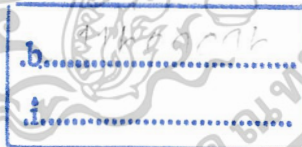


เทอร์โมพลาสติกอิลาสโตเมอร์จากผงยางรถยนต์และ
พอลิพรอพิลีนที่ต่อกิ่งด้วยมาเลอิกแอนไฮไดรไรต์



นริศรา เทียมแท้
พิมพ์ชนก พุ่มม้วน

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 62077
วัน,เดือน,ปี 27 ก.ค. 2549



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาเคมี
คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2547

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thermoplastic Elastomers From Ground Rubber Tire
and Polypropylene Grafted Maleic Anhydride



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
Academic Year 2004

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	เทอร์โมพลาสติกอิลาสโตเมอร์จากผงยางรถยนต์และ พอลิพรอพิลีนที่ต่อกิ่งด้วยมาเลอิกแอนไฮดราไนด์
นักศึกษา	นางสาวนริศรา เทียมแท้ นางสาวพิมพ์ชนก พุ่มมัน
ภาควิชา	เคมี คณะวิทยาศาสตร์
สาขาวิชา	เคมีอุตสาหกรรม
ปีการศึกษา	2547
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.ดร.อิทธิพล แจ่มชัด ดร.ชลลดา ฤตวิรุฬห์

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาและปรับปรุงสมบัติของเทอร์โมพลาสติกอิลาสโตเมอร์ (TPEs) ที่เตรียมได้จากผงยางรถยนต์ (GRT) และพอลิพรอพิลีนที่ต่อกิ่งด้วยมาเลอิกแอนไฮดราไนด์ (PP-g-MA) อัตราส่วนผสม GRT:PP-g-MA เป็น 50:50 60:40 70:30 และ 80:20 นำแต่ละสูตรผสมด้วยเครื่องอัดรีดชนิดเกลียวหนอนเดี่ยว บดด้วยเครื่องบด นำไปขึ้นรูปด้วยเครื่องฉีดขึ้นรูป แล้วทดสอบสมบัติเชิงกล พบว่าความแข็งแรงดึง มอดุลัส และความแข็งกดมีแนวโน้มลดลงเมื่อปริมาณ GRT เพิ่มขึ้น ในขณะที่เปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อนำ GRT/PP-g-MA 80:20 มาศึกษาผลของปริมาณเรซอร์ซินอลที่ทำหน้าที่เป็นสารเพิ่มการยึดติด พบว่าเรซอร์ซินอล 1 phr ทำให้เปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาดเพิ่มขึ้น และมีแนวโน้มคงที่เมื่อปริมาณมากกว่า 1 phr ในขณะที่การเพิ่มปริมาณเรซอร์ซินอลไม่มีผลต่อความแข็งแรงดึง มอดุลัสและความแข็งกด จากการศึกษาสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด (SEM) พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณ GRT ส่งผลให้การรวมกันเป็นกลุ่มก้อนของ GRT มากขึ้น ในขณะที่ เรซอร์ซินอลไม่มีผลต่อการกระจายตัวของวัฏภาค GRT แต่เมื่อปริมาณเรซอร์ซินอลมากถึง 7 phr ทำให้เรซอร์ซินอลกระจายอยู่ในวัฏภาคของ GRT จากการศึกษาสมบัติความร้อนด้วยเครื่อง DSC พบว่าการเพิ่มปริมาณ GRT และเรซอร์ซินอลทำให้เปอร์เซ็นต์ความเป็นผลึก (% Crystallinity) ลดลง แต่ไม่ส่งผลต่ออุณหภูมิหลอมเหลวผลึก (T_m) ของ PP-g-MA จากการศึกษาสมบัติเชิงกลความร้อนด้วยเครื่อง DMTA พบว่าเมื่อปริมาณเรซอร์ซินอลเพิ่มขึ้น ทำให้อุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (T_g) และค่า $\tan \delta$ เพิ่มขึ้น ส่วนการทดสอบสมบัติการนำกลับมาใช้ใหม่ 1 และ 2 ครั้งของ GRT/PP-g-MA พบว่าสมบัติเชิงกลต่างๆ ไม่เปลี่ยนแปลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Special Project Title	Thermoplastic Elastomers From Ground Rubber Tire and Polypropylene Grafted Maleic Anhydride
Name	Miss Narissara Theimthae Miss Pimchanok Phumman
Department	Chemistry, Faculty of Science
Program	Industrial Chemistry
Academic Year	2004
Special Project Advisors	Assoc.Prof.Dr. Ittipol Jangchud Dr. Chonlada Ritvirulh

ABSTRACT

This research work focused on study and development of properties of TPEs, prepared from ground rubber tire (GRT) and polypropylene grafted maleic anhydride (PP-g-MA) by varying the blend ratios of GRT:PP-g-MA as 50:50 60:40 70:30 and 80:20 (w/w). 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-g-MA, i.e., tensile strength, modulus, and hardness had a trend to decrease; however, % elongation at break was increased as GRT increased. Then the blend ratio of 80:20 was selected to study effects of resorcinol as a tackifier (0-7 phr). As 1 phr resorcinol loading, % elongation at break was increased and become unchanged as increasing resorcinol. However, tensile strength, modulus and hardness were unchanged with increasing resorcinol loading. From SEM micrographs, they were revealed that agglomeration of GRT was increased when GRT loading was increased. Whereas adding resorcinol 1 phr showed unchange phase distribution. However, when resorcinol was add up to 7 phr, it was dispersed as small particles in GRT. From thermal study, it was revealed that adding both GRT and resorcinol had no effect on T_m of PP-g-MA but % crystallinity of PP-g-MA in GRT/PP-g-MA was decreased. From DMTA study, it was found that T_g and $\tan \delta$ were also increased when resorcinol loading was increased. From recyclability test of the GRT/PP-g-MA up to 2 times, it was found that mechanical properties of GRT/PP-g-MA were unchanged.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำโครงการพิเศษนี้ จะสำเร็จลุล่วงมิได้ถ้าหากขาดความช่วยเหลือ ความร่วมมือ ตลอดจนคำแนะนำต่างๆ ที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งแก่คณะผู้จัดทำจากบุคคลและองค์กรต่างๆ

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร.อิทธิพล แจ่มชัด และดร.ชลลดา ฤตวิรุฬห์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษเป็นอย่างสูงที่ให้คำแนะนำ คำปรึกษา และความช่วยเหลือในการทำโครงการพิเศษครั้งนี้ให้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.สุภารัตน์ รักชลธิ และผศ.ดร.ภัทธาวุธ มนต์วิเศษ ที่กรุณาเป็นกรรมการตรวจสอบ ตลอดจนให้คำแนะนำและตรวจทานแก้ไขโครงการพิเศษฉบับนี้ให้ถูกต้องสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ บริษัท Chemical Innovation จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์พอลิพรอพิลีน ที่ต่อกิ่งด้วยมาเลอิกแอนไฮดไรด์

ขอขอบพระคุณ คุณบุญญาญ อุ่อดมยิ่ง บริษัทแสงไทยผลิตยาง จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์ผงยางรถยนต์

ขอขอบพระคุณ บริษัทโคซัน (ประเทศไทย) จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์เรซอร์ซินอล
ขอขอบพระคุณ เจ้าหน้าที่ประจำห้องปฏิบัติการ และเจ้าหน้าที่ประจำอาคารฝึกงานและปฏิบัติการพอลิเมอร์ที่ให้คำแนะนำต่างๆ ที่เป็นประโยชน์แก่คณะผู้จัดทำ

ขอขอบพระคุณ พี่นักศึกษาป.โท ที่ให้ความอนุเคราะห์อุปกรณ์ รวมทั้งให้คำปรึกษาและแนวทางแก้ไขปัญหาต่างๆ ที่ติดลุดมา

ขอขอบคุณ เพื่อนทุกคนที่ให้คำปรึกษา คำแนะนำ ความช่วยเหลือในด้านต่างๆ และให้กำลังใจมาโดยตลอด

ขอขอบพระคุณ บิดา และมารดา ที่สนับสนุน และเป็นกำลังใจแก่ผู้จัดทำจนประสบความสำเร็จในด้านการศึกษา

นอกจากนี้ยังมีบุคคลที่มีส่วนช่วยเหลืออีกมากมาย ที่มีได้กล่าวถึง ณ ที่นี้ ทางคณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้ด้วย

นริศรา เทียมแท้

พิมพ์ชนก พิมพ์มัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิใช่เพื่อเผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ข
กิตกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญรูป.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ช
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย.....	1
1.2 จุดประสงค์ของงานวิจัย.....	4
1.3 ขอบเขตงานวิจัย.....	4
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.1 เทอริโมพลาสติกอิลาสโตเมอร์.....	5
2.2 ผงยางรถยนต์.....	8
2.2.1 ยางรถยนต์ และองค์ประกอบของยางรถยนต์.....	8
2.2.2 ผงยางรถยนต์.....	10
2.3 พอลิพรอพิลีน.....	13
2.3.1 โพลิพรอพิลีน.....	13
2.3.2 พอลิพรอพิลีนที่ผ่านการปรับปรุงด้านต่างๆ.....	15
2.4 การปรับปรุงสมบัติของยางด้วยสารเติมแต่งอื่นๆ.....	18
2.4.1 สารเพิ่มการยึดติดของยาง.....	19
2.4.2 เรซอร์ซินอล.....	20
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	20
บทที่ 3 การดำเนินการวิจัย.....	26
3.1 แผนการดำเนินการ.....	26
3.2 สารเคมีและอุปกรณ์.....	27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.3 ขั้นตอนดำเนินการทดลอง.....	29
3.4 วิธีการทดลอง.....	29
บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผล.....	35
4.1 การศึกษาอัตราส่วนของ GRT/PP-g-MA ในการเตรียม TPEs.....	35
4.1.1 ศึกษาสมบัติเชิงกล.....	35
4.2 การศึกษาปริมาณสารเพิ่มการยึดติดที่ผสมลงใน GRT/PP-g-MA.....	40
4.2.1 ศึกษาสมบัติเชิงกล.....	40
4.3 การศึกษาสมบัติการนำกลับมาใช้ใหม่ของ GRT/PP-g-MA.....	44
4.3.1 ศึกษาสมบัติเชิงกล.....	44
4.4 การศึกษาสัณฐานวิทยาด้วยเทคนิค SEM.....	48
4.5 การทดสอบสมบัติความร้อน.....	52
4.5.1 การทดสอบสมบัติความร้อนด้วย DSC.....	52
4.5.2 การทดสอบสมบัติความร้อนด้วย DMTA.....	53
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	55
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	55
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	56
เอกสารอ้างอิง.....	57
ภาคผนวก ก สภาวะที่ใช้ในการฉีดขึ้นรูปด้วยเครื่อง Injection molding machine.....	60
ภาคผนวก ข ผลการทดสอบสมบัติเชิงกล.....	64
ภาคผนวก ค ผลการทดสอบสมบัติความร้อนด้วยเครื่อง DSC.....	69
ภาคผนวก ง ผลการทดสอบสมบัติความร้อนด้วยเครื่อง DMTA.....	73

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 1.1 อัตรากาการใช้วัสดุเทอร์โมพลาสติกอิลาสโตเมอร์จากทั่วโลก ตั้งแต่ปี ค.ศ.1970- 1990 และแนวโน้มการเจริญเติบโตในอนาคต.....	2
รูปที่ 2.1 แบบจำลองโครงสร้างเทอร์โมพลาสติกอิลาสโตเมอร์.....	6
รูปที่ 2.2 ช่วงอุณหภูมิใช้งานของ TPEs.....	6
รูปที่ 2.3 ช่วงความแข็งแรงกดของ TPEs ยาง และพลาสติก.....	7
รูปที่ 2.4 ส่วนประกอบของยางรถยนต์ ภาพตัดขวางของยางรถยนต์.....	9
รูปที่ 2.5 ภาพตัดขวางของยางรถยนต์.....	9
รูปที่ 2.6 กระบวนการบดยางที่อุณหภูมิห้อง	11
รูปที่ 2.7 กระบวนการบดยางที่อุณหภูมิต่ำ.....	12
รูปที่ 2.8 สูตรโครงสร้างทั่วไปของพอลิพรอพิลีน.....	13
รูปที่ 2.9 สูตรโครงสร้างของอะแทกติกพอลิพรอพิลีน.....	14
รูปที่ 2.10 สูตรโครงสร้างของไอโซแทกติกพอลิพรอพิลีน.....	15
รูปที่ 2.11 สูตรโครงสร้างของซินไดโอแทกติกพอลิพรอพิลีน.....	16
รูปที่ 2.12 แบบจำลองการทำงานหมู่มาเลอิกแอนไฮดไรด์.....	17
รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงดึงของ GRT/PP-g-MA กับปริมาณ GRT...	35
รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาดของ GRT/PP-g-MA กับ ปริมาณ GRI.....	36
รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างมอดุลัสของ GRT/PP-g-MA กับปริมาณ GRT.....	37
รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงกดของ GRT/PP-g-MA กับปริมาณ GRT.....	38
รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงดึงของ GRT/PP-g-MA กับปริมาณ เรซอร์ซินอล.....	40
รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาดของ GRT/PP-g-MA กับ ปริมาณเรซอร์ซินอล.....	41
รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างมอดุลัสของ GRT/PP-g-MA กับปริมาณเรซอร์ซินอล.....	41
รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงกดของ GRT/PP-g-MA กับปริมาณเรซอร์ซินอล	42
รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงดึงของ GRT/PP-g-MA กับจำนวนครั้งการ รีไซเคิล.....	44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การยึด ณ จุดขาดของ GRT/PP-g-MA กับจำนวนครั้งการรีไซเคิล.....	45
รูปที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างมอดุลัสของ GRT/PP-g-MA กับจำนวนครั้งการรีไซเคิล....	45
รูปที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งกตของ GRT/PP-g-MA กับจำนวนครั้งการรีไซเคิล.....	46
รูปที่ 4.13 สัณฐานวิทยาของ GRT/PP-g-MA ในอัตราส่วน GRT:PP-g-MA เท่ากับ 50:50	49
รูปที่ 4.14 สัณฐานวิทยาของ GRT/PP-g-MA ในอัตราส่วน GRT:PP-g-MA เท่ากับ 60:40	49
รูปที่ 4.15 สัณฐานวิทยาของ GRT/PP-g-MA ในอัตราส่วน GRT:PP-g-MA เท่ากับ 70:30	50
รูปที่ 4.16 สัณฐานวิทยาของ GRT/PP-g-MA ในอัตราส่วน GRT:PP-g-MA เท่ากับ 80:20	50
รูปที่ 4.17 สัณฐานวิทยาของ GRT/PP-g-MA ในอัตราส่วน GRT:PP-g-MA เท่ากับ 80:20 ที่ผสมเรซอร์ซินอล 1 phr.....	51
รูปที่ 4.18 สัณฐานวิทยาของ GRT/PP-g-MA ในอัตราส่วน GRT:PP-g-MA เท่ากับ 80:20 ที่ผสมเรซอร์ซินอล 7 phr.....	51
รูปที่ ค-1 DSC เทอร์โมแกรมของ TPEs ที่อัตราส่วน GRT:PP-g-MA เท่ากับ 50:50.....	70
รูปที่ ค-2 DSC เทอร์โมแกรม ของ TPEs ที่อัตราส่วน GRT:PP-g-MA เท่ากับ 60:40.....	70
รูปที่ ค-3 DSC เทอร์โมแกรม ของ TPEs ที่อัตราส่วน GRT:PP-g-MA เท่ากับ 70:30.....	71
รูปที่ ค-4 DSC เทอร์โมแกรมของ TPEs ที่อัตราส่วน GRT:PP-g-MA เท่ากับ 80:20.....	71
รูปที่ ค-5 DSC เทอร์โมแกรมของ TPEs ที่อัตราส่วน GRT:PP-g-MA เท่ากับ 80:20 ที่ผสมเรซอร์ซินอล 1 phr.....	72
รูปที่ ค-6 DSC เทอร์โมแกรม ของ TPEs ที่อัตราส่วน GRT:PP-g-MA เท่ากับ 80:20 ที่ผสมเรซอร์ซินอล 7 phr.....	72
รูปที่ ง-1 DMTA เทอร์โมแกรมของ TPEs ที่อัตราส่วน GRT:PP-g-MA เท่ากับ 80:20.....	74
รูปที่ ง-2 DMTA เทอร์โมแกรมของ TPEs ที่อัตราส่วน GRT:PP-g-MA เท่ากับ 80:20 ที่ผสมเรซอร์ซินอล 1 phr.....	75
รูปที่ ง-3 DMTA เทอร์โมแกรมของ TPEs ที่อัตราส่วน GRT:PP-g-MA เท่ากับ 80:20 ที่ผสมเรซอร์ซินอล 7 phr.....	76

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 เปรียบเทียบลักษณะภายนอกของอนุภาคยางและอัตราส่วนเส้นใยเสริมแรงกับโลหะที่เหลืออยู่ในผงยางรถยนต์จากกระบวนการบดที่อุณหภูมิห้องและที่อุณหภูมิต่ำ.....	13
ตารางที่ 3.1 สมบัติบางประการของพอลิพรอพิลีนที่ต่อกิ่งด้วยมาเลอิกแอนไฮไดรด์.....	27
ตารางที่ 3.2 สมบัติบางประการของเรซอร์ซินอล.....	28
ตารางที่ 3.3 สูตรผสมของ GRT/PP-g-MA ที่ใช้ในการทดลอง.....	29
ตารางที่ 3.4 ปริมาณสารเพิ่มการยึดติดแต่ละสูตรที่ใช้ในการทดลอง.....	31
ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองสมบัติความร้อนด้วย DSC.....	52
ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองสมบัติความร้อนด้วย DMTA.....	53
ตารางที่ ข-1 ผลการทดสอบความแข็งแรงดึง.....	65
ตารางที่ ข-2 ผลการทดสอบเปอร์เซ็นต์การยึด ณ จุดขาด.....	66
ตารางที่ ข-3 ผลการทดสอบค่ามอดุลัส.....	67
ตารางที่ ข-4 ผลการทดสอบความแข็งกด.....	68

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย

เทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์ (Thermoplastic elastomers; TPEs) คือวัสดุที่สามารถนำไปผ่านกระบวนการขึ้นรูปได้เหมือนเทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic) ในขณะที่มีสมบัติยืดหยุ่นคล้ายยาง (Rubbers or elastomers) ณ อุณหภูมิที่นำไปใช้งาน (Usage temperature) [1] ซึ่งปัจจุบันเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์ได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้งานอย่างกว้างขวาง เช่น อุตสาหกรรมรองเท้า อุตสาหกรรมชิ้นส่วนรถยนต์ ฉนวนหุ้มสายไฟฟ้า เป็นต้น โดยเป็นเวลามากกว่า 40 ปีที่มีการนำเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์มาใช้งาน หลังจากนั้นวิวัฒนาการของเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์ก็เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง และถูกนำมาใช้งานอย่างแพร่หลายมากขึ้น โดยพบว่าปริมาณที่เพิ่มขึ้นเป็นมูลค่ามากกว่า 2,000 ล้านดอลลาร์ การวิวัฒนาการดังกล่าวเป็นไปตามลำดับ ดังนี้

ในปี ค.ศ.1950 ได้มีการสังเคราะห์เทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์ขึ้นเป็นครั้งแรก คือ เทอร์โมพลาสติกพอลิยูรีเทน (Thermoplastic polyurethane; TPUs) [2]

ในปี ค.ศ. 1960 บริษัทเชลล์ (Shell development company) ได้มีการผลิตเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์ชนิดใหม่ที่เป็นพอลิเมอร์ร่วมแบบบล็อกของสไตรีน-ไดอีน (Styrene-diene block copolymers)

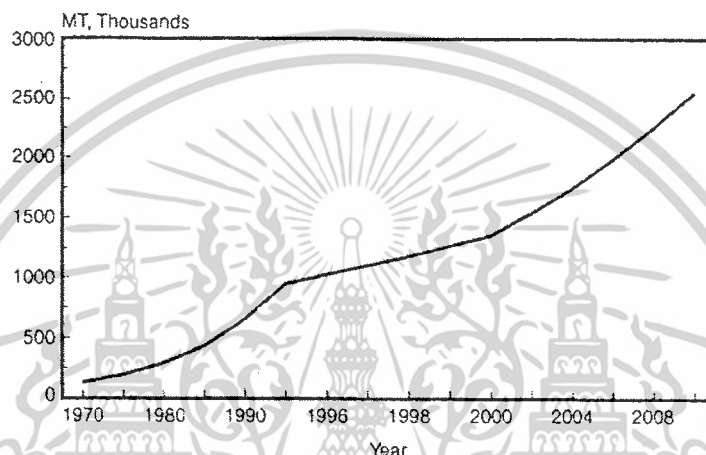
ในปี ค.ศ. 1970 บริษัทดูปองต์ (DuPont de Nemours & Company) ได้ผลิตเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์ที่เป็นพอลิเมอร์ร่วมของพอลิเอสเตอร์ (Copolyester; COP) และบริษัทยูนิรอยัล (Uniroyal) ผลิตเทอร์โมพลาสติกพอลิโอเลฟินอีลาสโตเมอร์ (Thermoplastic polyolefin-elastomers; TPOs) ขึ้น และต่อมาได้มีการผสมพอลิไวนิลคลอไรด์ (Poly(vinyl chloride); PVC) กับยางไนไตรล์ (Nitrile rubber; NBR) เพื่อพัฒนาให้ได้วัสดุที่มีคุณสมบัติยืดหยุ่นคล้ายยาง และสามารถผ่านกระบวนการขึ้นรูปได้ง่ายเช่นเดียวกับเทอร์โมพลาสติก

หลังจากนั้นบริษัทมอนซานโต (Monsanto Chemical Company) ได้ผลิตอีลาสโตเมอร์อัลลอยด์ (Elastomeric alloys; EAs) เพื่อทางการค้า โดยมีองค์ประกอบของเทอร์โมพลาสติกและยางที่มีการเชื่อมโยง ซึ่งปัจจุบันรู้จักกันในนามของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนเซต (Thermoplastic vulcanizates; TPVs)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในปี ค.ศ. 1980 ได้มีการผลิตอีลาสโตเมอร์พอลิเอไมด์ (Elastomer polyamides; PEBA) ที่มีสมบัติในการใช้งานที่ดีมาก จึงทำให้มีราคาสูงตามไปด้วย

ในปี ค.ศ. 1970-1990 พบว่ามีการใช้วัสดุเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์จากทั่วโลก เป็นอัตราที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องทุกปี คิดเป็น 8-9 เปอร์เซ็นต์ต่อปี และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นต่อไปในอนาคต [2] แสดงดังรูปที่ 1.1



รูปที่ 1.1 อัตราการใช้วัสดุเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์จากทั่วโลก ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1970-1990 และแนวโน้มการเจริญเติบโตในอนาคต [2]

ทั้งนี้เนื่องจากเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์มีข้อดีหลายประการเมื่อเปรียบเทียบกับเทอร์โมเซต ดังนี้

- สามารถขึ้นรูปได้ง่ายและมีกระบวนการผลิตที่ไม่ซับซ้อนเหมือนยางวัลคาไนซ์ ทั้งยังมีเศษเหลือทิ้ง (Scrap) น้อยกว่าอีกด้วย
- ลดเวลาในการขึ้นรูปเมื่อเทียบกับการผลิตยางวัลคาไนซ์
- ประหยัดพลังงานและใช้วัตถุดิบน้อยกว่ายางวัลคาไนซ์
- เศษเหลือทิ้งจากกระบวนการขึ้นรูป สามารถหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่ในกระบวนการได้อีก
- สามารถผลิตผลิตภัณฑ์ที่มีสมบัติหลากหลายตามความต้องการได้

อย่างไรก็ตาม เทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์ยังคงมีข้อด้อยกว่าเทอร์โมเซตอยู่บ้าง ดังนี้

- สำหรับอุตสาหกรรมยาง จำเป็นต้องเพิ่มเครื่องมือเข้ามาช่วยในการขึ้นรูป เนื่องจาก

เทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์ต้องใช้เทคนิคการขึ้นรูปแบบเดียวกับเทอร์โมพลาสติก เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เนื่องจากเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์มีกระบวนการผลิตเหมือนเทอร์โมพลาสติก ดังนั้นต้องเพิ่มเครื่องมือเข้ามาเพื่อทำให้วัตถุดิบปราศจากความชื้น ก่อนนำไปขึ้นรูป
- เทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์มีช่วงอุณหภูมิการใช้งานที่แคบกว่าเทอร์โมเซต
- สมบัติบางประการของเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์ยังด้อยกว่ายางเทอร์โมเซต เช่น การคืบ (Creep) การเปลี่ยนแปลงรูปร่างถาวร (Permanent set) เปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด (%Elongation at break) และสมบัติที่อุณหภูมิต่ำ เป็นต้น

ลักษณะที่สำคัญของวัสดุเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์ที่ทำให้มีสมบัติแตกต่างกัน คือ ชนิดและปริมาณขององค์ประกอบของอีลาสโตเมอร์และเทอร์โมพลาสติกที่ต่างกัน ซึ่งจะเป็นชนิดใดหรือมีอัตราส่วนเป็นเท่าใดนั้น ขึ้นอยู่กับสมบัติของวัสดุเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์ที่ต้องการนำไปประยุกต์ใช้งาน

เนื่องจากปัจจุบันอัตราการบริโภคยางรถยนต์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง และด้วยเหตุที่ว่ายางรถยนต์ที่ใช้จนเสื่อมสภาพแล้ว เป็นพอลิเมอร์ชนิดเทอร์โมเซต (Thermoset) กล่าวคือ มีโครงสร้างเป็นร่างแหสามมิติ ทำให้ไม่สามารถนำกลับมาหลอมใช้ใหม่ได้เหมือนกับเทอร์โมพลาสติก จึงก่อให้เกิดปัญหาขยะยางรถยนต์เสื่อมสภาพเพิ่มขึ้น แต่แนวทางการกำจัดส่วนใหญ่ที่ปฏิบัติมี 2 วิธี คือการเผา และการฝังกลบ [3] ซึ่งเป็นการสร้างมลภาวะให้แก่สิ่งแวดล้อม จึงควรหลีกเลี่ยงหรือลดการกำจัดด้วยวิธีการดังกล่าว และพยายามคิดค้นการนำกลับมาใช้ใหม่เพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุด ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงนำยางรถยนต์ (Ground rubber tire; GRT) ที่ได้จากการบดขยะยางรถยนต์มาใช้เป็นส่วนของอีลาสโตเมอร์ในเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์ที่ต้องการเตรียม เพื่อช่วยลดปัญหาต่างๆ ข้างต้นอีกทางหนึ่ง

จากงานโครงการพิเศษภาควิชาเคมี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปีการศึกษา 2546 ของวิฬาร์วรรณ ปิ่นทอง และศศิพิมพ์ ศศะสมิต [4] ศึกษาเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์ที่เตรียมได้จาก GRT และพอลิพรอพิลีน (Polypropylene; PP) โดยเติมพอลิเมอร์ร่วมของเอทิลีน-ออกทีน (Engage[®] 8180) ทำหน้าที่เป็นสารช่วยผสม พบว่าวัสดุที่เตรียมได้ มีเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด (%Elongation at break) ยังไม่ดีเท่าที่ควร เนื่องจากรอยต่อระหว่างวัฏภาคยังไม่แข็งแรง ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นการปรับปรุงสมบัติของพอลิเมอร์ผสมดังกล่าว โดยใช้พอลิพรอพิลีนที่ต่อกิ่งด้วยมาเลอิกแอนไฮไดรด์ (Maleic anhydride grafted polypropylene; PP-g-MA) ผสมกับ GRT เนื่องจาก PP-g-MA มีขั้วเล็กน้อยจากส่วนของมาเลอิกแอนไฮไดรด์ ทำให้สามารถผสมเข้ากันได้ดีกับ GRT ที่มีขั้วอ่อนๆ อันเนื่องมาจากสารตัวเติม นอกจากนี้มีการเติมเรซอร์ซินอล (Resorcinol) เพื่อเพิ่มการยึดติดระหว่างวัฏภาค และยังเป็นการเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพิ่มความมีขั้วให้กับวัสดุภายใต้การศึกษานี้ ทำให้สามารถเข้ากันได้ดีกับ PP-g-MA ยิ่งขึ้น ส่งผลให้สมบัติของพอลิเมอร์ผสมดีขึ้นด้วย

1.2 จุดประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อศึกษาผลของอัตราส่วนระหว่าง GRT/PP-g-MA และปริมาณสารเพิ่มการยึดติด ได้แก่ เรซอร์ซินอล ที่มีผลต่อสมบัติของ TPEs ที่เตรียมได้
2. เพื่อศึกษาสมบัติต่างๆ ของ TPEs ที่เตรียมได้จาก GRT/PP-g-MA เช่น สมบัติเชิงกล สมบัติความร้อน และพื้นฐานวิทยา เป็นต้น รวมทั้งความสามารถในการนำกลับมาใช้ใหม่หรือรีไซเคิล (Recycle)

