

การศึกษาไม่เทียบพอลิเมอร์คอมพอสิตจากพอลิเอทิลีน
ชนิดความหนาแน่นต่ำและเส้นใยผักตบชวา



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาเคมี

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2543

เลขหมู่.....
2043

เลขทะเบียน 40060

วัน, เดือน, ปี 24 ก.ค. 2544

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

ขอสงวนสิทธิ์ในการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Study of Polymer Composites as Artificial Woods from
Low Density Polyethylene (LDPE) and Water Hyacinth Fibers**

Mr. Terapath Unhachok
Miss Potejane Sornthummalee

A Special Project Submitted in Partail Fulfillment of the Requirement

For the Degree of Bachelor of Science

Department of Chemistry

Faculty of Science

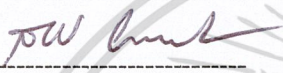
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

2000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ การศึกษาไม้เทียมพอลิเมอร์คอมพอสิตจากพอลิเอทิลีนชนิดความ
หนาแน่นต่ำและเส้นใยผักตบชวา
นักศึกษา นายธีรพัฒน์ อุณหโชค
นางสาวพจนีย์ ศรธรรมดี
ภาควิชา เคมี
อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.อิทธิพล แจ่มชัด
คุณวราธรรม อุ่นจิตติชัย

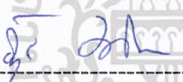
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
อนุมัติให้โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต



(ผศ.ดร.สมศักดิ์ วรมงคลชัย)

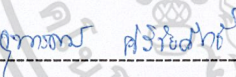
หัวหน้าภาควิชาเคมี

คณะกรรมการตรวจสอบโครงการพิเศษ



(ดร.ภัทราวุธ มนต์วิเศษ)

ประธานกรรมการ




(ดร.จุฑารัตน์ สิริชัยสิทธิ์)

กรรมการ



(คุณวราธรรม อุ่นจิตติชัย)

กรรมการ



(ผศ.ดร.อิทธิพล แจ่มชัด)

กรรมการ

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	การศึกษาไม้เทียมพอลิเมอร์คอมพอสิตจากพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำและเส้นใยผักตบชวา
นักศึกษา	นายธีรพัฒน์ อุณหโชค นางสาวพจนีย์ ศรธรรมลี
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร. อิทธิพล แจ่มชัด
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	คุณวราธรรม อุ่นจิตติชัย กรมป่าไม้ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์
ระดับการศึกษา	วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาเคมีอุตสาหกรรม
ภาควิชา	ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา	2543

บทคัดย่อ

โครงการพิเศษนี้เป็นการศึกษาการผลิตและสมบัติของไม้เทียมจากพอลิเมอร์คอมพอสิตระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำกับเส้นใยผักตบชวาที่สกัดด้วยวิธีทางเคมี ซึ่งจะทำการศึกษาอัตราส่วนระหว่างปริมาณของเส้นใยต่อพอลิเมอร์ ผลของสารช่วยผสมให้แก่พอลิเอทิลีนกราฟท์-มาลีอิกแอนไฮไดรด์ (Polyethylene-graft-Maleic Anhydride, PE-g-MA) ต่อปริมาณเส้นใย และขนาดของเส้นใยผักตบชวาโดยผสมสูตรด้วยเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยวและขึ้นรูปโดยใช้เครื่องฉีดขึ้นรูปพลาสติก จากนั้นทำการศึกษาสมบัติทางกายภาพ สมบัติเชิงกล สมบัติทางความร้อน และสัณฐานวิทยา จากการทดลองพบว่า ค่าความแข็งแรงดึง มอดุลัส ความแข็งและองศาความเป็นผลึกจะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยผักตบชวา ส่วนค่าร้อยละการยืดออก ณ จุดขาดและความแข็งแรงกระแทก มีค่าลดลง จากการศึกษารูปผลของสารช่วยผสมพบว่าคอมพอสิตมีสมบัติที่ดีขึ้นเมื่อใช้สารช่วยผสม ปริมาณสารช่วยผสมที่เหมาะสมคือที่ 3% โดยน้ำหนักต่อน้ำหนักเส้นใย และขนาดเส้นใยที่เหมาะสมคือ 50-80 ไมครอน ค่าการดูดซึมน้ำของคอมพอสิตลดลงเมื่อได้สารช่วยผสมและมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณเส้นใยผักตบชวาเพิ่มขึ้นรวมทั้งขนาดเส้นใยลดลง จากการศึกษาดัชนีฐานวิทยาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด ยืนยันผลการทดลองว่า สารช่วยผสม PE-g-MA ช่วยให้การยึดเกาะระหว่างเส้นใยกับพอลิเอทิลีนเมตริกซ์ดีขึ้น

Special Project Title	Study of Polymer Composites as Artificial Woods from Low Density Polyethylene (LDPE) and Water Hyacinth Fibers
Name	Mr. Terapath Unhachok Miss Potejanee Sornthummalee
Advisor	Asst.Prof.Dr. Ittipol Jangchud
Co-advisor	Mr. Woratham Oonjittichai
Department	Chemistry
Academic	2000

Abstract

The work involved a study of polymer composites as artificial woods made from low density polyethylene (LDPE) and chemical-treated water hyacinth fibers. Factors affected the composite properties were investigated including the fiber/polymer ratio, effects of a compatibilizer (Polyethylene-graft-maleic anhydride, PE-g-MA), and fiber length. The composites were mixed by a single-screw extruder, shaped by an injection molding machine and then tested for physical, mechanical, thermal and morphological properties. It was found that tensile strength, modulus, hardness and % crystallinity of the composites were increased as the fiber loading was increased. However, some composite properties ,e.g., % elongation at break and impact strength were decreased as the fiber loading was increased. It was also revealed that the properties of the composites were improved by adding the compatibilizer. The optimum properties were found at 3% compatibilizer loading and the fiber length composite in the range of 50-80 mesh. The results showed that %water absorption of the composites was decreased when the compatibilizer was added. However, it was increased as the fiber loading was increased as well as the fiber size was decreased. SEM micrographs confirmed that the interfacial bonding between the fibers and the matrix was enhanced by adding the compatibilizer.

กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำโครงการพิเศษนี้สำเร็จได้เนื่องจากได้รับความช่วยเหลือ ความร่วมมือตลอดจน คำแนะนำต่าง ๆ ที่เป็นประโยชน์แก่คณะผู้จัดทำจากบุคคลและองค์กรต่างๆ

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.อิทธิพล แจ่มจืด ที่กรุณาให้คำปรึกษาและให้ความช่วยเหลือในการ ดำเนินโครงการพิเศษนี้มาโดยตลอด

ขอขอบพระคุณ ดร.ภัทราวุธ มนต์วิเศษ และ ดร.จุฑารัตน์ สิริชัยสิทธิ์ อาจารย์คณะ กรรมการตรวจสอบ โครงการพิเศษที่ช่วยกรุณาตรวจทานและแก้ไข โครงการพิเศษฉบับนี้ให้ถูก ค้องสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ คุณวราธรรม อุ่นจิตติชัย นักวิชาการป่าไม้ 8 ว สำนักวิชาการป่าไม้ กรม ป่าไม้ ที่ให้ความช่วยเหลือในการดำเนินโครงการพิเศษและให้คำปรึกษาในการทำโครงการพิเศษ สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และขอบคุณเพื่อนๆ รุ่นพี่ รุ่นน้อง เจ้าหน้าที่ ที่ภาควิชาเคมีทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือและให้กำลังใจมาโดยตลอด

นอกเหนือจากนี้หากยังมีบุคคลที่มีส่วนช่วยเหลืออีกมากซึ่งมิได้กล่าวถึง ทางผู้จัดทำขอ ขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้ด้วย

นายธีรพัฒน์ อุณหโชค

นางสาวพจนีย์ สรรธรรมดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญภาพ	ช
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการพิเศษ	1
1.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
1.3 วัตถุประสงค์ของโครงการพิเศษ	7
1.4 ขอบเขตของโครงการพิเศษ	8
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	8
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	
2.1 พอลิเมอร์คอมพอสิต (Polymer Composite)	9
2.2 พอลิเอทิลีน	11
2.3 ผักตบชวา	14
2.4 เส้นใยธรรมชาติ (Natural Fibers)	16
2.5 การตกผลึกในพอลิเมอร์	20
2.6 การปรับปรุงสมบัติการยึดติด	22
บทที่ 3 การวิจัยและการดำเนินงาน	
3.1 สารเคมีและวัสดุที่ใช้ในการทดลอง	25
3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	25
3.3 วิธีการทดลอง	26
3.4 การทดสอบสมบัติต่าง ๆ	28
บทที่ 4 ผลการทดลอง	
4.1 การศึกษาสมบัติของคอมพอสิตเมื่อทำการเปลี่ยนแปลง ปริมาณสารช่วยผสม (PE-g-MA)	31
4.2 การศึกษาสมบัติของคอมพอสิตเมื่อทำการเปลี่ยนแปลง ปริมาณเส้นใยต่อปริมาณพอลิเมอร์	42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.3 การศึกษาสมบัติของคอมพอสิตเมื่อทำการเปลี่ยนแปลง ขนาดเส้นใยผักตบชวา	50
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการทดลอง	58
5.2 ข้อเสนอแนะ	59
บรรณานุกรม	60
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก	64
ภาคผนวก ข	66



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1.1 สมบัติเชิงกลของคอมพอสิตจากพอลิเอทีลีนและซานอ้อย	4
ตารางที่ 2.1 การวิเคราะห์องค์ประกอบของผักตบชวาระหว่างการเจริญเติบโต (น้ำหนักแห้ง)	16
ตารางที่ 2.2 ส่วนประกอบและสมบัติเชิงกลของเส้นใยธรรมชาติบางประเภท	20
ตารางที่ 3.1 แสดงสูตรผสมพอลิเมอร์คอมพอสิตที่ใช้ในการศึกษา	28
ตารางที่ 3.2 ปริมาณสารละลายที่ใช้ทดสอบความหนาแน่นโดย Gradient Column	29



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

	หน้า
รูปที่ 1.1 ตัวอย่างไม้เทียม	2
รูปที่ 1.2 การใช้ประโยชน์จากไม้เทียม	2
รูปที่ 2.1 ลักษณะของคอมพอสิตประเภทต่าง ๆ	9
รูปที่ 2.2 การยึดเกาะระหว่างเส้นใยกับเมทริกซ์	10
รูปที่ 2.3 โครงสร้างทางเคมีของพอลิเอทิลีน	11
รูปที่ 2.4 ลักษณะโครงสร้างของพอลิเอทิลีนประเภทต่าง ๆ	12
รูปที่ 2.5 ลักษณะของหน่วยเซลล์ของพอลิเอทิลีน	13
รูปที่ 2.6 สูตรโครงสร้างของเซตูลอส	17
รูปที่ 2.7 ลักษณะการจัดเรียงตัวของเส้นใยเซตูลอส	18
รูปที่ 2.8 โครงสร้างของเฮมิเซลลูโลส	19
รูปที่ 2.9 ตัวอย่างโครงสร้างทางเคมีของลิกนินของไม้เนื้ออ่อน	19
รูปที่ 2.10 โครงสร้างของสารช่วยผสม (PE-g-MA)	23
รูปที่ 2.11 การเกิดปฏิกิริยาของเส้นใยเซตูลอสที่ทำการปรับสภาพ ผิวด้วย PE-g-MA	24
รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งแรงดึงกับปริมาณสาร ช่วยผสม (PE-g-MA) ปริมาณ 0, 2, 3, 4 และ 5 % โดยน้ำหนัก ต่อน้ำหนักเส้นใย	31
รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าร้อยละการยืดออก ณ จุดขาดกับ ปริมาณสารช่วยผสม (PE-g-MA) ปริมาณ 0, 2, 3, 4 และ 5 % โดยน้ำหนักต่อน้ำหนักเส้นใย	32
รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ามอดุลัสกับปริมาณสารช่วยผสม (PE-g-MA) ปริมาณ 0, 2, 3, 4 และ 5 % โดยน้ำหนัก ต่อน้ำหนักเส้นใย	33
รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งแรงกระแทกกับปริมาณสาร ช่วยผสม (PE-g-MA) ปริมาณ 0, 2, 3, 4 และ 5 % โดยน้ำหนัก ต่อน้ำหนักเส้นใย	34
รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งกับปริมาณสารช่วยผสม (PE-g-MA) ปริมาณ 0, 2, 3, 4 และ 5 % โดยน้ำหนัก ต่อน้ำหนักเส้นใย	35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำกับปริมาณสารช่วยผสม (PE-g-MA) ปริมาณ 0, 2, 3, 4 และ 5 % โดยน้ำหนักค่อน้ำหนักเส้นใย	36
รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอุณหภูมิการหลอมเหลวผลึก (T_m) และอุณหภูมิการตกผลึก (T_c) กับปริมาณสารช่วยผสม (PE-g-MA) ปริมาณ 0, 2, 3, 4 และ 5 % โดยน้ำหนักค่อน้ำหนักเส้นใย	37
รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าองศาความเป็นผลึกกับปริมาณสารช่วยผสม (PE-g-MA) ปริมาณ 0, 2, 3, 4 และ 5 % โดยน้ำหนักค่อน้ำหนักเส้นใย	38
รูปที่ 4.9ก ภาพถ่าย SEM แสดงลักษณะพื้นผิวชิ้นงานที่แตกหักของคอมพอสิตที่ไม่ได้เติมปริมาณสารช่วยผสม (PE-g-MA)	39
รูปที่ 4.9ข ภาพถ่าย SEM แสดงลักษณะพื้นผิวชิ้นงานที่แตกหักของคอมพอสิตที่เติมปริมาณสารช่วยผสม (PE-g-MA) 2% โดยน้ำหนักค่อน้ำหนักเส้นใยฝักคอบชวา	39
รูปที่ 4.9ค ภาพถ่าย SEM แสดงลักษณะพื้นผิวชิ้นงานที่แตกหักของคอมพอสิตที่ไม่ได้เติมปริมาณสารช่วยผสม (PE-g-MA) 3% โดยน้ำหนักค่อน้ำหนักเส้นใยฝักคอบชวา	40
รูปที่ 4.9ง ภาพถ่าย SEM แสดงลักษณะพื้นผิวชิ้นงานที่แตกหักของคอมพอสิตที่ไม่ได้เติมปริมาณสารช่วยผสม (PE-g-MA) 4% โดยน้ำหนักค่อน้ำหนักเส้นใยฝักคอบชวา	40
รูปที่ 4.9จ ภาพถ่าย SEM แสดงลักษณะพื้นผิวชิ้นงานที่แตกหักของคอมพอสิตที่ไม่ได้เติมปริมาณสารช่วยผสม (PE-g-MA) 5% โดยน้ำหนักค่อน้ำหนักเส้นใยฝักคอบชวา	41
รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งแรงดึงกับปริมาณเส้นใยฝักคอบชวา เมื่อเติมปริมาณสารช่วยผสม (PE-g-MA) 3% โดยน้ำหนักค่อน้ำหนักเส้นใย	42
รูปที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าร้อยละการยืดออก ณ จุดขาดกับปริมาณเส้นใยฝักคอบชวา เมื่อเติมปริมาณสารช่วยผสม (PE-g-MA) 3% โดยน้ำหนักค่อน้ำหนักเส้นใย	43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ามอดุลัสกับปริมาณเส้นใย ฝักตบชวา เมื่อเติมปริมาณสารช่วยผสม (PE-g-MA) 3% โดย น้ำหนักต่อน้ำหนักเส้นใย	44
รูปที่ 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความทนแรงกระแทกกับปริมาณ เส้นใยฝักตบชวา เมื่อเติมปริมาณสารช่วยผสม (PE-g-MA) 3% โดยน้ำหนักต่อน้ำหนักเส้นใย	45
รูปที่ 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งที่ผิวกับปริมาณเส้นใย ฝักตบชวา เมื่อเติมปริมาณสารช่วยผสม (PE-g-MA) 3% โดย น้ำหนักต่อน้ำหนักเส้นใย	46
รูปที่ 4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดซับน้ำกับปริมาณเส้นใย ฝักตบชวา เมื่อเติมปริมาณสารช่วยผสม (PE-g-MA) 3% โดย น้ำหนักต่อน้ำหนักเส้นใย	47
รูปที่ 4.16 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอุณหภูมิการหลอมเหลวผลึก (T_m) และอุณหภูมิการตกผลึก (T_c) กับปริมาณเส้นใยฝักตบชวา เมื่อเติมปริมาณสารช่วยผสม (PE-g-MA) 3% โดยน้ำหนัก ต่อน้ำหนักเส้นใย	48
รูปที่ 4.17 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าองศาความเป็นผลึกกับปริมาณเส้นใย ฝักตบชวา เมื่อเติมปริมาณสารช่วยผสม (PE-g-MA) 3% โดย น้ำหนักต่อน้ำหนักเส้นใย	49
รูปที่ 4.18 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งแรงดึงกับขนาดเส้นใย ฝักตบชวา เมื่อเติมปริมาณสารช่วยผสม (PE-g-MA) 3% โดย น้ำหนักต่อน้ำหนักเส้นใย	50
รูปที่ 4.19 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าร้อยละการยืดออก ณ จุดขาดกับ ขนาดเส้นใยฝักตบชวา เมื่อเติมปริมาณสารช่วยผสม (PE-g-MA) 3% โดยน้ำหนักต่อน้ำหนักเส้นใย	51
รูปที่ 4.20 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ามอดุลัสกับขนาดเส้นใย ฝักตบชวา เมื่อเติมปริมาณสารช่วยผสม (PE-g-MA) 3% โดย น้ำหนักต่อน้ำหนักเส้นใย	52

สารบัญญภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.21 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความทนแรงกระแทกกับขนาดเส้นใยฝักคอบชาว เมื่อเติมปริมาณสารช่วยผสม (PE-g-MA) 3% โดยน้ำหนักต่อน้ำหนักเส้นใย	53
รูปที่ 4.22 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งที่ผิวกับขนาดเส้นใยฝักคอบชาว เมื่อเติมปริมาณสารช่วยผสม (PE-g-MA) 3% โดยน้ำหนักต่อน้ำหนักเส้นใย	54
รูปที่ 4.23 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดซึมน้ำกับขนาดเส้นใยฝักคอบชาว เมื่อเติมปริมาณสารช่วยผสม (PE-g-MA) 3% โดยน้ำหนักต่อน้ำหนักเส้นใย	55
รูปที่ 4.24 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอุณหภูมิการหลอมเหลวผลึก (T_m) และอุณหภูมิการตกผลึก (T_c) กับขนาดเส้นใยฝักคอบชาว เมื่อเติมปริมาณสารช่วยผสม (PE-g-MA) 3% โดยน้ำหนักต่อน้ำหนักเส้นใย	56
รูปที่ 4.25 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าองศาความเป็นผลึกกับขนาดเส้นใยฝักคอบชาว เมื่อเติมปริมาณสารช่วยผสม (PE-g-MA) 3% โดยน้ำหนักต่อน้ำหนักเส้นใย	57

บทที่ 1

บทนำ

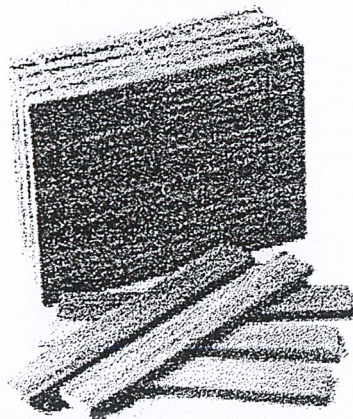
1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการพิเศษ

ปัจจุบันประเทศไทยมีการใช้ไม้จำนวนมากผลิตเป็นเฟอร์นิเจอร์และสินค้าตกแต่ง เนื่องจากไม้มีความสวยงามและแข็งแรง แต่ข้อเสียของการใช้ไม้เป็นผลิตภัณฑ์เฟอร์นิเจอร์และสินค้าตกแต่ง คือต้องสูญเสียทรัพยากรธรรมชาติที่สำคัญได้แก่ป่าไม้ ซึ่งช่วยรักษาสมดุลของระบบนิเวศน์ ปัญหาตัดไม้ทำลายป่าก่อให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมและปัญหาหามลพิษอื่น ๆ ตามมา นอกจากนี้ไม้ยังมีข้อด้อยอื่น ๆ เช่น ไม้มีน้ำหนักมาก ดูดซับน้ำ และผุกร่อนได้ง่าย ถูกทำลายได้โดยมอด ปลวก และแมลงต่าง ๆ วิธีการแก้ปัญหาอย่างหนึ่งคือการเลือกใช้วัสดุอื่นที่สามารถใช้ทดแทนไม้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ต่างๆได้ เพื่อลดปริมาณการใช้ไม้ให้น้อยลง

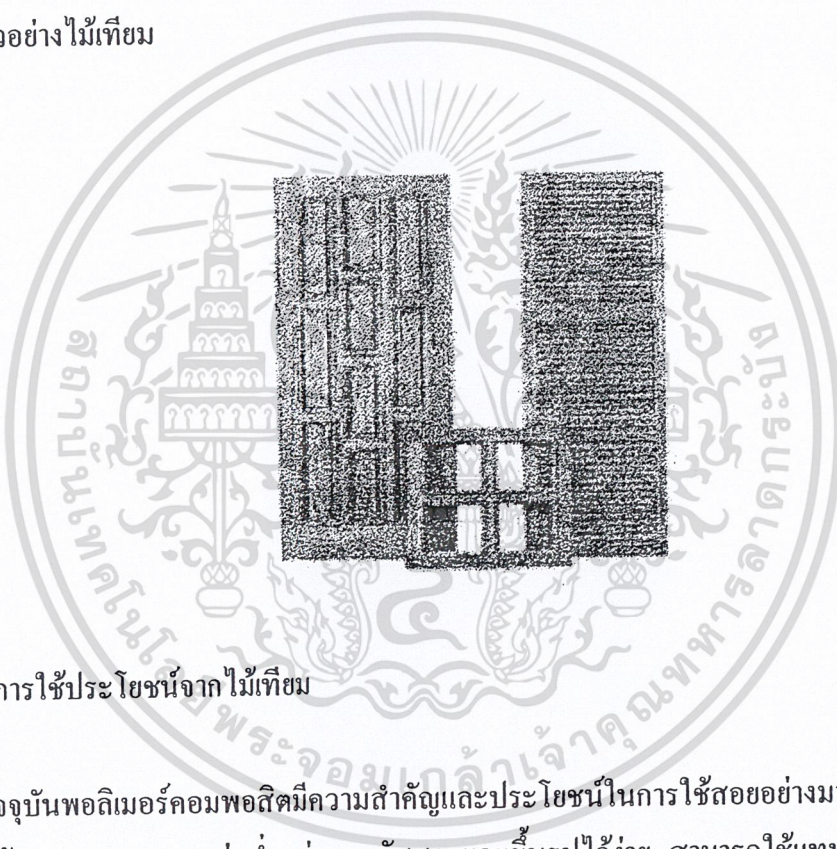
พลาสติกจัดเป็นวัสดุสังเคราะห์ที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายซึ่งยังคงมีการพัฒนาปรับปรุงคุณสมบัติอยู่เสมอ เพื่อให้ได้พลาสติกที่มีคุณภาพดียิ่งขึ้นและต้นทุนการผลิตต่ำ จากการศึกษาพบว่าแนวทางหนึ่งในการปรับปรุงสมบัติของพลาสติกและลดต้นทุนการผลิตคือ การทำพอลิเมอร์คอมพอสิต (Polymer composites)

ผักตบชวา (Water Hyacinth) เป็นพืชน้ำ ซึ่งมีดอกสวยงามจึงมีผู้นำไปขยายพันธุ์ในแหล่งน้ำจืดตามที่ต่าง ๆ จนทำให้ผักตบชวาแพร่กระจายไปสู่แหล่งน้ำจืดทั่วโลก ซึ่งแพร่กระจายไปทุกหนทุกแห่งสร้างปัญหาอย่างมากต่อการชลประทาน การสัญจรทางน้ำ การประมง การเกษตรและการสาธารณสุข ดังนั้นจึงสมควรอย่างยิ่งที่จะนำผักตบชวามาใช้ประโยชน์ ไม่ว่าจะเป็นทางการเกษตรหรืออุตสาหกรรมในขณะที่ประเทศประสบปัญหาสิ่งแวดล้อมอย่างมาก

ดังนั้นโครงการพิเศษนี้จึงมุ่งที่จะศึกษาการผลิตวัสดุที่สามารถนำมาทดแทนการใช้ไม้จากป่าไม้ซึ่งวัสดุชนิดนี้เป็นพอลิเมอร์คอมพอสิต ระหว่างพลาสติกกับเส้นใยธรรมชาติได้แก่ผักตบชวา เนื่องจากหาได้ง่าย ไม่เป็นที่ต้องการของสังคมและสามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติและยังช่วยกำจัดผักตบชวาที่มีมากเกินไปในแหล่งน้ำธรรมชาติรักษาสิ่งแวดล้อมและช่วยในการรักษาทรัพยากรป่าไม้



รูปที่ 1.1 ตัวอย่างไม้เทียม



รูปที่ 1.2 การใช้ประโยชน์จากไม้เทียม

ปัจจุบันพอลิเมอร์คอมพอสิตมีความสำคัญและประโยชน์ในการใช้สอยอย่างมาก เนื่องจากมีน้ำหนักเบา ความหนาแน่นต่ำ ค่ามอดุลัสสูง และขึ้นรูปได้ง่าย สามารถใช้แทนโลหะได้ในหลายการใช้งาน พอลิเมอร์คอมพอสิตเกิดจากการผสมระหว่างพอลิเมอร์เมทริกซ์กับวัสดุเสริมแรง จำพวกเส้นใย พอลิเมอร์เมทริกซ์สามารถใช้ได้ทั้งเทอร์โมพลาสติกและเทอร์โมเซต เช่น พอลิเอสเทอร์ (Polyester) อีพอกซี (Epoxy) เป็นต้น วัสดุเสริมแรงที่นิยมใช้คือเส้นใยสังเคราะห์ เช่น เส้นใยแอสเบสตอส เส้นใยคาร์บอน เส้นใยแก้ว เนื่องจากมีน้ำหนักเบาและให้ความแข็งแรงสูง อย่างไรก็ตาม เนื่องจากเส้นใยสังเคราะห์มีราคาแพง ทำให้มีต้นทุนการผลิตพอลิเมอร์คอมพอสิตสูง จึงมีผู้พยายามหาวัสดุธรรมชาติจำพวกเส้นใยมาใช้ทดแทน จากการศึกษาพบว่าเส้นใยธรรมชาติให้สมบัติต่าง ๆ เทียบเท่าหรือดีกว่าคอมพอสิตจากเส้นใยสังเคราะห์และมีต้นทุนการผลิตต่ำกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในปี ค.ศ. 1989 Raj และคณะ [1] ได้ทำการศึกษาคอมพอสิตจากชานอ้อย (Bagasse) โดยใช้พอลิเมอร์เมตริกซ์ คือ พอลิเอทิลีนชนิดต่าง ๆ ได้แก่ พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (High density polyethylene ,HDPE) , พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลาง (Medium density polyethylene ,MDPE) และ พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น (Linear low density polyethylene ,LLDPE) ที่ปริมาณชานอ้อยต่าง ๆ กัน ตั้งแต่ 0-20 % (W/W) โดยตัวอย่างทำการอัดแบบ (Compression molding) ที่ 170°C เป็นเวลา 10 นาที ที่ความดันต่ำกว่า 18.6 MPa พบว่าความแข็งแรงดึง ที่ดีที่สุดอยู่ที่ปริมาณชานอ้อย 15% โดยน้ำหนัก เมื่อเปรียบเทียบพอลิเมอร์เมตริกซ์ทั้ง 3 ชนิดพบว่า LLDPE ให้ค่าความแข็งแรงดึงสูงที่สุด เนื่องจาก LLDPE สามารถไหลได้ดีที่อุณหภูมิสูง เป็นสาเหตุให้การเปียกบนเส้นใย (Fiber wetting) ดี พอลิเมอร์สามารถยึดเกาะกับเส้นใยได้ดี มีช่องว่างระหว่างพอลิเมอร์กับเส้นใยน้อย ทำให้คอมพอสิตมีสมบัติเชิงกลที่ดีสำหรับอัตราส่วนของพอลิเมอร์ พบว่า ค่าความแข็งแรงดึง สูงขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณพอลิเอทิลีน โดยพบว่า HDPE มีค่าความแข็งแรงดึง สูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับอัตราส่วนเดียวกัน ค่า Elongtion at break เพิ่มขึ้นอย่างคงที่เมื่อมีการเติมชานอ้อย ส่วน LLDPE และ MDPE จะมีค่า Elongation at break สูงกว่า HDPE ที่อัตราส่วนเดียวกันแต่มีแนวโน้มการเพิ่มที่ไม่สม่ำเสมอ ค่ามอดุลัส ของ HDPE เพิ่มขึ้นเมื่อเติมเส้นใย 5% และเมื่อเติมเส้นใยมากกว่านี้ค่ามอดุลัสเกือบจะไม่เปลี่ยนแปลง LLDPE และ MDPE มีการเพิ่มของค่ามอดุลัส มากกว่า HDPE ที่สัดส่วนเดียวกัน ส่วนค่าความแข็งแรงกระแทกลดลงเล็กน้อยเมื่อมีการเติมพอลิเอทิลีน ดังแสดงในตารางที่ 1.1 เมื่อเปรียบเทียบค่าความทนทานต่อความชื้นของชานอ้อยคอมพอสิตกับ HDPE และไม่ได้ทำการคอมพอสิตพบว่า ตัวอย่างที่มีการคอมพอสิตจะมีความทนทานต่อความชื้นสูงกว่า โดยพิจารณาได้จากค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับความชื้นและความเสถียรของรูปร่าง

ตารางที่ 1.1 สมบัติเชิงกลของคอมพอลิตจากพอลิเอทิลีนและซานอ้อย [1]

Properties	Polyethylene(wt%)	0	5	10	15	20
Tensile strength ($10^6 \times \text{Pa}$)	(a)	4.5	5.0	7.3	10.1	9.6
	(b)	-	6.1	7.8	9.7	9.2
	(c)	-	13.7	14.6	15.0	14.2
Elongation at break (%)	(a)	0.9	1.0	1.2	1.3	1.8
	(b)	-	0.8	1.2	1.8	1.4
	(c)	-	2.0	2.5	2.1	2.0
Tensile modulus ($10^8 \times \text{Pa}$)	(a)	6.9	10.1	9.2	9.9	9.7
	(b)	-	8.8	9.7	9.6	9.8
	(c)	-	9.5	11.0	10.5	10.6
Izod-impact energy (J)	(a)	0.05	-	-	-	0.03
	(b)	-	-	-	-	0.04
	(c)	-	-	-	-	0.04

