

การศึกษาไม่เทียบคอมพิวเตอร์จากผงหญ้าแฝกกับพอลิพรอพิลีน (พีพี)
และเส้นใยหญ้าแฝกกับพอลิไวนิลคลอไรด์ (พีวีซี)



นางสาวนภวรรณ อนันตธนวิชย์
นางสาวนุชรี ปัญจะผลินกุล
นางสาวพัชรี มณฑาทิพย์

เลขหม.....
เลขทะเบียน...43890
วัน, เดือน, ปี 17 ต.ค. 2545

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

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาเคมี
คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2544

**Study of Polymer Composites as Artificial Wood from
PP/Vetiver Mechanical Pulp and PVC/Vetiver Chemical Pulp**

Miss Nawaporn Anantathanawanich

Miss Nucharee Panjaphalinkul

Miss patcharee Montatip

A Special Project in Partail Fulfillment of Requirement

For the Degree of Bachelor of Science

Department of Chemistry

Faculty of Science

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

2001

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	การศึกษาไม่เทียบคอมพิวเตอร์จากผงหญ้าแฝกกับพอลิพรอพิลีน (พีพี) และเส้นใยหญ้าแฝกกับพอลิไวนิลคลอไรด์ (พีวีซี)	
นักศึกษา	นางสาวนภวรรณ	อนันตธนวินิชย์
	นางสาวนุชรี	ปัญญาผลินกุล
	นางสาวพัชรี	มณฑาทิพย์
ภาควิชา	เคมี	
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.อิทธิพล	แจ้จ๊ด
	คุณวราธรรม	อุ๋นจิตติชัย

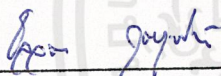
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต



(ผศ.ดร.สมศักดิ์ วรมงคลชัย)

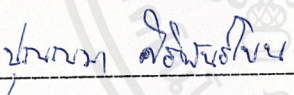
หัวหน้าภาคเคมี

คณะกรรมการตรวจสอบโครงการพิเศษ



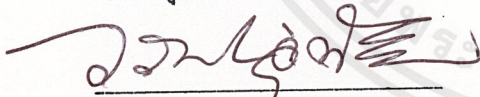
(ดร.ชลลดา ฤตวิรุฬห์)

ประธานกรรมการ



(ดร.ปวงนมา ศิริพันธ์โนน)

กรรมการ



(คุณวราธรรม อุ๋นจิตติชัย)

กรรมการ



(ผศ.ดร.อิทธิพล แจ้จ๊ด)

กรรมการ

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	การศึกษาไม้เทียมคอมโพสิตจากผงหญ้าแฝกกับพอลิพรอพิลีน (พีพี) และเส้นใยหญ้าแฝกกับพอลิไวนิลคลอไรด์ (พีวีซี)
นักศึกษา	นางสาวนภภรณ์ อนันตรอนวิชัย นางสาวนุชรี บัญจะผลินกุล นางสาวพัชรี มณฑาทิพย์
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.อิทธิพล แจ่มชัด คุณวราธรรม อุ้นจิตติชัย
ระดับการศึกษา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาเคมีอุตสาหกรรม
ภาควิชา	ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา	2544

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาพอลิเมอร์คอมโพสิตเส้นใยธรรมชาติเพื่อใช้เป็นไม้เทียมโดยการทดลองแบ่งออกเป็นสองส่วนคือพอลิพรอพิลีน (Poly propylene; PP) กับผงหญ้าแฝกที่เตรียมด้วยวิธีการเชิงกล (Vetiver mechanical pulp; VMP) โดยผสมในเครื่องผสมความเร็วสูง และเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว แล้วขึ้นรูปด้วยเครื่องฉีดขึ้นรูป ส่วนที่สองคือการเตรียมพอลิไวนิลคลอไรด์ (Poly vinyl chloride; PVC) ผสมเส้นใยหญ้าแฝกที่เตรียมด้วยวิธีการทางเคมี (Vetiver chemical pulp, VCP) โดยผสมในเครื่องผสมความเร็วสูง และเครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง แล้วขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดขึ้นรูป จากนั้นนำไปศึกษาสมบัติต่างๆ คือสมบัติทางกายภาพ สมบัติเชิงกล สมบัติทางความร้อน และสัณฐานวิทยา งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาถึงผลของปริมาณสารช่วยผสมปริมาณหญ้าแฝกและขนาดของหญ้าแฝก จากผลการทดลองตอนหนึ่งพบว่า ปริมาณการเติมผงหญ้าแฝกที่ 30 phr และขนาด 20-50 mesh ให้สมบัติโดยรวมที่ดีที่สุด อย่างไรก็ตาม สมบัติเชิงกลที่ได้มีแนวโน้มไม่แตกต่างกันมากนัก เนื่องจากผงหญ้าแฝกทำหน้าที่เป็นสารตัวเติมไม่เสริมแรง ส่วนสมบัติทางความร้อน และเปอร์เซ็นต์การดัดยัด ณ จุดขาดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย จากการศึกษาสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) พบว่า พอลิเมอร์คอมโพสิตที่เตรียมจากผงหญ้าแฝกผสมสารช่วยผสม 3% มีการยึดติดกันดีกับพอลิเมอร์เมทริกซ์พบช่องว่างระหว่างเส้นใยกับพอลิเมอร์ลดลง

ในการศึกษาสมบัติของคอมโพสิต PVC/VCP พบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณเยื่อเส้นใยหญ้าแฝก จะทำให้สมบัติบางอย่างของคอมโพสิตดีขึ้น เช่น ค่าความแข็งแรงดึงและมอดุลัสเพิ่มขึ้นแต่ค่าความแข็งแรงกระแทกและเปอร์เซ็นต์การดัดยัด ณ จุดขาดมีค่าลดลง ค่าการดูดซึมน้ำมีค่าเพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พบว่าคอมโพสิตที่เติมเส้นใย 30 phr มีสมบัติเชิงกลที่ดีที่สุด การศึกษาขนาดของเยื่อเส้นใยหญ้าแฝกพบว่า เส้นใยที่มีขนาดยาว 20-50 mesh (200-500 micron) มีสมบัติเชิงกลที่ดีที่สุด โดยที่เส้นใยขนาด 20-50 mesh เยื่อเส้นใยหญ้าแฝกมีการกระจายตัวที่ดีพบช่องว่างระหว่างเยื่อเส้นใยหญ้าแฝกกับพีวีซีมีน้อย นั้นแสดงว่ามีการยึดติดระหว่างเยื่อเส้นใยหญ้าแฝกกับพีวีซีมีการยึดติดกันดี และค่าการดูดซับน้ำของเส้นใยยาวจะน้อยกว่าเยื่อเส้นใยสั้น เนื่องจากเยื่อเส้นใยสั้นมีพื้นที่ผิวการดูดซับมากกว่า การศึกษาสัณฐานวิทยาโดยใช้ SEM พบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณเยื่อเส้นใยหญ้าแฝกมากขึ้นเส้นใยจะมีการกระจายตัวยากขึ้นเกิดการจับตัวเป็นกลุ่มก้อนมากขึ้นเป็นผลให้พอลิเมอร์เมทริกซ์ไม่สามารถแทรกตัวระหว่างเยื่อเส้นใยไม่ได้บางส่วน และเกิดช่องว่างภายในชิ้นงานคอมโพสิต



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและตั้งอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Special Project Title	Study of Polymer Composites as Artificial Wood from PP/Vetiver Mechanical Pulp and PVC/Vetiver Chemical Pulp	
Student Names	Miss Nawaporn	Anantathanawanich
	Miss Nucharee	Panjapalinkul
	Miss Patcharee	Montatip
Department	Chemistry	
Special Project Advisor	Asst.Prof.Dr.Ittipol Jangchud	
Special Project Co-advisor	Mr.Woratham Ooujittichai	
Academic Year	2001	

Abstract

In this research work, natural fibers-polymer composites used as artificial wood were prepared from (1) Polypropylene (PP) mixed with vetiver mechanical pulp (VMP) and (2) Poly vinyl chloride (PVC) mixed with vetiver chemical pulp (VCP). For PP/VMP composites, raw materials were first compounded by using a high-speed mixer, melt-blended in a single-screw extruder, and shaped into samples by an injection molding technique. For PVC/VCP composites, materials were mixed in a high-speed mixer, melt-blended by two-roll mill, then compressed into samples by compression molding technique. The samples were then characterized for physical, mechanical, thermal and morphological properties. Some factors affecting the composite properties were investigated including % compatibilizer (MAPP) loading, fiber loading, and fiber size. It was found that fiber size of 20-50 mesh and fiber loading at 30 phr yielded better overall properties of the composites. However, properties of the composites were slightly declined or insignificantly changed since the VMP was believed to be a non-reinforcing filler. SEM results revealed that PP/VMP composites using 3% compatibilizer had good fiber dispersion and fiber-matrix adhesion.

For PVC /VCP composites, some properties were improved by adding the fibers, such as, tensile strength and modulus, however, some properties were declined such as % elongation at break and % water absorption. It was found that at 30 phr fiber loading and fiber length of 20-50 mesh (200-500 microns) yielded the optimum composite

at high % fiber loading. Long fibers consisting of small microfibrils were seen with some voids in all SEM results. Composites of 20-50 mesh fibers yielded better fiber dispersion which in agreement with the results of mechanical properties.



กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำโครงการพิเศษนี้สำเร็จลุล่วงได้เนื่องจากได้รับความช่วยเหลือ ตลอดจนคำแนะนำต่างๆ ที่เป็นประโยชน์แก่คณะผู้จัดทำจากบุคคลและองค์กรต่างๆ ดังนี้

ขอขอบคุณ ผศ.ดร.อิทธิพล แจ่มชัด ที่กรุณาให้คำปรึกษาและให้ความช่วยเหลือในการดำเนินโครงการพิเศษนี้มาตลอด

ขอขอบคุณ คุณวรรณม อุ่นจิตติชัย นักวิชาการกรมป่าไม้ ผู้เชื้อเพื่อเส้นใยไม้ที่ใช้ในการทดลอง ตลอดจนคำแนะนำต่างๆ ที่ทำให้วิทยานิพนธ์เล่มนี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณ คุณกฤษณะ เกษประดิษฐ์ และคุณสุดใจ สอนสะอาด เจ้าหน้าที่อาคารฝึกงานทางอุตสาหกรรมเคมี และพอลิเมอร์ ที่คอยอำนวยความสะดวกตลอดการดำเนินงานวิจัย

ขอขอบคุณ บริษัทวินิไทย จำกัด (มหาชน) ที่เชื้อเพื่อพีวีซี (264 GC) เพื่อใช้ในงานวิจัย

ขอขอบคุณ บริษัทเอ็นเอส อิเล็กทรอนิกส์ ที่ให้ความเชื้อเพื่อในการใช้เครื่อง SEM

ขอขอบคุณ พ่อ แม่ พี่น้อง และเพื่อนๆ นักศึกษาทุกท่าน ที่เป็นกำลังใจในการทำโครงการพิเศษฉบับนี้

นอกจากนี้ยังขอขอบคุณบุคคลท่านอื่นๆ ที่ให้ความกรุณา ช่วยเหลือ ซึ่งผู้จัดทำมิได้กล่าวถึงอีกมากมาย ทางผู้จัดทำ ขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้ด้วย

นวภรณ์ อนันตธนวินิชย์

นุชรี ปัญจะผลินกุล

พัชรี มณฑาทิพย์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	III
กิตติกรรมประกาศ	V
สารบัญ	VI
สารบัญตาราง	X
สารบัญภาพ	XI
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของการวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย	6
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	6
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	6
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	7
2.1 พอลิเมอร์คอมโพสิต	7
2.1.1 พอลิเมอร์เมตริกซ์	7
2.1.2 ส่วนเสริมแรง	7
2.2 พอลิไวน์ิลคลอไรด์	9
2.2.1 สารประกอบพีวีซี	10
2.2.2 สารเติมแต่ง	11
2.2.2.1 พลาสติไซเซอร์	11
2.2.2.2 สเตบิไลเซอร์	11
2.2.2.3 สารหล่อลื่น	12
2.2.2.4 สารเพิ่มเนื้อ	12
2.2.2.5 ไพรเซสซิงเอด	13
2.2.2.6 สารให้ฟอง	13
2.2.2.7 ผงสี	13
2.3 พอลิพรอพิลีน	14
2.4 การปรับสภาพผิวเส้นใย	15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา **VI** ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.5 เส้นใยธรรมชาติ	16
2.5.1 เซลลูโลส	17
2.5.2 เฮมิเซลลูโลส	17
2.5.3 ลิกนิน	18
2.6 กล้วยาแฝก	20
2.6.1 ลักษณะทั่วไปของกล้วยาแฝก	21
2.6.2 การใช้ประโยชน์กล้วยาแฝก	21
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	23
บทที่ 3 การดำเนินงานวิจัย	30
3.1 สารเคมีและวัสดุที่ใช้ในงานวิจัย	30
3.2 อุปกรณ์ในงานวิจัย	31
3.3 วิธีการทดลอง	32
3.3.1 การศึกษาผงกล้วยาแฝกเป็นสารเพิ่มเนื้อในพอลิเมอร์	32
3.3.1.1 การเตรียมผงกล้วยาแฝก	32
3.3.1.2 การผสมกับพอลิเมอร์	34
3.3.2 การศึกษาพอลิเมอร์คอมโพสิตจากพีวีซีและเส้นใยกล้วยาแฝก	36
3.3.2.1 การเตรียมเส้นใยกล้วยาแฝก	36
3.3.2.2 ขั้นตอนการผสมพีวีซี	38
3.4 การทดสอบ.	40
3.4.1 สมบัติเชิงกล	41
3.4.1.1 ความแข็งแรงดึง มอดุลัส และเปอร์เซ็นต์การดึง ยืด ณ จุดขาด	41
3.4.1.2 ความแข็งแรงกระแทก	42
3.4.1.3 ความแข็งกด	42
3.4.1.4 ความแข็งแรงโค้งงอและมอดุลัสโค้งงอ	42
3.4.2 สมบัติทางกายภาพ	44
3.4.2.1 ความหนาแน่น	44
3.4.2.2 การดูดซับน้ำ	44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา VII ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.4.3 สมบัติทางความร้อน	44
3.4.4 สัณฐานวิทยา	44
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง	45
4.1 การศึกษาผงหญาแฝกเป็นสารเพิ่มเนื้อ (Fillers) ในพอลิพรอพิลีน	45
4.1.1 การศึกษาสมบัติของคอมโพสิตเมื่อทำการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารช่วยผสม (MAPP)	45
4.1.1.1 การศึกษาสมบัติเชิงกล	45
4.1.1.2 การศึกษาสมบัติทางกายภาพ	53
4.1.1.2.1 ศึกษาสมบัติการดูดซับน้ำ	53
4.1.1.3 การศึกษาสมบัติทางความร้อน	54
4.1.1.3.1 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิหลอมเหลว ผลึก	54
4.1.1.3.2 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงขององศาความเป็นผลึก	55
4.1.2 การศึกษาสมบัติของวัสดุผสมพีพีกับผงหญาแฝกเมื่อทำการ เปลี่ยนแปลงปริมาณผงหญาแฝกต่อปริมาณพอลิเมออร์	56
4.1.2.1 การศึกษาสมบัติเชิงกล	56
4.1.2.2 การศึกษาสมบัติทางกายภาพ	64
4.1.2.2.1 ศึกษาสมบัติการดูดซับน้ำ	64
4.1.2.3 การศึกษาสมบัติทางความร้อน	65
4.1.2.3.1 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิหลอมเหลว ผลึก	65
4.1.2.3.2 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงขององศาความเป็นผลึก	66
4.1.3 ศึกษาสมบัติของวัสดุพีพีผสมผงหญาแฝกเมื่อทำการเปลี่ยนแปลง ขนาดผงหญาแฝก	67
4.1.3.1 การศึกษาสมบัติเชิงกล	67
4.1.3.2 การศึกษาสมบัติทางกายภาพ	75
4.1.3.2.1 ศึกษาสมบัติการดูดซับน้ำ	75

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.1.3.3 การศึกษาสมบัติทางความร้อน	76
4.1.3.3.1 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิหลอมเหลว ผลึก	76
4.1.3.3.2 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงขององศาความเป็นผลึก	77
4.1.4 การศึกษาสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)	78
4.2 การศึกษาพอลิเมอร์คอมโพสิตจากพีวีซีและเส้นใยหญ้าแฝก	84
4.2.1 การศึกษาสมบัติของพีวีซีคอมโพสิตเมื่อทำการเปลี่ยนแปลงปริมาณเส้น ใยต่อปริมาณพอลิเมอร์	84
4.2.1.1 การศึกษาสมบัติเชิงกล	84
4.2.1.2 การศึกษาสมบัติทางกายภาพ	93
4.2.1.2.1 ศึกษาสมบัติการดูดซับน้ำ	93
4.2.2 การศึกษาสมบัติของพีวีซีคอมโพสิตเมื่อทำการเปลี่ยนขนาดเส้นใยต่อ ปริมาณพอลิเมอร์	94
4.2.2.1 การศึกษาสมบัติเชิงกล	94
4.2.2.2 การศึกษาสมบัติทางกายภาพ	102
4.2.2.2.1 ศึกษาสมบัติการดูดซับน้ำ	102
4.2.3 การศึกษาสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)	103
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง	108
5.1 สรุปผลการทดลอง	108
5.2 ข้อเสนอแนะ	111
เอกสารอ้างอิง	112
ภาคผนวก ก	114
ภาคผนวก ข	116
ภาคผนวก ค	120
ภาคผนวก ง	122

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 องค์ประกอบทางเคมีของใบหญ้าแฝก	21
3.1 อัตราส่วนผสมของสูตรต่างๆของวัสดุผสมพีพีกับผงหญ้าแฝก	25
3.2 อัตราส่วนผสมของสูตรต่างๆของคอมโพสิตพีพีซีกับเส้นใยหญ้าแฝก	39
3.3 มาตรฐานต่างๆในการทดสอบพอลิเมอร์คอมโพสิต	40



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา **x** ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 ความแตกต่างระหว่างไม้กับพอลิเมอร์คอมโพสิตที่ใช้เป็นไม้เทียม	5
1.2 ตัวอย่างพอลิเมอร์คอมโพสิตที่ใช้เส้นใยธรรมชาติเป็นส่วนเสริมแรง	5
2.1 การยึดเกาะระหว่างเส้นใยกับเมตริกซ์	8
2.2 โครงสร้างของปฏิกิริยาการเตรียมพอลิไวนิลคลอไรด์	9
2.3 โครงสร้างทางเคมีของพอร์พอร์ฟิริน	14
2.4 การเกิดปฏิกิริยาของเส้นใยเซลลูโลสที่ทำการปรับสภาพผิวด้วย MAPP	15
2.5 สูตรโครงสร้างของเซลลูโลส	17
2.6 สูตรโครงสร้างของเฮมิเซลลูโลส	18
2.7 ตัวอย่างโครงสร้างทางเคมีของลิกนิน	18
2.8 การจัดเรียงตัวของเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนินในไม้	19
2.9 ลักษณะของหญ้าแฝก	20
2.10 ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ศิลปะหัตถกรรมจากหญ้าแฝก	22
3.1 ลักษณะของผงหญ้าแฝกขนาดต่างๆ ที่เตรียมด้วยวิธีเชิงกล	33
3.2 ลักษณะของเส้นใยหญ้าแฝกขนาดต่างๆ ที่เตรียมด้วยวิธีทางเคมี	37
3.3 ลักษณะตัวอย่างของชิ้นงานที่นำมาทดสอบหาค่าความแข็งแรงกระแทก	42
3.4 แรงที่เกิดขึ้นในการทดสอบการโค้งงอ	43
4.1 ค่าความแข็งแรงดึงของวัสดุผสมพีพีกับผงหญ้าแฝก เมื่อเติมสารช่วยผสม (MAPP) ปริมาณ 0 1 2 3 และ 4 % โดยน้ำหนักต่อน้ำหนักของผงหญ้าแฝกและมีปริมาณผงหญ้าแฝก 10 phr ขนาด 20-50 mesh	46
4.2 ค่าเปอร์เซ็นต์การดึงยึด ณ จุดขาด ของวัสดุผสมพีพีกับผงหญ้าแฝก เมื่อเติมสารช่วยผสม (MAPP) ปริมาณ 0 1 2 3 และ 4 % โดยน้ำหนักต่อน้ำหนักของผงหญ้าแฝกและมีปริมาณผงหญ้าแฝก 10 phr ขนาด 20-50 mesh	47
4.3 ค่ามอดุลัสของวัสดุผสมพีพีกับผงหญ้าแฝก เมื่อเติมสารช่วยผสม (MAPP) ปริมาณ 0 1 2 3 และ 4 % โดยน้ำหนักต่อน้ำหนักของผงหญ้าแฝกและมีปริมาณผงหญ้าแฝก 10 phr ขนาด 20-50 mesh	48

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.4 ค่าความแข็งแรงกระแทก ของวัสดุผสมพีทีกับผงหญ้าแฝก เมื่อเติมสารช่วยผสม (MAPP) ปริมาณ 0 1 2 3 และ 4 % โดยน้ำหนักต่อน้ำหนักของผงหญ้าแฝกและมีปริมาณผงหญ้าแฝก 10 phr ขนาด 20-50 mesh	49
4.5 ค่าความแข็งกด ของวัสดุผสมพีทีกับผงหญ้าแฝก เมื่อเติมสารช่วยผสม (MAPP) ปริมาณ 0 1 2 3 และ 4 % โดยน้ำหนักต่อน้ำหนักของผงหญ้าแฝกและมีปริมาณผงหญ้าแฝก 10 phr ขนาด 20-50 mesh	50
4.6 ค่าความแข็งแรงโค้งงอ ของวัสดุผสมพีทีกับผงหญ้าแฝก เมื่อเติมสารช่วยผสม (MAPP) ปริมาณ 0 1 2 3 และ 4 % โดยน้ำหนักต่อน้ำหนักของผงหญ้าแฝกและมีปริมาณผงหญ้าแฝก 10 phr ขนาด 20-50 mesh	51
4.7 ค่ามอดุลัสโค้งงอ ของวัสดุผสมพีทีกับผงหญ้าแฝก เมื่อเติมสารช่วยผสม (MAPP) ปริมาณ 0,1,2,3 และ 4 % โดยน้ำหนักต่อน้ำหนักของผงหญ้าแฝกและมีปริมาณผงหญ้าแฝก 10 phr ขนาด 20-50 mesh	52
4.8 ค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำ ของวัสดุผสมพีทีกับผงหญ้าแฝก เมื่อเติมสารช่วยผสม (MAPP) ปริมาณ 0 1 2 3 และ 4 % โดยน้ำหนักต่อน้ำหนักของผงหญ้าแฝกและมีปริมาณผงหญ้าแฝก 10 phr ขนาด 20-50 mesh	53
4.9 ค่าอุณหภูมิการหลอมเหลวผลึก (T_m) ของวัสดุผสมพีทีกับผงหญ้าแฝก เมื่อเติมสารช่วยผสม (MAPP) ปริมาณ 0 1 2 3 และ 4 % โดยน้ำหนักต่อน้ำหนักของผงหญ้าแฝกและมีปริมาณผงหญ้าแฝก 10 phr ขนาด 20-50 mesh	54
4.10 ค่าองศาความเป็นผลึก ของวัสดุผสมพีทีกับผงหญ้าแฝก เมื่อเติมสารช่วยผสม (MAPP) ปริมาณ 0 1 2 3 และ 4 % โดยน้ำหนักต่อน้ำหนักของผงหญ้าแฝกและมีปริมาณผงหญ้าแฝก 10 phr ขนาด 20-50 mesh	55
4.11 ค่าความแข็งแรงดึง ของวัสดุผสมพีทีกับผงหญ้าแฝกเมื่อทำการเพิ่มปริมาณผงหญ้าแฝกในปริมาณ 10 20 30 และ 40 phr ขนาด 20-50 mesh และปริมาณ (MAPP) 3 % โดยน้ำหนักผงหญ้าแฝก	57
4.12 ค่าเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาด ของวัสดุผสมพีทีกับผงหญ้าแฝกเมื่อทำการเพิ่มปริมาณผงหญ้าแฝกในปริมาณ 10 20 30 และ 40 phr ขนาด 20-50 mesh และปริมาณ (MAPP) 3 % โดยน้ำหนักผงหญ้าแฝก	58

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.13 ค่ามอดุลัส ของวัสดุผสมที่พื้กับผงหญ้าแฝกเมื่อทำการเพิ่มปริมาณผงหญ้าแฝกในปริมาณ 10 20 30 และ 40 phr ขนาด 20-50 mesh และปริมาณ (MAPP) 3 % โดยน้ำหนักผงหญ้าแฝก	59
4.14 ค่าความแข็งแรงกระแทก ของวัสดุผสมที่พื้กับผงหญ้าแฝกเมื่อทำการเพิ่มปริมาณผงหญ้าแฝกในปริมาณ 10 20 30 และ 40 phr ขนาด 20-50 mesh และปริมาณ (MAPP) 3 % โดยน้ำหนักผงหญ้าแฝก	60
4.15 ค่าความแข็งกด ของวัสดุผสมที่พื้กับผงหญ้าแฝกเมื่อทำการเพิ่มปริมาณผงหญ้าแฝกในปริมาณ 10 20 30 และ 40 phr ขนาด 20-50 mesh และปริมาณ (MAPP) 3 % โดยน้ำหนักผงหญ้าแฝก	61
4.16 ค่าความแข็งแรงโค้งงอ ของวัสดุผสมที่พื้กับผงหญ้าแฝกเมื่อทำการเพิ่มปริมาณผงหญ้าแฝกในปริมาณ 10 20 30 และ 40 phr ขนาด 20-50 mesh และปริมาณ (MAPP) 3 % โดยน้ำหนักผงหญ้าแฝก	62
4.17 ค่ามอดุลัสโค้งงอ ของวัสดุผสมที่พื้กับผงหญ้าแฝกเมื่อทำการเพิ่มปริมาณผงหญ้าแฝกในปริมาณ 10 20 30 และ 40 phr ขนาด 20-50 mesh และปริมาณ (MAPP) 3 % โดยน้ำหนักผงหญ้าแฝก	63
4.18 ค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำ ของวัสดุผสมที่พื้กับผงหญ้าแฝกเมื่อทำการเพิ่มปริมาณผงหญ้าแฝกในปริมาณ 10 20 30 และ 40 phr ขนาด 20-50 mesh และปริมาณ (MAPP) 3 % โดยน้ำหนักผงหญ้าแฝก	64
4.19 ค่าอุณหภูมิการหลอมเหลวผลึก (T_m) ของวัสดุผสมที่พื้กับผงหญ้าแฝกเมื่อทำการเพิ่มปริมาณผงหญ้าแฝกในปริมาณ 10 20 30 และ 40 phr ขนาด 20-50 mesh และปริมาณ (MAPP) 3 % โดยน้ำหนักผงหญ้าแฝก	65
4.20 ค่าองศาความเป็นผลึก ของวัสดุผสมที่พื้กับผงหญ้าแฝกเมื่อทำการเพิ่มปริมาณผงหญ้าแฝกในปริมาณ 10 20 30 และ 40 phr ขนาด 20-50 mesh และปริมาณ (MAPP) 3 % โดยน้ำหนักผงหญ้าแฝก	66
4.21 ค่าความแข็งแรงดึง ของวัสดุผสมที่พื้กับผงหญ้าแฝกที่เตรียมจากผงหญ้าแฝกใน ปริมาณ 30 phr เมื่อทำการเปลี่ยนขนาดผงหญ้าแฝก 20-50 mesh 50-100 mesh มากกว่า 100 mesh และ ไม่แยกขนาด	68

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.22 ค่าเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาด ของวัสดุผสมพีพีกับผงหญ้าแฝกที่เตรียมจากหญ้าแฝกในปริมาณ 30 phr เมื่อทำการเปลี่ยนขนาดผงหญ้าแฝก 20-50 mesh 50-100 mesh มากกว่า 100 mesh และ ไม่แยกขนาด	69
4.23 ค่ามอดุลัส ของวัสดุผสมพีพีกับผงหญ้าแฝกที่เตรียมจากผงหญ้าแฝกในปริมาณ 30 phr เมื่อทำการเปลี่ยนขนาดผงหญ้าแฝก 20-50 mesh 50-100 mesh มากกว่า 100 mesh และ ไม่แยกขนาด	70
4.24 ค่าความแข็งแรงกระแทก ของวัสดุผสมพีพีกับผงหญ้าแฝกที่เตรียมจากหญ้าแฝกในปริมาณ 30 phr เมื่อทำการเปลี่ยนขนาดผงหญ้าแฝก 20-50 mesh 50-100 mesh มากกว่า 100 mesh และ ไม่แยกขนาด	71
4.25 ค่าความแข็งแรงกด ของวัสดุผสมพีพีกับผงหญ้าแฝกที่เตรียมจากหญ้าแฝกในปริมาณ 30 phr เมื่อทำการเปลี่ยนขนาดผงหญ้าแฝก 20-50 mesh 50-100 mesh มากกว่า 100 mesh และ ไม่แยกขนาด	72
4.26 ค่าความแข็งแรงโค้งงอ ของวัสดุผสมพีพีกับผงหญ้าแฝกที่เตรียมจากหญ้าแฝกในปริมาณ 30 phr เมื่อทำการเปลี่ยนขนาดผงหญ้าแฝก 20-50 mesh 50-100 mesh มากกว่า 100 mesh และ ไม่แยกขนาด	73
4.27 ค่ามอดุลัสโค้งงอ ของวัสดุผสมพีพีกับผงหญ้าแฝกที่เตรียมจากผงหญ้าแฝกในปริมาณ 30 phr เมื่อทำการเปลี่ยนขนาดผงหญ้าแฝก 20-50 mesh 50-100 mesh มากกว่า 100 mesh และ ไม่แยกขนาด	74
4.28 ค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำ ของวัสดุผสมพีพีกับผงหญ้าแฝกที่เตรียมจากหญ้าแฝกในปริมาณ 30 phr เมื่อทำการเปลี่ยนขนาดผงหญ้าแฝก 20-50 mesh 50-100 mesh มากกว่า 100 mesh และ ไม่แยกขนาด	75
4.29 ค่าอุณหภูมิการหลอมเหลวผลึก (T_m) ของวัสดุผสมพีพีกับผงหญ้าแฝกที่เตรียมจากหญ้าแฝกในปริมาณ 30 phr เมื่อทำการเปลี่ยนขนาดผงหญ้าแฝก 20-50 mesh 50-100 mesh มากกว่า 100 mesh และ ไม่แยกขนาด	76
4.30 ค่าองศาความเป็นผลึก ของวัสดุผสมพีพีกับผงหญ้าแฝกที่เตรียมจากหญ้าแฝกในปริมาณ 30 phr เมื่อทำการเปลี่ยนขนาดผงหญ้าแฝก 20-50 mesh 50-100 mesh มากกว่า 100 mesh และ ไม่แยกขนาด	77

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.31	รูป SEM แสดงสัณฐานวิทยา ของพีพีจากการแตกหักที่อุณหภูมิต่ำกำลังขยาย 450 เท่า	79
4.32	รูป SEM แสดงสัณฐานวิทยา ของวัสดุผสมพีพีกับผงงู๊ว้าแฝกจากการแตกหักที่อุณหภูมิต่ำ กำลังขยาย 450 เท่า เมื่อผสมกับผงงู๊ว้าแฝกปริมาณ 10 phr ขนาด 20-50 mesh และไม่มีสารเติมสารช่วยผสม (MAPP)	79
4.33	รูป SEM แสดงสัณฐานวิทยาของวัสดุผสมพีพีกับผงงู๊ว้าแฝกจากการแตกหักที่อุณหภูมิต่ำ กำลังขยาย 450 เท่า เมื่อผสมกับผงงู๊ว้าแฝกปริมาณ 10 phr ขนาด 20-50 mesh และผสม MAPP 3 % โดยน้ำหนักของผงงู๊ว้าแฝก	80
4.34	รูป SEM แสดงสัณฐานวิทยาของวัสดุผสมพีพีกับผงงู๊ว้าแฝกจากการแตกหักที่อุณหภูมิต่ำ กำลังขยาย 450 เท่า เมื่อผสมกับผงงู๊ว้าแฝกปริมาณ 20 phr ขนาด 20-50 mesh และผสม MAPP 3 % โดยน้ำหนักของผงงู๊ว้าแฝก	80
4.35	รูป SEM แสดงสัณฐานวิทยาของวัสดุผสมพีพีกับผงงู๊ว้าแฝกจากการแตกหักที่อุณหภูมิต่ำ กำลังขยาย 450 เท่า เมื่อผสมกับผงงู๊ว้าแฝกปริมาณ 30 phr ขนาด 20-50 mesh และผสม MAPP 3 % โดยน้ำหนักของผงงู๊ว้าแฝก	81
4.36	รูป SEM แสดงสัณฐานวิทยาของวัสดุผสมพีพีกับผงงู๊ว้าแฝกจากการแตกหักที่อุณหภูมิต่ำ กำลังขยาย 450 เท่า เมื่อผสมกับผงงู๊ว้าแฝกปริมาณ 40 phr ขนาด 20-50 mesh และผสม MAPP 3 % โดยน้ำหนักของผงงู๊ว้าแฝก	81
4.37	รูป SEM แสดงสัณฐานวิทยาของวัสดุผสมพีพีกับผงงู๊ว้าแฝกจากการแตกหักที่อุณหภูมิต่ำ กำลังขยาย 450 เท่า เมื่อผสมกับผงงู๊ว้าแฝกที่ไม่แยกขนาด ปริมาณผงงู๊ว้าแฝก 30 phr และผสม MAPP 3 % โดยน้ำหนักของผงงู๊ว้าแฝก	82
4.38	รูป SEM แสดงสัณฐานวิทยาของวัสดุผสมพีพีกับผงงู๊ว้าแฝกจากการแตกหักที่อุณหภูมิต่ำ กำลังขยาย 450 เท่า เมื่อผสมกับผงงู๊ว้าแฝกขนาด 50-100 mesh ปริมาณผงงู๊ว้าแฝก 30 phr และผสม MAPP 3 % โดยน้ำหนักของผงงู๊ว้าแฝก	82
4.39	รูป SEM แสดงสัณฐานวิทยาของวัสดุผสมพีพีกับผงงู๊ว้าแฝกจากการแตกหักที่อุณหภูมิต่ำ กำลังขยาย 450 เท่า เมื่อผสมกับผงงู๊ว้าแฝกขนาดมากกว่า 100 mesh ปริมาณผงงู๊ว้าแฝก 30 phr และผสม MAPP 3 % โดยน้ำหนักของผงงู๊ว้าแฝก	83

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.40 ค่าความแข็งแรงดึง ของพีวีซีคอมโพสิตเมื่อทำการเพิ่มปริมาณเส้นใยหญ้าแฝก ขนาด 20-50 mesh ในปริมาณ 10 20 30 และ 40 phr	86
4.41 ค่าเปอร์เซ็นต์การดึงยึด ณ จุดขาด ของพีวีซีคอมโพสิตเมื่อทำการเพิ่มปริมาณ เส้น ใยหญ้าแฝกขนาด 20-50 mesh ในปริมาณ 10 20 30 และ 40 phr	87
4.42 ค่ามอดุลัส ของพีวีซีคอมโพสิตเมื่อทำการเพิ่มปริมาณเส้นใยหญ้าแฝก ขนาด 20-50 mesh ในปริมาณ 10 20 30 และ 40 phr	88
4.43 ค่าความแข็งแรงกระแทก ของพีวีซีคอมโพสิตเมื่อทำการเพิ่มปริมาณเส้นใยหญ้า แฝกขนาด 20-50 mesh ในปริมาณ 10 20 30 และ 40 phr	89
4.44 ค่าความแข็งกด ของพีวีซีคอมโพสิตเมื่อทำการเพิ่มปริมาณเส้นใยหญ้าแฝก ขนาด 20-50 mesh ในปริมาณ 10 20 30 และ 40 phr	90
4.45 ค่าความแข็งแรงโค้งงอ ของพีวีซีคอมโพสิตเมื่อทำการเพิ่มปริมาณเส้นใยหญ้า แฝก ขนาด 20-50 mesh ในปริมาณ 10 20 30 และ 40 phr	91
4.46 ค่ามอดุลัสโค้งงอ ของพีวีซีคอมโพสิตเมื่อทำการเพิ่มปริมาณเส้นใยหญ้าแฝก ขนาด 20-50 mesh ในปริมาณ 10 20 30 และ 40 phr	92
4.47 ค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำ ของพีวีซีคอมโพสิตเมื่อทำการเพิ่มปริมาณเส้นใย หญ้าแฝกขนาด 20-50 mesh ในปริมาณ 10 20 30 และ 40 phr	93
4.48 ค่าความแข็งแรงดึงของพีวีซีคอมโพสิตที่เตรียมจากเส้นใยหญ้าแฝกในปริมาณ 30 phr เมื่อทำการเปลี่ยนขนาดเส้นใยหญ้าแฝก 20-50 mesh 50-100 mesh มากกว่า 100 mesh และ ไม่แยกขนาด	95
4.49 ค่าเปอร์เซ็นต์การดึงยึด ณ จุดขาดของพีวีซีคอมโพสิตที่เตรียมจากเส้นใยหญ้า แฝกในปริมาณ 30 phr เมื่อทำการเปลี่ยนขนาดเส้นใยหญ้าแฝก 20-50 mesh 50-100 mesh มากกว่า 100 mesh และ ไม่แยกขนาด	96
4.50 ค่ามอดุลัสของพีวีซีคอมโพสิตที่เตรียมจากเส้นใยหญ้าแฝกในปริมาณ 30 phr เมื่อทำการเปลี่ยนขนาดเส้นใยหญ้าแฝก 20-50 mesh 50-100 mesh มากกว่า 100 mesh และ ไม่แยกขนาด	97
4.51 ค่าความแข็งแรงกระแทกของพีวีซีคอมโพสิตที่เตรียมจากเส้นใยหญ้าแฝกใน ปริมาณ 30 phr เมื่อทำการเปลี่ยนขนาดเส้นใยหญ้าแฝก 20-50 mesh 50-100 mesh มากกว่า 100 mesh และ ไม่แยกขนาด	98

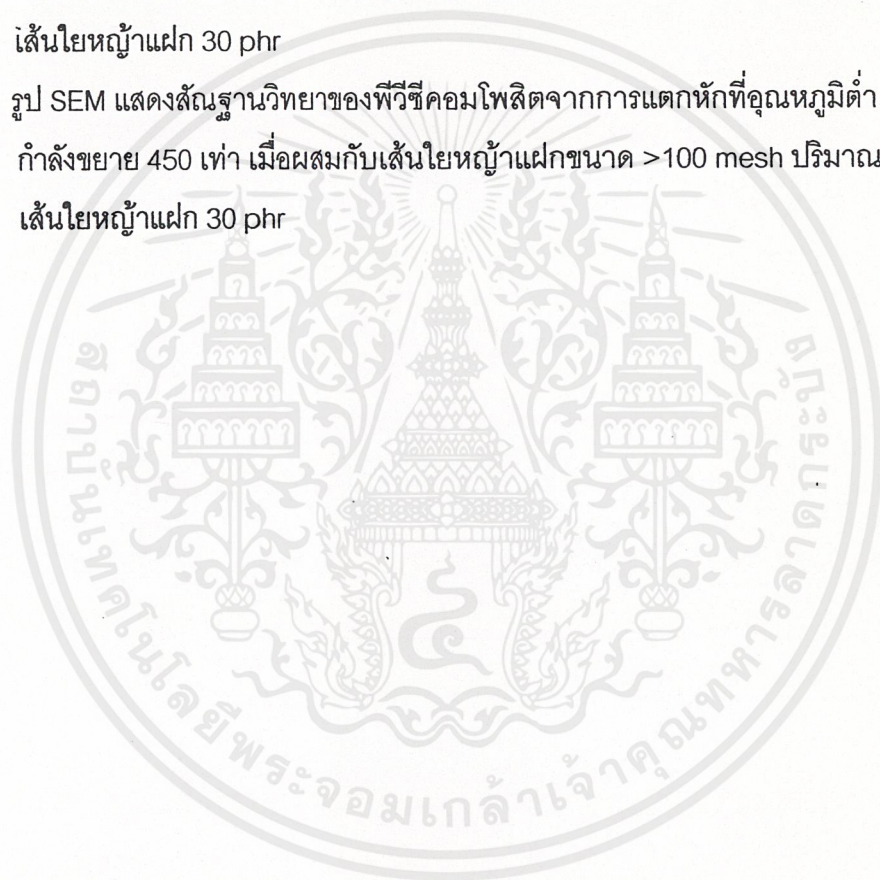
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.52 ค่าความแข็งแรงกดของพีวีซีคอมโพสิตที่เตรียมจากเส้นใยหญ้าแฝกในปริมาณ 30 phr เมื่อทำการเปลี่ยนขนาดเส้นใยหญ้าแฝก 20-50 mesh 50-100 mesh มากกว่า 100 mesh และ ไม่แยกขนาด	99
4.53 ค่าความแข็งแรงโค้งงอของพีวีซีคอมโพสิตที่เตรียมจากเส้นใยหญ้าแฝกในปริมาณ 30 phr เมื่อทำการเปลี่ยนขนาดเส้นใยหญ้าแฝก 20-50 mesh 50-100 mesh มากกว่า 100 mesh และ ไม่แยกขนาด	100
4.54 ค่ามอดุลัสโค้งงอของพีวีซีคอมโพสิตที่เตรียมจากเส้นใยหญ้าแฝกในปริมาณ 30 phr เมื่อทำการเปลี่ยนขนาดเส้นใยหญ้าแฝก 20-50 mesh 50-100 mesh มากกว่า 100 mesh และ ไม่แยกขนาด	101
4.55 ค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำของพีวีซีคอมโพสิตที่เตรียมจากเส้นใยหญ้าแฝกในปริมาณ 30 phr เมื่อทำการเปลี่ยนขนาดเส้นใยหญ้าแฝก 20-50 mesh 50-100 mesh มากกว่า 100 mesh และ ไม่แยกขนาด	102
4.56 รูป SEM แสดงสัณฐานวิทยาของพีวีซีจากการแตกหักที่อุณหภูมิต่ำกำลังขยาย 450 เท่า	103
4.57 รูป SEM แสดงสัณฐานวิทยาของพีวีซีคอมโพสิตจากการแตกหักที่อุณหภูมิต่ำกำลังขยาย 450 เท่า เมื่อผสมกับเส้นใยหญ้าแฝกปริมาณ 10 phr ขนาด 20- 50 mesh	104
4.58 รูป SEM แสดงสัณฐานวิทยาของพีวีซีคอมโพสิตจากการแตกหักที่อุณหภูมิต่ำกำลังขยาย 450 เท่า เมื่อผสมกับเส้นใยหญ้าแฝกปริมาณ 20 phr ขนาด 20- 50 mesh	104
4.59 รูป SEM แสดงสัณฐานวิทยาของพีวีซีคอมโพสิตจากการแตกหักที่อุณหภูมิต่ำกำลังขยาย 450 เท่า เมื่อผสมกับเส้นใยหญ้าแฝกปริมาณ 30 phr ขนาด 20- 50 mesh	105
4.60 รูป SEM แสดงสัณฐานวิทยาของพีวีซีคอมโพสิตจากการแตกหักที่อุณหภูมิต่ำกำลังขยาย 450 เท่า เมื่อผสมกับเส้นใยหญ้าแฝกปริมาณ 40 phr ขนาด 20- 50 mesh	105

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.61 รูป SEM แสดงสัณฐานวิทยาของพีวีซีคอมโพสิตจากการแตกหักที่อุณหภูมิต่ำ กำลังขยาย 450 เท่า เมื่อผสมกับเส้นใยหญ้าแฝกไม่แยกขนาด ปริมาณเส้นใยหญ้าแฝก 30 phr	106
4.62 รูป SEM แสดงสัณฐานวิทยาของพีวีซีคอมโพสิตจากการแตกหักที่อุณหภูมิต่ำ กำลังขยาย 450 เท่า เมื่อผสมกับเส้นใยหญ้าแฝกขนาด 50-100 mesh ปริมาณเส้นใยหญ้าแฝก 30 phr	106
4.63 รูป SEM แสดงสัณฐานวิทยาของพีวีซีคอมโพสิตจากการแตกหักที่อุณหภูมิต่ำ กำลังขยาย 450 เท่า เมื่อผสมกับเส้นใยหญ้าแฝกขนาด >100 mesh ปริมาณเส้นใยหญ้าแฝก 30 phr	107



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญ และที่มาของการวิจัย

ปัจจุบันป่าไม้ในประเทศไทยมีจำนวนลดน้อยลงอย่างรวดเร็วแต่ความต้องการในการใช้ไม้กลับเพิ่มขึ้นอย่างมาก เนื่องจากจำนวนประชากรของประเทศที่เพิ่มขึ้นและความต้องการบริโภคผลิตภัณฑ์ไม้ที่เพิ่มขึ้น ทำให้ปริมาณไม้ที่มีอยู่ในประเทศไม่เพียงพอต่อความต้องการ ก่อให้เกิดปัญหาตัดไม้ทำลายป่าปัญหาการแย่งชิงทรัพยากรไม้และผลผลิตจากป่าไม้ระหว่างประชาชนและเจ้าหน้าที่ของรัฐผู้ปกป้องป่าไม้ และปัญหาอื่น ๆ ที่เป็นสาเหตุจากการตัดต้นไม้ทำลายป่า เช่น ปัญหาการขาดแคลนน้ำ ฝนไม่ตกตามฤดูกาล ปัญหาน้ำท่วม เป็นต้น

วิธีการแก้ปัญหาที่กล่าวมาวิธีหนึ่งคือ การผลิตไม้เทียม (Artificial woods) จากวัสดุอื่นเพื่อใช้ทดแทนไม้ ช่วยลดปัญหาที่เกิดจากไม้ในด้านต่างๆ เช่น ปริมาณไม้ไม่เพียงพอต่อความต้องการ และลดปัญหาการตัดไม้ทำลายป่า “ไม้เทียม” คือวัสดุใด ๆ ที่มีลักษณะภายนอกเหมือนหรือคล้ายวัสดุไม้ ไม้เทียมที่ดีควรมีสมบัติคล้ายวัสดุไม้ เช่น น้ำหนักเบา สามารถดัดด้วยตะปู ตัดด้วยเลื่อย เป็นต้น สามารถใช้วัสดุไม้เทียมประกอบสร้างเป็นผลิตภัณฑ์ไม้ได้ วัสดุหนึ่งที่สามารถนำมาใช้เป็นไม้เทียมได้แก่ “พอลิเมอร์คอมโพสิต” (Polymer composites) ซึ่งเป็นวัสดุประกอบจากวัสดุสองชนิดคือ พอลิเมอร์เมทริกซ์ (Polymer matrix) และเส้นใยเสริมแรง (Fibers) พอลิเมอร์คอมโพสิตมีข้อดีหลายประการ คือ

1. น้ำหนักเบา ความหนาแน่นต่ำ
2. มีความแข็งแรงและค่ามอดุลัสจำเพาะหรือมอดุลัสต่อน้ำหนัก (Specific strength และ Specific modulus) สูง
3. ขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ได้ง่าย จากกระบวนการขึ้นรูปพอลิเมอร์เช่น การอัดรีด (Extrusion) การฉีดขึ้นรูป (Injection molding) เป็นต้น
4. มีอายุการใช้งานยาวนาน ไม่ผุกร่อนง่าย และไม่ถูกทำลายโดยแมลงเช่น มอด ปลวก ฯลฯ
5. มีสมบัติทางกายภาพและสมบัติเชิงกลที่ดี ดูดซึมน้ำได้ต่ำกว่าไม้
6. สามารถขึ้นรูปได้ผลิตภัณฑ์หลากหลายลักษณะ และง่ายต่อการใส่ประกอบกับวัสดุอื่น (Insertion)
7. สามารถนำเศษเหลือจากกระบวนการผลิตกลับมาใช้ใหม่ได้ (Recycle)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พอลิเมอร์ (Polymers) จัดเป็นวัสดุสังเคราะห์ที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย และมีบทบาทสำคัญในชีวิตประจำวันของมนุษย์ ปัจจุบันยังคงมีการพัฒนาปรับปรุงสมบัติพอลิเมอร์อยู่เสมอ เพื่อให้มีคุณภาพและสมบัติดียิ่งขึ้น และต้นทุนการผลิตต่ำ แนวทางหนึ่งในการปรับปรุงสมบัติของพอลิเมอร์ และลดต้นทุนการผลิต คือการทำพอลิเมอร์คอมโพสิต ซึ่งในปัจจุบันพอลิเมอร์คอมโพสิตได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้งานต่าง ๆ มากมายเช่น อุตสาหกรรมก่อสร้าง เฟอร์นิเจอร์ ชิ้นส่วนเครื่องใช้ไฟฟ้า อุปกรณ์รถยนต์ และบรรจุภัณฑ์ต่างๆ เป็นต้น พอลิเมอร์เมตริกซ์ที่ใช้เป็นวัสดุคอมโพสิตอาจเป็นได้ทั้งเทอร์โมพลาสติก (Thermoplastics) และเทอร์โมเซต (Thermosets) เช่น พอลิเอสเตอร์ชนิดไม่อิ่มตัว (Unsaturated polyester) อีพอกซี (Epoxy) เป็นต้น เส้นใยเสริมแรงที่นิยมใช้ ได้แก่ เส้นใยสังเคราะห์เช่น เส้นใยแก้ว (Glass fibers) เส้นใยคาร์บอน (Carbon fibers) เส้นใยเคฟลาร์ (Kevlar fibers) เป็นต้น

ปัจจุบันได้มีความสนใจในการประยุกต์ใช้เส้นใยธรรมชาติ (Natural fibers) มาใช้ประโยชน์เป็นเส้นใยเสริมแรงในวัสดุคอมโพสิต เนื่องจากเส้นใยสังเคราะห์มีราคาแพง ประเทศไทยมีเส้นใยธรรมชาติมากมาย บางชนิดเป็นเศษเหลือทิ้งจากภาคเกษตรกรรมและอุตสาหกรรม เช่น เส้นใยอ้อยจากอุตสาหกรรมน้ำตาล เส้นใยมะพร้าวจากอุตสาหกรรมกะทิ ซึ่งเหลือจากอุตสาหกรรมเฟอร์นิเจอร์ เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับไม้อื่น ๆ เช่น อุตสาหกรรมกระดาษ อุตสาหกรรมกระดาษเย็บกระดาษ เป็นต้น ปัจจุบันมีเศษไม้ที่เหลือทิ้งจากภาคอุตสาหกรรมจำนวนมาก (มากกว่า 6 ล้านตันต่อปี) เส้นใยธรรมชาติมีข้อดีหลายประการดังนี้

1. หาง่าย เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ มีใช้ไม่หมดสิ้น และมีให้เลือกมากมายหลายชนิด
2. เส้นใยบางชนิดเป็นของเหลือทิ้ง หรือเป็นวัชพืช มีราคาถูก ทำให้สามารถใช้ลดต้นทุนการผลิต
3. เส้นใยมีสมบัติเชิงกลดี บางชนิดมีความแข็งแรงและมอดุลัสสูง
4. ความหนาแน่นต่ำ ทำให้มีน้ำหนักเบา
5. สามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ ไม่เป็นปัญหาในการกำจัด
6. ช่วยกำจัดและลดกากของเสียจากเกษตรกรรมและอุตสาหกรรม

ปัจจุบันได้มีงานวิจัยที่พยายามที่จะนำเส้นใยธรรมชาติต่าง ๆ มาใช้ประโยชน์ เช่น เส้นใยอ้อย เส้นใยมะพร้าว เส้นใยไผ่ ป่านศรนารายณ์ ฯลฯ อย่างไรก็ตามการใช้ประโยชน์ของเส้นใยธรรมชาติในปัจจุบันยังไม่ประสบความสำเร็จในเชิงอุตสาหกรรมเท่าที่ควร ทั้งนี้เนื่องจากเส้นใยธรรมชาติมีข้อจำกัดบางประการที่ต้องการการปรับปรุง คือ

- เส้นใยธรรมชาติมีความสามารถในการยึดเกาะกับพอลิเมอร์เมตริกซ์ต่ำ เป็นสาเหตุให้สมบัติบางประการต่ำ เช่น สมบัติเชิงกล
- เส้นใยธรรมชาติดูดซับน้ำสูงกว่าเส้นใยสังเคราะห์ ทำให้คอมโพสิตเส้นใยธรรมชาติดูดซับน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สูงกว่าคอมโพสิตเส้นใยสังเคราะห์และพอลิเมอร์

- เส้นใยธรรมชาติขาดความสม่ำเสมอของเส้นใยแต่ละเส้นอาจมีขนาดและความยาวไม่เท่ากัน

พระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวภูมิพลอดุลยเดช พระเจ้าอยู่หัวในรัชกาลปัจจุบัน มีพระราชดำริส่งเสริมให้เกษตรกร โดยการสนับสนุนของกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ ปลูกหญ้าแฝก (Vetiver) บริเวณพื้นดินที่สอยที่ไม่ได้ใช้ประโยชน์ บริเวณไร่เลื่อนลอย และบริเวณที่ถูกน้ำชะหน้าดินง่าย เนื่องจากหญ้าแฝกมีระบบรากฝอยมาก ยึดหน้าดินได้ดี ทำให้ช่วยป้องกันการชะล้างหน้าดินและการพังทลายของหน้าดินได้เป็นอย่างดี หญ้าแฝกยังเจริญเติบโตได้ดี ไม่แย่งอาหารกับการปลูกร่วมกับพืชชนิดอื่น จึงสมควรแก่การสนับสนุนให้เกษตรกรปลูก นอกจากนี้หญ้าแฝกยังสามารถใช้สวนประกอบอื่นๆ เช่น ต้นและใบหญ้าแฝก ใช้ประโยชน์ได้ดังต่อไปนี้

- การใช้ประโยชน์จากใบหญ้าแฝกสำหรับงานศิลปหัตถกรรม
- การใช้ประโยชน์จากต้น และใบหญ้าแฝกเป็นวัสดุเพาะเห็ด
- การใช้ประโยชน์จากต้นและใบหญ้าแฝกเป็นวัสดุคลุมหลังคา

งานวิจัยนี้เป็นหนึ่งในโครงการเพื่อสนองพระราชดำริของพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว โดยเสนอที่จะศึกษาการเตรียมวัสดุคอมโพสิตจากพอลิเมอร์และเส้นใยหญ้าแฝก (Vetiver fibers) เพื่อใช้งานเป็นวัสดุไม้เทียมและวัสดุขึ้นรูปแบบพลาสติก โดยเน้นงานวิจัยที่การเตรียมวัสดุคอมโพสิตที่มีสมบัติที่ดี เช่น สมบัติทางกายภาพ (Physical properties) สมบัติเชิงกล (Mechanical properties) สมบัติทางความร้อน (Thermal properties) ฯลฯ โดยจะทำการขึ้นรูปด้วยเทคนิคการอัดรีด (Extrusion) ให้สามารถประยุกต์ใช้งานไม้เทียมในรูปวัสดุเฟอร์นิเจอร์ เช่น ไม้ปาร์เก้ แผ่นไม้กรอบหน้าต่าง ประตู หรือวัสดุฝ้าเพดาน ฯลฯ ทั้งนี้เสนอที่จะใช้ พอลิไวนิลคลอไรด์หรือพีวีซี (Poly (vinyl chloride), PVC) และ พอลิพรอพิลีนหรือพีพี (Polypropylene, PP) เป็นพอลิเมอร์เมตริกซ์

ข้อดีของการใช้พีวีซีเป็นพอลิเมอร์เมตริกซ์ มีดังนี้

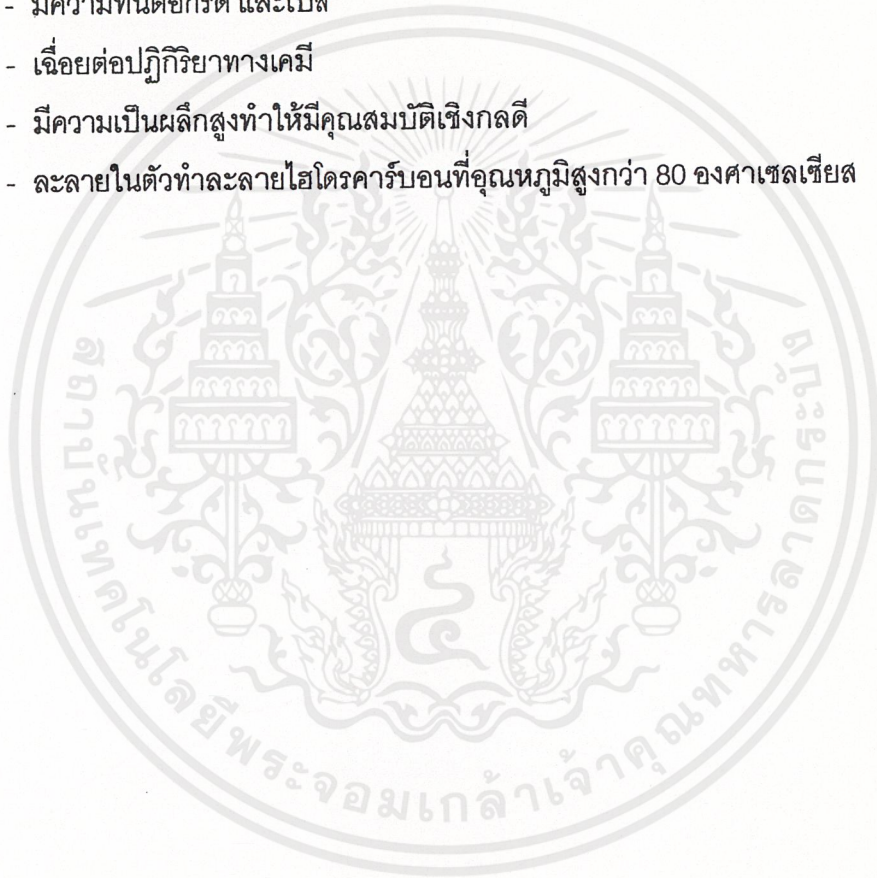
- พีวีซีมีน้ำหนักเบา ความหนาแน่นต่ำ
- มีสมบัติเชิงกลดี ความแข็งแรงสูง
- พีวีซีมีความสามารถในการดับไฟด้วยตัวเอง (Self-extinguish)
- เป็นพอลิเมอร์ที่มีขั้ว (จากคลอรีนอะตอมในโครงสร้าง) จึงมีความสามารถในการเข้ากันได้และยึดเกาะดีกับเส้นใยธรรมชาติที่มีขั้ว เนื่องจากมีเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบหลัก
- พีวีซีเป็นเทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic) สามารถขึ้นรูปได้ง่ายด้วยเทคนิคการขึ้นรูปพลาสติกทั่วไป เช่น การอัดรีด (Extrusion) การฉีดขึ้นรูป (Injection molding) ฯลฯ และสามารถหลอมเหลวขึ้นรูปใหม่ได้หลายครั้ง ไม่มีปัญหาการกำจัดเศษเหลือในขบวนการผลิต (Scrap) และการนำกลับมาใช้ใหม่ (Recycle)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

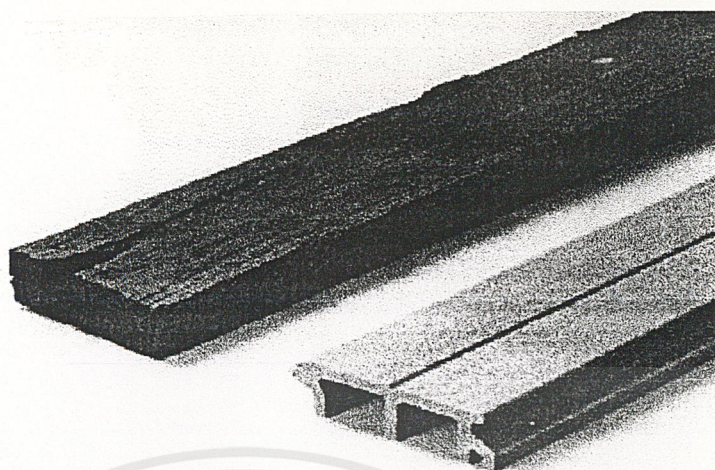
- พีวีซีที่มีสมบัติหลากหลายสามารถปรับความแข็ง-อ่อนได้ง่าย โดยการใช้สารเติมแต่งจำพวกพลาสติกไซเซออร์ (Plasticizers)
- เป็นพอลิเมอร์ที่รู้จักดี นิยมใช้งานแพร่หลาย มีราคาถูก ต้นทุนการผลิตต่ำ และนิยมขึ้นรูปด้วยเทคนิคอัดรีดเช่น แผ่นพีวีซี ท่อ ฯลฯ

