

เทอร์โมพลาสติกอิลาสโตเมอร์จากผงยางรถยนต์และพอลิพรอพิลีน



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

ภาควิชา เคมี

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2546

เลขหน้า.....
เลขทะเบียน.....55578.....
วัน,เดือน,ปี.....19 พ.ค. 2548.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไป.....
เมื่อได้รับเอกสารฉบับนี้แล้วขอให้อ่านให้ถี่ถ้วนมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสาร.....
.....ครั้งที่.....

**Thermoplastic Elastomers from Polypropylene (PP) and
Ground Rubber Tire (GRT)**



A Special Project Submitted in Partial Fulfillment of the Requirement

for the Degree of Bachelor of Science

Department of Chemistry

Faculty of Science

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

2003

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการพิเศษเรื่อง

นักศึกษา

ภาควิชา

สาขาวิชา

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

เทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์จากผงยางรถยนต์และพอลิพรอพิลีน

นางสาววิพัชรวรรณ ปิ่นทองคำ

นางสาวศศิพิมพ์ ศตะสมิต

เคมี

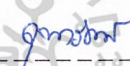
เคมีอุตสาหกรรม

ผศ.ดร.อิทธิพล แจ่มจัด

รศ.ดร.ปราณี ภิญโญชีพ

ดร.ชลลดา ฤตวิรุฬห์

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้
โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการตรวจสอบ			ลายมือชื่อ
ประธานกรรมการ	ผศ.ดร.จุฑารัตน์	ปรัชญาวารการ	
กรรมการ	ดร.สุภารัตน์	รักษลธิ	
กรรมการ	ดร.ภัทราวุธ	มนต์วิเศษ	



(ผศ.ดร. ประสงค์ ควงดี)

หัวหน้าภาควิชา

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Special Project Title	Thermoplastic Elastomers from Ground Rubber Tire (GRT) and Polypropylene (PP)
Name	Miss Wilawan Pinthongkum ID 43050116 Miss Sasipim Sasasmit ID 43050120
Department	Chemistry, Bachelor of Science
Program	Industrial Chemistry
Academic Year	2003
Special Project Advisor	Asst.Prof.Dr. Ittipol Jangchud
Special Project Co-Advisor	Assoc.Prof.Dr. Pranee Pinyocheep Dr. Chonlada Ritvirulh

Abstract

This research work was focused on properties of thermoplastic elastomers (TPEs) prepared from ground rubber tire (GRT) and polypropylene (PP) by varying the blend ratios of GRT/PP as 50/50 60/40 70/30 and 80/20 respectively. Each blend ratio was mixed by a single screw extruder and ground by a grinding machine. An injection molding machine was used to shape the samples. It was found that mechanical properties of GRT/PP, i.e., tensile strength, young's modulus and hardness had a decreasing trend. However, % elongation at break and impact strength were increased as GRT increased. This might be explained as GRT could act as rubber phase and improve impact property. Then the blend ratio of 70/30 (GRT/PP) was selected to study effect of ethylene-octene copolymer (Engage[®] 8180) as a compatibilizer (0-10 phr) on the factors affecting properties of GRT/PP, e.g., % gel, recycle ability, mechanical, morphological and thermal properties were studied. As Engage[®] loading was increased, it was found that the mechanical properties were increased. From SEM micrographs, it was revealed that PP particles were smaller and well dispersed in GRT whereas % gel was unchanged as Engage[®] increased. From thermal study by DSC, it was revealed that melting temperature (T_m), crystallization temperature (T_c) and % crystallinity of the PP were unchanged by increasing Engage[®]. Only % crystallinity of PP in GRT/PP was decreased when GRT loading was increased. By studying with DMTA it was found that glass transition temperature (T_g) and $\tan \delta$ were also unchanged when Engage[®] increased. By testing recyclability of the GRT/PP, it was found that the prepared TPEs from GRT/PP can be recycled at least 3 times with the overall properties of GRT/PP were unchanged.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.อิทธิพล แจ่มชัด ที่กรุณาเป็นที่ปรึกษาโครงงานพิเศษนี้ คอยให้คำปรึกษา แนะนำช่วยเหลือตลอดการทำโครงงาน รวมถึงความโอบอ้อมอารี ใจดี เป็นกันเอง ที่อาจารย์มอบให้

ขอขอบพระคุณ คร.ชลลดา ฤตวิรุฬห์ ที่กรุณารับเป็นที่ปรึกษาโครงงานพิเศษร่วม คอยเคียงข้างให้ทำงาน ให้คำคัดเตือน คอยช่วยเหลือ ให้คำปรึกษา เป็นห่วงเป็นใย เอาใจใส่ ให้ความอนุเคราะห์ใช้เครื่องถ่ายเอกสาร รวมถึงความโอบอ้อมอารี มีน้ำใจ ใจดีตลอดการทำงาน

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร.ปราณี ภิญญูชีพ ที่กรุณาเป็นที่ปรึกษาโครงงานพิเศษร่วม คอยแนะนำ ให้คำปรึกษาและความช่วยเหลือในโครงงานพิเศษนี้

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.จุฑารัตน์ ปรัชญาวรรณ คร.ศุภรัตน์ รักขลธิ และ คร.ภัทรารุช มนต์วิเศษ ที่กรุณาให้คำปรึกษาและตรวจแก้ไขโครงงานพิเศษนี้

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทุกๆท่านที่ช่วยประสิทธิประสาทวิชาความรู้และให้คำปรึกษา

ขอขอบพระคุณ นักวิทยาศาสตร์ พี่เจ้าหน้าที่ทุกท่าน ที่คอยอำนวยความสะดวกในการใช้เครื่องมือวิทยาศาสตร์ต่างๆ

ขอขอบพระคุณ บริษัทต่างๆที่ได้คอยให้ความอนุเคราะห์สารที่ใช้ในโครงงานพิเศษนี้

ขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ทุกคนที่คอยให้ความช่วยเหลือ อยู่เป็นเพื่อนทำโครงงานพิเศษ

นอกจากนี้ยังมีบุคคลท่านอื่นๆ ที่คอยให้ความช่วยเหลืออีกมาก ซึ่งมีได้กล่าวถึง ณ ที่นี้ทางคณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้ด้วย

นางสาววิฬารวรรณ ปิ่นทองคำ
นางสาวศศิพิมพ์ ศตะสมิต

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญรูป	ช
สารบัญตาราง	ญ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย	1
1.2 จุดประสงค์งานวิจัย	4
1.3 ขอบเขตงานวิจัย	4
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง	5
2.1 เทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์ (Thermoplastic Elastomers; TPEs)	5
2.1.1 การเปรียบเทียบระหว่าง TPEs และยางวัลคาไนซ์	6
2.1.2 ชนิดของ TPEs	7
2.1.3 สมบัติและการประยุกต์ใช้ TPEs	8
2.2 วัตถุดิบที่ใช้ในการเตรียม TPEs	10
2.2.1 ผงยางรถยนต์ (Ground Rubber Tire; GRT)	10
2.2.1.1 การบดที่อุณหภูมิห้อง (Ambient Process)	10
2.2.1.2 การบดที่อุณหภูมิต่ำ (Cryogenic Process)	11
2.2.2 พอลิพรอพิลีน (Polypropylene; PP)	12
2.2.3 สารช่วยผสม (Compatibilizer)	17
2.2.3.1 พอลิเมอร์ร่วมของเอทิลีน-ออกทีน (Ethylene-octene Copolymer; Engage®)	18
2.3 การทำงานของเครื่องมือ	19
2.3.1 เครื่องอัดรีดชนิดเกลียวหนอนเดี่ยว (Single Screw Extruder)	19
2.3.2 เครื่องฉีดขึ้นรูป (Injection Molding Machine)	21
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 การดำเนินงานวิจัย	26
3.1 แผนการดำเนินการ	26
3.2 สารเคมีและอุปกรณ์	27
3.3 ขั้นตอนการทดลอง	28
3.4 วิธีการทดลอง	30
บทที่ 4 ผลการทดลองและการอภิปรายผล	34
4.1 การศึกษาอัตราส่วนของ GRT /PP ในการเตรียม TPEs	34
4.2 การศึกษาปริมาณของสารช่วยผสมที่เติมลงใน GRT/PP	39
4.3 การศึกษาสมบัติการรีไซเคิลของ GRT/PP	43
4.4 การศึกษาสัณฐานวิทยาด้วยเทคนิค Scanning Electron Microscope (SEM)	46
4.5 การทดสอบสมบัติทางความร้อน (Thermal Analysis)	51
4.5.1 การทดสอบสมบัติทางความร้อนด้วย Differential Scanning Calorimeter (DSC)	51
4.5.2 การทดสอบสมบัติทางความร้อนเชิงกลด้วย Dynamic Mechanical Thermal Analyzer (DMTA)	52
4.6 การวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์เจล (% Gel)	53
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	54
5.1 สรุปผลการวิจัย	54
5.1.1 สมบัติเชิงกล	54
5.1.2 สมบัติทางความร้อน	55
5.1.2.1 เครื่อง Differential Scanning Calorimeter (DSC)	55
5.1.2.2 เครื่อง Dynamic Mechanical Thermal Analyzer (DMTA)	55
5.1.3 การศึกษาสัณฐานวิทยา (Morphology)	55
5.1.4 การวิเคราะห์ % Gel	55
5.1.5 การรีไซเคิล	55
5.2 ข้อเสนอแนะ	56
เอกสารอ้างอิง	57

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
ภาคผนวก ก	
สภาวะที่ใช้ในการฉีดขึ้นรูปด้วยเครื่อง Injection Molding Machine	59
ภาคผนวก ข	
ตารางผลการทดสอบสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง GRT และ PP	61
ภาคผนวก ค	
ผลการทดสอบสมบัติทางความร้อนของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง GRT และ PP ด้วย DSC	66
ภาคผนวก ง	
ผลการทดสอบสมบัติทางความร้อนเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง GRT และ PP ด้วย DMTA	74



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 โครงสร้างโมเลกุลของ TPEs	5
รูปที่ 2.2 ช่วงความถี่ของยางเทอร์โมพลาสติก ยางชนิดเทอร์โมเซต และพลาสติก	8
รูปที่ 2.3 ภาพการเปรียบเทียบกระบวนการผลิตระหว่าง TPEs กับยางเทอร์โมเซต	9
รูปที่ 2.4 กระบวนการบดที่อุณหภูมิห้อง	10
รูปที่ 2.5 กระบวนการบดที่อุณหภูมิต่ำ	11
รูปที่ 2.6 สูตรโครงสร้างของพอลิพรอพิลีน	12
รูปที่ 2.7 สูตรโครงสร้างของไอโซแทกติกพอลิพรอพิลีน	12
รูปที่ 2.8 สูตรโครงสร้างของซินดิโอแทกติกพอลิพรอพิลีน	12
รูปที่ 2.9 สูตรโครงสร้างของอะแทกติกพอลิพรอพิลีน	13
รูปที่ 2.10 แผนภาพแสดงการจัดเรียงตัวของสารช่วยผสมที่พื้นผิวระหว่าง ภูมิภาคของพอลิเมอร์ผสม	18
รูปที่ 2.11 เครื่องจักรชนิดเกลียวหนอนเดี่ยว	19
รูปที่ 2.12 เครื่องฉีดขึ้นรูป	22
รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงดึงของ TPEs กับปริมาณ GRT	34
รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาดของ TPEs กับปริมาณ GRT	35
รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างมอดุลัสของยังของ TPEs กับปริมาณ GRT	36
รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงกระแทกของ TPEs กับปริมาณ GRT	36
รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งกดของ TPEs กับ GRT	37
รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงดึงของ GRT/PP : 70/30 กับปริมาณ Engage®	39
รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาดของ GRT/PP : 70/30 กับ ปริมาณ Engage®	40
รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างมอดุลัสของยังของ GRT/PP : 70/30 กับปริมาณ Engage®	40
รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงกระแทกของ GRT/PP : 70/30 กับปริมาณ Engage®	41
รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งกดของ GRT/PP : 70/30 กับปริมาณ Engage®	41

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงดึงของ GRT/PP กับจำนวนครั้งการรีไซเคิล	43
รูปที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาดของ GRT/PP กับจำนวนครั้งการรีไซเคิล	44
รูปที่ 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างมอดุลัสของยังของ GRT/PP กับจำนวนครั้งการรีไซเคิล	44
รูปที่ 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงกระแทกของ GRT/PP กับจำนวนครั้งการรีไซเคิล	45
รูปที่ 4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งกดของ GRT/PP กับจำนวนครั้งการรีไซเคิล	45
รูปที่ 4.16 สัณฐานวิทยาของ GRT/PP อัตราส่วน 50/50 ที่กำลังขยาย 1500 เท่า	47
รูปที่ 4.17 สัณฐานวิทยาของ GRT/PP อัตราส่วน 60/40 ที่กำลังขยาย 1500 เท่า	47
รูปที่ 4.18 สัณฐานวิทยาของ GRT/PP อัตราส่วน 70/30 ที่กำลังขยาย 1500 เท่า	48
รูปที่ 4.19 สัณฐานวิทยาของ GRT/PP อัตราส่วน 80/20 ที่กำลังขยาย 1500 เท่า	48
รูปที่ 4.20 สัณฐานวิทยาของ GRT/PP อัตราส่วน 70/30 ที่ผสม Engage® 5 phr ที่กำลังขยาย 1500 เท่า	49
รูปที่ 4.21 สัณฐานวิทยาของ GRT/PP อัตราส่วน 70/30 ที่ผสม Engage® 10 phr ที่กำลังขยาย 1500 เท่า	49
รูปที่ 4.22 สัณฐานวิทยาของ GRT/PP อัตราส่วน 70/30 ที่ผ่านการรีไซเคิลครั้งที่ 3 ที่กำลังขยาย 1500 เท่า	50
รูปที่ 4.23 สัณฐานวิทยาของ GRT/PP อัตราส่วน 70/30 ที่ผสม Engage® 10 phr ที่ผ่านการรีไซเคิลครั้งที่ 3 ที่กำลังขยาย 1500 เท่า	50

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ ค-1 เทอร์โมแกรม DSC ของ TPEs ที่อัตราส่วน GRT/PP : 50/50	66
รูปที่ ค-2 เทอร์โมแกรม DSC ของ TPEs ที่อัตราส่วน GRT/PP : 60/40	67
รูปที่ ค-3 เทอร์โมแกรม DSC ของ TPEs ที่อัตราส่วน GRT/PP : 70/30	68
รูปที่ ค-4 เทอร์โมแกรม DSC ของ TPEs ที่อัตราส่วน GRT/PP : 80/20	69
รูปที่ ค-5 เทอร์โมแกรม DSC ของ TPEs ที่อัตราส่วน GRT/PP : 70/30 มีปริมาณ สารช่วยผสม 5 phr	70
รูปที่ ค-6 เทอร์โมแกรม DSC ของ TPEs ที่อัตราส่วน GRT/PP : 70/30 มีปริมาณ สารช่วยผสม 10 phr	71
รูปที่ ค-7 เทอร์โมแกรม DSC ของ TPEs ที่อัตราส่วน GRT/PP : 70/30 รีไซเคิลครั้งที่ 3	72
รูปที่ ค-8 เทอร์โมแกรม DSC ของ TPEs ที่อัตราส่วน GRT/PP:70/30 มีปริมาณ สารช่วยผสม 10 phr รีไซเคิลครั้งที่ 3	73
รูปที่ ง-1 เทอร์โมแกรม DMTA ของ TPEs ที่อัตราส่วน GRT/PP : 70/30	74
รูปที่ ง-2 เทอร์โมแกรม DMTA ของ TPEs ที่อัตราส่วน GRT/PP : 70/30 มีปริมาณ สารช่วยผสม 5 phr	74
รูปที่ ง-3 เทอร์โมแกรม DMTA ของ TPEs ที่อัตราส่วน GRT/PP : 70/30 มีปริมาณ สารช่วยผสม 10 phr	75
รูปที่ ง-4 เทอร์โมแกรม DMTA ของ TPEs ที่อัตราส่วน GRT/PP : 70/30 รีไซเคิลครั้งที่ 3	75
รูปที่ ง-5 เทอร์โมแกรม DMTA ของ TPEs ที่อัตราส่วน GRT/PP : 70/30 มีปริมาณ สารช่วยผสม 10 phr รีไซเคิลครั้งที่ 3	76

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1.1 องค์ประกอบทางเคมีของยางรถยนต์	3
ตารางที่ 2.1 สมบัติของไฮโมพอลิพรอฟิลีน	14
ตารางที่ 2.2 สมบัติของพอลิเมอร์ร่วมแบบส่นของ PP	15
ตารางที่ 2.3 สมบัติของ PP ชนิดรับแรงกระแทก	16
ตารางที่ 2.4 พลาสติกที่ใช้ในงานอัดรีด	20
ตารางที่ 3.1 สมบัติบางประการของ Engage® 8180	29
ตารางที่ 3.2 สูตรผสมของ TPEs ที่ใช้ในการทดลอง	30
ตารางที่ 3.3 ปริมาณสารช่วยผสมแต่ละสูตรที่ใช้ในการทดลอง	31
ตารางที่ 4.1 วิเคราะห์ต้นทุนในการผลิต TPEs ที่เตรียมได้จาก GRT/PP โดยน้ำหนัก รวม 1 กิโลกรัม	38
ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบสมบัติทางความร้อนด้วย DSC	51
ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบสมบัติทางความร้อนด้วย DMTA	52
ตารางที่ 4.4 ผลการทดลองการวิเคราะห์ค่า % Gel	53
ตารางที่ ข-1 ผลที่ได้จากการทดสอบความแข็งแรงดึง	61
ตารางที่ ข-2 ผลที่ได้จากการทดสอบเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด	62
ตารางที่ ข-3 ผลที่ได้จากการทดสอบค่ามอดูลัสของยัง	63
ตารางที่ ข-4 ผลที่ได้จากการทดสอบความแข็งแรงกระแทก	64
ตารางที่ ข-5 ผลที่ได้จากการทดสอบความแข็งกด (Shore D)	65

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย

เทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์ (Thermoplastic Elastomers; TPEs) เป็นวัสดุชนิดใหม่ที่นักวิทยาศาสตร์ได้คิดค้นขึ้น เพื่อให้มีสมบัติยืดหยุ่นคล้ายยาง ยึดหดกลับได้ ไม่เสียรูปร่าง สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้เหมือนพลาสติก จึงทำให้มีสมบัติเชิงกลดีขึ้น เนื่องจากพลาสติกเป็นเทอร์โมพลาสติก มีความแข็งแรง ไม่เหนียว ส่วนยางเป็นอีลาสโตเมอร์ ไม่แข็งแรง มีความเหนียว เมื่อผสมกันเกิดเป็น TPEs ทำให้มีความแข็งแรงและในขณะเดียวกันมีความเหนียวด้วย โดยสมบัติของ TPEs ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ เช่น สภาพในการผสม สมบัติการไหล สัณฐานวิทยา ที่มีผลต่อสมบัติและการนำไปใช้งานของ TPEs ตามความต้องการ

ในปัจจุบัน TPEs เข้ามามีบทบาทเป็นอย่างมาก จึงได้มีการนำมาใช้ในงานด้านต่างๆ เช่น อุตสาหกรรมรองเท้า ชิ้นส่วนรถยนต์ เครื่องอุปโภคบริโภค ฉนวนหุ้มไฟฟ้า ท่อ เป็นต้น

เป็นเวลากว่า 40 ปีมาแล้ว มีการนำ TPEs ชนิดแรกเข้ามาใช้งานในประเทศอเมริกา และได้นำมาใช้อย่างแพร่หลายในปริมาณที่เพิ่มขึ้นกว่า 2,000 ล้านบาทต่อปี ประวัติการพัฒนา TPEs มีดังนี้ [1]

ในปี ค.ศ.1950-1959 มีการสังเคราะห์เทอร์โมพลาสติกขึ้นครั้งแรก คือ เทอร์โมพลาสติกพอลิยูรีเทน (Thermoplastic Polyurethane; TPU) [2]

ในปี ค.ศ.1960 บริษัท เชลล์ (Shell Development Company) ผลิตเทอร์โมพลาสติกซึ่งเป็นพอลิเมอร์ร่วมของสไตรีน-ไดอีน แบบบล็อก (Thermoplastic Styrene-diene Block Copolymer)

ในปี ค.ศ.1970 บริษัท ดูปองท์ (Dupont De Nemours & Company) ผลิตเทอร์โมพลาสติกซึ่งเป็นพอลิเมอร์ร่วมของพอลิเอสเตอร์ (Copolymer; COP; TPEs) และบริษัท ยูนิรอยัล (Uniroyal Company) ผลิตเทอร์โมพลาสติกพอลิโอเลฟินอีลาสโตเมอร์ (Thermoplastic Polyolefin-Elastomers ; TPOs) ต่อมา มีการนำพอลิไวนิลคลอไรด์ (PVC) และยางไนไตรล์ (NBR) มาผสมกันเพื่อพัฒนาให้วัสดุมีสมบัติคล้ายยาง สามารถขึ้นรูปได้เหมือนเทอร์โมพลาสติก หลังจากนั้นบริษัท มอนซานโต (Monsanto Chemical Company) ได้ผลิตอีลาสโตเมอร์อัลลอยด์ (Elastomeric Alloys; EAS) หรือที่รู้จักในปัจจุบันคือ เทอร์โมพลาสติกวัลคาไนเซต (Thermoplastic Vulcanizates) ซึ่งมีองค์ประกอบของเทอร์โมพลาสติกและยางที่มีการเชื่อมโยง

ในปี ค.ศ.1980 ได้ผลิตอีลาสโตเมอร์พอลิเอไมด์ (Elastomeric Polyamides; PEBA) เป็นวัสดุที่มีสมบัติในการใช้งานและมีราคาสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในระหว่างปี ค.ศ.1970-1990 อัตราการเติบโตทั่วโลกของ TPEs คิดเป็น 8.9% ต่อปี โดยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ

ข้อดีของ TPEs

1. สามารถใช้แทนวัสดุจำพวกยาง แต่สามารถขึ้นรูปได้ง่ายเหมือนเทอร์โมพลาสติก
2. ลดเวลาในการขึ้นรูปเมื่อเทียบกับการผลิตยางวัลคาไนซ์ (Vulcanizates)
3. กระบวนการผลิต TPEs ไม่ยุ่งยากและมีขั้นตอนการผลิตน้อยกว่ายางวัลคาไนซ์
4. สามารถใช้กับเครื่องมือในการผลิตเทอร์โมพลาสติกทั่วๆไปได้โดยไม่ต้องเพิ่มขั้นตอนในการเชื่อม โยง (Vulcanization)
5. สามารถนำมารีไซเคิลได้
6. ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีสมบัติหลากหลายตามต้องการ
7. สามารถผลิตผลิตภัณฑ์ที่มีรูปร่างซับซ้อนได้

ข้อจำกัดของ TPEs

1. สำหรับอุตสาหกรรมยางต้องมีการเพิ่มเครื่องมือเข้ามาช่วยในการขึ้นรูป เนื่องจาก TPEs ใช้เทคนิคการขึ้นรูปแบบเดียวกับเทอร์โมพลาสติก
2. TPEs ส่วนใหญ่ต้องทำให้แห้งก่อนการขึ้นรูปเหมือนกับการขึ้นรูปเทอร์โมพลาสติก ซึ่งไม่จำเป็นสำหรับการผลิตเทอร์โมเซต ดังนั้นต้องมีเครื่องมือเพื่อทำให้แห้งสำหรับการผลิต TPEs
3. TPEs มีช่วงอุณหภูมิในการใช้งานที่ต่ำกว่าเทอร์โมเซต
4. สมบัติบางประการต่ำกว่ายางวัลคาไนซ์ เช่น การคืบ (Creep) การเปลี่ยนรูปถาวร (Permanent Set) เปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด (% Elongation at Break) สมบัติที่อุณหภูมิต่ำ ฯลฯ

งานวิจัยนี้เลือกพอลิพรอพิลีน (Polypropylene; PP) เป็นเทอร์โมพลาสติก เพราะราคาถูก สมบัติเชิงกลดี นิยมใช้ในงานต่างๆ โดยเฉพาะทางด้านอุตสาหกรรม ผลิตภัณฑ์หลายประเภทใช้ PP ในการผลิตเป็นจำนวนมาก สามารถนำมาหลอมใหม่ได้ ง่าย เทคโนโลยีการผลิตไม่ซับซ้อน มีความแข็งแรง ค่ามอดูลัสของยังสูง แต่มีข้อเสีย คือ ความสามารถในการรับแรงกระแทก (Impact Properties) ต่ำ จึงมีการปรับปรุงเรื่องสมบัติรับแรงกระแทก โดยเติมผงยางรถยนต์ (Ground Rubber Tire; GRT) เข้าไปเพื่อเพิ่มความสามารถในการรับแรงกระแทก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในงานวิจัยนี้เลือก GRT เป็นวัสดุยางหรืออีลาสโตเมอร์ เนื่องจากในปัจจุบันมีการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจ ทำให้มีการคมนาคมขนส่งทางบก ทางน้ำ ทางอากาศ ซึ่งในการขนส่งทางบกจำเป็นต้องใช้รถยนต์ รถบรรทุก รถโดยสาร เป็นต้น พาหนะเหล่านี้ต้องใช้ยางรถยนต์ ยางรถยนต์มีอายุการใช้งานจำกัด รถต้องเปลี่ยนยางใหม่ภายในระยะเวลาที่กำหนด (2-3 ปี หรือตามระยะทางวิ่ง) ทำให้เหลือยางรถยนต์ใช้แล้วเป็นจำนวนมาก เกิดปัญหาในการกำจัดหรือทำลายซึ่งเป็นปัญหาขยะและสิ่งแวดล้อม ยางวัลคาไนซ์ที่เชื่อมโยงแล้วเป็นพอลิเมอร์ชนิดเทอร์โมเซต (Thermoset) มีโครงสร้างโมเลกุลเชื่อมโยงเป็นร่างแหสามมิติ ทำให้ไม่สามารถนำกลับมาหลอมใหม่ได้เหมือนเทอร์โมพลาสติก องค์ประกอบหลักของยางรถยนต์สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 1.1

ตารางที่ 1.1 องค์ประกอบทางเคมีของยางรถยนต์ [3]

องค์ประกอบทางเคมีของยางรถยนต์	% โดยน้ำหนัก
ยางธรรมชาติ (Natural Rubber)	52.2
ยางสังเคราะห์ (Styrene-butadiene Rubber)	13.0
เขม่าดำ (Carbon Black)	29.4
ซิงค์ออกไซด์ (Zinc Oxide)	3.3
กำมะถัน (Sulfur)	2.1

ในทางทฤษฎี GRT และ PP น่าจะมีความเข้ากันได้เพราะมีโครงสร้างโมเลกุลไม่มีขั้วเหมือนกัน แต่เมื่อนำ GRT ผสมกับ PP อาจเกิดปัญหาในการผสมเนื่องจาก GRT เป็นยางที่ผ่านการทำให้คงรูปและมีการเติมสารเคมีลงไป เมื่อนำไปผ่านกระบวนการผลิต GRT ได้รับแรงเฉือนอาจรวมเป็นวัสดุแตกหักเนื่องจากบางส่วนของยางที่ไม่เชื่อมโยงใน GRT แต่อาจเกิดวิกฤตของแข็งจากส่วนที่เชื่อมโยงแล้วขัดขวางการผสมและการกระจายตัวของแต่ละวัสดุ ทำให้ผสมเข้ากันได้ไม่ดี ในงานวิจัยนี้จึงนำพอลิเมอร์ร่วมของเอทิลีน-ออกทีน 8180 (Ethylene-octene Copolymer 8180; Engage® 8180) ใช้เป็นสารช่วยผสม (Compatibilizer) เพื่อช่วยเพิ่มการกระจายตัวและการยึดเกาะระหว่างวัสดุของ TPEs ได้ดียิ่งขึ้น

งานวิจัยนี้ศึกษาสมบัติของ TPEs ที่ได้จาก GRT และ PP โดยใช้ Engage® 8180 เป็นสารช่วยผสม โดยเน้นศึกษาปัจจัยต่างๆ ที่มีผลโดยตรงต่อสมบัติของ TPEs ที่เตรียมได้ เช่น อัตราส่วนของ GRT/PP และปริมาณสารช่วยผสม Engage® เป็นต้น

