

คอมโพสิตจากหมวดพอลิสไตรีนที่ใช้แล้วกับเส้นใยชานอ้อย



เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 49272
วัน, เดือน, ปี 18 ก.พ. 2547

b.....
i.....

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาเคมี
คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2545

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Polystyrene Composites from Recycled PS/Bagasses fibers



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 2002

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการพิเศษเรื่อง คอมพิวเตอร์พอลิสไตรีนที่ใช้แล้วกับเส้นใยชานอ้อย

นักศึกษา 1. นายนิมิตร ตั้งเสริมั่นคง รหัส 42050090
2. นายประพนธ์ มนัสพงษ์ รหัส 42050094

ภาควิชา เคมี

สาขาวิชา เคมีอุตสาหกรรม

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.มาลินี ชัยสุภกิจสินธุ์

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังอนุมัติให้
โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

กรรมการ	ลายมือชื่อ
ประธานกรรมการ ดร.จุฑารัตน์ ปรีชญาวรากร	
กรรมการ ผศ.ดร.นิพนธ์ วงศ์วิเศษสิริกุล	
กรรมการ ผศ.ดร.มาลินี ชัยสุภกิจสินธุ์	


.....
(รศ.ดร.สมศักดิ์ วรมงคลชัย)

หัวหน้าภาควิชา

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการพิเศษเรื่อง	คอมโพลิตจากพอลิเอสไตรีนที่ใช้แล้วกับเส้นใยชานอ้อย		
นักศึกษา	นายนิมิตร	ตั้งเสรีมั่นคง	42050090
	นายประพนธ์	มนัสพงษ์	42050094
ภาควิชา	เคมี		
สาขาวิชา	เคมีอุตสาหกรรม		
ปีการศึกษา	2545		
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.มาลินี ชัยศุกกิจสินธุ์		

บทคัดย่อ

โครงการพิเศษนี้ มีจุดประสงค์เพื่อศึกษา สมบัติของ PS คอมโพลิตที่เตรียมจาก PS ผสมกับเส้นใยชานอ้อยชนิดสั้น PS ได้มาจากขวดยาสูบที่ใช้แล้วทั้งและเส้นใยชานอ้อยมาจากการผลิตน้ำตาลอ้อย ในการทดลองนี้ใช้มาลิกแอนไฮดราไซด์ (MA) ไดคิมิวเปอร์ออกไซด์ (DCP) และซิงค์สเตียเรต ผสมพร้อมกันด้วยเครื่องผสมความเร็วสูง แล้วนำไปผสมด้วยเครื่องอัดรีดเกลียวหนอนเดี่ยวและเครื่องฉีดขึ้นรูปตามลำดับ ในทุก ๆ สูตรใช้ PS 100 phr ผสมกับเส้นใยชานอ้อยและสารตัวเติมในปริมาณต่าง ๆ จากการทดลองพบว่า MA ทำให้คอมโพลิตพอลิเมอร์มีค่ามอดูลัสสูงขึ้นและมีความแข็งแรงประาะ Zn-stearate ไม่ส่งผลต่อสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ แต่จะทำหน้าที่เป็นสารหล่อลื่น ปริมาณของเส้นใยชานอ้อยที่เพิ่มขึ้นจะทำให้คอมโพลิตพอลิเมอร์มีค่ามอดูลัสและสมบัติรับแรงกระแทกสูงขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Special Project Title	Polystyrene Composites from Recycled PS/Bagasses fiber	
Name	Mr. Nimit	Tangsareemankong
	Mr. Praon	Manutpong
Spacial Project Advisor	Asst.Prof. Dr. Malinee	Chaisupakitsin
Department	Chemistry	
Academic Year	2002	

Abstract

The special project aims to study on the properties of PS composites prepared from PS with short bagasses fiber. PS is wasteful materials from Yakult bottles and bagasses fiber are wasteful materials from sugar cane production. In this experiment , maleic anhydride and dicumyl peroxide and Zn-stearate were added in various ratios by in-situ technique Additives and bagasses fiber were mixed with PS in the high speed mixing machine , follow by extruder and injection moulding machine, respectively.

In every formular, PS 100 phr was fixed and mixed with various ratios of bagasses fiber and additives. The mechanical properties , thermal properties morphology were investigated . It was found that the composites composed of MA give high modulus and brittle . Zn-stearate show no effect on mechanical properties but it acted as lubricant . The increasing amount of bagasses give high modulus and impact strength.

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.มาลินี ชัยศุกกิจสินธุ์ ที่กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำ และความช่วยเหลือ ในการดำเนินงาน โครงการพิเศษนี้มาตลอด

ขอขอบพระคุณ ดร.จุฑารัตน์ ปรีชญาวรรการ และ ผศ.ดร.นิพนธ์ วงศ์วิเศษศิริกุล อาจารย์ คณะกรรมการตรวจสอบโครงการพิเศษที่ให้ความอนุเคราะห์ตรวจทานและแก้ไขโครงการพิเศษ ฉบับนี้ให้ถูกต้องสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอบคุณสำหรับ ความช่วยเหลือในทุกๆเรื่อง กำลังใจ และรอยยิ้มที่มีให้เสมอ ของ พ่อแม่พี่น้อง เพื่อนๆ ทุกคน เจ้าหน้าที่ของภาคเคมี และเจ้าหน้าที่ของศูนย์เครื่องมือฯ มหาวิทยาลัยเกษตร ทุกท่าน ที่ให้ความช่วยเหลือเป็นอย่างดี

นายนิมิตร

นายประพนธ์

ตั้งเสรีมันคง

มนัสพงษ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
สารบัญ	ข-ค
สารบัญตาราง	ง
สารบัญรูป	จ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาของโครงการพิเศษ/ปัญหาพิเศษ	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	2
1.4 ขั้นตอนการวิจัยและดำเนินงาน	2
1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	3
2.1 การนำพอลิเมอร์มาฉายรังสี	3
2.2 พอลิเมอร์ผสม	3
2.3 พอลิเมอร์คอมโพสิต	3
2.3.1 ส่วนเสริมแรง	3
2.3.2 พอลิเมอร์เมทริกซ์	6
2.4 พอลิस्टไทริน	7
2.5 ชานอ้อย	8
2.5.1 ส่วนประกอบทางเคมีและทางกายภาพของชานอ้อย	8
2.5.2 เซลลูโลส	9
2.5.3 เฮมิเซลลูโลส	9
2.5.4 ลิกนิน	10
2.6 อินเตอร์เฟสระหว่างเส้นใยกับเมทริกซ์	11
2.7 การปรับปรุงสมบัติการยึดติด	12
2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	14
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	16
3.1 วัสดุและสารเคมีที่ใช้	16
3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ	16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3	วิธีการทดลอง	17
3.3.1	การเตรียมพลาสติกจากขวดยาคูลท์	17
3.3.2	เตรียมเส้นใยชานอ้อย	17
3.3.3	การเตรียมชิ้นงานกลุ่มที่ 1	18
3.3.4	การเตรียมชิ้นงานกลุ่มที่ 2	19
3.3.5	วิธีการเตรียม PS-graft-MA	20
3.3.6	การหา %grafting	20
3.4	ทดสอบสมบัติ	20
บทที่ 4	ผลการทดลองและอภิปรายผล	22
4.1	ผลการทดลอง	22
4.1.1	การทดสอบสมบัติเชิงกล	23
ก)	ความแข็งแรงดึง	23
ข)	มอดูลัส	24
ค)	ร้อยละการยืด ณ จุดขาด	25
ง)	ความแข็งกด	26
จ)	ความแข็งแรงกระแทก	27
ฉ)	ความแข็งโค้งงอ	28
ช)	มอดูลัส โค้งงอ	29
ซ)	ระยะคดโค้งงอ	30
4.1.2	การทดสอบสมบัติทางความร้อน	31
	การศึกษาอุณหภูมิที่ทำให้เกิดการโค้งงอของชิ้นงาน	31
4.1.3	การศึกษาสัณฐานวิทยา	32
4.1.4	ผลการหา %การกราฟ	36
4.2	อภิปรายผลการทดลอง	36
4.2.1	การศึกษาช่วงที่หนึ่ง	36
4.2.2	การศึกษาช่วงที่สอง	37
บทที่ 5	สรุปและข้อเสนอแนะ	39
	เอกสารอ้างอิง	41
	ภาคผนวก	42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 สมบัติเชิงกลของ PS และ HIPS	8
3.1ก อัตรารส่วนผสมกลุ่มที่ 1 ครั้งที่ 1	18
3.1ข อัตรารส่วนผสมกลุ่มที่ 1 ครั้งที่ 2	18
3.2ก อัตรารส่วนผสมกลุ่มที่ 2 ครั้งที่ 1	19
3.2ข อัตรารส่วนผสมกลุ่มที่ 2 ครั้งที่ 2	19
4.1 ส่วนผสมของแต่ละสูตร	22



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ประเภทของวัสดุคอมพอสิตโดยแบ่งตามลักษณะของส่วนเสริมแรง	5
2.2 ตัวอย่างคอมโพสิตที่มีส่วนเสริมแรงต่างกัน	6
2.3 โครงสร้างพอลิไทริน	7
2.4 สูตรโครงสร้างของเซลลูโลส	9
2.5 สูตรโครงสร้างของเฮมิเซลลูโลส	10
2.6 ตัวอย่างหน่วยซ้ำของลิกนิน	10
2.7 การจัดเรียงตัวของเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน ในไม้	11
2.8 ภาพวาดแสดง (Interphase) กับ (Interface)	12
2.9 การยึดติดเชิงกล	13
2.10 การยึดติดทางเคมี	13
2.11 แรงดึงคูดประจุหรือไฟฟ้าสถิตย์	13
2.12 แรงดึงคูดประจุหรือไฟฟ้าสถิตย์	13
2.13 การยึดติดแบบแพร่ผ่าน	14
4.1 Tensile Strength ของพลาสติกแต่ละสูตร	23
4.2 Modulus Elastic ของพลาสติกแต่ละสูตร	24
4.3 %Elongation at break ของพลาสติกแต่ละสูตร	25
4.4 Hardness ของพลาสติกแต่ละสูตร	26
4.5 Impact Strength ของพลาสติกแต่ละสูตร	27
4.6 Flexural Strength ของพลาสติกแต่ละสูตร	28
4.7 Flexural Modulus ของพลาสติกแต่ละสูตร	29
4.8 Deformation at Maximum Load ของพลาสติกแต่ละสูตร	30
4.9 Heat Distortion Temperature ของพลาสติกแต่ละสูตร	31
4.10 SEM สูตร 1a กำลังขยาย 100 เท่า	32
4.11 SEM สูตร 2a กำลังขยาย 100 เท่า	32
4.12 SEM สูตร 3a กำลังขยาย 100 เท่า	33
4.13 SEM สูตร 4a กำลังขยาย 100 เท่า	33

4.14 SEM สูตร 5a กำลังขยาย 100 เท่า	34
4.15 SEM สูตร 6a กำลังขยาย 100 เท่า	34
4.16 SEM สูตร 4aNo กำลังขยาย 100 เท่า	35
4.17 SEM สูตร 4com กำลังขยาย 100 เท่า	35



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาของโครงการพิเศษ/ปัญหาพิเศษ

ปัจจุบันพลาสติกได้รับการนิยมนำมาทำเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ มากมาย ซึ่งให้สมบัติที่ดี ราคาถูก และทนต่อสภาพแวดล้อมและการกัดกร่อน แต่ว่าการที่พลาสติกทนต่อการกัดกร่อนก็เป็นข้อเสียต่อพลาสติกด้วยเช่นกัน คือทำให้พลาสติกยากต่อการย่อยสลายเมื่อผลิตภัณฑ์พลาสติกถูกทิ้งเป็นขยะ ในขณะที่มีความต้องการบริโภคพลาสติกเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ ดังนั้นปัญหาในการจัดการขยะพลาสติกจึงต้องมีการตอบสนองให้ทันกับปริมาณการบริโภคพลาสติก

ที่มาของขยะพลาสติกนั้นมาจากการทิ้งของครัวเรือนต่างๆ เป็นส่วนใหญ่และจากโรงงานผลิตซึ่งปริมาณการทิ้งพลาสติกน้อยกว่าจากครัวเรือนมาก

ในโครงการพิเศษนี้ได้พยายามนำขยะพลาสติกเหลือใช้กลับมาใช้ใหม่อีกครั้ง (Recycle) โดยเลือกใช้พลาสติกจากขวดยาสูบที่ ซึ่งเป็นพลาสติกจำพวกเทอร์โมพลาสติก แต่เป็นที่ทราบกันดีอยู่แล้วว่าผลิตภัณฑ์เทอร์โมพลาสติก Recycle จะมีสมบัติของผลิตภัณฑ์ที่ได้โดยรวมด้อยลงกว่าเดิม ดังนั้นจึงควรทำการเติมสารตัวเติมต่างๆ ลงไปเพื่อให้ได้สมบัติของผลิตภัณฑ์ที่ดีขึ้น โดยจะทำการเป็นลักษณะของพอลิเมอร์คอมโพสิต สารเสริมแรงที่ใช้สมควรจะใช้เส้นใย เช่น ฆานอ้อย เนื่องจากเป็นเส้นใยธรรมชาติที่มีราคาถูกกว่าเส้นใยสังเคราะห์มาก หาง่ายและเป็นเส้นใยที่เหลือใช้จากการทำน้ำตาลจากอุตสาหกรรมผลิตน้ำตาล และข้อดีอีกหลายๆ ข้อที่เลือกใช้เส้นใยธรรมชาติคือ

1. มีความหนาแน่นค่อนข้างต่ำ
2. ตัวเส้นใยสามารถย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติ
3. เส้นใยที่ได้ไม่ต้องผ่านการสังเคราะห์จากขบวนการทางอุตสาหกรรม ฉะนั้นจึงเป็นการช่วยรักษาธรรมชาติ
4. เส้นใยธรรมชาติก็มีหลายชนิดให้เลือกใช้
5. ลดต้นทุนการผลิต

1.2 วัตถุประสงค์

1. การเตรียมพอลิเมอร์คอมโพสิตจากวัสดุเหลือใช้ได้แก่ขวดยาสูบและเส้นใยฆานอ้อย
2. ศึกษาสมบัติของพอลิเมอร์ที่เตรียมได้ทางด้านสมบัติเชิงกล สมบัติทางกายภาพและสมบัติทางความร้อน รวมทั้งสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ที่เตรียมได้

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

โครงการนี้เป็นการศึกษาสมบัติของพอลิเมอร์คอมโพสิตที่เตรียมจากขวดยาкулท์ที่ผ่านการปรับปรุงแล้ว และนำมาทำการเติมสารต่างๆ ดังนี้

1. ไม่เติมสารเติมแต่งใดๆ ลงไปเลย
2. เติมเส้นใยชานอ้อยอย่างเดียว
3. เติมเส้นใยชานอ้อย และ MA
4. เติมเส้นใยชานอ้อย และ Zn-sterate
5. เติมเส้นใยชานอ้อย และ MA และ Dicumyl peroxide
6. เติมเส้นใยชานอ้อย และ MA และ Dicumyl peroxide และ Zn-sterate
7. เติม MA และ Dicumyl peroxide
8. เติม PS-graft-MA

1.4 ขั้นตอนการวิจัยและดำเนินงาน

1. นำขวดยาкулท์มาดเป็นชิ้นเล็กๆ โดยใช้เครื่องตัดชิ้นงาน
2. ทำการร่อนคัดแยกขนาดเส้นใยชานอ้อยระหว่างขนาด 0.25-0.8 mm
3. ทำการผสมสารตัวเติมแต่ละชนิดลงในพลาสติกในสัดส่วนต่างๆ ด้วยเครื่องผสมความเร็วสูง (Internal high speed mixer)
4. นำส่วนผสมที่ได้จากข้อ 3 ไปผสมกันในเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว (Single-screw extruder)
5. นำส่วนผสมที่ได้จากข้อ 4 ไปฉีดขึ้นรูปสำหรับทดสอบสมบัติเชิงกล
6. ทดสอบสมบัติเชิงกล และ ความร้อน รวมทั้งสัมมนาวิทยา

1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถผลิตวัสดุพลาสติกที่มีคุณสมบัติที่ดีขึ้น จากการ Recycle
2. ศึกษาผลของสารตัวเติมต่างๆ ในระบบการเตรียมพอลิเมอร์คอมโพสิตนี้
3. ศึกษาผลของปริมาณเส้นใยในระบบการเตรียมพอลิเมอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