(a) HDPE ; (b) MDPE ; (C) LLDPE

Woodhams และคณะ [2] ได้ทำการศึกษาพอลิโอฟีนที่เสริมแรงด้วยเส้นใยที่มีความยาวต่อเส้นผ่านศูนย์กลาง (Aspect ratio) ประมาณ 100 โดยใช้กรดสเตียริก (Stearic acid) และอีโพลีน (Epolene) เป็นสารช่วยให้เส้นใยกระจายตัวใน HDPE และ PP แล้วขึ้นรูปด้วยเครื่องฉีดขึ้นรูป พบว่าเมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพด้วยความแข็งแรงต่อน้ำหนักแล้ว คอมพอลิตจากเยื่อไม้จะมีความแข็งแรงเท่ากับ หรือมากกว่าวัสดุชนิดอื่นๆ ที่ใช้ในการก่อสร้าง เช่น เหล็กกล้า อะลูมิเนียม และคอมพอลิตจากใยแก้ว ในขณะที่ราคาถูกกว่า

Yam และคณะ [3] ได้ทำการศึกษาการเตรียมคอมพอลิตของ HDPE จากขบวนการกับเส้นใยไม้สน โดยศึกษาเส้นใยที่ไม่ได้ปรับปรุง นำมาปรับปรุงด้วยความร้อนและอะเซทิลเลต (Acetylate) ทำการผสมด้วยเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนคู่ พบว่าสามารถผสมกันได้ถึงร้อยละ 60 โดยน้ำหนัก แต่ถ้าเพิ่มปริมาณเส้นใย ค่าความแข็งแรงจะลดลง และเส้นใยที่ไม่ได้ผ่านการปรับปรุงด้วยความร้อนและอะเซทิลเลต จะให้ค่าดีกว่าเส้นใยที่ปรับปรุงด้วยความร้อน สำหรับค่ามอดูลัส ค่าความคงทนต่อแรงกระแทก และค่าการยึดติด จะไม่ขึ้นกับการปรับปรุงเส้นใย ค่ามอดูลัสจะเพิ่มตามปริมาณเส้นใย และส่งผลให้ค่าการดึงยึดลดลง ส่วนรูปแบบและอุณหภูมิการผสมจะมีผลต่อสมบัติเชิงกลที่ได้ พบว่าถ้าใช้อุณหภูมิมากกว่า 200 องศาเซลเซียส จะทำให้ลิกนินเริ่มเสื่อมสภาพ และถ้าใช้เวลานาน คอมพอลิตที่ได้จะมีสีคล้ำ เนื่องจากการเสื่อมสภาพโดยความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

George และ คณะ [4] ได้ศึกษาสมบัติเชิงกลของ LDPE ที่เสริมแรงด้วยเส้นใยสับประรด โดยสามารถเติมเส้นใยเซลลูโลสลงไปได้ถึงร้อยละ 30 มีการเปรียบเทียบ 2 วิธี คือการผสมแบบสารละลาย (Solution mixing) สามารถทำได้โดยนำเส้นใยสับประรดใส่ลงในสารละลายพอลิเอทิลีน และการผสมแบบหลอมเหลว (Melt mixing) สามารถเตรียมได้โดยนำเส้นใยสับประรดใส่ลงในพอลิเอทิลีนที่กำลังหลอมอยู่ในเครื่อง Brabender จากนั้นนำคอมพอสิตที่ได้จากแต่ละวิธี มาทำการทดสอบสมบัติเชิงกลและความยืดหยุ่น พบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยจะทำให้ค่าความทนแรงดึงและมอดุลัสเพิ่มขึ้น โดยสมบัติที่ได้จากคอมพอสิตที่เตรียมโดยวิธีการผสมแบบสารละลายจะมีค่าสูงกว่า และเส้นใยที่ขนาดความยาวประมาณ 10 มิลลิเมตร จะให้สมบัติของค่าความทนแรงดึงและมอดุลัสสูงกว่าเส้นใยที่มีความยาว 2 มิลลิเมตร และ 6 มิลลิเมตร นอกจากนี้การจัดเรียงตัวของเส้นใยจะมีผลต่อค่าความทนแรงดึง และมอดุลัสด้วย ถ้าเส้นใยมีการจัดเรียงตัวในทิศทางตามแนวแรงคอมพอสิตที่ได้จะมีค่าความทนแรงดึงและมอดุลัสสูงกว่าเส้นใยที่มีการจัดเรียงตัวอย่างกระจัดกระจายและเรียงตัวในทิศทางตั้งฉากกับแนวแรง

Joseph และคณะ [5] ได้ทำการศึกษาสมบัติด้านความทนแรงดึงของคอมพอสิตที่เกิดจากพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE) กับเส้นใยป่านศรนารายณ์ (Sisal fiber) โดยเครื่องทดสอบแรงดึง พบว่าปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่าความทนแรงดึง ได้แก่กระบวนการในการผสม ความยาวเส้นใย ปริมาณเส้นใย และลักษณะการจัดเรียงตัวของเส้นใย โดยวิธีการผสมแบบสารละลาย (Solution mixing) จะทำให้เกิดการเสียหายของเส้นใยน้อยกว่าการผสมแบบหลอมเหลว (Melt mixing) ซึ่งเมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใย ค่าความทนแรงดึงจะเพิ่มขึ้น แต่ค่าเปอร์เซ็นต์การดึงยืดจะลดลง และเมื่อนำคอมพอสิตมาฉีดขึ้นรูปใหม่จะทำให้ค่าเปอร์เซ็นต์การดึงยืดเพิ่มขึ้นเนื่องจากความร้อนในระหว่างกระบวนการแปรรูปจะทำให้เกิดการสลายตัวของพันธะของพื้นผิวเส้นใย จึงทำให้เส้นใยยึดติดกับพอลิเมอร์ได้ดีขึ้น

Nagaty และคณะ [6] ได้ทำการศึกษาพอลิเมอร์คอมพอสิตจากเส้นใยธรรมชาติ โดยทำการต่อกิ่ง เมทิลเมทาคริเลต (Methyl Methacrylate, MMA) บนเส้นใยซานอ้อยและใช้ Sodium bisulphite-soda lime เป็นตัวริเริ่มปฏิกิริยา พบว่าสมบัติของพอลิเมอร์คอมพอสิตขึ้นอยู่กับปริมาณและขนาดของเส้นใยซานอ้อย และพบว่าการเติมพอลิเมอร์ที่ไม่ชอบน้ำ (Hydrophilic polymers) จะทำให้เส้นใยซานอ้อยมีความทนทานต่อการดูดน้ำมากกว่าการเติมพอลิเมอร์ที่ชอบน้ำ (Hydrophobic polymers)

พิชัย จงสกุลชัยและคณะ [7] ทำการศึกษาขุยมะพร้าวและฟางข้าวซึ่งเป็นวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร ใช้ปรับปรุงสมบัติทางกายภาพของพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE) และพอลิพรอพิลีน (PP) พบว่าขุยมะพร้าวทำให้ HDPE และ PP มีค่ามอดุลัสสูงขึ้น ความแข็งแรงไม่เปลี่ยนแปลง ค่าเปอร์เซ็นต์ความยืดที่จุดขาดเพิ่มขึ้น ฟางข้าวทำให้ความแข็งแรงดึงและมอดุลัสเริ่มต้นสูงขึ้น อย่างไรก็ตามถ้าใช้สารตัวเติมมากกว่า 10 phr จะทำให้มีปัญหาในการขึ้นรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Kokta และคณะ [8] ได้ศึกษาสมบัติเชิงกลของพอลิพรอพิลีนที่เติมด้วยผงไม้ ซึ่งเคลือบด้วยอีโพลีนเพื่อช่วยกระจายตัวโดยใช้พอลิเมทิลีน พอลิฟีนิลไอโซไซยานเนต (Polymethylene polyphenylisocyanate ; PMPPIC) ร่วมกับอีโพลีน ค่าความทนแรงดึงจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณเส้นใย แต่การปรับปรุงเส้นใยจะไม่มีผลต่อค่ามอดูลัส ค่ามอดูลัสจะขึ้นอยู่กับ Aspect ratio และปริมาณเส้นใย

Simpson และคณะ [9] ได้ศึกษาถึงการนำขวดพอลิพรอพิลีน (PP) แบบหลายชั้น (Multi-layer) ที่ใช้แล้วมาผสมกับเส้นใยไม้สน โดยศึกษาสมบัติเชิงกลเปรียบเทียบกับคอมพอสิตจาก PP บริสุทธิ์ที่ผลิตขึ้นมาใหม่ พบว่าในขวด PP ที่ใช้ จะประกอบด้วย EVA ร้อยละ 3.75 กวาร์ร้อยละ 1.75 และพอลิเมอร์ร่วมของเอทีลีนและพรอพิลีนร้อยละ 94.5 นำมาผสมกับเส้นใยโดยใช้เครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนคู่ และขึ้นรูปโดยการอัด จากการทดลองค่าความทนแรงดึงจะเพิ่มขึ้นเมื่อใช้เส้นใยร้อยละ 30 แล้วลดลงที่ปริมาณเส้นใยร้อยละ 40 และ ร้อยละ 50 เส้นใยที่จัดเรียงตัวตั้งฉากกับแนวแรงจะมีค่าความทนแรงดึงต่ำกว่าที่จัดเรียงตามแนวแรง และที่ปริมาณเส้นใยร้อยละ 30 คอมพอสิตจาก PP ที่ใช้แล้วจะมีค่าความทนแรงดึงสูงกว่าคอมพอสิตจาก PP ใหม่ แต่เมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยจะได้ค่าความทนแรงดึงใกล้เคียงกัน ส่วนค่าการดึงยืดจะลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใย ขณะที่ค่ามอดูลัสและค่าความทนแรงกระแทกจะเพิ่มขึ้น พบว่าคอมพอสิตจาก PP ที่ใช้แล้วจะมีสมบัติและความเสถียรของรูปร่างที่ดีกว่าคอมพอสิตจาก PP ใหม่ เนื่องจากหมู่ EVA ในขวดจะช่วยการยึดติดกับเส้นใยโดยไม่ต้องเติมสารตัวเติมอื่นๆ

Bashar และคณะ [10] ได้เตรียมคอมพอสิตจากไม้ไผ่ และเมทิลเมทาไครเลต (Methyl methacrylate ; MMA) โดยทำการฉายรังสีแกมมา Co-60 ที่ 1 Mrad ลงบนเส้นใยไผ่ที่ขัด แล้วจุ่มลงในสารละลาย MMA และเมทานอล นอกจากนี้มีการใส่สารเติมแต่งชนิดต่าง ๆ ตัวอย่างเช่น *N*-vinyl pyrrolidone (NVP), tripropylene glycol diacrylate (TPGDA), trimethylol propane triacrylate (TMPT), LiNO₃, และยูเรีย ลงในมอนอเมอร์เพื่อเป็นการเพิ่มความแข็งแรงดึง แล้วทำการหาเปอร์เซ็นต์ของพอลิเมอร์ที่ถูกบรรจุ (Polymer loading) อยู่ในคอมพอสิต พบว่าสารเติมแต่งที่ให้ค่าความแข็งแรงดึงสูงที่สุดคือ Lithium รองลงมาคือ TMPTA และเมื่อใช้ TMPTA + Li เป็นสารเติมแต่งร่วมจะให้ค่าความแข็งแรงดึงสูงที่สุด

นันทพร พันธุ์ภักดีและคณะ [11] ได้ทำโครงการพิเศษในเรื่อง วัสดุคอมพอสิตจากพอลิพรอพิลีนและเส้นใยอ้อย โดยศึกษาสมบัติของพอลิเมอร์คอมพอสิต ซึ่งใช้เส้นใยอ้อยเป็นสารเสริมแรงในพอลิพรอพิลีน โดยเส้นใยอ้อยจะถูกปรับสภาพผิวเพื่อปรับปรุงการกระจายตัวและการยึดติดในพอลิเมอร์ด้วยวิธีการใช้ อีโพลีนแวกซ์ (Epolene wax) 10% การฉายรังสี 10 kGy และการใช้ TMPTA 10% เป็นมัดคิฟังก์ชั้นนัลมอนอเมอร์ พบว่าคอมพอสิตที่มีเส้นใยอ้อยปริมาณ 10% โดยน้ำหนัก ทั้งที่ปรับและไม่ปรับสภาพผิวนั้น มีแนวโน้มที่จะมีสมบัติในด้านต่าง ๆ ดีกว่าพอลิพรอพิ-

ถิ่น กล่าวคือ พอลิเมอร์คอมพอสิตสามารถทนทานต่อแรงดึง แรงกระแทก การขีดถู และความร้อนได้ดีขึ้น

เฉลิมพล อิทธิวิวัฒน์และคณะ [12] ทำการศึกษาเส้นใยเซลลูโลสคือหญ้าสาบหลวง (*Typha angustifolia*) เป็นสารเสริมแรงในพอลิพรอสตีน (PP) โดยผสมเส้นใยแก้วและใช้สารจำพวก Silane เป็นสารคู่ควบ (Coupling agent) จากการทดลองพบว่าเส้นใยช่วยเพิ่มความแข็งแรงและค่าความทนทานต่อแรงกระแทกของคอมพอสิต แต่มีแนวโน้มที่จะลดค่าการทนแรงดึงและค่าการยืดที่จุดขาด ซึ่งปัจจุบันยังทำการศึกษารับปรุงสมบัติและการใช้งานอื่น ๆ เช่นใช้ในการทำแผ่น MDF (Medium Density Fiber Board) และใช้เทอร์โมเซต เช่น UF, MF เป็นตัวประสาน

ฉะภัทรพงษ์ สุวรรณชัยและคณะ [13] ได้ศึกษาการใช้ประโยชน์จากเส้นใยสาบหลวงเป็นสารตัวเติมในพอลิพรอสตีน โดยทำการศึกษาดังผลของสารตัวเติม และสารเชื่อมโยงต่างชนิดกัน คือ Silane A-174 และ MAH ในปริมาณ 0, 4 และ 6% โดยน้ำหนักของเส้นใย จากการทดลองพบว่า สมบัติทางความร้อนและทางเชิงกลโดยรวมของพอลิพรอสตีนคอมพอสิตทั้งที่มีการใช้และไม่ใช้สารเชื่อมโยง จะให้ประสิทธิภาพลดลง เมื่อเทียบกับพอลิพรอสตีนที่ไม่มีเส้นใยสาบหลวงเป็นสารตัวเติม

จากผลงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าพอลิเมอร์คอมพอสิต จะให้สมบัติเชิงกลที่ดีกว่าวัสดุทั่วไป คือ ค่าความแข็งแรงดึงและค่ามอดุลัสจะสูงกว่าวัสดุอื่นๆ โดยเนื้อหาที่สำคัญของงานวิจัยที่กล่าวข้างต้น สามารถเขียนสรุปได้ดังนี้

1. การเพิ่มปริมาณเส้นใย จะส่งผลให้ค่าความแข็งแรงดึง และค่ามอดุลัสมีค่าสูงขึ้น
2. คอมพอสิตที่มีทิศทางการจัดเรียงตัวในแนวเดียวกัน จะมีสมบัติที่ดีกว่าคอมพอสิตที่มีทิศทางการจัดเรียงตัวแบบตั้งฉาก
3. การผสมพอลิเมอร์คอมพอสิตโดยใช้เครื่องอัดรีด จะให้สมบัติที่ดีกว่าการผสมแบบใช้เครื่องผสมแบบลูกกอล์ฟ

1.3 วัตถุประสงค์ของโครงการพิเศษ

1. เพื่อศึกษาอัตราส่วนของปริมาณเส้นใยผักตบชวาต่อพอลิเมอร์เพื่อให้ได้ไม้เทียมที่มีสมบัติดีที่สุด
2. เพื่อศึกษาผลของสารช่วยผสมที่มีผลต่อสมบัติต่าง ๆ
3. เพื่อศึกษาผลของขนาดเส้นใยผักตบชวาที่มีผลต่อสมบัติต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ขอบเขตของโครงการพิเศษ

1. ศึกษาสภาวะการขึ้นรูปที่เหมาะสมในการผลิตไม้เทียมพอลิเมอร์คอมพอสิตจากพอลิเอทิลีน โดยใช้ผักตบชวาเป็นสารเสริมแรง
2. ศึกษาผลของอัตราส่วนของเส้นใยผักตบชวาต่อพอลิเมอร์ ที่มีต่อสมบัติต่าง ๆ เช่น สมบัติเชิงกล สมบัติทางความร้อนและสัณฐานวิทยา
3. ศึกษาผลของสารช่วยผสมและปริมาณที่เหมาะสม ที่ทำให้พอลิเมอร์คอมพอสิตมีสมบัติที่ดีขึ้น
4. ศึกษาผลของขนาดเส้นใยผักตบชวาที่มีต่อสมบัติต่าง ๆ

1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถผลิตพอลิเมอร์คอมพอสิตที่เสริมแรงด้วยเส้นใยผักตบชวาในอัตราส่วนที่เหมาะสม
2. ทราบถึงขนาด ปริมาณเส้นใยและสารช่วยผสมที่เหมาะสมเพื่อให้ได้พอลิเมอร์คอมพอสิตมีสมบัติเชิงกลที่เหมาะสมที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

2.1 พอลิเมอร์คอมพอสิต (Polymer Composites)

พอลิเมอร์คอมพอสิต คือ วัสดุที่ประกอบด้วยส่วนประกอบอย่างน้อย 2 ชนิด ที่มีสมบัติต่างกัน โดยจะแยกกันอยู่คนละวัฏภาค และทำให้ได้วัสดุที่มีสมบัติที่ดีขึ้น โดยทั่วไปจะนิยมทำเพื่อปรับปรุงความแข็งแรง โมดูลัส ความเสถียรในรูปร่าง และลดความหนาแน่น พอลิเมอร์คอมพอสิตจะประกอบด้วย 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนเมตริกซ์ (Matrix phase) และส่วนเสริมแรง (Reinforcement phase) โดยคอมพอสิตสามารถแบ่งได้เป็น 3 ชนิด ตามวัสดุที่ผสมหรือลักษณะการขึ้นรูปดังนี้

1. คอมพอสิตแบบอนุภาค (Particulate composites)

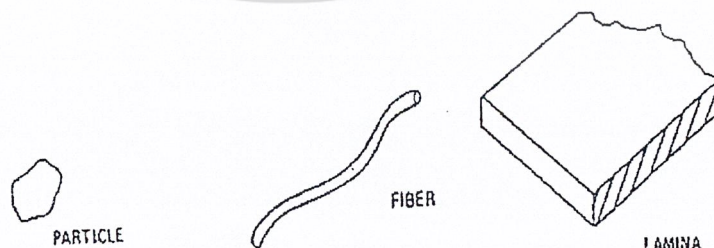
เป็นคอมพอสิตที่เกิดจากการกระจายอนุภาคในเมตริกซ์ ซึ่งอนุภาคจะมีรูปร่างการจัดเรียงตัวและขนาดต่างๆ กัน อาจเป็นผง เม็ด หรือผลึก

2. คอมพอสิตแบบแผ่น (Laminar composites)

เป็นคอมพอสิตที่เกิดจากการยึดติดระหว่างแผ่นวัสดุกับเมตริกซ์ ในลักษณะคล้ายแซนวิชอัดด้วยความดันสูง ซึ่งจะได้เป็นชั้นๆ

3. คอมพอสิตแบบเส้นใย (Fibrous composites)

เกิดจากเส้นใยเสริมแรงในเมตริกซ์ ซึ่งเส้นใยอาจเป็นเส้นใยคาร์บอน (Carbon fibers) เส้นใยอินทรีย์ (Organic fibers) เส้นใยอารามิด (Aramid fibers) เส้นใยแก้ว (Glass fibers) หรือเส้นใยธรรมชาติ (Natural fibers) ลักษณะของคอมพอสิตประเภทต่างๆ แสดงได้ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 แสดงลักษณะของคอมพอสิตประเภทต่าง ๆ [14]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. พอลิเมอร์เมตริกซ์ (Polymer matrix) เมตริกซ์เป็นส่วนที่ช่วยหล่อหุ้มและยึดส่วนเสริมแรงเข้าไว้ด้วยกัน ซึ่งโดยทั่วไปจะเป็นสารพอลิเมอร์ มักจะมีความเหนียวสูง ความแข็งแรงและมอดูลัสต่ำกว่าส่วนเสริมแรง พอลิเมอร์เมตริกซ์มีหน้าที่

- รักษาความเสถียรในรูปร่าง และขนาดของวัสดุคอมพอสิต
- รักษาการกระจายตัวของเส้นใย และแยกไม่ให้เป็นใยรวมกัน
- ทำให้วัสดุสามารถทนต่อการเสียหาย ภายใต้อุณหภูมิหรือแรงที่ระดับหนึ่ง
- สามารถกระจายและส่งถ่ายแรงที่ได้รับจากภายนอกไปยังเส้นใย
- ช่วยให้ทนทานต่อสภาพแวดล้อมและมีความเสถียรในตัวกลางต่างๆ

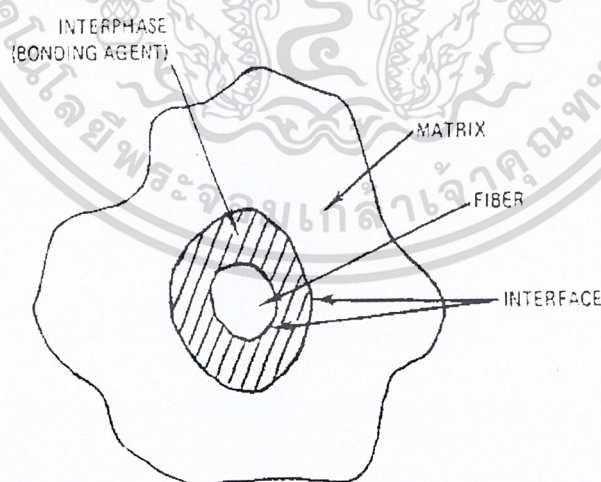
1.1 Thermosetting polymers

เมื่อขึ้นรูปแล้ว ไม่สามารถหลอมได้เมื่อให้อุณหภูมิอีกครั้ง เคมีสารตัวเดิมหรือสารเสริมแรงเพื่อปรับปรุงสมบัติความเสถียรต่อความร้อน ความต้านทานการเปลี่ยนรูปและความแข็งแรง เช่น Epoxy resin, Phenolic resin เป็นต้น

1.2 Thermoplastic polymers

สามารถทำการหลอมเหลวขึ้นรูปได้หลายครั้ง ตัวอย่างเช่น พอลิเอทิลีน (PE), พอลิพรอพิลีน (PP), พอลิสไตรีน (PS), อะคริโลไนไตรล์-บิวทาไดอีน-สไตรีน (ABS) เป็นต้น

2. ส่วนเสริมแรง (Reinforcement) มีลักษณะรูปร่างหลายแบบ อาจเป็นแผ่น เส้นใย หรืออนุภาคเล็กๆ นิยมใช้ส่วนเสริมแรงที่มีลักษณะเป็นเส้นใย (Fiber) อาจเป็นเส้นใยต่อเนื่องหรือเส้นใยสั้น



รูปที่ 2.2 แสดงการยึดเกาะระหว่างเส้นใยกับเมตริกซ์ [14]

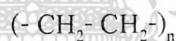
สมบัติของพอลิเมอร์คอมพอลิตขึ้นกับ

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

ในที่นี้จะนำเสนอเส้นใยที่มีในผักตบชวา เป็นส่วนเสริมแรง โดยใช้พอลิเมอร์คือพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE) เป็นส่วนเมตริกซ์ ซึ่งทำการเปรียบเทียบสมบัติของไม้เทียมที่ผลิตได้จากพอลิเมอร์แต่ละชนิด

2.2 พอลิเอทิลีน (Polyethylene, PE)

พอลิเอทิลีนเป็นพอลิเมอร์ประเภทเทอร์โมพลาสติกซึ่งหลอมแล้วสามารถนำกลับมาใช้งานใหม่ได้ประกอบด้วยสายโซ่โมเลกุลของคาร์บอนและไฮโดรเจน ซึ่งเกิดจากมอนอเมอร์ของเอทิลีน มีน้ำหนักโมเลกุล 28 เกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแบบรวมตัว (Addition Polymerization) เป็นอะลิฟาติกไฮโดรคาร์บอนโซ่ยาวมีโครงสร้างดังรูปที่ 2.3

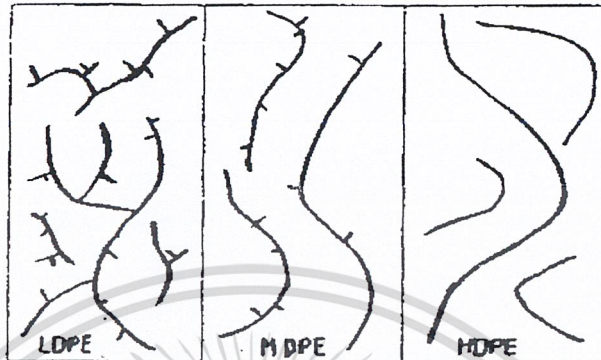


รูปที่ 2.3 แสดงโครงสร้างทางเคมีของพอลิเอทิลีน [14]

พอลิเอทิลีนสามารถผลิตได้จากวิธีใช้ความดันสูง กระบวนการซีเกลอร์ กระบวนการฟิลิปป์ และกระบวนการ Standard oil พอลิเอทิลีนที่ได้จากการผลิตต่างวิธีกันจะมีสมบัติต่างกันด้วย เช่น การผลิตโดยใช้ความดันสูงจะได้พอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ (LDPE) มีอุณหภูมิหลอมเหลว (Melting temperature, T_m) เท่ากับ 108°C การผลิตโดยใช้ความดันต่ำจะได้พอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง (HDPE) ซึ่งมีอุณหภูมิหลอมเหลวเท่ากับ 130°C ส่วนพอลิเอทิลีนที่ได้จากกระบวนการฟิลิปป์และกระบวนการ Standard oil จะมีอุณหภูมิหลอมเหลวเท่ากับ 133°C โดยสามารถแบ่งประเภทของพอลิเอทิลีนได้ 3 ประเภท ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

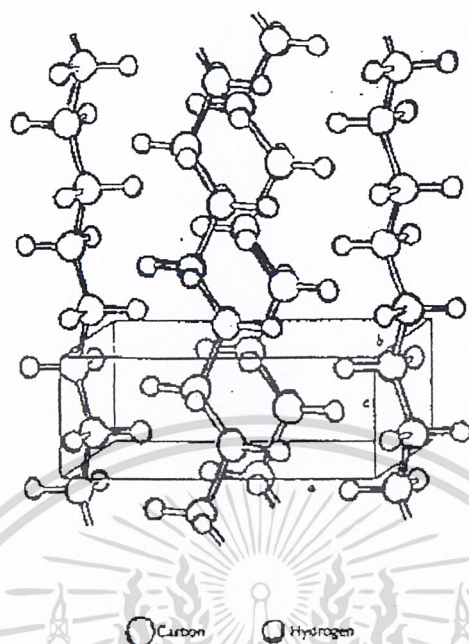
1. LDPE (Low-Density Polyethylene)
2. MDPE (Medium-Density Polyethylene)
3. HDPE (High-Density Polyethylene)



รูปที่ 2.4 แสดงลักษณะโครงสร้างของพอลิเอทิลีนประเภทต่าง ๆ [15]

ปกติความแข็งแรงของพอลิเอทิลีนมาจากส่วนที่เป็นผลึก — ความยืดหยุ่นและการยืดตัวมาจากส่วนที่เป็นอสัณฐาน ซึ่งจะพบทั้งส่วนที่เป็นผลึกและส่วนที่เป็นอสัณฐานอยู่ร่วมกัน ค่า T_g จะมีผลทางกายภาพน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับค่า T_m ซึ่ง T_m ของพอลิเอทิลีนมีค่าประมาณ 108 ถึง 130 °C โดยค่า T_m ต่ำอาจเนื่องมาจากโครงสร้างของสายโซ่หลัก ที่ยืดหยุ่นและมีความแข็งแรงระหว่างโมเลกุลที่ต่ำ

พอลิเอทิลีนมีรูปร่างโมเลกุลเป็น Planar zigzag ทำให้มีการจัดเรียงตัวของโซ่โมเลกุลได้ดี เกิดส่วนที่เป็นระเบียบมากและอัดแน่น โดยส่วนที่เป็นผลึกของพอลิเอทิลีนนี้อธิบายได้โดยใช้ ยูนิตเซลล์ (Unit cell) ซึ่งเป็นหน่วยที่เล็กที่สุดที่มีการจัดเรียงตัวต่อกันอย่างมีระเบียบใน 3 มิติ และสามารถจัดแสดงโครงสร้างหลักได้ โดยที่ Unit cell ในพอลิเอทิลีนเป็นแบบ Orthorhombic มี $a = 0.74 \text{ nm}$, $b = 0.49 \text{ nm}$, $c = 0.25 \text{ nm}$, $\alpha = \beta = \gamma = 90$ องศา ดังรูปที่ 2.5 พอลิเมอร์ต่างชนิดกันจะมีหน่วยเซลล์ต่างกันทำให้มีความสามารถในการละลาย อุณหภูมิในการหลอมและสมบัติเชิงกลแตกต่างกัน



รูปที่ 2.5 แสดงลักษณะของหน่วยเซลล์ของพอลิเอทิลีน [15]

พอลิเอทิลีนเกิดจากพอลิเมอร์ไฮดรอกซีของเอทิลีนตั้งแต่จำนวนโมเลกุลต่ำ (มีลักษณะเป็นไข) จนถึงน้ำหนักโมเลกุลสูงและความเป็นผลึกสูง ซึ่งพอลิเอทิลีนทั่ว ๆ ไปมีสมบัติดังนี้ [16]

ความถ่วงจำเพาะ	0.94 – 0.97
เปอร์เซ็นต์ความเป็นผลึก	80 – 95
อุณหภูมิของการหลอมเหลว (องศาเซลเซียส)	127 – 135
ค่าความแข็งแรงดึง (MPa)	21 – 38
ค่าความแข็งแรง (GPa)	0.41 – 1.24
เปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด	20 – 130
ค่าความแข็งแรงกระแทก (มีรอยบาก) (Jm^{-1})	27 – 1068
อุณหภูมิอ่อนตัวเมื่อได้รับความร้อน ($^{\circ}C$, at 455 kPa)	60 – 88

2.2.1 พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE) [17]

พอลิเมอร์นี้อาจเรียกว่าพอลิเอทิลีนที่มีสาขาโซ่กิ่ง (Branched polyethylene) เพราะโครงสร้างประกอบด้วยโซ่ยาวของ $-CH_2-$ ที่มีการแตกกิ่งก้านสาขาออกไปหรืออาจเรียก พอลิเอทิลีน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชนิดความดันสูง เพราะในกระบวนการผลิตต้องใช้ความดันสูงมาก พอลิเมอร์นี้มีการเตรียมครั้งแรกในปี ค.ศ. 1933 โดยฟาเชตต์และฮิบสัน (Fawcett and Gibson) ในประเทศอังกฤษ

