

สมบัติต่างๆ ของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่ใช้  
ซีลเยื่อจากไม้ทุเรียนและไม้ยางพาราเป็นสารตัวเติม



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาเคมี

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2547

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Properties of High-density Polyethylene using Durian Wood and  
Rubber Tree Sawdusts as Fillers

Mr. Khajornkit Chankhajorn

Mr. Pinai tenitsara

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

Department of Chemistry

Faculty of Science

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

Academic Year 2004

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการพิเศษ	เรื่อง ผลต่อสมบัติต่างๆ ของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่ใช้ ซีล้อยจากไม้ทุเรียนและ ไม้ยางพาราเป็นสารตัวเติม
นักศึกษา	นายชวกรฤกษ์ จันทร์ขจร นายพินัย เทนอิสระ
ภาควิชา	เคมี คณะวิทยาศาสตร์
สาขาวิชา	เคมีอุตสาหกรรม
ปีการศึกษา	2547
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.จุฑารัตน์ ปรีชญาวรรการ

### บทคัดย่อ

โครงการพิเศษนี้เกี่ยวข้องกับการนำซีล้อยจากไม้ทุเรียนและ ไม้ยางพารามาใช้เป็นสารตัวเติมในพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (High-density polyethylene, HDPE) โดยใช้ซีล้อยที่มีขนาด 20 - 50 เมช และ 100 - 230 เมช และปริมาณของซีล้อยที่ใช้ ร้อยละ 10 20 30 40 โดยน้ำหนัก ซึ่งงานเตรียมได้โดยการผสมในเครื่องอัดรีดชนิดเกลียวทวนอนคู่ (Twin-screw extruder) และนำมาขึ้นรูปด้วยเครื่องฉีดขึ้นรูปพลาสติก (Injection moulding machine) จากนั้นนำชิ้นงานที่เตรียมได้ไปทดสอบสมบัติต่างๆ ได้แก่ สมบัติเชิงกลและสัณฐานวิทยา และศึกษาถึงแนวโน้มของการนำกลับมาใช้ใหม่ที่มีต่อสมบัติต่างๆ ของวัสดุผสมที่เตรียมได้ ผลจากการศึกษาพบว่าเมื่อเติมซีล้อยลงในพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงส่งผลให้ค่ามอดุลัส และมอดุลัสโค้งงอมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ส่วนค่าความแข็งแรงดึง ร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาด ความแข็งแรงโค้งงอและความแข็งแรงกระแทกมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อย และพบว่าผลของปริมาณซีล้อยที่มีต่อสมบัติเชิงกลมีมากกว่าผลของขนาด ส่วนสมบัติการนำกลับมาใช้ใหม่สำหรับวัสดุที่ใช้ซีล้อยไม้ทุเรียนพบว่าเมื่อจำนวนครั้งของการนำกลับมาใช้ใหม่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าความแข็งแรงดึง มอดุลัส ความแข็งแรงโค้งงอ มอดุลัสโค้งงอ และความแข็งแรงกระแทกมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อย แต่ค่าร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น และผลจากการทดสอบอินฟราเรดสเปกโทรสโกปีพบว่าเมื่อจำนวนครั้งของการนำกลับมาใช้ใหม่เพิ่มขึ้นไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงหมู่ฟังก์ชันของวัสดุผสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Special Project	Properties of High-density Polyethylene using Durian and Rubber wood Sawdusts as fillers
Name	Mr. Khajornkit Chankhajorn Mr. Pinai Tentisara
Department	Chemistry
Program	Industrial Chemistry
Academic Year	2004
Special Project Advisor	Asst.Prof.Dr. Jutarat Prachayawarakorn

### ABSTRACT

This special project concerned about using Durian and Rubber sawdusts as fillers in High-density Polyethylene. The sawdusts were sieved through two different mesh sizes (i.e. 20-50 and 100-230 mesh) and the filler contents were 10%, 20% 30% and 40%. The samples were prepared by compounding in a twin-screw extruder and then forming using an injection moulding machine. Mechanical and morphological properties were then tested. In addition, the recycle ability of the samples on the properties was also examined. From the study, it was found that Young's modulus and flexural modulus were greatly increased; whereas tensile strength, % elongation at break flexural strength 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. For the recycle ability of the Durian-polyethylene material, it was found that tensile strength, modulus, flexural strength, flexural modulus and impact strength were slightly decreased but % elongation at break was increased, with the increased number of recycled times. FTIR spectra revealed that the change in functional group of the material was not observed with the number of recycled times.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร. จุฑารัตน์ ปรีชญาวรากร ที่เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษนี้ ที่กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำเกี่ยวกับโครงการวิจัยนี้จนสำเร็จลุล่วงได้เป็นอย่างดี

ขอขอบพระคุณ รศ. ดร. อธิพิล แจ้งชัด และ รศ. ดร. สมศักดิ์ วรมงคลชัย ในความกรุณา มาเป็นกรรมการตรวจสอบโครงการพิเศษที่ช่วยกรุณาตรวจทาน และแก้ไขโครงการพิเศษฉบับนี้ ให้ถูกต้องสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ ดร.อุสารัตน์ ถาวรชัยสิทธิ์และบริษัทรีแลกซ์เฟอริไนเจอร์ในความ อนุเคราะห์ที่ปล่อยให้ใช้ในโครงการพิเศษนี้

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านในภาควิชาเคมี ที่ให้ความรู้และความช่วยเหลือในการ ดำเนินงานวิจัยนี้

ขอขอบคุณบริษัทบางกอกพอลิเอทิลีน ในความอนุเคราะห์เม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิด ความหนาแน่นสูงในโครงการพิเศษนี้

ขอขอบคุณ คุณกฤษณะ เกษประดิษฐ์ และ คุณสุดใจ สอนสะอาด เจ้าหน้าที่อาคาร ฝึกงานทางอุตสาหกรรมเคมีและพอลิเมอร์ ที่คอยอำนวยความสะดวกและให้ความช่วยเหลือ ตลอดการดำเนินงานวิจัย

นอกจากนี้ยังขอขอบคุณบุคคลท่านอื่นๆ ที่ให้ความกรุณาช่วยเหลือ ซึ่งผู้จัดทำมิได้ กล่าวถึง ทางผู้จัดทำขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้ด้วย

ขจรกฤตย์ จันทร์ขจร

พินัย เทนอิสระ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อโครงการพิเศษภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อโครงการพิเศษภาษาอังกฤษ.....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญรูป.....	ญ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาของโครงการพิเศษ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	2
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ.....	3
2.1 การแบ่งชนิดของพอลิเมอร์.....	3
2.1.1 การแบ่งชนิดของพอลิเมอร์ตามโครงสร้างทางเคมี.....	3
2.1.2 การแบ่งชนิดของพอลิเมอร์ตามชนิดของหน่วยซ้ำมอนอเมอร์ภายในโซ่พอลิเมอร์.....	3
2.1.3 การแบ่งชนิดของพอลิเมอร์ตามพฤติกรรมของพอลิเมอร์เมื่อได้รับความร้อน.....	4
2.2 พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง.....	4
2.2.1 ข้อดีของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง.....	5
2.2.2 ข้อเสียของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง.....	5
2.3 เส้นใย.....	6
2.3.1 เส้นใยธรรมชาติ.....	6
2.3.1.1 เส้นใยสัตว์.....	6
2.3.1.2 เส้นใยไม้.....	6
2.3.1.3 เส้นใยจากแร่.....	6
2.3.2 เส้นใยสังเคราะห์.....	6
2.3.2.1 เส้นใยแก้ว.....	6
2.3.2.2 เส้นใยาร์บอน.....	6
2.3.2.3 เส้นใยพอลิเมอร์.....	7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.3.2.4 เส้นใยอนินทรีย์.....	7
2.3.2.5 เส้นใยโลหะ.....	7
2.3.2.6 เส้นใยผสม.....	7
2.4 ไม้.....	7
2.4.1 ไม้ยืนต้น.....	7
2.4.1.1 ไม้เนื้ออ่อน.....	7
2.4.1.2 ไม้เนื้อแข็ง.....	8
2.4.2 ไม้ล้มลุก.....	8
2.5 องค์ประกอบทางเคมีของไม้.....	8
2.5.1 เซลลูโลส.....	8
2.5.2 เฮมิเซลลูโลส.....	9
2.5.3 ลิกนิน.....	10
2.5.4 สารสกัดได้.....	11
2.6 การนำพลาสติกกลับมาหมุนเวียนใช้ใหม่.....	13
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	15
บทที่ 3 การดำเนินงานวิจัย.....	20
3.1 สารเคมีและวัสดุที่ใช้ในงานวิจัย.....	20
3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย.....	21
3.3 วิธีการทดลอง.....	22
3.3.1 การเตรียมขี้เลื่อยและขี้ฟืนจากไม้ทุเรียนและไม้ยาง.....	22
3.3.2 ขั้นตอนการผสม.....	22
3.4 วิธีการทดสอบ.....	23
3.4.1 สมบัติเชิงกล.....	24
3.4.1.1 ความแข็งแรงดึง มอดุลัส และเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาด.....	24
3.4.1.2 ความแข็งแรงกระแทก.....	26
3.4.1.3 ความแข็งแรงโค้งงอ และมอดุลัสโค้งงอ.....	27
3.4.2 สันฐานวิทยา.....	28
3.4.3 อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี.....	28
3.4.4 ดัชนีการหลอมไหล.....	28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง.....29

ตอนที่ 1 ผลของปริมาณและขนาดของขี้เลื่อยที่มีต่อสมบัติต่างๆ ของวัสดุผสมระหว่างพอลิเอทีลีนชนิดความหนาแน่นสูงและขี้เลื่อย.....29

4.1 สมบัติเชิงกล.....29

4.1.1 สมบัติทางแรงดึง.....29

4.1.2 สมบัติความโค้งงอ.....33

4.1.3 สมบัติแข็งแรงกระแทก.....34

4.2 สันฐานวิทยา.....36

4.3 การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันโดยเทคนิค FTIR.....40

ตอนที่ 2 สมบัติต่างๆ ของการนำกลับมาใช้ใหม่ของพอลิเอทีลีนชนิดความหนาแน่นสูงบริสุทธิ์และการนำกลับมาใช้ใหม่ของวัสดุผสมระหว่างพอลิเอทีลีนชนิดความหนาแน่นสูงกับขี้เลื่อยไม้ทุเรียน.....42

4.4 สมบัติของการนำกลับมาใช้ใหม่ของพอลิเอทีลีนชนิดความหนาแน่นสูงบริสุทธิ์.....42

4.4.1 สมบัติเชิงกล.....42

4.4.1.1 สมบัติทางแรงดึง.....42

4.4.1.2 สมบัติความโค้งงอ.....44

4.4.1.3 สมบัติแข็งแรงกระแทก.....45

4.4.2 การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันโดยเทคนิค FTIR.....46

4.4.3 ค่าดัชนีหลอมไหล.....47

4.5 สมบัติของการนำกลับมาใช้ใหม่ของวัสดุผสมระหว่างพอลิเอทีลีนชนิดความหนาแน่นสูงกับขี้เลื่อยไม้ทุเรียนที่ขนาด 100-230 เมช ที่ปริมาณขี้เลื่อยร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก....48

4.5.1 สมบัติเชิงกล.....48

4.5.1.1 สมบัติทางแรงดึง.....48

4.5.1.2 สมบัติความโค้งงอ.....50

4.5.1.3 สมบัติแข็งแรงกระแทก.....50

4.5.2 สันฐานวิทยา.....52

4.5.3 การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันโดยเทคนิค FTIR.....53

4.5.4 ค่าดัชนีหลอมไหล.....54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น หรือขี้นหาขโมยให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	56
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	56
5.1.1 ผลของขนาดและปริมาณของซีลีเนียมที่มีต่อสมบัติต่างๆ ของวัสดุผสมระหว่าง พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงกับซีลีเนียมจากไม้ทุเรียนและไม้ยางพารา.....	56
5.1.2 ผลของการนำกลับมาใช้ใหม่ของวัสดุผสมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนา แน่นสูงกับซีลีเนียมจากไม้ทุเรียน.....	57
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	57
เอกสารอ้างอิง.....	58
ภาคผนวก.....	61



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1	สมบัติของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง.....4
ตารางที่ 2.2	สมบัติทางความร้อนของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง.....5
ตารางที่ 2.3	องค์ประกอบทางเคมีของไม้เนื้อแข็ง และไม้เนื้ออ่อน ..... 11
ตารางที่ 2.4	สัญลักษณ์ตามรหัสพลาสติก.....14
ตารางที่ 3.1	สมบัติของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง.....20
ตารางที่ 3.2	ส่วนผสมต่างๆ ในการเตรียมวัสดุผสม.....22
ตารางที่ 3.3	มาตรฐานที่ใช้ทดสอบวัสดุผสม.....23
ตารางที่ 4.1	ตำแหน่งของสเปกตรัมของวัสดุผสมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง และซีลีเนียมไมท์ยูเรียนและไมยางพาราที่มีขนาด 20-50 เมช ที่ปริมาณร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก.....41
ตารางที่ 4.2	ร้อยละการเปลี่ยนแปลงสมบัติเชิงกลของการนำกลับมาใช้ใหม่ครั้งที่ 5 กับสมบัติ เชิงกลของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงบริสุทธิ์ก่อนการนำกลับมาใช้ใหม่.45
ตารางที่ 4.3	ค่าดัชนีการหลอมไหลของการนำกลับมาใช้ใหม่ของพอลิเอทิลีนชนิดความ หนาแน่นสูงบริสุทธิ์.....47
ตารางที่ 4.4	ร้อยละการเปลี่ยนแปลงสมบัติเชิงกลของการนำกลับมาใช้ใหม่ครั้งที่ 5 กับสมบัติ เชิงกลของวัสดุผสมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงกับซีลีเนียมไมท์ยูเรียนที่ ขนาด 100-230 เมช ที่ปริมาณซีลีเนียมร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก ก่อนการนำกลับมาใช้ ใหม่.....51
ตารางที่ 4.5	ค่าดัชนีการหลอมไหลของการนำกลับมาใช้ใหม่ของวัสดุผสมระหว่างพอลิเอทิลีน ชนิดความหนาแน่นสูงกับซีลีเนียมไมท์ยูเรียนขนาด 100 – 230 เมช ที่ปริมาณร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก.....53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูปภาพ

รูปที่	หน้า
2.1 ตัวอย่างพอลิเมอร์รวมชนิดต่างๆ.....	3
2.2 โครงสร้างของเซลลูโลส.....	9
2.3 โครงสร้างของหน่วยย่อยชนิดต่างๆ ที่ประกอบเป็นเฮมิเซลลูโลส.....	9
2.4 หน่วยซ้ำของลิกนิน.....	10
2.5 ต้นทุเรียน.....	12
2.6 ต้นยางพารา.....	12
3.1 ตัวอย่างชิ้นงานทดสอบแรงดึง.....	24
3.2 ส่วนประกอบของเครื่องมือทดสอบแรงดึง.....	25
3.3 ขนาดและลักษณะของตัวอย่างทดสอบการกระแทกแบบไอซอด.....	26
3.4 เครื่องมือทดสอบความแข็งแรงกระแทกแบบไอซอด.....	27
3.5 การทดสอบสมบัติความโค้งงอ.....	27
4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงดึงของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงกับ (ก) ซี้เลื่อย ไม้ทุเรียนและ (ข) ซี้เลื่อยไม้ยางพาราที่ปริมาณซี้เลื่อย (ร้อยละโดยน้ำหนัก) ต่างๆ กัน.....	30
4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดึงยึด ณ จุดขาดของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงกับ (ก) ซี้เลื่อยไม้ทุเรียนและ (ข) ซี้เลื่อยไม้ยางพาราที่ปริมาณซี้เลื่อย (ร้อยละโดยน้ำหนัก) ต่างๆ กัน.....	31
4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ามอดุลัสของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงกับ (ก) ซี้เลื่อย ไม้ทุเรียนและ (ข) ซี้เลื่อยไม้ยางพาราที่ปริมาณซี้เลื่อย (ร้อยละโดยน้ำหนัก) ต่างๆ กัน.....	32
4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งแรงโค้งงอของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงกับ (ก) ซี้เลื่อยไม้ทุเรียนและ (ข) ซี้เลื่อยไม้ยางพาราที่ปริมาณซี้เลื่อย (ร้อยละโดยน้ำหนัก) ต่างๆ กัน.....	33
4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ามอดุลัสโค้งงอของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงกับ (ก) ซี้เลื่อย ไม้ทุเรียนและ (ข) ซี้เลื่อยไม้ยางพาราที่ปริมาณซี้เลื่อย (ร้อยละโดยน้ำหนัก) ต่างๆ กัน.....	34
4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งแรงกระแทกของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงกับ (ก) ซี้เลื่อยไม้ทุเรียนและ (ข) ซี้เลื่อยไม้ยางพาราที่ปริมาณซี้เลื่อย (ร้อยละโดยน้ำหนัก) ต่างๆ กัน.....	35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.7 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดกำลังขยาย 30 เท่าและ 200 เท่าของ  
 พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงกับซีลีออยไม้ทุเรียนที่มีขนาด 20 – 50 เมช ที่ปริมาณซีลีออย  
 ต่างๆ กัน.....36

4.8 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดกำลังขยาย 30 เท่าและ 200 เท่าของ  
 พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงกับซีลีออยไม้ทุเรียนที่มีขนาด 100 – 230 เมช ปริมาณ  
 ซีลีออยต่างๆ กัน.....37

4.9 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดกำลังขยาย 30 เท่าและ 200 เท่าของ  
 พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงกับซีลีออยไม้ยางพาราที่มีขนาด 20 – 50 เมช ปริมาณ  
 ซีลีออยต่างๆ กัน.....38

4.10 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดกำลังขยาย 30 เท่าและ 200 เท่าของ  
 พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงกับซีลีออยไม้ยางพาราที่มีขนาด 100 – 230 เมช ปริมาณ  
 ซีลีออยต่างๆ กัน.....39

4.11 อินฟราเรดสเปกตรัมของ (ก) พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงบริสุทธิ์ (ข) วัสดุผสมระหว่าง  
 พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงกับซีลีออยไม้ทุเรียนขนาด 20 – 50 เมช ปริมาณร้อยละ 40  
 โดยน้ำหนักและ (ค) วัสดุผสมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงบริสุทธิ์กับซีลีออย  
 ไม้ยางพาราขนาด 20 – 50 เมชที่ปริมาณร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก.....40

4.12 สมบัติทางแรงดึงของการนำกลับมาใช้ใหม่ของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงบริสุทธิ์  
 (ก) ความแข็งแรงดึง (ข) ร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาด และ (ค) มอดุลัส.....43

4.13 สมบัติทางแรงดึงของการนำกลับมาใช้ใหม่ของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงบริสุทธิ์  
 (ก) ความแข็งแรงโค้งงอและ (ข) มอดุลัสโค้งงอ.....44

4.14 ความแข็งแรงกระแทกของการนำกลับมาใช้ใหม่ของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง  
 บริสุทธิ์.....45

4.15 อินฟราเรดสเปกตรัมของ (ก) พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงบริสุทธิ์กับ (ข) การนำกลับ  
 มาใช้ใหม่ครั้งที่ 3 พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงบริสุทธิ์และ (ค) การนำกลับมาใช้ใหม่  
 ครั้งที่ 5 พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงบริสุทธิ์.....46

4.16 สมบัติทางแรงดึงของการนำกลับมาใช้ใหม่ของวัสดุผสมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความ  
 หนาแน่นสูงกับซีลีออยไม้ทุเรียนที่ขนาด 100-230 เมช ที่ปริมาณซีลีออยร้อยละ 20 โดย  
 น้ำหนัก (ก) ความแข็งแรงดึง (ข) ร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาด และ (ค) มอดุลัส.....49

4.17 สมบัติทางแรงดึงของการนำกลับมาใช้ใหม่ของวัสดุผสมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความ  
 หนาแน่นสูงกับซีลีออยไม้ทุเรียนที่ขนาด 100-230 เมช ที่ปริมาณซีลีออยร้อยละ 20 โดย  
 น้ำหนัก (ก) ความแข็งแรงโค้งงอและ (ข) มอดุลัสโค้งงอ.....50

- 4.18 ความแข็งแรงกระแทกของการนำกลับมาใช้ใหม่ของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงกับ  
 ซีล้อยไม้ทุเรียนที่ขนาด 100-230 เมช ที่ปริมาณซีล้อยร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก.....51
- 4.19 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดกำลังขยาย 30 และ 200 เท่าตาม  
 ลำดับของ (ก) - (ข) พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงกับซีล้อยไม้ทุเรียนที่ขนาด 100 – 230  
 เมช ที่ปริมาณซีล้อยร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก (ค) - (ง) การนำกลับมาใช้ใหม่ครั้งที่ 3 และ  
 (จ) - (ฉ) การนำกลับมาใช้ใหม่ครั้งที่ 5.....52
- 4.20 อินฟราเรดสเปกตรัมของวัสดุผสมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงกับซีล้อย  
 ไม้ทุเรียนขนาด 100 – 230 เมช ที่ปริมาณร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก (ก) วัสดุผสมที่ยังไม่มีการ  
 นำกลับมาใช้ใหม่ (ข) วัสดุผสมที่นำกลับมาใช้ใหม่ครั้งที่ 3 และ (ค) วัสดุผสมที่นำกลับ  
 มาใช้ใหม่ครั้งที่ 5 .....53



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาของโครงการพิเศษ

สืบเนื่องจากการขยายตัวของประชากรโลก เป็นผลให้ป่าไม้ในโลก โดยเฉพาะป่าไม้ในเขตร้อนถูกทำลายปีละหลายล้านไร่เพื่อนำเนื้อไม้มาใช้ประโยชน์ด้านที่อยู่อาศัยและใช้สอยในชีวิตประจำวัน ประเทศไทยเป็นประเทศหนึ่งในเขตร้อน และประสพภาวะดังกล่าวจึงต้องมีการปลูกไม้ขึ้นมาใช้ทดแทน และหนึ่งในจำนวนนั้น คือ ไม้ยางพารา (*Hevea brasiliensis*) ซึ่งมีศักยภาพ ทั้งด้านกายภาพและสมบัติที่สามารถใช้ทดแทนไม้จากป่าธรรมชาติได้ทันที จากการส่งออกผลิตภัณฑ์จากไม้ยางพารามีแนวโน้มมากขึ้นทุกปี ในปี พ.ศ. 2543 ประเทศไทยส่งออกผลิตภัณฑ์จากไม้ยางพาราคิดเป็นมูลค่า 123,462 ล้านบาท ปี พ.ศ. 2544 เพิ่มขึ้นเป็น 135,286 ล้านบาท [www.doae.go.th] ซึ่งเห็นได้ว่าปริมาณไม้ยางพาราที่มีเพิ่มขึ้นส่งผลให้ปริมาณขี้เลื่อยไม้ยางพาราเหลือมากขึ้นด้วย นอกจากนี้ทุเรียน (*Durio zibethinus*) เป็นผลไม้ส่งออกที่ทำรายได้เข้าประเทศไทยได้มาก โดยในปี พ.ศ.2541 มีมูลค่าการส่งออกเท่ากับ 4,346 ล้านบาท และในปี พ.ศ.2545 มีมูลค่าการส่งออกเพิ่มขึ้นเป็น 17,595 ล้านบาท ทำให้มีปริมาณการปลูกทุเรียนเพิ่มขึ้นโดยในปี พ.ศ.2541 มีปริมาณการปลูกเท่ากับ 507,009 ไร่ และในปี พ.ศ.2545 มีปริมาณการปลูกเป็น 597,534 ไร่ และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นทุกปี [www.doae.go.th] จากแนวโน้มดังกล่าวไม้ทุเรียนจึงเป็นไม้อีกหนึ่งชนิดหนึ่งที่นิยมนำมาใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตเฟอร์นิเจอร์

จากที่กล่าวมาทำให้ปริมาณขี้เลื่อยจากไม้ทุเรียนและไม้ยางพาราซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมไม้แปรรูปมีปริมาณมาก จึงได้มีความคิดที่จะทำให้วัสดุเหลือทิ้งดังกล่าวมาทำให้มีคุณค่ามากขึ้นโดยนำมาใช้เป็นสารตัวเติม (Filler) ในพลาสติก เนื่องจากถือได้ว่าขี้เลื่อยเป็นสารตัวเติมที่ได้จากธรรมชาติ (Natural fillers) ชนิดหนึ่งซึ่งมีข้อดีหลายอย่าง เช่น หาง่าย ราคาถูก สามารถลดต้นทุนการผลิตได้ น้ำหนักเบา ความหนาแน่นต่ำ สามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ และยังเป็นการลดวัสดุเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมไม้แปรรูปได้อีกด้วย

โครงการพิเศษฉบับนี้เกี่ยวข้องกับการเตรียมและการทดสอบสมบัติต่างๆ ของวัสดุผสมจากพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงและขี้เลื่อย/ขี้ฝุ่นจากไม้ทุเรียนและไม้ยางพารา ซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งที่ได้จากโรงงานที่เกี่ยวข้องกับอุตสาหกรรมการผลิตเฟอร์นิเจอร์ต่างๆ ทั่วประเทศ รวมทั้งศึกษาถึงแนวโน้มของการนำวัสดุผสมที่ได้กลับมาใช้ใหม่ ดังนั้นในโครงการพิเศษนี้จึงเป็นการนำของเหลือใช้มาก่อให้เกิดประโยชน์และมีมูลค่าเพิ่มขึ้น นอกจากนี้การนำขี้เลื่อย/ขี้ฝุ่นจากไม้ทุเรียนและไม้ยางพาราเป็นสารตัวเติมในพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงยังเป็นการลดปริมาณการใช้พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงอีกด้วย

ไม่ว่ากรณีของ... อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อเตรียมวัสดุผสมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงและซีลี้อยจากไม้ทุเรียน ไม้ยางพารา ซีฝุ่นไม้ทุเรียนและไม้ยางพารา

1.2.2 เพื่อศึกษาสมบัติต่างๆ ได้แก่ สมบัติเชิงกล สัณฐานวิทยา และค่าดัชนีการหลอมไหลของ วัสดุผสม

1.2.3 เพื่อศึกษาถึงการนำกลับมาใช้ใหม่ของวัสดุผสมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง และซีลี้อย/ซีฝุ่น

## 1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1.3.1 เพื่อเตรียมวัสดุผสมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงและซีลี้อยจากไม้ทุเรียน ไม้ยางพารา ซีฝุ่นไม้ทุเรียนและไม้ยางพาราเป็นสารตัวเติม

1.3.2 ศึกษาผลของขนาดและปริมาณของซีลี้อยและซีฝุ่นที่มีต่อสมบัติเชิงกล สมบัติทางกายภาพ สัณฐานวิทยา และสมบัติทางความร้อนของวัสดุผสม

1.3.3 ศึกษาจำนวนครั้งของการนำกลับมาใช้ใหม่ที่มีต่อสมบัติต่างๆ ของวัสดุผสม

## 1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 สามารถลดปัญหาสิ่งแวดล้อมได้โดยการนำวัสดุผสมที่เตรียมได้กลับมาใช้ใหม่

1.4.2 เป็นการเพิ่มมูลค่าเชิงพาณิชย์ให้กับซีลี้อยและซีฝุ่นจากไม้ทุเรียนและไม้ยางพารา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและหลักการ

คำว่าพอลิเมอร์ (Polymer) มาจากภาษากรีก (Greek) หมายถึง หลายๆ หน่วย ซึ่งสามารถเตรียมได้จากกระบวนการที่เรียกว่า พอลิเมอไรเซชัน (Polymerization) โดยเกิดจากการรวมตัวทางเคมีของหน่วยเล็กๆ หลายๆ หน่วยที่เรียกว่า มอนอเมอร์ (Monomer) หรือหน่วยเดี่ยว (Single parts) ซึ่งหน่วยเล็กๆ ที่ซ้ำๆ กัน (Repeating unit) ในโมเลกุลของพอลิเมอร์นี้อาจเป็นอะตอมเดี่ยว (Single atom) เช่น โมเลกุลของซิลิโคน หรือกลุ่มอะตอม (Group of atoms) เช่น กลุ่มอะตอมของเมทิลเอทิลีนในพอลิเอทิลีน

