

การประยุกต์ใช้แถบเป็นสารตัวเติมในพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง



โครงการพิเศษเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

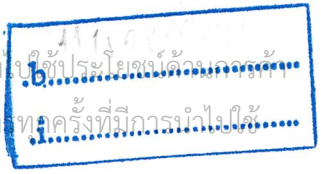
ภาควิชาเคมี

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2546

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์อื่นใด...
เลขที่.....
เลขทะเบียน..... 55577
วัน,เดือน,ปี..... 19 พ.ค. 2548



Application of Rice Husk as Filler in High-Density Polyethylene

Miss Pimolkae Kaewklang

Miss Ratanapat Hunsu-udom

**A Special Project Submitted in Partial Fulfillment of the
Requirement for the Degree of Bachelor of Science**

Department of Chemistry

Faculty of Science

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

Academic Year 2003

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ การประยุกต์ใช้เกลบเป็นสารตัวเติมในพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง

นักศึกษา นางสาวพิมลแข แก้วกลาง

นางสาวรัตนพรพรช หาราชอุดม

ภาควิชา เคมี

สาขาวิชา เคมีอุตสาหกรรม

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.จุฑารัตน์ ปรัชญาวรากร

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

อนุมัติให้ โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการตรวจสอบ	ลายมือชื่อ
ประธานกรรมการ รศ.ดร.สมศักดิ์ วรมงคลชัย	
กรรมการ ดร.สุภารัตน์ รักขลธิ	
กรรมการ ดร.ภัทราวุธ มนต์วิเศษ	


.....
(ผศ.ดร.ประยงค์ ดวงดี)

หัวหน้าภาควิชา

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	การประยุกต์ใช้เกลบเป็นสารตัวเติมในพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง
นักศึกษา	นางสาวพิมพ์แข แก้วกลาง นางสาวรัตนพรพร หารรรษอุดม
ภาควิชา	เคมี คณะวิทยาศาสตร์
สาขาวิชา	เคมีอุตสาหกรรม
ปีการศึกษา	2546
อาจารย์ผู้ควบคุม	ผศ.ดร.จุฑารัตน์ ปรัชญาวารการ

บทคัดย่อ

โครงการพิเศษนี้ได้้นำเกลบมาใช้เป็นสารตัวเติมในพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (High-density polyethylene : HDPE) โดยศึกษาถึงขนาดต่าง ๆ ของเกลบ ได้แก่ 12-34 35-99 และมากกว่า 100 เมช และปริมาณของเกลบ ได้แก่ ร้อยละ 0 15 30 และ 45 ที่มีผลต่อสมบัติต่างๆ ของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่มีเกลบเป็นสารตัวเติม พบว่าการเติมเกลบลงในพอลิเอทิลีนเมตริกซ์ทำให้ค่ามอดูลัสที่ความเครียดร้อยละ 5 และมอดูลัสโค้งงอมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยเกลบปริมาณร้อยละ 30 และมีขนาดมากกว่า 100 เมช ให้สมบัติเชิงกลโดยรวมดีที่สุด เมื่อพิจารณาสมบัติทางกายภาพ พบว่าขนาดและปริมาณเกลบที่มากขึ้นส่งผลให้ค่าร้อยละการดูดซึมน้ำเพิ่มมากขึ้น นอกจากนี้ทำการศึกษาถึงผลของการบำบัดด้วยด่าง (Alkali treatment) โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก เป็นเวลา 30 นาที รวมถึงการใช้สารช่วยผสมชนิดพอลิเอทิลีนต่อกิ่งด้วยมาเลอิกแอนไฮไดรด์ (Maleic anhydride-graft-polyethylene : MAPE) ในปริมาณร้อยละ 5 ต่อน้ำหนักของเกลบ พบว่าชิ้นงานที่ใช้เกลบที่บำบัดด้วยด่างมีสมบัติเชิงกลลดลง ส่วนการใช้สารช่วยผสมทำให้สมบัติเชิงกลดีขึ้น และจากการศึกษาทางสัณฐานวิทยา พบว่าการใช้สารช่วยผสมให้พอลิเอทิลีนและเกลบมีความเข้ากันได้ระหว่างวัฏภาคดีขึ้น และเมื่อศึกษาสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางความร้อน พบว่าการบำบัดเกลบด้วยด่างและการใช้สารช่วยผสมไม่ส่งผลต่อสมบัติทางกายภาพ และสมบัติทางความร้อนของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่มีเกลบเป็นสารตัวเติม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Special Project Title : Application of Rice Husk as Filler in High-Density Polyethylene
Name : Miss Pimolkae Kaewklang
: Miss Ratanapat Hunsu-udom
Department : Chemistry, Faculty of Science
Program : Industrial Chemistry
Academic year : 2003
Special Project Advisor : Asst. Prof. Dr. Jutarat Prachayawarakorn

Abstract

In this research, rice husk was applied as a filler in high-density polyethylene (HDPE). Effects of rice husk particle sizes (12-34 35-99 and more than 100 mesh) and contents (0 15 30 and 45% by weight) on properties of rice husk-filled-HDPE were examined. It was found that modulus at 5% strain and flexural modulus were increased with the incorporation of rice husk into HDPE matrix. The results showed that the addition of rice husk 30 % by weight with particle size of more than 100 mesh resulted in good overall mechanical properties. When physical properties were concerned, % water absorption was found to be higher with greater filler sizes and contents. Furthermore, the alkali treatment with 5%w/w sodium hydroxide (NaOH) for 30 min and the use of 5% maleic anhydride-graft-polyethylene (MAPE) (by weight of rice husk) as a compatibilizer was studied. It was found that NaOH treated rice husk specimens exhibited a decrease in mechanical properties. However, the use of MAPE resulted in improving mechanical properties. For morphological properties, the presence of MAPE could improve the phase compatibility between rice husks and HDPE. Moreover, the use of NaOH and MAPE gave the samples with negligible changes in physical and thermal properties.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

- ขอบคุณอาจารย์จุฑารัตน์ ปรัชญาวรรกร ที่ให้คำปรึกษาและคำแนะนำต่าง ๆ จนทำให้โครงการพิเศษนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี
- ขอบคุณ รศ.ดร.สมศักดิ์ วรมงคลชัย สำหรับ MAPE ที่อาจารย์มอบให้ ทำให้โครงการพิเศษนี้สำเร็จลุล่วงไปได้
- ขอบคุณคณะกรรมการรวมถึงอาจารย์ภาควิชาเคมีทุกท่านที่ให้คำแนะนำที่ดีๆ
- ขอบคุณพี่กฤษณะและพี่สุดใจรวมถึงเจ้าหน้าที่ภาควิชาเคมีทุกคนที่ให้ความช่วยเหลือต่าง ๆ
- ขอบคุณบริษัท บางกอก พอลิเอทิลีน จำกัด (มหาชน) บริษัท เคมีคอลอินโนเวชัน จำกัด และ โรงสีข้าวเจริญทรัพย์ ที่เอื้อเฟื้อสารเคมี
- ขอบคุณพี่ ป.โท (พีนก พี่ดัน พี่ดวง) ที่ให้คำแนะนำที่ดี ๆ
- ขอบคุณเพื่อน ๆ ทุกคนที่คอยเป็นกำลังใจและให้ความช่วยเหลือที่เป็นประโยชน์ โดยเฉพาะเพื่อนกลุ่มหุ้มาเผือกที่ช่วยเตรียมแกลบ
- ขอบคุณพ่อกับแม่ที่คอยเป็นกำลังใจให้จนโครงการนี้สำเร็จลุล่วงไปได้
- สุดท้ายขอขอบคุณผู้ร่วมทำโครงการนี้ที่ช่วยประคับประคองจนโครงการนี้สำเร็จ

พิมลแข แก้วกลาง

รตนพรรัช หารรรษอุดม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญรูป.....	ฉ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาของโครงการพิเศษ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	2
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
บทที่ 2 พอลิเมอร์และหลักการ.....	3
2.1 พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง.....	3
2.1.1 กระบวนการผลิตและตัวเร่งปฏิกิริยา.....	4
2.1.2 สมบัติทั่วไปของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง.....	6
2.1.3 การประยุกต์ใช้งาน.....	8
2.1.4 ข้อดีของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง.....	8
2.1.5 ข้อเสียของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง.....	9
2.2 สารเติมแต่งในพลาสติก.....	9
2.3 สารตัวเติมและสารเสริมแรง.....	10
2.4 พอลิเมอร์คอมพอสิต.....	11
2.4.1 พอลิเมอร์เมตริกซ์.....	12
2.4.2 ส่วนเสริมแรง.....	13
2.5 แกลบ.....	14
2.5.1 องค์ประกอบของแกลบ.....	14
2.5.2 ประโยชน์ของแกลบ.....	18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 การปรับปรุงสมบัติการยึดติด.....	18
2.6.1 กลไกการยึดติด.....	19
2.6.2 สารช่วยผสม.....	21
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	22
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย.....	28
3.1 สารเคมีและวัสดุที่ใช้ในงานวิจัย.....	28
3.2 เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย.....	29
3.3 วิธีการทดลอง.....	30
3.3.1 การเตรียมแถบ.....	30
3.3.2 การเตรียมตัวอย่างทดสอบ.....	30
3.3.3 การปรับปรุงสมบัติของวัสดุผสม.....	32
3.3.3.1 การบำบัดด้วยด่าง.....	32
3.3.3.2 การเตรียมชิ้นงานทดสอบ.....	32
3.3.4 การทดสอบ.....	33
3.4 วิธีการทดสอบ.....	33
3.4.1 สมบัติเชิงกล.....	35
3.4.1.1 สมบัติทางแรงดึง.....	35
3.4.1.2 สมบัติความโค้งงอ.....	36
3.4.1.3 ความแข็งแรงกระแทก.....	36
3.4.1.4 ความแข็งกด.....	37
3.4.2 สมบัติทางกายภาพ.....	37
3.4.2.1 สมบัติการดูดซับน้ำ.....	37
3.4.3 สันฐานวิทยา.....	37
3.4.3.1 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด.....	37
3.4.4 สมบัติทางความร้อน.....	38
3.4.4.1 Differential Scanning Calorimeter (DSC).....	38
3.4.5 วิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชัน.....	38
3.4.5.1 การวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชัน โดยเทคนิค FTIR.....	38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง.....39

4.1 สมบัติเชิงกล.....39

4.1.1 ผลของขนาดและปริมาณแกลบ.....39

4.1.1.1 ความแข็งแรงดึง.....40

4.1.1.2 ร้อยละการดึงยืด ณ จุดคราก.....42

4.1.1.3 มอดุลัสที่ความเครียดร้อยละ 5.....44

4.1.1.4 ความแข็งแรงโค้งงอ.....46

4.1.1.5 มอดุลัสโค้งงอ.....48

4.1.1.6 ความแข็งแรงกระแทก.....50

4.1.1.7 ความแข็งกด.....52

4.1.2 ผลของการปรับปรุงความสามารถในการเข้ากันได้
ระหว่างแกลบและพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง.....53

4.1.2.1 ความแข็งแรงดึง.....54

4.1.2.2 ร้อยละการดึงยืด ณ จุดคราก.....55

4.1.2.3 มอดุลัสที่ความเครียดร้อยละ 5.....56

4.1.2.4 ความแข็งแรงโค้งงอ.....57

4.1.2.5 มอดุลัสโค้งงอ.....58

4.1.2.6 ความแข็งแรงกระแทก.....59

4.1.2.7 ความแข็งกด.....59

4.2 สมบัติทางกายภาพ.....60

4.2.1 ผลของขนาดและปริมาณแกลบ.....60

4.2.1.1 ร้อยละการดูดซับน้ำ.....60

4.2.2 ผลของการปรับปรุงความสามารถในการเข้ากันได้
ระหว่างแกลบและพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง.....63

4.2.2.1 ร้อยละการดูดซับน้ำ.....63

4.3 สัณฐานวิทยา.....64

4.4 สมบัติทางความร้อน.....66

4.5 วิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชัน โดยวิธีอินฟราเรดสเปกโทรโฟโตเมตรี.....68

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ.....	71
5.1 สรุป.....	71
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	72
เอกสารอ้างอิง.....	73
ภาคผนวก.....	77



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบของแถบ.....	17
ตารางที่ 2.2 องค์ประกอบของสารอนินทรีย์ในเส้นแถบ.....	17
ตารางที่ 3.1 สมบัติของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง.....	28
ตารางที่ 3.2 สมบัติของพอลิเอทิลีนต่อกิ่งด้วยมาเลอิกแอนไฮไดรด์.....	29
ตารางที่ 3.3 ส่วนผสมต่างๆ ที่ใช้ในการขึ้นรูปชิ้นงานทดสอบ.....	31
ตารางที่ 3.4 มาตรฐานต่าง ๆ ในการทดสอบสมบัติต่าง ๆ.....	34
ตารางที่ 4.1 อุณหภูมิการหลอมเหลว อุณหภูมิการตกผลึก และองศาการเกิดผลึกในสภาวะต่างๆ.....	68
ตารางที่ 4.2 การดูดกลืนรังสีอินฟราเรดของหมู่ฟังก์ชันต่าง ๆ.....	69



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1	ลักษณะทางโครงสร้างของพอลิเอทิลีน.....	3
รูปที่ 2.2	ที่มาของผลิตภัณฑ์พลาสติก.....	9
รูปที่ 2.3	รูปร่างของสารตัวเติม.....	10
รูปที่ 2.4	ส่วนประกอบของเม็ดสีขาว.....	15
รูปที่ 2.5	โครงสร้างของเซลลูโลส.....	15
รูปที่ 2.6	โครงสร้างของเอมิเซลลูโลส.....	16
รูปที่ 2.7	โครงสร้างของลิกนิน.....	16
รูปที่ 2.8	การเชื่อมโยงระหว่างปอไซซัลและพอลิพรอพิลีน โดยใช้ MAPP เป็นสารช่วยผสม.....	20
รูปที่ 2.9	กลไกแบบต่าง ๆ ในการยึดติดระหว่างพื้นผิว.....	20
รูปที่ 4.1	ความแข็งแรงดึงของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง ที่ผสมเกลบในปริมาณต่าง ๆ.....	40
รูปที่ 4.2	ความแข็งแรงดึงของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง ที่ผสมเกลบที่ขนาดต่าง ๆ.....	41
รูปที่ 4.3	ร้อยละการดึงยึด ณ จุดครากของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง ที่ผสมเกลบในปริมาณต่าง ๆ.....	42
รูปที่ 4.4	ร้อยละการดึงยึด ณ จุดครากของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง ที่ผสมเกลบที่ขนาดต่าง ๆ.....	43
รูปที่ 4.5	มอดูลัสที่ความเครียดร้อยละ 5 ของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง ที่ผสมเกลบในปริมาณต่าง ๆ.....	44
รูปที่ 4.6	มอดูลัสที่ความเครียดร้อยละ 5 ของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง ที่ผสมเกลบที่ขนาดต่าง ๆ.....	45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.19 ค่าความแข็งแรงกระแทกของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง
 ที่ผสมเกลบในสภาวะต่าง ๆ.....59

รูปที่ 4.20 ความแข็งกดของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง
 ที่ผสมเกลบในสภาวะต่าง ๆ.....59

รูปที่ 4.21 ร้อยละการดูดซึบน้ำของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง
 ที่ผสมเกลบในปริมาณและระยะเวลาต่าง ๆ.....61

รูปที่ 4.22 ร้อยละการดูดซึบน้ำของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง
 ที่ผสมเกลบขนาดและระยะเวลาต่าง ๆ.....62

รูปที่ 4.23 ร้อยละการดูดซึบน้ำของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง
 ที่ผสมเกลบในสภาวะต่าง ๆ.....63

รูปที่ 4.24 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 50 เท่า.....64

รูปที่ 4.25 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 200 เท่า.....65

รูปที่ 4.26 อุณหภูมิการหลอมเหลว (T_m).....67

รูปที่ 4.27 อุณหภูมิการตกผลึก (T_c).....67

รูปที่ 4.28 อินฟราเรดสเปกตรัม.....69

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาของโครงการพิเศษ

ปริมาณข้าวที่ผลิตได้ทั่วโลกในปัจจุบันนี้มีปริมาณถึง 550 ล้านตันต่อปี โดยภูมิภาคเอเชียจัดเป็นแหล่งผลิตข้าวรายใหญ่ของโลก โดยการสีข้าวนั้นจะได้แกลบซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งประมาณ 5.4 ล้านตันต่อปี [1] ดังนั้นจึงได้มีการนำแกลบ ซึ่งมีอยู่เป็นจำนวนมากนี้ มาทำให้เกิดประโยชน์สูงสุด เช่น การนำแกลบไปเผาเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิง นำไปใช้ปรับปรุงดิน วัสดุคลุมดิน เป็นวัสดุห่อหุ้มเพื่อรักษาอุณหภูมิ ใช้คลุมขั้วปลีผัก ผลไม้ ผสมดินเหนียวเพื่อทำอิฐ เป็นต้น

ปัจจุบันพอลิเมอร์เป็นวัสดุที่นิยมใช้อย่างแพร่หลาย มีประโยชน์และการใช้งานหลากหลาย โดยแนวโน้มการผลิตและการใช้งานของพอลิเมอร์เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว การที่พอลิเมอร์เป็นที่นิยมใช้ เนื่องจากสามารถใช้แทนวัสดุต่างๆ ได้มากมาย เพราะพอลิเมอร์มีสมบัติที่ดีหลายประการ เช่น ขึ้นรูปง่าย น้ำหนักเบา มีลักษณะและสมบัติที่หลากหลายในช่วงกว้าง สามารถเลือกใช้ได้ตามความเหมาะสม แต่พอลิเมอร์ก็มีข้อจำกัดบางประการ เช่น ใช้งานได้ในอุณหภูมิที่จำกัด ย่อยสลายได้ยาก [2]

พอลิเอทิลีนเป็นพอลิเมอร์ประเภทโพลีเอทิลีนที่มีการผลิตมากที่สุด ในบรรดาวัสดุที่เป็นเทอร์โมพลาสติก โดยเฉพาะพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (High-density polyethylene: HDPE) เป็นพอลิเมอร์ที่นิยมใช้ในการขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ มากมาย เช่น ของเล่น หีบห่อต่างๆ รวมถึงอุปกรณ์ทางการแพทย์ เพราะมีสมบัติเป็นฉนวนไฟฟ้าที่ดี ทนความร้อน ทนต่อสารเคมี ขึ้นรูปง่าย [3] การนำแกลบมาใช้เป็นสารตัวเติมใน HDPE จึงเป็นแนวทางหนึ่งในการปรับปรุงสมบัติของ HDPE ซึ่งมีสมบัติทั่ว ๆ ไปคือ มีน้ำหนักเบา ความหนาแน่นต่ำ ความแข็งแรงสูง โมดูลัสสูงและรอยละการดึงยืดสูง ซึ่งนอกจากจะเป็นการปรับปรุงสมบัติเชิงกลแล้วยังช่วยลดต้นทุนการผลิตและเป็นการเพิ่มมูลค่าวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรอีกด้วย แต่การใช้แกลบเป็นสารตัวเติมมักเกิดปัญหาที่สำคัญ คือ ปัญหาความไม่เข้ากันระหว่างแกลบและพอลิเมอร์ เนื่องจากแกลบมีองค์ประกอบที่เป็นโมเลกุลมีขั้วแต่พอลิเมอร์เป็นโมเลกุลไม่มีขั้ว การเติมสารช่วยผสม (Compatibilizer) จึงเป็นการแก้ปัญหาวิธีหนึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้น โครงการงานพิเศษนี้จึงนำกลับมาใช้เป็นสารตัวเติมใน HDPE โดยทำการ ศึกษาผลของขนาดและปริมาณที่เหมาะสมที่จะทำให้ได้วัสดุผสมที่มีสมบัติต่าง ๆ ที่ดี นอกจากนี้ได้ทำการศึกษาเชิงเปรียบเทียบถึงการบำบัดและไม่บำบัดด้วยด่าง รวมถึงการใช้และไม่ใช้สารช่วยผสมชนิดพอลิเอทิลีนตอกิ่งด้วยมาเลอิกแอนไฮไดรด์ (Maleic anhydride-graft-polyethylene : MAPE) ที่มีผลต่อสมบัติต่างๆ ของวัสดุผสมระหว่าง HDPE ที่มีแถบเป็นสารตัวเติม

1.2 วัตถุประสงค์

- 1.2.1 เพื่อเตรียมวัสดุผสมระหว่าง HDPE ที่มีแถบเป็นสารตัวเติม
- 1.2.2 เพื่อศึกษาสมบัติทางกายภาพ สมบัติเชิงกล สมบัติทางความร้อนและสัณฐานวิทยาของวัสดุผสม
- 1.2.3 เพื่อศึกษาแนวทางในการปรับปรุงสมบัติของวัสดุผสมที่ได้

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

- 1.3.1 ศึกษาถึงขนาดของแถบ ได้แก่ ขนาด 12-34 35-99 และมากกว่า 100 เมชและปริมาณของแถบ คือ ร้อยละ 15 30 และ 45 โดยน้ำหนักที่มีต่อสมบัติของวัสดุผสมที่ได้
- 1.3.2 ศึกษาสมบัติเชิงกลและสมบัติทางกายภาพของวัสดุผสมระหว่าง HDPE และแถบ เช่น สมบัติทางแรงดึง (Tensile properties) สมบัติความโค้งงอ (Flexural properties) ความแข็งแรงกระแทก (Impact strength) รวมถึงสมบัติทางความร้อนและสัณฐานวิทยาของวัสดุผสม
- 1.3.3 ศึกษาเชิงเปรียบเทียบถึงการบำบัดและไม่บำบัดด้วยด่าง (NaOH) รวมถึงการใช้และไม่ใช้สารช่วยผสม (MAPE) ที่มีผลต่อสมบัติต่างๆ ของวัสดุผสม

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.4.1 สามารถผลิตวัสดุผสม ระหว่าง HDPE และแถบ
- 1.4.2 สามารถปรับปรุงสมบัติของวัสดุผสมระหว่าง HDPE และแถบ
- 1.4.3 สามารถเพิ่มมูลค่าเชิงพาณิชย์ให้กับแถบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

2.1 พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง [3,4]

พอลิเอทิลีน เป็นพอลิเมอร์ประเภทโอเลฟินส์ที่มีการผลิตมากที่สุดในบรรดาวัสดุที่เป็นเทอร์โมพลาสติก โดยเตรียมได้จากปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแบบเติม (Addition polymerisation) ซึ่งมีโครงสร้างดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 ลักษณะทางโครงสร้างของพอลิเอทิลีน [4]

โครงสร้างของพอลิเอทิลีนจะประกอบด้วย หน่วยที่ซ้ำกันของเอทิลีนมอนอเมอร์ (Ethylene monomer) โดยชื่อของพอลิเอทิลีนเป็นชื่อที่เรียกตามระบบ IUPAC

พอลิเอทิลีนสามารถแบ่งได้หลายชนิด โดยแต่ละชนิดจะมีความแตกต่างกันในโครงสร้าง พฤติกรรมและการประยุกต์ใช้งาน ดังนี้

- พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE) โครงสร้างมีโซ่กิ่งยาว มีความหนาแน่นต่ำ 0.915-0.935 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร
- พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE) มีโซ่กิ่งที่มีสาขาน้อย มีความเป็นผลึกและความหนาแน่นสูงกว่า LDPE มีความหนาแน่น 0.941-0.967 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร
- พอลิเอทิลีนเชิงเส้นชนิดความหนาแน่นต่ำ (LLDPE) มีโซ่กิ่งน้อยและสั้นๆ มีความหนาแน่น 0.910-0.925 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร
- พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำมาก (VLDPE) มีความหนาแน่น 0.880-0.912 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร
- พอลิเอทิลีนชนิดมวลโมเลกุลสูง (HMWPE) และสูงมาก (UHMWPE) มวลโมเลกุล 200,000-500,000 สำหรับ HMWPE และ 3,000,000 สำหรับ UHMWPE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.1 กระบวนการผลิตและตัวเร่งปฏิกิริยา [4]

1) กระบวนการซีเกลอร์ (Ziegler process)

กระบวนการนี้เกิดพอลิเมอร์ไรเซชันโดยกลไกแบบ Catalyst-monomer coordinate complex

Coordinate catalyst เป็นสารประกอบเชิงซ้อน โดยการเกิดปฏิกิริยาระหว่าง

(1) สารประกอบของโลหะทรานซิชันในหมู่ที่ 4-8 ของตารางธาตุ (เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา)

(2) สารประกอบออร์แกโนเมทัลลิก (Organometallic compound) ในหมู่ที่ 1-3 ของโลหะ (เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาร่วม) ซึ่งตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้กันโดยทั่วไป ได้แก่ ไทเทเนียมเตตระคลอไรด์ อะลูมิเนียมอัลคิล

ปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันจะดำเนินไปอย่างต่อเนื่องในถังปฏิกรณ์ซึ่งมีไฮโดรคาร์บอนเหลว ความดันที่ใช้้น้อยมากประมาณ 2-4 บรรยากาศ และอุณหภูมิ 50-75 องศาเซลเซียส ที่สภาวะนี้ พอลิเมอร์จะไม่เกิดการละลายและเกิดเป็นของเหลวข้น หลังจากปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันสิ้นสุดลง ตัวเร่งจะถูกยุติโดยแอลกอฮอล์ เช่น เมทานอล เอทานอล หรือ โพรพานอล และถูกสกัดโดยกรด ไฮโดรคลอริกใน แอลกอฮอล์ ทำการแยกพอลิเมอร์โดยการเหวี่ยงให้ตกตะกอนและทำให้แห้ง

ในกระบวนการนี้ มวลโมเลกุลของพอลิเมอร์จะถูกควบคุมโดยอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชัน โดยอัตราส่วนของอะลูมิเนียม-ไทเทเนียมในตัวเร่งหรือใช้สารช่วยให้เกิดการถ่ายโอนของสายโซ่ (Chain transfer agent) ซึ่งโดยทั่วไปจะใช้ไฮโดรเจน

โครงสร้างของพอลิเมอร์ที่ได้จะมีหมู่เอทิลเพียง 5-7 หมู่ต่อกับอะตอมของคาร์บอน 1000 อะตอม และไม่ปรากฏโซ่กิ่งที่เป็นหมู่มีวทิลโดยพอลิเมอร์จะมีความหนาแน่นประมาณ 0.945 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

2) กระบวนการฟิลลิปส์ (Phillip process)

ในกระบวนการนี้ใช้สารประกอบโลหะทรานซิชัน เช่น โครเมียมออกไซด์โดยมี ซิลิกา หรือซิลิกาอะลูมินา (มีซิลิกา 75-90%) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

การเปลี่ยนแปลง 2 อย่างที่สำคัญ คือ กระบวนการจะเป็นแบบ Solution หรือ Slurry นั้น ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยานั้นมีความสำคัญมากในการควบคุมมวลโมเลกุลของพอลิเอทิลีนในกระบวนการแบบ Solution จะทำที่อุณหภูมิ 130-160 องศาเซลเซียส ซึ่งมากกว่า

จุดหลอมเหลวของพอลิเอทิลีน จึงทำให้พอลิเมอร์สามารถละลายได้ โดยตัวทำละลายที่ใช้ คือ ไฮโดรคาร์บอนหลอมเหลว เช่น ไฮโดรเฮกเซน ส่วนในกระบวนการแบบ Slurry จะใช้อุณหภูมิ 90-100 องศาเซลเซียส ซึ่งต่ำกว่าจุดหลอมเหลวของพอลิเอทิลีน ดังนั้นความสามารถในการละลายจึงน้อยลง

ความดันที่ใช้โดยทั่วไป คือ 14-35 บรรยากาศ ซึ่งอยู่ระหว่างกระบวนการความดันสูง และกระบวนการซีเกลอร์

HDPE ที่ได้มีความหนาแน่นสูง (0.96 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร) และมีโครงสร้างเชิงเส้นที่เกือบสมบูรณ์ โดยมีหมู่เมทิล 3 หมู่ต่ออะตอมคาร์บอน 1000 อะตอม และไม่ปรากฏโซ่กิ่งที่เป็นหมู่เอทิลและบิวทิล

3) กระบวนการสแตนดาร์ดออยล์ (Standard oil company (Indiana) process)

กระบวนการนี้เป็นกระบวนการที่คล้ายคลึงกับกระบวนการฟิลลิปส์มาก โดยกระบวนการนี้จะเป็นแบบ Solution โดยใช้เมทิลออกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เช่น โมลิบดีนัมไตรออกไซด์บนตัวพวย เช่น อะลูมินา อุณหภูมิที่ใช้ 200-300 องศาเซลเซียส และความดันที่ใช้โดยทั่วไป 40-100 บรรยากาศ พอลิเมอร์ที่ได้มีความหนาแน่น 0.96 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตรและมีโครงสร้างเชิงเส้นที่เกือบสมบูรณ์เช่นเดียวกับกระบวนการฟิลลิปส์

4) กระบวนการยูเนียนคาร์ไบด์แก๊สเฟส (Union Carbide gas phase process)

HDPE ที่ผลิตโดยกระบวนการแก๊สเฟส เอทิลีนจะถูกป้อนเข้าสู่กระบวนการเดียวกับ Fluidizing gas อุณหภูมิที่ใช้ 70-100 องศาเซลเซียส และความดันที่ใช้โดยทั่วไป 7-20 บรรยากาศ โดยจะใช้โลหะทรานซิชันที่มีประสิทธิภาพสูงแบบฟิลลิปส์ (โครเมียมออกไซด์) หรือซีเกลอร์ (ไทเทเนียม) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เมื่อของพอลิเอทิลีนจะเกิดบนอนุภาคของตัวเร่งซึ่งอยู่ใน Fluidized bed

พอลิเอทิลีนที่ได้จากกระบวนการนี้มีความหนาแน่น 0.94-0.96 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

5) กระบวนการเมทัลโลซีน (Metallocene-based process)

กระบวนการนี้เป็นกระบวนการที่ใช้ตัวเร่งที่ใหม่ที่สุด โดยความแปลกใหม่ของกระบวนการนี้จะมีผลอย่างมากในการควบคุมลักษณะที่เหมือนกันของความยาวของสายโซ่ ปริมาณของความเป็นกิ่ง และ Stereoregularity ของพอลิเมอร์

กระบวนการเมทัลโลซีนเป็นกระบวนการที่มีประสิทธิภาพมาก โดยปริมาณผลผลิตที่ได้มาก คือ ได้พอลิเมอร์ 1 ตันต่อกรัมต่อตัวเร่งต่อชั่วโมง

เมทัลโลซีนจะมีสูตร L_2MX_2 โดย M คือโลหะทรานซิชันหมู่ 4 เช่น ไทเทเนียม X คือหมู่แฮโลเจนหรือ อัลคิล ฟีนิล เบนซิล และ L คือ ลิแกนด์

เมทัลโลซีนเชิงซ้อนที่ใช้จะมี 2 ประเภท คือ ระบบ Bicomponent และระบบ Single component โดยในระบบ Bicomponent นั้น ผลผลิตจะมากที่ระหว่างอุณหภูมิ 0-40 องศาเซลเซียส แต่จะมีมวลโมเลกุลมากที่อุณหภูมิต่ำ ซึ่งจะใช้ไฮโดรเจนในการควบคุมมวลโมเลกุล ส่วนในระบบ Single component อุณหภูมิที่เหมาะสมจะอยู่ระหว่าง -20 -15 องศาเซลเซียส