2.2.1.1 การเตรียมวัตถุดิบหรือมอนอเมอร์

เอทิลีนมอนอเมอร์และไวนิลมอนอเมอร์อื่น ๆ ที่ใช้เป็นวัตถุดิบในกระบวนการพอลิเมอไรเซชัน เกือบทั้งหมดมาจากน้ำมันดิบ หรือปิโตรเลียม (Petroleum) และก๊าซธรรมชาติ (Natural gas) ซึ่งในน้ำมันดิบส่วนมากจะมีสารประกอบไฮโดรคาร์บอนแบบอิ่มตัว ดังนั้นในอุตสาหกรรมจึงนำเอาไฮโดรคาร์บอนแบบอิ่มตัวมาผ่านกระบวนการ การแตกสลายโมเลกุล (Catalytic cracking) เพื่อดึงเอาไฮโดรเจนออกมาเกิดความไม่อิ่มตัวในโมเลกุล โดยใช้ตัวเร่งคือ ซิลิกาและอะลูมินา ที่อุณหภูมิ 450-550 องศาเซลเซียส

2.2.1.2 พอลิเมอไรเซชันที่ความดันสูง

เป็นการเตรียมพอลิเอทิลีนโดยใช้ความดันสูง 1,000-3,000 atm อุณหภูมิ 80-300 องศาเซลเซียสให้เกิดปฏิกิริยาเป็นแบบอนุกรมอิสระ

2.2.1.3 สมบัติและการนำไปใช้งาน

สมบัติทางกายภาพของพอลิเอทิลีนจะแตกต่างกัน ไปบ้างขึ้นกับปริมาณสาขาโซ่ ถ้าโมเลกุลมีสาขาโซ่มาก พอลิเมอร์จะมีความเป็นผลึกต่ำ เพราะโอกาสที่อะตอมจะจัดเรียงตัวกันอย่างมีระเบียบน้อยกว่า สมบัติทางกายภาพเช่นความหนาแน่น จุดหลอมตัว และความแข็งต่ำลงด้วยความหนาแน่นต่ำนี้ทำให้การแพร่ผ่านของก๊าซและความชื้นต่อพอลิเมอร์สูง การเตรียมโดยใช้ความดันสูงจะมีความเป็นผลึกปานกลาง มีจุดหลอมเหลว (T_m) ประมาณ 115 องศาเซลเซียส ความหนาแน่น 0.91-0.94 g/cm³ ไม่ละลายในตัวทำละลายประเภทไฮโดรคาร์บอนและไฮโดรลิเนตไฮโดรคาร์บอน เช่น โทลูอีน ไซลีน นอกจากนี้พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำยังมีสมบัติเป็นฉนวนไฟฟ้าดีมาก เนื้อหาค่อนข้างเหนียว และสามารถทนกรดและเบสได้

เกือบครึ่งของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ มักจะนำไปเป็นแผ่นฟิล์มสำหรับห่ออาหาร ทำถุงใส่ของพลาสติก ผ้ากันน้ำ และผ้าปูโต๊ะ เป็นต้น บางส่วนนำไปทำภาชนะบรรจุ เช่น ภาชนะบรรจุกรดและเบส เคมีภัณฑ์ เป็นต้น

2.3 ผักตบชวา

ผักตบชวาเป็นพืชน้ำที่มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Eichhornia crassipes* มีชื่อสามัญว่า Water Hyacinth ถิ่นเดิมของผักตบชวาอยู่ในอเมริกาใต้

การใช้ประโยชน์จากผักตบชวา

เนื่องจากผักตบชวาแพร่พันธุ์ได้รวดเร็วจึงก่อให้เกิดปัญหาต่าง ๆ แก่แหล่งน้ำจนต้องมีการกำจัดผักตบชวา ซึ่งสามารถนำไปใช้ประโยชน์ทั้งทางตรงและทางอ้อมดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ใช้เป็นอาหารของสัตว์จำพวก วัว ควาย หมู แพะ และแกะ เป็นต้น
2. ใช้เป็นวัตถุคลุมดิน เพื่อรักษาความชุ่มชื้นของดินและผักตบชวาที่ใช้คลุมดินจะสลายเป็นปุ๋ยไปในที่สุด
3. ผักตบชวามีธาตุโปแตสเซียมอยู่มากในคั้นที่งอกงามดี จึงเหมาะสำหรับทำปุ๋ยหมัก โดยกองสลับชั้นดิน ปุ๋ยคอก ขยะ และขี้เถ้า จนนำไปย่อยกลายเป็นปุ๋ยหมัก
4. ใช้เป็นวัสดุสำหรับเพาะเป็นฟาง
5. ในบางประเทศใช้เป็นอาหารเสริมโปรตีนของมนุษย์และสัตว์
6. สกัดส่วนต่าง ๆ ของผักตบชวามาใช้เป็นเคมีภัณฑ์หลายอย่าง เช่น
 - 6.1 ยิบเบอเรลลิน ได้มาจากรากของผักตบชวา สารนี้ใช้กระตุ้นการเจริญเติบโตของพืชจำพวก ข้าว ข้าวสาลี ข้าวโพด ถั่ว และปอกระเจา
 - 6.2 ผลึกแคลเซียมออกซาลेट ซึ่งสามารถเปลี่ยนไปเป็นกรดออกซาลิกสำหรับอุตสาหกรรมต่าง ๆ
 - 6.3 แอลกอฮอล์ ได้จากการบูดเน่าของเนื้อเยื่อผักตบชวา
 - 6.4 ยามาแบคทีเรีย สกัดได้จากเนื้อเยื่อของผักตบชวา มีคุณสมบัติเช่นเดียวกับเพนิซิลลิน
7. ใช้ทำวัสดุต่าง ๆ เช่น ทำเครื่องเรือน แผงฉนวนไฟฟ้า วัสดุวิทยุโทรทัศน์ เป็นต้น
8. ใช้ทำเครื่องถักสาน เช่น พรหมปูพื้น เปลญวน กระบุง ตระกร้า ชะลอม และเชือก เป็นต้น
9. ผักตบชวาช่วยดูดสิ่งสกปรกโสโครกและอาหารธาตุต่าง ๆ ในน้ำที่มาจากแหล่งต่าง ๆ เช่น สิ่งขับถ่ายจากมนุษย์และสัตว์ สิ่งสกปรกจากโรงงานอุตสาหกรรม เป็นต้น นอกจากนี้ผักตบชวาก็ช่วยป้องกันการสูญเสิแร่ธาตุจำพวกไนโตรเจนและฟอสเฟตไม่ให้ตกตะกอนสู่ท้องน้ำโดยเปล่าประโยชน์
10. ใช้ผลิตก๊าซหุงต้ม โดยใช้แบคทีเรียช่วยย่อยผักตบชวาจนเกิดก๊าซมีเทนซึ่งใช้เป็นก๊าซหุงต้มได้
11. ทำเชื้อกระดาษ ก้านของผักตบชวามีเส้นใยที่สามารถนำมาทำเชื้อกระดาษได้
12. ใช้ทำแท่งเพาะชำ โดยเอาผักตบชวามาปั่นแล้วตากให้แห้งและนำมาผสมกับดินเพื่อช่วยให้ดินมีความอุดมสมบูรณ์ดีขึ้น

การนำเอาผักตบชวามาใช้ประโยชน์ในทางเกษตรกรรมและอุตสาหกรรม นับว่าเป็นสิ่งที่ควรทำอย่างยิ่ง ในขณะที่ประเทศไทยกำลังประสบกับภาวะสิ่งแวดล้อมเป็นพิษและขาดแคลนวัตถุดิบสำหรับทำผลิตภัณฑ์บางอย่าง ปัจจุบันจึงได้มีการเร่งค้นคว้าและวิจัยเพื่อนำผักตบชวามาใช้ประโยชน์ต่อไป ตารางที่ 2.1 จะแสดงถึงองค์ประกอบของผักตบชวาระหว่างการเจริญเติบโตในส่วนต่าง ๆ ของต้นผักตบชวา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 การวิเคราะห์องค์ประกอบของผักตบชวาระหว่างการเจริญเติบโต (น้ำหนักแห้ง) [18]

ส่วนของผัก- ตบชวา	ความชื้น (%)	ไขมัน (%)	โปรตีน (%)	เส้นใย (%)	เถ้า (%)	N.F.E.* (%)	แคลเซียม (%)	ฟอสฟอรัส (%)
-ทั้งต้นก่อน มีดอก	5.84	2.27	20.73	19.07	17.65	44.44	1.04	0.69
-ทั้งต้นขณะ มีดอก	4.74	2.05	12.93	25.65	17.11	47.42	0.86	0.54
-ทั้งต้นหลัง มีดอก	5.14	1.80	9.84	26.27	14.05	42.91	1.18	0.41
-ใบหลังมี ดอก	7.23	2.24	14.88	18.94	12.33	44.39	1.34	0.46
-รากหลังมี ดอก	7.66	1.48	5.77	26.68	15.79	42.61	0.99	2.29

* N.F.E. (Nitrogen Free Extract) คือ สารสกัดที่ปราศจากไนโตรเจน

2.4 เส้นใยธรรมชาติ (Natural Fibers)

เส้นใยธรรมชาติเป็นวัสดุอินทรีย์ที่สำคัญ หาได้ง่ายจากธรรมชาติและมีราคาถูกกว่าเส้นใยสังเคราะห์ ด้วยเหตุนี้เส้นใยธรรมชาติจึงใช้เป็นสารเติมแต่งประเภทสารตัวเติมและสารเสริมแรงในพอลิเมอร์ เพื่อปรับปรุงสมบัติทางกายภาพ เพิ่มปริมาณและลดต้นทุนการผลิต

โครงสร้างของเส้นใยธรรมชาติประกอบด้วยเซลลูโลส (Cellulose) เป็นส่วนใหญ่ เฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose) ลิกนิน (Lignin) และสารประกอบอื่นๆ

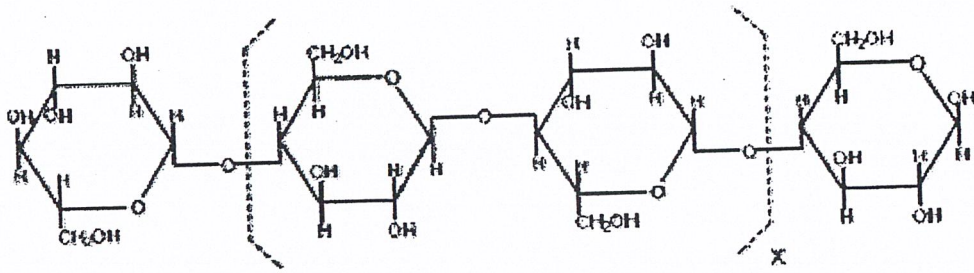
2.4.1 เซลลูโลส (Cellulose)

เซลลูโลสเป็นพอลิเมอร์ธรรมชาติที่มีมากที่สุดในโลกและพบโดยทั่วไปในธรรมชาติ เนื่องจากเป็นองค์ประกอบหลักของผนังเซลล์ของพืชทุกชนิด ปริมาณของเซลลูโลสในพืชต่างชนิดกันจะมีปริมาณไม่เท่ากัน นอกนั้นเป็นลิกนิน (Lignin) และสารประกอบอื่นๆ

เซลลูโลสเป็นสารประกอบประเภทพอลิแซ็กคาไรด์ (Polysaccharides) ซึ่งมีสูตรโครงสร้างประกอบด้วยกลูโคส (Glucose) ประมาณ 10,000 หน่วย ต่อกันเป็นโมเลกุลพอลิเมอร์ ดังรูปที่

2.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 แสดงสูตรโครงสร้างของเซลลูโลส [19]

โครงสร้างทางเคมีของเซลลูโลส คือ Poly(β -1 \rightarrow 4-D-anhydroglucopyranose) แต่ละหน่วยของเซลลูโลสเรียกว่า แอนไฮโดรกลูโคส (Anhydroglucose, $C_6H_{10}O_5$) เพราะเกิดการขจัดน้ำออกจากกลูโคส เซลลูโลสธรรมชาติมีน้ำหนักโมเลกุลโดยเฉลี่ยแตกต่างกัน เนื่องจากเซลลูโลสมีหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) ถึง 3 หมู่ จึงสามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนได้ แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของเซลลูโลสจึงมาก ประกอบกับการจัดเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบของหน่วยที่ซ้ำ ๆ กันในโมเลกุล เซลลูโลสจึงมีองศาความเป็นผลึกสูง (Degree of crystallinity) คือมีค่าประมาณร้อยละ 60 - 80 ทำให้อุณหภูมิหลอมตัวสูงมาก จะเกิดการสลายตัวก่อนถึงอุณหภูมิหลอมตัว และมีความสามารถในการละลายต่ำ ทนทานต่อตัวทำละลายและสารเคมี โดยมีสารเคมีที่มีความสามารถละลายเซลลูโลสได้ไม่กี่ชนิด เช่น กรดกำมะถัน (> 68%) กรดเกลือ (> 41%) สังกะสีคลอไรด์ สารประกอบแอมโมเนียมควอเตอร์นารี (Quaternary Ammonium Compound) สารประกอบเชิงซ้อนบางชนิด ถ้าเซลลูโลสอยู่ในตัวทำละลายที่มีขั้วสูง รวมทั้งน้ำ จะเกิดการบวมตัว (Swell) เล็กน้อยเท่านั้นในแหล่งของโมเลกุลที่เป็นอสัณฐาน (Amorphous regions)

สมบัติทางกายภาพของเซลลูโลส

1) ความหนาแน่น

ความหนาแน่นของเซลลูโลสประมาณ 1.5 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ความหนาแน่นของเส้นใยดีเยี่ยมมีค่าไม่แน่นอน ซึ่งแปรตามแหล่งที่มาและการปรับปรุงทางเคมี

2) การดูดซับความชื้น

เซลลูโลสเป็นของแข็งไม่มีสี มีการดูดและคายไอน้ำและของเหลวอื่น ๆ ที่อยู่ในบรรยากาศรอบ ๆ จนกระทั่งถึงสมดุล ซึ่งสมดุลของปริมาณความชื้นของเซลลูโลสจะเปลี่ยนไปตามความชื้นสัมพัทธ์ของบรรยากาศรอบ ๆ นั้น ปริมาณความชื้นของเซลลูโลสมีผลต่อสมบัติบางอย่าง เช่น เมื่อความชื้นสูงขึ้น ค่าความแข็งแรงดึงของเส้นใยจะมีความมากขึ้น ส่วนเส้นใยเรยอน (Rayon) จะมีค่าลดลง

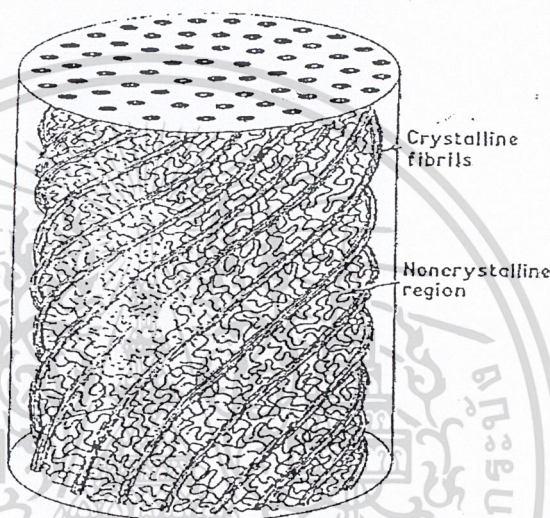
3) การละลายและความหนืด

เซลลูโลสไม่ละลายในน้ำและตัวทำละลายอินทรีย์ แต่จะละลายในกรดแก่เข้มข้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เช่น 72% กรดซัลฟิวริก 40% กรดไฮโดรคลอริก และ 78% กรดฟอสฟอริก เซลลูโลสจะเกิดไฮโดรไลซิสอย่างรวดเร็วในสารละลายกรดแก่ที่อุณหภูมิห้องและปฏิกิริยาจะหยุดที่อุณหภูมิ ต่ำ ๆ สารละลายเกลือบางชนิดที่เข้มข้น เช่น 72% ซิงค์คลอไรด์ และสารละลายอัลคาไลด์ไฮดรอกไซด์ เช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์ จะทำให้เซลลูโลสบวมและเซลลูโลสที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ ๆ ละลายได้ ความหนืดเป็นสมบัติที่สำคัญอย่างหนึ่งของเซลลูโลสและอนุพันธ์ โดยที่ความหนืดจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อความเข้มข้นของเซลลูโลสเพิ่มขึ้น

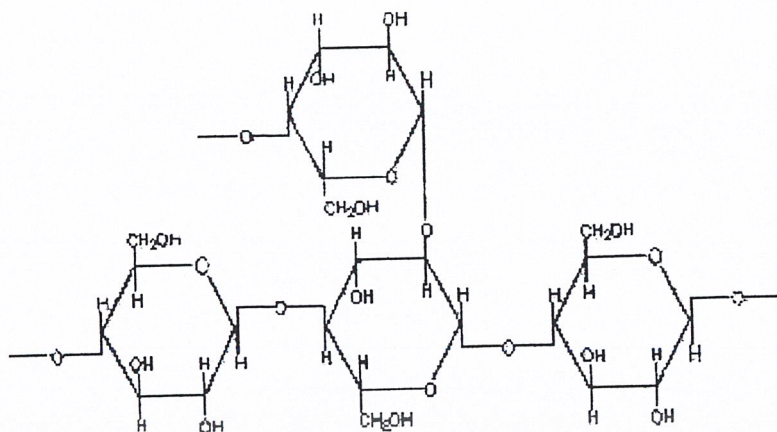


รูปที่ 2.7 ลักษณะการจัดเรียงตัวของเส้นใยเซลลูโลส [20]

2.4.2 เฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose)

เฮมิเซลลูโลสเป็นพอลิแซ็กคาไรด์ชนิดหนึ่ง ซึ่งคล้ายเซลลูโลสแต่ประกอบด้วยน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวหลายชนิด เช่น กลูโคส กาแลกโตส แมนโนส (Mannose) ไซโลส (Xylose) อะราบิโนส (Arabinose) รวมทั้งกรดกลูคูโรนิก (Glucuronic acid) และกรดกาแลกทูโรนิก (Galacturonic acid) เฮมิเซลลูโลสพบในเนื้อเยื่อของพืชโดยรวมอยู่กับสารอื่น เช่น ลิกนิน เซลลูโลส เป็นโครงสร้างของผนังเซลล์ พบมากใน แกลบ ช้างข้าวโพด เฮกโซแซน (Hexosan) ดูดเคมี คือ $(C_6H_{10}O_5)_n$ โครงสร้างทางเคมีแสดงดังรูปที่ 2.8

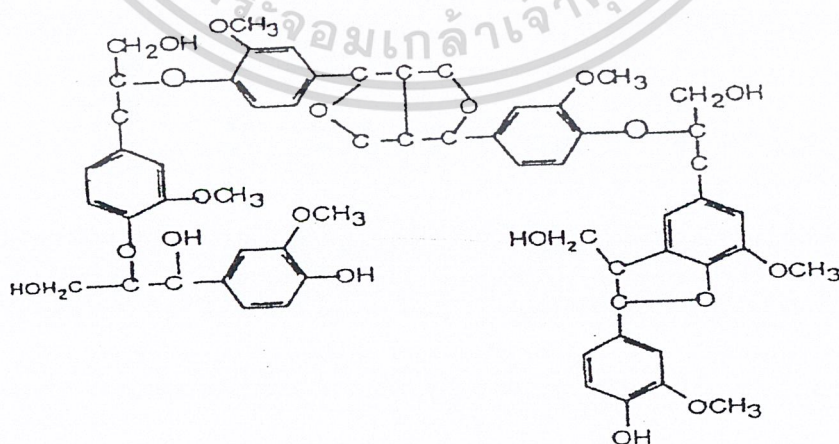
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8 โครงสร้างของเฮมิเซลลูโลส [20]

2.4.3 ลิกนิน (Lignin)

ลิกนินเป็นสารประกอบเชิงซ้อน (สารที่ประกอบด้วยธาตุ คาร์บอน ไฮโดรเจนและออกซิเจน รวมกันเป็นหน่วยย่อยหลายชนิดซึ่งเป็นสารประกอบอะโรมาติก) ที่รวมกับเซลลูโลส สะสมที่ผนังเซลล์ ผนังของสเกลอแรงคิมาไซเลม เวสเซลและเทรคีด ลิกนินไม่ละลายน้ำ ไม่มีสมบัติทางการยืดหยุ่น จึงทำให้ต้นไม้หรือพืชที่มีลิกนินมากมีความแข็งแรงคงทน เมื่อพืชตาย ลิกนินจะถูกย่อยโดยเอนไซม์ลิกเนส (Lignase) หรือลิกนินเนส (Ligninase) ซึ่งเป็นจุลินทรีย์ที่สำคัญในรา ตัวอย่างโครงสร้างทางเคมีของลิกนิน แสดงดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 ตัวอย่างโครงสร้างทางเคมีของลิกนินของไม้เนื้ออ่อน [11]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เส้นใยธรรมชาติแต่ละชนิดจะมีส่วนประกอบและสมบัติแตกต่างกันดังตัวอย่างตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 แสดงส่วนประกอบและสมบัติเชิงกลของเส้นใยธรรมชาติบางประเภท [20]

เส้นใย	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

เส้นใย	มอดุลัส (GPa)	ความแข็งแรงดึง (MPa)	มอดุลัสจำเพาะ (GPa.m ³ /Mg)	ความแข็งแรง จำเพาะ (MPa.m ³ /Mg)
ไม้ (Wood)	-	500	-	333
ปอกระเจา (Jute)	55.5	442	43	340
ป่าน (Hemp)	-	460	-	-
ป่านศรนารายณ์ (Sisal)	17	530	24	757

2.5 การตกผลึกในพอลิเมอร์ [11]

การตกผลึก (Crystallization) ในพอลิเมอร์เป็นกระบวนการจัดเรียงตัวของโครงสร้างส่วนที่ไม่เป็นระเบียบ (Disordered phase) ในรูปภาวะที่หลอมเหลว หรือสารละลายเจือจางให้เป็นโครงสร้างที่เป็นระเบียบ ขั้นตอนการตกผลึกในพอลิเมอร์โดยทั่วไปมี 2 ขั้นตอนใหญ่ ๆ ได้แก่

1. การเกิดนิวเคลียส (Nucleation) ขั้นตอนนี้เกิดเนื่องจากการหลอมเหลวของพอลิเมอร์ ซึ่งจะเกิดแนวโน้มที่ทำให้โมเลกุลที่พันกันอย่างอิสระในพอลิเมอร์หลอมเหลว เริ่มจัดตัวเป็นบริเวณที่มีความเป็นระเบียบเล็ก ๆ ขึ้น ซึ่งเรียกว่า นิวคลีไอ (Nuclei) สำหรับการเกิดนิวเคลียสสามารถแบ่งได้เป็น 2 แบบ ได้แก่

1.1 การเกิดนิวเคลียสจากโซ่โมเลกุลของตัวเอง (Homogeneous nucleation) เกิดจากการที่โซ่โมเลกุลมีการเคลื่อนที่ตลอดเวลา จนกระทั่งโซ่โมเลกุลเข้ามาใกล้กันระยะหนึ่ง จะเกิดแรงดึงดูดกันเกิดเป็นนิวเคลียสพร้อมกับคายพลังงานออกมา

1.2 การเกิดนิวเคลียสโดยอาศัยสารภายนอก (Heterogeneous nucleation) พบ
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มากในพอลิเมอร์ทั่วไป ขั้นตอนการเกิดนิวเคลียสจะใช้สารแปลกปลอม เช่น สารก่อนิวเคลียส (Nucleating agent) สารปนเปื้อน (Impurity) เป็นต้น ทำหน้าที่เป็นนิวเคลียสให้โซ่พอลิเมอร์มายึดเกาะ การเกิดนิวเคลียสแบบนี้เกิดได้ง่ายกว่า เนื่องจากการใช้ซูเปอร์คูลิง (Supercooling) ที่ลดน้อยลง ซึ่งซูเปอร์คูลิง หมายถึง ช่วงการให้ความเย็นของพอลิเมอร์หลอมเหลวให้ต่ำกว่าจุดหลอมเหลว โดยปราศจากการเกิดผลึกและในบางครั้งจะเรียกว่าอันเดอร์คูลิง (Undercooling) ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่แตกต่างระหว่างจุดหลอมเหลวกับอุณหภูมิในการตกผลึก

2. การขยายผลึก (Crystal Growth) ขั้นนี้นิวเคลียสจะมีการขยายตัวเนื่องจากการรวมตัวของสายโซ่โมเลกุล ซึ่งการขยายตัวจะทำใน 1, 2 หรือ 3 มิติก็ได้ ผลึกสามารถเกิดรูป Rods, Disc หรือ Sphere การขยายตัวเนื่องจากการรวมกันของโซ่โมเลกุลขนาดใหญ่มาจัดเรียงตัวในผลึกซึ่งเรียกว่าลามลลา (Lamellar) จากการทดลองพบว่า การเปลี่ยนแปลงรัศมีของสเฟียรูไลท์ (Spherulite) สัมพันธ์กับเวลาในเชิงเส้นตรงดังสมการ

$$R = Vt$$

เมื่อ V เป็นอัตราการเติบโต (Growth rate)

R เป็นรัศมีของสเฟียรูไลท์

t เป็นเวลา

สำหรับอัตราการเติบโตขึ้นกับอุณหภูมิในการตกผลึก (Crystallization temperature, T_c) พบว่าอัตราการเติบโตจะมีค่าต่ำเมื่ออุณหภูมิการตกผลึกใกล้เคียงกับอุณหภูมิการหลอมเหลว (T_m) ของพอลิเมอร์นั้น เมื่อซูเปอร์คูลิงสูงขึ้น อัตราการเติบโตจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจนถึงค่าสูงสุด จากนั้นก็ลดลงมาอีกครั้งทั้ง ๆ ที่อุณหภูมิการตกผลึกห่างจากอุณหภูมิการหลอมเหลวมากขึ้น ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจาก ความหนืดที่เพิ่มขึ้นทำให้โซ่โมเลกุลเคลื่อนที่มารวมตัวทำให้เกิดการขยายตัวของผลึกลดน้อยลง จึงส่งผลทำให้อัตราการเติบโตลดลง

2.5.1 ประเภทและลักษณะสารก่อนิวเคลียส

สารก่อนิวเคลียสเป็นสารเติมแต่งชนิดหนึ่งที่เติมลงไป เพื่อทำให้เกิดนิวเคลียสในการตกผลึกแบบไม่เป็นเนื้อเดียวกัน (Heterogeneous nucleation) สารประเภทนี้เพิ่มอัตราการตกผลึกให้สูงขึ้น ส่งผลให้สเฟียรูไลท์ที่มีขนาดเล็กลงแต่มีปริมาณเพิ่มขึ้น โดยทั่วไปพอลิเมอร์จะเกิดการตกผลึกจากสภาวะการหลอมโดยมีหลักเกณฑ์ดังนี้

1. ต้องมีโครงสร้างโมเลกุลเอื้ออำนวยในการก่อให้เกิดบริเวณผลึก ถ้าโซ่โมเลกุลหลักมีการเคลื่อนที่ไม่เพียงพอ มีหมู่ข้างเคียงขนาดใหญ่ หรือมีกิ่งก้านสาขามาก จะเป็นการขัดขวางการตกผลึก

2. อุณหภูมิการตกผลึกต้องต่ำกว่าจุดหลอมเหลว แต่ต้องไม่ใกล้เคียงกับอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (T_g) เพราะช่วงนี้โซโพลีเมอร์มีการเคลื่อนที่เพียงพอสำหรับการก่อให้เกิดผลึก
3. การตกผลึกจะต้องเริ่มจากการเกิดนิวเคลียส เพื่อทำให้เกิดบริเวณที่เป็นระเบียบ แล้วจึงขยายตัวให้เป็นสเฟียรูไลท์

สารก่อนิวเคลียสโดยทั่วไปจะต้องมีสมบัติต่าง ๆ ดังนี้

- ถูกดูดซับเข้าไปในเนื้อพอลิเมอร์ได้
- ไม่ละลายในพอลิเมอร์
- มีจุดหลอมเหลวสูงกว่าพอลิเมอร์ที่นำมาผสม
- มีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอในพอลิเมอร์หลอมเหลว

อย่างไรก็ตามสารก่อนิวเคลียสที่มีประโยชน์ต่อพอลิเมอร์ประเภทพอลิโอเลฟิน คือสารประเภท Organocarboxylic acid salt หรือสารที่มีโครงสร้างที่เรียกว่า Alternative layer ซึ่งโครงสร้างทางเคมีประกอบด้วยส่วนสำคัญ 2 ส่วน ได้แก่

1. กลุ่มสารมีขั้ว ทำหน้าที่เพิ่มแรงดึงดูดของผลึกเกลือ ทำให้สารก่อนิวเคลียสไม่ละลายในพอลิเมอร์หลอมเหลว
2. กลุ่มสารไม่มีขั้ว ทำหน้าที่เป็นส่วนที่ละลายในพอลิเมอร์หลอมเหลว โดยส่วนใหญ่สารกลุ่มนี้มักเป็นสารอินทรีย์

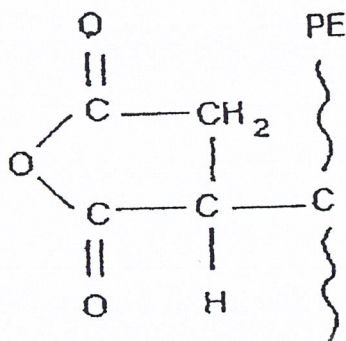
สารก่อนิวเคลียสสามารถแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มคือ

1. สารเติมแต่งอนินทรีย์ เช่น ดินสอพอง ซิลิกา เป็นต้น
2. สารประกอบทางอินทรีย์ เช่น เกลือของโมโนหรือพอลิคาร์บอกซิลิก (Mono, Poly carboxylic acid) รวมถึงสี (Pigment) ด้วย
3. สารพอลิเมอร์ เช่น เอทิลีน/อะคริลิก เอสเทอร์ โคลพอลิเมอร์ เป็นต้น

2.6 การปรับปรุงสมบัติการยึดติด

สมบัติเชิงกลและสมบัติทางกายภาพของคอมพอสิตที่เสริมแรงด้วยเส้นใยไม่ได้ขึ้นอยู่กับความแข็งแรงของเส้นใยและเมตริกซ์เท่านั้น แต่ยังขึ้นกับลักษณะผิวสัมผัสของเส้นใยกับเมตริกซ์ด้วย การยึดติดระหว่างพอลิเมอร์และเส้นใยจะเป็นปัจจัยสำคัญในการกำหนดสมบัติของคอมพอสิต ซึ่งคอมพอสิตแต่ละระบบจะมีธรรมชาติหรือลักษณะของการยึดติดต่างกันตามลักษณะของเส้นใยและเมตริกซ์แต่ละชนิด [19] สารยึดติดที่ใช้ในงานวิจัยนี้ ได้แก่ Maleic Anhydride grafted High Density Polyethylene (PE-g-MA)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