#### 2.1 การแบ่งชนิดของพอลิเมอร์ [ชลธิชา, 2539]

##### 2.1.1 การแบ่งชนิดของพอลิเมอร์ตามโครงสร้างทางเคมี

พอลิเมอร์มีหน่วยซ้ำ (Repeating unit) ที่มาจากมอนอเมอร์ชนิดเดียวเรียกว่า โฮโมพอลิเมอร์ (Homopolymer) การจัดเรียงตัวของโฮโมพอลิเมอร์จัดได้หลายลักษณะ บางชนิดอาจจัดแบบเป็นเส้นตรง (Linear) บางชนิดจัดเป็นโซ่กิ่ง (Branch) หรือร่างแหเรียกว่า Cross-link (Crosslinked in three - dimension networks) พอลิเมอร์ที่มีโครงสร้างแบบโซ่ตรงและโซ่กิ่ง เรียกว่า เทอร์โมพลาสติก (Thermoplastics) ซึ่งสามารถขึ้นรูป (Moulded) ที่อุณหภูมิและความดันสูงๆ ได้หลายครั้ง แต่มีความแตกต่างจากพอลิเมอร์ที่มีโครงสร้างเป็นแบบร่างแหที่เรียกว่า เทอร์โมเซต (Thermosets) ซึ่งมักเป็นวัสดุที่แข็ง ขึ้นรูปได้เพียงครั้งเดียวและขึ้นรูปด้วยวิธีต่างๆ ไปไม่ได้

##### 2.1.2 การแบ่งชนิดของพอลิเมอร์ตามชนิดของหน่วยซ้ำมอนอเมอร์ภายในโซ่พอลิเมอร์

พอลิเมอร์ที่อยู่ร่วมกันมากกว่า 2 ชนิดขึ้นไป เรียก พอลิเมอร์ร่วม (Copolymer) ซึ่งแบ่งเป็นหลายแบบ ได้แก่ แบบสุ่ม (Random) แบบสลับ (Alternating) แบบตอกกิ่ง (Graft) และแบบบล็อก (Block) ดังนี้

-A-A-B-A-A-B-B-A-B-A-A-A-B-A-B-                      แบบสุ่ม

-B-A-B-A-B-A-B-A-B-A-B-A-B-A-B-A-                      แบบสลับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

-A-A-A-A-B-B-B-B-B-B-A-A-A-A-                      แบบ ABA-triblock



รูปที่ 2.1 ตัวอย่างพอลิเมอร์ร่วมชนิดต่างๆ [Challa, 1993]

### 2.1.3 การแบ่งชนิดของพอลิเมอร์ตามพฤติกรรมของพอลิเมอร์เมื่อได้รับความร้อน

สามารถแบ่งพอลิเมอร์ออกได้เป็น 2 ประเภท ในทัศนะของการนำพอลิเมอร์ไปผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ โดยผ่านความร้อน ได้แก่

1. เทอร์โมพลาสติก พอลิเมอร์ชนิดนี้จะอ่อนตัวและไหลเมื่อได้รับความร้อน และนำไปขึ้นรูปได้หลายรูปแบบ เมื่อปล่อยให้เย็นลงจะมีรูปร่างตามแม่แบบ สามารถนำพอลิเมอร์ที่ขึ้นรูปแล้วมาหลอมได้อีก กระบวนการนี้เกิดซ้ำได้หลายครั้ง เพราะพอลิเมอร์ชนิดนี้ไม่มีพันธะเชื่อมโยงโครงร่างแหเกิดขึ้นในขณะเป็นของแข็ง พอลิเมอร์ที่ใช้อยู่ในปัจจุบันประมาณ 90% จัดเป็นเทอร์โมพลาสติก ตัวอย่างเช่น พอลิพรอพิลีน พอลิเอไมด์ เป็นต้น

2. เทอร์โมเซต พอลิเมอร์ชนิดนี้เกิดจากองค์ประกอบหลายชนิดทำปฏิกิริยากัน เมื่อได้รับความร้อนแล้วเปลี่ยนสถานะจากของไหลหนืดเป็นของแข็ง เนื่องจากเกิดพันธะเชื่อมโยงโครงร่างแห เมื่อขึ้นรูปแล้วไม่สามารถหลอมหรือละลายได้อีก เพราะมีพันธะเชื่อมโยงจึงไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้อีก

### 2.2 พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (High-Density Polyethylene:HDPE) [ชลธิชา,2539]

เป็นพอลิเอทิลีนชนิดหนึ่งที่มีโครงสร้างเป็นเส้นตรงเกือบตลอด เป็นพอลิเมอร์ที่สามารถนำไปขึ้นรูปได้หลายครั้ง โฟพอลิเมอร์มีความเป็นระเบียบสูงมากจึงมีความเหนียว แข็งแรง มีการนำพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงไปใช้ประโยชน์มากมาย เช่น ภาชนะบรรจุน้ำ อาหาร เคมีภัณฑ์ ถุงขยะ ก่อ่ง เป็นต้น

ตารางที่ 2.1 สมบัติของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง [Brydson, 1995]

Properties	High-Density Polyethylene
Tensile strength (MPa)	27.5
Elongation at break (%)	500
Izod impact strength (J/m <sup>2</sup> )	6.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 สมบัติทางความร้อนของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง [ชลธิชา, 2539]

Properties	HDPE
Density $\text{g/cm}^3$ ( $\text{lb/ft}^3$ )	0.9
Melt Temperature $^{\circ}\text{C}$ ( $^{\circ}\text{F}$ )	134
Glass Transition Temperature $^{\circ}\text{C}$ ( $^{\circ}\text{F}$ )	-110
Thermal Conductivity $10^{-4}$ $\text{cal/s.cm}^{\circ}\text{C}$ ( $\text{BTU/lb.}^{\circ}\text{F}$ )	12
Heat Capacity $\text{cal/g}^{\circ}\text{C}$ ( $\text{BTU/lb.}^{\circ}\text{F}$ )	0.9
Thermal Diffusivity $10^{-4}$ $\text{cm}^2/\text{s}$ ( $10^{-3}$ $\text{ft}^2/\text{hr}$ )	13.9
Thermal Expansion $10^{-6}$ $\text{cm/cm}^{\circ}\text{C}$ ( $10^{-4}$ $\text{in/in}^{\circ}\text{F}$ )	59

### 2.2.1 ข้อดีของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง

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

### 2.2.2 ข้อเสียของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.3 เส้นใย (Fiber) [รุ่งอรุณ, 2546]

เส้นใยเป็นสารตัวเติมชนิดหนึ่งที่มีสมบัติในการเสริมแรง และเนื่องจากความเจริญก้าวหน้าทางเทคโนโลยีในปัจจุบัน ทำให้มนุษย์สามารถสังเคราะห์เส้นใยขึ้นมาใช้ได้เอง ดังนั้น เราอาจแบ่งที่มาของเส้นใยตามแหล่งกำเนิดได้ ดังนี้

### 2.3.1 เส้นใยธรรมชาติ (Natural fiber) อาจแยกตามแหล่งกำเนิดได้ดังนี้

#### 2.3.1.1 เส้นใยสัตว์ (Animal fiber)

เส้นใยชนิดนี้มีองค์ประกอบทางเคมีเป็นโปรตีนเป็นส่วนใหญ่ แหล่งเส้นใยได้แก่ ขนสัตว์ ฝมอฐ เส้นไหมที่ได้จากตัวไหม เป็นต้น

#### 2.3.1.2 เส้นใยไม้ (Wood fiber)

เส้นใยชนิดนี้มีองค์ประกอบทางเคมีสารคาร์โบไฮเดรตได้จากไม้ยืนต้น เช่น สน ยางพารา และไม้ล้มลุก เช่น ปอกระเจา ฟางข้าว เป็นต้น

#### 2.3.1.3 เส้นใยจากแร่ (Miniral fiber)

เป็นเส้นใยที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ เช่น ใยหิน เป็นต้น

### 2.3.2 เส้นใยสังเคราะห์ (Synthetic fiber)

เกิดจากความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีที่มนุษย์นำมาผลิตเป็นเส้นใยมีทั้งทำจากวัตถุดิบจากสารอินทรีย์และอนินทรีย์เส้นใยกลุ่มนี้มีอยู่มากมายและใช้กันอย่างกว้างขวาง เช่น

#### 2.3.2.1 เส้นใยแก้ว (Glass fiber)

ใช้เป็นสารเสริมแรงทั้งในเทอร์โมพลาสติกและเทอร์โมเซต จัดเป็นสารเสริมแรงที่สำคัญที่สุด ราคาถูก วิธีผลิตง่าย ประกอบด้วยซิลิกาเป็นหลัก มีความแข็งแรงสูง นำไฟฟ้าได้ดีและทนทานต่อสารเคมี

#### 2.3.2.2 เส้นใยคาร์บอน (Carbon fiber)

ผลิตจากการเผาเส้นใยอินทรีย์ในบรรยากาศของก๊าซเฉื่อยที่อุณหภูมิสูงกว่า 980 องศาเซลเซียส เช่น เส้นใยกราไฟท์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.3.2.3 เส้นใยพอลิเมอร์ (Polymer fiber)

เป็นเส้นใยที่ได้จากพอลิเมอร์สังเคราะห์ เช่น พอลิเอสเตอร์ พอลิไวนิลอะซิเตต เส้นใย Kevlar เป็นตัวอย่างของเส้นใยพอลิเมอร์ที่ให้ความแข็งแรงสูงกว่าเส้นใยแก้วถึง 2 เท่า แต่ความหนาแน่นน้อยกว่าครึ่งหนึ่งของเส้นใยแก้ว นำมาทำเสื้อผ้ากันกระสุนและหมวกทหาร

### 2.3.2.4 เส้นใยอนินทรีย์ (Inorganic fiber)

มีอีกชื่อหนึ่งว่า Whisker Fiber เป็นผลึกของเส้นใยสั้น เกิดจากออกไซด์ของอลูมิเนียม เบอริลเลียม แมกนีเซียม เส้นใยประเภทนี้มีราคาแพง เพราะเทคโนโลยีในการผลิตยุ่งยากและซับซ้อน เส้นใยอนินทรีย์ที่เป็นเส้นใยเซรามิกมีความทนแรงดึงสูงมากเมื่อได้รับความร้อนจะขยายตัวได้น้อยจึงใช้ผสมในวัสดุอุดฟัน

### 2.3.2.5 เส้นใยโลหะ (Metal fiber)

เตรียมได้โดยการดักเหล็กกล้าหรืออลูมิเนียมให้เป็นเส้นต่อเนื่อง เส้นใยประเภทนี้ช่วยเสริมความแข็งแรง การนำไฟฟ้าและความร้อน

### 2.3.2.6 เส้นใยผสม (Hybrid fiber)

เตรียมโดยการนำเอาเส้นใยเสริมแรง 2 ชนิดหรือมากกว่ามาใช้ร่วมกัน ส่งผลให้สมบัติของคอมโพสิตดีขึ้น เช่น เส้นใยแก้ว และเส้นใยคาร์บอน เมื่อใช้ร่วมกันจะเพิ่มความทนทานต่อแรงกระแทก ทำให้คอมโพสิตเหนียวขึ้น

## 2.4 ไม้ (Wood) [รุ่งอรุณ, 2546]

ไม้เป็นวัสดุที่มีความสำคัญมากเนื่องจากไม้มีประโยชน์มากมาย เช่น ทำกระดาษ เครื่องเรือน เครื่องใช้ หรือใช้เป็นแหล่งพลังงานได้ เราสามารถจำแนกไม้ออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ คือ

### 2.4.1 ไม้ยืนต้น (Wood)

ไม้ยืนต้นแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ

2.4.1.1 ไม้เนื้ออ่อน (Softwood) เป็นไม้จำพวก Coniferous หรือ Gymnosperm มีใบเป็นรูปเข็ม ไม้ผลัดใบ เช่น Spruce, Pine และ Fir ในประเทศไทยมีเพียง 2 ชนิด คือ สนสองใบและสนสามใบ เส้นใยของไม้เนื้ออ่อนมีความยาวเฉลี่ยประมาณ 3 มม. เส้นใยที่ได้จากไม้เนื้ออ่อน เรียกว่า เส้นใยาว และชื่อเรียกทางการค้ามักมีอักษร "N" (Needle) นำหน้า เช่น NBKP (Needle bleached kraft pulp) เพื่อระบุว่าไม่เป็นเส้นใยาวสั้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.1.2 ไม้เนื้อแข็ง (Hardwood) เป็นไม้จำพวก Angiosperm โดยทั่วไปมีใบกว้าง (Broad leaved) ยกเว้นไม้บางชนิด เช่น สนทะเลและสนปติพัทธ์ ในเขตอบอุ่นไม้พวกนี้จะผลัดใบ (Deciduous) เส้นใยของไม้เนื้อแข็ง เรียกว่า เส้นใยสั้น และชื่อเรียกทางการค้ามักมีอักษร "L" (Leaved) นำหน้า เช่น LBKP (Leaved bleached kraft pulp) เพื่อระบุว่าเป็นเส้นใยสั้น

#### 2.4.2 ไม้ล้มลุก (Non-wood) เส้นใยที่จัดอยู่ในกลุ่มนี้ได้จาก

2.4.2.1 เส้นใยที่เหลือทิ้งทางการเกษตร เช่น ฟางข้าว ชานอ้อย

2.4.2.2 พืชตระกูลหญ้า เช่น ไม้ไผ่ หญ้าขจรจบ หญ้าแฝก

2.4.2.3 พืชเส้นใยต่างๆ

-เส้นใยที่ได้จากส่วนของเปลือกและต้น เช่น ปอกระเจา ปอแก้ว

-เส้นใยที่ได้จากส่วนใบ เช่น สับปะรดและป่านศรนารายณ์

-เส้นใยที่ได้จากเมล็ด เช่น ฝ้าย

#### 2.5 องค์ประกอบทางเคมีของไม้ (Chemical compositions of woods) [รุ่งอรุณ, 2546]

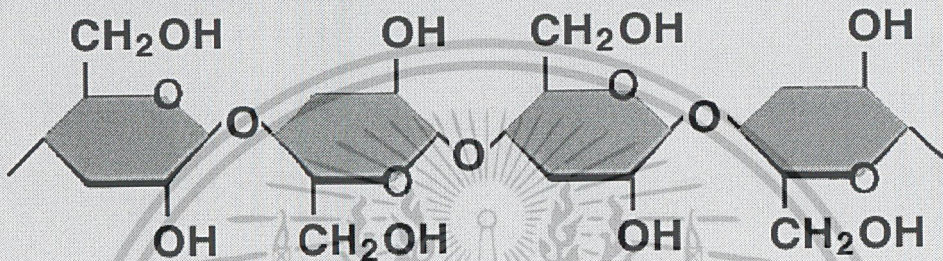
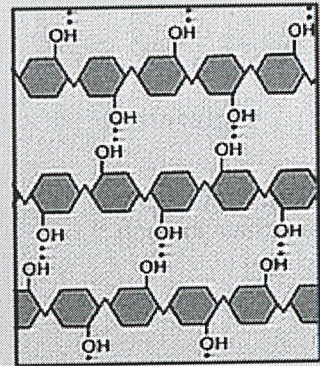
องค์ประกอบทางเคมีของ ไม้เนื้อแข็ง (Hardwood) ไม้เนื้ออ่อน (Softwood) และ ไม้ล้มลุก (Non-wood) ประกอบด้วย เซลลูโลส (Cellulose) เฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose) ลิกนิน (Lignin) และสารสกัด (Extractive)

##### 2.5.1 เซลลูโลส

เป็นโฮโมพอลิเมอร์ (HomoPolymer) ของดี-กลูโคส (d-Glucose) เกาะกันด้วย 1,4- $\beta$ -glucosidic bond มีลักษณะเป็นเส้นตรง มีความยาวตามธรรมชาติประมาณ 10,000 หน่วย ในระหว่างแฉกมีการยึดกันด้วยพันธะไฮโดรเจน เซลลูโลสมีความเป็นผลึกประมาณร้อยละ 60-80 ทนทานต่อสารเคมี สารเคมีที่สามารถละลายเซลลูโลส ได้แก่ กรดซัลฟูริกที่มีความเข้มข้นมากกว่าร้อยละ 68 กรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้นมากกว่าร้อยละ 41 ซิงค์คลอไรด์ เป็นต้น

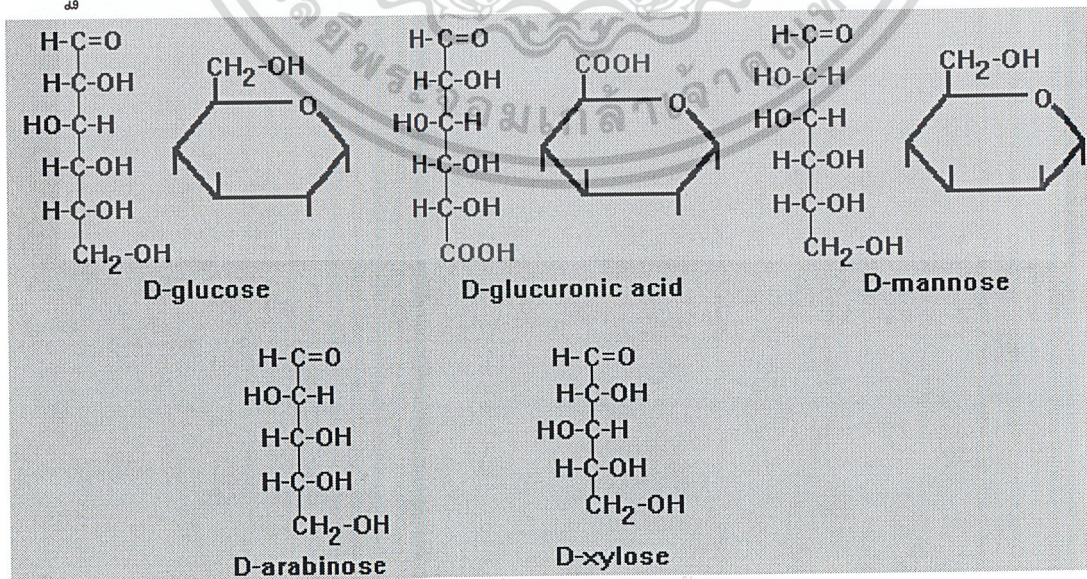
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# Cellulose



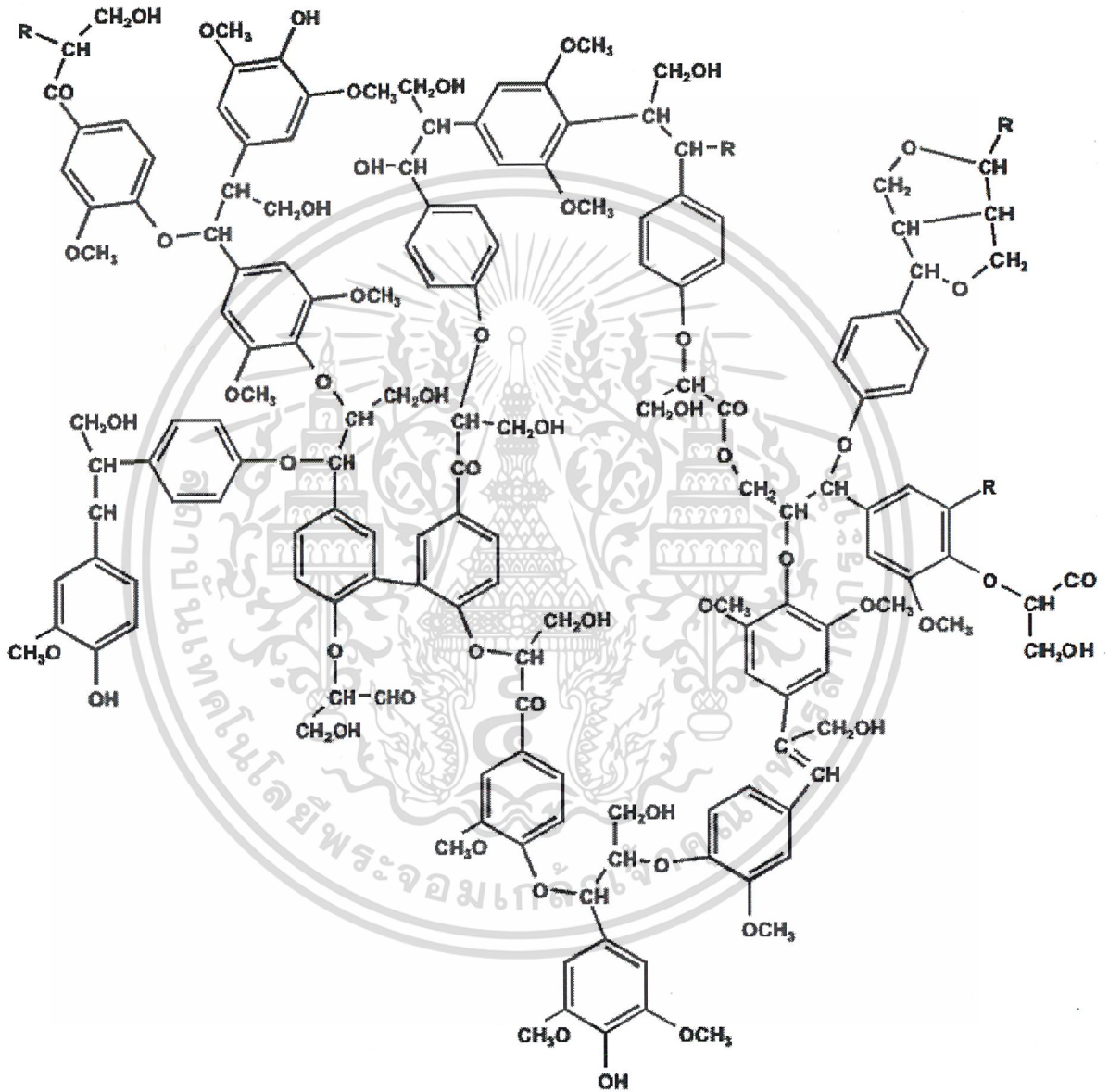
รูปที่ 2.2 โครงสร้างของเซลลูโลส [www.niko.unl.edu. 2003]

2.5.2 **เฮมิเซลลูโลส** เป็นเฮเทอโรโพลิเมอร์ (Heteropolymer) ของน้ำตาลชนิดต่างๆ หลายชนิดผสมกัน เช่น กลูโคส (Glucose) แมนโนส (Mannose) ไคโตส (Xylose) และอาราบินอส (Arabinose) เฉลี่ยประมาณ 200 หน่วย มีหมู่กรด เช่น อะซีติกและยูโรนิคจับอยู่ด้วย เฮมิเซลลูโลสมีโครงสร้างเป็นอสัณฐานสามารถอมน้ำและพองตัวได้ดี



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 รูปที่ 2.3 โครงสร้างของหน่วยย่อยชนิดต่างๆ ที่ประกอบเป็นเฮมิเซลลูโลส [www.rpi.edu. 2003] ไปใช้

2.5.3 ลิกนิน ประกอบด้วย Phenyl propane unit เป็นอสังฐาน จับตัวเป็นโครงร่างสามมิติด้วยพันธะอีเทอร์ และพันธะคาร์บอน-คาร์บอน ลิกนินพบมากในส่วนที่เรียกว่า Middle lamella ทำหน้าที่เป็นกาวเชื่อมต่อกันระหว่างเส้นใย เป็นสารซึ่งไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic) มีสมบัติเป็นเทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic) อุณหภูมิที่อ่อนตัวประมาณ 120-200 องศาเซลเซียสขึ้นอยู่กับความชื้น



รูปที่ 2.4 หน่วยซ้ำของลิกนิน [www.idec-nrw.de. 2003]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.4 สารสกัดได้ (Extractive) หมายถึง ส่วนประกอบในไม้หรือพืชที่สามารถละลายได้ในตัวทำละลายอินทรีย์ (Organic solvent) เช่น อะซีโตน แอลกอฮอล์ เป็นต้น แต่ไม่รวมถึงสารอนินทรีย์ (Inorganic material) ที่อาจละลายปะปนออกมาด้วย

ตารางที่ 2.3 องค์ประกอบทางเคมีของไม้เนื้อแข็ง และไม้เนื้ออ่อน [Eero, 1993]

องค์ประกอบทางเคมี หน่วย : ร้อยละ	ไม้เนื้ออ่อน	ไม้เนื้อแข็ง
เซลลูโลส	45	43
เฮมิเซลลูโลส	20-32	15-35
ลิกนิน	22-37	14-35
สารสกัดได้	3.4	2.0

ชนิดของไม้ที่นำมาทำโครงงานพิเศษนี้ คือ ไม้ทุเรียนและไม้ยางพาราซึ่งจัดเป็นไม้เนื้ออ่อน

ทุเรียน [<http://www.arcbc.org>]

ชื่อพฤกษศาสตร์

*Durio zibethinus*

วงศ์

Bombacaceae

ชื่อพื้นเมือง

Derian, duriat, dian, dulian, dulen, rulen durene, turenno, turian, jatu, kadu (Indonesia), punggai (Malaysia), bengang (Neesia spp., Sarawak)

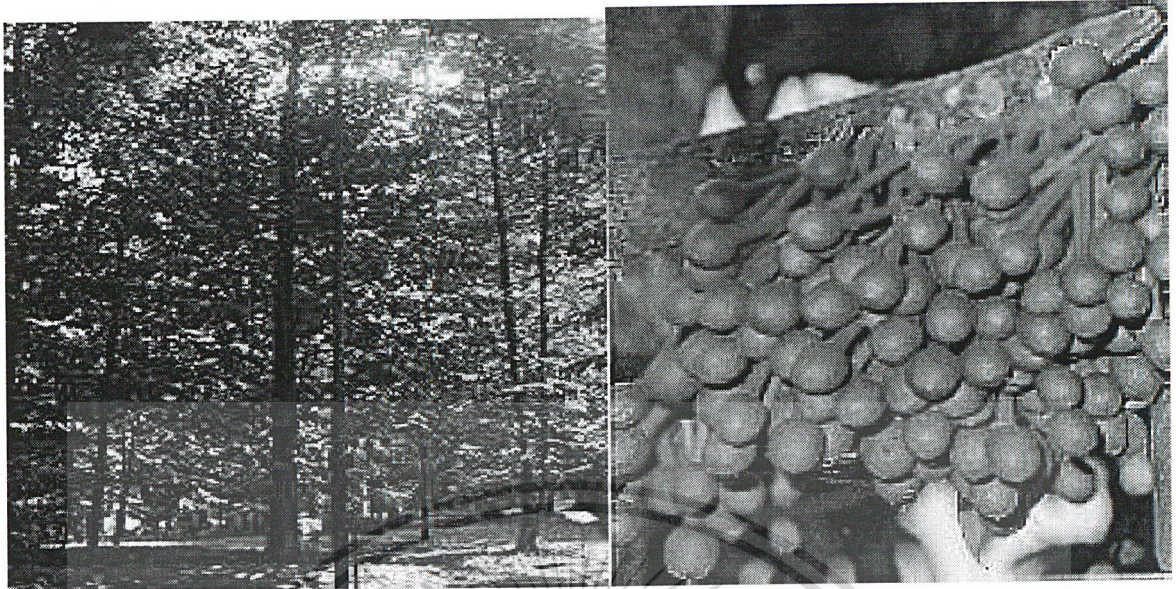
ลักษณะและสถานที่เกิด

เป็นต้นไม้ยืนต้นสูงใหญ่ มีความสูง 25-40 เมตร มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1-2 เมตร พบในป่าเขตร้อนชื้นในประเทศมาเลเซีย ไทย อินโดนีเซีย พม่า และพบบ้างเป็นส่วนน้อยที่ออสเตรเลีย ลักษณะของไม้จะมีสีน้ำตาลแดง

ประโยชน์

ใช้ทำเฟอร์นิเจอร์ และงานฝีมือต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 ต้นทุเรียน[<http://www.arcbc.org>. 2003]

ยางพารา [<http://www.rain-tree.com/rubber.htm>. 2003]

ชื่อพฤกษศาสตร์ *Hevea brasiliensis*

วงศ์ Euphorbiaceae

ชื่อพื้นเมือง Rubbertree, Jebe, Arbre De Para, Parakautschukbaum, Cauchotero de Pará, Seringueira, Seringueira-branca, Árbol del Caucho, Siringa

ลักษณะและสถานที่เกิด เป็นต้นไม้ยืนต้นสูงใหญ่ อายุยืน มีมากมายหลายพันธุ์ ซึ่งให้ปริมาณน้ำยางและองค์ประกอบของน้ำยางแตกต่างกัน ต้นกำเนิดที่ประเทศบราซิล ไทย มาเลเซียและอินโดนีเซีย

ประโยชน์ ใช้ทำเฟอร์นิเจอร์ ใช้ในอุตสาหกรรมยางรถยนต์ และอื่นๆ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่รูปที่ 2.6 ต้นยางพารา [[www.reothai.co.th](http://www.reothai.co.th), 2003] ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.6 การนำพลาสติกกลับมาหมุนเวียนใช้ใหม่ (Plastics recycling) [สมศักดิ์, 2545]