2.1.2 สมบัติทั่วไปของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง [4]

1) สมบัติเชิงกลและความร้อน

ปัจจัยหลักทางด้านโครงสร้างในการหาสมบัติของพอลิเอทิลีน คือ ปริมาณของความเป็นกิ่งของสายโซ่ที่สั้นและยาว มวลโมเลกุลเฉลี่ย และการกระจายตัวของพอลิเมอร์

ลักษณะที่สำคัญอย่างหนึ่ง ในการหาสมบัติและพฤติกรรมของพอลิเอทิลีนในเกรดที่ต่างกัน คือ กิ่ง จำนวนและความยาวของกิ่งได้ถูกควบคุมโดยชนิดและตัวแปรต่างๆ ในกระบวนการพอลิเมอร์ไรเซชัน (อุณหภูมิ ความดัน ชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalyst) หรือตัวริเริ่ม (Initiator) และสารช่วยให้เกิดการถ่ายโอนของสายโซ่ เป็นต้น) โซ่กิ่งจะขัดขวางสายโซ่ของพอลิเมอร์จากการอัดตัวที่เป็นระเบียบและเหนียวแน่น และมีผลต่อความหนาแน่นของพอลิเอทิลีน ความหนาแน่นจะพิจารณาจากปริมาณของความเป็นกิ่งของพอลิเมอร์ก่อนเป็นอันดับแรก โดยความหนาแน่นต่ำจะมีปริมาณของความเป็นกิ่งสูง

การที่มีกิ่งจะทำให้ไปรบกวนความสามารถในการตกผลึกของพอลิเมอร์ ปริมาณของความเป็นผลึกของLDPE จะอยู่ที่ 55-70% เมื่อเปรียบเทียบกับ HDPE ซึ่งจะอยู่ที่ 75-90% ช่วงของ T_m ของพอลิเอทิลีน จะอยู่ระหว่าง 108-136 องศาเซลเซียส โดยจะขึ้นกับปริมาณของความเป็นผลึก ดังนั้นจุดหลอมเหลวที่ต่ำ คือ ลักษณะเฉพาะสำหรับโครงสร้างของพันธะ C-C ที่ยืดหยุ่นและปราศจากแรงระหว่างโมเลกุลที่แข็งแรง T_g ซึ่งคือ สัมพันธ์ต่อการไหลของส่วนที่ยาวในอสัณฐาน (Amorphous)

สมบัติอื่น ๆ ที่ขึ้นกับความเป็นผลึก (Crystallinity) เช่น ความแข็งเหนียว- (Stiffness) ความแข็ง (Hardness) ความแข็งแรงต่อการฉีกขาด (Tear strength) ความแข็งแรงดึง ณ จุดคราก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Tensile strength at yield) ค่ามอดูลัสของยัง (Young's modulus) และความต้านทานต่อสารเคมีจะเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของปริมาณของความเป็นผลึก ส่วนการซึมผ่านของของเหลวและก๊าซ ความยืดหยุ่น (Flexibility) และความเหนียว (Toughness) จะลดลงภายใต้สภาวะเดียวกัน

พอลิเอทิลีนเป็นพอลิเมอร์ไฮโดรคาร์บอนที่ไม่มีขั้ว แต่มีความเป็นผลึกไม่มีตัวทำละลายที่อุณหภูมิห้อง และการละลายจะเกิดขึ้นได้เฉพาะในขณะที่ทำให้ความร้อนในตัวทำละลายเท่านั้น ปริมาณของความเป็นผลึกที่มากจะทำให้อุณหภูมิของการละลายสูงขึ้น การละลายของ LDPE อยู่ที่ 60 องศาเซลเซียส ส่วนของ HDPE อยู่ที่ 80-90 องศาเซลเซียส

ผลของการมีกิ่งจะขึ้นกับขนาดของสายโซ่กิ่ง (Side chain branches) ซึ่งสายโซ่ที่สั้นมีผลต่อปริมาณของความเป็นผลึก และความหนาแน่นของพอลิเมอร์ ส่วนโซ่กิ่งที่ยาวจะมีผลเด่นชัดในเรื่องการกระจายตัวของพอลิเมอร์ (Polydispersity) โซ่กิ่ง (Side chain) ของพอลิเมอร์บางครั้งมีความยาวเท่ากับสายโซ่หลัก และทำให้การกระจายตัวของมวลโมเลกุลมีช่วงกว้าง ถ้าพอลิเมอร์มีมวลโมเลกุลที่สูงขึ้นและมีลักษณะเป็นดิ่งที่กล่าวมา จะทำให้การกระจายตัวของมวลโมเลกุล (MWD) มีลักษณะที่กว้าง

อัตราส่วนของน้ำหนัก โมเลกุลเฉลี่ยโดยน้ำหนัก (M_w) ต่อน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยโดยจำนวน (M_n) คือ ค่าการกระจายน้ำหนักโมเลกุล (MWD) ซึ่งมีค่าตั้งแต่ 1.9 ถึง 100 แต่สำหรับพอลิเอทิลีนส่วนใหญ่จะอยู่ในช่วง 20-50 HDPE จะมีค่าการกระจายตัวของมวลโมเลกุล 4-15 ค่าการกระจายตัวของมวลโมเลกุลที่สูงของ LDPE เป็นผลมาจากโซ่กิ่งที่ยาวซึ่งในบางครั้งสมบัติที่แสดงไม่สามารถสรุปว่าเกิดจากการมีโซ่กิ่งหรือมีการกระจายน้ำหนักโมเลกุลที่กว้าง หากพอลิเมอร์มีค่าการกระจายตัวของมวลโมเลกุลต่ำลง จะนำไปสู่การเพิ่มขึ้นของความแข็งแรงกระแทก (Impact strength) ความแข็งแรงดึง (Tensile strength) ความเหนียวที่อุณหภูมิต่ำ (Low temperature toughness) จุดอ่อนตัว (Softening point) และความต้านทานต่อการแตกหักจากความเค้นในสภาวะแวดล้อม (Resistance to environment stress cracking)

สายโซ่ที่ยาวมีอิทธิพลต่อสมบัติการไหล (Flow properties) โมเลกุลของโซ่กิ่งที่ยาวจะอัดตัวกันแน่นมากและมีแนวโน้มที่จะเกิดการเกี่ยวพันกับโมเลกุลอื่นน้อยลง ส่งผลให้ความหนืดขณะหลอมเหลว (Melt viscosity) น้อยกว่าพอลิเมอร์ที่ไม่มีโซ่กิ่ง

ปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อสมบัติของการหลอมเหลว คือ มวลโมเลกุล เมื่อมวลโมเลกุลเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ความแข็งแรงดึง ความแข็งแรงต่อการฉีกขาด ความเหนียวที่อุณหภูมิต่ำ ความแข็งแรง

กระแทกและอุณหภูมิที่จุดอ่อนตัวเพิ่มขึ้น ในทางตรงกันข้ามสมบัติการไหล (Fluidity of the melt) และสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน (Coefficient of friction) จะลดลง

2) การเสื่อมสภาพ

พอลิเอทิลีนมีความต้านทานต่อสารเคมีได้เหมือนพาราฟินส์ในทางตรงกันข้ามพอลิเอทิลีนจะไวต่อปฏิกิริยาออกซิเดชัน ดังที่เกิดในตัวออกซิไดส์ที่แรง (Strong oxidizing agent) ความต้านทานต่อออกซิเดชันจะเพิ่มขึ้นเมื่อความหนาแน่นเพิ่มขึ้น เพราะพอลิเมอร์ที่ไม่มีกิ่งจะมีการซึมผ่านของก๊าซน้อยลงและมีจำนวนอะตอมเทอร์ติเอรีคาร์บอน (Tertiary carbon atom) ในโมเลกุลน้อย (ซึ่งเป็นจุดที่ไวต่อการเข้าทำปฏิกิริยา)

กระบวนการออกซิเดชันเป็นกลไกแบบอนุมูลอิสระ (Free radical) โดยปฏิกิริยานี้จะเป็นแบบตัวเร่งปฏิกิริยาแบบอัตโนมัติ (Auto catalytic) ในการเกิดออกซิเดชันจะเกิดปฏิกิริยาขึ้น 2 ชนิด คือ 1) เป็นการขาดของสายโซ่ ซึ่งจะทำให้สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ลดลง เนื่องจากการลดลงของมวลโมเลกุล 2) ในปฏิกิริยาออกซิเดชันขั้นที่สูงขึ้นจะเกิดจากการรวมตัวของอนุมูลอิสระทำให้เกิดการเชื่อมโยงของพอลิเมอร์

การที่ชิ้นงานพอลิเอทิลีนได้รับความเค้นหรือความเครียด และอยู่ในของเหลวประเภทแอลกอฮอล์ ซัลเฟอร์เนตแอลกอฮอล์ ไฮโดรคาร์บอนเหลว เอสเทอร์ คีโตนและน้ำมัน เป็นต้น จะทำให้พอลิเมอร์เกิดรอยแตกในเวลาอันสั้น เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีที่ไม่อยู่ในสภาวะดังกล่าว

2.1.3 การประยุกต์ใช้งาน [4]

พอลิเอทิลีนได้ถูกใช้งานอย่างแพร่หลายเนื่องจากเป็นฉนวนไฟฟ้าที่ดี ทนต่อสารเคมี และราคาถูก โดยส่วนใหญ่แล้ว พอลิเอทิลีนจะใช้ทำเป็นฟิล์มสำหรับบรรจุหีบห่อและในอุตสาหกรรมเพาะปลูก พอลิเอทิลีนโดยเฉพาะชนิดความหนาแน่นสูงมักนำมาผ่านกระบวนการฉีดขึ้นรูปและนำมาใช้อย่างแพร่หลายในผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ เช่น ของเล่น หีบห่อต่าง ๆ รวมถึงอุปกรณ์ทางการแพทย์ด้วย นอกจากนี้พอลิเอทิลีนยังมีสมบัติความเป็นฉนวนทำให้ถูกใช้ในสายเคเบิล ใช้หุ้มสายโทรเลขและใช้เป็นเรดาร์ทางอากาศ

2.1.4 ข้อดีของพอลิเอทิลีน [3]

- ราคาถูก
- เป็นฉนวน
- ทนความชื้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

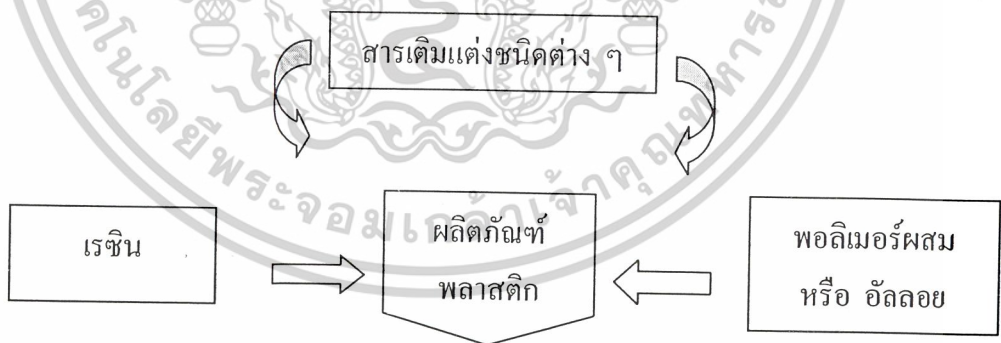
- ทนสารเคมี
- ใช้บรรจุอาหารได้ดี
- ขึ้นรูปใช้งานได้โดยกระบวนการทางเทอร์โมพลาสติกทั่ว ๆ ไป

2.1.5 ข้อเสียของพอลิโอทีลีน [3]

- ขยายตัวมากเมื่อได้รับความร้อน
- ไม่ทนสภาพดินฟ้าอากาศ
- แดกหัก ยากที่จะเชื่อมต่อ
- ติดไฟได้

2.2 สารเติมแต่งในพลาสติก [3]

การใส่สารเติมแต่ง (Additives) เพื่อเป็นการตัดแปลง ปรับปรุงให้สมบัติของพอลิเมอร์เหมาะสมต่อขั้นตอนการผลิตเป็นรูปลักษณะต่าง ๆ และทนทานต่อการใช้งานตามวัตถุประสงค์ ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่าผลิตภัณฑ์พลาสติกประกอบด้วยส่วนสำคัญดังแผนภาพนี้



รูปที่ 2.2 ที่มาของผลิตภัณฑ์พลาสติก [3]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

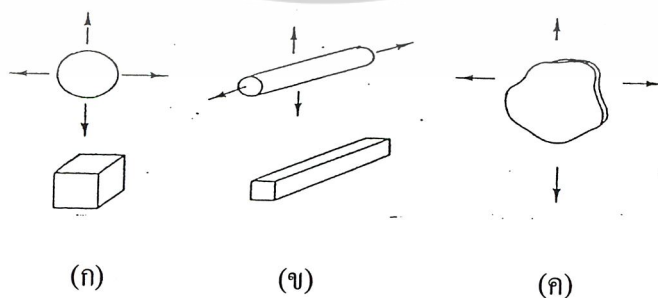
สารเติมแต่งแบ่งตามหน้าที่ได้ดังนี้

1. สารต่อต้านตัวออกซิไดส์ (Anti-oxidation or Anti-aging)
2. พลาสติไซเซอร์ (Plasticizers)
3. สารหล่อลื่น (Lubricants)
4. สี (Colorants)
5. สารช่วยให้เกิดการบ่มหรือการเชื่อมโยง (Curing agents or Crosslinking agents)
6. สารหน่วงการติดไฟ (Flame retardants)
7. สารช่วยให้เกิดโฟมหรือสารที่ช่วยให้พองตัว (Foaming or Blowing agents)
8. สารตัวเติมและสารเสริมแรง (Filler and Reinforcement)

ในที่นี้จะกล่าวถึงเฉพาะสารตัวเติมและสารเสริมแรง

2.3 สารตัวเติมและสารเสริมแรง [3]

สารตัวเติม (Fillers) เป็นได้ทั้งสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ ทำหน้าที่ช่วยเพิ่มความหนืดและลดต้นทุน ลดการหดตัวในแม่พิมพ์และปรับปรุงสมบัติอีกหลายด้านขนาดและรูปร่างของสารตัวเติมมีอิทธิพลต่อพลาสติกคอมพอสิตอย่างมาก สารตัวเติมที่เป็นแผ่นและแท่งมีค่าอัตราส่วนความยาวต่อเส้นผ่าศูนย์กลาง (l/d) ต่ำ จึงขัดขวางการจัดตัวของโซ่พอลิเมอร์ สารตัวเติมที่เป็นเส้นใยมีค่า l/d สูง ทำให้ค่าความแข็งแรงดึงสูงขึ้นและมีสมบัติเป็นไอโซโทรปิก รูปที่ 2.3 แสดงลักษณะของสารตัวเติมแบบต่าง ๆ



รูปที่ 2.3 รูปร่างของสารตัวเติม (ก) อนุภาค (ข) เส้นใยสั้น (ค) แผ่น [3]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมบัติที่เป็นแอนไอโซโทรปิก คือ วัสดุแสดงสมบัติต่างกันเมื่อได้รับแรงกระทำในแนวแกนที่ต่างกัน สมบัติที่เป็นไอโซโทรปิกแสดงสมบัติเหมือนกันแม้ได้รับแรงกระทำในแนวแกนที่ต่างกัน สมบัติเหมือนกันในทุกทิศทาง

ปริมาณสารตัวเติมในพอลิเมอร์มีไม่เกินร้อยละ 40 สารตัวเติมที่นิยมมาก คือ เศษไม้ บดละเอียด โลหะเหล็ก แก้วทรงกลมขนาดเล็ก (Microballoon)

สารตัวเติมแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ สารตัวเติมเฉื่อย (Inert filler) และ สารตัวเติมเสริมแรง (Reinforcing filler) ตัวอย่างของสารตัวเติมเฉื่อย ได้แก่ แคลเซียมคาร์บอเนต ดินเหนียว ทัลคัมและแบเรียมซัลเฟต สารพวกนี้ช่วยเพิ่มค่ามอดูลัส ความแข็งแรงและทำให้พอลิเมอร์มีสีขาว ปรับปรุงความเป็นฉนวนไฟฟ้า ลดต้นทุนและช่วยให้กระบวนการผลิตทำได้ง่าย รวมทั้งลักษณะของผลิตภัณฑ์น่าใช้ สำหรับสารตัวเติมประเภทเสริมแรง ต้องทำหน้าที่ช่วยเพิ่มความแข็งแรง ความทนทานต่อแรงกระแทก ลักษณะของสารตัวเติมเสริมแรงแบ่งเป็น 3 ประเภท ได้แก่ เส้นใย (Fibrous) ผงละเอียด (Fine powder) และแผ่น (Laminar)

2.4 พอลิเมอร์คอมพอสิต

พอลิเมอร์คอมพอสิต (Polymer composites) หมายถึง วัสดุที่ประกอบด้วยส่วนประกอบอย่างน้อย 2 ชนิดที่มีสมบัติต่างกันโดยจะแยกกันอยู่คนละวัฏภาคและทำให้ได้วัสดุผสมที่มีสมบัติที่ดีขึ้นโดยทั่วไปนิยมทำเพื่อปรับปรุงความแข็งแรง มอดูลัส ความเสถียรในรูปร่างและลดความหนาแน่น พอลิเมอร์คอมพอสิตประกอบด้วย 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนเมตริกซ์ (Matrix phase) ซึ่งเป็นสารพอลิเมอร์ และส่วนเสริมแรง (Reinforcement phase) ซึ่งอาจมีลักษณะเป็นแผ่น เป็นอนุภาคเล็ก ๆ หรือเป็นเส้นใย มักมีการใช้ลักษณะรูปร่างและการจัดเรียงตัวที่แตกต่างกันของส่วนเสริมแรง เพื่อแบ่งประเภทของวัสดุคอมพอสิต

สมบัติของพอลิเมอร์คอมพอสิตขึ้นกับ [5,6]

- สมบัติของเส้นใยและสมบัติของพอลิเมอร์เมตริกซ์
- ปริมาณเส้นใย (% Fibre loading) และการจัดเรียงตัวของเส้นใย (Fibre orientation)
- ช่องว่าง (Voids) หรือตำหนิ (Flaws) ในชิ้นงานคอมพอสิต
- การยึดเกาะ (Interfacial bonding) ระหว่างเส้นใยและเมตริกซ์
- กระบวนการผลิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.1 พอลิเมอร์เมตริกซ์

เมตริกซ์เป็นส่วนที่ช่วยห่อหุ้มและยึดส่วนเสริมแรงเข้าไว้ด้วยกัน ซึ่งโดยทั่วไปเมตริกซ์มักจะมีความเหนียวสูง ความแข็งแรงและมอดูลัสต่ำกว่าส่วนเสริมแรง

หน้าที่ของเมตริกซ์ในพอลิเมอร์คอมพอสิต ได้แก่ [7]

1. รักษาความเสถียรในรูปร่าง และขนาดของวัสดุคอมพอสิต
2. รักษาการกระจายตัวของเส้นใย และแยกไม่ให้เส้นใยมารวมกัน
3. ทำให้วัสดุคอมพอสิตสามารถทนต่อการเสียดสภาพภายใต้อุณหภูมิหรือแรงที่ระดับหนึ่งๆ
4. สามารถกระจายหรือส่งถ่ายแรงที่ได้รับจากภายนอกไปยังเส้นใยได้
5. ช่วยให้ทนทานต่อสภาพแวดล้อมและมีความเสถียรในตัวกลางต่างๆ

พอลิเมอร์เมตริกซ์โดยทั่วไปแบ่งเป็น 2 ประเภท ได้แก่

1. เทอร์โมเซต (Thermoset) [8]

พอลิเมอร์กลุ่มนี้เมื่อผ่านกรรมวิธีการผลิตจะมีรูปทรงถาวร ผลผลิตที่ได้นำไปหลอมอีกไม่ได้ และไม่ละลายในตัวทำละลาย คือ ไม่เกิดกระบวนการย้อนกลับ สาเหตุที่เป็นเช่นนี้เพราะว่าก่อนผ่านกระบวนการเตรียม โครงสร้างของพอลิเมอร์ยังไม่เป็นร่างแห แต่เมื่อผ่านกระบวนการโดยให้ความร้อนหรือความดันเข้าไป จะมีการเปลี่ยนแปลงทางเคมีในโครงสร้างเกิดการเชื่อมโยง (Crosslinking) ระหว่างสายโซ่โมเลกุล มีลักษณะที่เป็นระบบสามมิติ มีการสร้างพันธะโควาเลนต์ระหว่างสายโซ่โมเลกุล ทำให้ผลผลิตที่ได้มีความคงทน ไม่หลอม ไม่ละลาย ถ้าให้ความร้อนมากๆ จะไหม้เกรียมและสมบัติเปลี่ยนไปจากเดิม

เทอร์โมเซตที่ใช้เป็นเมตริกซ์ส่วนใหญ่ ได้แก่ อีพอกซี พอลิเอสเทอร์ และไวนิลเอสเทอร์ เมื่อเทอร์โมเซตเรซินที่หลอมเหลวเริ่มแข็งตัวจะเกิดการเชื่อมโยงขึ้น ซึ่งจะทำให้เกิดรอยต่อที่แน่นของโครงร่างแหสามมิติ การเกิดการเชื่อมโยงจะทำให้พอลิเมอร์แข็งตัว มีความแข็งแรงสูง มีความต้านทานสารละลาย มีเสถียรภาพทางความร้อน และต้านทานการเกิดออกซิเดชันได้ดี สมบัติเหล่านี้จะสัมพันธ์โดยตรงกับความหนาแน่นของการเกิดการเชื่อมโยง และน้ำหนักโมเลกุลของสายโซ่ระหว่างการเชื่อมโยง ถ้าเกิดการเชื่อมโยงมากจะส่งผลให้เมตริกซ์มีความแข็งแรงมาก หรือมีมอดูลัสยืดหยุ่นสูง แต่ถ้าเกิดการเชื่อมโยงมากแล้วน้ำหนักโมเลกุลของสายโซ่ระหว่างการเชื่อมโยงจะลดลง

ซึ่งจะทำให้การเคลื่อนที่ของโมเลกุลเกิดได้ยาก เกิดความเปราะ มีความเครียดต่ำ ความต้านทานต่อแรงกระแทกน้อย และไม่เหนียว

2. เทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic) [9]

เทอร์โมพลาสติกละลายได้ดีในตัวทำละลายบางชนิด เมื่อถูกความร้อนสามารถหลอมตัวได้ และเมื่อเย็นลงจะแข็งตัว สามารถทำให้หลอมและแข็งตัวหลายๆ ครั้ง โดยไม่ทำให้สมบัติทางเคมีเปลี่ยนแปลงไป อาจแยกออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มเทอร์โมพลาสติก ออสัญฐาน (Amorphous thermoplastic) และเทอร์โมพลาสติกที่มีผลึกบางส่วน (Semi-crystalline thermoplastic)

เทอร์โมพลาสติกจะไม่เกิดการเชื่อมโยง ดังนั้น ความแข็งแรงและความแข็งของเมตริกซ์ที่ได้นั้น เป็นผลโดยตรงจากสมบัติของหน่วยซ้ำ มอนอเมอร์ และน้ำหนักโมเลกุลที่สูง เทอร์โมพลาสติก ออสัญฐานจะมีการพันกันของสายโซ่โมเลกุล ซึ่งส่งผลคล้ายกับการเกิดการเชื่อมโยง และในพอลิเมอร์ที่สามารถตกผลึกได้จะมีการจัดเรียงตัวที่ดีทำให้เมตริกซ์มีความแข็งแรง สมบัติของเทอร์โมพลาสติกขึ้นกับอัตราการเกิดผลึก สันฐานวิทยา และการจัดเรียงตัวของผลึก ซึ่งเหล่านี้ขึ้นกับสถานะในการผลิต ตัวอย่างเทอร์โมพลาสติก เช่น พอลิเอไมด์ พอลิสไตรีน พอลิพรอพิลีน พอลิเอทิลีน เป็นต้น

2.4.2 ส่วนเสริมแรง

ส่วนเสริมแรง (Reinforcement phase) มีลักษณะรูปร่างได้หลายแบบ อาจเป็นแผ่น เส้นใย หรืออนุภาคเล็ก ๆ แต่ที่นิยมใช้ส่วนใหญ่จะเป็นเส้นใย

สมบัติของเส้นใยที่เหมาะสมสำหรับใช้เสริมแรง ควรมีลักษณะดังนี้

- เส้นใยควรมีโมดูลัสสูง เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการเสริมแรง
- เส้นใยควรมีความแข็งแรงสูง
- ความแข็งแรงของเส้นใยแต่ละเส้นไม่ควรแตกต่างกันมาก
- เส้นใยควรเสถียรและรับความแข็งแรงขณะจัดเก็บและขึ้นรูปได้
- ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและพื้นที่ผิวของเส้นใยควรมีลักษณะเหมือนกัน

ปัจจัยสำคัญของเส้นใยที่มีผลต่อสมบัติของคอมพอสิต ได้แก่ [10]

- เส้นผ่านศูนย์กลาง
- ความยาวของเส้นใย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ปริมาตรของเส้นใย
- ลักษณะรูปร่างของเส้นใย
- การจัดเรียงตัวของเส้นใยในคอมพอสิต

พอลิเมอร์คอมพอสิตแต่ละชนิดที่ประกอบด้วยเมตริกซ์หรือสารเสริมแรงที่แตกต่างกันจะมีสมบัติต่างกัน ซึ่งขึ้นกับปัจจัยต่างๆ ที่กล่าวไว้ข้างต้น

2.5 แกลบ [12]

แกลบ (Rice husk) คือ เปลือกของข้าว ทั้งข้าวเจ้าและข้าวเหนียว การแยกเปลือกข้าวทำโดยการสีข้าวหรือตำข้าวเปลือก บางครั้งแกลบอาจหมายถึงเมล็ดข้าวที่สีหรือเมล็ดข้าวที่ไม่มีเนื้อข้าว (เยื่อสะสมอาหารของเมล็ดข้าว) [11] รูปที่ 2.4 แสดงส่วนประกอบของเมล็ดข้าว

แกลบเป็นวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรที่สำคัญอย่างหนึ่ง ในการสีข้าวจะได้ปริมาณแกลบเป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณข้าวเปลือก ในข้าวเปลือกมีแกลบประมาณร้อยละ 25.92-26.28 โดยน้ำหนัก [12]

2.5.1 องค์ประกอบของแกลบ [12]

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

แกลบมีองค์ประกอบทางเคมี ดังนี้

1. คาร์โบไฮเดรต ส่วนใหญ่จะเป็นเซลลูโลส (Cellulose) และมีเฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose) ซึ่งคือ กลูโคไซแลน (Glucosylan) ที่สามารถสลายตัวด้วยน้ำ (Hydrolysis) ไปเป็นไซโลส (Xylose) ได้ ส่วนเบ่งนั้นมียอยู่ในแกลบเพียงเล็กน้อย ซึ่งแสดงได้ดังตารางที่ 2.1 โครงสร้างของเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลส แสดงได้ดังรูปที่ 2.5 และ 2.6 ตามลำดับ

2. โปรตีน โปรตีนในแกลบมีอยู่ประมาณร้อยละ 1.8-1.9

3. ไขมัน ปริมาณที่พบอยู่ในแกลบมีอยู่ตั้งแต่ร้อยละ 0.28-0.31 โดยปกติแล้วส่วนของแกลบมีไขมันเป็นองค์ประกอบอยู่ไม่เกินร้อยละ 1.0 ไขมันส่วนเกินมานั้นพบว่ามาจากรำข้าวที่ติดอยู่หลังจากผ่านกระบวนการสีข้าว แต่ในแกลบมีปริมาณกรดอิสระมากกว่าในรำข้าวถึง 4 เท่า

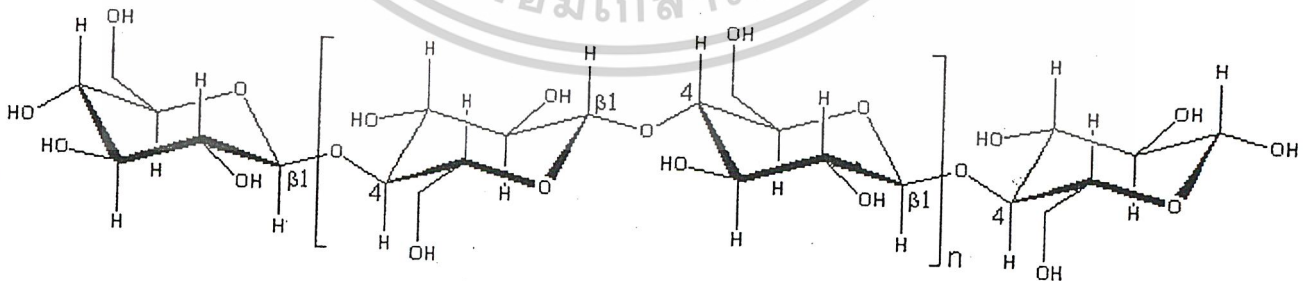
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ลิกนินและควิควิน ส่วนใหญ่จะพบลิกนินรวมอยู่กับเฮมิเซลลูโลส พบมากที่บริเวณผนังเซลล์ คือ ประมาณร้อยละ 70 ของทั้งหมดกรดไฮดรอกซิลมอนอคาร์บอกไซลิก (Hydroxymonocarboxylic acid) มีสมบัติเป็นสารที่มีความลื่นและสามารถกันน้ำได้จะปกคลุมอยู่ที่บริเวณผิวภายนอกของเกล็ดพบอยู่ในเกล็ดประมาณร้อยละ 22 โครงสร้างของลิกนิน แสดงได้ดังรูปที่ 2.7

5. วิตามินและกรดอินทรีย์ วิตามินที่พบในเกล็ด ได้แก่ ไรอามิน (Thiamin) ไรโบฟลาวิน (Riboflavin) และไนอาซิน (Niacin) กรดอินทรีย์ที่พบมาก ได้แก่ กรดออกซาลิก และกรดซิตริก ส่วนกรดอินทรีย์อื่น ๆ ได้แก่ กรดแอซิติค กรดฟูมาลิก กรดมาลิกและกรดของสารประกอบวงแหวนสารประกอบอินทรีย์ ในถั่วในเกล็ดที่ได้จากการเผาเกล็ดมีสารอินทรีย์อยู่ ซึ่งมีปริมาณร้อยละ 16.4-18.3 โดยน้ำหนักในถั่วในเกล็ดจะมีซิลิกาเป็นองค์ประกอบหลัก คือ มีปริมาณร้อยละ 94-96 ที่เหลือจะเป็นสารประกอบออกไซด์ของโลหะมีหลายชนิดดังแสดงใน ตารางที่ 2.2

