหภูมิของบาริเรลสกรูที่แตกต่างกัน กรณีที่สอง อาจเกิดจากสารช่วยผสมเข้าไปแทรกระหว่างสายโซ่ของพेट ทำให้มีความเป็นไปไม่ได้ที่จะทำให้อุณหภูมิเปลี่ยนแปลงสถานะคล้ายแก้ว (T_g) และอุณหภูมิหลอม (T_m) ของพेटลดลง ซึ่งสอดคล้องกับอุณหภูมิของการผสมขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดรีดแบบสกรูคู่

4.3.3 การตรวจสอบหมู่ฟังก์ชันของพอลิเมอร์ผสมด้วยเทคนิค FT-IR

เมื่อนำพอลิเมอร์ผสมจากการผสมด้วยเครื่องอัดรีดแบบสกรูคู่ไปวิเคราะห์เพื่อตรวจสอบหมู่ฟังก์ชันด้วยเทคนิค FT-IR ได้สเปกตรัมดังรูปที่ 4.15, 4.16 และ 4.17 ซึ่งพบตำแหน่งของหมู่ฟังก์ชันที่สำคัญ แสดงในตารางที่ 4.7

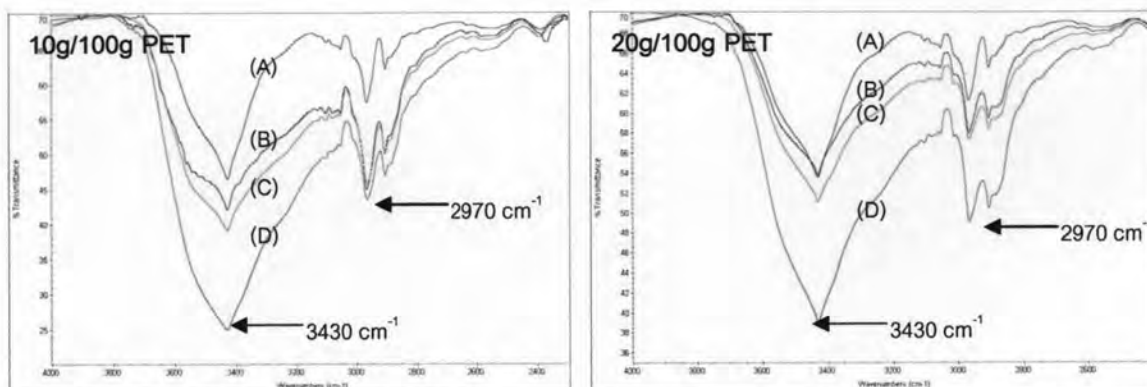


รูปที่ 4.15 FT-IR สเปกตรัมของ เพตบริสุทธิ์, แป้งมันสำปะหลัง และพอลิเมอร์ผสม เพต/ แป้งมันสำปะหลัง โดยที่ (A) แป้งมันสำปะหลัง, (B) เพตบริสุทธิ์, (C) พอลิเมอร์ผสมอัตราส่วน เพต 90 : แป้งมันสำปะหลัง 10, (D) 80 : 20, (E) 70 : 30 โดยในทุกสูตรของพอลิเมอร์ผสม ส่วนของผง เพตได้ผ่านการตัดแปรด้วยสารช่วยผสมความเข้มข้น 10 g/100 g PET



รูปที่ 4.16 FT-IR สเปกตรัมของ เพต บริสุทธิ์, แป้งมันสำปะหลัง และพอลิเมอร์ผสม เพต/ แป้งมันสำปะหลัง โดยที่ (A) แป้งมันสำปะหลัง, (B) เพตบริสุทธิ์, (C) พอลิเมอร์ผสมอัตราส่วน เพต

90 : แป้งมันสำปะหลัง 10, (D) 80 : 20, (E) 70 : 30 โดยในทุกสูตรของพอลิเมอร์ผสม ส่วนของผง เพตได้ผ่านการดัดแปรด้วยสารช่วยผสมความเข้มข้น 20 g/100 g PET



