

วัสดุประกอบพอลิเมอร์คอมโพสิตจากเส้นใยหญ้าแฝก
และพอลิโอลิฟินส์ : พีพีและเอชดีพีอี



เลขหม.....
เลขทะเบียน..... 49260
วัน, เดือน, ปี 18 ก.พ. 2547

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

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาเคมี
คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2545

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Natural Fiber-Polymer Composites from Vetiver Grass
and Polyolefins : PP and HDPE**



**A Special Project Submitted in Partial Fulfillment of the Requirement for
the Degree of Bachelor of Science
Department of Chemistry
Faculty of Science
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Academic Year 2002**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ วัสดุประกอบพอลิเมอร์คอม โพลิตจากเส้นใยหญ้าแฝกและพอลิโอลิฟินส์ :
พีพี และเอชดีพีอี

นักศึกษา นางสาวธารทิพย์ เขมะศิริ รหัส 42050083
นางสาวสุภาวดี ขาวนวล รหัส 42050131
นางสาวอมรา ขวดบา รหัส 42050133

ภาควิชา เคมี

สาขา เคมีอุตสาหกรรม

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.อิทธิพล แจ่มจัต

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม คุณวรธรรม อุ่นจิตติชัย

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
อนุมัติให้โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาค้นคว้าหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการตรวจสอบ		ลายมือชื่อ
ดร.ปทุมมา	ศิริพันธ์์โนน
ดร.วันจักร	ชื่นชม
ผศ.ดร.อิทธิพล	แจ่มจัต
นายวรธรรม	อุ่นจิตติชัย



(รศ.ดร.สมศักดิ์ วรมงคลชัย)

หัวหน้าภาควิชาเคมี

อธิการบดีของภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการพิเศษเรื่อง	วัสดุประกอบพอลิเมอร์คอมโพสิตจากเส้นใยหญ้าแฝกและพอลิโอลิฟินส์ : พีพีและเอชดีพีอี		
นักศึกษา	นางสาวธารทิพย์	เกษมะศิริ	รหัส 42050083
	นางสาวสุภาวดี	ขาวนวล	รหัส 42050131
	นางสาวอมรา	ขวคบา	รหัส 42050133
ภาควิชา	เคมี	คณะวิทยาศาสตร์	
สาขาวิชา	เคมีอุตสาหกรรม		
ปีการศึกษา	2545		
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.อิทธิพล แจ่มจักษ์		
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	คุณวราธรรม	อุจน์จิตติชัย	

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาพอลิเมอร์คอมโพสิตเส้นใยธรรมชาติจากพอลิโอลิฟินส์และเส้นใยหญ้าแฝก (Vetiver grass) โดยใช้พอลิพรอพิลีน (Polypropylene, PP) และพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (High density polyethylene, HDPE) ทั้งพลาสติกใหม่ และพลาสติกที่ใช้แล้วหรือรีไซเคิล (Recycled plastics) เป็นเมทริกซ์ และมีหญ้าแฝกเป็นส่วนเสริมแรง โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 2 ตอนคือ ตอนที่ 1 เป็นการใส่ผงหญ้าแฝกที่เตรียมด้วยวิธีเชิงกล (Mechanical pulp, MP) เป็นสารตัวเติมในพอลิเมอร์เมทริกซ์ ตอนที่ 2 เป็นการใส่เส้นใยหญ้าแฝกที่เตรียมด้วยวิธีความร้อนเชิงกล (Thermomechanical pulp, TMP) เป็นส่วนเสริมแรงในพอลิเมอร์เมทริกซ์ โดยนำหญ้าแฝกผสมกับพอลิเมอร์ในเครื่องผสมความเร็วสูง (High speed mixer) และผสมแบบหลอมเหลวด้วยเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว (Single screw extruder) แล้วขึ้นรูปด้วยเทคนิคการอัดขึ้นรูป (Compression molding) และการฉีดขึ้นรูป (Injection molding) นำชิ้นงานไปทดสอบสมบัติเชิงกล สมบัติทางกายภาพ สมบัติทางความร้อน และสัมมนาวิทยา รวมทั้งทดสอบความทนทานต่อการเข้าทำลายของปลวก ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาลักษณะของปริมาณหญ้าแฝก 0 30 40 50 60 และ 70 phr ที่มีขนาด 20-50 mesh โดยเติมสารช่วยผสม (PP-g-MA และ PE-g-MA) ในปริมาณ 3% โดยน้ำหนักหญ้าแฝก รวมทั้งผลของชนิดเมทริกซ์และการนำกลับมาใช้ใหม่

จากผลการทดลองตอนที่ 1 พบว่าสมบัติเชิงกลมีแนวโน้มไม่แตกต่างกันมากนักเนื่องจาก
 เอกสารนี้ถูกผลิตขึ้นโดยศูนย์วิจัยและพัฒนาวัสดุโพลิเมอร์ (Non-reinforcing filler) ที่มีปริมาณของหญ้าแฝก
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพิ่มมากขึ้น ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางความร้อน แต่การดูดซับน้ำมีค่าเพิ่มขึ้น สำหรับการศึกษาคความทนทานต่อการเข้าทำลายของปลวกใต้ดิน พบว่าอัตราการเข้าทำลายอยู่ในช่วง 1-3% ถือว่าประสิทธิภาพเป็นที่น่าพอใจ จากการศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด (SEM) พบว่าการยึดติดกันระหว่างผงหญาแฝกกับพอลิเมอร์เมตริกซ์ดี

สำหรับตอนที่ 2 พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยหญาแฝกจะทำให้สมบัติเชิงกลบางอย่างของคอมโพสิตดีขึ้นเช่น ความแข็งแรงดึง ความแข็งแรงกระแทก มอดูลัส ความแข็งแรงโค้งงอ มอดูลัสโค้งงอ แต่เปอร์เซ็นต์การยึด ผนุดขาดลดลง โดยปริมาณเส้นใยหญาแฝกที่เหมาะสมในการทำให้สมบัติเชิงกลดีที่สุดอยู่ในช่วง 40-60 phr แต่ถ้าปริมาณเส้นใยหญาแฝกมากเกินไป จะทำให้สมบัติเชิงกลที่ได้ลดลง สำหรับสมบัติทางความร้อนและค่าการดูดซับน้ำให้ผลเช่นเดียวกับส่วนที่หนึ่ง จากการศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด (SEM) พบว่าการยึดติดกันระหว่างเส้นใยหญาแฝกกับพอลิเมอร์เมตริกซ์ดี และเส้นใยหญาแฝกมีการกระจายตัวในพอลิเมอร์เมตริกซ์ดีกว่าผงหญาแฝก เมื่อเปรียบเทียบชนิดของเมตริกซ์และผลของพอลิเมอร์ใหม่กับพอลิเมอร์ที่ใช้แล้วพบว่า ให้สมบัติโดยรวมไม่แตกต่างกันมาก สามารถใช้ทดแทนกันได้

Special Project Title	Natural Fiber-Polymer Composites from Vetiver Grass and Polyolefins : PP and HDPE		
Student Names	Miss Tharntip	Kemasiri	Code 42050083
	Miss Supawadee	Kaonoun	Code 42050131
	Miss Amara	Kuadba	Code 42050133
Department	Chemistry	Faculty of science	
Faculty	Science		
Program	Industrial Chemistry		
Academic Year	2002		
Special Project Adviser	Asst.Prof.Dr.Ittipol	Jangchud	
Special Project Co-adviser	Mr.Woratham	Oonjittichai	

ABSTRACT

In this research work, natural fibers-polymer composites were prepared from polyolefins (i.e. polypropylene (PP), high density polyethylene (HDPE), and their recycles) and vetiver grass fibers. This work was divided into 2 parts : (1) Polyolefins mixed with vetiver powder as fillers prepared from mechanical pulp (MP) technique and (2) Polyolefins mixed with vetiver fiber as reinforcing filler prepared from thermo-mechanical pulp (TMP) technique. The fiber size was used in the range of 20-50 mesh. In order to improve interfacial adhesion between the fibers and the matrices, 3 % (by weight of the fibers) of compatibilizers (PP-g-MA and PE-g-MA) was incorporated into the composites. To prepare the samples, raw materials were first compounded by using a high speed mixer, and melt blended in a single screw extruder. The blends were shaped into samples by compression molding and injection molding techniques. The specimen was then characterized for mechanical, physical, thermal and morphological properties including subterranean termites resistance properties. Parameters affecting the composite properties were studied, e.g., fiber loading (0, 30, 40, 50, 60, and 70 phr), type of fillers (MP vs. TMP) and type of matrices (PP vs. HDPE and their recycles).

From part 1, it was found that mechanical properties were either changed insignificantly or slightly dropped in properties. This phenomenon was expected since the MP was a non-reinforcing filler. As MP loading was increased, thermal property of the materials was

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ยืมเห็นใจประโยชน์ด้านนี้
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

unchanged, however, water absorption was increased due to an increase in the amount of cellulose. From the result of subterranean termite resistance test, it was found that % weight loss from the termite attack was in the range of 1–3 % which was considered as “satisfactory” condition for termite resistance.

In part 2, mechanical properties of the TMP-PP/HDPE composites were improved by increasing the fiber loading, such as, tensile strength, impact strength, modulus, flexural strength, and flexural modulus. However, % elongation at break of the composites was decreased. The optimum fiber loading was found in the range of 40–60 phr. As the fiber loading was overloaded (e.g. 70 phr), mechanical properties was decreased. It was found the thermal property and water absorption of the composites showed similar results as the first part. From SEM micrographs, it was revealed that interfacial adhesion between vetiver fibers and the polymer matrices was good. It was also revealed that the TMP composites had better fiber dispersion than MP particles. In conclusion, types of matrices (PP, HDPE, and their recycles) were found to have slightly differences in properties. Both virgins and recycles were replaceable.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำงานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงได้ เนื่องจากได้รับความช่วยเหลือ ตลอดจนคำแนะนำต่างๆ ที่เป็นประโยชน์แก่คณะผู้จัดทำจากบุคคลและองค์กรต่างๆ ดังนี้

ขอขอบคุณ ผศ.ดร.อิทธิพล แจ่มชัด ที่กรุณาให้คำปรึกษาและให้ความช่วยเหลือในการดำเนินงานวิจัยนี้มาตลอด

ขอขอบคุณ คุณวรธรรม อุ๋นจิตติชัย นักวิชาการคอมพิวเตอร์ ผู้เอื้อเฟื้อเสนอแนะข้อมูลที่ใช้ในงานวิจัย ตลอดจนคำแนะนำต่างๆ ที่ทำให้งานวิจัยเล่มนี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณ สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อม ที่สนับสนุนเงินทุนวิจัย

ขอขอบคุณ คุณกฤษณะ เกษประดิษฐ์ และคุณสุจิต สอนสะอาด เจ้าหน้าที่อาคารฝึกงานทางอุตสาหกรรมเคมีและพอลิเมอร์ ที่คอยอำนวยความสะดวกและให้ความช่วยเหลือตลอดการดำเนินงานวิจัย

ขอขอบคุณ คุณพรชัย แสงรุ่งศรี และบริษัท CCC Chemical Commerce จำกัด ที่เอื้อเฟื้อพีพี และเอชดีพีอี รวมทั้ง บริษัท Extra Resins จำกัด ที่เอื้อเฟื้อ ริไซเคิลพีพี และริไซเคิลเอชดีพีอีเพื่อใช้ในการวิจัย

ขอขอบคุณ คณาจารย์ทุกท่านในภาควิชาเคมี ที่ให้ความรู้ ตลอดจนคำปรึกษา และความช่วยเหลือ ในการดำเนินงานวิจัยนี้มาตลอด

ขอขอบคุณ พ่อ แม่ พี่น้อง และเพื่อนๆ นักศึกษาทุกท่าน ที่เป็นกำลังใจในการทำงานวิจัยนี้
ขอขอบคุณ พระเจ้าที่เอื้อเฟื้อสมอบ ช่วยให้เราในวันนี้ได้

นอกจากนี้ยังขอขอบคุณบุคคลท่านอื่นๆ ที่ให้ความกรุณาช่วยเหลือ ซึ่งผู้จัดทำมิได้กล่าวถึงอีกมากมาย ทางผู้จัดทำ ขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้ด้วย

ธารทิพย์	ชมะศิริ
สุภาวดี	ขาวนวล
อมรา	ขวคบา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
กิตติกรรมประกาศ	จ
สารบัญ	ฉ
สารบัญตาราง	ญ
สารบัญรูป	ฎ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการพิเศษ	1
1.2 วัตถุประสงค์	4
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	4
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับการวิจัย	5
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	6
2.1 พอลิเมอร์คอมโพสิต	6
2.1.1 เมตริกซ์	7
2.1.1.1 พอลิเมอร์เมตริกซ์	8
2.1.2 ส่วนเสริมแรง	10
2.2 พอลิพรอพิลีน	11
2.2.1 สมบัติของพอลิพรอพิลีน	12
2.2.2 การประยุกต์ใช้งาน	13
2.3 พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง	13
2.3.1 สมบัติของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง	13
2.3.2 การประยุกต์ใช้งาน	15
2.4 เส้นใยธรรมชาติ	15
2.4.1 เซลลูโลส	15
2.4.1.1 สมบัติทางกายภาพของเซลลูโลส	16
2.4.2 เซมิเซลลูโลส	16
2.4.3 ลิกนิน	17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.5 หญ้าแฝก	18
2.6 การปรับสภาพผิวเส้นใย	22
2.7 การศึกษาความทนทานของไม้เทียมต่อการทำลายของปลวกใต้ดิน	23
2.8 กระบวนการแปรรูปพลาสติก	24
2.8.1 การอัดรีด	24
2.8.2 การอัดขึ้นรูป	24
2.8.3 การถีดขึ้นรูป	25
2.9 การศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	25
บทที่ 3 การดำเนินงานวิจัย	33
3.1 สารเคมีและวัสดุที่ใช้ในงานวิจัย	33
3.2 อุปกรณ์ในการวิจัย	35
3.3 วิธีการทดลอง	36
3.3.1 การศึกษาผงหญ้าแฝกเป็นสารเพิ่มเนื้อ (Fillers) ในพอลิเมอร์	36
3.3.1.1 การเตรียมผงหญ้าแฝก	36
3.3.1.2 การผสมกับพอลิเมอร์	37
3.3.2 การศึกษาเส้นใยหญ้าแฝกเป็นส่วนเสริมแรง (Reinforcement) ในพอลิเมอร์	39
3.3.2.1 การเตรียมเส้นใยหญ้าแฝก	39
3.3.2.2 การผสมกับพอลิเมอร์	41
3.4 การทดสอบ	43
3.4.1 สมบัติเชิงกล	44
3.4.1.1 ความแข็งแรงดึง มอดุลัส เปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด	44
3.4.1.2 ความแข็งแรงกระแทก	44
3.4.1.3 ความแข็งกด	45
3.4.1.4 ความแข็งแรงโค้งงอ และมอดุลัสโค้งงอ	45
3.4.2 สมบัติทางกายภาพ	46
3.4.2.1 การดูดซึมน้ำ	46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.4.3 สมบัติทางความร้อน	46
3.4.4 ศึกษาสัญญาณวิทยา	46
3.4.5 การทดสอบความทนทานต่อปลวกของคอม โพลีตจากเส้นใยหญ้าแฝกใน ห้องปฏิบัติการ	47
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง	48
4.1 การศึกษาผงหญ้าแฝกเป็นสารเพิ่มเนื้อ (Fillers) ในพอลิโอลิฟินส์	48
4.1.1 การศึกษาสมบัติเชิงกล	48
4.1.1.1 การศึกษาสมบัติของวัสดุผสมพอลิโอลิฟินส์กับผงหญ้าแฝกเมื่อ ทำการเปลี่ยนแปลงปริมาณผงหญ้าแฝกต่อปริมาณพอลิเมอร์	48
4.1.2 การศึกษาสมบัติกายภาพ	57
4.1.2.1 การศึกษาสมบัติของวัสดุผสมพอลิโอลิฟินส์กับผงหญ้าแฝกเมื่อ ทำการเปลี่ยนแปลงปริมาณผงหญ้าแฝกต่อปริมาณพอลิเมอร์ที่มี ต่อสมบัติการดูดซับน้ำ	57
4.1.3 การศึกษาสมบัติทางความร้อน	61
4.1.4 การศึกษาความทนทานของวัสดุผสมพอลิโอลิฟินส์กับผงหญ้าแฝกต่อ การทำลายของปลวกใต้ดิน	63
4.2 การศึกษาพอลิเมอร์คอม โพลีตจากพอลิโอลิฟินส์ที่เตรียมจากเส้นใยหญ้าแฝก	65
4.2.1 การศึกษาสมบัติเชิงกล	65
4.2.1.1 การศึกษาสมบัติของพอลิโอลิฟินส์คอม โพลีตที่เตรียมจากเส้นใย หญ้าแฝกเมื่อทำการเปลี่ยนแปลงปริมาณเส้นใยหญ้าแฝกต่อ ปริมาณพอลิเมอร์	65
4.2.2 การศึกษาสมบัติทางกายภาพ	74
4.2.2.1 การศึกษาผลของพอลิโอลิฟินส์คอม โพลีตที่เตรียมจากเส้นใย หญ้าแฝกเมื่อทำการเปลี่ยนแปลงปริมาณเส้นใยหญ้าแฝกต่อปริมาณ พอลิเมอร์ที่มีต่อสมบัติการดูดซับน้ำ	74
4.2.3 การศึกษาสมบัติทางความร้อน	78

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.3 การเปรียบเทียบสมบัติโดยรวมของวัสดุผสมพอลิโอลิฟินส์กับ ผงงู้าแฝก และเส้นใยงู้าแฝก	79
4.4 การศึกษาสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด (SEM)	80
4.5 การวิเคราะห์ต้นทุน (Cost Analysis)	84
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	86
5.1 สรุปผลการทดลอง	86
5.2 ข้อเสนอแนะ	88
เอกสารอ้างอิง	89
ภาคผนวก ก	93
ภาคผนวก ข	95
ภาคผนวก ค	102
ภาคผนวก ง	108



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 เปรียบเทียบลักษณะที่แตกต่างของหญาแฝกหอมและหญาแฝกดอน	20
2.2 องค์ประกอบทางเคมีของใบหญาแฝก	20
3.1 สมบัติบางประการของพอลิพรอพิลีนที่ใช้ในงานวิจัย	34
3.2 สมบัติบางประการของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่ใช้ในงานวิจัย	34
3.3 สมบัติบางประการของ PP-g-MA	34
3.4 สูตรผสมพอลิเมอร์ผสมผงหญาแฝก	37
3.5 สภาวะในการผสมพอลิเมอร์โดยใช้เครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว	38
3.6 สภาวะในการขึ้นรูปพอลิเมอร์โดยใช้เครื่องฉีดขึ้นรูป	38
3.7 สูตรผสมพอลิเมอร์ผสมเส้นใยหญาแฝก	41
3.8 มาตรฐานต่างๆ ในการทดสอบพอลิเมอร์คอมโพสิต	43
3.9 การประเมินอัตราการเข้าทำลายของปลวก	47
4.1 ค่าอุณหภูมิหลอมเหลวผลึก และ ค่าองศาความเป็นผลึกของวัสดุผสมพีพี และ รีไซเคิลพีพีกับผงหญาแฝก เมื่อทำการเพิ่มปริมาณผงหญาแฝก	62
4.2 ค่าอุณหภูมิหลอมเหลวผลึกและ ค่าองศาความเป็นผลึก ของวัสดุผสมเอชดีพีอี และ รีไซเคิลเอชดีพีอีกับผงหญาแฝก เมื่อทำการเพิ่มปริมาณผงหญาแฝก	62
4.3 ค่าอุณหภูมิหลอมเหลวผลึก และ ค่าองศาความเป็นผลึก ของพีพี รีไซเคิลพีพีเอชดีพีอี และรีไซเคิลเอชดีพีอีคอมโพสิตกับเส้นใยหญาแฝก เมื่อทำการเพิ่มปริมาณเส้นใยหญาแฝก	78
4.4 เปรียบเทียบสมบัติโดยรวมของวัสดุผสมพอลิโอลิฟินส์กับผงหญาแฝก 50 phr และ พอลิโอลิฟินส์คอมโพสิตที่เตรียมจากเส้นใยหญาแฝก 50 phr	79
4.5 การวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตวัสดุคอมโพสิตพีพีจากเส้นใยหญาแฝก	84
4.6 การวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตวัสดุคอมโพสิตเอชดีพีอีจากเส้นใยหญาแฝก	84

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 พระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวทรงปลูกหญ้าแฝก	3
2.1 ประเภทของคอม โพลิต	6
2.2 การยึดติกระหว่างเส้นใยกับเมตริกซ์	8
2.3 รูปแบบการจัดเรียงตัวของเทอร์โมเซต	9
2.4 รูปแบบการจัดเรียงตัวของเทอร์โมพลาสติก	9
2.5 ตัวอย่างคอม โพลิตที่มีส่วนเสริมแรงต่างกัน	10
2.6 โครงสร้างทางเคมีของพอลิพรอพิลีน	11
2.7 โครงสร้างของไอโซแทกติกพอลิพรอพิลีน	12
2.8 โครงสร้างของซินดีโอแทกติกพอลิพรอพิลีน	12
2.9 โครงสร้างของอะแทกติกพอลิพรอพิลีน	12
2.10 สูตรโครงสร้างของเซลลูโลส	16
2.11 สูตรโครงสร้างของเฮมิเซลลูโลส	17
2.12 หน่วยที่ซ้ำกันของลิกนิน	17
2.13 การจัดเรียงตัวของเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส ลิกนินในไม้	18
2.14 รูปถ่ายหญ้าแฝกคอน	18
2.15 ผลติภรณ์จากหญ้าแฝก	21
2.16 การเกิดปฏิกิริยาของเส้นใยเซลลูโลสที่ทำการปรับสภาพผิวด้วย PP-g-MA	22
2.17 ปลูกที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจ	24
3.1 ผงหญ้าแฝกที่เตรียมด้วยแรงเชิงกล (Mechanical pulp, MP) ขนาด 20-50 mesh	36
3.2 เครื่องผลิตเส้นใยโดยใช้วิธีความร้อนเชิงกล	40
3.3 เส้นใยหญ้าแฝกที่เตรียมด้วยความร้อนเชิงกล (Thermomechanical pulp, TMP) ขนาด 20-50 mesh	40
3.4 ตัวอย่างชิ้นงานคอม โพลิตจากเส้นใยหญ้าแฝก	42
4.1 ค่าความแข็งแรงดึงของวัสดุผสมพอลิโอฟีนส์กับผงหญ้าแฝกขนาด 20-50 mesh ในปริมาณ 0 30 40 50 60 และ 70 phr และปริมาณสารช่วยผสม 3%	50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.2 ค่าความแข็งแรงกระแทกของวัสดุผสมพอลิโอลิฟินส์กับผงหญาแฝกขนาด 20-50 mesh ในปริมาณ 0 30 40 50 60 และ 70 phr และปริมาณสารช่วยผสม 3%	51
4.3 ค่าเปอร์เซ็นต์การยึด ฉ จุดขาดของวัสดุผสมพอลิโอลิฟินส์กับผงหญาแฝกขนาด 20-50 mesh ในปริมาณ 0 30 40 50 60 และ 70 phr และปริมาณสารช่วยผสม 3%	52
4.4 ค่ามอดุลัสของวัสดุผสมพอลิโอลิฟินส์กับผงหญาแฝกขนาด 20-50 mesh ในปริมาณ 0 30 40 50 60 70 phr และปริมาณสารช่วยผสม 3%	53
4.5 ค่าความแข็งกด (shore D) ของวัสดุผสมพอลิโอลิฟินส์กับผงหญาแฝกขนาด 20-50 mesh ในปริมาณ 0 30 40 50 60 และ 70 phr และปริมาณสารช่วยผสม 3%	54
4.6 ค่าความแข็งแรงโค้งงอของวัสดุผสมพอลิโอลิฟินส์กับผงหญาแฝกขนาด 20-50 mesh ในปริมาณ 0 30 40 50 60 และ 70 phr และปริมาณสารช่วยผสม 3 %	55
4.7 ค่ามอดุลัสโค้งงอของวัสดุผสมพอลิโอลิฟินส์กับผงหญาแฝกขนาด 20-50 mesh ในปริมาณ 0 30 40 50 60 และ 70 phr และปริมาณสารช่วยผสม 3%	56
4.8 ค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำของวัสดุผสมพีพี (PP) กับผงหญาแฝกขนาด 20-50 mesh ในปริมาณ 0 30 40 50 60 และ 70 phr และปริมาณ PP-g-MA 3%	57
4.9 ค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำของวัสดุผสมรีไซเคิลพีพี (rPP) กับผงหญาแฝกขนาด 20-50 mesh ในปริมาณ 0 30 40 50 60 และ 70 phr และปริมาณ PP-g-MA 3%	58
4.10 ค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำของวัสดุผสมเอชดีพีอี (HDPE) กับผงหญาแฝกขนาด 20-50 mesh ในปริมาณ 0 30 40 50 60 และ 70 phr และปริมาณ PE-g-MA 3%	59
4.11 ค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำของวัสดุผสมรีไซเคิลเอชดีพีอี (rHDPE) กับผงหญาแฝกขนาด 20-50 mesh ในปริมาณ 0 30 40 50 60 และ 70 phr และปริมาณ PE-g-MA	60
4.12 อัตราการเข้าทำลายของปลวกในวัสดุผสมพอลิโอลิฟินส์กับผงหญาแฝกขนาด 20-50 mesh ในปริมาณ 0 10 20 30 40 60 และ 70 phr และปริมาณสารช่วยผสม 3%	64