ข้อดีของการใช้พีวีซีเป็นพอลิเมอร์เมตริกซ์ มีดังนี้

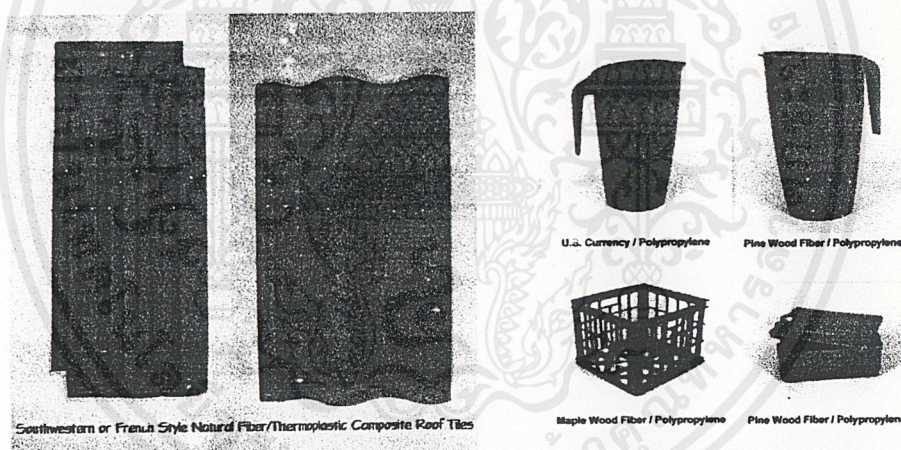
- พีวีซีมีน้ำหนักเบา
- มีจุดหลอมเหลวปานกลาง 130-170 องศาเซลเซียส
- ไม่ละลายตัวทำละลายที่อุณหภูมิห้อง
- มีความทนต่อกรด และเบส
- เจือต่อปฏิกิริยาทางเคมี
- มีความเป็นผลึกสูงทำให้มีคุณสมบัติเชิงกลดี
- ละลายในตัวทำละลายไฮโดรคาร์บอนที่อุณหภูมิสูงกว่า 80 องศาเซลเซียส



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.1 แสดงความแตกต่างระหว่างไม้กับพอลิเมอร์คอมโพสิตที่ใช้เป็นไม้เทียม¹



รูปที่ 1.2 ตัวอย่างพอลิเมอร์คอมโพสิตที่ใช้เส้นใยธรรมชาติเป็นส่วนเสริมแรง²

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1. ศึกษาปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อการเตรียมพอลิเมอร์คอมโพสิตจากเส้นใยหญ้าแฝก เช่น ผลของการใช้สารเติมแต่ง ปริมาณเส้นใย และขนาดของเส้นใย
2. ศึกษาสมบัติต่าง ๆ ของพอลิเมอร์คอมโพสิตไม้เทียมจากหญ้าแฝกที่เตรียมได้ เช่น สมบัติเชิงกล สมบัติทางกายภาพ สมบัติทางความร้อน และสัณฐานวิทยา

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. ศึกษาและทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
2. เตรียมเส้นใยหญ้าแฝกและผงหญ้าแฝก
3. ศึกษาสมบัติที่สำคัญต่าง ๆ ของพอลิเมอร์คอมโพสิตจากเส้นใยธรรมชาติที่เตรียมได้ เช่น สมบัติทางกายภาพ (Physical properties) สมบัติเชิงกล (Mechanical properties) สมบัติทางความร้อน (Thermal properties) และสัณฐานวิทยา (Morphology)
4. ศึกษาปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อสมบัติของพอลิเมอร์คอมโพสิต เช่น วิธีการขึ้นรูป ผลของปริมาณเส้นใยที่ใช้ ผลของการใช้สารเติมแต่งต่าง ๆ โดยเสนอที่จะศึกษาในแนวทางเปรียบเทียบ
5. ทดลองขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ไม้เทียมจากคอมโพสิตเส้นใยหญ้าแฝก

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับการวิจัย

1. สามารถผลิตไม้เทียมจากพอลิเมอร์และหญ้าแฝกเพื่อทดแทนไม้จากธรรมชาติได้ ทดแทนวัสดุคอมโพสิตเส้นใยสังเคราะห์ซึ่งต้องนำเข้าจากต่างประเทศ
2. สามารถเตรียมคอมโพสิตไม้เทียมที่มีสมบัติที่ดี สามารถประยุกต์ใช้งานเป็นไม้เทียมได้ เช่น วัสดุเฟอร์นิเจอร์ ไม้ปาร์เก้ แผ่นไม้กรอบหน้าต่าง ประตู หรือวัสดุฝ้าเพดาน ฯลฯ
3. เป็นบริการความรู้แก่ภาคธุรกิจ สามารถนำผลงานวิจัยไปใช้และนำไปสู่การผลิตในเชิงพาณิชย์
4. สามารถใช้ความรู้ที่ได้เป็นพื้นฐานความรู้การวิจัย ในการประยุกต์ใช้กับพอลิเมอร์คอมโพสิตจากเส้นใยธรรมชาติชนิดอื่นได้
5. สามารถเพิ่มประโยชน์การใช้สอยจากหญ้าแฝก และส่งเสริมให้เกิดอุตสาหกรรมพอลิเมอร์คอมโพสิตจากเส้นใยธรรมชาติในประเทศได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

2.1 พอลิเมอร์คอมโพสิต (Polymer composites)²

พอลิเมอร์คอมโพสิตคือ วัสดุที่ประกอบด้วยส่วนประกอบอย่างน้อย 2 ชนิด ที่มีสมบัติต่างกัน โดยจะแยกกันอยู่คนละวัฏภาค และทำให้ได้วัสดุที่มีสมบัติที่ดีขึ้น โดยทั่วไปจะนิยมทำเพื่อปรับปรุงความแข็งแรง มอดุลัส ความเสถียรในรูปร่าง และลดความหนาแน่น พอลิเมอร์คอมโพสิตจะประกอบด้วย 2 ส่วน ได้แก่ส่วนเมตริกซ์ (Matrix phase) และส่วนเสริมแรง (Reinforcement phase) โดยคอมโพสิตสามารถแบ่งได้เป็น 3 ชนิด ตามวัสดุที่ผสมหรือลักษณะการขึ้นรูปดังนี้

1. คอมโพสิตแบบอนุภาค (Particulate composites)

เป็นคอมโพสิตที่เกิดจากการกระจายอนุภาคในเมตริกซ์ ซึ่งอนุภาคจะมีรูปร่างการจัดเรียงตัวและขนาดต่าง ๆ กัน อาจเป็นผง เม็ด หรือผลึก

2. คอมโพสิตแบบแผ่น (Laminar composites)

เป็นคอมโพสิตที่เกิดจากการยึดติดระหว่างแผ่นวัสดุกับเมตริกซ์ ในลักษณะคล้ายแซนวิชอัดด้วยความดันสูง ซึ่งจะได้เป็นชั้น ๆ

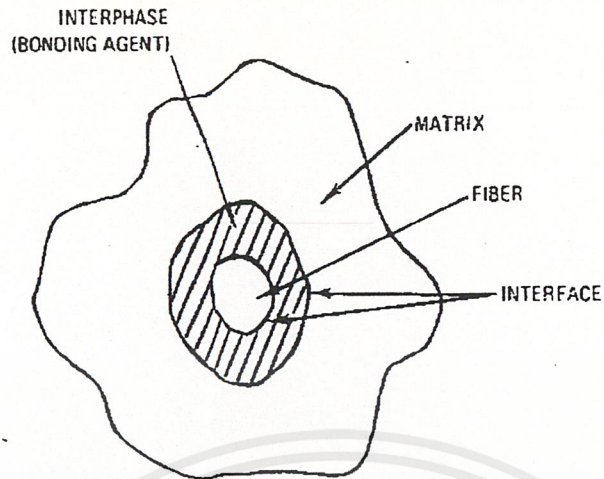
3. คอมโพสิตแบบเส้นใย (Fibrous composites)

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

2.1.1 พอลิเมอร์เมตริกซ์ (Polymer matrix) เมตริกซ์เป็นส่วนที่ช่วยห่อหุ้มและยึดส่วนเสริมแรงเข้าไว้ด้วยกัน ซึ่งโดยทั่วไปจะเป็นสารพอลิเมอร์ มักจะมีความเหนียวสูง ความแข็งแรงและมอดุลัสต่ำกว่าส่วนเสริมแรง พอลิเมอร์เมตริกซ์มีหน้าที่

- รักษาความเสถียรในรูปร่าง และขนาดของวัสดุคอมโพสิต
- รักษาการกระจายตัวของเส้นใย และแยกไม่ให้เป็นมารวมกัน
- ทำให้วัสดุสามารถทนต่อการเสียดสีภายใต้อุณหภูมิหรือแรงที่ระดับหนึ่ง
- สามารถกระจายและส่งถ่ายแรงที่ได้รับจากภายนอกไปยังเส้นใย
- ช่วยให้ทนทานต่อสภาพแวดล้อมและมีความเสถียรในตัวกลางต่างๆ

2.1.2 ส่วนเสริมแรง (Reinforcement) มีลักษณะรูปร่างหลายแบบ อาจเป็นแผ่น เส้นใย หรืออนุภาคเล็กๆ นิยมใช้ส่วนเสริมแรงที่มีลักษณะเป็นเส้นใย (Fiber) อาจเป็นเส้นใยต่อเนื่องหรือเส้นใยสั้น

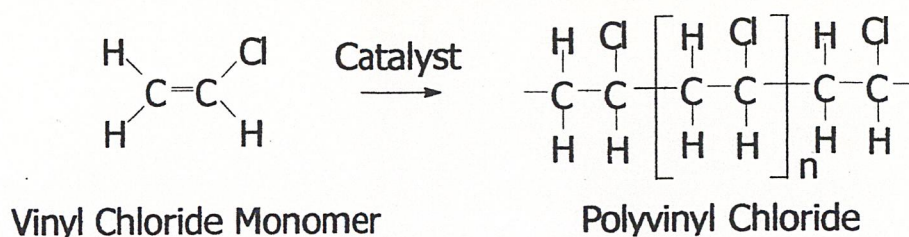


รูปที่ 2.1 แสดงการยึดเกาะระหว่างเส้นใยกับเมตริกซ์

สมบัติของพอลิเมอร์คอมโพสิตขึ้นกับ

1. การยึดเกาะระหว่างเมตริกซ์และสารเสริมแรง
2. คุณสมบัติของเมตริกซ์และสารเสริมแรง
3. ขนาดและรูปร่างของสารเสริมแรง
4. ปริมาณสารเสริมแรง
5. กระบวนการผลิต
6. การจัดเรียงตัวและการกระจายตัวของสารเสริมแรง
7. ตำหนิในชิ้นงานคอมโพสิต เช่น ช่องว่าง (Voids) และรอยตำหนิ (Flaws)

2.2 พอลิไวนิลคลอไรด์ (Polyvinylchloride, PVC)



รูปที่ 2.2 แสดงโครงสร้างของปฏิกิริยาการเตรียมพอลิไวนิลคลอไรด์

พีวีซี 90% อยู่ในรูป Homopolymer กลุ่ม Amorphous plastic (90-95%) จัดเป็นพอลิเมอร์ที่สังเคราะห์จากไวนิลคลอไรด์มอนอเมอร์ ($\text{CH}_2 = \text{CHCl}$) เป็นพลาสติกชนิดเทอร์โมพลาสติก มีลักษณะเป็นโซ่ตรง (Linear chain structure) แบบซินดิโอแทคติก (Syndiotactic) อะตอมคลอรีน จับแบบหัวต่อหาง

ข้อดี : ราคาถูก น้ำหนักโมเลกุลสูง เป็นฉนวนไฟฟ้า และไม่ไหม้หรือลุกติดไฟ เนื่องจากมีอะตอมคลอรีน ในโมเลกุลเมื่อติดไฟสามารถดับได้ด้วยตัวเอง ไม่ทนความร้อน มีขั้วเล็กน้อย ไม่ดูดกลืนน้ำ มีสมบัติแข็งเปราะที่อุณหภูมิห้อง แต่เหนียวที่อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิห้อง ใสไม่มีสี ความหนาแน่น 1.40 g/cm^3 อุณหภูมิเริ่มอ่อนตัว ประมาณ $180 \text{ }^\circ\text{C}$ และ ทนทานต่อสารเคมี (High chemical resistance) เหมาะกับการใช้งานที่อุณหภูมิต่ำกว่า $80 \text{ }^\circ\text{C}$

ข้อเสีย : เปราะที่อุณหภูมิต่ำ ไม่ทนสภาวะอากาศ ความร้อนและแสง UV เช่น การเสียสภาพทางความร้อนและแสง มีพลังงานที่จะทำลายพันธะ C-C, C-Cl, C=C ทำให้อะตอม Cl หลุดเป็น HCl ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสี และทำให้สมบัติต่างๆ ด้อยลงอย่างรวดเร็วสังเกตจากการเปลี่ยนสีจาก เหลืองน้ำตาล น้ำตาลเข้ม น้ำตาลแดง และดำ

PVC แบ่งเป็น 3 ชนิด คือ

1. Suspension PVC (SPVC) มีลักษณะเป็นผงสีขาว ขนาดอนุภาคประมาณ 125 ไมโครเมตร อนุภาคใหญ่กว่า EPVC มีรูปทรงสูงกว่า ทำให้ดูดซับน้ำมันพลาสติกไฮดรอกซีได้ดีกว่า ลักษณะเป็นก้อน

2. Emulsion PVC (EPVC) มีลักษณะเป็นผงละเอียด ขนาดอนุภาคประมาณ 0.20-1.50 ไมโครเมตร ขนาดอนุภาคเล็กกว่า SPVC มีรูปทรงต่ำทำให้ดูดซึมพลาสติกไฮดรอกซีได้น้อย เป็นของเหลวเหนียวข้นขาว เรียกว่า Plastisol

3. Bulk PVC (MPVC) มีลักษณะใสบริสุทธิ์ มีน้ำหนักโมเลกุลสูง ผิวแข็ง มีความหนาแน่นที่ดี มีความสามารถในการดูดซับสารเติมแต่งไม่ดี

กระบวนการผลิตแบ่งเป็น 3 เกรดตามค่า K Value

- ค่า K Value ต่ำ ประมาณ 61 ใช้ พลาสติไซเซอร์ (Plasticizers) น้อยกว่า 30 phr มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ ความหนืดต่ำให้ผลิตภัณฑ์ที่มีความแข็งแรงต่ำ
- ค่า K Value ปานกลาง ประมาณ 66 ใช้ พลาสติไซเซอร์ (Plasticizers) ในช่วง 31-49 phr
- ค่า K Value สูง ประมาณ 71 ใช้พลาสติไซเซอร์ (Plasticizers) ตั้งแต่ 50 phr ขึ้นไป มีน้ำหนักโมเลกุลสูง ใช้อุณหภูมิในการขึ้นรูปสูง ความหนืดสูง ให้ผลิตภัณฑ์ที่มีความแข็งแรง

2.2.1 สารประกอบพีวีซี (PVC Compound)

พีวีซีคอมพาวด์เป็นการผสมพีวีซีกับสารเติมแต่ง (Additives) ให้เข้ากันก่อนนำพีวีซีไปขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆทั้งนี้เป็นเพราะ พีวีซีมีสมบัติการทนต่อความร้อน (Thermal resistance) ได้น้อย มีความหนืดสูง ดังนั้นจึงจำเป็นต้องผสมพีวีซีกับสารเติมแต่งต่างๆ เพื่อปรับปรุงพีวีซีให้มีสมบัติความทนทานต่อความร้อน และสมบัติอื่นๆ ให้ดีขึ้นเพื่อสามารถนำไปขึ้นรูปตามที่ต้องการ

สารเติมแต่ง (Additives) ที่ผสมในพีวีซีมีดังนี้

- พลาสติไซเซอร์ (Plasticizers)
- สเตบิไลเซอร์หรือสารเพิ่มเสถียรภาพ (Stabilizers)
- สารหล่อลื่น (Lubricants)
- สารเพิ่มเนื้อหรือสารตัวเติม (Fillers)
- โปรเซสซิงเอเจนต์หรือสารช่วยกระบวนการผลิต (Processing aids)
- สารช่วยการพองตัว หรือสารให้พอง (Blowing agents)
- ผงสี (Pigment)

2.2.2 สารเติมแต่ง (Additives)

2.2.2.1 พลาสติไซเซอร์ (Plasticizer)

พลาสติไซเซอร์ ทำให้พีวีซีมีความยืดหยุ่นมากขึ้น เป็นการลดอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะ คล้ายแก้ว (Glass transition temperature, T_g) โดยจะลดแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลหรือสายโซ่ พอลิเมอร์ ทำให้สายโซ่สามารถเคลื่อนตัวได้ง่ายขึ้น ลดความหนืด และสามารถขึ้นรูปที่อุณหภูมิต่ำลง และส่งผลต่อสมบัติอื่นๆ ดังนี้

- เพิ่มความอ่อนตัว
- ลดจุดหลอมเหลว ความแข็งกด ความแข็งแรงดึง
- เพิ่มค่าการดึงยืด ความยืดหยุ่น ความแข็งแรงกระแทก
- มีค่าความสามารถในการละลาย ใกล้เคียงกับ PVC เป็นขั้วเหมือนกัน ทำให้เข้ากันได้กับ PVC

พลาสติไซเซอร์แบ่งตามความสามารถในการรวมตัวกับ PVC เป็น 2 ประเภท คือ

1. Primary plasticizer สามารถเติมลงใน PVC ได้มาก โดยไม่ต้องใช้ร่วมกับ Plasticizer ชนิดอื่น โดยไม่มีการแยกตัวออกจาก PVC เช่น
 - 1) DOP (Di-octyl phthalate) นิยมใช้กันมาก ราคาถูก ใช้งานง่าย
 - 2) DINP (Di-isononyl phthalate) สมบัติดี เนื่องจากโมเลกุลใหญ่จุดเดือดสูง จึงระเหยยาก
 - 3) DOA (Di-octyl adipate) ทนอุณหภูมิต่ำได้ดี แต่ระเหยง่ายเมื่อโดนความร้อน เนื่องจากโครงสร้างที่เป็นสายโซ่ ไม่ได้เป็นวงเหมือนกลุ่ม Phthalate ทำให้สายโซ่โครงสร้างของ PVC เคลื่อนที่ได้มากกว่า และสามารถระเหยออกจาก PVC ได้ง่ายกว่ากลุ่ม Phthalate
2. Secondary plasticizer ราคาถูกกว่า Primary Plasticizer ใช้เพื่อการลดต้นทุน แต่ต้องใช้คู่กับ Primary plasticizer เช่น Epoxy soybean oil

2.2.2.2 สเตบิลไลเซอร์หรือสารเพิ่มเสถียรภาพ (Stabilizers)

พีวีซีสามารถเกิดการเสถียรภาพได้เมื่อได้รับความร้อนและแสงแดดโดยผ่านกลไกการขจัดออกของก๊าซไฮโดรเจนคลอไรด์ซึ่งก๊าซไฮโดรเจนคลอไรด์นี้จะออกมาจากโครงสร้างที่ไม่อิ่มตัว และทำให้พื้นผิวของพีวีซีเปลี่ยนเป็นสีเข้มขึ้นและดำในที่สุด

สารสเตบิลไลเซอร์ เป็นเกลือของโลหะหรือสารประกอบที่ทำปฏิกิริยากับก๊าซไฮโดรเจนคลอไรด์ ซึ่งจะทำหน้าที่คล้ายตัวเร่งการสลายตัวของพีวีซี โดยสเตบิลไลเซอร์ที่นิยมใช้ในการทำสารประกอบพีวีซีมีดังนี้

- เกลือของตะกั่ว (Lead salt)
- แบเรียม / แคดเมียมสเตบิลไลเซอร์ (Barium/Cadmium stabilizers)

- แบเรียม / แคดเมียม / ซิงค์สเตบิลไลเซอร์ (Barium/Cadmium/Zinc stabilizers)
- แบเรียม / ซิงค์สเตบิลไลเซอร์ (Barium/Zinc stabilizers)
- ทินสเตบิลไลเซอร์ (Tin stabilizers)
- แคลเซียม / ซิงค์สเตบิลไลเซอร์ (Calcium/Zinc stabilizers)

2.2.2.3 สารหล่อลื่น (Lubricant)

ช่วยหล่อลื่นและลดแรงเสียดทานในระหว่างกระบวนการผลิต ลดโอกาสที่ PVC จะสลายตัวเนื่องจากความร้อน ช่วยให้ขึ้นรูปง่าย และไหลง่ายขึ้น ควบคุมอัตราการไหลของ PVC ซึ่งมีความสำคัญมากในงานอัดรีด (Extrusion) การเลือกใช้ควรพิจารณา

1. ชนิดของพอลิเมอร์
2. อุณหภูมิการขึ้นรูป
3. ไม่ควรใช้เกิน 1 % ซึ่งอาจเป็นสาเหตุให้สารเติมแต่งอื่นๆ เช่น สีซึมออกมาระหว่างการผลิต เมื่อแรงเฉือนและความดันสูง

สารหล่อลื่น จำแนกตามการรวมตัวเข้ากับ PVC แบ่งเป็น 2 ประเภท

1) **สารหล่อลื่นภายใน (Internal Lubricant)** ทำหน้าที่ช่วยในเรื่องการไหล ทำให้ขึ้นรูปได้ง่าย และลดความหนืดของพลาสติกเหลว โดยจะหล่อลื่น หรือลดแรงเสียดทานระหว่างโมเลกุล โดยจะละลายในพลาสติก แต่ไม่มีผลสมบัติการหลอมเหลว เช่น สารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีคาร์บอน 12-30 อะตอม

2) **สารหล่อลื่นภายนอก (External Lubricant)** จะเคลื่อนที่ออกจากพีวีซีหลอมเหลว โดยไปลดแรงดึงดูดระหว่างพีวีซีหลอมเหลวกับผิวโลหะของเครื่องจักรขึ้นรูป โดยระหว่างการขึ้นรูปจะกลายเป็นฟิล์มบางๆ ระหว่างพีวีซีหลอมเหลวและเครื่องจักรขึ้นรูป ลดการติดของ PVC กับเครื่องจักร โดยมากจะเข้ากันได้กับพอลิเมอร์ ได้ไม่ดี เนื่องจากมีความเป็นขั้วต่ำกว่า PVC

ตัวอย่างสารหล่อลื่นที่นิยมใช้กับพีวีซี มีดังนี้

- กลุ่ม Hydrocarbons ขี้ผึ้งพาราฟิน (Paraffin waxes) น้ำหนักโมเลกุลต่ำ ไม่มีขั้ว ไม่มีสี ไม่ว่องไวในการเกิดปฏิกิริยา
- กลุ่ม Carboxylic acid เช่น กรดสเตียริก มีขั้ว เกิดพันธะกับไฮโดรเจนได้ เปรอร์เซ็นต์การระเหยสูง ควรขึ้นรูปที่อุณหภูมิต่ำ
- กลุ่ม Carboxylic acid esters เช่น Ethyl stearate มีขั้ว

2.2.2.4 สารเพิ่มเนื้อ (Fillers)

สารเพิ่มเนื้อหรือสารตัวเติม นิยมเติมลงไปในพอลิเมอร์เพื่อเป็นการลดต้นทุน สารเพิ่มเนื้อแบ่งเป็น 2 ประเภท ได้แก่ สารเพิ่มเนื้อช่วยเสริมแรง (Reinforcing fillers) และสารเพิ่มเนื้อชนิดไม่เสริมแรง (Non-reinforcing fillers)

การเติมสารเพิ่มเนื้อในพีวีซีแข็งยังลดความแข็งแรงกระแทก (Impact strength) แต่ในพีวีซีอ่อนสามารถเติมสารนี้ได้มากเมื่อใช้พลาสติกไฮเซอร์ช่วยและไม่ทำให้ค่าความแข็งแรงกระแทก ลดลงมากเกินไป

สารเพิ่มเนื้อที่มีราคาถูก จึงทำให้ผลิตภัณฑ์ของพีวีซีมีราคาลดลง สารเพิ่มเนื้อที่นิยมใช้ได้แก่ แคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3) สารเพิ่มเนื้อขนาดเล็กจะมีการกระจายตัวที่ดี แต่มีราคาแพงกว่าสารเพิ่มเนื้อขนาดใหญ่ แคลเซียมคาร์บอเนตจะมีทั้งในรูปของธรรมชาติ หรือเคลือบด้วยสารหล่อลื่น สารเพิ่มเนื้อชนิดอื่นได้แก่ Talc, Wollastonite, Clays เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีการใช้ Asbestos กับงานกระเบื้อง ยางปูพื้น โดยใช้เป็นสารเพิ่มเนื้อแบบเสริมแรง แต่ปัจจุบันได้มีการลดปริมาณการใช้ Asbestos เพราะมีผลกระทบต่อระบบทางเดินหายใจ

2.2.2.5 โพรเซสซิงเอ็ด (Processing Aids)

โพรเซสซิงเอ็ดหรือสารช่วยกระบวนการผลิตเป็นสารที่ทำหน้าที่เพิ่มการไหลของพีวีซีหลอมเหลวสารประกอบพีวีซีผสมเข้ากันได้ดีขึ้นเพิ่มความมันเงาและลดความไม่สมบูรณ์ของพื้นผิว (Surface imperfections) โพรเซสซิงเอ็ดที่ใช้ในพีวีซีแข็ง จะใช้ อะคริลิกเรซิน (Acrylic resin) หรือ ไฮโดรคาร์บอนเรซิน (Hydrocarbon resin) ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำๆ

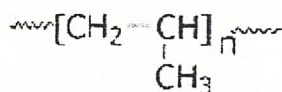
2.3.2.6 สารให้ฟอง (Blowing Agent)

การใส่สารให้ฟองร่วมกับพลาสติกจะเกิดการเสียสภาพในช่วงอุณหภูมิเฉพาะระหว่างการขึ้นรูป ก่อให้เกิดแก๊สโดยทั่วไปเป็นแก๊สไนโตรเจน (N_2) เกิดการขยาย และกระจายตัวในพอลิเมอร์หลอมเหลว ทำให้เกิดโครงสร้างเซลล์ (Cellular structure) คล้ายโฟมขึ้นในพลาสติก สารที่นิยมใช้ได้แก่ Azodicarbonamide (AZ)

2.2.2.7 ผงสี (Pigment)

ผงสีทำให้ผลิตภัณฑ์พีวีซีมีสีสันสวยงาม อย่างไรก็ตามสีอาจทำให้พีวีซีคอมพาวด์เปลี่ยนแปลง ส่งผลต่อความสม่ำเสมอของพีวีซีคอมพาวด์

2.3 พอลิพรอพิลีน (Polypropylene, PP)



รูปที่ 2.3 โครงสร้างทางเคมีของพอลิพรอพิลีน

พอลิพรอพิลีนสามารถแบ่งได้เป็น 3 ประเภท ตามลักษณะการเกาะของหมู่เมทิลบนสายโซ่โมเลกุลหลัก ได้แก่

1. ไอโซแทคติกพอลิพรอพิลีน (Isotactic polypropylene) โครงสร้างลักษณะนี้มีลักษณะการเกาะของหมู่เมทิลข้างเดียวกันบนโซ่โมเลกุลหลัก ลักษณะเช่นนี้โครงสร้างโมเลกุลมีความเป็นระเบียบสูง ส่งผลทำให้การตกผลึกดีที่สุด สังเคราะห์ด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาแบบ Heterogeneous ของ Titanium (III) chloride กับสารประกอบ Organoaluminium เช่น Diethylaluminium chloride
2. ซินดิโอแทคติกพอลิพรอพิลีน (Syndiotactic polypropylene) โครงสร้างแบบนี้มีลักษณะการเกาะของหมู่เมทิลสลับกันบนโซ่โมเลกุลหลักอย่างเป็นระเบียบ ทำให้โครงสร้างมีความเป็นระเบียบลดลง และการตกผลึกลดลง
3. อะแทคติกพอลิพรอพิลีน (Atactic polypropylene) โครงสร้างแบบนี้มีลักษณะการเกาะของหมู่เมทิลบนโซ่พอลิเมอร์หลักอย่างไม่เป็นระเบียบ ทำให้มีการตกผลึกน้อยที่สุด

พอลิพรอพิลีน เป็นพอลิเมอร์ที่มีน้ำหนักเบา มีจุดหลอมเหลวปานกลาง

ข้อดี

1. สัมประสิทธิ์ความเสียดทานต่ำ
2. ฉนวนไฟฟ้าที่ดี
3. ทนความชื้น
4. ทนสารเคมี

ข้อเสีย

1. สลายตัวต่อรังสี UV
2. ไม่ทนต่อสภาพดินฟ้าอากาศ
3. ละลายในตัวทำละลายที่มีคลอรีน

2.4 การปรับสภาพผิวเส้นใย

การปรับผิวเส้นใยสามารถทำได้หลายวิธี การใช้มาเลอิกแอนไฮไดรด์กราฟท์พอลิพรอพิลีน (Maleic anhydride grafted polypropylene, MAPP) เป็นสารช่วยผสม (Compatibilizers) ช่วยปรับปรุงการยึดติด และการกระจายตัวของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างพอลิพรอพิลีนที่ไม่มีขั้วกับเส้นใยเซลลูโลสที่มีขั้ว สมบัติดังกล่าวเป็นปัจจัยสำคัญที่กำหนดสมบัติของคอมโพสิต MAPP ไม่เพียงแต่ทำให้ผิวของพรอพิลีนมีความแข็งแรงมากขึ้น แต่สามารถเกิดการเชื่อมโยงด้วยพันธะโควาเลนต์กับหมู่ไฮดรอกซิลที่อยู่บนผิวของเส้นใยเซลลูโลส

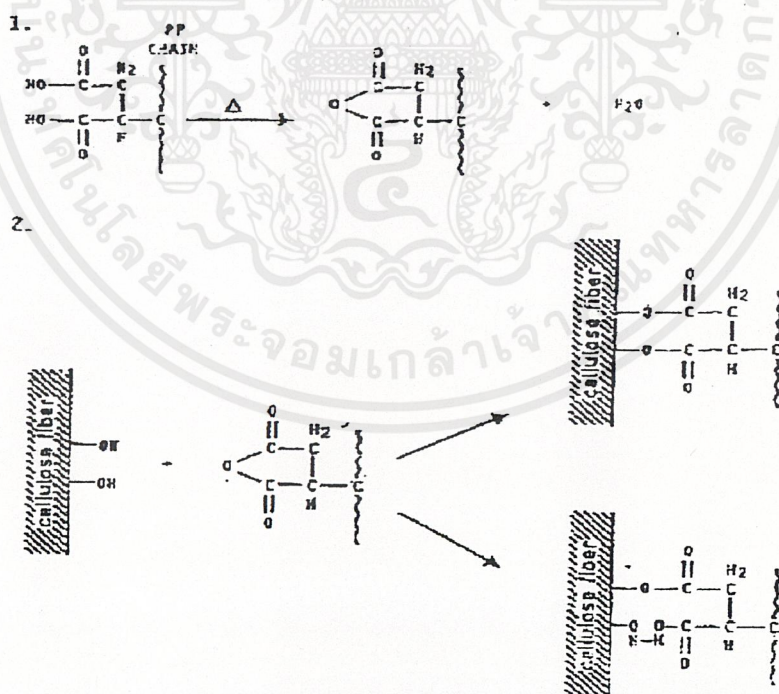
การเกิดพันธะโควาเลนต์ระหว่างมาเลอิกแอนไฮไดรด์ และหมู่ไฮดรอกซิลที่อยู่บนผิวของเส้นใยเซลลูโลสได้ถูกวิเคราะห์โดยเทคนิค IR (Infrared spectroscopy) ซึ่งปฏิบัติการเกิดพันธะโควาเลนต์นี้สามารถแบ่งออกได้ 2 ขั้นตอน คือ

ขั้นที่ 1 Activation of the copolymer

โคพอลิเมอร์จะเปลี่ยนรูปไปเป็นแบบแอนไฮไดรด์ซึ่งว่องไวกว่า

ขั้นที่ 2 Esterification of fiber

ทำปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชันกับเส้นใย



รูปที่ 2.4 แสดงการเกิดปฏิกิริยาของเส้นใยเซลลูโลสที่ทำการปรับสภาพผิวด้วย MAPP

ในงานวิจัยครั้งนี้จะทำการปรับปรุงการยึดติด และการกระจายของสารตัวเติมโดยใช้ มาเลอิกแอนไฮไดรด์ที่ต่อกิ่งกับพอลิพรอพิลีนเป็นสารเชื่อมโยงพอลิพรอพิลีนกับเซลลูโลส ซึ่งเมื่อ ผสมกับเส้นใยเซลลูโลสแล้วจะสามารถเกิดปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันกับหมู่ไฮดรอกซิลของเส้นใย เซลลูโลส และเกิดเป็นพันธะเอสเทอร์ได้

มาเลอิกแอนไฮไดรด์กราฟท์พอลิพรอพิลีน (Maleic anhydride grafted polypropylene, MAPP) เป็นสารช่วยผสมหรือสารควบคู่ (Coupling agent) ทำหน้าที่ปรับปรุงการ ยึดเกาะกันของพอลิพรอพิลีนกับสารอื่นทำให้สมบัติทางกายภาพ และสมบัติทางความร้อนดีขึ้น นอกจากนี้ ยังช่วยปรับปรุงความสามารถในการขึ้นรูปและสมบัติเชิงกล

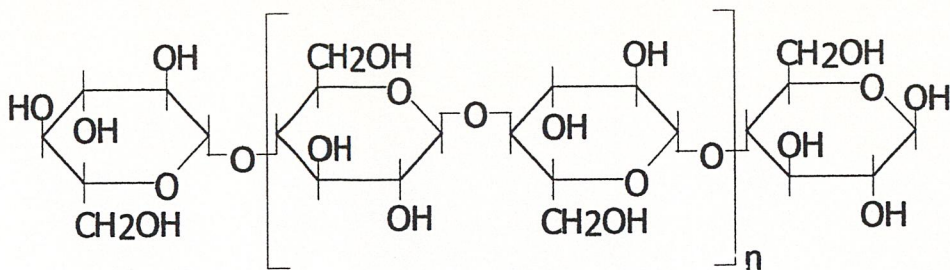
2.5 เส้นใยธรรมชาติ (Natural Fibers)

เส้นใยธรรมชาติเป็นอินทรีย์วัสดุที่สำคัญ หาได้ง่ายจากธรรมชาติ มีปริมาณมาก สามารถ เกิดขึ้นได้ใหม่เรื่อยๆ และมีราคาถูกกว่าเส้นใยสังเคราะห์ ด้วยเหตุนี้ เส้นใยธรรมชาติจึงนิยมใช้ เป็นสารเติมแต่งในพลาสติก โดยอาจเป็นทั้งสารตัวเติมและสารเสริมแรง เพื่อเป็นการลดต้นทุน เพิ่มปริมาณการผลิต และเสริมแรงแก่ผลิตภัณฑ์ ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดและขนาดของเส้นใยที่นำมาใช้ โครงสร้างโดยทั่วไปของเส้นใยธรรมชาติประกอบไปด้วยเซลลูโลส (Cellulose) เป็นส่วนใหญ่ องค์ประกอบที่เหลือเป็นเฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose) ลิกนิน (Lignin) และสารประกอบอื่นๆ อาจรู้จักเส้นใยธรรมชาติในนาม "ลิกโนเซลลูโลส" (Lignocellulose)

2.5.1 เซลลูโลส (Cellulose)

เซลลูโลสเป็นสารประกอบพอลิแซคคาไรด์ (Polysaccharides) เชิงเส้นตรงที่ประกอบด้วย หน่วยซ้ำๆ กัน มีสูตรโมเลกุลทั่วไปคือ $(C_6H_{12}O_5)_n$ เป็นโครงสร้างในเนื้อเยื่อพืช โดยพบร่วมกับ ลิกนิน เพนโตแซน กัม แทนนิน ไขมัน สารที่ทำให้เกิดสี เป็นต้น เซลลูโลสจะมีหน่วยโมเลกุลยาว และแข็ง โดยเซลลูโลสจะมีสูตรโครงสร้างทางเคมีดังรูปที่ 2.5

เซลลูโลสมีหมู่ไฮดรอกซิลถึง 3 หมู่ สามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนได้ แรงดึงดูดระหว่าง โมเลกุลของเซลลูโลสจึงมีมาก และโครงสร้างของเซลลูโลสยังจัดเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบ จึงทำ ให้เซลลูโลสมีความเป็นผลึกสูงมาก คุณสมบัติการหลอมตัวจึงสูงมาก มักจะเกิดการสลายตัวก่อน ถึงอุณหภูมิหลอมตัว และมีความสามารถในการละลายต่ำ เซลลูโลสธรรมชาติจะมีน้ำหนักโมเลกุล เฉลี่ยต่างกัน การกระจายน้ำหนักโมเลกุลของเซลลูโลสมีความสำคัญต่อสมบัติทางกายภาพ ส่วน ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำจะส่งผลให้คุณสมบัติทางกายภาพไม่ดี ในทางอุตสาหกรรมจะหาน้ำหนัก โมเลกุลโดยประมาณได้โดยการวัดความหนืด



รูปที่ 2.5 สูตรโครงสร้างของเซลลูโลส

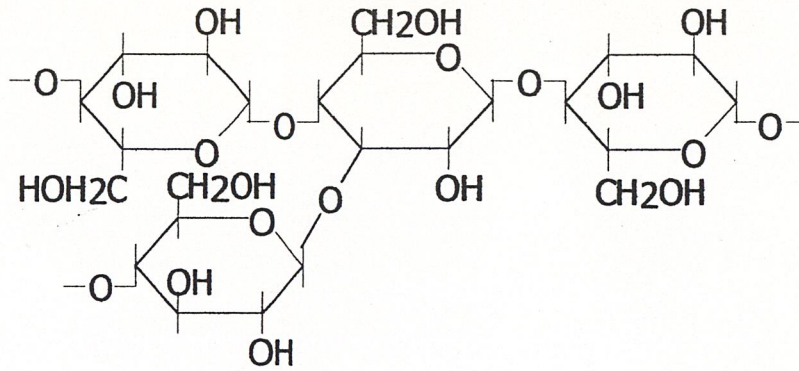
สมบัติทางกายภาพของเซลลูโลส

ความหนาแน่นของเซลลูโลสประมาณ 1.5 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ความหนาแน่นของเส้นใยเดี่ยวมีค่าไม่แน่นอน ซึ่งแปรตามแหล่งที่มาและการปรับปรุงทางเคมี เซลลูโลสเป็นของแข็งไม่มีสี มีการดูดและคายไอน้ำและของเหลวอื่นๆ ที่อยู่ในบรรยากาศรอบๆ จนกระทั่งถึงสมดุล ปริมาณความชื้นของเซลลูโลสมีผลต่อสมบัติบางอย่าง เช่น ความแข็งแรงดึง (Tensile strength) เซลลูโลสไม่ละลายในน้ำและตัวทำละลายอินทรีย์ แต่จะละลายในกรดแร่เข้มข้น เช่น 72% ของกรดซัลฟิวริก 40% ของกรดไฮโดรคลอริก และ 78% ของกรดฟอสฟอริก เซลลูโลสจะเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสอย่างรวดเร็ว ในสารละลายกรดแร่ที่อุณหภูมิห้อง และปฏิกิริยาจะหยุดที่อุณหภูมิต่ำๆ และสารละลายเกลือเข้มข้นบางชนิด เช่น 72% ของซิงค์ออกไซด์ จะทำให้เซลลูโลสที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำๆ ละลายได้

2.5.2 เฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose)

เฮมิเซลลูโลสเป็นพอลิแซ็กคาไรด์ชนิดหนึ่งซึ่งคล้ายเซลลูโลสแต่ประกอบด้วยน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวหลายชนิด เช่น กลูโคส กาแลกโตส แมนโนส ไซโลส อะราบิโนส รวมทั้งกรดกลูโคนิกและกาแลกทูโรนิก เฮมิเซลลูโลสพบในเนื้อเยื่อของพืชโดยรวมอยู่กับสารอื่นๆ เช่น ลิกนิน เซลลูโลส เป็นโครงสร้างของผนังเซลล์ พบมากในแกลบ ช้างข้าวโพด เฮกไซแรน สูตรทางเคมีคือ $(C_6H_{12}O_5)_n$ โครงสร้างทางเคมีแสดงไว้ดังรูปที่ 2.6

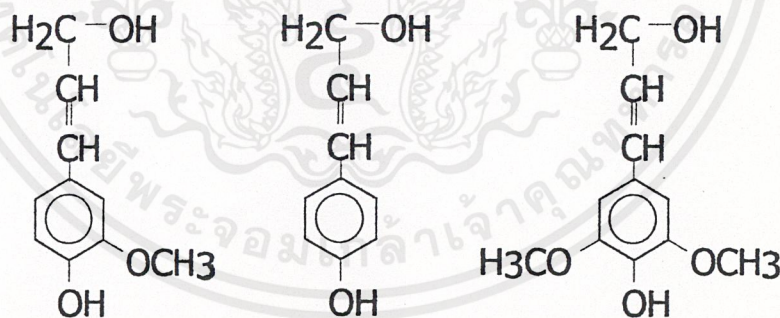
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 สูตรโครงสร้างของเฮมิเซลลูโลส

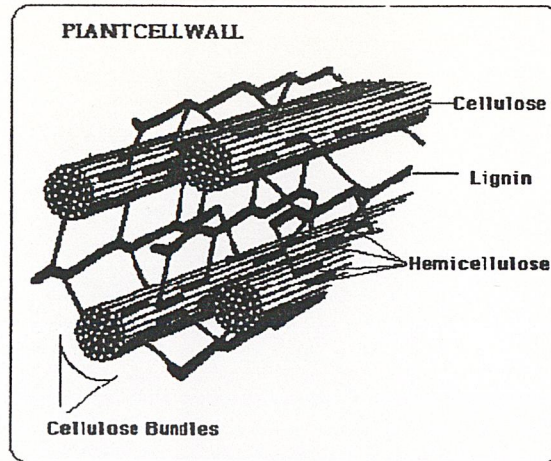
2.5.3 ลิกนิน (Lignin)

ลิกนินเป็นสารประกอบเชิงซ้อน มีน้ำหนักโมเลกุลสูง มักพบอยู่ร่วมกับเซลลูโลส ลิกนินเป็นสารที่ประกอบด้วยคาร์บอน (C) ไฮโดรเจน (H) และออกซิเจน (O) รวมกันเป็นหน่วยย่อยหลายชนิดซึ่งเป็นสารอะโรมาติก ลิกนินไม่ละลายน้ำ ไม่มีสมบัติทางการยืดหยุ่น เพราะฉะนั้นจึงทำให้พืชที่มีลิกนินมากมีความแข็งแรงทนทาน เมื่อพืชตาย ลิกนินจะถูกย่อยด้วยเอนไซม์ลิกเนส (Lignase) หรือ ลิกนินเนส (Ligninase) ซึ่งเป็นจุลินทรีย์ที่สำคัญในรา ตัวอย่างโครงสร้างของลิกนินแสดงดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 ตัวอย่างโครงสร้างทางเคมีของลิกนิน

ไม้แต่ละชนิดจะมีอัตราส่วนระหว่างเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน ไม่เท่ากัน ขึ้นกับชนิดและอายุของไม้ โดยไม้ที่มีลิกนินมาก จะมีความแข็งแรงสูง และในไม้ชนิดเดียวกัน ไม้ที่มีอายุมากจะมีปริมาณลิกนินมากเช่นเดียวกัน โดยการจัดเรียงตัวของเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนินในไม้ จะเป็นไปดังรูปที่ 2.8

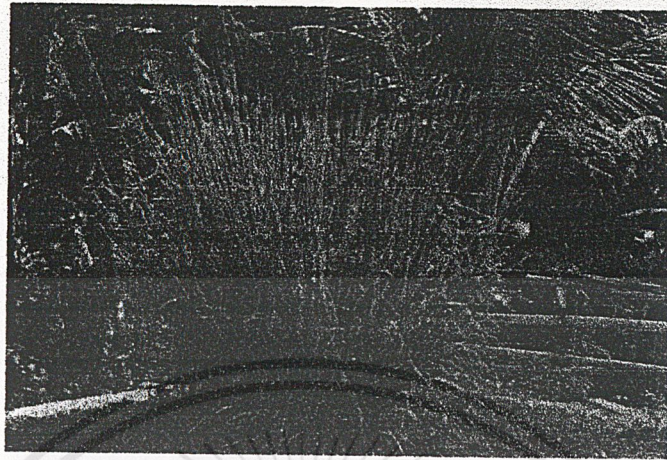


รูปที่ 2.8 การจัดเรียงตัวของเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน ในไม้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 หญ้าแฝก (Vetiver grass)



รูปที่ 2.9 แสดงลักษณะหญ้าแฝก

หญ้าแฝก (Vetiver grass) เป็นพืชตระกูลหญ้าเช่นเดียวกับ ข้าวโพด ข้าวฟ่าง อ้อย และ ตะไคร้ ซึ่งพบอยู่ทั่วไปหลายพื้นที่ มีถิ่นกำเนิดอยู่บริเวณตอนกลางและตอนใต้ของประเทศอินเดีย และได้แพร่กระจายมายังภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ปัจจุบันปรากฏแพร่หลายอยู่ทั่วไป โดยเฉพาะประเทศในแถบเส้นศูนย์สูตรของทวีปเอเชีย หมู่เกาะในมหาสมุทรอินเดียและแปซิฟิก ทวีปอเมริกา ออสเตรเลีย อเมริกากลาง อเมริกาใต้ และ ตอนใต้ของทวีปอเมริกาเหนือ

ในประเทศไทยมีพบหญ้าแฝกอยู่เพียง 2 ชนิด คือ หญ้าแฝกหอมหรือแฝกลุ่ม (*Vetiveria zizanioides* Nash) และแฝกคอน (*Vetiveria nemoralis* A. Camus)

1. **หญ้าแฝกหอม หรือหญ้าแฝกลุ่ม หรือหญ้าแฝกบ้าน** (*Vetiveria zizanioides* Nash) พบขึ้นอยู่ทั่วไปในสภาพแวดล้อมต่างๆ สามารถปรับตัวเข้ากับพื้นที่นั้นได้ดี และเป็นไปได้รวดเร็ว

2. **หญ้าแฝก หรือแฝกคอน หรือแฝกป่า** (*Vetiveria nemoralis* A. Camus) พบทั่วไปในที่ค่อนข้างแห้ง หรือดินที่มีการระบายน้ำได้ดีในทุกภาคของประเทศไทย โดยเฉพาะในป่าเต็งรัง แต่จะมีน้อยในภาคใต้สามารถขึ้นได้ดีทั้งในที่แดดจัดและแดดปานกลาง

2.6.1 ลักษณะทั่วไปของหญ้าแฝก

หญ้าแฝกมีลักษณะเป็นกอแน่น ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางกอประมาณ 30 เซนติเมตร โคนต้นมีลักษณะแบน ใบค่อนข้างแข็ง แตกออกจากโคนกอเรียงซ้อนกันแน่น ขอบใบขนาน ส่วนปลายใบสอบ แหลมยาว ช่อดอกสูงประมาณ 20-40 เซนติเมตร ดอกมีลักษณะคล้ายกระสวย มีทั้งดอกชนิดสมบูรณ์เพศและดอกตัวผู้ เมล็ดมีรูปขอบขนาน โคนมน ปลายแหลม มีหนามแหลมสั้นที่บริเวณผิวของเมล็ด รากหญ้าแฝกเป็นระบบรากฝอย (Fibrous root) รากแข็งแรง มีปริมาณมาก สานกันแน่นและหยั่งลึกลงไปในดิน ไม่แผ่ขนาน มีรากแกน รากแขนง โดยเฉพาะอย่างยิ่งมีรากฝอยมาก จึงยึดเหนี่ยวดิน ช่วยป้องกันการชะล้างหน้าดิน และการพังทลายของดินได้เป็นอย่างดี รากแผ่กว้างโดยรอบกอเพียงประมาณ 50 เซนติเมตร จึงไม่เป็นอุปสรรคต่อการปลูกร่วมกับพืชอื่น เพราะไม่เกิดปัญหาการแย่งอาหาร

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบทางเคมีของใบหญ้าแฝก ²

องค์ประกอบ	Hollocellulose (%)	Lignin (%)	Pentosan (%)	ความสามารถในการละลาย (%)			
				น้ำร้อน	น้ำเย็น	1% NaOH	Alcohol-Benzene
ใบหญ้าแฝก	72.64	77.03	28.26	10.56	7.39	39.57	9.47

2.6.2 การใช้ประโยชน์หญ้าแฝก

จุดประสงค์หลักในการปลูกหญ้าแฝกก็เพื่อใช้ในการอนุรักษ์ดินและน้ำ แต่จริงๆ แล้ว ใบ ลำต้น และรากของหญ้าแฝกยังสามารถที่จะนำไปใช้ทำอย่างอื่นได้อีก ดังนี้

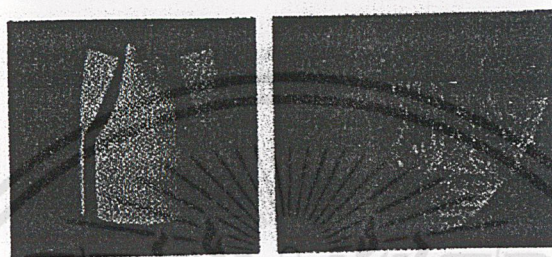
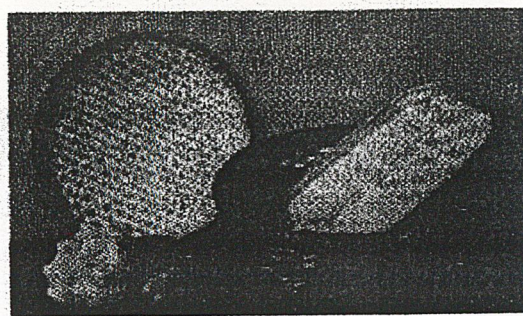
2.6.2.1 การใช้ประโยชน์จากใบหญ้าแฝกสำหรับงานศิลปหัตถกรรม

หญ้าแฝกที่สามารถนำมาใช้ในงานหัตถกรรม ได้แก่ กลุ่มหญ้าแฝกหอม (*Vetiveria zizanioides* Nash) ซึ่งมีใบมันและยาว เมื่อโดนน้ำจะนิ่ม

งานหัตถกรรมที่ใช้หญ้าแฝกจะเป็นงานประเภทเครื่องจักรสาน เช่น

- ทำเป็นตะกร้า และภาชนะ ได้แก่ ตะกร้า กระจาด กระด้ง และภาชนะรองต่างๆ
- ทำเป็นเครื่องตกแต่งบ้าน ได้แก่ นาฬิกาแขวนกรอบรูป โป๊ะไฟ ของตั้งโชว์ ดอกไม้
- ทำเป็นเครื่องประดับ ได้แก่ กระเป๋า หมวก เข็มขัด เข็มกลัดติดเสื้อ
- ทำเป็นของใช้สำนักงานได้แก่ แฟ้มเอกสาร ปกไดอารี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.10 ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ศิลปหัตถกรรมจากหญ้าแฝก²

2.6.2.2 การใช้ประโยชน์จากต้น และใบหญ้าแฝกเป็นวัสดุเพาะเห็ด

ใบของหญ้าแฝกมีองค์ประกอบทางเคมีที่เชื้อราบางชนิดสามารถเจริญเติบโตในกระบวนการของการหมักได้ สามารถนำมาใช้เป็นวัสดุสำหรับเพาะเห็ดได้เห็ดที่ขึ้นได้ดี ได้แก่ เห็ดนางรม เห็ดภูฐาน เห็ดนางฟ้า เห็ดเป๋าฮื้อ และเห็ดหอม

2.6.2.3 การใช้ประโยชน์จากต้นและใบหญ้าแฝกเป็นวัสดุหมุงหลังคา

คนไทยใช้ส่วต้นและใบหญ้าแฝกเป็นวัสดุหมุงหลังคาเช่นเดียวกับการใช้ใบจากก่อนที่จะเปลี่ยนมาใช้ใบหญ้าคาซึ่งหาซื้อได้ง่าย แต่หญ้าแฝกเป็นวัสดุหมุงหลังคาที่มีคุณสมบัติดีกว่าการใช้หญ้าคามาก เพราะส่วนลำต้นและใบของหญ้าแฝกมีไขเคลือบ มีกลิ่นหอมเฉพาะตัว และมักจะไม่วูกแมลงทำลาย

2.7 การศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน ได้มีงานวิจัยต่าง ๆ ที่จะพยายามประยุกต์ใช้ประโยชน์จากเส้นใยธรรมชาติ เส้นใยที่ได้มีการศึกษาได้แก่ สน (Pine wood) ปอกระเจา (Jute) ป่านศรนารายณ์ (Sisal) ป่านลินิน (Flax) ป่านรามี่ (Ramie) ปอแอบบากา (Abaca) เส้นใยอ้อย (Bagasse) เส้นใยมะพร้าว (Coir) เป็นต้น ตัวอย่างงานวิจัยมีดังนี้

สมภพ เลิศลักษณ์กุล¹ ได้ทำการศึกษาพอลิเมอร์คอมโพสิตเส้นใยธรรมชาติเพื่อใช้เป็นไม้เทียม สามารถเตรียมได้จากพอลิไวนิลคลอไรด์ (Poly (vinyl chloride); PVC) กับเส้นใยยูคาลิปตัส (Eucalyptus fibers) โดยผสมในเครื่องผสมความเร็วสูง (High speed mixer) แล้วนำไปขึ้นรูปโดยใช้เครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว (Single screw extruder) และเครื่องอัดขึ้นรูป (Compression molding machine) จากนั้นนำไปศึกษาสมบัติต่างๆ เช่น สมบัติทางกายภาพ สมบัติเชิงกล สมบัติทางความร้อน และสัณฐานวิทยา จากการทดลองพบว่า อุณหภูมิที่เหมาะสมในการผสมพีวีซี ในเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยวคือ 170 องศาเซลเซียส ปริมาณไม้ที่เหมาะสมที่สุดคือ 30 phr เส้นใยไม้ขนาด 35-50 mesh (300-500 ไมครอน) เมื่อทำการเพิ่มปริมาณ DOP ที่เติมลงไปในพีวีซีคอมโพสิต พบว่า วัสดุนี้ขึ้นและมีความแข็งแรงลดลง พีวีซีคอมโพสิต ทนทานต่อความร้อนได้น้อยลง เมื่อปริมาณ DOP เพิ่มมากขึ้น แต่เปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำ เพิ่มมากขึ้น ปริมาณ DOP ที่เหมาะสมในการผลิตพีวีซีคอมโพสิตคือ 10 phr

ผศ.ดร. อธิพิพล แจ่มชัด และนายวรรณธรรม อุ่นจิตติชัย² เสนอโครงการวิจัยเรื่อง “วัสดุประกอบพอลิเมอร์คอมโพสิตจากเส้นใยหญ้าแฝกและเทอร์โมพลาสติก” อยู่ในชุดโครงการวิจัย การพัฒนาผลิตภัณฑ์แผ่นประกอบหญ้าแฝกกันปลวกเพื่อเสนอสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ:โครงการที่ 3

ธีรพัฒน์ อุณหโชค และพจนีย์ ศรธรรมลี³ ได้ทำโครงการพิเศษศึกษาการผลิต และสมบัติของไม้เทียมจากพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำกับเส้นใยผักตบชวาที่เตรียมสกัดด้วยวิธีทางเคมี ซึ่งจะทำการศึกษาอัตราส่วนระหว่างปริมาณของเส้นใยต่อพอลิเมอร์ ผลของสารช่วยผสมได้แก่พอลิเอทิลีน-กราฟท์-มาเลอิกแอนไฮไดรด์ (Polyethylene-graft-Maleic Anhydride, PE-g-MA) ต่อปริมาณเส้นใย และขนาดของเส้นใยผักตบชวาโดยผสมสูตรด้วยเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยวและขึ้นรูปโดยใช้เครื่องฉีดขึ้นรูปพลาสติก จากนั้นทำการศึกษาสมบัติทางกายภาพ สมบัติเชิงกล สมบัติทางความร้อน และสัณฐานวิทยา จากการทดลองพบว่า ค่าความแข็งแรงดึง มอดุลัส ความแข็งและองศาความเป็นผลึกจะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยผักตบชวา ส่วนค่าร้อยละการยืดออก ณ จุดขาดและความแข็งแรงกระแทก มีค่าลดลง จากการศึกษารายผลของสารช่วยผสมพบว่าคอมโพสิตมีสมบัติที่ดีขึ้นเมื่อใช้สารช่วยผสมปริมาณสารช่วยผสมที่เหมาะสมคือที่ 3% โดยน้ำหนักต่อน้ำหนักเส้นใยและขนาดของเส้นใยที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เหมาะสมคือ 50-80 เมช ค่าการดูดซับน้ำของคอมพอลิเมอร์ลดลงเมื่อใส่สารช่วยผสมและมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณเส้นใยผักตบชวาเพิ่มขึ้นรวมทั้งขนาดเส้นใยลดลง จากการศึกษาชั้นฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด ยืนยันผลการทดลองว่า สารช่วยผสม PE-g-MA ช่วยให้การยึดเกาะระหว่างเส้นใยกับพอลิเอทิลีนเมทริกซ์ดีขึ้น

ปิยะวรรณ เจียวกิก และพงศ์ศักดิ์ แพน้อย⁴ ได้ทำการศึกษาพอลิเมอร์คอมโพสิตเพื่อใช้เป็นไม้เทียมจากพอลิพรอพิลีน และเส้นใยธรรมชาติซึ่งได้แก่ เส้นใยยูคาลิปตัส ทั้งที่ได้จากขบวนการทางเคมี (Chemical pulp, CP) และทางความร้อนเชิงกล (Thermomechanical pulp, TMP) โดยศึกษาผลของสารช่วยผสมโดยใช้มาเลอิกแอนไฮไดรด์กราฟท์พอลิพรอพิลีน และอัตราส่วนผสมของเส้นใยที่เหมาะสม (10 20 30 และ 40 phr) ที่มีผลต่อสมบัติต่างๆของคอมโพสิต จากการทดลองเมื่อผสมเส้นใยธรรมชาติด้วยเครื่องอัดรีดแบบเกลียวทวนอนเดี่ยวแล้วขึ้นรูปตัวอย่างโดยการฉีดขึ้นรูป จากนั้นทำการศึกษาสมบัติเชิงกล สมบัติทางกายภาพ สมบัติทางความร้อน และชั้นฐานวิทยาของไม้เทียมที่ผลิตได้ จากการทดลองพบว่า คอมโพสิตมีสมบัติบางอย่างดีขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณไม้ที่ใส่ เช่น ความแข็งแรงดึง และมอดูลัส แต่ความแข็งแรงกระแทก และร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาดมีค่าลดลง พบว่าคอมโพสิตที่เติมเส้นใย 20 phr มีสมบัติเชิงกลดีที่สุด เมื่อเพิ่มปริมาณสารช่วยผสมพบว่า คอมโพสิตมีสมบัติเชิงกลดีขึ้น และมีเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำลดลงพบว่า ปริมาณสารช่วยผสมที่เหมาะสมคือ 3 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของเส้นใย เมื่อเปรียบเทียบกับคอมโพสิตที่เตรียมจากเส้นใย CP และ TMP พบว่า เส้นใย TMP มีการกระจายตัวที่ดีกว่า และมีสมบัติเชิงกลที่ดีกว่า และเมื่อพิจารณาองศาความเป็นผลึกพบว่า ปริมาณเส้นใยไม้ไม่มีผลต่อองศาความเป็นผลึกอย่างเด่นชัดแต่ปริมาณสารช่วยผสมมีผลทำให้องศาความเป็นผลึกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น