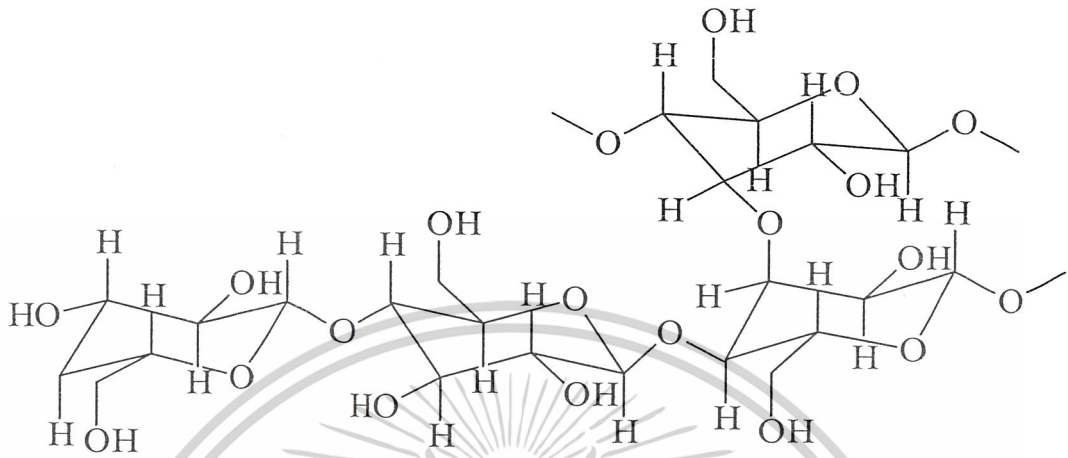


รูปที่ 2.4 ส่วนประกอบของเม็ดยาว [13]

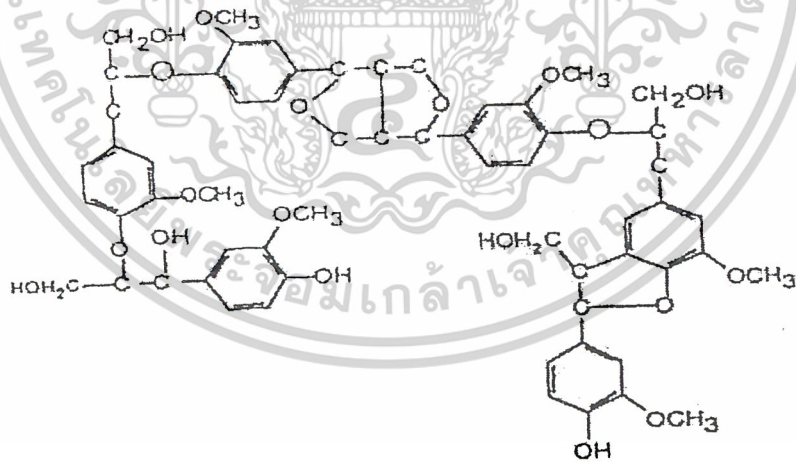


รูปที่ 2.5 โครงสร้างของเซลลูโลส [14]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 โครงสร้างของเฮมิเซลลูโลส [15]



รูปที่ 2.7 โครงสร้างของลิกนิน [16]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบของแกลบ [17]

องค์ประกอบ	ร้อยละ
เซลลูโลส	35
เฮมิเซลลูโลส	25
ลิกนิน	20
โปรตีน	3
เถ้า	17 (ซีลีกา ร้อยละ 94)

ตารางที่ 2.2 องค์ประกอบของสารอนินทรีย์ในเถ้าแกลบ [12]

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
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.2 ประโยชน์ของเกลบ

1. ใช้เป็นวัสดุคลุมดินเพื่อรักษาความชื้น
2. เล้าเกลบที่เป็นสีดำ ใช้เป็นวัสดุปักชำพืช
3. เป็นแหล่งธาตุอาหารของพืช โดยใช้ผสมกับปุ๋ยแอมโมเนียมฟอสเฟต ช่วยให้ผลผลิตข้าวเพิ่มขึ้นจากการใช้ปุ๋ยอย่างเดียวย้อยละ 5-24
4. ใช้ปรับปรุงดินเพราะเมื่อเกลบผุพังแล้วก็จะปลดปล่อยธาตุอาหารลงในดิน ทำให้โครงสร้างของดินโปร่งเหมาะกับการเพาะปลูก
5. ใช้เป็นส่วนผสมของอาหารสัตว์ เช่น เบ็ด ใ้ วั้ว กววย เพื่อลดต้นทุน
6. ใช้ในฟาร์มเลี้ยงสัตว์ เช่น ไ้หรือสุกร โดยใช้เกลบรองพื้นทำให้พื้นไม่แฉะและไม่มีกลิ่นเหม็น
7. ใช้ทำเป็นเชื้อเพลิง มีการนำเกลบมาทำเป็นเชื้อเพลิงโดยตรงและมีการนำมาอัดเป็นก้อนแข็ง เรียกว่า เชื้อเพลิงแข็ง
8. ใช้ผสมกับดินเหนียวเพื่อทำเป็นอิฐ
9. ใช้ทำกระดวย แต่ไม่เป็นที่นิยมเนื่องจากเส้นใยสั้นทำให้ได้กระดวยที่มีคุณภาพไม่ดี
10. ใช้เป็นสารตัวเติมและสารเติมแต่ง
11. ใช้เป็นตัวพาและสารดูดซับ เกลบที่มีความละเอียดต่างกันสามารถนำมาใช้เป็น ตัวพาและสารดูดซับสำหรับวิตามิน ยาฆ่าแมลง ยาปฏิชีวนะและแร่ธาตุได้
12. ใช้เป็นวัสดุห่อหุ้มเพื่อรักษาอุณหภูมิหรือกันกระแทก
13. เป็นแหล่งของซิลิกา ในเกลบมีซิลิกาเป็นองค์ประกอบประมาณร้อยละ 20 ซึ่งเป็นซิลิกาที่มีสารปนเปื้อนต่ำ จะเห็นว่ามีการนำไปใช้ผสมกับคอนกรีตเพื่อเพิ่มความแข็งแรงของคอนกรีต

2.6 การปรับปรุงสมบัติการยึดติด

สมบัติเชิงกลและสมบัติทางกายภาพของคอมพอสิตที่เสริมแรงด้วยเส้นใยไม่ได้ขึ้นอยู่กับความแข็งแรงของเส้นใยและเมตริกซ์เท่านั้น แต่ยังขึ้นกับลักษณะผิวสัมผัสของเส้นใยกับเมตริกซ์ด้วย การยึดติดระหว่างพอลิเมอร์และเส้นใยเป็นปัจจัยสำคัญในการกำหนดสมบัติ ของคอมพอสิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งคอมพอสิตแต่ละระบบจะมีธรรมชาติของการยึดติดต่างกันตามลักษณะของเส้นใยและเมตริกซ์แต่ละชนิด

2.6.1 กลไกในการยึดติด แบ่งได้ดังนี้ [18]

1) การยึดติดเชิงกล (Mechanical bonding)

เกิดจากเส้นใยมีความขรุขระ ซึ่งเมตริกซ์จะสามารถกระจายไปบนพื้นผิวและเข้าไปตามร่องของเส้นใยได้ เกิดแรงยึดเหนี่ยวเชิงกล (Interlocking) ขึ้น สามารถทำได้โดยนำเส้นใยไปทำการกัดกร่อน แรงยึดเหนี่ยวจะขึ้นอยู่กับความขรุขระของพื้นผิวเส้นใย

2) การยึดติดด้วยประจุไฟฟ้า (Electrostatic bonding)

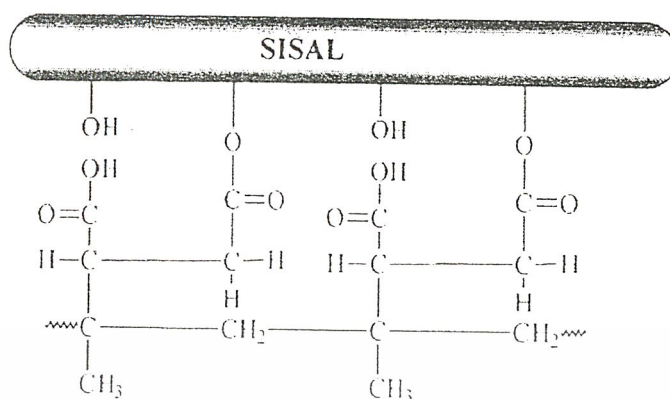
การยึดติดจะเกิดระหว่างเมตริกซ์และเส้นใยที่พื้นผิวหนึ่งมีประจุเป็นบวก และอีกพื้นผิวหนึ่งมีประจุเป็นลบ เกิดแรงดึงดูดระหว่างประจุที่ต่างกัน การยึดติดขึ้นกับความแตกต่างของประจุแต่ละพื้นผิว แต่แรงยึดติดทางไฟฟ้านี้จะเกิดในช่วงสั้นๆ และระยะห่างของพื้นผิวทั้งสองต้องน้อยมาก ดังนั้นสารปนเปื้อนที่ติดที่ผิวและก๊าซที่ถูกกักอยู่ระหว่างพื้นผิวจะมีผลต่อกลไกการยึดติด

3) การยึดติดแบบแพร่ผ่าน (Interdiffusion bonding)

เกิดระหว่าง 2 พื้นผิวที่มีการแพร่ของโมเลกุลพอลิเมอร์บนพื้นผิวหนึ่ง ไปยัง โครงร่างโมเลกุลของอีกพื้นผิวหนึ่ง ความแข็งแรงของแรงยึดติดนี้จะขึ้นอยู่กับความยืดหยุ่น และความสามารถในการเคลื่อนที่และการเกี่ยวพันกันของสายโซ่พอลิเมอร์

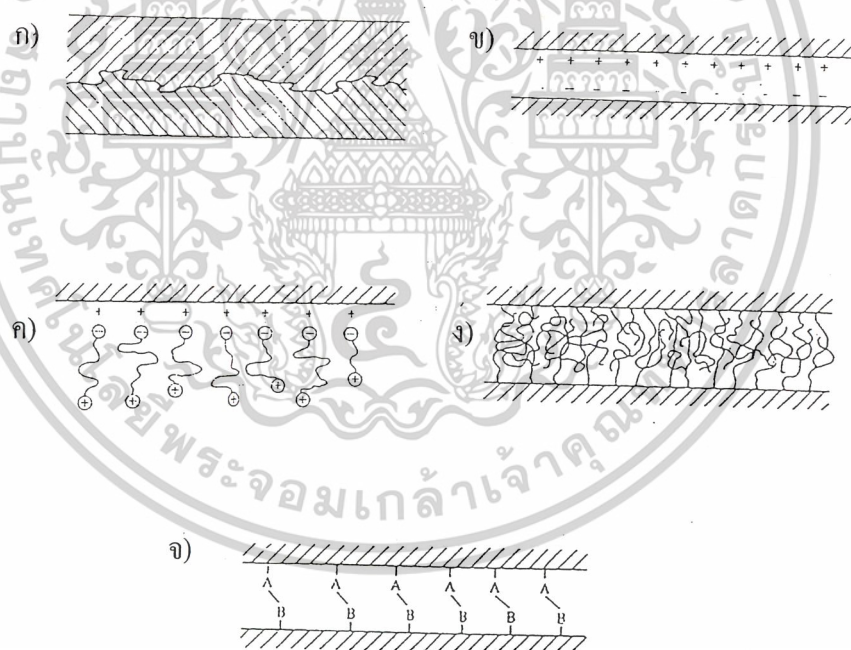
4) การยึดติดทางเคมี (Chemical bonding)

การยึดติดทางเคมีจะเกิดจากพันธะระหว่างหมู่ฟังก์ชันบนพื้นผิวเส้นใย และหมู่ที่สามารถเข้ากันได้บนเมตริกซ์ ความแข็งแรงของการยึดติดจะขึ้นกับจำนวนพันธะต่อหน่วยพื้นที่และชนิดของพันธะ วิธีที่จะช่วยให้เกิดพันธะเคมีอาจทำได้โดยการเติมสารคู่ควบ (Coupling agent) เช่น ซิแลน (Silane) พอลิเอทิลีนตอกิ่งด้วยมาเลอิกแอนไฮไดรด์ (MAPE) พอลิพรอพิลีนตอกิ่งด้วยมาเลอิกแอนไฮไดรด์ (MAPP) พอลิเอทิลีนตอกิ่งด้วยกรดอะคริลิก ซึ่งมักใช้เป็นสารช่วยยึดติดสำหรับเส้นใยกับพอลิเมอร์ โดยปลายข้างหนึ่งจะเกิดพันธะกับเส้นใย ส่วนปลายอีกข้างจะเกิดพันธะกับพอลิเมอร์ แสดงดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 การเชื่อมโยงระหว่างปอไซซัลและพอลิพรอพิลีน

โดยใช้ MAPP เป็นสารช่วยผสม[27]



รูปที่ 2.9 กลไกแบบต่างๆ ในการยึดติระหว่างพื้นผิว [9]

(ก) การยึดติดเชิงกล

(ข) , (ค) การยึดติดด้วยประจุไฟฟ้า

(ง) การยึดติดแบบแพร่ผ่าน

(จ) การยึดติดทางเคมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.2 สารช่วยผสม

สารช่วยผสมที่ใช้ในงานวิจัยนี้ ได้แก่

พอลิเอทิลีนต่อกิ่งด้วยมาเลอิกแอนไฮไดรด์ (Maleic anhydride-graft-polyethylene , MAPE)

มาเลอิกแอนไฮไดรด์เป็นวัตถุดิบ (Raw materials) ที่สำคัญในการผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ การเคลือบผิวหน้า เป็นสารที่ใช้ในการยึดติด เป็นสารตัวเติมในสารหล่อลื่น เป็นต้น โดยมาเลอิกแอนไฮไดรด์ผลิตจากกระบวนการดีไฮโดรจีเนชัน (Dehydrogenation) ของกรดมาเลอิก (Maleic acid)

มาเลอิกแอนไฮไดรด์พอลิเมอร์เตรียมโดยปฏิกิริยา 2 ชนิด คือ การพอลิเมอไรเซชันแบบควบแน่น (Condensation polymerisation) และพอลิเมอไรเซชันแบบเติม (Addition polymerisation) ต่อมาพบว่าสามารถเกิดพอลิเมอไรเซชันได้เมื่อนำด้วยรังสี (UV radiation) ทำให้เกิดตัวริเริ่มปฏิกิริยาโดยการฉายรังสีและตัวริเริ่มปฏิกิริยาที่เป็นอนุภาคอิสระ

MAPE เป็นการต่อกิ่งพอลิเอทิลีนซึ่งเป็นพอลิเมอร์ที่เสถียรแล้ว ซึ่งทำให้คุณสมบัติทางเคมีเชิงฟิสิกส์ดีขึ้นโดยการเพิ่มความเป็นขั้วของพอลิเอทิลีน โดยทำให้ความเป็นขั้ว (Hydrophilicity) เพิ่มขึ้นและความสามารถในการยึดติดเพิ่มขึ้น

MAPE ใช้เป็นสารช่วยยึดติดทางเคมีสำหรับพอลิเอทิลีนที่เสริมแรงด้วยเส้นใย ซึ่งจะช่วยให้ปรับปรุงสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางความร้อนให้ดีขึ้น ช่วยให้เกิดการยึดติดที่ดีในสารหลายประเภท นอกจากนี้ยังสามารถใช้ช่วยผสมสำหรับพอลิเมอร์ผสมของพอลิเอทิลีนกับพอลิเมอร์มีขั้วอื่น ๆ เช่น พอลิเอไมด์ ทำให้ขึ้นรูปได้ง่ายและมีสมบัติเชิงกลดีขึ้น กลไกที่เกิดขึ้นเมื่อใช้ MAPE ช่วยในการยึดติดระหว่างพอลิเอทิลีนกับเส้นใยเซลลูโลสประกอบด้วย 2 ปฏิกิริยา คือ

- มาเลอิกแอนไฮไดรด์ (Maleic anhydride) หรือกรดอะคริลิก จากสารช่วยยึดติด จะเกิดปฏิกิริยาทางเคมีกับหมู่ฟังก์ชันบนผิวของเส้นใย
- พอลิเอทิลีนที่เป็นโซ่หลักของสารช่วยยึดติดจะเกิดการตกผลึกร่วม (Cocrystalline) กับเมตริกซ์

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Y. Han-Seung และคณะ [19] ได้ทำการศึกษาสมบัติเชิงกลและสัณฐานวิทยาของวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีน (Polypropylene, PP) และผงแกลบ (Rice husk flour) โดยผสมผงแกลบลงไปในอัตราส่วนต่างๆ ทำการทดสอบการดึงยึดที่อุณหภูมิต่างๆ (-30 0 20 50 80 และ 100 องศาเซลเซียส) และใช้ความเร็วในการดึงยึดเป็น 2 10 100 500 และ 1500 มิลลิเมตรต่อนาที พบว่า เมื่ออัตราส่วนของผงแกลบที่ใช้เพิ่มขึ้น ความแข็งแรงดึงของวัสดุผสมมีค่าลดลงเล็กน้อย ค่ามอดูลัสเพิ่มสูงขึ้น แต่ความแข็งแรงกระแทกมีค่าลดลง เมื่อใช้ความเร็วในการดึงยึดเพิ่มสูงขึ้น วัสดุผสมแสดงลักษณะเปราะ และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการทดสอบการดึงยึด การเสียดสภาพแบบพลาสติกเกิดขึ้น ส่วนลักษณะพื้นผิวของคอมพอสิต เมื่อผสมผงแกลบในอัตราส่วนสูงขึ้น เกิดช่องว่างภายในวัสดุผสมมากขึ้น ซึ่งช่องว่างที่เกิดขึ้นเกิดจากผงแกลบที่หลุดออกไป

H.G.B. Premalal และคณะ [20] ได้ทำการศึกษาและเปรียบเทียบสมบัติเชิงกลของวัสดุผสมซึ่งมีองค์ประกอบหลักเหมือนกัน คือ PP แต่ใช้สารตัวเติมแตกต่างกันคือ ผงแกลบ (Rice husk powder) และทัลค (Talc) พบว่า กระบวนการผลิตวัสดุผสมที่เติมทัลคทำได้ง่ายกว่าวัสดุผสมที่เติมผงแกลบ และผลจากการทดสอบสมบัติเชิงกลพบว่า เมื่อปริมาณสารตัวเติมเพิ่มขึ้น ค่ามอดูลัสของยัง (Young's modulus) และค่ามอดูลัสโค้งงอ (Flexural modulus) มีค่าเพิ่มขึ้น แต่ค่าความแข็งแรง ณ จุดคราก (Yield strength) และร้อยละการดึงยึด ณ จุดขาด (Elongation at break) ลดลง นอกจากนี้ วัสดุผสมที่เติมผงแกลบมีค่าความแข็งแรง ณ จุดคราก ความแข็งแรงกระแทก มอดูลัสของยังรวมทั้งมอดูลัสโค้งงอน้อยกว่า แต่ร้อยละการดึงยึด ณ จุดขาดสูงกว่าวัสดุผสมที่มีการเติมทัลคลงไป เมื่อสังเกตภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของผิว ชิ้นงานที่เกิดการฉีกขาดทำให้ทราบว่าทัลคยึดติดกับ PP ได้ดีกว่าผงแกลบ

A.Y. Kharade และ D.D. Kale [21] ได้ทำการศึกษาการใช้ผงลิกนินแห้ง (Dry lignin powder) เป็นสารตัวเติมในพอลิโอเลฟินส์ (Polyolefins) โดยใช้ LDPE HDPE และ PP ปริมาณผงลิกนินแห้งที่ใช้ร้อยละ 0-30 โดยน้ำหนัก จากการศึกษาสมบัติเชิงกลพบว่า ค่าความแข็งแรงดึงและค่าร้อยละการดึงยึด ณ จุดขาดของพอลิเมอร์ทุกชนิดลดลง ในขณะที่ค่าความแข็งแรงกระแทกของ LDPE และ HDPE ลดลง แต่ไม่มีผลต่อ PP และพบว่าการใช้เอทิลีนอะคริลิกแอซิดโคพอลิเมอร์ (Ethylene acrylic acid copolymer : EAA) 5 phr และสารคู่ควบชนิดไททานเนต (Titanate coupling agent) 0.5 phr นั้นช่วยปรับปรุงสมบัติเชิงกลของการใช้ผงลิกนินแห้งเป็นสารตัวเติมใน

พอลิโอฟีนส์ นอกจากนี้ความหนืดหลอมเหลวเพิ่มขึ้นและความต้านทานไฟฟ้าเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณของผงลิกนินแห้งเพิ่มขึ้น

M.N. Ichazo และคณะ [22] ได้ทำการปรับปรุงสมบัติของผงไม้เนื้อแข็ง (Hardwood flour) ซึ่งใช้เป็นสารตัวเติมใน PP ด้วยสารละลาย NaOH เข้มข้นร้อยละ 18 โดยน้ำหนักและ Vinyl-tris-(2-metoxietoxi)-silane นอกจากนี้ยังมีการใช้ MAPP เป็นสารช่วยผสม จากนั้นนำวัสดุผสมที่ประกอบไปด้วย PP ผสมผงไม้เนื้อแข็ง และ PP ผสมผงไม้เนื้อแข็งที่มีการเติมสารช่วยผสมลงไปด้วย ไปศึกษาสมบัติเชิงกล สัณฐานวิทยา สมบัติทาง ความร้อนและ Melt Index พบว่าการปรับปรุงสมบัติของผงไม้เนื้อแข็งด้วยสารละลาย NaOH และ Vinyl-tris-(2-metoxietoxi)-silane ทำให้ค่ามอดูลัสและค่าความแข็งแรงการดึงยึดเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ส่วน Melt Index ไม่เปลี่ยนแปลง จากการศึกษา สัณฐานวิทยาพบว่า MAPP และไซเลนทำให้พอลิเมอร์และผงไม้เนื้อแข็งยึดติดและกระจายตัวได้ดียิ่งขึ้น ค่ามอดูลัสของวัสดุผสมมีค่าเพิ่มขึ้น ค่าความแข็งแรงกระแทกของวัสดุผสมลดลง ในขณะที่การปรับปรุงของผงไม้เนื้อแข็งด้วยสารละลาย NaOH เพียงอย่างเดียว ทำให้การกระจายตัวของผงไม้เนื้อแข็งใน PP ดีขึ้น และสมบัติเชิงกลของวัสดุผสมคล้ายคลึงกับวัสดุผสมที่ปรับปรุงด้วย MAPP และไซเลน นอกจากนี้การใช้ไซเลนและ MAPP ยังทำให้วัสดุผสมมีการดูดซึมน้ำน้อยลง

Z.A.M. Ishak และคณะ [23] ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับ Hygrothermal aging และสมบัติเชิงกลของวัสดุผสมระหว่าง PP และแกลบ โดยการศึกษา Hygrothermal aging ใช้วิธีการแช่ชิ้นงานในน้ำกลั่นที่มีอุณหภูมิ 30 และ 90 องศาเซลเซียส จากนั้นนำไปวัดปริมาณน้ำที่ชิ้นงานดูดซับไปพบว่า สัมประสิทธิ์การแพร่ผ่านและปริมาณความชื้นสูงสุด มีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณแกลบและอุณหภูมิของน้ำกลั่นที่เพิ่มสูงขึ้น และจากการศึกษาสมบัติเชิงกลของวัสดุผสม พบว่า ค่ามอดูลัสเพิ่มขึ้น ในขณะที่ค่าความแข็งแรงดึง ค่าการดึงยึด ณ จุดขาดและพลังงานที่จุดขาดมีค่าลดลง เมื่อปริมาณแกลบและอุณหภูมิของน้ำกลั่นเพิ่มขึ้นและจากภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดแสดงให้เห็นว่า การยึดติดของแกลบและ PP ต่ำมาก เพราะรูปร่างที่ไม่แน่นอนของแกลบและลักษณะทั่วไปที่ต่างกัน

J.C.M. Suarez และคณะ [24] ได้ทำการศึกษาวัสดุผสมระหว่าง PP และจีลีสผสมจากไม้ อบเชย เซอร์รี่ วอลนัท และมะฮอกกานีที่เคลือบด้วยมาเลอิกแอนไฮไดรด์เข้มข้นร้อยละ 22.4 โดยน้ำหนัก โดย PP ที่ใช้มี 2 ชนิด คือ ชนิดที่ผสม MAPP และ PP บริสุทธิ์ จากนั้นศึกษา สัณฐานวิทยาของวัสดุผสม โดยใช้ภาพถ่ายจาก SEM ตรวจสอบพื้นผิว วัสดุผสมระหว่างจีลีสและพอลิเมอร์พบว่า การใช้ MAPP ช่วยให้จีลีสและพอลิเมอร์มีการยึดเกาะกันดีขึ้น ส่งผลให้ค่าความแข็งแรงดึง (Tensile strength) สูงขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A.K. Rana และคณะ [25] ได้ศึกษาปริมาณของเส้นใยปอที่ใช้เป็นสารตัวเติมและปริมาณของ MAPP ที่ใช้เป็นสารช่วยผสม (Compatibilizer) ที่มีผลต่อวัสดุผสมระหว่าง PP และเส้นใยปอ (Jute fiber) จากการศึกษาพบว่า ค่าความแข็งแรงกระแทกมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อปริมาณเส้นใยปอและปริมาณ MAPP เพิ่มขึ้น แต่ค่าความแข็งแรงโค้งงอลดลงเมื่อ MAPP เพิ่มขึ้น และจากการศึกษาด้วยเทคนิค SEM ตรวจสอบพื้นผิวชิ้นงานที่ผ่านการทดสอบความแข็งแรงกระแทกแล้ว พบว่าวัสดุผสมที่มีการเติม MAPP PP และเส้นใยปอสามารถผสมเข้ากันได้ดีกว่าวัสดุผสมที่ไม่ได้เติม MAPP นอกจากนี้ยังมีการเติมสารปรับปรุงความแข็งแรงกระแทก (Impact modifier) พบว่าเมื่อสารปรับปรุงความแข็งแรงเพิ่มขึ้น ค่าความแข็งแรงกระแทกเพิ่มขึ้นแต่ค่าความแข็งแรงโค้งงอลดลง

K. Joseph และคณะ [26] ได้ทำการศึกษาผลของแรงยึดติดระหว่างองค์ประกอบที่มีต่อสมบัติเชิงกล และการแตกหักของวัสดุผสมที่มีการเติมปอไซซัล (Sisal) ลงไป เพื่อเสริมแรงในพลาสติก ซึ่งพลาสติกที่ใช้ในการศึกษาแบ่งเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ เรซินเทอร์โมเซต ได้แก่ พอลิเอสเตอร์ อีพอกซี ฟีนอลฟอรัมาลดีไฮด์ และเทอร์โมพลาสติก ได้แก่ LDPE พบว่าความสามารถในการเสริมแรงของปอไซซัลขึ้นอยู่กับส่วนประกอบทางเคมีของพลาสติก ความยาวและปริมาณของเส้นใยที่ใช้เสริมแรง วัสดุผสมที่ใช้ฟีนอลฟอรัมาลดีไฮด์เป็นองค์ประกอบหลักมีค่าความแข็งแรงดึง และความยืดหยุ่นดีกว่าอีพอกซีและพอลิเอสเตอร์ เนื่องจากมีแรงยึดติดระหว่างองค์ประกอบดีกว่า แต่ก็ยังดีน้อยกว่าวัสดุผสมที่ใช้ LDPE เป็นองค์ประกอบหลัก

นอกจากนี้ K. Joseph และคณะ [27] ได้ทำการศึกษาถึงผลของสถานะต่างๆ ที่มีต่อวัสดุผสมระหว่าง LDPE และ ปอไซซัล ซึ่งปอไซซัลที่ใช้ในงานวิจัยมี 2 ชนิด คือ ผ่านและไม่ผ่านการปรับปรุงพื้นผิวด้วยคาร์ดานอล (Cardanol) สถานะที่ใช้ในงานวิจัยแบ่งเป็น 2 กรณี คือ กรณีที่ 1 แซ่วัสดุผสมในน้ำเดือดเป็นเวลา 7 ชั่วโมงที่ความดันบรรยากาศ และกรณีที่ 2 คือ อบวัสดุผสมที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 วัน จากนั้นนำวัสดุผสมทั้ง 2 กรณี มาทดสอบความแข็งแรงดึงและความเสถียรของรูปร่าง พบว่าวัสดุผสมทั้ง 2 กรณีมีค่าความแข็งแรงดึงและความเสถียรของรูปร่างคล้ายคลึงกัน คือ วัสดุผสมที่ผสมปอไซซัลที่ผ่านการปรับปรุงพื้นผิวมีความแข็งแรงดึง และความเสถียรของรูปร่างที่ดีกว่าวัสดุผสมที่ผสมปอไซซัลธรรมดา การที่วัสดุผสมที่ผสมปอไซซัลที่ผ่านการปรับปรุงพื้นผิวสามารถทนต่อสถานะการทดสอบต่างๆ ได้ดี แสดงให้เห็นถึงแรงยึดติดที่ดีระหว่างปอไซซัลและพอลิเมอร์

P.V. Joseph และคณะ [28] ได้ทำการศึกษาวัสดุผสมระหว่าง PP กับปอไซซัล ปอไซซัลที่ใช้ในงานวิจัยนี้ได้นำไปปรับปรุงสมบัติการยึดติดกับสารเคมีต่างๆ ได้แก่ อนุพันธ์ของพอลิพรอพิลีนไกลคอล (PPG/TDI) MAPP และโพแทสเซียมเปอร์มันганเตต ($KMnO_4$) โดยใช้เทคนิค Thermogravimetry Analysis (TGA) จากการวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนของวัสดุผสม พบว่าเมื่อปริมาณปอไซซัลเพิ่มขึ้น จุดหลอมเหลวของวัสดุผสมมีค่าสูงขึ้นและวัสดุผสมของปอไซซัลที่ผ่านการปรับปรุงสมบัติมีจุดหลอมเหลวสูงกว่าวัสดุผสมของ ปอไซซัลธรรมดา และผลจากจากเทคนิค Differential Scanning Calorimetry (DSC) พบว่า เมื่อปริมาณของปอไซซัลเพิ่มขึ้น อุณหภูมิตกผลึกและความเป็นผลึกมีค่าเพิ่มขึ้น และวัสดุผสมที่เติมปอไซซัลที่ผ่านการปรับปรุงมีค่าทั้งสองสูงกว่าวัสดุผสมปอไซซัลธรรมดา

B.Madsen และ H.Lilholt [29] ได้ทำแบบจำลองประกอบไปด้วย 3 ส่วน คือ เส้นใยเมตริกซ์และช่องว่าง เพื่อศึกษาสมบัติทางกายภาพและสมบัติเชิงกลของวัสดุคอมพอสิตที่มีการจัดเรียงตัวของเส้นใยในทิศทางเดียว ระหว่าง PP และเส้นใยธรรมชาติโดยทำการ ศึกษาถึงผลของช่องว่างที่มีต่อสมบัติของวัสดุคอมพอสิต ซึ่งเส้นใยที่ศึกษานั้นไม่ได้ทำการปรับปรุงสมบัติใดๆ สักส่วนโดยน้ำหนักของเส้นใยที่ใช้อยู่ในช่วง 0.596 ถึง 0.72 มีสัดส่วนของช่องว่างอยู่ในช่วง 0.04 ถึง 0.08 ศึกษาแบบจำลอง 2 แบบ คือ 1) แบบจำลองที่ขึ้นกับกระบวนการผลิต 2) แบบจำลองที่ขึ้นกับโครงสร้าง พบว่าความแข็งแรงตามแนวแกนมีค่า 27-29 GPa และ 251-321 GPa ตามลำดับ และที่สำคัญในการศึกษาค้นคว้าผู้ทดลองได้ศึกษาเพื่อปรับปรุงกฎการผสม (Rule-of-mixture) ซึ่งสรุปได้ว่าถ้าปริมาณของเส้นใยเพิ่มขึ้นส่งผลให้ช่องว่างเพิ่มขึ้น สมบัติในแนวการจัดเรียงตัวของเส้นใยดีขึ้นแต่ถ้าการจัดเรียงตัวของเส้นใยเป็นไปในทิศทางตรงข้ามใช้กฎการผสมไม่ได้