1.2 จุดประสงค์ของงานวิจัย

1. ศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วน GRT/PP และปริมาณสารช่วยผสมที่มีผลต่อสมบัติของ TPEs
2. ศึกษาสมบัติต่างๆของ GRT/PP ที่เตรียมได้ เช่น สมบัติเชิงกล สมบัติทางความร้อน และสัณฐานวิทยา เป็นต้น รวมทั้งความสามารถในการรีไซเคิล (Recycle)

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

1. ศึกษาอัตราส่วนของ GRT/PP ได้แก่ 50/50 60/40 70/30 80/20 ที่มีผลต่อสมบัติ TPEs ที่เตรียมได้
2. ศึกษาปริมาณของสารช่วยผสมในอัตราส่วน (0-10 phr) ของ GRT ที่มีผลต่อสมบัติ GRT/PP ที่เตรียมได้
3. ศึกษาเปรียบเทียบสมบัติต่างๆของ GRT/PP เมื่อมีและไม่มีสารช่วยผสม รวมทั้งก่อนและหลังการรีไซเคิล 1-3 ครั้ง

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เพื่อให้ทราบถึงอัตราส่วนของ GRT/PP และปริมาณของสารช่วยผสมที่เหมาะสมในการเตรียม TPEs เพื่อนำมาใช้งานโดยเฉพาะความสามารถในการรับแรงกระแทก
2. เพื่อให้ทราบถึงวิธีการเตรียมและวิธีการปรับปรุง TPEs จาก GRT/PP
3. สามารถนำความรู้ที่ได้มาประยุกต์ใช้ในการส่งเสริมการผลิต TPEs ในระดับอุตสาหกรรมให้มีการใช้งานที่เหมาะสมและกว้างขวางขึ้น เพื่อก่อให้เกิดการพัฒนาประเทศทั้งทางเศรษฐกิจและสังคม
4. สามารถลดปริมาณขยะยางรถยนต์ภายในประเทศ และสามารถใช้วัสดุเหลือทิ้งได้อย่างมีประสิทธิภาพ
5. ส่งเสริมอุตสาหกรรมรีไซเคิลยางรถยนต์ภายในประเทศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

2.1 เทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์ (Thermoplastic Elastomers; TPEs) [2,4]

TPEs เป็นพอลิเมอร์ที่ต่างจากเทอร์โมพลาสติกและอีลาสโตเมอร์ กล่าวคือ เป็นพอลิเมอร์ที่มีลักษณะคล้ายยาง (Rubberlike) นิ่มตัว ยืดหยุ่นได้ แต่ต่างจากยางทั่วไป คือสามารถขึ้นรูปได้หลายครั้งคล้ายเทอร์โมพลาสติก

การที่ TPEs สามารถขึ้นรูปหรือไหลได้ที่อุณหภูมิสูง และกลายเป็นยางที่อุณหภูมิใช้งาน เนื่องจาก TPEs มีการเชื่อมโยงเชิงกลหรือกายภาพ (Physical Crosslinks) แทนที่จะเป็นการเชื่อมโยงทางเคมีเหมือนในยางทั่วไป จุดเชื่อมโยงเชิงกลนี้ช่วยยึดให้สายโซ่โมเลกุลที่ยืดหยุ่นของพอลิเมอร์ติดกันเหมือนโครงร่างแหสามมิติในยาง แต่สามารถเปลี่ยนย้อนกลับไปได้เมื่อให้ความร้อน จึงสามารถขึ้นรูปได้หลายครั้งเหมือนเทอร์โมพลาสติก วัฏภาคของ TPEs ประกอบด้วย

- 1) ส่วนแข็ง (Hard Segment) ซึ่งเป็นส่วนของเทอร์โมพลาสติกที่ไม่สามารถเคลื่อนที่ได้ ที่อุณหภูมิห้องหรืออุณหภูมิใช้งาน แต่สามารถเปลี่ยนเป็นของไหลได้เมื่อได้รับความร้อนที่อุณหภูมิขึ้นรูป ส่วนแข็งมีความสำคัญในการสร้างบริเวณแข็ง (Rigid Region) ที่ทำหน้าที่คล้ายกับการเชื่อมโยงเชิงกลหรือกายภาพ
- 2) ส่วนอ่อน (Soft Segment) มีลักษณะเป็นอสัณฐาน (Amorphous) คล้ายยาง มีอิสระในการเคลื่อนที่มากกว่าส่วนแข็ง และมีอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (Glass Transition Temperature; T_g) ที่ต่ำ ทำให้ TPEs มีความยืดหยุ่นคล้ายยาง มีความต้านทานต่อการเปลี่ยนแปลงรูปร่างต่ำ ส่วนแข็งและส่วนอ่อนของ TPEs แสดงได้ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 โครงสร้างโมเลกุลของ TPEs [5]

การผลิต TPEs สามารถทำได้หลายวิธี วิธีหนึ่งที่สามารถทำได้คือการผสมยางกับพลาสติกโดยมีการเชื่อมโยงในระหว่างการผสม (Dynamic Vulcanization) ซึ่งเป็นการทำให้ยางเกิดการเชื่อมโยงในระหว่างที่ผสมกับพลาสติกหลอมเหลว โดยต้องทำในสภาวะที่มีแรงเฉือนสูง และอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิหลอมเหลวของเทอร์โมพลาสติก ทำให้เกิดเป็นอนุภาคของยางขนาดเล็กที่กระจายอยู่ในเมทริกซ์ของเทอร์โมพลาสติกและมีการเชื่อมโยงเกิดขึ้น การเชื่อมโยงดังกล่าวเป็นการเชื่อมโยงเพียงบางส่วน (Partial Crosslinking) ที่ช่วยปรับปรุงสมบัติต่างๆดังนี้

- การเปลี่ยนรูปร่างอย่างถาวร (Permanent Set)
- สมบัติเชิงกล (Mechanical Properties)
- การทนต่อการล้า (Fatigue Resistance)
- เพิ่มการทนทานต่อของเหลว (Fluid Resistance)
- เพิ่มความแข็งแรงวัสดุขณะหลอมเหลว (Melt Strength)
- การใช้งานที่อุณหภูมิสูง (High Temperature Utilization)
- การบวมที่หัวดาย (Die Swelling) ในกระบวนการอัดรีด (Extrusion)

2.1.1 การเปรียบเทียบระหว่าง TPEs และยางวัลคาไนซ์

TPEs มีข้อดีกว่ายางวัลคาไนซ์หรือยางที่เชื่อมโยงแล้ว คือ

1. กระบวนการขึ้นรูปของ TPEs ง่ายกว่ายางวัลคาไนซ์ เนื่องจากการผลิต TPEs มีขั้นตอนไม่มาก และใช้พลังงานน้อยกว่าการผลิตยางวัลคาไนซ์
2. TPEs ใช้ระยะเวลาในการขึ้นรูปแต่ละรอบน้อยกว่ายางวัลคาไนซ์ เนื่องจากชิ้นงาน TPEs ใช้เวลาในการทำให้ชิ้นงานเย็นตัวสั้น ในขณะที่การผลิตยางวัลคาไนซ์ต้องใช้เวลาที่นานกว่าในการเกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีหรือปฏิกิริยาการเชื่อมโยงภายในแม่พิมพ์
3. วัสดุ TPEs สามารถขึ้นรูปได้โดยไม่จำเป็นต้องผสมกับวัสดุอื่นก่อน ในขณะที่การผลิตยางวัลคาไนซ์ต้องมีการเติมสารที่ทำให้เกิดการเชื่อมโยง สารเพิ่มเสถียรภาพ สารช่วยผสม หรือสารตัวเติมต่างๆ
4. การผลิตยางวัลคาไนซ์มีเศษของเสียเกิดขึ้นเป็นจำนวนมาก ส่วน TPEs สามารถนำเศษวัสดุ (Scrap) มาบดและนำมารีไซเคิลได้
5. TPEs มีค่าความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity) ต่ำกว่ายางวัลคาไนซ์
6. TPEs มีการคงรูป (Dimensional Stability) มากกว่ายางวัลคาไนซ์

TPEs มีข้อจำกัดในการนำไปใช้งานที่สำคัญ คือ

1. ในการขึ้นรูปวัสดุ TPEs ต้องมีการอบเพื่อป้องกันปัญหาที่เกิดจากความชื้น ในขณะที่การผลิตยางวัลคาไนซ์ไม่จำเป็นต้องมีการอบ
2. วัสดุ TPEs ใช้งานได้ดีที่อุณหภูมิไม่เกินอุณหภูมิหลอมเหลว (T_m) ของเทอร์โมพลาสติก ในขณะที่ยางวัลคาไนซ์ไม่มีข้อจำกัดด้านอุณหภูมิ เกิดการเสียสภาพโดยการเกิดไฟโรไลซิสหรือออกซิเดชัน เนื่องจากไม่มีพฤติกรรมการหลอมเหลว (Melting Behavior)

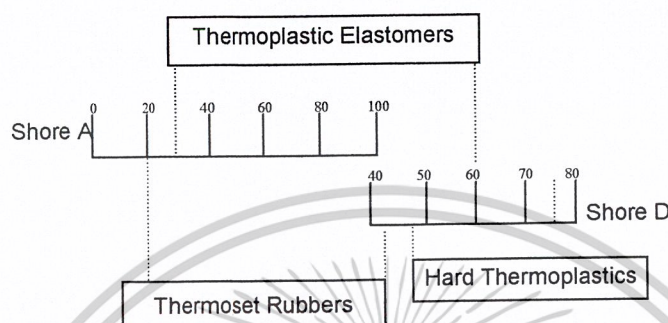
2.1.2 ชนิดของ TPEs [2]

สามารถแบ่งออกได้เป็น 6 ประเภท ได้แก่

- 1) เทอร์โมพลาสติกพอลิโอเลฟินอีลาสโตเมอร์ (Thermoplastic Polyolefin Elastomers; TPO) เป็นพอลิเมอร์ผสมทางเชิงกลระหว่างพอลิโอเลฟินกับอีลาสโตเมอร์ เช่น พอลิเมอร์ผสมระหว่างไอโซแทกติกพอลิพรอพิลีน (PP) กับยางเอทิลีน-พรอพิลีน-ไดอิน (EPDM)
- 2) เทอร์โมพลาสติกวัลคาไนเซต (Thermoplastic Vulcanizates; TPV) ต่างจาก TPO ในส่วนของวัฏภาคยางที่มีการเชื่อมโยงสูงกว่า TPO สมรรถนะของ TPV ใกล้เคียงกับยางเทอร์โมเซต
- 3) เทอร์โมพลาสติกพอลิเอสเทอร์อีลาสโตเมอร์ (Thermoplastic Polyester Elastomers) เป็นพอลิเมอร์ร่วมแบบบล็อก ซึ่งประกอบด้วยส่วนแข็งและส่วนอ่อน โดยส่วนแข็งคือ พอลิอัลคิลีนเทอเรพทาเลต และส่วนอ่อนคือ พอลิอัลคิลีนอีเทอร์
- 4) เทอร์โมพลาสติกพอลิยูรีเทนอีลาสโตเมอร์ (Thermoplastic Polyurethane Elastomers) เป็นพอลิเมอร์ไรเซชันแบบขั้นระหว่างไกลคอลที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำกับไดไอโซไซยาเนต
- 5) เทอร์โมพลาสติกพอลิเอไมด์อีลาสโตเมอร์ (Thermoplastic Polyamide Elastomers) เป็นพอลิเมอร์ร่วมแบบบล็อกที่มีสองโครงสร้าง คือ พอลิเอเทอร์สลับกับพอลิเอไมด์ และพอลิเอสเทอร์สลับกับพอลิเอไมด์
- 6) เทอร์โมพลาสติกพอลิ (สไตรีน-ไดอิน) อีลาสโตเมอร์ (Thermoplastic Poly (Styrene-diene) Elastomers) เป็นพอลิเมอร์ร่วมแบบบล็อกที่ความหนืดหลอมเหลวสูงมาก ส่วนที่เป็นอีลาสโตเมอร์ คือ โมเลกุลที่มีพันธะคู่ และมีส่วนที่แข็ง คือ พอลิสไตรีน

2.1.3 สมบัติและการประยุกต์ใช้ TPEs [4]

TPEs มีสมบัติระหว่างยางและพลาสติก คือ สามารถขึ้นรูปหรือทำเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ ได้ โดยใช้กระบวนการขึ้นรูปเช่นเดียวกับกระบวนการขึ้นรูปของเทอร์โมพลาสติกทั่วไป แต่มีสมบัติพิเศษกว่า คือ มีสมบัติยืดหยุ่น และสามารถโค้งงอได้ (Flexibility) มีการกระดอนดี (Resilience) เป็นสมบัติเฉพาะของยาง TPEs มีค่าความแข็งอยู่ระหว่างยางกับพลาสติก แสดงดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 ช่วงความแข็งของยางเทอร์โมพลาสติก ยางชนิดเทอร์โมเซตและพลาสติก [6]

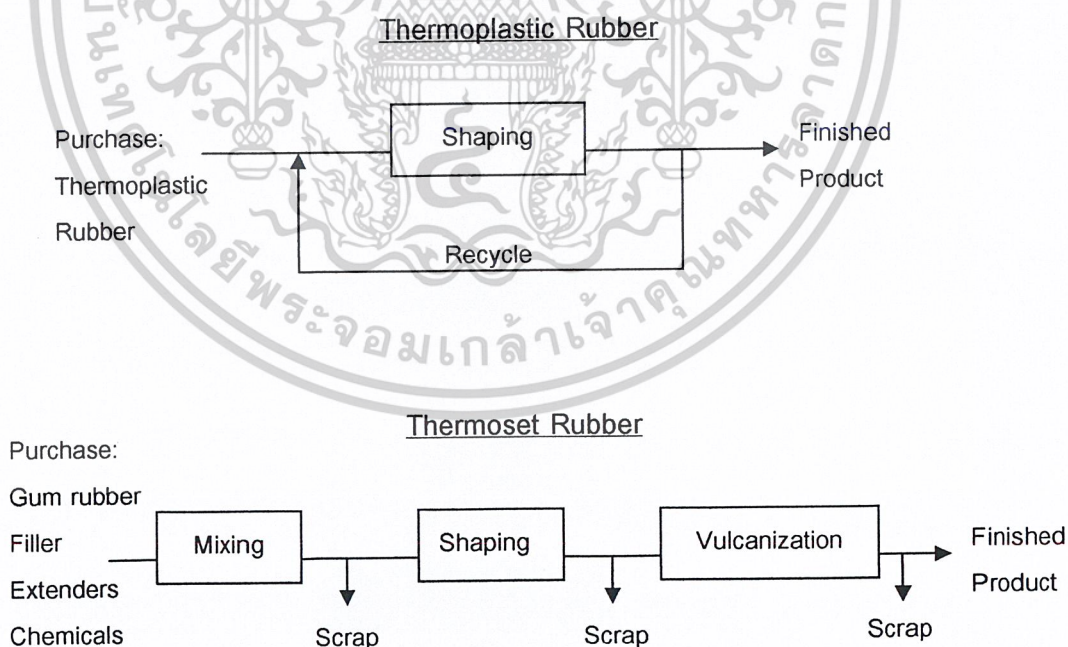
TPEs มีสมบัติที่เหมาะสมต่อการนำไปใช้งานในอุตสาหกรรมเป็นอย่างมาก เนื่องจากมีสมบัติที่เด่นกว่าวัสดุอื่นดังนี้

1. มีความยืดหยุ่นที่อุณหภูมิต่ำกว่าพลาสติกชนิดอื่นๆ เช่น พอลิไวนิลคลอไรด์ พอลิยูรีเทน เป็นต้น
2. มีสมบัติที่อุณหภูมิสูงกว่าพลาสติกชนิดอื่นๆ เช่น พอลิไวนิลคลอไรด์ พอลิเอทิลีน และเอทิลีนไวนิลอะซิเตต เป็นต้น
3. มีความทนทานต่อแรงกระแทกดีกว่าพลาสติกทั่วไป เช่น พอลิพรอพิลีน
4. มีความหนาแน่นต่ำกว่าพลาสติกชนิดอื่นๆ เช่น พอลิไวนิลคลอไรด์ พอลิยูรีเทน และมีราคาถูกกว่าพอลิยูรีเทน
5. มีต้นทุนในการผลิตต่ำกว่ายางวัลคาไนซ์
6. สามารถทนทานต่อน้ำและสารเคมีได้ดี

จากสมบัติข้างต้นได้มีการนำเอา TPEs ไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ ดังนี้

1. ใช้ทดแทนยางวัลคาไนซ์ในผลิตภัณฑ์ที่ไม่จำเป็นต้องมีความยืดหยุ่นสูง และในงานที่ต้องการความแข็งแรงมากๆ
2. ใช้ทดแทนพลาสติกที่มีความยืดหยุ่น เช่น เอทิลีนไวนิลอะซิเตต พอลิยูรีเทนและเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ เป็นต้น
3. ใช้ในอุตสาหกรรมใหม่ๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในอุตสาหกรรมรถยนต์
4. ใช้แทนยางที่มีสมบัติเชิงกลดี เช่น เคลือบล้อ แผ่นไดอะแฟรม อุปกรณ์กันกระแทก ข้อต่อ
5. ใช้เป็นอุปกรณ์ทางไฟฟ้า เช่น ฉนวนหุ้มสายเคเบิล หรือสายไฟ
6. ใช้เป็นอุปกรณ์รถยนต์ เช่น ข้อต่อ วัสดุหุ้มสายเบรก ที่ปิดถุงลมอัดโนมัต
7. ใช้เป็นวัสดุในการผลิตท่อที่ใช้ในอุตสาหกรรม เป็นต้น

TPEs สามารถขึ้นรูปได้เหมือนกับเทอร์โมพลาสติก ซึ่งมีกระบวนการขึ้นรูปหลายวิธีด้วยกัน เช่น การอัดรีด (Extrusion) การอัดขึ้นรูป (Compression Molding) การฉีดขึ้นรูป (Injection Molding) และการเป่าขึ้นรูป (Blow Molding) เป็นต้น ซึ่งกระบวนการในการขึ้นรูป TPEs นั้นมีเพียงขั้นตอนเดียว เมื่อเทียบกับยางเทอร์โมเซตที่ใช้ขั้นตอนในการขึ้นรูปหลายขั้นตอน แสดงดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 ภาพการเปรียบเทียบกระบวนการผลิตระหว่าง TPEs กับ ยางเทอร์โมเซต [6]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 วัตถุดิบที่ใช้ในการเตรียม TPEs

วัตถุดิบหลักที่ใช้ในการเตรียม TPEs ประกอบด้วย GRT และ PP นอกจากนี้ยังได้นำสารช่วยผสมมาใช้ในการทดลองด้วย

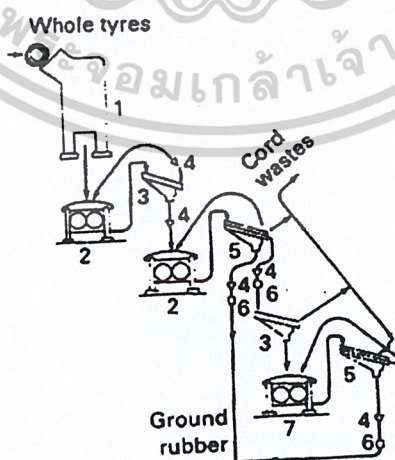
2.2.1 พยางรถยนต์ (Ground Rubber Tire; GRT) [7]

GRT มีกระบวนการผลิตได้ 2 กระบวนการดังนี้

- 1) การบดที่อุณหภูมิห้อง (Ambient Process)
- 2) การบดที่อุณหภูมิต่ำ (Cryogenic Process)

2.2.1.1 การบดที่อุณหภูมิห้อง (Ambient Process)

การบดที่อุณหภูมิห้อง ขั้นตอนแรกนำยางรถยนต์มาตัดด้วยเครื่องตัดเชิงกล (Mechanical Scissors) อย่างต่อเนื่องโดยได้เป็นยางชิ้นใหญ่ก่อนขนาดประมาณ 20-40 มิลลิเมตร แล้วส่งไปยังลูกกลิ้ง (Crushing Roll Mill) เพื่อบดให้ได้ขนาด 20 มิลลิเมตร จากนั้นไปทำการแยกอนุภาคด้วยตะแกรงร่อนแบบเดี่ยว (Single State Sifter Screen) อนุภาคที่ผ่านรูของตะแกรงร่อนถูกส่งไปยังลูกกลิ้งที่ 2 เมื่อบดเสร็จแล้วนำไปร่อนบนตะแกรงร่อน 2 ชั้น (Second State Sifter Screen) อีกทีหนึ่ง อนุภาคที่ไม่ผ่านตะแกรงร่อนถูกนำกลับมาบดในลูกกลิ้งบดอีกครั้ง ส่วนอนุภาคที่ผ่านตะแกรงร่อนนั้นมีขนาดประมาณ 5-7 มิลลิเมตร นำไปแยกแยกกับเศษโลหะที่ไม่ต้องการโดยใช้แม่เหล็กและแรงโน้มถ่วง (Magnetic and Gravity) อนุภาคยางที่ผ่านการแยกโลหะแล้วนำมาเข้าเครื่องบดโดยลูกกลิ้งตัวที่ 3 เมื่อบดเสร็จแล้วนำไปร่อนบนตะแกรงร่อนแบบ 2 ชั้น อนุภาคยางที่ไม่ผ่านตะแกรงร่อนถูกนำกลับไปบดบนลูกกลิ้งอีกครั้ง ส่วนอนุภาคที่ผ่านตะแกรงร่อนขั้นตอนนี้ นำไปแยกเศษโลหะอีกครั้งเพื่อให้ได้ยางที่ไม่มีสิ่งเจือปน เมื่อเสร็จกระบวนการแล้วอนุภาคยางที่ได้มีขนาดประมาณ 0.8 มิลลิเมตร กระบวนการบดที่อุณหภูมิห้องแสดงดังรูปที่ 2.4

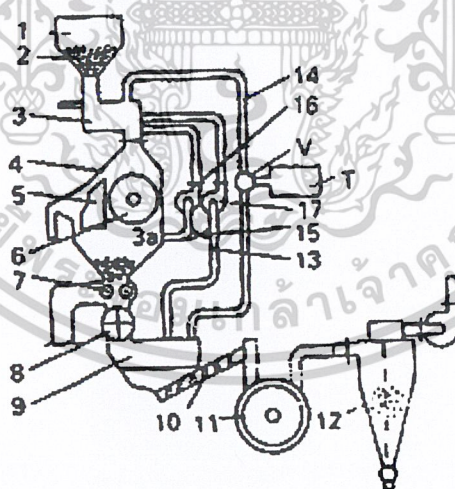


รูปที่ 2.4 กระบวนการบดที่อุณหภูมิห้อง [8]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

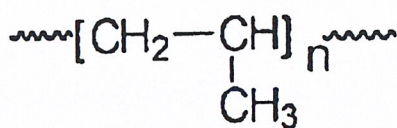
2.2.1.2 การบดที่อุณหภูมิต่ำ (Cryogenic Process)

การบดที่อุณหภูมิต่ำขั้นตอนแรกยางรถยนต์ถูกตัดเป็นชิ้นใหญ่ขนาด 50-150 มิลลิเมตร แล้วจึงนำไปแช่ในโตรเจนเหลว (Cryogenic Chamber) เพื่อทำให้ยางแข็งตัวที่อุณหภูมิ -60 ถึง -100 °C นำไปทำให้แตกเป็นขนาดเล็กด้วยเครื่องบดแบบทุบ (Hammer Grinder) ได้ขนาดอนุภาค ประมาณ 19 มิลลิเมตร หลังจากนั้นทำการแยกเศษโลหะที่ไม่ต้องการออกโดยใช้สนามแม่เหล็ก เมื่อแยกโลหะแล้วนำอนุภาคยางไปยังเครื่องแยกแบบไซโคลน (Cyclone Separator) ซึ่งมีตะแกรงร่อนแบบ 3 ชั้น อนุภาคที่ไม่ผ่านตะแกรงร่อนชั้นแรกถูกนำกลับไปบด แล้วนำกลับไปยังเครื่องแยกแบบไซโคลนอีกครั้ง ส่วนอนุภาคยางที่ผ่านตะแกรงร่อนชั้นแรกมาแล้วถูกนำไปแยกโดยใช้เครื่องสั่นปฐมภูมิ (First Vibration Table) ขั้นตอนนี้แบ่งออกเป็นสองส่วนที่เบาและส่วนที่หนัก ส่วนที่เบาทำการแยกเส้นเสริมแรง (Cord) ออกจากยาง และถูกส่งกลับไปเครื่องแยกแบบไซโคลนอีกครั้ง ส่วนที่หนักทำการแยกโลหะที่เหลือออกจากยางโดยใช้สนามแม่เหล็ก เมื่อได้ยางที่ไม่มีโลหะเจือปนนำไปแช่ในโตรเจนเหลวอีกครั้ง (Secondary Cryogenic Chamber) เมื่อยางแข็งตัวนำไปบดละเอียดมาก (Fine Disperse State) โดยขั้นตอนนี้กำหนดขนาดอนุภาคของยางให้สม่ำเสมอ เมื่อผ่านขั้นตอนนี้แล้วนำยางไปยังเครื่องแยกแบบไซโคลนตัวที่ 2 ยางที่ได้มีขนาดเล็กมากประมาณ 0.127 มิลลิเมตร กระบวนการบดที่อุณหภูมิต่ำแสดงดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 กระบวนการบดที่อุณหภูมิต่ำ [9]

2.2.2 พอลิพรอพิลีน (Polypropylene; PP) [10]

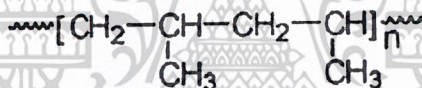


รูปที่ 2.6 สูตรโครงสร้างของพอลิพรอพิลีน

พอลิพรอพิลีนมีสเตอริโอไอโซเมอร์ (Stereoisomer) 3 รูปแบบคือ

1. ไอโซแทกติก (Isotactic Polypropylene)

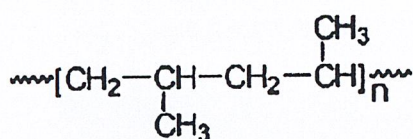
เกิดจากมอนอเมอร์พรอพิลีนจัดเรียงตัวแบบหัวต่อหาง หมู่เมทิลที่เกาะอยู่บนโครงสร้างหลักอยู่ด้านเดียวกัน ทำให้มีความเป็นผลึกสูง ไอโซแทกติกพอลิพรอพิลีนที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง (150,000-1,500,000 g/mol) สังเคราะห์ได้ด้วยปฏิกิริยาแบบเนื้อผสม (Heterogeneous Reaction)



รูปที่ 2.7 สูตรโครงสร้างของไอโซแทกติกพอลิพรอพิลีน

2. ซินดิโอแทกติก (Syndiotactic Polypropylene)

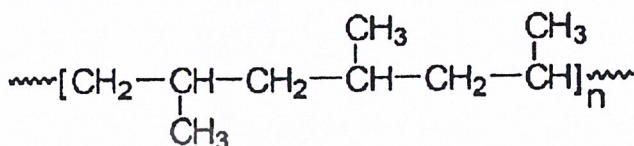
เกิดจากมอนอเมอร์พรอพิลีนจัดเรียงตัวแบบหัวต่อหางเช่นเดียวกัน แต่มีหมู่เมทิลที่เกาะอยู่บนโครงสร้างหลักอยู่แบบสลับกัน สามารถเกิดผลึกได้บ้างแต่ไม่มากนัก ซินดิโอแทกติกพอลิพรอพิลีนสามารถสังเคราะห์ได้ด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาเนื้อเดียวที่อุณหภูมิต่ำกว่าไอโซแทกติก



รูปที่ 2.8 สูตรโครงสร้างของซินดิโอแทกติกพอลิพรอพิลีน

3. อะแทกติก (Atactic Polypropylene)

เกิดจากมอนอเมอร์พอลิโพรพิลีนจัดเรียงตัวไม่เป็นระเบียบ ลักษณะเช่นนี้ทำให้มีการตกผลึกน้อยที่สุด อะแทกติกพอลิพโรพิลีนสามารถสังเคราะห์จากกรดคลอริส และสารประกอบออร์กาโนเมทัลลิก ได้พอลิเมอร์ที่มีโซ่กิ่งมาก จึงไม่ค่อยมีประโยชน์ในเชิงพาณิชย์



รูปที่ 2.9 สูตรโครงสร้างของอะแทกติกพอลิพโรพิลีน

สมบัติของพอลิพโรพิลีน

1. ความหนาแน่นประมาณ 0.9 กรัม/ลบ.ซม.
2. มีน้ำหนักเบา
3. จุดหลอมเหลวปานกลาง 130-170 °C
4. ไม่ละลายในตัวทำละลายที่อุณหภูมิห้อง
5. มีความทนทานต่อกรด และเบส
6. เฉื่อยต่อปฏิกิริยาเคมี
7. มีความเป็นผลึกสูงทำให้สมบัติเชิงกลดี
8. ละลายในตัวทำละลายไฮโดรคาร์บอนที่อุณหภูมิสูงกว่า 80 °C