ในปัจจุบันพลาสติกได้กลายเป็นผลิตภัณฑ์สำคัญอย่างหนึ่งที่เข้ามามีบทบาทในชีวิตประจำวันและมีแนวโน้มการใช้งานที่เพิ่มมากขึ้น และนำมาแทนทรัพยากรธรรมชาติได้หลายอย่าง เช่น ไม้ เหล็ก เนื่องจากพลาสติกมีราคาถูก มีน้ำหนักเบาและมีขอบข่ายการใช้งานได้กว้าง เนื่องจากสามารถผลิตพลาสติกให้มีสมบัติต่างๆ ตามที่ต้องการได้ โดยขึ้นกับการเลือกใช้วัตถุดิบ ปฏิกิริยาเคมี กระบวนการผลิต และกระบวนการขึ้นรูปทรงต่างๆ ได้อย่างมากมาย นอกจากนี้ยังสามารถปรับแต่งคุณสมบัติได้ง่าย โดยการเติมสารปรับแต่ง (Additives) เช่น สารปรับสภาพพลาสติก (Plasticizer) สารปรับปรุงคุณภาพ (Modifier) สารตัวเติม (Filler) สารเพิ่มเสถียรภาพ (Stabilizer) สารยับยั้งปฏิกิริยา (Inhibitor) สารหล่อลื่น (Lubricant) ผงสี (Pigment) เป็นต้น

ขยะจัดเป็นปัญหาที่สำคัญในปัจจุบัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งขยะที่มาจากพลาสติกนับวันยังมีจำนวนเพิ่มขึ้น ดังนั้นจึงเกิดแนวทางในการนำพลาสติกกลับมาใช้ใหม่ แต่ปัญหาที่สำคัญก็คือ เทคนิคในการผลิตไม่ว่าจะเป็นการอัดรีด การฉีด การเป่า ต้องการลักษณะเฉพาะของพอลิเมอร์หลอมเหลวต่างกัน พลาสติกที่มีดัชนีการหลอมไหลสูงเหมาะกับการอัดแบบชนิดฉีดในขณะที่พลาสติกที่มีดัชนีการหลอมไหลต่ำเหมาะกับการอัดแบบชนิดเป่า นอกจากนี้ แรงยึดเกาะระหว่างวัฏภาคของพอลิเมอร์ที่ไม่เข้ากันมีผลทำให้สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ไม่ดี

มิลโกรมและลีตเนอร์ (Milgrom and Leidner) [Milgrom, J. 1972, J. Leidner, 1981] ได้ให้คำนิยามของเสียพลาสติก (Waste plastics) ว่าเป็นส่วนของพลาสติกที่อยู่ในพวกขยะ ซึ่งอาจมีการนำกลับมาใช้ใหม่หรือเผาทิ้ง เศษพลาสติก (Scrap plastics) คือ ส่วนของพลาสติกที่เกิดขึ้นมาจากกระบวนการผลิตโดยมีการนำกลับมาใช้ใหม่เป็นผลิตภัณฑ์ในทางการค้าด้วยเทคนิคทางกระบวนการมาตรฐาน พลาสติกรบกวน (Nuisance plastics) เป็นผลผลิตพลอยได้ที่เกิดจากกระบวนการทำพลาสติกที่ไม่สามารถจะนำกลับมาใช้ใหม่ภายใต้เทคนิคและสภาวะทางเศรษฐกิจที่มีอยู่ได้ นอกจากนี้มิลโกรมยังได้คำนิยามของการนำพลาสติกกลับมาใช้ใหม่โดยแบ่งออกเป็น 4 ชนิด คือ

1. การนำกลับมาใช้ใหม่ในขั้นปฐมภูมิ (Primary recycling) คือ การเปลี่ยนเศษพลาสติกให้เป็นผลิตภัณฑ์กลับมาใช้ใหม่โดยกระบวนการมาตรฐาน ซึ่งมีลักษณะและสมบัติใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์เดิมเมื่อเทียบกับพลาสติกบริสุทธิ์ (Virgin plastics)

2. การนำกลับมาใช้ใหม่ขั้นทุติยภูมิ (Secondary recycling) คือ การเปลี่ยนเศษหรือของเสียพลาสติกให้เป็นผลิตภัณฑ์กลับมาใช้ใหม่โดยกระบวนการผลิตวิธีหนึ่งหรือใช้กระบวนการผสมเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์แต่ละลักษณะ และสมบัติที่ได้ต่ำกว่าพลาสติกบริสุทธิ์เจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.การนำกลับมาใช้ใหม่ขั้นตติยภูมิ (Tertiary recycling) คือ เทคโนโลยีทางกระบวนการผลิตสารเคมีและเชื้อเพลิงจากเศษหรือของเสียพลาสติก

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

พลาสติกที่นำกลับมาใช้ใหม่จะมีรหัสบอกไว้โดยทำเป็นรูปสามเหลี่ยมที่มีลูกศรอยู่สามด้าน (Three-side Triangular arrow) เพื่อแยกรหัสที่แตกต่างออกจากกัน จึงมีตัวเลขอยู่ตรงกลางและมีตัวอักษรอยู่ภายใต้เพื่อแสดงเรซินที่ใช้ทำภาชนะนั้น ดังแสดงในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.4 สัญลักษณ์ตามรหัสพลาสติก [www.yahoo.com,"SCI Polymer FAQ"]

รหัส	เรซิน	การนำไปใช้
1	PETE (Polyethylene terephthalate)	ภาชนะสำหรับใส่เครื่องดื่ม
2	HDPE (High density polyethylene)	ภาชนะสำหรับใส่อาหารร้อน เป็นต้น ขวดใส่นม ขวดใส่น้ำยาล้างจาน ของเด็กเล่น และถุงพลาสติก เป็นต้น
3	V (Vinyl)	ภาชนะห่ออาหาร และขวดใส่น้ำมันพืช เป็นต้น
4	LDPE (Low density polyethylene)	ภาชนะห่อที่หัดตัวได้ ถุงพลาสติกและถุงใส่เสื้อผ้า เป็นต้น
5	PP (Polypropylene)	ภาชนะสำหรับใส่เนยเทียมและโยเกิร์ต ถุงใส่ของชำ เสื้อที่ทำด้วยเส้นใย และภาชนะห่ออาหาร เป็นต้น
6	PS (Polystyrene)	เครื่องใช้พลาสติก ไม้แขวนเสื้อ จานโฟมและถ้วย เป็นต้น
7	Others	พอลิเมอริผสม และพอลิเมอร์อื่นๆ เช่น PVC,ABS, PPO/PPE เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

มนตรา พิริยะพิทยา และ ศรัญญา วิโรชติกุล (2546) ได้ศึกษาถึงการนำกลับมาใช้ใหม่ของ พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง โดยนำมาผสมกับขี้เลื่อยของไม้เต็งขนาด 35 เมช 100 เมช และ 200 เมช และปริมาณของสารตัวเติมที่ใช้ ได้แก่ ขี้เลื่อยร้อยละ 15 30 45 ขึ้นงานเตรียมได้โดยการผสมในเครื่อง อัดรีดชนิดเกลียวหนอนคู่ และนำมาขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดขึ้นรูป จากนั้นนำชิ้นงานที่เตรียมได้ไปทดสอบ สมบัติต่างๆ พบว่าเมื่อทำการเติมขี้เลื่อยลงในพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงส่งผลให้ค่ามอดุลัสและ มอดุลัสโค้งงอมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น และพบว่าผลของปริมาณขี้เลื่อยที่มีต่อสมบัติเชิงกลมีมากกว่าผลของ ขนาด นอกจากนี้ปริมาณและขนาดของขี้เลื่อยที่เพิ่มขึ้นมาส่งผลทำให้ค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำมีค่าเพิ่ม สูงขึ้น โดยสูงที่สุดที่สูตรผสมที่มีขี้เลื่อยขนาด 35-99 เมช ปริมาณ 45% จากการศึกษาชั้นฐานวิทยาพบว่า ชิ้นงานที่เตรียมได้มีความไม่เข้ากันระหว่างวัฏภาค ส่วนผลจากการดูดซึมน้ำเป็นระยะเวลาต่างๆ (0-4 สัปดาห์) ทำให้ค่ามอดุลัสเพิ่มสูงขึ้น ความแข็งแรงดึง ความแข็งแรงโค้งงอ มอดุลัสโค้งงอ ความแข็งแรงกระแทก และความแข็งกมีค่าไม่เปลี่ยนแปลง ส่วนเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดครากมีค่า ลดลงเมื่อเวลาในการดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้น

ถาวรทิพย์ เขมะศิริ และคณะ (2545) ได้ศึกษาถึงพอลิเมอร์คอมโพสิตจากพอลิโอลิฟินส์และ เส้นใยหญ้าแฝก โดยใช้พอลิพรอพิลีนและพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงเป็นเมทริกซ์ และมีหญ้าแฝก เป็นส่วนเสริมแรง โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 2 ตอน คือ ตอนที่ 1 เป็นการใช้ผงหญ้าแฝกที่เตรียมด้วยวิธี เชิงกลเป็นสารตัวเติมในพอลิเมอร์เมทริกซ์ ตอนที่ 2 เป็นการใช้เส้นใยหญ้าแฝกที่เตรียมด้วยวิธีทาง ความร้อนเชิงกลเป็นสารตัวเติมในพอลิเมอร์เมทริกซ์ โดยนำมาผสมกันในเรื่องผลผสมความเร็วสูงและผสม แบบหลอมเหลวด้วยเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว แล้วขึ้นรูปด้วยเทคนิคการอัดขึ้นรูป นำชิ้นงานไป ทดสอบสมบัติเชิงกล สมบัติทางกายภาพ สมบัติทางความร้อน และชั้นฐานวิทยา รวมทั้งทดสอบความ ทนทานต่อการเข้าทำลายของปลวก โดยได้ทำการศึกษาของผลของหญ้าแฝก 0 30 40 50 60 และ 70 phr ที่มีขนาด 20-50 เมช โดยเติมสารช่วยผสม (PP-g-MA และ PE-g-MA) ในปริมาณร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก หญ้าแฝก รวมทั้งผลของชนิดเมทริกซ์และการนำกลับมาใช้ใหม่พบว่าตอนที่ 1 สมบัติเชิงกลไม่แตกต่างกัน มากเนื่องจากผงหญ้าแฝกเป็นสารตัวเติมที่ไม่เสริมแรง และเมื่อปริมาณผงหญ้าแฝกเพิ่มมากขึ้นไม่ส่งผล ต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางความร้อนแต่การดูดซึมน้ำมีค่าเพิ่มขึ้นและอัตราการเข้าทำลายของปลวกอยู่ใน ช่วงร้อยละ 1-3 ตอนที่ 2 พบว่าเพิ่มปริมาณเส้นใยหญ้าแฝกทำให้สมบัติเชิงกลดีขึ้น เช่น ความแข็งแรง ดึง ความแข็งแรงกระแทก มอดุลัส ความแข็งแรงโค้งงอ มอดุลัสโค้งงอ แต่ร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาด ลดลง โดยปริมาณเส้นใยหญ้าแฝกที่ทำให้สมบัติเชิงกลดีที่สุดอยู่ในช่วง 40-60 phr แต่ถ้าปริมาณเส้นใย หญ้าแฝกมากเกินไปจะทำให้สมบัติเชิงกลลดลงในขณะที่สมบัติทางความร้อนและค่าการดูดซึมน้ำให้ผล เช่นเดียวกับตอนที่ 1

**จิรพรรณ หน่ยคอน และ มาริสา ตันติลักษณ์ (2541)** ได้ศึกษาถึงการนำเส้นใยอ้อยมาใช้เป็นสารตัวเติมในพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงในอัตราส่วน 1:1 โดยพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงได้มาจากขวดน้ำพลาสติก โดยใช้วิธีฉายรังสีแกมมาจากโคบอลต์ 60 เพื่อปรับปรุงสมบัติการยึดติดในพอลิเมอร์ผสมและใช้มัดติ่งกึ่งชั้นนำมอโนเมอร์ช่วยในการต่อกิ่ง แล้วทำการผสมกับพอลิเมอร์ผสมในเครื่องอัดรีดชนิดเกลียวหนอนเดี่ยว จากนั้นนำมาขึ้นรูปด้วยเครื่องฉีดขึ้นรูปพลาสติก และนำไปศึกษาสัณฐานวิทยา สมบัติเชิงกล สมบัติทางความร้อนและ สมบัติการดูดซับน้ำและพบว่าเมื่อฉายรังสีในปริมาณ 10 กิโลเกรย์มีแนวโน้มให้สมบัติในด้านต่างๆ ดีที่สุด และเมื่อทำการเปรียบเทียบคอมโพสิตที่ใช้เส้นใยเก่าและเส้นใยใหม่พบว่าคอมโพสิตที่ใช้เส้นใยใหม่ทำให้สมบัติเชิงกลที่ดีกว่าคอมโพสิตที่ทำจากเส้นใยเก่า

**Abu-Sharkh, B.F และ Hamid, H (2004)** ได้ทำการศึกษาสมบัติเชิงกล และความคงทนต่อสภาพอากาศของวัสดุคอมโพสิตระหว่างเส้นใยจากต้นปาล์มกับพอลิพรอพิลีนโดยใช้มาลิกแอนไฮดราไรต์เป็นสารช่วยผสม และใช้ Tinuvin เป็นสารเพิ่มเสถียรภาพทางความร้อน การผสมทำได้โดยเครื่องอัดรีดชนิดเกลียวหนอนเดี่ยว โดยผสมเป็น 3 สูตร สูตรที่ 1 ใช้พอลิพรอพิลีนกับสารเพิ่มเสถียรภาพทางความร้อน สูตรที่ 2 มีการเติมเส้นใยจากต้นปาล์มร้อยละ 29 โดยน้ำหนัก และสูตรที่ 3 มีการเติมสารช่วยผสมลงไปร้อยละ 6 โดยน้ำหนักและขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดรีดชนิดฉีดแล้วนำไปทดสอบสมบัติเชิงกลและความคงทนต่อสภาพอากาศพบว่าสูตรที่ 2 ที่มีการเติมเส้นใยจากต้นปาล์มจะมีความคงทนกว่าสูตรที่ 1 ที่ไม่มีการเติมเส้นใยและสูตรที่ 3 ที่มีการเติมสารช่วยผสมแต่การเติมสารช่วยผสมจะทำให้เพิ่มการยึดเกาะที่ผิวหน้าระหว่างเส้นใยจากต้นปาล์มกับพอลิพรอพิลีนทำให้สมบัติเชิงกลดีขึ้น

**Rodriquez,C.A. และคณะ (2003)** ได้ศึกษาถึงการนำเส้นใยเซลลูโลสมาใช้เป็นส่วนเสริมแรงในเทอร์โมพลาสติก โดยเส้นใยเซลลูโลสมีอยู่ในเส้นใยธรรมชาติที่ได้จาก สับปะรด กุหลาบ เปลือกเมล็ดกาแฟ และคาร์เนชั่น การผสมทำได้โดยใช้ Brabender Plasticorder โดยใช้ขนาดของสารตัวเติม ได้แก่ น้อยกว่า 20 เมช 20-30 เมช 30-40 เมช และปริมาณของสารตัวเติม เท่ากับร้อยละ 10 20 30 และ 40 โดยน้ำหนัก แล้วนำไปทดสอบสมบัติเชิงกล พบว่า เมื่อปริมาณของสารตัวเติมเพิ่มมากขึ้น ทำให้สมบัติเชิงกลดีขึ้น โดยขนาดของอนุภาคมีผลต่อสมบัติเชิงกลน้อยมาก และพบว่าเมื่อใช้มาลิกแอนไฮดราไรต์ เป็นสารช่วยผสม และใช้สารจำพวกไททานเตเป็นสารคู่ควบทำให้สมบัติเชิงกลของวัสดุคอมโพสิตดีขึ้นและยังเป็นแนวโน้มเดียวกัน เนื่องจากการใช้สารคู่ควบเป็นการเพิ่มสมบัติการยึดติดที่ผิวระหว่างพอลิเมอร์กับส่วนเสริมแรงให้ดีขึ้น และช่วยให้การดูดซับน้ำของวัสดุคอมโพสิตลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Colom,X. และคณะ (2003) ได้ทำการศึกษาถึงสมบัติเชิงกลของวัสดุคอมโพสิต ระหว่าง HDPE กับเส้นใยธรรมชาติที่ได้จากไม้เมื่อใช้สารคู่ควบต่างชนิดกัน คือ มาลีเอตเอทิลีน และ ไชเลน โดยทำการเปรียบเทียบกับสารคู่ควบที่ต่างชนิดกันและไม่ใช้สารคู่ควบด้วย โดยใช้เครื่อง Brabender เป็นเครื่องมือที่มีปริมาณเส้นใยธรรมชาติต่างกันร้อยละ 10 20 30 และ 40 โดยน้ำหนัก ใช้ขนาดของเส้นใยเท่ากับ 60 เมช พบว่า สมบัติเชิงกลของวัสดุคอมโพสิตจะมีแนวโน้มดีขึ้นเมื่อปริมาณของเส้นใยเพิ่มขึ้น และเมื่อมีการเติมสารคู่ควบให้สมบัติเชิงกลดีกว่าในกรณีที่ไม่มีการเติมสารคู่ควบ และพบว่าสารคู่ควบชนิดไชเลนจะให้ค่าความแข็งแรงดึงเพิ่มขึ้น และสมบัติเชิงกลอื่นๆ เพิ่มขึ้นด้วย เนื่องจาก HDPE สามารถเกิดปฏิกิริยากับพันธะคู่ของไชเลนได้ทำให้การยึดเกาะระหว่าง HDPE กับเส้นใยธรรมชาติดีขึ้นแต่การใช้สารคู่ควบชนิดมาลีเอตเอทิลีนทำให้ค่าความแข็งแรงดึงลดลง แต่สมบัติเชิงกลอื่นๆ เพิ่มขึ้น

Bambure,P. และคณะ (2003) ได้ทำการศึกษาสมบัติเชิงกลของวัสดุคอมโพสิตที่ใช้เส้นใยธรรมชาติต่างชนิดกัน คือ เส้นใยจากต้นป่านศรนารายณ์ เส้นใยจากต้นปอชวา เส้นใยจากต้นปอกระเจา เส้นใยจากต้นกล้วย และเส้นใยจากกาบมะพร้าว โดยใช้พอลิพอลิเอทิลีนเป็นเมทริกซ์ โดยใช้ปริมาณของส่วนเสริมแรง เท่ากับร้อยละ 30 40 และ 50 โดยน้ำหนัก พบว่าการเพิ่มปริมาณของส่วนเสริมแรงทำให้สมบัติเชิงกลดีขึ้น เส้นใยกล้วยให้ความแข็งแรงดึงและคามอดุลล์มากที่สุด เส้นใยที่ได้จากเส้นใยของกาบมะพร้าวให้ค่าของความแข็งแรงกระแทกมากที่สุดแต่ให้ค่าความแข็งแรงดึงและคามอดุลล์ต่ำที่สุด สาเหตุที่เป็นเช่นนี้เนื่องมาจากองค์ประกอบทางเคมีที่ต่างกันของเส้นใยธรรมชาติแต่ละชนิดแตกต่างกัน

Li, B. และคณะ (2003) งานวิจัยนี้เกี่ยวข้องกับสมบัติเชิงกล การหน่วงไฟ และการเสื่อมสลาย (Degradation) ของคอมโพสิตพอลิเอทิลีนเชิงเส้นความหนาแน่นต่ำ-เส้นใยไม้ผสมขนาด 150 ไมครอน คอมโพสิตพอลิเอทิลีนเชิงเส้นความหนาแน่นต่ำ-เส้นใยไม้ถูกเตรียมโดยเครื่องผสมชนิดสองลูกกลิ้ง โดยใช้มาลีเอตพอลิเอทิลีนปรับปรุงสมบัติเชิงกล แอมโมเนียมพอลิฟอสเฟตเป็นสารหน่วงไฟ ผลการทดลองพบว่ามาลีเอตพอลิเอทิลีนช่วยเพิ่มค่าความแข็งแรงดึงและค่าความแข็งแรงกระแทก ในขณะที่แอมโมเนียมพอลิฟอสเฟตมีผลต่อค่าความแข็งแรงกระแทกแต่ไม่มีผลกับค่าความแข็งแรงดึง และพบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณแอมโมเนียม-พอลิฟอสเฟตมีผลทำให้ประสิทธิภาพในการหน่วงไฟเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าเส้นใยไม้ไม่ทำให้การเสื่อมสลายเกิดได้เร็วขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Coutinho, F.M.B. และคณะ (2003) ศึกษาคอมโพสิตพอลิพรอพิลีน-ซีลลือจากไม้ 4 ชนิด ได้แก่ อบเชย เซอร์รี่ วอลนัท มะฮอกกานี ที่เคลือบด้วยมาลีเอตพอลิพรอพิลีน จากนั้นจึงศึกษาความแข็งแรงดึง การแตกหักของคอมโพสิต และผลของปริมาณมาลีเอตพอลิพรอพิลีน เทคนิค SEM ถูกนำมาใช้ในการศึกษาพื้นผิวที่แตกหักและการผสมเข้ากันของเส้นใยและเมตริกซ์ พบว่าการเพิ่มปริมาณมาลีเอตพอลิพรอพิลีนทำให้การเข้ากันของพอลิพรอพิลีนและเส้นใยดีขึ้น และค่าความแข็งแรงการดึงยึดเพิ่มขึ้น โดยปริมาณของมาลีเอตพอลิพรอพิลีนที่ทำให้สมบัติการดึงยึดดี คือ ร้อยละ 20-40 ต่อน้ำหนักของเส้นใย

Lin, Q. และคณะ (2002) ได้ทำการศึกษาสมบัติการดูดซับน้ำและสมบัติเชิงกลของคอมโพสิตพอลิพรอพิลีน-ไม้จากซีลลือผสม ในสภาวะที่คอมโพสิตจุ่มอยู่ในน้ำที่มีอุณหภูมิ 23 60 และ 100 องศาเซลเซียส พบว่าสมบัติการดูดซับน้ำขึ้นกับปริมาณของเมตริกซ์ และขนาดของสารตัวเติม โดยสมบัติการดูดซับน้ำมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น สมบัติเชิงกลมีแนวโน้มเป็นไปในทำนองเดียวกัน สำหรับค่าความแข็งแรงกระแทก และค่ามอดุลัสเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น และหลังจากมีการดูดซับน้ำเกิดขึ้นแล้ว ส่งผลให้ค่าความแข็งแรงดึง ความแข็งแรงโค้งงอ มอดุลัสโค้งงอ และความแข็งแรงกระแทกเพิ่มขึ้น แต่เมื่อจุ่มน้ำที่อุณหภูมิสูงขึ้นส่งผลให้ค่าความแข็งแรงดึง ความแข็งแรงโค้งงอ มอดุลัสโค้งงอ และความแข็งแรงกระแทกมีแนวโน้มลดลง

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) ทำให้ได้คอมโพสิตที่มีการกระจายตัวของไม้และการเปียก (Wetting) ของไม้ดีกว่า และทำให้มีสมบัติเชิงกลดีกว่าคอมโพสิตที่ขึ้นรูปโดยใช้เทคนิคการผสมเชิงกลหรือขึ้นรูปโดยใช้เทคนิคการผสมโดยใช้เกลียวหนอนคู่แต่ใช้ HDPE ที่มีดัชนีการหลอมไหลต่ำ (Low melt flow index, LMFI) 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 สามารถผ่านเข้าไปใน

คุณสมบัติเชิงกลของคอมโพสิต โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเรื่องความแข็งแรงกระแทก (Impact strength)

Coutinho, F.M.B. และคณะ (2000) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับพฤติกรรมการแตกหักของคอมโพสิตของพอลิพรอพิลีนที่มีการเติมซีลีเนียมจากไม้เนื้อแข็งเพื่อเป็นวัสดุเสริมแรง โดยทำการเตรียมคอมโพสิตที่ประกอบด้วยซีลีเนียมในปริมาณ 20% โดยน้ำหนัก โดยใช้มาลีเอตพอลิพรอพิลีนเข้มข้น 22.4% โดยน้ำหนักเคลือบผิวของเส้นใยนำพอลิพรอพิลีนที่ไม่มีการเติมซีลีเนียมและคอมโพสิตที่ประกอบด้วยซีลีเนียมในปริมาณ 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 ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3

### การดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยนี้เกี่ยวข้องกับการเตรียมวัสดุผสมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงและซีลื้อย/ซีฝุ่นจากไม้ทุเรียนและไม้ยางพารา โดยแบ่งการดำเนินงานวิจัยออกเป็น 2 ตอน คือ

ตอนที่ 1 การศึกษาถึงผลของขนาดและปริมาณของซีลื้อย/ซีฝุ่นที่มีต่อสมบัติต่างๆของวัสดุผสม

ตอนที่ 2 การศึกษาการนำวัสดุผสมที่เตรียมได้กลับมาใช้ใหม่

#### 3.1 สารเคมีและวัสดุที่ใช้ในงานวิจัย

1. เม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (High-Density Polyethylene, HDPE): THAI-ZEX 1600J เกรดฉีด จากบริษัท บางกอกพอลิเอทิลีน จำกัด (มหาชน) ซึ่งมีสมบัติดังนี้

ตารางที่ 3.1 สมบัติของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง

สมบัติ	หน่วย	วิธีทดสอบ	ค่าที่ได้จากการทดสอบ
อัตราการไหล Melt Flow Rate @ 2.16 kg 190 °C	g/10 min	ASTM D 1238	12
ความหนาแน่น (Density @ 23 °C)	g/cm <sup>3</sup>	ASTM D 1505	0.958
ความต้านทานแรงดึงที่จุดคราก (Tensile Strength @ yield)	kg/cm <sup>2</sup>	ASTM D 638	280
ความต้านทานแรงดึงที่จุดขาด (Tensile Strength @ break)	kg/cm <sup>2</sup>	ASTM D 638	200
การดึงยืด ณ จุดขาด (Elongation @ break)	%	ASTM D 638	200
ความสามารถในการทรงรูป (Stiffness (Olsen))	kg/cm <sup>2</sup>	ASTM D 747	8000
ความต้านทานแรงกระแทก Izod Impact Strength(with Notch)@3ft-idf	kg.cm/cm	ASTM D 256	3
จุดอ่อนตัวไวแคต Vicat Softening Point @ 10N,50 °C /hour	°C	ASTM D 1525	120
จุดหลอมเหลว (Melting Point)	°C	ASTM D 3418	127

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ไม่ควรเผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ซึ่เส็ยจากไม้ทุเรียน
3. ซึ่ฝุ่นจากไม้ทุเรียน
4. ซึ่เส็ยจากไม้ยางพารา
5. ซึ่ฝุ่นจากไม้ยางพารา

### 3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย

1. เครื่องอัดรีดแบบเกลียวทวนคู่ (Twin-screw Extruder): OHG DUISBURG. รุ่น PL200
2. เครื่องขึ้นรูปแบบฉีด (Injection Moulding Machine): Lab Tech Engineering Company LTD. รุ่น TTI220/80 HITEC
3. เครื่องบด (Grinder): Bosco Engineering. รุ่น A600
4. เครื่องบดละเอียด: F.Kurt Retsch
5. เครื่องร่อนแยกขนาด: F.Kurt Retsch.
6. ตะแกรงร่อนมาตรฐานขนาด 20 เมช 50 เมช 100 เมช และ 230 เมช
7. เครื่องทดสอบความแข็งแรงดึง (Universal Testing Machine): LLYOD Instrument. รุ่น LR 30 K
8. เครื่องทดสอบความแข็งแรงกระแทกแบบไอซอด (Izod Impact Tester): Yasuda Seiki Seisakusho LTD. รุ่น 258-PC
9. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM): 1400VP LEO Electron Microscopy LTD.
10. เกรียง
11. ถาดอลูมิเนียม
12. เครื่องชั่ง: Denver Instrument Company.
13. ถูมือกันความร้อน
14. เวอร์เนีย
15. ไมโครมิเตอร์ (Micrometer)
16. เครื่องวัดดัชนีการหลอมไหล (Melt flow indexer): CEAST. รุ่น 6841.000
17. เครื่องอินฟราเรดสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (Fourier transform infrared pectrophotometer, FTIR) Perkin Elmer รุ่น FTIR Spedtrum GX