Kokta และคณะ⁵ ได้ทำการศึกษาสมบัติเชิงกลของพอลิพรอพิลีนที่ใส่ไม้ (ต้นสน) ซึ่งมีการปรับปรุงผิวในวิธีต่างๆ เพื่อปรับปรุงการยึดติดระหว่างพอลิเมอร์กับไม้ต้นสน โดยใช้ Polymethylene Polyphenylisocyanate (PMPPIC), Silane coupling agent (Silane A-172, Silane A-174, Silane-A1100) และ Epolene wax เป็นสารปรับปรุงผิวก่อนใส่ในพอลิเมอร์ โดยวิธีการผสมใน Two-roll mill และขึ้นรูปโดยวิธี Compression molding พบว่า การใช้ Epolene wax เป็นสารช่วยกระจายเพียงอย่างเดียว สามารถเพิ่มค่า Tensile, Modulus และ %Elongation ของพอลิเมอร์ ได้เป็นอย่างดี ซึ่งเมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใย จะเพิ่มค่า Tensile และ Modulus แต่ %Elongation ของพอลิเมอร์จะลดลง ในขณะที่ใช้ PMPPIC กับ Epolene wax เป็นสารปรับปรุงผิวนั้น ทำให้สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์มีค่าสูงสุด นอกจากนี้ยังพบว่า ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเส้นใยที่ให้ค่าสมบัติเชิงกลสูงสุดคือ 20 mesh

Joseph และคณะ⁶ ได้ทำการศึกษาสมบัติทางด้านความทนต่อแรงดึง (Tensile properties) ของคอมโพสิตที่เกิดจากพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE) กับเส้นใยป่าน

ศรนารายณ์ (Sisal fiber) โดยใช้เครื่อง Instron testing machine พบว่าปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่า Tensile strength ได้แก่ กระบวนการผสมเส้นใยกับพอลิเมอร์ โดยที่การผสมพอลิเมอร์กับเส้นใยแบบหลอมเหลว (Melt mixing) ซึ่งเมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยลงไป จะมีผลทำให้ค่า Tensile strength ของคอมโพสิตเพิ่มขึ้น แต่ %Elongation ลดลง และเมื่อนำคอมโพสิตมาฉีดขึ้นรูปใหม่จะได้ค่า %Elongation เพิ่มขึ้นตามจำนวนครั้งที่ฉีด ทั้งนี้เนื่องมาจากผลของความร้อนในระหว่างกระบวนการขึ้นรูปจะทำให้เกิดการสลายตัวที่พื้นผิวของเส้นใย จึงสามารถยึดติดกับพอลิเอทิลีนได้เป็นอย่างดี นอกจากนี้พบว่า มีการจัดเรียงตัวของเส้นใยคอมโพสิตที่ใยตามแนวแรงจะให้ค่า Tensile strength ดีกว่าคอมโพสิตที่มีการจัดเรียงตัวของเส้นใยในแนวทิศทางตั้งฉากกับแนวแรง และเส้นใยที่มีความยาว 3 mm จะให้ค่า Tensile strength ที่สูงสุด

Xian และคณะ⁷ ได้ทำการศึกษาเส้นใยไม้ (Bamboo) กากมะพร้าว (Coconut husk หรือ Coir) และหญ้า March (Phragmites) โดยใช้เสริมแรงกับพอลิเมอร์ เช่น Epoxy, Resorcinol Formaldehyde (RF), และ Urea Formaldehyde (UF) พบว่าความแข็งแรงในการเสริมแรงเรียงลำดับจากมากไปน้อยเป็นดังนี้ คือ ไม้เส้นยาว (Long bamboo fiber) ไม้เส้นสั้น (Shot bamboo fiber) ไม้ฉีก (Chipped bamboo fiber) กากมะพร้าว (Coir fiber) และหญ้า Marsh ตามลำดับ

เฉลิมพล อิทธิวิวัฒน์ และสกุล บรรจงวุฒิ⁸ ได้ทำการศึกษาเส้นใยเซลลูโลส ได้แก่ หญ้าสลาบลวง (Typha angustifolia) เป็นสารเสริมแรงในพอลิพรอพิลีน โดยผสมเส้นใยแก้วและสาร Silane เพื่อเป็นสารเชื่อมโยง (Coupling agent) จากการทดลองพบว่า เส้นใยช่วยเพิ่มความแข็งแรง และค่าความคงทนต่อแรงกระแทกของพอลิเมอร์คอมโพสิต แต่มีแนวโน้มที่จะลดค่าความทนทานต่อแรงดึงที่จุดขาด นอกจากนี้ยังทำการศึกษารับปรุงสมบัติและการใช้งานอื่นๆ เช่น ใช้ในการทำแผ่น MDF (Medium Density Fiber Board) และใช้เทอร์โมเซต เช่น UF, MF เป็นตัวประสาน

พิชัย มนัสพัฒนา และศิริพงศ์ โรจนวีระ⁹ ได้ทำการศึกษาขุยมะพร้าวและฟางข้าวซึ่งเป็นวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร ใช้ปรับปรุงสมบัติทางกายภาพของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE) และพอลิพรอพิลีน (PP) พบว่าขุยมะพร้าวทำให้ HDPE และ PP มีค่า Modulus สูงขึ้น Tensile strength ไม่เปลี่ยนแปลง ค่า %Elongation เพิ่มขึ้น ฟางข้าวทำให้ Tensile strength และ Modulus สูงขึ้น อย่างไรก็ดี ถ้าใช้สารตัวเติมมากกว่า 10 phr จะมีปัญหาในการขึ้นรูป

Rodeney และคณะ¹⁰ ได้ทำการศึกษาสมบัติของพอลิเมอร์คอมโพสิตที่ได้จากขวดพลาสติกพอลิพรอพิลีนชนิดหลายชั้น (Multi layer) และเส้นใยไม้ (Wood fiber) โดยทำการศึกษาเปรียบเทียบกับพอลิเมอร์คอมโพสิตที่ทำจากเม็ดพลาสติกพอลิพรอพิลีนใหม่ และทำการผสมใน Twin screw extruder ใช้ปริมาณของเส้นใยไม้ 0, 30, 40, และ 50% โดยน้ำหนัก เมื่อนำผลการทดลองที่ได้มาเปรียบเทียบ พบว่าพอลิเมอร์คอมโพสิตที่เตรียมจากเม็ดพลาสติกพอลิพรอพิลีน

นำกลับมาใช้ใหม่ จะให้สมบัติเชิงกลที่ดีกว่าพอลิเมอร์คอมโพสิตที่เตรียมจากเม็ดพลาสติกพอลิพรอพิลีนใหม่ แต่ถ้าเติมเส้นใยไม่มากกว่า 30% โดยน้ำหนัก จะทำให้สมบัติความทนทานต่อแรงดึงและการยืดออก ณ จุดขาดลดลง เนื่องจากสารเติมแต่งที่มีอยู่ในขบวนการผลิตพอลิพรอพิลีนชนิดหลายชั้นจะไปช่วยเพิ่มการยึดติดระหว่างส่วนที่เป็นเมตริกซ์กับเส้นใยไม่มากขึ้น

ณภัทรพงศ์ สุวรรณชัย และณัฐพร เด่นนินนาท¹¹ ได้ทำการศึกษาการใช้ประโยชน์จากเส้นใยสลาบลวง เป็นสารตัวเติมในพอลิพรอพิลีน โดยทำการศึกษาศารตัวเติม และสารเชื่อมโยงต่างชนิดกันคือ Silane A-174 และ MAH ในปริมาณ 0, 4 และ 6% โดยน้ำหนัก จากผลการทดลองพบว่า สมบัติทางความร้อนและสมบัติเชิงกลโดยรวมของพอลิพรอพิลีนคอมโพสิต ทั้งที่มีการใช้และไม่ใช้สารเชื่อมโยง จะให้ประสิทธิภาพลดลงเมื่อเทียบกับพอลิพรอพิลีนที่ไม่มีเส้นใย สลาบลวงเป็นตัวเติมส่วนผลของแสงอัลตราไวโอเล็ตต่อการสลายตัวของพอลิเมอร์คอมโพสิตพบว่า ปริมาณสารตัวเติมรวมทั้งชนิดและปริมาณของสารเชื่อมโยงในพอลิพรอพิลีนคอมโพสิตไม่มีผลช่วยป้องกันการสลายตัวของพอลิเมอร์โดยแสงอัลตราไวโอเล็ต

Nagaty และคณะ¹² ได้ทำการศึกษาพอลิเมอร์คอมโพสิตจาก Lignocellulose โดยทำการต่อกิ่ง Methyl Methacrylate (MMA) บนเส้นใยชานอ้อยและใช้ Sodium bisulphite-soda lime เป็นตัวริเริ่มปฏิกิริยา พบว่าสมบัติของพอลิเมอร์คอมโพสิตขึ้นอยู่กับปริมาณและขนาดของเส้นใยชานอ้อย

Woodhams และคณะ¹³ ได้ทำการศึกษาพอลิโอฟีนที่เสริมแรงด้วยเส้นใยที่มีความยาวความผ่าศูนย์กลาง (Aspect ratio) ประมาณ 100 โดยใช้กรดสเตียริก (Stearic acid) และอีโพลีน (Epolene) เป็นสารช่วยให้เส้นใยกระจายตัวใน HDPE และ PP แล้วขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดรีด พบว่าเมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพด้วยความแข็งแรงต่อน้ำหนักแล้ว คอมโพสิตจากเยื่อไม้จะมีความแข็งแรงเท่ากับ หรือมากกว่าวัสดุชนิดอื่นๆ ที่ใช้ในการก่อสร้าง เช่น เหล็กกล้า อะลูมิเนียม และคอมโพสิตจากใยแก้ว ในขณะที่ราคาถูกกว่า

Yam และคณะ¹⁴ ได้ทำการศึกษาการเตรียมคอมโพสิตของ HDPE จากขวดนมกับเส้นใยไม้สน โดยศึกษาเส้นใยที่ไม่ได้ปรับปรุงนำมาปรับปรุงด้วยความร้อนและอะเซทิลเลต (Acetylate) ทำการผสมด้วยเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนคู่ พบว่าสามารถผสมกันได้ถึงร้อยละ 60 โดยน้ำหนัก แต่ถ้าเพิ่มปริมาณเส้นใย ค่าความแข็งแรงดึงจะลดลง และเส้นใยที่ไม่ได้ผ่านการปรับปรุงด้วยความร้อนและอะเซทิลเลต จะให้ค่าดีกว่าเส้นใยที่ปรับปรุงด้วยความร้อน สำหรับค่ามอดุลัส ค่าความคงทนต่อแรงกระแทก และค่าการยึดติด จะไม่ขึ้นกับการปรับปรุงเส้นใย ค่ามอดุลัสจะเพิ่มตามปริมาณเส้นใย และส่งผลให้ค่าการดึงยึดลดลง ส่วนรูปแบบและอุณหภูมิการผสมจะมีผลต่อสมบัติเชิงกลที่ได้ พบว่าถ้าใช้อุณหภูมิมากกว่า 200 องศาเซลเซียส จะทำให้ลิกนินเริ่มเสื่อมสภาพ และถ้าใช้เวลานาน คอมโพสิตที่ได้จะมีสีคล้ำ เนื่องจากการเสื่อมสภาพด้วยความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Raj และคณะ¹⁵ ได้ศึกษาการใช้เส้นใยไม้เป็นตัวเติมในพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลาง (Medium density Polyethylene; MDPE) โดยใช้เส้นใย 3 ชนิดคือ เยื่อเชิงกล (Mechanical pulp) ผงไม้ (Wood flour) และเยื่อเซลลูโลส (Cellulose pulp) และได้มีการปรับปรุงเส้นใยก่อนด้วยสารพวกไซเลน (Silane) และพอลิไอโซไซยาเนต (Polyisocyanate) เพื่อเป็นการปรับปรุงการยึดติดระหว่างเส้นใยกับพอลิเมอร์ พบว่าค่าความแข็งแรงดึงจะเพิ่มขึ้นในกรณีที่มีการปรับปรุงเส้นใยก่อน แต่จะไม่มีผลต่อค่ามอดุลัสยืดหยุ่น ค่ามอดุลัสจะเพิ่มขึ้นเมื่อมีปริมาณเส้นใยเพิ่มขึ้น ส่วนค่าการดึงยึดและค่าพลังงานการแตกหักจะลดลง สำหรับวิธีผสม ถ้าผสมโดยเครื่องอัดรีด จะมีค่าความทนทานต่อแรงดึงและมอดุลัสสูงกว่าผสมด้วยเครื่องผสมแบบลูกกลิ้ง พบว่า MDPE ที่เติมด้วยเยื่อเชิงกลจะมีสมบัติที่ดีกว่าการเติมเยื่อเซลลูโลสและผงไม้

George และคณะ¹⁶ ได้ทำการศึกษาสมบัติเชิงกลของ LDPE ที่เสริมแรงด้วยเส้นใยสับปะรด โดยสามารถเติมเส้นใยได้สูงสุดถึงร้อยละ 30 มีการเปรียบเทียบการเติม 2 วิธีคือ การผสมโดยทำเป็นสารละลาย (Solution mixing) และการผสมขณะหลอม (Melt mixing) พบว่าการเตรียมทั้ง 2 วิธีนี้ ค่าความแข็งแรงดึงและค่ามอดุลัสจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณเส้นใย แต่การเตรียมแบบสารละลายจะให้ค่าที่สูงกว่า ส่วนค่าการดึงยึดจะลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใย สำหรับความยาวของเส้นใยจะมีผลต่อสมบัติของคอมโพสิตได้ โดยเส้นใยที่ยาวจะช่วยให้ค่าความทนต่อแรงดึงและค่ามอดุลัสเพิ่มขึ้น นอกจากนี้การจัดเรียงตัวของเส้นใยจะมีผลต่อค่าความทนต่อแรงดึงและมอดุลัสด้วย ถ้าเส้นใยจัดตัวในทิศทางเดียวกันตามแนวแรง คอมโพสิตที่ได้จะมีค่าความทนทานต่อแรงดึงและค่ามอดุลัสสูงกว่าที่จัดตัวตั้งฉากกับแนวแรง

จิรพรรณ หน่ายคอน และมาริส่า ตันติลักษณ์¹⁷ ได้ทำการศึกษาเส้นใยอ้อยที่ปรับสภาพผิวโดยการฉายรังสีแกมมา นำมาใช้เป็นสารตัวเติมในพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง และใช้มัลติฟังก์ชันนัลมอนอเมอร์ช่วยในการตอกกิ่งพบว่าพอลิเมอร์คอมโพสิตสามารถทนทานต่อแรงดึง แรงกระแทก และการขีดถูได้ดี และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างคอมโพสิตที่ใช้เส้นใยเก่า และเส้นใยใหม่ พบว่า คอมโพสิตที่ทำจากเส้นใยใหม่ จะใช้สมบัติเชิงกลดีกว่า และดูดซับน้ำน้อยกว่า

ปิยะวัน ตั้งควรนวนานิช¹⁸ ได้ทำการศึกษาพอลิเมอร์คอมโพสิตจากเส้นใยธรรมชาติ (ไผ่สีสุก) กับเอบีเอสที่มีการปรับปรุงพื้นผิวเส้นใยไผ่ โดยทำการผสมเส้นใยไผ่ 0-40 phr กับเอบีเอส โดยใช้เครื่องผสมหลอมเหลวระบบปิดแบบเกลียวหนอนคู่ และขึ้นรูปด้วยเครื่องฉีดขึ้นรูป พบว่าพอลิเมอร์คอมโพสิตที่มีการตอกกิ่งกับพอลิเมทิลเมทาไครเลต (PMMA) มีสมบัติเชิงกลดีกว่าพอลิเมอร์คอมโพสิตที่ไม่ได้ตอกกิ่ง และเมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยในคอมโพสิตจะพบว่าพอลิเมอร์คอมโพสิตจะมีสมบัติเชิงกลดีขึ้น

รัชดา ขวัญตน¹⁹ ได้ทำการศึกษาการเตรียมคอมโพสิตของพอลิเอทิลีนชนิดความหนา

แน่นสูงจากขวดน้ำดีม และเส้นใยอ้อย โดยเปรียบเทียบการปรับปรุงสมบัติของคอมโพสิตด้วยสารช่วยยึดติด 2 ชนิดคือ PE-g-AA และ PE-g-MAH จากการทดลองพบว่าการเติมขานอ้อยลงในพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงจากขวดน้ำดีมจะทำให้พอลิเมอร์คอมโพสิตแข็งขึ้นแต่การดึงยึด และความทนทานต่อแรงกระแทกลดลง และขานอ้อยที่ใช้ไม่จำเป็นต้องผ่านการคัดขนาดก่อนเมื่อเปรียบเทียบระบบที่ใช้ PE-g-AA และระบบที่ใช้ PE-g-MAH พบว่าสมบัติของคอมโพสิตที่ได้จากทั้ง 2 ระบบ จะไม่แตกต่างกันเนื่องจากจะเกิดพันธะชนิดเดียวกัน

กมลรัตน์ คุร์ตันชัชวาล และดุจดาว ปรีชาวงศ์²⁰ ได้ทำการศึกษาผลของขานอ้อยที่เป็นสารตัวเติมในพอลิเอทิลีน พอลิพรอพิลีน และพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอทิลีนกับพอลิพรอพิลีน โดยใช้ขานอ้อยที่ไม่ปรับสภาพผิว และขานอ้อยที่ปรับสภาพผิวด้วยการฉายรังสีแล้วต่อกิ่งด้วย มัลติฟังก์ชันนัลมอนอเมอร์ (Multifunctional monomer) นำขานอ้อยที่ได้มาผสมกับพอลิเมอร์ในเครื่องอัดรีดเกลียวหนอนเดี่ยวแล้วขึ้นรูปด้วยเครื่องฉีดขึ้นรูปแล้วนำไปทดสอบสมบัติเชิงกล สมบัติทางความร้อน และสมบัติการดูดซับน้ำ จากการทดลองพบว่าคอมโพสิตที่มีขานอ้อยทั้งปรับ และไม่ปรับสภาพผิวนั้นมีแนวโน้มทำให้สมบัติด้านต่างๆ ดีขึ้น กล่าวคือพอลิเมอร์คอมโพสิตสามารถทนทานต่อแรงดึง ความคงรูป และเสถียรภาพต่อความร้อนดีขึ้นทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณมัลติฟังก์ชันนัลมอนอเมอร์ พบว่าที่ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักทำให้สมบัติต่างๆ ดีขึ้นมากที่สุด

Jingshen Wu และคณะ²¹ ได้ทำการศึกษาผลกระทบของความว่องไว และความแรงของพื้นผิวที่ใช้ทำปฏิกิริยา โดยงานวิจัยนี้ผสมเส้นใยไม้กับ Polypropylene (WF/PP) นำมาทำเป็นวัสดุคอมโพสิต และศึกษาสมบัติเชิงกล ในการเตรียมคอมโพสิตจะทำการ Pretreatment เส้นใยที่บริเวณพื้นผิวที่ทำปฏิกิริยา จากผลการทดลอง พบว่า สภาวะที่ใช้ในการ Pretreatment ด้วย สารละลาย Acid silane จะให้ค่าความแข็งแรงดึงสูงที่สุด นั้นอาจเป็นผลมาจากการใช้สารละลายกรดในการ Pretreatment เส้นใยเป็นผลให้มีความแข็งแรงของพันธะบริเวณพื้นผิวที่ใช้ทำปฏิกิริยา ทำให้ค่าความแข็งแรงของพันธะบริเวณพื้นผิวที่ใช้ทำปฏิกิริยา ทำให้ค่าความแข็งแรงในการดึงยึดสูงที่สุด จากนั้นศึกษาผลจากการทำ Coupling chemistry, Rheological และ Electron microscopy เพื่อสนับสนุนผลการทดลอง โดยการทำให้ Coupling chemistry โดยใช้ SEBS-g-MA Copolymer ทำให้ได้คอมโพสิต WF/PP/SEBS-g-MA แล้วนำไปทดสอบหาค่าความแข็งแรงกระแทก โดยเปรียบเทียบกับค่าความแข็งแรงกระแทกของคอมโพสิต WW/PP จากการทดลอง พบว่า WF/PP/SEBS-gMA จะให้ค่าสูงกว่า ซึ่งสนับสนุนการทดลองจากข้างต้น

W. Dale Ellis, j.I, O' Dell²² ได้ทำการศึกษาถึงการนำ Wood-polymer composites (WPC) ซึ่งเตรียมได้จากปฏิกิริยาการรวมตัวทำเพื่อปรับปรุงให้มีความเสถียรทางรูปร่าง โดยทำการดึงน้ำออกจากไม้เป็นการเพิ่มความแข็งแรงดึง ไม้ที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นไม้เนื้อแข็ง เช่น เมเปิล โอ๊ก โดยนำไม้มาเติม Hexanediol, Diacrylate, Hydroxyethyl methacrylate, Hexamethylene

diisocyanate และ Maleic anhydride เมื่อทำการดึงน้ำออก โดยใช้อัตราการระเหยน้ำ และดูดน้ำ ออกไปไม่มากนัก ค่าความเสถียรทางรูปปร่างที่ได้จะไม่ถาวรแต่ อัตราการบวมของ WPC จะลดลง เมื่อเทียบกับ WPC ที่ไม่ได้ผ่านปฏิกิริยาการรวมตัว และความแข็งแรงของ WPC ที่ผ่านกระบวนการ รวมตัวจะมากขึ้นด้วย ในการวิจัยนี้ WPC ที่เติม Hydroxyethyl methacrylate จะให้ค่าความแข็งแรงมากที่สุด และสามารถกำจัดและดูดซับน้ำและความชื้นได้มีประสิทธิภาพมากที่สุด

จากผลงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าพอลิเมอร์คอมโพสิต จะให้สมบัติเชิงกลที่ดีกว่าวัสดุทั่วไป คือ ค่าความแข็งแรงดึงและค่ามอดุลัสจะสูงกว่าวัสดุอื่นๆ โดยเนื้อหาที่สำคัญของงานวิจัยที่กล่าวข้างต้น สามารถสรุปได้ดังนี้

- การเพิ่มปริมาณเส้นใย จะส่งผลให้ค่าความแข็งแรงดึง และค่ามอดุลัสมีค่าสูงขึ้น
- คอมโพสิตที่มีทิศทางการจัดเรียงตัวในแนวเดียวกัน จะมีสมบัติที่ดีกว่าคอมโพสิตที่มีทิศทางการจัดเรียงตัวแบบตั้งฉาก
- การผสมพอลิเมอร์คอมโพสิตโดยใช้เครื่องอัดรีด จะให้สมบัติที่ดีกว่าการผสมแบบใช้เครื่องผสมแบบลูกกลิ้ง

บทที่ 3

การดำเนินงานวิจัย

3.1 สารเคมีและวัสดุที่ใช้ในงานวิจัย

1. หญ้าแฝก (Vetiver)-แฝกดอน พันธุ์ราชบุรี ส่วนวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์ไม้
สำนักวิชาการป่าไม้ กรมป่าไม้
บริษัทวินิไทย จำกัด (มหาชน)
 2. พอลิไวนิลคลอไรด์ (Polyvinylchloride; PVC)
ชนิด Suspension รุ่น 264 GC
 - Viscosity index 102 dm^3/kg
 - K value 64
 3. พอลิพรอพิลีน (Polypropylene) (PRO-FAX[®] 6331 General-Purpose Polypropylene With Improved Processibility) บริษัท HMC POLYMER
COMPANYLIMITED
- | | |
|------------------------------|------------------------------|
| Melt flow rate | 1.2 g/10min |
| Density | 0.903 g/cm^3 |
| Notched Izod impact strength | 5 J/m^2 |
| Tensile strength at yield | 5000 psi |
| Elongation at yield | 10 % |
4. สารเสริมเสถียรภาพทางความร้อน (Heat Stabilizer)
Ca-Zn Stabilizer บริษัท TPC จำกัด
 5. ซีรีคลอร์ (Celeclor) พลาสติไซเซอร์ บริษัท ICI จำกัด
 6. กรดสเตียริก (Stearic acid) บริษัท TPC จำกัด
 7. น้ำมัน Epoxydized soybean oil (VIKOFLEX 7170) บริษัท ศรีเทพไทย จำกัด
 8. Maleic anhydride grafted polypropylene
MAPP เกรด Polybond[®] 3150 บริษัท UNIROYAL
CHEMICAL
 - รูปร่าง (Physical form) : ลักษณะเม็ดกลม
 - อัตราการหลอมเหลว (Melt flow rate) : 50 กรัม/นาที
 - ความหนาแน่น (Density) ที่ 23 °C : 0.91 g/cm^3
 - จุดหลอมเหลว (Melting point) : 157 °C
 9. PE WAX

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 อุปกรณ์ในการวิจัย

1. เครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว (Single screw extruder)
2. เครื่องผสมความเร็วสูง (High speed mixer)
3. เครื่องอัดขึ้นรูปร้อน (Compression molding machine)
4. เครื่องฉีดขึ้นรูป (Injection molding machine) "Cosmo" รุ่น TTI 220/80 : บริษัท

ประทานเจริญ จำกัด

5. เครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง (Two roll mill)
6. เครื่องทดสอบสมบัติเชิงกล (Tensile tester) : LLOYD INSTRUMENTS LTD.
7. เครื่องทดสอบสมบัติแรงกระแทก (Impact tester) : Yasuda 199311
8. เครื่องทดสอบความแข็งกด (Hardness tester, shore D) : SOCIETA PER AZIONI

Alsaar

9. เครื่องทดสอบสมบัติทางความร้อน DSC (Differential scanning calorimeter, DSC) :

PERKIN ELMER DSC

10. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope)
11. เครื่องร่อนแยกขนาด
12. ตะแกรงมาตรฐาน ขนาด 20,50 และ 100 mesh
13. ชุดอุปกรณ์ทดสอบความหนาแน่น
14. ชุดอุปกรณ์ทดสอบสมบัติการดูดซับน้ำ
15. เครื่องชั่ง
16. เครื่องบดพลาสติก (Grinding machine)
17. เดซีเคเตอร์
18. ตู้อบแบบอากาศร้อน : MEMERT รุ่น UM 400
19. ไมโครมิเตอร์ และเวอร์เนีย
20. เครื่องผสมความเร็วสูง (High speed mixer)
21. ถูมือกันความร้อน
22. เต้าไฟฟ้า
23. หม้อต้ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

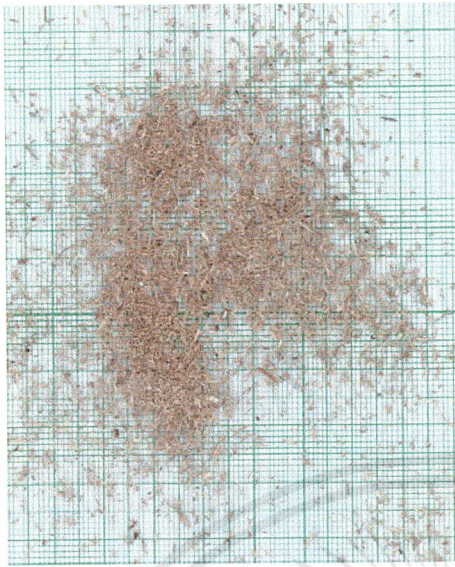
3.3 วิธีการทดลอง

3.3.1 การศึกษาผงหญาแฝกเป็นสารเพิ่มเนื้อ (Fillers) ในพอลิพรอพิลีน (PP)

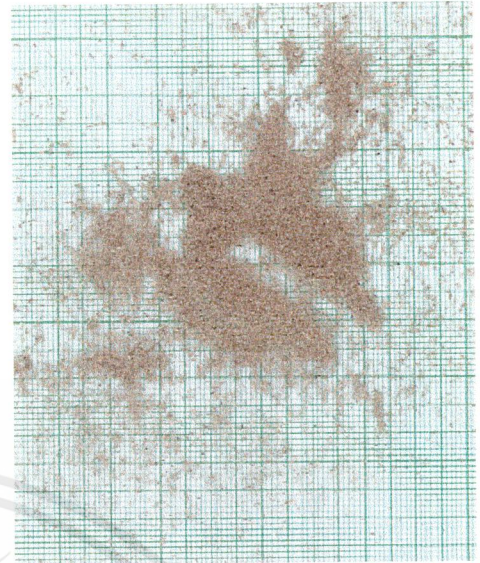
หญาแฝกที่นำมาบดให้เป็นผงขนาดเล็ก สามารถทำหน้าที่เป็นสารเพิ่มเนื้อชนิดไม่เสริมแรง (Non-reinforcing fillers) เพื่อเพิ่มปริมาณและลดต้นทุนการผลิต นอกจากนี้ยังช่วยทำให้สมบัติบางประการของพอลิเมอร์มีสมบัติดีขึ้น เช่น มอดุลัส (Modulus) ความแข็งกด (Hardness) เป็นต้น การทำเส้นใยให้เป็นผงสามารถทำได้สะดวก และใช้เวลาน้อยกว่าการทำเส้นใย ดังนั้นจึงเป็นที่น่าสนใจที่จะทำการศึกษากการใช้ประโยชน์หญาแฝกในรูปนี้ พอลิเมอร์ที่เลือกศึกษา คือ พอลิพรอพิลีน (Polypropylene, PP) ซึ่งเป็นพอลิเมอร์ที่นิยมใช้งานทั่วไป

3.3.1.1 การเตรียมผงหญาแฝก

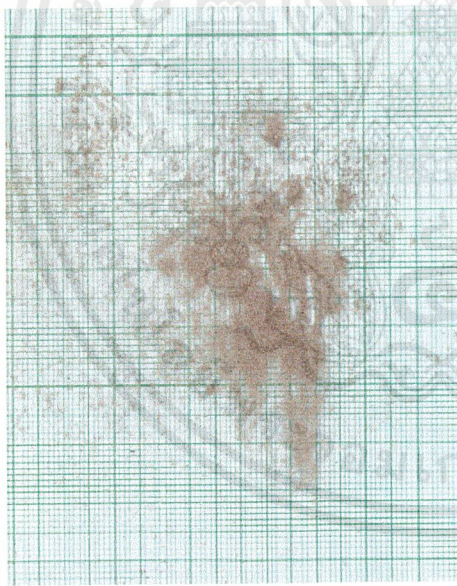
ใช้วิธีการเตรียมผงหญาแฝกด้วยแรงเชิงกล (Mechanical pulp, MP) โดยการนำหญาแฝกที่ล้างสะอาดไปบดเป็นผงโดยใช้เครื่องบดความเร็วสูง ทำให้ได้หญาแฝกขนาดเล็ก จากนั้นทำการแยกขนาดโดยใช้ตะแกรงร่อน (Sieve) ขนาด 20, 50 และ 100 mesh เพื่อควบคุมขนาดของผงหญา นำผงหญาที่ได้ไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 80-100 °C เป็นเวลา 3 ชั่วโมงหรือจนได้น้ำหนักคงที่ นำไปเก็บในเดซิเคเตอร์ก่อนนำไปผสมกับพอลิเมอร์



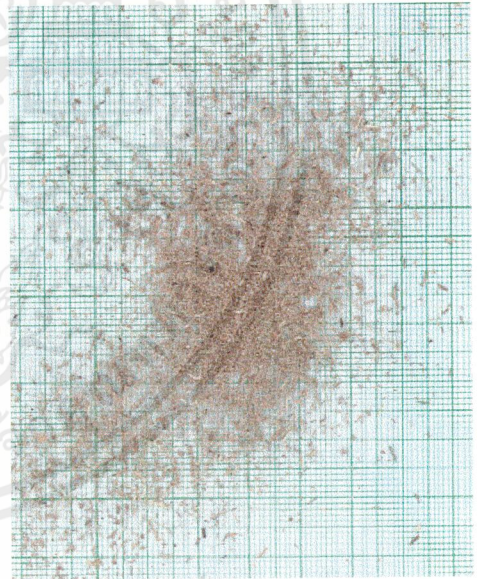
a) ผงหญ้าแฝกที่เตรียมด้วยแรงเชิงกล
(Mechanical pulp,MP) ขนาด 20-50 mesh



b) ผงหญ้าแฝกที่เตรียมด้วยแรงเชิงกล
(Mechanical pulp,MP) ขนาด 50-100 mesh



c) ผงหญ้าแฝกที่เตรียมด้วยแรงเชิงกล
(Mechanical pulp, MP) ขนาด >100 mesh



d) ผงหญ้าแฝกที่เตรียมด้วยแรงเชิงกล
(Mechanical pulp, MP) ไม่แยกขนาด

รูปที่ 3.1 ลักษณะของผงหญ้าแฝกที่เตรียมด้วยแรงเชิงกล (Mechanical pulp, MP)
ขนาดต่างๆกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.1.2 การผสมกับพอลิเมอร์

1. ซึ่งสูตรผสมต่างๆดังตารางที่ 3.1
2. ทำการผสมผงหญาแผกกับพอลิเมอร์ตามสูตรในข้อ 1 โดยใช้เครื่องผสมความเร็วสูง (High-speed mixer) ความเร็วรอบ 4000 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 10 นาที
3. นำของผสมที่ได้ไปผสมโดยใช้เทคนิคผสมแบบหลอมเหลว (Melt blending) โดยใช้เครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนอนเดี่ยว (Single screw extruder) โดยอุณหภูมิที่ใช้ในการผสม คือ 200 190 180 และ 170 °C ตามลำดับ
4. นำพอลิเมอร์ที่ได้ไปตัดเม็ดโดยใช้เครื่องบดตัดเม็ด (Grinder)
5. นำเม็ดพอลิเมอร์ผสมที่ได้ไปทำการขึ้นรูปโดยใช้เครื่องฉีดขึ้นรูป (Injection molding machine) โดยใช้อุณหภูมิในการฉีด 200 190 และ 180 °C
6. นำคอมโพสิตที่ได้ไปทดสอบสมบัติต่างๆ ได้แก่

สมบัติทางกายภาพ

- ความหนาแน่น (Density)
- เปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำ (%Water absorption)

สมบัติเชิงกล

ASTM D 638			
ทดสอบสมบัติแรงดึงด้วย Universal tensile tester ทดสอบตามมาตรฐาน			
โหลดเซลล์ (Load cell)	30		กิโลนิวตัน (kN)
ความเร็วในการดึง (Test speed)	100		มิลลิเมตร / นาที
Cell class	0.5		
Guage length คอมโพสิตพีพี	70		mm
คอมโพสิตพีวีซี	25		mm

ได้ค่า Tensile strength, %Elongation at break และ Modulus

- ความแข็งแรงกระแทก (Impact strength; ASTM D 256 (kJ/m²))

แบบไอซอด (Izod)

- ความแข็งกด (Hardness; ASTM D 785) Shore D

สมบัติทางความร้อน

- Differential Scanning Calorimeter (DSC) ใช้หาค่า T_m และ % Crystallinity

สัณฐานวิทยา

- กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) เตรียมตัวอย่างโดย นำตัวอย่างแช่ที่อุณหภูมิต่ำ โดยใช้ไนโตรเจนเหลว (Liquid nitrogen) แล้วทำการหักทันทีที่อุณหภูมิต่ำ จากนั้นนำตัวอย่างเคลือบทองและนำเข้าเครื่อง SEM ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 อัตราส่วนผสมของสูตรต่างๆ

สูตร	ส่วนโดยน้ำหนัก (phr)		ขนาดผง หญาแฝก (mesh)	% MAPP โดยน้ำหนักผง หญาแฝก
	PP	ผงหญาแฝก		
1	100	---	---	---
2	100	10	20-50	0
3	100	10	20-50	1
4	100	10	20-50	2
5	100	10	20-50	3
6	100	10	20-50	4
7	100	20	20-50	3
8	100	30	20-50	3
9	100	40	20-50	3
10	100	30	unsieve	3
11	100	30	50-100	3
12	100	30	>100	3

หมายเหตุ

สูตรที่ 1 พีพีไม่เติมสารตัวเติมใดๆ (ควบคุม)

สูตรที่ 2-6 ใช้ศึกษาปริมาณสารช่วยผสม MAPP ที่เหมาะสม (ใช้ผงหญาแฝกคงที่ที่ 10 phr) ขนาด 20-50 mesh

สูตรที่ 5, 7-9 ใช้ศึกษาปริมาณผงหญาแฝกที่ใส่ในพีพี ที่มีผลต่อสมบัติต่างๆ (ใช้ผงหญาแฝก ขนาด 20-50 mesh ปริมาณ MAPP 3% โดยน้ำหนักเทียบกับผงหญาแฝก)

สูตรที่ 8, 10-12 ใช้ศึกษาผลของขนาดผงหญาแฝก (ใช้ผงหญาแฝก 30 phr ปริมาณ MAPP 3% โดยน้ำหนักเทียบกับผงหญาแฝก)

3.3.2 การศึกษาพอลิเมอร์คอมโพสิตจากฟิวซีและเส้นใยหญ้าแฝก

3.3.2.1 การเตรียมเส้นใยหญ้าแฝก

การเตรียมเส้นใยหญ้าแฝกทางเคมี (Chemical pulp, CP) โดยการนำหญ้าแฝกที่ล้างสะอาดไปให้ความร้อนในสารละลายด่างโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ในอัตราส่วน หญ้าแฝก ต่อ NaOH ต่อ น้ำ คือ 1:5:15 (อัตราส่วนโดยน้ำหนัก) ที่อุณหภูมิ 80 °C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง จากนั้นนำเส้นใยไปล้างด้วยน้ำกลั่นให้สะอาดจนปราศจากด่าง นำเส้นใยที่ได้ไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 °C เป็นเวลา 1 วัน จนเส้นใยมีน้ำหนักคงที่แล้วทำการคัดแยกขนาดเส้นใยหญ้าแฝก โดยใช้เครื่องร่อนและตะแกรงมาตรฐานขนาดต่างๆ ร่อนให้ได้ขนาดเส้นใยไม้ที่มีขนาด 20,50,100 mesh และไม้คัดขนาด นำไปเก็บไว้ในเดซิเคเตอร์และนำไปผสมกับพอลิเมอร์ในขั้นต่อไป





a) เส้นใยหญ้าแฝกที่เตรียมจากวิธีการทางเคมี
(Chemical pulp, CP) ขนาด 20-50 mesh

b) เส้นใยหญ้าแฝกที่เตรียมจากวิธีการทางเคมี
(Chemical pulp, CP) ขนาด 50-100 mesh



c) เส้นใยหญ้าแฝกที่เตรียมจากวิธีการทางเคมี
(Chemical pulp, CP) ขนาดมากกว่า 100 mesh

d) เส้นใยหญ้าแฝกที่เตรียมจากวิธีการทางเคมี
(Chemical pulp, CP) ไม่แยกขนาด

รูปที่ 3.2 ลักษณะของเส้นใยหญ้าแฝกที่เตรียมจากขบวนการเคมี (Chemical pulp, CP)
ขนาดต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2.2 ขั้นตอนการผสมพีวีซี

1. ชั่งสูตรผสมต่างๆ ดังตารางที่ 3.2
2. ทำการผสมพีวีซีคอมปาวด์ (PVC-compound) โดยการผสม พีวีซี, Cereclor ในเครื่องผสมความเร็วสูง (High speed mixer) กวนของผสมเป็นเวลา 5 นาที
3. เติมสารตัวเติม Ca-Zn stabilizer กรดสเตียริก PE-Wax และแคลเซียมคาร์บอเนต ลงไป จากนั้นทำการปั่นกวนต่อเป็นเวลา 10 นาที
4. เติมน้ำมัน Epoxydized soybean oil ปั่นกวนต่อ 5 นาทีหรือให้ส่วนผสมเข้ากันได้ดี
5. นำส่วนผสมที่ได้ไปผสมกันในเครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง (Two roll mill) โดยใช้ อุณหภูมิประมาณ 200 °C เป็นเวลา 20 นาที
6. นำ PVC-compound ที่ได้ไปบดให้เป็นเม็ด
7. ขึ้นรูปโดยใช้เครื่องอัดขึ้นรูปร้อน (Compression molding machine) ที่อุณหภูมิ 200 °C
8. นำคอมโพสิตที่ได้ไปทดสอบสมบัติต่างๆ ดังการทดลองข้างต้น

ตารางที่ 3.2 สูตรผสมพอลิเมอร์คอมโพสิตที่ใช้ในการศึกษา

องค์ประกอบ (phr)	สูตรที่							
	1	2	3	4	5	6	7	8
PVC	100	100	100	100	100	100	100	100
Ca-Zn stabilizer	2	2	2	2	2	2	2	2
CaCO ₃	40	40	40	40	40	40	40	40
PE Wax	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
Cereclor	3	3	3	3	3	3	3	3
Stearic acid	2	2	2	2	2	2	2	2
Epoxidized Soy bean oil	5	5	5	5	5	5	5	5
Fiber	---	10	20	30	40	30	30	30
Fiber size (mesh)	---	20-50	20-50	20-50	20-50	Unsieve	50-100	>100

หมายเหตุ

- สูตรที่ 1 ฟีวีซี (ควบคุม)
- สูตรที่ 2-5 ใช้ศึกษาปริมาณเส้นใยหญ้าแฝกที่ใส่ในฟีวีซีที่มีผลต่อสมบัติต่างๆ ใช้เส้นใยหญ้าแฝก ขนาด 20-50 mesh
- สูตรที่ 4,6-8 ใช้ศึกษาผลของขนาดเส้นใยหญ้าแฝก ใช้เส้นใยหญ้าแฝกปริมาณ 30 phr

3.4 การทดสอบ

การทดสอบสมบัติต่างๆ ของพอลิเมอร์คอมโพสิตได้ทำการทดสอบมาตรฐาน ดังตาราง 3.3 ดังต่อไปนี้

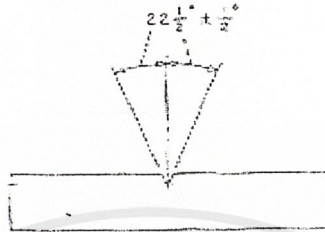
ตารางที่ 3.3 มาตรฐานต่างๆ ในการทดสอบพอลิเมอร์คอมโพสิต

สมบัติ	มาตรฐานที่ใช้ทดสอบ	หน่วยรายงานผล
ความแข็งแรงดึง (Tensile strength)	ASTM D 638	MPa
มอดุลัส (Tensile modulus)	ASTM D 638	MPa
เปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาด (%Elongation at break)	ASTM D 638	%
ความแข็งแรงกระแทก (Impact strength)	ASTM D 256	kJ / m^2
ความแข็งกด (Hardness)	ASTM D 785	Shore D
ความแข็งแรงโค้งงอ (Flexural strength)	ASTM D 790	MPa
มอดุลัสโค้งงอ (Flexural modulus)	ASTM D 790	MPa
ความหนาแน่น (Density)	ASTM D 1505-85	g/cm^3
เปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำ	ASTM D570	%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.1.2 ความแข็งแรงกระแทก (Impact Strength)

การทดสอบหาค่าความแข็งแรงกระแทก (Impact strength) เป็นไปตามมาตรฐาน ASTM D 256 โดยในการทดสอบจะใช้มาตรฐานแบบไอซอด (Izod type) และแต่ละครั้งใช้ตัวอย่าง 8 ชิ้น โดยตัวอย่างเป็น ดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 ลักษณะตัวอย่างของชิ้นงานที่นำมาทดสอบหาค่าความแข็งแรงกระแทก

ค่าความแข็งแรงกระแทกสามารถหาได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$\text{ความแข็งแรงกระแทก (IS)} = \frac{W}{A}$$

IS คือค่าความแข็งแรงกระแทก (หน่วยเป็นกิโลจูลต่อตารางเมตร; kJ/m^2)

W คือค่าพลังงานกระแทก (หน่วยเป็นกิโลจูล; kJ)

A คือพื้นที่หน้าตัดของตัวอย่าง (ตารางเมตร; m^2)

3.4.1.3 ความแข็งกด (Hardness)

การทดสอบหาค่าความแข็งกด (Hardness) เป็นไปตามมาตรฐาน ASTM D 785 โดยในการทดสอบจะใช้มาตรฐานแบบ Shore D ลักษณะของชิ้นงานที่นำมาทดสอบต้องมีความหนาไม่ต่ำกว่า $\frac{1}{4}$ นิ้วมีความเรียบ กดเป็นเวลา 5 วินาทีจึงสามารถอ่านค่าได้

3.4.1.4 ความแข็งแรงโค้งงอ (Flexural Strength) และมอดุลัสโค้งงอ (Flexural Modulus)

การทดสอบหาค่าความแข็งแรงโค้งงอ (Flexural strength) และมอดุลัสโค้งงอ (Flexural modulus) เป็นไปตามมาตรฐาน ASTM D 790 โดยลักษณะในการทดสอบเป็นดังรูปที่ 3.4 และสภาวะในการทดสอบเป็นดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- โหลดเซลล์ (Load cell) 1 กิโลนิวตัน (kN)
- ความเร็วในการกด (Compression speed) 10 มิลลิเมตร / นาที
- ระยะห่างของขารองรับชิ้นงาน (Span length) 40 มิลลิเมตร

สูตรที่ใช้ในการคำนวณค่าความแข็งแรงโค้งงอและมอดุลัสโค้งงอมีดังนี้

$$\text{ค่าความแข็งแรงโค้งงอ; } \sigma_f = \frac{3/2 FL}{bh^2}$$

$$\text{มอดุลัสโค้งงอ; } E_b = \frac{L^3}{4bh^3} \times \frac{\Delta F}{\Delta d}$$

F คือ แรงกด (หน่วยเป็นนิวตัน; N)

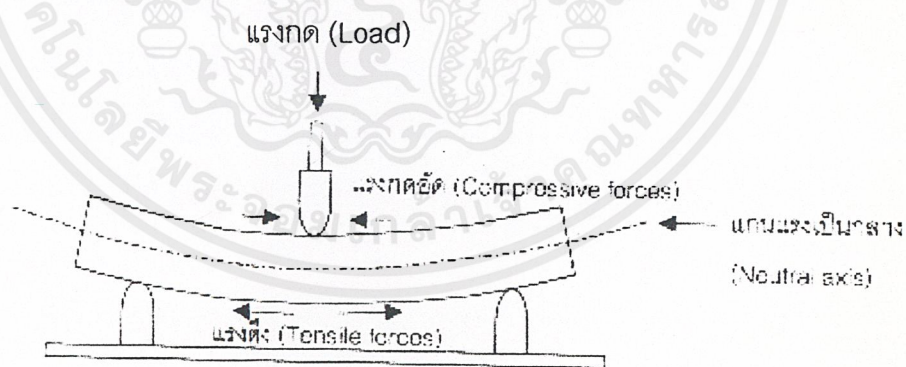
L คือ Span length (หน่วยเป็นมิลลิเมตร; mm)

b คือ ความกว้างของตัวอย่าง (หน่วยเป็นมิลลิเมตร; mm)

h คือ ความหนาของตัวอย่าง (หน่วยเป็นมิลลิเมตร; mm)

ΔF คือ ผลต่างของแรงดึง (หน่วยเป็นนิวตัน; N)

Δd คือ ระยะกดโค้งงอ (หน่วยเป็นมิลลิเมตร; mm)



รูปที่ 3.4 แรงที่เกิดขึ้นในการทดสอบการโค้งงอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.2 สมบัติทางกายภาพ

3.4.2.1 ความหนาแน่น (Density)

ความหนาแน่น (Density) สามารถทดสอบโดยใช้เครื่อง Specific gravity balance ตามมาตรฐาน ASTM D 1500-85

3.4.2.2 การดูดซับน้ำ (Water absorption)

การทดสอบการดูดซับน้ำ (Water absorption) เป็นไปตาม ASTM D 570 โดยการนำชิ้นงานไปอบให้แห้ง 24 ชั่วโมง และชั่งน้ำหนักจากนั้นนำไปแช่น้ำเป็นเวลา 20 วัน และทำการวัดปริมาณน้ำที่ดูดซับเป็นเวลาต่างๆกัน และนำมาคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำโดยสามารถหาได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$\% \text{ การดูดซับน้ำ} = \frac{(\text{น้ำหนักตัวอย่างเปียก} - \text{น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น}) \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น}}$$

3.4.3 สมบัติทางความร้อน

ดิฟเฟอเรนเชียล สแกนนิ่ง แคลอริเมทรี (DSC) ซึ่งพลาสติกโพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง จำนวน 5-10 มิลลิกรัม ให้ทราบปริมาณสารที่แน่นอน แล้วนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง DSC โดย 20^o C/min อุณหภูมิสูงสุด 200^o C ศึกษาอุณหภูมิหลอมเหลว (T_m) พื้นที่ใต้กราฟ และคำนวณหาองศาความเป็นผลึก (Degree of crystallinity)

เช่น วัสดุผสม PP+ผงงู้าแฝก 10 phr+MAPP 3% โดยน้ำหนักผงงู้าแฝก มีค่า ΔH_f 77.635 J/g วัสดุผสม (100+10+0.3) g มีพอลิเมอร์ 100 g

วัสดุผสม 1 g มีพอลิเมอร์ 100*1/110.3 = 0.9066 g

พอลิเมอร์ 0.9066 g มี ΔH_f 77.635 J

พอลิเมอร์ 1 g มี ΔH_f 77.635*1/0.9066 = 85.631 J/g

$$\text{Degree of crystallinity} = \frac{\Delta H_f}{\Delta H_f^0} \times 100$$

ΔH_f⁰ ของพอลิโพรพิลีนที่มีองศาความเป็นผลึก 100 % เท่ากับ 165 J/g

3.4.4 สัณฐานวิทยา

กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope; SEM) เป็นการส่องดูพื้นผิวของวัสดุอย่างละเอียดเพื่อศึกษาการยึดติดระหว่างเส้นใยไม้กับพอลิเมอร์ การเตรียมตัวอย่างทำได้โดย นำตัวอย่างมาแช่ที่อุณหภูมิต่ำ โดยใช้ไนโตรเจนเหลว (Liquid nitrogen) และทำการหักทันทีที่อุณหภูมิต่ำ (Cryogenic fracture) จากนั้นนำตัวอย่างมาเคลือบทองและนำเข้าเครื่อง SEM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

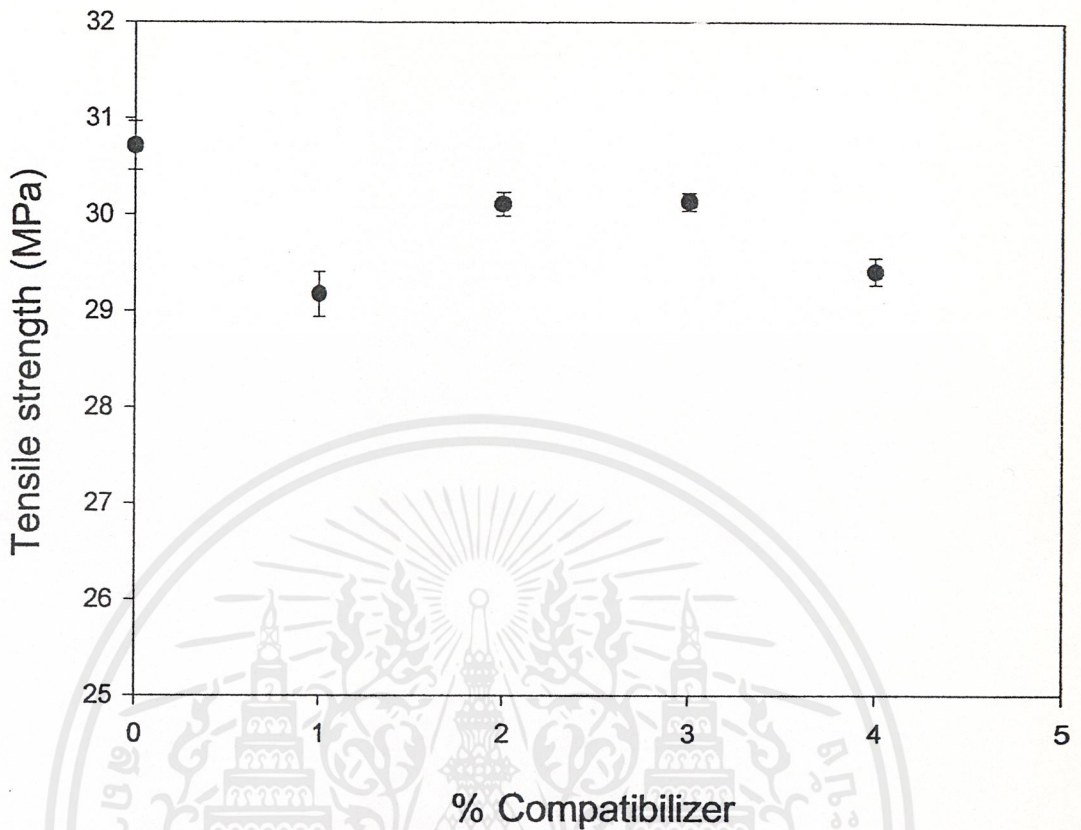
4.1 การศึกษาผงหญา้แฝกเป็นสารเพิ่มเนื้อ (Fillers) ในพอลิพรอพิลีน

4.1.1 การศึกษาสมบัติของคอมโพสิตเมื่อทำการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารช่วยผสม (MAPP)

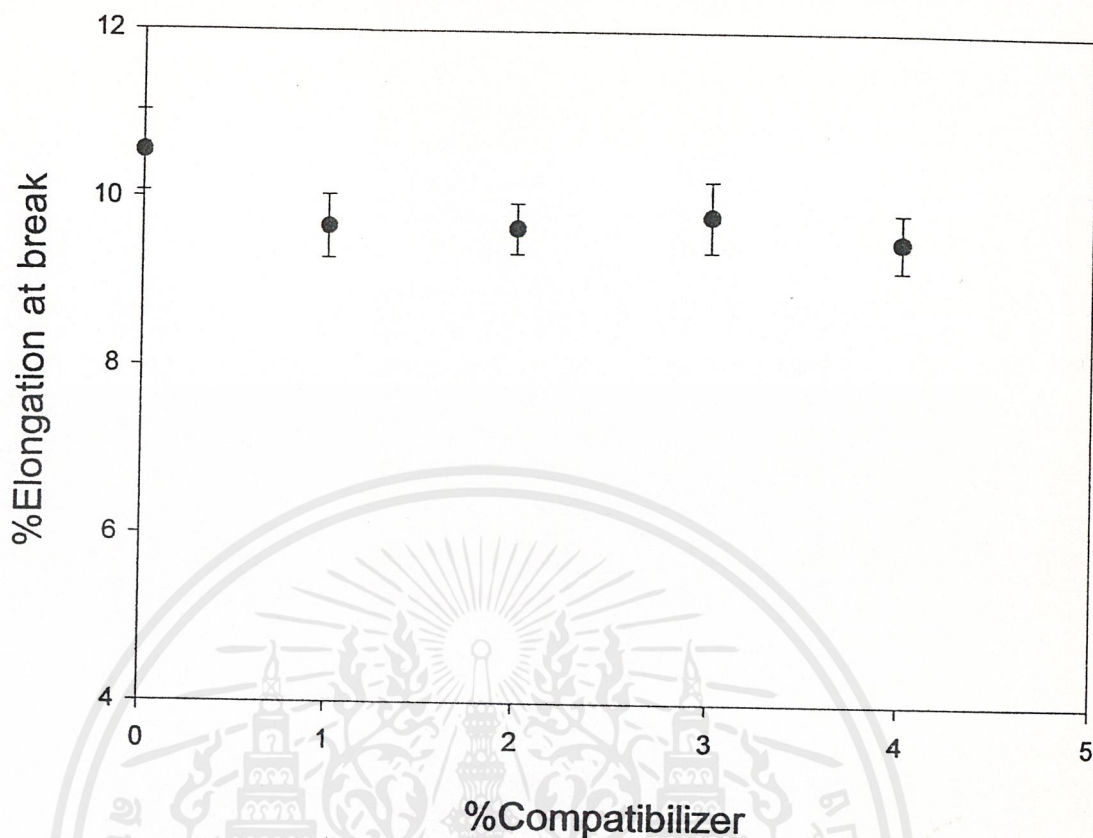
สารช่วยผสม (Compatibilizer) เป็นสารที่มีความสำคัญต่อการยึดติดของเส้นใยกับพอลิเมอร์เมตริกซ์โดยเฉพาะพอลิโพลีเอทิลีน เช่น พอลิพรอพิลีน (พีพี) เนื่องจากเส้นใยมีเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบ เป็นสารที่มีขั้วสูงเมื่อเทียบกับพอลิเมอร์เมตริกซ์ ซึ่งเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่ไม่มีขั้วหรือมีขั้วต่ำ การเติมสารช่วยผสม ซึ่งเป็นการเพิ่มการยึดเกาะระหว่างวัฏภาค (interphase bonding) ระหว่างเส้นใยกับพอลิพรอพิลีน (พีพี) จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง³ พบว่าการใช้สารช่วยผสมจำพวกพอลิโพลีเอทิลีนต่อกิ่งกับหมู่ฟังก์ชันที่มีขั้ว เช่น Polyethylene-graft-maleic-anhydride (MAPE) และ Polypropylene-graft-maleic-anhydride (MAPP) นิยมใช้เป็นสารช่วยผสมช่วยเพิ่มการยึดเกาะระหว่างวัฏภาคของพอลิโพลีเอทิลีนกับเส้นใยธรรมชาติ ทำให้สมบัติเชิงกลเพิ่มสูงขึ้น นิยมใช้ประมาณ 1-5% ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาศักยภาพของสารช่วยผสมเป็นอันดับแรก โดยน้ำหนักของเส้นใย และปริมาณผงหญา้คองที่ 10 phr