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

1. ศึกษาอัตราส่วนระหว่าง GRT/PP-g-MA ได้แก่ 50:50 60:40 70:30 และ 80:20 ที่มีผลต่อสมบัติของ TPEs ที่เตรียมได้
2. ศึกษาปริมาณของสารเพิ่มการยึดติด ได้แก่ เรซอร์ซินอล ในอัตราส่วน 0-7 phr ที่มีผลต่อสมบัติของ TPEs ที่เตรียมได้
3. ศึกษาเปรียบเทียบสมบัติเชิงกล ของ GRT/PP-g-MA เมื่อผสมและไม่ผสมสารเพิ่มการยึดติดทั้งก่อนและหลังรีไซเคิล 1-2 ครั้ง

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบถึงอัตราส่วนของ GRT/PP-g-MA และปริมาณของสารเพิ่มการยึดติดที่เหมาะสมในการเตรียม TPEs
2. ทราบถึงวิธีการเตรียมและวิธีการปรับปรุง TPEs
3. สามารถนำความรู้ที่ได้ไปประยุกต์ใช้ เพื่อการผลิต TPEs ในระดับอุตสาหกรรมได้
4. สามารถลดปริมาณและแปรรูปขยะยางรถยนต์ เพื่อเป็นการเพิ่มมูลค่าของวัสดุได้อย่างมีประสิทธิภาพ
5. สามารถเป็นแบบอย่างแก่งานวิจัยอื่นๆ ให้มุ่งเน้นถึงความสำคัญของระบบสิ่งแวดล้อมและคุณภาพชีวิตมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 เทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์ (Thermoplastic elastomers; TPEs) [5]

เทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์ (Thermoplastic elastomers; TPEs) เป็นพอลิเมอร์ที่มีลักษณะคล้ายยาง นิ่มตัว ยืดหยุ่นได้ แต่ต่างจากยางทั่วไป คือ สามารถขึ้นรูปได้หลายครั้งเหมือนเทอร์โมพลาสติก

TPEs มีสมบัติเป็นของไหล (Fluid) ที่อุณหภูมิสูง และทำให้กลายเป็นวัสดุแข็งโดยการหล่อเย็น (Cooling) ทำให้ได้วัสดุที่มีสมบัติคล้ายยางแต่สามารถขึ้นรูปได้โดยใช้อุปกรณ์เครื่องมือเดียวกันกับพลาสติก เช่น เครื่องฉีดขึ้นรูป (Injection molding machine) เครื่องเป่าขึ้นรูป (Blow molders) และเครื่องอัดรีด (Extruders) เป็นต้น ดังนั้นจึงตัดขั้นตอนการคอมพาวด์และการเชื่อมโยงของกระบวนการขึ้นรูปยางออกไปได้ เศษเหลือทิ้งจากกระบวนการสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ และด้วยขั้นตอนที่ลดลงทำให้การใช้กำลังคนลดลงตามไปด้วย

อย่างไรก็ตาม TPEs ก็ยังมีข้อด้อยกว่ายาง เช่น สมบัติการเปลี่ยนรูปร่างถาวรเมื่อได้รับแรงกดอัด (Compression set) สมบัติที่อุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิใช้งาน (Service temperature) และสมบัติการต้านทานต่อน้ำมันและตัวทำละลาย (Resistance to oil and solvents) ซึ่งสมบัติเหล่านี้ต้องคำนึงสำหรับการใช้งานบางประเภท เช่น การใช้งานภายในรถยนต์ ในขณะเดียวกันการใช้งานบางประเภทมีการคำนึงถึงสมบัติดังกล่าวน้อยมาก เช่น อุตสาหกรรมพื้นรองเท้า ฉนวนหุ้มไฟฟ้า ท่อ และของเล่นเด็ก เป็นต้น

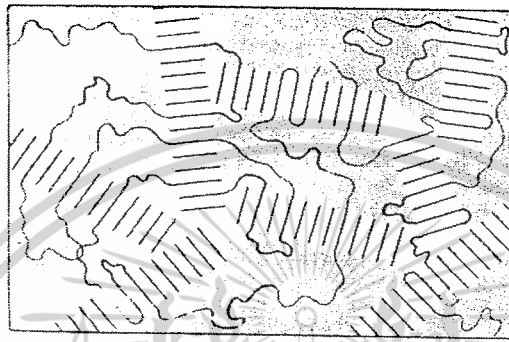
การที่ TPEs มีสมบัติต่างๆ เช่น สามารถขึ้นรูปได้หลายครั้งเหมือนพลาสติกและยืดหยุ่นได้คล้ายยาง เนื่องจากโครงสร้างของ TPEs ประกอบด้วย 2 ส่วนคือ

- 1) ส่วนแข็ง (Hard segments) เป็นส่วนของเทอร์โมพลาสติก ทำหน้าที่เหมือนจุดเชื่อมโยงเชิงกล (Physical crosslinks) ทำให้ TPEs มีความแข็งแรง (Strength) โครงสร้างส่วนแข็งนี้สามารถเปลี่ยนแปลงย้อนกลับไปได้เมื่อให้ความร้อน กล่าวคือ สามารถหลอมเหลวแยกออกจากกัน เมื่อให้ความร้อนในการขึ้นรูป และกลับเข้ามารวมกันใหม่ได้เมื่อเย็นตัว [6]
- 2) ส่วนอ่อน (Soft segments) มีลักษณะเป็นอสัณฐาน (Amorphous) มีอิสระในการเคลื่อนที่มากกว่าส่วนแข็ง เป็นส่วนที่มีอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (Glass

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

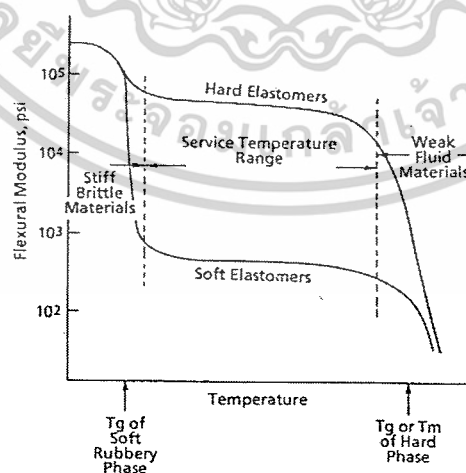
transition temperature; T_g) ต่ำ ดังนั้นที่อุณหภูมิใช้งาน TPEs จึงมีความยืดหยุ่น คล้ายยาง

ส่วนแข็งและส่วนอ่อนของเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์ แสดงได้ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 แบบจำลองโครงสร้างเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์ [7]

เนื่องจาก TPEs ประกอบด้วย 2 ส่วนที่ต่างกัน สมบัติทางกายภาพของ TPEs จึงได้จากการรวมสมบัติของแต่ละส่วนไว้ด้วยกัน ส่งผลให้ TPEs มีสมบัติเฉพาะขึ้นกับองค์ประกอบ ทั้งส่วนแข็งและส่วนอ่อน เช่น ในแต่ละส่วนมี T_g หรือถ้าส่วนนั้นมีผลึกด้วยก็จะมีอุณหภูมิหลอมเหลวผลึก (Crystal melting temperature; T_m) ดังนั้นอุณหภูมิการใช้งานของ TPEs จึงบอกได้เป็นช่วงอุณหภูมิ แสดงดังรูปที่ 2.2

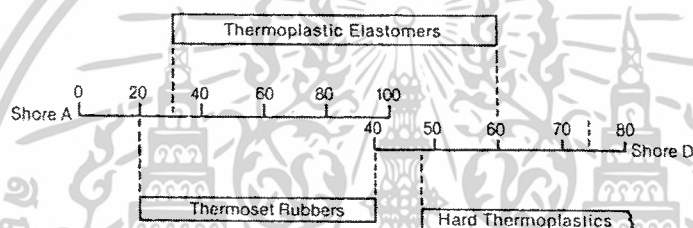


รูปที่ 2.2 ช่วงอุณหภูมิใช้งานของ TPEs [8]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิใช้งาน ส่วนแข็งและส่วนอ่อนกลายเป็นส่วนแข็งทั้งหมด ทำให้ได้วัสดุที่มีความแข็งแรง เพราะที่อุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิใช้งานส่วนแข็งจะอ่อนตัวและกลายเป็นของไหลทำให้ TPEs สูญเสียความแข็งแรง จึงทำให้ TPEs มีอุณหภูมิใช้งานอยู่ในช่วงกว้าง โดยช่วงอุณหภูมิใช้งานต่ำสุด (Lower service temperature) ขึ้นกับ T_g ของส่วนอ่อนหรือส่วนที่มีสมบัติเป็นยาง (Elastomer phase) และช่วงอุณหภูมิใช้งานสูงสุด (Upper service temperature) ขึ้นกับ T_g หรือ T_m ของส่วนแข็ง

นอกจากนี้ความแข็งกต (Hardness) ยังเป็นสมบัติหนึ่งที่เป็นผลมาจากโครงสร้างของ TPEs ทำให้ TPEs มีค่าความแข็งกตอยู่ระหว่างยางกับพลาสติก (รูปที่ 2.3)



รูปที่ 2.3 ช่วงความแข็งกตของ TPEs ยาง และพลาสติก [2]

เทอร์โมพลาสติกอิลาสโตเมอร์ สามารถแบ่งออกเป็น 6 ประเภท [2] ได้แก่

- 1) เทอร์โมพลาสติกพอลิโอเลฟินอิลาสโตเมอร์ (Thermoplastic polyolefin elastomers; TPOs)
TPOs เป็นพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิโอเลฟินกับอิลาสโตเมอร์ เช่น พอลิเมอร์ผสมระหว่างไอโซแทกติกพอลิพรอพิลีนกับยางเอทิลีน-พรอพิลีน-ไดอีน (EPDM)
- 2) เทอร์โมพลาสติกวัลคาไนเซต (Thermoplastic vulcanizates; TPVs)
TPVs ต่างจาก TPOs ในส่วนของวิฤภาคยางที่มีการเชื่อมโยงสูงกว่า TPOs สมรรถนะของ TPVs ใกล้เคียงกับยางเทอร์โมเซต
- 3) เทอร์โมพลาสติกพอลิเอสเทอร์อิลาสโตเมอร์ (Thermoplastic polyester elastomers)
เทอร์โมพลาสติกพอลิเอสเทอร์อิลาสโตเมอร์เป็นพอลิเมอร์ร่วมแบบบล็อก ซึ่งประกอบด้วยส่วนแข็งและส่วนอ่อน โดยส่วนแข็งคือพอลิอัลคิลีนเทอเรพทาเลต และส่วนอ่อนคือพอลิอัลคิลีนอีเทอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4) เทอร์โมพลาสติกพอลิยูรีเทนอีลาสโตเมอร์ (Thermoplastic polyurethane elastomers; TPUs)

TPUs เป็นพอลิเมอร์แบบชั้นระหว่างไกลคอลที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำและไอโซไซยาเนต

5) เทอร์โมพลาสติกพอลิเอไมด์อีลาสโตเมอร์ (Thermoplastic polyamide elastomers)

เทอร์โมพลาสติกพอลิเอไมด์อีลาสโตเมอร์เป็นพอลิเมอร์รวมแบบบล็อกที่มีโครงสร้างเป็นพอลิ-อีเทอร์กับพอลิเอไมด์ และพอลิเอสเทอร์กับพอลิเอไมด์

6) เทอร์โมพลาสติก (พอลิสไตรีน-ไดอีน) อีลาสโตเมอร์ (Thermoplastic poly(styrene-diene) elastomers)

เทอร์โมพลาสติก (พอลิสไตรีน-ไดอีน) อีลาสโตเมอร์ เป็นพอลิเมอร์รวมที่มีความเหนียวสูงมาก โดยส่วนที่เป็นอีลาสโตเมอร์หรือส่วนอ่อนคือโมเลกุลที่มีพันธะคู่ และส่วนแข็งคือพอลิสไตรีน

2.2 พยางยางรถยนต์ (Ground rubber tire; GRT)

2.2.1 ยางรถยนต์ และองค์ประกอบของยางรถยนต์

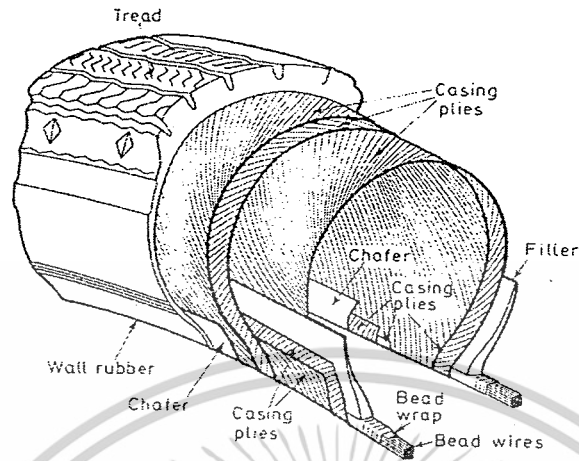
ยางรถยนต์ (Tire) เป็นผลิตภัณฑ์แปรรูปของยางที่สำคัญที่สุด เนื่องจากมีการใช้ยางปริมาณมากทั้งยางธรรมชาติ และยางสังเคราะห์สำหรับกระบวนการผลิตยางรถยนต์ นอกจากนี้ยางรถยนต์ยังเป็นองค์ประกอบสำคัญของรถยนต์ ซึ่งมีปริมาณการผลิตและการใช้งานเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว

ยางรถยนต์ มีหน้าที่หลายประการ เช่น รองรับน้ำหนัก (Load-carrying) ลดแรงกระแทก และแรงสั่นสะเทือน (Dynamics energy) ช่วยกระจายพลังงานที่ได้รับ (Energy dissipating) เกิดความร้อนสะสม (Heat build-up) น้อย ยึดเกาะถนน เป็นต้น ยางรถยนต์ที่ดีควรมีเสถียรภาพของรูปร่าง และมีความทนทาน (Durability) สูง สามารถใช้งานได้เป็นระยะเวลาอันยาวนานก่อนการสึกกร่อน โดยปกติยางรถยนต์มีอายุการใช้งานประมาณ 2 ถึง 3 ปี

องค์ประกอบของยางรถยนต์ [6]

ยางรถยนต์จัดเป็นวัสดุประกอบของยาง (Rubber composites) เนื่องจากมีวัสดุหลายชนิดเป็นองค์ประกอบ เช่น ยางผสมสูตร เขม่าดำ เส้นใยเสริมแรง เส้นลวดโลหะ เป็นต้น ส่วนประกอบของยางรถยนต์ และภาพตัดขวางของยางรถยนต์สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.4 และรูปที่ 2.5 ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 ส่วนประกอบของยางรถยนต์ [9]



รูปที่ 2.5 ภาพตัดขวางของยางรถยนต์ [10]

ส่วนประกอบของยางรถยนต์ประกอบด้วยส่วนสำคัญ ดังนี้

1. หน้ายาง (Tread)

หน้ายางเป็นชั้นนอกสุดของยางรถยนต์ที่สัมผัสกับพื้นถนนโดยตรง ทำหน้าที่เกาะถนน ป้องกันการชำรุด และสึกหรอของยางรถยนต์ หน้ายางควรมีสมบัติทนทานต่อการขูดถูเสียดสี (Wear resistance) สูง สามารถยึดเกาะกับพื้นถนนได้ดีทั้งสภาวะแห้งและเปียก เกิดความร้อนเองถ้ารถเป็นเอ็กสตรึมหรือรถบรรทุกหรือรถแข่งก็อาจเกิดความร้อนสูงเกินไปซึ่งจะเอียงหนักการค้ำไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สะสมต้า ดังนั้นยางที่ใช้เป็นวัตถุดิบจึงใช้เป็นยางเอสบีอาร์ (SBR rubber) และยางธรรมชาติ (Natural rubber; NR) เป็นองค์ประกอบหลัก

2. แก้มยางหรือยางด้านข้าง (Side wall)

แก้มยางเป็นชั้นของยาง อยู่บริเวณด้านข้างของยางรถยนต์ แก้มยางจะยึดส่วนของหน้ายางให้ติดกับโครงสร้างของล้อยางรถยนต์ นิยมใช้ยางผสมของยางบิวทาไดอีน (Butadiene rubber; BR)

3. ชั้นผ้าใบ (Ply)

ชั้นผ้าใบเป็นผ้าใบหรือเส้นใยสังเคราะห์ที่นำมาถักทอเป็นผืน แล้วฉาบด้วยยางผสมสูตร โดยเส้นใยสังเคราะห์ส่วนใหญ่นิยมใช้เส้นใยชนิดไนลอน 6 (Nylon-6) เส้นใยไนลอน 6,6 (Nylon-6,6) และเส้นใยพอลิเอสเตอร์ (Polyester)

4. เข็มขัดยางรถยนต์ (Belt)

เข็มขัดยางรถยนต์บางครั้งอาจเรียกว่า แผ่นรองรับหรือเส้นใยเหล็ก เป็นลวดโลหะหรือเส้นใยสังเคราะห์ อยู่บริเวณส่วนใต้ของหน้ายาง มักทำจากเส้นลวดเหล็ก เส้นลวดทองเหลือง (Brass) เส้นใยเรยอน (Rayon) เส้นใยพอลิเอสเตอร์ฉาบด้วยยางผสมสูตร

5. ขอบยาง (Beads)

ขอบยางเป็นลวดโลหะแข็ง ม้วนพันเป็นวงแล้วฉาบด้วยยางผสมสูตร

6. ยางชั้นใน (Inner liner)

ยางชั้นในเป็นส่วนของยางที่อยู่ชั้นในสุดมีหน้าที่เก็บกักก๊าซ และป้องกันไม่ให้ก๊าซรั่วซึมออก ปัจจุบันนิยมใช้ยางชั้นในติดกับชั้นผ้าใบ ดังนั้นยางที่ใช้ต้องมีสมบัติด้านการซึมผ่านของก๊าซได้ดี ได้แก่ ยางบิวทิล (Butyl rubber; IIR) หรือยางฮาโลบิวทิล (Halobutyl rubber; CIIR หรือ BIIR)

2.2.2 ผงยางรถยนต์ [11]

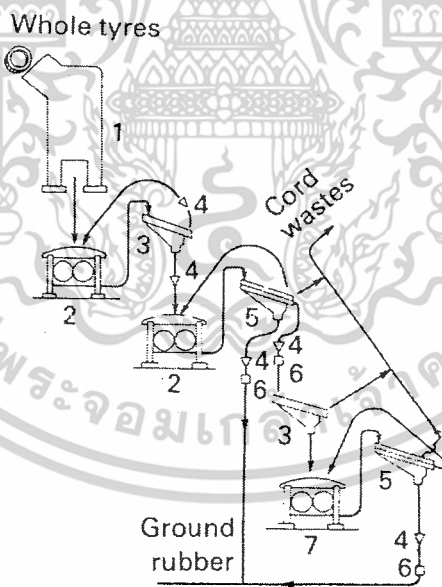
ปัจจุบันในทางการค้าเริ่มมีการคิดค้นวิธีการนำยางรถยนต์ที่ใช้แล้ว หมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่เพื่อเป็นการเพิ่มมูลค่าของขยะยางรถยนต์ พบว่าสามารถทำได้หลายวิธี เช่น นำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงเพื่อให้พลังงานความร้อน นำไปผ่านกระบวนการไพโรไลซิส (Pyrolysis) นำไปผ่านกระบวนการเพื่อใช้ทำยางมะตอยในงานวิศวกรรมโยธา เป็นต้น

ผงยางรถยนต์ เป็นผลิตภัณฑ์หนึ่งที่ได้จากการนำยางรถยนต์ที่ใช้แล้ว หมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่ โดยการผ่านกระบวนการบดซึ่งสามารถทำได้ 2 วิธีหลักๆ ดังนี้ [12]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. การบดที่อุณหภูมิต่ำ (Ambient process)

ขั้นแรกนำยางรถยนต์มาตัดด้วยเครื่องตัดเชิงกล (Mechanical scissors) อย่างต่อเนื่องได้ ยางที่มีขนาดประมาณ 20 ถึง 40 มิลลิเมตร แล้วส่งไปยังลูกกลิ้ง (Crushing roll mill) เพื่อบดให้ได้ ขนาด 20 มิลลิเมตร จากนั้นแยกขนาดอนุภาคด้วยตะแกรงร่อนแบบเดี่ยว (Single state sifter screen) อนุภาคที่ผ่านรูของตะแกรงร่อนถูกส่งต่อไปยังลูกกลิ้งบดตัวที่ 2 แล้วนำไปร่อนบนตะแกรง ร่อนแบบ 2 ชั้น (Second state sifter screen) อนุภาคที่ไม่ผ่านตะแกรงร่อนจะถูกนำกลับไปบดใน ลูกกลิ้งบดอีกครั้ง ส่วนอนุภาคที่ผ่านตะแกรงร่อนนั้นมีขนาดประมาณ 5 ถึง 7 มิลลิเมตร นำไปแยก ส่วนของยางกับเศษโลหะที่ไม่ต้องการออก โดยอาศัยแรงจากแม่เหล็กและแรงโน้มถ่วงโลก (Magnetic and Gravity) อนุภาคที่ผ่านการแยกโลหะแล้ว ส่งไปบดด้วยลูกกลิ้งตัวที่ 3 จากนั้นร่อน ด้วยตะแกรงร่อนแบบ 2 ชั้น อนุภาคยางที่ไม่ผ่านตะแกรงร่อนจะถูกนำกลับไปบดด้วยลูกกลิ้งอีก ครั้ง ส่วนอนุภาคที่ผ่านตะแกรงร่อน นำไปแยกเศษโลหะอีกครั้งเพื่อให้ได้ยางที่ไม่มีสิ่งเจือปน เมื่อ สิ้นสุดกระบวนการ อนุภาคยางที่ได้มีขนาดประมาณ 0.8 มิลลิเมตร

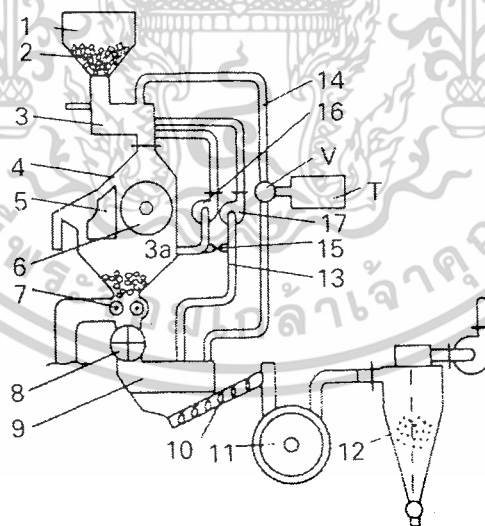


รูปที่ 2.6 กระบวนการบดยางที่อุณหภูมิต่ำ (Ambient process)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การบดที่อุณหภูมิต่ำ (Cryogenic process)

ขั้นแรกตัดยางรถยนต์ให้ได้ขนาดประมาณ 50-150 มิลลิเมตร นำไปแช่ไนโตรเจนเหลวเพื่อทำให้ยางแข็งตัวที่อุณหภูมิต่ำ -60 ถึง -100 องศาเซลเซียส จากนั้นนำไปบดให้มีขนาดเล็กลงด้วยเครื่องบดแบบทูป (Hammer grinder) ได้อนุภาคที่มีขนาดประมาณ 19 มิลลิเมตร นำไปแยกโลหะออกโดยอาศัยแรงจากแม่เหล็ก อนุภาคยางที่ได้ถูกส่งต่อไปยังเครื่องแยกแบบไซโคลน (Cyclone separator) ซึ่งมีตะแกรงร่อนแบบ 3 ชั้น อนุภาคที่ไม่ผ่านตะแกรงร่อนชั้นแรกจะถูกนำกลับไปบดและนำกลับไปยังเครื่องแยกแบบไซโคลนอีกครั้ง ส่วนอนุภาคยางที่ผ่านตะแกรงร่อนชั้นแรกมาแล้วถูกส่งไปยังเครื่องสั่นตัวที่ 1 ชั้นตอนนี้แบ่งเป็นการสั่นด้วยความถี่ต่ำและการสั่นด้วยความถี่สูง การสั่นด้วยความถี่ต่ำเป็นการแยกเส้นใยเสริมแรง (Cord) ออกจากยางซึ่งเส้นใยเสริมแรงส่วนนี้จะถูกส่งกลับไปเครื่องแยกแบบไซโคลนอีกครั้ง ส่วนการสั่นด้วยความถี่สูงเป็นการแยกโลหะที่เหลือออกจากยางโดยใช้แรงจากแม่เหล็ก เมื่อได้ยางที่ไม่มีโลหะเจือปนแล้วนำไปแช่ไนโตรเจนเหลวอีกครั้ง รอจนกว่ายางจะแข็งตัวแล้วนำไปบดให้ละเอียดยิ่งขึ้น (Fine disperse state) โดยชั้นตอนนี้จะกำหนดขนาดของอนุภาคยางให้สม่ำเสมอ จากนั้นส่งผ่านไปยังเครื่องแยกแบบไซโคลนตัวที่ 2 อนุภาคยางที่ได้จะมีขนาดเล็กมากประมาณ 0.127 มิลลิเมตร



รูปที่ 2.7 กระบวนการบดยางที่อุณหภูมิต่ำ (Cryogenic process)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

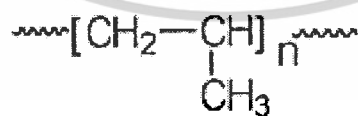
เมื่อเปรียบเทียบผลของรายนต์ที่ได้จากการบดทั้ง 2 วิธี (ตารางที่ 2.1) พบว่าองค์ประกอบของเส้นใยเสริมแรง และโลหะเหลืออยู่ในปริมาณที่ต่างกัน [11] โดยที่การบดที่อุณหภูมิห้องมีปริมาณเส้นใยเสริมแรงและโลหะมากกว่าการบดที่อุณหภูมิต่ำ

ตารางที่ 2.1 เปรียบเทียบลักษณะภายนอกของอนุภาคยาง และอัตราส่วนเส้นใยเสริมแรงกับโลหะที่เหลืออยู่ในผงยางรายนต์จากกระบวนการบดที่อุณหภูมิห้อง และที่อุณหภูมิต่ำ [11]

สมบัติทางกายภาพ (Physical properties)	บดที่อุณหภูมิห้อง (Ambient process)	บดที่อุณหภูมิต่ำ (Cryogenic process)
ความถ่วงจำเพาะ (Specific gravity)	เท่ากัน	เท่ากัน
ลักษณะอนุภาค (Particle shape)	ไม่สม่ำเสมอ	สม่ำเสมอ
เส้นใย (Fiber)	ร้อยละ 0.5	-
โลหะ (Metal)	ร้อยละ 0.1	-
ราคา (Cost)	ใกล้เคียงกัน	ใกล้เคียงกัน

2.3 พอลิพรอพิลีน (Polypropylene; PP)

พอลิพรอพิลีน สามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภทหลักๆ ดังนี้



รูปที่ 2.8 สูตรโครงสร้างทั่วไปของพอลิพรอพิลีน [14]

2.3.1 โฮโมพอลิพรอพิลีน (Homopolypropylene)

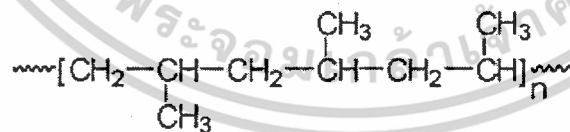
พอลิพรอพิลีน เป็นวัสดุพอลิเมอร์ชนิดหนึ่งที่ได้จากการสังเคราะห์โดยใช้วัตถุดิบจากผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมี ซึ่งจัดเป็นพอลิเมอร์ที่มีโครงสร้างอยู่ในกลุ่มของพอลิโอเลฟิน (Polyolefin) ในการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เช่นเดียวกับพอลิเอทิลีน (Polyethylene; PE) [15] และมีสูตรโครงสร้างคล้ายคลึงกัน แต่ต่างกันที่สูตรโครงสร้างของ PP มีหมู่เมทิล (Methyl group) แทนที่ไฮโดรเจน (Hydrogen) 1 อะตอมในหน่วยซ้ำของ PE ดังนั้นทำให้สายโซ่พอลิเมอร์หมุนตัวได้ยากขึ้น ส่งผลให้ PP มีความยืดหยุ่นและอ่อนตัวต่ำกว่า PE เมื่ออยู่สภาพอสัณฐาน (Amorphous) และทำให้ T_g ของ PP สูงกว่า PE

