

คอมพอสิตพอลิस्टไทรอินที่ใช้แล้วและเส้นใยชานอ้อย



นางสาวจณา ทัพพลี
นายทินกร เจนศิริรุ่งเรือง

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 43925
วัน, เดือน, ปี 18 ต.ค. 2545

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

โครงการนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาเคมี
คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2544

Polystyrene Composites from Recycled PS/Bagasses fiber

Miss Jana Thaplee

Mr. Tinnakorn Jansirungrueng

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

Department of Chemistry

Faculty of Science

King Mongkut 's Institute of Technology Ladkrabang

2001

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	คอมพอลิเมอร์พอลิสไตรีนที่ใช้แล้วและเส้นใยชานอ้อย		
นักศึกษา	น.ส.จณา	ทัฬหฬี	41052010
	นายทินกร	เจนศิริรุ่งเรือง	41052027
สาขาวิชา	เคมีอุตสาหกรรม		
ภาควิชา	เคมี		
ปีการศึกษา	2544		
อาจารย์ผู้ควบคุมโครงการ	ผศ.ดร.มาลินี ชัยศุกกิจสินธ์		

บทคัดย่อ

โครงการพิเศษนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสมบัติของพอลิสไตรีนคอมพอลิเมอร์ที่เตรียมจากพอลิสไตรีนที่ใช้แล้วผสมกับเส้นใยชานอ้อย โดยที่พอลิสไตรีนได้จากขบวนการรีไซเคิลที่ใช้แล้ว และเส้นใยชานอ้อยได้จากกากเหลือจากการผลิตน้ำตาล ในการทดลองนี้เส้นใยชานอ้อยจะถูกปรับสภาพผิว เพื่อปรับปรุงสมบัติการยึดติดในพอลิสไตรีน โดยเติมสารช่วยผสม PP-g-MAH แล้วนำเส้นใยชานอ้อยที่ผ่านการปรับปรุงผสมรวมกับพอลิสไตรีนในเครื่องอัดรีดเกลียวหนอนเดี่ยว จากนั้นนำไปขึ้นรูปด้วยเครื่องฉีดขึ้นรูปพลาสติก โดยในแต่ละสูตรจะใช้ปริมาณพอลิสไตรีน 90 % w/w และ เส้นใยชานอ้อยที่ผสม PP-g-MAH ในอัตราส่วนต่างๆปริมาณ 10 % w/w ในทุกสูตร แล้วนำชิ้นงานไปศึกษาสัณฐานวิทยา ตรวจสอบสมบัติเชิงกล สมบัติทางความร้อน สมบัติการดูดซับน้ำ และ ปริมาณสารช่วยผสม PP-g-MAH พบว่า ถ้าใช้อัตราส่วนของเส้นใยชานอ้อยและสารช่วยผสมเป็น 1:1 ทำให้คอมพอลิเมอร์มีสมบัติแข็งและเหนียว และ ถ้าใช้อัตราส่วนของเส้นใยชานอ้อยและสารช่วยผสม เป็น 1:5 ทำให้คอมพอลิเมอร์ทนแรงดึงและทนความร้อนได้ดี

Special project Title	Polystyrene Composites from Recycled PS/ Bagasses fiber
Name	Miss Jana Thaplee Mr. Tinnakorn Jansirungrueng
Special Project Advisor	Asst.Prof. Dr.Malinee Chaisupakitsin
Department	Chemistry
Academic Year	2001

Abstract

The special project aims to study on the properties of PS composites prepared from Recycled PS with bagasses fiber. Polystyrene is wasteful materials from Yacult bottle and bagasses fiber are wasteful materials from sugar cane production. In this experiment, the interaction of bagasses fiber with polystyrene was improved by compatibilizer , PP-g-MAH. Modified bagasses fiber were mixed with polystyrene in the extruder and followed by injection molding machine. In every formular , PS 90 % w/w was fixed and mixed with 10 % w/w of various ratios of bagasses fiber and compatibilizer. The mechanical properties, thermal properties, water absorption properties, morphology, and amount of PP-g-MAH were investigated. It was found that composites composed of bagasses fiber and compatibilizer , 1:1 give high modulus and toughness. On the other hand , composites composed of bagasses fiber and compatibilizer , 1:5 give high strength and thermal resistance.

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.มาลินี ชัยศุภกิจสินธ์ ที่กรุณาให้คำปรึกษา คำแนะนำ และ ความช่วยเหลือในการดำเนินงานโครงการพิเศษนี้มาโดยตลอด

ขอขอบพระคุณ ดร.จุฑารัตน์ ปรีชญาวรรการ และ ดร.พัชนี เจริญยิ่ง อาจารย์คณะ กรรมการตรวจสอบโครงการพิเศษ ที่ให้ความอนุเคราะห์ตรวจทาน และแก้ไขโครงการพิเศษฉบับนี้ ให้ถูกต้องสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

สุดท้ายขอขอบพระคุณบิดา มารดา และขอบพระคุณ พี่ๆ เพื่อนๆ น้องๆ อาจารย์ รวมทั้งเจ้าหน้าที่ภาควิชาเคมีทุกท่าน ที่คอยให้ความช่วยเหลือและให้กำลังใจ ทำให้โครงการพิเศษนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

นางสาวจณา ทัพพลี
นายทินกร เจนศิริรุ่งเรือง

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อโครงการภาษาไทย	ก
บทคัดย่อโครงการภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 คำนำ	1
1.2 ความเป็นมาของโครงการ	3
1.3 วัตถุประสงค์	4
1.4 ขอบเขตการวิจัย	4
1.5 ขั้นตอนการวิจัยและดำเนินงาน	4
1.6 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	5
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	6
2.1 พอลิเมอร์คอมพอสิต	6
2.1.1 พอลิเมอร์เมตริกซ์	8
2.1.2 ส่วนเสริมแรง	9
2.2 พอลิสไตรีน	10
2.2.1 โฟมพอลิสไตรีน	11
2.2.2 พอลิสไตรีนชนิดทนแรงกระแทก	12
2.3 ชานอ้อย	12
2.3.1 ส่วนประกอบทางเคมีและฟิสิกส์ของชานอ้อย	14
1. เซลลูโลส	15
2. เพนโตแซน	16
3. ลิกนิน	16
2.4 การปรับปรุงสมบัติการยึดติด	17
2.4.1 กลไกการยึดติด	17
2.4.2 สารยึดติดที่ใช้ในงานวิจัย	19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3 การวิจัยและการดำเนินงาน	21
3.1 วัสดุและสารเคมีที่ใช้	21
3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้	21
3.3 วิธีทดลอง	22
3.3.1 การเตรียมพอลิสไตรีน	22
3.3.2 การเตรียมเส้นใยชานอ้อย	22
3.3.3 การปรับปรุงสมบัติของเส้นใยโดยการเติมสารช่วยผสม	22
3.3.4 การเตรียมพอลิเมอร์คอมพอลิต	22
3.4 ทดสอบสมบัติต่าง ๆ	23
3.4.1 สมบัติเชิงกล	23
3.4.2 สมบัติทางความร้อน	24
3.4.3 สมบัติทางกายภาพ	24
3.4.3.1 สมบัติการดูดซับน้ำ	24
3.4.4 สันฐานวิทยา	24
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์	25
4.1 การทดสอบสมบัติเชิงกล	26
4.1.1 ความแข็งแรงดึง	26
4.1.2 ร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาด	27
4.1.3 มอดุลัส	28
4.1.4 ความทนทานต่อแรงกระแทก	29
4.2 การทดสอบสมบัติทางความร้อน	31
4.2.1 อุณหภูมิที่ทำให้โค้งงอ	31
4.2.2 การศึกษาอุณหภูมิสถานะคล้ายแก้ว	32
4.3 การทดสอบสมบัติทางกายภาพ	33
4.3.1 สมบัติการดูดซับน้ำ	33
4.4 สันฐานวิทยา	34
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ	41
5.1 ผลสรุปที่ได้จากการวิจัย	41
5.2 ข้อเสนอแนะ	42
เอกสารอ้างอิง	43
ภาคผนวก	45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตาราง 2.1 แสดงสมบัติเชิงกลของพอลิไทรีน และพอลิไทรีนชนิดทนต่อแรงกระแทก	12
ตาราง 2.2 แสดงสารประกอบและสมบัติเชิงกลของเส้นใยธรรมชาติ	13
ตาราง 2.3 ส่วนประกอบทางเคมีของชานอ้อย	14
ตาราง 3.1 แสดงสูตรผสมพอลิเมอร์คอมพอสิต	23
ตาราง 4.1 แสดงชนิดและปริมาณสารในพอลิไทรีนคอมพอสิตสูตรต่าง ๆ	25
ตาราง 4.2 แสดงผลของการดูดซับน้ำของพอลิไทรีนในแต่ละสูตร	33



สารบัญรูป

รูปที่ 2.1	แสดงประเภทของวัสดุคอมพอลิตโดยแบ่งตาม ลักษณะส่วนเสริมแรง	7
รูปที่ 2.2	แสดงตัวอย่างของคอมพอลิตที่มีส่วนเสริมแรงต่างกัน	9
รูปที่ 2.3	แสดงโครงสร้างของพอลิไทรีน	10
รูปที่ 2.4	แสดงสัณฐานวิทยาของโฟมพอลิไทรีน	11
รูปที่ 2.5	โครงสร้างทางเคมีเซลลูโลส	15
รูปที่ 2.6	แสดงกลไกแบบต่าง ๆ ในการยึดติดกันระหว่างพื้นผิว	18
รูปที่ 2.7	โครงสร้างของพอลิพรอพิลีนกราฟท์มาลิกแอนด์ไฮไดรด์	19
รูปที่ 2.8	แสดงการเกิดปฏิกิริยาของเส้นใยเซลลูโลสที่ทำการปรับสภาพ ผิวด้วย PP-g-MAH	20
รูปที่ 4.1	แสดงความแข็งแรงดึงของพอลิเมอร์คอมพอลิตสูตรต่าง ๆ	26
รูปที่ 4.2	แสดงค่าร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาดของพอลิเมอร์คอมพอลิตสูตรต่าง ๆ	27
รูปที่ 4.3	แสดงค่ามอดุลัสของพอลิเมอร์คอมพอลิตสูตรต่าง ๆ	28
รูปที่ 4.4	แสดงค่าความทนทานต่อแรงกระแทกของพอลิเมอร์คอมพอลิตสูตรต่าง ๆ	29
รูปที่ 4.5	แสดงค่าของอุณหภูมิที่ทำให้โค้งงอของพอลิเมอร์คอมพอลิตสูตรต่าง ๆ	31
รูปที่ 4.6	แสดงค่าของอุณหภูมิสถานะคล้ายแก้วของพอลิเมอร์คอมพอลิตสูตรต่าง ๆ	32
รูปที่ 4.7	ภาพถ่าย SEM สูตรที่ 1 กำลังขยาย 150 เท่า	34
รูปที่ 4.8	ภาพถ่าย SEM สูตรที่ 2 กำลังขยาย 150 เท่า	34
รูปที่ 4.9	ภาพถ่าย SEM สูตรที่ 3 กำลังขยาย 150 เท่า	35
รูปที่ 4.10	ภาพถ่าย SEM สูตรที่ 4 กำลังขยาย 150 เท่า	35
รูปที่ 4.11	ภาพถ่าย SEM สูตรที่ 5 กำลังขยาย 150 เท่า	36
รูปที่ 4.12	ภาพถ่าย SEM สูตรที่ 6 กำลังขยาย 150 เท่า	36
รูปที่ 4.13	ภาพถ่าย SEM สูตรที่ 1 กำลังขยาย 5000 เท่า	37
รูปที่ 4.14	ภาพถ่าย SEM สูตรที่ 2 กำลังขยาย 5000 เท่า	37
รูปที่ 4.15	ภาพถ่าย SEM สูตรที่ 3 กำลังขยาย 5000 เท่า	38
รูปที่ 4.16	ภาพถ่าย SEM สูตรที่ 4 กำลังขยาย 5000 เท่า	38
รูปที่ 4.17	ภาพถ่าย SEM สูตรที่ 5 กำลังขยาย 5000 เท่า	39
รูปที่ 4.18	ภาพถ่าย SEM สูตรที่ 6 กำลังขยาย 5000 เท่า	39

บทที่ 1

บทนำ

1.1 คำนำ

ในปัจจุบันการกำจัดพลาสติกกลายเป็นปัญหาที่สำคัญเนื่องจากมีปริมาณมาก ดังนั้นแนวทางหนึ่งในการกำจัดขยะพลาสติก คือ นำพลาสติกกลับมาใช้อีกครั้ง (Recycle) ซึ่งมีหลายวิธี[1] ดังนี้

1. Primary recycling เป็นการนำพลาสติกเสียในโรงงานกลับมาใช้ใหม่ ซึ่งพลาสติกเสียนี้เราเรียกว่า scrap โดยเป็นพลาสติกที่ได้คุณภาพแต่เกิน mold ออกมา
2. Secondary recycling นำของเสียที่ผ่านการใช้แล้วจากครัวเรือนกลับมาใช้ในรูปแบบใหม่
3. Tertiary recycling เป็นการให้ความร้อนแก่พลาสติก แล้วทำให้พลาสติกสลายตัว ทำให้ได้ส่วนเล็ก ๆ หลุดออกมา เช่น แพรกเมนต์ต่าง ๆ ก๊าซ เป็นต้น
4. Quaternary recycling นำพลาสติกไปเผาในที่ที่จำกัดปริมาณออกซิเจน เรียกว่า incineration เพื่อให้ได้พลังงานออกมาแล้วนำกลับไปใช้

พอลิสไตรีน เป็นพลาสติกที่นิยมมาใช้เป็นผลิตภัณฑ์ประเภทต่าง ๆ มากมาย และเพื่อเป็นการพัฒนาสมบัติของพอลิเมอร์นี้ ได้มีผู้ให้ความสนใจ ศึกษาสารตัวเติมที่เหมาะสม และราคาถูกพบว่าเส้นใยลิกโนเซลลูโลส เป็นวัสดุที่ได้รับความนิยมเป็นอย่างมาก เนื่องจากก่อให้เกิดประโยชน์คือ

1. มีความหนาแน่นต่ำ
2. ลดต้นทุนการผลิต
3. ไม่ทำลายธรรมชาติ
4. สามารถใช้เป็นสารตัวเติมในปริมาณมากได้
5. ใช้พลังงานในการผลิตต่ำ
6. สามารถเลือกใช้เส้นใยได้หลายชนิด
7. สามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ
8. เป็นการลดกากของเสียชนิดหนึ่ง

ซานอ้อยเป็นเส้นใยลิกโนเซลลูโลสชนิดหนึ่งที่น่าสนใจ เนื่องจากเป็นกากที่เหลือจากการบดต้นอ้อย ในการผลิตน้ำตาล ใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตกระดาษ ปู่ย เชื้อเพลิง และอื่น ๆ จึงดัดแปลงนำมาเป็นสารตัวเติมในพอลิเมอร์ โดยต้องมีการปรับปรุงสมบัติพลาสติกหรือเส้นใย ทั้งในด้านเสถียรภาพ ทางความร้อนระหว่างกระบวนการกระจายตัว และการยึดติดของเส้นใย ซึ่งเป็นวัฏภาคที่มีซั้กับพอลิเมอร์ ซึ่งเป็นวัฏภาคที่ไม่มีซั้

ในการปรับปรุงสมบัติของเส้นใยโดยการเติมสารช่วยผสม (compatibiliser) เช่น Maleic anhydride หรือ Acrylic acid ฯลฯ เพื่อเพิ่มความสามารถในการเข้ากันได้ และทำให้มีคุณสมบัติการยึดติดที่พื้นผิวระหว่างวัฏภาคดีซั้ จัดเป็นอีกวิธีที่เลือกนำมาใช้

โครงการพิเศษนี้จะนำพลาสติกหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่ในแบบ Secondary recycling คือนำขวดพลาสติก ซึ่งเป็นพลาสติกประเภทพอลิสไตรีน (PS) กลับมาใช้ และนำซานอ้อยมาใช้เป็นสารตัวเติมและส่วนเสริมแรงในพอลิสไตรีน ที่ได้มาจากขวดพลาสติกที่เหลือใช้ ซึ่งทำการปรับปรุงสมบัติการยึดติด และการผสมผสานระหว่างสารตัวเติมกับพลาสติกโดยทำการเติม PP-g-MAH ลงบนเส้นใย จากนั้นจะนำพอลิเมอร์คอมพอสิตมาทดสอบสมบัติต่าง ๆ เพื่อหาว่าปริมาณ PP-g-MAH เท่าใดจึงจะเหมาะสมที่สุดในการปรับปรุงคุณสมบัติของพอลิเมอร์คอมพอสิตเพื่อเป็นการประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์อื่น ๆ ต่อไป

1.2 ความเป็นมาของโครงการ

ในช่วงเวลาที่ผ่านมาได้มีนักวิทยาศาสตร์หลายท่านให้ความสนใจในการศึกษาค้นคว้าการนำเส้นใยมาใช้ให้เกิดประโยชน์ร่วมกับพอลิเมอร์ชนิดต่าง ๆ โดยวิธีต่าง ๆ ดังนี้

S.Mishra และ J.B.Naik [2] ได้ทำการศึกษาการดูดซับน้ำที่ ambient temperature และดูดซับไอน้ำของพอลิเมอร์คอมพอสิต ที่เตรียมจากเส้นใยธรรมชาติ ป่าน กล้วย และดอกโคม กับพอลิเอสไทริน ที่ใช้พอลิเอสไทรินในอัตราส่วน 50 % โดยน้ำหนัก ซึ่งเส้นใยธรรมชาติทั้ง 3 ชนิด จะผ่านการปรับสภาพด้วยการทำ esterification กับ Maleic anhydride (MA) และเปรียบเทียบผลที่ได้กับเส้นใยที่ไม่ผ่านการปรับสภาพ พบว่า พอลิเมอร์คอมพอสิตที่เตรียมจากเส้นใยป่าน ที่ผ่านการปรับสภาพ จะดูดซับน้ำได้มากกว่าคอมพอสิตจากเส้นใยกล้วย เส้นใยดอกโคม โดยการดูดซับน้ำ จะขึ้นกับเวลา และ MA จะมีผลทำให้ดูดซับน้ำน้อยลงจึงทำให้คอมพอสิตจากเส้นใยที่ไม่ผ่านการปรับสภาพดูดซับน้ำได้มากกว่า ในส่วนของการดูดซับไอน้ำก็ให้ผลเหมือนการดูดซับน้ำ คือ MA จะทำให้ดูดซับไอน้ำได้น้อยลง และคอมพอสิตจากเส้นใยป่านจะดูดซับไอน้ำได้มากกว่า คอมพอสิตจากเส้นใยกล้วยและคอมพอสิตจากเส้นใยดอกโคม

