สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

สมบัติเชิงกลและสมบัติทางกายภาพของพอลิเอทิลีน ชนิดความหนาแน่นสูงที่นำกลับมาใช้ใหม่ โดยมีขี้เลื่อยจากไม้เต็งเป็นสารตัวเติม

T055555

นางสาว มนตรา พิริยะพิทยา
นางสาว ศรัญญา วิรโชติกุล

โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาเคมี
คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2546

เลขหมู่
เลขทะเบียน 55555
วัน,เดือน,ปี 19 พ.ค. 2548
b
i
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Mechanical and Physical Properties of Recycled High-density Polyethylene using Meranti Sawdust as Filler

Miss Montra Piriyapittaya
Miss Saranya Virachotikul

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 อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงงานพิเศษ	เรื่อง สมบัติเชิงกลและสมบัติทางกายภาพของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่นำกลับมาใช้ใหม่โดยมีขี้เลื่อยจากไม้เต็งเป็นสารตัวเติม
นักศึกษา	นางสาวมนตรา พิริยะพิทยา
	นางสาวศรัญญา วิรโชติกุล
ภาควิชา	เคมี คณะวิทยาศาสตร์
สาขาวิชา	เคมีอุตสาหกรรม
ปีการศึกษา	2546
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.จุฑารัตน์ ปรัชญาวรากร

บทคัดย่อ

โครงงานพิเศษนี้เกี่ยวข้องกับการนำพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (High-density polyethylene,HDPE) กลับมาใช้ใหม่ โดยนำมาผสมกับขี้เลื่อยของไม้เต็ง โดยนำขี้เลื่อยมาผ่านตะแกรงร่อน 3 ขนาด ได้แก่ 35 เมช 100 เมช และ 200 เมช และปริมาณของสารตัวเติมที่ใช้ ได้แก่ ขี้เลื่อย 15% ขี้เลื่อย 30% และขี้เลื่อย 45% ชิ้นงานเตรียมได้โดยการผสมในเครื่องอัดรีดชนิดเกลียวหนอนคู่ (Twin-screw extruder) และนำมาขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดขึ้นรูป (Compression moulding) จากนั้นนำชิ้นงานที่เตรียมได้ไปทดสอบสมบัติต่างๆ ได้แก่ สมบัติเชิงกล สมบัติทางกายภาพ สัณฐานวิทยา และผลของระยะเวลาการดูดซับน้ำ (1-4 สัปดาห์) ที่มีต่อสมบัติเชิงกล ผลจากการศึกษาพบว่า เมื่อทำการเติมขี้เลื่อยลงในพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงส่งผลให้ค่ามอดุลัส และมอดุลัสโค้งงอมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น ค่าความแข็งแรงโค้งงอและความแข็งกดไม่เปลี่ยนแปลง ส่วนค่าความแข็งแรงดึง เปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดคราก และความแข็งแรงกระแทกมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อย และพบว่าผลของปริมาณขี้เลื่อยที่มีต่อสมบัติเชิงกลมีมากกว่าผลของขนาด นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณและขนาดของขี้เลื่อยที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้ค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำมีค่าเพิ่มสูงขึ้น โดยสูงที่สุดที่สูตรผสมที่มีขี้เลื่อยขนาด 35-99 เมช ปริมาณ 45% จากการศึกษาสัณฐานวิทยาพบว่าชิ้นงานที่เตรียมได้มีความไม่เข้ากันระหว่างวัฏภาค ส่วนผลจากการดูดซับน้ำเป็นระยะเวลาต่างๆ ทำให้ค่ามอดุลัสเพิ่มสูงขึ้น ความแข็งแรงดึง ความแข็งแรงโค้งงอ มอดุลัสโค้งงอ ความแข็งแรงกระแทก และความแข็งกดมีค่าไม่เปลี่ยนแปลง ส่วนเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดครากมีค่าลดลงเมื่อเวลาในการดูดซับน้ำเพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Special Project	Mechanical and Physical Properties of Recycled High-density Polyethylene using Meranti Sawdust as Filler
Name	Miss Montra Piriyapittaya Miss Saranya Virachotikul
Department	Chemistry
Program	Industrial Chemistry
Academic Year	2003
Special Project Advisor	Asst.Prof.Dr. Jutarat Prachayawarakorn

ABSTRACT

This special project concerned about recycling high-density polyethylene (HDPE), using Meranti sawdust as filler. The sawdust was sieved through three different mesh sizes (i.e. 30, 100 and 200 mesh) and the filler contents were 15%, 30% and 45%. The sample were prepared by compounding in a twin-screw extruder and then compressing using a compression moulding machine. Mechanical, physical, morphological properties and mechanical properties of wet samples after immersion in water for different periods (1-4 weeks) were then tested. From the study, it was found that Young's modulus and flexural modulus were increased from the unfilled HDPE. Flexural strength and hardness tended to be insignificantly changed; whereas tensile strength, % elongation at yield and impact strength were slightly decreased. Contents of the sawdust were found to be a major factor that affected the material properties rather than the filler sizes. Besides, % water absorption was enhanced with increasing contents and sizes of the sawdust. The maximum value of % water absorption was obtained when 35-99 mesh and 45% sawdust were used. From the result of morphological test, poor interfacial adhesion between the two different phases could be observed. After immersion in water for different periods, it was found that Young's modulus was improved; whereas tensile strength, flexural strength, flexural modulus, impact strength and hardness seemed to be negligibly changed. % Elongation at yield was declined with the prolonged immersion time.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงงานพิเศษเรื่อง สมบัติเชิงกลและสมบัติทางกายภาพของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่นำกลับมาใช้ใหม่โดยมีขี้เลื่อยจากไม้เต็งเป็นสารตัวเติม

นักศึกษา น.ส.มนตรา พิริยะพิทยา

น.ส.ศรัญญา วิรโชติกุล

ภาควิชา เคมี

สาขาวิชา เคมีอุตสาหกรรม

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.จุฑารัตน์ ปรัชญาวรากร

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการตรวจสอบ	ลายมือชื่อ
ประธานกรรมการ ผศ.ดร.มาลินี ชัยศุภกิจสินธ์	.....
กรรมการ ผศ.ดร.อิทธิพล แจ้งชัด	.....
กรรมการ ดร.ชลลดา ฤตวิรุฬห์	.....

.....

(ผศ.ดร.ประยงค์ ดวงดี)

หัวหน้าภาควิชา

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณท่านอาจารย์ที่ปรึกษาโครงงานพิเศษ ผศ.ดร.จุฑารัตน์ ปรัชญาวรากร เป็นอย่างสูง ตลอดจนอาจารย์ทุกท่านที่ให้ความรู้ และคำปรึกษาทำให้โครงงานพิเศษนี้สำเร็จลงด้วยดี

ขอขอบคุณ หจก.โล้วไพบูลย์ จำกัด และนายเกรียงไกร อารีพูนสิริ ผู้สนับสนุนขี้เลื่อยที่ใช้ในโครงงานพิเศษ

ขอบพระคุณพี่กฤษณะ พี่สุดใจ และพี่ๆเจ้าหน้าที่ทุกท่านที่คอยแนะนำการใช้เครื่องมือต่างๆ

ขอขอบคุณพี่ๆป.โททุกท่านที่คอยช่วยเหลือ และให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์เสมอมา

ขอบพระคุณคุณพ่อ คุณแม่ และญาติพี่น้องที่คอยช่วยเหลือทั้งแรงกายแรงใจในการทำโครงงานพิเศษนี้

ขอขอบใจเพื่อนๆทุกคนที่คอยช่วยเหลือทั้งแรงกายแรงใจอีกเช่นกัน

และสุดท้ายขอขอบคุณผู้ร่วมทำโครงงานพิเศษนี้ที่ให้ความรัก สามัคคี ร่วมแรงร่วมใจกันจนประสบความสำเร็จ

น.ส.มนตรา พิริยะพิทยา

น.ส.ศรัญญา วิรโชติกุล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....ข
กิตติกรรมประกาศ.....ค
สารบัญ.....ง
สารบัญตาราง.....ฉ
สารบัญรูป.....ช
บทที่ 1 บทนำ.....1
1.1 ความเป็นมาของโครงงานพิเศษ.....1
1.2 วัตถุประสงค์.....2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....2
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ.....2
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ.....3
2.1 ประเภทของพอลิเมอร์.....3
2.2 พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง.....6
2.3 การนำพลาสติกกลับมาหมุนเวียนใช้ใหม่.....7
2.4 สัญลักษณ์รีไซเคิล.....8
2.5 ไม้และเส้นใย.....13
2.6 วัสดุคอมโพสิต.....16
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....18
บทที่ 3 การดำเนินงานวิจัย.....23
3.1 สารเคมีและวัสดุที่ใช้ในงานวิจัย.....23
3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย.....23
3.3 วิธีการทดลอง.....24
3.4 วิธีการทดสอบ.....26
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง.....32
4.1 ดัชนีการหลอมไหล.....32
4.2 ผลของขนาดขี้เลื่อยที่มีต่อสมบัติเชิงกล.....32
4.3 ผลของปริมาณขี้เลื่อยที่มีต่อสมบัติเชิงกล.....39
4.4 สัณฐานวิทยา.....47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 สมบัติทางกายภาพ.....48
4.6 ผลของระยะเวลาการแช่น้ำที่มีต่อสมบัติเชิงกล.....51
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ.....56
5.1 สรุป.....56
5.2 ข้อเสนอแนะ.....57
เอกสารอ้างอิง.....58
ภาคผนวก.....61

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 สมบัติของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง.....7
ตารางที่ 2.2 ตารางแสดงสมบัติต่างๆ ของไม้เต็งเปรียบเทียบกับไม้เนื้อแข็งชนิดอื่น.....14
ตารางที่ 2.3 องค์ประกอบทางเคมีของไม้เนื้อแข็งและไม้เนื้ออ่อน.....16
ตารางที่ 3.1 ส่วนผสมต่างๆ ที่ใช้ในการเตรียมวัสดุคอมโพสิต.....25
ตารางที่ 3.2 มาตรฐานที่ใช้ทดสอบวัสดุคอมโพสิต.....26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1 ตัวอย่างพอลิเมอร์อนินทรีย์....4
รูปที่ 2.2 โครงสร้างของพอลิเมอร์แบบต่างๆ (เชิงเส้น)....5
รูปที่ 2.3 โครงสร้างของพอลิเมอร์แบบต่างๆ (กิ่งสาขาและโครงร่างแหสามมิติ)....6
รูปที่ 2.4 Recyclable symbols....8
รูปที่ 2.5 สัญลักษณ์รีไซเคิลของ Polyethylene terephthalate....9
รูปที่ 2.6 สัญลักษณ์รีไซเคิลของ High density polyethylene....9
รูปที่ 2.7 สัญลักษณ์รีไซเคิลของ Polyvinyl chloride....10
รูปที่ 2.8 สัญลักษณ์รีไซเคิลของ Low density polyethylene....10
รูปที่ 2.9 สัญลักษณ์รีไซเคิลของ Polypropylene....11
รูปที่ 2.10 สัญลักษณ์รีไซเคิลของ Polystyrene....11
รูปที่ 2.11 สัญลักษณ์รีไซเคิลของ Others....12
รูปที่ 2.12 Recycled symbols....12
รูปที่ 2.13 โครงสร้างของเซลลูโลส....15
รูปที่ 2.14 โครงสร้างของเฮมิเซลลูโลส....15
รูปที่ 2.15 หน่วยซ้ำของลิกนิน....16
รูปที่ 3.1 ตัวอย่างชิ้นงานทดสอบแรงดึง....27
รูปที่ 3.2 ส่วนประกอบของเครื่องมือทดสอบแรงดึง....28
รูปที่ 3.3 ขนาดและลักษณะของตัวอย่างทดสอบการกระแทกแบบไอซอด....29
รูปที่ 3.4 เครื่องมือทดสอบความแข็งแรงกระแทกแบบไอซอด....30
รูปที่ 3.5 การทดสอบสมบัติความโค้งงอ....30
รูปที่ 4.1 ความแข็งแรงดึงของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่นำกลับมาใช้ใหม่
โดยมีขี้เลื่อยเป็นสารตัวเติมที่ขนาดต่างๆ....33
รูปที่ 4.2 มอดุลัสของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่นำกลับมาใช้ใหม่
โดยมีขี้เลื่อยเป็นสารตัวเติมที่ขนาดต่างๆ....34
รูปที่ 4.3 เปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดครากของพอลิเอทิลีนชนิด
ความหนาแน่นสูงที่นำกลับมาใช้ใหม่โดยมีขี้เลื่อยเป็นสารตัวเติม
ที่ขนาดต่างๆ....35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.4 ความแข็งแรงโค้งงอของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่นำกลับมาใช้ใหม่ โดยมีขี้เลื่อยเป็นสารตัวเติมที่ขนาดต่างๆ.....36
รูปที่ 4.5 มอดุลัสโค้งงอของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่นำกลับมาใช้ใหม่ โดยมีขี้เลื่อยเป็นสารตัวเติมที่ขนาดต่างๆ.....37
รูปที่ 4.6 ความแข็งแรงกระแทกของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่นำกลับมาใช้ใหม่ โดยมีขี้เลื่อยเป็นสารตัวเติมที่ขนาดต่างๆ.....38
รูปที่ 4.7 ความแข็งกดของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่นำกลับมาใช้ใหม่ โดยมีขี้เลื่อยเป็นสารตัวเติมที่ขนาดต่างๆ.....39
รูปที่ 4.8 ความแข็งแรงดึงของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่นำกลับมาใช้ใหม่ โดยมีขี้เลื่อยเป็นสารตัวเติมที่ปริมาณต่างๆ.....40
รูปที่ 4.9 มอดุลัสของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่นำกลับมาใช้ใหม่ โดยมีขี้เลื่อยเป็นสารตัวเติมที่ปริมาณต่างๆ.....41
รูปที่ 4.10 เปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดครากของพอลิเอทิลีนชนิด ความหนาแน่นสูงที่นำกลับมาใช้ใหม่โดยมีขี้เลื่อยเป็นสารตัวเติม ที่ปริมาณต่างๆ.....42
รูปที่ 4.11 ความแข็งแรงโค้งงอของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่นำกลับมาใช้ใหม่ โดยมีขี้เลื่อยเป็นสารตัวเติมที่ปริมาณต่างๆ.....43
รูปที่ 4.12 มอดุลัสโค้งงอของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่นำกลับมาใช้ใหม่ โดยมีขี้เลื่อยเป็นสารตัวเติมที่ปริมาณต่างๆ.....44
รูปที่ 4.13 ความแข็งแรงกระแทกของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่นำกลับมาใช้ใหม่ โดยมีขี้เลื่อยเป็นสารตัวเติมที่ปริมาณต่างๆ.....45
รูปที่ 4.14 ความแข็งกดของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่นำกลับมาใช้ใหม่ โดยมีขี้เลื่อยเป็นสารตัวเติมที่ปริมาณต่างๆ.....46
รูปที่ 4.15 สัณฐานวิทยาของคอมโพสิตระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง ที่นำกลับมาใช้ใหม่กับขี้เลื่อย.....47
รูปที่ 4.16 เปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง ที่นำกลับมาใช้ใหม่โดยมีขี้เลื่อยเป็นสารตัวเติมที่ปริมาณต่างๆ เมื่อเวลาผ่านไป.....49
รูปที่ 4.17 เปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง ที่นำกลับมาใช้ใหม่โดยมีขี้เลื่อยเป็นสารตัวเติมที่ขนาดต่างๆ เมื่อเวลาผ่านไป.....50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.18 ความแข็งแรงดึงของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่นำกลับมาใช้ใหม่ โดยมีขี้เลื่อยจากไม้เต็งขนาด 35-99 เมช เป็นสารตัวเติมในปริมาณ 45% ที่ผ่านการแช่น้ำเป็นระยะเวลา 0-4 สัปดาห์.....51

รูปที่ 4.19 มอดุลัสของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่นำกลับมาใช้ใหม่ โดยมีขี้เลื่อยจากไม้เต็งขนาด 35-99 เมช เป็นสารตัวเติมในปริมาณ 45% ที่ผ่านการแช่น้ำเป็นระยะเวลา 0-4 สัปดาห์.....52

รูปที่ 4.20 เปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดครากของพอลิเอทิลีนชนิด ความหนาแน่นสูงที่นำกลับมาใช้ใหม่โดยมีขี้เลื่อยจากไม้เต็งขนาด 35-99 เมช เป็นสารตัวเติมในปริมาณ 45%ที่ผ่านการแช่น้ำ เป็นระยะเวลา 0-4 สัปดาห์.....53

รูปที่ 4.21 ความแข็งแรงโค้งงอของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่นำกลับมาใช้ใหม่ โดยมีขี้เลื่อยจากไม้เต็งขนาด 35-99 เมช เป็นสารตัวเติมในปริมาณ 45% ที่ผ่านการแช่น้ำเป็นระยะเวลา 0-4 สัปดาห์.....53

รูปที่ 4.22 มอดุลัสโค้งงอของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่นำกลับมาใช้ใหม่ โดยมีขี้เลื่อยจากไม้เต็งขนาด 35-99 เมช เป็นสารตัวเติมในปริมาณ 45% ที่ผ่านการแช่น้ำเป็นระยะเวลา 0-4 สัปดาห์.....54

รูปที่ 4.23 ความแข็งแรงกระแทกของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่นำกลับมาใช้ใหม่ โดยมีขี้เลื่อยจากไม้เต็งขนาด 35-99 เมช เป็นสารตัวเติมในปริมาณ 45% ที่ผ่านการแช่น้ำเป็นระยะเวลา 0-4 สัปดาห์.....54

รูปที่ 4.24 ความแข็งกดของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่นำกลับมาใช้ใหม่ โดยมีขี้เลื่อยจากไม้เต็งขนาด 35-99 เมช เป็นสารตัวเติมในปริมาณ 45% ที่ผ่านการแช่น้ำเป็นระยะเวลา 0-4 สัปดาห์.....55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาของโครงงานพิเศษ

ในสังคมปัจจุบัน ปริมาณการใช้พลาสติกมีเพิ่มขึ้นอย่างมาก สาเหตุที่พลาสติกเข้ามามีบทบาทในชีวิตประจำวันของมนุษย์ เพราะพลาสติกมีสมบัติที่ดีกว่าวัสดุประเภทอื่นๆ เช่น เมื่อเปรียบเทียบกับโลหะ พบว่าพลาสติกมีน้ำหนักเบากว่า ความแข็งแรงต่อน้ำหนักสูงกว่า คงทนต่อการผุกร่อนหรือเป็นสนิม และเป็นฉนวนไฟฟ้าที่ดีกว่า เป็นต้น จากการที่มีความนิยมในการใช้พลาสติกเพิ่มขึ้น จึงทำให้เกิดปัญหาเกี่ยวกับวิธีการกำจัดพลาสติกที่ใช้แล้วเพิ่มขึ้นตามมาด้วย เนื่องจากวิธีการกำจัดพลาสติกที่ใช้แล้วสามารถกระทำได้ยาก เป็นเพราะพลาสติกไม่สามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ ไม่สามารถนำไปเผาทิ้งได้ เพราะก่อให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม จึงมีผู้สนใจที่จะหาวิธีการกำจัดพลาสติกที่ใช้แล้วพวกนี้ โดยไม่ก่อให้เกิดผลเสียต่อสิ่งแวดล้อม ดังนั้นวิธีการกำจัดพลาสติกที่ใช้แล้วโดยการนำพลาสติกที่ใช้แล้วกลับมาหลอมใช้ใหม่ จึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจและกำลังเป็นที่นิยมในปัจจุบัน

ในปัจจุบันได้มีการตื่นตัวและพยายามที่จะพัฒนาใช้เส้นใยธรรมชาติมาเป็นสารตัวเติมในพอลิเมอร์ เนื่องจากเป็นเส้นใยที่เกิดขึ้นจากธรรมชาติ หาง่าย มีมากมายไม่หมดสิ้น ราคาถูก สมบัติเชิงกลดี น้ำหนักเบา ความหนาแน่นต่ำ และง่ายต่อการกำจัดทิ้ง เนื่องจากสามารถสลายตัวได้ตามธรรมชาติ เส้นใยธรรมชาติบางชนิดเป็นวัสดุเหลือทิ้ง หรือเป็นส่วนเกินจากภาคอุตสาหกรรมเกษตร เช่น เส้นใยอ้อยจากอุตสาหกรรมน้ำตาล เส้นใยมะพร้าวจากอุตสาหกรรมมะพร้าวและน้ำกะทิ เป็นต้น ขี้เลื่อยก็เป็นเส้นใยธรรมชาติที่เป็นวัสดุเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมการแปรรูปไม้ ซึ่งสามารถนำมาใช้เป็นสารตัวเติมได้เช่นกัน

โครงงานพิเศษฉบับนี้ ทำการศึกษาเกี่ยวกับการนำพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่ผ่านการใช้งานแล้ว กลับมาหลอมเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ โดยทำให้อยู่ในรูปของวัสดุคอมโพสิต และใช้ขี้เลื่อยจากไม้เต็งเป็นวัสดุเสริมแรง แต่เนื่องจากขี้เลื่อยมีสมบัติการดูดซับน้ำที่ดี เมื่อนำวัสดุคอมโพสิตที่ได้ไปใช้งานจริง อาจต้องเจอกับสภาวะการใช้งานที่มีน้ำและความชื้น อาจทำให้ประสิทธิภาพของวัสดุคอมโพสิตด้อยลง จึงทำการศึกษาถึงผลของการดูดซับน้ำที่มีต่อสมบัติเชิงกลของวัสดุคอมโพสิตด้วย โครงงานพิเศษฉบับนี้จึงเป็นการนำสิ่งของที่เหลือทิ้งสองชนิดกลับมาใช้ใหม่ให้เกิดประโยชน์มากที่สุด และเป็นการช่วยลดปัญหาเรื่องขยะ ส่งผลดีต่อสิ่งแวดล้อมอีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อเตรียมวัสดุผสมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงกับขี้เลื่อยจากไม้เต็ง

1.2.2 เพื่อศึกษาสมบัติด้านต่างๆ ของชิ้นงานที่ได้ ได้แก่ สมบัติเชิงกล สมบัติทางกายภาพ และสัณฐานวิทยา

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1.3.1 เพื่อเตรียมวัสดุผสมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงและใช้ขี้เลื่อยไม้เต็งเป็นสารตัวเติม

1.3.2 ศึกษาผลของขนาดและปริมาณของขี้เลื่อยที่มีต่อสมบัติต่างๆ ของวัสดุผสม

1.3.3 ศึกษาผลของการดูดซับน้ำที่มีต่อสมบัติเชิงกลของวัสดุผสม

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 สามารถลดปัญหาสิ่งแวดล้อมได้

1.4.2 เป็นการเพิ่มมูลค่าเชิงพาณิชย์ให้กับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงและขี้เลื่อย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและหลักการ

พอลิเมอร์ (Polymer) หมายถึง สารที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง เกิดจากการรวมกันของโมเลกุลเล็กๆ จำนวนมากด้วยพันธะโคเวเลนต์ โมเลกุลเล็กๆ เรียกว่า มอนอเมอร์ (Monomer) มาทำปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ (Polymerisation) จนได้พอลิเมอร์ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็นหลายประเภท

2.1 ประเภทของพอลิเมอร์ [มาลินี, 2540]

2.1.1 ชนิดของพอลิเมอร์แบ่งตามต้นกำเนิด

การแบ่งประเภทของพอลิเมอร์ตามต้นกำเนิดสามารถแบ่งได้ ดังนี้

1. พอลิเมอร์อินทรีย์สังเคราะห์ เป็นกลุ่มที่สำคัญที่สุด เกิดจากการทำปฏิกิริยาเคมีของสารเคมี ภายในโซ่พอลิเมอร์อาจประกอบด้วยมอนอเมอร์ที่เหมือนกันตลอดหรือมอนอเมอร์ที่โครงสร้างแตกต่างกันกระจายกันอยู่ และไม่จำเป็นต้องมีจำนวนมอนอเมอร์เท่ากันในแต่ละสายโซ่ เช่น พอลิเอทิลีน พอลิไวนิลคลอไรด์ พอลิเอสเทอร์

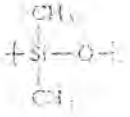
2. พอลิเมอร์ชีวภาพ ได้แก่ โปรตีน พอลินิวคลีโอไทด์ (DNA) พอลิแซ็กคาไรด์ (เซลลูโลสและแป้ง) และยางธรรมชาติ โมเลกุลของพอลิเมอร์ชีวภาพ เช่น โปรตีน ประกอบด้วยมอนอเมอร์ของกรดอะมิโนเชื่อมต่อกันมากกว่า 20 ตัว โดยมีลำดับการเชื่อมต่อกันตามรหัสพันธุศาสตร์และมีความยาวที่แน่นอน ด้วยเหตุนี้โมเลกุลของพอลิเมอร์ชีวภาพจะมีน้ำหนักโมเลกุลใกล้เคียงกัน

3. พอลิเมอร์กึ่งสังเคราะห์ เป็นผลจากการนำพอลิเมอร์ชีวภาพมาทำปฏิกิริยาเคมี เช่น การเตรียมหมู่เอสเทอร์หรืออีเทอร์จากหมู่ไฮดรอกซิลของกลูโคสในเซลลูโลสหรือในแป้ง ปฏิกิริยาจะเกิดการแทนที่ที่หมู่ข้างเคียง (Side group) ของพอลิเมอร์ชีวภาพ โดยไม่ทำปฏิกิริยากับโครงสร้างหลักของพอลิเมอร์

