



โครงการ
การเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์

ชื่อโครงการ พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงเสริมแรงด้วยไมโครไฟบริลจากรีไซเคิลพีอีที
HDPE reinforced with microfibrils from recycled PET

ชื่อนิสิต นางสาวณัสนวี ยอดจิต เลขประจำตัว 5933249723
นางสาวณัสนวี อินทรสุข เลขประจำตัว 5933250223

ภาควิชา วัสดุศาสตร์

ปีการศึกษา 2562

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

โครงการวิจัยระดับปริญญาตรี

เรื่อง

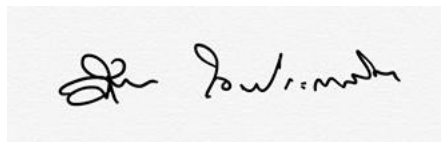
พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงเสริมแรงด้วยไมโครไฟเบอร์จากกรีซเคลฟี่อีที

เสนอ

ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ตามระเบียบการศึกษาหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวัสดุศาสตร์

1. นางสาวมนัสวี ยอดจิต เลขประจำตัว 5933249723
2. นางสาวมนัสวี อินทรสุข เลขประจำตัว 5933250223

อนุมัติโดย



.....
(รศ.ดร. มัณฑนา โอภาประกาศิต)

อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ

ปีการศึกษา 2562

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อใช้ประโยชน์ขบวนการ PET (RPET) เป็นวัสดุเสริมแรงให้แก่พอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง (HDPE) โดยศึกษาผลของอัตราส่วนการผสม ความเร็วเครื่องตัดเม็ดเรซินเกรดของ HDPE (H6140B, H6670B และ H377C) ต่อลักษณะของ RPET ที่กระจายตัวในเนื้อ HDPE เมทริกซ์

ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของเม็ด RPET/PP ที่เตรียมด้วยเครื่องอัดรีดแบบสกรูคู่ แสดงให้เห็นว่า RPET ไม่สามารถผสมเข้ากันได้กับ HDPE อนุภาค RPET มีลักษณะกลมบ้าง รีบ้าง และลักษณะคล้ายเส้นใยขนาดเล็ก กระจายทั่วพื้นผิว HDPE เมื่อพิจารณาผลของ RPET/HDPE พบว่าอนุภาค RPET ที่กระจายใน HDPE เมทริกซ์ของพอลิเมอร์ผสม 20/80 RPET/HDPE มีขนาดอนุภาคที่เล็กกว่าที่พบในพอลิเมอร์ผสม 10/90 RPET/HDPE จึงสรุปได้ว่าปริมาณ RPET ที่เพิ่มขึ้นส่งผลต่อขนาดอนุภาค RPET อีกทั้งเมื่อเตรียม RPET/HDPE ด้วยความเร็วตัดเม็ดสูง เอกทริคเดดที่ถูกต้องด้วยอัตราเร็วมากส่งผลให้ได้ขนาดอนุภาค RPET เล็กและเกิดเป็นลักษณะไฟบริลได้ดี ผลของ HDPE ที่มีค่า MFI ต่างกัน แสดงให้เห็นว่าอนุภาค RPET ที่พบใน HDPE เมทริกซ์จะมีขนาดเล็กลงเมื่อเตรียมด้วย HDPE ที่มีค่า MFI ต่ำกว่า นอกจากนี้ยังพบว่า RPET/H377C ที่อัตราส่วน 10/90 มีปริมาณ RPET ไฟบริลมากที่สุด เกรดของ HDPE ยังส่งผลต่ออุณหภูมิในการขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดรีดแบบสกรูคู่ H377C ที่มีค่า MFI ต่ำที่สุด สามารถขึ้นรูปด้วยช่วงอุณหภูมิขึ้นรูปที่ต่ำกว่า คือ 150-280 องศาเซลเซียส องค์ความรู้จากการศึกษานี้สามารถใช้ประโยชน์ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์พลาสติกรีไซเคิลจาก PET และ HDPE ต่อไปได้

Abstract

This research focuses on using PET water bottles as reinforcing materials for high-density polyethylene (HDPE). Effects of RPET/HDPE ratios, operating parameters of resin cutting machine and grade of HDPE (H6140B, H6670B and H377C) on morphology of dispersed in HDPE matrix are studied.

Scanning electron microscope images of RPET/HDPE pellets prepared from twin screw extruder show that RPET is immiscible with HDPE. RPET particles with spherical shape, oval shape and microfibril form are dispersed throughout the HDPE matrix. Considering the effect of RPET/HDPE ratio, it is found that RPET particles in the HDPE matrix of 20/80 RPET/HDPE blend are smaller than those found in 10/90 RPET/HDPE blend. Hence, it can be concluded that the amount of RPET phase has significant effect on the particle size of RPET. Moreover, when RPET/HDPE blends are fabricated at high speed of resin cutting machine, extrudate pulled at high stretching rate results in smaller RPET particles and formation of RPET microfibril. Results of HDPE with different MFI present that RPET particles found in the HDPE matrix with lower MFI are smaller. It is found that RPET/H377C at the ratio of 10/90 contains the highest amount of RPET microfibril. Grade of HDPE also influences on temperature profile of the twin-screw extruder. H377C with the lowest MFI can be fabricated with much lower temperature range of 150-280 degrees Celsius. The basic knowledge from this study can be used for further development of recycled plastic products from PET and HDPE.

คำนำ

โครงการวิจัยระดับปริญญาตรีเป็นส่วนหนึ่งของการพัฒนาศักยภาพในด้านต่าง ๆ ของนิสิต ทั้งด้านการสังเกต การวิเคราะห์ การให้เหตุผลและการแก้ปัญหาที่เหมาะสม รวมถึงทักษะการทำงานร่วมกับผู้อื่นอย่างเป็นระบบและเกิดประสิทธิภาพสูงสุด โดยอาศัยความรู้และความสามารถในการใช้เครื่องมือทางวิทยาศาสตร์และสารเคมีที่ถูกต้องตามหลักการทำงานอย่างปลอดภัย

รายงานนี้จัดทำเพื่อให้เป็นตามวัตถุประสงค์ของโครงการวิจัยระดับปริญญาตรี โดยงานวิจัยเพื่อกระบวนการเตรียม HDPE เมทริกซ์เสริมแรงด้วยไมโครไฟบริล RPET โดยมุ่งเน้นศึกษาผลของอัตราส่วนการผสมความเร็วตัดเม็ดเรซิน เกรดของ HDPE ต่อสมบัติทางความร้อน และสัณฐานวิทยา ซึ่งทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง วิธีการดำเนินการ ผลการทดลอง และสรุปผลการทดลองได้รวบรวมในรายงานฉบับนี้

คณะผู้จัดทำหวังว่าโครงการนี้จะช่วยเพิ่มพูนความรู้ด้านวิทยาศาสตร์และเป็นประโยชน์ต่อผู้อ่านหรือสนใจเพื่อประกอบในการศึกษาและเป็นองค์ความรู้เพื่อทำการวิจัยในภายภาคหน้า หากมีข้อผิดพลาดประการใด คณะผู้จัดทำต้องขออภัยมา ณ ที่นี้ด้วย

คณะผู้จัดทำ

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยระดับปริญญาตรีฉบับนี้สำเร็จไปได้ด้วยดี เป็นเพราะได้รับความช่วยเหลือในด้านต่าง ๆ ทั้งทางด้านวิชาการ ด้านสถานที่และอุปกรณ์ รวมไปถึงวัสดุที่ใช้ในงานวิจัยครั้งนี้

คณะผู้จัดทำใคร่ขอบคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. มัณฑนา โอภาประภาสิต อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการวิจัยที่ให้คำปรึกษา แนะนำแนวทางในการดำเนินงาน และช่วยปรับปรุงแก้ไขงานวิจัยนี้จนสมบูรณ์

ขอขอบคุณ ภาควิชาวัสดุศาสตร์ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้สถานที่ทำงานวิจัย

ขอขอบคุณ คุณอนุรักษ อ่อนนุ่ม ที่ให้คำปรึกษาและอำนวยความสะดวกในการใช้เครื่องมือทำงานวิจัย

ขอขอบคุณ ครอบครัวที่ให้การสนับสนุนและเป็นกำลังใจในทุก ๆ ด้าน ขอขอบคุณรุ่นพี่ทุกคนที่ให้คำปรึกษาเกี่ยวกับงานวิจัยครั้งนี้ ขอขอบคุณเพื่อน ๆ ที่ช่วยตัดขวดพลาสติก ขอขอบคุณเหล่าแม่ที่บ้านที่ช่วยเป็นกำลังใจให้ในวันที่เหนื่อยล้า และขอขอบคุณอาจารย์ทุกท่านที่มอบความรู้ให้แก่คณะผู้จัดทำงานวิจัยฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์

สารบัญ

	หน้าที่
บทคัดย่อ	ก
Abstract.....	ข
คำนำ.....	ค
กิตติกรรมประกาศ.....	ง
สารบัญ	จ
สารบัญรูป	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตการวิจัย	3
บทที่ 2 ความรู้และพื้นฐานงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 พลาสติกรีไซเคิล	4
2.2 พอลิเมอร์ผสม	5
2.3 พอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง	5
2.4 พอลิเอทิลีนเทรฟทาเลต	6
2.5 เครื่องมือ และกระบวนการที่ใช้ในการขึ้นรูป	6
2.5.1 เครื่องอัดรีดแบบสกรูคู่	6
2.5.2 การอัดรีดแบบแผ่น	8
2.6 เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ	9
2.6.1 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด	9
2.6.2 เครื่องทดสอบสมบัติทางความร้อน Differential Scanning Calorimeter	10
2.6.3 เครื่องทดสอบอเนกประสงค์	11
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	12
บทที่ 3 การดำเนินงานวิจัย	19

สารบัญ(ต่อ)

	หน้าที่
3.1 วัสดุและสารเคมีที่ใช้ในการวิจัย	19
3.2 วัสดุ อุปกรณ์ และเครื่องมือสำหรับการวิจัย	19
3.3 เครื่องมือในการวิเคราะห์และทดสอบ.....	20
3.4 วิธีดำเนินงานวิจัย.....	20
3.4.1 การเตรียมเม็ดพลาสติกที่มีอัตราส่วนของ RPET และ HDPE เป็น 0:100 10:90 และ 20:80 โดย น้ำหนัก.....	20
3.4.2 การวิเคราะห์และทดสอบสมบัติ.....	22
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์การทดลอง.....	25
4.1 การศึกษาผลของอัตราส่วนของ RPET/HDPE ที่ HDPE เกรดต่างกัน ต่อภาวะที่เหมาะสมของการเตรียม เม็ดพลาสติกด้วยเครื่องผสมแบบสกรูคู่.....	25
4.2 การศึกษาผลของอัตราส่วนของ RPET/HDPE ที่ HDPE เกรดต่างกัน ต่อลักษณะสัญญาณวิทยา.....	29
4.3 การศึกษาผลของอัตราส่วนของ RPET/HDPE ต่อสมบัติทางความร้อน.....	32
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง.....	35
เอกสารอ้างอิง.....	36
ภาคผนวก.....	38
ภาคผนวก ก ผลการทดสอบสัญญาณวิทยา.....	39
ภาคผนวก ข ผลการทดสอบสมบัติทางความร้อน.....	41

สารบัญรูป

รูปประกอบ	หน้าที่
รูปที่ 2.1 ทิศทางการหมุนของสกรู(บน) ลักษณะของสกรู(ล่าง) แบบสกรูหมุนทางเดียว และสกรูหมุนสวนทางกัน...	7
รูปที่ 2.2 ปริมาณการเชื่อมซ้อนกันระหว่างเส้นสกรูในเครื่องอัดรีดแบบสกรูคู่	7
รูปที่ 2.3 ตัวอย่างหัวตาย T-die(a), fishtail die(b) และ coathanger die(c)	8
รูปที่ 2.4 ส่วนประกอบภายในกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด	9
รูปที่ 2.5 ตัวอย่างผลการทดสอบการทนแรงดึงด้วยเครื่อง Universal Testing Machine	11
รูปที่ 2.6 การเตรียมเม็ดพอลิเมอร์ผสมด้วยเครื่อง Twin-screw extruder	12
รูปที่ 2.7 ภาพ SEM ของพอลิเมอร์ผสม PET/PP (a, c) และ PET/PP/E-GMA (40/54/6) (b, d) เมื่อเตรียมโดยไม่ผ่าน cold drawing (a, b) และหลังผ่าน cold drawing (c, d)	13
รูปที่ 2.8 ค่า tensile modulus (a) และ tensile strength (b) ของ PET/PP/E-GMA หลังผ่านการดึงยืดตามสัดส่วนต่าง ๆ	13
รูปที่ 2.9 ภาพ SEM ของผิวหน้า PET/PP ที่เตรียมโดยผ่าน cold drawing แล้วขึ้นรูปด้วยกระบวนการฉีดที่อุณหภูมิสูงกว่า (a) และอุณหภูมิต่ำกว่า (b) อุณหภูมิหลอมผลึกของเส้นใย PET	14
รูปที่ 2.10 กราฟที่ได้จากการวิเคราะห์ TGA	15
รูปที่ 2.11 ภาพ-SEM ของพอลิเมอร์ผสมที่ไม่ผ่านการทำ cold drawing PP/PET ที่สัดส่วน 60/40 wt% โดย (a) ไม่มีการใส่สารช่วยผสม (b) มีการใส่สารช่วยผสม 6 wt%	16
รูปที่ 2.12 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด (SEM) ของพอลิเมอร์ผสม PP/PET (70/30 wt.%) เมื่อทำการกำจัด (etch) PP ออกด้วยตัวทำละลาย โดย (a) – (d) ใช้ตัวอย่างที่ผ่านการทำ cold drawing ที่ระดับการดึงต่ำถึงสูงสุด	16
รูปที่ 2.13 ภาพ SEM ที่ถ่ายด้วยกำลังขยายต่ำ (a) และสูง (b) ของพอลิเมอร์ผสม PP/PET/E-GMA (57/40/3 wt.%) ซึ่งผ่านการทำ cold drawing	16
รูปที่ 2.14 ภาพ SEM ของพอลิเมอร์ผสม PP/PET/E-GMA (54/40/6 wt.%) ก่อน (a) และหลังการทำ cold drawing (b)	17
รูปที่ 2.15 กราฟ Stress-strain ของความสามารถทนแรงดึงของพอลิเมอร์ผสม PE/PET ที่สัดส่วนต่างกันโดยน้ำหนัก 100/0 (1) , 90/10 (2) , 70/30 (3) , 50/50 (4) , 30/70 (5) , 10/90 (6) และ 0/100 (7) โดย a คือกราฟในช่วงแรก b คือ ultimate elongation	17

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปประกอบ	หน้าที่
รูปที่ 3.1 เครื่อง Twin screw extruder	20
รูปที่ 3.2 แผงควบคุมอุณหภูมิเครื่อง profile extruder จากช่วง feed ถึงหัวตาย.....	21
รูปที่ 3.3 แผงควบคุมอุณหภูมิเครื่อง sheet extruder บริเวณหัวตาย.....	21
รูปที่ 3.4 แผงควบคุมอุณหภูมิ(ฝั่งขวา) และความเร็วในการม้วนเก็บแผ่นพลาสติกของเครื่อง sheet extruder (ฝั่งซ้าย).....	22
รูปที่ 3.5 เครื่อง Differential Scanning Calorimeter (DSC)	23
รูปที่ 3.6 เครื่องทดสอบอเนกประสงค์ (Universal Testing Machine)	23
รูปที่ 4.1 ลักษณะสัณฐานวิทยาบริเวณภาคตัดขวางของพื้นผิวแตกหักเส้นพลาสติกผสมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 mm ที่อัตราส่วน RPET/HDPE (เกรด H377C) คือ 0/100 (a) 10/90 (b) และ 20/80 (C).....	30
รูปที่ 4.2 ลักษณะสัณฐานวิทยาบริเวณภาคตัดขวางพื้นผิวแตกหักของเส้นพลาสติกผสมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 mm ที่อัตราส่วน RPET/HDPE เท่ากับ 10/90 ด้วย HDPE เกรดต่างกัน คือ เกรด H6140B เกรด H6670B และเกรด H377C ดังรูป (a) (b) (C) ตามลำดับที่กำลังขยาย 500 เท่าและที่กำลังขยาย 1000 เท่า ดังรูป (d) (e) (f) ตามลำดับ.....	30
รูปที่ 4.3 การวัดการกระจายตัวของอนุภาค RPET จากภาพถ่ายภาคตัดขวางของเส้นพลาสติกผสมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 mm ที่อัตราส่วน RPET/HDPE เท่ากับ 10/90 ด้วย HDPE เกรดต่างกัน คือ เกรด H6140B เกรด H6670B และเกรด H377C ตามลำดับที่กำลังขยาย 1000 เท่า.....	31
รูปที่ 4.4 ลักษณะสัณฐานวิทยาบริเวณภาคตัดขวางพื้นผิวแตกหักของเส้นพลาสติกผสมที่อัตราส่วน RPET/HDPE (เกรด H377C) เท่ากับ 10/90 โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางต่างกัน คือ 1 mm (a) และ 2 mm (b)..	31
รูปที่ 4.5 กราฟ DSC จากการให้ความร้อนครั้งที่ 1 ของเม็ดพลาสติก RPET/HDPE ที่อัตราส่วน 0/100 มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 และ 2 mm และอัตราส่วน 10/90 ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 mm.....	32
รูปที่ 4.6 กราฟ DSC จากการให้ความร้อนครั้งที่ 2 ของเม็ดพลาสติก RPET/HDPE ที่อัตราส่วน 0/100 มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 และ 2 mm และอัตราส่วน 10/90 ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 mm.....	33
รูปที่ ก.1 ลักษณะสัณฐานวิทยาบริเวณภาคตัดขวางพื้นผิวแตกหักของเส้นพลาสติกผสมที่อัตราส่วน RPET/HDPE (เกรด H377C) เท่ากับ 10/90 โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 mm กำลังขยาย 1000 เท่า.....	40