รูปที่ 4.17 FT-IR สเปกตรัมในช่วง $4000-2400\text{ cm}^{-1}$ ของ (A) เพต และพอลิเมอร์ผสมที่มี ส่วนของผงเพตได้ผ่านการดัดแปรด้วยสารช่วยผสมความเข้มข้น 10 และ 20 g/100 g PET ที่ อัตราส่วน เพต:แป้งมันสำปะหลัง คือ (B) 90:10, (C) 80:20 และ (D) 70:30

ตารางที่ 4.7 ตำแหน่งของพีกสำคัญต่างๆ ที่พบในสเปกตรัมของ เพตบริสุทธิ์, แป้งมันสำปะหลัง และพอลิเมอร์ผสม เพต/แป้งมันสำปะหลัง/สารช่วยผสม

ตำแหน่ง (cm^{-1})	หมู่ฟังก์ชัน
3000-3500	หมู่ไฮดรอกซิล, -OH
2800-3000	-CH ₂
1600-1800	หมู่คาร์บอนิล, C=O
1200-1400	-C-O-C
1000-1100	-C-OH
700-800	aromatic ester

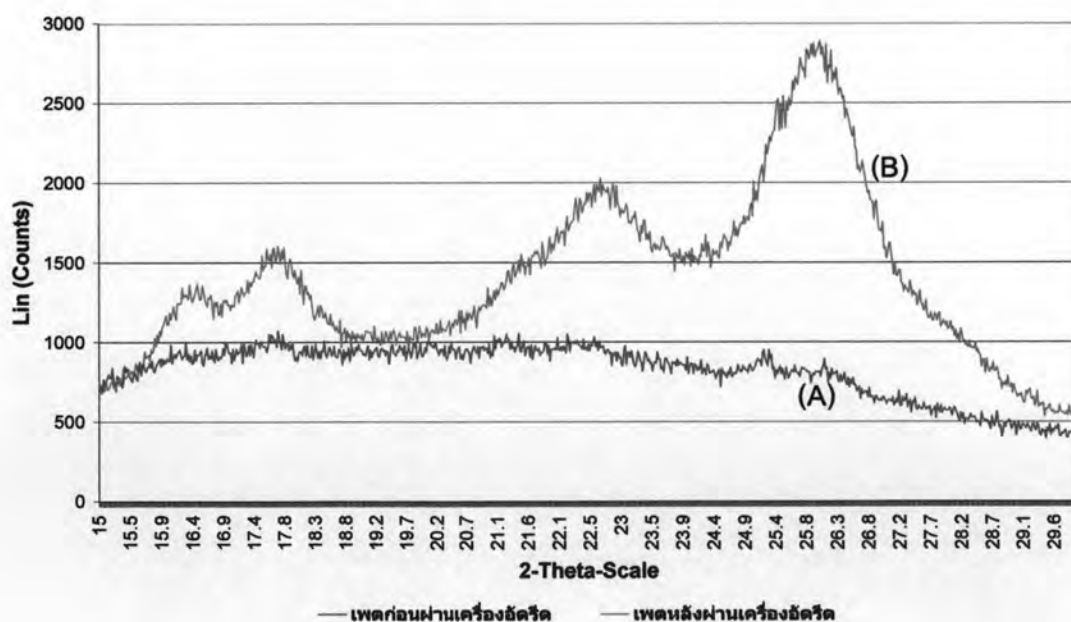
FT-IR สเปกตรัมของ เพตบริสุทธิ์, แป้งมันสำปะหลัง และพอลิเมอร์ผสม เพต/แป้งมันสำปะหลัง จากรูปที่ 4.15-4.16 พีกที่พบเป็นลักษณะเฉพาะและแตกต่างกันระหว่าง เพตบริสุทธิ์ และแป้งมันสำปะหลังคือพีกที่เกิดจากหมู่ไฮดรอกซิลที่อยู่ในช่วง $3000 - 3500\text{ cm}^{-1}$ พีกที่กว้าง แสดงให้เห็นถึงพันธะไฮโดรเจนในโมเลกุล โดยสเปกตรัมของพอลิเมอร์ผสม เพต/แป้งมันสำปะหลัง จะพบว่าหมู่ไฮดรอกซิลที่อยู่ในช่วง $3000 - 3500\text{ cm}^{-1}$ เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับสเปกตรัมของเพตบริสุทธิ์

