

รายงานผลการวิจัย
ฉบับสมบูรณ์

เรื่อง

การศึกษาการนำกลับมาใช้เป็นสารตัวเติมในบรรจุภัณฑ์พลาสติก

โดย

ดร.จุฑารัตน์ ปรัชญาวรรการ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนการวิจัยโดย

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ประจำปีงบประมาณ 2546

RCH

TP

1180

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

เลขหมู่..... 6315

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เลขทะเบียน..... 54548

วัน,เดือน,ปี 2.1 ส.ค. 2548

b.....	6115460x
i.....	

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการนำแกลบมาใช้เป็นสารตัวเติมในพอลิพรอพิลีน การเตรียมชิ้นงานทำได้โดยการใช้เครื่องอัดรีดชนิดเกลียวหนอนคู่และเครื่องฉีดขึ้นรูป โดยศึกษาถึงผลของปริมาณและขนาดอนุภาคที่มีต่อสมบัติทางกายภาพและสมบัติเชิงกลของพอลิพรอพิลีน สมบัติทางความร้อนและลักษณะยานวิทยาของชิ้นงานที่เตรียมได้ศึกษาโดยใช้ดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งคาลอริมิเตอร์และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดตามลำดับ พบว่าสมบัติเชิงกลขึ้นกับปริมาณมากกว่าขนาดของสารตัวเติม เมื่อเปรียบเทียบกับพอลิพรอพิลีนแล้ว ชิ้นงานผสมระหว่างแกลบและพอลิพรอพิลีนให้ค่ามอดุลัส มอดุลัสโค้งงอ ความแข็งแรงกระแทกและความแข็งกดสูงกว่า นอกจากนี้การดูดซับน้ำของชิ้นงานมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณของสารตัวเติม โดยค่าร้อยละการดูดซับน้ำที่มากที่สุดมีค่าประมาณร้อยละ 5 สำหรับคุณสมบัติการสลายตัวทางความร้อนของชิ้นงานมีค่าสูงกว่าของพอลิพรอพิลีนบริสุทธิ์และชิ้นงานที่ประกอบด้วยแกลบขนาดเล็กนั้นมีการกระจายตัวในเมทริกซ์ของพอลิพรอพิลีนได้ดีกว่า

ABSTRACT

This research work concerned about the study of using rich husk as filler in polypropylene. The influence of the filler loadings and filler particle sizes on physical and mechanical properties of polypropylene was investigated. Thermal and morphological properties of the prepared specimens were also examined using differential scanning calorimetry (DSC) and scanning electron microscopy, respectively. It was found that the mechanical properties were greatly influenced by the filler contents rather than the particle sizes. Compared with the pure PP, the rich husk filler PP specimens showed higher Young's modulus, flexural modulus, impact strength and hardness. In addition, water absorption of the specimens was enhanced when the amounts of the filler were increased, with the maximum value of approximately 5%. Moreover, the thermal decomposition temperatures of the specimens were greater than that of the pure PP and the specimens contained smaller particle size of the rice husk presented better phase dispersion within the PP matrix.

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
สารบัญ.....	III
สารบัญตาราง.....	V
สารบัญรูปภาพ.....	VI
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.....	4
2.1.1 โครงสร้างของพอลิพรอพิลีน.....	4
2.1.2 สมบัติและการนำไปใช้.....	5
2.1.2.1 ข้อดีของพอลิพรอพิลีน.....	7
2.1.2.2 ข้อด้อยของพอลิพรอพิลีน.....	7
2.2 สารเติมแต่งในพลาสติก.....	7
2.2.1 สารตัวเติม.....	9
2.3 แกลบ.....	10
2.3.1 องค์ประกอบของแกลบ.....	11
2.3.2 ประโยชน์ของแกลบ.....	14
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	14
บทที่ 3 การดำเนินงานวิจัย.....	20
3.1 สารเคมีและวัสดุที่ใช้ในงานวิจัย.....	20
3.2 เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย.....	20
3.3 วิธีการทดลอง.....	21
3.3.1 การเตรียมแกลบ.....	21
3.3.2 การขึ้นรูปชิ้นงานทดสอบ.....	21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

3.3.3 การทดสอบ.....	23
3.4 วิธีการทดสอบ.....	23
3.4.1 สมบัติเชิงกล.....	24
3.4.1.1 สมบัติทางแรงดึง.....	24
3.4.1.2 สมบัติความโค้งงอ.....	25
3.4.1.3 ความแข็งแรงกระแทก.....	26
3.4.1.4 ความแข็งกด.....	26
3.4.2 สมบัติทางกายภาพ.....	26
3.4.3 สมบัติทางความร้อน.....	27
3.4.4 สัณฐานวิทยา.....	27
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง.....	28
4.1 สมบัติเชิงกล.....	28
4.1.1 สมบัติทางแรงดึง.....	28
4.1.2 สมบัติความโค้งงอ.....	32
4.1.3 ความแข็งแรงกระแทก.....	34
4.1.4 ความแข็งกด.....	35
4.2 สมบัติทางกายภาพ.....	37
4.3 สมบัติทางความร้อน.....	40
4.4 สัณฐานวิทยา.....	43
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง.....	47
เอกสารอ้างอิง.....	48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 สมบัติบางประการของพอลิพรอพิลีนเชิงพาณิชย์.....	6
ตารางที่ 2.2 องค์ประกอบของแกลบ.....	13
ตารางที่ 2.3 องค์ประกอบของสารอินทรีย์ในแถ้าแกลบ.....	14
ตารางที่ 3.1 สมบัติของพอลิพรอพิลีน.....	20
ตารางที่ 3.2 ส่วนผสมต่าง ๆ ที่ใช้ในการขึ้นรูปชิ้นงานทดสอบ.....	22
ตารางที่ 3.3 มาตรฐานต่าง ๆ ในการทดสอบสมบัติต่าง ๆ.....	23



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปร่างภาพ

	หน้า
รูปที่ 2.1 โครงสร้างของไอโซแทกติกพอลิพรอพิลีน.....	4
รูปที่ 2.2 โครงสร้างของซินดีโอแทกติกพอลิพรอพิลีน.....	5
รูปที่ 2.3 โครงสร้างของอะแทกติกพอลิพรอพิลีน.....	5
รูปที่ 2.4 รูปร่างของสารตัวเติม.....	9
รูปที่ 2.5 โครงสร้างของเซลลูโลส.....	12
รูปที่ 2.6 โครงสร้างของเฮมิเซลลูโลส.....	12
รูปที่ 2.7 โครงสร้างของลิกนิน.....	13
รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติทางแรงดึงของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกรบ ที่ปริมาณแกรบ (ร้อยละโดยน้ำหนัก) ต่าง ๆ กัน.....	31
รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติความโค้งงอของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกรบ ที่ปริมาณแกรบ (ร้อยละโดยน้ำหนัก) ต่าง ๆ กัน.....	32
รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงกระแทกของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีน และแกรบ ที่ปริมาณแกรบ (ร้อยละโดยน้ำหนัก) ต่าง ๆ กัน.....	34
รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งกดของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกรบ ที่ปริมาณแกรบ (ร้อยละโดยน้ำหนัก) ต่าง ๆ กัน.....	35
รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับน้ำของพอลิพรอพิลีนบริสุทธิ์กับเวลา.....	37
รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับน้ำของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกรบ ที่มีขนาดแกรบต่างกันกับเวลา โดยมีปริมาณแกรบร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก.....	37
รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับน้ำของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกรบ ที่มีขนาดแกรบต่างกันกับเวลา โดยมีปริมาณแกรบร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก.....	38
รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับน้ำของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกรบ ที่มีขนาดแกรบต่างกันกับเวลา โดยมีปริมาณแกรบร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก.....	38
รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับน้ำของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกรบ ที่มีขนาดแกรบต่างกันกับเวลา โดยมีปริมาณแกรบร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก.....	39
รูปที่ 4.10 TG เทอร์โมแกรมของแกรบและพอลิพรอพิลีนบริสุทธิ์.....	40
รูปที่ 4.11 TG เทอร์โมแกรมของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกรบ ที่มีขนาดแกรบ 50-99 เมช ที่ปริมาณแกรบต่าง ๆ กัน.....	41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.12 TG เทอร์โมแกรมของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกลบ ที่ปริมาณแกลบร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก ที่ขนาดแกลบต่าง ๆ กัน.....	41
รูปที่ 4.13 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดกำลังขยาย 30 เท่าของ วัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกลบที่ขนาดแกลบ 50-99 เมช ที่ปริมาณ แกลบต่าง ๆ กัน.....	44
รูปที่ 4.14 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดกำลังขยาย 200 เท่าของ วัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกลบที่ขนาดแกลบ 50-99 เมช โดยมีแกลบ ร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก.....	44
รูปที่ 4.15 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดกำลังขยาย 30 เท่าของ วัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกลบที่ปริมาณแกลบร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก ที่ขนาดแกลบต่าง ๆ กัน.....	45



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย

ประเทศไทยเป็นแหล่งผลิตข้าวที่สำคัญทั้งในอดีตและปัจจุบัน และแกลบ (Rice husk) นับเป็นวัสดุเหลือทิ้งที่ได้จากกระบวนการสีข้าวซึ่งมีประมาณร้อยละ 20 ของปริมาณข้าวทั้งหมด เมื่อปี พ.ศ. 2544 ประเทศไทยผลิตข้าวได้ 23.3 ล้านตัน และในปี พ.ศ. 2545 ผลิตข้าวได้ 26.5 ล้านตัน [1] ซึ่งเห็นได้ว่ามีปริมาณการผลิตข้าวเพิ่มขึ้นดังนั้นก็ทำให้มีปริมาณแกลบเหลือทิ้งเพิ่มขึ้นด้วย ในสมัยโบราณคนรู้จักนำแกลบมาใช้ประโยชน์ เช่น ผสมกับดินเหนียวทำเป็นอิฐก่อสร้าง ใช้รองรังสำหรับสัตว์ปีก ใช้เป็นเชื้อเพลิง เป็นต้น ส่วนแกลบนั้นใช้ทำเป็นผงขัดภาชนะต่าง ๆ แก้วดินเปรี้ยว ใช้ดูดซับสิ่งสกปรก เช่น น้ำมันเครื่อง ทำฉนวนป้องกันความร้อน หรือนำมาถมที่

ต่อมาเมื่อความรู้ทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีต่าง ๆ ได้เจริญมากขึ้น นักวิทยาศาสตร์ได้ศึกษาค้นคว้าเพื่อนำแกลบมาใช้ให้เกิดประโยชน์มากขึ้นมากกว่าเดิม เช่น ใช้แกลบอัดเป็นแท่งเชื้อเพลิง กลั่นสลายแกลบได้ก๊าซมาใช้เป็นพลังงานขับเคลื่อนเครื่องยนต์ ผสมกับกาวอัดเป็นแผ่นแทนไม้ ผสมกับมูลสัตว์ทำก๊าซชีวภาพ ทำถ่านกัมมันต์ ฯลฯ ส่วนแกลบใช้ทำเป็นผงกรองน้ำ สารตัวเติม ผงขัดชนิดดี โซเดียมซilikेट และซีเมนต์ เป็นต้น จะเห็นได้ว่าเราสามารถนำแกลบและแกลบซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตรที่มีอยู่กระจายทั่วประเทศมาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ที่ใช้ประโยชน์ได้หลายอย่างโดยใช้เทคโนโลยีที่เหมาะสม [2] ดังนั้นจึงได้มีความคิดที่จะทำวัสดุเหลือทิ้งดังกล่าวมาทำให้มีคุณค่ามากขึ้น โดยนำแกลบมาใช้เป็นสารตัวเติม (Filler) ในพลาสติกเนื่องจากถือได้ว่าแกลบเป็นสารตัวเติมที่ได้จากธรรมชาติ (Natural fillers) ชนิดหนึ่งซึ่งมีประโยชน์หลายอย่าง เช่น ง่าย ราคาถูกทำให้สามารถลดต้นทุนการผลิตได้ น้ำหนักเบา ความหนาแน่นต่ำ สามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ และยังเป็นทางเลือกของเสียจากเกษตรกรรมและอุตสาหกรรมอีกด้วย

ในปัจจุบันพบว่าวัสดุที่ใช้งานกันอยู่โดยทั่วไปส่วนหนึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่ทำมาจากพลาสติกทำให้พลาสติกเป็นวัสดุที่มีความจำเป็นสำหรับการดำเนินชีวิตของมนุษย์ในยุคนี้เป็นอย่างมาก เราจะพบเห็นการใช้พลาสติกในอุตสาหกรรมทุกชนิดและกิจกรรมต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับชีวิตประจำวัน ตัวอย่างการใช้งานของผลิตภัณฑ์พลาสติก ได้แก่ ทำถังและอุปกรณ์ต่าง ๆ เพื่อใช้ในอุตสาหกรรมเคมี เครื่องใช้สำหรับการเกษตรกรรม ของใช้ในครัวเรือน เฟอร์นิเจอร์บรรจุภัณฑ์ของยา อาหารและเครื่องดื่ม ทำเครื่องประดับและเครื่องนุ่งห่ม ใช้เป็นอุปกรณ์กีฬา เป็นส่วนประกอบของรถยนต์ เครื่องบิน และยานอวกาศ เป็นส่วนประกอบของโครงสร้างอาคาร

เป็นชิ้นส่วนของเครื่องใช้ไฟฟ้า ส่วนประกอบของเครื่องใช้อิเล็กทรอนิกส์ และเครื่องใช้อื่น ๆ อีกมากมาย เพราะพลาสติกมีราคาถูก และสามารถขึ้นรูปได้หลายรูปแบบ โดยเฉพาะพอลิพรอพิลีน (Polypropylene) ซึ่งเป็นพลาสติกประเภทเทอร์โมพลาสติกที่เป็นที่นิยม เนื่องจากพอลิพรอพิลีนเป็นพลาสติกที่มีน้ำหนักเบาและมีสมบัติเชิงกลที่ดีมาก เช่น เหนียว (Toughness) แข็งแกร่ง (Strength) และมีความแข็งแรงดึง (Tensile strength) สูง นอกจากนี้ พอลิพรอพิลีนยังทนทานต่อสภาวะแวดล้อม เช่น ไม่ละลายในตัวทำละลายใด ๆ ที่อุณหภูมิห้อง และมีจุดหลอมเหลวที่สูง ทำให้มีความเหมาะสมต่อการใช้งานที่อุณหภูมิสูง ถึงแม้พอลิพรอพิลีนจัดเป็นพลาสติกที่มีการนิยมนำมาใช้กันอย่างแพร่หลายก็ตาม แต่ก็ยังคงมีการพัฒนาปรับปรุงสมบัติอยู่เสมอเพื่อให้ได้พลาสติกที่มีคุณภาพดียิ่งขึ้น และลดต้นทุนการผลิตลง หากนำแอลบซึ่งจัดเป็นสารตัวเติมที่ได้จากธรรมชาติมาผสมกับพอลิพรอพิลีน นอกจากจะช่วยปรับปรุงสมบัติของพอลิพรอพิลีนแล้วยังเป็นการทำให้วัสดุเหลือใช้ดังกล่าวมีคุณค่ามากขึ้นและยังช่วยลดต้นทุนการผลิตอีกด้วย

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงคิดที่จะนำแอลบมาผสมกับพอลิพรอพิลีน โดยให้แอลบทำหน้าที่เป็นสารตัวเติม แล้วทำการศึกษสมบัติต่างๆ ได้แก่ สมบัติเชิงกล สมบัติทางกายภาพ สมบัติทางความร้อน และสัณฐานวิทยา

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 1.2.1 เพื่อเตรียมวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแอลบในอัตราส่วนต่างๆ
- 1.2.2 เพื่อศึกษาผลของการใช้แอลบเป็นสารตัวเติมในพอลิพรอพิลีนที่มีต่อสมบัติทางเชิงกล สมบัติทางกายภาพ สมบัติทางความร้อน และสัณฐานวิทยาของวัสดุผสมที่ได้

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

- 1.3.1 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการขึ้นรูปชิ้นงานทดสอบของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแอลบ
- 1.3.2 ศึกษาถึงขนาดและปริมาณของสารตัวเติมที่มีต่อสมบัติของชิ้นงานทดสอบที่ได้
- 1.3.3 ศึกษาสมบัติเชิงกลและสมบัติทางกายภาพของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแอลบ เช่น ความแข็งแรงกระแทก (Impact strength) ความแข็งกด (Hardness) สมบัติทางแรงดึง (Tensile properties) สมบัติความโค้งงอ (Flexural properties) และสมบัติการดูดซับน้ำ (Water absorption)
- 1.3.4 ศึกษาสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 เป็นแนวทางในการนำวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมาประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์กับงานพลาสติก ผลิตภัณฑ์ที่ได้สามารถนำมาใช้ทดแทนพลาสติกสำหรับงานบรรจุภัณฑ์หรือพลาสติกอื่น ๆ ได้

1.4.2 สามารถทราบสถานะที่เหมาะสมในการผลิตชิ้นงานหรือผลิตภัณฑ์จากวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแคลบ เช่น ขนาดและปริมาณของแคลบที่เหมาะสม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

2.1 พอลิพรอพิลีน (Polypropylene)

หน่วยซ้ำของพอลิพรอพิลีน คือ $\left(\text{CH}_2-\underset{\text{CH}_3}{\text{CH}}\right)_n$ มีหมู่เมทิล (-CH₃) เกาะอยู่บนโครงสร้าง

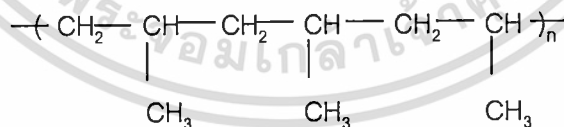
ของพอลิพรอพิลีน พอลิพรอพิลีนเป็นพอลิเมอร์ที่มีน้ำหนักเบา มีจุดหลอมเหลวปานกลาง ใช้ผลิตท่อ แผ่นพลาสติก ภาชนะเป่าขึ้นรูป และเส้นใย สามารถสังเคราะห์ได้ด้วยตัวเร่งหลายชนิด (Heterogeneous catalyst) พอลิพรอพิลีนเป็นพอลิเมอร์ที่มีความเหนียว ใส แข็งแรง และเป็นพอลิเมอร์กึ่งผลึก (Semicrystalline polymer)