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปประกอบ	หน้าที่
รูปที่ ก.2 ลักษณะสัณฐานวิทยาบริเวณภาคตัดขวางของพื้นผิวแตกหักเส้นพลาสติกผสมที่อัตราส่วน RPET/HDPE (เกรด H377C) เท่ากับ 20/80 โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 mm ที่กำลังขยาย 1000 เท่า.....	40
รูปที่ ข.1 กราฟ DSC ของเม็ดพลาสติกผสมที่อัตราส่วน RPET/HDPE (เกรด H377C) เท่ากับ 0/100 โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 mm.....	42
รูปที่ ข.2 กราฟ DSC ของเม็ดพลาสติกผสมที่อัตราส่วน RPET/HDPE (เกรด H377C) เท่ากับ 0/100 โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 mm.....	42
รูปที่ ข.3 กราฟ DSC ของเม็ดพลาสติกผสมที่อัตราส่วน RPET/HDPE (เกรด H377C) เท่ากับ 10/90 โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 mm.....	43

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้าที่
ตารางที่ 2.1 การวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนของ PE ด้วยเทคนิค DSC	14
ตารางที่ 2.2 อัตราส่วนของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PE/PET	18
ตารางที่ 2.3 ค่าการทนแรงดึงของ LDPE และ LDPE ที่ผสม PET	18
ตารางที่ 3.1 เม็ดพลาสติกสำหรับการขึ้นรูปแผ่นพลาสติก	19
ตารางที่ 3.2 ขนาดและจำนวนของแผ่นพลาสติกที่ใช้ทดสอบสมบัติการทนแรงดึง	24
ตารางที่ 3.3 Crosshead Speeds และ Initial Grip Separation	24
ตารางที่ 4.1 ลักษณะทางกายภาพของเม็ดพลาสติกสูตรต่าง ๆ	26
ตารางที่ 4.2 อุณหภูมิในโซนต่าง ๆ ของเครื่อง Twin Screw Extruder โดยใช้ HDPE เกรด H6140B.....	27
ตารางที่ 4.3 อุณหภูมิในโซนต่าง ๆ ของเครื่อง Twin Screw Extruder โดยใช้ HDPE เกรด H6670B.....	27
ตารางที่ 4.4 อุณหภูมิในโซนต่าง ๆ ของเครื่อง Twin Screw Extruder โดยใช้ HDPE เกรด H377C.....	27
ตารางที่ 4.5 ค่าพารามิเตอร์ของแผงควบคุมเครื่องตัดเม็ดพลาสติก โดยใช้ HDPE เกรด H6140B.....	28
ตารางที่ 4.6 ค่าพารามิเตอร์ของแผงควบคุมเครื่องตัดเม็ดพลาสติก โดยใช้ HDPE เกรด H6670B.....	28
ตารางที่ 4.7 ค่าพารามิเตอร์ของแผงควบคุมเครื่องตัดเม็ดพลาสติก โดยใช้ HDPE เกรด H377C.....	28
ตารางที่ 4.8 ผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค DSC ของเม็ดพลาสติก HDPE และ RPET/HDPE.....	33

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ในปัจจุบันได้มีการค้นคว้าข้อมูลพร้อมกับการทดลองเพื่อศึกษาและพัฒนาให้พอลิเมอร์สามารถนำไปใช้งานในด้านต่าง ๆ ได้ดียิ่งขึ้น ยกตัวอย่างเช่น ขวดพลาสติกที่ใช้กันในปัจจุบัน ซึ่งเป็นอีกผลงานหนึ่งที่แสดงให้เห็นว่ามนุษย์มีการนำพลาสติกมาใช้ทดแทนบรรจุภัณฑ์ที่ผลิตมาจากธรรมชาติ ซึ่งบรรจุภัณฑ์ที่ผลิตจากชาตินั้นสามารถเน่าเสียได้ง่าย มีความคงทนต่อการใช้งานน้อยเมื่อเทียบกับบรรจุภัณฑ์ที่เป็นพลาสติก ด้วยเหตุผลข้างต้นจึงทำให้ขวดพลาสติกได้รับความนิยมอย่างมากในอุตสาหกรรมอาหารและเครื่องดื่ม โดยรายงานของ Euromonitor International ระบุว่า ในปี 2016 มีการใช้ขวดพลาสติกบรรจุน้ำดื่ม มากถึง 4 แสน 8 หมื่นล้านขวดทั่วโลก ^[1] และเนื่องจากขวดพลาสติกต้องใช้เวลาหลายร้อยปีในการย่อยสลาย จึงทำให้ขวดพลาสติกที่ถูกใช้แล้วนั้นเกิดเป็นขยะอย่างมหาศาล ดังนั้นทางคณะผู้จัดทำจึงสนใจการนำขวดน้ำชนิดพอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต (Poly (ethylene terephthalate), PET) ที่ใช้แล้วกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ เนื่องด้วยเป็นขวดน้ำที่คนในปัจจุบันนิยมใช้มากที่สุด การเก็บและคัดแยกขวดน้ำ PET จึงสามารถทำได้ไม่ยุ่งยาก และมีการปนเปื้อนน้อยกว่าขยะพลาสติกชนิดอื่น ๆ หากแนวทางที่ทำการศึกษามีผลดีและสามารถประยุกต์ใช้ได้จริง ย่อมสามารถลดปริมาณขยะพลาสติกที่สร้างปัญหาแก่สิ่งแวดล้อม และเป็นการใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่า จากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าการใช้ PET เป็นเส้นใยเสริมแรงในคอนกรีต หรือแม้กระทั่งนำมาทำเป็นเส้นใยเสริมแรงคอมพอสิตจากพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PET กับพอลิโพรพิลีน (Polypropylene, PP) ทำให้ได้ พอลิเมอร์รูปแบบใหม่ที่จะนำไปใช้ประโยชน์ได้ในอนาคต

PET เป็นพอลิเมอร์ในกลุ่มของแอโรมาติกเอสเตออร์ ภายในโครงสร้างประกอบด้วยวงเบนซีนและมีหมู่ฟังก์ชันเอสเตออร์ ส่งผลให้ PET มีความเป็นขั้ว มีสมบัติเชิงกลที่ดี แข็งแรง ทนความร้อนได้สูง และทนแรงกระแทกได้ดี ดังนั้นการใช้ประโยชน์เพื่อเสริมแรงพอลิเมอร์ชนิดอื่นจึงเป็นที่น่าสนใจ ในขณะเดียวกันผลิตภัณฑ์จำพวกขวด PP และพอลิเอทิลีน (Polyethylene, PE) พบมากในการใช้ผลิตเป็นฝาขวด ขวดนม และขวดผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ส่งผลให้กลุ่มวิจัยมีความสนใจถึงประโยชน์ของการวิจัยเพื่อพัฒนารีไซเคิล พอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต [Recycled-poly (ethylene terephthalate), RPET] มาเป็นวัสดุเสริมแรงแก่พอลิโอเลฟินส์

จากการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PET และ PP ที่มุ่งเน้นการขึ้นรูปให้ PET มีลักษณะสัณฐานวิทยาเป็นเส้นใยกระจายตัวใน PP โดยคงปริมาณ PET ไว้ที่ปริมาณร้อยละ 40 และปรับเปลี่ยนสัดส่วนของ

PP/E-GMA (ซึ่งเป็นสารช่วยผสม) ในอัตราส่วนต่าง ๆ ^[2] พบว่าการใช้อัตราส่วน PP/PET/E-GMA เป็น 60/40/0 จะให้ความแข็งแรงของเส้นใยที่มากที่สุด แต่เนื่องจากข้อจำกัดต่าง ๆ ดังนั้นทางกลุ่มวิจัยจึงสนใจการใช้แนวทางดังกล่าวมาเสริมแรงแก่พอลิเอทิลีนที่มีค่าความหนาแน่นสูง (High density polyethylene, HDPE) เนื่องด้วย HDPE นั้นเป็นพอลิเมอร์ในกลุ่ม Polyolefin ชนิด Polyethylene (PE) และ PE ถือได้ว่าเป็นพอลิเมอร์กลุ่มใหญ่ที่พบเจอได้มากที่สุด ไม่ว่าจะเป็นการนำมาใช้งานในด้านบรรจุภัณฑ์อาหารหรือถุงพลาสติกมากมาย โดย HDPE นั้นเป็น PE ที่มีการจัดเรียงตัวเป็นเส้นตรงและมีความแข็งแรงดี จึงนิยมนำมาทำขวดบรรจุนมที่มีสีขาวขุ่น ซึ่งหาได้ง่ายในท้องตลาด เหมาะแก่การนำมาเป็นต้นแบบที่จะนำมารีไซเคิลพร้อมกับ PET

จากงานวิจัยด้าน RPET พบว่ามีการศึกษาการเตรียมแผ่นพลาสติกจาก RPET และ HDPE ที่อัตราส่วน HDPE/RPET เป็น 100/0 , 70/30 และ 50/50 โดยน้ำหนัก ^[3] ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าการใช้อัตราส่วน 50/50 จะสามารถทนความร้อนได้สูงกว่าอัตราส่วนอื่น จากความรู้ที่ได้จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง คณะผู้จัดทำจึงสนใจการพัฒนา RPET จากขบวนการเพื่อเสริมแรงและปรับปรุงสมบัติให้แก่ HDPE โดยมุ่งเน้นศึกษาอิทธิพลของขั้นตอนการผสม RPET/HDPE และกระบวนการขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดรีดแบบแผ่น อีกทั้งอัตราส่วนการผสม RPET/HDPE และเกรด (MFI) ของ HDPE ว่าส่งผลต่อลักษณะสัญญาณวิทยาของ RPET สมบัติทางความร้อน และสมบัติเชิงกลของแผ่นพลาสติกผสม RPET/HDPE ที่เตรียมไว้

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 ศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนการผสม HDPE/RPET ต่อสมบัติการทนแรงดึง, สมบัติทางความร้อน และสัญญาณวิทยา

1.2.2 ศึกษาอิทธิพลของ MFI ของ HDPE ต่อสมบัติการทนแรงดึง, สมบัติทางความร้อน และสัญญาณวิทยา

1.2.3 ศึกษาอิทธิพลของการควบคุมค่าพารามิเตอร์ของเครื่องตัดเม็ดพลาสติก ต่อสมบัติการทนแรงดึง, สมบัติทางความร้อน และสัญญาณวิทยา

1.2.4 ศึกษาอิทธิพลของการควบคุมค่าพารามิเตอร์ความเร็วของเครื่อง sheet extruder ต่อสมบัติการทนแรงดึง, สมบัติทางความร้อน และสัญญาณวิทยา

1.3 ขอบเขตการวิจัย

1.3.1 งานวิจัยนี้ควบคุมอัตราส่วนการผสม HDPE/RPET แบบหลอมเหลวด้วยเครื่องอัดรีดแบบสกรูคู่ เป็น 90/10 และ 80/20 โดยน้ำหนัก

1.3.2 งานวิจัยนี้เลือกศึกษาค่า MFI ของ HDPE ในค่า 0.3, 0.7 และ 7.5 g/10min

1.3.3 งานวิจัยนี้ควบคุมความเร็วในการตัดเม็ดเพื่อให้ได้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเม็ดพลาสติกที่ผสม จาก HDPE/RPET เป็น 1 และ 2 มิลลิเมตร

1.3.4 งานวิจัยนี้ควบคุมความเร็วหมุนเก็บแผ่นพลาสติกเพื่อให้ได้ความหนาของแผ่นพลาสติกเป็น 100, 200 และ 300 ไมโครเมตร

1.3.5 งานวิจัยนี้เลือกศึกษาสมบัติการทนแรงดึง สมบัติทางความร้อน และสัณฐานวิทยาของ โพลีเมอร์ ผสมเท่านั้น

บทที่ 2

ความรู้และพื้นฐานงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 พลาสติกรีไซเคิล (Recycled Plastic) ^[4]

พลาสติกเป็นวัสดุที่เข้ามามีบทบาทในชีวิตประจำวันของเราเป็นอย่างมากและมีแนวโน้มการใช้งานที่เพิ่มมากขึ้นเพราะใช้ทดแทนทรัพยากรธรรมชาติ มีราคาถูก และน้ำหนักเบา สามารถผลิตให้มีสมบัติต่าง ๆ ตามที่ต้องการได้จากการเลือกชนิดของวัตถุดิบ ปฏิกิริยาเคมี กระบวนการผลิตและกระบวนการขึ้นรูป ด้วยสมบัติที่โดดเด่นหลายด้านทำให้พลาสติกได้รับการยอมรับอย่างรวดเร็วและมีปริมาณการใช้งานเพิ่มสูงขึ้นเรื่อย ๆ ส่งผลให้เกิดขยะพลาสติกในปริมาณสูงมากขึ้นตามด้วย ดังนั้นการนำพลาสติกกลับมาใช้ใหม่หรือการรีไซเคิลจึงได้รับความสนใจเป็นอย่างมาก เพราะนอกจากจะช่วยลดปริมาณขยะพลาสติกแล้วยังเป็นการใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่าอีกด้วย

ประเภทของการรีไซเคิล

1. การรีไซเคิลแบบปฐมภูมิ เป็นการนำขวดหรือเศษพลาสติกที่เป็นประเภทเดียวกันและไม่มีสิ่งปนเปื้อน ที่เกิดในกระบวนการผลิตหรือขึ้นรูปกลับมาใช้ซ้ำภายในโรงงาน โดยสามารถนำมาใช้ซ้ำทั้งหมดหรือเติมผสมกับเม็ดใหม่ที่อัตราส่วนต่าง ๆ

2. การรีไซเคิลแบบทุติยภูมิหรือกระบวนการหลอมขึ้นรูปใหม่ เป็นการนำพลาสติกที่ผ่านการใช้งานแล้วมาทำความสะอาด บด หลอมและขึ้นรูปกลับไปเป็นผลิตภัณฑ์พลาสติกอีกครั้ง

3. การรีไซเคิลแบบตติยภูมิ แบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ การรีไซเคิลทางเคมีและทางความร้อน

- การรีไซเคิลทางเคมี เป็นกระบวนการที่ทำให้โครงสร้างสายโซ่ของพอลิเมอร์เกิดการขาดหรือแตกออกได้มอโนเมอร์ (Monomer) หรือโอลิโกเมอร์ (Oligomer) เป็นผลิตภัณฑ์ สามารถนำกลับไปทำเป็นสารตั้งต้นได้ใหม่

- การรีไซเคิลทางความร้อน แบ่งออกได้เป็น 3 วิธีคือ แบบไม่ใช้ออกซิเจน (Pyrolysis) แบบใช้ออกซิเจน (Gasification) และการเติมไฮโดรเจน (Hydrogenation)

4. การรีไซเคิลแบบจตุภูมิ นำพลาสติกมาเผาไหม้เป็นเชื้อเพลิงทดแทน โดยการเผาไหม้ของพลาสติกให้ค่าความร้อนใกล้เคียงกับถ่านหิน ช่วยในการเผาไหม้ส่วนที่เป็นขยะเปียก ทำให้ลดปริมาณเชื้อเพลิงที่ต้องใช้ในการเผาขยะ

2.2 พอลิเมอร์ผสม (Polymer Blend) ^[5]

การทำพอลิเมอร์ผสมเป็นวิธีการปรับปรุงสมบัติของพอลิเมอร์ที่นิยมใช้กันมาก โดยการนำพอลิเมอร์ 2 ชนิด ซึ่งอยู่ในสถานะที่เป็นของไหล ได้แก่ เป็นสารละลาย (Solution) หรือสารหลอมเหลว (Molten) มาผสมให้อยู่รวมเป็นเนื้อเดียวกัน (Blending) ได้เป็นพอลิเมอร์ผสม (Polymer blend) ซึ่งมีสมบัติที่ดีของพอลิเมอร์แต่ละชนิดมารวมกัน พอลิเมอร์ผสมจะมีสมบัติดังกล่าวได้ก็ต่อเมื่อมีพอลิเมอร์ชนิดหนึ่งกระจายตัวอยู่ในเนื้อหรือเมทริกซ์ที่ต่อเนื่องกัน (Continuous matrix) ของพอลิเมอร์อีกชนิดหนึ่ง ถ้าการกระจายตัวดังกล่าวไม่เป็นไปอย่างสม่ำเสมอ จะเกิดข้อบกพร่องของผลิตภัณฑ์ ส่งผลให้สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมต่ำกว่าของพอลิเมอร์บริสุทธิ์ได้

วิธีการผสมเพื่อความเข้ากันได้

1. พิจารณาจากสภาพผสมเข้ากันได้ทางเทอร์โมไดนามิกส์ (Thermodynamic Miscibility)
2. การเติมบล็อกหรือกราฟโคพอลิเมอร์ เพื่อเพิ่มความสามารถในการเข้ากันได้ (Addition of block or Graft Copolymers)
3. การเติมพอลิเมอร์ที่มีหมู่ฟังก์ชันหรือส่วนที่ว่องไวต่อการทำปฏิกิริยา (Addition of Function/Reactive Polymers)
4. การทำให้เกิดปฏิกิริยากราฟโคพอลิเมอร์หรือพอลิเมอร์ไรเซชันในระหว่างการผสม (In-situ Grafting Polymerization)

2.3 พอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง (High Density Polyethylene, HDPE) ^[6]

