

การนำแกลบมาใช้เป็นสารตัวเติมในพอลิพรอพิลีนคอมพาวด์

UTILIZATION OF RICE HUSK AS FILLER FOR POLYPROPYLENE COMPOUNDS



นิรชา แย้มบุญยิ่ง
NIRACHA YAEMBUNYING

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีพอลิเมอร์

บัณฑิตวิทยาลัย

รพ.

รพ.6447

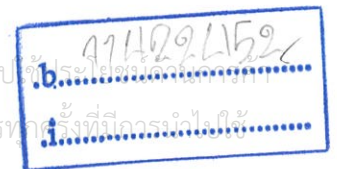
2547

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2547

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 58521
วัน,เดือน,ปี 25 ส.ค. 2549

ISBN 974-15-1130-2



เอกสารนี้เป็นทรัพย์สินของสถาบันไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น หากมีให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

UTILIZATION OF RICE HUSK AS FILLER FOR POLYPROPYLENE COMPOUNDS



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FUFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF SCIENCE IN POLYMER TECHNOLOGY
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2004

ISBN 974-15-1130-2
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2004

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ใดเห็นนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การนำกลับมาใช้เป็นสารตัวเติมในพอลิพรอพิลีนคอมพาวด์
นักศึกษา	นางสาวนิรชา แยมบุญยิ่ง
รหัสประจำตัว	44065604
ปริญญา	วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต
สาขาวิชา	เทคโนโลยีพอลิเมอร์
พ.ศ.	2547
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	ผศ.ดร.จุฑารัตน์ ปรัชญาวารากร

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการนำกลับมาใช้เป็นสารตัวเติมสำหรับพอลิพรอพิลีนคอมพาวด์ ที่ทำการผสมด้วยเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนคู่ และขึ้นรูปด้วยการฉีด โดยศึกษาถึงขนาดและปริมาณของเกลบที่มีต่อสมบัติต่าง ๆ ของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและเกลบจากการศึกษาสมบัติเชิงกล พบว่ามอดุลัสแรงดึง มอดุลัสโค้งงอ และความแข็งกดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น แต่ความแข็งแรงดึง ความแข็งแรงโค้งงอ ร้อยละการดึงยืด ณ จุดครากมีแนวโน้มลดลงเมื่อปริมาณเกลบเพิ่มขึ้น ส่วนขนาดของเกลบทำให้วัสดุผสมที่มีการใช้เกลบขนาดเล็ก (≥ 200 เมช) มีมอดุลัสแรงดึง ความแข็งแรงโค้งงอ และมอดุลัสโค้งงอมากกว่าวัสดุผสมที่มีการใช้เกลบขนาดใหญ่ (20-35 เมช) จากสมบัติเชิงกลทั้งหมด พบว่าวัสดุผสมที่มีการใช้เกลบขนาดมากกว่าหรือเท่ากับ 200 เมช โดยมีปริมาณเกลบร้อยละ 40 โดยน้ำหนักให้สมบัติเชิงกลโดยรวมที่ดีที่สุด ซึ่งนำไปทดสอบสมบัติการนำกลับมาใช้ใหม่ได้ต่อไป นอกจากนี้ร้อยละการดูดซับน้ำของวัสดุผสมเพิ่มขึ้น เมื่อมีการใช้เกลบที่มีขนาดใหญ่และปริมาณเพิ่มขึ้น จากการศึกษาสมบัติทางความร้อน พบว่าการผสมเกลบในพอลิพรอพิลีนทำให้อุณหภูมิการเกิดผลึกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น แต่ปริมาณความเป็นผลึกมีแนวโน้มลดลง จากการทดสอบสมบัติต่าง ๆ ของวัสดุผสมที่นำกลับมาใช้ใหม่ พบว่าเมื่อจำนวนครั้งของการนำกลับมาใช้ใหม่เพิ่มขึ้น ความแข็งแรงดึง มอดุลัสแรงดึง ความแข็งแรงโค้งงอ มอดุลัสโค้งงอ ความแข็งแรงกระแทก และความแข็งกดมีแนวโน้มลดลง แต่ร้อยละการดึงยืด ณ จุดครากมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น สำหรับการดูดซับน้ำมีแนวโน้มลดลงเมื่อจำนวนครั้งของการนำกลับมาใช้ใหม่เพิ่มขึ้น จากการศึกษาสมบัติทางความร้อน พบว่าเมื่อจำนวนครั้งของการนำกลับมาใช้ใหม่เพิ่มขึ้นทำให้ปริมาณความเป็นผลึกของวัสดุผสมมีแนวโน้มลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Utilization of rice husk as filler for polypropylene compounds
Student	Ms.Niracha Yaembunying
Student ID.	44065604
Degree	Master of Science
Programme	Polymer Technology
Year	2004
Thesis Advisor	Asst. Prof. Dr.Jutarat Prachayawarakorn

ABSTRACT

In this research, rice husk (RH) was used as filler for polypropylene (PP) compound. The specimens were compounded by twin-screw extruder and then molded by injection molding machine. The effect of RH contents and particle sizes on specimen properties was then investigated. In terms of mechanical properties; tensile modulus, flexural modulus and hardness were significantly increased, whereas tensile strength, flexural strength, and elongation at yield were slightly decreased with increasing in RH loadings. The specimens that used small size RH (≥ 200 mesh) showed greater tensile modulus, flexural strength and flexural modulus than that of the large size RH (20-35 mesh). From the overall mechanical properties, the specimens that used ≥ 200 mesh of RH at 40% loading presented the greatest mechanical properties and then it was selected to study the influence of recyclability. Besides, % water absorption was increased with the use of large size and increase in RH content. In terms of thermal properties, the crystallization temperature (T_c) was raised, but degree of crystallinity were declined when RH was applied. From the study of recycle properties, it was found that tensile strength, tensile modulus, flexural strength, flexural modulus, impact strength, hardness and % water absorption were decreased; whereas elongation at yield was enlarged with numbers of recycled times. In addition, the numbers of recycle times resulted in the reduction in degree of crystallinity.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้เป็นอย่างดีด้วยการได้รับคำแนะนำและคำปรึกษาเกี่ยวกับการทำงานวิจัยในครั้งนี้จาก ผศ.ดร.จุฑารัตน์ ปรัชญาวรากร ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์จากท่านและขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร. วิมลวรรณ พิมพ์พันธุ์ ในความกรุณามาเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้ และได้ให้คำแนะนำและแก้ไขในการทำวิจัยให้ประสบผลสำเร็จไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร.สมศักดิ์ วรมงคลชัย และ ผศ.ดร.สุภาวรัตน์ รักชลธี ที่ให้คำแนะนำและแก้ไขปัญหาในบางจุดเกี่ยวกับงานวิจัยนี้ ซึ่งมีส่วนช่วยให้ผู้วิจัยสามารถดำเนินการวิจัยลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณบริษัท HMC Polymers Company Limited ที่ให้ความอนุเคราะห์พอลิพรอพิลีน

สุดท้ายขอขอบคุณเพื่อน ๆ นักศึกษาทุกคนที่ช่วยเหลือและให้คำแนะนำต่าง ๆ อีกทั้งคอยให้กำลังใจให้แก่ผู้วิจัยมาโดยตลอด นอกจากนี้ขอขอบคุณครอบครัวของผู้วิจัยที่คอยเป็นกำลังใจที่ดีและสนับสนุนช่วยเหลือในการทำงานวิจัยจนสำเร็จสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

นางสาวนิรชา แยมบุญยั้ง

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VIII
สารบัญรูปภาพ.....	X
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	2
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ.....	4
2.1 พอลิพรอพิลีน (Polypropylene).....	4
2.1.1 โครงสร้างของพอลิพรอพิลีน.....	4
2.1.2 สมบัติและการนำไปใช้.....	5
2.1.2.1 ข้อดีของพอลิพรอพิลีน.....	7
2.1.2.2 ข้อด้อยพอลิพรอพิลีน.....	7
2.2 สารเติมแต่งในพลาสติก (Additives).....	7
2.2.1 สารตัวเติม (Fillers).....	9
2.3 แกลบ (Rice husks).....	10
2.3.1 องค์ประกอบของแกลบ.....	11
2.3.2 ประโยชน์ของแกลบ.....	14
2.4 การนำพลาสติกกลับมาใช้ใหม่ (Recycle of plastics).....	14
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	16
บทที่ 3 การดำเนินงานวิจัย.....	21
3.1 สารเคมีและวัสดุที่ใช้ในงานวิจัย.....	21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับทำวิจัยเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของลิขสิทธิ์

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย.....	21
3.3 วิธีการทดลอง.....	22
ตอนที่ 1 การหาอัตราส่วนความยาวต่อเส้นผ่านศูนย์กลาง (Aspect ratio, l/d ratio).....	22
ตอนที่ 2 การขึ้นรูปชิ้นงานทดสอบของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแคลบ.....	23
ตอนที่ 3 การนำชิ้นงานทดสอบที่ได้กลับมาใช้ใหม่.....	24
ตอนที่ 4 การทดสอบ.....	24
3.4 วิธีการทดสอบ.....	25
3.4.1 สมบัติทางความร้อน	26
3.4.1.1 อุณหภูมิการสลายตัว (Thermal degradation).....	26
3.4.1.2 อุณหภูมิการเกิดผลึก (Crystallinity temperature, Tc) อุณหภูมิการหลอมเหลว (Melt temperature, Tm) และปริมาณความเป็นผลึก (Degree of crystallinity).....	26
3.4.2 สัณฐานวิทยา (Morphology).....	27
3.4.3 สมบัติทางกายภาพ.....	27
3.4.4 สมบัติเชิงกล.....	27
3.4.4.1 สมบัติด้านแรงดึง (Tensile properties).....	27
3.4.4.2 สมบัติด้านแรงโค้งงอ (Flexural properties).....	28
3.4.4.3 ความแข็งแรงกระแทก (Impact properties).....	29
3.4.4.4 ความแข็งกด (Hardness).....	29
3.4.5 ดัชนีการหลอมไหล (Melt flow index).....	29
3.4.6 การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชัน.....	29
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง.....	31
ตอนที่ 1 การหาอัตราส่วนความยาวต่อเส้นผ่านศูนย์กลาง.....	31
ตอนที่ 2 สมบัติต่าง ๆ ของการวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแคลบ.....	34
4.1 สมบัติทางความร้อน.....	34
4.1.1 อุณหภูมิการสลายตัว	34
4.1.2 อุณหภูมิการหลอมเหลว.....	36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.1.3 อุณหภูมิการเกิดผลึก และปริมาณความเป็นผลึก.....	38
4.2 สัณฐานวิทยา.....	39
4.3 สมบัติทางกายภาพ.....	43
4.4 สมบัติเชิงกล.....	47
4.4.1 สมบัติด้านแรงดึง.....	47
4.4.2 สมบัติด้านแรงโค้งงอ.....	50
4.4.3 ความแข็งแรงกระแทก.....	52
4.4.4 ความแข็งกด.....	53
ตอนที่ 3 สมบัติต่าง ๆ ของพอลิพรอพิลีนที่นำกลับมาใช้ใหม่ และวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกลบที่นำกลับมาใช้ใหม่.....	54
4.5 ดัชนีการหลอมไหล.....	55
4.6 การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันโดยเทคนิค FT-IR.....	56
4.7 สมบัติทางความร้อน.....	59
4.7.1 อุณหภูมิการสลายตัว.....	59
4.7.2 อุณหภูมิการหลอมเหลว.....	60
4.7.3 อุณหภูมิการเกิดผลึก และปริมาณความเป็นผลึก.....	61
4.8 สัณฐานวิทยา.....	62
4.9 สมบัติทางกายภาพ.....	65
4.10 สมบัติเชิงกล.....	67
4.10.1 สมบัติเชิงกลของพอลิพรอพิลีนที่นำกลับมาใช้ใหม่.....	67
4.10.2 สมบัติเชิงกลของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกลบ ที่นำกลับมาใช้ใหม่.....	69
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	74
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	74
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	75

เอกสารอ้างอิง..... 76
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

ภาคผนวก.....	หน้า 79
ประวัติผู้เขียน.....	102



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 สมบัติบางประการของพอลิพรอพิลีนเชิงพาณิชย์.....	6
2.2 องค์ประกอบของเกลบ.....	13
2.3 องค์ประกอบของสารอนินทรีย์ในแก้วเกลบ.....	13
2.4 สัญลักษณ์ตามรหัสพลาสติก.....	16
3.1 สมบัติของพอลิพรอพิลีน.....	21
3.2 ส่วนผสมต่าง ๆ ที่ใช้ในการขึ้นรูปชิ้นงานทดสอบ.....	23
3.3 มาตรฐานต่าง ๆ ในการทดสอบสมบัติต่าง ๆ.....	25
4.1 ค่าเฉลี่ยของอัตราส่วนความยาวต่อเส้นผ่านศูนย์กลางของเกลบ.....	31
4.2 อุณหภูมิการหลอมเหลวของพอลิพรอพิลีน และวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและเกลบ ที่มีปริมาณเกลบร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก โดยมีขนาดเกลบต่าง ๆ กัน.....	37
4.3 อุณหภูมิการหลอมเหลวของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและเกลบที่มีขนาด 50-100 เมช โดยมีปริมาณเกลบต่าง ๆ กัน.....	37
4.4 อุณหภูมิการเกิดผลึก เอนทัลปี และปริมาณความเป็นผลึกของพอลิพรอพิลีน และวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและเกลบที่มีปริมาณเกลบร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก โดยมีขนาดเกลบต่าง ๆ กัน.....	38
4.5 อุณหภูมิการเกิดผลึก เอนทัลปี และปริมาณความเป็นผลึกของวัสดุผสมระหว่าง พอลิพรอพิลีนและเกลบที่มีขนาด 50-100 เมช โดยมีปริมาณเกลบต่าง ๆ กัน.....	39
4.6 ดัชนีการหลอมไหลของพอลิพรอพิลีนที่นำกลับมาใช้ใหม่.....	55
4.7 ดัชนีการหลอมไหลของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและเกลบที่มีขนาด มากกว่าหรือเท่ากับ 200 เมช โดยมีปริมาณเกลบร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก ที่นำกลับมาใช้ใหม่.....	55
4.8 ตำแหน่งสเปกตรัมของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและเกลบที่มีขนาดมากกว่า หรือเท่ากับ 200 เมช โดยมีปริมาณเกลบร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก.....	58
4.9 อุณหภูมิการหลอมเหลวของพอลิพรอพิลีนที่นำกลับมาใช้ใหม่.....	60
4.10 อุณหภูมิการหลอมเหลวของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและเกลบที่มีขนาด มากกว่าหรือเท่ากับ 200 เมช โดยมีปริมาณเกลบร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก ที่นำกลับมาใช้ใหม่.....	61

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.11 อุณหภูมิการเกิดผลึก เอนทัลปี และปริมาณความเป็นผลึกของพอลิพรอพิลีน ที่นำกลับมาใช้ใหม่.....	62
4.12 อุณหภูมิการเกิดผลึก เอนทัลปี และปริมาณความเป็นผลึกของวัสดุผสมระหว่าง พอลิพรอพิลีนและแคลบที่มีขนาดมากกว่าหรือ 200 เมช โดยมีปริมาณแคลบ ร้อยละ 40 โดยน้ำหนักที่นำกลับมาใช้ใหม่.....	62
4.13 ร้อยละการเปลี่ยนแปลงสมบัติเชิงกลของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแคลบ ที่มีขนาดมากกว่าหรือเท่ากับ 200 เมช โดยมีปริมาณแคลบร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก ที่นำกลับมาใช้ใหม่กับการนำกลับมาใช้ใหม่.....	73



สารบัญรูปภาพ

รูปที่	หน้า
2.1 โครงสร้างของไอโซแทกติกพอลิพรอพิลีน.....	4
2.2 โครงสร้างของซินดิโอแทกติกพอลิพรอพิลีน.....	5
2.3 โครงสร้างของอะแทกติกพอลิพรอพิลีน.....	5
2.4 รูปร่างของสารตัวเติม.....	9
2.5 โครงสร้างของเซลลูโลส.....	12
2.6 โครงสร้างของเฮมิเซลลูโลส.....	12
2.7 โครงสร้างของลิกนิน.....	12
4.1 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดกำลังขยาย 15 เท่าของเกลบ ที่มีขนาด 20-35 เมช.....	32
4.2 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดกำลังขยาย 15 เท่าของเกลบ ที่มีขนาด 35-50 เมช.....	32
4.3 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดกำลังขยาย 15 เท่าของเกลบ ที่มีขนาด 50-100 เมช.....	32
4.4 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดกำลังขยาย 15 เท่าของเกลบ ที่มีขนาด 100-200 เมช.....	33
4.5 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดกำลังขยาย 15 เท่าของเกลบ ที่มีขนาดมากกว่าหรือเท่ากับ 200 เมช.....	33
4.6 TG เทอร์โมแกรมของเกลบ พอลิพรอพิลีน และวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและเกลบ ที่มีขนาด 50-100 เมช โดยมีปริมาณเกลบร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก.....	34
4.7 TG เทอร์โมแกรมของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและเกลบ ที่ปริมาณเกลบร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก โดยมีขนาดเกลบต่าง ๆ กัน.....	35
4.8 TG เทอร์โมแกรมของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและเกลบที่มีขนาด 50 100 เมช โดยมีปริมาณเกลบต่าง ๆ กัน.....	35
4.9 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดกำลังขยาย 30 เท่าของวัสดุผสม ระหว่างพอลิพรอพิลีนและเกลบที่มีขนาด 50-100 เมช ในปริมาณเกลบต่าง ๆ กัน.....	40
4.10 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดกำลังขยาย 200 เท่าของวัสดุผสม ระหว่างพอลิพรอพิลีนและเกลบที่ขนาดเกลบ 50-100 เมช โดยมีปริมาณเกลบร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก.....	41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านใด ๆ
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.11 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดกำลังขยาย 30 เท่าของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกลบที่ปริมาณแกลบร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก โดยมีขนาดแกลบต่าง ๆ กัน.....	42
4.12 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดกำลังขยาย 200 เท่าของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกลบที่มีขนาดมากกว่าหรือเท่ากับ 200 เมช โดยมีปริมาณแกลบร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก.....	43
4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับน้ำของพอลิพรอพิลีนกับเวลา.....	43
4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับน้ำของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกลบที่มีขนาดต่าง ๆ กันกับเวลา โดยมีปริมาณแกลบร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก.....	44
4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับน้ำของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกลบที่มีขนาดต่าง ๆ กันกับเวลา โดยมีปริมาณแกลบร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก.....	44
4.16 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับน้ำของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกลบที่มีขนาดต่าง ๆ กันกับเวลา โดยมีปริมาณแกลบร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก.....	45
4.17 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับน้ำของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกลบที่มีขนาดต่าง ๆ กันกับเวลา โดยมีปริมาณแกลบร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก.....	45
4.18 ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติด้านแรงดึงของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกลบที่ปริมาณแกลบ (ร้อยละโดยน้ำหนัก) ต่าง ๆ กัน.....	48
4.19 ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติด้านแรงโค้งงอของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกลบที่ปริมาณแกลบ (ร้อยละโดยน้ำหนัก) ต่าง ๆ กัน.....	51
4.20 ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงกระแทกของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกลบที่ปริมาณแกลบ (ร้อยละโดยน้ำหนัก) ต่าง ๆ กัน.....	52
4.21 ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งกดของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกลบที่ปริมาณแกลบ (ร้อยละโดยน้ำหนัก) ต่าง ๆ กัน.....	53
4.22 อินฟราเรดสเปกตรัมของพอลิพรอพิลีน แกลบ และวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกลบที่มีขนาดมากกว่าหรือเท่ากับ 200 เมช โดยมีปริมาณแกลบร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก.....	57

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.23 อินฟราเรดสเปกตรัมของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกลบที่มีขนาดมากกว่าหรือเท่ากับ 200 เมช โดยมีปริมาณแกลบร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก และที่นำกลับมาใช้ใหม่ครั้งที่ 2 และครั้งที่ 4 ตามลำดับ.....	57
4.24 TG เทอร์โมแกรมของพอลิพรอพิลีนที่นำกลับมาใช้ใหม่.....	59
4.25 TG เทอร์โมแกรมของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกลบที่มีขนาดมากกว่าหรือเท่ากับ 200 เมช โดยมีปริมาณแกลบร้อยละ 40 โดยน้ำหนักที่นำกลับมาใช้ใหม่.....	60
4.26 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดกำลังขยาย 30 เท่าของพอลิพรอพิลีน.....	63
4.27 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดกำลังขยาย 30 เท่าของพอลิพรอพิลีนที่นำกลับมาใช้ใหม่ครั้งที่ 4.....	63
4.28 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดกำลังขยาย 200 เท่าของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกลบที่มีขนาดมากกว่าหรือเท่ากับ 200 เมช โดยมีปริมาณแกลบร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก และที่นำกลับมาใช้ใหม่ครั้งที่ 1 ถึง ครั้งที่ 4.....	64
4.29 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับน้ำของพอลิพรอพิลีนที่นำกลับมาใช้ใหม่.....	65
4.30 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับน้ำของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกลบที่มีขนาดมากกว่าหรือเท่ากับ 200 เมช โดยมีปริมาณแกลบร้อยละ 40 โดยน้ำหนักที่นำกลับมาใช้ใหม่.....	66
4.31 สมบัติด้านแรงดึงของพอลิพรอพิลีนที่นำกลับมาใช้ใหม่.....	67
4.32 สมบัติด้านแรงโค้งงอของพอลิพรอพิลีนที่นำกลับมาใช้ใหม่.....	68
4.33 ความแข็งแรงกระแทกของพอลิพรอพิลีนที่นำกลับมาใช้ใหม่.....	68
4.34 ความแข็งกดของพอลิพรอพิลีนที่นำกลับมาใช้ใหม่.....	69
4.35 สมบัติด้านแรงดึงของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกลบที่มีขนาดมากกว่าหรือเท่ากับ 200 เมช โดยมีปริมาณร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก ที่นำกลับมาใช้ใหม่.....	70
4.36 สมบัติด้านแรงโค้งงอของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกลบที่มีขนาดมากกว่าหรือเท่ากับ 200 เมช โดยมีปริมาณร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก ที่นำกลับมาใช้ใหม่.....	71

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.37 ความแข็งแรงกระแทกของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและเกลบที่มีขนาดมากกว่าหรือเท่ากับ 200 เมช โดยมีปริมาณร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก ที่นำกลับมาใช้ใหม่.....	71
4.38 ความแข็งกดของของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและเกลบที่มีขนาดมากกว่าหรือเท่ากับ 200 เมช โดยมีปริมาณร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก ที่นำกลับมาใช้ใหม่.....	72



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย

ประเทศไทยเป็นแหล่งผลิตข้าวที่สำคัญทั้งในอดีตและปัจจุบัน และแกลบ (Rice husk) นับเป็นวัสดุเหลือทิ้งที่ได้จากกระบวนการสีข้าวซึ่งมีประมาณร้อยละ 20 ของปริมาณข้าวทั้งหมด เมื่อปี พ.ศ. 2543 ประเทศไทยผลิตข้าวได้ 24.2 ล้านตัน ปี พ.ศ. 2544 ประเทศไทยผลิตข้าวได้ 25.8 ล้านตัน ปี พ.ศ. 2545 ผลิตข้าวได้ 26.5 ล้านตัน และในปี พ.ศ. 2546 ผลิตข้าวได้ 26.1 ล้านตัน [1] ซึ่งเห็นได้ว่าปริมาณการผลิตข้าวในแต่ละปีมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ดังนั้น จึงทำให้มีปริมาณแกลบเหลือทิ้งเพิ่มขึ้นด้วย ในสมัยโบราณคนรู้จักนำแกลบมาใช้ประโยชน์ เช่น ผสมกับดินเหนียวทำเป็นอิฐก่อสร้าง ใช้รองรังสำหรับสัตว์ปีก ใช้เป็นเชื้อเพลิง เป็นต้น ส่วนแกลบนั้นใช้ทำเป็นผงขัดภาชนะต่าง ๆ แก้วดินเบรียว ใช้ดูดซับสิ่งสกปรก เช่น น้ำมันเครื่อง ทำฉนวนป้องกันความร้อน หรือนำมาถมที่

ต่อมาเมื่อความรู้ทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีต่าง ๆ ได้เจริญมากขึ้น นักวิทยาศาสตร์ได้ศึกษาค้นคว้าเพื่อนำแกลบมาใช้ให้เกิดประโยชน์มากขึ้นกว่าเดิม เช่น ใช้แกลบอัดเป็นแท่งเชื้อเพลิง กลั่นสลายแกลบได้ก๊าซมาใช้เป็นพลังงานขับเคลื่อนเครื่องยนต์ ผสมกับกาวอัดเป็นแผ่นแทนไม้ ผสมกับมูลสัตว์ทำก๊าซชีวภาพ ทำถ่านกัมมันต์ ฯลฯ ส่วนแกลบใช้ทำเป็นผงกรองน้ำ สารตัวเติม ผงขัดชนิดดี โซเดียมซิลิเกต และซีเมนต์ เป็นต้น จะเห็นได้ว่าสามารถนำแกลบและแกลบซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตรที่มีอยู่กระจายทั่วประเทศมาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ที่ใช้ประโยชน์ได้หลายอย่างโดยใช้เทคโนโลยีที่เหมาะสม [2] ดังนั้น จึงได้มีความคิดที่จะทำวัสดุเหลือทิ้งดังกล่าวมาทำให้มีคุณค่ามากขึ้น โดยนำแกลบมาใช้เป็นสารตัวเติม (Filler) ในพลาสติก เนื่องจากถือได้ว่าแกลบเป็นสารตัวเติมที่ได้จากธรรมชาติ (Natural fillers) ชนิดหนึ่งซึ่งมีประโยชน์หลายอย่าง เช่น หาง่าย ราคาถูก ทำให้สามารถลดต้นทุนการผลิตได้ น้ำหนักเบา ความหนาแน่นต่ำ สามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ และยังเป็นการลดกากของเสียจากเกษตรกรรมและอุตสาหกรรมอีกด้วย

ในปัจจุบันพบว่าวัสดุที่ใช้งานกันอยู่โดยทั่วไปส่วนหนึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่ทำมาจากพลาสติก ทำให้พลาสติกเป็นวัสดุที่มีความจำเป็นสำหรับการดำเนินชีวิตของมนุษย์ในยุคนี้เป็นอย่างมาก โดยมีการใช้พลาสติกในอุตสาหกรรมทุกชนิดและกิจกรรมต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับชีวิตประจำวัน ตัวอย่างการใช้งานของผลิตภัณฑ์พลาสติก ได้แก่ ทำถังและอุปกรณ์ต่าง ๆ เพื่อใช้ในอุตสาหกรรมเคมี เครื่องใช้สำหรับการเกษตรกรรม ของใช้ในครัวเรือน เฟอร์นิเจอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรจุภัณฑ์ของยา อาหารและเครื่องดื่ม ทำเครื่องประดับและเครื่องนุ่งห่ม ใช้เป็นอุปกรณ์กีฬา เป็นส่วนประกอบของรถยนต์ เครื่องบิน และยานอวกาศ เป็นส่วนประกอบของโครงสร้างอาคาร เป็นชิ้นส่วนของเครื่องใช้ไฟฟ้า ส่วนประกอบของเครื่องใช้อิเล็กทรอนิกส์ และเครื่องใช้อื่น ๆ อีกมากมาย เพราะพลาสติกมีราคาถูก และสามารถขึ้นรูปได้หลายรูปแบบ โดยเฉพาะพอลิพรอพิลีน (Polypropylene) ซึ่งเป็นพลาสติกประเภทเทอร์โมพลาสติกที่เป็นที่นิยม เนื่องจากพอลิพรอพิลีนเป็นพลาสติกที่มีน้ำหนักเบาและมีสมบัติเชิงกลที่ดีมาก เช่น เหนียว (Toughness) แข็งแรง (Strength) และมีความแข็งแรงดึง (Tensile strength) สูง นอกจากนี้ พอลิพรอพิลีนยังทนทานต่อสภาวะแวดล้อม เช่น ไม่ละลายในตัวทำละลายใด ๆ ที่อุณหภูมิห้อง และมีจุดหลอมเหลวที่สูง ทำให้มีความเหมาะสมต่อการใช้งานที่อุณหภูมิสูง ถึงแม้พอลิพรอพิลีนจัดเป็นพลาสติกที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายก็ตาม แต่ก็ยังคงมีการพัฒนาปรับปรุงสมบัติอยู่เสมอเพื่อให้ได้พลาสติกที่มีคุณภาพดียิ่งขึ้น และลดต้นทุนการผลิตลง หากนำเกลบซึ่งจัดเป็นสารตัวเติมที่ได้จากธรรมชาติ มาผสมกับพอลิพรอพิลีน นอกจากจะช่วยปรับปรุงสมบัติของพอลิพรอพิลีนแล้ว ยังเป็นการทำให้วัสดุเหลือใช้ดังกล่าวมีคุณค่ามากขึ้นและยังช่วยลดต้นทุนการผลิตอีกด้วย

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้นำเกลบมาผสมกับพอลิพรอพิลีน โดยให้เกลบทำหน้าที่เป็นสารตัวเติม แล้วทำการทดสอบสมบัติต่างๆ ได้แก่ สมบัติเชิงกล สมบัติทางกายภาพ สมบัติทางความร้อน และสัณฐานวิทยา รวมทั้งศึกษาถึงแนวโน้มของสมบัติต่าง ๆ ของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและเกลบที่นำกลับมาใช้ใหม่อีกด้วย

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 1.2.1 เพื่อเตรียมวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและเกลบ
- 1.2.2 เพื่อศึกษาผลของการใช้เกลบเป็นสารตัวเติมในพอลิพรอพิลีนที่มีต่อสมบัติเชิงกล สมบัติทางกายภาพ สมบัติทางความร้อน และสัณฐานวิทยาของวัสดุผสมที่ได้
- 1.2.3 เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการนำวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและเกลบกลับมาใช้ใหม่

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

- 1.3.1 ศึกษาถึงขนาดและปริมาณของสารตัวเติมที่มีต่อสมบัติของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและเกลบ
- 1.3.2 ศึกษาสมบัติเชิงกลและสมบัติทางกายภาพของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและเกลบ เช่น ความแข็งแรงกระแทก (Impact strength) ความแข็งกด (Hardness)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมบัติด้านแรงดึง (Tensile properties) สมบัติด้านแรงโค้งงอ (Flexural properties) และสมบัติการดูดซับน้ำ (Water absorption)

1.3.3 ศึกษาสมบัติทางความร้อนด้วยดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งคาลอริมิเตอร์ และเทอร์โมกราวิเมตริกแอนาไลเซอร์

1.3.4 ศึกษาสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

1.3.5 ศึกษาความเป็นไปได้ในการนำวัสดุผสมที่ได้กลับมาใช้ใหม่ (Recyclability)

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 เป็นแนวทางในการนำกลับซึ่งเป็นวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมาประยุกต์ให้เกิดประโยชน์กับงานพลาสติก ผลิตภัณฑ์ที่ได้สามารถนำมาใช้ทดแทนพลาสติกสำหรับงานบรรจุภัณฑ์ หรือพลาสติกอื่น ๆ ได้

1.4.2 เพื่อเพิ่มมูลค่าเชิงพาณิชย์ให้กับแกลบล

1.4.3 สามารถนำวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกลบลกลับมาใช้ใหม่ได้

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

2.1 พอลิพรอพิลีน (Polypropylene)

หน่วยซ้ำของพอลิพรอพิลีน คือ $(\text{CH}_2 - \underset{\text{CH}_3}{\text{CH}})_n$ มีหมู่เมทิล ($-\text{CH}_3$) เกาะอยู่บนโครงสร้าง

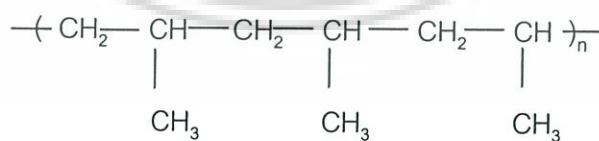
ของพอลิพรอพิลีน พอลิพรอพิลีนเป็นพอลิเมอร์ที่มีน้ำหนักเบา มีจุดหลอมเหลวปานกลาง ใช้ผลิตท่อ แผ่นพลาสติก ภาชนะเป่าขึ้นรูป และเส้นใย สามารถสังเคราะห์ได้ด้วยตัวเร่งหลายชนิด (Heterogeneous catalyst) พอลิพรอพิลีนเป็นพอลิเมอร์ที่มีความเหนียว ใส แข็งแรง และเป็นพอลิเมอร์กึ่งผลึก (Semicrystalline polymer)

2.1.1 โครงสร้างของพอลิพรอพิลีน

พอลิพรอพิลีนสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภทตามลักษณะการเกาะของหมู่เมทิล บนสายโซ่โมเลกุลหลัก ได้แก่

1. ไอโซแทกติกพอลิพรอพิลีน (Isotactic polypropylene, iPP)

ลักษณะการเกาะของหมู่เมทิลจะเกาะอยู่ทางด้านเดียวของสายโซ่โมเลกุลหลัก ดังแสดงในรูปที่ 2.1 มีน้ำหนักโมเลกุลสูง (150,000-1,500,000) โครงสร้างโมเลกุลมีความเป็นระเบียบสูงส่งผลให้ตกผลึกได้ดี ไอโซแทกติกพอลิพรอพิลีนสามารถสังเคราะห์ได้ด้วยตัวเร่งของไททาเนียมไตรคลอไรด์กับตัวเร่งร่วมของสารประกอบออร์แกโนอะลูมิเนียม เช่น ไดเอทิลอะลูมิเนียมคลอไรด์ ตัวเร่งปฏิกิริยาจะแขวนลอยอยู่ในสารไฮโดรคาร์บอน ซึ่งช่วยส่งผ่านความร้อน อุณหภูมิของปฏิกิริยาอยู่ในช่วง 50-80 องศาเซลเซียส และความดัน 25 บรรยากาศ อาจใช้ไฮโดรเจนเป็นตัวถ่ายโอนสายโซ่เพื่อควบคุมน้ำหนักโมเลกุล



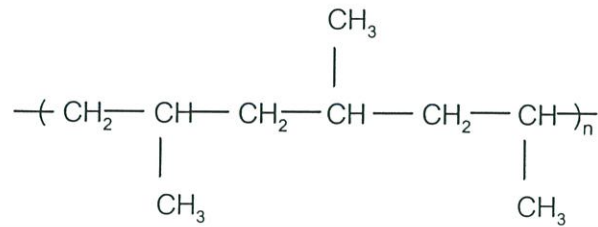
รูปที่ 2.1 โครงสร้างของไอโซแทกติกพอลิพรอพิลีน [3]

2. ซินไดโอแทกติกพอลิพรอพิลีน (Syndiotactic polypropylene, sPP)

ลักษณะการเกาะของหมู่เมทิลจะเกาะอยู่สลับกันบนสายโซ่โมเลกุลหลักอย่างเป็นระเบียบดังแสดงในรูปที่ 2.2 ทำให้โครงสร้างมีความเป็นระเบียบลดลง มีผลทำให้การตกผลึกลดลง ด้วย ซินไดโอแทกติกพอลิพรอพิลีนสังเคราะห์ได้ด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาแบบเฮเทอโรจีเนียสซีเกลอร์-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาด้านนี้ เมื่อผู้จัดทำเห็นว่าไม่เหมาะสมในการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

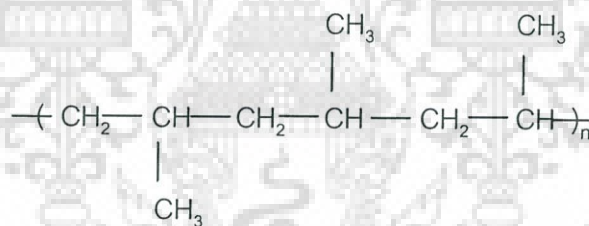
แนตตาที่อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิที่ใช้ในการสังเคราะห์ไอโซแทกติกพอลิพรอพิลีน พอลิเมอร์ชนิดนี้มีจุดหลอมเหลวต่ำและละลายได้ในตัวทำละลายหลายชนิด



รูปที่ 2.2 โครงสร้างของซินไดโอแทกติกพอลิพรอพิลีน [3]

3. อะแทกติกพอลิพรอพิลีน (Atactic polypropylene, aPP)

ลักษณะการเกาะของหมู่เมทิลจะเกาะอยู่อย่างไม่เป็นระเบียบดังแสดงในรูปที่ 2.3 ทำให้พอลิเมอร์ชนิดนี้มีการตกผลึกน้อยที่สุด พอลิเมอร์ชนิดนี้สังเคราะห์จากกรดลิวอิสและสารประกอบออร์แกโนเมทัลลิก แต่พอลิเมอร์นี้มีโซ่กิ่งมาก และมีอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะแก้ว (T_g) ต่ำกว่าอุณหภูมิห้อง คือ -20 องศาเซลเซียส จึงไม่มีประโยชน์ในเชิงพาณิชย์



รูปที่ 2.3 โครงสร้างของอะแทกติกพอลิพรอพิลีน [3]

สมบัติของทั้ง iPP sPP และ aPP แตกต่างกันเนื่องมาจากความสามารถในการยึดเกาะกันของโมเลกุลพอลิเมอร์ sPP และ aPP มีการจัดเรียงตัวกันอย่างไม่แน่นอนเมื่อเปรียบเทียบกับ iPP ซึ่งจะมีความแข็งแรงและแข็งแกร่งมากกว่า ดังนั้น จึงนิยมใช้ iPP ที่มีความเป็นผลึกสูงในทางการค้าเชิงพาณิชย์

2.1.2 สมบัติและการนำไปใช้ประโยชน์

ไอโซแทกติกพอลิพรอพิลีนมีโครงสร้างเชิงเส้นตรงโดยตลอด ปราศจากสาขาโซ่ มีความเป็นผลึกสูง มีจุดหลอมตัว 165 องศาเซลเซียส พอลิเมอร์นี้ถือได้ว่าเป็นพอลิเมอร์ที่เบาที่สุด มีความหนาแน่นเพียง 0.905 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร เนื่องจากความเป็นผลึกสูงจึงทำให้พอลิเมอร์นี้มีสมบัติเชิงกลที่ดีมาก เช่น เหนียว แข็งแกร่งและมีความแข็งแรงดึงสูง มีจุดหลอมตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สูงกว่าพอลิเอทิลีน ทำให้พอลิพรอพิลีนเหมาะสำหรับการใช้งานที่อุณหภูมิสูงกว่า วัสดุที่ทำจากพอลิพรอพิลีนยังคงรักษาความแข็งแรงและรูปทรงไว้ได้ที่อุณหภูมิสูงถึง 140 องศาเซลเซียส