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 ไอโซแทกติกพอลิพรอพิลีนสามารถสังเคราะห์ได้ด้วยตัวเร่งของ ไททาเนียมไตรคลอไรด์กับตัวเร่งร่วมของสารประกอบออร์แกโนลูมิเนียม เช่น ไดเอทิลอะลูมิเนียมคลอไรด์ ตัวเร่งปฏิกิริยาจะแขวนลอยอยู่ในสารไฮโดรคาร์บอน ซึ่งช่วยส่งผ่านความร้อน อุณหภูมิของปฏิกิริยาอยู่ในช่วง 50-80 องศาเซลเซียส และความดัน 25 บรรยากาศ อาจใช้ไฮโดรเจนเป็นตัวถ่ายโอนสายโซ่เพื่อควบคุมน้ำหนักโมเลกุล

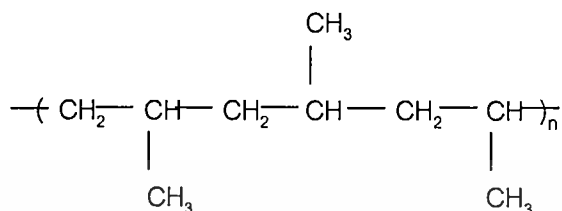


รูปที่ 2.1 โครงสร้างของไอโซแทกติกพอลิพรอพิลีน [3]

2. ซินดิโอแทกติกพอลิพรอพิลีน (Syndiotactic polypropylene, sPP)

ลักษณะการเกาะของหมู่เมทิลจะเกาะอยู่สลับกันบนสายโซ่โมเลกุลหลักอย่างเป็นระเบียบดังแสดงในรูปที่ 2.2 ทำให้โครงสร้างมีความเป็นระเบียบลดลง มีผลทำให้การตกผลึกลดลง

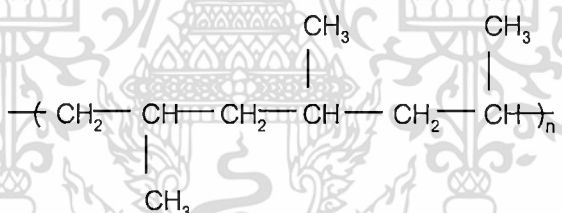
ด้วย ซินดีโอแทกติกพอลิพรอพิลีนสังเคราะห์ได้ด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาแบบเฮทเทอโรจีเนียสซีเกลอร์-นัตตาที่อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิที่ใช้ในการสังเคราะห์ไอโซแทกติกพอลิพรอพิลีน พอลิเมอร์ชนิดนี้มีจุดหลอมเหลวต่ำและละลายได้ในตัวทำละลายหลายชนิด



รูปที่ 2.2 โครงสร้างของซินดีโอแทกติกพอลิพรอพิลีน [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 ดังนั้นจึงนิยมใช้ iPP ที่มีความเป็นผลึกสูงในทางการค้าเชิงพาณิชย์

2.1.2 สมบัติและการนำไปใช้ประโยชน์

ไอโซแทกติกพอลิพรอพิลีนมีโครงสร้างเชิงเส้นตรงโดยตลอด ปราศจากสาขาโซ่ มีความเป็นผลึกสูง มีจุดหลอมตัว 165 องศาเซลเซียส พอลิเมอร์นี้ถือได้ว่าเป็นพอลิเมอร์ที่เบาที่สุด

มีความหนาแน่นเพียง 0.905 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และเนื่องจากความเป็นผลึกสูงนี้เอง เป็นเหตุให้พอลิเมอร์นี้มีสมบัติเชิงกลที่ดีมาก เช่น เหนียว แข็งแกร่งและมีความแข็งแรงดึงสูง มีจุดหลอมตัวสูงกว่าพอลิเอทิลีนทำให้พอลิพรอพิลีนเหมาะสำหรับการใช้งานที่อุณหภูมิสูงกว่าวัสดุที่ทำจากพอลิพรอพิลีนยังคงรักษาความแข็งแรงและรูปทรงไว้ได้ที่อุณหภูมิสูงถึง 140 องศาเซลเซียส

สมบัติการละลายได้ของพอลิพรอพิลีนคล้ายคลึงกับพอลิเอทิลีน กล่าวคือ ไม่สามารถละลายในตัวทำละลายใด ๆ ทั้งสิ้น ณ อุณหภูมิห้อง แต่จะละลายได้ในตัวทำละลายไฮโดรคาร์บอนและคลอรีเนเตตไฮโดรคาร์บอนที่อุณหภูมิสูงกว่า 80 องศาเซลเซียส ทำนองเดียวกับกรณีของพอลิเอทิลีน พอลิเมอร์นี้ทนต่อการกัดและเบสเป็นอย่างดีและเฉื่อยต่อปฏิกิริยาเคมีทั่วไป อย่างไรก็ตาม เสถียรภาพของพอลิเมอร์นี้ที่มีต่อความร้อน แสงและตัวออกซิไดซ์มีน้อยกว่าพอลิเอทิลีน เพราะโซ่ของพอลิพรอพิลีนมีไฮโดรเจนอะตอมเกิดพันธะกับคาร์บอนองศา 3 (3° หรือ Tertiary carbon) ดังนั้นก่อนนำพอลิพรอพิลีนไปใช้งานต้องมีการเติมสารต่อต้านตัวออกซิไดซ์และตัวอัลตราไวโอเล็ตสเตบิลไลเซอร์

สมบัติของพอลิพรอพิลีนขึ้นอยู่กับความหนาแน่น น้ำหนักโมเลกุล และการกระจายน้ำหนักโมเลกุล ซึ่งสมบัติต่าง ๆ ของพอลิพรอพิลีนแสดงได้ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 สมบัติบางประการของพอลิพรอพิลีนเชิงพาณิชย์ [4-5]

สมบัติ	พอลิพรอพิลีน
ความหนาแน่น (g/cm^3)	0.90-0.91
ความเป็นผลึก (%)	82
อุณหภูมิหลอมเหลว ($^\circ\text{C}$)	160-180
อุณหภูมิสถานะคล้ายแก้ว ($^\circ\text{C}$)	-20
ดัชนีหักเห (n_D^{25})	1.49
ความแข็งแรงดึง (MPa)	29.3-38.6
มอดุลัสแรงดึง (GPa)	1.03-1.72
ความยาว 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 ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น 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

ประมาณครึ่งหนึ่งของพอลิพรอพิลีนที่ผลิตขึ้นมาไปทำเป็นส่วนประกอบและชิ้นส่วนของรถยนต์และอุปกรณ์เครื่องใช้ภายในบ้าน ส่วนที่เหลือใช้ทำในรูปของเส้นใย (เชือก) และฟิล์ม

2.2 สารเติมแต่งในพลาสติก (Additives) [6-7]

พอลิเมอร์มีอยู่หลายชนิดจึงมีการนำไปใช้งานที่แตกต่างกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสมบัติและความต้องการของงานประเภทนั้น ๆ แต่มีอยู่หลายกรณีที่พอลิเมอร์เพียงลำพังไม่สามารถให้สมบัติที่ต้องการได้ จึงมีการนำพอลิเมอร์มาผสมกับวัสดุอื่นตั้งแต่หนึ่งชนิดขึ้นไปเพื่อช่วยปรับปรุงสมบัติของพอลิเมอร์ให้ได้ตามความต้องการของการนำไปประยุกต์ใช้งาน วัสดุที่นำมาผสมรวมกับพอลิเมอร์นี้เรียกว่า สารเติมแต่ง (Additives) โดยปรับปรุงสมบัติของพอลิเมอร์ด้านใดด้านหนึ่งดังต่อไปนี้

1. ปรับปรุงลักษณะเฉพาะของกระบวนการ เช่น ลดความเสียดทานที่เกิดขึ้นโดยการใส่สารหล่อลื่น หรือ

2. ปรับปรุงสมบัติของผลิตภัณฑ์สุดท้ายโดยการรวมเป็นส่วนหนึ่ง เช่น การใช้สารให้สี เป็นต้น

ในบางครั้งสารเติมแต่งอาจนำมาใช้เพื่อลดค่าใช้จ่ายของวัสดุลง แม้ว่าโดยปกติสารเติมแต่งมักมีราคาแพงกว่าพอลิเมอร์ก็ตาม แต่ก็ยังเป็นที่ยอมรับเนื่องจากสารเติมแต่งช่วยลดจุดบกพร่องที่สำคัญของพอลิเมอร์ โดยเฉพาะวัสดุในทางวิศวกรรมจะมีความแข็งดึง 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 การนำน้ำยารามาแปรรูปเป็นยางดิบ แล้วเลือกเติมสารเติมแต่งต่างชนิดกัน ลงในยางเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ต่างชนิดกัน เช่น ยางรถยนต์ กอล์ฟแบดเทอเร่ โฟมจากน้ำยารยางรัดของ และยางลบ ทำนองเดียวกันในอุตสาหกรรมพลาสติกโดยเฉพาะอย่างยิ่งพอลิไวนิลคลอไรด์ 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

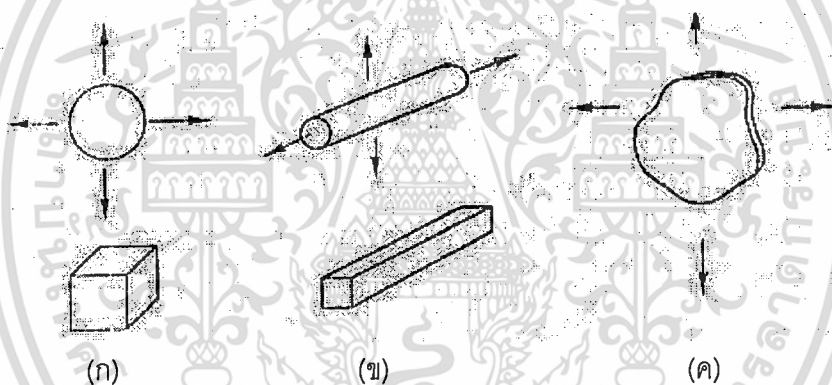
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งในงานวิจัยเรื่องนี้จะพิจารณาสารเติมแต่งในพลาสติกประเภทสารตัวเติม

2.2.1 สารตัวเติม (Fillers) [7]

เมื่อวัสดุประเภทของแข็งจำนวนมากกระจายตัวได้ดีในเมตริกซ์ของพอลิเมอร์ เรียกว่าวัสดุเหล่านั้นว่าเป็นสารตัวเติม (Fillers) และสารเสริมแรง (Reinforcements) วัสดุประเภทนี้จัดเป็นสารเติมแต่งที่นิยมใช้สำหรับพลาสติกทุกชนิดแต่ปริมาณที่ใช้แตกต่างกันออกไปขึ้นอยู่กับชนิดของพลาสติกนั้น ๆ

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



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

สมบัติที่เป็นแอนไอโซโทรปิก คือ วัสดุแสดงสมบัติต่างกันเมื่อได้รับแรงกระทำในแนวแกนที่ต่างกัน

สมบัติที่เป็นไอโซโทรปิก คือ วัสดุแสดงสมบัติเหมือนกันเมื่อได้รับแรงกระทำในแนวแกนที่ต่างกัน สมบัติเหมือนกันในทุกทิศทาง

ปริมาณสารตัวเติมในพอลิเมอร์มักไม่เกิน 40 % สารตัวเติมที่นิยมมาก คือ เศษไม้ บดละเอียด นิยมเติมลงในฟีนอลิกเรซิน ลดการเปราะและลดต้นทุน สารตัวเติมพวกโลหะเหล็ก ทองเหลือง อะลูมิเนียมใช้เติมลงในเรซินเพื่อปรับปรุงสมบัติการนำไฟฟ้าให้ดีขึ้น แก้วทรงกลมกลวง ที่มีขนาดเล็ก (Microballoon) นิยมเติมลงในพอลิเมอร์เพื่อผลิตคอมโพสิตที่มีน้ำหนักเบา

สารตัวเติมในอุตสาหกรรมพลาสติกจัดเป็นประเภทต่าง ๆ ได้หลายเกรด แต่ละเกรดมีความแตกต่างกันในเรื่องต่อไปนี้

ก. ขนาดของอนุภาคและการกระจายอนุภาคที่มีขนาดเล็กทำให้มีสมบัติทนแรงดึง ค่ามอดุลัสและความแข็งแกร่งสูง อนุภาคที่มีขนาดใหญ่ทำให้สารประกอบมีความแข็งแรงน้อยกว่าก่อนการผสมสารตัวเติม

ข. รูปร่างของอนุภาคและความพรุน ตัวอย่างเช่นดินเหนียวมีลักษณะเป็นแผ่นทำให้ผลิตภัณฑ์เป็นแอนไอโซโทรปิก ส่วนอนุภาคที่มีผิวเรียบทำให้ยึดติดกับพอลิเมอร์ได้ยาก ในขณะที่อนุภาคที่มีรูพรุนดูดซับสารตัวเติมชนิดอื่นที่ผสมอยู่ในพอลิเมอร์ไว้ทำให้มีประสิทธิภาพของสารตัวเติมเหล่านั้นลดลง

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

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

นอกจากนี้การแบ่งประเภทของสารตัวเติมอาจแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ สารตัวเติมเฉื่อย (Inert fillers) และสารตัวเติมเสริมแรง (Reinforcing fillers) ตัวอย่างของสารกลุ่มแรก ได้แก่ แคลเซียมคาร์บอเนต ดินเหนียว แทลคัม และแบเรียมซัลเฟต สารพวกนี้ช่วยเพิ่มค่ามอดุลัส ความแข็งแกร่งและทำให้พอลิเมอร์มีสีขาว ปรับปรุงความเป็นฉนวนไฟฟ้า ลดต้นทุน และช่วยให้กระบวนการผลิตทำได้ง่าย รวมทั้งลักษณะความน่าใช้ของผลิตภัณฑ์ สำหรับสารตัวเติมเสริมแรงทำหน้าที่ช่วยเพิ่มความแข็งแรง ความทนทานต่อแรงกระแทกและความแข็งดึง ลักษณะของสารตัวเติมเสริมแรงแบ่งเป็น 3 ประเภทได้แก่ เส้นใย (Fibrous) ผงละเอียด (Particulate) และเป็นแผ่น (Lamina) ซึ่งลักษณะของสารตัวเติมแบบต่าง ๆ แสดงได้ดังรูปที่ 2.4

สำหรับสารตัวเติมที่ใช้ในงานวิจัยนี้คือ แกลบ ซึ่งจัดเป็นสารตัวเติมเฉื่อยชนิดหนึ่ง

2.3 แกลบ (Rice Husks) [8]

แกลบ คือ เปลือกข้าวที่ได้จากกระบวนการสีข้าวเปลือกให้เป็นข้าวสาร (*Rice, Oryza sativa*) สำหรับการบริโภคของมนุษย์ ซึ่งเป็นวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรที่สำคัญชนิดหนึ่ง ในการสีข้าวจะได้ปริมาณของแกลบเป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณข้าวเปลือก ในข้าวเปลือก

มีแกลบประมาณร้อยละ 25.92-26.28 โดยน้ำหนัก [9] ซึ่งแกลบส่วนใหญ่ถูกนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิง โดยโรงสีข้าวและโรงงานอุตสาหกรรมบางประเภท 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 ส่วนแป้งนั้นมียูในแกลบเพียงเล็กน้อย ซึ่งแสดงได้ดังตารางที่ 2.2 โครงสร้างของเซลลูโลสและมีเฮมิเซลลูโลสแสดงได้ดังรูปที่ 2.5 และ 2.6 ตามลำดับ

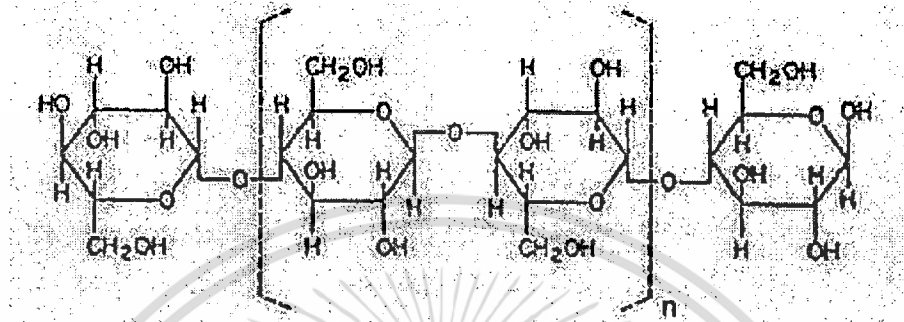
2. โปรตีน โปรตีนในแกลบมีอยู่ประมาณ 1.8-1.9 เปอร์เซ็นต์

3. ไขมัน ปริมาณที่พบอยู่ในแกลบมีอยู่ตั้งแต่ 0.28-0.31 เปอร์เซ็นต์ โดยปกติแล้วส่วนของแกลบมีไขมันเป็นองค์ประกอบอยู่ไม่เกิน 1.0 เปอร์เซ็นต์ ไขมันส่วนเกินมานั้นพบมาจากรำข้าวที่ติดอยู่หลังจากผ่านกระบวนการสีข้าว แต่ในแกลบมีปริมาณกรดอิสระมากกว่าในรำข้าวถึง 4 เท่า