K.L.Pickering และคณะ [30] ทำการศึกษาผลของสารกุ่มควบ 2 ชนิด คือ Gamma-amminopropyltriethoxysilane (GS) และ Dichlorodiethylsilane (DCS) ที่มีต่อเส้นใยสน (Radiata pine) ซึ่งได้จากกระบวนการผลิตกระดาษ โดยเส้นใยสนที่ใช้ในการศึกษามี 2 ชนิด คือ เส้นใยสนธรรมดาและเส้นใยสนที่ผ่านการปรับปรุงด้วยโซเดียม ไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 2 จากเทคนิค XPS พบว่า ความเข้มข้นของซิลิกอนบนพื้นผิวของเส้นใยที่ปรับปรุงด้วย GS DCS มีค่าเท่ากับร้อยละ 2.3 และ 3.2 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ และเส้นใยที่ผ่านการปรับปรุงด้วย NaOH แล้วนำมาปรับปรุงด้วย GS และ DCS มีความเข้มข้นของซิลิกอนบนพื้นผิวเส้นใยมีค่าเท่ากับร้อยละ 0 และ 2.2 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่า เส้นใยที่ปรับปรุงด้วย NaOH แล้วนำมาปรับปรุงด้วย GS DCS มีความเข้มข้นของซิลิกอนลดลงและจากการใช้เทคนิค Nuclear Magnetic Resonance

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(NMR) พบว่า เกิดพันธะอีเทอร์ขึ้นระหว่างหมู่ไฮดรอกซิลของเส้นใยและไซเลน ซึ่งการปรับปรุงพื้นผิวด้วยไซเลน ทำให้วัสดุผสมที่เดิม เส้นใยสนร้อยละ 5 มีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น สามารถสรุปได้ว่าการปรับปรุงเส้นใยด้วย NaOH ทำให้การประสานของเส้นใยกับสารคู่ควบดีขึ้น

A.V.Gonzalez และคณะ [31] ศึกษาผลของการปรับปรุงเส้นใย (Henequén fibre) ด้วยไซเลน และกลไกการยึดติดบนพื้นผิวเส้นใยของวัสดุผสม ซึ่งใช้ HDPE เป็นเมทริกซ์ พบว่า การกำจัดลิกนินและสารอัลคาไลน์ออกไปบางส่วนทำให้เส้นใยดูดซับไซเลนบนพื้นผิวได้มากขึ้น และเมื่อใช้ไซเลนความเข้มข้นสูงขึ้น การดูดซับไซเลนบนพื้นผิวเส้นใยมีค่าลดลง เพราะเกิดพอลิไซลอคเซนขึ้นบนพื้นผิวเส้นใยขัดขวางการดูดซับไซเลน จากนั้นทำการวิเคราะห์พื้นระเคมีที่เกิดขึ้น ระหว่างสารคู่ควบและเส้นใยด้วยเทคนิค X-ray Photoelectron Spectroscopy (XPS) และ Fourier Transfer Infrared Spectrophotometry (FTIR) พบว่าปรากฏไซเลนบนพื้นผิวเส้นใยที่ผ่านการปรับปรุงด้วยไซเลนและจากการวิเคราะห์พื้นผิววัสดุผสมที่เกิดการฉีกขาด พบว่าการปรับปรุงเส้นใยด้วยไซเลนทำให้อันตรกิริยาระหว่างเส้นใยและเมทริกซ์แข็งแรงขึ้น

จิรพรรณและมาริสสา [32] ได้นำเส้นใยอ้อยซึ่งเป็นกากเหลือจากการผลิตน้ำตาลมาใช้เป็นสารตัวเติมในพอลิเมอร์ผสม ระหว่าง PP และ HDPE ซึ่งได้จากขวดน้ำพลาสติกที่เหลือใช้โดยเส้นใยอ้อยถูกปรับสภาพผิวด้วยการฉายรังสีแกมมาจากโคบอลต์ 60 ในปริมาณ 0 10 20 และ 30 กิโลเกรย์ และใช้มัลติฟังก์ชันนัลมอนอเมอร์ช่วยในการค่อกิ่ง แล้วนำมาผสมกับพอลิเมอร์ผสม จากนั้นนำไปทดสอบสมบัติเชิงกล สมบัติทางความร้อน สมบัติการดูดซับน้ำและสัณฐานวิทยาพบว่า คอมพอสิตที่ทำการฉายรังสีในปริมาณ 10 กิโลเกรย์ สามารถทนทานต่อแรงดึง แรงกระแทกและการขัดถูได้ดีที่สุด ส่วนสมบัติทางด้านอื่นๆ ไม่มีการเปลี่ยนแปลงมากนักและเมื่อทำการเปรียบเทียบคอมพอสิตเส้นใยเก่าและเส้นใยใหม่ พบว่า คอมพอสิตที่ทำจากเส้นใยใหม่ให้สมบัติเชิงกลที่ดีกว่า และดูดซับน้ำได้น้อยกว่าคอมพอสิตที่ทำจากเส้นใยเก่า ส่วนสมบัติอื่นๆ ไม่มีการเปลี่ยนแปลงมากนัก

นวกรณ์ และคณะ [33] ได้ทำการศึกษาพอลิเมอร์คอมพอสิตเส้นใยธรรมชาติเพื่อใช้เป็นไม้เทียม โดยการทดลองแบ่งเป็น 2 กรณี คือ กรณีที่ 1 PP ผสมผงหญ้าแฝกที่เตรียมด้วยวิธีเชิงกล (Vetiver mechanical pulp : VMP) และกรณีที่ 2 พอลิไวนิลคลอไรด์ (PVC) ผสมผงหญ้าแฝกที่เตรียมด้วยวิธีเคมี (Vetiver chemical pulp : VCP) จากนั้นศึกษาถึงผลของปริมาณสารช่วยผสม ปริมาณและขนาดของหญ้าแฝก ที่มีต่อสมบัติทางกายภาพ สมบัติเชิงกล สมบัติทางความร้อนและสัณฐานวิทยา พบว่า ในกรณีที่ 1 ปริมาณการเติมผงหญ้าแฝกที่ 30 phr และขนาด 20-50 เมช ให้สมบัติโดยรวมที่ดีที่สุด จากการศึกษาสัณฐานวิทยาด้วยเทคนิค SEM พบว่าพอลิเมอร์คอมพอสิตที่เตรียมจากผงหญ้าแฝกผสมสารช่วยผสม 3% มีการยึดติดที่ดีกับพอลิเมอร์เมทริกซ์ และในกรณีที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณผงหญาแฝก ทำให้ค่าความแข็งแรงดึงและมอดุลัสเพิ่มขึ้นแต่ความแข็งแรง
 กระแทกและร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาดมีค่าลดลง ค่าการดูดซึมน้ำมีค่าเพิ่มขึ้น โดยปริมาณผงหญา
 แฝก 30 phr และ ขนาด 20-50 เมช มีสมบัติเชิงกลดีที่สุดใน และจากการศึกษาสัณฐานวิทยาโดยใช้
 เทคนิค SEM พบว่า เมื่อปริมาณผงหญาแฝกมากขึ้น การกระจายตัวของผงหญาแฝกในพอลิเมอร์
 เมทริกซ์ไม่ดีและจับตัวเป็นกลุ่มก้อน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการวิจัย

3.1 สารเคมีและวัสดุที่ใช้ในงานวิจัย

1. พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (High density polyethylene : HDPE): THAI-ZEX 1600J เกรดฉีด จากบริษัท บางกอกพอลิเอทิลีน จำกัด(มหาชน) ซึ่งมีสมบัติดังนี้

ตารางที่ 3.1 สมบัติของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง [34]

(High density polyethylene : HDPE) : THAI-ZEX 1600J

คุณสมบัติ	หน่วย	วิธีการทดสอบ	ค่าที่ได้จากการทดสอบ
อัตราการไหล Melt Flow Rate @ 2.16kg 190°C	g/10 min	ASTM D1238	12
ความหนาแน่น (Density @ 23°C)	g/cm ³	ASTM D1505	0.958
ความต้านทานแรงดึงที่จุดยืด (Tensile Strength @ yield)	kg/cm ²	ASTM D638	280
ความต้านทานแรงดึงที่จุดขาด Tensile Strength @ break	kg/cm ²	ASTM D638	200
การดึงยืด ณ จุดขาด (Elongation @ break)	%	ASTM D638	200
ความสามารถในการทรงรูป(Stiffness (Olsen))	kg/cm ²	ASTM D747	8000
ความต้านทานแรงกระแทก Izod Impact Strength(with Notch)@3ft-lbf	kg.cm/cm	ASTM D256	3
จุดอ่อนตัวไวแคต Vicat Softening Point @ 10N, 50°C/hour	°C	ASTM D1525	120
จุดหลอมเหลว (Melting Point)	°C	ASTM D3418	127

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. แกลบ (Rice husk) จากโรงสีข้าวเจริญทรัพย์
 3. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก
 4. พอลิเอทิลีนต่อกิ่งด้วยมาเลอิกแอนไฮไดรด์ (Maleic anhydride-graft-polyethylene : MAPE) Fusabond® MB100D จากบริษัท เคมีคอลอิน โนเวชั่น จำกัด ซึ่งมีสมบัติดังนี้
- ตารางที่ 3.2 สมบัติของพอลิเอทิลีนต่อกิ่งด้วยมาเลอิกแอนไฮไดรด์ [35]

(Maleic anhydride graft polyethylene :MAPE) Fusabond® MB100D

คุณสมบัติ	หน่วย	วิธีการทดสอบ	ค่าที่ได้จากการทดสอบ
Based resin			HDPE
ความหนาแน่น	g/cm ³	ASTM D792	0.96
MAH Graft Level	wt%	FTIR (DuPont)	High
Melt Flow Rate @ 2.16 kg/190°C	g/10 min	ASTM D1238	2
Melting Point	°C (°F)	ASTM D3418	137 (277)

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย

1. เครื่องอัดรีดชนิดเกลียวหนึ่งอันเดียว (Single-Screw Extruder) รุ่น Polydrive with Rheomex R 252 : HAAKE
2. เครื่องอัดขึ้นรูป (Compression Molding Machine) รุ่น LP-20 : Lab Tech Engineering Company LTD.
3. เครื่องทดสอบความแข็งแรงดึง (Universal Testing Machine) รุ่น LR 30K : Lyod Instrument LTD.
4. เครื่องทดสอบความแข็งแรงกระแทก (Izod Impact Tester) : Yasuda Seiki Seisakusho LTD.
5. เครื่องมือวิเคราะห์สมบัติทางความร้อน (Differential Scanning Calorimeter : DSC) รุ่น Pyris : Diamond DSC : Perkin Elmer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. เครื่องอินฟราเรดสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (Infrared Spectrophotometer: IR) รุ่น FTIR Spectrum GX : Perkin Elmer
7. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron microscope : SEM) รุ่น LEO 1455 VP : LEO LTD.
8. เครื่องทดสอบความแข็งกดแบบชอร์ดี้ (Hardness Tester Shore D): Yasuda Seiki Seisakusho LTD.
9. เครื่องขึงละเอียด
10. เครื่องบดพลาสติก (Plastic Grinder) รุ่น A 600 : Bosco Engineering
11. เครื่องร่อนแยกขนาด
12. ตะแกรงมาตรฐานขนาด 12 35 และ 100 เมช
13. แม่แบบ (Mold) ขนาด 6×6 นิ้ว หน้า 2 มิลลิเมตร
14. มีดตัดตัวอย่าง
15. เครื่องตัดชิ้นงาน
16. ตู้อบ (Oven)
17. โถดูดความชื้น (Dessicator)

3.3 วิธีการทดลอง

3.3.1 การเตรียมเกลบ

1. นำเกลบมาร้อนเพื่อกำจัดทราย ผุ่นที่ติดมากับเกลบ
2. บดเกลบด้วยเครื่องบดพลาสติกเพื่อให้เกลบมีขนาดเล็กลง
3. นำเกลบที่ผ่านการบดไปคัดขนาดด้วยเครื่องร่อนแยกขนาด โดยใช้ตะแกรงร่อนขนาด 12 35 และ 100 เมช
4. นำเกลบที่ได้ไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส จนน้ำหนักเกลบคงที่

3.3.2 การเตรียมตัวอย่างทดสอบ

1. นำเกลบที่ผ่านการคัดขนาดแล้ว ซึ่งได้แก่ เกลบที่มีขนาด 12-34 35-99 และเกลบที่มีขนาดมากกว่า 100 เมช มาผสมกับ HDPE ในอัตราส่วนร้อยละ 0 15 30 และ 45 โดยน้ำหนัก ซึ่งแสดงได้ดังตารางที่ 3.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.3 ส่วนผสมต่างๆ ที่ใช้ในการขึ้นรูปชิ้นงานทดสอบ

สูตรที่	HDPE (ร้อยละ)	แคลบ (ร้อยละ)	ขนาดแคลบ (เมซ)
1	100	-	-
2	85	15	12-34
3	85	15	35-99
4	85	15	>100
5	70	30	12-34
6	70	30	35-99
7	70	30	>100
8	55	45	12-34
9	55	45	35-99
10	55	45	>100

2. ทำการผสมสูตรต่างๆ ในภาชนะก่อนครั้งหนึ่ง
3. นำของผสมที่ได้ไปผสมอีกครั้ง ด้วยเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว โดยใช้อุณหภูมิ 130 140 150 และ 160 องศาเซลเซียส ตามลำดับและใช้ความเร็วรอบ 40 รอบต่อนาที
4. นำของผสมที่ได้ไปบดด้วยเครื่องบดพลาสติก
5. นำของผสมที่ผ่านการบดไปขึ้นรูปโดยเครื่องอัดขึ้นรูป โดยใช้อุณหภูมิ 190 องศาเซลเซียส ใช้เวลาอัดรีด 5 นาที และอัดเย็น 5 นาที
6. ตัดชิ้นงานทดสอบ
7. ทดสอบสมบัติต่างๆ ของชิ้นงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.3 การปรับปรุงสมบัติของวัสดุผสม

เลือกสูตรของวัสดุผสมที่มีสมบัติโดยรวมที่ดีที่สุด มาศึกษาต่อ

3.3.3.1 การบำบัดด้วยด่าง

1. นำเกลบมาแช่ในสารละลาย NaOH เข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก เป็นเวลา 30 นาที
2. ปรับค่าความเป็นกรดต่างของเกลบให้มีค่าเป็นกลางด้วยน้ำ
3. อบเกลบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียสจนน้ำหนักคงที่

3.3.3.2 การเตรียมชิ้นงานทดสอบ

เตรียมชิ้นงานใน 4 ลักษณะ ดังนี้

- ชิ้นงานที่เตรียมจากเกลบที่ไม่ผ่านการบำบัดด้วย NaOH และไม่มีการใช้สารช่วยผสม MAPE
- ชิ้นงานที่เตรียมจากเกลบที่ไม่ผ่านการบำบัดด้วย NaOH และใช้สารช่วยผสม MAPE ปริมาตรร้อยละ 5 โดยน้ำหนักเกลบ
- ชิ้นงานที่เตรียมจากเกลบที่ผ่านการบำบัดด้วย NaOH และไม่มีการใช้สารช่วยผสม MAPE
- ชิ้นงานที่เตรียมจากเกลบที่ผ่านการบำบัดด้วย NaOH และใช้สารช่วยผสม MAPE ปริมาตรร้อยละ 5 โดยน้ำหนักเกลบ
- ทำการผสมและขึ้นรูปเป็นชิ้นงานเช่นเดียวกับหัวข้อ 3.3.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.4 การทดสอบ

นำชิ้นงานทดสอบที่ได้ไปทดสอบสมบัติต่าง ๆ

1. ทดสอบสมบัติเชิงกล

- สมบัติทางแรงดึง สำหรับค่าความแข็งแรงดึง ค่ามอดูลัสที่ความเครียดร้อยละ 5 ร้อยละการดึงยืด ณ จุดคราก

- สมบัติความโค้งงอ สำหรับค่าความแข็งแรงโค้งงอและค่ามอดูลัสโค้งงอ

- ความแข็งแรงกระแทก

- ความแข็งกด

2. ศึกษาสมบัติทางกายภาพ

- การดูดซับน้ำ (Water absorption)

3. ศึกษาสัณฐานวิทยาโดยเทคนิค SEM

4. ศึกษาสมบัติทางความร้อนโดยเทคนิค DSC

5. วิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชันโดยเทคนิค FTIR

3.4 วิธีการทดสอบ

การทดสอบสมบัติต่าง ๆ ของวัสดุผสมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงและ แกลบ ได้ทำการทดสอบตามมาตรฐานต่าง ๆ ดังตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 มาตรฐานต่าง ๆ ในการทดสอบสมบัติต่าง ๆ

สมบัติ	มาตรฐานที่ใช้ทดสอบ	หน่วยที่รายงาน
ความแข็งแรงดึง (Tensile strength)	ASTM D 638	MPa
มอดูลัสที่ความเครียดร้อยละ 5 (Modulus at 5% strain)	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
มอดูลัสโค้งงอ (Flexural modulus)	ASTM D 790	MPa
ร้อยละการดูดซับน้ำ (% Water absorption)	ASTM D 570	%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.1 สมบัติเชิงกล

3.4.1.1 สมบัติทางแรงดึง

สมบัติที่ทำการศึกษาได้แก่ ค่าความแข็งแรงดึง ค่ามอดูลัสที่ความเครียดร้อยละ 5 และค่าร้อยละการดึงยืด ณ จุดคราก ตามมาตรฐาน ASTM D638 [36] โดยใช้เครื่องทดสอบสมบัติเชิงกล (Universal Testing Machine) และโปรแกรม WINDAP ในการคำนวณ โดยชิ้นงานทดสอบอยู่ในรูปคัมเบลล์ ใช้ชิ้นงานทดสอบจำนวน 5 ชิ้นในแต่ละสูตร และใช้สภาวะของการทดสอบดังนี้

- โหลดเซลล์ (Load cell) 5 กิโลนิวตัน (kN)
- ความเร็วในการดึง (Test speed) 5 มิลลิเมตร/นาที
- ความยาวของเกจ (Gauge length) 20 มิลลิเมตร
- Grammage 1.0 กรัม/ตารางเมตร
- ระดับเซลล์ (Cell class) 0.5

ค่าความแข็งแรงดึง ค่ามอดูลัสที่ความเครียดร้อยละ 5 และค่าร้อยละการดึงยืด ณ จุดคราก สามารถคำนวณได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$\text{ค่าความแข็งแรงดึง} = F/A$$

(Tensile strength, σ)

$$\text{ค่ามอดูลัสที่ความเครียดร้อยละ 5} = \text{ความเค้นที่ตำแหน่งความเครียดร้อยละ 5} / (5/100)$$

(modulus at 5% strain, E) (stress at 5% strain / (5/100))

$$\text{ร้อยละการดึงยืด ณ จุดคราก} = \{(I-I_0) / I_0\} * 100$$

(% Elongation modulus at yield)

เมื่อ F คือ แรงสูงสุดที่ใช้ในการดึงยืดชิ้นงานตัวอย่าง (หน่วยเป็นนิวตัน : N)

A คือ พื้นที่หน้าตัดของชิ้นงานตัวอย่าง (หน่วยเป็นตารางมิลลิเมตร :mm)

I คือ ระยะห่างระหว่างจุดสองจุดหลังทำการดึงชิ้นงานตัวอย่าง

(หน่วยเป็นมิลลิเมตร : mm)

I_0 คือ ระยะที่ชิ้นงานตัวอย่างแคบที่สุดและมีพื้นที่หน้าตัดขนานกัน

(Gauge length หน่วยเป็นมิลลิเมตร : mm)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.1.2 สมบัติความโค้งงอ

สมบัติที่ทำการศึกษาได้แก่ ค่าความแข็งแรงโค้งงอ (Flexural strength) และค่ามอดุลัสโค้งงอ (Flexural modulus) ตามมาตรฐาน ASTM D790 [37] โดยใช้ชิ้นงานทดสอบ 5 ชิ้นในแต่ละสูตรและสภาวะที่ใช้ทดสอบดังนี้

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

สูตรที่ใช้ในการคำนวณค่าความแข็งแรงโค้งงอและค่ามอดุลัสโค้งงอมีดังนี้

ค่าความแข็งแรงโค้งงอ ; $\sigma = 3FL / 2bh^2$

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

เมื่อ F คือ แรงกดสูงสุด (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 ระยะกดโค้งงอที่สัมพันธ์กับ ΔF ในช่วงเริ่มต้น (เส้นตรง)

(หน่วยเป็นมิลลิเมตร ; mm)

3.4.1.3 ความแข็งแรงกระแทก

การทดสอบความแข็งแรงกระแทก (Impact strength) เป็นไปตามมาตรฐาน ASTM D256 [38] โดยในการทดสอบจะใช้มาตรฐานแบบไอซอด (Izod type) ใช้ชิ้นงานทดสอบ 8 ชิ้นในแต่ละสูตร

ค่าความแข็งแรงกระแทกสามารถหาได้จากสมการดังต่อไปนี้

ความแข็งแรงกระแทก (IS) = W / A

เมื่อ IS คือ ค่าความแข็งแรงกระแทก (หน่วยเป็นกิโลจูลต่อตารางเมตร ; kJ/m²)

W คือ ค่าพลังงานกระแทก (หน่วยเป็นกิโลจูล ; kJ)

A คือ พื้นที่หน้าตัดของตัวอย่าง (หน่วยเป็นตารางเมตร ; m²)

3.4.1.4 ความแข็งกด

การทดสอบความแข็งกดเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM D785 [39] ในการทดสอบจะใช้มาตรฐาน shore D ลักษณะพื้นผิวของวัสดุที่นำมาทดสอบต้องมีความเรียบและมีความหนาไม่ต่ำกว่า 6 มิลลิเมตร ใช้เวลากด 15 วินาทีจึงอ่านค่าได้ ใช้ชิ้นงานทดสอบจำนวน 5 ชิ้นในแต่ละสูตร โดยทำการทดสอบ 5 ครั้งต่อหนึ่งชิ้นงานทดสอบ

3.4.2 สมบัติทางกายภาพ

3.4.2.1 สมบัติการดูดซับน้ำ

การทดสอบสมบัติการดูดซับน้ำ เป็นไปตามมาตรฐาน ASTM D570 [40] โดยนำชิ้นงานทดสอบสูตรละ 2 ชิ้นไปอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมงจากนั้นนำมาชั่งน้ำหนักโดยละเอียด แล้วนำไปแช่น้ำ โดยต้องทำการชั่งน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงไปอยู่เสมอทุก ๆ 3 วัน จนน้ำหนักของชิ้นงานมีค่าคงที่ แล้วนำมาคำนวณหาร้อยละการดูดซับน้ำ (% Water absorption) จากสมการดังต่อไปนี้

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

3.4.3 สัณฐานวิทยา

3.4.3.1 Scanning electron microscope (SEM)

SEM ใช้มาศึกษาลักษณะพื้นผิวของพอลิเมอร์ที่เกิดจากการแตกหักด้วยการกระแทกที่อุณหภูมิต่ำ (Cryogenic fracture) การเตรียมตัวอย่างทำได้โดยนำชิ้นงานทดสอบมาแช่ในไนโตรเจนเหลว (Liquid nitrogen) และทำการหักทันที หลังจากนั้นนำมาเคลือบด้วยทองและนำเข้าเครื่อง SEM ต่อไป เพื่อทำการศึกษาการกระจายตัวของสารตัวเติมในพอลิเมอร์เมทริกซ์

3.4.4 สมบัติทางความร้อน

3.4.4.1 Differential Scanning Calorimeter (DSC)

เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการหาอุณหภูมิการตกผลึก (Crystallization temperature, T_c) อุณหภูมิการหลอมเหลว (Melt Temperature, T_m) และพื้นที่ใต้กราฟซึ่งเป็นค่าที่บอกถึงปริมาณความร้อนที่ใช้ในการหลอมเหลวผลึก (Enthalpy of fusion, ΔH_f) เพื่อคำนวณองศาของการเกิดผลึก (Degree of crystallinity) ของสาร

การเตรียมตัวอย่างทำได้โดยชั่งสารตัวอย่างใส่ในอลูมิเนียมแพนหนัก 4 มิลลิกรัมคงที่ ให้ทราบปริมาณสารที่แน่นอนแล้วนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง DSC โดยใช้อัตราการให้ความร้อน 10 องศาเซลเซียสต่อนาที ที่อุณหภูมิตั้งแต่ 60-200 องศาเซลเซียส

3.4.5 วิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชัน

3.4.5.1 การวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชันโดยเทคนิค FTIR

เทคนิค FTIR นำมาใช้วิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชันของชิ้นงานก่อนและหลังการกำจัดลิกนิน รวมถึงชิ้นงานที่ใช้และไม่ใช้สารก่อกวน โดยนำชิ้นงานมา 2-3 มิลลิกรัม มาบดรวมกับโพแทสเซียมโบรไมด์ที่บดแห้งแล้ว จำนวน 0.2 กรัม ให้เข้ากัน ใส่ลงในแม่พิมพ์ นำเข้าเครื่องอัดเม็ด ภายใต้ความดัน 10^4 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร นาน 5 นาที จากนั้นนำเม็ดโพแทสเซียมโบรไมด์ออกจากแม่พิมพ์เข้าเครื่องอินฟราเรดสเปกโทรโฟโตมิเตอร์

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

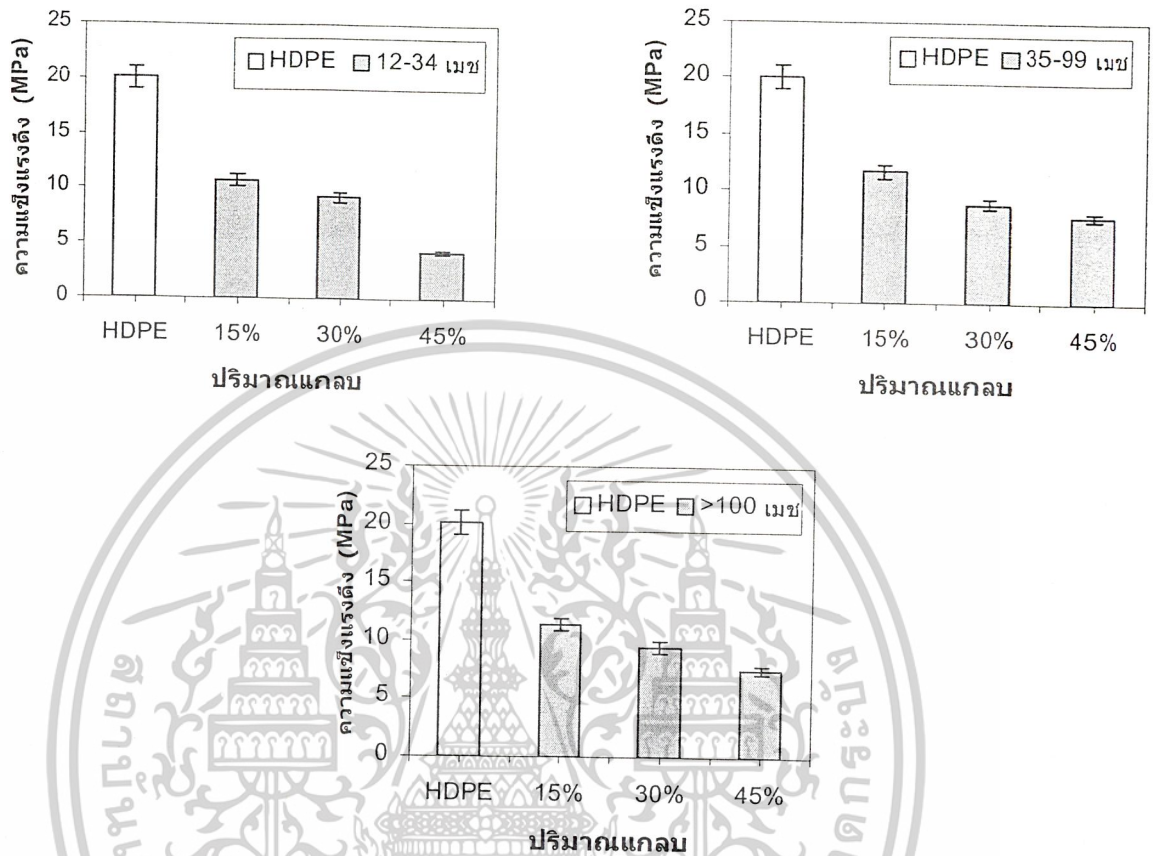
โครงการพิเศษนี้ ได้นำเกลบมาใช้เป็นสารตัวเติมในพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง และศึกษาผลของขนาดและปริมาณเกลบที่มีต่อสมบัติเชิงกล (Mechanical properties) สมบัติทางกายภาพ (Physical property) สมบัติทางความร้อน (Thermal property) และสัณฐานวิทยา (Morphology) นอกจากนี้ได้ทำการศึกษาเชิงเปรียบเทียบถึงการบำบัดและไม่บำบัดด้วยด่าง (Alkali treatment) รวมถึงการใช้และไม่ใช้สารช่วยผสมชนิดมาเลอิกแอนไฮไดรด์ต่อกิ่งด้วยพอลิเอทิลีน (Maleic anhydride-graft-polyethylene, MAPE) ที่มีต่อสมบัติต่าง ๆ ข้างต้น

4.1 สมบัติเชิงกล

4.1.1 ผลของขนาดและปริมาณเกลบ

สมบัติเชิงกลของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง ที่มีเกลบเป็นสารตัวเติมได้ศึกษาถึงตัวแปรต่าง ๆ ดังนี้ ความแข็งแรงดึง (Tensile strength) โมดูลัสที่ความเครียดร้อยละ 5 (Modulus at 5% strain) ร้อยละการดึงยืด ณ จุดคราก (% Elongation at yield) ความแข็งแรงโค้งงอ (Flexural strength) โมดูลัสโค้งงอ (Flexural modulus) ความแข็งกด (Hardness) และความแข็งแรงกระแทก (Impact strength) โดยทำการเปลี่ยนขนาดอนุภาคของเกลบ ได้แก่ 12-34 35-99 และมากกว่า 100 เมช รวมถึงเปลี่ยนปริมาณเกลบ ได้แก่ ร้อยละ 0 15 30 และ 45