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.13 ค่าความแข็งแรงดึงของพอลิโอลิฟินส์คอม โพลิตที่เตรียมจากเส้นใยหญ้าแฝกขนาด 20-50 mesh ในปริมาณ 0 30 40 50 60 และ 70 phr และปริมาณสารช่วยผสม 3%	67
4.14 ค่าความแข็งแรงกระแทกของพอลิโอลิฟินส์คอม โพลิตที่เตรียมจากเส้นใยหญ้าแฝก ขนาด 20-50 mesh ในปริมาณ 0 30 40 50 60 และ 70 phr และปริมาณสารช่วยผสม 3%	68
4.15 ค่าเปอร์เซ็นต์การขีด ฉน จุดขาดของพอลิโอลิฟินส์คอม โพลิตที่เตรียมจากเส้นใยหญ้าแฝก ขนาด 20-50 mesh ในปริมาณ 0 30 40 50 60 และ 70 phr และปริมาณสารช่วยผสม 3%	69
4.16 ค่ามอดุลัสของพอลิโอลิฟินส์คอม โพลิตที่เตรียมจากเส้นใยหญ้าแฝกขนาด 20-50 mesh ในปริมาณ 0 30 40 50 60 และ 70 phr และปริมาณสารช่วยผสม 3%	70
4.17 ค่าความแข็งกด (shore D) ของพอลิโอลิฟินส์คอม โพลิตที่เตรียมจากเส้นใยหญ้าแฝก ขนาด 20-50 mesh ในปริมาณ 0 30 40 50 60 และ 70 phr และปริมาณสารช่วยผสม 3%	71
4.18 ค่าความแข็งแรงโค้งงอของพอลิโอลิฟินส์คอม โพลิตที่เตรียมจากเส้นใยหญ้าแฝก ขนาด 20-50 mesh ในปริมาณ 0 30 40 50 60 และ 70 phr และปริมาณสารช่วยผสม 3%	72
4.19 ค่ามอดุลัส โค้งงอของพอลิโอลิฟินส์คอม โพลิตที่เตรียมจากเส้นใยหญ้าแฝกในปริมาณ 0 30 40 50 60 และ 70 phr และปริมาณสารช่วยผสม 3%	73
4.20 ค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำของพีพี (PP) คอม โพลิตที่เตรียมจากเส้นใยหญ้าแฝก ขนาด 20-50 mesh ในปริมาณ 0 30 40 50 60 และ 70 phr และปริมาณ PP-g-MA 3%	74
4.21 ค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำของรีไซเคิลพีพี (rPP) คอม โพลิตที่เตรียมจากเส้นใยหญ้าแฝก ขนาด 20-50 mesh ในปริมาณ 0 30 40 50 60 และ 70 phr และปริมาณ PP-g-MA 3%	75
4.22 ค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำของเอชดีพีอี (HDPE) คอม โพลิตที่เตรียมจากเส้นใยหญ้าแฝก ขนาด 20-50 mesh ในปริมาณ 0 30 40 50 60 และ 70 phr และปริมาณ PE-g-MA 3%	76
4.23 ค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำของรีไซเคิลเอชดีพีอี (rHDPE) คอม โพลิตที่เตรียมจาก เส้นใยหญ้าแฝกขนาด 20-50 mesh ในปริมาณ 0 30 40 50 60 และ 70 phr และปริมาณ PE-g-MA 3%	77

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.24 รูป SEM สัณฐานวิทยาการกระจายตัวของวัสดุผสมเอชดีพีอี (HDPE) กับผงหญาแฝก โดยทำการแตกหักที่อุณหภูมิต่ำ กำลังขยาย 100 เท่า เมื่อผสมกับผงหญาแฝกขนาด 20-50 mesh ในปริมาณ 70 phr	81
4.25 รูป SEM สัณฐานวิทยาการกระจายตัวของพีพี (PP) คอมโพลีเมอร์ที่เตรียมจากเส้นใยหญาแฝก โดยทำการแตกหักที่อุณหภูมิต่ำ กำลังขยาย 100 เท่า เมื่อผสมกับเส้นใยหญาแฝกขนาด 20-50 mesh ในปริมาณ 70 phr	81
4.26 รูป SEM แสดงสัณฐานวิทยาการยึดติดของวัสดุผสมเอชดีพีอี (HDPE) กับผงหญาแฝก โดยทำการแตกหักที่อุณหภูมิต่ำกำลังขยาย 500 เท่า เมื่อผสมกับผงหญาแฝกขนาด 20-50 Mesh ในปริมาณ 50 phr สังเกตลูกศรแสดงรอยต่อระหว่างวัฏภาคเมตริกซ์และผงหญาแฝก	82
4.27 รูป SEM แสดงสัณฐานวิทยาการยึดติดของพอลิเมอร์เมตริกซ์กับเส้นใยของเอชดีพีอี (HDPE) คอมโพลีเมอร์ โดยทำการแตกหักที่อุณหภูมิต่ำกำลังขยาย 500 เท่า เมื่อผสมกับเส้นใยหญาแฝกขนาด 20-50 mesh ในปริมาณ 50 phr สังเกตลูกศรแสดงรอยต่อระหว่างวัฏภาคเมตริกซ์และเส้นใยหญาแฝก	82
4.28 รูป SEM แสดงสัณฐานวิทยาการยึดติดของพีพี (PP) คอมโพลีเมอร์ที่เตรียมจากเส้นใยหญาแฝก โดยทำการแตกหักที่อุณหภูมิต่ำกำลังขยาย 500 เท่า เมื่อผสมกับเส้นใยหญาแฝกขนาด 20 -50 mesh ในปริมาณ 50 phr สังเกตลูกศรแสดงรอยต่อระหว่างวัฏภาคเมตริกซ์และเส้นใยหญาแฝก	83
4.29 รูป SEM แสดงสัณฐานวิทยาการยึดติดของเอชดีพีอี (HDPE) คอมโพลีเมอร์ที่เตรียมจากเส้นใยหญาแฝก โดยทำการแตกหักที่อุณหภูมิต่ำกำลังขยาย 500 เท่า เมื่อผสมกับเส้นใยหญาแฝกขนาด 20-50 mesh ในปริมาณ 50 phr สังเกตลูกศรแสดงรอยต่อระหว่างวัฏภาคเมตริกซ์และเส้นใยหญาแฝก	83

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการพิเศษ

ในปัจจุบันประเทศไทยมีจำนวนป่าไม้ลดลงอย่างรวดเร็ว แต่ความต้องการในการใช้ไม้กลับเพิ่มขึ้น เนื่องจากไม้เป็นวัสดุที่มีความสำคัญมาก นิยมใช้เป็นวัสดุในการก่อสร้าง เฟอร์นิเจอร์ เครื่องมือและเครื่องใช้ต่าง ๆ เช่น บานประตู หน้าต่าง เก้าอี้ โครงสร้างของบ้าน ฯลฯ ทั้งนี้เนื่องจากไม้มีความสวยงามและแข็งแรง ทำให้ปริมาณไม้ที่มีอยู่ในประเทศไม่เพียงพอต่อความต้องการจึงก่อให้เกิดปัญหาการตัดไม้ทำลายป่า ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อการรักษาสมดุลของระบบนิเวศน์ เช่น ฝนไม่ตกต้องตามฤดูกาล ปัญหาน้ำท่วม ปัญหาการขาดแคลนน้ำ ฯลฯ นอกจากนี้ไม้ยังมีข้อด้อยอีกหลายประการ เช่น น้ำหนักมาก ผุกร่อนง่าย ดูดความชื้น ถูกทำลายได้โดยมอด ปลวก ไม่ทนต่อสภาวะแวดล้อม ทำให้ไม่มีอายุการใช้งานจำกัด

จากปัญหาต่างๆ จึงได้มีการผลิตไม้เทียม (Artificial woods) จากวัสดุอื่นเพื่อใช้ทดแทนไม้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ต่างๆ โดยวัสดุที่นิยมนำมาทำเป็นไม้เทียมคือพอลิเมอร์ เนื่องจากพอลิเมอร์จัดเป็นวัสดุสังเคราะห์ที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายและมีบทบาทสำคัญในชีวิตประจำวันของมนุษย์ ซึ่งยังคงมีการพัฒนาปรับปรุงสมบัติอยู่เสมอเพื่อให้ได้พอลิเมอร์ที่มีคุณภาพและสมบัติดียิ่งขึ้นอีกทั้งต้นทุนการผลิตต่ำ จากการศึกษาพบว่าแนวทางหนึ่งในการปรับปรุงสมบัติของพอลิเมอร์และลดต้นทุนการผลิต คือการทำ “พอลิเมอร์คอมโพสิต” (Polymer composites) ซึ่งเป็นวัสดุประกอบจากวัสดุสองชนิด คือพอลิเมอร์เมทริกซ์ (Polymer matrix) และส่วนเสริมแรง (Reinforcement) โดยพอลิเมอร์คอมโพสิตมีข้อดีหลายประการดังนี้

- น้ำหนักเบา ความหนาแน่นต่ำ
- มีความแข็งแรงและค่ามอดุลัสจำเพาะหรือมอดุลัสต่อน้ำหนัก (Specific strength และ Specific modulus) สูง
- ขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ได้ง่ายจากกระบวนการขึ้นรูปพอลิเมอร์ เช่น การอัดรีด (Extrusion) การฉีดขึ้นรูป (Injection molding) การอัดขึ้นรูป (Compression molding) เป็นต้น
- มีอายุการใช้งานยาวนาน ไม่ผุกร่อน และไม่ถูกทำลายโดยแมลง เช่น มอด ปลวก ฯลฯ มีสมบัติทางกายภาพและสมบัติเชิงกลที่ดี ดูดซึมน้ำได้ต่ำกว่าไม้
- สามารถขึ้นรูปได้ผลิตภัณฑ์หลากหลายรูปแบบ และ ง่ายต่อการประกอบกับวัสดุอื่น (Insertion)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในการเรียนการสอนที่คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ไม่สามารถนำข้อมูลไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

สามารถนำเศษเหลือจากการประกอบและการผลิตกลับมาใช้ใหม่ได้ (Recycle) ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยพอลิเมอร์เทอร์มอพลาสติก (Thermoplastics) และเทอร์โมเซต (Thermoset) ส่วนเสริมแรงที่นิยมใช้คือเส้นใยสังเคราะห์ เช่น เส้นใยคาร์บอน เส้นใยแก้ว เส้นใยเคฟลาร์ เนื่องจากมีน้ำหนักเบาและให้ความแข็งแรงสูงแต่มีราคาแพง ดังนั้นเส้นใยธรรมชาติจึงได้รับความสนใจเพื่อประยุกต์ใช้เป็นเส้นใยเสริมแรงในวัสดุคอมโพสิตแทนเส้นใยสังเคราะห์ เนื่องจากเส้นใยธรรมชาติมีข้อดีหลายประการดังนี้

- หาง่าย เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ มีใช้ไม่หมดสิ้น และมีให้เลือกมากมายหลายชนิด
- เส้นใยบางชนิดเป็นของเหลือทิ้ง หรือเป็นวัชพืช มีราคาถูก ทำให้สามารถใช้ลดต้นทุน ในการผลิต
- เส้นใยมีสมบัติเชิงกลดี บางชนิดมีความแข็งแรงและมอดุลัสสูง
- ความหนาแน่นต่ำ ทำให้มีน้ำหนักเบา
- ช่วยกำจัดและลดกากของเสียจากเกษตรกรรมอุตสาหกรรม
- สามารถย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติ ไม่เป็นปัญหาสิ่งแวดล้อม

ปัจจุบันได้มีงานวิจัยที่พยายามจะนำเส้นใยธรรมชาติต่าง ๆ มาใช้ประโยชน์ เช่น เส้นใยอ้อย เส้นใยไผ่ เส้นใยมะพร้าว เส้นใยยูคาลิปตัส ฯลฯ อย่างไรก็ตามการใช้ประโยชน์จากเส้นใยธรรมชาติในปัจจุบันยังไม่ประสบความสำเร็จในเชิงอุตสาหกรรมเท่าที่ควร ทั้งนี้เนื่องจากเส้นใยธรรมชาติมีข้อจำกัดบางประการที่ต้องทำการปรับปรุง คือ

- เส้นใยธรรมชาติมีความสามารถในการยึดเกาะกับพอลิเมอร์เทอร์มอพลาสติกต่ำ เป็นสาเหตุให้สมบัติบางประการต่ำ เช่น สมบัติเชิงกล
- เส้นใยธรรมชาติดูดซึมน้ำสูงกว่าเส้นใยสังเคราะห์ ทำให้คอมโพสิตเส้นใยธรรมชาติที่ได้ดูดซึมน้ำสูงกว่าเส้นใยสังเคราะห์และพอลิเมอร์
- เส้นใยธรรมชาติขาดความสม่ำเสมอของขนาดเส้นใยและสมบัติของเส้นใย

พระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวภูมิพลอดุลยเดชพระเจ้าอยู่หัวในรัชกาลปัจจุบันมีพระราชดำริ ส่งเสริมให้เกษตรกรปลูกหญ้าแฝก (Vetiver) บริเวณพื้นดินใช้สอยที่ไม่ได้ใช้ประโยชน์ บริเวณไร่เลื่อนลอยและบริเวณที่ถูกน้ำชะหน้าดินได้ง่าย เนื่องจากมีรากฝอยมากดังนั้นจึงยึดหน้าดินได้ดีทำให้ช่วยป้องกันการชะล้างหน้าดินและการพังทลายของหน้าดินได้เป็นอย่างดี นอกจากนี้หญ้าแฝกยังเจริญเติบโตได้ง่าย ไม่แย่งอาหารกับพืชชนิดอื่นที่ปลูกร่วมกัน จึงสมควรแก่การสนับสนุนให้เกษตรกรปลูก โดยการสนับสนุนของกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ ประโยชน์ของหญ้าแฝกด้านอื่นๆ เช่น การใช้ประโยชน์จากใบหญ้าแฝกสำหรับงานศิลปหัตถกรรม วัสดุเพาะเห็ด วัสดุคลุมหลังคา ฯลฯ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.1 พระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวทรงปลูกหญ้าแฝก

งานวิจัยนี้ เป็นหนึ่งในโครงการเพื่อสนองพระราชดำริของพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว โดยเสนอที่จะศึกษาการเตรียมวัสดุคอมโพสิตจากพอลิเมอร์และเส้นใยหญ้าแฝก (Vetiver grass fibers) เพื่อใช้งานเป็นวัสดุไม้เทียม (Artificial wood) และวัสดุขึ้นรูปแบบพลาสติก โดยเน้นงานวิจัยที่การเตรียมวัสดุคอมโพสิตที่มีสมบัติที่ดี เช่น สมบัติทางกายภาพ (Physical properties) สมบัติเชิงกล (Mechanical properties) สมบัติทางความร้อน (Thermal properties) ฯลฯ โดยจะทำการขึ้นรูปด้วยเทคนิคการอัดขึ้นรูป (Compression molding) และการฉีดขึ้นรูป (Injection molding) ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ให้สามารถประยุกต์ใช้งานไม้เทียมในรูปวัสดุเฟอร์นิเจอร์ เช่น ไม้ปาร์เก้ แผ่นไม้กรอบหน้าต่าง ประตู หรือวัสดุฝ้าเพดาน ฯลฯ ทั้งนี้เสนอที่จะใช้พอลิพรอพิลีนหรือพีพี (Polypropylene, PP) พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงหรือเอชดีพีอี (High density polyethylene, HDPE) และรีไซเคิลพอลิเมอร์ (Recycled polymers) หรือพอลิเมอร์ที่ใช้แล้วทั้งสองชนิดเป็นพอลิเมอร์เมตริกซ์ สำหรับงานวิจัยนี้การเลือกใช้พอลิโพลีฟีนส์ทั้งสองชนิดดังกล่าวมาเป็นพอลิเมอร์เมตริกซ์ เนื่องจากราคาถูก เป็นพอลิเมอร์ที่มีการใช้กันแพร่หลายทั่วไป (Community polymers) มีปริมาณการใช้มาก ทำให้มีพอลิเมอร์ใช้แล้วเหลือทิ้งจำนวนมากจึงเหมาะที่จะนำมาทำเป็นเมตริกซ์

1.2 วัตถุประสงค์

1. ศึกษาปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการเตรียมพอลิเมอร์คอมโพสิตจากเส้นใยหญ้าแฝก เช่น ปริมาณเส้นใย ชนิดของเส้นใย และชนิดของเมตริกซ์
2. ศึกษาผลของการใช้พอลิเมอร์ที่ใช้แล้ว (Recycled polymers) ทดแทนพอลิเมอร์ใหม่ ในการเตรียมพอลิเมอร์คอมโพสิตจากเส้นใยหญ้าแฝก
3. ศึกษาสมบัติต่างๆ ของพอลิเมอร์คอมโพสิตไม้เทียมจากหญ้าแฝกที่เตรียมได้ เช่น สมบัติเชิงกล สมบัติทางกายภาพ สมบัติทางความร้อน สัมฐานวิทยา และความทนทานต่อปลวก

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. ศึกษาและทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
2. เตรียมผงหญ้าแฝกด้วยแรงเชิงกล (Mechanical pulp, MP) และเส้นใยหญ้าแฝกจากกระบวนการความร้อนเชิงกล (Thermomechanical pulp, TMP)
3. ศึกษาการผลิตพอลิเมอร์คอมโพสิตจากเส้นใยธรรมชาติ โดยใช้พอลิพรอพิลีนหรือพีพี (Polypropylene, PP) พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงหรือเอชดีพีอี (High density polyethylene, HDPE) และรีไซเคิลพอลิเมอร์ทั้งสองชนิดเป็นพอลิเมอร์เมตริกซ์ โดยมีเส้นใยหญ้าแฝกเป็นส่วนเสริมแรง
4. ศึกษาปัจจัยต่างๆ ที่มีต่อสมบัติของพอลิเมอร์คอมโพสิต เช่น ผลของปริมาณเส้นใยที่ใช้ ชนิดของเส้นใย และชนิดของเมตริกซ์ โดยเสนอที่จะศึกษาในแนวเปรียบเทียบ
5. ศึกษาสมบัติที่สำคัญต่างๆ ของพอลิเมอร์คอมโพสิตจากเส้นใยธรรมชาติที่เตรียมได้ เช่น สมบัติทางกายภาพ (Physical properties) สมบัติเชิงกล (Mechanical properties) สมบัติทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี (Morphology) นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. ทดลองขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ไม้เทียมจากคอม โพลิตเส้นใยหญ้าแฝก
7. นำส่งตัวอย่างเพื่อศึกษาความทนทานของผลิตภัณฑ์จากปลวกได้ดิน
8. วิเคราะห์ต้นทุนและประเมินความเป็นไปได้เชิงเศรษฐกิจของผลิตภัณฑ์ที่พัฒนาขึ้น

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับการวิจัย

1. ตอบสนองโครงการพระราชดำริของพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวภูมิพลอดุลยเดช
2. สามารถผลิต ไม้เทียมจากพอลิเมอร์และหญ้าแฝกเพื่อทดแทน ไม้จากธรรมชาติ และทดแทนวัสดุคอม โพลิตเส้นใยสังเคราะห์ซึ่งต้องนำเข้าจากต่างประเทศ
3. สามารถเตรียมคอม โพลิต ไม้เทียมที่มีสมบัติที่ดี สามารถประยุกต์ใช้งานเป็นไม้เทียมได้ เช่น วัสดุเฟอร์นิเจอร์ ไม้ปาร์เก้ แผ่นไม้กรอบหน้าต่าง ประตู หรือวัสดุฝ้าเพดาน
4. เป็นบริการความรู้แก่ภาคธุรกิจ สามารถนำผลงานวิจัยไปใช้ และนำไปสู่การผลิตในเชิงพาณิชย์
5. สามารถนำความรู้ที่ได้เป็นพื้นฐานในการวิจัย และประยุกต์ใช้กับพอลิเมอร์คอม โพลิตจากเส้นใยธรรมชาติชนิดอื่นได้
6. สามารถเพิ่มประโยชน์การใช้สอยจากหญ้าแฝก และส่งเสริมให้เกิดอุตสาหกรรมพอลิเมอร์คอม โพลิตจากเส้นใยธรรมชาติในประเทศได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

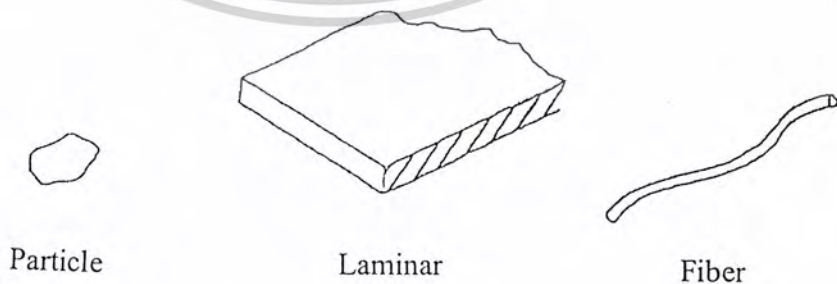
บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

2.1 พอลิเมอร์คอมโพสิต (Polymer composites)

พอลิเมอร์คอมโพสิต (Polymer composites) หมายถึงวัสดุที่ประกอบด้วยส่วนประกอบอย่างน้อยสองชนิดที่มีสมบัติต่างกัน โดยจะแยกกันอยู่คนละวัฏภาค และทำให้วัสดุที่ได้มีสมบัติดีขึ้น [1] วัสดุประกอบ หรือคอมโพสิตจัดเป็นวัสดุที่มีความสำคัญมาก ในปัจจุบันเป็นที่นิยม และมีปริมาณการใช้เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เนื่องจากคอมโพสิตมีข้อดีหลายประการ เช่น น้ำหนักเบา ความแข็งแรง และค่ามอดุลัสต่อน้ำหนักสูง ขึ้นรูปได้ง่าย ความเสถียรในรูปร่าง และต้นทุนการผลิตต่ำ ทั้งยังสามารถประยุกต์ใช้งานแทนวัสดุอื่นได้ เช่น โลหะ เซรามิกส์ ฯลฯ คอมโพสิตสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ชนิดใหญ่ ๆ ดังนี้

1. คอมโพสิตแบบเส้นใย (Fibrous composites) คือคอมโพสิตที่มีส่วนเสริมแรงเป็นเส้นใย (Fibers) อาจเป็นเส้นใยสั้น (Short fibers) หรือเส้นใยยาวต่อเนื่อง (Continuous fibers) มักเป็นเส้นใยขนาดเล็ก มีความแข็งแรงและมอดุลัสสูง ทำให้คอมโพสิตมีความแข็งแรงตามแนวการเรียงตัวของเส้นใยสูงกว่าแนวอื่น ๆ
2. คอมโพสิตแบบแผ่นหรือลามิเนต (Laminar composites) คือคอมโพสิตที่ประกอบด้วยชั้นหรือแผ่นของวัสดุที่ยึดติดกันด้วยตัวเชื่อมเมทริกซ์ มีลักษณะเป็นชั้นๆ คล้ายแซนวิช (Sandwich) หรือเป็นโครงสร้างคล้ายรังผึ้ง (Honeycomb)
3. คอมโพสิตแบบเป็นก้อน (Particulate composites) คือคอมโพสิตที่มีส่วนเสริมแรงเป็นเม็ด (Beads) แผ่น (Flake) หรือผง (Powder) ที่มีขนาดเล็ก (มักมีขนาดเล็กกว่า 1 ไมครอน)



รูปที่ 2.1 ประเภทของคอมโพสิต [2]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมบัติของพอลิเมอร์คอมโพสิตขึ้นอยู่กับ

- การยึดเกาะระหว่างเมตริกซ์ และสารเสริมแรง
- คุณสมบัติของเมตริกซ์ และสารเสริมแรง
- ปริมาณสารเสริมแรง
- ขนาด และรูปร่างของสารเสริมแรง
- กระบวนการผลิต
- การจัดเรียงตัว และการกระจายตัวของสารเสริมแรง
- ตำหนิ (Flaws) หรือช่องว่าง (Voids) ภายในวัสดุคอมโพสิต