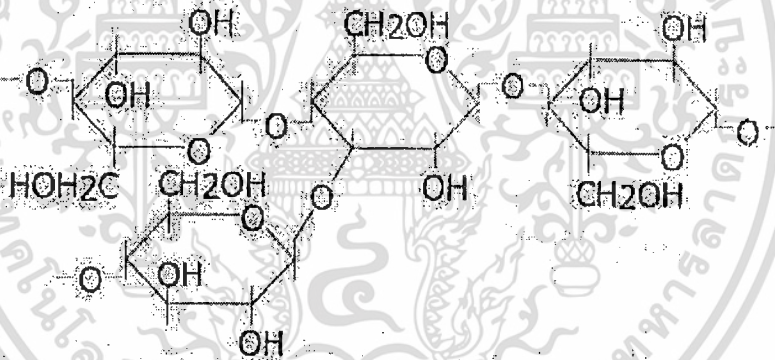
4. ลิกนิน และคิวติน ส่วนใหญ่จะพบลิกนินรวมอยู่กับเฮมิเซลลูโลส พบมากในบริเวณผนังเซลล์ คือ ประมาณ 70 เปอร์เซ็นต์ของทั้งหมด ซึ่งโครงสร้างของลิกนินแสดงได้ดังรูปที่ 2.7 คิวตินเป็นสารพอลิเมอร์ชนิดหนึ่งที่มีชื่อเรียกว่า กรดไฮดรอกซีมอโนคาร์บอกไซลิก (Hydroxymonocarboxylic acid) มีสมบัติเป็นสารที่มีความลื่น และสามารถกั้นน้ำได้ จะปกคลุมอยู่บริเวณผิวภายนอกของแกลบ พบอยู่ในแกลบประมาณ 22 เปอร์เซ็นต์

5. วิตามิน และกรดอินทรีย์ วิตามินที่พบในแกลบ ได้แก่ ไธอามิน (Thiamin) ไรโบฟลาวิน (Riboflavin) และไนอาซิน (Niacine) กรดอินทรีย์ที่พบมาก ได้แก่ กรดออกซาลิก และกรดซิทริก ส่วนกรดอินทรีย์ชนิดอื่น ๆ ได้แก่ กรดแอสติค กรดฟูมาลิก กรดมาลิก และกรดของสารประกอบวงแหวน

6. สารประกอบอินทรีย์ ในถ้ำเกลือที่ได้จากการเผาเกลือมีสารอินทรีย์อยู่ ซึ่งมีปริมาณ 16.4-18.3 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ในถ้ำเกลือจะมีซิลิกาเป็นองค์ประกอบหลัก คือ มีประมาณ 94-96 เปอร์เซ็นต์ ที่เหลือจะเป็นสารประกอบออกไซด์ของโลหะอีกหลายชนิด ดังแสดงในตารางที่ 2.3

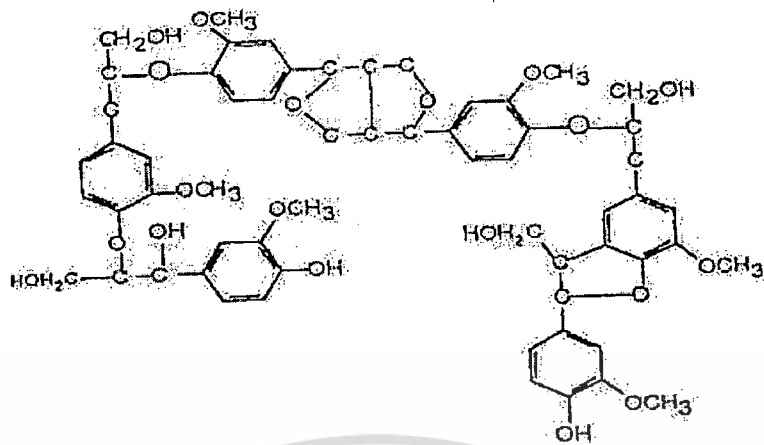


รูปที่ 2.5 โครงสร้างของเซลลูโลส [10]



รูปที่ 2.6 โครงสร้างของเอมิเซลลูโลส [10]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7 โครงสร้างของลิกนิน [11]

ตารางที่ 2.2 องค์ประกอบของแกลบ [12]

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 องค์ประกอบของสารอินทรีย์ในถ้ำกลบ [8]

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

2.3.2 ประโยชน์ของกลบ

ประโยชน์ของกลบส่วนใหญ่จะนำมาใช้ประโยชน์โดยตรง เช่น

1. ใช้เป็นเชื้อเพลิง กลบจะให้พลังงานความร้อนประมาณ 3800 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม ซึ่งใกล้เคียงกับถ่านไม้ (4500-5000 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม) จึงใช้กลบแทนถ่านไม้ได้
2. ใช้ผสมกับดินเหนียวทำอิฐ จะทำให้อิฐที่ได้แข็งและสามารถตัดเจาะรูหรือตอกตะปูได้
3. ใช้ผสมกับดิน ทำให้ดินร่วนซุย ไม่แน่นทึบ และช่วยให้ดินค้ำน้ำดีขึ้น
4. ใช้ในฟาร์มเลี้ยงสัตว์ เช่น ไก่หรือสุกร โดยใช้กลบรองพื้น ทำให้พื้นไม่แฉะ และไม่มีกลิ่นเหม็น
5. ใช้เป็นส่วนผสมของอาหารสัตว์ เช่น เป็ด ไก่ วัว ควาย เพื่อลดต้นทุน
6. เป็นแหล่งธาตุอาหารของพืช โดยใช้ผสมกับปุ๋ยแอมโมเนียมฟอสเฟต ช่วยให้ผลผลิตข้าวเพิ่มขึ้นจากการใช้ปุ๋ยอย่างเดียวยังร้อยละ 5-24
7. ใช้เป็นฉนวนความร้อน เช่น คุลมน้ำแข็งไม่ให้ละลายง่าย กลบที่ใช้งานแล้วสามารถนำไปใช้คลุมโคนต้นไม้ เพื่อช่วยให้ความชุ่มชื้น และช่วยป้องกันการสูญเสียน้ำจากดินได้
8. ใช้เป็นสารตัวเติมและสารเติมแต่ง
9. ใช้ทำกระดาษ แต่ไม่เป็นที่นิยม เนื่องจากเส้นใยมีขนาดสั้นเกินไปทำให้ได้กระดาษที่มีคุณภาพไม่ดี
10. ใช้เป็นตัวพาและสารดูดซับ กลบที่มีความละเอียดแตกต่างกันสามารถนำมาใช้เป็นตัวพาและสารดูดซับสำหรับวิตามิน ยาฆ่าแมลง ยาปฏิชีวนะ และแร่ธาตุได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

11. เป็นแหล่งของซิลิกา ในแกลบมีซิลิกาเป็นองค์ประกอบประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นซิลิกาที่มีสารปนเปื้อนต่ำ และสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ดี

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

S.N.Maiti และ K.Singh [13] ได้ทำการศึกษามลของผงไม้ (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 ความแข็งแรงยืดหยุ่น (Elastic modulus) แรงสูงสุด ณ จุดคราก (Yield stress) ค่าร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาด (% Elongation at yield) และความแข็งแรงกระแทก (Impact strength) ลดลง แต่ความแข็งกด (Hardness) เพิ่มขึ้นเล็กน้อย และยังพบอีกว่าการใช้ผงไม้ที่มีขนาดละเอียดกว่า (ขนาดน้อยกว่า 180 ไมครอน) ให้สมบัติเชิงกลที่ดีกว่าการใช้ผงไม้ที่มีขนาดหยาบกว่า (ขนาด 355 ถึง 425 ไมครอน)

K.L.Yam และคณะ [14] ได้ทำการศึกษามลของคอมโพสิตระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE) จากขบวนการและเส้นใยไม้สน (Aspen fibers) โดยศึกษาเส้นใยไม้สนที่ไม่ได้ปรับปรุงพื้นผิว และที่ปรับปรุงพื้นผิวด้วยความร้อนและอะเซทิลเลท (Acetylate) จากการผลิตด้วยเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนคู่ (Twin-screw extruder) พบว่าสามารถผสมกันได้ถึงร้อยละ 60 โดยน้ำหนักของเส้นใยไม้สน จากการศึกษาสมบัติเชิงกลพบว่าเมื่อปริมาณเส้นใยไม้สนเพิ่มขึ้นค่าความแข็งแรงดึง และค่าร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาดลดลง แต่ค่ามอดุลัสเพิ่มขึ้น และพบว่าเส้นใยไม้สนที่ไม่ได้ผ่านการปรับปรุงพื้นผิวด้วยความร้อนและอะเซทิลเลท ให้ค่าความแข็งแรงดึงที่ดีกว่าเส้นใยไม้สนที่มีการปรับปรุงพื้นผิวด้วยความร้อนและอะเซทิลเลท นอกจากนี้พบว่าความสามารถในการยึดเกาะกันของพื้นผิวเส้นใยกับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงไม่ขึ้นอยู่กับการปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใย

R.G.Rag และคณะ [15] ได้ทำการศึกษามลของ Aging ที่มีต่อสมบัติทางเชิงกลของคอมโพสิตระหว่างพอลิเอทิลีนเส้นตรงชนิดความหนาแน่นต่ำ (LLDPE) กับเส้นใยแก้ว (Glass fiber) ไมก้า (Mica) และเส้นใยไม้สน ปริมาณเส้นใยที่ใช้ 0-40 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และในกรณีของเส้นใยไม้สนมีการใช้สารคู่ควบ คือ พอลิเมทิลีนพรอพิลีนไอโซไซยาเนต (Polymethylenepropylene isocyanate) 3 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณพอลิเมอร์ ซึ่งทำการศึกษากายใต้สภาวะ 2 สภาวะ คือ (1) โดยการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียสในตู้อบเป็นเวลา 7 วัน และ (2) การต้มในน้ำเดือดเป็นเวลา 4 ชั่วโมง จากการศึกษาพบว่าคอมโพสิตที่ใช้

เส้นใยแก้วให้ค่าความแข็งแรงดึง ค่าการดึงยืด ณ จุดขาด และพลังงานที่ทำให้เกิดการแตกหัก (Fracture energy) สูงที่สุด และการใช้ไม่ทำให้สมบัติทางเชิงกลที่ด้อยกว่าการใช้เส้นใยไม้สน และพบอีกว่าการอบคอมโพสิตที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส ในตู้อบเป็นเวลา 7 วันทำให้คอมโพสิตที่ใช้เส้นใยแก้ว และเส้นใยไม้สนมีค่าความแข็งแรงดึง และค่ามอดุลัสเพิ่มขึ้น และการต้มคอมโพสิตในน้ำเดือดเป็นเวลา 4 ชั่วโมงทำให้สมบัติทางแรงดึงของคอมโพสิตที่ใช้เส้นใยไม้สน และไม่ก้าลดลงอย่างมาก

K. Joseph และคณะ [16] ได้ทำการศึกษาสมบัติทางแรงดึงของคอมโพสิตระหว่างเส้นใยป่านศรนารายณ์ (Sisal fiber) และพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE) ปริมาณเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ใช้ 0-30 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก จากการศึกษาพบว่าปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อสมบัติทางแรงดึง คือ กระบวนการผสมเส้นใยกับพอลิเมอร์ ความยาวของเส้นใย ปริมาณเส้นใย และลักษณะการจัดเรียงตัวของเส้นใยในพอลิเมอร์ โดยที่การผสมพอลิเมอร์กับเส้นใยในวิธีการผสมแบบสารละลาย (Solution mixing) ทำให้เกิดความเสียหายของเส้นใยน้อยกว่าการผสมแบบหลอมเหลว (Melt mixing) และพบว่าเมื่อปริมาณเส้นใยเพิ่มขึ้น ค่าความแข็งแรงดึง และค่ามอดุลัสเพิ่มขึ้น แต่ค่าร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาดลดลง นอกจากนี้พบว่าคอมโพสิตที่มีการจัดเรียงของเส้นใยตามแนวแรงให้ค่าความแข็งแรงดึงดีกว่าคอมโพสิตที่มีการจัดเรียงของเส้นใยในทิศทางตั้งฉากกับแนวแรง และเส้นใยที่มีความยาว 6 มิลลิเมตรให้สมบัติทางแรงดึงที่ดีที่สุด

J. George และคณะ [17] ได้ทำการศึกษาสมบัติของคอมโพสิตระหว่างเส้นใยสับปะรด (Pineapple-leaf-fiber, PALF) และพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE) ปริมาณเส้นใยสับปะรดที่ใช้ 0-30 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ซึ่งศึกษาถึงกระบวนการผสมเส้นใยกับพอลิเมอร์ ความยาวของเส้นใย ปริมาณเส้นใย และลักษณะการจัดเรียงตัวของเส้นใยในพอลิเมอร์ที่มีต่อสมบัติของคอมโพสิต จากการศึกษากระบวนการผสมเส้นใยกับพอลิเมอร์พบว่า การผสมพอลิเมอร์กับเส้นใยในวิธีการผสมแบบสารละลาย (Solution mixing) ทำให้เกิดความเสียหายของเส้นใยน้อยกว่าการผสมแบบหลอมเหลว (Melt mixing) นอกจากนี้ยังทำให้การกระจายตัวของเส้นใยในพอลิเมอร์และสมบัติทางเชิงกลที่ดีกว่า จากการศึกษาสมบัติเชิงกลพบว่าเมื่อปริมาณเส้นใยเพิ่มขึ้นค่าความแข็งแรงดึง ความแข็งแรงฉีกขาด (Tear strength) ความแข็งกด และค่ามอดุลัสเพิ่มขึ้น แต่ค่าร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาดลดลง และพบว่าคอมโพสิตที่มีการจัดเรียงของเส้นใยตามแนวแรงให้ค่าความแข็งแรงดึงดีกว่าคอมโพสิตที่มีการจัดเรียงของเส้นใยในทิศทางตั้งฉากกับแนวแรง และเส้นใยที่มีความยาว 6 มิลลิเมตรให้สมบัติทางแรงดึงที่ดีที่สุด นอกจากนี้พบว่าเมื่อนำคอมโพสิตมาฉีดขึ้นรูปใหม่ถึง 3 ครั้งให้สมบัติทางแรงดึง

ที่ไม่เปลี่ยนแปลง แต่ค่าความแข็งแรงดึง และค่ามอดุลัสลดลง ในขณะที่ค่าร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาดเพิ่มขึ้นตามจำนวนครั้งที่ฉีดขึ้นรูปมากกว่า 3 ครั้ง ทั้งนี้เนื่องมาจากผลของความร้อนในระหว่างกระบวนการขึ้นรูปจะทำให้เกิดการสลายตัวที่พื้นผิวของเส้นใย จึงทำให้เส้นใยยึดติดกับเมตริกซ์ได้ดีขึ้นค่าร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาดจึงเพิ่มขึ้น

A.Y.Kharade และ D.D.Kale [18] ได้ทำการศึกษาการใช้ผงลิกนินแห้ง (Dry lignin powder) เป็นสารตัวเติมในพอลิโอฟีนส์ (Polyolifins) โดยศึกษาพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE) พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE) และพอลิพรอพิลีน (PP) ปริมาณผงลิกนินแห้งที่ใช้ 0-30 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก จากการศึกษาสมบัติเชิงกลพบว่าเมื่อปริมาณของผงลิกนินแห้งเพิ่มขึ้นค่าความแข็งแรงดึง และค่าร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาดของพอลิเมอร์ทุกชนิดลดลง ในขณะที่ค่าความแข็งแรงกระแทกของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ และพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงลดลง แต่ไม่มีผลต่อพอลิพรอพิลีน และพบว่าการใช้เอทิลีนอะคริลิกแอซิดโคพอลิเมอร์ (Ethylene acrylic acid copolymer, EAA) 5 phr และสารคู่ควบชนิดไททาเนต (Titanate coupling agent) 0.5 phr นั้นช่วยปรับปรุงสมบัติทางเชิงกลของการใช้ผงลิกนินแห้งเป็นสารตัวเติมในพอลิโอฟีน จากการศึกษาความเหนียวพบว่าเมื่อปริมาณของผงลิกนินแห้งเพิ่มขึ้น ความเหนียวลดลงเพิ่มขึ้น และจากการศึกษาสมบัติทางไฟฟ้าพบว่าเมื่อปริมาณของผงลิกนินแห้งเพิ่มขึ้น ความต้านทานไฟฟ้าเพิ่มขึ้น เมื่อนำพอลิเมอร์ที่ได้จากการผสมไปวัดเจดส์พบว่าสามารถวัดเจดส์ของพอลิเมอร์ที่มีปริมาณผงลิกนินแห้งตั้งแต่ 0-10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักเนื่องจากที่ปริมาณผงลิกนินแห้งมากกว่านี้พอลิเมอร์ที่ได้มีสีที่ดำมากที่ปริมาณผงลิกนินแห้งในปริมาณน้อย ๆ พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงมีเจดส์แดง แต่พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำและพอลิพรอพิลีนให้สีดำเล็กน้อย และที่ปริมาณผงลิกนินแห้งเพิ่มขึ้นพอลิเมอร์ทุกชนิดมีเจดส์น้ำเงินอมเขียว

Z.A.M.Ishak และคณะ [19] ได้ทำการศึกษาสมบัติทาง Hygrothermal Aging ที่มีต่อสมบัติทางแรงดึงของคอมโพสิตระหว่างแกลบและพอลิพรอพิลีน โดยใช้ปริมาณแกลบที่ 0 10 20 30 และ 40 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ทำการผสมด้วยเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนคู่ที่อุณหภูมิจาก 170 ถึง 195 องศาเซลเซียส ใช้ความเร็วรอบของสกรู 25 รอบต่ออนาที และทำการขึ้นรูปโดยการฉีด จากการศึกษาสมบัติการดูดซับน้ำพบว่าสัมประสิทธิ์การแพร่กระจายและปริมาณความชื้นสูงสุดขึ้นอยู่กับสัดส่วนโดยปริมาตรของสารตัวเติมและอุณหภูมิที่ใช้ในการแช่ขึ้นงาน โดยเมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในการแช่เพิ่มขึ้นสัมประสิทธิ์การแพร่กระจายและปริมาณความชื้นสูงสุดมีค่าเพิ่มขึ้น และจากการศึกษาสมบัติเชิงกลพบว่าเมื่อปริมาณแกลบเพิ่มขึ้นค่ามอดุลัสเพิ่มขึ้น ในขณะที่ค่าความแข็งแรงดึง ร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาด และพลังงานที่ใช้ในการทำให้แตกหักลดลง และเมื่อศึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมบัติทาง Hygrothermal aging พบว่าการแช่ขึ้นงกนในน้ำที่อุณหภูมิสูงขึ้นทำให้สมบัติทางแรงดึงลดลง และเมื่อทำให้แห้งก็ไม่สามารถทำให้มีสมบัติทางแรงดึงกลับคืนมาได้