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3 วิธีการทดลอง

#### 3.3.1 การเตรียมชี้เลี้ยงและชี้ฝุ่นจากไม้ทุเรียนและไม้ยางพารา

- นำชี้เลี้ยงไม้ทุเรียนไปแยกขนาดโดยใช้เครื่องร่อนแยกขนาด โดยขนาดอนุภาคที่ใช้ เท่ากับ 20-50 เมช
- นำชี้เลี้ยงไม้ทุเรียนไปบดโดยใช้เครื่องบดละเอียด จากนั้นนำไปแยกขนาดโดยใช้เครื่องร่อนแยกขนาด โดยขนาดอนุภาคที่ใช้เท่ากับ 100-230 เมช
- นำชี้เลี้ยงไม้ยางพาราไปแยกขนาดโดยใช้เครื่องร่อนแยกขนาดโดยขนาดอนุภาคที่ใช้เท่ากับ 20-50 เมช
- นำชี้ฝุ่นไม้ยางพาราไปแยกขนาดโดยใช้ตะแกรงร่อนมาตรฐานขนาดแยกขนาด โดยขนาดอนุภาคที่ใช้ในการทดลอง เท่ากับ 100-230 เมช

#### 3.3.2 ขั้นตอนการผสม

- ทำการผสมส่วนผสมต่างๆ ดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 ส่วนผสมต่างๆ ในการเตรียมวัสดุผสม

สูตร	HDPE (กรัม)	ชี้เลี้ยง (กรัม)		ชี้ฝุ่น (กรัม)	
		ไม้ยางพารา (20-50 เมช)	ไม้ทุเรียน (20-50 เมช)	ไม้ยางพารา (100-230 เมช)	ไม้ทุเรียน (100-230 เมช)
1	100	-	-	-	-
2	90	10	-	-	-
3	80	20	-	-	-
4	70	30	-	-	-
5	60	40	-	-	-
6	90	-	10	-	-
7	80	-	20	-	-
8	70	-	30	-	-
9	60	-	40	-	-
10	90	-	-	10	-
11	80	-	-	20	-
12	70	-	-	30	-
13	60	-	-	40	-
14	90	-	-	-	10
15	80	-	-	-	20
16	70	-	-	-	30
17	60	-	-	-	40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.ผสมสูตรต่างๆ ด้วยเครื่องอัดรีดชนิดเกลียวทวนคู่ (Twin-screw Extruder) โดยใช้ อุณหภูมิจากส่วนป้อนสาร (Feed zone) ไปยังส่วนหัวตาย (Die zone) เท่ากับ 130 140 150 และ 160 °C ตามลำดับ และใช้ความเร็วรอบเท่ากับ 40 รอบต่อนาที

3.นำวัสดุที่ผสมแล้วไปบดด้วยเครื่องบด

4.นำวัสดุที่บดแล้วไปขึ้นรูปด้วยเครื่องขึ้นรูปแบบฉีด (Injection Molding) โดยใช้อุณหภูมิจาก ส่วนป้อนสาร (Feed zone) ไปยังส่วนหัวตาย (Die zone) เท่ากับ 140 150 160 และ 170 °C ตามลำดับ ความดันในการฉีด เท่ากับ 70 หน่วย เวลาในการฉีด เท่ากับ 4 วินาที เวลาในการหล่อเย็น เท่ากับ 40 วินาที

5. นำชิ้นงานที่ได้มาทดสอบสมบัติต่างๆ ดังนี้ สมบัติเชิงกล การดูดซึมน้ำ สัณฐานวิทยาและ สมบัติทางความร้อน

6. นำผลการทดสอบสมบัติต่างๆ ที่ได้มาพิจารณาว่าสูตรใดมีสมบัติต่างๆที่ดี จากนั้นศึกษาถึง การนำกลับมาใช้ใหม่โดยการบดนำมาขึ้นรูปตามข้อ 4. เมื่อได้ชิ้นงานแล้วจึงนำมาทดสอบสมบัติต่างๆ ตามข้อ 5. รวมถึงการทดลองเพื่อหาค่าดัชนีการหลอมไหล

### 3.4 วิธีการทดสอบ

ทดสอบสมบัติต่างๆ ของวัสดุที่เตรียมได้ ตามมาตรฐานดังตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 มาตรฐานที่ใช้ทดสอบวัสดุผสม

สมบัติ	มาตรฐานที่ใช้ทดสอบ	หน่วยที่รายงาน
ความแข็งแรงดึง ณ จุดขาด (Tensile strength at yield)	ASTM D 638	MPa
มอดุลัส (Modulus)	ASTM D 638	MPa
เปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาด (% Elongation at break at yield)	ASTM D 638	%
ความแข็งแรงกระแทก (Impact strength)	ASTM D 256	kJ/m <sup>2</sup>
ความแข็งแรงโค้งงอ (Flexural strength)	ASTM D 790	MPa
มอดุลัสโค้งงอ (Flexural modulus)	ASTM D 790	MPa
ดัชนีการหลอมไหล (Melt flow index)	ASTM D 1238	g/10 min

เอกสารนี้เป็นทรัพย์สินของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี การนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตให้ถือว่าผิดกฎหมาย  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.1 สมบัติเชิงกล

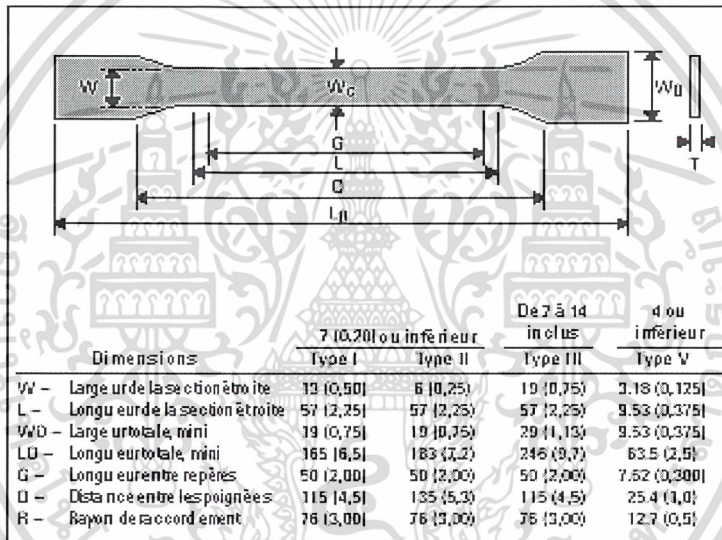
3.4.1.1 ความแข็งแรงดึง มอดุลัส และเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาด

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

Test speed : 5 mm/min

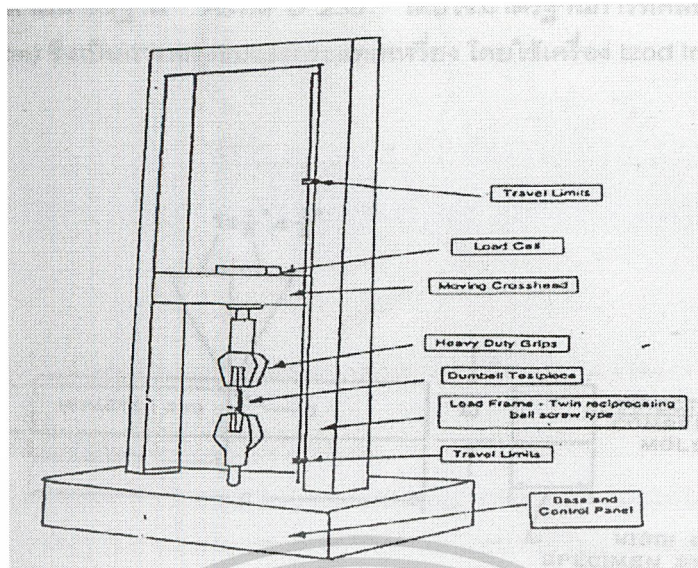
Gauge length : 25 mm

Load cell : 5 kN



รูปที่ 3.1 ตัวอย่างชิ้นงานทดสอบแรงดึง [ASTM D 638, 1992]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 ส่วนประกอบของเครื่องมือทดสอบแรงดึง [Hunt และ James, 1993]

ค่าความแข็งแรงดึง ค่ามอดุลัส และค่าเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาด สามารถคำนวณหาได้จากสมการ ดังต่อไปนี้

$$\text{ความแข็งแรงดึง (Tensile strength)} = F / A$$

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

$$\text{เปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาด (\% Elongation at break)} = [(L - L_0) / L_0] * 100$$

เมื่อ F คือ แรงที่ใช้ในการดึงยืดชิ้นงานตัวอย่าง (N)

A คือ พื้นที่หน้าตัดของชิ้นงานตัวอย่าง ( $\text{mm}^2$ )

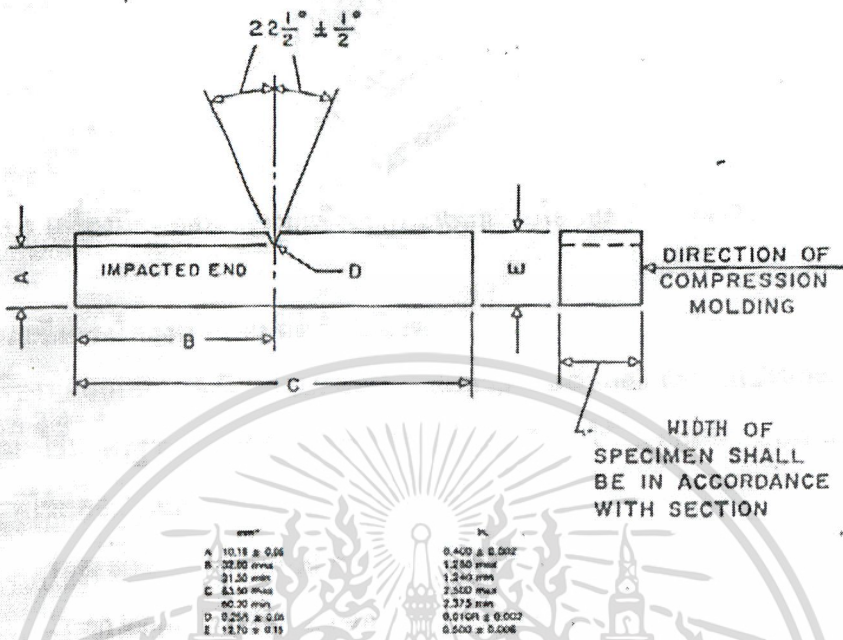
L คือ ระยะห่างระหว่างจุดสองจุดหลังทำการดึงชิ้นงานตัวอย่าง (mm)

$L_0$  คือ ระยะที่ชิ้นงานตัวอย่างแคบที่สุดและมีพื้นที่หน้าตัดขนานกัน (mm)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.1.2 ความแข็งแรงกระแทก (Impact strength)

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



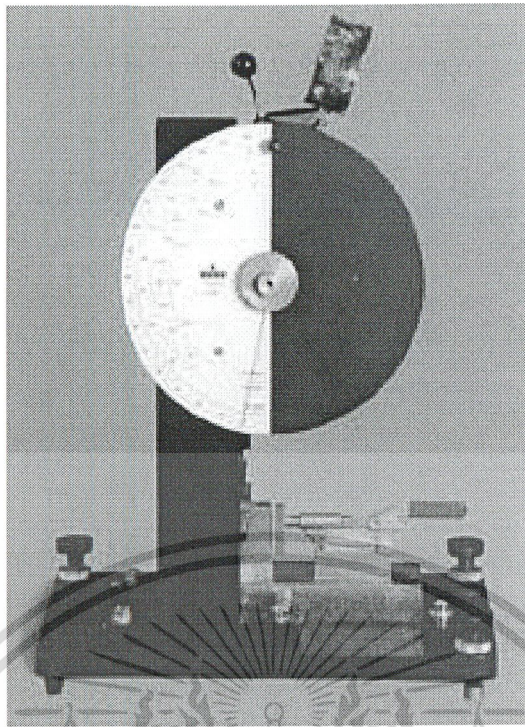
รูปที่ 3.3 ขนาดและลักษณะของตัวอย่างทดสอบการกระแทกแบบไอซอด [ASTM D 256, 1992]

ค่าความแข็งแรงกระแทกของตัวอย่างที่มีรอยบาก (Notched samples) สามารถคำนวณได้จากสมการ ดังต่อไปนี้

$$W_k = W / A_k$$

- เมื่อ  $W_k$  คือ ค่าความแข็งแรงกระแทกของตัวอย่างที่มีรอยบาก ( $\text{kJ/m}^2$ )
- $W$  คือ ค่าพลังงานกระแทกที่วัดได้ ( $\text{kJ}$ )
- $A_k$  คือ พื้นที่หน้าตัดของตัวอย่างที่มีรอยบากแล้ว ( $\text{m}^2$ )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 เครื่องมือทดสอบความแข็งแรงกระแทกแบบไอซอด [ASTM D 256, 1992]

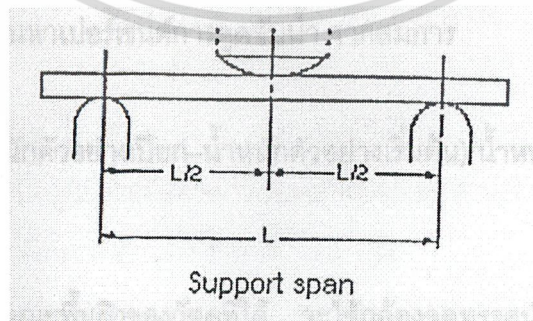
### 3.4.1.3 ความแข็งแรงโค้งงอ และมอดุลัสโค้งงอ

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

Test speed : 5 mm/min

Span length : 40 mm

Load cell : 5 kN



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ **รูปที่ 3.5** การทดสอบสมบัติความโค้งงอ [ASTM D 790, 1992] ซึ่งประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณหาค่าความแข็งแรงโค้งงอและมอดุลัสโค้งงอ สามารถคำนวณได้จากสูตรดังต่อไปนี้

$$\text{ความแข็งแรงโค้งงอ } (\sigma_f) = (1.5 FL) / (bh^3)$$

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

เมื่อ F คือ แรงกด (N)

L คือ Span length (mm)

b คือ ความกว้างของตัวอย่าง (mm)

h คือ ความหนาของตัวอย่าง (mm)

$\Delta F$  คือ ผลต่างของแรงดึง (N)

$\Delta d$  คือ ระยะกดโค้งงอ (mm)

### 3.4.3 สันฐานวิทยา

ในการศึกษาลักษณะพื้นผิวของวัสดุที่ได้ ทำได้โดยการใช้อุปกรณ์จุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) ในโครงการพิเศษนี้ได้ทำการการศึกษาลักษณะพื้นผิวของวัสดุที่ได้อย่างละเอียดที่อุณหภูมิต่ำ (Cryogenic fracture) เพื่อดูลักษณะการกระจายตัวของซีลี้อยและซีฟู่นในพอลิเมอร์ โดยในการเตรียมตัวอย่างนั้น นำชิ้นงานตัวอย่างมาแช่ไนโตรเจนเหลวและทำการหักทันที จากนั้นนำมาเคลือบด้วยทอง และนำไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิค Scanning Electron Microscopy (SEM) ต่อไป

### 3.4.4 อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี

การทดสอบทำได้โดยนำสารตัวอย่างที่ผ่านการผสมด้วยเครื่องอัดรีดเกลียวหนอนคู่แล้ววัดด้วยเครื่องบดหยาบ จากนั้นบดละเอียดต่อไปด้วยเครื่องบดความเร็วสูง (14000 รอบต่อนาที) ทำให้ได้สารที่มีขนาดอนุภาคเล็กผ่านตะแกรงร่อนขนาด 0.025 มิลลิเมตร จากนั้นนำตัวอย่างไปอัดกับKBr แล้วนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องอินฟราเรดสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ในช่วงเลขคลื่น  $4000-400 \text{ cm}^{-1}$

### 3.4.5 ดัชนีการหลอมไหล

เอกสารนี้เป็นลิขสิทธิ์ของสถาบันวิจัยและพัฒนาเพื่อการศึกษาและพัฒนาเทคโนโลยีและนวัตกรรม  
ไม่ใช่ออร์ดิเนต หนังสือฉบับนี้ใช้สำหรับอ้างอิงและต้องอ้างถึงเจ้าของผลงานและผู้มีการแก้ไข  
แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย ดัชนีการหลอมไหลที่ได้มีหน่วยเป็นกรัมต่อ 10 นาที

## บทที่ 4

### ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการนำซีลี้อยจากไม้ทุเรียนและไม้ยางพารามาใช้เป็นสารตัวเติมในพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงโดยทำการศึกษาสมบัติต่างๆ ได้แก่ สมบัติเชิงกล (Mechanical properties) อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (Infrared spectroscopy) และสัณฐานวิทยา (Morphology) ซึ่งจะพิจารณาถึงผลของปริมาณ (ร้อยละโดยน้ำหนัก) และขนาดของซีลี้อยที่มีต่อสมบัติต่างๆ ของวัสดุผสมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงและซีลี้อย สำหรับซีลี้อยที่ใช้ในงานวิจัยนี้มีขนาด 20-50 เมช และ 100-230 เมช โดยใช้ปริมาณซีลี้อยร้อยละ 10 20 30 40 โดยน้ำหนัก นอกจากนี้ยังทำการศึกษาสมบัติต่างๆ ของการนำกลับมาใช้ใหม่ของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงบริสุทธิ์ และการนำกลับมาใช้ใหม่ของวัสดุผสมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงและซีลี้อย ผลการทดลองที่ได้จากการศึกษาสมบัติต่างๆ ของการนำซีลี้อยมาใช้เป็นสารตัวเติมในพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงมีดังต่อไปนี้

**ตอนที่ 1** ผลของปริมาณและขนาดของซีลี้อยที่มีต่อสมบัติต่างๆ ของวัสดุผสมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงและซีลี้อย

#### 4.1 สมบัติเชิงกล

สมบัติเชิงกลที่ทำการศึกษา ได้แก่ สมบัติทางแรงดึง (Tensile properties) สมบัติความโค้งงอ (Flexural properties) และ ความแข็งแรงกระแทก (Impact properties)

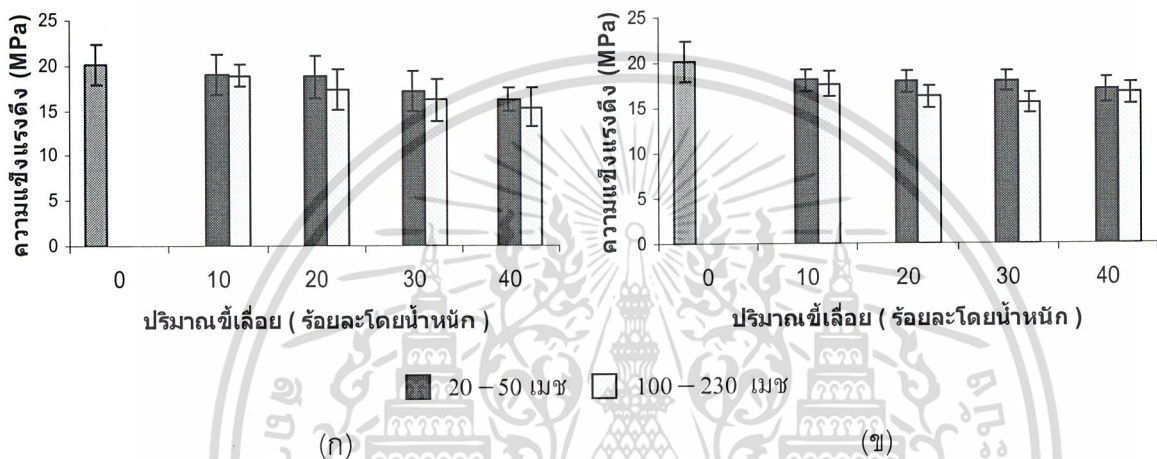
##### 4.1.1 สมบัติทางแรงดึง

ผลจากการทดสอบสมบัติทางแรงดึงที่สำคัญ ได้แก่ ความแข็งแรงดึง ร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาด และมอดุลัสของวัสดุผสมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงกับซีลี้อยจากไม้ทุเรียนและไม้ยางพารา ที่ปริมาณซีลี้อยต่างๆ กันแสดงได้ดังรูปที่ 4.1 – 4.3 ตามลำดับ

จากรูปที่ 4.1 (ก) และ (ข) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงดึงของวัสดุผสมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงกับซีลี้อยไม้ทุเรียนและไม้ยางพาราที่ปริมาณซีลี้อย (ร้อยละโดยน้ำหนัก) ต่างๆ กัน พบว่า ความแข็งแรงดึงมีค่าลดลงเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงบริสุทธิ์ เนื่องจากพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงเป็นสารที่ไม่มีขั้วและไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic) แต่ซีลี้อยมีองค์ประกอบหลักเป็นเซลลูโลสซึ่งมีหมู่ไฮดรอกซิลอยู่ภายในโครงสร้าง ซึ่งมีความมีขั้วและมีสมบัติชอบน้ำ (Hydrophilic) จึงทำให้ทั้งสองวัสดุ มีความเข้ากันได้ต่ำ หรือมีความสามารถในการยึดเกาะที่บริเวณรอยต่อระหว่างพื้นผิว

ต่ำ และเมื่อปริมาณซีลี้อยเพิ่มขึ้น จึงเป็นการเพิ่มจุดบกพร่องของชิ้นงานมากขึ้นทำให้ความสามารถในการรับแรงของวัสดุผสมมีแนวโน้มลดลง

เมื่อพิจารณาถึงขนาดของซีลี้อยที่ได้จากไม้ทุเรียนและไม้ยางพารา พบว่าเมื่อใช้ขนาดซีลี้อยต่างกัน คือ 20 - 50 เมช และ 100 - 230 เมช ให้ค่าความแข็งแรงดึงที่ไม่แตกต่างกันมากนัก และความแข็งแรงดึงที่ได้จากวัสดุผสมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงกับซีลี้อยไม้ทุเรียนและไม้ยางพาราให้ค่าความแข็งแรงดึงที่ไม่แตกต่างกันและมีแนวโน้มในทางเดียวกัน ดังนั้นขนาดและชนิดของซีลี้อยที่ได้จากไม้ทุเรียนและไม้ยางพาราจึงไม่มีผลต่อความแข็งแรงดึง



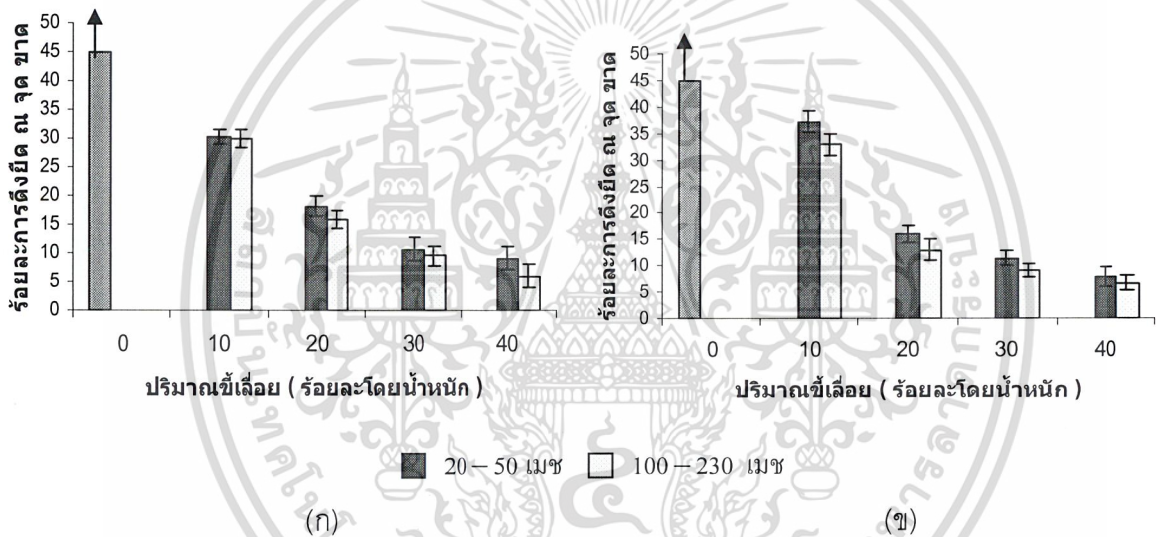
**รูปที่ 4.1** ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงดึงของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงกับ (ก) ซีลี้อยไม้ทุเรียนและ (ข) ซีลี้อยไม้ยางพาราที่ปริมาณซีลี้อย (ร้อยละโดยน้ำหนัก) ต่างๆ กัน

ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดึงยึด ณ จุดขาดของวัสดุผสมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงกับซีลี้อยไม้ทุเรียนและไม้ยางพาราที่ปริมาณซีลี้อย (ร้อยละโดยน้ำหนัก) ต่างๆ กัน แสดงดังรูปที่ 4.2 (ก) และ (ข) ตามลำดับ จากรูปพบว่าร้อยละการดึงยึด ณ จุดขาดของวัสดุผสมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงกับซีลี้อยไม้ทุเรียนและไม้ยางพารามีค่าลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงบริสุทธิ์เนื่องจากซีลี้อยเป็นวัสดุที่แข็งกว่าพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง และมีความสามารถในการเปลี่ยนแปลงรูปร่างได้ยากกว่าจึงทำให้ร้อยละการดึงยึด ณ จุดขาดลดลง [Rodriguez, 2003]

เมื่อเพิ่มปริมาณซีลี้อยพบว่าร้อยละการดึงยึด ณ จุดขาดของวัสดุผสมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงกับซีลี้อยไม้ทุเรียนและไม้ยางพารามีแนวโน้มลดลง เพราะเมื่อปริมาณซีลี้อยเพิ่มขึ้นทำให้ไปขัดขวางการเคลื่อนที่ของพอลิเอทิลีนเมตริกซ์ได้มากขึ้น หรือทำให้ความสามารถในการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของพอลิเอทิลีนเมตริกซ์เป็นไปได้ยากมากขึ้นดังนั้นเมื่อใช้

ได้รับแรงดึงส่งผลให้ร้อยละการดึงยึด ณ จุดขาดของวัสดุผสมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงกับซีลียอไมท์เรียนและไมยางพารา มีแนวโน้มลดลง

เมื่อพิจารณาถึงขนาดของซีลียอไมท์ที่มีต่อร้อยละการดึงยึด ณ จุดขาดของวัสดุผสมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงกับซีลียอไมท์เรียนและไมยางพาราพบว่าให้ค่าร้อยละการดึงยึด ณ จุดขาดที่ไม่แตกต่างกันมากนัก วัสดุผสมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงกับซีลียอไมท์เรียนให้ค่าร้อยละการดึงยึด ณ จุดขาดที่ไม่แตกต่างกันมากนักเมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุผสมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงกับซีลียอไมยางพาราและมีแนวโน้มในทางเดียวกันดังนั้นขนาดของซีลียอและชนิดของซีลียอที่ได้จากไมท์เรียนและไมยางพาราจึงมีผลเล็กน้อยต่อร้อยละการดึงยึด ณ จุดขาด

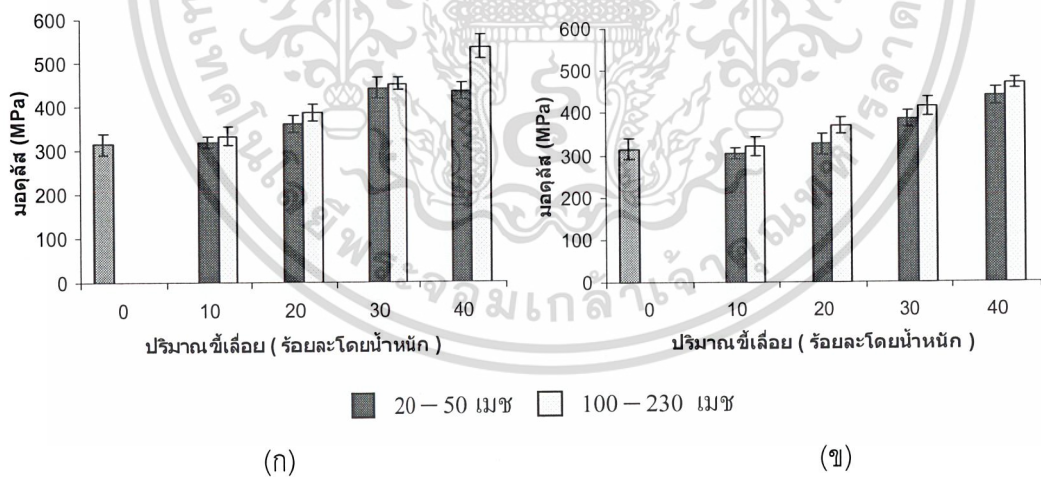


รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดึงยึด ณ จุดขาดของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงกับ (ก) ซีลียอไมท์เรียนและ (ข) ซีลียอไมยางพาราที่ปริมาณซีลียอ (ร้อยละโดยน้ำหนัก) ต่างๆ กัน