M.L.Hassan[3] และคณะได้ศึกษาการนำชานอ้อยมาทำเป็นเทอร์โมพลาสติกโดยปฏิกิริยาไฮยาโนเอททิลแลชั่น แทนที่หมู่ไฮดรอกซิลของชานอ้อยด้วยหมู่อะคริไลโนไทรล์ โดยศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อปฏิกิริยา คือ อุณหภูมิ เวลา ความเข้มข้นของสารละลายเบส และอัตราส่วนอะคริไลโนไทรล์ต่อชานอ้อย จากการทดลองพบว่า อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา และความเข้มข้นสารละลายเบสเป็นปัจจัยหลักที่มีผลต่อปฏิกิริยา สภาวะที่เหมาะสมที่สุดต่อการเกิดปฏิกิริยา คือ ที่ความเข้มข้นสารละลายเบส 5 % โดยน้ำหนัก อุณหภูมิ 60 °C เป็นเวลาอย่างน้อย 2 ชั่วโมง อัตราส่วนอะคริไลโนไทรล์ต่อชานอ้อยเท่ากับ 1:20 สามารถยืนยันการเกิดปฏิกิริยาได้จากเทคนิค FTIR เทคนิค X-ray diffraction และการตรวจวัดปริมาณไนโตรเจนในผลิตภัณฑ์โดยวิธีไมโครเจดาร์ นอกจากนี้ยังใช้เทคนิค TGA ในการศึกษาความเสถียรทางความร้อนพบว่า ผลิตภัณฑ์มีการสลายตัวที่อุณหภูมิ 217 °C และให้ SEM ในการแสดงความเป็นเทอร์โมพลาสติก ผลิตภัณฑ์ที่ได้สามารถขึ้นรูปได้โดยเครื่อง Compression Molding เหมือนกับพอลิเมอร์ทั่วไป

1.3 วัตถุประสงค์

1. เพื่อนำเส้นใยชานอ้อยมาใช้ประโยชน์ในรูปแบบอื่น ๆ แทนที่จะนำไปทิ้งเป็นขยะ
2. เพื่อนำขวดยาकुलท์ที่เหลือทิ้งมาใช้ประโยชน์
3. เพื่อศึกษาเปรียบเทียบวิธีการปรับปรุงสมบัติของเส้นใยด้วยการเติม PP-g-MAH และเส้นใยที่ไม่เติม PP-g-MAH เพื่อศึกษาปริมาณ PP-g-MAH ที่เหมาะสมในการผลิตพอลิเมอร์คอมพอสิตจากพอลิสไตรีนกับเส้นใยชานอ้อย

1.4 ขอบเขตการวิจัย

โครงการพิเศษนี้เป็นการศึกษาสมบัติของพอลิเมอร์คอมพอสิต จากการนำพอลิสไตรีนกับเส้นใยชานอ้อยกลับมาใช้ใหม่เมื่อไม่ปรับปรุงสมบัติของเส้นใยและปรับปรุงสมบัติของเส้นใยโดยการเติมสารช่วยผสม PP-g-MAH ในปริมาณต่าง ๆ กันลงบนเส้นใย ซึ่งใช้ปริมาณ 10 % โดยน้ำหนักของคอมพอสิต

1.5 ขั้นตอนการวิจัยและดำเนินงาน

1. เตรียมพอลิสไตรีนจากขวดยาकुलท์
2. นำพอลิสไตรีนมาบดเป็นชิ้นเล็ก ๆ โดยใช้เครื่องตัดชิ้นงาน
3. นำชานอ้อยมาปรับปรุงสมบัติ โดยการเติมสารช่วยผสม PP-g-MAH ด้วยเครื่องผสมแบบเกลียวหนอนเดี่ยว (Single screw extruder)
4. นำชานอ้อยที่ปรับปรุงสมบัติที่ได้มาบดเป็นชิ้นเล็ก ๆ ด้วยเครื่องตัดชิ้นงาน
5. ทำการผสมพอลิสไตรีนกับชานอ้อยที่ได้จากข้อ 4 มาผสมกันเครื่องผสมแบบเกลียวหนอนเดี่ยว (Single screw extruder)
6. นำพอลิเมอร์คอมพอสิตที่ได้ไปบดตัดเป็นชิ้นเล็ก ๆ ด้วยเครื่องตัดชิ้นงาน
7. นำพอลิเมอร์ที่ได้ไปขึ้นรูปเป็นดัมเบลล์ ด้วยเครื่อง Injection Molding
8. นำชิ้นงานที่ได้ไปทดสอบสมบัติต่างๆ เช่น สมบัติเชิงกล สมบัติทางความร้อน และ สันฐานวิทยา
9. สรุปผลการวิจัยเพื่อนำไปใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.6 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบถึงปริมาณสารช่วยผสม (Compatibiliser) ที่เหมาะสมในการปรับปรุงสมบัติของเส้นใยให้ยึดติดกับพอลิเมอร์
2. ทราบถึงความเป็นไปได้ที่จะนำพอลิเมอร์คอมพอสิตที่เตรียมได้ ไปใช้งานตามวัตถุประสงค์ที่ต้องการ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

1.1 พอลิเมอร์คอมพอสิต (Polymer composites)

หมายถึง วัสดุที่ประกอบด้วยส่วนประกอบอย่างน้อย 2 ชนิด ที่มีสมบัติต่างกัน โดยจะแยกกันอยู่คนละวัฏภาค และทำให้ได้วัสดุที่มีสมบัติดีขึ้นโดยทั่วไปจะนิยมทำเพื่อปรับปรุงความแข็งแรง มอดูลัส ความเสถียรในรูปร่าง และลดความหนาแน่น พอลิเมอร์คอมพอสิตประกอบด้วย 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนเมตริกซ์ (Matrix phase) ซึ่งจะเป็นพวกลูกสารพอลิเมอร์ และส่วนเสริมแรง (Reinforcement phase) ซึ่งอาจมีลักษณะเป็นแผ่นเป็นอนุภาคเล็ก ๆ หรือเป็นเส้นใยก็ได้ มักจะมีการใช้ลักษณะรูปร่างและการจัดเรียงตัวที่แตกต่างกันของส่วนเสริมแรง เพื่อแบ่งประเภทของวัสดุคอมพอสิต ดังตัวอย่างรูปที่ 2.1

สมบัติพอลิเมอร์คอมพอสิตขึ้นกับ[4]

1. การยึดเกาะระหว่างเมตริกซ์และสารเสริมแรง
2. คุณสมบัติของเมตริกซ์และสารเสริมแรง
3. ขนาดและรูปร่างของสารเสริมแรง
4. ปริมาณสารเสริมแรง
5. กระบวนการผลิต
6. การจัดเรียงตัวและการกระจายตัวของสารเสริมแรง



รูปที่ 2.1 แสดงประเภทของวัสดุคอมพอสิตโดยแบ่งตามลักษณะของส่วนเสริมแรง[5]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2..1.1 พอลิเมอร์เมตริกซ์ (Polymer matrix)

เมตริกซ์เป็นส่วนที่ช่วยหล่อหุ้มและยึดส่วนเสริมแรงเข้าไว้ด้วยกัน ซึ่งโดยทั่วไปเมตริกซ์มักมีความเหนียวสูง ความแข็งแรงและมอดุลัสต่ำกว่าส่วนเสริมแรง

หน้าที่ของเมตริกซ์ในพอลิเมอร์คอมพอสิต ได้แก่ [6]

1. รักษาความเสถียรในรูปร่างและขนาดของวัสดุคอมพอสิต
2. รักษาการกระจายตัวของเส้นใย และแยกไม่ให้เส้นใยมารวมกัน
3. ทำให้วัสดุคอมพอสิตสามารถทนต่อการเสียดสภาพภายใต้อุณหภูมิหรือแรงที่ระดับหนึ่งๆ
4. สามารถกระจายหรือถ่ายแรงที่ได้รับจากภายนอกไปยังเส้นใยได้
5. ช่วยให้ทนทานต่อสภาพแวดล้อมและมีความเสถียรในตัวกลางต่าง ๆ

พอลิเมอร์เมตริกซ์ที่ใช้โดยทั่วไปแบ่งเป็น 2 ประเภท ได้แก่

1. เทอร์โมเซต (Thermoset)[7]

พอลิเมอร์กลุ่มนี้เมื่อผ่านกรรมวิธีการผลิตจะมีรูปทรงถาวร ผลผลิตที่ได้นำไปหลอมอีกไม่ได้ และไม่ละลายในตัวทำละลาย คือไม่เกิดกระบวนการย้อนกลับ สาเหตุที่เป็นเช่นนี้เพราะว่า ก่อนผ่านกระบวนการเตรียม โครงสร้างของพอลิเมอร์ยังไม่เป็นร่างแห แต่เมื่อผ่านกระบวนการโดยให้ความร้อนหรือความดันเข้าไป จะมีการเปลี่ยนแปลงทางเคมีในโครงสร้างเกิดการเชื่อมโยง (Cross-linking) ระหว่างสายโซ่โมเลกุล มีลักษณะเป็นระบบสามมิติ มีการสร้างพันธะโควาเลนต์ระหว่างสายโซ่โมเลกุล ทำให้ผลผลิตที่ได้มีความคงทนไม่หลอม ไม่ละลาย ถ้าให้ความร้อนมาก ๆ จะไหม้เกรียมและสมบัติเปลี่ยนไปจากเดิม

เทอร์โมเซตที่ใช้เมตริกซ์ส่วนใหญ่ได้แก่ อีพอกซี พอลิเอสเทอร์ และโวนิลเอสเทอร์ เมื่อเทอร์โมเซตเรซินที่หลอมเหลวเริ่มแข็งตัว จะเกิดการเชื่อมโยงขึ้น ซึ่งจะทำให้เกิดรอยต่อที่แน่นของโครงร่างแหสามมิติ การเกิดการเชื่อมโยงจะทำให้พอลิเมอร์แข็งตัว มีความแข็งแรงสูง มีความต้านทานสารละลาย มีเสถียรภาพทางด้านความร้อน และต้านทานการเกิดออกซิเดชันได้ดี สมบัติเหล่านี้จะสัมพันธ์โดยตรงกับความหนาแน่นของการเกิดการเชื่อมโยง และน้ำหนักโมเลกุลของสายโซ่ระหว่างการเชื่อมโยง ถ้าเกิดการเชื่อมโยงมากจะส่งผลให้เมตริกซ์มีความแข็งแรงมาก หรือมีมอดุลัสยืดหยุ่นสูง แต่ถ้าเกิดการเชื่อมโยงมากแล้ว น้ำหนักโมเลกุลของสายโซ่ระหว่างการเชื่อมโยงจะลดลง ซึ่งจะทำให้การเคลื่อนไหวของโมเลกุลเกิดได้ยาก เกิดความเปราะ มีความเครียดต่ำ ความต้านทานต่อแรงกระแทกน้อย และไม่เหนียว

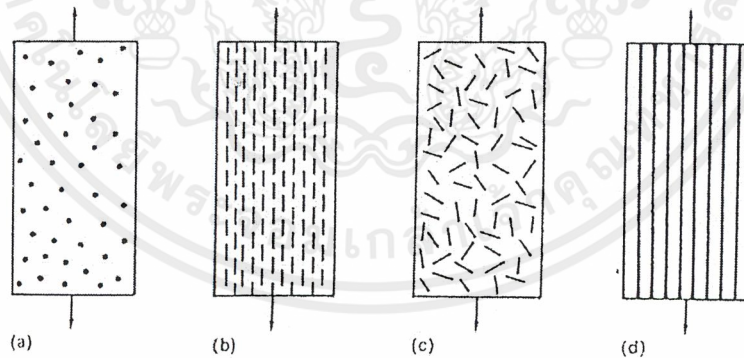
2. เทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic) [8]

เทอร์โมพลาสติกจะละลายได้ดีในตัวทำละลายบางชนิด เมื่อถูกความร้อนสามารถหลอมตัวได้ และเมื่อเย็นลงก็จะแข็งตัว สามารถทำให้หลอมและแข็งตัวได้หลาย ๆ ครั้ง โดยไม่ทำให้สมบัติทางเคมีเปลี่ยนแปลงไป อาจแยกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มเทอร์โมพลาสติกอสัณฐาน (Amorphous thermoplastic) และเทอร์โมพลาสติกที่มีผลึกบางส่วน (Semi-crystalline thermoplastic)

เทอร์โมพลาสติกจะไม่เกิดการเชื่อมโยง ดังนั้นความแข็งแรงและความแข็งของเมตริกซ์ที่ได้ นั้น เป็นผลโดยตรงจากสมบัติของหน่วยซ้ำ หรือมอนอเมอร์ และน้ำหนักโมเลกุลที่สูง เทอร์โมพลาสติกอสัณฐานจะเกิดการพันกันของสายโซ่โมเลกุล ซึ่งจะส่งผลคล้ายกับการเกิดการเชื่อมโยง และในพอลิเมอร์ที่สามารถตกผลึกได้ก็จะมีการจัดเรียงตัวที่ดี ทำให้เมตริกซ์มีความแข็งแรง สมบัติของเทอร์โมพลาสติกจะขึ้นกับอัตราการเกิดผลึก สัณฐานวิทยา และการจัดเรียงตัวของผลึก ซึ่งเหล่านี้จะขึ้นกับสถานะในการผลิต ตัวอย่างเทอร์โมพลาสติก เช่น พอลิเอไมด์ พอลิสไตรีน พอลิพรอพิลีน พอลิเอทิลีน เป็นต้น

2.1.2 ส่วนเสริมแรง (Reinforcement phase)

ส่วนเสริมแรงมีลักษณะรูปร่างได้หลายแบบ อาจเป็นแผ่น เส้นใย หรืออนุภาคเล็ก ๆ ก็ได้ ดังตัวอย่างรูปที่ 2.2 ตัวเสริมแรงที่นิยมใช้ส่วนใหญ่จะมีลักษณะเป็นเส้นใย (fiber) อาจจะเป็นเส้นใยต่อเนื่องกัน หรือเส้นใยสั้น ตัวอย่างเส้นใยที่ใช้เสริมแรงในพอลิเมอร์คอมพอสิต เช่น เส้นใยเคพลาร์ หรือเส้นใยธรรมชาติต่าง ๆ



รูปที่ 2.2 แสดงตัวอย่างคอมพอสิตที่มีส่วนเสริมแรงต่างกัน[5]

- ส่วนเสริมแรงเป็นอนุภาค จัดเรียงตัวแบบสุ่ม
- ส่วนเสริมแรงเป็นเส้นใยสั้น จัดเรียงตัวในทิศทางเดียวกัน
- ส่วนเสริมแรงเป็นเส้นใยสั้น จัดเรียงตัวแบบสุ่ม
- ส่วนเสริมแรงเป็นเส้นใยยาว จัดเรียงตัวในทิศทางเดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุณสมบัติของเส้นใยที่เหมาะสมสำหรับใช้เสริมแรง ควรมีลักษณะดังนี้ [9]

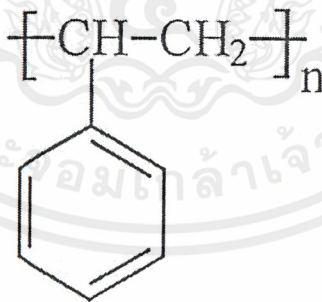
1. เส้นใยควรมีโมดูลัสยืดหยุ่นสูง เพื่อประสิทธิภาพในการเสริมแรง
2. เส้นใยควรมีความแข็งแรงสูง
3. ความแข็งแรงของเส้นใยแต่ละเส้นไม่ควรแตกต่างกันมาก
4. เส้นใยควรจะเสถียร และรับความแข็งแรง ขณะจัดเก็บและขึ้นรูปได้
5. ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง และพื้นผิวของเส้นใย ควรมีลักษณะเหมือนกัน

ปัจจัยสำคัญของเส้นใยที่มีผลต่อสมบัติคอมพอสิต ได้แก่ [9]

1. เส้นผ่านศูนย์กลาง
2. ความยาวของเส้นใย
3. ปริมาตรของเส้นใย
4. ลักษณะรูปร่างของเส้นใย
5. การจัดเรียงตัวของเส้นใยในคอมพอสิต

1.2 พอลิสไตรีน (PS)

พอลิสไตรีนมีโครงสร้างเป็นโซ่ตรงอสังฐานดังแสดงในรูปที่ 2.2



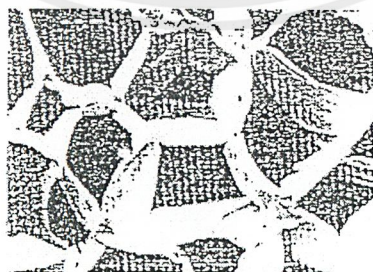
รูปที่ 2.2 แสดงโครงสร้างของพอลิสไตรีน[10]

ใน พ.ศ. 2477 ได้เริ่มมีการผลิตพอลิสไตรีนทางการค้าเป็นครั้งแรกโดย บริษัท ดาวนเคมี จำกัด และบริษัท ฟาร์เบน จำกัด โดยมีสมบัติดังต่อไปนี้ [10]

1. มีความแข็ง ใส และเปราะ
2. ไม่ดูดความชื้น
3. ไม่นำไฟฟ้า
4. เจือยต่อสารเคมี
5. มีความทนทานต่อกรด ต่าง ฮาโลเจน ตัวออกซิไดส์และตัวรีดิวซ์
6. มีความทนทานต่อความร้อนได้ไม่ดี เพราะอุณหภูมิสถานะคล้ายแก้ว (T_g) อยู่ที่ประมาณ 80 องศาเซลเซียส จึงเกิดการย่อยสลายได้หากถูกความร้อน
7. มีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 50,000 – 200,000
8. ทนทานต่อแรงดึงได้ดี
9. มีค่าความหนาแน่นประมาณ 1.05-1.07 g/cm³
10. ละลายได้ในตัวทำละลายอะโรมาติก
11. สามารถขึ้นรูปได้ง่ายแต่ขึ้นงานที่ได้มีความเปราะ

2.2.1 โฟมพอลิสไตรีน (Polystyrene foam)

การนำพอลิสไตรีนไปใช้งานมักนำไปทำเป็นถัง ขวด ภาชนะใส่อาหาร ชิ้นส่วนตู้เย็นหรือรถยนต์ และนำไปทำเป็นโฟมกันกระแทก ซึ่งทำได้โดยการหลอมพอลิสไตรีนแล้วนำไปอัดด้วยเพนเทนจากนั้นให้ความร้อนด้วยไอน้ำ จะเกิดการขยายตัวประมาณ 40 เท่า แล้วอัดเข้าไปในเบ้าให้ได้ขนาดและรูปร่างตามต้องการ หรืออาจทำให้เกิดเป็นเซลล์โดยนำพอลิสไตรีนมาเติมสารเร่งให้ฟูแล้วใส่ในแบบที่เตรียมไว้ตามขนาดที่ต้องการ จากนั้นให้ความร้อนจนถึงอุณหภูมิที่เกิดปฏิกิริยา ก็จะได้ก๊าซออกมาเกิดเป็นโฟมพอลิสไตรีน [11] ดังแสดงในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 แสดงลักษณะฐานวิทยาของโฟมพอลิสไตรีน [12]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โพลีเอทิลีนเป็น 3 ประเภท ได้แก่

1. พวกที่เร่งด้วยผงฟูทำให้เกิดโพลีได้ เช่น พอลิสไตรีน (PS)
2. พวกที่หลอมแล้วทำให้ฟู เช่น พอลิสไตรีน (PS) พอลิเอทิลีน (PE) และพอลิไวนิลคลอไรด์ (PVC)
3. พวกที่เริ่มต้นหลอมเหลวเกิดปฏิกิริยาเคมีแล้วเกิดโพลี เช่น ยูเรียฟอรัมาลดีไฮด์ (UF)