เมื่ออยู่ในอุณหภูมิห้อง PP มีสมบัติเป็นพอลิเมอร์แข็งเปราะ แต่สามารถทำให้ PP มีสมบัติที่หลากหลายได้ โดยใช้กระบวนการสังเคราะห์ที่ต่างกัน ทำให้ได้ PP ที่มีการจัดเรียงตัวของหมู่เมทิล (Configuration) แตกต่างกันไปด้วย ซึ่งสามารถแบ่งชนิดของ PP ตามรูปแบบการจัดเรียงตัวของหมู่เมทิล (Steriochemistry) ได้ดังนี้ คือ

1. อะแทกติกพอลิพโรพิลีน (Atactic polypropylene)

พอลิพโรพิลีนชนิดอะแทกติกได้จากการสังเคราะห์ด้วยกรดลิวอิส (Lewis acid) และสารประกอบออร์แกโนเมทัลลิก (Organometallic) [16] ให้เกิดกระบวนการพอลิเมอไรเซชัน (Polymerization) โดยปราศจากการควบคุมการจัดเรียงตัวของมอนอเมอร์พโรพิลีนทำให้มอนอเมอร์มีการจัดเรียงตัวอย่างไม่เป็นระเบียบ หรือแบบสุ่ม (Random) (ดังรูปที่ 2.9) การจัดเรียงตัวในลักษณะนี้ทำให้ PP ไม่สามารถตกผลึกได้ มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ และเป็นพอลิเมอร์อสัณฐานที่มีลักษณะคล้ายแก้วเหนียว และด้วยเหตุที่มีโซ่กิ่งมากจึงไม่ค่อยมีประโยชน์ในเชิงพาณิชย์แต่ยังมีการนำไปใช้งานอยู่บ้าง บางครั้งในทางการค้าเรียก PP ชนิดนี้ว่า "พอลิพโรพิลีนแบบอสัณฐาน" ซึ่งมีความสามารถในการยึดเกาะจึงนำไปใช้งานเป็นสารยึดติดด้วยความร้อน (Heat-seal adhesives) และจากสมบัติที่ไม่นำไฟฟ้าของ PP จึงสามารถใช้ทำเป็นฉนวนหุ้มสายเคเบิลได้

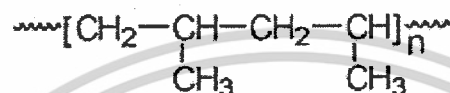


รูปที่ 2.9 สูตรโครงสร้างของอะแทกติกพอลิพโรพิลีน [14]

2. ไอโซแทกติกพอลิพโรพิลีน (Isotactic polypropylene)

พอลิพโรพิลีนชนิดไอโซแทกติกได้จากการกระบวนการสังเคราะห์โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบเนื้อผสม [16] เพื่อควบคุมทิศทางการจัดเรียงตัวของมอนอเมอร์พโรพิลีนให้จัดเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบมากขึ้น ทำให้มีน้ำหนักโมเลกุลเพิ่มขึ้น ลักษณะการจัดเรียงตัว แสดงดังรูปที่ 2.10 ผลเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

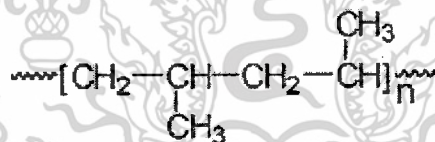
เนื่องจากการมีหมู่เมทิล ทำให้สายโซ่พอลิเมอร์ของ PP มีการวางตัวในลักษณะของเกลียว ดังนั้นเมื่อนำ PP ชนิดนี้ไปขึ้นรูปจึงทำให้เกิดผลึกได้อย่างรวดเร็ว และต่อเนื่องตั้งแต่เริ่มเป็นพอลิเมอร์หลอมเหลว (Melting polymer) จนกระทั่งสิ้นสุดกระบวนการ จึงทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความแข็งแรง (Strength) สูงแต่มีความทนทานต่อแรงกระแทก (Impact strength) ต่ำ



รูปที่ 2.10 สูตรโครงสร้างของไอโซแทกติกพอลิพรอพิลีน [14]

3. ซินดีโอแทกติกพอลิพรอพิลีน (Syndiotactic polypropylene)

พอลิพรอพิลีนชนิดซินดีโอแทกติกได้มาจากกระบวนการสังเคราะห์ที่ต้องมีการควบคุมการจัดเรียงตัวของมอนอเมอร์เช่นเดียวกับชนิดไอโซแทกติก แต่ปรับเปลี่ยนชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยาที่ต่างกัน [16] โครงสร้างของซินดีโอแทกติก (ดังรูปที่ 2.11) สามารถเกิดผลึกได้บางส่วน แต่น้อยกว่าไอโซแทกติก



รูปที่ 2.11 สูตรโครงสร้างของซินดีโอแทกติกพอลิพรอพิลีน [14]

ไฮโมพอลิพรอพิลีนมักขึ้นรูปด้วยกระบวนการฉีดขึ้นรูป เพื่อทำฝาขวด เข็มฉีดยา อุปกรณ์ทางการแพทย์ ของเล่นเด็ก บรรจุภัณฑ์ภายในบ้าน รถยนต์ขนาดเล็ก ฟิล์ม เส้นใยและตาข่าย เป็นต้น ผลิตภัณฑ์จากพอลิพรอพิลีนเสื่อมสภาพได้เมื่อสัมผัสกับแสงอาทิตย์เป็นเวลานานจึงต้องเติมสารเติมแต่งเพื่อป้องกันการแตกตัวเป็นอนุมูลอิสระ (Free radical)

2.3.2 พอลิพรอพิลีนที่ผ่านการปรับปรุง

เนื่องจากพอลิพรอพิลีนเป็นพอลิเมอร์ที่สังเคราะห์ได้ง่าย ราคาถูก มีความแข็งแรงแต่เปราะ ดังนั้นในทางการค้า จึงมีการเพิ่มมูลค่าของพอลิพรอพิลีนด้วยวิธีการต่างๆ ซึ่งสามารถแบ่งประเภทโดยสังเขปได้ดังนี้ที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. พอลิเมอร์ผสมและพอลิเมอร์ร่วมของพอลิพรอพิลีน (Polypropylene blends and copolymers) [15]

จากข้อต่อที่ยืดของพอลิพรอพิลีน คือ มีความเปราะ แตกหักง่าย โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่อุณหภูมิต่ำ ดังนั้น จึงเริ่มมีการนำโพลิพรอพิลีนมาปรับปรุงสมบัติดังกล่าว โดยเตรียมเป็นวัสดุชนิดใหม่ ด้วยการผสมกับพอลิเมอร์ชนิดอื่นที่มีลักษณะค่อนข้างนิ่ม ยืดหยุ่นได้ เช่น พอลิไอโซบิวทิลีน (Polyisobutylene) ยางบิวทิล (Butyl rubber) เป็นต้น นอกจากนี้ยังทำให้เกิดเป็นพอลิเมอร์ชนิดใหม่โดยผ่านกระบวนการสังเคราะห์พอลิเมอร์ร่วม (Copolymerization) จากมอนอเมอร์พอลิพรอพิลีน และมอนอเมอร์ชนิดอื่น เช่น มอนอเมอร์เอทิลีน ในอัตราส่วนที่เหมาะสมและอยู่ภายใต้การควบคุมสภาวะการสังเคราะห์หรืออย่างดี ได้พอลิเมอร์ชนิดใหม่ขึ้นที่เรียกว่า "พอลิเมอร์ร่วม" ตัวอย่างพอลิเมอร์ร่วมที่พบทั่วไป เช่น พอลิเมอร์ร่วมแบบบล็อกของพอลิพรอพิลีนกับพอลิเอทิลีน (PP/PE block copolymer) เป็นต้น

ตัวอย่างของพอลิเมอร์ผสมและพอลิเมอร์ร่วมของพอลิพรอพิลีน (Polypropylene blends and copolymers) ที่มีจำหน่ายในปัจจุบัน [14]

- พอลิเมอร์ร่วมแบบสุ่ม (Random copolymers)

พอลิเมอร์ชนิดนี้มีการเติมมอนอเมอร์ชนิดอื่น เช่น เอทิลีน ในปริมาณ 6 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก การสังเคราะห์พอลิเมอร์ชนิดนี้สามารถทำได้ง่ายคล้ายแบบโพลิพรอพิลีน พอลิเมอร์ที่ได้มักนำมาผลิตเป็นฟิล์มบรรจุและห่ออาหารได้ตามมาตรฐาน อุปกรณ์ทางการแพทย์ สารยึดติดด้วยความร้อน และกันชนรถยนต์เพราะสามารถรับและดูดซับแรงได้ดี

- พอลิเมอร์ร่วมชนิดรับแรงกระแทก (High impact copolymers)

พอลิเมอร์ชนิดนี้มีการเติมมอนอเมอร์อื่นประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมักจะเป็นเอทิลีนหรือยาง ต้องมีการควบคุมสภาวะที่เหมาะสมและคงที่เพื่อให้ได้พอลิเมอร์ร่วมที่มีองค์ประกอบและน้ำหนักโมเลกุลตามต้องการ พบว่าพอลิเมอร์ร่วมที่ได้มีความทนทานต่อแรงกระแทกสูงแม้ทดลองที่อุณหภูมิต่ำ มักใช้ทำเป็นกระเป๋าเดินทาง ที่นั่งในรถ อุปกรณ์หล่อเย็น และเครื่องใช้ภายในบ้าน

โดยส่วนใหญ่การปรับปรุงสมบัติของ PP ด้วยวิธีการผสมและการสังเคราะห์พอลิเมอร์ร่วม นั้นมักคำนึงถึงสมบัติความทนทานต่อแรงกระแทกเป็นหลัก เพื่อทำให้นำมาประยุกต์ใช้งานได้หลากหลายมากขึ้น อาทิ การทำฟิล์มหนา (Thick sheet) และชิ้นงานที่สามารถขึ้นรูปได้โดยใช้แม่แบบ (Molded form) เป็นต้น

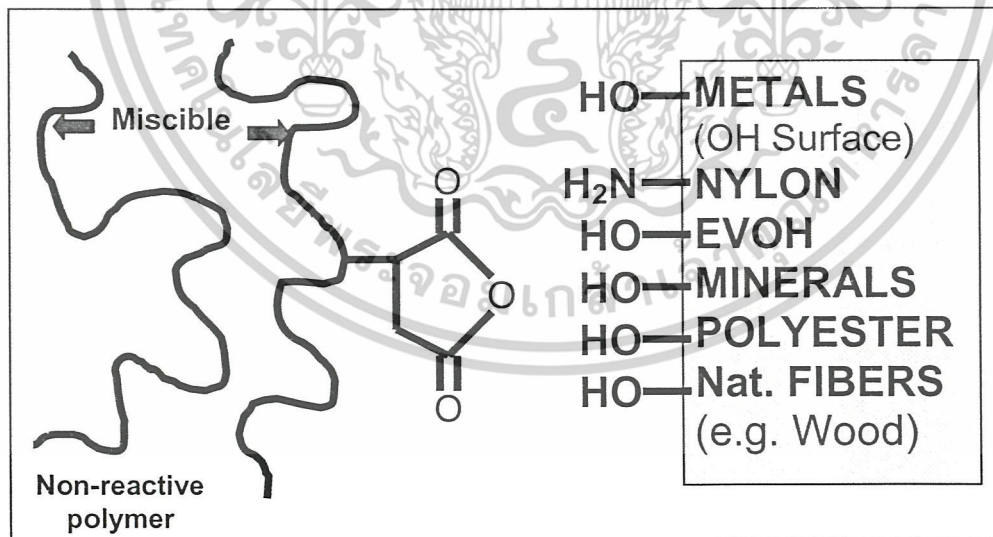
2. พอลิพรอพิลีนที่ปรับปรุงด้วยการเติมหมู่ที่ว่องไวต่อการเกิดปฏิกิริยา (Reactive modified polypropylene)

ปัจจุบันได้มีการคิดค้นวิธีการปรับปรุงสมบัติของพอลิเมอร์ที่ไม่มีขั้วด้วยการเติมหมู่ที่ว่องไวต่อการเกิดปฏิกิริยา เพื่อเพิ่มความสามารถในการเข้ากันได้ระหว่างวัสดุที่ไม่มีขั้วกับวัสดุที่มีขั้วให้ดียิ่งขึ้น

เนื่องจาก PP เป็นพอลิโอเลฟินที่ไม่มีขั้ว ซึ่งมีราคาถูก และนิยมนำมาใช้งาน ดังนั้น PP จึงเป็นวัสดุชนิดหนึ่ง ที่นำมาเติมหมู่ที่ว่องไวต่อการเกิดปฏิกิริยา โดยวิธีการหนึ่งที่ยิยมทำ คือ การต่อกิ่ง PP ด้วยมาเลอิกแอนไฮไดรด์ (Maleic anhydride) หรือกรดอะคริลิก (Acrylic acid) เป็นต้น

พอลิพรอพิลีนที่ต่อกิ่งด้วยมาเลอิกแอนไฮไดรด์ (Polypropylene grafted maleic anhydride; PP-g-MA) [5]

PP-g-MA ประกอบด้วย 2 ส่วน ดังนี้ 1) ส่วนที่ไม่มีขั้ว คือ ส่วนของพอลิโอเลฟินซึ่งสามารถเกี่ยวข้องกับสายโซ่พอลิเมอร์ในวัสดุที่ไม่มีขั้วได้ 2) ส่วนที่มีขั้ว หรือบริเวณหมู่ที่ว่องไวต่อการเกิดปฏิกิริยาใน PP-g-MA คือหมู่แอนไฮไดรด์ ดังรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 แบบจำลองการทำงานหมู่มาเลอิกแอนไฮไดรด์ [5]

ซึ่งหมู่แอนไฮไดรด์ สามารถเกิดปฏิกิริยาเคมีกับวัสดุอื่น ที่มีหมู่ว่องไวในการเกิดปฏิกิริยา เช่น วัสดุที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเผยแพร่หาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- หมู่ไฮดรอกซิล (Hydroxyl, -OH) ของเอทิลีนไวนิลแอลกอฮอล์ (Ethylene (vinyl alcohol); EVOH)
- หมู่ไฮดรอกซิลของเกลือแร่ต่าง ๆ
- หมู่ไฮดรอกซิลของพอลิเอสเทอร์
- หมู่ไฮดรอกซิลของโลหะออกไซด์
- หมู่เอมีน (Amine, -NH₂) ของเส้นใยไนลอน เป็นต้น

การประยุกต์ใช้ PP-g-MA สามารถสรุปได้ดังนี้

- 1) ใช้เป็นสารช่วยผสม (Compatibilizer) ระหว่างพอลิเมอร์ต่างชนิดที่ไม่รวมเป็นเนื้อเดียวกัน ให้สามารถผสมเข้ากันได้มากขึ้น ด้วยการเกิดปฏิกิริยาระหว่างหมู่ฟังก์ชันของแต่ละวัสดุ เช่น
 - ช่วยเป็นสารยึดติดสำหรับโครงสร้างที่เป็นหลายชั้น เช่น ระหว่างพอลิเอไมด์กับพอลิเอทิลีน (PA/PE) พอลิเอทิลีนเทอแรพทาเลตกับพอลิเอทิลีน (PET/PE) พอลิเอทิลีนกับเอทิลีนไวนิลแอลกอฮอล์ (PE/EVOH) เป็นต้น
 - เป็นสารช่วยผสมในพอลิเมอร์ผสม เช่น PA/PP
- 2) ใช้เป็นสารคู่ควบ (Coupling agent) ระหว่างวัสดุต่อเนื่องของพอลิเมอร์กับวัสดุกระจายของสารตัวเติม (Filler) หรือสารเสริมแรง (Reinforcing agent) เพื่อให้เกิดการกระจายตัวของวัสดุกระจายได้อย่างสม่ำเสมอ เช่น
 - พอลิเมอร์คอมโพสิตของ PP/ใยแก้ว และ PP/CaCO₃
- 3) ใช้เป็นสารตัวเติม (Filler) เพื่อเพิ่มสมบัติในการรับแรงกระแทกของเส้นใยไนลอน 6,6 (Nylon 6,6) โดย PP-g-MA ที่ใช้ มาจาก PP ที่ผ่านการปรับปรุงสมบัติการรับแรงกระแทก (Impact modified PP) นำมาต่อกิ่งด้วยมาเลอิกแอนไฮไดรด์

2.4 การปรับปรุงสมบัติของยางด้วยสารเติมแต่งอื่นๆ

ปัจจุบันยางมีหลายชนิดไม่ว่าจะเป็นยางธรรมชาติหรือยางสังเคราะห์ ยางแต่ละชนิดมีสมบัติเด่นที่แตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับโครงสร้างของยางชนิดนั้นๆ ดังนั้นในการเลือกชนิดของยางมาใช้งาน จำเป็นต้องทราบสมบัติของยางแต่ละชนิด ไม่เพียงแต่สมบัติเด่นที่ตรงตามความต้องการเท่านั้น ควรทราบสมบัติด้อยของยางชนิดนั้นๆ ด้วย เพื่อสามารถผลิตผลิตภัณฑ์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ กล่าวคือในการขึ้นรูปยางต้องผ่านขั้นตอนการออกสูตรยางก่อน ดังนั้นหากทราบถึงเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อด้อยของยางที่นำมาใช้งานแล้ว ก็สามารถเลือกใช้สารเติมแต่งชนิดอื่นๆ เพื่อปรับปรุงในส่วนด้อยเหล่านั้น ทำให้กระบวนการขึ้นรูปเป็นไปอย่างราบรื่น รวมทั้งได้ผลิตภัณฑ์ที่มีสมบัติต่างๆ สม่าเสมอ และตรงตามความต้องการ

ยางเอสปีอาร์ [6] เป็นตัวอย่างของยางสังเคราะห์ชนิดหนึ่งที่มีปริมาณการใช้งานมากที่สุดในโลก เนื่องจากยางชนิดนี้มีสมบัติที่ดีและใช้เป็นองค์ประกอบในยางรถยนต์ โดยเฉพาะส่วนของหน้ายาง เนื่องจากมีความทนทานต่อการขัดถูเสียดสีและต้านทานการสึกกร่อน (Abrasion resistance) สูง อย่างไรก็ตามยางเอสปีอาร์มีข้อด้อยอื่นๆ เช่น ความแข็งแรงดึง (Tensile strength) ต่ำ อัตราเร็วในการคงรูปซ้ำ สมบัติด้านความเหนียวติดกัน (Tack) ต่ำ เป็นต้น ดังนั้นสมบัติด้อยต่างๆ เหล่านี้ ทำให้การออกสูตรยางจำเป็นต้องมีการเติมสารอื่นเพื่อช่วยปรับปรุงสมบัติให้ดีขึ้น รวมทั้งเกิดอุปสรรคต่อกระบวนการผลิตน้อยที่สุด เช่น

- เติมสารตัวเติมชนิดเสริมแรง (Reinforcing filler) เพื่อเพิ่มความสามารถในการต้านทานแรงดึง เช่น เส้นใย เป็นต้น
- เติมสารเติมแต่ง (Additive) เช่น ตัวเร่งปฏิกิริยา (Accelerator) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการเร่งปฏิกิริยา
- เติมสารเพิ่มการยึดติดให้กับยางเอสปีอาร์ในกระบวนการผลิตยางรถยนต์

2.4.1 สารเพิ่มการยึดติดของยาง (Tackifier or stickifier) [6]

สารเพิ่มการยึดติดของยาง เป็นสารเติมแต่งชนิดหนึ่งที่นำมาใช้เพื่อเพิ่มความสามารถในการยึดติดระหว่างอนุภาคยางด้วยกันเองหรือระหว่างอนุภาคยางกับวัสดุอื่น มักใช้ในช่วง 1 ถึง 10 ส่วนในหนึ่งร้อยส่วนของยาง (Part per hundred of rubber; phr) ขึ้นกับความสามารถของการยึดติดที่ต้องการ

สมบัติที่ต้องการในการยึดติด คือ รอยต่อที่เกิดขึ้นต้องมีความทนทานต่อแรงฉีกขาดสูง และทนต่อตัวทำละลายต่างๆ ได้ดี รวมไปถึงสามารถเกิดการเชื่อมโยงในการยึดติดได้ง่าย เพื่อสะดวกต่อการใช้งาน และลดพลังงานในการยึดติด

สารที่ใช้มักเป็นสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลปานกลาง (500-2000 กรัมต่อโมล) และมีการกระจายน้ำหนักโมเลกุลกว้าง ตัวอย่างสารเพิ่มการยึดติด เช่น คูมาโรน-อินดีนเรซิน (Coumarone-indene resin) ปีโตรเลียมเรซินประเภทอะลิฟาติก (Aliphatic petroleum resins) เรซอร์ซินอล เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.2 เรซอร์ซินอล (Resorcinol) [10]

เรซอร์ซินอล เป็นสารชนิดหนึ่งที่สามารถเพิ่มการยึดติดของยางได้อย่างมีประสิทธิภาพ เนื่องจากมีความว่องไวต่อการเกิดปฏิกิริยา เมื่อเรซอร์ซินอลอยู่ในสถานะที่มีฟอร์มัลดีไฮด์ (Formaldehyde) สามารถทำปฏิกิริยากับฟอร์มัลดีไฮด์ได้อย่างรวดเร็วได้สารประกอบจำพวก เรซินเทอร์โมเซตที่สามารถแข็งตัวได้ ณ อุณหภูมิห้อง เรซอร์ซินอล-ฟอร์มัลดีไฮด์เรซินสามารถใช้ ในการยึดติดกันระหว่างยางกับเส้นใยถักทอได้ เช่น ในอุตสาหกรรมยาง เรซอร์ซินอลมีสมบัติในการยึดติด คือ 1) มีพันธะที่แข็งแรง 2) สามารถเชื่อมโยงได้ที่อุณหภูมิต่ำ 3) ต้านทานต่อตัวทำละลายได้ดีมาก แต่มีข้อเสียคือ ถูกกัดกร่อนได้ง่ายด้วยสารละลายเบส ทำให้ความยืดหยุ่นลดลง เหมาะที่จะใช้ในการเชื่อมโยงพวกเทอร์โมเซตแต่ไม่เหมาะสำหรับเทอร์โมพลาสติก เรซอร์ซินอลสามารถละลายได้ดีในอะซิโตน อีเทอร์ เอทิลแอลกอฮอล์ เมทิลแอลกอฮอล์ น้ำ ละลายได้บ้างในเบนซีน ละลายได้น้อยมากในคลอโรฟอร์ม และคาร์บอนเตตระคลอไรด์

สมบัติและการใช้งาน

- ส่วนใหญ่ใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับการทำให้เกิดการยึดติดระหว่างยางธรรมชาติหรือยางสังเคราะห์กับเส้นใย ในรูปของกาวเรซอร์ซิน-ฟอร์มัลดีไฮด์ (Resorsin formaline-latex)
- ถ้าใช้เป็นสารต้านการเกิดเชื้อรา สามารถใส่ลงในยางได้โดยตรง
- มีผลต่อการเชื่อมโยงของยางและสมบัติของยางที่ผ่านการเชื่อมโยงน้อยมาก
- ส่วนใหญ่ใช้เป็นกาวในยาง หรือใช้เป็นกาวยึดติดระหว่างพื้นผ้าใบที่ใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตยางรถยนต์

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Baker และ Duhaime [17] ศึกษาพอลิเมอร์ผสมแบบเกิดปฏิกิริยาระหว่างพอลิเอทิลีน ชนิดความหนาแน่นต่ำแบบเชิงเส้น (Linear low density polyethylene; LLDPE) กับ GRT ในสัดส่วน GRT 10-60% โดยใช้คาร์บอกซีเลตพอลิเอทิลีน (Carboxylate polyethylene; CPE) และเอมีนเทอร์มินาเตบิวทาไดอีนไนไตรล์ (Amine terminate butadiene nitrile; ATBN) เป็นสารช่วยผสม นอกจากนี้ยังมีการใส่ไดเปอร์ออกไซด์ (Di-peroxy) เป็นตัวริเริ่มปฏิกิริยา จากการทดลองพบว่าพอลิเมอร์ผสมที่มีปริมาณผงยางรถยนต์ 40% มีความทนทานต่อแรงกระแทก และความแข็งแรงดึงเพิ่มขึ้น 58% และ 47% ตามลำดับเมื่อเปรียบเทียบกับพอลิเมอร์ผสมแบบไม่เกิดปฏิกิริยา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Rajalingam และ Baker [18] ศึกษาพอลิเมอร์คอมโพสิต 2 ชนิด ระหว่าง GRT กับ พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (High density polyethylene; HDPE) และ GRT กับ LLDPE โดยมีการผสมพอลิเมอร์ที่มีหมู่ฟังก์ชันชนิดต่างๆ ได้แก่ พอลิเมอร์ร่วมของเอทิลีน-อะคริลิกแอซิด (Ethylene acrylic acid copolymer; EAA) พอลิเมอร์ร่วมแบบบล็อกของสไตรีน-เอทิลีน/บิวทิลีน-สไตรีน ที่ปรับปรุงและไม่ปรับปรุงด้วยมาเลอิกแอนไฮไดรด์ (Modified and unmodified styrene ethylene/butadiene styrene block copolymer; SEBS-MA และ SEBS ตามลำดับ) พอลิเมอร์ร่วมของเอทิลีน-ไกลซิดีนเมทาคริเลต (Ethylene-glycidine methacrylate copolymer; GMA) พอลิเมอร์ร่วมของเอทิลีนไวนิลอะซิเตต (Ethylene vinyl acetate copolymer; EVAc) พอลิเมอร์ร่วมของ EVAc-GMA และพอลิเอทิลีนที่ต่อกิ่งด้วยมาเลอิกแอนไฮไดรด์ (Polyethylene grafted maleic anhydride; PE-g-MA) จากการทดลองพบว่าการผสมพอลิเมอร์ที่มีหมู่ฟังก์ชันลงในพอลิเมอร์คอมโพสิตทำให้ความทนทานต่อแรงกระแทกเพิ่มขึ้น 40-60% โดยที่พอลิเมอร์คอมโพสิตของ LLDPE มีเปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นมากกว่าพอลิเมอร์คอมโพสิตของ HDPE นอกจากนี้ยังทราบว่า SEBS ทำหน้าที่เป็นสารเพิ่มความเหนียว (Toughening agent) ให้พอลิเอทิลีน ในขณะที่พอลิเมอร์ที่มีหมู่ฟังก์ชันไวต่อการเกิดปฏิกิริยา (Reactive functional polymers) ทำหน้าที่เป็นสารคู่ควบระหว่างพื้นผิวของ PE และ GRT

Olephant และ Baker [19] ทำการทดลองโดยใช้ GRT เป็นสารตัวเติมใน LLDPE และ HDPE โดยอนุภาคของ GRT ถูกเคลือบด้วย EAA และเมื่อผสม 40% GRT ที่เคลือบกับ LLDPE พบว่าทำให้ความสามารถในการรับแรงกระแทก และความแข็งแรงดึงเพิ่มขึ้นถึง 90% เมื่อเทียบกับ LLDPE บริสุทธิ์ และเพิ่มขึ้น 60% และ 20% ตามลำดับเมื่อเทียบกับพอลิเมอร์ผสมที่ผสม GRT ที่ไม่ถูกเคลือบด้วย EAA

Rajalingam และคณะ [20] นำ GRT ผสมกับ LLDPE โดยใช้ GRT ที่เตรียมได้จากวิธีการบดที่อุณหภูมิห้อง (Ambient process) วิธีการบดที่อุณหภูมิห้องแบบเปียก (Wet ambient process) และวิธีการบดที่อุณหภูมิต่ำ (Cryogenic process) พบว่า GRT ที่ได้จากการบดที่อุณหภูมิห้องทั้งสองแบบมีลักษณะพื้นผิวที่ขรุขระมาก ในขณะที่ GRT ที่ได้จากการบดที่อุณหภูมิต่ำมีลักษณะเรียบ พื้นผิวที่ผิวน้อย และมีการกระจายตัวของอนุภาคผงยางรถยนต์น้อยกว่าวิธีการบดที่อุณหภูมิห้อง เมื่อปรับปรุง GRT ด้วยวิธีที่ใช้ลำอิเล็กตรอน (Electron beam) ทำให้ได้พอลิเมอร์ผสมที่มีสมบัติความทนทานต่อแรงกระแทกดีกว่าการปรับปรุงด้วยวิธีโคโรนาและเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พลาสมา เนื่องจากทำให้ GRT ยึดติดกับ LLDPE ได้ดีขึ้น ในการผสมถ้าใช้ GRT ขนาดเล็ก ทำให้ค่าความเหนียวเพิ่มขึ้น และเมื่อใส่ไกลซิติก (Glycidic) เป็นสารช่วยผสมทำให้สมบัติความทนทานต่อแรงกระแทกมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย

Pramanik และ Baker [21] นำ GRT ขนาด 40 และ 80 เมช (Mesh) ผสมกับ LLDPE เพื่อปรับปรุงสมบัติความทนทานต่อแรงกระแทก โดยใส่ EAA และยางธรรมชาติแบบอีพอกซีไดซ์ (Epoxydized nature rubber; ENR) เป็นสารช่วยผสม พบว่าเมื่อปริมาณของ ENR เพิ่มขึ้น หรือยางมีขนาดเล็กลง ทำให้สมบัติความทนทานต่อแรงกระแทกเพิ่มขึ้น นอกจากนี้การเติมไดคิวมิลเปอร์ออกไซด์ (Dicumyl peroxide; DCP) ยังช่วยทำให้ความทนทานต่อแรงกระแทกเพิ่มขึ้น และถ้ามีการเคลือบ GRT ด้วย DCP และไทแรลลิลไซยานูเรต (Tirallyl cyanurate) ทำให้สมบัติความทนทานต่อแรงกระแทกเพิ่มสูงขึ้นเช่นเดียวกัน

Choudhury และ Bhattacharya [22] ศึกษาความเข้ากันได้ของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง GRT กับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (Low density polyethylene; LDPE) ในอัตราส่วน 70:30 และศึกษาสมบัติการยึดติดเมื่อเติมสารช่วยผสม โดยใช้คลอรีเนตพอลิเอทิลีน (Chlorinated polyethylene; CPE) ในปริมาณ 5-30% จากการทดลองพบว่าสมบัติเชิงกล เช่น ความแข็งแรงดึง เปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด ความทนทานต่อแรงกระแทกมีค่าเพิ่มขึ้น ส่วนดัชนีการไหล (Melt flow index) มีค่าลดลง เนื่องจาก CPE ทำให้การยึดติดระหว่างวัฏภาคดีขึ้น นอกจากนี้การเพิ่มปริมาณของ CPE ส่งผลให้ความเหนียวและค่ามอดุลัสเพิ่มขึ้นด้วย

Tipanna และ Kale [23] ศึกษาสมบัติของพอลิเมอร์ผสมระหว่างผงยางไนไตรล์ (Ground nitrile rubber particles; GNRP) กับ PVC ในอัตราส่วนต่างๆ พบว่าความทนทานต่อแรงกระแทก และค่าความต้านทานต่อการหักงอ (Flex crack resistance) เพิ่มขึ้น เมื่อ GNRP มากขึ้น เนื่องจากเกิดอันตรกิริยา (Interaction) ระหว่าง PVC กับส่วนที่เป็นอะคริโลไนไตรล์ (Acrylonitrile)

Naskar และคณะ [24] ศึกษาพอลิเมอร์ผสมระหว่าง GRT ยางเอทิลีน-พรอพิลีน-ไดอีน (EPDM) และเอทิลีน-อะคริลิกแอซิดโคพอลิเมอร์ (A-HDPE) ในอัตราส่วน (GRT+EPDM): A-HDPE เท่ากับ 100:0 ถึง 0:100 โดยที่อัตราส่วน GRT:EPDM เท่ากับ 1:1 และใช้ DCP 1 phr ซึ่งเป็นปริมาณที่ทำให้ได้สมบัติที่ดีที่สุด จากการทดลองพบว่าพอลิเมอร์ผสมที่มีปริมาณยางสูง เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในอัตราส่วน 70:30 ขึ้นไป มีความสามารถในการขึ้นรูป และสมบัติเชิงกลต่ำ ในขณะที่เมื่อมีปริมาณพลาสติกสูง ในอัตราส่วน 40:60 พอลิเมอร์ผสมที่ได้มีสมบัติคล้ายกับพลาสติกเหนียว นอกจากนี้ยังพบว่าที่อัตราส่วนยาง:พลาสติกเท่ากับ 60:40 พอลิเมอร์ผสมที่ได้มีลักษณะเป็น TPEs

Ismail และ Suryadiansyah [25] ศึกษาสมบัติของยางที่นำกลับมาใช้ใหม่ (Recycled rubber; RR) ผสมกับ PP และยางธรรมชาติ (Natural rubber; NR) ผสมกับ PP พบว่า PP/RR มีความแข็งแรงดึง และมอดุลัสสูงกว่า PP/NR แต่มีเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาดน้อยกว่า PP/NR การศึกษาขั้นพื้นฐานวิทยาโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด (Scanning electron microscope; SEM) ของชิ้นงานที่ผ่านการทดสอบการดึงยืด พบว่าชิ้นงาน PP/NR มีลักษณะพื้นผิวขรุขระในขณะที่ชิ้นงาน PP/RR มีพื้นผิวเรียบ ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดสอบการดึงยืดของ PP/NR ที่ความเค้น ณ จุดขาด (Stress at break) มีค่ามากกว่า PP/RR

Jeong และ Isayev [26] ศึกษาพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PP กับ GRT ในอัตราส่วน 40:60 ที่ผสมโดยใช้เครื่องอัดรีดชนิดเกลียวหนอนคู่ (Twin screw extruder) แล้วผ่านกระบวนการสั่นด้วยความถี่สูง (Ultrasonic) เพื่อทำลายพันธะเชื่อมโยงในวิภาค GRT จากนั้นเข้าสู่กระบวนการเชื่อมโยงใหม่ (Dynamic revulcanization) เมื่อศึกษาขั้นพื้นฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสม พบว่าการผ่านกระบวนการสั่นด้วยความถี่สูงทำให้พอลิเมอร์ทั้งสองวิภาคเข้ากันได้ดี และการผ่านกระบวนการเชื่อมโยงใหม่ทำให้ค่าความแข็งแรงดึงของพอลิเมอร์ผสมเพิ่มขึ้น

Kumar และคณะ [27] ศึกษา TPEs ที่เตรียมได้จากการผสมของ LDPE ยาง และ GRT ในอัตราส่วน 50:25:25 โดยศึกษา 3 ปัจจัย ได้แก่ 1) ชนิดของ GRT ที่ต่างกัน ได้แก่ GRT ที่ผ่านกระบวนการบดย่อย (Masticated GRT; GRT^M) GRT ที่ผ่านกระบวนการบดย่อยและมีการผสมน้ำมัน (Plasticised and masticated GRT; GRT^{PM}) และ GRT ที่ไม่ผ่านกระบวนการใดเลย (Untreated GRT; GRT^R) 2) ชนิดของยางที่ต่างกัน ได้แก่ SBR NR และ EPDM 3) ชนิดของสารเชื่อมโยง ได้แก่ กำมะถัน และเปอร์ออกไซด์ โดยใช้กับ GRT^R และ GRT^M เปรียบเทียบสมบัติเชิงกล และสมบัติเชิงกลความร้อนของ TPEs ที่ได้ทุกสูตร พบว่า TPEs ที่ได้จากการผสมของ LDPE GRT^M EPDM และมีการเชื่อมโยงด้วยกำมะถัน ให้สมบัติที่น่าพอใจที่สุด เนื่องจาก EPDM ทำหน้าที่เป็นสารช่วยผสม โดยส่วนของเอทิลีนใน EPDM สามารถเข้ากันได้กับ LDPE ในขณะที่เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สายโซ่หลักของ EPDM สามารถเกี่ยวพันและเกิดพันธะเชื่อมโยงกับ GRT บริเวณพื้นผิวที่เกิดการแตกพันธะเชื่อมโยงจากการบดย่อยได้

Naskar และคณะ [28] ศึกษา TPEs จาก GRT ที่ผ่านและไม่ผ่านการสกัดด้วยอะซิโตน แล้วนำมาต่อกิ่งด้วยมาเลอิกแอนไฮดราด จากนั้นผสมกับยาง EPDM และ A-HDPE พบว่า TPEs ที่ได้จาก GRT ที่ผ่านการสกัดด้วยอะซิโตนมีความแข็งแรงดึง และมอดุลัสเพิ่มขึ้น แต่เปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด และความแข็งแรงฉีกขาดลดลง เมื่อเทียบกับ TPEs ที่ได้จาก GRT ที่ไม่ผ่านการสกัดด้วยอะซิโตนแล้วนำไปต่อกิ่ง

Phinyocheep และคณะ [29] เตรียมพอลิเมอร์ผสมจาก PP และยางที่เหลือจากกระบวนการขึ้นรูป (Scrap rubber) 2 ชนิด คือ โฟม EVAc ที่เชื่อมโยงแล้ว (Vulcanized EVAc foam; M) และยางวัลคาไนซ์ที่ประกอบด้วย NR SBR และ BR (Vulcanized rubber blend; O) โดยทำการศึกษานิตของสารช่วยผสมที่มีผลต่อสมบัติของพอลิเมอร์ผสม PP/M และ PP/O ได้แก่ SBS SEBS SEBS-g-MA PE-g-MA PP-g-GMA และ PP-g-MA จากการทดลองพบว่าปริมาณสารช่วยผสมที่ให้สมบัติความทนทานต่อแรงกระแทกมากที่สุดคือ 10 phr โดยที่ SEBS สามารถปรับปรุงความทนทานต่อแรงกระแทกของ PP/M ได้มากที่สุดถึง 90% ในขณะที่ SEBS-g-MA ทำให้ความทนทานต่อแรงกระแทกของ PP/O เพิ่มขึ้น 86% และจากสัณฐานวิทยาสารช่วยผสมดังกล่าว ช่วยทำให้อนุภาคของยางมีขนาดเล็กลง ส่งผลให้ลดแรงตึงผิว (Interfacial tension) ทำให้การผสมกันได้ดีขึ้น ความทนทานต่อแรงกระแทกจึงเพิ่มขึ้นด้วย

Wilhelm และ Felisberti [30] ศึกษาพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PP-g-MA และพอลิสไตรีน-บิวทาไดอีน-สไตรีนที่ต่อกิ่งด้วยมาเลอิกแอนไฮดราด (Polystyrene-butadiene-styrene grafted maleic anhydride; SBS-g-MA) โดยใช้ 4,4-ไดเอมีนไดฟีนิล-มีเทน (4,4-diaminediphenylmethane) ทำหน้าที่เป็นสารช่วยผสมเป็นสารช่วยผสม และเปรียบเทียบกับพอลิเมอร์ผสม PP-g-MA/SBS และ PP-g-MA/SBS-g-MA ที่ไม่มีการเติมสารช่วยผสม จากการทดลองพบว่า 4,4-ไดเอมีนไดฟีนิล-มีเทนที่เติมลงใน PP-g-MA/SBS-g-MA ช่วยทำให้เกิดการผสมแบบเกิดปฏิกิริยา ได้พันธะระหว่างหมู่ฟังก์ชันของพอลิเมอร์ทำให้การผสมมีประสิทธิภาพมากขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าการกระจายตัวของอนุภาคยางในวัฏภาคของ PP-g-MA มีขนาดเล็กลงเมื่ออัตราส่วนโดยโมลของไดเอมีนต่อแอนไฮดราด (Diamine and anhydride molar ratio) เพิ่มขึ้น เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิวิศศักดิ์ ยศยิ่งธรรมกุล และธเรศ เสนาลอย [31] ศึกษาพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PP และ GRT ที่ทำหน้าที่เป็นสารตัวเติมและสารช่วยปรับปรุงสมบัติรับแรงกระแทก ในการทดลองผสม PP และ GRT (0-30% โดยน้ำหนัก) ที่อุณหภูมิ 200 °C โดยใช้เทคนิคการอัดรีด (Extrusion) จากนั้นขึ้นรูปด้วยเทคนิคการฉีดขึ้นรูป (Injection molding) จากการทดลองพบว่าสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสม ได้แก่ ความแข็งแรงดึง เปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด มอดุลัส และความแข็งกดมีแนวโน้มลดลงเมื่อเติม GRT แต่วัสดุมีความแข็งแรงกระแทกเพิ่มขึ้นอย่างมากเมื่อเพิ่มปริมาณ GRT นอกจากนี้ศึกษาผลของสารช่วยผสม ได้แก่ กรดสเตียริก (Stearic acid; SA) และ PP-g-MA จากการทดลองพบว่า SA ทำหน้าที่เป็นสารหล่อลื่น ไม่ทำให้สมบัติของวัสดุเพิ่มขึ้น แต่ PP-g-MA สามารถช่วยเพิ่มสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมได้ จากการศึกษา T_m และอุณหภูมิตกผลึก (T_c) ด้วยเทคนิค DSC พบว่าการเติม GRT ลงใน PP ไม่มีผลต่อ T_m และ T_c เมื่อปริมาณ GRT เพิ่มขึ้นมีผลทำให้เปอร์เซ็นต์ความเป็นผลึกลดลง จากภาพถ่าย SEM พบว่าอนุภาค GRT มีการกระจายตัวที่ดีในพอลิเมอร์เมทริกซ์ PP

วิฬารวรรณ ปิ่นทองคำ และ ศศิพิมพ์ ศตะสมิต [4] ศึกษาสมบัติของ TPEs ที่เตรียมจาก GRT และ PP ที่อัตราส่วน GRT:PP เป็น 50:50 60:40 70:30 80:20 ตามลำดับ นำแต่ละสูตรไปผสมด้วยเครื่องอัดรีดชนิดเกลียวหนอนเดี่ยว (Single screw extruder) บดด้วยเครื่องบด (Grinding machine) นำไปขึ้นรูปด้วยเครื่องฉีดขึ้นรูป จากการทดลองพบว่าสมบัติเชิงกลของ GRT/PP ได้แก่ ความแข็งแรงดึง มอดุลัส และความแข็งกดมีแนวโน้มลดลงเมื่อปริมาณ GRT เพิ่มขึ้น ส่วนเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด และความแข็งแรงกระแทกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เนื่องจาก GRT เป็นวัสดุที่ยืดหยุ่นสามารถทำหน้าที่เป็นสารปรับปรุงสมบัติในการรับแรงกระแทก เมื่อนำสูตร GRT/PP 70:30 มาศึกษาผลการเติมสารช่วยผสมที่เป็นพอลิเมอร์ร่วมของเอทิลีนออกทีน 8180 (Ethylene-octene copolymer; Engage® 8180) 0-10 phr พบว่าเมื่อปริมาณสารช่วยผสม Engage® เพิ่มขึ้น ทำให้สมบัติเชิงกลของ GRT/PP ดีขึ้น จากการศึกษาด้วย SEM พบว่าขนาดของ PP เล็กลงและมีการกระจายตัวดีขึ้นในวัสดุของ GRT ส่วน %Gel ไม่ค่อยเปลี่ยนแปลง จากการศึกษา T_m และ T_c ด้วยเทคนิค DSC พบว่าเมื่อปริมาณ GRT และสารช่วยผสม Engage® เพิ่มขึ้นไม่ส่งผลต่อ T_m และ T_c ของ PP และพบว่า GRT ที่เพิ่มขึ้นทำให้เปอร์เซ็นต์ความเป็นผลึก (% Crystallinity) ลดลง จากการศึกษาด้วยเทคนิค DMTA พบว่าเมื่อปริมาณสารช่วยผสม Engage® เพิ่มขึ้นไม่มีผลต่อ T_g และค่า $\tan \delta$ ส่วนการทดสอบสมบัติการนำกลับมาใช้ใหม่ของ GRT/PP พบว่าสมบัติต่าง ๆ ไม่ค่อยเปลี่ยนแปลงมากนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การดำเนินการวิจัย

3.1 แผนการดำเนินการ

โครงการพิเศษนี้เป็นการศึกษาการเตรียมเทอร์โมพลาสติกอิลาสโตเมอร์ (TPEs) ระหว่างผงยางรถยนต์ (GRT) และพอลิพรอพิลีนที่ต่อกิ่งด้วยมาเลอิกแอนไฮไดรยด์ (PP-g-MA) โดยมุ่งเน้นการปรับปรุงสมบัติของ TPEs ด้วยสารเพิ่มการยึดติด (Tackifier) ซึ่งเป็นงานวิจัยต่อเนื่องมาจากโครงการพิเศษภาควิชาเคมี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปีการศึกษา 2546 ของวิฬาร์วรรณ ปิ่นทอง และศศิพิมพ์ ศศะสมิต [4] ซึ่งในงานวิจัยนี้มีขอบเขต และวิธีการดำเนินงานวิจัยดังต่อไปนี้

ตอนที่ 1 การศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการเตรียมเทอร์โมพลาสติกอิลาสโตเมอร์ (TPEs) ระหว่างผงยางรถยนต์ (GRT) และพอลิพรอพิลีนที่ต่อกิ่งด้วยมาเลอิกแอนไฮไดรยด์ (PP-g-MA) โดยอัตราส่วน (โดยน้ำหนัก) GRT:PP-g-MA ที่ทำการศึกษาได้แก่

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

จากนั้นผสมด้วยเครื่องอัดรีดชนิดเกลียวหนอนเดี่ยว (Single screw extruder) และขึ้นรูปด้วยเครื่องฉีดขึ้นรูป (Injection molding machine)

ตอนที่ 2 การศึกษาปริมาณสารเพิ่มการยึดติดเพื่อปรับปรุงสมบัติของ TPEs ที่เตรียมจากผงยางรถยนต์ (GRT) และพอลิพรอพิลีนที่ต่อกิ่งด้วยมาเลอิกแอนไฮไดรยด์ (PP-g-MA) ซึ่งสารเพิ่มการยึดติดที่ใช้ คือ เรซอร์ซินอล (Resorcinol) ในปริมาณ 0 1 3 5 และ 7 phr

ตอนที่ 3 การทดสอบสมบัติของ TPEs ที่เตรียมได้

1. การทดสอบสมบัติเชิงกล

- ทดสอบความแข็งแรงดึง (Tensile test) ตามมาตรฐาน ASTM D638
- ทดสอบความแข็งกด (Hardness test) ตามมาตรฐาน ASTM D2240

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การทดสอบสมบัติความร้อน
 - ทดสอบสมบัติความร้อนด้วยเครื่อง Differential scanning calorimeter (DSC)
 - ทดสอบสมบัติความร้อนเชิงกลด้วยเครื่อง Dynamic mechanical thermal analyzer (DMTA)
3. การศึกษาสัณฐานวิทยาด้วย Scanning electron microscope (SEM)

3.2 สารเคมีและอุปกรณ์

สารเคมี

1. ผงยางรถยนต์ (Ground rubber tire; GRT) ขนาด 40 เมช จากบริษัท แสงไทยผลิตยาง จำกัด ได้จากการนำยางรถยนต์ที่ใช้แล้วไปแยกส่วนเสริมแรงออก แล้วบดยางส่วนที่เหลือด้วยเทคนิคเชิงกล (Mechanical grinding) ร่อนให้ได้ขนาดตามต้องการ
2. พอลิพรอพิลีนที่ต่อกิ่งด้วยมาเลอิกแอนไฮไดรด์ (Polypropylene grafted maleic anhydride; PP-g-MA) Fusabond[®] MZ-203D จากบริษัท Chemical Innovation จำกัด สมบัติบางประการ แสดงดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 สมบัติบางประการของพอลิพรอพิลีนที่ต่อกิ่งด้วยมาเลอิกแอนไฮไดรด์ (PP-g-MA)

สมบัติ	หน่วย	ค่า	วิธีการทดสอบ
ดรรชนีการไหล (Melt flow index)	g/10 min	100	ASTM D1238 190°C , 2.16 kg
อุณหภูมิหลอมเหลว (Melting point)	°C	160	ASTM D3418
ปริมาณมาเลอิกแอนไฮไดรด์ที่ ต่อกิ่ง (MANH grafted)	Wt%	0.85	FTIR (DuPont)
เรซินหลัก (Base resin type)	-	PP-impact copolymer	-

หมายเหตุ: ข้อมูลจาก DuPont de Nemours & Company

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. เรเซอร์ซินอล (Resorcinol) จากบริษัทโคชัน (ประเทศไทย) จำกัด สมบัติบางประการของเรเซอร์ซินอล แสดงดังตารางที่ 3.2

4. แอนติออกซิแดนท์ (Antioxidant) Polyad Preblend TPE 01G[®] จากบริษัท CCC Chemical Commerce จำกัด

ตารางที่ 3.2 สมบัติบางประการของเรเซอร์ซินอล

สมบัติ	ค่า	วิธีการทดสอบ
สีที่ปรากฏ (Appearance)	ขาวถึงเหลือง	-
ความบริสุทธิ์ (โดยวิธี GC) (Purity)	99.7%(ต่ำสุด)	GC Method
ช่วงอุณหภูมิหลอมเหลว (Melting Temperature)	110.3 -111.2 °C	-
การส่องผ่านของแสงที่ 470 nm (Light transmission)	97.5%	40 % water solution

หมายเหตุ: ข้อมูลจากบริษัท โคชัน (ประเทศไทย) จำกัด

อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. เครื่องอัดรีดชนิดเกลียวหนอนเดี่ยว (Single screw extruder) บริษัท Haake จำกัด
2. เครื่องบดพลาสติก (Grinding machine) บริษัท Bosco Engineering จำกัด รุ่น FC209
3. เครื่องฉีดขึ้นรูป (Injection molding machine) บริษัท SANDRETTO INDRUSTRIE SPA จำกัด รุ่น MMI30356
4. เครื่องทดสอบแรงกด (Universal testing machine) บริษัท LLOYD Instruments จำกัด รุ่น LR5K
5. เครื่องทดสอบความแข็งกด (Hardness tester) บริษัท Intro Enterprise จำกัด
6. เครื่องทดสอบสมบัติทางความร้อน (Differential scanning calorimeter; DSC) บริษัท SHIMADZU CORPORATION จำกัด รุ่น DSC-50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. เครื่องทดสอบสมบัติทางความร้อนเชิงกล (Dynamic mechanical thermal analyzer; DMTA) ยี่ห้อ GABO ประเทศเยอรมนี รุ่น EPI.EXOR QC25

8. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกวาด (Scanning electron microscope; SEM) บริษัท LEO จำกัด รุ่น 1455VP

3.3 ขั้นตอนดำเนินการทดลอง

1. การศึกษาอัตราส่วน GRT/PP-g-MA เหมาะสมในการเตรียม TPEs
2. การศึกษาปริมาณสารเพิ่มการยึดติดที่เติมลงใน GRT/PP-g-MA
3. การทดสอบสมบัติเชิงกลของ GRT/PP-g-MA ที่เตรียมได้
4. การทดสอบสมบัติความร้อนของ GRT/PP-g-MA ที่เตรียมได้
5. การศึกษาสัณฐานวิทยาของ GRT/PP-g-MA ที่เตรียมได้
6. การศึกษาสมบัติการนำกลับมาใช้ใหม่หรือรีไซเคิล

3.4 วิธีการทดลอง

ตอนที่ 1 การศึกษาอัตราส่วน GRT/PP-g-MA ในการเตรียม TPEs

1. ชั่งน้ำหนักผงยางรถยนต์ (GRT) และพอลิพรอพิลีนที่ต่อกิ่งด้วยมาเลอิกแอนไฮไดรไรด์ (PP-g-MA) ให้มีน้ำหนักรวม 700 กรัมต่อหนึ่งสูตรผสม แสดงดังตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 สูตรผสมของ GRT/PP-g-MA ที่ใช้ในการทดลอง

วัสดุ	ปริมาณส่วนผสม (% โดยน้ำหนัก)			
	สูตรที่ 1	สูตรที่ 2	สูตรที่ 3	สูตรที่ 4
GRT	80	70	60	50
PP-g-MA	20	30	40	50
Antioxidant	0.25	0.25	0.25	0.25

หมายเหตุ: ปริมาณ Antioxidant คิดเป็น %โดยน้ำหนักเทียบกับ PP-g-MA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ตั้งอุณหภูมิเครื่องอัดรีดชนิดเกลียวหนอนเดี่ยวที่ 170-200 °C โดยเพิ่มอุณหภูมิขึ้น โชนละ 10 °C ผสม (Premix) GRT PP-g-MA และแอนติออกซิแดนท์ในถังพลาสติกตาม อัตราส่วนที่กำหนดในตารางข้างต้น

3. เมื่อได้อุณหภูมิตามที่ต้องการ เทส่วนผสมที่เตรียมได้จากข้อ 2 ลงในส่วนป้อนสาร (Hopper) ของเครื่องอัดรีดชนิดเกลียวหนอนเดี่ยว ใช้ความเร็วรอบเท่ากับ 50 รอบต่อนาที (rpm) [4]

4. หลังจากพอลิเมอร์ผสมที่ได้เย็นตัวแล้ว นำไปบดด้วยเครื่องบดพลาสติก เก็บไว้เพื่อนำไปเตรียมชิ้นงานสำหรับทดสอบสมบัติเชิงกลโดยใช้เครื่องฉีดขึ้นรูป

5. ตั้งอุณหภูมิเครื่องฉีดขึ้นรูปโดยใช้อุณหภูมิบาร์เรล (Barrel) 180 °C และที่หัวฉีด (Nozzle) 200 °C

6. นำพอลิเมอร์ที่บดเรียบร้อยแล้ว ใส่ในส่วนป้อนสารของเครื่องฉีดขึ้นรูป โดยหาสภาวะของความดันที่ใช้ฉีด (Injection pressure) ที่เหมาะสม โดยเตรียมตัวอย่างทดสอบแต่ละสูตร จำนวน 10 ชิ้น

7. บันทึกความหนาและความกว้างของตัวอย่างทดสอบแต่ละชิ้น

8. นำชิ้นงานมาทดสอบสมบัติเชิงกลดังต่อไปนี้

- ทดสอบการดึงยืด ตามมาตรฐาน ASTM D638

ความเร็วในการดึง	100	มิลลิเมตรต่อนาที
ความยาวเกจ (Gauge length)	35	มิลลิเมตร
ค่าแรงดึงสูงสุดที่เครื่องรับได้	5	กิโลนิวตัน
จำนวนชิ้นงานทดสอบ	6	ชิ้นงานต่อหนึ่งสูตร

- ข้อมูลที่ได้
- ความแข็งแรงดึง (MPa)
 - มอดุลัส (MPa)
 - เปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด (%)

- ทดสอบความแข็งกด ด้วยเครื่อง Durometer ชนิด Shore D ตามมาตรฐาน ASTM D2240

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตอนที่ 2 การศึกษาผลของปริมาณสารเพิ่มการยึดติดที่เติมลงใน GRT/PP-g-MA

ซึ่งนำหนัก GRT PP-g-MA และแอนติออกซิแดนท์ ตามอัตราส่วน GRT/PP-g-MA เท่ากับ 80:20 ซึ่งเป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมในตอนที 1 โดยมีน้ำหนักรวม 700 กรัม และเติมเรซอร์ซินอลในปริมาณที่แสดงดังตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 ปริมาณสารเพิ่มการยึดติดแต่ละสูตรที่ใช้ในการทดลอง

สูตรที่	เรซอร์ซินอล (phr)
1	1
2	3
3	5
4	7

หมายเหตุ: ปริมาณ Resorcinol ให้คิดเป็น phr โดยน้ำหนักเทียบกับ GRT

ทำการทดลองเช่นเดียวกับการทดลองในตอนที 1 ข้อ 1-8

ตอนที่ 3 การทดสอบสมบัติความร้อนของ GRT/PP-g-MA ที่เตรียมได้

3.1 ทดสอบสมบัติความร้อนด้วยเครื่อง DSC

1. ชั่งชิ้นงานตัวอย่างประมาณ 6-8 มิลลิกรัม
2. บรรจุชิ้นงานตัวอย่างลงในภาชนะทดสอบ ทดสอบโดยใช้อัตราการให้ความร้อน 10°C ต่อนาที ในช่วงอุณหภูมิ $50-200^{\circ}\text{C}$
3. วิเคราะห์ผลโดยหาค่าอุณหภูมิในการหลอมเหลว (T_m) เปอร์เซ็นต์ความเป็นผลึก (% Crystallinity) ของ GRT/PP-g-MA โดยสามารถคำนวณได้จาก

$$\% \text{ Crystallinity} = \frac{\Delta H_f / \text{สัดส่วนของ PP-g-MA ใน GRT/PP-g-MA} \times 100}{\Delta H_f^{\circ}}$$

เมื่อ ΔH_f = เอนทาลปีของการหลอมเหลว PP-g-MA ตัวอย่าง (J/g)

ΔH_f° = เอนทาลปีของการหลอมเหลว PP ที่มีความเป็นผลึก 100% ซึ่งมีค่า

เท่ากับ 165 J/g [32]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างการคำนวณ

GRT:PP-g-MA = 50:50

$$\% \text{ Crystallinity} = \frac{45.76/0.5 \times 100}{165} = 56 \%$$

3.2 ทดสอบสมบัติความร้อนเชิงกลด้วยเครื่อง DMTA

1. ตัดชิ้นงานให้มีความกว้างประมาณ 5-6 มิลลิเมตร ยาว 25 มิลลิเมตร และหนา 2.5 มิลลิเมตร

2. นำชิ้นงานที่ได้บรรจุลงในเฟรมขนาดใหญ่ (Large frame) 34 มิลลิเมตร แล้วหมุนเกลียว (Nut) โดยใช้แรง 20 กิโลนิวตัน และเลือกตัวจับชิ้นงานแบบ Single cantilever bending geometry โดยมีสภาวะในการทดลองดังต่อไปนี้