T.Q.Li และคณะ [20] ได้ทำการศึกษาความทนทานต่อแรงกระแทกของคอมโพสิตระหว่างพอลิพรอพิลีนที่นำกลับมาใช้ใหม่และซีลื้อยจากต้นสนที่ได้โรงงานทำเฟอร์นิเจอร์ทั่วไป พบว่าความทนทานต่อแรงกระแทกแบบไอซอด (Notched Izod strength) เพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณเส้นใยและปริมาณมาเลอิกแอนไฮดราเย-พอลิพรอพิลีน (MAPP) เพิ่มขึ้น นอกจากนี้ความแข็งแรงดึงและมอดุลัสเพิ่มขึ้นตามปริมาณ MAPP ที่เพิ่มขึ้นด้วย อย่างไรก็ตามเมื่อทำการศึกษาลักษณะการแตกตัวเชิงกล (Linear Fracture mechanics, LEFM) โดยการทดสอบความทนทานต่อแรงกระแทกแบบชาร์ปี พบว่าพลังงานแตกร้าว (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 [21] ได้ทำการศึกษาผลของ Hydrothermal environment ที่มีต่อสมบัติการดูดซับน้ำและสมบัติทางแรงดึงของคอมโพสิตระหว่างผงไม้จากซีลื้อย (Sawdust) ที่ได้จากไม้หลายชนิดผสมกัน และพอลิพรอพิลีน โดยใช้ผงไม้ที่มีขนาด 20 40 80 120 และ 160 เมช และใช้ปริมาณผงไม้ 0-40 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก จากการศึกษาสมบัติการดูดซับน้ำที่อุณหภูมิ 23 60 และ 100 องศาเซลเซียส พบว่าปริมาณการดูดซับน้ำขึ้นอยู่กับปริมาณของผงไม้ขนาดของผงไม้ และอุณหภูมิที่ใช้ในการแช่ โดยการดูดซับน้ำมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณของผงไม้ขนาดของผงไม้ และอุณหภูมิที่ใช้ในการแช่สูงขึ้น แต่เมื่อมีการปรับปรุงพื้นผิวพบว่าปริมาณการดูดซับน้ำมีแนวโน้มลดลง และจากการศึกษาสมบัติเชิงกลพบว่าค่าความแข็งแรงดึงมีค่าเพิ่มขึ้นทุก ๆ คอมโพสิตหลังจากหลังจากมีการแช่ในน้ำทุกอุณหภูมิเมื่อปริมาณของผงไม้และขนาดเมชของผงไม้เพิ่มขึ้น และเมื่อมีการปรับปรุงพื้นผิวของผงไม้ด้วย แต่ค่าความแข็งแรงโค้งงอและค่ามอดุลัสโค้งงอมีค่าลดลง และมีค่ามีแนวโน้มที่เหมือนกันหลังจากการแช่ในน้ำที่อุณหภูมิ 60 และ 100 องศาเซลเซียส สำหรับค่าความแข็งแรงกระแทกมีค่าเพิ่มขึ้นหลังจากที่แช่ในน้ำทั้ง 3 อุณหภูมิแต่มีแนวโน้มลดลงเมื่ออุณหภูมิที่แช่สูงขึ้น

H.G.B.Premalal และคณะ [22] ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบสมบัติเชิงกลของคอมโพสิตระหว่างผงแคลสและพอลิพรอพิลีน กับคอมโพสิตระหว่างแทลคัม (Talc) และ

พอลิพรอพิลีน ผสมโดยใช้เครื่องผสมที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส และความเร็วรอบใบพัด 50 รอบต่อนาที ซึ่งทำการผสมสารตัวเติมที่ 0-60 % php (ต่อ 100 ส่วนของพอลิเมอร์) และทำการขึ้นรูปชิ้นงานโดยใช้เครื่องอัดไฮดรอลิก (Hydraulic Press) อัดโดยใช้อุณหภูมิที่ 190 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 10 นาที และทำให้เย็นภายใต้ความดันนั้นเป็นเวลา 4 นาที จากการศึกษาพบว่าเมื่อปริมาณการใช้สารตัวเติมทั้งสองชนิดเพิ่มขึ้นในแต่ละคอมโพสิตทำให้ค่ามอดุลัส และค่าความแข็งแรงโค้งงอเพิ่มขึ้น ในขณะที่ค่าความแข็งแรงดึง และค่าร้อยละการดึงยืด ๓ จุดขาดลดลง และยังพบว่าการใช้แคลบทำให้ค่าความแข็งแรงดึง ค่ามอดุลัส และค่าความแข็งแรงโค้งงอต่ำกว่าการใช้แทลคัม แต่ให้ค่าร้อยละการดึงยืด ๓ จุดขาดสูงกว่าการใช้แทลคัม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3 การดำเนินงานวิจัย

3.1 สารเคมีและวัสดุที่ใช้ในงานวิจัย

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

ตารางที่ 3.1 สมบัติของพอลิพรอพิลีน (Pro-Fax Z30S) [23]

สมบัติทั่วไป	Pro-Fax Z30S	ASTM METHOD
อัตราการไหล (Melt flow rate, g/10 min)	22	D 123B
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
อุณหภูมิการเสียรูป (Deflection temperature at 455 kPa, °C)	92	D 648

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

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย

1. เครื่องผสมความเร็วสูง (High speed mixer) : Lab Tech Engineering Company Ltd.
2. เครื่องอัดรีดแบบเกลียวขนอนคู่ (Twin-screw extruder) รุ่น PL-200 : Intro Engineering Ltd.
3. เครื่องฉีดพลาสติก (Injection molding) Cosmo รุ่น TTi 220/80 HITEC : Welltec Industrial Equipment Ltd.
4. เครื่องทดสอบความแข็งแรงดึง (Universal testing machine) รุ่น LR 30 K : Llyod Instrument Ltd.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. เครื่องทดสอบความแข็งแรงกระแทก (Izod impact tester) : Yasuda Seiki Seisakusho Ltd.
6. เครื่องทดสอบความแข็งกดแบบชอร์ดี (Hardness tester. Shore D) : Yasuda Seiki Seisakusho Ltd.
7. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope, SEM) รุ่น LEO 1455 VP : LEO Ltd.
8. เครื่องบดพลาสติก (Grinder) รุ่น A600 : Bosco Engineering
9. เครื่องวัดสี (Colorimeter) :
10. เครื่องร่อนแยกขนาด
11. ตะแกรงมาตรฐานขนาด 20 35 50 100 และ 200 เมช
12. ตู้อบ (Oven)

3.3 วิธีการทดลอง

3.3.1 การเตรียมเกลบ

1. นำเกลบมาร้อนเพื่อกำจัดทราย ฟูน ที่ติดมากับเกลบ
2. บดเกลบด้วยเครื่องบดพลาสติกเพื่อให้มีเกลบขนาดเล็กลง
3. นำเกลบที่ผ่านการบดไปคัดขนาดด้วยเครื่องร่อนแยกขนาดโดยใช้ตะแกรงร่อนขนาดต่าง ๆ ได้แก่ 20 35 50 100 และ 200 เมช
4. นำเกลบที่ได้ไปอบที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

3.3.2 การขึ้นรูปชิ้นงานทดสอบ

1. นำเกลบที่ผ่านการคัดขนาดแล้วซึ่งได้แก่ เกลบที่มีขนาด 20-34 เมช 35-49 เมช 50-99 เมช 100-199 เมช และเกลบที่มีขนาดมากกว่า 200 เมช มาผสมกับพอลิพรอพิลีนในอัตราส่วนที่ 0 10 20 30 และ 40 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ซึ่งแสดงได้ดังตารางที่ 3.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2 ส่วนผสมต่าง ๆ ที่ใช้ในการขึ้นรูปชิ้นงานทดสอบ

สูตรที่	PP (กรัม)	แคลบ (กรัม)	ขนาดแคลบ (เมซ)
1	100	0	0
2	90	10	20-34
3	90	10	35-49
4	90	10	50-99
5	90	10	100-199
6	90	10	> 200
7	80	20	20-34
8	80	20	35-49
9	80	20	50-99
10	80	20	100-199
11	80	20	> 200
12	70	30	20-34
13	70	30	35-49
14	70	30	50-99
15	70	30	100-199
16	70	30	> 200
17	60	40	20-34
18	60	40	35-49
19	60	40	50-99
20	60	40	100-199
21	60	40	> 200

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

3. นำของผสมที่ได้ไปผสมอีกครั้งด้วยเครื่องอัดรีดแบบเกลียวทวนคู่ (Twin-screw extruder) โดยใช้อุณหภูมิ 165 170 180 และ 190 องศาเซลเซียสตามลำดับ และใช้ความเร็วรอบ 25 รอบต่อนาที

4. นำของผสมที่ได้ไปบดด้วยเครื่องบดพลาสติก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. นำของผสมที่ผ่านการบดไปขึ้นรูปโดยเครื่องฉีดพลาสติก (Injection molding) โดยใช้อุณหภูมิ 160 170 และ 180 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิในช่วงป้อนสาร (Feed section) ช่วงการส่งผ่านสาร (Transition section) และช่วงการผสม (Metering section) ตามลำดับ โดยปรับสภาวะการฉีดที่เหมาะสม และใช้สภาวะเดียวกันในการขึ้นรูปขึ้นงานทดสอบ

3.3.3 การทดสอบ

นำชิ้นงานทดสอบที่ได้ไปทดสอบสมบัติต่าง ๆ ได้แก่

1. ทดสอบสมบัติเชิงกล

-สมบัติทางแรงดึง สำหรับค่าความแข็งแรงดึง ค่ามอดุลัส และร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาด

-สมบัติความโค้งงอ สำหรับค่าความแข็งแรงโค้งงอ และค่ามอดุลัสโค้งงอ

-ความแข็งแรงกระแทก

-ความแข็งกด

2. ศึกษาสมบัติทางกายภาพ

-การดูดซับน้ำ (Water absorption)

3. ศึกษาสมบัติทางความร้อน

-Thermogravimetric analysis, TGA

-ดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งคาลอริมิเตอร์ (Differential scanning calorimeter; DSC)

4. ศึกษาสัณฐานวิทยา

-กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope, SEM)

3.4 วิธีการทดสอบ

การทดสอบสมบัติต่าง ๆ ของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแคลบได้ทำการทดสอบตามมาตรฐานต่าง ๆ ดังตารางที่ 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

ตารางที่ 3.3 มาตรฐานต่าง ๆ ในการทดสอบสมบัติต่าง ๆ (ต่อ)

สมบัติ	มาตรฐานที่ใช้ทดสอบ	หน่วยที่รายงาน
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	%

3.4.1 สมบัติเชิงกล

3.4.1.1 สมบัติทางแรงดึง (Tensile properties)

สมบัติที่ทำการศึกษาได้แก่ ค่าความแข็งแรงดึง (Tensile strength) ค่ามอดุลัส (Modulus) และค่าร้อยละการดึงยืด ณ จุดคราก (% Elongation at yield) ตามมาตรฐาน ASTM D 638 [24] โดยใช้เครื่องทดสอบสมบัติเชิงกล (Universal Testing Machine) และโปรแกรม WINDAP ในการคำนวณ โดยชิ้นงานทดสอบอยู่ในรูปคัมเบลล์ ใช้ชิ้นงานทดสอบจำนวน 10 ชิ้นในแต่ละสูตร และใช้สภาวะในการทดสอบดังนี้

-โหลดเซลล์ (Load cell)	5	กิโลนิวตัน (kN)
-ความเร็วในการดึง (Test speed)	5	มิลลิเมตร/นาที
-ความยาวของเกจ (Gauge length)	70	มิลลิเมตร
-Grammage	1.0	กรัม/ตารางเมตร
-ระดับเซลล์ (Cell class)	0.5	

ค่าความแข็งแรงดึง ค่ามอดุลัส และค่าร้อยละการดึงยืด ณ จุดคราก สามารถคำนวณได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$\begin{aligned} \text{ค่าความแข็งแรงดึง} &= F/A \\ \text{(Tensile strength, } \sigma) & \\ \text{ค่ามอดุลัสที่ความเครียด 2\%} &= \frac{F/A}{2/100} \\ \text{(Tensile modulus at 2\% strain, E)} & \\ \text{ร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาด} &= \left(\frac{l-l_0}{l_0} \right) * 100 \\ \text{(%Elongation modulus at break, At)} & \end{aligned}$$

เมื่อ F คือ แรงที่ใช้ในการดึงยืดชิ้นงานตัวอย่าง (หน่วยเป็นนิวตัน; N)
 A คือ พื้นที่หน้าตัดของชิ้นงานตัวอย่าง (หน่วยเป็นตารางมิลลิเมตร; mm²)
 l คือ ระยะห่างระหว่างจุดสองจุดหลังทำการดึงชิ้นงานตัวอย่าง (หน่วยเป็นมิลลิเมตร; mm)
 l₀ คือ ระยะที่ชิ้นงานตัวอย่างแคบที่สุดและมีพื้นที่หน้าตัดขนานกัน (Gage length หน่วยเป็นมิลลิเมตร; mm)

3.4.1.2 สมบัติความโค้งงอ (Flexural properties)

สมบัติที่ทำการศึกษาได้แก่ ค่าความแข็งแรงโค้งงอ (Flexural strength) และค่ามอดุลัสโค้งงอ (Flexural modulus) ตามมาตรฐาน ASTM D 790 [25] โดยใช้ชิ้นงานทดสอบอย่างน้อย 10 ชิ้นในแต่ละสูตร และใช้สภาวะในการทดสอบดังนี้

- โหลดเซลล์ (Load cell)	5	กิโลนิวตัน (kN)
- ความเร็วในการกด (Compression speed)	10	มิลลิเมตร/นาที
- ระยะห่างของขารองรับชิ้นงาน (Span length)	40	มิลลิเมตร
- Grammage	1.0	กรัม/ตารางเมตร
- ระดับเซลล์ (Cell class)	0.5	

สูตรที่ใช้ในการคำนวณค่าความแข็งแรงโค้งงอและค่ามอดุลัสโค้งงอมีดังนี้

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

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

เมื่อ F คือ แรงกด (หน่วยเป็นนิวตัน; N)
 L คือ Span length (หน่วยเป็นมิลลิเมตร; mm)
 b คือ ความกว้างของตัวอย่าง (หน่วยเป็นมิลลิเมตร; mm)

h คือ ความหนาของตัวอย่าง (หน่วยเป็นมิลลิเมตร; mm)

ΔF คือ ผลต่างของแรงดึง (หน่วยเป็นนิวตัน; N)

Δd คือ ระยะกดโค้งงอ (หน่วยเป็นมิลลิเมตร; mm)

3.4.1.3 ความแข็งแรงกระแทก (Impact strength)

การทดสอบความแข็งแรงกระแทก (Impact strength) เป็นไปตามมาตรฐาน ASTM D 256 [26] โดยในการทดสอบจะใช้มาตรฐานแบบไอซอด (Izod type) ใช้ชิ้นงานทดสอบจำนวน 10 ชิ้นในแต่ละสูตร

ค่าความแข็งแรงกระแทกสามารถหาได้จากสมการดังต่อไปนี้

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

เมื่อ IS คือ ค่าความแข็งแรงกระแทก (หน่วยเป็นกิโลจูลต่อตารางเมตร; kJ/m²)

W คือ ค่าพลังงานกระแทก (หน่วยเป็นกิโลจูล; kJ)

A คือ พื้นที่หน้าตัดของตัวอย่าง (หน่วยเป็นตารางเมตร; m²)

3.4.1.4 ความแข็งกด (Hardness)

การทดสอบความแข็งกด (Hardness) เป็นไปตามมาตรฐาน ASTM D 785 [27] ในการทดสอบจะใช้มาตรฐาน shore D ลักษณะพื้นผิวของวัสดุที่นำมาทดสอบต้องมีความเรียบ มีความหนาไม่ต่ำกว่า 6 มิลลิเมตร ใช้เวลาทดสอบ 15 วินาทีจึงอ่านค่าได้ ใช้ชิ้นงานทดสอบจำนวน 10 ชิ้นในแต่ละสูตร โดยทำการทดสอบ 5 ครั้งต่อหนึ่งชิ้นงานทดสอบ

3.4.2 สมบัติทางกายภาพ

3.4.2.1 สมบัติการดูดซับน้ำ (Water absorption)

การทดสอบสมบัติการดูดซับน้ำ เป็นไปตามมาตรฐาน ASTM D 570 [28] โดยนำชิ้นงานทดสอบอย่างละ 2 ชิ้นงานไปอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำมาชั่งน้ำหนักโดยละเอียด แล้วนำไปแช่น้ำเป็นเวลา 30 วัน โดยต้องทำการชั่งน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงไปอยู่เสมอมทุก ๆ 3 วัน แล้วนำมาคำนวณหาร้อยละการดูดซับน้ำ (% Water absorption) จากสมการดังต่อไปนี้

$$\% \text{ Water absorption} = \frac{(\text{น้ำหนักหลังจากแช่น้ำ} - \text{น้ำหนักก่อนแช่น้ำ}) * 100}{\text{น้ำหนักก่อนแช่น้ำ}}$$

3.4.3 สมบัติทางความร้อน

3.4.3.1 Thermogravimetric analysis (TGA)

เพื่อศึกษาอุณหภูมิการสลายตัวของสารตัวอย่าง โดยชั่งสารตัวอย่างประมาณ 16 มิลลิกรัม และใช้สภาวะในการทดสอบดังนี้

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

3.4.4 สัณฐานวิทยา (Morphology)

3.4.4.1 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope, SEM)

กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope, SEM) ใช้เข้ามาศึกษาลักษณะพื้นผิวของพอลิเมอร์ที่เกิดจากการแตกหักด้วยการกระทำที่อุณหภูมิต่ำ (Cryogenic fracture) การเตรียมตัวอย่างทำได้โดยนำชิ้นงานทดสอบมาแช่ไนโตรเจนเหลว (Liquid nitrogen) และทำการหักทันที หลังจากนั้นนำมาเคลือบด้วยทองและนำเข้าเครื่อง SEM ต่อไป เพื่อทำการศึกษาการกระจายตัวของสารตัวเติมในเมทริกซ์พอลิเมอร์

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการนำกลับมาใช้เป็นสารตัวเติมในพอลิพรอพิลีนคอมพาวด์ โดยทำการศึกษาสมบัติต่าง ๆ ได้แก่ สมบัติเชิงกล (Mechanical properties) สมบัติทางกายภาพ (Physical properties) สมบัติทางความร้อน (Thermal properties) และสัณฐานวิทยา (Morphological properties) ซึ่งจะพิจารณาถึงผลของขนาดและปริมาณของแกลบ (ร้อยละ โดยน้ำหนัก) ที่มีต่อสมบัติต่าง ๆ ของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกลบ สำหรับแกลบที่ใช้ในงานวิจัยนี้มีขนาด 20-34 เมช 35-49 เมช 50-99 เมช 100-199 เมช และแกลบที่มีขนาดมากกว่าหรือเท่ากับ 200 เมช โดยใช้ปริมาณแกลบร้อยละ 0 10 20 30 และ 40 โดยน้ำหนัก ผลการทดลองที่ได้จากการศึกษาสมบัติต่าง ๆ ของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกลบมีดังต่อไปนี้

4.1 สมบัติเชิงกล

สมบัติเชิงกลที่ทำการศึกษา ได้แก่ สมบัติทางแรงดึง (Tensile properties) สมบัติความโค้งงอ (Flexural properties) ความแข็งแรงกระแทก (Impact strength) และความแข็งกด (Hardness)

4.1.1 สมบัติทางแรงดึง

ผลจากการทดสอบสมบัติทางแรงดึงที่สำคัญ ได้แก่ ความแข็งแรงดึง (Tensile strength) มอดุลัส (Modulus) และร้อยละการดึงยืด ณ จุดคราก (% Elongation at yield) ของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกลบที่ปริมาณแกลบต่าง ๆ กันแสดงได้ดังรูปที่ 4.1 (ก) - (ค) ตามลำดับ

จากรูปที่ 4.1 (ก) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงดึงของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกลบที่ปริมาณแกลบ (ร้อยละโดยน้ำหนัก) ต่าง ๆ กัน พบว่าความแข็งแรงดึงของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกลบมีค่าลดลงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับพอลิพรอพิลีนบริสุทธิ์ และเมื่อปริมาณแกลบเพิ่มขึ้นความแข็งแรงดึงของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกลบมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากพอลิพรอพิลีนและแกลบมีความสามารถในการเข้ากันได้ (Compatibility) จำกัด หรือมีความสามารถในการยึดเกาะกันตรงรอยต่อระหว่างพื้นผิว (Interfacial adhesion) ต่ำ ทั้งนี้เพราะความแตกต่างของควมมีขั้ว นั่นคือ พอลิพรอพิลีนเมตริกซ์มีความไม่มีขั้ว (Non-polar) หรือมีสมบัติไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic) แต่แกลบมีความมีขั้ว (Polar) หรือมีสมบัติชอบน้ำ (Hydrophilic) จึงทำให้มีความสามารถในการยึดเกาะกันตรงรอยต่อระหว่างพื้นผิวต่ำ ซึ่งทำให้การถ่ายเทแรง (Stress transfer) จากพอลิเมอร์เมตริกซ์ไปยังสารตัวเติมไม่ดีหรือไม่มีประสิทธิภาพ ส่งผลให้ความสามารถในการรับแรงดึงของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกลบลดลง ดังนั้นเมื่อปริมาณแกลบเพิ่มขึ้น

จึงเป็นการเพิ่มพื้นที่ตรงรอยต่อระหว่างพื้นผิวที่มีการยึดเกาะกันต่ำของพอลิพรอพิลีนและแกลบ จึงส่งผลให้ความแข็งแรงดึงของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกลบมีแนวโน้มลดลง

เมื่อพิจารณาถึงขนาดของแกลบที่มีต่อความแข็งแรงดึงของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกลบ พบว่าวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกลบที่มีการใช้ขนาดแกลบต่างกัน คือ ขนาด 20-34 เมช 35-49 เมช 50-99 เมช 100-199 เมช และแกลบที่มีขนาดมากกว่าหรือเท่ากับ 200 เมช ให้ค่าความแข็งแรงดึงที่ไม่แตกต่างกัน ดังนั้นขนาดของแกลบจึงไม่มีผลต่อความแข็งแรงดึงของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกลบ

ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดึงยืด ณ จุดครากของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกลบที่ปริมาณแกลบ (ร้อยละโดยน้ำหนัก) ต่าง ๆ กัน แสดงได้ดังรูปที่ 4.1 (ข) จากรูปพบว่า ร้อยละการดึงยืด ณ จุดครากของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกลบมีค่าน้อยกว่าพอลิพรอพิลีนบริสุทธิ์ เนื่องจากว่าการผสมแกลบในพอลิพรอพิลีนนั้นแกลบจะไปขัดขวางความสามารถในการเคลื่อนที่ (Flexibility) ของพอลิพรอพิลีนเมตริกซ์ หรือทำให้ความสามารถในการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง (Deformation) ของพอลิพรอพิลีนเมตริกซ์ลดลง นอกจากนี้พอลิพรอพิลีนและแกลบมีความสามารถในการเข้ากันได้จำกัด หรือมีความสามารถในการยึดเกาะกันตรงรอยต่อระหว่างพื้นผิวต่ำจึงเป็นจุดบกพร่อง (Weak point) ของชิ้นงาน และเมื่อได้รับแรงดึงจุดบกพร่องนั้นเปรียบเสมือนเป็นจุดริเริ่มของการแตก (Crack) หรือการแยกออกจากกันบริเวณพื้นผิวของทั้งสองวัสดุ จึงทำให้ร้อยละการดึงยืด ณ จุดครากของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกลบลดลงเมื่อเทียบกับพอลิพรอพิลีนบริสุทธิ์

เมื่อปริมาณแกลบเพิ่มขึ้นร้อยละการดึงยืด ณ จุดครากของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกลบมีแนวโน้มลดลง เพราะเมื่อปริมาณแกลบเพิ่มขึ้นทำให้ไปขัดขวางการเคลื่อนที่ของพอลิพรอพิลีนเมตริกซ์ได้มากขึ้น หรือทำให้ความสามารถในการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของพอลิพรอพิลีนเมตริกซ์ลดลงมากขึ้น และเป็นการเพิ่มพื้นที่ตรงรอยต่อระหว่างพื้นผิวที่มีการยึดเกาะกันต่ำของพอลิพรอพิลีนและแกลบ ทำให้เกิดจุดบกพร่องในชิ้นงานมากขึ้น ดังนั้นเมื่อได้รับแรงดึงส่งผลให้วัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกลบที่ปริมาณแกลบเพิ่มขึ้นมีร้อยละการดึงยืด ณ จุดครากลดลง

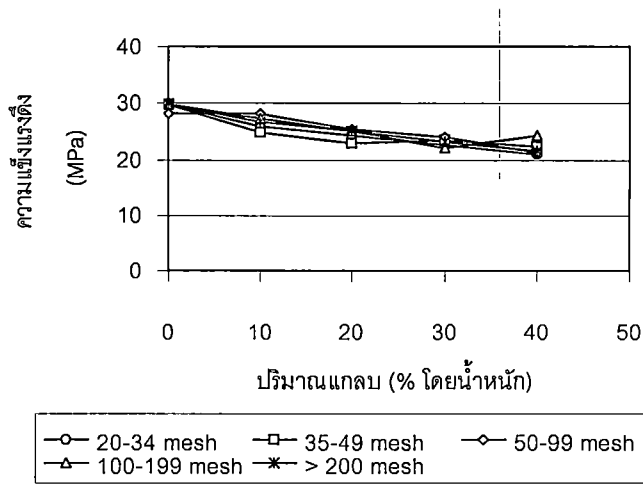
เมื่อพิจารณาถึงขนาดของแกลบที่มีต่อร้อยละการดึงยืด ณ จุดครากของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกลบ พบว่าวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกลบที่มีการใช้ขนาดแกลบต่างกัน มีร้อยละการดึงยืด ณ จุดครากที่ไม่แตกต่างกันมากนัก ดังนั้นขนาดของแกลบจึงมีผลเล็กน้อยต่อร้อยละการดึงยืด ณ จุดครากของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกลบ

สำหรับค่ามอดูลัสเป็นค่าที่บอกถึงความแข็งของวัสดุ หรือความสามารถในการรับแรงต่อการเปลี่ยนรูปหรือเสียหายของวัสดุ เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 4.1 (ค) ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ามอดูลัสของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกลบที่ปริมาณแกลบ (ร้อยละโดยน้ำหนัก)

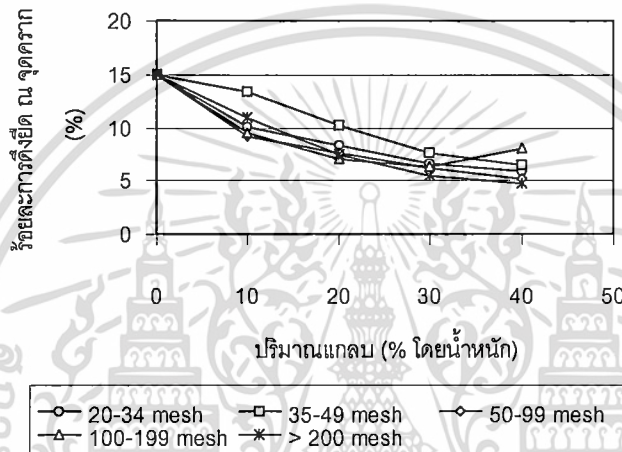
ต่าง ๆ กัน พบว่าค่ามอดุลัสของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกลบมีค่ามากกว่าพอลิพรอพิลีนบริสุทธิ์ เนื่องจากแกลบเป็นวัสดุที่มีความแข็ง (Stiffness) มากกว่าพอลิพรอพิลีน จึงมีความสามารถในการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง ได้ยากกว่าพอลิพรอพิลีน และนอกจากนี้การผสมแกลบในพอลิพรอพิลีนนั้น แกลบจะไปขัดขวางความสามารถในการเคลื่อนที่ของพอลิพรอพิลีนเมตริกซ์ หรือทำให้ความสามารถในการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของพอลิพรอพิลีนเมตริกซ์ลดลง ดังนั้นเมื่อผสมแกลบในพอลิพรอพิลีน จึงทำให้วัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกลบมีค่ามอดุลัสมากกว่าพอลิพรอพิลีนบริสุทธิ์

เมื่อปริมาณแกลบเพิ่มขึ้นค่ามอดุลัสของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกลบมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เนื่องจากเมื่อปริมาณแกลบเพิ่มขึ้นทำให้ไปขัดขวางการเคลื่อนที่ของพอลิพรอพิลีนเมตริกซ์ได้มากขึ้น หรือทำให้ความสามารถในการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของพอลิพรอพิลีนเมตริกซ์ลดลงมากขึ้น จึงทำให้ค่ามอดุลัสของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกลบมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณแกลบเพิ่มขึ้น

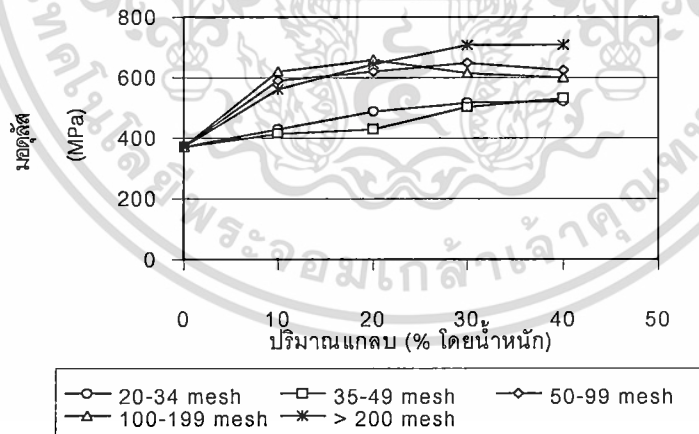
เมื่อพิจารณาถึงขนาดของแกลบที่มีต่อค่ามอดุลัสของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกลบ พบว่าวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกลบที่มีการใช้แกลบที่มีขนาดเล็กกว่าให้ค่ามอดุลัสมากกว่าวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกลบที่มีการใช้แกลบที่มีขนาดใหญ่กว่า เนื่องจากแกลบที่มีขนาดเล็กมีพื้นที่ผิวสัมผัส (Surface area) มากกว่าแกลบที่มีขนาดใหญ่ จึงทำให้มีความสามารถในการยึดเกาะกับพอลิพรอพิลีนเมตริกซ์ได้ดีกว่า ทำให้ไปขัดขวางความสามารถในการเคลื่อนที่ของพอลิพรอพิลีนเมตริกซ์ หรือทำให้ความสามารถในการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของพอลิพรอพิลีนเมตริกซ์ลดลงได้มากกว่า ส่งผลให้วัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกลบที่มีการใช้แกลบที่มีขนาดเล็กกว่ามีค่ามอดุลัสมากกว่า จากผลการทดลองพบว่าวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกลบที่มีการใช้แกลบที่มีขนาดมากกว่าหรือเท่ากับ 200 ไมครอน ที่ปริมาณแกลบร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก ให้ค่ามอดุลัสเพิ่มขึ้นประมาณร้อยละ 93 เมื่อเทียบกับพอลิพรอพิลีนบริสุทธิ์



(ก)



(ข)



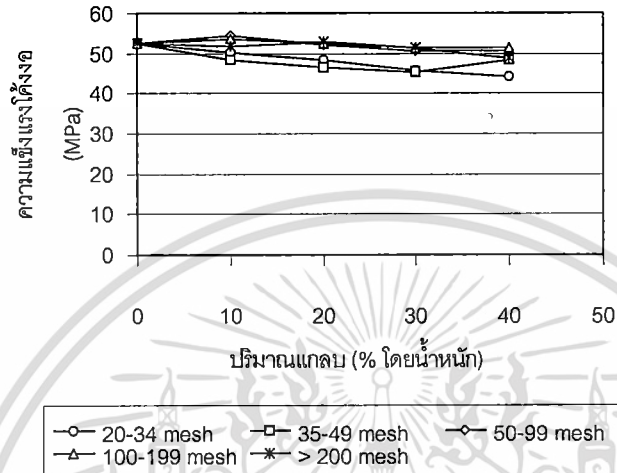
(ค)

รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติทางแรงดึงของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกลบ ที่ปริมาณแกลบ (ร้อยละโดยน้ำหนัก) ต่าง ๆ กัน (ก) ความแข็งแรงดึง (ข) ร้อยละการดัด ยึด ณ จุดคราก และ (ค) มอดุลัส

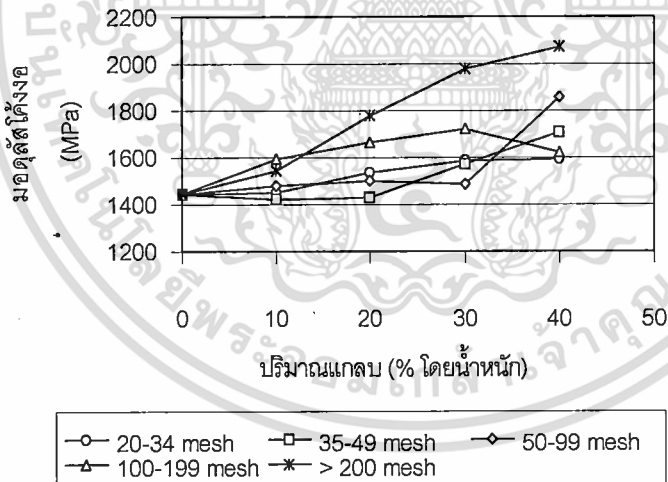
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2 สมบัติความโค้งงอ

ผลจากการทดสอบสมบัติความโค้งงอที่สำคัญ ได้แก่ ความแข็งแรงโค้งงอ (Flexural strength) และมอดุลัสโค้งงอ (Flexural modulus) ของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแคลบที่ปริมาณแคลบต่าง ๆ กันแสดงได้ดังรูปที่ 4.2 (ก) - (ข) ตามลำดับ



(ก)



(ข)

รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติความโค้งงอของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแคลบที่ปริมาณแคลบ (ร้อยละโดยน้ำหนัก) ต่าง ๆ กัน (ก) ความแข็งแรงโค้งงอ และ (ข) มอดุลัสโค้งงอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.2 (ก) พบว่าความแข็งแรงโค้งงอของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกลบมีค่าลดลงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับพอลิพรอพิลีนบริสุทธิ์ ซึ่งอธิบายได้ด้วยเหตุผลเช่นเดียวกันกับสมบัติทางแรงดึงในเรื่องของความแข็งแรงดึงดัดที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้นว่า พอลิพรอพิลีนและแกลบมีความสามารถในการเข้ากันได้จำกัด หรือมีความสามารถในการยึดเกาะกันตรงรอยต่อระหว่างพื้นผิวต่ำ ซึ่งทำให้การถ่ายเทแรงจากพอลิเมอร์เมตริกซ์ไปยังสารตัวเติมไม่ดีหรือไม่มีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ แกลบเป็นวัสดุที่มีความแข็งแรงจึงมีความสามารถในการโค้งงอได้น้อยกว่าพอลิพรอพิลีน ดังนั้นเมื่อผสมแกลบในพอลิพรอพิลีนจึงทำให้ความสามารถในการโค้งงอของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกลบลดลง และเมื่อปริมาณแกลบเพิ่มขึ้นจึงทำให้ความแข็งแรงโค้งงอมีแนวโน้มลดลง