พอลิพรอพิลีน ที่มีจำหน่ายในปัจจุบันมี 4 เกรด คือ

1. โฮโมพอลิเมอร์ (Homopolymer)

เป็นเกรดมาตรฐานทั่วไปมีองค์ประกอบง่ายๆ คือ มอนอเมอร์ของพรอพิลีนมาต่อกันโดยมีสมบัติต่างๆ แสดงดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 สมบัติของโฮโมพอลิพรอพิลีน [11]

กระบวนการขึ้นรูป	ครรชนี การไหล ASTM D-1238 (g/10 min)	ความ แข็งแรง โค้งงอ ASTM D-790 (MPa)	ความทนทาน ต่อแรง กระแทก ASTM D-265 (J/m ²)	ความแข็ง กด ASTM D-785 (Rockwell R)
ขึ้นรูปแบบอัด	0.5	1585	160	95
ขึ้นรูปแบบแผ่นบาง	1.5	1480	70	-
ขึ้นรูปแบบฉีดทั่วไป	4	1720	43	99
ขึ้นรูปแบบฉีดผนังบาง	20	1720	32	104
ขึ้นรูปแบบอัดรีด	40	1895	32	100
ขึ้นรูปเป็นเส้นใย	100	1585	-	-

โฮโมพอลิพรอพิลีนมักขึ้นรูปด้วยกระบวนการฉีดขึ้นรูป ใช้ทำฝาขวด เข็มฉีดยา อุปกรณ์ทางการแพทย์ ของเด็กเล่น บรรจุกัมมันต์ภายในบ้าน รถยนต์ขนาดเล็ก พิล์ม เส้นใยและตาข่าย ผลิตภัณฑ์จาก PP เสื่อมสภาพได้เมื่อสัมผัสกับแสงอาทิตย์เป็นเวลานาน จึงต้องเติมสารเติมแต่งเพื่อป้องกันการแตกตัวเป็นอนุมูลอิสระ PP มีลักษณะขุ่น แต่สามารถปรับปรุงให้ใสและมีสมบัติดีขึ้นโดยเติมตัวเหนี่ยวนำให้เกิดผลึก (Nucleating Agents) ทำให้ปริมาณผลึกเพิ่มขึ้นแต่ขนาดของสเฟียรูไลต์ลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. พอลิเมอร์ร่วมแบบสุ่ม (Random Copolymer)

พอลิเมอร์ร่วมชนิดนี้มีเอทิลีนร้อยละ 6 โดยน้ำหนัก โดยเติมลงในสายโซ่ของ PP สมบัติของพอลิเมอร์ร่วมแบบสุ่ม แสดงดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 สมบัติของพอลิเมอร์ร่วมแบบสุ่มของ PP [11]

กระบวนการขึ้นรูป	ครรชนี การไหล ASTM D-1238 (g/10 min)	ความ แข็งแรง โค้งงอ ASTM D-790 (MPa)	ความทนทาน ต่อแรง กระแทก ASTM D-265 (J/m ²)	ความแข็งกด ASTM D-785 (Rockwell R)
อัดรีดเป็นแผ่น	1	965	80	80
อัดรีดเป็นแผ่น	3	1515	37	95
อัดรีดเป็นฟิล์ม	3	260	-	-
อัดขึ้นรูปเป็นฟิล์ม	7	585	65	65
อัดขึ้นรูปเป็นฟิล์ม	10	860	85	80
ฉีดขึ้นรูปเป็นฟิล์ม	25	1135	-	94

การสังเคราะห์พอลิเมอร์ร่วมแบบสุ่มสามารถทำได้ง่ายคล้ายแบบโฮโมพอลิเมอร์ นำมาผลิตเป็นฟิล์มใช้บรรจุและห่ออาหารได้ตามมาตรฐาน เป็นอุปกรณ์ทางการแพทย์ ตัวเชื่อมความร้อนสามารถรับและดูดซับแรงได้ดีจึงใช้ทำเป็นกันชนรถยนต์

3. พอลิเมอร์ร่วมชนิดรับแรงกระแทก (High Impact Copolymer)

พอลิเมอร์ร่วมชนิดนี้มีการเติมมอนอเมอร์อื่นประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมักจะเป็นเอทิลีนหรือยาง ต้องใช้ความละเอียดรอบคอบในการสังเคราะห์ ต้องดูแลควบคุมสภาวะการทดลองให้เหมาะสมและคงที่ เพื่อให้ได้พอลิเมอร์ร่วมที่มีองค์ประกอบและน้ำหนักโมเลกุลตามต้องการ พบว่าพอลิเมอร์ร่วมที่ได้จะมีความทนทานต่อแรงกระแทกดี แม้ทำการทดลองที่อุณหภูมิต่ำ ใช้ทำเป็นกระเป๋าดินทาง ที่นั่งในรถ อุปกรณ์หล่อเย็น และเครื่องใช้ภายในบ้าน สมบัติของพอลิเมอร์ร่วมชนิดรับแรงกระแทกแสดงดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 สมบัติของ PP ชนิดรับแรงกระแทก [11]

กระบวนการขึ้นรูป	ครรชนี การไหล ASTM D-1238 (g/10 min)	ความ แข็งแรง โค้งงอ ASTM D-790 (MPa)	ความทนทาน ต่อแรง กระแทก ASTM D-265 (J/m ²)	ความแข็ง กด ASTM D-785 (Rockwell R)
ขึ้นรูปแบบอัด	0.5	1240	540	75
ขึ้นรูปแบบอัดรีด	1	860	650	55
ขึ้นรูปแบบฉีดทั่วไป	4	1035	540	65
ขึ้นรูปแบบฉีดทั่วไป	6	930	650	70
ขึ้นรูปแบบฉีดทั่วไป	11	1000	135	72

4. อะแทกติกพโพรพิลีน (Atactic Polypropylene)

บางครั้งเรียกว่าพอลิพโพรพิลีนแบบอสัณฐาน มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ มีความสามารถในการยืดเกาะ ไม่นำไฟฟ้า นิยมนำมาใช้ทำเป็นฉนวนหุ้มสายเคเบิล

2.2.3 สารช่วยผสม (Compatibilizer) [12]

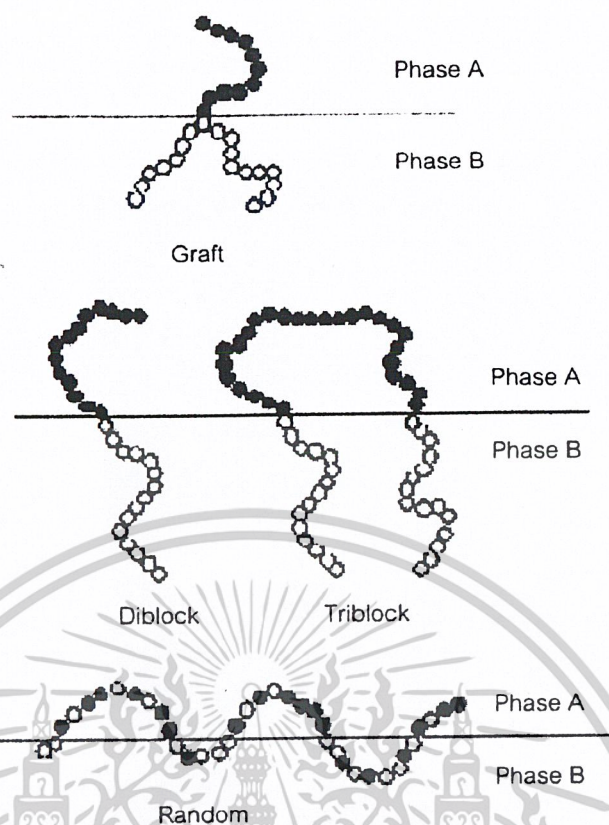
จากการศึกษาพบว่าพอลิเมอร์ผสมส่วนใหญ่เป็นแบบพอลิเมอร์ผสมที่ไม่รวมเป็นเนื้อเดียวกัน (Immiscible Blends) จึงเป็นผลให้พอลิเมอร์ผสมมีข้อบกพร่องดังนี้

- มีสมบัติการยึดติดที่พื้นผิวระหว่างวัฏภาคที่ไม่ดี
- มีค่าความตึงผิวที่พื้นผิวระหว่างวัฏภาค (Interfacial Tension) สูง
- มีสัณฐานวิทยา (Morphology) ที่ไม่เสถียรขณะผ่านกระบวนการแปรรูป

จากข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นนั้นทำให้นักวิทยาศาสตร์มีความสนใจในการแก้ไขข้อบกพร่องเหล่านี้ โดยมีการนำสารช่วยผสม (Compatibilizer) มาใช้เพื่อเพิ่มความสามารถในการเข้ากันได้ (Compatibility) และให้ผลในการช่วยลดความตึงผิวที่พื้นผิวระหว่างสองวัฏภาค ทำให้พอลิเมอร์ผสมมีสัณฐานวิทยาที่เสถียรขณะผ่านกระบวนการแปรรูป มีวัฏภาคกระจาย (Dispersed Phase) ที่มีขนาดเล็ก และทำให้มีสมบัติการยึดติดที่พื้นผิวระหว่างวัฏภาคดีขึ้น ซึ่งวิธีการที่สามารถทำให้พอลิเมอร์ผสมมีความเข้ากันได้ดีขึ้น แบ่งออกเป็น 2 วิธี คือ

- 1) Non-reactive Blending เป็นการเติมสารช่วยผสมลงไปในพอลิเมอร์ผสม ซึ่งเป็นแบบไม่เกิดปฏิกิริยา สารช่วยผสมที่ใช้ควรมีสูตรโครงสร้างเหมือนกับพอลิเมอร์ที่นำมาผสมกันเพื่อให้เกิดการเกี่ยวพัน (Entanglement) กับวัฏภาคของพอลิเมอร์ผสมทั้งสองวัฏภาค ดังนั้นสารช่วยผสมที่นิยมใช้ คือ พอลิเมอร์ร่วมซึ่งมีหลายชนิด คือ พอลิเมอร์ร่วมแบบโคโบล็อก แบบไตรโบล็อก แบบกราฟท์ หรือแบบส้อม ตัวอย่างเช่น การใช้พอลิเมอร์ร่วมของพอลิสไตรีนกับพอลิบิวทาไดอินแบบโคโบล็อกเป็นสารช่วยผสมในพอลิเมอร์ผสมของพอลิสไตรีนกับพอลิเอทิลีน
- 2) Reactive Blending เป็นวิธีการที่เติมสารช่วยผสมลงไปในพอลิเมอร์ผสม ซึ่งเป็นแบบเกิดปฏิกิริยา เนื่องจากพอลิเมอร์ที่นำมาผสมมีหมู่ฟังก์ชันในการทำปฏิกิริยาเคมีขณะทำการผสม หรือทำให้เกิดการต่อกิ่งพอลิเมอร์ชนิดหนึ่งให้มีหมู่ฟังก์ชันในการทำปฏิกิริยาเคมีกับพอลิเมอร์อีกชนิดหนึ่ง ตัวอย่างเช่น การต่อกิ่งพอลิเอทิลีนด้วยมาเลอิกแอนไฮไดรด์ (Maleic Anhydride) หรืออะคริลิกแอซิด (Acrylic Acid) ซึ่งทำให้มีหมู่คาร์บอกซิลที่ฟังก์ชันในการเกิดปฏิกิริยาเคมีกับพอลิเมอร์ชนิดอื่นที่มีหมู่ฟังก์ชันในการทำปฏิกิริยาเคมี เช่น พอลิเอไมด์

ดังนั้นการเติมสารช่วยผสมเป็นการเพิ่มความสามารถในการเข้ากันได้ของพอลิเมอร์ผสม แต่ไม่ได้ทำให้พอลิเมอร์ผสมรวมเป็นเนื้อเดียว เนื่องจากสารช่วยผสมมีการจัดเรียงตัวระหว่างวัฏภาคของพอลิเมอร์ผสมดังรูปที่ 2.10 ซึ่งทำหน้าที่เหมือนเป็นสะพานเชื่อม (เทียบได้กับการเย็บผ้า) ของทั้งสองวัฏภาคให้ดีขึ้น ทำให้พอลิเมอร์ผสมมีการยึดติดระหว่างวัฏภาค ทำให้วัฏภาคกระจายมีการกระจายตัวที่ดีและมีขนาดของวัฏภาคกระจายที่เล็กขณะผ่านกระบวนการแปรรูป



รูปที่ 2.10 แผนภาพแสดงการจัดเรียงตัวของสารช่วยผสมที่พื้นผิวระหว่างวัฏภาคของพอลิเมอร์ผสม [12]

2.2.3.1 พอลิเมอร์ร่วมของเอทิลีน-ออกทีน (Ethylene-octene Copolymer; Engage®) [13]

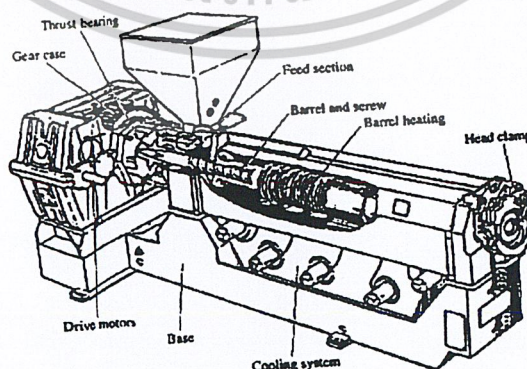
พอลิเมอร์ร่วมของเอทิลีน-ออกทีน เป็นพอลิโอเลฟินอีลาสโตเมอร์ (Polyolefin Elastomers) ที่มีลักษณะคล้ายยางและสามารถขึ้นรูปได้เหมือนกับเทอร์โมพลาสติก แต่มีสมบัติยืดหยุ่น โค้งงอที่อุณหภูมิต่ำกว่า -40°C จะมีความแข็งและความใสมากกว่า มักถูกนำไปใช้เป็นเมทริกซ์ (Matrix) สารดัดแปร (Modifier) หรือองค์ประกอบหนึ่งในพอลิเมอร์ผสมซึ่งสามารถช่วยลดน้ำหนัก เพิ่มความต้านทานต่อแรงกระแทก เพิ่มสมบัติการทนทานต่อความร้อน ทนทานต่อดินฟ้าอากาศและมีอายุการใช้งานนานขึ้น Engage® เตรียมได้จากปฏิกิริยา Metallocene Polymerization สามารถใช้แทนที่พอลิเมอร์บางชนิดได้ เช่น f-PVC, EVA, SBS, SEBS, EPM, EPDM, TPU และ TPV เป็นต้น ในการทำพอลิเมอร์ผสมหรือเทคนิคการอัดรีดร่วม (Coextrusion) Engage® มีความสามารถในการเข้ากันได้ และกระจายตัวได้ดีในพอลิโอเลฟิน (Polyolefins) เช่น PE, PP เป็นต้น

2.3 การทำงานของเครื่องมือ

2.3.1 เครื่องอัดรีดชนิดเกลียวหนอนเดี่ยว (Single Screw Extruder) [14]

เครื่องอัดรีดชนิดเกลียวหนอนเดี่ยว จัดว่าเป็นเครื่องจักรสารพัดประโยชน์สำหรับกระบวนการขึ้นรูปพอลิเมอร์ มีส่วนประกอบหลักดังนี้

1. ส่วนป้อนสาร (Hopper) เป็นบริเวณทำหน้าที่เก็บเม็ดพลาสติกเพื่อเตรียมป้อนเข้าเครื่องอัดรีด
2. ตัวเครื่อง (Barrel) เป็นท่อทรงกระบอก ภายในมีเกลียวหนอนมีส่วนป้อนสารซึ่งอาจป้อนได้ทั้งแนวตั้งและแนวนอน มีส่วนให้ความร้อนหุ้มอยู่ภายนอกอีกชั้นหนึ่ง มีช่องระบายอากาศและแจ็กเกตของกระบอกเพื่อใส่ตัวกลางในการถ่ายเทความร้อนหรืออาจใช้คอลลอยด์แทนก็ได้
3. เกลียวหนอน (Screw) เป็นแท่งโลหะเกลียวที่อยู่ในกระบอก มีหน้าที่ผสมวัสดุให้เป็นเนื้อเดียวกัน โดยการหมุนของเกลียวหนอนซึ่งได้รับแรงขับเคลื่อนจากมอเตอร์ เกลียวหนอนมีทั้งเกลียวหนอนเดี่ยวและเกลียวหนอนคู่ ขนาดของเกลียวหนอนนิยมกำหนดจากเส้นผ่านศูนย์กลางของเกลียวหนอน เป็น 1.5 นิ้ว จนถึง 8 นิ้วหรืออาจกำหนดโดยอัตราส่วนความยาวของกระบอกหารด้วยเส้นผ่านศูนย์กลางของเกลียวหนอนเป็น 20:1 หรือ 24:1 ซึ่งเป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมในการทำให้พลาสติกผสมรวมเป็นเนื้อเดียวกันได้
4. มอเตอร์ขับเคลื่อน (Motor) ทำหน้าที่ในการขับเคลื่อนเกลียวหนอนให้หมุนไปตามความเร็วที่ต้องการ เป็นการควบคุมอัตราการไหลของพอลิเมอร์หลอมเหลวและควบคุมอัตราการผลิตในตัว
5. แผ่นเบรกเกอร์ (Breaker) เป็นแผ่นโลหะที่ติดอยู่บริเวณปลายเกลียวหนอนและคายมีลักษณะเป็นช่องหรือรูให้พอลิเมอร์หลอมเหลวไหลผ่านได้ บางครั้งมีตะแกรงลวดติดตั้งอยู่ด้วยเพื่อกรองเอาสิ่งสกปรกหรือเม็ดพลาสติกที่ไม่หลอมเหลวออกก่อนเข้าคาย
6. ทางระบายอากาศ (Vent) อาจเป็นช่องแคบหรือรูขนาดเล็ก ทำหน้าที่ไล่อากาศที่อาจติดไประหว่างการผสมหรือขณะป้อนเม็ดพลาสติกให้ออกไป ก่อนพอลิเมอร์หลอมเหลวถูกอัดเข้าสู่แม่พิมพ์เพื่อป้องกันโพรงอากาศที่อาจเกิดขึ้นในชิ้นงาน



รูปที่ 2.11 เครื่องอัดรีดชนิดเกลียวหนอนเดี่ยว [14]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำงานของเครื่องอัดรีดชนิดเกลียวหนอนเดี่ยวเริ่มจาก จับพอลิเมอร์ออกจากส่วนป้อนเข้าสู่ตัวเครื่อง จากนั้นเกลียวหนอนถาเลียงพอลิเมอร์ไปตามเกลียวหนอนด้วยแรงขับของมอเตอร์และเฟืองทด พอลิเมอร์เริ่มหลอมเหลวด้วยความร้อนจากส่วนให้ความร้อนและแรงเฉือนที่เกิดขึ้น ซึ่งส่วนให้ความร้อนแบ่งออกเป็น 4 ส่วน สามารถปรับอุณหภูมิได้ตามความเหมาะสมกับชนิดของพอลิเมอร์ เนื่องจากส่วนคายมีความดันสูง เกลียวหนอนต้องมีประสิทธิภาพมากพอจึงจะส่งพอลิเมอร์หลอมเหลวผ่านคายได้

ตารางที่ 2.4 พลาสติกที่ใช้ในงานอัดรีด [15]

ชื่อทางเคมี	สัญลักษณ์	อุณหภูมิทำงาน (°C)	ตัวอย่างการใช้งาน
เซลลูโลสอะซิเตต	CA	160 ถึง 200	โปรไฟล์ต่างๆ แผ่นแบน
พอลิสไตรีน	PS	170 ถึง 210	แผ่นฟิล์มที่ดึงยืดทั้งสองแกน แผ่นโฟม
พอลิเมอร์ร่วมของ สไตรีนและบิวทาไดอีน	SB	170 ถึง 200	แผ่นหนา แผ่นฟิล์ม เส้นใย
พอลิเมอร์ร่วมของ อะคริโลไนไตรด์ บิวทาไดอีนและสไตรีน	ABS	170 ถึง 200	แผ่นหนา ท่อ
พอลิเอทิลีนชนิด- ความหนาแน่นต่ำ	LDPE	130 ถึง 220	ท่อ แผ่น ฟิล์ม ภาชนะหุ้มลวด
พอลิเอทิลีนชนิด- ความหนาแน่นสูง	HDPE	140 ถึง 220	ท่อ แผ่น ฟิล์ม ภาชนะหุ้มลวด แถบเทป
พอลิพรอพิลีน	PP	180 ถึง 260	ท่อ แผ่น ฟิล์ม โปรไฟล์ แถบเทป
พอลิไวนิลคลอไรด์	PVC	180 ถึง 200	ท่อ แผ่น ฟิล์ม
พอลิเมอร์ร่วมของ- พอลิไวนิลคลอไรด์	-	180 ถึง 210	ท่อ แผ่น ฟิล์ม
พอลิไวนิลคลอไรด์ ที่เติมสารหล่อลื่น	PVC	150 ถึง 190	โปรไฟล์ สายยางหุ้มไฟ ลวด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2 เครื่องฉีดขึ้นรูป (Injection Molding Machine) [16]

การฉีดพลาสติกเป็นวิธีที่นิยมใช้มากเนื่องจากสามารถผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีรูปร่างซับซ้อนได้ดี พอลิเมอร์ที่นำมาผลิตมีลักษณะเป็นเม็ดหรือผงก็ได้ นอกจากนี้ยังใช้ได้กับพอลิเมอร์ทุกประเภท เช่น เทอร์โมเซต เทอร์โมพลาสติก และอีลาสโตเมอร์

โครงสร้างของเครื่องฉีดขึ้นรูปประกอบด้วยส่วนสำคัญ 3 ส่วน คือ

1. ชุดฉีด ทำหน้าที่ในการดึงพอลิเมอร์เข้ากระบอกฉีด โดยอาศัยการหมุนของเกลียวหนอนจากนั้นทำการหลอมเหลวและส่งพอลิเมอร์ที่ถูกหลอมเหลวไปด้านหน้าของเกลียวหนอน เมื่อได้พอลิเมอร์ตามต้องการ เกลียวหนอนหยุดหมุน แล้วเคลื่อนที่ไปด้านหน้าตามแนวแกนเพื่อฉีดพอลิเมอร์เข้าสู่แม่พิมพ์และค้างอยู่ เพื่อให้เนื้อพอลิเมอร์เต็มเต็มแม่พิมพ์

2. ชุดปิด-เปิดแม่พิมพ์ ทำหน้าที่ยึดแม่พิมพ์ทั้ง 2 ส่วน เลื่อนปิด-เปิดแม่พิมพ์ ให้แรงในการปิดแม่พิมพ์ หล่อชิ้นงานให้เย็นและทำการปลดชิ้นงาน

3. ฐานเครื่อง ทำหน้าที่รับน้ำหนักของชุดฉีดและชุดปิด-เปิดแม่พิมพ์ เป็นที่บรรจุน้ำมันจิ้งหะในการทำงานของเครื่องฉีดทุกเครื่องมีการทำงานเป็นวัฏจักรที่เหมือนกัน แตกต่างกันที่รายละเอียดปลีกย่อยเท่านั้น คือ เริ่มจาก

จิ้งหะที่ 1 แม่พิมพ์เคลื่อนที่ปิด

จิ้งหะที่ 2 หลอมผสมส่งพอลิเมอร์ไปที่ปลายเกลียวหนอน ชุดฉีดเคลื่อนที่เข้าหาแม่พิมพ์

จิ้งหะที่ 3 ฉีดพอลิเมอร์เหลวเข้าแม่พิมพ์

จิ้งหะที่ 4 ย้ายรักษาความดันพอลิเมอร์เหลวที่อยู่ในแม่พิมพ์

จิ้งหะที่ 5 หล่อเย็นชิ้นงานที่อยู่ในแบบ

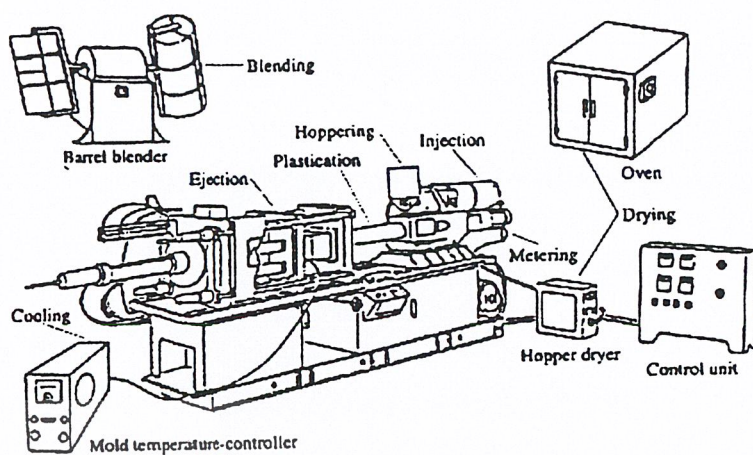
จิ้งหะที่ 6 หลอมและป้อนพอลิเมอร์ไปด้านหน้าของสกรู

จิ้งหะที่ 7 ชุดฉีดถอยหลังกลับ

จิ้งหะที่ 8 แม่พิมพ์เปิดออก

จิ้งหะที่ 9 ปลดชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์

ซึ่งในแต่ละจิ้งหะการทำงานใช้เวลาแตกต่างกันแล้วแต่ชนิดของพอลิเมอร์ที่ใช้ นอกจากนี้การเลือกใช้ความดันฉีด อุณหภูมิ และความเร็วของการทำงานในแต่ละจิ้งหะ มีผลต่อชิ้นงาน พอลิเมอร์ที่มีความหนืดสูงควรใช้ความดันในการฉีดสูงกว่าพอลิเมอร์ที่มีความหนืดต่ำ การเลือกใช้อุณหภูมิสูงหรือต่ำนั้น ขึ้นกับความเหมาะสมในการทำงานแต่ไม่ควรสูงเกินไป จนทำให้พอลิเมอร์เกิดการเสียสภาพ ส่วนความเร็วของการทำงานในแต่ละจิ้งหะส่งผลต่อเวลาที่ใช้ในการทำงาน



รูปที่ 2.12 เครื่องฉีดขึ้นรูป [16]



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Fukumori และ Matsushita [17] นำยางที่เหลือจากการใช้งานมาปรับปรุงสมบัติให้ดีขึ้น เพื่อลดปัญหาขยะและสิ่งแวดล้อม โดยนำยางที่เหลือจากใช้งานมาให้แรงเหวี่ยง ในขณะมีอุณหภูมิและความดันของถังปฏิกิริยาที่เหมาะสม สามารถช่วยปรับปรุงสมบัติเชิงกลของยางที่เกิดการเชื่อมโยงนี้ให้ดีขึ้น ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ประเภท TPEs เพิ่มขึ้นในภาคอุตสาหกรรม เมื่อเปรียบเทียบกับพวก TPEs ทั่วไป พบว่ายางที่เหลือทิ้งนี้เมื่อนำมาปรับปรุงสมบัติใหม่ ให้ความยืดหยุ่นและมีสมบัติที่ดีขึ้น

Ismail และ Suryadiansyah [18] ศึกษาสมบัติของยางที่นำกลับมาใช้ใหม่ (Recycled Rubber; RR) ผสมกับ PP และยางธรรมชาติ (Natural Rubber; NR) ผสมกับ PP พบว่า PP/RR มีความแข็งแรงดึง (Tensile Strength) และมอดุลัสของยัง (Young's Modulus) สูงกว่า PP/NR แต่เปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด (% Elongation at Break) น้อยกว่า PP/NR ในการศึกษาโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด (Scanning Electron Microscope; SEM) พบว่าเมื่อให้พลังงานทำลายพื้นผิวของชิ้นงานใน PP/RR ต้องใช้พลังงานในการทำลายพื้นผิวสูงกว่าใน PP/NR

Tipanna และ Kale [7] ได้นำพอลิไวนิลคลอไรด์ (PVC) กับ GRT ส่วนที่เป็นยางไนไตรล์ (Ground Nitrile Rubber Tire; GNRT) มาผสมกันในอัตราส่วนต่างๆ พบว่าสมบัติในการทนทานต่อแรงกระแทกและค่าความต้านทานการหักพังงอ (Flex Crack Resistance) เพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณผงยางมากขึ้น การที่สมบัติต่างๆ มีค่าสูงขึ้นเนื่องมาจากเกิดแรงยึดเหนี่ยวขึ้นระหว่าง PVC และส่วนที่เป็นอะคริโลไนไตรล์ของ GNRT