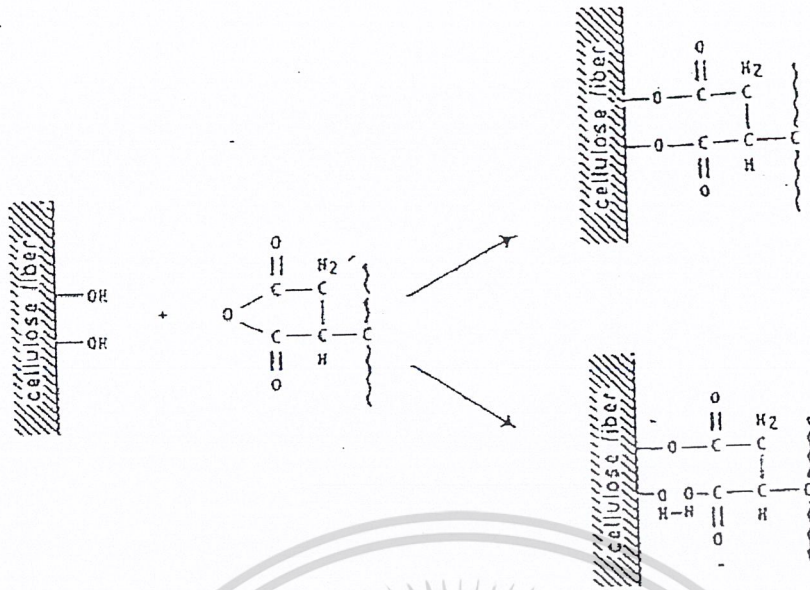


รูปที่ 2.10 โครงสร้างของ PE-g-MA [19]

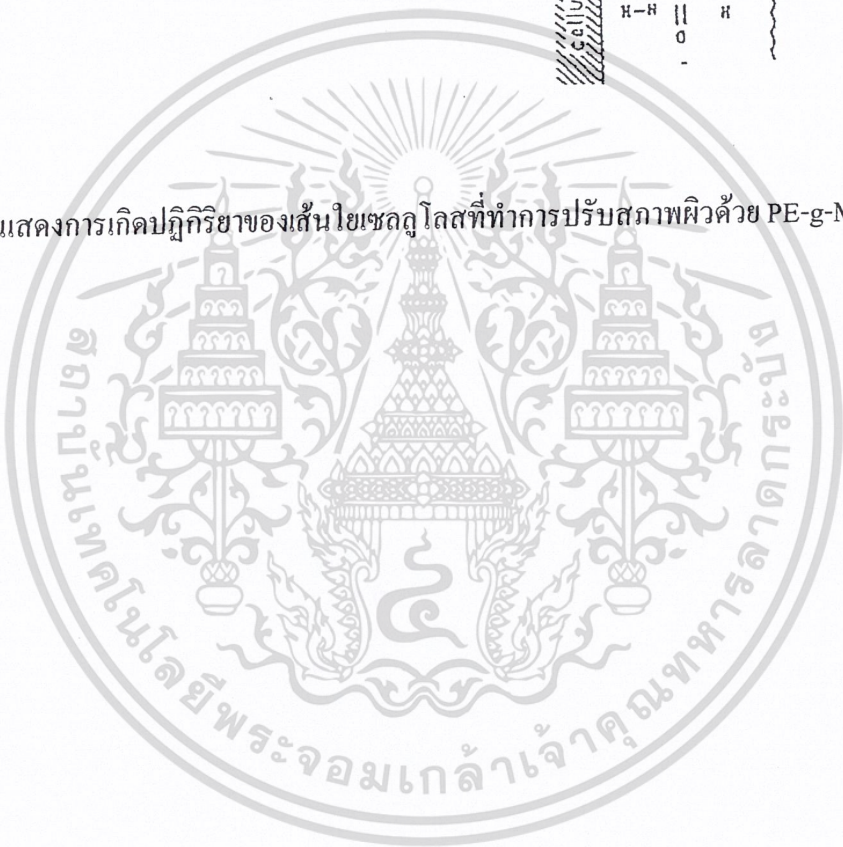
PE-g-MA ใช้เป็นสารช่วยยึดติดทางเคมีสำหรับพอลิเอทิลีนที่เสริมแรงด้วยเส้นใยแก้วหรือไมก้า ซึ่งจะช่วยปรับปรุงสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางความร้อนให้ดีขึ้น ช่วยให้เกิดการยึดติดที่ดีในสารหลายประเภท และ PE-g-MA ยังสามารถใช้เป็นสารช่วยผสมสำหรับพอลิเมอร์ผสมของเอทิลีนกับพอลิเมอร์ที่มีขั้วอื่น ๆ เช่น พอลิเอไมด์ (Polyamide, PA) ทำให้ขึ้นรูปได้ง่ายและสมบัติเชิงกลดีขึ้น

กลไกที่เกิดขึ้นเมื่อใช้ PE-g-MA ช่วยในการยึดติดระหว่างพอลิเอทิลีนกับเส้นใย เซลลูลอส ประกอบด้วย 2 ปฏิกริยา คือ

- มาลิกแอนไฮไดรด์ (Maleic anhydride) หรือกรดอะคริลิก จากสารช่วยยึดติด จะเกิดปฏิกริยาทางเคมีกับหมู่ฟังก์ชันบนผิวของเส้นใย ดังตัวอย่างรูปที่ 2.11
- พอลิเอทิลีนที่เป็นโซ่หลักของสารช่วยยึดติด จะเกิดการตกผลึกร่วม (Cocrystallization) กับเมตริกซ์



รูปที่ 2.11 แสดงการเกิดปฏิกิริยาของเส้นใยเซลลูโลสที่ทำการปรับสภาพผิวด้วย PE-g-MA [19]



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การวิจัยและการดำเนินงาน

3.1 สารเคมีและวัสดุที่ใช้ในการทดลอง

1. เม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LT 1807F 21D50845 1-3-F) : บริษัท ไทยพอลิเอทิลีน (1993) จำกัด
2. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Commercial grade) : บริษัท พีแอนด์เอ็น แอสโซซิเอท จำกัด
3. พอลิเอทิลีนกราฟท์มาเลอิกแอนไฮไดรด์ (PE-g-MA) : Polybond ®
4. โซลีน (Analytical grade) : บริษัท CARLO ERBA REAGENTI
5. คลอโรฟอร์ม (Analytical grade) : บริษัท CARLO ERBA REAGENTI
6. เส้นใยฝักคอบชวา

3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. เครื่องอัดรีดแบบเกลียวขนอนเดี่ยว (Single screw extruder)
2. เครื่องฉีดขึ้นรูป (Injection molding machine) “Cosmo” รุ่น TTI 220/80 : บริษัทประทานเจริญ จำกัด
3. เครื่องทดสอบสมบัติแรงดึง (Tensile tester) : LLOYD INSTRUMENTS LTD.
4. เครื่องทดสอบสมบัติแรงกระแทก (Impact tester) : Yasuda 199311
5. เครื่องทดสอบความแข็ง (Hardness tester) : SOCIETA PER AZIONI รุ่น Alsfaar
6. เครื่องทดสอบสมบัติทางความร้อน (Differential scanning calorimeter, DSC) : PERKIN ELMER DSC 7
7. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด (Scanning electron microscope, SEM)
8. ชุดอุปกรณ์ทดสอบความหนาแน่น Gradient Column
9. ชุดอุปกรณ์ทดสอบสมบัติการดูดซับน้ำ
10. เครื่องชั่ง
11. ถังมือกั้นความร้อน
12. เครื่องบดพลาสติก
13. เดซิเตเตอร์
14. ตู้อบแบบอากาศร้อน : MEMERT รุ่น UM 400

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

15. เวอร์เนียร์

3.3 วิธีการทดลอง

3.3.1 การเตรียมเส้นใยฝักคตบขวา

1. เก็บฝักคตบขวาและทำความสะอาดโดยการล้างด้วยน้ำสะอาด 1 ครั้ง
2. ตัดรากฝักคตบขวาทิ้ง เหลือไว้แต่ส่วนใบและลำต้น แล้วล้างด้วยน้ำอีกครั้ง
3. ตากฝักคตบขวาให้แห้งสนิท
4. นำไปตัดด้วยเครื่องตัดเป็นชิ้นเล็ก ๆ เพื่อทำให้ง่ายในขั้นตอนต่อไป
5. ทำการกำจัดลิกนินออกจากฝักคตบขวาด้วยวิธีทางเคมี (Chemical treatment) โดยการต้มฝักคตบขวาด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ในอัตราส่วนโดยน้ำหนัก ฝักคตบขวา : น้ำ : โซเดียมไฮดรอกไซด์ เท่ากับ 1 : 15 : 10
6. ต้มฝักคตบขวานาน 3 ชั่วโมง จะได้เส้นใยฝักคตบขวามีลักษณะเป็นสีขาว
7. ล้างเส้นใยที่ได้ด้วยน้ำสะอาด 2 ครั้ง
8. นำเส้นใยที่ได้ไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส จนเส้นใยแห้ง แล้วเก็บในเดซิเคเตอร์
9. แยกขนาดเส้นใยโดยใช้ขนาด 35-50 เมช , 50-80 เมช , มากกว่า 80 เมช และมากกว่า 60 เมช เพื่อนำไปใช้ในการขึ้นรูปคอมพอลสิต

3.3.2 การศึกษาสมบัติของคอมพอลสิตเมื่อทำการเปลี่ยนแปลงปริมาณของสารช่วยผสม (PE-g-MA) ต่อปริมาณเส้นใยฝักคตบขวา

1. เตรียมส่วนผสมปริมาณเส้นใยฝักคตบขวามากกว่า 60 เมชต่อปริมาณพอลิเอทิลีน ชนิดความหนาแน่นต่ำที่อัตราส่วน 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก
2. เติม PE-g-MA ที่อัตราส่วนระหว่าง PE-g-MA ต่อปริมาณเส้นใยเท่ากับ 0 , 2 , 3 , 4 และ 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก
3. ผสมสูตรด้วยเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว โดยสภาวะที่ใช้มีดังนี้
 - อุณหภูมิที่ใช้ในการผสมเป็น 110 120 130 140 องศาเซลเซียส
 - ความเร็วรอบในการผสมเท่ากับ 40 รอบต่อนาที
4. นำพอลิเมอร์ที่ผ่านการผสมแล้วไปเข้าเครื่องบดตัดพลาสติก
5. นำเม็ดพลาสติกที่ผ่านการบดตัดแล้วมาขึ้นรูปโดยใช้เครื่องฉีดขึ้นรูป (Injection molding machine)
6. นำชิ้นงานไปทดสอบสมบัติต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.3 การศึกษาสมบัติของคอมพอลิตเมื่อทำการเปลี่ยนแปลงปริมาณเส้นใยต่อปริมาณพอลิเมอร์

1. เตรียมส่วนผสมปริมาณเส้นใยฝักคอบชวา (ขนาดมากกว่า 60 เมช) ต่อปริมาณพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ โดยใช้อัตราส่วน 10 , 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก
2. เติม PE-g-MA ที่อัตราส่วนระหว่าง PE-g-MA ต่อปริมาณเส้นใยเท่ากับ 3 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักในการผสมสูตรแต่ละครั้ง
3. ผสมสูตรด้วยเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว โดยสภาวะที่ใช้มีดังนี้
 - อุณหภูมิที่ใช้ในการผสมเป็น 110 120 130 140 องศาเซลเซียส
 - ความเร็วรอบในการผสมเท่ากับ 40 รอบต่อนาที
4. นำพอลิเมอร์ที่ผ่านการผสมแล้วไปเข้าเครื่องบดตัดพลาสติก
5. นำเม็ดพลาสติกที่ผ่านการบดตัดแล้วมาขึ้นรูปโดยใช้เครื่องฉีดขึ้นรูป
6. นำชิ้นงานไปทดสอบสมบัติต่าง ๆ

3.3.4 ศึกษาสมบัติของคอมพอลิตเมื่อทำการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นใยฝักคอบชวา

1. เตรียมส่วนผสมปริมาณเส้นใยฝักคอบชวาขนาด 35-50 เมชต่อปริมาณพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ โดยใช้อัตราส่วน 30 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักในการผสมสูตรแต่ละครั้ง
 2. เติม PE-g-MA ที่อัตราส่วนระหว่าง PE-g-MA ต่อปริมาณเส้นใยเท่ากับ 3 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักในการผสมสูตรแต่ละครั้ง
 3. ผสมสูตรด้วยเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว โดยสภาวะที่ใช้มีดังนี้
 - อุณหภูมิที่ใช้ในการผสมเป็น 110 120 130 140 องศาเซลเซียส
 - ความเร็วรอบในการผสมเท่ากับ 40 รอบต่อนาที
 4. นำพอลิเมอร์ที่ผ่านการผสมแล้วไปเข้าเครื่องบดตัดพลาสติก
 5. นำเม็ดพลาสติกที่ผ่านการบดตัดแล้วมาขึ้นรูปโดยใช้เครื่องฉีดขึ้นรูป
 6. นำชิ้นงานไปทดสอบสมบัติต่าง ๆ
 7. เปลี่ยนขนาดเส้นใยฝักคอบชวาเป็นขนาด 50-80 เมช และมากกว่า 80 เมช ตามลำดับ
- หมายเหตุ สภาวะที่ใช้ในการขึ้นรูปโดยเครื่องฉีดขึ้นรูปพลาสติกแสดงในภาคผนวก ก

ตารางที่ 3.1 แสดงสูตรผสมพอลิเมอร์คอมพอสิตที่ใช้ในการศึกษา

สูตร	LDPE	% Fibers	% PE-g-MA	Fibers size (mesh)
1	100	-	-	-
2	100	10	-	> 60
3	100	10	2	> 60
4	100	10	3	> 60
5	100	10	4	> 60
6	100	10	5	> 60
7	100	20	3	> 60
8	100	30	3	> 60
9	100	30	3	35-50
10	100	30	3	50-80
11	100	30	3	> 80

3.4 การทดสอบสมบัติต่างๆ

3.4.1 สมบัติเชิงกล

1. สมบัติเชิงกลที่ทำการศึกษาได้แก่ ความแข็งแรงดึง ร้อยละการยืด ณ จุดขาด และมอดุลัส โดยใช้เครื่องทดสอบสมบัติแรงดึง และโปรแกรม WINDAP ในการคำนวณ ตามมาตรฐาน ASTM D 638 [22] เตรียมชิ้นงานโดยวิธีการฉีดขึ้นรูป ใช้ชิ้นงานจำนวน 8 ชิ้นและสภาวะที่ใช้ในการทดสอบคือ

Load	30.00 kN
Test speed	100.00 mm/min
Cell class	0.5
Guage length	70.00 mm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ความทนทานต่อแรงกระแทก (Impact resistance)

ทำการทดสอบด้วยเครื่องทดสอบแรงดิงแบบไอซอด (Izod impact tester) Yazuda 199311 ตาม ASTM D 256 [23] Method A (Izod type) เตรียมชิ้นงานโดยฉีกขึ้นรูปจำนวน 8 ชิ้น เป็นชิ้นงานแบบมีรอยบาก (Notched samples)

3. ค่าความแข็ง (Hardness)

ทำการทดสอบด้วยเครื่องทดสอบความแข็ง (Hardness Tester) ของ SOCIETA PER AZIONI รุ่น Alsfaar ตามมาตรฐาน ASTM D 2240 [24] Procedure A วัดโดยใช้ Shore D ลักษณะพื้นผิวของวัสดุที่นำมาทดสอบต้องเรียบ มีความหนาไม่ต่ำกว่า 6 mm โดยทำการทดสอบ 3 ครั้งต่อหนึ่งตัวอย่าง

3.4.2 สมบัติทางกายภาพ

1. สมบัติในการดูดซับน้ำ (Water absorption)

ตัดชิ้นงานเป็นแผ่นสี่เหลี่ยม โดยนำชิ้นงานในแต่ละตัวอย่าง 4 ชิ้น แล้วนำไปอบให้แห้งเป็นเวลา 24 ชั่วโมง และทำการชั่งน้ำหนักที่แน่นอน แล้วนำไปแช่น้ำเป็นเวลา 43 วันโดยชิ้นงานต้องจมใต้น้ำ ทำการวัดปริมาณน้ำที่ดูดซับเป็นเวลาต่าง ๆ กัน 5 ช่วงเวลา และนำมาคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำ ตามมาตรฐาน ASTM D570 จากสูตร

$$\% \text{ Absorption} = \frac{(\text{น้ำหนักหลังจากแช่น้ำ} - \text{น้ำหนักก่อนแช่น้ำ})}{\text{น้ำหนักก่อนแช่น้ำ}} \times 100$$

2. ความหนาแน่นโดยวิธี Gradient Column [21]

เตรียมสารละลายผสมในกระบอกตวงขนาด 50 มิลลิลิตร ในปริมาณที่กำหนดดัง ตารางต่อไป

ตารางที่ 3.2 ปริมาณสารละลายที่ใช้ทดสอบความหนาแน่นโดย Gradient Column

Solution No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Chloroform (ml.)	25	22	20	17	14	11	8	5	3	-
Xylene (ml.)	-	3	5	8	11	14	17	20	22	25

ใช้แท่งแก้วคนให้ตัวทำละลายทั้งสองผสมกัน แล้วเทตัวทำละลายจากกระบอกตวงขนาด 50 มิลลิลิตรลงในกระบอกตวงขนาด 250 มิลลิลิตร โดยเริ่มเทจากหมายเลข 1 การเทตัวทำละลายนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ละลายต้องด้วยความระมัดระวัง โดยให้ไหลผ่านแท่งแก้วและส้อมคีลคีวด้านในของกระบอกลง เมื่อเทครบทั้ง 10 กระบอกลงแล้ว ใช้แท่งแก้วกวน 1 ครั้ง และปล่อยให้ของเหลวอยู่ในสมดุลที่ อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 10 นาที

หย่อนเม็ดพลาสติกมาตรฐานที่ทราบความหนาแน่น ลงในคอลัมน์นี้ ครั้งละหนึ่งเม็ด (ก่อนใส่เม็ดพลาสติกต้องเช็ดเม็ดพลาสติกให้สะอาดปราศจากไขมันและน้ำ) เม็ดพลาสติกจะลอย อยู่ที่ระดับต่าง ๆ ซึ่งมีความหนาแน่นเท่ากับเม็ดพลาสติกนั้น ๆ คือช่วง 0.855-1.575 g/ml

วัดระดับความสูงของเม็ดพลาสติกที่ลอยอยู่นี้จากด้านล่างของกระบอกลง และสร้าง กราฟมาตรฐานโดยพล็อตระหว่างความหนาแน่นกับความสูง

เมื่อได้กราฟมาตรฐาน นำชิ้นงานตัวอย่างตัดให้มีขนาดพอสมควรและหย่อนลงในคอลัมน์ ที่เตรียม วัดระดับความสูงที่ชิ้นงานตัวอย่างลอยอยู่ และเทียบกับกราฟมาตรฐาน จะทราบความ หนาแน่นของชิ้นงาน

3.4.3 สมบัติทางความร้อน

1. ดิฟเฟอเรนเชียล สแกนนิ่ง แคลอริเมตรี (DSC)

ซึ่งพลาสติกโพลีเอทิลีนนิยมนำจำนวน 5-10 มิลลิกรัม ให้ทราบปริมาณสารที่แน่นอน แล้วนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง DSC โดยใช้อัตราการให้ความร้อน 20 องศาเซลเซียสต่อนาที อุณหภูมิสูงสุด 150 °C ศึกษาอุณหภูมิตกผลึก (T_c) อุณหภูมิหลอมเหลว (T_m) และพื้นที่ใต้กราฟ การคำนวณหาองศาความเป็นผลึก (Degree of crystallinity) จาก

$$\text{Degree of crystallinity} = \frac{\Delta H_f \times 100}{77.86}$$

หมายเหตุ ΔH_f ของพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำที่มีองศาความเป็นผลึก 100% เท่ากับ 77.86 J/g [25]

3.4.4 สัณฐานวิทยา (Morphology)

ศึกษาโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด (SEM) ศึกษาภาพตัดขวางและ ลักษณะพื้นผิวของพอลิเมอร์ที่เกิดจากการแตกหักที่อุณหภูมิต่ำ (Cryogenic fracture) โดยใช้ ไนโตรเจนเหลว (Liquid nitrogen) เพื่อศึกษาการกระจายตัวของเส้นใย และศึกษาการยึดติด ระหว่างเส้นใยและพอลิเมอร์

บทที่ 4

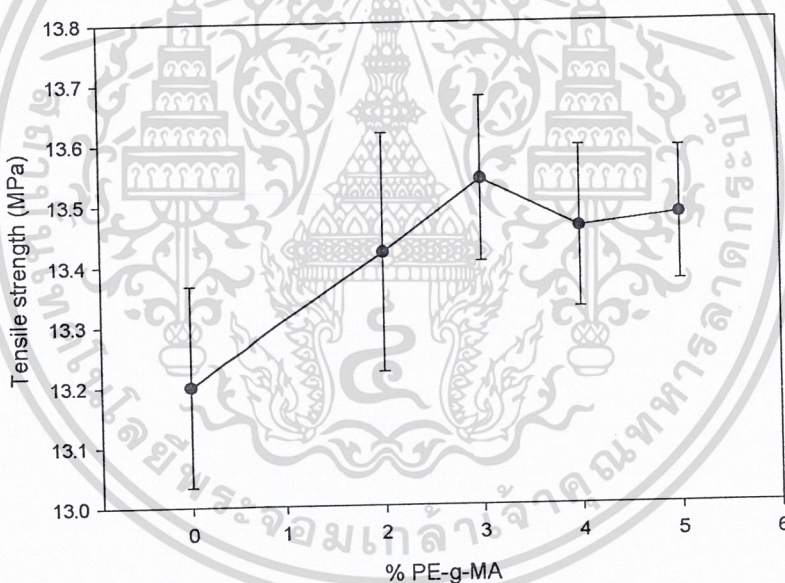
ผลการทดลอง

4.1 การศึกษาสมบัติของคอมพอลิเมอร์เมื่อทำการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารช่วยผสม (PE-g-MA)

4.1.1 ผลการศึกษาสมบัติเชิงกล

4.1.1.1 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของค่าความแข็งแรงดึง

ค่าความแข็งแรงดึง (Tensile strength) แสดงถึงความแข็งแรงของวัสดุที่สามารถทนทานต่อการได้รับแรงก่อนที่จะเกิดการแตกหัก จากงานวิจัยได้ทำการทดสอบสมบัติภายหลังที่ทำการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารช่วยผสม (PE-g-MA) แสดงดังรูปที่ 4.1 และรายละเอียดในภาคผนวก ข ตารางที่ ข1



รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งแรงดึงกับปริมาณสารช่วยผสม (PE-g-MA) ปริมาณ 0, 2, 3, 4 และ 5 % โดยน้ำหนักต่อน้ำหนักของเส้นใย และมีปริมาณเส้นใยต่อพอลิเมอร์เท่ากับ 10 % โดยน้ำหนัก เส้นใยขนาดมากกว่า 60 เมช

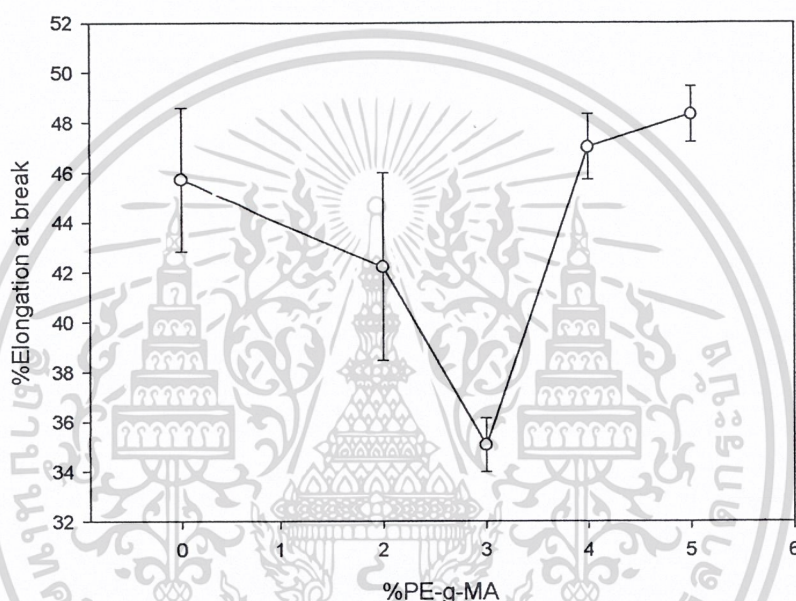
จากรูปที่ 4.1 จะเห็นได้ว่า ค่าความแข็งแรงดึงของคอมพอลิเมอร์มีค่าใกล้เคียงกัน โดยมีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อเติมสารช่วยผสมและมีค่าสูงสุดเมื่อเติมปริมาณสารช่วยผสม 3 % โดยน้ำหนักต่อน้ำหนักของเส้นใย แสดงว่าที่ปริมาณ 3 % ต่อน้ำหนักเส้นใยเป็นปริมาณที่เหมาะสมที่สุดที่สามารถ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ช่วยให้การยึดเกาะระหว่างเส้นใยผักตบชวา กับสายโซ่พอลิเมอร์สามารถยึดเกาะและเกิดเป็นผลึกได้ดีที่สุด

4.1.1.2 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของค่าร้อยละการยืดออก ณ จุดขาด

ค่าร้อยละการยืดออก ณ จุดขาดเป็นสมบัติเชิงกลที่แสดงถึง ความสามารถในการยืดก่อนที่จะเกิดการขาดอย่างถาวร ผลการวิจัยได้แสดงดังรูปที่ 4.2 และรายละเอียดในภาคผนวก ข ตารางที่ ข1



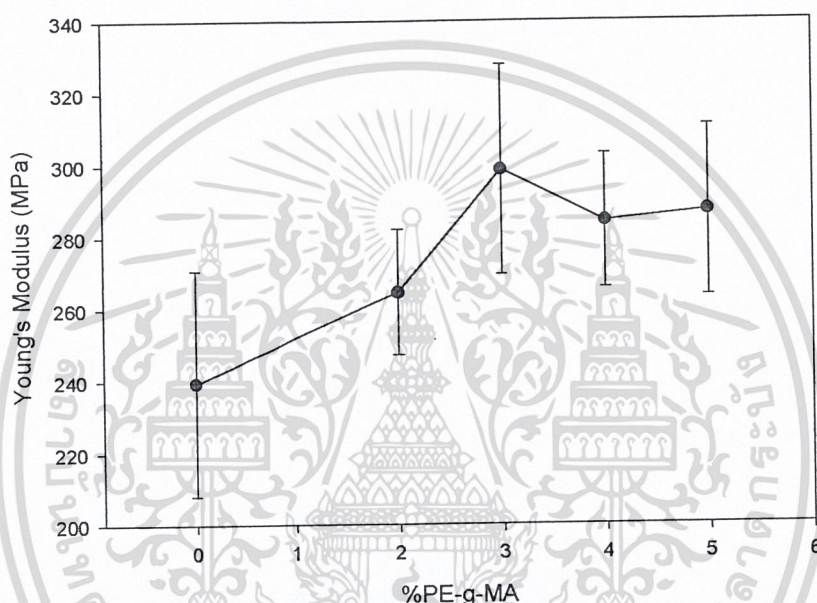
รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าร้อยละการยืดออก ณ จุดขาดกับปริมาณสารช่วยผสม (PE-g-MA) ปริมาณ 0, 2, 3, 4 และ 5 % โดยน้ำหนักต่อน้ำหนักของเส้นใย และมีปริมาณเส้นใยต่อพอลิเมอร์เท่ากับ 10 % โดยน้ำหนัก เส้นใยขนาดมากกว่า 60 เมช

จากรูปที่ 4.3 จะเห็นได้ว่า ค่าร้อยละการยืดออก ณ จุดขาดมีค่าลดลงเรื่อย ๆ จนกระทั่งปริมาณสารช่วยผสม 3 % โดยน้ำหนักต่อน้ำหนักของเส้นใย และเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณสารช่วยผสม สามารถอธิบายได้ว่าที่ปริมาณสารช่วยผสมที่ 3 % โดยน้ำหนักต่อน้ำหนักของเส้นใย จะทำให้เส้นใยผักตบชวาและสายโซ่พอลิเมอร์ยึดเกาะกันได้ดีที่สุด สำหรับที่ปริมาณ 4% และ 5% โดยน้ำหนักต่อน้ำหนักเส้นใย มีค่าร้อยละการยืดออก ณ จุดขาดเพิ่มขึ้นเนื่องจากสารช่วยผสมที่มากเกินไปอาจทำหน้าที่เหมือนสารหล่อลื่น (Lubricants) ทำให้ความสามารถของสายโซ่พอลิเมอร์ที่จะ

เคลื่อนที่หลุดออกจากกันเมื่อได้รับแรงเพิ่มขึ้น เป็นผลให้ค่าร้อยละการยืดออก ณ จุดขาดของวัสดุเพิ่มขึ้น

4.1.1.3 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของค่ามอดุลัส

ค่ามอดุลัสของวัสดุ เป็นสมบัติเชิงกลของวัสดุที่แสดงถึงความแข็งแรงซึ่งสัมพันธ์กับความคงรูปร่างของชิ้นงานเมื่อได้รับแรงหรือความสามารถในการรับแรงต่อการเปลี่ยนขนาดหรือรูปร่างของวัสดุ ผลการวิจัยได้แสดงดังรูปที่ 4.3 และรายละเอียดในภาคผนวก ข ตารางที่ ข1

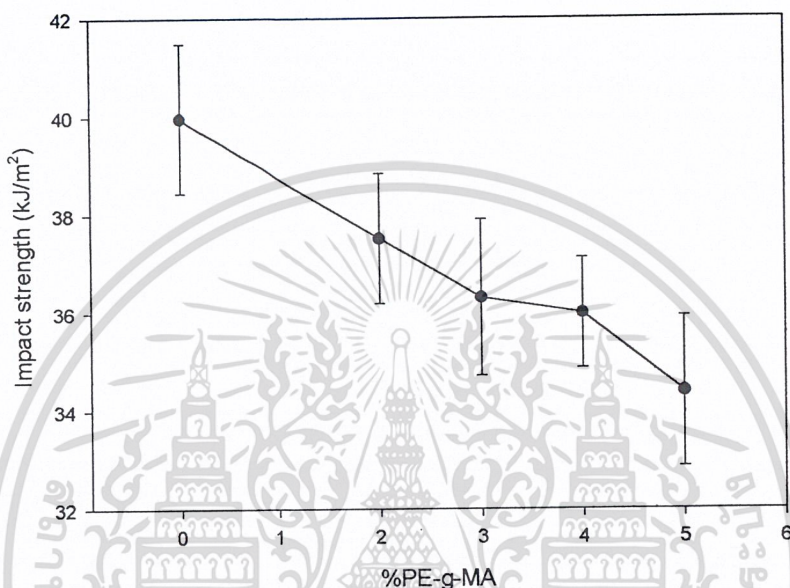


รูปที่ 4.3 สัมพันธ์ระหว่างค่ามอดุลัสกับปริมาณสารช่วยผสม (PE-g-MA) ปริมาณ 0, 2, 3, 4 และ 5 % โดยน้ำหนักต่อน้ำหนักของเส้นใยและมีปริมาณเส้นใยต่อพอลิเมอร์เท่ากับ 10 % โดยน้ำหนัก เส้นใยขนาดมากกว่า 60 เมช