4. พอลิเมอร์อนินทรีย์ โครงสร้างโซ่หลักของพอลิเมอร์อนินทรีย์ นอกจากประกอบด้วยคาร์บอน ออกซิเจน ไนโตรเจน แล้วยังมีอะตอมของธาตุอื่น เช่น ซิลิกอน และ ฟอสฟอรัส อยู่ด้วย แบ่งพอลิเมอร์อนินทรีย์ได้ 3 กลุ่ม ได้แก่ โฮโมอะตอม (Homoatomic) ภายในโซ่โมเลกุลประกอบด้วยอะตอมชนิดเดียว เฮเทอโรอะตอม (Heteroatomic) ภายในโซ่โมเลกุลหลักประกอบด้วยอะตอมมากกว่าหนึ่งชนิด และไฮบริดเฮเทอโรอะตอม (Hybrid heteroatom) โซ่โมเลกุลหลักประกอบด้วยอะตอมอโลหะสลับกับอะตอมของสารอินทรีย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Boron nitride



Polysiloxane

Polydichlorophosphnazene

รูปที่ 2.1 ตัวอย่างพอลิเมอร์อนินทรีย์ [Challa, 1993]

2.1.2 ชนิดของพอลิเมอร์แบ่งตามพฤติกรรมเมื่อได้รับความร้อน

สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท ในทัศนะของการนำพอลิเมอร์ไปผลิตเป็นผลิตภัณฑ์โดยผ่านความร้อน ได้แก่

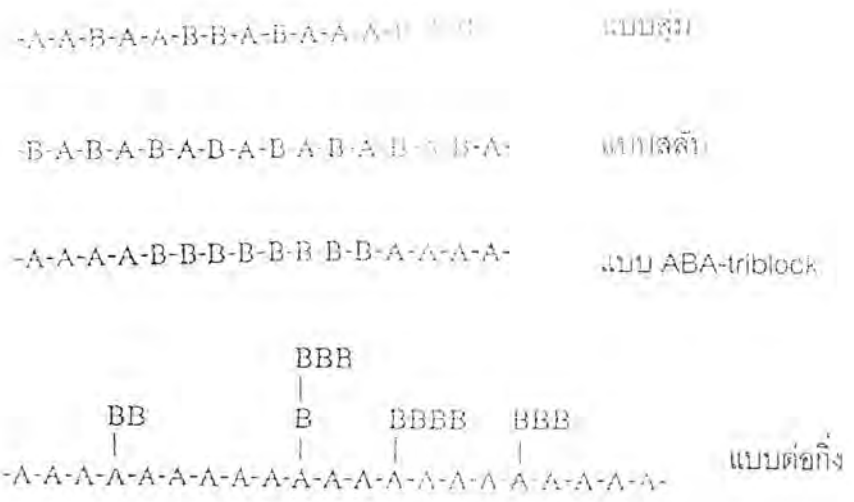
1. เทอร์โมพลาสติก พอลิเมอร์ชนิดนี้จะอ่อนตัวและไหลเมื่อได้รับความร้อน และนำไปขึ้นรูปได้หลายรูปแบบ เมื่อปล่อยให้เย็นลงจะมีรูปร่างตามภาชนะหรือแม่แบบ สามารถนำพอลิเมอร์ที่ขึ้นรูปแล้วมาหลอมได้อีก กระบวนการนี้เกิดซ้ำได้หลายครั้ง เพราะว่าพอลิเมอร์ประเภทนี้ไม่มีพันธะเชื่อมโยงโครงร่างแหเกิดขึ้นในขณะเป็นของแข็ง ประมาณ 90% ของพอลิเมอร์ที่ใช้อยู่ในปัจจุบันจัดเป็นเทอร์โมพลาสติก ตัวอย่างเช่น พอลิพรอพิลีน พอลิเอไมด์

2. เทอร์โมเซต เรซินชนิดนี้ประกอบด้วยส่วนผสมหลายชนิดทำปฏิกิริยาซึ่งกันและกัน เมื่อได้รับความร้อนแล้วเปลี่ยนสถานะจากของไหลหนืดเป็นของแข็ง เนื่องจากเกิดพันธะเชื่อมโยงโครงร่างแห เมื่อขึ้นเป็นรูปร่างใดแล้วไม่สามารถหลอมหรือละลายได้อีก เพราะมีพันธะเชื่อมโยงจึงไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้อีก ซึ่งตรงข้ามกับพวกเทอร์โมพลาสติก

2.1.3 ชนิดของพอลิเมอร์แบ่งตามชนิดของหน่วยซ้ำมอนอเมอร์ภายในโซ่พอลิเมอร์

ตัวอย่างเช่น มอนอเมอร์เหมือนกันตลอดทั้งสายโซ่ เรียกว่า โฮโมพอลิเมอร์ ถ้ามีมอนอเมอร์ 2 ชนิดหรือมากกว่าอยู่รวมกัน เรียกว่า พอลิเมอร์ร่วม (Copolymer) ซึ่งแบ่งเป็นหลายแบบ ได้แก่ แบบสุ่ม (Random) แบบสลับ (Alternating) แบบต่อกิ่ง (Graft) และแบบบล็อค (Block) ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 ตัวอย่างพอลิเมอร์อินทรีย์ [Challa, 1993]

2.1.4 ชนิดของพอลิเมอร์แบ่งตามโครงสร้าง

โครงสร้างโซ่พอลิเมอร์มีหลายแบบ เช่น โซ่เชิงเส้น (Linear chains) โซ่กิ่ง (Branched chains) โครงตาข่ายร่างแห 3 มิติ (Three-dimension networks) และพอลิเมอร์แบบขั้นบันได (Ladder polymer) ซึ่งประกอบด้วยพอลิเมอร์เชิงเส้น 2 สายโซ่ขนานกัน และเกิดพันธะเชื่อมโยงระหว่างโซ่พอลิเมอร์ 2 โซ่นั้น อาจสังเคราะห์โดยการเกิดพอลิเมอไรเซชันภายในโมเลกุล (Intramolecular polymerization) ของหมู่ฟังก์ชันภายในโมเลกุล ตัวอย่างพอลิเมอร์แบบขั้นบันได ได้แก่ พอลิอะคริโลไนไตรล์ (Polyacrylonitrile) พอลิเมอร์แบบขั้นบันไดจะมีความเสถียรที่อุณหภูมิสูง และมีความแข็งมากกว่าพอลิเมอร์เชิงเส้น

รูปที่ 2.2 โครงสร้างของพอลิเมอร์แบบต่างๆ (เชิงเส้น) [Challa, 1993]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.3 โครงสร้างของพอลิเมอร์แบบต่างๆ (กิ่งสาขาและโครงร่างแห 3 มิติ) [Challa, 1993]

2.1.5 ชนิดของพอลิเมอร์แบ่งตามกลไกปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์

1. ปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแบบเติมหรือแบบลูกโซ่ (Addition or chain polymerisation) มอนอเมอร์ต้องมีพันธะคู่อย่างน้อย 1 คู่ และต้องมีการกระตุ้นให้เกิดปฏิกิริยา ซึ่งอาจใช้แสง ความร้อนหรือรังสี ขณะเริ่มต้นปฏิกิริยาแบบเติมหรือลูกโซ่จะประกอบด้วยโซ่พอลิเมอร์จำนวนเล็กน้อย แต่ว่าแต่ละโซ่มีความยาวมาก นอกจากมีพอลิเมอร์เหล่านี้แล้วยังมีมอนอเมอร์ที่ไม่เกิดปฏิกิริยาเหลืออยู่ในระบบด้วย ดังนั้นในเวลาต่อมา โซ่พอลิเมอร์ที่เกิดใหม่จึงไม่สามารถมีความยาวเท่าโซ่ที่เกิดก่อนได้ ด้วยเหตุนี้ค่าเฉลี่ยของศาการเกิดพอลิเมอร์ทั้งหมดในระบบแบบเติมนี้จะค่อยๆ ลดลงเมื่อเวลาของปฏิกิริยานานขึ้น

2. ปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแบบควบแน่นหรือแบบขั้น (Condensation or step-growth polymerization) โมเลกุลของมอนอเมอร์ที่เข้าทำปฏิกิริยาต้องมีหมู่ฟังก์ชันที่สามารถเกิดปฏิกิริยากันได้อยู่ที่ปลายทั้งสองข้าง ตัวอย่างเช่น เฮกซาเมทิลีนไดเอมีนกับกรดอะดิปิก

2.2 พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (High-Density Polyethylene:HDPE) [ชัยวัฒน์, 2542]

เป็นพอลิเอทิลีนชนิดหนึ่งที่มีโครงสร้างเป็นเส้นตรงเกือบตลอด เป็นพอลิเมอร์ที่สามารถนำไปขึ้นรูปได้หลายครั้ง โซ่พอลิเมอร์มีความเป็นระเบียบสูงมากจึงมีความเหนียว แข็งแรง ความหนาแน่น 0.94 – 0.96 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร มีการนำพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงไปใช้ประโยชน์มากมาย เช่น ภาชนะบรรจุน้ำ อาหาร เคมีภัณฑ์ ถุงขยะ กล่อง เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 สมบัติของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง [Brydson, 1995]

Properties	High-Density Polyethylene
Tensile strength (MPa)	27.5
Elongation at break (%)	500
Izod impact strength (J/m^2)	6.8
Crystalline melting point (°C)	136

2.2.1 ข้อดีของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง

1. ขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ ได้ง่าย
2. ราคาถูก
3. มีความทนทานต่อการใช้งานและสภาพแวดล้อมได้ดี
4. ไม่มีการซึมผ่านของสารเคมีจากพอลิเมอร์ไปสู่สารที่บรรจุ จึงไม่มีความเป็นพิษต่อมนุษย์
5. หาง่าย มีผู้นิยมใช้ทั่วไปเหมาะที่จะนำมาหมุนเวียนใช้ใหม่

2.2.2 ข้อเสียของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง

1. มีความแข็งแรงดึง (Tensile strength) ต่ำ
2. ย่อยสลายยากจึงเป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม
3. มีความคงตัวของรูปร่างไม่ดีเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลง

2.3 การนำพลาสติกกลับมาหมุนเวียนใช้ใหม่ (Plastics recycling) [มาลินี, 2540]

การนำพลาสติกมาหมุนเวียนใช้ใหม่ เป็นวิธีหนึ่งในการแก้ปัญหาขยะจากอุตสาหกรรมพลาสติกที่น่าสนใจ ขยะพลาสติกที่นำมาหมุนเวียนใช้ใหม่จัดเป็น 4 ประเภท ดังนี้

1. การหมุนเวียนกลับมาใช้แบบที่ 1 (Primary recycling) คือ การนำเอาเศษพลาสติก (Scrap plastics) มาผ่านกระบวนการเช่นเดียวกับการผลิตผลิตภัณฑ์ เฉพาะเทอร์โมพลาสติกเท่านั้นที่นำกลับมาใช้ได้โดยตรง แต่ต้องมีความสะอาด การทำแบบนี้จะทำให้สมบัติเชิงกลของผลิตภัณฑ์ใหม่ที่ได้ด้อยลง

2. การหมุนเวียนกลับมาใช้แบบที่ 2 (Secondary recycling) คือ การนำเอาพลาสติกที่ผู้บริโภคใช้แล้วทิ้งมาหลอม แล้วทำเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ที่ได้สมบัติไม่ดีนัก

3. การหมุนเวียนกลับมาใช้แบบที่ 3 (Tertiary recycling) คือ การนำเอาพลาสติกมาย่อยสลายด้วยความร้อน ได้สารประกอบเคมีที่มีโครงสร้างโมเลกุลแบบง่ายๆ กระบวนการนี้ไม่ก่อให้เกิดมลพิษ และสามารถลดปริมาณขยะพลาสติกได้ถึง 90%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. การหมุนเวียนกลับมาใช้แบบที่ 4 (Quaternary recycling) เป็นการมุ่งเอาพลังงานจากขยะพลาสติกมาใช้โดยการเผาขยะพลาสติกให้เป็นขี้เถ้า (Incineration)

2.4 สัญลักษณ์รีไซเคิล [มาลินี, 2540]

ต้นกำเนิดของสัญลักษณ์รีไซเคิลออกแบบโดย Gary Anderson ในปีพุทธศักราช 2513 นักศึกษาชั้นปีที่ 4 มหาวิทยาลัย Southern California Los Angeles สัญลักษณ์รีไซเคิลแบ่งเป็น 2 กลุ่มใหญ่ ดังนี้

1. Recyclable symbols เป็นสัญลักษณ์ติดบนผลิตภัณฑ์ที่ทำจากวัสดุพลาสติกชนิดต่างๆ ซึ่งสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ โดยขึ้นกับกลไกการเก็บวัสดุชนิดนั้นภายในชุมชน สัญลักษณ์ทั้ง 2 แบบต่อไปนี้ แสดงชนิดของเครื่องหมายเพื่อการนำกลับมาใช้ใหม่ที่เป็นแบบดั้งเดิม

สัญลักษณ์ที่มีแต่เส้นขอบนอก (รูปบน) เป็นที่นิยมยอมรับใช้กันทั่วโลก
สัญลักษณ์ (รูปล่าง) ดัดแปลงมาจากแบบที่มีแต่เส้นขอบนอก

รูปที่ 2.4 สัญลักษณ์การนำกลับมาใช้ใหม่ [Challa, 1993]

ในปีพุทธศักราช 2531 Society of the Plastic Industry (SPI) ได้เสนอรหัสประจำพลาสติกต่างๆ ที่นำมาทำขวด ภาชนะและบรรจุภัณฑ์และใช้ร่วมกับสัญลักษณ์ลูกศรโดยดัดแปลงให้ลูกศรมีลักษณะบางลง สำหรับขวดและภาชนะที่มีแม่พิมพ์จะพบสัญลักษณ์นี้ที่ก้นภาชนะ รหัสพลาสติกเพื่อการนำกลับมาใช้ใหม่มีตั้งแต่ 1 2 3 4 5 6 และ 7 โดยหมายถึงพลาสติกชนิดต่างๆ ดังนี้

1.1 Polyethylene terephthalate (PETE) ชื่อย่อ PETE นี้ใช้เป็นเครื่องหมายจำแนกขวดพลาสติกหรือภาชนะเพื่อการนำกลับมาใช้ใหม่ ส่วนชื่อย่อ PET ใช้ในวงการอุตสาหกรรมเคมีหมายถึง วัสดุพลาสติกที่ทำจาก Polyethylene terephthalate ชื่อย่อ PET นี้เป็นที่ยอมรับจาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

American Society for Testing and Materials International (ASTM) และ International Organization for Standardization (ISO) ทั้ง PETE และ PET หมายถึง วัสดุพลาสติกชนิดเดียวกัน โดยทั่วไปใช้ทำขวดน้ำอัดลม ขวดน้ำ ขวดเบียร์ น้ำยาล้างปาก และขวดน้ำมันพืช

สมบัติ : เหนียวแข็งแรง ทนความร้อนสูง กั้นไม่ให้ความชื้นและก๊าซผ่าน

รูปที่ 2.5 สัญลักษณ์รีไซเคิลของ Polyethylene terephthalate [Challa, 1993]

ผลิตภัณฑ์ที่ทำจาก PET เก่าสามารถนำกลับมาใช้ใหม่โดยใช้ทำเส้นใย ถุง เสื้อผ้า รองเท้า กีฬา เครื่องใช้ในบ้าน ชิ้นส่วนรถยนต์ เป็นต้น

1.2 High density polyethylene (PE) ขวดที่มาจาก PE มีทั้งที่ใส่สีและไม่ใส่สี ถ้าไม่ผสมสีเรซินจะมีสีขาวขุ่น PE ใช้ทำบรรจุภัณฑ์ของใช้ในบ้านและสารเคมีในอุตสาหกรรม ใช้ทำขวดบรรจุนม น้ำผลไม้ น้ำดื่ม ถุงใส่ของตามห้างสรรพสินค้า

สมบัติ : เหนียว แข็งแรง แข็งกระด้าง ทำเป็นรูปร่างต่างๆ ได้ง่ายและกระบวนการขึ้นรูปง่าย ทนความชื้นและสารเคมี ยอมให้ก๊าซผ่านได้

รูปที่ 2.6 สัญลักษณ์รีไซเคิลของ High density polyethylene [Challa, 1993]

ผลิตภัณฑ์ที่ทำจาก HDPE เก่าสามารถนำกลับมาใช้ใหม่โดยใช้ทำท่อระบายน้ำ ขวดใส่น้ำยาซักแห้ง ขวดน้ำมัน ปากกา เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 Polyvinyl chloride (PVC) ในสัญลักษณ์ปรากฏ V ซึ่งมาจากมอนอเมอร์ประเภทไวนิล แต่หมายถึงเรซิน PVC โดยทั่วไปใช้ทำขวดใส่น้ำยาล้างกระจก ขวดน้ำมันปรุงอาหาร ขวดสารซักล้าง และท่อ

สมบัติ : ใส เหนียว แข็งแรง ง่ายต่อการดัดให้โค้งงอ ทนต่อไข น้ำมันและสารเคมี ทนต่อสภาวะอากาศ

รูปที่ 2.7 สัญลักษณ์รีไซเคิลของ Polyvinyl chloride [Challa, 1993]

ผลิตภัณฑ์ที่ทำจาก PVC เก่าสามารถนำกลับมาใช้ใหม่โดยใช้ทำป้าย ทางระบายน้ำข้างถนน พื้นเสื่อ วัสดุประสาน

1.4 Low density polyethylene (LDPE) เนื่องจากความเหนียว ความหยุ่นตัวดัดโค้งได้ ความใส จึงใช้ทำฉนวนหุ้มลวดและสายเคเบิล ถุงใส่ขนมปัง ถุงใส่อาหารแช่แข็ง และพรม

สมบัติ : เหนียว แข็งแรง สามารถหยุ่นตัวดัดโค้งได้ กันความชื้น

รูปที่ 2.8 สัญลักษณ์รีไซเคิลของ Low density polyethylene [Challa, 1993]

ผลิตภัณฑ์ที่ทำจาก LDPE เก่าสามารถนำกลับมาใช้ใหม่โดยทำแผ่นพลาสติกหรือฟิล์มบาง ถุงใส่ขยะ ถังหรือกระป๋องขยะ และเฟอร์นิเจอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 Polypropylene (PP) มีความหนาแน่นน้อยที่สุดในกลุ่มพลาสติกบรรจุภัณฑ์ มีจุดหลอมเหลวสูงจึงเป็นข้อดีใช้บรรจุของเหลวร้อนๆ ได้ ปกติใช้ทำขวดบรรจุของเหลวข้น เช่น น้ำเชื่อม ขวดใส่ซอส และขวดยา เป็นต้น

สมบัติ : เหนียว แข็งแรง ทนความร้อน ไข น้ำมันและสารเคมี กันความชื้น

รูปที่ 2.9 สัญลักษณ์รีไซเคิลของ Polypropylene [Challa, 1993]

ผลิตภัณฑ์ที่ทำจาก PP เก่าสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้โดยใช้ทำสัญญาณไฟจราจร สายเคเบิลสำหรับแบตเตอรี ถังใส่ขยะตามบ้าน และถาด เป็นต้น

1.6 Polystyrene (PS) สามารถทำเป็นผลิตภัณฑ์พลาสติกแข็งหรือโฟม มีจุดหลอมเหลวต่ำ ใช้ทำถ้วย กรรไกร ถาดเนื้อ ถาดไข่ และซองใส่แผ่นดิสก์

สมบัติ : ใส ขึ้นรูปง่าย ส่งผ่านความร้อนต่ำ ฉนวนความร้อนที่ดี

รูปที่ 2.10 สัญลักษณ์รีไซเคิลของ Polystyrene [Challa, 1993]

ผลิตภัณฑ์ที่ทำจาก PS เก่าสามารถนำกลับมาใช้ใหม่โดยใช้ทำฉนวนกันความร้อน ที่เปิด-ปิดไฟ ถาดไข่ ไม้บรรทัด เป็นต้น

1.7 Other หมายถึง ภาชนะที่ทำจากพลาสติกชนิดอื่นนอกจากที่ได้กล่าวมาแล้วและรวมถึงภาชนะที่ทำจากพลาสติกเหล่านี้ผสมกันด้วย ตัวอย่างเช่น บรรจุภัณฑ์ขวดน้ำดื่มขนาด 5 ลิตร ขวดใส่ผลิตภัณฑ์อาหาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมบัติเปลี่ยนแปลงตามชนิดของเรซิน

รูปที่ 2.11 สัญลักษณ์รีไซเคิลของ Other [Challa, 1993]

2. Recycled symbols ผลิตภัณฑ์ สินค้า ภาชนะ และบรรจุภัณฑ์ที่มีสัญลักษณ์นี้แสดงว่าอย่างน้อยในการผลิตต้องมีวัสดุบางส่วนมาจากของที่ใช้แล้วนำกลับมาใช้ใหม่

จะพบสัญลักษณ์นี้พร้อมคำอธิบายเพิ่มเติมว่า Printed on recycled paper บนกระดาษ บางครั้งมีการระบุปริมาณของวัสดุเก่าที่นำกลับมาใช้ใหม่เป็นร้อยละด้วย

รูปที่ 2.12 สัญลักษณ์การนำกลับมาใช้ใหม่ [Challa, 1993]

สัญลักษณ์สองแบบนี้ประกาศโดย American Forest and Paper association and American Paper Institute and the container Corporation of America จึงนิยมใช้สัญลักษณ์นี้กับกระดาษและผลิตภัณฑ์กระดาษอัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 **ไม้และเส้นใย** [ณรงค์, 2528];[รุ่งอรุณ, 2545]

2.5.1 **ชนิดของไม้**

ไม้เป็นวัตถุดิบที่มีความสำคัญมากเนื่องจากไม้มีประโยชน์มากมาย เช่น ทำกระดาษ เครื่องเรือน เครื่องใช้ หรือใช้เป็นแหล่งพลังงานได้ เราสามารถจำแนกไม้ออกได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ คือ

2.5.1.1 ไม้ยืนต้น (Wood)

2.5.1.2 ไม้ล้มลุก (Non-wood)

2.5.1.1 ไม้ยืนต้น (Wood) แบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด คือ ไม้เนื้ออ่อน เป็นไม้ที่มีเส้นใยยาว มีความยาวเฉลี่ย 3 มม. ได้แก่ สนสองใบ สนสามใบ เป็นต้น และไม้เนื้อแข็ง เป็นไม้ที่มีเส้นใยสั้น มีความยาวเฉลี่ย 1-2 มม. เช่น เต็ง รัง เป็นต้น

2.5.1.2 ไม้ล้มลุก (Non-wood) เส้นใยที่จัดอยู่ในกลุ่มนี้ได้จากส่วนเหลือทิ้งจากการเกษตร (Agriculture residue) เช่น ฟางข้าว ชานอ้อย พืชตระกูลหญ้า (Natural growing plants) เช่น ไม้ไผ่ หญ้าขจรจบ และพืชเส้นใยต่างๆ เช่น ปอ ฝ้าย สับปะรด

ชนิดของไม้ที่นำมาทำโครงงานนี้ คือ ไม้เต็ง

<u>เต็ง</u> (Meranti)

ชื่อพฤกษศาสตร์	:*Shorea obtusa*
วงศ์	:Dipterocarpaceae
ชื่อพื้นเมือง	:ซันตก จิก(อีสาน) แงะ(เหนือ) Siamese sal Burma sal Thitya
ลักษณะและสถานที่เกิด	:เป็นไม้ยืนต้นขนาดกลางถึงขนาดใหญ่ขึ้นเป็นหมู่ตามป่าแดงทั่วไปยกเว้นทางภาคใต้
ลักษณะเนื้อไม้	:สีน้ำตาลแก่แกมแดง เนื้อไม้ด้าน ไม่มีกลิ่นและรส ความถ่วงจำเพาะ 1.05 มีเสี้ยน เนื้อไม้หยาบปานกลางและสม่ำเสมอ
ประโยชน์	:ใช้ทำโครงสร้างอาคารและพื้นสะพาน ต่อเรือ เครื่องมือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 ตารางแสดงสมบัติต่างๆ ของไม้เต็งเปรียบเทียบกับไม้เนื้อแข็งชนิดอื่น [ณรงค์, 2528]

ชนิดไม้	ความถ่วงจำเพาะ	ความแข็งแรงการดัด (กก./ซม^2)	ความดื้อ × 100 (กก./ซม^2)	ความเหนียวจากการเดาะ (กก.-ม.)	ความแข็ง (กก.)
ตะแบกใหญ่	0.68	1219	1127	2.89	628
เต็ง	1.05	1732	1751	6.10	964
ตีนนก	0.90	1629	1467	3.83	1066

ความถ่วงจำเพาะ (Specific gravity) หมายถึง อัตราส่วนน้ำหนักของไม้ต่อน้ำหนักของน้ำที่มีปริมาตรเท่ากับไม้ที่มีความชื้นขณะทำการทดลอง

ความแข็งแรงการดัด (Static bending strength) คือ ค่าสัมประสิทธิ์ในการหัก

ความดื้อ (Stiffness) คือ ค่าสัมประสิทธิ์การยืดหยุ่นที่ได้จากการดัด

ความเหนียวจากการดัด (Static bending toughness) คือ ค่างานทั้งหมดที่ทำให้ไม้เสียรูปจนถึงน้ำหนักที่กำหนด