ในการปรับปรุงสมบัติของพอลิเมอร์หรือพลาสติก สามารถทำได้หลากหลายวิธี เช่น การนำชิ้นงานมาฉายรังสีในสภาวะต่างๆ นำพอลิเมอร์ชนิดอื่นๆ มาผสมเข้าไป (Polymer blends) และ การทำเป็นพอลิเมอร์คอมโพสิตและอื่นๆ

2.1 การนำพอลิเมอร์มาฉายรังสี

รังสีที่นิยมนำมาปรับปรุงพอลิเมอร์มีได้แก่ รังสีแกมมา และรังสีอิเล็กตรอน โดยจะต้องทำการควบคุมสภาวะแวดล้อมการฉายรังสีก็จะสามารถทำให้เกิดองศาการเชื่อมโยงของพอลิเมอร์หรือของชิ้นงานได้ โดยรังสีแกมมาจะมีความสามารถในการทะลุทะลวงสูงกว่ารังสีอิเล็กตรอนเป็นผลให้สามารถปรับปรุงชิ้นงานได้ทั้งชิ้นงาน ขณะที่รังสีอิเล็กตรอนจะนำมาประยุกต์ใช้ในการปรับปรุงสภาพพื้นผิวของพอลิเมอร์ได้ดี การประยุกต์ใช้รังสีในการปรับปรุงพอลิเมอร์นั้นสามารถที่จะนำมาประยุกต์ใช้ได้มากมาย แต่อย่างไรก็ตามการใช้รังสีในการปรับปรุงพอลิเมอร์ก็มีข้อเสียในเรื่องของต้นทุนการผลิตที่สูง และความปลอดภัยในการทำงานของคนที่ยากต่อการระงับรังสี

2.2 พอลิเมอร์ผสม (Polymer blend)

พอลิเมอร์ผสมสามารถนำมาปรับปรุงสมบัติของพอลิเมอร์ได้ โดยการนำพอลิเมอร์ชนิดอื่นๆ มาผสมลงในพอลิเมอร์ที่ต้องการปรับปรุง และอาจต้องทำการเติมสารช่วยผสมลงไปในระบบเพื่อให้พอลิเมอร์แต่ละชนิดที่อยู่ในระบบมีอันตรกิริยาที่ดีต่อกัน สมบัติของพอลิเมอร์ผสมจะขึ้นอยู่กับปริมาณหรือสัดส่วนของพอลิเมอร์ที่นำมาผสมและความสามารถในการเข้ากันได้ของพอลิเมอร์ ซึ่งจะเกี่ยวข้องกับทางด้านเทอร์โมไดนามิก และพฤติกรรมของพอลิเมอร์บริเวณรอยต่อระหว่างวัฏภาค

2.3 พอลิเมอร์คอมโพสิต (Polymer composites)

พอลิเมอร์คอมโพสิต คือวัสดุที่ประกอบด้วยองค์ประกอบสองส่วนหรือมากกว่าที่แตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัดอยู่ด้วยกัน องค์ประกอบสองส่วนหลักของคอมโพสิตคือ

2.3.1 ส่วนเสริมแรง (Reinforcement) คือส่วนที่เป็นโครงสร้างที่ให้ความแข็งแรงแก่วัสดุคอมโพสิต วัสดุที่เป็นส่วนเสริมแรงจะมีความแข็งแรงมอดูลัสสูง ส่วนเสริมแรงจะเป็นส่วนรับแรงหลักของวัสดุคอมโพสิต ตัวอย่างของส่วนเสริมแรงที่สำคัญได้แก่ เส้นใยชนิดต่างๆ เช่น เส้นใยแก้ว (glass fibers) เส้นใยคาร์บอน (carbon fiber) เส้นใยธรรมชาติ เช่น เส้นใยชานอ้อย (bagasse) อาจจะเป็นเส้นใยเดี่ยวยาว (Continuous fibers) หรือเส้นใยสั้น (Discontinuous fibers) นอกจากนี้อาจเป็นเส้นใยพันหรือผืนทอ (Weaves) มักจะมีการใช้ลักษณะรูปร่างและการจัดเรียงตัวที่แตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

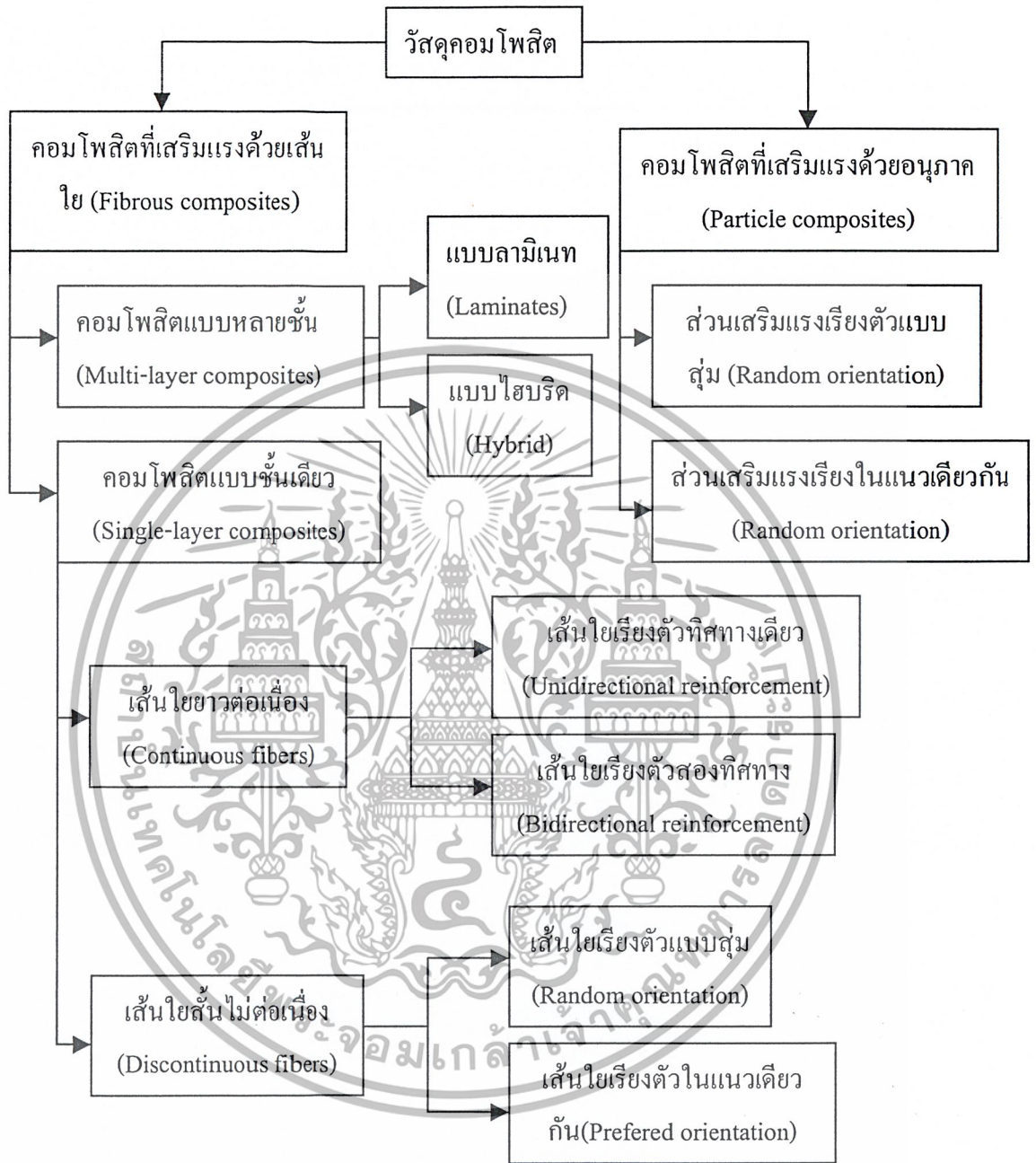
ของส่วนเสริมแรงประเภทวัสดุคอมโพสิตสามารถแบ่งตามลักษณะของส่วนเสริมแรงดังตัวอย่างรูปที่ 2.1

การจัดเรียงตัวของส่วนเสริมแรงมีผลอย่างมากต่อสมบัติเชิงกล ซึ่งขึ้นกับ

- ปริมาณที่ใส่เข้าไป
- ขนาดที่ใส่เข้าไป
- รูปร่างที่ใส่เข้าไป
- การกระจายตัว
- การจัดเรียงตัว

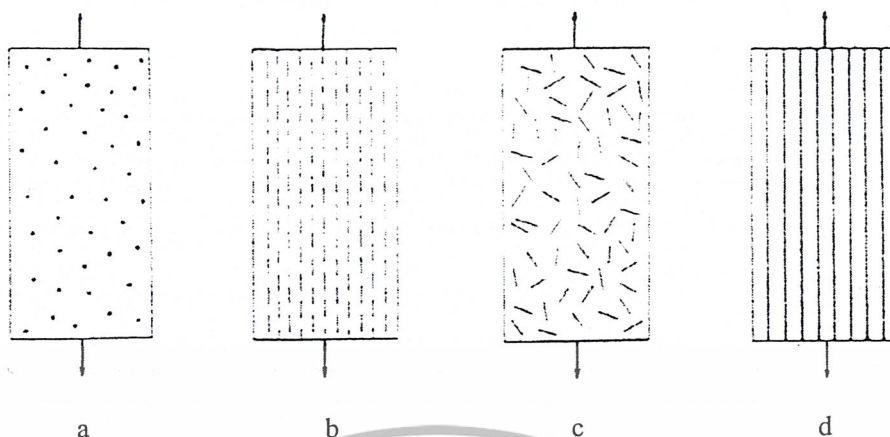


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 ประเภทของวัสดุคอมโพสิต โดยแบ่งตามลักษณะของส่วนเสริมแรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 ตัวอย่างคอมโพสิตที่มีส่วนเสริมแรงต่างกัน

- (a) ส่วนเสริมแรงเป็นอนุภาค จัดเรียงตัวแบบสุ่ม
 (b) ส่วนเสริมแรงเป็นเส้นใยสั้น จัดเรียงตัวในทิศทางเดียวกัน
 (c) ส่วนเสริมแรงเป็นเส้นใยสั้น จัดเรียงตัวแบบสุ่ม
 (d) ส่วนเสริมแรงเป็นเส้นใยยาว จัดเรียงตัวในทิศทางเดียวกัน

2.3.2 พอลิเมอร์เมทริกซ์ (Polymer matrix) เป็นวัสดุที่ทำหน้าที่ยึดส่วนเสริมแรงเข้าด้วยกัน ให้อยู่ในตำแหน่งและการจัดเรียงตัวที่กำหนด โดยจะล้อมรอบและปกป้องส่วนเสริมแรงจากการเสียหายเนื่องจากสิ่งแวดล้อม เช่น อุณหภูมิสูง ความชื้น มักมีความแข็งแรงและมอดูลัสต่ำกว่าส่วนเสริมแรง เมทริกซ์เป็นองค์ประกอบที่มีความต่อเนื่อง (Continuous phase) จะทำหน้าที่เป็นตัวกลางถ่ายเทแรงที่ได้รับ ไปสู่ส่วนเสริมแรงพอลิเมอร์ พอลิเมอร์คอมโพสิต สามารถใช้ได้ทั้งพอลิเมอร์ประเภทเทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic) และ เทอร์โมเซต (Thermosets)

ข้อดีและข้อเสียของวัสดุคอมโพสิต

ข้อดีของวัสดุคอมโพสิตมีดังนี้

- มีสมบัติต่อน้ำหนักหรือความหนาแน่นสูง เช่น ความแข็งแรงจำเพาะ (Specific strenght) มอดูลัสจำเพาะ (Specific modulus)
- ช่วยลดน้ำหนักของวัสดุ
- มีอายุการใช้งานยาวนาน มักมีสมบัติต้านทานต่อการสึกกร่อนดี
- มีเสถียรภาพของรูปร่างสูง เนื่องจากมีสัมประสิทธิ์การขยายตัวทางความร้อนต่ำ (Coefficients of thermal expansion) ต่ำ เมื่อเทียบกับวัสดุอื่นเช่น โลหะ

วัสดุคอมโพสิตก็มีข้อเสียบางประการเช่น

- ต้นทุนการผลิตสูง เนื่องจากราคาของวัตถุดิบและเครื่องมือการขึ้นรูปคอมโพสิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- มักมีสมบัติในแต่ละทิศทางไม่เท่ากันหรือมีสมบัติเป็นแอนไอโซโทรปี (Anisotropy) เนื่องจากมีการจัดเรียงตัวของส่วนเสริมแรง เป็นสาเหตุให้คอมโพสิตไม่แข็งแรงในแนวตั้งฉากกับแนวแรง (Transverse direction)
- ยากต่อการต่อหรือเชื่อมติดกับวัสดุอื่น
- ยากต่อการตรวจวิเคราะห์สมบัติของคอมโพสิต
- ยากในการทำลายและการรีไซเคิล

2.4 พอลิสไตรีน (PS)

พอลิสไตรีนเป็นพอลิเมอร์ออสถฐานมีโครงสร้างเป็นเชิงเส้นดังแสดงในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 โครงสร้างพอลิสไตรีน

ใน พ.ศ. 2477 ได้เริ่มมีการผลิตพอลิสไตรีนทางการค้าเป็นครั้งแรกโดย บริษัท ดาวน์เคมี จำกัด และบริษัท ฟาร์เบน จำกัด โดยมีสมบัติดังต่อไปนี้

- มีความแข็ง ใส และเปราะ
- ไม่ดูดความชื้น
- ไม่นำไฟฟ้า
- เลื่อยต่อสารเคมี
- มีความทนทานต่อกรด ด่าง แฮ โลเจน ตัวออกซิไดส์ และตัวรีดิวซ์
- ไม่ทนทานต่อความร้อนเพราะอุณหภูมิสถานะคล้ายแก้ว (Tg) อยู่ที่ประมาณ 80°C
- มีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 50,000 – 200,000
- ทนทานต่อแรงดึงได้ดี
- มีความหนาแน่นประมาณ 1.05 – 1.07 g/cm³
- ละลายได้ในตัวทำละลายอะโรมาติก
- สามารถขึ้นรูปได้ง่ายแต่ขึ้นงานมีความเปราะ

แม้พอลิสไตรีน (PS) มีสมบัติเด่นหลายอย่างเช่น เป็นฉนวนที่ดี สามารถผสมสีได้ง่าย โปร่งใส มีความแข็งแรงสูง และรีไซเคิลได้ แต่ก็มีข้อเสียคือ เปราะและทนต่อแรงกระแทกต่ำ จึงมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การพัฒนาและปรับปรุงพอลิโพรพิลีนให้เหนียวและทนต่อแรงกระแทกได้ดีขึ้น โดยการเติมยางบิวทาไดอีนลงในพอลิโพรพิลีน เรียกพอลิโพรพิลีนชนิดใหม่นี้ว่าพอลิโพรพิลีนทนต่อแรงกระแทก (HIPS) ซึ่งผลิตครั้งแรกโดย “บริษัท ดาวน์ เคมีจำกัด และบริษัท ฟาร์เบน จำกัด” สมบัติเชิงกลของ PS และ HIPS แสดงดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 สมบัติเชิงกลของ PS และ HIPS

สมบัติ	PS	HIPS
ค่าความแข็งแรงดึง (GN/m^2)	3.5	1.6
ค่าความแข็งแรงดึงที่จุดคราก (MN/m^2)	-	17.15
ค่าการยืดตัวที่จุดคราก (%)	-	2
ค่าความแข็งแรงดึงที่จุดขาด (MN/m^2)	54	21
ค่าการยืดตัวที่จุดขาด (%)	2.1	40
ค่าความทนทานต่อแรงกระแทก (J/cm)	1.0	4.5
อุณหภูมิที่เกิดการเสียรูป ($^{\circ}\text{C}$)	100	96
การส่งผ่านของแสง	ใส	ทึบแสง

HIPS เมื่อมีความหนาไม่มากจะมีความใสแต่เมื่อมีความหนามากจะทึบแสง การนำไปใช้งานมักจะใช้ทำเป็นภาชนะบรรจุ ของเด็กเล่น ส่วนประกอบในวิทยุ โทรทัศน์ และคอมพิวเตอร์²

2.5 ชานอ้อย (Bagasse)

ชานอ้อย คือ เส้นใยธรรมชาติที่ได้จากการเกษตรกรรม โดยเป็นส่วนที่เหลือจากกระบวนการบดอ้อยเพื่อให้ได้น้ำตาลอ้อย ชานอ้อยมีหลายสี แต่โดยทั่วไปจะเป็นสีเหลืองเทาหมองๆ จนถึงสีเหลืองซีด ซึ่งจัดเป็นสารประกอบประเภทลิกโนเซลลูโลส (สารที่ประกอบด้วยลิกนิน และเซลลูโลส) นอกจากนี้ชานอ้อยมีลักษณะเป็นเส้นใยเกาะกันไม่เป็นระเบียบ และมีมากมายหลายขนาดขึ้นกับการบด