จากรูปที่ 4.3 จะเห็นได้ว่า ค่ามอดุลัสของคอมพอสิตมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จนมีค่าสูงสุดเมื่อเติมปริมาณสารช่วยผสมลงไป 3 % ต่อน้ำหนักของเส้นใย จากนั้นจึงค่อย ๆ ลดลงแสดงว่าที่ปริมาณ 3 % ต่อน้ำหนักเส้นใยเป็นปริมาณที่เหมาะสมที่สุดที่สามารถช่วยให้การยึดเกาะระหว่างเส้นใยฝักตบชวากับสายโซ่พอลิเมอร์สามารถยึดเกาะและเกิดเป็นผลึกได้ดีที่สุด

4.1.1.4 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของค่าความทนแรงกระแทก

ค่าความทนแรงกระแทกหรือความแข็งแรงกระแทก (Impact strength) เป็นสมบัติเชิงกลที่แสดงถึงความทนต่อการได้รับแรงกระแทกโดยฉับพลันของวัสดุ แสดงถึงความแข็งแรงซึ่งสัมพันธ์กับค่าความทนแรงกระแทก ผลการวิจัยได้แสดงคังรูปที่ 4.4 และรายละเอียดในภาคผนวก ข ตารางที่ ข2

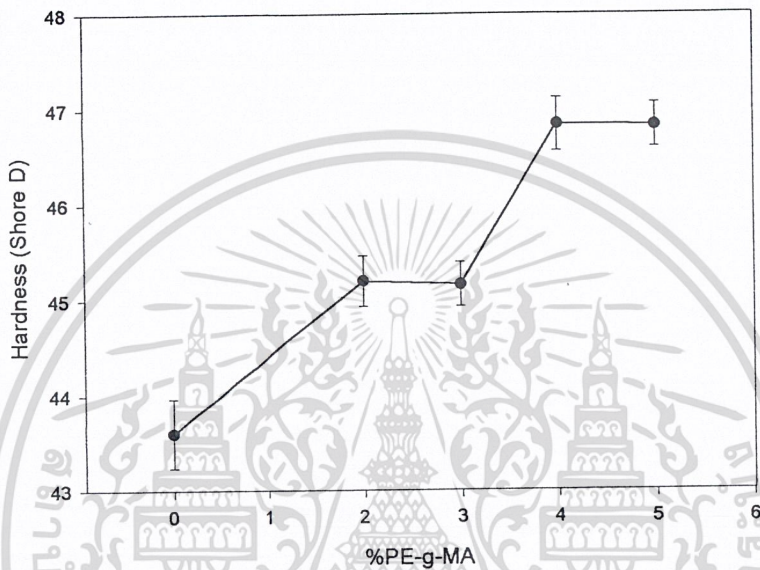


รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งแรงกระแทกกับปริมาณสารช่วยผสม (PE-g-MA) ปริมาณ 0, 2, 3, 4 และ 5% โดยน้ำหนักต่อน้ำหนักของเส้นใย และมีปริมาณเส้นใยต่อพอลิเมอร์เท่ากับ 10% โดยน้ำหนัก เส้นใยขนาดมากกว่า 60 เมช

จากรูปที่ 4.4 จะเห็นได้ว่า ค่าความแข็งแรงกระแทกมีค่าลดลง เมื่อปริมาณสารช่วยผสมเพิ่มขึ้น เนื่องมาจากสารช่วยผสมช่วยให้มีการยึดเกาะระหว่างเส้นใยฝักตบชวากับพอลิเมอร์เพิ่มขึ้น ทำให้คอมพอสิตมีวิฎภาคที่เป็นผลึกมากขึ้น ซึ่งทำให้ความเปราะเพิ่มขึ้น

4.1.1.5 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของค่าความแข็งที่พื้นผิว

ค่าความแข็ง (Hardness) เป็นสมบัติเชิงกลที่แสดงถึงความแข็งที่ผิวของวัสดุ เป็นความต้านทานของวัสดุหนึ่ง ๆ ในการให้แรงกดบนผิวของวัสดุให้ยุบตัว (Indentation) ของแรงกดจากหัวกด (Indenter) แต่ไม่ทะลุ ผลการวิจัยได้แสดงดังรูปที่ 4.5 และรายละเอียดในภาคผนวก ข ตารางที่ ข2



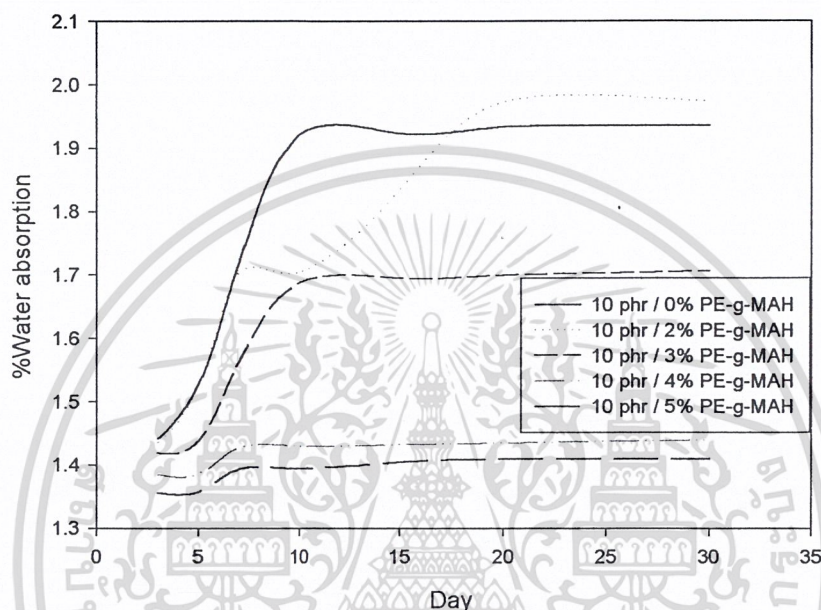
รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งที่พื้นผิวกับปริมาณสารช่วยผสม (PE-g-MA) ปริมาณ 0, 2, 3, 4 และ 5% โดยน้ำหนักต่อน้ำหนักของเส้นใย และมีปริมาณเส้นใยต่อพอลิเมอร์เท่ากับ 10% โดยน้ำหนัก เส้นใยขนาดมากกว่า 60 เมช

จากรูปที่ 4.5 จะเห็นได้ว่า ค่าความแข็งที่ผิวของคอมพอสิตที่มีปริมาณสารช่วยผสมเพิ่มขึ้นจะมีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากสารช่วยผสมจะทำให้ความเป็นผลึกเพิ่มขึ้น ทำให้ชิ้นงานมีความแข็งที่ผิวมากขึ้น สามารถรับน้ำหนักที่กดทับที่ผิวของชิ้นงานได้มากขึ้น

4.1.2 ผลการศึกษาสมบัติทางกายภาพ

4.1.2.1 ศึกษาสมบัติการดูดซับน้ำ

สมบัติการดูดซับน้ำแสดงถึงความสามารถของคอมพอลิเมอร์ที่สามารถดูดซับน้ำจากสิ่งแวดล้อมเข้าไปในช่องว่างภายในตัวผลิตภัณฑ์ ซึ่งแสดงถึงการมีหมู่ที่ชอบน้ำในคอมพอลิเมอร์ โดยผลการวิจัยแสดงดังรูปที่ 4.6 และรายละเอียดในภาคผนวก ข ตารางที่ ข4



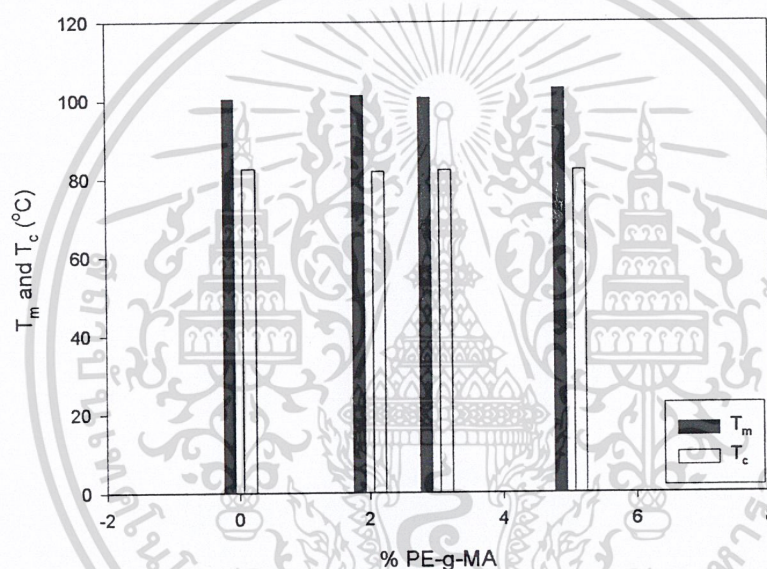
รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำกับปริมาณสารช่วยผสม (PE-g-MA) ปริมาณ 0, 2, 3, 4 และ 5% โดยน้ำหนักต่อน้ำหนักของเส้นใย และมีปริมาณเส้นใยต่อพอลิเมอร์เท่ากับ 10% โดยน้ำหนัก เส้นใยขนาดมากกว่า 60 เมช

จากรูปที่ 4.6 จะเห็นได้ว่า คอมพอลิเมอร์จะดูดซับน้ำอย่างรวดเร็วในช่วงแรกและคงที่เมื่อเวลาผ่านไป เมื่อเพิ่มปริมาณสารช่วยผสม จะทำให้ความสามารถในการดูดซับน้ำของคอมพอลิเมอร์มีค่าลดลงเนื่องจาก ช่องว่างระหว่างผิวสัมผัสของเส้นใยฝักคอบชวาและพอลิเมอร์หรืออินเตอร์เฟสมีค่าลดลง เพราะมีการยึดเกาะกันดีขึ้นและกลไกในการเกิดการเชื่อมโยงจะทำให้หมู่ไฮดรอกซีที่ผิวของเส้นใยฝักคอบชวาลดลง ความเป็นขั้วของคอมพอลิเมอร์ลดลง เป็นผลให้น้ำจากสิ่งแวดล้อมสามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนกับเส้นใย เช่น พันธะไฮโดรเจน ใต้น้อยลง ค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำของคอมพอลิเมอร์มีค่าลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณสารช่วยผสม

4.1.3 ผลการศึกษาสมบัติทางความร้อน

4.1.3.1 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของค่าอุณหภูมิของการหลอมตัวผลึกและอุณหภูมิการตกผลึก

อุณหภูมิหลอมตัวของผลึกสามารถบ่งบอกถึงขนาดความหนาของชั้นผลึกลามลล่า (Lamella) โดยจะแปรผันตามความหนาของชั้นลามลล่า การศึกษาการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิหลอมตัวของผลึกจะบ่งบอกถึงบริเวณและปริมาณของการขาดของสายโซ่ ส่วนอุณหภูมิของการตกผลึกสามารถแสดงถึงความยากง่ายในการตกผลึกซึ่งอาจแตกต่างกันไปตามชนิดและความยาวของสายโซ่โมเลกุล ผลการวิจัยการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิหลอมเหลวของผลึกและอุณหภูมิการตกผลึกแสดงดังรูปที่ 4.7 และรายละเอียดในภาคผนวก ข ตารางที่ ข5

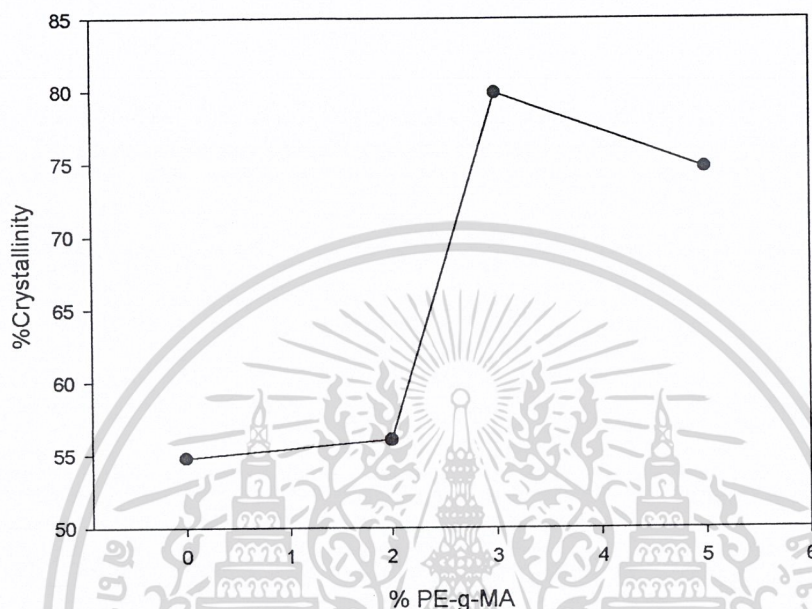


รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอุณหภูมิหลอมเหลวผลึก (T_m) และอุณหภูมิการตกผลึก (T_c) กับปริมาณสารช่วยผสม (PE-g-MA) ปริมาณ 0, 2, 3, 4 และ 5 % โดยน้ำหนักต่อน้ำหนักของเส้นใย และมีปริมาณเส้นใยต่อพอลิเมอร์เท่ากับ 10 % โดยน้ำหนัก เส้นใยขนาดมากกว่า 60 เมช

จากรูปที่ 4.7 จะเห็นได้ว่า ค่าอุณหภูมิหลอมเหลวผลึก (T_m) และอุณหภูมิการตกผลึก (T_c) มีค่าเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย วัสดุที่เป็นผลึกจะเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณสารช่วยผสมเพิ่มขึ้น โดยค่าอุณหภูมิของการหลอมเหลวผลึก (T_m) มีค่าเพิ่มขึ้นแต่แนวโน้มอุณหภูมิการตกผลึก (T_c) มีค่าไม่ต่างกัน

4.1.3.2 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงขององศาความเป็นผลึก

องศาความเป็นผลึกสามารถบ่งบอกถึงปริมาณความเป็นผลึกที่มีอยู่ในคอมพอลิเมอร์ ผลการวิจัยการเปลี่ยนแปลงองศาความเป็นผลึกแสดงดังรูปที่ 4.8 และรายละเอียดในภาคผนวก ข ตารางที่ ข5

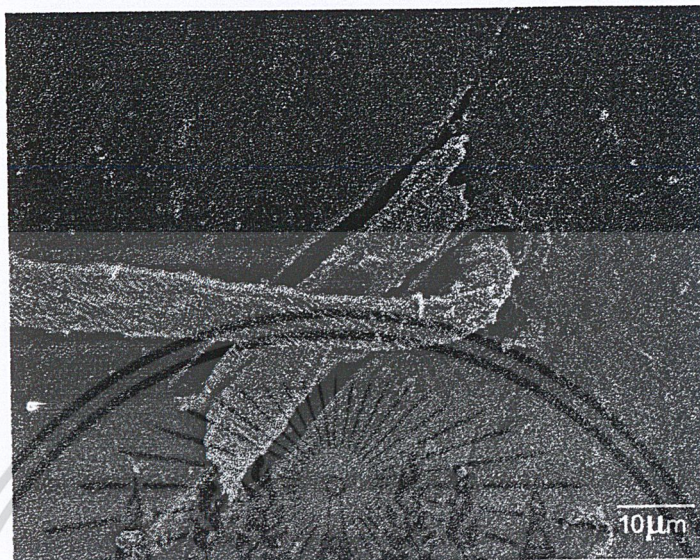


รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าองศาความเป็นผลึกกับปริมาณสารช่วยผสม (PE-g-MA) ปริมาณ 0, 2, 3, 4 และ 5 % โดยน้ำหนักต่อน้ำหนักของเส้นใย และมีปริมาณเส้นใยต่อพอลิเมอร์เท่ากับ 10 % โดยน้ำหนัก เส้นใยขนาดมากกว่า 60 เมช

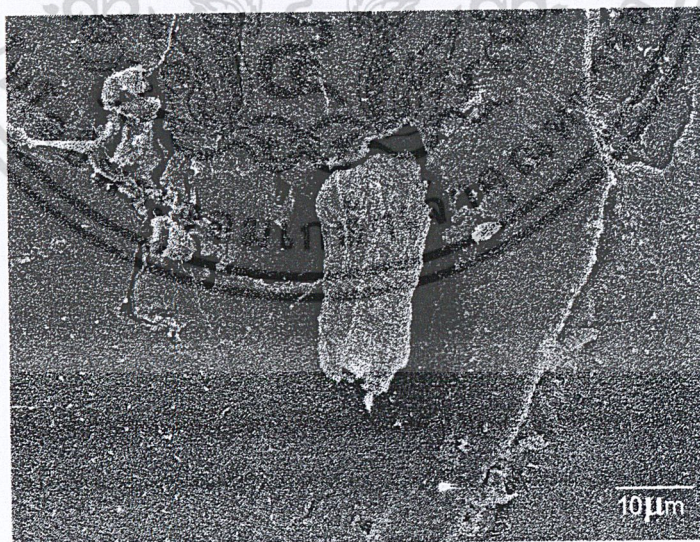
จากรูปที่ 4.8 จะเห็นได้ว่าองศาความเป็นผลึกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณสารช่วยผสม และมีค่าสูงสุดเมื่อใช้สารช่วยผสม 3 % โดยน้ำหนักต่อน้ำหนักเส้นใย แสดงว่า สารช่วยผสมช่วยทำให้พอลิเอทิลีนซึ่งเป็นเมทริกซ์ ยึดติดหรือสัมผัสกับเส้นใยได้ดีขึ้น เส้นใยจึงสามารถทำหน้าที่เป็นสารก่อผลึก (Nucleating agent) ช่วยทำให้พอลิเอทิลีนเกิดผลึกได้ง่ายขึ้น ปริมาณองศาความเป็นผลึกมากขึ้น ผลึกมีขนาดใหญ่ขึ้น สามารถสังเกตได้จากค่า T_m ที่สูงขึ้นในรูปที่ 4.7 เป็นผลให้วัสดุมีความแข็งแรงโดยรวมสูงขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดสอบสมบัติเชิงกลของคอมพอลิเมอร์ในตอน 4.1.1

4.1.4 ผลการศึกษาสัณฐานวิทยาของคอมพอลิตด้วย SEM

SEM เป็นการศึกษาสัณฐานวิทยาของวัสดุ โดยศึกษาพื้นผิวของชิ้นงานที่ได้จากการแตกหัก โดยใช้กำลังขยาย 1,200 เท่า

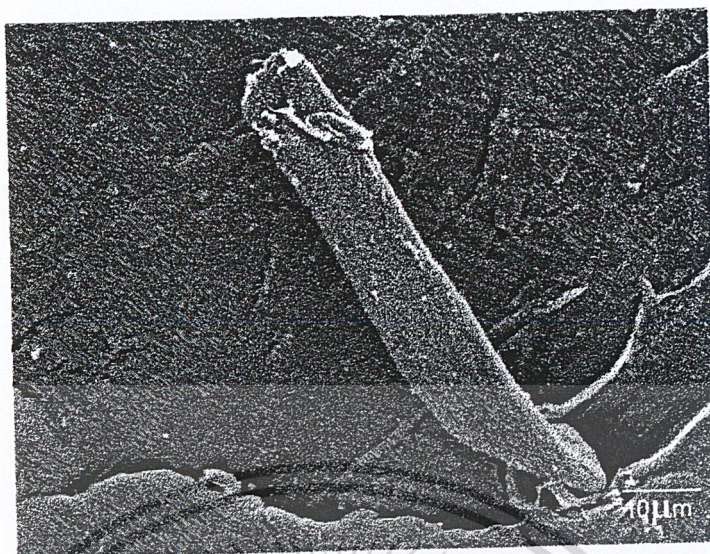


รูปที่ 4.9ก ภาพถ่าย SEM แสดงลักษณะพื้นผิวชิ้นงานที่แตกหักของคอมพอลิตที่ไม่ได้เติม ปริมาณสารช่วยผสม (PE-g-MA) หรือเท่ากับ 0% โดยน้ำหนักต่อน้ำหนักของเส้นใย ผักตบชวา



รูปที่ 4.9ข ภาพถ่าย SEM แสดงลักษณะพื้นผิวชิ้นงานที่แตกหักของคอมพอลิตที่เติมปริมาณ สารช่วยผสม (PE-g-MA) 2% โดยน้ำหนักต่อน้ำหนักของเส้นใยผักตบชวา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

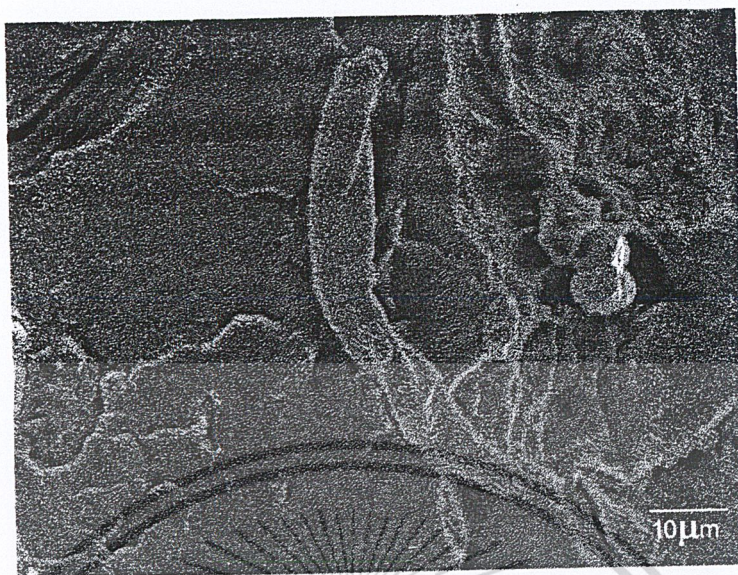


รูปที่ 4.9ค ภาพถ่าย SEM แสดงลักษณะพื้นผิวชั้นงานที่แตกหักของคอมพอสิตที่เติมปริมาณสารช่วยผสม (PE-g-MA) 3% โดยน้ำหนักต่อน้ำหนักของเส้นใยผักตบชวา



รูปที่ 4.9ง ภาพถ่าย SEM แสดงลักษณะพื้นผิวชั้นงานที่แตกหักของคอมพอสิตที่เติมปริมาณสารช่วยผสม (PE-g-MA) 4% โดยน้ำหนักต่อน้ำหนักของเส้นใยผักตบชวา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.9จ ภาพถ่าย SEM แสดงลักษณะพื้นผิวชิ้นงานที่แตกหักของคอมพอลิเมอร์ที่เติมปริมาณสารช่วยผสม (PE-g-MA) 5% โดยน้ำหนักต่อน้ำหนักของเส้นใยผักตบชวา

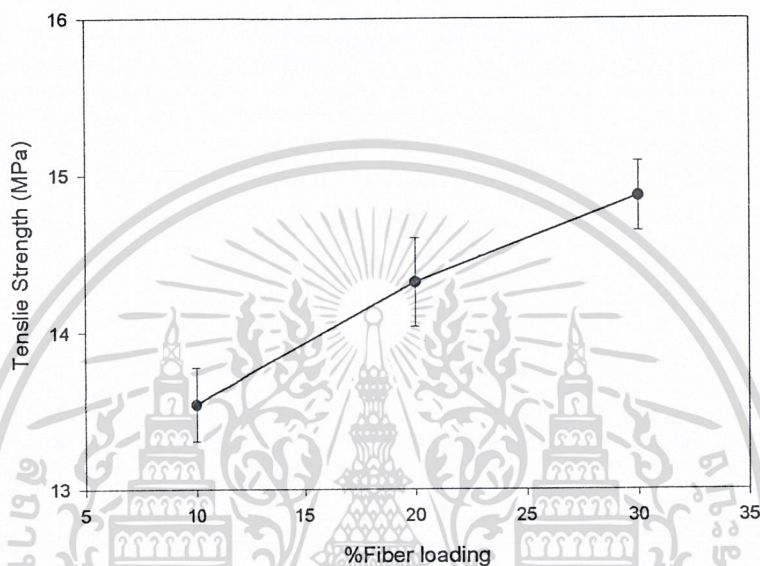
จากรูปที่ 4.9 จะเห็นได้ว่า การยึดติดระหว่างเส้นใยผักตบชวากับพอลิเมอร์ดีขึ้นเมื่อใส่สารช่วยผสม ซึ่งสังเกตได้จากช่องว่างระหว่างผิวสัมผัสของเส้นใยผักตบชวาและพอลิเมอร์ที่มีขนาดใหญ่เมื่อไม่ใส่สารช่วยผสมหรือใส่ในปริมาณน้อย เมื่อเพิ่มปริมาณสารช่วยผสมจะทำให้เส้นใยมีการยึดติดที่ดีกับพอลิเมอร์และไม่มีช่องว่างที่อินเตอร์เฟซระหว่างเส้นใยกับเมทริกซ์ ซึ่งผลการศึกษาสัณฐานวิทยาด้วย SEM สอดคล้องกับผลการทดสอบสมบัติเชิงกลและสมบัติทางความร้อน

4.2 ศึกษาสมบัติของคอมพอลิเมอร์เมื่อทำการเปลี่ยนแปลงปริมาณเส้นใยต่อปริมาณพอลิเมอร์

4.2.1 ผลการศึกษาสมบัติเชิงกล

4.2.1.1 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงความแข็งแรงดึง

ผลการวิจัยการเปลี่ยนแปลงของค่าความแข็งแรงดึงที่จุดขาดได้แสดงดังรูปที่ 4.10 และรายละเอียดในภาคผนวก ข ตารางที่ ข1



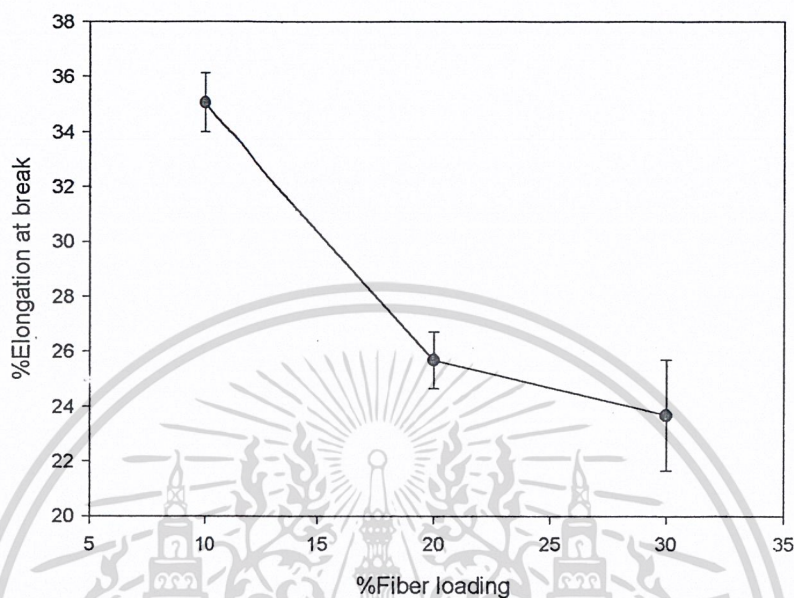
รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งแรงดึงกับปริมาณเส้นใยผักตบชวาเมื่อเติมปริมาณสารช่วยผสม (PE-g-MA) 3% โดยน้ำหนักต่อน้ำหนักเส้นใย และเส้นใยมีขนาดมากกว่า 60 เมช

จากรูปที่ 4.10 จะเห็นได้ว่า เมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยผักตบชวา ค่าความแข็งแรงดึงจะเพิ่มขึ้น เนื่องจากการเพิ่มการเสริมแรงจากสารเสริมแรงหรือเส้นใย และเพิ่มการจัดเรียงตัวเป็นผลึก เนื่องจากเส้นใยทำหน้าที่เป็นสารก่อผลึก (Nucleating agent)

4.2.1.2 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของค่าร้อยละการยืดออก ณ จุดขาด

ผลการวิจัยการเปลี่ยนแปลงของค่าร้อยละการยืดออก ณ จุดขาดได้แสดงดังรูปที่

4.11 และรายละเอียดในภาคผนวก ข ตารางที่ ข1

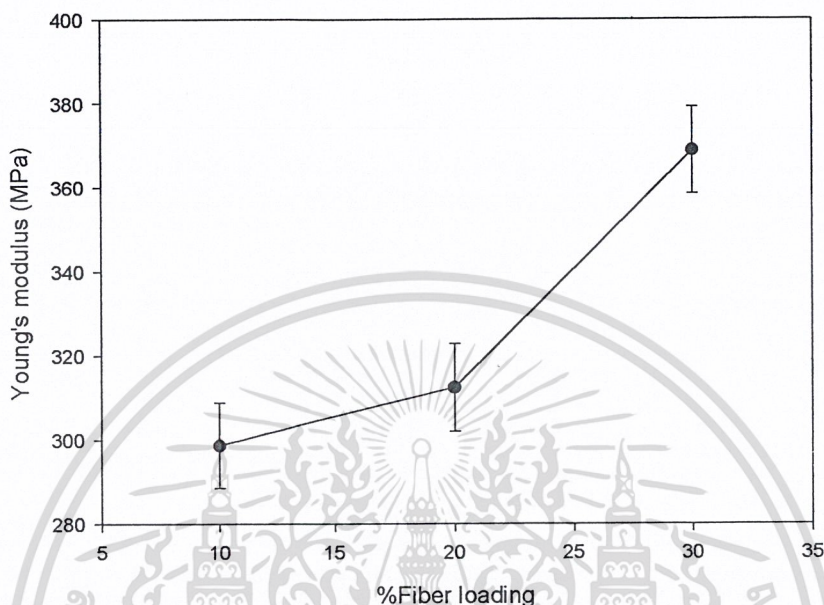


รูปที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าร้อยละการยืดออก ณ จุดขาดกับปริมาณเส้นใยฝักคชขวเมื่อเติมปริมาณสารช่วยผสม (PE-g-MA) 3% โดยน้ำหนักต่อน้ำหนักเส้นใย และเส้นใยมีขนาดมากกว่า 60 ไมครอน

จากรูปที่ 4.11 จะเห็นได้ว่า ค่าร้อยละการยืดออก ณ จุดขาด มีแนวโน้มลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใย เนื่องจากการเพิ่มปริมาณเส้นใยในวัสดุจะทำให้พอลิเมอร์มีการจัดเรียงตัวเป็นผลึกมากขึ้นโดยที่เส้นใยทำหน้าที่เป็นสารก่อผลึก (Nucleating agent) ทำให้การคลายตัวของสายโซ่พอลิเมอร์เมื่อวัสดุได้รับแรงดึงเกิดขึ้นน้อยลง ดังนั้นจึงยืดออกได้น้อย นอกจากนี้เมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยมากขึ้น จะทำให้เกิดพื้นที่ผิวสัมผัสหรือรอยต่อระหว่างวัฏภาค (Interface) มากขึ้น ซึ่งรอยต่อเหล่านี้จะมีความแข็งแรงต่ำกว่าเมื่อเทียบกับองค์ประกอบอื่น ๆ ของวัสดุคือเส้นใยและพอลิเมอร์เมทริกซ์ ดังนั้น เมื่อวัสดุได้รับแรงก็จะเกิดการเสียหายที่รอยต่อหรืออินเตอร์เฟสได้ง่ายกว่า เป็นสาเหตุให้ร้อยละการยืดออก ณ จุดขาดลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยในวัสดุคอมพอสิต

4.2.1.3 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของค่ามอดุลัส

ผลการวิจัยการเปลี่ยนแปลงค่ามอดุลัสได้แสดงดังรูปที่ 4.12 และรายละเอียดในภาคผนวก ข ตารางที่ ข1

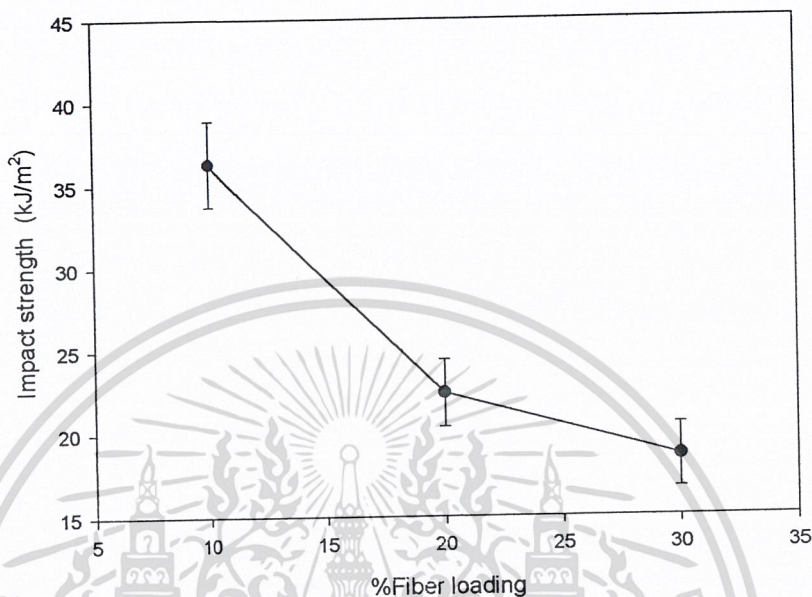


รูปที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ามอดุลัสกับปริมาณเส้นใยผักตบชวาเมื่อเติมปริมาณสารช่วยผสม (PE-g-MA) 3% โดยน้ำหนักต่อน้ำหนักเส้นใย และเส้นใยมีขนาดมากกว่า 60 เมช

จากรูปที่ 4.12 จะเห็นได้ว่า ค่ามอดุลัสเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใย เนื่องจากการเพิ่มการจัดเรียงตัวเป็นผลึกของสายโซ่พอลิเมอร์และเพิ่มการเสริมแรงให้กับวัสดุคอมพอสิต เนื่องจากเส้นใยเป็นวัสดุเสริมแรง (Reinforcement) มีความแข็งแรงและมอดุลัสสูงกว่าพอลิเอทิลีนเมทริกซ์ ดังนั้น เมื่อวัสดุมีปริมาณเส้นใยเพิ่มสูงขึ้น ค่าความแข็งแรงหรือมอดุลัสของวัสดุโดยรวมจึงสูงขึ้นตามกฎของผสม (Rule of mixture)

4.2.1.4 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของค่าความทนแรงกระแทก

ผลการวิจัยการเปลี่ยนแปลงค่าความทนแรงกระแทกได้แสดงดังรูปที่ 4.13 และรายละเอียดในภาคผนวก ข ตารางที่ ข2

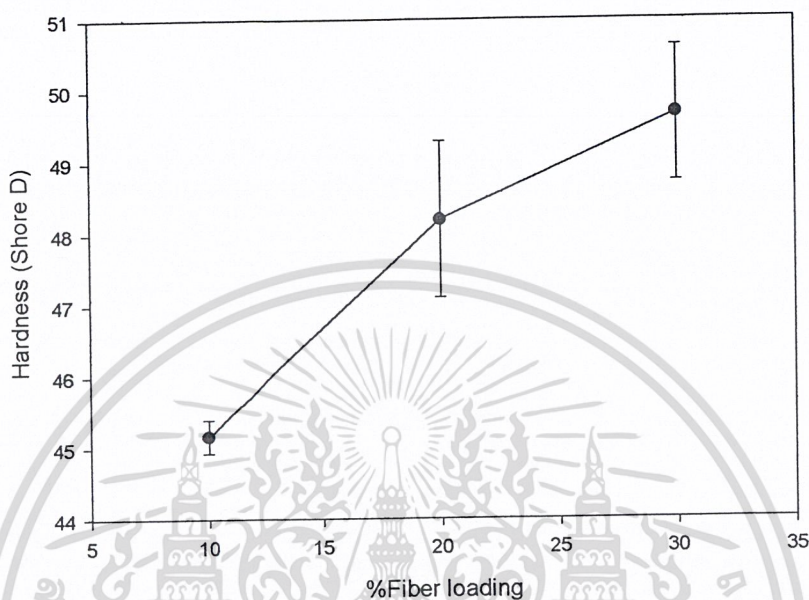


รูปที่ 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความทนแรงกระแทกกับปริมาณเส้นใยผักตบชวาเมื่อเติมปริมาณสารช่วยผสม (PE-g-MA) 3% โดยน้ำหนักต่อน้ำหนักเส้นใย และเส้นใยมีขนาดมากกว่า 60 เมช

จากรูปที่ 4.13 จะเห็นได้ว่า ค่าทนแรงกระแทกมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากการเพิ่มการจัดเรียงตัวเป็นผลึกของสายโซ่พอลิเมอร์ เมื่อปริมาณเส้นใยผักตบชวาเพิ่มขึ้น นอกจากนี้การใส่เส้นใยปริมาณมากลงในพอลิเมอร์ จะทำให้เกิดรอยต่อหรืออินเตอร์เฟซระหว่างเส้นใยและพอลิเมอร์เพิ่มมากขึ้น เมื่อวัสดุได้รับแรงกระแทก จะเกิดการแตกหักง่ายขึ้นที่บริเวณรอยต่อที่ไม่แข็งแรงนี้ ความแข็งแรงกระแทกของวัสดุจึงมีค่าลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยในคอมพอสิต

4.2.1.5 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของค่าความแข็งที่พื้นผิว

ผลการวิจัยการเปลี่ยนแปลงค่าความแข็งที่พื้นผิว ได้แสดงดังรูปที่ 4.14 และรายละเอียดในภาคผนวก ข ตารางที่ ข2



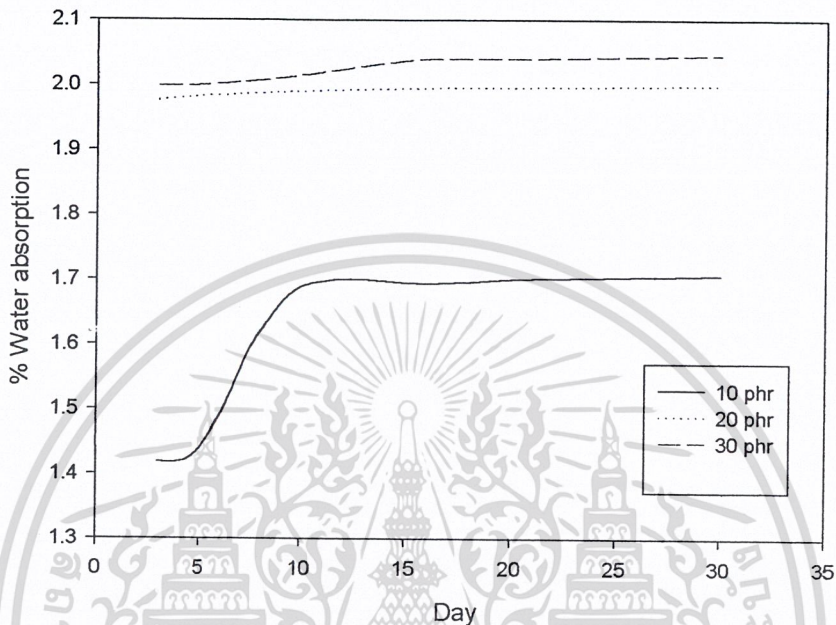
รูปที่ 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งที่ผิวกับปริมาณเส้นใยผักตบชวาเมื่อเติมปริมาณสารช่วยผสม (PE-g-MA) 3% โดยน้ำหนักต่อน้ำหนักเส้นใย และเส้นใยมีขนาดมากกว่า 60 เมช

จากรูปที่ 4.14 จะเห็นได้ว่า ค่าความแข็งที่ผิวมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เนื่องจากมีการเพิ่มการจัดเรียงตัวเป็นผลึกของสายโซ่พอลิเมอร์ เมื่อปริมาณเส้นใยผักตบชวาเพิ่มขึ้น ซึ่งสามารถอธิบายได้เช่นเดียวกับสมบัติความแข็งแรงและมอดุลัสของวัสดุ

4.2.2 ผลการศึกษาสมบัติทางกายภาพ

4.2.2.1 ศึกษาสมบัติการดูดซับน้ำ

ผลการวิจัยแสดงคังรูปที่ 4.15 และรายละเอียดในภาคผนวก ข ตารางที่ ข4



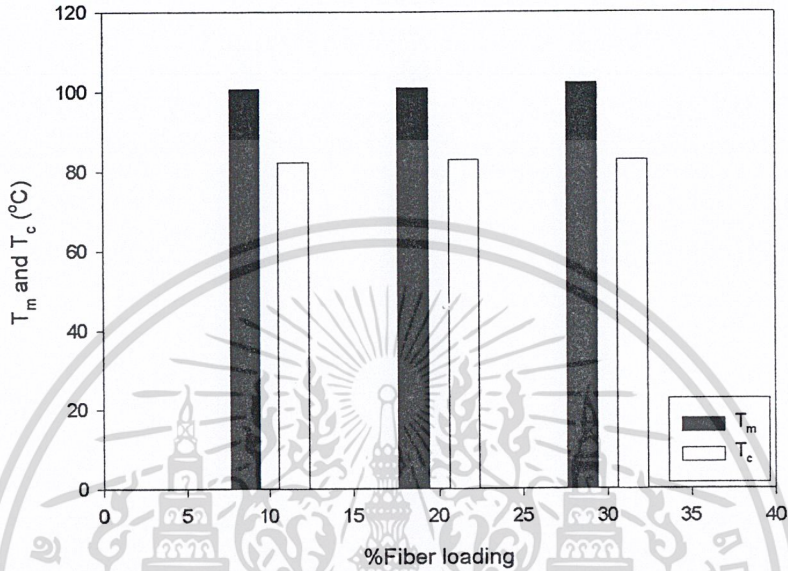
รูปที่ 4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดซับน้ำกับปริมาณเส้นใยผักตบชวาเมื่อเติมปริมาณสารช่วยผสม (PE-g-MA) 3% โดยน้ำหนักต่อน้ำหนักเส้นใย และเส้นใยมีขนาดมากกว่า 60 เมช

จากรูปที่ 4.15 จะเห็นได้ว่า ค่าการดูดซับน้ำจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณเส้นใยผักตบชวาที่ใช้ เนื่องจากจากหมู่ไฮดรอกซีที่ผิวของเส้นใยผักตบชวามีปริมาณเพิ่มขึ้น ความเป็นขั้วของคอมพอลิเมอร์จึงเพิ่มขึ้น นอกจากนี้พื้นที่ผิวสัมผัสของเส้นใยกับน้ำและรอยต่ออินเตอร์เฟซระหว่างเส้นใยกับพอลิเอทิลีนจะเพิ่มขึ้น เป็นสัดส่วนกับปริมาณเส้นใยที่ใส่ในวัสดุ เมื่อใส่เส้นใยมาก ทำให้พื้นที่ผิวสัมผัสของเส้นใยและรอยต่อมากขึ้น ทำให้น้ำจากสิ่งแวดล้อมสามารถแทรกตัวเข้าไปดูดซับในวัสดุได้มากขึ้นเช่นกัน

4.2.3 ผลการศึกษาสมบัติทางความร้อน

4.2.3.1 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของค่าอุณหภูมิการหลอมเหลวผลึกและอุณหภูมิการตกผลึก

ผลการวิจัยการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิการหลอมเหลวผลึกและอุณหภูมิการตกผลึกแสดงดังรูปที่ 4.16 และรายละเอียดในภาคผนวก ข ตารางที่ ข5

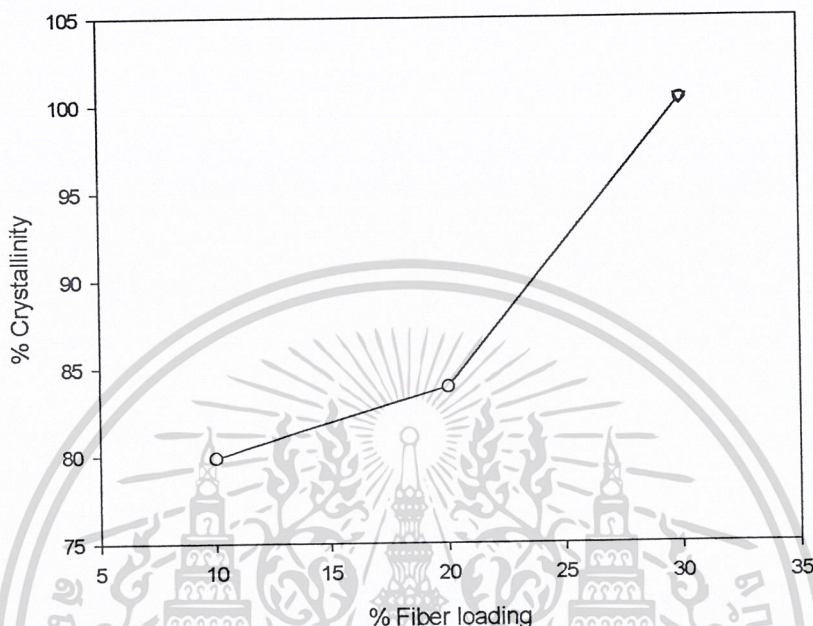


รูปที่ 4.16 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอุณหภูมิการหลอมเหลวผลึก (T_m) และอุณหภูมิการตกผลึก (T_c) กับปริมาณเส้นใยผักตบชวาเมื่อเติมปริมาณสารช่วยผสม (PE-g-MA) 3% โดยน้ำหนักต่อน้ำหนักเส้นใย

จากรูปที่ 4.16 จะเห็นได้ว่า ค่าอุณหภูมิของการหลอมเหลวผลึก (T_m) และอุณหภูมิการตกผลึก (T_c) มีค่าเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย เมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยที่ใส่ในคอมพอสิต โดยค่า T_m และ T_c มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย เนื่องจากเมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยในคอมพอสิต ทำให้พื้นผิวสัมผัสระหว่างพอลิเอทิลีนเมทริกซ์กับเส้นใยมากขึ้น เส้นใยสามารถทำหน้าที่เป็นสารก่อผลึก (Nucleating agent) ทำให้เกิดการตกผลึกได้ง่ายขึ้น มีองศาความเป็นผลึกสูงขึ้น และผลึกมีขนาดใหญ่ขึ้นเป็นผลทำให้ T_m และ T_c มีค่าสูงขึ้น

4.2.3.2 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงขององศาความเป็นผลึก

ผลการวิจัยการเปลี่ยนแปลงขององศาความเป็นผลึกแสดงดังรูปที่ 4.17 และรายละเอียดในภาคผนวก ข ตารางที่ ข5



รูปที่ 4.17 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าองศาความเป็นผลึกกับปริมาณเส้นใยผักตบชวาเมื่อเติมปริมาณสารช่วยผสม (PE-g-MA) 3% โดยน้ำหนักต่อน้ำหนักเส้นใย

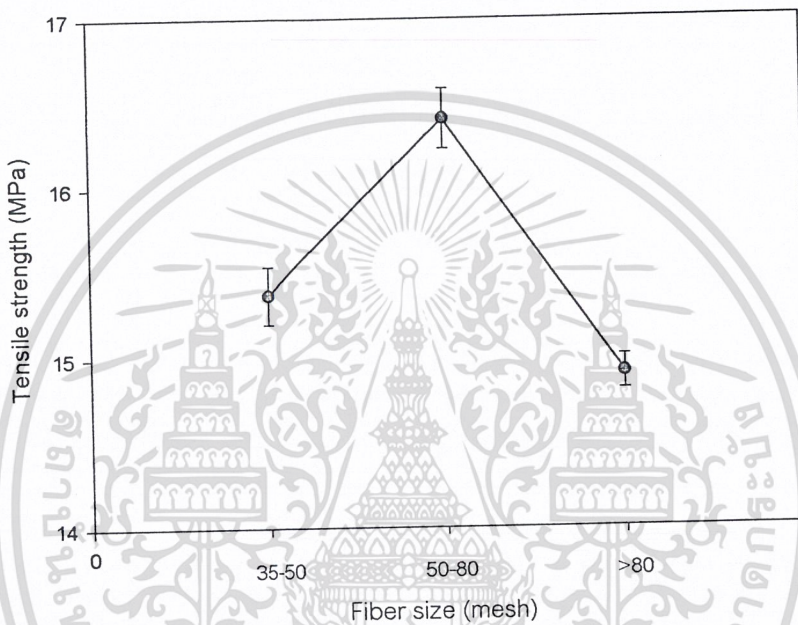
จากรูปที่ 4.17 จะเห็นได้ว่า ค่าองศาความเป็นผลึกเพิ่มเมื่อปริมาณเส้นใยผักตบชวาเพิ่มขึ้น เนื่องจากเส้นใยผักตบชวาทำหน้าที่เป็นสารก่อผลึก ช่วยทำให้คอมพอลิติกเกิดผลึกได้ง่ายขึ้น องศาความเป็นผลึกมากขึ้นและผลึกมีขนาดใหญ่ขึ้น

4.3 ศึกษาสมบัติของคอมพอลิติกเมื่อทำการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นใยผักตบชวา

4.3.1 ผลการศึกษาสมบัติเชิงกล

4.3.1.1 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของค่าความแข็งแรงดึง

ผลการวิจัยการเปลี่ยนแปลงของค่าความแข็งแรงดึงได้แสดงดังรูปที่ 4.18 และรายละเอียดในภาคผนวก ข ตารางที่ ข1



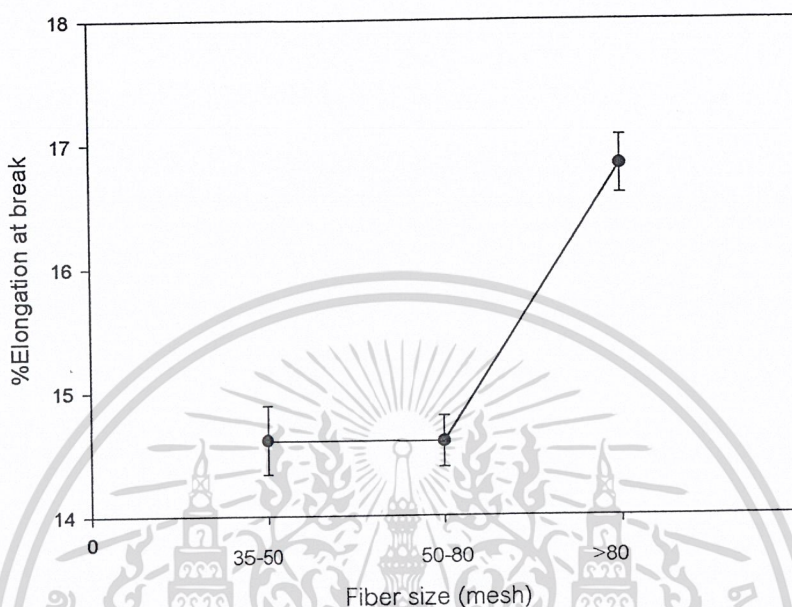
รูปที่ 4.18 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งแรงดึงกับขนาดของเส้นใยผักตบชวาเมื่อเติมปริมาณสารช่วยผสม (PE-g-MA) 3% โดยน้ำหนักต่อน้ำหนักเส้นใย และมีปริมาณเส้นใยต่อพอลิเมอร์เท่ากับ 30 % โดยน้ำหนัก

จากรูปที่ 4.18 จะเห็นได้ว่าเส้นใยผักตบชวาขนาด 50-80 เมชจะให้ค่าความแข็งแรงดึงสูงสุด เส้นใยขนาด 35-50 เมชให้ค่าความแข็งแรงดึงต่ำกว่าเนื่องจากมีขนาดที่ใหญ่เกินไปจนบางส่วนไปขัดขวางการจัดเรียงตัวเป็นผลึกของสายโซ่พอลิเมอร์ และเส้นใยขนาดมากกว่า 80 เมช ให้ค่าความแข็งแรงดึงต่ำกว่าเนื่องจากเส้นใยมีขนาดเล็กเกินไปจึงมีบางส่วนที่ไม่ช่วยในการเสริมแรง และเส้นใยขนาดเล็กจะจับตัวกันเป็นก้อนซึ่งทำให้กระจายตัวไม่ดีในเมตริกซ์

4.3.1.2 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของค่าร้อยละการยืดออก ณ จุดขาด

ผลการวิจัยการเปลี่ยนแปลงของค่าร้อยละการยืดออก ณ จุดขาดได้แสดงดังรูปที่

4.19 และรายละเอียดในภาคผนวก ข ตารางที่ ข1

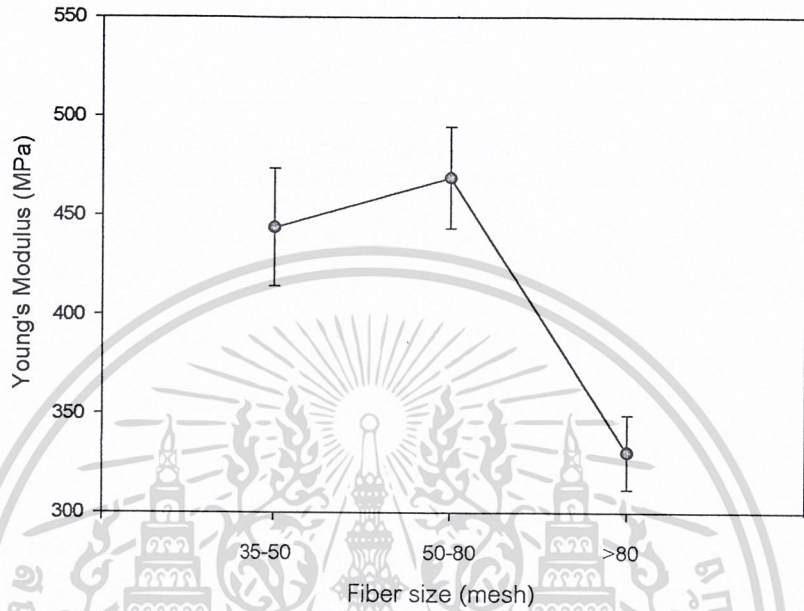


รูปที่ 4.19 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าร้อยละการยืดออก ณ จุดขาดกับขนาดของเส้นใยผักตบชวา เมื่อเติมปริมาณสารช่วยผสม (PE-g-MA) 3% โดยน้ำหนักต่อน้ำหนักเส้นใย และมีปริมาณเส้นใยต่อพอลิเมอร์เท่ากับ 30% โดยน้ำหนัก

จากรูปที่ 4.19 จะเห็นได้ว่า เส้นใยขนาด 50-80 เมช มีค่าร้อยละการยืดออก ณ จุดขาดมีค่าต่ำที่สุด แสดงว่าเส้นใยขนาด 50-80 เมช สามารถเกิดการยึดเกาะกับพอลิเมอร์ได้ดีที่สุดและสายโซ่พอลิเมอร์สามารถจัดเรียงตัวเป็นผลึกได้ดีที่สุด

4.3.1.3 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของค่ามอดุลัส

ผลการวิจัยการเปลี่ยนแปลงค่ามอดุลัสได้แสดงดังรูปที่ 4.20 และรายละเอียดในภาคผนวก ข ตารางที่ ข1

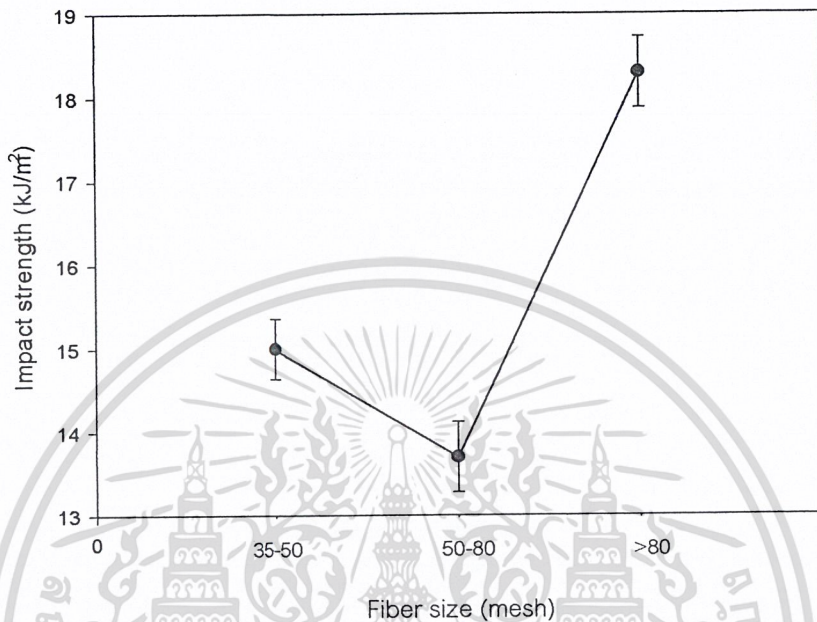


รูปที่ 4.20 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ามอดุลัสกับขนาดของเส้นใยผักตบชวาเมื่อเติมปริมาณสารช่วยผสม (PE-g-MA) 3% โดยน้ำหนักต่อน้ำหนักเส้นใย และมีปริมาณเส้นใยต่อพอลิเมอร์เท่ากับ 30% โดยน้ำหนัก

จากรูปที่ 4.20 จะเห็นได้ว่า เส้นใยขนาด 50-80 เมช ทำให้คอมพอสิตมีค่ามอดุลัสสูงสุด เส้นใยขนาด 35-50 เมช ให้ค่ามอดุลัสต่ำกว่าเนื่องจากมีขนาดที่ใหญ่เกินไปจนบางส่วนไปขัดขวางการจัดเรียงตัวเป็นผลึกของสายโซ่พอลิเมอร์ และเส้นใยขนาดมากกว่า 80 เมช ให้ค่ามอดุลัสต่ำกว่าเนื่องจากเส้นใยมีขนาดเล็กเกินไปจึงมีบางส่วนที่ไม่ช่วยในการเสริมแรง และเส้นใยขนาดเล็กจะจับตัวกันเป็นก้อนซึ่งทำให้กระจายตัวไม่ดีในเมตริกซ์

4.3.1.4 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงค่าความทนแรงกระแทก

ผลการวิจัยการเปลี่ยนแปลงค่าความทนแรงกระแทกได้แสดงดังรูปที่ 4.21 และรายละเอียดในภาคผนวก ข ตารางที่ ข2

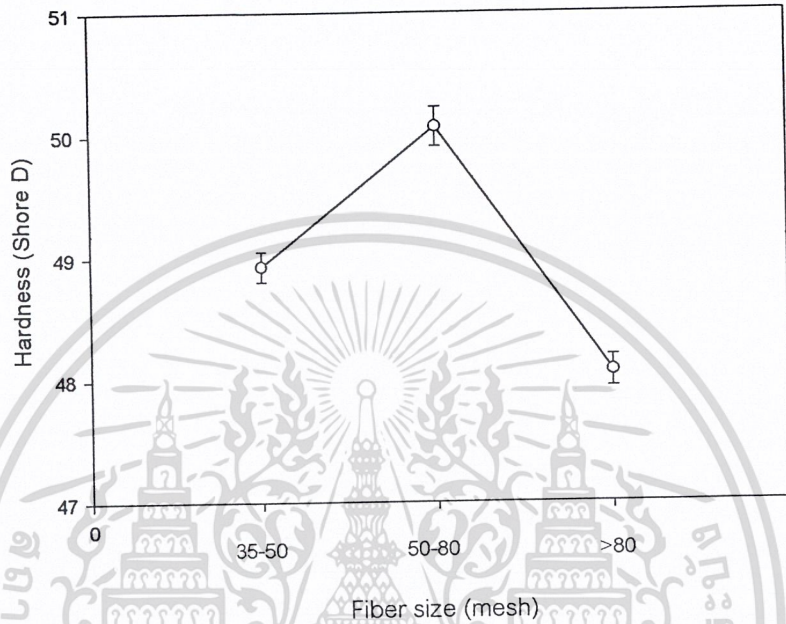


รูปที่ 4.21 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความทนแรงกระแทกกับขนาดของเส้นใยผักตบชวาเมื่อเติมปริมาณสารช่วยผสม (PE-g-MA) 3% โดยน้ำหนักต่อน้ำหนักเส้นใย และมีปริมาณเส้นใยต่อพอลิเมอร์เท่ากับ 30 % โดยน้ำหนัก

จากรูปที่ 4.21 จะเห็นได้ว่าเส้นใยขนาด 50-80 เมช มีค่าความทนแรงกระแทกต่ำที่สุด เนื่องจากมีการขีดเกาะระหว่างเส้นใยผักตบชวาและสายโซ่พอลิเมอร์ดีที่สุด พอลิเมอร์สามารถจัดเรียงตัวเป็นผลึกได้มากที่สุด

4.3.1.5 ศึกษาค่าความแข็งที่พื้นผิว

ผลการวิจัยการเปลี่ยนแปลงค่าความแข็งที่พื้นผิว ได้แสดงดังรูปที่ 4.22 และรายละเอียดในภาคผนวก ข ตารางที่ ข2



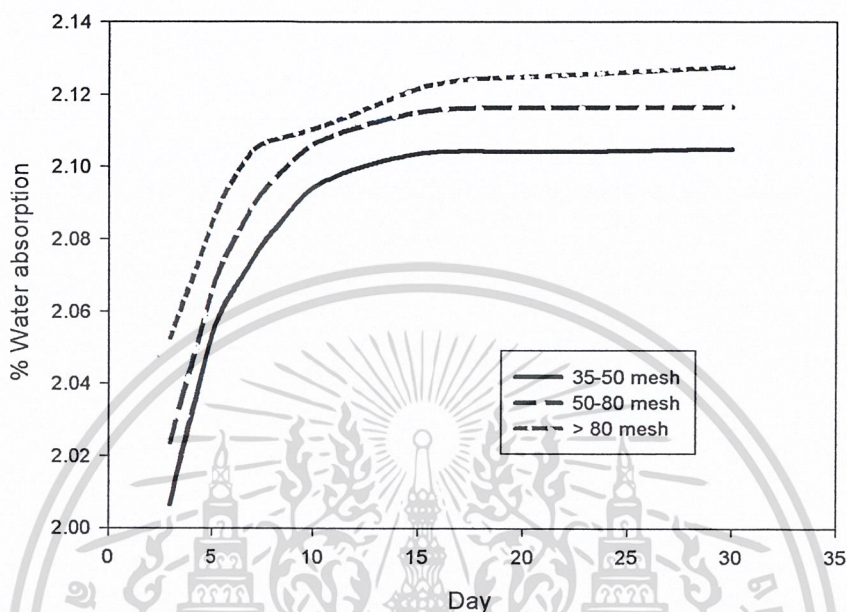
รูปที่ 4.22 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งที่พื้นผิวกับขนาดของเส้นใยผักตบชวาเมื่อเติมปริมาณสารช่วยผสม (PE-g-MA) 3% โดยน้ำหนักต่อน้ำหนักเส้นใย และมีปริมาณเส้นใยต่อพอลิเมอร์เท่ากับ 30% โดยน้ำหนัก