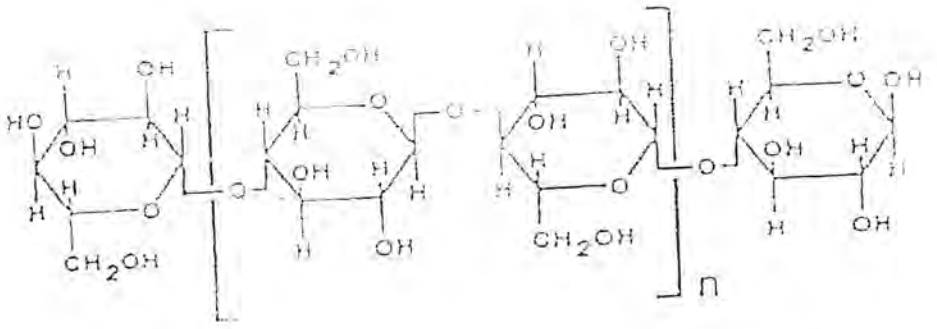
ความแข็ง (Hardness) คือ ค่าน้ำหนักหรือแรงที่ใช้ในการกดลูกปืนให้จมลงในเนื้อไม้ในระดับที่กำหนด ค่าที่ให้ไว้เป็นค่าเฉลี่ย

2.5.2 องค์ประกอบทางเคมีของไม้ (Chemical compositions of woods)

องค์ประกอบทางเคมีของไม้ ได้แก่ ไม้เนื้อแข็ง (Hardwood) ไม้เนื้ออ่อน (Softwood) และไม้ล้มลุก (Non-wood) ประกอบด้วย เซลลูโลส (Cellulose) เฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose) ลิกนิน (Lignin) และสารสกัด (Extractive)

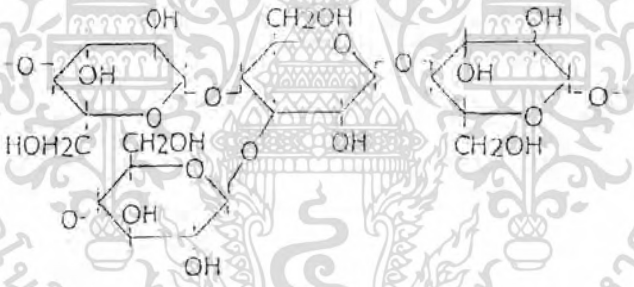
2.5.2.1 เซลลูโลส เป็นโฮโมพอลิเมอร์ (Homopolymer) ของดี-กลูโคส (d-Glucose) เกาะกันด้วย 1,4-β glucosidic bond มีลักษณะเป็นเส้นตรง มีความยาวตามธรรมชาติประมาณ 10,000 หน่วย ในระหว่างแถวมีการยึดกันด้วยพันธะไฮโดรเจน เซลลูโลสมีความเป็นผลึกประมาณร้อยละ 60-80 ทนทานต่อสารเคมี สารเคมีที่สามารถละลายเซลลูโลสได้มีไม่กี่ชนิด เช่น กรดซัลฟูริคที่มีความเข้มข้นมากกว่าร้อยละ 68 กรดไฮโดรคลอริคความเข้มข้นมากกว่าร้อยละ 41 ซิงค์คลอไรด์ เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.13 โครงสร้างของเซลลูโลส [Bledzki and Gassan, 1999]

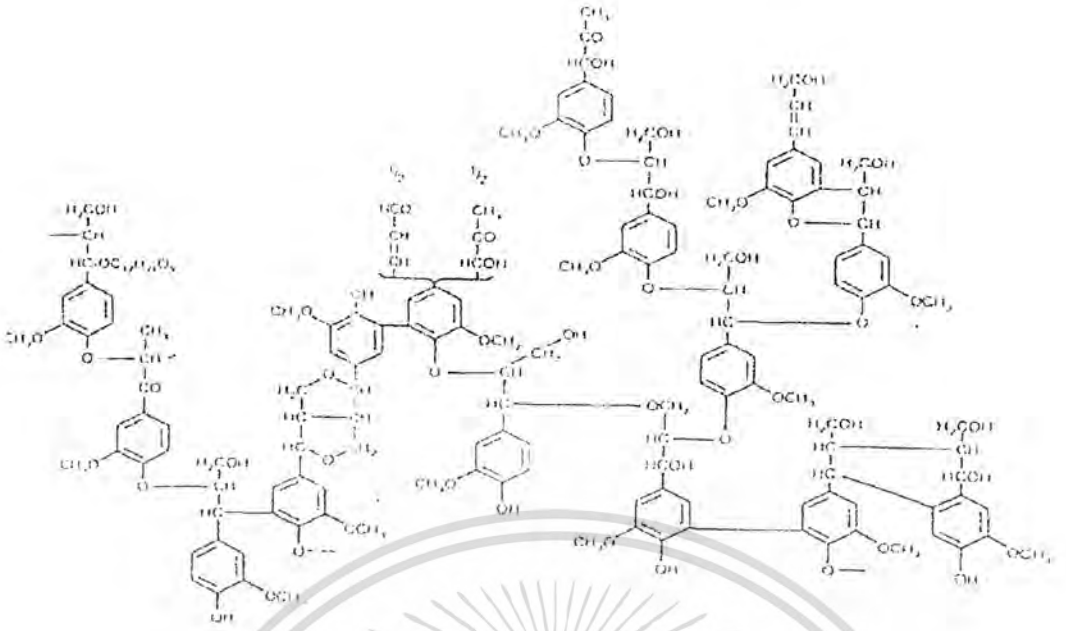
2.5.2.2 เฮมิเซลลูโลส เป็นเฮทเทอร์โรพอลิเมอร์ (Heteropolymer) ของน้ำตาลชนิดต่างๆ หลายชนิดผสมกัน เช่น กลูโคส (Glucose) แมนโนส (Mannose) ไซโลส (Xylose) และอราบิโนส (Arabinose) เฉลี่ยประมาณ 200 หน่วย มีหมู่กรด เช่น อะซีติลและยูโรนิคจับอยู่ด้วย เฮมิเซลลูโลส มีโครงสร้างเป็นอสัณฐานสามารถอมน้ำและพองตัวได้ดี



รูปที่ 2.14 โครงสร้างของเฮมิเซลลูโลส [Bledzki and Gassan, 1999]

2.5.2.3 ลิกนิน ประกอบด้วย phenyl propane unit เป็นอสัณฐาน จับตัวเป็นโครงร่างสาม มิติด้วย ether bond และพันธะคาร์บอน-คาร์บอน ลิกนินพบมากในส่วนที่เรียกว่า middle lamella ทำหน้าที่เป็นกาวเชื่อมต่อระหว่างเส้นใย เป็นสารซึ่งไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic) มีสมบัติเป็น เทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic) อุณหภูมิที่อ่อนตัวประมาณ 120-200 องศาเซลเซียส ขึ้นอยู่กับ ความชื้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.15 หน่วยซ้ำของลิกนิน [Banks and Lawther, 1994]

2.5.2.4 สารสกัดได้ (Extractive) หมายถึง ส่วนประกอบในไม้หรือพืชที่สามารถละลายได้ในตัวทำละลายอินทรีย์ (Organic solvent) เช่น อะซีโตน แอลกอฮอล์ ไดคลอโรมีเทน เป็นต้น แต่ไม่รวมถึงสารอนินทรีย์ (Inorganic material) ที่อาจจะละลายปะปนออกมาด้วย

ตารางที่ 2.3 องค์ประกอบทางเคมีของไม้เนื้อแข็ง และไม้เนื้ออ่อน [Eero, 1993]

องค์ประกอบทางเคมี หน่วย : ร้อยละ	ไม้เนื้ออ่อน	ไม้เนื้อแข็ง
เซลลูโลส	30-61	31-64
เฮมิเซลลูโลส	20-32	15-35
ลิกนิน	22-37	14-35
สารสกัดได้	3.4	2.0

2.6 **วัสดุคอมโพสิต** [Jones, 1999]

คำว่า คอมโพสิต หมายถึง วัสดุที่เกิดจากการผสมกันของวัสดุ 2 ชนิดหรือมากกว่า ข้อดีของวัสดุคอมโพสิต คือ เป็นการรวมสมบัติที่ดีของวัสดุทั้ง 2 ชนิดเข้าด้วยกัน มีสมบัติหลายชนิดของคอมโพสิตที่ดีขึ้น ได้แก่ ความแข็งแรง ความเหนียว การต้านทานการสึกกร่อน สมบัติการนำความร้อน เป็นต้น คอมโพสิตมีองค์ประกอบหลักที่สำคัญ คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

1. เมตริกซ์ (Matrix) เป็นวัสดุที่เป็นองค์ประกอบหลักที่เป็นโครงสร้างของคอมโพสิต จัดเป็นส่วนที่มีความต่อเนื่อง ทำหน้าที่ยึดเหนี่ยวอีกองค์ประกอบหนึ่ง คือ วัสดุเสริมแรงเข้าด้วยกัน และทำหน้าที่ปกป้องผิวนอกของคอมโพสิต มักเป็นวัสดุที่มีความแข็งแรงน้อยกว่าวัสดุเสริมแรง แต่ทำหน้าที่ถ่ายเทแรงที่ได้รับไปยังวัสดุเสริมแรงและป้องกันไม่ให้เกิดการเสียสภาพของวัสดุเสริมแรง เมตริกซ์ที่นิยมใช้ ได้แก่ พอลิเมอร์ เซรามิกส์ โลหะ แก้ว เป็นต้น

2. ส่วนเสริมแรง (Reinforcement) เป็นวัสดุที่ทำให้คอมโพสิตมีความแข็งแรง มักเป็นส่วนที่ไม่ต่อเนื่อง สามารถใช้ได้หลายรูปแบบ เช่น เส้นใยสั้น เส้นใยยาวต่อเนื่อง ฯลฯ

การแบ่งประเภทของวัสดุคอมโพสิต

วัสดุคอมโพสิตสามารถแบ่งได้เป็น 4 ประเภท คือ

1. วัสดุคอมโพสิตเส้นใย (Fibrous composite)
2. วัสดุคอมโพสิตแบบหลายชั้น (Laminated composite)
3. วัสดุคอมโพสิตแบบอนุภาค (Particulate composite)
4. วัสดุคอมโพสิตแบบผสมจากบางส่วนหรือทั้งหมดของวัสดุคอมโพสิตประเภทที่ 1-3

1. วัสดุคอมโพสิตเส้นใย

เป็นวัสดุคอมโพสิตที่มีเส้นใยเป็นส่วนเสริมแรง ทิศทางการวางตัวและชนิดของเส้นใยมีผลต่อสมบัติต่างๆ และการนำคอมโพสิตไปใช้ เราสามารถพบบริเวณผลึกได้จากเส้นใยที่เรียงตัวอยู่เท่านั้น วัสดุที่นิยมนำมาทำเส้นใย ได้แก่ อลูมิเนียม แก้ว คาร์บอน เหล็ก เป็นต้น

2. วัสดุคอมโพสิตแบบหลายชั้น

ประกอบไปด้วยชั้นของวัสดุตั้งแต่ 2 ชั้นขึ้นไป ที่เกิดเป็นพันธะกัน การทำชั้น (Lamination) เป็นการรวมชั้นของวัสดุโดยการเกิดพันธะกันจนได้วัสดุชนิดใหม่ที่ใช้ประโยชน์ได้ดีขึ้น สมบัติที่ดีขึ้น ได้แก่ ความแข็งแรง ความเหนียว การป้องกันการกัดกร่อน ความสวยงาม ความเป็นฉนวนทางความร้อน เป็นต้น วัสดุตัวอย่าง ได้แก่ ไบเมทัล (Bimetal) แก้วลามิเนท

3. วัสดุคอมโพสิตแบบอนุภาค

ประกอบไปด้วยอนุภาคตั้งแต่ 1 ชนิดเป็นต้นไปกระจายตัวอยู่ในเมตริกซ์ของวัสดุอีกชนิดหนึ่ง อนุภาคนั้นๆ อาจเป็นโลหะหรืออโลหะก็ได้ สามารถแบ่งได้เป็น 4 ชนิด คือ

3.1 อนุภาคอโลหะกระจายตัวในเมตริกซ์อโลหะ เช่น คอนกรีต

3.2 อนุภาคโลหะกระจายตัวในเมตริกซ์อโลหะ เช่น จรวด

3.3 อนุภาคโลหะกระจายตัวในเมตริกซ์โลหะ เช่น อนุภาคตะกั่วกระจายตัวอยู่ในเหล็กกล้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

55555

3.4 อนุภาคอโลหะกระจายตัวในเมตริกซ์โลหะ เช่น เซรามิกส์ในโลหะ

4. วัสดุคอมโพสิตแบบผสม

ประกอบไปด้วยการผสมกันของเส้นใย แบบหลายชั้น และแบบอนุภาค ตัวอย่างเช่น คอนกรีต ประกอบไปด้วยหิน ทราย (แบบอนุภาค) และเหล็ก (เส้นใย) ภายในเมตริกซ์เดียวกัน

สมบัติของพอลิเมอร์คอมโพสิตจะขึ้นกับปัจจัยหลายประการ ได้แก่

1. สมบัติของเส้นใยและสมบัติของพอลิเมอร์เมตริกซ์

2. ปริมาณของเส้นใยในพอลิเมอร์คอมโพสิต (%Fiber loading) และการจัดเรียงตัวของเส้นใยในพอลิเมอร์คอมโพสิต (Fiber orientation)

3. ช่องว่าง (Voids) หรือ ตำหนิ (Flaws) ในชิ้นงานคอมโพสิต

4. การยึดเกาะ (Interfacial bonding) ระหว่างเส้นใยและเมตริกซ์

การนำวัสดุคอมโพสิตไปใช้งานมีอย่างหลากหลาย ได้แก่ การผลิตชิ้นส่วนเครื่องบิน การผลิตชิ้นส่วนรถยนต์ เรือ ไม้เทนนิส เป็นต้น

ข้อดีของวัสดุคอมโพสิต ได้แก่

1. น้ำหนักเบา

2. ความแข็งแรงและมอดุลัสต่อน้ำหนักสูง (Specific strength and specific modulus)

3. ขึ้นรูปง่าย

4. ต้นทุนการผลิตต่ำ

5. สามารถประยุกต์ใช้งานแทนวัสดุอื่น เช่น โลหะ และเซรามิกส์ได้

ข้อเสียของวัสดุคอมโพสิต ได้แก่

1. องค์ประกอบต่างๆ มีการผสมเข้ากันได้ไม่ดี มีการแยกวัฏภาคอย่างชัดเจน

2. มีช่องว่างหรือตำหนิเกิดขึ้นในชิ้นงานเสมอ

3. มีขีดจำกัดในเรื่องปริมาณของวัสดุที่ใช้เป็นส่วนเสริมแรง

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จิรพรรณ หน่ายคอน และมาริสา ตันติลักขณา (2541) ศึกษาถึงการนำเส้นใยอ้อยซึ่งเป็นกากเหลือจากการผลิตน้ำตาลมาใช้เป็นสารตัวเติมในพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง ซึ่งได้จากขวดน้ำพลาสติกที่เหลือใช้ เส้นใยอ้อยได้รับการปรับสภาพผิวเพื่อให้มีสมบัติการยึดติดในพอลิเมอร์ผสมโดยการฉายรังสีแกมมาจากโคบอลต์ 60 ในปริมาณ 0 10 20 และ 30 กิโลเกรย์ และใช้มัลติฟังก์ชันนัลมอนอเมอร์ช่วยในการต่อกิ่ง แล้วนำมาผสมกับพอลิเมอร์ผสมในเครื่องผสมเกลียวหนอนเดี่ยว จากนั้นจึงขึ้นรูปด้วยเครื่องฉีดขึ้นรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พลาสติก และตรวจสอบสมบัติเชิงกล สมบัติทางความร้อน สมบัติการดูดซับน้ำ และสัณฐานวิทยา พบว่าคอมโพสิตที่ทำการฉายรังสีในปริมาณ 10 กิโลเกรย์ ให้สมบัติในด้านต่างๆ ดีที่สุด กล่าวคือ พอลิเมอร์คอมโพสิตสามารถทนทานต่อแรงดึง แรงกระแทก และการขัดถูได้ดีที่สุด ส่วนสมบัติทางด้านอื่นๆ ไม่มีการเปลี่ยนแปลงมากนัก และเมื่อทำการเปรียบเทียบคอมโพสิตที่ใช้เส้นใยเก่าและเส้นใยใหม่ พบว่า คอมโพสิตที่ทำจากเส้นใยใหม่ให้สมบัติเชิงกลที่ดีกว่า และดูดซับน้ำได้น้อยกว่าคอมโพสิตที่ทำจากเส้นใยเก่าส่วนสมบัติอื่นๆ ไม่มีการเปลี่ยนแปลงมากนัก

นวภรณ์ อนันตธนวนิชย์ และคณะ (2544) ศึกษาพอลิเมอร์คอมโพสิตเส้นใยธรรมชาติเพื่อใช้เป็นไม้เทียม โดยการทดลองแบ่งออกเป็นสองส่วนคือพอลิพรอพิลีนกับผงหญ้าแฝกที่เตรียมด้วยวิธีการเชิงกล โดยผสมในเครื่องผสมความเร็วสูง และเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว แล้วขึ้นรูปด้วยเครื่องฉีดขึ้นรูป ส่วนที่สองคือการเตรียมพอลิไวนิลคลอไรด์ผสมเส้นใยหญ้าแฝกด้วยวิธีการทางเคมี โดยผสมในเครื่องผสมความเร็วสูงและเครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง แล้วขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดขึ้นรูป จากนั้นนำไปศึกษาสมบัติต่างๆ คือ สมบัติทางกายภาพ สมบัติเชิงกล สมบัติทางความร้อน และสัณฐานวิทยา งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาถึงผลของปริมาณสารช่วยผสม ปริมาณหญ้าแฝก และขนาดของหญ้าแฝก จากผลการทดลองตอนหนึ่งพบว่า ปริมาณการเติมผงหญ้าแฝกที่ 30 phr และขนาด 20-50 mesh ให้สมบัติโดยรวมที่ดีที่สุด อย่างไรก็ดี สมบัติเชิงกลที่ได้มีแนวโน้มไม่แตกต่างกันมากนัก เนื่องจากผงหญ้าแฝกทำหน้าที่เป็นสารตัวเติมไม่เสริมแรง ส่วนสมบัติทางความร้อน และเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย จากการศึกษาสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด พบว่า พอลิเมอร์คอมโพสิตที่เตรียมจากผงหญ้าแฝกผสมสารช่วยผสม (มาลีเอตพอลิพรอพิลีน) 3% มีการยึดติดกันดีกับพอลิเมอร์เมตริกซ์ พบช่องว่างระหว่างเส้นใยกับพอลิเมอร์ลดลง ในการศึกษาสมบัติของคอมโพสิต PVC/VCP พบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณเยื่อเส้นใยหญ้าแฝกจะทำให้สมบัติบางอย่างของคอมโพสิตดีขึ้น เช่น ค่าความแข็งแรงดึงและมอดุลัสเพิ่มขึ้น พบว่า คอมโพสิตที่เติมเส้นใย 30 phr มีสมบัติเชิงกลที่ดีที่สุด การศึกษาขนาดของเส้นใยหญ้าแฝกพบว่า เส้นใยที่มีขนาดยาว 20-50 mesh มีสมบัติเชิงกลดีที่สุด การศึกษาสัณฐานวิทยาพบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณหญ้าแฝก เส้นใยกระจายตัวยากขึ้น และเกิดช่องว่างภายในชิ้นงานคอมโพสิต

นพวรรณ พันธุ์นา และคณะ (2545) ศึกษาการนำพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงกลับมาใช้ใหม่โดยมีขี้เลื่อยจากไม้เต็งหรือไม้สักเป็นสารตัวเติม การผสมทำได้โดยใช้เครื่องอัดรีดชนิดเกลียวหนอนคู่แล้วนำมาขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดขึ้นรูป จากนั้นนำไปศึกษาสมบัติเชิงกล สมบัติทางกายภาพ สมบัติการไหล สมบัติทางความร้อน และสัณฐานวิทยา โดยได้ทำการศึกษาผลของชนิด ปริมาณ และขนาดของขี้เลื่อยที่มีต่อสมบัติต่างๆ ของวัสดุที่ได้ พบว่า ค่าความแข็งแรงโค้งงอและความแข็งกดมีแนวโน้มไม่เปลี่ยนแปลง ค่าความเค้นดึงสูงสุด เปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดได้รับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรงสูงสุดมีค่าลดลง ส่วนค่ามอดุลัส มอดุลัสโค้งงอ และความแข็งแรงกระแทกมีค่าเพิ่มขึ้นจากพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่ไม่มีการเติมขี้เลื่อยเป็นสารตัวเติม และมีแนวโน้มว่าเมื่อปริมาณขี้เลื่อยเพิ่มขึ้น วัสดุแสดงสมบัติแข็งเปราะเพิ่มมากขึ้น สำหรับขนาดของขี้เลื่อยมีผลต่อสมบัติต่างๆ ของวัสดุเพียงเล็กน้อย จากผลของชนิดของขี้เลื่อยพบว่า การใช้ขี้เลื่อยจากไม้เต็งส่งผลให้วัสดุมีค่ามอดุลัสโค้งงอสูงกว่าการใช้ขี้เลื่อยจากไม้สักอย่างเห็นได้ชัด นอกจากนี้ยังพบว่า ค่าร้อยละการดูดซับน้ำมีค่าสูงสุดเมื่อใช้ขี้เลื่อยขนาด 12 เมช ในปริมาณ 40% ผลการทดสอบสมบัติการไหลพบว่า ที่อัตราความเครียดเฉือนต่ำกว่า 100 s^{-1} ความหนืดของวัสดุมีค่าต่ำกว่าพอลิเอทิลีนที่ไม่ได้ผสมขี้เลื่อย แต่ที่อัตราความเครียดเฉือนสูงกว่า 1,000 s^{-1} ความหนืดของวัสดุให้ผลในทางตรงกันข้าม เมื่อศึกษาสมบัติทางความร้อนพบว่า เมื่อมีการเติมขี้เลื่อยในพอลิเมอร์ ค่า T_m และ T_g ไม่มีการเปลี่ยนแปลง และจากผลของสัณฐานวิทยาพบว่าขี้เลื่อยมีการกระจายตัวในพอลิเมอร์ แต่พบว่าการยึดเกาะระหว่างสองวัฏภาคยังไม่ดีนัก

Maldas, D. **และคณะ** (1988) งานวิจัยนี้ศึกษาสมบัติเชิงกลของพอลิสไตรีนที่ถูกเติมด้วยขี้เลื่อยไม้เนื้อแข็งและไม้เนื้ออ่อน สมบัติเชิงกลเหล่านี้ ได้แก่ ค่ามอดุลัสที่ 0.1% ความเครียด ค่าความแข็งแรงดึง ค่าการดึงยืด และพลังงานที่จุดคราก โดยศึกษาถึงขนาดและปริมาณต่างๆ ของขี้เลื่อย (ขนาด 20 และ 60 เมช ปริมาณ 10-40% ขี้เลื่อย) นอกจากนี้มีการปรับปรุงคอมโพสิตโดยใช้ไอโซไซยาเนตเป็นสารคู่ควบอีกด้วย จากการศึกษาพบว่า ปริมาณขี้เลื่อย 30% ขนาด 60 เมช และความเข้มข้นของไอโซไซยาเนต 3% ทำให้สมบัติเชิงกลดีที่สุด

Coutinho, F.M.B. **และคณะ** (1999) ได้ศึกษาการเตรียมคอมโพสิตพอลิพรอพิลีนกับเส้นใยไม้จากเยื่อไม้เนื้อแข็ง โดยทำการผสมด้วยเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยวที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส ความเร็วสกรู 60 รอบต่อนาที จากนั้นทำการวัดความแข็งแรง ค่าความแข็งแรงกระแทก และค่าความแข็งแรงโค้งงอ การวัดความแข็งแรงยังศึกษาออกเป็น 2 กรณี คือ กรณีที่จุ่มชิ้นงานในน้ำที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 90 วัน และกรณีจุ่มในน้ำเดือดเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ผลการวิจัยพบว่าที่เปอร์เซ็นต์ของเส้นใย 30% และมาลีเอตพอลิพรอพิลีนที่เคลือบบนเส้นใย 2% ทำให้มีค่าความแข็งแรงดึงสูงสุด และกรณีที่จุ่มคอมโพสิตในน้ำเดือดเป็นเวลา 1 ชั่วโมงทำให้มีค่าเปอร์เซ็นต์ความเครียดที่จุดครากสูงกว่า แต่มีค่ามอดุลัสต่ำกว่าชิ้นงานที่จุ่มในน้ำที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 90 วัน