สมบัติการละลายได้ของพอลิพรอพิลีนคล้ายคลึงกับพอลิเอทิลีน กล่าวคือ ไม่สามารถละลายในตัวทำละลายใด ๆ ทั้งสิ้น ณ อุณหภูมิห้อง แต่จะละลายได้ในตัวทำละลายไฮโดรคาร์บอนและคลอรีเนเตดไฮโดรคาร์บอนที่อุณหภูมิสูงกว่า 80 องศาเซลเซียส ทำนองเดียวกับกรณีของพอลิเอทิลีน พอลิเมอร์นี้ทนต่อการกัดและเบสเป็นอย่างดีและเฉื่อยต่อปฏิกิริยาเคมีทั่วไป อย่างไรก็ตาม เสถียรภาพของพอลิเมอร์นี้ที่มีต่อความร้อน แสง และตัวออกซิไดซ์ มีน้อยกว่าพอลิเอทิลีน เพราะโซ่ของพอลิพรอพิลีนมีไฮโดรเจนอะตอมเกิดพันธะกับคาร์บอนองศา 3 (3° หรือ Tertiary carbon) ดังนั้น ก่อนนำพอลิพรอพิลีนไปใช้งานต้องมีการเติมสารต่อต้านตัวออกซิไดซ์ และสารอัลตราไวโอเล็ตสแตบิไลเซอร์

สมบัติของพอลิพรอพิลีนขึ้นอยู่กับความหนาแน่น น้ำหนักโมเลกุล และการกระจายน้ำหนักโมเลกุล ซึ่งสมบัติต่าง ๆ ของพอลิพรอพิลีนแสดงได้ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 สมบัติบางประการของพอลิพรอพิลีนเชิงพาณิชย์ [4-6]

สมบัติ	พอลิพรอพิลีน
ความหนาแน่น (g/cm^3)	0.90-0.91
ความเป็นผลึก (%)	60-70
อุณหภูมิหลอมเหลว ($^\circ\text{C}$)	160-165
อุณหภูมิสถานะคล้ายแก้ว ($^\circ\text{C}$)	0-20
ดัชนีหักเห (n_D^{25})	1.49
ความแข็งแรงดึง (MPa)	29.3-38.6
มอดุลัสแรงดึง (GPa)	1.03-1.72
การดึงยืด ณ จุดขาด (%)	500-900
ความทนทานต่อแรงกระแทก (J/m)	20-300
ค่าการนำความร้อน ($\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$)	0.2
ค่าการขยายตัวทางความร้อน ($10^{-6}^\circ\text{C}^{-1}$)	110
อุณหภูมิการสลายตัว ($^\circ\text{C}$ ที่ 455 KPa)	225-250
การดูดซับน้ำ (%)	< 0.01-0.03

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.3.1 ข้อดีของพอลิพรอพิลีน

1. มีความเหนียวใส
2. มีน้ำหนักเบา ราคาถูก
3. สัมประสิทธิ์ความเสียดทานต่ำ
4. เป็นฉนวนไฟฟ้าที่ดี
5. มีความเฉื่อยต่อปฏิกิริยา
6. ทนต่อสารเคมี เช่น กรดและเบส
7. ดูดซับน้ำต่ำ
8. มีความโค้งงอดีเยี่ยม
9. มีความเป็นผลึกสูงจึงมีสมบัติเชิงกลที่ดี

2.1.3.2 ข้อด้อยของพอลิพรอพิลีน

1. สลายตัวต่อรังสีอัลตราไวโอเล็ต
2. ไม่ทนต่อสภาวะแวดล้อม
3. ติดไฟง่าย
4. ละลายในตัวทำละลายที่มีคลอไรด์หรืออะโรมาติกเป็นองค์ประกอบ
5. ยากต่อการเชื่อมต่อหรือประกอบ
6. โลหะจะเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชัน

ประมาณครึ่งหนึ่งของพอลิพรอพิลีนที่ผลิตขึ้นนำไปทำเป็นส่วนประกอบและชิ้นส่วนของรถยนต์และอุปกรณ์เครื่องใช้ภายในบ้าน ส่วนที่เหลือใช้ทำในรูปของเส้นใย (เชือก) และฟิล์ม

2.2 สารเติมแต่งในพลาสติก (Additives) [7-8]

พอลิเมอร์มีอยู่หลายชนิดจึงมีการนำไปใช้งานที่แตกต่างกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสมบัติและความต้องการของงานประเภทนั้น ๆ แต่มีอยู่หลายกรณีที่พอลิเมอร์เพียงลำพังไม่สามารถให้สมบัติที่ต้องการได้ จึงมีการนำพอลิเมอร์มาผสมกับวัสดุอื่นตั้งแต่หนึ่งชนิดขึ้นไปเพื่อช่วยปรับปรุงสมบัติของพอลิเมอร์ให้ได้ตามความต้องการของการนำไปประยุกต์ใช้งาน วัสดุที่นำมาผสมรวมกับพอลิเมอร์นี้เรียกว่า สารเติมแต่ง (Additives) โดยปรับปรุงสมบัติของพอลิเมอร์ด้านใดด้านหนึ่งดังต่อไปนี้

1. ปรับปรุงลักษณะเฉพาะของกระบวนการ เช่น ลดความเสียดทานที่เกิดขึ้นโดยการใช้สารหล่อลื่น หรือ

2. ปรับปรุงสมบัติของผลิตภัณฑ์สุดท้ายโดยการรวมเป็นส่วนหนึ่ง เช่น การใช้สารให้สี เป็นต้น

ในบางครั้งสารเติมแต่งอาจนำมาใช้เพื่อลดค่าใช้จ่ายของวัสดุลง แม้ว่าโดยปกติสารเติมแต่งมักมีราคาแพงกว่าพอลิเมอร์ก็ตาม แต่ก็ยังเป็นที่ยอมรับเนื่องจากสารเติมแต่งช่วยลดจุดบกพร่องที่สำคัญของพอลิเมอร์ โดยเฉพาะวัสดุในทางวิศวกรรมจะมีความแข็งแรงดึง ความแข็งแรง และจุดอ่อนตัวต่ำ สามารถใช้สารเติมแต่งช่วยทำให้วัสดุนี้นำไปประยุกต์ใช้งานได้มากขึ้น โดยสารเติมแต่งที่ใช้ในพลาสติกมีมากมายหลายชนิดทั้งนี้แบ่งได้ตามหน้าที่ของการนำไปใช้งาน ดังนี้

1. สารต่อต้านตัวออกซิไดซ์ (Anti-oxidant or Anti-aging)
2. พลาสติกไซเซอร์ (Plasticizers)
3. สารหล่อลื่น (Lubricants)
4. สี (Colorants)
5. สารช่วยให้เกิดการบ่มตัวหรือการเชื่อมโยง (Curing agents or Crosslinking agents)
6. สารหน่วงการติดไฟ (Flame retardants)
7. สารช่วยให้เกิดโฟมหรือสารช่วยให้พองตัว (Foaming or Blowing agents)
8. สารตัวเติมและสารเสริมแรง (Filler and Reinforcement)

ผลิตภัณฑ์พลาสติกสำเร็จรูปที่นำมาใช้งานมีสารเติมแต่งรวมอยู่ด้วยทั้งสิ้น ตัวอย่างที่รู้จักกันดี คือ การนำน้ำยางพารามาแปรรูปเป็นยางดิบ แล้วเลือกเติมสารเติมแต่งต่างชนิดกัน ลงในยางเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ต่างชนิดกัน เช่น ยางรถยนต์ ก่อแบบเตอะรี โฟมจากน้ำยาง ยางรัดของ และยางลบ ทำนองเดียวกันในอุตสาหกรรมพลาสติกโดยเฉพาะอย่างยิ่งพอลิไวนิล คลอไรด์ สารตัวเติมช่วยให้สามารถนำพลาสติกชนิดนี้มาใช้งานได้ตั้งแต่ ทำท่อน้ำประปา ทำสายพานส่งของ ทำลูกฟุตบอล กระเป๋า ปลอกหุ้มสายไฟฟ้า และอื่น ๆ เป็นต้น ซึ่งหน้าที่ของสารเติมแต่งสรุปได้ ดังนี้

1. มีประสิทธิภาพตามวัตถุประสงค์ที่ต้องการ
2. มีความเสถียรต่อกระบวนการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์พลาสติก
3. มีความเสถียรต่อสภาพเงื่อนไขที่นำไปใช้งาน
4. ต้องไม่หลุดลอก (Bleed or Bloom) จากพลาสติกไปสู่วัสดุอื่น ๆ
5. ต้องไม่เป็นพิษ ไม่มีรสชาด ไม่มีกลิ่น
6. ราคาถูก
7. ต้องไม่ทำให้สมบัติของพอลิเมอร์เสียไป

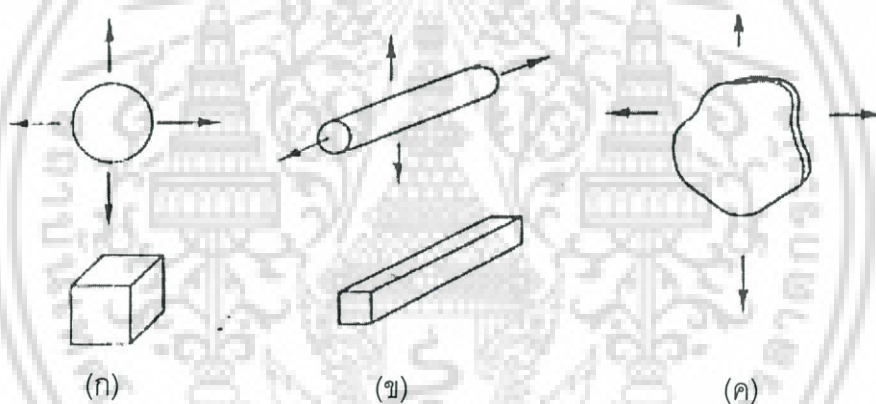
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งในงานวิจัยเรื่องนี้จะพิจารณาสารเติมแต่งในพลาสติกประเภทสารตัวเติม

2.2.1 สารตัวเติม (Fillers) [8]

เมื่อวัสดุประเภทของแข็งจำนวนมากกระจายตัวได้ดีในเมทริกซ์ของพอลิเมอร์ เรียกว่าวัสดุเหล่านั้นว่าเป็นสารตัวเติม (Fillers) วัสดุประเภทนี้จัดเป็นสารเติมแต่งที่นิยมใช้สำหรับพลาสติกทุกชนิด แต่ปริมาณที่ใช้แตกต่างกันออกไปขึ้นอยู่กับชนิดของพลาสติกนั้น ๆ

สารตัวเติมเป็นได้ทั้งสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ ทำหน้าที่ช่วยเพิ่มความหนืดและลดต้นทุน ลดการหดตัวในแม่พิมพ์และปรับปรุงสมบัติอีกหลายด้าน ขนาดและรูปร่างของสารตัวเติมมีอิทธิพลต่อพลาสติกคอมโพสิตอย่างมาก สารตัวเติมที่เป็นแผ่นและแท่งมีค่าอัตราส่วนของความยาวต่อเส้นผ่านศูนย์กลาง (Aspect ratio, l/d) ต่ำ จึงขัดขวางการจัดเรียงตัวของโซ่พอลิเมอร์ สารตัวเติมที่มีค่า aspect ratio สูง ทำให้ความแข็งแรงสูงขึ้นและมีสมบัติเป็นแอนไอโซโทรปิก สารตัวเติมทรงกลมไม่มีค่า aspect ratio ทำให้คอมโพสิตมีสมบัติเป็นไอโซโทรปิก



รูปที่ 2.4 รูปร่างของสารตัวเติม (ก) อนุภาค (ข) เส้นใยสั้น และ (ค) แผ่น [7]

สมบัติที่เป็นแอนไอโซโทรปิก คือ วัสดุแสดงสมบัติต่างกันเมื่อได้รับแรงกระทำในแนวแกนที่ต่างกัน

สมบัติที่เป็นไอโซโทรปิก คือ วัสดุแสดงสมบัติเหมือนกันเมื่อได้รับแรงกระทำในแนวแกนที่ต่างกัน สมบัติเหมือนกันในทุกทิศทุกทาง

ปริมาณสารตัวเติมในพอลิเมอร์มักไม่เกิน 40 เปอร์เซ็นต์ สารตัวเติมที่นิยมมาก คือ เศษไม้บดละเอียด นิยมเติมลงในพีนอลิกเรซิน ลดการเปราะและลดต้นทุน สารตัวเติมพวกโลหะเหล็ก ทองเหลือง อะลูมิเนียมใช้เติมลงในเรซินเพื่อปรับปรุงสมบัติการนำไฟฟ้าให้ดีขึ้น แก้วทรงกลมกลวงที่มีขนาดเล็ก (Microballoon) นิยมเติมลงในพอลิเมอร์เพื่อผลิตคอมโพสิตที่มีน้ำหนักเบา

สารตัวเติมในอุตสาหกรรมพลาสติกจัดเป็นประเภทต่าง ๆ ได้หลายเกรด แต่ละเกรดมีความแตกต่างกันในเรื่องต่อไปนี้

ก. ขนาดและการกระจายอนุภาค อนุภาคที่มีขนาดเล็ก ทำให้มีสมบัติทนแรงดึงมอดุลัส และความแข็งแกร่งสูง อนุภาคที่มีขนาดใหญ่ ทำให้สารประกอบมีความแข็งแรงน้อยกว่าก่อนการผสมสารตัวเติม

ข. รูปร่างของอนุภาคและความพรุน ตัวอย่างเช่น ดินเหนียวมีลักษณะเป็นแผ่นทำให้ผลิตภัณฑ์เป็นแอนไอโซโทรปิก ส่วนอนุภาคที่มีผิวเรียบทำให้ยึดติดกับพอลิเมอร์ได้ยาก ในขณะที่อนุภาคที่มีรูพรุนดูดซับสารตัวเติมชนิดอื่นที่ผสมอยู่ในพอลิเมอร์ ทำให้มีประสิทธิภาพของสารตัวเติมเหล่านั้นลดลง

ค. ธรรมชาติทางเคมีของพื้นผิวของสารตัวเติมเป็นสิ่งสำคัญมาก สารตัวเติมชนิดแร่ (Mineral filler) มักมีหมู่มีขั้วเช่น -OH ทำให้เกิดแรงดึงดูดกับน้ำได้ดี แต่ร่วมกับพอลิเมอร์ยาก จึงต้องนำมาปรับผิวเสียก่อน ตัวอย่างเช่น แคลเซียมคาร์บอเนตเคลือบผิวด้วยกรดสเตียริก หมู่ -COOH ทำปฏิกิริยากับสารตัวเติม ส่วนด้านที่เป็นอะลิฟาติกของกรดสเตียริกสามารถเข้ากันกับพอลิเมอร์ได้

ง. สิ่งปนเปื้อน เช่น ซัลเฟอร์ และไอออนโลหะ เช่น Cu^+ , Mg^{2+} และ Fe^{3+} อาจก่อให้เกิดออกซิเดชัน นอกจากนี้ Pb สามารถทำปฏิกิริยากับสารเติมแต่งที่มีซัลเฟอร์เป็นองค์ประกอบพลาสติกเกิดสีซีดจางลง

นอกจากนี้ การแบ่งประเภทของสารตัวเติมอาจแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ สารตัวเติมเฉื่อย (Inert fillers) และสารตัวเติมเสริมแรง (Reinforcing fillers) ตัวอย่างของสารกลุ่มแรก ได้แก่ แคลเซียมคาร์บอเนต ดินเหนียว แทลคัม และแบเรียมซัลเฟต สารพวกนี้ช่วยเพิ่มมอดุลัส ความแข็งแกร่งและทำให้พอลิเมอร์มีสีขาว ปรับปรุงความเป็นฉนวนไฟฟ้า ลดต้นทุน และช่วยให้กระบวนการผลิตทำได้ง่าย รวมทั้งลักษณะความนำใช้ของผลิตภัณฑ์ สำหรับสารตัวเติมเสริมแรงทำหน้าที่ช่วยเพิ่มความแข็งแรง ความทนทานต่อแรงกระแทกและความแข็งแรงดึง ลักษณะของสารตัวเติมเสริมแรงแบ่งเป็น 3 ประเภทได้แก่ เส้นใย (Fibrous) ผงละเอียด (Particulate) และเป็นแผ่น (Lamina) ซึ่งลักษณะของสารตัวเติมแบบต่าง ๆ แสดงได้ดังรูปที่ 2.4

สำหรับสารตัวเติมที่ใช้ในงานวิจัยนี้คือ แกลบ ซึ่งจัดเป็นสารตัวเติมเฉื่อยชนิดหนึ่ง

2.3 แกลบ (Rice husks) [9]

แกลบ คือ เปลือกข้าวที่ได้จากกระบวนการสีข้าวเปลือกให้เป็นข้าวสาร (*Rice, Oryza sativa*) สำหรับการบริโภคของมนุษย์ ซึ่งเป็นวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรที่สำคัญชนิดหนึ่ง ในการสีข้าวจะได้ปริมาณของแกลบเป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณข้าวเปลือก โดยในข้าวเปลือกแกลบนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีแกลบประมาณร้อยละ 25.92-26.28 โดยน้ำหนัก [10] ซึ่งแกลบส่วนใหญ่ถูกนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงโดยโรงสีข้าวและโรงงานอุตสาหกรรมบางประเภท แต่ต่อมาได้มีการหันมาใช้กระแสไฟฟ้าแทน ทำให้มีแกลบเหลือใช้เป็นปริมาณมากที่ถูกทิ้งไว้โดยไม่ได้นำมาใช้ประโยชน์และมีปัญหาในการกำจัด ทั้งนี้เพราะโดยธรรมชาติของแกลบแล้วเป็นสารที่มีองค์ประกอบของเถ้าสูง เมื่อเผาแล้วต้องการเนื้อที่มากในการกำจัดและการจัดเก็บ นอกจากนี้เถ้าแกลบยังถูกย่อยสลายด้วยจุลินทรีย์ตามธรรมชาติได้ยาก ซึ่งจะเป็นการสูญเสียที่ดินอันมีค่าไปอย่างเปล่าประโยชน์

2.3.1 องค์ประกอบของแกลบ

แกลบมีลักษณะเหนียว แข็งคล้ายไม้ มีคุณค่าทางโภชนาการต่ำ และมีปริมาณเถ้าสูง โดยทั่วไปแกลบจะมีขนาด 5-10 มิลลิเมตร กว้างประมาณ 1-2 มิลลิเมตร หนาประมาณ 0.5 มิลลิเมตร

แกลบมีองค์ประกอบทางเคมี ดังนี้

1. คาร์โบไฮเดรต ส่วนใหญ่จะเป็นเซลลูโลส (Cellulose) และมีเฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose) เฮมิเซลลูโลส คือ กลูโคไซแลน (Glucosylan) ที่สามารถสลายตัวด้วยน้ำ (Hydrolysis) ไปเป็นไซโลส (Xylose) ได้ ส่วนแบ่งนั้นมีอยู่ในแกลบเพียงเล็กน้อย ซึ่งแสดงได้ดังตารางที่ 2.2 โครงสร้างของเซลลูโลสและมีเฮมิเซลลูโลสแสดงได้ดังรูปที่ 2.5 และ 2.6 ตามลำดับ
2. โปรตีน ในแกลบมีโปรตีนอยู่ประมาณ 1.8-1.9 เปอร์เซ็นต์
3. ไขมัน ปริมาณที่พบอยู่ในแกลบมีอยู่ตั้งแต่ 0.28-0.31 เปอร์เซ็นต์ โดยปกติแล้ว ส่วนของแกลบมีไขมันเป็นองค์ประกอบอยู่ไม่เกิน 1.0 เปอร์เซ็นต์ ไขมันส่วนเกินมานั้นพบว่ามีมาจากรำข้าวที่ติดอยู่หลังจากผ่านกระบวนการสีข้าว แต่ในแกลบมีปริมาณกรดอิสระมากกว่าในรำข้าวถึง 4 เท่า
4. ลิกนิน และควินิน ส่วนใหญ่จะพบลิกนินรวมอยู่กับเฮมิเซลลูโลส พบมากในบริเวณผนังเซลล์ คือ ประมาณ 70 เปอร์เซ็นต์ของทั้งหมด ซึ่งโครงสร้างของลิกนินแสดงได้ดังรูปที่ 2.7 ควินินเป็นสารพอลิเมอรัชนิดหนึ่งที่มีชื่อเรียกว่า กรดไฮดรอกซีมอนอคาร์บอกไซลิก (Hydroxymonocarboxylic acid) มีสมบัติเป็นสารที่มีความลื่น และสามารถกั้นน้ำได้ จะปกคลุมอยู่บริเวณผิวภายนอกของแกลบ พบอยู่ในแกลบประมาณ 22 เปอร์เซ็นต์
5. วิตามิน และกรดอินทรีย์ วิตามินที่พบในแกลบ ได้แก่ ไธอามิน (Thiamin) ไรโบฟลาวิน (Riboflavin) และไนอาซิน (Niacine) กรดอินทรีย์ที่พบมาก ได้แก่ กรดออกซาลิก และกรดซิทริก ส่วนกรดอินทรีย์ชนิดอื่น ๆ ได้แก่ กรดแอสซิติก กรดฟูมาลิก กรดมาลิก และกรดของสารประกอบวงแหวน

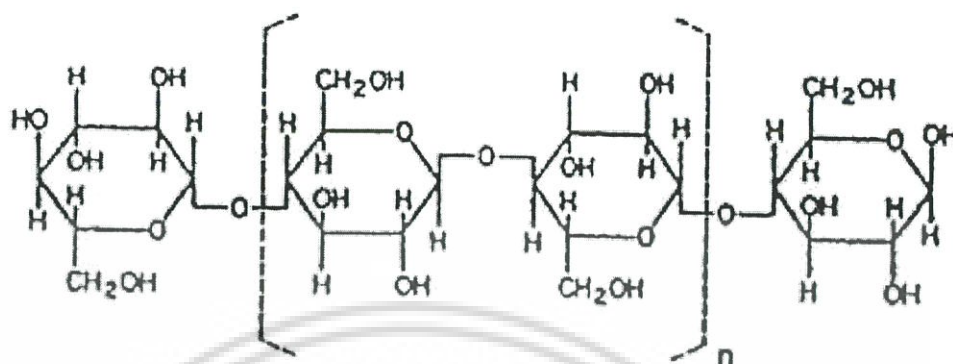
6. สารประกอบอนินทรีย์ ในเถ้าแกลบที่ได้จากการเผาแกลบมีสารอนินทรีย์อยู่ ซึ่งมี

ปริมาณ 16.4-18.3 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ในเถ้าแกลบจะมีซิลิกาเป็นองค์ประกอบหลัก

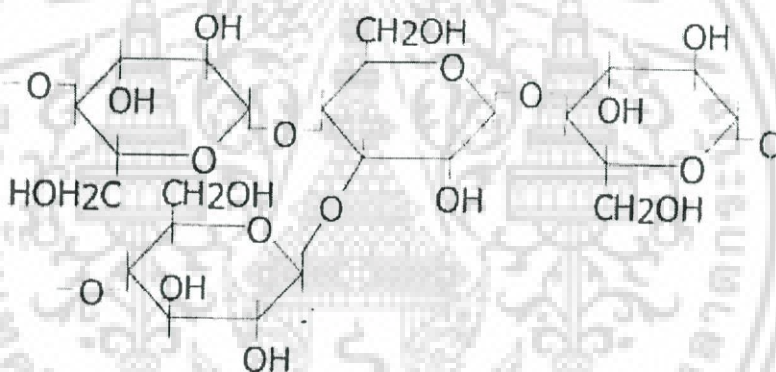
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตเห็นไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

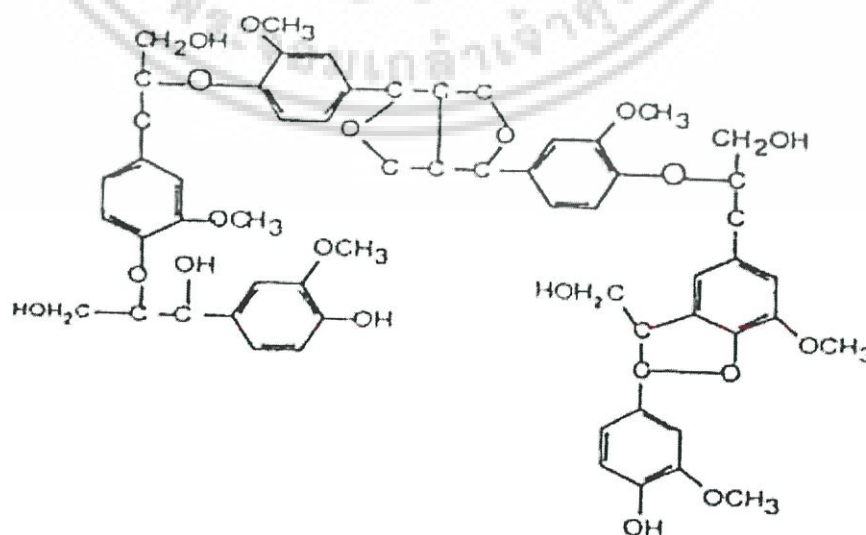
คือ มีประมาณ 94-96 เปอร์เซนต์ ที่เหลือจะเป็นสารประกอบออกไซด์ของโลหะอีกหลายชนิด
 ดังแสดงในตารางที่ 2.3



รูปที่ 2.5 โครงสร้างของเซลลูโลส [11]



รูปที่ 2.6 โครงสร้างของเฮมิเซลลูโลส [11]



รูปที่ 2.7 โครงสร้างของลิกนิน [12]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 องค์ประกอบของแกลบ [13]

สมบัติ	ร้อยละ
ความชื้น	8.1-11.5
เถ้า	16.4-18.3
สารระเหย	61.1-64.4
กำมะถัน	0.1-0.2
เซลลูโลส	42.1-46.6
ลิกนิน	22.1-22.8
เพนโทแซน	13.9-18.3
แป้ง	7.6-7.9
เส้นใย	39.1-41.1
โปรตีน	1.8-1.9
ไขมัน	0.28-0.31

ตารางที่ 2.3 องค์ประกอบของสารอนินทรีย์ในเถ้าแกลบ [9]

องค์ประกอบ	ร้อยละ
SiO ₂	86.9-97.3
K ₂ O	0.58-2.5
Na ₂ O	0-1.75
MgO	0.2-1.5
Fe ₂ O ₃	0.12-1.96
P ₂ O ₅	0-0.54
SO ₃	0.2-2.85
CaO	0.1-1.13
Cl	0-0.42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2 ประโยชน์ของแกลบ

ประโยชน์ของแกลบส่วนใหญ่จะนำมาใช้ประโยชน์โดยตรง เช่น

1. ใช้เป็นเชื้อเพลิง แกลบจะให้พลังงานความร้อนประมาณ 3,800 กิโลคาลอรีต่อกิโลกรัม ซึ่งใกล้เคียงกับถ่านไม้ (4,500-5,000 กิโลคาลอรีต่อกิโลกรัม) จึงใช้แกลบแทนถ่านไม้ได้
2. ใช้ผสมกับดินเหนียวทำอิฐ จะทำให้อิฐที่ได้แข็งแรงและสามารถตัดเจาะรูหรือตอกตะปูได้
3. ใช้ผสมกับดิน ทำให้ดินร่วนซุย ไม่แน่นทึบ และช่วยให้ดินอุ้มน้ำดีขึ้น
4. ใช้ในฟาร์มเลี้ยงสัตว์ เช่น ไก่หรือสุกร โดยใช้แกลบรองพื้น ทำให้พื้นไม่แฉะ และไม่มีกลิ่นเหม็น
5. ใช้เป็นส่วนผสมของอาหารสัตว์ เช่น เป็ด ไก่ วัว ควาย เพื่อลดต้นทุน
6. เป็นแหล่งธาตุอาหารของพืช โดยใช้ผสมกับปุ๋ยแอมโมเนียมฟอสเฟต ช่วยให้ผลผลิตข้าวเพิ่มขึ้นจากการใช้ปุ๋ยอย่างเดียวย่อละ 5-24
7. ใช้เป็นฉนวนความร้อน เช่น คลุมน้ำแข็งไม่ให้ละลายง่าย แกลบที่ใช้งานแล้วสามารถนำไปใช้คลุมโคนต้นไม้ เพื่อช่วยให้ความชุ่มชื้น และช่วยป้องกันการสูญเสียน้ำจากดินได้
8. ใช้เป็นสารตัวเติมและสารเติมแต่ง
9. ใช้ทำกระดาษ แต่ไม่เป็นที่นิยม เนื่องจากเส้นใยมีขนาดสั้นเกินไปทำให้ได้กระดาษที่มีคุณภาพไม่ดี
10. ใช้เป็นตัวพาและสารดูดซับ แกลบที่มีความละเอียดแตกต่างกันสามารถนำมาใช้เป็นตัวพาและสารดูดซับสำหรับวิตามิน ยาฆ่าแมลง ยาปฏิชีวนะ และแร่ธาตุได้
11. เป็นแหล่งของซิลิกา ในแกลบมีซิลิกาเป็นองค์ประกอบประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นซิลิกาที่มีสารปนเปื้อนต่ำ และสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ดี

2.4 การนำพลาสติกกลับมาใช้ใหม่ (Recycle of plastics) [14]

ขยะจัดเป็นปัญหาที่สำคัญในปัจจุบัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งขยะที่มาจากพลาสติกนับวันยังมีจำนวนเพิ่มขึ้น ดังนั้นจึงเกิดแนวทางในการนำพลาสติกกลับมาใช้ใหม่ แต่ปัญหาที่สำคัญก็คือเทคนิคในการผลิต ไม่ว่าจะเป็นการอัดรีด การฉีด หรือการเป่า ต้องการลักษณะเฉพาะของพอลิเมอร์หลอมเหลวต่างกัน พลาสติกที่มีดัชนีการหลอมไหลสูงเหมาะกับการอัดแบบชนิดฉีด ในขณะที่พลาสติกที่มีดัชนีการหลอมไหลต่ำเหมาะกับการอัดแบบชนิดเป่า นอกจากนี้ แรงยึดเกาะระหว่างภูมิภาคของพอลิเมอร์ที่ไม่เข้ากันมีผลทำให้สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ไม่ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มิลโกรม (J.Milgrom) [15] และลีดเนอร์ (J.Leidner) [16] ได้ให้คำนิยามของเสียพลาสติก (Waste plastics) ว่าเป็นส่วนของพลาสติกที่อยู่ในพวงขยะ ซึ่งอาจมีการนำกลับมาใช้ใหม่หรือเผาทิ้ง เศษพลาสติก (Scrap plastics) คือ ส่วนของพลาสติกที่เกิดขึ้นมาจากกระบวนการผลิต โดยมีการนำกลับมาใช้ใหม่เป็นผลิตภัณฑ์ในทางการค้าด้วยเทคนิคทางกระบวนการมาตรฐาน พลาสติกรบกวน (Nuisance plastics) เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้ที่เกิดจากกระบวนการทำพลาสติกที่ไม่สามารถจะนำกลับมาใช้ใหม่ภายใต้เทคนิคและสถานะทางเศรษฐกิจที่มีอยู่ได้ นอกจากนี้ มิลโกรมยังได้คำนิยามของการนำพลาสติกกลับมาใช้ใหม่ โดยแบ่งออกเป็น 4 ชนิด คือ

1. การนำกลับมาใช้ใหม่ขั้นปฐมภูมิ (Primary recycling) คือ การเปลี่ยนเศษพลาสติกให้เป็นผลิตภัณฑ์กลับมาใช้ใหม่โดยวิธีทางกระบวนการมาตรฐาน ซึ่งมีลักษณะและสมบัติใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์เดิมเมื่อเทียบกับพลาสติกบริสุทธิ์ (Virgin plastics)

2. การนำกลับมาใช้ใหม่ขั้นทุติยภูมิ (Secondary recycling) คือ การเปลี่ยนเศษหรือของเสียพลาสติกให้เป็นผลิตภัณฑ์กลับมาใช้ใหม่โดยกระบวนการผลิตวิธีหนึ่งหรือใช้กระบวนการผสมเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์แต่ละลักษณะ และสมบัติที่ได้ต่ำกว่าพลาสติกบริสุทธิ์

3. การนำกลับมาใช้ใหม่ขั้นตติยภูมิ (Tertiary recycling) คือ เทคโนโลยีทางกระบวนการผลิตสารเคมีและเชื้อเพลิงจากเศษหรือของเสียพลาสติก

4. การนำกลับมาใช้ใหม่ขั้นจตุรภูมิ (Quaternary recycling) คือ เทคโนโลยีทางกระบวนการนำพลังงานจากเศษหรือของเสียพลาสติกกลับมาใช้ใหม่โดยอาศัยวิธีการเผาเป็นเถ้า (Incineration)

พอลิเมอร์ประเภทเทอร์โมพลาสติกโดยมากสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ แต่พอลิเมอร์ประเภทเทอร์โมเซตสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ในรูปของสารตัวเดิมในวัสดุอื่น ๆ เท่านั้น ทั้งนี้หลักสำคัญในการนำกลับมาใช้ใหม่เพื่อให้เกิดประสิทธิผลประกอบด้วย ขั้นตอนการเก็บวัสดุที่ใช้แล้ว การแยกสิ่งเจือปนออกได้ง่าย และทำให้เกิดตลาด เพื่อให้วัสดุผ่านกระบวนการสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ ทั้งนี้พลาสติกที่นำกลับมาใช้ใหม่จะมีรหัสบอกไว้โดยทำเป็นรูปสามเหลี่ยมที่มีลูกศรอยู่สามด้าน (Three-sided triangular arrow) เพื่อแยกรหัสที่แตกต่างออกจากกัน จึงมีตัวเลขอยู่ตรงกลาง และมีตัวอักษรอยู่ภายใต้เพื่อแสดงเรซินที่ใช้ทำภาชนะนั้น ดังแสดงในตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 สัญลักษณ์ตามรหัสพลาสติก [17]

รหัส	เรซิน	การนำไปใช้
1	PETE (Polyethylene terephthalate)	ภาชนะสำหรับใส่เครื่องดื่ม ภาชนะสำหรับใส่อาหารร้อน เป็นต้น
2	HDPE (High density polyethylene)	ขวดใส่นม ขวดใส่น้ำยาซักผ้า ของเด็กเล่น และถุงพลาสติก เป็นต้น
3	V (Vinyls)	ภาชนะห่ออาหาร และขวดใส่น้ำมันพืช เป็นต้น
4	LDPE (Low density polyethylene)	ภาชนะห่อที่หัดตัวได้ ถุงพลาสติก และถุงใส่เสื้อผ้า เป็นต้น
5	PP (Polypropylene)	ภาชนะสำหรับใส่เนยเทียมและโยเกิร์ต ถุงใส่ของซัก เสื้อที่ทำด้วยเส้นใย และภาชนะ ห่ออาหาร เป็นต้น
6	PS (Polystyrene)	เครื่องใช้พลาสติก ไม้แขวนเสื้อ จานโฟม และถ้วย เป็นต้น
7	Others	พอลิเมอร์ผสม และพอลิเมอร์อื่น ๆ เช่น PVC, ABS, PPO/PPE เป็นต้น

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

S.N.Maiti และ K.Singh [18] ได้ศึกษาผลของผงไม้ (Wood flour) จาก Deodar wood ที่มีต่อสมบัติเชิงกลของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE) โดยใช้ผงไม้ 2 ขนาด คือ ขนาดน้อยกว่า 180 ไมครอน และขนาด 355 ถึง 425 ไมครอน ในปริมาณ 0-14 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ทำการผสมด้วยเครื่องอัดรีดและขึ้นรูปโดยการฉีด จากการศึกษาพบว่าเมื่อปริมาณของผงไม้เพิ่มขึ้น มอดุลัส (Modulus) แรงสูงสุด ณ จุดคราก (Yield stress) ร้อยละการดึงยืด ณ จุดคราก (% Elongation at yield) และความแข็งแรงกระแทก (Impact strength) ลดลง แต่ความแข็งกด (Hardness) เพิ่มขึ้นเล็กน้อย และยังพบอีกว่าการใช้ผงไม้ที่มีขนาดละเอียดกว่า (ขนาดน้อยกว่า 180 ไมครอน) ให้สมบัติเชิงกลที่ดีกว่าการใช้ผงไม้ที่มีขนาดหยาบกว่า (ขนาด 355 ถึง 425 ไมครอน)

K.L.Yam และคณะ [19] ได้ศึกษาสมบัติเชิงกลของคอมโพสิตระหว่าง HDPE จากขูดนมและเส้นใยไม้สน (Aspen fibers) โดยศึกษาเส้นใยไม้สนที่ไม่ได้ปรับปรุงพื้นผิว และที่ปรับปรุงพื้นผิวด้วยความร้อนและอะซิเตท (Acetylate) จากการศึกษาด้วยเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนคู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์และเผยแพร่โดยมูลนิธิส่งเสริมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีในพระบรมราชูปถัมภ์
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Twin-screw extruder) พบว่าสามารถผสมกันได้ถึงร้อยละ 60 โดยน้ำหนักของเส้นใยไม้สน จากการศึกษาสสมบัติเชิงกลพบว่า เมื่อปริมาณ เส้นใยไม้สนเพิ่มขึ้น ความแข็งแรงดึง และร้อยละ การดึงยืด ณ จุดขาดลดลง แต่โมดูลัสเพิ่มขึ้น และพบว่าเส้นใยไม้สนที่ไม่ได้ผ่านการปรับปรุง พื้นผิวด้วยความร้อนและอะเซทิลเลท ให้ความแข็งแรงดึงที่ดีกว่าเส้นใยไม้สนที่มีการปรับปรุงพื้นผิว ด้วยความร้อนและอะเซทิลเลท นอกจากนี้พบว่าความสามารถในการยึดเกาะกันของพื้นผิวเส้นใย กับ HDPE ไม่ขึ้นอยู่กับการปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใย

R.G.Rag และคณะ [20] ได้ศึกษามวลของ Aging ที่มีต่อสมบัติเชิงกลของคอมโพสิต ระหว่างพอลิเอทิลีนเส้นตรงชนิดความหนาแน่นต่ำ (LLDPE) กับเส้นใยแก้ว (Glass fiber) ไมก้า (Mica) และเส้นใยไม้สน ปริมาณเส้นใยที่ใช้ 0-40 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และในกรณีของเส้นใย ไม้สนมีการใช้สารเคลือบ คือ พอลิเมทิลีนพรอพิลีนไอโซไซยาเนต (Polymethylenepropylene isocyanate) 3 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณพอลิเมอร์ ซึ่งทำการศึกษากายใต้ 2 ภาวะ คือ (1) โดยการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียสในตู้อบเป็นเวลา 7 วัน และ (2) การต้ม ในน้ำเดือดเป็นเวลา 4 ชั่วโมง จากการศึกษาพบว่าคอมโพสิตที่ใช้เส้นใยแก้วให้ความแข็งแรงดึง ร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาด และพลังงานที่ทำให้เกิดการแตกหัก (Fracture energy) สูงที่สุด และการใช้ไมก้าให้สมบัติเชิงกลที่ดีกว่าการใช้เส้นใยไม้สน และพบอีกว่าการอบคอมโพสิต ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส ในตู้อบเป็นเวลา 7 วัน ทำให้คอมโพสิตที่ใช้เส้นใยแก้ว และเส้นใย ไม้สนมีความแข็งแรงดึง และโมดูลัสเพิ่มขึ้น และการต้มคอมโพสิตในน้ำเดือดเป็นเวลา 4 ชั่วโมง ทำให้สมบัติด้านแรงดึงของคอมโพสิตที่ใช้เส้นใยไม้สน และไมก้าลดลงอย่างมาก

K.Joseph และคณะ [21] ได้ศึกษาสมบัติทางแรงดึงของคอมโพสิตระหว่างเส้นใย ป่านศรนารายณ์ (Sisal fiber) และพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE) ปริมาณเส้นใยป่าน ศรนารายณ์ที่ใช้ 0-30 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก จากการศึกษาพบว่าปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อสมบัติ ด้านแรงดึง คือ กระบวนการผสมเส้นใยกับพอลิเมอร์ ความยาวของเส้นใย ปริมาณเส้นใย และลักษณะการจัดเรียงตัวของเส้นใยในพอลิเมอร์ โดยที่การผสมพอลิเมอร์กับเส้นใยในวิธีการ ผสมแบบสารละลาย (Solution mixing) ทำให้เกิดความเสียหายของเส้นใยน้อยกว่าการผสม แบบหลอมเหลว (Melt mixing) และพบว่าเมื่อปริมาณเส้นใยเพิ่มขึ้น ความแข็งแรงดึง และโมดูลัส เพิ่มขึ้น แต่ร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาดลดลง นอกจากนี้ยังพบว่าคอมโพสิตที่มีการจัดเรียงของ เส้นใยตามแนวแรงให้ความแข็งแรงดึงดีกว่าคอมโพสิตที่มีการจัดเรียงของเส้นใยในทิศทางตั้งฉาก กับแนวแรง และเส้นใยที่มีความยาว 6 มิลลิเมตร ให้สมบัติด้านแรงดึงที่ดีที่สุด

J.George และคณะ [22] ได้ศึกษาสมบัติของคอมโพสิตระหว่างเส้นใยสับปะรด (Pineapple-leaf-fiber, PALF) และ LDPE ปริมาณเส้นใยสับปะรดที่ใช้ 0-30 เปอร์เซ็นต์ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยน้ำหนัก ซึ่งศึกษาถึงกระบวนการผสมเส้นใยกับพอลิเมอร์ ความยาวของเส้นใย ปริมาณเส้นใย และลักษณะการจัดเรียงตัวของเส้นใยในพอลิเมอร์ที่มีต่อสมบัติของคอมโพสิต จากการศึกษากระบวนการผสมเส้นใยกับพอลิเมอร์พบว่า การผสมพอลิเมอร์กับเส้นใยในวิธีการผสมแบบสารละลายทำให้เกิดความเสียหายของเส้นใยน้อยกว่าการผสมแบบหลอมเหลว นอกจากนี้ยังทำให้การกระจายตัวของเส้นใยในพอลิเมอร์และสมบัติทางเชิงกลที่ดีกว่า จากการศึกษาสมบัติเชิงกลพบว่า เมื่อปริมาณเส้นใยเพิ่มขึ้น ความแข็งแรงดึง ความแข็งแรงฉีกขาด (Tear strength) ความแข็งกด และมอดุลัสเพิ่มขึ้น แต่ร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาดลดลง และพบว่าคอมโพสิตที่มีการจัดเรียงของเส้นใยตามแนวแรงให้ความแข็งแรงดึงดีกว่าคอมโพสิตที่มีการจัดเรียงของเส้นใยในทิศทางตั้งฉากกับแนวแรง และเส้นใยที่มีความยาว 6 มิลลิเมตร ให้สมบัติด้านแรงดึงที่ดีที่สุด นอกจากนี้พบว่าเมื่อนำคอมโพสิตมาฉีดขึ้นรูปใหม่ถึง 3 ครั้ง ให้สมบัติด้านแรงดึงที่ไม่เปลี่ยนแปลง แต่ความแข็งแรงดึง และมอดุลัสลดลง ในขณะที่ร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาดเพิ่มขึ้นตามจำนวนครั้งที่ฉีดขึ้นรูปมากกว่า 3 ครั้ง ทั้งนี้เนื่องมาจากผลของความร้อนในระหว่างกระบวนการขึ้นรูปจะทำให้เกิดการสลายตัวของพันธะของเส้นใย จึงทำให้เส้นใยยึดติดกับเมทริกซ์ได้ดีขึ้น ร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาดจึงเพิ่มขึ้น

A.Y.Kharade และ D.D.Kale [23] ได้ศึกษาการใช้ผงลิกนินแห้ง (Dry lignin powder) เป็นสารตัวเติมในพอลิโอฟีนส์ (Polyolifins) ได้แก่ LDPE, HDPE และ PP ปริมาณผงลิกนินแห้งที่ใช้ 0-30 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก จากการศึกษาสมบัติเชิงกลพบว่า เมื่อปริมาณของผงลิกนินแห้งเพิ่มขึ้นความแข็งแรงดึง และร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาดของพอลิเมอร์ทุกชนิดลดลง ในขณะที่ความแข็งแรงกระแทกของ LDPE และ HDPE ลดลง แต่ไม่มีผลต่อ PP และพบว่าการใช้เอทิลีนอะคริลิกแอซิดโคพอลิเมอร์ (Ethylene acrylic acid copolymer, EAA) 5 phr และสารคู่ควบชนิดไททานเตต (Titanate coupling agent) 0.5 phr นั้นช่วยปรับปรุงสมบัติเชิงกลของการใช้ผงลิกนินแห้ง เป็นสารตัวเติมในพอลิโอฟีน จากการศึกษาความเหนียวพบว่าเมื่อปริมาณของผงลิกนินแห้งเพิ่มขึ้น ความเหนียวหลอมเหลวเพิ่มขึ้น และจากการศึกษาสมบัติทางไฟฟ้าพบว่าเมื่อปริมาณของผงลิกนินแห้งเพิ่มขึ้น ความต้านทานไฟฟ้าเพิ่มขึ้น เมื่อนำพอลิเมอร์ที่ได้จากการผสมไปวัดแรงดันไฟฟ้าพบว่าสามารถวัดแรงดันไฟฟ้าของพอลิเมอร์ที่มีปริมาณผงลิกนินแห้งตั้งแต่ 0-10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก เนื่องจากที่ปริมาณผงลิกนินแห้งมากกว่านี้พอลิเมอร์ที่ได้มีสีที่ดำมากที่ปริมาณผงลิกนินแห้งในปริมาณน้อย ๆ HDPE มีแรงดันไฟฟ้า แต่ LDPE และ PP ให้สีดำเล็กน้อย และที่ปริมาณผงลิกนินแห้งเพิ่มขึ้น พอลิเมอร์ทุกชนิดมีแรงดันไฟฟ้าเงินอมเสียว

Z.A.M.Ishak และคณะ [24] ได้ศึกษาสมบัติทาง Hygrothermal Aging ที่มีต่อสมบัติทางแรงดึงของคอมโพสิตระหว่างแอลบและ PP โดยใช้ปริมาณแอลบที่ 0, 10, 20, 30 และ 40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ทำการผสมด้วยเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนคู่ที่อุณหภูมิจาก 170 ถึง 195 องศาเซลเซียส ใช้ความเร็วรอบของสกรู 25 รอบต่อนาที และทำการขึ้นรูปโดยการฉีด จากการศึกษาสมบัติการดูดซับน้ำพบว่า สัมประสิทธิ์การแพร่กระจายและปริมาณความชื้นสูงสุด ขึ้นอยู่กับสัดส่วนโดยปริมาตรของสารตัวเติมและอุณหภูมิที่ใช้ในการแช่ชิ้นงาน กล่าวคือ เมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในการแช่เพิ่มขึ้นสัมประสิทธิ์การแพร่กระจายและปริมาณความชื้นสูงสุดมีค่าเพิ่มขึ้น และจากการศึกษาสมบัติเชิงกลพบว่า เมื่อปริมาณกลบเพิ่มขึ้น โมดูลัสเพิ่มขึ้น ในขณะที่ค่าความแข็งแรงดึง ร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาด และพลังงานที่ใช้ในการทำให้แตกหัก ลดลง และเมื่อศึกษาสมบัติทาง Hygrothermal aging พบว่า การแช่ชิ้นงานในน้ำที่อุณหภูมิสูงชัน ทำให้สมบัติทางแรงดึงลดลง และเมื่อทำให้แห้งก็ไม่สามารถทำให้มีสมบัติทางแรงดึงกลับคืนมาได้

T.Q.Li และคณะ [25] ได้ศึกษาความทนทานต่อแรงกระแทกของคอมโพสิตระหว่าง PP ที่นำกลับมาใช้ใหม่และซีลี้อย่างต้นสนที่ได้จากโรงงานทำเฟอร์นิเจอร์ทั่วไป พบว่าความทนทานต่อแรงกระแทกแบบไอซอด (Notched Izod strength) เพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณ เส้นใยและปริมาณ มาเลอิกแอนไฮไดรด์-พอลิพรอพิลีน (MAPP) เพิ่มขึ้น นอกจากนั้นความแข็งแรงดึงและโมดูลัส เพิ่มขึ้นตามปริมาณ MAPP ที่เพิ่มขึ้นด้วย อย่างไรก็ตาม เมื่อทำการศึกษาลักษณะการแตกตัวเชิงกล (Linear fracture mechanics, LEFM) โดยการทดสอบความทนทานต่อแรงกระแทกแบบชาร์ปีพบว่า พลังงานแตกร้าว (Fracture energy, G_c) เพิ่มขึ้นตามการเพิ่มปริมาณของ MAPP และลดลงเล็กน้อยเมื่อไม่ได้เติม MAPP ส่วนความเหนียวขณะแตกร้าว (Fracture toughness, K_{Ic}) ของคอมโพสิตที่ไม่ได้เติม MAPP เพิ่มขึ้นในอัตราที่สูงกว่าคอมโพสิตที่ผ่านการปรับปรุงพื้นผิวด้วย MAPP แต่ที่ปริมาณเส้นใย 30 % และ 40 % ความเหนียวขณะแตกร้าวของคอมโพสิตที่ไม่ได้เติม MAPP ต่ำกว่าคอมโพสิตที่ผ่านการปรับปรุงพื้นผิวด้วย MAPP

Q.Lin และคณะ [26] ได้ศึกษาผลของ Hydrothermal environment ที่มีต่อสมบัติการดูดซับน้ำและสมบัติทางแรงดึงของคอมโพสิตระหว่างผงไม้จากซีลี้อยู่ (Sawdust) ที่ได้จากไม้หลายชนิดผสมกันและ PP โดยใช้ผงไม้ที่มีขนาด 20, 40, 80, 120 และ 160 เมช และใช้ปริมาณผงไม้ 0-40 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก จากการศึกษาสมบัติการดูดซับน้ำที่อุณหภูมิ 23 60 และ 100 องศาเซลเซียส พบว่าปริมาณการดูดซับน้ำขึ้นอยู่กับปริมาณของผงไม้ ขนาดของผงไม้ และอุณหภูมิที่ใช้ในการแช่ โดยการดูดซับน้ำมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณของผงไม้ ขนาดของผงไม้ และอุณหภูมิที่ใช้ในการแช่สูงขึ้น แต่เมื่อมีการปรับปรุงพื้นผิวพบว่า ปริมาณการดูดซับน้ำมีแนวโน้มลดลง นอกจากนี้ จากการศึกษาสมบัติเชิงกลพบว่า ความแข็งแรงดึงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นทุก ๆ คอมโพสิตหลังจากมีการแช่ในน้ำทุกอุณหภูมิเมื่อปริมาณของผงไม้และขนาดเมชของผงไม้เพิ่มขึ้น และเมื่อมีการปรับปรุงพื้นผิวของผงไม้ด้วย แต่ความแข็งแรงโค้งงอ และโมดูลัสโค้งงอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีแนวโน้มลดลง และมีแนวโน้มที่เหมือนกันหลังจากการแช่น้ำที่อุณหภูมิ 60 และ 100 องศาเซลเซียส สำหรับความแข็งแรงกระแทกมีค่าเพิ่มขึ้นหลังจากที่แช่น้ำทั้ง 3 อุณหภูมิ แต่มีแนวโน้มลดลงเมื่ออุณหภูมิที่แช่สูงขึ้น

H.G.B.Premalal และคณะ [27] ได้ศึกษาเปรียบเทียบสมบัติเชิงกลของคอมโพสิตระหว่างผงแคลบและพอลิพรอพิลีน กับคอมโพสิตระหว่างทัลคัม (Talc) และ PP ผสมโดยใช้เครื่องผสมที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส และความเร็วรอบใบพัด 50 รอบต่อนาที ซึ่งทำการผสมสารตัวเติมที่ 0-60 phr (ต่อ 100 ส่วนของพอลิเมอร์) และขึ้นรูปชิ้นงานโดยใช้เครื่องอัดไฮดรอลิก (Hydraulic Press) อัดโดยใช้อุณหภูมิที่ 190 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที และทำให้เย็นภายใต้ความดันนั้นเป็นเวลา 4 นาที จากการศึกษาพบว่า เมื่อปริมาณการใช้สารตัวเติมทั้งสองชนิดเพิ่มขึ้นในแต่ละคอมโพสิตทำให้มอดุลัส และความแข็งแรงโค้งงอเพิ่มขึ้น ในขณะที่ความแข็งแรงดึง และร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาดลดลง นอกจากนี้ยังพบว่าการใช้แคลบทำให้ความแข็งแรงดึง มอดุลัส และความแข็งแรงโค้งงอต่ำกว่าการใช้ทัลคัม แต่ให้ร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาดสูงกว่าการใช้ทัลคัม

บทที่ 3

การดำเนินงานวิจัย

3.1 สารเคมีและวัสดุที่ใช้ในงานวิจัย

1. พอลิพรอพิลีน (Polypropylene, PP) : Pro-Fax Z30S (High flow polypropylene homopolymer resin) เกรดฉีดขึ้นรูป จากบริษัท HMC Polymers Company Limited. ซึ่งมีสมบัติดังแสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 สมบัติของพอลิพรอพิลีน (Pro-Fax Z30S) [28]

สมบัติทั่วไป	Pro-Fax Z30S	ASTM METHOD
อัตราการไหล (Melt flow rate, g/10 min)	22	D 1238
ความหนาแน่น (Density, g/cm ³)	0.90	D 792B
ความแข็งแรงดึง ณ จุดคราก (Tensile strength at yield, MPa)	33	D 638
ร้อยละการดึงยืด ณ จุดคราก (Elongation at yield, %)	9	D 638
มอดุลัสโค้งงอ (Flexural modulus, MPa)	1450	D 790A
ความแข็งแรงกระแทก (Notch izod impact strength at 23°C, J/m)	15	D 256A

2. แกลบ (Rice husk) ที่ได้จากข้าวชนิด *Oryza sativa* จากโรงสีข้าวกำนันมานะ เขตลาดกระบัง

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย

1. เครื่องผสมความเร็วสูง (High Speed Mixer) : Lab Tech Engineering Company Ltd.
2. เครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนคู่ (Twin-Screw Extruder) : Intro Engineering Ltd. รุ่น PL-200
3. เครื่องฉีดพลาสติก (Injection Molding Machine) : Welltec Industrial Equipment Ltd. รุ่น TTi 220/80 HITEC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. เครื่องทดสอบเนกประสงค์ (Universal Testing Machine) : Lloyd Instrument Ltd. รุ่น LR 30 K
5. เครื่องทดสอบความแข็งแรงกระแทก (Izod Impact Tester) : Yasuda Seiki Seisakusho Ltd. รุ่น 258-PC IMPACT TESTER
6. เครื่องทดสอบความแข็งกดแบบชอร์ดี (Hardness Tester. Shore D) : Yasuda Seiki Seisakusho Ltd. รุ่น DXT
7. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) : LEO Ltd. รุ่น LEO 1455 VP
8. เครื่องดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งคาลอริมิเตอร์ (Differential Scanning Calorimeter, DSC) : Perkin Elmer รุ่น Diamond DSC
9. เครื่องอินฟราเรดสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (Fourier Transform-Infrared Spectrophotometer, FT-IR) : Perkin Elmer รุ่น FTIR Spectrum GX
10. เครื่องเทอร์โมกราวิเมตริกแอนาไลเซอร์ (Thermogravimetry, TGA) : Perkin Elmer รุ่น Pyris 1
11. เครื่องวัดดัชนีการหลอมไหล (Melt Flow Indexer) : CEAST รุ่น 6841.000
12. เครื่องบดพลาสติก (Grinder) รุ่น A600 : Bosco Engineering
13. เครื่องร่อนแยกขนาด
14. ตะแกรงมาตรฐานขนาด 20, 35, 50, 100 และ 200 เมช
15. ตู้อบ (Oven)

3.3 วิธีการทดลอง

ตอนที่ 1 การหาอัตราส่วนความยาวต่อเส้นผ่านศูนย์กลาง (Aspect ratio, l/d ratio)

การเตรียมเกลบสำหรับการทดลองทำได้โดยนำเกลบไปร่อนเพื่อกำจัดฝุ่น และทรายที่ติดมากับเกลบออก จากนั้นนำเกลบมาบดด้วยเครื่องบดพลาสติก และนำเกลบที่ผ่านการบดไปคัดขนาดด้วยเครื่องร่อนแยกขนาดโดยใช้ตะแกรงร่อนมาตรฐานขนาดต่าง ๆ ได้แก่ 20, 35, 50, 100 และ 200 เมช และนำเกลบที่ได้ไปอบที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

การหาอัตราส่วนความยาวต่อเส้นผ่านศูนย์กลางของเกลบ ทำได้โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscopy, SEM) โดยนำเกลบที่มีขนาดต่าง ๆ ที่ได้จากการคัดขนาดด้วยเครื่องร่อนแยกขนาดโดยผ่านตะแกรงร่อนมาตรฐานขนาดต่าง ๆ กัน ได้แก่ เกลบที่มีขนาด 20-35 เมช, 35-50 เมช, 50-100 เมช, 100-200 เมช และเกลบที่มีขนาดมากกว่าหรือเท่ากับ 200 เมช ไปเคลือบด้วยทอง และนำเข้ากล้องเพื่อทำการวัดความยาว

เอกสารนี้เป็นเอกสารทสวงนวิสาหรืการเขางานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนูญตเห็นาเบเซบระเขชนต่านการค้ำ
ไม่วากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อักทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และเส้นผ่านศูนย์กลางของเกลบ จากนั้นนำค่าที่ได้ไปคำนวณหาอัตราส่วนความยาวต่อเส้นผ่านศูนย์กลางของเกลบ

ตอนที่ 2 การขึ้นรูปชิ้นงานทดสอบของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและเกลบ

1. นำเกลบที่ผ่านการคัดขนาดแล้วซึ่งได้แก่ เกลบที่มีขนาด 20-35 เมช, 35-50 เมช, 50-100 เมช, 100-200 เมช และเกลบที่มีขนาดมากกว่าหรือเท่ากับ 200 เมช มาผสมกับพอลิพรอพิลีน ในอัตราส่วนที่ 0, 10, 20, 30 และ 40 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ซึ่งแสดงดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 ส่วนผสมต่าง ๆ ที่ใช้ในการขึ้นรูปชิ้นงานทดสอบ

สูตรที่	PP (กรัม)	เกลบ (กรัม)	ขนาดเกลบ (เมช)
1	100	-	-
2	90	10	20-35
3	90	10	35-50
4	90	10	50-100
5	90	10	100-200
6	90	10	≥ 200
7	80	20	20-35
8	80	20	35-50
9	80	20	50-100
10	80	20	100-200
11	80	20	≥ 200
12	70	30	20-35
13	70	30	35-50
14	70	30	50-100
15	70	30	100-200
16	70	30	≥ 200
17	60	40	20-35
18	60	40	35-50
19	60	40	50-100
20	60	40	100-200
21	60	40	≥ 200

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ทำการผสมสูตรต่าง ๆ ในเครื่องผสมความเร็วสูง (High-speed mixer) ที่ความเร็ว 1500 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที

3. นำของผสมที่ได้ไปผสมอีกครั้งด้วยเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนคู่ โดยใช้อุณหภูมิ 165, 170, 180 และ 190 องศาเซลเซียสตามลำดับ และใช้ความเร็วรอบ 25 รอบต่อนาที

4. นำของผสมที่ได้ไปบดด้วยเครื่องบดพลาสติก

5. นำของผสมที่ผ่านการบดไปขึ้นรูปด้วยเครื่องฉีดพลาสติก โดยใช้อุณหภูมิ 160, 170 และ 180 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิในช่วงป้อนสาร (Feed section) ช่วงการส่งผ่านสาร (Transition section) และช่วงการผสม (Metering section) ตามลำดับ โดยปรับภาวะการฉีดที่เหมาะสม และใช้ภาวะเดียวกันในการขึ้นรูปชิ้นงานทดสอบ

ตอนที่ 3 การนำชิ้นงานทดสอบที่ได้กลับมาใช้ใหม่

1. เลือกชิ้นงานทดสอบที่ให้สมบัติเชิงกลโดยรวมที่ดีที่สุด
2. นำชิ้นงานที่ผ่านการทดสอบสมบัติมาผ่านเครื่องบดพลาสติก
3. ฉีดขึ้นรูปวัสดุที่ผ่านการนำกลับมาใช้ใหม่ครั้งที่ 1 แล้วนำมาทดสอบสมบัติต่าง ๆ
4. นำชิ้นงานที่ผ่านการทดสอบสมบัติจากข้อ 3 มาผ่านเครื่องบดพลาสติก
5. ฉีดขึ้นรูปวัสดุที่ผ่านการนำกลับมาใช้ใหม่ครั้งที่ 2 แล้วนำมาทดสอบสมบัติต่าง ๆ
6. ทำซ้ำตั้งแต่ข้อ 2-3 เพื่อให้ได้วัสดุที่ผ่านการนำกลับมาใช้ใหม่ครั้งที่ 3 และ 4 ตามลำดับ แล้วนำมาทดสอบสมบัติต่าง ๆ
7. เปรียบเทียบผลที่ได้จากการทดสอบสมบัติของวัสดุก่อนการนำกลับมาใช้ใหม่ และการนำกลับมาใช้ใหม่ครั้งที่ 1 ครั้งที่ 2 ครั้งที่ 3 และครั้งที่ 4

ตอนที่ 4 การทดสอบ

นำชิ้นงานทดสอบที่ได้ไปทดสอบสมบัติต่าง ๆ ได้แก่

1. ทดสอบสมบัติเชิงกล
 - สมบัติด้านแรงดึง ได้แก่ ความแข็งแรงดึง มอดุลัสแรงดึง และร้อยละการดึงยืด ณ จุดคราก
 - สมบัติด้านแรงโค้งงอ ได้แก่ ความแข็งแรงโค้งงอ และมอดุลัสโค้งงอ
 - ความแข็งแรงกระแทก
 - ความแข็งกด
2. ศึกษาสมบัติทางกายภาพ
 - การดูดซับน้ำ (Water absorption)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ศึกษาสมบัติทางความร้อน
 - อุณหภูมิการสลายตัว (Thermal decomposition)
 - อุณหภูมิการหลอมเหลว (Melt temperature)
 - อุณหภูมิการเกิดผลึก (Crystallization temperature)
 - ปริมาณความเป็นผลึก (Degree of Crystallinity)
4. วิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแคลบ
5. ศึกษาพื้นฐานวิทยาของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแคลบ

3.4 วิธีการทดสอบ

การทดสอบสมบัติต่าง ๆ ของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแคลบ ได้ทำการทดสอบตามมาตรฐานต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 มาตรฐานต่าง ๆ ในการทดสอบสมบัติต่าง ๆ

สมบัติ	มาตรฐานที่ใช้ทดสอบ	หน่วยที่รายงาน
ความแข็งแรงดึง (Tensile strength)	ASTM D 638	MPa
มอดุลัส (Modulus)	ASTM D 638	MPa
ร้อยละการดึงยืด ณ จุดคราก (% Elongation at yield)	ASTM D 638	%
ความแข็งแรงกระแทก (Impact strength)	ASTM D 256	kJ/m ²
ความแข็งกด (Hardness)	ASTM D 785	Shore D
ความแข็งแรงโค้งงอ (Flexural strength)	ASTM D 790	MPa
มอดุลัสโค้งงอ (Flexural modulus)	ASTM D 790	MPa
ร้อยละการดูดซับน้ำ (% Water absorption)	ASTM D 570	%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.1 สมบัติทางความร้อน

3.4.1.1 อุณหภูมิการสลายตัว (Thermal degradation)

การศึกษาอุณหภูมิการสลายตัวของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและไกลบด้วยเทอร์โมกราวิเมตริกแอนาไลเซอร์ (Thermogravimetric analysis, TGA) ทำได้โดยชั่งสารตัวอย่างประมาณ 16 มิลลิกรัม แล้วนำมาวิเคราะห์ด้วยเครื่อง TGA โดยใช้บรรยากาศไนโตรเจน (N₂) และใช้ภาวะในการทดสอบดังนี้

- อุณหภูมิที่ใช้ = 35-700 องศาเซลเซียส
- อัตราการเพิ่มอุณหภูมิ (Heating rate) = 10 องศาเซลเซียส/นาที

3.4.3.2 อุณหภูมิการเกิดผลึก (Crystallinity temperature, T_c) อุณหภูมิการหลอมเหลว (Melt temperature, T_m) และปริมาณความเป็นผลึก (Degree of crystallinity)

การศึกษาอุณหภูมิการเกิดผลึก อุณหภูมิการหลอมเหลว และปริมาณความเป็นผลึกของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและไกลบด้วยดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งคาลอริมิเตอร์ (Differential Scanning Calorimeter, DSC) ทำได้โดยชั่งสารใส่หลุมอะลูมิเนียมจำนวน 4 มิลลิกรัม ให้ทราบปริมาณสารที่แน่นอน แล้วนำมาวิเคราะห์ด้วยเครื่อง DSC และใช้ภาวะในการทดสอบดังนี้

- อุณหภูมิที่ใช้ = 50-200 องศาเซลเซียส
- อัตราการเพิ่มอุณหภูมิ (Heating rate) = 10 องศาเซลเซียส/นาที
- อัตราการลดอุณหภูมิ (Cooling rate) = 10 องศาเซลเซียส/นาที

ปริมาณความเป็นผลึกของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและไกลบ สามารถคำนวณได้จากสมการต่อไปนี้

$$\Delta H_f = \frac{\text{พื้นที่ใต้กราฟ (mJ)}}{\text{น้ำหนักของสารตัวอย่าง (mg)}}$$

$$\text{Degree of crystallinity} = \frac{\Delta H_f}{\Delta H_f^0} * 100$$

เมื่อ ΔH_f = ปริมาณความร้อนที่ใช้ในการหลอมเหลว (Enthalpy of fusion) ของสารซึ่งได้จากพื้นที่ใต้กราฟ (J/g)

ΔH_f^0 = ปริมาณความร้อนที่ใช้ในการหลอมเหลว (Enthalpy of fusion) ของพอลิพรอพิลีนที่มีความเป็นผลึก 100 % เท่ากับ 165 J/g [29]

3.4.2 สัณฐานวิทยา (Morphology)

ในงานวิจัยนี้ นำกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด มาศึกษาลักษณะพื้นผิวของพอลิเมอร์ที่เกิดจากการแตกหักที่อุณหภูมิต่ำ (Cryogenic fracture) การเตรียมตัวอย่างทำได้โดยนำชิ้นงานทดสอบมาแช่ในไนโตรเจนเหลว (Liquid nitrogen) และทำการหักทันที หลังจากนั้นนำมาเคลือบด้วยทอง และนำเข้ากล้องต่อไป เพื่อทำการศึกษารายละเอียดของแถบในพอลิพรอพิลีนเมทริกซ์

3.4.3 สมบัติทางกายภาพ

การทดสอบสมบัติการดูดซับน้ำ (Water absorption) เป็นไปตามมาตรฐาน ASTM D 570 [30] โดยนำชิ้นงานทดสอบอย่างละ 3 ชิ้นงาน หนักประมาณ 2.000-2.500 กรัม ไปอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำมาชั่งน้ำหนักโดยละเอียด แล้วนำไปแช่น้ำเป็นเวลา 30 วัน โดยต้องทำการชั่งน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงไปอยู่เสมอทุก ๆ 3 วัน แล้วนำมาคำนวณหาร้อยละการดูดซับน้ำ (% Water absorption) จากสมการดังต่อไปนี้

$$\text{ร้อยละการดูดซับน้ำ} = \frac{(\text{น้ำหนักหลังจากแช่น้ำ} - \text{น้ำหนักก่อนแช่น้ำ}) * 100}{\text{น้ำหนักก่อนแช่น้ำ}}$$

3.4.4 สมบัติเชิงกล

3.4.4.1 สมบัติด้านแรงดึง (Tensile properties)

สมบัติที่ทำการศึกษาได้แก่ ความแข็งแรงดึง (Tensile strength) มอดุลัสแรงดึง (Tensile modulus) และร้อยละการดึงยืด ณ จุดคราก (% Elongation at yield) เป็นไปตามมาตรฐาน ASTM D 638 [31] โดยใช้เครื่องทดสอบเอนกประสงค์ (Universal Testing Machine) และโปรแกรม WINDAP ในการคำนวณ โดยชิ้นงานทดสอบอยู่ในรูปดัมเบลล์ ใช้ชิ้นงานทดสอบจำนวน 10 ชิ้น ในแต่ละสูตร และใช้ภาวะในการทดสอบดังนี้

-โหลดเซลล์ (Load cell)	5	กิโลนิวตัน (kN)
-ความเร็วในการดึง (Test speed)	5	มิลลิเมตร/นาที
-ความยาวของเกจ (Gauge length)	70	มิลลิเมตร
-ระดับเซลล์ (Cell class)	0.5	

ความแข็งแรงดึง มอดุลัสแรงดึง และร้อยละการดึงยืด ณ จุดคราก สามารถคำนวณได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$\text{ความแข็งแรงดึง} = F_t/A$$

(Tensile strength, σ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{มอดุลัสแรงดึง} = \frac{F_2/A}{2/100}$$

(Tensile modulus, E)

$$\text{ร้อยละการดึงยืด ณ จุดคราก} = \left(\frac{l - l_0}{l_0} \right) * 100$$

(%Elongation at yield, At)

เมื่อ F_1 คือ แรงที่ใช้ในการดึงยืดชิ้นงานตัวอย่าง ณ จุดสูงสุด (หน่วยเป็นนิวตัน; N)

F_2 คือ แรงที่ใช้ในการดึงยืดชิ้นงานตัวอย่างที่ 2% ความเครียด (หน่วยเป็นนิวตัน; N)

A คือ พื้นที่หน้าตัดเริ่มต้นของชิ้นงานตัวอย่าง (หน่วยเป็นตารางมิลลิเมตร; mm^2)

l คือ ระยะห่างระหว่างจุดสองจุดหลังทำการดึงชิ้นงานตัวอย่างก่อนขาด (หน่วยเป็นมิลลิเมตร; mm)

l_0 คือ ระยะที่ชิ้นงานตัวอย่างแคบที่สุดและมีพื้นที่หน้าตัดขนานกัน (Gauge length หน่วยเป็นมิลลิเมตร; mm)

3.4.4.2 สมบัติด้านแรงโค้งงอ (Flexural properties)

สมบัติที่ทำการศึกษาได้แก่ ความแข็งแรงโค้งงอ (Flexural strength) และมอดุลัสโค้งงอ (Flexural modulus) ตามมาตรฐาน ASTM D 790 [32] โดยใช้ชิ้นงานทดสอบอย่างน้อย 10 ชิ้นในแต่ละสูตร และใช้ภาวะในการทดสอบดังนี้

-โหลดเซลล์ (Load cell)	5	กิโลนิวตัน (kN)
-ความเร็วในการกด (Compression speed)	10	มิลลิเมตร/นาที
-ระยะห่างของขารองรับชิ้นงาน (Span length)	40	มิลลิเมตร
-ระดับเซลล์ (Cell class)	0.5	

สูตรที่ใช้ในการคำนวณความแข็งแรงโค้งงอและมอดุลัสโค้งงอมีดังนี้

$$\text{ความแข็งแรงโค้งงอ ; } \sigma_f = 3FL / 2bh^2$$

$$\text{มอดุลัสโค้งงอ ; } E_b = (L^2/4bh^3) * (\Delta F/\Delta d)$$

เมื่อ F คือ แรงกดสูงสุดที่ทำให้ชิ้นงานโค้งงอ (หน่วยเป็นนิวตัน; N)

L คือ Span length (หน่วยเป็นมิลลิเมตร; mm)

b คือ ความกว้างของตัวอย่าง (หน่วยเป็นมิลลิเมตร; mm)

h คือ ความหนาของตัวอย่าง (หน่วยเป็นมิลลิเมตร; mm)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ΔF คือ ผลต่างที่ตำแหน่งการเปลี่ยนแปลงที่ 1-2 มิลลิเมตร ในช่วงความชันเป็นเส้นตรง (หน่วยเป็นนิวตัน; N)

Δd คือ ผลต่างระยะกดโค้งงอที่ตำแหน่งการเปลี่ยนแปลงที่ 1-2 มิลลิเมตร (หน่วยเป็นมิลลิเมตร; mm)

3.4.4.3 ความแข็งแรงกระแทก (Impact strength)

การทดสอบความแข็งแรงกระแทก (Impact strength) เป็นไปตามมาตรฐาน ASTM D 256 [33] โดยในการทดสอบจะใช้มาตรฐานแบบไอซอด (Izod type) ใช้ชิ้นงานทดสอบจำนวน 10 ชิ้นในแต่ละสูตร

ความแข็งแรงกระแทกสามารถหาได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$\text{ความแข็งแรงกระแทก (IS)} = \frac{W}{A}$$

เมื่อ IS คือ ความแข็งแรงกระแทก (หน่วยเป็นกิโลจูลต่อตารางเมตร; kJ/m²)

W คือ พลังงานกระแทก (หน่วยเป็นกิโลจูล; kJ)

A คือ พื้นที่หน้าตัดของตัวอย่าง (หน่วยเป็นตารางเมตร; m²)

3.4.4.4 ความแข็งกด (Hardness)

การทดสอบความแข็งกด (Hardness) เป็นไปตามมาตรฐาน ASTM D 785 [34] ในการทดสอบจะใช้มาตรฐาน shore D ลักษณะพื้นผิวของวัสดุที่นำมาทดสอบต้องมีความเรียบมีความหนาไม่ต่ำกว่า 6 มิลลิเมตร ใช้เวลาทดสอบ 15 วินาทีจึงอ่านค่าได้ ใช้ชิ้นงานทดสอบจำนวน 10 ชิ้นในแต่ละสูตร โดยทำการทดสอบ 5 ครั้งต่อหนึ่งชิ้นงานทดสอบ

3.4.5 ดัชนีการหลอมไหล (Melt Flow Index)

การวัดดัชนีการหลอมไหลเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM D 1238 [35] สำหรับพอลิพรอพิลีนนั้นทำได้โดยการตั้งอุณหภูมิเครื่องที่ 230 องศาเซลเซียส และใช้น้ำหนักกด 2.16 กิโลกรัม โดยตัด extrudate ที่ออกมาทุก ๆ 30 วินาที ทำแบบนี้จนได้ extrudate ครบ 5 ชิ้น จากนั้นนำ extrudate ที่ได้ทั้ง 5 ชิ้นไปชั่งน้ำหนัก แล้วหาค่าเฉลี่ย และคำนวณค่าดัชนีการหลอมไหลจากสมการต่อไปนี้

$$\text{ดัชนีการหลอมไหล (g/10 min)} = \frac{\text{น้ำหนัก extrudate (g)} * 600}{30 \text{ วินาที}}$$

3.4.6 การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชัน

การทดสอบทำได้โดยนำสารตัวอย่างที่ผ่านการผสมด้วยเครื่องอัดรีดเกลียวหนอนคู่แล้ววัดด้วยเครื่องบดหยาบ จากนั้นบดละเอียดต่อไปด้วยเครื่องบดความเร็วสูง (14,000 รอบ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต่อมาที่) ทำให้ได้สารที่มีขนาดอนุภาคเล็ก ผ่านตะแกรงร่อนขนาด 0.025 มิลลิเมตร จากนั้นนำตัวอย่างไปอัดกับ KBr แล้วนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องอินฟราเรดสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ ในช่วงเลขคลื่น $4000-400\text{ cm}^{-1}$ Resolution เท่ากับ 4 และจำนวนรอบของการสแกนเท่ากับ 4



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการนำเกลบมาใช้เป็นสารตัวเติมในพอลิพรอพิลีนคอมพาวด์ โดยทำการศึกษาสมบัติต่าง ๆ ได้แก่ สมบัติเชิงกล (Mechanical properties) สมบัติทางกายภาพ (Physical properties) สมบัติทางความร้อน (Thermal properties) และสัณฐานวิทยา (Morphology) ซึ่งพิจารณาถึงผลของขนาดและปริมาณของเกลบ (ร้อยละโดยน้ำหนัก) ที่มีต่อสมบัติต่าง ๆ ของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและเกลบ สำหรับเกลบที่ใช้ในงานวิจัยนี้มีขนาด 20-35 เมช, 35-50 เมช, 50-100 เมช, 100-200 เมช และเกลบที่มีขนาดมากกว่าหรือเท่ากับ 200 เมช โดยใช้ปริมาณเกลบร้อยละ 0, 10, 20, 30 และ 40 โดยน้ำหนัก นอกจากนี้ยังทำการศึกษาสมบัติต่าง ๆ ของพอลิพรอพิลีนที่นำกลับมาใช้ใหม่ และวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและเกลบที่นำกลับมาใช้ใหม่ด้วย ผลการทดลองที่ได้จากการศึกษาสมบัติต่าง ๆ ของการนำเกลบมาใช้เป็นสารตัวเติมในพอลิพรอพิลีนคอมพาวด์มีดังต่อไปนี้