คอมโพสิตจะประกอบด้วย 2 ส่วน ดังนี้

1. เมตริกซ์ (Matrix) เป็นวัสดุที่ทำหน้าที่ยึดส่วนเสริมแรงเข้าด้วยกัน ให้อยู่ในตำแหน่งและการเรียงตัวที่กำหนด โดยจะล้อมรอบและปกป้องส่วนเสริมแรงจากการเสียดทานเนื่องจากสิ่งแวดล้อม เช่น อุณหภูมิสูง ความชื้น ฯลฯ มักมีความแข็งแรงและมอดุลลีส้นน้อยกว่าส่วนเสริมแรง เมตริกซ์เป็นองค์ประกอบที่มีความต่อเนื่อง (Continuous phase) จะทำหน้าที่เป็นตัวกลางถ่ายเทแรงที่ได้รับ (Load transfer medium) ไปสู่ส่วนเสริมแรง เมตริกซ์ที่นิยมใช้ในปัจจุบัน ได้แก่

- พอลิเมอร์ เรียกคอมโพสิตชนิดนี้ว่า “Polymer Composites” สามารถใช้ได้ทั้งพอลิเมอร์ประเภทเทอร์โมพลาสติก (Thermoplastics) และเทอร์โมเซต (Thermosets)
- โลหะ เรียกคอมโพสิตชนิดนี้ว่า “Metal Composites”
- เซรามิกส์ เรียกคอมโพสิตชนิดนี้ว่า “Ceramic Composites”

2. ส่วนเสริมแรง (Reinforcement) คือส่วนที่เป็นโครงสร้างที่ให้ความแข็งแรงแก่วัสดุคอมโพสิตจะมีความแข็งแรงและมอดุลลีส้นสูง ตัวอย่างของส่วนเสริมแรงที่สำคัญได้แก่ เส้นใย (Fibers) ชนิดต่างๆ เช่น เส้นใยแก้ว (Glass fibers) เส้นใยคาร์บอน (Carbon fibers) ฯลฯ อาจเป็นเส้นใยเดี่ยวยาว (Continuous fibers) หรือเส้นใยสั้น (Discontinuous หรือ Chopped short fibers) นอกจากนี้อาจเป็นเส้นใยพันกันหรือทอ (Weaves) ให้มีโครงสร้างแบบต่างๆ และมีการจัดเรียง (Orientation) ของส่วนเสริมแรงแบบต่างๆ ส่วนเสริมแรงจะเป็นส่วนรับแรงหลัก (Principle load-carrying members) ของวัสดุคอมโพสิต

2.1.1 เมตริกซ์

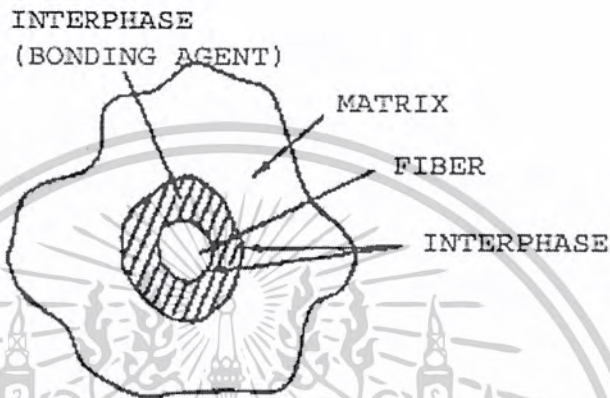
เมตริกซ์ (Matrix) เป็นส่วนที่ช่วยห่อหุ้ม และยึดส่วนเสริมแรงเข้าไว้ด้วยกัน โดยทั่วไปเมตริกซ์มักจะมีค่าความเหนียวสูง ความแข็งแรง และมอดุลลีส้นต่ำกว่าส่วนเสริมแรง

หน้าที่ของเมตริกซ์ในพอลิเมอร์คอมโพสิต ได้แก่

- รักษาความเสถียรในรูปร่าง และขนาดของวัสดุคอมโพสิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของสำนักพิมพ์และถือลิขสิทธิ์โดยไม่ให้คืนโดยไม่ขออนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ทำให้วัสดุคอมโพสิตสามารถทนต่อการเสียดภาพได้ที่อุณหภูมิ หรือแรงกระทำระดับหนึ่งๆ
- สามารถกระจาย หรือส่งถ่ายแรงที่ได้รับจากภายนอกไปยังเส้นใยได้
- ช่วยให้ทนทานต่อสภาพแวดล้อม และมีความเสถียรในตัวกลางต่างๆ



รูปที่ 2.2 การยึดติดระหว่างเส้นใยกับเมตริกซ์ [2]

เมตริกซ์มีหลายชนิด ได้แก่ คาร์บอน (Carbon matrix) เซรามิกส์ (Ceramic matrix) แก้ว (Glass matrix) และพอลิเมอร์ (Polymer matrix) งานวิจัยนี้จะกล่าวถึงแต่พอลิเมอร์เมตริกซ์เท่านั้น

2.1.1.1 พอลิเมอร์เมตริกซ์

พอลิเมอร์เมตริกซ์ที่ใช้โดยทั่วไปแบ่งเป็น 2 ประเภท ได้แก่

1. เทอร์โมเซต (Thermoset) พอลิเมอร์กลุ่มนี้เมื่อผ่านกระบวนการวิธีผลิตจะมีรูปทรงถาวร ผลผลิตที่ได้นำไปหลอมขึ้นรูปใหม่อีกไม่ได้ และไม่ละลายในตัวทำละลาย คือไม่เกิดกระบวนการย้อนกลับ สาเหตุที่เป็นเช่นนี้เพราะว่าก่อนผ่านกระบวนการ โครงสร้างของพอลิเมอร์ยังไม่เป็นร่างแห แต่เมื่อผ่านกระบวนการให้ความร้อน หรือความดันเข้าไปจะมีการเปลี่ยนแปลงทางเคมีในโครงสร้างเกิดการเชื่อมโยง (Crosslinking) ระหว่างสายโซ่โมเลกุล มีลักษณะเป็นสามมิติ มีการสร้างพันธะโควาเลนต์ระหว่างสายโซ่โมเลกุลทำให้ผลผลิตที่ได้มีความคงทนไม่หลอมละลาย ถ้าให้ความร้อนมากๆ จะไหม้เกรียม และสมบัติเปลี่ยนไปจากเดิม

เทอร์โมเซตที่ใช้เป็นเมตริกซ์ส่วนใหญ่ ได้แก่ อีพอกซี พอลิเอสเทอร์ และไวนิลเอสเทอร์ เมื่อเทอร์โมเซตเรซินที่หลอมเหลวเริ่มแข็งตัวจะเกิดการเชื่อมโยงขึ้น ซึ่งจะทำให้เกิดรอยต่อที่แน่นอนของโครงสร้างสามมิติ การเกิดการเชื่อมโยงจะทำให้พอลิเมอร์แข็งตัว มีความแข็งแรงสูง มี

ความต้านทานสารละลาย มีเสถียรภาพทางความร้อน และต้านทานการเกิดออกซิเดชันได้ดี สมบัติเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เหล่านี้จะสัมพันธ์โดยตรงกับความหนาแน่นของการเกิดการเชื่อมโยง และน้ำหนักโมเลกุลของสายโซ่ระหว่างการเชื่อมโยง ถ้าเกิดการเชื่อมโยงมากจะส่งผลให้เมตริกซ์มีความแข็งแรงมาก หรือมีโมดูลัสยืดหยุ่นสูง แต่ถ้าเกิดการเชื่อมโยงมากแล้วน้ำหนักการเชื่อมโยงจะลดลงซึ่งจะทำให้การเคลื่อนที่ของโมเลกุลเกิดได้ยาก เกิดความเปราะ มีความเครียดต่ำ มีความต้านทานต่อการกระแทกน้อย และไม่เหนียว



รูปที่ 2.3 รูปแบบการจัดเรียงตัวของเทอร์โมเซต [2]

2. เทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic) จะละลายได้ดีในตัวทำละลายบางชนิด เมื่อถูกความร้อนสามารถหลอมตัวได้ เมื่อเย็นลงก็จะแข็งตัว สามารถหลอม และแข็งตัวหลายๆครั้งโดยไม่ทำให้สมบัติทางเคมีเปลี่ยนแปลงไป อาจแยกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มเทอร์โมพลาสติกอสัณฐาน (Amorphous thermoplastic) และเทอร์โมพลาสติกที่มีผลึกบางส่วน (Semi-crystalline thermoplastic)

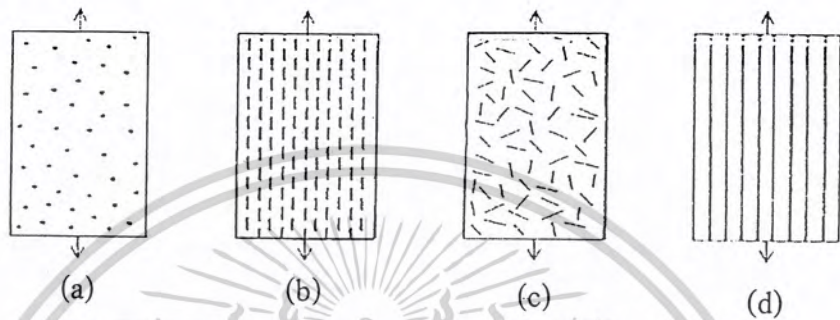
เทอร์โมพลาสติกไม่จำเป็นต้องทำให้เกิดการเชื่อมโยงก่อนการใช้งาน ดังนั้นความแข็งแรงเป็นผลโดยตรงจากสมบัติของหน่วยซ้ำหรือมอนอเมอร์และน้ำหนักโมเลกุลที่สูง เทอร์โมพลาสติกอสัณฐานจะมีการพันกันของสายโซ่โมเลกุลซึ่งจะส่งผลคล้ายกับการเกิดการเชื่อมโยง และในพอลิเมอร์ที่สามารถตกผลึกได้ก็จะมีการจัดเรียงตัวที่ดีทำให้เมตริกซ์มีความแข็งแรง สมบัติของเทอร์โมพลาสติกจะขึ้นกับองศาความเป็นผลึก สัณฐานวิทยา การจัดเรียงตัวของผลึก ซึ่งขึ้นกับสภาวะในการผลิต ตัวอย่างเทอร์โมพลาสติก เช่น พอลิเอไมด์ (PA) พอลิสไตรีน (PS) พอลิพรอพิลีน (PP) พอลิเอทิลีน (PE) เป็นต้น



เอกสารรูปที่ 4 รูปแบบการจัดเรียงตัวของเทอร์โมพลาสติก [2] เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2 ส่วนเสริมแรง

ส่วนเสริมแรง (Reinforcement phase) มีลักษณะรูปร่างได้หลายแบบอาจเป็นแผ่น เส้นใย หรืออนุภาคเล็กๆ ก็ได้ ตัวเสริมแรงที่นิยมใช้มีลักษณะเป็นเส้นใย (Fibers) อาจจะเป็นเส้นใย คอเนื้อ หรือเส้นใยสั้น เส้นใยที่ใช้เสริมแรงในพอลิเมอร์คอมโพสิต เช่น เส้นใยแก้ว เส้นใยธรรมชาติ เป็นต้น



รูปที่ 2.5 ตัวอย่างคอมโพสิตที่มีส่วนเสริมแรงต่างกัน [2]

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

สมบัติของเส้นใยที่เหมาะสมสำหรับใช้เสริมแรงควรมีลักษณะดังนี้

- เส้นใยควรมีโมดูลัสยืดหยุ่นสูงเพื่อประสิทธิภาพในการเสริมแรง
- เส้นใยควรมีความแข็งแรงสูง
- ความแข็งแรงของเส้นใยแต่ละเส้นไม่ควรแตกต่างกันมาก
- เส้นใยควรจะเสถียร และรับความแข็งแรงขณะจัดเก็บ และขึ้นรูปได้
- ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง และพื้นที่ผิวของเส้นใยควรมีลักษณะเหมือนกัน

ปัจจัยสำคัญของเส้นใยที่มีผลต่อสมบัติของคอมโพสิต ได้แก่

- เส้นผ่าศูนย์กลาง
- ความยาวของเส้นใย
- ปริมาตรของเส้นใย
- ลักษณะรูปร่างของเส้นใย
- การจัดเรียงตัวของเส้นใยในคอมโพสิต

โดยทั่วไปเส้นใยที่ใช้เป็นสารตัวเติมเสริมแรงในคอมโพสิต สามารถแบ่งเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. เส้นใยสังเคราะห์ เช่น เส้นใยคาร์บอน (Carbon fiber) เส้นใยแก้ว (Glass fiber) ผสมลงในพอลิเมอร์จะทำให้ได้ความแข็งแรงของพอลิเมอร์สูงขึ้น

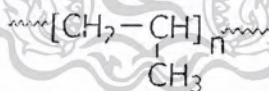
2. เส้นใยธรรมชาติ จะได้พอลิเมอร์ที่มีความแข็งแรง และสามารถย่อยสลายได้ แต่ความแข็งแรงไม่ดีเท่าเส้นใยสังเคราะห์

การผสมเส้นใยช่วยเพิ่มสมบัติด้านต่างๆ ให้กับพอลิเมอร์เมตริกซ์ เช่น

- ความแข็งแรง
- ความเหนียว
- ความเสถียรภาพของรูปร่าง
- การคืบ (Creep)
- ความทนทานต่อการใช้งาน

2.2 พอลิพรอพิลีน (Polypropylene) [3]

ในปี ค.ศ. 1954 แนตตา (Natta) ได้นำตัวเร่งที่ซีเกลอร์ (Ziegler) ค้นพบมาใช้ในการเตรียมพอลิพรอพิลีน โดยปรับปรุงรูปแบบของตัวเร่ง และได้พอลิพรอพิลีนที่มีน้ำหนักโมเลกุลแตกต่างกันไป ซึ่งมีผลทำให้สมบัติแตกต่างกันออกไป เช่น ไอโซแทคติกพอลิพรอพิลีน (Isotactic polypropylene) ที่มีความหนาแน่นสูงเหมือนพอลิเอทิลีน แต่มีจุดอ่อนตัวสูงกว่า และแข็งแรงกว่า โครงสร้างทางเคมีส่วนใหญ่ของพอลิพรอพิลีนจะมีหมู่เมทิล (Methyl group) เกาะบนโซ่หลักของโมเลกุล (Main chain)

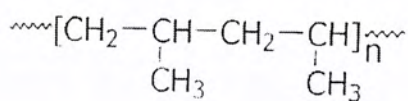


รูปที่ 2.6 โครงสร้างทางเคมีของพอลิพรอพิลีน [3]

พอลิพรอพิลีนสามารถแบ่งได้เป็น 3 ประเภท ตามลักษณะการเกาะของหมู่เมทิลบนสายโซ่โมเลกุลหลัก ได้แก่

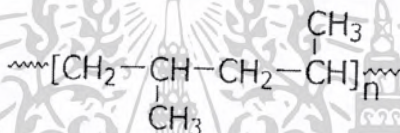
1. ไอโซแทคติกพอลิพรอพิลีน (Isotactic polypropylene) โครงสร้างแบบนี้มีลักษณะการเกาะของหมู่เมทิลด้านเดียวกันบนโซ่โมเลกุลหลัก ลักษณะเช่นนี้สายโซ่สามารถเรียงซ้อนทับกันได้ดี ทำให้การตกผลึกดีที่สุด สังเคราะห์ด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาแบบ Heterogeneous ของ Titanium (III) chloride กับตัวเร่งร่วมประเภทสารประกอบ Organoaluminium เช่น Dimethylaluminium chloride

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



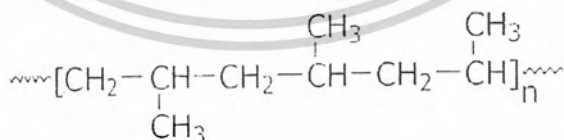
รูปที่ 2.7 โครงสร้างของไอโซแทคติกพอลิพรอพิลีน [3]

2. ซินดิโอแทคติกพอลิพรอพิลีน (Syndiotactic polypropylene) โครงสร้างแบบนี้มีลักษณะการเกาะของหมู่เมทิลสลับกันบนสายโซ่โมเลกุลหลักอย่างเป็นระเบียบ ดังนั้นทำให้สายโซ่มีความสามารถในการซ้อนทับกันลดลง มีผลทำให้การตกผลึกลดลงด้วย



รูปที่ 2.8 โครงสร้างของซินดิโอแทคติกพอลิพรอพิลีน [3]

3. อะแทคติกพอลิพรอพิลีน (Atactic polypropylene) โครงสร้างแบบนี้มีลักษณะการเกาะของหมู่เมทิลบนสายโซ่พอลิเมอร์หลักอย่างไม่เป็นระเบียบ ลักษณะเช่นนี้ทำให้มีการตกผลึกน้อยที่สุด สังเคราะห์จากกรดลิวอิส (Lewis acid) และสารประกอบ Organometallic เกิดเป็นโครงสร้างของอะแทคติกพอลิพรอพิลีน



รูปที่ 2.9 โครงสร้างของอะแทคติกพอลิพรอพิลีน [3]

2.2.1 สมบัติของพอลิพรอพิลีน

- ความหนาแน่นประมาณ 0.9 กรัม/ลบ.ซม.
- มีน้ำหนักเบา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้า ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
จุดเชื่อมต่อให้ดูด้านล่าง (130-170 องศาเซลเซียส)

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ไม่ละลายในตัวทำละลายที่อุณหภูมิห้อง
- มีความทนทานต่อกรดและเบส
- เชื้อต่อปฏิกิริยาเคมี
- มีความเป็นผลึกสูงทำให้คุณสมบัติเชิงกลดี
- ละลายในตัวทำละลายไฮโดรคาร์บอนที่อุณหภูมิสูงกว่า 80 องศาเซลเซียส
- ข้อดี-ข้อเสียของพีที มีดังนี้

ข้อดี

- สัมประสิทธิ์ความเสียดทานต่ำ
- เป็นฉนวนไฟฟ้าที่ดี
- ทนความชื้น
- ทนสารเคมี

ข้อเสีย

- สลายตัวต่อรังสี UV
- ไม่ทนต่อสภาพดินฟ้าอากาศ
- ละลายในตัวทำละลายที่มีคลอรีน

2.2.2 การประยุกต์ใช้งาน

- อุปกรณ์ภายในบ้าน
- ชิ้นส่วนต่างๆ ภายในรถยนต์
- ใช้ในรูปเส้นใย หรือฟิล์ม

2.3 พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (High density polyethylene, HDPE) [4]

พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงจัดเป็นเทอร์โมพลาสติกประเภทพอลิโอเลฟินส์ ซึ่งได้จากกระบวนการเกิดพอลิเมอร์ของเอทิลีนดังสมการ



พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงอาจเรียกว่า พอลิเอทิลีนเชิงเส้น (Linear polyethylene) เพราะพอลิเมอร์มีโครงสร้างเป็นเส้นตรงเกือบตลอด มีโซ่กิ่งบ้างแต่น้อยมากหรืออาจเรียกว่า พอลิเอทิลีนความดันต่ำ เพราะกระบวนการเตรียมพอลิเมอร์ชนิดนี้ทั่วไปใช้ความดันต่ำกว่าการเตรียมพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงนี้ผลิตขึ้นในเชิงการค้าในปี ค.ศ. 1955 และได้มีการพัฒนาผลิตภัณฑ์ที่ได้จากพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงอย่างต่อเนื่องจนถึงปัจจุบัน

2.3.1 สมบัติของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง

เอชดีพีอี มีความเป็นผลึกสูง เนื่องจากมีโครงสร้างเป็นสายโซ่ตรง และมีโซ่กิ่งน้อยมาก ไม่มีขั้ว มีสมบัติต้านทานทางเคมีสูง และไม่ดูดซึมของผสม ซึ่งจัดว่าเป็นสารที่ป้องกันการซึมผ่านของไอน้ำ (Water vapor barrier) ที่ดี โดยสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในเรื่องของบรรจุภัณฑ์ เป็นเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สิ่งที่กำหนดสมบัติของเอชดีพีอีนั้นมี 4 ตัวแปร คือความหนาแน่น คัดชนีการหลอมไหล (MFI) การกระจายน้ำหนักโมเลกุล (MWD) และสารเติมแต่ง ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

ความหนาแน่น

ความหนาแน่นเป็นตัวแปรที่สำคัญในการศึกษาสมบัติของเอชดีพีอี โดยเอชดีพีอีจะมีความหนาแน่นประมาณ $940-965 \text{ kg/m}^3$ พบว่าเมื่อความหนาแน่นสูงขึ้นจะทำให้สมบัติต่อไปนี้ดีขึ้น เช่น ความแข็งแรงดึง (Tensile strength) การคงรูปหรือความแข็งแกร่ง (Rigidity) ความแข็งกด (Hardness) ความทนทานต่อความร้อน (Heat resistance) ความทนทานต่อสารเคมี และความทนต่อการซึมผ่านของก๊าซ รวมทั้งมีสมบัติทางกายภาพต่าง ๆ ดีขึ้น

ค่าดัชนีการหลอมไหล (MFI)

ดัชนีการหลอมไหลเป็นการประเมินค่าน้ำหนักโมเลกุล ถ้าดัชนีการหลอมไหลสูงแสดงว่ามีความหนืดน้อย สายโซ่โมเลกุลสั้น น้ำหนักโมเลกุลต่ำ แต่ถ้าดัชนีการหลอมไหลต่ำ แสดงว่ามีความหนืดสูงหรือน้ำหนักโมเลกุลสูง ปกติเอชดีพีอีจะมีน้ำหนักโมเลกุลอยู่ในช่วง 40,000-300,000 ซึ่งมีค่าดัชนีการหลอมไหล 0.02-100 กรัมต่อ 10 นาที ดัชนีการหลอมไหลมีผลต่อสมบัติเชิงกลของเอชดีพีอี เช่น ความสามารถในการขึ้นรูปถ้าค่าดัชนีการหลอมไหลมาก การขึ้นรูปจะทำได้ง่ายเพราะความหนืดลดลง แต่สมบัติอื่นๆ เช่น ความต้านทานต่อแรงกระแทกลดลง เพราะน้ำหนักโมเลกุลลดลง สายโซ่โมเลกุลมีขนาดสั้น ดังนั้นการรับแรงจึงไม่ดีเท่ากับโมเลกุลที่มีสายโซ่ยาว ในขณะที่เอชดีพีอีที่มีช่วงน้ำหนักโมเลกุลปานกลาง-สูงจะมีสมบัติทนทานต่อแรงกระแทกดีมาก

การกระจายน้ำหนักโมเลกุล (MWD)

การกระจายน้ำหนักโมเลกุลของเอชดีพีอีจะอยู่ในช่วงแคบ-กว้าง ซึ่งขึ้นอยู่กับตัวเร่งปฏิกิริยาและกระบวนการแปรรูปที่ใช้ พบว่าถ้าการกระจายตัวกว้างจะทำให้ขึ้นรูปได้ง่าย ขณะเดียวกันจะทำให้การหดตัว และการงอตัวเพิ่มขึ้น เพราะมีสายโซ่ขนาดโมเลกุลไม่เท่ากัน มีทั้งสายโซ่แบบสั้นและยาวอยู่ด้วยกัน เวลาขึ้นงานได้รับความเย็นการตผลึกจะไม่เท่ากัน ส่วนความต้านทานต่อแรงกระแทกจะลดลง โดยปกติถ้าทำการผลิตเอชดีพีอีที่มีค่าดัชนีการไหลต่ำหรือน้ำหนักโมเลกุลสูงจะทำให้ขึ้นรูปยาก ดังนั้นจึงต้องอาศัยการกระจายน้ำหนักโมเลกุลที่กว้างมากเข้ามาช่วย โดยการนำเอชดีพีอีที่มีการกระจายน้ำหนักโมเลกุลที่มีช่วงแคบ 2 ชนิดมารวมกัน

สารเติมแต่ง (Additives)

พลาสติกจำนวนมากจำเป็นต้องเติมสารเติมแต่งชนิดต่าง ๆ เพื่อให้สมบัติต่าง ๆ ดีขึ้น เช่น เติมน้ำมันปรุงปรุงความทนทานต่อแรงกระแทกเพื่อเพิ่มความเหนียว เส้นใยเสริมแรงเพื่อเพิ่มความแข็งแรง สารปรับปรุงสมบัติพลาสติก (Plastic modifier) เพื่อเพิ่มความยืดหยุ่น สารตัวเติมเพื่อเพิ่มเนื้อและลดต้นทุนในการผลิต และสารให้สีเพื่อทำให้มีสีที่สวยงามนำไปใช้ เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อดี-ข้อเสียของ HDPE มีดังนี้

ข้อดี

- ราคาถูก
- เป็นฉนวนไฟฟ้าที่ดี
- ทนความชื้น
- ทนสารเคมี
- ใช้บรรจุอาหารได้ดี
- ขึ้นรูปนำมาใช้งานได้โดยขบวนการเทอร์โมพลาสติกต่างๆ ไป

ข้อเสีย

- ขยายตัวมากเมื่อได้รับความร้อน
- ไม่ทนต่อสภาพดินฟ้าอากาศ

2.3.2 การประยุกต์ใช้งาน

เอชดีพีอีถูกนำมาแปรรูปให้ได้รูปร่างตามผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ เช่น ใช้ทำภาชนะเครื่องใช้ในครัวเรือน ประตู และหน้าต่าง เป็นต้น โดยกระบวนการแปรรูปที่มีการใช้เอชดีพีอีมีด้วยกันหลายกระบวนการ เช่น ทำแผ่นฟิล์ม (Film) ฉีดขึ้นรูป (Injection molding) เป่าขึ้นรูป (Blow molding) ทำท่อ (Pipe extrusion) ทำแผ่น (Sheet extrusion) เคลือบผิว (Coating) เป็นต้น