Li, B. **และคณะ** (2003) งานวิจัยนี้เกี่ยวข้องกับสมบัติเชิงกล การหน่วงไฟ และการเสื่อมสลาย (Degradation) ที่มีผลมาจากอุณหภูมิของคอมโพสิตพอลิเอทิลีนเชิงเส้นความหนาแน่นต่ำ-เส้นใยไม้ผสมขนาด 150 ไมครอน คอมโพสิตพอลิเอทิลีนเชิงเส้นความหนาแน่นต่ำ-เส้นใยไม้ถูกเตรียมโดยเครื่องผสมชนิดสองลูกกลิ้ง โดยใช้มาลีเอตพอลิเอทิลีนปรับปรุงสมบัติเชิงกล แอมโมเนียมพอลิฟอสเฟตเป็นสารหน่วงไฟ ผลการทดลองพบว่า มาลีเอตพอลิเอทิลีนช่วยเพิ่มค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความแข็งแรงดึงและค่าความแข็งแรงกระแทก ในขณะที่แอมโมเนียมพอลิฟอสเฟตมีผลต่อค่าความแข็งแรงกระแทกแต่ไม่มีผลกับค่าความแข็งแรงดึง และพบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณแอมโมเนียม-พอลิฟอสเฟตมีผลทำให้ประสิทธิภาพในการหน่วงไฟเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าเส้นใยไม้ทำให้การเลื่อมสลายเกิดได้เร็วขึ้น และแอมโมเนียมพอลิฟอสเฟตยังลดอุณหภูมิเริ่มต้นของการเสื่อมสลายอีกด้วย

Lin, Q. **และคณะ** (2002) ได้ทำการศึกษาสมบัติการดูดซับน้ำและสมบัติเชิงกลของคอมโพสิตพอลิพรอพิลีน-ไม้จากขี้เลื่อยผสม ในสภาวะที่คอมโพสิตจุ่มอยู่ในน้ำที่มีอุณหภูมิ 23 60 และ 100 องศาเซลเซียส พบว่าสมบัติการดูดซับน้ำขึ้นกับปริมาณของเมตริกซ์ และขนาดของสารตัวเติม โดยสมบัติการดูดซับน้ำมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น สมบัติเชิงกลมีแนวโน้มเป็นไปในทำนองเดียวกัน สำหรับค่าความแข็งแรงยืดหยุ่น ค่าความแข็งแรงกระแทก และค่ามอดุลัสเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น และหลังจากมีการดูดซับน้ำเกิดขึ้นแล้วส่งผลให้ค่าความแข็งแรงดึง ความแข็งแรงโค้งงอ มอดุลัสโค้งงอ และความแข็งแรงกระแทกเพิ่มขึ้น แต่เมื่อจุ่มน้ำที่อุณหภูมิสูงขึ้นส่งผลให้ค่าความแข็งแรงดึง ความแข็งแรงโค้งงอ มอดุลัสโค้งงอ และความแข็งแรงกระแทกมีแนวโน้มลดลง

Coutinho, F.M.B. **และคณะ** (2003) ศึกษาคอมโพสิตพอลิพรอพิลีน-ขี้เลื่อยจากไม้ 4 ชนิด ได้แก่ อบเชย เซอรี่ วอลนัท มะฮอกกานี ที่เคลือบด้วยมาลีเอตพอลิพรอพิลีนถูกเตรียมขึ้นภายใต้สภาวะหนึ่งจากนั้นจึงศึกษาความแข็งแรงดึง การแตกหักของคอมโพสิต และผลของปริมาณมาลีเอตพอลิพรอพิลีน เทคนิค SEM ถูกนำมาใช้ในการศึกษาพื้นผิวที่แตกหักและการผสมเข้ากันของเส้นใยและเมตริกซ์ พบว่าการเพิ่มปริมาณมาลีเอตพอลิพรอพิลีนจะทำให้การเข้ากันของพอลิพรอพิลีนและเส้นใยดีขึ้น และค่าความแข็งแรงการดึงยืดเพิ่มขึ้น โดยปริมาณของมาลีเอตพอลิพรอพิลีนที่ทำให้สมบัติการดึงยืดดี คือ 20-40% ต่อน้ำหนักของเส้นใย

Balasuriya, P.W. **และคณะ** (2001) ได้ทำการศึกษาผลของพฤติกรรมการหลอมไหลของส่วนที่เป็นเมตริกซ์ [พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (High-density polyethylene, HDPE)] และเทคนิคการขึ้นรูปคอมโพสิตที่ส่งผลต่อโครงสร้างและสมบัติของคอมโพสิตของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงกับแผ่นไม้จากไม้สน (Wood flake-high-density polyethylene) โดยใช้เทคนิคการขึ้นรูป 2 เทคนิค ได้แก่ เทคนิคการผสมโดยใช้เกลียวหนอนคู่ (Twin-screw compounding) และเทคนิคการผสมเชิงกล (Mechanical blending) พบว่า คอมโพสิตที่ขึ้นรูปโดยใช้เทคนิคการผสมโดยใช้เกลียวหนอนคู่และใช้ HDPE ที่มีดัชนีการหลอมไหลปานกลาง (Medium melt flow index, MMFI) ทำให้ได้คอมโพสิตที่มีการกระจายตัวของไม้และการเปียกของไม้ดีกว่า และทำให้มีสมบัติเชิงกลดีกว่าคอมโพสิตที่ขึ้นรูปโดยใช้เทคนิคการผสมเชิงกลหรือขึ้นรูปโดยใช้เทคนิคการผสมโดยใช้เกลียวหนอนคู่แต่ใช้ HDPE ที่มีดัชนีการหลอมไหลต่ำ (Low melt flow index, LMFI)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับคอมโพสิตที่มีอัตราส่วนขององค์ประกอบเท่ากับ 50:50 โดยน้ำหนัก การเปียกของไม้รวมขึ้นกับเทคนิคการขึ้นรูปและพฤติกรรมการไหลของส่วนที่เป็นเมตริกซ์ โดยสามารถเรียงลำดับได้ดังนี้ compounded MMFI > compounded LMFI > blended MMFI > blended LMFI ส่วนการกระจายตัวของไม้เป็นดังนี้ compounded MMFI > blended MMFI > compounded LMFI > blended LMFI มีข้อมูลที่แสดงให้เห็นว่า MMFI-HDPE สามารถผ่านเข้าไปในลูเมนของเส้นใยไม้ได้ ปรากฏการณ์นี้เมื่อรวมกับการเปียกของไม้และการกระจายตัวของไม้แล้ว มีผลอย่างมากต่อสมบัติเชิงกลของคอมโพสิต โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเรื่องความแข็งแรงกระแทก (Impact strength)

Coutinho, F.M.B. และคณะ (2000) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับพฤติกรรมการแตกหักของคอมโพสิตของพอลิพรอพิลีนที่มีการเติมขี้เลื่อยจากไม้เนื้อแข็งเพื่อเป็นวัสดุเสริมแรง โดยทำการเตรียมคอมโพสิตที่ประกอบด้วยขี้เลื่อยในปริมาณ 20% โดยน้ำหนัก โดยใช้มาลีเอตพอลิพรอพิลีนเข้มข้น 22.4% โดยน้ำหนักเคลือบที่ผิวของเส้นใย นำพอลิพรอพิลีนที่ไม่มีการเติมขี้เลื่อยและคอมโพสิตที่ประกอบด้วยขี้เลื่อยในปริมาณ 20% โดยน้ำหนัก มาทำการทดสอบความแข็งแรงดึงที่ความเร็วในการดึงต่างๆ ได้แก่ 400 5 และ 0.1 มิลลิเมตรต่อนาที จากนั้นนำชิ้นงานที่ผ่านการทดสอบความแข็งแรงดึงมาทดสอบ SEM ผลที่ได้จากการทดสอบทั้งสองอย่างพบว่า ที่ความเร็วในการดึง 400 มิลลิเมตรต่อนาที มีพฤติกรรมการแตกเป็นแบบเปราะ ที่ความเร็วในการดึง 5 มิลลิเมตรต่อนาที มีพฤติกรรมการแตกเป็นแบบเหนียว-เปราะ และที่ความเร็วในการดึง 0.1 มิลลิเมตรต่อนาที มีพฤติกรรมการแตกเป็นแบบเหนียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
การดำเนินงานวิจัย

3.1 สารเคมีและวัสดุที่ใช้ในงานวิจัย

1. ขวดน้ำดื่มพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (High-Density Polyethylene, HDPE) เกรดการค้า
2. ขี้เลื่อยจากไม้เต็ง

3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย

1. เครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนคู่ (Twin-screw Extruder):OHG DUISBURG.
2. เครื่องขึ้นรูปแบบกดอัด (Compression Molding):Lab Tech Engineering Company LTD.
3. เครื่องบด (Grinder):Bosco Engineering.
4. เครื่องบดละเอียด:F.Kurt Retsch GmbH & Co.KG.
5. เครื่องร่อนแยกขนาด:F.Kurt Retsch GmbH & Co.KG.
6. ตะแกรงร่อนมาตรฐานขนาด 35 100 และ 200 เมช
7. เครื่องทดสอบความแข็งแรงดึง (Universal Testing Machine):LLYOD Instrument.
8. เครื่องทดสอบความแข็งแรงกระแทกแบบไอซอด (Izod Impact Tester):Yasuda Seiki Seisakusho LTD.
9. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM): LEO Electron Microscopy LTD.
10. ตู้อบ:WTB binder.
11. เกรียง
12. ถาดอะลูมิเนียม
13. เครื่องชั่ง:Denver Instrument Company.
14. ถุงมือกันความร้อน
15. เวอร์เนีย
16. ไมโครมิเตอร์ (Micrometer)
17. เดซิเคเตอร์ (Dessicater)
18. เครื่องตัดชิ้นงาน สำหรับการขึ้นรูปแบบกดอัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

19. เครื่องเจียรรอยบากชิ้นงาน สำหรับการทดสอบความแข็งแรงกระแทก:Yasuda Seiki Seisakusho LTD.

20. เครื่องวัดดัชนีการหลอมไหล (Melt flow indexer):CEAST.

3.3 วิธีการทดลอง

3.3.1 การเตรียมพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง

1. นำขวดพลาสติกมาทำความสะอาด ตัดส่วนหัว ส่วนท้าย และส่วนที่มีสีออก แล้วนำไปบดด้วยเครื่องบด

2. นำขวดพลาสติกไปอบที่อุณหภูมิ 105 ° C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง แล้วเก็บในเดซิเคเตอร์

3.3.2 การเตรียมขี้เลื่อย

1. ทำการบดขี้เลื่อยโดยใช้เครื่องบดละเอียด

2. นำขี้เลื่อยไปแยกขนาดโดยใช้เครื่องร่อนแยกขนาด โดยใช้ขนาดของตะแกรงร่อนเท่ากับ 35 เมช 100 เมช และ 200 เมช ซึ่งสัมพันธ์กับความยาวขี้เลื่อย 500 150 และ 70 ไมครอน ตามลำดับ

3. นำขี้เลื่อยไปอบที่อุณหภูมิ 105 ° C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง แล้วเก็บในเดซิเคเตอร์ ก่อนนำไปผสมในหัวข้อ 3.3.4 ต่อไป

3.3.3 การหาดัชนีการหลอมไหลของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง

นำพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่ได้จากหัวข้อ 3.3.1 มาหาดัชนีการหลอมไหลโดยใช้เครื่องหาดัชนีการหลอมไหล โดยใช้วิธีการหาตามมาตรฐาน ASTM D 1238

3.3.4 ขั้นตอนการผสม

1. ทำการผสมส่วนผสมต่างๆ ดังตารางที่ 3.1

2. ผสมสูตรคอมโพสิตด้วยเครื่องอัดรีดชนิดเกลียวหนอนคู่ (Twin-screw Extruder) โดยใช้อุณหภูมิจากส่วนป้อนสาร (Feed zone) ไปยังส่วนหัวตาย (Die zone) เท่ากับ 130 140 150 และ 160 °C ตามลำดับ และใช้ความเร็วรอบเท่ากับ 50 รอบต่อนาที

3. นำวัสดุที่ผสมแล้วไปบดด้วยเครื่องบด

4. นำวัสดุที่บดแล้วไปขึ้นรูปด้วยเครื่องขึ้นรูปแบบกดอัด (Compression moulding) โดยใช้อุณหภูมิเท่ากับ 160 °C เวลาในการกดอัด 5 นาที และเวลาในการอัดเย็นอีก 5 นาที

5. ตัดชิ้นงานตามขนาดและรูปร่างเพื่อใช้ในการทดสอบสมบัติต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. นำชิ้นงานที่ตัดแล้วมาทดสอบสมบัติต่างๆ ดังนี้

1) สมบัติเชิงกล

- สมบัติแรงดึง ได้แก่ ค่าความแข็งแรงดึง ค่ามอดุลัส และเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดคราก
- ความแข็งแรงโค้งงอ และมอดุลัสโค้งงอ
- ความแข็งแรงกระแทก และความแข็งกด

2) สมบัติทางกายภาพ

- สมบัติการดูดซับน้ำ

3) สัณฐานวิทยา ศึกษาสัณฐานวิทยาโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) และศึกษาการกระจายตัวของขี้เลื่อยในพอลิเมอร์

ตารางที่ 3.1 ส่วนผสมต่างๆ ในการเตรียมวัสดุคอมโพสิต

สูตรที่	HDPE (กรัม)	ขี้เลื่อย	
		ปริมาณ (กรัม)	ขนาด (เมช)
1	100	-	-
2	85	15	35-99
3	70	30	35-99
4	65	45	35-99
5	85	15	100-199
6	70	30	100-199
7	65	45	100-199
8	85	15	>200
9	70	30	>200
10	65	45	>200

3.3.5 การศึกษาผลของการดูดซับน้ำที่มีต่อสมบัติเชิงกลของวัสดุผสม

เลือกวัสดุผสมที่มีอัตราการดูดซับน้ำสูงที่สุดมาทำการศึกษาต่อ

1. ชั่งน้ำหนักของชิ้นงานโดยละเอียด
2. นำชิ้นงานทั้งหมดมาแช่น้ำเป็นระยะเวลาต่างๆ ดังนี้ 1 2 3 และ 4 สัปดาห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. หลังจากแช่ชิ้นงานเป็นระยะเวลาต่างๆ แล้ว นำชิ้นงานมาซับน้ำที่พื้นผิวชิ้นงาน ชั่งน้ำหนัก แล้วนำมาทดสอบสมบัติเชิงกล ได้แก่ สมบัติทางแรงดึง สมบัติการโค้งงอ ความแข็งแรงกระแทก และความแข็งกด

3.4 วิธีการทดสอบ

ทดสอบสมบัติต่างๆ ของวัสดุที่เตรียมได้ ตามมาตรฐานดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 มาตรฐานที่ใช้ทดสอบวัสดุคอมโพสิต

สมบัติ	มาตรฐานที่ใช้ทดสอบ	หน่วยที่รายงาน
ความแข็งแรงดึง (Tensile strength)	ASTM D 638	MPa
มอดุลัส (Modulus)	ASTM D 638	MPa
เปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดคราก (% Elongation at yield)	ASTM D 638	%
ความแข็งแรงกระแทก (Impact strength)	ASTM D 256	kJ/m^2
ความแข็งแรงโค้งงอ (Flexural strength)	ASTM D 790	MPa
มอดุลัสโค้งงอ (Flexural modulus)	ASTM D 790	MPa
สมบัติการดูดซับน้ำ (Water absorption)	ASTM D 570-81	%
ดัชนีการหลอมไหล (Melt folw index)	ASTM D 1238	g/10 min.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.1 สมบัติเชิงกล

3.4.1.1 ความแข็งแรงดึง มอดุลัส และเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดคราก

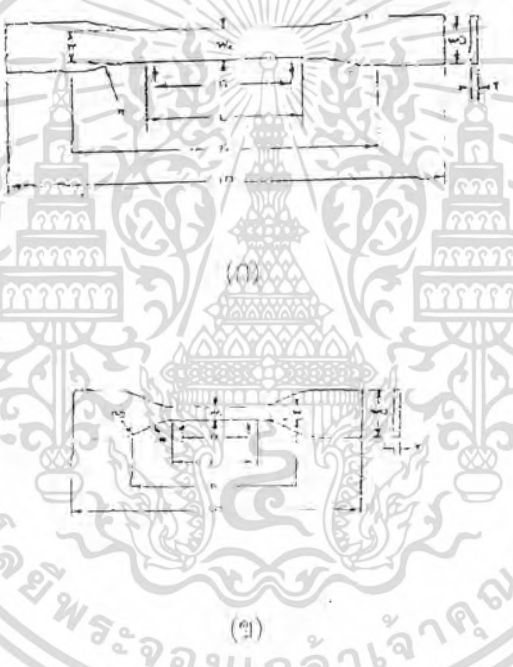
ใช้เครื่องทดสอบสมบัติเชิงกล (Universal Testing Machine) และใช้การทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D 638 พร้อมทั้งใช้โปรแกรม WINDAP ในการคำนวณค่าต่างๆ โดยใช้ชิ้นงานทดสอบมีลักษณะเป็นรูปดัมเบลล์ ทำการทดสอบที่สภาวะดังนี้

Test speed : 5.00 mm/min

Gauge length : 25.00 mm

Load cell : 1.00 kN

Cell class : 0.5



(ก)

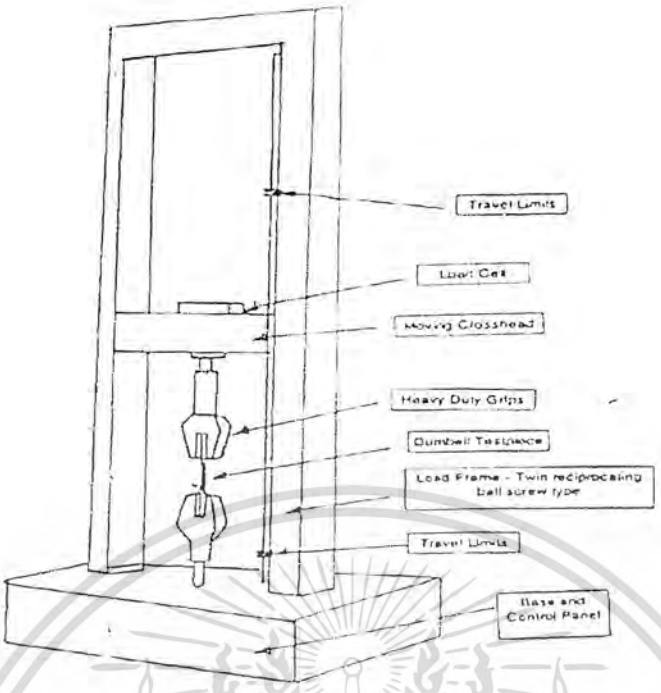
(ข)

รูปที่ 3.1 ตัวอย่างชิ้นงานทดสอบแรงดึง [ASTM D 638, 1992]

(ก) ดัมเบลล์ใหญ่ ชิ้นงานจากการขึ้นรูปแบบฉีด

(ข) ดัมเบลล์เล็ก ชิ้นงานจากการขึ้นรูปแบบกดอัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 ส่วนประกอบของเครื่องมือทดสอบแรงดึง [Hunt และ James, 1993]

ค่าความแข็งแรงดึง ค่ามอดุลัส และค่าเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดคราก สามารถคำนวณหาได้จากสมการ ดังต่อไปนี้

ความแข็งแรงดึง (Tensile strength) = F / A

มอดุลัส (Young's modulus , E) = $(F / A) / [(L-L_0) / L_0]$

เปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดคราก (% Elongation at yield) = $[(L-L_0) / L_0] * 100$

เมื่อ F คือ แรงที่ใช้ในการดึงยืดชิ้นงานตัวอย่าง (N)

A คือ พื้นที่หน้าตัดของชิ้นงานตัวอย่าง (mm^2)

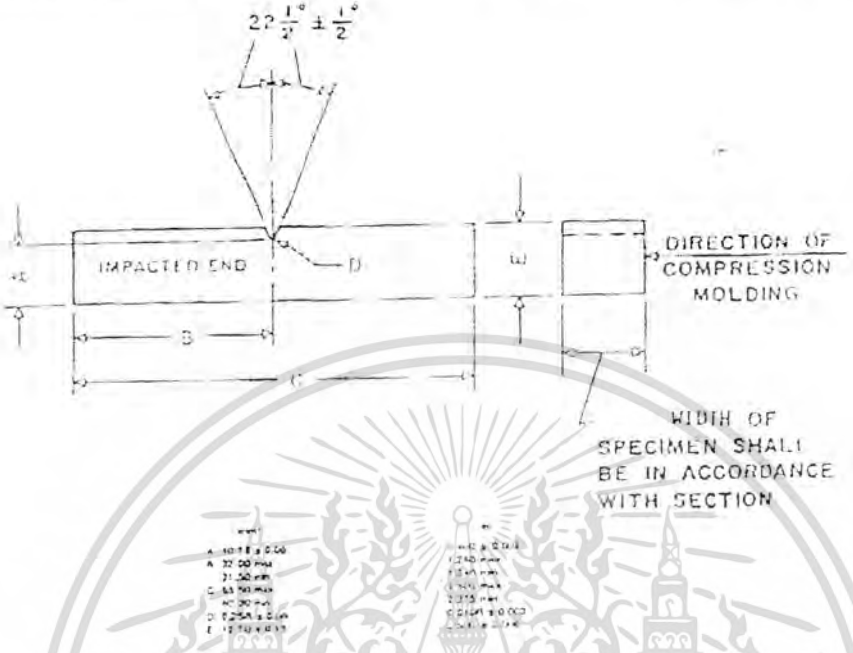
L คือ ระยะห่างระหว่างจุดสองจุดหลังทำการดึงชิ้นงานตัวอย่าง (mm)

L_0 คือ ระยะที่ชิ้นงานตัวอย่างแคบที่สุดและมีพื้นที่หน้าตัดขนานกัน, (mm)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.1.2 **ความแข็งแรงกระแทก** (Impact strength)

ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D 256 โดยใช้มาตรฐานการทดสอบการกระแทกแบบไอซอด (Izod type) ซึ่งเป็นการทดสอบแรงกระแทกเหวี่ยง โดยใช้เครื่อง Izod Impact Tester



รูปที่ 3.3 ขนาดและลักษณะของตัวอย่างทดสอบการกระแทกแบบไอซอด [ASTM D 256, 1992]

ค่าความแข็งแรงกระแทกของตัวอย่างที่มีตำหนิ (Notched samples) สามารถคำนวณได้จากสมการ ดังต่อไปนี้

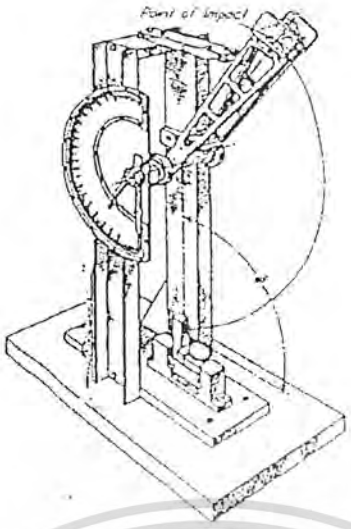
$$W_k = W / A_k$$

เมื่อ W_k คือ ค่าความแข็งแรงกระแทกของตัวอย่างที่มีตำหนิ (kJ/m^2)

W คือ ค่าพลังงานกระแทกที่วัดได้ (kJ)

A_k คือ พื้นที่หน้าตัดของตัวอย่างที่หักรอยตำหนิแล้ว (m^2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 เครื่องมือทดสอบความแข็งแรงกระแทกแบบไอซอด [ASTM D 256, 1992]

3.4.1.3 ความแข็งแรงโค้งงอ และมอดุลัสโค้งงอ

ใช้เครื่องทดสอบสมบัติเชิงกล (Universal testing machine) และใช้โปรแกรม WINDAP ในการคำนวณ ใช้มาตรฐานการทดสอบตาม ASTM D 790 ใช้ชิ้นงานทดสอบเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า สภาวะที่ใช้ทดสอบคือ

Test speed : 5.00 mm/min
Span length : 40.00 mm
Load cell : 1.00 kN
Cell class : 0.5

รูปที่ 3.5 การทดสอบสมบัติความโค้งงอ [ASTM D 790, 1992]

การคำนวณหาค่าความแข็งแรงโค้งงอและมอดุลัสโค้งงอ สามารถคำนวณได้จากสูตร ดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความแข็งแรงโค้งงอ (σ_f) = $(1.5\ FL) / (bh^3)$

มอดุลัสโค้งงอ (E_b) = $(L^3 \Delta F) / (4bh^3 \Delta d)$

เมื่อ F คือ แรงกด (N)

L คือ Span length (mm)

b คือ ความกว้างของตัวอย่าง (mm)

h คือ ความหนาของตัวอย่าง (mm)

ΔF คือ ผลต่างของแรงดึง (N)

Δd คือ ระยะกดโค้งงอ (mm)

3.4.2 สมบัติการดูดซับน้ำ

วิธีการทดสอบสมบัติการดูดซับน้ำ (Water absorption) เป็นไปตามมาตรฐาน ASTM D 570-81, 1992 ทำได้โดยนำชิ้นงานตัวอย่าง อย่างละ 3 ชิ้น ไปอบที่อุณหภูมิ 60 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำมาชั่งน้ำหนักโดยละเอียด แล้วนำไปแช่น้ำ เมื่อเวลาผ่านไป 24 ชั่วโมงแรก ให้นำชิ้นงานมาชั่งน้ำหนัก แล้วนำไปแช่น้ำต่อ และต้องทำการชั่งน้ำหนักทุกสัปดาห์ จนกว่าน้ำหนักที่ได้คงที่ จากนั้นนำมาคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำ จากสมการ

%การดูดซับน้ำ = [(น้ำหนักตัวอย่างเปียก–น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น)/น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น] x 100