เมื่อพิจารณาถึงขนาดของแกลบที่มีต่อความแข็งแรงโค้งงอของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกลบ พบว่าวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกลบที่มีการใช้แกลบที่มีขนาดต่างกันมีความแข็งแรงโค้งงอที่ไม่แตกต่างกันมากนัก ดังนั้นขนาดของแกลบจึงมีผลเล็กน้อยต่อความแข็งแรงโค้งงอของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกลบ

จากรูปที่ 4.2 (ข) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างมอดุลัสโค้งงอของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกลบ ที่ปริมาณแกลบ (ร้อยละโดยน้ำหนัก) ต่าง ๆ กัน พบว่ามอดุลัสโค้งงอของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกลบมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับพอลิพรอพิลีนบริสุทธิ์ ซึ่งอธิบายได้ด้วยเหตุผลเช่นเดียวกันกับสมบัติความแข็งแรงดึงในเรื่องของค่ามอดุลัสที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้นว่า เนื่องจากแกลบเป็นวัสดุที่มีความแข็งมากกว่าพอลิพรอพิลีน จึงมีความสามารถในการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง หรือมีความสามารถในการโค้งงอได้ยากกว่าพอลิพรอพิลีน และการผสมแกลบในพอลิพรอพิลีนนั้นแกลบจะไปขัดขวางความสามารถในการเคลื่อนที่ของพอลิพรอพิลีนเมตริกซ์ หรือทำให้ความสามารถในการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของพอลิพรอพิลีนเมตริกซ์ลดลง ดังนั้นเมื่อผสมแกลบในพอลิพรอพิลีนจึงทำให้วัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกลบมีมอดุลัสโค้งงอมากกว่าพอลิพรอพิลีนบริสุทธิ์

เมื่อปริมาณแกลบเพิ่มขึ้นค่ามอดุลัสโค้งงอของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกลบมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เนื่องจากเมื่อปริมาณแกลบเพิ่มขึ้นทำให้ไปขัดขวางการเคลื่อนที่ของพอลิพรอพิลีนเมตริกซ์ได้มากขึ้น หรือทำให้ความสามารถในการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของพอลิพรอพิลีนเมตริกซ์ลดลง จึงทำให้ค่ามอดุลัสโค้งงอของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกลบมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณแกลบเพิ่มขึ้น

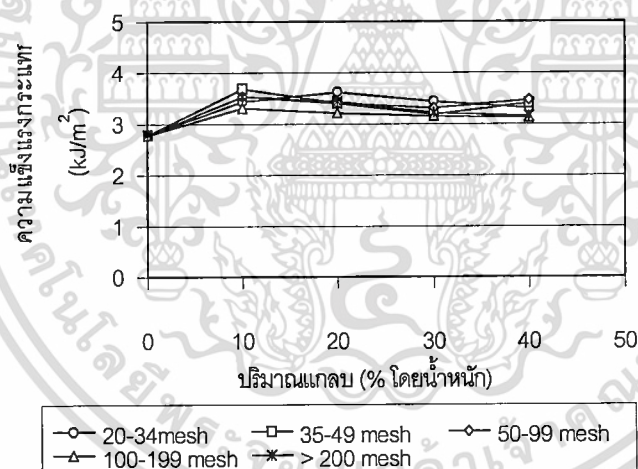
เมื่อพิจารณาถึงขนาดของแกลบที่มีต่อค่ามอดุลัสโค้งงอของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกลบ พบว่าวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกลบที่มีการใช้แกลบที่มีขนาดเล็กกว่ามีค่ามอดุลัสโค้งงอมากกว่าวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกลบที่มีการใช้แกลบที่มีขนาดใหญ่กว่า เนื่องจากแกลบที่มีขนาดเล็กมีพื้นที่ผิวสัมผัสมากกว่าแกลบที่มีขนาดใหญ่ทำให้

มีความสามารถในการยึดเกาะกับพอลิพรอพิลีนเมตริกซ์ได้ดีกว่า จึงสามารถรับแรงที่ทำให้วัสดุเกิดการโค้งงอได้ดีกว่า ส่งผลให้วัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกลบที่มีการใช้แกลบที่มีขนาดเล็กกว่ามีค่ามอดุลัสโค้งงอมากกว่า จากผลการทดลองพบว่าวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกลบที่มีการใช้แกลบที่มีขนาดมากกว่าหรือเท่ากับ 200 เมช ที่ปริมาณแกลบร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก มีค่ามอดุลัสโค้งงอเพิ่มขึ้นประมาณร้อยละ 43 เมื่อเทียบกับพอลิพรอพิลีนบริสุทธิ์

4.1.3 ความแข็งแรงกระแทก

การทดสอบความแข็งแรงกระแทกเป็นการวัดความสามารถในการทนต่อแรงกระแทกของวัสดุ เนื่องจากแรงฉับพลัน หรือภายใต้ความเค้นที่มีความเร็วสูง ซึ่งเป็นการวัดความเหนียว (Toughness) ของวัสดุชนิดหนึ่ง โดยวัสดุที่ทนต่อแรงกระแทกได้ดีจะมีความเหนียวสูง (ความเหนียว คือ ความสามารถของวัสดุที่จะดูดซับพลังงานกลโดยไม่เกิดการแตกหัก) ในทางตรงข้ามวัสดุที่ไม่ทนต่อแรงกระแทกจะไม่เหนียว

ผลที่ได้จากการทดสอบความแข็งแรงกระแทกของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกลบที่ปริมาณแกลบ (ร้อยละโดยน้ำหนัก) ต่าง ๆ กัน แสดงได้ดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงกระแทกของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกลบที่ปริมาณแกลบ (ร้อยละโดยน้ำหนัก) ต่าง ๆ กัน

จากรูปพบว่าความแข็งแรงกระแทกของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกลบมีค่าเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับพอลิพรอพิลีนบริสุทธิ์ เนื่องจากแกลบเป็นวัสดุที่สามารถรับและกระจายแรงให้กับพอลิพรอพิลีนเมตริกซ์ได้ จึงทำให้วัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกลบมีความแข็งแรง

กระแทกมากกว่าพอลิพรอพิลีนบริสุทธิ์เล็กน้อย แต่เมื่อปริมาณแกลบในพอลิพรอพิลีนเมตริกซ์ของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกลบเพิ่มขึ้นความแข็งแรงกระแทกมีแนวโน้มลดลง แสดงให้เห็นว่าความสามารถในการช่วยเพิ่มความแข็งแรงกระแทกมีจำกัดเมื่อปริมาณแกลบเพิ่มขึ้น ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการทดสอบความแข็งแรงกระแทกกระทำภายใต้แรงฉับพลัน หรือภายใต้ความเค้นที่มีความเร็วสูง ซึ่งการส่งผ่านแรงภายใต้ความเค้นที่มีความเร็วสูงนั้น แรงจะถูกส่งผ่านบริเวณที่เป็นรอยต่อระหว่างพื้นผิวที่มีการยึดเกาะกันต่ำ ซึ่งจากที่กล่าวมาข้างต้นแล้วว่าพอลิพรอพิลีนและแกลบมีความสามารถในการเข้ากันได้จำกัด หรือมีความสามารถในการยึดเกาะกันตรงรอยต่อระหว่างพื้นผิวต่ำ ซึ่งความสามารถในการยึดเกาะกันต่ำนั้นทำให้เกิดช่องว่าง (Voids) ระหว่างพอลิเมอร์เมตริกซ์และสารตัวเติม เมื่อมีแรงที่มีความเร็วสูงมากระแทกจะทำให้เกิดการแตก และทำให้เกิดการแตกอย่างต่อเนื่อง (Crack propagation) ได้ง่ายนำไปสู่การแตกหักของชิ้นงานในที่สุด ดังนั้นเมื่อปริมาณแกลบเพิ่มขึ้น บริเวณที่เป็นรอยต่อระหว่างพื้นผิวที่มีการยึดเกาะกันต่ำมีมากขึ้นทำให้เกิดช่องว่างระหว่างพอลิเมอร์เมตริกซ์และสารตัวเติมมากขึ้น ส่งผลให้ความแข็งแรงกระแทกของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกลบมีแนวโน้มลดลงเมื่อปริมาณแกลบเพิ่มขึ้น

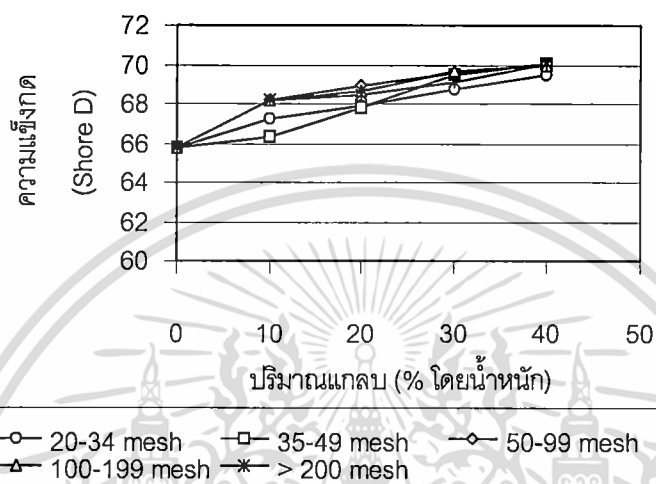
เมื่อพิจารณาถึงขนาดของแกลบที่มีต่อความแข็งแรงกระแทกของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกลบ พบว่าวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกลบที่มีการใช้ขนาดแกลบต่างกัน มีความแข็งแรงกระแทกที่ไม่แตกต่างกัน ดังนั้นขนาดของแกลบจึงไม่มีผลต่อความแข็งแรงกระแทกของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกลบ

4.1.4 ความแข็งกด

ผลที่ได้จากการทดสอบความแข็งกดของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกลบที่ปริมาณแกลบ (ร้อยละโดยน้ำหนัก) ต่าง ๆ กัน แสดงได้ดังรูปที่ 4.4

จากรูปพบว่าความแข็งกดของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกลบมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับพอลิพรอพิลีนบริสุทธิ์ เนื่องจากแกลบเป็นสารตัวเติมประเภทลิกโนเซลลูโลส (Lignocellulose fillers) ชนิดหนึ่ง ซึ่งมีองค์ประกอบหลักที่สำคัญอยู่ 3 ชนิด คือ เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน จึงทำให้แกลบมีความแข็ง รับแรงกดได้มาก เมื่อผสมแกลบในพอลิพรอพิลีนซึ่งมีความนิ่ม รับแรงกดได้น้อยกว่า จึงทำให้วัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกลบมีความสามารถในการรับแรงกดได้มากกว่าพอลิพรอพิลีนบริสุทธิ์ ส่งผลให้วัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกลบมีความแข็งกดมากกว่าพอลิพรอพิลีนบริสุทธิ์ และเมื่อปริมาณแกลบเพิ่มขึ้นความแข็งกดของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกลบมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เพราะเมื่อปริมาณแกลบเพิ่มขึ้นความสามารถในการรับแรงกดจึงมีมากขึ้น ทำให้วัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกลบมีความแข็งกดเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณแกลบเพิ่มขึ้น

เมื่อพิจารณาถึงขนาดของเกลบที่มีต่อความแข็งกตของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและเกลบ พบว่าวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและเกลบที่มีการใช้ขนาดเกลบต่างกันมีความแข็งกตที่ไม่แตกต่างกันมากนัก ดังนั้นขนาดของเกลบจึงไม่มีผลต่อความแข็งกตของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและเกลบ

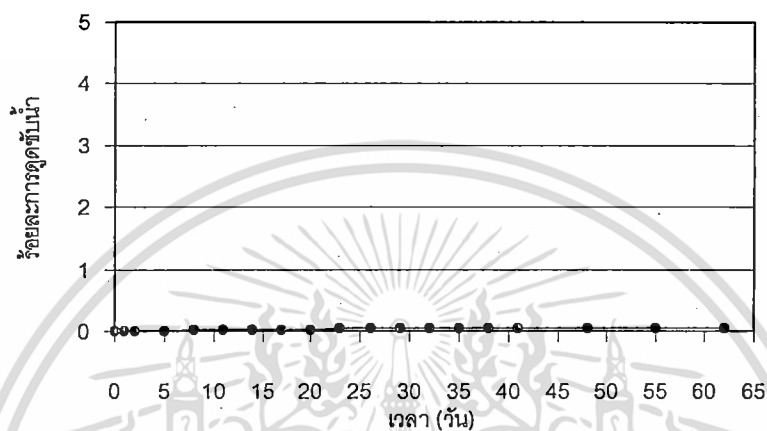


รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งกตของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและเกลบที่มีปริมาณเกลบ (ร้อยละโดยน้ำหนัก) ต่าง ๆ กัน

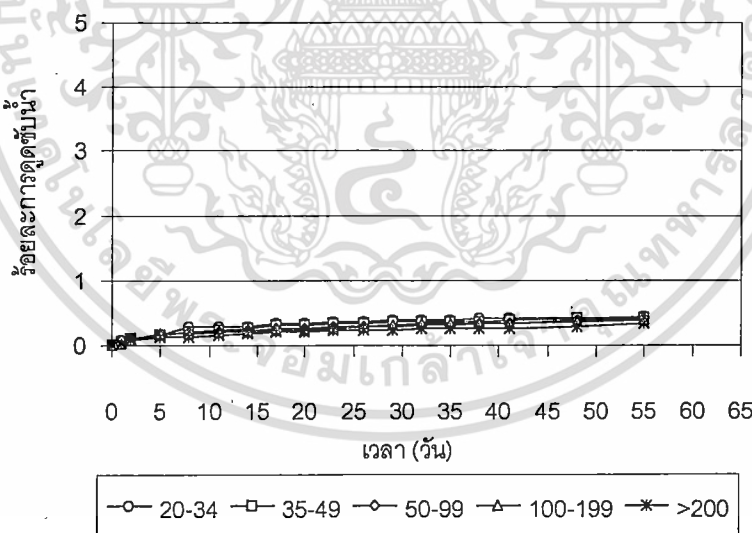
จากสมบัติเชิงกลของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและเกลบที่กล่าวมาทั้งหมด พบว่าปริมาณและขนาดของเกลบมีผลต่อสมบัติเชิงกลโดยรวมของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและเกลบ นั่นคือ ปริมาณมีผลต่อความแข็งแรงดึง ร้อยละการดึงยืด ณ จุดคราก ความแข็งแรงโค้งงอ และความแข็งแรงกระแทกของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและเกลบ แต่ขนาดมีผลเล็กน้อยต่อสมบัติเหล่านี้ ในขณะที่ปริมาณและขนาดของเกลบมีผลต่อค่ามอดูลัส ค่ามอดูลัสโค้งงอ และความแข็งกตของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและเกลบ และเมื่อพิจารณาจากสูตรผสมทั้งหมดของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและเกลบ พบว่าวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและเกลบที่มีการใช้เกลบที่มีขนาดมากกว่าหรือเท่ากับ 200 เมช ที่มีปริมาณเกลบร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก ให้สมบัติเชิงกลโดยรวมที่ดีที่สุด

4.2 สมบัติทางกายภาพ

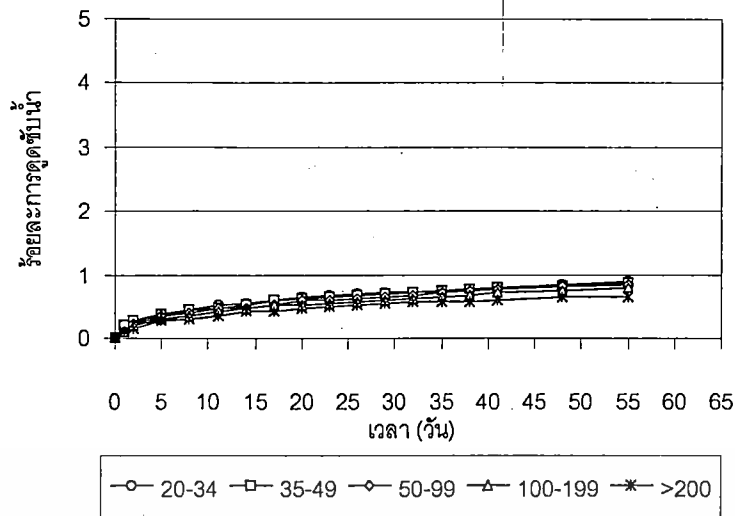
สมบัติทางกายภาพที่ทำการศึกษา ได้แก่ สมบัติการดูดซับน้ำ (Water absorption) ซึ่งผลที่ได้จากการทดสอบสมบัติการดูดซับน้ำของพอลิพรอพิลีนบริสุทธิ์กับเวลาแสดงได้ดังรูปที่ 4.5 และวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกลบแสดงได้ดังรูปที่ 4.6 - 4.9 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับน้ำของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกลบที่มีขนาดแกลบต่างกันกับเวลา โดยมีปริมาณแกลบร้อยละ 10 20 30 และ 40 โดยน้ำหนักตามลำดับ



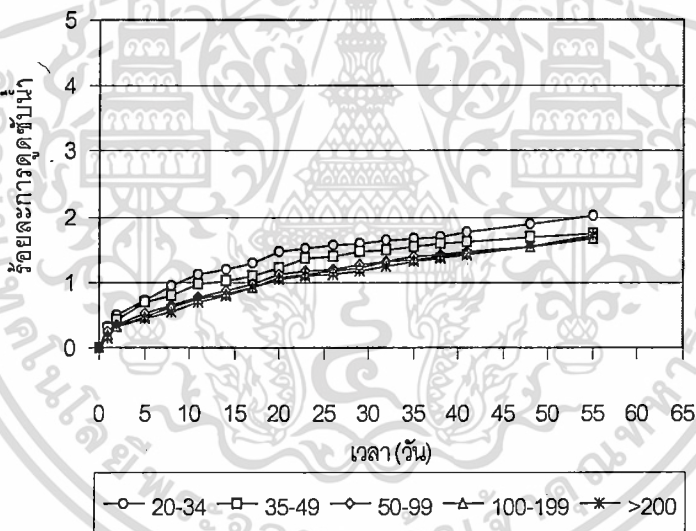
รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับน้ำของพอลิพรอพิลีนบริสุทธิ์กับเวลา