และรูปที่ 4.17 เป็นการเปรียบเทียบสเปกตรัมในช่วง $3000 - 3500 \text{ cm}^{-1}$ ของพอลิเมอร์ผสมที่มีส่วนของผงเพตได้ผ่านการดัดแปรด้วยสารช่วยผสมความเข้มข้นต่างกันคือ 10 และ 20 g/100 g PET จะเห็นได้ชัดว่าพีกเพิ่มขึ้นไปในแนวทางเดียวกันเมื่อสัดส่วนของแป้งในพอลิเมอร์ผสมเพิ่มขึ้น

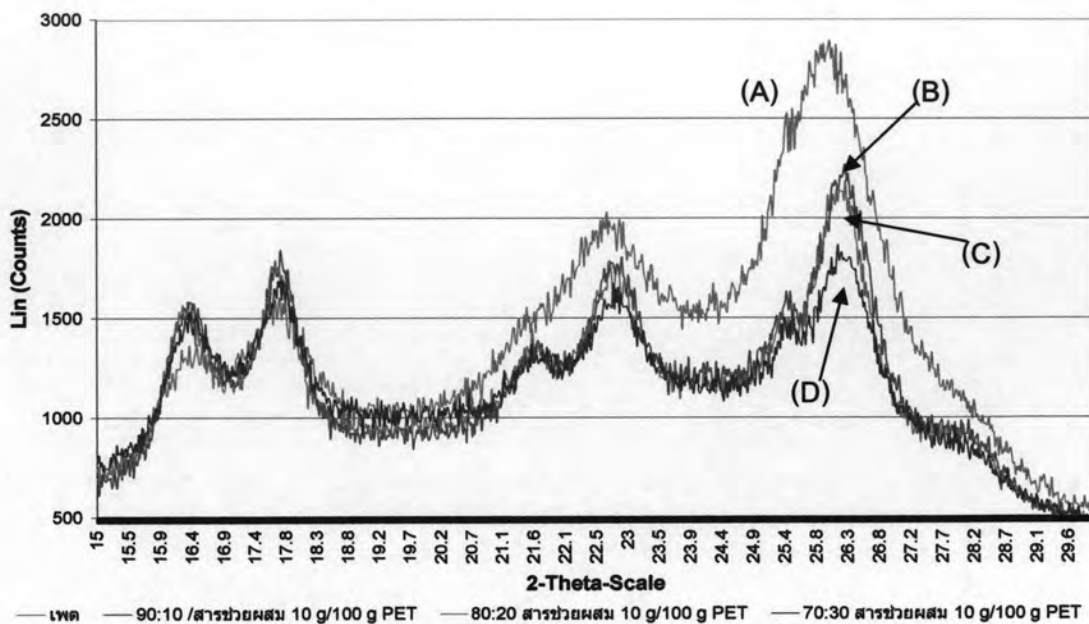
4.3.4 การตรวจสอบโครงสร้างผลึกของของพอลิเมอร์ผสม เพต/แป้งมันสำปะหลัง ด้วยเทคนิค XRD

การตรวจสอบโครงสร้างผลึกของพอลิเมอร์ผสมโดยเทคนิค XRD โดยดิฟแฟรกโทแกรมแสดงในรูปที่ 4.18-4.20