- Scan rate : 3 °C/min
- Temperature : (-100)-80 °C
- Frequency : 10 Hz
- Static strain : 0.3 %
- Dynamic strain : 0.03 %
- Mode : Tension

3. จากผลการทดลองสามารถหาอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (T_g) ได้จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $\tan \delta$ และอุณหภูมิ

ตอนที่ 4 การศึกษาพื้นฐานวิทยาของ GRT/PP-g-MA ที่เตรียมได้

1. นำ GRT/PP-g-MA ที่เตรียมได้มาหักที่อุณหภูมิต่ำ (Cryogenic crack) โดยแช่ชิ้นงานในไนโตรเจนเหลวเป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วหักชิ้นงานเป็นชิ้นเล็กๆ โดยระวังไม่ให้เกิดการสัมผัสพื้นผิวรอยหัก

2. ย้อมติดชิ้นงานด้วยออสเมียมเตตระออกไซด์ (Osmium tetroxide; OsO_4) เป็นเวลา 7 วัน เพื่อเพิ่มความชัดเจน (Contrast) ระหว่างวัฏภาค โดยที่ OsO_4 สามารถเกิดอันตรกิริยากับพันธะคู่ซึ่งพบมากในวัฏภาคของ GRT ในส่วนที่ยังไม่เกิดการเชื่อมโยง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. นำชิ้นงานไปศึกษาด้วย SEM โดยเลือกชนิดการวิเคราะห์แบบอิเล็กตรอนสะท้อนกลับ (Back scattered electrons) ดังนั้นสารตัวอย่างบริเวณที่มีน้ำหนักอะตอมมาก ได้แก่ OsO_4 จึงเกิดอิเล็กตรอนสะท้อนกลับมากขึ้น ทำให้ปริมาณสัญญาณอิเล็กตรอนเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ภาพถ่ายที่ได้เห็นรูปภาพของ GRT เป็นสีขาวถึงสีเทา และรูปภาพของ PP-g-MA เป็นสีดำ

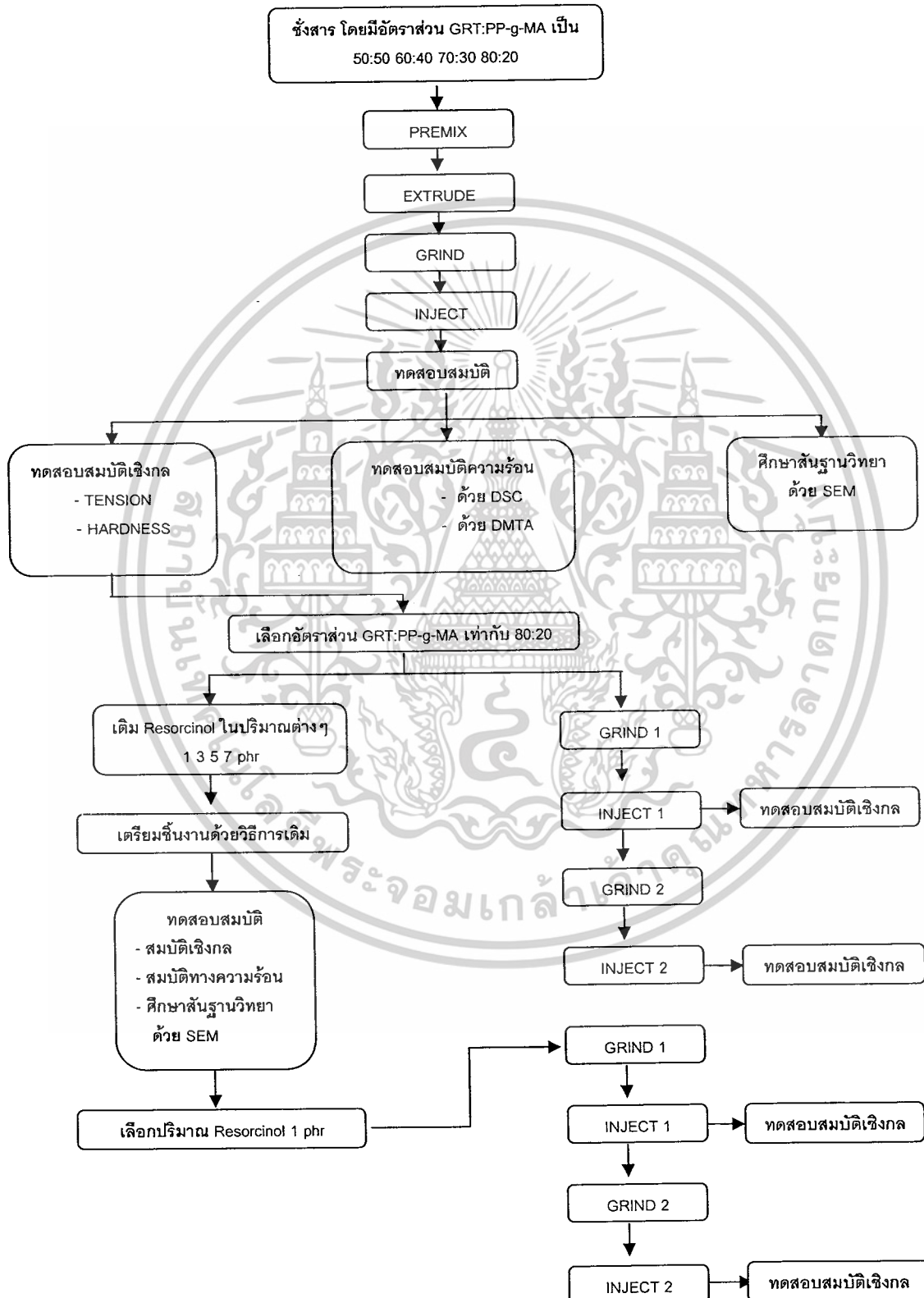
ตอนที่ 5 การศึกษาการนำกลับมาใช้ใหม่หรือรีไซเคิล (Recycle)

1. นำ GRT/PP-g-MA ที่ผ่านการขึ้นรูปแล้ว ไปบดและขึ้นรูปใหม่ โดยกระบวนการฉีดขึ้นรูป อีก 1-2 ครั้ง
2. ทดสอบสมบัติเชิงกลแล้วเปรียบเทียบกับการขึ้นรูปครั้งแรก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แผนผังแสดงวิธีการทดลอง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

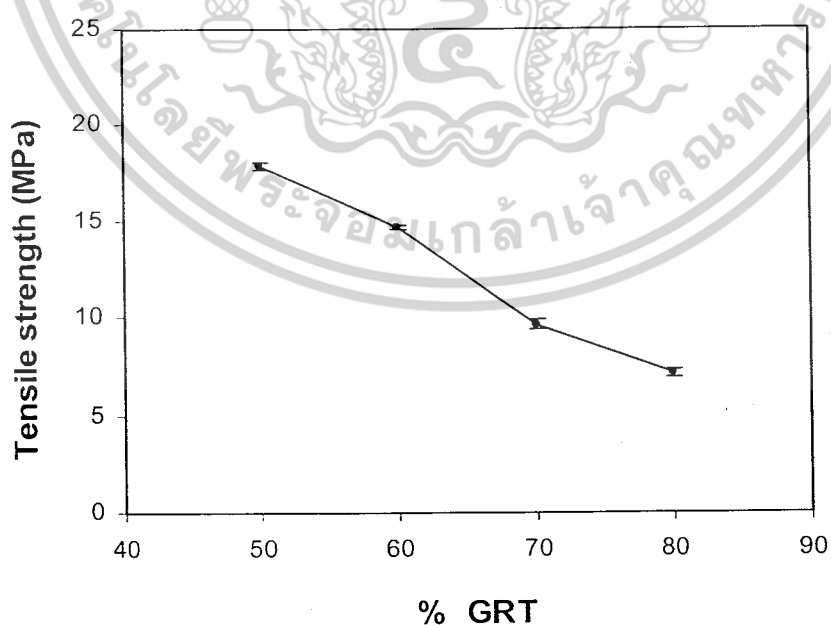
ผลการทดลองและอภิปรายผล

จากการดำเนินงานวิจัยเป็นการศึกษาสมบัติเชิงกล สมบัติความร้อน และสัณฐานวิทยาของ TPEs ที่เตรียมได้จาก GRT และ PP-g-MA โดยใช้เรซอร์ซินอลเป็นสารเพิ่มการยึดติด ได้ผลการวิจัยแสดงดังต่อไปนี้

4.1 การศึกษาอัตราส่วนของ GRT/PP-g-MA ในการเตรียม TPEs

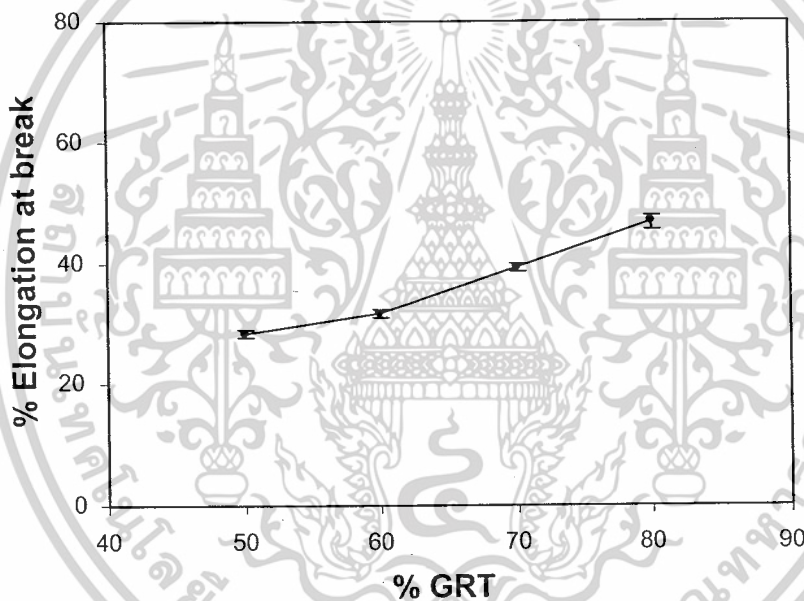
TPEs ที่ได้จากการเตรียมพอลิเมอร์ผสม ซึ่งประกอบด้วยองค์ประกอบของ 2 วัสดุ คือ วัสดุที่เป็นอีลาสโตเมอร์และวัสดุที่เป็นเทอร์โมพลาสติก จึงทำให้วัสดุแสดงสมบัติความเป็น TPEs กล่าวคือสามารถยืดหยุ่นได้คล้ายยางซึ่งเป็นสมบัติของวัสดุอีลาสโตเมอร์ และสามารถขึ้นรูปได้หลายครั้งหรือมีสมบัติการนำกลับมาใช้ใหม่ได้เช่นเดียวกับเทอร์โมพลาสติก ดังนั้นปริมาณการผสมของทั้ง 2 วัสดุจึงส่งผลต่อสมบัติของวัสดุที่เตรียมได้ ในงานวิจัยนี้จึงศึกษาอัตราส่วนของ GRT/PP-g-MA เท่ากับ 50:50 60:40 70:30 และ 80:20 โดยแสดงผลการวิจัยดังต่อไปนี้

4.1.1 ศึกษาสมบัติเชิงกล



รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงดึงของ GRT/PP-g-MA กับปริมาณ GRT เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

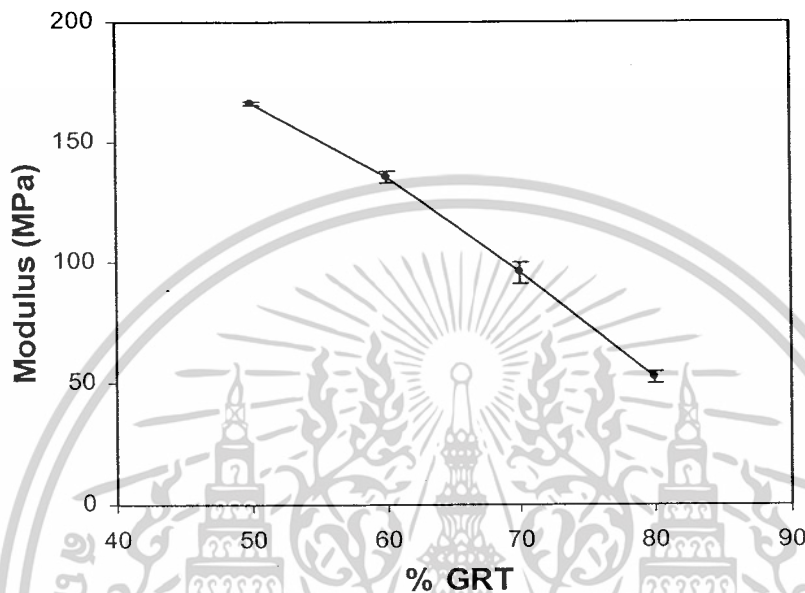
จากผลการทดลองดังรูปที่ 4.1 พบว่าค่าความแข็งแรงดึงของ TPEs มีแนวโน้มลดลงเมื่อปริมาณ GRT เพิ่มขึ้น เนื่องจาก GRT เป็นยางที่ผ่านการเชื่อมโยงแล้ว และนำกลับมาใช้ใหม่ในลักษณะเป็นผง มักจับตัวกันเป็นกลุ่มก้อนแอกโกลเมอเรต (Agglomerates) ดังนั้นเมื่อเพิ่มปริมาณ GRT จึงเป็นการเพิ่มกลุ่มก้อนแอกโกลเมอเรตซึ่งสอดคล้องกับสัณฐานวิทยา รูปที่ 4.13-4.16 ทำให้เกิดรอยต่อระหว่างวัฏภาคมากขึ้น ซึ่งคาดว่ารอยต่อระหว่างวัฏภาคมีความแข็งแรงน้อยกว่าแต่ละวัฏภาคของ GRT และ PP-g-MA ทำให้เกิดเป็นช่องว่าง (Void) ระหว่างวัฏภาคซึ่งเป็นจุดอ่อน (Weak point) ของชิ้นงาน ที่เป็นเสมือนรอยตำหนิ (Defect) ส่งผลให้วัสดุเสียรูปร่างเร็วขึ้น ความแข็งแรงดึงลดลง



รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาดของ GRT/PP-g-MA กับปริมาณ GRT

จากผลการทดลองดังรูปที่ 4.2 พบว่าเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณ GRT เนื่องจาก GRT เป็นยางซึ่งมีสายโซ่โมเลกุลยาวหรือมีน้ำหนักโมเลกุลสูง (50,000-3,000,000 g/mole) ส่งผลให้เกิดการเกี่ยวพันของสายโซ่ (Chain entanglement) เมื่อรับแรงดึงยืดวัสดุจึงสามารถเปลี่ยนขนาดได้อย่างมากโดยไม่ขาดออกจากกันอันเนื่องจากการหลุดออกของสายโซ่ (Chain disentanglement) [6] ดังนั้นเมื่อเพิ่มปริมาณ GRT จึงเสมือนเป็นการเพิ่มส่วนที่เกิดการเกี่ยวพันของสายโซ่ ทำให้เปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาดมีค่าเพิ่มขึ้น แต่อย่างไรก็ตาม การเพิ่มปริมาณ GRT ไม่ได้ส่งผลให้เปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างมาก เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

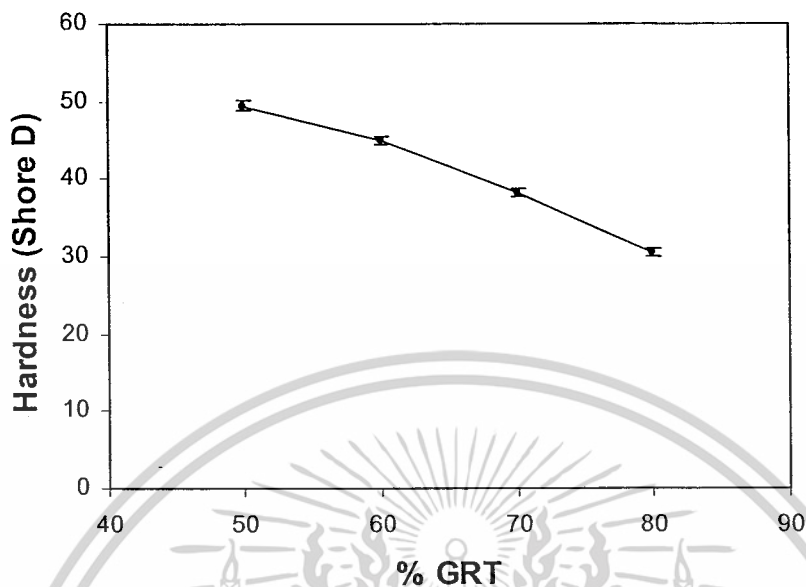
เนื่องจาก GRT เป็นยางที่ผ่านการเชื่อมโยงแล้วและนำกลับมาใช้ใหม่ การเกี่ยวพันของสายโซ่ระหว่างอนุภาคยางจึงมีน้อย [25]



รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างมอดุลัสของ GRT/PP-g-MA กับปริมาณ GRT

มอดุลัสเป็นค่าที่บอกความต้านทานการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของพอลิเมอร์ สามารถหาได้จากค่าความชันของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น (Stress) และความเครียด (Strain) ซึ่งในการทดลองเลือกใช้ค่ามอดุลัสในช่วงเริ่มต้นของกราฟ ณ ตำแหน่งเปอร์เซ็นต์การยืด 3 เปอร์เซ็นต์ จากผลการทดลองดังรูปที่ 4.3 พบว่าค่ามอดุลัสมีแนวโน้มลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณ GRT เนื่องจาก GRT เป็นวัสดุจำพวกยางหรืออีลาสโตเมอร์ ซึ่งมีโครงสร้างโมเลกุลเคลื่อนที่ง่าย โดยไม่ถูกขัดขวางการเคลื่อนที่อันเนื่องมาจากความแข็งของสายโซ่ (Chain rigidity) ความเป็นผลึก (Crystallinity) และความหนืดที่เพิ่มขึ้นเมื่ออยู่ในสถานะคล้ายแก้ว [6] จากเหตุผลดังกล่าวส่งผลให้ GRT สามารถเปลี่ยนแปลงขนาดและรูปร่างได้ง่ายเมื่อได้รับแรง กล่าวคือมีความสามารถในการต้านทานการเปลี่ยนแปลงรูปร่างต่ำ มอดุลัสจึงมีค่าต่ำตามไปด้วย ดังนั้นเมื่อเพิ่มปริมาณ GRT จึงเสมือนเป็นการลดค่าความต้านทานการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของวัสดุ ส่งผลให้ค่ามอดุลัสมีแนวโน้มลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งกดของ GRT/PP-g-MA กับปริมาณ GRT

จากผลการทดลองความแข็งกด (Hardness) ของวัสดุ โดยใช้ Durometer hardness ชนิด Shore D ดังรูปที่ 4.4 พบว่าผลการทดลองสอดคล้องกับการศึกษาค่ามอดุลัสของวัสดุ กล่าวคือค่าความแข็งกดมีแนวโน้มลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณ GRT ทั้งนี้เนื่องจาก GRT เป็นยางหรืออีลาสโตเมอร์ซึ่งมีความนิ่มเมื่อเทียบกับ PP-g-MA ซึ่งเป็นเทอร์โมพลาสติกชนิดแข็งเหนียว ดังนั้นเมื่อปริมาณ GRT เพิ่มขึ้น จึงเสมือนเป็นการเพิ่มปริมาณของวัสดุที่แสดงความนิ่มให้แก่ TPEs ทำให้ TPEs มีความแข็งกดลดลง

จากการศึกษาสมบัติเชิงกลของ TPEs ที่เตรียมได้โดยใช้ GRT:PP-g-MA ในอัตราส่วนต่างๆ พบว่าเมื่อปริมาณ GRT เพิ่มขึ้น ค่าความแข็งแรงดึง มอดุลัส และค่าความแข็งกดมีแนวโน้มลดลง ในขณะที่เปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ดังนั้นการเลือกอัตราส่วนจึงขึ้นอยู่กับการใช้งาน (Application) ของวัสดุ เช่นถ้าต้องการวัสดุที่เป็นยางแข็งสามารถรับแรงได้มาก และยืดตัวได้น้อย ควรเลือกสูตรที่มีอัตราส่วนที่มี PP-g-MA มาก เช่น GRT:PP-g-MA เป็น 50:50 แต่ถ้าต้องการวัสดุนิ่ม ยืดตัวได้มาก ควรเลือกสูตร GRT:PP-g-MA เป็น 80:20 ซึ่งในงานวิจัยนี้พิจารณาเลือกวัสดุที่มีสมบัติคล้ายยาง มีความนิ่มและสามารถยืดตัวได้มาก ดังนั้นอัตราส่วนของ GRT และ PP-g-MA ที่นำไปศึกษาผลของปริมาณสารเพิ่มการยึดติด คือ 80:20 โดยในการทดลองนี้ได้เตรียม GRT:PP-g-MA ที่อัตราส่วน 90:10 แต่ไม่สามารถผ่านกระบวนการแปรรูปได้ เนื่องจาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาณ GRT เพิ่มขึ้นมากกว่าร้อยละ 80 ส่งผลให้ความหนืดของพอลิเมอร์ผสมเพิ่มมากขึ้น จนทำให้ความดันที่ใช้ในการขึ้นรูปเกินขีดความสามารถของเครื่องมือ

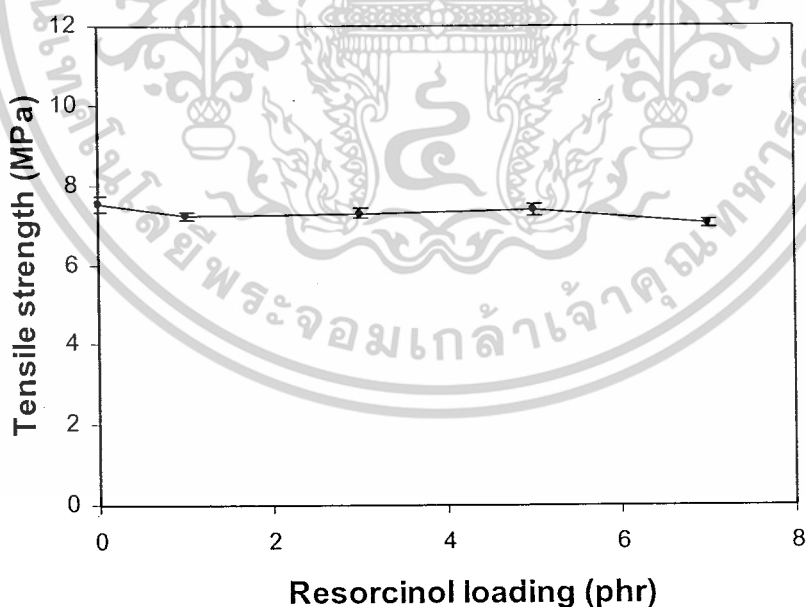


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การศึกษาปริมาณสารเพิ่มการยึดติดที่ผสมลงใน GRT/PP-g-MA

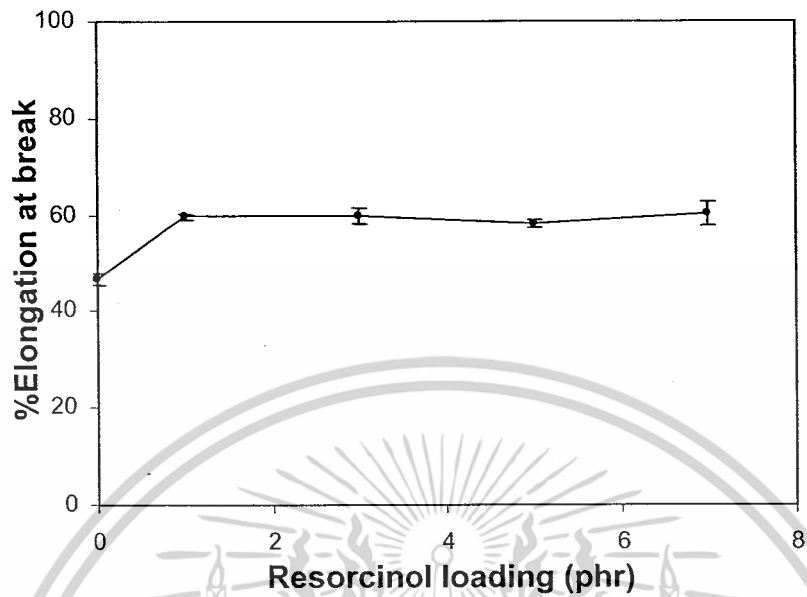
เทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์ที่ได้จากการผสมพอลิเมอร์ต่างชนิดเข้าด้วยกัน เช่น ยางกับเทอร์โมพลาสติก เป็นพอลิเมอร์ผสมแบบไม่รวมเป็นเนื้อเดียวกัน (Immiscible blends) ซึ่งสามารถแบ่งได้เป็น 2 ภูมิภาค คือภูมิภาคที่ต่อเนื่องของพอลิเมอร์ผสม เรียกว่า ภูมิภาคหลัก (Matrix) ส่วนภูมิภาคที่กระจายตัวอยู่ในภูมิภาคหลัก เรียกว่า ภูมิภาคกระจาย (Dispersed phase) ดังนั้นการผสมแบบไม่รวมเป็นเนื้อเดียวกันจึงทำให้เกิดรอยต่อระหว่างภูมิภาคขึ้น ซึ่งเป็นจุดบกพร่องของชิ้นงาน เนื่องจากการยึดติดที่ผิวรอยต่อระหว่างภูมิภาค (Interfacial adhesion) ไม่ดี ค่าความตึงผิวที่รอยต่อระหว่างภูมิภาค (Interfacial tension) สูง ส่งผลให้สมบัติเชิงกลต่ำ ดังนั้นจึงมีการเติมสารช่วยผสม (Compatibilizers) หรือสารยึดติด (Tackifiers หรือ Bonding agents) เพื่อเพิ่มการยึดติดที่รอยต่อระหว่างภูมิภาค ในงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาปริมาณสารเพิ่มการยึดติดที่มีผลต่อสมบัติของ GRT/PP-g-MA ซึ่งสารเพิ่มการยึดติดที่ใช้ คือเรซอร์ซินอลที่ผสมในปริมาณ 0 ถึง 7 phr โดยใช้อัตราส่วนของ GRT และ PP-g-MA เท่ากับ 80:20 ผลการทดลองแสดงดังต่อไปนี้

4.2.1 ศึกษาสมบัติเชิงกล

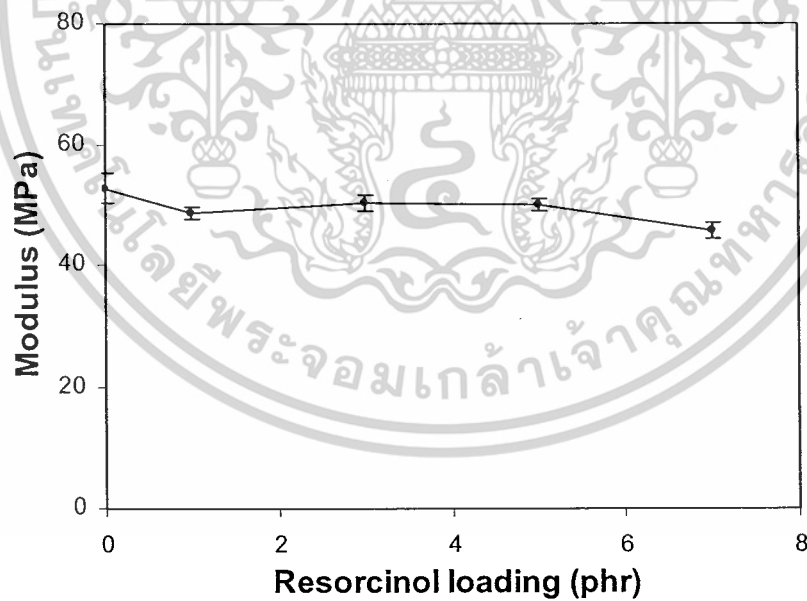


รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงดึงของ GRT/PP-g-MA กับปริมาณเรซอร์ซินอล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