4.1.1.1 การศึกษาสมบัติเชิงกล

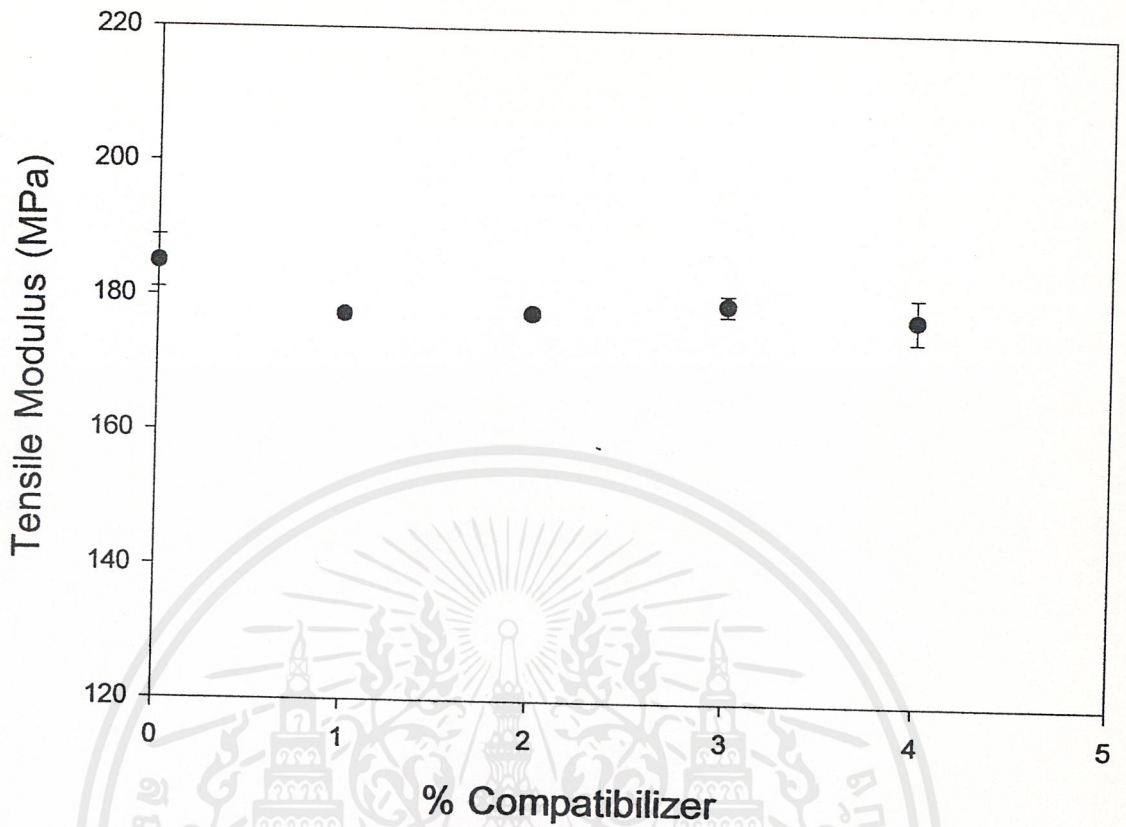
รูปที่ 4.1-4.7 แสดงผลของปริมาณสารช่วยผสม (MAPP) ที่มีผลต่อสมบัติเชิงกลของวัสดุผสมพีพีกับผงหญา้แฝก ได้แก่ ความแข็งแรงดึง (Tensile strength) เปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาด (%Elongation at break) มอดุลัส (Tensile modulus) ความแข็งแรงกระแทก (Impact strength) ความแข็งกด (Hardness) ความแข็งแรงโค้งงอ (Flexural strength) และมอดุลัสโค้งงอ (Flexural modulus) ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าปริมาณของสารช่วยผสมให้สมบัติโดยรวมดีที่สุด เมื่อเติมสารช่วยผสม 3 %ของปริมาณผงหญา้แฝก มีผลช่วยปรับปรุงสมบัติให้ดีขึ้นเพียงเล็กน้อย เช่น ค่าความแข็งแรงโค้งงอ ความแข็งกด อย่างไรก็ตามสมบัติเชิงกลโดยรวม เช่น ค่าความแข็งแรงดึง เปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาด มอดุลัส ความแข็งแรงกระแทก และความแข็งแรงโค้งงอ มีค่าไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก มีแนวโน้มลดลงเล็กน้อย ทั้งนี้สามารถอธิบายได้ว่าการเตรียมผงหญา้แฝกโดยวิธีการเชิงกล ทำให้เยื่อที่เตรียมด้วยวิธีการเชิงกลที่ได้มีความยาวต่อเส้นผ่าศูนย์กลาง (L/D ratio) ต่ำ ทำให้เยื่อของผงหญา้แฝกที่ได้ไม่สามารถทำหน้าที่เสริมแรงได้ ดังนั้นผงหญา้แฝกจึงทำหน้าที่เป็นสารเพิ่มเนื้อ ช่วยเพิ่มปริมาณและลดต้นทุนของของผสม ไม่ทำให้ความแข็งแรงของวัสดุสูงขึ้น กลับทำให้สมบัติเชิงกลลดลงเล็กน้อย



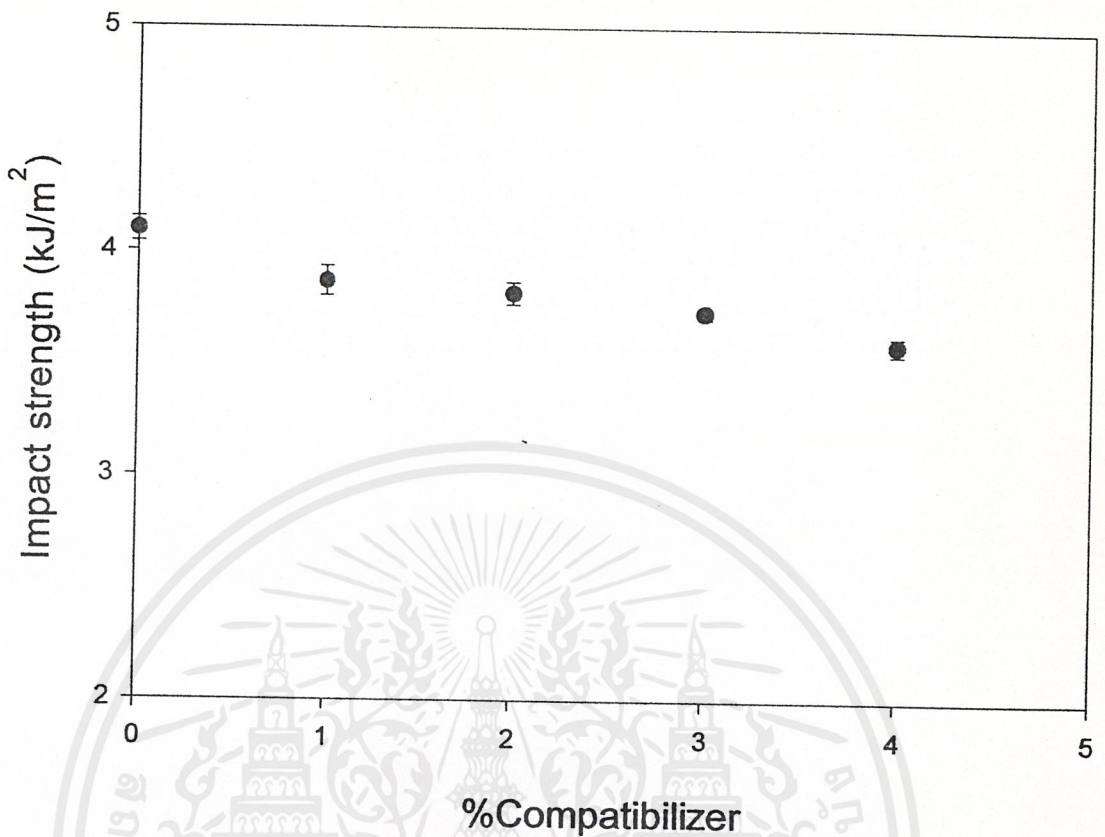
รูปที่ 4.1 ค่าความแข็งแรงดึงของวัสดุผสมพอลิพรอพิลีน (พีพี) กับผงหญ้าแฝก เมื่อเติมสารช่วยผสม (MAPP) ปริมาณ 0 1 2 3 และ 4 % โดยน้ำหนักต่อน้ำหนักของผงหญ้าแฝกและมีปริมาณผงหญ้าแฝก 10 phr ขนาด 20-50 mesh



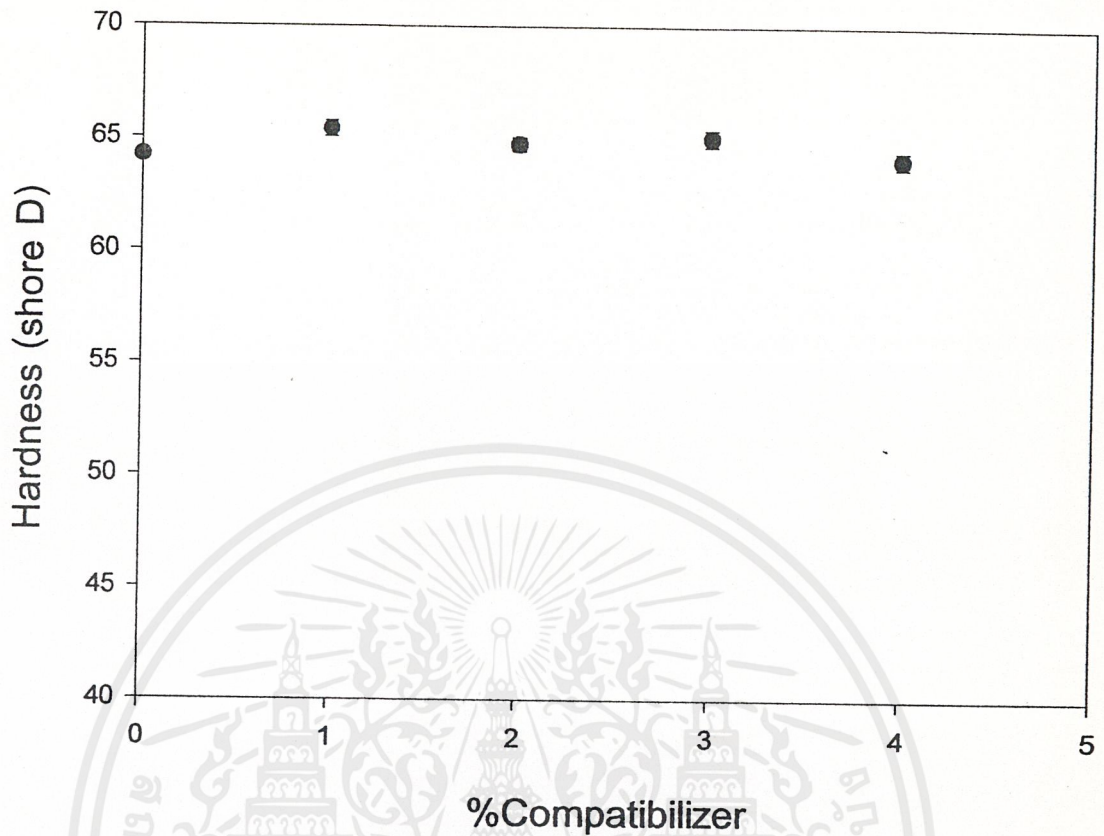
รูปที่ 4.2 ค่าเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาดของวัสดุผสมพีทีกับผงหนุ้าแฝกเมื่อเติมสารช่วยผสม (MAPP) ปริมาณ 0 1 2 3 และ 4 % โดยน้ำหนักต่อน้ำหนักของผงหนุ้าแฝกและมีปริมาณผงหนุ้าแฝก 10 phr ขนาด 20-50 mesh



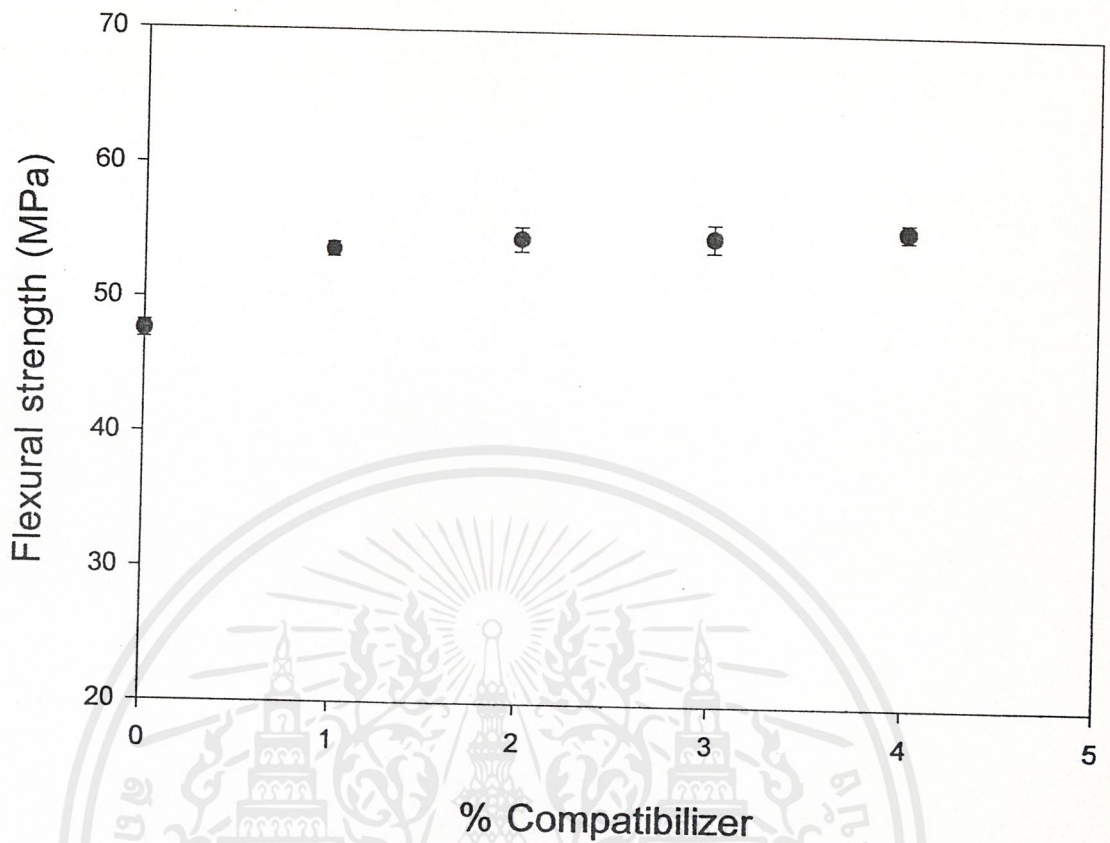
รูปที่ 4.3 ค่ามอดุลัสของวัสดุผสมพีทีกับผงหญาแฝกเมื่อเติมสารช่วยผสม (MAPP) ปริมาณ 0 1 2 3 และ 4 % โดยน้ำหนักของผงหญาแฝกและมีปริมาณผงหญาแฝก 10 phr ขนาด 20-50 mesh



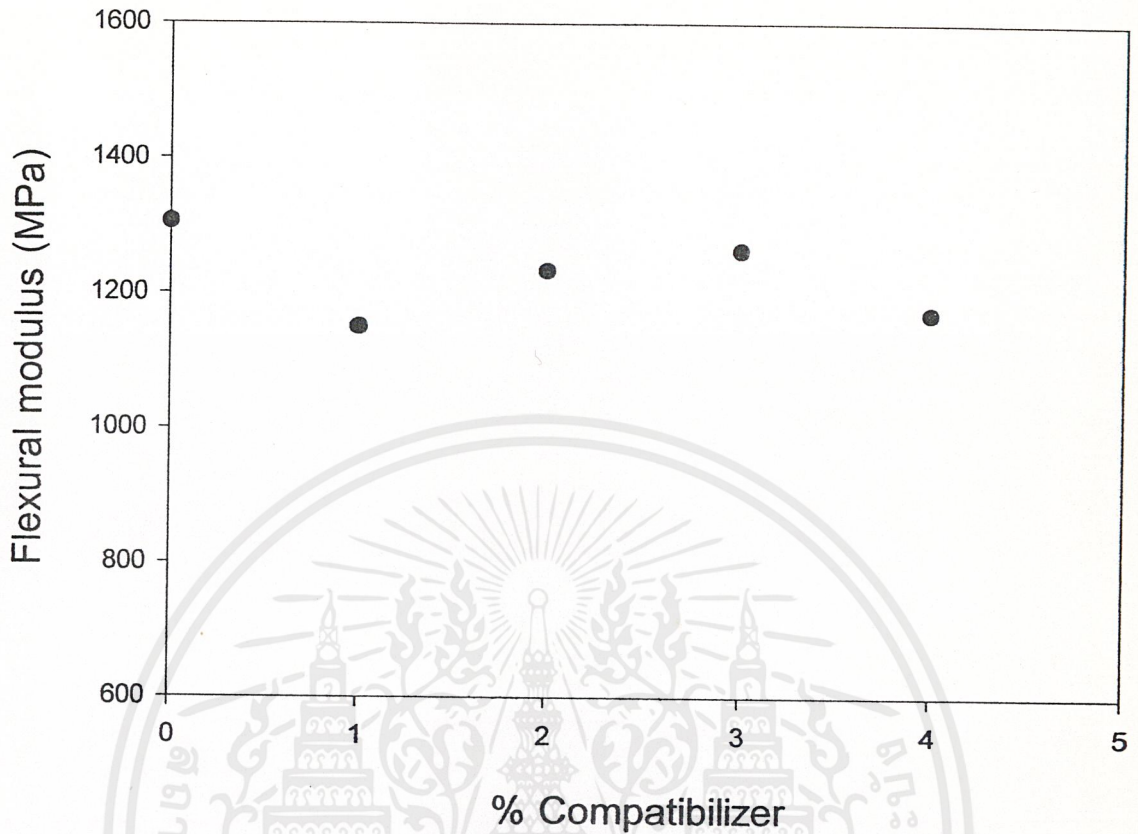
รูปที่ 4.4 ค่าความแข็งแรงกระแทกของวัสดุผสมพีอีกับผงหญ้าแฝกเมื่อเติมสารช่วยผสม (MAPP) 10 phr ปริมาณ 0 1 2 3 และ 4 % โดยน้ำหนักต่อน้ำหนักของผงหญ้าแฝก และมีปริมาณผงหญ้าแฝก 10 phr ขนาด 20-50 mesh



รูปที่ 4.5 ความแข็งกตของวัสดุผสมพีทีกับผงหญาแฝกเมื่อเติมสารช่วยผสม (MAPP) ปริมาณ 0 1 2 3 และ 4 % โดยน้ำหนักต่อน้ำหนักของผงหญาแฝกและมีปริมาณผงหญาแฝก 10 phr ขนาด 20-50 mesh



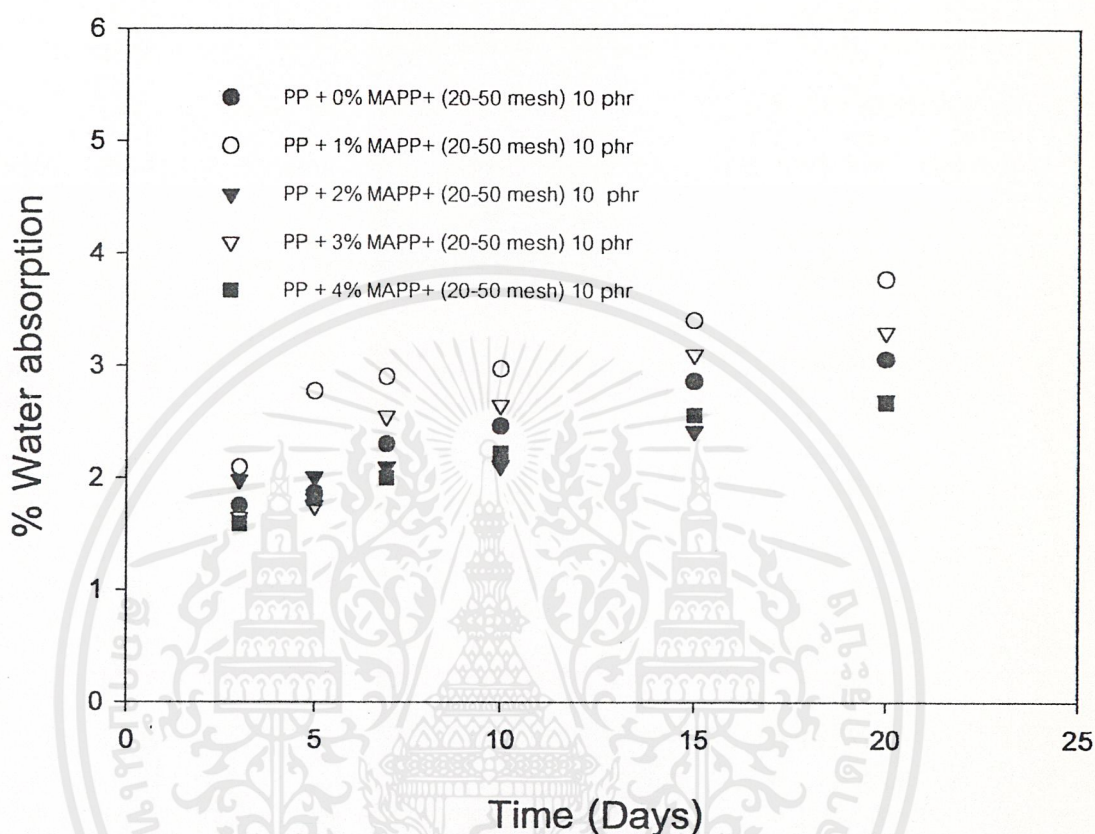
รูปที่ 4.6 ค่าความแข็งแรงโค้งของวัสดุผสมพีอีกับผงหญาแฝกเมื่อเติมสารช่วยผสม (MAPP) ปริมาณ 0 1 2 3 และ 4 % โดยน้ำหนักของผงหญาแฝกและมีปริมาณผงหญาแฝก 10 phr ขนาด 20-50 mesh



รูปที่ 4.7 ค่ามอดูลัสโค้งงอของวัสดุผสมที่พิกัดกับผงหญ้าแฝก เมื่อเติมสารช่วยผสม (MAPP) ปริมาณ 0 1 2 3 และ 4% โดยน้ำหนักต่อน้ำหนักของผงหญ้าแฝกและปริมาณผงหญ้าแฝก 10 phr ขนาด 20-50 mesh

4.1.1.2 การศึกษาสมบัติทางกายภาพ

สมบัติการดูดซับน้ำแสดงถึงความสามารถของวัสดุที่สามารถดูดซับน้ำจากสิ่งแวดล้อมเข้าไปในช่องว่างภายใน ซึ่งแสดงถึงการมีหมู่ที่ชอบน้ำในวัสดุ

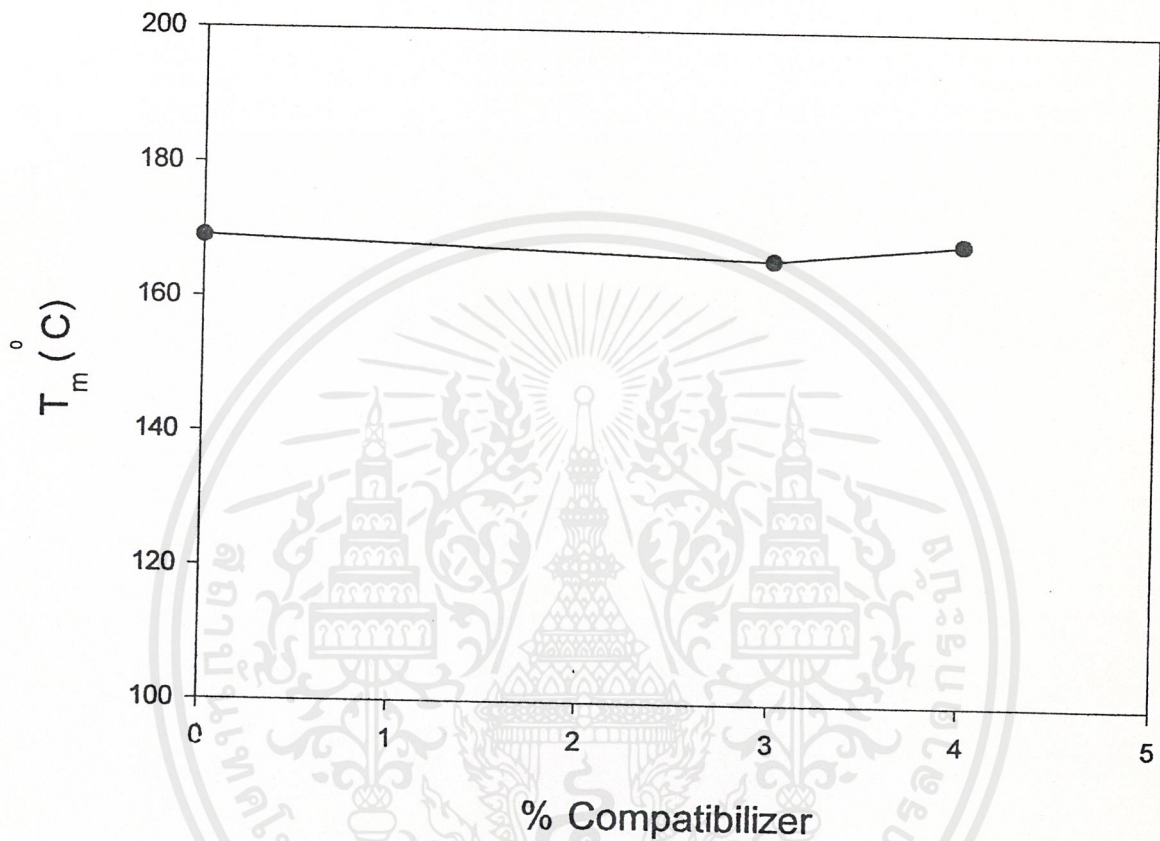


รูปที่ 4.8 ค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำของวัสดุผสมพีพีกับผงหญ้าแฝกเมื่อเติมสารช่วยผสม (MAPP) ปริมาณ 0 1 2 3 และ 4 % โดยน้ำหนักต่อน้ำหนักของผงหญ้าแฝกและมีปริมาณผงหญ้าแฝก 10 phr ขนาด 20-50 mesh

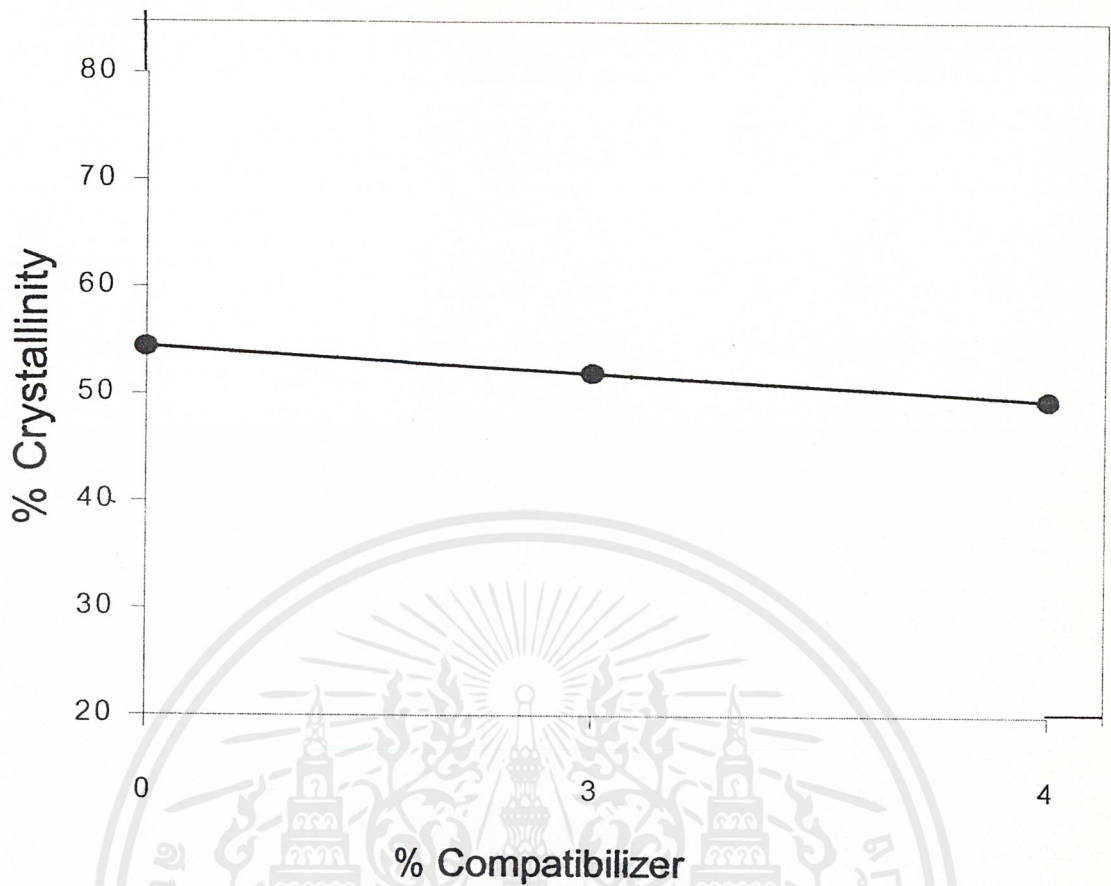
จากรูปที่ 4.8 จะเห็นได้ว่า วัสดุผสมจะดูดซับน้ำอย่างรวดเร็วในช่วงแรก (0-3 วัน) และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในอัตราที่ช้าลงเมื่อเวลาผ่านไป เมื่อทำการเพิ่มปริมาณสารช่วยผสม (MAPP) ทำให้ค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำมีค่าลดลง เนื่องจาก MAPP จะช่วยให้พอลิเมอร์และผงหญ้าแฝกยึดติดกันได้ดีขึ้น ทำให้ช่องว่างภายในวัสดุผสมลดลง เป็นผลให้เปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณสารช่วยผสม

4.1.1.3 การศึกษาสมบัติทางความร้อน

การศึกษาการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิหลอมเหลวของผลึกและองค์ความเป็นผลึกโดยใช้เทคนิค Differential scanning calorimetry (DSC)



รูปที่ 4.9 ค่าอุณหภูมิหลอมเหลวผลึก (T_m) ของวัสดุผสมพีทีกับผงหญ้าแฝกเมื่อเติมสารช่วยผสม (MAPP) ปริมาณ 0 1 2 3 และ 4 % โดยน้ำหนักต่อน้ำหนักของผงหญ้าแฝกและมีปริมาณผงหญ้าแฝก 10 phr ขนาด 20-50 mesh



รูปที่ 4.10 ค่าองศาความเป็นผลึกของวัสดุผสมพีทีกับผงหญ้าแฝกเมื่อเติมสารช่วยผสม (MAPP) ปริมาณ 0 1 2 3 และ 4 % โดยน้ำหนักต่อน้ำหนักของผงหญ้าแฝกและมีปริมาณผงหญ้าแฝก 10 phr ขนาด 20-50 mesh

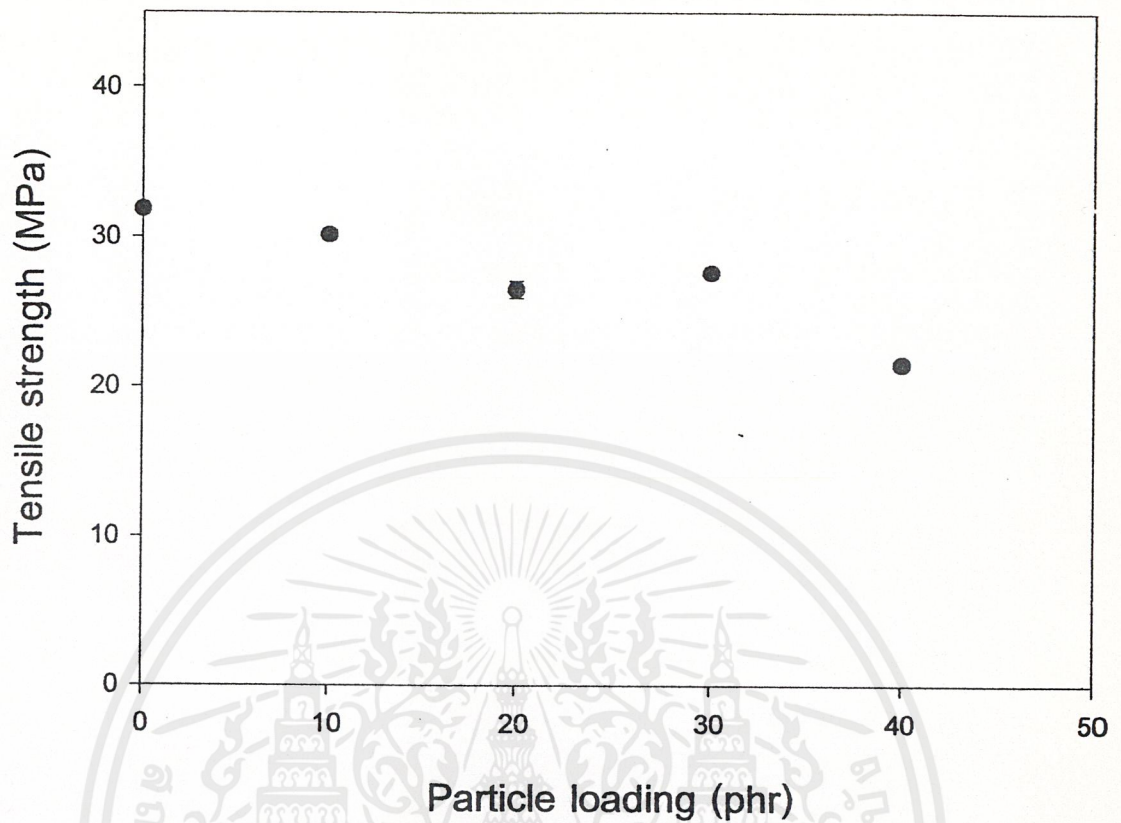
จากรูปที่ 4.9 และ 4.10 จะเห็นได้ว่า เมื่อเพิ่มปริมาณสารช่วยผสม ค่าองศาความเป็นผลึกมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อย ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากสารช่วยผสมเป็นสารที่มีโมเลกุลเล็กกว่าพีทีเมตริกซ์ มีน้ำหนักโมเลกุลน้อยกว่าและสายโซ่สั้นกว่า เมื่อผสมอยู่กับพีทีเมตริกซ์ อาจเกิดการเกี่ยวพันและขัดขวาง การเกิดผลึกของพีทีเมตริกซ์ ทำให้ค่าองศาความเป็นผลึกลดลงเมื่อเพิ่มสารช่วยผสม MAPP ส่วนค่าอุณหภูมิการหลอมเหลวผลึก (T_m) มีค่าใกล้เคียงกัน

4.1.2 การศึกษาสมบัติของวัสดุผสมพีพีกับผงงู๊าแฝกเมื่อทำการเปลี่ยนแปลงปริมาณผงงู๊าแฝกต่อปริมาณพอลิเมอร์

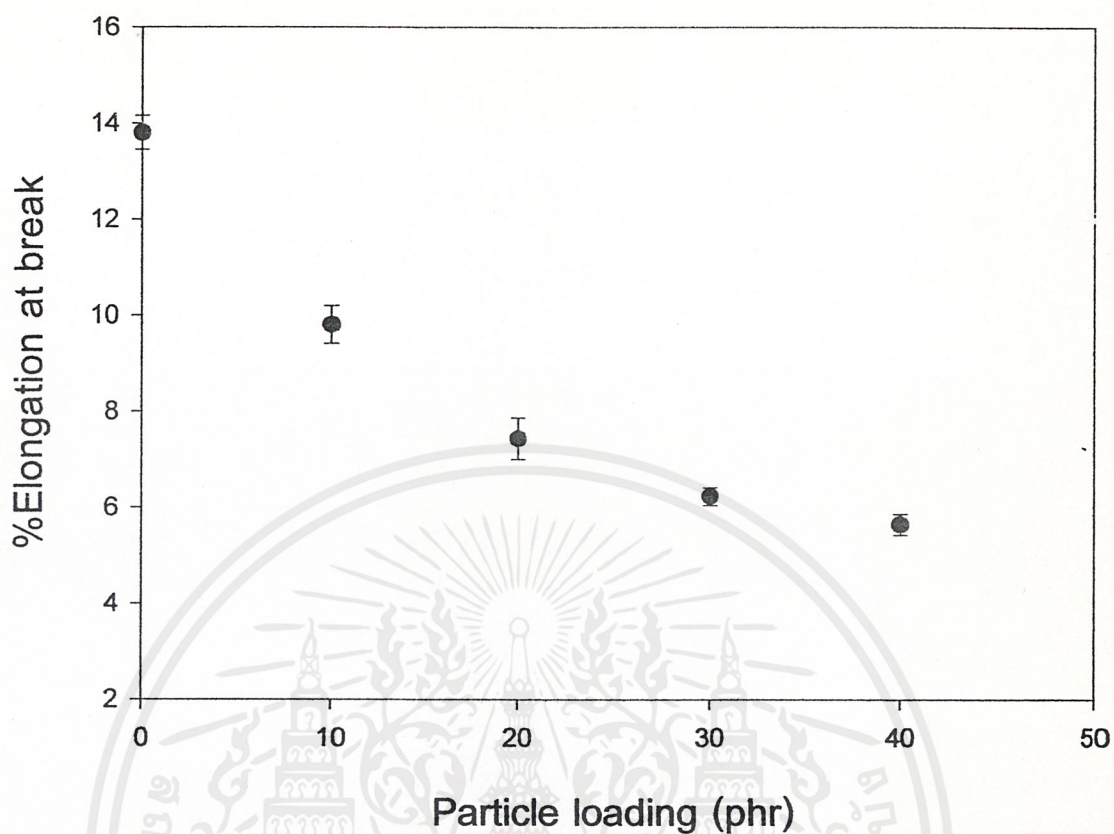
ในการศึกษาผลของปริมาณผงงู๊าแฝกที่สามารถเติมลงไปใวัสดุผสมพีพีกับผงงู๊าแฝกเพื่อหาปริมาณการเติมผงงู๊าแฝกที่เหมาะสม และให้ค่าสมบัติโดยรวมที่ดีที่สุด

4.1.2.1 การศึกษาสมบัติเชิงกล

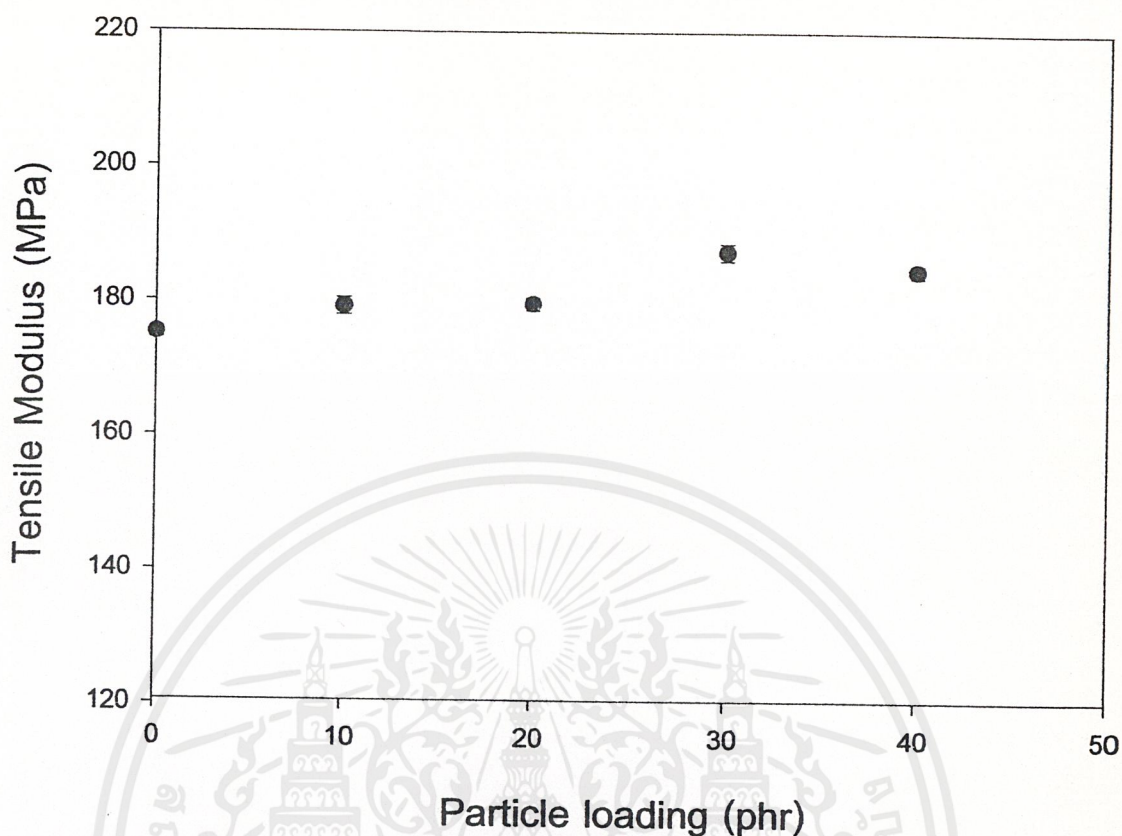
รูปที่ 4.11-4.15 แสดงผลของปริมาณผงงู๊าแฝกที่มีผลต่อสมบัติเชิงกล ของวัสดุผสมพีพีกับผงงู๊าแฝก ได้แก่ ความแข็งแรงดึง (Tensile strength) เปอร์เซ็นต์การดึงยึด ณ จุดขาด (% Elongation at break) มอดุลัส (Tensile modulus) ความแข็งแรงกระแทก (Impact strength) ความแข็งกด (Hardness) ตามลำดับ พบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณผงงู๊าแฝกในอัตราส่วนที่มากขึ้นในพอลิเมอร์ ทำให้เกิดรอยต่อหรืออินเตอร์เฟซระหว่างวัสดุผสมพอลิเมอร์เมตริกซ์พีพีกับผงงู๊าแฝก เกิดการแตกหักได้ง่ายที่บริเวณรอยต่อเมื่อได้รับแรง ทำให้ค่าความแข็งแรงดึง และค่าความแข็งแรงกระแทก มีค่าลดลง ผงงู๊าแฝกที่เติมลงไป ทำหน้าที่เป็นสารตัวเติมไม่เสริมแรง (Non reinforcing fillers) ส่วนค่ามอดุลัส (Tensile modulus) และค่าความแข็งกด (Hardness) มีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย เนื่องจากสมบัติของผงงู๊าแฝกเป็นเพียงสารตัวเติมไม่เสริมแรง ดังเหตุผลข้างต้น จากการทดลองพบว่า เมื่อเติมผงงู๊าแฝกปริมาณ 30 phr จะให้ค่าสมบัติเชิงกลโดยรวมดีที่สุด และเมื่อเติมปริมาณผงงู๊าแฝกมากเกินไป (40 phr) จะเกิดปัญหาการกระจายตัวของผงงู๊าแฝก ทำให้เกิดการกระจายตัวที่ไม่สม่ำเสมอเกิดการจับตัวเป็นกลุ่มก้อน ทำให้สมบัติเชิงกล เช่น ค่าความแข็งแรงดึง (Tensile strength) และเปอร์เซ็นต์การดึงยึด ณ จุดขาด (%Elongation at break) ลดต่ำลงมาก เนื่องจากช่องว่างระหว่างวัสดุผสมพอลิ เมอร์เมตริกซ์ (พีพี) กับผงงู๊าแฝก และผงงู๊าแฝกเป็นวัสดุที่มีความแข็งเมื่อเทียบกับพีพี ทำให้ความสามารถในการดึงยึดของวัสดุผสมพีพีกับผงงู๊าแฝกมีค่าลดลง ตามลำดับ



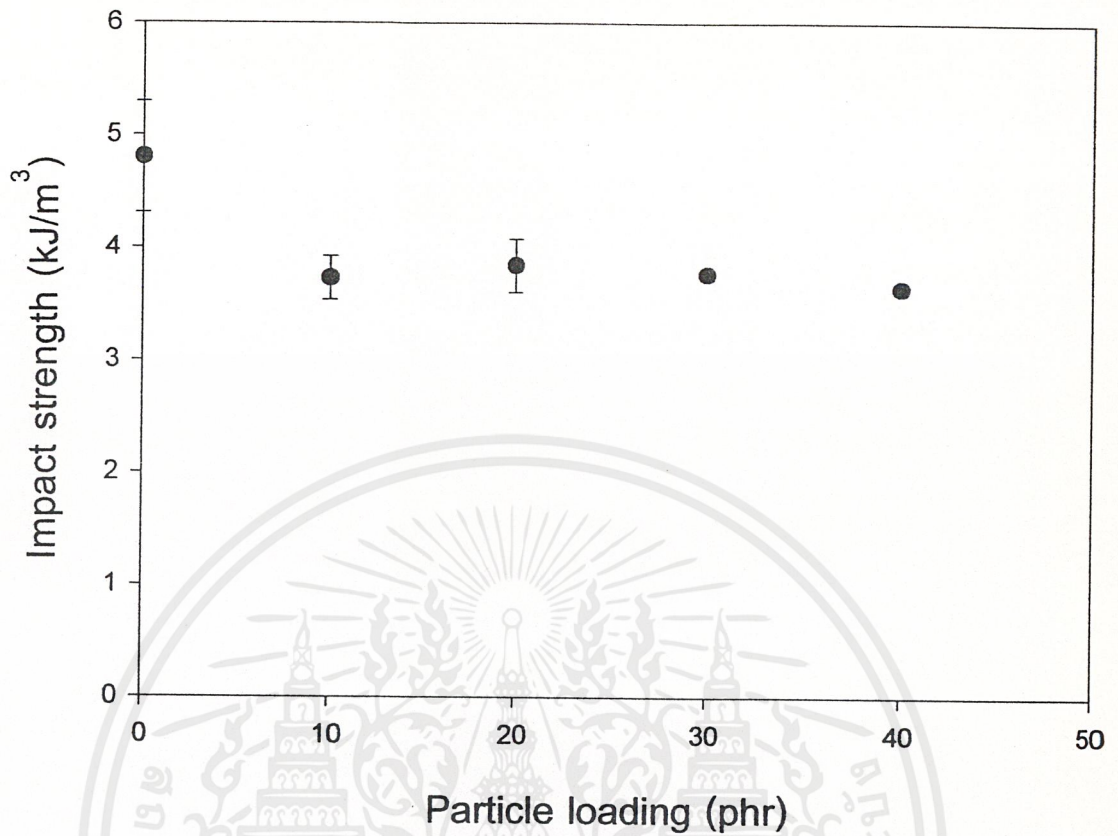
รูปที่ 4.11 ค่าความแข็งแรงดึงของวัสดุผสมพีทีกับผงน้ำแผลกเมื่อทำการเพิ่มปริมาณผงน้ำแผลกในปริมาณ 10 20 30 และ 40 phr ขนาด 20-50 mesh และปริมาณ (MAPP) 3 % โดยน้ำหนักผงน้ำแผลก



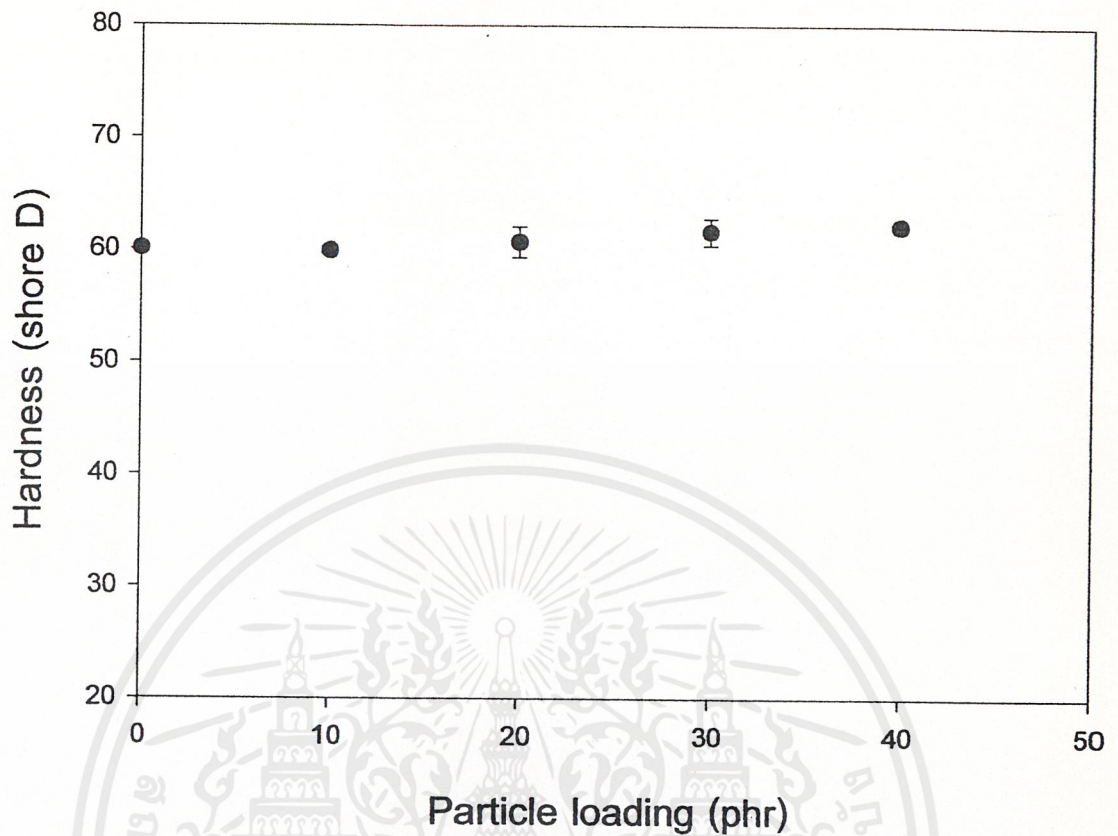
รูปที่ 4.12 ค่าเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาด ของวัสดุผสมพีทีกับผงหญาแฝกเมื่อทำการเพิ่มปริมาณผงหญาแฝกในปริมาณ 10 20 30 และ 40 phr ขนาด 20-50 mesh และปริมาณ (MAPP) 3 % โดยน้ำหนักผงหญาแฝก



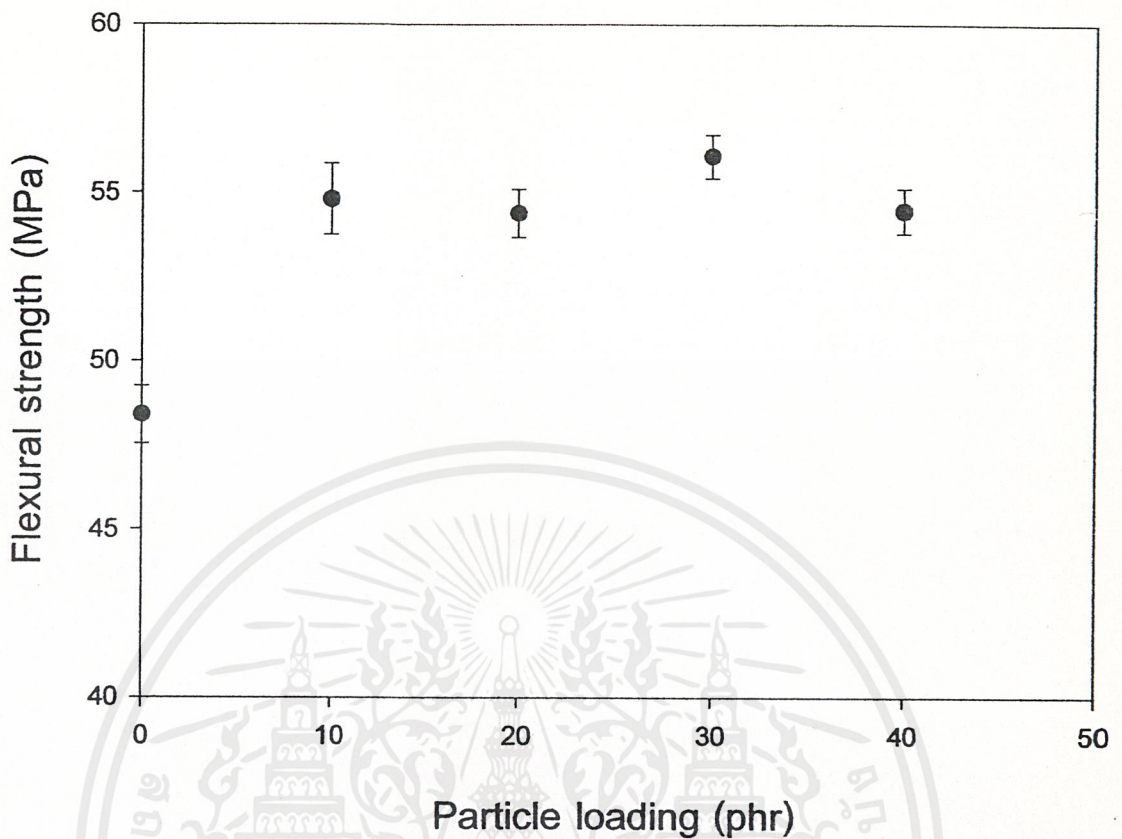
รูปที่ 4.13 ค่ามอดุลัสของวัสดุผสมพีทีกับผงหญาแฝกเมื่อทำการเพิ่มปริมาณผงหญาแฝกในปริมาณ 10 20 30 และ 40 phr ขนาด 20-50 mesh และปริมาณ (MAPP) 3 % โดยน้ำหนักผงหญาแฝก



รูปที่ 4.14 ค่าความแข็งแรงกระแทกของวัสดุผสมพีทีกับผงหญาแฝก เมื่อทำการเพิ่มปริมาณผงหญาแฝกในปริมาณ 10 20 30 และ 40 phr ขนาด 20-50 mesh และปริมาณ (MAPP) 3 % โดยน้ำหนักผงหญาแฝก

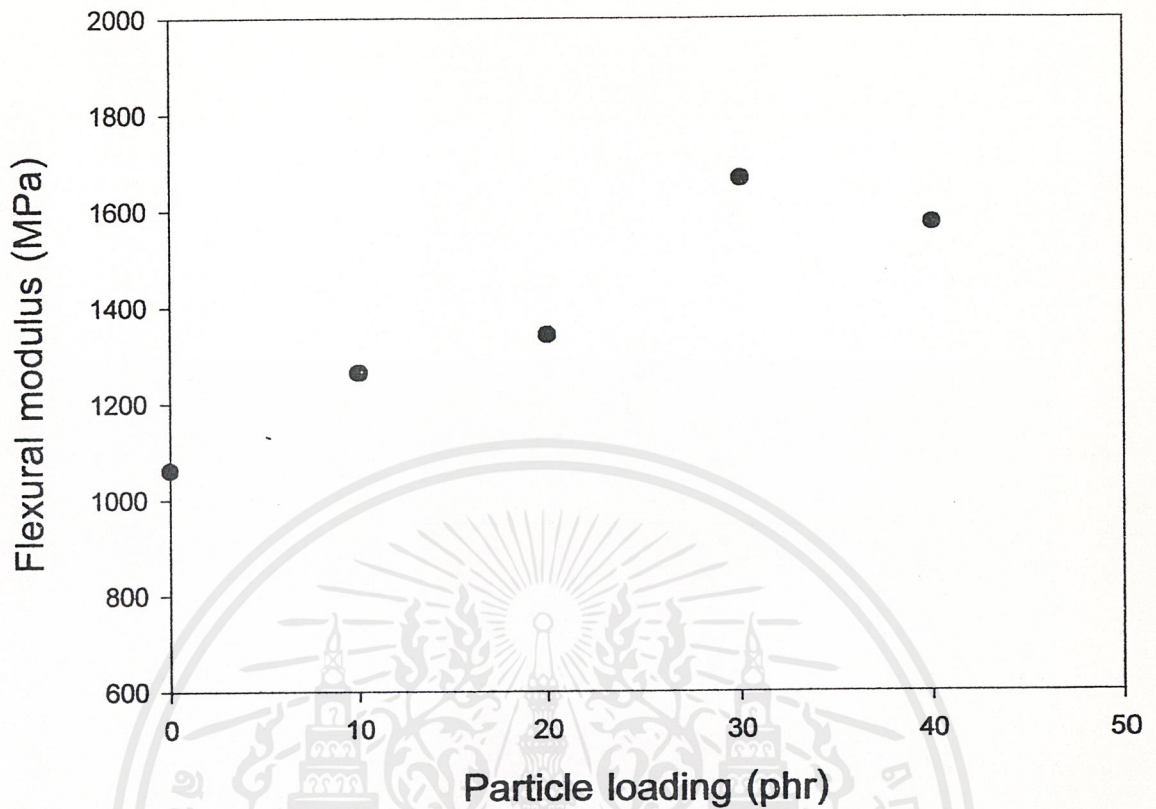


รูปที่ 4.15 ค่าความแข็งกด (Shore D) ของวัสดุผสมพีทีกับผงหญาแฝกเมื่อทำการเพิ่มปริมาณผงหญาแฝกในปริมาณ 10 20 30 และ 40 phr ขนาด 20-50 mesh และปริมาณ (MAPP) 3% โดยน้ำหนักผงหญาแฝก



รูปที่ 4.16 ค่าความแข็งแรงโค้งงอของวัสดุผสมพีพีกับผงหญาแฝกเมื่อทำการเพิ่มปริมาณผงหญาแฝกในปริมาณ 10 20 30 และ 40 phr ขนาด 20-50 mesh และปริมาณ (MAPP) 3 % โดยน้ำหนักผงหญาแฝก

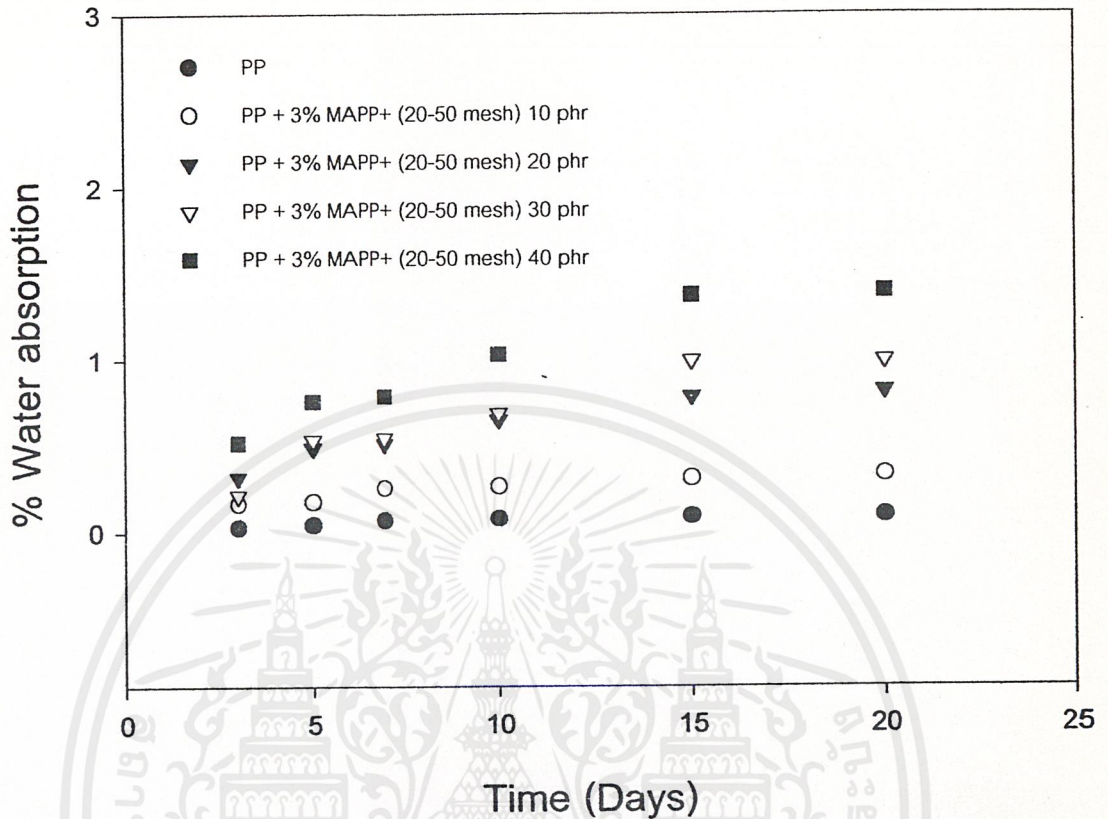
จากรูปที่ 4.16 จะเห็นได้ว่า เมื่อเพิ่มปริมาณผงหญาแฝกค่าความแข็งแรงโค้งงอเพิ่มขึ้น ซึ่งค่าความแข็งแรงโค้งงอ (Flexural strength) และค่ามอดุลัสโค้งงอ (Flexural modulus) เป็นการทดสอบหาค่าความแข็งแรงยึดเกาะที่อินเตอร์เฟส (Evaluation of interfacial bonding) ระหว่างพีพี และผงหญาแฝก จากรูปที่ 4.16 และ 4.17 พบว่า ที่ 30 phr ค่าความแข็งแรงโค้งงอ และค่ามอดุลัสโค้งงอมีค่าสูงที่สุด แต่เมื่อเติมปริมาณเส้นใยเพิ่มขึ้น (40 phr) ค่าความแข็งแรงโค้งงอ และค่ามอดุลัสโค้งงอลดลง เนื่องจากผงหญาแฝกมีการกระจายตัวไม่ดี ทำให้ผงหญาแฝกไม่ยึดติดกับพีพี ดังนั้นปริมาณผงหญาแฝกที่เหมาะสมคือ 30 phr ซึ่งผลการทดลองสอดคล้องกับผลข้างต้น