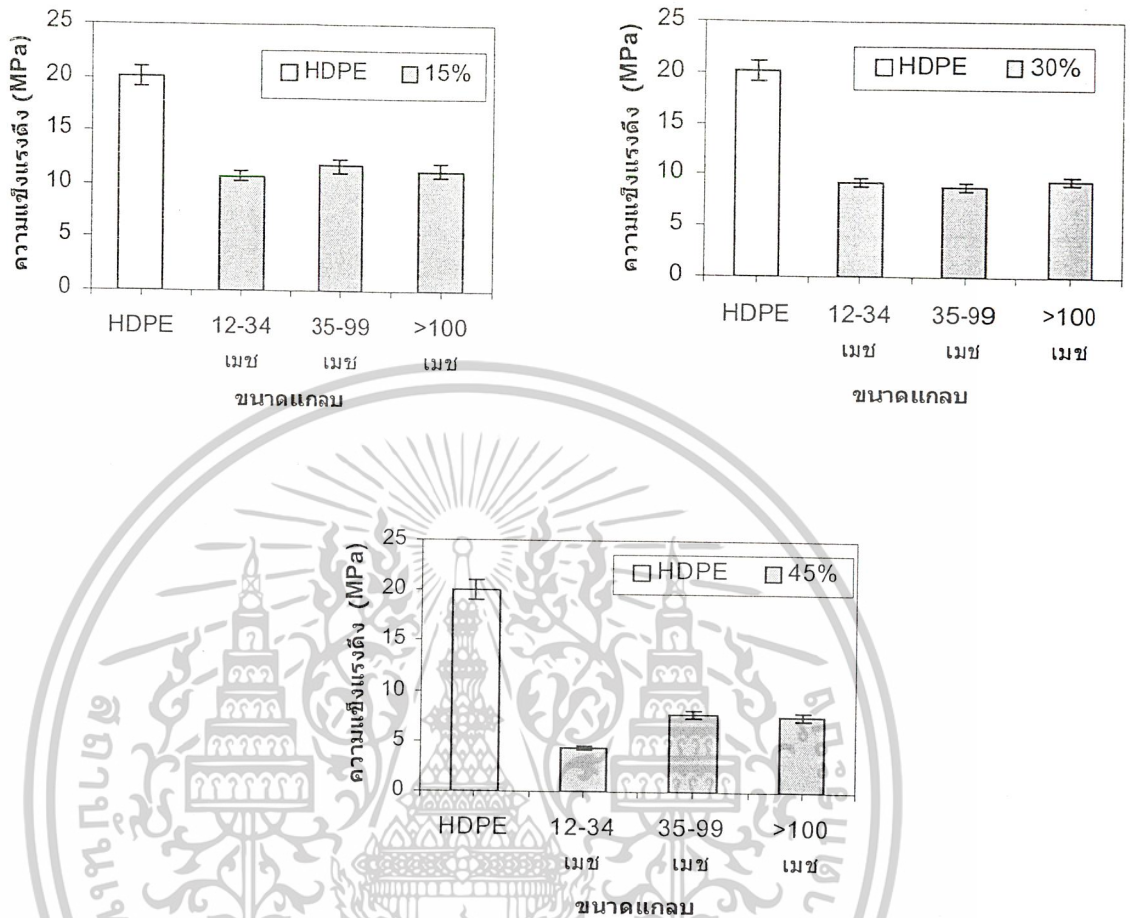
4.1.1.1 ความแข็งแรงดึง



รูปที่ 4.1 ความแข็งแรงดึงของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่ผสมเกลบในปริมาณต่าง ๆ

จากรูปที่ 4.1 แสดงค่าความแข็งแรงดึงของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงเมื่อเติมเกลบลงไปปริมาณต่าง ๆ พบว่าเมื่อเติมเกลบลงในพอลิเอทิลีนส่งผลให้ค่าความแข็งแรงดึงมีค่าลดลง เนื่องจากพอลิเมอร์เป็นวัสดุที่ไม่มีข้อต่อเกลบเป็นวัสดุที่มีข้อ ดังนั้นวัสดุทั้งสองจึงไม่สามารถเข้ากันได้ ส่งผลให้เกิดเป็นจุดบกพร่อง (Weak points) ในวัสดุผสม เป็นสาเหตุให้ความสามารถในการรับความแรงของวัสดุลดลง เมื่อพิจารณาถึงเกลบที่ขนาด 12-34 35-99 หรือมากกว่า 100 ไมครอน พบว่าเมื่อปริมาณเกลบในวัสดุผสมเพิ่มขึ้น ทำให้ค่าความแข็งแรงดึงลดลงในทำนองเดียวกัน เนื่องจากปริมาณจุดบกพร่องที่เพิ่มสูงขึ้น

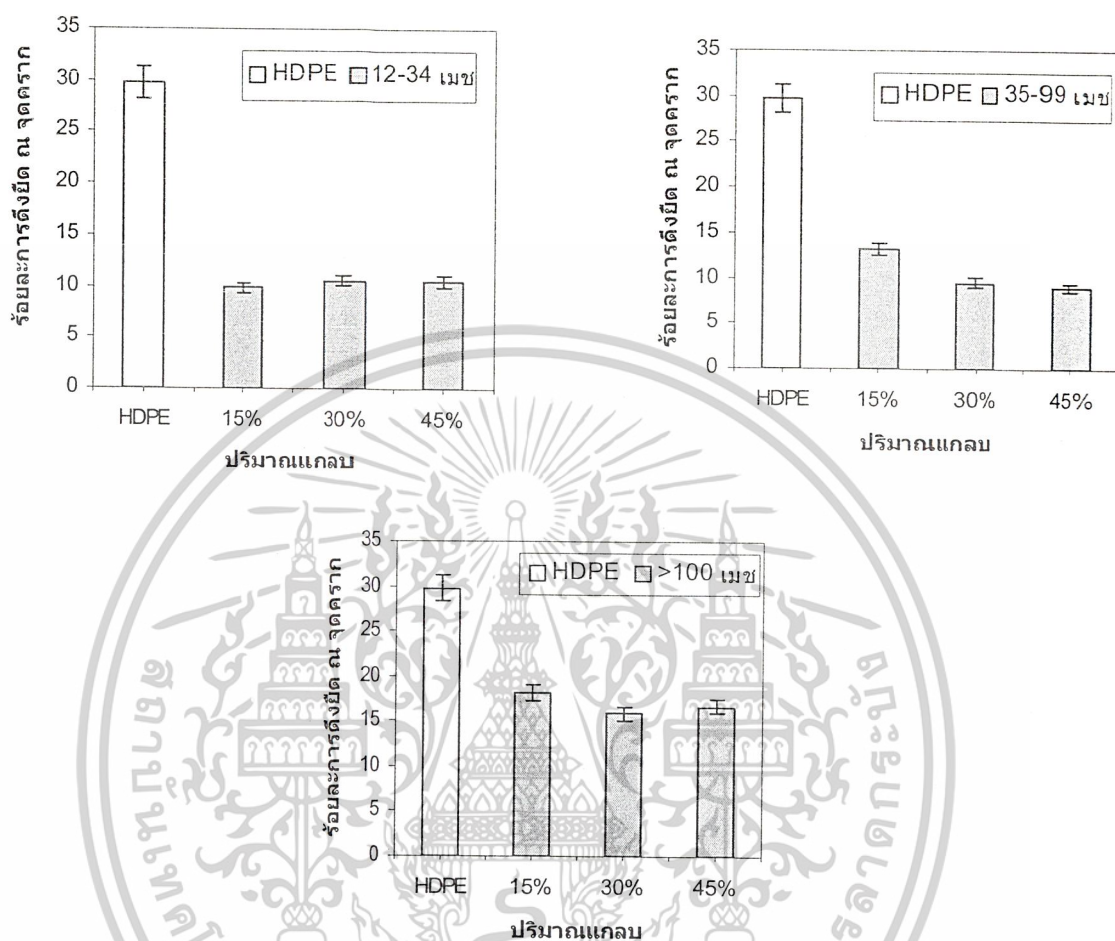
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 ความแข็งแรงดึงของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่ผสมเกล็ดที่ขนาดต่าง ๆ

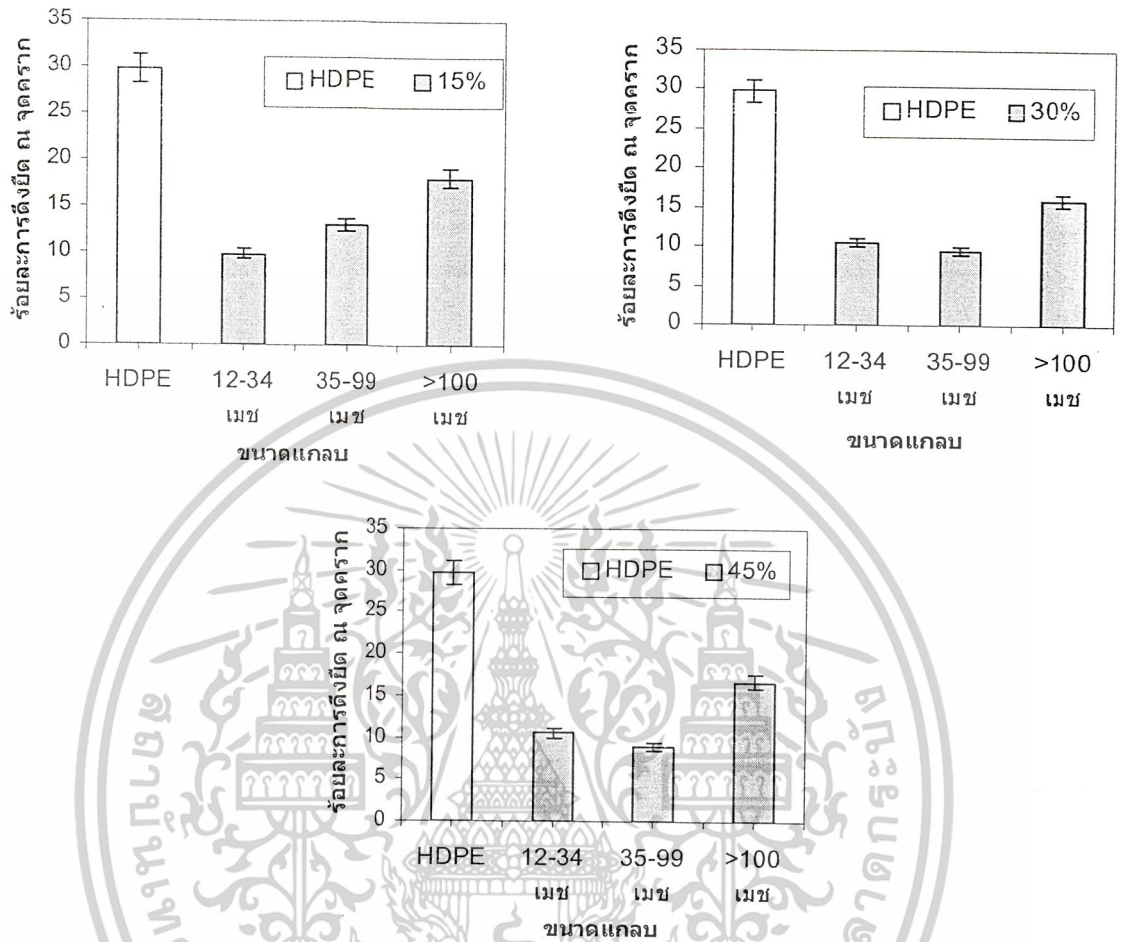
รูปที่ 4.2 แสดงถึงความแข็งแรงดึงของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่ผสมเกล็ดขนาดต่าง ๆ ที่ปริมาณเท่าๆ กัน พบว่าเมื่อขนาดของเกล็ดใหญ่ขึ้น ส่งผลให้ความแข็งแรงดึงมีแนวโน้มต่ำลงเนื่องจากเกล็ดที่มีขนาดใหญ่ มีพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างพอลิเมอร์และเกล็ดน้อย จึงส่งผลให้การยึดเกาะระหว่างเกล็ดและพอลิเมอร์เป็นไปได้น้อยลง ดังนั้นค่าความแข็งแรงดึงจึงมีแนวโน้มลดลง

4.1.1.2 ร้อยละการดึงยึด ณ จุดคราก



รูปที่ 4.3 ร้อยละการดึงยึด ณ จุดครากของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง ที่ผสมเกลบในปริมาณต่าง ๆ

ค่าร้อยละการดึงยึด ณ จุดครากของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่ผสมเกลบในปริมาณต่างๆ แสดงดังรูปที่ 4.3 พบว่าเมื่อเติมเกลบลงในพอลิเอทิลีนทำให้ค่าร้อยละการดึงยึด ณ จุดครากลดลง เนื่องจากเกลบมีความแข็งมากกว่าพอลิเอทิลีนจึงทำให้วัสดุผสมสามารถเปลี่ยนรูปร่างได้ยากกว่าพอลิเอทิลีนที่ไม่มีเกลบ ดังนั้นเมื่อเติมเกลบลงในพอลิเอทิลีนจึงทำให้ค่าร้อยละการดึงยึด ณ จุดครากลดลง และเมื่อเติมเกลบในปริมาณเพิ่มมากขึ้น ค่าร้อยละการดึงยึด ณ จุดครากมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากความไม่เข้ากันของเกลบและพอลิเอทิลีน ส่งผลให้เกิดจุดบกพร่องขึ้นทำให้สามารถรับแรงดึงยึดได้น้อยลง ดังนั้นค่าร้อยละการดึงยึด ณ จุดครากจึงมีค่าลดลง

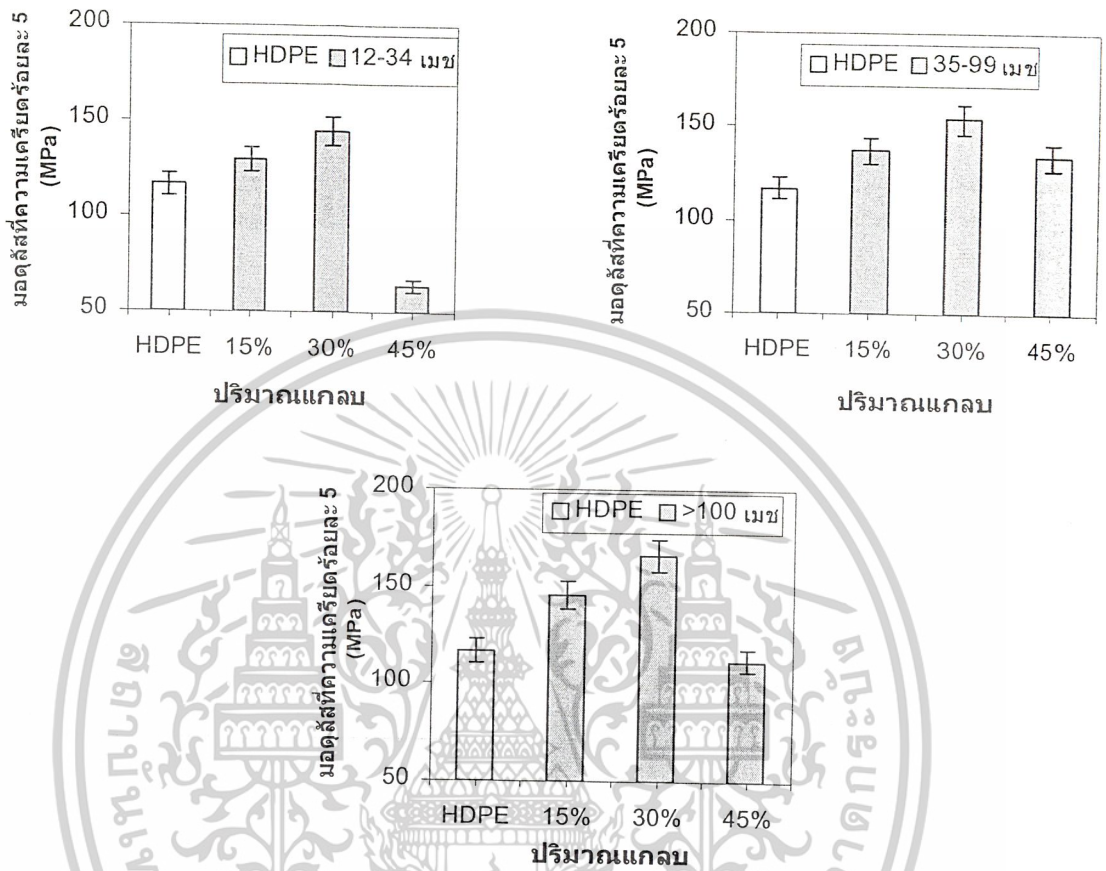


รูปที่ 4.4 ร้อยละการดิ่งยัด ณ จุดครากของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่ผสมเกล็ดขนาดต่างๆ

ค่าร้อยละการดิ่งยัด ณ จุดครากของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่ผสมเกล็ดขนาดต่าง ๆ แสดงรูปที่ 4.4 พบว่าค่าร้อยละการดิ่งยัด ณ จุดครากมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อเกล็ดมีขนาดเล็ก เนื่องจากการที่เกล็ดมีขนาดเล็ก เป็นการเพิ่มพื้นที่สัมผัสระหว่างพอลิเอทิลีนและเกล็ด ทำให้วัสดุสามารถรับแรงดิ่งยัดได้มากขึ้น ส่งผลให้ค่าร้อยละการดิ่งยัด ณ จุดครากมีค่าเพิ่มขึ้นและในทำนองเดียวกันเกล็ดที่มีขนาดใหญ่จึงมีค่าร้อยละการดิ่งยัด ณ จุดครากต่ำกว่าเกล็ดที่มีขนาดเล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

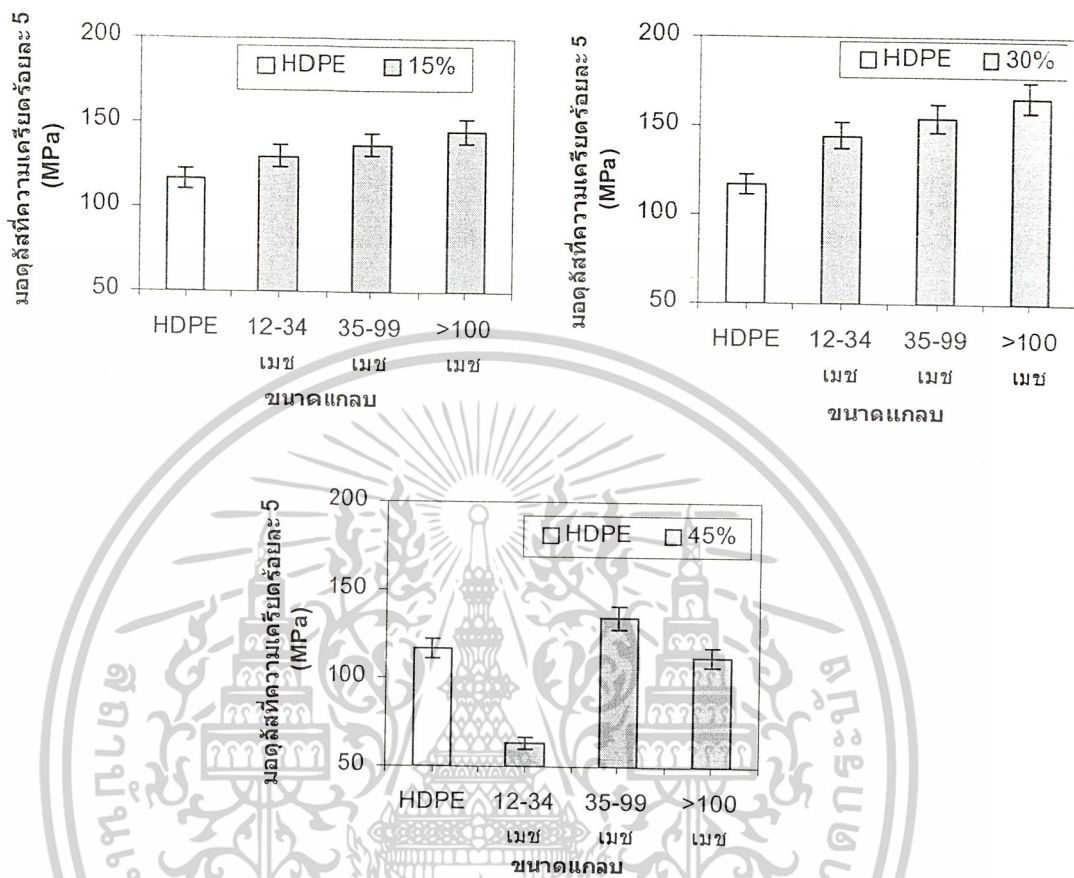
4.1.1.3 มอดูลัสที่ความเครียดร้อยละ 5



รูปที่ 4.5 มอดูลัสที่ความเครียดร้อยละ 5 ของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่ผสมแกลบในปริมาณต่าง ๆ

รูปที่ 4.5 แสดงค่ามอดูลัสที่ความเครียดร้อยละ 5 ของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่ผสมแกลบปริมาณต่าง ๆ พบว่าเมื่อเติมแกลบลงในพอลิเอทิลีนทำให้ค่ามอดูลัสเพิ่มขึ้น เนื่องจากแกลบมีความแข็งมากกว่าพอลิเอทิลีนจึงทำให้การเปลี่ยนแปลงรูปร่างเป็นไปได้ยากกว่า นอกจากนี้ยังพบว่า พอลิเอทิลีนที่ผสมแกลบร้อยละ 30 มีแนวโน้มของค่ามอดูลัสที่ความเครียดร้อยละ 5 เพิ่มขึ้นประมาณร้อยละ 25 30 และ 40 เมื่อใช้แกลบที่มีขนาด 12-34 35-99 และมากกว่า 100 มม ตามลำดับเมื่อเปรียบเทียบกับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง แต่เมื่อปริมาณแกลบเพิ่มเป็นร้อยละ 45 วัสดุผสมที่ได้มีลักษณะนิ่ม ค่ามอดูลัสมีค่าลดลง ซึ่งอาจเกิดจากปริมาณแกลบที่มากเกินไปเกิดเป็นจุดบกพร่องในวัสดุส่งผลให้ค่ามอดูลัสลดลง

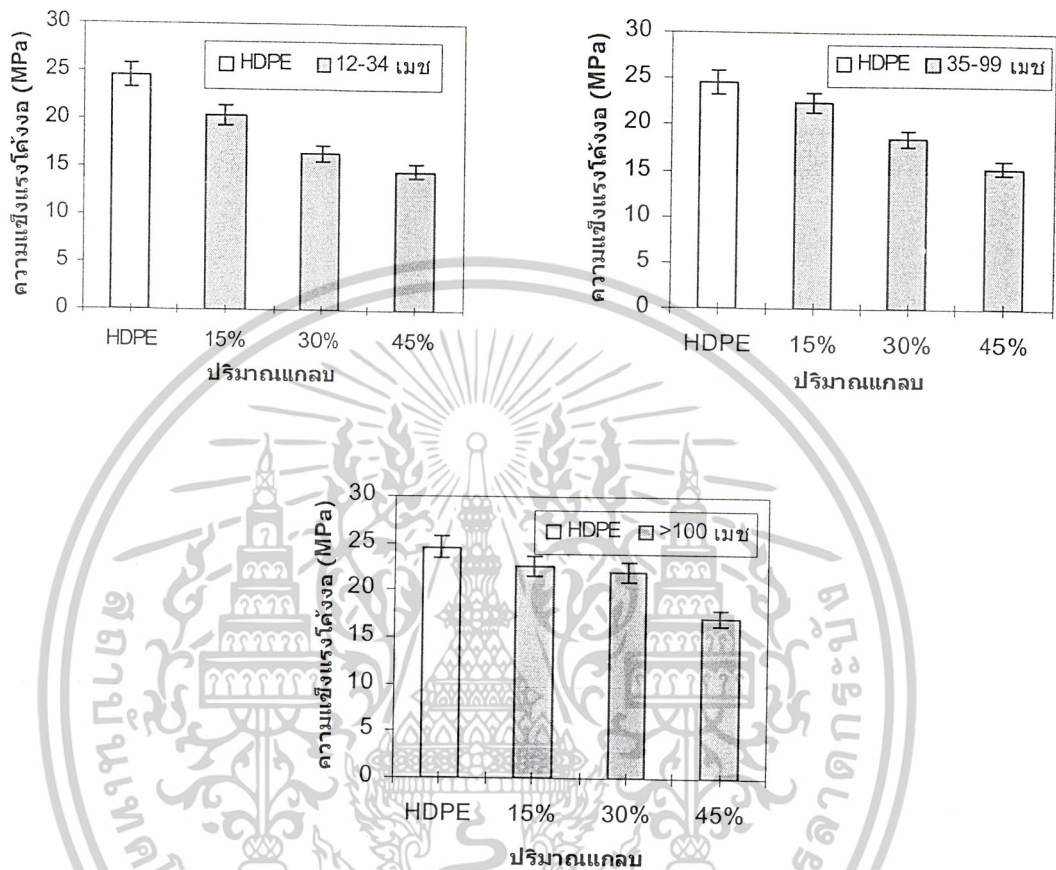
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 มอดูลัสที่ความเครียดร้อยละ 5 ของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่ผสมเกลบที่ขนาดต่าง ๆ

จากรูปที่ 4.6 เมื่อพิจารณาค่ามอดูลัสที่ความเครียดร้อยละ 5 ของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่ผสมเกลบขนาดต่าง ๆ พบว่าเมื่อเกลบมีขนาดเล็กลง ค่ามอดูลัสมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย เนื่องจากขนาดเกลบที่เล็กลง เป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างเกลบและพอลิเอทิลีนทำให้การยึดเกาะระหว่างเกลบและพอลิเอทิลีนดีขึ้น จึงส่งผลให้ค่ามอดูลัสที่ความเครียดร้อยละ 5 เพิ่มขึ้น

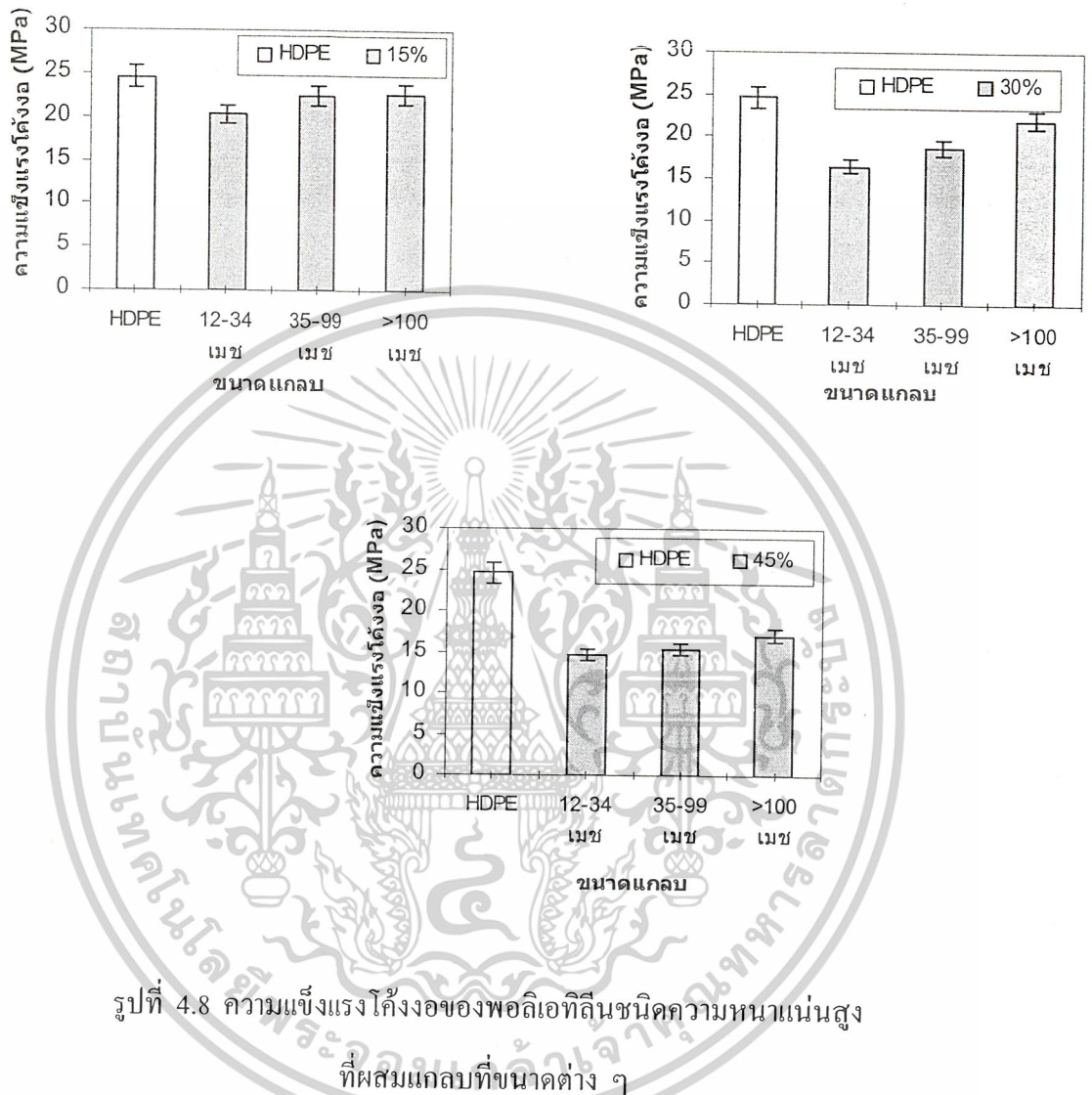
4.1.1.4 ความแข็งแรงโค้งงอ



รูปที่ 4.7 ความแข็งแรงโค้งงอของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง
ที่ผสมเกล็ดในปริมาณต่าง ๆ

จากรูปที่ 4.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งแรงโค้งงอกับเกล็ดปริมาณของเกล็ด พบว่าเมื่อผสมเกล็ดลงไปทำให้ค่าความแข็งแรงโค้งงอมีค่าลดลง เนื่องจากเกล็ดมีความแข็งมากกว่าพอลิเอทิลีน ดังนั้นจึงมีความสามารถในการโค้งงอได้น้อยกว่า ส่งผลให้เมื่อเติมเกล็ดในปริมาณเพิ่มขึ้นจึงทำให้ค่าความแข็งแรงโค้งงอลดลง นอกจากนี้ปริมาณเกล็ดที่เพิ่มมากขึ้นส่งผลให้เกิดจุดบกพร่องในวัสดุผสมเพิ่มขึ้น จึงทำให้ค่าความแข็งแรงโค้งงอลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

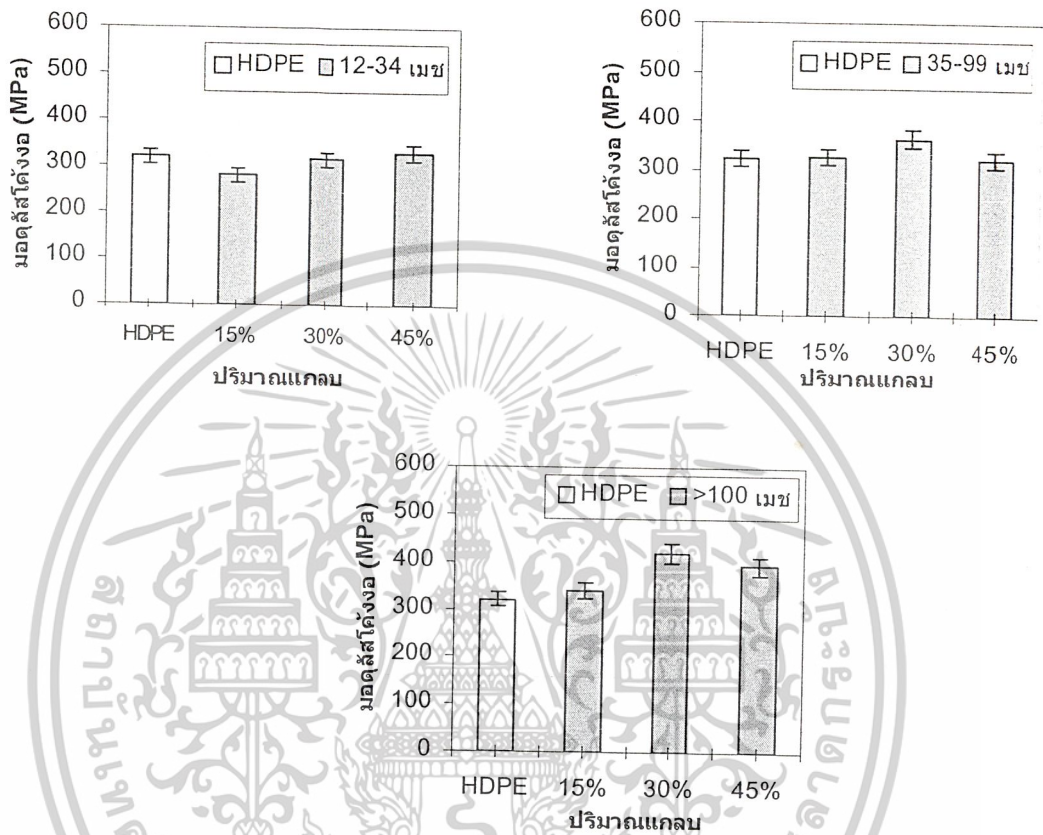


รูปที่ 4.8 ความแข็งแรงโค้งงอของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง
ที่ผสมเกล็ดที่ขนาดต่าง ๆ