2.2.2 พอลิสไตรีนชนิดทนต่อแรงกระแทก (HIPS)

ช่วงเกิดสงครามสหรัฐอเมริกาเป็นประเทศที่ผลิตพอลิสไตรีนมาก หลังสงครามสงบลง พอลิสไตรีนมีมากเกินความต้องการ จึงมีการคิดนำไปใช้ในด้านอื่น ๆ เพราะมีสมบัติเด่นหลายอย่าง เช่น เป็นฉนวนที่ดี สามารถผสมสีได้ง่าย โปร่งใส มีความแข็งแรงสูงและสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ แต่พอลิสไตรีนมีข้อเสีย คือ เปราะและมีความทนต่อแรงกระแทกต่ำ จึงมีการพัฒนาและปรับปรุงพอลิสไตรีนให้มีความเหนียวและทนต่อแรงกระแทกได้ดีขึ้น โดยเติมยางบิวทาไดอีนลงในสไตรีนเรียกว่าพอลิสไตรีนชนิดทนต่อแรงกระแทก (HIPS) ซึ่งผลิตเป็นครั้งแรกโดย บริษัท ดาวน เคมี จำกัด และบริษัท ฟาร์เบน จำกัด สมบัติเชิงกลของพอลิสไตรีน และพอลิสไตรีนชนิดทนต่อแรงกระแทก แสดงดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 แสดงสมบัติเชิงกลของพอลิสไตรีน และพอลิสไตรีนชนิดทนต่อแรงกระแทก [13]

สมบัติ	หน่วย	พอลิสไตรีน	พอลิสไตรีนชนิดทนต่อแรงกระแทก
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	°C	100	96
การส่งผ่านของแสง	-	ใส	ทึบแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พอลิโพรพิลีนชนิดทนทานต่อแรงกระแทกเมื่อมีความหนาไม่มากจะมีความใสแต่เมื่อมีความหนามากจะทึบแสง การนำไปใช้งานมักจะทำให้ทำเป็นภาชนะบรรจุ ของเด็กเล่น ส่วนประกอบในวิทยุ โทรศัพท์ โทรทัศน์และคอมพิวเตอร์ เป็นต้น [14]

2.3 ชานอ้อย (Bagasses)

เส้นใยธรรมชาติเป็นวัสดุอินทรีย์ที่สำคัญ พบได้ง่ายทั่วไปตามธรรมชาติ และมีราคาถูกกว่าเส้นใยสังเคราะห์ โครงสร้างของเส้นใยธรรมชาติจะประกอบด้วยเซลลูโลส (Cellulose) เป็นส่วนใหญ่ นอกจากนี้ยังมี เฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose) ลิกนิน (Lignin) และสารประกอบอื่น ๆ เส้นใยธรรมชาติแต่ละชนิดจะมีส่วนผสมและสมบัติแตกต่างกัน ดังตัวอย่างตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 แสดงส่วนประกอบและสมบัติเชิงกลของเส้นใยธรรมชาติบางประเภท [5]

	ความหนาแน่น (mg/m^3)	เซลลูโลส (%)	เฮมิเซลลูโลส (%)	ลิกนิน (%)
ไม้ (Wood)	1.5	40	40	20
ปอกระเจา (Jute)	1.3	72	14	14
ป่าน (Hemp)	-	71	22	7
ป่านศรนารายณ์ (Sisal)	0.7	74	-	26

	มอดูลัส ของยัง (GPa)	ความทนแรง ดึง (MPa)	มอดูลัส จำเพาะ [[GPa)/(mg/m^3)]	ความแข็งแรง จำเพาะ [[MPa)/(mg/m^3)]
ไม้	-	500	-	333
ปอกระเจา	55.5	442	43	340
ป่าน	-	460	-	-
ป่านศรนารายณ์	17	530	24	757

เส้นใยธรรมชาติที่รู้จักกันอย่างกว้างขวาง คือเส้นใยฝ้าย (Cotton) ชานอ้อย (Bagasse) ป่านศรนารายณ์ (Sisal) ปอกระเจา (Jute) เป็นต้น เมื่อผสมเส้นใยฝ้ายกับพลาสติกจะช่วยเพิ่มสมบัติความทนแรงกระแทก และช่วยให้ขึ้นรูปได้ง่าย เส้นใยป่านศรนารายณ์เป็นเส้นใยที่แข็งแรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แต่ไม่ทนต่อความชื้น เส้นใยปอกระเจาจะไม่แข็งแรงเท่าเส้นใยป่านศรนารายณ์ แต่นิยมใช้เนื่องจากมีราคาถูก ในบางประเทศมีการใช้เส้นใยปอกระเจาเสริมแรงในพอลิเอสเตอร์ เพื่อใช้ในงานก่อสร้างอาคาร สำหรับชานอ้อยเป็นกากที่เหลือจากการผลิตน้ำตาล สามารถนำมาใช้เป็นสารตัวเติมในพลาสติกได้เช่นกัน

ชานอ้อยเป็นเส้นใยธรรมชาติที่เป็นผลพลอยได้จากการผลิตน้ำตาล ในปีหนึ่ง ๆ มีชานอ้อยที่เป็นแหล่งใหญ่ของเส้นใยที่ใช้เป็นวัตถุดิบเพื่อทดแทนในอุตสาหกรรมการผลิตวัสดุได้หลายประเภท เช่น การผลิตเยื่อกระดาษ การผลิตแผ่นไม้ประดิษฐ์ เป็นต้น [17]

2.3.1 ส่วนประกอบทางเคมีและฟิสิกส์ของชานอ้อย[18-2๐]

ชานอ้อยมีหลายสี แต่โดยทั่วไปจะมีสีเทาอ่อนๆ จนถึงสีเขียวอ่อน มีขนาดค่อนข้างใหญ่ และมีรูปแบบไม่แน่นอน ขึ้นกับการบด ชานอ้อยจะประกอบด้วย 2 ส่วนที่แยกกันอย่างเห็นได้ชัดคือ ส่วนแรกเป็นชั้นผนังหนาและจะค่อนข้างยาวซึ่งเป็นส่วนของเส้นใยที่ได้จากเปลือกนอก และมัดของท่อลำเลียงที่กระจายอยู่ในลำต้น ส่วนที่สองเป็นส่วนที่มีความสำคัญที่ได้จากเซลล์ที่มีผนังบางของพวกวาเรโนโคมา (Parenchyma) ของลำต้นซึ่งทำหน้าที่เก็บสะสมน้ำตาลอ้อย ส่วนประกอบทั้งหมดของชานอ้อยในส่วนของเส้นใย และแกนกลางได้แสดงในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 แสดงการวิเคราะห์ทางเคมีของชานอ้อย (คิดเป็นร้อยละโดยปราศจากความชื้น)[18]

ส่วนประกอบ	ชานอ้อยทั้งหมด		เส้นใย	แกนกลาง
	(a)	(b)		
เซลลูโลส	40.00	46.00	56.60	55.40
กัม	24.40	24.50	26.11	29.30
โปรตีน	1.80			
น้ำตาล				
ซูโคส	14.00			
กลูโคส	1.40			
กรด	0.40			
ไขมันและแวกซ์	0.60	3.45	2.25	3.55
เถ้า	2.40	2.40	1.30	3.02
ลิกนิน	15.00	19.95	19.15	22.30
ซิลิกา		2.00	0.46	2.42

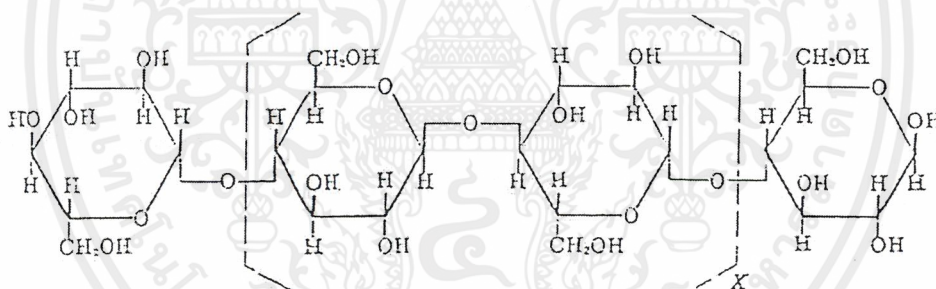
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เส้นใยอ้อยมีลักษณะคล้ายกับเส้นใยของฝ้าย และขนสัตว์ คือ มีลักษณะโครงสร้างขดเป็นวง มีความยาวโดยเฉลี่ยประมาณ 1.0-4.0 มิลลิเมตร และกว้าง 0.010-0.04 มิลลิเมตร ลักษณะของเส้นใยนี้นั้นขึ้นกับชนิดของชานอ้อย

สำหรับส่วนประกอบทั่วไปของชานอ้อยโดยประมาณ คือ ความชื้นร้อยละ 49 ของแห้งที่ละลายได้ซึ่งส่วนใหญ่ได้แก่น้ำตาล ร้อยละ 6 ของแห้งที่ละลายไม่ได้หรือส่วนที่เป็นเส้นใย (Fiber) ร้อยละ 45 โดยส่วนที่เป็นเส้นใยนี้นี้จะไม่ละลายน้ำ และจะประกอบด้วย เซลลูโลส เพนโตแซน (Pentosans) และลิกนิน

1. เซลลูโลส[19,21,22]

เซลลูโลสเป็นพอลิแซคคาไรด์ (Polysaccharides) เชิงเส้นตรง ที่ประกอบด้วยหน่วยซ้ำ ๆ กัน มีสูตรโมเลกุลทั่ว ๆ ไป คือ $(C_6H_{10}O_5)_n$ เป็นโครงสร้างในเนื้อเยื่อพืชโดยจะพบรวมกัน ลิกนิน เพนโตแซน กัม แแทนนิน ไชมัน สารที่ทำให้เกิดสี เซลลูโลสจะมีโมเลกุลยาวและแข็ง โดยเซลลูโลสในชานอ้อยจะมีสายโซ่พอลิเมอร์ประมาณ 2,000-3,000 หน่วยโครงสร้างทางเคมีของเซลลูโลสเป็นดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 โครงสร้างทางเคมีของเซลลูโลส

เซลลูโลสประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซิลถึง 3 หมู่ สามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนได้ แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของเซลลูโลสมีมาก และโครงสร้างของเซลลูโลสยังจัดเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบ จึงทำให้เซลลูโลสมีความเป็นผลึกสูง อุณหภูมิหลอมตัวจะสูงมาก มักจะเกิดการสลายตัวก่อนถึงอุณหภูมิหลอมตัว และมีความสามารถในการละลายต่ำ เซลลูโลสธรรมชาติจะมีน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยแตกต่างกัน การกระจายน้ำหนักโมเลกุลของเซลลูโลสมีความสำคัญต่อสมบัติทางกายภาพ ส่วนที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำจะส่งผลให้คุณสมบัติทางกายภาพไม่ดี ในทางอุตสาหกรรมจะหาน้ำหนักโมเลกุลโดยประมาณได้โดยการทดสอบความหนืด

สมบัติทางกายภาพที่สำคัญของเซลลูโลส

1. การดูดซับความชื้น

เซลลูโลสจะมีการดูดหรือคายน้ำและของเหลวอื่น ๆ ที่อยู่ในบรรยากาศรอบ ๆ จนกระทั่งถึงสมดุล ซึ่งสมดุลของปริมาณความชื้นของเซลลูโลสจะเปลี่ยนไปตามความชื้นสัมพัทธ์ของบรรยากาศรอบ ๆ นั้น ปริมาณความชื้นของเซลลูโลสมีผลต่อคุณสมบัติบางประการ เช่น ความทนแรงดึง ของเส้นใยฝ้ายจะมากขึ้นเมื่อมีความชื้นสูงขึ้น แต่เส้นใยเรยอนจะมีค่าลดลง ส่วนคุณสมบัติการนำไฟฟ้าจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความชื้นมากขึ้น

2. การละลายและความหนืด

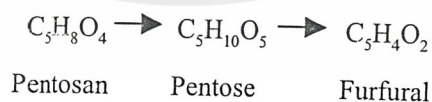
เซลลูโลสไม่ละลายน้ำ แต่จะละลายในกรดแร่เข้มข้น เซลลูโลสจะเกิดไฮโดรไลซิสอย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิห้อง แต่จะหยุดที่อุณหภูมิต่ำ สารละลายของเกลือบางชนิดที่เข้มข้น จะทำให้เซลลูโลสบวมตัวและบางที่จะทำให้เซลลูโลสที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ ๆ ละลายได้ ความหนืดเป็นคุณสมบัติที่สำคัญประการหนึ่งของเซลลูโลสและอนุพันธ์ โดยความหนืดจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อความเข้มข้นของเซลลูโลสเพิ่มขึ้น

3. ความหนาแน่น

ความหนาแน่นของเซลลูโลสที่เป็นเส้นใยเดี่ยวจะไม่เป็นค่าแน่นอน ค่าเฉลี่ยของเส้นใยเซลลูโลสจะแปรตามแหล่งที่มา และอาจเปลี่ยนแปลงเนื่องจากการปรับปรุงทางเคมี

2. เพนโตแซน[18,22]

เพนโตแซนเป็นรูปแบบหนึ่งของเฮมิเซลลูโลส สามารถละลายน้ำได้ ประกอบด้วยหน่วยน้ำตาลเพนโตสมากกว่ากลูโคส และมีค่าดีกรีของพอลิเมอร์ต่ำกว่าเซลลูโลส โดยประมาณ 40 หน่วย เมื่อไฮโดรไลซิสเพนโตแซนจะได้ ไฮโดร อะราบิโนส และกรดยูโรนิก แต่ถ้าต้มด้วยกรดเกลือ เพนโตแซนจะเปลี่ยนเป็นฟอฟูรัล



3. ลิกนิน

ลิกนินเป็นสารประกอบเชิงซ้อน มีน้ำหนักโมเลกุลสูง มักพบอยู่ร่วมกับเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลส มีสูตรโมเลกุล $\text{C}_{49}\text{H}_{52}\text{O}_{14}$ โครงสร้างทางเคมีจะเป็นวงแหวนอะโรมาติกขนาดใหญ่ ประกอบด้วยวงเบนซิน และหมู่ฟีนอลที่มีและไม่มีการเติมหมู่เมธิล ลิกนินไม่ละลายน้ำ ไม่มีสมบัติทางการยืดหยุ่น พืชที่มีลิกนินมากจะมีความแข็งแรงคงทน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การนำไปใช้ประโยชน์[19,23]

ขานอ้อยเป็นวัสดุที่สามารถถูกย่อยสลายได้ง่าย ดังนั้นจึงมีการใช้เทคนิคพิเศษในการพัฒนาการเก็บรักษาขานอ้อย วิธีที่ใช้คือ การไล่ความชื้นออกไปประมาณร้อยละ 50 ของความชื้นที่มีอยู่ และเก็บไว้กลางแจ้งที่อากาศถ่ายเทสะดวก ในโรงงานอุตสาหกรรมน้ำตาลส่วนมากมักจะใช้ขานอ้อยเป็นเชื้อเพลิงแต่จะมีปัญหาควันและเขม่ามาก นอกจากนี้ยังสามารถใช้ผลิตเป็นพลังงานในรูปแบบต่าง ๆ เช่น ใช้ผลิตเป็นพลังงานไฟฟ้า เป็นขานอ้อยอัดแท่ง และเป็นเชื้อเพลิงเหลว ในด้านการเกษตรจะใช้เป็นปุ๋ยคลุมดิน ใช้เลี้ยงสัตว์ และได้มีการพัฒนาขานอ้อยให้เป็นสารตัวเติมในลักษณะเป็นเศษไม้ผสมในคอนกรีต ทำวัสดุก่อสร้าง ทำไฟเบอร์บอร์ด ผลิตเป็นเยื่อกระดาษ ฯลฯ

2.4 การปรับปรุงสมบัติการยึดติด

สมบัติเชิงกลและสมบัติทางกายภาพของคอมพอสิตที่เสริมแรงด้วยเส้นใยไม่ได้ขึ้นอยู่กับความแข็งแรงของเส้นใยและเมตริกซ์เท่านั้น แต่ยังขึ้นกับลักษณะผิวสัมผัสของเส้นใยกับเมตริกซ์ด้วย การยึดติดระหว่างพอลิเมอร์ และเส้นใยจะเป็นปัจจัยสำคัญ ในการกำหนดสมบัติของคอมพอสิต ซึ่งคอมพอสิตแต่ละระบบจะมีธรรมชาติของการยึดติดต่างกันตามลักษณะของเส้นใยและเมตริกซ์แต่ละชนิด

2.4.1 กลไกการยึดติด แบ่งได้ดังนี้ [5]

1. การยึดติดเชิงกล (Mechanical bonding)

เกิดจากเส้นใยมีความขรุขระ ซึ่งเมตริกซ์จะสามารถกระจายไปบนพื้นผิวและเข้าไปตามร่องของเส้นใยได้ เกิดแรงยึดเหนี่ยวเชิงกล (Interlocking) ขึ้น สามารถทำได้โดยนำเส้นใยไปทำการกัดกร่อน แรงยึดเหนี่ยวจะขึ้นอยู่กับความขรุขระของพื้นผิวเส้นใย

2. การยึดติดด้วยประจุไฟฟ้า (Electrostatic bonding)

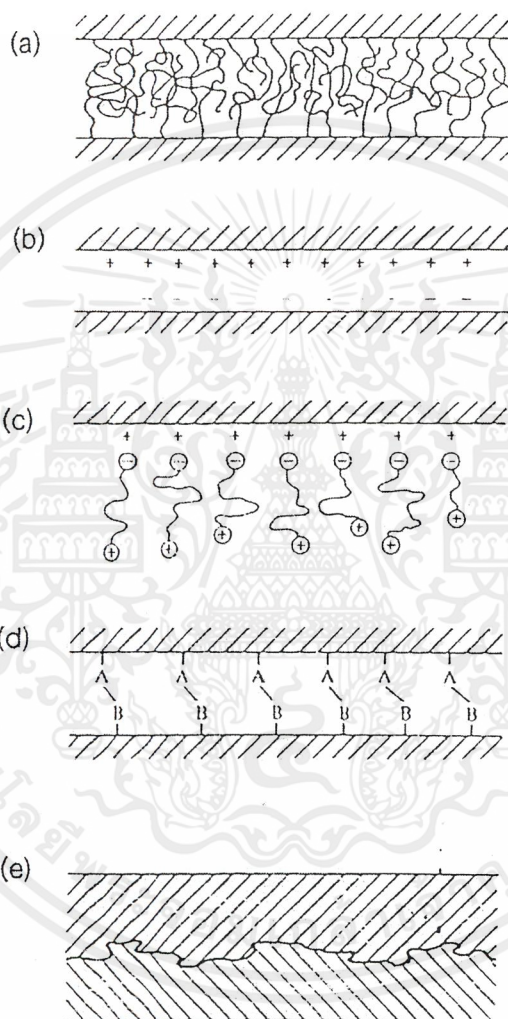
การยึดติดจะเกิดระหว่างเมตริกซ์และเส้นใยที่พื้นผิวหนึ่งมีประจุเป็นบวกและอีกพื้นผิวหนึ่งมีประจุเป็นลบ จะเกิดแรงดึงดูดระหว่างประจุที่แตกต่างกัน การยึดติดขึ้นกับความแตกต่างของประจุแต่ละพื้นผิว แต่แรงยึดติดทางไฟฟ้านี้จะเกิดในช่วงสั้น ๆ และระยะห่างของพื้นผิวทั้งสองต้องน้อยมาก ดังนั้นสารปนเปื้อนที่ติดตามที่ผิวและก๊าซที่ถูกกักอยู่ระหว่างพื้นผิวจะมีผลต่อกลไกการยึดติดนี้