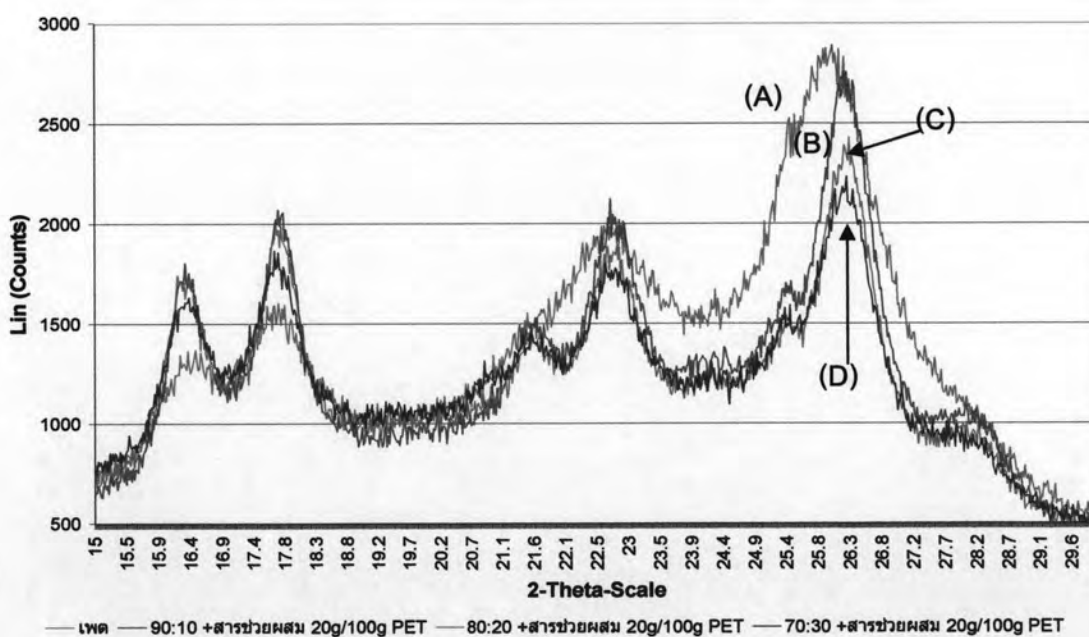
จากรูปที่ 4.18 เป็นการเปรียบเทียบดิฟแฟรกโทแกรมของเพตก่อนและหลังเข้าเครื่องอัดรีดแบบสกรูคู่ ซึ่งพบว่า (A) โมเลกุลเพตก่อนเข้าเครื่องอัดรีดมีโครงสร้างเป็นแบบอสัณฐาน (amorphous) ดังเห็นได้จากไม่พบพีกของผลึกเลย โดยปรากฏเห็นมีลักษณะเป็นเนินฐานกว้าง (broad peak) แสดงให้เห็นถึงความไม่เป็นระเบียบของผลึก แต่หลังจากถูกอัดรีด (B) พีกจะมีความคมชัดและมีฐานพีกแคบลง แสดงว่าโมเลกุลเพตมีความเป็นผลึกที่มากขึ้น เนื่องจากสายโซ่โมเลกุลของเพตถูกจัดเรียงตัวใหม่และเรียงตัวได้ดีขณะถูกอัดรีดในบาร์เรลสกรูของเครื่องอัดรีด ผลึกที่ได้จากการอัดรีดมีตำแหน่งพีกเด่นชัดขึ้น ซึ่งจะพบตำแหน่งพีกในดิฟแฟรกโทแกรมที่ตำแหน่ง 2θ เท่ากับ 16.3, 17.6, 22.6 และ 25.9



รูปที่ 4.18 XRD ดิฟแฟรกโทแกรมของ (A) เพต เปรียบเทียบกับ (B) เพต หลังผ่านเข้าเครื่องอัดรีดแบบสกรูคู่



รูปที่ 4.19 XRD ดิฟแฟรกโทแกรมของ (A) PET (B) พอลิเมอร์ผสม PET 90 : แป้งมันสำปะหลัง 10 (C) 80 : 20, (D) 70 : 30 โดยในทุกสูตรของพอลิเมอร์ผสม ส่วนของผง PET ได้ผ่านการดัดแปรด้วยสารช่วยผสมความเข้มข้น 10 g/100 g PET

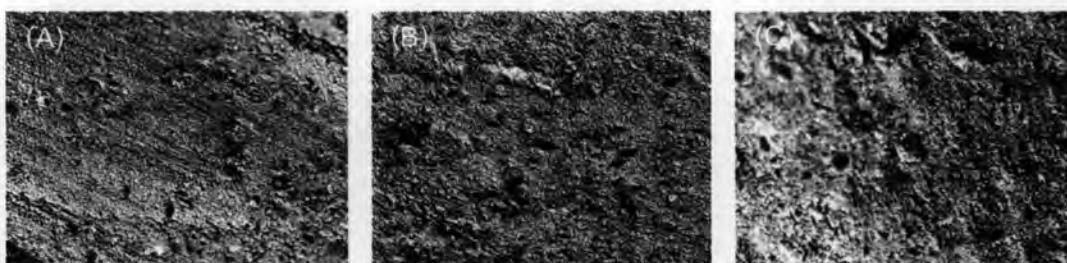


รูปที่ 4.20 XRD ดิฟแฟรกโทแกรมของ (A) PET (B) พอลิเมอร์ผสม PET 90 : แป้งมันสำปะหลัง 10 (C) 80 : 20, (D) 70 : 30 โดยในทุกสูตรของพอลิเมอร์ผสม ส่วนของผง PET ได้ผ่านการดัดแปรด้วยสารช่วยผสมความเข้มข้น 20 g/100 g PET