ค่าความแข็งแรงโค้งงอ ของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่ผสมเกล็ดขนาดต่าง ๆ แสดงดังรูปที่ 4.8 พบว่า เมื่อขนาดเกล็ดที่เติมลงในพอลิเอทิลีนมีขนาดเล็กลงค่าความแข็งแรงโค้งงอมีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากเกล็ดที่มีขนาดเล็กลงเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างเกล็ดและพอลิเอทิลีนจึงส่งผลให้สามารถรับแรง โค้งงอได้มากขึ้น

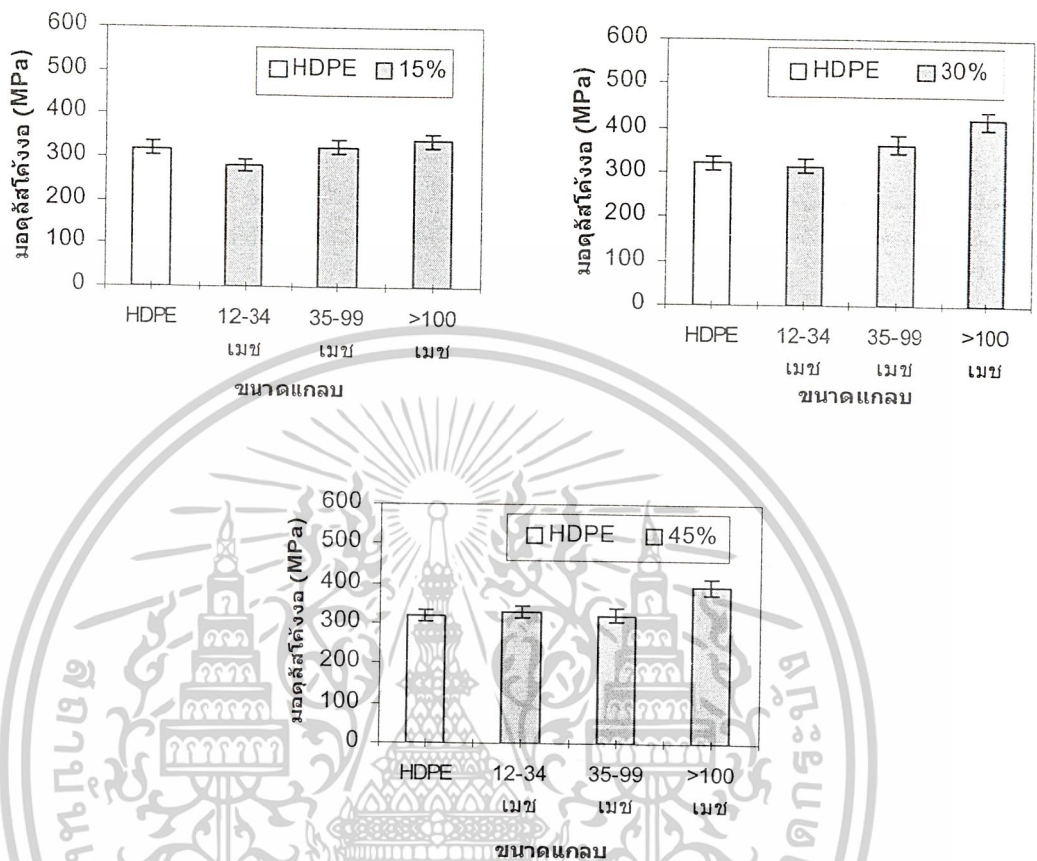
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.1.5 มอดุลัสโค้งงอ



รูปที่ 4.9 มอดุลัสโค้งงอของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง
ที่ผสมแกลบในปริมาณต่าง ๆ

จากรูปที่ 4.9 แสดงค่ามอดุลัสโค้งงอของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่ผสมแกลบปริมาณต่าง ๆ พบว่าค่ามอดุลัสโค้งงอมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเติมแกลบลงไป เนื่องจากแกลบมีความแข็งมากกว่าพอลิเอทิลีน โดยแกลบที่เติมลงไปปริมาณร้อยละ 30 ที่มีขนาดมากกว่า 100 เมช ให้ค่ามอดุลัสโค้งงอเพิ่มขึ้นประมาณร้อยละ 30 เมื่อเปรียบเทียบกับพอลิเอทิลีนชนิด ความหนาแน่นสูง และค่ามอดุลัสโค้งงอมีแนวโน้มลดลงเมื่อเติมแกลบลงไป ปริมาณร้อยละ 45 เนื่องจากปริมาณแกลบที่มากเกินไป ส่งผลให้เกิดจุดบกพร่องมากขึ้น ค่ามอดุลัสโค้งงอจึงมีแนวโน้มลดลง

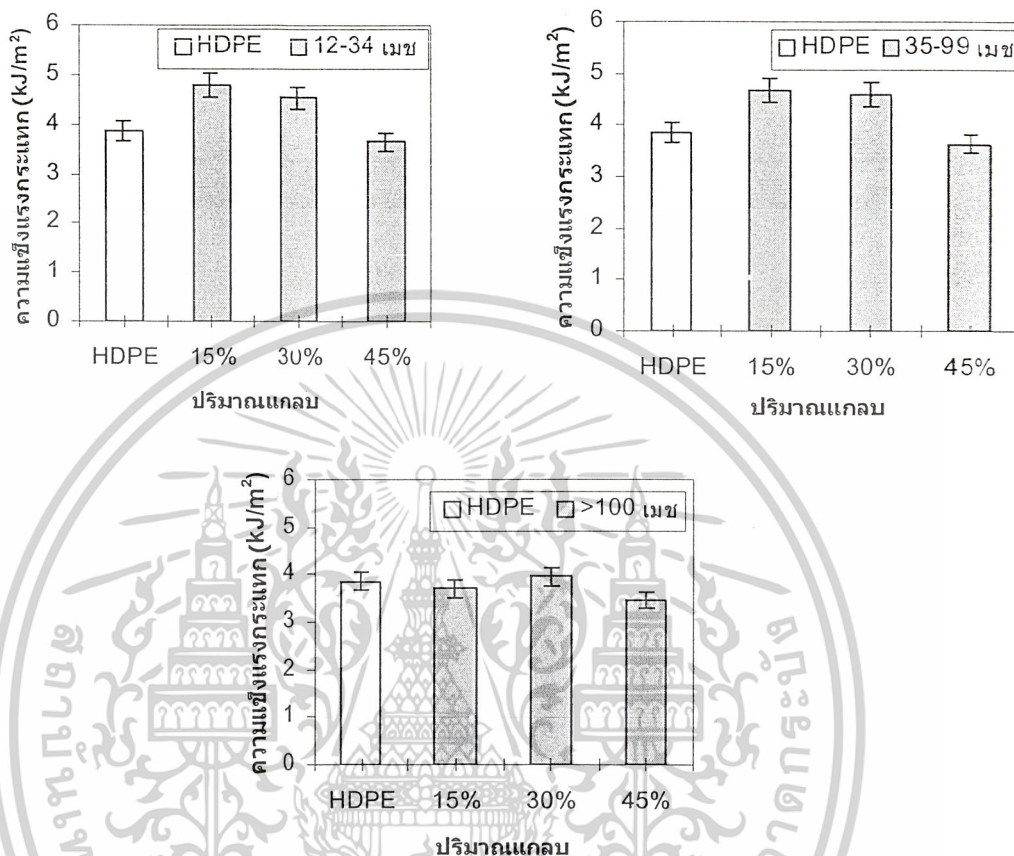


รูปที่ 4.10 มอดูลัสโค้งงอของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่ผสมเกลบที่ขนาดต่างๆ

จากรูปที่ 4.10 แสดงผลของขนาดเกลบที่มีต่อค่ามอดูลัส โค้งงอของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่ผสมเกลบ พบว่าเมื่อขนาดของเกลบเล็กลงค่ามอดูลัส โค้งงอมีค่าสูงขึ้นเนื่องจากการที่เกลบมีขนาดเล็ก เป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างเกลบและพอลิเอทิลีน การยึดเกาะระหว่างเกลบและพอลิเอทิลีนดีขึ้น จึงส่งผลให้ค่ามอดูลัส โค้งงอมีค่าสูงขึ้น โดยเฉพาะเมื่อใช้เกลบที่มีขนาดมากกว่า 100 เมช ในปริมาณร้อยละ 45 ให้ค่ามอดูลัส โค้งงอเพิ่มขึ้นประมาณร้อยละ 20 เมื่อเปรียบเทียบกับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง

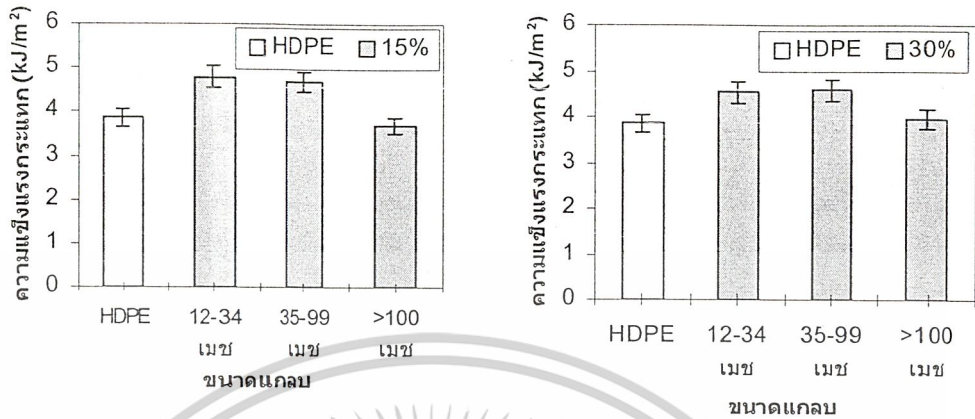
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.1.6 ความแข็งแรงกระแทก



รูปที่ 4.11 ความแข็งแรงกระแทกของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่ผสมแก้วในปริมาณต่าง ๆ

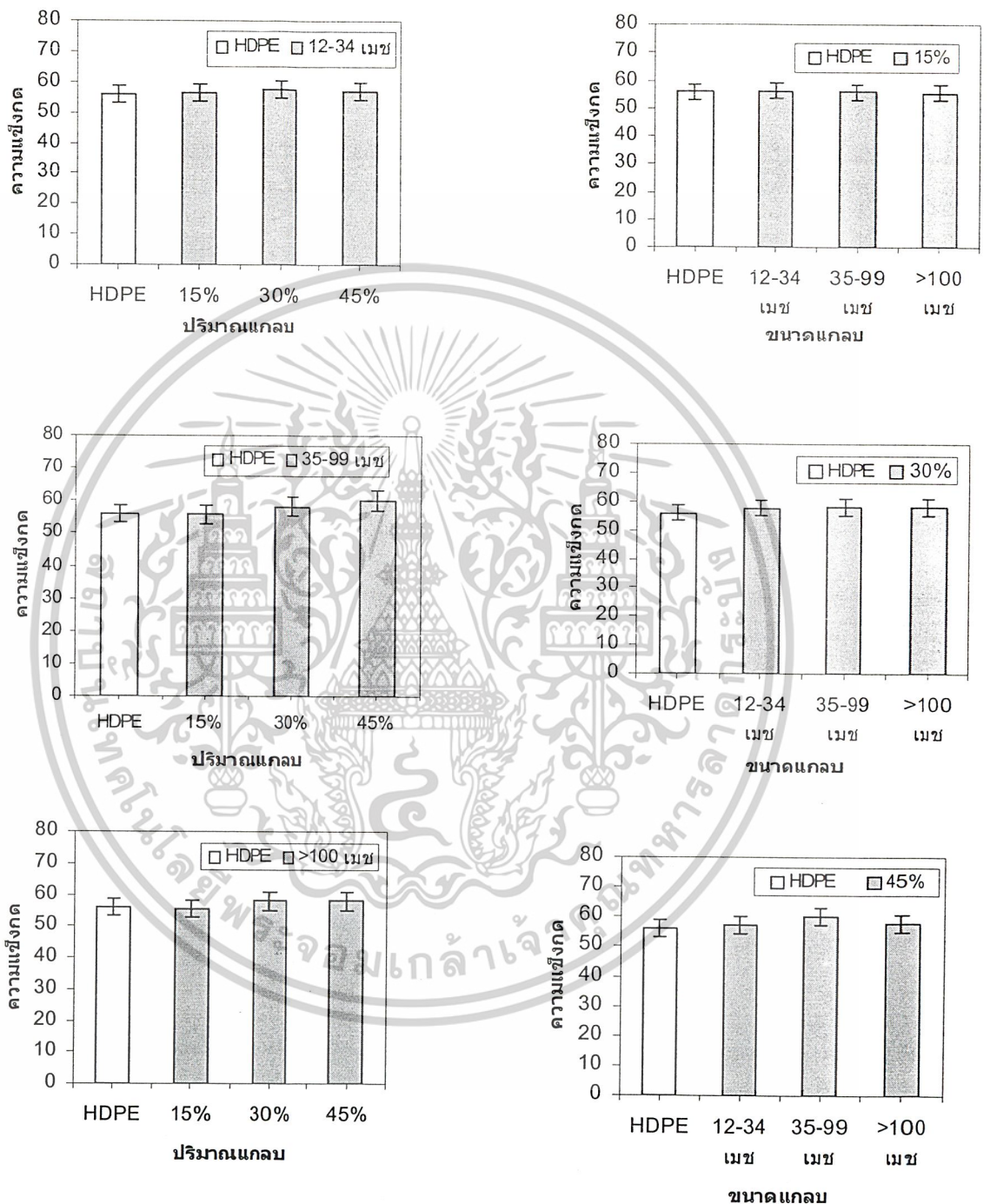
ค่าความแข็งแรงกระแทกของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่ผสมแก้วในปริมาณต่าง ๆ แสดงดังรูปที่ 4.11 พบว่าพอลิเอทิลีนที่ผสมแก้วร้อยละ 15 ให้ค่าความแข็งแรงกระแทกเพิ่มขึ้นเล็กน้อย และเมื่อปริมาณแก้วเพิ่มสูงขึ้น ค่าความแข็งแรงกระแทกมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากแก้วและพอลิเอทิลีนมีความเข้ากันได้ต่ำ ทำให้เกิดช่องว่างเล็ก ๆ บริเวณรอยต่อหรือช่องว่างระหว่างพอลิเอทิลีนและแก้วส่งผลให้เกิดเป็นจุดบกพร่องขึ้น ทำให้วัสดุมีความสามารถในการรับและส่งผ่านแรงได้ลดลง โดยค่าความแข็งแรงกระแทกมีแนวโน้มลดลงเมื่อปริมาณแก้วเพิ่มขึ้น



รูปที่ 4.12 ความแข็งแรงกระแทกของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง
ที่ผสมเกลบที่ขนาดต่างๆ

ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดเกลบและค่าความแข็งแรงกระแทกของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่ผสมเกลบแสดงดังรูปที่ 4.12 พบว่าเมื่อขนาดของเกลบลดลงความแข็งแรงกระแทกของวัสดุมีค่าลดลง เนื่องจากเกลบที่มีขนาดเล็กลงมีอัตราส่วนความยาวต่อความกว้าง (Aspect ratio) ลดลง จึงทำหน้าที่ช่วยรับและกระจายแรงได้น้อยกว่าเกลบที่มีอัตราส่วนความยาวต่อความกว้างสูง ส่งผลให้ค่าความแข็งแรงกระแทกมีค่าลดลงเมื่อเกลบมีขนาดเล็กลง

4.1.1.7 ความแข็งแรง



รูปที่ 4.13 ความแข็งแรงของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง

ที่ผสมเกลบในปริมาณและขนาดต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.13 แสดงค่าความแข็งแรงของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่ผสมเกลบในปริมาณและขนาดต่าง ๆ พบว่าขนาดและปริมาณของเกลบไม่มีผลต่อค่าความแข็งแรงของวัสดุผสม

จากการทดสอบสมบัติเชิงกล พบว่าพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่มีเกลบขนาดมากกว่า 100 เมช ปริมาณร้อยละ 30 เป็นสารตัวเติม ให้สมบัติเชิงกลโดยรวมดีที่สุด กล่าวคือ มอดูลัสและมอดูลัสโค้งงอมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ค่าความแข็งแรงกระแทกและความแข็งแรงคดมีแนวโน้มไม่เปลี่ยนแปลง ส่วนความแข็งแรงดึง ร้อยละการดึงยืด ณ จุดคราก ความแข็งแรงโค้งงอมีแนวโน้มลดลง นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณเกลบส่งผลต่อสมบัติเชิงกลของวัสดุผสมมากกว่าขนาดของเกลบ

จากการศึกษาผลของขนาดและปริมาณของวัสดุผสมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงและเกลบ พบว่าวัสดุผสมที่เติมเกลบขนาดมากกว่า 100 เมช ปริมาณร้อยละ 30 ให้สมบัติโดยรวมดีที่สุด ดังนั้นจึงเลือกสูตรนี้มาทำการศึกษาผลของการปรับปรุงความสามารถในการเข้ากันได้ระหว่างเกลบและพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงต่อไป

4.1.2 ผลของการปรับปรุงความสามารถในการเข้ากันได้ระหว่างเกลบและพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง

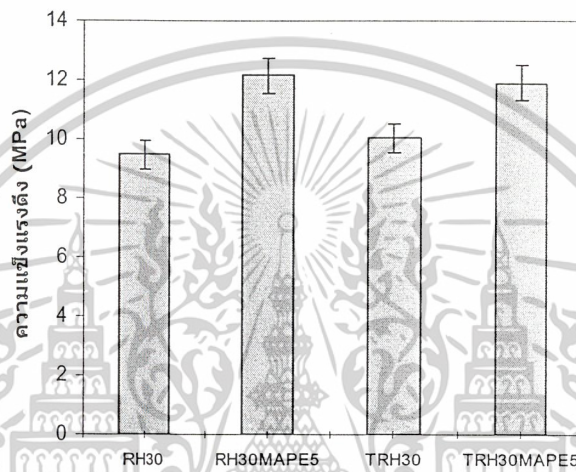
สมบัติเชิงกลของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่มีเกลบเป็นสารตัวเติม จากสูตรที่ใช้เกลบขนาดมากกว่า 100 เมชในปริมาณร้อยละ 30 ได้ทำการศึกษาเพิ่มเติมเชิงเปรียบเทียบถึงการบำบัดและไม่บำบัดด้วยด่าง รวมถึงการใช้และไม่ใช้สารคู่ควบชนิดมาเลอิกแอนไฮไดรด์ต่อกึ่งด้วยพอลิเอทิลีน (MAPE) ที่มีต่อสมบัติเชิงกลต่าง ๆ เช่นเดียวกับหัวข้อ 4.1 โดยใช้สัญลักษณ์ต่าง ๆ ดังนี้

- **RH30** คือ วัสดุผสมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงและเกลบที่ไม่ผ่านการบำบัดด้วย NaOH และไม่มีการใช้สารช่วยผสม MAPE
- **RH30MAPE5** คือ วัสดุผสมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงและเกลบที่ไม่ผ่านการบำบัดด้วย NaOH และมีการใช้สารช่วยผสม MAPE
- **TRH30** คือ วัสดุผสมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงและเกลบที่ผ่านการบำบัดด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์และไม่มีการใช้สารช่วยผสม MAPE
- **TRH30MAPE5** คือ วัสดุผสมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงและเกลบที่ผ่านการบำบัดด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์และมีการใช้สารช่วยผสม MAPE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การบำบัดด้วยต่าง ทำได้โดยแช่เกลบลงในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก เป็นเวลา 30 นาทีที่อุณหภูมิห้อง สำหรับการใส่สารช่วยผสม MAPE ใช้ในปริมาณร้อยละ 5 ค่อน้ำหนักของเกลบ

4.1.2.1 ความแข็งแรงดึง

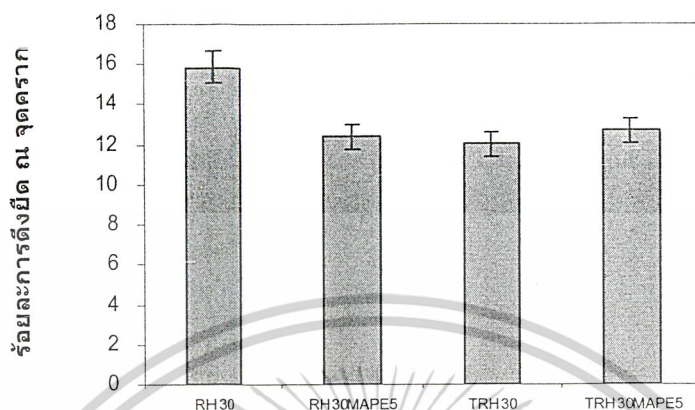


รูปที่ 4.14 ความแข็งแรงดึงของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่ผสมเกลบในสถานะต่าง ๆ

ความแข็งแรงดึงของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่ผสมเกลบในสถานะต่าง ๆ แสดงดังรูปที่ 4.14 พบว่าการบำบัดเกลบด้วยต่าง (TRH30) ไม่มีผลต่อค่าความแข็งแรงดึง ส่วนพอลิเอทิลีนที่ผสมสารช่วยผสมชนิดมาเลอิกแอนไฮไดรด์ต่อกิ่งด้วยพอลิเอทิลีน (MAPE) ทั้งในกรณีของ RH30MAPE และ TRH30MAPE ให้ค่าความแข็งแรงดึงเพิ่มขึ้นร้อยละ 30 เทียบกับ RH30 เนื่องจากสารช่วยผสมช่วยปรับปรุงการยึดติดระหว่างพอลิเอทิลีนและเกลบให้ดีขึ้น โดยสารช่วยผสมชนิด MAPE ประกอบด้วยมาเลอิกแอนไฮไดรด์ซึ่งเป็นส่วนที่มีขั้วและพอลิเอทิลีนซึ่งเป็นส่วนที่ไม่มีขั้ว มาเลอิกแอนไฮไดรด์สามารถเกิดปฏิกิริยาเคมีกับหมู่ไฮดรอกซิลที่อยู่ในวิภาคของเกลบได้ ส่วนที่ไม่มีขั้วของ MAPE หรือสายโซ่ของพอลิเอทิลีนสามารถเกิดการเกี่ยวพันเชิงกล (Physical entanglement) กับวิภาคของพอลิเอทิลีนได้ ดังนั้นสารช่วยผสม MAPE จึงทำหน้าที่เป็นสะพานเชื่อมให้เกลบที่เป็นส่วนมีขั้วยึดติดพอลิเอทิลีนที่เป็นส่วนไม่มีขั้วได้ดีขึ้น ส่งผลให้ค่าความแข็งแรงดึงสูงกว่าวัสดุผสมที่ไม่ได้เติมสารช่วยผสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

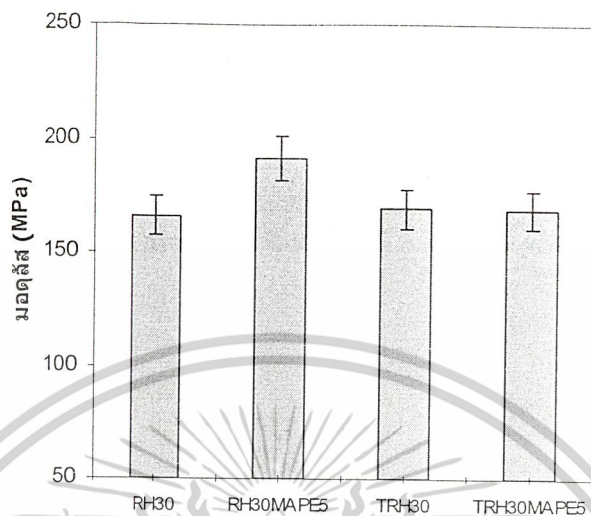
4.1.2.2 ร้อยละการดึงยึด ณ จุดคราก



รูปที่ 4.15 ร้อยละการดึงยึด ณ จุดครากของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง ที่ผสมเกลบในสภาวะต่าง ๆ

จากรูปที่ 4.15 แสดงค่าร้อยละการดึงยึด ณ จุดครากของวัสดุผสม พบว่า พอลิเอทิลีนที่ผสมเกลบที่ผ่านการบำบัดด้วยด่าง (TRH30) มีค่าร้อยละการดึงยึด ณ จุดครากต่ำกว่าพอลิเอทิลีนที่ผสมเกลบที่ไม่ผ่านการบำบัดด้วยด่าง (RH30) เนื่องจากเกลบที่ผ่านการบำบัดด้วยด่างมีปริมาณลิกนิน (Lignin) เฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose) ไขมัน (Wax) ลดลง จึงทำให้สัดส่วนเซลลูโลสที่เป็นส่วนมีขี้ผึ้งเพิ่มขึ้นส่งผลให้เกลบมีขี้ผึ้งเพิ่มขึ้น ดังนั้นการกระจายตัวและการยึดติดกับพอลิเมอร์จึงลดลง [22] ดังนั้นค่าร้อยละการดึงยึด ณ จุดครากของพอลิเอทิลีนที่ผสมเกลบที่ผ่านการบำบัดด้วยด่างจึงมีแนวโน้มลดลง นอกจากนี้การผสมสารช่วยผสม MAPE ลงในวัสดุผสมทำให้ค่าร้อยละการดึงยึด ณ จุดครากมีค่าลดลงเช่นกัน

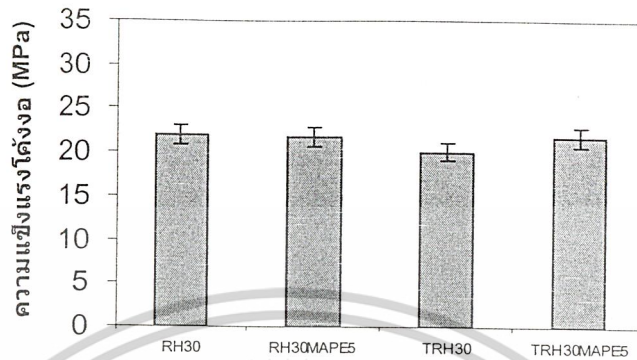
4.1.2.3 มอดูลัสที่ความเครียดร้อยละ 5



รูปที่ 4.16 มอดูลัสที่ความเครียดร้อยละ 5 ของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่ผสมเกลบในสถานะต่าง ๆ

จากค่ามอดูลัสที่ความเครียดร้อยละ 5 ของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่ผสมเกลบในสถานะต่าง ๆ ที่แสดงดังรูปที่ 4.16 พบว่าการบำบัดและไม่บำบัดด้วยด่างไม่ส่งผลต่อค่ามอดูลัสที่ความเครียดร้อยละ 5 แต่การเติมสารช่วยผสม MAPE ส่งผลให้ค่ามอดูลัสที่ความเครียดร้อยละ 5 เพิ่มขึ้น เนื่องจากการผสมสารคู่ควบเป็นการเพิ่มความเข้ากันได้ระหว่างพอลิเอทิลีนและเกลบ ค่ามอดูลัสที่ความเครียดร้อยละ 5 จึงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดย RH30MAPE5 และ TRH30MAPE5 มีค่ามอดูลัสที่ความเครียดร้อยละ 5 เพิ่มขึ้นร้อยละ 15 และ 5 ตามลำดับเมื่อเปรียบเทียบกับ RH30

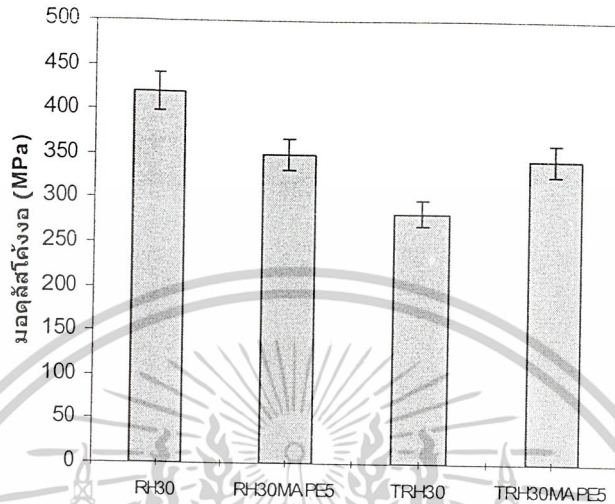
4.1.2.4 ความแข็งแรงโค้งงอ



รูปที่ 4.17 ความแข็งแรง โค้งงอของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง
ที่ผสมเกลบในสถานะต่าง ๆ

จากรูปที่ 4.17 พบว่าพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่ผสมเกลบที่บ่มและไม่มีบ่มด้วยต่างมีค่าความแข็งแรง โค้งงอใกล้เคียงกัน และการผสมสารช่วยผสม ไม่มีผลต่อความแข็งแรง โค้งงอของวัสดุผสม โดยค่าความแข็งแรง โค้งงอของวัสดุผสมมีอยู่ในช่วง 20-22 MPa

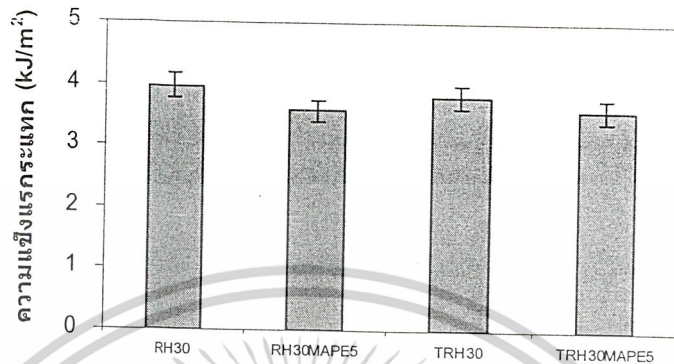
4.1.2.5 มอดุลัสโค้งงอ



รูปที่ 4.18 มอดุลัสโค้งงอของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่ผสมเกลบในสถานะต่างๆ

จากรูปที่ 4.18 แสดงค่ามอดุลัสโค้งงอของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่ผสมเกลบในสถานะต่าง ๆ พบว่าพอลิเอทิลีนที่ผสมเกลบที่บับัดด้วยด่าง (TRH30) มีค่ามอดุลัสโค้งงอต่ำกว่าพอลิเอทิลีนที่ผสมเกลบที่ไม่บับัดด้วยด่าง (RH30) เนื่องจากการบับัดด้วยด่างทำให้เกลบรับแรงได้น้อยลง ซึ่งเป็นผลมาจากปริมาณลิกนิน เฮมิเซลลูโลส และไขมันที่ลดลง ดังนั้นค่ามอดุลัสโค้งงอจึงมีค่าลดลง และการเติมสารช่วยผสมในวัสดุผสมที่ผสมเกลบที่ไม่บับัดด้วยด่าง (RH30MAPE5) ให้ค่ามอดุลัสโค้งงอต่ำกว่าพอลิเอทิลีนที่ผสมเกลบที่ไม่บับัดด้วยด่าง (RH30) แต่มีค่าใกล้เคียงกับพอลิเอทิลีนที่ผสมเกลบที่บับัดด้วยด่างและเติมสารช่วยผสม (TRH30MAPE5) และการเติมสารช่วยผสมลงในวัสดุผสมที่บับัดด้วยด่าง (TRH30MAPE5) ส่งผลให้ค่ามอดุลัสโค้งงอสูงกว่าการไม่ได้เติมสารช่วยผสม (TRH30) เนื่องจากสารช่วยผสมทำให้ความเข้ากันได้ระหว่างวัฏภาคเกลบและพอลิเมอร์ดีขึ้น ค่ามอดุลัสโค้งงอจึงมากกว่า TRH30