3. การยึดติดแบบแพร่ผ่าน (Interdiffusion bonding)

เกิดระหว่าง 2 พื้นผิวที่มีการแพร่ของโมเลกุลพอลิเมอร์บนพื้นผิวหนึ่งไปยังโครงร่างโมเลกุลของอีกพื้นผิวหนึ่ง ความแข็งแรงของแรงยึดติดจะขึ้นอยู่กับความยืดหยุ่น ความสามารถในการเคลื่อนที่ และการเกี่ยวพันกันของสายโซ่พอลิเมอร์

4. การยึดติดทางเคมี (Chemical bonding)

การยึดติดทางเคมีจะเกิดจากพันธะระหว่างหมู่ฟังก์ชันบนผิวเส้นใยและหมู่ที่สามารถเข้ากันได้บนเมตริกซ์ ความแข็งแรงของการยึดติดจะขึ้นกับพันธะต่อหน่วยพื้นที่และชนิดของพันธะ วิธีที่จะช่วยให้เกิดพันธะทางเคมีอาจจะทำได้โดยการเติมสารช่วยยึดติด (Coupling agent) เช่น ไสเลน ซึ่งมีมักจะเป็นสารช่วยยึดติดสำหรับเส้นใยแก้วกับพอลิเมอร์ โดยปลายข้างหนึ่งจะเกิดพันธะกับเส้นใย ส่วนปลายอีกข้างหนึ่งก็จะเกิดพันธะกับพอลิเมอร์



รูปที่ 2.6 แสดงกลไกแบบต่าง ๆ ในการยึดติดระหว่างพื้นผิว[8]

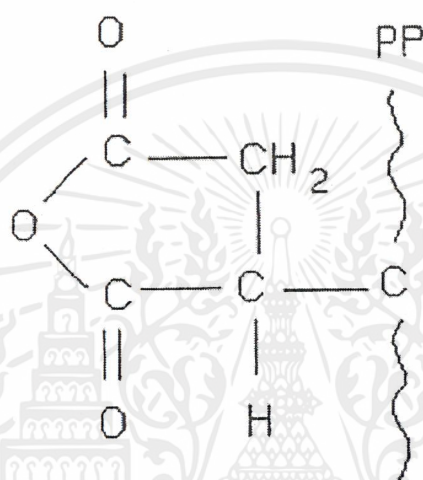
- (a) การยึดติดแบบแพรว์ผ่าน
- (b) , (c) การยึดติดด้วยประจุไฟฟ้า
- (d) การยึดติดทางเคมี
- (e) การยึดติดเชิงกล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.2 สารช่วยยึดติดที่ใช้ในงานวิจัย ได้แก่

Maleic Anhydride modified Polypropylene (PP-g-MAH)

สูตรโครงสร้างเป็นดังรูปที่ 2.7

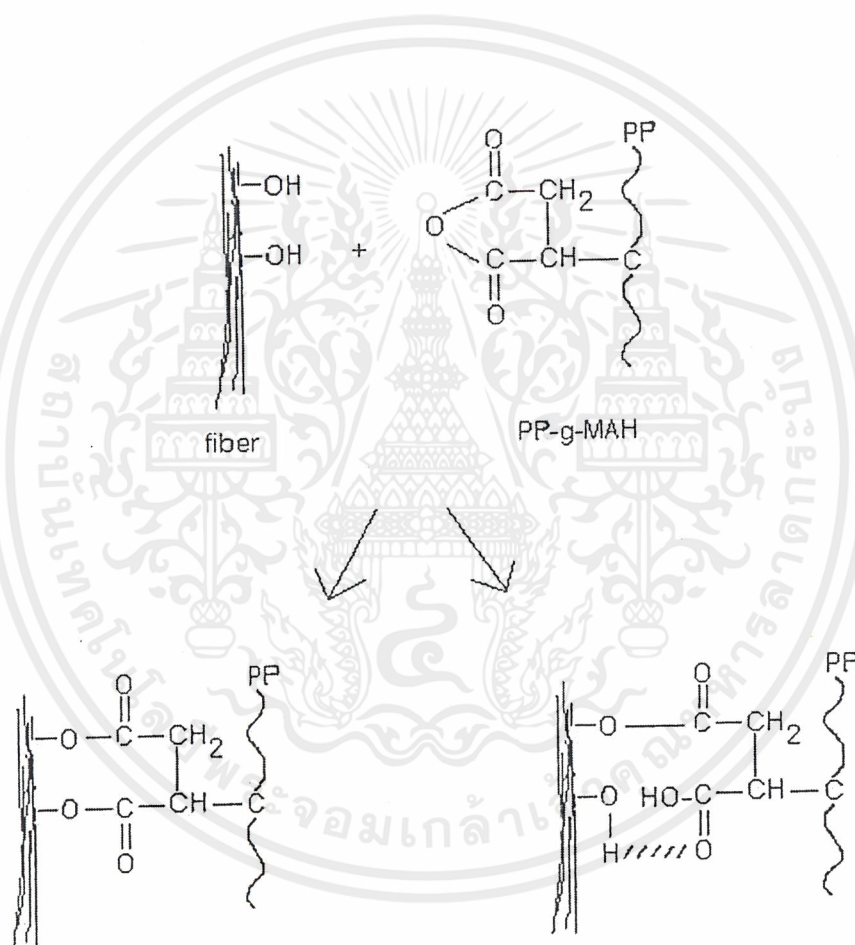


รูปที่ 2.7 โครงสร้างของพอลิพรอพิลีนกราฟท์มาลิกแอนไฮไดรด์

PP-g-MAH ใช้เป็นสารช่วยยึดติดทางเคมี ซึ่งจะช่วยปรับปรุงสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางความร้อนให้ดีขึ้น ช่วยให้เกิดการยึดติดที่ดีในสารหลายประเภท และ ยังสามารถใช้เป็นสารช่วยผสมสำหรับพอลิเมอร์ผสมของพอลิพรอพิลีนกับพอลิเมอร์ที่มีขั้วอื่น ๆ เช่น พอลิเอไมด์ ทำให้ขึ้นรูปได้ง่ายและสมบัติเชิงกลดีขึ้น

กลไกที่เกิดขึ้นเมื่อใช้ PP-g-MAH ช่วยในการยึดติดระหว่างพอลิเมอร์กับเส้นใยเซลลูโลส ประกอบด้วย 2 ปฏิกิริยา คือ

- มาลิกแอนไฮไดรด์ (Maleic anhydride) จากสารช่วยยึดติด จะเกิดปฏิกิริยาทางเคมีกับหมู่ฟังก์ชันบนผิวของเส้นใย ดังตัวอย่างรูปที่ 2.8
- พอลิพรอพิลีนที่เป็นโซ่หลักของสารช่วยยึดติด จะทำหน้าที่คล้ายเป็นสะพานเชื่อมระหว่างพื้นผิว เพิ่มแรงยึดติดของสองวัสดุเข้าด้วยกัน



รูปที่ 2.8 แสดงการเกิดปฏิกิริยาของเส้นใยเซลลูโลสที่ทำการปรับสภาพผิวด้วย PP-g-MAH

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การวิจัยและการดำเนินงาน

3.1 วัสดุและสารเคมีที่ใช้

1. ขวดยาкулท์
2. Maleic Anhydride modified polypropylene (PP-g-MAH) รหัส POLY BOND 3150:TOA Uni Chemical Manufacturing Co.,Ltd.
3. เส้นใยชานอ้อย

3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. เครื่องผสม Single screw extruder
2. เครื่องตัดชิ้นงาน CREST 6052
3. เครื่องฉีดขึ้นรูปพลาสติก Injection Molding
4. เครื่องทดสอบสมบัติเชิงกลด้วยคอมพิวเตอร์ และโปรแกรม WINDAP:LLOYD INSTRUMENTS LTD.
5. เครื่องทดสอบสมบัติเชิงกล Impact resistance:Yazuda 199311
6. เครื่องทดสอบ Heat distortion temperature
7. เครื่องชั่ง
8. ไมโครมิเตอร์
9. เวอร์เนีย
10. เครื่องร่อน:Retsch
11. อุปกรณ์ที่ใช้ทดสอบการดูดซับน้ำ
12. เครื่อง Scanning Electron Microscope
13. เครื่อง Differential Scanning Calorimeter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 วิธีทดลอง

3.3.1 การเตรียมพอลิไทรีน

1. นำขวดยาкулท์มาล้างด้วยน้ำที่มีสารซักล้าง แล้วตามด้วยน้ำสะอาดอีกรอบ
2. นำไปตากให้แห้ง
3. เข้าเครื่องบดตัดชิ้นงาน

3.3.2 การเตรียมเส้นใยชานอ้อย

1. แยกฝุ่นออกจากเส้นใยชานอ้อยที่ผ่านเครื่องบดรีดเอาน้ำอ้อยออกแล้ว
2. นำเส้นใยชานอ้อยที่ได้ไปล้างให้สะอาด
3. นำไปตากแดดไล่ความชื้น เป็นเวลา 1 สัปดาห์
4. นำไปคัดแยกโดยใช้ตะแกรงขนาด 20 35 และ 50 Mesh

3.3.3 การปรับปรุงสมบัติของเส้นใยชานอ้อยโดยการเติมสารช่วยผสม

1. ชั่งเส้นใยชานอ้อยและชั่ง PP-g-MAH ตามอัตราส่วนต่อไปนี้
 - เส้นใยชานอ้อย : PP-g-MAH = 1:1
 - เส้นใยชานอ้อย : PP-g-MAH = 1:2
 - เส้นใยชานอ้อย : PP-g-MAH = 1:5
2. นำเส้นใยชานอ้อยกับ PP-g-MAH มาทำการผสมในเครื่องผสมแบบเกลียว
हनोनเดียว (Single screw extruder) โดยสภาวะที่ใช้มีดังนี้
 - อุณหภูมิที่ใช้ในการผสม (เนื่องจากถอดหัว die ออก) 200 195 และ 190 องศาเซลเซียส
 - ความเร็วรอบในการผสม 60 รอบ/นาที
3. นำเส้นใยชานอ้อยที่ปรับปรุงสมบัติที่ได้มาบดตัดด้วยเครื่องบดตัดชิ้นงาน

3.3.4 การเตรียมพอลิเมอร์คอมพอสิต

ในทุกสูตรมีขั้นตอนการผสมและการขึ้นรูปดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ตารางแสดงสูตรผสมพอลิเมอร์คอมพอสิต

สูตร	PS (g)	Bagasses fiber(g)	PP-g-MAH (g)
1	300	-	-
2	270	30	-
3	270	-	30
4	270	15	15
5	270	10	20
6	270	5	25

- นำพอลิสไตรีน กับเส้นใยชานอ้อยที่ผสม PP-g-MAH แล้วมาทำการผสมกันในเครื่องผสมแบบเกลียวหนอนเดียว โดยสภาวะที่ใช้มีดังนี้
 - อุณหภูมิที่ใช้ในการผสม (เนื่องจากถอดหัว die ออก) 200 195 และ 190 องศาเซลเซียส
 - ความเร็วรอบในการผสม 60 รอบ/นาที
- นำพลาสติกที่ผ่านการผสมแล้วไปเข้าเครื่องบดตัดชิ้นงาน
- นำเม็ดพลาสติกที่ผ่านการบดตัดแล้วมาขึ้นรูปด้วยเครื่อง Injection Molding
- นำชิ้นงานไปทดสอบสมบัติต่างๆ

3.4 การทดสอบสมบัติต่างๆ

3.4.1 สมบัติเชิงกล

3.4.1.1 Tensile properties

สมบัติที่ทำการศึกษาได้แก่ ความแข็งแรงดึง (Tensile strength) , ร้อยละการยืด ณ จุดขาด(% Elongation at break) และ โมดูลัส (Modulus) โดยใช้เครื่องทดสอบสมบัติเชิงกล และโปรแกรม WINDAP ในการคำนวณ ตามมาตรฐาน ASTM D 638M เตรียมชิ้นงานโดยการฉีดขึ้นรูป ใช้ชิ้นงานจำนวน 8 ชิ้น และสภาวะที่ใช้ในการทดลอง คือ

Load speed	15 KN
Test speed	5 mm/min
Grammage	1.0 g/m ²
Cell class	0.5
Guage length	70 mm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.1.2 ความทนทานต่อแรงกระแทก (Impact resistance)

ทำการทดสอบด้วยเครื่อง Yasuda 199311 ตาม ASTM D 256-87 Method A (Izod type) เตรียมชิ้นงาน โดยนำชิ้นงานจำนวน 8 ชิ้น ที่ได้จากวิธีฉีดขึ้นรูปมาตัดแล้วบากเป็นรูปตัววี

3.4.2 สมบัติทางความร้อน

3.4.2.1 Heat distortion Temperature

นำชิ้นงานมาทำการทดสอบด้วยเครื่อง Heat distortion Temperature เพื่อศึกษาอุณหภูมิที่ทำให้ชิ้นงานโค้งงอ

3.4.2.2 Differential Scanning Calorimeter (DSC)

ชั่งพลาสติกใส่ pan สำหรับทดสอบด้วยเครื่อง DSC จำนวน 5-10 mg. ให้ทราบปริมาณสารที่แน่นอน แล้วนำไปทำการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง DSC โดยใช้อัตราการให้ความร้อน 20 องศาเซลเซียส ต่อนาที อุณหภูมิสูงสุด 150 องศาเซลเซียส จากนั้นนำมาทำการศึกษาอุณหภูมิสถานะคล้ายแก้ว (T_g)

3.4.3 สมบัติทางกายภาพ

3.4.3.1 การดูดซับน้ำ (Water adsorption)

1. นำชิ้นงานจำนวน 4 ชิ้นมาชั่งน้ำหนักก่อนการดูดซับน้ำ
2. นำชิ้นงานมาแช่ในน้ำ ที่อุณหภูมิห้อง
3. หลังจากนั้น 1 วัน นำมาชั่งน้ำหนักหลังการดูดซับน้ำ ทำเช่นนี้ทุกวันเป็นเวลา 5 วัน
4. นำผลการทดลองที่ได้มาคำนวณเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำ

$$W_a = ((W_e - W_o) / W_o) \times 100$$

เมื่อ W_a = % การดูดซับน้ำ

W_e = น้ำหนักหลังการดูดซับน้ำ

W_o = น้ำหนักก่อนการดูดซับน้ำ

3.4.4 สัณฐานวิทยา (Morphology)

3.4.4.1 Scanning Electron Microscope (SEM)

ทำการศึกษาโดยใช้ SEM ศึกษาจากภาพตัดขวางลักษณะพื้นผิวพอลิเมอร์ที่เกิดจากการแตกหักโดยการกระแทก เตรียมตัวอย่างโดยนำพอลิเมอร์ที่ได้จากการแตกหักมาเคลือบด้วยทองคำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลอง และวิจารณ์ผล

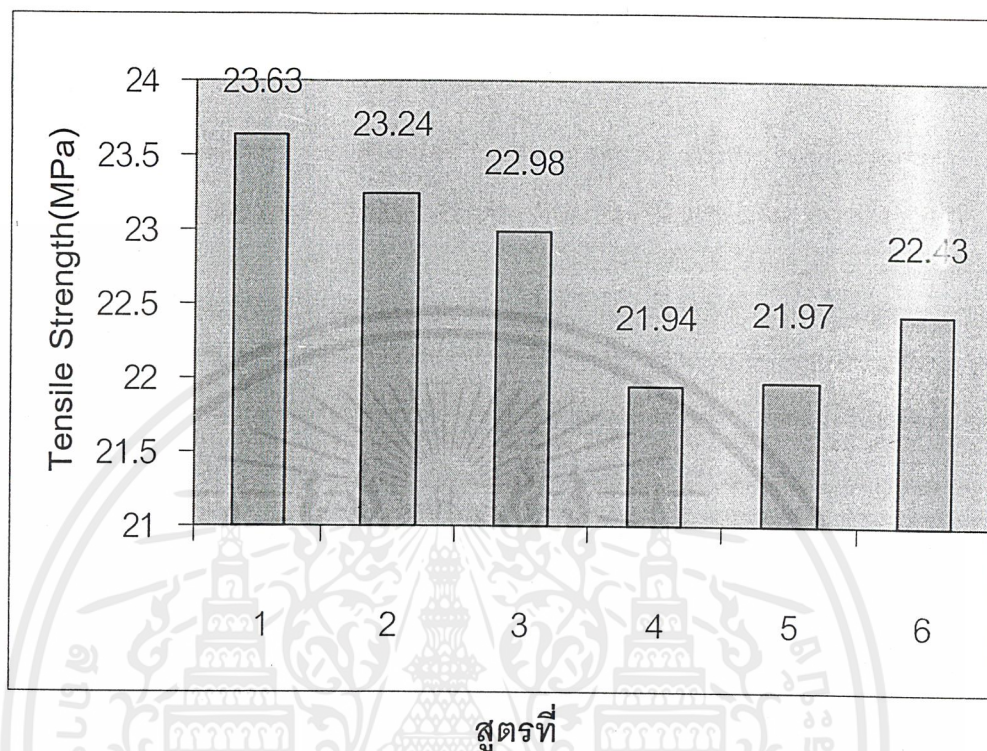
ตารางที่ 4.1 แสดงชนิดและปริมาณสารในพอลิโอสไตรีนคอมพอสิตสูตรต่างๆ

สูตรที่	PS (g)	Bagasses fiber(g)	PP-g-MAH(g)
1	300	-	-
2	270	30	-
3	270	-	30
4	270	15	15
5	270	10	20
6	270	5	25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1 การทดสอบสมบัติเชิงกล