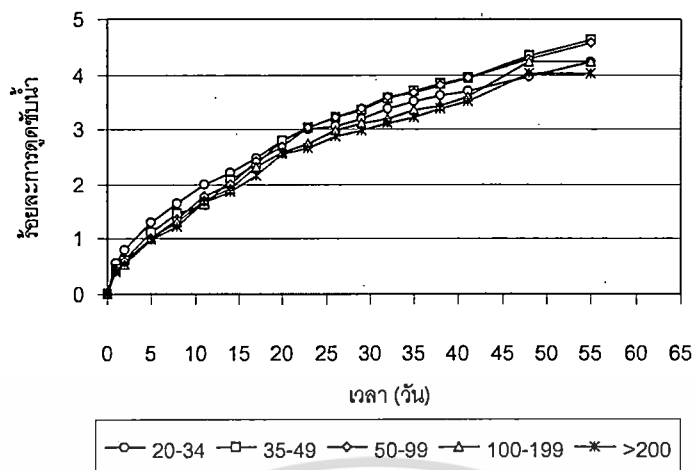
รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับน้ำของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกลบที่มีขนาดแกลบต่างกันกับเวลา โดยมีปริมาณแกลบร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก



รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับน้ำของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและเกลบที่มีขนาดเกลบต่างกับกับเวลา โดยมีปริมาณเกลบร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก



รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับน้ำของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและเกลบที่มีขนาดเกลบต่างกับกับเวลา โดยมีปริมาณเกลบร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก



รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับน้ำของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกลบที่มีขนาดแกลบต่างกันกับเวลา โดยมีปริมาณแกลบร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก

เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 4.5 – 4.9 พบว่าวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกลบมีค่าร้อยละการดูดซับน้ำมากกว่าพอลิพรอพิลีนบริสุทธิ์ ซึ่งเป็นที่ทราบกันดีแล้วว่าพอลิพรอพิลีนเป็นพอลิเมอร์ที่มีความไม่มีขั้วหรือมีสมบัติไม่ชอบน้ำ แต่แกลบมีความมีขั้วหรือมีสมบัติชอบน้ำ เนื่องจากแกลบมีหมู่ไฮดรอกซิล (Hydroxyl, -OH) จึงสามารถเกิดพันธะไฮโดรเจน (Hydrogen bond) กับหมู่ไฮดรอกซิลของโมเลกุลของน้ำ ดังนั้นการเติมแกลบในพอลิพรอพิลีนจึงทำให้วัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกลบมีค่าร้อยละการดูดซับน้ำมากกว่าพอลิพรอพิลีนบริสุทธิ์

จากรูปที่ 4.6 – 4.9 พบว่าเมื่อปริมาณแกลบเพิ่มขึ้นวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกลบมีค่าร้อยละการดูดซับน้ำเพิ่มขึ้น เพราะเมื่อปริมาณแกลบเพิ่มขึ้นเป็นการเพิ่มความหนาแน่นของหมู่ไฮดรอกซิลให้กับแกลบในวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกลบ ทำให้เกิดพันธะไฮโดรเจนกับหมู่ไฮดรอกซิลของโมเลกุลของน้ำได้มากขึ้น จึงทำให้วัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกลบที่มีปริมาณแกลบเพิ่มขึ้นมีค่าร้อยละการดูดซับน้ำเพิ่มขึ้น

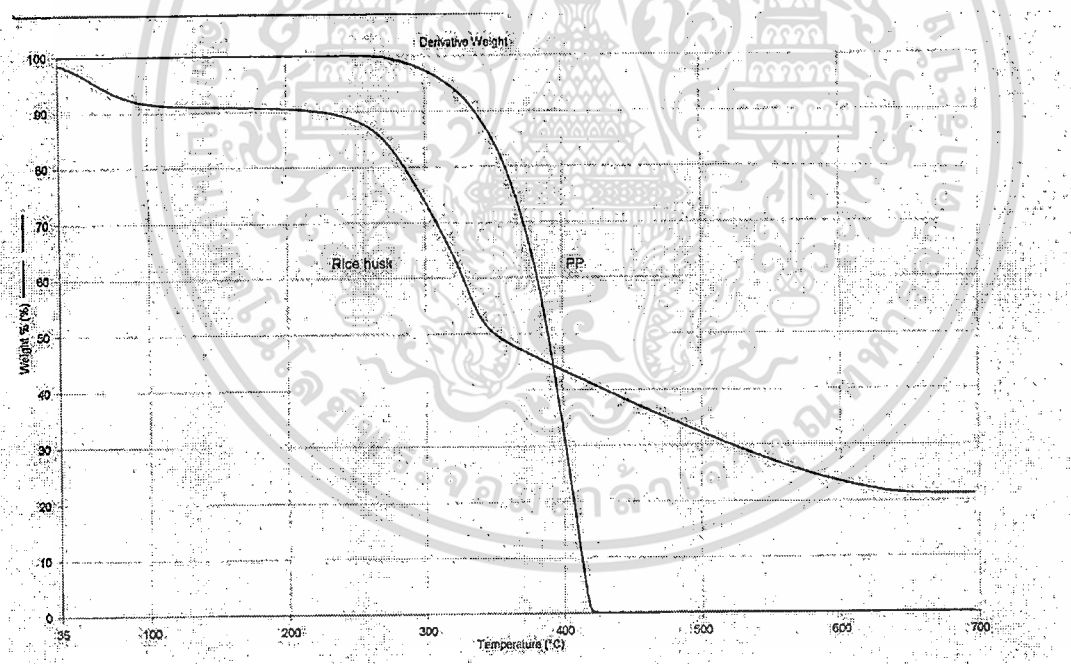
เมื่อพิจารณาถึงโครงสร้างทางกายภาพของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกลบ พบว่าน้ำสามารถซึมผ่านเข้าไปในชิ้นงานวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกลบได้ถึง 3 บริเวณ [29] คือ ลูเมน (Lumen) ผนังเซลล์ (Cell wall) และรอยต่อ หรือรอยตำหนิ (Gap and flaw) ที่บริเวณที่เป็นรอยต่อระหว่างพื้นผิวของพอลิพรอพิลีนและแกลบ เมื่อปริมาณแกลบเพิ่มขึ้น บริเวณลูเมน ผนังเซลล์ และรอยต่อ หรือรอยตำหนิที่บริเวณที่เป็นรอยต่อระหว่างพื้นผิวของพอลิพรอพิลีนและแกลบมีมากขึ้น ทำให้น้ำสามารถซึมผ่านเข้าไปในชิ้นงานวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกลบได้มากขึ้น

ส่งผลให้วัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกลบที่มีปริมาณแกลบเพิ่มขึ้นมีค่าร้อยละการดูดซับน้ำเพิ่มขึ้น

เมื่อพิจารณาถึงขนาดของแกลบที่มีต่อสมบัติการดูดซับน้ำของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกลบ พบว่าวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกลบที่มีขนาดเมซของแกลบลดลง หรือขนาดอนุภาคของแกลบใหญ่ขึ้นมีค่าร้อยละการดูดซับน้ำเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากแกลบที่มีขนาดใหญ่สามารถอุ้มน้ำได้ดีกว่าแกลบที่มีขนาดเล็ก จึงทำให้วัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกลบที่มีการใช้แกลบที่มีขนาดอนุภาคใหญ่กว่ามีค่าร้อยละการดูดซับน้ำมากกว่าวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกลบที่มีการใช้แกลบที่มีขนาดอนุภาคเล็กกว่า

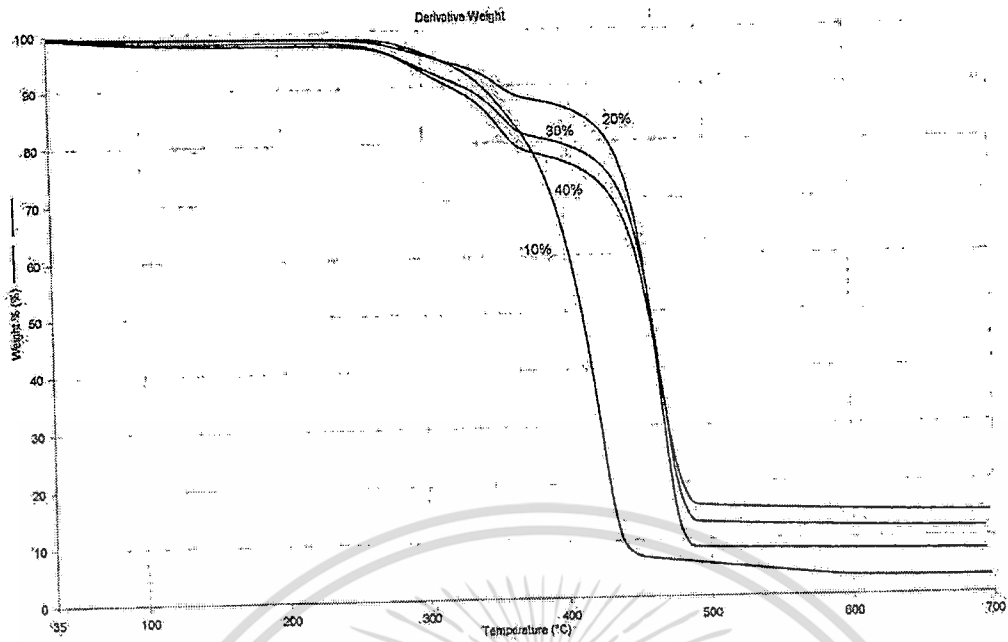
4.3 สมบัติทางความร้อน

สมบัติความร้อนที่ทำการศึกษา คือ Thermogravimetric analysis (TG) ซึ่งใช้ศึกษาอุณหภูมิการสลายตัว (Thermal degradation) ของแกลบ พอลิพรอพิลีนบริสุทธิ์ และวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกลบ โดยอุณหภูมิที่ใช้ในการศึกษาอยู่ในช่วง 35-700 องศาเซลเซียส อัตราการให้ความร้อน 10 องศาเซลเซียสต่อนาที และใช้บรรยากาศ N_2 จากการศึกษาได้ผลการทดลองดังต่อไปนี้

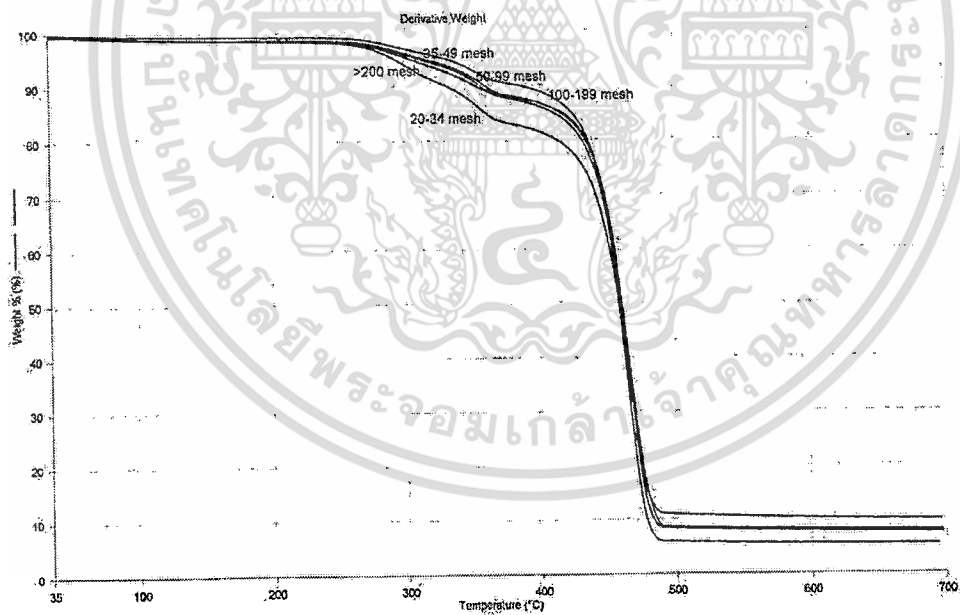


รูปที่ 4.10 TG เทอร์โมแกรมของแกลบและพอลิพรอพิลีนบริสุทธิ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.11 TG เทอร์โมแกรมของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกลบที่ขนาดแกลบ 50-99 เมช ที่ปริมาณแกลบต่าง ๆ กัน



รูปที่ 4.12 TG เทอร์โมแกรมของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกลบที่ปริมาณร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก ที่ขนาดแกลบต่าง ๆ กัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.10 ซึ่งแสดง TG เทอร์โมแกรมของแกลบ และพอลิพรอพิลีนบริสุทธิ์ พบว่า แกลบมีอุณหภูมิการสลายตัว 3 ช่วง คือ ช่วงแรกที่อุณหภูมิระหว่าง 50°C ถึง 90°C ช่วงที่สองที่อุณหภูมิระหว่าง 270°C ถึง 390°C และช่วงที่สามที่อุณหภูมิระหว่าง 400°C ถึง 650°C ซึ่งอุณหภูมิการสลายตัวช่วงแรกนั้นเกิดจากความร้อนที่ใช้ในการระเหยความชื้นออกจากแกลบ อุณหภูมิการสลายตัวช่วงที่สองเกิดจากการสลายตัวของเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลส และอุณหภูมิการสลายตัวช่วงที่สามเกิดจากการสลายตัวของลิกนิน[30] ส่วนพอลิพรอพิลีนบริสุทธิ์มีอุณหภูมิการสลายตัวที่อุณหภูมิระหว่าง 350°C ถึง 420°C จากผลที่ได้แสดงว่าพอลิพรอพิลีนมีอุณหภูมิการสลายตัวสูงกว่าแกลบ หรือกล่าวได้ว่าพอลิพรอพิลีนมีความเสถียรภาพทางความร้อน (Thermal stability) มากกว่าแกลบ

เมื่อพิจารณา TG เทอร์โมแกรมของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกลบจากรูปที่ 4.11 และรูปที่ 4.12 พบว่าวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกลบมีอุณหภูมิการสลายตัว 3 ช่วง คือ ช่วงแรกที่อุณหภูมิระหว่าง 260°C ถึง 320°C ช่วงที่สองที่อุณหภูมิระหว่าง 330°C ถึง 370°C และช่วงที่สามที่อุณหภูมิระหว่าง $390-480^{\circ}\text{C}$ ซึ่งอุณหภูมิการสลายตัวช่วงแรกนั้นเกิดจากการสลายตัวของเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลส อุณหภูมิการสลายตัวช่วงที่สองนั้นเกิดจากการสลายตัวของลิกนิน ส่วนอุณหภูมิการสลายตัวช่วงที่สามเกิดจากการสลายตัวของพอลิพรอพิลีนของวัสดุผสมระหว่างพอลิ-พรอพิลีนและแกลบ

จากผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกลบมีอุณหภูมิการสลายตัวสูงกว่าพอลิพรอพิลีนบริสุทธิ์ และแกลบตามลำดับ หรือกล่าวได้ว่าวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกลบมีความเสถียรภาพทางความร้อนมากกว่าพอลิพรอพิลีนบริสุทธิ์ และแกลบตามลำดับนั่นเอง ทั้งนี้เป็นผลเนื่องมาจากการเกิดอันตรกิริยา (Interaction) ระหว่างพอลิพรอพิลีนเมตริกซ์และแกลบ [31]

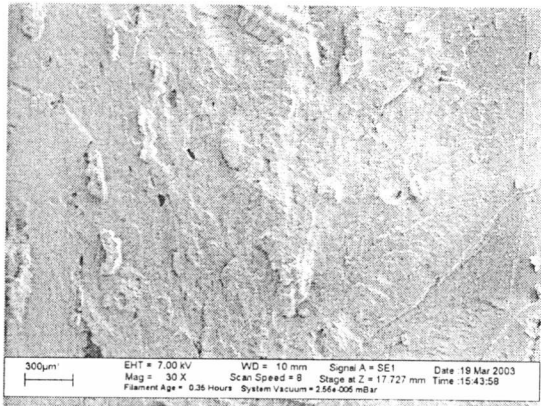
จากรูปที่ 4.11 ซึ่งแสดง TG เทอร์โมแกรมของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกลบ ที่ขนาดแกลบ 50-99 เมช ที่ปริมาณแกลบต่าง ๆ กัน คือ ร้อยละ 10 20 30 และ 40 โดยน้ำหนัก พบว่าปริมาณแกลบที่ต่างกันมีผลน้อยมากหรือไม่มีผลต่ออุณหภูมิการสลายตัวของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกลบ และเมื่อพิจารณาจากรูปที่ 4.12 ซึ่งแสดงเทอร์โมแกรม TG ของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกลบที่ปริมาณแกลบร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก ที่ขนาดแกลบต่าง ๆ กัน คือ 20-34 เมช 35-49 เมช 50-99 เมช 100-199 เมช และแกลบที่มีขนาดมากกว่าหรือเท่ากับ 200 เมช พบว่าขนาดแกลบที่ต่างกันมีผลน้อยมากหรือไม่มีผลต่ออุณหภูมิการสลายตัวของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกลบ ดังนั้นผลที่ได้จากรูปที่ 4.11 และรูปที่ 4.12 แสดงให้เห็นว่าปริมาณและขนาดของแกลบมีผลน้อยมากหรือแทบไม่มีผลต่ออุณหภูมิการสลายตัวของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกลบ

4.4 สัณฐานวิทยา

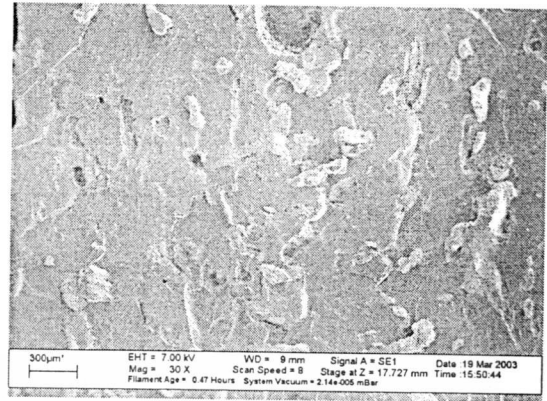
การศึกษาสัณฐานวิทยาของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแคลบทำได้โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) เพื่อศึกษาลักษณะการกระจายตัว (Dispersion) ของแคลบในพอลิพรอพิลีนเมตริกซ์ และลักษณะพื้นผิวระหว่างวิภาค (Interfacial surface) ของพอลิพรอพิลีนเมตริกซ์และแคลบ