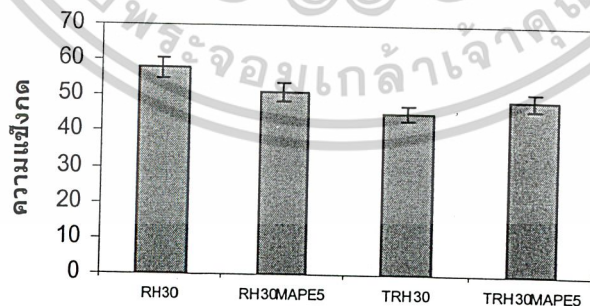
4.1.2.6 ความแข็งแรงกระแทก



รูปที่ 4.19 ค่าความแข็งแรงกระแทกของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่ผสมเกล็ดในสถานะต่าง ๆ

ค่าความแข็งแรงกระแทกของวัสดุผสมที่แสดงดังรูป 4.19 พบว่าการบำบัดและไม่บำบัดด้วยต่าง การเติมและไม่เติมสารช่วยผสม ไม่มีผลต่อค่าความแข็งแรงกระแทกของพอลิเอทิลีน

4.1.2.7 ความแข็งกด



รูปที่ 4.20 ความแข็งกดของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่ผสมเกล็ดในสถานะต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าความแข็งกคของพอลิเอทิลีนที่ผสมเกลบที่บำบัดและไม่บำบัดด้วยด่าง แสดงดังรูปที่ 4.20 เห็นได้ว่าการบำบัดด้วยด่างส่งผลให้ค่าความแข็งกคลดลง เนื่องจากการบำบัดด้วยด่างทำให้ส่วนที่เพิ่มความแข็งให้กับเกลบ ได้แก่ ลิกนิน เฮมิเซลลูโลสถูกกำจัดออกไป ดังนั้นค่าความแข็งกคจึงมีค่าลดลง แต่เมื่อเติมสารช่วยผสมลงในวัสดุผสมที่ผสมเกลบที่บำบัดด้วยด่าง (TRH30MAPE5) ทำให้ค่าความแข็งกคมากกว่า TRH30 เนื่องจากสารช่วยผสมช่วยให้เกลบและพอลิเอทิลีนสามารถเข้ากันและยึดติดกันได้ดีขึ้น ดังนั้นวัสดุผสมจึงมีค่าความแข็งกคเพิ่มขึ้น

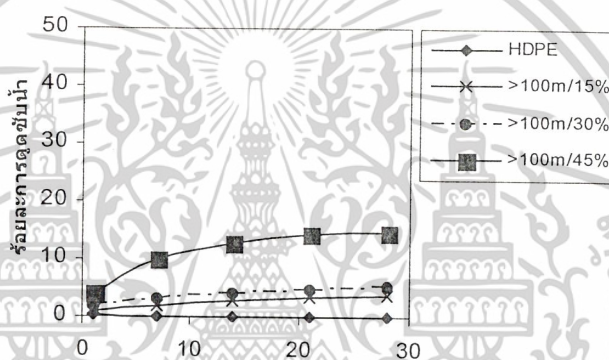
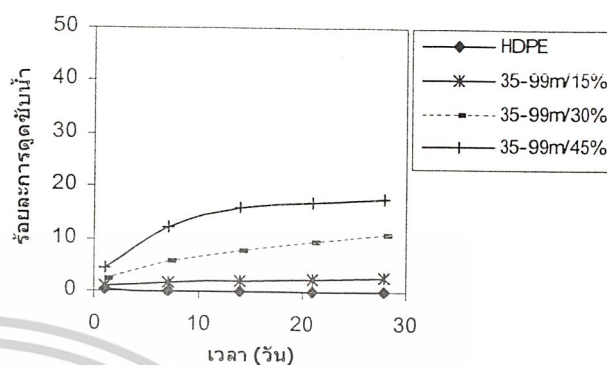
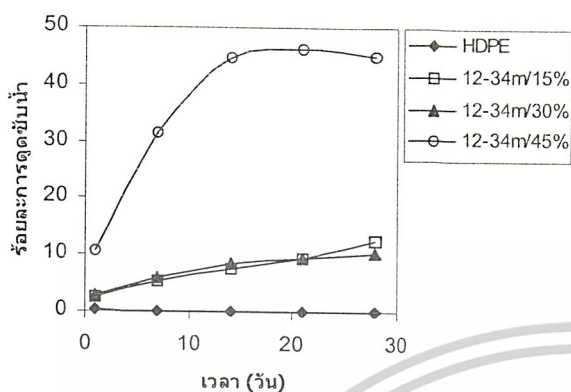
จากการศึกษาเชิงเปรียบเทียบของการบำบัดและไม่บำบัดด้วยด่าง (NaOH) รวมถึงการใช้และไม่ใช้สารช่วยผสม (MAPE) พบว่าการบำบัดด้วยด่างส่งผลให้สมบัติเชิงกลลดลง และการเติมสารช่วยผสมลงในวัสดุผสมที่ใช้เกลบที่บำบัดและไม่บำบัดด้วยด่าง ให้สมบัติเชิงกลที่ดีขึ้นคล้ายคลึงกัน ดังนั้น สมบัติเชิงกลโดยรวมของวัสดุผสมสามารถปรับปรุงให้ดีขึ้นได้ โดยการใส่สารช่วยผสม MAPE เพื่อเพิ่มความเข้ากันได้ระหว่างวัสดุ

4.2 สมบัติทางกายภาพ

4.2.1 ผลของขนาดและปริมาณเกลบ

4.2.1.1 ร้อยละการดูดซับน้ำ

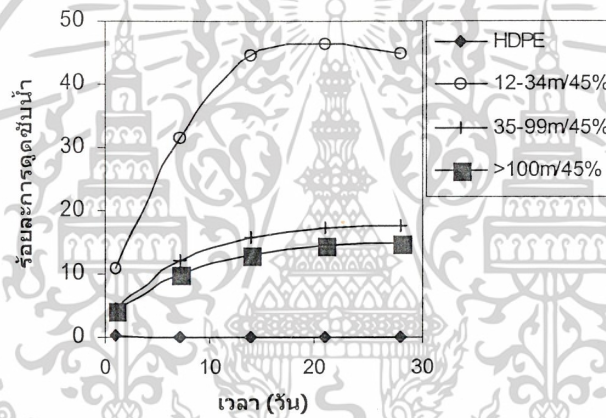
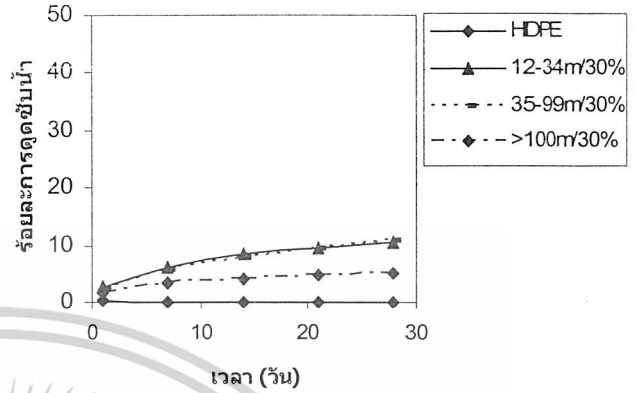
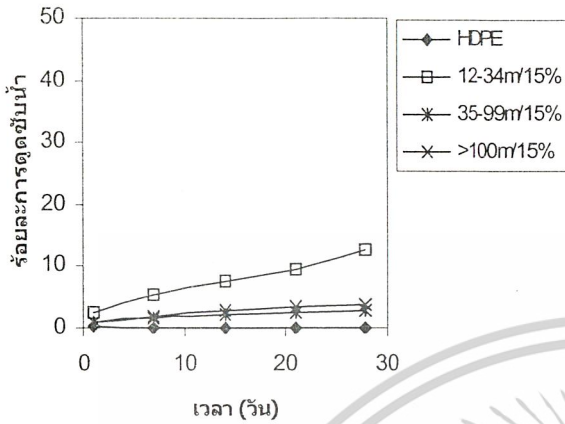
สมบัติการดูดซับน้ำ คือ ความสามารถของวัสดุในการดูดซับน้ำเข้าไปภายใน ซึ่งบริเวณที่วัสดุผสมสามารถดูดซับน้ำเข้าไปมี 3 บริเวณ ได้แก่ ลูเมน (Lumen) ผนังเซลล์ (Cell wall) [42] และบริเวณรอยต่อหรือช่องว่างระหว่างเกลบและพอลิเอทิลีน แสดงผลดังรูปที่ 4.21 และ 4.22 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับน้ำของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่ผสมเกลบในปริมาณและขนาดต่างๆ กับระยะเวลา พบว่าพอลิเอทิลีนที่ผสมเกลบมีค่าร้อยละการดูดซับน้ำสูงกว่าพอลิเอทิลีนที่ไม่มีผสมเกลบ เนื่องจากองค์ประกอบหลักของเกลบ คือ เซลลูโลส (Cellulose) ที่ประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซิลจำนวนมาก ทำให้สามารถดูดซับน้ำได้ดี ส่งผลให้มีค่าร้อยละการดูดซับน้ำมากขึ้น เมื่อเทียบกับพอลิเอทิลีนที่ไม่ผสมเกลบ



รูปที่ 4.21 ร้อยละการดูดซับน้ำของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง
ที่ผสมเกลบในปริมาณและระยะเวลาต่าง ๆ

จากรูปที่ 4.21 แสดงค่าร้อยละการดูดซับน้ำของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่มี
เกลบเป็นสารตัวเติมที่ปริมาณและระยะเวลาต่าง ๆ พบว่าวัสดุที่ผสมเกลบลงไปร้อยละ 45 มีค่า
ร้อยละการดูดซับน้ำสูงที่สุด และมีแนวโน้มของค่าร้อยละการดูดซับน้ำเริ่มคงที่เมื่อเวลาผ่านไป 20
วัน โดยเกลบขนาด 12-34 เมช ปริมาณร้อยละ 45 มีค่าร้อยละการดูดซับน้ำมากที่สุด คือ ร้อยละ 46
ส่วนเกลบขนาด 35-99 และมากกว่า 100 เมช เมื่อมีปริมาณร้อยละ 45 มีค่าร้อยละการดูดซับน้ำ
สูงสุดเท่ากับร้อยละ 17 และ 14 ตามลำดับ เนื่องจากเมื่อปริมาณเกลบในวัสดุมากขึ้น จำนวนของ
หมู่ไฮดรอกซิลซึ่งเป็นบริเวณที่สามารถดูดซับน้ำได้มีจำนวนเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากชิ้นงานที่เตรียม
ได้มีเกลบอยู่บนพื้นผิวที่เกิดจากเทคนิคการอัดขึ้นรูป ดังนั้นวัสดุจึงดูดซับน้ำได้มากขึ้น และวัสดุที่
ผสมเกลบลงไปร้อยละ 15 และ 30 พบว่ามีแนวโน้มของค่าร้อยละการดูดซับน้ำเริ่มคงที่เมื่อเวลา
ผ่านไป 20 วันเช่นกัน โดยวัสดุที่ผสมเกลบลงไปร้อยละ 15 ให้ค่าร้อยละการดูดซับน้ำค่าที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เมฆ รูปที่ 4.22 ร้อยละการดูดซับน้ำของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง
ที่ผสมเกลบขนาดและระยะเวลาต่าง ๆ

ค่าร้อยละการดูดซับน้ำของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่ผสมเกลบขนาดต่าง ๆ ในระยะเวลาต่าง ๆ แสดงดังรูปที่ 4.22 พบว่าที่ปริมาณเกลบร้อยละ 15 เกลบขนาด 12-34 35-99 และมากกว่า 100 เมฆ มีค่าร้อยละการดูดซับน้ำสูงสุด เท่ากับร้อยละ 12 3 และ 4 ตามลำดับ และเมื่อปริมาณเกลบเป็นร้อยละ 30 เกลบขนาด 12-34 35-99 และมากกว่า 100 มีค่าร้อยละการดูดซับน้ำสูงสุดเท่ากับร้อยละ 10 10 และ 5 ตามลำดับ และเมื่อปริมาณเกลบร้อยละ 45 ค่าร้อยละการดูดซับน้ำสูงสุดของเกลบขนาด 12-34 35-99 และมากกว่า 100 เมฆ มีค่าเท่ากับร้อยละ 46 17 และ 14 ตามลำดับ โดยค่าร้อยละการดูดซับน้ำมีแนวโน้มคงที่เมื่อเวลาผ่านไป 20 วัน ดังนั้นจะเห็นได้ว่าวัสดุที่ผสมเกลบขนาดใหญ่มีค่าร้อยละการดูดซับน้ำสูงกว่าวัสดุที่ผสมเกลบขนาดเล็ก เนื่องจาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

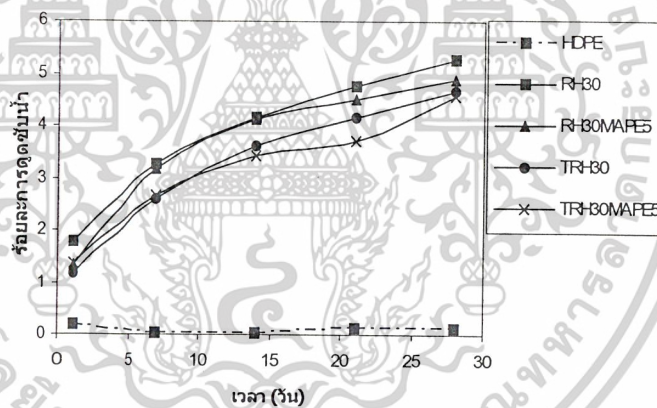
เกลบที่มีขนาดใหญ่ขึ้นสามารถดูดซับน้ำเก็บไว้ภายในได้มากกว่าเกลบขนาดเล็ก ดังนั้นค่าร้อยละการดูดซับน้ำของวัสดุที่ผสมเกลบขนาดเล็กจึงมีค่าน้อยกว่า

จากผลการทดสอบสมบัติการดูดซับน้ำของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง ที่มีเกลบเป็นสารตัวเติม พบว่าปริมาณเกลบเป็นปัจจัยหลักที่มีผลต่อค่าร้อยละการดูดซับน้ำ กล่าวคือ เมื่อปริมาณเกลบมากขึ้น ทำให้ค่าร้อยละการดูดซับน้ำเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาผ่านไป ส่วนปัจจัยรองลงมา คือ ขนาดของเกลบ กล่าวคือ เมื่อขนาดเกลบใหญ่ขึ้น ส่งผลให้ค่าร้อยละการดูดซับน้ำเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาเพิ่มขึ้น

4.2.2 ผลของการปรับปรุงความสามารถในการเข้ากันได้ระหว่างเกลบและ

พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง

4.2.2.1 ร้อยละการดูดซับน้ำ



รูปที่ 4.23 ร้อยละการดูดซับน้ำของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง

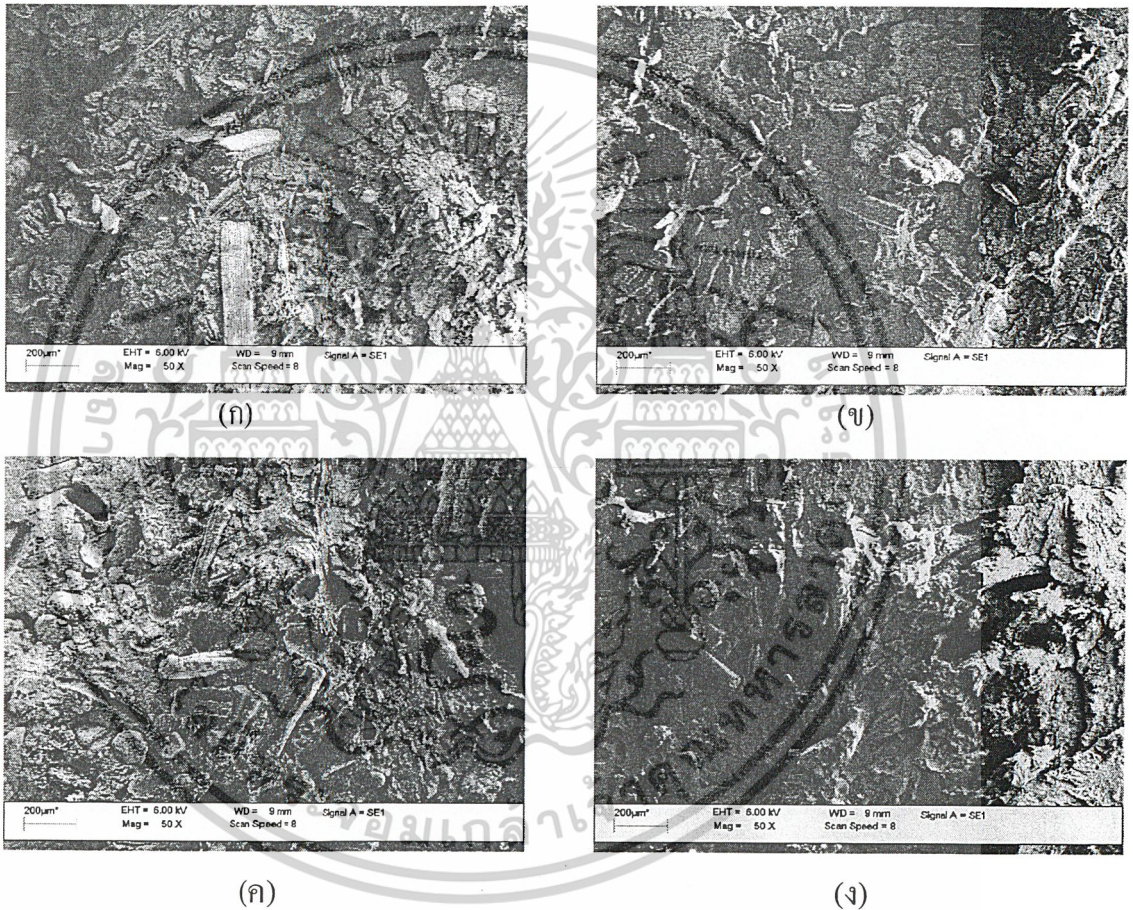
ที่ผสมเกลบในสถานะต่าง ๆ

สมบัติการดูดซับน้ำของวัสดุผสมที่สถานะต่าง ๆ แสดงดังรูปที่ 4.23 พบว่าวัสดุผสมที่ผสมเกลบที่ไม่บ่มและบ่มด้วยค่าต่าง (RH30 และ TRH30) มีค่าร้อยละการดูดซับน้ำสูงสุดประมาณร้อยละ 5 และการเติมสารคู่ควบลงไปในวัสดุผสมที่ผสมเกลบที่ไม่บ่มและบ่มด้วยค่าต่าง (RH30MAPE5 และ TRH30MAPE50) ให้ค่าร้อยละการดูดซับน้ำมีค่าประมาณร้อยละ 4 เห็นได้ว่าการเติมสารช่วยผสมทำให้การดูดซับน้ำของวัสดุผสมลดลงเล็กน้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 สัณฐานวิทยา

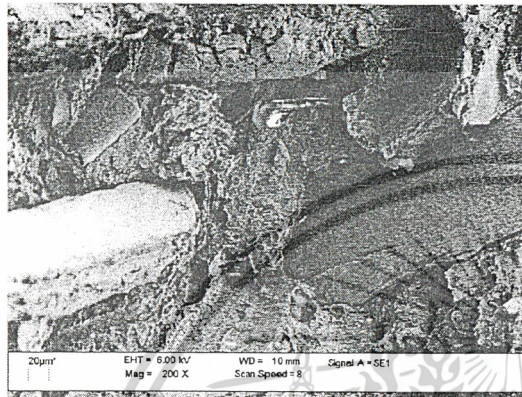
จากการศึกษาลักษณะการกระจายตัวของเกลบที่บำบัด และไม่บำบัดด้วยค่างในพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง รวมทั้งผลของการผสมสารช่วยผสม MAPE ด้วยการใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) โดยใช้พอลิเอทิลีนที่ผสมเกลบที่บำบัดและไม่บำบัดด้วยค่างที่มีขนาดมากกว่า 100 เมช ในปริมาณ ร้อยละ 30 และใช้ MAPE ร้อยละ 5 ของน้ำหนักเกลบ แสดงผลดังรูปที่ 4.24 และ 4.25



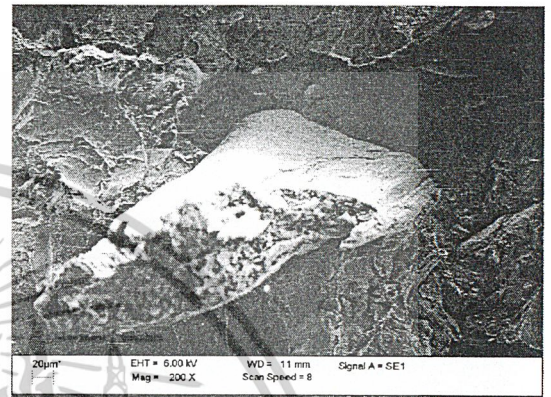
รูปที่ 4.24 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 50 เท่า

(ก) RH30 (ข) RH30MAPE5 (ค) TRH30 และ (ง) TRH30MAPE5

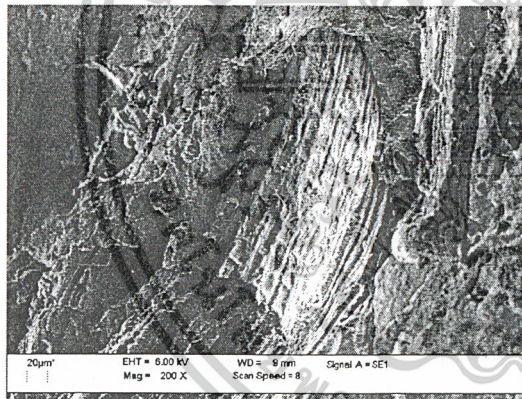
เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 4.24 (ก) และ (ค) พบว่าเกล็ดที่บับัดและไม่บับัดด้วยค้างมีการกระจายตัวในวิภูภาคของพอลิเอทิลีนไม่แตกต่างกัน รวมทั้งการใช้และไม่ใช้สารช่วยผสม (รูปที่ 4.24 (ข) และ (ง)) ไม่มีผลต่อการกระจายตัวของเกล็ดเช่นกัน



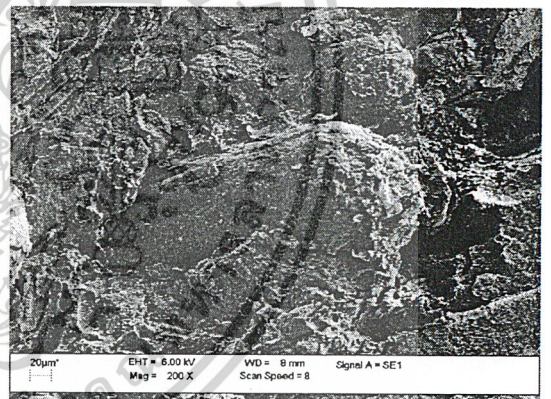
(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

รูปที่ 4.25 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 200 เท่า

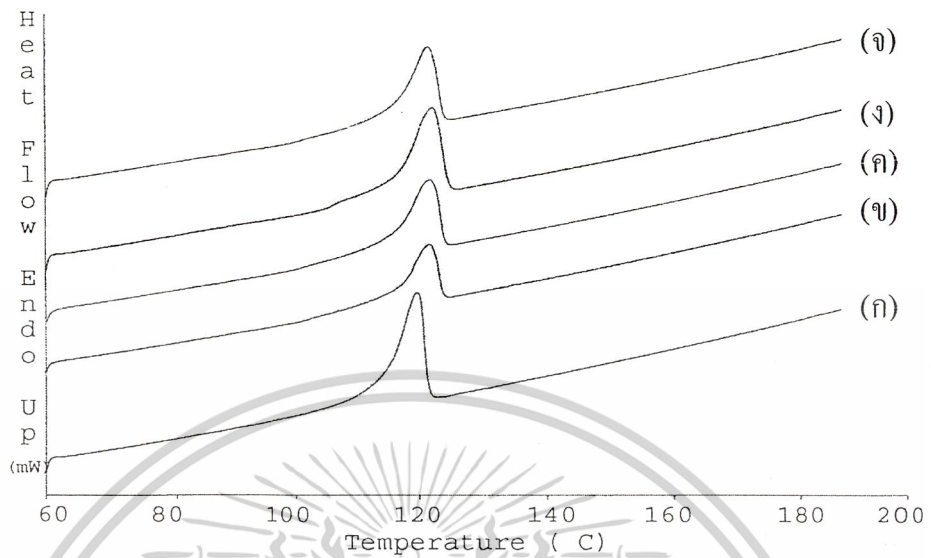
(ก) RH30 (ข) RH30MAPE5 (ค) TRH30 และ (ง) TRH30MAPE5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

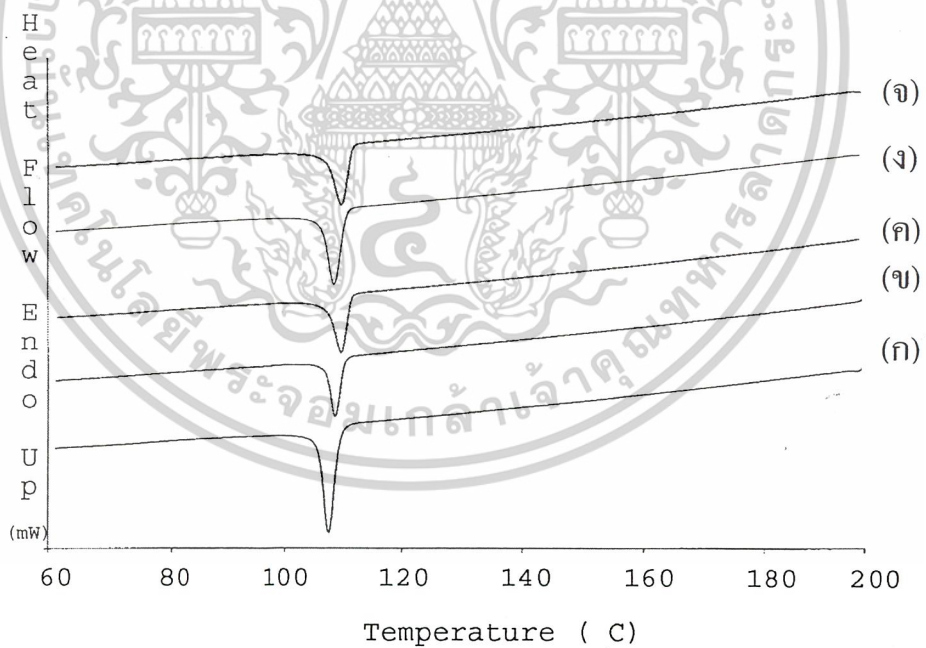
เมื่อพิจารณาที่กำลังขยาย 200 เท่ารูปที่ 4.25 (ก) พบว่าพอลิเอทิลีนผสมเกลบที่ไม่ผ่านการบำบัดด้วยด่างเมื่อผสมกันแล้วมีความสามารถในการเข้ากันได้ต่ำ สังเกตได้จากช่องว่างที่เกิดจากรอยต่อระหว่างวัฏภาคทั้งสอง เปรียบเสมือนจุดบกพร่องภายในชิ้นงาน ส่งผลให้สมบัติเชิงกลต่างๆ ของวัสดุผสมที่ได้ไม่ดีนัก และจากรูปที่ 4.25 (ค) พบว่าเกลบที่บำบัดด้วยด่างมีพอลิเอทิลีนเกาะติดบริเวณพื้นผิวของเกลบ เนื่องจากการบำบัดด้วยด่าง ทำให้พื้นผิวเกลบมีความขรุขระเพิ่มขึ้น พอลิเอทิลีนจึงสามารถกระจายไปบนพื้นผิวและเข้าไปตามร่องของเส้นใยได้ เกิดแรงยึดเหนี่ยวเชิงกลขึ้น (Mechanical interlocking) [18] ทำให้สมบัติเชิงกลของวัสดุผสมดีขึ้น แต่อย่างไรก็ตามการบำบัดด้วยด่างได้กำจัดลิกนินและเฮมิเซลลูโลส ซึ่งเป็นส่วนที่เพิ่มความแข็งแรงให้กับเกลบออกไปบางส่วน [22] ความแข็งแรงของเกลบจึงลดลง ดังนั้นโดยรวมแล้วสมบัติเชิงกลของวัสดุผสมที่ได้จึงไม่เปลี่ยนแปลงเมื่อเทียบกับพอลิเอทิลีนที่ผสมเกลบที่ไม่บำบัดด้วยด่าง นอกจากนี้การใช้สารช่วยผสม MAPE ช่วยให้ความเข้ากันได้ระหว่างเกลบและพอลิเอทิลีนดีขึ้น (รูปที่ 4.25 (ข) และ (ง)) สังเกตได้จากรอยต่อระหว่างวัฏภาคทั้งสองที่มีขนาดเล็กลง และมีพอลิเมอร์ที่ปกคลุมบริเวณพื้นผิวเกลบ แสดงว่าพอลิเอทิลีนและเกลบมีความเข้ากันได้ดีขึ้น เนื่องจาก MAPE ช่วยให้เกิดการยึดติดทางเคมี (Chemical bonding) ขึ้น โดยปลายข้างที่เป็นมาเลอิกแอนไฮไดรด์เกิดพันธะกับหมู่ฟังก์ชันบนผิวเกลบ ส่วนปลายอีกข้างซึ่งเป็นส่วนไม่มีขั้วเกิดการเกี่ยวพันเชิงกลกับพอลิเอทิลีน [18] ทำให้ความเข้ากันได้ระหว่างวัฏภาคทั้งสองดีขึ้น ส่งผลให้สมบัติเชิงกลต่างๆ มีแนวโน้มดีขึ้นดังแสดงในหัวข้อที่ 4.1.2

4.4 สมบัติทางความร้อน

สมบัติทางความร้อนที่ทำการศึกษา คือ อุณหภูมิการหลอมเหลว (Melt temperature, T_m) อุณหภูมิการตกผลึก (Crystallization temperature, T_c) และองศาการเกิดผลึก (Degree of crystallinity) ซึ่งมีหลายปัจจัยที่มีผลต่ออุณหภูมิหลอมเหลวผลึก โดยเฉพาะปัจจัยทางโครงสร้างโมเลกุลของพอลิเมอร์ เช่น น้ำหนักโมเลกุล (Molecular weight) องค์กรประกอบของอะตอมในสายโซ่หลักหรือความแข็งของสายโซ่ (Chain stiffness) พันธะระหว่างสายโซ่ (Intramolecular interaction) เป็นต้น [6]



รูปที่ 4.26 อุณหภูมิการหลอมเหลว (T_m) (ก) พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (ข) RH30 (ค) RH30MAPE5 (ง) TRH30 และ (จ) TRH30MAPE5