HDPE มีโครงสร้างทางเคมีที่ไม่มีกิ่งสาขา จึงมีแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของพอลิเมอร์ค่อนข้างสูง มีความแข็งแรง เมื่อความหนาแน่นสูงขึ้นจะทำให้มีความแข็งและความเหนียวเพิ่มขึ้น HDPE เป็นวัสดุประเภท polyethylene thermoplastic (Thermoplastic คือพลาสติกที่สามารถนำกลับมาหลอมใช้ใหม่ได้) ที่ได้จากอุตสาหกรรมปิโตรเลียม จัดเป็นพลาสติกที่ได้รับสัญลักษณ์เลข 2 ซึ่งหมายถึง Resin Identification Code 2 เพื่อความสะดวกสำหรับการจำแนกชนิดของพลาสติกในการนำกลับไปเวียนทำใหม่

คุณสมบัติของ HDPE

มีสีขาวขุ่น โปร่งแสง สามารถผสมให้มีสีต่าง ๆ ได้ มีความลื่นมันในตัว มีความเหนียวและยืดหยุ่น มีความหนาแน่นต่ำกว่าน้ำจึงลอยน้ำได้ ทนความร้อนได้ไม่มากนัก แต่ทนสารเคมีได้ดี โดยทนความร้อนได้สูงถึง 110°C และทนความร้อนในอุณหภูมิ 120°C ได้ช่วงสั้นๆ ทนต่อสภาพอากาศได้ดีพอสมควร แต่อากาศสามารถซึมผ่านได้

ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่ทำจาก HDPE

ขวดน้ำดื่ม ขวดบรรจุนม ถาดทำน้ำแข็ง ภาชนะ กล่อง กระปุกบรรจุอาหาร ขวดใส่สารเคมี ขวดสบูเหลว ขวดน้ำยาซักผ้า กระจ่างแบ่ง (ขวดบีบ) กล่องบรรจุสินค้า ถุงใส่ของ เครื่องเล่นเด็ก ฉนวนไฟฟ้า โตะ แก้ว เป็นต้น

2.4 พอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต (Polyethylene terephthalate, PET) ^[7]

PET เป็นพอลิเมอร์ที่เกิดจากมอนอเมอร์ (Monomer) หลายๆตัวซึ่งได้จากปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน (Esterification) ระหว่าง Terephthalic acid (TPA) กับ Ethylene glycol (EG หรือ Ethanediol) โดยมีน้ำเกิดขึ้นในปฏิกิริยาหรือเกิดจากมอนอเมอร์ ซึ่งสารตั้งต้นที่ใช้ในการผลิต PET นั้นได้จากอุตสาหกรรมน้ำมัน

คุณสมบัติของ PET

เป็นพลาสติกที่ใสไม่มีสี มีสมบัติในการป้องกันการซึมผ่านของก๊าซได้เป็นอย่างดี มีความเหนียว ทนทาน และมีความยืดหยุ่นต่อแรงกระแทกแตก จึงไม่แตกเมื่อถูกแรงกระแทกเสียดสี แต่ข้อด้อย คือ ไม่สามารถปิดผนึกด้วยความร้อนและเปิดฉีกยาก ทำให้โอกาสใช้ฟิล์ม PET อย่างเดียวน้อยมาก แต่มักใช้เคลือบกับพลาสติกอื่น

ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่ทำจาก PET

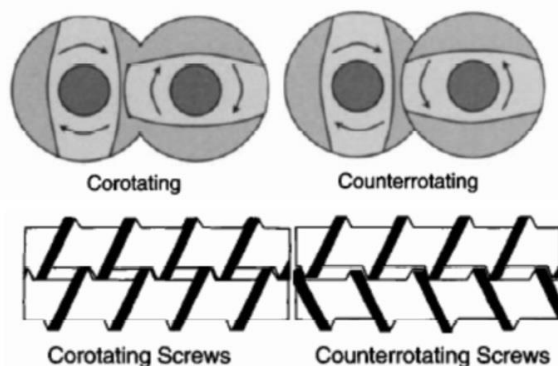
ขวดน้ำดื่ม ขวดน้ำอัดลม ขวดน้ำมันพืช ซองสำหรับบรรจุอาหาร ถาดสำหรับบรรจุอาหาร บรรจุภัณฑ์ที่ป้องกันออกซิเจนผ่าน เป็นต้น

2.5 เครื่องมือ และกระบวนการที่ใช้ในการขึ้นรูป

2.5.1 เครื่องอัดรีดแบบสกรูคู่ (Twin screw extruder) ^[8]

สามารถจำแนกได้จาก

- ทิศทางการหมุนของสกรู (Direction of screw rotation) แบ่งได้เป็นสกรูทั้งสองหมุนทางเดียวกัน (Co-rotating) และสกรูทั้งสองหมุนสวนทางกัน (Counter-rotating) (รูปที่ 2.1)

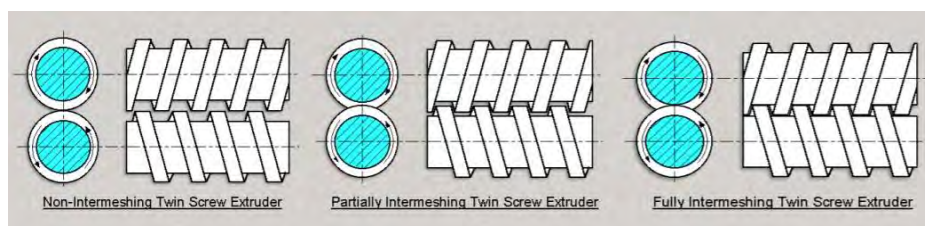


รูปที่ 2.1 ทิศทางการหมุนของสกรู(บน) ลักษณะของสกรู(ล่าง) แบบสกรูหมุนทางเดียว (Co-rotating) และสกรูหมุนสวนทางกัน (Counter-rotating)

2. ระดับการซ้อนเหลื่อมของสันสกรู (Degree of meshing) (รูปที่ 2.2) แบ่งได้เป็น

2.1 สันสกรูทั้งสองไม่ซ้อนเหลื่อมกัน (Non-intermeshing)

2.2 สันสกรูทั้งสองซ้อนเหลื่อมกัน (Intermeshing) ซึ่งจะแบ่งได้เป็น ซ้อนเหลื่อมกันบางส่วน (Partially intermeshing) และซ้อนเหลื่อมกันสมบูรณ์ (Fully intermeshing)



รูปที่ 2.2 ปริมาณการเหลื่อมซ้อนกันระหว่างสันสกรูในเครื่องอัดรีดแบบสกรูคู่

ข้อดีของเครื่อง Twin-screw extruder^[9] เมื่อเปรียบเทียบกับเครื่อง Single-screw extruder มีอยู่หลายประการ ตัวอย่างเช่น มีพื้นที่ที่จะเกิดการถ่ายโอนความร้อนได้มากกว่า จึงสามารถช่วยปรับปรุงการควบคุมอุณหภูมิได้ดียิ่งขึ้น จึงทำให้การควบคุมเวลาของพอลิเมอร์ที่อยู่ใน extruder ได้ดีกว่า ดังนั้นเครื่องอัดรีดแบบสกรูคู่ จึงเหมาะกับพอลิเมอร์ที่ไม่เสถียรทางความร้อน เช่น PVC หรือวัสดุอื่นที่ feed ได้ยาก เช่น ผงรวมถึง สารประกอบที่ใส่สารตัวเติมในปริมาณมาก และทำการผสม PVC

2.5.2 การอัดรีดแบบแผ่น (Sheet extrusion) ^[10]

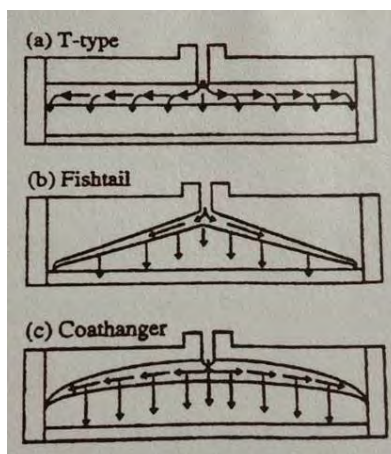
การให้ความหมายของฟิล์ม และแผ่นนั้นขึ้นโดยตรงกับความหนาของผลิตภัณฑ์ โดย Belof ให้นิยามไว้ว่า แผ่นมีสภาพไม่สามารถม้วนได้โดยไม่เกิดการบิดเป็นถาวร มีความหนามากกว่า 0.25 มม. ส่วนฟิล์มมีความหนาน้อยกว่า 0.25 มม. ตามลำดับ และ Wilkinson กำหนดให้ ฟิล์มมีความหนาไม่เกิน 0.5 มม. หากความหนาอยู่ในช่วง 0.5 - 2 มม. เรียกว่าฟอยล์ และมากกว่า 2 มม. ขึ้นไปจึงเรียกว่าแผ่น ผลิตภัณฑ์เหล่านี้อาศัยเทคนิคในการผลิตที่แตกต่างกันดังนี้

Calender line: สำหรับการผลิตฟิล์มหรือแผ่นตัวอย่างที่มีความหนาในช่วง 0.5 - 1 มม. ประกอบไปด้วยชุด calender ที่มีลูกกลิ้ง 4 ลูก เป็นตัวรีดและดึงเพื่อควบคุมขนาด จากนั้น แผ่นตัวอย่างจะถูกทำให้เย็นตัวลงและผ่านการตกแต่งสำเร็จ (Finishing)

Roll-stack extrusion line: สำหรับการผลิตฟิล์มที่มีความหนา 0.5 มม. ฟอยล์หนา 2 มม. และแผ่นหนา 2-25 มม. ประกอบด้วยชุด calender ที่มีลูกกลิ้ง 3 ลูก ทำหน้าที่ควบคุมความหนา และทำให้ film หรือ sheet เย็นตัวลงเบื้องต้น ส่วน rollers ชุดถัดมาทำหน้าที่ลำเลียงและให้เย็นตัวโดยอากาศ ในขั้นสุดท้ายฟิล์มหรือแผ่นจึงถูกตัดให้มีขนาดตามต้องการ และนำไปวางซ้อนกัน

Die

หน้าที่ของหัวดายในการผลิตฟิล์มหรือแผ่น คือการกระจายพอลิเมอร์หลอมจาก extruder ซึ่งมีหน้าตัดเป็นวงกลมให้อยู่ในลักษณะที่แผ่ออกเป็น web ที่มีความหนาและความเร็วสม่ำเสมอตามแนวขวาง ลักษณะของหัวดายโดยทั่วไปมีอยู่ 3 แบบ ได้แก่ T-die, fishtail die และ coathanger die (รูปที่ 2.3)

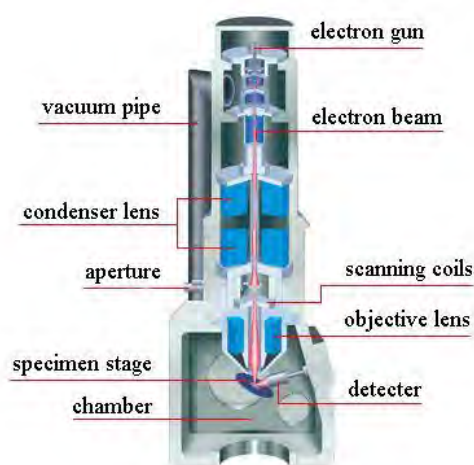


รูปที่ 2.3 ตัวอย่างหัวดาย T-die(a), fishtail die(b) และ coathanger die(c)

2.6 เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ

2.6.1 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope: SEM) ^[11]

กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดมีต้นกำเนิดเป็นอิเล็กตรอนแทนแสง (รูปที่ 2.4) โดยต้นกำเนิดอิเล็กตรอนถูกสร้างจากการจ่ายกระแสไฟฟ้าสูงแก่ขดลวดทั้งสแตติน ทำให้อิเล็กตรอนหลุดออกจากขดลวด จากนั้นอิเล็กตรอนที่หลุดออกมาจะถูกควบคุมทิศทางภายใต้สนามแม่เหล็ก ซึ่งอาศัยหลักการการเลี้ยวเบนของอิเล็กตรอนในสนามแม่เหล็กหรือที่เรียกว่าเลนส์แม่เหล็กทำให้ลำอิเล็กตรอนปฐมภูมิวิ่งเข้ามากระทบกับชิ้นงาน เกิดอันตรกิริยาของอิเล็กตรอนต่อชิ้นงานหลายแบบ เนื่องจากลำอิเล็กตรอนที่วิ่งมากระทบชิ้นงานมีพลังงานสูง ทำให้อิเล็กตรอนที่หลุดออกจากชิ้นงานมีหลายระดับพลังงาน แบ่งได้เป็น



รูปที่ 2.4 ส่วนประกอบภายในกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

อิเล็กตรอนทุติยภูมิ (Secondary electron) เป็นอิเล็กตรอนที่หลุดออกจากชั้นแถบการนำ (Conduction band) หรือแถบพลังงานเวเลนซ์ (Valance band) ซึ่งไม่ต้องใช้พลังงานสูงสามารถหลุดออกจากผิวชิ้นงานได้ง่าย บางครั้งเรียกว่าอิเล็กตรอนอิสระ ซึ่งจะมีช่วงพลังงาน 10 ถึง 50 อิเล็กตรอนโวลต์ อิเล็กตรอนชนิดนี้จะใช้ในการสร้างภาพที่บริเวณพื้นผิวของชิ้นงานสำหรับ กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)

อิเล็กตรอนแบบกระเจิงกลับ (Back scattered electron) เป็นอิเล็กตรอนที่เกิดจากการที่ ลำอิเล็กตรอนปฐมภูมิวิ่งเข้าชนกับชิ้นงาน โดยสูญเสียพลังงานให้กับอะตอมในชิ้นงานเพียงบางส่วน แล้วเกิดการกระเจิงกลับออกมาจากชิ้นงาน ซึ่งพลังงานของอิเล็กตรอนชนิดนี้จะมีค่าตั้งแต่พลังงานของอิเล็กตรอนปฐมภูมิไปจนถึงพลังงานอิเล็กตรอนทุติยภูมิ ค่าพลังงานต่าง ๆ ที่กระเจิงกลับมานั้นจะขึ้นกับเลขมวลอะตอมของธาตุที่เป็นองค์ประกอบในชิ้นงาน ดังนั้นอิเล็กตรอนชนิดนี้จึงสามารถใช้สร้างภาพที่แสดงความแตกต่างของธาตุได้ โดยแสดง

ในรูปแบบของความเข้ม และความสว่างของภาพที่เกิดขึ้นในแต่ละบริเวณ ใช้ในการวิเคราะห์การกระจายตัวของธาตุที่เป็นองค์ประกอบในชิ้นงาน

รังสีเอกซ์ (X-ray) เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่นสั้น มีความถี่สูง เกิดจากการที่ลำอิเล็กตรอนพลังงานสูงวิ่งเข้าชนชิ้นงาน ทำให้อิเล็กตรอนในระดับชั้นโคจรต่าง ๆ (K, L, M, ...) ได้รับความเร่งจนหลุดออกจากวงโคจร แล้วอิเล็กตรอนจากชั้นโคจรถัดไปเข้ามาแทนที่ ทำให้มีการปลดปล่อยรังสีเอกซ์ออกมา ซึ่งสเปกตรัมของรังสีเอกซ์ที่ปล่อยออกมานี้สามารถนำไปวิเคราะห์หาองค์ประกอบของธาตุได้ทั้งในเชิงคุณภาพและปริมาณ โดยค่าพลังงานนี้จะขึ้นกับเลขอะตอมของธาตุ ซึ่งจะใช้หัววัดรังสีเอกซ์ (EDS) ในการวิเคราะห์ข้อมูลประกอบกับ กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวด (SEM)

2.6.2 เครื่องทดสอบสมบัติทางความร้อน Differential Scanning Calorimeter (DSC) ^[12]

หลักการ

DSC เป็นเทคนิคที่ใช้วิเคราะห์ทดสอบวัสดุโดยการวัดค่าพลังงานความร้อนและอุณหภูมิของสารตัวอย่างเปรียบเทียบกับสารมาตรฐานเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพหรือการเปลี่ยนแปลงทางเคมีเช่น การหลอมเหลว การเปลี่ยนสถานะ การเปลี่ยนรูปผลึก การเกิดปฏิกิริยาเคมี เป็นต้น โดยที่พื้นที่ใต้กราฟที่เกิดขึ้นจะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับการเปลี่ยนแปลงความร้อนของตัวอย่าง

ในการวิเคราะห์ตัวอย่าง ตัวอย่างจะถูกวางบนจานอะลูมิเนียมที่อยู่ภายในเตาที่ควบคุมอุณหภูมิได้ โดยภายในเตาจะมีสารอ้างอิงซึ่งเป็นจานอะลูมิเนียมเปล่า เพื่อใช้เป็นตัวเปรียบเทียบกับตัวอย่างภายใต้สภาวะเดียวกัน

ความสามารถในการให้บริการวิเคราะห์ทดสอบ

- วิเคราะห์จุดหลอมเหลว (Melting points)
- วิเคราะห์ความร้อนจำเพาะ (Specific heat)
- วิเคราะห์ค่าพลศาสตร์ (Kinetics)
- วิเคราะห์ความบริสุทธิ์ของวัสดุ (Purity of materials)
- วิเคราะห์ความเสถียรต่ออุณหภูมิ (Thermal stability)
- วิเคราะห์การเปลี่ยนสถานะ (Phase transition)
- วิเคราะห์สภาพเป็นผลึก (Crystallinity)
- วิเคราะห์สารที่มีหลายโครงสร้าง (Polymorphism)
- การดูด หรือคายพลังงาน (Desorption/Adsorption)
- การระเหย (Vaporization)