2.4 เส้นใยธรรมชาติ (Natural fibers) [5]

เส้นใยธรรมชาติเป็นอินทรีย์วัตถุที่สำคัญ หาได้ง่ายจากธรรมชาติ มีปริมาณมาก สามารถเกิดขึ้นใหม่ได้ และมีราคาถูกกว่าเส้นใยสังเคราะห์ ด้วยเหตุนี้เส้นใยธรรมชาติจึงนิยมใช้เป็นสารเติมแต่งในพลาสติก โดยอาจเป็นสารตัวเติมชนิดเสริมแรง (Reinforcing fillers) เพื่อเป็นการลดต้นทุนเพิ่มปริมาณการผลิต และเสริมแรงแก่ผลิตภัณฑ์ ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดและขนาดของเส้นใยที่นำมาใช้

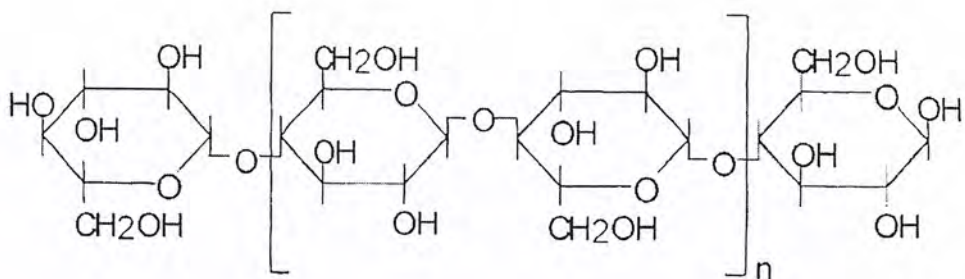
โครงสร้างของเส้นใยธรรมชาติประกอบไปด้วยเซลลูโลส (Cellulose) เป็นส่วนใหญ่ องค์ประกอบที่เหลือเป็นเฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose) ลิกนิน (Lignin) และสารประกอบอื่น ๆ

2.4.1 เซลลูโลส (Cellulose)

เซลลูโลสเป็นสารประกอบพอลิแซ็กคาไรด์ (Polysaccharides) เชิงเส้นตรงที่ประกอบด้วยหน่วยซ้ำ ๆ กัน มีสูตรโมเลกุลทั่วไปคือ $(C_6H_{12}O_5)_n$ เป็นโครงสร้างในเนื้อเยื่อพืช โดยพบรวมกับลิกนิน (Lignin) เพนโตเซน (Pentosan) กัม (Gum) แทนนิน (Tannin) ไขมัน (Fat) สารที่ทำให้เกิดสี เป็นต้น เซลลูโลสจะมีหน่วยโมเลกุลยาวและแข็ง โดยเซลลูโลสจะมีสูตรโครงสร้างทางเคมีดังรูปที่

2.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.10 สูตรโครงสร้างของเซลลูโลส [6]

เซลลูโลสมีหมู่ไฮดรอกซิลถึง 3 หมู่ สามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนได้ แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของเซลลูโลสจึงมีมาก และโครงสร้างของเซลลูโลสยังจัดเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบ จึงทำให้เซลลูโลสมีความเป็นผลึกสูงมาก อุณหภูมิการหลอมตัวจึงสูงมาก มักจะเกิดการสลายตัวก่อนถึงอุณหภูมิหลอมตัว และมีความสามารถในการละลายต่ำ เซลลูโลสธรรมชาติจะมีน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยต่างกัน การกระจายน้ำหนักโมเลกุลของเซลลูโลสมีความสำคัญต่อสมบัติทางกายภาพ ส่วนที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำจะส่งผลให้คุณสมบัติทางกายภาพไม่ดี ในทางอุตสาหกรรมจะหาน้ำหนักโมเลกุลโดยประมาณได้โดยการวัดความหนืด

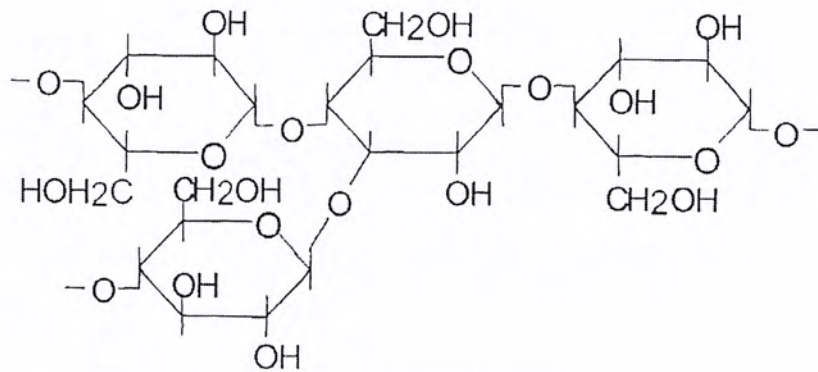
2.4.1.1 สมบัติทางกายภาพของเซลลูโลส

ความหนาแน่นของเซลลูโลสประมาณ 1.5 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ความหนาแน่นของเส้นใยเดี่ยวมีค่าไม่แน่นอน ซึ่งแปรตามแหล่งที่มาและการปรับปรุงทางเคมี เซลลูโลสเป็นของแข็งไม่มีสี มีการดูดและคายไอน้ำและของเหลวอื่นๆ ที่อยู่ในบรรยากาศรอบๆ จนกระทั่งถึงสมดุล ปริมาณความชื้นของเซลลูโลสมีผลต่อสมบัติบางอย่างเช่นความแข็งแรงดึง เซลลูโลสไม่ละลายในน้ำและตัวทำละลายอินทรีย์ แต่จะละลายในกรดแร่เข้มข้น เช่น 72% ของกรดซัลฟูริก 40% ของกรดไฮโดรคลอริก และ 78% ของกรดฟอสฟูริก เซลลูโลสจะเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสอย่างรวดเร็ว ในสารละลายกรดแร่ที่อุณหภูมิห้อง และปฏิกิริยาจะหยุดที่อุณหภูมิต่ำๆ และสารละลายเกลือเข้มข้นบางชนิด เช่น 72% ของซิงค์ออกไซด์จะทำให้เซลลูโลสที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำๆ ละลายได้

2.4.2 เฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose)

เฮมิเซลลูโลสเป็นพอลิแซคคาไรด์ชนิดหนึ่ง ซึ่งคล้ายเซลลูโลส แต่ประกอบด้วยน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวหลายชนิด เช่น กลูโคส กาแลกโตส แมนโนส ไซโลส อะราบิโนส รวมทั้งกรดกลูโคนิกและกาแลกทูโรนิก เฮมิเซลลูโลสพบในเนื้อเยื่อของพืชโดยรวมอยู่กับสารอื่นๆ เช่น ลิกนิน เซลลูโลส เป็นโครงสร้างของผนังเซลล์ พบมากในแกลบ ชังข้าวโพด เฮกโซแซน สูตรทางเคมีคือ $(C_6H_{12}O_5)_n$ โครงสร้างทางเคมีแสดงไว้ดังรูป 2.11

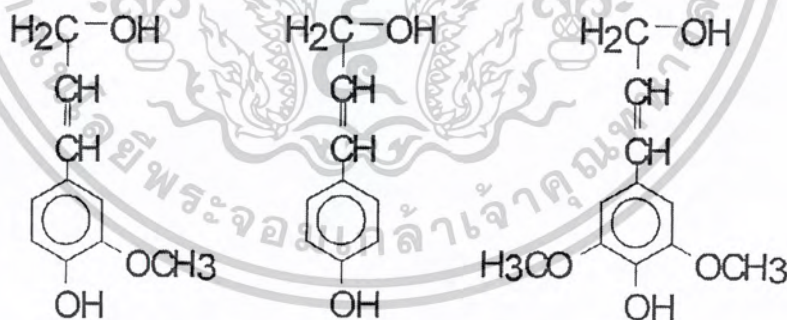
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.11 สูตรโครงสร้างของเฮมิเซลลูโลส [6]

2.4.3 ลิกนิน (Lignin)

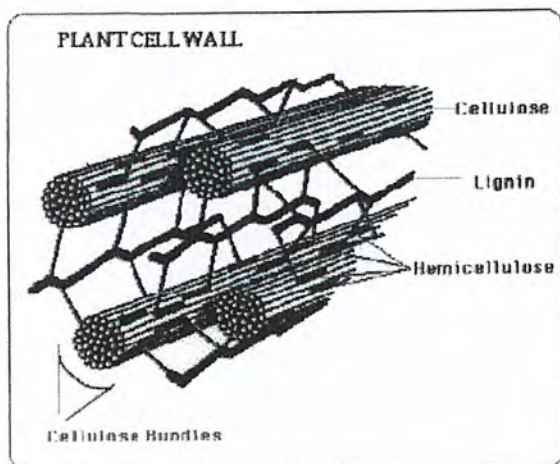
ลิกนินเป็นสารประกอบเชิงซ้อน มีน้ำหนักโมเลกุลสูง มักพบอยู่ร่วมกับเซลลูโลส ลิกนินเป็นสารที่ประกอบด้วยคาร์บอน (C) ไฮโดรเจน (H) และออกซิเจน (O) รวมกันเป็นหน่วยย่อยหลายชนิดซึ่งเป็นสารอะโรมาติก (Aromatic) ลิกนินไม่ละลายน้ำ ไม่มีสมบัติยืดหยุ่น เพราะฉะนั้นจึงทำให้พืชที่มีลิกนินมากมีความแข็งแรงทนทาน เมื่อพืชตายลิกนินจะถูกย่อยด้วยเอนไซม์ลิกเนส (Lignase) หรือ ลิกนินเนส (Ligninase) ซึ่งเป็นจุลินทรีย์ที่สำคัญในรา ตัวอย่างโครงสร้างของลิกนินแสดงดังรูป 2.12



รูปที่ 2.12 หน่วยที่ซ้ำกันของลิกนิน [6]

ไม้แต่ละชนิดจะมีอัตราส่วนระหว่างเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน ไม่เท่ากัน ขึ้นกับชนิดและอายุของไม้ โดยไม้ที่มีลิกนินมาก จะมีความแข็งแรงสูง และในไม้ชนิดเดียวกัน ไม้ที่มีอายุนานจะมีปริมาณลิกนินมากเช่นเดียวกัน โดยการจัดเรียงตัวของเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนินในไม้ จะเป็นไปตามรูป 2.13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.13 การจัดเรียงตัวของเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส ลิกนินในไม้ [5]

2.5 หญ้าแฝก (Vetiver grass) [7]



หญ้าแฝกดอน

รูปที่ 2.14 รูปถ่ายหญ้าแฝกดอน

หญ้าแฝกจัดเป็นหญ้าเขตร้อนที่ขึ้นอยู่ตามธรรมชาติกระจายทั่วไปในสภาพแวดล้อมต่างๆ ในประเทศไทยจะพบหญ้าแฝกขึ้นอยู่ตามธรรมชาติในพื้นที่ทั่วไปจากที่ลุ่มจนถึงที่ดอน สามารถขึ้นได้ในดินเกือบทุกชนิด หญ้าแฝกมีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Vetiveria zizanioides* เป็นพืชในเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่บนสื่อออนไลน์ใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตระกูลหญ้า ขึ้นเป็นกอหนาแน่น เจริญเติบโตโดยการแตกกออย่างรวดเร็ว เส้นผ่าศูนย์กลางกอประมาณ 30 เซนติเมตร ความสูงจากยอดประมาณ 0.5 ถึง 1.5 เมตร ลักษณะใบแคบยาวประมาณ 75 เซนติเมตร ความสูงจากยอดประมาณ 75 เซนติเมตร ความกว้างประมาณ 8 มิลลิเมตร กอนข้างแข็ง หากนำมาปลูกติดต่อกันเป็นแนวยาวขวางแนวลาดเทของพื้นที่ กอซึ่งอยู่เหนือดินจะแตกกอติดต่อกันเหมือนรั้วต้นไม้ สามารถรองเศษพืชและตะกอนดิน ซึ่งถูกน้ำชะล้างพัดพามาตกทับดินติดอยู่กับกอหญ้าเกิดเป็นคันดินธรรมชาติได้ หญ้าแฝกเป็นพืชที่มีระบบรากลึกเจริญเติบโตในแนวตั้งมากกว่าออกทางข้างและมีจำนวนรากมากจึงเป็นพืชที่ทนแล้งได้ดี รากจะประสานติดต่อกันแน่นหนาเสมือนม่านหรือกำแพงใต้ดิน สามารถกักเก็บน้ำและความชื้น ระบบรากแผ่ขยายกว้างเพียง 50 เซนติเมตรโดยรอบกอเท่านั้น ไม่เป็นอุปสรรคต่อพืชที่ปลูกข้างเคียง จัดเป็นมาตรการอนุรักษ์ดินและน้ำวิธีหนึ่งที่สามารถช่วยให้ดินมีความชื้นและรักษาหน้าดิน เพื่อใช้สำหรับปลูกพืชเศรษฐกิจ ซึ่งการใช้หญ้าแฝกในการอนุรักษ์ดินและน้ำดังกล่าวเป็นวิธีการที่ง่ายในการปฏิบัติ

พันธุ์หญ้าแฝก [7]

ได้มีการศึกษาหญ้าสกุล *Vetiveria* ในประเทศไทยอย่างเป็นระบบอนุกรมวิธาน ผลการศึกษาปรากฏว่าหญ้าแฝกที่พบในประเทศไทยจำแนกออกได้เป็น 2 ชนิดด้วยกันคือหญ้าแฝกหอมหรือแฝกลุ่ม (*Vetiveria zizanioides* Nash) และแฝกดอน (*Vetiveria nemoralis* A. Camus) ในธรรมชาติพบว่าหญ้าแฝกทั้งสองชนิดมีการกระจายทั่วไป ขึ้นได้ดีในสภาพพื้นที่ทั้งที่ลุ่มและที่ดอน ในดินสภาพต่างๆ จากความสูงใกล้ระดับน้ำทะเลจนถึงระดับประมาณ 800 เมตร

1. หญ้าแฝกหอม หรือแฝกลุ่ม (*Vetiveria zizanioides* Nash)

หญ้าแฝกหอมเป็นพืชที่มีความสามารถในการปรับตัวเข้ากับสภาพแวดล้อมได้ดี และค่อนข้างเร็ว หญ้าแฝกหอมมีใบยาว 40-100 เซนติเมตร กว้าง 0.6-1.2 เซนติเมตร มีหลังใบโค้ง ใบแบนมีสีเขียวเข้ม เนื้อใบค่อนข้างเหนียว มีไขเคลือบ (Wax) มากทำให้คูม้นท้องใบออกสีขาวซีดกว่าด้านหลังใบ และเมื่อนำไปส่องดูกับแดดเห็นรอยกั้นขวางในเนื้อใบ (Septum) ค่อนข้างชัดเจน โดยเฉพาะพื้นใบบริเวณส่วนโคนและกลางใบ เส้นกลาง (Midrib) ฝังอยู่ในตัวแผ่นใบไม่โตหรือเด่นชัดเจน

2. หญ้าแฝกดอน (*Vetiveria nemoralis* A Camus)

หญ้าแฝกดอนหรือแฝกพื้นบ้าน มีการกระจายพันธุ์อยู่ในวงแคบๆ ตามธรรมชาติเฉพาะในแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ คือประเทศไทย ลาว เขมร เวียดนาม และมาเลเซียเท่านั้น หญ้าแฝกดอนมีใบยาว 35-80 เซนติเมตร กว้าง 0.4-0.8 เซนติเมตร ใบสีเขียวซีด หลังใบหน้าพบเป็นสันสามเหลี่ยม เนื้อใบหยาบ มีไขเคลือบน้อยทำให้คูม้นไม่เหนียวมัน ท้องใบสีเดียวกับด้านหลังใบ แต่มีสีซีดกว่า แผ่นใบเมื่อส่องกับแดดไม่เห็นรอยกั้นในเนื้อใบ เส้นกลางใบสังเกตเห็นชัดเจน มี

เอกสารลักษณะพืชที่สถานบันเกษตรศาสตร์ เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 เปรียบเทียบลักษณะที่แตกต่างของหญ้าแฝกหอมและหญ้าแฝกดอน [7]

หญ้าแฝกหอม	หญ้าแฝกดอน
<p>ลักษณะกอ</p> <ul style="list-style-type: none"> -เป็นพุ่มใบตั้งตรงขึ้นสูง -สูงประมาณ 150-180 เซนติเมตร -มีการแตกตะเกียงและแตกแขนงข้างลำต้นได้ 	<p>ลักษณะกอ</p> <ul style="list-style-type: none"> -เป็นพุ่มใบยาวปลายแผ่โค้งลงคล้ายกอดตะไคร้ -ไม่ตั้งมากเหมือนหญ้าแฝกหอม -สูงประมาณ 100-150 เซนติเมตร -ไม่มีการแตกตะเกียง และแขนงลำต้น
<p>ใบ</p> <ul style="list-style-type: none"> -ยาว 45-100 เซนติเมตร กว้าง 0.6-1.2 เซนติเมตร -ใบสีเขียวเข้ม หลังใบโค้ง ท้องใบออกสีขาว มีรอยกั้นขวางในเนื้อใบ ส่องกับแดดเห็นชัดเจน -เนื้อใบค่อนข้างเนียน มีไขเคลือบมากทำให้ดูนุ่มมัน 	<p>ใบ</p> <ul style="list-style-type: none"> -ยาว 35-80 เซนติเมตร กว้าง 0.4-0.8 เซนติเมตร -ใบสีเขียวซีด หลังใบพับเป็นสันสามเหลี่ยม ท้องใบสีเดียวกับหลังใบแต่ซีดกว่า แผ่นใบเมื่อส่องกับแดดไม่เห็นรอยกั้นในเนื้อใบ -เนื้อใบหยาบ มีไขเคลือบน้อย ทำให้ดูกร้านไม่เคลือบมัน
<p>ช่อดอกและดอก</p> <ul style="list-style-type: none"> -สูง 150-200 เซนติเมตร -ส่วนใหญ่มีสีม่วง 	<p>ช่อดอกและดอก</p> <ul style="list-style-type: none"> -สูง 100-150 เซนติเมตร -มีได้หลายสี ตั้งแต่สีขาว ครีมน ถึงม่วง
<p>ราก</p> <ul style="list-style-type: none"> -มีความหอม เนื่องจากมีน้ำมันหอมระเหย -สามารถหยั่งลึกได้ 100-300 เซนติเมตร 	<p>ราก</p> <ul style="list-style-type: none"> -ไม่มีความหอม -สามารถหยั่งลึกได้ 8-10 เซนติเมตร

ตารางที่ 2.2 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของใบหญ้าแฝก [8]

องค์ประกอบใบหญ้าแฝก	ปริมาณ (%)
Hemicellulose	72.64
Lignin	17.03
Pentosan	28.26
ความสามารถในการละลายน้ำร้อน	10.56
ความสามารถในการละลายน้ำเย็น	7.39
ความสามารถในการละลาย 1 %NaOH	39.57
ความสามารถในการละลาย Alcohol-Benzene	9.47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การใช้ประโยชน์หญ้าแฝก

ประโยชน์จากการใช้หญ้าแฝก ซึ่งเป็นวัตถุดิบที่มีมากในประเทศไทยให้มีคุณค่าทางด้านเศรษฐกิจเพิ่มขึ้นอาจจะมีอีกหลายด้านถ้าได้มีการวิจัยและพัฒนาปรับปรุงคุณสมบัติให้เหมาะสมกับการใช้งานด้านต่าง ๆ โดยจุดประสงค์หลักในการปลูกหญ้าแฝกก็เพื่อใช้ในการอนุรักษ์ดินและน้ำ แต่ส่วนอื่นของหญ้าแฝก เช่น ใบ ลำต้น และรากของหญ้าแฝกยังสามารถที่จะนำไปใช้ทำอย่างอื่นได้ ดังนี้

1. การใช้ประโยชน์จากใบหญ้าแฝกสำหรับงานศิลปหัตถกรรม

หญ้าแฝกที่สามารถนำมาใช้ในงานหัตถกรรม ได้แก่ กลุ่มหญ้าแฝกหอม ซึ่งมีใบมันและยาว เมื่อโคนน้ำจะนิ่ม

งานหัตถกรรมที่ใช้หญ้าแฝกจะเป็นงานประกอบเครื่องจักรสาน เช่น

- ทำเป็นตะกร้า และภาชนะ ได้แก่ กระจาด กระด้ง และภาชนะรองต่าง ๆ
- ทำเป็นเครื่องตกแต่งบ้าน ได้แก่ นาฬิกาแขวนกรอบรูป โป๊ะไฟ ของตั้งโชว์ ดอกไม้
- ทำเป็นเครื่องประดับ ได้แก่ กระเป่า หมวก เข็มขัด เข็มกลัดติดเสื้อ
- ทำเป็นของใช้สำนักงาน ได้แก่ แฟ้มเอกสาร ปกไดอารี่



รูปที่ 2.15 ผลิตภัณฑ์จากหญ้าแฝก

2. การใช้ประโยชน์จากต้น และใบหญ้าแฝกเป็นวัสดุเพาะเห็ด

ใบของหญ้าแฝกมีองค์ประกอบทางเคมีที่เชื้อราบางชนิดสามารถเจริญเติบโตในกระบวนการของการหมักได้ สามารถนำมาใช้เป็นวัสดุสำหรับเพาะเห็ดได้ เห็ดที่ขึ้นได้ดี ได้แก่ เห็ดนางฟ้า เห็ดเป๋าฮื้อ และเห็ดหอม

3. การใช้ประโยชน์จากต้นและใบหญ้าแฝกเป็นวัสดุคลุมหลังคา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คนไทยใช้ส่วนต้นและใบหญ้าแฝกเป็นวัสดุคลุมหลังคาเช่นเดียวกับการใช้ใบจากก่อนที่จะเปลี่ยนมาใช้ใบหญ้าคาซึ่งหาซื้อได้ง่าย แต่หญ้าแฝกเป็นวัสดุคลุมหลังคาที่มีคุณสมบัติดีกว่าการใช้หญ้ามามาก เพราะส่วนลำต้นและใบของหญ้าแฝกมีไขเคลือบ มีกลิ่นหอมเฉพาะตัว และมักจะไม่วูกแมลงทำลาย

2.6 การปรับสภาพผิวเส้นใย

การปรับสภาพผิวเส้นใยสามารถทำได้หลายวิธี ซึ่งในที่นี้จะขอล่าวถึงการใช้มาเลอิกแอนไฮไดรด์กราฟท์พอลิพรอพิลีน (Maleic anhydride grafted polypropylene, PP-g-MA) เป็นสารช่วยผสม (Compatibilizer) ช่วยปรับปรุงการยึดติด และการกระจายตัวของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างพอลิพรอพิลีนที่ไม่มีขั้วกับเส้นใยเซลลูโลสที่มีขั้ว สมบัติดังกล่าวเป็นปัจจัยที่สำคัญที่มีผลต่อคอมโพสิต PP-g-MA ไม่เพียงแต่จะทำให้พื้นผิวของพอลิพรอพิลีนมีความแข็งมากขึ้น แต่ยังสามารถเกิดการเชื่อมโยงด้วยพันธะโควาเลนต์กับหมู่ไฮดรอกซิลที่อยู่บนผิวของเส้นใยเซลลูโลส

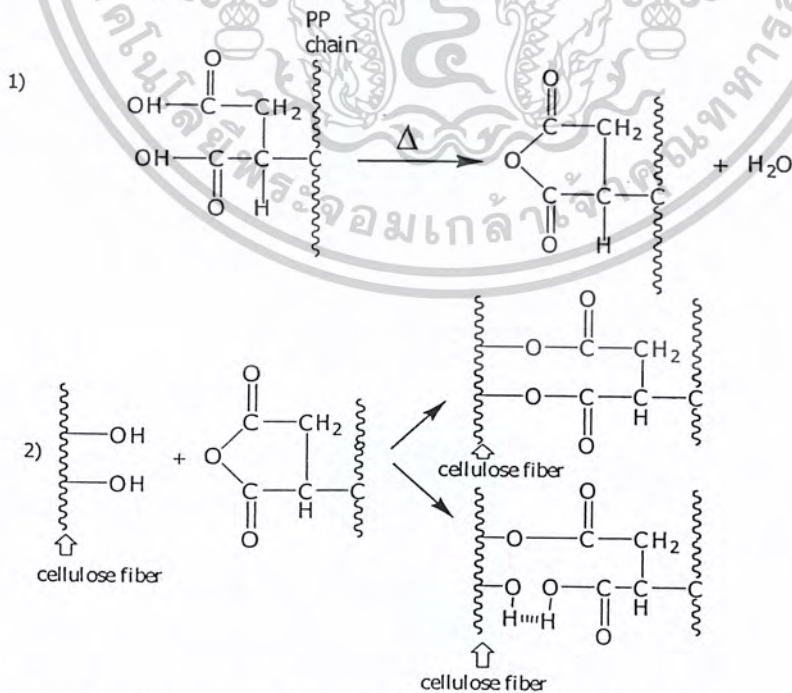
การเกิดพันธะโควาเลนต์ระหว่างมาเลอิกแอนไฮไดรด์ และหมู่ไฮดรอกซิลที่อยู่บนผิวของเส้นใยเซลลูโลส ได้ถูกวิเคราะห์ด้วยเทคนิค IR (Infrared spectroscopy) และ ESCA ซึ่งปฏิกิริยาการเกิดพันธะโควาเลนต์นี้สามารถแบ่งได้ 2 ชั้น คือ