จากรูปที่ 4.22 จะเห็นได้ว่าเส้นใยขนาด 50-80 เมช มีค่าความแข็งแรงที่ผิวสูงที่สุด เนื่องจากคอมพอสิตมีวิฤภาคที่เป็นผลึกมากที่สุด เกิดจากมีการยึดเกาะที่ดีระหว่างเส้นใยผักตบชวาและสายโซ่พอลิเมอร์ ขนาดเส้นใยผักตบชวาเหมาะสมสำหรับการจัดเรียงตัวเป็นผลึกของพอลิเมอร์

4.3.2 สมบัติทางกายภาพ

4.3.2.1 ศึกษาสมบัติการดูดซับน้ำ

ผลการวิจัยแสดงดังรูปที่ 4.23 และรายละเอียดในภาคผนวก ข ตารางที่ ข4



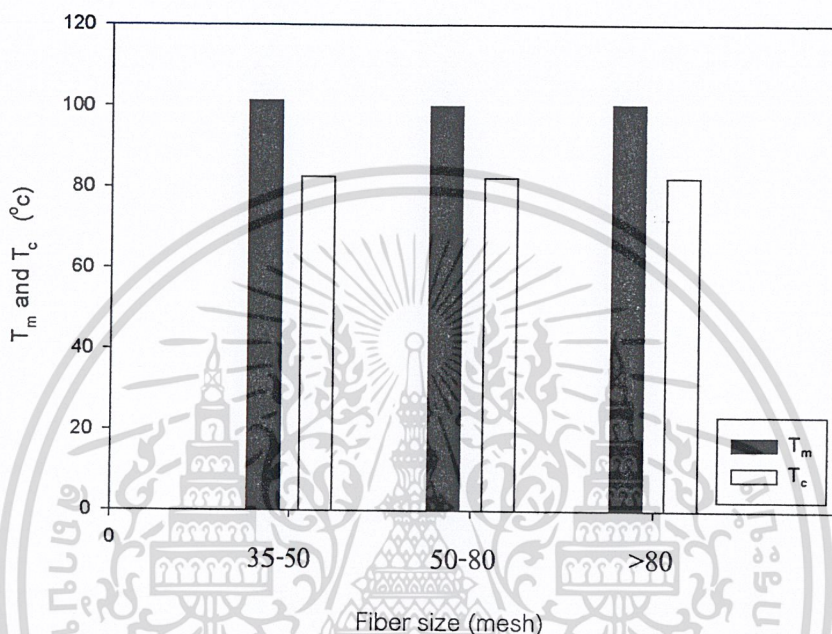
ปที่ 4.23 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซับน้ำกับขนาดของเส้นใยฝักตบชวาเมื่อเติม ปริมาณสารช่วยผสม (PE-g-MA) 3% โดยน้ำหนักต่อน้ำหนักเส้นใย และมีปริมาณ เส้นใยต่อพอลิเมอร์เท่ากับ 30 % โดยน้ำหนัก

จากรูปที่ 4.23 จะเห็นได้ว่า ร้อยละการดูดซับน้ำเพิ่มขึ้นเมื่อขนาดของเส้นใยฝักตบชวาลดลง เนื่องจากเส้นใยขนาดเล็กมีพื้นที่ผิวมากและมีหมู่ไฮดรอกซิลมาก ทำให้ดูดซับน้ำได้มากกว่าเส้นใยขนาดใหญ่ที่มีพื้นที่ผิวน้อยและมีหมู่ไฮดรอกซิลน้อยกว่า

4.3.3 สมบัติทางความร้อน

4.3.3.1 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของค่าอุณหภูมิหลอมเหลวผลึกและอุณหภูมิการตกผลึก

ผลการวิจัยการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิหลอมเหลวผลึกและอุณหภูมิการตกผลึก แสดงดังรูปที่ 4.24 และรายละเอียดในภาคผนวก ข ตารางที่ ข5

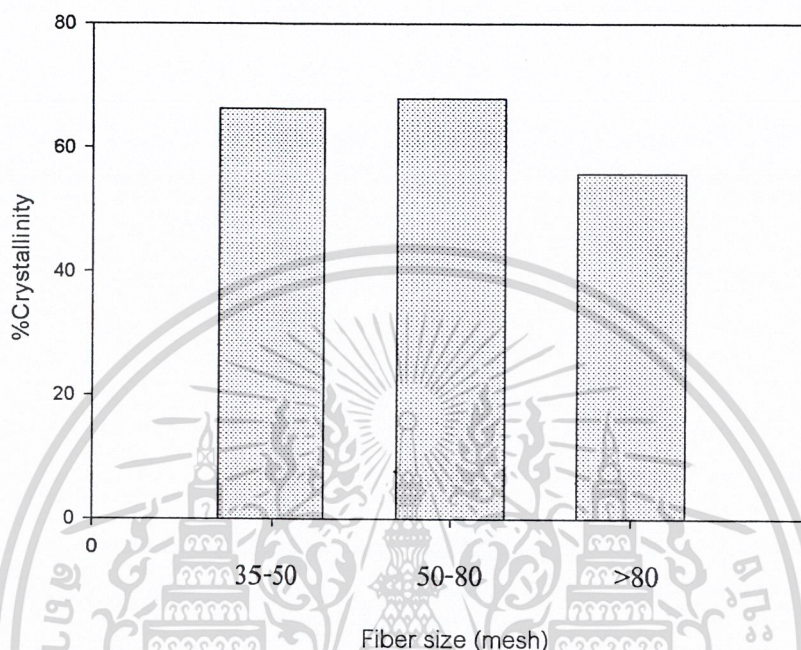


รูปที่ 4.24 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอุณหภูมิหลอมเหลวผลึกและอุณหภูมิการตกผลึก กับขนาดของเส้นใยฝักคอบขวาเมื่อเติมปริมาณสารช่วยผสม (PE-g-MA) 3% โดยน้ำหนักต่อน้ำหนักเส้นใย และมีปริมาณเส้นใยต่อพอลิเมอร์เท่ากับ 30% โดยน้ำหนัก

จากรูปที่ 4.24 จะเห็นได้ว่า ค่าอุณหภูมิของการหลอมตัวของผลึกและอุณหภูมิการตกผลึก มีค่าเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย ซึ่งแสดงว่าขนาดเส้นใยมีผลเล็กน้อยต่อค่าอุณหภูมิของการหลอมตัวของผลึกและอุณหภูมิการตกผลึก

4.3.3.2 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงขององศาความเป็นผลึก

ผลการวิจัยการเปลี่ยนแปลงองศาความเป็นผลึกแสดงดังรูปที่ 4.25 และรายละเอียดในภาคผนวก ข ตารางที่ ข5



รูปที่ 4.25 ความสัมพันธ์ระหว่างองศาความเป็นผลึกกับขนาดของเส้นใยฝักตบขวาเมื่อเติมปริมาณสารช่วยผสม (PE-g-MA) 3% โดยน้ำหนักต่อน้ำหนักเส้นใย และมีปริมาณเส้นใยต่อพอลิเมอร์เท่ากับ 30% โดยน้ำหนัก

จากรูปที่ 4.25 จะเห็นได้ว่า ที่เส้นใยขนาด 50-80 เมช มีองศาความเป็นผลึกสูงที่สุด เส้นใยขนาด 35-50 เมชให้องศาความเป็นผลึกต่ำกว่าเนื่องจากมีขนาดที่ใหญ่เกินไปจนบางส่วนไปขัดขวางการจัดเรียงตัวเป็นผลึกของสายโซ่พอลิเมอร์ และเส้นใยขนาดมากกว่า 80 เมช ให้ค่าองศาความเป็นผลึกต่ำกว่าเนื่องจากเส้นใยมีขนาดเล็กเกินไปจึงมีบางส่วนที่ไม่ช่วยในการเสริมแรง และเส้นใยขนาดเล็กจะจับตัวกันเป็นก้อนซึ่งทำให้กระจายตัวไม่ดีในเมตริกซ์

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

ในงานวิจัยนี้ได้นำพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE) ซึ่งเป็นพอลิเมอร์ที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย มาทำเป็นวัสดุคอมพอสิตกับเส้นใยผักตบชวา ซึ่งเป็นพืชที่ไม่เป็นที่ต้องการของสังคมและมีมากเกินไปในแหล่งน้ำธรรมชาติ โดยทำการผสมสูตรด้วยเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว (Single screw extruder) จากนั้นทำเป็นชิ้นงานเพื่อทดสอบสมบัติต่าง ๆ ด้วยเครื่องฉีดขึ้นรูปพลาสติก (Injection molding machine) แล้วทำการทดสอบสมบัติเชิงกล สมบัติทางกายภาพ สมบัติทางความร้อนและสัณฐานวิทยา เมื่อพิจารณาผลการทดลองแล้ว สามารถสรุปผลงานวิจัยได้ดังนี้ คือ

1. ปริมาณสารช่วยผสมมีผลต่อสมบัติเชิงกลของคอมพอสิตเพียงเล็กน้อย แต่ปริมาณสารช่วยผสมที่ 3% โดยน้ำหนักต่อน้ำหนักเส้นใยผักตบชวา ทำให้สมบัติเชิงกลดีที่สุด
2. เมื่อปริมาณสารช่วยผสมเพิ่มขึ้น จะทำให้เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำของคอมพอสิตลดลง เนื่องจากเส้นใยชิดเกาะกับพอลิเมอร์ได้ดี ช่องว่างระหว่างผิวสัมผัสของพอลิเมอร์กับเส้นใยจึงลดลง และหมู่ไฮดรอกซีของเส้นใยลดลง ทำให้ความเป็นขั้วลดลง
3. เมื่อปริมาณสารช่วยผสมเพิ่มขึ้นจะทำให้สมบัติทางความร้อนของคอมพอสิตเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย แต่องศาความเป็นผลึกสูงสุดเมื่อใช้ปริมาณสารช่วยผสม 3% โดยน้ำหนักต่อน้ำหนักเส้นใย
4. เมื่อปริมาณเส้นใยผักตบชวาเพิ่มขึ้น ทำให้สมบัติเชิงกลของคอมพอสิตดีที่สุดที่ปริมาณเส้นใยเท่ากับ 30 ส่วนใน 100 ส่วน
5. เมื่อปริมาณเส้นใยผักตบชวาเพิ่มขึ้น ทำให้การดูดซึมน้ำของคอมพอสิตเพิ่มขึ้น เนื่องจากเส้นใยมีส่วนมีขั้ว ซึ่งเป็นหมู่ไฮดรอกซีมากขึ้น
6. ปริมาณเส้นใยผักตบชวาเพิ่มขึ้นส่งผลต่อสมบัติทางความร้อนเพียงเล็กน้อย โดยที่ค่าอุณหภูมิหลอมเหลวผลึก (T_m) และอุณหภูมิตกผลึก (T_c) มีการเปลี่ยนแปลงน้อย แต่องศาความเป็นผลึกของคอมพอสิตมีค่าเพิ่มขึ้นเนื่องจากเส้นใยผักตบชวาเปรียบเสมือนสารก่อผลึก (Nucleating agent) ทำให้ความเป็นผลึกเพิ่มขึ้น
7. คอมพอสิตที่ใช้เส้นใยที่มีขนาด 50-80 เมช จะทำให้สมบัติเชิงกลดีที่สุด
8. เส้นใยที่มีขนาดเล็ก สามารถดูดซึมน้ำได้ดีกว่าเส้นใยที่มีขนาดใหญ่ เนื่องจากพื้นที่ผิวของเส้นใยมีมากกว่า ความเป็นขั้วของหมู่ไฮดรอกซีจึงมีมาก ทำให้การดูดซึมน้ำมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9. ค่า Aspect ratio ของเส้นใยขนาด 35-50 เมช ขนาด 50-80 เมช และขนาดมากกว่า 80 เมช มีค่าเท่ากับ 190.5 175 และ 30 ตามลำดับ

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. คอมพอสิตที่ได้มีสมบัติเชิงกล สมบัติทางกายภาพ และสมบัติทางความร้อนดี อาจนำไปประยุกต์ใช้เป็นผลิตภัณฑ์อื่นที่มีประโยชน์ได้
2. อาจทำการปรับปรุงสภาพผิวเส้นใยฝักตบชวา ซึ่งจะช่วยให้ได้สมบัติของผลิตภัณฑ์ดีขึ้น
3. อาจทำการเปลี่ยนแปลงชนิดพอลิเมอร์เพื่อให้ได้สมบัติที่ดีกว่า



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

1. Raj,R.G. and Kokta, B.V. “The Effect of Processing Conditions and Binding Material on the Mechanical Properties of Bagasse Fiber Composites” *Eur.Polym. J.*27 (1991) : 1121-1123.
2. Woodhams, R.t. et.al. “Wood Fiber as Reinforcing Filler in Polyethylene : Studies on Mechanical Properties.” *Polym.Eng.Sci.* 24(15) , 1984: 77-81.
3. Yam. K.L. et. al. “Composites from Compounding Wood Fibers with Recycled HDPE.” *PolymEng.Sci.* 30(11) , 1990: 693-700.
4. George,J.; Joseph,K.; Thomas,S. Bhagavan,S.S. in *Mechanical and Viscoelastic Properties of Short Pineapple Fiber Reinforced Low-Density Polyethylene composites*, Polymer Science Recent Advances, (Bharwaj,I.S.ed.) pp. 526-531, Allied Publishers Limited, India, 1994.
5. Joseph,K.; Thomas,S.; Pavaithran,C. “ Tensile Properties of Short Sisal Fiber-Reinforced Polyethylene Composites” *J. Appl. Polym. Sci.* 47(1993) : 1731- 1739.
6. Nagaty, A. et.al. *J.Apply.Polym.Sci.* 21(1983) : 715.
7. พิชัย จงสกุลชัยและคณะ “วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรต่อการปรับปรุง สมบัติทางกายภาพของพลาสติกพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูงและพอลิพรอพิลีน” โครงการงานพิเศษวิทยาศาสตร์บัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ,2533.
8. Kokta,B.V.; Raj, R.G.; Daneault,C. “Use of Wood Flour as Filler in Polypropylene: Studies on Mechanical Properties” *Polym.-Plast. Technol.Eng.* 28(3), 1989 : 247-259.
9. Simpson,R.J.; Selke,S.E. in *Composite Materials from Recycle Multilayer Propylene Bottles and Woods Fibers.*,Emerging Technologies in Plastic Recycling, (Andrews,G.D.ed.) pp. 232-240, American Chemical Society, New York, 1992.
10. Bashas,A.S.; Khan,M.A.; Idriss Ali; K.M. “Bamboo- Plastic composit with MMA” *Polym.-Plast. Technol.Eng.* 35(4), 1996 : 581-590.
11. นันทพร พันธุ์ภักดี และคณะ “ วัสดุคอมพอสิตจากพอลิพรอพิลีนและเส้นใยอ้อย “โครงการงานพิเศษวิทยาศาสตร์บัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง , 2540.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

12. เกลิมพล อธิธิวิวัฒน์ และคณะ “การใช้เส้นใยเซลลูโลสผสมกับเส้นใยแก้วเพื่อเป็นสารเสริมแรงในพอลิพรอพิลีน” โครงการงานพิเศษวิทยาศาสตร์บัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง , 2537.
13. ณะภัทรพงษ์ สุวรรณชัย และคณะ “การใช้ประโยชน์จากเส้นใยสลาบลวงเป็นสารตัวเติมในพอลิพรอพิลีน” โครงการงานพิเศษวิทยาศาสตร์บัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง , 2537.
14. วัชร อธิปัญญาสฤษดิ์ และคณะ “ การศึกษาการปรับปรุงพื้นผิวเส้นใยธรรมชาติ (ชานอ้อย) เพื่อใช้ประโยชน์ในพอลิเมอร์คอมพอสิต “ โครงการงานพิเศษวิทยาศาสตร์บัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง , 2540.
15. กมลรัตน์ คุรัตน์ชัชวาล และคณะ “ บทบาทของมัลติฟังก์ชันนัลมอนอเมอร์ที่มีผลต่อสมบัติเชิงกลและความร้อนของพอลิเมอร์คอมพอสิตระหว่างขวด HDPE ที่ใช้แล้วกับพอลิพรอพิลีนผสมกับชานอ้อย “โครงการงานพิเศษวิทยาศาสตร์บัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง , 2541.
16. มาลินี ชัยสุภกิจสินธุ์ “เคมีพอลิเมอร์“ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง , 2540.
17. กัญญาวีร์ สุวรรณชัย และคณะ “ พอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิโอลิฟินส์ที่ใช้แล้วกับแป้งมันสำปะหลัง “โครงการงานพิเศษวิทยาศาสตร์บัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง , 2542.
18. ทิพวัลย์ คำเหม็ง “องค์ประกอบของฝักคอบชวา “ วารสารวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น , 4(2530) , หน้า 217-223.
19. รัชดา ขวัญตน “คอมพอสิตจากพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่ใช้แล้วและเส้นใยอ้อย “โครงการงานพิเศษวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง , 2542 .
20. กมลทิพย์ มุมิ และคณะ “ การปรับปรุงพอลิเมอร์คอมพอสิตจากเส้นใยมะพร้าว โดยวิธีการตอ่กิ่งแบบรีดอกซ์ “โครงการงานพิเศษวิทยาศาสตร์บัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง , 2540.
21. มาลินี ชัยสุภกิจสินธุ์ “ปฏิบัติการเคมีพอลิเมอร์“ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง , 2540.
22. ASTM Committee on Standard “Standard Test Methods for Tensile Properties of Plastic (Metric)”, Philadelphia : American Society for Testing and Materials, 1993.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

23. ASTM Committee on Standard “*Standard Test Methods for Impact Resistance of Plastics and Electrical Insulating Materials*” ,Philadelphia : American Society for Testing and Materials, 1993.
24. ASTM Committee on Standard “*Standard Test Methods for Rockwell Hardness of Plastics and Electrical Insulating Materials*” ,Philadelphia : American Society for Testing and Materials, 1993.
25. Halim Hamid,S.; Mohamed,B.; Amin and Ali G.Maadhah in *Handbook of Polymer Degradation.*, Marcel Dekker ,Inc.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

สถานะที่ใช้ในการฉีดขึ้นรูปด้วยเครื่อง Injection molding machine

TIME PROGRAMMING

DIE CLS/OPN TIME	: 30	MELTING TIME	: 100
STD COR ACT TIME	: 20	DECOMPRS TIME	: 2
1 ST STG INJ TIME	: 20	COOLING TIME	: 200
2 ND STG INJ TIME	: 30	EJECTOR COUNT	: 2
3 RD STG INJ TIME	: 40	SCW FWD TIME	: 0
EJE FWD DLY	: 0	SCW BWD TIME1	: 0
MELTING DLY	: 0	SCW BWD TIME2	: 0
EJE BKD DLY	: 0	ALARM TIME	: 350

PRESSURE PROGRAMMING

DIE CLS PRESR	: 40	DECOM PRESR	: 40
CLS LOW PRESR	: 20	PLUNGER PRESR	: 25
CLS HI PRESR	: 20	EJECTOR PRESR	: 20
DIE OPN PRESR	: 40	SCW - IN PRESR	: 0
1 ST INJ PRESR	: 60	DIE ADJ PRESR	: 60
2 ND INJ PRESR	: 55		
3 RD INJ PRESR	: 50		
MELTING PRESR	: 50		

PROGRAMMING FLOW SPEED

RAPID CLS SPD	: 40	1 ST STG INJ SPD	: 40
HIGH CLS SPD	: 25	2 ND STG INJ SPD	: 30
CLAMPING SPD	: 25	3 RD STG INJ SPD	: 20
DIE OPN SLW 1	: 13	MELTING SPD	: 50
RAPID OPN SLW 1	: 30	DECOMP SPD	: 40
DIE OPN SWL 2	: 20	EJECTOR SPD	: 15
PRUNGER SPD	: 50	SCREW - IN	: 0
DIE ADJ SPD	: 40	DIE CHANGE SPD	: 10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PROGRAMMING TEMPERATURE

PROGRAMED TEMP	:	CURRENT TEMP
NOZZLE	:	160
ZONE 1	:	150
ZONE 2	:	140
ZONE 3	:	0
ZONE 4	:	0
ZONE 5	:	0
ZONE 6	:	0

PROGRAMME OPTIONS

DIE CLS SPD	: 1	1 = HI SPD	2 = FAST SPD	
PLUNGER SPD	: 2	1 = USE	2 = NO USE	
ROBOTS	: 2	1 = USE	2 = NO USE	
SCRW	: 2	1 = USE	2 = NO USE	3 = SID - COR
EJECTOR	: 1	1 = STAL	2 = MULTI	3 = FIXD
NBSID - COR	: 2	1 = TIME	2 = TRAVEL	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

แสดงผลการทดสอบสมบัติต่างๆ

ตารางที่ ข1 แสดงผลการทดสอบสมบัติเชิงกล

Type of samples	Tensile strength (MPa)	Modulus (MPa)	Elongation at break (%)
LDPE	13.12	160.45	76.39
LDPE/10P/>60m	13.20	164.64	45.71
LDPE/10P/2%g />60m	13.42	264.64	42.21
LDPE/10P/3%g/>60m	13.54	298.67	35.06
LDPE/10P/4%g />60m	13.46	284.72	47.01
LDPE/10P/5%g />60m	13.48	287.18	48.32
LDPE/20P/3%g />60m	14.32	312.45	25.69
LDPE/30P/3%g />60m	14.87	368.82	23.68
LDPE/30P/3%g /35-50m	15.37	443.98	14.61
LDPE/30P/3%g /50-80m	16.41	458.29	14.60
LDPE/30P/3%g />80m	14.91	330.30	16.83
PP/30P/3%g/50-80m	30.06	1376.60	4.84

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข2 แสดงผลการทดสอบสมบัติเชิงกลอื่น ๆ

Type of samples	Hardness (Shore D)	Impact (kJ/m ²)
LDPE	41.73	39.01
LDPE/10P/>60m	43.60	39.96
LDPE/10P/2%g />60m	45.20	37.52
LDPE/10P/3%g/>60m	45.17	36.31
LDPE/10P/4%g />60m	46.80	36.00
LDPE/10P/5%g />60m	46.83	34.40
LDPE/20P/3%g />60m	48.20	22.45
LDPE/30P/3%g />60m	49.67	18.62
LDPE/30P/3%g /35-50m	48.93	15.00
LDPE/30P/3%g /50-80m	50.07	13.70
LDPE/30P/3%g />80m	48.07	18.30
PP/30P/3%g/50-80m	62.87	3.13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข3 แสดงผลการทดสอบหาความหนาแน่น

Type of samples	Density (g/cm ³)
LDPE	0.93
LDPE/10P/>60m	0.94
LDPE/10P/2%g />60m	0.95
LDPE/10P/3%g/>60m	0.95
LDPE/10P/4%g />60m	0.95
LDPE/10P/5%g />60m	0.95
LDPE/20P/3%g />60m	0.98
LDPE/30P/3%g />60m	0.99
LDPE/30P/3%g /35-50m	0.99
LDPE/30P/3%g /50-80m	1.00
LDPE/30P/3%g />80m	0.99
PP/30P/3%g/50-80m	0.96

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข4 แสดงผลร้อยละการดูดซับน้ำ

Type of samples	3 วัน	5 วัน	7 วัน	10 วัน	15 วัน	20 วัน	30 วัน
LDPE/10P/>60m	1.4423	1.5296	1.7224	1.9231	1.9245	1.9351	1.9364
LDPE/10P/2%g />60m	1.4358	1.5263	1.7039	1.7046	1.8365	1.9737	1.9742
LDPE/10P/3%g />60m	1.4188	1.4387	1.5642	1.6885	1.6952	1.7005	1.7068
LDPE/10P/4%g />60m	1.3850	1.3864	1.4285	1.4304	1.4329	1.4354	1.4405
LDPE/10P/5%g />60m	1.3564	1.3587	1.3942	1.3945	1.4052	1.4095	1.4095
LDPE/20P/3%g />60m	1.9765	1.9824	1.9857	1.9903	1.9947	1.9962	1.9989
LDPE/30P/3%g />60m	1.9985	1.9996	2.0046	2.0152	2.0378	2.0406	2.0458
LDPE/30P/3%g /35-50m	2.0065	2.0534	2.0749	2.0944	2.1036	2.1042	2.1048
LDPE/30P/3%g /50-80m	2.0238	2.0659	2.0898	2.1064	2.1152	2.1164	2.1165
LDPE/30P/3%g />80m	2.0526	2.0847	2.1049	2.1106	2.1218	2.1249	2.1276

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข5 แสดงผลการทดสอบสมบัติทางความร้อน DSC

Type of samples	T_m ($^{\circ}\text{C}$)	T_c ($^{\circ}\text{C}$)	ΔH_f (J/g)	% Crystallinity
LDPE	102.67	81.60	61.58	79.09
LDPE/10P/>60m	100.33	82.60	42.67	54.80
LDPE/10P/2%g />60m	101.33	81.93	43.66	56.07
LDPE/10P/3%g/>60m	100.67	82.27	62.22	79.90
LDPE/10P/5%g />60m	103.00	82.27	58.20	74.75
LDPE/20P/3%g />60m	101.00	82.93	65.35	83.94
LDPE/30P/3%g />60m	102.33	82.93	78.17	100.39
LDPE/30P/3%g /35-50m	101.33	82.60	51.56	66.21
LDPE/30P/3%g /50-80m	100.00	82.27	52.90	67.94
LDPE/30P/3%g />80m	100.34	82.27	43.39	55.73

ตารางที่ ข6 แสดงค่า Aspect ratio ของเส้นใยขนาดต่างๆ

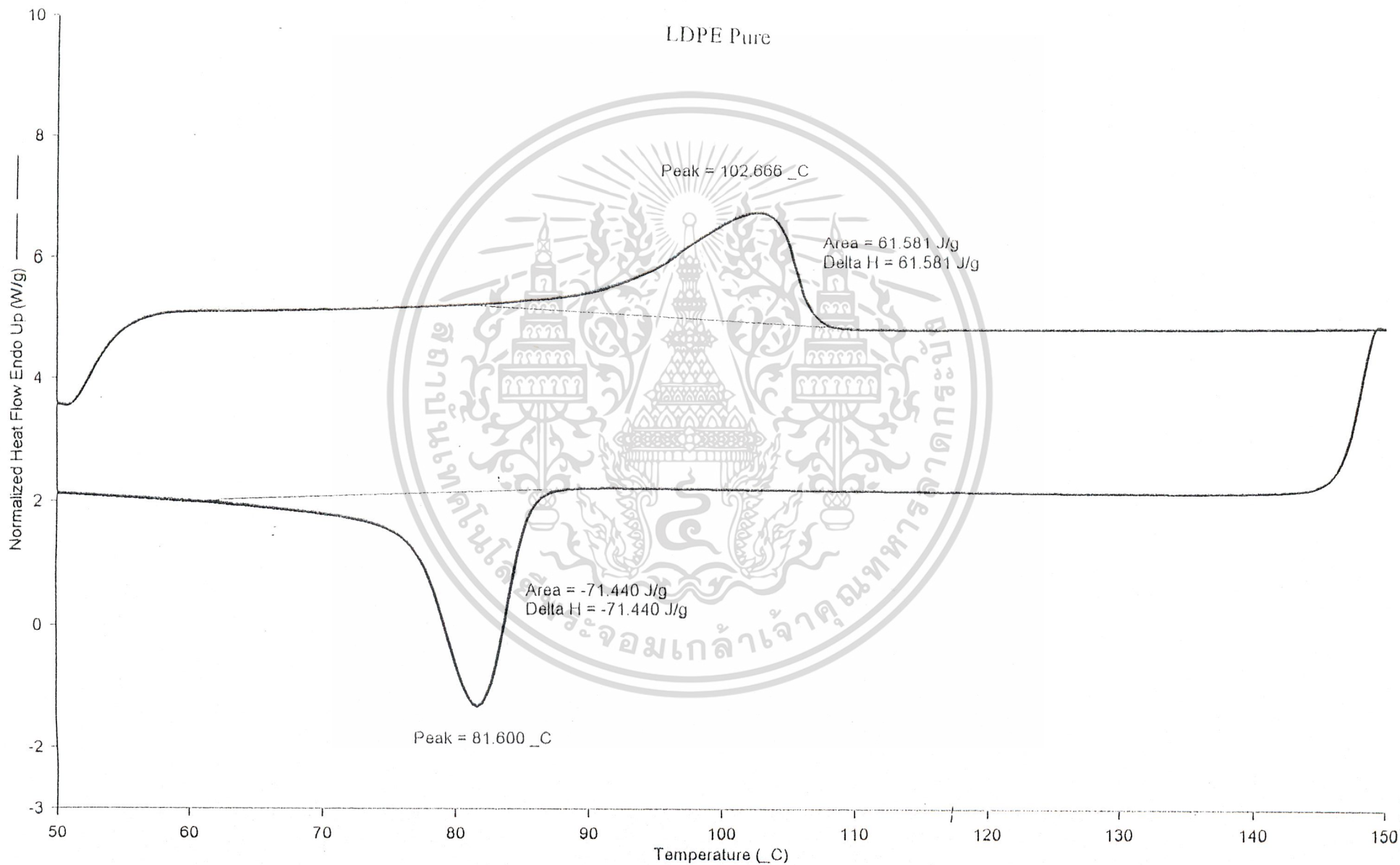
ขนาดเส้นใย (mesh)	ความยาว (L) (mm)	เส้นผ่านศูนย์กลาง (D) (mm)	L/D
35-50	2.00	10.50×10^{-3}	190.5
50-80	1.50	8.57×10^{-3}	175
> 80	0.20	6.66×10^{-3}	30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