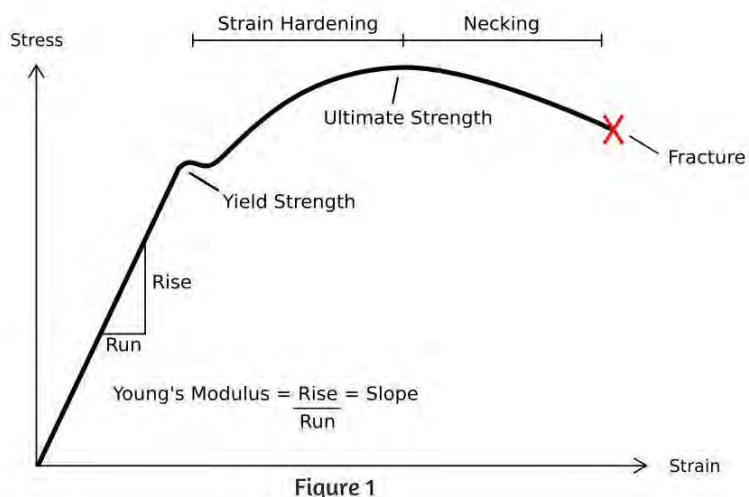
2.6.3 เครื่องทดสอบอเนกประสงค์ (Universal Testing Machine) ^[13]

หลักการทำงาน

ให้แรงดึงกับชิ้นทดสอบด้วยอัตราเร็วในการดึงคงที่และบันทึกค่าค่าแรงดึง (Tension force) ที่เปลี่ยนแปลงไปตามระยะการยืดตัว (Deformation) ของวัสดุ โดยขณะชิ้นทดสอบยืดออกจะมีแรงต้าน ซึ่งแรงต้านของชิ้นงานทดสอบนี้ มีผลทำให้ตัววัดแรงสามารถวัดแรงออกมาได้ แรงที่วัดออกมา มีหน่วยเป็นกิโลกรัม (kg) หรือนิวตัน (N) การทดสอบจะต้องดึงชิ้นทดสอบจนกระทั่งชิ้นทดสอบขาดออกจากกัน ซึ่งแรงต้านสูงสุดของชิ้นทดสอบเป็นผลที่ได้จากการวัดแรง ดังนั้นชิ้นงานทดสอบสามารถทนแรงดึงสูงสุดเท่ากับแรงต้านของชิ้นงานที่ทนได้ก่อนขาดจากกัน

ลักษณะของผลที่ได้

กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น (Stress) กับความเครียด (Strain)



รูปที่ 2.5 ตัวอย่างผลการทดสอบการทนแรงดึงด้วยเครื่อง Universal Testing Machine

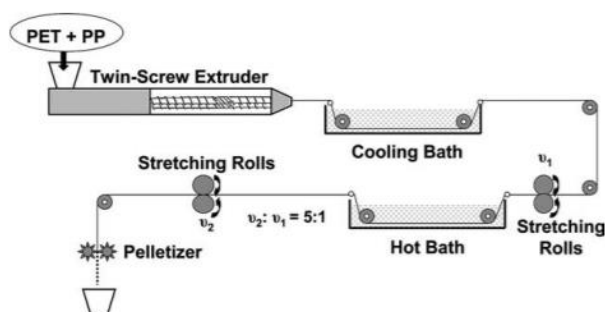
การประยุกต์ใช้งาน

จากผลการวิเคราะห์สามารถนำมาทำการวิเคราะห์ ค่าโมดูลัส (Modulus) คือ ค่าความเค้นที่ทำให้วัสดุยืดตัวตามที่กำหนด, ความทนต่อแรงดึง (Tensile Strength) คือ ความเค้นดึงสูงสุดต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ของชิ้นงานที่ได้รับจนเกิดการขาด มีหน่วยเป็น MPa หรือ N/mm² และการยืดตัว ณ จุดขาด (Elongation at Break) คือ ร้อยละการยืดตัวของชิ้นทดสอบที่จุดขาดเมื่อเปรียบเทียบกับความยาวเริ่มต้น

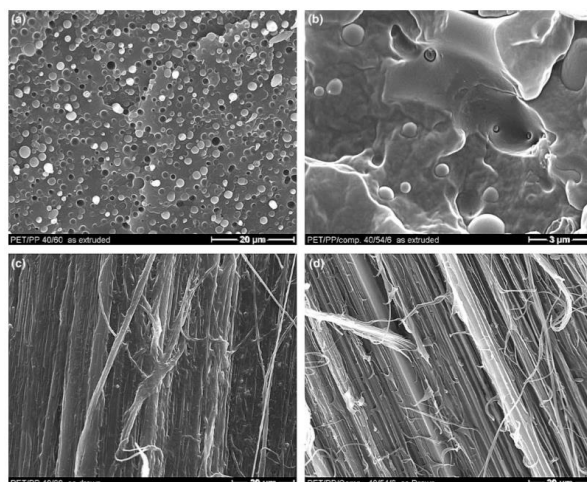
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เนื่องด้วยคณะผู้วิจัยสนใจการใช้ประโยชน์ขบวนการ PET เพื่อปรับปรุงสมบัติให้แก่พลาสติกเชิงพาณิชย์ จึงศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวกับการพัฒนาพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PET และพอลิโอเลฟินส์ โดยพบว่าหากสามารถควบคุมภาวะการขึ้นรูปได้เหมาะสม จะสามารถเตรียม PET ให้อยู่ในรูปเส้นใย ซึ่งจะส่งผลดีต่อสมบัติทางกายภาพแก่พอลิเมอร์ผสมได้

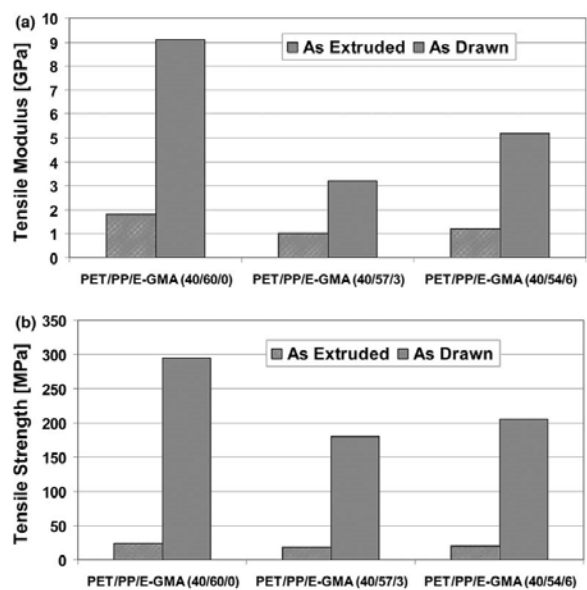
Friedrich และคณะ^[2] ศึกษาการใช้ขบวนการ PET รีไซเคิล (RPET) เพื่อเสริมแรงให้แก่ PP (MFI 5 g /10 min) โดยมุ่งเน้นการขึ้นรูปให้ PET มีลักษณะสัณฐานวิทยาเป็นเส้นใยกระจายตัวใน PP โดยคงปริมาณ PET ไว้ที่ปริมาณร้อยละ 40 และปรับเปลี่ยนสัดส่วนของ PP และ E-GMA ซึ่งเป็นสารช่วยผสม คือ 60/0, 59/1, 54/6 และ 51/9 โดยน้ำหนัก เม็ดของพอลิเมอร์ผสมสูตรต่าง ๆ เตรียมด้วยเครื่อง Twin-screw extruder (รูปที่ 2.6) โดยใช้อุณหภูมิจากช่วง feed zone ถึงบริเวณหัวตายคือ 260, 270, 260 และ 245 องศาเซลเซียส จากนั้นเข้าสู่ขั้นตอน cold drawing โดยดึงยึดเส้นพลาสติกที่ผ่านตายระหว่างอุณหภูมิ 75-80 องศาเซลเซียส ก่อนตัดเป็นเม็ด แล้วจึงนำเข้าสู่กระบวนการขึ้นรูปต่อไป จากการวิเคราะห์ลักษณะสัณฐานวิทยาด้วยเครื่อง SEM (รูปที่ 2.7) แสดงให้เห็นการแยกเฟสได้ชัดเจน โดยเมื่อไม่มีการทำ cold drawing ในขั้นตอนเตรียมเม็ด (รูปที่ 2.7a-b) พบ PET มีลักษณะเป็นอนุภาคทรงกลมกระจายอยู่ในเมทริกซ์ของ PP แต่เมื่อมีการทำ cold drawing ในขั้นตอนเตรียมเม็ด (รูปที่ 2.7c-d) พบว่า PET มีลักษณะเป็นเส้นใย จากขั้นตอนการ cold drawing ที่ทำให้ PET มีลักษณะเป็นเส้นใย ส่งผลให้มีค่า tensile modulus และ tensile strength ลดลง (รูปที่ 2.8) และอุณหภูมิในขั้นตอนการแปรรูปมีผลต่อลักษณะสัณฐานวิทยาของ PET เมื่อทดลองขึ้นรูปด้วยกระบวนการฉีดแบบที่อุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิการหลอมผลึกของ PET วัฏภาคของ PET จะมีลักษณะเป็นอนุภาคกลม (รูปที่ 2.9a) แต่เมื่อขึ้นรูปที่อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิการหลอมผลึกของ PET วัฏภาคของ PET จะมีลักษณะเป็นเส้นใยเล็ก ๆ ที่เรียกว่า microfibril (รูปที่ 2.9b)



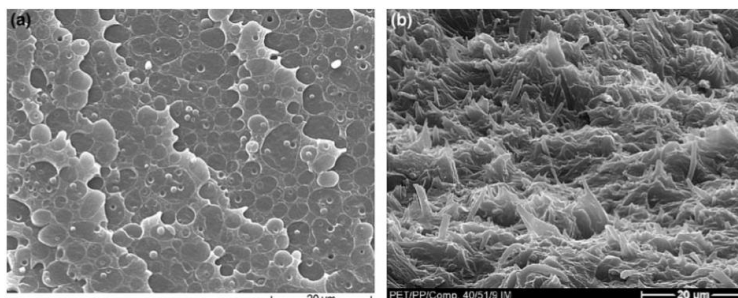
รูปที่ 2.6 การเตรียมเม็ดพอลิเมอร์ผสมด้วยเครื่อง Twin-screw extruder



รูปที่ 2.7 ภาพ SEM ของพอลิเมอร์ผสม PET/PP (a, c) และ PET/PP/E-GMA (40/54/6) (b, d) เมื่อเตรียมโดยไม่ผ่าน cold drawing (a, b) และหลังผ่าน cold drawing (c, d)



รูปที่ 2.8 ค่า tensile modulus (a) และ tensile strength (b) ของ PET/PP/E-GMA หลังผ่านการดึงยืดตามสัดส่วนต่าง ๆ

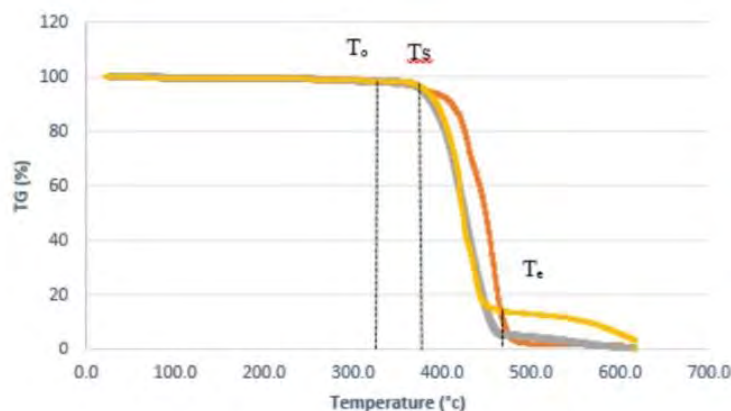


รูปที่ 2.9 ภาพ SEM ของผิวหน้า PET/PP ที่เตรียมโดยผ่าน cold drawing แล้วขึ้นรูปด้วยกระบวนการฉีดที่อุณหภูมิสูงกว่า (a) และอุณหภูมิต่ำกว่า (b) อุณหภูมิหลอมผลึกของเส้นใย PET

จากงานวิจัยที่ผ่านมาของ Ruqiyah และคณะ^[3] ได้ศึกษาเกี่ยวกับสมบัติทางความร้อนของแผ่นพลาสติกที่เตรียมจากพอลิเมอร์ผสมระหว่างรีไซเคิลพอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต (RPET) และพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE) ที่อัตราส่วน HDPE/RPET เป็น 100/0, 70/30 และ 50/50 โดยน้ำหนัก ผลการศึกษาด้วยเทคนิค Differential Scanning Calorimeter (DSC) พบว่าอุณหภูมิการหลอมเหลวของ pure HDPE จะอยู่ที่ 129 °c แต่เมื่อมีการเติม RPET เข้าไปจะมีแนวโน้มอุณหภูมิการหลอมเหลวของพอลิเมอร์ผสมที่สูงขึ้นดังตารางที่ 2.1 และเมื่อพิจารณาผลการศึกษาด้วยเทคนิค Thermogravimetric analysis (TGA) (รูปที่ 2.10) พบว่าพอลิเมอร์ผสม HDPE/RPET จะมีเปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่หายไปน้อยกว่า pure HDPE และมีการเกิดเถ้าชาร์ที่มากขึ้น

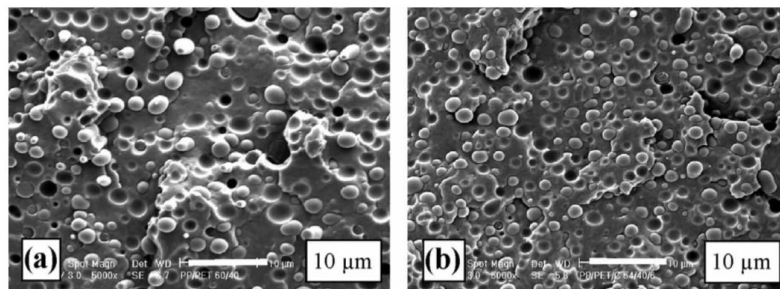
ตารางที่ 2.1 การวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนของ PE ด้วยเทคนิค DSC

Polymer	Melting point (T _m)
Polyethylene (PE)	129 ^o c
(PE)+ 30%RPET	132 ^o c
(PE)+ 50% RPET	133 ^o c

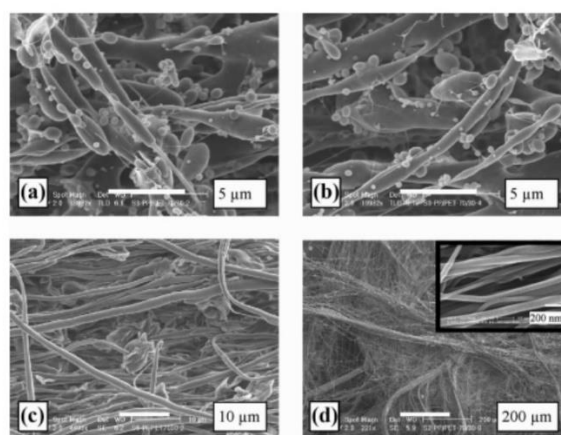


รูปที่ 2.10 กราฟที่ได้จากการวิเคราะห์ TGA

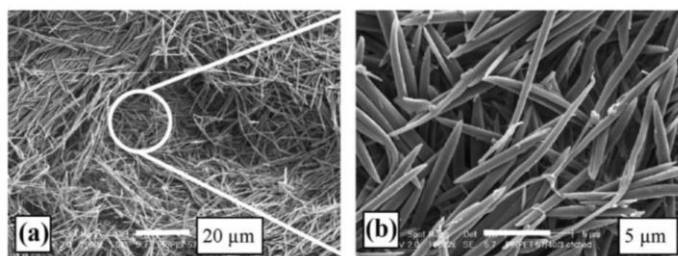
Fakirov และคณะ ^[14] มุ่งเน้นศึกษากลไกการเกิดสัณฐานวิทยาของเส้นใยระดับจุลภาคเสริมแรงในพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PP กับ recycled PET (RPET) โดยนำชิ้นงานที่ก่อนและหลังขั้นตอนการทำ cold drawing มาตรวจสอบด้วยเทคนิค SEM รูปที่ 2.11 แสดงให้เห็นรูปร่างกลมแบนของ PET ที่กระจายตัวอยู่ในเมทริกซ์ของ PP เมื่อวิเคราะห์ก่อนทำ cold drawing ทั้งนี้การใส่สารช่วยผสม E-GMA มีอิทธิพลต่อขนาดของ PET ที่กระจายอยู่ในเมทริกซ์ ซึ่งจะได้อนุภาคเล็กกว่ากรณีไม่ใส่ รูปที่ 2.12 แสดงสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสม PP/PET (70/30 wt.%) หลังผ่านการทำ cold drawing ที่สัดส่วนการดึงยืด (draw ratio) ต่างกัน เมื่อเริ่มดึงยืด (รูปที่ 2.12a) พบอนุภาค PET มีรูปร่างเป็นวงรี ซึ่งในบางบริเวณเห็นการเชื่อมระหว่างกัน (interconnect) ซึ่งเป็นผลจากการรวมตัวกัน (coalescence) และเมื่อเพิ่มค่า draw ratio ที่สูงขึ้นพบว่าจำนวนของอนุภาคที่เชื่อมต่อระหว่างกันมีมาก (รูปที่ 2.12b) เมื่อยังเพิ่มระดับการดึงยืดจะเริ่มเห็นเป็นลักษณะไมโครไฟบริลที่มีขนาดไม่สม่ำเสมอ เป็นคลื่นที่ผิวหน้าของเส้นใย (รูปที่ 2.12c) และที่ระดับการดึงยืดสูงสุด ไมโครไฟบริลที่เตรียมได้จะมีขนาดสม่ำเสมอและมีความยาวมากกว่า 1000 μm (รูปที่ 2.12d) จากการวิเคราะห์ SEM ในสูตรที่มีการเติม E-GMA (รูปที่ 2.13-2.14) พบว่า PET microfibrils จะมีขนาดสั้นกว่าสูตรที่ไม่มีการเติม E-GMA ซึ่งเชื่อว่า E-GMA ที่ห้อมล้อม PET ไว้ จะขัดขวางการรวมตัวของอนุภาค