ขั้นที่ 1 Activation of the copolymer

โคพอลิเมอร์จะเปลี่ยนรูปไปเป็นแบบแอนไฮไดรด์ซึ่งว่องไวในการทำปฏิกิริยา

ขั้นที่ 2 Esterification of fiber

ทำปฏิกิริยาเอสเตอร์ฟิเคชัน (Esterification) กับเส้นใย



รูปที่ 2.16 การเกิดปฏิกิริยาของเส้นใยเซลลูโลสที่ทำการปรับสภาพผิวด้วย PP-g-MA [5]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในงานวิจัยนี้จะทำการทดลองปรับปรุงการยึดติด และการกระจายตัวของสารตัวเติมโดยใช้ มาเลอิกแอนไฮไดรด์เป็นสารเชื่อมโยงพอลิพรอพิลีนกับเซลลูโลส ซึ่งเมื่อผสมกับเส้นใยเซลลูโลสแล้วจะสามารถเกิดปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันกับหมู่ไฮดรอกซิลของเส้นใยเซลลูโลส และเกิดพันธะเอสเทอร์

มาเลอิกแอนไฮไดรด์กราฟท์พอลิพรอพิลีน (Maleic anhydride grafted polypropylene, PP-g-MA) เป็นสารช่วยผสมหรือสารคู่ควบ (Coupling agent) ทำหน้าที่ปรับปรุงการยึดเกาะกันของพอลิพรอพิลีนกับสารอื่นทำให้สมบัติทางกายภาพและสมบัติทางความร้อนดีขึ้น นอกจากนี้ PP-g-MA ยังเป็นสารช่วยปรับปรุงความสามารถในการขึ้นรูปและสมบัติเชิงกล

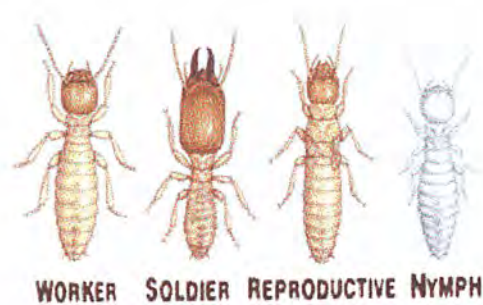
2.7 การศึกษาความทนทานของไม้เทียมต่อการทำลายของปลวกใต้ดิน [7]

ปลวกที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจ หมายถึงปลวกที่พบเข้าทำลายความเสียหายให้แก่ไม้ที่ใช้ประโยชน์ในอาคารบ้านเรือนทั้งในเขตเมืองและชนบท สำหรับเขตเมืองตามอาคารบ้านเรือน ที่อยู่อาศัย หรือตามหมู่บ้านจัดสรรต่างๆ พบว่า ปลวกที่เข้าทำลายความเสียหายมากที่สุดกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ของที่อยู่อาศัยทั้งหมด ได้แก่ ปลวก *Coptotermes gestroi* Wasmann ซึ่งเป็นปลวกที่อยู่ในวงศ์ Rhinotermitidae ลักษณะเด่นของปลวกชนิดนี้คือ มีช่องเปิดบริเวณด้านหน้าของส่วนที่เรียกว่า Fontanelle ขนาดใหญ่กว่าปลวกชนิดอื่น ซึ่งปลวกจะผลิตสารเคมีที่เป็นของเหลวสีขาวขุ่นออกมาเพื่อใช้ในการป้องกันตัวเวลามีภัย

วิธีการศึกษาและเปรียบเทียบระดับความทนทานตามธรรมชาติของไม้ หรือผลิตภัณฑ์ที่ทำจากไม้อื่นๆ ต่อการเข้าทำลายของปลวกใต้ดิน จะสามารถดำเนินการทดสอบได้ทั้งภายในห้องปฏิบัติการด้วยวิธีการบังคับ (No choice test) ไม้ทดลองจะถูกใส่ไว้ในรังปลวกเป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ ชนิดของปลวกที่ใช้เป็นมาตรฐานในการทดสอบคือ ปลวกใต้ดิน *Coptotermes gestroi* ซึ่งจัดเป็นปลวกชนิดที่ก่อให้เกิดความเสียหายต่อไม้ที่ใช้ประโยชน์ในอาคารบ้านเรือนสูงในประเทศ จากการศึกษพบว่าอาคารบ้านเรือนโดยเฉพาะที่อยู่ในเขตเมืองกว่าร้อยละ 90 ถูกปลวกชนิด *C. gestroi* นี้เข้าทำลายและก่อให้เกิดความเสียหายมากที่สุด

นอกจากนี้เพื่อเป็นการทดสอบหรือศึกษาความทนทานในระยะยาว ในสภาพแวดล้อมธรรมชาติ หรือเป็นการทดสอบในภาคสนามนี้อาจจะใช้วิธีการเลือกอิสระ (Choice test) โดยปล่อยให้ปลวกในธรรมชาตินานาชนิดในพื้นที่ เลือกเข้าทำลายไม้ชนิดต่างๆ ได้อย่างอิสระ ซึ่งอาจทำการทดสอบทั้งในสภาพที่สัมผัสดินหรือไม่สัมผัสดินเป็นระยะเวลาอย่างน้อย 6 เดือน หรืออาจจะเลือกใช้วิธีการบังคับโดยฝังไม้ทดลองไว้ในจอมปลวกชนิดต่างๆ เป็นระยะเวลาอย่างน้อย 6 เดือน แล้วจึงนำมาตรวจเช็คผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.17 ปลวกที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจ

2.8 กระบวนการแปรรูปพลาสติก

กระบวนการแปรรูปพลาสติกเป็นการทำให้พลาสติกหรือวัสดุประเภทพอลิเมอร์เกิดประโยชน์ใช้สอยมากที่สุด ซึ่งกระบวนการแปรรูปทางอุตสาหกรรมมีหลายกระบวนการ เช่น การอัดรีด (Extrusion) การฉีดขึ้นรูป (Injection molding) การอัดขึ้นรูป (Compression molding) การเป่าขึ้นรูป (Blow molding) การหมุนขึ้นรูป (Rotational molding) การรีด (Calendering) การขึ้นรูปร้อน (Thermoforming) และการหล่อ (Casting) ในงานวิจัยนี้จะใช้เพียง 3 กระบวนการคือ การอัดรีด การฉีดขึ้นรูป และการอัดขึ้นรูป

2.8.1 การอัดรีด (Extrusion) [9]

การอัดรีดเป็นกระบวนการพื้นฐานที่นิยมใช้ทั้งในการผสมพอลิเมอร์กับสารเติมแต่งต่างๆ และใช้ในการแปรสภาพพอลิเมอร์ เนื่องจากค่าใช้จ่ายในกระบวนการต่ำกว่ากระบวนการอื่น สามารถผลิตรูปร่างผลิตภัณฑ์ได้หลายแบบตามต้องการเช่น แท่งกลม พิล์ม แผ่น และท่อ ซึ่งขึ้นกับลักษณะของหัวดาย (Die) ที่ใช้ และเป็นกระบวนการที่ทำได้อย่างต่อเนื่อง เครื่องอัดรีดเป็นเครื่องมือที่มีความหลากหลายในการแปรรูปทางพลาสติกซึ่งมีขั้นตอนคือ เม็ดพลาสติกถูกป้อนเข้ามาในระหว่างเกลียวหนอน (Screw) ของเครื่องอัดรีดและกระบอกใส่เกลียวหนอน (Barrel) ถูกอัด หลอมผสม แล้วไหลไปตามท่อและออกทางหัวดาย ทั้งนี้โดยอาศัยความแตกต่างของแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นระหว่างผิวของเกลียวหนอนและกระบอกใส่เกลียวหนอนทำให้เกิดพลังงานการเฉือน (Shearing energy) ช่วยในการผสมและหลอมเหลว ซึ่งในงานวิจัยนี้จะใช้กระบวนการอัดรีดในการผสมพอลิเมอร์ก่อนนำไปผ่านกระบวนการอื่น

2.8.2 การอัดขึ้นรูป (Compression molding) [9]

วิธีการนี้ตัวแม่แบบประกอบด้วย แม่แบบ 2 ชิ้น ชิ้นล่างจะทำแบบที่มีรูปร่างตามที่ต้องการ เมื่อนำวัสดุพลาสติกหรือสารประกอบใส่ลงในแบบชิ้นล่างแล้ว กดขึ้นบนให้ลงมาประกบแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชั้นล่าง เริ่มให้ความร้อนภายใต้ความดัน วัสดุพลาสติกหรือสารประกอบจะอ่อนตัวและหลอมลงในแบบชั้นล่าง ได้รูปร่างตามแบบที่มีอยู่ จากนั้นนำมาทำให้เย็นทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของพลาสติก ในกรณีที่เป็นเทอร์โมพลาสติก สามารถทำให้วัสดุพลาสติกแข็งได้โดยอาศัยการหล่อเย็นภายใต้ความดันที่อยู่ในแม่แบบ แต่ถ้าเป็นเทอร์โมเซต วัสดุพลาสติกแข็งได้โดยการให้ความร้อนต่อไปภายใต้ความดันที่อยู่ในแม่แบบ

2.8.3 การฉีดขึ้นรูป (Injection molding) [10]

การฉีดขึ้นรูปเป็นเทคโนโลยีการแปรรูปที่สำคัญ และใช้อย่างกว้างขวางเนื่องจากการฉีดขึ้นรูปมีข้อได้เปรียบกว่าวิธีอื่นๆ คือ สามารถผลิตผลิตภัณฑ์ที่มีรูปร่างซับซ้อนได้ดี และมีขนาดต่างๆ กัน กรรมวิธีการทำงานไม่ยุ่งยากเนื่องจากสามารถทำงานแบบอัตโนมัติได้ นอกจากนี้สามารถทำงานได้กับพลาสติกที่มีลักษณะเป็นเม็ดหรือผง และกับพลาสติกทุกประเภทคือ เทอร์โมพลาสติก (Thermoplastics) เทอร์โมเซต (Thermosets) และอีลาสโตเมอร์ (Elastomers) การทำงานของเครื่องฉีดขึ้นรูปเริ่มจากระบบขับเคลื่อน (ระบบไฮดรอลิก) ของส่วนการฉีดแม่แบบจะดันให้แท่นยึดแม่แบบที่เคลื่อนที่ (Moving platen) วิ่งมาประกบปิดกับแท่นยึดแม่แบบที่อยู่กับที่ (Stationary platen) ขณะที่แม่แบบปิดอยู่ ส่วนของการฉีดจะเริ่มทำงานโดยเกลียวหนอนจะหมุนเพื่อดึงเม็ดพลาสติกลงมาหลอมโดยใช้ความร้อนจากการเสียดสีและจากแถบความร้อน ในขณะที่เม็ดพลาสติกหลอมจะเคลื่อนตัวไปด้านหน้าตามร่องของเกลียวหนอน และทำให้เกิดความดันขึ้นเนื่องจากเกลียวหนอนมีการหมุนขับให้เม็ดพลาสติกหลอมเคลื่อนตัวมาข้างหน้าตลอดเวลา จึงเกิดการสะสมของพอลิเมอร์ที่ด้านหน้าของเกลียวหนอนจนมากพอที่จะดันให้เกลียวหนอนถอยกลับไปสู่ระยะที่กำหนดไว้ เกลียวหนอนจึงหยุดหมุนแล้วจึงเริ่มฉีด โดยแบ่งเป็น 2 จังหวะคือ การฉีดในจังหวะแรก เกลียวหนอนจะทำหน้าที่คล้ายลูกสูบดันให้พอลิเมอร์หลอมไหลเข้าสู่แม่แบบ หลังจากนั้นจะทำการฉีดในจังหวะที่ 2 ซึ่งจะช่วยให้พอลิเมอร์หลอมไหลเข้าสู่แม่แบบมากขึ้น เพื่อชดเชยกับส่วนที่หดตัวของผลิตภัณฑ์ แล้วเข้าสู่การทำให้ผลิตภัณฑ์เย็นตัว (Cooling) ซึ่งเกิดจากการถ่ายเทความร้อนจากผลิตภัณฑ์ผ่านผนังของแม่แบบที่เย็น ทำให้ผลิตภัณฑ์เย็นตัวและแข็งตัวจนสามารถนำออกจากแม่แบบได้ ในงานวิจัยนี้จะใช้กระบวนการฉีดขึ้นรูปในการขึ้นรูปชิ้นงานเพื่อทดสอบสมบัติของพอลิเมอร์ที่ผสมได้

2.9 การศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน ได้มีนักวิทยาศาสตร์หลายท่านให้ความสนใจในการศึกษาค้นคว้างานวิจัยเกี่ยวกับการประยุกต์ใช้ประโยชน์จากเส้นใยธรรมชาตินำมาผสมเป็นสารตัวเติมในพอลิเมอร์ จึงขอสรุปงานวิจัยที่เกี่ยวข้องดังนี้

นวรณณ์ อนันตธนวนิชย์ นุชรี ปัญจะพลินกุล และพัชรี มณฑาทิพย์ [5] ศึกษาพอลิเมอร์คอมโพสิตที่ผลิตด้วยวิธีกรรมที่ฉีดขึ้นรูปเป็นไม้เทียม โดยศึกษาการทดลองออกเป็นสองห้องในลักษณะเพื่อเปรียบเทียบว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Polypropylene, PP) กับเส้นใยหญ้าแฝกที่เตรียมด้วยวิธีทางเชิงกล (Vetiver mechanical pulp, VMP) และพอลิไวนิลคลอไรด์ (Polyvinyl chloride, PVC) ผสมกับเส้นใยหญ้าแฝกที่เตรียมด้วยวิธีการทางเคมี (Vetiver chemical pulp, VCP) งานวิจัยนี้ทำการศึกษาถึงผลของปริมาณหญ้าแฝกและขนาดหญ้าแฝก จากการทดลองพบว่าปริมาณการเติมผงหญ้าแฝก 30 phr และขนาด 20-50 mesh ให้สมบัติโดยรวมที่ดีที่สุด แต่สมบัติเชิงกลที่ได้มีแนวโน้มไม่แตกต่างกันมากนัก เนื่องจากผงหญ้าแฝกทำหน้าที่เป็นสารตัวเติมไม่เสริมแรง (Non-reinforcing filler) ส่วนสมบัติทางความร้อนและเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย จากการศึกษาสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด (SEM) พบว่าพอลิเมอร์คอมโพสิตที่เตรียมจากผงหญ้าแฝกผสมสารช่วยผสม 3% มีการยึดติดกันดีกับพอลิเมอร์เมทริกซ์ พบว่าช่องว่างระหว่างเส้นใยกับพอลิเมอร์ลดลง ในการศึกษาสมบัติของคอมโพสิต PVC/VCP พบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณเยื่อเส้นใยหญ้าแฝกจะทำให้ค่าความแข็งแรงดึงและมอดูลัสเพิ่มขึ้น แต่ความแข็งแรงกระแทกและเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาดมีค่าลดลง ค่าการดูดซึมน้ำมีค่าเพิ่มขึ้น พบว่าคอมโพสิตที่เติมเส้นใย 30 phr และขนาด 20-50 mesh มีสมบัติเชิงกลที่ดีที่สุด และค่าการดูดซึมน้ำของเส้นใยจะน้อยกว่าเยื่อเส้นใยสั้น เนื่องจากเยื่อเส้นใยสั้นมีพื้นที่ผิวการดูดซึมน้ำมากกว่า การศึกษาสัณฐานวิทยาโดยใช้ SEM พบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณเยื่อเส้นใยหญ้าแฝกมากขึ้นเส้นใยจะมีการกระจายตัวยากขึ้นเกิดการจับตัวเป็นกลุ่มก้อนมากขึ้นเป็นผลให้พอลิเมอร์เมทริกซ์ไม่สามารถแทรกตัวระหว่างเยื่อเส้นใยไม่ได้บางส่วน และเกิดช่องว่างภายในชิ้นงานคอมโพสิต โดยที่เส้นใยขนาด 20-50 mesh เยื่อเส้นใยหญ้าแฝกมีการกระจายตัวที่ดีพบช่องว่างระหว่างเยื่อเส้นใยหญ้าแฝกกับพีวีซีมีน้อย แสดงว่ามีการยึดติดระหว่างเยื่อเส้นใยหญ้าแฝกกับพีวีซีมีการยึดติดกันดี

วรรณิษา ชาญณรงค์ [11] ได้ทำการศึกษาแนวทางการผลิตไม้เทียมจากวัสดุคอมโพสิตระหว่างพอลิไวนิลคลอไรด์หรือพีวีซี (Polyvinyl chloride, PVC) กับเส้นใยไม้ยางพารา (Natural rubber fibers) โดยเน้นที่จะศึกษาผลของปริมาณเส้นใย และ พลาสติกไซเซออร์ที่มีต่อสมบัติเชิงกลของคอมโพสิตเส้นใยไม้ยางพารา กับพีวีซีเส้นใยไม้ยางพาราเตรียมได้จากขบวนการทางความร้อนเชิงกล (Thermomechanical process) วัสดุคืบทั้งหมดถูกผสมด้วยเครื่องผสมความเร็วสูง (High speed mixer) จากนั้นผสมแบบหลอมเหลวในเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนคนเดียว ชิ้นงานตัวอย่างขึ้นรูปด้วยเทคนิคการอัดขึ้นรูป (Compression molding) จากการทดลองพบว่า การเพิ่มปริมาณเส้นใยไม้ยางพาราในวัสดุคอมโพสิตทำให้ค่าความแข็งแรงดึง มอดูลัสที่ 3% ค่าความแข็งแรงกระแทก ความแข็งแรงโค้งงอ และมอดูลัสโค้งงอสูงขึ้น และจะลดลงเมื่อเกินขีดความสามารถในการเข้ากันได้ระหว่างพีวีซีเมทริกซ์กับเส้นใยไม้ยางพารา สำหรับค่าความแข็งแรงจะเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณเส้นใยไม้ยางพาราเพิ่มขึ้น การเพิ่มปริมาณพลาสติกไซเซออร์ DOP ทำให้ค่าความแข็งแรงดึง มอดูลัสที่ 3% ความแข็งแรงโค้งงอ มอดูลัสโค้งงอ และความแข็งแรงลดลง ในขณะที่ค่าความแข็งแรงกระแทก

เพิ่มขึ้นเล็กน้อย ทั้งนี้เป็นผลเนื่องมาจากการที่พลาสติกไซเซออร์ DOP นั้นเอง ประโยชน์ด้านการค้า เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการค้า หากมีการนำเอกสารนี้ไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของลิขสิทธิ์ หรือมีการนำเอกสารนี้ไปใช้ในทางที่ไม่ถูกต้อง เจ้าของลิขสิทธิ์ขอสงวนสิทธิ์ในการดำเนินคดีตามกฎหมายที่เกี่ยวข้อง

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมภพ เลิศลักษณ์กุล [12] 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 อุณหภูมิที่เหมาะสมในการผสมพีวีซีในเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยวคือ 170 องศาเซลเซียส ปริมาณไม้ที่เหมาะสมที่สุดคือ 30 phr เส้นใยไม้ขนาด 30-50 mesh (300-500 ไมครอน) เมื่อทำการเพิ่มปริมาณ DOP ที่เติมลงไปในพีวีซีคอมโพสิตพบว่า วัสดุเริ่มขึ้นและมีความแข็งแรงลดลง พีวีซีคอมโพสิตทนทานต่อความร้อนน้อยลง เมื่อปริมาณ DOP เพิ่มมากขึ้น เปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำเพิ่มมากขึ้น ปริมาณ DOP ที่เหมาะสมในการผลิตพีวีซีคอมโพสิตคือ 10 phr

ปิยะวรรณ เจียวัก และพงศ์ศักดิ์ เพ็ญน้อย [2] ได้ทำการศึกษาพอลิเมอร์คอมโพสิตจากพอลิพรอพิลีน และเส้นใยยูคาลิปตัสทั้งที่ได้จากขบวนการทางเคมี (Chemical pulp; CP) และทางความร้อนเชิงกล (Thermomechanical pulp, TMP) โดยศึกษาผลของสารช่วยผสมมาเลอิกแอนไฮไดรด์ กราฟท์พอลิพรอพิลีน (MAPP) และอัตราส่วนของเส้นใยที่เหมาะสม โดยพบว่าสมบัติเชิงกลของคอมโพสิตดีขึ้นเมื่อปริมาณเส้นใยไม้มีมากขึ้น และปริมาณเส้นใยที่เหมาะสมได้แก่ 20 phr เมื่อเพิ่มปริมาณสารช่วยผสมพบว่า คอมโพสิตมีสมบัติดีขึ้น และมีค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำลดลง ปริมาณสารช่วยผสมที่เหมาะสมที่สุดคือ 3 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก เมื่อทำการเปรียบเทียบคอมโพสิตจากเส้นใย TMP และ CP พบว่าเส้นใย TMP มีการกระจายตัวที่ดีกว่าและมีสมบัติเชิงกลที่ดีกว่า เมื่อพิจารณาองศาความเป็นผลึกพบว่า ปริมาณเส้นใยไม้ไม่มีผลต่อองศาความเป็นผลึก แต่ปริมาณสารช่วยผสมมีผลทำให้ค่าองศาความเป็นผลึกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น

ธีรพัฒน์ อุณหโชค และพญีย์ ศรธรรมลี [13] ได้ทำโครงการพิเศษศึกษาการผลิต และสมบัติของไม้เทียมจากพอลิเมอร์คอมโพสิต ระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำกับเส้นใยผักตบชวาที่เตรียมจากการสกัดด้วยวิธีทางเคมี ซึ่งจะทำการศึกษาอัตราส่วนระหว่างปริมาณของเส้นใยต่อพอลิเมอร์ ผลของสารช่วยผสมได้แก่ พอลิเอทิลีนกราฟท์มาเลอิกแอนไฮไดรด์ (Polyethylene-graft-Maleic Anhydride, PE-g-MA) ต่อปริมาณเส้นใย และขนาดของเส้นใยผักตบชวาโดยผสมสูตรด้วยเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยวและขึ้นรูปโดยใช้เครื่องฉีดขึ้นรูปพลาสติก จากนั้นทำการศึกษาสมบัติทางกายภาพ สมบัติเชิงกล สมบัติทางความร้อน และสัณฐานวิทยา จากการทดลองพบว่า ค่าความแข็งแรงดึง โมดูลัส ความแข็งและองศาความเป็นผลึกจะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยผักตบชวา ส่วนค่าร้อยละการยืดออก ณ จุดขาดและความแข็งแรงกระแทกมีค่าลดลง จากการศึกษาค้นคว้าของสารช่วยผสมพบว่า คอมโพสิตมีสมบัติที่ดีขึ้นเมื่อใช้สารช่วยผสม ปริมาณสาร

ช่วยผสมที่เหมาะสมคือ 3 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักต่อน้ำหนักเส้นใยแห้งแห้งของเส้นใยที่
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเฉพาะทางเท่านั้น ไม่สามารถนำออกเผยแพร่
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เหมาะสมคือ 50-80 mesh ค่าการดูดซับน้ำของคอม โพลีดีลดลงเมื่อใส่สารช่วยผสม และมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณเส้นใยผักตบชวาเพิ่มขึ้นรวมทั้งขนาดเส้นใยลดลง จากการศึกษาสถาบันวิทยาศาสตร์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด ยืนยันผลการทดลองว่า สารช่วยผสม PE-g-MA ช่วยให้การยึดเกาะระหว่างเส้นใยกับพอลิเอทิลีนเมทริกซ์ดีขึ้น

จิรพรรณ หน้ายคอน และมาริสา ดันตลักษ์ณา [14] ได้ทำการศึกษาเส้นใยอ้อยที่ปรับสภาพผิวโดยการฉายรังสีแกมมา นำมาใช้เป็นสารตัวเติมในพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิพรอพิลีน และพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง และใช้มอนอเมอร์ที่มีหลายหมู่ฟังก์ชันช่วยในการต่อกิ่งพบว่า พอลิเมอร์คอม โพลีดีสามารถทนทานต่อแรงดึง แรงกระแทก และการขูดถูได้ดี เมื่อเปรียบเทียบกับระหว่างคอม โพลีดีที่ใช้เส้นใยเก่า และเส้นใยใหม่พบว่า คอม โพลีดีที่ทำจากเส้นใยใหม่จะให้สมบัติเชิงกลดีกว่า และดูดซับน้ำน้อยกว่า