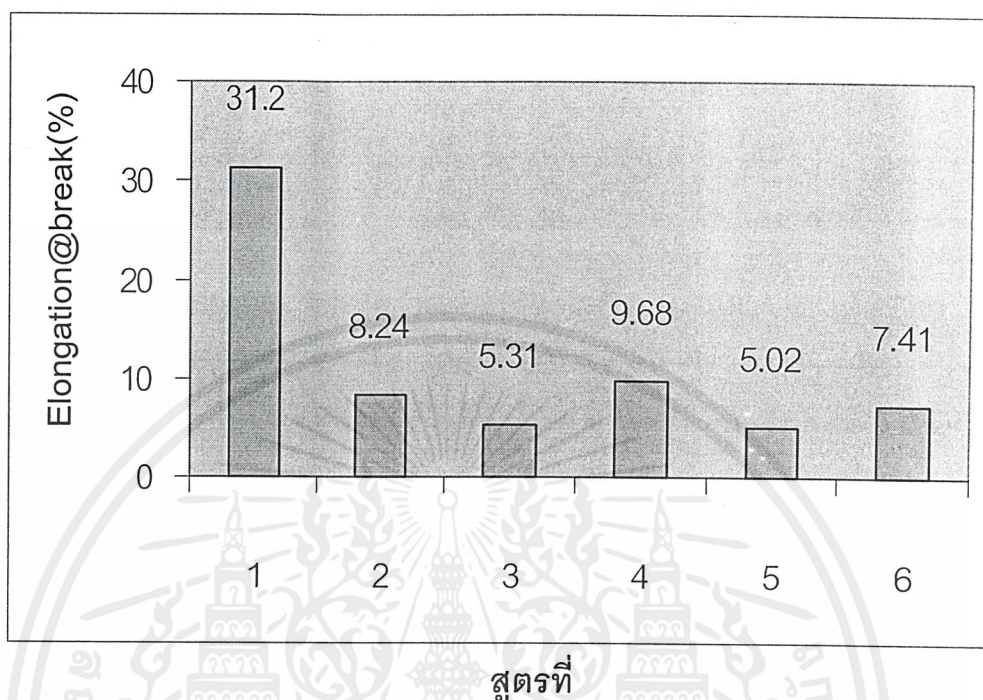
4.1.1 ความแข็งแรงดึง



รูปที่ 4.1 แสดงค่าความแข็งแรงดึงของพอลิเมอร์คอมพอสิตสูตรต่างๆ

ในสูตรที่ 2 เมื่อเติมเส้นใยชานอ้อยลงไปเพียงอย่างเดียว และ ในสูตรที่ 3 เมื่อเติมสารช่วยผสม PP-g-MAH เพียงอย่างเดียว พบว่ามีค่าความแข็งแรงดึงลดลงเล็กน้อย เมื่อเทียบกับสูตรที่ 1 ที่ไม่ได้เติมอะไรเลย แสดงว่าเส้นใยชานอ้อยที่เติมลงไปมีขนาดเล็กมากจึงไม่ได้มีส่วนเข้าไปช่วยในการเสริมแรงแต่สามารถแทรกตัวอยู่ในพอลิเมอร์เมตริกซ์ได้ และ สายโซ่ของสารช่วยผสม PP-g-MAH จะทำให้พอลิสไตรีนเกิดการเกี่ยวพันกันเองมากขึ้น โดยไปลดปริมาตรอิสระของพอลิเมอร์เมตริกซ์ เมื่อออกแรงดึงพอลิเมอร์จึงดึงยัดได้น้อยลง ทำให้ค่าความแข็งแรงดึงลดลง และเมื่อพิจารณาสูตรที่ 4 สูตรที่ 5 และ สูตรที่ 6 โดยมีอัตราส่วนของเส้นใยชานอ้อย : สารช่วยผสม PP-g-MAH เป็น 1:1 1:2 และ 1:5 ตามลำดับ พบว่าเมื่อใช้อัตราส่วน 1:5 ค่าความแข็งแรงดึงจะสูงขึ้น แสดงว่าในคอมพอสิตที่มี 3 องค์ประกอบ ถ้าเติมสารช่วยผสม PP-g-MAH ในปริมาณมากกว่าเส้นใยชานอ้อยมาก จะส่งผลให้ทนแรงดึงสูงขึ้น

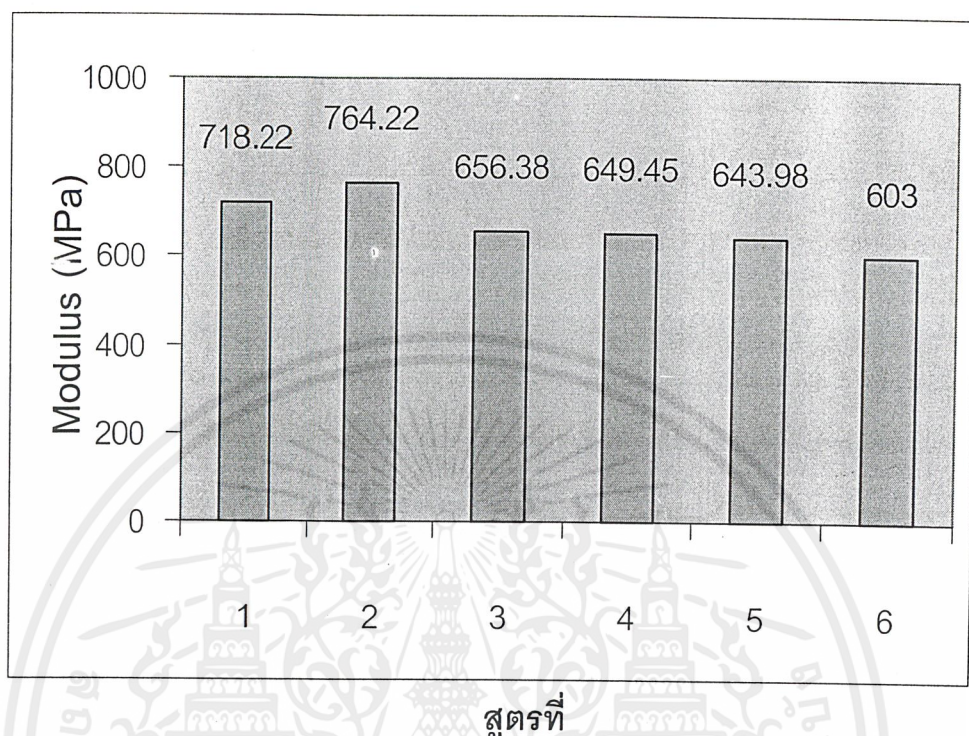
4.1.2 ร้อยละการยืด ณ จุดขาด



รูปที่ 4.2 แสดงค่าร้อยละการยืด ณ จุดขาดของพอลิเมอร์คอมพอสิตสูตรต่างๆ

สูตรที่ 1 พอลิไตรีนที่ไม่มีเส้นใยชานอ้อย และไม่มีสารช่วยผสม ให้ค่าร้อยละการยืด ณ จุดขาดสูงที่สุด การเติมเส้นใยชานอ้อยในสูตรที่ 2 ทำให้ค่าร้อยละการยืด ณ จุดขาดลดลงเมื่อเทียบกับสูตรที่ 1 แสดงว่าเส้นใยชานอ้อยทำให้พอลิเมอร์แข็งกระด้างขึ้น และการเติมสารช่วยผสม PP-g-MAH ในสูตรที่ 3 จะทำให้ค่าร้อยละการยืด ณ จุดขาดลดลงเมื่อเทียบกับสูตรที่ 1 และ สูตรที่ 2 แสดงว่าสารช่วยผสม PP-g-MAH ทำให้พอลิไตรีนเกิดการเกี่ยวพันกันเองมากขึ้น จึงดึงยึดได้น้อยลง และการเติมทั้งเส้นใยชานอ้อย และ สารช่วยผสม PP-g-MAH ในสูตรที่ 4 สูตรที่ 5 และ สูตรที่ 6 ถ้าเติมสารช่วยผสมในปริมาณที่มากขึ้น พบว่าค่าร้อยละการดึงยึด ณ จุดขาดมีแนวโน้มลดลง

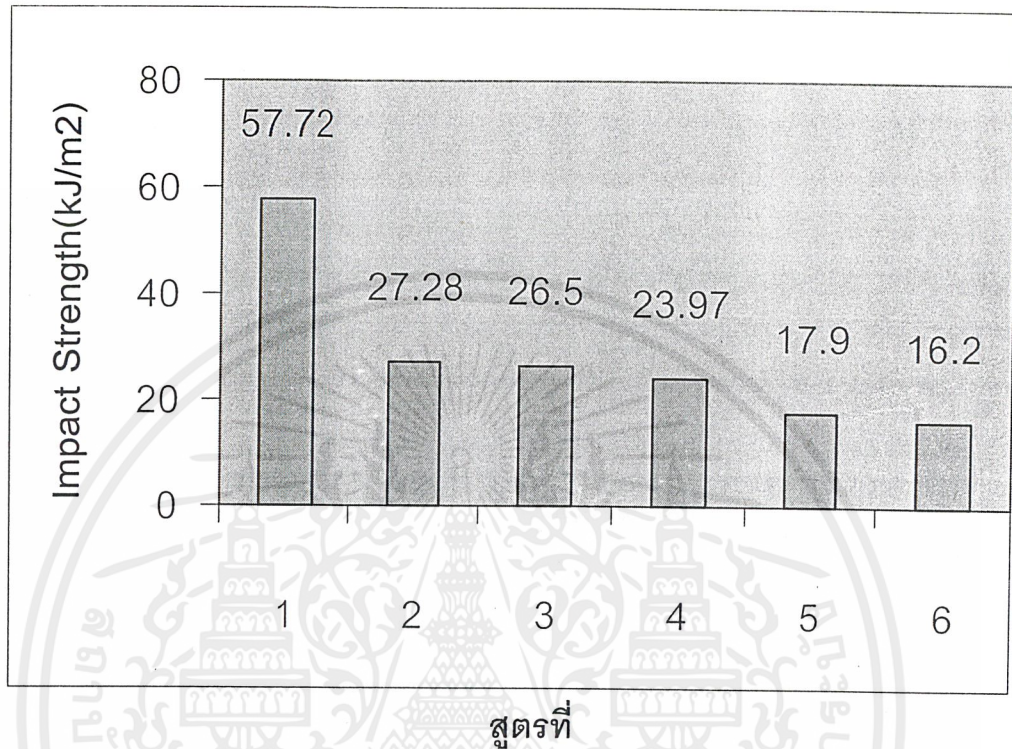
4.1.3 มอดุลัส



รูปที่ 4.3 แสดงค่ามอดุลัสของพอลิเมอร์คอมพอสิตสูตรต่างๆ

เมื่อพิจารณาค่ามอดุลัสพบว่าในสูตรที่ 2 ที่เติมเส้นใยชานอ้อยลงไปเพียงอย่างเดียว ทำให้ค่ามอดุลัสสูงขึ้น เมื่อเทียบกับสูตรที่ 1 ที่ไม่เติมอะไรเลย แสดงว่าเส้นใยชานอ้อยที่เติมลงในพอลิสไตรีน ทำให้พอลิเมอร์แข็งและทนการเปลี่ยนแปลงรูปร่างเมื่อถูกแรงดึง และจากหลักฐานวิทยาที่ตรวจโดย SEM แสดงให้เห็นพื้นผิวที่ขรุขระ ส่วนในสูตรที่ 3 ที่เติมสารช่วยผสม PP-g-MAH เพียงอย่างเดียว พบว่าค่ามอดุลัสต่ำลงเมื่อเทียบกับสูตรที่ 1 และ สูตรที่ 2 แสดงว่าสารช่วยผสมจะ ทำให้ความแข็งของชิ้นงานลดลงและจากหลักฐานวิทยาที่ตรวจโดย SEM พบว่าสารช่วยผสมที่เติมลงไปจะกระจายตัวมีลักษณะเป็นทรงกลมอยู่ทั่วไปในพอลิเมอร์เมตริกซ์ ซึ่งลักษณะดังกล่าวทำให้ไม่ทนต่อการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง และในทำนองเดียวกันสูตรที่ 4 สูตรที่ 5 และ สูตรที่ 6 ที่เติมทั้งเส้นใยชานอ้อย และ สารช่วยผสม PP-g-MAH ถ้าเติมสารช่วยผสมในปริมาณที่มากขึ้น พบว่าค่ามอดุลัสมีแนวโน้มลดต่ำลง จึงไม่ทนต่อการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง

4.1.4 ความทนทานต่อแรงกระแทก



รูปที่ 4.4 แสดงค่าความทนทานต่อแรงกระแทกของพอลิเมอร์คอมพอสิตสูตรต่างๆ

พิจารณาความทนทานต่อแรงกระแทก ในสูตรที่ 1 พอลิسترีนที่ไม่เติมเส้นใยชานอ้อย และไม่เติมสารช่วยผสม PP-g-MAH ให้ค่าความทนทานต่อแรงกระแทกสูงที่สุด การเติมเส้นใยชานอ้อยในสูตรที่ 2 และการเติมสารช่วยผสม PP-g-MAH ในสูตรที่ 3 ให้ค่าความทนทานต่อแรงกระแทกใกล้เคียงกัน คือ ประมาณ 27 kJ/m² และต่ำกว่าสูตรที่ 1 แสดงว่าเส้นใยชานอ้อยทำให้พอลิเมอร์แข็งกระด้างขึ้น เปราะ และแตกหักได้ง่าย รับแรงกระแทกได้ไม่ดี ส่วนสารช่วยผสม PP-g-MAH ที่กระจายตัวอยู่ไม่ได้เกิดแรงกระทำกับพอลิเมอร์เมตริกซ์ จึงทำให้ส่งผ่านแรงไม่ดี รับแรงกระแทกได้ไม่ดี การเติมทั้งเส้นใยชานอ้อยและสารช่วยผสม PP-g-MAH ในสูตรที่ 4 สูตรที่ 5 และ สูตรที่ 6 ถ้าเติมสารช่วยผสมในปริมาณที่มากขึ้น ค่าความทนทานต่อแรงกระแทกมีค่าลดลงตามลำดับ แสดงว่าในระบบที่มี 3 องค์ประกอบ สายโซ่พอลิเมอร์มีความไม่เป็นระเบียบเพิ่มมากขึ้น จึงรับแรงกระแทกได้ไม่ดี

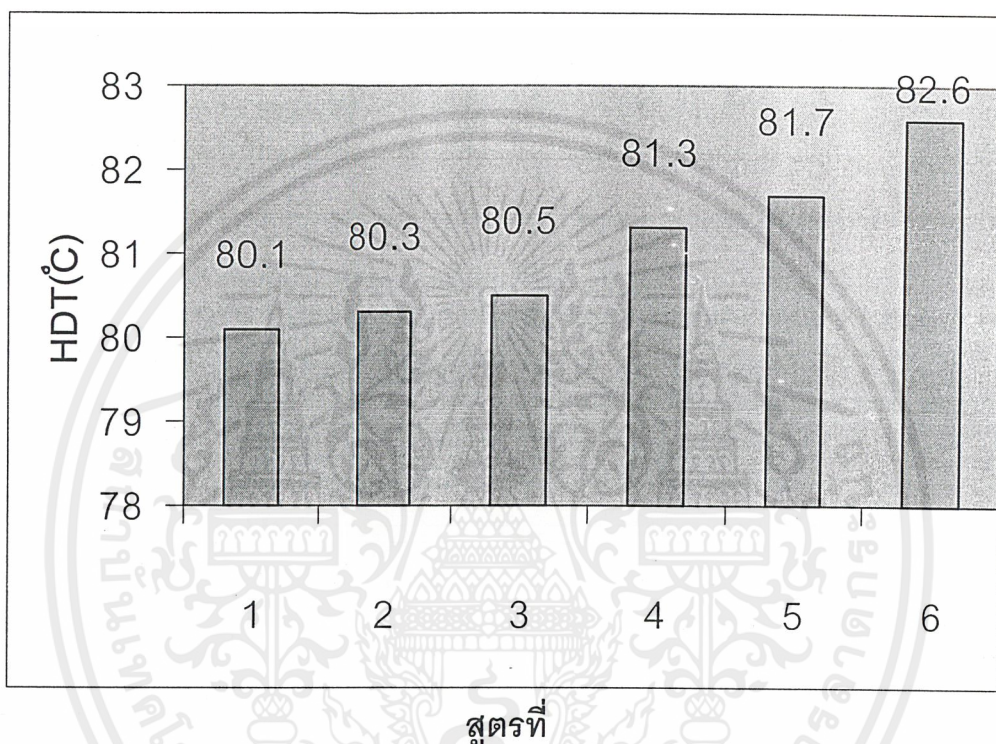
เนื่องจากในการทดลอง ได้มีการเติมสารช่วยผสม PP-g-MAH ซึ่งในสารช่วยผสมชนิดนี้มีพอลิพรอพิลีน (PP) ในปริมาณที่มาก ทำให้เกิดการแยกวัฏภาคระหว่างพอลิเมอร์เมตริกซ์คือพอลิสไตรีน (PS) กับสารช่วยผสมได้ จึงส่งผลต่อสมบัติเชิงกลต่างๆ คือ ความแข็งแรงดึง ร้อยละการยืด ณ จุดขาด มอดุลัส และ ความทนทานต่อแรงกระแทก ทำให้สมบัติเชิงกลต่างๆ มีค่าลดลง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การทดสอบสมบัติทางความร้อน

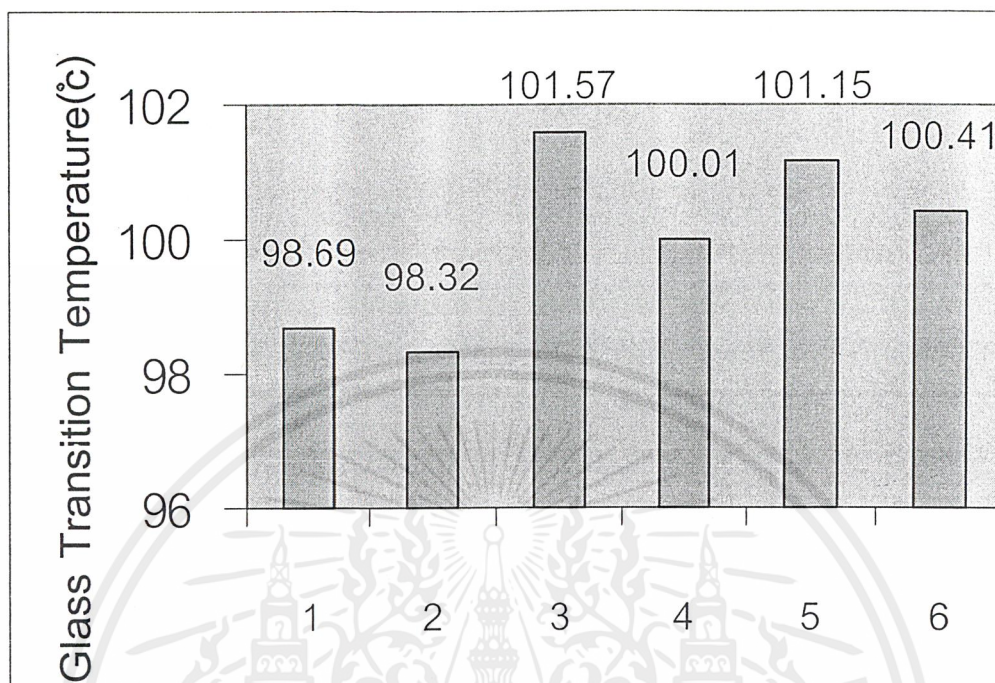
4.2.1 การศึกษาอุณหภูมิที่ทำให้เกิดการโค้งงอของชิ้นงาน (Heat Distortion Temperature)



รูปที่ 4.5 แสดงค่าอุณหภูมิที่ทำให้เกิดการโค้งงอของชิ้นงานของพอลิเมอร์คอมพอสิตสูตรต่างๆ