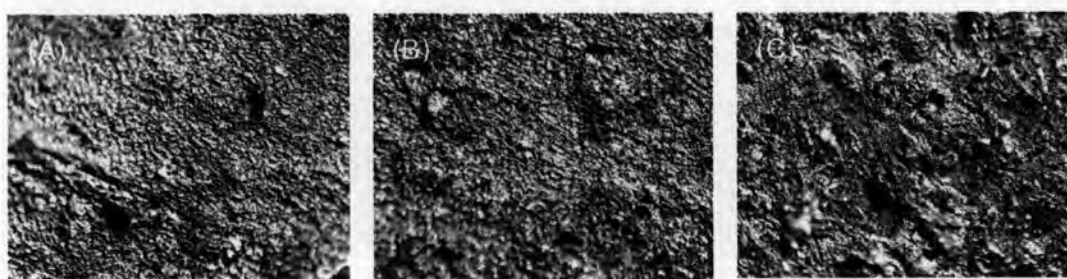
ส่วนผลการตรวจสอบโครงสร้างผลึกของพอลิเมอร์ผสมแสดงในรูปที่ 4.19 และ 4.20 ซึ่งผ่านการตัดแปรด้วยสารช่วยผสมความเข้มข้น 10 และ 20 g/100 g PET ตามลำดับ พบว่าที่สูตรพอลิเมอร์ผสม 90 : 10, 80 : 20 และ 70 : 30 มีพีคของผลึกในตำแหน่งเดียวกันกับพีคของเพตบริสุทธิ จะสังเกตเห็นว่าพีคมีความสูงและมีฐานแคบกว่าแสดงว่าผลึกในพอลิเมอร์มีความเป็นระเบียบมากกว่า แต่เมื่อเทียบกันเองระหว่างพอลิเมอร์ผสม (รูปที่ 4.19-20 B, C, D) พบว่าพีคของผลึกในพอลิเมอร์ผสมที่มีสัดส่วนของแป้งเพิ่มขึ้น ความสูงของพีคจะลดลงซึ่งแสดงว่าแป้งทำให้ผลึกของเพตลดลงได้ อย่างไรก็ตามยังพบพีคของผลึกที่ตำแหน่ง 2θ เท่ากับ 21.6 ซึ่งเป็นพีคของแป้งมันสำปะหลังที่อยู่ในพอลิเมอร์ผสม และที่ตำแหน่ง 2θ เท่ากับ 25.4 ซึ่งเป็นพีคของเพตที่เด่นชัดกว่าที่พบในตำแหน่งเดียวกันกับพีคของเพตบริสุทธิ (รูปที่ 4.19-20 A) ซึ่งแสดงว่าผลึกในตำแหน่งนี้มีความเป็นระเบียบมากกว่าผลึกที่พบในเพตบริสุทธิที่ตำแหน่งเดียวกัน