รัชดา ขวัญตน [15] ได้ทำการศึกษาการเตรียมคอม โพลีดีของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงจากขูดน้ำคั้น และเส้นใยอ้อย โดยเปรียบเทียบการปรับปรุงสมบัติของคอม โพลีดีด้วยสารช่วยยึดติด 2 ชนิดคือ PE-g-AA และ PE-g-MA จากการทดลองพบว่า การเติมขานอ้อยลงในพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงจากขูดน้ำคั้นจะทำให้พอลิเมอร์คอม โพลีดีแข็งแรงขึ้น แต่การดึงยึดและความทนทานต่อแรงกระแทกลดลง และขานอ้อยที่ใช้ไม่จำเป็นต้องผ่านการคัดขนาดก่อน เมื่อเปรียบเทียบระบบที่ใช้ PE-g-AA และระบบที่ใช้ PE-g-MA พบว่าสมบัติของคอม โพลีดีที่ได้จากทั้ง 2 ระบบ จะไม่แตกต่างกันเนื่องจากจะเกิดพันธะชนิดเดียวกัน

ปิยะวัน ตั้งสุวรรณวานิช [16] ได้ทำการศึกษาพอลิเมอร์คอม โพลีดีจากเส้นใยธรรมชาติ (ไผ่สีสุก) กับเอบีเอสที่มีการปรับปรุงพื้นผิวเส้นใยไผ่ โดยทำการผสมเส้นใยไผ่ 0-40 phr กับเอบีเอส โดยใช้เครื่องผสมหลอมเหลวระบบปิดแบบเกลียวหนอนคู่ (Twin-screw extruder) และขึ้นรูปด้วยเครื่องฉีดขึ้นรูป (Injection molding) พบว่า พอลิเมอร์คอม โพลีดีที่มีการต่อกิ่งกับพอลิเมทิลเมทาไครเลต (PMMA) มีสมบัติเชิงกลดีกว่าพอลิเมอร์คอม โพลีดีแบบไม่ต่อกิ่ง และเมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยลงไปพบว่า พอลิเมอร์คอม โพลีดีจะมีสมบัติเชิงกลดีขึ้น

กมลรัตน์ คุรัตน์ชัชวาล และคุณดาว ปรีชาวงศ์ [17] ได้ทำการศึกษาผลของขานอ้อยที่เป็นสารตัวเติมในพอลิเอทิลีน พอลิพรอพิลีน และพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอทิลีนกับพอลิพรอพิลีน โดยใช้ขานอ้อยที่ไม่ปรับสภาพผิว และขานอ้อยที่ปรับสภาพผิวด้วยการฉายรังสีแล้วต่อกิ่งด้วยมอนอเมอร์ชนิดหลายหมู่ฟังก์ชัน (Multifunctional monomer) นำขานอ้อยที่ได้มาผสมกับพอลิเมอร์ในเครื่องอัดรีดเกลียวหนอนเดี่ยวแล้วขึ้นรูปด้วยเครื่องฉีดขึ้นรูปแล้วนำไปทดสอบสมบัติเชิงกล สมบัติทางความร้อน และสมบัติการดูดซับน้ำ จากการทดลองพบว่า คอม โพลีดีที่มีขานอ้อยทั้งปรับและไม่ปรับสภาพผิวนั้นมีแนวโน้มทำให้สมบัติด้านต่างๆ ดีขึ้น กล่าวคือพอลิเมอร์คอม โพลีดีสามารถทนทานต่อแรงดึง ความคงรูป และเสถียรภาพต่อความร้อนดีขึ้น ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณ

มอนอเมอร์พวกรวมกับเส้นใยที่นำมาใช้ โดยขานอ้อยทำให้สมบัติต่างๆ ได้ดีขึ้นมากที่สุดไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ณะภัทรพงศ์ สุวรรณชัย และณัฐพร เคนนินนาท [18] ได้ทำการศึกษาการใช้ประโยชน์จาก เส้นใยสลาบลหวง เป็นสารตัวเติมในพอลิพรอพิลีน โดยทำการศึกษาสารตัวเติม และสารเชื่อมโยง ต่างชนิดกันคือ Silane A-174 และ MAH ในปริมาณ 0.4 และ 6% โดยน้ำหนัก จากผลการทดลอง พบว่า สมบัติทางความร้อนและสมบัติเชิงกลโดยรวมของพอลิพรอพิลีนคอมโพสิต ทั้งที่มีการใช้ และไม่ใช้สารเชื่อมโยง จะให้ประสิทธิภาพลดลง เมื่อเทียบกับพอลิพรอพิลีนที่ไม่มีเส้นใยสลาบลหวงเป็นตัวเติม ส่วนผลของแสงอัลตราไวโอเลตต่อการสลายตัวของพอลิเมอร์คอมโพสิตพบว่า ปริมาณสารตัวเติมรวมทั้งชนิดและปริมาณของสารเชื่อมโยงในพอลิพรอพิลีนคอมโพสิต พบว่า ปริมาณสารตัวเติมรวมทั้งชนิดและปริมาณของสารเชื่อมโยงในพอลิพรอพิลีนคอมโพสิตไม่มีผลในการช่วยป้องกันการสลายตัวของพอลิเมอร์โดยแสงอัลตราไวโอเลต

เฉลิมพล อธิธิวิวัฒน์ และสกุล บรรจงวุฒิ [19] ได้ทำการศึกษาเส้นใยเซลลูโลส ได้แก่ หนุ่ย สลาบลหวง (*Typha angustifolia*) เป็นสารเสริมแรงในพอลิพรอพิลีน โดยผสมเส้นใยแก้ว และสาร Silane เพื่อเป็นสารเชื่อมโยง (Coupling agent) จากการทดลองพบว่า เส้นใยช่วยเพิ่มความแข็งแรง ดึง และค่าความคงทนต่อแรงกระแทกของพอลิเมอร์คอมโพสิต แต่มีแนวโน้มที่จะลดค่าความ ทนทานต่อแรงดึงที่จุดขาด นอกจากนี้ยังทำการศึกษาปรับปรุงสมบัติ และการใช้งานอื่นๆ เช่น ใช้ ในการทำแผ่น MDF (Medium Density Fiber Board) และใช้เทอร์โมเซต เช่น UF, MF เป็นตัว ประสาน

พิชัย จงสกุลชัย และศิริพงศ์ โรจน์วีระ [20] ทำการศึกษาขุยมะพร้าว และฟางข้าวซึ่งเป็น วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร ใช้ปรับปรุงสมบัติทางกายภาพของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE) และพอลิพรอพิลีน (PP) พบว่าขุยมะพร้าวทำให้ HDPE และ PP มีค่ามอดูลัสสูงขึ้น ค่า ความแข็งแรงดึงไม่เปลี่ยนแปลง ค่าร้อยละการยืด ณ จุดขาดเพิ่มขึ้น ฟางข้าวทำให้ค่าความแข็งแรง ดึง และค่ามอดูลัสสูงขึ้น อย่างไรก็ตามถ้าใช้สารตัวเติมมากกว่า 10 phr จะมีปัญหาในการขึ้นรูป

Chengzhi Chuai และ คณะ [21] ได้ทำการศึกษาการใช้เส้นใยโคนิเฟอร์ (Conifer fibers) เป็นสารเสริมแรงในพอลิพรอพิลีน (PP) โดยทำการปรับปรุงคุณสมบัติความเข้ากันได้ของเส้นใย โคนิเฟอร์กับพอลิพรอพิลีนด้วยวิธีต่างๆ คือ การต่อกิ่งเส้นใยด้วย MAPP การปรับปรุงเส้นใยโคนิ เฟอร์ด้วย MAPP และ EPDM โดยการปรับปรุงเส้นใยจะช่วยปรับปรุงกระบวนการขึ้นรูป เมื่อนำ คอมโพสิตที่ได้จากวิธีต่างๆ มาศึกษาสมบัติต่างๆ พบว่าเส้นใยที่ผ่านการปรับปรุงมีสมบัติทางความร้อน และสมบัติเชิงกลดีกว่าเส้นใยที่ไม่ผ่านการปรับปรุง นอกจากนี้พบว่าเส้นใยที่ต่อกิ่งด้วย MAPP และเส้นใยที่ปรับปรุงด้วย MAPP มีคุณสมบัติทางความร้อน ความสามารถการไหลในการขึ้นรูป และความแข็งแรงดึงดีกว่าเส้นใยที่ผ่านการปรับปรุงด้วย EPDM แต่กลับมีค่าความแข็งแรงกระแทก และเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาดน้อยกว่าการปรับปรุงเส้นใยด้วย EPDM

Sain และคณะ [22] ได้ทำการศึกษาพฤติกรรมการคืบ (Creep) ของคอมโพสิตที่มีการ เอกสารปรับปรุงเส้นใยและไม่ได้ปรับปรุงเส้นใยโดยมีผลที่ต่างกันคือ พอลิไวนิลคลอไรด์ (PVC) คว้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พอลิเอทิลีน (PE) และ พอลิพรอพิลีน (PP) พบว่าเมตริกซ์มีผลต่อสมบัติการคืบของคอมพอสิตซึ่งจะขึ้นกับปริมาณของเมตริกซ์ เวลา และอุณหภูมิ โดยการทดสอบพบว่าเมื่ออุณหภูมิมากกว่าอุณหภูมิความดันบรรยากาศในคอมพอสิตพอลิพรอพิลีนมีความต้านทานการคืบมากกว่าคอมพอสิตพอลิเอทิลีนและคอมพอสิตพอลิไวนิลคลอไรด์ตามลำดับ และพบว่าเมื่อพิจารณาคอมพอสิตที่ปรับปรุงด้วยสารประกอบมาเลอิก (Maleic) และ มาลิมิด (Maleimide) ช่วยทำให้มีความต้านทานการคืบเพิ่มขึ้นมากกว่าคอมพอสิตที่ไม่ได้ทำการปรับปรุง แต่ในทางปฏิบัติไม่สามารถแสดงผลที่มีต่อการคืบได้โดยตรง จึงต้องใช้สมการทางคณิตศาสตร์ในการทำนายพฤติกรรมการคืบของคอมพอสิต

J. George และคณะ [23] ได้ทำการศึกษาสมบัติเชิงกลและความเป็นวิสโคอีลาสติก (Viscoelastic) ของพอลิเมอร์คอมพอสิตโดยใช้พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE) ที่เสริมแรงด้วยเส้นใยสับปะรด โดยสามารถเติมเส้นใยได้สูงถึงร้อยละ 30 คอมพอสิตเตรียมจาก 2 วิธี คือ การผสมแบบสารละลาย (Solution mixing) และการผสมแบบหลอมเหลว (Melt mixing) จากนั้นนำคอมพอสิตที่เตรียมได้จากแต่ละวิธีมาทำการทดสอบสมบัติเชิงกล และความเป็นวิสโคอีลาสติกพบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยสับปะรดในคอมพอสิตจะทำให้ค่าความแข็งแรงดึง และค่ามอดูลัสมีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณเส้นใยที่ใส่เข้าไป โดยคอมพอสิตที่ได้จากการเตรียมโดยวิธีการผสมแบบสารละลายจะให้ค่าสูงกว่า ส่วนค่าร้อยละการยืด ณ จุดขาดจะลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยและความยาวของเส้นใยมีผลต่อคอมพอสิตคือ เส้นใยที่มีความยาวประมาณ 10 mm จะให้ค่าความแข็งแรงดึง และค่ามอดูลัสที่มีค่าสูงกว่าเส้นใยที่มีขนาด 2 และ 6 mm นอกจากนี้ยังพบว่าลักษณะการจัดเรียงตัวของเส้นใยในคอมพอสิตมีผลต่อค่าความแข็งแรงดึง และค่ามอดูลัส โดยคอมพอสิตที่มีการจัดเรียงตัวของเส้นใยตามแนวแรงจะให้ค่าความแข็งแรงดึง และค่ามอดูลัสดีกว่าคอมพอสิตที่มีการจัดเรียงตัวของเส้นใยในแนวทิศทางตั้งฉากกับแนวแรง

Kessira และ Ricard [24] ได้ทำการศึกษาถึงผลของการตอกกิ่งด้วยเมทิลเมทาคริลเลต (MMA) และ อะคริโลไนไตรล์ (AN) ลงบนขานอ้อย และเส้นใยจากต้นยูคาลิปตัส ขานอ้อยที่นำมาศึกษามีส่วนประกอบเป็น เซลลูโลส 95.81% ลิกนิน 2.64 % Pentosan-c 0.99% โขเดียมไฮดรอกไซด์ 0.56% และน้ำ จากการศึกษาสมบัติทางความร้อนของการตอกกิ่งด้วยอะคริโลไนไตรล์ลงบนพื้นผิวของเส้นใยที่สภาวะต่างๆ กัน พบว่าสามารถใช้ได้ทั้งน้ำ และตัวทำละลายอินทรีย์เป็นตัวกลางในการทำปฏิกิริยา ส่วนการตอกกิ่งด้วยเมทิลเมทาคริลเลตลงบนเส้นใยขานอ้อย และเส้นใยยูคาลิปตัส ศึกษาถึงการบวมตัวของเส้นใย และเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาของมอนอเมอร์ สามารถตรวจสอบการตอกกิ่งจากการศึกษาเสถียรภาพทางความร้อนของเส้นใย โดยสังเกตจากการเปลี่ยนแปลงของเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักที่สูญเสียไป นอกจากนี้ยังได้ทำการศึกษาเส้นใยที่ทำการตอกกิ่ง และไม่ตอกกิ่งด้วยเครื่องทดสอบสมบัติทางความร้อน DSC และ TGA พบว่าการเติมแคลเซียมคาร์บอเนตช่วยทำ

นี้ให้เส้นใยอ้อยที่มีสมบัติที่ต่างกันใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Joseph และคณะ [25] ได้ทำการศึกษาสมบัติทางด้านความทนต่อแรงดึงของคอมโพสิตที่เกิดจากพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE) กับเส้นใยป่านศรนารายณ์ (Sisal fiber) พบว่าปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่าความแข็งแรงดึง ได้แก่ กระบวนการผสมเส้นใยกับพอลิเมอร์ ความยาวของเส้นใย ปริมาณเส้นใย และลักษณะการจัดเรียงตัวของเส้นใยในพอลิเมอร์ โดยที่การผสมพอลิเมอร์กับเส้นใยในวิธีการผสมแบบสารละลาย (Solution mixing) จะทำให้เกิดการเสียหายของเส้นใยน้อยกว่าการผสมแบบหลอมเหลว (Melt mixing) ซึ่งเมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยลงไป จะมีผลทำให้ค่าความแข็งแรงดึงของคอมโพสิตเพิ่มขึ้น แต่ค่าร้อยละการยืด ณ จุดขาดเพิ่มขึ้นตามจำนวนครั้งที่ลีด ทั้งนี้เนื่องมาจากผลของความร้อนในระหว่างกระบวนการขึ้นรูป จะทำให้เกิดการสลายตัวที่พื้นผิวของเส้นใย จึงสามารถยึดติดกับพอลิเอทิลีนได้เป็นอย่างดี นอกจากนี้พบว่าคอมโพสิตที่มีการจัดเรียงตัวของเส้นใยตามแนวแรง จะให้ค่าความแข็งแรงดึงดีกว่าคอมโพสิตที่มีการจัดเรียงตัวของเส้นใยในแนวทิสทางตั้งฉากกับแนวแรง และเส้นใยที่มีความยาว 6 ไมโครเมตร จะให้ค่าความแข็งแรงดึงที่สูงสุด

Rodney และคณะ [26] ได้ทำการศึกษาสมบัติของพอลิเมอร์คอมโพสิตที่ได้จากขวดพลาสติก พอลิพรอพิลีนชนิดหลายชั้น (Multi-layer) และเส้นใยไม้ (Wood fiber) โดยทำการศึกษาเปรียบเทียบผลกับพอลิเมอร์คอมโพสิตที่ทำจากเม็ดพลาสติกพอลิพรอพิลีนใหม่ และทำการผสมในเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนคู่ ใช้ปริมาณของเส้นใยไม้ 0 30 40 และ 50% โดยน้ำหนัก เมื่อนำผลการทดลองที่ได้มาเปรียบเทียบ พบว่าพอลิเมอร์คอมโพสิตที่เตรียมจากเม็ดพลาสติกพอลิพรอพิลีนนำกลับมาใช้ใหม่ จะให้สมบัติเชิงกลที่ดีกว่าพอลิเมอร์คอมโพสิตที่เตรียมจากเม็ดพลาสติกพอลิพรอพิลีนใหม่ แต่ถ้าเติมเส้นใยไม้มากกว่า 30% โดยน้ำหนัก จะทำให้ค่าความแข็งแรงดึงและค่าเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาดลดลง เนื่องจากสารเติมแต่งที่มีอยู่ในขวดพอลิพรอพิลีนชนิดหลายชั้นจะไปช่วยเพิ่มการยึดติดระหว่างส่วนที่เป็นเมตริกซ์กับเส้นใยไม้มากขึ้น

Yam และคณะ [27] ได้ทำการศึกษาการเตรียมคอมโพสิตของ HDPE จากขวดนมกับเส้นใยไม้สน โดยศึกษาเส้นใยที่ไม่ได้ปรับปรุง นำมาปรับปรุงด้วยความร้อนและอะเซทิลเลต (Acetylate) ทำการผสมด้วยเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนคู่ พบว่าสามารถผสมกันได้ถึงร้อยละ 60 โดยน้ำหนัก แต่ถ้าเพิ่มปริมาณเส้นใย ค่าความแข็งแรงดึงจะลดลง และเส้นใยที่ไม่ได้ผ่านการปรับปรุงด้วยความร้อนและอะเซทิลเลต จะให้ค่าดีกว่าเส้นใยที่ปรับปรุงเส้นใย สำหรับค่ามอดูลัส ค่าความแข็งแรงกระแทก และค่าการยืด ณ จุดขาดลดลง ส่วนรูปแบบและอุณหภูมิการผสมจะมีผลต่อสมบัติเชิงกลที่ได้ พบว่าถ้าใช้อุณหภูมิมากกว่า 200 องศาเซลเซียส จะทำให้ลิกนินเริ่มเสื่อมสภาพและถ้าใช้เวลานาน คอมโพสิตที่ได้จะมีสีคล้ำเนื่องจากการเสื่อมสภาพโดยความร้อน

Kokta และคณะ [28] ได้ทำการศึกษาสมบัติเชิงกลของพอลิพรอพิลีนที่ใส่ไม้สน ซึ่งมีการปรับสภาพผิวในวิธีต่างๆ เพื่อปรับปรุงการยึดติดระหว่างพอลิเมอร์กับไม้สน โดยใช้ Polymethylene

เอกสาร Polymethylene diisocyanate (PMPPIC) ใน Silane coupling agent (Silane A) 7% Silane A 15% และ Silane A 30%

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A1100) และอีโพลีนแว็กซ์ (Epolene wax) เป็นสารปรับสภาพผิวก่อนใส่ในพอลิเมอร์โดยวิธีการผสมในเครื่องบดผสมสองลูกกลิ้ง และขึ้นรูปโดยวิธีการกดอัด พบว่าการใช้อีโพลีนแว็กซ์เป็นสารช่วยกระจายเพียงอย่างเดียวสามารถเพิ่มค่าความแข็งแรงดึง ค่ามอดูลัส และค่าร้อยละการยืด ณ จุดขาดของพอลิเมอร์ได้เป็นอย่างดี ซึ่งเมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยจะเพิ่มความแข็งแรงดึง และค่ามอดูลัส แต่ค่าร้อยละการยืด ณ จุดขาดของพอลิเมอร์จะลดลง ในขณะที่ใช้ PMPPIC กับอีโพลีนแว็กซ์เป็นสารปรับสภาพผิวนั้นทำให้สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์มีค่าสูงสุด นอกจากนี้ยังพบว่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยที่ให้ค่าสมบัติเชิงกลสูงสุด คือ 20 mesh

Raj และคณะ [29] ได้ทำการศึกษาการใช้เส้นใยไม้เป็นตัวเติมในพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลาง (MDPE) โดยใช้เส้นใย 3 ชนิดคือ เยื่อเชิงกล (Mechanical pulps) ผงไม้ (Wood flour) และเยื่อเซลลูโลส (Cellulose pulps) และได้มีการปรับปรุงเส้นใยก่อนด้วยสารพวกไซเลน (Silane) และพอลิไอโซไซยาเนต (Polyisocyanate) เพื่อเป็นการปรับปรุงการยึดติดระหว่างเส้นใยกับพอลิเมอร์ พบว่าค่าความแข็งแรงดึงจะเพิ่มขึ้นในกรณีที่มีการปรับปรุงเส้นใยก่อน แต่จะไม่มีผลต่อค่ามอดูลัสยืดหยุ่น ค่ามอดูลัสจะเพิ่มขึ้นเมื่อมีปริมาณเส้นใยเพิ่มขึ้น ส่วนค่าการดึงยืดและค่าพลังงานการแตกหักจะลดลง สำหรับวิธีผสม ถ้าผสมโดยเครื่องอัดรีด จะมีค่าความทนทานต่อแรงดึงและมอดูลัสสูงกว่าผสมด้วยเครื่องผสมแบบลูกกลิ้ง พบว่า MDPE ที่เติมด้วยเยื่อเชิงกลจะมีสมบัติที่ดีกว่าการเติมเยื่อเซลลูโลสและผงไม้

Woodhams และคณะ [30] ได้ทำการศึกษาพอลิโอสเตนที่เสริมแรงด้วยเส้นใยที่มีอัตราส่วนความยาวต่อเส้นผ่านศูนย์กลาง (Aspect ratio) ประมาณ 100 โดยใช้กรดสเตียริก (Stearic acid) และอีโพลีน (Epolene) เป็นสารช่วยให้เส้นใยกระจายตัวใน HDPE และ PP แล้วขึ้นรูปด้วยเครื่องฉีดขึ้นรูป (Injection molding) พบว่าเมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพด้วยความแข็งแรงต่อน้ำหนักแล้ว คอมโพสิตจากเยื่อไม้จะมีความแข็งแรงเท่ากับหรือมากกว่าวัสดุชนิดอื่นๆที่ใช้ในการก่อสร้าง เช่น เหล็กกล้า อะลูมิเนียม และคอมโพสิตจากเส้นใยแก้ว ในขณะที่ราคาถูกกว่า

A. Nagaty และคณะ [31] ได้ทำการศึกษาพอลิเมอร์คอมโพสิตจากลิกโนเซลลูโลส (Lignocellulose) โดยทำการต่อกิ่ง Methyl Methacrylate (MMA) บนเส้นใยชานอ้อย และใช้ Sodium bisulphite-soda lime เป็นตัวริเริ่มปฏิกิริยาพบว่า สมบัติของพอลิเมอร์คอมโพสิตขึ้นอยู่กับปริมาณ และขนาดของเส้นใยชานอ้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การดำเนินงานวิจัย

3.1 สารเคมีและวัสดุที่ใช้ในงานวิจัย

1. พอลิพรอพิลีน (Polypropylene, PP) เกรด P840J บริษัท CCC Chemical Commerce Co. Ltd. สมบัติบางประการของ PP ที่ใช้ในงานวิจัยนี้แสดงดังตารางที่ 3.1
2. พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (High density polyethylene, HDPE) เกรด H5818J บริษัท CCC Chemical Commerce Co. Ltd. สมบัติบางประการของ HDPE ที่ใช้ในงานวิจัยนี้แสดงดังตารางที่ 3.2
3. รีไซเคิลพอลิพรอพิลีน (Recycled polypropylene, rPP) บริษัท Extra Resins Co. Ltd. ดัชนีการหลอมไหล (MFI) = 11.57 g/10 min
4. รีไซเคิลพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (Recycled high density polyethylene, rHDPE) บริษัท Extra Resins Co. Ltd. ดัชนีการหลอมไหล (MFI) = 4.683 g/10 min
5. ไบโพลีเอทิลีนกึ่งผลึก พันธ์ุราชนบุรี กรมป่าไม้
6. Maleic anhydride grafted polypropylene (PP-g-MA) เกรด Polybond[®]3150 บริษัทUniroyal Chemical Co. Ltd. สมบัติบางประการของ PP-g-MA ที่ใช้ในงานวิจัยนี้แสดงดังตารางที่ 3.3
7. Maleic anhydride grafted polyethylene (PE-g-MA) เกรด Polybond[®] 3009 บริษัท Uniroyal Chemical Co. Ltd. ดัชนีการหลอมไหล (MFI) 5 g/10min
8. Irganox 1010 บริษัท Ciba Specialty Chemicals (Thailand) Ltd.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 สมบัติบางประการของพอลิพรอพิลีนที่ใช้ในงานวิจัย

Polypropylene (PP) เกรด P840J	
Melt flow rate	40 g/10min
Density	0.910g/cm ³
Tensile strength at yield	290 kg/cm ²
Elongation at break	50%
Softening point	150 °C
Melting point	165 °C