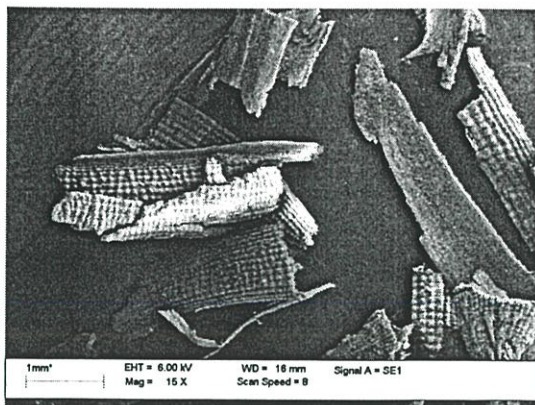
ตอนที่ 1 การหาอัตราส่วนความยาวต่อเส้นผ่านศูนย์กลาง

การนำเกลบที่ผ่านการคัดขนาด ได้แก่ เกลบที่มีขนาด 20-35 เมช, 35-50 เมช, 50-100 เมช, 100-200 เมช และเกลบที่มีขนาดมากกว่าหรือเท่ากับ 200 เมช ไปหาอัตราส่วนความยาวต่อเส้นผ่านศูนย์กลางด้วย SEM พบว่า เกลบที่มีขนาดที่ต่างกัน ให้ค่าเฉลี่ยของอัตราส่วนความยาวต่อเส้นผ่านศูนย์กลางที่ต่างกัน ซึ่งแสดงได้ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ค่าเฉลี่ยของอัตราส่วนความยาวต่อเส้นผ่านศูนย์กลางของเกลบ

ขนาดตะแกรงร่อน		อัตราส่วนความยาวต่อเส้นผ่านศูนย์กลาง (Aspect ratio)
เมช	ไมโครเมตร (μm)	
≥ 200	≤ 75	1.7
100-200	75-150	1.6
50-100	150-300	4.4
35-50	300-500	3.5
20-35	500-850	2.7

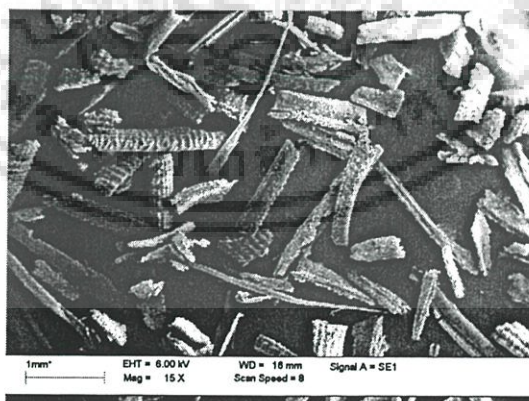
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดกำลังขยาย 15 เท่าของแกลบที่มีขนาด 20-35 ไมครอน

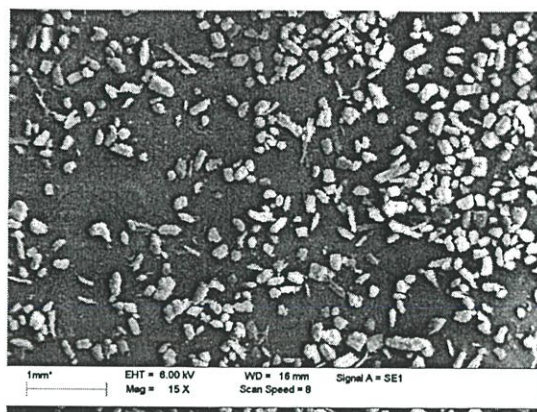


รูปที่ 4.2 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดกำลังขยาย 15 เท่าของแกลบที่มีขนาด 35-50 ไมครอน

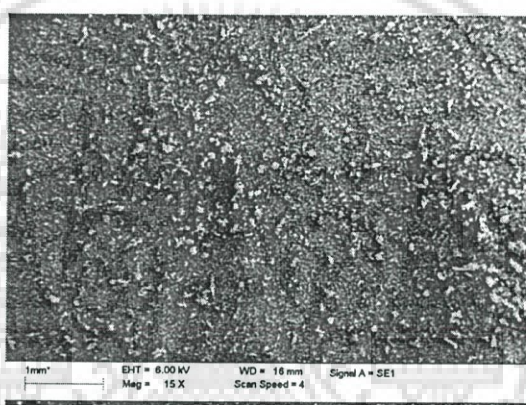


รูปที่ 4.3 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดกำลังขยาย 15 เท่าของแกลบที่มีขนาด 50-100 ไมครอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดกำลังขยาย 15 เท่าของแกลบที่มีขนาด 100-200 เมช



รูปที่ 4.5 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดกำลังขยาย 15 เท่าของแกลบที่มีขนาดมากกว่าหรือเท่ากับ 200 เมช

เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 4.1 - 4.5 ซึ่งแสดงภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดกำลังขยาย 15 เท่าของแกลบที่มีขนาดต่างกัน พบว่าแกลบมีขนาดและรูปร่างลักษณะที่ไม่เหมือนกันเมื่อผ่านตะแกรงร่อนมาตรฐานขนาดต่าง ๆ โดยที่แกลบที่มีขนาด 20-35 เมช และ 35-50 เมชมีลักษณะที่เป็นแผ่น แกลบที่มีขนาด 50-100 เมชมีลักษณะเป็นเส้นทำให้มีค่าเฉลี่ยความยาวต่อเส้นผ่านศูนย์กลางมากที่สุด ส่วนแกลบที่มีขนาด 100-200 เมช และแกลบที่มีขนาดมากกว่าหรือเท่ากับ 200 เมชนั้นมีลักษณะเป็นอนุภาคเล็ก ๆ นอกจากนี้ แกลบยังมีค่าความยาวต่อเส้นผ่านศูนย์กลางค่อนข้างต่ำ (ทำให้ความสามารถในการปรับปรุงสมบัติทางความแข็งแรงดึง และความแข็งแรงกระแทกถูกจำกัด) [24] ซึ่งส่งผลต่อสมบัติเชิงกลของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกลบที่ได้ ดังแสดงในตอนที่ 2 ของหัวข้อที่ 4.4 ต่อไป

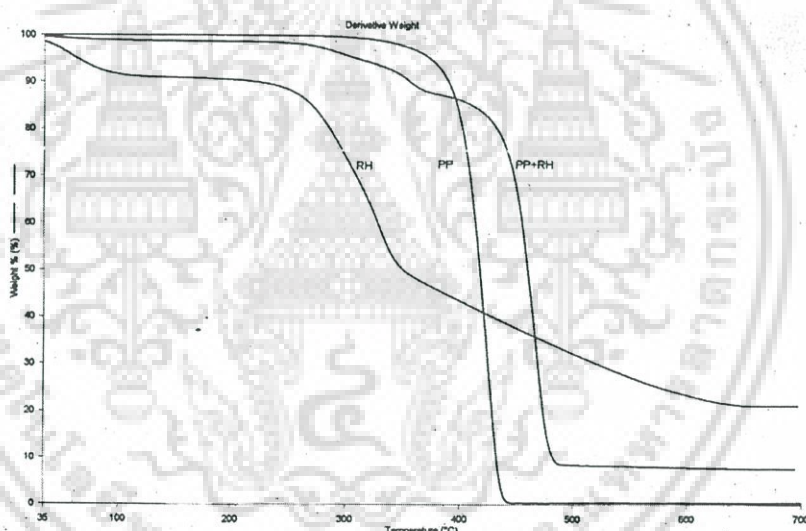
ตอนที่ 2 สมบัติต่าง ๆ ของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกรล

4.1 สมบัติทางความร้อน

สมบัติทางความร้อนที่ทำการศึกษา คือ ศึกษาอุณหภูมิการสลายตัว (Thermal degradation) โดย TGA และ อุณหภูมิการหลอมเหลว (Melt temperature, T_m) อุณหภูมิการเกิดผลึก (Crystallization temperature, T_c) และปริมาณความเป็นผลึก (Degree of crystallinity) โดย DSC

4.1.1 อุณหภูมิการสลายตัว

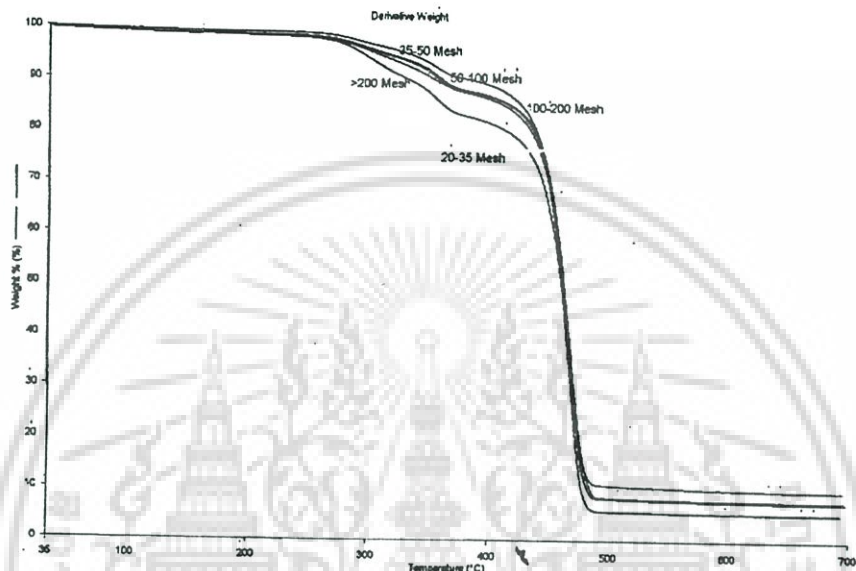
การศึกษาอุณหภูมิการสลายตัวของแกรล พอลิพรอพิลีน และวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกรล โดย TGA อุณหภูมิที่ใช้ในการศึกษาอยู่ในช่วง 35-700 องศาเซลเซียส อัตราการให้ความร้อน 10 องศาเซลเซียสต่อนาที และใช้บรรยากาศไนโตรเจน ได้ผลการทดลองดังต่อไปนี้



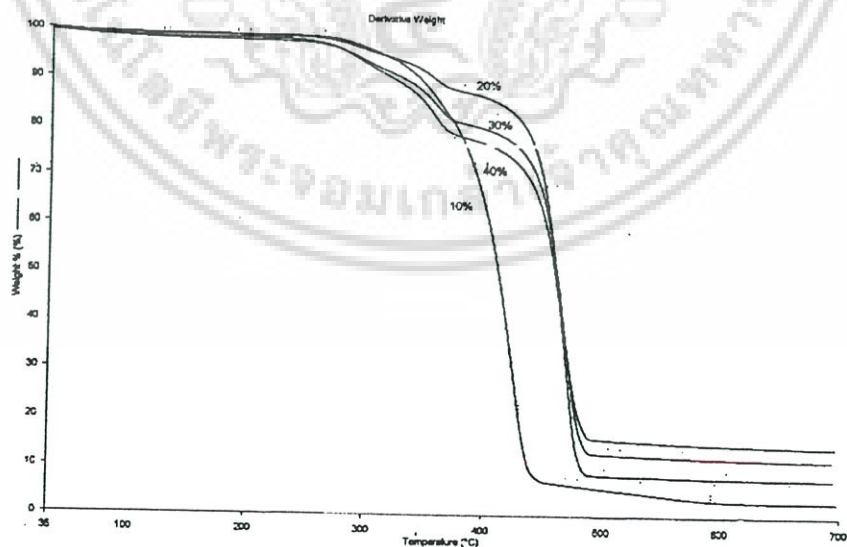
รูปที่ 4.6 TG เทอร์โมแกรมของแกรล พอลิพรอพิลีน และวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกรลที่มีขนาด 50-100 เมช โดยมีปริมาณแกรลร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก

จากรูปที่ 4.6 ซึ่งแสดง TG เทอร์โมแกรมของแกรล พอลิพรอพิลีน และวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกรลที่มีขนาด 50-100 เมช โดยมีปริมาณแกรลร้อยละ 20 โดยน้ำหนักพบว่าแกรลมีอุณหภูมิการสลายตัว 3 ช่วง คือ ช่วงแรกที่อุณหภูมิระหว่าง 50 องศาเซลเซียส ถึง 90 องศาเซลเซียส ช่วงที่สองที่อุณหภูมิระหว่าง 270 องศาเซลเซียส ถึง 390 องศาเซลเซียส และช่วงที่สามที่อุณหภูมิระหว่าง 400 องศาเซลเซียส ถึง 650 องศาเซลเซียส ซึ่งอุณหภูมิการสลายตัวช่วงแรกนั้นเกิดจากความร้อนที่ใช้ในการระเหยความชื้นออกจากแกรล อุณหภูมิเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การสลายตัวช่วงที่สองเกิดจากการสลายตัวของเซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลส และอุณหภูมิการสลายตัวช่วงที่สามเกิดจากการสลายตัวของลิกนิน [36] ส่วนพอลิพรอพิลีนมีอุณหภูมิการสลายตัวที่อุณหภูมิระหว่าง 390 องศาเซลเซียส ถึง 440 องศาเซลเซียส จากผลที่ได้แสดงว่าพอลิพรอพิลีนมีอุณหภูมิการสลายตัวสูงกว่าแกลบ หรือกล่าวได้ว่าพอลิพรอพิลีนมีเสถียรภาพทางความร้อน (Thermal stability) ที่ดีกว่าแกลบ



รูปที่ 4.7 TG เทอร์โมแกรมของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกลบ ที่ปริมาณแกลบร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก โดยมีขนาดแกลบต่าง ๆ กัน



รูปที่ 4.8 TG เทอร์โมแกรมของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกลบที่มีขนาด 50-100 เมช โดยมีปริมาณแกลบต่าง ๆ กัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.7 ซึ่งแสดง TG เทอร์โมแกรมของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกลบที่ปริมาณแกลบร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก โดยมีขนาดแกลบต่าง ๆ กัน และรูปที่ 4.8 ซึ่งแสดง TG เทอร์โมแกรมของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกลบที่มีขนาด 50-100 เมช โดยมีปริมาณแกลบต่าง ๆ กัน พบว่าวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกลบมีอุณหภูมิการสลายตัว 2 ช่วง คือ ช่วงแรกที่อุณหภูมิระหว่าง 260 องศาเซลเซียส ถึง 370 องศาเซลเซียส และช่วงที่สองที่อุณหภูมิระหว่าง 390 องศาเซลเซียส ถึง 480 องศาเซลเซียส ซึ่งอุณหภูมิการสลายตัวช่วงแรกนั้นเกิดจากการสลายตัวของเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลส ส่วนอุณหภูมิการสลายตัวช่วงที่สองนั้นเกิดจากการสลายตัวของลิกนินในแกลบ และการสลายตัวของพอลิพรอพิลีนในวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกลบ

จากผลการทดลองที่ได้แสดงให้เห็นว่าวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกลบมีอุณหภูมิการสลายตัวสูงกว่าพอลิพรอพิลีน และแกลบตามลำดับ หรือกล่าวได้ว่าวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกลบมีเสถียรภาพทางความร้อนมากกว่าพอลิพรอพิลีน และแกลบตามลำดับนั่นเอง โดยที่วัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกลบมีอุณหภูมิการสลายตัวในช่วงแรกใกล้เคียงกับอุณหภูมิการสลายตัวของแกลบ และอุณหภูมิการสลายตัวช่วงที่ 2 ของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกลบเพิ่มขึ้น ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการทดสอบ TGA กระทำภายใต้บรรยากาศไนโตรเจน แต่การขึ้นรูปชิ้นงานทดสอบกระทำภายใต้บรรยากาศออกซิเจน ซึ่งอาจทำให้พอลิพรอพิลีนเกิดการเสถียรภาพ (Degradation) แบบสายโซ่สั้นลง (Chain scissions) และแบบเกิดการเชื่อมโยงสายโซ่พอลิเมอร์ (Chain crosslink)

เมื่อพิจารณา TG เทอร์โมแกรมของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกลบจากรูปที่ 4.7 พบว่าการใช้แกลบที่มีขนาดต่างกัน อุณหภูมิการสลายตัวของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกลบมีแนวโน้มเปลี่ยนแปลง และจากรูปที่ 4.8 พบว่าการใช้แกลบที่มีปริมาณต่างกัน อุณหภูมิการสลายตัวของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกลบมีแนวโน้มไม่เปลี่ยนแปลง ดังนั้น จากผลการทดลองที่ได้จากรูปที่ 4.7 และรูปที่ 4.8 แสดงให้เห็นว่าขนาดและปริมาณของแกลบไม่มีผลต่ออุณหภูมิการสลายตัวของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกลบ

4.1.2 อุณหภูมิการหลอมเหลว

การศึกษาสมบัติทางความร้อนเกี่ยวกับอุณหภูมิการหลอมเหลวของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกลบ โดย DSC ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 อุณหภูมิการหลอมเหลวของพอลิพรอพิลีน และวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีน และแกลบที่ปริมาณแกลบร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก โดยมีขนาดแกลบต่าง ๆ กัน

ชิ้นงานตัวอย่าง	อุณหภูมิการหลอมเหลว (°C)
พอลิพรอพิลีน	157
PP + RH ขนาด 20-35 เมช	155
PP + RH ขนาด 35-50 เมช	155
PP + RH ขนาด 50-100 เมช	156
PP + RH ขนาด 100-200 เมช	156
PP + RH ขนาด ≥ 200 เมช	156

จากตารางที่ 4.2 แสดงอุณหภูมิการหลอมเหลวของพอลิพรอพิลีน และวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกลบที่ปริมาณแกลบร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก โดยมีขนาดแกลบต่าง ๆ กัน พบว่า พอลิพรอพิลีนมีอุณหภูมิการหลอมเหลวอยู่ที่ 157 องศาเซลเซียส และเมื่อมีการผสมแกลบที่มีขนาดต่างกันในพอลิพรอพิลีน อุณหภูมิการหลอมเหลวของพอลิพรอพิลีนในวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกลบไม่เปลี่ยนแปลง

ตารางที่ 4.3 อุณหภูมิการหลอมเหลวของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกลบที่มีขนาด 50-100 เมช โดยมีปริมาณแกลบต่าง ๆ กัน

ชิ้นงานตัวอย่าง	อุณหภูมิการหลอมเหลว (°C)
พอลิพรอพิลีน	157
PP + RH ร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก	156
PP + RH ร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก	156
PP + RH ร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก	154
PP + RH ร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก	156

เมื่อพิจารณาจากตารางที่ 4.3 พบว่าการผสมแกลบที่มีปริมาณต่างกันในพอลิพรอพิลีน อุณหภูมิการหลอมเหลวของพอลิพรอพิลีนในวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกลบไม่เปลี่ยนแปลง

จากผลการทดลองที่ได้ดังตารางที่ 4.2 และ 4.3 แสดงให้เห็นว่าการผสมแกลบในพอลิพรอพิลีนนั้น ขนาดและปริมาณของแกลบไม่มีผลต่ออุณหภูมิการหลอมเหลวของพอลิพรอพิลีน

ในวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกลบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการเรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.3 อุณหภูมิการเกิดผลึก และปริมาณความเป็นผลึก

จากการศึกษาสมบัติทางความร้อนเกี่ยวกับอุณหภูมิการเกิดผลึก และปริมาณความเป็นผลึกของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและไกลบ โดย DSC ได้ผลการทดลองดังต่อไปนี้

ตารางที่ 4.4 อุณหภูมิการเกิดผลึก เอนทัลปี และปริมาณความเป็นผลึกของพอลิพรอพิลีน และวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและไกลบที่ปริมาณไกลบร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก โดยมีขนาดไกลบต่าง ๆ กัน

ชิ้นงานตัวอย่าง	T_c ($^{\circ}\text{C}$)	ΔH_f (J/g)	% Crystallinity
พอลิพรอพิลีน	104	86	52
PP + RH ขนาด 20-35 เมช	111	57	43
PP + RH ขนาด 35-50 เมช	111	54	41
PP + RH ขนาด 50-100 เมช	109	56	43
PP + RH ขนาด 100-200 เมช	113	58	44
PP + RH ขนาด ≥ 200 เมช	116	56	42

จากตารางที่ 4.4 แสดงอุณหภูมิการเกิดผลึกของพอลิพรอพิลีน และวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและไกลบที่ปริมาณไกลบร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก โดยมีขนาดไกลบต่าง ๆ กัน พบว่า พอลิพรอพิลีนมีอุณหภูมิการเกิดผลึก 104 องศาเซลเซียส เมื่อผสมไกลบในพอลิพรอพิลีนมีผลทำให้พอลิพรอพิลีนในวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและไกลบมีอุณหภูมิการเกิดผลึกสูงขึ้น เนื่องจากการผสมไกลบในพอลิพรอพิลีน ทำให้พอลิพรอพิลีนเกิดผลึกได้เร็วขึ้น อุณหภูมิการเกิดผลึกของพอลิพรอพิลีนจึงสูงขึ้น และ การผสมไกลบที่มีขนาดต่างกันมีผลต่ออุณหภูมิการเกิดผลึกของพอลิพรอพิลีนในวัสดุผสม กล่าวคือ อุณหภูมิการเกิดผลึกของพอลิพรอพิลีนในวัสดุผสมมีแนวโน้มสูงขึ้น เมื่อมีการใช้ไกลบที่มีขนาดเล็กลง ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากไกลบที่มีขนาดเล็กนั้นมีพื้นที่ผิวสัมผัสมากกว่าไกลบที่มีขนาดใหญ่ ทำให้โอกาสการเกิดนิวเคลียสของพอลิพรอพิลีนบนพื้นผิวของไกลบที่มีขนาดเล็กนั้นเกิดได้เร็วขึ้นมากกว่าไกลบที่มีขนาดใหญ่

เมื่อพิจารณาปริมาณความเป็นผลึก พบว่า การผสมไกลบในพอลิพรอพิลีนนั้นทำให้ปริมาณความเป็นผลึกของพอลิพรอพิลีนลดลง ทั้งนี้เนื่องจากการผสมไกลบในพอลิพรอพิลีนนั้น ไกลบจะไปขัดขวางการจัดตัวเรียงตัวที่เป็นระเบียบของสายโซ่พอลิเมอร์ แต่การผสมไกลบที่มีขนาดต่าง ๆ กัน ไม่มีผลต่อปริมาณความเป็นผลึกของพอลิพรอพิลีนในวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและไกลบ

ตารางที่ 4.5 อุณหภูมิการเกิดผลึก เอนทัลปี และปริมาณความเป็นผลึกของวัสดุผสมระหว่าง พอลิพรอพิลีนและแกลบที่มีขนาด 50-100 เมช โดยมีปริมาณแกลบต่าง ๆ กัน

ชิ้นงานตัวอย่าง	T_c ($^{\circ}\text{C}$)	ΔH_f (J/g)	% Crystallinity
พอลิพรอพิลีน	104	86	52
PP + RH ร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก	109	64	43
PP + RH ร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก	109	58	43
PP + RH ร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก	110	48	41
PP + RH ร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก	110	41	41

จากตารางที่ 4.5 แสดงอุณหภูมิการเกิดผลึกของพอลิพรอพิลีน และวัสดุผสมระหว่าง พอลิพรอพิลีนและแกลบที่มีขนาด 50-100 เมช โดยมีปริมาณแกลบต่าง ๆ กัน พบว่า เมื่อผสม แกลบในพอลิพรอพิลีน มีผลทำให้พอลิพรอพิลีนในวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกลบ มีอุณหภูมิการเกิดผลึกสูงขึ้น แต่ปริมาณของแกลบไม่มีผลต่ออุณหภูมิการเกิดผลึกของพอลิพรอพิลีนในวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกลบ

เมื่อพิจารณาปริมาณความเป็นผลึก พบว่า การผสมแกลบในพอลิพรอพิลีนนั้น ทำให้ ปริมาณความเป็นผลึกของพอลิพรอพิลีนลดลง แต่ปริมาณของแกลบไม่มีผลต่อปริมาณความเป็น ผลึกของพอลิพรอพิลีนในวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกลบ

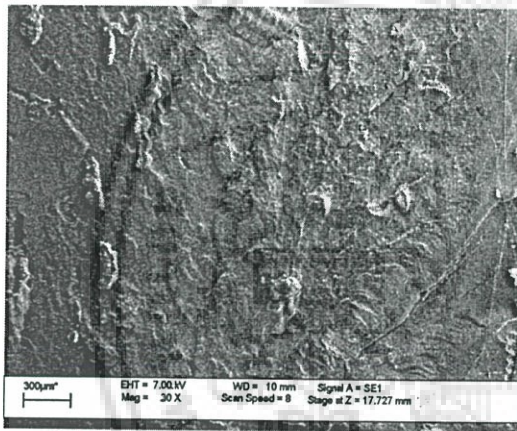
4.2 สันฐานวิทยา

การศึกษาสันฐานวิทยาของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกลบทำได้โดยใช้ กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด เพื่อศึกษาลักษณะการกระจายตัว (Dispersion) ของแกลบในพอลิพรอพิลีนเมทริกซ์ และลักษณะพื้นผิวระหว่างวัฏภาค (Interfacial surface) ของพอลิพรอพิลีนเมทริกซ์และแกลบ

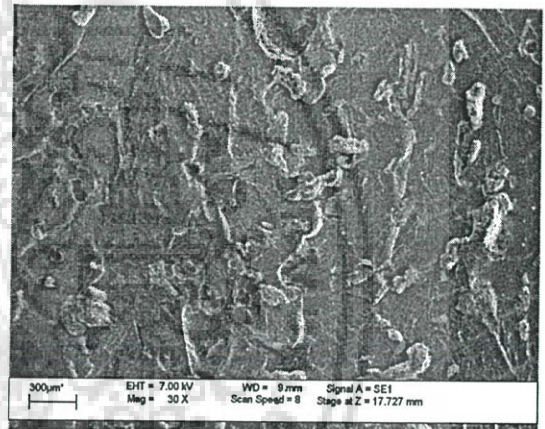
จากรูปที่ 4.9 (ก) - (ง) ซึ่งแสดงภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด กำลังขยาย 30 เท่าของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกลบที่มีขนาด 50-100 เมช ในปริมาณแกลบต่าง ๆ กัน คือ ร้อยละ 10, 20, 30 และ 40 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ พบว่า แกลบมีแนวโน้มที่จะรวมตัวกันเป็นกลุ่มก้อน (Agglomeration) เมื่อปริมาณแกลบเพิ่มขึ้น เนื่องจากการเกิดพันธะไฮโดรเจนของหมู่ไฮดรอกซิลระหว่างแกลบด้วยกัน และการเกิดช่องว่าง ระหว่างพอลิพรอพิลีนเมทริกซ์และแกลบ แสดงให้เห็นว่าวัฏภาคทั้งสองมีความสามารถในการ ยึดเกาะกันต่ำหรือไม่ดี ทำให้แกลบเกิดการหลุดออก (Pull-out) จากวัฏภาคของพอลิพรอพิลีน เนื่องจากความแตกต่างของความมีขั้วของสองวัฏภาค นั่นคือ พอลิพรอพิลีนเมทริกซ์มีความ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไม่มีขั้ว แต่เกลบมีความมีขั้ว โดยจากที่กล่าวมาแสดงให้เห็นอย่างชัดเจนได้ดังรูปที่ 4.10 ซึ่งเป็นภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดกำลังขยาย 200 เท่าของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและเกลบที่มีขนาด 50-100 เมช โดยมีปริมาณเกลบร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก

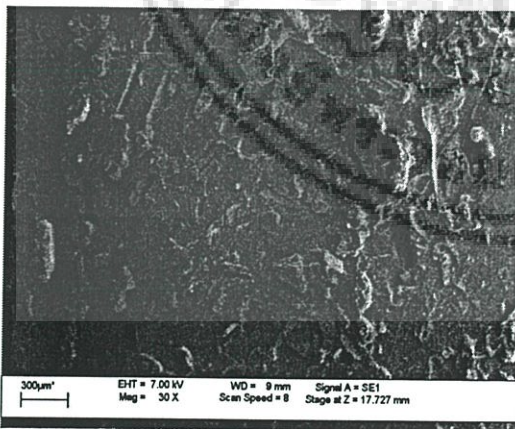
เมื่อปริมาณของเกลบเพิ่มขึ้น เกลบมีการรวมตัวเป็นกลุ่มก้อนมากขึ้น ทำให้เกิดการกระจายตัวของเกลบในพอลิเมอร์เมทริกซ์ไม่ดี จำนวนช่องว่างมากขึ้น ซึ่งจากที่กล่าวมาทั้งหมดนี้เป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลให้การถ่ายเทแรงจากพอลิพรอพิลีนเมทริกซ์ไปยังเกลบเกิดขึ้นได้ไม่ดีหรือไม่ต่อเนื่อง นอกจากนี้ยังพบอีกว่าเมื่อปริมาณเกลบเพิ่มขึ้น วัสดุมีแนวโน้มที่จะเกิดการเสียหายแบบเปราะมากขึ้น ดังนั้น เมื่อปริมาณเกลบเพิ่มขึ้น ทำให้วัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและเกลบมีความแข็งแรงดึง ร้อยละการดึงยืด ณ จุดคราก ความแข็งแรงโค้งงอ และความแข็งแรงกระแทกลดลง แต่มอดุลัสแรงดึง มอดุลัสโค้งงอ และความแข็งกดเพิ่มขึ้น



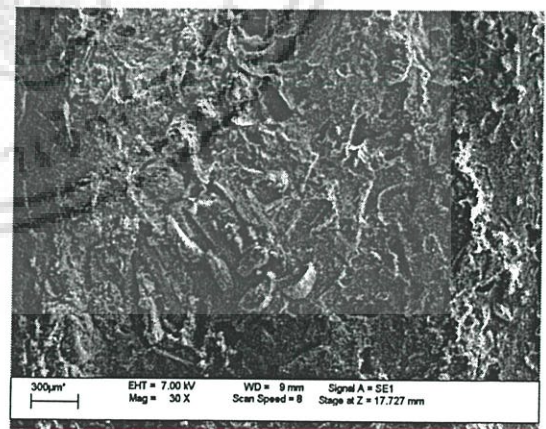
(ก)



(ข)



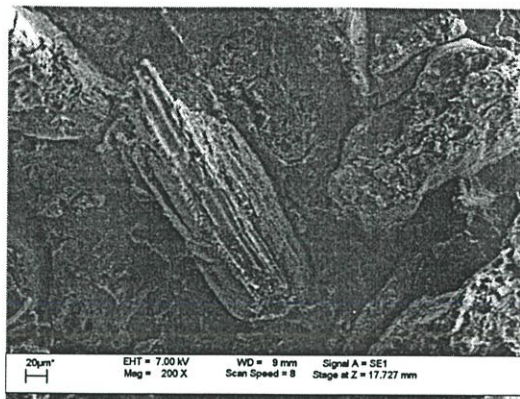
(ค)



(ง)

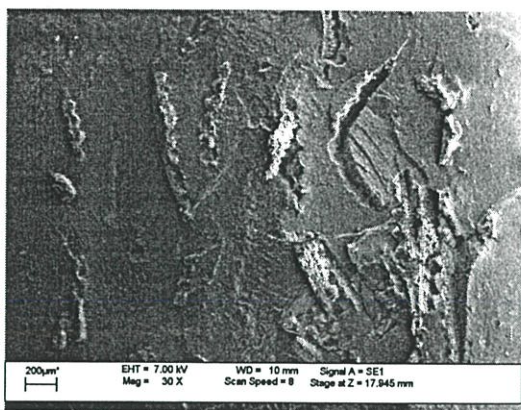
รูปที่ 4.9 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดกำลังขยาย 30 เท่าของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและเกลบที่มีขนาด 50-100 เมช ในปริมาณเกลบต่าง ๆ กัน (ก) ร้อยละ 10, (ข) ร้อยละ 20, (ค) ร้อยละ 30 และ (ง) ร้อยละ 40 โดยน้ำหนักตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

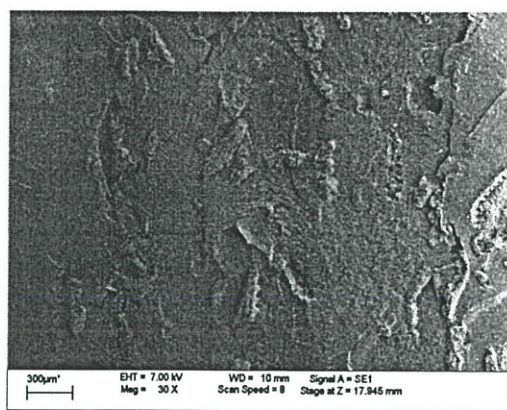


รูปที่ 4.10 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดกำลังขยาย 200 เท่าของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกลบที่มีขนาด 50-100 เมช โดยมีปริมาณแกลบร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก

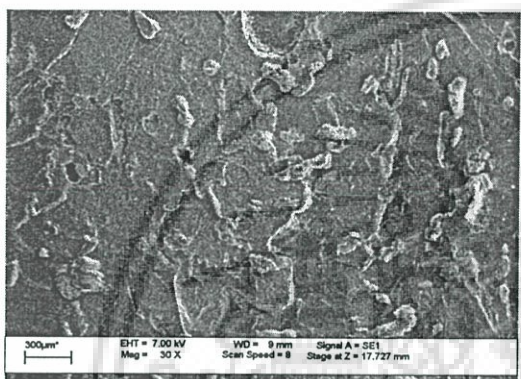
จากรูปที่ 4.11 (ก) - (จ) ซึ่งแสดงภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดกำลังขยาย 30 เท่าของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกลบ ที่มีปริมาณแกลบร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก โดยมีขนาดแกลบต่าง ๆ กัน คือ 20-35 เมช, 35-50 เมช, 50-100 เมช, 100-200 เมช และแกลบที่มีขนาดมากกว่าหรือเท่ากับ 200 เมช ตามลำดับ พบว่าวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกลบที่มีขนาดใหญ่ (20-35 เมช) นั้น แกลบมีแนวโน้มที่จะรวมตัวกันเป็นกลุ่มก้อนมากกว่าวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกลบที่มีขนาดเล็ก (มากกว่าหรือเท่ากับ 200 เมช) ทำให้แกลบที่มีขนาดเล็กสามารถกระจายตัวในพอลิพรอพิลีนเมทริกซ์ได้ดีกว่า นอกจากนี้ แกลบที่มีขนาดเล็กมีพื้นที่ผิวสัมผัสมากกว่าแกลบที่มีขนาดใหญ่ ทำให้มีความสามารถในการยึดเกาะกับพอลิเมอร์เมทริกซ์ได้ดีกว่า ซึ่งพิจารณาได้จากรูปที่ 4.12 ซึ่งแสดงภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดกำลังขยาย 200 เท่าของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกลบที่มีขนาดมากกว่าหรือเท่ากับ 200 เมช โดยมีปริมาณแกลบร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก พบว่าวัสดุผสมที่มีการใช้แกลบขนาดเล็ก มีช่องว่างระหว่างวัฏภาคน้อยกว่าวัสดุผสมที่มีการใช้แกลบขนาดใหญ่ (พิจารณาเปรียบเทียบกับรูปที่ 4.10) ซึ่งช่องว่างที่เกิดขึ้นจะส่งผลต่อสมบัติเชิงกลของวัสดุผสม นั่นคือ วัสดุผสมที่มีการใช้แกลบขนาดเล็กมีมอดุลัสแรงดึงและมอดุลัสโค้งงอ สูงกว่าวัสดุผสมที่มีการใช้แกลบขนาดใหญ่ ส่วนสมบัติเชิงกลอื่น ๆ นั้น ขนาดของแกลบมีผลน้อยมาก



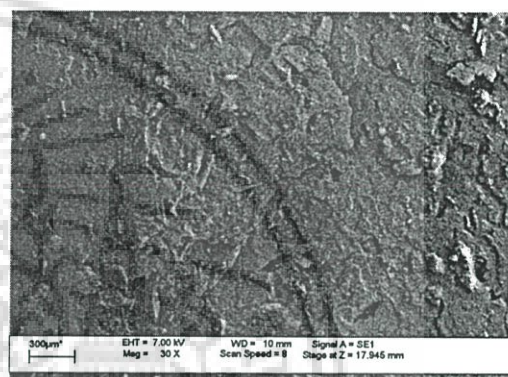
(ก)



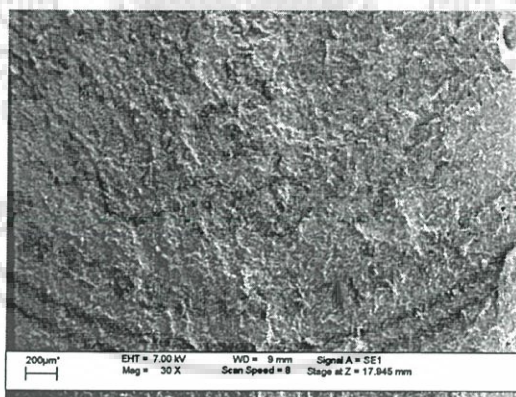
(ข)



(ค)



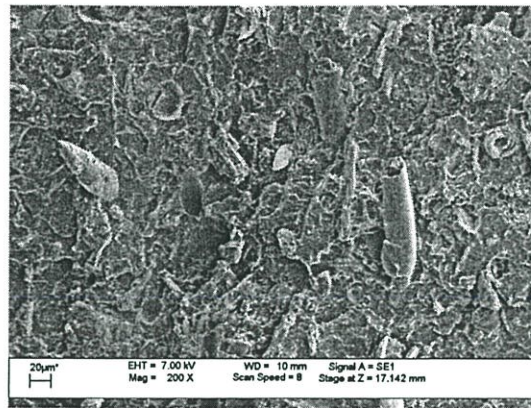
(ง)



(จ)

รูปที่ 4.11 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดกำลังขยาย 30 เท่าของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแคลบ ที่ปริมาณแคลบร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก โดยมีขนาดแคลบต่าง ๆ กัน คือ (ก) 20-35 เมช, (ข) 35-50 เมช, (ค) 50-100 เมช, (ง) 100-200 เมช และ (จ) แคลบที่มีขนาดมากกว่าหรือเท่ากับ 200 เมช ตามลำดับ