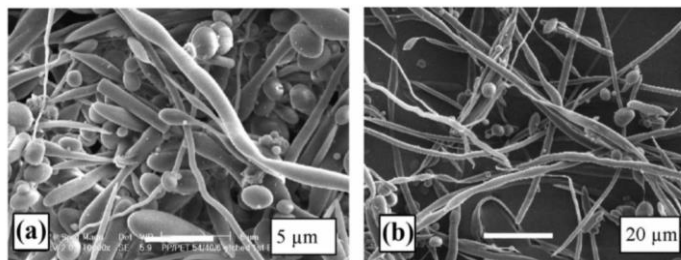
รูปที่ 2.11 ภาพ-SEM ของพอลิเมอร์ผสมที่ไม่ผ่านการทำ cold drawing PP/PET ที่สัดส่วน 60/40 wt% โดย (a) ไม่มีการใส่สารช่วยผสม (b) มีการใส่สารช่วยผสม 6 wt%



รูปที่ 2.12 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ของพอลิเมอร์ผสม PP/PET (70/30 wt.%) เมื่อทำการกำจัด (etch) PP ออกด้วยตัวทำละลาย โดย (a) - (d) ใช้ตัวอย่างที่ผ่านการทำ cold drawing ที่ระดับการดึงต่ำถึงสูงสุด

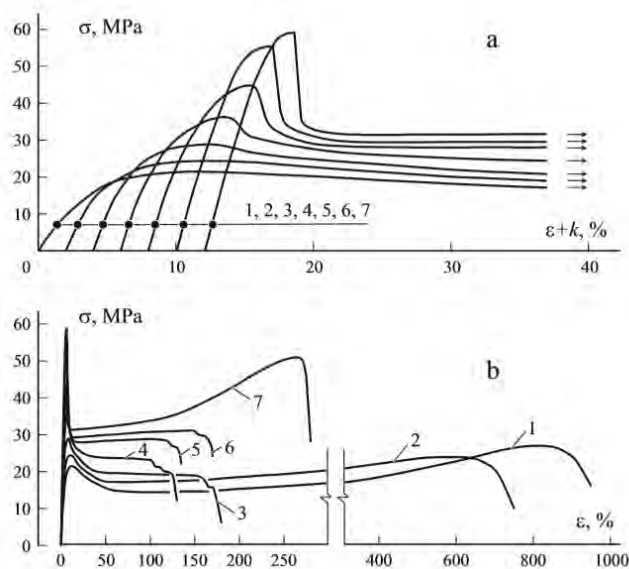


รูปที่ 2.13 ภาพ SEM ที่ถ่ายด้วยกำลังขยายต่ำ (a) และสูง (b) ของพอลิเมอร์ผสม PP/PET/E-GMA (57/40/3 wt.%) ซึ่งผ่านการทำ cold drawing



รูปที่ 2.14 ภาพ SEM ของพอลิเมอร์ผสม PP/PET/E-GMA (54/40/6 wt.%) ก่อน (a) และหลังการทำ cold drawing (b)

Maksimov และคณะ^[15] ศึกษาสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง HDPE และ PET ที่สัดส่วนโดยน้ำหนักของ PE/PET คือ 100/0 90/10 70/30 50/50 30/70 10/90 และ 0/100 โดยใช้เครื่อง Twin-screw extruder ในการผสม จากนั้นจึงนำเม็ดพอลิเมอร์ผสมที่ได้มาผ่านกระบวนการอัดขึ้นรูปเป็นคัมเบลที่อุณหภูมิ 270 องศาเซลเซียสเพื่อใช้ในการวิเคราะห์หสมบัติการทนแรงดึง รูปที่ 2.15 และตารางที่ 2.2 แสดงให้เห็นว่ากราฟ stress-strain ของพอลิเมอร์ผสมมีลักษณะที่แตกต่างกันไป ทั้งนี้พฤติกรรม stress hardening จะพบเฉพาะเมื่อผสม PET เพียงร้อยละ 10 ในกรณีที่ใช้ PET \leq ร้อยละ 50 ปริมาณ PET ที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่า tensile strength และ elongation at break ของชิ้นงานมีค่าต่ำกว่าของสูตร PE 100%



รูปที่ 2.15 กราฟ Stress-strain ของความสามารถทนแรงดึงของพอลิเมอร์ผสม PE/PET ที่สัดส่วนต่างกัน โดยน้ำหนัก 100/0 (1) , 90/10 (2) , 70/30 (3) , 50/50 (4) , 30/70 (5) , 10/90 (6) และ 0/100 (7) โดย a คือกราฟในช่วงแรก b คือ ultimate elongation

ตารางที่ 2.2 อัตราส่วนของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PE/PET

PE/PET ratio		σ_y , MPa	ϵ_y , %	σ_b , MPa	ϵ_b , %
By mass	By volume				
100/0	100/0	21.5	11.4	27.0	940
90/10	93/7	24.6	10.8	24.4	760
70/30	77/23	29.0	8.8	19.1	180
50/50	59/41	36.4	7.6	23.4	130
30/70	38/62	45.0	7.0	28.9	130
10/90	14/86	55.3	6.8	31.1	170
0/100	0/100	59.0	6.7	51.0	280

Jayanarayanan และคณะ^[16] ได้ศึกษาสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง LDPE กับ PET ที่ถูกเตรียมจาก LDPE/PET ในอัตราส่วนโดยน้ำหนักคือ 85/15 และ 75/25 (เรียกว่าสูตร 85M และ 75M) และสูตรที่มีการใช้ PE-g-MAH ร้อยละ 5 เป็นสารช่วยผสม จะใช้ LDPE/PET เป็น 80/15 และ 70/25 (เรียกว่าสูตร 85CM และ 75CM) ในการศึกษาที่มีการเตรียมพอลิเมอร์ผสมสูตรดังกล่าวแตกต่างกัน คือเตรียมเป็น normal blend ด้วยเครื่อง single screw แล้วนำไปฉีดขึ้นรูปที่อุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิหลอมผลึกของ PET (เรียกชื่อสูตรโดยเติม N นำหน้า) และเตรียมเป็น Microfibril reinforced composites (MFC) โดยหลังจากผ่าน single screw จะมีการทำ cold drawing แล้วนำเม็ดที่เตรียมได้ไปฉีดขึ้นรูปที่อุณหภูมิไม่เกิน 200 องศาเซลเซียส (เรียกชื่อสูตรโดยเติม M นำหน้า) จากตาราง 2.3 เห็นได้ว่าผลของการผสมปกติสารช่วยผสมมีผลต่อความสามารถทนแรงดึง เนื่องจากเป็นตัวช่วยเชื่อมช่องว่างระหว่างเฟสจึงส่งผลต่อความแข็งแรง ในทางตรงกันข้ามเมื่อเตรียมเป็น MFC พบว่าผลของสารช่วยผสมส่งผลต่อความแข็งแรงที่น้อยลง เนื่องด้วยเกิดการผสมดีขึ้นจึงไปจำกัดการเกิดเส้นใยได้ไม่ต่อเนื่อง เกิดเป็นเส้นใยสั้น ความสามารถทนแรงดึงจึงลดลง อีกทั้งการเตรียมแบบ MFC สามารถรับแรงกระแทกสูงกว่าการผสมปกติเป็นเพราะการถ่ายโอนความเครียดที่ดีขึ้นจากเมทริกซ์พอลิเมอร์ (LDPE) ไปยังเส้นใย PET ระหว่างการรับแรงกระแทกด้วย

ตารางที่ 2.3 ค่าการทนแรงดึงของ LDPE และ LDPE ที่ผสม PET

Sample	Tensile strength (MPa)	Tensile modulus (MPa)	Elongation at break (%)	Impact strength (J/m)
LDPE	7.9	34.2	111.0	NB
N85M	7.3	62.8	58.1	98
N85CM	7.8	76.4	110.9	NB
M85M	11.0	84.3	41.0	93.2
M85CM	10.2	79.7	38.8	75.9
N75M	8.1	86.0	60.2	59.2
N75CM	8.7	89.2	66.9	68.9
M75M	11.4	106.9	40.6	71.5
M75CM	12.1	112.8	30.2	76.2

บทที่ 3

การดำเนินงานวิจัย

3.1 วัสดุและสารเคมีที่ใช้ในการวิจัย

1. ขวดน้ำพลาสติกชนิด PET ยี่ห้อ เนสท์เล่เพียวไลฟ์ บริษัท เนสท์เล่ จำกัด (ไทย)
2. เม็ดพลาสติกชนิด HDPE สำหรับการขึ้นรูปมีรายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 เม็ดพลาสติกสำหรับการขึ้นรูปแผ่นพลาสติก

ชนิด	เกรด	Melt Flow Rate* (g/10min)	Density** (g/cm ³)
พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (High Density Polyethylene : HDPE)	H6140B	0.3	0.960
	H6670B	0.7	0.965
	H377C	7.5	0.961

หมายเหตุ :

* ทดสอบด้วยมาตรฐาน ASTM D1238

** ทดสอบด้วยมาตรฐาน ASTM D1505

3.2 วัสดุ อุปกรณ์ และเครื่องมือสำหรับการวิจัย

1. เครื่องอัดรีดแบบแผ่น (Sheet extrusion) รุ่น LS25-30/C บริษัท Labtech Engineering Co., Ltd.
2. เครื่องอัดรีดแบบสกรูคู่ (Twin screw extruder) รุ่น LTE-26-44 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 26 mm และค่า L/D เท่ากับ 44 และขนาดของหัวตาย 2.7 mm ของบริษัท Labtech Engineering Co., Ltd.
3. เครื่องตัดเม็ด รุ่น LZ-120/VS บริษัท Labtech Engineering Co., Ltd.
4. เครื่องชั่งน้ำหนัก
5. ถังใส่เม็ดพลาสติก
6. เวอร์เนีย
7. ไมโครมิเตอร์ ยี่ห้อ MITUTOYO รุ่น 7301
8. กรรไกร

3.3 เครื่องมือในการวิเคราะห์และทดสอบ

1. เครื่องทดสอบอเนกประสงค์ (Universal Testing Machine) รุ่น 5ST บริษัท Tinius Olsen LTD., UK
2. เครื่องทดสอบสมบัติทางความร้อน Differential Scanning Calorimeter (DSC)
3. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope: SEM)

3.4 วิธีดำเนินงานวิจัย

3.4.1 การเตรียมเม็ดพลาสติกที่มีอัตราส่วนของ RPET และ HDPE เป็น 0:100 10:90 และ 20:80 โดยน้ำหนัก

1. เตรียม RPET (recycled PET) จากขวดน้ำดื่มที่สะอาด โดยตัดขวดให้มีขนาด 1 ตารางเซนติเมตรที่สามารถเข้าสู่ขั้นตอนการผสมได้ แล้วจึงนำไปอบเพื่อไล่ความชื้นก่อนที่อุณหภูมิ 60 - 80 องศาเซลเซียส
2. อบเม็ดพลาสติก HDPE ที่ 60 - 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมงเพื่อไล่ความชื้นก่อนนำไปผสม
3. ชั่งน้ำหนักของ RPET ต่อ HDPE ตามสัดส่วนที่กำหนด คือ 10:90 และ 20:80 โดยน้ำหนัก นำไปเขย่าผสมในถุงพลาสติกก่อนใส่ลงใน hopper ของเครื่อง twin screw extruder (รูปที่ 3.1)

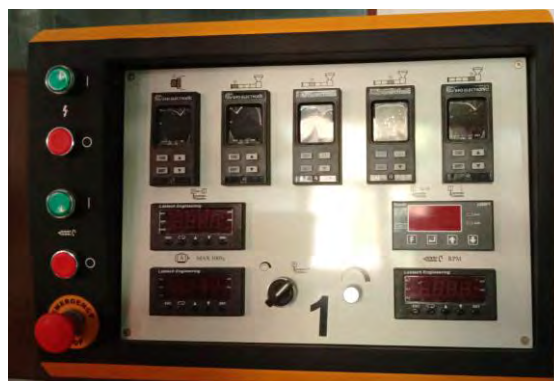


รูปที่ 3.1 เครื่อง Twin screw extruder

4. ทดลองปรับอุณหภูมิในโซนต่าง ๆ ของเครื่อง Twin Screw Extruder เพื่อให้สามารถใช้รอบการหมุนสกรู 25 rpm จากนั้นปรับความเร็วรอบของการตัดเม็ด และความยาวของเม็ดพลาสติก เพื่อให้สามารถเตรียมเม็ดพลาสติกของ RPET/HDPE ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางต่างกัน 2 ขนาด ได้แก่ 1 มิลลิเมตรและ 2 มิลลิเมตร ทั้งนี้จะทดลองลากเส้นพลาสติกที่ถูกอัดรีดออกจากตายผ่านลงไปในอ่างน้ำเป็นระยะเวลาหนึ่งแล้วค่อยลากขึ้นพ่นน้ำนำเข้าเครื่องตัดเม็ด เพื่อทำการ drawing พอลิเมอร์ผสมที่เตรียมได้

5. ทำการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์จาก HDPE และพอลิเมอร์ผสมที่เตรียมไว้ผ่านกระบวนการ sheet extrusion โดยควบคุมอุณหภูมิ 3 บริเวณ คือ

5.1 ช่วง feed ถึงหัวตาย ของเครื่อง extruder ทดลองปรับอุณหภูมิระหว่าง 180 - 230 องศาเซลเซียส (รูปที่ 3.2)



รูปที่ 3.2 แผงควบคุมอุณหภูมิเครื่อง profile extruder จากช่วง feed ถึงหัวตาย

5.2 บริเวณท่อนำพลาสติกหลอมและ feed box ที่อุณหภูมิ 230 - 240 องศาเซลเซียส (รูปที่ 3.3)



รูปที่ 3.3 แผงควบคุมอุณหภูมิเครื่อง sheet extruder บริเวณหัวตาย

5.3 บริเวณหัวตายก่อนแผ่นพลาสติกจะถูกส่งออกหน้าหัวตาย ที่อุณหภูมิ 230 – 240 องศาเซลเซียส ตามลำดับ (รูปที่ 3.4 ฝั่งขวา)



รูปที่ 3.4 แผงควบคุมอุณหภูมิ(ฝั่งขวา) และความเร็วในการม้วนเก็บแผ่นพลาสติกของเครื่อง sheet extruder (ฝั่งซ้าย)

6. ปรับความเร็วในการม้วนเก็บแผ่นพลาสติก (รูปที่ 3.4 ฝั่งซ้าย) และความเร็วรอบสกรู จนได้แผ่นพลาสติกที่มีความหนา 100, 200 และ 300 ไมโครเมตร ตามลำดับ

3.4.2 การวิเคราะห์และทดสอบสมบัติ

1. ตรวจสอบสัณฐานวิทยาโดยใช้เครื่อง SEM

ทดสอบเม็ด HDPE และเม็ดพลาสติกผสมที่เตรียมได้จากเครื่องอัดรีดแบบสกรูคู่

- นำเส้นพลาสติกที่ได้มาจุ่มลงในไนโตรเจนเหลว แล้วหักเส้นพลาสติกเป็นท่อนที่เล็กลง
- นำท่อนพลาสติกที่ได้ไปวางบนแท่นตัวอย่างโดยหยาบบริเวณรอยหักของท่อนพลาสติกขึ้นเพื่อวิเคราะห์พื้นผิวบริเวณภาคตัดขวางของท่อนพลาสติก
- เคลือบตัวอย่างที่ติดบนแท่นตัวอย่างด้วยทอง แล้วนำไปวิเคราะห์ด้วย SEM ด้วยศักย์ไฟฟ้า 15 kV

ทดสอบแผ่น HDPE และแผ่นพลาสติกผสมที่เตรียมได้จากกระบวนการอัดรีดแผ่น

- ตัดแผ่นพลาสติกให้มีขนาดเหมาะสม นำชิ้นพลาสติกดังกล่าวมาจุ่มลงในไนโตรเจนเหลว แล้วหักครึ่งแล้วจึงนำไปวางบนแท่นตัวอย่างโดยหยาบบริเวณรอยหักของแผ่นพลาสติกขึ้น เพื่อวิเคราะห์พื้นผิวบริเวณภาคตัดขวางของแผ่นพลาสติก
- เคลือบตัวอย่างที่ติดบนแท่นตัวอย่างด้วยทอง แล้วนำไปวิเคราะห์ด้วย SEM ด้วยศักย์ไฟฟ้า 15 kV
- นำรูปภาพตัดขวางของเม็ดพลาสติกผสมที่ถ่ายด้วยกำลังขยาย 1000 เท่ามาพิมพ์ลงบนกระดาษ ใช้ไม้บรรทัดวัดขนาดอนุภาค RPET เป็นหน่วยมิลลิเมตรก่อนนำไปเทียบบัญญัติไตรยางค์เป็นหน่วยไมโครเมตร จากนั้นนำค่าที่ได้ไปหาค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

2. วิเคราะห์อุณหภูมิทรานซิชันด้วยเทคนิค DSC

- ทดสอบเม็ด RPET/HDPE และแผ่นพลาสติก RPET/HDPE ด้วยเครื่อง Differential Scanning Calorimeter (รูปที่ 3.5)

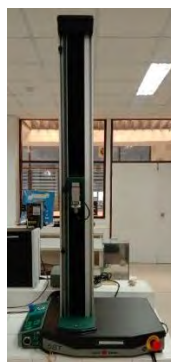


รูปที่ 3.5 เครื่อง Differential Scanning Calorimeter (DSC)