มอดุลัสเป็นค่าที่บอกถึงความแข็งของวัสดุ หรือความสามารถในการรับแรงต่อการเปลี่ยนรูปหรือเสียสภาพของวัสดุ เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 4.3 (ก) และ (ข) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ามอดุลัสของวัสดุผสมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงกับซีลียอไมท์เรียนและไมยางพาราที่ปริมาณซีลียอ (ร้อยละโดยน้ำหนัก) ต่างๆ กันพบว่า ค่ามอดุลัสของวัสดุผสมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงกับซีลียอมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงบริสุทธิ์ เนื่องจากซีลียอเป็นวัสดุที่มีความแข็งมากกว่าพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง เมื่อเติมซีลียอลงไปจึงทำให้วัสดุผสมมีค่ามอดุลัสสูงขึ้น

เมื่อเพิ่มปริมาณซีลี้อยู่ค่ามอดูลัสของวัสดุผสมมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเนื่องจากปริมาณซีลี้อยู่ที่เพิ่มขึ้นสามารถเข้าไปขัดขวางการเคลื่อนที่ของพอลิเอทิลีนเมตริกซ์มากขึ้น หรือทำให้ความสามารถในการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของพอลิเอทิลีนเมตริกซ์ลดลง [Rodriguez, 2003]

เมื่อพิจารณาถึงขนาดของซีลี้อยู่ที่มีต่อค่ามอดูลัสของวัสดุผสมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงกับซีลี้อยู่ไม้ทุเรียนและไม้ยางพาราพบว่าวัสดุผสมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงกับซีลี้อยู่ที่มีการใช้ซีลี้อยู่ที่มีขนาดเล็กกว่าให้ค่ามอดูลัสที่สูงกว่าวัสดุผสมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงกับซีลี้อยู่ที่มีขนาดใหญ่กว่า เนื่องจากซีลี้อยู่ขนาดเล็กมีพื้นที่ผิวสัมผัสมากกว่าซีลี้อยู่ขนาดใหญ่จึงทำให้มีความสามารถในการเข้ากันได้กับพอลิเอทิลีนเมตริกซ์ได้ดีกว่า ทำให้ไปขัดขวางการเคลื่อนที่ของพอลิเอทิลีนเมตริกซ์หรือทำให้ความสามารถในการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของพอลิเอทิลีนเมตริกซ์ยากขึ้น ส่งผลให้วัสดุผสมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงกับซีลี้อยู่ที่มีขนาดเล็กกว่ามีค่ามอดูลัสมากกว่า จากการทดลองพบว่าวัสดุผสมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงกับซีลี้อยู่ไม้ทุเรียนที่มีขนาด 100 – 230 เมช ที่ปริมาณซีลี้อยู่ร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก ให้ค่ามอดูลัสเพิ่มขึ้นประมาณร้อยละ 60 เมื่อเทียบกับพอลิเอทิลีนบริสุทธิ์และวัสดุผสมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงกับซีลี้อยู่ไม้ยางพาราที่มีขนาด 100 – 230 เมช ที่ปริมาณซีลี้อยู่ร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก ให้ค่ามอดูลัสเพิ่มขึ้นประมาณร้อยละ 40 เมื่อเปรียบเทียบกับพอลิเอทิลีนบริสุทธิ์



รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ามอดูลัสของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงกับ (ก) ซีลี้อยู่ไม้ทุเรียนและ (ข) ซีลี้อยู่ไม้ยางพาราที่ปริมาณซีลี้อยู่ (ร้อยละโดยน้ำหนัก) ต่างๆ กัน

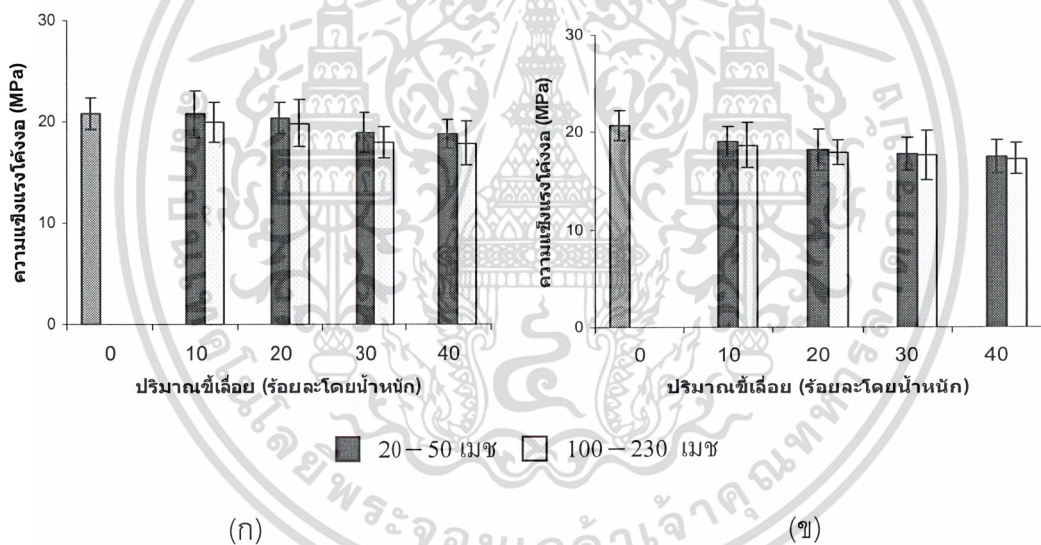
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.1.2 สมบัติความโค้งงอ

ผลการทดสอบสมบัติความโค้งงอที่สำคัญ ได้แก่ ความแข็งแรงโค้งงอ และมอดุลัสโค้งงอของวัสดุผสมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงกับซีลี้อยไม้ทุเรียนและไม้ยางพาราที่ปริมาณซีลี้อยต่างๆ กันแสดงได้ดังรูปที่ 4.4 – 4.5 ตามลำดับ

จากรูปที่ 4.4 (ก) และ (ข) พบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณซีลี้อย ค่าความแข็งแรงโค้งงอของวัสดุผสมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงกับซีลี้อยไม้ทุเรียนและไม้ยางพารา มีแนวโน้มลดลงเล็กน้อยเนื่องจากซีลี้อยและพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง มีความสามารถในการเข้ากันได้ต่ำ หรือมีการยึดเกาะที่บริเวณรอยต่อระหว่างพื้นผิวต่ำทำให้การถ่ายเทแรงไม่ดีจึงทำให้ความสามารถในการโค้งงอของวัสดุผสมมีแนวโน้มลดลง

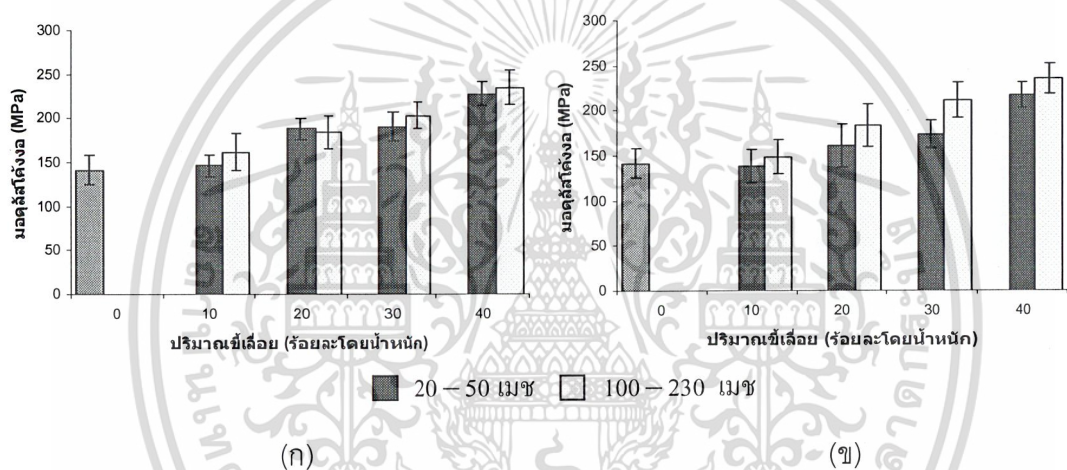
เมื่อพิจารณาถึงขนาดของซีลี้อยที่มีต่อค่าความแข็งแรงโค้งงอของวัสดุผสมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงกับซีลี้อยไม้ทุเรียนและไม้ยางพารา พบว่า ค่าความแข็งแรงโค้งงอไม่แตกต่างกันมากนัก



**รูปที่ 4.4** ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งแรงโค้งงอของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงกับ (ก) ซีลี้อยไม้ทุเรียนและ (ข) ซีลี้อยไม้ยางพาราที่ปริมาณซีลี้อย (ร้อยละโดยน้ำหนัก) ต่างๆ กัน

จากรูปที่ 4.5 (ก) และ (ข) พบว่า ค่ามอดุลัสโค้งงอของวัสดุผสมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงกับซีลี้อยไม้ทุเรียนและไม้ยางพารามีค่ามากขึ้นเมื่อปริมาณซีลี้อยเพิ่มมากขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงบริสุทธิ์ เนื่องจากซีลี้อยเป็นวัสดุที่มีความแข็งมากกว่าพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง จึงมีความสามารถในการเปลี่ยนแปลงรูปร่างในไม่ช้ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีเม็ดเปลี่ยนแปลงรูปร่างและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ การโค้งงอได้ยากกว่า และเมื่อเพิ่มปริมาณซีลี้อยทำให้ค่ามอดุลัสโค้งงอเพิ่มขึ้นด้วย

เมื่อพิจารณาถึงขนาดของซีลี้อยที่มีผลต่อค่ามอดูลัสโค้งงอของวัสดุผสมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงกับซีลี้อยไม้ทุเรียนและไม้ยางพารา พบว่า วัสดุผสมที่มีการใช้ซีลี้อยขนาดเล็กกว่าให้ค่ามอดูลัสโค้งงอมากกว่า เนื่องจากซีลี้อยที่มีขนาดเล็กมีพื้นที่ผิวสัมผัสมากกว่าซีลี้อยที่มีขนาดใหญ่ จึงสามารถรับแรงที่ทำให้วัสดุเกิดการโค้งงอได้ดีกว่า จากการทดลองพบว่าวัสดุผสมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงกับซีลี้อยไม้ทุเรียนที่มีขนาด 100 – 230 เมช ที่ปริมาณซีลี้อยร้อยละ 40 โดยน้ำหนักให้ค่ามอดูลัสโค้งงอเพิ่มขึ้นประมาณร้อยละ 43 เมื่อเปรียบเทียบกับพอลิเอทิลีนบริสุทธิ์และ วัสดุผสมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงกับซีลี้อยไม้ยางพาราที่มีขนาด 100 – 230 เมช ที่ปริมาณซีลี้อยร้อยละ 40 โดยน้ำหนักให้ค่ามอดูลัสโค้งงอเพิ่มขึ้นประมาณร้อยละ 33 เมื่อเปรียบเทียบกับพอลิเอทิลีนบริสุทธิ์



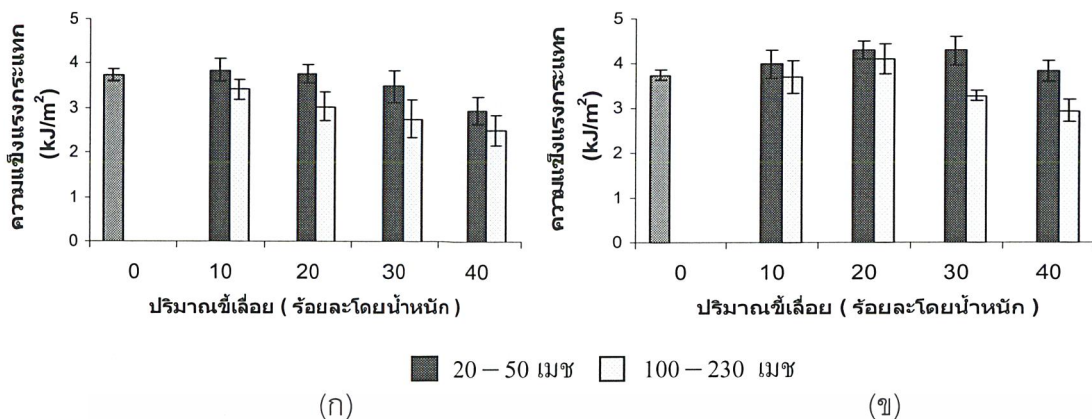
**รูปที่ 4.5** ความสัมพันธ์ระหว่างค่ามอดูลัสโค้งงอของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงกับ (ก) ซีลี้อยไม้ทุเรียนและ (ข) ซีลี้อยไม้ยางพาราที่ปริมาณซีลี้อย (ร้อยละโดยน้ำหนัก) ต่างๆ กัน

#### 4.1.3 ความแข็งแรงกระแทก

การทดสอบความแข็งแรงกระแทก เป็นการวัดความสามารถในการทนต่อแรงกระแทกของวัสดุเนื่องจากแรงฉับพลัน หรือภายใต้ความเค้นที่มีความเร็วสูง ซึ่งเป็นการวัดความเหนียว (Toughness) ของวัสดุชนิดหนึ่ง โดยวัสดุที่ทนต่อแรงกระแทกได้สูงจะมีความเหนียวสูง และวัสดุที่ไม่ทนต่อแรงกระแทกจะไม่เหนียว

ผลที่ได้จากการทดสอบความแข็งแรงกระแทกของวัสดุผสมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงกับซีลี้อยไม้ทุเรียนและไม้ยางพาราที่ปริมาณซีลี้อย (ร้อยละโดยน้ำหนัก) ต่างๆ กัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ในการค้า  
ไม่ว่าในรูปแบบใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**รูปที่ 4.6** ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งแรงกระแทกของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง

กับ (ก) ซีลี้อยไม้ทุเรียนและ (ข) ซีลี้อยไม้ยางพาราที่ปริมาณซีลี้อย (ร้อยละโดยน้ำหนัก) ต่างๆ กัน

จากรูปที่ 4.6 (ก) และ (ข) พบว่า ความแข็งแรงกระแทกของวัสดุผสมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงกับซีลี้อยไม้ทุเรียนและไม้ยางพาราที่ปริมาณซีลี้อย มีค่าเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงบริสุทธิ์ เนื่องจากซีลี้อยเป็นวัสดุที่สามารถรับและกระจายแรงให้กับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงเมตริกซ์ได้แต่เมื่อปริมาณซีลี้อยของวัสดุผสมเพิ่มขึ้นความแข็งแรงกระแทกมีแนวโน้มลดลง เนื่องมาจากการทดสอบความแข็งแรงกระแทกมีการส่งผ่านแรงภายใต้ความเค้นที่มีความเร็วสูง แรงจะถูกส่งผ่านบริเวณที่เป็นรอยต่อระหว่างพื้นผิวที่มีการยึดเกาะกันต่ำซึ่งพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงและซีลี้อยมีความสามารถในการเข้ากันได้จำกัด หรือมีความสามารถในการยึดเกาะบริเวณรอยต่อระหว่างพื้นผิวต่ำ ทำให้เมื่อรับแรงที่มีความเร็วสูงจะทำให้เกิดการแตกหักของชิ้นงานได้ง่าย ดังนั้นเมื่อปริมาณซีลี้อยเพิ่มขึ้น บริเวณที่เป็นรอยต่อระหว่างพื้นผิวที่มีการยึดเกาะกันต่ำมีมากขึ้น ทำให้เกิดช่องว่างในชิ้นงาน ส่งผลให้ความแข็งแรงกระแทกลดลงเมื่อปริมาณซีลี้อยเพิ่มขึ้น [Rodriguez, 2003]

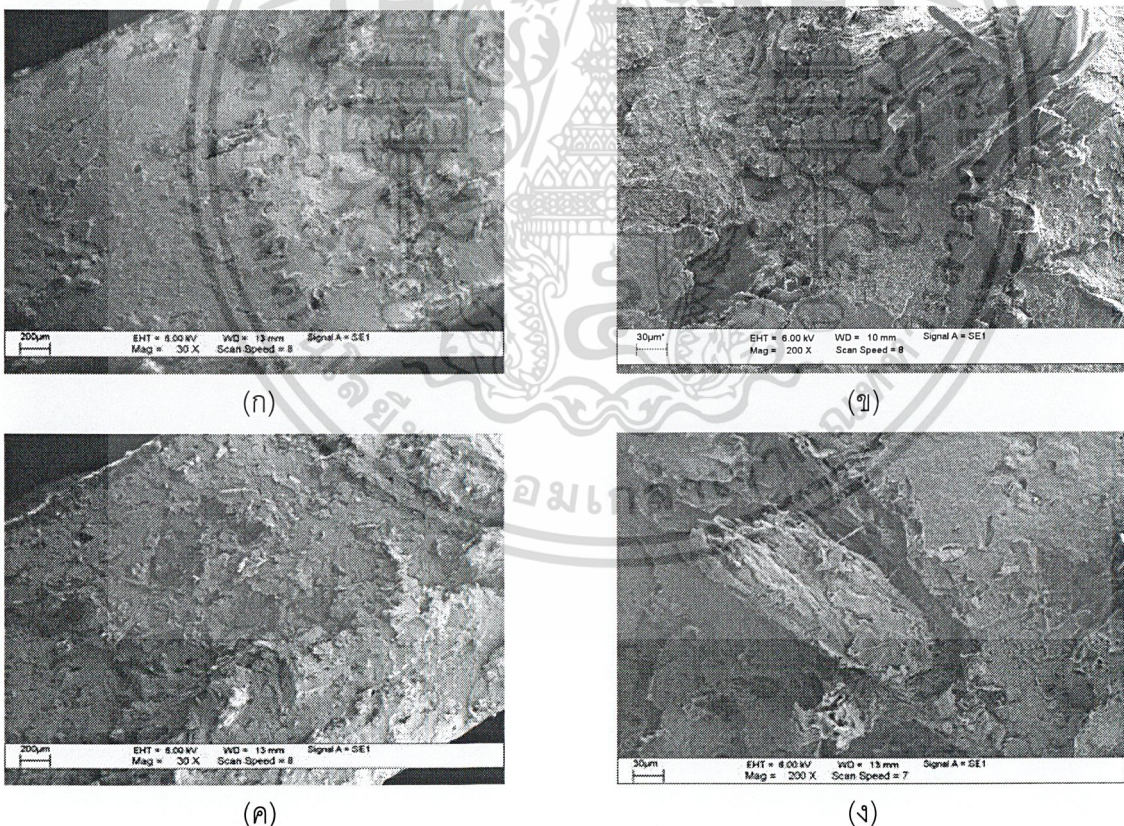
เมื่อพิจารณาถึงขนาดของซีลี้อยที่มีผลต่อความแข็งแรงกระแทกของวัสดุผสมพบว่าวัสดุผสมที่มีการใช้ซีลี้อยขนาดเล็กกว่าให้ความแข็งแรงกระแทกน้อยกว่าเนื่องจากมีค่าอัตราส่วนความยาวต่อความกว้าง (Aspect ratio) ต่ำกว่าซีลี้อยขนาดใหญ่ทำให้การส่งผ่านแรงน้อยกว่า ดังนั้นซีลี้อยขนาดเล็กกว่าจึงให้ค่าความแข็งแรงกระแทกของวัสดุผสมต่ำกว่า

จากสมบัติเชิงกลทั้งหมดของวัสดุผสมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงกับซีลี้อยไม้ทุเรียนและไม้ยางพาราที่มีขนาด 20 – 50 และ 100 – 230 เมช และปริมาณร้อยละ 10 20

30 40 โดยน้ำหนัก พบว่าปริมาณของซีลี้อยมีผลต่อสมบัติเชิงกลมากกว่าขนาดของซีลี้อย เนื่องจากปริมาณของซีลี้อยที่เปลี่ยนแปลงทำให้สมบัติเชิงกลมีค่าเปลี่ยนแปลงไปมากกว่าผลของไม่วาร์ณิตเดอ นังสิน อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ขนาดของซีลี้อย

## 4.2 สันฐานวิทยา

การศึกษาสันฐานของวัสดุผสมระหว่างวัสดุผสมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงกับซีลี้อยไม้ทุเรียนและไม้ยางพารา ทำได้โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) เพื่อศึกษาลักษณะการกระจายตัว (Dispersion) ของซีลี้อย และลักษณะพื้นผิวระหว่างวัฏภาค (Interfacial surface) ของวัสดุผสม จากรูปที่ 4.7 (ก) และ (ข) แสดงภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด กำลังขยายที่ 30 เท่า และ 200 เท่า ของวัสดุผสมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงกับซีลี้อยไม้ทุเรียนที่มีขนาดเท่ากับ 20-50 เมช ที่มีปริมาณซีลี้อยร้อยละ 20 และ 40 โดยน้ำหนัก (รูปที่ 4.7 (ค) และ (ง)) ตามลำดับพบว่า ซีลี้อยมีแนวโน้มที่จะรวมตัวเป็นกลุ่มก้อน (Agglomeration) เมื่อปริมาณซีลี้อยเพิ่มขึ้น เนื่องจากการเกิดพันธะไฮโดรเจนของหมู่ไฮดรอกซิลระหว่างซีลี้อยด้วยกัน สำหรับการเกิดช่องว่างระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงเมตริกซ์กับซีลี้อยแสดงให้เห็นว่า วัฏภาคทั้งสองมีความเข้ากันไม่ได้ หรือมีความสามารถในการยึดเกาะกันต่ำ ทำให้เกิดเป็นจุดบกพร่องของชิ้นงาน

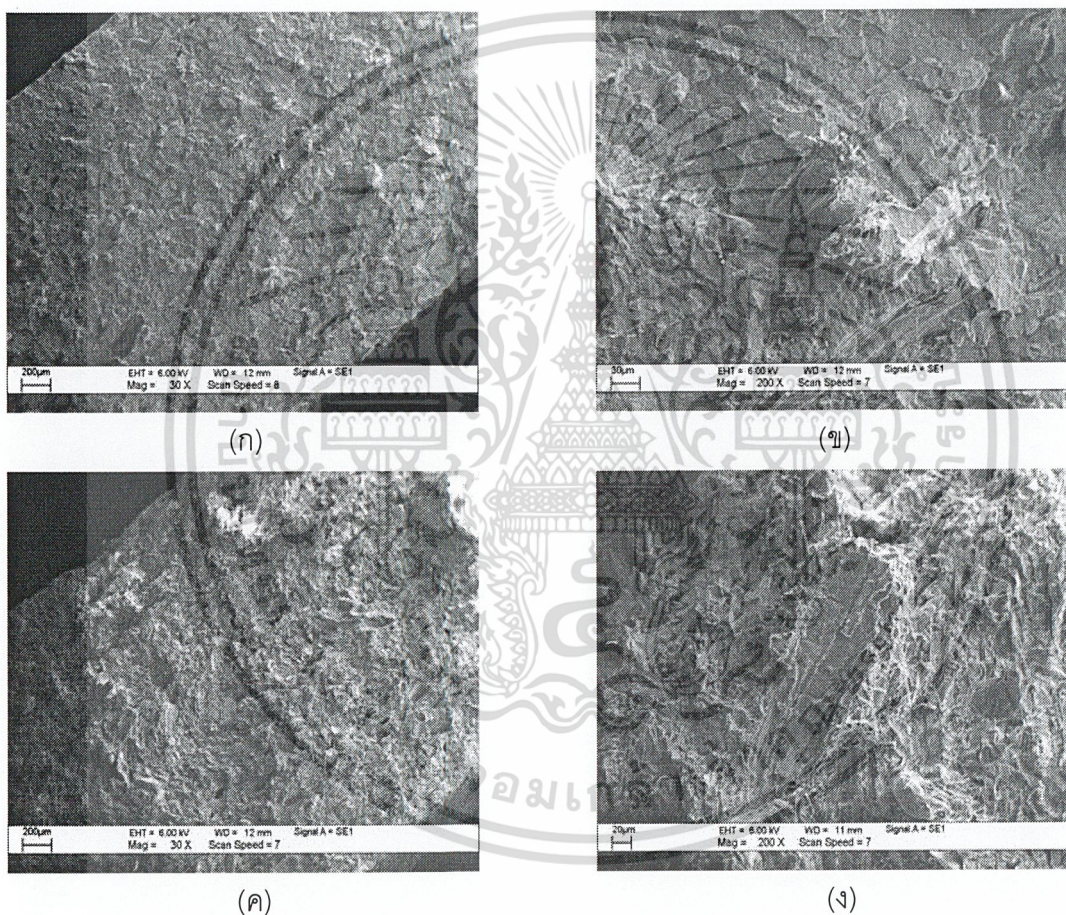


รูปที่ 4.7 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดกำลังขยาย 30 เท่าและ 200 เท่า

ของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงกับซีลี้อยไม้ทุเรียนที่มีขนาด 20 – 50 เมช

ที่ปริมาณซีลี้อยต่างๆ กัน (ก) - (ข) ร้อยละ 20 และ (ค) - (ง) ร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก การค้า  
ไม่ว่ากรณีใดก็ตาม ห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้  
ตามลำดับ

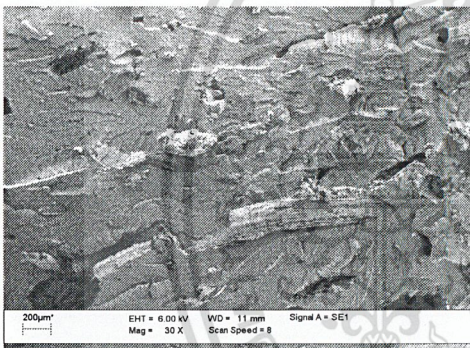
เมื่อปริมาณซีลี้อยเพิ่มขึ้น ซีลีอยมีการรวมตัวเป็นกลุ่มก้อนมากขึ้นทำให้เกิดการกระจายตัวของซีลีอยในพอลิเมอร์เมตริกซ์ไม่ดี ทำให้เกิดช่องว่างระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงกับซีลีอยเพิ่มขึ้น ซึ่งจากที่กล่าวมาทั้งหมดนี้เป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลให้การถ่ายเทแรงจากพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงเมตริกซ์ไปยังซีลีอยเกิดขึ้นได้ไม่ดีหรือไม่ต่อเนื่อง และยังพบอีกว่าเมื่อปริมาณซีลีอยเพิ่มขึ้น วัสดุมีความแข็งมากขึ้น ทำให้วัสดุผสมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงกับซีลีอยทุเรียน มีความแข็งแรงดึง ร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาด ความแข็งแรงโค้งงอ และความแข็งแรงกระแทกลดลง แต่ค่ามอดุลัส และมอดุลัสโค้งงอมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น



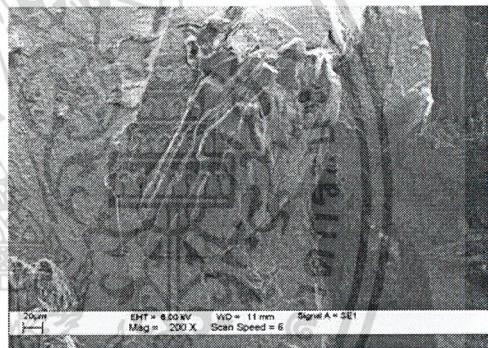
**รูปที่ 4.8** ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดกำลังขยาย 30 เท่าและ 200 เท่าของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงกับซีลีอยไม้ทุเรียนที่มีขนาด 100 – 230 เมช ปริมาณซีลีอยต่างๆ กัน (ก) - (ข) ร้อยละ 20 และ (ค) - (ง) ร้อยละ 40 โดยน้ำหนักตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

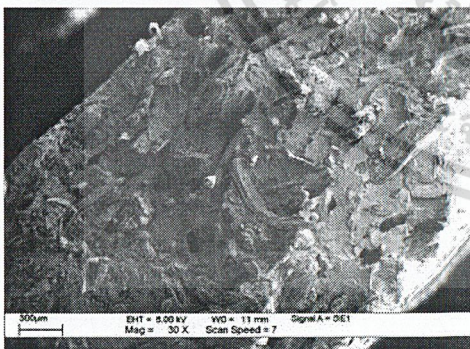
จากรูปที่ 4.8 (ก) – (ง) เมื่อเปรียบเทียบกับรูปที่ 4.7 พบว่าวัสดุผสมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงกับซีลี้อยูเรียนที่มีขนาดใหญ่กว่า (20-50 เมช) นั้น ซีลี้อยูเรียนมีแนวโน้มที่จะรวมตัวกันเป็นกลุ่มก้อนมากกว่าวัสดุผสมพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงกับซีลี้อยูเรียนที่มีขนาดเล็กกว่า (100 – 230 เมช) ทำให้ซีลี้อยูเรียนที่มีขนาดเล็กสามารถกระจายตัวได้ในพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงดีกว่า นอกจากนี้ซีลี้อยูเรียนที่มีขนาดเล็กมีพื้นที่ผิวสัมผัสมากกว่า ซีลี้อยูเรียนที่มีขนาดใหญ่ทำให้ยึดเกาะกับพอลิเมอร์เมทริกซ์ได้ดีกว่า ซึ่งพิจารณาได้จากรูปที่ 4.8 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าวัสดุผสมที่มีการใช้ซีลี้อยูเรียนที่มีขนาดเล็กมีช่องว่างระหว่างวัฏภาคน้อยกว่าวัสดุผสมที่มีการใช้ซีลี้อยูเรียนที่มีขนาดใหญ่ (เปรียบเทียบกับรูปที่ 4.7) ซึ่งช่องว่างที่เกิดขึ้นจะส่งผลต่อสมบัติเชิงกลของวัสดุผสม นั่นคือ วัสดุผสมที่มีการใช้ซีลี้อยูเรียนที่มีขนาดเล็ก มีค่ามอดุลัส และมอดุลัสโค้งงอสูงกว่าวัสดุผสมที่มีการใช้ซีลี้อยูเรียนขนาดใหญ่ และจากรูปที่ 4.9 – 4.10 พบว่าเมื่อใช้ซีลี้อยูเรียนไม่ยางพาราแทนไม้ยูเรียนสัณฐานวิทยาที่ได้มีลักษณะเช่นเดียวกับการใช้ไม้ยูเรียน