4.3.5 การย้อมสีพอลิเมอร์ผสมและการวิเคราะห์ด้วย Optical Microscope

เพื่อให้เห็นการกระจายตัวของแป้งในพอลิเมอร์ผสม จึงได้ทำการย้อมสีพอลิเมอร์ผสมด้วยสีดิสเพอร์ส Foron Rubine RD-GFL 200 ซึ่งเป็นสีที่ใช้ย้อมพอลิเอสเตอร์ สีชนิดนี้เป็นสีไฮโดรโฟบิกจึงติดเฉพาะส่วนที่เป็นเพตเท่านั้น โดยใช้สีร้อยละ 0.1 เทียบกับน้ำหนักพอลิเมอร์ผสม ทำการย้อมที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที เมื่อทำการย้อมสีเสร็จแล้วนำพอลิเมอร์ผสมไปถ่ายภาพด้วย optical microscope OLYMPLUS ex-31 ทำการตรวจสอบการกระจายตัวของแป้งในเพต ทำการปรับ contrast ที่ +75 เพื่อให้เห็นความแตกต่างของสีได้ชัดเจนขึ้น จะได้ภาพดังรูปที่ 4.21-4.26 โดยที่เนื้อของพอลิเอสเตอร์จะปรากฏเป็นสีเข้ม ส่วนบริเวณสีแดงเป็นส่วนที่เพตผสมกับแป้งจึงทำให้เพตติดสีดิสเพอร์สได้จางกว่า



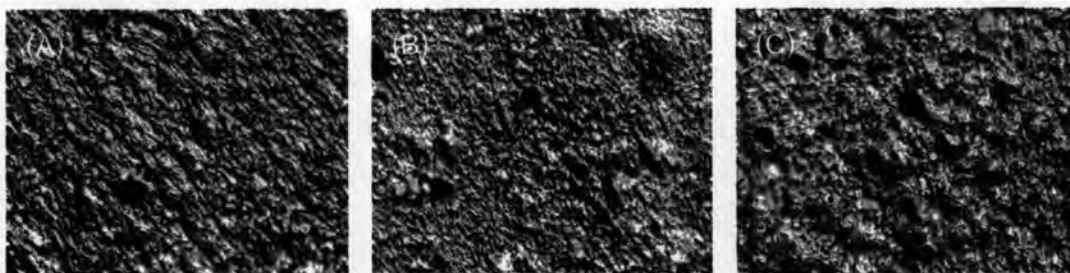
รูปที่ 4.21 แสดงการเปรียบเทียบสัณฐานวิทยา กำลังขยายของเลนส์วัตถุที่ 4 เท่า ของพอลิเมอร์ผสม (A) พอลิเมอร์ผสม เทต 90 : แป้งมันสำปะหลัง 10 (B) 80 : 20, (C) 70 : 30 โดยในทุกสูตรของพอลิเมอร์ผสม ส่วนของผงเทตได้ผ่านการตัดแปรด้วยสารช่วยผสมความเข้มข้น 10 g/100 g PET



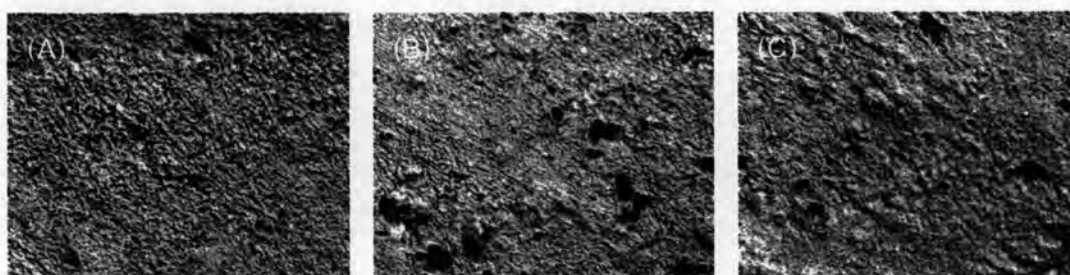
รูปที่ 4.22 แสดงการเปรียบเทียบสัณฐานวิทยา กำลังขยายของเลนส์วัตถุที่ 10 เท่า ของพอลิเมอร์ผสม (A) พอลิเมอร์ผสม เทต 90 : แป้งมันสำปะหลัง 10 (B) 80 : 20, (C) 70 : 30 โดยในทุกสูตรของพอลิเมอร์ผสม ส่วนของผงเทตได้ผ่านการตัดแปรด้วยสารช่วยผสมความเข้มข้น 10 g/100 g PET



รูปที่ 4.23 แสดงการเปรียบเทียบสัณฐานวิทยา กำลังขยายของเลนส์วัตถุที่ 4 เท่า ของพอลิเมอร์ผสม (A) พอลิเมอร์ผสม เทต 90 : แป้งมันสำปะหลัง 10 (B) 80 : 20, (C) 70 : 30 โดยในทุกสูตรของพอลิเมอร์ผสม ส่วนของผงเทตได้ผ่านการตัดแปรด้วยสารช่วยผสมความเข้มข้น 20 g/100 g PET