- บรรจุตัวอย่างที่ต้องการวิเคราะห์น้ำหนัก 5 มิลลิกรัม (โดยประมาณ) ลงใน DSC pan ขนาด 50 ไมโครลิตร
- วิเคราะห์ด้วยการเพิ่มอุณหภูมิระหว่าง 0 - 285 องศาเซลเซียส จากนั้นลดอุณหภูมิไปที่ 0 องศาเซลเซียส แล้วจึงเพิ่มอุณหภูมิไปที่ 285 องศาเซลเซียส อีกครั้ง ทั้งนี้อัตราการเพิ่มและลดอุณหภูมิคือ 20 องศาเซลเซียสต่อนาที ภายใต้บรรยากาศไนโตรเจน
- เพื่อรายงานค่า T_g , T_m และปริมาณผลึกของพลาสติกผสมข้างต้น

3. วิเคราะห์สมบัติการทนแรงดึง (Tensile strength)

- ทดสอบด้วยเครื่องทดสอบอเนกประสงค์ (Universal Testing Machine) (รูปที่ 3.6)



รูปที่ 3.6 เครื่องทดสอบอเนกประสงค์ (Universal Testing Machine)

- ทดสอบด้วยมาตรฐาน ASTM D882 – 02 (Standard Test Method for Tensile Properties of Thin Plastic Sheeting)
- ทดสอบแผ่นพลาสติก RPET/HDPE โดยตัดให้มีขนาดและจำนวน ดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 ขนาดและจำนวนของแผ่นพลาสติกที่ใช้ทดสอบสมบัติการทนแรงดึง

อัตราส่วน* RPET/HDPE	ความหนา (ไมโครเมตร)	ความกว้าง (mm)	ความยาว (mm)	จำนวนชิ้นทดสอบ		
				MD	TD	รวม
0/100	100	30	90	5	5	10
	200	30	90	5	5	10
	300	30	90	5	5	10
10/90	100	30	90	5	5	10
	200	30	90	5	5	10
	300	30	90	5	5	10
20/80	100	30	90	5	5	10
	200	30	90	5	5	10
	300	30	90	5	5	10

หมายเหตุ : * เป็นอัตราส่วนโดยน้ำหนัก

- ใช้ Crosshead speed ที่ความเร็ว 500 มิลลิเมตรต่อนาทีและ Initial grip separation 50 มิลลิเมตร ดังที่แสดงในตาราง 3.3

ตารางที่ 3.3 Crosshead Speeds และ Initial Grip Separation

Percent Elongation at Break	Initial Strain Rate, mm/mm·min (in./in.·min)	Initial Grip Separation		Rate of Grip Separation	
		mm	in.	mm/min	in./min
Modulus of Elasticity Determination					
	0.1	250	10	25	1.0
Determinations other than Elastic Modulus					
Less than 20	0.1	125	5	12.5	0.5
20 to 100	0.5	100	4	50	2.0
Greater than 100	10.0	50	2	500	20.0

- สิ่งที่ต้องรายงาน ได้แก่

1. ค่าเฉลี่ยของ Tensile strength at break และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
2. ค่าเฉลี่ยของ Percent elongation at break และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
3. ค่าเฉลี่ยของ Yield strength และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
4. ค่าเฉลี่ยของ Modulus of elasticity และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์การทดลอง

จากสถานการณ์โรคระบาด COVID-19 ทำให้เราไม่สามารถดำเนินการวิจัยได้ครบถ้วน ในการวิจัยนี้ได้ทำถึงขั้นตอนการผสมแล้วขึ้นรูปออกมาเป็นเส้นพลาสติกแล้วนำเส้นพลาสติกมาตัดเป็นเม็ดพลาสติกที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 ขนาด คือ 1 และ 2 mm จากนั้นนำไปศึกษาสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope: SEM) และศึกษาสมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิค Differential Scanning Calorimetry (DSC) แต่งานวิจัยนี้ไม่สามารถทำถึงขั้นตอนการนำเม็ดพลาสติกผสมไปขึ้นรูปเป็นแผ่นพลาสติกและนำไปทดสอบสมบัติเชิงกล สมบัติทางความร้อน และสัณฐานวิทยาได้

4.1 การศึกษาผลของอัตราส่วนของ RPET/HDPE ที่ HDPE เกรดต่างกัน ต่อภาวะที่เหมาะสมของการเตรียมเม็ดพลาสติกด้วยเครื่องผสมแบบสกรูคู่

การทดลองนี้ศึกษาความเป็นไปได้ที่จะใช้ประโยชน์ RPET เพื่อพัฒนาแผ่นพลาสติก โดยในส่วนแรกเป็นการศึกษาผลของ RPET และ HDPE ในอัตราส่วน 0/100, 10/90 และ 20/80 โดยน้ำหนัก และเกรดของ HDPE ต่อความสามารถในการเตรียมเม็ดพอลิเมอร์ผสม RPET/HDPE ด้วยเครื่องอัดรีดแบบสกรูคู่

ในการผสม RPET และ HDPE นั้น จะควบคุมความเร็วรอบสกรูไว้ที่ 25 rpm แล้วจึงพิจารณาปรับอุณหภูมิที่โซนต่าง ๆ ของเครื่องผสม รวมถึงความเร็วรอบของการตัดเม็ด และขนาดของเม็ดพลาสติก เพื่อให้ได้เม็ดพลาสติกที่มีขนาดสม่ำเสมอ ตารางที่ 4.1 แสดงลักษณะทางกายภาพของเม็ดพลาสติกที่เตรียมได้ โดยเม็ดพลาสติกที่ได้จากการผสม RPET/HDPE ในอัตราส่วน 0/100 มีลักษณะผิวเรียบ สีขุ่น ส่วนในกรณีที่ใช้ RPET/HDPE ในอัตราส่วน 10/90 และ 20/80 เม็ดพลาสติกมีลักษณะผิวเรียบ สีขุ่นคล้ายน้ำมัน เป็นผลมาจากการที่โมเลกุลของ RPET กระจายตัวอยู่ใน HDPE ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีหักเหแสง (refractive index) ของเม็ดพลาสติก เมื่อแสงส่องผ่านจึงเห็นเม็ดพลาสติกมีสีที่เปลี่ยนไป

ตารางที่ 4.2 – 4.4 แสดงค่าอุณหภูมิในโซนต่าง ๆ ของเครื่อง Twin Screw Extruder ที่เหมาะกับการเตรียมเม็ดพลาสติกจาก HDPE เกรด H6140B, H6670B และ H377C ที่มีค่า MFI เท่ากับ 0.3, 0.7 และ 7.5 ตามลำดับ พบว่าสำหรับ HDPE เกรด H6140B และเกรด H6670B มีค่า MFI ต่ำหรือความหนืดสูง ยังต้องใช้อุณหภูมิในขั้นตอนการผสมที่สูงกว่า HDPE เกรด H377C ที่มีความหนืดต่ำกว่า และการใส่ RPET จะส่งผลให้ต้องใช้อุณหภูมิในการผสมที่มากยิ่งขึ้น นอกจากนี้ปริมาณ RPET ในอัตราส่วนต่าง ๆ ยังส่งผลต่ออุณหภูมิที่ใช้ในการผสม การใส่ RPET ในอัตราส่วนที่มากขึ้นจะส่งผลให้อุณหภูมิที่ใช้ผสมสูงขึ้น สังเกตได้จากตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.5 – 4.7 แสดงค่าความเร็วรอบของการตัดเม็ดที่ใช้กับ HDPE เกรด H6140B, H6670B และ H377C ที่มีค่า MFI เท่ากับ 0.3, 0.7 และ 7.5 ตามลำดับ พบว่า เม็ดพลาสติกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 mm ใช้ความเร็วรอบของการตัดเม็ดใกล้เคียงกัน แต่เมื่อเทียบกับเม็ดพลาสติกที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 mm จะสังเกตได้ว่าใช้ความเร็วรอบของการตัดเม็ดที่สูงกว่า โดยเฉพาะเม็ดพลาสติกที่ใช้ HDPE ความหนืดสูงจะต้องใช้ความเร็วในการตัดเม็ดมากเพื่อให้ได้เม็ดพลาสติกที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 mm

จากผลการทดลองพบว่าการปรับใช้อุณหภูมิตามตารางที่ 4.2, 4.3 และ 4.4 ให้ผลที่เหมาะสม โดยใช้ความเร็วสกรูที่ 25 rpm ความยาวของเม็ดพลาสติก 2.5 mm และปรับความเร็วรอบของการตัดเม็ดตามตารางที่ 4.5, 4.6 และ 4.7 ให้ผลที่เหมาะสม

ตารางที่ 4.1 ลักษณะทางกายภาพของเม็ดพลาสติกสูตรต่าง ๆ

เกรด HDPE	สูตรเม็ดพลาสติก	เส้นผ่านศูนย์กลางของเม็ดพลาสติก (mm)	ลักษณะเม็ดพลาสติก
H6140B MFI 0.3 g/10min	RPET/HDPE เป็น 0/100	1	ผิวเรียบ สีชุ่น
		2	ผิวเรียบ สีชุ่น
	RPET/HDPE เป็น 10/90	1	ผิวเรียบ สีขาวขุ่นคล้ายน้ำมัน
		2	ผิวเรียบ สีขาวขุ่นคล้ายน้ำมัน
H6670B MFI 0.7 g/10min	RPET/HDPE เป็น 0/100	1	ผิวเรียบ สีชุ่น
		2	ผิวเรียบ สีชุ่น
	RPET/HDPE เป็น 10/90	1	ผิวเรียบ สีขาวขุ่นคล้ายน้ำมัน
		2	ผิวเรียบ สีขาวขุ่นคล้ายน้ำมัน
H377C MFI 7.5 g/10min	RPET/HDPE เป็น 0/100	1	ผิวเรียบ สีชุ่น
		2	ผิวเรียบ สีชุ่น
	RPET/HDPE เป็น 10/90	1	ผิวเรียบ สีขาวขุ่นคล้ายน้ำมัน
		2	ผิวเรียบ สีขาวขุ่นคล้ายน้ำมัน
	RPET/HDPE เป็น 20/80	1	ผิวเรียบ สีขาวขุ่นคล้ายน้ำมัน
		2	ผิวเรียบ สีขาวขุ่นคล้ายน้ำมัน

ตารางที่ 4.2 อุณหภูมิในโซนต่าง ๆ ของเครื่อง Twin Screw Extruder โดยใช้ HDPE เกรด H6140B

Twin Screw Extruder	Hopper										Die
	Zone 1	Zone 2	Zone 3	Zone 4	Zone 5	Zone 6	Zone 7	Zone 8	Zone 9	Zone 10	Zone 11
Temperature (°C) RPET/HDPE เป็น 0/100	150	155	185	250	255	260	270	275	280	285	290
Temperature (°C) RPET/HDPE เป็น 10/90	160	190	240	265	275	280	285	290	300	320	330

ตารางที่ 4.3 อุณหภูมิในโซนต่าง ๆ ของเครื่อง Twin Screw Extruder โดยใช้ HDPE เกรด H6670B

Twin Screw Extruder	Hopper										Die
	Zone 1	Zone 2	Zone 3	Zone 4	Zone 5	Zone 6	Zone 7	Zone 8	Zone 9	Zone 10	Zone 11
Temperature (°C) RPET/HDPE เป็น 0/100	150	155	185	250	255	260	270	275	280	285	290
Temperature (°C) RPET/HDPE เป็น 10/90	160	190	240	265	275	280	285	290	295	305	310

ตารางที่ 4.4 อุณหภูมิในโซนต่าง ๆ ของเครื่อง Twin Screw Extruder โดยใช้ HDPE เกรด H377C

Twin Screw Extruder	Hopper										Die
	Zone 1	Zone 2	Zone 3	Zone 4	Zone 5	Zone 6	Zone 7	Zone 8	Zone 9	Zone 10	Zone 11
Temperature (°C) RPET/HDPE เป็น 0/100	150	155	185	190	195	205	210	210	215	225	230
Temperature (°C) RPET/HDPE เป็น 10/90	150	155	185	245	250	255	260	265	270	275	280
Temperature (°C) RPET/HDPE เป็น 20/80	160	190	240	265	275	280	285	295	300	305	310

ตารางที่ 4.5 ค่าพารามิเตอร์ของแผงควบคุมเครื่องตัดเม็ดพลาสติก โดยใช้ HDPE เกรด H6140B

สูตรเม็ดพลาสติก	เส้นผ่านศูนย์กลาง ของเม็ดพลาสติก (mm)	เครื่องตัดเม็ดพลาสติก	
		ความเร็วรอบ ของการตัดเม็ด (mm/min)	ความยาวของ เม็ดพลาสติก (mm)
RPET/HDPE เป็น 0/100	1	14	2.5
	2	8.9	2.5
RPET/HDPE เป็น 10/90	1	17.6	2.5
	2	8.4	2.5

ตารางที่ 4.6 ค่าพารามิเตอร์ของแผงควบคุมเครื่องตัดเม็ดพลาสติก โดยใช้ HDPE เกรด H6670B

สูตรเม็ดพลาสติก	เส้นผ่านศูนย์กลาง ของเม็ดพลาสติก (mm)	เครื่องตัดเม็ดพลาสติก	
		ความเร็วรอบ ของการตัดเม็ด (mm/min)	ความยาวของ เม็ดพลาสติก (mm)
RPET/HDPE เป็น 0/100	1	14	2.5
	2	8.9	2.5
RPET/HDPE เป็น 10/90	1	17	2.5
	2	7.8	2.5

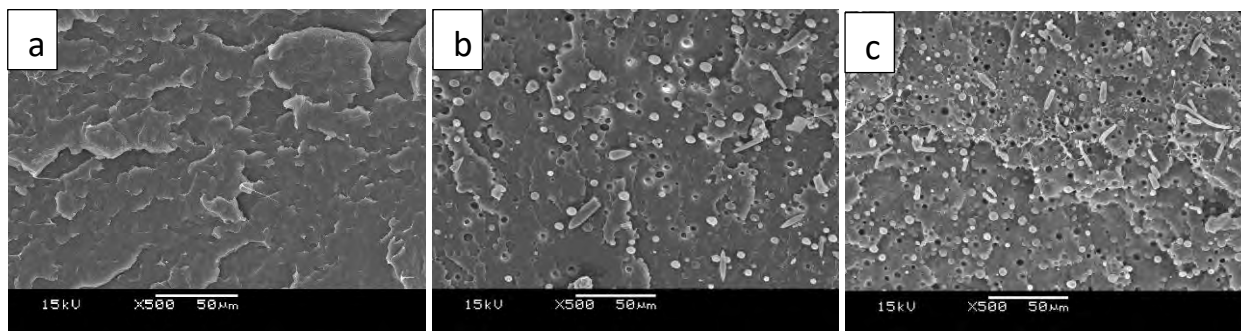
ตารางที่ 4.7 ค่าพารามิเตอร์ของแผงควบคุมเครื่องตัดเม็ดพลาสติก โดยใช้ HDPE เกรด H377C

สูตรเม็ดพลาสติก	เส้นผ่านศูนย์กลาง ของเม็ดพลาสติก (mm)	เครื่องตัดเม็ดพลาสติก	
		ความเร็วรอบ ของการตัดเม็ด (mm/min)	ความยาวของ เม็ดพลาสติก (mm)
RPET/HDPE เป็น 0/100	1	10.3	2.5
	2	8.5	2.5
RPET/HDPE เป็น 10/90	1	10.3	2.5
	2	8.5	2.5
RPET/HDPE เป็น 20/80	1	14.5	2.5
	2	8.2	2.5

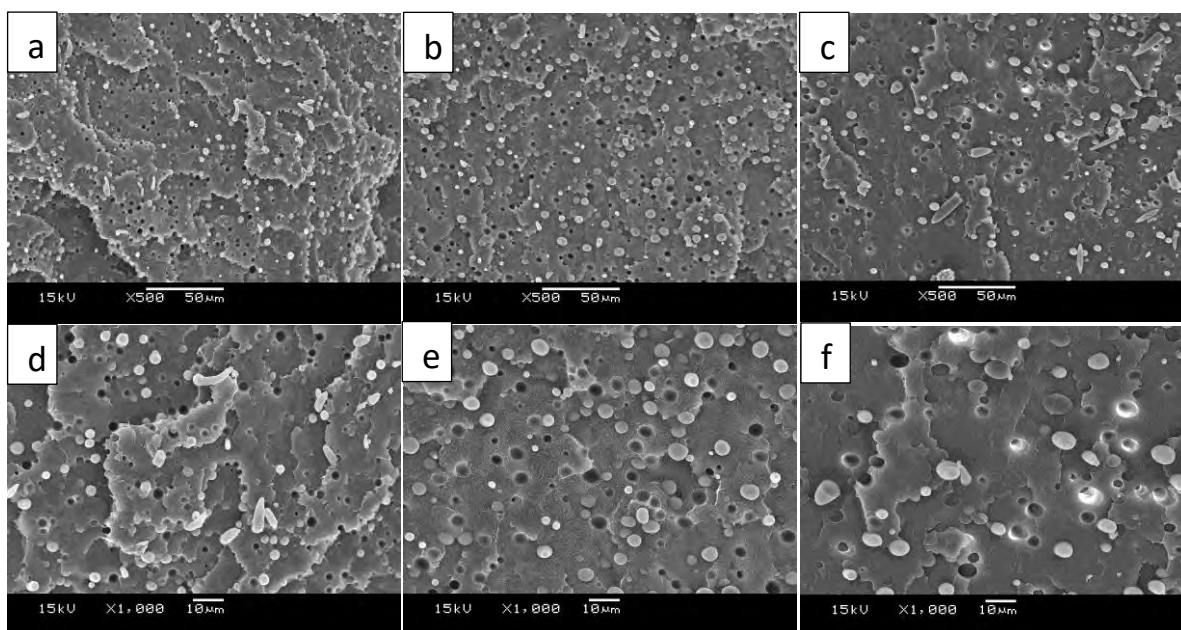
4.2 การศึกษาผลของอัตราส่วนของ RPET/HDPE ที่ HDPE เกรดต่างกัน ต่อลักษณะสัณฐานวิทยา