2.5.1 ส่วนประกอบทางเคมี และทางกายภาพของชานอ้อย

ชานอ้อยประกอบด้วยสองส่วนที่แยกกันอย่างชัดเจน คือ ส่วนแรกเป็นผนังหนา และค่อนข้างยาว ซึ่งเป็นส่วนของเส้นใยที่ได้จากเปลือกนอก และมัดของท่อลำเลียงที่กระจายอยู่ภายในลำต้น ส่วนที่สองเป็นส่วนที่มีความสำคัญที่ได้จากเซลล์ที่มีผนังบางของ พาเรนไคมา (Parenchyma) ของลำต้นซึ่งทำหน้าที่เก็บสะสมน้ำตาลอ้อย

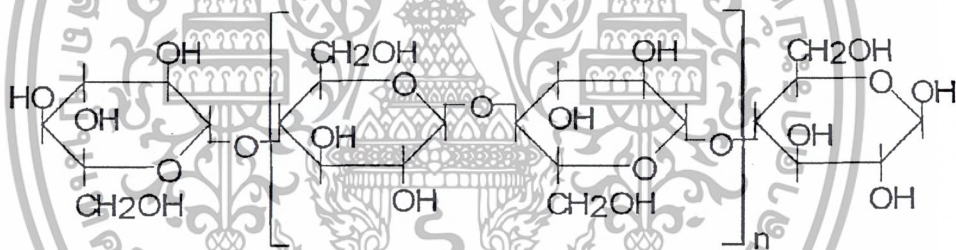
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เส้นใยอ้อยมีลักษณะคล้ายเส้นใยฝ้าย และขนสัตว์ คือ มีลักษณะขดเป็นวงมีความยาวเฉลี่ยประมาณ 1.0 – 4.0 mm. และกว้าง 0.010 - 0.04 mm. ลักษณะของเส้นใยนั้นขึ้นอยู่กับชนิดของขานอ้อย

สำหรับส่วนประกอบโดยทั่วไปของขานอ้อยโดยประมาณคือ ความชื้นร้อยละ 49 ของแข็งที่ละลายได้ซึ่งส่วนใหญ่ได้แก่น้ำตาลร้อยละ 6 ของแข็งที่ละลายไม่ได้หรือส่วนของเส้นใย (Fibers) ร้อยละ 45 โดยส่วนที่เป็นเส้นใยนี้จะไม่ละลายน้ำ และจะประกอบด้วย เซลลูโลส (Cellulose) เฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose) และ ลิกนิน (Lignin) และสารประกอบอื่น ๆ

2.5.2 เซลลูโลส (Cellulose)

เซลลูโลสเป็นสารประกอบพอลิแซ็กคาไรด์ (Polysaccharides) เชิงเส้นตรงที่ประกอบด้วยหน่วยซ้ำ ๆ กันมีสูตรโมเลกุลทั่วไปคือ $(C_6H_{12}O_5)_n$ เป็นโครงสร้างในเนื้อเยื่อพืช เซลลูโลสมีสูตรโครงสร้างทางเคมีดังรูปที่ 2.3 เซลลูโลสมีหมู่ไฮดรอกซิล 3 หมู่ สามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนได้แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลมีมาก และโครงสร้างมีการจัดเรียงตัวที่เป็นระเบียบ

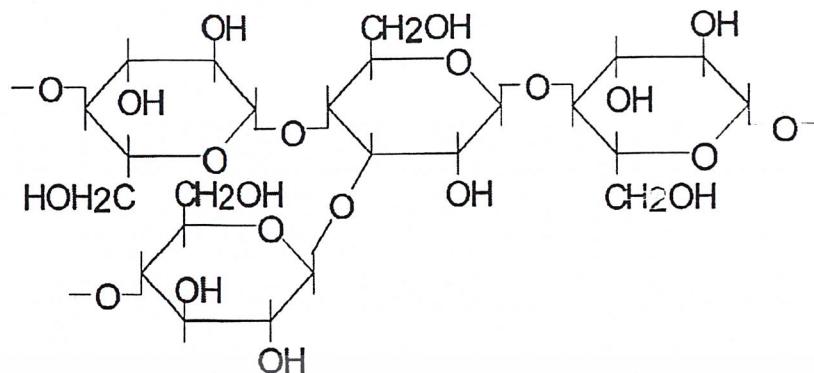


รูปที่ 2.4 สูตรโครงสร้างของเซลลูโลส

2.5.3 เฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose)

เฮมิเซลลูโลสเป็นสารประกอบพอลิแซ็กคาไรด์ ชนิดหนึ่ง ซึ่งคล้ายเซลลูโลส แต่ประกอบด้วยน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวหลายชนิด เช่น กลูโคส กาแลกโตส อะราบิโนส เฮมิเซลลูโลสพบในเนื้อเยื่อของพืชเป็นโครงสร้างของผนังเซลล์พบมากใน แกลบ ชังข้าวโพด สูตรทางเคมีคือ $(C_6H_{12}O_5)_n$ โครงสร้างทางเคมีแสดงไว้ดังรูปที่ 2.4

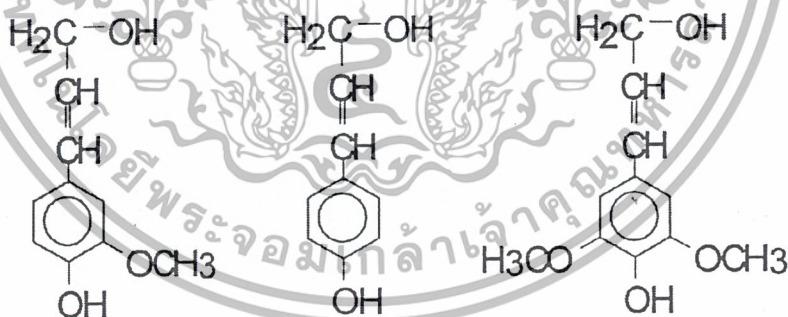
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 ตัวอย่างโครงสร้างของเฮมิเซลลูโลส

2.5.4 ลิกนิน (Lignin)

ลิกนินเป็นสารประกอบเชิงซ้อน มีน้ำหนักโมเลกุลสูง มักพบอยู่ร่วมกับเซลลูโลส และ เฮมิเซลลูโลส ลิกนินเป็นสารที่ประกอบด้วยคาร์บอน (C) ไฮโดรเจน (H) และออกซิเจน (O) รวมกันเป็นหน่วยย่อยหลายชนิดซึ่งเป็นสารประกอบอะโรมาติก ลิกนินไม่ละลายน้ำ ไม่มีสมบัติทางการยืดหยุ่น เพราะฉะนั้นจึงทำให้พืชที่มีลิกนินมากมีความแข็งแรงทนทาน เมื่อพืชตาย ลิกนินจะถูกย่อยด้วยเอนไซม์ลิกเนส (Lignase) หรือ ลิกนินเนส (Ligninase) ซึ่งเป็นจุลินทรีย์ที่สำคัญในรา ตัวอย่างหน่วยซ้ำของ ลิกนินแสดงดังรูปที่ 2.5

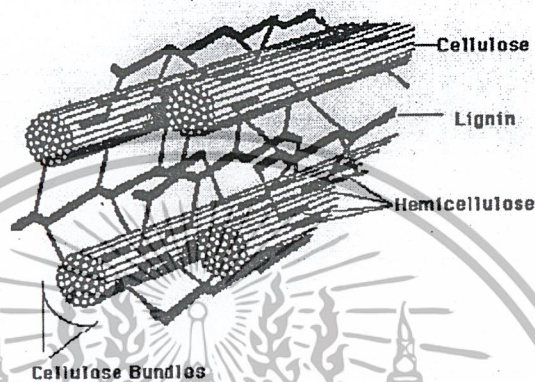


รูปที่ 2.6 ตัวอย่างหน่วยซ้ำของลิกนิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไม้แต่ละชนิดจะมีอัตราส่วนระหว่างเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน ไม่เท่ากัน ขึ้นกับชนิดและอายุของไม้ โดยไม้ที่มีลิกนินมาก จะมีความแข็งสูง และในไม้ชนิดเดียวกัน ไม้ที่มีอายุนานจะมีปริมาณลิกนินมากเช่นเดียวกัน โดยการจัดเรียงตัวของเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนินในไม้จะเป็นไปดังรูปที่ 2.6

PLANT CELL WALL



รูปที่ 2.7 การจัดเรียงตัวของเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน ในไม้

การจัดเรียงตัวของเส้นใยภายในเมทริกซ์ มี 3 แบบ

1. Continuous and aligned

- เส้นใยมีขนาดยาว จัดเรียงตัวในทิศทางเดียวกับเส้นใย
- เส้นใยจะรับแรงตามแนวแรง (Longitudinal direction) ได้ดีกว่าแนวตั้งฉากกับเส้นใย (Transverse direction)
- มีสมบัติเป็น Anisotropic

2. Discontinuous and aligned

- เส้นใยสั้นไม่ต่อเนื่อง มีการจัดเรียงตัวทิศทางเดียว
- มีสมบัติเป็น Anisotropic

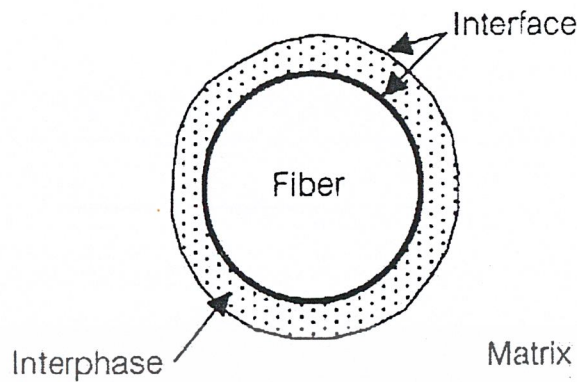
3. Discontinuous and randomly

- เส้นใยมีการกระจายตัวทุกทิศทาง
- มีสมบัติเป็น Isotropic

2.6 อินเทอร์เฟซระหว่างเส้นใยกับเมทริกซ์

ความแข็งแรงของคอมโพสิตขึ้นอยู่กับอันตรกิริยาของเมทริกซ์กับส่วนเสริมแรง บริเวณที่เกิดอันตรกิริยาดังกล่าวเป็นบริเวณรอยต่อระหว่างวัฏภาค (Interphase) และเส้นแบ่งวัฏภาคระหว่าง 2 วัฏภาคที่ไม่เหมือนกัน (Interface) แม้ว่าบริเวณรอยต่อระหว่างวัฏภาคเป็นจะกินพื้นที่ของวัสดุคอมโพสิตอยู่น้อยมากแต่เป็นส่วนที่บ่งบอกถึงสมบัติโดยรวมของคอมโพสิตทั้งชิ้นงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8 ภาพวาดแสดง (Interphase) กับ (Interface)

2.7 การปรับปรุงสมบัติการยึดติด

สมบัติเชิงกลและสมบัติทางกายภาพของคอมโพสิตที่เสริมแรงด้วยเส้นใยขึ้นอยู่กับ

1. คุณสมบัติของเมทริกซ์และส่วนเสริมแรง
2. การยึดเกาะระหว่างเมทริกซ์และส่วนเสริมแรง
3. ขนาดและรูปร่างของส่วนเสริมแรง
4. ปริมาณของส่วนเสริมแรง
5. การจัดเรียงตัวและการกระจายตัวของส่วนเสริมแรง
6. กระบวนการผลิต

การยึดติดและลักษณะผิวสัมผัสระหว่างพอลิเมอร์กับเส้นใยเป็นปัจจัยสำคัญ ในการกำหนดสมบัติของคอมโพสิต ซึ่งคอมโพสิตแต่ละระบบจะมีการยึดเกาะต่างกันตามลักษณะของเส้นใยและเมทริกซ์แต่ละชนิด โดยกลไกการยึดติด แบ่งได้ดังนี้

1. การยึดติดเชิงกล (Mechanical bonding)

เกิดจากเส้นใยมีความขรุขระ ซึ่งเรซินเมทริกซ์จะสามารถกระจายไปบนพื้นผิวและแทรกเข้าไปตามร่องของเส้นใยได้ เมื่อทำการเชื่อมโยงทำให้เมทริกซ์แข็งตัว เป็นเหตุให้เมทริกซ์ถูกยึดติดอยู่กับผิวของเส้นใยเกิดแรงยึดเหนี่ยวเชิงกล (Interlocking) ขึ้น ความแข็งแรงของการยึดเกาะชนิดนี้ขึ้นอยู่กับความขรุขระ ของพื้นผิวเส้นใยรวมทั้งปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อความสามารถของเรซินในการเปียกและแทรกตัวในพื้นผิวเส้นใย เช่นความหนืดของเรซิน พื้นผิวเส้นใยที่เรียบจะเกิดการยึดเกาะเชิงกลน้อยหรือไม่เกิดเลย ดังรูป 2.9

2. การยึดติดทางเคมี (Chemical bonding)

เกิดขึ้นเมื่อเส้นใยมีหมู่ฟังก์ชันเคมีบนพื้นผิว และเมตริกซ์มีหมู่ฟังก์ชันเคมีที่สามารถ เกิดปฏิกิริยาเคมี เกิดเป็นพันธะเคมีได้แก่ พันธะโควาเลนต์เชื่อมระหว่างเส้นใยกับเมตริกซ์ ความแข็งแรงของการยึดเกาะขึ้นกับจำนวนและพันธะเคมีที่เกิดขึ้น ดังรูป 2.10

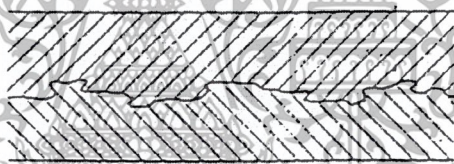
3. แรงดึงดูดประจุหรือไฟฟ้าสถิตย์ (Electrostatic Attraction)

การยึดเกาะจะเกิดระหว่างเมตริกซ์และเส้นใยที่พื้นผิวหนึ่งมีประจุเป็นบวกและอีกพื้นผิวมีประจุเป็นลบ จะเกิดแรงดึงดูดระหว่างประจุที่แตกต่างกัน การยึดติดขึ้นอยู่กับความแตกต่างของประจุแต่ละพื้นผิว แต่แรงยึดติดทางไฟฟ้านี้จะเกิดในช่วงสั้น ๆ และระยะห่างระหว่างพื้นผิวทั้งสองต้องน้อยมาก ดังนั้นสารปนเปื้อนที่พื้นผิวและก๊าซที่ถูกกักอยู่ระหว่างพื้นผิวจะมีผลต่อการยึดติดชนิดนี้ ดังรูป 2.11 และรูป 2.12

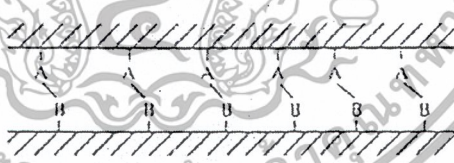
4. การยึดติดแบบแพร่ผ่าน (Interdiffusion bonding)

เกิดระหว่างสองพื้นผิวที่มีการแพร่ของ โมเลกุลพอลิเมอร์บนพื้นผิวหนึ่งไปยังโครงร่างโมเลกุลของอีกพื้นผิวหนึ่ง ความแข็งแรงของการยึดเกาะขึ้นอยู่กับปริมาณการพันกันของสายโซ่โมเลกุล ซึ่งขึ้นอยู่กับความสามารถในการเคลื่อนที่ของสายโซ่โมเลกุล ดังรูป 2.13

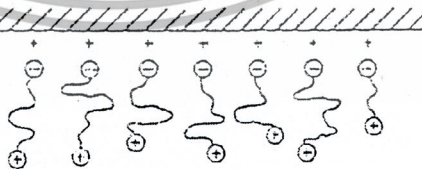
(รูปที่ 2.9)



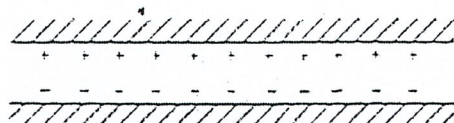
(รูปที่ 2.10)



(รูปที่ 2.11)

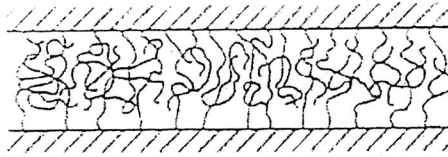


(รูปที่ 2.12)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(รูปที่ 2.13)