รูปที่ 4.17 ค่ามอดุลัสโค้งงอของวัสดุผสมที่พื้กับผงหญาแฝกเมื่อทำการเพิ่มปริมาณผงหญาแฝก ในปริมาณ 10 20 30 และ 40 phr ขนาด 20-50 mesh และปริมาณ (MAPP) 3 % โดยน้ำหนักผงหญาแฝก

จากรูปที่ 4.17 จะเห็นได้ว่า เมื่อทำการเพิ่มปริมาณผงหญาแฝก จะส่งผลให้สมบัติเชิงกลดีขึ้น เช่นค่าความแข็งแรงดึง ค่ามอดุลัส ค่าความแข็งแรงโค้งงอ แต่ผลที่ได้ก็ให้ค่าที่ใกล้เคียงกัน เนื่องมาจากผงหญาที่เติมลงไปทำหน้าที่เป็นสารตัวเติมที่ไม่เสริมแรง (Non-reinforcing fillers) เป็นสารเพิ่มเนื้อ และสารช่วยปรับปรุงสมบัติเชิงกลเพียงเล็กน้อย

4.1.2.2 การศึกษาสมบัติทางกายภาพ

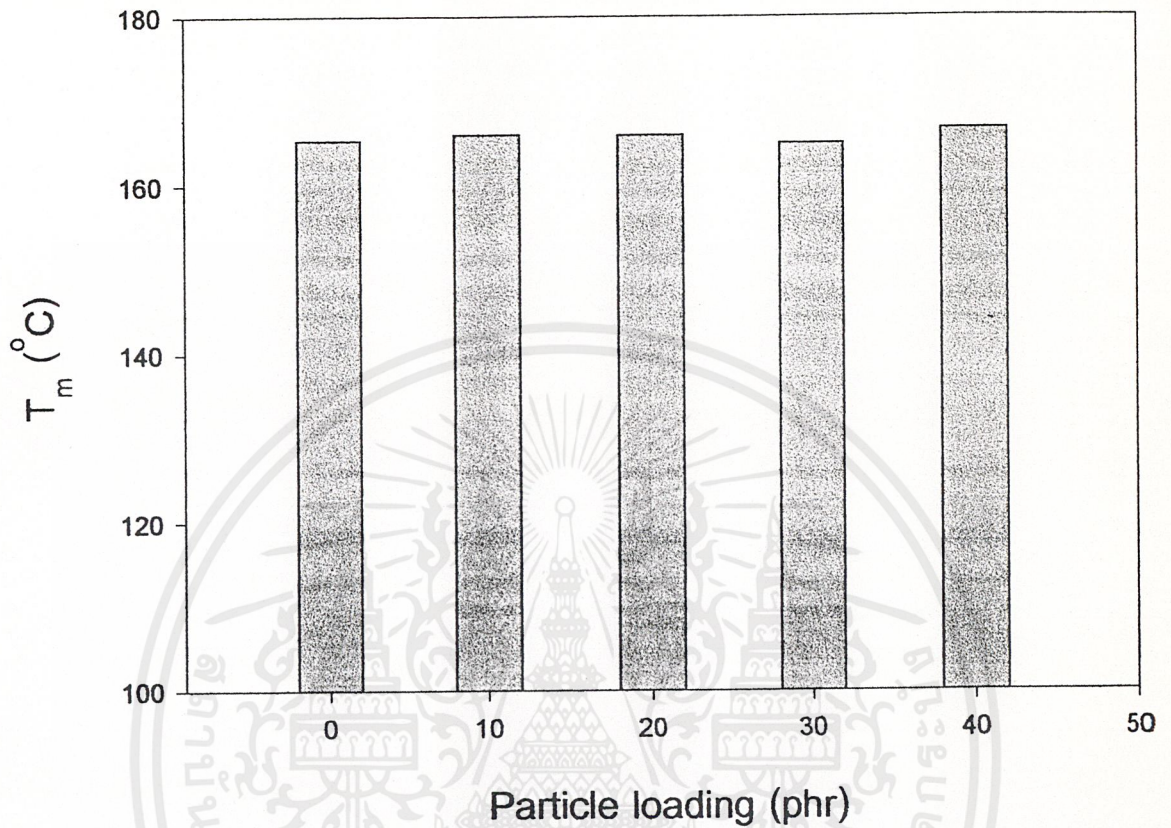


รูปที่ 4.18 ค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำของวัสดุผสมพีทีกับผงหญา่แฝกเมื่อทำการเพิ่มปริมาณผงหญา่แฝกในปริมาณ 10 20 30 และ 40 phr ขนาด 20-50 mesh และปริมาณ (MAPP) 3 % โดยน้ำหนักผงหญา่แฝก

จากรูปที่ 4.18 จะเห็นได้ว่า การดูดซับน้ำของวัสดุพีทีผสมผงหญา่แฝกมีค่าเพิ่มอย่างรวดเร็วในช่วงแรก แต่มีแนวโน้มที่จะคงที่เมื่อเวลาผ่านไป เมื่อเติมผงหญา่แฝกลงไปในพีทีจะทำให้ค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำมีค่าเพิ่มขึ้นประมาณ 1% และเมื่อทำการเพิ่มปริมาณผงหญา่แฝกทำให้ค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำเพิ่มขึ้น เนื่องจากผงหญา่แฝกมีองค์ประกอบหลักเป็นเซลลูโลส ซึ่งมีหมู่ไฮดรอกซีจำนวนมาก ทำให้พื้นผิวเส้นใยมีขั้วซึ่งทำให้ดูดซับน้ำได้ดี และเมื่อเพิ่มปริมาณผงหญา่แฝกในคอมโพสิตทำให้คอมโพสิตมีหมู่ที่เป็นขั้วมากขึ้น ค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำจึงเพิ่มขึ้น

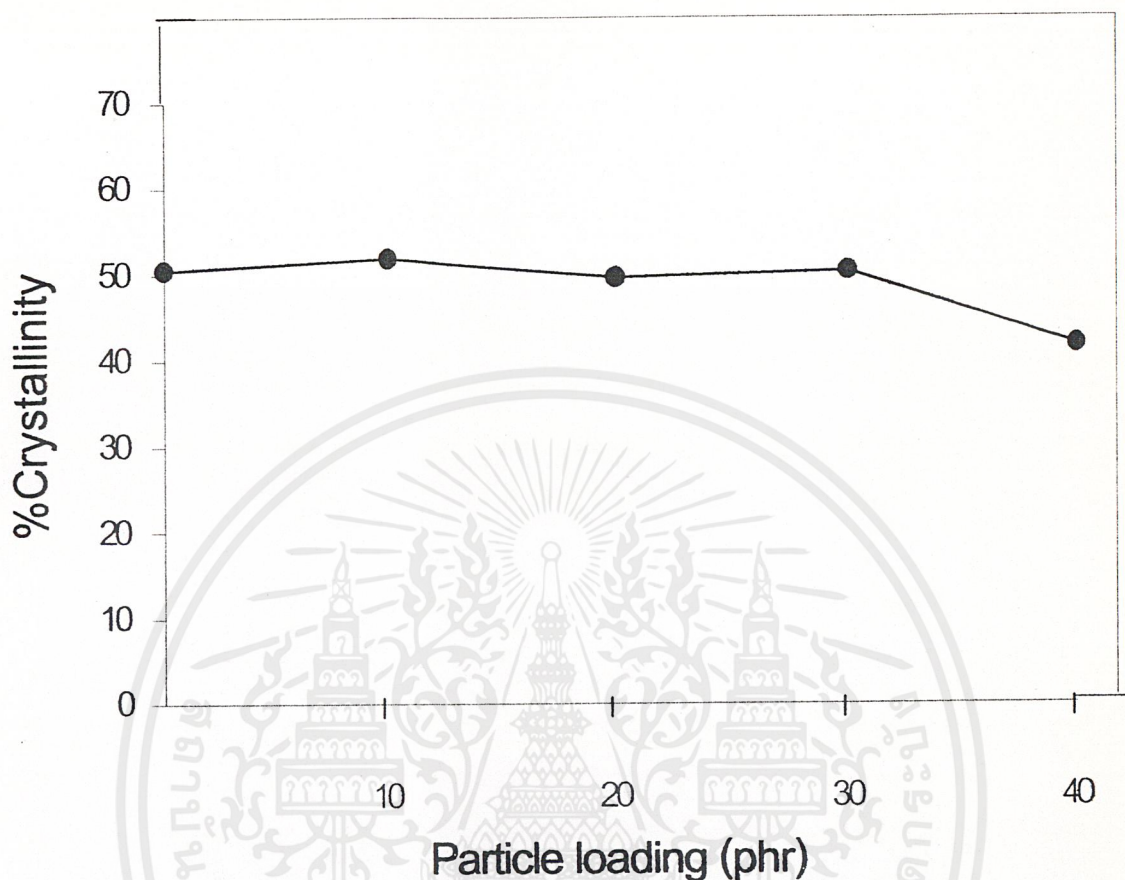
4.1.2.3 การศึกษาสมบัติทางความร้อน

4.1.2.3.1 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของค่าอุณหภูมิของการหลอมเหลวผลึก



รูปที่ 4.19 ค่าอุณหภูมิของการหลอมเหลวผลึกของวัสดุผสมที่พิกัดผงงู้าแฝกเมื่อทำการเพิ่มปริมาณผงงู้าแฝกในปริมาณ 10 20 30 และ 40 phr ขนาด 20-50 mesh และปริมาณ (MAPP) 3 % โดยน้ำหนักผงงู้าแฝก

4.1.2.3.2 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงขององศาความเป็นผลึก



รูปที่ 4.20 ค่าองศาความเป็นผลึกของวัสดุผสมพีพีกับผงหญา่แฝกเมื่อทำการเพิ่มปริมาณผงหญา่แฝกในปริมาณ 10 20 30 และ 40 phr ขนาด 20-50 mesh และปริมาณ (MAPP) 3 % โดยน้ำหนักผงหญา่แฝก

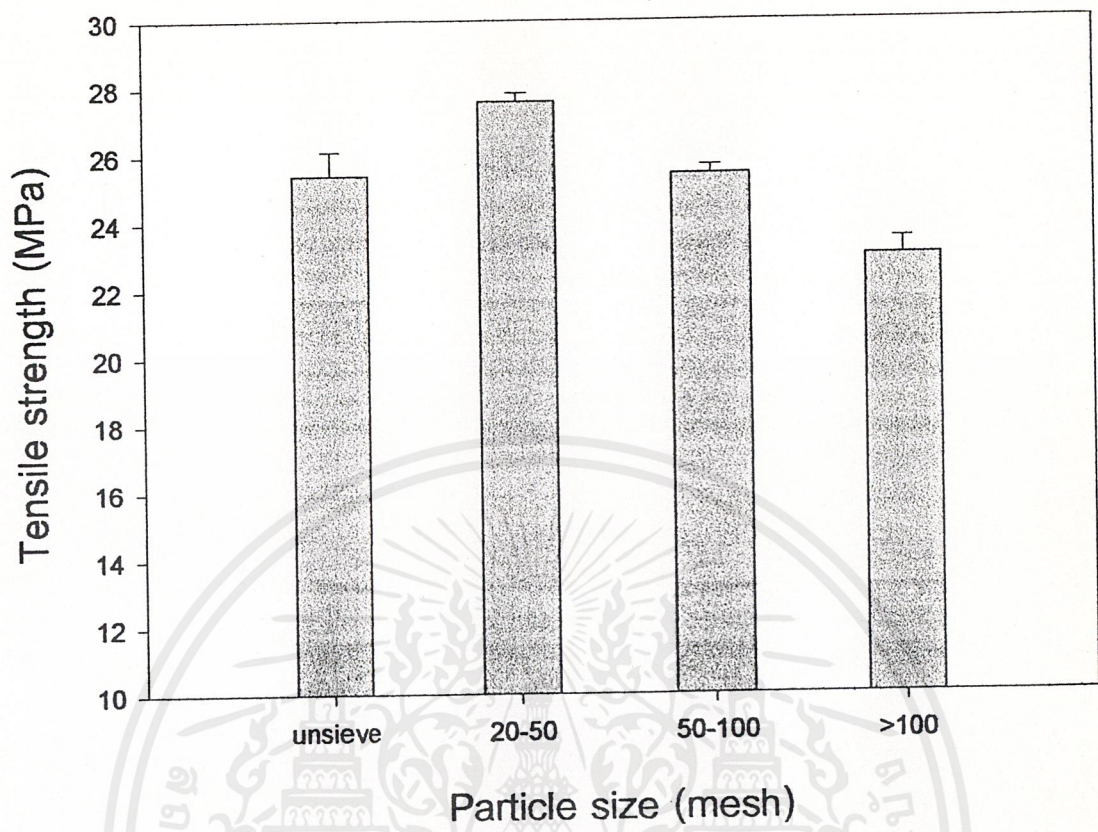
จากรูปที่ 4.19 และ 4.20 จะเห็นได้ว่า ค่าอุณหภูมิการหลอมเหลวผลึก (T_m) มีค่าใกล้เคียงกัน โดยที่องศาความเป็นผลึกของพีพีเมตริกซ์เปลี่ยนแปลงเล็กน้อย แต่เมื่อปริมาณผงหญา่แฝกเพิ่มขึ้น องศาความเป็นผลึกมีค่าลดลง เนื่องจากเมื่อเพิ่มปริมาณผงหญา่แฝก ทำให้เกิดการกระจายตัวของพอลิพรอพิลีนกับผงหญา่แฝก ซึ่งเป็นการขัดขวางการจัดเรียงตัวของผลึก รวมทั้งทำให้ความหนืดของผสมเพิ่มขึ้น ทำให้เกิดการตกผลึกน้อยลงและมืองศาความเป็นผลึกน้อยลง อาจกล่าวได้ว่าผงหญา่แฝกไม่ได้ทำหน้าที่เป็นสารก่อผลึก (Non nucleating agent) ช่วยให้พีพีเมตริกซ์เกิดขึ้นแต่อย่างใด

4.1.3 การศึกษาสมบัติของวัสดุพีพีผสมผงหญ้าแฝกเมื่อทำการเปลี่ยนแปลงขนาดผงหญ้าแฝก

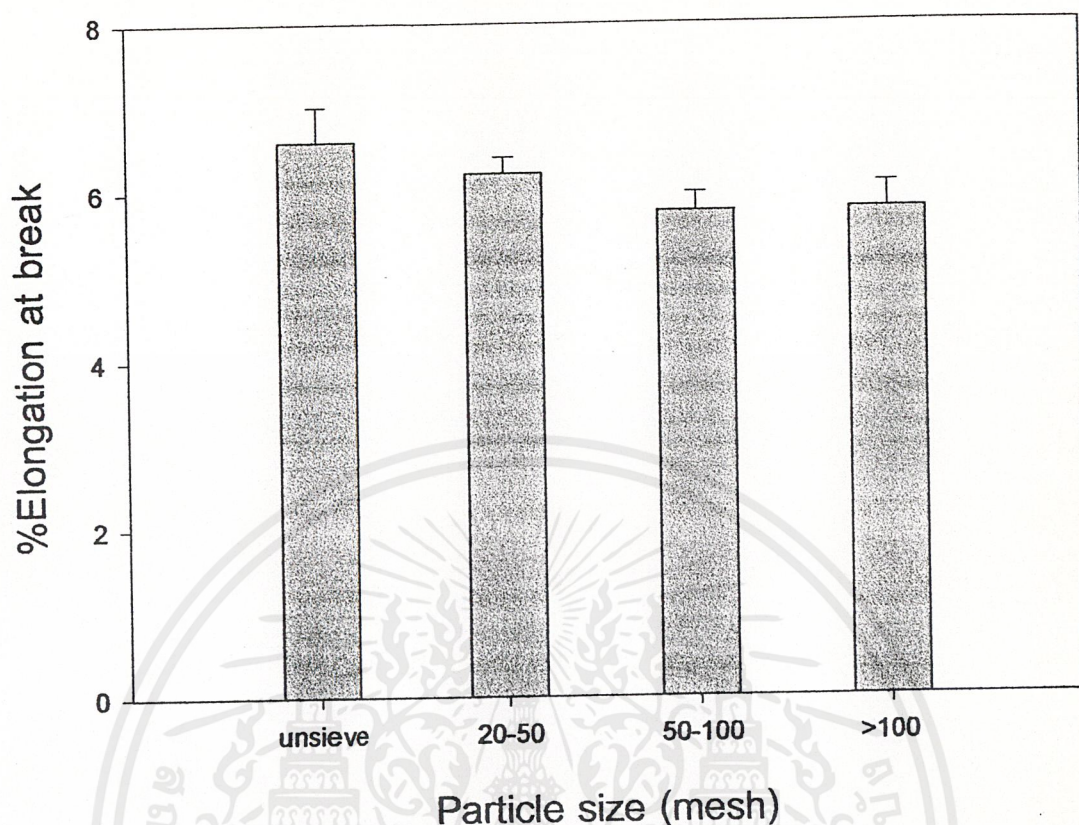
การศึกษาลักษณะความยาวของผงหญ้าแฝกที่เหมาะสม ได้ทำการศึกษขนาดของผงหญ้าแฝกที่มีขนาดต่างๆ กัน คือ ผงหญ้าแฝกที่ไม่ได้ทำการแยกขนาด ผงหญ้าแฝกที่มีขนาด 20-50 mesh ผงหญ้าแฝกที่มีขนาด 50-100 mesh และผงหญ้าแฝกที่มีขนาด >100 mesh

4.1.3.1 การศึกษาสมบัติเชิงกล

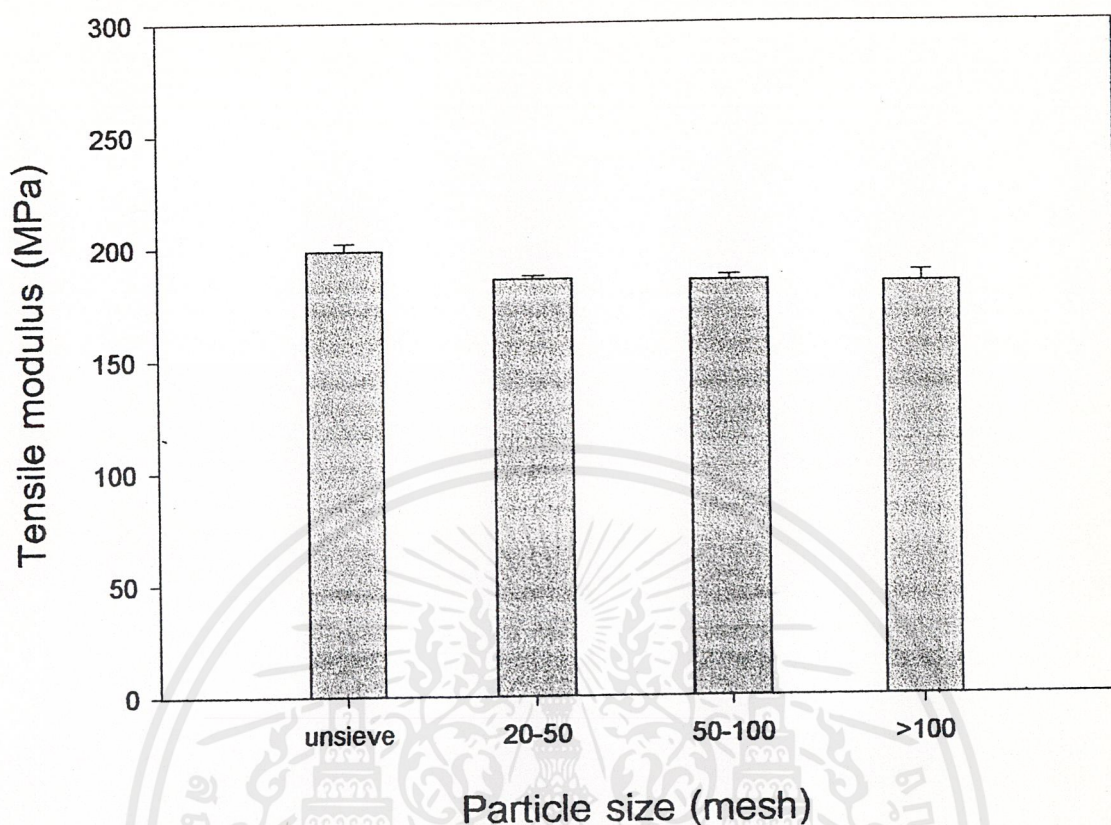
จากรูปที่ 4.21-4.25 แสดงผลเมื่อทำการเปลี่ยนขนาดของผงหญ้าแฝก ที่มีต่อสมบัติเชิงกลของวัสดุผสมพีพีกับผงหญ้าแฝก ได้แก่ ความแข็งแรงดึง (Tensile strength) เปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาด (% Elongation at break) มอดุลัส (Tensile modulus) ความแข็งแรงกระแทก (Impact strength) ความแข็งกด (Hardness) พบว่าขนาดของผงหญ้าแฝกที่มีขนาดยาว 20-50 mesh (200-500 micron) ช่วยปรับปรุงสมบัติโดยรวมให้ดีขึ้นเพียงเล็กน้อย เช่น ค่าความแข็งแรงดึง เปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาด มอดุลัส ความแข็งแรงกระแทก ความแข็งกด เนื่องจาก ขนาดของผงหญ้าแฝกที่มีขนาดยาว ช่วยปรับปรุงสมบัติเชิงกล แต่ขนาดผงหญ้าแฝก 50-100 mesh และมากกว่า 100 mesh จะมีขนาดเล็กมาก ทำให้รับแรงได้น้อย เป็นที่ทราบกันดี ว่าสารตัวเติมที่มีอนุภาคขนาดเล็กจะมีปัญหาในการผสม เนื่องจากมีพื้นที่ผิวสัมผัสสูง จึงยากในการทำให้เกิดการกระจายตัวของสารตัวเติมในพอลิเมอร์ยิ่งอนุภาคมีขนาดเล็กมาก การกระจายยิ่งทำได้ยาก ทำให้เกิดปัญหาการรวมเป็นกลุ่มก้อนขนาดใหญ่ มีช่องว่างหรือตำหนิ อยู่ภายใน ซึ่งก่อให้เกิดการเสียหาย นั่นคือ จะมีสมบัติเชิงกลที่ต่ำ แต่อย่างไรก็ดีค่าที่ได้จากการทดลองมีค่าใกล้เคียงกัน เนื่องจากผงหญ้าแฝกที่เตรียมด้วยวิธีการเชิงกล มีความยาวต่อเส้นผ่านศูนย์กลาง (L/D ratio) ที่ต่ำ จึงทำหน้าที่เป็นสารเพิ่มเนื้อที่ไม่เสริมแรง ค่าที่ได้จึงไม่แตกต่างกันมากนัก



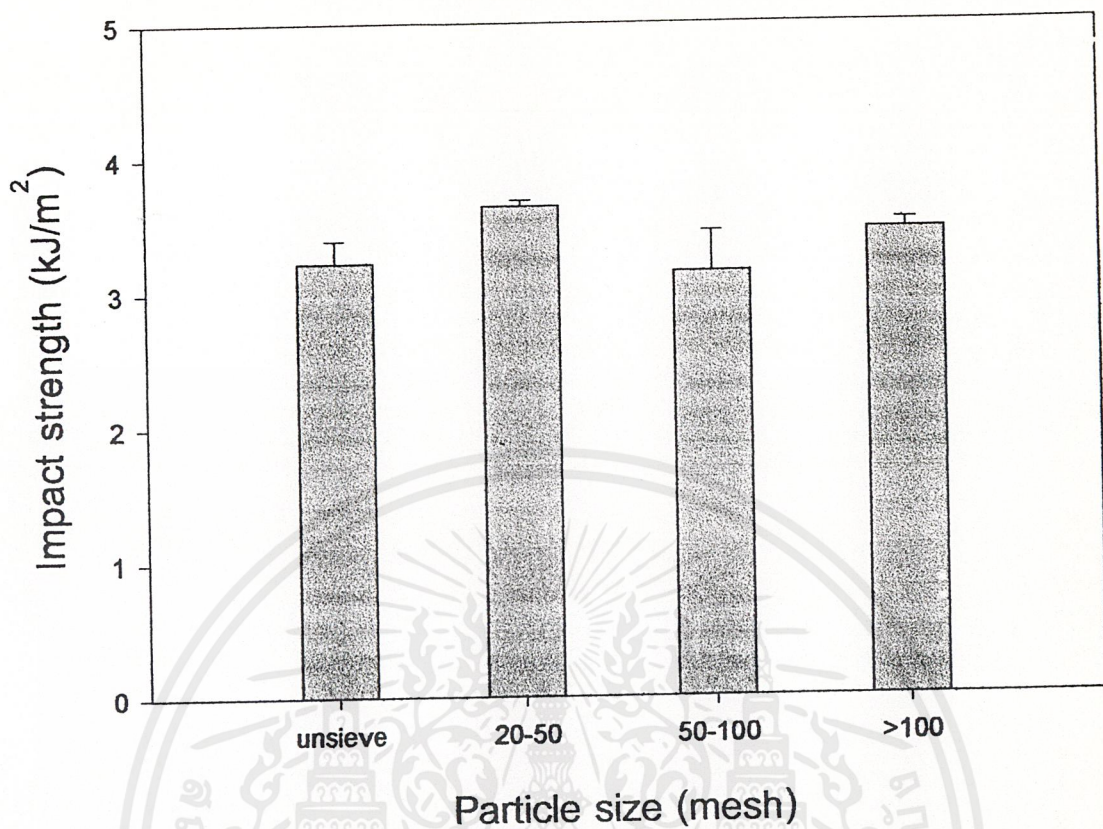
รูปที่ 4.21 ค่าความแข็งแรงดึงของวัสดุผสมที่พืกับผงหญาแฝกที่เตรียมจากผงหญาแฝกในปริมาณ 30 phr เมื่อทำการเปลี่ยนขนาดผงหญาแฝก 20-50 mesh 50-100 mesh มากกว่า 100 mesh และ ไม่แยกขนาด



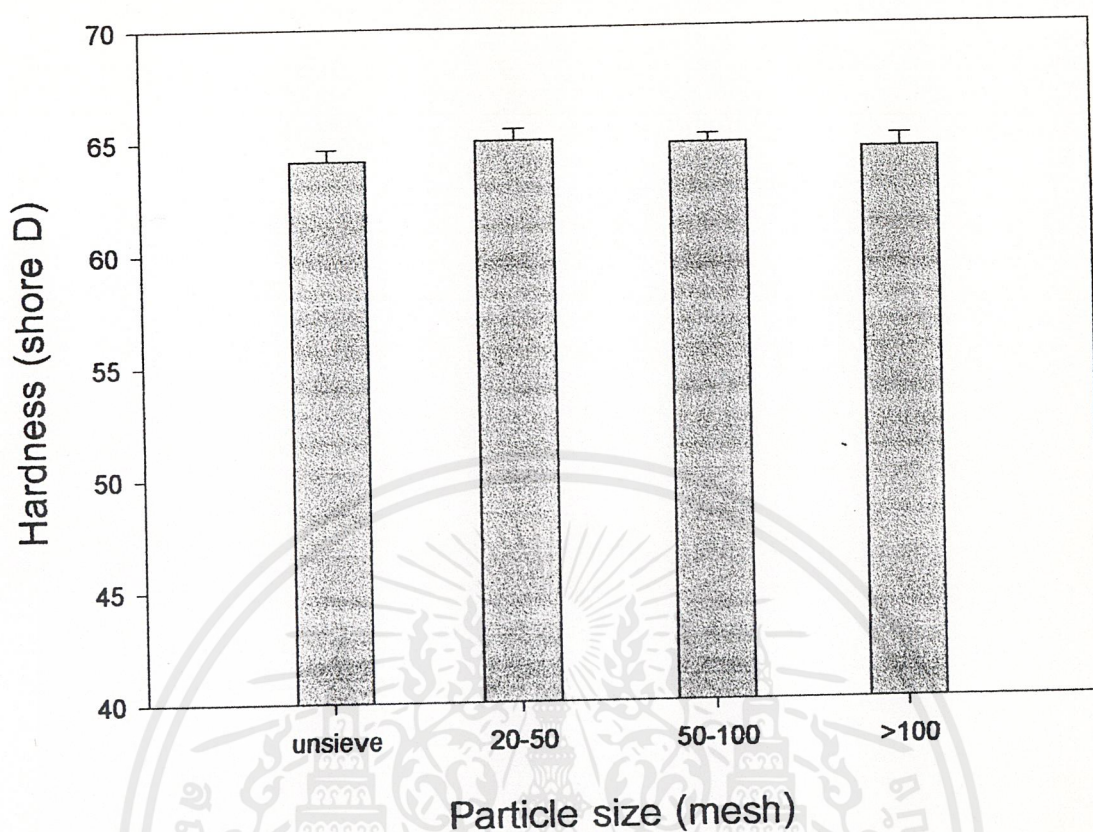
รูปที่ 4.22 ค่าเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาดของวัสดุผสมพีทีกับผงหญ้าแฝกที่เตรียมจากผงหญ้าแฝกในปริมาณ 30 pnr เมื่อทำการเปลี่ยนขนาดผงหญ้าแฝก 20-50 mesh 50-100 mesh มากกว่า 100 mesh และ ไม่แยกขนาด



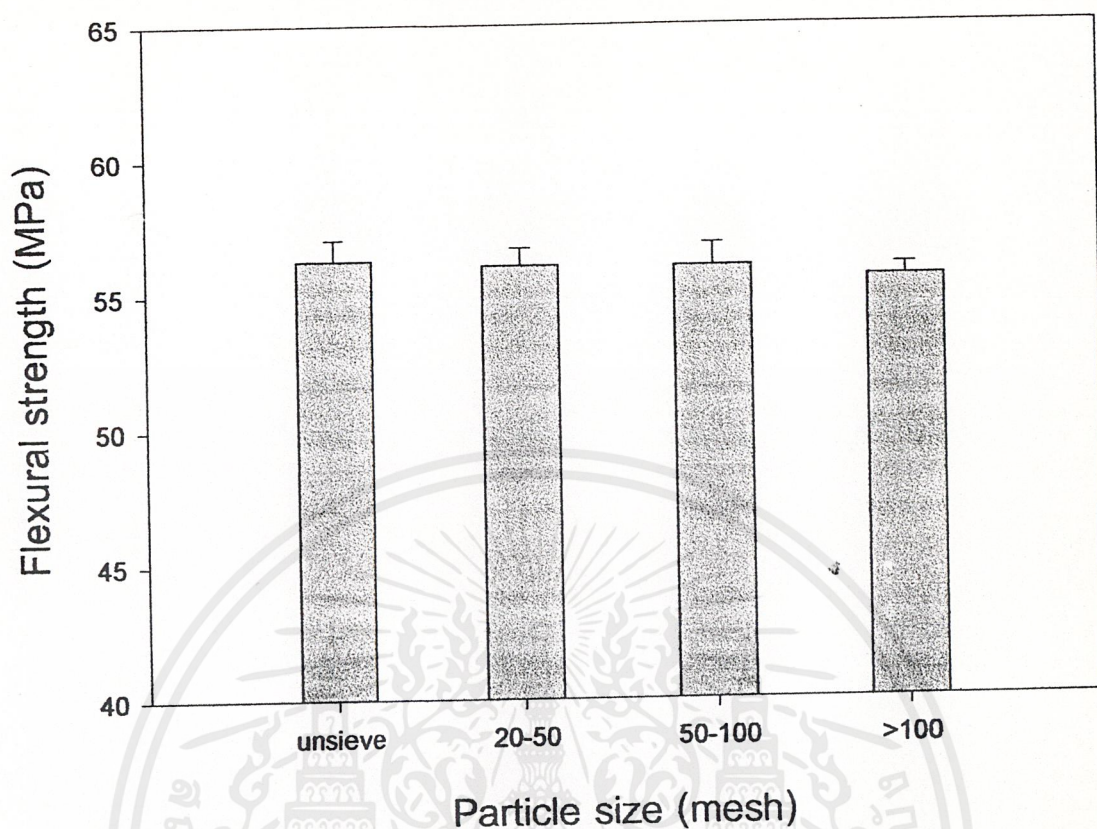
รูปที่ 4.23 ค่ามอดุลัสของวัสดุผสมที่พื้กับผงหญาแฝกที่เตรียมจากผงหญาแฝกในปริมาณ 30 phr เมื่อทำการเปลี่ยนขนาดผงหญาแฝก 20-50 mesh 50-100 mesh มากกว่า 100 mesh และ ไม่แยกขนาด



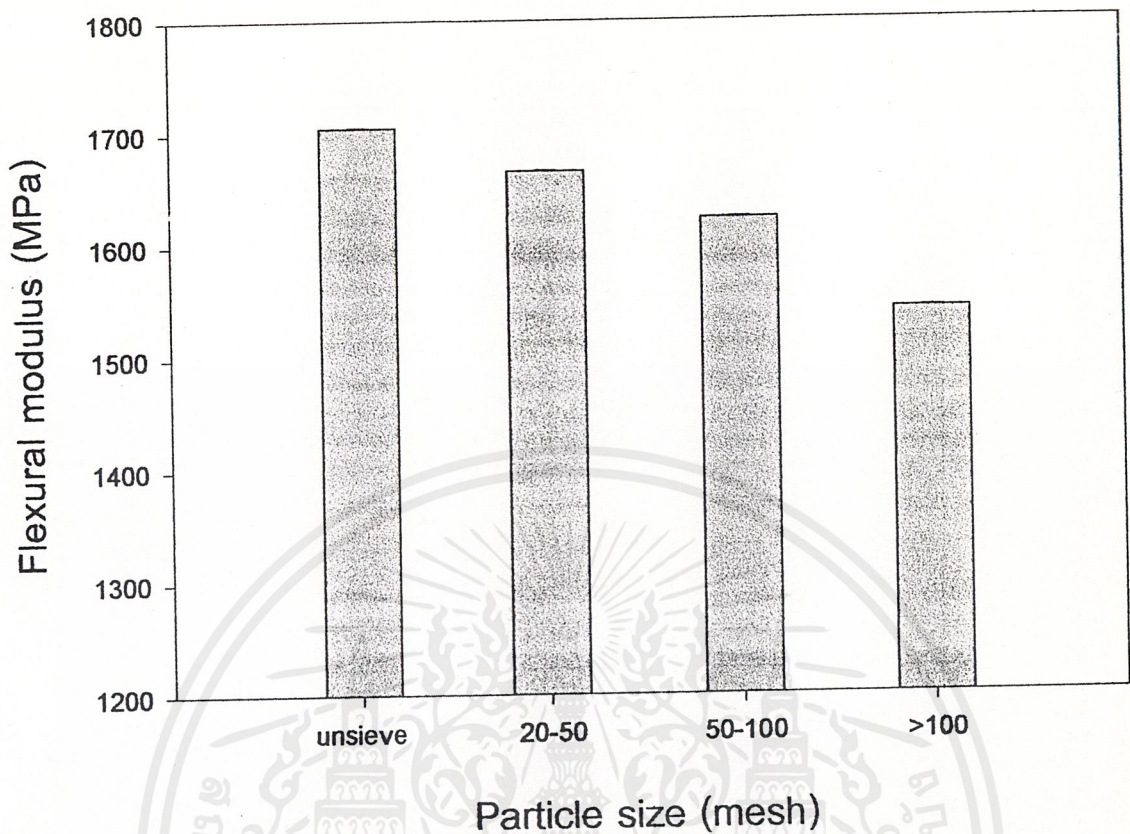
รูปที่ 4.24 ค่าความแข็งแรงกระแทกของวัสดุผสมที่พืกับผงหญาแฝกที่เตรียมจากผงหญาแฝก ในปริมาณ 30 phr เมื่อทำการเปลี่ยนขนาดผงหญาแฝก 20-50 mesh 50-100 mesh มากกว่า 100 mesh และ ไม่แยกขนาด



รูปที่ 4.25 ค่าความแข็งกดของวัสดุผสมที่พื้กับผงหญาแฝกที่เตรียมจากผงหญาแฝกในปริมาณ 30 phr เมื่อทำการเปลี่ยนขนาดผงหญาแฝก 20-50 mesh 50-100 mesh มากกว่า 100 mesh และ ไม่แยกขนาด



รูปที่ 4.26 ค่าความแข็งแรงโค้งของวัสดุผสมพีพีกับผงหญาแฝกที่เตรียมจากผงหญาแฝกใน ปริมาณ 30 phr เมื่อทำการเปลี่ยนขนาดผงหญาแฝก 20-50 mesh 50-100 mesh มากกว่า 100 mesh และ ไม่แยกขนาด

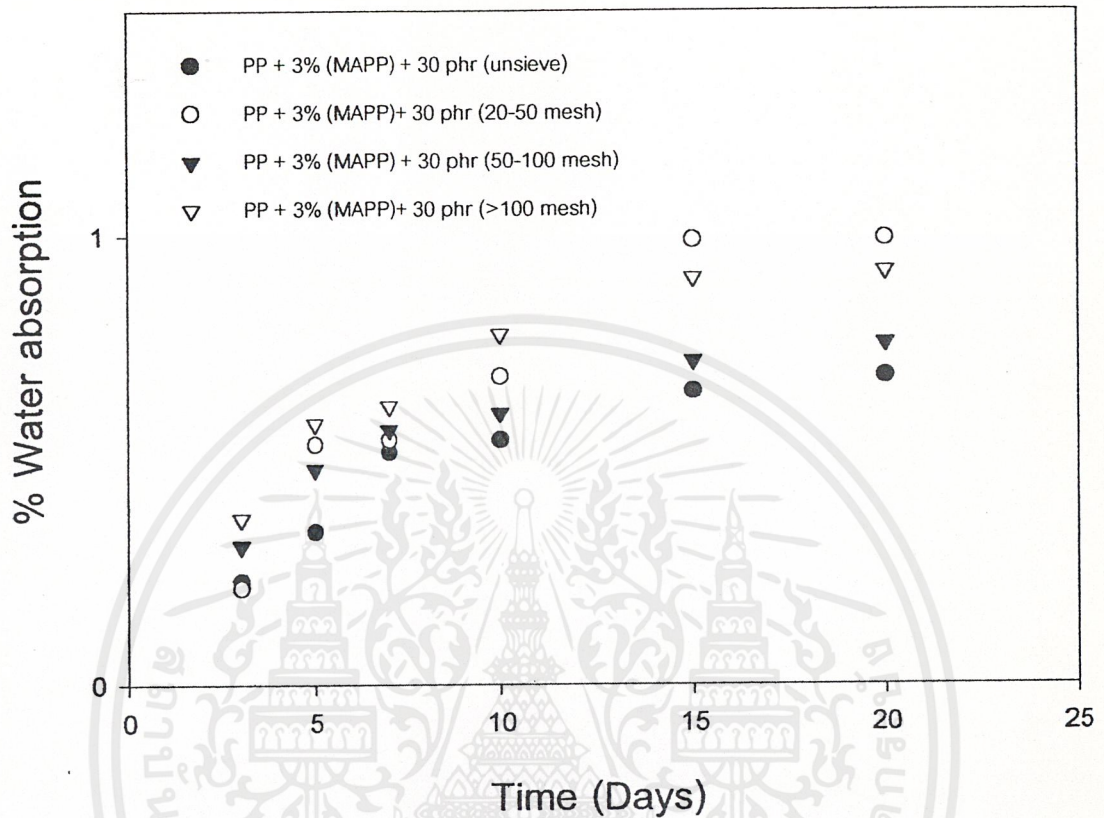


รูปที่ 4.27 ค่ามอดุลัสโค้งงอของวัสดุผสมพีทีกับผงหญาแฝกที่เตรียมจากผงหญาแฝกในปริมาณ 30 phr เมื่อทำการเปลี่ยนขนาดผงหญาแฝก 20-50 mesh 50-100 mesh มากกว่า 100 mesh และ ไม่แยกขนาด

จากรูปที่ 4.26 และ 4.27 จะเห็นได้ว่าความแข็งแรงโค้งงอ และค่ามอดุลัสโค้งงอ ของวัสดุผสมพีทีกับผงหญาแฝก เมื่อทำการเปลี่ยนขนาดผงหญาแฝกมีค่าไม่แตกต่างกันมากนัก แต่ผงหญาแฝกที่มีขนาดความยาว 20-50 mesh จะมีพื้นที่ผิวสัมผัสต่อเนื้อมากกว่า ทำให้ความแข็งแรงยึดเกาะระหว่างวัฏภาคของพีทีกับผงหญาแฝกมีมากขึ้น ค่ามอดุลัสโค้งงอของวัสดุผสมพีทีกับผงหญาแฝกที่มีขนาดยาวจึงมีค่าสูงกว่าผงหญาแฝกที่มีขนาดสั้น ดังนั้นความยาวของผงหญาแฝกที่ให้ค่าความแข็งแรงโค้งงอ และค่ามอดุลัสโค้งงอมากที่สุดคือ 20-50 mesh

4.1.3.2 สมบัติทางกายภาพ

4.1.3.2.1 ศึกษาสมบัติการดูดซับน้ำ

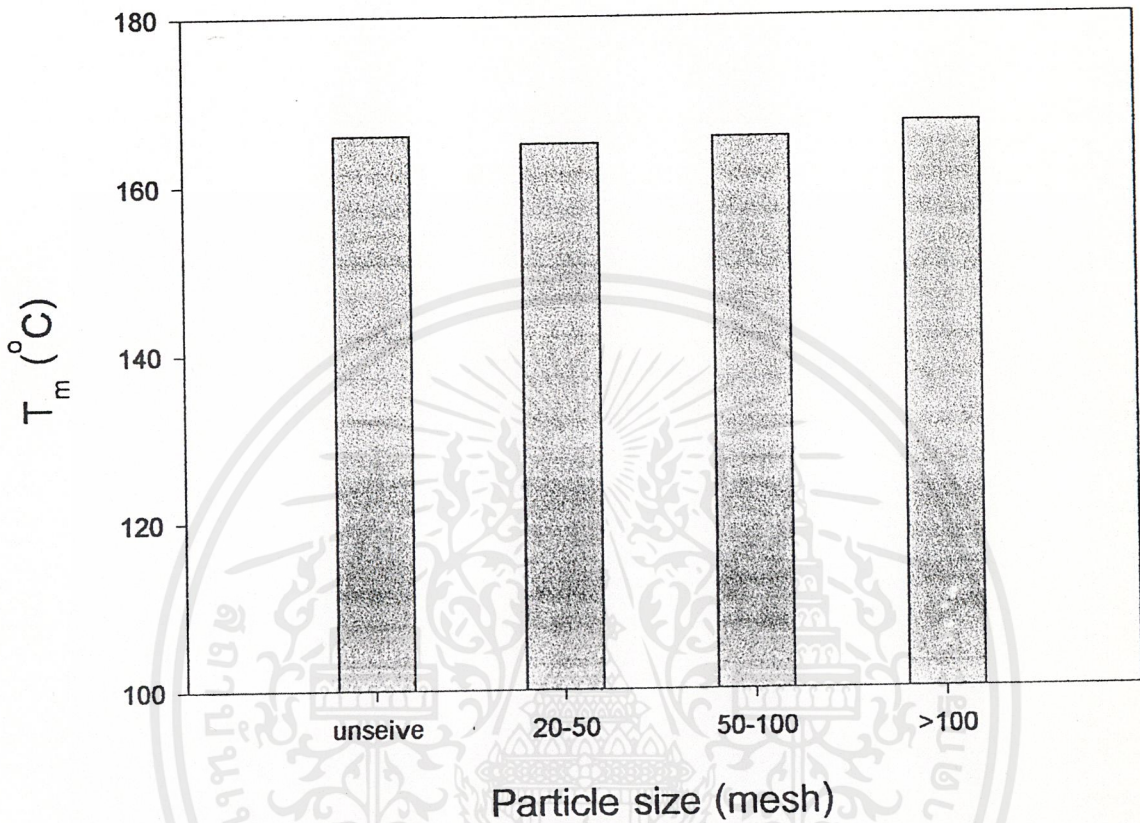


รูปที่ 4.28 ค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำของวัสดุผสมพีพีกับผงหญาแฝกที่เตรียมจากผงหญาแฝก ในปริมาณ 30 phr เมื่อทำการเปลี่ยนขนาดผงหญาแฝก 20-50 mesh 50-100 mesh มากกว่า 100 mesh และ ไม่แยกขนาด

จากรูปที่ 4.28 จะเห็นได้ว่า ค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำของทุกขนาดของผงหญาแฝกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เนื่องจากโครงสร้างของผงหญาแฝกเป็นเซลล์รูโลสที่มีหมู่ไฮดรอกซีเป็นองค์ประกอบ ซึ่งมีขั้วทำให้ดูดซับน้ำได้ดี แต่ค่าการดูดซับน้ำของผงหญาแฝกที่มีขนาดเล็กมีแนวโน้มที่จะเกิดการดูดซับน้ำมากกว่าผงหญาแฝกขนาดใหญ่และไม่แยกขนาด ทั้งนี้เนื่องจากผงหญาแฝกขนาดเล็กมีพื้นที่ผิวมากกว่า ทำให้เกิดโอกาสหรือบริเวณผิวสัมผัสกับน้ำหรือสิ่งแวดล้อมมากกว่า ทำให้ค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำที่มากกว่า

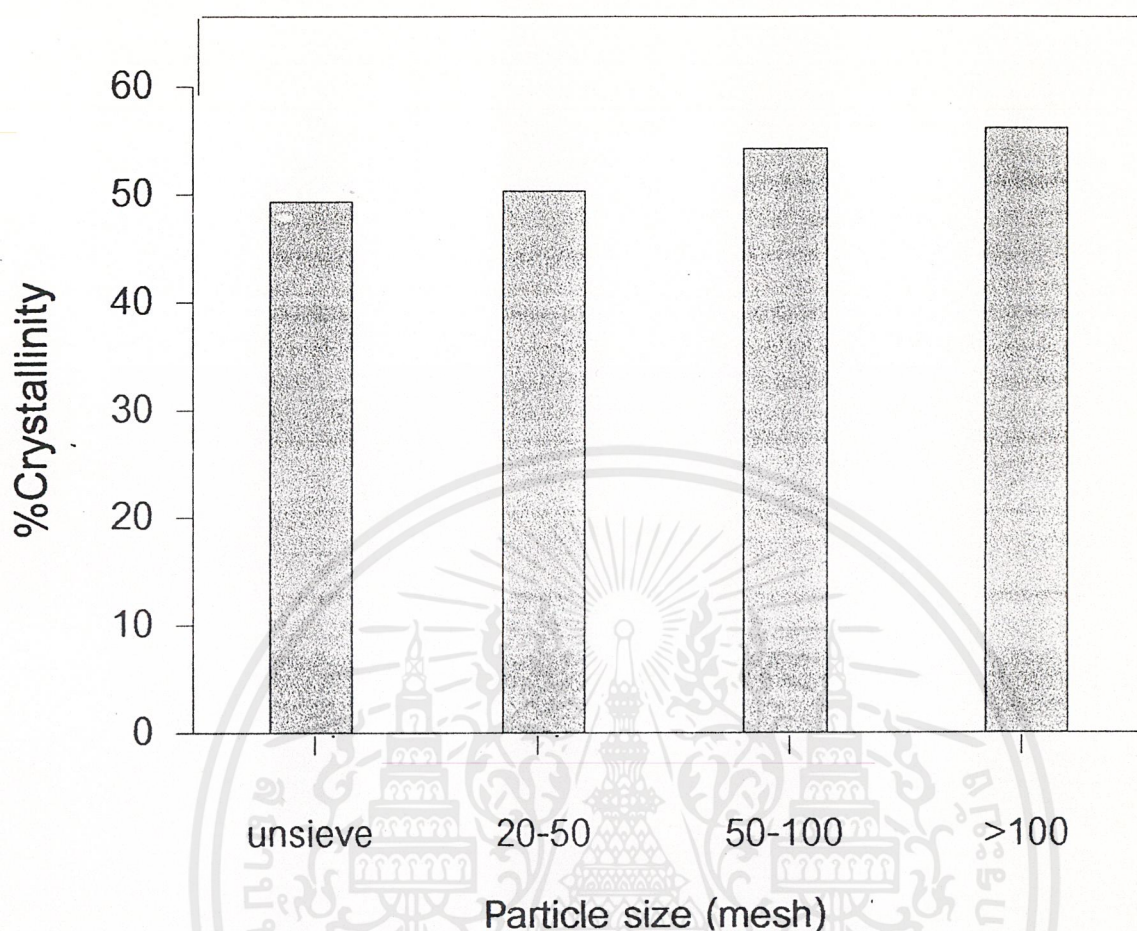
4.1.3.3 สมบัติทางความร้อน

4.1.3.3.1 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิหลอมเหลวผลึก



รูปที่ 4.29 ค่าอุณหภูมิหลอมเหลวผลึกของวัสดุผสมที่พิกัดผงหญาแฝกที่เตรียมจากผงหญาแฝก ในปริมาณ 30 phr เมื่อทำการเปลี่ยนขนาดผงหญาแฝก 20-50 mesh 50-100 mesh มากกว่า 100 mesh และ ไม่แยกขนาด

จากรูปที่ 4.29 จะเห็นได้ว่า ค่าอุณหภูมิการหลอมเหลวผลึก (T_m) มีค่าเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย แสดงว่าขนาดผงหญาแฝกมีผลเพียงเล็กน้อยต่อค่าอุณหภูมิการหลอมเหลวผลึก



รูปที่ 4.30 ค่าองค์ความเป็นผลึกของวัสดุผสมพีทีกับผงหญาแฝกที่เตรียมจากผงหญาแฝกในปริมาณ 30 phr เมื่อทำการเปลี่ยนขนาดผงหญาแฝก 20-50 mesh 50-100 mesh มากกว่า 100 mesh และ ไม่แยกขนาด

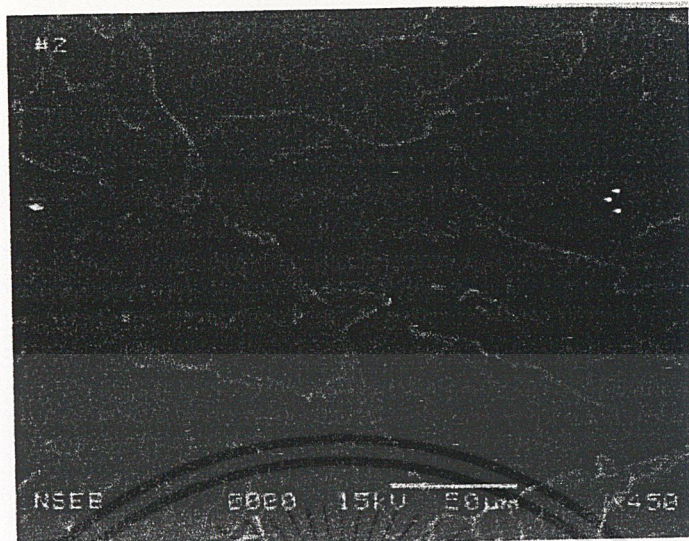
จากรูปที่ 4.30 จะเห็นได้ว่า เมื่อทำการเปลี่ยนขนาดผงหญาแฝก ค่าองค์ความเป็นผลึกของวัสดุผสมพีทีกับผงหญาแฝก ที่มีขนาดของผงหญาแฝก มากกว่า 100 mesh มีค่าองค์ความเป็นผลึกสูงที่สุด ส่วนผงหญาแฝกขนาด 20-50 mesh ให้ค่าองค์ความเป็นผลึกต่ำกว่า เนื่องจากมีขนาดที่ใหญ่เกินไป จนบางส่วนไปขัดขวางการจัดเรียงตัวในการเป็นผลึกของสายโซ่พอลิเมอร์

4.1.4 การศึกษาสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)

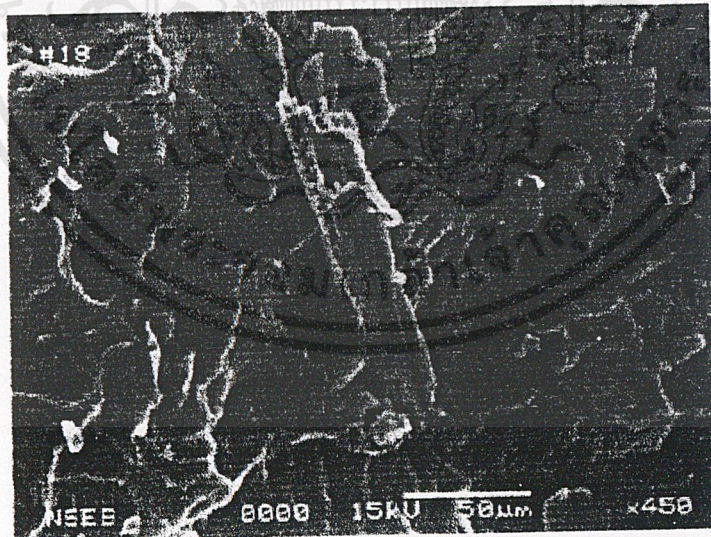
SEM เป็นการศึกษาสัณฐานวิทยาของพื้นผิวของวัสดุ โดยศึกษาพื้นผิวของชิ้นงานที่ได้จากการแตกหัก โดยใช้กำลังขยาย 450 เท่า

จากรูป SEM ที่ 4.31-4.39 แสดงสัณฐานวิทยาของผงหญ้าแฝกที่เตรียมด้วยวิธีเชิงกล หลังทำการขึ้นรูปเป็นวัสดุผสมพีพีกับผงหญ้าแฝก ทำการเตรียมตัวอย่าง โดยนำตัวอย่างไปแช่ใน อุณหภูมิต่ำโดยใช้ไนโตรเจนเหลว (Liquid nitrogen) แล้วทำการหักชิ้นงาน จากนั้นนำชิ้นงานไปเคลือบทอง และนำเข้าเครื่อง SEM โดยใช้กำลังขยาย 450 เท่า พบว่า จากสัณฐานวิทยาที่พบไม่สอดคล้องกับผลการทดสอบสมบัติเชิงกลข้างต้น



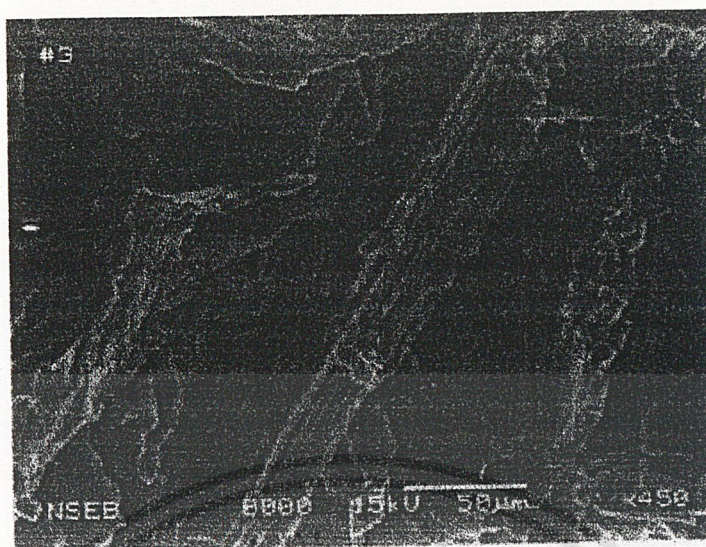


รูปที่ 4.31 รูป SEM แสดงสัณฐานวิทยาของฟิไฟจากการแตกหักที่อุณหภูมิต่ำกำลังขยาย 450 เท่า

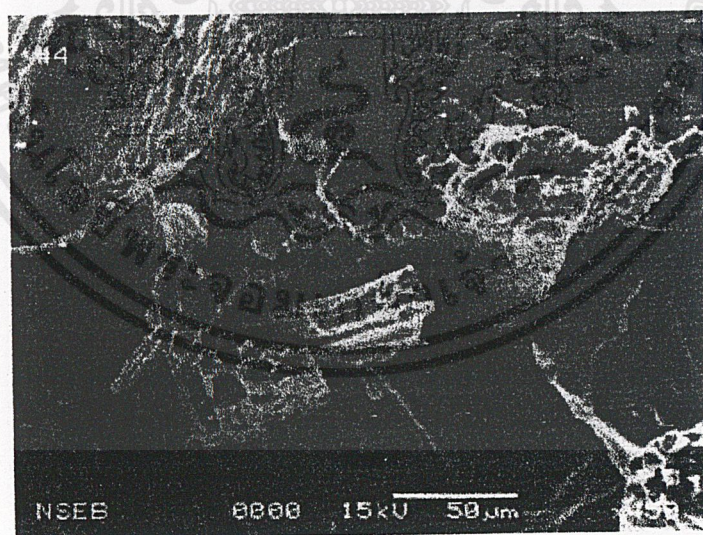


รูปที่ 4.32 รูป SEM แสดงสัณฐานวิทยาของวัสดุผสมฟิไฟกับผงหญาแฝกจากการแตกหักที่อุณหภูมิต่ำ กำลังขยาย 450 เท่า เมื่อผสมกับผงหญาแฝกปริมาณ 10 phr ขนาด 20-50 mesh และไม่มีการเติมสารช่วยผสม (MAPP)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

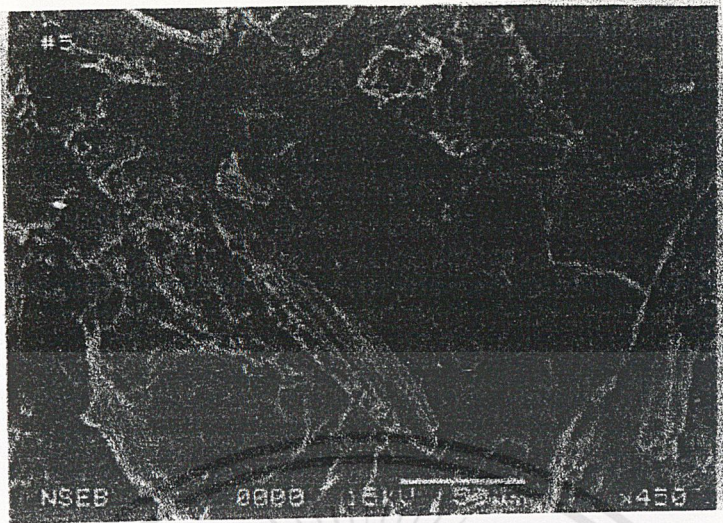


รูปที่ 4.33 รูป SEM แสดงสัณฐานวิทยาของวัสดุผสมพีทีกับผงหญาแฝกจากการแตกหักที่อุณหภูมิต่ำ กำลังขยาย 450 เท่า เมื่อผสมกับผงหญาแฝกปริมาณ 10 phr ขนาด 20-50 mesh และผสม MAPP 3 % โดยน้ำหนักของผงหญาแฝก

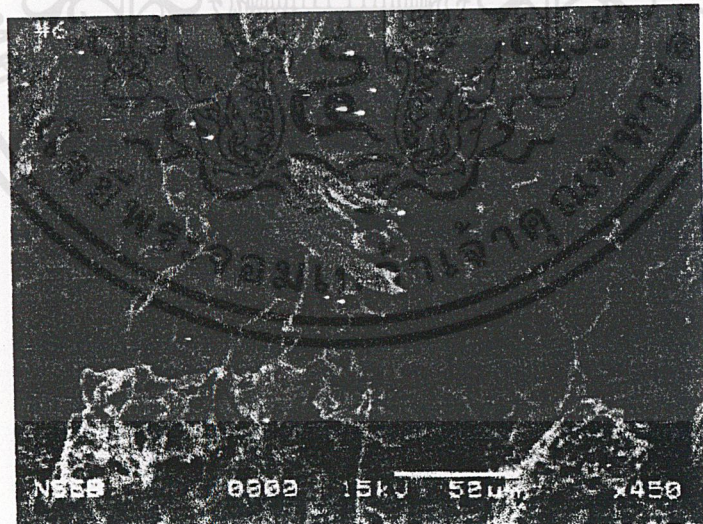


รูปที่ 4.34 รูป SEM แสดงสัณฐานวิทยาของวัสดุผสมพีทีกับผงหญาแฝกจากการแตกหักที่อุณหภูมิต่ำ กำลังขยาย 450 เท่า เมื่อผสมกับผงหญาแฝกปริมาณ 20 phr ขนาด 20-50 mesh และผสม MAPP 3 % โดยน้ำหนักของผงหญาแฝก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