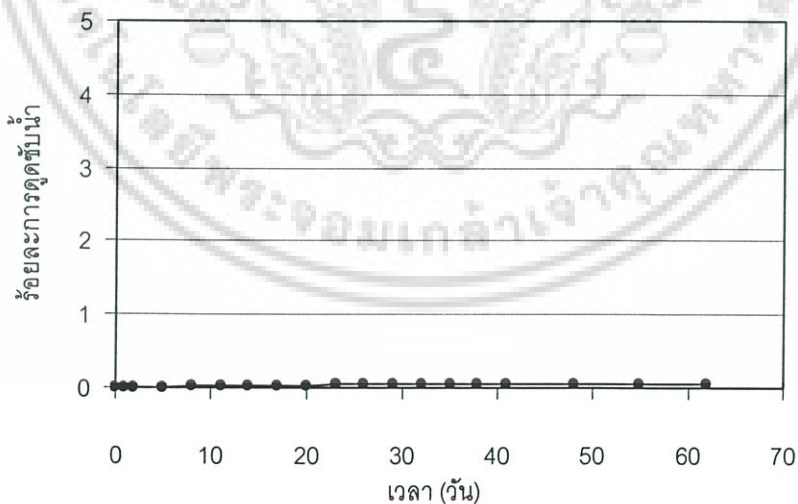
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.12 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดกำลังขยาย 200 เท่าของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแคลบที่มีขนาดมากกว่าหรือเท่ากับ 200 เมช โดยมีปริมาณแคลบร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก

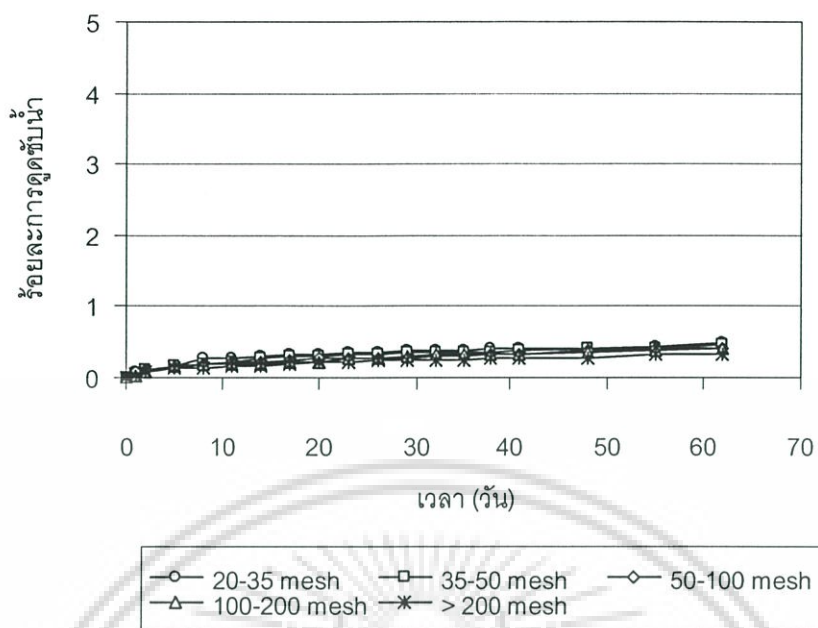
4.3 สมบัติทางกายภาพ

สมบัติทางกายภาพที่ทำการศึกษา ได้แก่ สมบัติการดูดซับน้ำ (Water absorption) ซึ่งผลที่ได้จากการทดสอบสมบัติการดูดซับน้ำของพอลิพรอพิลีนกับเวลาแสดงได้ดังรูปที่ 4.13 และวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแคลบแสดงได้ดังรูปที่ 4.14 - 4.17 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับน้ำของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแคลบที่มีขนาดต่าง ๆ กัน กับเวลา โดยมีปริมาณแคลบร้อยละ 10, 20, 30 และ 40 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ

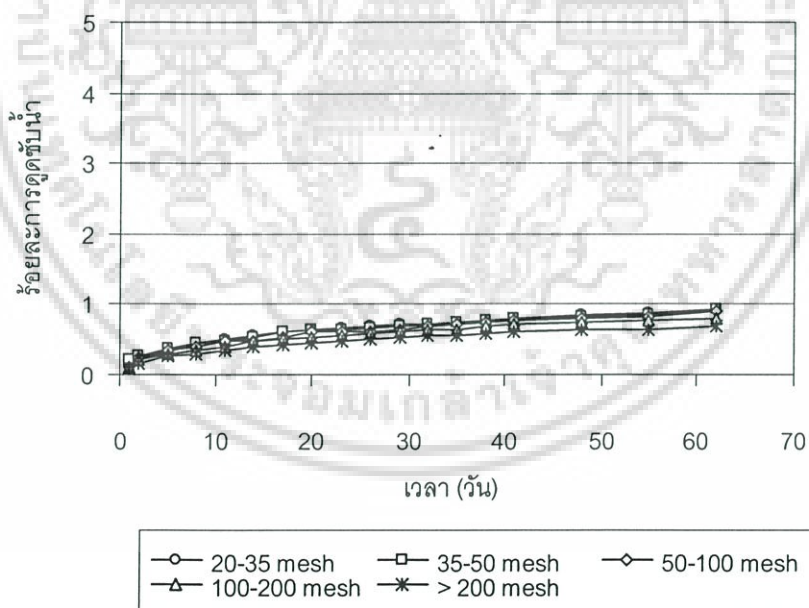


รูปที่ 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับน้ำของพอลิพรอพิลีนกับเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

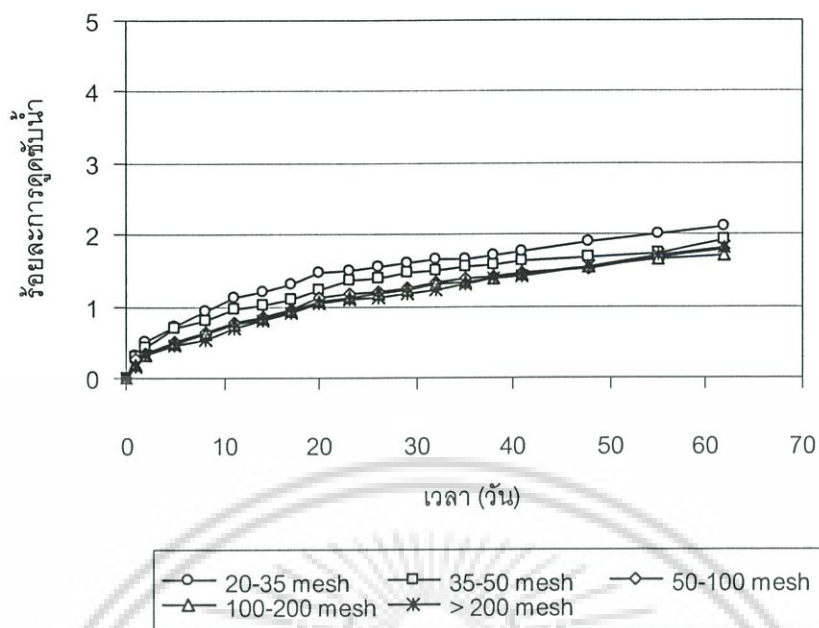


รูปที่ 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับน้ำของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและเกลบที่มีขนาดต่าง ๆ กันกับเวลา โดยมีปริมาณเกลบร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก

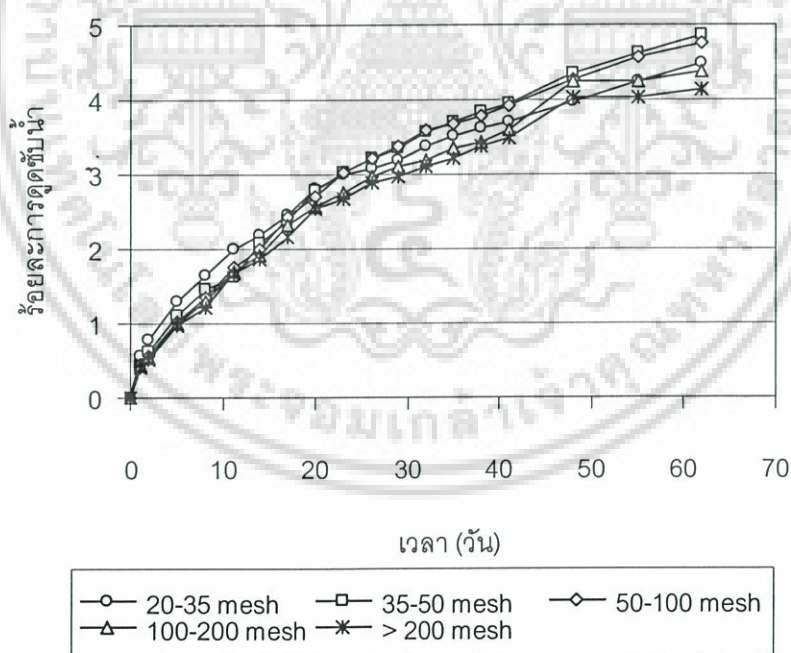


รูปที่ 4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับน้ำของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและเกลบที่มีขนาดต่าง ๆ กันกับเวลา โดยมีปริมาณเกลบร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.16 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับน้ำของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและกลบที่มีขนาดต่าง ๆ กันกับเวลา โดยมีปริมาณแกลบร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก



รูปที่ 4.17 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับน้ำของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและกลบที่มีขนาดต่าง ๆ กันกับเวลา โดยมีปริมาณแกลบร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 4.14 – 4.17 พบว่าวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกลบมีค่าร้อยละการดูดซับน้ำมากกว่าพอลิพรอพิลีน ซึ่งเป็นที่ทราบกันดีแล้วว่าพอลิพรอพิลีนเป็นพอลิเมอร์ที่มีความไม่มีขั้วหรือมีสมบัติไม่ชอบน้ำ แต่แกลบมีความมีขั้วหรือมีสมบัติชอบน้ำ เนื่องจากแกลบมีหมู่ไฮดรอกซิล (Hydroxyl, -OH) จึงสามารถเกิดพันธะไฮโดรเจน (Hydrogen bond) กับหมู่ไฮดรอกซิลของโมเลกุลของน้ำ [37] ดังนั้น การเติมแกลบในพอลิพรอพิลีนจึงทำให้วัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกลบมีค่าร้อยละการดูดซับน้ำมากกว่าพอลิพรอพิลีน

จากรูปที่ 4.14 – 4.17 พบว่าเมื่อปริมาณแกลบเพิ่มขึ้น วัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกลบมีค่าร้อยละการดูดซับน้ำเพิ่มขึ้น เพราะเมื่อปริมาณแกลบเพิ่มขึ้นเป็นการเพิ่มความหนาแน่นของหมู่ไฮดรอกซิลให้กับแกลบในวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกลบทำให้เกิดพันธะไฮโดรเจนกับหมู่ไฮดรอกซิลของโมเลกุลของน้ำได้มากขึ้น จึงทำให้วัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกลบที่มีปริมาณแกลบเพิ่มขึ้นมีค่าร้อยละการดูดซับน้ำเพิ่มขึ้น

เมื่อพิจารณาถึงโครงสร้างทางกายภาพของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกลบ พบว่าน้ำสามารถซึมผ่านเข้าไปในชิ้นงานวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกลบได้ถึง 3 บริเวณ [26] คือ ลูเมน (Lumen) ผนังเซลล์ (Cell wall) และรอยต่อ หรือรอยตำหนิ (Gap and flaw) ที่บริเวณที่เป็นรอยต่อระหว่างพื้นผิวของพอลิพรอพิลีนและแกลบ เมื่อปริมาณแกลบเพิ่มขึ้น บริเวณลูเมน ผนังเซลล์ และรอยต่อ หรือรอยตำหนิที่บริเวณที่เป็นรอยต่อระหว่างพื้นผิวของพอลิพรอพิลีนและแกลบมีมากขึ้น ทำให้น้ำสามารถซึมผ่านเข้าไปในชิ้นงานวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกลบได้มากขึ้น ส่งผลให้วัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกลบที่มีปริมาณแกลบเพิ่มขึ้น มีค่าร้อยละการดูดซับน้ำเพิ่มขึ้น

เมื่อพิจารณาถึงขนาดของแกลบที่มีต่อสมบัติการดูดซับน้ำของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกลบ พบว่าวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกลบที่มีขนาดเมซของแกลบลดลงหรือขนาดอนุภาคของแกลบใหญ่ขึ้นมีค่าร้อยละการดูดซับน้ำเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากแกลบที่มีขนาดใหญ่สามารถอุ้มน้ำได้ดีกว่าแกลบที่มีขนาดเล็ก และจากที่กล่าวมาแล้วข้างต้นว่าแกลบที่มีอนุภาคขนาดเล็กกว่า มีความสามารถในการเข้ากันได้กับพอลิพรอพิลีนเมทริกซ์ได้ดีกว่า ทำให้มีรอยต่อหรือช่องว่างน้อยกว่าการใช้แกลบที่มีขนาดอนุภาคใหญ่กว่า จึงทำให้วัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกลบที่มีขนาดอนุภาคใหญ่กว่ามีค่าร้อยละการดูดซับน้ำมากกว่าวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกลบที่มีขนาดอนุภาคเล็กกว่า ซึ่งพิจารณาได้จากรูปที่ 4.10 และ 4.12 ในหัวข้อที่ 4.2

4.4 สมบัติเชิงกล

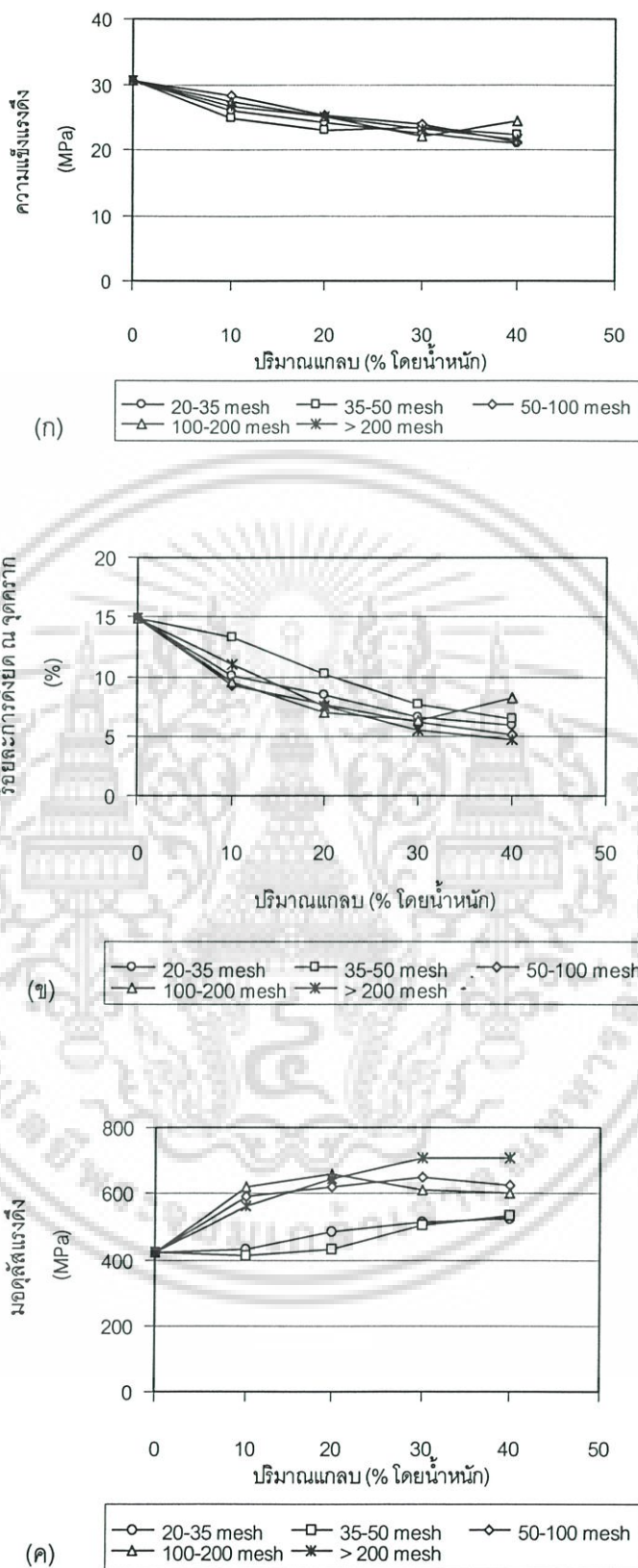
สมบัติเชิงกลที่ทำการศึกษา ได้แก่ สมบัติด้านแรงดึง (Tensile properties) สมบัติด้านแรงโค้งงอ (Flexural properties) ความแข็งแรงกระแทก (Impact strength) และความแข็งกด (Hardness)

4.4.1 สมบัติด้านแรงดึง

ผลจากการทดสอบสมบัติด้านแรงดึงที่สำคัญ ได้แก่ ความแข็งแรงดึง ร้อยละการดึงยืด ณ จุดคราก และมอดุลัสแรงดึงของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและไกลบที่ปริมาณไกลบต่าง ๆ กัน แสดงได้ดังรูปที่ 4.18 (ก) - (ค) ตามลำดับ

รูปที่ 4.18 (ก) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงดึงของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและไกลบที่ปริมาณไกลบ (ร้อยละโดยน้ำหนัก) ต่าง ๆ กัน พบว่าความแข็งแรงดึงของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและไกลบมีค่าลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับพอลิพรอพิลีนและเมื่อปริมาณไกลบเพิ่มขึ้น ความแข็งแรงดึงของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและไกลบมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากพอลิพรอพิลีนและไกลบมีความสามารถในการเข้ากันได้ (Compatibility) จำกัด หรือมีความสามารถในการยึดเกาะกันตรงรอยต่อระหว่างพื้นผิว (Interfacial adhesion) ต่ำ ทั้งนี้เพราะความแตกต่างของความมีขั้ว นั่นคือ พอลิพรอพิลีนเมทริกซ์มีความไม่มีขั้ว (Non-polar) หรือมีสมบัติไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic) แต่ไกลบมีความมีขั้ว (Polar) หรือมีสมบัติชอบน้ำ (Hydrophilic) จึงทำให้มีความสามารถในการยึดเกาะกันตรงรอยต่อระหว่างพื้นผิวดำ ซึ่งทำให้การถ่ายเทแรง (Stress transfer) จากพอลิเมอร์เมทริกซ์ไปยังสารตัวเติมเกิดขึ้นไม่ดีหรือไม่มีประสิทธิภาพ ส่งผลให้ความสามารถในการรับแรงดึงของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและไกลบลดลง ดังนั้น เมื่อปริมาณไกลบเพิ่มขึ้น จึงเป็นการเพิ่มพื้นที่ตรงรอยต่อระหว่างพื้นผิวที่มีการยึดเกาะกันต่ำของพอลิพรอพิลีนและไกลบ จึงส่งผลให้ความแข็งแรงดึงของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและไกลบมีแนวโน้มลดลง

เมื่อพิจารณาถึงขนาดของไกลบที่มีต่อความแข็งแรงดึงของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและไกลบ พบว่าวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและไกลบที่มีการใช้ขนาดไกลบต่างกัน คือ ขนาด 20-35 เมช, 35-50 เมช, 50-100 เมช, 100-200 เมช และไกลบที่มีขนาดมากกว่าหรือเท่ากับ 200 เมช ให้ค่าความแข็งแรงดึงที่ไม่แตกต่างกัน ดังนั้น ขนาดของไกลบจึงไม่มีผลต่อความแข็งแรงดึงของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและไกลบ



รูปที่ 4.18 ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติด้านแรงดึงของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกลบ ที่ปริมาณแกลบ (ร้อยละโดยน้ำหนัก) ต่าง ๆ กัน (ก) ความแข็งแรงดึง (ข) ร้อยละการดึงยืด ณ จุดคราก และ (ค) มอดุลัสแรงดึง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับการแข่งขันเพียงครั้งเดียวเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดัดยัด ณ จุดครากของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีน และกลบที่ปริมาณกลบ (ร้อยละโดยน้ำหนัก) ต่าง ๆ กัน แสดงได้ดังรูปที่ 4.18 (ข) จากรูป พบว่าร้อยละการดัดยัด ณ จุดครากของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและกลบมีค่าน้อยกว่า พอลิพรอพิลีน เนื่องจากการผสมกลบในพอลิพรอพิลีนนั้น กลบจะไปขัดขวางความสามารถ ในการเคลื่อนที่ (Mobility) ของพอลิพรอพิลีนเมทริกซ์ หรือทำให้ความสามารถในการเปลี่ยนแปลง รูปร่าง (Deformation) ของพอลิพรอพิลีนเมทริกซ์เป็นไปได้ยาก นอกจากนี้ พอลิพรอพิลีนและ กลบมีความสามารถในการเข้ากันได้จำกัด หรือมีความสามารถในการยึดเกาะกันตรงรอยต่อ ระหว่างพื้นผิวต่ำ จึงเป็นจุดบกพร่อง (Defect) ของชิ้นงาน และเมื่อได้รับแรงดัด จุดบกพร่องนั้น เปรียบเสมือนเป็นจุดริเริ่มของการแตก (Crack) หรือการแยกออกจากกันบริเวณพื้นผิว ของทั้งสองวัสดุภาค

เมื่อปริมาณกลบเพิ่มขึ้น ร้อยละการดัดยัด ณ จุดครากของวัสดุผสมระหว่างพอลิ- พรอพิลีน และกลบมีแนวโน้มลดลง เพราะเมื่อปริมาณกลบเพิ่มขึ้น ทำให้ไปขัดขวาง การเคลื่อนที่ของพอลิพรอพิลีนเมทริกซ์ได้มากขึ้น และเป็นการเพิ่มพื้นที่ตรงรอยต่อระหว่างพื้นผิว ที่มีการยึดเกาะกันต่ำของพอลิพรอพิลีนและกลบ ทำให้เกิดจุดบกพร่องในชิ้นงานมากขึ้น

เมื่อพิจารณาถึงขนาดของกลบที่มีต่อร้อยละการดัดยัด ณ จุดครากของวัสดุผสม ระหว่างพอลิพรอพิลีนและกลบ พบว่า ขนาดของกลบมีผลเล็กน้อยต่อร้อยละการดัดยัด ณ จุดครากของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและกลบ

สำหรับมอดุลัสแรงดัดเป็นค่าที่บอกถึงความแข็งของวัสดุ หรือความสามารถในการ รับแรงต่อการเปลี่ยนรูปหรือเสถียรภาพของวัสดุ เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 4.18 (ค) ซึ่งแสดง ความสัมพันธ์ระหว่างมอดุลัสแรงดัดของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและกลบที่ปริมาณกลบ (ร้อยละโดยน้ำหนัก) ต่าง ๆ กัน พบว่ามอดุลัสแรงดัดของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและกลบ มีค่ามากกว่าพอลิพรอพิลีน เนื่องจากกลบเป็นวัสดุที่มีความแข็งดัด (Stiffness) มากกว่า พอลิพรอพิลีน จึงมีความสามารถในการเปลี่ยนแปลงรูปร่างยากกว่าพอลิพรอพิลีน นอกจากนี้ การผสมกลบในพอลิพรอพิลีนนั้น กลบจะไปขัดขวางความสามารถในการเคลื่อนที่ของพอลิ- พรอพิลีนเมทริกซ์ หรือทำให้ความสามารถในการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของพอลิพรอพิลีนเมทริกซ์ เป็นไปได้ยาก

เมื่อปริมาณกลบเพิ่มขึ้น มอดุลัสแรงดัดของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและกลบ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เนื่องจากเมื่อปริมาณกลบเพิ่มขึ้น ทำให้ไปขัดขวางการเคลื่อนที่ของพอลิ- พรอพิลีนเมทริกซ์ได้มากขึ้น หรือทำให้ความสามารถในการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของพอลิพรอพิลีน เมทริกซ์เป็นไปได้ยากมากขึ้น

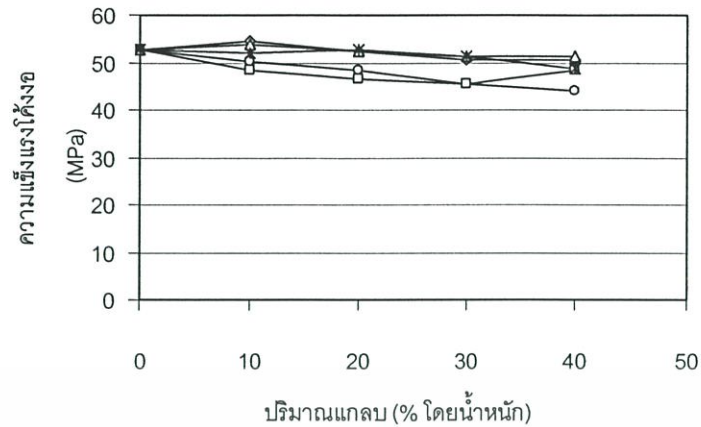
เมื่อพิจารณาถึงขนาดของแกลบที่มีต่อมอดุลัสแรงดึงของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกลบ พบว่าวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกลบที่มีขนาดเล็กกว่ามีมอดุลัสแรงดึงมากกว่าวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกลบที่มีขนาดใหญ่กว่า เนื่องจากแกลบที่มีขนาดเล็กมีพื้นที่ผิวสัมผัส (Surface area) มากกว่าแกลบที่มีขนาดใหญ่ จึงทำให้มีความสามารถในการเข้ากันได้กับพอลิพรอพิลีนเมทริกซ์ได้ดีกว่า ทำให้ความสามารถในการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของพอลิพรอพิลีนเมทริกซ์เป็นไปได้ยากมากขึ้น และจากผลการทดลองพบว่า วัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกลบที่มีขนาดมากกว่าหรือเท่ากับ 200 เมช ที่ปริมาณแกลบร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก ให้มอดุลัสแรงดึงเพิ่มขึ้นประมาณร้อยละ 68 เมื่อเทียบกับพอลิพรอพิลีน

4.4.2 สมบัติค้ำแรงโค้งงอ

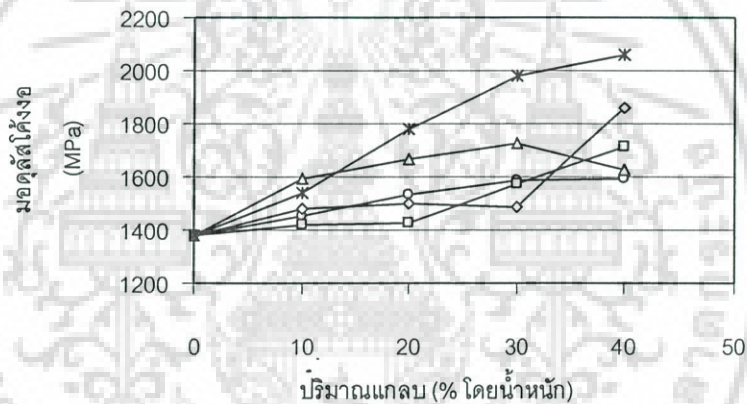
ผลจากการทดสอบสมบัติค้ำแรงโค้งงอที่สำคัญ ได้แก่ ความแข็งแรงโค้งงอและมอดุลัสโค้งงอ ของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกลบที่ปริมาณแกลบต่าง ๆ กันแสดงได้ดังรูปที่ 4.19 (ก) - (ข) ตามลำดับ

จากรูปที่ 4.19 (ก) พบว่าเมื่อปริมาณแกลบเพิ่มขึ้น ความแข็งแรงโค้งงอของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกลบที่มีขนาดใหญ่ (20-35 เมช และ 35-50 เมช) มีแนวโน้มลดลงเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับพอลิพรอพิลีน แต่ความแข็งแรงโค้งงอวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกลบที่มีขนาดเล็ก (50-100 เมช, 100-200 เมช และแกลบที่มีขนาดมากกว่าหรือเท่ากับ 200 เมช) มีแนวโน้มไม่เปลี่ยนแปลงเมื่อเปรียบเทียบกับพอลิพรอพิลีน

ความแข็งแรงโค้งงอของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกลบที่มีแนวโน้มลดลงสามารถอธิบายได้ด้วยเหตุผลเช่นเดียวกันกับสมบัติค้ำแรงดึงดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้นว่า พอลิพรอพิลีนและแกลบมีความสามารถในการเข้ากันได้จำกัด หรือมีความสามารถในการยึดเกาะกันตรงรอยต่อระหว่างพื้นผิวดำ ซึ่งทำให้การถ่ายเทแรงจากพอลิเมอร์เมทริกซ์ไปยังสารตัวเติมไม่ดีหรือไม่มีประสิทธิภาพ นอกจากนี้แกลบเป็นวัสดุที่มีความแข็ง มีความสามารถในการโค้งงอได้น้อยกว่าพอลิพรอพิลีน ดังนั้น เมื่อผสมแกลบในพอลิพรอพิลีน จึงทำให้ความสามารถในการโค้งงอของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกลบลดลง และเมื่อปริมาณแกลบเพิ่มขึ้น จึงทำให้ความแข็งแรงโค้งงอมีแนวโน้มลดลง



(ก)



(ข)

รูปที่ 4.19 ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติด้านแรงโค้งงอของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกลบที่ปริมาณแกลบ (ร้อยละโดยน้ำหนัก) ต่าง ๆ กัน (ก) ความแข็งแรงโค้งงอ และ (ข) มอดุลัสโค้งงอ

รูปที่ 4.19 (ข) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างมอดุลัสโค้งงอของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกลบที่ปริมาณแกลบ (ร้อยละโดยน้ำหนัก) ต่าง ๆ กัน พบว่ามอดุลัสโค้งงอของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกลบมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับพอลิพรอพิลีน ซึ่งอธิบายได้ด้วยเหตุผลเช่นเดียวกันกับสมบัติด้านมอดุลัสแรงดึงที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้นว่า เนื่องจากแกลบเป็นวัสดุที่มีความแข็งแรงมากกว่าพอลิพรอพิลีน จึงมีความสามารถในการเปลี่ยนแปลงรูปร่างหรือมีความสามารถในการโค้งงอได้ยากกว่าพอลิพรอพิลีน และการผสมแกลบในพอลิพรอพิลีนนั้น

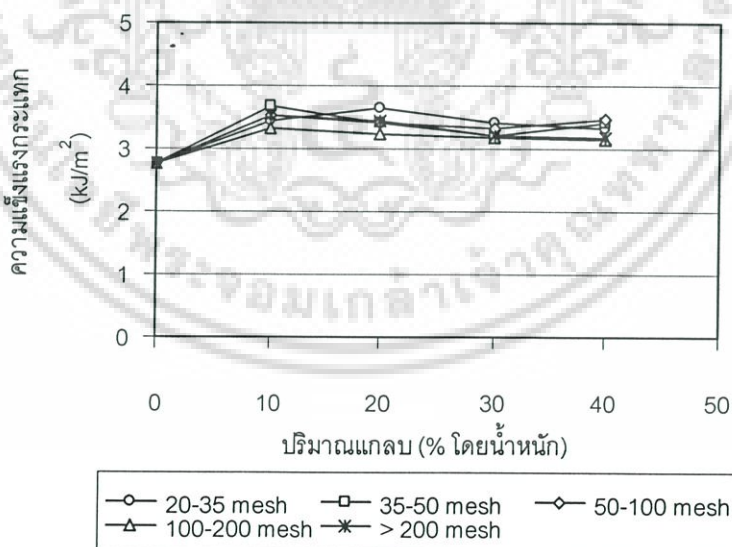
แกลบจะไปขัดขวางความสามารถในการเคลื่อนที่ของพอลิพรอพิลีนเมทริกซ์ หรือทำให้ความสามารถในการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของพอลิพรอพิลีนเมทริกซ์เป็นไปได้ยาก

เมื่อปริมาณแกลบเพิ่มขึ้นมอดูลัสโค้งงอของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกลบมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เนื่องจากเมื่อปริมาณแกลบเพิ่มขึ้น ทำให้ความสามารถในการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของพอลิพรอพิลีนเมทริกซ์เป็นไปได้ยากมากขึ้น

เมื่อพิจารณาถึงขนาดของแกลบที่มีต่อมอดูลัสโค้งงอของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกลบ พบว่าวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกลบที่มีขนาดเล็กกว่ามีค่ามอดูลัสโค้งงอมากกว่าวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกลบที่มีขนาดใหญ่กว่า เนื่องจากแกลบที่มีขนาดเล็กมีพื้นที่ผิวสัมผัสมากกว่าแกลบที่มีขนาดใหญ่ทำให้มีความสามารถในการเข้ากันได้กับพอลิพรอพิลีนเมทริกซ์ได้ดีกว่า จึงสามารถรับแรงที่ทำให้วัสดุเกิดการโค้งงอได้ดีกว่า จากผลการทดลองพบว่า วัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกลบที่มีขนาดมากกว่าหรือเท่ากับ 200 เมช โดยมีปริมาณแกลบร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก มีมอดูลัสโค้งงอเพิ่มขึ้นประมาณร้อยละ 50 เมื่อเทียบกับพอลิพรอพิลีน

4.4.3 ความแข็งแรงกระแทก

ผลที่ได้จากการทดสอบความแข็งแรงกระแทกของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกลบที่ปริมาณแกลบ (ร้อยละโดยน้ำหนัก) ต่าง ๆ กัน แสดงได้ดังรูปที่ 4.20



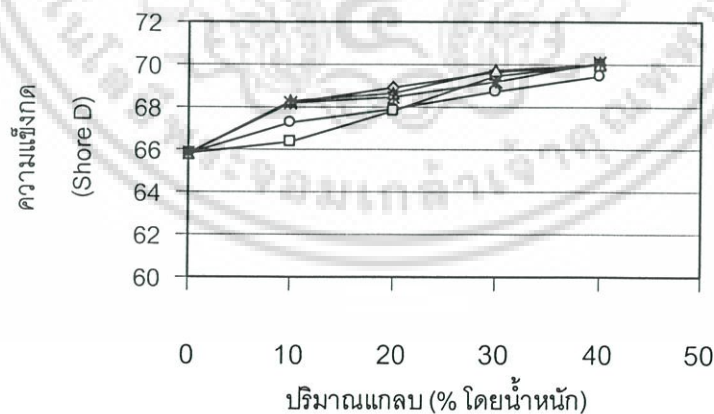
รูปที่ 4.20 ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงกระแทกของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกลบที่ปริมาณแกลบ (ร้อยละโดยน้ำหนัก) ต่าง ๆ กัน

จากรูปที่ 4.20 พบว่าความแข็งแรงกระแทกของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและกลบมีค่าเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับพอลิพรอพิลีน เนื่องจากกลบเป็นวัสดุที่สามารถรับและกระจายแรงให้กับพอลิพรอพิลีนเมทริกซ์ได้ จึงทำให้วัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและกลบมีความแข็งแรงกระแทกมากกว่าพอลิพรอพิลีนเล็กน้อย แต่เมื่อปริมาณกลบในพอลิพรอพิลีนเมทริกซ์ของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและกลบเพิ่มขึ้น ความแข็งแรงกระแทกมีแนวโน้มไม่เปลี่ยนแปลง ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการทดลองสมบัติทางความร้อนของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและกลบในตอนที่ 2 หัวข้อที่ 4.1.3 พบว่า เมื่อมีการผสมกลบในพอลิพรอพิลีน ทำให้ปริมาณความเป็นผลึกของพอลิพรอพิลีนลดลงเมื่อเทียบกับพอลิพรอพิลีนก่อนมีการผสมกลบ และเมื่อมีการใช้กลบที่มีขนาดและปริมาณต่างกัมนั้น ปริมาณความเป็นผลึกของพอลิพรอพิลีนในวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและกลบไม่เปลี่ยนแปลง ส่งผลให้ความแข็งแรงกระแทกมีแนวโน้มไม่เปลี่ยนแปลง

เมื่อพิจารณาถึงขนาดของกลบที่มีต่อความแข็งแรงกระแทกของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและกลบ พบว่าวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและกลบที่มีการใช้ขนาดกลบต่างกัมนั้น มีความแข็งแรงกระแทกที่ไม่แตกต่างกัน ดังนั้น ขนาดของกลบจึงไม่มีผลต่อความแข็งแรงกระแทกของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและกลบ

4.4.4 ความแข็งกด

ผลที่ได้จากการทดสอบความแข็งกดของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและกลบที่ปริมาณกลบ (ร้อยละโดยน้ำหนัก) ต่าง ๆ กัน แสดงได้ดังรูปที่ 4.21



รูปที่ 4.21 ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งกดของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและกลบที่ปริมาณกลบ (ร้อยละโดยน้ำหนัก) ต่าง ๆ กัน

จากรูปที่ 4.21 พบว่าความแข็งกดของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกลบมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับพอลิพรอพิลีน เนื่องจากแกลบเป็นสารตัวเติมประเภทลิกโนเซลลูโลส (Lignocellulose fillers) ชนิดหนึ่ง ซึ่งมีองค์ประกอบหลักที่สำคัญอยู่ 3 ชนิด คือ เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน จึงทำให้แกลบมีความแข็ง รับแรงกดได้มาก เมื่อผสมแกลบในพอลิพรอพิลีนซึ่งมีความนิ่ม รับแรงกดได้น้อยกว่า จึงทำให้วัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกลบมีความสามารถในการรับแรงกดได้มากกว่าพอลิพรอพิลีน และเมื่อปริมาณแกลบเพิ่มขึ้น ความแข็งกดของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกลบมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เพราะเมื่อปริมาณแกลบเพิ่มขึ้น ความสามารถในการรับแรงกดจึงมีมากขึ้น

เมื่อพิจารณาถึงขนาดของแกลบที่มีต่อความแข็งกดของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกลบ พบว่าวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกลบที่มีการใช้ขนาดแกลบต่างกัน มีความแข็งกดที่ไม่แตกต่างกันมากนัก ดังนั้น ขนาดของแกลบจึงไม่มีผลต่อความแข็งกดของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกลบ

จากสมบัติเชิงกลของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกลบที่กล่าวมาทั้งหมด พบว่า ปริมาณและขนาดของแกลบมีผลต่อสมบัติเชิงกลโดยรวมของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกลบ นั่นคือ ปริมาณของแกลบมีผลต่อความแข็งแรงดึง ร้อยละการดึงยืด ๓ จุดคราก มอดุลัสแรงดึง ความแข็งแรงโค้งงอ มอดุลัสโค้งงอ ความแข็งแรงกระแทก และความแข็งกดของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกลบ และขนาดของแกลบมีผลต่อมอดุลัสแรงดึง ความแข็งแรงโค้งงอ และมอดุลัสโค้งงอ ในขณะที่ปริมาณและขนาดของแกลบมีผลต่อมอดุลัสแรงดึง ความแข็งแรงโค้งงอ และมอดุลัสโค้งงอของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกลบ และเมื่อพิจารณาจากสูตรผสมทั้งหมดของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกลบ พบว่าวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกลบที่มีขนาดมากกว่าหรือเท่ากับ 200 เมช โดยมีปริมาณแกลบร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก ให้สมบัติเชิงกลโดยรวมที่ดีที่สุด โดยพิจารณาจากมอดุลัสแรงดึง และมอดุลัสโค้งงอที่เพิ่มขึ้น และนอกจากนี้การใช้ปริมาณแกลบร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก เป็นการนำแกลบมาประยุกต์ให้เกิดประโยชน์กับงานพลาสติกได้มาก และเพิ่มมูลค่าเชิงพาณิชย์ให้กับแกลบได้มากที่สุด