2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Guangxin Chen และคณะ¹ ได้ศึกษาถึงการเตรียม HIPS /MA กราฟโคพอลิเมอร์ซึ่งใช้เป็นสารช่วยผสมในพอลิเมอร์ผสม HIPS/PA1010 ได้ทำการเตรียมสารช่วยผสม HIPS/MA กราฟ โดยใช้ Brabender mixer ที่ความเร็วรอบ 50 rpm ที่อุณหภูมิ 180°C เป็นเวลา 5 นาที โดยใช้ Dicumyl peroxide (DCP) เป็นตัวกระตุ้น

Guojun Xu และคณะ² ทำการศึกษาสมบัติต่างๆ จากพอลิเมอร์ HIPS ที่ยังไม่ผ่านการใช้การ กับ HIPS ที่ได้ผ่านการใช้งานจากอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ และรวมทั้งการนำพอลิเมอร์ทั้งสองชนิดนี้ มาผสมกันด้วย

จิรพรรณ หน่ายคอน และมารีสา ตันติลักษณ์³ ได้ทำการศึกษาเส้นใยอ้อยที่ปรับสภาพผิว โดยการฉายรังสีแกมมา นำมาใช้เป็นสารตัวเติมในพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิโพรพิลีน และพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง และใช้เม็ดฟู่ที่ชั้้นน้ำมอนอเมอร์ช่วยในการตอ่กึ่งพบว่า พอลิเมอร์คอมโพสิตสามารถทนทานต่อแรงดึง แรงกระแทก และการข้ดถูได้ดี และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างคอมโพสิตที่ใช้เส้นใยเก่า และเส้นใยใหม่ พบว่า คอมโพสิตที่ทำจากเส้นใยใหม่ จะใช้สมบัติเชิงกลดีกว่า และดูดซับน้ำน้อยกว่า

รัชดา ขวัญตุน⁴ ได้ทำการศึกษาการเตรียมคอมโพสิตของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงจากขวดน้ำดื่ม และเส้นใยอ้อย โดยเปรียบเทียบการปรับปรุงสมบัติของคอมโพสิตด้วยสารช่วยยึดติด 2 ชนิด คือ PE-g-AA และ PE-g-MAH จากการทดลองพบว่า การเติมขานอ้อยลงในพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงจากขวดน้ำดื่มจะทำให้พอลิเมอร์คอมโพสิตแข็งขึ้นแต่การดึงยึด และความทนทานต่อแรงกระแทกลดลง และขานอ้อยที่ใช้ไม่จำเป็นต้องผ่านการค้ดขนาดก่อนเมื่อเปรียบเทียบระบบที่ใช้ PE-g-AA และระบบที่ใช้ PE-g-MAH พบว่าสมบัติของคอมโพสิตที่ได้จากทั้ง 2 ระบบ จะไม่แตกต่างกันเนื่องจากจะเกิดพันธะชนิดเดียวกัน

กมลรัตน์ ภูรัตนัชชवाल และคุณจ้าว ปรีชาวงศ์ ได้ทำการศึกษาผลของชานอ้อยที่เป็นสารตัวเติมในพอลิเอทิลีน พอลิโพรพิลีน และพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอทิลีนกับพอลิโพรพิลีน โดยใช้ชานอ้อยที่ไม่ปรับสภาพผิว และชานอ้อยที่ปรับสภาพผิวด้วยการฉายรังสีแล้วต่อกึ่งด้วยมัลติฟังก์ชันนัลมอนอเมอร์ (Multifunctional monomer) นำชานอ้อยที่ได้มาผสมกับพอลิเมอร์ในเครื่องอัดรีดเกลียวหนอนเดี่ยวแล้วขึ้นรูปด้วยเครื่องฉีดขึ้นรูปแล้วนำไปทดสอบสมบัติเชิงกล สมบัติทางความร้อน และสมบัติการดูดซับน้ำ จากการทดลองพบว่าคอมโพสิตที่มีชานอ้อยทั้งปรับ และไม่ปรับสภาพผิวนั้นมีแนวโน้มทำให้สมบัติด้านต่างๆ ดีขึ้น กล่าวคือพอลิเมอร์คอมโพสิตสามารถทนทานต่อแรงดึง ความคงรูปและเสถียรภาพต่อความร้อนดีขึ้น ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณมัลติฟังก์ชันนัลมอนอเมอร์พบว่าที่ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักทำให้สมบัติต่างๆ ดีขึ้นมากที่สุด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1. วัสดุและสารเคมีที่ใช้

1. ขวดยาкулท์ที่ผ่านการใช้แล้ว (PS)
2. เส้นใยชานอ้อย ขนาด 0.25 mm-0.8mm
3. Maleic Anhydride (MA)
4. Dicumyl peroxide (DCP)
5. ซิงค์สเตียเรต (Zinc stearate)
6. KOH
7. HCl
8. Toluene
9. Methanol
10. Ethanol
11. Isopropanal

3.2. อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. เตาอบสาร
2. เตาอบสูญญากาศ
3. เครื่องบดย่อยพลาสติก
4. เครื่องตัดชิ้นงาน
5. เครื่องผสมความเร็วสูง (Internal high speed mixer)
6. เครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนคนเดียว (Single-screw extruder)
7. เครื่องฉีดขึ้นรูป (Injection moulding)
8. เครื่องทดสอบแรงดึง (Tensile tester)
9. เครื่องทดสอบแรงกระแทก (Impact tester)
10. เครื่องทดสอบความแข็ง (Hardness tester)
11. HDT (Heat Distortion Tester)
12. SEM (Scanning Electron Microscope)
13. ไมโครมิเตอร์และเวอร์เนีย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

14. เครื่องร่อนแยกขนาดเส้นใยโดยที่ตะแกรงมีขนาด 0.8 mm และ 0.25 mm
 15. เครื่องชั่ง
 16. บีกเกอร์
 17. ขวดรูปชมพู่
 18. บิวเรต
 19. ปิเปต
 20. Soxhlet apparatus
 21. คอนเดนเซอร์
 22. ขวดก้นกลม
 23. กระจกตวง
 24. แท่งแก้วคน
 25. Magnetic bar
 26. Heating metal
- 3.3. วิธีการทดลอง
- 3.3.1. การเตรียมพลาสติกจากขวยาคูลท์ (PS)
 1. นำขวยาคูลท์มาล้างด้วยน้ำยาล้างจาน และน้ำสะอาด
 2. นำไปตากให้แห้ง
 3. เข้าเครื่องบดขยขึ้นงาน
 - 3.3.2. เตรียมเส้นใยชานอ้อย
 1. นำเส้นใยชานอ้อยจากโรงงานน้ำตาลที่ผ่านการอบแห้งแล้วมาคัดแยกขนาดด้วยเครื่องร่อน โดยที่ตะแกรงมีรูขนาด 0.25 mm กับตะแกรงที่มีรูขนาด 0.8mm
 2. นำเส้นใยชานอ้อยที่ผ่านการคัดแยกขนาดแล้วมาล้างด้วยน้ำสะอาด
 3. นำเส้นใยที่ได้ไปอบให้แห้งเป็นเวลา 1 สัปดาห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.3 การเตรียมชิ้นงานกลุ่มที่ 1

การเตรียมชิ้นงานกลุ่มที่ 1 ทำการเตรียมขึ้นเพื่อศึกษาผลของสารตัวเติมต่างๆ

1. ทำการชั่งพลาสติกและสารตัวเติมต่าง ๆ ตามอัตราส่วน ดังตาราง 3.1ก

ตารางที่ 3.1ก อัตราส่วนผสมกลุ่มที่ 1 ครั้งที่ 1

สูตร	พลาสติกจาก พอลิเอทิลีน (PE)	MA	DCP
1a	100	-	-
2a	100	-	-
3a	100	2	-
4a	100	2	0.5
5a	100	-	-
6a	100	2	0.5

*หมายเหตุ สารเติมแต่งมีหน่วยเป็น phr

2. นำสัดส่วนดังกล่าวไปผสมในเครื่องผสมความเร็วสูง (Internal high speed mixer) เป็นเวลา 5 นาที

3. นำส่วนผสมที่ได้ไปผสมกันในเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหอนเดี่ยว (Single-screw extruder)

4. นำพลาสติกที่ได้ไปบดย่อยให้เป็นเม็ด

5. นำพลาสติกที่ได้ไปผสมกับเส้นใยชานอ้อยและ Zn-stearate ตามตาราง 3.1ข

ตารางที่ 3.1ข อัตราส่วนผสมกลุ่มที่ 1 ครั้งที่ 2

สูตร	เส้นใยชานอ้อย	Zn-stearate
1a	-	-
2a	5	-
3a	5	-
4a	5	-
5a	5	2
6a	5	2

*หมายเหตุ สารเติมแต่งมีหน่วยเป็น phr

6. ทำการผสมตามข้อ 2 ถึงข้อ 4 อีกครั้งหนึ่ง

7. นำไปฉีดขึ้นรูปเป็นชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.4 การเตรียมชิ้นงานกลุ่มที่ 2

การเตรียมชิ้นงานกลุ่มที่ 2 ทำเพื่อศึกษาผลจากขั้นตอนการผสมเป็นหลักและได้มี การศึกษาผลปริมาณเส้นใยต่อจากสูตร 4a ด้วย

1. ทำการชั่งพลาสติกและสารตัวเติมต่าง ๆ ตามอัตราส่วน ดังตาราง 3.2ก ตารางที่ 3.2ก อัตราส่วนผสมกลุ่มที่ 2 ครั้งที่ 1

สูตร	พลาสติก จากขวดยา กูลท์(PS)	MA	DCP
4a10	100	2	0.5
4a15	100	2	0.5
4aNo	100	2	0.5
4com.	100	-	-

*หมายเหตุ สารเติมแต่งมีหน่วยเป็น phr

2. นำสารพวกพลาสติก , MA และ DCP มาผสมลงในเครื่องผสมความเร็วสูง (Internal high speed mixer) เป็นเวลา 5 นาที
3. นำส่วนผสมที่ได้ไปผสมกันในเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหอนเดี่ยว (Single-screw extruder)
4. นำส่วนผสมที่ได้จากข้อ 3 ไปบดค้อยให้เป็นเม็ด
5. นำพลาสติกที่ได้ไปผสมกับเส้นใยชานอ้อยและ PS-graft-MA ตามตาราง 3.2ข ตารางที่ 3.2ข อัตราส่วนผสมกลุ่มที่ 2 ครั้งที่ 2

สูตร	เส้นใยชานอ้อย	**PS- graft-MA
4a10	10	-
4a15	15	-
***4aNo	-	-
***4com	-	46.5

*หมายเหตุ สารเติมแต่งมีหน่วยเป็น phr

**คู่มือการเตรียมได้จากหัวข้อ 3.3.5

***สูตร 4aNo และ 4com ใช้ศึกษาขั้นตอนการผสมซึ่งจะ นำมาเสนออีกทีหนึ่งที่หัวข้อ 4.2.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. ทำการผสมตามข้อ 2 ถึงข้อ 4 อีกครั้งหนึ่ง
7. นำไปฉีดขึ้นรูปเป็นชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบ

3.3.5 วิธีการเตรียม PS-graft-MA

1. ชั่งขวยาคูลท์ (PS) บด 100 phr
2. ชั่ง MA 6.67 phr
3. ชั่ง DCP 1.67 phr
4. ผสมใน High speed mixer แล้วนำส่วนผสมมาผสมใน Single-screw extruder
5. นำพลาสติกที่ได้ไปบด

3.3.6 การหา %grafting

การหา %กราฟ จะมีเพียงสูตร 4aNo กับ PS-graft-MA เท่านั้นที่นำมาหา

1. นำเม็ดพลาสติกที่ต้องการหา %กราฟ มาละลายใน โทลูอิน
2. ตกตะกอนพลาสติกและสกัด MA กับ DCP ที่ไม่เกิดปฏิกิริยาค่อย เมทานอล
3. นำตะกอนที่ได้ไปอบในเตาอบสูญญากาศที่อุณหภูมิ 80°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง
4. นำตะกอนไปละลายในโทลูอินอีกครั้ง
5. เติมสารละลาย KOH ใน ethanol (ethanolic KOH) ที่มากเกินไป
6. เติมฟีนอล์ฟทาลินเป็นอินดิเคเตอร์
7. ทำการ Back Titration ด้วยสารละลาย HCl ใน isopropanol (isopropyl alcoholic HCl)
8. ทำการหา %การกราฟด้วยสูตร

$$\%graft = \frac{[V_{KOH} C_{KOH} - V_{HCl} C_{HCl}] \times MA}{2 \times W_s \times 1000} \times 100\%$$

V ปริมาตร

C ความเข้มข้น

M น้ำหนักโมเลกุล

W_s น้ำหนักของตัวอย่าง

3.4. ทดสอบสมบัติ

- ทดสอบสมบัติจาก Universal tensile tester
- เพื่อหาค่าต่างๆ ดังนี้
- Tensile Strength
 - Modulus Elastic

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้.

- %Elongation at Break
- Flexural Strength
- Flexural Modulus
- Deformation at Maximum Load
- ความแข็งแรงกระแทก (Impact strength; ASTM D 256 (KJ/m²))
- ความแข็งกด (Hardness; ASTM D 785) Shore D
- ศึกษาสมบัติทางความร้อน
 - Heat Distortion Temperature (HDT)
- ศึกษาสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด (Scanning Electron Microscope , SEM)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลองและอภิปรายผล

4.1 ผลการทดลอง

ตารางที่ 4.1 ส่วนผสมของแต่ละสูตร

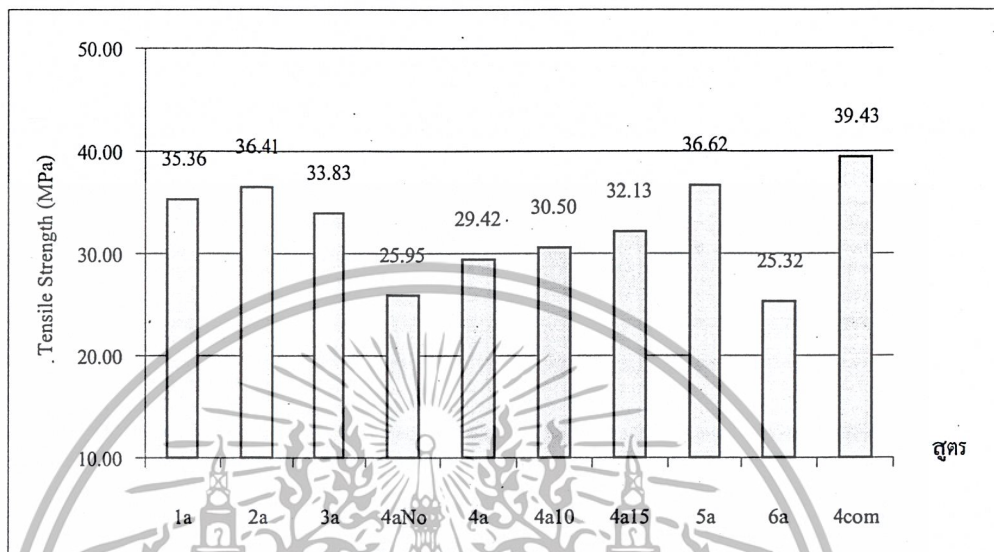
สูตร	พลาสติก จากขวด ยาสูบที่	เส้นใย ชานอ้อย	MA	DCP	Zn- Stearate	PS- graft- MA
1a	100	-	-	-	-	-
2a	100	5	-	-	-	-
3a	100	5	2	-	-	-
4aNo	100	-	2	0.5	-	-
4a	100	5	2	0.5	-	-
4a10	100	10	2	0.5	-	-
4a15	100	15	2	0.5	-	-
5a	100	5	-	-	2	-
6a	100	5	2	0.5	2	-
4com.	100	-	-	-	-	46.5

*หมายเหตุ สารเคมีแต่ละชนิดมีหน่วยเป็น phr สูตร 4aNo และสูตร 4com ถูกทำขึ้นภายหลัง เพื่อศึกษาผลของขั้นตอนการผสมที่แตกต่างกันซึ่งจะส่งผลต่อสมบัติของชิ้นงานว่าแตกต่างกันอย่างไร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.1 การทดสอบสมบัติเชิงกล