รูปที่ 4.24 แสดงการเปรียบเทียบสัณฐานวิทยา กำลังขยายของเลนส์วัตถุที่ 10 เท่า ของพอลิเมอร์ผสม (A) พอลิเมอร์ผสม เพต 90 : แป้งมันสำปะหลัง 10 (B) 80 : 20, (C) 70 : 30 โดยในทุกสูตรของพอลิเมอร์ผสม ส่วนของผงเพตได้ผ่านการตัดแปรด้วยสารช่วยผสมความเข้มข้น 20 g/100 g PET



รูปที่ 4.25 แสดงการเปรียบเทียบสัณฐานวิทยา กำลังขยายของเลนส์วัตถุที่ 4 เท่า ของพอลิเมอร์ผสม (A) พอลิเมอร์ผสม เพต 90 : แป้งมันสำปะหลัง 10 (B) 80 : 20, (C) 70 : 30 โดยในทุกสูตรของพอลิเมอร์ผสม ส่วนของผงเพตได้ผ่านการตัดแปรด้วยสารช่วยผสมความเข้มข้น 30 g/100 g PET



รูปที่ 4.26 แสดงการเปรียบเทียบสัณฐานวิทยา กำลังขยายของเลนส์วัตถุที่ 10 เท่า ของพอลิเมอร์ผสม (A) พอลิเมอร์ผสม เพต 90 : แป้งมันสำปะหลัง 10 (B) 80 : 20, (C) 70 : 30 โดยในทุกสูตรของพอลิเมอร์ผสม ส่วนของผงเพตได้ผ่านการตัดแปรด้วยสารช่วยผสมความเข้มข้น 30 g/100 g PET

เมื่อสังเกตภาพถ่าย กำลังขยายของเลนส์วัตถุที่ 4 เท่า พบว่าการกระจายตัวของพอลิเมอร์ผสมสูตรที่ใช้ปริมาณสารช่วยผสม 10 g/100 g PET ยังกระจายตัวไม่ดีพอดังรูป 4.22 โดยพบว่าแบ็งจะจับตัวกันเป็นกลุ่มและกระจายอยู่ทั่วของเนื้อพอลิเมอร์ผสม เมื่อสูตรที่ใช้ปริมาณแบ็งมากขึ้นทำให้กลุ่มของแบ็งที่พบใหญ่ขึ้นตามรูปที่ 4.22C ซึ่งกลุ่มของแบ็งนี้อาจจะทำให้สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมลดลง

แต่เมื่อเพิ่มปริมาณของสารช่วยผสมเป็น 20 และ 30 g/100g PET ตามรูปที่ 4.23-4.26 กลุ่มของแบ็งจะหายไปและพบว่าแบ็งกระจายตัวได้ดีขึ้นไม่จับตัวเป็นกลุ่มก้อน และเมื่อเพิ่มปริมาณแบ็งพบว่าเนื้อของพอลิเมอร์ผสมมีสีที่จางลงเนื่องจากแบ็งกระจายตัวและเข้าไปแทรกในเนื้อพอลิเมอร์ผสมมากขึ้น

สาเหตุของการกระจายตัวที่ไม่ดีของแบ็งในสูตรที่ใช้ปริมาณสารช่วยผสม 10 g/100 g PET น่าจะมาจากการผสมที่ไม่ดีและอัตราส่วนของสารช่วยผสมและปริมาณแบ็งที่ไม่สัมพันธ์กัน ทำให้เมื่อผ่านการผสม สารช่วยผสมไม่สามารถยึดเหนี่ยวโมเลกุลของแบ็งให้เข้ากับสายโซ่ของพेटได้ทั่วถึง โมเลกุลของแบ็งจึงจับกันเองเป็นกลุ่ม และจากการเพิ่มปริมาณสารช่วยผสมทำให้กลุ่มของแบ็งหายไปนี้ทำให้เห็นได้ชัดว่า สารช่วยผสมมีผลต่อการยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของแบ็งให้เข้ากับสายโซ่ของพेट