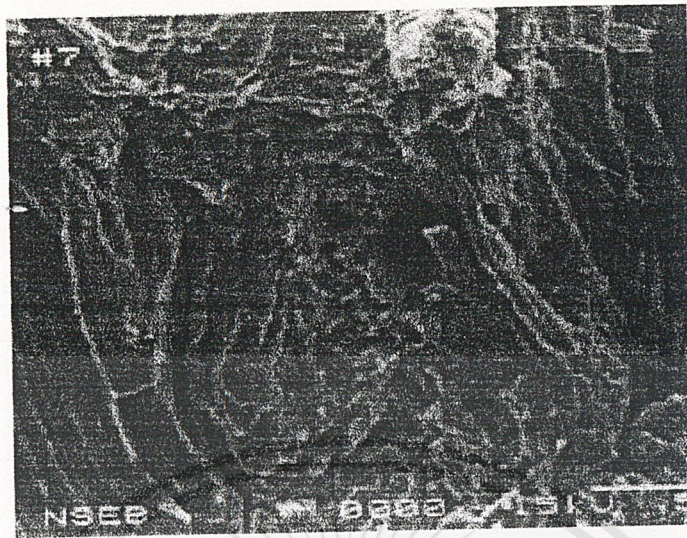


รูปที่ 4.35 รูป SEM แสดงลักษณะวิทยาของวัสดุผสมพีทีกับผงหญาแฝกจากการแตกหักที่อุณหภูมิต่ำ กำลังขยาย 450 เท่า เมื่อผสมกับผงหญาแฝกปริมาณ 30 phr ขนาด 20-50 mesh และผสม MAPP 3 % โดยน้ำหนักของผงหญาแฝก

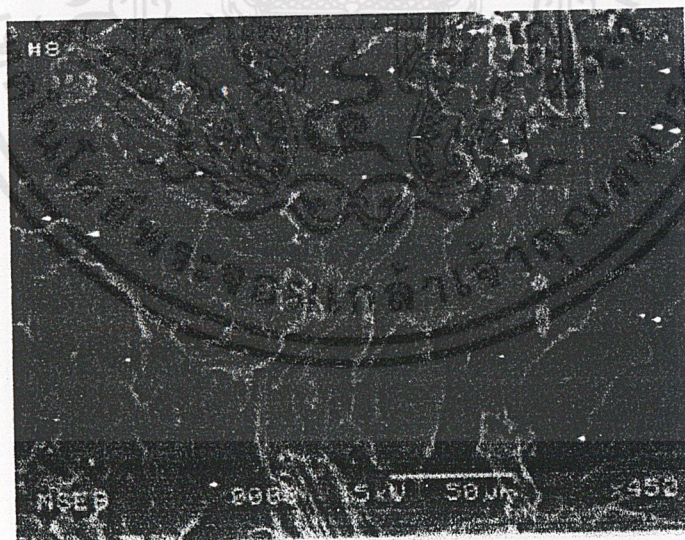


รูปที่ 4.36 รูป SEM แสดงลักษณะวิทยาของวัสดุผสมพีทีกับผงหญาแฝกจากการแตกหักที่อุณหภูมิต่ำ กำลังขยาย 450 เท่า เมื่อผสมกับผงหญาแฝกปริมาณ 40 phr ขนาด 20-50 mesh และผสม MAPP 3 % โดยน้ำหนักของผงหญาแฝก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

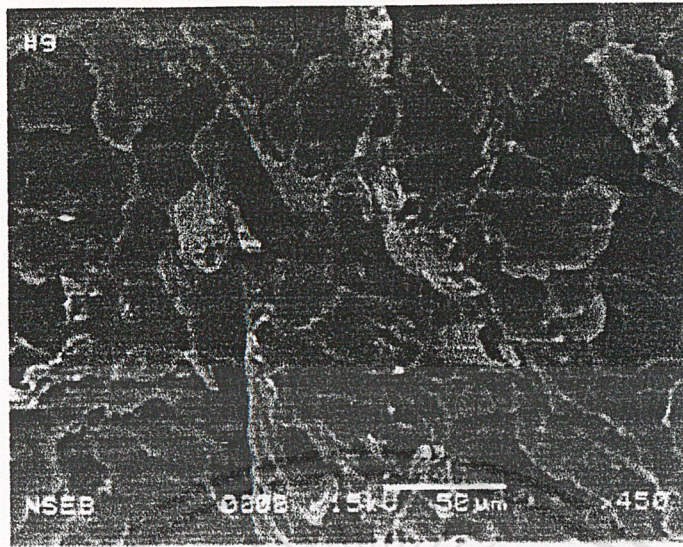


รูปที่ 4.37 รูป SEM แสดงสัณฐานวิทยาของวัสดุผสมพีทีกับผงฐ้ำาแฝกจากการแตกหักที่อุณหภูมิต่ำ กำลังขยาย 450 เท่า เมื่อผสมกับผงฐ้ำาแฝกที่ไม่แยกขนาด ปริมาณผงฐ้ำาแฝก 30 phr และผสม MAPP 3 % โดยน้ำหนักของผงฐ้ำาแฝก



รูปที่ 4.38 รูป SEM แสดงสัณฐานวิทยาของวัสดุผสมพีทีกับผงฐ้ำาแฝกจากการแตกหักที่อุณหภูมิต่ำ กำลังขยาย 450 เท่า เมื่อผสมกับผงฐ้ำาแฝกขนาด 50-100 mesh ปริมาณผงฐ้ำาแฝก 30 phr และผสม MAPP 3 % โดยน้ำหนักของผงฐ้ำาแฝก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.39 รูป SEM แสดงสัณฐานวิทยาของวัสดุผสมพีทีกับผงงู้าแฝกจากการแตกหักที่
อุณหภูมิต่ำ กำลังขยาย 450 เท่า เมื่อผสมกับผงงู้าแฝกขนาดมากกว่า 100 mesh
ปริมาณผงงู้าแฝก 30 phr และผสม MAPP 3 % โดยน้ำหนักของผงงู้าแฝก

4.2 การศึกษาพอลิเมอร์คอมโพสิตจากพีวีซีและเส้นใยหญ้าแฝก

4.2.1 การศึกษาสมบัติของพีวีซีคอมโพสิตเมื่อทำการเปลี่ยนแปลงปริมาณเส้นใยต่อปริมาณพอลิเมอร์

ในการศึกษาผลของปริมาณเส้นใยหญ้าแฝกที่เตรียมด้วยวิธีทางเคมีที่เหมาะสมที่สามารถเติมเข้าไปในพีวีซีคอมโพสิต ในปริมาณ 10 20 30 และ 40 phr โดยใช้เส้นใยหญ้าแฝกที่มีขนาด 20-50 mesh เพื่อหาปริมาณการเติมเส้นใยที่เหมาะสม ทำให้ได้พีวีซีคอมโพสิตเส้นใยหญ้าแฝกที่มีสมบัติที่ดีที่สุด แล้วนำไปศึกษาสมบัติได้ผลดังนี้

4.2.1.1 การศึกษาสมบัติเชิงกล

รูปที่ 4.40-4.44 แสดงผลของการเปลี่ยนแปลงปริมาณเส้นใยที่เตรียมจากวิธีการทางเคมี ที่มีผลต่อสมบัติเชิงกลของพีวีซีคอมโพสิต ได้แก่ ความแข็งแรงดึง (Tensile strength) เปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาด (% Elongation at break) มอดุลัส (Tensile modulus) ความแข็งแรงกระแทก (Impact strength) ความแข็งกด (Hardness)

จากรูปที่ 4.40 จะเห็นได้ว่า เมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยมากขึ้น (ปริมาณเส้นใย 10-30 phr) ทำให้ค่าความแข็งแรงดึงมีค่าเพิ่มมากขึ้น ทั้งนี้เป็นเพราะว่าเส้นใยที่เติมลงไปทำหน้าที่ช่วยเสริมแรง (Reinforcement) ให้กับพีวีซีคอมโพสิต ทำให้พีวีซีคอมโพสิตสามารถรับแรงได้มากขึ้น ค่าความแข็งแรงดึงจึงเพิ่มขึ้น แต่ปริมาณเส้นใยที่มากเกินไป (ปริมาณ 40 phr) จึงทำให้ค่าความแข็งแรงดึงมีค่าลดลง จากกราฟพบว่าปริมาณเส้นใยที่เติมลงไปแล้วทำให้ค่าความแข็งแรงดึงมีค่าสูงสุด คือ 30 phr

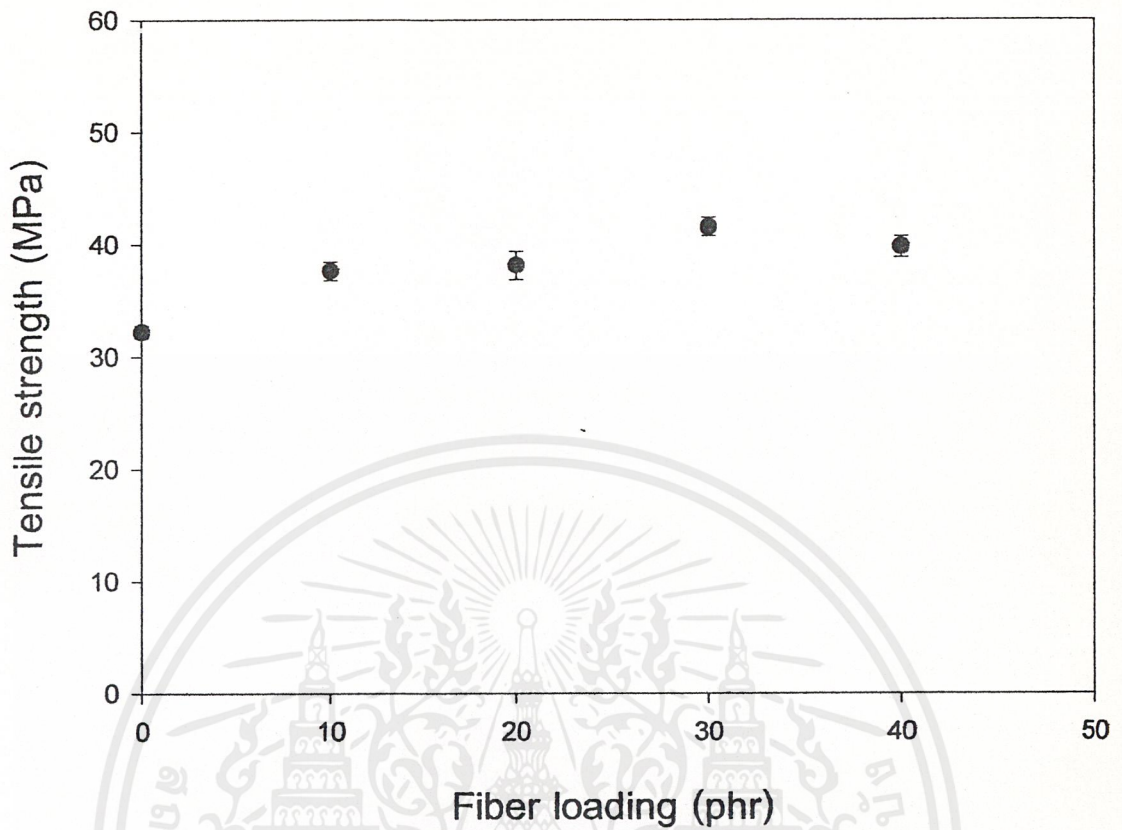
จากรูปที่ 4.41 จะเห็นได้ว่า เมื่อปริมาณเส้นใยหญ้าแฝกเพิ่มขึ้นทำให้เปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาดลดลง ทั้งนี้เมื่อพิจารณาโครงสร้างของพีวีซี พบว่าพีวีซีมีสายโซ่หลักเป็นลักษณะเส้นตรง เมื่อให้แรงดึงสามารถยืดได้ดี พีวีซีเมื่อยังไม่ได้เติมเส้นใยไม่จึงมีค่าเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาดสูง แต่เมื่อมีการเติมเส้นใยไม่ลงไปในพีวีซี จะทำให้พีวีซีคอมโพสิตยืดได้น้อยลง ทั้งนี้เป็นเพราะว่า เส้นใยไม่เป็วัสดุที่มีความแข็ง ไม่สามารถยืดหรือดึงได้ อีกทั้งเส้นใยไม่จะไปขัดขวางสายโซ่ของพีวีซี ทำให้พีวีซียืดได้น้อยลง เพราะฉะนั้น ค่าเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาดของไม้เทียมที่ได้จึงลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยไม่เพิ่มมากขึ้น

จากรูปที่ 4.42 จะเห็นได้ว่า เมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยหญ้าแฝกมากขึ้นจะทำให้ค่ามอดุลัสมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย เนื่องจากเส้นใยหญ้าแฝกมีค่ามอดุลัสสูงกว่าพอลิเมอร์เมทริกซ์ ฉะนั้นเมื่อใส่ปริมาณเส้นใยหญ้าแฝกเพิ่มขึ้น จึงทำให้คอมโพสิตมีค่ามอดุลัสเพิ่มสูงขึ้น แต่ถ้าทำการเพิ่มปริมาณเส้นใยมากเกินไป (40 phr) ทำให้เกิดการจับตัวกันเป็นกลุ่มก้อนของเส้นใยทำให้เกิดช่องว่างภายในชิ้นงาน ทำให้ค่ามอดุลัสลดลง

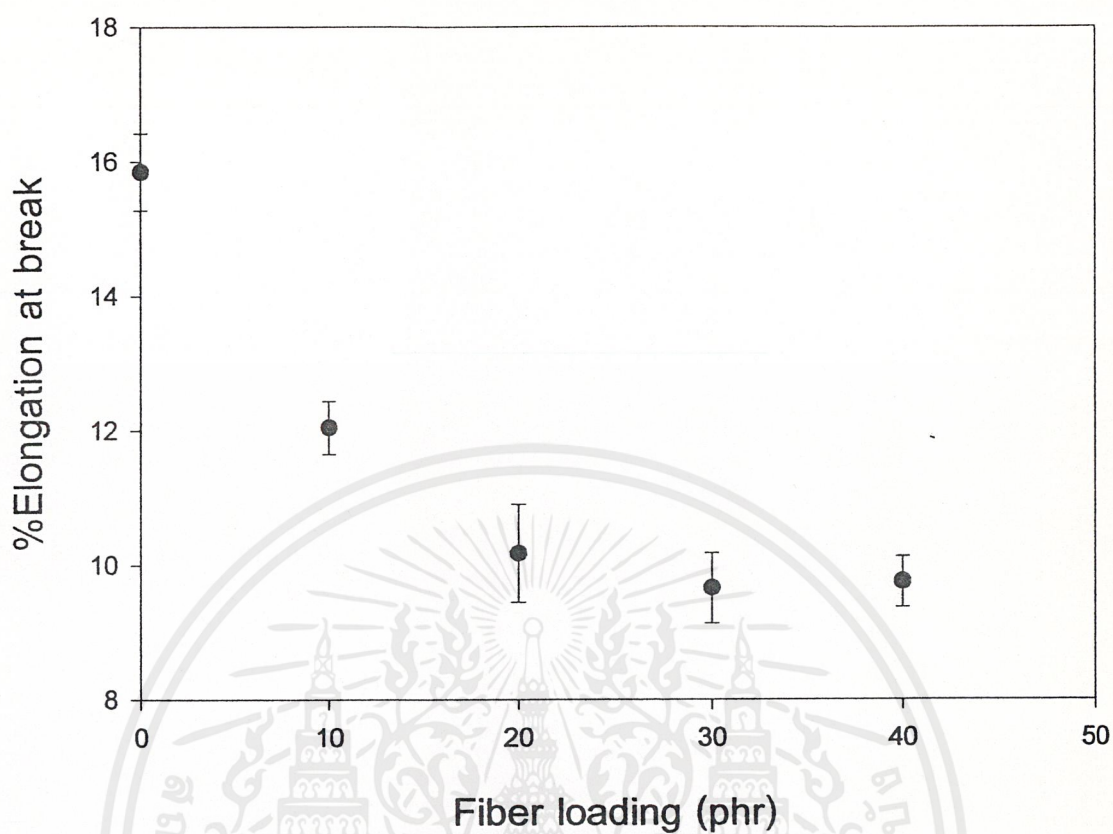
จากรูปที่ 4.43 จะเห็นได้ว่า เมื่อทำการเพิ่มปริมาณเส้นใยหญ้าแฝกค่าความแข็งแรงกระแทกมีค่าเพิ่มมากขึ้นเนื่องจาก เส้นใยหญ้าแฝกสามารถช่วยรับแรงได้ดี เมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยลงไปทำให้คอมโพสิตสามารถรับแรงได้ดีขึ้น

จากรูปที่ 4.44 จะเห็นได้ว่า เมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยจะทำให้ค่าความแข็งกตมีค่าใกล้เคียงกันเนื่องจากเป็นความแข็งที่พื้นผิวพอลิเมอร์ เมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยจึงทำให้ค่าความแข็งไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก

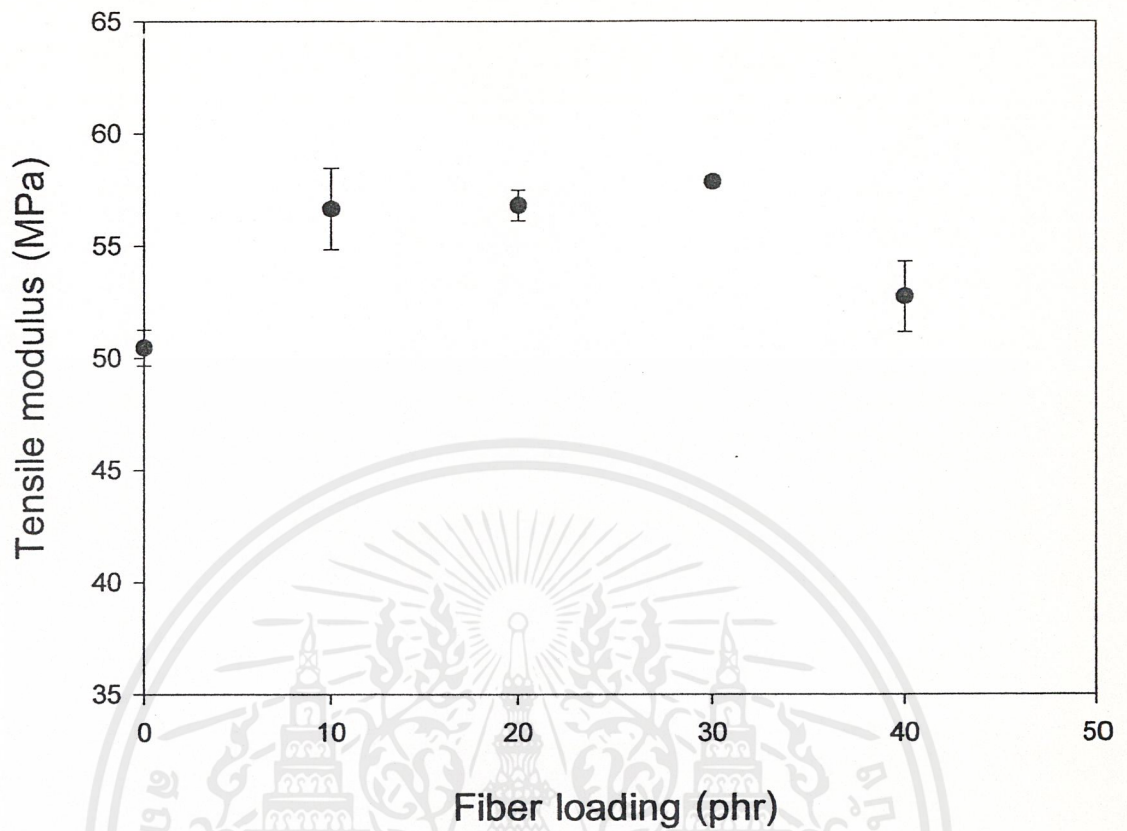




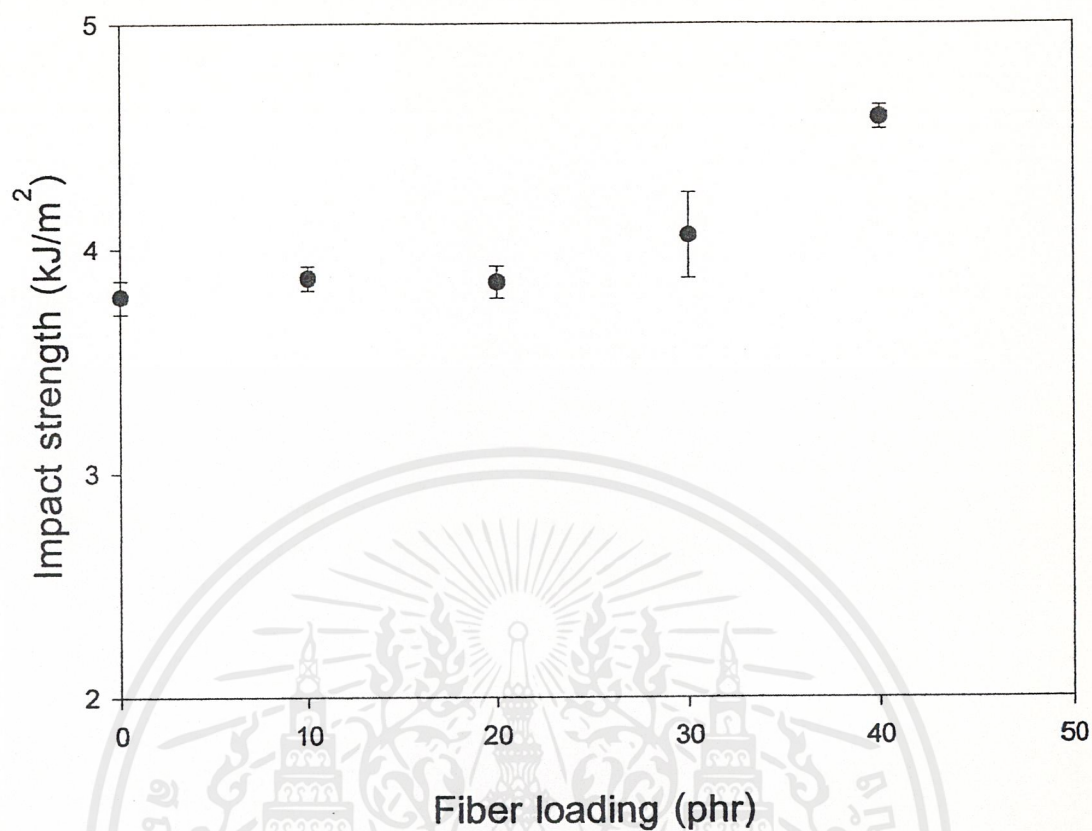
รูปที่ 4.40 ค่าความแข็งแรงดึง ของพีวีซีคอมโพสิตเมื่อทำการเพิ่มปริมาณเส้นใยหญ้าแฝกขนาด 20-50 mesh ในปริมาณ 10 20 30 และ 40 phr



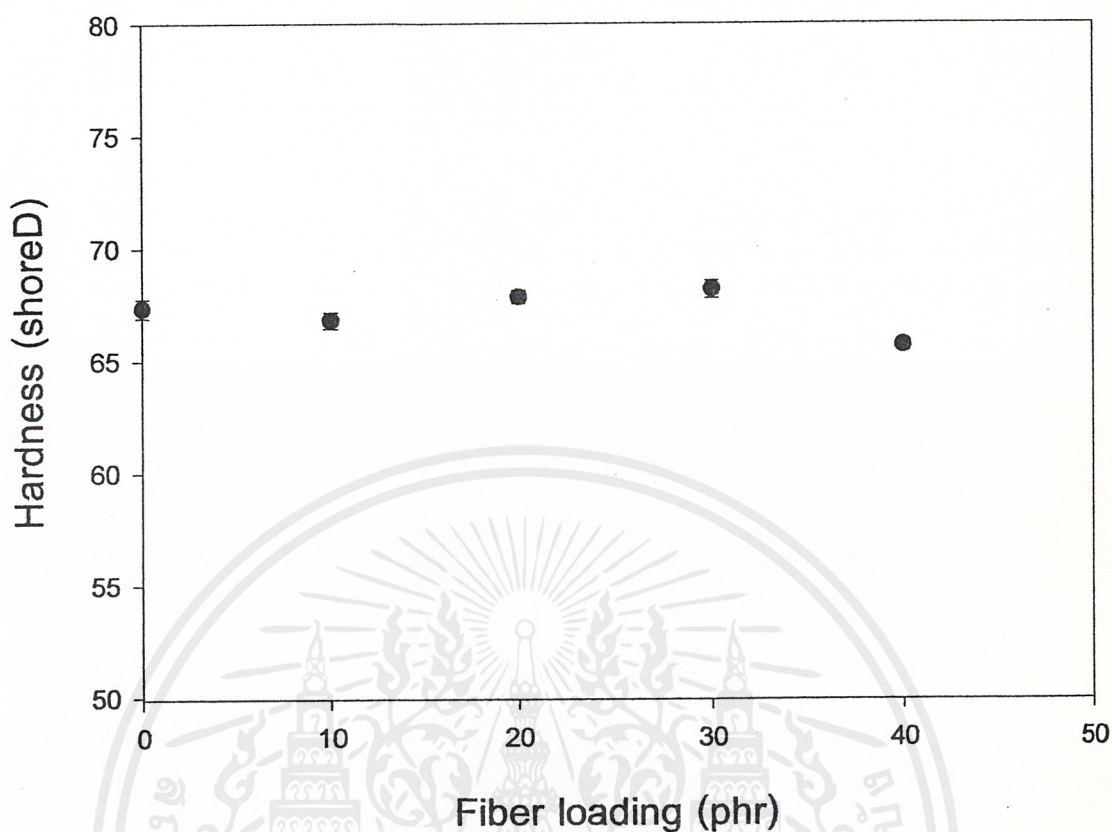
รูปที่ 4.41 ค่าเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาด ของพีวีซีคอมโพสิตเมื่อทำการเพิ่มปริมาณเส้นใย
 ใยผ้าฝ้ายขนาด 20-50 mesh ในปริมาณ 10 20 30 และ 40 phr



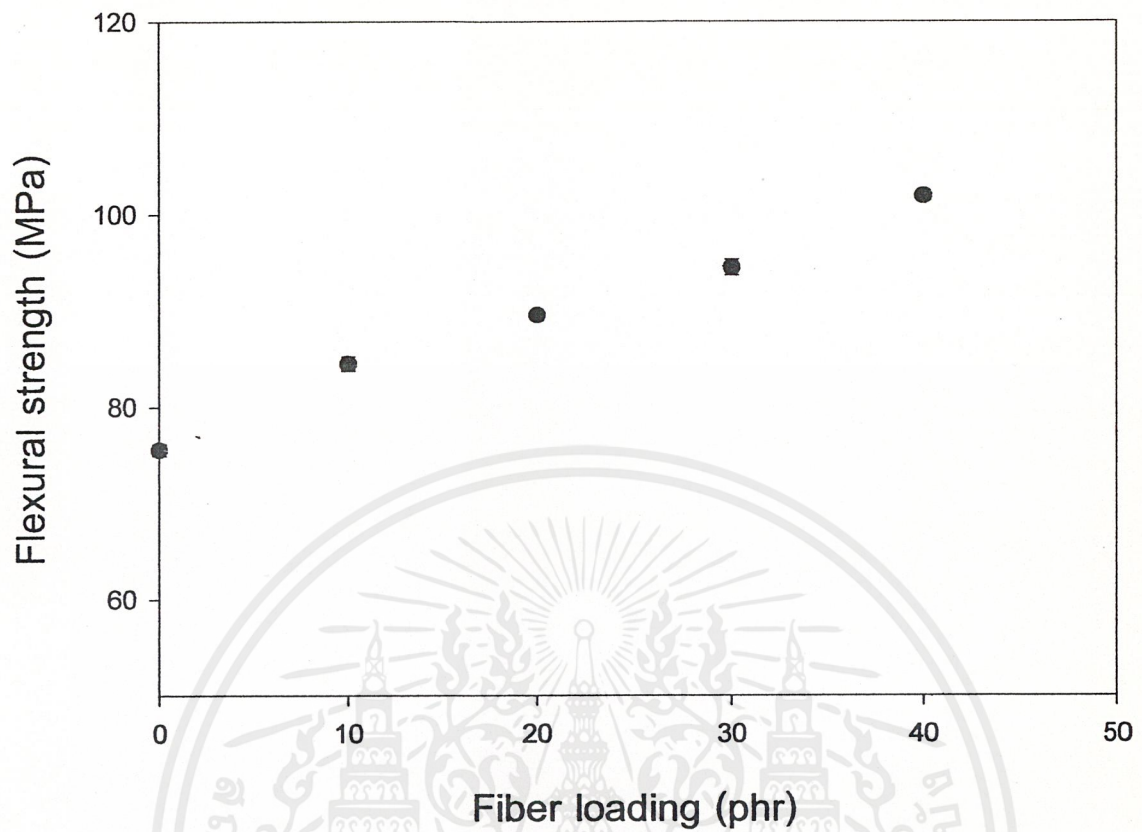
รูปที่ 4.42 ค่ามอดุลัสของพีวีซีคอมโพสิตเมื่อทำการเพิ่มปริมาณเส้นใยหญ้าแฝกขนาด 20-50 mesh ในปริมาณ 10 20 30 และ 40 phr



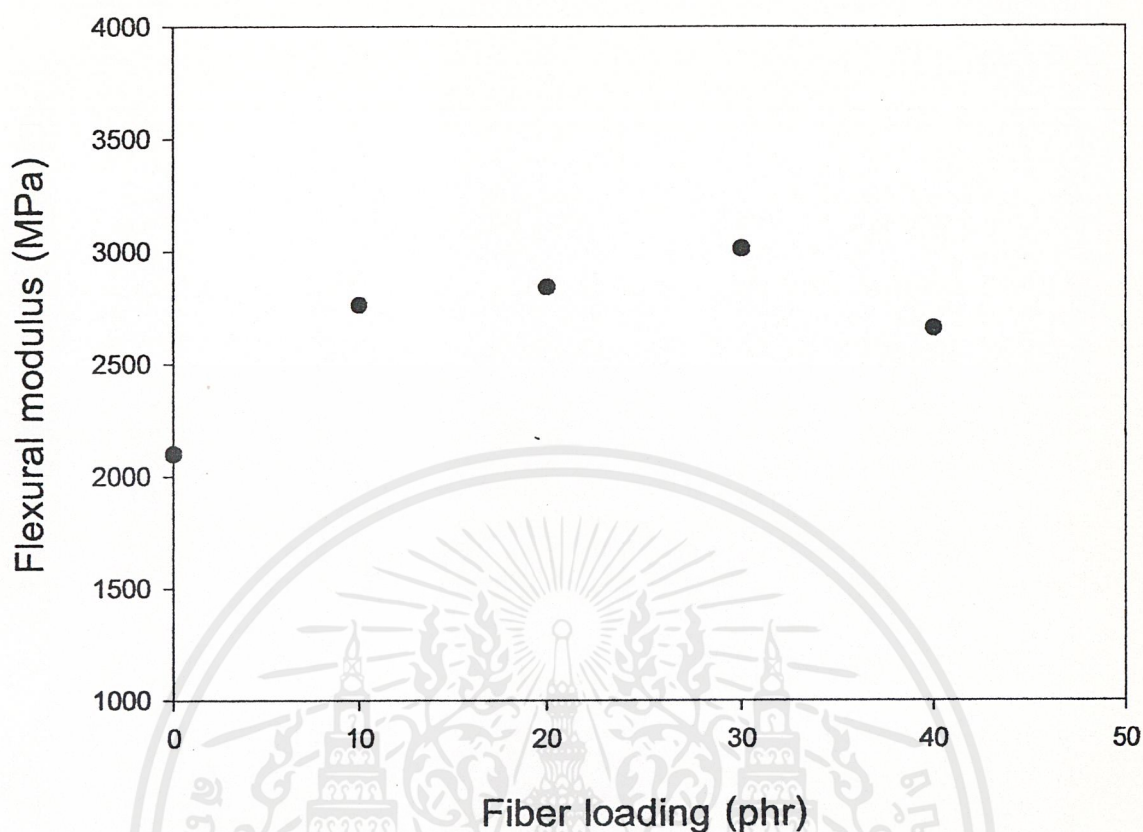
รูปที่ 4.43 ค่าความแข็งแรงกระแทก ของพีวีซีคอมโพสิตเมื่อทำการเพิ่มปริมาณเส้นใยหญ้าแฝก ขนาด 20-50 mesh ในปริมาณ 10 20 30 และ 40 phr



รูปที่ 4.44 ค่าความแข็งกดของพีวีซีคอมโพสิตเมื่อทำการเพิ่มปริมาณเส้นใยหญ้าแฝกขนาด 20-50 mesh ในปริมาณ 10 20 30 และ 40 phr



รูปที่ 4.45 ค่าความแข็งแรงโค้งงอของพีวีซีคอมโพสิตเมื่อทำการเพิ่มปริมาณเส้นใยหญ้า
ขนาด 20-50 mesh ในปริมาณ 10 20 30 และ 40 phr

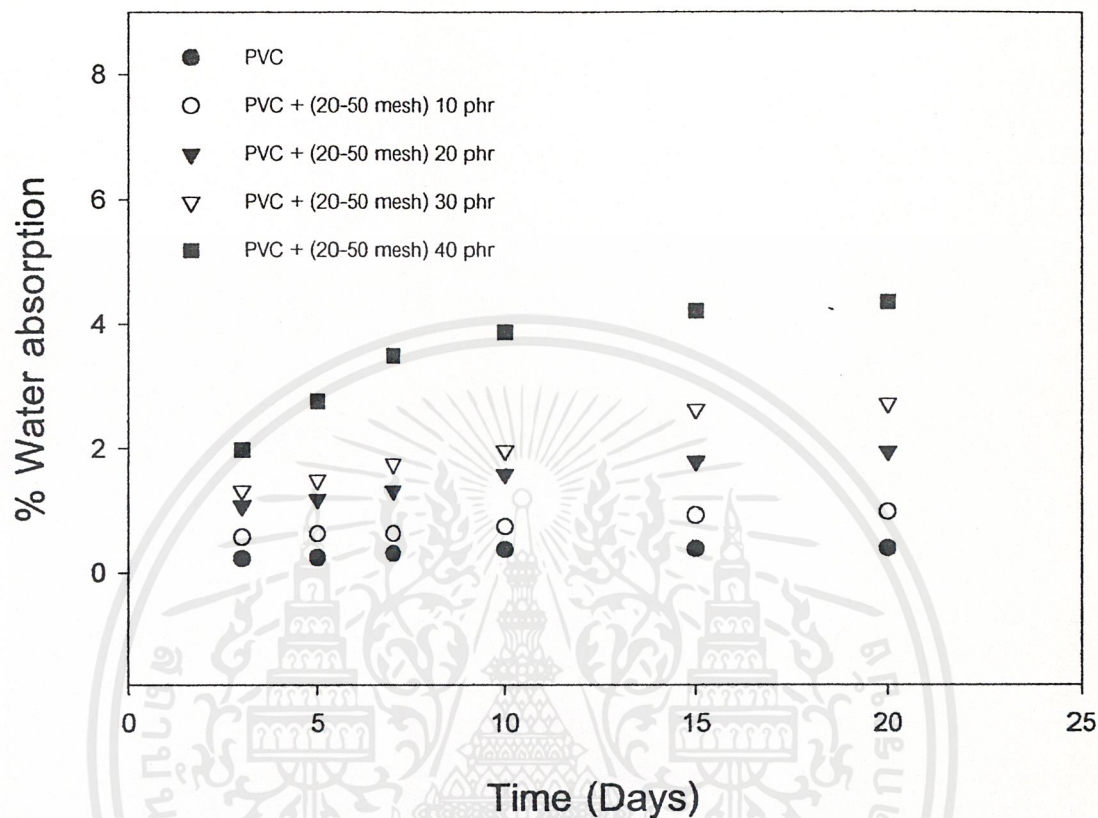


รูปที่ 4.46 ค่ามอดุลัสโค้งงอของพีวีซีคอมโพสิตเมื่อทำการเพิ่มปริมาณเส้นใยหญ้าขนาด 20-50 mesh ในปริมาณ 10 20 30 และ 40 phr

จากรูปที่ 4.45 และ 4.46 จะเห็นได้ว่าค่าความแข็งแรงโค้งงอ (Flexural strength) และค่ามอดุลัสโค้งงอ (Flexural modulus) เป็นการทดสอบหาค่าความแข็งแรงยึดเกาะที่อินเตอร์เฟส (Evaluation of interfacial bonding) ระหว่างพีวีซีกับเส้นใยหญ้าแฝก เมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยหญ้าแฝกลงไป ค่าความแข็งแรงโค้งงอและค่ามอดุลัสจะเพิ่มขึ้น เนื่องจาก พีวีซีและเส้นใยมีการยึดเกาะกันดี ทำให้สามารถรับแรงได้ดีขึ้นด้วย

4.2.1.2 การศึกษาสมบัติทางกายภาพ

4.2.1.2.1 ศึกษาสมบัติการดูดซับน้ำ



รูปที่ 4.47 ค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำของพีวีซีคอมโพสิตเมื่อทำการเพิ่มปริมาณเส้นใยหญ้าแฝกขนาด 20-50 mesh ในปริมาณ 10 20 30 และ 40 phr

จากรูปที่ 4.47 จะเห็นว่าพีวีซีคอมโพสิตซึ่งเติมเส้นใยหญ้าแฝก 40 phr จะมีค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำสูงที่สุด และพีวีซีที่ไม่ได้เติมเส้นใยหญ้าแฝกจะมีค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำต่ำที่สุด กล่าวคือ ค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำจะขึ้นกับปริมาณเส้นใยที่เติมลงไป เนื่องจากเส้นใยหญ้าแฝกมีองค์ประกอบของเซลลูโลส ซึ่งมีหมู่ไฮดรอกซี ($-OH$) โดยหมู่ไฮดรอกซี มีความสามารถในการดูดซับน้ำได้ดี สามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนกับน้ำได้ จึงทำให้ค่าการดูดซับน้ำของพีวีซีคอมโพสิตเพิ่มขึ้น

4.2.2 การศึกษาสมบัติของพีวีซีคอมโพสิตเมื่อทำการเปลี่ยนขนาดเส้นใยต่อปริมาณพอลิเมอร์

4.2.2.1 การศึกษาสมบัติเชิงกล

รูปที่ 4.48-4.52 แสดงผลเมื่อทำการเปลี่ยนขนาดเส้นใยหญ้าแฝกที่เตรียมด้วยวิธีทางเคมี ที่มีผลต่อสมบัติเชิงกลของพีวีซีคอมโพสิต ได้แก่ ความแข็งแรงดึง (Tensile strength) เปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาด (% Elongation at break) มอดุลัส (Tensile modulus) ความแข็งแรงกระแทก (Impact strength) ความแข็งกด (Hardness)

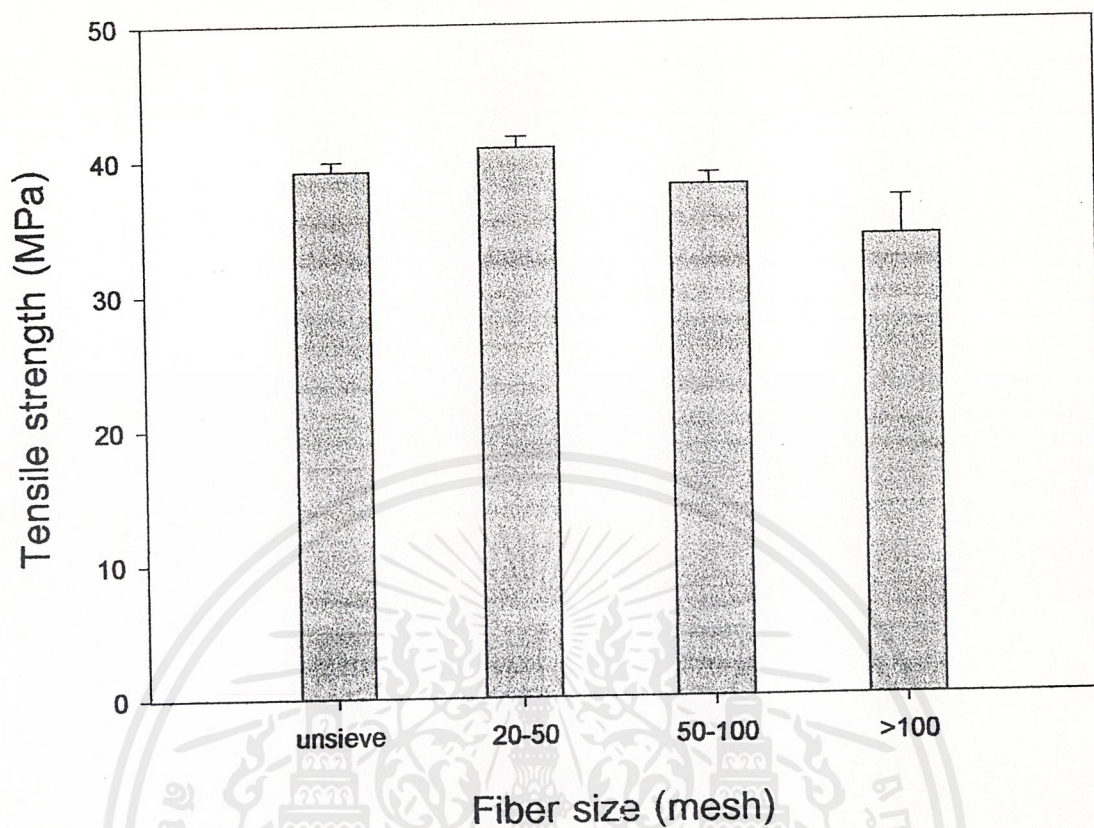
จากรูปที่ 4.48 จะเห็นได้ว่า เส้นใยขนาด 20-50 mesh จะทำให้ค่าความแข็งแรงดึงของพีวีซีคอมโพสิตมีค่าสูงที่สุด เนื่องจากเส้นใยที่มีความยาวทำหน้าที่เป็นสารตัวเติมประเภทเสริมแรง ทำให้พีวีซีคอมโพสิตสามารถรับแรงได้ดีขึ้น มีความแข็งแรงสูงขึ้น ขณะที่เส้นใยขนาดสั้นทำหน้าที่เป็นเพียงสารตัวเติมชนิดไม่เสริมแรง จึงทำให้พีวีซีคอมโพสิตที่เติมเส้นใยขนาดสั้นมีค่าความแข็งแรงดึงลดลง

จากรูปที่ 4.49 จะเห็นได้ว่า ขนาดของเส้นใยหญ้าแฝกที่เติมลงไปไม่มีผลต่อค่าเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาด ทั้งนี้เนื่องจากค่าเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาดมีผลโดยตรงกับปริมาณเส้นใยไม้ที่เติมลงไปซึ่งเส้นใยหญ้าแฝกที่เติมลงไปมีปริมาณเท่ากัน คือ 30 phr ค่าเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาด จึงไม่ต่างกันมาก

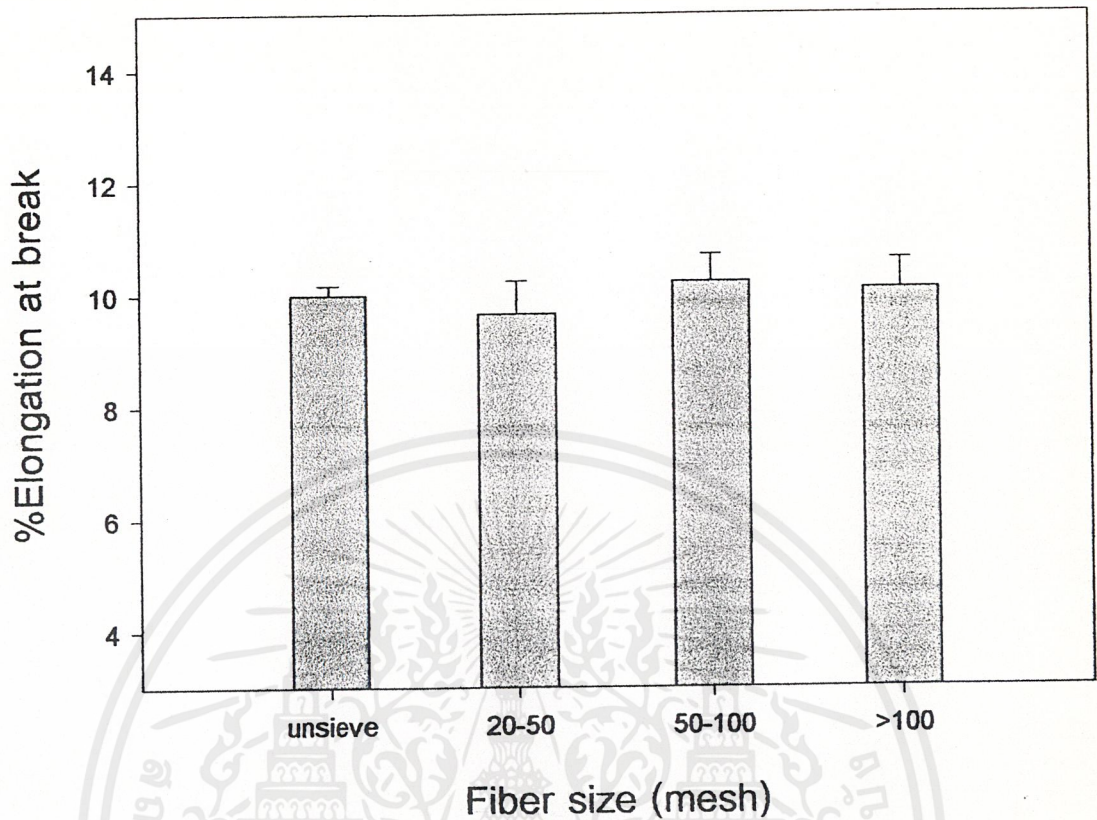
จากรูปที่ 4.50 จะเห็นได้ว่า พีวีซีคอมโพสิตเส้นใยหญ้าแฝกขนาด 20-50 mesh มีค่ามอดุลัสสูงสุด โดยเส้นใยขนาด 50-100 และมากกว่า 100 ให้ค่ามอดุลัสต่ำกว่าเนื่องจากเส้นใยมีขนาดเล็กเกินไปจึงมีบางส่วนที่ไม่ช่วยในการเสริมแรง และเส้นใยขนาดเล็กจะจับตัวเป็นก้อนซึ่งจะทำให้กระจายตัวในพอลิเมอร์ไม่เกิดการผสมจึงเกิดได้น้อย ทำให้ค่ามอดุลัสมีค่าน้อย

จากรูปที่ 4.51 จะเห็นได้ว่า ขนาดของเส้นใยหญ้าแฝกที่ทำให้ความแข็งแรงกระแทกดีที่สุดคือ 50-100 mesh ทั้งนี้เนื่องจาก ถ้าขนาดของเส้นใยที่ใส่ลงไปมีขนาดยาวเกินไป (20-50 mesh) การกระจายตัวของเส้นใยในพีวีซีเกิดขึ้นได้ไม่ดี และอาจเกิดช่องว่างภายในพีวีซีคอมโพสิตได้ พีวีซีคอมโพสิตจึงไม่สามารถรับแรงกระแทกได้ดี แต่ถ้าขนาดของเส้นใยสั้นเกินไปเส้นใยทำหน้าที่เป็นสารตัวเติมเพื่อเพิ่มเนื้อ ไม่ช่วยเสริมแรง จึงทำให้พีวีซีคอมโพสิตรับแรงกระแทกได้ไม่ดี ค่าความแข็งแรงกระแทกจึงลดลง

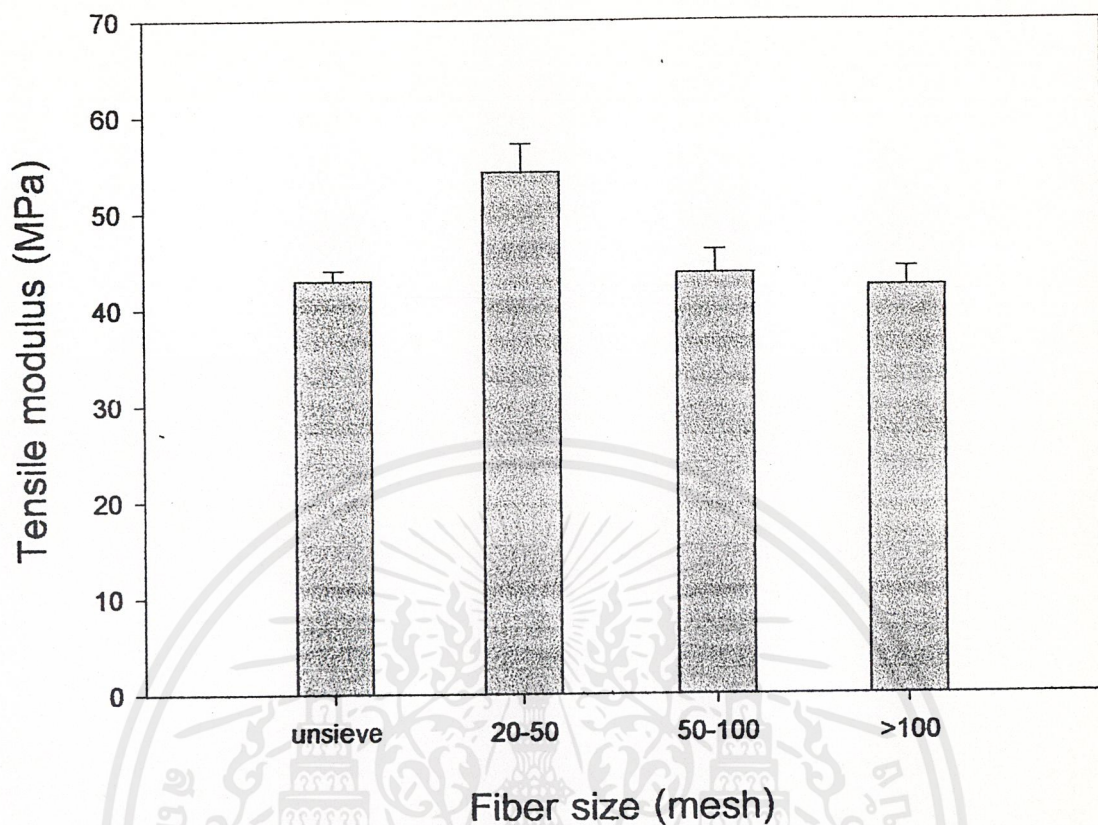
จากรูปที่ 4.52 จะเห็นได้ว่า ค่าความแข็งกดของไม้เทียมที่เตรียมจากเส้นใยที่ยาวกว่าจะมีค่าความแข็งกดมากกว่าไม้เทียมที่เตรียมจากเส้นใยที่สั้นกว่า เนื่องจากเส้นใยไม้ที่มีความยาวสามารถรับแรงและกระจายแรงได้ดีกว่าเส้นใยไม้ที่สั้น ผลการทดลองที่ได้พบว่าความยาวเส้นใยช่วง 20-50 mesh ทำให้ค่าความแข็งกดมากที่สุด



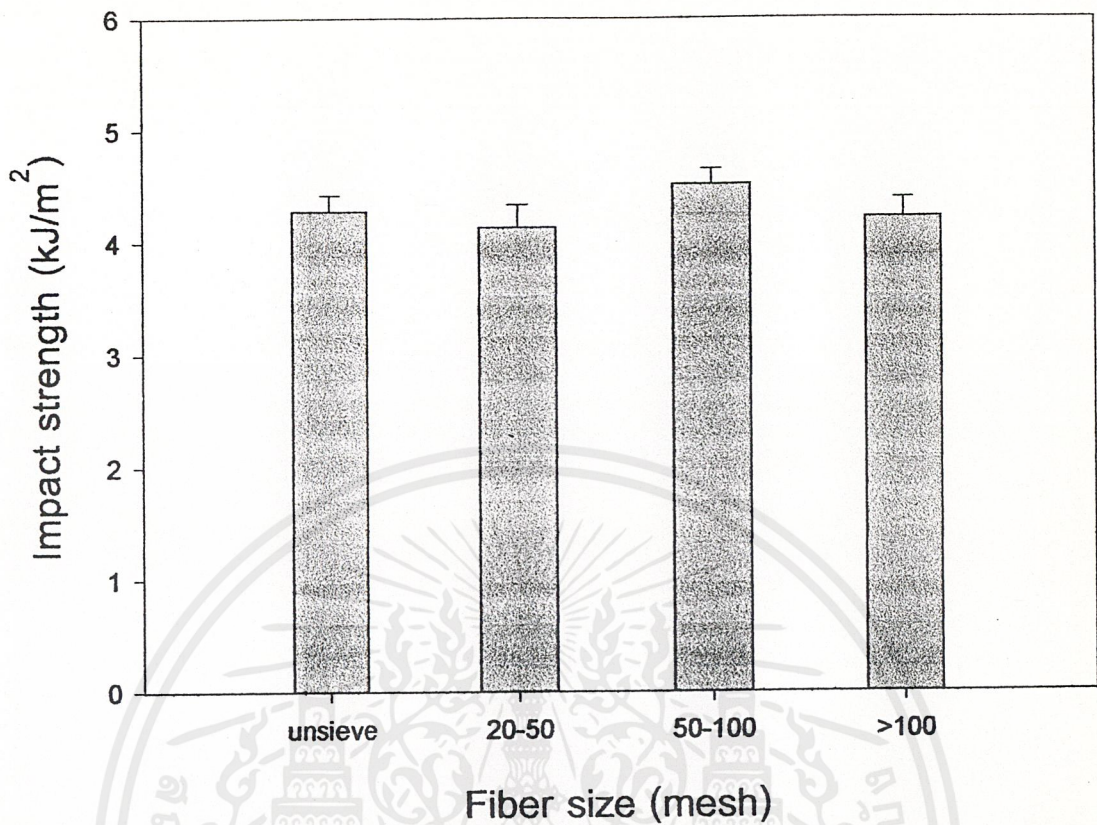
รูปที่ 4.48 ค่าความแข็งแรงดึงของพีวีซีคอมโพสิตที่เตรียมจากเส้นใยหญ้าแฝกในปริมาณ 30 phr เมื่อทำการเปลี่ยนขนาดเส้นใยหญ้าแฝก 20-50 mesh 50-100 mesh มากกว่า 100 mesh และ ไม่แยกขนาด



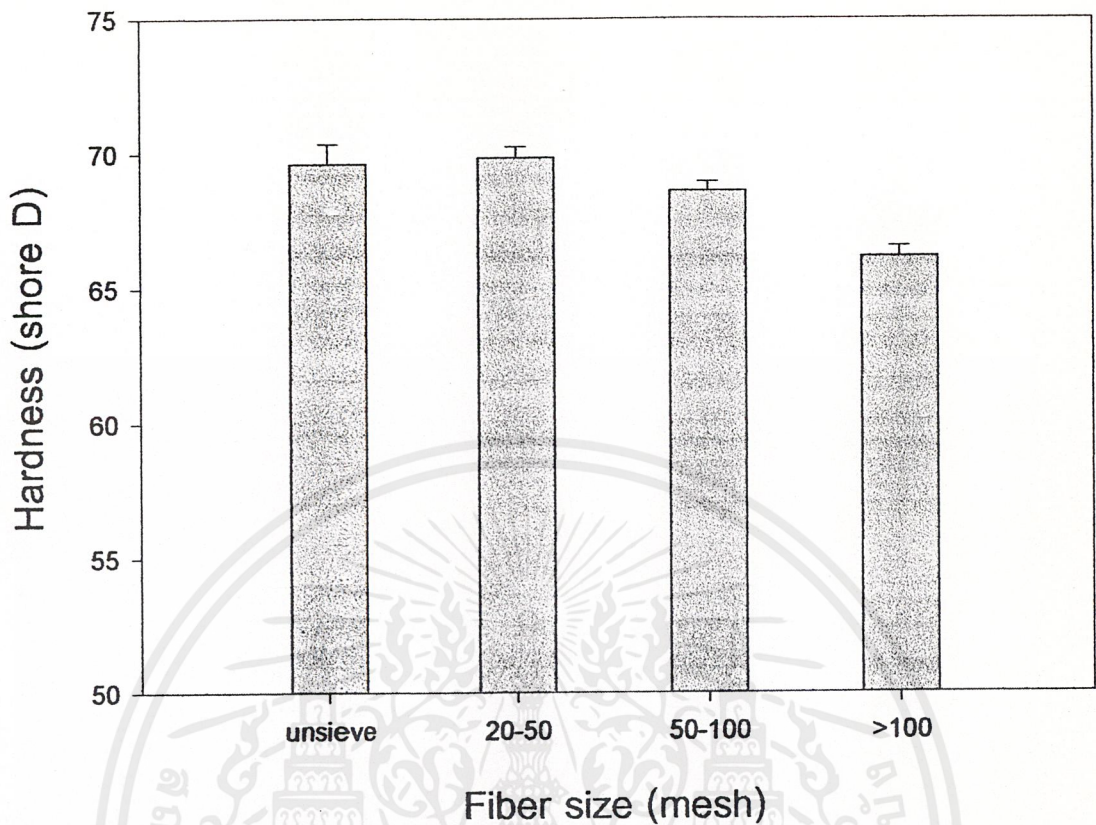
รูปที่ 4.49 ค่าเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาดของพีวีซีคอมโพสิตที่เตรียมจากเส้นใยหญ้าแฝกในปริมาณ 30 phr เมื่อทำการเปลี่ยนขนาดเส้นใยหญ้าแฝก 20-50 mesh 50-100 mesh มากกว่า 100 mesh และ ไม่แยกขนาด



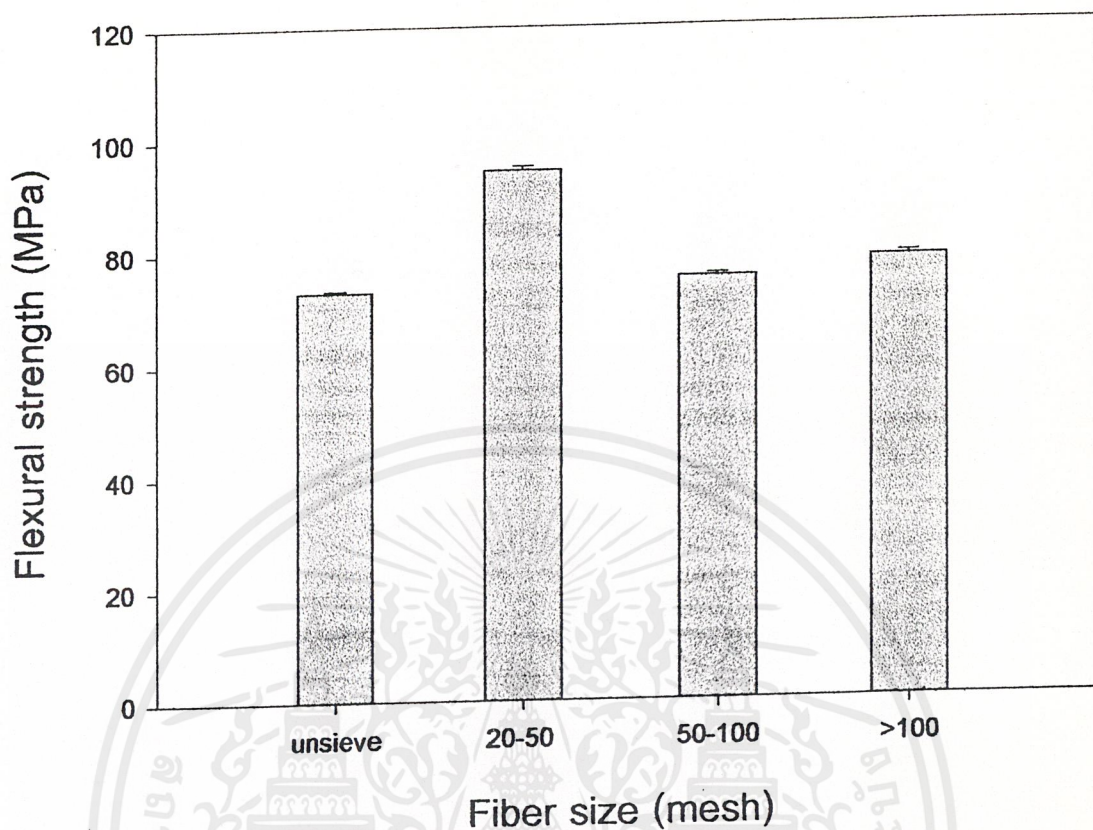
รูปที่ 4.50 ค่ามอดุลัสของพีวีซีคอมโพสิตที่เตรียมจากเส้นใยหญ้าแฝกในปริมาณ 30 phr เมื่อทำการเปลี่ยนขนาดเส้นใยหญ้าแฝก 20-50 mesh 50-100 mesh มากกว่า 100 mesh และ เส้นใยไม่แยกขนาด