ก) ความแข็งแรงดึง



รูปที่ 4.1 Tensile Strength ของพลาสติกแต่ละสูตร

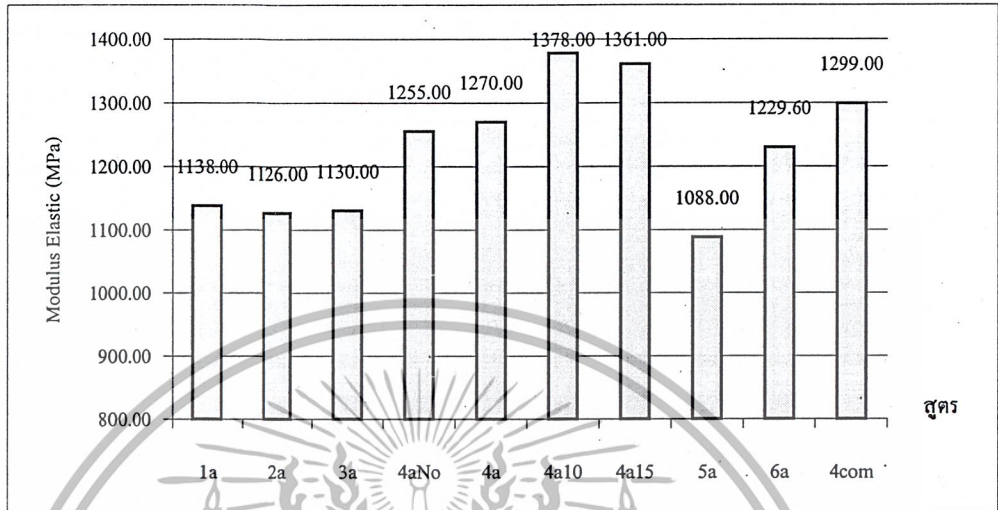
ผลของการเติมเส้นใยและปริมาณเส้นใย พิจารณาได้จากสูตรที่ 1a ที่ไม่ได้เติมสารเติมแต่งใดๆ กับสูตรที่ 2a ที่ทำการเติมเส้นใยเพียงอย่างเดียว และพิจารณาได้จากสูตรที่ 4aNo กับ 4a, 4a10, 4a15 ที่มีความแตกต่างกันที่ปริมาณเส้นใยเท่านั้น จะเห็นว่าเส้นใยจะส่งผลให้ค่า Tensile Strength เพิ่มขึ้น ปริมาณเส้นใยที่เพิ่มขึ้นก็มีแนวโน้มทำให้ค่า Tensile Strength เพิ่มขึ้น

ผลของ MA ที่เกิดการกราฟเข้าในขวยาคูลท์ พิจารณาได้จากสูตรที่ 3a ที่มี เส้นใย+MA กับสูตรที่ 4a ซึ่งมี เส้นใย+MA+DCP ซึ่ง DCP จะเป็นตัวริเริ่มในการเกิดปฏิกิริยา จะเห็นว่า MA ที่กราฟเข้าไปในสายโซ่จะทำให้ค่า Tensile Strength ลดลง เมื่อเทียบกับสูตรที่ 2a ที่มีการเติมเส้นใยเพียงอย่างเดียว

ผลของ Zn-stearate จะไม่มีผลมากนักที่ทำให้ค่า Tensile Strength เปลี่ยนแปลงไปอย่างมีนัยสำคัญพิจารณาได้จากสูตรที่ 5a ที่มี เส้นใย+Zn-stearate เทียบกับสูตรที่ 2a ที่มีเพียงเส้นใยเพียงอย่างเดียว

ผลของ PS-graft-MA จะทำให้ค่า Tensile Strength เพิ่มขึ้นโดยพิจารณาได้จากสูตรที่ 4com ที่ทำการเติมสารช่วยผสม กับสูตรที่ 1a ที่ไม่ได้ทำการเติมสารใด ๆ ลงไป

ข) มอดูลัส



รูปที่ 4.2 Modulus Elastic ของพลาสติกแต่ละสูตร

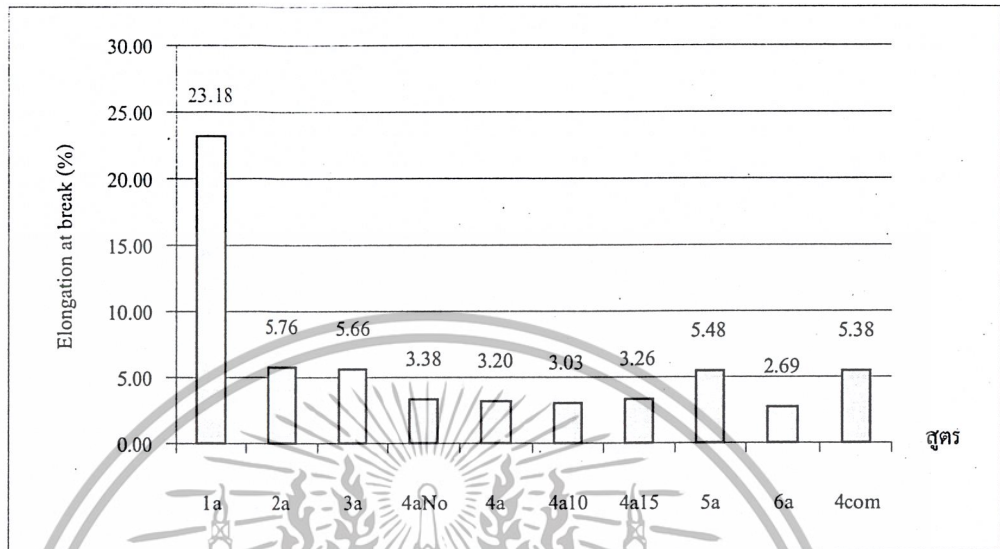
ผลของเส้นใยต่อขดยาคูลท์ที่ไม่ผ่านการปรับปรุงในสูตรที่ 2a มีผลทำให้ค่า Modulus Elastic ลดลง เมื่อเทียบกับสูตรที่ 1a ที่ไม่ทำการเติมเส้นใย แต่ตรงข้ามกับขดยาคูลท์ที่ผ่านการปรับปรุงโดยการกราฟกับ MA ในสูตรที่ 4a_ (หมายถึง 4aNo , 4a , 4a10 ...) เส้นใยจะทำให้ค่า Modulus Elastic เพิ่มขึ้นและปริมาณเส้นใยที่มากขึ้นก็มีแนวโน้มทำให้ Modulus Elastic เพิ่มขึ้นเช่นกัน

ผลของ MA ที่เกิดการกราฟเข้าไปในขดยาคูลท์จะทำให้ Modulus Elastic สูงขึ้น พิจารณาได้จากสูตรที่ 2a ที่เติมเพียงเส้นใยเพียงอย่างเดียวกับสูตรที่ 3a ที่เติม เส้นใย+MA และสูตรที่ 4a_ ที่มีการเติม เส้นใย+MA+DCP

ผลของ Zn-stearate จะทำให้ค่า Modulus Elastic ลดน้อยลง พิจารณาได้จากสูตรที่ 5a ที่มี เส้นใย+Zn-stearate เทียบกับสูตรที่ 2a ที่มีเพียงเส้นใยเพียงอย่างเดียว

ผลของ PS-graft-MA จะทำให้ค่า Modulus Elastic เพิ่มขึ้นโดยพิจารณาได้จากสูตรที่ 4com ที่ทำการเติมสารช่วยผสม กับสูตรที่ 1a ที่ไม่ได้ทำการเติมสารใด ๆ ลงไป

ก) ร้อยละการยืด ณ จุดขาด



รูปที่ 4.3 %Elongation at break ของพลาสติกแต่ละสูตร

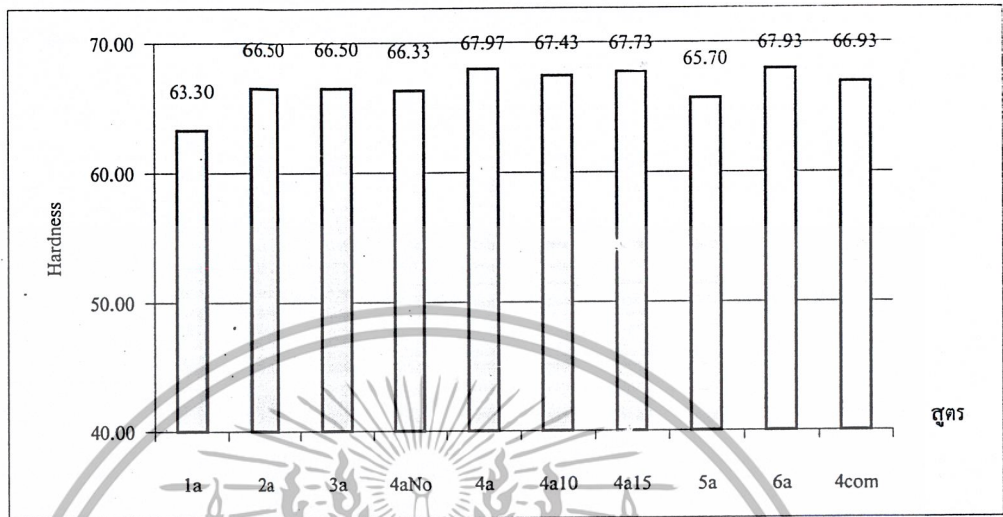
ผลของเส้นใยจะทำให้ค่า Elongation at break ลดลง ซึ่งพิจารณาได้จาก สูตรที่ 1a ที่ไม่ได้ทำการเติมสารใด ๆ ลงไปกับ สูตรที่ 2a ที่ทำการเติมเพียงเส้นใย และ สูตรที่ 4a_ ที่มีการเติมปริมาณเส้นใยที่แตกต่างกัน

ผลของ MA ที่เกิดการกราฟเข้าไปในขวยาคูลท์จะทำให้ Elongation at break ต่ำลง พิจารณาได้จากสูตรที่ 2a ที่เติมเพียงเส้นใยเพียงอย่างเดียวกับสูตรที่ 3a ที่เติม เส้นใย+MA และสูตรที่ 4a_ ที่มีการเติม เส้นใย+MA+DCP

ผลของ Zn-stearate จะไม่มีผลมากนักที่ทำให้ค่า Elongation at break เปลี่ยนแปลงไปอย่างมีนัยสำคัญพิจารณาได้จากสูตรที่ 5a ที่มี เส้นใย+Zn-stearate เทียบกับสูตรที่ 2a ที่มีเพียงเส้นใยเพียงอย่างเดียว

ผลของ PS-graft-MA จะทำให้ค่า Elongation at break ลดลงโดยพิจารณาได้จากสูตรที่ 4com ที่ทำการเติมสารช่วยผสม กับสูตรที่ 1a ที่ไม่ได้ทำการเติมสารใด ๆ ลงไป

ง) ความแข็งกด



รูปที่ 4.4 Hardness ของพลาสติกแต่ละสูตร

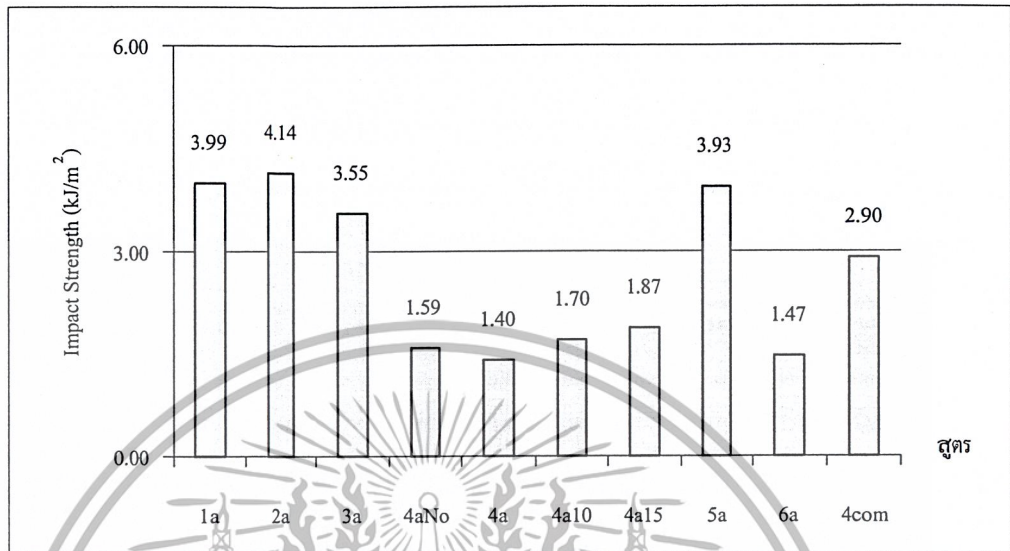
เส้นใยจะส่งผลให้ค่า Hardness สูงขึ้นสำหรับพลาสติกจากขดยาคูล์ที่ไม่ได้ทำการปรับปรุง ซึ่งจะพิจารณาได้จากสูตรที่ 1a ที่ไม่ได้ทำการเติมสารใด ๆ ลงไปกับ สูตรที่ 2a ที่ทำการเติมเพียงเส้นใย แต่จะไม่มีผลต่อพลาสติกที่ผ่านการปรับปรุงแล้วมากนัก ซึ่งจะพิจารณาได้จากสูตรที่ 4a_ ที่มีการเติมปริมาณเส้นใยที่แตกต่างกัน

ผลของ MA ที่เกิดการกราฟเข้าไปในขดยาคูล์จะทำให้ Hardness สูงขึ้น พิจารณาได้จากสูตรที่ 1a ที่ไม่ได้ทำการเติมสารใด ๆ ลงไปกับ สูตรที่ 4aNo

ผลของ Zn-stearate จะไม่มีผลมากนักที่ทำให้ค่า Hardness เปลี่ยนแปลงไปอย่างมีนัยสำคัญ พิจารณาได้จากสูตรที่ 5a ที่มี เส้นใย+Zn-stearate เทียบกับสูตรที่ 2a ที่มีเพียงเส้นใยเพียงอย่างเดียว

ผลของ PS-graft-MA จะทำให้ค่า Hardness สูงขึ้นโดยพิจารณาได้จากสูตรที่ 4com ที่ทำการเติมสารช่วยผสม กับสูตรที่ 1a ที่ไม่ได้ทำการเติมสารใด ๆ ลงไป

จ) ความแข็งแรงกระแทก



รูปที่ 4.5 Impact Strength ของพลาสติกแต่ละสูตร

เส้นใยจะส่งผลให้ค่า Impact Strength สูงขึ้น พิจารณาได้จากสูตรที่ 1a ที่ไม่ได้ทำการเติมสารใด ๆ ลงไปกับ สูตรที่ 2a ที่ทำการเติมเพียงเส้นใย และ สูตรที่ 4a ที่มีการเติมปริมาณเส้นใยที่แตกต่างกัน จะเห็นว่าค่าที่ได้มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น

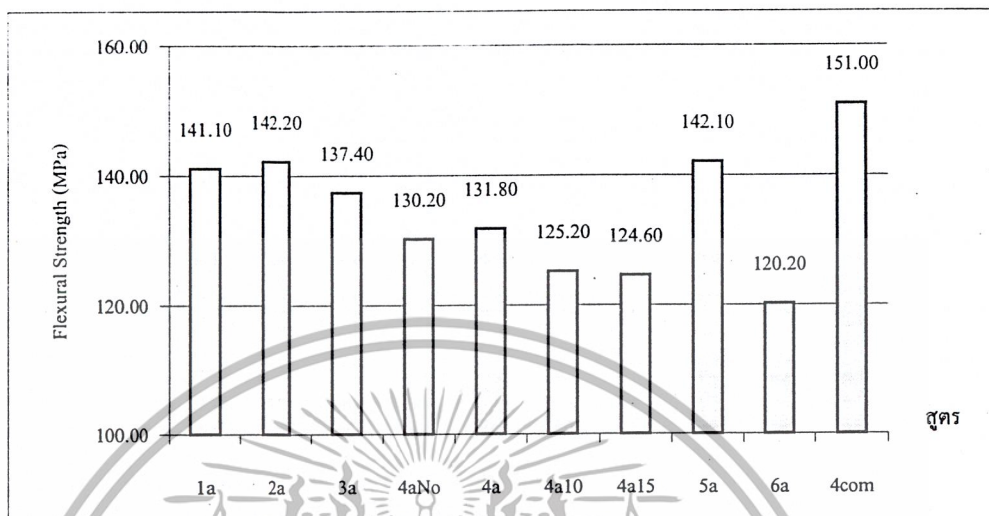
ผลของ MA ที่เกิดการกราฟเข้าไปในขวยาคูสท์จะทำให้ Impact Strength ต่ำลง พิจารณาได้จากสูตรที่ 1a ที่ไม่ได้ทำการเติมสารใด ๆ ลงไปกับ สูตรที่ 4aNo ที่ทำการเติม MA+DCP และ สูตรที่ 2a ที่ทำการเติมเส้นใยเพียงอย่างเดียวเทียบกับสูตร 4a ที่มีการเติม เส้นใย+MA+DCP