3.4.3 สัณฐานวิทยา

ในการศึกษาลักษณะพื้นผิวของวัสดุที่ได้ จะใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) ในการศึกษาลักษณะพื้นผิวของวัสดุที่ได้อย่างละเอียดที่อุณหภูมิต่ำ (Cryogenic fracture) เพื่อดูลักษณะการกระจายตัวของขี้เลื่อยในพอลิเมอร์ โดยในการเตรียมตัวอย่างนั้น นำชิ้นงานตัวอย่างมาแช่ไนโตรเจนเหลว และทำการหักทันที จากนั้นนำมาเคลือบด้วยทอง และนำไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิค Scanning Electron Microscopy (SEM) ต่อไป

3.4.4 ดัชนีการหลอมไหล

วิธีหาดัชนีการหลอมไหล (Melt flow index) เป็นไปตามมาตรฐาน ASTM D 1238, 1992 โดยใช้อุณหภูมิเท่ากับ 190°C และใช้น้ำหนักกดกระบอกสูบเท่ากับ 2.16 กิโลกรัม โดยในการหาจะทำทั้งหมด 5 ครั้ง แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย โดยดัชนีการหลอมไหลที่ได้มีหน่วยเป็นกรัมต่อ 10 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

โครงงานพิเศษนี้เกี่ยวข้องกับการเตรียม และการทดสอบสมบัติต่างๆ ของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่นำกลับมาใช้ใหม่โดยมีขี้เลื่อยจากไม้เต็งเป็นสารตัวเติม โดยศึกษาถึงผลของขนาด และปริมาณของขี้เลื่อยที่มีต่อสมบัติเชิงกล (Mechanical properties) สมบัติทางกายภาพ (Physical properties) และสัณฐานวิทยา (Morphology) นอกจากนี้ยังทำการศึกษาผลของการดูดซับน้ำเป็นระยะเวลาต่างๆ ที่มีต่อสมบัติเชิงกลด้วย

4.1 ดัชนีการหลอมไหล (Melt flow index)

ทำการทดสอบหาดัชนีการหลอมไหลของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง ที่นำมาใช้ในโครงงานพิเศษนี้ โดยใช้สภาวะในการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D 1238 คือ ใช้อุณหภูมิเท่ากับ 190°C และใช้น้ำหนักกดกระบอกสูบเท่ากับ 2.16 กิโลกรัม ได้ค่าดัชนีการหลอมไหลของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่นำกลับมาใช้ใหม่เท่ากับ 0.57 กรัมต่อ 10 นาที

4.2 ผลของขนาดขี้เลื่อยที่มีต่อสมบัติเชิงกล

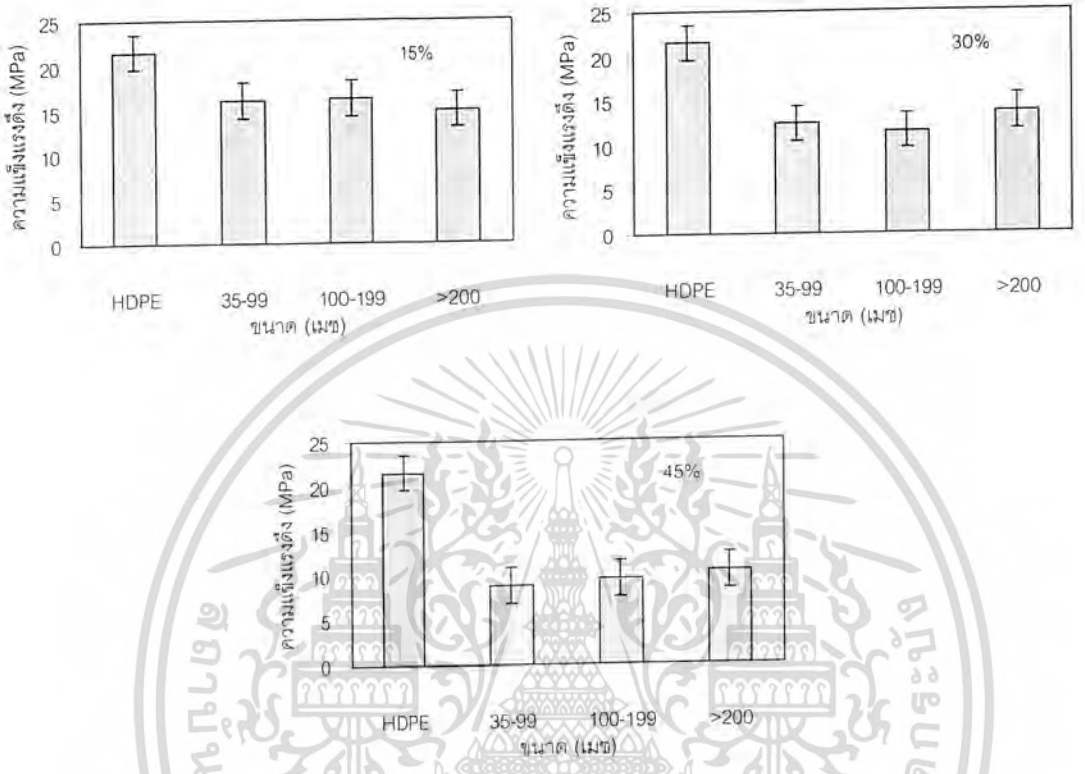
สมบัติต่างๆ ของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่นำกลับมาใช้ใหม่โดยมีขี้เลื่อยจากไม้เต็งเป็นสารตัวเติมที่ทำการศึกษามีดังนี้ สมบัติเชิงกล ได้แก่ ความแข็งแรงดึง (Tensile strength) มอดุลัส (Modulus) เปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดคราก (%Elongation at yield) ความแข็งแรงโค้งงอ (Flexural strength) มอดุลัสโค้งงอ (Flexural modulus) ความแข็งกด (Hardness) และความแข็งแรงกระแทก (Impact strength) สมบัติทางกายภาพ ได้แก่ สมบัติการดูดซับน้ำ และสัณฐานวิทยา โดยทำการเปลี่ยนขนาดของขี้เลื่อย ได้แก่ 35-99 เมช 100-199 เมช และมากกว่า 200 เมช และปริมาณของขี้เลื่อย 15% 30% และ 45% ให้ผลการทดลอง ดังนี้

4.2.1 ความแข็งแรงดึง

จากรูป 4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งแรงดึงกับขนาดของขี้เลื่อย พบว่าค่าความแข็งแรงดึงมีค่าลดลงเมื่อเติมขี้เลื่อยลงไปในพอลิเมอร์ เนื่องมาจากพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงเป็นสารที่ไม่มีขั้วและไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic) แต่ขี้เลื่อยมีองค์ประกอบหลักเป็นเซลลูโลสซึ่งมีหมู่ไฮดรอกซิลอยู่ภายในโครงสร้าง ซึ่งมีสมบัติชอบน้ำ (Hydrophilic) จึงทำให้ทั้งสองวัฏภาคมีความเข้ากันได้ต่ำ เกิดเป็นจุดบกพร่องของชิ้นงาน ทำให้ความสามารถในการรับแรงของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วัสดุลดลง จึงส่งผลให้ค่าความแข็งแรงดึงของวัสดุลดลง และจากรูปที่ 4.1 พบว่าขนาดของขี้เลื่อยไม่มีผลต่อค่าความแข็งแรงดึง

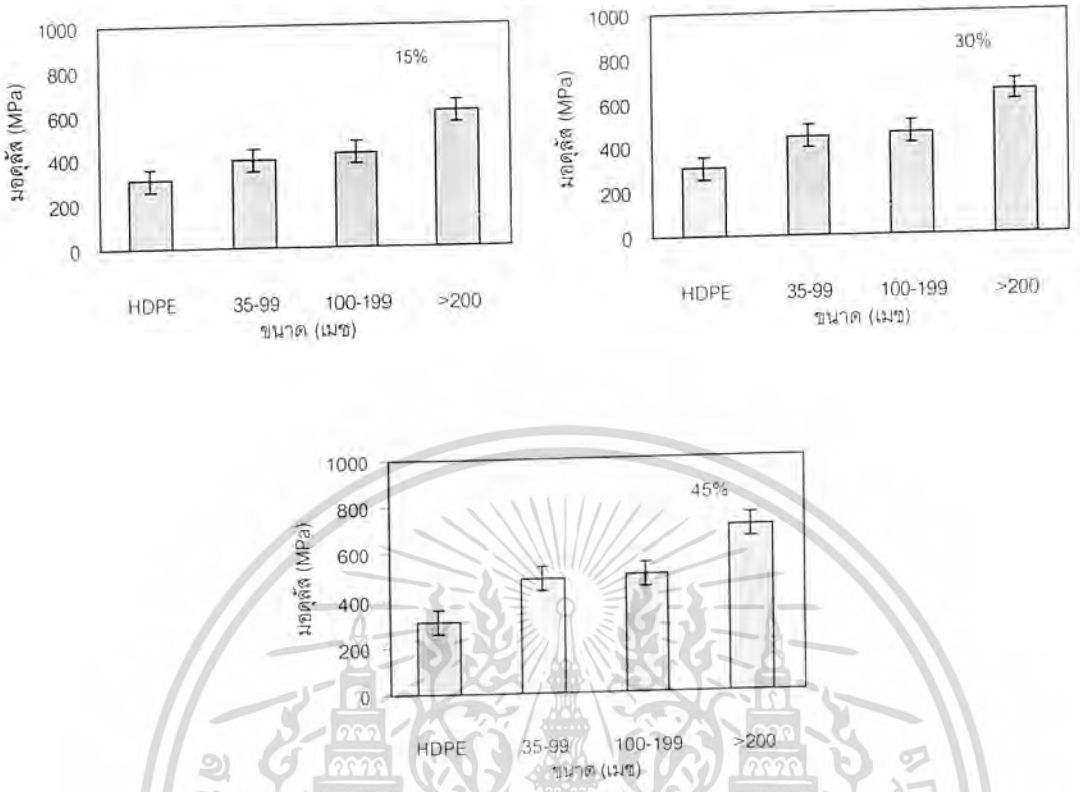


รูปที่ 4.1 ความแข็งแรงดึงของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่นำกลับมาใช้ใหม่โดยมีขี้เลื่อยเป็นสารตัวเติมที่ขนาดต่างๆ

4.2.2 มอดุลัส

ค่ามอดุลัสกับขนาดของขี้เลื่อยแสดงความสัมพันธ์กันดังรูปที่ 4.2 พบว่า พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่เติมขี้เลื่อยให้ค่ามอดุลัสสูงกว่าพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่ไม่เติมขี้เลื่อย เนื่องจากขี้เลื่อยเป็นวัสดุที่มีความแข็งมากกว่าพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง เมื่อทำการเติมขี้เลื่อยลงไปจึงทำให้วัสดุคอมโพสิตมีค่ามอดุลัสสูงขึ้น และเมื่อขี้เลื่อยมีขนาดเล็กลงพบว่าค่ามอดุลัสมีค่าสูงขึ้น โดยเฉพาะที่ขนาดขี้เลื่อยมากกว่า 200 เมช ปริมาณ 45% มีค่าเพิ่มสูงขึ้นอย่างมากถึง 130% เมื่อเปรียบเทียบกับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง เนื่องจากเมื่อขนาดของขี้เลื่อยเล็กลงพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างขี้เลื่อยและพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงมีเพิ่มมากขึ้น จึงทำให้วัสดุมีความแข็งแรงสูงขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

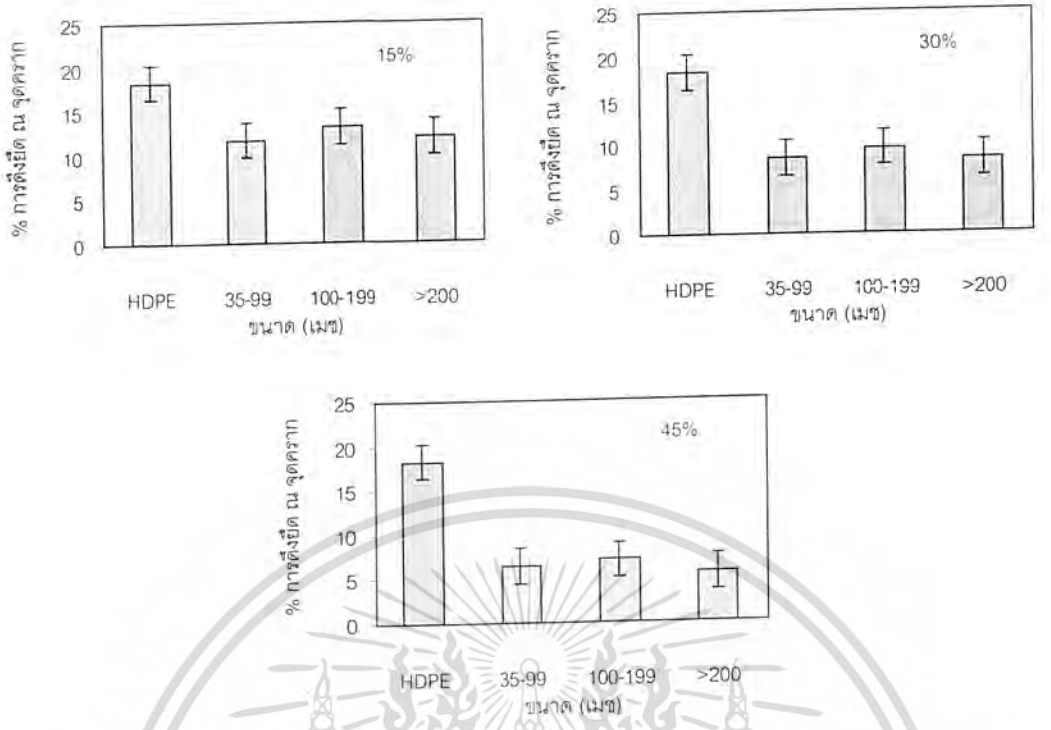


รูปที่ 4.2 มอดุลัสของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่นำกลับมาใช้ใหม่โดยมีขี้เลื่อยเป็นสารตัวเติมที่ขนาดต่างๆ

4.2.3 เปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดคราก

จากรูปที่ 4.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดคราก กับขนาดของขี้เลื่อยที่เติมลงในพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง พบว่าพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่เติมขี้เลื่อยมีค่าเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดครากน้อยกว่าพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่ไม่เติมขี้เลื่อย เนื่องจากขี้เลื่อยเป็นวัสดุที่แข็งกว่าพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง และมีความสามารถในการเปลี่ยนแปลงรูปร่างได้ยากกว่า จึงทำให้ค่าเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดครากลดลง และขนาดของขี้เลื่อยไม่มีผลต่อค่าเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดคราก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

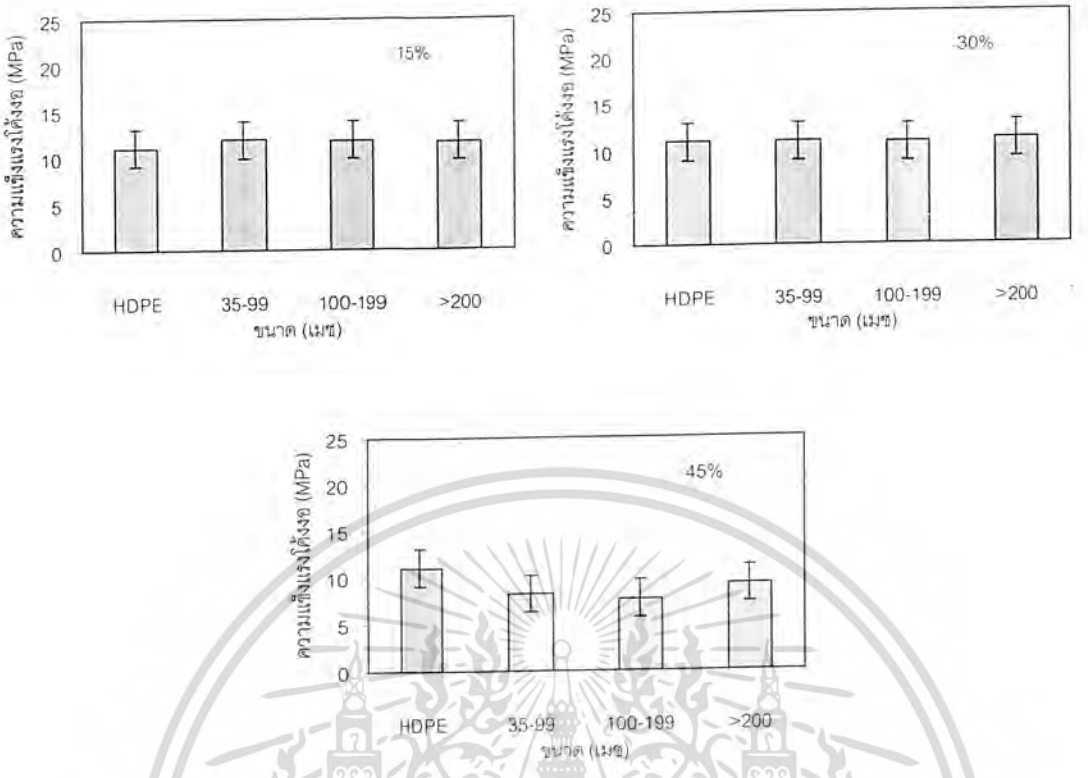


รูปที่ 4.3 เปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดครากของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่นำกลับมาใช้ใหม่โดยมีขี้เลื่อยเป็นสารตัวเติมที่ขนาดต่างๆ

4.2.4 ความแข็งแรงโค้งงอ

ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งแรงโค้งงอ กับขนาดของขี้เลื่อยแสดงดังรูปที่ 4.4 พบว่าการเติมขี้เลื่อยลงไปในพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงไม่มีผลต่อค่าความแข็งแรงโค้งงอ และเมื่อขนาดของขี้เลื่อยเล็กลงก็ไม่มีผลต่อค่าความแข็งแรงโค้งงอเช่นกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

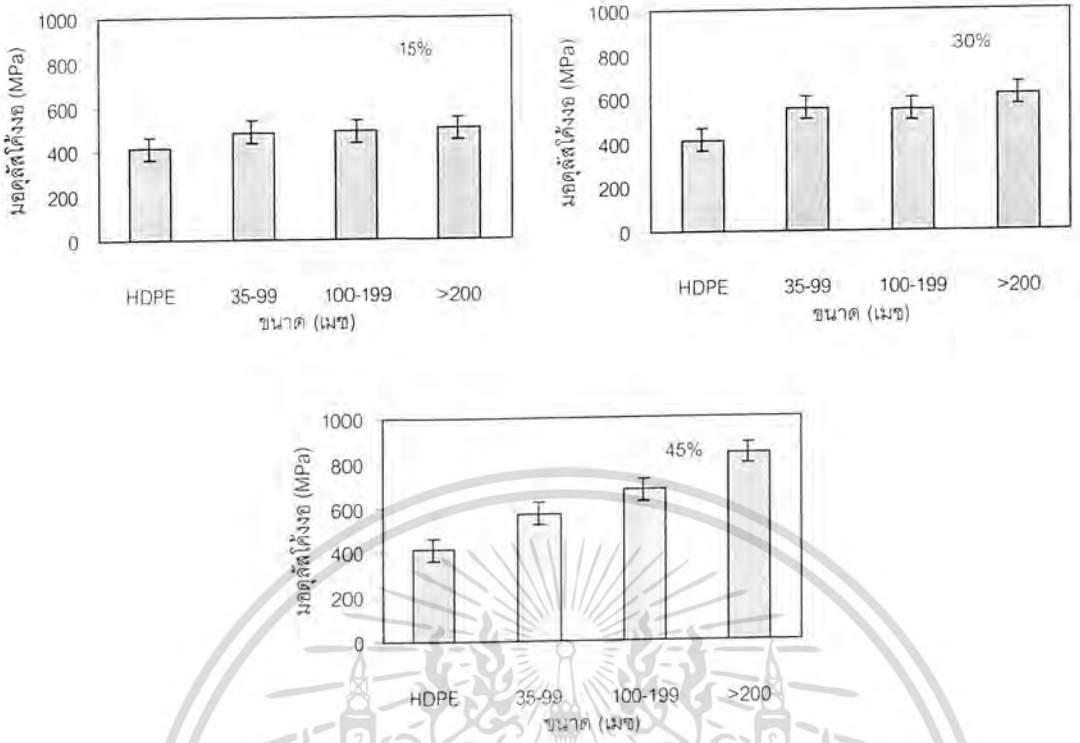


รูปที่ 4.4 ความแข็งแรงโค้งงอของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่นำกลับมาใช้ใหม่โดยมีขี้เลื่อยเป็นสารตัวเติมที่ขนาดต่างๆ

4.2.5 มอดุลัสโค้งงอ

ค่ามอดุลัสโค้งงอ กับขนาดของขี้เลื่อยแสดงความสัมพันธ์ดังรูปที่ 4.5 พบว่าพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่ถูกเติมด้วยขี้เลื่อยมีค่ามอดุลัสโค้งงอสูงกว่าพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง เนื่องจากเหตุผลของความแข็งของขี้เลื่อยที่มีมากกว่าพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง และค่ามอดุลัสโค้งงอมีค่ามากขึ้นตามขนาดของขี้เลื่อยที่เล็กลง โดยเฉพาะที่ปริมาณขี้เลื่อย 45 เปอร์เซ็นต์ ขนาดมากกว่า 200 เมช ให้ค่ามอดุลัสโค้งงอเพิ่มขึ้นประมาณ 100% เมื่อเปรียบเทียบกับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง เพราะพื้นที่ผิวสัมผัสของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงกับขี้เลื่อยมีมากขึ้นเมื่อขี้เลื่อยมีขนาดเล็กลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

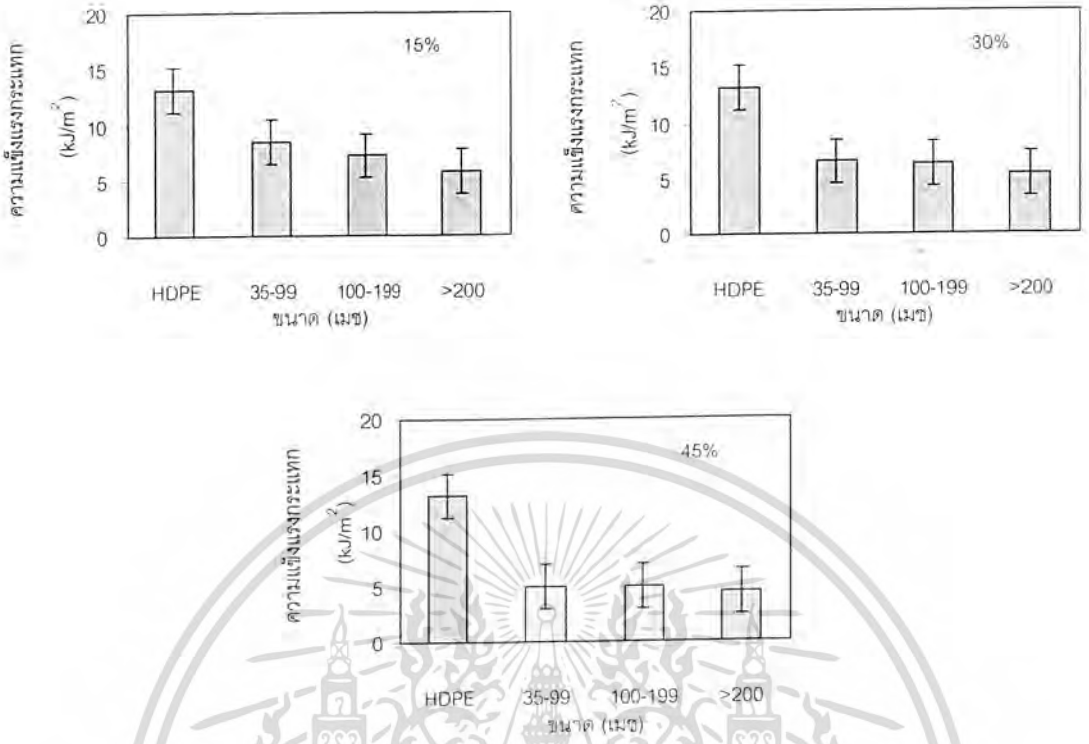


รูปที่ 4.5 มอดุลัสโค้งงอของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่นำกลับมาใช้ใหม่โดยมีขี้เลื่อยเป็นสารตัวเติมที่ขนาดต่างๆ

4.2.6 ความแข็งแรงกระแทก

จากรูปที่ 4.6 แสดงค่าความแข็งแรงกระแทก กับขนาดของขี้เลื่อย พบว่าเมื่อทำการเติมขี้เลื่อยลงในพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง ค่าความแข็งแรงกระแทกมีค่าลดลงอย่างเห็นได้ชัด เนื่องมาจากพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงและขี้เลื่อยมีความสามารถในการเข้ากันได้ต่ำ จึงทำให้การส่งผ่านแรงและการกระจายแรงลดลง และขนาดของขี้เลื่อยไม่มีผลต่อค่าความแข็งแรงกระแทก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