ในสูตรที่ 1 พอลิโพรไพลีนที่ไม่มีเส้นใยชานอ้อยและสารช่วยผสม มีค่าอุณหภูมิที่ทำให้เกิดการโค้งงอของชิ้นงานต่ำที่สุด การเติมเส้นใยชานอ้อยในสูตรที่ 2 และการเติมสารช่วยผสม PP-g-MAH ในสูตรที่ 3 พบว่าอุณหภูมิที่ทำให้เกิดการโค้งงอของชิ้นงานมีค่าใกล้เคียงกัน และใกล้เคียงกับสูตรที่ 1 แต่เมื่อผสมเส้นใยชานอ้อยกับสารช่วยผสม PP-g-MAH ในอัตราส่วน 1: 1 1: 2 และ 1: 5 ในสูตรที่ 4 สูตรที่ 5 และ สูตรที่ 6 ตามลำดับ พบว่า อุณหภูมิที่ทำให้เกิดการโค้งงอของชิ้นงานมีค่าสูงขึ้นตาม ปริมาณสารช่วยผสม PP-g-MAH ที่เพิ่มขึ้น และเส้นใยชานอ้อยที่ลดลง แสดงว่า ในระบบที่มี 3 องค์ประกอบ ทั้งเส้นใยชานอ้อยและสารช่วยผสม PP-g-MAH ทำให้พอลิเมอร์เมทริกซ์มีปริมาตรอิสระลดลง อุณหภูมิที่ใช้เพื่อให้สายโซ่โมเลกุลของพอลิเมอร์เคลื่อนที่ จึงสูงขึ้น

4.2.2 การศึกษาอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (T_g)



รูปที่ 4.6 แสดงค่าอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วของพอลิเมอร์คอมพอสิตสูตรต่างๆ

เมื่อพิจารณาอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วที่วัดด้วยเครื่อง DSC พบว่าเมื่อเติมเส้นใยชานอ้อยในสูตรที่ 2 ค่าอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วจะลดลงเล็กน้อย เมื่อเทียบกับสูตรที่ 1 ที่ไม่เติมอะไรเลย ส่วนในสูตรที่ 3 ที่เติมสารช่วยผสม PP-g-MAH พบว่าค่าอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วสูงขึ้นอย่างมากเมื่อเทียบกับสูตรที่ 1 และ สูตรที่ 2 แสดงว่าสารช่วยผสม PP-g-MAH ที่เติมลงไปทำให้สายโซ่พอลิเมอร์เมตริกซ์เคลื่อนตัวได้ยาก ค่าอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วจึงสูงขึ้น สำหรับในสูตรที่ 4 สูตรที่ 5 และ สูตรที่ 6 ที่เติมทั้งเส้นใยชานอ้อยและสารช่วยผสม PP-g-MAH แม้ว่าเติมสารช่วยผสม PP-g-MAH ในปริมาณที่มากขึ้น ค่าอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วก็ไม่ต่างกันมากและยังต่ำกว่าอุณหภูมิสถานะคล้ายแก้วในสูตรที่ 3

4.3 การทดสอบสมบัติทางกายภาพ

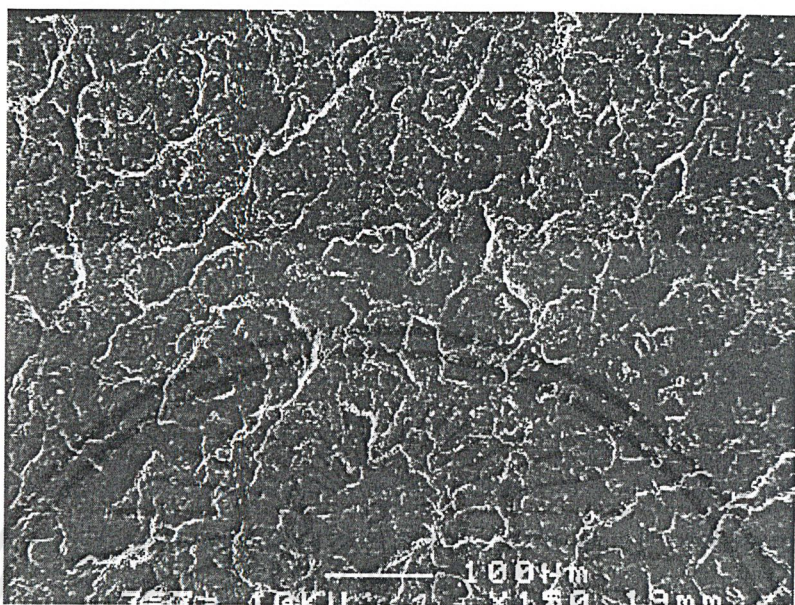
4.3.1 การดูดซับน้ำ

ตารางที่ 4.2 แสดงผลของการดูดซับน้ำ ณ วันต่างๆของพอลิสไตรีนคอมพอสิตในแต่ ละสูตร

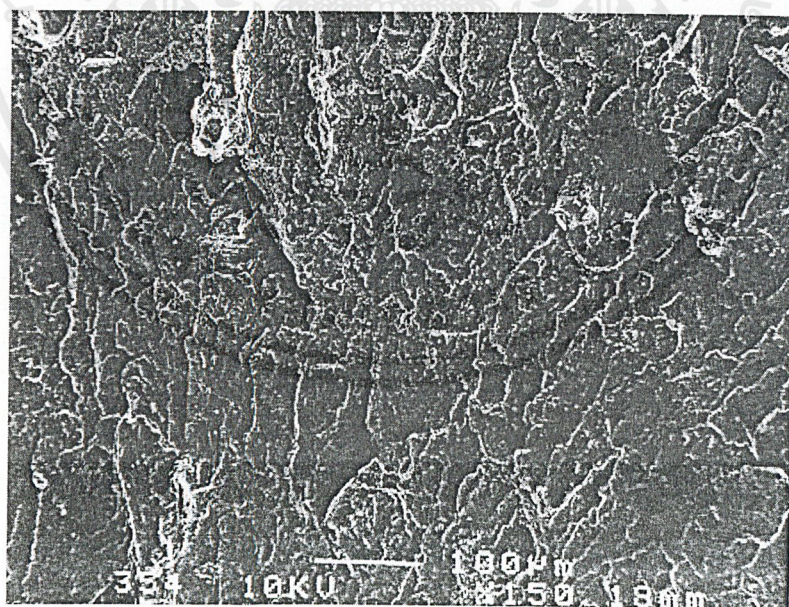
สูตร ที่	น้ำหนักชิ้นงานที่ชั่งได้					
	ร้อยละการดูดซับน้ำ					
	0 วัน	1 วัน	2 วัน	3 วัน	4 วัน	5 วัน
1	3.50 g	3.50 g	3.50 g	3.50 g	3.50 g	3.50 g
	(0%)	(0%)	(0%)	(0%)	(0%)	(0%)
2	3.58 g	3.58 g	3.59 g	3.59 g	3.59 g	3.59 g
	(0%)	(0%)	(0.3%)	(0.3%)	(0.3%)	(0.3%)
3	3.32 g	3.32 g	3.32 g	3.32 g	3.32 g	3.32 g
	(0%)	(0%)	(0%)	(0%)	(0%)	(0%)
4	3.46 g	3.46 g	3.47 g	3.47 g	3.47 g	3.47 g
	(0%)	(0%)	(0.3%)	(0.3%)	(0.3%)	(0.3%)
5	3.47 g	3.47 g	3.47 g	3.47 g	3.47 g	3.47 g
	(0%)	(0%)	(0%)	(0%)	(0%)	(0%)
6	3.53 g	3.53 g	3.53 g	3.53 g	3.53 g	3.53 g
	(0%)	(0%)	(0%)	(0%)	(0%)	(0%)

เมื่อพิจารณาการดูดซับน้ำทั้ง 6 สูตร พบว่า สูตรที่ 1 , 3, 5, และ 6 ไม่มีการดูดซับน้ำเลย แม้ว่าจะแช่น้ำเป็นเวลาถึง 5 วัน อาจเป็นเพราะสมบัติของพอลิเมอร์ที่ใช้ คือ พอลิสไตรีนที่สามารถต้านทานน้ำได้ดี แต่มีบางสูตร คือ 2 และ 4 เมื่อแช่น้ำเป็นเวลา 2 วัน จะมีการดูดซับน้ำเพียงเล็กน้อย อาจเป็นเพราะมีการเติมเส้นใยอ้อยลงไปปริมาณมากพอที่ดูดซับน้ำได้แม้ว่าพอลิสไตรีนสามารถต้านทานน้ำได้ก็ตาม จึงทำให้มีการดูดซับน้ำเกิดขึ้น

4.3.2 สัณฐานวิทยาของพอลิस्टาไทรินคอมพอสิต

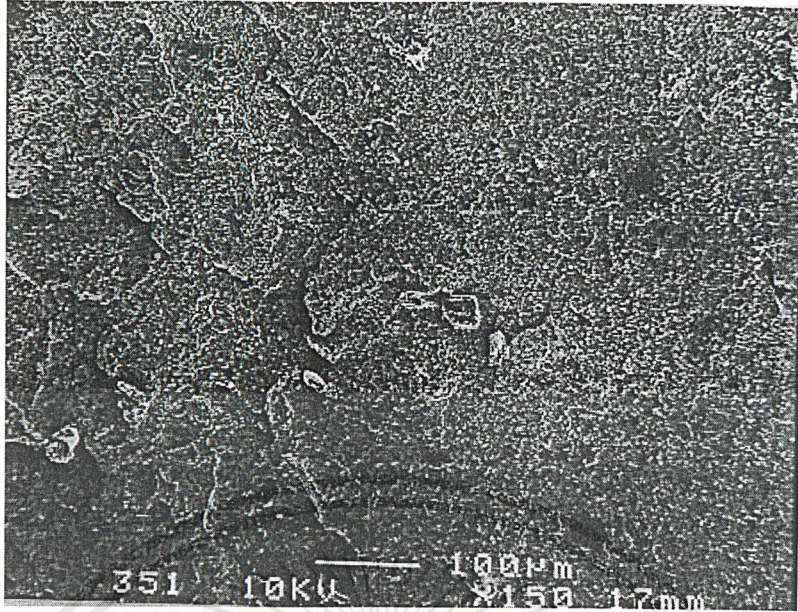


รูปที่ 4.7 สูตรที่ 1 กำลังขยาย 150 เท่า

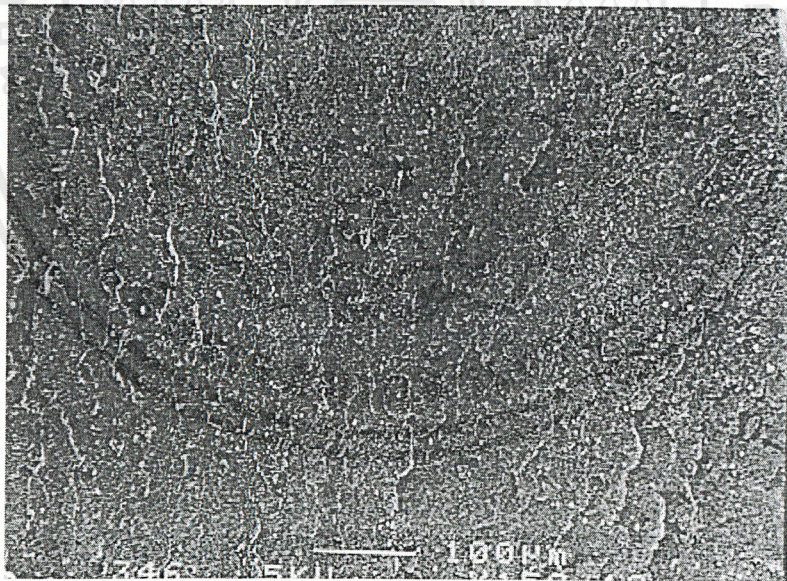


รูปที่ 4.8 สูตรที่ 2 กำลังขยาย 150 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

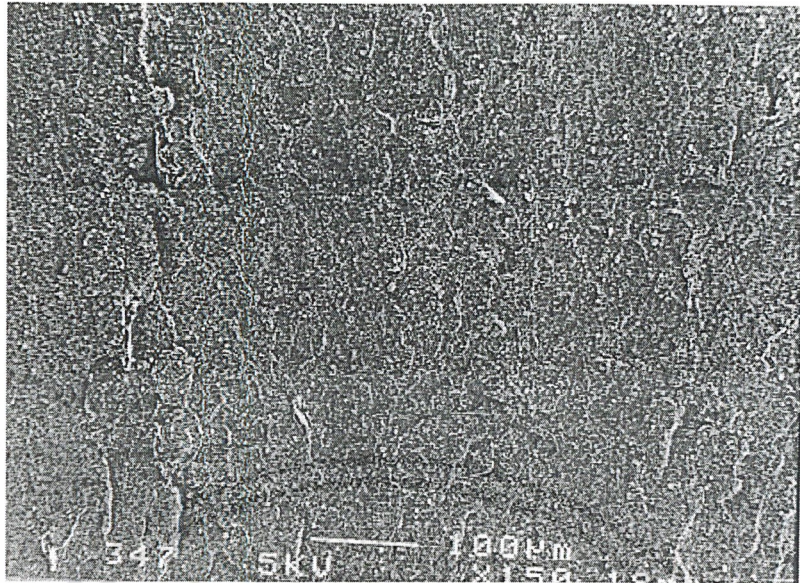


รูปที่ 4.9 สูตรที่ 3 กำลังขยาย 150 เท่า

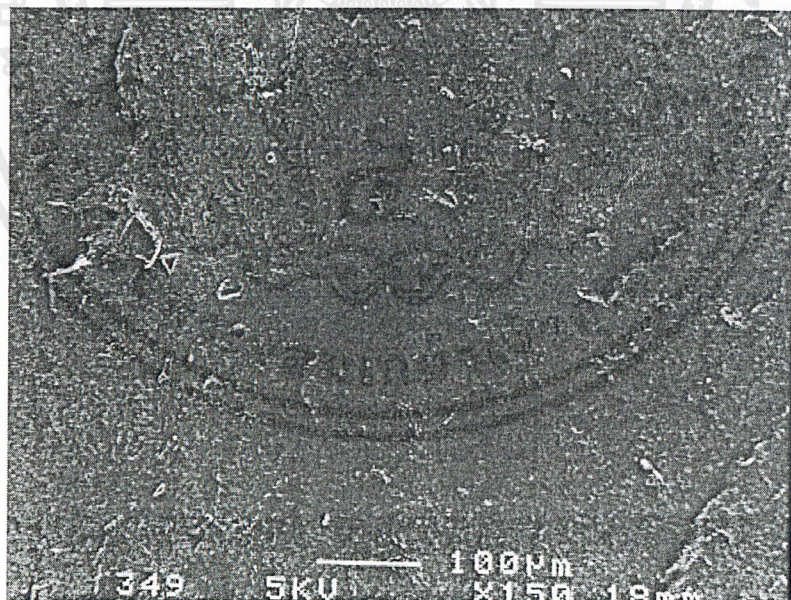


รูปที่ 4.10 สูตรที่ 4 กำลังขยาย 150 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

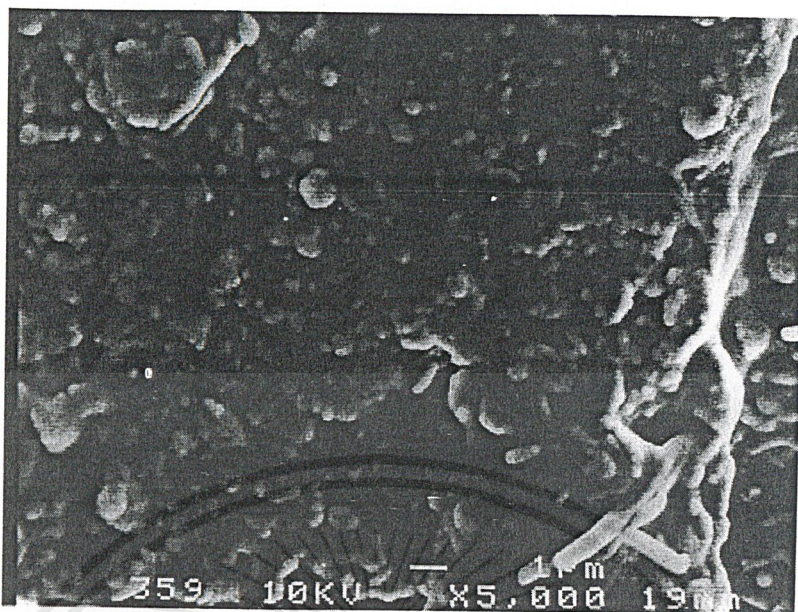


รูปที่ 4.11 สูตรที่ 5 กำลังขยาย 150 เท่า

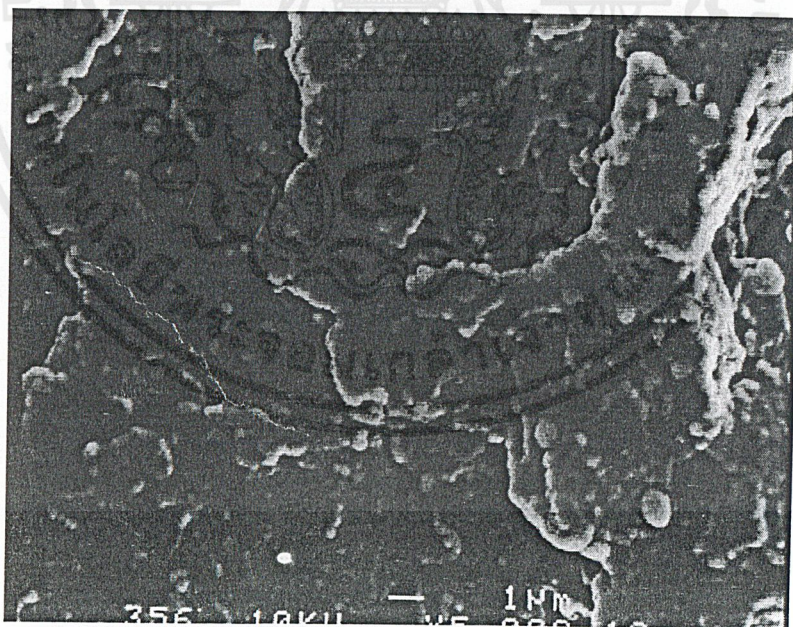


รูปที่ 4.12 สูตรที่ 6 กำลังขยาย 150 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