หมายเหตุ ข้อมูลจากบริษัทผู้ผลิต

ตารางที่ 3.2 สมบัติบางประการของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่ใช้ในงานวิจัย

High density polyethylene (HDPE) เกรด H5818J	
Melt flow rate	18 g/10min
Density	0.962 g/cm ³
Tensile strength at yield	280 kg/c
Elongation at break	100 %
Softening point	122 °C
Melting point	131 °C

หมายเหตุ ข้อมูลจากบริษัทผู้ผลิต

ตารางที่ 3.3 สมบัติบางประการของ PP-g-MA

PP-g-MA เกรด Polybond [®] 3150	
ดัชนีการหลอมไหล (MFI)	50 g/10min
ความหนาแน่น (Density) ที่ 23 °C	0.91 g/cm ³
จุดหลอมเหลว (Melting point)	157 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารของบริษัทผู้ผลิต ใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 อุปกรณ์ในการวิจัย

1. เครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว (Single screw extruder) รุ่น 003-3411 บริษัท HAAKE Co. Ltd.
2. เครื่องฉีดขึ้นรูป (Injection molding machine) “Cosmo” รุ่น TTI-220/80 บริษัท ประทานกิจถาวร จำกัด
3. เครื่องอัดขึ้นรูป (Compression molding machine) รุ่น 0012 บริษัท LabTech Engineerig Co. Ltd.
4. เครื่องทดสอบเนกประสงค์ (Universal tester) LLOYD รุ่น LR 5K บริษัท Intro Enterprise Co. Ltd.
5. เครื่องทดสอบสมบัติแรงกระแทก (Impact tester) รุ่น 258-PC บริษัท Yasuda Seiki Sakusho Ltd.
6. เครื่องทดสอบความแข็งกด (Hardness tester) บริษัท Intro Enterprise Co. Ltd.
7. เครื่องทดสอบสมบัติทางความร้อน DSC (Differential Scanning Calorimeter, DSC)
8. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด (Scanning Electron Microscope, SEM) รุ่น LEO 1450 VP
9. เครื่องร่อนแยกขนาด (Sieve shaker) รุ่น 01409023 บริษัท Retsch Co. Ltd.
10. เครื่องผสมความเร็วสูง (High speed mixer) รุ่น 0023 บริษัท LabTech Engineering Co. Ltd.
11. ตู้อบแบบอากาศร้อน (Hot air oven) รุ่น 920387 บริษัท WTC binder Ltd.
12. ตะแกรงมาตรฐาน ขนาด 20 50 และ 100 mesh
13. เครื่องชั่ง
14. เครื่องบดพลาสติก (Grinder) บริษัท Bosco Engineering Co. Ltd.
15. เคชเคเตอร์
16. ไมโครมิเตอร์และเวอร์เนีย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 วิธีการทดลอง

3.3.1 การศึกษาผงหญาแฝกเป็นสารเพิ่มเนื้อ (Fillers) ในพอลิเมอร์

หญาแฝกที่นำมาบดให้เป็นผงขนาดเล็ก สามารถทำหน้าที่เป็นสารเพิ่มเนื้อชนิดไม่เสริมแรง (Non-reinforcing fillers) เพื่อเพิ่มปริมาณและลดต้นทุนการผลิต นอกจากนี้ยังช่วยทำให้สมบัติบางประการของพอลิเมอร์มีสมบัติดีขึ้น เช่น โมดูลัส (Modulus) ความแข็งกด (Hardness) การทำเส้นใย ให้เป็นผงสามารถทำได้สะดวก ง่าย ดังนั้นจึงเป็นที่น่าสนใจที่จะทำการศึกษาการใช้ประโยชน์หญาแฝกในรูปแบบนี้ พอลิเมอร์ที่เลือกศึกษาคือพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (High density polyethylene, HDPE) รีไซเคิลพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (Recycled high density polyethylene, rHDPE) พอลิพรอพิลีน (Polypropylene, PP) และรีไซเคิลพอลิพรอพิลีน (Recycled polypropylene, rPP)

3.3.1.1 การเตรียมผงหญาแฝก

ใช้วิธีการเตรียมผงหญาแฝกด้วยแรงเชิงกล (Mechanical pulp, MP) โดยการนำหญาแฝกที่ล้างสะอาดไปบดเป็นผงโดยใช้เครื่องบดความเร็วสูง ทำให้ได้หญาแฝกขนาดเล็ก จากนั้นทำการแยกขนาดโดยใช้ตะแกรงร่อน (Seive) ขนาด 20 และ 50 เมช เพื่อควบคุมขนาดของผงหญาแฝก นำผงหญาที่ได้ไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 วันหรือจนได้น้ำหนักคงที่ นำไปเก็บในเดซิเคเตอร์ก่อนนำไปผสมกับพอลิเมอร์



รูปที่ 3.1 ผงหญาแฝกที่เตรียมด้วยแรงเชิงกล (Mechanical pulp, MP) ขนาด 20-50 mesh

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.1.2 การผสมกับพอลิเมอร์

1. ชั่งสูตรผสมต่าง ๆ ดังตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 สูตรผสมพอลิเมอร์ผสมผงหญาแฝก

สูตร	ส่วนโดยน้ำหนัก (phr)			** %สารช่วยผสม (%w หญาแฝก)
	*พอลิเมอร์	ผงหญาแฝก	Irganox 1010	
1	100	-	1	-
2	100	30	1	3
3	100	40	1	3
4	100	50	1	3
5	100	60	1	3
6	100	70	1	3

หมายเหตุ *พอลิเมอร์ที่ใช้ ได้แก่ พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (High density polyethylene, HDPE) รีไซเคิลพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (Recycled polyethylene, rHDPE) พอลิพรอพิลีน (Polypropylene, PP) รีไซเคิลพอลิพรอพิลีน (Recycled polypropylene, rPP)

** สารช่วยผสมที่ใช้ คือ พอลิเอทิลีนกราฟท์มาเลอิกแอนไฮไดรด์ (PE-g-MA) และพอลิพรอพิลีนกราฟท์มาเลอิกแอนไฮไดรด์ (PP-g-MA) ขึ้นกับพอลิเมอร์

2. ทำการผสมผงหญาแฝกกับพอลิเมอร์ตามสูตรในข้อ 1 โดยใช้เครื่องผสมความเร็วสูง (High-speed mixer) ความเร็วรอบ 4000 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 10 นาที

3. นำของผสมที่ได้ไปผสมโดยใช้เทคนิคผสมแบบหลอมเหลว (Melt blending) โดยใช้เครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว (Single screw extruder) โดยทำการศึกษาที่สภาวะการผสมดังตารางที่ 3.5

4. นำพอลิเมอร์ที่ผสมแล้วไปตัดเม็ดโดยใช้เครื่องบดตัดเม็ด (Grinder)

5. นำเม็ดพอลิเมอร์ที่ผสมแล้วไปทำการขึ้นรูปโดยใช้

- เครื่องอัดขึ้นรูป (Compression molding machine)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เครื่องฉีดขึ้นรูป (Injection molding machine) โดยทำการศึกษาที่สภาวะอุณหภูมิดังตารางที่ 3.6

ตารางที่ 3.5 สภาวะในการผสมพอลิเมอร์โดยใช้เครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว

พอลิเมอร์	อุณหภูมิ (°C)	ความเร็วรอบสกรู (rpm)
PP และ rPP	165-170-175-180	40
HDPE และ rHDPE	145-150-155-160	40

ตารางที่ 3.6 สภาวะในการขึ้นรูปพอลิเมอร์โดยใช้เครื่องฉีดขึ้นรูป

พอลิเมอร์	อุณหภูมิ (°C)
PP และ rPP	160-170-180
HDPE และ rHDPE	140-150-160

6. นำวัสดุที่ได้ไปทดสอบสมบัติต่างๆได้แก่

ศึกษาสมบัติเชิงกล

- ทดสอบสมบัติเชิงกลด้วย Universal tester ตามมาตรฐานการทดสอบ ASTM D 638 ได้ค่าความแข็งแรงดึง (Tensile strength; MPa) เปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาด (% Elongation at break; %) มอดุลัส (Modulus; MPa)
- ความแข็งแรงโค้งงอ (Flexural strength; MPa) และ มอดุลัสโค้งงอ (Flexural modulus; MPa) ตามมาตรฐานการทดสอบ ASTM D 790
- ความแข็งกด (Hardness; Shore D) ASTM D 785
- ความแข็งแรงกระแทก (Impact strength; kJ/m²) ASTM D 256

ศึกษาสมบัติทางกายภาพ

- การดูดซับน้ำ (%Water absorption) ASTM D 570

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ศึกษาสมบัติทางความร้อน

- หาค่าอุณหภูมิหลอมเหลวผลึก ($T_m; ^\circ\text{C}$) และค่าองศาความเป็นผลึก (Degree of crystallinity; %) โดยใช้เครื่อง Differential Scanning Calorimeter (DSC)

ศึกษาสัณฐานวิทยา

- การศึกษาสัณฐานวิทยาโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด (Scanning Electron Microscope, SEM) เป็นการส่องดูพื้นผิวของวัสดุอย่างละเอียดเพื่อศึกษาการยึดติดระหว่างเส้นใยไม้กับพอลิเมอร์ การเตรียมตัวอย่างทำได้โดยนำตัวอย่างมาแช่ในไนโตรเจนเหลว (Liquid nitrogen) ที่อุณหภูมิต่ำเป็นเวลา 10 นาทีและทำการหักทันทีที่อุณหภูมิต่ำ จากนั้นนำตัวอย่างมาเคลือบทองและนำเข้าเครื่อง SEM ต่อไป

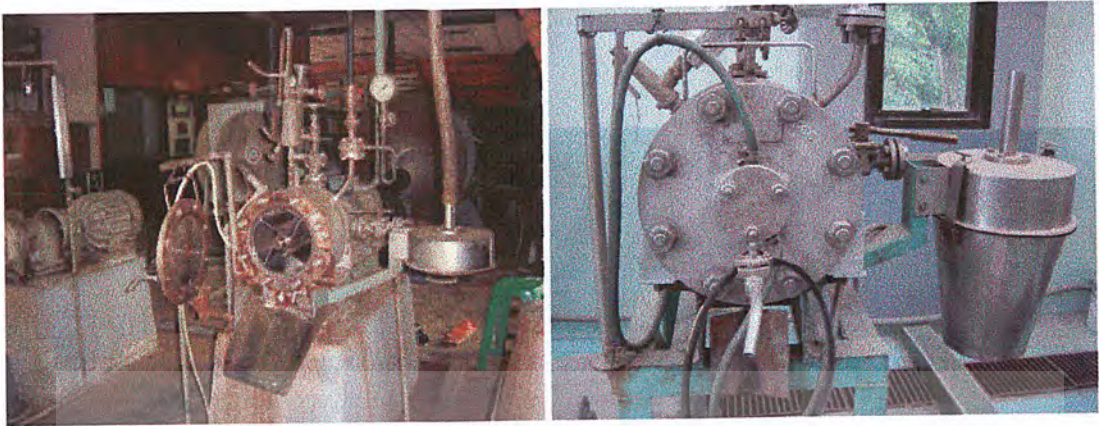
3.3.2 การศึกษาเส้นใยหญ้าแฝกเป็นส่วนเสริมแรง (Reinforcement) ในพอลิเมอร์

เส้นใยหญ้าแฝกที่เตรียมจากกระบวนการความร้อนเชิงกล (Thermomechanical pulps, TMP) นำไปผสมกับพอลิเมอร์ ได้แก่ พอลิพรอพิลีน พอลิเอทิลีน รีไซเคิลพอลิพรอพิลีน และรีไซเคิลพอลิเอทิลีน ทำให้ได้พอลิเมอร์คอมโพสิตจากเส้นใยหญ้าแฝกโดยสามารถทำการทดลองได้ดังนี้

3.3.2.1 การเตรียมเส้นใยหญ้าแฝก

กระบวนการความร้อนเชิงกล (Thermomechanical pulp, TMP) เป็นการแยกเยื่อโดยวิธีความร้อนเชิงกลหรือเทอร์โมเมคานิคอล (Thermomechanical pulping) ซึ่งเป็นวิธีที่ดัดแปลงมาจากวิธีการผลิตเยื่อทางกลโดยการบด (Refined mechanical pulping) เริ่มจากการนำชิ้นวัตถุดิบใส่ลงในหม้อสำหรับทำ TMP จากนั้นนำด้วยไอน้ำภายใต้ความดันไอจนอุณหภูมิไอน้ำสูงกว่า 140 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1.30 นาที ซึ่งเป็นจุดที่ทำให้ลิกนินอ่อนตัว เรียกว่าจุดเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (Glass transition point) หรือจุดอ่อนตัว (Softening point) จากนั้นทำการปั่นบดชิ้นวัตถุดิบภายใต้อุณหภูมิและความดันสูง ($5-7 \text{ kg/cm}^2$) เป็นเวลา 30 วินาที จะเกิดการแยกออกเป็นเส้นใยหรือกลุ่มของเส้นใย จากนั้นนำเส้นใยที่ได้ไปล้างน้ำสะอาดเพื่อให้เส้นใยหญ้าแฝกกระจายตัวดีขึ้น แล้วนำเส้นใยที่ได้ไปตากให้แห้ง ทำการคัดแยกขนาดเส้นใยหญ้าแฝก โดยใช้เครื่องร่อนและตะแกรงมาตรฐานขนาด 20 กับ 50 mesh จากนั้นนำเส้นใยไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 วัน หรือจนน้ำหนักเส้นใยหญ้าแฝกคงที่ นำเส้นใยหญ้าแฝกที่ได้เก็บไว้ในเดซิเคเตอร์เพื่อรอการนำไปผสมกับพอลิเมอร์ในขั้นต่อไป ผลผลิตของเส้นใยที่ได้ประมาณ 71.9 เปอร์เซ็นต์ โดยผลผลิตที่ได้ขึ้นอยู่กับสถานะในการแยกเยื่อได้แก่ อุณหภูมิ หรือความดันไอน้ำ เวลาในการนึ่งชิ้นวัตถุดิบ และเวลาในการบดเยื่อจะมีความผันแปร ไปขึ้นอยู่กับชนิดวัตถุดิบ ความหนาแน่นของวัตถุดิบ

เอกสารนี้เป็นต้นฉบับและถูกส่งมอบแก่คุณเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 เครื่องผลิตเส้นใยโดยใช้วิธีความร้อนเชิงกล



รูปที่ 3.3 เส้นใยหญาแผกที่เตรียมด้วยความร้อนเชิงกล (Thermomechanical pulp, TMP) ขนาด

20-50 mesh

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2.2 การผสมกับพอลิเมอร์

1. ชั่งสูตรผสมต่างๆ ดังตารางที่ 3.7

ตารางที่ 3.7 สูตรผสมพอลิเมอร์ผสมเส้นใยหญ้าแฝก

สูตร	ส่วนโดยน้ำหนัก (phr)			** %สารช่วยผสม (%w หญ้าแฝก)
	* พอลิเมอร์	เส้นใยหญ้าแฝก	Irganox 1010	
1	100	-	1	-
2	100	30	1	3
3	100	40	1	3
4	100	50	1	3
5	100	60	1	3
6	100	70	1	3

หมายเหตุ พอลิเมอร์ที่ใช้ ได้แก่ พอลิพรอพิลีน (Polypropylene,PP) พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (High density polyethylene, HDPE) รีไซเคิลพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (Recycled high densityPolyethylene, rHDPE) รีไซเคิลพอลิพรอพิลีน (Recycle polypropylene, rPP)

**สารช่วยผสมที่ใช้ คือ พอลิเอทิลีนกราฟท์มาเลอิกแอนไฮไดรด์ (PE-g-MA) และพอลิพรอพิลีนกราฟท์มาเลอิกแอนไฮไดรด์ (PP-g-MA) ขึ้นกับพอลิเมอร์

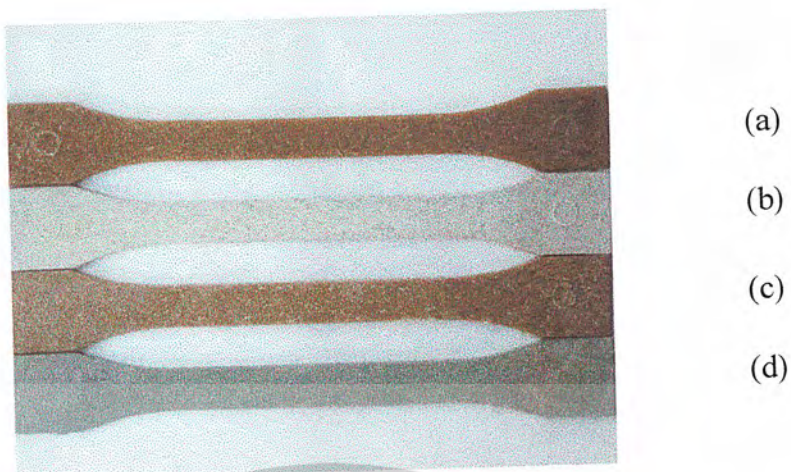
2. ทำการผสมเส้นใยหญ้าแฝกกับพอลิเมอร์ตามสูตรในข้อ 1 โดยใช้เครื่องผสมความเร็วสูง (High speed mixer) ความเร็วรอบ 2000 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 5 นาที เพื่อให้เส้นใยกระจายตัวดีและเพื่อให้สารผสมกัน ได้ดีขึ้น

3. นำของผสมที่ได้ไปผสมกันในเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว โดยทำการศึกษาที่สภาวะการผสมดังตารางที่ 3.5

4. นำพอลิเมอร์ที่ผสมแล้วไปตัดเม็ดโดยใช้เครื่องบดตัดเม็ด (Grinder)

5. นำเม็ดพอลิเมอร์ที่ผสมแล้วไปทำการขึ้นรูปโดยใช้เครื่องอัดขึ้นรูป และเครื่องฉีดขึ้นรูป ที่สภาวะอุณหภูมิดังตารางที่ 3.6

6. นำวัสดุที่ได้ไปทดสอบสมบัติต่างๆ เช่นเดียวกับสูตรทดลองข้างต้น เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 ตัวอย่างชิ้นงานคอมโพลีตจากเส้นใยหญ้าแฝก (a) PP (b) rPP (c) HDPE และ (d) rHDPE



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 การทดสอบ

การทดสอบสมบัติต่างๆ ของพอลิเมอร์คอมโพสิต ได้ทำการทดสอบตามมาตรฐานดังตารางที่ 3.8 ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 3.8 มาตรฐานต่างๆ ในการทดสอบพอลิเมอร์คอมโพสิต

สมบัติ	มาตรฐานที่ใช้ทดสอบ	หน่วยรายงานผล
ความแข็งแรงดึง (Tensile strength)	ASTM D 638	MPa
มอดุลัส (Tensile modulus)	ASTM D 638	MPa
เปอร์เซ็นต์การยืด 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
เปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำ (% water absorption)	ASTM D 570	%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.1 สมบัติเชิงกล

3.4.1.1 ความแข็งแรงดึง (Tensile strength) โมดูลัส (Tensile modulus) และเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด (% Elongation at break)

การทดสอบหาค่าความแข็งแรงดึงเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM D 638 [32] โดยในการทดสอบจะทดสอบโดยใช้เครื่องทดสอบสมบัติเชิงกล (Universal Testing Machine) แต่ละครั้งใช้ตัวอย่าง 8 ชิ้น โดยตัวอย่างเป็นรูปคัมเบลล์ และสภาวะในการทดสอบเป็นดังนี้

โหลดเซลล์ (Load cell)	30	กิโลนิวตัน (kN)
ความเร็วในการดึง (Test speed)	100	มิลลิเมตร/นาที
ความยาวของเกจ (Gauge length)	70	มิลลิเมตร

ค่าความแข็งแรงดึง ค่าโมดูลัส และค่าเปอร์เซ็นต์การดึงยึด ณ จุดขาด สามารถหาได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$\begin{aligned} \text{ค่าความแข็งแรงดึง (Tensile strength); } \sigma &= F/A \\ \% \text{ การยืด ณ จุดขาด (\% Elongation at break); } A_t &= \left(\frac{l - l_0}{l_0} \right) \times 100 \end{aligned}$$

F คือ แรงที่ใช้ในการยึดตัวอย่าง (นิวตัน; N)

A คือ พื้นที่หน้าตัดของตัวอย่าง (ตารางมิลลิเมตร; mm²)

l คือ ระยะห่างระหว่างจุดสองจุดหลังทำการดึงตัวอย่าง (มิลลิเมตร; mm)

l₀ คือ ช่วงที่ขึ้นงานแคบที่สุดและมีพื้นที่หน้าตัดขนานกัน; Gauge length (มิลลิเมตร; mm)

3.4.1.2 ความแข็งแรงกระแทก (Impact strength)

การทดสอบหาค่าความแข็งแรงกระแทกเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM D 256 [33] โดยในการทดสอบจะใช้มาตรฐานแบบไอซอด (Izod type) และแต่ละครั้งใช้ตัวอย่าง 10 ชิ้น

ค่าความแข็งแรงกระแทกสามารถหาได้จากสมการดังต่อไปนี้

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

IS คือ ค่าความแข็งแรงกระแทก (กิโลจูลต่อตารางเมตร; kJ / m²)

W คือ ค่าพลังงานกระแทก (กิโลจูล; kJ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A คือ พื้นที่หน้าตัดของตัวอย่าง (ตารางเมตร; m^2)

3.4.1.3 ความแข็งกด (Hardness)

การทดสอบหาค่าความแข็งกด เป็นไปดั่งมาตรฐาน ASTM D 785 [34] โดยในการทดสอบจะใช้มาตรฐานแบบ Shore D ลักษณะของชิ้นงานที่นำมาทดสอบต้องมีความหนาไม่ต่ำกว่า $\frac{1}{4}$ นิ้ว มีความเรียบ กดเป็นเวลา 5 วินาทีจึงสามารถอ่านค่าได้

3.4.1.4 ความแข็งแรงโค้งงอ (Flexural strength) และมอดุลัสโค้งงอ (Flexural modulus)

การทดสอบความแข็งแรง โค้งงอ และมอดุลัสโค้งงอ เป็นไปดั่งมาตรฐาน ASTM D 790 [35] ซึ่งสภาวะในการทดสอบเป็นดังนี้

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

สูตรที่ใช้ในการคำนวณค่าความแข็งแรง โค้งงอและมอดุลัส โค้งงอมีดังนี้

$$\text{ค่าความแข็งแรง โค้งงอ; } \sigma_f = \frac{3FL}{2bh^2}$$

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

F คือ แรงกด (นิวตัน; N)

L คือ Span length (มิลลิเมตร; mm)

b คือ ความกว้างของตัวอย่าง (มิลลิเมตร; mm)

h คือ ความหนาของตัวอย่าง (มิลลิเมตร; mm)

ΔF คือ ผลต่างของแรงดึง (นิวตัน; N)

Δd คือ ระยะกดโค้งงอ (มิลลิเมตร; mm)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.2 สมบัติทางกายภาพ

3.4.2.1 การดูดซับน้ำ (Water absorption)

การทดสอบการดูดซับน้ำ เป็นไปตาม ASTM D 570 [36] โดยการนำชิ้นงานไปอบให้แห้ง 24 ชั่วโมง และชั่งน้ำหนักจากนั้นนำไปแช่น้ำเป็นเวลา 35 วัน และทำการวัดปริมาณน้ำที่ดูดซับเป็น เวลาต่างๆ กัน 5 ช่วงเวลา และนำมาคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำโดยสามารถหาได้จาก สมการดังต่อไปนี้

$$\% \text{ การดูดซับน้ำ} = \left[\frac{\text{น้ำหนักตัวอย่างเปียก} - \text{น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น}} \right] \times 100$$

3.4.3 สมบัติทางความร้อน

สามารถตรวจสอบด้วยเครื่อง Differential Scanning Calorimeter (DSC) โดยชั่ง พลาสติกโพลีเอทิลีนนิวมแพน จำนวน 5-7 มิลลิกรัม ให้ทราบปริมาณสารที่แน่นอน แล้วนำไป วิเคราะห์ด้วยเครื่อง DSC โดยใช้อัตราการให้ความร้อน 10 องศาเซลเซียสต่อนาที อุณหภูมิสูงสุด ของพอลิโพลีเอทิลีนคือ 180 องศาเซลเซียสและอุณหภูมิสูงสุดของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง คือ 160 องศาเซลเซียส ศึกษาอุณหภูมิหลอมเหลว (T_m) และพื้นที่ใต้กราฟ การคำนวณหา Heat of melting (H_m) และ องศาความเป็นผลึก (Degree of crystallinity) จากสูตรดังนี้

$$H = \frac{\text{พื้นที่ใต้กราฟ (mJ)}}{\text{น้ำหนักสารตัวอย่าง (mg)}}$$

$$\text{Degree of crystallinity} = \frac{H_f}{H_0} * 100$$

$$\text{เมื่อ } H_f = \text{พื้นที่ใต้กราฟของ } T_m$$

$$H_0 = \text{Heat of fusion ของ 100 \% PP มีค่า } 165 \text{ J/g [37]}$$

$$H_0 = \text{Heat of fusion ของ 100 \% HDPE มีค่า } 293 \text{ J/g [37]}$$

3.4.4 ศึกษาสัณฐานวิทยา

การศึกษาสัณฐานวิทยาโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด (Scanning Electron Microscope, SEM) เป็นการส่องดูพื้นผิวของวัสดุอย่างละเอียดเพื่อศึกษาการยึดติดระหว่าง เส้นใยไม้กับพอลิเมอร์ การเตรียมตัวอย่างทำได้โดยนำตัวอย่างมาแช่ในไนโตรเจนเหลว (Liquid nitrogen) ที่อุณหภูมิต่ำและทำการหักทันทีที่อุณหภูมิต่ำ จากนั้นนำตัวอย่างมาเคลือบทองและนำเข้า เอกสารซึ่งเป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า เครื่อง SEM คือไป ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.5 การทดสอบความทนทานต่อปลวกของวัสดุผสมพอลิเมอร์กับผงหญาแฝกในห้องปฏิบัติการ