ตอนที่ 3 สมบัติต่าง ๆ ของพอลิพรอพิลีนที่นำกลับมาใช้ใหม่ และวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกลบที่นำกลับมาใช้ใหม่

จากสมบัติเชิงกลของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกลบที่กล่าวมาทั้งหมด ในตอนที่ 2 พบว่า วัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกลบที่มีการใช้แกลบขนาดมากกว่าหรือเท่ากับ 200 เมช โดยมีปริมาณแกลบร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก ให้สมบัติเชิงกลโดยรวมที่ดีที่สุด เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้น ในงานวิจัยนี้จึงเลือกที่จะทำการศึกษาสสมบัติต่าง ๆ ของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีน และแกลบที่มีขนาดมากกว่าหรือเท่ากับ 200 เมช โดยมีปริมาณแกลบร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก ที่นำกลับมาใช้ใหม่ ซึ่งผลการทดลองที่ได้จากการศึกษาสสมบัติต่าง ๆ ของพอลิพรอพิลีน ที่นำกลับมาใช้ใหม่ และวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกลบที่มีขนาดมากกว่าหรือเท่ากับ 200 เมช ที่ปริมาณแกลบร้อยละ 40 โดยน้ำหนักที่นำกลับมาใช้ใหม่ มีดังต่อไปนี้

4.5 ดัชนีการหลอมไหล

ผลจากการทดลองเพื่อหาค่าดัชนีการหลอมไหลของพอลิพรอพิลีนที่นำกลับมาใช้ใหม่ และวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกลบที่มีขนาดมากกว่าหรือเท่ากับ 200 เมช ที่ปริมาณแกลบร้อยละ 40 โดยน้ำหนักที่นำกลับมาใช้ใหม่ ด้วยเครื่อง Melt Flow Indexer แสดงได้ดัง ตารางที่ 4.6 และตารางที่ 4.7 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.6 ดัชนีการหลอมไหลของพอลิพรอพิลีนที่นำกลับมาใช้ใหม่

ชิ้นงานตัวอย่าง	ดัชนีการหลอมไหล, MFI (กรัม/10 นาที)
พอลิพรอพิลีน	27.4
PP ที่นำกลับมาใช้ใหม่ครั้งที่ 1	27.8
PP ที่นำกลับมาใช้ใหม่ครั้งที่ 2	28.0
PP ที่นำกลับมาใช้ใหม่ครั้งที่ 3	28.1
PP ที่นำกลับมาใช้ใหม่ครั้งที่ 4	28.4

ตารางที่ 4.7 ดัชนีการหลอมไหลของการนำกลับมาใช้ใหม่ของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีน และแกลบที่มีขนาดมากกว่าหรือเท่ากับ 200 เมช โดยมีปริมาณแกลบร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก

ชิ้นงานตัวอย่าง	ดัชนีการหลอมไหล, MFI (กรัม/10 นาที)
PP + RH \geq 200 เมช ที่ 40 %	10.6
PP + RH \geq 200 เมช ที่ 40 % ที่นำกลับมาใช้ใหม่ครั้งที่ 1	11.1
PP + RH \geq 200 เมช ที่ 40 % ที่นำกลับมาใช้ใหม่ครั้งที่ 2	11.9
PP + RH \geq 200 เมช ที่ 40 % ที่นำกลับมาใช้ใหม่ครั้งที่ 3	12.5
PP + RH \geq 200 เมช ที่ 40 % ที่นำกลับมาใช้ใหม่ครั้งที่ 4	13.9

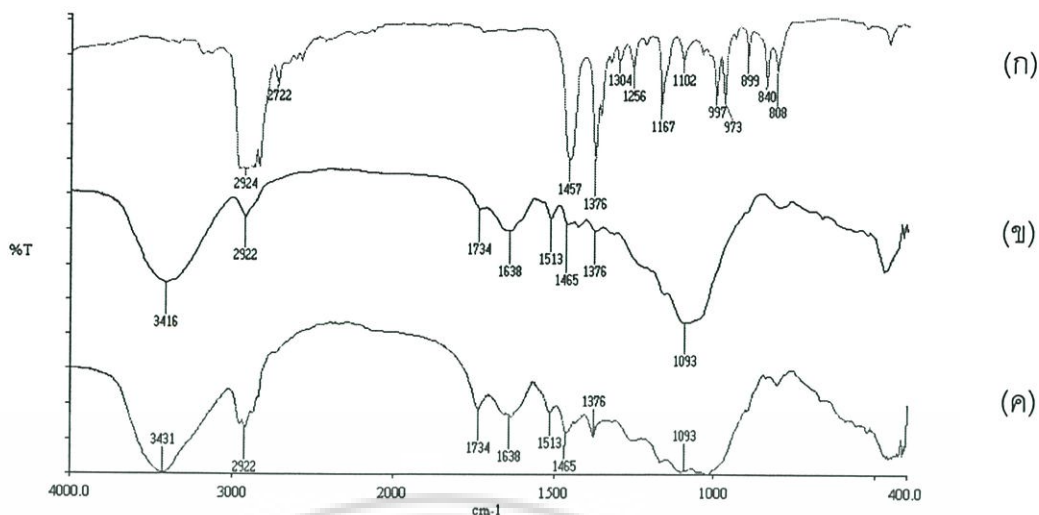
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อพิจารณาดัชนีการห่อมโหลของพอลิพรอพิลีนดังตารางที่ 4.6 และดัชนีการห่อมโหลของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกลบที่มีขนาดมากกว่าหรือเท่ากับ 200 เมช โดยมีปริมาณแกลบร้อยละ 40 โดยน้ำหนักดังตารางที่ 4.7 พบว่า การผสมแกลบในพอลิพรอพิลีนทำให้ดัชนีการห่อมโหลของพอลิพรอพิลีนมีแนวโน้มลดลง ทั้งนี้เนื่องจากแกลบจะไปขัดขวางการเคลื่อนที่ของสายโซ่โมเลกุลของพอลิพรอพิลีนทำให้ไหลได้ยากขึ้น ส่งผลให้พอลิพรอพิลีนในวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกลบมีดัชนีการห่อมโหลน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับพอลิพรอพิลีนก่อนการผสมแกลบ

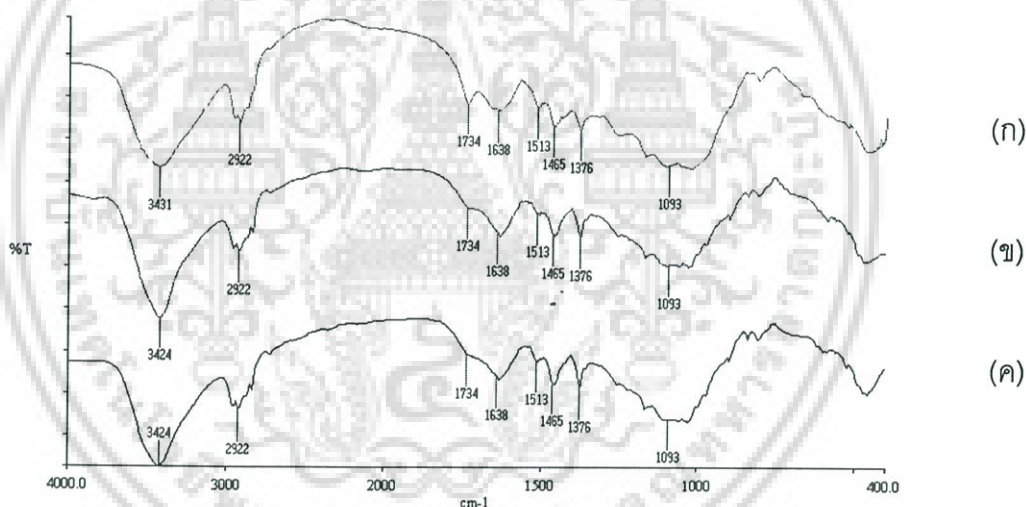
จากตารางที่ 4.6 พบว่า เมื่อจำนวนครั้งของการนำกลับมาใช้ใหม่เพิ่มขึ้น ดัชนีการห่อมโหลของพอลิพรอพิลีนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องมาจากการนำกลับมาใช้ใหม่ พอลิพรอพิลีนได้ผ่านกระบวนการทางความร้อนมาแล้ว เป็นเหตุให้สายโซ่ของพอลิพรอพิลีนเกิดการแตกตัวและมีขนาดเล็กลง จึงทำให้การไหลตัวของสายโซ่โมเลกุลเป็นไปได้ง่ายขึ้น มีผลทำให้ดัชนีการห่อมโหลของพอลิพรอพิลีนที่นำกลับมาใช้ใหม่สูงกว่าดัชนีการห่อมโหลของพอลิพรอพิลีนก่อนการนำกลับมาใช้ใหม่ และตารางที่ 4.7 พบว่า เมื่อจำนวนครั้งของการนำกลับมาใช้ใหม่เพิ่มขึ้น ดัชนีการห่อมโหลของวัสดุผสมมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการนำกลับมาใช้ใหม่ วัสดุผสมได้ผ่านกระบวนการทางความร้อนหลายครั้ง ทำให้เกิดการเสียดสภาพที่บริเวณพื้นผิวของแกลบ ความแข็งของแกลบลดลง ทำให้ขัดขวางการเคลื่อนที่ของสายโซ่พอลิเมอร์ได้น้อยลง และทำให้การไหลตัวของสายโซ่โมเลกุลเป็นไปได้ง่ายขึ้น

4.6 การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันโดยเทคนิค FT-IR

การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของพอลิพรอพิลีน แกลบ และวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกลบด้วยเทคนิค FT-IR ในช่วงเลขคลื่น $4000-400 \text{ cm}^{-1}$ แสดงได้ดังรูปที่ 4.22 สำหรับการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกลบที่มีขนาดมากกว่าหรือเท่ากับ 200 เมช โดยมีปริมาณแกลบร้อยละ 40 โดยน้ำหนักที่นำกลับมาใช้ใหม่ด้วยเทคนิค FT-IR แสดงได้ดังรูปที่ 4.23



รูปที่ 4.22 อินฟราเรดสเปกตรัมของ (ก) พอลิพรอพิลีน (ข) แก้ว และ (ค) วัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแก้วที่มีขนาดแก้วมากกว่าหรือเท่ากับ 200 เมช โดยมีปริมาณแก้วร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก



รูปที่ 4.23 อินฟราเรดสเปกตรัมของ (ก) PP + RH \geq 200 เมช ที่ 40 % (ข) PP + RH \geq 200 เมช ที่ 40 % ที่นำกลับมาใช้ใหม่ครั้งที่ 2 และ (ค) PP + RH \geq 200 เมช ที่ 40 % ที่นำกลับมาใช้ใหม่ครั้งที่ 4

จากรูปที่ 4.22 (ก)-(ค) จะพบพีกช่วง $3500-3250 \text{ cm}^{-1}$ เป็นพีกของหมู่ O-H Stretching ในแก้ว พีกช่วง $3100-2600 \text{ cm}^{-1}$ เป็นลักษณะการสั่นแบบ C-H Stretching ของอะลิฟาติกคาร์บอน พีกช่วง $1750-1700 \text{ cm}^{-1}$ เป็นลักษณะของหมู่ของคาร์บอนิล (C=O Stretching) ของลิกนินในองค์ประกอบของแก้ว พีกช่วง $1680-1560 \text{ cm}^{-1}$ เป็นพีกของคาร์บอนพันธะคู่ (C=C Stretching) พีกช่วง $1600-1400 \text{ cm}^{-1}$ เป็นพีกของวงแหวนเบนซีน (Benzene ring)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พีกช่วง $1400-1300\text{ cm}^{-1}$ เป็นลักษณะการเปลี่ยนรูปของ CH_2 และ/หรือ CH_3 ของพอลิพรอพิลีน และไกลบ และพีกช่วง $1200-1000\text{ cm}^{-1}$ เป็นพีกของ C-O Stretching

จากรูปที่ 4.22 (ค) แสดงอินฟราเรดสเปกตรัมของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีน และไกลบที่มีขนาดมากกว่าหรือเท่ากับ 200 เมช โดยมีปริมาณไกลบร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก แสดงพีกทั้งพอลิพรอพิลีน และไกลบ ซึ่งตำแหน่งสเปกตรัมของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีน และไกลบ สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 4.8

เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 4.23 (ก)-(ค) ซึ่งแสดงอินฟราเรดสเปกตรัมของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและไกลบที่มีขนาดมากกว่าหรือเท่ากับ 200 เมช โดยมีปริมาณไกลบร้อยละ 40 โดยน้ำหนักก่อนการนำกลับมาใช้ใหม่ และวัสดุผสมที่นำกลับมาใช้ใหม่ครั้งที่ 2 และครั้งที่ 4 ตามลำดับ จากรูป พบว่าพีกที่ปรากฏนั้นมีลักษณะและตำแหน่งของช่วงพีกเช่นเดียวกัน ดังนั้น การนำกลับมาใช้ใหม่ของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและไกลบถึง 4 ครั้ง ไม่เปลี่ยนแปลง หมู่ฟังก์ชันของวัสดุผสม แต่อย่างไรก็ตามเมื่อจำนวนครั้งของการนำกลับมาใช้ใหม่เพิ่มขึ้น พีกช่วง $1750-1700\text{ cm}^{-1}$ ซึ่งเป็นลักษณะของหมู่คาร์บอนิลของลิกนินในองค์ประกอบไกลบ มีแนวโน้มลดลง

ตารางที่ 4.8 ตำแหน่งของสเปกตรัมของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและไกลบที่มีขนาดมากกว่าหรือเท่ากับ 200 เมช โดยมีปริมาณไกลบร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก

ตำแหน่งพีก (cm^{-1})	ลักษณะการสั่น	เอกสารอ้างอิง
3500-3250	O-H Stretching	[38]
3100-2600	C-H Stretching	[38]
1750-1700	C=O Stretching ของหมู่คาร์บอนิล	[38]
1680-1560	C=C Stretching	[38]
1600-1400	วงแหวนเบนซีน (Benzene ring)	[38]
1400-1300	C-H Deformation ของ CH_2 และ/หรือ CH_3	[38, 39]
1200-1000	C-O Stretching	[38]

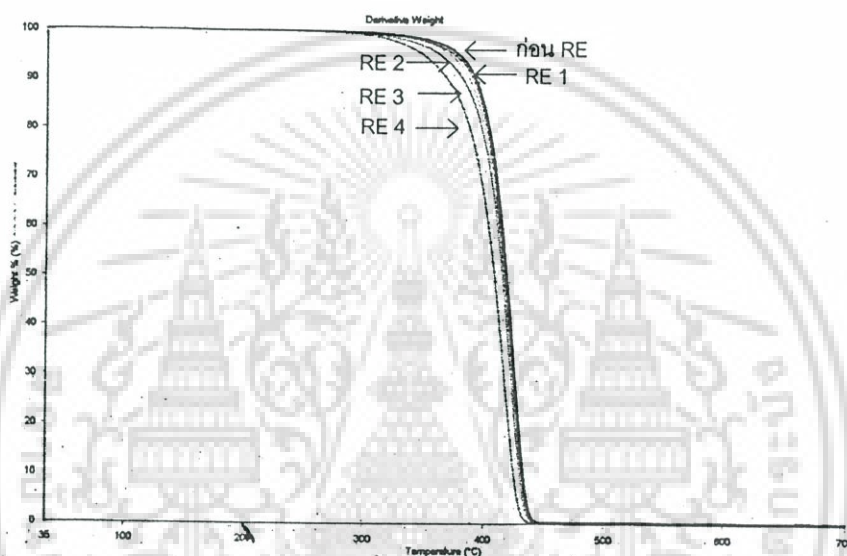
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.7 สมบัติทางความร้อน

สมบัติทางความร้อนที่ทำการศึกษาคือ อุณหภูมิการสลายตัวโดย TGA อุณหภูมิการหลอมเหลว อุณหภูมิการเกิดผลึก และปริมาณความเป็นผลึกโดย DSC

4.7.1 อุณหภูมิการสลายตัว

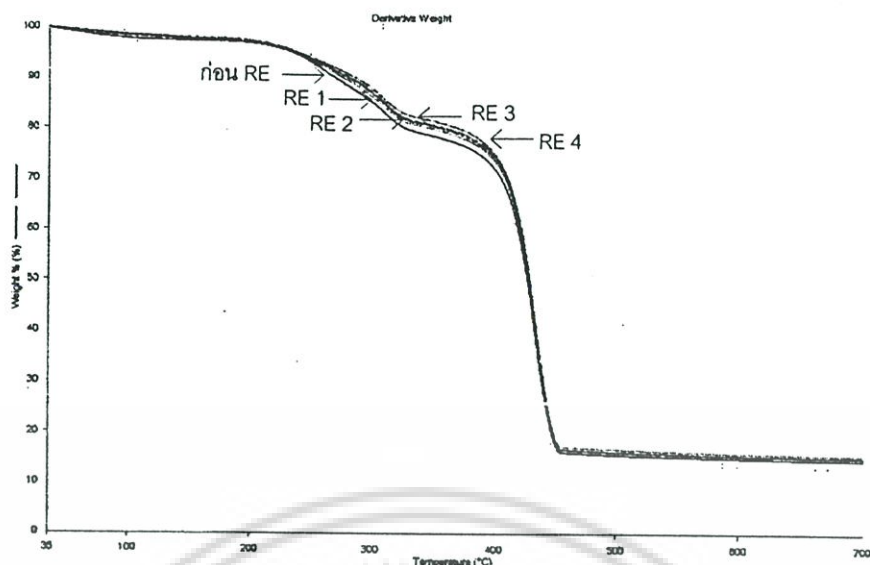
อุณหภูมิการสลายตัวของพอลิพรอพิลีนที่นำกลับมาใช้ใหม่ และวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแคลบที่มีขนาดมากกว่าหรือเท่ากับ 200 เมช โดยมีปริมาณแคลบร้อยละ 40 โดยน้ำหนักที่นำกลับมาใช้ใหม่ โดย TGA ได้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.24 และ 4.25 ตามลำดับ



รูปที่ 4.24 TG เทอร์โมแกรมของพอลิพรอพิลีนที่นำกลับมาใช้ใหม่

จากผลการทดลองที่ได้ดังรูปที่ 4.24 ซึ่งแสดง TG เทอร์โมแกรมของพอลิพรอพิลีนที่นำกลับมาใช้ใหม่ พบว่าเมื่อจำนวนครั้งของการนำกลับมาใช้ใหม่เพิ่มขึ้น อุณหภูมิการสลายตัวของพอลิพรอพิลีนมีแนวโน้มลดลง หรือกล่าวได้ว่ามีเสถียรภาพทางความร้อนลดลง

จากผลการทดลองที่ได้ดังรูปที่ 4.25 ซึ่งแสดง TG เทอร์โมแกรมของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแคลบที่มีขนาดมากกว่าหรือเท่ากับ 200 เมช โดยมีปริมาณแคลบร้อยละ 40 โดยน้ำหนักที่นำกลับมาใช้ใหม่ พบว่าเมื่อจำนวนครั้งของการนำกลับมาใช้ใหม่เพิ่มขึ้น อุณหภูมิการสลายตัวของวัสดุผสมมีแนวโน้มลดลงเพียงเล็กน้อย แสดงให้เห็นว่าการนำกลับมาใช้ใหม่มีผลเล็กน้อยต่ออุณหภูมิการสลายตัวของวัสดุผสม แต่อย่างไรก็ตามเมื่อจำนวนครั้งของการนำกลับมาใช้ใหม่เพิ่มขึ้น พบว่าปริมาณเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนินหายไปบางส่วน ซึ่งพิจารณาได้จากน้ำหนักที่หายไปมีแนวโน้มลดลง



รูปที่ 4.25 TG เทอร์โมแกรมของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกรบที่มีขนาดมากกว่าหรือเท่ากับ 200 ไมครอน โดยมีปริมาณแกรบร้อยละ 40 โดยน้ำหนักที่นำกลับมาใช้ใหม่

4.7.2 อุณหภูมิการหลอมเหลว

การศึกษาสมบัติทางความร้อนเกี่ยวกับอุณหภูมิการหลอมเหลวของพอลิพรอพิลีนที่นำกลับมาใช้ใหม่ และวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกรบที่มีขนาดมากกว่าหรือเท่ากับ 200 ไมครอน โดยมีปริมาณแกรบร้อยละ 40 โดยน้ำหนักที่นำกลับมาใช้ใหม่ โดย DSC ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.9 และ 4.10 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.9 อุณหภูมิการหลอมเหลวของพอลิพรอพิลีนที่นำกลับมาใช้ใหม่

ชิ้นงานตัวอย่าง	อุณหภูมิการหลอมเหลว (°C)
พอลิพรอพิลีน	157
PP ที่นำกลับมาใช้ใหม่ครั้งที่ 1	157
PP ที่นำกลับมาใช้ใหม่ครั้งที่ 2	156
PP ที่นำกลับมาใช้ใหม่ครั้งที่ 3	157
PP ที่นำกลับมาใช้ใหม่ครั้งที่ 4	156

จากตารางที่ 4.9 ซึ่งแสดงอุณหภูมิการหลอมเหลวของพอลิพรอพิลีนที่นำกลับมาใช้ใหม่พบว่า เมื่อจำนวนครั้งของการนำกลับมาใช้ใหม่เพิ่มขึ้น อุณหภูมิการหลอมเหลวของพอลิพรอพิลีนไม่เปลี่ยนแปลง แสดงให้เห็นว่าการนำกลับมาใช้ใหม่ถึง 4 ครั้งไม่มีผลต่ออุณหภูมิการหลอมเหลวของพอลิพรอพิลีน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.10 อุณหภูมิการหลอมเหลวของการนำกลับมาใช้ใหม่ของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกลบที่มีขนาดมากกว่าหรือเท่ากับ 200 เมช โดยมีปริมาณแกลบร้อยละ 40 โดยน้ำหนักที่นำกลับมาใช้ใหม่

ชิ้นงานตัวอย่าง	อุณหภูมิการหลอมเหลว (°C)
PP + RH \geq 200 เมช ที่ 40 %	156
PP + RH \geq 200 เมช ที่ 40 % ที่นำกลับมาใช้ใหม่ครั้งที่ 1	156
PP + RH \geq 200 เมช ที่ 40 % ที่นำกลับมาใช้ใหม่ครั้งที่ 2	155
PP + RH \geq 200 เมช ที่ 40 % ที่นำกลับมาใช้ใหม่ครั้งที่ 3	155
PP + RH \geq 200 เมช ที่ 40 % ที่นำกลับมาใช้ใหม่ครั้งที่ 4	156

เมื่อพิจารณาจากตารางที่ 4.10 ซึ่งแสดงอุณหภูมิการหลอมเหลวของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกลบที่มีขนาดมากกว่าหรือเท่ากับ 200 เมช โดยมีปริมาณแกลบร้อยละ 40 โดยน้ำหนักที่นำกลับมาใช้ใหม่ พบว่า เมื่อจำนวนครั้งของการนำกลับมาใช้ใหม่เพิ่มขึ้น อุณหภูมิการหลอมเหลวของพอลิพรอพิลีนในวัสดุผสมมีแนวโน้มไม่เปลี่ยนแปลง จากผลการทดลองที่ได้แสดงให้เห็นว่าการนำกลับมาใช้ใหม่ของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกลบที่มีขนาดมากกว่าหรือเท่ากับ 200 เมช โดยมีปริมาณแกลบร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก ไม่มีผลต่ออุณหภูมิการหลอมเหลวของพอลิพรอพิลีนในวัสดุผสม

4.7.3. อุณหภูมิการเกิดผลึก และปริมาณความเป็นผลึก

จากการศึกษาสมบัติทางความร้อนเกี่ยวกับอุณหภูมิการเกิดผลึก และปริมาณความเป็นผลึกของพอลิพรอพิลีนที่นำกลับมาใช้ใหม่ และวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกลบที่มีขนาดมากกว่าหรือเท่ากับ 200 เมช โดยมีปริมาณแกลบร้อยละ 40 โดยน้ำหนักที่นำกลับมาใช้ใหม่ด้วยเครื่อง DSC ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.11 และ 4.12 ตามลำดับ

จากตารางที่ 4.11 ซึ่งแสดงอุณหภูมิการเกิดผลึก และปริมาณความเป็นผลึกของพอลิพรอพิลีนที่นำกลับมาใช้ใหม่ พบว่าเมื่อจำนวนครั้งของการนำกลับมาใช้ใหม่เพิ่มขึ้น อุณหภูมิการเกิดผลึกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย และปริมาณความเป็นผลึกมีแนวโน้มไม่เปลี่ยนแปลง

เมื่อพิจารณาจากตารางที่ 4.12 ซึ่งแสดงอุณหภูมิการเกิดผลึก และปริมาณความเป็นผลึกของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกลบที่มีขนาดมากกว่าหรือเท่ากับ 200 เมช โดยมีปริมาณแกลบร้อยละ 40 โดยน้ำหนักที่นำกลับมาใช้ใหม่ พบว่า เมื่อจำนวนครั้งของการนำกลับมาใช้ใหม่เพิ่มขึ้น อุณหภูมิการเกิดผลึกมีแนวโน้มไม่เปลี่ยนแปลง แต่ปริมาณความเป็นผลึกมีแนวโน้มลดลงอย่างชัดเจน ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการนำกลับมาใช้ใหม่ ทำให้สายโซ่พอลิเมอร์

สั้นลง ส่งผลให้การจัดเรียงตัวเป็นผลึกเป็นไปได้ยากขึ้น ซึ่งส่งผลให้สมบัติเชิงกลลดลง ไม่ว้ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.11 อุณหภูมิการเกิดผลึก เอนทัลปี และปริมาณความเป็นผลึกของพอลิพรอพิลีน ที่นำกลับมาใช้ใหม่

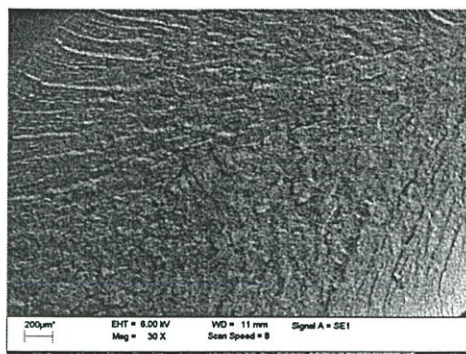
ชิ้นงานตัวอย่าง	T_c (°C)	ΔH_f (J/g)	% Crystallinity
พอลิพรอพิลีน	104	86	52
PP ที่นำกลับมาใช้ใหม่ครั้งที่ 1	105	86	52
PP ที่นำกลับมาใช้ใหม่ครั้งที่ 2	107	84	51
PP ที่นำกลับมาใช้ใหม่ครั้งที่ 3	107	84	51
PP ที่นำกลับมาใช้ใหม่ครั้งที่ 4	108	81	49

ตารางที่ 4.12 อุณหภูมิการเกิดผลึก เอนทัลปี และปริมาณความเป็นผลึกของวัสดุผสมระหว่าง พอลิพรอพิลีนและแกลบที่มีขนาดมากกว่าหรือเท่ากับ 200 เมช โดยมีปริมาณ แกลบร้อยละ 40 โดยน้ำหนักที่นำกลับมาใช้ใหม่

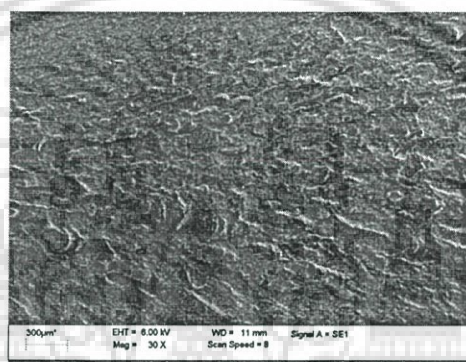
ชิ้นงานตัวอย่าง	T_c (°C)	ΔH_f (J/g)	% Crystallinity
PP + RH \geq 200 เมช ที่ 40 %	116	40	40
PP + RH \geq 200 เมช ที่ 40 % ที่นำกลับมาใช้ใหม่ครั้งที่ 1	113	40	40
PP + RH \geq 200 เมช ที่ 40 % ที่นำกลับมาใช้ใหม่ครั้งที่ 2	115	36	36
PP + RH \geq 200 เมช ที่ 40 % ที่นำกลับมาใช้ใหม่ครั้งที่ 3	115	34	34
PP + RH \geq 200 เมช ที่ 40 % ที่นำกลับมาใช้ใหม่ครั้งที่ 4	114	30	31

4.8 สันฐานวิทยา

การศึกษาสันฐานวิทยาของพอลิพรอพิลีนก่อนการนำกลับมาใช้ใหม่ และพอลิพรอพิลีน ที่นำกลับมาใช้ใหม่ครั้งที่ 4 โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด แสดงได้ดังรูปที่ 4.26 และ 4.27 ตามลำดับ และการศึกษาสันฐานวิทยาของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกลบ ที่มีขนาดมากกว่าหรือเท่ากับ 200 เมช โดยมีปริมาณแกลบร้อยละ 40 โดยน้ำหนักก่อนการ นำกลับมาใช้ใหม่ และวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกลบที่มีขนาดมากกว่าหรือเท่ากับ 200 เมช โดยมีปริมาณแกลบร้อยละ 40 โดยน้ำหนักที่นำกลับมาใช้ใหม่ โดยใช้กล้องจุลทรรศน์ อิเล็กตรอนแบบส่องกราด แสดงได้ดังรูปที่ 4.28

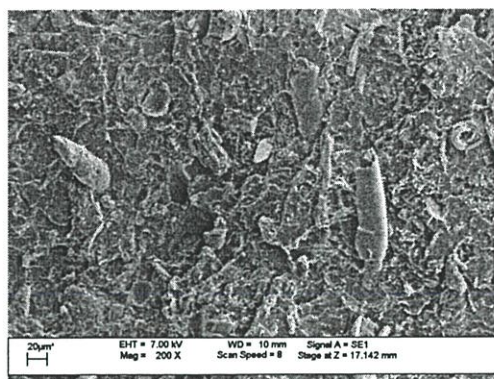


รูปที่ 4.26 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดกำลังขยาย 30 เท่าของพอลิพรอพิลีน

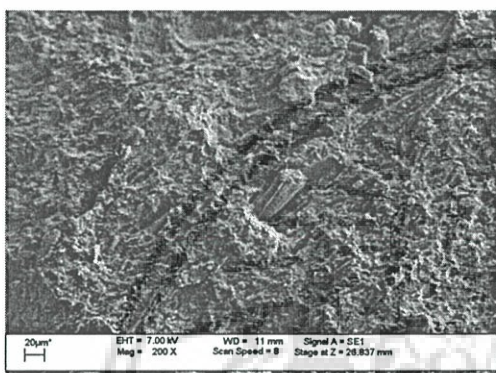


รูปที่ 4.27 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดกำลังขยาย 30 เท่าของพอลิพรอพิลีนที่นำกลับมาใช้ใหม่ครั้งที่ 4

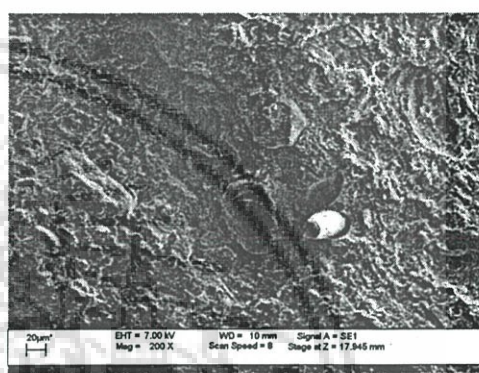
เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 4.26 และ 4.27 ซึ่งแสดงภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดกำลังขยาย 30 เท่าของพอลิพรอพิลีน และพอลิพรอพิลีนที่นำกลับมาใช้ใหม่ครั้งที่ 4 ตามลำดับ พบว่า ลักษณะพื้นผิวของพอลิพรอพิลีนไม่แตกต่างจากลักษณะพื้นผิวของพอลิพรอพิลีนที่นำกลับมาใช้ใหม่ครั้งที่ 4 ซึ่งสอดคล้องกับสมบัติเชิงกลที่ได้ คือ การนำกลับมาใช้ใหม่ถึง 4 ครั้งของพอลิพรอพิลีนนั้นไม่เปลี่ยนแปลงสมบัติเชิงกลของพอลิพรอพิลีน ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความสามารถในการนำกลับมาใช้ใหม่ของพอลิพรอพิลีน



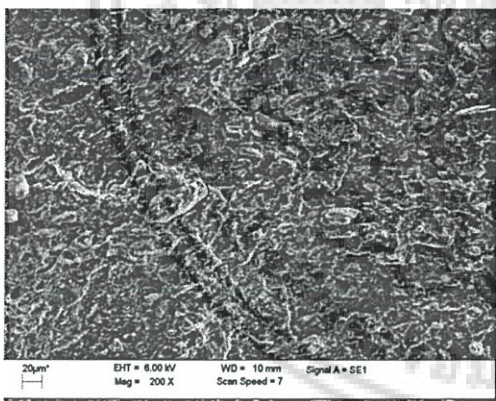
(ก)



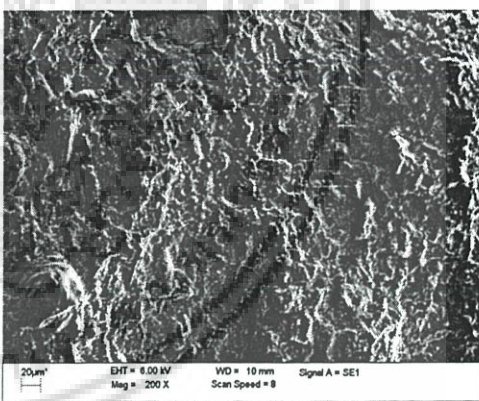
(ข)



(ค)



(ง)



(จ)

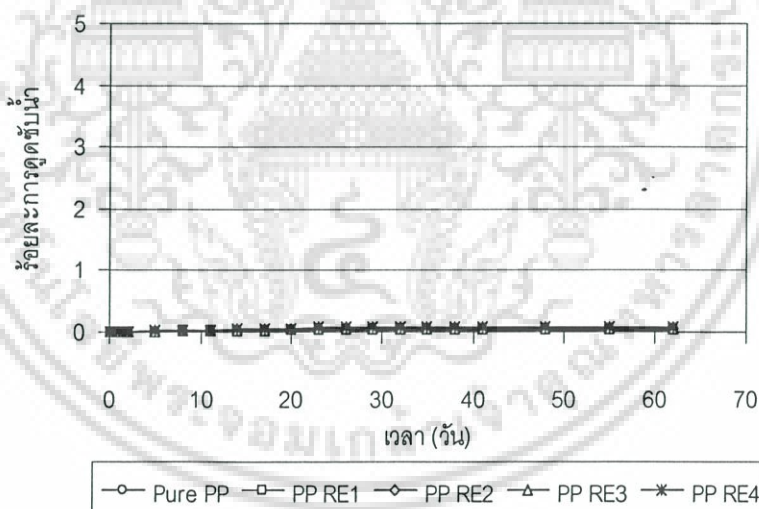
รูปที่ 4.28 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดกำลังขยาย 200 เท่าของ (ก) วัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแคลบที่มีขนาดมากกว่า หรือเท่ากับ 200 เมช โดยมีปริมาณแคลบร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก (ข) ที่นำกลับมาใช้ใหม่ครั้งที่ 1 (ค) ที่นำกลับมาใช้ใหม่ครั้งที่ 2 (ง) ที่นำกลับมาใช้ใหม่ครั้งที่ 3 และ (จ) ที่นำกลับมาใช้ใหม่ครั้งที่ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

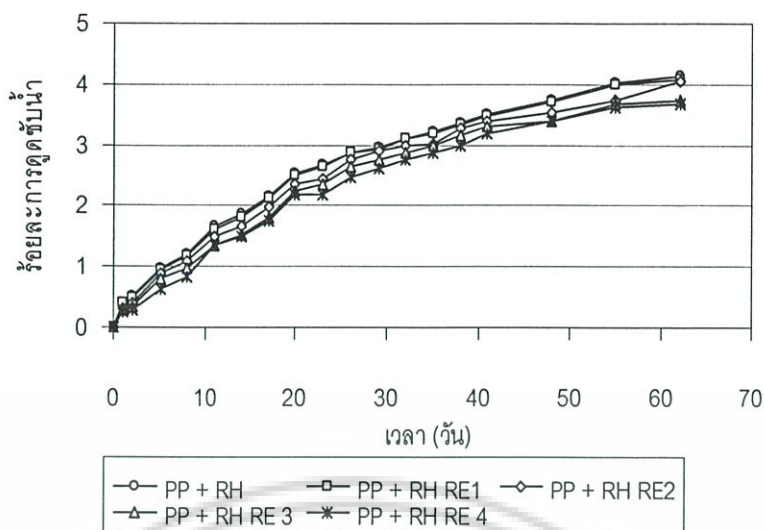
จากรูปที่ 4.28 ซึ่งแสดงภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด กำลังขยาย 200 เท่าของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกลบที่มีขนาดมากกว่าหรือเท่ากับ 200 เมช โดยมีปริมาณแกลบร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก และวัสดุผสมที่นำกลับมาใช้ใหม่ครั้งที่ 1 ถึงครั้งที่ 4 ตามลำดับ พบว่าเมื่อจำนวนครั้งของการนำกลับมาใช้ใหม่เพิ่มขึ้น ความสามารถในการเข้ากันได้ของพอลิพรอพิลีนและแกลบดีขึ้น แต่แกลบมีขนาดเล็กลงและสมบัติเชิงกลที่ได้นั้นมีแนวโน้มลดลง แสดงให้เห็นว่าการนำกลับมาใช้ใหม่ของวัสดุผสม อาจทำให้แกลบเกิดการเสียหาย ซึ่งจากการขึ้นรูปชิ้นงานที่ผ่านการนำกลับมาใช้ใหม่นั้น พบว่ามีกลิ่นใหม่ และชิ้นงานมีสีเข้มขึ้น จึงส่งผลให้สมบัติเชิงกลลดลง