ผลของ Zn-stearate จะไม่มีผลมากนักที่ทำให้ค่า Impact Strength เปลี่ยนแปลงไปอย่างมีนัยสำคัญพิจารณาได้จากสูตรที่ 5a ที่มี เส้นใย+Zn-stearate เทียบกับสูตรที่ 2a ที่มีเพียงเส้นใยเพียงอย่างเดียว

ผลของ PS-graft-MA จะทำให้ค่า Impact Strength ลดลงบ้าง โดยพิจารณาได้จากสูตรที่ 4com ที่ทำการเติมสารช่วยผสม กับสูตรที่ 1a ที่ไม่ได้ทำการเติมสารใด ๆ ลงไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฉ) ความแข็งโค้งงอ



รูปที่ 4.6 Flexural Strength ของพลาสติกแต่ละสูตร

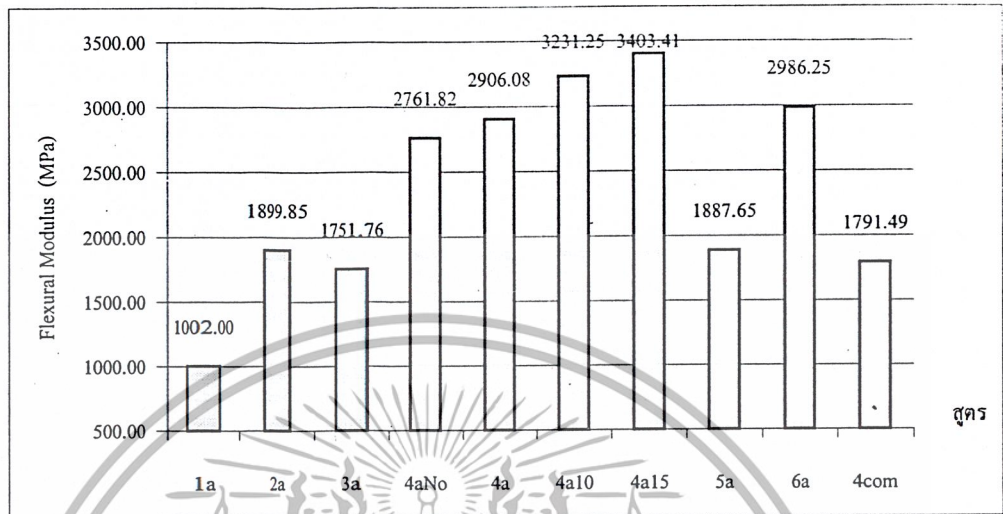
เส้นใยจะส่งผลให้ค่า ความแข็งโค้งงอ ต่ำลง ซึ่งสามารถพิจารณาได้จากสูตร 4a_ ที่มี ความแตกต่างในการเติมปริมาณเส้นใย

ผลของ MA ที่เกิดการกราฟเข้าไปในขวยาคูลท์จะทำให้ ค่าความแข็งโค้งงอ ต่ำลง พิจารณาได้จากสูตรที่ 1a ที่ไม่ได้ทำการเติมสารใด ๆ ลงไปกับ สูตรที่ 4aNo ที่ทำการเติม MA+DCP

ผลของ Zn-stearate จะไม่มีผลมากนักที่ทำให้ค่า ความแข็งโค้งงอ เปลี่ยนแปลงไปอย่างมี นัยสำคัญพิจารณาได้จากสูตรที่ 5a ที่มี เส้นใย+Zn-stearate เทียบกับสูตรที่ 2a ที่มีเพียงเส้นใยเพียง อย่างเดียวเท่านั้น

ผลของ PS-graft-MA ไม่สามารถวิเคราะห์ได้เนื่องจากผลจากสูตรที่ 1a เกิดการเลื่อนของ ชิ้นงานขณะทดสอบ ซึ่งค่าของสูตรที่ 1a นั้นควรที่จะได้ค่ามากกว่านี้

ข) มอดูลัสโค้งงอ



รูปที่ 4.7 Flexural Modulus ของพลาสติกแต่ละสูตร

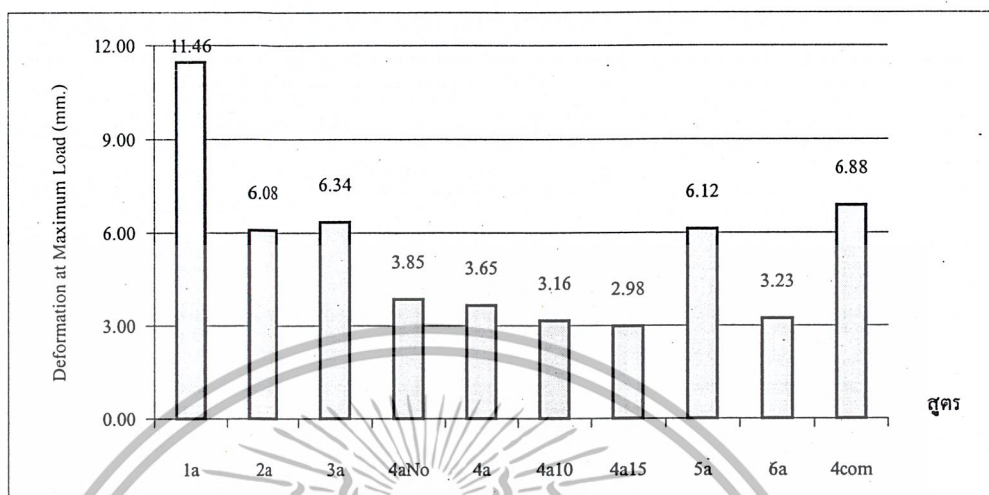
เส้นใยจะส่งผลให้ค่า มอดูลัสโค้งงอ สูงขึ้น พิจารณาได้สูตรที่ 1a ที่ไม่มีการเติมสารใด ๆ ลงไปกับสูตรที่ 2 ที่มีการเติมเส้นใยเพียงอย่างเดียว และ สูตรที่ 4a ที่มีการเติมปริมาณเส้นใยที่แตกต่างกัน

ผลของ MA ที่เกิดการกราฟเข้าไปในขดสายลวดจะทำให้ มอดูลัสโค้งงอ สูงขึ้น พิจารณาได้จากสูตรที่ 2a ที่มีเพียงเส้นใยเพียงอย่างเดียวเท่านั้นเทียบกับสูตร 4a ที่มีการเติม เส้นใย+MA +DCP

ผลของ Zn-stearate จะไม่มีผลมากนักที่ทำให้ค่า มอดูลัสโค้งงอ เปลี่ยนแปลงไปอย่างมีนัยสำคัญพิจารณาได้จากสูตรที่ 5a ที่มี เส้นใย+Zn-stearate เทียบกับสูตรที่ 2a ที่มีเพียงเส้นใยเพียงอย่างเดียวเท่านั้น

ผลของ PS-graft-MA จะทำให้ค่า มอดูลัสโค้งงอ เพิ่มขึ้น โดยพิจารณาได้จากสูตรที่ 4com ที่ทำการเติมสารช่วยผสม กับสูตรที่ 1a ที่ไม่ได้ทำการเติมสารใด ๆ ลงไป

ซ) ระยะกดโค้งงอ



รูปที่ 4.8 Deformation at Maximum Load ของพลาสติกแต่ละสูตร

หมายเหตุ Deformation at Maximum Load คือระยะทางที่หัวกดวัด Flexural กดลงบนชิ้นงาน

ผลของการเติมเส้นใยจะทำให้ค่า Deformation at Maximum Load ลดลง พิจารณาได้จาก สูตรที่ 1a ที่ไม่ได้เติมสารเติมแต่งใด ๆ กับสูตรที่ 2a ที่ทำการเติมเส้นใยเพียงอย่างเดียว

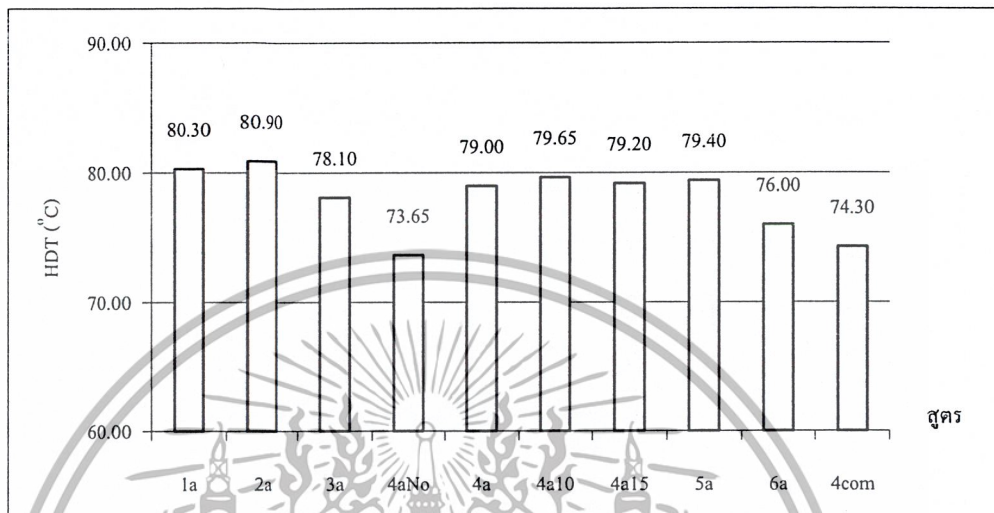
ผลของ MA ที่เกิดการกราฟเข้าไปในขวยาคูลท์จะทำให้ Deformation at Maximum Load ต่ำลง พิจารณาได้จากสูตรที่ 1a ที่ไม่ได้ทำการเติมสารใด ๆ ลงไปกับ สูตรที่ 4aNo ที่ทำการเติม MA+DCP

ผลของ Zn-stearate จะไม่มีผลมากนักที่ทำให้ค่า Deformation at Maximum Load เปลี่ยนแปลงไปอย่างมีนัยสำคัญพิจารณาได้จากสูตรที่ 5a ที่มี เส้นใย+Zn-stearate เทียบกับสูตรที่ 2a ที่มี เพียงเส้นใยเพียงอย่างเดียวเท่านั้น

ผลของ PS-graft-MA จะทำให้ค่า Deformation at Maximum Load ลดลง โดยพิจารณาได้จากสูตรที่ 4com ที่ทำการเติมสารช่วยผสม กับสูตรที่ 1a ที่ไม่ได้ทำการเติมสารใด ๆ ลงไป

4.1.2 การทดสอบสมบัติทางความร้อน

การศึกษาอุณหภูมิที่ทำให้เกิดการโค้งงอของชิ้นงาน (Heat Distortion Temperature)



รูปที่ 4.9 อุณหภูมิที่ทำให้ชิ้นงานเกิดการโค้งงอของพลาสติกแต่ละสูตร

ผลของการเติมเส้นใย พิจารณาได้จากสูตรที่ 1 ที่ไม่ได้เติมสารเติมแต่งใด ๆ กับสูตรที่ 2 ที่ทำการเติมเส้นใยเพียงอย่างเดียว และพิจารณาได้จากสูตรที่ 4aNo กับ 4a, 4a10, 4a15 ที่มีความแตกต่างกันที่ปริมาณเส้นใยเท่านั้น จะเห็นว่าเส้นใยจะส่งผลให้ค่า HDT สูงขึ้น

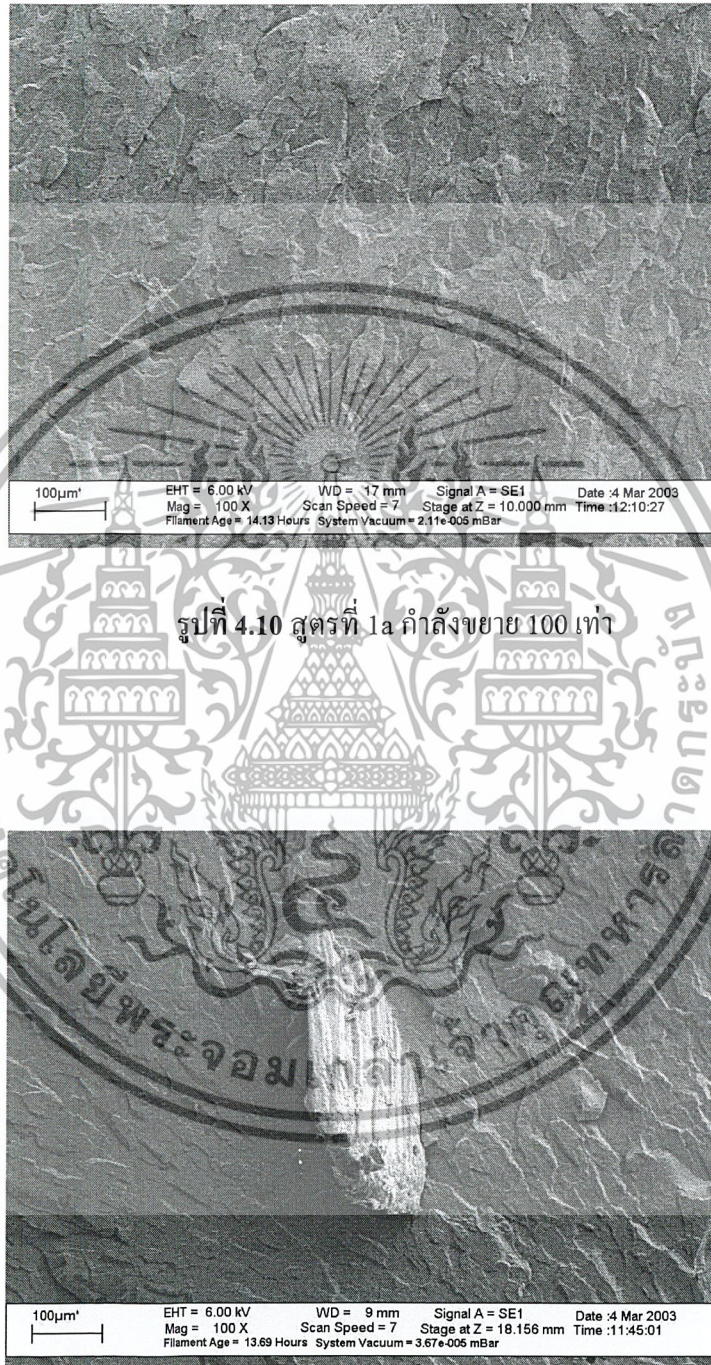
ผลของ MA ที่เกิดการกราฟเข้าไปในขวยคยาคูลท์จะทำให้ HDT ต่ำลง พิจารณาได้จากสูตรที่ 1a ที่ไม่ได้ทำการเติมสารใด ๆ ลงไปกับ สูตรที่ 4aNo ที่ทำการเติม MA+DCP

ผลของ Zn-stearate จะไม่มีผลมากนักที่ทำให้ค่า HDT เปลี่ยนแปลงไปอย่างมีนัยสำคัญ พิจารณาได้จากสูตรที่ 5a ที่มี เส้นใย+Zn-stearate เทียบกับสูตรที่ 2a ที่มีเพียงเส้นใยเพียงอย่างเดียว

ผลของ PS-graft-MA จะทำให้ค่า HDT ลดลง โดยพิจารณาได้จากสูตรที่ 4com ที่ทำการเติมสารช่วยผสม กับสูตรที่ 1a ที่ไม่ได้ทำการเติมสารใด ๆ ลงไป

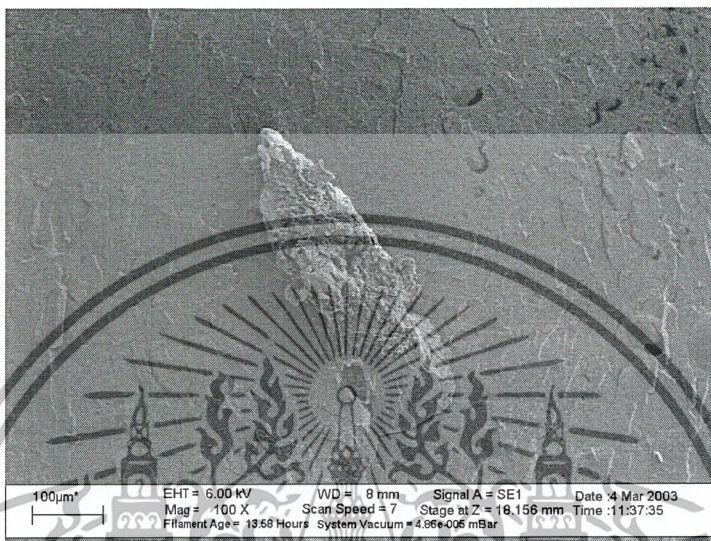
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.3 การศึกษาลัทธิฐานวิทยา