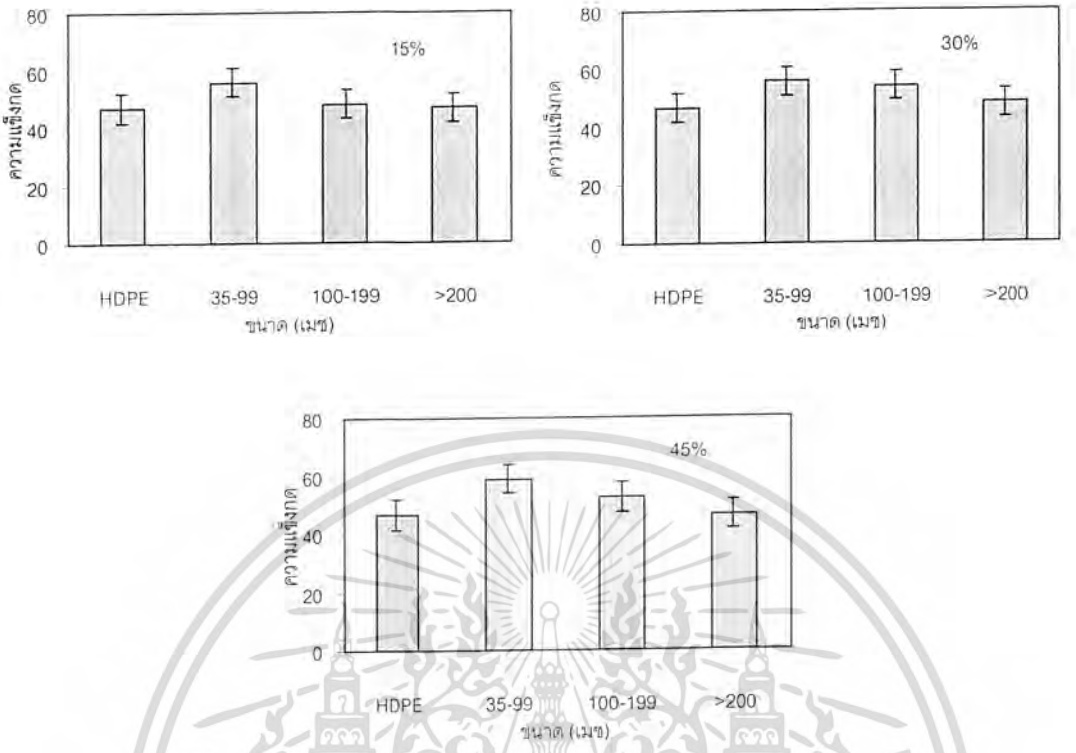


รูปที่ 4.6 ความแข็งแรงกระแทกของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่นำกลับมาใช้ใหม่โดยมีขี้เลื่อยเป็นสารตัวเติมที่ขนาดต่างๆ

4.2.7 ความแข็งกด

ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งกดแบบ Shore D กับขนาดของขี้เลื่อยแสดงดังรูปที่ 4.7 พบว่า พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่เติมขี้เลื่อยมีค่าความแข็งกดสูงกว่าพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่ไม่เติมขี้เลื่อย เนื่องจากขี้เลื่อยมีความแข็งมากกว่าพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง จึงส่งผลให้ค่าความแข็งกดมีค่าสูงขึ้น และเมื่อขนาดของขี้เลื่อยใหญ่ขึ้นพบว่า ค่าความแข็งกดมีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากขี้เลื่อยขนาดใหญ่มีโอกาสที่แรงกดจะสัมผัสกับพื้นผิวของขี้เลื่อยมากกว่าขี้เลื่อยขนาดเล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 ความแข็งกดของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่นำกลับมาใช้ใหม่โดยมีขี้เลื่อยเป็นสารตัวเติมที่ขนาดต่างๆ

จากผลของขนาดขี้เลื่อยที่มีต่อสมบัติเชิงกลของวัสดุคอมโพสิตพบว่า ขนาดของขี้เลื่อยไม่มีผลต่อค่าความแข็งแรงดึง เปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดคราก ความแข็งแรงโค้งงอ และความแข็งแรงกระแทก แต่กรณีที่ขนาดของขี้เลื่อยเล็กลงทำให้ค่ามอดุลัส และมอดุลัสโค้งงอเพิ่มขึ้น และเมื่อขนาดของขี้เลื่อยใหญ่ขึ้นทำให้ค่าความแข็งกดเพิ่มขึ้น

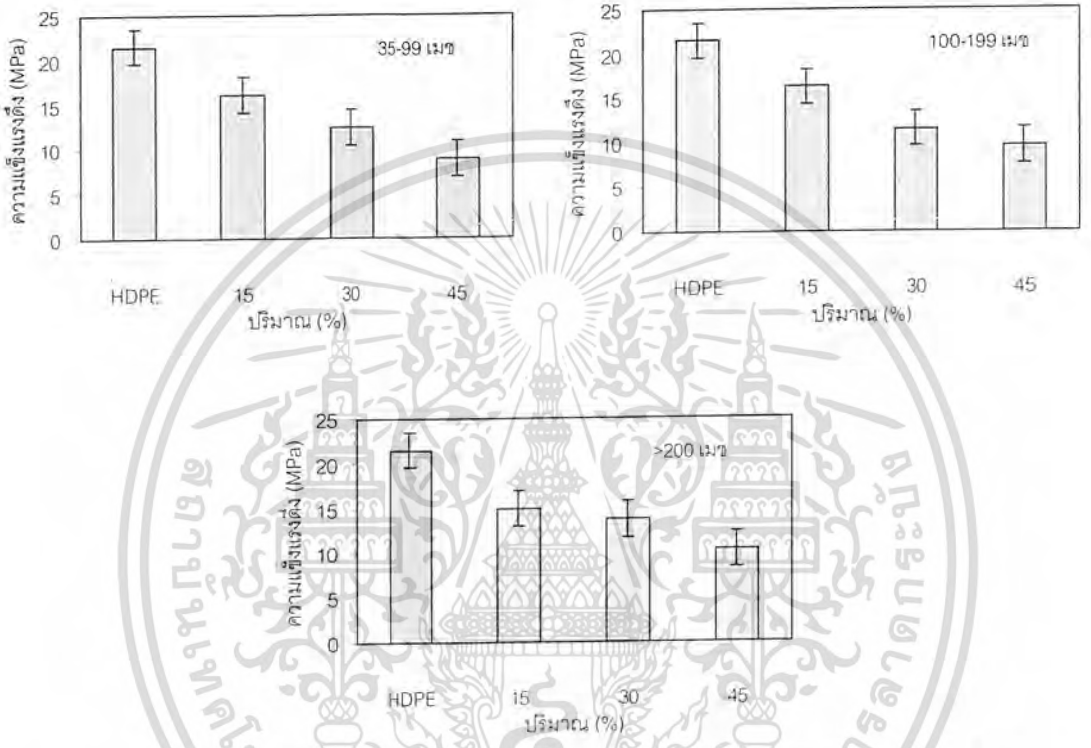
4.3 ผลของปริมาณขี้เลื่อยที่มีต่อสมบัติเชิงกล

ในหัวข้อนี้เกี่ยวข้องกับการศึกษาถึงผลของปริมาณขี้เลื่อยที่มีต่อสมบัติเชิงกลเช่นเดียวกับหัวข้อ 4.2 โดยปริมาณขี้เลื่อยที่ใช้ในงานวิจัยนี้ ได้แก่ 15% 30% และ 45% ซึ่งให้ผลการทดลองดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.1 ความแข็งแรงดึง

ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงดึงกับปริมาณขี้เลื่อยดังรูปที่ 4.8 พบว่าค่าความแข็งแรงดึงมีค่าลดลงเมื่อเติมขี้เลื่อยลงไปในพอลิเมอร์ เนื่องมาจากความไม่เข้ากันระหว่างพอลิเมอร์และขี้เลื่อย ทำให้ความสามารถในการรับแรงของวัสดุลดลง จึงส่งผลให้ค่าความแข็งแรงดึงของวัสดุลดลง และพบว่าเมื่อปริมาณขี้เลื่อยมีมากขึ้น ไม่มีผลต่อค่าความแข็งแรงดึง

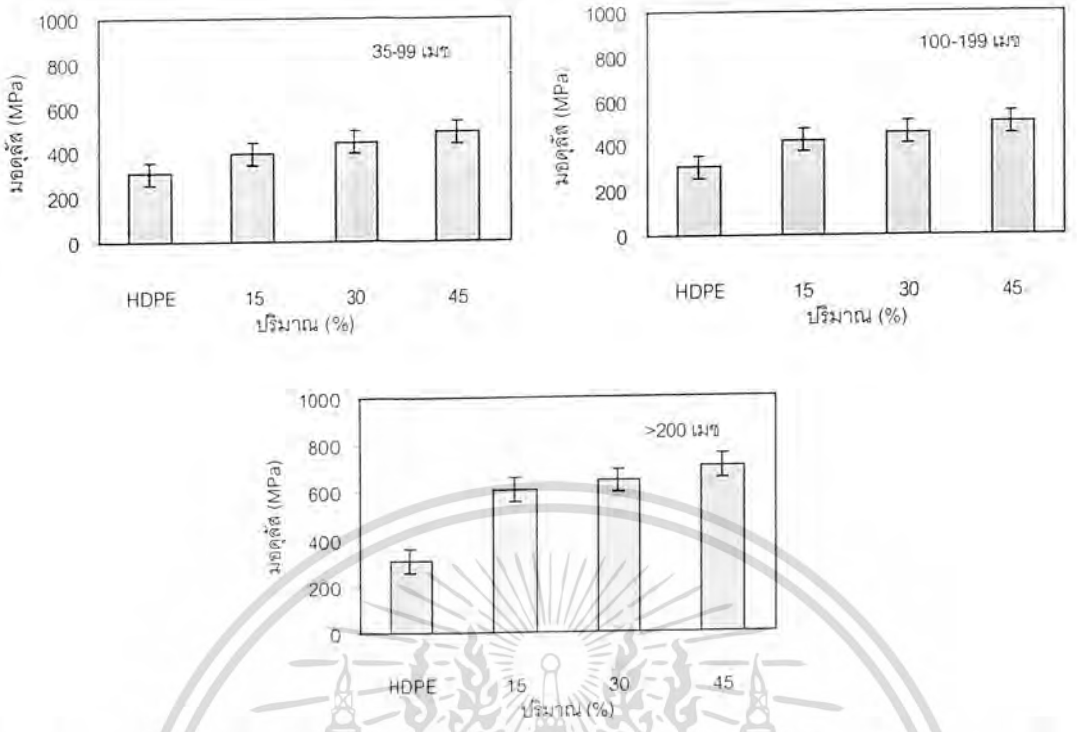


รูปที่ 4.8 ความแข็งแรงดึงของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่นำกลับมาใช้ใหม่โดยมีขี้เลื่อยเป็นสารตัวเติมที่ปริมาณต่างๆ

4.3.2 มอดุลัส

จากรูปที่ 4.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ามอดุลัสกับปริมาณของขี้เลื่อย พบว่าเมื่อเติมขี้เลื่อยลงไปในพอลิเมอร์ มีผลทำให้ค่ามอดุลัสมีค่าเพิ่มมากขึ้นจากพอลิเมอร์ที่ไม่มีการเติมขี้เลื่อย เนื่องมาจากขี้เลื่อยเป็นสารตัวเติมที่เพิ่มความแข็งแรงให้กับพอลิเมอร์ และเมื่อปริมาณขี้เลื่อยมีเพิ่มมากขึ้น เป็นการเพิ่มความแข็งแรงให้กับพอลิเมอร์มากขึ้น จึงทำให้ค่ามอดุลัสสูงขึ้น โดยเฉพาะที่ขี้เลื่อยปริมาณ 45% ขนาดมากกว่า 200 เมช ให้ค่ามอดุลัสเพิ่มขึ้นประมาณ 130% เมื่อเปรียบเทียบกับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

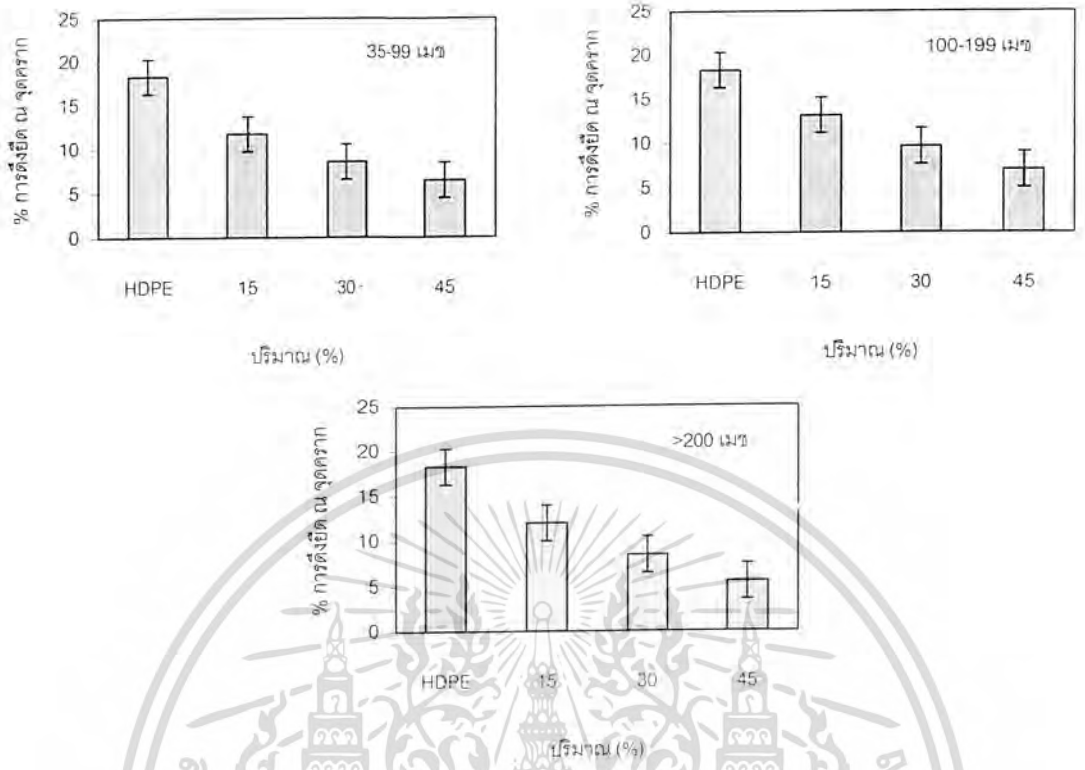


รูปที่ 4.9 มอดุลัสของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่นำกลับมาใช้ใหม่โดยมีขี้เลื่อยเป็นสารตัวเติมที่ปริมาณต่างๆ

4.3.3 เปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดคราก

ค่าเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดครากกับปริมาณของขี้เลื่อยแสดงความสัมพันธ์ดังรูปที่ 4.10 พบว่า พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่เติมขี้เลื่อยมีค่าเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดครากน้อยกว่าพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่ไม่เติมขี้เลื่อย เนื่องมาจากขี้เลื่อยมีความสามารถในการเปลี่ยนแปลงรูปร่างต่ำ เมื่อเติมลงในพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงจึงทำให้ค่าเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดครากมีค่าลดลง และพบว่าเมื่อปริมาณขี้เลื่อยมีเพิ่มมากขึ้นค่าเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดครากมีค่าลดลง เพราะปริมาณขี้เลื่อยที่เพิ่มมากขึ้นส่งผลให้การเปลี่ยนแปลงรูปร่างของคอมโพสิตทำได้ยากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

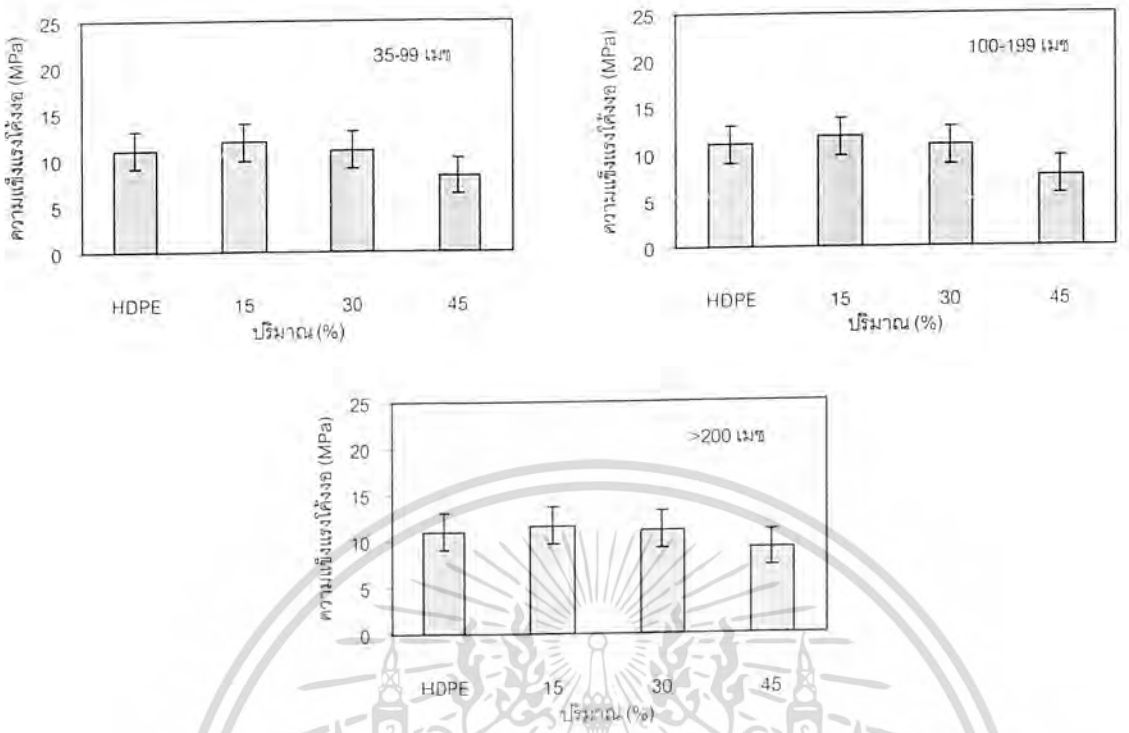


รูปที่ 4.10 เปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดครากของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่นำกลับมาใช้ใหม่โดยมีขี้เลื่อยเป็นสารตัวเติมที่ปริมาณต่างๆ

4.3.4 ความแข็งแรงโค้งงอ

จากรูปที่ 4.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งแรงโค้งงอและปริมาณขี้เลื่อย พบว่าการเติมขี้เลื่อยลงไปในพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงไม่มีผลต่อค่าความแข็งแรงโค้งงอ ทำให้ค่าความแข็งแรงโค้งงอไม่เปลี่ยนแปลง และพบว่าปริมาณของขี้เลื่อยไม่มีผลต่อค่าความแข็งแรงโค้งงอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

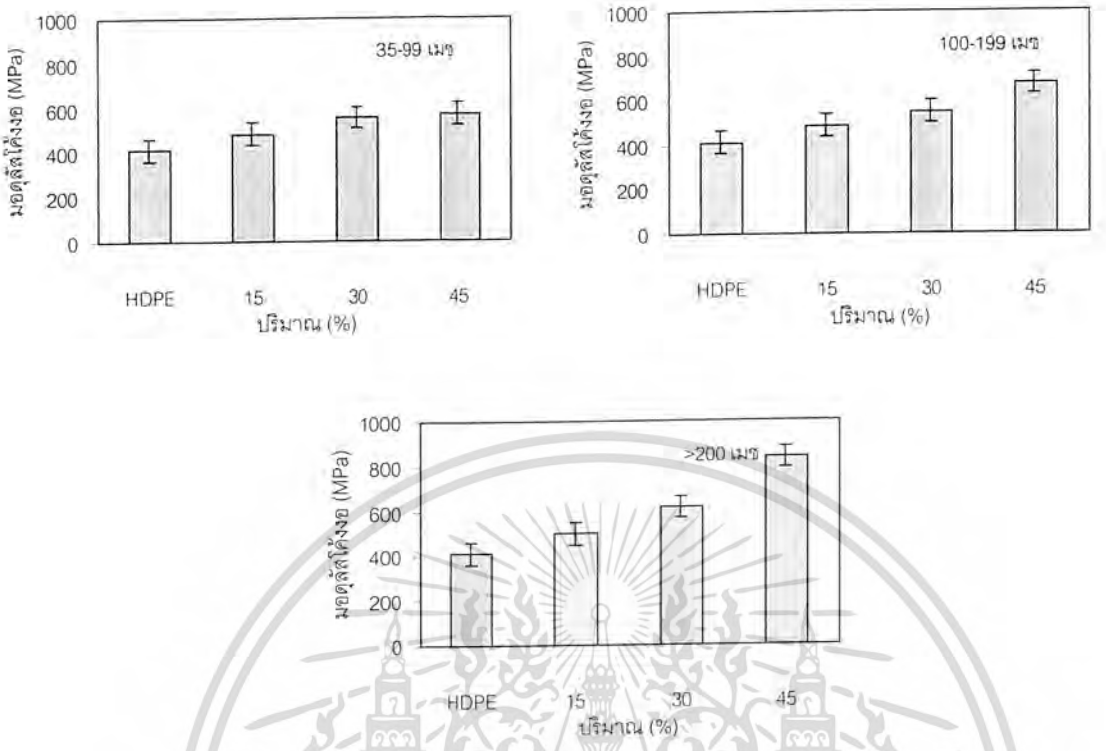


รูปที่ 4.11 ความแข็งแรงโค้งงอของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่นำกลับมาใช้ใหม่โดยมีขี้เลื่อยเป็นสารตัวเติมที่ปริมาณต่างๆ

4.3.5 มอดุลัสโค้งงอ

ความสัมพันธ์ระหว่างค่ามอดุลัสโค้งงอกับปริมาณของขี้เลื่อยแสดงดังรูปที่ 4.12 พบว่าพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่ถูกเติมด้วยขี้เลื่อย มีค่ามอดุลัสโค้งงอสูงกว่าพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง และพบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณของขี้เลื่อยมากขึ้นค่ามอดุลัสโค้งงอเพิ่มสูงขึ้นตามไปด้วย เนื่องมาจากขี้เลื่อยมีความแข็งมากกว่าพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง เมื่อปริมาณขี้เลื่อยมากขึ้นจึงทำให้คอมโพสิตมีความแข็งมากขึ้น โดยเฉพาะขี้เลื่อยปริมาณ 45% ขนาดมากกว่า 200 เมช ให้ค่ามอดุลัสโค้งงอเพิ่มขึ้นประมาณ 100% เมื่อเปรียบเทียบกับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

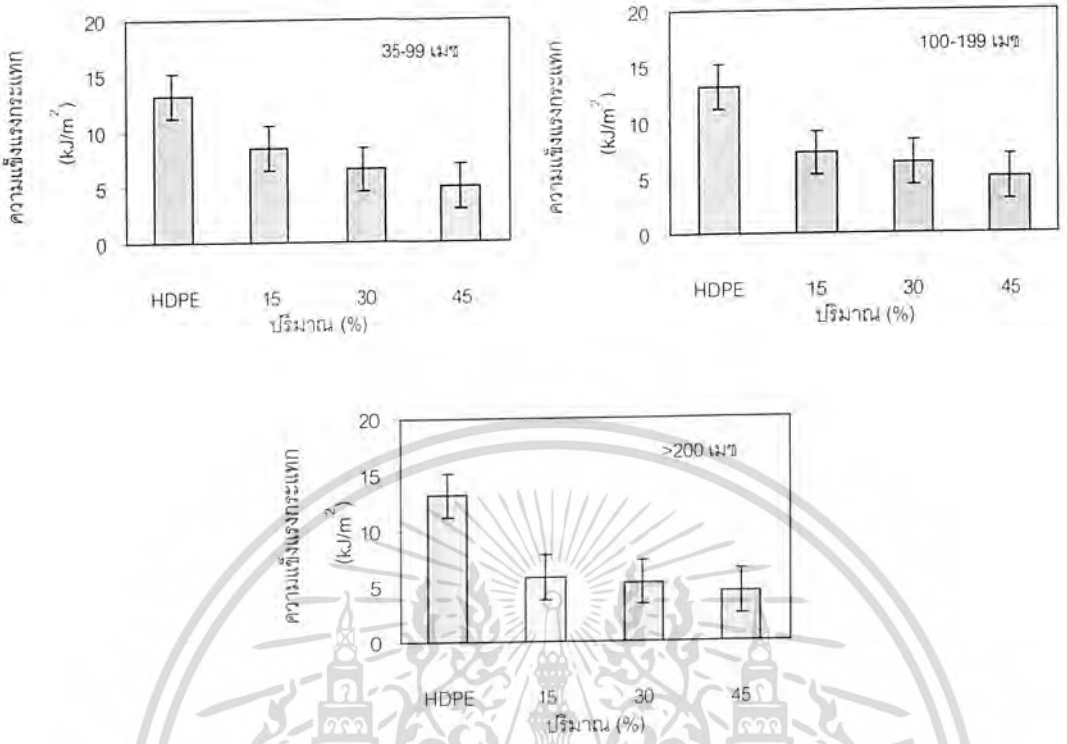


รูปที่ 4.12 มอดุลัสโค้งงอของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่นำกลับมาใช้ใหม่โดยมีขี้เลื่อยเป็นสารตัวเติมที่ปริมาณต่างๆ