Choudhury และ Bhattachaya [19] ศึกษาความเข้ากันได้ของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง GRT กับ พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (Low Density Polyethylene; LDPE) ในอัตราส่วน 70:30 และศึกษาสมบัติการยึดเกาะเมื่อเติมสารช่วยผสมโดยใช้คลอรีเนตพอลิเอทิลีน (Chlorinated Polyethylene; CPE) ในปริมาณ 5-30% เป็นสารช่วยผสมเพราะมีส่วนที่เข้ากันได้กับ LDPE และมีสมบัติยืดหยุ่น จากการทดลองพบว่าสมบัติเชิงกล เช่น ความแข็งแรงดึง เปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด และความทนทานต่อแรงกระแทกมีค่ามากขึ้น ส่วนค่าดัชนีการไหล (Melt Flow Index) ลดลง เนื่องจากสารช่วยผสมทำให้การยึดเกาะระหว่างพลาสติกกับยางดีขึ้น นอกจากนั้นเมื่อเพิ่มปริมาณของสารช่วยผสมส่งผลให้ความหนืด และค่ามอดุลัสของยังเพิ่มขึ้นด้วย

Sawant และ Kale [20] นำเอาพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่ใช้แล้ว (Recycled HDPE) ผสมกับ GRT ในอัตราส่วน 0-80 % GRT พบว่า เปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด ลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อเติม GRT ความแข็งแรงดิ่งยังลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณ GRT ซึ่งสมบัติเชิงกลที่กล่าวมาลดลง เนื่องจากความไม่เข้ากัน ดังนั้นจึงต้องมีการเติมสารช่วยผสม EPDM เพื่อปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์

Rajalingam และคณะ [21] ได้นำ GRT ผสมกับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำแบบเชิงเส้น (LLDPE) โดย GRT ที่ใช้เตรียมได้จากวิธีการบดที่อุณหภูมิห้อง วิธีการบดที่อุณหภูมิห้องแบบเปียก (Wet Ambient) และวิธีการบดที่อุณหภูมิต่ำ พบว่า GRT จากวิธีการบดที่อุณหภูมิห้องทั้งสองแบบมีลักษณะขรุขระ มีพื้นที่ผิวมาก ส่วน GRT จากวิธีการบดที่อุณหภูมิต่ำมีลักษณะเรียบ มีพื้นที่ผิวน้อย และการกระจายตัวของขนาดอนุภาค GRT น้อยกว่าวิธีการบดที่อุณหภูมิห้อง เมื่อทำการปรับปรุง GRT ด้วยลำอิเล็กตรอน (Electron Beam) ทำให้สมบัติทนทานต่อแรงกระแทกดีกว่าวิธีโคโรนาและพลาสมา เนื่องจากทำให้ GRT ยึดติดกับ LLDPE ได้ดีขึ้น ในการผสมเมื่อใช้ GRT ขนาดเล็ก ทำให้ค่าความหนืดเพิ่มมากขึ้น และเมื่อใส่ไกลซิดิก (Glycidic) เป็นสารช่วยผสมทำให้สมบัติความทนทานต่อแรงกระแทกมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย

Oliphant และ Baker [22] ทำการทดลองใช้ GRT เป็นสารตัวเติมใน LLDPE และ HDPE โดยอนุภาคของ GRT ถูกเคลือบด้วย EAA Copolymer และเมื่อผสม 40% GRT ที่เคลือบกับ LLDPE แล้ว ทำให้ความสามารถในการรับแรงกระแทกและความแข็งแรงดิ่งเพิ่มขึ้นถึง 90% เมื่อเทียบกับ LLDPE บริสุทธิ์และเพิ่มขึ้น 60% และ 20% ตามลำดับ เมื่อเทียบกับพอลิเมอร์ที่ผสมอนุภาค GRT ที่ยังไม่ได้เคลือบ Ethylene-acrylic Acid (EAA) Copolymer

Rajalingam และ Baker [23] ผสมพอลิเมอร์คอมโพสิต (Polymer Composite) ระหว่าง PE กับ GRT ในการทดลองใช้ EAA Copolymer โดยทำหน้าที่เป็นสารคู่ควบ (Coupling Agent) ที่ผิวระหว่าง PE และ GRT เพิ่มขึ้น และ Styrene Block Copolymer ซึ่งทำหน้าที่เป็นสารเพิ่มความเหนียว (Toughening Agent) แก่พอลิเมอร์คอมโพสิต ทำให้พลังงานรับแรงกระแทกของพอลิเมอร์คอมโพสิตเพิ่มขึ้นถึง 60 เปอร์เซ็นต์

Pramanik และ Baker [24] นำ GRT ขนาด 40 และ 80 เมช (Mesh) ผสมกับ LLDPE เพื่อปรับปรุงสมบัติความทนทานต่อแรงกระแทก โดยใส่เอทิลีนอะครีลิคแอซิด (Ethylene Acrylic Acid) และยางธรรมชาติแบบอีพอกซิไดซ์ (Epoxydized Nature Rubber) เป็นสารช่วยผสม พบว่าเมื่อปริมาณของยางธรรมชาติแบบอีพอกซิไดซ์เพิ่มขึ้นหรือ GRT มีขนาดเล็กลง ทำให้สมบัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความทนทานต่อแรงกระแทกเพิ่มขึ้น นอกจากนี้การเติมไดคิวมิลเปอร์ออกไซด์ (Dicumyl Peroxide) ลงไปทำให้สมบัติความทนทานต่อแรงกระแทกเพิ่มสูงขึ้น และถ้าเคลือบ GRT ด้วย ไดคิวมิลเปอร์ออกไซด์และไตรแอริลไซยาเนต (Triallyl Cyanurate) ทำให้สมบัติความทนทานต่อแรงกระแทกเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน

Choudhury และ Bhattacharya [25] ได้ทำการทดสอบความเข้ากันได้ของ GRT และ LDPE พบว่าเมื่อใช้ CPE เป็นสารช่วยผสมทำให้สมบัติต่างๆ ดีขึ้น เช่น ค่าความแข็งแรงดึง เปอร์เซ็นต์การยืด ฉ ช อดขาด และสมบัติความทนทานต่อแรงกระแทก เป็นต้น เนื่องจาก CPE ช่วยทำให้ GRT ยึดติดกับ LDPE ได้ดียิ่งขึ้นโดยอัตราส่วนที่ใช้ประมาณ 5-30% ทั้งนี้ที่เลือกใช้ CPE เพราะมีโครงสร้างคล้ายคลึงกับ LDPE

ทวีศักดิ์ ยศยังธรรมกุล และรเรศ เสนาลอย [26] ศึกษาพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PP และ GRT ที่ทำหน้าที่เป็นสารตัวเติมและสารช่วยปรับปรุงสมบัติรับแรงกระแทก ในการทดลองนี้ PP และ GRT (0-30% โดยน้ำหนัก) ถูกผสมเข้าด้วยกันที่อุณหภูมิ 200 °C โดยใช้เทคนิคการอัดรีด (Extrusion) จากนั้นทำการขึ้นรูปด้วยเทคนิคการฉีดขึ้นรูป จากการทดลองพบว่าสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสม ได้แก่ ความแข็งแรงดึง เปอร์เซ็นต์การยืด ฉ ช อดขาด โมดูลัสของยัง และความแข็งแรงกมึแนวโน้มลดลงเมื่อเติม GRT แสดงว่า GRT ทำหน้าที่เป็นสารปรับปรุงสมบัติการรับแรงกระแทก วัสดุมีความแข็งแรงกระแทกเพิ่มขึ้นอย่างมากเมื่อเพิ่มปริมาณ GRT นอกจากนี้ศึกษาผลของสารช่วยผสม ได้แก่ กรดสเตียริก (Stearic Acid; SA) และพอลิพรอพิลีนต่อกิ่งด้วยมาเลอิกแอนไฮไดรด์ (Maleic Anhydride Grafted Polypropylene; MAPP) จากการทดลองพบว่า SA ทำหน้าที่เป็นสารหล่อลื่น ไม่ทำให้สมบัติของวัสดุเพิ่มขึ้น แต่ MAPP สามารถช่วยเพิ่มสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมได้ จากการศึกษาอุณหภูมิหลอมเหลวผลึก (T_m) และอุณหภูมิตกผลึก (T_c) ด้วยเทคนิค DSC พบว่าการเติม GRT ลงใน PP ไม่มีผลต่อ T_m และ T_c เมื่อปริมาณผงยางเพิ่มขึ้นมีผลทำให้เปอร์เซ็นต์ความเป็นผลึก (% Crystallinity) ลดลง จากภาพถ่ายด้วย SEM พบว่าอนุภาค GRT มีการกระจายตัวที่ดีในพอลิเมอร์เมทริกซ์ PP

บทที่ 3

การดำเนินงานวิจัย

3.1 แผนการดำเนินการ

โครงการพิเศษนี้เป็นการศึกษาการเตรียม TPEs ระหว่าง GRT และ PP โดยเน้นการปรับปรุงสมบัติของ GRT/PP โดยใช้สารช่วยผสม งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยต่อเนื่องของ นายทวีศักดิ์ ยศยิ่งธรรมกุล และนายธนศ เสนาลอย เป็นโครงการพิเศษของภาควิชาเคมี สจล. [26] ซึ่งในงานวิจัยนี้มีขอบเขตและวิธีการดำเนินการของงานวิจัยดังต่อไปนี้

ตอนที่ 1 การศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการเตรียม TPEs จาก GRT และ PP

โดยอัตราส่วนของ GRT/PP ที่ทำการศึกษา ได้แก่

- 50/50
- 60/40
- 70/30
- 80/20

ทำการผสมด้วยเครื่องอัดรีดชนิดเกลียวหนอนเดี่ยว และทำการขึ้นรูปชิ้นงาน TPEs ด้วยเครื่องฉีดขึ้นรูป

ตอนที่ 2 การศึกษาปริมาณสารช่วยผสมเพื่อปรับปรุงสมบัติของ TPEs จาก GRT และ PP ซึ่งสารช่วยผสมที่ใช้ในงานวิจัยนี้ คือ Engage® 8180 ปริมาณ 0 1 3 5 และ 10 phr

ตอนที่ 3 การทดสอบสมบัติของ GRT/PP ที่เตรียมได้ ได้แก่

1. การทดสอบสมบัติเชิงกล

- การทดสอบความแข็งแรงดึง (Tensile Test) ตามมาตรฐาน ASTM D638
- การทดสอบความทนทานต่อแรงกระแทกแบบไอซอด (Izod Impact Test) ตามมาตรฐาน ASTM D256
- การทดสอบความแข็งกด (Hardness Test) ตามมาตรฐาน ASTM D2240

2. การทดสอบสมบัติทางความร้อน

- Differential Scanning Calorimeter (DSC)
- Dynamic Mechanical Thermal Analyzer (DMTA)

3. การศึกษาสัณฐานวิทยาด้วย Scanning Electron Microscope (SEM)

4. การวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์เจล (% Gel)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตอนที่ 4 การศึกษาสมบัติการรีไซเคิล

นำ GRT/PP ที่ผ่านการขึ้นรูปแล้ว ไปบดและขึ้นรูปใหม่ โดยใช้กระบวนการฉีดขึ้นรูป จากนั้นนำไปทำการศึกษาสมบัติต่างๆ เช่นเดียวกับตอนที่ 3 แล้วเปรียบเทียบผลการทดลองกับการฉีดขึ้นรูปครั้งแรก

3.2 สารเคมีและอุปกรณ์

สารเคมี

1. พอลิพรอพิลีน (Polypropylene; PP) ชื่อทางการค้า P600F เกรดผลิตฟิล์ม ธรรมชาติการไหล (Melt Flow Index; MFI) 10 g/10 min จาก CCC CHEMICAL COMMERCE CO.,LTD.
2. พยางรถยนต์ (Ground Rubber Tire; GRT) ขนาด 40 เมช จากบริษัท แสงไทยผลิตยาง จำกัด ได้จากการนำยางรถยนต์ที่เสื่อมสภาพแล้วไปแยกส่วน เสริมแรงออก แล้วทำการบดยางที่เหลือด้วยการบดเชิงกล (Mechanical Grinding) ทำการ ร่อนให้ได้ขนาดที่ต้องการ
3. พอลิเมอร์ร่วมของเอทิลีน-ออกทีน 8180 (Ethylene-octene Copolymer 8180; Engage®) จากบริษัท DuPont Dow Elastomers สมบัติบางประการของ Engage® 8180 แสดงดัง ตารางที่ 3.1
4. ตัวทำละลายไซลีน (Xylene) จากบริษัท ITALMAR จำกัด

อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. เครื่องบด บริษัท Bosco Engineering จำกัด
2. เครื่องอัดรีดชนิดเกลียวหนอนเคียว บริษัท Axon Ab จำกัด
3. เครื่องฉีดขึ้นรูป รุ่น TTi 220/80 HITEC บริษัท Welltec Industrial Equipment จำกัด (Cosmo)
4. เครื่องทดสอบเนกประสงค์ (Universal Testing Machine, LLOYD) รุ่น LR5K บริษัท LLOYD Instruments จำกัด
5. เครื่องวัดความแข็งกด (Hardness Tester) Shore D รุ่น 7689 บริษัท Intro Enterprise จำกัด
6. เครื่องทดสอบความทนทานต่อแรงกระแทกแบบไอซอด (Izod Impact Tester) รุ่น 7697 บริษัท Yazuda จำกัด
7. ตู้อบสูญญากาศ (Vacuum Oven) บริษัท Hotpack Corporation จำกัด
8. เครื่องทดสอบสมบัติทางความร้อน (DSC) รุ่น DSC-7 บริษัท Perkin Elmer จำกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9. เครื่องทดสอบสมบัติทางความร้อนเชิงกล (DMTA) รุ่น DMTA-V บริษัท Rheometric Scientific จำกัด
10. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด (SEM) รุ่น LEO 1455VP บริษัท LEO จำกัด

3.3 ขั้นตอนการทดลอง

1. ทำการศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการเตรียม TPEs จาก GRT/PP
2. ทำการศึกษปริมาตรสารช่วยผสมที่เติมลงใน GRT/PP
3. ทำการทดสอบสมบัติเชิงกลของ GRT/PP ที่เตรียมได้
4. ทำการทดสอบสมบัติทางความร้อนของ GRT/PP ที่เตรียมได้
5. ทำการศึกษาลักษณะวิทยาของ GRT/PP ที่เตรียมได้
6. ทำการศึกษสมบัติการรีไซเคิล



ตารางที่ 3.1 สมบัติบางประการของ Engage® 8180

สมบัติ	หน่วย	ค่า	วิธีทดลอง
% โคมอนอเมอร์ (Comonomer Content)	wt%	42	¹³ C NMR/FTIR
ความหนาแน่น (Density)	g/cm ³	0.863	ASTM D-792
ครรชนีการไหล (Melt Flow Index)	g/10 min	0.5	ASTM D-1238 190 °C, 2.16 kg
ความหนืดมูนนี่ (Mooney Viscosity)	-	35	ASTM D-1646 ML 1+4 at 121 °C
ความแข็งกด (Durometer Hardness Shore A)	-	66	ASTM D-2240
อุณหภูมิหลอมเหลว (Melting Temperature; T _m)	°C	49	Rate 10 °C/min
อุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (Glass Transition Temperature; T _g)	°C	-58	DSC Inflection Point
มอดุลัสโค้งงอ (Flexural Modulus)	MPa	8.3	ASTM D-790, 2% Secant
ความแข็งแรงดึงสูงสุด (Ultimate Tensile Strength)	MPa	8.8	ASTM D-638
การดึงยืดสูงสุด (Ultimate Elongation)	%	860	ASTM D-638

หมายเหตุ : ข้อมูลจากบริษัท DuPont Dow Elastomers

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 วิธีการทดลอง

ตอนที่ 1 การศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการเตรียม GRT/PP

- 1.1 ชั่งน้ำหนัก GRT และ PP ให้มีน้ำหนักรวม 700 กรัม จำนวนสูตรผสม (% โดยน้ำหนัก) แสดงดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 สูตรผสมของ TPEs ที่ใช้ในการทดลอง

สาร	สูตรที่ 1	สูตรที่ 2	สูตรที่ 3	สูตรที่ 4
GRT	80	70	60	50
PP	20	30	40	50

- 1.2 ตั้งอุณหภูมิเครื่องอัดรีดชนิดเกลียวหนอนเดี่ยวที่ 170-200 °C โดยเพิ่มอุณหภูมิเพิ่มขึ้นไชนละ 10 °C ทำการผสม (Premix) PP และ GRT ในถุงพลาสติกหรือบีกเกอร์ตามอัตราส่วนที่กำหนดในตารางข้างต้น
- 1.3 เมื่อได้อุณหภูมิตามที่ต้องการเทส่วนผสมที่เตรียมได้จากข้อ 1.1 ลงในเครื่องอัดรีดชนิดเกลียวหนอนเดี่ยว โดยใช้ความเร็วรอบเท่ากับ 50 รอบต่อนาที [26]
- 1.4 หลังจากพอลิเมอร์ผสมที่เตรียมได้เย็นตัวแล้ว นำไปตัดเป็นเม็ดด้วยเครื่องตัดเม็ดเก็บไว้เพื่อเตรียมชิ้นงานสำหรับทดสอบสมบัติเชิงกลโดยใช้เครื่องฉีดขึ้นรูป
- 1.5 ขึ้นรูปพอลิเมอร์ที่ได้ด้วยเครื่องฉีดขึ้นรูปโดยใช้อุณหภูมิที่บาร์เรล 180 °C และที่หัวฉีด (Nozzle) 200 °C
- 1.6 นำพอลิเมอร์ที่ตัดเม็ดเรียบร้อยแล้ว ใส่ลงไปในส่วนป้อนสารของเครื่องฉีดขึ้นรูป โดยหาสภาวะของความดันที่ใช้ฉีด (Injection Pressure) และเวลาในการเย็นตัว (Cooling Time) ที่เหมาะสม โดยเตรียมตัวอย่างทดสอบแต่ละสูตรจำนวน 10 ชิ้น
- 1.7 บันทึกความหนาและความกว้างของตัวอย่างทดสอบแต่ละชิ้น

1.8 นำชิ้นงานมาทดสอบสมบัติเชิงกลดังต่อไปนี้

1.8.1 ทดสอบการดึงยืด ตามมาตรฐาน ASTM D-638

ตั้งความเร็วในการดึง	100 มิลลิเมตรต่อนาที
ความยาวเกจ (Gauge Length)	70 มิลลิเมตร
ค่าแรงสูงสุดที่เครื่องรับได้	5 กิโลนิวตัน
จำนวนชิ้นงานทดสอบ	6 ชิ้นงานต่อหนึ่งสูตร

1.8.2 ทดสอบความทนทานต่อแรงกระแทก (kJ/m^2) ตามมาตรฐาน ASTM D-256

ใช้ตุ้มน้ำหนัก	5 กิโลกรัม
จำนวนชิ้นงานทดสอบ	8 ชิ้นงานต่อหนึ่งสูตร

1.8.3 ทดสอบความแข็งกด (Hardness) ด้วยเครื่องวัดความแข็งกด แบบ Shore D ตามมาตรฐาน ASTM D-2240

ตอนที่ 2 การศึกษาปริมาณที่เหมาะสมของสารช่วยผสมที่เติมลงใน GRT/PP

2.1 ชั่งน้ำหนัก GRT และ PP ตามสูตรที่เหมาะสมในตอนต้นที่ 1 โดยให้น้ำหนักรวม 700 กรัม (% โดยน้ำหนัก) และเติมสารช่วยผสม Engage® แสดงดังตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 ปริมาณสารช่วยผสมแต่ละสูตรที่ใช้ในการทดลอง

สูตรที่	Engage® (phr)
1	1
2	3
3	5
4	10

หมายเหตุ : ปริมาณ Engage® ให้คิดเป็น phr โดยน้ำหนักเทียบกับ GRT

2.2 วิธีการทดลองเหมือนในการทดลองตอนที่ 1 ข้อ 1.2-1.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตอนที่ 3 การทดสอบสมบัติทางความร้อนของ GRT/PP

3.1 Differential Scanning Calorimeter (DSC)

- ชั่งชิ้นงานตัวอย่างประมาณ 6-8 mg
- บรรจุชิ้นงานตัวอย่างใส่ภาชนะทดสอบและตั้งอัตราการให้ความร้อน $10^{\circ}\text{C}/\text{min}$ ทดสอบในช่วงอุณหภูมิ 50°C ถึง 200°C
- ทำการวิเคราะห์ผลโดยหาค่าอุณหภูมิในการหลอมเหลว (T_m) และ เปอร์เซ็นต์ความเป็นผลึก (% Crystallinity) ของ GRT/PP ที่เตรียมได้

3.2 Dynamic Mechanical Thermal Analyzer (DMTA)

- ตัดชิ้นงานให้มีความกว้างประมาณ 5.8 มิลลิเมตร ยาว 25 มิลลิเมตร และหนา 2.5 มิลลิเมตร
- นำชิ้นงานที่ได้ไปใส่ในเฟรมขนาดใหญ่ (Large Frame) 34 มิลลิเมตร แล้วหมุนเกลียว (Nut) โดยใช้แรง 20 kN และเลือก Single Cantilever Bending Geometry
- ตั้งอุณหภูมิเครื่องให้อยู่ระหว่าง -80°C ถึง 50°C โดยค่าความเครียด (Strain) ที่ใช้ในการทดลองเท่ากับ 0.01 ค่าความถี่ (Frequency) ในการสั่นชิ้นงานเท่ากับ 1.6 Hz อัตราการให้ความร้อนเท่ากับ $5^{\circ}\text{C}/\text{min}$
- จากการทดลองสามารถหา T_g ได้จากกราฟ

ตอนที่ 4 การศึกษาสัณฐานวิทยาของ GRT/PP ที่เตรียมได้ด้วย SEM

- โดยนำ GRT/PP ที่เตรียมได้มาหักที่อุณหภูมิต่ำ (Cryogenic Crack) โดยแช่ชิ้นงานในไนโตรเจนเหลว 20 นาที แล้วหักชิ้นงานเป็นชิ้นเล็กๆ โดยอย่าให้รอยที่หักถูกสัมผัส
- นำชิ้นงานที่เตรียมได้มาสกัดด้วยตัวทำละลายไซลีน (Xylene) ที่อุณหภูมิ 80°C เป็นเวลา 2 วัน เพื่อกำจัดวัฏภาคของพลาสติก (PP) และวัฏภาคยางที่ไม่เกิดการเชื่อมโยงออก
- นำชิ้นงานไปอบในตู้อบสุญญากาศที่อุณหภูมิ 80°C เป็นเวลา 1 วัน เพื่อกำจัดตัวทำละลายไซลีน
- ทำการเคลือบชิ้นงานด้วยทองคำ
- นำชิ้นงานไปศึกษาสัณฐานวิทยาด้วย SEM

ตอนที่ 5 การวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์เจล (% Gel)

การวิเคราะห์ % Gel ทำโดยการตัดชิ้นงานเป็นชิ้นเล็กๆ (0.3x0.2x0.2 มม.) แล้วชั่งตัวอย่างหาน้ำหนักที่แน่นอน (W_0) ไม่น้อยกว่า 0.5 กรัม จากนั้นใส่ตัวอย่างของอะลูมิเนียมขนาด เล็กที่ทราบน้ำหนัก และนำไปแช่ไว้ในตัวทำละลายไซลีนที่อุณหภูมิ 80 °C เป็นเวลา 16 วัน แล้วนำ ชิ้นงานไปอบในตู้อบสุญญากาศที่อุณหภูมิ 80 °C เป็นเวลา 1 วัน เพื่อกำจัดตัวทำละลายไซลีน จากนั้นนำของอะลูมิเนียมกับตัวอย่างแต่ละช่องไปชั่งน้ำหนัก แล้วหาค่าเฉลี่ยจากตัวอย่าง 3 ชิ้นงาน ต่อ 1 สูตร

$$\% \text{ Gel} = (W / W_0) \times 100$$

เมื่อ W = น้ำหนักของตัวอย่างหลังอบ (กรัม)

W_0 = น้ำหนักของตัวอย่างก่อนสกัดด้วยตัวทำละลาย (กรัม)

ตอนที่ 6 การศึกษาสมบัติการรีไซเคิล

นำ GRT/PP ที่ผ่านการขึ้นรูปแล้ว ไปบดและขึ้นรูปใหม่ โดยใช้กระบวนการฉีดขึ้นรูป อีก 3 ครั้ง จากนั้นนำไปทำการศึกษสมบัติต่างๆ เช่นเดียวกับตอนที่ 1-5 แล้วเปรียบเทียบผลการ ทดลองกับการฉีดขึ้นรูปครั้งแรก

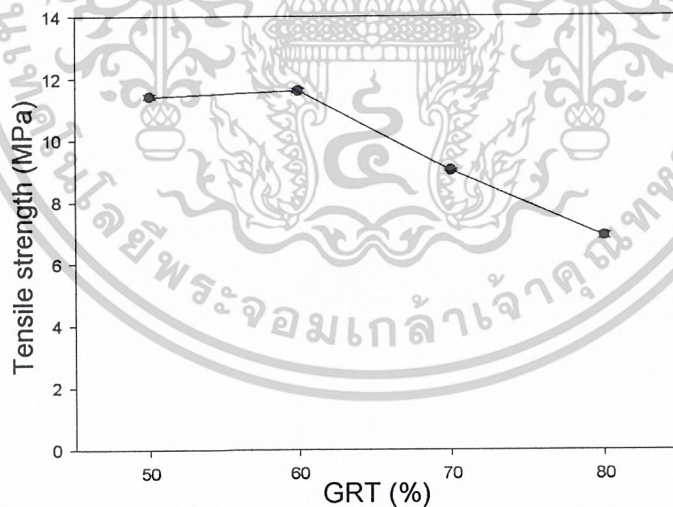
บทที่ 4

ผลการทดลองและอภิปรายผล

จากการดำเนินงานวิจัยศึกษาการเตรียมและสมบัติของ TPEs ที่เตรียมจาก GRT และ PP โดยใช้ Engage[®] 8180 เป็นสารช่วยผสม โดยทำการศึกษาสมบัติเชิงกล สมบัติทางความร้อน และ สันฐานวิทยา ผลการวิจัยแสดงดังต่อไปนี้

4.1 การศึกษาอัตราส่วนของ GRT /PP ในการเตรียม TPEs

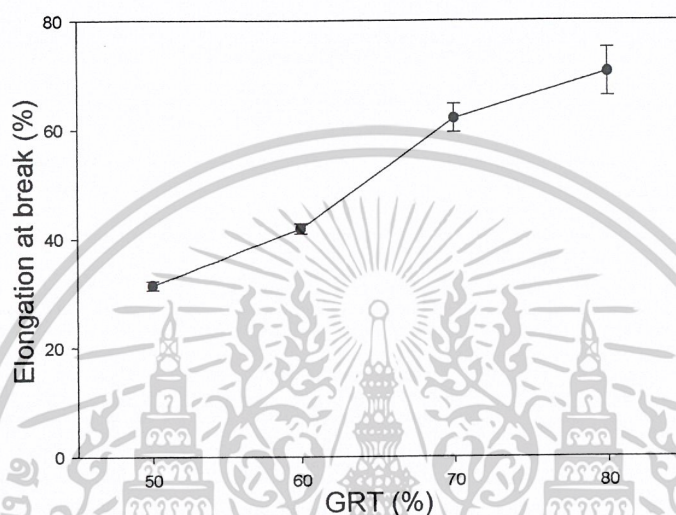
ในการเตรียม TPEs ประกอบไปด้วยองค์ประกอบ 2 วัสดุ คือ วัสดุที่เป็นเทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic) และ วัสดุที่เป็นอีลาสโตเมอร์ (Elastomer) ซึ่งส่งผลให้ TPEs สามารถนำไปผ่านกระบวนการขึ้นรูป (Processing) และสามารถนำมารีไซเคิลได้เหมือนเทอร์โมพลาสติก ในขณะที่ยังคงมีสมบัติยืดหยุ่น นิ่มตัวคล้ายยาง ณ อุณหภูมิที่นำไปใช้งาน ดังนั้นอัตราส่วนของ 2 วัสดุนี้จึงส่งผลต่อสมบัติของ TPEs ที่เตรียมได้ จากการดำเนินงานวิจัยได้ทำการศึกษ้อัตราส่วนที่เหมาะสมในการเตรียม TPEs ผลการวิจัยแสดงดังต่อไปนี้



รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงดึงของ TPEs กับปริมาณ GRT

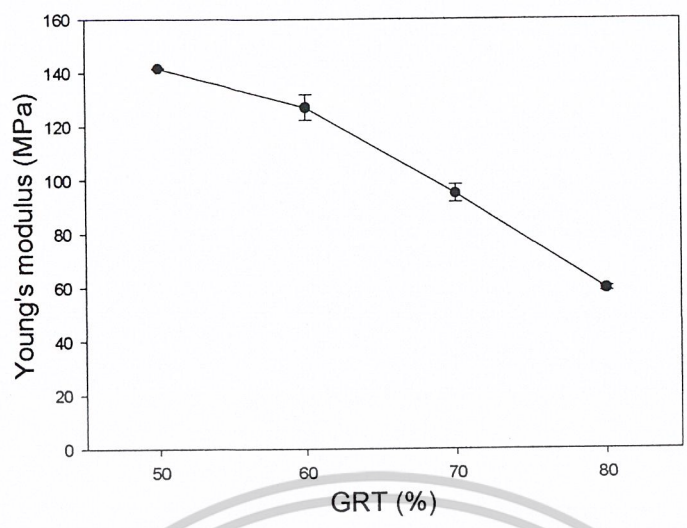
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดลองดังรูปที่ 4.1 พบว่าค่าความแข็งแรงดึงของ TPEs มีแนวโน้มลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณ GRT เนื่องจาก GRT และ PP เป็นวัสดุต่างชนิดกันเมื่อผสมกันแล้วไม่สามารถเข้ากันได้ในระดับโมเลกุล คาดว่าอาจเกิดรอยต่อระหว่างวัฏภาค (Interface) ดังนั้นเมื่อเพิ่มปริมาณ GRT มากขึ้นทำให้เกิดเป็นจุดอ่อน (Weak Point) และมีช่องว่าง (Void) ระหว่างอนุภาคที่เป็นเสมือนรอยตำหนิ (Defects) ส่งผลทำให้ความแข็งแรงของวัสดุโดยรวมลดลง



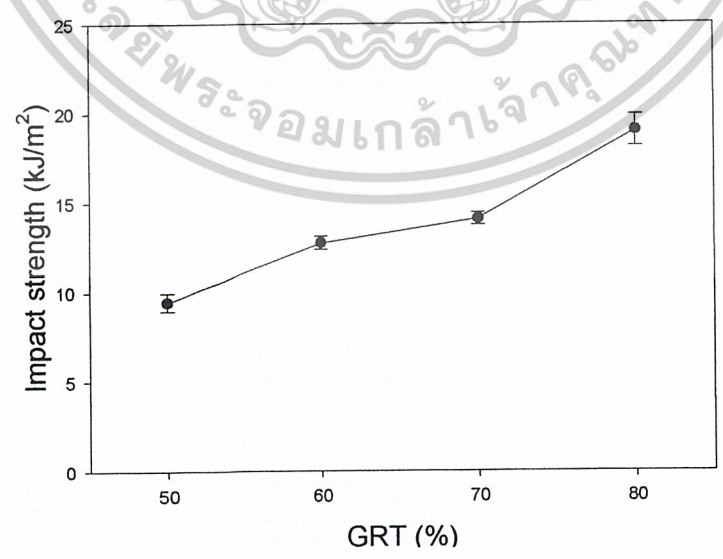
รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาดของ TPEs กับปริมาณ GRT

จากผลการทดลองดังรูปที่ 4.2 พบว่าเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณ GRT เนื่องจาก GRT เป็นยางที่ผ่านการเชื่อมโยงแล้ว (Crosslink) เกิดเป็นโครงสร้างร่างแหสามมิติ และมีความเป็นยางซึ่งมีความนิ่ม ยืดหยุ่น และสามารถเกิดการเปลี่ยนขนาดได้ง่ายกว่า PP ทำให้สามารถรับและกระจายแรงได้ดี จึงสามารถถูกดึงยืดได้มากกว่า PP ดังนั้นเมื่อเพิ่มปริมาณ GRT จึงเหมือนเพิ่มความสามารถในการยืดให้กับ TPEs ทำให้เปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาดมีค่าเพิ่มขึ้น



รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างมอดุลัสของยังของ TPEs กับปริมาณ GRT

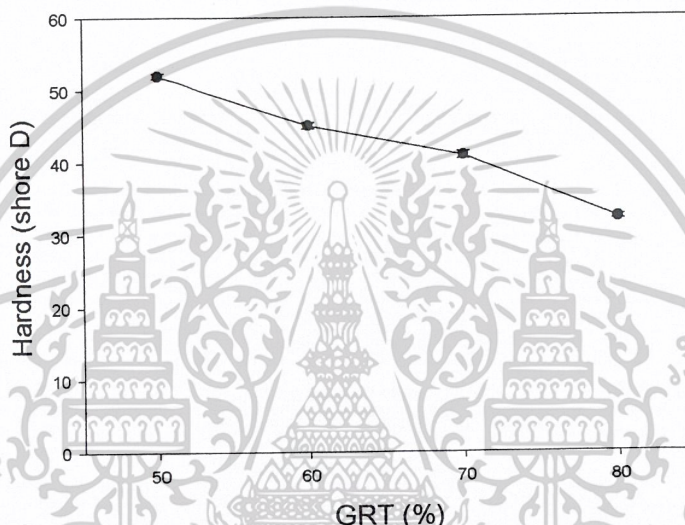
ในการทดลองเลือกใช้มอดุลัสของยังที่ความชันของกราฟที่มีลักษณะเป็นเส้นตรง (Young's Modulus) จากผลการทดลองดังรูปที่ 4.3 พบว่าค่ามอดุลัสของยังมีแนวโน้มลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณ GRT เนื่องจาก GRT เป็นวัสดุจำพวกยางที่มีค่าความต้านทานการเปลี่ยนแปลงรูปร่างหรือมอดุลัสของยังน้อยกว่า PP ซึ่งเป็นพลาสติกแข็งและมีค่ามอดุลัสของยังมาก ดังนั้นเมื่อเพิ่มปริมาณ GRT มากขึ้น (หรือลดปริมาณ PP) จึงเหมือนเป็นการลดค่าความต้านทานการเปลี่ยนแปลงรูปร่างโดยรวมของพอลิเมอร์ซึ่งเป็นไปตามกฎของการผสม (Rule of Mixture) จึงทำให้ค่ามอดุลัสของยังมีแนวโน้มลดลงด้วยเช่นกัน



รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงกระแทกของ TPEs กับปริมาณ GRT

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดลองดังรูปที่ 4.4 พบว่าค่าความแข็งแรงกระแทกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณ GRT เนื่องจาก GRT ที่ใช้ในการทดลองได้ผ่านการเชื่อมโยงเป็นโครงสร้างร่างแหสามมิติมาก่อนแล้ว เป็นที่ทราบกันดีว่าวัสดุยางมีความสามารถในการรับและกระจายพลังงานเมื่อมีแรงมากระทำได้ดีกว่าวัสดุจำพวกเทอร์โมพลาสติก ค่าความแข็งแรงกระแทกจึงมีค่าสูง เป็นผลให้เกิดการแตกหักของชิ้นงานยาก จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่า GRT สามารถใช้เป็นสารปรับปรุงสมบัติการรับแรงกระแทก (Impact Modifier) ได้ด้วย [26]



รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งกดของ TPEs กับปริมาณ GRT

จากผลการทดลองดังรูปที่ 4.5 พบว่าค่าความแข็งกดของ TPEs มีแนวโน้มลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณ GRT เนื่องจาก GRT เป็นวัสดุจำพวกยางมีค่าความแข็งกดยกกว่าหรือมีความนิ่มมากกว่า PP ซึ่งเป็นพลาสติกแข็ง ดังนั้นเมื่อเพิ่มปริมาณ GRT มากขึ้น (หรือลดปริมาณ PP) เป็นผลให้ค่าความแข็งกดโดยรวมของ TPEs ลดลงซึ่งเป็นไปตามกฎของการผสม

จากการดำเนินงานวิจัยเบื้องต้นทำให้ทราบความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติของ TPEs ที่เตรียมได้กับอัตราส่วนระหว่าง GRT/PP พบว่าเมื่อปริมาณ GRT เพิ่มขึ้น ทำให้ความแข็งแรงดึง มอดูลัสของยัง และความแข็งกดมีแนวโน้มลดลง ส่วนเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด และความแข็งแรงกระแทกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น จากผลการทดลองสามารถเลือกอัตราส่วนระหว่าง GRT/PP เพื่อนำไปศึกษาปริมาณสารช่วยผสม Engage® ที่มีผลต่อ TPEs โดยศึกษาสมบัติของ TPEs ที่มีลักษณะคล้ายยางแต่ไม่ใช่พลาสติกเหนียว (Toughen Plastic) และเน้นสมบัติในการรับแรงกระแทก และเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด ซึ่งจากการทดลองพบว่าสูตร GRT/PP เท่ากับ 80/20 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ให้สมบัติดังกล่าวดีที่สุด นอกจากนี้ต้นทุนของ GRT มีราคาต่ำมากเมื่อเทียบกับวัสดุที่ขึ้นรูปด้วยพลาสติก โดยเปรียบเทียบราคาของ TPEs ดังแสดงในตารางที่ 4.1 พบว่าการเพิ่มปริมาณ GRT (ลดปริมาณ PP) ทำให้ต้นทุนของ TPEs ต่อ 1 กิโลกรัมลดลง ทั้งยังเป็นการนำยางรถยนต์ที่เสื่อมสภาพแล้วไปใช้งานให้เกิดประโยชน์มากที่สุดเพื่อลดปัญหาขยะและสิ่งแฉะลื้อม แต่ที่ไม่เลือกสูตรนี้มาศึกษาต่อ เนื่องจากเกิดปัญหาในขั้นตอนการผลิต คือขึ้นรูปเป็นชิ้นงานได้ยากเพราะของผสมมีส่วนที่เป็นยางมากทำให้มีความหนืดมาก ส่งผลให้ต้องใช้ความดันมากในการขึ้นรูปและเป็นการสิ้นเปลืองพลังงาน จากปัญหาดังกล่าวจึงเลือกสูตร GRT/PP เท่ากับ 70/30 มาใช้ศึกษาแทน

ตารางที่ 4.1 วิเคราะห์ต้นทุนในการผลิต TPEs ที่เตรียมได้จาก GRT/PP โดยน้ำหนักรวม 1 กิโลกรัม

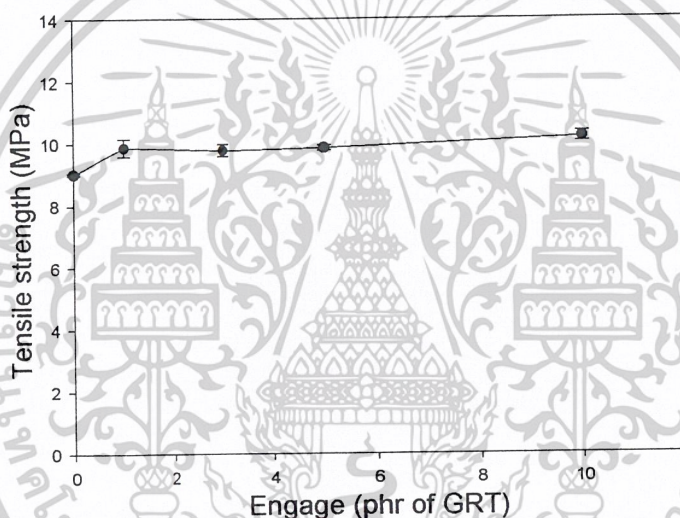
ส่วนผสม อัตราส่วน	GRT/PP: 50/50	GRT/PP: 60/40	GRT/PP: 70/30	GRT/PP: 80/20
GRT (กก.ละ 3 บาท) ¹	0.5 กก. x 3 บาท	0.6 กก. x 3 บาท	0.7 กก. x 3 บาท	0.8 กก. x 3 บาท
PP (กก.ละ 35 บาท) ¹	0.5 กก. x 35 บาท	0.4 กก. x 35 บาท	0.3 กก. x 35 บาท	0.2 กก. x 35 บาท
ราคา TPEs/กก. ²	26.25 บาท	15.8 บาท	12.6 บาท	9.4 บาท

หมายเหตุ :

1. ราคาวัตถุดิบ GRT และ PP เป็นราคาโดยประมาณโดยสอบถามจากบริษัทผู้ผลิตในเดือนมีนาคม 2547
2. การวิเคราะห์ต้นทุนนี้ยังไม่ได้รวมต้นทุนค่าใช้จ่ายอื่นๆ เช่น ค่าไฟฟ้า ค่าแรง ค่าเสื่อมราคาเครื่องจักร เป็นต้น

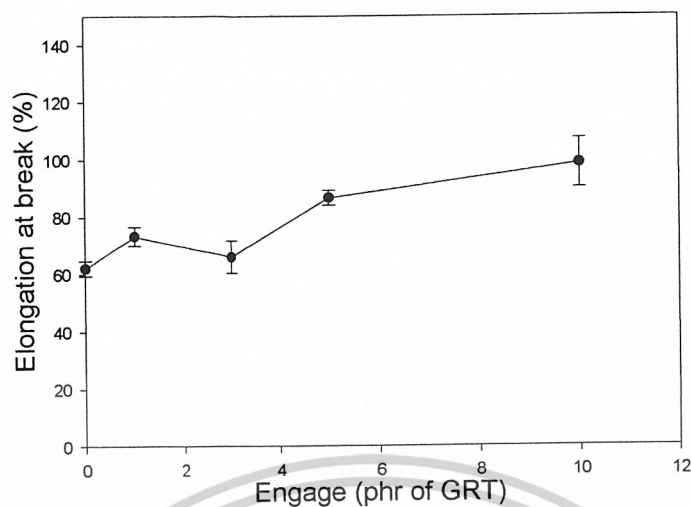
4.2 การศึกษาปริมาณของสารช่วยผสมที่เติมลงใน GRT/PP

ในการเตรียม TPEs มักมีปัญหาในการผสมซึ่งโดยส่วนใหญ่แล้วมักไม่รวมเป็นเนื้อเดียวกัน จึงเป็นผลทำให้ TPEs ที่เตรียมได้มีข้อบกพร่อง คือสมบัติการยึดติดที่พื้นที่ผิวระหว่างวัสดุ (Interfacial Adhesion) ไม่ดี ค่าความตึงผิวที่พื้นที่ผิวระหว่างวัสดุ (Interfacial Tension) สูง ทำให้สมบัติเชิงกลต่ำ ดังนั้นจึงมีการนำสารช่วยผสมมาใช้เพื่อเพิ่มความสามารถในการเข้ากันได้ (Compatibility) และทำให้สมบัติการยึดติดที่พื้นที่ผิวระหว่างวัสดุดีขึ้น ในงานวิจัยนี้จึงศึกษาปริมาณสารช่วยผสมที่มีผลต่อสมบัติ TPEs ซึ่งสารช่วยผสมที่ใช้ คือ Engage® ปริมาณ 0 - 10 phr โดยใช้อัตราส่วน GRT/PP : 70/30 ผลการวิจัยแสดงดังต่อไปนี้

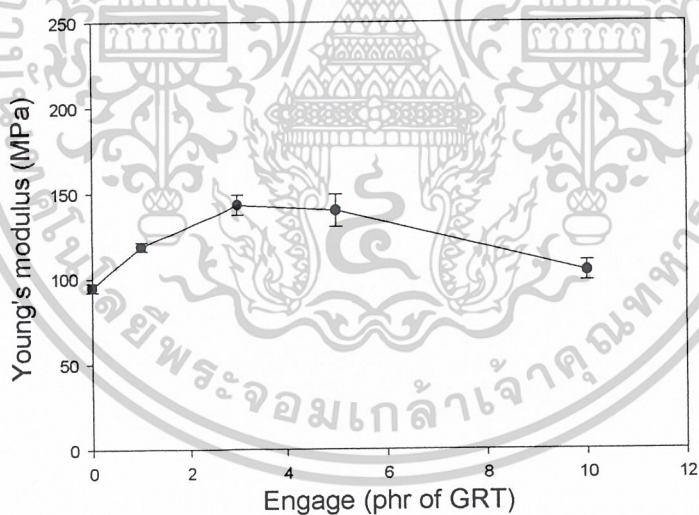


รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงดึงของ GRT/PP : 70/30 กับปริมาณ Engage®

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

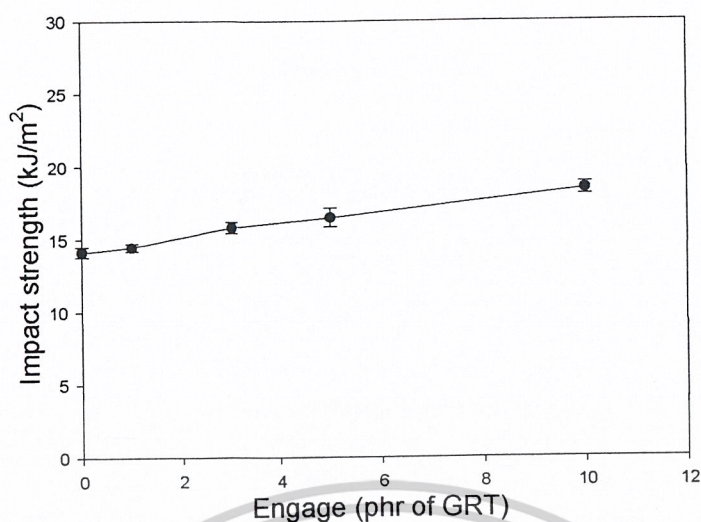


รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาดของ GRT/PP : 70/30 กับปริมาณ Engage®

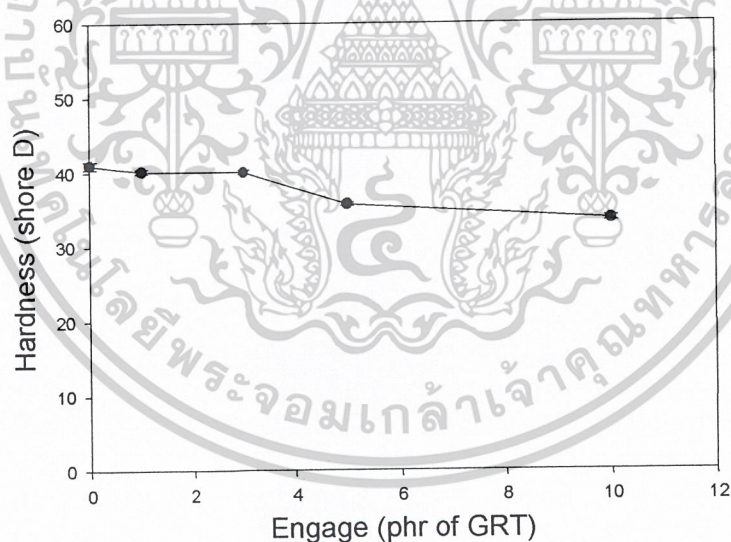


รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างมอดุลัสของยังของ GRT/PP : 70/30 กับปริมาณ Engage®

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงกระแทกของ GRT/PP : 70/30 กับปริมาณ Engage®



รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งกดของ GRT/PP : 70/30 กับปริมาณ Engage®

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

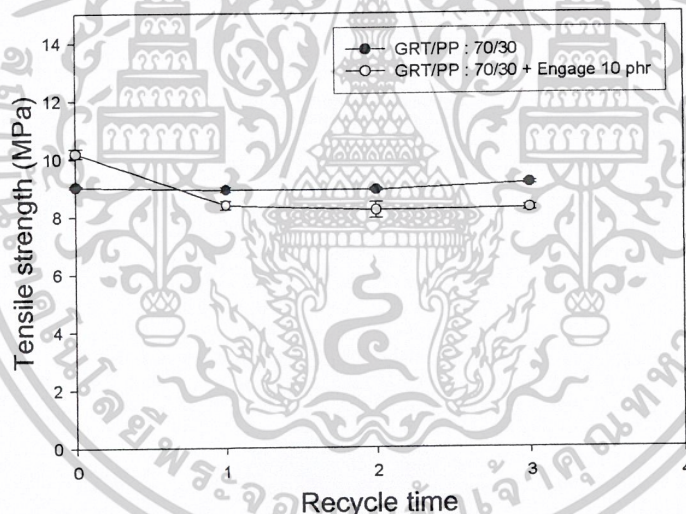
สารช่วยผสม Engage® เป็นพอลิโอเลฟินอีลาสโตเมอร์ (Polyolefin Elastomer) มีลักษณะคล้ายยาง สามารถขึ้นรูปได้เหมือนกับเทอร์โมพลาสติก และมีโครงสร้างของ PE ที่สามารถเข้ากันได้กับ PP ส่วนโครงสร้างที่เป็นออกทีนก็สามารถเข้ากันได้กับ GRT เกิดการเกี่ยวพันกันของสายโซ่พอลิเมอร์และวัฏภาคยางได้ นอกจากนี้ Engage® มักถูกนำไปใช้เป็นสารปรับปรุงสมบัติ (Modifier) หรือองค์ประกอบหนึ่งในพอลิเมอร์ผสมซึ่งสามารถช่วยลดน้ำหนัก เพิ่มความต้านทานต่อแรงกระแทก เพิ่มสมบัติการทนทานต่อความร้อน ทนทานต่อดินฟ้าอากาศ และมีอายุการใช้งานนานขึ้น [13] ดังนั้นจากสมบัติเพิ่มความต้านทานต่อแรงกระแทกจึงเลือก Engage® เป็นสารช่วยผสมในงานวิจัยนี้

จากผลการทดลองหลังจากเตรียม GRT/PP : 70/30 โดยใช้ Engage® เป็นสารช่วยผสม เมื่อนำไปทดสอบสมบัติเชิงกลต่างๆ พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณ Engage® ใน GRT/PP ส่งผลให้ความแข็งแรงดึง เปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด มอดุลัสของยัง และความแข็งแรงกระแทกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ส่วนค่าความแข็งกคมีแนวโน้มลดลง ที่เป็นเช่นนี้เนื่องมาจากการเติม Engage® ลงไปทำให้เกิดการเกี่ยวพันระหว่างวัฏภาคของ Engage® กับ GRT และ PP ทำให้สมบัติเชิงกลโดยรวมมีค่าเพิ่มขึ้น พอลิเมอร์ผสมมีความแข็งแรงเพิ่มมากขึ้น อีกทั้ง Engage® ยังเป็นตัวปรับปรุงสมบัติในการต้านทานต่อแรงกระแทกด้วย ส่วนค่ามอดุลัสของยังที่ลดลงเกิดเมื่อเพิ่ม Engage® ในปริมาณที่มาก (10 phr) เปรียบเสมือนเป็นการเพิ่มพอลิโอเลฟินอีลาสโตเมอร์ซึ่งมีลักษณะคล้ายยาง ทำให้พอลิเมอร์ผสมมีความเป็นยางมากขึ้น ดังนั้น GRT/PP จึงสามารถรับและกระจายแรงได้ดีขึ้น ส่งผลให้ค่ามอดุลัสของยัง และความแข็งกคมีแนวโน้มลดลง ซึ่งสอดคล้องกับเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด ที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น

จากผลการดำเนินงานวิจัยทำให้ทราบความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติของ GRT/PP ที่เตรียมได้กับผลของปริมาณสารช่วยผสม ทำให้สามารถเลือกอัตราส่วน GRT/PP เป็น 70/30 โดยปริมาณสารช่วยผสม Engage® 10 phr ซึ่งสูตรนี้ให้สมบัติการรับแรงกระแทกและเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาดโดยรวมดีที่สุด เพื่อนำไปศึกษาสมบัติการรีไซเคิลของ GRT/PP ในขั้นต่อไป และถ้าพิจารณาต้นทุนการผลิตเทียบกับสมบัติเชิงกลที่เพิ่มขึ้นอาจใช้ปริมาณสารช่วยผสม Engage® 1 – 3 phr ก็เพียงพอสำหรับปรับปรุงสมบัติบางประการ เช่น ความแข็งแรงดึง เปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด และความแข็งแรงกระแทก เป็นต้น

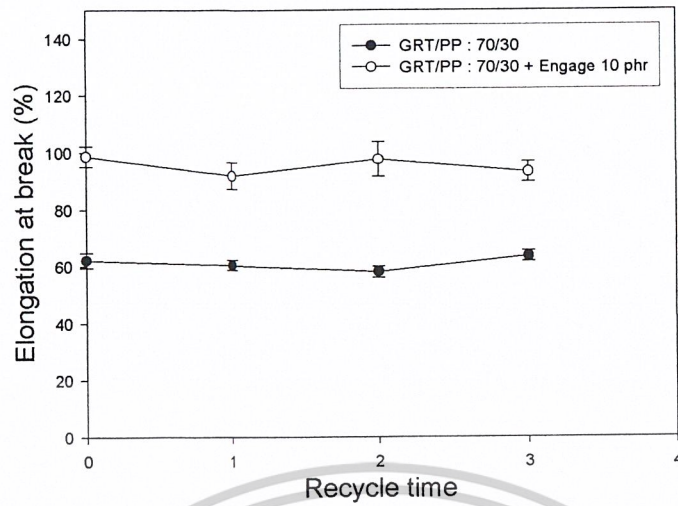
4.3 การศึกษาสมบัติการรีไซเคิลของ GRT/PP

เป็นที่ทราบกันดีว่ายางสุกหรือยางที่ผ่านกระบวนการวัลคาไนเซชัน (Vulcanization) มีสมบัติที่ดีและมีประโยชน์มากมายแต่ไม่สามารถนำกลับมารีไซเคิลได้ เนื่องจากยางสุกเป็นพอลิเมอร์จำพวกเทอร์โมเซต (Thermoset) มีโครงสร้างโมเลกุลเป็นโครงสร้างร่างแหสามมิติ (3-Dimensional Network) ทำให้มีข้อจำกัด เช่น เครื่องมือขึ้นรูป การเชื่อมโยงยางทำให้มีเศษเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิต อีกทั้งยางที่เสื่อมสลายไม่สามารถนำมารีไซเคิลได้ และการเชื่อมโยงยางมีกระบวนการผลิตที่ยุ่งยากและใช้เวลานาน ดังนั้นจึงมีการคิดค้นวัสดุใหม่เพื่อใช้ทดแทนยาง TPEs จึงเข้ามามีบทบาทสำคัญในส่วนนี้ เนื่องจากเป็นวัสดุที่มีความยืดหยุ่นคล้ายยาง แต่สามารถนำกลับมารีไซเคิลใหม่ได้เหมือนเทอร์โมพลาสติก ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงศึกษาสมบัติการรีไซเคิลของ GRT/PP และทำการเปรียบเทียบสมบัติต่างๆ ของ GRT/PP ที่ผ่านการรีไซเคิลจำนวน 1 - 3 ครั้ง โดยศึกษาชิ้นงานตัวอย่างจากอัตราส่วนของ GRT/PP : 70/30 ทั้งที่ใช้และไม่ใช้สารช่วยผสม Engage® 10 phr ผลการวิจัยแสดงดังต่อไปนี้

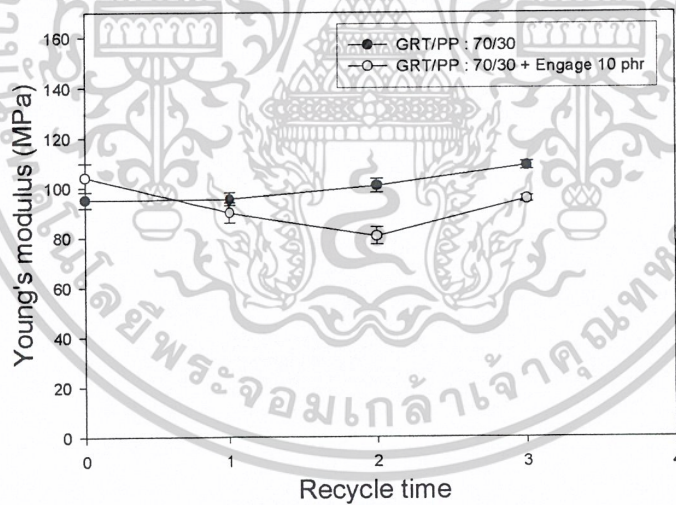


รูปที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงดึงของ GRT/PP กับจำนวนครั้งการรีไซเคิล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