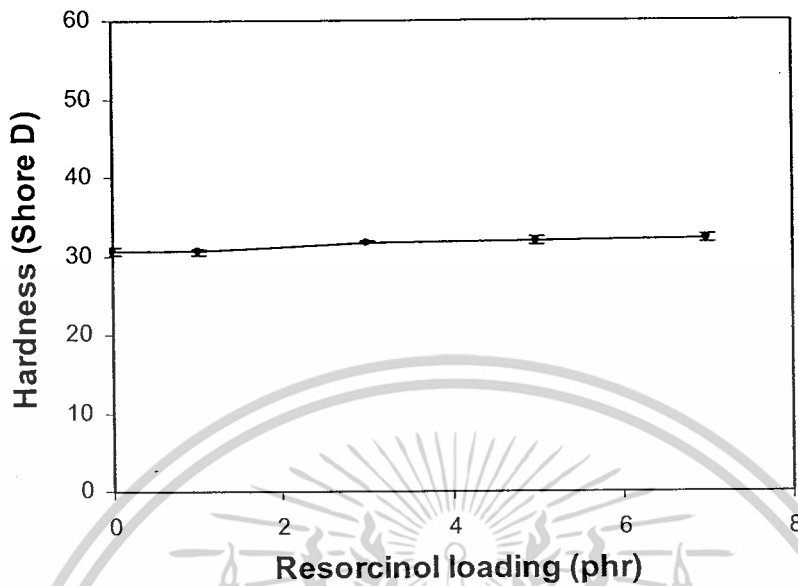


รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาดของ GRT/PP-g-MA กับปริมาณเรซอร์ซินอล



รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างมอดุลัสของ GRT/PP-g-MA กับปริมาณเรซอร์ซินอล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งกดของ GRT/PP-g-MA กับปริมาณเรซอร์ซินอล

จากผลการทดลองเตรียม GRT/PP-g-MA โดยใช้เรซอร์ซินอลเป็นสารเพิ่มการยึดติด แล้วนำไปทดสอบสมบัติเชิงกล พบว่าเมื่อผสมเรซอร์ซินอล 1 phr ลงใน GRT/PP-g-MA ส่งผลให้เปอร์เซ็นต์การยึด ณ จุดขาด (รูปที่ 4.6) มีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากเรซอร์ซินอลเป็นสารเพิ่มการยึดติดที่มีขั้วเล็กน้อยจึงสามารถกระจายตัวอยู่ระหว่างภูมิภาคของ GRT และ PP-g-MA ที่มีขั้วได้ เสมือนเป็นการยึดติดกันของภูมิภาค ส่งผลให้วัสดุสามารถยึดตัวได้มากขึ้นเมื่อได้รับแรง แต่เมื่อปริมาณเรซอร์ซินอลเพิ่มขึ้น (3-7 phr) พบว่าเปอร์เซ็นต์การยึด ณ จุดขาด มีค่าคงที่ ซึ่งคาดว่าเป็นผลมาจากปริมาณเรซอร์ซินอลที่เติมมากเกินไป จนไม่สามารถกระจายตัวอยู่ระหว่างภูมิภาคของ GRT และ PP-g-MA ที่มีขั้วได้หมด ดังนั้นเรซอร์ซินอลส่วนที่เหลือจึงรวมตัวกันเป็นกลุ่มก้อนกระจายตัวอยู่ในภูมิภาคของ GRT ซึ่งสอดคล้องกับผลจากการศึกษาฐานฐานวิทยาดังรูปที่ 4.18

นอกจากนี้ยังพบว่าผลการผสมเรซอร์ซินอลลงใน GRT/PP-g-MA ไม่มีผลต่อค่าความแข็งแรงดึง มอดุลัส และความแข็งกดของวัสดุ คาดว่าเนื่องจากเรซอร์ซินอลเป็นสารโมเลกุลเล็ก เมื่อกระจายตัวอยู่ระหว่างภูมิภาคของ GRT และ PP-g-MA ทำให้ภูมิภาคยึดติดกัน เสมือนเป็นการเชื่อมโยงเชิงกล (Physical crosslink) กล่าวคือไม่มีการเกิดพันธะเคมี (Chemical bonding) ที่แข็งแรง ส่งผลให้ความแข็งแรงดึง มอดุลัส และความแข็งกดของวัสดุไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก

จากผลการวิจัยเบื้องต้นทำให้ทราบสมบัติของ GRT/PP-g-MA ที่เตรียมได้กับผลของปริมาณสารเพิ่มการยึดติด ทำให้สามารถเลือกอัตราส่วน GRT และ PP-g-MA เป็น 80:20 ที่มีเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาณสารเพิ่มการยึดติด เรซอร์ซินอลเป็น 1 phr เนื่องจากสามารถปรับปรุงเปอร์เซ็นต์การยึด
จุดขาดของ GRT/PP-g-MA ได้ดีที่สุด เพื่อใช้ในการศึกษาสมบัติการนำกลับมาใช้ใหม่ (Recycle)
ของ GRT/PP-g-MA ในการดำเนินงานวิจัยขั้นต่อไป

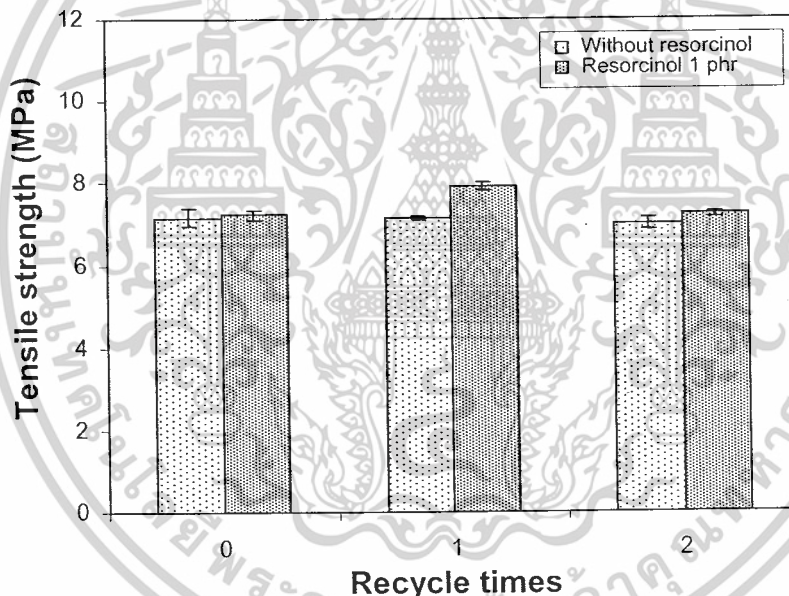


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 การศึกษาสมบัติการนำกลับมาใช้ใหม่ของ GRT/PP-g-MA

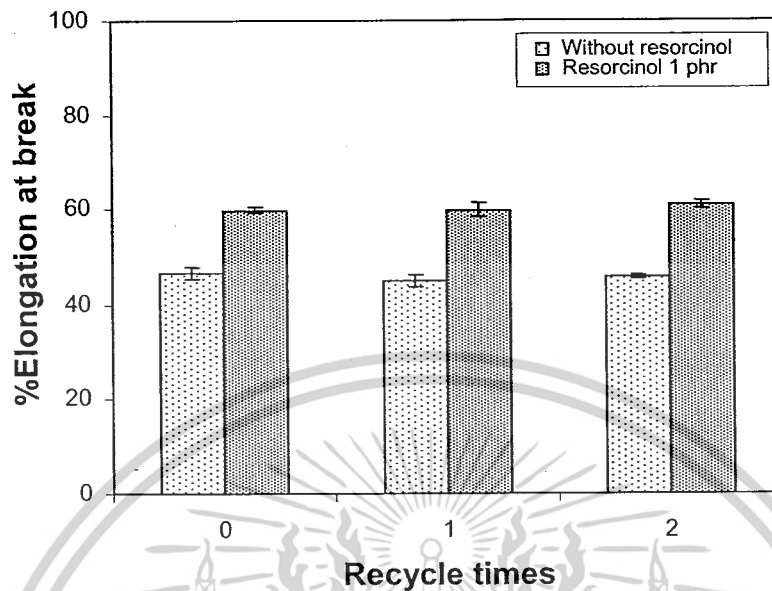
เนื่องจาก TPEs เป็นวัสดุที่มีสมบัติยืดหยุ่นคล้ายยางและสามารถขึ้นรูปได้เหมือนเทอร์โมพลาสติก ซึ่งสมบัติการนำกลับมาใช้ใหม่สามารถบอกสมบัติความเป็นเทอร์โมพลาสติก เนื่องจากเทอร์โมพลาสติกสามารถหลอมได้ใหม่เมื่อให้ความร้อนอีกครั้ง (Reheat) ทำให้เทอร์โมพลาสติกสามารถขึ้นรูปได้หลายครั้ง ดังนั้นเพื่อเป็นการยืนยันสมบัติการนำกลับมาใช้ใหม่ของ TPEs ที่เตรียมได้จาก GRT/PP-g-MA ในงานวิจัยนี้จึงศึกษาสมบัติของ GRT/PP-g-MA ที่ผ่านกระบวนการนำกลับมาใช้ใหม่ 1-2 ครั้ง โดยใช้ GRT/PP-g-MA ในอัตราส่วน 80:20 ทั้งที่ไม่ผสมและผสมสารเพิ่มการยึดติดเรซอร์ซินอล 1 phr ผลการวิจัยแสดงดังต่อไปนี้

4.3.1 ศึกษาสมบัติเชิงกล

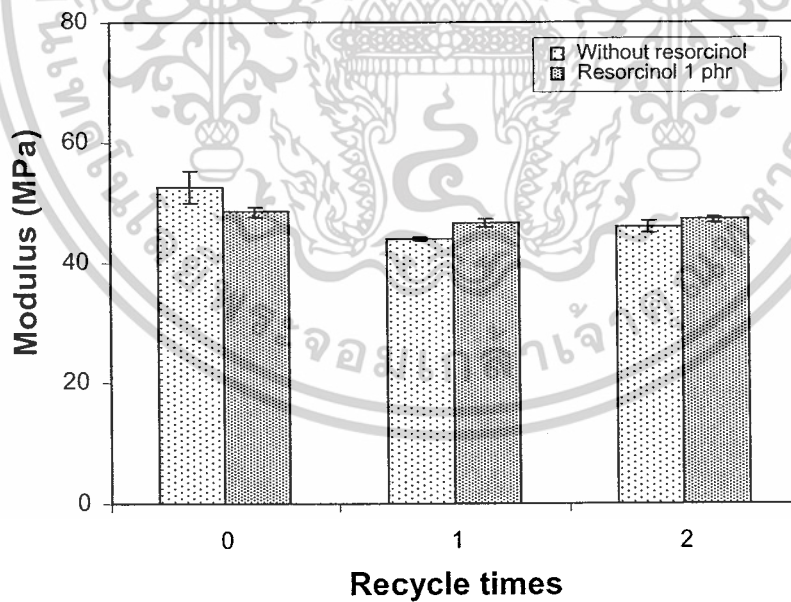


รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงดึงของ GRT/PP-g-MA กับจำนวนครั้งการรีไซเคิล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

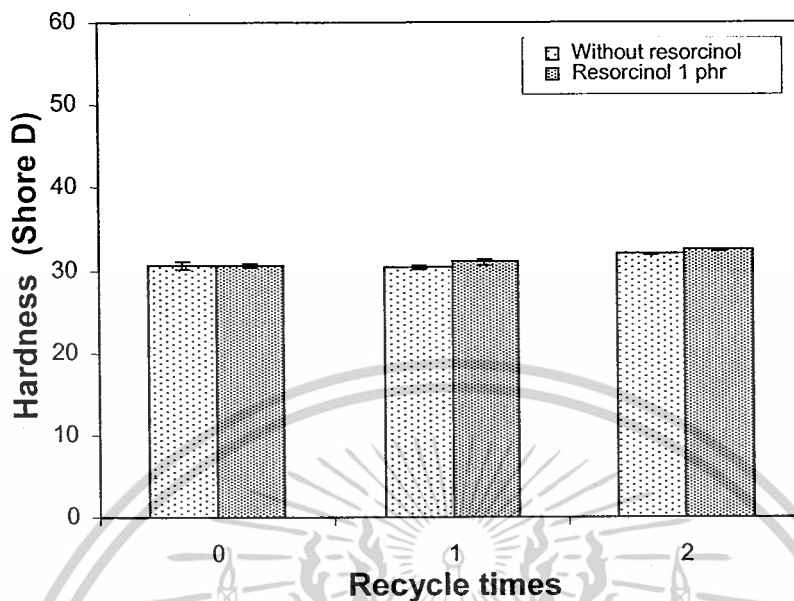


รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาดของ GRT/PP-g-MA กับจำนวนครั้งการรีไซเคิล



รูปที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างมอดุลัสของ GRT/PP-g-MA กับจำนวนครั้งการรีไซเคิล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งกดของ GRT/PP-g-MA กับจำนวนครั้งการรีไซเคิล

จากการทดลองสามารถกล่าวได้ว่า GRT/PP-g-MA สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ เนื่องจาก GRT/PP-g-MA มีองค์ประกอบของ PP-g-MA ซึ่งเป็นเทอร์โมพลาสติก สามารถหลอมเหลวและไหลได้ และจากหลักฐานวิทยาพบว่า PP-g-MA ทำหน้าที่เป็นวัฏภาคหลัก เมื่อ PP-g-MA หลอมจะเข้าไปล้อมรอบกลุ่มก้อนของ GRT ทำให้สามารถไหลไปด้วยกันได้ ในขณะที่ขึ้นรูป อย่างไรก็ตามถึงแม้ว่าองค์ประกอบของ PP-g-MA มีปริมาณน้อยเมื่อเทียบกับ GRT แต่ GRT/PP-g-MA ก็ยังสามารถขึ้นรูปได้ ทั้งนี้เนื่องจาก GRT เป็นยางที่ไม่ได้เกิดการเชื่อมโยง 100 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นเมื่อให้ความร้อน GRT ส่วนที่ไม่เกิดการเชื่อมโยงจึงสามารถไหลได้

เมื่อพิจารณาสมบัติเชิงกล (รูปที่ 4.9-4.12) พบว่า GRT/PP-g-MA ทั้งที่ไม่ผสมและผสมเรซอร์ซินอลที่ผ่านกระบวนการนำกลับมาใช้ใหม่มีสมบัติเชิงกลต่างๆ ค่อนข้างคงที่ คาดว่าเนื่องจาก 2 ปฏิกิริยาการที่มีผลตรงกันข้าม ประการแรกเมื่อจำนวนครั้งการรีไซเคิลเพิ่มมากขึ้น ทำให้พอลิเมอร์ได้รับความร้อนบ่อยครั้งขึ้น ส่งผลให้ทั้งวัฏภาคของ GRT และ PP-g-MA มีโอกาสเกิดการเสถียรภาพ (Degradation) แบบเกิดการขาดของสายโซ่ (Chain scission) ส่งผลให้น้ำหนักโมเลกุลของ GRT และ PP-g-MA ลดลง สมบัติเชิงกลจึงด้อยลง ประการที่สองเมื่อเพิ่มจำนวนครั้งการรีไซเคิล ทำให้พอลิเมอร์ได้รับความร้อนและแรงเฉือนเพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้ GRT/PP-g-MA มีการกระจายตัวของแต่ละวัฏภาคดีขึ้น การผสมเข้ากันได้ดีขึ้น สมบัติเชิงกลจึงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ดังนั้นจากเหตุผลที่หักล้างกันจึงเป็นผลให้สมบัติเชิงกลของ GRT/PP-g-MA ที่ผ่านเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระบวนการนำกลับมาใช้ใหม่ มีค่าค่อนข้างคงที่ แต่อย่างไรก็ตามถ้าจำนวนครั้งการรีไซเคิลเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ ส่งผลให้สมบัติเชิงกลของวัสดุค่อยๆ ลดลง เนื่องจากพอลิเมอร์เกิดการเสียดสภาพ เมื่ออายุการใช้งานและการผ่านความร้อนมากขึ้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

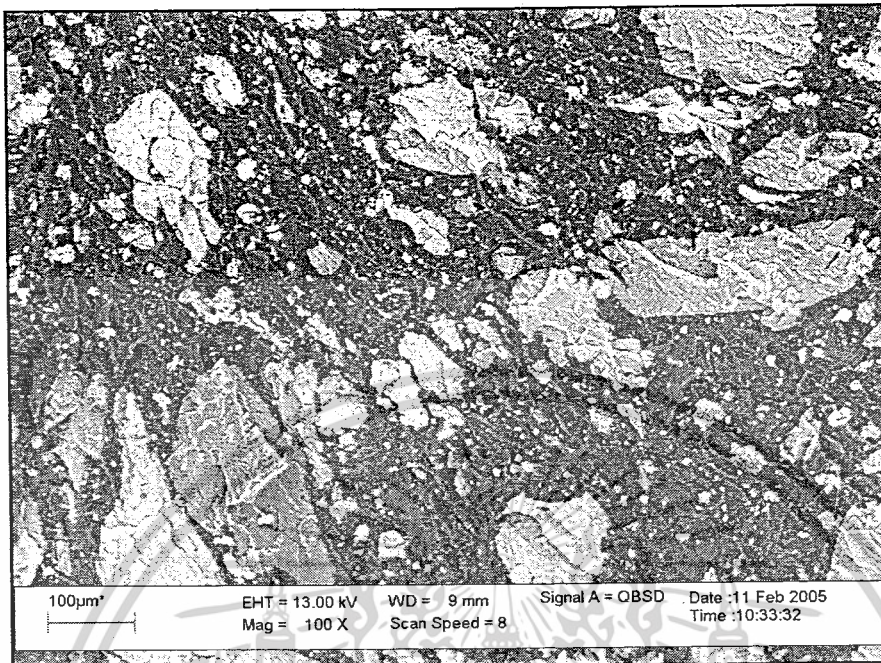
4.4 การศึกษาสัณฐานวิทยาด้วยเทคนิค SEM

การศึกษาสัณฐานวิทยาของ GRT/PP-g-MA ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาดเพื่อดูการกระจายตัวของวัฏภาค GRT และ PP-g-MA ในพอลิเมอร์ผสม GRT/PP-g-MA โดยงานวิจัยนี้ได้แบ่งจุดประสงค์การศึกษาสัณฐานวิทยาของ GRT/PP-g-MA เป็นดังนี้

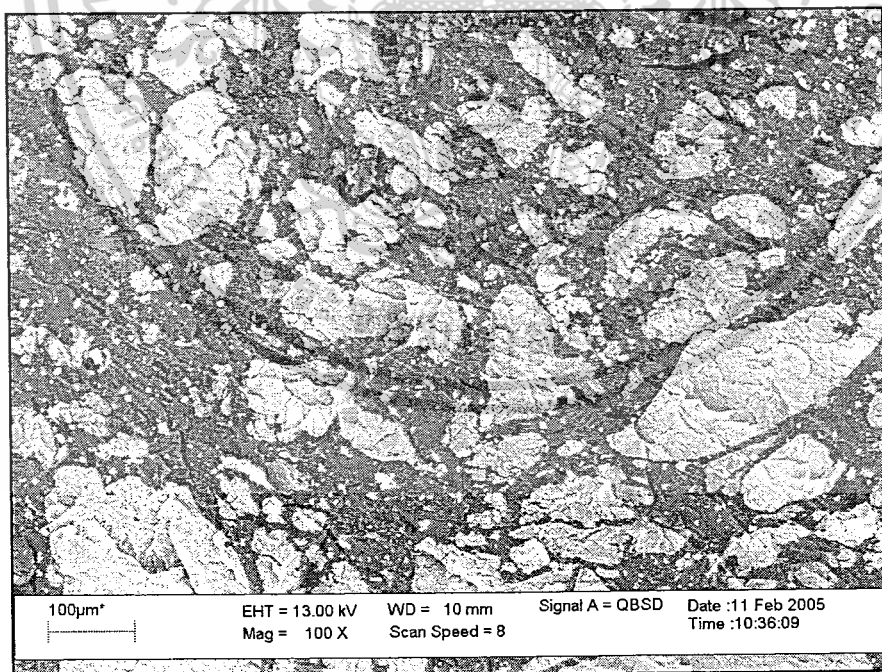
- เพื่อเปรียบเทียบการกระจายตัวของวัฏภาค GRT และ PP-g-MA ในอัตราส่วน GRT:PP-g-MA ที่แตกต่างกัน
- เพื่อเปรียบเทียบการกระจายตัวของวัฏภาค GRT และ PP-g-MA เมื่อผสมและไม่ผสมเรซอร์ซินอลเพื่อเป็นสารเพิ่มการยึดติด

จากการศึกษาสัณฐานวิทยาด้วยเทคนิค SEM แสดงดังรูปที่ 4.13-4.18 พบว่าวัฏภาคของ PP-g-MA ทำหน้าที่เป็นวัฏภาคหลัก และวัฏภาคของ GRT ทำหน้าที่เป็นวัฏภาคกระจาย โดยที่ GRT มักอยู่รวมกันเป็นกลุ่มก้อนแอกไกลเมอเรต ดังนั้นเมื่อสัดส่วนของ GRT เพิ่มขึ้น การรวมกันเป็นกลุ่มก้อนของ GRT จึงมีมากขึ้น

เมื่อเปรียบเทียบสัณฐานวิทยาระหว่าง GRT/PP-g-MA ที่ไม่ผสมและผสมเรซอร์ซินอล พบว่าที่ปริมาณเรซอร์ซินอลน้อยที่สุด (1phr) ภาพถ่าย SEM ไม่มีความแตกต่างจากภาพถ่าย SEM ของสูตรที่ไม่มีการผสมเรซอร์ซินอล ทั้งนี้คาดว่าเนื่องมาจากเรซอร์ซินอลสามารถกระจายตัวอยู่ระหว่างวัฏภาคของ GRT และ PP-g-MA ได้ แต่ที่ปริมาณเรซอร์ซินอลมากที่สุด (7phr) ภาพถ่ายจาก SEM ที่ได้พบว่ามีลักษณะเป็นจุดสีดำกระจายทั่วบริเวณสว่างของ GRT ซึ่งคาดว่า เป็นผลมาจากเรซอร์ซินอลที่เติมมีปริมาณมากเกินไปจนไม่สามารถกระจายตัวอยู่ระหว่างวัฏภาคของ GRT และ PP-g-MA ได้หมด จึงทำให้เรซอร์ซินอลส่วนที่เหลือรวมตัวเป็นกลุ่มก้อนขนาดเล็กกระจายตัวอยู่ในวัฏภาคของ GRT ดังรูปที่ 4.18



รูปที่ 4.13 SEM ไมโครกราฟ แสดงสัณฐานวิทยาของ GRT/PP-g-MA ในอัตราส่วน GRT:PP-g-MA เท่ากับ 50:50 ที่กำลังขยาย 100 เท่า

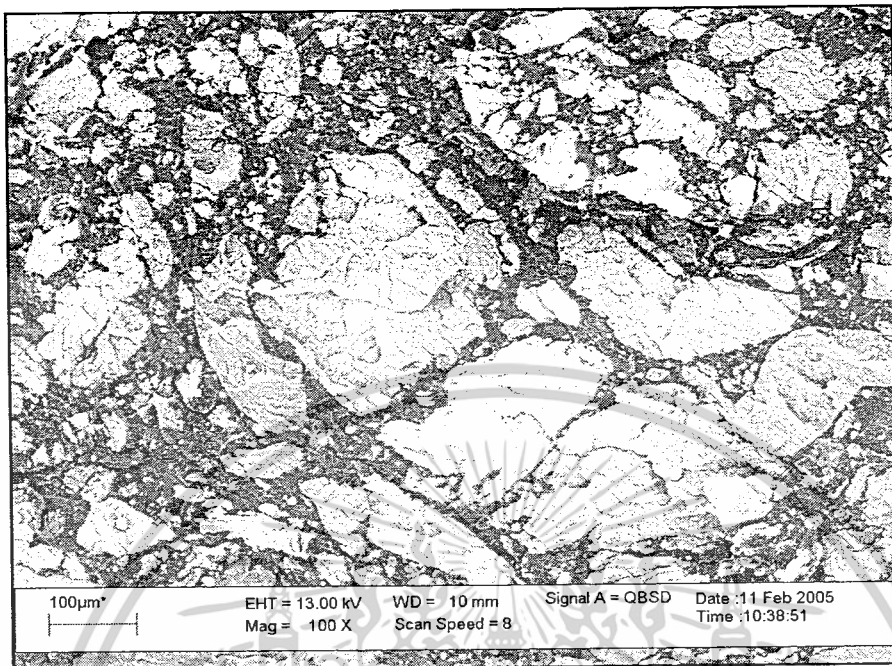


รูปที่ 4.14 SEM ไมโครกราฟ แสดงสัณฐานวิทยาของ GRT/PP-g-MA ในอัตราส่วน

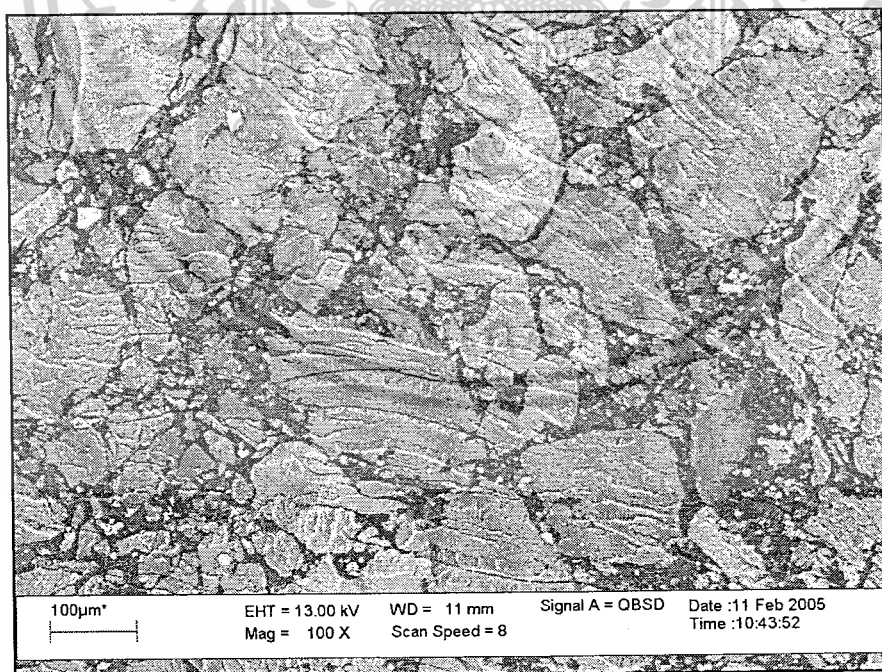
GRT:PP-g-MA เท่ากับ 60:40 ที่กำลังขยาย 100 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.15 SEM ไมโครกราฟ แสดงสัณฐานวิทยาของ GRT/PP-g-MA ในอัตราส่วน GRT:PP-g-MA เท่ากับ 70:30 ที่กำลังขยาย 100 เท่า

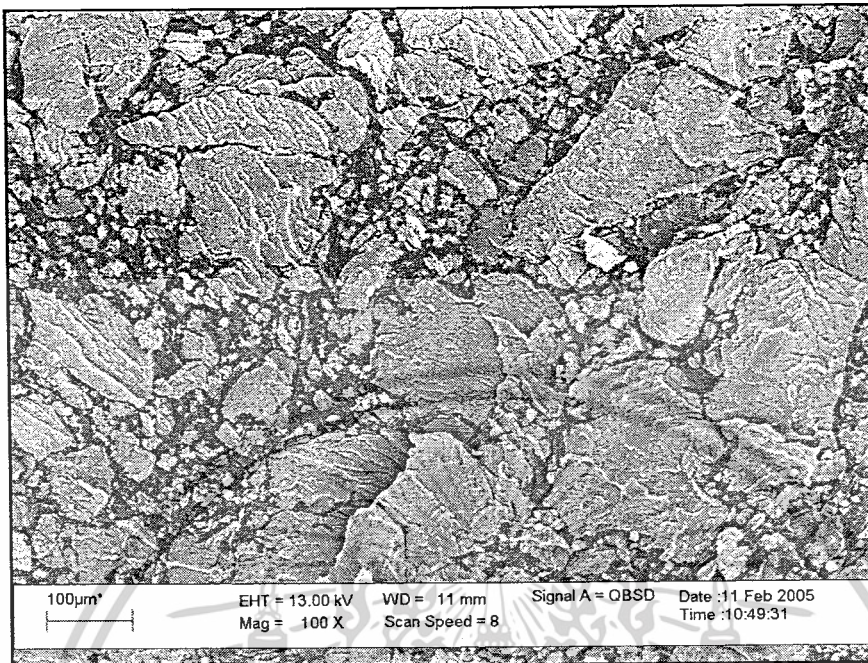


รูปที่ 4.16 SEM ไมโครกราฟ แสดงสัณฐานวิทยาของ GRT/PP-g-MA ในอัตราส่วน

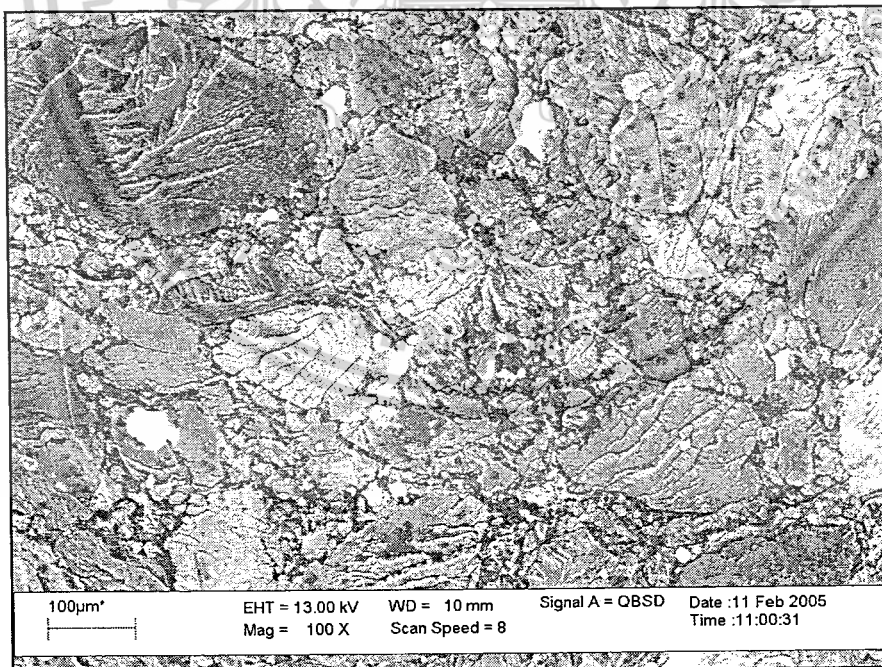
GRT:PP-g-MA เท่ากับ 80:20 ที่กำลังขยาย 100 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.17 SEM ไมโครกราฟ แสดงสัณฐานวิทยาของ GRT/PP-g-MA ในอัตราส่วน GRT:PP-g-MA เท่ากับ 80:20 ที่ผสมเรซอร์ซินอล 1 phr ที่กำลังขยาย 100 เท่า