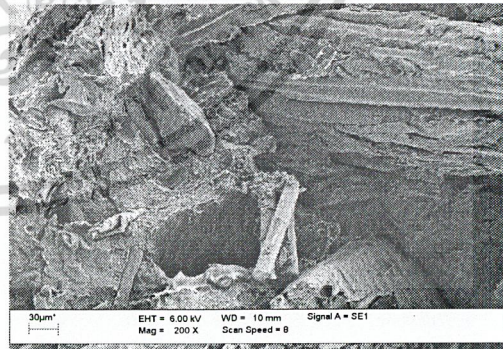
(ก)



(ข)



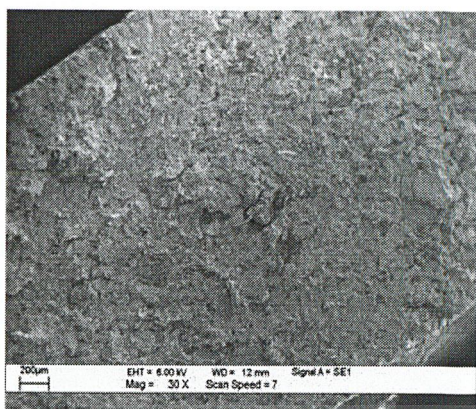
(ค)



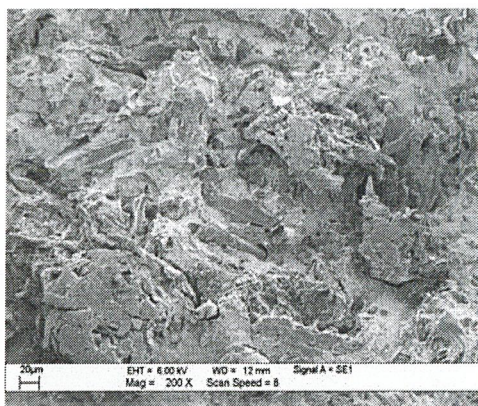
(ง)

รูปที่ 4.9 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดกำลังขยาย 30 เท่าและ 200 เท่าของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงกับซีลี้อยูเรียนไม่ยางพาราที่มีขนาด 20 – 50 เมช ปริมาณซีลี้อยูเรียนต่าง ๆ กัน (ก) - (ข) ร้อยละ 20 และ (ค) - (ง) ร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก

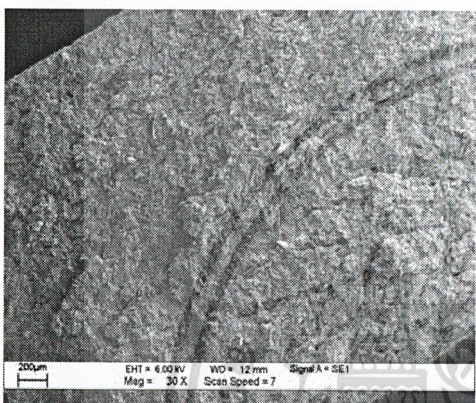
ตามลำดับ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



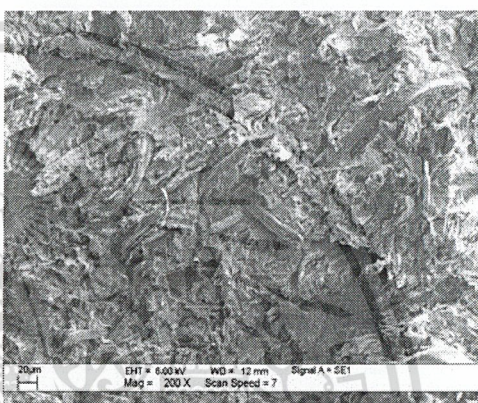
(ก)



(ข)



(ค)



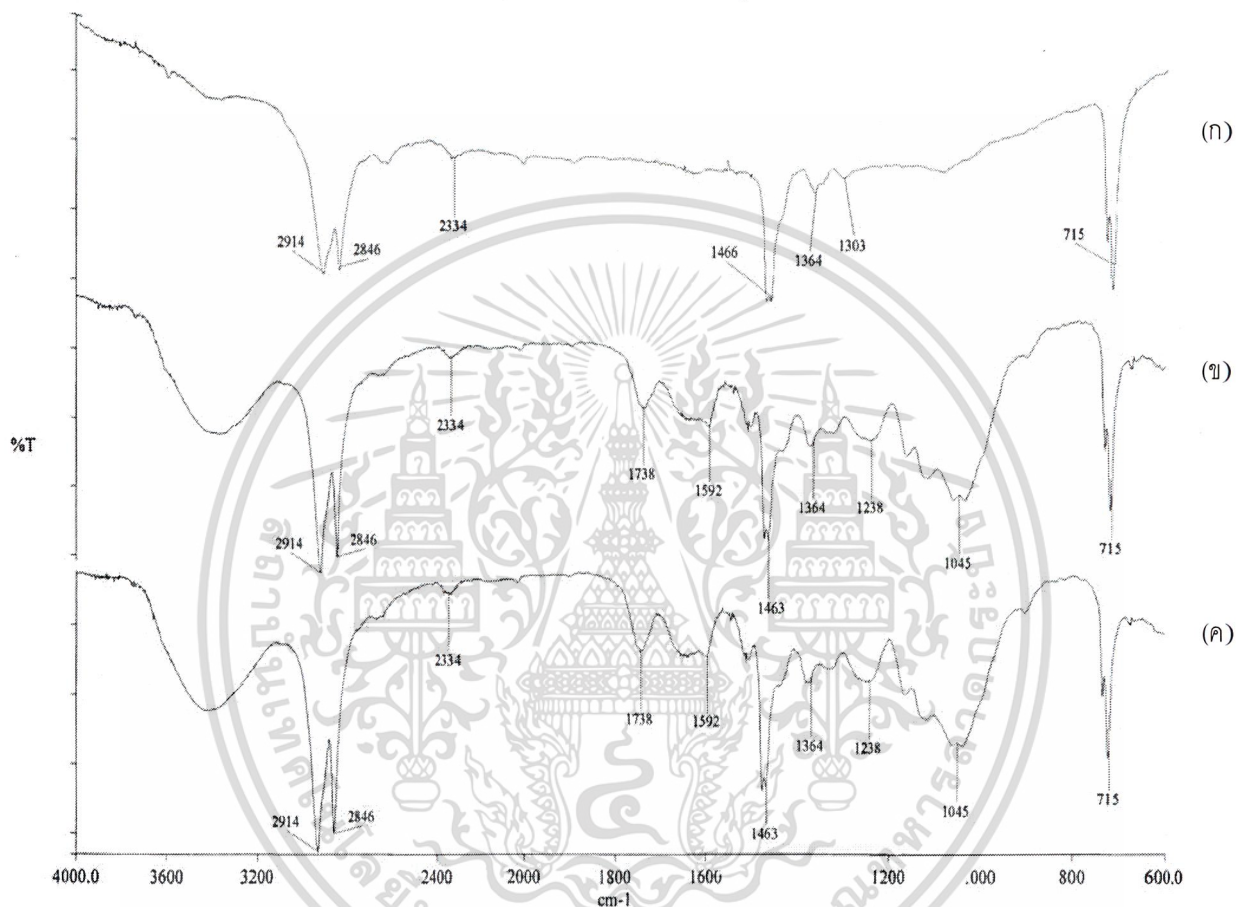
(ง)

รูปที่ 4.10 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดกำลังขยาย 30 เท่าและ 200 เท่าของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงกับซีลี้อยู่ไม่ยงพาราที่มีขนาด 100 – 230 เมช ปริมาณซีลี้อย่างต่างๆ กัน (ก) - (ข) ร้อยละ 20 และ (ค) - (ง) ร้อยละ 40 โดยน้ำหนักตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.3 การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันโดยเทคนิค FTIR

การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงบริสุทธิ์ วัสดุผสมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงบริสุทธิ์กับซีลื้อยไม้ทุเรียนและซีลื้อยไม้ยางพาราที่ปริมาณซีลื้อยร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก ด้วยเทคนิค FTIR โดยใช้เครื่อง Fourier Transform Infrared Spectrometer ในช่วงเลขคลื่น  $4000 - 600 \text{ cm}^{-1}$  แสดงได้ดังรูปที่ 4.11



**รูปที่ 4.11** อินฟราเรดสเปกตรัมของ (ก) พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงบริสุทธิ์ (ข) วัสดุผสมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงกับซีลื้อยไม้ทุเรียนขนาด 20 – 50 เมช ปริมาณร้อยละ 40 โดยน้ำหนักและ (ค) วัสดุผสมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงบริสุทธิ์กับซีลื้อยไม้ยางพาราขนาด 20 – 50 เมชที่ปริมาณร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก

จากรูปที่ 4.11 (ก) – (ค) จะพบพีกช่วง  $3500 - 3250 \text{ cm}^{-1}$  เป็นพีกของหมู่ O-H Stretching ในซีลื้อย พีกช่วง  $3100 - 2600 \text{ cm}^{-1}$  เป็นลักษณะการสั่นแบบ C-H Stretching ของอะลิฟาติกคาร์บอน จะพบพีกช่วง  $1750 - 1700 \text{ cm}^{-1}$  เป็นลักษณะของหมู่คาร์บอนิล (C=O Stretching) ของเอมิเซลลูโลส หรือ ลิกนิน ในองค์ประกอบของซีลื้อย พีกช่วง  $1680-1560 \text{ cm}^{-1}$  (ไมวากรณ์เต) พึงสน ออกทงหม่หม่เหตดแปลงเนื้อหาและตองอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกคร้งที่มการนำไปใช้

เป็นพีคของคาร์บอนพันธะคู่ (C=C Stretching) พีคช่วง  $1600 - 1400 \text{ cm}^{-1}$  เป็นพีคของวงแหวนคาร์บอน (Aromatic) พีคช่วง  $1400 - 1300 \text{ cm}^{-1}$  เป็นลักษณะการเปลี่ยนรูปของ  $\text{CH}_2$  ของพอลิเอทิลีนและซีลียอย พีคช่วง  $1200 - 1000 \text{ cm}^{-1}$  เป็นพีคของ (C-O Stretching)

จากรูปที่ 4.11 (ข) และ (ค) แสดงอินฟราเรดสเปกตรัมของวัสดุผสมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงบริสุทธิ์กับซีลียอยไม้ทุเรียนขนาด 20 – 50 เมช ที่ปริมาณร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก และวัสดุผสมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงบริสุทธิ์กับซีลียอยไม้ยางพาราขนาด 20 – 50 เมช ที่ปริมาณร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก โดยแสดงถึงพีคของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (เมื่อเปรียบเทียบกับรูป 4.11 (ก)) และซีลียอย โดยวัสดุผสมของซีลียอยจากไม้ทุเรียนและไม้ยางพาราแสดงหมู่ฟังก์ชันที่เหมือนกัน โดยมีพีคหลักแสดงดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ตำแหน่งของสเปกตรัมของวัสดุผสมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงและซีลียอยจากไม้ทุเรียนและไม้ยางพาราที่มีขนาด 20-50 เมช ที่ปริมาณร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก [แม่น อมรสิทธิ์ และ อมร เพชรผสม. 2539] [M.Kazayawoko. 1997]

ตำแหน่งพีค ( $\text{cm}^{-1}$ )	ลักษณะการสั่น
3500-3250	O-H Stretching
3100-2600	C-H Stretching
1750-1700	C=O Stretching ของหมู่คาร์บอนิล
1680-1560	C=C Stretching
1600-1400	วงแหวนคาร์บอน ( Aromatic )
1400-1300	C-H Deformation ของ $\text{CH}_2$
1200-1000	C-O Stretching

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตอนที่ 2** สมบัติต่างๆ ของการนำกลับมาใช้ใหม่ของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงบริสุทธิ์ และการนำกลับมาใช้ใหม่ของวัสดุผสมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงกับซีลี้อยไม้ทุเรียน

จากสมบัติเชิงกลของวัสดุผสมของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงกับซีลี้อยไม้ทุเรียนและไม้ยางพาราที่กล่าวมาทั้งหมดในตอนที 1 พบว่า วัสดุผสมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงกับซีลี้อยไม้ทุเรียน ที่มีขนาด 100 – 230 เมช ที่ปริมาณซีลี้อยร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก ให้สมบัติเชิงกลโดยรวมดีที่สุทธวมถึงกระบวนการขึ้นรูปทำได้ง่าย และเป็นการลดปริมาณพอลิเมอร์ที่ใช้ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงเลือกที่จะทำการศึกษาสมบัติต่างๆ ของการนำกลับมาใช้ใหม่ของวัสดุผสมระหว่าง พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงกับซีลี้อยไม้ทุเรียนที่มีขนาด 100 – 230 เมช ที่ปริมาณซีลี้อยร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก ซึ่งผลการทดลองที่ได้จากการศึกษาสมบัติต่างๆ ของการนำกลับมาใช้ใหม่ของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงบริสุทธิ์ และการนำกลับมาใช้ใหม่ของวัสดุผสมระหว่าง พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงกับซีลี้อยไม้ทุเรียน ที่มีขนาด 100 – 230 เมช ที่ปริมาณซีลี้อยร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก มีดังต่อไปนี้

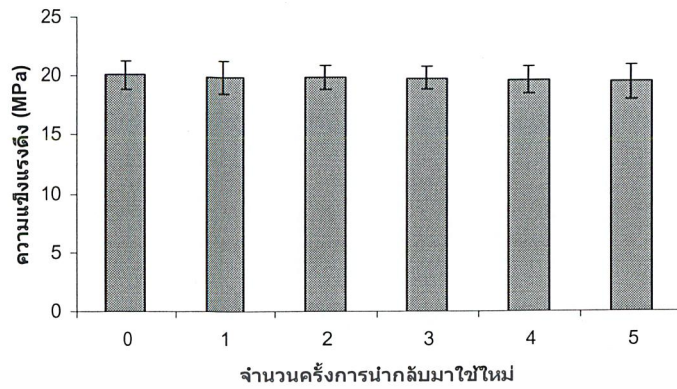
#### 4.4 สมบัติของการนำกลับมาใช้ใหม่ของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงบริสุทธิ์

##### 4.4.1 สมบัติเชิงกล

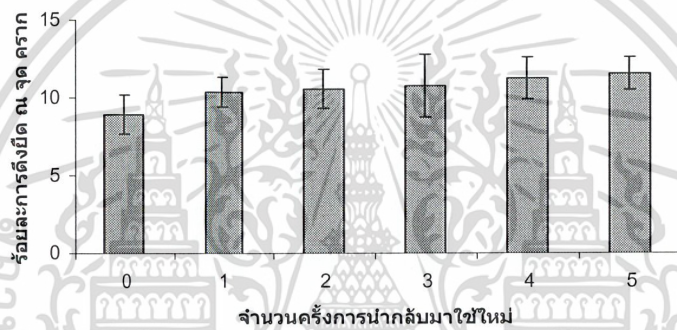
###### 4.4.1.1 สมบัติทางแรงดึง

จากรูปที่ 4.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติทางแรงดึงของการนำกลับมาใช้ใหม่ของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงบริสุทธิ์กับจำนวนครั้งของการนำกลับมาใช้ใหม่ พบว่า ค่าความแข็งแรงดึง มีแนวโน้มไม่เปลี่ยนแปลง และ มอดุลัสมีแนวโน้มลดลงเพียงเล็กน้อย แต่ค่าร้อยละการดึงยืด ณ จุดคราก มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเนื่องจากเมื่อจำนวนครั้งของการนำกลับมาใช้ใหม่เพิ่มขึ้นทำให้สายโซ่โมเลกุลของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงบริสุทธิ์มีแนวโน้มสั้นลง

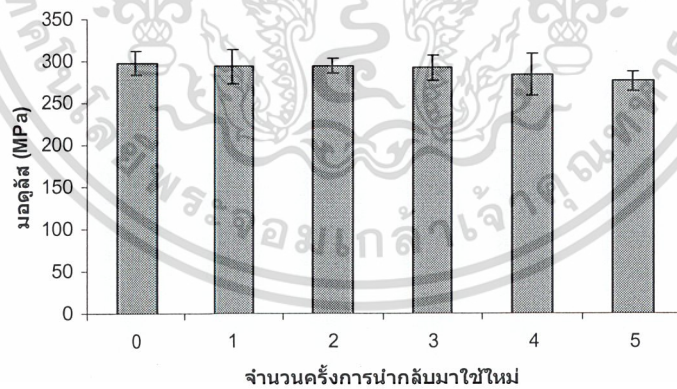
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



(ข)



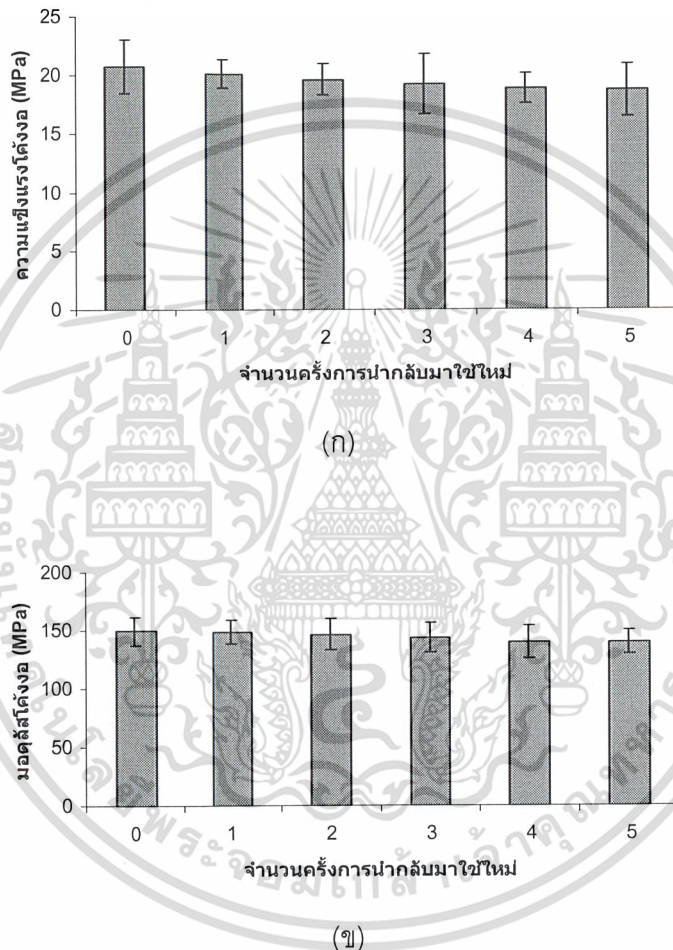
(ค)

รูปที่ 4.12 สมบัติทางแรงดึงของการนำกลับมาใช้ใหม่ของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง  
 บริสุทธิ์ (ก) ความแข็งแรงดึง (ข) ร้อยละการดึงยึด ณ จุดขาด และ (ค) มอดุลัส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.4.1.2 สมบัติความโค้งงอ

จากรูปที่ 4.13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติความโค้งงอของการนำกลับมาใช้ใหม่ของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงบริสุทธิ์กับจำนวนครั้งของการนำกลับมาใช้ใหม่ พบว่า ค่าความแข็งแรงโค้งงอ และมอดุลัสโค้งงอ มีแนวโน้มลดลงเล็กน้อย เมื่อจำนวนครั้งของการนำกลับมาใช้ใหม่เพิ่มขึ้นด้วยเหตุผลดังที่ได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อ (4.4.1.1)

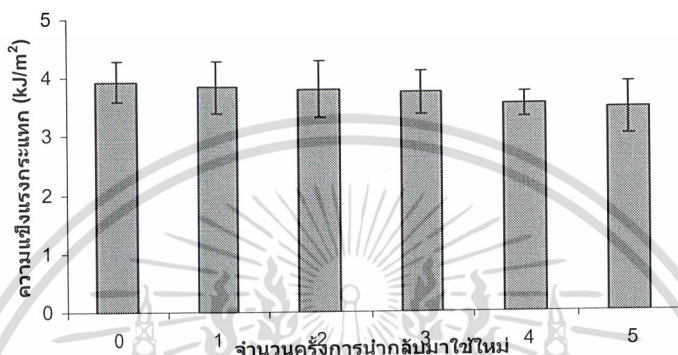


รูปที่ 4.13 สมบัติทางแรงดึงของการนำกลับมาใช้ใหม่ของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงบริสุทธิ์ (ก) ความแข็งแรงโค้งงอและ (ข) มอดุลัสโค้งงอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.4.1.3 ความแข็งแรงกระแทก

จากรูปที่ 4.14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งแรงกระแทกของการนำกลับมาใช้ใหม่ของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงบริสุทธิ์กับจำนวนครั้งของการนำกลับมาใช้ใหม่ พบว่ามีแนวโน้มลดลงเล็กน้อย เมื่อจำนวนครั้งของการนำกลับมาใช้ใหม่เพิ่มขึ้นด้วยเหตุผลดังที่ได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อ (4.4.1.1)



รูปที่ 4.14 ความแข็งแรงกระแทกของการนำกลับมาใช้ใหม่ของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงบริสุทธิ์

จากรูปที่ 4.12 – 4.14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติเชิงกลของการนำกลับมาใช้ใหม่ของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงบริสุทธิ์กับจำนวนครั้งของการนำกลับมาใช้ใหม่ พบว่า ค่าความแข็งแรงดึง มอดุลัส ความแข็งแรงโค้งงอ และมอดุลัสโค้งงอ และค่าความแข็งแรงกระแทกมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อย แต่ร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น

จากการทดสอบสมบัติเชิงกลทั้งหมดของการนำกลับมาใช้ใหม่ของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงบริสุทธิ์ พบว่าสมบัติเชิงกลโดยส่วนใหญ่มีแนวโน้มลดลงเพียงเล็กน้อย ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความสามารถในการขึ้นรูปใหม่ หรือ ความสามารถในการนำกลับมาใช้ใหม่ของพอลิเอทิลีน

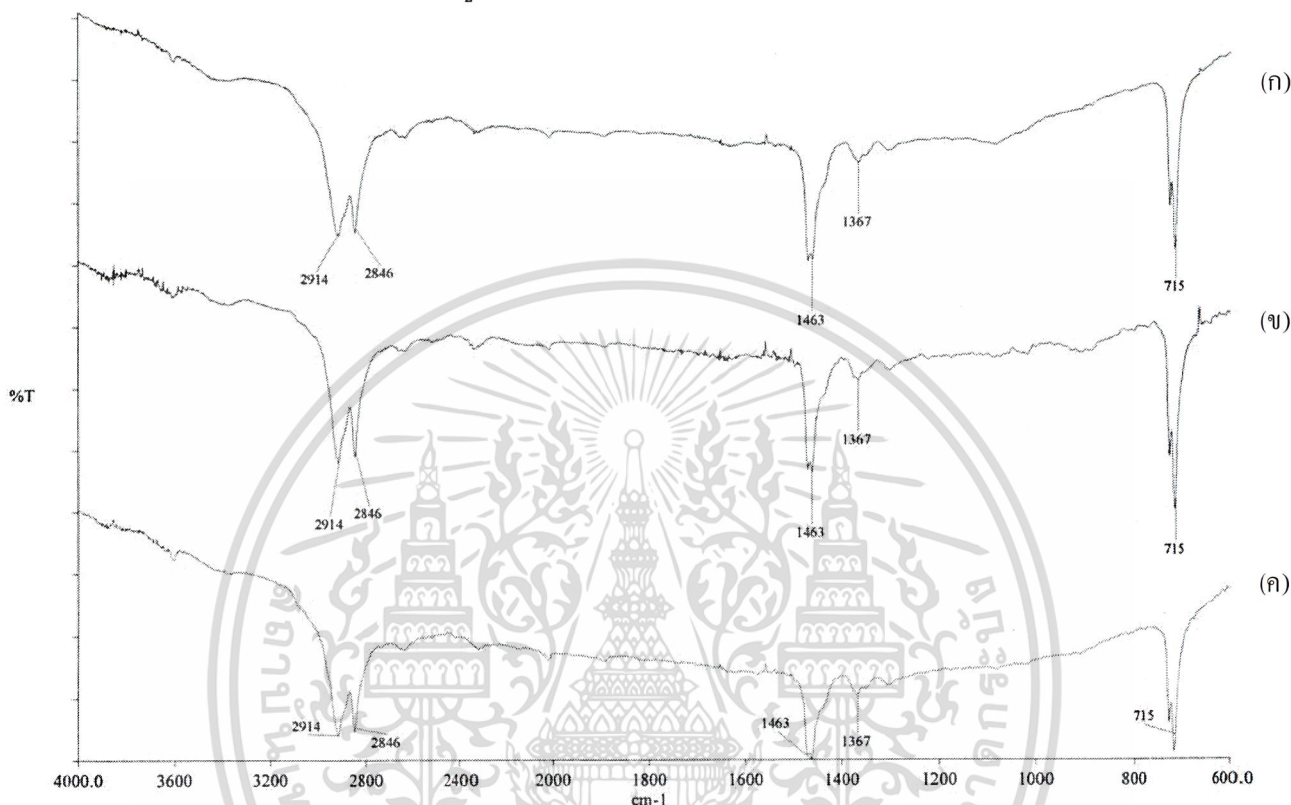
ตารางที่ 4.2 ร้อยละการเปลี่ยนแปลงสมบัติเชิงกลของการนำกลับมาใช้ใหม่ครั้งที่ 5 กับสมบัติเชิงกลของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงบริสุทธิ์ก่อนการนำกลับมาใช้ใหม่

สมบัติเชิงกล	ร้อยละการเปลี่ยนแปลงสมบัติเชิงกล
ความแข็งแรงดึง	-3.0
ร้อยละการดึงยืด ณ จุดคราก	+29.7
มอดุลัส	-7.6
ความแข็งแรงโค้งงอ	-10.1
มอดุลัสโค้งงอ	-6.6
ความแข็งแรงกระแทก	-12.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.4.2 วิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันโดยเทคนิค FTIR

การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของการนำกลับมาใช้ใหม่ของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงบริสุทธิ์ ด้วยเทคนิค FTIR โดยใช้เครื่อง Fourier Transform Infrared Spectrometer ในช่วงเลขคลื่น  $4000 - 600 \text{ cm}^{-1}$  แสดงได้ดังรูปที่ 4.15



รูปที่ 4.15 อินฟราเรดสเปกตรัมของ (ก) พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงบริสุทธิ์กับ (ข) การนำกลับมาใช้ใหม่ครั้งที่ 3 พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงบริสุทธิ์และ (ค) การนำกลับมาใช้ใหม่ครั้งที่ 5 พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงบริสุทธิ์

จากรูปที่ 4.15 (ก) - (ค) ซึ่งแสดงอินฟราเรดสเปกตรัมของวัสดุผสมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงบริสุทธิ์ การนำกลับมาใช้ใหม่ครั้งที่ 3 และการนำกลับมาใช้ใหม่ครั้งที่ 5 ตามลำดับ พบว่า พีคที่ปรากฏนั้นมีลักษณะและตำแหน่งของช่วงพีคเช่นเดียวกัน ดังนั้น การนำกลับมาใช้ใหม่ของวัสดุผสมถึง 5 ครั้งแสดงถึงการไม่เปลี่ยนแปลงหมู่ฟังก์ชันของวัสดุผสม โดยการเปลี่ยนแปลงหมู่ฟังก์ชันของวัสดุผสมจะเกิดขึ้นเมื่อเกิดการเสถียรภาพของพอลิเอทิลีนบางส่วนทำให้เกิดพีคที่เป็นลักษณะของหมู่คาร์บอนิล ( $\text{C}=\text{O}$  stretching) ที่ช่วง  $1750-1700 \text{ cm}^{-1}$  แต่จากการทดลองอาจเกิดการเสถียรภาพของพอลิเอทิลีนเพียงเล็กน้อยจึงไม่พบพีคของหมู่คาร์บอนิล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.4.3 ค่าดัชนีการหลอมไหล (Melt Flow Index, MFI)