รูปที่ 4.27 อุณหภูมิการตกผลึก (T_c) (ก) พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (ข) RH30 (ค) RH30MAPE5 (ง) TRH30 และ (จ) TRH30MAPE5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

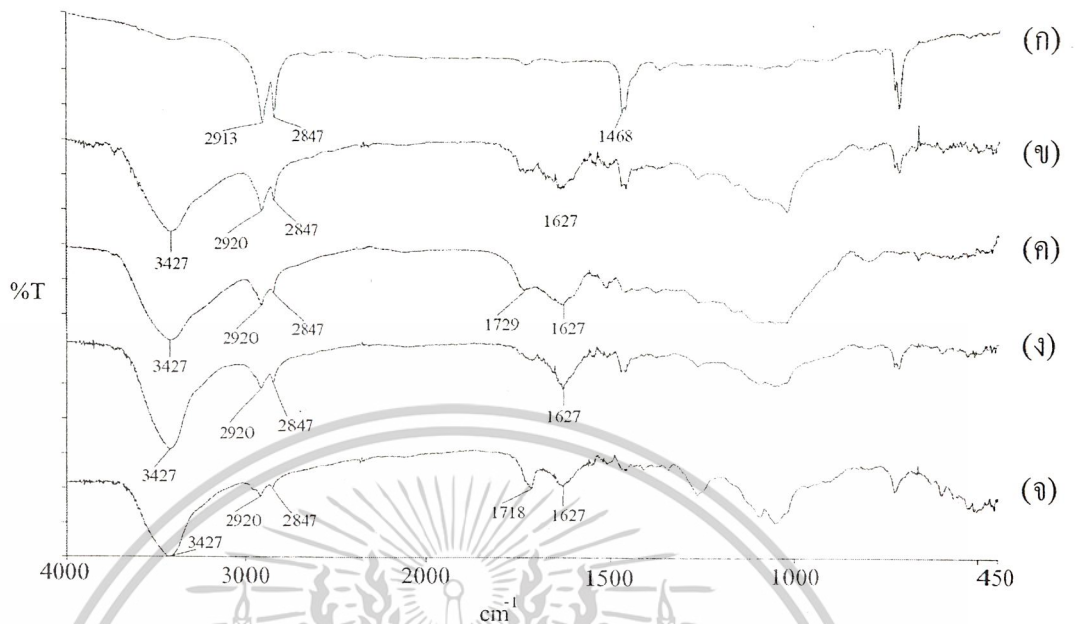
ตารางที่ 4.1 อุณหภูมิการหลอมเหลว อุณหภูมิการตกผลึกและองศาการเกิดผลึกในสถานะต่างๆ

	อุณหภูมิการหลอมเหลว ($^{\circ}\text{C}$) (T_m)	อุณหภูมิการตกผลึก ($^{\circ}\text{C}$) (T_c)	องศาการเกิดผลึก (%)
HDPE	119	107	57
RH30	120	109	54
RH30MAPE5	120	109	57
TRH30	121	108	54
TRH30MAPE5	121	109	55

สมบัติทางความร้อนของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่มีเกลบเป็นสารตัวเติมในสถานะต่าง ๆ แสดงดังรูปที่ 4.23-4.24 และตารางที่ 4.1 พบว่าอุณหภูมิการหลอมเหลว อุณหภูมิการตกผลึกและองศาการเกิดผลึก มีค่าไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก กล่าวคือ การบำบัดและไม่บำบัดด้วยต่าง รวมถึงการใช้และไม่ใช้สารช่วยผสมไม่ทำให้สมบัติทางความร้อนของวัสดุผสมเปลี่ยนไป เนื่องจากองศาการเกิดผลึกที่ได้มีค่าไม่เปลี่ยนแปลง ดังนั้นจึงไม่ส่งผลต่อสมบัติเชิงกลของวัสดุผสม

4.5 การวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชันโดยวิธีอินฟราเรดสเปกโทรโฟโตเมตรี

การวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชันโดยวิธีอินฟราเรดสเปกโทรโฟโตเมตรีที่ทำการศึกษา คือ วิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อมีการบำบัดและไม่บำบัดด้วยต่าง รวมถึงการเติมและไม่เติมสารช่วยผสม



รูปที่ 4.28 อินฟราเรดสเปกตรัม (ก) พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (ข) RH30 (ค) RH30MAPE5 (ง) TRH30 และ (จ) TRH30MAPE5

ตารางที่ 4.2 การดูคลื่นรังสีอินฟราเรดของหมูฟังกซ์ชันต่าง ๆ [41]

ความถี่ (cm^{-1})	การสั่นของ
3427	O—H stretching
2847-2920	C—H stretching
1718-1729	C=O stretching
1627	C—C stretching
1461-1468	C—H bending

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.26 และตารางที่ 4.2 พบว่าพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง ปรากฏพีกที่ความถี่ 2913 2847 ซึ่งแสดง C-H Stretching ของหมู่เมทิลีนและ 1468 cm^{-1} ซึ่งแสดง C-H bending ของหมู่เมทิลีน และเมื่อเติมแคลบที่บำบัดและไม่บำบัดด้วยด่างลงในพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง ปรากฏพีกที่ความถี่ใกล้เคียงกันคือ ที่ความถี่ 3427 cm^{-1} ซึ่งเป็นพีกของหมู่ไฮดรอกซิลของเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน และที่ความถี่ 1627 cm^{-1} พันธะคาร์บอนของวงอะโรมาติก ซึ่งเป็นส่วนประกอบลิกนินในแคลบ จากรูปที่ 4.28 (ข) และ (ง) แสดงให้เห็นว่าการบำบัดและไม่บำบัดด้วยด่างไม่ทำให้อินฟราเรดสเปกตรัมเปลี่ยนแปลงไป และเมื่อเติมสารช่วยผสม MAPE ลงไปในวัสดุผสมที่บำบัดและไม่บำบัดด้วยด่าง (รูปที่ 4.28 (ค) และ (จ)) พบว่ามีพีกที่ความถี่ในช่วง 1729 - 1718 cm^{-1} ตามลำดับ ซึ่งแสดงถึงหมู่คาร์บอนิลที่เกิดจากปฏิกิริยาระหว่าง MAPE และแคลบ ด้วยเหตุนี้การผสมสารช่วยผสมจึงช่วยให้สมบัติเชิงกลของวัสดุผสมดีขึ้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุป

โครงการพิเศษนี้ เป็นการนำเกลบมาใช้เป็นสารตัวเติมในพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง โดยทำการศึกษาถึงขนาดต่าง ๆ ของเกลบ คือ 12-34 35-99 และ มากกว่า 100 เมช และ ปริมาณของเกลบที่ร้อยละ 0 15 30 และ 45 โดยทำการผสมด้วยเครื่องอัดรีดชนิดเกลียวหนอนเดี่ยวและทำการขึ้นรูปโดยใช้เทคนิคการอัดขึ้นรูป แล้วทำการทดสอบสมบัติของวัสดุผสม ได้แก่ สมบัติเชิงกล และสมบัติทางกายภาพ จากผลการทดสอบสรุปได้ดังนี้

- เมื่อนำเกลบมาใช้เป็นสารตัวเติมในพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงส่งผลให้ค่ามอดูลัสที่ความเครียดร้อยละ 5 มอดูลัสโค้งงอและความแข็งแรงกระแทกมีค่าเพิ่มขึ้น ความแข็งแรงดึง ร้อยละการดึงยืด ณ จุดครากและความแข็งแรงโค้งงอ มีแนวโน้มลดลง นอกจากนี้ความแข็งกมีค่าไม่เปลี่ยนแปลง
- วัสดุผสมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงและเกลบ เมื่อใช้เกลบที่มีขนาดมากกว่า 100 เมชในปริมาณร้อยละ 30 ให้ค่าสมบัติเชิงกลโดยรวมดีที่สุด
- ค่าร้อยละการดูดซึมน้ำของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง เมื่อมีเกลบเป็นสารตัวเติมมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาผ่านไป โดยปริมาณเกลบเป็นปัจจัยหลักที่มีผลต่อค่าร้อยละการดูดซึมน้ำ ส่วนขนาดของเกลบเป็นปัจจัยรองลงมา

นอกจากนี้ ยังทำการศึกษาเชิงเปรียบเทียบถึงการบำบัดและไม่บำบัดเกลบด้วยต่าง รวมถึงการใช้และไม่ใช้สารช่วยผสม MAPE โดยสูตรที่นำมาศึกษา คือ วัสดุผสมที่ใช้เกลบขนาดมากกว่า 100 เมช ในปริมาณร้อยละ 30 จากผลการทดสอบสามารถสรุปได้ดังนี้

- การบำบัดด้วยต่าง ส่งผลให้สมบัติเชิงกลโดยรวมลดลง และการเติมสารช่วยผสม MAPE ในวัสดุผสมที่ใช้เกลบที่บำบัดและไม่บำบัดด้วยต่าง ให้ค่าสมบัติเชิงกลที่ดีขึ้น เนื่องจากสารช่วยผสมช่วยเพิ่มความเข้ากันได้ระหว่างวัฏภาคของวัสดุผสม
- ค่าร้อยละการดูดซึมน้ำของวัสดุผสมที่ใช้เกลบที่ผ่านการบำบัด และไม่บำบัดด้วยต่าง รวมถึงการใช้และไม่ใช้สารช่วยผสม มีค่าใกล้เคียงกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- จากหลักฐานวิทยาพบว่า การบำบัดด้วยด่าง และการใช้สารช่วยผสม MAPE ไม่มีผลต่อการกระจายตัวของแคลปในพอลิเอทิลีน แต่การใช้สารช่วยผสม MAPE สามารถเพิ่มการยึดเกาะระหว่างพอลิเอทิลีนและแคลปให้ดีขึ้น
- อุณหภูมิการหลอมเหลว อุณหภูมิการตกผลึก และองศาการตกผลึกของวัสดุผสมที่ใช้แคลปที่บำบัดและไม่บำบัดด้วยด่าง (NaOH) เป็นสารตัวเดิมและมีการใช้และไม่ใช้สารช่วยผสม MAPE มีค่าใกล้เคียงกัน
- จากการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันที่เปลี่ยนแปลงไปของวัสดุผสม เมื่อใช้แคลปที่ผ่านการบำบัดและไม่บำบัดด้วยด่าง รวมถึงการใช้และไม่ใช้สารช่วยผสม พบว่าเมื่อใช้แคลปเป็นสารตัวเดิม อินฟราเรดสเปกตรัมแสดงพีคที่แสดงหมู่ไฮดรอกซิลของเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลสและลิกนิน และพันธะคาร์บอนของวงอะโรมาติกของลิกนิน และวัสดุผสมที่ใช้แคลปที่บำบัดและไม่บำบัดด้วยด่าง ให้อินฟราเรดสเปกตรัมที่คล้ายคลึงกัน ส่วนการใช้สารช่วยผสม MAPE อินฟราเรดสเปกตรัมปรากฏพีคที่แสดงถึงหมู่คาร์บอนิลที่เกิดจากปฏิกิริยาระหว่าง MAPE และแคลป

5.2 ข้อเสนอแนะ

- ควรศึกษาสมบัติเชิงกลของวัสดุผสมหลังจากผ่านการดูดซับน้ำ โดยศึกษาว่าเมื่อวัสดุผสมดูดซับน้ำแล้วจะทำให้สมบัติเชิงกลต่างๆ เปลี่ยนไปมากน้อยเพียงใด
- การพัฒนาคุณสมบัติของวัสดุผสมนี้อาจทำได้โดย ศึกษาการใช้สารคู่ควบชนิดอื่นเช่น สารประกอบไซเลน
- ควรศึกษาผลของสารเติมแต่งอื่นๆ เช่น ผงสี สารหล่อลื่น เป็นต้น
- ศึกษาสภาวะต่าง ๆ ในการบำบัดแคลปด้วยด่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] สำนักงานคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ. 2545 “การส่งเสริมการใช้พลังงานจากชีวมวลของประเทศไทย”. [Online]. Available : <http://www.eppo.go.th/vrs/VRS55-06-biomass.html>.
- [2] อิทธิพล แจ่มชัด “เอกสารประกอบการเรียนวิชาฟิสิกส์พอลิเมอร์” ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง 2543 หน้า 8-9.
- [3] มาลินี ชัยศุกกิจสินธ์ “เคมีพอลิเมอร์” ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง 2540 หน้า 65-89.
- [4] D. Felman. and A. Barbalata, “*Synthetic polymer : Technology, Properties, Application*”, Chapman & Hall, London, 1996.
- [5] T. Richard, 1987, “*Composites : A Design-Guide*”, New York, Industrial press.
- [6] อิทธิพล แจ่มชัด “เอกสารประกอบการเรียนวิชาปฏิบัติการทดลองเรื่องการศึกษาพอลิเมอร์คอมพอลิไซด์เส้นใยสั้นจากเส้นใยธรรมชาติ” ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง 2546.
- [7] E.B. Trostyanskaya, 1995, “*Polymeric matrices in fiber-reinforced composite materials*”, Polymer Matrix Composites, London, Chapman & Hall.
- [8] B.Z. Jang, 1994, “*Advanced Polymer Composites*”, New York, ASM international.
- [9] D. Hull and T.W. Clyne, 1996, “*An Introduction to Composite Materials*”, 2nd ed., Great Britain, Cambridge University Press.
- [10] L. Hollaway, 1993, “*Polymer Composites for Civil and Structural Engineering*”, London, Chapman & Hall.
- [11] กองโภชนาการ กรมอนามัย. 2541 “ข้าว”. [Online]. Available : <http://www.anamai-moph.go.th/NUTRI/goodnuti/Html/m5.html>.
- [12] B.S. Luh, “*Rice: Production and Utilization*”, AVI Publishing Co., Inc., Wesport, Connection, USA, 1980, 736-743.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [13] การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. 2546. “ข้าวกล้องเพื่อสุขภาพ”. [Online]. Available : <http://www.egat.or.th/thai/brownrice/board2.html>.
- [14] M. Chaplin. 2003. “Cellulose”. [Online] Available : <http://www.lsbu.ac.uk/water/hycl.html>.
- [15] J.I. Kroschwitz, “*Encyclopedia of Polymer Science and Engineering*”, 2nd ed., John Wiley & Sons, New York, vol 6, 1990, 655.
- [16] 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.
- [17] NCST, “*Utilization and Recycling of Agricultural Wastes/By-products*” : A Country Report , New Delhi, 1974.
- [18] F.L. Matthews and R.D. Rawlings, 1994, “*Composite Materials Engineering and Science*”, London, Chapman & Hall.
- [19] H-S Yang, H-J Kim, J. Son, H-J Park, B-J Lee and T-S Hwang, “*Rice-husk flour filled polyethylene composites*”, *Compos. Struct.*,63, 2003, 305-312.
- [20] H.G. B.Premalal, H. Ismail, A. Baharin, “*Comparison of the mechanical properties of rice husk powder filled polypropylene composite with talc filled polypropylene composites*”, *Polymer Testing*, 21, (2002), 833-839.
- [21] A.Y. Kharade and D.D. Kale, “*Lignin-filled polyolefins*”, *J. Appl. Polym. Sci*, 72, (1999), 1321-1326.
- [22] M.N. Ichazo, C. Albono, J. Gonzalez , R. Perera, and M.V. Candal, “*Polyethylene/Wood flour composites:Treatments and properties*”, *Compos. Struct.*, 54, (2001), 207-214.
- [23] Z.A.M. Ishak, B.N. Yow, B.L. Ng, H.P.S. A.Khalil and H.D. Rozman. , “*Hydrothermal aging and tensile behavior of injection molded rice husk-filled polypropylene composites*”, *J.Appl.Polym.Sci*, 81, (2001), 742-753.
- [24] J.C.M. Suarez, F.M.B. Coutinho, and T.H. Sydentricker. “*SEM studies of tensile fracture surfaces of polypropylene sawdust composites*”, *Polymer Testing* , 22, (2003), 819-824.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [25] A.K. Rana, A. Mandal, S. bandyopadhyay, "Short jute fiber reinforced polypropylene composites: effect of compatibiliser, impact modifier and fiber lading", *Comp. Sci.& Tech.*, 63, (2003), 801-806.
- [26] K. Joseph, S. Varghese, G. Kalaprasad, S.Thomas, L.Prasannakumari, P.Koshy and C. Pavithran. "Influence of interfacial adhesion on the mechanical properties and fracture behavior of short sisal fibre reinforced polymer composites", *mechanical properties of polymer composite*, 32, 10, (1996), 1243-1249.
- [27] K. Joseph, S. Thomas and C. Pavithran, "Effect of aging on the physical and mechanical properties of sisal-fibre-reinforced polyethylene composites", *Comp. Sci.& Tech.*, 53, (1995), 99-110.
- [28] P.V. Joseph, K. Joseph, and S. Thomas, "The thermal and crystallisation studies of short sisal fibre reinforce polypropylene composites", *Compos. Part A-Apply Sci Manf.*, 34, (1995), 253-266.
- [29] B. Madsen, H. Lilholt, "Physical and mechanical properties of unidirectional plant fibre composites an evaluation of the influence of porosity", *Comp. Sci.& Tech.* ,63, (2003), 1265-1272.
- [30] K.L. Pickering, A. Abdalla, C. Ji, A.G. McDonald and R.A. Franich., "The effect of silane coupling agents on radiate pine fibre for use in thermoplastic matrix composites", *Compos. Part A Sci.Manf.*, 34, (2003), 915-926.
- [31] A.V. Ganzalez, J.M. Cervantes-Uc, R. Olayo. and P.J.H. Franco, "Chemical modification of henequen fibers with an organosilane coupling agent", *Comp. Part B Eng.*, 30, (1999), 321-331.
- [32] จีรพรรณ หน่ายคอน และ มาริสา ตันตติลักษณ์ "วัสดุคอมพอสิตจากพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิโอทีลีนชนิดความหนาแน่นสูงกับพอลิพรอพิลีนและเส้นใยอ้อย" โครงการพิเศษ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง 2541.
- [33] นวกรณ์ อนันตรนวนิชย์ นุชรี ปัญจะผลินกุล และ พัชรี มณฑาทิพย์ "การศึกษาไม้เทียมคอมพอสิตจากผงหญ้าแฝกกับพอลิพรอพิลีนและเส้นใยหญ้าแฝกกับพอลิไวนิลคลอไรด์" โครงการพิเศษ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง 2544.

- [34] BPE, “THAI-ZEX 1600J”, *Physical Properties:BPE* 2003.
- [35] DuPont Fusabond, “Fusabond[®] MB 100D”, *Typical property Data:DuPont Fusabond* 2002.
- [36] ASTM D 638, “Standard test methods for tensile properties of plastic (Metrix)”, *Philadephia : American society for testing and materials.*,1993.
- [37] 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.
- [38] ASTM D 256, “Standard test methods for impact resistance of plastics and electrical insulating materials,” *Philadephia : American society for testing and materials.*,1993.
- [39] ASTM D 785, “Standard test methods for Rockwell hardness of plastics and electrical insulating materials”, *Philadephia : American society for testing and materials.*,1993.
- [40] ASTM D 570, “ Standard test methods for water absorption of plastics”, *Philadephia : American society for testing and materials.*,1993.
- [41] ตะวัน สุนน้อย “เอกสารประกอบการสอนวิชาการแปรผลข้อมูลทางสเปกโตรสโคปี” ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง 2545.
- [42] G. Tsomis, “*Science and Technology of Wood*”, New York, Nostrand Reinhold,1991.
- [43] F.M. Herman, I.K. Jacqueline, “*Concise Encyclopedia of Polymer Science and Engineering*”, Wiley John and sons, 4, (1996) , 487.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

ก. สมบัติเชิงกล

สูตร	HDPE (ร้อยละ)	แคลบ (ร้อยละ)	ขนาดแคลบ (เมช)	ความแข็งแรงดึง (MPa)
1	100	-	-	20.09 ± 1.00
2	85	15	12-34	10.80 ± 0.54
3	85	15	35-99	11.76 ± 0.59
4	85	15	>100	11.37 ± 0.57
5	70	30	12-34	9.27 ± 0.46
6	70	30	35-99	8.82 ± 0.44
7	70	30	>100	9.46 ± 0.47
8	55	45	12-34	4.35 ± 0.22
9	55	45	35-99	7.72 ± 0.39
10	55	45	>100	7.50 ± 0.38

สูตร	HDPE (ร้อยละ)	แคลบ (ร้อยละ)	ขนาดแคลบ (เมช)	ร้อยละการดึงยืด ณ จุดคราก
1	100	-	-	29.75 ± 1.29
2	85	15	12-34	9.89 ± 0.49
3	85	15	35-99	13.12 ± 0.66
4	85	15	>100	18.15 ± 0.91

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สูตร	HDPE (ร้อยละ)	แกลบ (ร้อยละ)	ขนาดแกลบ (เมช)	ร้อยละการดึงยึด ณ จุดคราก
5	70	30	12-34	10.60 ± 0.53
6	70	30	35-99	9.56 ± 0.48
7	70	30	>100	15.86 ± 0.79
8	55	45	12-34	10.50 ± 0.53
9	55	45	35-99	8.94 ± 0.45
10	55	45	>100	16.69 ± 0.83

สูตร	HDPE (ร้อยละ)	แกลบ (ร้อยละ)	ขนาดแกลบ (เมช)	มอดูลัสที่ความเครียดร้อยละ 5 (MPa)
1	100	-	-	116.92 ± 5.85
2	85	15	12-34	129.90 ± 6.50
3	85	15	35-99	137.30 ± 6.86
4	85	15	>100	145.42 ± 7.27
5	70	30	12-34	144.88 ± 7.24
6	70	30	35-99	154.29 ± 7.71
7	70	30	>100	166.15 ± 8.31
8	55	45	12-34	63.50 ± 3.17
9	55	45	35-99	134.27 ± 6.71
10	55	45	>100	111.90 ± 5.59

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สูตร	HDPE (ร้อยละ)	แกลบ (ร้อยละ)	ขนาดแกลบ (เมช)	ความแข็งแรงโค้งงอ (MPa)
1	100	-	-	24.59 ± 1.23
2	85	15	12-34	20.35 ± 1.02
3	85	15	35-99	22.38 ± 1.12
4	85	15	>100	22.58 ± 1.3
5	70	30	12-34	16.46 ± 0.07
6	70	30	35-99	18.60 ± 0.93
7	70	30	>100	22.03 ± 1.10
8	55	45	12-34	14.62 ± 0.73
9	55	45	35-99	15.37 ± 0.77
10	55	45	>100	17.08 ± 0.85

สูตร	HDPE (ร้อยละ)	แกลบ (ร้อยละ)	ขนาดแกลบ (เมช)	มอดุลัสโค้งงอ (MPa)
1	100	-	-	320.76 ± 16.04
2	85	15	12-34	280.74 ± 14.04
3	85	15	35-99	325.38 ± 16.27
4	85	15	>100	339.56 ± 16.98
5	70	30	12-34	315.61 ± 15.78
6	70	30	35-99	364.75 ± 18.24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สูตร	HDPE (ร้อยละ)	แคลบ (ร้อยละ)	ขนาดแคลบ (เมช)	มอดุลัสโค้งงอ (MPa)
7	70	30	>100	420.02 ± 21.00
8	55	45	12-34	329.70 ± 16.48
9	55	45	35-99	322.00 ± 16.10
10	55	45	>100	392.58 ± 19.63

สูตร	HDPE (ร้อยละ)	แคลบ (ร้อยละ)	ขนาดแคลบ (เมช)	ความแข็งแรงกระแทก (kJ/m ²)
1	100	-	-	3.86 ± 0.19
2	85	15	12-34	4.80 ± 0.24
3	85	15	35-99	4.68 ± 0.23
4	85	15	>100	3.70 ± 0.18
5	70	30	12-34	4.54 ± 0.23
6	70	30	35-99	4.59 ± 0.23
7	70	30	>100	3.96 ± 0.20
8	55	45	12-34	3.66 ± 0.18
9	55	45	35-99	3.64 ± 0.18
10	55	45	>100	3.46 ± 0.17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สูตร	HDPE (ร้อยละ)	แกลบ (ร้อยละ)	ขนาดแกลบ (เมซ)	ความแข็งกด
1	100	-	-	55.90 ± 2.79
2	85	15	12-34	56.30 ± 2.68
3	85	15	35-99	55.80 ± 2.79
4	85	15	>100	55.60 ± 2.75
5	70	30	12-34	57.75 ± 2.88
6	70	30	35-99	58.20 ± 2.91
7	70	30	>100	57.90 ± 2.89
8	55	45	12-34	57.20 ± 2.86
9	55	45	35-99	60.20 ± 0.30
10	55	45	>100	57.90 ± 2.89

สูตร	HDPE (ร้อยละ)	แกลบ (ร้อยละ)	แกลบที่บดด้วยต่าง (ร้อยละ)	MAPE (กรัม)	ความแข็งแรงดึง (MPa)
RH30	70	30	-	-	9.47 ± 0.47
RH30MAPE5	70	30	-	1.5	12.15 ± 0.61
TRH30	70	-	30	-	10.03 ± 0.50
TRH30MAPE5	70	-	30	1.5	11.90 ± 0.59

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สูตร	HDPE (ร้อยละ)	แกลบ (ร้อยละ)	แกลบที่บดด้วยคั่วต่าง (ร้อยละ)	MAPE (กรัม)	ร้อยละการดึงยึด ณ จุดคราก(MPa)
RH30	70	30	-	-	15.86 ± 0.79
RH30MAPE5	70	30	-	1.5	12.40 ± 0.62
TRH30	70	-	30	-	12.05 ± 0.50
TRH30MAPE5	70	-	30	1.5	12.70 ± 0.63

สูตร	HDPE (ร้อยละ)	แกลบ (ร้อยละ)	แกลบที่บดด้วยคั่วต่าง (ร้อยละ)	MAPE (กรัม)	มอดูลัสที่ความเครียด ร้อยละ 5 (MPa)
RH30	70	30	-	-	166.15 ± 8.31
RH30MAPE5	70	30	-	1.5	191.23 ± 9.56
TRH30	70	-	30	-	169.24 ± 8.46
TRH30MAPE5	70	-	30	1.5	168.98 ± 8.45

สูตร	HDPE (ร้อยละ)	แกลบ (ร้อยละ)	แกลบที่บดด้วยคั่วต่าง (ร้อยละ)	MAPE (กรัม)	ความแข็งแรงโค้งงอ (MPa)
RH30	70	30	-	-	22.03 ± 1.10
RH30MAPE5	70	30	-	1.5	21.88 ± 1.09
TRH30	70	-	30	-	20.05 ± 1.00
TRH30MAPE5	70	-	30	1.5	21.89 ± 1.09

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สูตร	HDPE (ร้อยละ)	แคลบ (ร้อยละ)	แคลบที่บำบัดด้วยต่าง (ร้อยละ)	MAPE (กรัม)	มอดุลัสโค้งงอ (MPa)
RH30	70	30	-	-	420.02 ± 21.00
RH30MAPE5	70	30	-	1.5	349.46 ± 17.47
TRH30	70	-	30	-	283.76 ± 14.19
TRH30MAPE5	70	-	30	1.5	344.10 ± 17.20

สูตร	HDPE (ร้อยละ)	แคลบ (ร้อยละ)	แคลบที่บำบัดด้วยต่าง (ร้อยละ)	MAPE (กรัม)	ความแข็งแรงกระแทก (kJ/m ²)
RH30	70	30	-	-	3.96 ± 0.20
RH30MAPE5	70	30	-	1.5	3.57 ± 0.18
TRH30	70	-	30	-	3.80 ± 0.19
TRH30MAPE5	70	-	30	1.5	3.60 ± 0.18

สูตร	HDPE (ร้อยละ)	แคลบ (ร้อยละ)	แคลบที่บำบัดด้วยต่าง (ร้อยละ)	MAPE (กรัม)	ความแข็งกด
RH30	70	30	-	-	57.90 ± 2.89
RH30MAPE5	70	30	-	1.5	51.40 ± 2.57
TRH30	70	-	30	-	45.40 ± 2.27
TRH30MAPE5	70	-	30	1.5	48.91 ± 2.44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข. สมบัติทางกายภาพ

สูตร	HDPE (ร้อยละ)	แกลบ (ร้อยละ)	ขนาดแกลบ (เมซ)	ร้อยละการดูดซับน้ำ				
				ระยะเวลา (วัน)				
				1	7	14	21	28
1	100	-	-	0.182	0.041	0.030	0.132	0.119
2	85	15	12-34	2.672	5.298	7.619	9.427	12.629
3	85	15	35-99	0.947	1.661	2.161	2.509	2.871
4	85	15	>100	0.936	1.894	2.848	3.333	3.640
5	70	30	12-34	2.677	5.980	8.360	9.579	10.526
6	70	30	35-99	2.382	5.714	7.951	9.651	10.898
7	70	30	>100	1.793	3.274	4.170	4.751	5.264
8	55	45	12-34	10.796	31.591	44.556	46.269	44.932
9	55	45	35-99	4.548	12.185	15.821	17.166	17.570
10	55	45	>100	4.105	10.144	12.966	14.502	14.739

สูตร	HDPE (ร้อยละ)	แกลบ (ร้อยละ)	ขนาดแกลบ (เมซ)	ร้อยละการดูดซับน้ำ				
				ระยะเวลา (วัน)				
				1	7	14	21	28
1	100	-	-	0.182	0.041	0.030	0.132	0.119
2	85	15	12-34	2.672	5.298	7.619	9.427	12.629
3	85	15	35-99	0.947	1.661	2.161	2.509	2.871
4	85	15	>100	0.936	1.894	2.848	3.333	3.640
5	70	30	12-34	2.677	5.980	8.360	9.579	10.526

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก. ตัวอย่างการคำนวณองศาการเกิดผลึก

$$\text{องศาการเกิดผลึก (Degree of crystallinity)} = (\Delta H_f / \Delta H_f^\circ) \times 100$$

เมื่อ ΔH_f = ปริมาณความร้อนที่ใช้ในการหลอมเหลวผลึก

ΔH_f° = ปริมาณความร้อนที่ใช้ในการหลอมเหลวผลึกพอลิเอทิลีน 100 % มีค่า 293 J/g [43]

ตัวอย่างที่ 1 สูตร RH30 จากการทดสอบได้ค่า ΔH_f เท่ากับ 111.311 J/g

การคำนวณ

วัสดุผสม แกลบ 30 g + พอลิเอทิลีน 70 g มีพอลิเอทิลีน 70 g

วัสดุผสม 1 g มีพอลิเอทิลีน $70/100 = 0.7$

$$\Delta H_f = 111.311 / 0.7$$

$$= 159.016 \text{ J/g}$$

$$\text{องศาการเกิดผลึก (Degree of crystallinity)} = (\Delta H_f / \Delta H_f^\circ) \times 100$$

$$= (159.016 / 293) \times 100$$

$$= 54.27\%$$

ตัวอย่างที่ 2 สูตร RH30MAPE5 จากการทดสอบได้ค่า ΔH_f เท่ากับ 115.584 J/g

การคำนวณ

วัสดุผสม แกลบ 30 g + พอลิเอทิลีน 70 g + MAPE 1.5 g มีพอลิเอทิลีน 70 g

วัสดุผสม 1 g มีพอลิเอทิลีน $70/101.5$

$$= 0.689$$

$$\Delta H_f = 115.584 / 0.689$$

$$= 167.756 \text{ J/g}$$

$$\text{องศาการเกิดผลึก (Degree of crystallinity)} = (\Delta H_f / \Delta H_f^\circ) \times 100$$

$$= (167.756 / 293) \times 100$$

$$= 57.25\%$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้