รูปที่ 4.18 SEM ไมโครกราฟ แสดงสัณฐานวิทยาของ GRT/PP-g-MA ในอัตราส่วน GRT:PP-g-MA เท่ากับ 80:20 ที่ผสมเรซอร์ซินอล 7 phr ที่กำลังขยาย 100 เท่า เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 การทดสอบสมบัติความร้อน (Thermal analysis)

4.5.1 การทดสอบสมบัติความร้อนด้วย DSC

การศึกษาสมบัติความร้อนด้วยเครื่อง DSC เป็นการวิเคราะห์หาอุณหภูมิหลอมเหลวผลึก (T_m) และปริมาณความร้อนที่ใช้ในการหลอมเหลวผลึก (ΔH_f) ซึ่งสามารถคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ความเป็นผลึก (% Crystallinity) ของ PP-g-MA ใน GRT/PP-g-MA ได้ เทอร์โมแกรมของ DSC แสดงในภาคผนวก ค

ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบสมบัติความร้อนด้วย DSC

สารตัวอย่าง GRT:PP-g-MA	T_m ($^{\circ}\text{C}$)	ΔH_f (J/g)	% Crystallinity
50:50	151.8	45.76	56
60:40	151.8	37.40	57
70:30	151.9	28.43	57
80:20	151.3	16.01	49
80:20 + Resorcinol 1 phr	151.8	14.33	43
80:20 + Resorcinol 7 phr	151.0	14.26	43

จากผลการทดสอบพบว่า การเพิ่มปริมาณ GRT หรือการผสมสารเพิ่มการยึดติดเรซอร์ซินอลใน GRT/PP-g-MA มีผลน้อยมากต่อการเปลี่ยนแปลง T_m แต่พบว่าการเพิ่มปริมาณ GRT ส่งผลให้เปอร์เซ็นต์ความเป็นผลึกมีแนวโน้มลดลง โดยจากการทดสอบพบว่าเมื่ออัตราส่วนของ GRT:PP-g-MA เป็น 50:50 60:40 และ 70:30 เปอร์เซ็นต์ความเป็นผลึกของ PP-g-MA มีค่าค่อนข้างคงที่ จนกระทั่งเมื่ออัตราส่วน GRT:PP-g-MA เป็น 80:20 เปอร์เซ็นต์ความเป็นผลึกลดลงอย่างชัดเจน เนื่องจาก GRT เป็นยางที่ผ่านการเชื่อมโยงแล้ว มีความหนืดสูง ดังนั้นเมื่อ GRT มีปริมาณมากกว่า PP-g-MA มาก จึงขัดขวางการเกิดผลึกของ PP-g-MA ทำให้ความสามารถในการเกิดผลึกลดลง เปอร์เซ็นต์ความเป็นผลึกจึงมีแนวโน้มลดลง

นอกจากนี้พบว่าการผสมเรซอร์ซินอลมีผลทำให้เปอร์เซ็นต์ความเป็นผลึกลดลงเช่นเดียวกัน เนื่องจากเรซอร์ซินอลทำให้วัฏภาคของ GRT และ PP-g-MA อยู่ติดกันมากขึ้น ดังนั้นสายโซ่ของ PP-g-MA จึงมีโอกาสในการเคลื่อนที่และจัดเรียงตัวเกิดเป็นผลึกได้ลดลง ส่งผลเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ให้เปอร์เซ็นต์ความเป็นผลึกลดลง และเมื่อเพิ่มปริมาณเรซอร์ซินอลเป็น 7 phr ไม่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์ความเป็นผลึก เนื่องจากเรซอร์ซินอลที่เหลือกระจายตัวอยู่ในวัฏภาคของยาง โดยยืนยันได้จากผลการศึกษาลัทธิฐานวิทยา (รูปที่ 4.18)

4.5.2 การทดสอบสมบัติความร้อนเชิงกลด้วย DMTA

การศึกษาลัทธิฐานวิทยาความร้อนเชิงกลด้วยเครื่อง DMTA เป็นการวิเคราะห์หาอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (Glass transition temperature; T_g) จากจุดสูงสุดของพีก $\tan \delta$ และค่า $\tan \delta$ ซึ่งบอกถึงสัดส่วนการกระจายแรงต่อการรับแรงของ PP-g-MA ได้เทอร์โมแกรมของ DMTA แสดงในภาคผนวก ง

ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบสมบัติความร้อนเชิงกลด้วย DMTA

สารตัวอย่าง	$T_{g,GRT} (^{\circ}C)$	$T_{g,PP} (^{\circ}C)$	$\tan \delta$
80:20	-44.1	-	0.3122
80:20 + Resorcinol 1 phr	-42.2	-	0.3451
80:20 + Resorcinol 7 phr	-41.8	-	0.3830

จากลัทธิฐานวิทยาพบว่า การผสมกันระหว่าง GRT และ PP-g-MA เป็นการผสมแบบไม่รวมเป็นเนื้อเดียวกัน (Immiscible blend) คือไม่สามารถเข้ากันได้ในระดับโมเลกุล โดยสามารถแบ่งได้เป็น 2 วัฏภาค ทำให้ T_g ของพอลิเมอร์ผสมควรมี 2 ค่า จากการทดสอบพบค่า T_g เพียงค่าเดียว โดย T_g ที่ได้มีค่าประมาณ -41 ถึง -44 $^{\circ}C$ ซึ่งคาดว่าเป็น T_g ของ GRT เนื่องจากยางทั่วไปที่ไม่มีการเติมสารตัวเติมมี T_g ประมาณ -70 $^{\circ}C$ แต่ GRT เป็นยางที่ผ่านการเชื่อมโยงแล้ว และมีสารตัวเติมอื่นๆ ปนอยู่ด้วย T_g ของยางจึงมีค่าเพิ่มขึ้น ในขณะที่การทดสอบไม่พบ T_g ของ PP-g-MA คาดว่าเนื่องมาจากข้อจำกัดของเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ

นอกจากนี้ยังพบว่า T_g ของ GRT มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อผสมสารเติมการยึดติดเรซอร์ซินอล เนื่องจากเรซอร์ซินอลกระจายตัวอยู่ระหว่างวัฏภาคของ GRT และ PP-g-MA ทำให้ทั้ง 2 วัฏภาคชิดกันมากขึ้น การเคลื่อนที่ของระบบโดยรวมยากขึ้น ค่า T_g ของ GRT จึงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย อย่างไรก็ตามเมื่อเพิ่มปริมาณเรซอร์ซินอลเป็น 7 phr อาจเป็นปริมาณที่มากเกินไป ทำให้เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เรซอร์ซินอลส่วนที่เหลือเกิดการรวมตัวกันเป็นกลุ่มก้อนกระจายตัวอยู่ในภูมิภาค GRT ซึ่งสอดคล้องกับสัณฐานวิทยา (รูปที่ 4.18) ทำให้ T_g ที่พบมีค่าไม่ต่างกันมากเมื่อผสมเรซอร์ซินอลในปริมาณ 1 phr

ในขณะที่เดียวกันค่า $\tan \delta$ ซึ่งเป็นค่าที่บอกถึงความสามารถในการกระจายแรงต่อการรับแรง (Loss modulus/storage modulus; E''/E') ของวัสดุมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อปริมาณเรซอร์ซินอลเพิ่มขึ้น เนื่องจากที่ปริมาณเรซอร์ซินอล 1 phr สามารถกระจายตัวระหว่างภูมิภาคของ GRT และ PP-g-MA และที่ปริมาณ 7 phr มีเรซอร์ซินอลส่วนที่เหลือเกิดการกระจายตัวอยู่ในภูมิภาคของ GRT ทำให้ทั้งระหว่างภูมิภาค GRT และ PP-g-MA และภูมิภาคของ GRT ด้วยกันเองเกิดการยึดติดกันได้ดีขึ้น ส่งผลให้วัสดุสามารถกระจายแรงได้ดีขึ้น ค่า $\tan \delta$ จึงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้ศึกษาสมบัติของเทอร์โมพลาสติกอิลาสโตเมอร์ (TPEs) ที่เตรียมจากผงยางรถยนต์ (GRT) และพอลิพรอพิลีนที่ต่อกิ่งด้วยมาเลอิกแอนไฮไดรยด์ (PP-g-MA) โดยใช้เรซอร์ซินอลเป็นสารเพิ่มการยึดติด (Tackifier) จากงานวิจัยสามารถสรุปผลการวิจัยได้ดังต่อไปนี้

5.1 สรุปผลการวิจัย

1. สมบัติเชิงกล

จากการศึกษาสมบัติเชิงกลของ TPEs ที่เตรียมได้จาก GRT และ PP-g-MA พบว่าเมื่อเพิ่มสัดส่วน GRT ในวัสดุผสม มีผลทำให้ความแข็งแรงดึง มอดุลัส และความแข็งกดของวัสดุมีแนวโน้มลดลง ในขณะที่เปอร์เซ็นต์การยึด ผนึก จุดขาด มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น

จากการเลือกอัตราส่วน GRT:PP-g-MA เป็น 80:20 มาศึกษาผลของปริมาณสารเพิ่มการยึดติดเรซอร์ซินอล พบว่าที่ปริมาณเรซอร์ซินอล 1 phr ทำให้เปอร์เซ็นต์การยึด ผนึก จุดขาดเพิ่มขึ้นเล็กน้อยและมีแนวโน้มคงที่เมื่อมีปริมาณมากกว่า 1 phr (3-7 phr) ในขณะที่การเพิ่มปริมาณเรซอร์ซินอลไม่มีผลต่อค่าความแข็งแรงดึง มอดุลัส และความแข็งกด

2. สมบัติทางความร้อน

จากการศึกษาสมบัติทางความร้อนด้วยเครื่อง DSC พบว่าการเพิ่มปริมาณ GRT และเรซอร์ซินอลทำให้เปอร์เซ็นต์ความเป็นผลึก (% Crystallinity) ลดลง แต่ไม่ส่งผลต่ออุณหภูมิหลอมเหลวผลึก (T_m) ของ PP-g-MA

จากการศึกษาสมบัติเชิงกลความร้อนด้วยเครื่อง DMTA พบว่าเมื่อปริมาณเรซอร์ซินอลเพิ่มขึ้นทำให้อุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (T_g) และค่า $\tan \delta$ เพิ่มขึ้น

3. การศึกษาสัณฐานวิทยา

การศึกษาสัณฐานวิทยาด้วย SEM พบว่า PP-g-MA เป็นวัฏภาคหลัก (Matrix) และ GRT เป็นวัฏภาคกระจาย (Dispersed phase) ซึ่งมีลักษณะรวมกันเป็นกลุ่มก้อน ดังนั้นเมื่อปริมาณ GRT เพิ่มขึ้น การรวมกันเป็นกลุ่มก้อนของ GRT จึงมีมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในขณะที่การผสมเรซอร์ซินอลลงใน TPEs ไม่มีผลต่อการกระจายตัวของวัฏภาคกระจาย แต่เมื่อมีปริมาณเรซอร์ซินอลมากถึง 7 phr ทำให้เรซอร์ซินอลเกิดการกระจายตัวอยู่ในวัฏภาคของ GRT

4. การศึกษาสมบัติการนำกลับมาใช้ใหม่

จากการศึกษาสมบัติการนำกลับมาใช้ใหม่ของ GRT/PP-g-MA พบว่าสมบัติเชิงกลต่างๆ ไม่เปลี่ยนแปลง

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ศึกษาผลของลักษณะเทอร์โมพลาสติก (ผง เม็ด) และค่าดรรชนีการไหล (MFI) ที่มีผลต่อสมบัติของ TPEs ที่เตรียมได้จาก GRT และ PP-g-MA
2. ศึกษาผลของขนาดอนุภาคของ GRT ที่มีผลต่อสมบัติของ TPEs ที่เตรียมได้จาก GRT และ PP-g-MA
3. ศึกษาชนิดของสารเพิ่มการยึดติดชนิดอื่นๆ เพื่อปรับปรุงสมบัติของ TPEs ให้ดียิ่งขึ้น
4. ศึกษาการประยุกต์ใช้เทอร์โมพลาสติกชนิดอื่นในการเตรียม TPEs จาก GRT

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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 : The McGraw-Hill Companies.
- 3) ขวัญฤดี โชติชนาทวิวงศ์. 2547. "สถานการณ์ยางรถยนต์เก่าและการจัดการสิ่งแวดลอม" โดยศูนย์แลกเปลี่ยนพลาสติกเหลือใช้.
- 4) วิพัธ์วรรณ ปิ่นทองคำ และศศิพิมพ์ ศตะสมิต. 2546. "เทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์จากยางรถยนต์และพอลิพรอพิลีน" โครงการพิเศษ วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาเคมีอุตสาหกรรม ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- 5) Junhasavasdikul, B. 2002 "Basic Concepts of Polymer Blends and TPEs" Technical Seminar by Chemical Innovation Co.,Ltd.
- 6) อธิธิพล แจ่มชัด. 2546. เอกสารประกอบการสอนวิชาเทคโนโลยีการยาง. ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- 7) บัญชา ชุณหสวัสดิกุล. 2545. "การพัฒนายางและผลิตภัณฑ์ยาง" เคมีน่ารู้.1(1) : 077-084
- 8) Legge, N.R.; Holden, G.and Schroeder, H.E. 1987. Thermoplastic Elastomers-A Comprehensive Review. Munich : Hanser Publications.
- 9) Blow, C.M. 1977. Rubber Technology and Manufacture. England : Co & Wyman Ltd, Fakenham, Norfolk.
- 10) McGRAW-Hill. 2000. Rubber Engineering. New York : The McGraw-Hill Companies.
- 11) Klingensmith, W. and Baranwal, K. 1998. "Recycling of Rubber : An overview" Rubber World. June : 41-46.
- 12) Makarov, V.M. and Drozdovski, V.F. 1991. Reprocessing of Tyres and Rubber Waste.
- 13) Jitkarnka, S. 2004. "Pyrolysis of Waste Tires into Valuable Products : Can it be really profitable?" National Innovation Agency The Ministry of Science and Technology.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 14) กรมป่าไม้. 2004. **พอลิพรอพิลีน**. [online] Available
http://www.nationpark.go.th/biocom/garbage_poly.html
- 15) Deanin, R.D. 1972. **Polymer Structure, Properties and Applications**. Massachusetts :
 Cahners Publishing Company Inc.
- 16) มาลินี ชัยคุฎกกิจสินธ์. 2546. **เอกสารประกอบการสอนวิชาเคมีพอลิเมอร์**. ภาควิชาเคมี
 คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- 17) Baker, W.E. and Michel Duhaime, J.R. 1991. "Reactive blending of polyethylene and
 scrap rubber" **Plastic, Rubber and Composites Processing and Applications**. 15 :
 87-93.
- 18) Rajalingam, P. and Baker, W.E. 1992. "The role of functional polymer in ground
 rubber tire – polyethylene composite" **Rubber Chemistry and Technology**. 65 : 908-
 916.
- 19) Olephant, K. and Baker, W.E. 1993. "The Use of Cryogenically Ground Rubber Tire
 as a Filler in Polyolefin Blends" **Polymer Engineering and Science**. 33(3) : 166-174.
- 20) Rajalingam, P.; Sharpe, P. and Baker, W.E. 1993. "Ground rubber tire/ thermoplastic
 composites : effect of different ground rubber tires" **Rubber Chemistry and
 Technology**. 66 : 664-677.
- 21) Pramanik, P.K. and Baker, W.E. 1995. "Toughening of ground rubber tire filled
 thermoplastic compounds using different compatibilizer system" **Plastic, Rubber
 and Composites Processing and Applications**. 24(4) : 229-237.
- 22) Choudhury, N.R. and Bhattacharya, S.N. 1996. "Effect of compatibilisation on
 mechanical and rheological properties of ground rubber tyre-polyethylene blends"
Plastic, Rubber and Composites Processing and Applications. 25(9) : 448-457.
- 23) Tipanna, M. and Kale, D.D. 1997. "Composite of waste ground rubber particles and
 poly(vinyl chloride)" **Rubber Chemistry and Technology**. 70 : 815-819.
- 24) Naskar, A.K.; Bhowmick, A.K. and De, S.K. 2001. "Thermoplastic Elastomer
 Composition Based on Ground Rubber Tire" **Polymer Engineering and Science**.
 41(6) : 1087-1098.

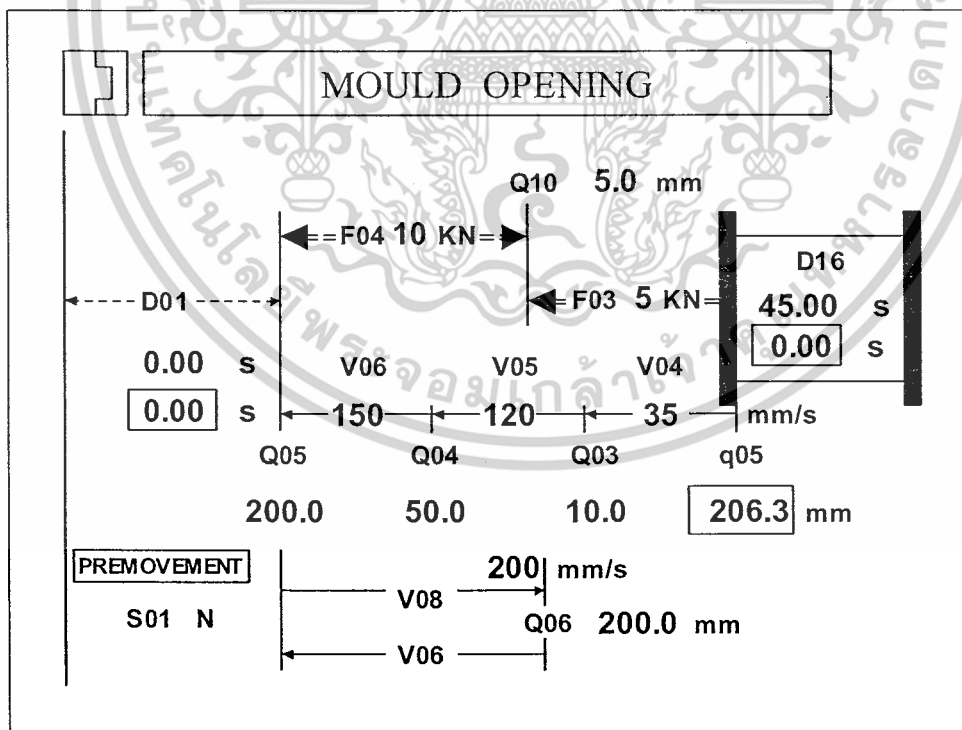
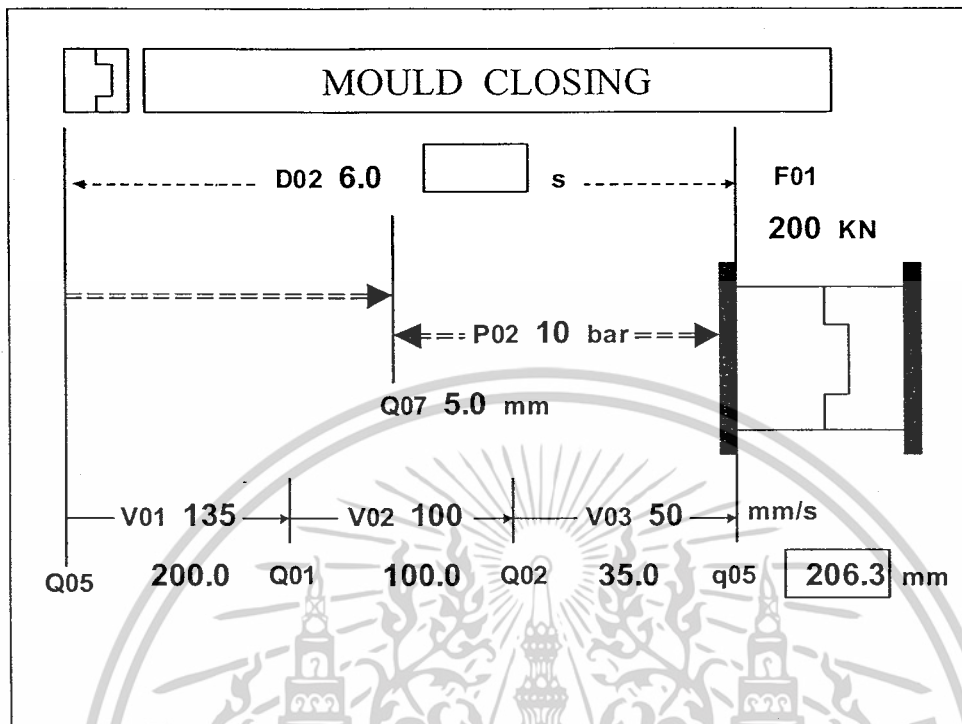
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 25) Ismail, H. and Suryadiansyah. 2002. "Thermoplastic elastomer based on polypropylene/natural rubber and polypropylene/recycle rubber blends" *Polymer Testing*. 21 : 389-395.
- 26) Jeong, S.O. and Isayev, A.I. 2002. "Ultrasonically Treated polypropylene/ground tire rubber blends" *Rubber Chemistry and Technology*. 75 : 617-625.
- 27) Radhesh Kumar, C.; Fuhrmann, I. and Karger-Kodsic, J. 2002. "LDPE-based thermoplastic elastomer containing ground tire rubber with and without dynamic curing" *Polymer Degradation and Stability*. 76 : 137-144.
- 28) Naskar, A.K.; De, S.K. and Bhowmick, A.K. 2002. "Thermoplastic elastomeric composition based on maleic anhydride-grafted ground rubber tire" *Journal of Applied Polymer Science*. 84(2) : 370-378.
- 29) Phinyocheep, P.; Axtell, F.H. and Laosee, T. 2002. "Influence of compatibilizers on Mechanical Properties, Crystallization and Morphology of Polypropylene/Scrap Rubber Dust Blends" *Journal of Applied Polymer Science*. 86 : 148-159.
- 30) Wilhelm, H.M. and Felisberti, M.I. 2002. "Reactive Compatibilization of Maleated Polypropylene and Maleated Poly(styrene-b-butadiene-b-styrene) Blends" *Journal of Applied Polymer Science*. 86 : 366-371.
- 31) ทวีศักดิ์ ยศยิ่งธรรมกุล และธนศ เสนาลอย. 2542. "การศึกษาพอลิเมอร์ผสมของผงยางรถยนต์และพอลิพรอพิลีน" โครงการพิเศษ วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาเคมีอุตสาหกรรม ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- 32) Jacqueline. 1996. *Encyclopedia of Polymer Science and Engineering*. 2nded. 4. 487. New York : John Wiley and Sons Inc.

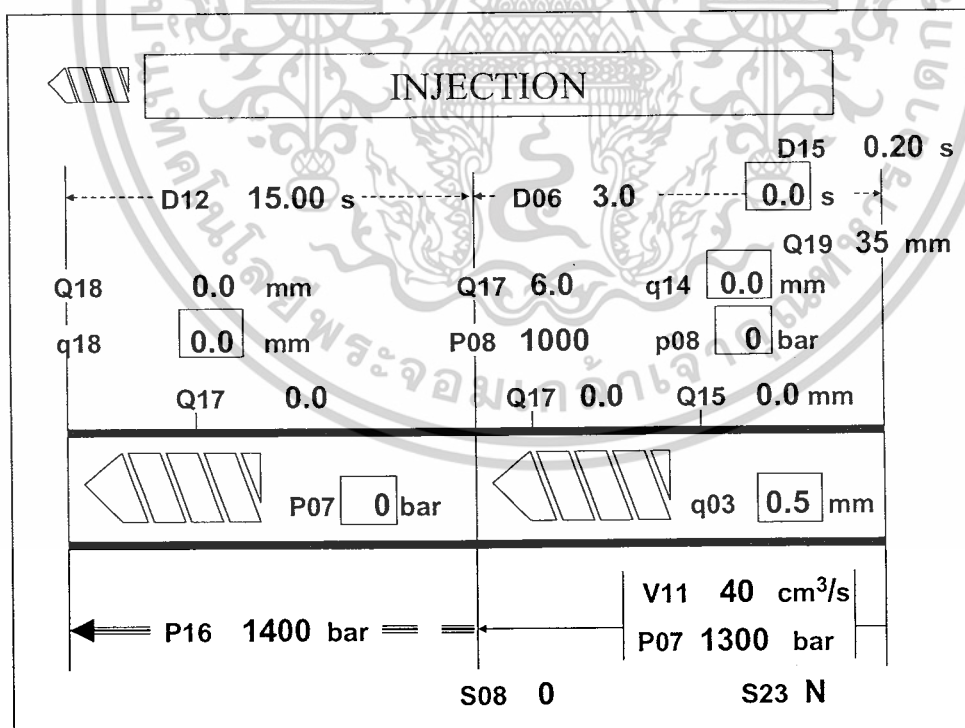
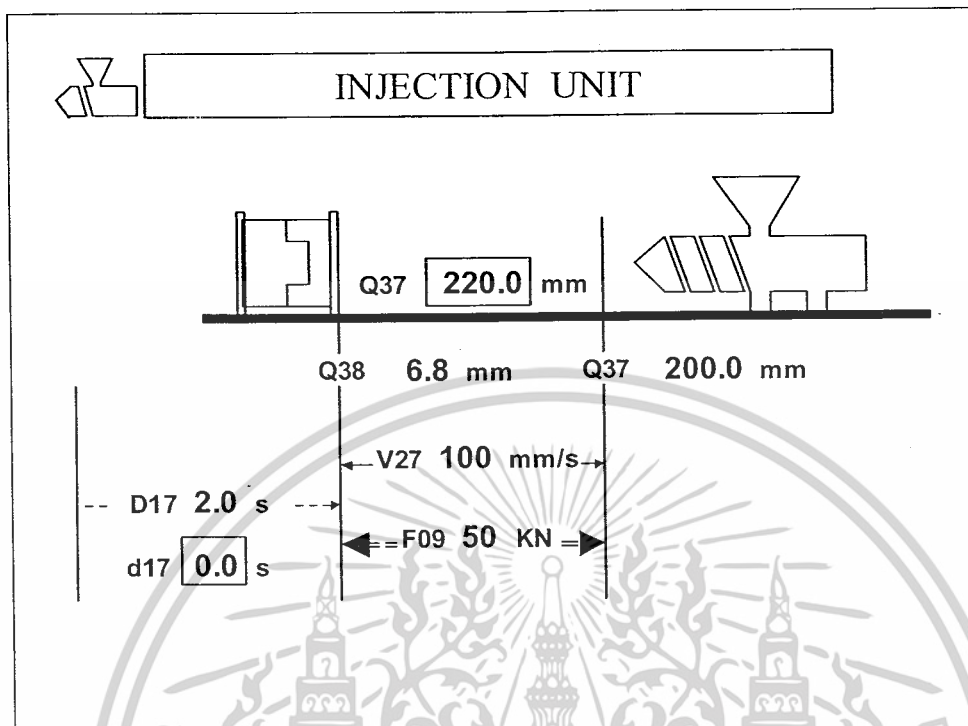
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-1 ผลการทดสอบความแข็งแรงดึง (Tensile strength)