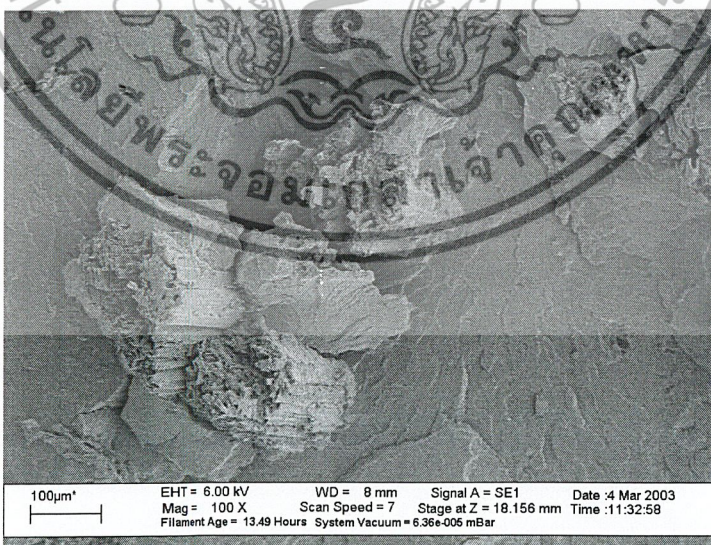


รูปที่ 4.11 สูตรที่ 2a กำลังขยาย 100 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

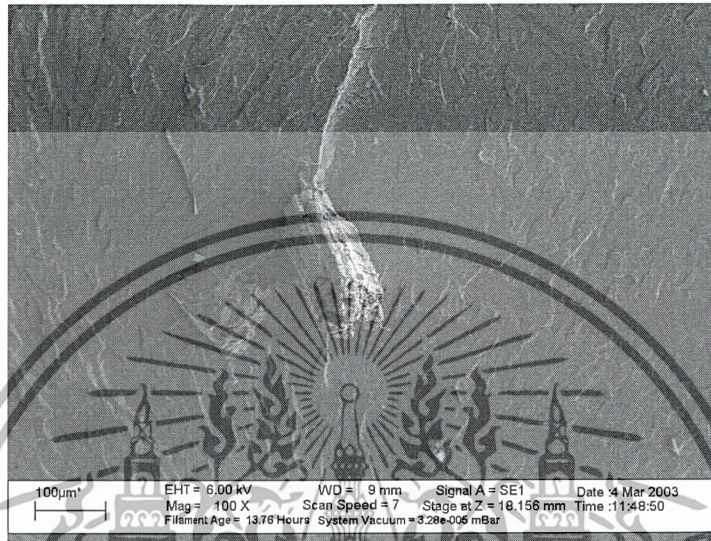


รูปที่ 4.12 สูตรที่ 3a กำลังขยาย 100 เท่า

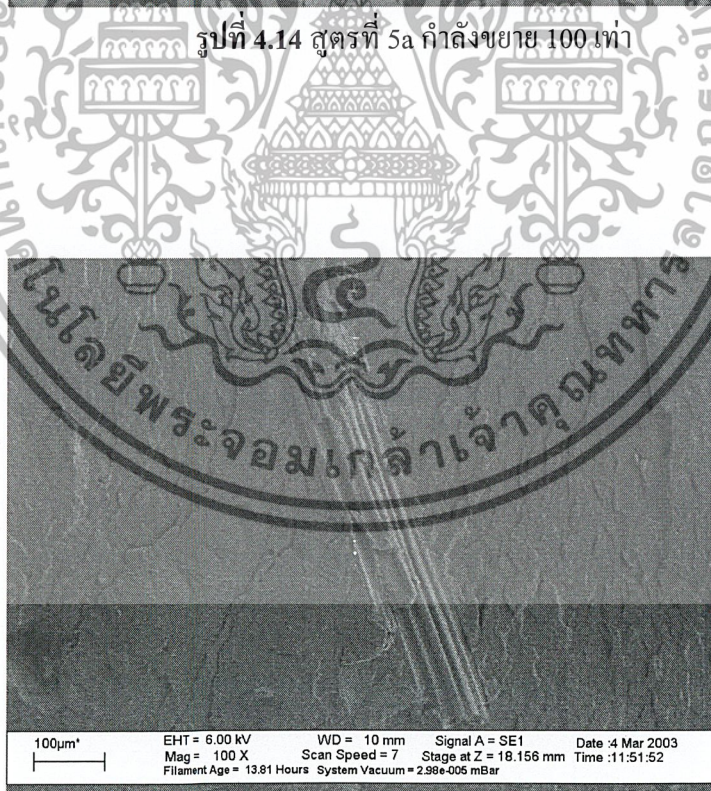


รูปที่ 4.13 สูตรที่ 4a15 กำลังขยาย 100 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

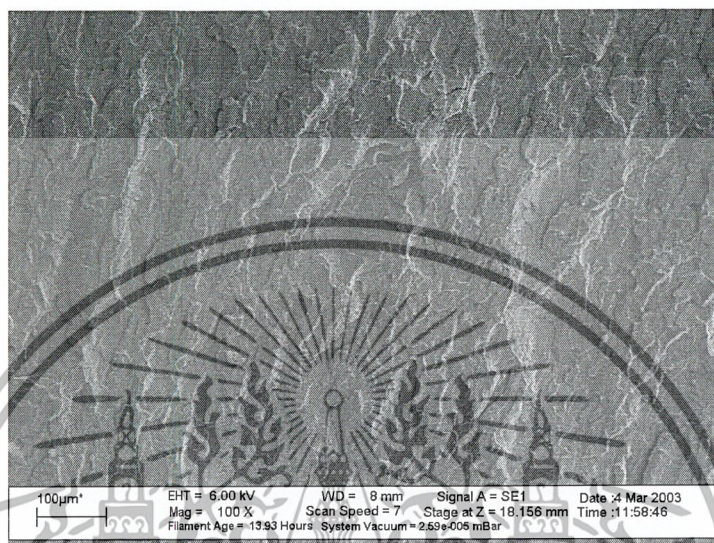


รูปที่ 4.14 สูตรที่ 5a กำลังขยาย 100 เท่า

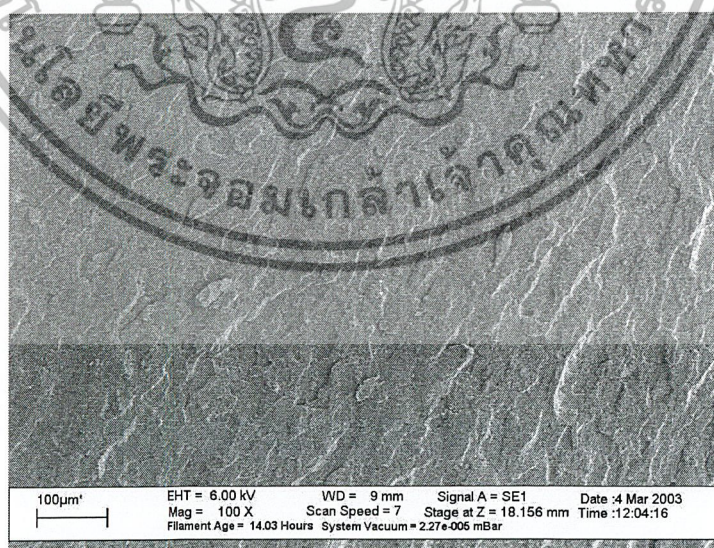


รูปที่ 4.15 สูตรที่ 6a กำลังขยาย 100 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.16 สูตรที่ 4aNo กำลังขยาย 100 เท่า



รูปที่ 4.17 สูตรที่ 4com กำลังขยาย 100 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปจะเห็นว่า สูตร 4a15 จะมีปริมาณเส้นใยอยู่ 15 phr เป็นปริมาณที่มากกว่าสูตรที่มีการเติมเส้นใยอื่นๆ ทำให้เห็นการกระจากตัวที่ไม่ดีเท่าที่ควร

4.1.4 ผลการหา %การกราฟ

1. ทำการชั่งพลาสติกจากสูตร 4aNo มา 2.3418 กรัม และชั่งแยกพลาสติกจาก PS-graft-MA มา 1.9712 กรัม
4. นำไปละลายแยกกันในโทลูอิน 50 ml
5. เติมสารละลาย KOH ในเอทานอล เข้มข้น 0.0388 M 50 ml
6. นำไปไทเทรตกับ HCl ในไอโซโพรพานอล เข้มข้น 0.0169 M สูตร 4aNo ใช้ 69.5 ml PS-graft-MA ใช้ 58 ml
7. นำไปคำนวณด้วยสูตรที่กล่าวมาแล้วในหัวข้อ 3.3.6

สูตร 4aNo %การกราฟ = 1.56%

PS-graft-MA %การกราฟ = 2.33%

4.2 อภิปรายผลการทดลอง

4.2.1 การศึกษาช่วงที่หนึ่ง

ในช่วงที่หนึ่งเราได้ทำการขึ้นรูปและศึกษาสมบัติต่าง ๆ ของกลุ่มที่ 1 (ยกเว้น 4aNo และ 4com) ทำให้ทราบว่า MA จะทำให้ค่าโมดูลัสของวัสดุคอม โพลีตสูงขึ้น จากการศึกษาที่ Guangxin Chen และคณะ (เอกสารอ้างอิงหน้า 14) ได้เคยเตรียม HIPS-graft-MA ด้วยวิธีที่คล้ายกับการผสมพลาสติกของสูตร 4a , 4a10 , 4a15 ก่อนที่จะนำมาผสมกับเส้นใย ทำให้เราเชื่อว่าพลาสติกที่เป็นเมตริกซ์ของสูตร 4a , 4a10 และ 4a15 ควรจะเป็นพลาสติกประเภท PS-graft-MA ถ้าหากเมตริกซ์ของสูตร 4a , 4a10 และ 4a15 เป็น PS-graft-MA จริง MA ที่กราฟเข้าไปใน PS น่าจะส่งผลต่าง ๆ ดังนี้คือ

1. สายโซ่กิ่ง MA จะทำให้เกิด ปริมาตรอิสระระหว่างสายโซ่หลัก HIPS ที่สูงขึ้น
2. สายโซ่กิ่ง MA มีความเป็นขั้วจะทำให้เกิดแรงยึดเหนี่ยวระหว่างสายโซ่กิ่ง MA ด้วยกัน ผลดังกล่าวจะส่งผลทำให้เสมือนว่า PS จากขบวนการที่มีโครงสร้างร่างแห 3 มิติที่สูงขึ้น

ผลกระทบในข้อ 2 ที่กล่าวมานั้นจะมีผลต่อสมบัติต่างๆดังนี้คือ Tensile strength , %Elongation at break , Deformation at Maximum Load , Impact ค่าต่าง ๆ เหล่านี้จะต่ำลงด้วยเหตุผลที่สายโซ่หลัก PS ไม่สามารถเคลื่อนไหวได้สะดวกทำให้ไม่สามารถถ่ายเทหรือกระจายแรงได้ดีเท่าที่ควร และจะมีผลต่อสมบัติของ Modulus ต่าง ๆ Hardness มีค่าสูงขึ้นเพราะ PS มีโครงสร้างคล้ายโครงสร้างร่างแหมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนผลกระทบจากข้อ 1 นั้นน่าจะมีผลต่อ HDT ทำให้มีค่าต่ำลง การที่ PS มีปริมาตรอิสระระหว่างสายโซ่ที่สูงขึ้น เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจะทำให้สายโซ่หลักขยับตัวได้มากขึ้น และบวกกับอุณหภูมิที่สูงขึ้นจะทำให้แรงดึงคูดทางชั่วอ่อนแรงลงก็จะยิ่งช่วยทำให้สายโซ่ขยับตัวได้มากขึ้น ค่าจาก HDT จึงต่ำลง และผลจากการทดลองก็สอดคล้องกับเหตุผลที่ได้กล่าวไว้

Zn-stearate เป็นสารที่สามารถทำหน้าที่เป็น สารหล่อลื่น และอาจยังสามารถทำหน้าที่ลบสภาพขั้วของเส้นใยจากชานอ้อยได้ แต่ผลที่ได้จะเห็นว่า Zn-stearate ไม่ค่อยส่งผลกระทบต่อสมบัติต่างมากนัก แต่ได้ช่วยในกระบวนการผสม (ในเครื่อง Single screw extruder) ทำให้แรงที่ใช้ในการหมุนสกรูต่ำลง รวมทั้งทำให้ล้างทำความสะอาดเครื่องมือได้ง่ายขึ้นด้วย ซึ่ง Zn-stearate ก็น่าจะทำหน้าที่เป็น สารหล่อลื่นนั่นเอง

4.2.2 การศึกษาในช่วงที่ 2

เป็นการศึกษาปริมาณของเส้นใยต่อสูตร 4a และศึกษาขั้นตอนของการผสมสารตัวเติมเปรียบเทียบระหว่างสูตร 4aNo กับ 4com

พิจารณาผลของเส้นใยชานอ้อยจะมีออกุสสูงแต่เปราะ และที่บริเวณผิวมีสภาพขั้วสูง เพราะผลของหมู่แอลกอฮอล์ และจากการที่พลาสติกในสูตรผ่านการปรับปรุงด้วย MA แล้วทำให้พลาสติกมีสภาพขั้วเพิ่มขึ้น ดังนั้นเส้นใยกับพลาสติกจึงน่าจะมีค่าเข้ากันได้ ปริมาณเส้นใยที่เพิ่มขึ้นจึงน่าจะมีผลต่อความแข็งแรงของวัสดุเพิ่มขึ้น ผลจากการทดลองจะสังเกตได้ว่าปริมาณเส้นใยมีผลต่อการเสริมแรงอยู่ค่อนข้างน้อยแต่มีแนวโน้มทำให้เพิ่มขึ้น

จากการพิจารณาสมบัติสูตร 4a จะสังเกตได้ว่าสูตร 4a มีสมบัติที่ไม่ดีเท่าที่ควร เพราะเมื่อเทียบกับสูตรที่ 1a แม้ว่าวัสดุมีออกุสที่สูงมากแต่กลับมี Tensile Strength ที่ต่ำกว่ามากและเมื่อดูสูตร 2a ที่มีการเติมเส้นใยเพียงอย่างเดียวลงไปพลาสติกจากขวดยาคูลท์ จะเห็นว่าเส้นใยไม่ได้ทำให้วัสดุมี Tensile Strength เปลี่ยนแปลงไปเหมือนสูตร 4a จึงกล่าวได้ว่าวิธีการผสมพลาสติกแบบสูตรที่ 4a ทำให้พลาสติกที่เป็นเมตริกซ์แข็งแต่เปราะจึงส่งผลทำให้วัสดุคอมโพสิตมีลักษณะที่แข็งเปราะ สาเหตุดังกล่าวเป็นเหตุผลที่ทำให้มีการศึกษาผลของขั้นตอนการผสม โดยที่ศึกษาแค่เพียงส่วนของเมตริกซ์จึงไม่ได้มีการเติมเส้นใยลงไป ใน สูตร 4aNo และ สูตร 4com เนื่องจากการศึกษาขั้นตอนการผสมดังนั้นวัสดุที่เตรียมขึ้นแม้จะมีวิธีการผสมที่แตกต่างกัน แต่ก็ควรมีสัดส่วนหรือองค์ประกอบสารเติมแต่ต่างๆ ที่เหมือนๆ กัน

วิธีการเตรียมสูตร 4aNo สรุปได้ง่ายๆ ดังนี้

นำพลาสติกจากขวดยาคูลท์ 100 g , MA 2 g , DCP 0.5 g ไปผสมด้วยเครื่องอัคริคเกลียวหนอนเดี่ยว 2 ครั้ง

วิธีการเตรียมสูตร 4com สรุปได้ง่าๆ ดังนี้

1. เตรียมสัดส่วนต่างๆ ดังนี้พลาสติกจากขวดยาคลุทท์ (PS) 100 g , MA 2 g , DCP 0.5 g
2. แบ่ง PS เป็น 70 : 30 g
3. นำ PS 30 g ไปผสมกับ MA และ DCP ด้วยเครื่องอัลทริคเกลียวหนอนเดี่ยวเพียงครั้งเดียวพลาสติกที่ผสมได้จะถูกเรียกว่า PS-graft-MA และมีวิธีการผสมที่คล้ายกับ 4aNo
4. นำ PS 70 g ไปเข้าเครื่องอัลทริคเกลียวหนอนเดี่ยว 1 ครั้ง เพื่อให้มีจำนวนครั้งที่ผ่านความร้อนที่เท่ากับสูตร 4aNo
5. นำพลาสติกจากข้อ 3 และ 4 ไปผสมกันในเครื่องอัลทริคเกลียวหนอนเดี่ยวอีกครั้งหนึ่งก็จะได้สูตร 4 com ที่มีสัดส่วนขององค์ประกอบแบบเดียวกันกับสูตร 4aNo แต่มีวิธีการผสมที่ต่างกัน