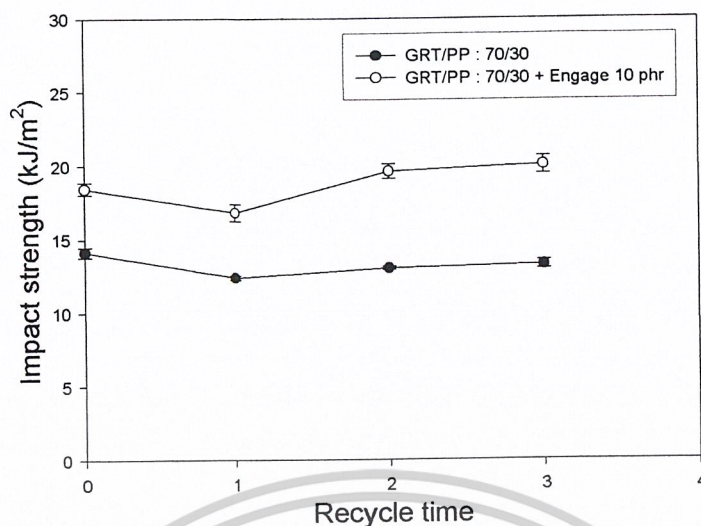


รูปที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาดของ GRT/PP กับ จำนวนครั้งการรีไซเคิล

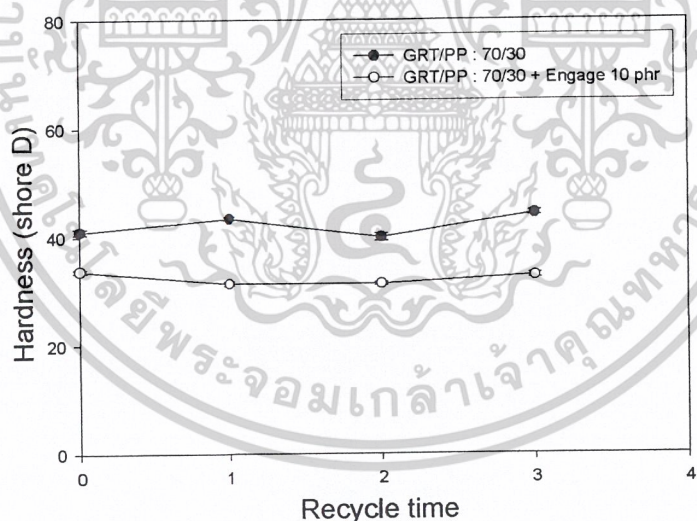


รูปที่ 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างมอดูลัสของยังของ GRT/PP กับจำนวนครั้งการรีไซเคิล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงกระแทกของ GRT/PP กับจำนวนครั้งการรีไซเคิล



รูปที่ 4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งกดของ GRT/PP กับจำนวนครั้งการรีไซเคิล

จากการทดลองเมื่อนำ GRT/PP : 70/30 และ GRT/PP : 70/30 (Engage® 10 phr) มาผ่านการรีไซเคิลจำนวน 3 ครั้ง พบว่าสมบัติเชิงกลที่ได้ไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก ซึ่งอาจกล่าวได้ว่าการรีไซเคิลไม่ส่งผลต่อสมบัติของ GRT/PP ที่เตรียมได้เมื่อเทียบกับ GRT/PP ที่ฉีดขึ้นรูปครั้งแรก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 การศึกษาสัณฐานวิทยาด้วยเทคนิค Scanning Electron Microscope (SEM)

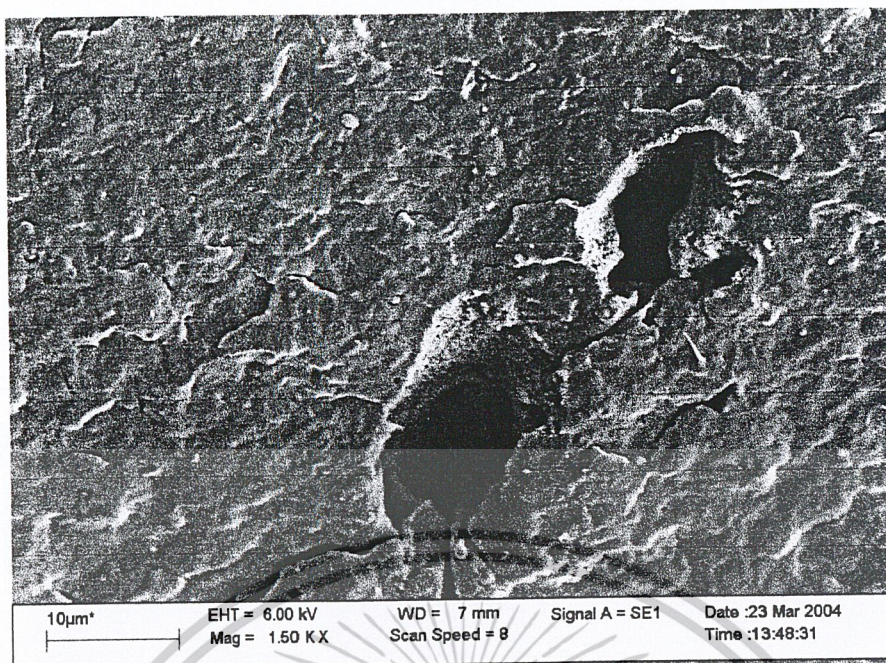
ในการศึกษาสัณฐานวิทยาของ GRT/PP ได้แบ่งหัวข้อในการศึกษาเป็นดังนี้

- เพื่อเปรียบเทียบการกระจายตัวของวัฏภาค GRT และ PP ในสูตรผสมที่มีอัตราส่วนแตกต่างกัน
- เพื่อเปรียบเทียบการกระจายตัวของวัฏภาค GRT และ PP เมื่อมี Engage® เป็นสารช่วยผสม
- เพื่อเปรียบเทียบการกระจายตัวของวัฏภาค GRT และ PP เมื่อผ่านการรีไซเคิล

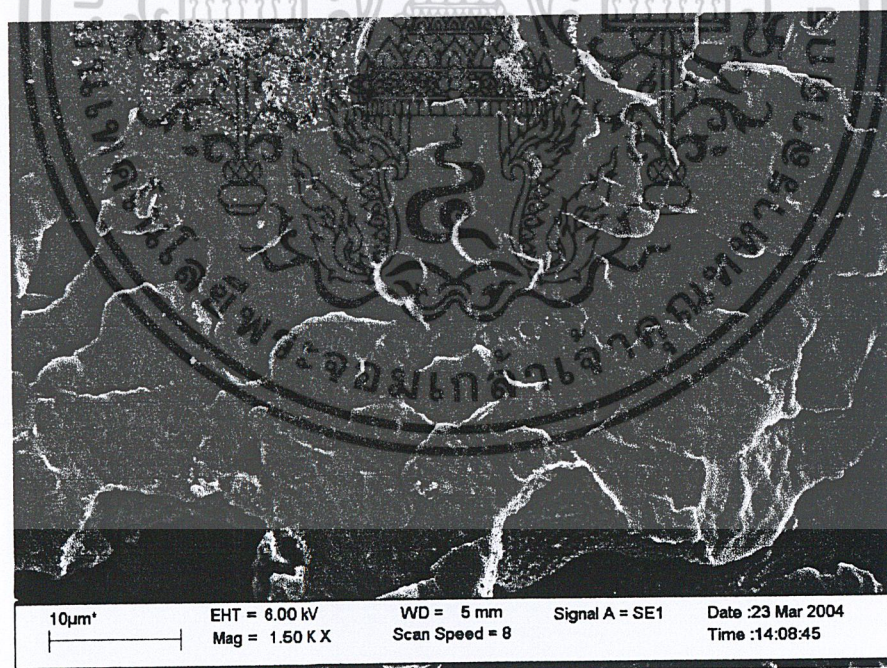
เมื่อนำ GRT/PP ของสูตรผสมที่มีอัตราส่วนของ GRT และ PP ที่แตกต่างกัน มาศึกษาสัณฐานวิทยาด้วยเทคนิค SEM แสดงดังรูปที่ 4.16 - 4.19 พบว่าการกระจายตัวของวัฏภาค PP ที่เห็นไม่ดีเท่าที่ควร อาจเนื่องมาจาก GRT เกิดการเชื่อมโยงเป็นโครงสร้างร่างแหสามมิติมาแล้ว ดังนั้นอาจทำให้อนุภาคของ PP เข้าไปกระจายตัวใน GRT ได้ยาก

จากสัณฐานวิทยาของ GRT/PP ที่มีการเติมสารช่วยผสม Engage® แสดงดังรูปที่ 4.20 - 4.21 พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณ Engage® ทำให้น้ำหนักของ PP ที่เป็นวัฏภาคกระจายมีขนาดเล็กลง และเกิดการกระจายตัวของวัฏภาค PP ที่ดีขึ้นส่งผลให้สมบัติเชิงกลมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เนื่องจากการผสมเกิดแรงเฉือน ทำให้การผสมดีขึ้น ส่งผลให้อนุภาคที่มีขนาดใหญ่แตกออกเป็นอนุภาคขนาดเล็ก แต่การผสมในแต่ละบริเวณได้รับแรงเฉือนที่ไม่เท่ากัน บริเวณที่เกิดแรงเฉือนน้อยอนุภาคที่มีขนาดเล็กอาจกลับมารวมตัวเป็นอนุภาคขนาดใหญ่ได้ ดังนั้นเมื่อเติมสารช่วยผสมลงไป สารช่วยผสมอาจเรียงตัวอยู่ระหว่างพื้นผิวของแต่ละวัฏภาค ช่วยป้องกันไม่ให้อนุภาคขนาดเล็กที่กระจายตัวอยู่กลับมารวมกัน ทำให้วัฏภาคของ PP มีขนาดเล็กลงเมื่อปริมาณสารช่วยผสมเพิ่มมากขึ้น

จากสัณฐานวิทยาของ GRT/PP ที่ผ่านการรีไซเคิล แสดงดังรูปที่ 4.22 - 4.23 พบว่าสัณฐานวิทยาที่ได้ไม่เปลี่ยนแปลงเท่าใดนักเมื่อเทียบกับ GRT/PP ที่ฉีดขึ้นรูปครั้งแรก (รูปที่ 4.18 และ 4.21)

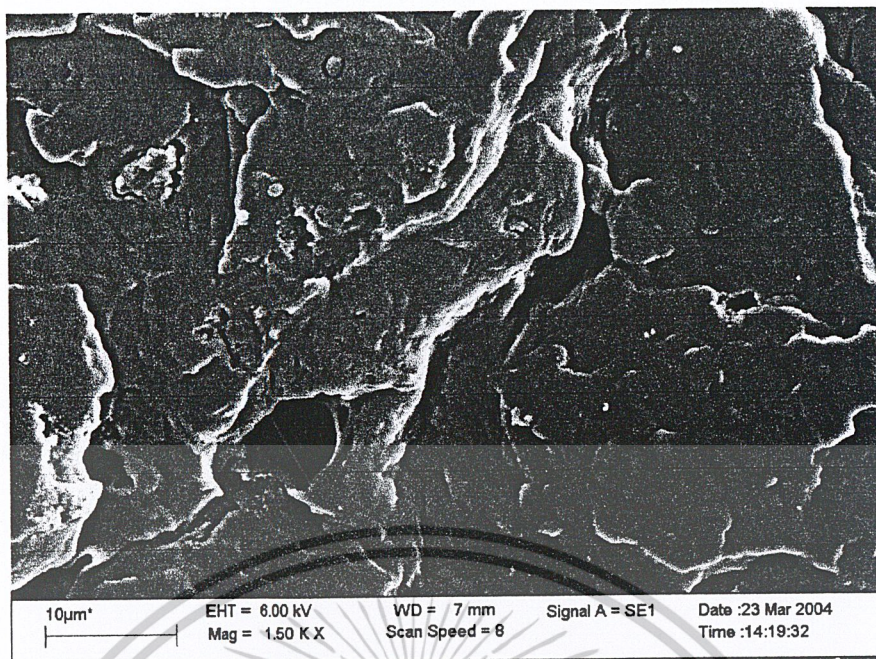


รูปที่ 4.16 สัณฐานวิทยาของ GRT/PP อัตราส่วน 50/50 ที่กำลังขยาย 1500 เท่า

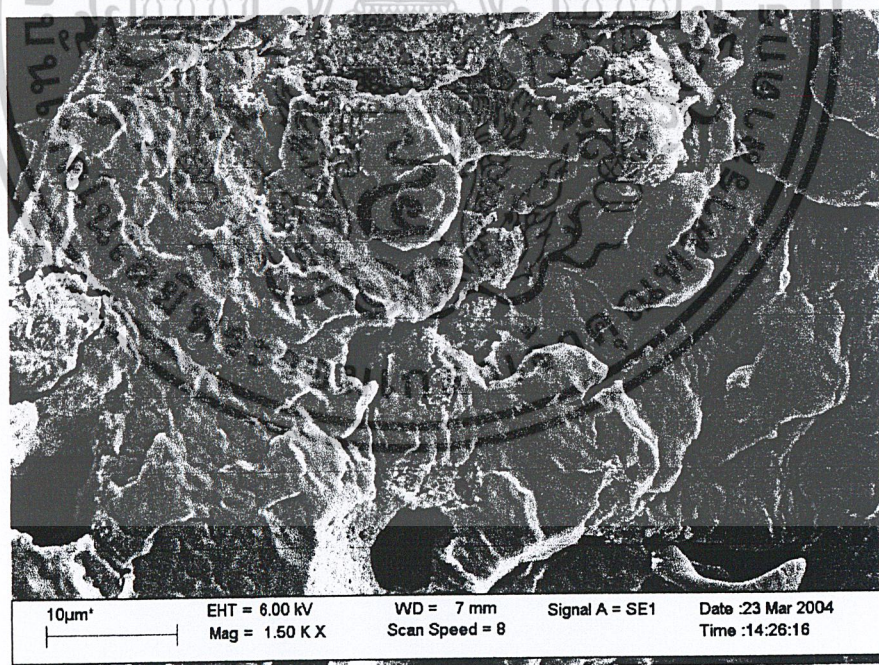


รูปที่ 4.17 สัณฐานวิทยาของ GRT/PP อัตราส่วน 60/40 ที่กำลังขยาย 1500 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

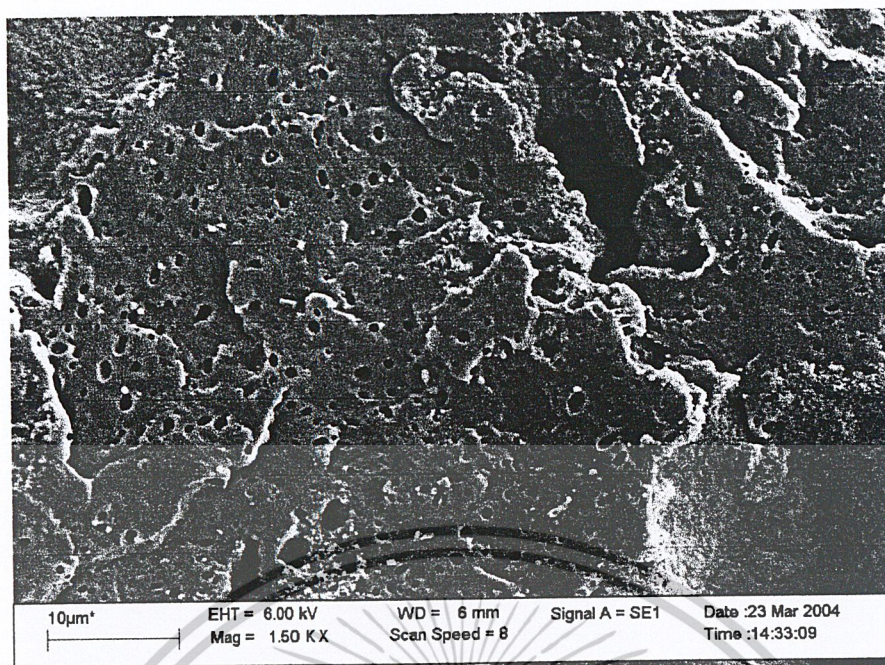


รูปที่ 4.18 สัณฐานวิทยาของ GRT/PP อัตราส่วน 70/30 ที่กำลังขยาย 1500 เท่า

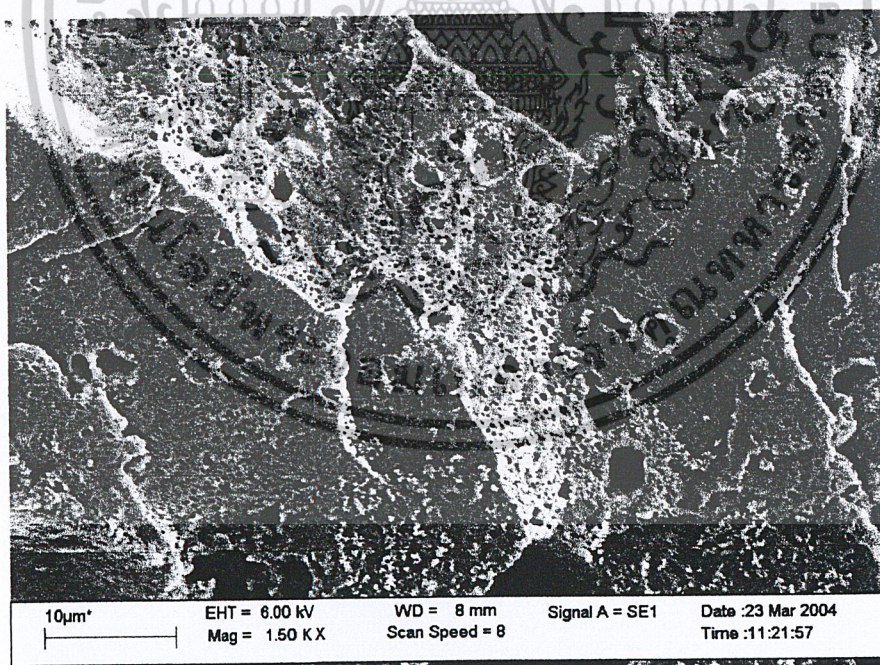


รูปที่ 4.19 สัณฐานวิทยาของ GRT/PP อัตราส่วน 80/20 ที่กำลังขยาย 1500 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

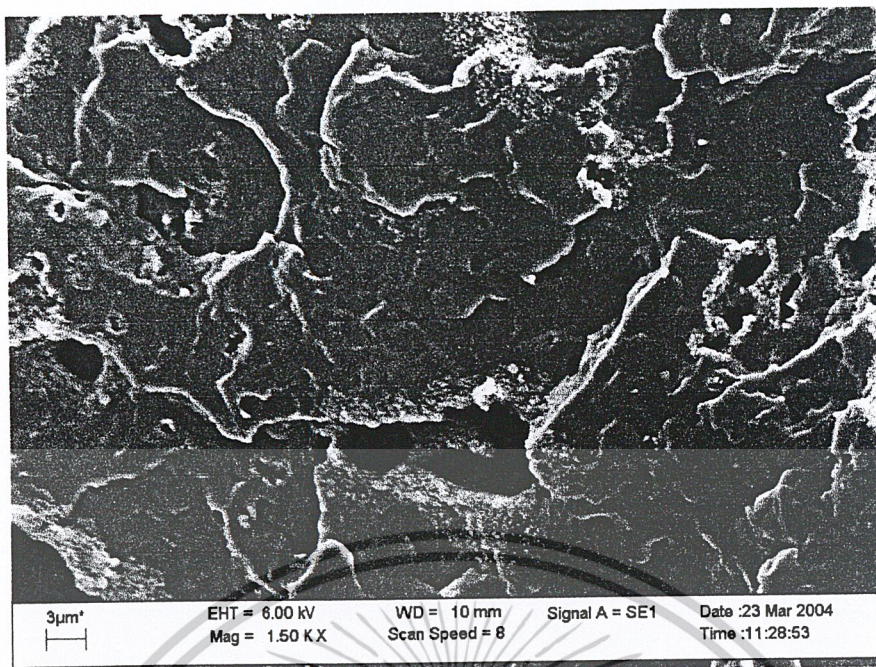


รูปที่ 4.20 ลักษณะวิทยาของ GRT/PP อัตราส่วน 70/30 ที่ผสม Engage® 5 phr
ที่กำลังขยาย 1500 เท่า

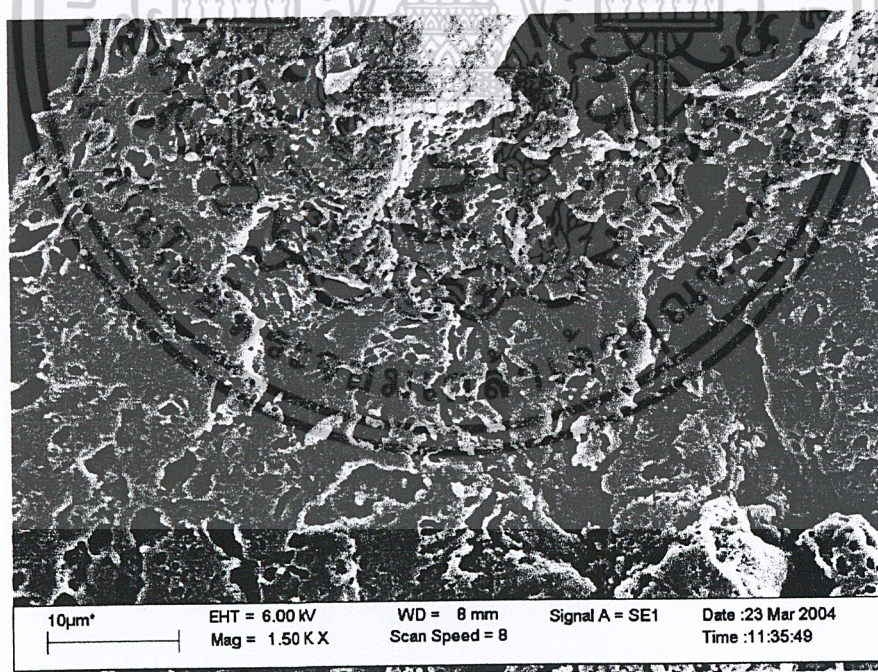


รูปที่ 4.21 ลักษณะวิทยาของ GRT/PP อัตราส่วน 70/30 ที่ผสม Engage® 10 phr
ที่กำลังขยาย 1500 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.22 ลักษณะวิทยาของ GRT/PP อัตราส่วน 70/30 ที่ผ่านการรีไซเคิลครั้งที่ 3 ที่กำลังขยาย 1500 เท่า



รูปที่ 4.23 ลักษณะวิทยาของ GRT/PP อัตราส่วน 70/30 ที่ผสม Engage® 10 phr ที่ผ่านการรีไซเคิลครั้งที่ 3 ที่กำลังขยาย 1500 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 การทดสอบสมบัติทางความร้อน (Thermal Analysis)

4.5.1 การทดสอบสมบัติทางความร้อนด้วย Differential Scanning Calorimeter (DSC)

การวิเคราะห์ด้วยเครื่อง DSC เป็นการวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนโดย T_m ของ PP และปริมาณความร้อนที่ใช้ในการหลอมเหลวผลึก (ΔH_f) ของ PP สามารถนำไปใช้คำนวณหา % Crystallinity ของ PP ใน GRT/PP ได้ ตัวอย่างเทอร์โมแกรมของ DSC แสดงในภาคผนวก ค

ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบสมบัติทางความร้อนด้วย DSC

สารตัวอย่าง	T_c PP (°C)	T_m PP (°C)	ΔH_f PP (J/g)	% Crystallinity ของ PP
GRT/PP : 50/50	111.2	141.2	29.40	35.6
GRT/PP : 60/40	111.0	143.9	9.54	14.5
GRT/PP : 70/30	111.7	144.8	6.74	13.6
GRT/PP : 80/20	110.6	146.2	2.34	7.1
GRT/PP : 70/30 + 5 phr Engage [®]	110.5	145.3	5.53	11.2
GRT/PP : 70/30 + 10 phr Engage [®]	110.2	144.1	7.21	14.6
GRT/PP : 70/30 (3 rd Recycled)	110.8	145.4	6.74	13.6
GRT/PP : 70/30 + 10 phr Engage [®] (3 rd Recycled)	109.3	145.4	9.09	18.3

การคำนวณ % Crystallinity ของ TPEs

$$\% \text{ Crystallinity} = \frac{\Delta H_f}{\Delta H_f^0} \times \text{สัดส่วนของ PP ใน GRT/PP} \times 100$$

เมื่อ ΔH_f = เอนทาลปีของการหลอมเหลว PP ตัวอย่าง (J/g)

ΔH_f^0 = เอนทาลปีของการหลอมเหลว PP ที่มีความเป็นผลึก 100% ซึ่งมีค่าเท่ากับ 165 J/g [27]

ตัวอย่างการคำนวณ

- GRT/PP : 50/50

$$\% \text{ Crystallinity} = \frac{29.405}{0.5} \times 100 = 35.64$$

จากการศึกษาสมบัติทางความร้อนด้วยเครื่อง DSC พบว่าเมื่อเติม GRT มากขึ้นไม่มีผลต่อ T_m และ T_c ของ PP แต่มีผลต่อ % Crystallinity ของ PP จากการทดลองพบว่า GRT/PP ที่อัตราส่วนแตกต่างกัน พบว่า % Crystallinity มีแนวโน้มลดลงเมื่อทำการผสม PP ในอัตราส่วนที่ลดลงหรือมีปริมาณเพิ่มขึ้น เนื่องจากอนุภาคยางไปขัดขวางการขยายขนาดของผลึก PP และบางส่วนของสายโซ่พอลิเมอร์ของ PP อาจเกาะหรือแทรกตัวอยู่ในอนุภาค GRT ทำให้ % Crystallinity มีแนวโน้มลดลงซึ่งสอดคล้องกับผลของการทดสอบความแข็งแรงดึง กล่าวคือเมื่อ % Crystallinity ลดลง ทำให้ค่าความแข็งแรงดึงลดลงเช่นกัน

จากการทดลองในสูตรที่มีการเติมสารช่วยผสม Engage® ลงไปใน GRT/PP พบว่า T_m , T_c และ % Crystallinity ของ PP มีค่าไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก เนื่องจาก Engage® เกิดการเกี่ยวพันอยู่ระหว่างวัฏภาคของ GRT และ PP ทำให้ PP เกิดการกระจายตัวที่ดีขึ้น แต่ไม่ส่งผลต่อการเกิดผลึกของ PP มากนัก

จากการนำ GRT/PP มาผ่านกระบวนการรีไซเคิล พบว่าไม่มีผลต่อ T_m , T_c ส่วน % Crystallinity มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย แต่ถือว่าค่าที่ได้ไม่แตกต่างจากตอนที่ยังไม่ผ่านการรีไซเคิลมากนัก ดังนั้นจึงอาจกล่าวได้ว่าการรีไซเคิลไม่ส่งผลต่อการเกิดผลึกของ PP

4.5.2 การทดสอบสมบัติทางความร้อนเชิงกลด้วย Dynamic Mechanical Thermal Analyzer (DMTA)

การวิเคราะห์ด้วยเครื่อง DMTA เป็นการวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนเชิงกล โดยเป็นการหา T_g จากจุดสูงสุดของ Peak $\tan \delta$ และค่า $\tan \delta$ ซึ่งบอกถึงสัดส่วนของการกระจายแรงต่อการรับแรงของวัสดุ ตัวอย่างเทอร์โมแกรม DMTA แสดงในภาคผนวก

ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบสมบัติทางความร้อนด้วย DMTA

สารตัวอย่าง	T_g PP ($^{\circ}\text{C}$)	$\tan \delta$
GRT/PP : 70/30	8.2	0.104
GRT/PP : 70/30 + 5 phr Engage®	5.7	0.107
GRT/PP : 70/30 + 10 phr Engage®	10.3	0.093
GRT/PP : 70/30 (3 rd Recycled)	12.8	0.108
GRT/PP : 70/30 + 10 phr Engage® (3 rd Recycled)	5.6	0.095