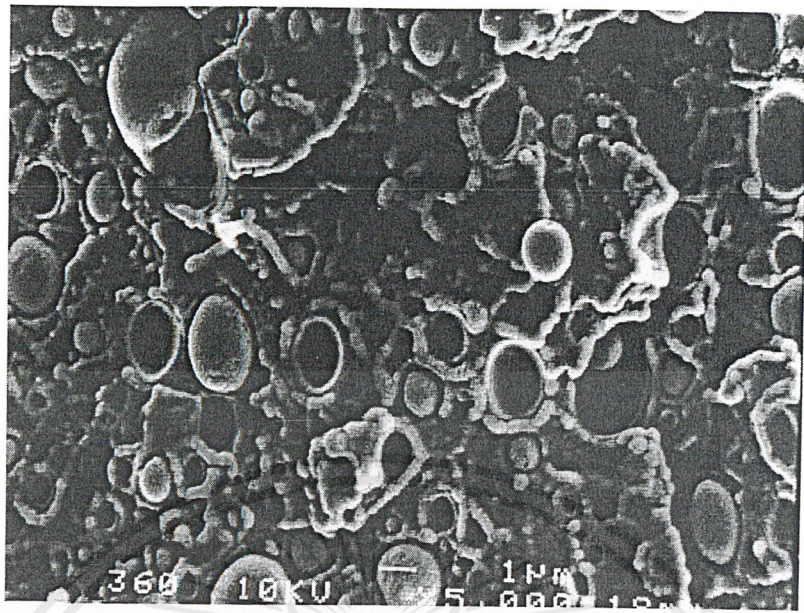


รูปที่ 4.13 สุนทรที่ 1 กำลังขยาย 5000 เท่า

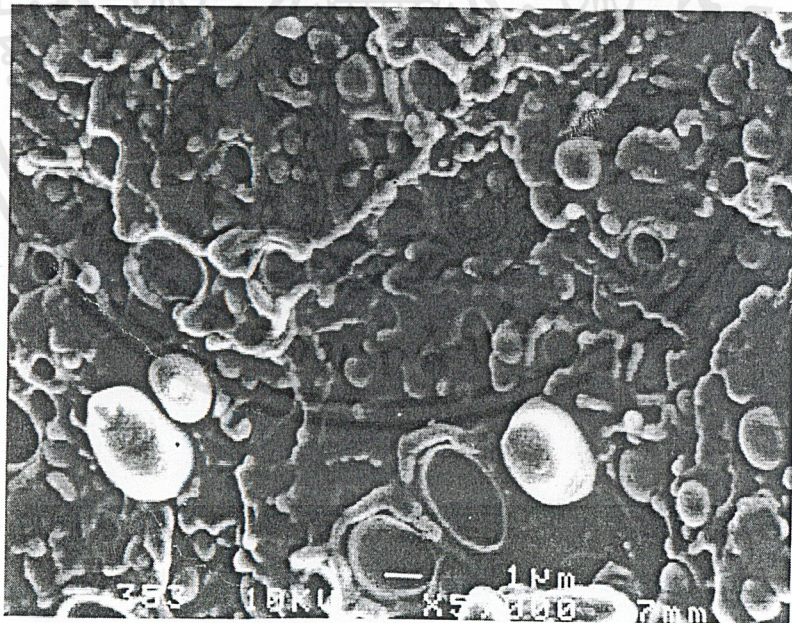


รูปที่ 4.14 สุนทรที่ 2 กำลังขยาย 5000 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

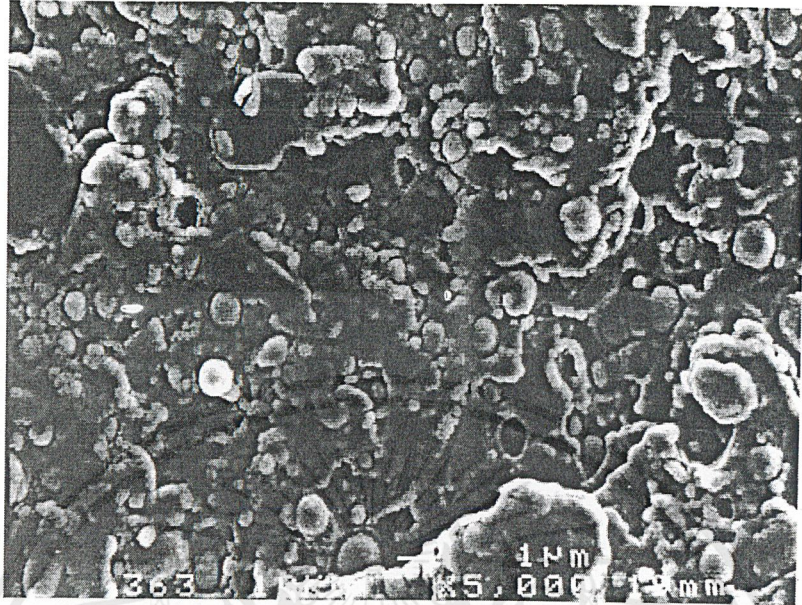


รูปที่ 4.15 สูตรที่ 3 กำลังขยาย 5000 เท่า

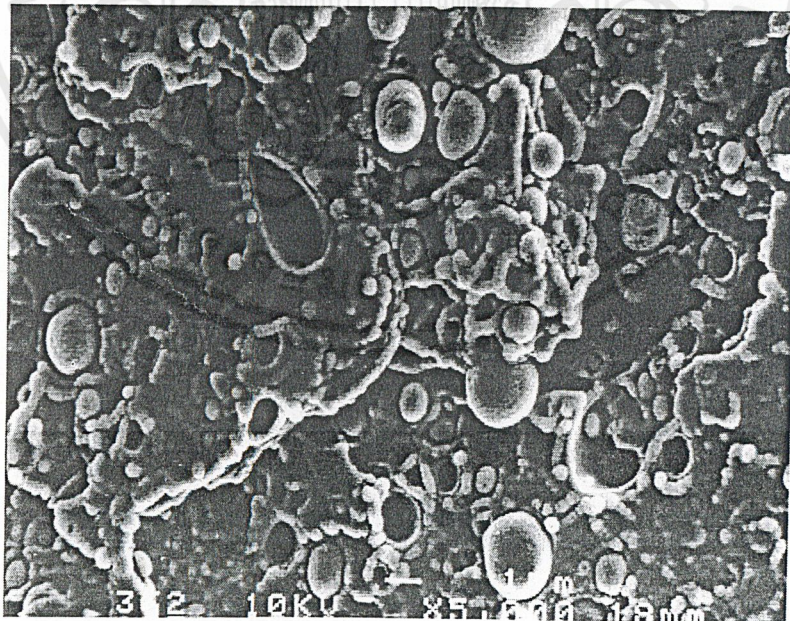


รูปที่ 4.16 สูตรที่ 4 กำลังขยาย 5000 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.17 สูตรที่ 5 กำลังขยาย 5000 เท่า



รูปที่ 4.18 สูตรที่ 6 กำลังขยาย 5000 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.13 และ รูปที่ 4.14 แสดงลักษณะของพื้นที่หน้าตัดของชิ้นงานในสูตรที่ 1 และ 2 ที่ไม่มีสารช่วยผสม PP-g-MAH จะมีลักษณะที่ขรุขระเป็นชั้นๆ เมื่อเทียบกับรูปที่ 4.15 ถึง 4.18 ที่แสดงลักษณะพื้นที่หน้าตัดของชิ้นงานในสูตรที่ 3 สูตรที่ 4 สูตรที่ 5 และ สูตรที่ 6 ที่มีสารช่วยผสม PP-g-MAH ในปริมาณต่างๆกัน พบว่า สารช่วยผสม PP-g-MAH จะมีลักษณะเป็นทรงกลมกระจายตัวอยู่ทั่วไปในพอลิเมอร์เมตริกซ์ ลักษณะเช่นนี้ทำให้สมบัติเชิงกลลดลง แสดงว่าไม่ได้เกิดแรงกระทำกับพอลิเมอร์เมตริกซ์ ดังนั้นถ้าพิจารณาคอมพอสิตที่มี 3 องค์ประกอบจาก สันฐานวิทยาพิจารณาคู่กับผลการทดสอบสมบัติเชิงกล พบว่าสูตรที่ 4 (รูปที่ 4.16)จะให้ชิ้นงานที่มีความแข็งแรงและเหนียวกว่าในสูตรที่ 5 (รูปที่ 4.17) และ 6 (รูปที่ 4.18)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุป และ ข้อเสนอแนะ

โครงการพิเศษนี้เป็นการศึกษาสมบัติของพอลิสไตรีนคอมพอลิซิตีที่เตรียมจากพอลิสไตรีนที่ใช้แล้วผสมกับเส้นใยชานอ้อย โดยใช้พอลิพรอพิลีนกราฟท์มาเลอิกแอนไฮไดรด์ เป็นสารช่วยผสม เพื่อปรับปรุงสมบัติการยึดติดกับพอลิสไตรีน จะทำการผสมสูตรต่างๆที่ใส่พอลิสไตรีน 90 % w/w และ เส้นใยชานอ้อยที่ผ่านการปรับปรุงสมบัติแล้ว 10 % w/w ในปริมาณที่คงที่ในทุกลูตอร์ แต่จะเปลี่ยนอัตราส่วนของเส้นใยชานอ้อยต่อพอลิพรอพิลีนกราฟท์มาเลอิกแอนไฮไดรด์ให้แตกต่างกัน ผสมด้วยเครื่องอัดรีดเกลียวหนอนเดี่ยว แล้วทำการขึ้นรูปด้วยเครื่องฉีดขึ้นรูป จากนั้นนำไปทดสอบสมบัติเชิงกล สมบัติทางความร้อน สมบัติการดูดซับน้ำ และ สันฐานวิทยา

จากการทดสอบสมบัติต่างๆ พบว่า

-เส้นใยชานอ้อยเข้าไปแทรกตัวอยู่ในพอลิเมอร์เมตริกซ์ทำให้พอลิเมอร์แข็งขึ้น ส่งผลให้ค่ามอดุลัส และอุณหภูมิที่ทำให้เกิดการโค้งงอของชิ้นงานสูงขึ้น ส่วนค่าความแข็งแรงดึง ค่าร้อยละการยืด ณ จุดขาด ค่าความทนทานต่อแรงกระแทก และอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วลดลง

-ส่วนสารช่วยผสม PP-g-MAH ที่มีลักษณะเป็นทรงกลมกระจายตัวอยู่ทั่วไปในพอลิเมอร์เมตริกซ์แต่ไม่ได้เกิดแรงกระทำกับพอลิเมอร์เมตริกซ์ และทำให้พอลิสไตรีนเคลื่อนตัวได้ยากขึ้น เพราะไปลดปริมาตรอิสระของระบบลง ส่งผลให้อุณหภูมิที่ทำให้เกิดการโค้งงอของชิ้นงาน อุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วเพิ่มขึ้น ค่าความแข็งแรงดึง ค่าร้อยละการยืด ณ จุดขาด ค่ามอดุลัส ค่าความทนทานต่อแรงกระแทกมีค่าลดลง

-เนื่องจากพอลิสไตรีนสามารถด้านทานน้ำได้ดี ทำให้คอมพอลิซิตีที่ได้ไม่ดูดซับน้ำเลย หรือ ดูดซับน้ำได้เพียงเล็กน้อยในลูตอร์ที่เติมเส้นใยชานอ้อยในปริมาณที่มาก เช่น ในลูตอร์ที่ 2 และ ลูตอร์ที่ 4

สามารถสรุปได้ว่า คอมพอลิซิตีได้นั้นมีสมบัติที่ดีในแต่ละด้านแตกต่างกัน ดังนี้พิจารณาคอมพอลิซิตีที่มี 3 องค์ประกอบ

1. ถ้าใช้อัตราส่วนของเส้นใยชานอ้อยต่อพอลิพรอพิลีนกราฟท์มาเลอิกแอนไฮไดรด์ เป็น 1:1 (ลูตอร์ที่ 4) จะทำให้คอมพอลิซิตีที่ได้สามารถรับแรงกระแทกได้ดี มีความแข็งและเหนียว ดังนั้นจึงเหมาะสมในการนำไปใช้งานด้านทนแรงกระแทก แข็งและเหนียว และขึ้นรูปเป็นโครงสร้างได้
2. ถ้าใช้อัตราส่วนของเส้นใยชานอ้อยต่อพอลิพรอพิลีนกราฟท์มาเลอิกแอนไฮไดรด์ เป็น 1:5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- (สูตรที่ 6) จะทำให้คอมพอสิตที่ได้สามารถทนแรงดึง และทนความร้อนได้ดี ดังนั้นจึงเหมาะสมในการนำไปใช้งานเป็นผลิตภัณฑ์ที่ทนอุณหภูมิสูงได้ดี
3. คอมพอสิตที่ได้จะดูดซับน้ำได้น้อยมากหรือไม่ดูดน้ำเลย มองจากลักษณะภายนอกจะคล้ายไม้ อาจสามารถนำไปใช้ทดแทนไม้ธรรมชาติได้

ข้อเสนอแนะ

1. ควรเลือกสารช่วยผสมที่สามารถรวมเข้ากับพอลิเมอร์เมทริกซ์ได้ดี และสามารถเกิดปฏิกิริยากับเส้นใยได้
2. เส้นใยที่นำมาใช้ควรมีการใช้ในหลาย ๆ ขนาด เพื่อศึกษาถึงขนาดของเส้นใยที่อาจส่งผลกระทบต่อสมบัติเชิงกล
3. อาจเปลี่ยนแปลงกระบวนการผสม โดยใช้เครื่องอัดรีดเกลียวหนอนคู่ ซึ่งทำให้พอลิเมอร์ผสมเข้ากันได้ดีขึ้น



เอกสารอ้างอิง

1. J.Milagram . *Incentive for Recycle and Reuse of Plastic*. Cambridge:Arthur D.Little. 1972
2. S.Mishra and J.B. Naik. "Absorption of Water at Ambient Temperature and Steam in "Wood-Polymer Composites Prepared from Agrowaste and Polystyrene"
J.Appl.Pol. Sci 68, 681-686, 1998.
3. M.L.Hassan, N.A.El-Wakil, M.Z. Sefain. *J.Appl.Pol.Sci* 2001, Vol. 79, 1965-1978
4. T.Richard. *Composite:A Design-Guide*. New York:Industrial Press, 1987.
5. F.L.Matthew and R.D.Rawlings *Composite Materials:Engineering and Science*. London:Chapman&Hall, 1994
6. E.B.Trostyanskaya "Polymeric matrices in Fiber-Reinforced Composite Materials."
Polymer Matrix Composites. London:Chapman&Hall, 1995
7. B.Z.Jang. *Advanced Polymer Composites*. New York:ASM International, 1994
8. D.Hull and T.W.Clyne. *An Introduction to Dcomposite Material*. 2nd ed. Great Britain:Cambridge University Press, 1996
9. L.Hollaway. *Polymer Composites for Civil and Structural Engineering*. London:Chapman&Hall,1993
10. มาลินี ชัยศุกกิจสินธุ์. เคมีพอลิเมอร์ กรุงเทพมหานคร:สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2538
11. ธวิพันธ์ อ่ำเกตุพล และ สุรชัย จิรศักดิ์กุล. "การศึกษาความเป็นไปได้ทางกระบวนการของสารเติมแต่งที่มีผลต่อสารเติมแต่งที่มีต่อพอลิโพลีเอทิลีนและโพลีสไตรีนที่ใช้แล้ว" *โครงการพิเศษวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาเคมีอุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง*. 2541
12. N.J.Mills. *Plastic Microstructure,Property and Applications*. Oxford:English.Language Book Society.1988
13. สุรจิตร เพ็องฟู. "การศึกษาการเตรียมและสมบัติของพอลิสไตรีนชนิดทนทานต่อแรงกระแทกที่เตรียมจากยางธรรมชาติ" *วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบัณฑิต สาขาเคมี บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหิดล*. 2529
14. D.W.V.Hrelen. *Property of Polymer*. New York:Elsevier.1990

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก แสดงชนิดและปริมาณสารในพอลิเมอร์คอมพอสิตสูตรต่างๆ

สูตรที่	PS (g)	Bagasses fiber(g)	PP-g-MAH(g)
1	300	-	-
2	270	30	-
3	270	-	30
4	270	15	15
5	270	10	20
6	270	5	25

ตาราง ข แสดงค่าความแข็งแรงดึงของพอลิเมอร์คอมพอสิตสูตรต่างๆจากเครื่อง Tensile tester

สูตรที่	ความแข็งแรงดึง(MPa)
1	23.63
2	23.24
3	22.98
4	21.94
5	21.97
6	22.43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ค แสดงค่าร้อยละการยืด ณ จุดขาดของพอลิเมอร์คอมพอสิตสูตรต่างๆ

สูตรที่	ความยาว ณ จุดขาด(%)
1	31.20
2	8.24
3	5.31
4	9.68
5	5.02
6	7.41

ตาราง ง แสดงค่ามอดุลัสของพอลิเมอร์คอมพอสิตสูตรต่างๆ

สูตรที่	มอดุลัส(MPa)
1	718.22
2	764.22
3	656.38
4	649.45
5	643.98
6	603.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง จ แสดงค่าความทนทานต่อแรงกระแทกของพอลิเมอร์คอมพอสิตสูตรต่างๆ

สูตรที่	ค่าความทนทานต่อแรงกระแทก (kJ/m ²)
1	57.72
2	27.28
3	26.50
4	23.97
5	17.90
6	16.20

ตาราง ฉ แสดงค่าอุณหภูมิที่ทำให้โค้งงอของพอลิเมอร์คอมพอสิตสูตรต่างๆ

สูตรที่	อุณหภูมิที่ทำให้โค้งงอ(°c)
1	80.1
2	80.3
3	80.5
4	81.3
5	81.7
6	82.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ข แสดงค่าอุณหภูมิสถานะคล้ายแก้วของพอลิเมอร์คอมพอสิตสูตรต่างๆจากเครื่อง
Differential scanning calorimeter (DSC)

สูตรที่	อุณหภูมิสถานะคล้ายแก้ว(°c)
1	98.69
2	98.32
3	101.57
4	100.01
5	101.15
6	100.41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ๗ แสดงผลของการดูดซับน้ำ ณ วันต่างๆของพอลิไทรินคอมพอลิเมอร์ในแต่ละสูตร

สูตร ที่	น้ำหนักชิ้นงานที่ซังได้					
	ร้อยละการดูดซับน้ำ					
	0 วัน	1 วัน	2 วัน	3 วัน	4 วัน	5 วัน
1	3.50 g	3.50 g	3.50 g	3.50 g	3.50 g	3.50 g
	(0%)	(0%)	(0%)	(0%)	(0%)	(0%)
2	3.58 g	3.58 g	3.59 g	3.59 g	3.59 g	3.59 g
	(0%)	(0%)	(0.3%)	(0.3%)	(0.3%)	(0.3%)
3	3.32 g	3.32 g	3.32 g	3.32 g	3.32 g	3.32 g
	(0%)	(0%)	(0%)	(0%)	(0%)	(0%)
4	3.46 g	3.46 g	3.47 g	3.47 g	3.47 g	3.47 g
	(0%)	(0%)	(0.3%)	(0.3%)	(0.3%)	(0.3%)
5	3.47 g	3.47 g	3.47 g	3.47 g	3.47 g	3.47 g
	(0%)	(0%)	(0%)	(0%)	(0%)	(0%)
6	3.53 g	3.53 g	3.53 g	3.53 g	3.53 g	3.53 g
	(0%)	(0%)	(0%)	(0%)	(0%)	(0%)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารช่วยผสมที่ใช้มีชื่อทางการค้า คือ POLYBOND 3150

General properties

Composition :	Maleic anhydride modified homopolymer polypropylene
Physical Form :	Pellets
Melt Flow Rate (230/2.16) :	50.0 g/10 min (ASTM D-1238)
Density at 23 °c :	0.91 g/cc (ASTM D-792)
Melting Point :	157 °c (DSC)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สภาวะที่ใช้ในการฉีดขึ้นรูปด้วยเครื่อง Injection molding machine

CLOSING

Mould open	240 mm.	Mould safety stroke	80 mm.
Closing speed 1	35 %	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 stroke	58 mm.	Injection speed 3	20 %
Injection speed 1	55 %	Injection stroke 3	5 mm.