4.3.6 ความแข็งแรงกระแทก

ความสัมพันธ์ของค่าความแข็งแรงกระแทกกับปริมาณขี้เลื่อยแสดงดังรูปที่ 4.13 พบว่าเมื่อทำการเติมขี้เลื่อยลงในพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง ค่าความแข็งแรงกระแทกมีค่าลดลง เนื่องจากขี้เลื่อยกับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงไม่เข้ากัน ความสามารถในการส่งผ่านแรงและกระจายแรงของคอมโพสิตจึงลดลง และค่าความแข็งแรงกระแทกยังลดลงตามปริมาณขี้เลื่อยที่มากขึ้น เพราะเมื่อขี้เลื่อยมีเพิ่มมากขึ้นยิ่งเพิ่มความไม่เข้ากันระหว่างขี้เลื่อยกับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงให้มีมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

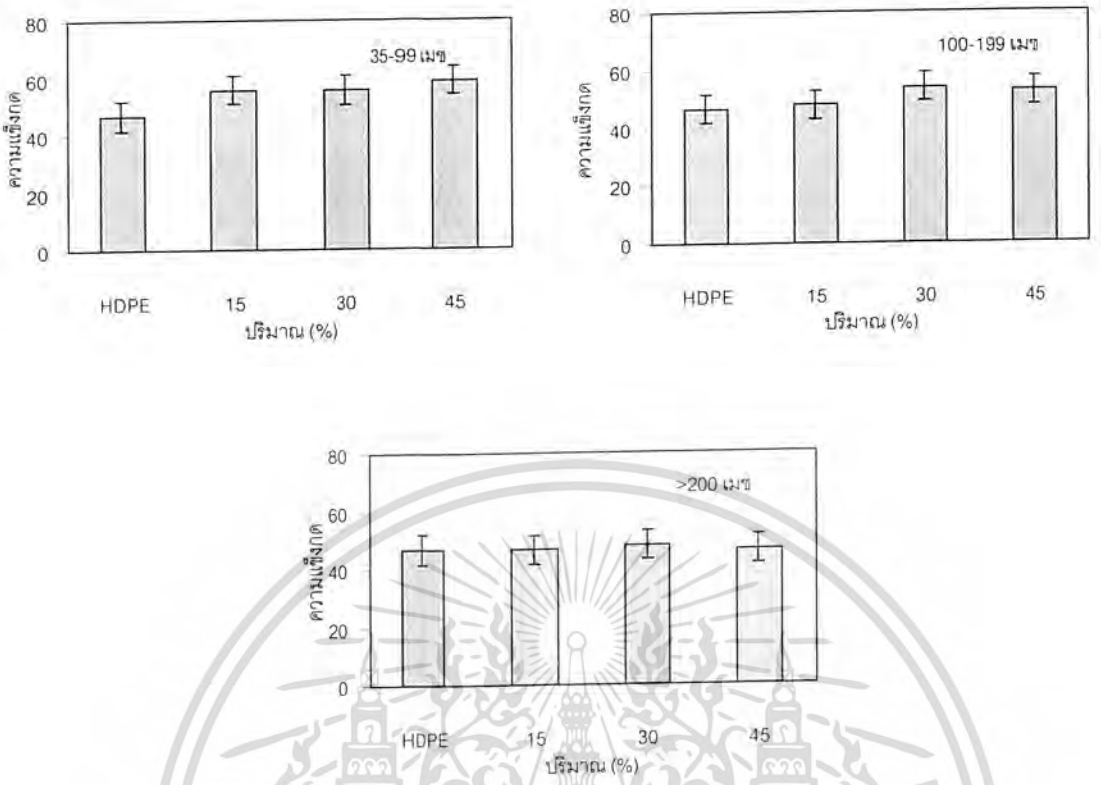


รูปที่ 4.13 ความแข็งแรงกระแทกของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่นำกลับมาใช้ใหม่โดยมีขี้เลื่อยเป็นสารตัวเติมที่ปริมาณต่างๆ

4.3.7 ความแข็งกด

จากรูปที่ 4.14 แสดงค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งกดกับปริมาณของขี้เลื่อยพบว่าพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่เติมขี้เลื่อย มีค่าความแข็งกดสูงกว่าพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่ไม่เติมขี้เลื่อย และเมื่อเพิ่มปริมาณของขี้เลื่อยค่าความแข็งกดมีค่าไม่เปลี่ยนแปลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.14 ความแข็งกดของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่นำกลับมาใช้ใหม่โดยมีขี้เลื่อยเป็นสารตัวเติมที่ปริมาณต่างๆ

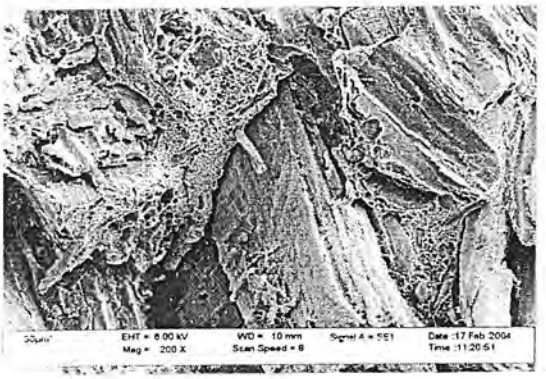
จากผลของปริมาณขี้เลื่อยพบว่า ปริมาณของขี้เลื่อยไม่มีผลต่อค่าความแข็งแรงดึง ความแข็งแรงโค้งงอ และความแข็งกด แต่ปริมาณขี้เลื่อยที่เพิ่มขึ้นทำให้ค่ามอดุลัส และมอดุลัสโค้งงอสูงขึ้น และปริมาณขี้เลื่อยที่ลดลงทำให้ค่าเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดคราก และความแข็งแรงกระแทกมีแนวโน้มลดลง

จากการเปรียบเทียบระหว่างผลของขนาดและปริมาณของขี้เลื่อย พบว่าปริมาณของขี้เลื่อยมีผลต่อสมบัติเชิงกลมากกว่าขนาดของขี้เลื่อย เพราะปริมาณของขี้เลื่อยที่เปลี่ยนแปลงทำให้สมบัติเชิงกลมีค่าเปลี่ยนแปลงไปมากกว่าผลของขนาดของขี้เลื่อย และจากผลการทดลองของสมบัติเชิงกลพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่ผสมขี้เลื่อยขนาดมากกว่า 200 เมช ปริมาณ 45% ให้สมบัติเชิงกลโดยรวมดีที่สุด โดยให้ค่ามอดุลัสและมอดุลัสโค้งงอเพิ่มขึ้นประมาณ 130% และ 100% ตามลำดับ

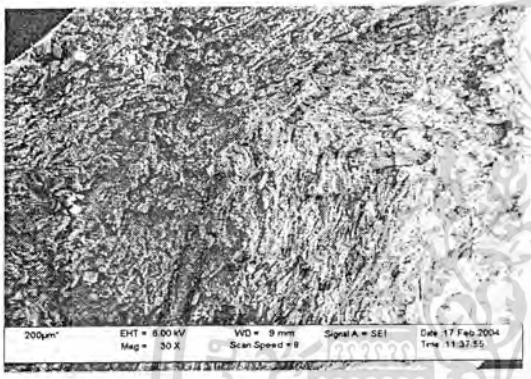
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 สัณฐานวิทยา (Morphology)

(ก)

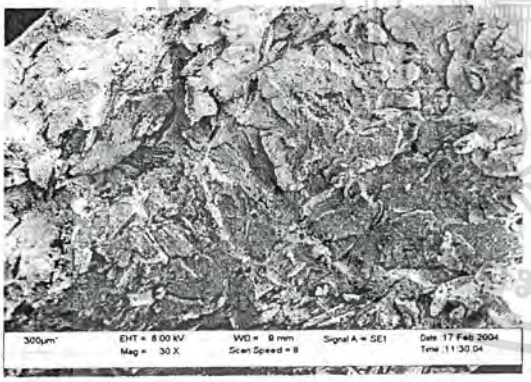


(ข)

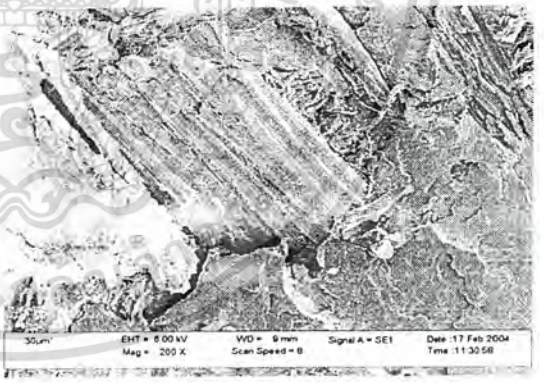


(ค)

(ง)



(จ)



(ฉ)

รูปที่ 4.15 สัณฐานวิทยาของคอมโพสิตระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่นำกลับมาใช้ใหม่กับขี้เลื่อย (ก) ขี้เลื่อย 35-99 เมช 45% (30 เท่า) (ข) ขี้เลื่อย 35-99 เมช 45% (200 เท่า) (ค) ขี้เลื่อยมากกว่า 200 เมช 45% (30 เท่า) (ง) ขี้เลื่อยมากกว่า 200 เมช 45% (200 เท่า) (จ) ขี้เลื่อย 35-99 เมช 15% (30 เท่า) และ (ฉ) ขี้เลื่อย 35-99 เมช 15% (200 เท่า)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

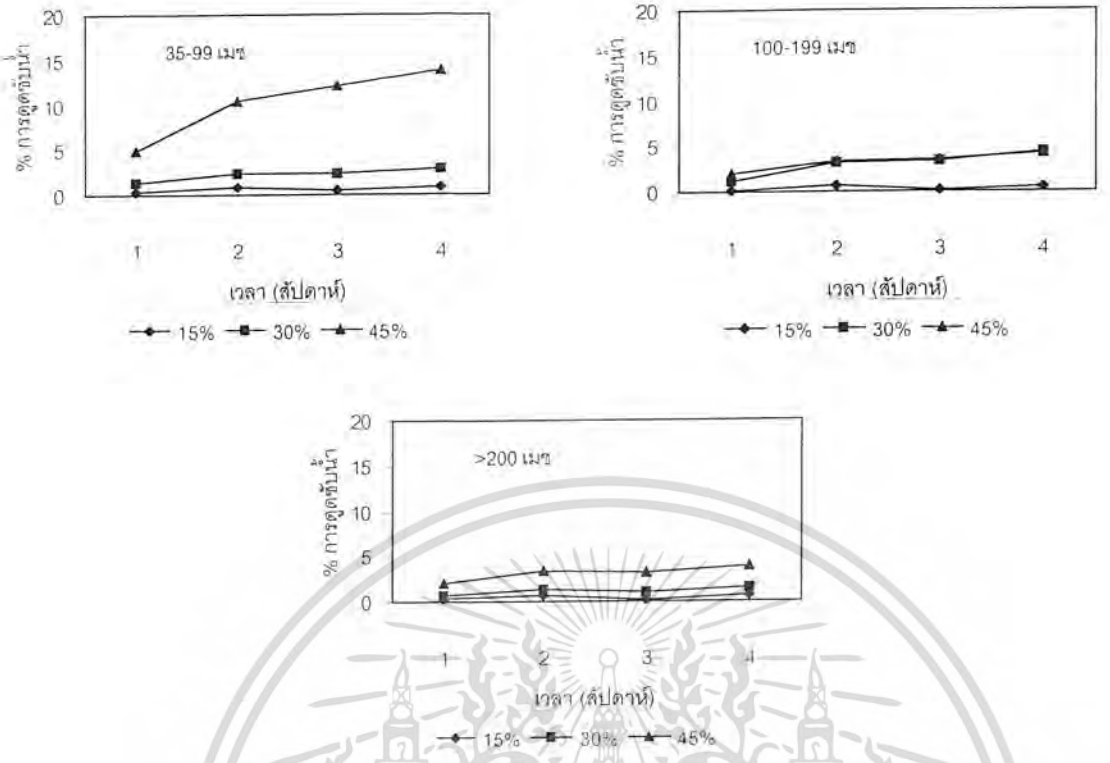
สัณฐานวิทยาของวัสดุผสมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงและขี้เลื่อยแสดงดังรูปที่ 4.15 จากการเปรียบเทียบระหว่างสูตรผสมที่มีขี้เลื่อยขนาด 35-99 เมช (รูปที่ 4.15 (ก) และ 4.15 (ข)) กับสูตรผสมที่มีขี้เลื่อยขนาดมากกว่า 200 เมช (รูปที่ 4.15 (ค) และ 4.15 (ง)) ในปริมาณที่เท่ากัน คือ 45% พบว่าขี้เลื่อยขนาดมากกว่า 200 เมช มีการกระจายตัวในพอลิเอทิลีนได้ดีกว่าขี้เลื่อยขนาด 35-99 เมช เนื่องจากขี้เลื่อยที่มีขนาดเล็กสามารถเข้ากันกับพอลิเอทิลีนได้ดีกว่าขี้เลื่อยที่มีขนาดใหญ่ เมื่อพิจารณารูปที่ 4.15 (ข) และ 4.15 (ง) ที่กำลังขยาย 200 เท่า พบว่าพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงและขี้เลื่อยมีความไม่เข้ากัน ส่งผลให้เกิดช่องว่างระหว่างรอยต่อระหว่างวัฏภาคทั้งสอง ทำให้เกิดเป็นจุดบกพร่องของชิ้นงาน ซึ่งเป็นสาเหตุให้สมบัติเชิงกลของวัสดุผสมเปลี่ยนไป

สำหรับสัณฐานวิทยาของวัสดุผสมพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงและขี้เลื่อยที่ขนาด 35-99 เมช ในปริมาณ 15% และ 45% แสดงได้ดังรูปที่ 4.15 (ก) (ข) (จ) และ (ฉ) พบว่าที่ปริมาณขี้เลื่อย 45% มีปริมาณขี้เลื่อยอยู่ในปริมาณมากกว่า และที่กำลังขยาย 200 เท่า (รูปที่ 4.15 (ข) และ (ฉ)) แสดงถึงรอยต่อระหว่างวัฏภาคที่เกิดเป็นช่องว่างเนื่องจากความไม่เข้ากันระหว่างวัฏภาคทั้งสองในทั้งสองตัวอย่างเช่นกัน

4.5 สมบัติทางกายภาพ

สมบัติทางกายภาพที่ทำการศึกษา ได้แก่ สมบัติการดูดซับน้ำ เนื่องจากคอมโพสิตที่เตรียมได้มีขี้เลื่อยเป็นสารตัวเติม ซึ่งขี้เลื่อยมีความสามารถในการดูดซับน้ำได้ดีเพราะมีองค์ประกอบหลักเป็นเซลลูโลส โครงงานพิเศษนี้จึงทำการศึกษาถึงความสามารถในการดูดซับน้ำของคอมโพสิตระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงกับขี้เลื่อย โดยพิจารณาที่ค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำโดยทำการแช่น้ำเป็นระยะเวลา 1-4 สัปดาห์ นอกจากนี้ยังศึกษาถึงผลของขนาดและปริมาณขี้เลื่อยที่มีต่อความสามารถในการดูดซับน้ำอีกด้วย

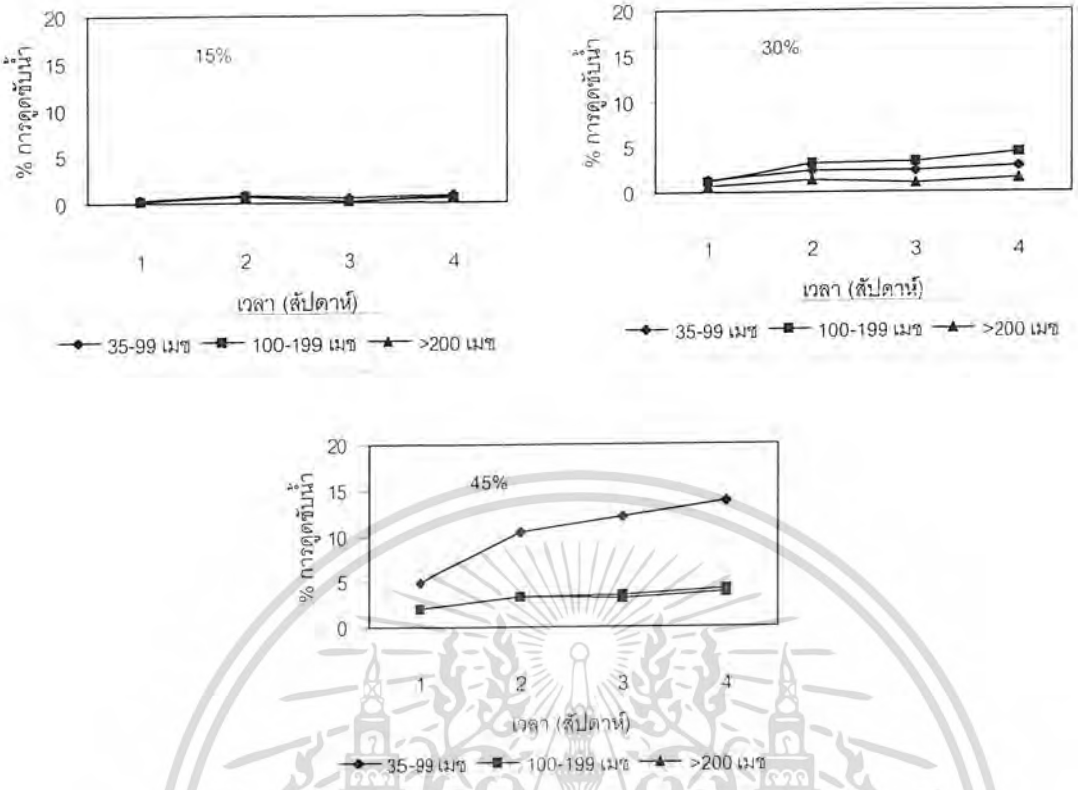
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.16 เปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่นำกลับมาใช้ใหม่โดยมีขี้เลื่อยเป็นสารตัวเติมที่ปริมาณต่างๆ เมื่อเวลาผ่านไป

จากรูปที่ 4.16 พบว่าค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่นำกลับมาใช้ใหม่โดยมีขี้เลื่อยจากไม้เต็งเป็นสารตัวเติม มีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณของขี้เลื่อยที่เพิ่มขึ้น โดยค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำมีค่าสูงสุดเมื่อใช้ขี้เลื่อยในปริมาณ 45% ทั้งนี้เนื่องจากองค์ประกอบหลักของขี้เลื่อย ได้แก่ เซลลูโลสซึ่งมีหมู่ไฮดรอกซิลอยู่ในโครงสร้างทำให้ขี้เลื่อยมีความเป็นขั้วส่งผลให้ขี้เลื่อยสามารถดูดซับน้ำได้ดี นอกจากนี้เมื่อเวลาในการดูดซับน้ำเพิ่มขึ้น มีผลทำให้ค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำเพิ่มขึ้นด้วย ซึ่งจะเห็นได้ชัดเจนในช่วงสัปดาห์ที่ 1 และสัปดาห์ที่ 2 เมื่อสัปดาห์ที่ 2 ผ่านไป ค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.17 เปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่นำกลับมาใช้ใหม่โดยมีขี้เลื่อยเป็นสารตัวเติมที่ขนาดต่างๆ เมื่อเวลาผ่านไป

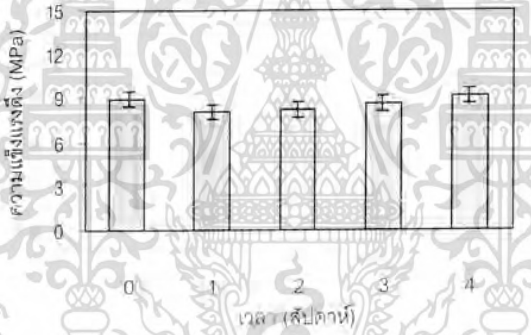
ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่นำกลับมาใช้ใหม่โดยมีขี้เลื่อยจากไม้เต็งเป็นสารตัวเติมกับขนาดของขี้เลื่อย และเวลาในการดูดซับน้ำ แสดงได้ดังรูปที่ 4.17 พบว่าค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำมีค่าเพิ่มขึ้นตามขนาดของขี้เลื่อยที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากขี้เลื่อยที่มีขนาดใหญ่มีปริมาตรในการดูดซับน้ำมากกว่าขี้เลื่อยที่มีขนาดเล็ก เพราะขี้เลื่อยขนาดใหญ่มีช่องว่างระหว่างวัฏภาคของขี้เลื่อยกับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงอยู่มาก (รูปที่ 4.15) จึงสามารถดูดซับน้ำได้มาก ส่วนผลของเวลาในการดูดซับน้ำพบว่าค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาในการดูดซับน้ำเพิ่มขึ้น และค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำมีค่าสูงที่สุดสำหรับสูตรผสมที่มีขี้เลื่อยขนาด 35-99 เมช ปริมาณ 45% นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณขี้เลื่อยมีผลต่อเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำมากกว่าขนาดขี้เลื่อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6 ผลของระยะเวลาการแช่น้ำที่มีต่อสมบัติเชิงกล

ขี้เลื่อยมีองค์ประกอบหลักเป็นเซลลูโลสดังนั้นขี้เลื่อยจึงมีความสามารถในการดูดซับน้ำได้ดี ในสภาวะการใช้งานจริงของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่นำกลับมาใช้ใหม่โดยมีขี้เลื่อยเป็นสารตัวเติมอาจต้องมีการสัมผัสกับน้ำหรือความชื้น ดังนั้นในโครงงานพิเศษนี้จึงทำการศึกษาถึงผลของการดูดซับน้ำที่มีต่อสมบัติเชิงกลของคอมโพสิต โดยทำการแช่น้ำที่อุณหภูมิห้องเป็นระยะเวลา 0-4 สัปดาห์ โดยเลือกใช้พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่นำกลับมาใช้ใหม่โดยมีขี้เลื่อยขนาด 35-99 เมช ปริมาณ 45% เป็นสารตัวเติม เนื่องจากมีค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำสูงที่สุด และที่ระยะเวลา 0 สัปดาห์ หมายถึง สภาวะที่ไม่มีการแช่น้ำ จากนั้นจึงนำชิ้นงานที่แช่น้ำเป็นระยะเวลาต่างๆ มาทดสอบสมบัติเชิงกล ได้แก่ ความแข็งแรงดึง มอดุลัส เปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดคราก ความแข็งแรงโค้งงอ มอดุลัสโค้งงอ ความแข็งแรงกระแทก และความแข็งกด

4.6.1 ความแข็งแรงดึง

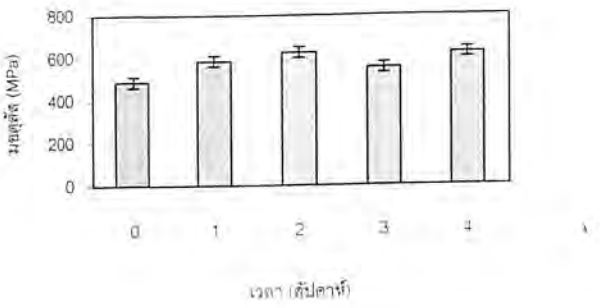


รูปที่ 4.18 ความแข็งแรงดึงของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่นำกลับมาใช้ใหม่โดยมีขี้เลื่อยจากไม้เต็งขนาด 35-99 เมชเป็นสารตัวเติมในปริมาณ 45% ที่ผ่านการแช่น้ำเป็นระยะเวลา 0-4 สัปดาห์

จากรูปที่ 4.18 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งแรงดึงของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่นำกลับมาใช้ใหม่ โดยมีขี้เลื่อยจากไม้เต็งขนาด 35-99 เมช เป็นสารตัวเติมในปริมาณ 45% กับระยะเวลาในการดูดซับน้ำ พบว่าการดูดซับน้ำที่เวลา 0-4 สัปดาห์ ไม่มีผลต่อค่าความแข็งแรงดึงมากนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6.2 มอดุลัส



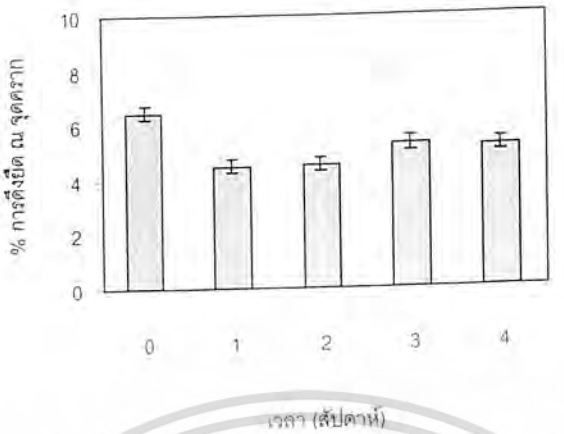
รูปที่ 4.19 มอดุลัสของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่นำกลับมาใช้ใหม่โดยมีขี้เลื่อยจากไม้เต็งขนาด 35-99 เมชเป็นสารตัวเติมในปริมาณ 45% ที่ผ่านการแช่น้ำเป็นระยะเวลา 0-4 สัปดาห์

จากรูปที่ 4.19 พบว่าการดูดซับน้ำทำให้ค่ามอดุลัสมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น และเมื่อทำการดูดซับน้ำเป็นระยะเวลานานขึ้นค่ามอดุลัสมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ทั้งนี้อาจเกิดขึ้นเนื่องจากเมื่อชิ้นงานมีการดูดซับน้ำ น้ำสามารถแทรกเข้าไปอยู่ในวัฏภาคของขี้เลื่อย ทำให้ขี้เลื่อยเกิดการบวมตัว ผลก็คือช่องว่างบริเวณรอยต่อระหว่างพอลิเมอร์กับขี้เลื่อยอาจเล็กลง ทำให้พอลิเมอร์กับขี้เลื่อยอยู่ใกล้กันมากขึ้น ดังนั้นเมื่อให้แรงเพื่อดึงกับชิ้นงาน จึงมีแรงเสียดทานระหว่างวัฏภาคเกิดขึ้น ทำให้ค่ามอดุลัสสูงขึ้นเล็กน้อย