ชิ้นงานที่	1	2	3	4	5	6	ค่าเฉลี่ย
สูตรผสม GRT:PP-g-MA	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)
1. 50:50	17.36	17.05	18.06	18.16	18.14	18.42	17.87
2. 60:40	15.01	15.00	14.45	14.59	14.54	14.28	14.65
3. 70:30	10.68	10.20	9.12	8.87	9.23	9.66	9.63
4. 80:20	7.90	7.27	7.32	7.40	6.33	6.75	7.16
5. 80:20 + Resorcinol 1 phr	7.08	7.08	7.73	6.95	7.42	7.14	7.24
6. 80:20 + Resorcinol 3 phr	7.14	7.44	7.61	7.59	6.70	7.30	7.30
7. 80:20 + Resorcinol 5 phr	7.15	8.13	6.91	7.29	7.32	7.47	7.38
8. 80:20 + Resorcinol 7 phr	6.98	7.51	6.92	7.04	6.82	6.84	7.02
9. 80:20 (1 st Recycled)	7.18	7.07	7.22	7.20	7.26	6.97	7.15
10. 80:20 (2 nd Recycled)	6.98	7.00	6.80	7.65	6.84	6.73	7.00
11. 80:20 + Resorcinol 1 phr (1 st Recycled)	8.13	7.39	7.84	8.07	8.01	8.06	7.92
12. 80:20 + Resorcinol 1 phr (2 nd Recycled)	7.60	7.35	7.61	7.54	7.31	7.71	7.52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-2 ผลการทดสอบเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด (%Elongation at break)

ชิ้นงานที่	1	2	3	4	5	6	ค่าเฉลี่ย
สูตรผสม	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
GRT:PP-g-MA							
1. 50:50	26.23	27.43	30.66	27.57	28.37	30.28	28.42
2. 60:40	31.53	34.87	31.06	32.3	30.67	29.20	31.61
3. 70:30	39.45	38.60	39.83	42.03	36.74	38.93	39.26
4. 80:20	48.13	50.61	49.13	44.61	43.39	43.85	46.62
5. 80:20 + Resorcinol 1 phr	60.98	61.17	58.35	56.92	60.11	60.88	59.74
6. 80:20 + Resorcinol 3 phr	60.65	66.04	63.55	57.36	56.54	54.79	59.82
7. 80:20 + Resorcinol 5 phr	60.74	59.92	54.79	58.59	58.22	57.83	58.35
8. 80:20 + Resorcinol 7 phr	61.17	56.17	61.64	71.03	57.75	53.55	60.22
9. 80:20 (1 st Recycled)	43.75	41.65	43.85	42.52	47.95	49.85	44.93
10. 80:20 (2 nd Recycled)	46.52	44.22	46.04	46.04	46.03	46.61	45.91
11. 80:20 + Resorcinol 1 phr (1 st Recycled)	57.41	56.46	62.79	61.27	64.66	56.33	59.82
12. 80:20 + Resorcinol 1 phr (2 nd Recycled)	58.90	60.70	63.61	58.04	61.68	62.94	60.98

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-3 ผลการทดสอบค่ามอดุลัส (Modulus)

ชั้นงานที่	1	2	3	4	5	6	ค่าเฉลี่ย
สูตรผสม	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)
GRT:PP-g-MA							
1. 50:50	168.75	162.50	167.90	166.35	166.20	166.65	166.39
2. 60:40	136.40	138.95	133.90	136.75	142.54	125.55	135.68
3. 70:30	92.25	119.65	79.75	81.70	110.25	90.66	95.71
4. 80:20	59.76	54.22	50.84	58.96	48.99	43.19	52.66
5. 80:20 + Resorcinol 1 phr	46.95	47.55	52.35	49.00	49.40	45.95	48.53
6. 80:20 + Resorcinol 3 phr	50.59	49.94	53.34	52.70	44.25	49.85	50.11
7. 80:20 + Resorcinol 5 phr	47.20	53.40	48.90	49.90	48.75	51.70	49.98
8. 80:20 + Resorcinol 7 phr	44.82	51.60	44.35	45.31	43.45	44.35	45.65
9. 80:20 (1 st Recycled)	44.70	43.15	43.70	44.75	44.55	42.40	43.88
10. 80:20 (2 nd Recycled)	45.25	46.55	48.53	48.80	43.50	43.70	46.05
11. 80:20 + Resorcinol 1 phr (1 st Recycled)	48.55	44.50	45.90	47.30	46.35	47.95	46.76
12. 80:20 + Resorcinol 1 phr (2 nd Recycled)	48.45	47.71	48.51	46.31	45.80	46.90	47.28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-4 ผลการทดสอบความแข็งกด (Hardness)

ชิ้นงานที่	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	เฉลี่ย
สูตรผสม GRT:PP-g-MA											
1. 50:50	50.0	50.0	50.05	50.05	50.0	51.5	49.0	50.0	47.0	47.5	49.51
2. 60:40	43.5	44.0	43.0	45.0	45.5	45.0	46.5	46.5	47.0	45.0	45.10
3. 70:30	38.5	38.5	37.0	37.0	38.0	40.0	40.0	38.5	38.0	37.5	38.30
4. 80:20	32.5	32.0	31.0	31.0	31.0	38.5	30.0	31.0	30.0	29.0	30.60
5. 80:20 + Resorcinol 1 phr	30.5	31.0	29.5	29.5	29.5	31.0	31.5	31.0	30.0	32.0	30.55
6. 80:20 + Resorcinol 3 phr	31.5	31.5	32.0	31.5	31.5	32.0	31.5	32.0	32.0	31.5	31.70
7. 80:20 + Resorcinol 5 phr	34.0	32.0	33.0	33.0	32.0	31.5	31.5	31.5	31.0	30.0	31.95
8. 80:20 + Resorcinol 7 phr	33.0	30.0	32.0	33.0	32.0	33.5	33.0	32.5	31.0	31.0	32.10
9. 80:20 (1 st Recycled)	30.0	31.0	30.5	30.5	32.0	29.5	29.5	31.5	30.0	29.0	30.35
10. 80:20 (2 nd Recycled)	32.0	32.0	31.0	31.5	32.0	31.5	32.5	33.0	32.5	32.0	32.0
11. 80:20 + Resorcinol 1 phr (1 st Recycled)	31.5	31.0	31.5	32.5	33.0	30.0	31.0	30.0	30.5	29.5	31.05
12. 80:20 + Resorcinol 1 phr (2 nd Recycled)	33.0	32.0	32.0	33.0	32.5	32.5	32.0	32.5	32.5	33.0	32.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



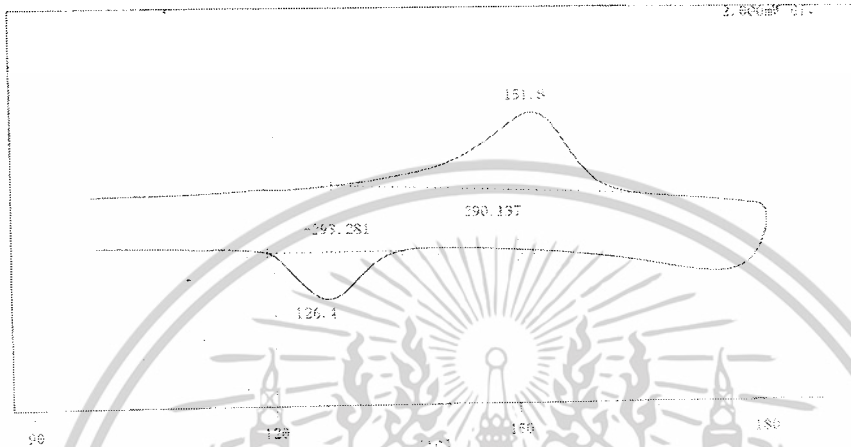
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

48/01/20

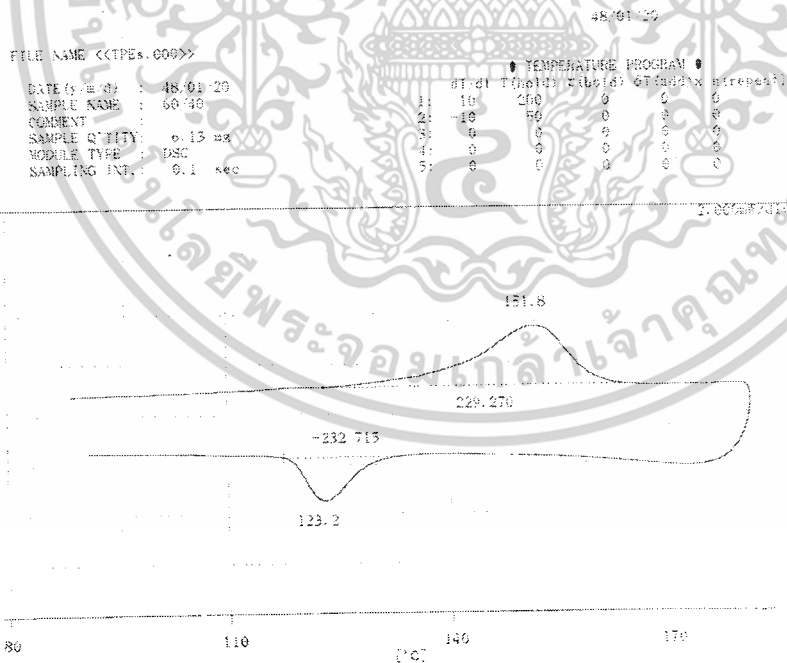
FILE NAME <<TPES.000>>

DATE (y/m/d) : 48/01/20
 SAMPLE NAME : 50/50
 COMMENT :
 SAMPLE QTY: 6.34 mg
 MODULE TYPE : DSC
 SAMPLING INT.: 0.1 sec

* TEMPERATURE PROGRAM *					
	dt/dt	T (hold)	T (hold)	OT (add)	OT (repeat)
1:	10	200	0	0	0
2:	-10	50	0	0	0
3:	0	0	0	0	0
4:	0	0	0	0	0
5:	0	0	0	0	0



รูปที่ ค-1 DSC เทอร์โมแกรมของ TPES ที่อัตราส่วน GRT:PP-g-MA เท่ากับ 50:50



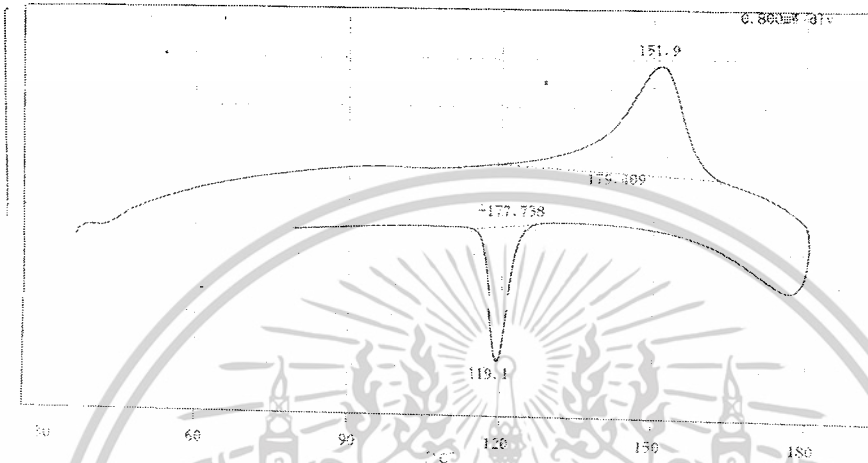
รูปที่ ค-2 DSC เทอร์โมแกรมของ TPES ที่อัตราส่วน GRT:PP-g-MA เท่ากับ 60:40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FILE NAME <<TPE#.000>> 48/01/20

DATE (s/m/d) : 48/01/20
 SAMPLE NAME : 70/30
 COMMENT :
 SAMPLE Q'TY : 5.31 mg
 MODULE TYPE : DSC
 SAMPLING INT. : 0.1 sec

* TEMPERATURE PROGRAM *				
dt/dt	T(hold)	t(hold)	dt(add)	n(repeat)
1:	10	200	0	0
2:	10	50	0	0
3:	0	0	0	0
4:	0	0	0	0
5:	0	0	0	0

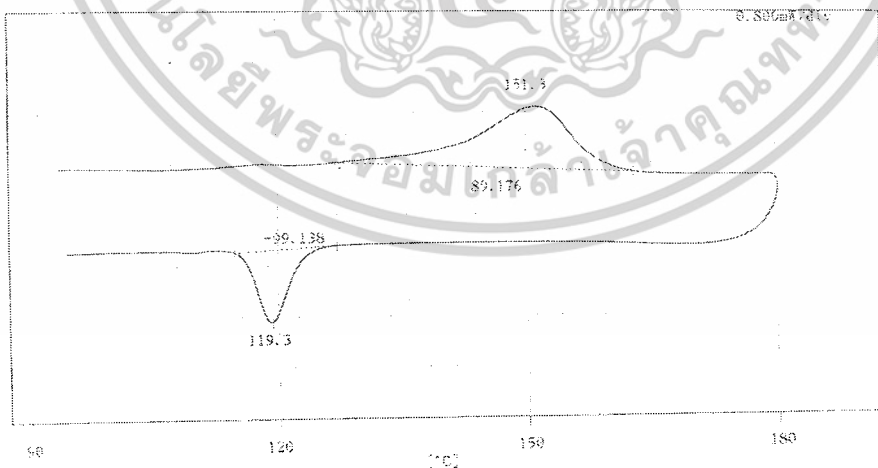


รูปที่ ค-3 DSC เทอร์โมแกรมของ TPEs ที่อัตราส่วน GRT:PP-g-MA เท่ากับ 70:30

FILE NAME <<TPE.000>> 48/01/20

DATE (s/m/d) : 48/01/20
 SAMPLE NAME : 80/20
 COMMENT :
 SAMPLE Q'TY : 5.57 mg
 MODULE TYPE : DSC
 SAMPLING INT. : 0.1 sec

* TEMPERATURE PROGRAM *				
dt/dt	T(hold)	t(hold)	dt(add)	n(repeat)
1:	10	200	0	0
2:	10	50	0	0
3:	0	0	0	0
4:	0	0	0	0
5:	0	0	0	0



รูปที่ ค-4 DSC เทอร์โมแกรมของ TPEs ที่อัตราส่วน GRT:PP-g-MA เท่ากับ 80:20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

48/01/20

FILE NAME <<TPEs.000>>

DATE (y/m/d) : 48/01/20

SAMPLE NAME : 1phr_RESORCINOL

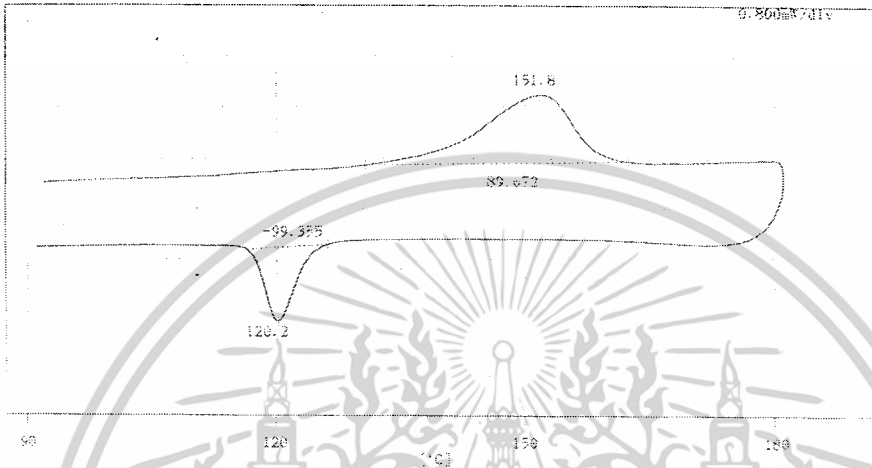
COMMENT :

SAMPLE Q'TY : 6.26 mg

MODULE TYPE : DSC

SAMPLING INT. : 0.1 sec

● TEMPERATURE PROGRAM ●					
	dT/dt	T (hold)	t (hold)	Start	n (repeat)
1:	10	200	0	0	0
2:	-10	50	0	0	0
3:	0	0	0	0	0
4:	0	0	0	0	0
5:	0	0	0	0	0



รูปที่ ค-5 DSC เทอร์โมแกรมของ TPEs ที่อัตราส่วน GRT:PP-g-MA เท่ากับ 80:20 ที่ผสม เรซอร์ซินอล 1 phr

48/01/20

FILE NAME <<TPEs.000>>

DATE (y/m/d) : 48/01/20

SAMPLE NAME : 7phr_RESORCINOL

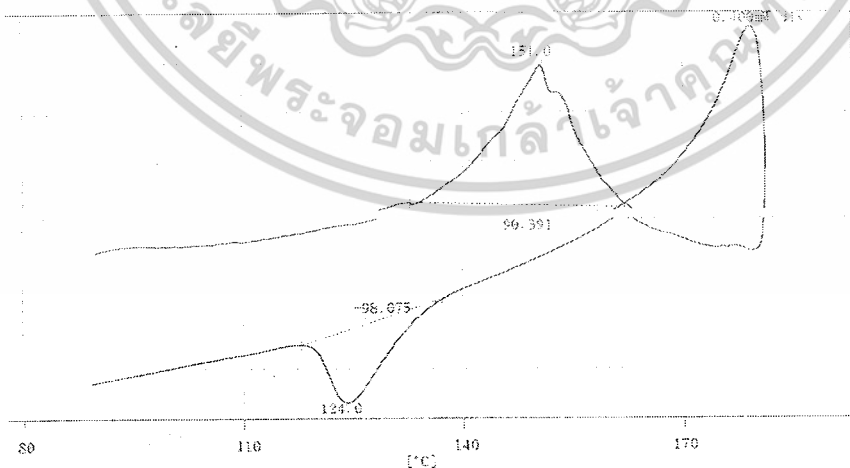
COMMENT :

SAMPLE Q'TY : 5.24 mg

MODULE TYPE : DSC

SAMPLING INT. : 0.1 sec

● TEMPERATURE PROGRAM ●					
	dT/dt	T (hold)	t (hold)	Start	n (repeat)
1:	10	200	0	0	0
2:	-10	50	0	0	0
3:	0	0	0	0	0
4:	0	0	0	0	0
5:	0	0	0	0	0



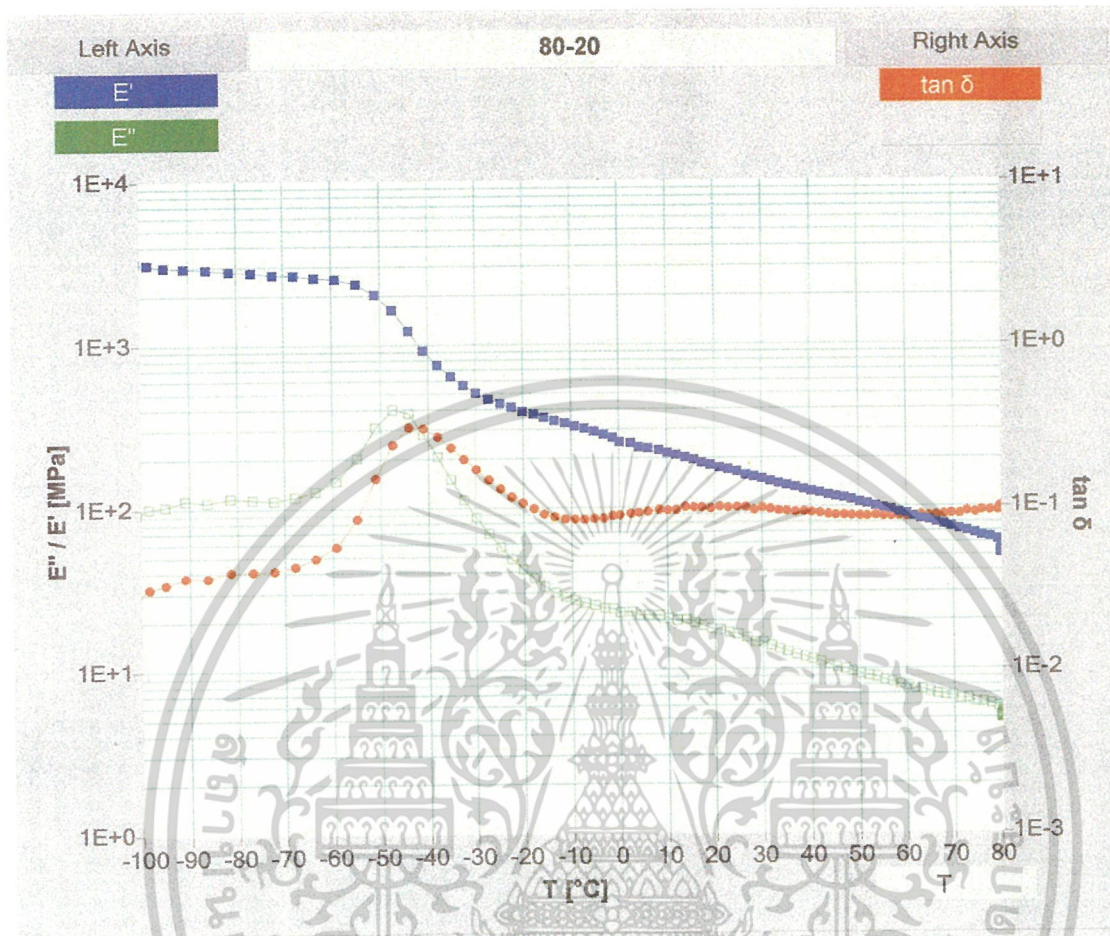
รูปที่ ค-6 DSC เทอร์โมแกรมของ TPEs ที่อัตราส่วน GRT:PP-g-MA เท่ากับ 80:20 ที่ผสม

เรซอร์ซินอล 7 phr

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

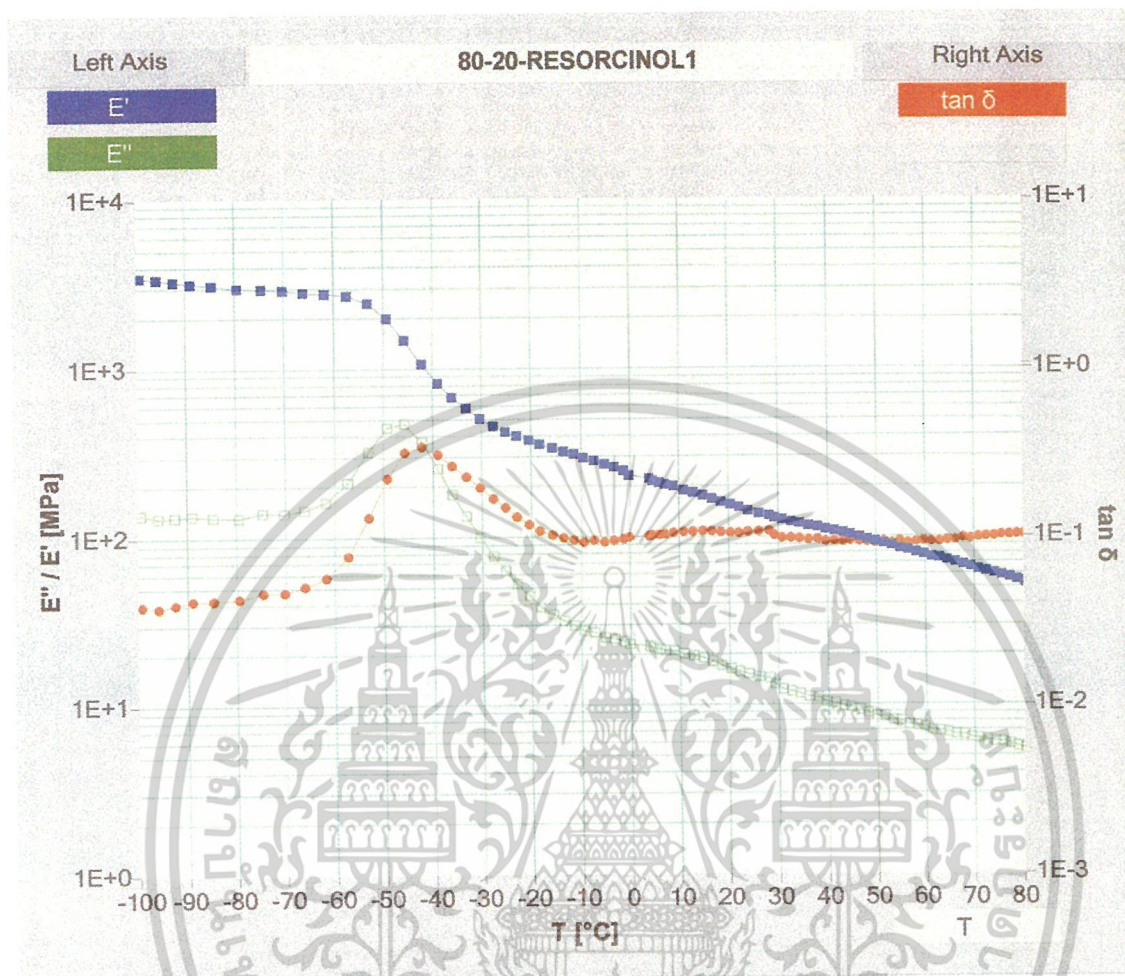


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



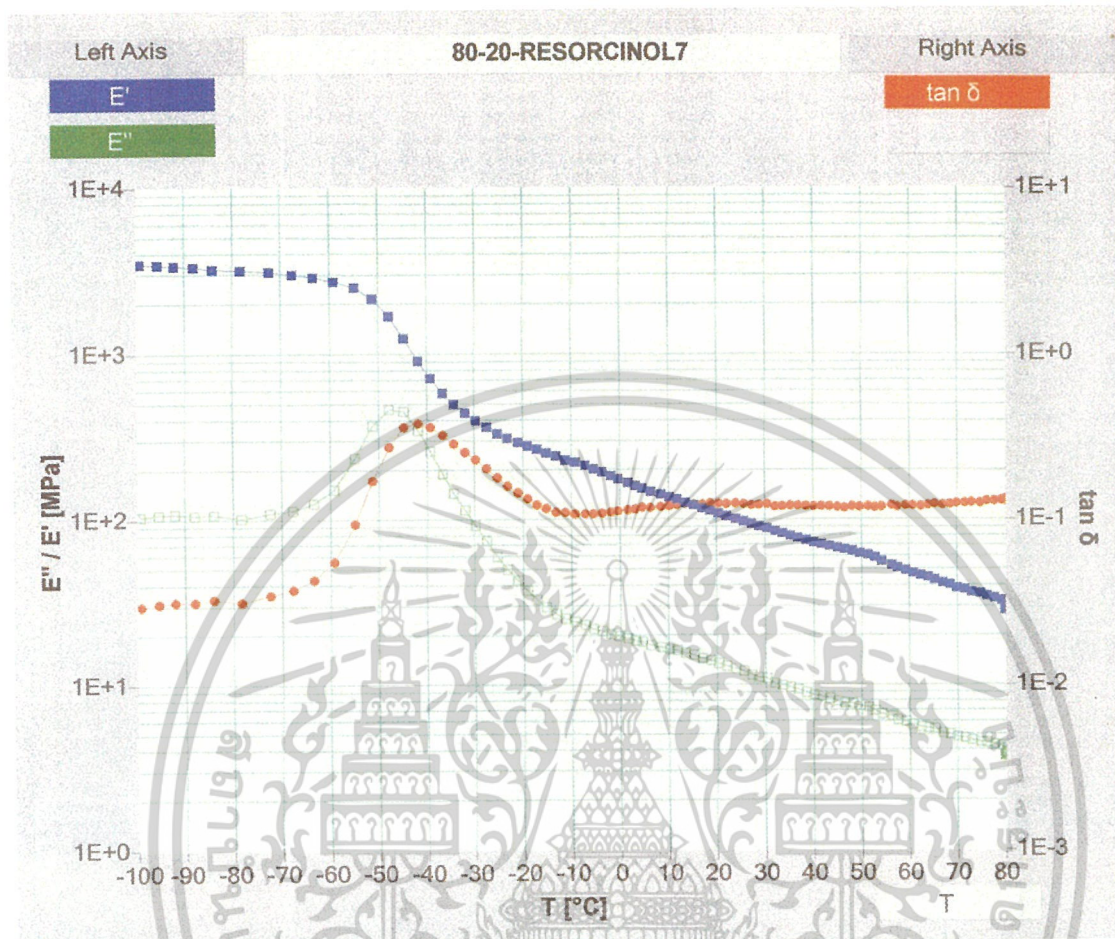
รูปที่ ง-1 DMTA เทอร์โมแกรมของ TPEs ที่อัตราส่วน GRT:PP-g-MA เท่ากับ 80:20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ง-2 DMTA เทอร์โมแกรมของ TPES ที่อัตราส่วน GRT:PP-g-MA เท่ากับ 80:20 ที่ผสม เรซอร์ซินอล 1 phr

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3 DMTA เทอร์โมแกรมของ TPES ที่อัตราส่วน GRT:PP-g-MA เท่ากับ 80:20 ที่ผสมเรซอร์ซินอล 7 phr

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้