รูปที่ 4.1 และ 4.2 แสดงลักษณะสัณฐานวิทยาบริเวณพื้นผิวแตกหักของเส้นพลาสติกผสมที่เตรียมให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 mm ที่อัตราส่วน RPET/HDPE ต่างกันตั้งแต่ 0/100, 10/90 และ 20/80 ด้วย HDPE เกรดต่างกัน คือ เกรด H377C เกรด H6670B และเกรด H6140B ที่มีค่า MFI เท่ากับ 7.5, 0.7 และ 0.3 ตามลำดับ ซึ่งตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ด้วยกำลังขยาย 500 และ 1000 เท่า พบว่าบริเวณภาคตัดขวางของอัตราส่วน RPET/HDPE ที่ 0/100 มีลักษณะพื้นผิวค่อนข้างเรียบ (รูปที่ 4.1a) เมื่อเพิ่มอัตราส่วนของ RPET/HDPE เป็น 10/90 (รูปที่ 4.1b) พบว่า RPET มีลักษณะเป็นอนุภาคกระจายตัวอยู่ในเนื้อเมทริกซ์ของ HDPE จึงกล่าวได้ว่าพอลิเมอร์ทั้งสองแสดงลักษณะที่ผสมเข้ากันไม่ได้ (immiscible) และเมื่อเพิ่มปริมาณ RPET เป็นอัตราส่วน RPET/HDPE ที่ 20/80 จะเห็นอนุภาค RPET ที่กระจายตัวอยู่ในพื้นผิว HDPE ปริมาณมากกว่าและมีขนาดที่เล็กกว่าอัตราส่วน RPET 10 เปอร์เซ็นต์ (รูปที่ 4.1c)

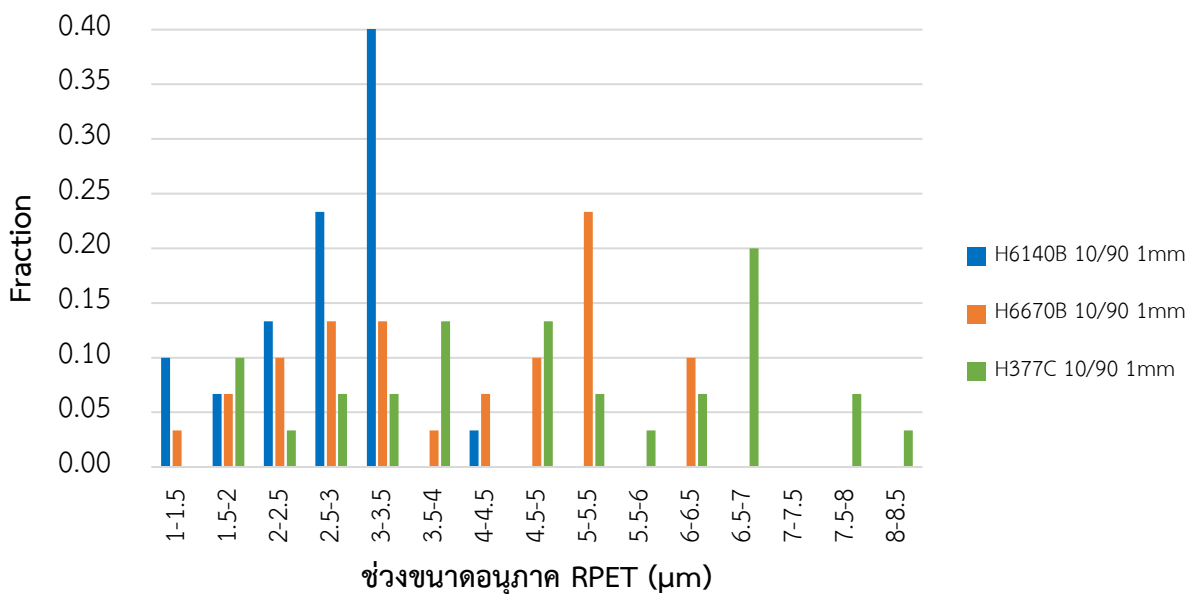
เมื่อพิจารณาอนุภาค RPET ที่ผสมใน HDPE ที่มีค่า MFI ต่างกัน (รูปที่ 4.2) พบว่า อนุภาค RPET ใน HDPE เกรด H377C มีขนาดใหญ่ที่สุด (รูปที่ 4.2c และ f) รองลงมา คือในเกรด H6670B (รูปที่ 4.2b และ e) และขนาดอนุภาคเล็กที่สุดคือ ในเกรด H6140B (รูปที่ 4.2a และ d) นอกจากพบอนุภาคที่มีลักษณะเป็นทรงกลมแล้ว ยังปรากฏรูปร่างที่เป็นทรงรี และลักษณะเป็นไฟบริลในเกรด H377C และเกรด H6140B อีกด้วย เนื่องด้วยในเกรด H377C ซึ่งมีค่าความหนืดต่ำส่งผลให้อนุภาค RPET ถูกดึงยืดได้ง่าย อีกทั้งเมื่อดึงด้วยความเร็วตัดเม็ดสูง จึงยิ่งส่งผลให้ได้ขนาดของอนุภาค RPET ที่ต่างกัน เชื่อว่าผลจากความหนืดที่ต่างกันของเกรด HDPE นั้น เมื่อความหนืดมีค่าสูง ย่อมส่งผลให้ shear stress ของ HDPE หลอมมีค่าสูง จึงทำให้หยด RPET ถูกเงื่อนไขให้แตกกระจายออกจากกันได้ดี ดังนั้นขนาดของ RPET ที่กระจายตัวใน H6140B จึงมีขนาดเล็ก ในทางตรงกันข้าม เมื่อความหนืดของพอลิเมอร์เมทริกซ์มีค่าต่ำ ส่งผลให้หยด RPET ที่แตกออก สามารถกลับมารวมกันใหม่ได้ง่าย จึงมีแนวโน้มให้ RPET มีขนาดอนุภาคที่ใหญ่ และอีกหนึ่งเหตุผลที่อาจส่งผลต่อขนาดและปริมาณการเกิดไฟบริลของ RPET คือ ความเร็วตัดเม็ดเรซิน ดังรูป 4.3 และ 4.4 ซึ่งเม็ดพลาสติกขนาด 2 mm ในเกรด HDPE ต่างกันมีค่าความเร็วตัดเม็ดที่ใกล้เคียงกัน แต่หากเทียบกับขนาด 1 mm พบว่าค่าความเร็วตัดเม็ดสูงกว่าขนาด 1 mm มากไปกว่านั้นในเกรด HDPE ที่มีความหนืดสูง ยังส่งผลต่อความเร็วตัดเม็ดที่สูงขึ้นด้วย ดังนั้นความเร็วตัดเม็ดต่างกันจึงเป็นผลให้ขนาด RPET ที่ได้มีขนาดเล็กและเกิดเป็นไฟบริลได้ดีต่างกัน



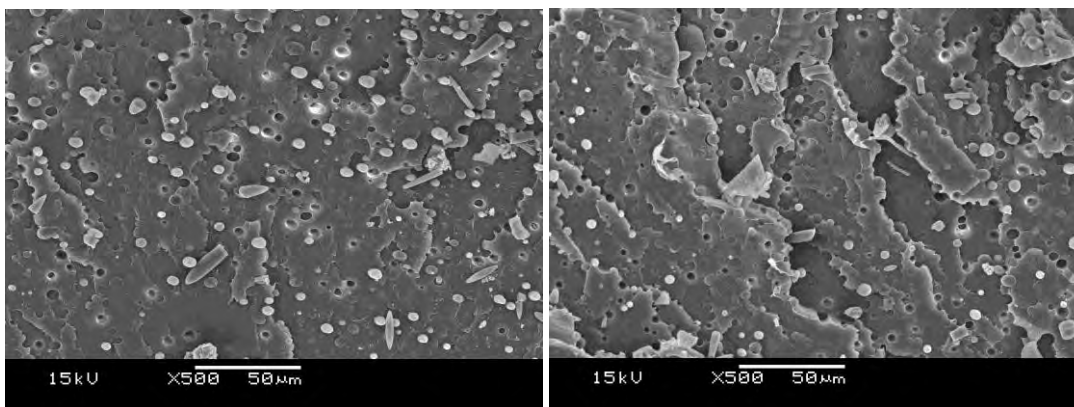
รูปที่ 4.1 ลักษณะสัณฐานวิทยาบริเวณภาคตัดขวางของพื้นผิวแตกหักเส้นพลาสติกผสมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 mm ที่อัตราส่วน RPET/HDPE (เกรด H377C) คือ 0/100 (a) 10/90 (b) และ 20/80 (c)



รูปที่ 4.2 ลักษณะสัณฐานวิทยาบริเวณภาคตัดขวางพื้นผิวแตกหักของเส้นพลาสติกผสมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 mm ที่อัตราส่วน RPET/HDPE เท่ากับ 10/90 ด้วย HDPE เกรดต่างกัน คือ เกรด H6140B เกรด H6670B และเกรด H377C ดังรูป (a) (b) (c) ตามลำดับที่กำลังขยาย 500 เท่าและที่กำลังขยาย 1000 เท่า ดังรูป (d) (e) (f) ตามลำดับ



รูปที่ 4.3 การวัดการกระจายตัวของอนุภาค RPET จากภาพถ่ายภาคตัดขวางของเส้นพลาสติกผสมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 mm ที่อัตราส่วน RPET/HDPE เท่ากับ 10/90 ด้วย HDPE เกรดต่างกัน คือ เกรด H6140B เกรด H6670B และเกรด H377C ตามลำดับที่กำลังขยาย 1000 เท่า

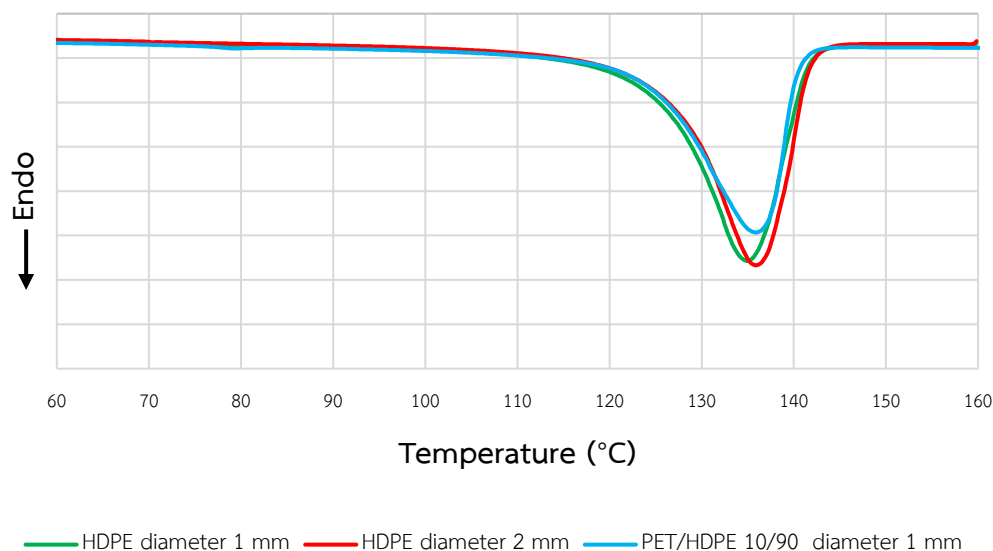


รูปที่ 4.4 ลักษณะสัณฐานวิทยาบริเวณภาคตัดขวางพื้นผิวแตกหักของเส้นพลาสติกผสมที่อัตราส่วน RPET/HDPE (เกรด H377C) เท่ากับ 10/90 โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางต่างกัน คือ 1 mm (a) และ 2 mm (b)

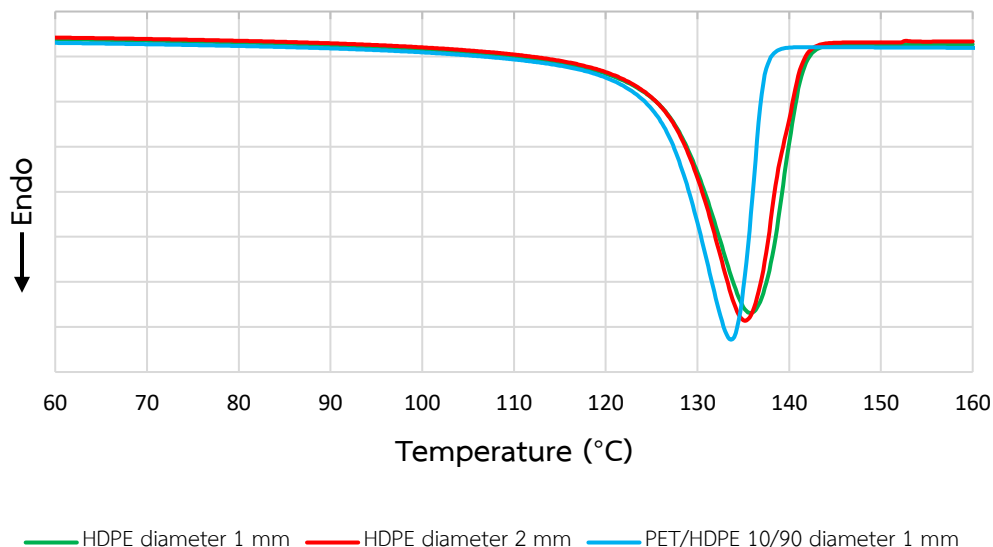
4.3 การศึกษาผลของอัตราส่วนของ RPET/HDPE ต่อสมบัติทางความร้อน

เมื่อสังเกตลักษณะของกราฟที่ได้จากการวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิค DSC (รูปที่ 4.5 และ 4.6) พบว่ากราฟของเม็ดพลาสติก RPET/HDPE ที่อัตราส่วน 0/100 ที่เตรียมให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 และ 2 mm และอัตราส่วน 10/90 ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 mm มีลักษณะของกราฟที่ใกล้เคียงกันมาก แต่เมื่อพิจารณาค่าจากตารางที่ 4.8 พบว่าอุณหภูมิในการหลอมผลึก (T_m) ในการให้ความร้อนครั้งที่ 2 ของเม็ดพลาสติก RPET/HDPE ที่อัตราส่วน 10/90 มีค่า 132.5 องศาเซลเซียส ซึ่งต่ำกว่าค่า T_m ของเม็ดพลาสติก RPET/HDPE ที่อัตราส่วน 0/100 คือ 134.8 และ 134.1 องศาเซลเซียส อาจเป็นผลมาจากขนาดผลึกของ HDPE ที่มีขนาดเล็กลง เพราะมีอนุภาค RPET เข้าไปแทรกตัวอยู่ใน HDPE เมทริกซ์ และเมื่อพิจารณาค่า %ปริมาณผลึก ($\%X_c$) พบว่า $\%X_c$ ของเม็ดพลาสติก RPET/HDPE ที่อัตราส่วน 0/100 และ 10/90 มีค่าใกล้เคียงกัน ดังนั้นอนุภาคของ RPET ที่กระจายตัวอยู่ใน HDPE เมทริกซ์ไม่ได้รับกวนการเกิดผลึกของ HDPE

เมื่อพิจารณาเม็ดพลาสติก RPET/HDPE ที่อัตราส่วน 0/100 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 และ 2 mm พบว่าค่าพารามิเตอร์ในตารางที่ 4.8 มีค่าใกล้เคียงกัน จึงสรุปได้ว่าความเร็วในการตัดเม็ดพลาสติกที่ต่างกันไม่ได้ส่งผลต่อสมบัติทางความร้อนของเม็ดพลาสติก



รูปที่ 4.5 กราฟ DSC จากการให้ความร้อนครั้งที่ 1 ของเม็ดพลาสติก RPET/HDPE ที่อัตราส่วน 0/100 มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 และ 2 mm และอัตราส่วน 10/90 ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 mm



รูปที่ 4.6 กราฟ DSC จากการให้ความร้อนครั้งที่ 2 ของเม็ดพลาสติก RPET/HDPE ที่อัตราส่วน 0/100 มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 และ 2 mm และอัตราส่วน 10/90 ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 mm

ตารางที่ 4.8 ผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค DSC ของเม็ดพลาสติก HDPE และ RPET/HDPE

ตัวอย่าง	การให้ความร้อนครั้งที่ 1			การลดอุณหภูมิ		การให้ความร้อนครั้งที่ 2		
	T_m (°C)	ΔH_m (J/g)	% X_c	T_c (°C)	ΔH_f (J/g)	T_m (°C)	ΔH_m (J/g)	% X_c
RPET/HDPE 0/100 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 mm	134.1	174.1	59	118.3	193.6	134.8	207.4	70
RPET/HDPE 0/100 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 mm	134.9	175.2	59	118.7	188.3	134.1	204.8	69
RPET/HDPE 10/90 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 mm	135.1	178.4	60	119.9	203.0	132.5	205.1	69

ในแผนงานวิจัยเดิมนั้นเราต้องการศึกษาอิทธิพลของการควบคุมค่าพารามิเตอร์ความเร็วของเครื่อง sheet extruder ต่อสมบัติการทนแรงดึง, สมบัติทางความร้อน และสัณฐานวิทยา โดยการขึ้นรูปแผ่นพลาสติก 3 ความหนาได้แก่ 100, 200 และ 300 ไมโครเมตร เราคาดว่าที่ความหนา 100 ไมโครเมตรจะมีปริมาณไมโครไฟบริลมากที่สุด เนื่องจากมีความเร็วในการหมุนเก็บเร็วที่สุด และเมื่อพิจารณา MFI ของ HDPE ในเกรดต่าง ๆ พบว่าอนุภาค RPET ที่กระจายตัวอยู่ใน HDPE เมทริกซ์เกรด H377C จะมีขนาดอนุภาคใหญ่ที่สุดและมีลักษณะเป็นไฟบริล จึงมี