4.6.3 เปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดคราก

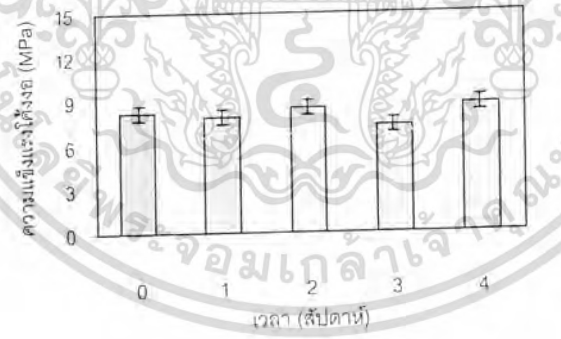
ค่าเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดครากมีความสัมพันธ์กับระยะเวลาในการดูดซับน้ำดังแสดงในรูปที่ 4.20 พบว่าการดูดซับน้ำทำให้ค่าเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดครากลดลง เนื่องจากเมื่อขี้เลื่อยดูดซับน้ำ ขี้เลื่อยมีลักษณะบวมตัว ทำให้ค่าเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดครากมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อย และการดูดซับน้ำเป็นระยะเวลานานขึ้นไม่มีผลต่อค่าเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดครากมากนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.20 เปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดครากของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่นำกลับมาใช้ใหม่โดยมีขี้เลื่อยจากไม้เต็งขนาด 35-99 เมชเป็นสารตัวเติมในปริมาณ 45% ที่ผ่านการแช่น้ำเป็นระยะเวลา 0-4 สัปดาห์

4.6.4 ความแข็งแรงโค้งงอ



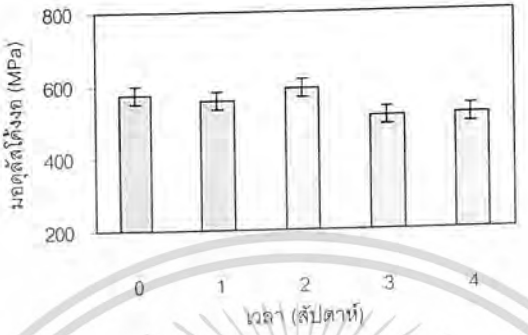
รูปที่ 4.21 ความแข็งแรงโค้งงอของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่นำกลับมาใช้ใหม่ โดยมีขี้เลื่อยจากไม้เต็งขนาด 35-99 เมชเป็นสารตัวเติมในปริมาณ 45% ที่ผ่านการแช่น้ำเป็นระยะเวลา 0-4 สัปดาห์

ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งแรงโค้งงอกับระยะเวลาในการดูดซับน้ำแสดงได้ดังรูปที่ 4.21 จากรูปพบว่าการดูดซับน้ำไม่มีผลต่อค่าความแข็งแรงโค้งงอ ในช่วงเวลา 0-4 สัปดาห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

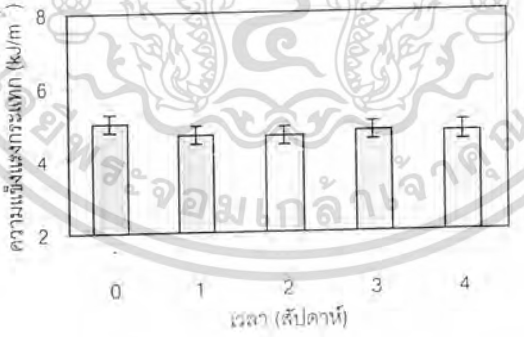
4.6.5 มอดุลัสโค้งงอ

จากรูปที่ 4.22 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ามอดุลัสโค้งงอ กับระยะเวลาในการดูดซับน้ำ พบว่าการดูดซับน้ำไม่มีผลต่อค่ามอดุลัสโค้งงอเช่นเดียวกับความแข็งแรงโค้งงอ



รูปที่ 4.22 มอดุลัสโค้งงอของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่นำกลับมาใช้ใหม่โดยมีขี้เลื่อยจากไม้เต็งขนาด 35-99 เมชเป็นสารตัวเติมในปริมาณ 45% ที่ผ่านการแช่น้ำเป็นระยะเวลา 0-4 สัปดาห์

4.6.6 ความแข็งแรงกระแทก

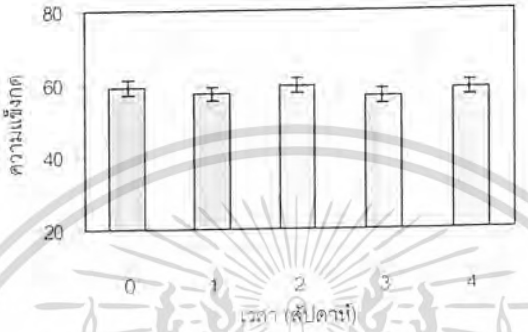


รูปที่ 4.23 ความแข็งแรงกระแทกของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่นำกลับมาใช้ใหม่ โดยมีขี้เลื่อยจากไม้เต็งขนาด 35-99 เมชเป็นสารตัวเติมในปริมาณ 45% ที่ผ่านการแช่น้ำเป็นระยะเวลา 0-4 สัปดาห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าความแข็งแรงกระแทกและระยะเวลาในการดูดซับน้ำแสดงความสัมพันธ์ดังรูปที่ 4.23 พบว่าการดูดซับน้ำไม่ทำให้ค่าความแข็งแรงกระแทกเปลี่ยนแปลงไปแม้จะเพิ่มเวลาในการดูดซับก็ตาม นั่นคือการดูดซับน้ำไม่มีผลต่อค่าความแข็งแรงกระแทก

4.6.7 ความแข็งกด



รูปที่ 4.24 ความแข็งกดของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่นำกลับมาใช้ใหม่ โดยมีขี้เลื่อยจากไม้เต็งขนาด 35-99 เมชเป็นสารตัวเติมในปริมาณ 45% ที่ผ่านการแช่น้ำเป็นระยะเวลา 0-4 สัปดาห์

รูปที่ 4.24 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งกดกับระยะเวลาในการดูดซับน้ำพบว่าระยะเวลาในการดูดซับน้ำในช่วงเวลา 0-4 สัปดาห์ ไม่มีผลต่อค่าความแข็งกดของคอมโพสิต

จากผลการทดสอบสมบัติเชิงกลของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่นำกลับมาใช้ใหม่โดยมีขี้เลื่อยเป็นสารตัวเติมที่ผ่านการแช่น้ำเป็นระยะเวลา 0 1 2 3 และ 4 สัปดาห์ พบว่าระยะเวลาในการแช่น้ำมีผลทำให้มอดุลัสสูงขึ้น เปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดครากลดลง ส่วนความแข็งแรงดึง ความแข็งแรงโค้งงอ มอดุลัสโค้งงอ และความแข็งแรงกระแทกมีแนวโน้มไม่เปลี่ยนแปลง นั่นคือหลังการแช่น้ำสมบัติเชิงกลไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก แสดงว่าคอมโพสิตที่เตรียมได้สามารถใช้งานได้เมื่ออยู่ในสภาวะที่ต้องสัมผัสกับน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุป

โครงงานพิเศษนี้เกี่ยวข้องกับการนำพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงกลับมาใช้ใหม่โดยมีขี้เลื่อยจากไม้เต็งเป็นสารตัวเติม โดยทำการศึกษาผลของปริมาณขี้เลื่อย ดังนี้ 15% 30% และ 45% และขนาดขี้เลื่อย ดังนี้ 35-99 เมช 100-199 เมช และมากกว่า 200 เมช ซึ่งใช้การผสมด้วยเครื่องอัดรีดชนิดเกลียวหนอนคู่ (Twin-screw extruder) และขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดขึ้นรูป (Compression moulding) จากนั้นทำการทดสอบสมบัติต่างๆ ดังนี้ สมบัติเชิงกล สมบัติทางกายภาพ และสัณฐานวิทยา นอกจากนี้ยังทำการศึกษาถึงผลของการดูดซับน้ำที่มีต่อสมบัติเชิงกลอีกด้วย

จากผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่า

-พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่นำกลับมาใช้ใหม่ที่ใช้ในโครงงานพิเศษนี้ มีค่าดัชนีการหลอมไหลเท่ากับ 0.57 กรัมต่อ 10 นาที

-การเติมขี้เลื่อยลงในพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่นำกลับมาใช้ใหม่ ส่งผลให้มอดุลัสและมอดุลัสโค้งงอมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น แต่ความแข็งแรงดึง เปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดคราก และความแข็งแรงกระแทก มีแนวโน้มลดลง ส่วนความแข็งแรงโค้งงอ และความแข็งกด มีแนวโน้มไม่เปลี่ยนแปลง

-ปริมาณขี้เลื่อยมีผลต่อสมบัติเชิงกลมากกว่าขนาดขี้เลื่อย

-การเพิ่มปริมาณขี้เลื่อย และการเพิ่มขนาดของขี้เลื่อย ที่เติมลงในพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่นำกลับมาใช้ใหม่ มีผลทำให้เปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำมีค่าเพิ่มสูงขึ้น โดยเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำมีค่าสูงที่สุดที่สูตรผสมที่มีขี้เลื่อยขนาด 35-99 เมช ปริมาณ 45%

-จากสัณฐานวิทยาพบว่า พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่นำกลับมาใช้ใหม่โดยมีขี้เลื่อยเป็นสารตัวเติมมีความไม่เข้ากันและเกิดช่องว่างบริเวณรอยต่อระหว่างวัฏภาค

-ผลจากการดูดซับน้ำของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่นำกลับมาใช้ใหม่ ซึ่งใช้ขี้เลื่อยขนาด 35-99 เมช ปริมาณ 45% เป็นสารตัวเติม เนื่องจากมีค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำสูงที่สุด โดยทำการแช่น้ำเป็นระยะเวลาต่างๆ ตั้งแต่ 0-4 สัปดาห์ พบว่าทำให้สมบัติเชิงกลมีแนวโน้มไม่เปลี่ยนแปลง แสดงว่าชิ้นงานที่ได้สามารถนำไปใช้งานได้ในงานที่ต้องสัมผัสกับน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

-จากผลการทดสอบสมบัติต่างๆ พบว่า พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่นำกลับมาใช้ใหม่โดยมีขี้เลื่อยขนาดมากกว่า 200 เมช ปริมาณ 45% เป็นสารตัวเติม มีสมบัติโดยรวมเหมาะแก่การนำไปใช้งาน

5.2 ข้อเสนอแนะ

-ควรศึกษาผลของการดูดซับน้ำที่มีต่อสมบัติเชิงกลของคอมโพสิต ภายหลังจากการทำให้แห้งแล้ว

-ควรมีการใช้สารเติมแต่ง เช่น สารคู่ควบ (Coupling agent) เพื่อช่วยในการปรับปรุงสมบัติให้ดีขึ้น

-ควรทำการศึกษาสมบัติอื่นๆ เพิ่มเติม เช่น ความทนทานต่อดินฟ้าอากาศ ความทนทานต่อกรด-เบส เป็นต้น เพื่อดูแนวโน้มของการนำมาใช้งานจริง

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

จิรพรรณ หน่ายคอน และมาริสา ตันติลักขณา. 2541. **วัสดุคอมโพสิตจากพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงกับพอลิพรอพิลีนและเส้นใยอ้อย.** โครงงานพิเศษ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

ชัยวัฒน์ ศิริวงศ์วานิชย์. 2542. **เคมีพอลิเมอร์พื้นฐาน.** พิมพ์ครั้งที่1. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยมหิดล

ณรงค์ โทณานนท์. ศิริ เจือวิจิตรจันทร์. สุชาติ ไทยเพชร และศักดิ์พิชิต จุลฤกษ์. 2528. **ไม้เนื้อแข็งของประเทศไทย.** ฝ่ายวิจัยไม้ขั้นพื้นฐาน กองวิจัยผลิตผลป่าไม้ กรมป่าไม้ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 3-9, 18-19.

นพวรรณ พันธุ์นา. สุดิมา ฉัตรภูติ และอุษณีย์ ดอนสกุล. 2545. **การนำพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงกลับมาใช้ใหม่โดยมีขี้เลื่อยจากไม้เต็งและไม้สักเป็นสารตัวเติม.** โครงงานพิเศษ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

นวภรณ์ อนันตธนวนิชย์. นุชรี ปัญจะผลินกุล และพัชรี มณฑาทิพย์. 2544. **การศึกษาไม้เทียมคอมโพสิตจากผงหญ้าแฝกกับพอลิพรอพิลีนและเส้นใยหญ้าแฝกกับพอลิไวนิลคลอไรด์.** โครงงานพิเศษ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

มาลินี ชัยศุภกิจสินธุ์. 2544. **เอกสารประกอบการสอนวิชาเคมีพอลิเมอร์.** สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

รุ่งอรุณ วัฒนวงศ์. 2545. **ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับกระดาษ.** กองการวิจัย กรมวิทยาศาสตร์บริการ

วิรัช ชื่นวาริน และดำรง ศรีอรัญ. 2516. **รายงานวนศาสตร์วิจัยเล่มที่ 25 เรื่องลักษณะโครงสร้างของเนื้อไม้ที่สำคัญในลำดับธาลามิฟลอรีและดิสซิฟลอรีของประเทศไทย.** คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 122-124.

อิทธิพล แจ้งชัด. 2545. **เอกสารประกอบการสอนวิชาการวัดพอลิเมอร์.** สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

อิทธิพล แจ้งชัด. 2544. **เอกสารประกอบการสอนวิชาฟิสิกส์พอลิเมอร์.** สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ASTM D 256. 1992. **Standard Test Methods for Impact Resistance of Plastics and Electrical Insulating Materials.** Philadephia:American Society for Testing and Materials.

ASTM D 570. 1992. **Standard Test Methods for Water Absorption of Plastics.** Philadephia: American Society for Testing and Materials.

ASTM D 638M. 1992. **Standard Test Methods for Tensile Properties of Plastic (Matrix).** Philadephia: American Society for Testing and Materials.

ASTM D 790M. 1992. **Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials (Matric).** Philadephia: American Society for Testing and Materials.

ASTM D 1238. 1992. **Standard Test Method for Flow Rates of Thermoplastics by Extrusion Plastometer.** Philadephia: American Society for Testing and Materials.

Banks, W.B.; and Lawther, J.M. 1994. **Derivatization of Wood in Composition in Cellulose Polymers: Blends and Composites** (Gillbert, R.D. ed.). Hanser Publisher. New York. 131-153.

Balasuriya, P.W.; Ye, L.; and Mai, Y.-W. 2001. **Mechanical properties of wood flake-polyethylene composites. Part I: effect of processing methods and matrix melt flow behaviour.** Composites: Part A. 32. 619-629.

Bledzki, A.K. and Gassan, J. 1999. **Composites reinforced with cellulose based fibers.** Prog. in Polym. Sci. 24. 225-243.

Brydson, J.A. 1995. **Plastic Materials.** 6th ed. Butterworth: Butterworth Heinemann.

Challa, G. 1993. **Polymer Chemistry: An introduction.** 1st ed. Ellis Horwood.

Coutinho, F.M.B.; and Costa, T.H.S. 1999. **Performance of polypropylene-wood fiber composites.** Polymer Testing 18. 581-587.

Coutinho, F.M.B.; Suarez, J.C.M.; and Sydenstricker, T.H. 2003. **SEM studies of tensile fracture surfaces of polypropylene-sawdust composites.** Polymer Testing 22. 819-824.

Coutinho, F.M.B.; Costa, T.H.S.; Suarez, J.C.M.; and Melo, D.P. 2000. **Sawdust reinforced polypropylene composites: a study of fracture behaviour.** Polymer Testing. 19. 625-633.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Cowie, J.W.G. 1991. Polymer: Chemistry and physics of modern material. 1st ed. London: Blackie Academic and Professional.

Eero, S. 1993. Wood Chemistry: Fundamentals and Applications. 12th ed. Academic Press. Sandiego. 48.

Hill, T.W.; and Clyne, T.W. 1996. An Introduction to Composite. 2nd ed. Cambridge: Cambridge University Press.

Jones, R.M. 1999. Mechanics of composite materials. 2nd ed. Taylor&Francis. 1-52.

Kroschwitz J.I. 1990. Encyclopedia of Polymer Science and Engineering. Vol 6. 2nd ed. New York: John Wiley & Sons.

Li, B.; and He, J. 2003. Investigation of mechanical property,flame retardancy and thermal degradation of LLDPE-wod-fibre composites. Polymer degradation and stability. 83. 241-246.

Lin, Q.; Zhou, X.; and Dai, G. 2001. Effect of Hydrothermal Environment on Moisture Absorption and Mechanical Properties of Wood Flour-Filled Polypropylene Composites. Journal Applied Polymer science. 19. 2824-2832.

Maldas, D.; and Kokta, V. 1988. Improvement of the mechanical properties of sawdust wood fibre-polypropylene composites by chemical treatment. Polymer. 29. 1255-1260.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก
ดัชนีการหลอมไหล

ส่วนผสม	ดัชนีการหลอมไหล (Melt flow index,g/10min.)
HDPE	0.5695±0.0052

ภาคผนวก ข
สมบัติเชิงกล

สูตรที่	ส่วนผสม	ความแข็งแรงดึง (Tensile strength, MPa)
1	HDPE	21.56±0.98
2	HDPE+15% 35 mesh	16.11±0.49
3	HDPE+15% 100 mesh	16.32±0.91
4	HDPE+15% 200 mesh	15.01±0.89
5	HDPE+30% 35 mesh	12.43±0.38
6	HDPE+30% 100 mesh	11.55±0.82
7	HDPE+30% 200 mesh	13.69±0.63
8	HDPE+45% 35 mesh	8.91±0.67
9	HDPE+45% 100 mesh	9.58±0.58
10	HDPE+45% 200 mesh	10.45±0.74

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สูตรที่	ส่วนผสม	มอดุลัส (Modulus, MPa)
1	HDPE	307±39
2	HDPE+15% 35 mesh	393±67
3	HDPE+15% 100 mesh	425±95
4	HDPE+15% 200 mesh	607±66
5	HDPE+30% 35 mesh	443±73
6	HDPE+30% 100 mesh	459±62
7	HDPE+30% 200 mesh	644±68
8	HDPE+45% 35 mesh	487±73
9	HDPE+45% 100 mesh	501±96
10	HDPE+45% 200 mesh	706±23

สูตรที่	ส่วนผสม	เปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดคราก (%Elongation at yield)
1	HDPE	18.31±0.87
2	HDPE+15% 35 mesh	11.72±0.49
3	HDPE+15% 100 mesh	13.16±0.88
4	HDPE+15% 200 mesh	12.01±0.62
5	HDPE+30% 35 mesh	8.58±0.57
6	HDPE+30% 100 mesh	9.64±0.43
7	HDPE+30% 200 mesh	8.46±0.58
8	HDPE+45% 35 mesh	6.46±0.32
9	HDPE+45% 100 mesh	7.02±0.61
10	HDPE+45% 200 mesh	5.52±0.79

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สูตรที่	ส่วนผสม	ความแข็งแรงโค้งงอ (Flexural strength, MPa)
1	HDPE	11.01±1.15
2	HDPE+15% 35 mesh	11.90±0.39
3	HDPE+15% 100 mesh	11.85±0.20
4	HDPE+15% 200 mesh	11.67±0.87
5	HDPE+30% 35 mesh	11.02±1.06
6	HDPE+30% 100 mesh	10.82±0.76
7	HDPE+30% 200 mesh	11.16±0.20
8	HDPE+45% 35 mesh	8.22±0.34
9	HDPE+45% 100 mesh	7.60±0.62
10	HDPE+45% 200 mesh	9.19±0.63

สูตรที่	ส่วนผสม	มอดุลัสโค้งงอ (Flexural modulus, MPa)
1	HDPE	414±52
2	HDPE+15% 35 mesh	483±53
3	HDPE+15% 100 mesh	487±34
4	HDPE+15% 200 mesh	500±57
5	HDPE+30% 35 mesh	557±37
6	HDPE+30% 100 mesh	550±31
7	HDPE+30% 200 mesh	617±58
8	HDPE+45% 35 mesh	573±87
9	HDPE+45% 100 mesh	676±75
10	HDPE+45% 200 mesh	838±114

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สูตรที่	ส่วนผสม	ความแข็งแรงกระแทก (Impact strength, kJ/m^2)
1	HDPE	13.20±2.10
2	HDPE+15% 35 mesh	8.44±1.28
3	HDPE+15% 100 mesh	7.19±0.87
4	HDPE+15% 200 mesh	5.78±0.45
5	HDPE+30% 35 mesh	6.52±0.63
6	HDPE+30% 100 mesh	6.33±0.78
7	HDPE+30% 200 mesh	5.32±0.38
8	HDPE+45% 35 mesh	5.02±0.17
9	HDPE+45% 100 mesh	4.96±0.51
10	HDPE+45% 200 mesh	4.49±0.88

สูตรที่	ส่วนผสม	ความแข็งกด (Hardness)
1	HDPE	46.7±2.4
2	HDPE+15% 35 mesh	55.7±2.4
3	HDPE+15% 100 mesh	47.9±0.7
4	HDPE+15% 200 mesh	46.5±2.3
5	HDPE+30% 35 mesh	55.6±1.6
6	HDPE+30% 100 mesh	53.9±1.3
7	HDPE+30% 200 mesh	47.9±1.8
8	HDPE+45% 35 mesh	58.9±3.5
9	HDPE+45% 100 mesh	52.5±0.9
10	HDPE+45% 200 mesh	46.3±2.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค
สมบัติทางกายภาพ

สูตรที่	ส่วนผสม	ระยะเวลาการแช่น้ำ (สัปดาห์)	เปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำ (%Water absorption)
1	HDPE+15% 35 mesh	1	0.42±0.05
		2	0.88±0.12
		3	0.58±0.11
		4	0.92±0.13
2	HDPE+15% 100 mesh	1	0.25±0.00
		2	0.63±0.07
		3	0.13±0.05
		4	0.50±0.05
3	HDPE+15% 200 mesh	1	0.31±0.00
		2	0.74±0.06
		3	0.13±0.06
		4	0.68±0.02
4	HDPE+30% 35 mesh	1	1.30±0.08
		2	2.38±0.08
		3	2.30±0.12
		4	2.83±0.05
5	HDPE+30% 100 mesh	1	1.23±0.17
		2	3.13±0.45
		3	3.36±0.47
		4	4.38±0.14
6	HDPE+30% 200 mesh	1	0.72±0.02
		2	1.43±0.02
		3	1.00±0.01
		4	1.51±0.05

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สูตรที่	ส่วนผสม	ระยะเวลาการแช่น้ำ (สัปดาห์)	เปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำ (%Water absorption)
7	HDPE+45% 35 mesh	1	4.87±0.62
		2	10.48±1.81
		3	12.14±2.04
		4	13.74±1.75
8	HDPE+45% 100 mesh	1	2.02±0.07
		2	3.44±0.12
		3	3.56±0.10
		4	4.27±0.15
9	HDPE+45% 200 mesh	1	1.97±0.24
		2	3.30±0.39
		3	3.24±0.39
		4	3.94±0.39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง
ผลของระยะเวลาการแช่น้ำที่มีต่อสมบัติเชิงกล

ส่วนผสม	ระยะเวลาการแช่น้ำ (สัปดาห์)	ความแข็งแรงดึง (Tensile strength, MPa)
HDPE+45% 35 mesh	1	8.07±0.56
	2	8.20±0.63
	3	8.64±0.52
	4	9.17±1.13

ส่วนผสม	ระยะเวลาการแช่น้ำ (สัปดาห์)	มอดุลัส (Modulus, MPa)
HDPE+45% 35 mesh	1	585±46
	2	625±80
	3	553±44
	4	622±62

ส่วนผสม	ระยะเวลาการแช่น้ำ (สัปดาห์)	เปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดคราก (%Elongation at yield)
HDPE+45% 35 mesh	1	4.51±0.58
	2	4.56±0.59
	3	5.30±1.15
	4	5.20±1.01

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนผสม	ระยะเวลาการแช่น้ำ (สัปดาห์)	ความแข็งแรงโค้งงอ (Flexural strength, MPa)
HDPE+45% 35 mesh	1	7.92±0.55
	2	8.49±0.76
	3	7.32±0.52
	4	8.72±1.42

ส่วนผสม	ระยะเวลาการแช่น้ำ (สัปดาห์)	มอดุลัสโค้งงอ (Flexural modulus, MPa)
HDPE+45% 35 mesh	1	557.13±40.38
	2	589.54±11.78
	3	513.44±12.46
	4	515.87±22.38

ส่วนผสม	ระยะเวลาการแช่น้ำ (สัปดาห์)	ความแข็งแรงกระแทก (Impact strength, kJ/m^2)
HDPE+45% 35 mesh	1	4.66±0.30
	2	4.62±0.31
	3	4.77±0.59
	4	4.73±0.77

ส่วนผสม	ระยะเวลาการแช่น้ำ (สัปดาห์)	ความแข็งกด (Hardness)
HDPE+45% 35 mesh	1	57.2±1.38
	2	59.6±0.97
	3	56.5±2.05
	4	58.7±1.12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้