จากรูปที่ 4.13 (ก) - (ง) ซึ่งแสดงภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดกำลังขยาย 30 เท่าของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแคลบที่ขนาดแคลบ 50-99 เมช ที่ปริมาณแคลบต่าง ๆ กัน คือ ร้อยละ 10 20 30 และ 40 โดยน้ำหนักตามลำดับ พบว่าแคลบมีแนวโน้มที่จะรวมตัวกันเป็นกลุ่มก้อน (Agglomeration) เนื่องจากการเกิดพันธะไฮโดรเจนของหมู่ไฮดรอกซิลระหว่างแคลบด้วยกัน ทำให้เกิดช่องว่างระหว่างพอลิพรอพิลีนเมตริกซ์และแคลบ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าทั้งสองวิภาคมีความสามารถในการยึดเกาะกันต่ำหรือไม่ดี ทำให้แคลบเกิดการหลุดออก (Pull-out) จากวิภาคของพอลิพรอพิลีน และยังส่งผลให้เกิดการเปียกที่ไม่สมบูรณ์ (Incomplete wettability) บนพื้นผิวของกลุ่มก้อนของแคลบ เนื่องจากความแตกต่างของควมมีขั้ว และความไม่มีขั้วของสองวิภาค นั่นคือ พอลิพรอพิลีนเมตริกซ์มีควมมีขั้ว แต่แคลบมีควมไม่มีขั้ว โดยจากที่กล่าวมาแสดงให้เห็นอย่างชัดเจนได้ดังรูปที่ 4.14 ซึ่งเป็นภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดกำลังขยาย 200 เท่าของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแคลบที่ขนาดแคลบ 50-99 เมช โดยมีแคลบร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก

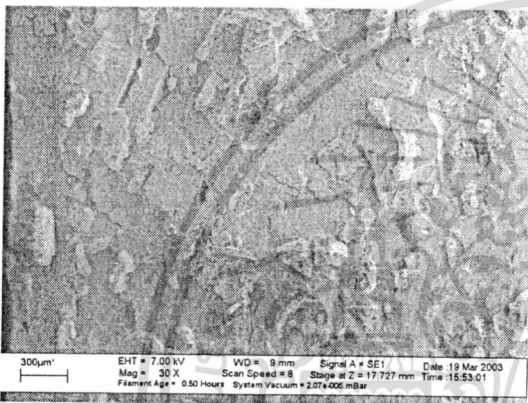
เมื่อปริมาณของแคลบเพิ่มขึ้น แคลบจะมีการรวมตัวเป็นกลุ่มก้อนมากขึ้น ทำให้เกิดการกระจายตัวของแคลบในพอลิเมอร์เมตริกซ์ไม่ดี จำนวนช่องว่างมากขึ้น และเกิดการเปียกที่ไม่สมบูรณ์บนพื้นผิวของกลุ่มก้อนของแคลบมากขึ้น ซึ่งจากที่กล่าวมาทั้งหมดนี้เป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลให้การถ่ายเทแรงจากพอลิพรอพิลีนเมตริกซ์ไปยังแคลบเกิดขึ้นได้ไม่ดีหรือไม่ต่อเนื่อง และยังพบอีกว่าเมื่อปริมาณแคลบเพิ่มขึ้นวัสดุมีแนวโน้มที่จะเกิดการเสียหายแบบเปราะมากขึ้น ดังนั้นเมื่อปริมาณแคลบเพิ่มขึ้นทำให้วัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแคลบมีความแข็งแรงดึง ร้อยละการดึงยืด ณ จุดคราก ความแข็งแรงโค้งงอ และความแข็งแรงกระแทกลดลง แต่ค่ามอดุลัสค่ามอดุลัสโค้งงอ และความแข็งกดเพิ่มขึ้น



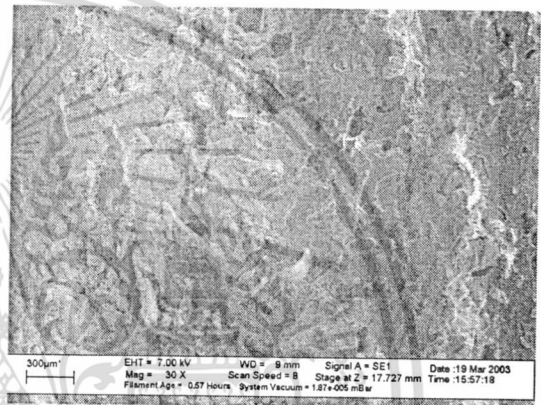
(ก)



(ข)

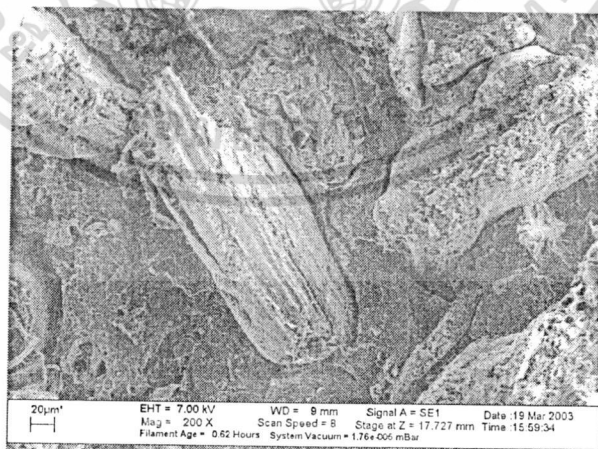


(ค)



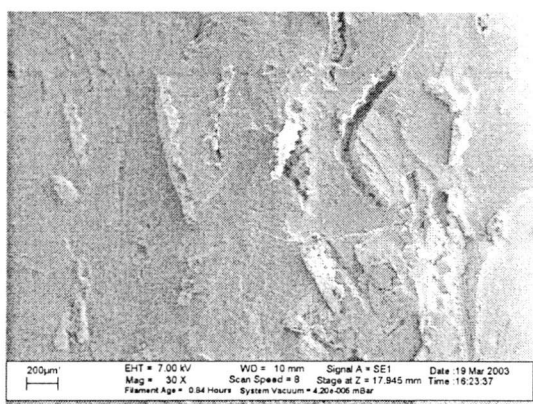
(ง)

รูปที่ 4.13 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดกำลังขยาย 30 เท่าของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแคลบที่ขนาดแคลบ 50-99 เมช ที่ปริมาณแคลบต่าง ๆ กัน (ก) ร้อยละ 10 (ข) ร้อยละ 20 (ค) ร้อยละ 30 และ (ง) ร้อยละ 40 โดยน้ำหนักตามลำดับ

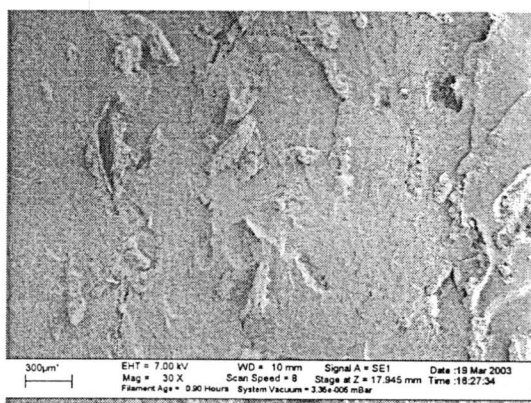


รูปที่ 4.14 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดกำลังขยาย 200 เท่าของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแคลบที่ขนาดแคลบ 50-99 เมช โดยมีแคลบร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก

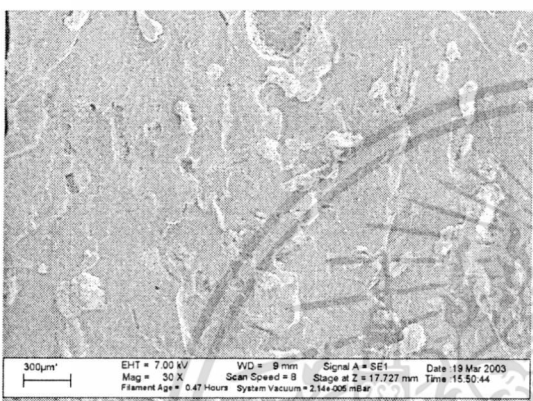
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



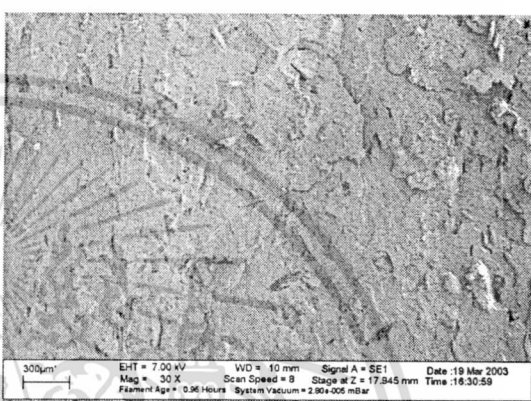
(ก)



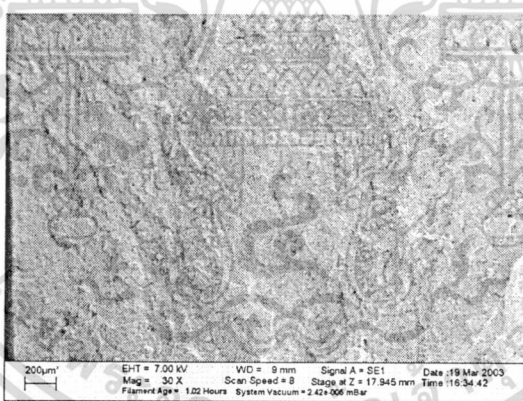
(ข)



(ค)



(ง)



(จ)

รูปที่ 4.15 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดกำลังขยาย 30 เท่าของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแคลเซียมที่ปริมาณแคลเซียมร้อยละ 20 โดยน้ำหนักที่ขนาดแคลบต่าง ๆ กัน คือ (ก) 20-34 เมช (ข) 35-49 เมช (ค) 50-99 เมช (ง) 100-199 เมช และ (จ) แคลบที่มีขนาดมากกว่าหรือเท่ากับ 200 เมช ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.15 (ก) - (จ) ซึ่งแสดงภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกลบที่ปริมาณแกลบร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก ที่ขนาดแกลบต่าง ๆ กัน คือ 20-34 เมช 35-49 เมช 50-99 เมช 100-199 เมช และแกลบที่มีขนาดมากกว่าหรือเท่ากับ 200 เมชตามลำดับ พบว่าวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกลบที่มีการใช้แกลบที่มีขนาดใหญ่ (20-34 เมช) นั้นแกลบมีแนวโน้มที่จะรวมตัวกันเป็นกลุ่มก้อนมากกว่าวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกลบที่มีการใช้แกลบที่มีขนาดเล็ก (มากกว่าหรือเท่ากับ 200 เมช) ทำให้แกลบที่มีขนาดเล็กสามารถกระจายตัวในพอลิพรอพิลีนเมตริกซ์ได้ดีกว่า นอกจากนี้แกลบที่มีขนาดเล็กมีพื้นที่ผิวสัมผัสมากกว่าแกลบที่มีขนาดใหญ่ทำให้มีการเปียกพอลิเมอร์ได้ดีกว่า และมีความสามารถในการยึดเกาะกับพอลิเมอร์เมตริกซ์ได้ดีกว่า ส่งผลให้วัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกลบที่มีการใช้แกลบที่มีขนาดเล็กมีค่ามอดุลัส ค่ามอดุลัสโค้งงอ และความแข็งแรงกดสูงกว่าวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแกลบที่มีการใช้แกลบที่มีขนาดใหญ่ ส่วนสมบัติอื่น ๆ นั้นขนาดของแกลบมีผลน้อยมาก



บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาถึงการเตรียมชิ้นงานพอลิพรอพิลีนที่มีเกลบเป็นสารตัวเติม ซึ่งทำการผสมโดยใช้เครื่องอัดรีดชนิดเกลียวหนอนคู่และทำการขึ้นรูปโดยใช้เทคนิคการฉีดขึ้นรูป โดยศึกษาถึงผลของปริมาณและขนาดอนุภาคของเกลบที่มีผลต่อสมบัติต่าง ๆ ของชิ้นงานที่ได้ เพื่อดูแนวโน้มของการใช้งานเป็นบรรจุภัณฑ์พลาสติก

จากการศึกษาพบว่าค่ามอดุลัส มอดุลัสโค้งงอ ความแข็งแรงกระแทกและความแข็งกดของชิ้นงานมีค่าสูงกว่าพอลิพรอพิลีนบริสุทธิ์ นอกจากนี้ปริมาณของเกลบที่ใช้เป็นสารตัวเติมมีผลต่อสมบัติเชิงกลมากกว่าขนาดอนุภาคของเกลบ จากการทดสอบพบว่าชิ้นงานที่ประกอบด้วยเกลบปริมาณร้อยละ 40 และขนาด 200 เมช ให้สมบัติเชิงกลโดยรวมที่ดีที่สุด เมื่อทำการทดสอบสมบัติการดูดซับน้ำพบว่าชิ้นงานที่มีปริมาณของเกลบมาก สามารถดูดซับน้ำได้มาก สำหรับอุณหภูมิการสลายตัวทางความร้อนของชิ้นงานมีค่ามากกว่าพอลิพรอพิลีนบริสุทธิ์เช่นกัน เมื่อพิจารณาถึงต้นทุนวิทยของชิ้นงานพบว่าชิ้นงานที่ประกอบด้วยเกลบขนาดเล็ก มีการกระจายตัวและเข้ากันได้กับพอลิพรอพิลีนที่เป็นเมตริกซ์ได้ดีกว่าชิ้นงานที่ประกอบด้วยเกลบขนาดใหญ่

สำหรับการนำชิ้นงานผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและเกลบมาใช้งานเป็นบรรจุภัณฑ์พลาสติกนั้น พบว่าสามารถฉีดขึ้นรูปเป็นบรรจุภัณฑ์พลาสติกที่มีความสวยงาม สามารถใช้งานได้มีความแข็งแรงที่ดี แต่ถ้านำไปใช้ในสภาวะที่ต้องสัมผัสกับน้ำควรเลือกชิ้นงานที่มีเกลบเป็นองค์ประกอบในปริมาณน้อย

เอกสารอ้างอิง

- [1] รายงานจากสำนักเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ 2544-2545.
- [2] อนุชิต กิจสวัสดิ์ "ประโยชน์จากเกลบและเถ้าเกลบ" 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.Agarwal, "Physical constants of polypropylene", in *Polymer handbook* (Brandrup J., Immergut Hh. Ed.), John Wiley & Sons, New York, 1975, p. V23-27.
- [6] สมศักดิ์ วรมงคลชัย "เอกสารคำสอนวิชาสารปรับแต่งพอลิเมอร์" ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง 2544 หน้า 55-68.
- [7] มาลินี ชัยศุกกิจสินธ์ "เคมีพอลิเมอร์" ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง พิมพ์ครั้งที่ 3 2543 หน้า 65-96.
- [8] B.S.Luh, "Rice: Production and Utilization", AVI Publishing Co., Inc., Westport, Connecticut, USA., 1980, 736-743.
- [9] 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.
- [10] J.I.Kroschwitz, "Encyclopedia of polymer Science and Engineering", 2nd ed., John Wiley & Sons, New York, vol 6, 1990, 655.
- [11] 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.
- [12] นารา พิทักษ์อรุณพ "สมบัติและองค์ประกอบของเกลบ" จดหมายข่าวศูนย์ข้อมูลพลังงานแห่งประเทศไทย ปีที่ 2 ฉบับที่ 1 มีนาคม 2527.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [13] S.N.Maiti and K.Singh, "Influence of Wood Flour on the Mechanical Properties of Polyethylene", *J.Appl.Polym.Sci.*, 32, 1986, 4285-4289.
- [14] 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.
- [15] 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.
- [16] 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.
- [17] 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.
- [18] A.Y.Kharade and D.D.Kale, "Lignin-Filled Polyolefin", *J.Appl.Polym.Sci.*, 72, 1999, 1321-1326.
- [19] 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.
- [20] 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.
- [21] 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.
- [22] 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.
- [23] HMC Polymer. "Profax Z30S" Technical Report : HMC Polymer 2002.
- [24] ASTM D 638, "Standard Test Methods for Tensile Properties of Plastic (Metric)", *Philadephia : American Sociaty for Testing and Materials.*,1993.

- [25] ASTM D 790, "Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials", *Philadelphia : American Society for Testing and Materials.*,1993.
- [26] ASTM D 256, "Standard Test Methods for Impact Resistance of Plastics and Electrical Insulating Materials", *Philadelphia : American Society for Testing and Materials.*,1993.
- [27] ASTM D 785, "Standard Test Methods for Rockwell Hardness of Plastics and Electrical Insulating Materials", *Philadelphia : American Society for Testing and Materials.*,1993.
- [28] ASTM D 570, "Standard Test Methods for Water Absorption of Plastics", *Philadelphia : American Society for Testing and Materials.*,1993.
- [29] B.Wunderlich, "Macromolecular Physics", Academic Press, New York, vol. 3, 1980, 61-64.
- [30] K.G.Mamsaray and A.P.Ghaly, "Thermal Degradation of Rice Husks in Nitrogen Atmosphere", *Bioresource Technology*, 65, 1998, 13-20.
- [31] P.V.Joseph, K.Joseph, S.Thomas, C.K.S.Pillai, V.S.Prasad, G.Groenckx and M.Sarkissova, "The thermal and crystallisation studies of short sisal fibre reinforced polypropylene composites", *Composites, Part A* 34, 2003, 253-266.