ความคาดหวังว่าเมื่อนำเม็ดพลาสติกสูตรที่ใช้ HDPE เกรด H377C มาขึ้นรูปเป็นแผ่นพลาสติกที่ความหนา 100 ไมโครเมตร จะสามารถทำให้เกิดไมโครโพริลที่ดีที่สุดได้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

การศึกษา HDPE เมทริกซ์เสริมแรงด้วยไมโครไฟบริล RPET ที่เตรียมจากเม็ด HDPE และพลาสติกกรีซเคิล PET โดยมีอัตราส่วน RPET/HDPE ตั้งแต่ 0/100, 10/90 และ 20/80 โดยน้ำหนัก ใช้การผสมด้วยเครื่องอัดรีดแบบสกรูคู่ พบว่า

- ความสามารถในการเข้ากันได้ของ RPET และ HDPE พบว่า พลาสติกทั้งสองแยกกันอย่างชัดเจน โดยอนุภาค RPET จะมีลักษณะกลมรีกระจายทั่วพื้นผิว HDPE
- อัตราส่วน RPET ที่เพิ่มขึ้น ส่งผลต่อช่วงอุณหภูมิการขึ้นรูปของเส้นพลาสติก โดย RPET 10 เปอร์เซ็นต์จะใช้ช่วงอุณหภูมิขึ้นรูปที่ต่ำกว่า RPET 20 เปอร์เซ็นต์
- เส้นพลาสติกที่เตรียมด้วยอัตราส่วน RPET/HDPE ที่ 20/80 จะเห็นอนุภาค RPET กระจายใน HDPE เมทริกซ์เป็นจำนวนมากและมีขนาดอนุภาคที่เล็กกว่าอัตราส่วน RPET/HDPE ที่ 10/90
- เส้นพลาสติกที่ใช้ความเร็วในการตัดเม็ดสูง จะได้อนุภาค RPET ขนาดเล็กและเกิดไฟบริลได้ดี
- เส้นพลาสติกที่เตรียมด้วย HDPE เกรด MFI ต่ำ ซึ่งมีความหนืดสูง ส่งผลให้ใช้ความเร็วในการตัดเม็ดพลาสติกสูง จึงได้อนุภาค RPET ที่มีขนาดเล็ก
- เส้นพลาสติกที่เตรียมด้วย HDPE เกรด H377C ที่อัตราส่วน RPET/HDPE 10/90 ให้ปริมาณไฟบริล RPET มากที่สุด และให้ขนาดอนุภาค RPET ใหญ่ที่สุดเมื่อเทียบกับ HDPE เกรดอื่น มากไปกว่านั้น HDPE เกรด H377C ยังมีช่วงอุณหภูมิขึ้นรูปที่ต่ำที่สุด คือ 150-280 องศาเซลเซียส
- ความเร็วในการตัดเม็ดที่ต่างกันไม่ได้ส่งผลต่อสมบัติทางความร้อนของเม็ดพลาสติก
- อนุภาค RPET ที่ใส่ลงไปไม่ได้ส่งผลต่อการเกิดผลึกของ HDPE

เอกสารอ้างอิง

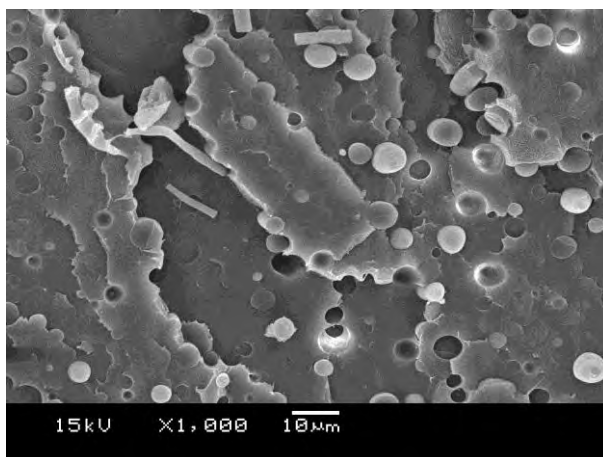
- [1] ไทยพับลิก้า. อนาคตมลพิษขยะพลาสติกสถานการณ์โลกและสิ่งที่ไทยต้องปลดล็อก. [ออนไลน์] แหล่งที่มา: <https://thaipublica.org/2018/10/recycled-pet-advertorial/> [เมษายน, 2562].
- [2] Friedrich K, Evstatiev M, Fakirov S, Evstatiev O, Ishii M, Harrass M. Microfibrillar reinforced composites from PET/PP blends: processing, morphology and mechanical properties. *Composites Science and Technology* 2005, 65, 107–116.
- [3] Ruqiyah N, Hassan N, Ismail NM, Ghazali S, Nuruzzaman DM. Thermal properties of polyethylene reinforced with recycled– poly (ethylene terephthalate) flakes. Present at The International Conference on Innovative Technology, Engineering and Sciences 2018 (iCITES 2018), University Malaysia Pahang (UMP) [Online] 2018, 342, 012094.
- [4] พลาสติกรีไซเคิล. [ออนไลน์] แหล่งที่มา: <https://www.mtec.or.th/bio-plastic/what-is-plastic/recycle-plastic.html> [เมษายน, 2562].
- [5] สมจิตต์ ตั้งชัยวัฒนา. **พอลิเมอร์ผสม (Polymer Blend)**. [ออนไลน์] แหล่งที่มา: http://www.dss.go.th/images/st-article/cp_5_2548_polymer_blend.pdf [เมษายน, 2562].
- [6] พลาสติกชนิด HDPE. [ออนไลน์] แหล่งที่มา: http://www.neutron.rmutphysics.com/chemistry-glossary/index.php?option=com_content&task=view&id=1290&Itemid=108 [เมษายน, 2562].
- [7] พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนานนท์. **Polyethylene terephthalate (PET) / พอลิเอทิลีน เทเรฟทาเลต**. [ออนไลน์] แหล่งที่มา: <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/1912/pet-polyethylene-terephthalate> [เมษายน, 2562].
- [8] เอกสารประกอบการสอนรายวิชากระบวนการขึ้นรูปพอลิเมอร์. [ออนไลน์] แหล่งที่มา: <http://eng.sut.ac.th/polymer/2015/newversion/administrator/document/subjectDocument/14470340997890.pdf>, 15-16 [เมษายน, 2562].
- [9] รังนา ศิริสุข. **Extrusion process**. เอกสารประกอบการสอนวิชา Polymer processing ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 2561, 9.

- [10] รัจนา ศิริสุข. **Extrusion process**. เอกสารประกอบการสอนวิชา Polymer processing ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 2561, 23-24.
- [11] ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง. Scanning Electron Microscope: SEM. [ออนไลน์] แหล่งที่มา: <https://stic.mfu.ac.th/stic-analysis-tools/stic-tool-detail/20.html> [เมษายน, 2562].
- [12] ศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ (NANOTEC). **Differential Scanning Calorimetry (DSC)**. [ออนไลน์] แหล่งที่มา: https://www2.nanotec.or.th/th/?page_id=559 [เมษายน, 2562].
- [13] ศูนย์นวัตกรรมวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. **UNIVERSAL TESTING MACHINE (UTM)**. [ออนไลน์] แหล่งที่มา: http://mic.eng.ku.ac.th/facilities-detail.php?id_sub=26&id=32 [เมษายน, 2562].
- [14] Fakirov S, Bhattacharyya D, Lin RJT, Fuchs C, Friedrich K. Contribution of Coalescence to Microfibril Formation in Polymer Blends during Cold Drawing. *Journal of Macromolecular Science* 2007, Part B: Physics, 46, 183-194.
- [15] Maksimov RD, Merii Meri R, Kalnin M, Zicans J. Mechanical Properties of polyethylene and poly(ethylene terephthalate) blends. *Mechanics of Composite Materials* 2003, 39, 3.
- [16] Jayanarayanan K, Ravichandran A, Rajendran D, Sivathanupillai M, Venkatesan A, Thomas S, Joseph K. Morphology and Mechanical Properties of Normal Blends and In Situ Microfibrillar Composites from Low-Density Polyethylene and Poly(ethylene terephthalate). *Polymer-Plastic Technology and Engineering* 2010, 49, 442-448.

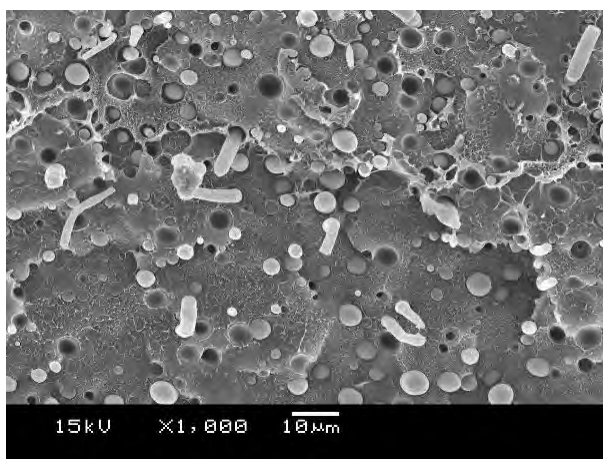
ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
ผลการทดสอบสัณฐานวิทยา

ก-1 ผลการทดสอบสัณฐานวิทยาบริเวณภาคตัดขวางของเส้นพลาสติกผสมในสูตรต่าง ๆ ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)



รูปที่ ก.1 ลักษณะสัณฐานวิทยาบริเวณภาคตัดขวางพื้นผิวแตกหักของเส้นพลาสติกผสมที่อัตราส่วน RPET/HDPE (เกรด H377C) เท่ากับ 10/90 โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 mm ที่กำลังขยาย 1000 เท่า

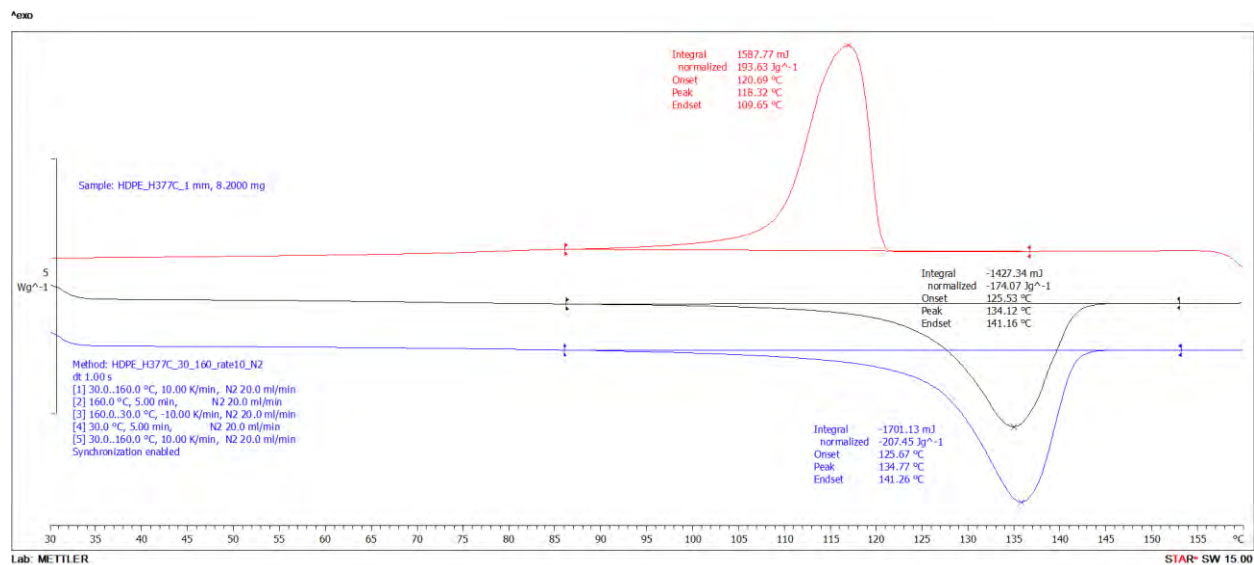


รูปที่ ก.2 ลักษณะสัณฐานวิทยาบริเวณภาคตัดขวางของพื้นผิวแตกหักเส้นพลาสติกผสมที่อัตราส่วน RPET/HDPE (เกรด H377C) เท่ากับ 20/80 โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 mm ที่กำลังขยาย 1000 เท่า

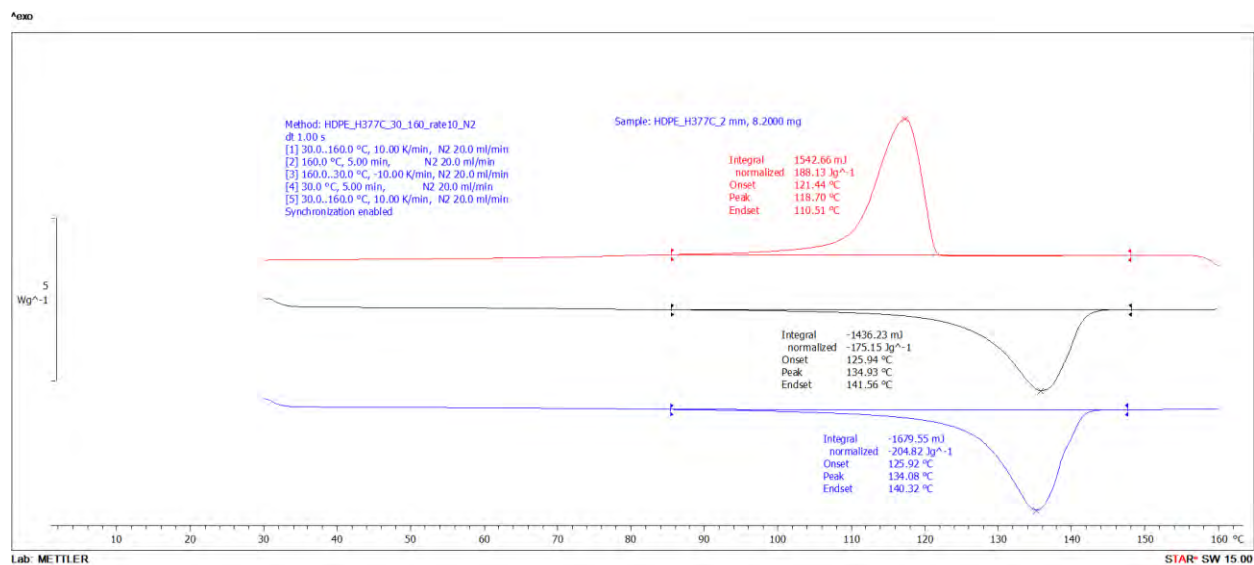
ภาคผนวก ข

ผลการทดสอบสมบัติทางความร้อน

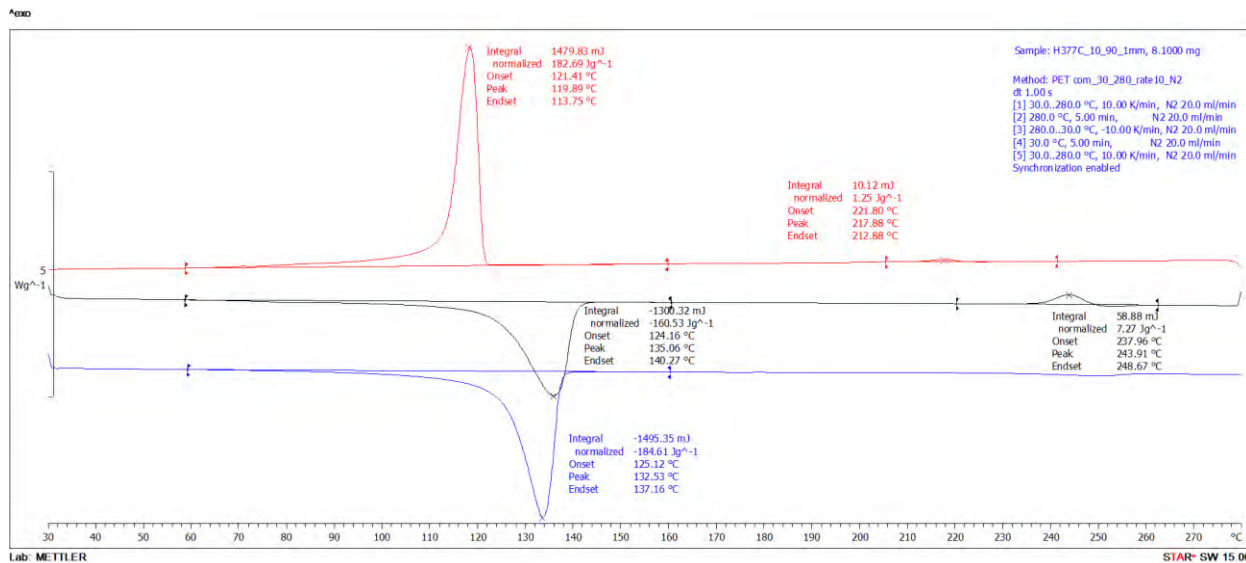
ข-1 ผลการทดสอบสมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิค Differential Scanning Calorimetry (DSC)



รูปที่ ข.1 กราฟ DSC ของเม็ดพลาสติกผสมที่อัตราส่วน RPET/HDPE (เกรด H377C) เท่ากับ 0/100 โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 mm



รูปที่ ข.2 กราฟ DSC ของเม็ดพลาสติกผสมที่อัตราส่วน RPET/HDPE (เกรด H377C) เท่ากับ 0/100 โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 mm



รูปที่ ข.3 กราฟ DSC ของเม็ดพลาสติกผสมที่อัตราส่วน RPET/HDPE (เกรด H377C) เท่ากับ 10/90 โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 mm