จากการทดลองพบว่าพอลิเมอร์ผสมระหว่าง GRT และ PP จัดเป็นพวก Immissible Blend คือผสมแล้วไม่เกิดความเข้ากันได้ในระดับโมเลกุล ทำให้มี T_g ของพอลิเมอร์ผสม 2 ค่า โดยทั่วไป PP มีค่า T_g ประมาณ $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ [27] จากการทดลองพบค่า T_g ของ PP ทั้งที่เดิม/ไม่เดิม สารช่วยผสมและผ่านการรีไซเคิลอยู่ในช่วงประมาณ $8 \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ซึ่งถือว่ามีความโน้มไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก จากการทดลองค่า T_g ของ PP เพิ่มขึ้นจาก $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ เนื่องจาก PP ถูกเกี่ยวพันด้วย Engage[®] หรือติดอยู่ในโครงสร้างร่างแหสามมิติทำให้สายโซ่เคลื่อนที่ได้ยากขึ้น เกิดแรงยึดระหว่างสายโซ่เพิ่มขึ้น และจากการทดลองไม่เห็นค่า T_g ของ GRT เนื่องจากเกิดจากความผิดพลาดของผู้ทำการทดลองได้กำหนดช่วงอุณหภูมิไม่ต่ำพอ ซึ่งผู้ทำการทดลองคาดว่า GRT เป็นยางที่เชื่อมโยงแล้วจึงเคลื่อนที่ได้ยากขึ้นอาจเกิดค่า T_g ของ GRT สูงกว่าค่า T_g ของยางทั่วไป ($-70\text{ }^{\circ}\text{C}$) [5] จึงได้ทำการทดสอบในช่วงอุณหภูมิ -80 ถึง $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ ทำให้ผลการทดลองที่ได้คลาดเคลื่อนไปจากความเป็นจริง

ส่วนค่า $\tan \delta$ ของ GRT/PP มีค่าไม่แตกต่างกันมากนัก แสดงว่าการเติมสารช่วยผสมและการรีไซเคิลไม่ส่งผลกับค่าการกระจายแรงต่อค่าการรับแรงของ GRT/PP

4.6 การวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์เจล (% Gel)

ตารางที่ 4.4 ผลการทดลองการวิเคราะห์ค่า % Gel

สารตัวอย่าง	% Gel
GRT/PP : 70/30	79.3
GRT/PP : 70/30 + 5 phr Engage [®]	78.0
GRT/PP : 70/30 + 10 phr Engage [®]	78.3
GRT/PP : 70/30 (3 rd Recycled)	78.3
GRT/PP : 70/30 + 10 phr Engage [®] (3 rd Recycled)	78.3

จากผลการทดลองเมื่อเติมสารช่วยผสม Engage[®] และผ่านการรีไซเคิลพบว่าค่า % Gel ไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก แสดงว่าสารช่วยผสม Engage[®] ทำให้การกระจายตัวของ PP ดีขึ้น แต่ไม่ทำให้เกิดการเชื่อมโยงของ GRT/PP ที่เพิ่มมากขึ้น และพบว่าค่า % Gel ที่ได้มีค่ามากกว่า 70 เปอร์เซ็นต์ของวัสดุ GRT เนื่องจากอาจสกัด PP ที่เป็นวัสดุกระจายออกไม่หมด หรืออาจเนื่องจากใน GRT มีสารเชื่อมโยงที่ยังไม่ได้เกิดปฏิกิริยา เมื่อได้รับความร้อนเกิดการแตกตัว ทำให้ในวัสดุของ PP มีการเชื่อมโยงเพิ่มมากขึ้น

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้ศึกษาสมบัติของ TPEs ที่เตรียมจาก GRT และ PP โดยใช้ Engage® 8180 มาเป็นสารช่วยผสม

5.1 สรุปผลการวิจัย

5.1.1 สมบัติเชิงกล

จากการศึกษาสมบัติเชิงกลของ TPEs ที่ได้จาก GRT และ PP พบว่าความแข็งแรงดึง มอดุลัสของยัง และความแข็งกด มีแนวโน้มลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณ GRT ทั้งนี้เนื่องจาก GRT ไม่สามารถเข้ากันได้กับ PP นอกจากนี้เมื่อความเป็นยางเพิ่มขึ้นทำให้วัสดุนุ่มขึ้น เป็นผลให้สมบัติดังกล่าวลดลง อย่างไรก็ตามเมื่อเพิ่มปริมาณ GRT ทำให้ความแข็งแรงกระแทก และเปอร์เซ็นต์การยืด ๓ จุดขาดมีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจาก GRT มีมอดุลัสของยังต่ำกว่า PP และ GRT เกิดการเชื่อมโยงเป็นโครงสร้างร่างแหสามมิติทำให้สามารถรับและกระจายแรงได้ดี

จากการศึกษาเลือกอัตราส่วนระหว่าง GRT/PP เป็น 70/30 เพื่อศึกษาผลของสารช่วยผสม Engage® 8180 พบว่าเมื่อเติมสารช่วยผสม Engage® เพิ่มขึ้นทำให้ความแข็งแรงดึง มอดุลัสของยัง เปอร์เซ็นต์การยืด ๓ จุดขาด และความแข็งแรงกระแทกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เนื่องจากสารช่วยผสม Engage® ช่วยเพิ่มการเกี่ยวพันระหว่างวัฏภาค GRT กับ PP ทำให้ PP มีขนาดเล็กลงและเกิดการกระจายตัวที่ดีขึ้น ทำให้วัสดุสามารถรับและกระจายแรงได้ดีขึ้น อย่างไรก็ตามพบว่าความแข็งกดลดลงเนื่องจากสมบัติความเป็นยาง ทำให้เกิดความนุ่มขึ้น จากการศึกษาพบว่า GRT/PP สูตรผสม 70/30 ที่มีสารช่วยผสม Engage® 10 phr ช่วยปรับปรุงสมบัติในการรับแรงกระแทกและให้เปอร์เซ็นต์การยืด ๓ จุดขาดดีที่สุด

5.1.2 สมบัติทางความร้อน

5.1.2.1 เครื่อง Differential Scanning Calorimeter (DSC)

จากการศึกษาสมบัติทางความร้อนด้วยเครื่อง DSC จากอัตราส่วนของ GRT/PP ที่แตกต่างกัน พบว่าเมื่อเติม GRT มากขึ้น ไม่มีผลต่อ T_m และ T_c (Crystallization Temperature) ของ PP อย่างไรก็ตามเมื่อปริมาณ GRT เพิ่มขึ้น ทำให้ % Crystallinity ลดลงเนื่องจาก GRT ไปขัดขวางการจัดเรียงตัวเป็นผลึกของ PP

จากการศึกษาผลของสารช่วยผสม Engage® ที่ใส่ลงไปใน GRT/PP สูตร 70/30 พบว่าไม่มีผลต่อ T_m , T_c และ % Crystallinity

5.1.2.2 เครื่อง Dynamic Mechanical Thermal Analyzer (DMTA)

จากการทดลองศึกษาสมบัติทางความร้อนเชิงกลด้วยเครื่อง DMTA พบว่า สารช่วยผสม Engage® ไม่ส่งผลต่อค่า T_g และ $\tan \delta$ ของ GRT/PP

5.1.3 การศึกษาสัณฐานวิทยา (Morphology)

จากการทดลองศึกษาสัณฐานวิทยาด้วยเทคนิค SEM พบว่าเกิดการกระจายตัวของ PP ในเมทริกซ์ของ GRT ไม่ดี และพบว่าเมื่อเติมสารช่วยผสม Engage® ใน GRT/PP ทำให้ขนาดของ PP เล็กลงและเกิดการกระจายตัวของ PP ในเมทริกซ์ของ GRT ดีขึ้น เนื่องจากสารช่วยผสมไปช่วยเกี่ยวพันระหว่างวัฏภาค GRT และ PP ทั้งช่วยป้องกันการรวมตัว (Coalescence) ของวัฏภาคกระจาย PP ด้วย

5.1.4 การวิเคราะห์ % Gel

จากการศึกษา % Gel พบว่าเมื่อเติมสารช่วยผสม Engage® เพิ่มขึ้น ทำให้ % Gel เปลี่ยนแปลงไม่มากนัก เนื่องจากสารช่วยผสม Engage® ช่วยเพิ่มการเกี่ยวพันและกระจายตัวระหว่างวัฏภาคของ GRT และ PP เท่านั้น ไม่มีผลต่อปฏิกิริยาการเชื่อมโยงแต่อย่างใด

5.1.5 การรีไซเคิล

จากการศึกษา GRT/PP : 70/30 และ GRT/PP : 70/30 (Engage® 10 phr) เมื่อผ่านการรีไซเคิลทั้ง 3 ครั้ง พบว่าสมบัติเชิงกล สมบัติทางความร้อน % Gel และสัณฐานวิทยาโดยรวมไม่เปลี่ยนแปลงนัก

5.2 ข้อเสนอแนะ

- 5.2.1 ศึกษาถึงชนิดและปริมาณของสารช่วยผสมเพิ่มเติม เพื่อเพิ่มสมบัติต่างๆ ของ TPEs ให้ดียิ่งขึ้น
- 5.2.2 ศึกษาถึงการประยุกต์ใช้พลาสติกตัวอื่นๆ ในงาน TPEs
- 5.2.3 ศึกษาสมบัติการไหล เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ในงานอุตสาหกรรม
- 5.2.4 ศึกษาถึงขอบเขตของการรีไซเคิล



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

1. Laokijcharoen, P. 2001. "Overview and Classification of Thermoplastic Elastomers." **Seminar on Using Thermoplastic Elastomers**, by National Metal and Materials Technology Center (MTEC).
2. Harper, C.A. 1998. **Handbook of Plastic, Elastomers, and Composites**, 3rd ed., New York: McGraw Hill Book Company.
3. รัตนาดี จันทร์น้ำใส. 2540. "การผลิตถ่านกัมมันต์จากยางรถยนต์โดยวิธีคาร์บอนในเซชัน/แอคติเวชัน." **วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิตจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย**.
4. นิพนธ์ วงศ์วิเศษศิริกุล. 2537. "ปฏิบัติการเทคโนโลยีพอลิเมอร์." **คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง**.
5. อธิธิพล แจ่มชัด. 2542. **เอกสารประกอบการสอนวิชาเทคโนโลยีการยาง ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง**.
6. วราภรณ์ ขจรไชยกูล. 2541. "การออกแบบสูตรยางและกระบวนการผลิต" **ส่วนอุตสาหกรรมยาง สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร**.
7. Tipanna, M. and Kale, D.D. 1997. "Composites of Waste Ground Rubber Particles and Poly(vinyl chloride)." **Rubber Chemistry and Technology**. 70 : 815-819.
8. Makarov, V.M. "Production of Reclaim from Scrap Tires." **Reprocessing of Tyres and Rubber Waste**. : 55.
9. Makarov, V.M. "Preparation of Finely-Dispersed Rubbers." **Reprocessing of Tyres and Rubber Waste**. : 153.
10. 2003. **พอลิพรอฟิลีน**. [Online].
Available : http://www.nationpark.co.th/biocom/garbage_poly.html
11. Mary, H.G. 1996. **Encyclopedia of Chemical Technology**. 4th ed., Wiley-Interscience Publication.
12. อธิธิพล แจ่มชัด สมศักดิ์ วรมงคลชัย สุภารัตน์ รักชลธิ และ ชลลดา ฤตวิรุฬห์. 2546. **เอกสารประกอบวิชาปฏิบัติการเทคโนโลยีพอลิเมอร์ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง**.
13. Vanden Eynde, S., Mathot, V.B.F., Hohne, G.W.H., Schawe, J.W.H., and Reynaers, H. 2000. **Polymer**. 41 : 3411-3423.
14. Griskey, R.G. "Single Screw Extruder." **Polymer Process Engineering**. : 281.
15. บรรณเลข ศรีนิล. 2538. "เทคโนโลยีพลาสติก." **ดวงกมลสมัย**.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

16. Griskey, R.G. "Injection Molding Unit." **Polymer Process Engineering** : 312.
17. Fukumori, K. and Matsushita, M. "Material Recycling Technology of Crosslinked Rubber Waste." **R&D Review of Toyota CRDL**. 38(1).
18. Ismail, H. And Suryadiansyah. 2002. "Thermoplastic Elastomers Based on Polypropylene/Natural Rubber and Polypropylene/Recycle Rubber Blends." **Polymer Testing**. 21 : 389-395.
19. Choudhury, N.R. and Bhattachaya, S.N. 1996. "Effect of Compatibilisation on Mechanical and Rheological Properties of Ground Rubber Tire-Polyethylene Blends." **Plastics, Rubber and Composites Processing and Applications**. 25(9) : 448-457.
20. Sawant, A.B. and Kale, D.D. 1996. "Recycled Rubber Filled Polyethylene." **Rubber Chemistry and Technology**. : 78-80.
21. Rajalingam, P., Sharpe, J., and Baker, W.E. 1993 "Ground Rubber Tire/Thermoplastic Composites: Effect of Different Ground Rubber Tires." **Rubber Chemistry and Technology**. 66 : 664-677.
22. Oliphant, K. and Baker, W.E. 1993. "The Use of Cryogenically Ground Rubber Tires as a Filler in Polyolefin Blends." **Rubber Chemistry and Technology**. 33(3) : 166-174.
23. Rajalingam, P. and Baker, W.E. 1992. "The Role of Functional Polymer in Ground Rubber Tire-Polypropylene Composite." **Rubber Chemistry and Technology**. 65 : 908-915.
24. Pramanik, P.K. and Baker, W.E. 1995. **Plastic, Rubber and Composite Processing and Application**. 24 : 229.
25. Choudhury, N.R. and Bhattacharya, S.N. 1996. **Plastic, Rubber and Composite Processing and Application**. 25 : 448.
26. ทวีศักดิ์ ยศยิ่งธรรมกุล และธนส์ เสนาลอย. 2542. " การศึกษาพอลิเมอร์ผสมของผงยางรถยนต์และพอลิพรอพลีน" โครงการพิเศษ วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาเคมีอุตสาหกรรม ภาคเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
27. Jacqueline I. 1996. **Encyclopedia of Polymer Science and Engineering**. 2nd ed. 4 :487., John Wiley and Sons Inc., Newyork

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

สภาวะที่ใช้ในการฉีดขึ้นรูปด้วยเครื่อง Injection Molding Machine

TIME PROGRAMING

DIE CLS/OPN TIME	:	60	MELTING TIME	:	150
SID-COR ACT TIME	:	0	DECOMPRS TIME	:	20
1 ST STG INJ TIME	:	20	COOLING TIME	:	180
2 ND STG INJ TIME	:	10	EJECTOR TIME	:	1
3 RD STG INJ TIME	:	5	SCW FWD TIME	:	0
EJECT FWD DLY TIME	:	10	SCW BWD TIME1	:	0
MELTING DLY TIME	:	5	SCW BWD TIME2	:	0
EJE BKD DLY TIME	:	20	ALARM TIME	:	500

PRESSURE PROGRAMING

DIE CLSPRESR	:	50	DECOMP PRESR	:	30
CLS LOW PRESR	:	30	PLUNGER PRESR	:	30
CLS HI PRESR	:	80	EJECTOR PRESR	:	50
DIE OPN PRESR	:	50	SCW-IN PRESR	:	20
1 ST INJ PRESR	:	80	DIE ADJ PRESR	:	80
2 ND PRESR	:	70			
3 RD INJ PRESR	:	60			
MELTING PRESR	:	50			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PROGRAMING FLOW SPEED

RAPID CLS SPD	:	40	1 ST STG INJ SPD	:	80
HIGH CLS SPD	:	15	2 ND STG INJ SPD	:	80
CLAMPING SPD	:	15	3 RD STG INJ SPD	:	80
DIE OPN SLW1	:	10	MELTING SPD	:	35
RAPID OPN SPD	:	25	DECOMP SPD	:	20
DIE OPN SLW2	:	15	EJECTOR SPD	:	20
PLUNGER SPD	:	10	SCREW-IN SPD	:	0
DIE ADJ SPD	:	20	DIE CHANGE SPD	:	50

PROGRAMING TEMPERATURES

PROGRAMING TEMP	:	CURRENT TEMP
NOZZLE	:	190
ZONE 1	:	180
ZONE 2	:	170
ZONE 3	:	0
ZONE 4	:	0
ZONE 5	:	0
ZONE 6	:	0

PROGRAMING OPTIONS

DIE CLS SPD	:	1	1 = HI SPD	2 = FASTSPD	
PLUNGER SPD	:	2	1 = USE	2 = NO USE	
ROBOTS	:	2	1 = USE	2 = NO USE	
SCRW	:	2	1 = USE	2 = NO USE	3 = SLD-COR
EJECTION	:	1	1 = USE	2 = NO USE	
SID-COR	:	2	1 = TIME	2 = TRAVEL	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

ตารางผลการทดสอบสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสม

ระหว่าง GRT และ PP

ตารางที่ ข-1 ผลที่ได้จากการทดสอบความแข็งแรงดึง

ชิ้นงานที่	1	2	3	4	5	6	ค่าเฉลี่ย
สูตรผสม GRT : PP	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)
1. 50 : 50	11.52	11.64	11.24	11.51	11.15	-	11.41
2. 60 : 40	11.76	11.28	11.58	1.82	11.52	11.71	11.61
3. 70 : 30	8.90	9.00	8.96	9.02	9.06	9.16	9.02
4. 80 : 20	6.83	6.61	6.81	6.66	7.29	7.20	6.90
5. 70 : 30+ 1 phr Engage®	9.80	10.99	10.21	10.08	8.75	9.39	9.87
6. 70 : 30+ 3 phr Engage®	9.88	10.20	9.54	10.00	8.84	10.23	9.78
7. 70 : 30+ 5 phr Engage®	9.72	9.91	10.29	9.67	9.70	9.85	9.86
8. 70 : 30+10 phr Engage®	11.05	10.04	9.99	10.16	10.17	9.74	10.19
9. 70 : 30 (1 st Recycled)	8.93	8.73	9.00	9.07	9.20	8.55	8.92
10. 70 : 30 (2 nd Recycled)	8.89	9.08	8.96	8.91	9.02	8.67	8.92
11. 70 : 30 (3 rd Recycled)	9.3	9.26	8.99	9.25	9.06	8.97	9.14
12. 70 : 30+10 phr Engage® (1 st Recycled)	7.87	8.15	8.94	8.06	8.31	8.58	8.38
13. 70 : 30+10 phr Engage® (2 nd Recycled)	7.86	7.67	9.64	8.30	7.98	7.81	8.21
14. 70 : 30+10 phr Engage® (3 rd Recycled)	8.72	8.13	8.09	8.17	8.33	8.21	8.27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-2 ผลที่ได้จากการทดสอบเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด

ชิ้นงานที่	1	2	3	4	5	6	ค่าเฉลี่ย
สูตรผสม GRT : PP	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
1. 50 : 50	30.19	28.59	31.14	31.90	32.37	-	31.44
2. 60 : 40	46.41	40.46	39.36	43.19	40.20	41.83	41.91
3. 70 : 30	68.50	58.67	61.43	50.14	66.38	67.72	62.14
4. 80 : 20	62.44	54.91	69.66	67.36	83.51	85.63	70.59
5. 70 : 30+ 1 phr Engage®	85.92	82.00	73.14	66.15	69.01	63.97	73.36
6. 70 : 30+ 3 phr Engage®	58.39	71.11	74.26	60.45	68.78	63.90	66.13
7. 70 : 30+ 5 phr Engage®	75.91	89.20	93.92	85.51	82.17	93.32	86.67
8. 70 : 30+10 phr Engage®	87.46	93.87	104.7	110.9	104.8	90.18	98.65
9. 70 : 30 (1 st Recycled)	59.38	66.39	62.93	93.26	58.34	52.52	60.47
10. 70 : 30 (2 nd Recycled)	57.55	61.55	55.15	66.96	54.21	53.38	58.13
11. 70 : 30 (3 rd Recycled)	65.88	63.95	59.63	71.77	62.53	57.77	63.57
12. 70 : 30+10 phr Engage® (1 st Recycled)	76.97	95.19	106.2	99.24	75.40	98.33	91.88
13. 70 : 30+10 phr Engage® (2 nd Recycled)	88.11	96.27	116.2	100.5	99.74	67.07	97.64
14. 70 : 30+10 phr Engage® (3 rd Recycled)	95.36	88.26	85.52	84.66	110.6	94.85	93.21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-3 ผลที่ได้จากการทดสอบค่ามอดุลัสของยัง

ชั้นงานที่	1	2	3	4	5	6	ค่าเฉลี่ย
สูตรผสม GRT : PP	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)
1. 50 : 50	144.7	143.0	136.1	147.6	136.8	-	141.6
2. 60 : 40	129.8	109.8	113.1	141.0	136.3	132.5	127.1
3. 70 : 30	88.65	89.20	92.05	112.2	94.95	93.05	95.01
4. 80 : 20	62.44	54.91	69.66	67.36	83.51	85.63	70.59
5. 70 : 30+ 1 phr Engage®	118.7	132.4	120.1	117.9	114.1	110.3	118.9
6. 70 : 30+ 3 phr Engage®	142.6	147.4	131.2	170.0	124.1	145.0	143.4
7. 70 : 30+ 5 phr Engage®	170.6	133.9	-	113.9	158.1	123.9	140.08
8. 70 : 30+10 phr Engage®	83.24	117.9	125.8	102.7	105.1	91.57	104.4
9. 70 : 30 (1 st Recycled)	98.10	89.10	86.95	96.50	95.60	106.0	95.38
10. 70 : 30 (2 nd Recycled)	94.65	92.30	110.4	103.2	97.15	107.3	100.8
11. 70 : 30 (3 rd Recycled)	111.0	112.0	110.2	111.5	108.7	99.65	108.8
12. 70 : 30+10 phr Engage® (1 st Recycled)	97.38	92.24	100.5	72.85	96.58	79.95	89..91
13. 70 : 30+10 phr Engage® (2 nd Recycled)	73.00	70.05	92.20	73.85	87.03	87.54	80.61
14. 70 : 30+10 phr Engage® (3 rd Recycled)	102.4	95.26	94.85	82.96	92.45	94.60	95.42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-4 ผลที่ได้จากการทดสอบความแข็งแรงกระแทก

ชิ้นงานที่	1	2	3	4	5	6	7	8	ค่าเฉลี่ย
สูตรผสม	(kJ/m ²)	(kJ/m ²)	(kJ/m ²)	(kJ/m ²)	(kJ/m ²)	(kJ/m ²)	(kJ/m ²)	(kJ/m ²)	(kJ/m ²)
GRT : PP									
1. 50 : 50	9.8	9.9	12.9	8.4	8.7	8.7	8.4	8.8	9.45
2. 60 : 40	13.97	13.18	13.13	11.94	12.45	11.42	14.43	11.67	12.77
3. 70 : 30	15.82	13.72	12.78	13.04	14.22	13.65	15.02	14.66	14.11
4. 80 : 20	17.66	24.67	14.96	18.51	19.87	18.63	20.09	17.88	19.03
5. 70 : 30+ 1 phr Engage [®]	13.94	14.75	15.52	14.10	15.42	13.93	14.85	13.06	14.45
6. 70 : 30+ 3 phr Engage [®]	17.21	16.88	15.60	14.20	16.91	15.49	14.27	15.94	15.81
7. 70 : 30+ 5 phr Engage [®]	16.13	17.02	15.66	15.52	16.47	17.56	16.39	17.28	16.50
8. 70 : 30+10 phr Engage [®]	17.88	18.65	19.07	17.12	18.55	19.26	18.34	18.69	18.44
9. 70 : 30 (1 st Recycled)	11.84	12.10	12.35	12.11	13.04	12.98	12.37	12.36	12.39
10. 70 : 30 (2 nd Recycled)	13.27	13.15	12.56	13.31	12.44	13.31	13.11	13.03	13.02
11. 70 : 30 (3 rd Recycled)	13.84	13.08	13.01	13.53	13.38	13.12	13.04	13.05	13.25
12. 70 : 30+10 phr Engage [®] (1 st Recycled)	18.08	19.33	16.79	20.39	21.43	18.05	19.74	21.19	16.81
13. 70 : 30+10 phr Engage [®] (2 nd Recycled)	19.86	19.33	16.79	20.39	21.43	18.05	19.74	21.19	19.60
14. 70 : 30+10 phr Engage [®] (3 rd Recycled)	19.61	21.18	17.87	20.79	23.40	18.83	20.66	18.83	20.23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-5 ผลที่ได้จากการทดสอบความแข็งแรงกด (Shore D)

ชิ้นงานที่	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	ค่าเฉลี่ย
สูตรผสม GRT : PP											
1. 50 : 50	52	51	53	52	54	52	50	51	53	52	52.0
2. 60 : 40	45	45	45	46	45	47	45	44	47	42	45.1
3. 70 : 30	43	42	41	39	40	43	43	41	40	38	41.0
4. 80 : 20	32	32	31	33	34	33	32	33	32	31	32.3
5. 70 : 30+ 1 phr Engage®	39	39	40	42	41	40	40	41	42	40	40.4
6. 70 : 30+ 3 phr Engage®	40	40	38	42	41	41	40	40	40	40	40.2
7. 70 : 30+ 5 phr Engage®	35	36	37	36	36	35	36	36	36	35	35.8
8. 70 : 30+10 phr Engage®	32	34	35	32	33	33	33	35	35	35	33.7
9. 70 : 30 (1 st Recycled)	44	44	43	42	44	43	43	45	42	44	43.4
10. 70 : 30 (2 nd Recycled)	40	45	45	45	45	42	40	42	43	40	40.0
11. 70 : 30 (3 rd Recycled)	44	44	45	41	43	46	45	45	44	46	44.3
12. 70 : 30+10 phr Engage® (1 st Recycled)	32	32	33	33	32	30	30	32	30	30	31.4
13. 70 : 30+10 phr Engage® (2 nd Recycled)	30	32	31	31	30	31	32	33	32	32	31.4
14. 70 : 30+10 phr Engage® (3 rd Recycled)	33	31	34	34	34	34	34	32	30	32	32.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

ผลการทดสอบสมบัติทางความร้อนของพอลิเมอร์ผสม

ระหว่าง GRT และ PP ด้วย DSC

Filename: C:\Program Files\Pyris\Data\PP50_50.pd1
Operator ID: KIK
Sample ID: 50_50
Sample Weight: 3.000 mg
Comment: 50_50



1) Heat from 50.00 °C to 200.00 °C at 10.00 °C/min

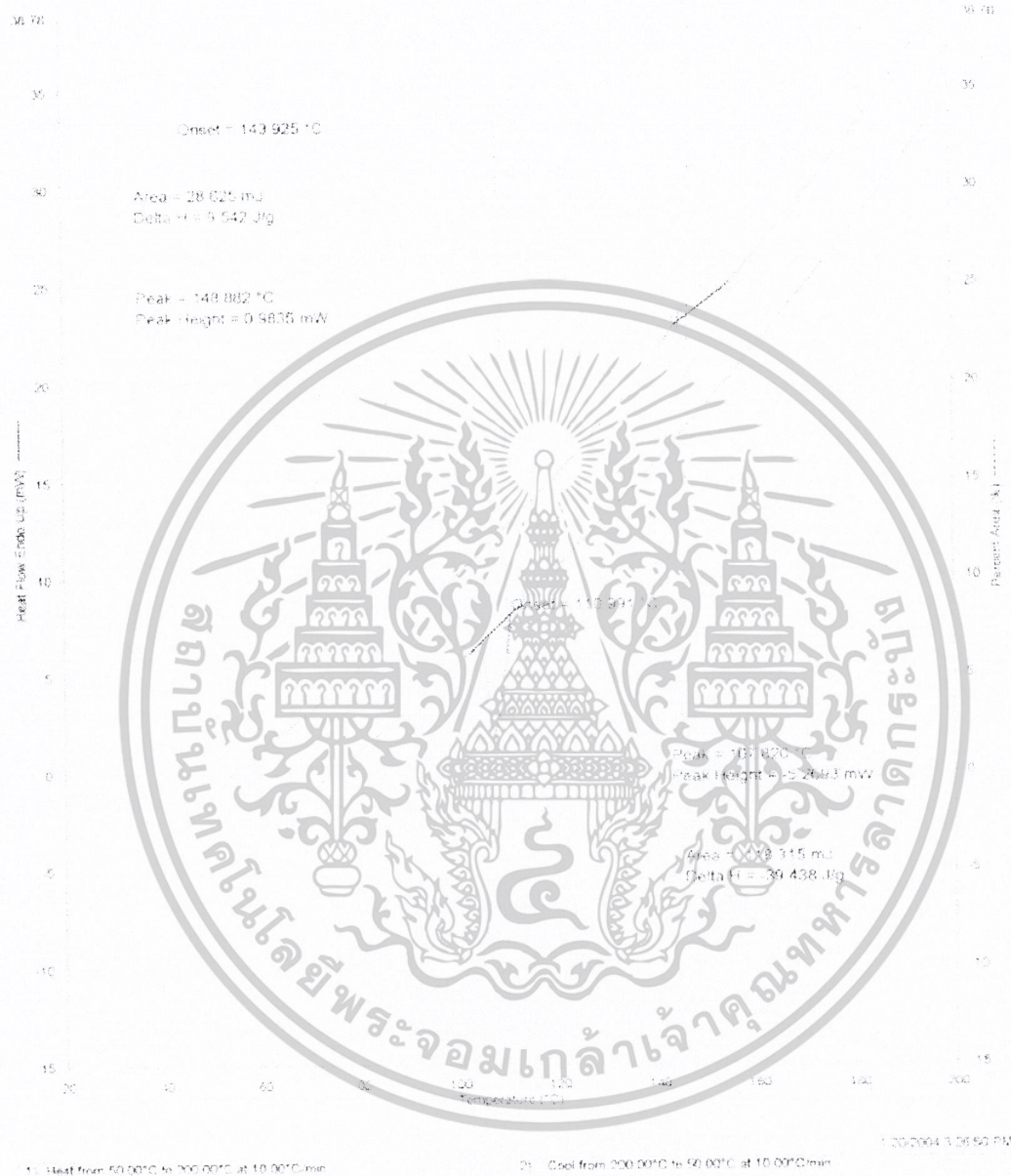
2) Cool from 200.00 °C to 50.00 °C at 10.00 °C/min