FOLLOW-UP PRESSURE

Follow-up pressure 1	35 Bar	Follow-up pressure 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.
Follow-up press 2 time	1 Sec.		

TEMPERATURE

Nozzle	190 °c	Zone 2	200 °c
Zone 1	190 °c	Zone 3	210 °c

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

METERING DECOMPRESSION

Metering delay	0.1 Sec.	Back pressure 3	5 Bar
Screw speed	188 RPM	Metering speed 1	65 %
Back pressure 1	8 Bar	Metering stroke 1	35 mm.
Back pressure stroke 1	35 mm.	Metering speed 2	65 %
Back pressure 2	8 Bar	Metering stroke	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 pressure 1	35 Bar	Opening speed 3	25 %
Opening stroke 1	100 mm.	Mold open time	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.	Cycle time	45 Sec

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

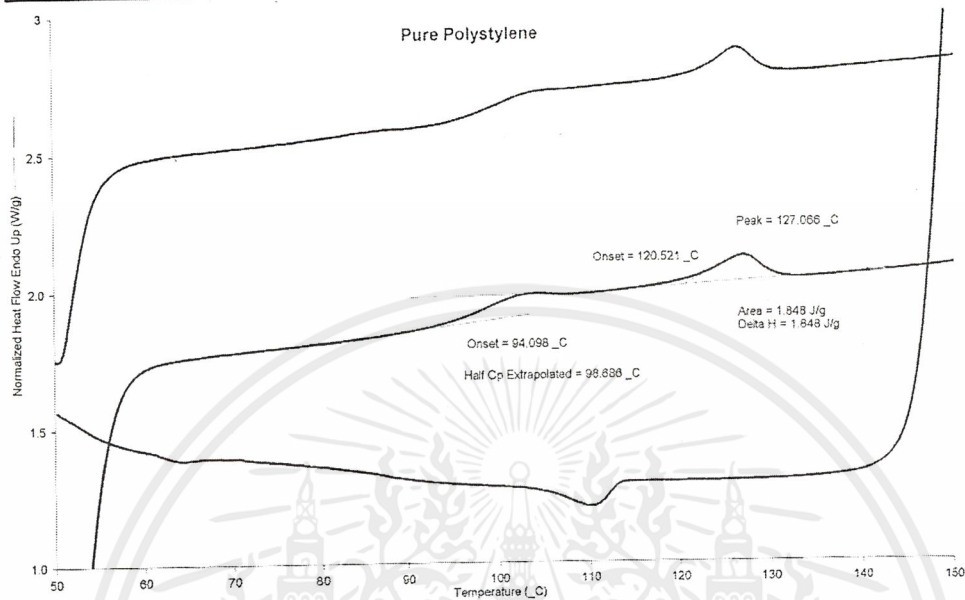


ภาคผนวก ข

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

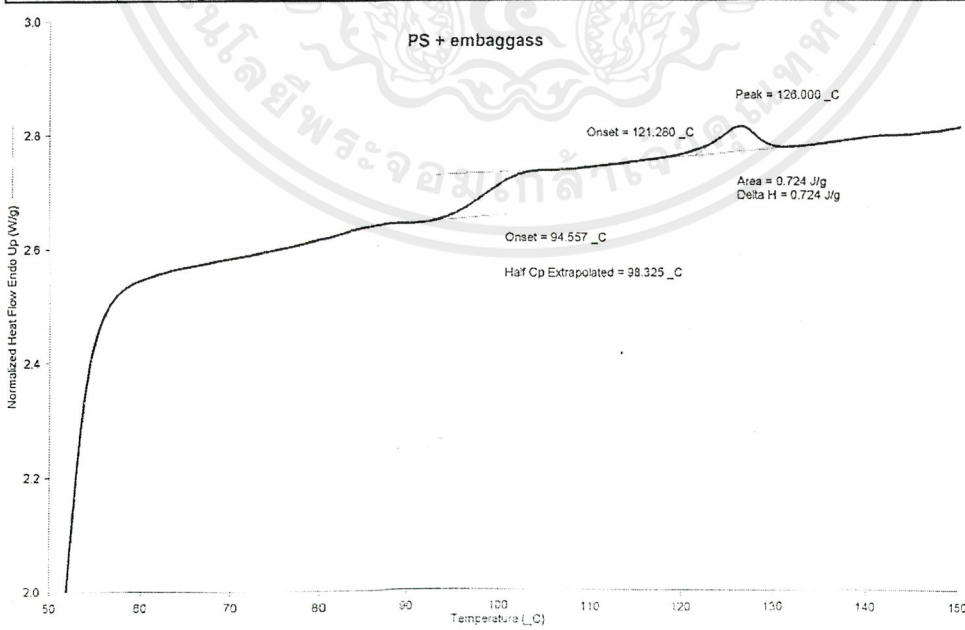
กราฟแสดงอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วของแต่ละสูตรที่ได้จากเครื่อง DSC

Filename: D:\PE\PyrisData\DSCdat\pure_ps.dsd	Polystyrene: pure_ps.dsd
Data Collected: 1/2/45 9:20:45	Normalized Heat Flow Endo Up (W/g): Step: 3
Operator ID: siriporn	Polystyrene: pure_ps.dsd
Sample ID: Polystyrene	Normalized Heat Flow Endo Up (W/g): Step: 1
Sample Weight: 11.270 mg	Polystyrene: pure_ps.dsd
Comment: pan30+hole 20 c/min	Normalized Heat Flow Endo Up (W/g): Step: 2



1) Heat from 50.00_C to 150.00_C at 20.00_C/min	3) Heat from 50.00_C to 150.00_C at 20.00_C/min	1/2/45 10:28:50
2) Cool from 150.00_C to 50.00_C at 20.00_C/min		

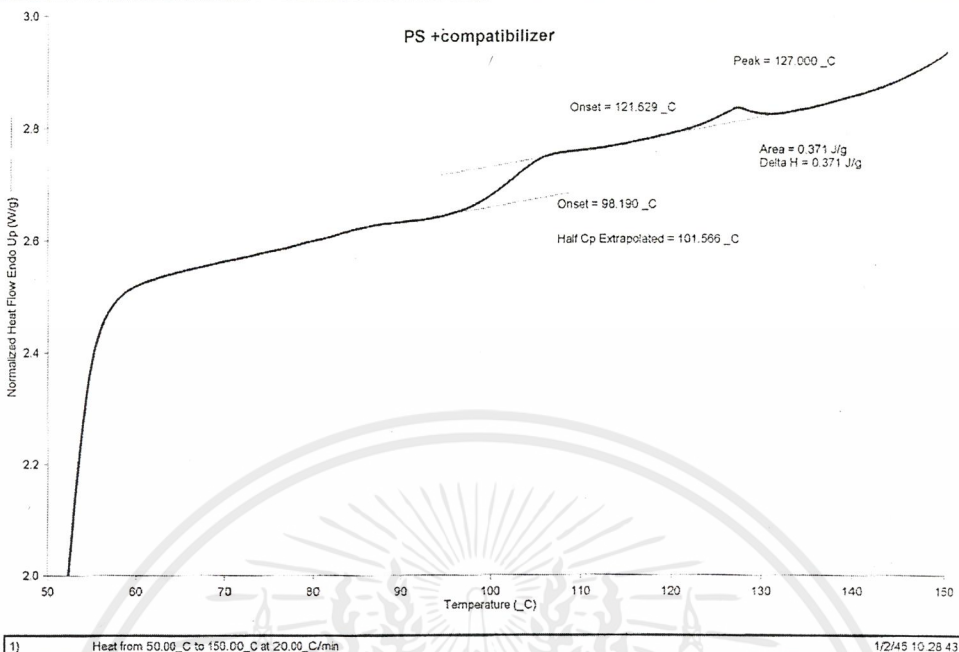
Filename: D:\PE\PyrisData\DSCda...ps_embag.dsd	Polystyrene+embaggase: ps_embag.dsd
Data Collected: 1/2/45 9:32:15	Normalized Unsubtracted Heat Flow Endo Up (W/g): Step: 1
Operator ID: siriporn	
Sample ID: Polystyrene+embaggase	
Sample Weight: 11.090 mg	
Comment: pan30+hole 20 c/min	



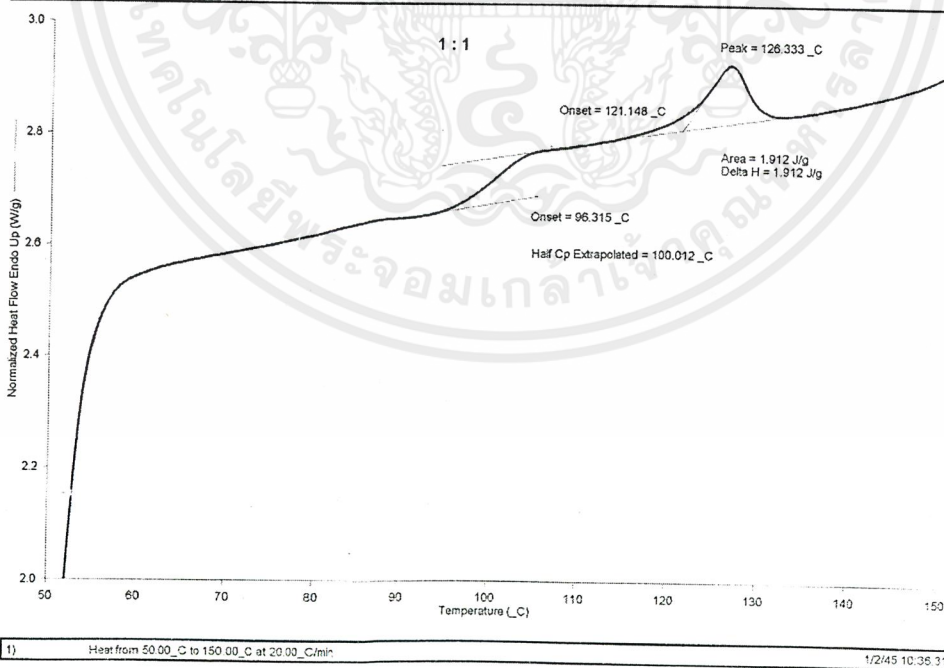
1) Heat from 50.00_C to 150.00_C at 20.00_C/min	1/2/45 10:28:35
---	-----------------

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Filename: D:\PE\Pyris\Data\DSC\data_ips_compat.dsd Polystyrene+compatibilizer_ips_compat.dsd
Data Collected: 1/2/45 9:43:33 Normalized Unsubtracted Heat Flow Endo Up (W/g) Step 1
Operator ID: siriporn
Sample ID: Polystyrene+compatibilizer
Sample Weight: 10.850 mg
Comment: pan30+hole_20_c/min

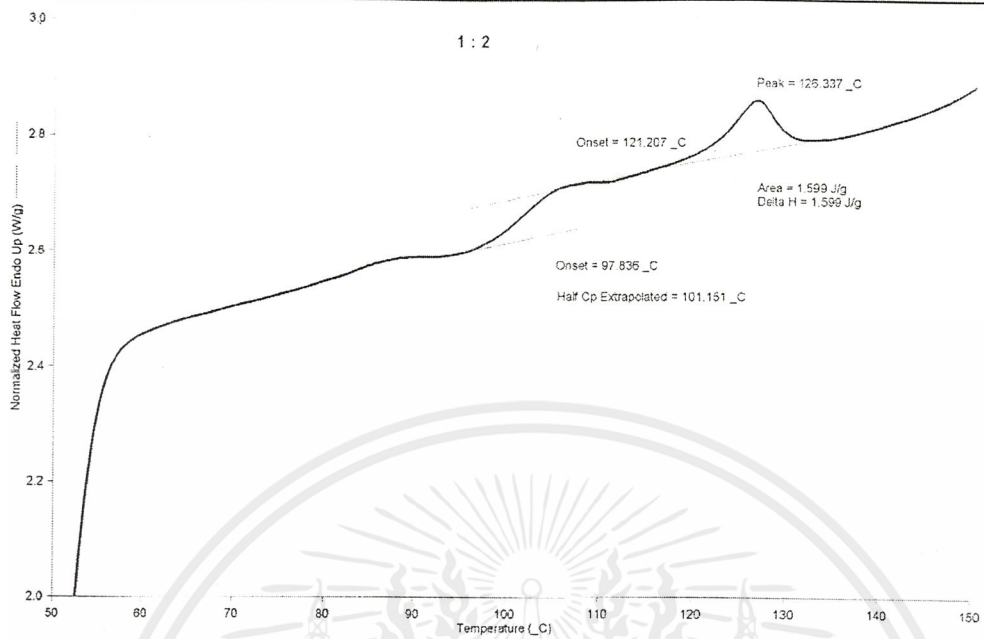


Filename: D:\PE\Pyris\Data\DSC\data\vr...1_1.dsd Polystyrene+embagass+compatibilizer_1_1.dsd
Data Collected: 1/2/45 9:55:30 Normalized Unsubtracted Heat Flow Endo Up (W/g) Step 1
Operator ID: siriporn
Sample ID: Polystyrene+embagass+compatibilizer
Sample Weight: 10.420 mg
Comment: pan30+hole_20_c/min



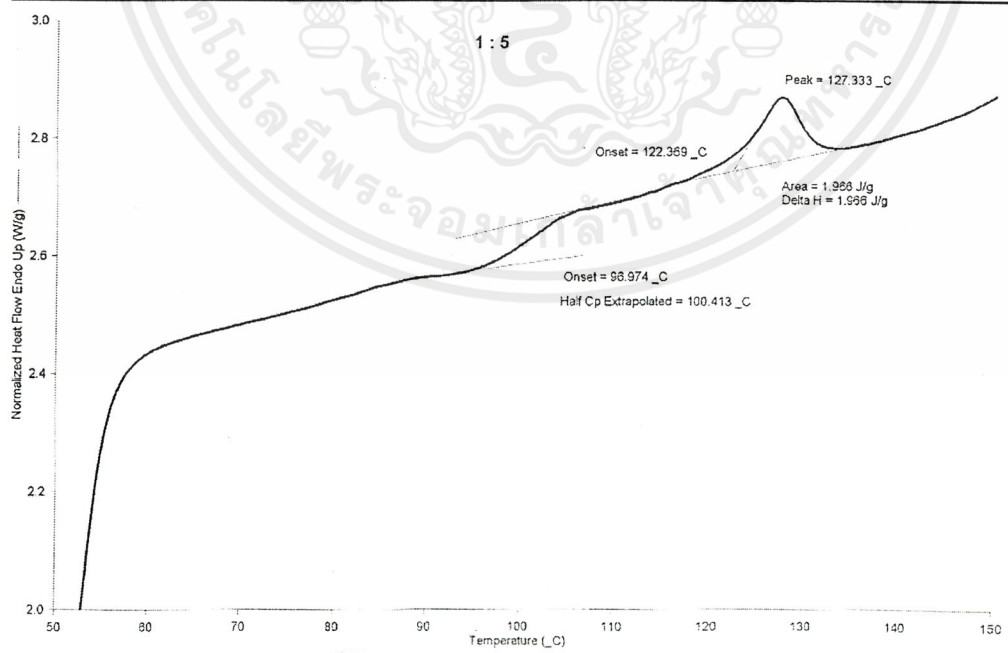
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Filename:	D:\PE\Pyris\Data\DSC\data\fr...1_2.dsd	Polystyrene+embagass+compatibilizer_1_2.dsd
Data Collected:	1/2/45 10:04:21	Normalized Unsubtracted Heat Flow Endo Up (W/g): Step: 1
Operator ID:	siroporn	
Sample ID:	Polystyrene+embagass+compatibilizer	
Sample Weight:	10.260 mg	
Comment:	pan30+hole_20_c/min	



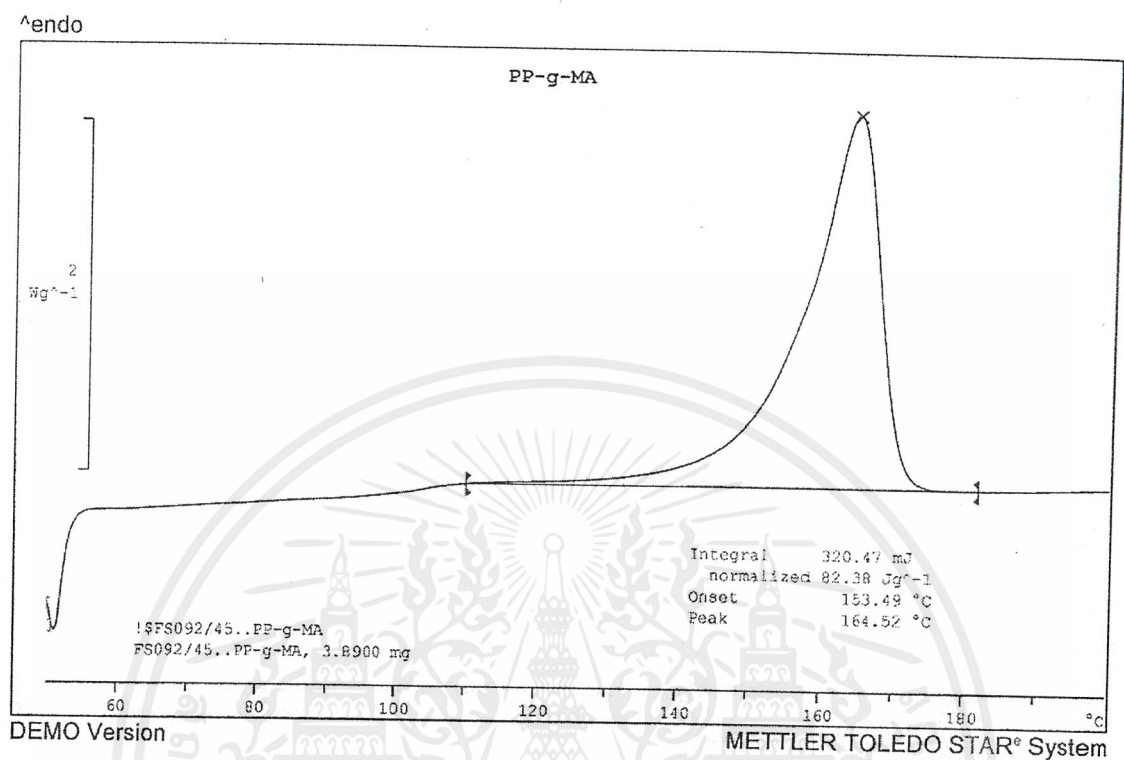
1) Heat from 50.00_C to 150.00_C at 20.00_C/min 1/2/45 10:38:37

Filename:	D:\PE\Pyris\Data\DSC\data\fr...1_5.dsd	Polystyrene+embagass+compatibilizer_1_5.dsd
Data Collected:	1/2/45 10:14:13	Normalized Unsubtracted Heat Flow Endo Up (W/g): Step: 1
Operator ID:	siroporn	
Sample ID:	Polystyrene+embagass+compatibilizer	
Sample Weight:	11.900 mg	
Comment:	pan30+hole_20_c/min	



1) Heat from 50.00_C to 150.00_C at 20.00_C/min 1/2/45 10:36:43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้