จากการทดลองเพื่อหาค่าดัชนีการหลอมไหลของการนำกลับมาใช้ใหม่ของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงบริสุทธิ์ ด้วยเครื่อง Melt Flow Indexer แสดงได้ดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ค่าดัชนีการหลอมไหลของการนำกลับมาใช้ใหม่ของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงบริสุทธิ์

ชิ้นงานตัวอย่าง	ค่าดัชนีการหลอมไหล, MFI (g/10 min)
พอลิเอทิลีนบริสุทธิ์	10.4 ± 0.76
การนำกลับมาใช้ใหม่ครั้งที่ 3 ของ HDPE	11.4 ± 0.39
การนำกลับมาใช้ใหม่ครั้งที่ 5 ของ HDPE	12.1 ± 0.63

เมื่อพิจารณาค่าหลอมไหลของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงบริสุทธิ์จากตารางที่ 4.3 พบว่า เมื่อจำนวนครั้งของการนำกลับมาใช้ใหม่เพิ่มขึ้น ค่าดัชนีการหลอมไหลของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงบริสุทธิ์ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องมาจากกระบวนการนำกลับมาใช้ใหม่ได้ผ่านกระบวนการทางความร้อนมาแล้ว เป็นเหตุให้สายโซ่ของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงบริสุทธิ์ มีแนวโน้มสั้นลง ทำให้สายโซ่โมเลกุลเคลื่อนที่ได้ง่ายขึ้น มีผลทำให้ค่าดัชนีการหลอมไหลของการนำกลับมาใช้ใหม่ของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงบริสุทธิ์สูงกว่าค่าดัชนีการหลอมไหลของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงบริสุทธิ์ซึ่งสัมพันธ์กับแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของสมบัติเชิงกลที่ได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อ 4.4.1

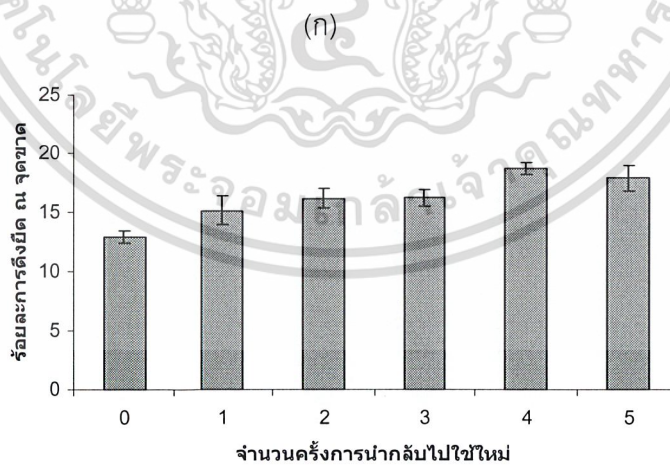
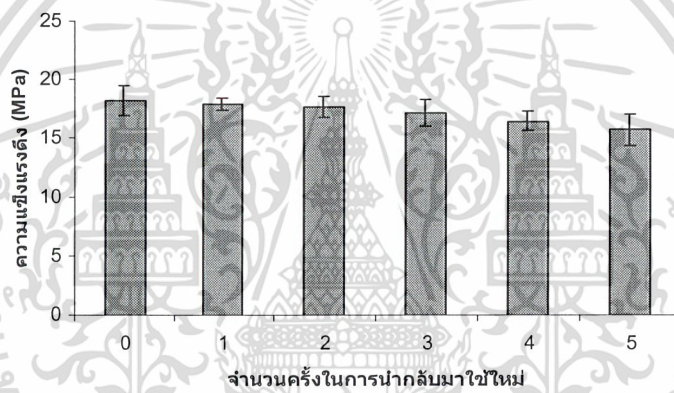
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.5 สมบัติของการนำกลับมาใช้ใหม่ของวัสดุผสมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงกับซีลีออยไม้ทุเรียนที่ขนาด 100-230 เมช ที่ปริมาณซีลีออยร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก

##### 4.5.1 สมบัติเชิงกล

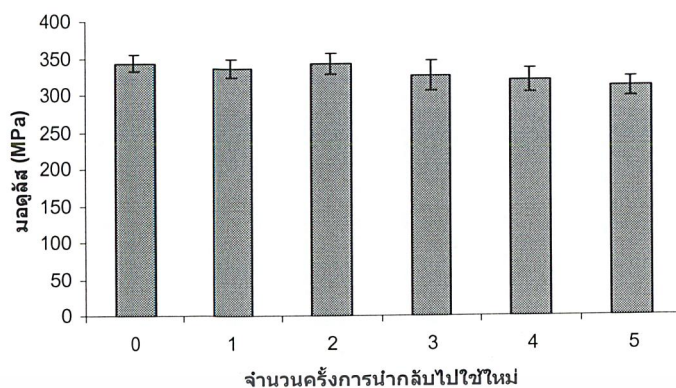
##### 4.5.1.1 สมบัติทางแรงดึง

จากรูปที่ 4.16 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติทางแรงดึงของการนำกลับมาใช้ใหม่ของวัสดุผสมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงกับซีลีออยไม้ทุเรียนที่ขนาด 100-230 เมช ที่ปริมาณซีลีออยร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก กับจำนวนครั้งของการนำกลับมาใช้ใหม่ พบว่า ค่าความแข็งแรงดึงและมอดุลัสมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อย แต่ค่าร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาด มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อจำนวนครั้งของการนำกลับมาใช้ใหม่เพิ่มขึ้น เนื่องจากเมื่อจำนวนครั้งของการนำกลับมาใช้ใหม่เพิ่มขึ้นทำให้ซีลีออยมีขนาดเล็กลง (จากรูปที่ 4.19) และการกระจายตัวของซีลีออยดี



(ข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ค)

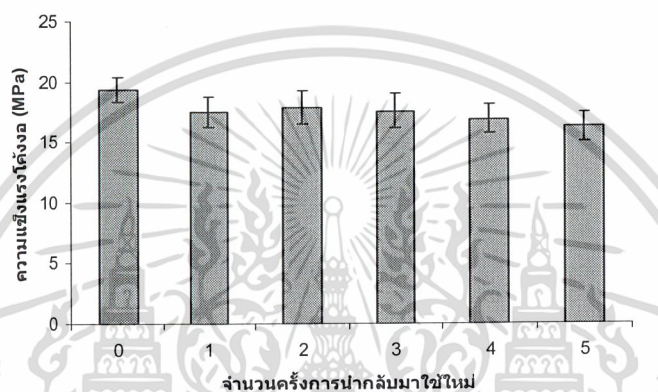
รูปที่ 4.16 สมบัติทางแรงดึงของการนำกลับมาใช้ใหม่ของวัสดุผลระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงกับซีลีเนียมที่เรียนที่ขนาด 100-230 เมช ที่ปริมาณซีลีเนียมร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก (ก) ความแข็งแรงดึง (ข) ร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาด และ (ค) มอดุลัส



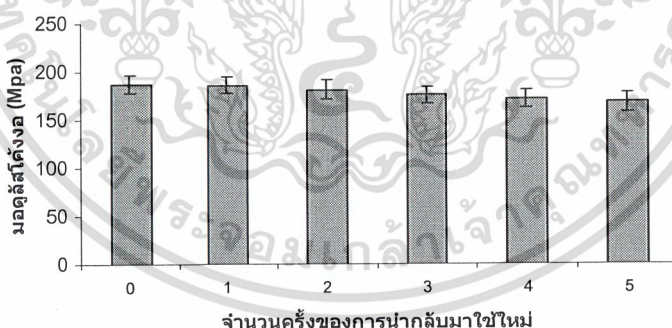
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.5.1.2 สมบัติความโค้งงอ

จากรูปที่ 4.17 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติความโค้งงอของการนำกลับมาใช้ใหม่ของวัสดุผสมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงบริสุทธิ์กับซีลีออยไม้ทุเรียนที่ขนาด 100 – 230 เมช ที่ปริมาณซีลีออยร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก กับจำนวนครั้งของการนำกลับมาใช้ใหม่ พบว่า ค่าความแข็งแรงโค้งงอ และมอดุลัสโค้งงอ มีแนวโน้มลดลง เมื่อจำนวนครั้งของการนำกลับมาใช้ใหม่เพิ่มขึ้นด้วยเหตุผลดังที่ได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อ (4.5.1.1)



(ก)



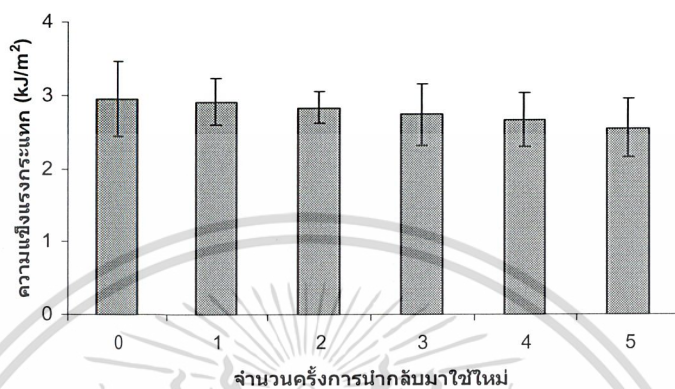
(ข)

รูปที่ 4.17 สมบัติทางแรงดึงของการนำกลับมาใช้ใหม่ของวัสดุผสมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงกับซีลีออยไม้ทุเรียนที่ขนาด 100-230 เมช ที่ปริมาณซีลีออยร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก (ก) ความแข็งแรงโค้งงอและ (ข) มอดุลัสโค้งงอ

#### 4.5.1.3 ความแข็งแรงกระแทก

จากรูปที่ 4.18 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งแรงกระแทกของการนำกลับมาใช้ใหม่ของวัสดุผสมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงกับซีลีออยไม้ทุเรียนที่ขนาด 100-230 เมช ที่

ปริมาณซีลีเนียมร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก กับจำนวนครั้งของการนำกลับมาใช้ใหม่ พบว่า ความแข็งแรงกระแทกมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อย เมื่อจำนวนครั้งของการนำกลับมาใช้ใหม่เพิ่มขึ้นด้วย เหตุผลดังที่ได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อ (4.5.1.1)



**รูปที่ 4.18** ความแข็งแรงกระแทกของการนำกลับมาใช้ใหม่ของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงกับซีลีเนียมไม้ทุเรียนที่ขนาด 100-230 เมช ที่ปริมาณซีลีเนียมร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก

จากการทดลองสมบัติเชิงกลทั้งหมดของการนำกลับมาใช้ใหม่ของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงกับซีลีเนียมไม้ทุเรียนที่ขนาด 100-230 เมช ที่ปริมาณซีลีเนียมร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก สามารถสรุปการเปลี่ยนแปลงสมบัติเชิงกลต่างๆ ได้ดังตารางที่ 4.4

**ตารางที่ 4.4** ร้อยละการเปลี่ยนแปลงสมบัติเชิงกลของการนำกลับมาใช้ใหม่ครั้งที่ 5 กับสมบัติเชิงกลของวัสดุผสมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงกับซีลีเนียมไม้ทุเรียนที่ขนาด 100-230 เมช ที่ปริมาณซีลีเนียมร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก ก่อนการนำกลับมาใช้ใหม่

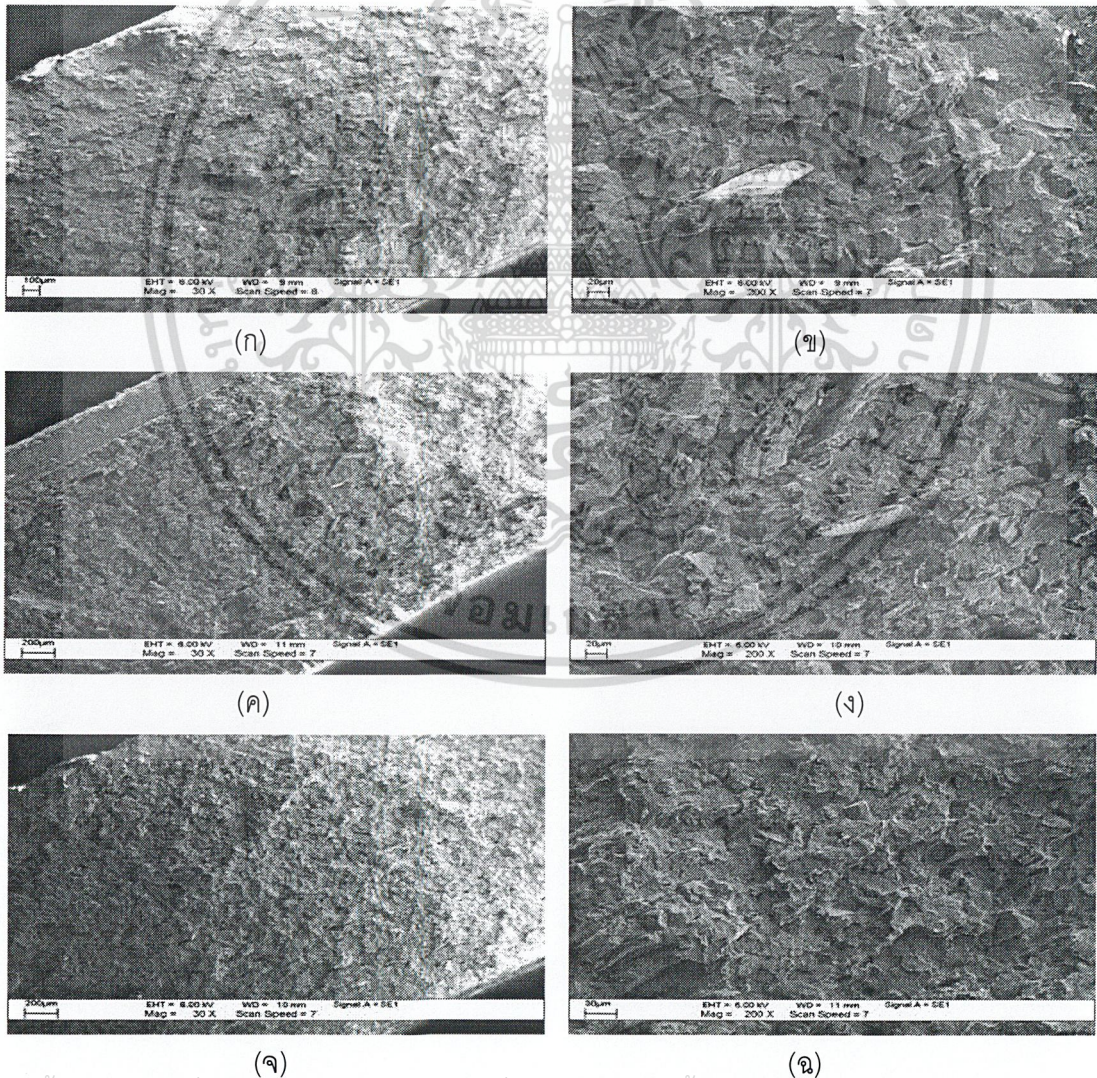
สมบัติเชิงกล	ร้อยละการเปลี่ยนแปลงสมบัติเชิงกล
ความแข็งแรงดึง	-13.1
ร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาด	+37.7
มอดุลัส	-9.2
ความแข็งแรงโค้งงอ	-16.2
มอดุลัสโค้งงอ	-10.4
ความแข็งแรงกระแทก	-13.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 4.4 เมื่อจำนวนครั้งของการนำกลับมาใช้ใหม่ของวัสดุผสมเพิ่มขึ้นพบว่าความแข็งแรงดึง มอดุลัส ความแข็งแรงโค้งงอ มอดุลัสโค้งงอและความแข็งแรงกระแทกมีแนวโน้มลดลงเนื่องจากเหตุผลที่ได้กล่าวไว้แล้วในข้อ (4.5.1.1) และการผ่านกระบวนการทางความร้อนหลายครั้งอาจทำให้ซีลี้อยบางส่วนเกิดการเสียสภาพโดยสังเกตได้จากสีของชิ้นงานที่เข้มขึ้นและมีกลิ่นเหม็นไหม้ในระหว่างการฉีดขึ้นรูปชิ้นงาน

#### 4.5.2 สัณฐานวิทยา

การศึกษาสัณฐานวิทยาของวัสดุผสมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงกับซีลี้อยไม้ทุเรียนที่ขนาด 100-230 เมช ที่ปริมาณซีลี้อยร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด แสดงได้ดังรูปที่ 4.19



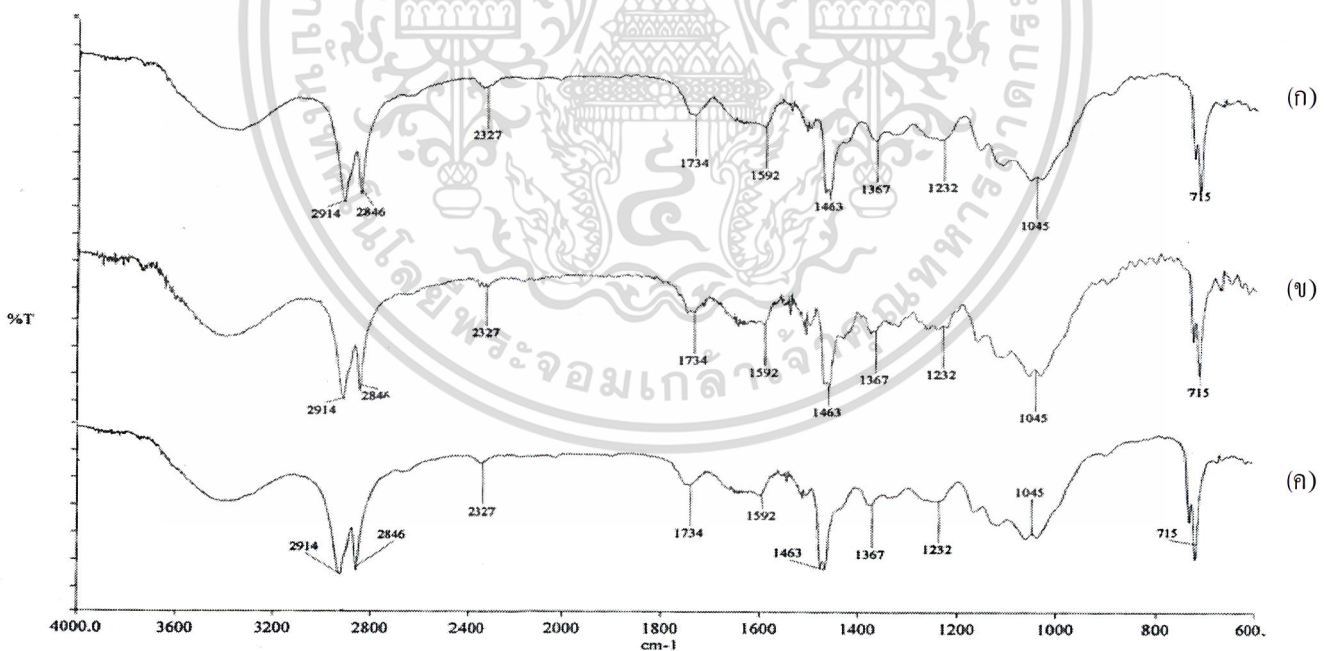
รูปที่ 4.19 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดกำลังขยาย 30 และ 200 เท่า  
 ไม่วารณใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้  
 ตามลำดับของ (ก) - (ข) พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงกับซีลี้อยไม้ทุเรียนที่ขนาด

100 – 230 เมช ที่ปริมาณซีลี้อยู่ร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก (ค) - (ง) การนำกลับมาใช้ใหม่  
ครั้งที่ 3 และ (จ) - (ฉ) การนำกลับมาใช้ใหม่ครั้งที่ 5

จากรูปที่ 4.19 (ก) - (ฉ) ซึ่งแสดงภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด  
กำลังขยาย 30 และ 200 เท่าของวัสดุผสมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงกับซีลี้อย  
ไม้ทุเรียนที่ขนาด 100 – 230 เมช ที่ปริมาณซีลี้อยู่ร้อยละ 20 โดยน้ำหนักที่ยังไม่มีการนำกลับมาใช้  
ใหม่ ถึงการนำกลับมาใช้ใหม่ครั้งที่ 5 ตามลำดับพบว่าเมื่อจำนวนครั้งของการนำกลับมาใช้เพิ่มขึ้น  
ทำให้ซีลี้อยู่มีขนาดเล็กลงและพบว่าการนำกลับมาใช้ใหม่ของวัสดุผสมอาจทำให้ซีลี้อยู่เกิดการ  
เสียสภาพจึงส่งผลให้สมบัติเชิงกลลดลง

#### 4.5.3 การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันโดยเทคนิค FTIR

การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของการนำกลับมาใช้ใหม่ของวัสดุผสมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิด  
ความหนาแน่นสูงกับซีลี้อยู่ไม้ทุเรียนที่ขนาด 100 – 230 เมช ที่ปริมาณซีลี้อยู่ร้อยละ 20 โดย  
น้ำหนัก ด้วยเทคนิค FTIR โดยใช้เครื่อง Fourier Transform Infrared Spectrometer ในช่วงเลข  
คลื่น 4000 – 600  $\text{cm}^{-1}$  แสดงได้ดังรูปที่ 4.20



รูปที่ 4.20 อินฟราเรดสเปกตรัมของวัสดุผสมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงกับซีลี้อยู่

ไม้ทุเรียนขนาด 100 – 230 เมช ที่ปริมาณร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก (ก) วัสดุผสมที่ยังไม่มี  
เอกสารนี้เป็นเอกสารนำกลับมาใช้ใหม่ (ข) วัสดุผสมที่นำกลับมาใช้ใหม่ครั้งที่ 3 และ (ค) วัสดุผสมที่นำกลับมาใช้  
ไม่ว่ากรณีใดก็ตามกลับมาใช้ใหม่ครั้งที่ 5 ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อพิจารณารูปที่ 4.20 (ก) - (ค) ซึ่งแสดงอินฟราเรดสเปกตรัมของวัสดุผสมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงบริสุทธิ์กับซีลีโอไมท์ขนาด 100 – 230 เมช ที่ปริมาณร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก การนำกลับมาใช้ใหม่ครั้งที่ 3 และการนำกลับมาใช้ใหม่ครั้งที่ 5 ตามลำดับพบว่า พิกที่ปรากฏนั้นมีลักษณะและตำแหน่งของช่วงพีกเช่นเดียวกัน ดังนั้นการนำกลับมาใช้ใหม่ของวัสดุผสม ถึง 5 ครั้ง ไม่เปลี่ยนแปลงหมู่ฟังก์ชันหลักของวัสดุผสม โดยการเปลี่ยนแปลงหมู่ฟังก์ชันของวัสดุผสมจะเกิดขึ้นเมื่อเกิดการเสถียรภาพของพอลิเอทิลีนบางส่วนทำให้เกิดพิกที่เป็นลักษณะของหมู่คาร์บอนิล (C=O stretching) ที่ช่วง 1750-1700  $\text{cm}^{-1}$  เพิ่มขึ้น แต่จากผลการทดลองอาจเกิดการเสถียรภาพของพอลิเอทิลีนเพียงเล็กน้อยจึงไม่พบพิกของหมู่คาร์บอนิลเพิ่มขึ้น

#### 4.5.4 ค่าดัชนีการหลอมไหล (Melt Flow Index, MFI)

จากการทดลองเพื่อหาค่าดัชนีการหลอมไหลของการนำกลับมาใช้ใหม่ของวัสดุผสมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงกับซีลีโอไมท์ทุเรียนขนาด 100 – 230 เมช ที่ปริมาณร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก ด้วยเครื่อง Melt Flow Indexer แสดงได้ดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ค่าดัชนีการหลอมไหลของการนำกลับมาใช้ใหม่ของวัสดุผสมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงกับซีลีโอไมท์ทุเรียนขนาด 100 – 230 เมช ที่ปริมาณร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก

ชิ้นงานตัวอย่าง	ค่าดัชนีการหลอมไหล, MFI (g/10 min)
HDPE+ซีลีโอไมท์ทุเรียนขนาด 100- 230 เมช ที่ 20 %	2.37 ± 0.42
การนำกลับมาใช้ใหม่ครั้งที่ 3 ของ HDPE+ซีลีโอไมท์ทุเรียนขนาด 100- 230 เมช ที่ 20 %	3.32 ± 0.37
การนำกลับมาใช้ใหม่ครั้งที่ 5 ของ HDPE+ซีลีโอไมท์ทุเรียนขนาด 100- 230 เมช ที่ 20 %	3.92 ± 0.74

จากตารางที่ 4.5 เมื่อพิจารณาค่าดัชนีการหลอมไหลของการนำกลับมาใช้ใหม่ของวัสดุผสมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงกับซีลีโอไมท์ทุเรียนขนาด 100 – 230 เมช ที่ปริมาณร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก พบว่า เมื่อจำนวนครั้งของการนำกลับมาใช้ใหม่เพิ่มขึ้น ค่าดัชนีการหลอมไหลของวัสดุผสมมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยจึงทำให้สมบัติเชิงกลเปลี่ยนแปลงไม่

มากนัก เนื่องจากการนำกลับมาใช้ใหม่ได้ผ่านกระบวนการทางความร้อนมาแล้ว เป็นเหตุให้สายโซ่ของ พอลิเอทิลีนมีแนวโน้มสั้นลง ทำให้สายโซ่โมเลกุลเคลื่อนที่ได้ง่ายขึ้น ส่งผลให้วัสดุผสมที่ผ่านการนำกลับมาใช้ใหม่ที่มีจำนวนครั้งของการนำกลับมาใช้ใหม่เพิ่มขึ้น มีค่าดัชนีการหลอมไหลเพิ่มขึ้นเล็กน้อย และเมื่อเปรียบเทียบค่าดัชนีการหลอมไหลกับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงบริสุทธิ์ (ตารางที่ 4.3) พบว่า การผสมซึ่งเฉลี่ยในพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงบริสุทธิ์มีผลทำให้ค่าดัชนีการหลอมไหลของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงบริสุทธิ์ลดลงเนื่องจากขี้เสี้ยนจะไปขัดขวางการเคลื่อนที่ของสายโซ่โมเลกุลของพอลิเอทิลีน ทำให้ไหลได้ยากขึ้น ส่งผลให้ค่าดัชนีการหลอมไหลลดลง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการนำซีลี้อยจากไม้ทุเรียนและไม้ยางพารามาใช้เป็นสารตัวเติมสำหรับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง โดยศึกษาถึงผลของขนาดและปริมาณของซีลี้อยที่มีต่อสมบัติต่างๆ โดยทำการศึกษาผลของปริมาณซีลี้อย ร้อยละ 10 20 30 และ 40 โดยน้ำหนัก โดยใช้ขนาดซีลี้อย 20 - 50 เมช และ 100 - 230 เมช ใช้การผสมด้วยเครื่องอัดรีดชนิดเกลียวหนอนคู่ (Twin-screw extruder) และขึ้นรูปด้วยเทคนิคการฉีดขึ้นรูป (Injection moulding) จากนั้นทำการทดสอบสมบัติต่างๆ จากการทดลองสามารถสรุปผลการวิจัยได้ดังนี้

##### 5.1.1 ผลของขนาดและปริมาณของซีลี้อยที่มีต่อสมบัติต่างๆ ของวัสดุผสมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงกับซีลี้อยจากไม้ทุเรียนและไม้ยางพารา

1. จากการศึกษาผลของขนาดของซีลี้อย พบว่าขนาดของซีลี้อยมีผลต่อค่ามอดุลัส มอดุลัสโค้งงอและความแข็งแรงกระแทกของวัสดุผสม กล่าวคือ การใช้ซีลี้อยที่มีขนาดเล็ก (100-230 เมช) ทำให้วัสดุมี มอดุลัสและมอดุลัสโค้งงอสูง แต่ความแข็งแรงกระแทกต่ำกว่าการใช้ซีลี้อยที่มีขนาดใหญ่ (20-50 เมช) แต่ขนาดของซีลี้อยไม่มีผลต่อความแข็งแรงดึง ร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาด ความแข็งแรงโค้งงอ และ ความแข็งแรงกระแทกของวัสดุผสม

2. จากการศึกษาผลของปริมาณของซีลี้อย พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณของซีลี้อยทำให้ค่าความแข็งแรงดึง และร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาด และความแข็งแรงโค้งงอ มีแนวโน้มลดลง แต่มอดุลัสและมอดุลัสโค้งงอมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น สำหรับความแข็งแรงกระแทกมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อใช้ปริมาณซีลี้อยร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก และมีแนวโน้มลดลงเมื่อมีปริมาณซีลี้อยเพิ่มมากขึ้นกว่านี้