4.9 สมบัติทางกายภาพ

สมบัติทางกายภาพที่ทำการศึกษา คือ สมบัติการดูดซับน้ำ ซึ่งผลที่ได้จากการทดสอบสมบัติการดูดซับน้ำของพอลิพรอพิลีนที่นำกลับมาใช้ใหม่ และวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกลบที่มีขนาดมากกว่าหรือเท่ากับ 200 เมช โดยมีปริมาณแกลบร้อยละ 40 โดยน้ำหนักที่นำกลับมาใช้ใหม่ แสดงได้ดังรูปที่ 4.29 และ 4.30 ตามลำดับ



รูปที่ 4.29 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับน้ำของพอลิพรอพิลีนที่นำกลับมาใช้ใหม่กับเวลา



รูปที่ 4.30 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับน้ำของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกลบที่มีขนาดมากกว่าหรือเท่ากับ 200 เมช โดยมีปริมาณแกลบร้อยละ 40 โดยน้ำหนักที่นำกลับมาใช้ใหม่

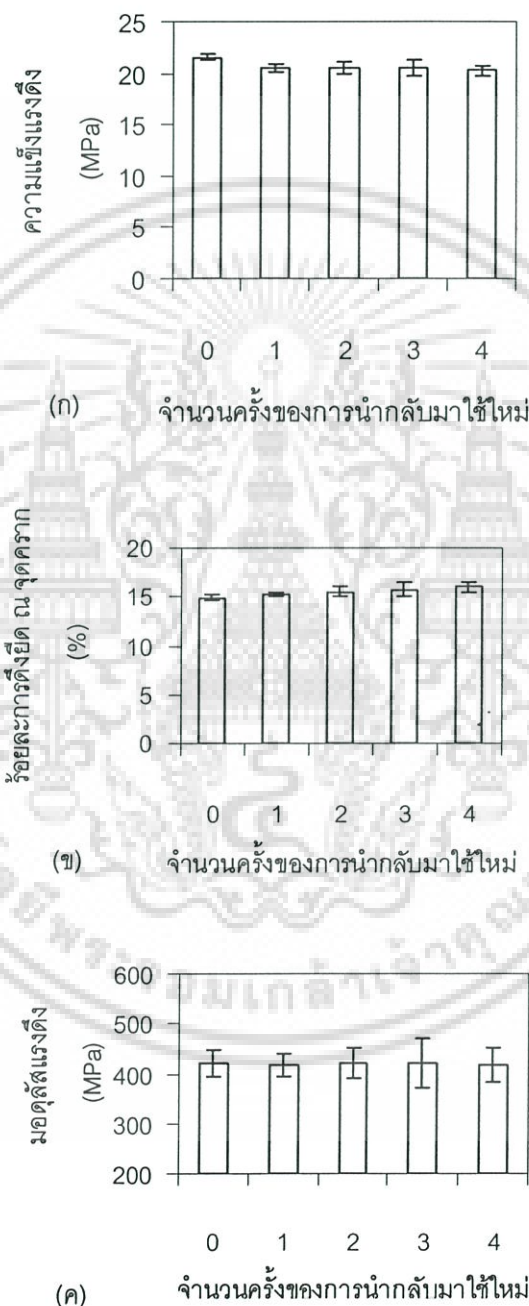
รูปที่ 4.29 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับน้ำกับเวลาของพอลิพรอพิลีนที่นำกลับมาใช้ใหม่ พบว่าเมื่อจำนวนครั้งของการนำกลับมาใช้ใหม่เพิ่มขึ้น ร้อยละการดูดซับน้ำของพอลิพรอพิลีนมีแนวโน้มไม่เปลี่ยนแปลง ทั้งนี้เนื่องจากพอลิพรอพิลีนมีสมบัติไม่ชอบน้ำหรือมีความไม่มีขั้ว

รูปที่ 4.30 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับน้ำกับเวลาของของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกลบที่มีขนาดมากกว่าหรือเท่ากับ 200 เมช โดยมีปริมาณแกลบร้อยละ 40 โดยน้ำหนักที่นำกลับมาใช้ใหม่ พบว่าเมื่อจำนวนครั้งของการนำกลับมาใช้ใหม่เพิ่มขึ้น ร้อยละการดูดซับน้ำของวัสดุผสมมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อย ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากเหตุผลที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้นว่าการนำกลับมาใช้ใหม่นั้น วัสดุผสมได้ผ่านกระบวนการทางความร้อนในการขึ้นรูปหลายครั้ง ทำให้เกิดการเสียสภาพที่พื้นผิวแกลบ ส่งผลให้เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนินหายไปบางส่วน ทำให้ความมีขั้วของแกลบลดลง ส่งผลให้ร้อยละการดูดซับน้ำของวัสดุมีแนวโน้มลดลงเมื่อจำนวนครั้งของการนำกลับมาใช้ใหม่เพิ่มขึ้น

4.10 สมบัติเชิงกล

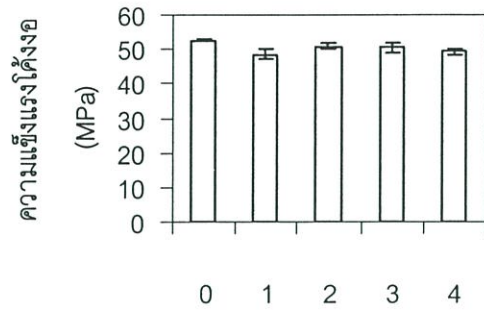
4.10.1 สมบัติเชิงกลของการนำกลับมาใช้ใหม่ของพอลิพรอพิลีน

ผลจากการทดสอบสมบัติเชิงกลที่สำคัญคือ สมบัติด้านแรงดึง สมบัติด้านแรงโค้งงอ ความแข็งแรงกระแทก และความแข็งกดของพอลิพรอพิลีนที่นำกลับมาใช้ใหม่ แสดงได้ดังรูปที่ 4.31-4.34 ตามลำดับ

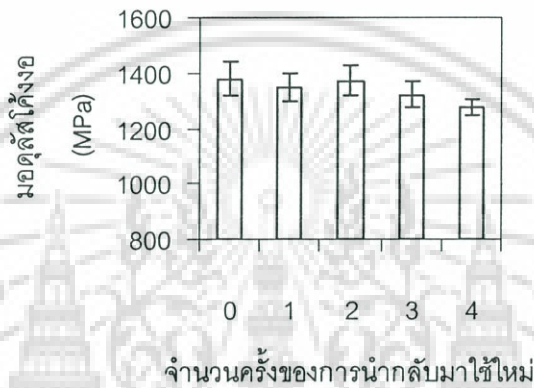


รูปที่ 4.31 สมบัติด้านแรงดึงของพอลิพรอพิลีนที่นำกลับมาใช้ใหม่ (ก) ความแข็งแรงดึง (ข) ร้อยละการดึงยืด ณ จุดคราก และ (ค) มอดุลัสแรงดึง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

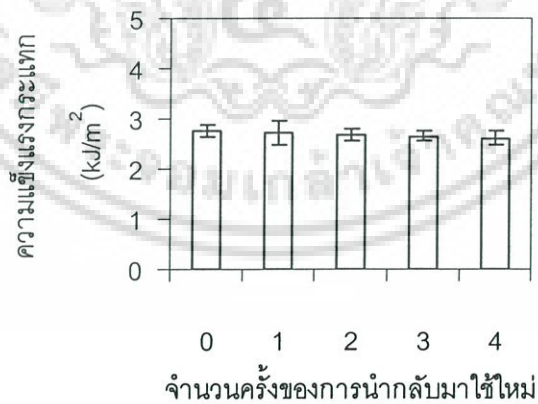


(ก) จำนวนครั้งของการนำกลับมาใช้ใหม่



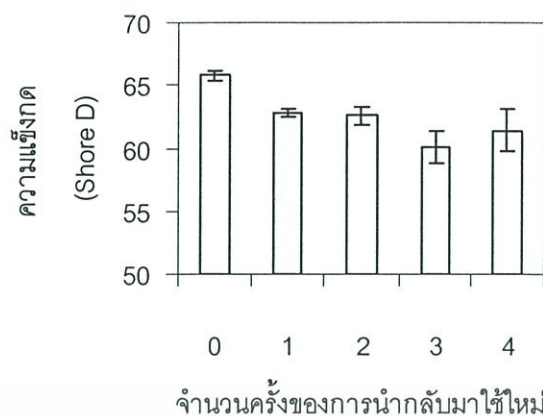
(ข)

รูปที่ 4.32 สมบัติด้านแรงโค้งงอของพอลิพรอพิลีนที่นำกลับมาใช้ใหม่ (ก) ความแข็งแรงโค้งงอ และ (ข) มอดุลัสโค้งงอ



รูปที่ 4.33 ความแข็งแรงกระแทกของพอลิพรอพิลีนที่นำกลับมาใช้ใหม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.34 ความแข็งกดของพอลิพรอพิลีนที่นำกลับมาใช้ใหม่

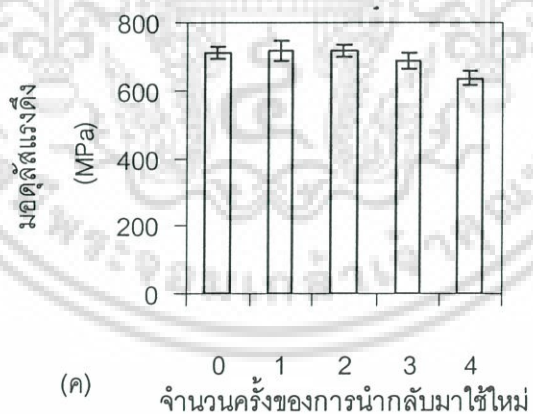
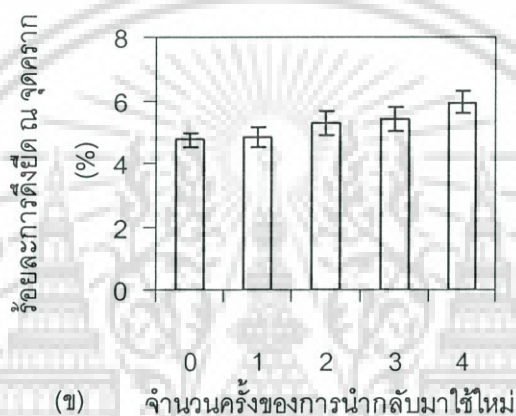
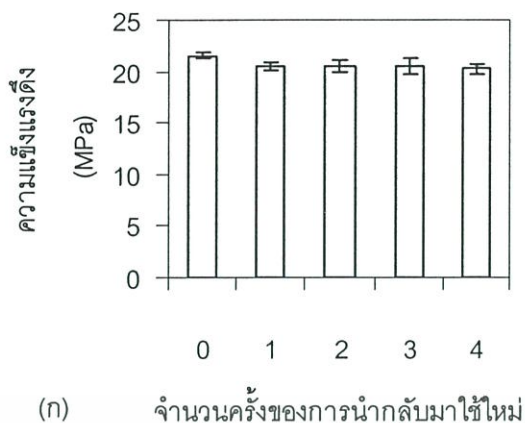
จากรูปที่ 4.31-4.33 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติด้านแรงดึง สมบัติด้านแรงโค้งงอ และความแข็งแรงกระแทกของพอลิพรอพิลีนที่นำกลับมาใช้ใหม่กับจำนวนครั้งของการนำกลับมาใช้ใหม่ พบว่าความแข็งแรงดึง ร้อยละการดึงยืด ณ จุดคราก มอดุลัสแรงดึง ความแข็งแรงโค้งงอ มอดุลัสโค้งงอ และความแข็งแรงกระแทกของพอลิพรอพิลีนมีแนวโน้มไม่เปลี่ยนแปลง จนถึงการนำกลับมาใช้ใหม่ครั้งที่ 4

และจากรูปที่ 4.34 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งกดกับจำนวนครั้งของพอลิพรอพิลีนที่นำกลับมาใช้ใหม่ พบว่าเมื่อจำนวนครั้งของการนำกลับมาใช้ใหม่เพิ่มขึ้น ความแข็งกดของพอลิพรอพิลีนมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อย

จากการทดสอบสมบัติเชิงกลทั้งหมดของพอลิพรอพิลีนที่นำกลับมาใช้ใหม่ สมบัติเชิงกลของพอลิพรอพิลีนมีแนวโน้มไม่เปลี่ยนแปลง ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความสามารถในการขึ้นรูปใหม่หรือความสามารถในการนำกลับมาใช้ใหม่ของพอลิพรอพิลีน

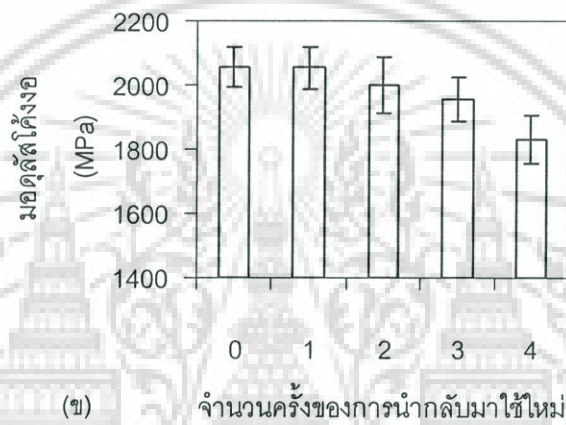
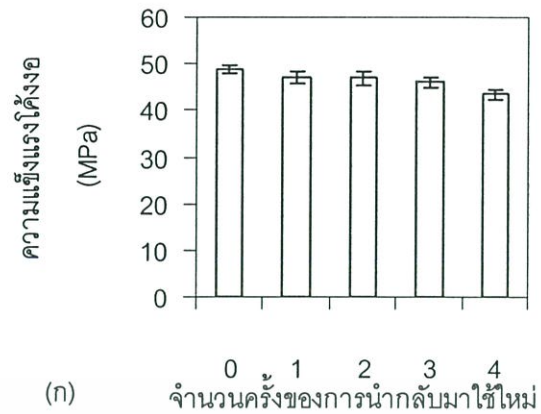
4.10.2 สมบัติเชิงกลของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแคลบที่มีขนาดมากกว่าหรือเท่ากับ 200 เมช โดยมีปริมาณแคลบร้อยละ 40 โดยน้ำหนักที่นำกลับมาใช้ใหม่

ผลจากการทดสอบสมบัติเชิงกลที่สำคัญ คือ สมบัติด้านแรงดึง สมบัติด้านแรงโค้งงอ ความแข็งแรงกระแทก และความแข็งกดของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแคลบที่มีขนาดมากกว่าหรือเท่ากับ 200 เมช โดยมีปริมาณแคลบร้อยละ 40 โดยน้ำหนักที่นำกลับมาใช้ใหม่ แสดงได้ดังรูปที่ 4.35-4.38 ตามลำดับ

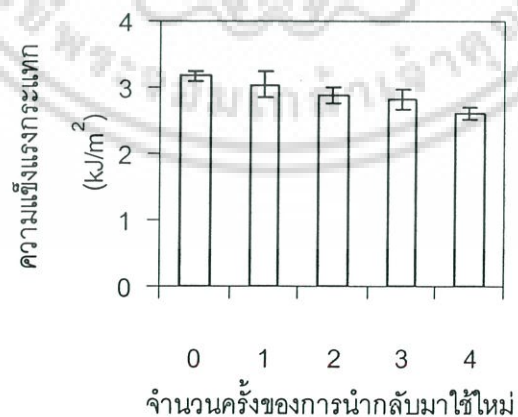


รูปที่ 4.35 สมบัติด้านแรงดึงของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและเกลบที่มีขนาดมากกว่าหรือเท่ากับ 200 เมช โดยมีปริมาณเกลบร้อยละ 40 โดยน้ำหนักที่นำกลับมาใช้ใหม่ที่นำกลับมาใช้ใหม่ (ก) ความแข็งแรงดึง (ข) ร้อยละการดึงยึด ณ จุดคราก และ (ค) มอดุลัสแรงดึง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

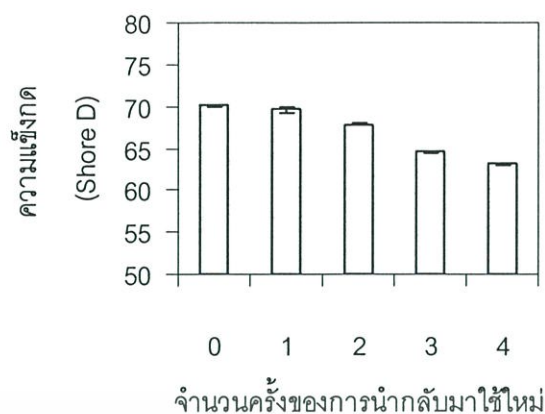


รูปที่ 4.36 สมบัติด้านแรงโค้งงอของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกลบที่มีขนาดมากกว่าหรือเท่ากับ 200 เมช โดยมีปริมาณแกลบร้อยละ 40 โดยน้ำหนักที่นำกลับมาใช้ใหม่ (ก) ความแข็งแรงโค้งงอ และ (ข) มอดุลัสโค้งงอ



รูปที่ 4.37 ความแข็งแรงกระแทกของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกลบที่มีขนาดมากกว่าหรือเท่ากับ 200 เมช โดยมีปริมาณแกลบร้อยละ 40 โดยน้ำหนักที่นำกลับมาใช้ใหม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.38 ความแข็งกดของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและไกลบที่มีขนาดมากกว่าหรือเท่ากับ 200 เมช โดยมีปริมาณไกลบร้อยละ 40 โดยน้ำหนักที่นำกลับมาใช้ใหม่

เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 4.35 (ก)-(ค) ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงดึง ร้อยละการดึงยืด ณ จุดคราก และมอดุลัสแรงดึงของวัสดุผสมที่นำกลับมาใช้ใหม่กับจำนวนครั้งของการนำกลับมาใช้ใหม่ พบว่าเมื่อจำนวนครั้งของการนำกลับมาใช้ใหม่เพิ่มขึ้น ความแข็งแรงดึง และมอดุลัสแรงดึงของวัสดุผสมมีแนวโน้มลดลง แต่ร้อยละการดึงยืด ณ จุดครากของวัสดุผสมมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น

ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติความโค้งงอ ความแข็งแรงกระแทก และความแข็งกดของวัสดุผสมที่นำกลับมาใช้ใหม่กับจำนวนครั้งของการนำกลับมาใช้ใหม่แสดงได้ดังรูปที่ 4.36-4.38 พบว่าเมื่อจำนวนครั้งของการนำกลับมาใช้ใหม่เพิ่มขึ้น ความแข็งแรงโค้งงอ มอดุลัสโค้งงอ ความแข็งแรงกระแทก และความแข็งกดของวัสดุผสมมีแนวโน้มลดลง

จากผลการทดลองที่ได้จากการศึกษาสมบัติเชิงกลทั้งหมดของวัสดุผสมที่นำกลับมาใช้ใหม่ คือ เมื่อจำนวนครั้งของการนำกลับมาใช้ใหม่เพิ่มขึ้น ความแข็งแรงดึง มอดุลัสแรงดึง ความแข็งแรงโค้งงอ มอดุลัสโค้งงอ ความแข็งแรงกระแทก และความแข็งกดมีแนวโน้มลดลง แต่ร้อยละการดึงยืด ณ จุดครากมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการนำกลับมาใช้ใหม่นั้น วัสดุผสมได้ผ่านกระบวนการทางความร้อนในระหว่างกระบวนการขึ้นรูปหลายครั้ง ทำให้พื้นผิวของไกลบเกิดการเสียหาย ส่งผลให้เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลสและลิกนินหายไปบางส่วน ซึ่งพิจารณาได้จากผล TGA ดังรูปที่ 4.25 ในหัวข้อที่ 4.7.2 ทำให้ความแข็งของไกลบลดลง และจากผลการศึกษาดัชนีการหลอมไหล พบว่าวัสดุผสมมีดัชนีการหลอมไหลมีแนวโน้มลดลง จึงส่งผลให้เมื่อจำนวนครั้งของการนำกลับมาใช้ใหม่เพิ่มขึ้น ความแข็งแรงดึง มอดุลัสแรงดึง ความแข็งแรงโค้งงอ มอดุลัสโค้งงอ ความแข็งแรงกระแทก และความแข็งกดมีแนวโน้มลดลง ร้อยละการดึงยืด ณ จุดครากมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการทดสอบสมบัติเชิงกลทั้งหมดวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแคลบที่มีขนาดมากกว่าหรือเท่ากับ 200 เมช โดยมีปริมาณแคลบร้อยละ 40 โดยน้ำหนักที่นำกลับมาใช้ใหม่สามารถสรุปการเปลี่ยนแปลงสมบัติเชิงกลต่าง ๆ ได้ดังตารางที่ 4.13

ตารางที่ 4.13 ร้อยละการเปลี่ยนแปลงสมบัติเชิงกลของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแคลบที่มีขนาดมากกว่าหรือเท่ากับ 200 เมช โดยมีปริมาณแคลบร้อยละ 40 โดยน้ำหนักที่นำกลับมาใช้ใหม่กับก่อนการนำกลับมาใช้ใหม่

สมบัติเชิงกล	ร้อยละการเปลี่ยนแปลงสมบัติเชิงกล
ความแข็งแรงดึง	-6.31
ร้อยละการดึงยืด ณ จุดคราก	+20.06
มอดุลัสแรงดึง	-11.43
ความแข็งแรงโค้งงอ	-12.05
มอดุลัสโค้งงอ	-12.31
ความแข็งแรงกระแทก	-21.45
ความแข็งกด	-10.99

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการนำแกลบมาใช้เป็นสารตัวเติมในพอลิพรอพิลีนคอมพาวด์ โดยศึกษาถึงผลของขนาดและปริมาณของแกลบที่มีต่อสมบัติต่าง ๆ ของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกลบ นอกจากนี้ยังศึกษาถึงสมบัติต่าง ๆ ของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกลบที่น่ากลับมาใช้ใหม่ ซึ่งจากผลการทดลองสามารถสรุปผลการวิจัยได้ดังนี้

5.1.1 ผลของขนาดและปริมาณของแกลบที่มีต่อสมบัติต่าง ๆ ของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกลบ

1. ค่าเฉลี่ยของอัตราส่วนระหว่างความยาวต่อเส้นผ่านศูนย์กลาง (Aspect ratio) ของแกลบที่มีขนาดเท่ากับ 20-35 เมช, 35-50 เมช, 50-100 เมช, 100-200 เมช และแกลบที่มีขนาดมากกว่าหรือเท่ากับ 200 เมช พบว่าค่า Aspect ratio ของแกลบเท่ากับ 2.7, 3.5, 4.4, 1.6 และ 1.7 ตามลำดับ

2. จากการศึกษาสมบัติทางความร้อนด้วย TGA พบว่าวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกลบมีเสถียรภาพทางความร้อนมากกว่าพอลิพรอพิลีน และแกลบ

3. จากการศึกษาสมบัติทางความร้อนด้วย DSC พบว่าการผสมแกลบในพอลิพรอพิลีนไม่เปลี่ยนแปลงอุณหภูมิการหลอมเหลวของพอลิพรอพิลีน ส่วนอุณหภูมิการเกิดผลึกเพิ่มขึ้น และปริมาณความเป็นผลึกลดลง แต่ขนาดและปริมาณของแกลบไม่มีผลต่ออุณหภูมิการหลอมเหลว และปริมาณความเป็นผลึกของพอลิพรอพิลีนในวัสดุผสม สำหรับอุณหภูมิการเกิดผลึกนั้นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อขนาดแกลบเล็กลง แต่ปริมาณของแกลบไม่มีผลต่ออุณหภูมิการเกิดผลึก

4. ร้อยละการดูดซับน้ำของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกลบมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อมีการใช้แกลบที่มีขนาดใหญ่ และปริมาณเพิ่มขึ้น

5. จากการศึกษาผลของขนาดของแกลบที่มีต่อสมบัติเชิงกลของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกลบ พบว่าขนาดของแกลบมีผลต่อมอดุลัสแรงดึง ความแข็งแรงโค้งงอ และมอดุลัสโค้งงอของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกลบ กล่าวคือ การใช้แกลบที่มีขนาดเล็ก (≥ 200 เมช) ทำให้วัสดุมีมอดุลัสแรงดึง ความแข็งแรงโค้งงอ และมอดุลัสโค้งงอสูงกว่าการใช้แกลบที่มีขนาดใหญ่ (20-35 เมช) แต่ขนาดของแกลบไม่มีผลต่อความแข็งแรงดึง ร้อยละ

การดึงยึด ณ จุดคราก ความแข็งแรงกระแทก และความแข็งกดของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีน และไกลบ

6. จากการศึกษาผลของปริมาณของไกลบที่มีต่อสมบัติเชิงกลของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและไกลบ พบว่าเมื่อปริมาณไกลบเพิ่มขึ้นความแข็งแรงดึง ร้อยละการดึงยึด ณ จุดคราก และความแข็งแรงโค้งงอของวัสดุผสมมีแนวโน้มลดลง แต่มอดุลัสแรงดึง มอดุลัสโค้งงอ และความแข็งกดของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและไกลบมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น สำหรับความแข็งแรงกระแทกเพิ่มขึ้น เมื่อใช้ปริมาณไกลบร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก และมีแนวโน้มไม่เปลี่ยนแปลงเมื่อปริมาณไกลบเพิ่มขึ้นมากกว่านี้

7. สมบัติเชิงกลโดยรวมของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและไกลบที่มีขนาดมากกว่าหรือเท่ากับ 200 เมช โดยมีปริมาณไกลบร้อยละ 40 โดยน้ำหนักดีที่สุด

5.1.2 ผลของการนำกลับมาใช้ใหม่ของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและไกลบ

1. จากการศึกษาสมบัติทางความร้อนของวัสดุผสมที่นำกลับมาใช้ใหม่ด้วย DSC พบว่า จำนวนครั้งของการนำกลับมาใช้ใหม่ไม่มีผลต่ออุณหภูมิการหลอมเหลว และอุณหภูมิการเกิดผลึกของพอลิพรอพิลีนในวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและไกลบ แต่ปริมาณความเป็นผลึกของพอลิพรอพิลีนในวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและไกลบมีแนวโน้มลดลง เมื่อจำนวนครั้งของการนำกลับมาใช้ใหม่เพิ่มขึ้น

2. ร้อยละการดูดซับน้ำของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและไกลบมีแนวโน้มลดลง เมื่อจำนวนครั้งของการนำกลับมาใช้ใหม่เพิ่มขึ้น

3. เมื่อจำนวนครั้งของการนำกลับมาใช้ใหม่เพิ่มขึ้น พบว่าความแข็งแรงดึง มอดุลัสแรงดึง ความแข็งแรงโค้งงอ มอดุลัสโค้งงอ ความแข็งแรงกระแทก และความแข็งกดของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและไกลบมีแนวโน้มลดลง แต่ร้อยละการดึงยึด ณ จุดครากมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ศึกษาการใช้สารช่วยผสม (Compatibilizer) หรือสารควบคู่ (Coupling agent) เพื่อเพิ่มความสามารถในการเข้ากันได้ของพอลิพรอพิลีนและไกลบ ซึ่งจะช่วยเพิ่มสมบัติเชิงกลของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและไกลบได้

2. เพื่อเพิ่มมูลค่าเชิงพาณิชย์ให้กับวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรชนิดอื่น อาจใช้ขังข้าวโพด หรือวัสดุอื่น ๆ แทนไกลบ แล้วทำการศึกษาศสมบัติต่าง ๆ

เอกสารอ้างอิง

- [1] รายงานจากสำนักเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ 2544-2545.
- [2] อนุชิต กิจสวัสดิ์ “ประโยชน์จากแกลบและเถ้าแกลบ” วิทยาศาสตร์สำหรับประชาชน ครั้งที่ 411 กรมวิทยาศาสตร์บริการ กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและการพลังงาน 2529 หน้า 1-4.
- [3] A.B.Strong, in “Plastics Materials and Processing”, 2nd ed., Prentice Hall Inc, 2000, 208-209.
- [4] D.Hull and T.W.Clyne, in “Introduction to Composite Materials”, 2nd ed., Cambridge University Press, Cambridge, 1996, 30-31.
- [5] S.Aggarwal, “Physical constants of polypropylene”, in *Polymer handbook* (J.Brandrup, H.Immergut. Ed.), John Wiley & Sons, New York, 1975, p. V23-27.
- [6] G.W.Eherenstien, “Polymeric materials”, Hanser Publishers, 2001, 260-267.
- [7] สมศักดิ์ วรมงคลชัย “เอกสารคำสอนวิชาการปรับแต่งพอลิเมอร์” ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง 2544 หน้า 55-68.
- [8] มาลินี ชัยศุกกิจสินธ์ “เคมีพอลิเมอร์” ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง พิมพ์ครั้งที่ 3 2543 หน้า 65-96.
- [9] B.S.Luh, “Rice: Production and Utilization”, AVI Publishing Co., Inc., Westport, Connecticut, USA., 1980, 736-743.
- [10] Energy Research Division, Thailand Institute of Scientific and Technological Research, “Fessibility Study on Rice Husk Pyrolysis Technology for Rice Mill Applications in Thailand”, Submitted to National Energy Administration Ministry of Science, Technology and Energy, The National Energy, Bangkok, 1984, 127.
- [11] J.I.Kroschwitz, “Encyclopedia of polymer Science and Engineering”, 2nd ed., John Wiley & Sons, New York, vol 6, 1990, 655.
- [12] W.B.Banks and J.M.Lawther, “Derivatization of Wood in composition” in *Cellulose Polymers, Blends and Composites*. (Gillbert, R.D.ed.), Hanser Publishers, New York, 1994, 131-153.
- [13] นารา พิทักษ์อรุณพ “สมบัติและองค์ประกอบของแกลบ” จดหมายข่าวศูนย์ข้อมูลพลังงานแห่งประเทศไทย ปีที่ 2 ฉบับที่ 1 มีนาคม 2527.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [134] สมศักดิ์ วรมงคลชัย “เอกสารประกอบการเรียนวิชาปฏิบัติการทดลองเรื่องการนำพลาสติกกลับมาใช้ใหม่” ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง 2545.
- [15] J.Milgrom, “Incentive for Recycle and Reuse of Plastics”, Arthur D. Little, Inc., Cambridge, 1972.
- [16] J.Leidner, in “Plastic Waste”, Marcel Dekker, Inc., New York, 1981.
- [17] <http://www.yahoo.com>, “SCI. Polymers FAQ”, 1995.
- [18] S.N.Maiti and K.Singh, “Influence of Wood Flour on the Mechanical Properties of Polyethylene”, *J.Appl.Polym.Sci.*, 32, 1986, 4285-4289.
- [19] K.L.Yam, B.K.Gogoi, C.C.Lai and S.E.Selke, “Composites from Compounding Wood Fibers with Recycled HDPE”, *Polym.Eng.Sci.*, 30(11), 1990, 693-700.
- [20] R.G.Rag, B.V.Kokta and C.Daneault, “A Comparative Study on the Effect of Aging on Mechanical Properties of LLDPE-Glass Fiber, Mica, and Wood Fiber Composites”, *J.Appl.Polym.Sci.*, 40, 1990, 645-655.
- [21] K.Joseph, S.Thomas, C.Pavithran and M.Brahmakumar, “Tensile Properties of Short Sisal Fiber-Reinforced Polyethulene Composites”, *J.Appl.Polym.Sci.*, 47, 1993, 1731-1739.
- [22] J.George, S.S.Bhagawan, N.Prabhakaran and S.Thomas, “Short Pineapple-Leaf-Fiber-Reinforced Low-Density Polyethylene Composites”, *J.Appl.Polym.Sci.*, 57, 1995, 843-854.
- [23] A.Y.Kharade and D.D.Kale, “Lignin-Filled Polyolefin”, *J.Appl.Polym.Sci.*, 72, 1999, 1321-1326.
- [24] Z.A.M.Ishak, B.N.Yow, B.L.Ng, H.P.S.A.Khalil and H.D.Rozman, “Hygrothermal Aging and Tensile Behavior of Injection-Molded Rice Husk-Filled Polypropylene Composites”, *J.Appl.Polym.Sci.*, 81, 2001, 742-753.
- [25] T.Q.Li, C.N.Ng and R.K.Y.Li, “Impact Behavior of Sawdust/Recycles-Polypropylene Composites”, *J.Appl.Polym.Sci.*, 81, 2001, 1420-1428.
- [26] Q.Lin, X.Zhou and G.Dai, “ Effect of Hydrothermal Environment on Moisture Absorption and Mechanical Properties of Wood Flour-Filled Polypropylene Composites”, *J.Appl.Polym.Sci.*, 85, 2002, 2824-2832.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

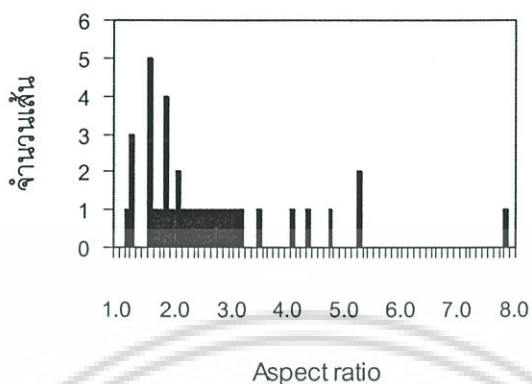
- [27] H.G.B.Premalal, H.Ismail and A.Baharin, " Comparison of mechanical of rice husk powder filled polypropylene composites with talc filled polypropylene composites", *Polymer Testing*, 21, 2002, 833-839.
- [28] HMC Polymer. "Profax Z30S" Technical Report : HMC Polymer 2002.
- [29] B.Wunderich, in "Macromolecular Physics", Academic Press, New York, vol. 3, 1980, 61-64.
- [30] ASTM D 570, "Standard Test Methods for Water Absorption of Plastics", *Philadephia : American Society for Testing and Materials.*,1993.
- [31] ASTM D 638, "Standard Test Methods for Tensile Properties of Plastic (Metric)", *Philadephia : American Society for Testing and Materials.*,1993.
- [32] ASTM D 790, "Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials", *Philadephia : American Society for Testing and Materials.*,1993.
- [33] ASTM D 256, "Standard Test Methods for Impact Resistance of Plastics and Electrical Insulating Materials", *Philadephia : American Society for Testing and Materials.*,1993.
- [34] ASTM D 785, "Standard Test Methods for Rockwell Hardness of Plastics and Electrical Insulating Materials", *Philadephia : American Society for Testing and Materials.*,1993.
- [35] ASTM 1238, "Standard Test Methods for flow rates of thermoplastics by extrusion plastometer", *Philadephia : American Society for Testing and Materials.*,1993.
- [36] K.G.Mansaray and A.E.Ghaly, "Thermal degradation of rice husks in nitrogen atmosphere", *Bioresource Technology*, 65, 1998, 13-20.
- [37] H.D.Rozman, W.R.W.Daud, "Handbook of Polymer Alloys Blends", Marcel Dekker, New York, 1999.
- [38] แม้น อมรสิทธิ์ และ อมร เพชรสม "หลักการและเทคนิคการวิเคราะห์เชิงเครื่องมือ" กรุงเทพฯ ชวนพิมพ์ 2539 หน้า 108-188.
- [39] M.Kazayawoko, J.J.Balatinecz and R.T.Woodhams, "Diffuse Reflectance Fourier Transform Infrared Spectra of Wood Fibers Treated with Maleated Polypropylenes", *J.Appl.Polym.Sci.*, 66, 1997, 1163-1173.