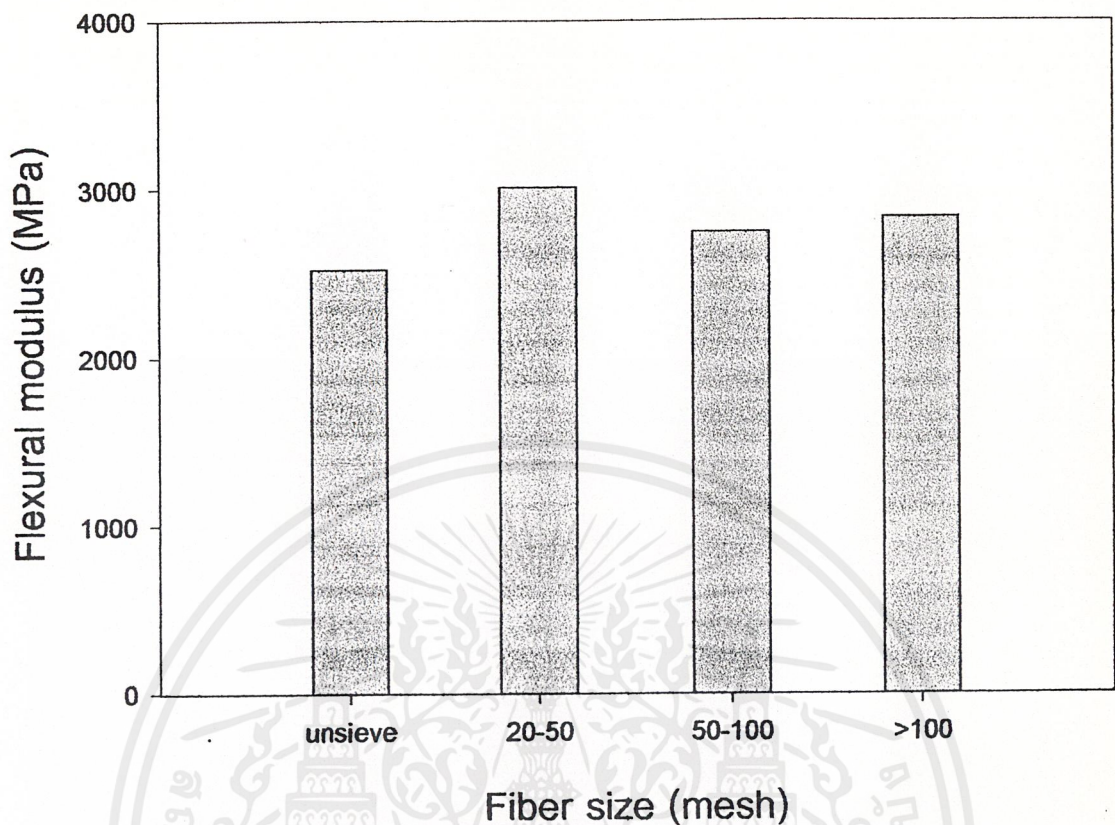
รูปที่ 4.51 ค่าความแข็งแรงกระแทก ของพีวีซีคอมโพสิตที่เตรียมจากเส้นใยหญ้าแฝกในปริมาณ 30 phr เมื่อทำการเปลี่ยนขนาดเส้นใยหญ้าแฝก 20-50 mesh 50-100 mesh มากกว่า 100 mesh และ ไม่แยกขนาด



รูปที่ 4.52 ค่าความแข็งกด ของพีวีซีคอมโพสิตที่เตรียมจากเส้นใยหญ้าแฝกในปริมาณ 30 phr เมื่อทำการเปลี่ยนขนาดเส้นใยหญ้าแฝก 20-50 mesh 50-100 mesh มากกว่า 100 mesh และ ไม่แยกขนาด



รูปที่ 4.53 ค่าความแข็งแรงโค้งของพีวีซีคอมโพสิตที่เตรียมจากเส้นใยหญ้าแฝกปริมาณ 30 phr เมื่อทำการเปลี่ยนขนาดเส้นใยหญ้าแฝก 20-50 mesh 50-100 mes มากกว่า 100 mesh และไม่แยกขนาด

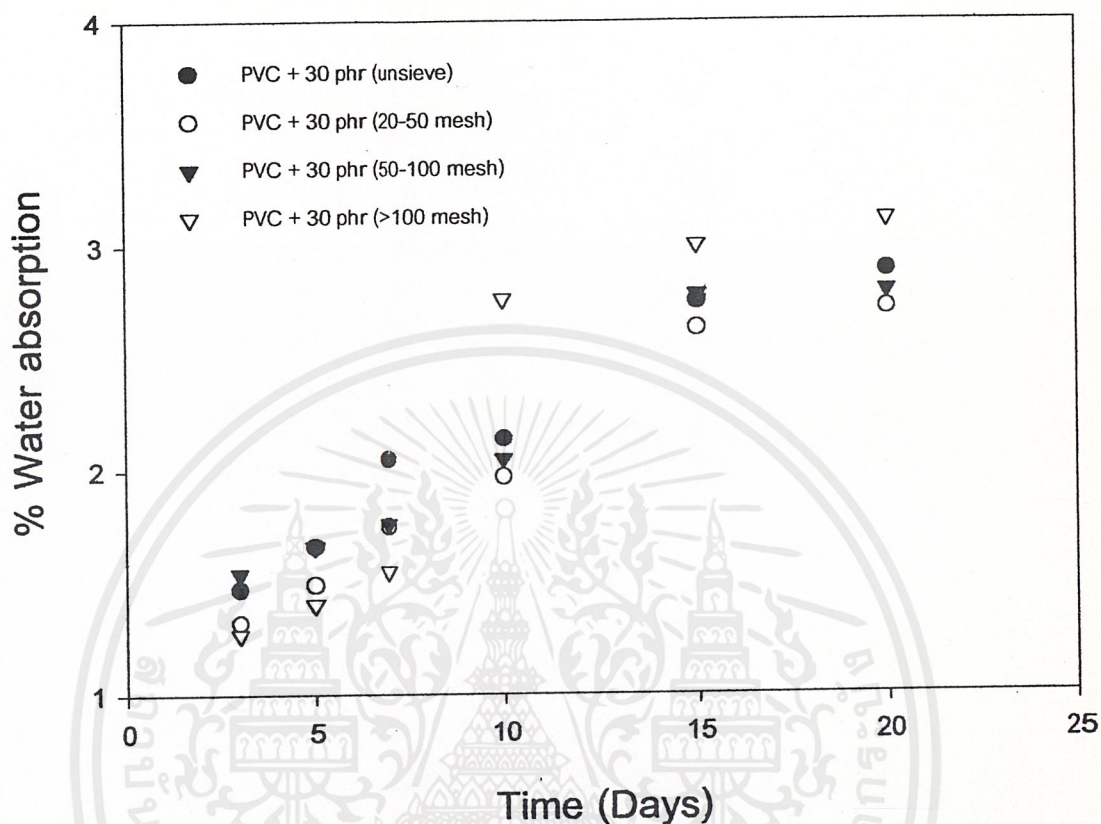


รูปที่ 4.54 ค่ามอดุลัสโค้งงอของพีวีซีคอมโพสิตที่เตรียมจากเส้นใยหญ้าแฝกปริมาณ 30 phr เมื่อทำการเปลี่ยนขนาดเส้นใยหญ้าแฝก 20-50 mesh 50-100 mesh มากกว่า 100 mesh และไม่แยกขนาด

จากรูปที่ 4.53 และ 4.54 จะเห็นได้ว่า ค่าความแข็งแรงโค้งงอ (Flexural strength) และค่ามอดุลัสโค้งงอ (Flexural modulus) ของเส้นใยหญ้าแฝกขนาด 20-50 mesh มีค่าสูงสุด เนื่องจากเส้นใยมีความยาวจึงมีพื้นที่ผิวสัมผัสที่ต่อเนื่องมากกว่า ส่งผลให้ความแข็งแรงยึดเกาะที่อินเตอร์เฟซระหว่างพีวีซีมีมากขึ้น ค่าความแข็งแรงโค้งงอและค่ามอดุลัสจึงสูงที่สุด

4.2.2.2 การศึกษาสมบัติทางกายภาพ

4.2.2.2.1 ศึกษาสมบัติการดูดซับน้ำ



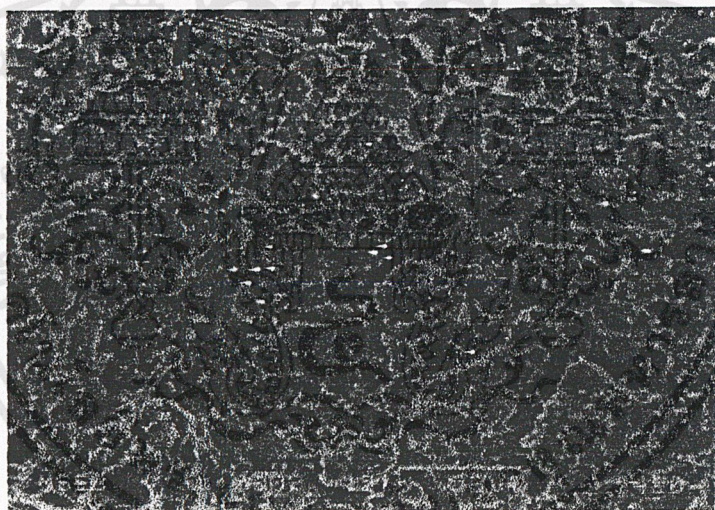
รูปที่ 4.55 ค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำของพีวีซีคอมโพสิตที่เตรียมจากเส้นใยหญ้าแฝกในปริมาณ 30 phr เมื่อทำการเปลี่ยนขนาดเส้นใยหญ้าแฝก 20-50 mesh 50-100 mesh มากกว่า 100 mesh และ เส้นใยไม่แยกขนาด

จากรูปที่ 4.55 จะเห็นได้ว่า เมื่อความยาวเส้นใยหญ้าแฝกสั้นลง (>100 mesh) ทำให้เปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำมีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากเส้นใยที่มีขนาดสั้นจะมีพื้นที่ผิว (Surface area) มากกว่าเส้นใยที่ยาว

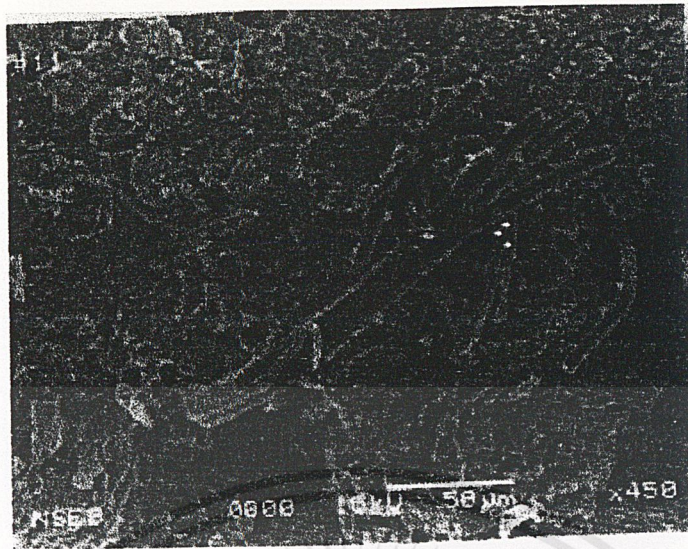
4.2.3 การศึกษาสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)

SEM เป็นการศึกษาสัณฐานวิทยาของพื้นผิวของวัสดุ โดยศึกษาพื้นผิวของชิ้นงานที่ได้จากการแตกหักที่อุณหภูมิต่ำ โดยใช้กำลังขยาย 450 เท่า

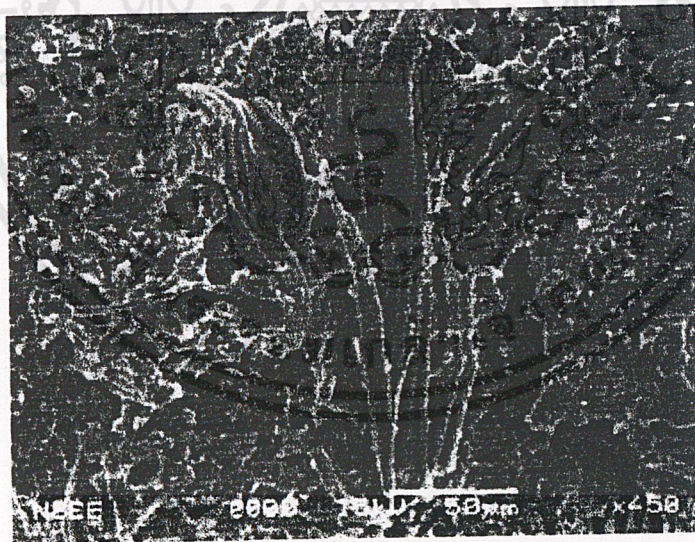
จากรูป SEM ที่ 4.56-4.63 แสดงสัณฐานวิทยาของชิ้นงานคอมโพสิตเส้นใยหญ้าแฝกกับพอลิเมอร์เมทริกซ์ (พีวีซี) จากรูปพบว่า เส้นใยหญ้าแฝกที่มีขนาดใหญ่ และมีบางส่วนที่เส้นใยเกิดการจับตัวกันเป็นกลุ่มเป็นก้อน จากการศึกษาค้นคว้าของปริมาณเส้นใยหญ้าแฝกพบว่า บางบริเวณพบเส้นใยปริมาณมาก แต่บางบริเวณไม่มีเส้นใยอยู่ (Fiber rich surface, Matrix rich surface) บางบริเวณพบเป็นช่องว่าง (Void) ตรงส่วนของพีวีซีเมทริกซ์ ทั้งนี้เนื่องจากพีวีซีบางส่วนเกิดการสลายตัว ในส่วนผลของการศึกษาขนาดเส้นใยหญ้าแฝก เนื่องจากเส้นใยหญ้าแฝกทำการเตรียมโดยใช้วิธีทางเคมี ใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ในการสกัด lignin ซึ่งเป็นสารที่ยึดเส้นใยเข้าด้วยกันหลุดออกมา ทำให้เส้นใยมีลักษณะเป็น microfibers มีขนาดเล็ก



รูปที่ 4.56 รูป SEM แสดงสัณฐานวิทยาของพีวีซีจากการแตกหักที่อุณหภูมิต่ำกำลังขยาย 450 เท่า



รูปที่ 4.57 รูป SEM แสดงสัณฐานวิทยาของพีวีซีคอมโพสิตจากการแตกหักที่อุณหภูมิ
ต่ำ กำลังขยาย 450 เท่า เมื่อผสมกับเส้นใยหญ้าแฝกปริมาณ 10 phr ขนาด
20- 50 mesh



รูปที่ 4.58 รูป SEM แสดงสัณฐานวิทยาของพีวีซีคอมโพสิตจากการแตกหักที่อุณหภูมิ
ต่ำ กำลังขยาย 450 เท่า เมื่อผสมกับเส้นใยหญ้าแฝกปริมาณ 20 phr ขนาด
20- 50 mesh

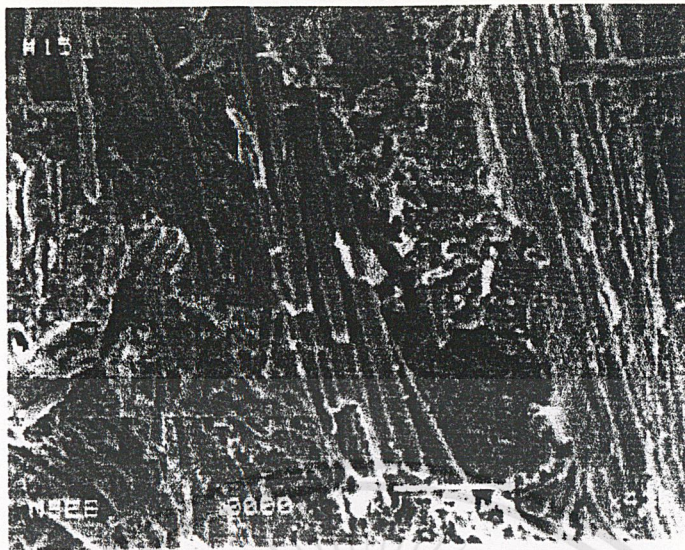
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



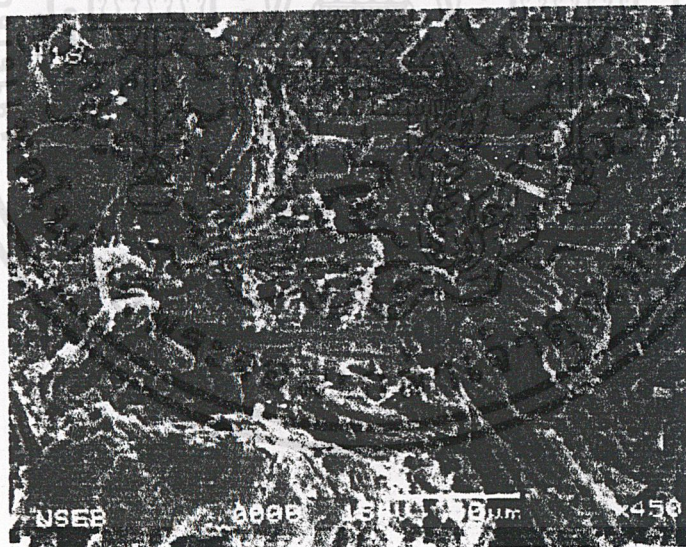
รูปที่ 4.59 รูป SEM แสดงสัณฐานวิทยาของพีวีซีคอมโพสิตจากการแตกหักที่อุณหภูมิ
ต่ำ กำลังขยาย 450 เท่า เมื่อผสมกับเส้นใยหญ้าแฝกปริมาณ 30 phr ขนาด
20- 50 mesh



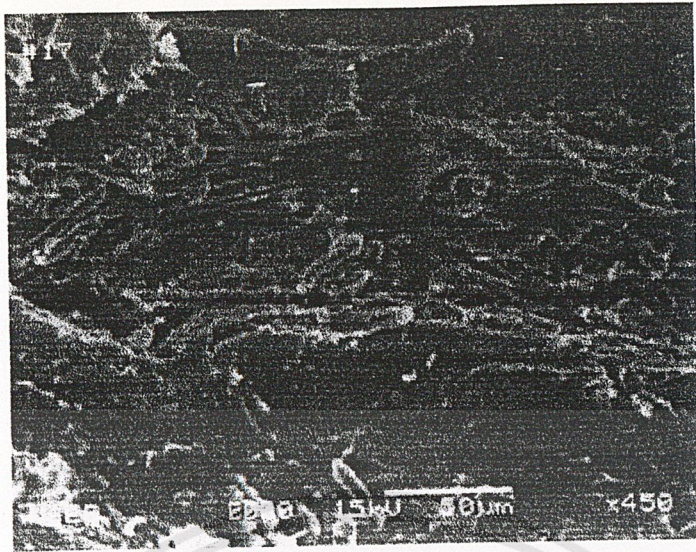
รูปที่ 4.60 รูป SEM แสดงสัณฐานวิทยาของพีวีซีคอมโพสิตจากการแตกหักที่อุณหภูมิ
ต่ำ กำลังขยาย 450 เท่า เมื่อผสมกับเส้นใยหญ้าแฝกปริมาณ 40 phr ขนาด
20 - 50 mesh



รูปที่ 4.61 รูป SEM แสดงสัณฐานวิทยาของพีวีซีคอมโพสิตจากการแตกหักที่อุณหภูมิ ต่ำ กำลังขยาย 450 เท่า เมื่อผสมกับเส้นใยหญ้าแฝกไม่แยกขนาด ปริมาณ เส้นใยหญ้าแฝก 30 phr



รูปที่ 4.62 รูป SEM แสดงสัณฐานวิทยาของพีวีซีคอมโพสิตจากการแตกหักที่อุณหภูมิ ต่ำ กำลังขยาย 450 เท่า เมื่อผสมกับเส้นใยหญ้าแฝกขนาด 50-100 mesh ปริมาณเส้นใยหญ้าแฝก 30 phr



รูปที่ 4.63 รูป SEM แสดงสัณฐานวิทยาของพีวีซีคอมโพสิตจากการแตกหักที่อุณหภูมิ
ต่ำ กำลังขยาย 450 เท่า เมื่อผสมกับเส้นใยหญ้าแฝกขนาด >100 mesh
ปริมาณเส้นใยหญ้าแฝก 30 phr

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

โครงการพิเศษนี้เป็นการศึกษาการผลิตและสมบัติของไม้เทียมพอลิเมอร์คอมโพสิต โดยแบ่งการทดลองออกเป็นสองส่วน ดังนี้ ตอนที่ 1 ศึกษาพอลิเมอร์วัสดุผสมพีพีกับผงหญ้าแฝก และตอนที่ 2 ศึกษาพอลิเมอร์คอมโพสิตจากพอลิไวนิลคลอไรด์กับเส้นใยหญ้าแฝก โดยตอนที่ 1 ทำการผสมสารตั้งต้นต่างๆ ในเครื่องผสมความเร็วสูง และเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนอนเดี่ยวที่ อุณหภูมิ 190 องศาเซลเซียส จากนั้น นำพีพีคอมพาวด์ที่ได้ไปบดในเครื่องบดพลาสติก และนำไป ขึ้นรูปเป็นชิ้นงาน เพื่อนำไปทดสอบโดยใช้เครื่องฉีดพลาสติก ที่อุณหภูมิ 190 องศาเซลเซียส แล้ว นำวัสดุผสมพีพีกับผงหญ้าแฝกที่ได้ไปทดสอบสมบัติเชิงกล สมบัติทางความร้อน สมบัติทางกายภาพ และสัณฐานวิทยา ตอนที่ 2 ทำการผสมสารตั้งต้นต่างๆ ในเครื่องผสมความเร็วสูง และเครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง (Two roll mill) ที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส จากนั้นนำ พีวีซีคอมพาวด์ที่ได้ไปบดในเครื่องบดพลาสติก นำคอมโพสิตที่ได้ไปขึ้นรูปชิ้นงาน โดยใช้เครื่องขึ้นรูปด้วยวิธีอัดขึ้นรูปร้อนและนำคอมโพสิตที่ขึ้นรูปแล้วไปทดสอบ เช่นเดียวกับตอนที่ 1

จากงานวิจัยพบว่า สามารถใช้ผงหญ้าแฝกที่เตรียมได้จากการบดเชิงกล และเส้นใยหญ้าแฝกที่เตรียมจากกระบวนการสกัดเส้นใยเซลลูโลสด้วยสารเคมี (NaOH) ผสมกับพอลิเมอร์ชนิดเทอร์โมพลาสติก ได้แก่ พีพี (PP) และพีวีซี (PVC) สามารถใช้กระบวนการขึ้นรูปพลาสติก ได้แก่ การฉีดขึ้นรูป (Injection molding) และการอัดขึ้นรูป (Compression molding) ขึ้นรูปไม้เทียมจากของผสมวัสดุทั้งสองได้จริง ไม้เทียมที่ได้มีสมบัติเชิงกลที่ดี สามารถใช้งานคล้ายวัสดุไม้ได้ จากการศึกษาปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อสมบัติของไม้เทียม สามารถสรุปผลการวิจัยได้ดังนี้

ตอนที่ 1 การศึกษาผงหญ้าแฝกเป็นสารเพิ่มเนื้อ (Fillers) ในพอลิพรอพิลีน (PP)

1. ผลของผงหญ้าแฝก

- 1.1 ผงหญ้าแฝกทำหน้าที่เป็นสารตัวเติมไม่เสริมแรง (Non-reinforcing filler) ทำให้ค่าความแข็งแรงดึง ค่ามอดุลัส ค่าเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาด ค่าความแข็งแรงกระแทก ค่าความแข็งกด ค่าความแข็งแรงโค้งงอ และค่ามอดุลัสโค้งงอ ไม่แตกต่างกันมากนัก
- 1.2 การทำวัสดุผสมพีพีกับผงหญ้าแฝก มีผลทำให้การดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้นเนื่องมาจากผงหญ้าแฝกมีองค์ประกอบหลักเป็นเซลลูโลสซึ่งช่วยในการดูดซึมน้ำ

- 1.3 จากสัณฐานวิทยาจะเห็นได้ว่า สัณฐานวิทยาที่พบไม่สอดคล้องกับผลการทดสอบเชิงกล
2. ผลของสารช่วยผสม (Maleic anhydride graft polypropylene, MAPP)
- 2.1 ปริมาณสารช่วยผสมที่ 3% ของ MAPP ต่อน้ำหนักของผงหญ้าแฝก ให้สมบัติโดยรวมที่ดีที่สุด
- 2.2 เมื่อทำการเพิ่มสารช่วยผสม (MAPP) ลงไป ค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำของพีพีคอมโพลีเอสเตอร์จะลดลง เนื่องจากพีพีและผงหญ้าแฝกยึดติดกันได้ดีขึ้นทำให้ช่องว่างระหว่างผงหญ้าแฝกกับพีพีลดลง และความชื้นของคอมโพลีเอสเตอร์ลดลง
- 2.3 ค่าอุณหภูมิการหลอมตัวของผลึก (T_m) และค่าองศาความเป็นผลึก มีค่าเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย แสดงว่าผงหญ้าแฝกมีผลเล็กน้อยต่อการเกิดผลึกของพีพีเมตริกซ์
- 2.4 จากสัณฐานวิทยาจะเห็นได้ว่า การยึดติดระหว่างผงหญ้าแฝกกับพีพีจะดีขึ้นเมื่อเพิ่มสารช่วยผสม ซึ่งสังเกตได้จากช่องว่างระหว่างผิวสัมผัสของผงหญ้าแฝกยึดติดกับพีพีดีขึ้น เกิดช่องว่างระหว่างภูมิภาคของผงหญ้าแฝกกับพีพีน้อยลง

ตอนที่ 2 การศึกษาพอลิเมอร์คอมโพลีเอสเตอร์จากพีวีซี และเส้นใยหญ้าแฝก

1. ผลของปริมาณเส้นใยหญ้าแฝก

- 1.1 ปริมาณเส้นใยหญ้าแฝกที่เพิ่มขึ้นทำให้ค่าความแข็งแรงดึงและค่ามอดุลัสมีค่าเพิ่มขึ้น และค่าเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาด มีค่าน้อยลง
- 1.2 ปริมาณเส้นใยหญ้าแฝกที่เพิ่มขึ้นทำให้ค่าความโค้งงอ (Flexural strength) และค่ามอดุลัสโค้งงอ (Flexural modulus) มีค่าเพิ่มขึ้น
- 1.3 ปริมาณเส้นใยหญ้าแฝกที่เพิ่มขึ้นทำให้พอลิเมอร์คอมโพลีเอสเตอร์มีค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้น
- 1.4 ปริมาณเส้นใยหญ้าแฝกที่ 30 phr ทำให้พีวีซีคอมโพลีเอสเตอร์มีสมบัติเชิงกลดีที่สุด
- 1.5 จากสัณฐานวิทยาจะเห็นได้ว่า เมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยมากขึ้น พีวีซีคอมโพลีเอสเตอร์มีการกระจายตัวไม่สม่ำเสมอ จะพบว่าบางบริเวณไม่มีเส้นใยอยู่ บางบริเวณพบเป็นช่องว่าง (Void) ตรงส่วนของพีวีซีเมตริกซ์ และบางบริเวณพบเส้นใยอยู่รวมกันเป็นกลุ่มก้อน (Fiber rich surface, Matrix rich surface)

2. ผลของขนาดเส้นใยหญ้าแฝก

- 2.1 ขนาดของเส้นใยที่เพิ่มขึ้นทำให้ค่าความแข็งแรงดึงและค่ามอดุลัสมีค่าเพิ่มขึ้น และค่าเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาด มีค่าน้อยลง
- 2.2 ขนาดของเส้นใยที่เพิ่มขึ้นทำให้ค่าความโค้งงอ (Flexural strength) และค่ามอดุลัสโค้งงอ (Flexural modulus) มีค่าเพิ่มขึ้น
- 2.3 ขนาดของเส้นใยที่เพิ่มขึ้นทำให้พอลิเมอร์คอมโพสิตมีค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำเพิ่มขึ้น
- 2.4 เส้นใยขนาด 20-50 mesh ทำหน้าที่เป็นสารตัวเติมเสริมแรง (Reinforcing filler) ทำให้สมบัติโดยรวมดีที่สุด
- 2.5 จากสัณฐานวิทยาจะเห็นได้ว่า เส้นใยมีลักษณะเป็น microfibers มีขนาดเล็กประกอบกันเป็นเส้นใยขนาดใหญ่ แต่อย่างไรก็ดีจะพบช่องว่างมากในพีวีซีเมตริกซ์ ทั้งนี้ อาจเนื่องมาจากพีวีซีบางส่วนเกิดการสลายตัวทางความร้อน



5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรทำการทดลองขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์อื่นที่มีประโยชน์ เช่น กรอบหน้าต่าง กรอบประตู และทดสอบคุณสมบัติในการใช้งานจริง
2. ทำการศึกษาผลของสารเติมแต่งอื่นๆ เพื่อช่วยปรับปรุงสมบัติ เช่น ความทนทานต่อความร้อน สมบัติการไหล อายุการใช้งาน เป็นต้น
3. ปรับปรุงกระบวนการขึ้นรูปให้เส้นใยมีการกระจายตัวได้สม่ำเสมอ เพื่อให้มีคุณสมบัติเชิงกลที่ดีขึ้น เช่น ใส่สารช่วยกระจาย (Dispersing agent)
4. ปรับปรุงสีของวัสดุผสมพีพีกับผงหญ้าแฝก และพีวีซีคอมโพสิตให้มีสีสวยงามขึ้น
5. อาจทำการเปลี่ยนแปลงชนิดของพอลิเมอร์และชนิดของเส้นใย เช่น การเตรียมเส้นใยโดยกรรมวิธี Thermomechanical เพื่อให้ได้สมบัติที่ดีขึ้น
6. การศึกษาฐานฐานวิทยาโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ควรใช้กำลังขยายที่ต่ำ



เอกสารอ้างอิง (References)

1. สมภพ เลิศลักษณ์กุล 2544. “ไม้เทียมพอลิเมอร์คอมโพสิตเส้นใยธรรมชาติจากพอลิไวนิลคลอไรด์ (พีวีซี) และเส้นใยยูคาลิปตัส” วิทยานิพนธ์วิทยาศาตรมหาบัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
2. ผศ.ดร. อธิธิพล แจ่มชัด และนายวรธรรม อุ่นจิตติชัย² เสนอโค รางานวิจัยเรื่อง “วัสดุประกอบพอลิเมอร์คอมโพสิตจากเส้นใยหญ้าแฝกและเทอร์โมพลาสติก” อยู่ในชุดโครงการวิจัย การพัฒนาผลิตภัณฑ์แผ่นประกอบหญ้าแฝกกันปลวกเพื่อเสนอสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ:โครงการที่ 3
3. อธิพัฒน์ อุดมโชค และพจนีย์ ศรธรรมลี 2543. “การศึกษาไม้เทียมพอลิเมอร์คอมโพสิตจากพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำและเส้นใยผักตบชวา” โครงการพิเศษวิทยาศาตรบัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
4. ปิยะวรรณ เจียวกิก และพงศศักดิ์ แพน้อย 2543. “การศึกษาพอลิเมอร์คอมโพสิตไม้เทียมจากพอลิพรอพิลีนและไม้ยูคาลิปตัส” โครงการพิเศษวิทยาศาตรบัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
5. เฉลิมพล อธิธิวัฒน์ และสกุล บรรจงวุฒิ. 2537. “การใช้เส้นใยเซลลูโลสผสมกับเส้นใยแก้วเพื่อเป็นสารเสริมแรงในพอลิเอทิลีน” โครงการพิเศษ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
6. พิชัย พันธุ์พัฒนา และศิริพงศ์ ไรจนวีระ. 2533. “วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรในการปรับปรุงสมบัติทางกายภาพของพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงและพอลิพรอพิลีน” โครงการพิเศษ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
7. Rodney, J.S. et.al. 1992. “Composite Materials from Recycled Miltilayer Polypropylene Bottles and Wood Fiber.” American Chemical Society. 232-240.
8. ณภัทรพวงศ์ สุวรรณชัย และณัฐพร เต็นนินนาท. 2538. “การใช้ประโยชน์จากเส้นใยสลาบลวงเป็นสารตัวเติมในพอลิพรอพิลีน” โครงการพิเศษ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
9. Nagaty, A. et.al. 1983. J. Apply. Polym.Sci. 21 : 715.
10. Woodhams, R.t. et.al. 1984 “Wood Fiber as Reinforcing Filler in Polyethylene : Studies on Mechanical Properties.” Polym. Eng. Sci. 24(15) : 77-81.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

11. Yam, K.L. et. al. 1990. "Composites from Compounding Wood Fibers with Recycled HDPE." *Polym. Eng. Sci.* 30(11) : 693-700.
12. Raj, R.G. et. al. 1989. "Use of Wood Fiber as a Filler in Polyethylene : Studies on Mechanical Properties." *Plastic and Rubber Processing and Application.* 11 : 215-221.
13. จีรพรรณ หน่ายคอน และมาริสสา ตันติลักษณ์ 2541. "วัสดุคอมโพสิตจากพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงและพอลิพรอพิลีนกับเส้นใยอ้อย" *โครงการพิเศษวิทยาศาสตร์บัณฑิตภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.*
14. ปิยะวัน ตั้งควรรณวานิช 2541. "การศึกษาพอลิเมอร์คอมโพสิตเส้นใยธรรมชาติจากไม้ (ไม้สีสุก)" *วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.*
15. รัชดา ขวัญตน 2542. "คอมโพสิตจากพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่ใช้แล้วและเส้นใยอ้อย" *วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.*
16. กมลรัตน์ คุรัตน์ชัชวาล และดุจดาว ปรีชาวงศ์ 2541 "บทบาทของมัลติฟังก์ชันนัลมอนอเมอร์ที่มีผลต่อสมบัติเชิงกล และความร้อนของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่ใช้แล้วกับพอลิพรอพิลีนผสมกับชานอ้อย" *โครงการพิเศษวิทยาศาสตร์บัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.*
17. ผศ.ดร. มาลินี ชัยศุภกิจสินธ์. 2541. *เคมีพอลิเมอร์.* กรุงเทพฯ : โครงการตำรา คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
18. ผศ.ดร. อธิพิล แจ้งชัด. 2543. *พอลิเมอร์คอมโพสิต.* กรุงเทพฯ : เอกสารประกอบการศึกษา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
19. Kokta, B.V. et.al. 1989. "Use of Wood Flour as Filler in Polypropylene : Studies on Mechanical Properties." *Polym. -Plast. Technol. Eng.* 28(3) : 247-259.
20. George, J. et.al. 1994. *Mechanical and Viscoelastic Properties of Shot Pineapple Fiber Reinforced Low-Density Polyethylene Composite, Polymer Science Recent Advances, (Bharwaj,I.S.ed.) Allied Publishers Limited. India.*
21. Xian, X.J. et.al. 1993. "Mechanical Behavior and Microstructure of Nature Plant Fiber Reinforced Composite Material." *Proc. Int. Conf. Compos. Mater.* 2 : 858-863.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

สภาวะที่ใช้ในการฉีดขึ้นรูปด้วยเครื่อง Injection molding machine

TIME PROGRAMING

DIE CLS/OPN TIME	: 40	MELTING TIME	: 200
SID-COR ACT TIME	: 0	DECOMPRS TIME	: 1
1 ST STG INJ TIME	: 20	COOLING TIME	: 200
2 ND STG INJ TIME	: 15	EJECTOR COUNT	: 1
3 RD STG INJ TIME	: 10	SCW FWD TIME	: 0
EJECT FWD DLY TIME	: 0	SCW BWD TIME 1	: 0
MELTING DLY TIME	: 10	SCW BWD TIME 2	: 0
EJE BKD DLY TIME	: 0	ALARM TIME	: 500

PRESSURE PROGRAMING

DIE CLSPRESR	: 30	DECOMP PRESR	: 20
CLS LOW PRESR	: 35	PLUNGER PRESR	: 20
CLS HI PRESR	: 40	EJECTOR PRESR	: 40
DIE OPN PRESR	: 45	SCW-IN PRESR	: 30
1 ST INJ PRESR	: 70	DIE ADJ PRERSR	: 30
2 ND INJ PRESR	: 65		
3 RD INJ PRESR	: 60		
MELTING PRESR	: 50		

PROGRAMING FLOW SPEED

RAPID CLS SPD	: 30	1 ST STG INJ STD	: 60
HIGHT CLS SPD	: 20	2 ND STG INJ SPD	: 60
CLAMING SPD	: 15	3 RD STG INJ SPD	: 60
DIE OPN SLW1	: 5	MELTING SPD	: 40
RAPID OPN SPD	: 20	DECOMP SPD	: 20
DIE OPN SLW2	: 10	EJECTOR SPD	: 20
PLUNGER SPD	: 20	SCREW IN SPD	: 0
DIE ADJ SPD	: 25	DIE CHANG SPD	: 0

PROGRAMING TEMPERATURES

PROGRAMED TEMP		CURRENT TEMP
NOZZLE	:	200
ZONE 1	:	190
ZONE 2	:	180
ZONE 3	:	0
ZONE 4	:	0
ZONE 5	:	0
ZONE 6	:	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

ตอนที่ 1 การศึกษาผงงู้าแฝกเป็นสารเพิ่มเนื้อ (Fillers) ในพอลิพรอพิลีน (PP)

ตารางแสดงผลการทดสอบต่างๆของคอมโพสิตพีพีผงงู้าแฝก

ตารางที่ ข 1 แสดงผลการทดสอบเชิงกล

สูตร	Tensile strength (MPa)	Elongation at Break (%)	Modulus (MPa)	Impact strength (kJ/m ²)
PP	31.83	15.84	175.15	4.80
PP+0%g+(20-50 mesh) 10 phr	30.79	10.55	184.93	3.94
PP+1%g+(20-50 mesh) 10 phr	29.17	9.66	177.33	3.76
PP+2%g+(20-50 mesh) 10 phr	30.11	9.65	177.70	3.83
PP+3%g+(20-50 mesh) 10 phr	30.13	9.80	179.18	3.73
PP+4%g+(20-50 mesh) 10 phr	29.50	9.52	177.37	3.91
PP+3%g+(20-50 mesh) 20 phr	26.41	7.73	179.53	3.84
PP+3%g+(20-50 mesh) 30 phr	27.60	6.22	186.07	3.77
PP+3%g+(20-50 mesh) 40 phr	21.05	5.64	184.70	3.64
PP+3%g+(unsieve) 30 phr	25.40	7.79	198.44	3.22
PP+3%g+(50-100 mesh)30phr	25.33	5.77	185.06	3.07
PP+3%g+ (>100 mesh) 30 phr	23.01	7.26	183.90	3.46

ตารางที่ ข 1 แสดงผลการทดสอบเชิงกล (ต่อ)

สูตร	Flexural strength (MPa)	Flexural Modulus (MPa)	Hardness (shore D)	Density (g/cm ³)
PP	48.39	1060.51	60.08	0.90
PP+0%g+(20-50 mesh) 10 phr	47.61	1305.42	61.42	0.93
PP+1%g+(20-50 mesh) 10 phr	53.67	1150.24	67.08	0.91
PP+2%g+(20-50 mesh) 10 phr	54.58	1233.62	67.25	0.92
PP+3%g+(20-50 mesh) 10 phr	54.80	1263.59	65.63	0.93
PP+4%g+(20-50 mesh) 10 phr	55.42	1169.77	59.86	0.93
PP+3%g+(20-50 mesh) 20 phr	54.80	1341.71	60.67	0.92
PP+3%g+(20-50 mesh) 30 phr	54.39	1666.30	61.60	0.92
PP+3%g+(20-50 mesh) 40 phr	56.08	1573.80	62.10	0.92
PP+3%g+(unsieve) 30 phr	54.44	1704.95	64.13	0.94
PP+3%g+(50-100 mesh)30phr	56.03	1624.16	64.79	0.93
PP+3%g+ (>100 mesh) 30 phr	55.63	1542.99	64.47	0.91

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ๒ แสดงผลการทดสอบทางความร้อน DSC

สูตร	T_m ($^{\circ}\text{C}$)	ΔH_f (J/g)	%Crystallinity
PP	165.337	83.336	50.506
PP+0%g+(20-50 mesh) 10 phr	169.000	81.633	54.420
PP+3%g+(20-50 mesh) 10 phr	166.066	77.635	51.898
PP+4%g+(20-50 mesh) 10 phr	168.660	74.017	49.524
PP+3%g+(20-50 mesh) 20 phr	166.000	67.979	49.686
PP+3%g+(20-50 mesh) 30 phr	165.000	63.559	50.420
PP+3%g+(20-50 mesh) 40 phr	166.670	48.911	41.856
PP+3%g+(unsieve) 30 phr	166.000	62.269	49.400
PP+3%g+(50-100 mesh)30phr	165.670	68.485	54.330
PP+3%g+ (>100 mesh) 30 phr	167.337	70.869	56.220

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข 3 แสดงผลร้อยละการดูดซับน้ำ

สูตร	3 วัน	5 วัน	7 วัน	10วัน	15วัน	20วัน
PP	0.0271	0.0421	0.0684	0.0783	0.0881	0.0915
PP+0%g+(20-50 mesh) 10 phr	0.1752	0.1860	0.2302	0.2461	0.2860	0.3063
PP+1%g+(20-50 mesh) 10 phr	0.2094	0.2773	0.2902	0.2974	0.3402	0.3771
PP+2%g+(20-50 mesh) 10 phr	0.1980	0.2014	0.2102	0.2115	0.2422	0.2706
PP+3%g+(20-50 mesh) 10 phr	0.1646	0.1750	0.2553	0.2650	0.3107	0.3303
PP+4%g+(20-50 mesh) 10 phr	0.1592	0.1811	0.2004	0.2220	0.2560	0.2672
PP+3%g+(20-50 mesh) 20 phr	0.3201	0.4904	0.5143	0.6525	0.7840	0.8176
PP+3%g+(20-50 mesh) 30 phr	0.2153	0.5350	0.5453	0.6870	0.9902	0.9934
PP+3%g+(20-50 mesh) 40 phr	0.5202	0.7602	0.7901	1.0303	1.3700	1.3902
PP+3%g+(unsieve) 30 phr	0.2304	0.3412	0.5173	0.5454	0.6532	0.6873
PP+3%g+(50-100 mesh)30phr	0.3103	0.4801	0.5682	0.6051	0.7202	0.7601
PP+3%g+ (>100 mesh) 30 phr	0.3701	0.5825	0.6201	0.7803	0.9043	0.9201

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

ตอนที่ 2 การศึกษาพอลิเมอร์คอมโพสิตจากพีวีซีและเส้นใยหญ้าแฝก

ตารางแสดงผลการทดสอบต่างๆของคอมโพสิตพีวีซีเส้นใยหญ้าแฝก

ตารางที่ ค 1 แสดงผลการทดสอบเชิงกล

สูตร	Tensile strength (MPa)	Elongation at Break (%)	Modulus (MPa)	Impact strength (kJ/m ²)
PVC	32.20	15.84	58.19	3.79
PVC+ (20-50 mesh) 10 phr	37.63	12.04	58.33	3.87
PVC+ (20-50 mesh) 20 phr	38.13	10.17	58.79	3.85
PVC+ (20-50 mesh) 30 phr	41.54	10.31	57.84	4.14
PVC+ (20-50 mesh) 40 phr	39.74	9.75	53.86	4.58
PVC+ (unsieve) 30 phr	39.15	9.99	42.96	4.28
PVC+ (50-100 mesh) 30 phr	37.98	10.49	43.74	4.52
PVC+ (>100 mesh) 30 phr	34.11	10.23	42.23	4.22

สูตร	Flexural strength (MPa)	Flexural Modulus (MPa)	Hardness (shore D)	Density (g/cm ³)
PVC	75.56	2098.48	67.75	1.08
PVC+ (20-50 mesh) 10 phr	84.47	2760.52	67.40	1.03
PVC+ (20-50 mesh) 20 phr	89.54	2840.76	69.50	1.12
PVC+ (20-50 mesh) 30 phr	94.46	3010.37	69.86	1.09
PVC+ (20-50 mesh) 40 phr	101.87	2657.08	72.50	1.13
PVC+ (unsieve) 30 phr	72.93	2523.51	69.63	1.11
PVC+ (50-100 mesh) 30 phr	75.28	2744.15	68.63	1.08
PVC+ (>100 mesh) 30 phr	78.37	2832.65	66.15	1.25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค 2 แสดงผลร้อยละการดูดซับน้ำ

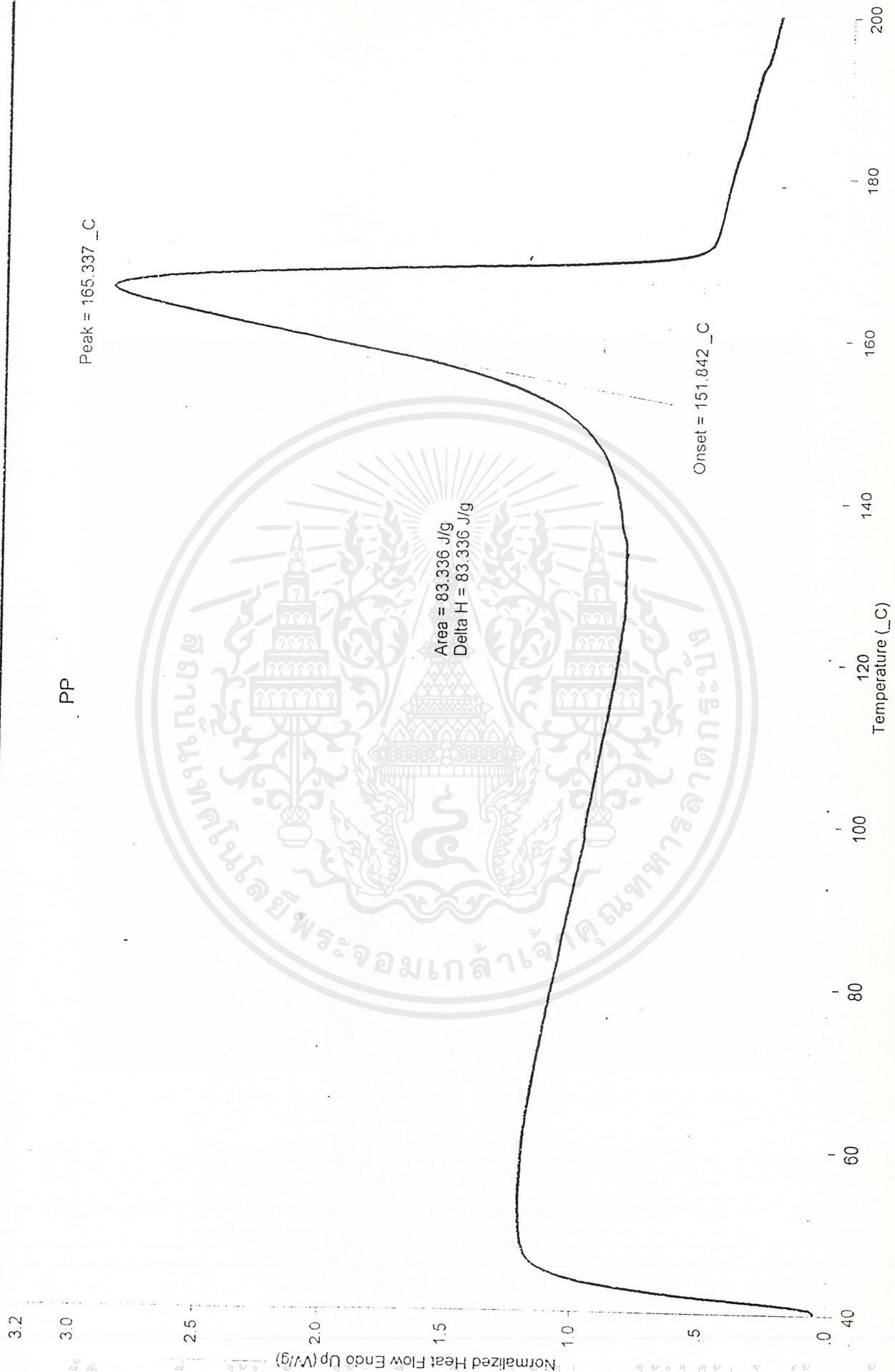
สูตร	3 วัน	5 วัน	7 วัน	10 วัน	15 วัน	20 วัน
PVC	0.2360	0.2454	0.3120	0.3745	0.3850	0.3902
PVC+ (20-50 mesh) 10 phr	0.5720	0.6321	0.6350	0.7423	0.9216	0.9820
PVC+ (20-50 mesh) 20 phr	1.0842	1.1930	1.3220	1.5945	1.9520	1.9502
PVC+ (20-50 mesh) 30 phr	1.3220	1.4930	1.7550	1.9732	2.6323	2.7171
PVC+ (20-50 mesh) 40 phr	1.9820	2.7616	3.4940	3.8720	4.2135	4.3486
PVC+ (unsieve) 30 phr	1.4722	1.6667	2.0541	2.1420	2.7511	2.8860
PVC+ (50-100 mesh) 30 phr	1.5440	1.6667	1.7667	2.0542	2.7820	2.7849
PVC+ (>100 mesh) 30 phr	1.2780	1.4021	1.5490	2.7620	3.0052	3.1143

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง : ผลการทดสอบสมบัติทางความร้อน
Differential scanning calorimetry (DSC)



Operator ID: siriporn
Sample ID: Polypropylene pure
Comment: pan 30_20_c/min



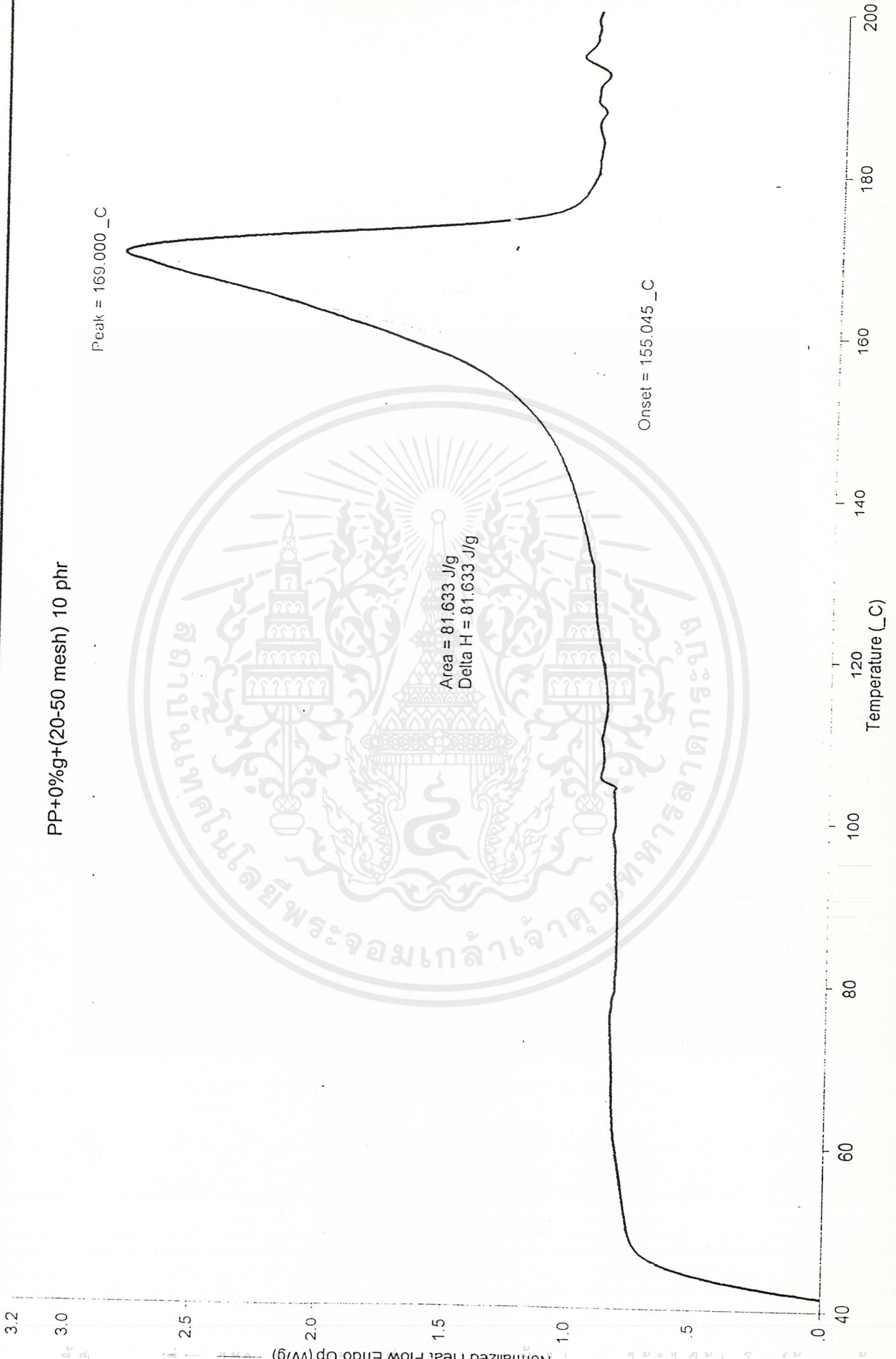
Heat from 40.00 C to 200.00 C at 20.00 C/min

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Normalized Heat Flow Endo Up (W/g) : Step: 1

Data Collected: 20/2/45 9:29:00
Operator ID: siriporn
Sample ID: Polypropylene
Comment: pan 30_20 c/min

PP+0%g+(20-50 mesh) 10 phr



1) Heat from 40.00 C to 200.00 C at 20.00 C/min

2) Cool from 200.00 C to 40.00 C at 20.00 C/min

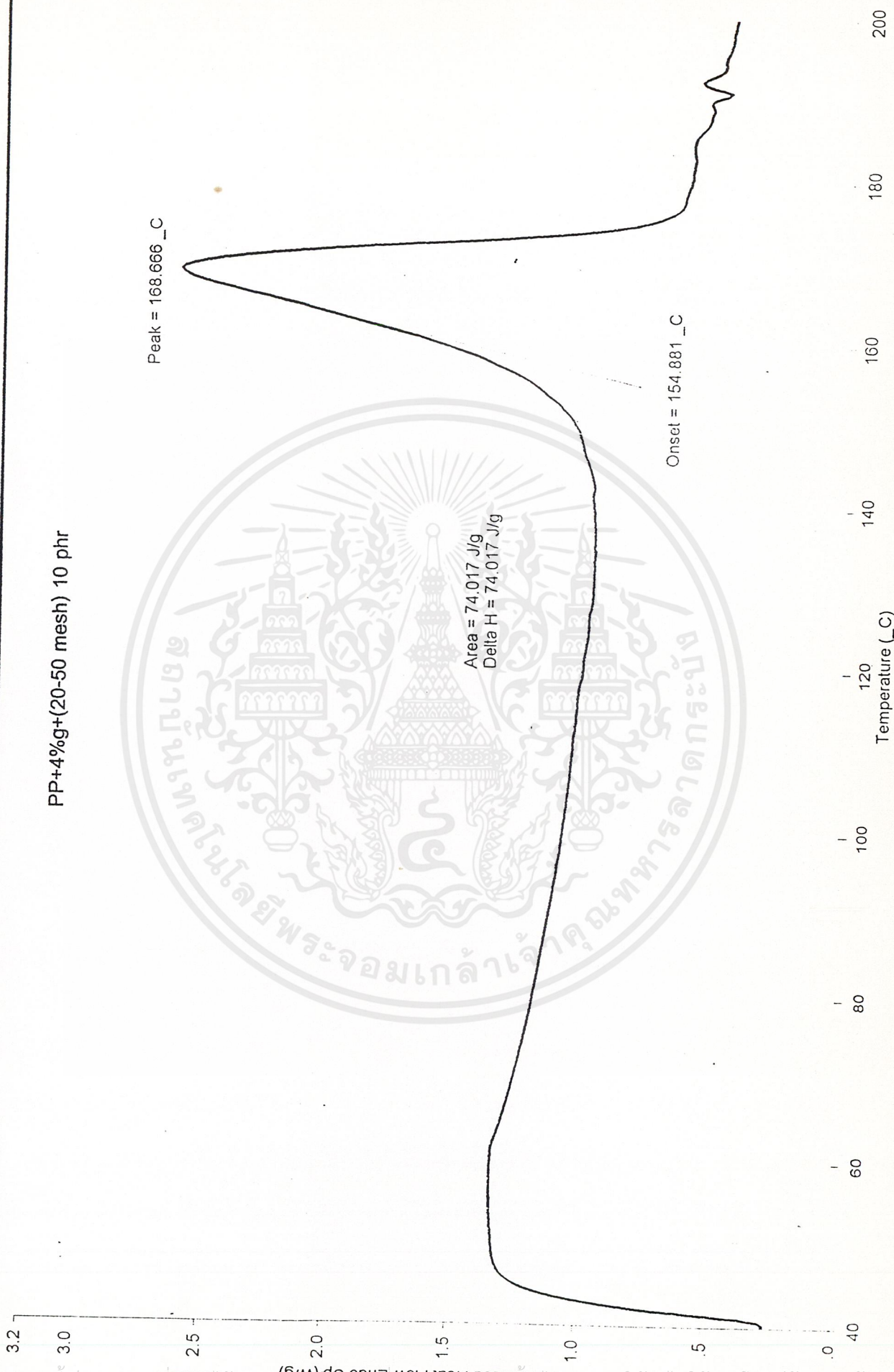
20/2/45 10:27:00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในห้องปฏิบัติการเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Polypropylene: PP_4%.dsc
Normalized Unsubtracted Heat Flow Endo Up (W/g) : Step: 1

Data Collected: 28/2/45 10:14:30
Operator ID: siriporn
Sample ID: Polypropylene
Comment: pan 30 , 20 c/min