1/20/2004 2:40:59 PM

รูปที่ ก-1 เทอร์โมแกรม DSC ของ TPEs ที่อัตราส่วน GRT/PP : 50/50

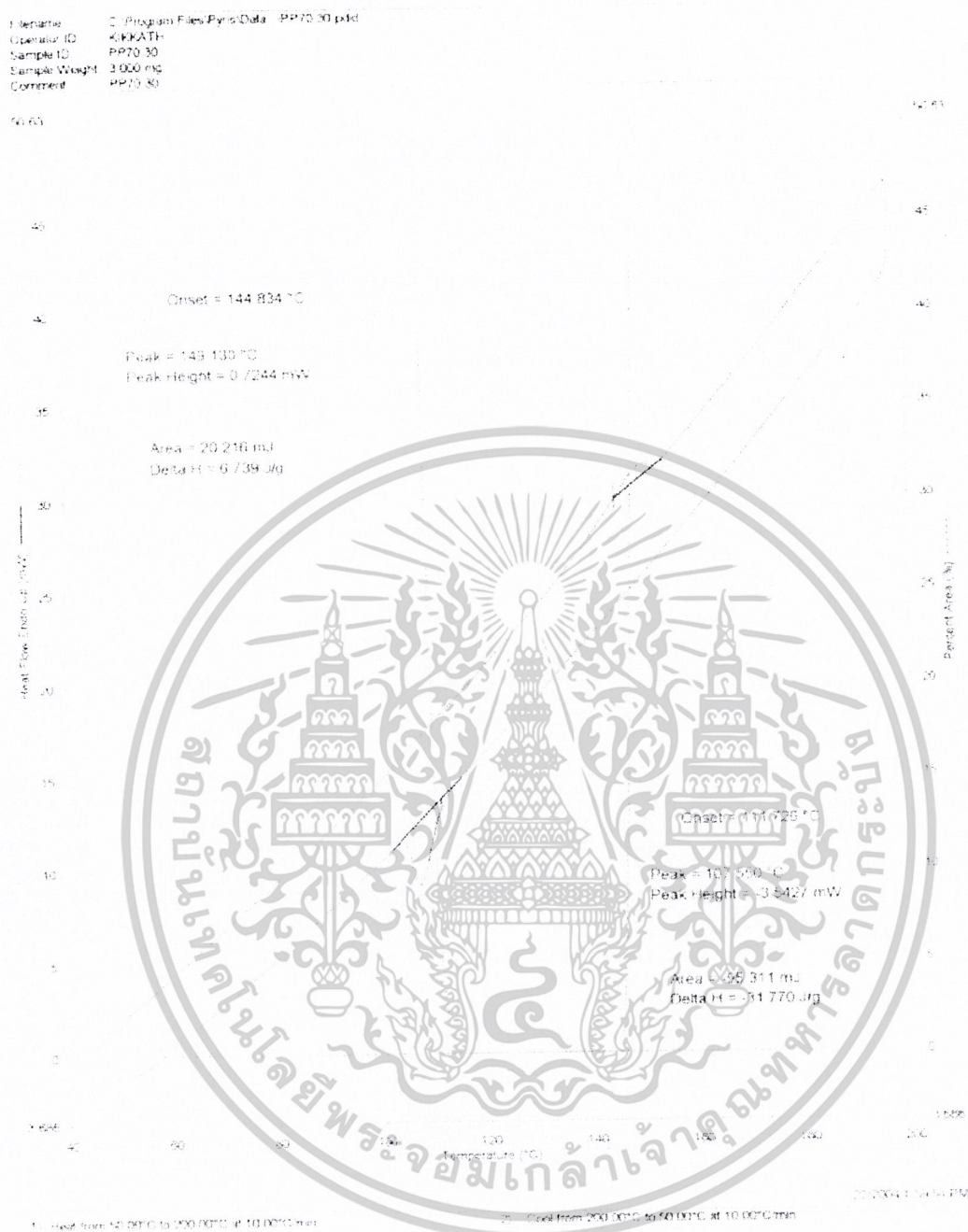
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Filename: C:\Program Files\ThermoData\PP60-40.ppt
 Operator ID: KJL
 Sample ID: 60_40
 Sample Weight: 3.000 mg
 Comment: 60_40



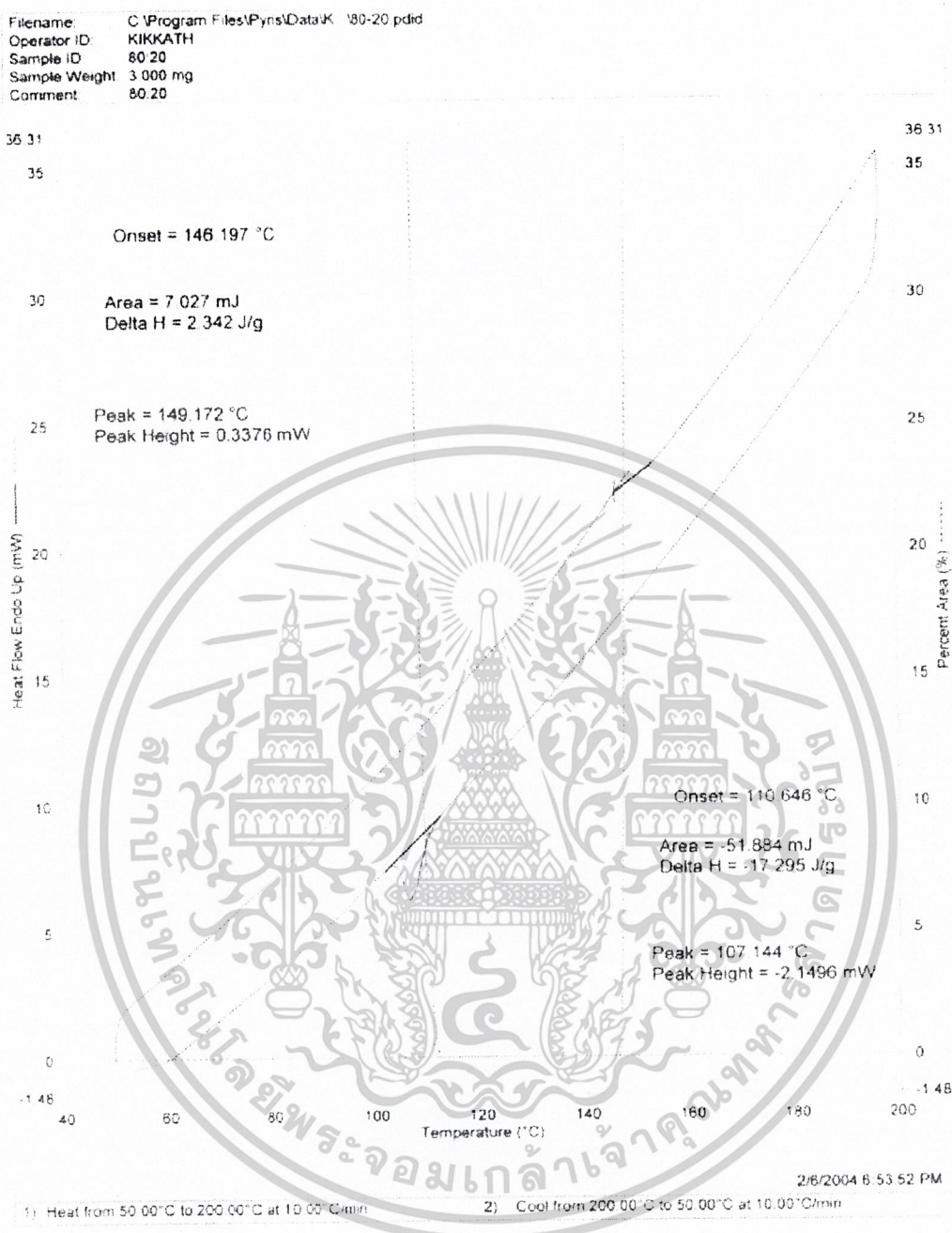
รูปที่ ก-2 เทอร์โมแกรม DSC ของ TPEs ที่อัตราส่วน GRT/PP : 60/40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก-3 เทอร์โมแกรม DSC ของ TPEs ที่อัตราส่วน GRT/PP : 70/30

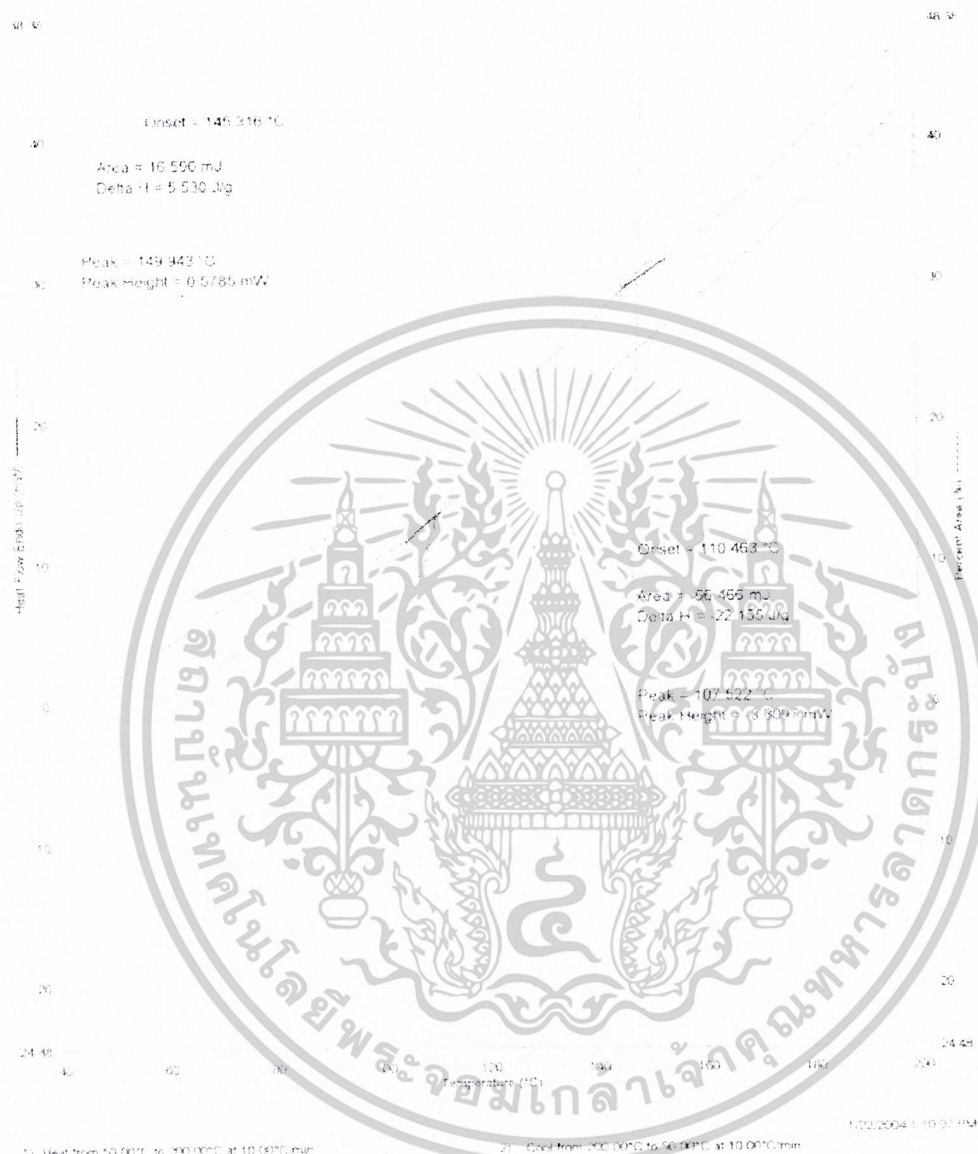
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ค-4 เทอร์โมแกรม DSC ของ TPEs ที่อัตราส่วน GRT/PP : 80/20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Filename: C:\Program Files\5 phr\042122123755.ppt
 Operator ID: KIKKATH
 Sample ID: 5 phr
 Sample Weight: 3.000 mg
 Comment: 5 phr



รูปที่ ค-5 เทอร์โมแกรม DSC ของ TPEs ที่อัตราส่วน GRT/PP:70/30 มีปริมาณสารช่วยผสม 5 phr

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

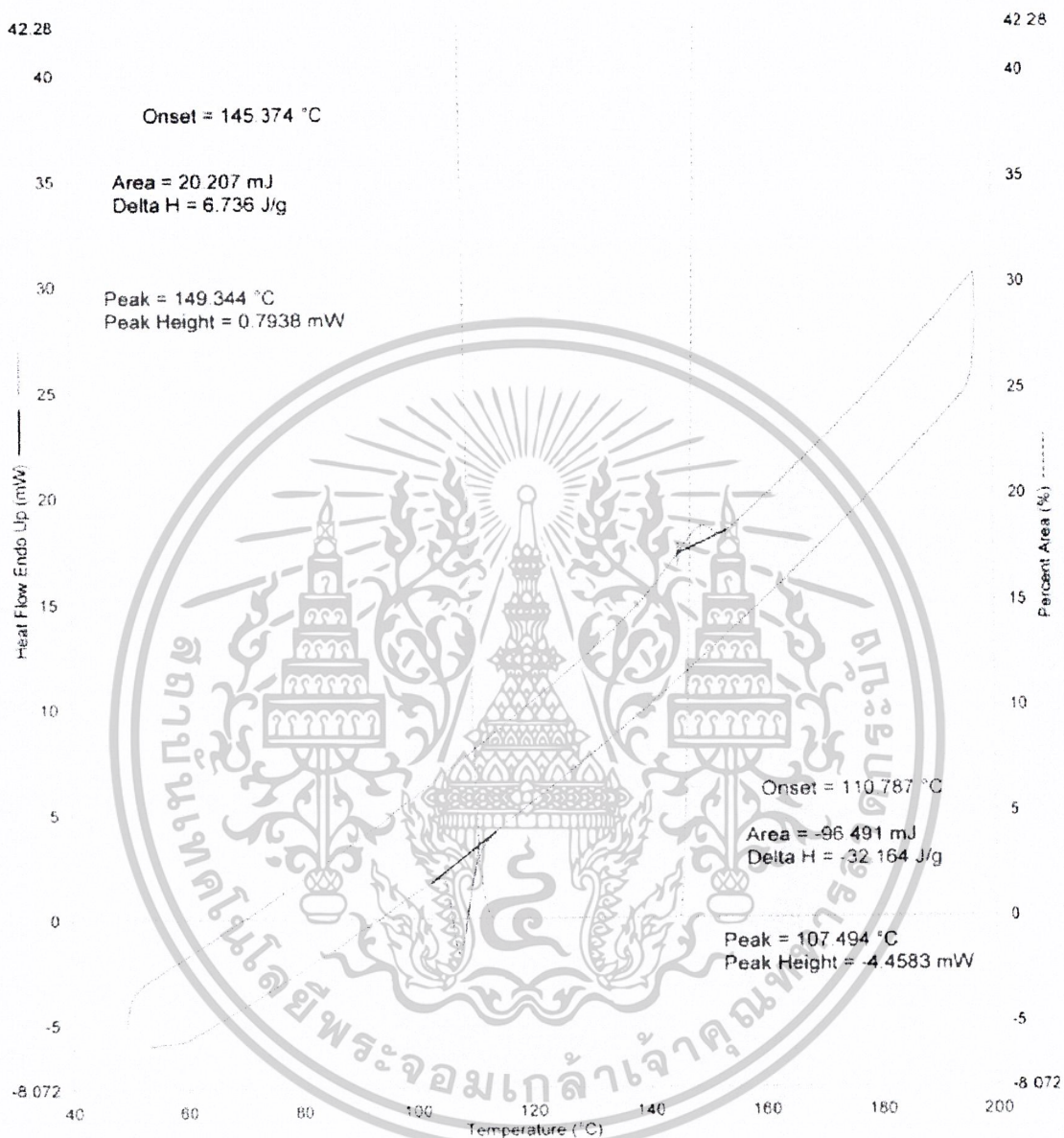
Filename: C:\Program Files\Pyris Data\10 phr.pds
 Operator ID: KIKKATH
 Sample ID: 10 phr
 Sample Weight: 3.000 mg
 Comment: 10 phr



รูปที่ ก-6 เทอร์โมแกรม DSC ของ TPEs ที่อัตราส่วน GRT/PP:70/30 มีปริมาณสารช่วยผสม 10 phr

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Filename: C:\Program Files\IP Ve3\040206190305.pdtd
 Operator ID: KIKKATH
 Sample ID: re3
 Sample Weight: 3.000 mg
 Comment: re3



2/6/2004 7:34:50 PM

1) Heat from 50.00°C to 200.00°C at 10.00°C/min

2) Cool from 200.00°C to 50.00°C at 10.00°C/min

รูปที่ ก-7 เทอร์โมแกรม DSC ของ TPEs ที่อัตราส่วน GRT/PP : 70/30 รีไซเคิลครั้งที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Filename: C:\Program Files\Pyris\10 phr re 3.psd
 Operator ID: KUKKATH
 Sample ID: 10 phr re 3
 Sample Weight: 3.000 mg
 Comment: 10 phr re 3

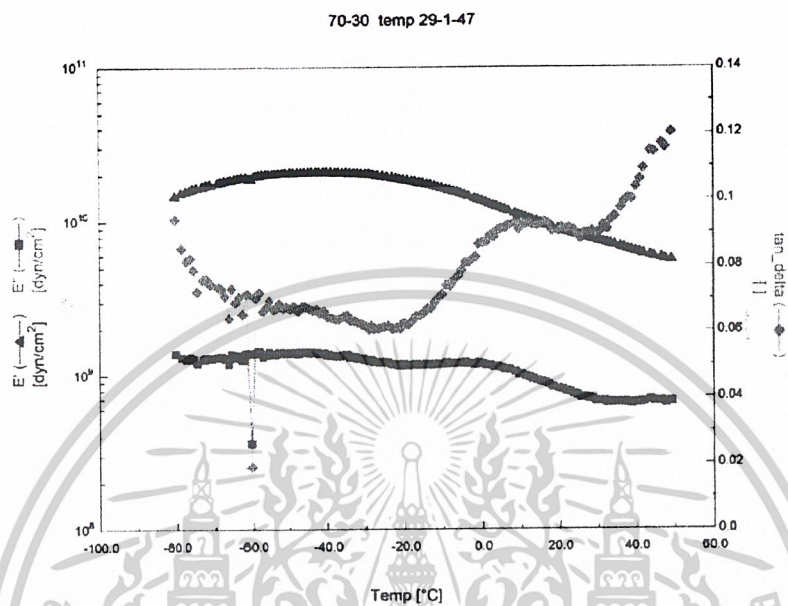


รูปที่ ก-8 เทอร์โมแกรม DSC ของ TPEs ที่อัตราส่วน GRT/PP:70/30 มีปริมาณสารช่วยผสม 10 phr ริโซเกิดครั้งที่ 3

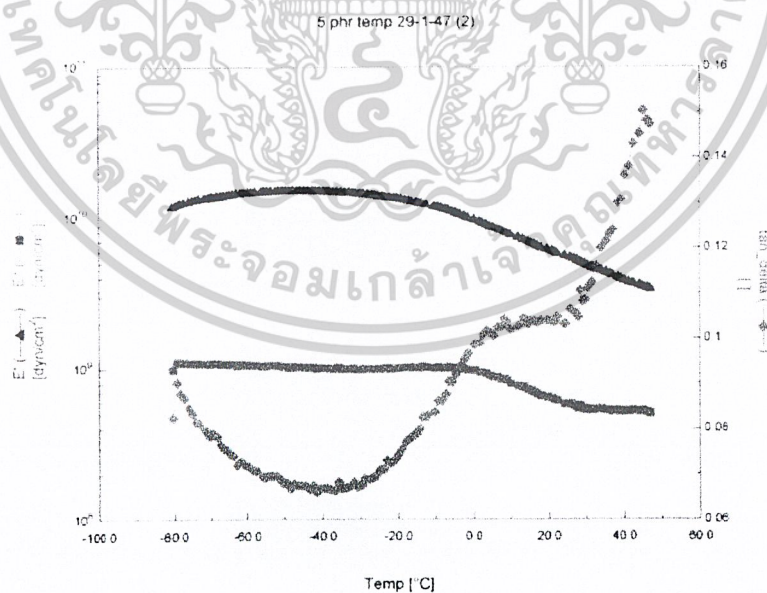
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง

ผลการทดสอบสมบัติทางความร้อนเชิงกลของพอลิเมอร์ผสม
ระหว่าง GRT และ PP ด้วย DMTA

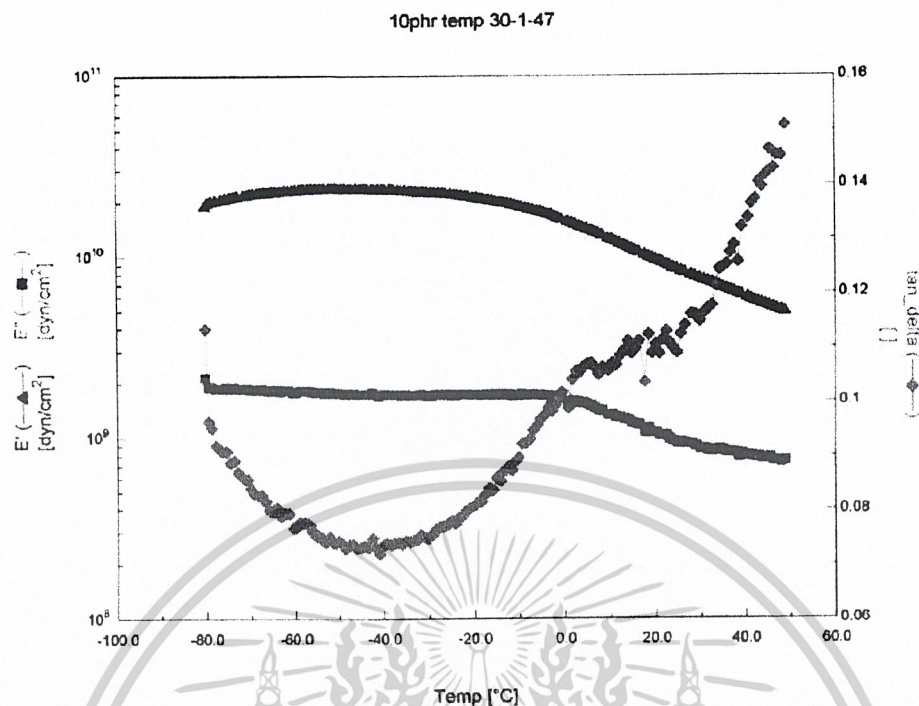


รูปที่ ง-1 เทอร์โมแกรม DMTA ของ TPEs ที่อัตราส่วน GRT/PP : 70/30

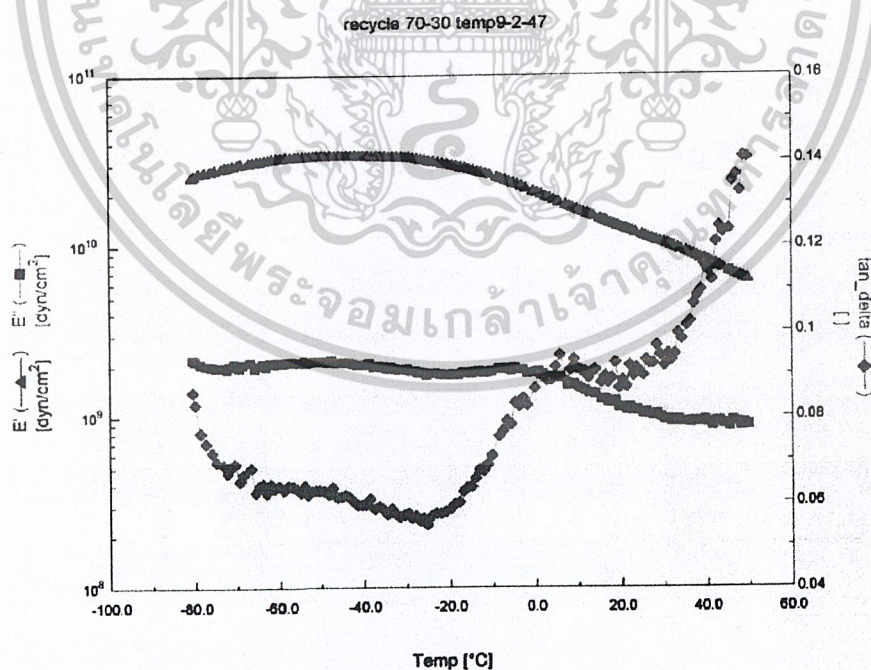


รูปที่ ง-2 เทอร์โมแกรม DMTA ของ TPEs ที่อัตราส่วน GRT/PP : 70/30 มีปริมาณสารช่วยผสม
5 phr

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

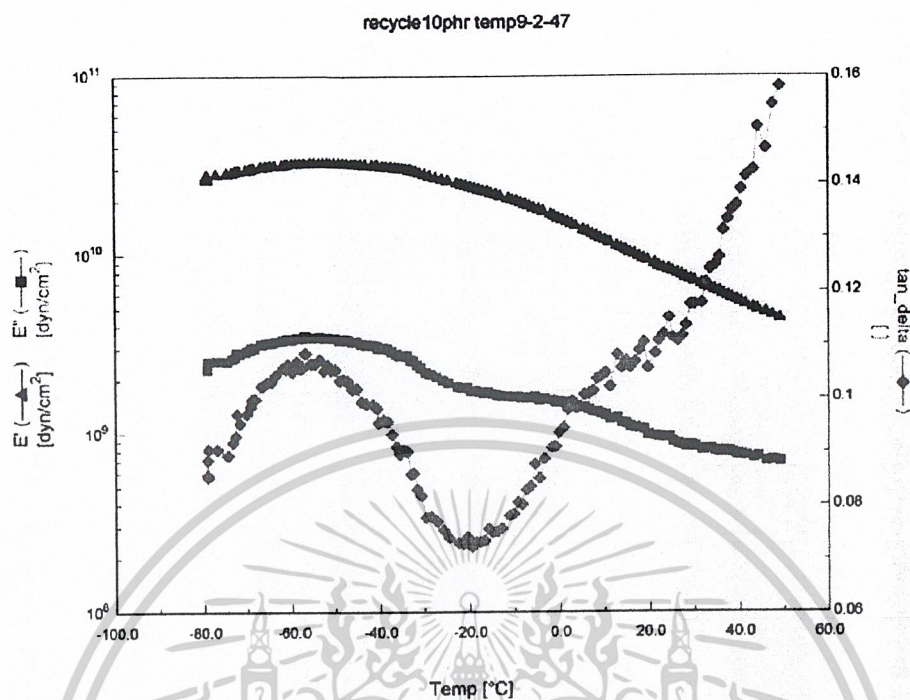


รูปที่ ง-3 เทอร์โมแกรม DMTA ของ TPEs ที่อัตราส่วน GRT/PP : 70/30 มีปริมาณสารช่วยผสม 10 phr



รูปที่ ง-4 เทอร์โมแกรม DMTA ของ TPEs ที่อัตราส่วน GRT/PP : 70/30 รีไซเคิลครั้งที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5-5 เทอร์โมแกรม DMTA ของ TPEs ที่อัตราส่วน GRT/PP : 70/30 มีปริมาณสารช่วยผสม 10 phr วิเคราะห์ครั้งที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้