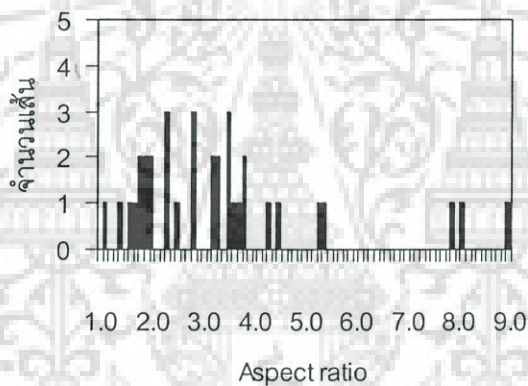
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

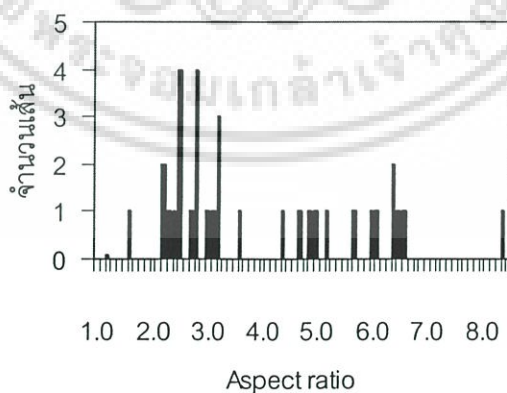
อัตราส่วนความยาวต่อเส้นผ่านศูนย์กลางของเกล็ดขนาดต่าง ๆ



อัตราส่วนความยาวต่อเส้นผ่านศูนย์กลางของเกล็ดที่มีขนาด 20-35 เมช จำนวน 35 เส้น

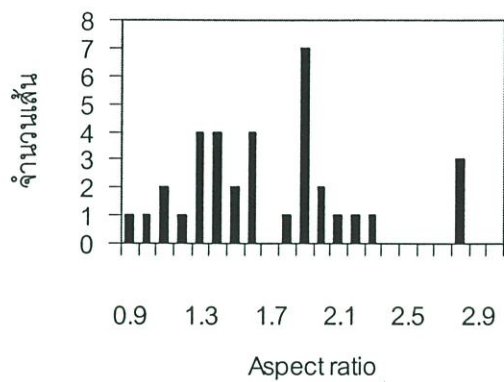


อัตราส่วนความยาวต่อเส้นผ่านศูนย์กลางของเกล็ดที่มีขนาด 35-50 เมช จำนวน 35 เส้น

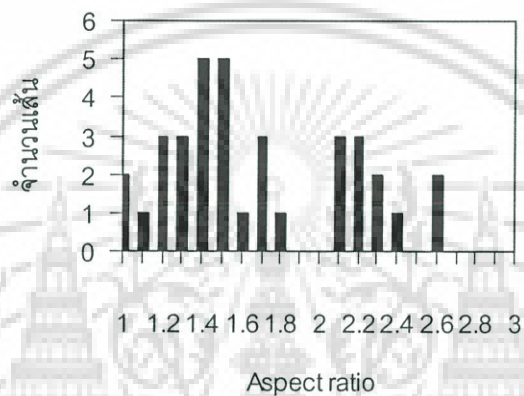


อัตราส่วนความยาวต่อเส้นผ่านศูนย์กลางของเกล็ดที่มีขนาด 50-100 เมช จำนวน 35 เส้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



อัตราส่วนความยาวต่อเส้นผ่านศูนย์กลางของเกลียวที่มีขนาด 100-200 เมช จำนวน 35 เส้น

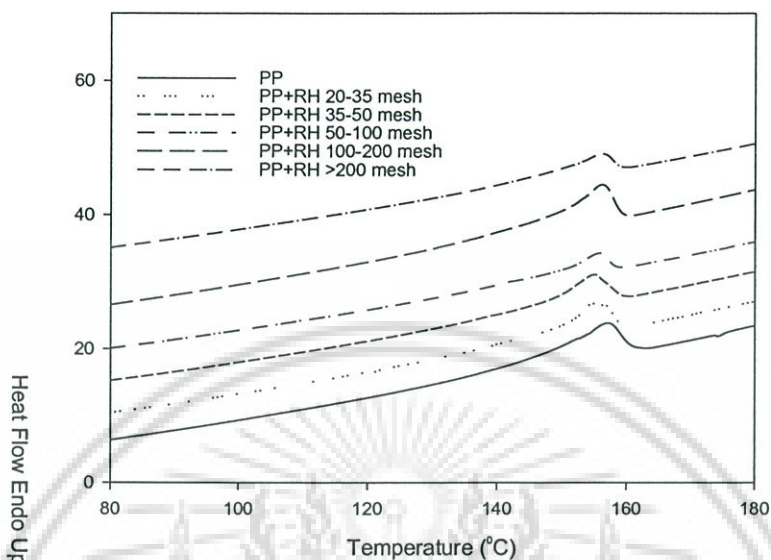


อัตราส่วนความยาวต่อเส้นผ่านศูนย์กลางของเกลียวที่มีขนาดมากกว่าหรือเท่ากับ 200 เมช
จำนวน 35 เส้น

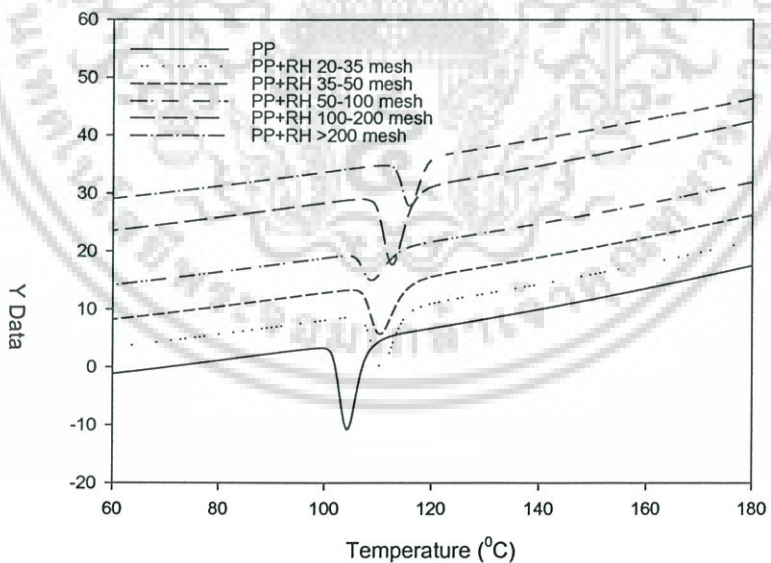
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

DSC เทอร์โมแกรมของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแคลบ

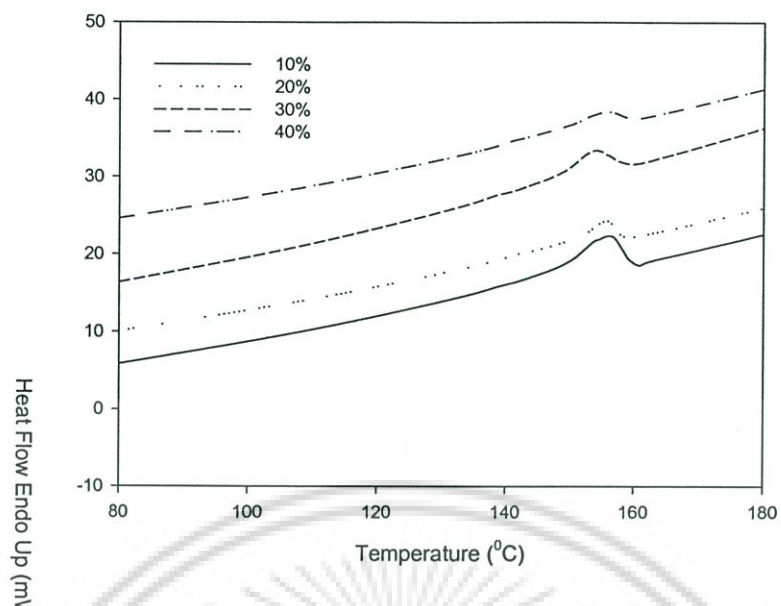


DSC เทอร์โมแกรมแสดงอุณหภูมิการหลอมเหลวของพอลิพรอพิลีน และวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแคลบที่ปริมาณแคลบร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก โดยมีขนาดแคลบต่าง ๆ กัน

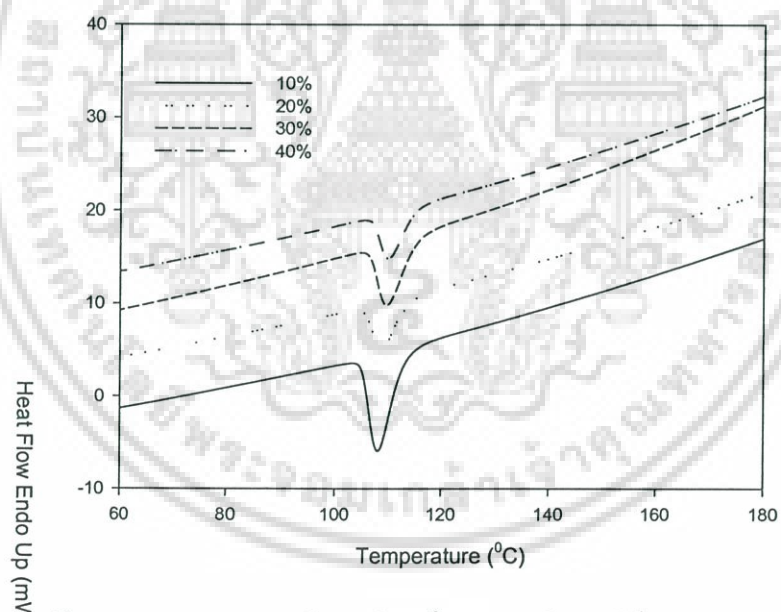


DSC เทอร์โมแกรมแสดงอุณหภูมิการเกิดผลึกของพอลิพรอพิลีน และวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแคลบที่ปริมาณแคลบร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก โดยมีขนาดแคลบต่าง ๆ กัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



DSC เทอร์โมแกรมแสดงอุณหภูมิการหลอมเหลวของพอลิพรอพิลีน และวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและเส้นใยที่มีขนาด 50-100 ไมครอน โดยมีปริมาณเส้นใยร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก

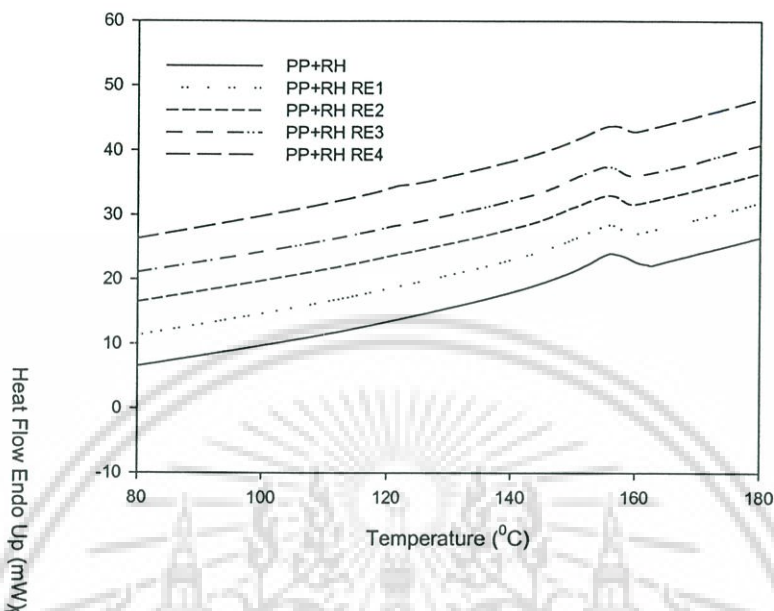


DSC เทอร์โมแกรมแสดงอุณหภูมิการเกิดผลึกของพอลิพรอพิลีน และวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและเส้นใยที่มีขนาด 50-100 ไมครอน โดยมีปริมาณเส้นใยร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก

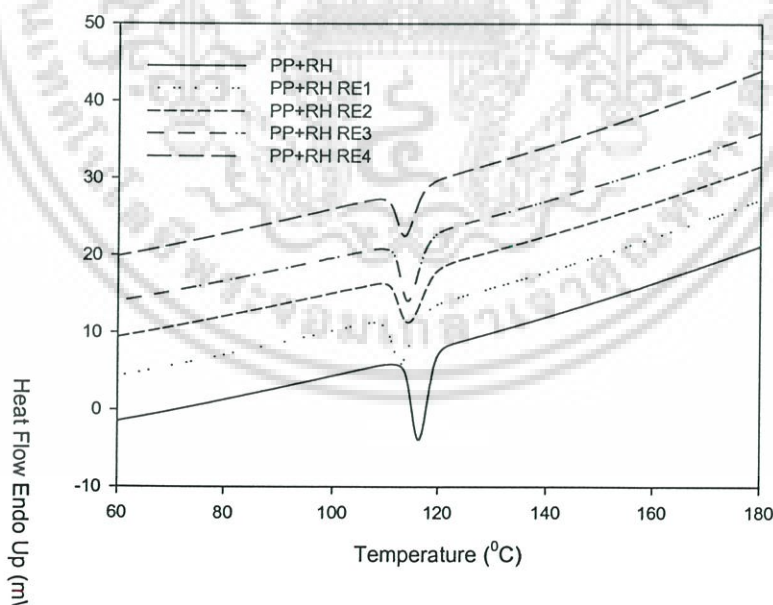
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

DSC เทอร์โมแกรมของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและเกลบที่นำกลับมาใช้ใหม่



DSC เทอร์โมแกรมแสดงอุณหภูมิการหลอมเหลวของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและเกลบที่มีขนาดมากกว่าหรือเท่ากับ 200 เมช โดยมีปริมาณร้อยละ 40 โดยน้ำหนักที่นำกลับมาใช้ใหม่



DSC เทอร์โมแกรมแสดงอุณหภูมิการเกิดผลึกของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและเกลบที่มีขนาดมากกว่าหรือเท่ากับ 200 เมช โดยมีปริมาณร้อยละ 40 โดยน้ำหนักที่นำกลับมาใช้ใหม่

ภาคผนวก ง

การคำนวณปริมาณความเป็นผลึกของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแคลบ

การคำนวณปริมาณความเป็นผลึกของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแคลบ สามารถทำได้ดังสมการต่อไปนี้

$$\Delta H_f = \frac{\text{พื้นที่ใต้กราฟ(mJ)}}{\text{น้ำหนักของสารตัวอย่าง (mg)}}$$

$$\text{Degree of crystallinity} = \frac{\Delta H_f}{\Delta H_f^\circ} * 100$$

เมื่อ ΔH_f = Enthalpy of fusion ของสารซึ่งได้จากพื้นที่ใต้กราฟ (J/g)

ΔH_f° = Enthalpy of fusion ของพอลิพรอพิลีนที่มีความเป็นผลึก 100 % เท่ากับ 165 J/g [29]

ตัวอย่างการคำนวณ

วัสดุผสมระหว่างวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแคลบที่มีขนาดมากกว่าหรือเท่ากับ 200 เมช โดยมีปริมาณแคลบร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก มี $\Delta H_f = 40 \text{ J/g}$

$$\begin{aligned} \text{จากสูตร Degree of crystallinity} &= \frac{\Delta H_f}{\Delta H_f^\circ} * 100 \\ &= \frac{40 * 100}{165 * 0.6} \\ &= 40.4 \end{aligned}$$

ดังนั้น วัสดุผสมระหว่างวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแคลบที่มีขนาดมากกว่าหรือเท่ากับ 200 เมช ที่มีปริมาณแคลบร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก มี $\Delta H_f = 40 \text{ J/g}$ มีปริมาณความเป็นผลึกเท่ากับ 40 %

ภาคผนวก จ
 ตารางแสดงสมบัติการดูดซับน้ำของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแคลบ

ชนิดทดสอบ	ร้อยละการดูดซับน้ำ																	
	วันที่																	
	1	2	5	8	11	14	17	20	23	26	29	32	35	38	41	48	55	62
Pure PP	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.03	0.03	0.03	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
PP + RH 20-35 เมช ที่ 10 %	0.07	0.10	0.16	0.27	0.27	0.29	0.32	0.34	0.36	0.36	0.37	0.38	0.39	0.40	0.40	0.41	0.44	0.49
PP + RH 20-35 เมช ที่ 20 %	0.14	0.25	0.32	0.45	0.51	0.55	0.60	0.65	0.67	0.70	0.71	0.73	0.75	0.77	0.80	0.84	0.89	0.92
PP + RH 20-35 เมช ที่ 30 %	0.33	0.50	0.71	0.94	1.11	1.20	1.30	1.46	1.51	1.56	1.60	1.65	1.67	1.70	1.76	1.90	2.01	2.11
PP + RH 20-35 เมช ที่ 40 %	0.56	0.79	1.30	1.65	2.00	2.20	2.47	2.80	3.00	3.07	3.20	3.37	3.51	3.61	3.71	3.96	4.23	4.49
PP + RH 35-50 เมช ที่ 10 %	0.06	0.11	0.16	0.20	0.23	0.26	0.30	0.31	0.33	0.33	0.35	0.35	0.35	0.36	0.37	0.40	0.42	0.46
PP + RH 35-50 เมช ที่ 20 %	0.21	0.26	0.38	0.44	0.48	0.52	0.60	0.63	0.65	0.66	0.70	0.72	0.75	0.77	0.79	0.82	0.86	0.93
PP + RH 35-50 เมช ที่ 30 %	0.29	0.42	0.70	0.49	0.97	1.01	1.10	1.22	1.37	1.40	1.47	1.50	1.55	1.59	1.62	1.68	1.74	1.93
PP + RH 35-50 เมช ที่ 40 %	0.44	0.61	1.12	1.47	1.63	2.08	2.37	2.78	3.03	3.21	3.35	3.56	3.70	3.84	3.94	4.34	4.63	4.86
PP + RH 50-100 เมช ที่ 10 %	0.07	0.10	0.15	0.20	0.21	0.22	0.25	0.26	0.27	0.27	0.28	0.30	0.30	0.32	0.34	0.38	0.40	0.42
PP + RH 50-100 เมช ที่ 20 %	0.10	0.23	0.34	0.40	0.47	0.49	0.53	0.60	0.60	0.62	0.65	0.68	0.72	0.75	0.77	0.81	0.83	0.90
PP + RH 50-100 เมช ที่ 30 %	0.26	0.34	0.52	0.65	0.78	0.86	0.97	1.12	1.17	1.20	1.26	1.33	1.39	1.42	1.48	1.53	1.68	1.78
PP + RH 50-100 เมช ที่ 40 %	0.45	0.58	1.02	1.35	1.77	2.00	2.43	2.69	3.03	3.22	3.38	3.59	3.67	3.79	3.93	4.27	4.57	4.76

ชนิดทดสอบ	ร้อยละการดูดซับน้ำ																	
	วันที่																	
	1	2	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	15	18	21	24	27	30
PP + RH 100-200 เมช ที่ 10 %	0.03	0.08	0.17	0.18	0.20	0.20	0.22	0.23	0.26	0.28	0.30	0.32	0.32	0.33	0.33	0.36	0.38	0.40
PP + RH 100-200 เมช ที่ 20 %	0.10	0.20	0.30	0.34	0.41	0.45	0.51	0.52	0.55	0.58	0.602	0.63	0.65	0.68	0.71	0.75	0.78	0.80
PP + RH 100-200 เมช ที่ 30 %	0.20	0.32	0.48	0.62	0.74	0.83	0.93	1.07	1.11	1.18	1.23	1.32	1.34	1.40	1.45	1.55	1.67	1.70
PP + RH 100-200 เมช ที่ 40 %	0.42	0.54	1.00	1.30	1.69	2.191	2.32	2.58	2.75	2.98	3.11	3.18	3.35	3.42	3.60	3.78	4.23	4.39
PP + RH \geq 200 เมช ที่ 10 %	0.03	0.07	0.13	0.14	0.16	0.17	0.20	0.21	0.23	0.24	0.24	0.25	0.25	0.25	0.26	0.27	0.32	0.34
PP + RH \geq 200 เมช ที่ 20 %	0.09	0.15	0.26	0.30	0.35	0.41	0.42	0.46	0.49	0.51	0.54	0.56	0.57	0.58	0.60	0.63	0.65	0.67
PP + RH \geq 200 เมช ที่ 30 %	0.15	0.32	0.46	0.54	0.70	0.80	0.91	1.04	1.09	1.13	1.17	1.24	1.32	1.38	1.43	1.54	1.72	1.82
PP + RH \geq 200 เมช ที่ 40 %	0.41	0.52	0.98	1.22	1.68	1.86	2.16	2.54	2.67	2.88	2.97	3.10	3.21	3.37	3.50	3.73	4.02	4.13

ภาคผนวก จ
 ตารางแสดงสมบัติการดูดซับน้ำของของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแคลบ
 ที่นำกลับมาใช้ใหม่

ชั้นทดสอบ	ร้อยละการดูดซับน้ำ																	
	วันที่																	
	1	2	5	8	11	14	17	20	23	26	29	32	35	38	41	48	55	62
PP + RH \geq 200 เมช ที่ 40 %	0.41	0.52	0.98	1.22	1.68	1.86	2.16	2.54	2.67	2.88	2.97	3.10	3.21	3.37	3.50	3.73	4.02	4.13
PP + RH \geq 200 เมช ที่ 40 % ที่นำกลับมาใช้ใหม่ครั้งที่ 1	0.39	0.48	0.95	1.19	1.61	1.81	2.13	2.50	2.63	2.86	2.93	3.09	3.20	3.34	3.47	3.70	3.98	4.09
PP + RH \geq 200 เมช ที่ 40 % ที่นำกลับมาใช้ใหม่ครั้งที่ 2	0.35	0.45	0.91	1.17	1.58	1.78	2.09	2.48	2.61	2.85	2.89	3.07	3.18	3.31	3.43	3.64	3.75	4.05
PP + RH \geq 200 เมช ที่ 40 % ที่นำกลับมาใช้ใหม่ครั้งที่ 3	0.32	0.39	0.84	2.15	1.54	1.75	2.05	2.45	2.59	2.81	2.83	3.05	3.18	3.28	3.32	3.58	3.69	3.73
PP + RH \geq 200 เมช ที่ 40 % ที่นำกลับมาใช้ใหม่ครั้งที่ 4	0.29	0.35	0.79	1.13	1.50	1.74	2.04	2.40	2.53	2.79	2.83	3.02	3.13	3.18	3.29	3.52	3.61	3.68

ภาคผนวก ช
ตารางแสดงสมบัติเชิงกลของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกลป

ความแข็งแรงดึง

ชนิดทดสอบ	Tensile strength (MPa)
Pure PP	30.5 ± 0.1
PP + RH 20-35 เมช ที่ 10 %	25.9 ± 0.6
PP + RH 20-35 เมช ที่ 20 %	24.2 ± 0.4
PP + RH 20-35 เมช ที่ 30 %	22.6 ± 0.6
PP + RH 20-35 เมช ที่ 40 %	20.9 ± 0.3
PP + RH 35-50 เมช ที่ 10 %	24.8 ± 0.3
PP + RH 35-50 เมช ที่ 20 %	23.0 ± 0.4
PP + RH 35-50 เมช ที่ 30 %	23.5 ± 0.5
PP + RH 35-50 เมช ที่ 40 %	22.3 ± 0.5
PP + RH 50-100 เมช ที่ 10 %	28.3 ± 0.1
PP + RH 50-100 เมช ที่ 20 %	25.3 ± 0.4
PP + RH 50-100 เมช ที่ 30 %	23.9 ± 0.8
PP + RH 50-100 เมช ที่ 40 %	21.2 ± 0.8
PP + RH 100-200 เมช ที่ 10 %	27.4 ± 0.4
PP + RH 100-200 เมช ที่ 20 %	25.2 ± 0.5
PP + RH 100-200 เมช ที่ 30 %	22.1 ± 0.3
PP + RH 100-200 เมช ที่ 40 %	24.4 ± 0.4
PP + RH ≥ 200เมช ที่ 10 %	26.7 ± 0.1
PP + RH ≥ 200เมช ที่ 20 %	25.0 ± 0.5
PP + RH ≥ 200เมช ที่ 30 %	23.2 ± 0.3
PP + RH ≥ 200เมช ที่ 40 %	21.5 ± 0.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ร้อยละการดึงยืด ณ จุดคราก

ชนิดทดสอบ	Elongation at yield (%)
Pure PP	14.94 ± 0.35
PP + RH 20-35 เมช ที่ 10 %	10.06 ± 0.55
PP + RH 20-35 เมช ที่ 20 %	8.40 ± 0.21
PP + RH 20-35 เมช ที่ 30 %	6.63 ± 0.57
PP + RH 20-35 เมช ที่ 40 %	5.96 ± 0.26
PP + RH 35-50 เมช ที่ 10 %	13.31 ± 0.32
PP + RH 35-50 เมช ที่ 20 %	10.26 ± 0.34
PP + RH 35-50 เมช ที่ 30 %	7.69 ± 0.22
PP + RH 35-50 เมช ที่ 40 %	6.45 ± 0.29
PP + RH 50-100 เมช ที่ 10 %	9.23 ± 0.18
PP + RH 50-100 เมช ที่ 20 %	7.64 ± 0.21
PP + RH 50-100 เมช ที่ 30 %	6.24 ± 0.53
PP + RH 50-100 เมช ที่ 40 %	5.12 ± 0.14
PP + RH 100-200 เมช ที่ 10 %	9.50 ± 0.38
PP + RH 100-200 เมช ที่ 20 %	7.02 ± 0.22
PP + RH 100-200 เมช ที่ 30 %	6.34 ± 0.36
PP + RH 100-200 เมช ที่ 40 %	8.12 ± 0.45
PP + RH ≥ 200 เมช ที่ 10 %	10.97 ± 0.12
PP + RH ≥ 200 เมช ที่ 20 %	7.54 ± 0.55
PP + RH ≥ 200 เมช ที่ 30 %	5.53 ± 0.29
PP + RH ≥ 200 เมช ที่ 40 %	4.74 ± 0.23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มอดุลัสแรงดึง

ชนิดทดสอบ	Tensile modulus (MPa)
Pure PP	421 ± 26
PP + RH 20-35 เมช ที่ 10 %	431 ± 25
PP + RH 20-35 เมช ที่ 20 %	486 ± 6
PP + RH 20-35 เมช ที่ 30 %	515 ± 13
PP + RH 20-35 เมช ที่ 40 %	521 ± 11
PP + RH 35-50 เมช ที่ 10 %	412 ± 8
PP + RH 35-50 เมช ที่ 20 %	431 ± 11
PP + RH 35-50 เมช ที่ 30 %	504 ± 15
PP + RH 35-50 เมช ที่ 40 %	532 ± 19
PP + RH 50-100 เมช ที่ 10 %	591 ± 36
PP + RH 50-100 เมช ที่ 20 %	620 ± 26
PP + RH 50-100 เมช ที่ 30 %	648 ± 27
PP + RH 50-100 เมช ที่ 40 %	623 ± 20
PP + RH 100-200 เมช ที่ 10 %	618 ± 18
PP + RH 100-200 เมช ที่ 20 %	657 ± 10
PP + RH 100-200 เมช ที่ 30 %	613 ± 18
PP + RH 100-200 เมช ที่ 40 %	600 ± 10
PP + RH ≥ 200 เมช ที่ 10 %	561 ± 13
PP + RH ≥ 200 เมช ที่ 20 %	644 ± 13
PP + RH ≥ 200 เมช ที่ 30 %	708. ± 30
PP + RH ≥ 200 เมช ที่ 40 %	709 ± 16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความแข็งแรงโค้งงอ

ชนิดทดสอบ	Flexural strength (MPa)
Pure PP	52.6 ± 0.3
PP + RH 20-35 เมช ที่ 10 %	50.2 ± 0.7
PP + RH 20-35 เมช ที่ 20 %	48.4 ± 0.6
PP + RH 20-35 เมช ที่ 30 %	45.6 ± 0.7
PP + RH 20-35 เมช ที่ 40 %	44.1 ± 1.2
PP + RH 35-50 เมช ที่ 10 %	48.2 ± 0.5
PP + RH 35-50 เมช ที่ 20 %	46.5 ± 0.5
PP + RH 35-50 เมช ที่ 30 %	45.5 ± 0.7
PP + RH 35-50 เมช ที่ 40 %	48.4 ± 1.3
PP + RH 50-100 เมช ที่ 10 %	54.4 ± 0.9
PP + RH 50-100 เมช ที่ 20 %	52.2 ± 1.3
PP + RH 50-100 เมช ที่ 30 %	50.5 ± 2.3
PP + RH 50-100 เมช ที่ 40 %	50.4 ± 1.1
PP + RH 100-200 เมช ที่ 10 %	53.7 ± 1.1
PP + RH 100-200 เมช ที่ 20 %	52.5 ± 1.1
PP + RH 100-200 เมช ที่ 30 %	51.3 ± 0.2
PP + RH 100-200 เมช ที่ 40 %	51.2 ± 0.6
PP + RH ≥ 200 เมช ที่ 10 %	51.9 ± 0.6
PP + RH ≥ 200 เมช ที่ 20 %	52.9 ± 0.8
PP + RH ≥ 200 เมช ที่ 30 %	51.4 ± 0.5
PP + RH ≥ 200 เมช ที่ 40 %	48.7 ± 0.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มอดุลัสโค้งงอ

ชั้นทดสอบ	Flexural modulus (MPa)
Pure PP	1378 ± 61
PP + RH 20-35 เมช ที่ 10 %	1450 ± 36
PP + RH 20-35 เมช ที่ 20 %	1536 ± 19
PP + RH 20-35 เมช ที่ 30 %	1588 ± 43
PP + RH 20-35 เมช ที่ 40 %	1591 ± 48
PP + RH 35-50 เมช ที่ 10 %	1418 ± 23
PP + RH 35-50 เมช ที่ 20 %	1425 ± 18
PP + RH 35-50 เมช ที่ 30 %	1571 ± 52
PP + RH 35-50 เมช ที่ 40 %	1710 ± 45
PP + RH 50-100 เมช ที่ 10 %	1478 ± 49
PP + RH 50-100 เมช ที่ 20 %	1497 ± 52
PP + RH 50-100 เมช ที่ 30 %	1488 ± 45
PP + RH 50-100 เมช ที่ 40 %	1860 ± 44
PP + RH 100-200 เมช ที่ 10 %	1591 ± 55
PP + RH 100-200 เมช ที่ 20 %	1665 ± 31
PP + RH 100-200 เมช ที่ 30 %	1723 ± 49
PP + RH 100-200 เมช ที่ 40 %	1624 ± 51
PP + RH ≥ 200 เมช ที่ 10 %	1540 ± 26
PP + RH ≥ 200 เมช ที่ 20 %	1780 ± 42
PP + RH ≥ 200 เมช ที่ 30 %	1978 ± 20
PP + RH ≥ 200 เมช ที่ 40 %	2057 ± 62

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความแข็งแรงกระแทก

ชนิดทดสอบ	Impact strength (kJ/m ²)
Pure PP	2.76 ± 0.12
PP + RH 20-35 เมช ที่ 10 %	3.44 ± 0.33
PP + RH 20-35 เมช ที่ 20 %	3.64 ± 0.25
PP + RH 20-35 เมช ที่ 30 %	3.43 ± 0.23
PP + RH 20-35 เมช ที่ 40 %	3.32 ± 0.14
PP + RH 35-50 เมช ที่ 10 %	3.69 ± 0.21
PP + RH 35-50 เมช ที่ 20 %	3.41 ± 0.27
PP + RH 35-50 เมช ที่ 30 %	3.19 ± 0.13
PP + RH 35-50 เมช ที่ 40 %	3.40 ± 0.11
PP + RH 50-100 เมช ที่ 10 %	3.52 ± 0.25
PP + RH 50-100 เมช ที่ 20 %	3.41 ± 0.12
PP + RH 50-100 เมช ที่ 30 %	3.31 ± 0.18
PP + RH 50-100 เมช ที่ 40 %	3.46 ± 0.20
PP + RH 100-200 เมช ที่ 10 %	3.32 ± 0.22
PP + RH 100-200 เมช ที่ 20 %	3.23 ± 0.12
PP + RH 100-200 เมช ที่ 30 %	3.16 ± 0.14
PP + RH 100-200 เมช ที่ 40 %	3.13 ± 0.13
PP + RH ≥ 200เมช ที่ 10 %	3.53 ± 0.24
PP + RH ≥ 200เมช ที่ 20 %	3.43 ± 0.24
PP + RH ≥ 200เมช ที่ 30 %	3.22 ± 0.10
PP + RH ≥ 200เมช ที่ 40 %	3.17 ± 0.07

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความแข็งกด

ชนิดทดสอบ	Hardness (Shore D)
Pure PP	65.8 ± 0.4
PP + RH 20-35 เมช ที่ 10 %	67.2 ± 0.5
PP + RH 20-35 เมช ที่ 20 %	67.9 ± 0.7
PP + RH 20-35 เมช ที่ 30 %	68.7 ± 0.3
PP + RH 20-35 เมช ที่ 40 %	69.4 ± 0.7
PP + RH 35-50 เมช ที่ 10 %	66.3 ± 0.7
PP + RH 35-50 เมช ที่ 20 %	67.8 ± 0.5
PP + RH 35-50 เมช ที่ 30 %	69.4 ± 0.3
PP + RH 35-50 เมช ที่ 40 %	70.0 ± 0.2
PP + RH 50-100 เมช ที่ 10 %	68.2 ± 0.5
PP + RH 50-100 เมช ที่ 20 %	68.9 ± 0.2
PP + RH 50-100 เมช ที่ 30 %	69.6 ± 0.1
PP + RH 50-100 เมช ที่ 40 %	70.0 ± 0.2
PP + RH 100-200 เมช ที่ 10 %	68.2 ± 0.4
PP + RH 100-200 เมช ที่ 20 %	68.6 ± 0.2
PP + RH 100-200 เมช ที่ 30 %	69.7 ± 0.2
PP + RH 100-200 เมช ที่ 40 %	70.0 ± 0.2
PP + RH ≥ 200 เมช ที่ 10 %	68.2 ± 0.1
PP + RH ≥ 200 เมช ที่ 20 %	68.4 ± 0.2
PP + RH ≥ 200 เมช ที่ 30 %	69.1 ± 0.1
PP + RH ≥ 200 เมช ที่ 40 %	70.1 ± 0.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ช
 ตารางแสดงสมบัติเชิงกลของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแคลบ
 ที่นำกลับมาใช้ใหม่

ความแข็งแรงดึง

ชนิดทดสอบ	Tensile strength (MPa)
PP + RH \geq 200 เมช ที่ 40 %	21.5 \pm 0.2
PP + RH \geq 200 เมช ที่ 40 % ที่นำกลับมาใช้ใหม่ครั้งที่ 1	20.5 \pm 0.3
PP + RH \geq 200 เมช ที่ 40 % ที่นำกลับมาใช้ใหม่ครั้งที่ 2	20.5 \pm 0.6
PP + RH \geq 200 เมช ที่ 40 % ที่นำกลับมาใช้ใหม่ครั้งที่ 3	20.6 \pm 0.7
PP + RH \geq 200 เมช ที่ 40 % ที่นำกลับมาใช้ใหม่ครั้งที่ 4	20.3 \pm 0.5

ร้อยละการดึงยืด ณ จุดคราก

ชนิดทดสอบ	Elongation at yield (%)
PP + RH \geq 200 เมช ที่ 40 %	4.7 \pm 0.2
PP + RH \geq 200 เมช ที่ 40 % ที่นำกลับมาใช้ใหม่ครั้งที่ 1	4.8 \pm 0.3
PP + RH \geq 200 เมช ที่ 40 % ที่นำกลับมาใช้ใหม่ครั้งที่ 2	5.3 \pm 0.3
PP + RH \geq 200 เมช ที่ 40 % ที่นำกลับมาใช้ใหม่ครั้งที่ 3	5.4 \pm 0.3
PP + RH \geq 200 เมช ที่ 40 % ที่นำกลับมาใช้ใหม่ครั้งที่ 4	5.9 \pm 0.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มอดุลัสแรงดึง

ชั้นทดสอบ	Tensile modulus (MPa)
PP + RH \geq 200 เมช ที่ 40 %	709 \pm 16
PP + RH \geq 200 เมช ที่ 40 % ที่นำกลับมาใช้ใหม่ครั้งที่ 1	718 \pm 29
PP + RH \geq 200 เมช ที่ 40 % ที่นำกลับมาใช้ใหม่ครั้งที่ 2	716 \pm 18
PP + RH \geq 200 เมช ที่ 40 % ที่นำกลับมาใช้ใหม่ครั้งที่ 3	687 \pm 22
PP + RH \geq 200 เมช ที่ 40 % ที่นำกลับมาใช้ใหม่ครั้งที่ 4	636 \pm 19

ความแข็งแรงโค้งงอ

ชั้นทดสอบ	Flexural strength (MPa)
PP + RH \geq 200 เมช ที่ 40 %	48.7 \pm 0.8
PP + RH \geq 200 เมช ที่ 40 % ที่นำกลับมาใช้ใหม่ครั้งที่ 1	47.0 \pm 1.2
PP + RH \geq 200 เมช ที่ 40 % ที่นำกลับมาใช้ใหม่ครั้งที่ 2	46.8 \pm 1.4
PP + RH \geq 200 เมช ที่ 40 % ที่นำกลับมาใช้ใหม่ครั้งที่ 3	45.9 \pm 1.1
PP + RH \geq 200 เมช ที่ 40 % ที่นำกลับมาใช้ใหม่ครั้งที่ 4	43.4 \pm 1.0

มอดุลัสโค้งงอ

ชั้นทดสอบ	Flexural modulus (MPa)
PP + RH \geq 200 เมช ที่ 40 %	2057 \pm 62
PP + RH \geq 200 เมช ที่ 40 % ที่นำกลับมาใช้ใหม่ครั้งที่ 1	2053 \pm 67
PP + RH \geq 200 เมช ที่ 40 % ที่นำกลับมาใช้ใหม่ครั้งที่ 2	2001 \pm 87
PP + RH \geq 200 เมช ที่ 40 % ที่นำกลับมาใช้ใหม่ครั้งที่ 3	1954 \pm 68
PP + RH \geq 200 เมช ที่ 40 % ที่นำกลับมาใช้ใหม่ครั้งที่ 4	1832 \pm 74

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความแข็งแรงกระแทก

ชั้นทดสอบ	Impact strength (kJ/m ²)
PP + RH \geq 200 เมช ที่ 40 %	3.17 \pm 0.07
PP + RH \geq 200 เมช ที่ 40 % ที่นำกลับมาใช้ใหม่ครั้งที่ 1	3.04 \pm 0.18
PP + RH \geq 200 เมช ที่ 40 % ที่นำกลับมาใช้ใหม่ครั้งที่ 2	2.88 \pm 0.13
PP + RH \geq 200 เมช ที่ 40 % ที่นำกลับมาใช้ใหม่ครั้งที่ 3	2.82 \pm 0.14
PP + RH \geq 200 เมช ที่ 40 % ที่นำกลับมาใช้ใหม่ครั้งที่ 4	2.61 \pm 0.10

ความแข็งกด

ชั้นทดสอบ	Hardness (Shore D)
PP + RH \geq 200 เมช ที่ 40 %	3.2 \pm 0.1
PP + RH \geq 200 เมช ที่ 40 % ที่นำกลับมาใช้ใหม่ครั้งที่ 1	3.0 \pm 0.2
PP + RH \geq 200 เมช ที่ 40 % ที่นำกลับมาใช้ใหม่ครั้งที่ 2	2.9 \pm 0.1
PP + RH \geq 200 เมช ที่ 40 % ที่นำกลับมาใช้ใหม่ครั้งที่ 3	2.8 \pm 0.1
PP + RH \geq 200 เมช ที่ 40 % ที่นำกลับมาใช้ใหม่ครั้งที่ 4	2.6 \pm 0.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ฉ

ภาวะฉีดขึ้นรูปวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแคลบสำหรับงานวิจัยนี้

ความดัน (Pressure, kg/cm ²)	
Die close pressure	80
Cls low pressure	50
Cls high pressure	80
Die open pressure	20
1 st inject pressure	50
2 nd inject pressure	45
3 rd inject pressure	43
Melting pressure	50
Decomposition pressure	30
Plunger pressure	13
Ejector pressure	5
Screw-in pressure	40
Die adjust pressure	40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเร็วในการฉีด (Flow speed, mm/sec)	
Rapid close speed	20
High close speed	25
Clamping speed	20
Die open slow 1	3
Rapid open speed	20
Die open slow 2	15
Plunger speed	20
Die adjust speed	25
1 st stage inject speed	50
2 nd stage inject speed	50
3 rd stage inject speed	50
Melting speed	15
Decomposition speed	20
Ejector speed	5
Screw-in speed	0
Die change speed	50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลาในการฉีด (Time, sec)	
Die close/open time	40
1 st stage inject time	20
2 nd stage inject time	15
3 rd stage inject time	10
Melting time	15
Decomposition time	1
Cooling time	100
Ejector count	1
Screw forward time	0
Screw backward time	0
Alarm time	400

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

นางสาวนิรชา แยมบุญยิ่ง เกิดเมื่อวันที่ 12 มีนาคม 2521 ที่จังหวัดระนอง สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีเมื่อปี พ.ศ. 2544 จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ คณะวิทยาศาสตร์ สาขาเคมีอุตสาหกรรม ปัจจุบันศึกษาอยู่ระดับปริญญาโทที่สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง คณะวิทยาศาสตร์ สาขาเทคโนโลยีพอลิเมอร์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้