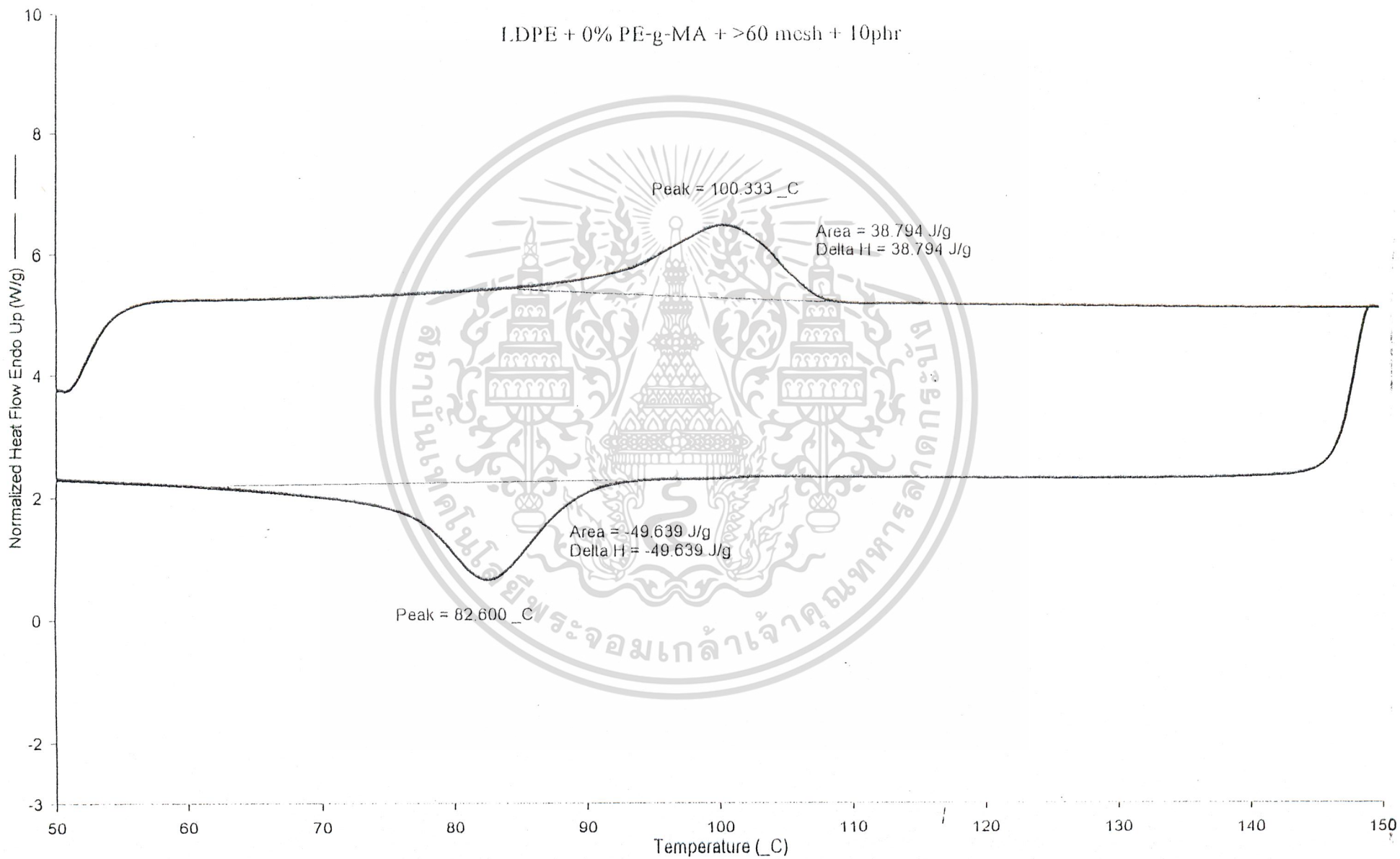


ภาคผนวก : ผลการทดสอบสมบัติทางความร้อน DSC

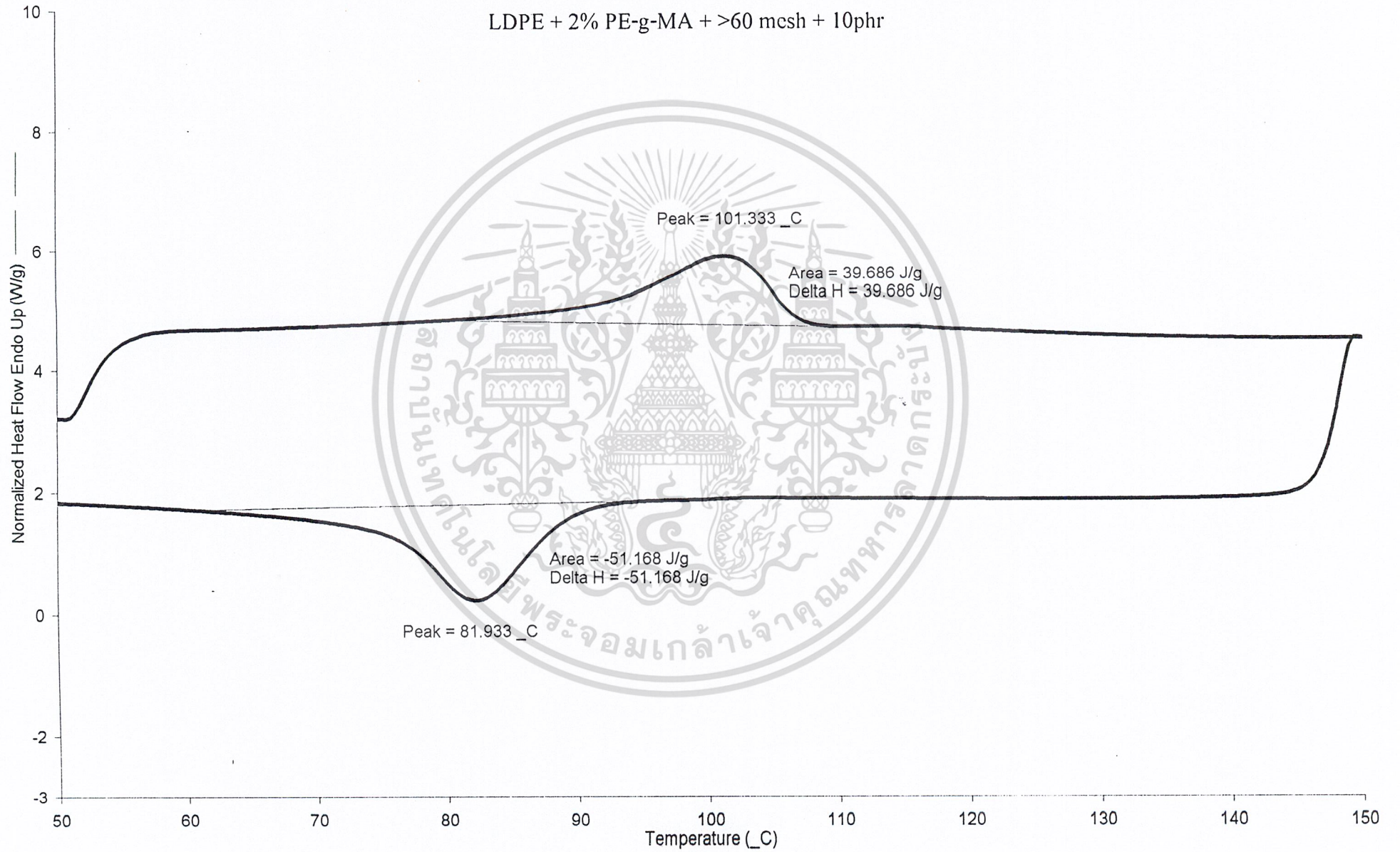
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



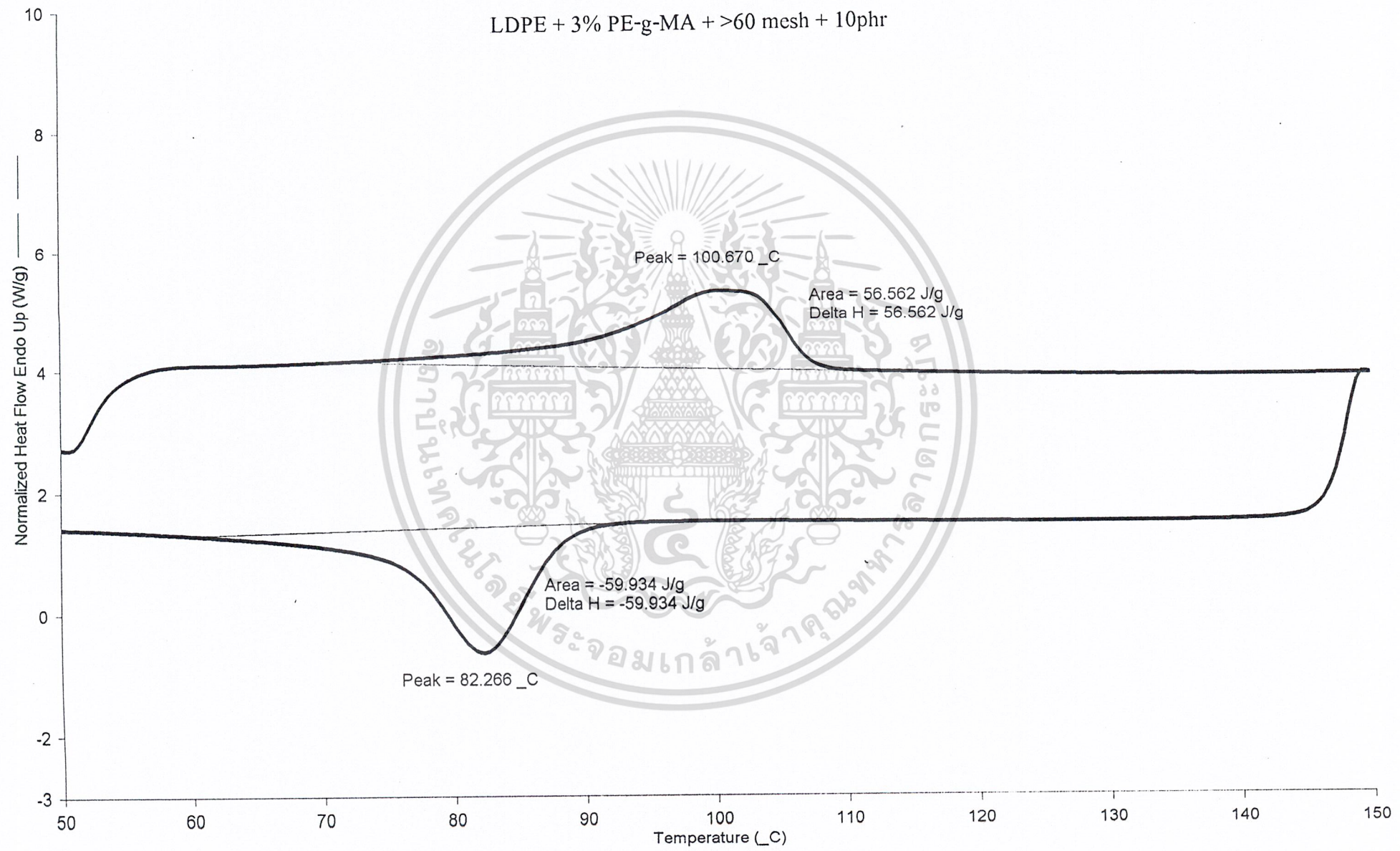
LDPE + 0% PE-g-MA + >60 mesh + 10phr



LDPE + 2% PE-g-MA + >60 mesh + 10phr



LDPE + 3% PE-g-MA + >60 mesh + 10phr

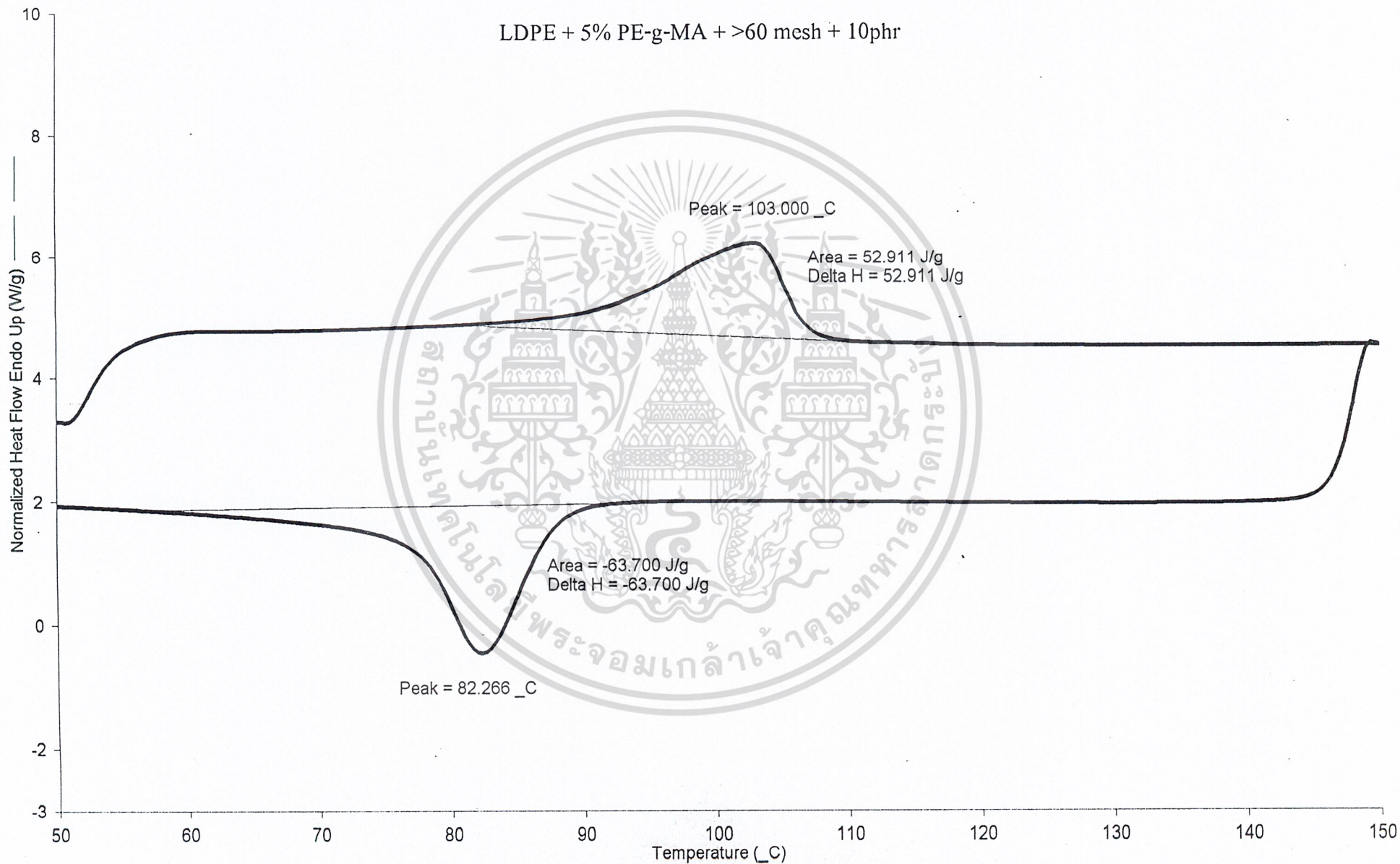


1) Heat from 50.00_C to 150.00_C at 20.00_C/min

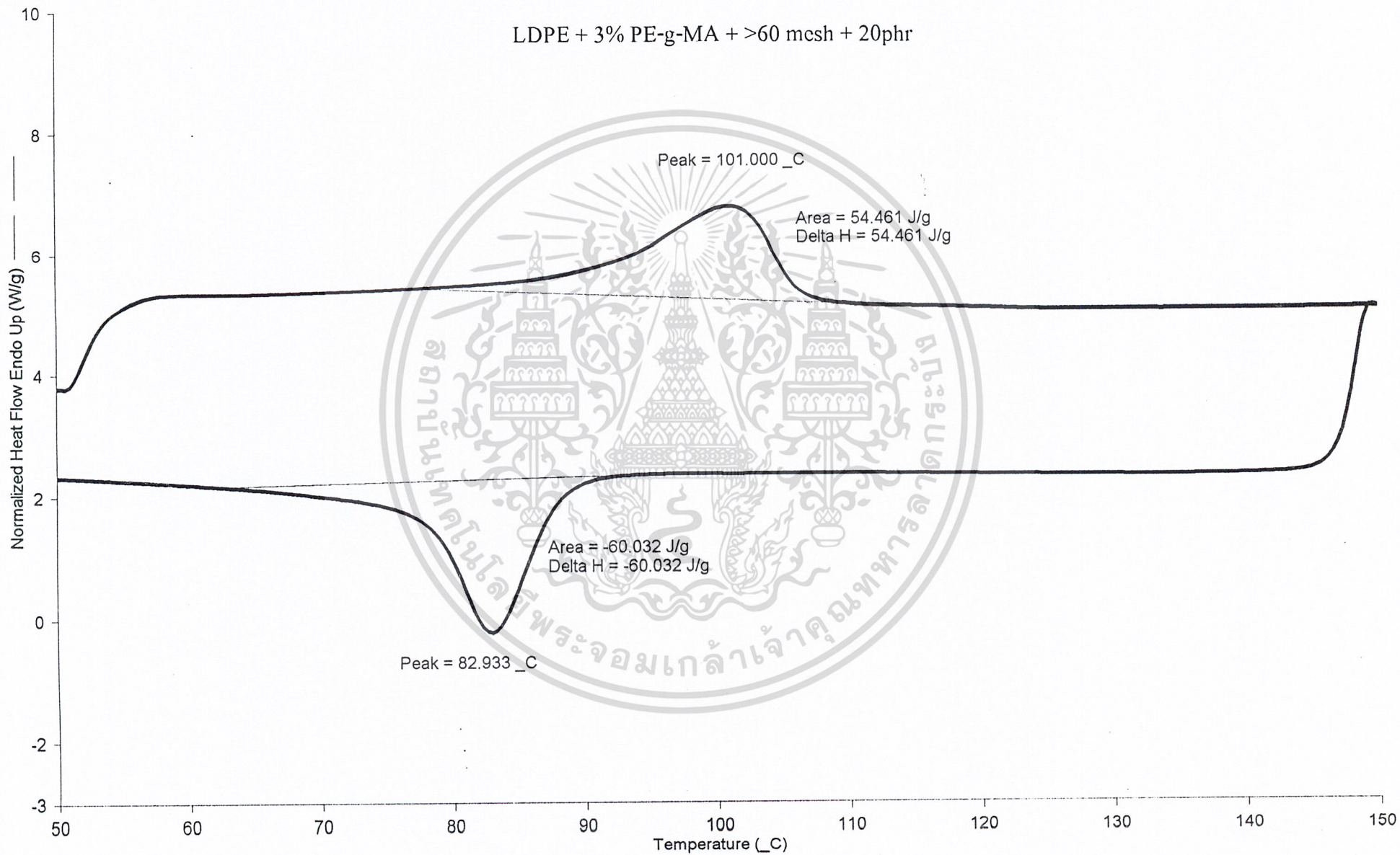
2) Cool from 150.00_C to 50.00_C at 20.00_C/min

5/3/44 12:56:53

LDPE + 5% PE-g-MA + >60 mesh + 10phr



LDPE + 3% PE-g-MA + >60 mesh + 20phr

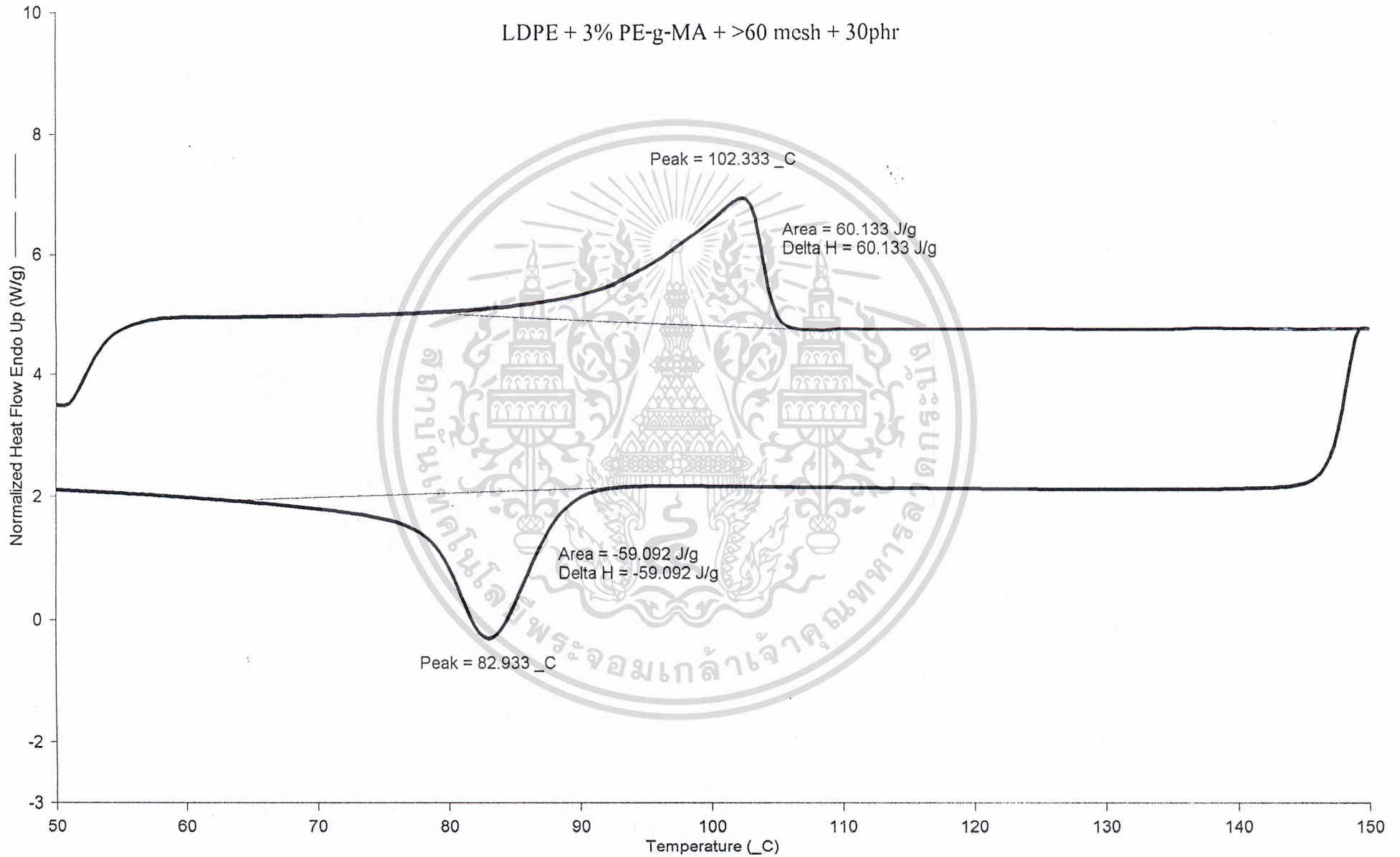


1) Heat from 50.00_C to 150.00_C at 20.00_C/min

2) Cool from 150.00_C to 50.00_C at 20.00_C/min

5/3/44 13:22:20

LDPE + 3% PE-g-MA + >60 mesh + 30phr

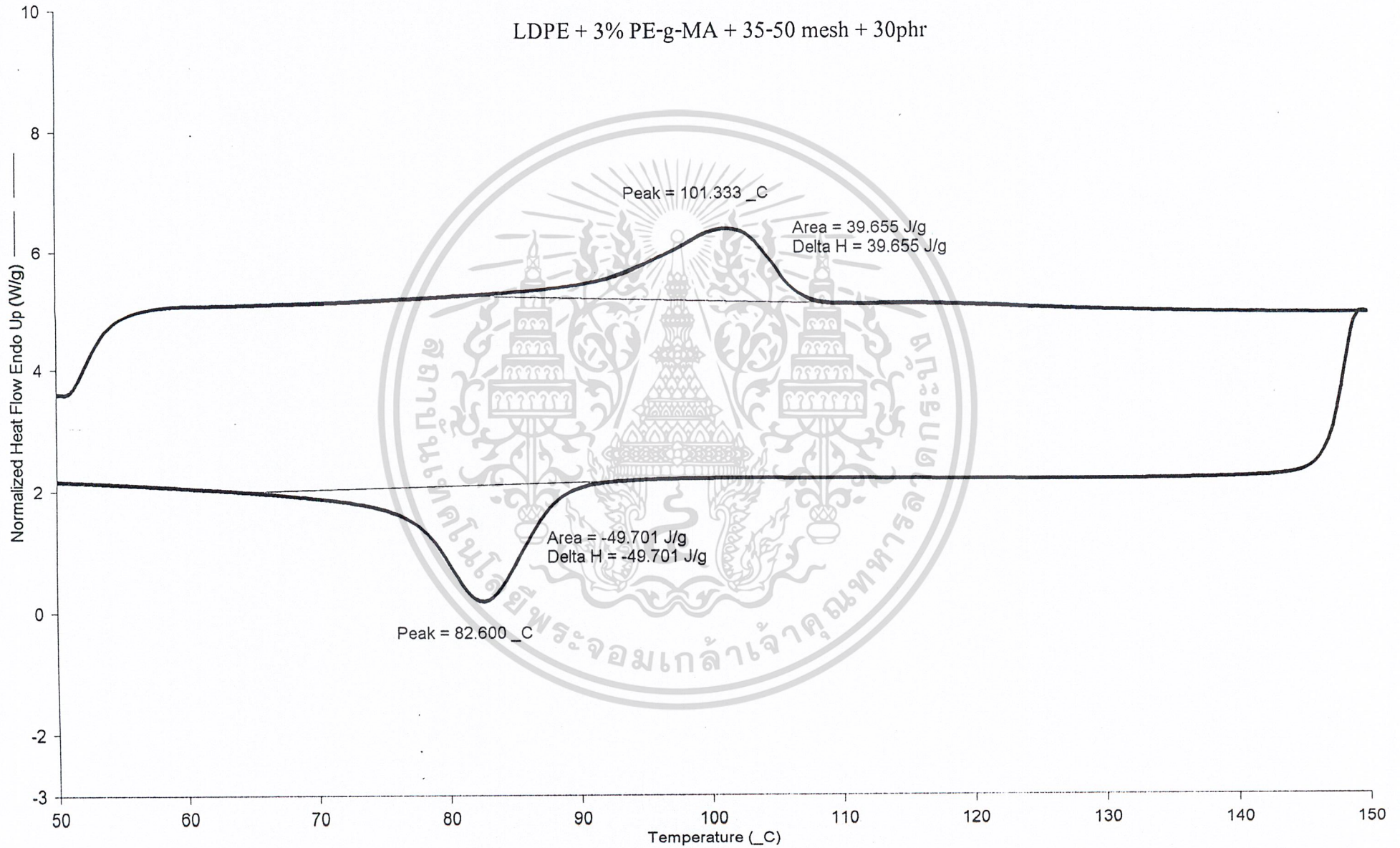


1) Heat from 50.00_C to 150.00_C at 20.00_C/min

2) Cool from 150.00_C to 50.00_C at 20.00_C/min

5/3/44 12:52:46

LDPE + 3% PE-g-MA + 35-50 mesh + 30phr

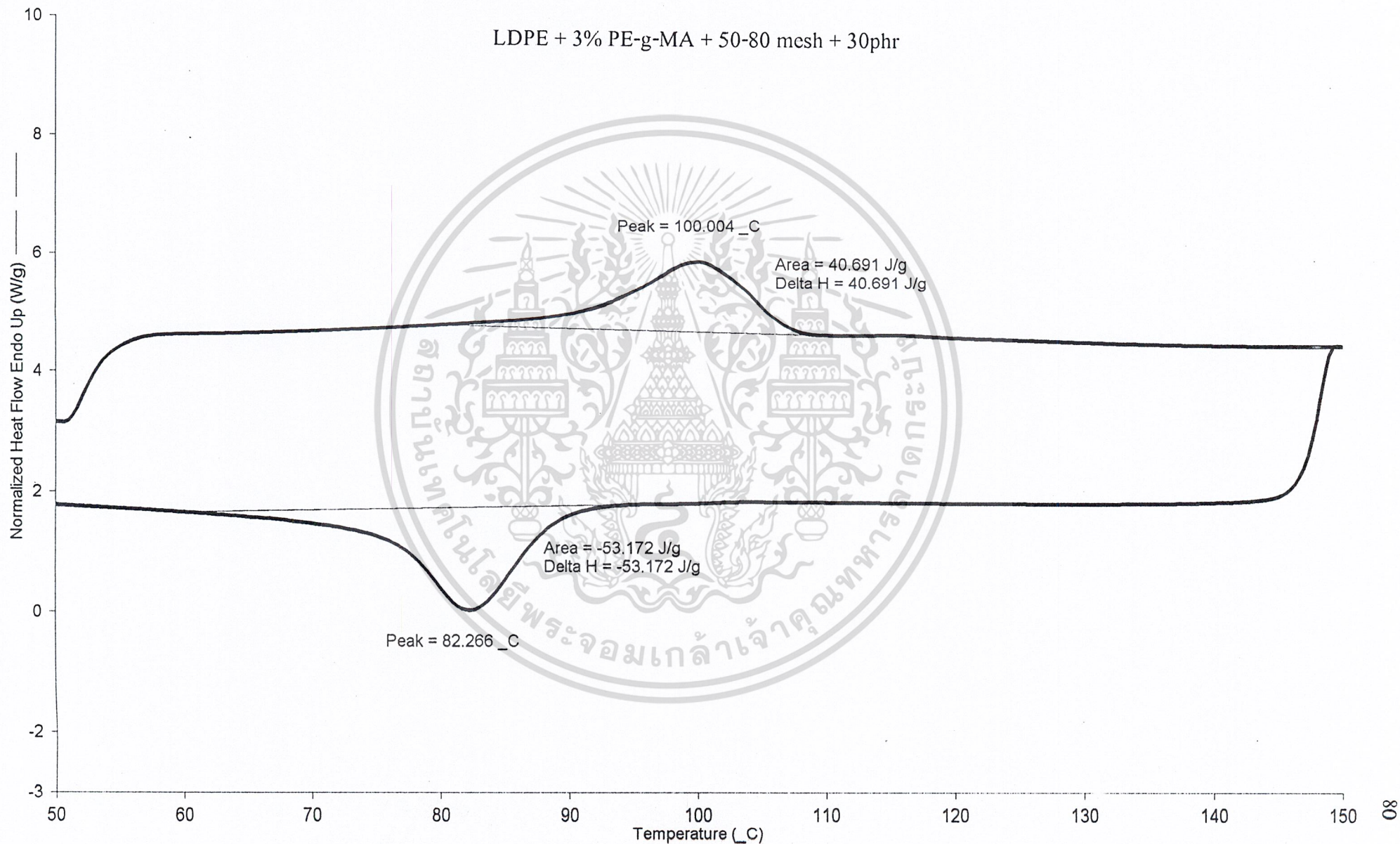


1) Heat from 50.00_C to 150.00_C at 20.00_C/min

2) Cool from 150.00_C to 50.00_C at 20.00_C/min

5/3/44 13:01:01

LDPE + 3% PE-g-MA + 50-80 mesh + 30phr



1) Heat from 50.00_C to 150.00_C at 20.00_C/min

2) Cool from 150.00_C to 50.00_C at 20.00_C/min

5/3/44 13:20:37

LDPE + 3% PE-g-MA + >80 mesh + 30phr