3. จากการศึกษาสัณฐานวิทยาของวัสดุผสมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงกับซีลี้อยจากไม้ทุเรียนและไม้ยางพารา พบว่ามีความไม่เข้ากันและเกิดช่องว่างบริเวณรอยต่อระหว่างวัฏภาค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 5.1.2 ผลของการนำกลับมาใช้ใหม่ของวัสดุผสมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงกับซีลี้อยจากไม้ทุเรียน

1. จากการศึกษาการนำกลับมาใช้ใหม่เป็นจำนวน 5 ครั้ง ของวัสดุผสม พบว่า เมื่อจำนวนครั้งของการนำกลับมาใช้ใหม่เพิ่มขึ้นทำให้ความแข็งแรงดึง มอดุลัส มอดุลัสโค้งงอ ความแข็งแรงโค้งงอ และ ความแข็งแรงกระแทก มีแนวโน้มลดลง แต่ร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาด มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น

2. จากการศึกษาการนำกลับมาใช้ใหม่ของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงบริสุทธิ์เป็นจำนวน 5 ครั้ง พบว่า เมื่อจำนวนครั้งของการนำกลับมาใช้ใหม่เพิ่มขึ้นทำให้ความแข็งแรงดึง มอดุลัส มอดุลัสโค้งงอ ความแข็งแรงโค้งงอ และ ความแข็งแรงกระแทก มีแนวโน้มลดลงเล็กน้อย แต่ร้อยละการดึงยืด ณ จุดคราก มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น

3. จากการศึกษาสัณฐานวิทยา พบว่า ขนาดอนุภาคของซีลี้อย มีขนาดเล็กลงเมื่อจำนวนครั้งของการนำกลับมาใช้ใหม่เพิ่มขึ้น

4. จากการศึกษาค่าดัชนีการหลอมไหล พบว่า มีค่ามากขึ้นมีขนาดเล็กลงเมื่อจำนวนครั้งของการนำกลับมาใช้ใหม่เพิ่มขึ้น

### 5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ศึกษาการใช้สารช่วยผสม (Compatibilizer) เพื่อเพิ่มความสามารถในการเข้ากันได้ของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงกับซีลี้อยจากไม้ทุเรียนและไม้ยางพารา ซึ่งจะช่วยเพิ่มสมบัติเชิงกลของวัสดุผสม

2. ศึกษาสมบัติทางความร้อนเพิ่มเติม เช่น Thermogravimetric analysis (TGA) เพื่อศึกษาอุณหภูมิในการสลายตัวของซีลี้อย พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงบริสุทธิ์ และวัสดุผสม หรือ Differential Scanning Calorimeter (DSC) เพื่อศึกษาอุณหภูมิการเกิดผลึก อุณหภูมิการหลอมเหลว และความร้อนที่ใช้ในการหลอมเหลวผลึก เพื่อคำนวณหาปริมาณความเป็นผลึก

3. ศึกษาสีของชิ้นงานที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อจำนวนครั้งของการนำกลับมาใช้ใหม่เพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง

จิรพรรณ หน่ายคอน และมารีสา ตันติลักษณ์. 2541. **วัสดุคอมโพสิตจากพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงกับพอลิพรอพิลีนและเส้นใยอ้อย**. โครงการพิเศษ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

ชลธิชา นุ่มหอม. 2538. **เคมีพอลิเมอร์**. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์  
 ธารทิพย์ เขมะศิริ สุภาวดี ขาวนวน และอัมรา ขวดบา. 2545. **วัสดุคอมโพสิตจากพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิโอลิฟินส์:พีพีและเอชดีพีอีและเส้นใยหญ้าแฝก**.โครงการพิเศษ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

มนตรา พิริยะพิทยา และ ศรัญญา วิโรตติกุล. 2546. **สมบัติเชิงกลและสมบัติทางกายภาพของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่นำกลับมาใช้ใหม่โดยมีขี้เลื่อยจากไม้เต็งเป็นสารตัวเติม**.โครงการพิเศษ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

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

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

สมศักดิ์ วรมงคลชัย. 2545. **เอกสารประกอบการเรียนวิชาปฏิบัติการทดลองเรื่องการนำพลาสติกกลับมาใช้ใหม่** ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

อิทธิพล แจ่มชัด. 2545. **เอกสารประกอบการสอนวิชาการวัดพอลิเมอร์**. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

อิทธิพล แจ่มชัด. 2544. **เอกสารประกอบการสอนวิชาฟิสิกส์พอลิเมอร์**. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

แม่น อมรสิทธิ์ และ อมร เพชรผสม. 2539. **หลักการและเทคนิคการวิเคราะห์เชิงเครื่องมือ**. กรุงเทพฯชนพิมพ์ หน้า 108-188.

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่รวบรวมไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

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

Abu-Sharkh, B.F.; Hamid, H. 2004. **Degradation study of date palm fibre/polypropylene composites in natural and artificial weathering : mechanical and thermal analysis**. *Polymer Degradation and Stability*. 85. 967-975.

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.

Brydson, J.A. 1995. **Plastic Materials**. 6<sup>th</sup> ed. Butterworth: Butterworth Heinemann.

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

Colom, X.; Carrasco, F.; Pages, P.; and Canavate, J. 2003. **Effect of Different treatments on the interface of HDPE/lignocellulosic fiber composites**. *Composites Science and Technology*. 63. 161-169.

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.

Eero, S. 1993. **Wood Chemistry: Fundamentals and Applications**. 12<sup>th</sup> ed. Academic Press. Sandiego. 48.

Leidner, J. 1981. **Plastic Waste**, Marcel Dekker, Inc., New York

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Li, B.; and He, J. 2003. Investigation of mechanical property, flame retardancy and thermal degradation of LLDPE-wood-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.

Milgrom, J. 1972. *Incentive for Recycle and Reuse of Plastics*, Arthur D. Little, Inc., Cambridge.

M.KaZaYawoko, J.J.Balatinecz and R.T.Woodhams, "Diffuse Reflectance Fourier Transform Infrared Spectra of Wood Fibers Treated with Maleated Polypropylenes", *Journal Applied Polymer Science*. 66, 1997, 1163 – 1173.

Rodriquez, C.A.; Alberto, J.; and Reinecke, H. 2003. New Thermoplastic Materials Reinforced with Cellulose Based Fibers. *Journal Applied Polymer Science*. 90. 3466-3472.

Wambua, P.; Ivens, J.; and verpoest, I. 2003. Natural fibres: can they replace glass in fibre reinforced plastics. 63. 1259-1264.

[www.arcbc.org/arcbcweb/ASEAN\\_Precious\\_plants/default.htm](http://www.arcbc.org/arcbcweb/ASEAN_Precious_plants/default.htm)

[www.doae.go.th/data-agri](http://www.doae.go.th/data-agri)

[www.idec-nrw.de/images/lignin.gif](http://www.idec-nrw.de/images/lignin.gif)

[www.niko.unl.edu/bs101/notes/slide3\\_9.html](http://www.niko.unl.edu/bs101/notes/slide3_9.html)

[www.rpi.edu/FUNDAMENT/hemicel.htm](http://www.rpi.edu/FUNDAMENT/hemicel.htm)

[www.rain-tree.com/rubber.htm](http://www.rain-tree.com/rubber.htm)

[www.reothai.co.th/Para1.htm](http://www.reothai.co.th/Para1.htm)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้  
[www.yahoo.com,SCI.Polymers FAQ,1995](http://www.yahoo.com,SCI.Polymers FAQ,1995).

## ภาคผนวก ก

ตารางแสดงสมบัติเชิงกลของวัสดุผสมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงและ  
ซีลี้อยจากไม้ทุเรียนและไม้ยางพารา

## ความแข็งแรงดึง

ชนิดทดสอบ	Tensile strength (MPa)
Pure HDPE	20.1 ± 2.2
HDPE+ซีลี้อยทุเรียนขนาด 20 - 50 เมช ที่ 10%	19.0 ± 2.2
HDPE+ซีลี้อยทุเรียนขนาด 20 - 50 เมช ที่ 20%	18.8 ± 2.3
HDPE+ซีลี้อยทุเรียนขนาด 20 - 50 เมช ที่ 30%	17.1 ± 2.2
HDPE+ซีลี้อยทุเรียนขนาด 20 - 50 เมช ที่ 40%	16.2 ± 1.2
HDPE+ซีลี้อยทุเรียนขนาด 100 - 230 เมช ที่ 10%	18.8 ± 1.2
HDPE+ซีลี้อยทุเรียนขนาด 100 - 230 เมช ที่ 20%	17.4 ± 2.1
HDPE+ซีลี้อยทุเรียนขนาด 100 - 230 เมช ที่ 30%	16.1 ± 2.3
HDPE+ซีลี้อยทุเรียนขนาด 100 - 230 เมช ที่ 40%	15.3 ± 3.8
HDPE+ซีลี้อยยางขนาด 20 - 50 เมช ที่ 10%	18.0 ± 1.2
HDPE+ซีลี้อยยางขนาด 20 - 50 เมช ที่ 20%	17.8 ± 1.8
HDPE+ซีลี้อยยางขนาด 20 - 50 เมช ที่ 30%	18.0 ± 1.4
HDPE+ซีลี้อยยางขนาด 20 - 50 เมช ที่ 40%	16.9 ± 1.8
HDPE+ซีลี้อยยางขนาด 100 - 230 เมช ที่ 10%	17.6 ± 1.6
HDPE+ซีลี้อยยางขนาด 100 - 230 เมช ที่ 20%	16.2 ± 1.4
HDPE+ซีลี้อยยางขนาด 100 - 230 เมช ที่ 30%	15.5 ± 1.1
HDPE+ซีลี้อยยางขนาด 100 - 230 เมช ที่ 40%	16.6 ± 1.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาด

ชนิดทดสอบ	Elongation at break ( % )
Pure HDPE	45.1 ± 2.5
HDPE+ซีเลียมทุเรียนขนาด 20 - 50 เมช ที่ 10%	30.3 ± 1.9
HDPE+ซีเลียมทุเรียนขนาด 20 - 50 เมช ที่ 20%	18.2 ± 1.5
HDPE+ซีเลียมทุเรียนขนาด 20 - 50 เมช ที่ 30%	10.6 ± 1.3
HDPE+ซีเลียมทุเรียนขนาด 20 - 50 เมช ที่ 40%	9.1 ± 2.0
HDPE+ซีเลียมทุเรียนขนาด 100 - 230 เมช ที่ 10%	29.9 ± 2.0
HDPE+ซีเลียมทุเรียนขนาด 100 - 230 เมช ที่ 20%	16.7 ± 1.9
HDPE+ซีเลียมทุเรียนขนาด 100 - 230 เมช ที่ 30%	9.5 ± 1.2
HDPE+ซีเลียมทุเรียนขนาด 100 - 230 เมช ที่ 40%	6.0 ± 1.5
HDPE+ซีเลียมยางขนาด 20 - 50 เมช ที่ 10%	37.2 ± 1.5
HDPE+ซีเลียมยางขนาด 20 - 50 เมช ที่ 20%	16.7 ± 1.6
HDPE+ซีเลียมยางขนาด 20 - 50 เมช ที่ 30%	11.4 ± 1.8
HDPE+ซีเลียมยางขนาด 20 - 50 เมช ที่ 40%	7.8 ± 2.0
HDPE+ซีเลียมยางขนาด 100 - 230 เมช ที่ 10%	32.9 ± 1.5
HDPE+ซีเลียมยางขนาด 100 - 230 เมช ที่ 20%	13.1 ± 1.7
HDPE+ซีเลียมยางขนาด 100 - 230 เมช ที่ 30%	9.0 ± 2.0
HDPE+ซีเลียมยางขนาด 100 - 230 เมช ที่ 40%	6.7 ± 2.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## มอดูลัส

ชนิดทดสอบ	Modulus (MPa)
Pure HDPE	315 ± 24
HDPE+ซีเลียมทุเรียนขนาด 20 - 50 เมช ที่ 10%	319 ± 12
HDPE+ซีเลียมทุเรียนขนาด 20 - 50 เมช ที่ 20%	362 ± 19
HDPE+ซีเลียมทุเรียนขนาด 20 - 50 เมช ที่ 30%	443 ± 24
HDPE+ซีเลียมทุเรียนขนาด 20 - 50 เมช ที่ 40%	436 ± 19
HDPE+ซีเลียมทุเรียนขนาด 100 - 230 เมช ที่ 10%	333 ± 22
HDPE+ซีเลียมทุเรียนขนาด 100 - 230 เมช ที่ 20%	388 ± 20
HDPE+ซีเลียมทุเรียนขนาด 100 - 230 เมช ที่ 30%	452 ± 14
HDPE+ซีเลียมทุเรียนขนาด 100 - 230 เมช ที่ 40%	537 ± 26
HDPE+ซีเลียมยางขนาด 20 - 50 เมช ที่ 10%	321 ± 13
HDPE+ซีเลียมยางขนาด 20 - 50 เมช ที่ 20%	368 ± 24
HDPE+ซีเลียมยางขนาด 20 - 50 เมช ที่ 30%	413 ± 19
HDPE+ซีเลียมยางขนาด 20 - 50 เมช ที่ 40%	468 ± 21
HDPE+ซีเลียมยางขนาด 100 - 230 เมช ที่ 10%	304 ± 21
HDPE+ซีเลียมยางขนาด 100 - 230 เมช ที่ 20%	327 ± 19
HDPE+ซีเลียมยางขนาด 100 - 230 เมช ที่ 30%	385 ± 22
HDPE+ซีเลียมยางขนาด 100 - 230 เมช ที่ 40%	438 ± 14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ความแข็งแรงโค้งงอ

ชนิดทดสอบ	Flexural strength (MPa)
Pure HDPE	20.8 ± 1.5
HDPE+ขี้เลื่อยทุเรียนขนาด 20 - 50 เมช ที่ 10%	20.8 ± 2.3
HDPE+ขี้เลื่อยทุเรียนขนาด 20 - 50 เมช ที่ 20%	20.4 ± 1.5
HDPE+ขี้เลื่อยทุเรียนขนาด 20 - 50 เมช ที่ 30%	19.0 ± 1.9
HDPE+ขี้เลื่อยทุเรียนขนาด 20 - 50 เมช ที่ 40%	18.9 ± 1.4
HDPE+ขี้เลื่อยทุเรียนขนาด 100 - 230 เมช ที่ 10%	20.0 ± 1.9
HDPE+ขี้เลื่อยทุเรียนขนาด 100 - 230 เมช ที่ 20%	19.9 ± 2.3
HDPE+ขี้เลื่อยทุเรียนขนาด 100 - 230 เมช ที่ 30%	18.0 ± 1.7
HDPE+ขี้เลื่อยทุเรียนขนาด 100 - 230 เมช ที่ 40%	17.9 ± 2.1
HDPE+ขี้เลื่อยยางขนาด 20 - 50 เมช ที่ 10%	19.0 ± 1.5
HDPE+ขี้เลื่อยยางขนาด 20 - 50 เมช ที่ 20%	18.2 ± 2.1
HDPE+ขี้เลื่อยยางขนาด 20 - 50 เมช ที่ 30%	17.8 ± 1.6
HDPE+ขี้เลื่อยยางขนาด 20 - 50 เมช ที่ 40%	17.5 ± 1.8
HDPE+ขี้เลื่อยยางขนาด 100 - 230 เมช ที่ 10%	18.7 ± 2.2
HDPE+ขี้เลื่อยยางขนาด 100 - 230 เมช ที่ 20%	18.0 ± 1.2
HDPE+ขี้เลื่อยยางขนาด 100 - 230 เมช ที่ 30%	17.7 ± 2.4
HDPE+ขี้เลื่อยยางขนาด 100 - 230 เมช ที่ 40%	17.3 ± 1.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### มอดุลัสโค้งงอ

ชนิดทดสอบ	Flexural modulus (MPa)
Pure HDPE	142 ± 16
HDPE+ขี้เลื่อยทุเรียนขนาด 20 - 50 เมช ที่ 10%	146 ± 12
HDPE+ขี้เลื่อยทุเรียนขนาด 20 - 50 เมช ที่ 20%	188 ± 12
HDPE+ขี้เลื่อยทุเรียนขนาด 20 - 50 เมช ที่ 30%	190 ± 16
HDPE+ขี้เลื่อยทุเรียนขนาด 20 - 50 เมช ที่ 40%	228 ± 13
HDPE+ขี้เลื่อยทุเรียนขนาด 100 - 230 เมช ที่ 10%	164 ± 21
HDPE+ขี้เลื่อยทุเรียนขนาด 100 - 230 เมช ที่ 20%	184 ± 19
HDPE+ขี้เลื่อยทุเรียนขนาด 100 - 230 เมช ที่ 30%	203 ± 15
HDPE+ขี้เลื่อยทุเรียนขนาด 100 - 230 เมช ที่ 40%	235 ± 20
HDPE+ขี้เลื่อยยางขนาด 20 - 50 เมช ที่ 10%	139 ± 19
HDPE+ขี้เลื่อยยางขนาด 20 - 50 เมช ที่ 20%	161 ± 24
HDPE+ขี้เลื่อยยางขนาด 20 - 50 เมช ที่ 30%	174 ± 15
HDPE+ขี้เลื่อยยางขนาด 20 - 50 เมช ที่ 40%	217 ± 14
HDPE+ขี้เลื่อยยางขนาด 100 - 230 เมช ที่ 10%	149 ± 19
HDPE+ขี้เลื่อยยางขนาด 100 - 230 เมช ที่ 20%	184 ± 24
HDPE+ขี้เลื่อยยางขนาด 100 - 230 เมช ที่ 30%	212 ± 20
HDPE+ขี้เลื่อยยางขนาด 100 - 230 เมช ที่ 40%	235 ± 17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความแข็งแรงกระแทก

ชนิดทดสอบ	Impact strength (kJ / m <sup>2</sup> )
Pure HDPE	3.8 ± 0.1
HDPE+ซีล้อยทุเรียนขนาด 20 - 50 เมช ที่ 10%	3.9 ± 0.4
HDPE+ซีล้อยทุเรียนขนาด 20 - 50 เมช ที่ 20%	3.8 ± 0.4
HDPE+ซีล้อยทุเรียนขนาด 20 - 50 เมช ที่ 30%	3.5 ± 0.4
HDPE+ซีล้อยทุเรียนขนาด 20 - 50 เมช ที่ 40%	3.0 ± 0.3
HDPE+ซีล้อยทุเรียนขนาด 100 - 230 เมช ที่ 10%	3.4 ± 0.2
HDPE+ซีล้อยทุเรียนขนาด 100 - 230 เมช ที่ 20%	3.0 ± 0.2
HDPE+ซีล้อยทุเรียนขนาด 100 - 230 เมช ที่ 30%	2.8 ± 0.4
HDPE+ซีล้อยทุเรียนขนาด 100 - 230 เมช ที่ 40%	2.5 ± 0.3
HDPE+ซีล้อยยางขนาด 20 - 50 เมช ที่ 10%	4.0 ± 0.4
HDPE+ซีล้อยยางขนาด 20 - 50 เมช ที่ 20%	4.3 ± 0.2
HDPE+ซีล้อยยางขนาด 20 - 50 เมช ที่ 30%	4.3 ± 0.4
HDPE+ซีล้อยยางขนาด 20 - 50 เมช ที่ 40%	3.8 ± 0.2
HDPE+ซีล้อยยางขนาด 100 - 230 เมช ที่ 10%	3.7 ± 0.3
HDPE+ซีล้อยยางขนาด 100 - 230 เมช ที่ 20%	4.2 ± 0.6
HDPE+ซีล้อยยางขนาด 100 - 230 เมช ที่ 30%	3.3 ± 0.1
HDPE+ซีล้อยยางขนาด 100 - 230 เมช ที่ 40%	3.0 ± 0.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ภาคผนวก ข**  
**ตารางแสดงสมบัติเชิงกลของการนำกลับมาใช้ใหม่ของพอลิเอทิลีน**  
**ชนิดความหนาแน่นสูงบริสุทธิ์**

**ความแข็งแรงดึง**

ชนิดทดสอบ	Tensile strength (MPa)
Pure HDPE	20.1 ± 1.2
การนำกลับมาใช้ใหม่ครั้งที่ 1	19.9 ± 1.4
การนำกลับมาใช้ใหม่ครั้งที่ 2	19.9 ± 1.0
การนำกลับมาใช้ใหม่ครั้งที่ 3	19.8 ± 1.0
การนำกลับมาใช้ใหม่ครั้งที่ 4	19.6 ± 1.1
การนำกลับมาใช้ใหม่ครั้งที่ 5	19.4 ± 1.5

**ร้อยละการดัดยัด ณ จุดคราก**

ชนิดทดสอบ	Elongation at yield (%)
Pure HDPE	8.9 ± 1.2
การนำกลับมาใช้ใหม่ครั้งที่ 1	10.4 ± 0.9
การนำกลับมาใช้ใหม่ครั้งที่ 2	10.6 ± 1.6
การนำกลับมาใช้ใหม่ครั้งที่ 3	10.8 ± 2.0
การนำกลับมาใช้ใหม่ครั้งที่ 4	11.3 ± 13.0
การนำกลับมาใช้ใหม่ครั้งที่ 5	11.5 ± 1.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## มอดุลัส

ชนิดทดสอบ	Modulus (MPa)
Pure HDPE	298 ± 14
การนำกลับมาใช้ใหม่ครั้งที่ 1	293 ± 21
การนำกลับมาใช้ใหม่ครั้งที่ 2	294 ± 9
การนำกลับมาใช้ใหม่ครั้งที่ 3	292 ± 15
การนำกลับมาใช้ใหม่ครั้งที่ 4	284 ± 24
การนำกลับมาใช้ใหม่ครั้งที่ 5	276 ± 11

## ความแข็งแรงโค้งงอ

ชนิดทดสอบ	Flexural strength (MPa)
Pure HDPE	20.8 ± 2.3
การนำกลับมาใช้ใหม่ครั้งที่ 1	20.2 ± 3.2
การนำกลับมาใช้ใหม่ครั้งที่ 2	19.7 ± 1.3
การนำกลับมาใช้ใหม่ครั้งที่ 3	19.3 ± 2.5
การนำกลับมาใช้ใหม่ครั้งที่ 4	18.9 ± 1.2
การนำกลับมาใช้ใหม่ครั้งที่ 5	18.7 ± 2.2

## มอดุลัสโค้งงอ

ชนิดทดสอบ	Flexural modulus (MPa)
Pure HDPE	149 ± 27
การนำกลับมาใช้ใหม่ครั้งที่ 1	149 ± 10
การนำกลับมาใช้ใหม่ครั้งที่ 2	147 ± 12
การนำกลับมาใช้ใหม่ครั้งที่ 3	144 ± 13
การนำกลับมาใช้ใหม่ครั้งที่ 4	140 ± 7
การนำกลับมาใช้ใหม่ครั้งที่ 5	140 ± 18

เอกสารนี้เป็นเอกสารต้นฉบับที่จัดทำขึ้นเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดก็ตาม การนำกลับมาใช้ใหม่ครั้งที่ 4 ลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของลิขสิทธิ์ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ความแข็งแรงกระแทก

ชนิดทดสอบ	Impact strength (kJ / m <sup>2</sup> )
Pure HDPE	3.94 ± 0.35
การนำกลับมาใช้ใหม่ครั้งที่ 1	3.82 ± 0.45
การนำกลับมาใช้ใหม่ครั้งที่ 2	3.86 ± 0.48
การนำกลับมาใช้ใหม่ครั้งที่ 3	3.73 ± 0.36
การนำกลับมาใช้ใหม่ครั้งที่ 4	3.52 ± 0.21
การนำกลับมาใช้ใหม่ครั้งที่ 5	3.46 ± 0.45



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ค

ตารางแสดงสมบัติเชิงกลของการนำกลับมาใช้ใหม่ของวัสดุผสมระหว่าง  
พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงกับซีลี้อยุ่เรียนขนาด 100 – 230 เมช  
ที่ปริมาณซีลี้อยู่ร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก

## ความแข็งแรงดึง

ชนิดทดสอบ	Tensile strength (MPa)
HDPE+ ซีลี้อยุ่เรียนขนาด 100 – 230 เมช ที่ 20%	18.2 ± 1.2
การนำกลับมาใช้ใหม่ครั้งที่ 1	18.0 ± 1.9
การนำกลับมาใช้ใหม่ครั้งที่ 2	17.2 ± 1.9
การนำกลับมาใช้ใหม่ครั้งที่ 3	17.2 ± 1.1
การนำกลับมาใช้ใหม่ครั้งที่ 4	16.5 ± 2.1
การนำกลับมาใช้ใหม่ครั้งที่ 5	15.8 ± 1.4

## ร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาด

ชนิดทดสอบ	Elongation at break (%)
HDPE+ ซีลี้อยุ่เรียนขนาด 100 – 230 เมช ที่ 20%	13.0 ± 2.5
การนำกลับมาใช้ใหม่ครั้งที่ 1	15.2 ± 1.2
การนำกลับมาใช้ใหม่ครั้งที่ 2	16.2 ± 2.8
การนำกลับมาใช้ใหม่ครั้งที่ 3	16.3 ± 1.7
การนำกลับมาใช้ใหม่ครั้งที่ 4	18.7 ± 2.5
การนำกลับมาใช้ใหม่ครั้งที่ 5	17.9 ± 1.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## มอดูลัส

ชนิดทดสอบ	Modulus (MPa)
HDPE+ ซีล้อยทุเรียนขนาด 100 – 230 เมช ที่ 20%	343 ± 11
การนำกลับมาใช้ใหม่ครั้งที่ 1	337 ± 12
การนำกลับมาใช้ใหม่ครั้งที่ 2	343 ± 14
การนำกลับมาใช้ใหม่ครั้งที่ 3	326 ± 20
การนำกลับมาใช้ใหม่ครั้งที่ 4	320 ± 16
การนำกลับมาใช้ใหม่ครั้งที่ 5	311 ± 14

## ความแข็งแรงโค้งงอ

ชนิดทดสอบ	Flexural strength (MPa)
HDPE+ ซีล้อยทุเรียนขนาด 100 – 230 เมช ที่ 20%	19.4 ± 2.0
การนำกลับมาใช้ใหม่ครั้งที่ 1	17.5 ± 2.3
การนำกลับมาใช้ใหม่ครั้งที่ 2	17.9 ± 1.3
การนำกลับมาใช้ใหม่ครั้งที่ 3	17.6 ± 1.5
การนำกลับมาใช้ใหม่ครั้งที่ 4	16.9 ± 1.2
การนำกลับมาใช้ใหม่ครั้งที่ 5	16.3 ± 1.2

## มอดูลัสโค้งงอ

ชนิดทดสอบ	Flexural modulus (MPa)
HDPE+ ซีล้อยทุเรียนขนาด 100 – 230 เมช ที่ 20%	189 ± 9
การนำกลับมาใช้ใหม่ครั้งที่ 1	186 ± 8
การนำกลับมาใช้ใหม่ครั้งที่ 2	182 ± 10
การนำกลับมาใช้ใหม่ครั้งที่ 3	176 ± 8
การนำกลับมาใช้ใหม่ครั้งที่ 4	172 ± 9
การนำกลับมาใช้ใหม่ครั้งที่ 5	168 ± 10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ไปยังประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น การนำกลับมาใช้ใหม่ครั้งที่ 4 หาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ความแข็งแรงกระแทก

ชนิดทดสอบ	Impact strength ( kJ / m <sup>2</sup> )
HDPE+ ซีล้อยทุเรียนขนาด 100 – 230 เมช ที่ 20%	2.96 ± 0.51
การนำกลับมาใช้ใหม่ครั้งที่ 1	2.92 ± 0.31
การนำกลับมาใช้ใหม่ครั้งที่ 2	2.84 ± 0.21
การนำกลับมาใช้ใหม่ครั้งที่ 3	2.74 ± 0.41
การนำกลับมาใช้ใหม่ครั้งที่ 4	2.67 ± 0.36
การนำกลับมาใช้ใหม่ครั้งที่ 5	2.55 ± 0.40



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ง

ภาวะฉีดขึ้นรูปวัสดุผสมระหว่างพอลิเอทอไลน์ชนิดความหนาแน่นสูงกับซีลื้อย

ความดัน (Pressure, kg/cm <sup>2</sup> )	
Die close pressure	80
CIs low pressure	50
CIs high pressure	80
Die open pressure	20
1 <sup>st</sup> inject pressure	70
2 <sup>nd</sup> inject pressure	45
3 <sup>rd</sup> inject pressure	40
Melting pressure	50
Decomposition pressure	30
Plunger pressure	13
Ejector pressure	5
Screw-in pressure	40
Die adjust pressure	40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้