การแบ่งพลาสติกออกเป็น 70 : 30 เป็นเพียงตัวเลขที่ใช้ทดลองทำดูเท่านั้น ซึ่งอาจไม่ได้ให้ผลที่ดีที่สุดสำหรับการผสมแบบวิธีนี้

วิธีการผสมแบบสูตร 4com นั้นยังมีข้อดีอีกข้อหนึ่งคือ PS-graft-MA ที่อยู่ในสูตร 4com ยังสามารถทำหน้าที่เป็นสารช่วยผสมระหว่าง ขวดยาคลุทท์ (PS) และเส้นใยชานอ้อย ได้เมื่อมีการศึกษาผลของการเติมเส้นใยลงไปในสูตร 4com (แต่ในงานวิจัยนี้ยังไม่ศึกษาผลของเส้นใยที่เติมลงไปในสูตร 4com)

ผลจากการทดลองจะเห็นได้ว่าวิธีการผสมพลาสติกแบบสูตร 4com พลาสติกที่ได้จะมีค่า Tensile Strength ที่สูง โมดูลัสก็มีค่าพอกับสูตร 4aNo และมีคุณสมบัติที่ยืดหยุ่นกว่าสูตร 4aNo ซึ่งดูได้จากค่า Flexural Strength และ Flexural Modulus ที่มีค่าสูงกว่าและต่ำกว่าสูตร 4aNo ตามลำดับ จะเห็นว่าสูตร 4com มีสมบัติที่ดีกว่าสูตร 4aNo หลายประการดังที่กล่าวมาและเมื่อนำไปเปรียบเทียบกับสูตรที่ 1a ที่เป็นขวดยาคลุทท์ที่ไม่ผ่านการปรับปรุงก็จะเห็นว่าจากการทดลอง 4com จะมีสมบัติเชิงกลในด้านความแข็งแรงหลายๆ อย่างดีขึ้นอย่างน่าพอใจ

PS-graft-MA นั้นเป็นพลาสติกที่มีสมบัติต่างๆ คล้ายสูตร 4aNo คือแข็งแต่เปราะ เนื่องจากวิธีการเตรียมที่คล้ายกันและกรณีที่เป็นพลาสติกที่เตรียมมาจากขวดยาคลุทท์ดังนั้นจึงน่าจะมีความสามารถผสมเข้ากันได้ดี PS-graft-MA มีข้ออยู่ในสายโซ่สูงส่วนขวดยาคลุทท์ (PS) ไม่มีข้อ การผสมกันของพลาสติกทั้ง 2 ทำให้ได้พลาสติกที่มีข้อไม่แรงมากนักจึงน่าจะเป็นสาเหตุที่ทำให้สูตร 4com มีความแข็งแรงเพิ่มขึ้นกว่าสูตร 1a และไม่เปราะเหมือนสูตร 4aNo เพราะมีส่วนผสมของขวดยาคลุทท์ที่ไม่ได้ผ่านการปรับปรุงอยู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

โครงการพิเศษนี้เป็นการศึกษาสมบัติต่าง ๆ ของคอมโพสิตพอลิเอสไตรีนที่ใช้แล้วกับเส้นใยชานอ้อยที่มีการปรับปรุงด้วยการเติมสารตัวเติมต่าง ๆ ที่แตกต่างกันเพื่อปรับปรุงให้ เมตริกซ์กับส่วนเสริมแรงสามารถเข้ากันได้ดี สารเติมแต่งที่ใช้ได้แก่ MA , DCP , Zn-stearate, PS-graft-MA การผสมจะทำการผสม พลาสติกจากขูดชานอ้อยกับสารพวก MA และ DCP ด้วยเครื่องอัดรีดเกลียวหนอนเดี่ยวก่อน แล้วจึงนำพลาสติกผสมที่ได้ไปผสมกับพวก เส้นใย , Zn-stearate หรือ PS-graft-MA ด้วยอัดรีดเกลียวหนอนเดี่ยว พลาสติกที่ถูกผสมแล้วจะถูกขึ้นรูปด้วยเครื่องฉีดขึ้นรูป

จากการทดสอบสมบัติต่าง ๆ ทำให้สามารถสรุปการทำงานของสารต่าง ๆ ได้ว่า

- MA ที่เกิดการกราฟเข้าไปในสายโซ่ของพอลิเมอร์จากขูดชานอ้อย จะช่วยทำให้มี ค่ามอดูลัส สูงขึ้น แต่มี ค่า %Elongation at break ต่ำลง นั่นคือทำให้พอลิเมอร์แข็งเปราะ
- เส้นใยชานอ้อย ที่นำมาใช้จะช่วยเสริมแรงให้กับพลาสติกที่ผ่านกระบวนการต่อกิ่งแล้ว และยังช่วยทำให้ค่า Impact Strength สูงขึ้นด้วยเช่นกัน
- Zn-stearate จะไม่ส่งผลต่อค่าสมบัติเชิงกลต่าง ๆ มากนัก แต่จะทำหน้าที่เป็น สารหล่อลื่น และยังช่วยให้ทำความสะอาดเครื่องมือหลังการใช้งานได้ง่ายขึ้น
- PS-graft-MA ที่เติมลงในขูดชานอ้อย (PS) สามารถเพิ่มสภาพความเป็นขั้วให้กับพลาสติกทำให้พลาสติกผสมแข็งแรงขึ้นได้

ข้อเสนอแนะ

1. การเติมสาร PS-graft-MA ลงไปผสมทีหลังกับพลาสติกจากขูดชานอ้อย (PS) จะทำให้ได้ผลโดยรวมที่ดีกว่าสูตรที่ทำการเติม MA ลงไปผสมกับพลาสติกจากขูดชานอ้อย (PS) แต่อย่างไรก็ตามก็ยังคงขาดการศึกษาว่าจะใช้ PS-graft-MA ที่มี %การกราฟและปริมาณเท่าใดที่จะทำให้ได้พลาสติกที่แข็งแรงและมีขั้วที่สามารถเกิดแรงกระทำได้ดีกับเส้นใยในปริมาณต่างๆ

2. ความยาวของเส้นใยถูกจำกัดด้วยขั้นตอนการดำเนินงาน พลาสติกที่ผ่านเครื่องอัดรีดเกลียวหนอนเดี่ยวจะถูกนำไปบดด้วยเครื่องบดย่อยพลาสติก ความยาวของเส้นใยจะถูกจำกัดในขั้นตอนดังกล่าวนี้ ซึ่งขนาดความยาวจะอยู่ใกล้เคียงกับขนาดรูตะแกรงของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องบดย่อยพลาสติก ประมาณ 6.48 mm ดังนั้นหากหลีกเลี่ยงวิธีการบดย่อยพลาสติก ด้วยวิธีดังกล่าวก็จะเป็นการช่วยเพิ่มความยาวของเส้นใยได้ และในงานวิจัยนี้ก็ยังไม่ได้มีการศึกษาผลของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่มีผลต่อสมบัติต่างๆ

3. การใช้เครื่องอัดรีดชนิดเกลียวหนอนเดี่ยวมีแรง shear ที่ไม่สูงมากนัก ทำให้ขนาดและการกระจายตัวของสารตัวเติมแต่ละชนิดไม่ดีเท่าที่ควร ซึ่งหากสามารถใช้เครื่องอัดรีดชนิดเกลียวหนอนคู่ที่มีตัวแปรปัจจัยเหมือนๆ กันจะช่วยในการแก้ปัญหาดังกล่าวได้



เอกสารอ้างอิง

1. Guangxin Chen, Jun Yang and Jing Jiang Liu. 1998. Preparation of the HIPS/MA Graft Copolymer and Its Compatibilization in HIPS/PA1010 Blends. Journal of Applied Polymer Science, Vol. 71: 2017-2025.
2. Guojun Xu. 2001. Characterization of Virgin and Postconsumer Blended High-Impact Polystyrene Resins for Injection Molding. Journal of Applied Polymer Science, Vol. 84: 1-8.
3. จิรพรรณ หน่ยคอน และมารีสา ตันตติลักษณ์. 2541. วิสคคอมโพลิตจากพอลิเอทีลีนชนิดความหนาแน่นสูงและพอลิพรอพิลีนกับเส้นใยอ้อย. ครงงานพิเศษวิทยาสตรบัณฑิตภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
4. รัชดา ขวัญตน. 2542. คอมโพลิตจากพอลิเอทีลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่ใช้แล้วและเส้นใยอ้อย. วิทยานิพนธ์วิทยาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
5. กมลรัตน์ คุรัตน์ชวัล และจุฑาพร ปรีชาวงศ์. 2541. บทบาทของมัลติฟังก์ชันนัลมอนอเมอร์ที่มีผลต่อสมบัติเชิงกล และความร้อนของพอลิเมอร์คอมโพลิตระหว่างพลาสติกพอลิเอทีลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่ใช้แล้วกับพอลิพรอพิลีนผสมกับชานอ้อย. ครงงานพิเศษวิทยาสตรบัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก แสดงชนิดและปริมาณสารตัวเติมในพอลิस्टาไทรีนสูตรต่างๆ

สูตร	พลาสติก จากขวด ยาอุตสาหกรรม	เส้นใย ชานอ้อย	MA	DCP	Zn- Stearate	PS- graft- MA
1a	100	-	-	-	-	-
2a	100	5	-	-	-	-
3a	100	5	2	-	-	-
4aNo	100	-	2	0.5	-	-
4a	100	5	2	0.5	-	-
4a10	100	10	2	0.5	-	-
4a15	100	15	2	0.5	-	-
5a	100	5	-	-	2	-
6a	100	5	2	0.5	2	-
4com.	100	-	-	-	-	46.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ข แสดงค่าความแข็งแรงดึงของพอลิเมอร์คอมโพสิตสูตรต่างๆจากเครื่อง Tensile tester

สูตรที่	ค่าความแข็งแรงดึง(Mpa)
1a	35.36
2a	36.41
3a	33.83
4aNo	25.95
4a	29.42
4a10	30.50
4a15	32.13
5a	36.62
6a	25.32
4com	39.43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ค แสดงค่ามอดุลัสของพอลิเมอร์คอมโพสิตสูตรต่างๆ

สูตรที่	ค่ามอดุลัส(Mpa)
1a	1138.00
2a	1126.00
3a	1130.00
4aNo	1255.00
4a	1270.00
4a10	1378.00
4a15	1361.00
5a	1088.00
6a	1229.60
4com	1299.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ง แสดงค่าร้อยละการยึด ณ จุดขาดของคอมพอลิเมอร์คอมโพลีตสูตรต่างๆ

สูตรที่	ค่าร้อยละการยึด ณ จุดขาด(%)
1a	23.18
2a	5.76
3a	5.66
4aNo	3.38
4a	3.20
4a10	3.03
4a15	3.26
5a	5.48
6a	2.69
4com	5.38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง จ แสดงค่าความแข็งแกร่งของพอลิเมอร์คอมโพสิตสูตรต่างๆ

สูตรที่	ค่าความแข็งแกร่ง
1a	63.30
2a	66.50
3a	66.50
4aNo	66.33
4a	67.97
4a10	67.43
4a15	67.73
5a	65.70
6a	67.93
4com	66.93

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ฉ แสดงค่าความทนทานต่อแรงกระแทกของพอลิเมอร์คอมโพสิตสูตรต่างๆ

สูตรที่	ค่าความทนทานต่อแรง กระแทก(kJ/m ²)
1a	3.99
2a	4.14
3a	3.55
4aNo	1.59
4a	1.40
4a10	1.70
4a15	1.87
5a	3.93
6a	1.47
4com	2.90

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ช แสดงค่าความแข็งแรงโค้งงอของพอลิเมอร์คอมโพสิตสูตรต่างๆ

สูตรที่	ค่าความแข็งแรงโค้งงอ (MPa)
1a	141.10
2a	142.20
3a	137.40
4aNo	130.20
4a	131.80
4a10	125.20
4a15	124.60
5a	142.10
6a	120.20
4com	151.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ข แสดงค่ามอดุลัสโค้งงอของพอลิเมอร์คอมโพสิตสูตรต่างๆ

สูตรที่	ค่ามอดุลัสโค้งงอ (MPa)
1a	1002.00
2a	1899.85
3a	1751.76
4aNo	2761.82
4a	2906.08
4a10	3231.25
4a15	3403.41
5a	1887.65
6a	2986.25
4com	1791.49

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ฅ แสดงค่า Deformation at Maximun Load ของพอลิเมอร์คอมโพสิตสูตรต่างๆ

สูตรที่	Deformation at Maximun Load (mm.)
1a	11.46
2a	6.08
3a	6.34
4aNo	3.85
4a	3.65
4a10	3.16
4a15	2.98
5a	6.12
6a	3.23
4com	6.88

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ๓ แสดงค่าอุณหภูมิที่ทำให้ไค้งงของพอลิเมอร์คอมโพสิตสูตรต่างๆ

สูตรที่	ค่าอุณหภูมิที่ทำให้ไค้งง(°C)
1a	80.30
2a	80.90
3a	78.10
4aNo	73.65
4a	79.00
4a10	79.65
4a15	79.20
5a	79.40
6a	76.00
4com	74.30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สถานะที่ใช้ในการผลิตชิ้นรูปด้วยเครื่อง Injection molding machine

CLOSING

Mould open	240	mm.	Mould safety stroke	80	mm.
Closing speed 1	23	%	Mould safety speed	10	%
Closing stroke 1	235	mm.	Mould safety pressure	10	Bar
Closing speed 2	40	%	Mould safety time	1	Sec.
Closing stroke 2	100	mm.	Mould close	78.8	mm.
Closing speed 3	15	%	Clamping high pressure	120	Bar

NOZZLE FORWARD

Nozzle forward delay	0.2	Sec.	Nozzle forward stroke	30	mm.
Nozzle forward speed 1	25	%	Nozzle forward speed 2	15	%
Nozzle forward pressure	55	Bar	Nozzle touching point	26	mm.

INJECTION

Injection delay	0.1	Sec.	Injection stroke 1	45	mm.
Max. injection pressure	68	Bar	Injection speed 2	80	%
Decompression stroke	58	mm.	Injection stroke 2	12	mm.
Metering strok	58	mm.	Injection speed 3	20	%
Injection speed 1	55	%	Injection stroke 3	5	mm.

TEMPERATURE

Nozzel	180	°C	Zone 2	180	°C
Zone 1	190	°C	Zone 3	170	°C

FOLLOW-UP PRESURE

Follow-up pressure 1	35	Bar	Follow-ur preasure 3	35	Bar
Follow-up press 1 time	0.9	Sec.	Follow-up press 3 time	0.2	Sec.
Follow-up pressure 2	55	Bar	Cooling time	30	Sec.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Follow-up press 2 time 1 Sec.

METERING DECOMPRESSION

Metering delay	0.1	Sec.	Back pressure 3	5	Bar
Screw speed	188	RPM	Metring speed 1	65	%
Back pressure 1	8	Bar	Metring stroke 1	35	mm.
Back pressure stroke 1	35	mm.	Metring speed 2	65	%
Back pressure 2	8	Bar	Metring stroke 2	58	mm.
Back pressure stroke 2	25	mm.	Decompression stroke 2	50	mm.

NOZZLE BACK

Nozzle back speed	30	%	Nozzle back pressure	50	Bar
-------------------	----	---	----------------------	----	-----

OPENING

Opening speed 1	15	%	Opening stroke 2	240	mm.
Opening pessure 1	35	Bar	Opening speed 3	25	%
Opening stroke 1	100	mm.	Mold opentime	0.1	Sec.
Opening speed 2	45	%			

EJECTOR

Ejector stroke	2	mm.	Ejector back delay	50	Sec.
Start ejector forward	270	mm.	Ejector back speed 1	55	%
Ejector forward speed 1	40	%	Ejector back Stroke 1	35	mm.
Ejector fwd. Stroke 1	30	mm.	Ejector back speed 2	55	%
Ejector forward pressure	50	Bar	Ejector back pressure	45	Bar
Ejector forward speed 2	35	%	Cushion	8	mm.
Ejector fwd. Stroke	59	mm.	Cycletime	45	Sec.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้