PP+4%g+(20-50 mesh) 10 phr

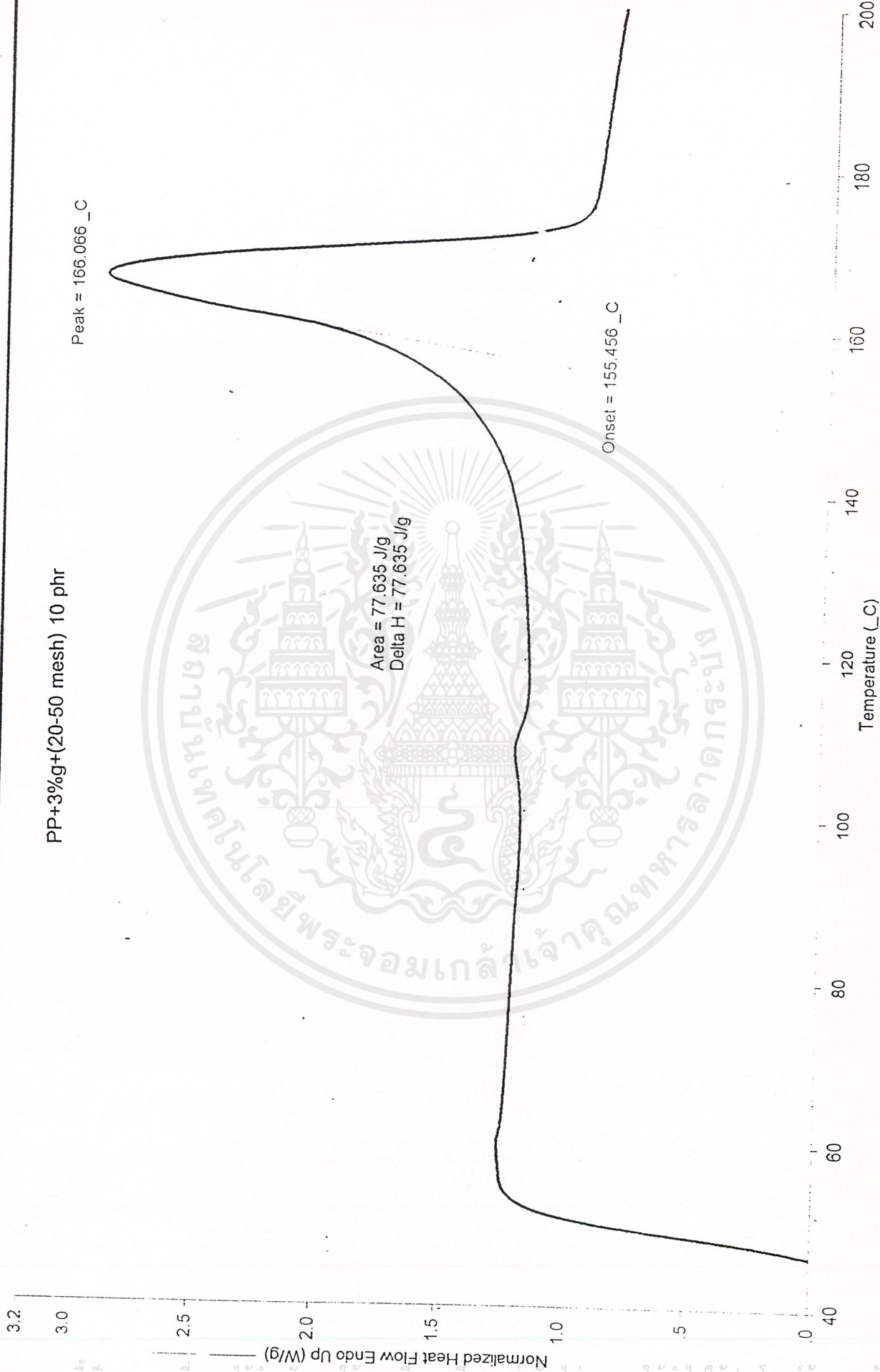


Heat from 40.00 C to 200.00 C at 20.00 C/min

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในการศึกษาวิจัยเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Operator ID: siriporn
Sample ID: Polypropylene
Comment: pan 30_20 c/min

PP+3%g+(20-50 mesh) 10 phr



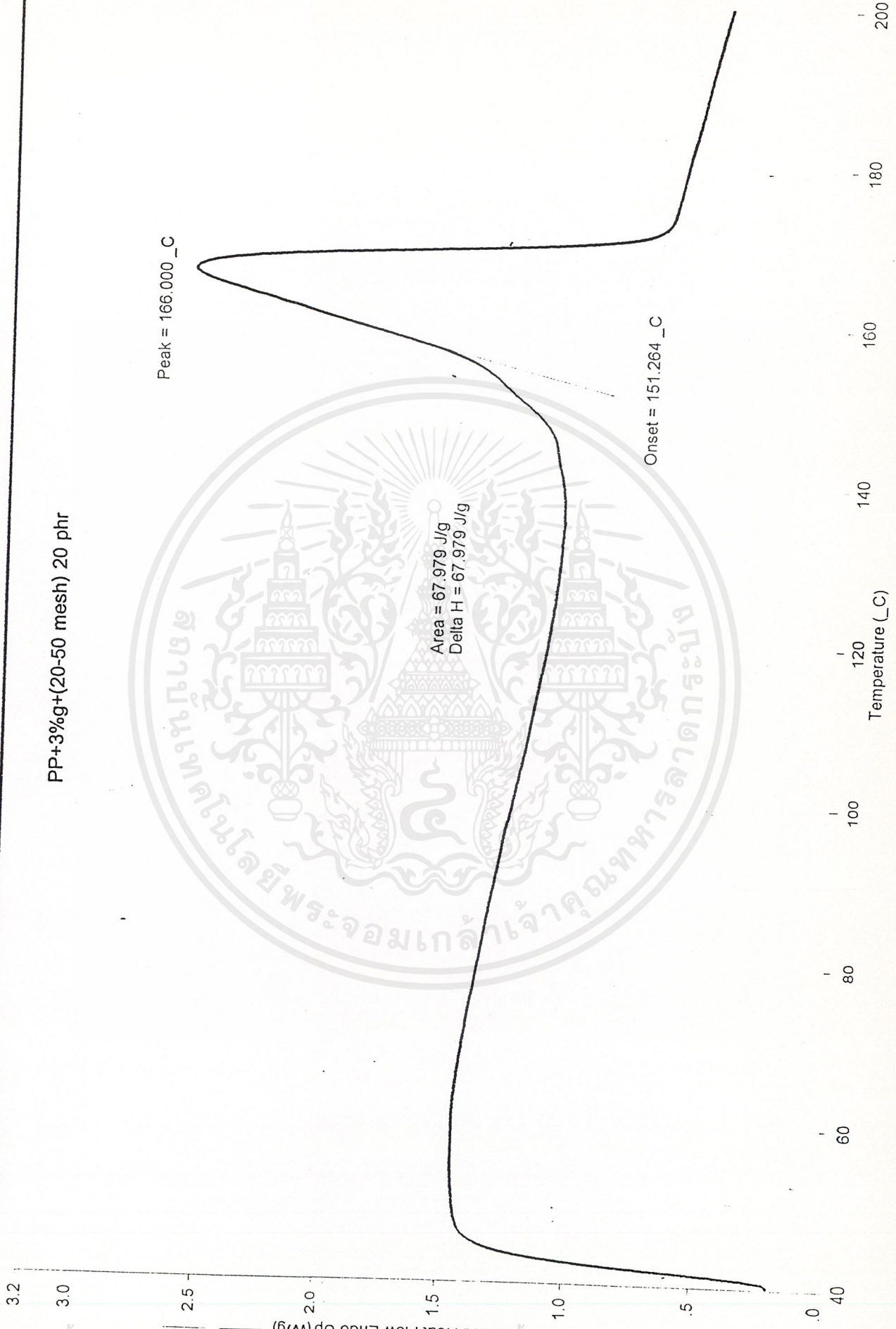
- 1) Heat from 40.00_C to 200.00_C at 20.00_C/min
- 2) Cool from 200.00_C to 40.00_C at 20.00_C/min
- 3) Heat from 40.00_C to 200.00_C at 20.00_C/min

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

File Name: 2012/43 10:31:11
Operator ID: siriporn
Sample ID: Polypropylene
Comment: pan 30+hole_20 c/min

Normalized Unsubtracted Heat Flow Endo Up (W/g) : Step: 1

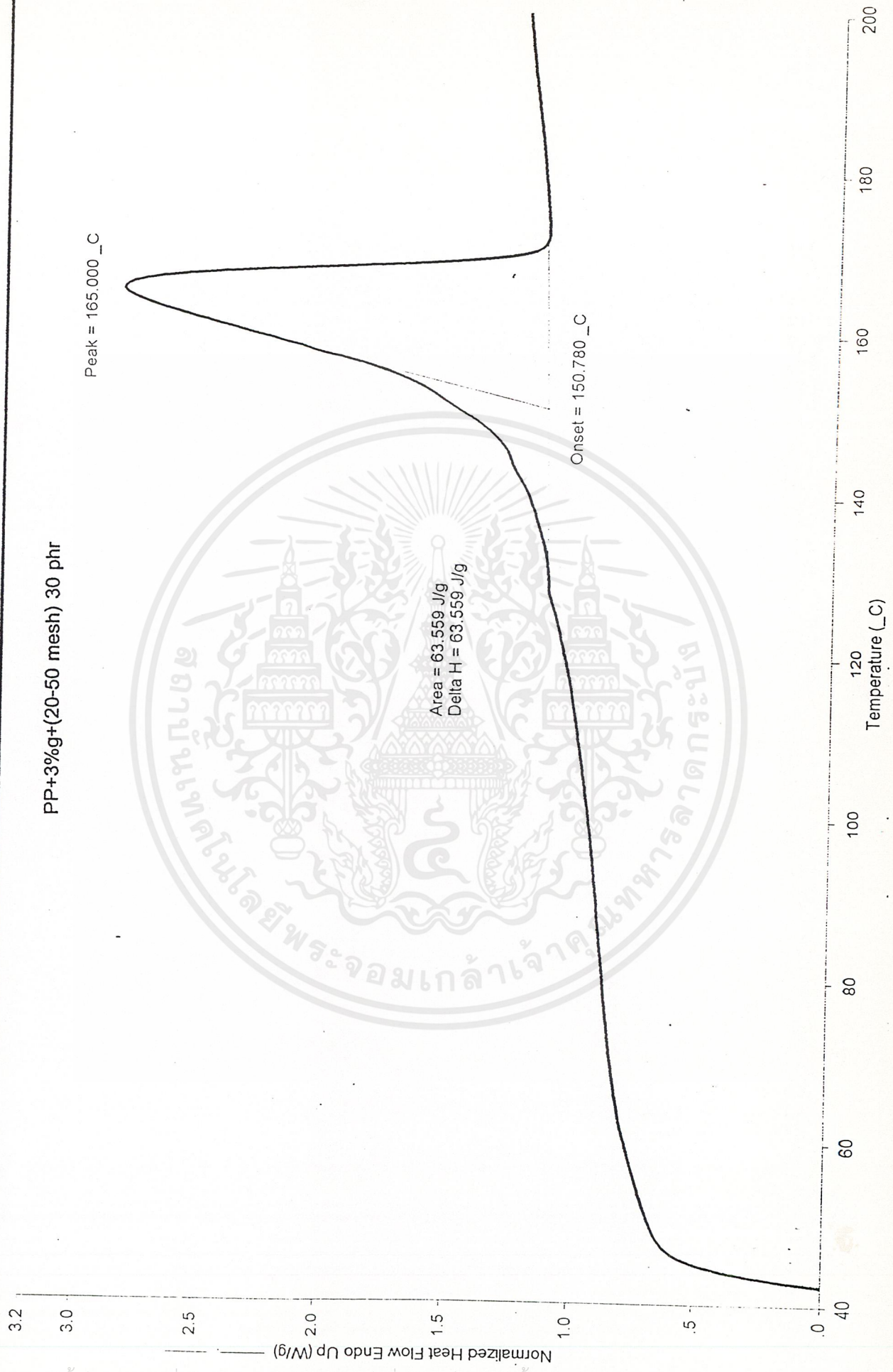
PP+3%g+(20-50 mesh) 20 phr



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Data Collected: 28/Z/45 10:48:19
 Operator ID: siriporn
 Sample ID: Polypropylene
 Comment: pan_30+hole_20_c/min

PP+3%g+(20-50 mesh) 30 phr



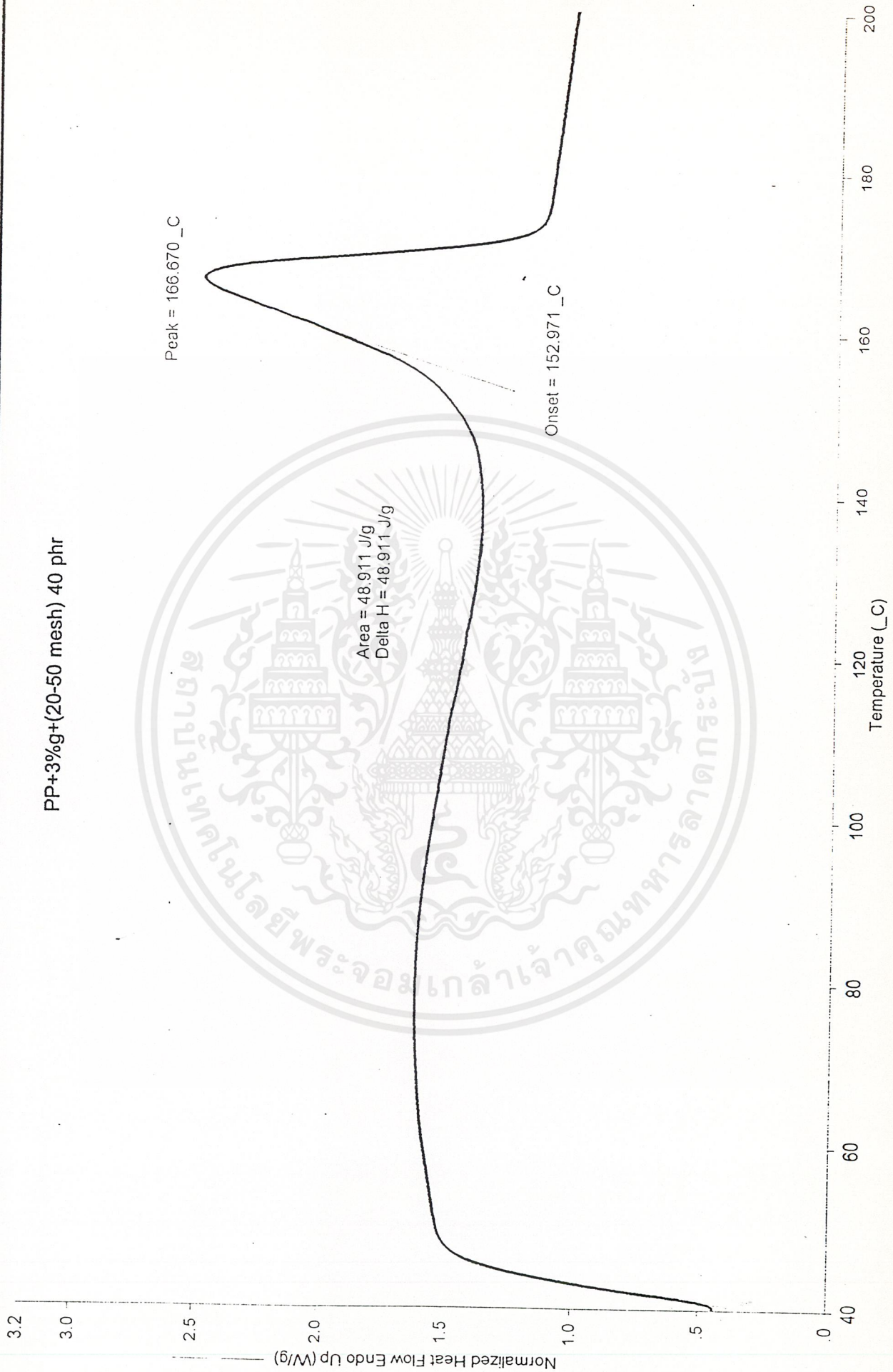
1) Heat from 40.00 C to 200.00 C at 20.00 C/min

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Normalized Unsubtracted Heat Flow Endo Up (W/g) : Step: 1

Operator ID: siriporn
Sample ID: Polypropylene
Comment: pan 30+hole 20 c/min

PP+3%g+(20-50 mesh) 40 phr



Heat from 40.00 °C to 200.00 °C at 20.00 °C/min

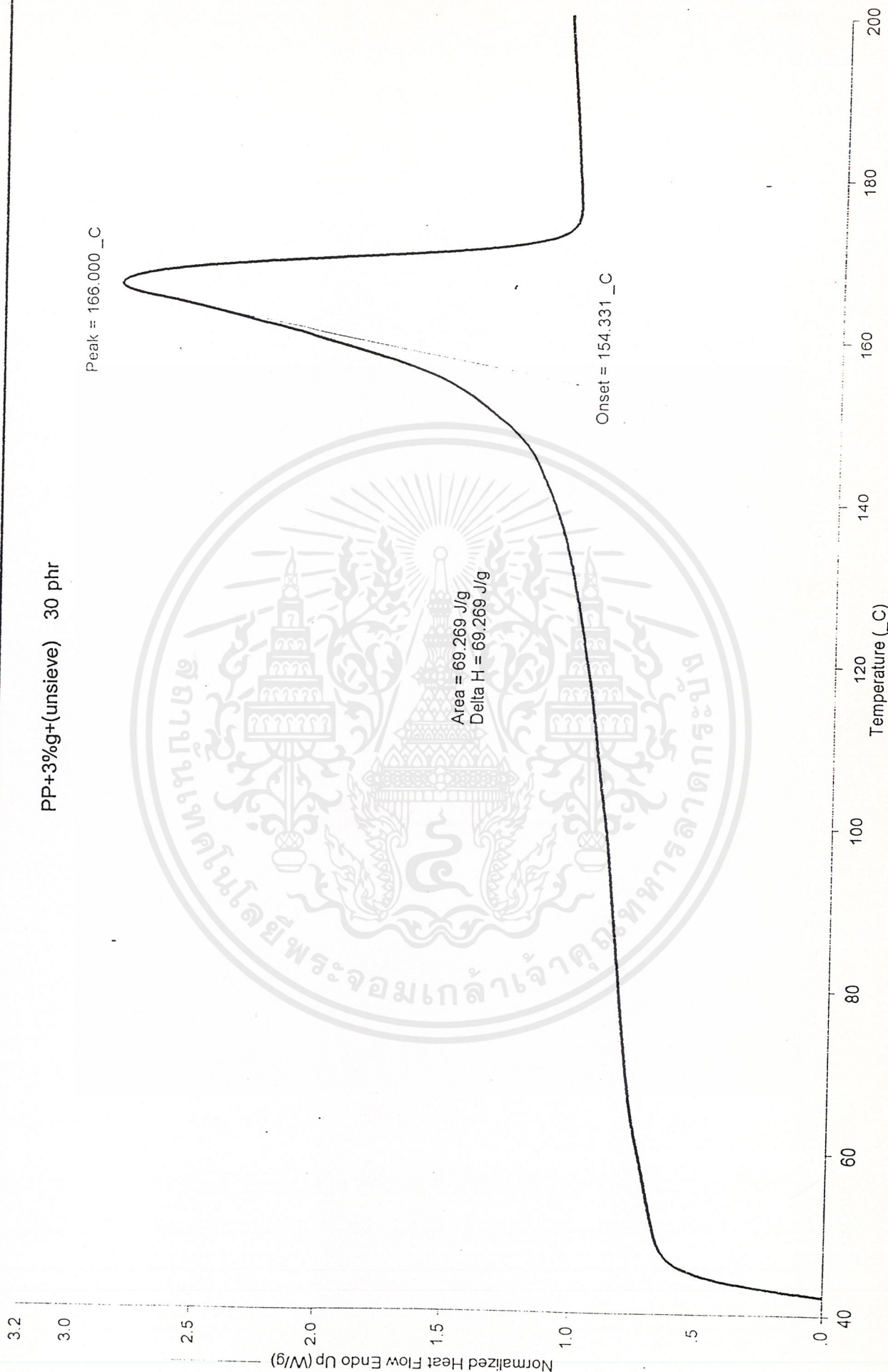
20/11/15 11:38:23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Normalized Unsubtracted Heat Flow Endo Up (W/g) : Step: 1

Data Collected: 28/2/45 11:17:43
Operator ID: siriporn
Sample ID: Polypropylene
Comment: pan 30+hole_20 c/min

PP+3%g+(unsieve) 30 phr



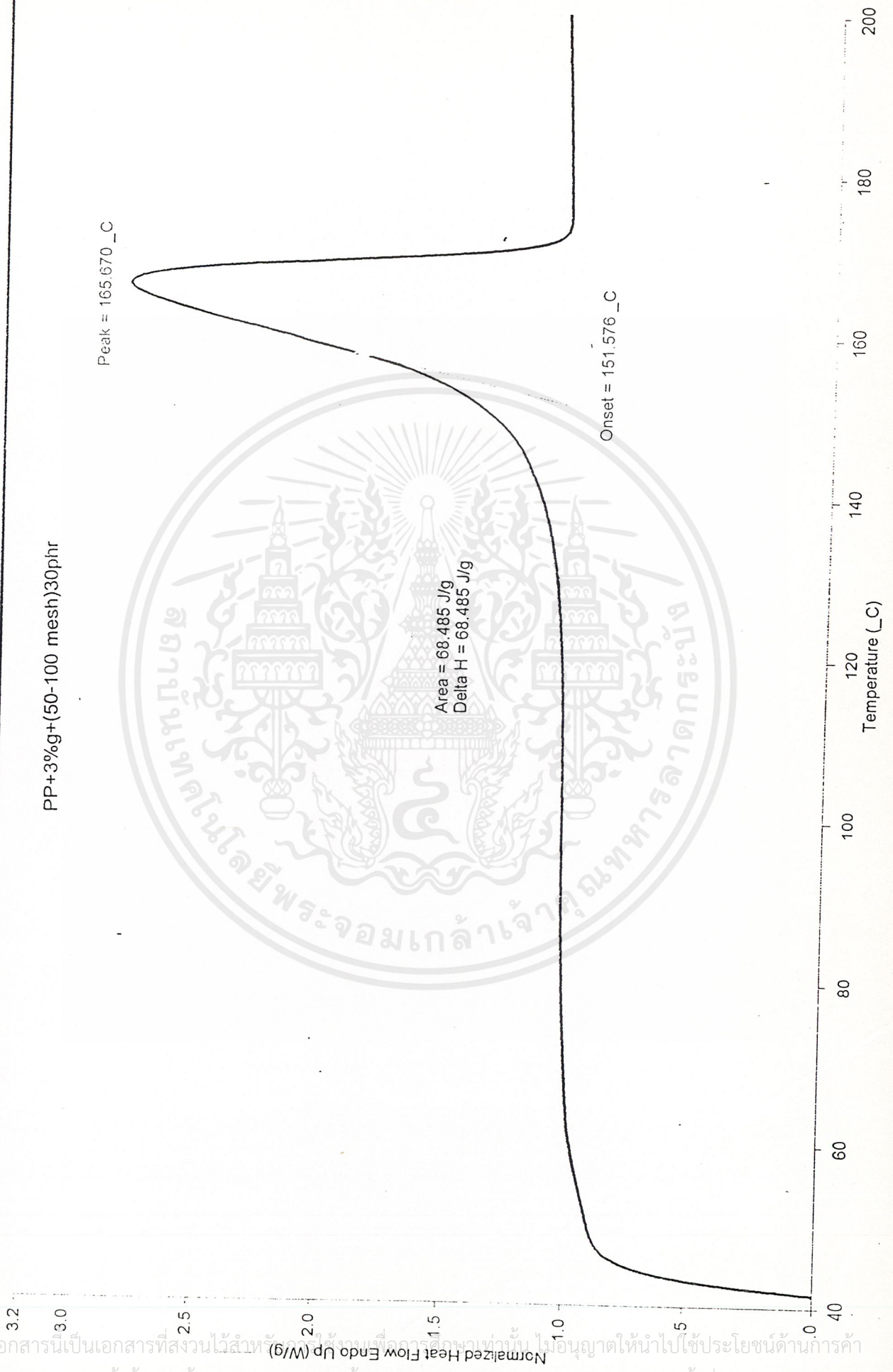
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Printed from 10.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00

Data Collected: 28/2/45 11:31:15
Operator ID: siriporn
Sample ID: Polypropylene
Comment: pan 30+hole 20 c/min

Polypropylene : PP_50_100.dsd
Normalized Unsubtracted Heat Flow Endo Up (W/g) : Step: 1

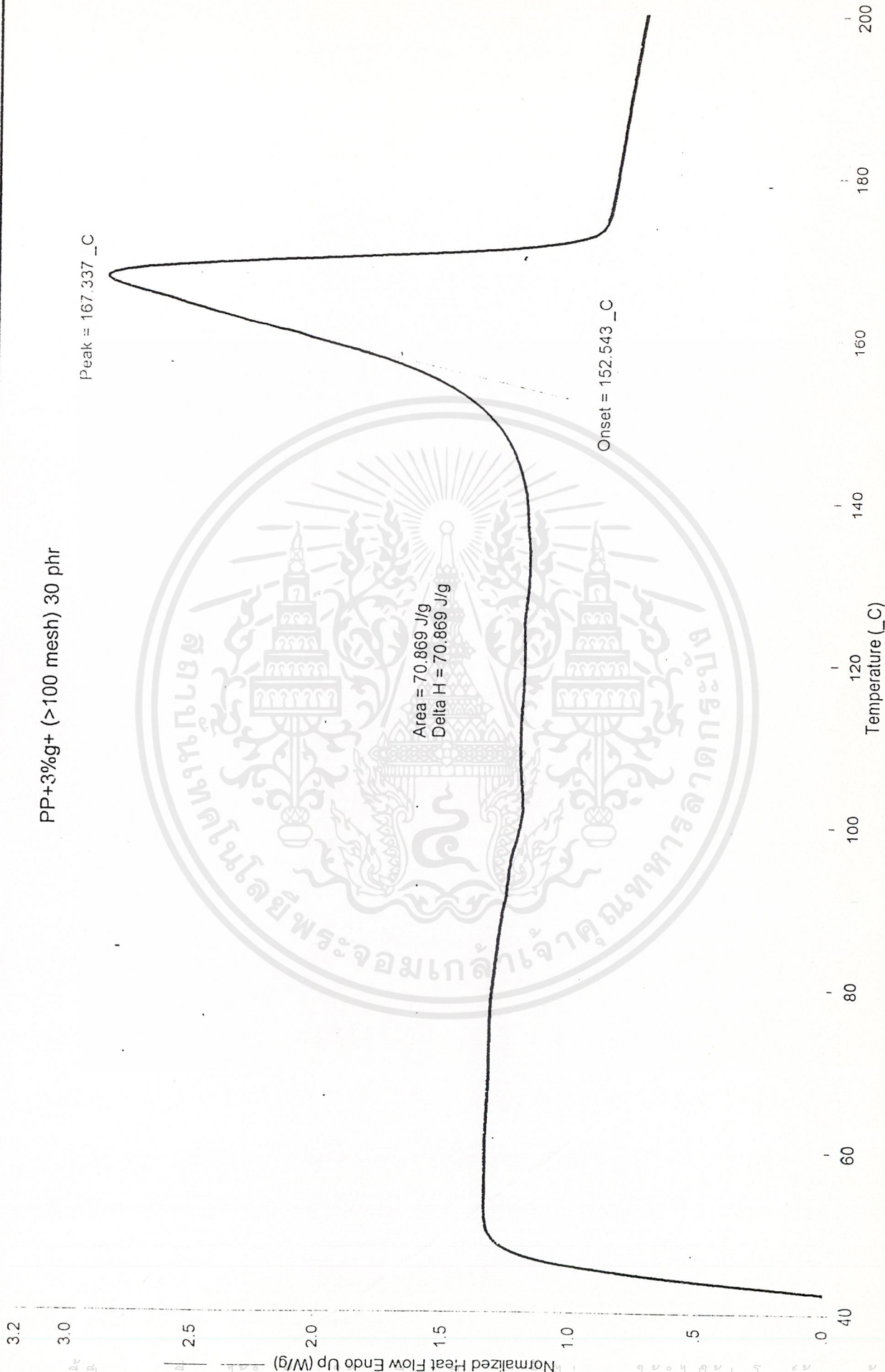
PP+3%g+(50-100 mesh)30phr



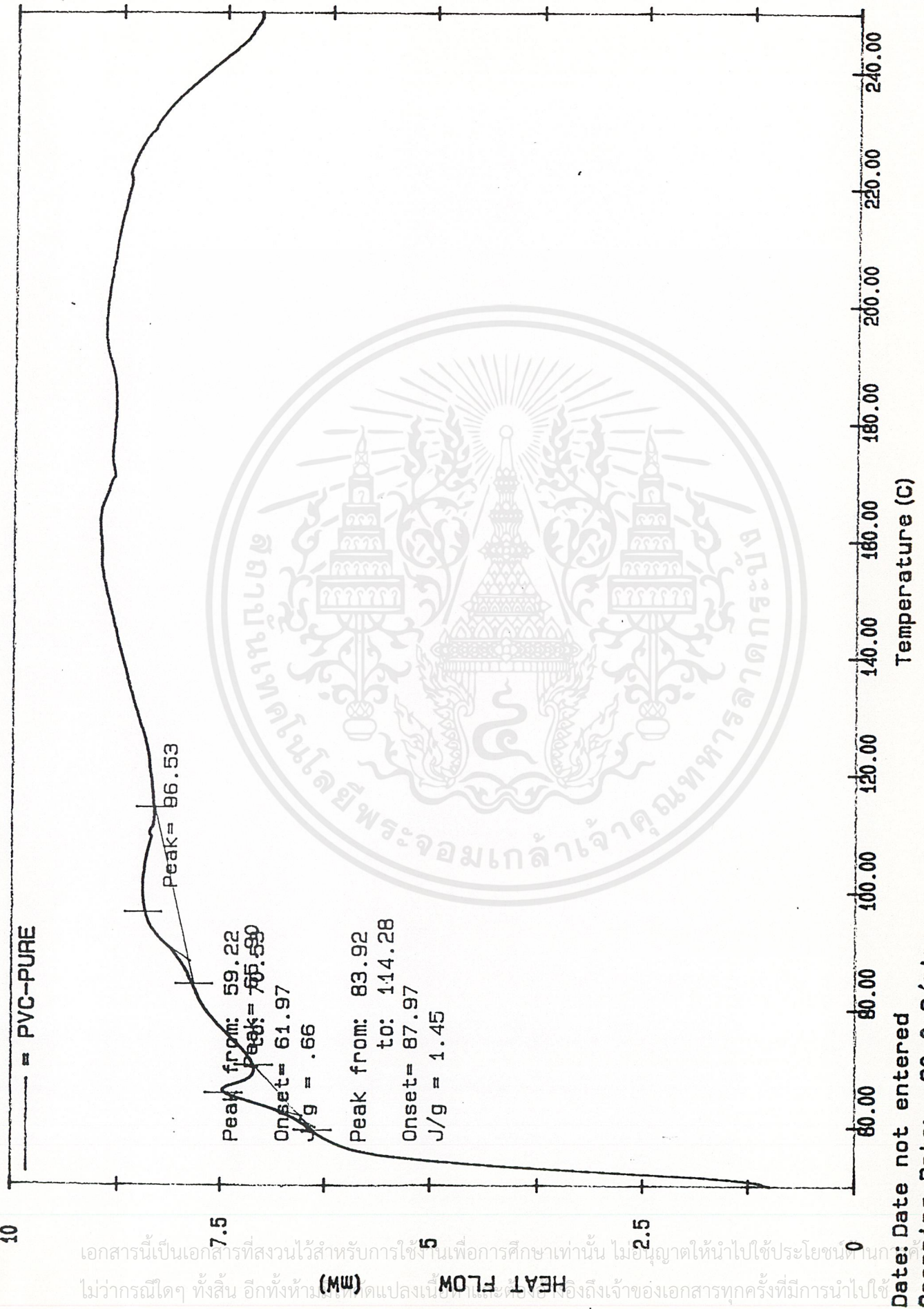
[1] Heat from 40.00 C to 200.00 C at 20.00 C/min

Operator ID: siriporn
Sample ID: Polypropylene
Comment: pan 30+hole, 20 c/min

PP+3%g+ (>100 mesh) 30 phr



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

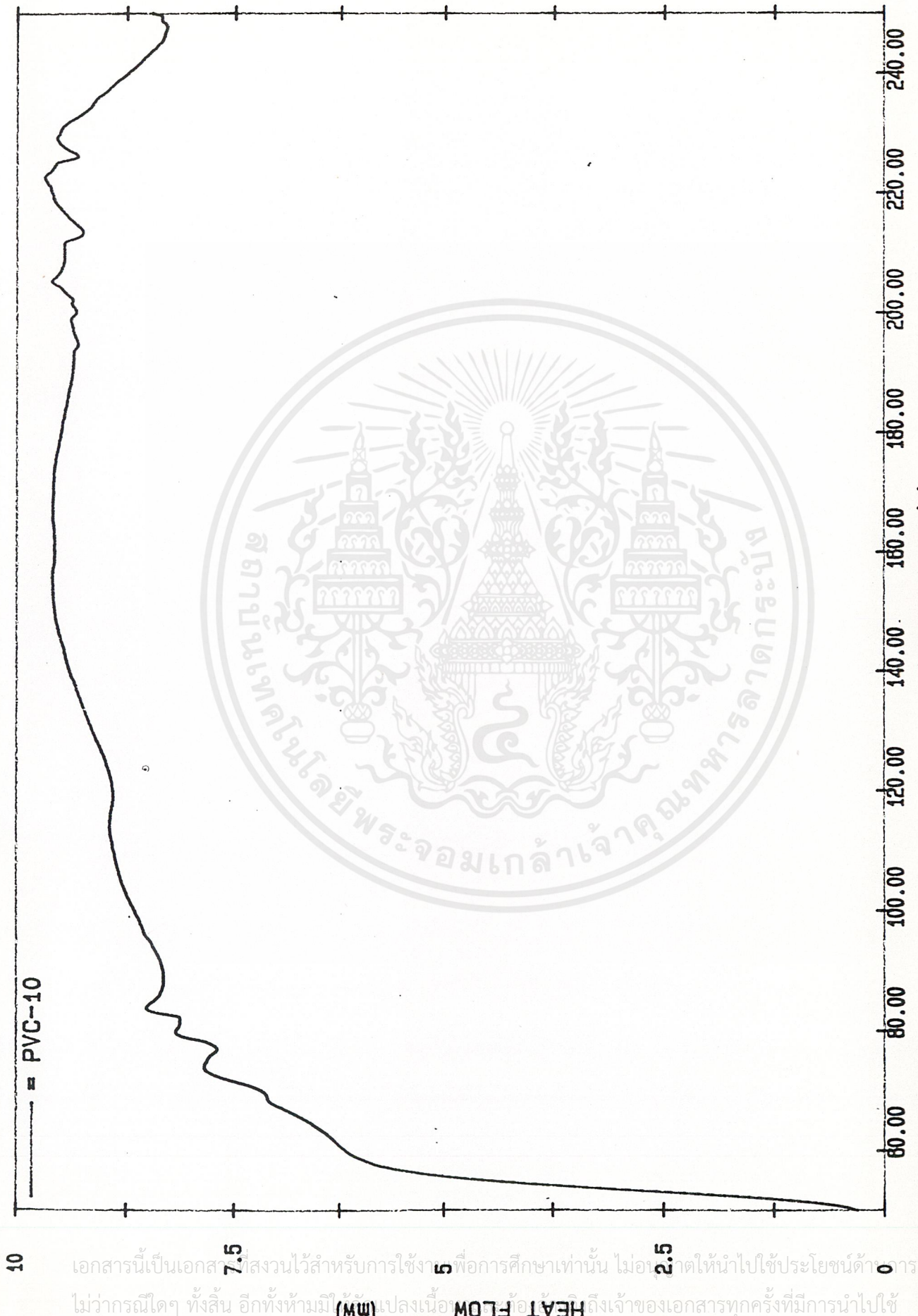


Temperature (C)

PVC-Pure

Date: Date not entered
 Scanning Rate: 20.0 C/min
 Sample Wt: 13.200 mg Path: C:\
 File 1: PVCPURE PK

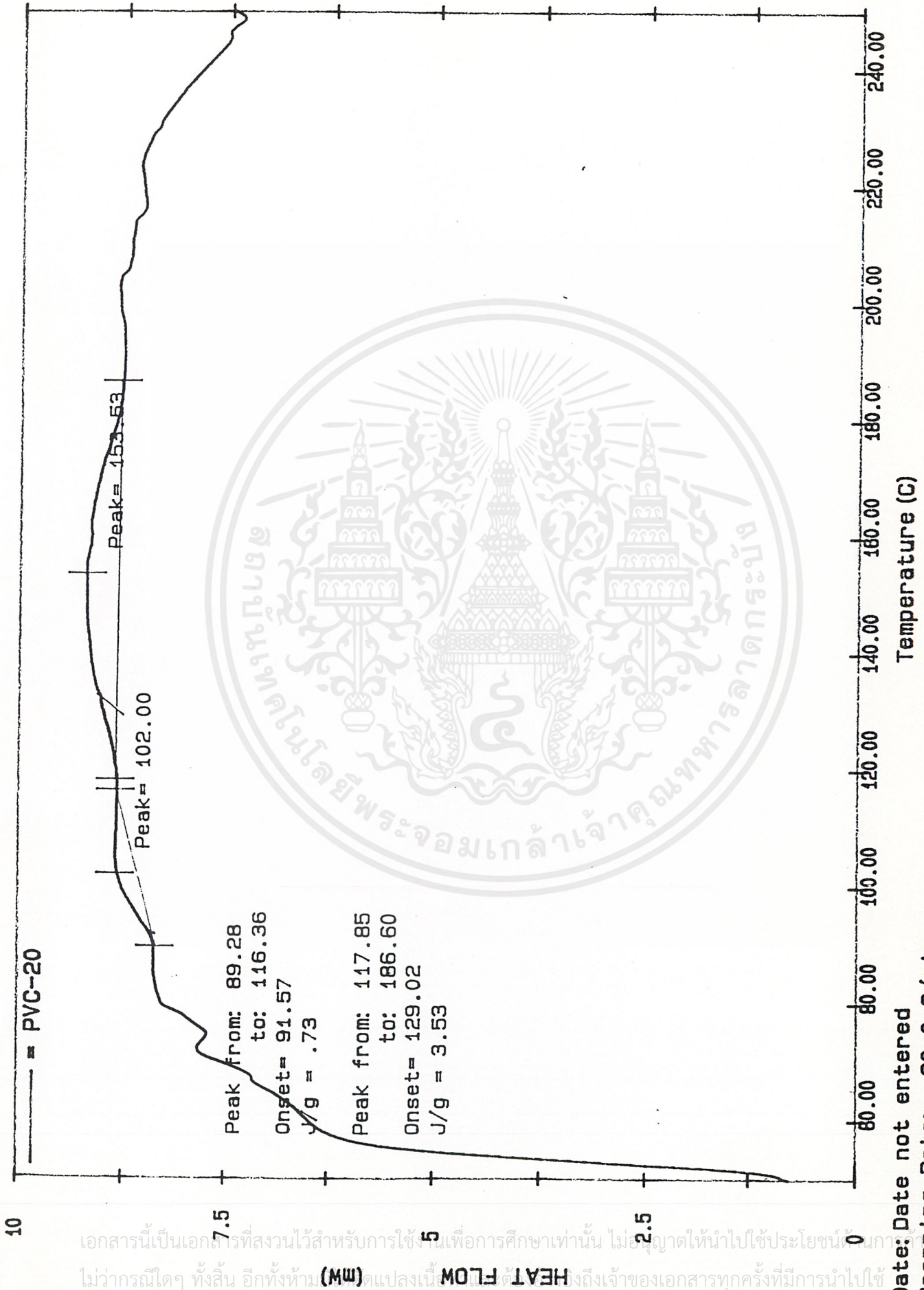
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้กันเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์อื่นใด
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามทำซ้ำหรือดัดแปลงเนื้อหาใดๆ และต้องแจ้งถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Date: Date not entered
 Scanning Rate: 20.0 C/min
 Sample Wt: 14.600 mg Path: C:\
 File 1: PVC10 PK

PVC เส้นใยแก้วแหก (20-50 mesh) 10 phr

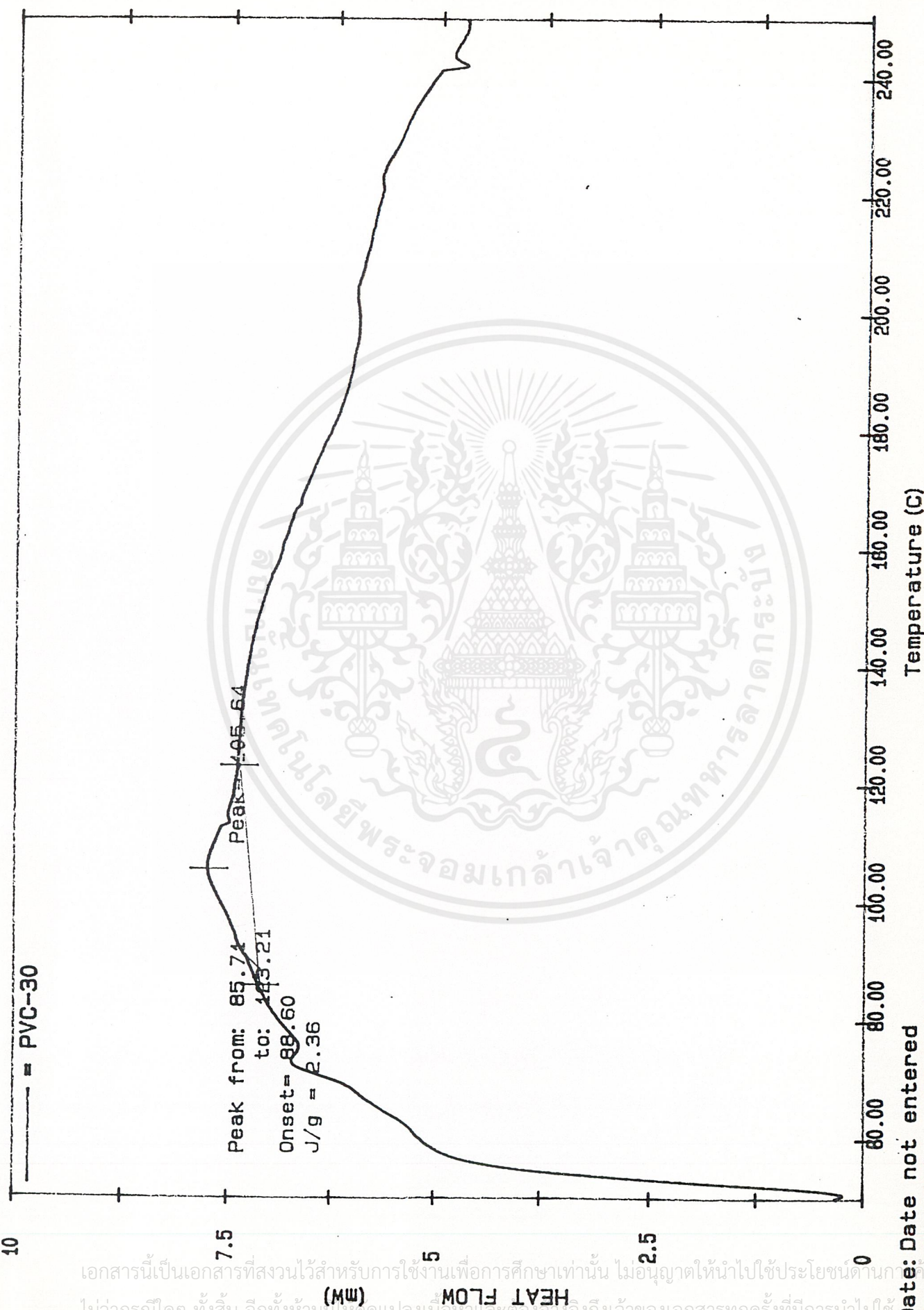
เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการศึกษา
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้เปลี่ยนแปลงเนื้อเอกสารโดยเด็ดขาดเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Date: Date not entered
 Scanning Rate: 20.0 C/min
 Sample Wt: 13.900 mg Path: C:\
 File 1: PVC20 PK

PVC+เส้นใยแก้วแหก (20-50 mesh) 20 phr

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์อื่น
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้าม (มว) (mW) ตัดแปลงเนื้อหาหรือส่งถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Temperature (C)

Date: Date not entered

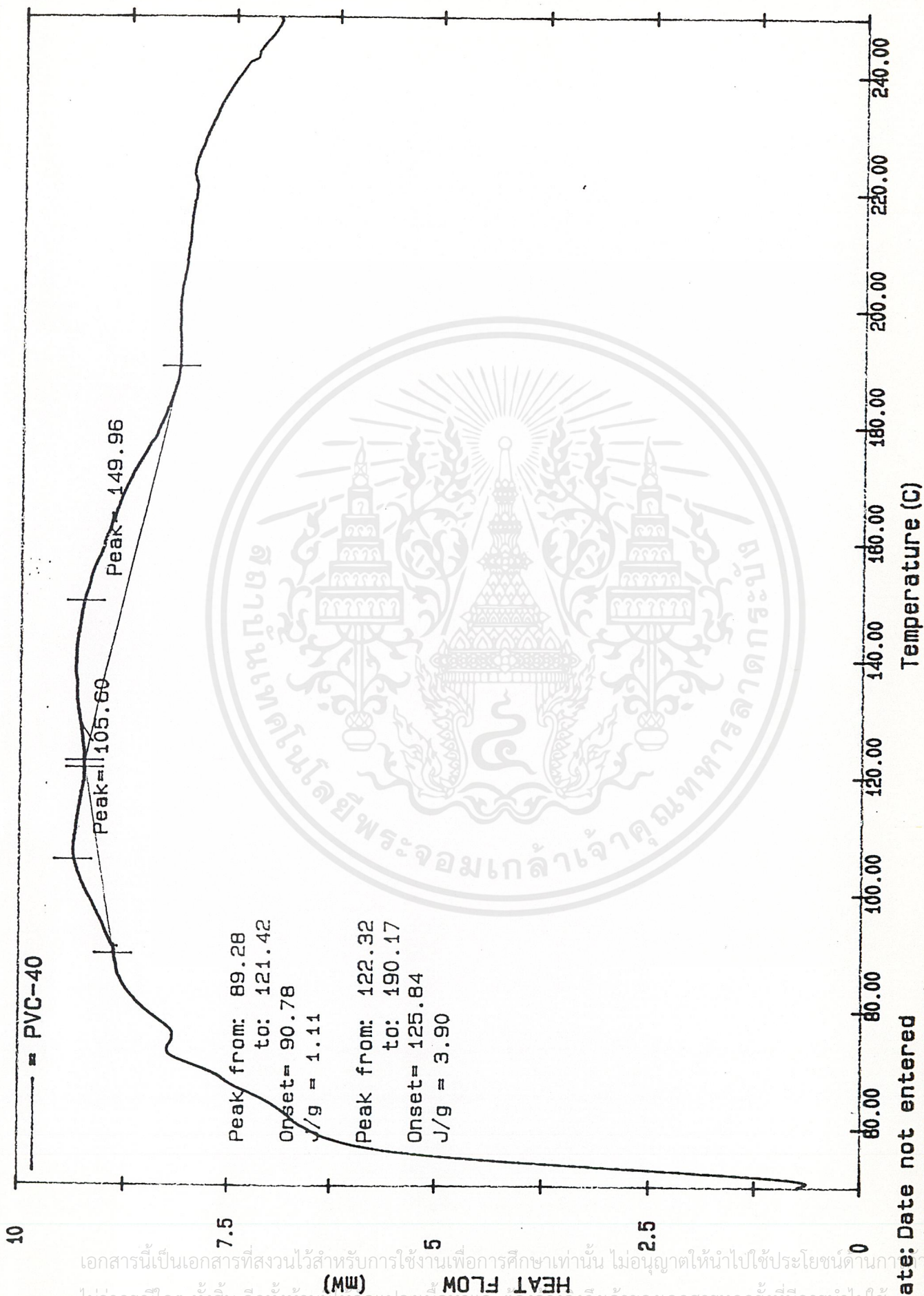
Scanning Rate: 20.0 C/min

Sample Wt: 11.300 mg Path: C \

File 1: PVC30 PK

PVC+เส้นใยพู่กัน (20-50 mesh) 30 phr

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Date: Date not entered

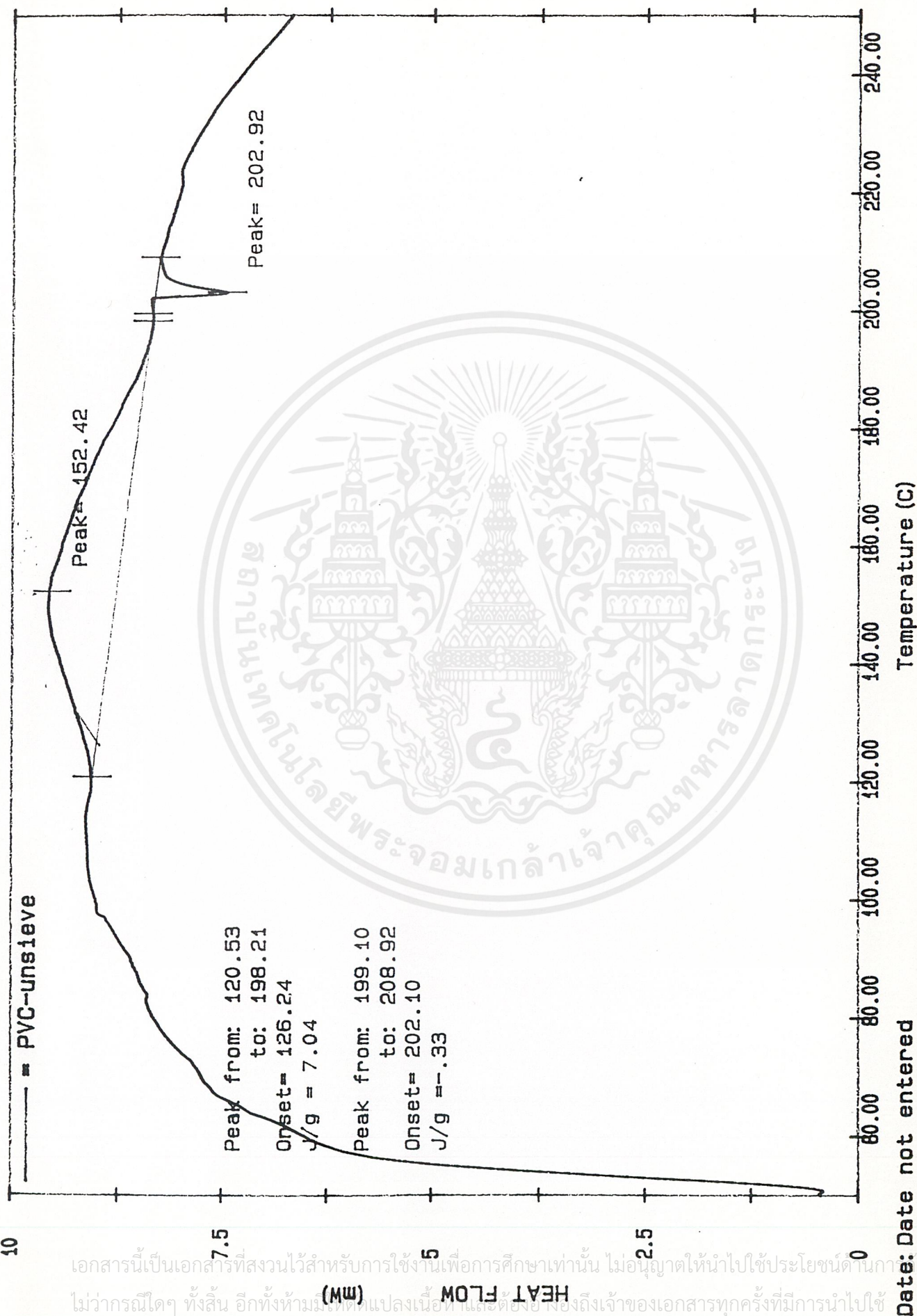
Scanning Rate: 20.0 C/min

Sample Wt: 13.200 mg Path: C: \

File 1: PVC40 PK

PVC+เส้นใยทอผ้า (20-50 mesh) 40 phr

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้าน
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Date: Date not entered

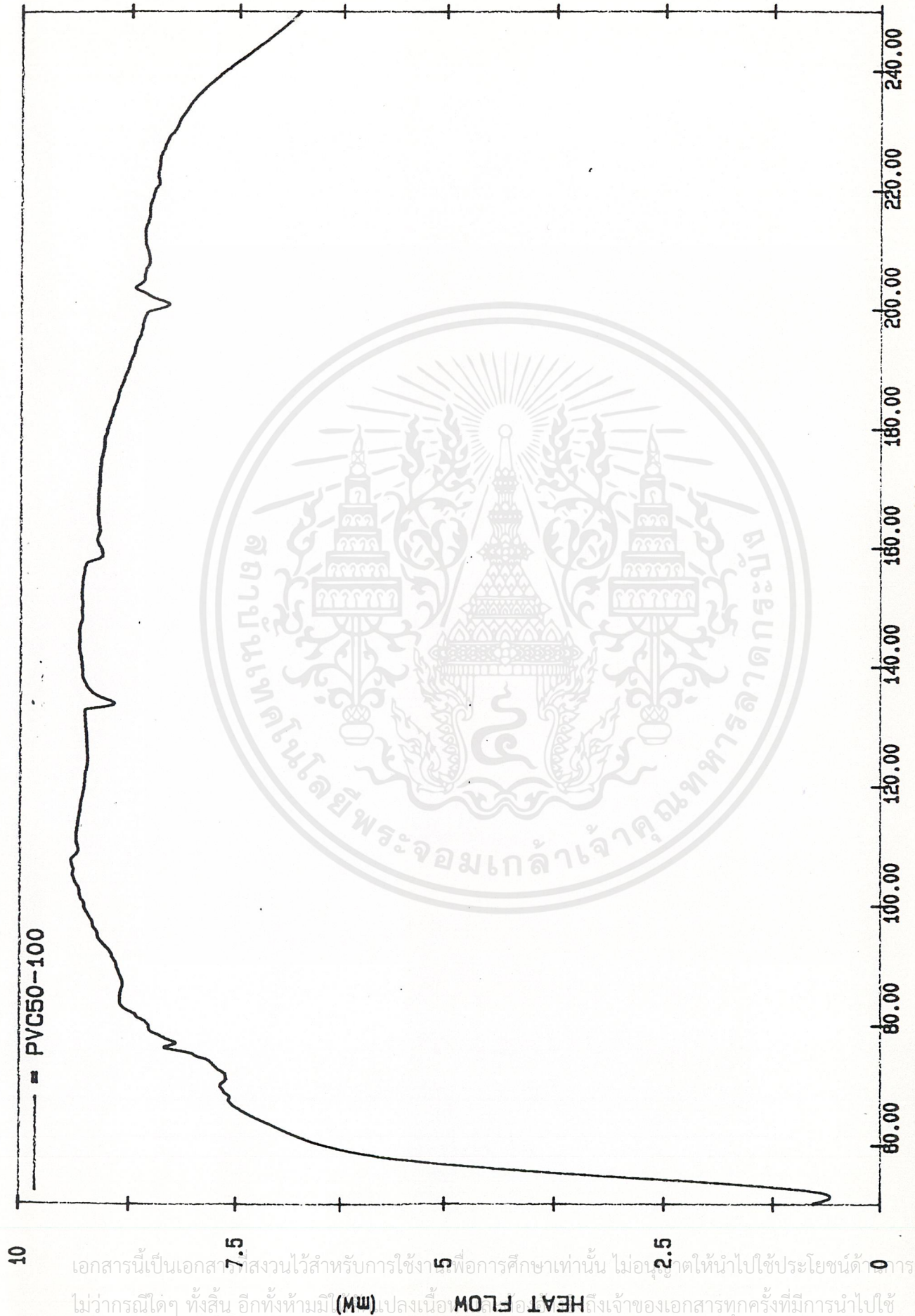
Scanning Rate: 20.0 C/min

Sample Wt: 14.000 mg Path: C:\

File 1: PVCUN PK

PVC+เส้นใยถั่วแฉะ (ไม่แยกขนาด) 30 phr

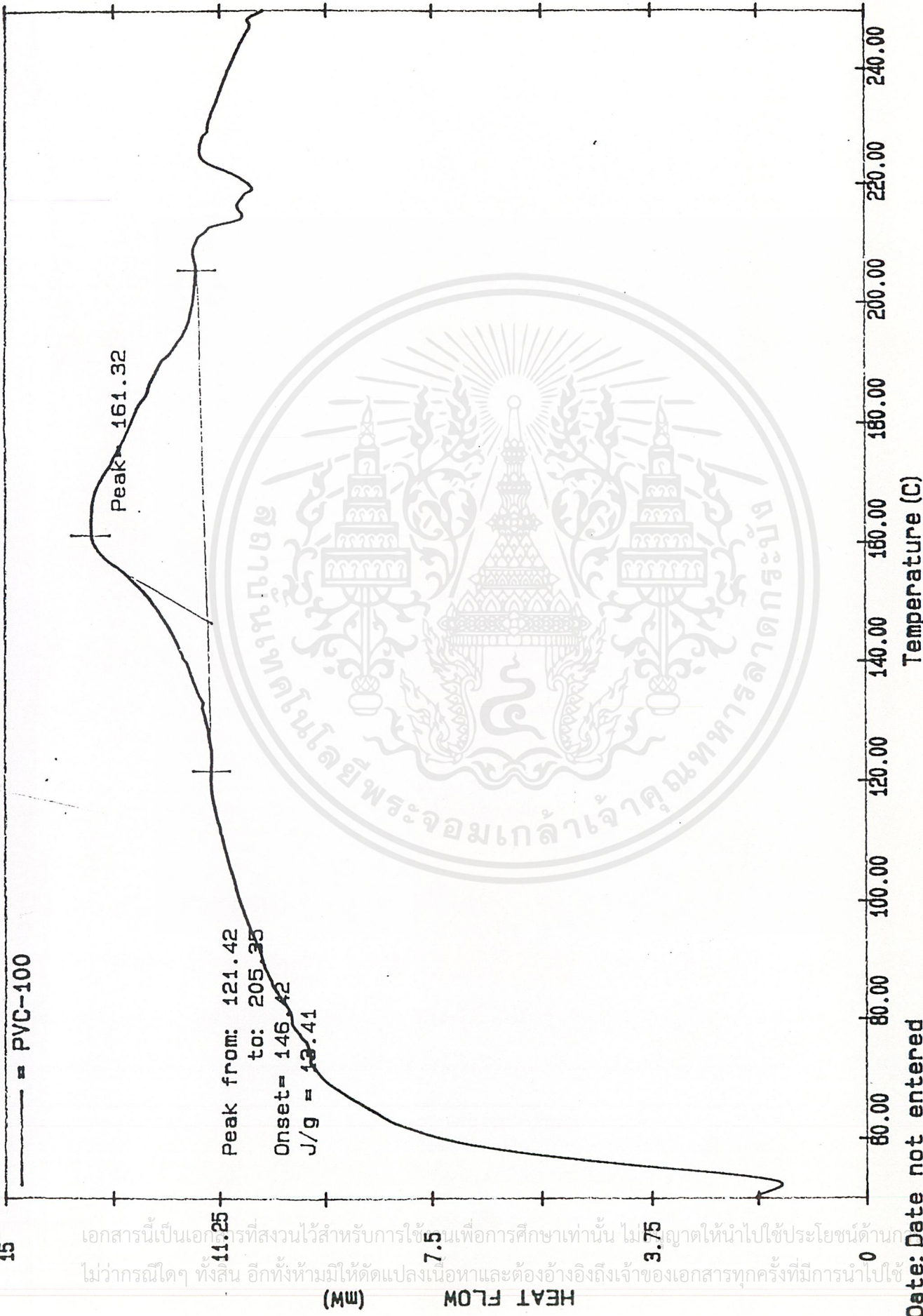
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านกา
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุที่เปลี่ยนแปลงเนื้อหาและต้องยื่นไปยังถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Date: Date not entered
 Scanning Rate: 20.0 C/min
 Sample Wt: 14.600 mg Path: C: \
 File 1: PVC50100 PK

PVC+เส้นใยหญ้าแฝก (50-100 mesh) 30 phr

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านอื่น
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ (มว) แปลงเนื้อเอกสารส่งต่อหรือแจกจ่ายแก่บุคคลอื่นโดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านอื่น
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Date: Date not entered
Scanning Rate: 20.0 C/min
Sample Wt: 15.900 mg Path: C:\
File 1: PVC100 PK

PVC+เส้นใยแก้วแหก (>100 mesh) 30 phr