การทดสอบความทนทานต่อปลวกของคอมโพสิตจากเส้นใยหญาแฝก ได้ดำเนินการตามแผนปฏิบัติการชุดโครงการวิจัยเรื่อง การวิจัยและพัฒนาปฏิสัมพันธ์ของหญาแฝกกับปลวกเพื่อสนองพระราชดำริของพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวฯ

การทดสอบความทนทานต่อปลวกของคอมโพสิตจากเส้นใยหญาแฝกในห้องปฏิบัติการ

- การทดสอบคอมโพสิตจากเส้นใยหญาแฝกเพื่อศึกษาความทนทานต่อการเข้าทำลายของปลวก โดยชิ้นงานที่ใช้ทดสอบมีขนาด 2.5X2.5X0.5 เซนติเมตร ซึ่งศึกษาผลของปริมาณของหญาแฝกในช่วง 0-70 phr
- การทดสอบในห้องปฏิบัติการใช้วิธีการทดสอบแบบบังคับ (No choice test) โดยนำชิ้นงานใส่ลงในบ่อซีเมนต์ที่ได้เพาะเลี้ยงปลวกชนิด *Coptotermes gestroi* ซึ่งในการทดสอบในห้องปฏิบัติการจะไม่สัมผัสดิน ใช้เวลาในการทดสอบทั้งสิ้นประมาณ 4 สัปดาห์
- การบันทึกและประเมินผลการทดสอบ โดยการประเมินความเสียหายบนแผ่นวัสดุทดลองด้วยสายตา (Visual rating) และบันทึกอัตราการเข้าทำลายเป็นเปอร์เซ็นต์การเข้าทำลาย ดังตารางที่ 3.9
- วิเคราะห์ข้อมูล ในการทดสอบความทนทานของวัสดุคอมโพสิตจากเส้นใยหญาแฝก ในด้านระดับความเสียหายของแผ่นประกอบหญาแฝก

ตารางที่ 3.9 การประเมินอัตราการเข้าทำลายของปลวก

ระดับคะแนนความเสียหาย	อัตราการเข้าทำลาย (%)	ความเสียหายของวัสดุทดลอง	ประสิทธิภาพ
0	0	ไม่พบการเข้าทำลาย	ดี (good)
1	1-20	ทำลายผิววัสดุทดลอง	น่าพึงพอใจ (Satisfactory)
2	21-40	ทำลายภายในวัสดุทดลองน้อย	ยอมรับ (Acceptable)
3	41-60	ทำลายภายในวัสดุทดลองปานกลาง	ไม่ยอมรับ (Unacceptable)
4	61-80	ทำลายภายในวัสดุทดลองมาก	ไม่ยอมรับ (Unacceptable)
5	81-100	ทำลายภายในวัสดุทดลองอย่างรุนแรง	ไม่ยอมรับ (Unacceptable)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 การศึกษาผงหญาแฝกเป็นสารเพิ่มเนื้อ (Fillers) ในพอลิโอลิฟินส์

ศึกษาผลของปริมาณผงหญาแฝกขนาด 20-50 mesh ที่เตรียมโดยวิธีแรงเชิงกล (Mechanical pulp, MP) ซึ่งจะทำให้การหาปริมาณที่เหมาะสมสำหรับเติมในพอลิโอลิฟินส์ เพื่อให้ได้วัสดุผสมที่มีสมบัติโดยรวมที่ดีที่สุด โดยทำการเปลี่ยนแปลงปริมาณผงหญาแฝก 0 30 40 50 60 และ 70 phr อีกทั้งยังทำการศึกษานิคมของพอลิเมอร์เมตริกซ์ และเปรียบเทียบพอลิเมอร์ใหม่กับพอลิเมอร์ที่ใช้แล้ว

4.1.1 การศึกษาสมบัติเชิงกล

4.1.1.1 การศึกษาสมบัติของวัสดุผสมพอลิโอลิฟินส์กับผงหญาแฝกเมื่อทำการเปลี่ยนแปลงปริมาณผงหญาแฝกต่อปริมาณพอลิเมอร์

วัสดุผสม PP และ rPP กับผงหญาแฝก

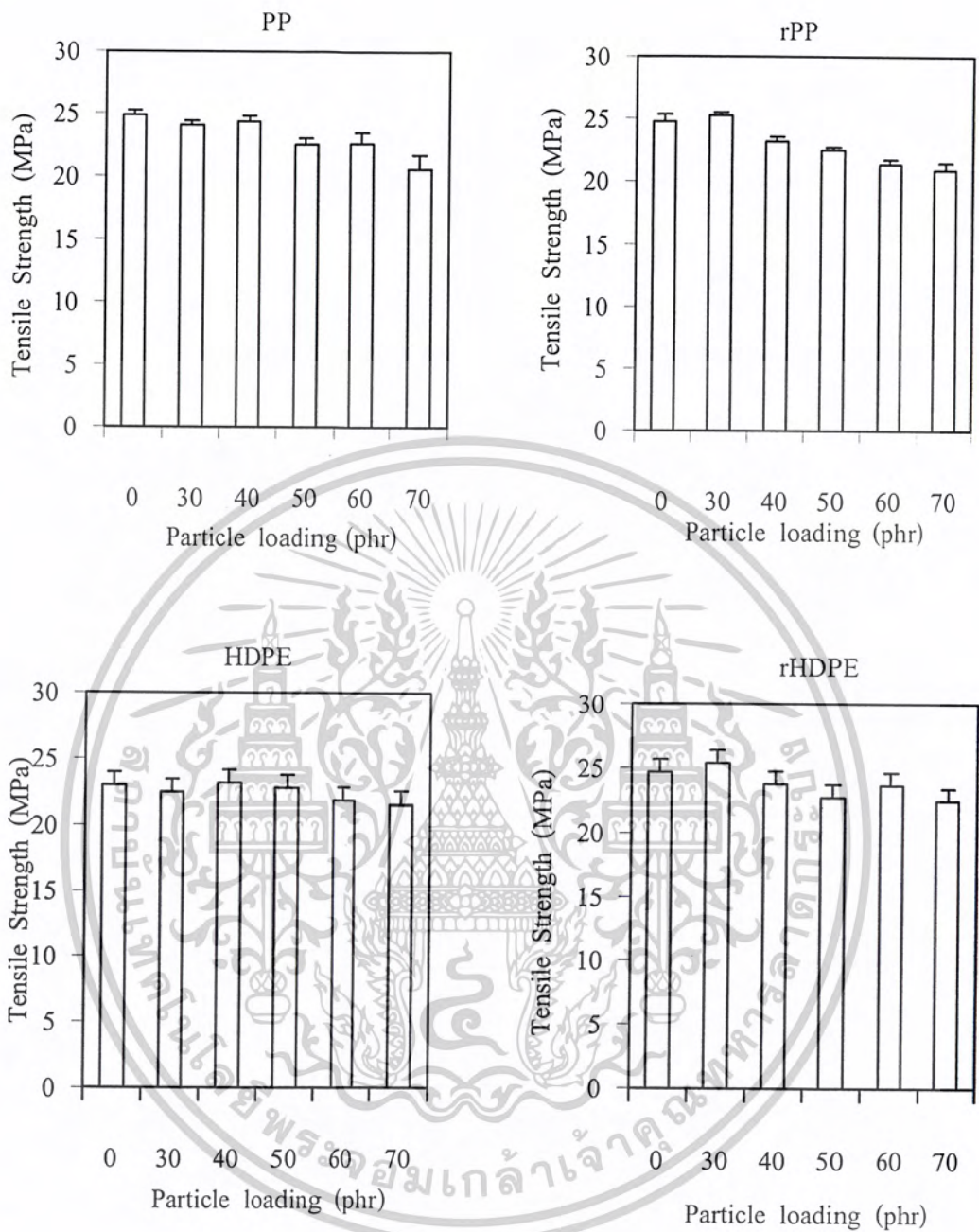
จากรูปที่ 4.1-4.7 เมื่อพิจารณาผลของปริมาณผงหญาแฝกที่มีต่อสมบัติเชิงกลของวัสดุผสมพอลิพรอพิลีน (PP) ทั้งพอลิเมอร์บริสุทธิ์และรีไซเคิลผสมกับผงหญาแฝก ได้แก่ ความแข็งแรงดึง (Tensile strength) เปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด (%Elongation at break) มอดุลัส (Modulus) ความแข็งแรงกระแทก (Impact strength) ความแข็งกด (Hardness) ความแข็งแรงโค้งงอ (Flexural strength) และมอดุลัส โค้งงอ (Flexural modulus) ตามลำดับ พบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณผงหญาแฝกจะส่งผลให้ความแข็งแรงดึงและความแข็งแรงกระแทกมีค่าใกล้เคียงกันและมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากปริมาณผงหญาแฝกที่เพิ่มขึ้นทำให้เกิดรอยต่อหรืออินเตอร์เฟส (Interphase) ระหว่างพอลิเมอร์กับผงหญาแฝกมากขึ้น ความสามารถในการยึดติดลดลง ส่งผลให้วัสดุผสมรับแรงได้น้อยลง ส่วนเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาดมีค่าต่ำลงมาก เนื่องจากผงหญาแฝกที่เติมลงไปจะเข้าไปแทรกตัวในเนื้อพอลิเมอร์ทำให้ความต่อเนื่องของพอลิเมอร์ลดลง ดังนั้นความสามารถในการดึงยึดของวัสดุผสมมีค่าลดลง สำหรับมอดุลัสและความแข็งกดมีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากผงหญาแฝกที่เติมลงไปมีค่ามอดุลัสสูงกว่าพอลิเมอร์เมตริกซ์ ดังนั้นเมื่อเพิ่มผงหญาแฝกมากขึ้นทำให้วัสดุผสมมีความแข็งแรงมากขึ้นตามกฎของของผสม (Rule of mixture) ความแข็งแรงโค้งงอมีค่าใกล้เคียงกัน เนื่องจากผงหญาแฝกที่เติมลงไปทำหน้าที่เป็นสารตัวเติมไม่เสริมแรง (Non-reinforcing filler) เป็นเพียงสารเพิ่มเนื้อและมอดุลัส โค้งงอมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เนื่องจากปริมาณผงหญาแฝกมากขึ้นทำให้วัสดุผสมมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วัสดุผสม HDPE และ rHDPE กับผงหญาแฝก

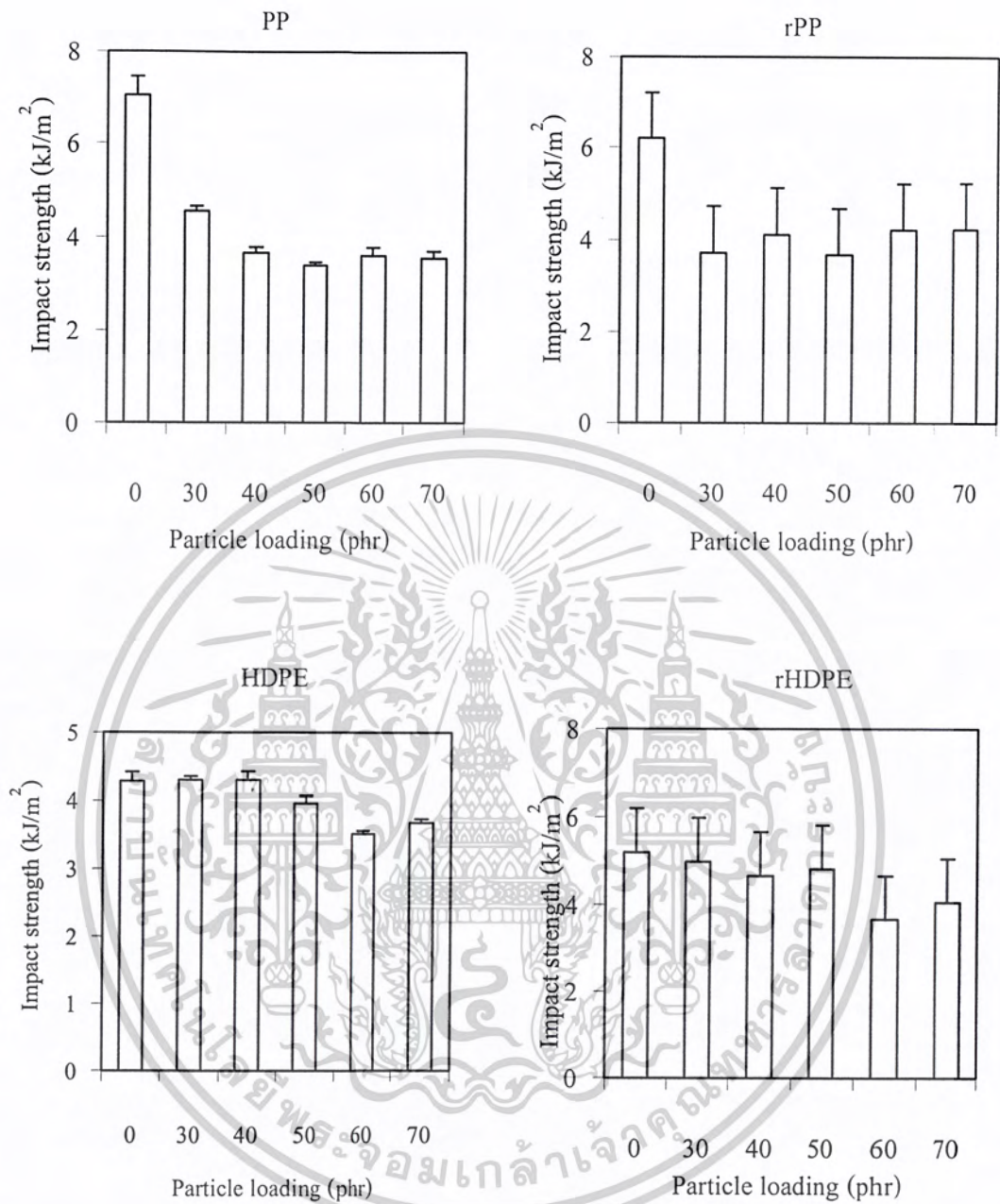
จากรูปที่ 4.1-4.7 เมื่อพิจารณาผลของปริมาณผงหญาแฝกที่มีต่อสมบัติเชิงกลของวัสดุผสมพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE) ทั้งพอลิเมอร์บริสุทธิ์และรีไซเคิลผสมกับผงหญาแฝกพบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณผงหญาแฝกจะส่งผลให้ความแข็งแรงดึง และความแข็งแรงกระแทกมีค่าใกล้เคียงกันและมีแนวโน้มลดลงเนื่องจากผงหญาแฝกเป็นสารตัวเติมไม่เสริมแรงเป็นเพียงสารเพิ่มเนื้อ ดังนั้นเมื่อเติมลงในพอลิเมอร์เมทริกซ์ จึงไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของสมบัติดังกล่าวมากนัก สำหรับเปอร์เซ็นต์การยึด ฉ จุดขาด มีค่าลดต่ำลงมากเนื่องจากปริมาณผงหญาแฝกที่เพิ่มขึ้น ทำให้เกิดความแตกต่างระหว่าง 2 ภูมิภาคมากขึ้น ดังนั้นบริเวณอินเตอร์เฟซจึงไม่แข็งแรงความสามารถในการรับแรงลดลง เมื่อพิจารณาถึงมอดูลัสและความแข็งกด พบว่ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเนื่องจากปริมาณผงหญาแฝกที่เพิ่มขึ้นทำให้ความแข็งของวัสดุผสมเพิ่มขึ้น สำหรับความแข็งแรงโค้งงอมีค่าใกล้เคียงกันและมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น และมอดูลัส โค้งงอมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณผงหญาแฝกเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากผงหญาแฝกมีความแข็งมาก เป็นผลมาจากผงหญาแฝกมีลักษณะเป็นองค์ประกอบ ซึ่งเป็น โครงสร้างที่แข็งแรง ดังนั้นเมื่อเพิ่มปริมาณผงหญาแฝกมากขึ้น วัสดุผสมที่ได้จึงมีความแข็งแรงมากขึ้นซึ่งสอดคล้องกับผลของวัสดุผสมพีพีและรีไซเคิลพีพีกับผงหญาแฝก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



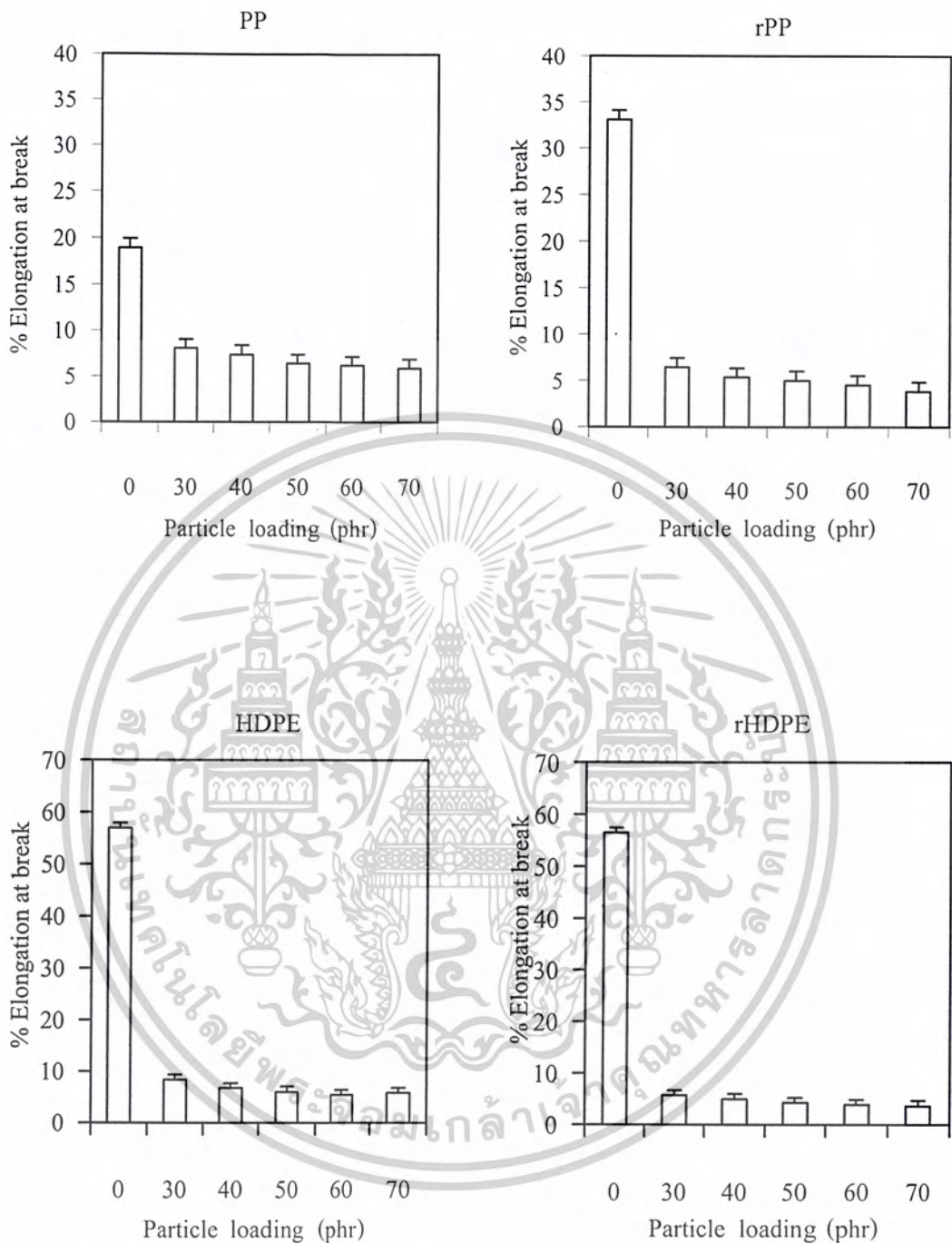
รูปที่ 4.1 ค่าความแข็งแรงดึงของวัสดุผสมพอลิโพลีฟินส์กับผงหญาแผกขนาด 20-50 mesh
ในปริมาณ 0 30 40 50 60 และ 70 phr และปริมาณสารช่วยผสม 3%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



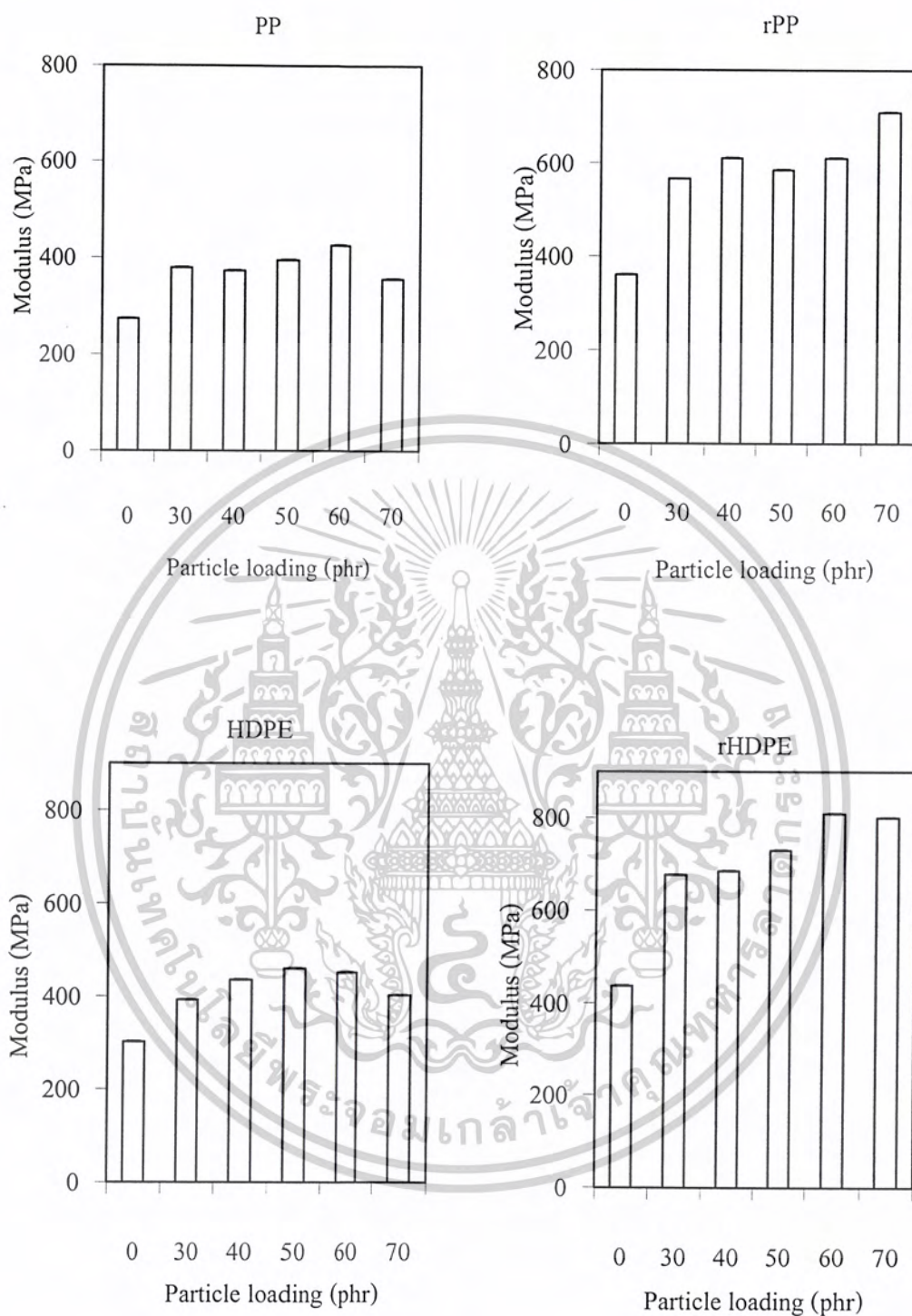
รูปที่ 4.2 ค่าความแข็งแรงกระแทกของวัสดุผสมพอลิโพรพิลีนกับผงหญา่แหกขนาด 20-50 mesh ในปริมาณ 0 30 40 50 60 และ 70 phr และปริมาณสารช่วยผสม 3%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



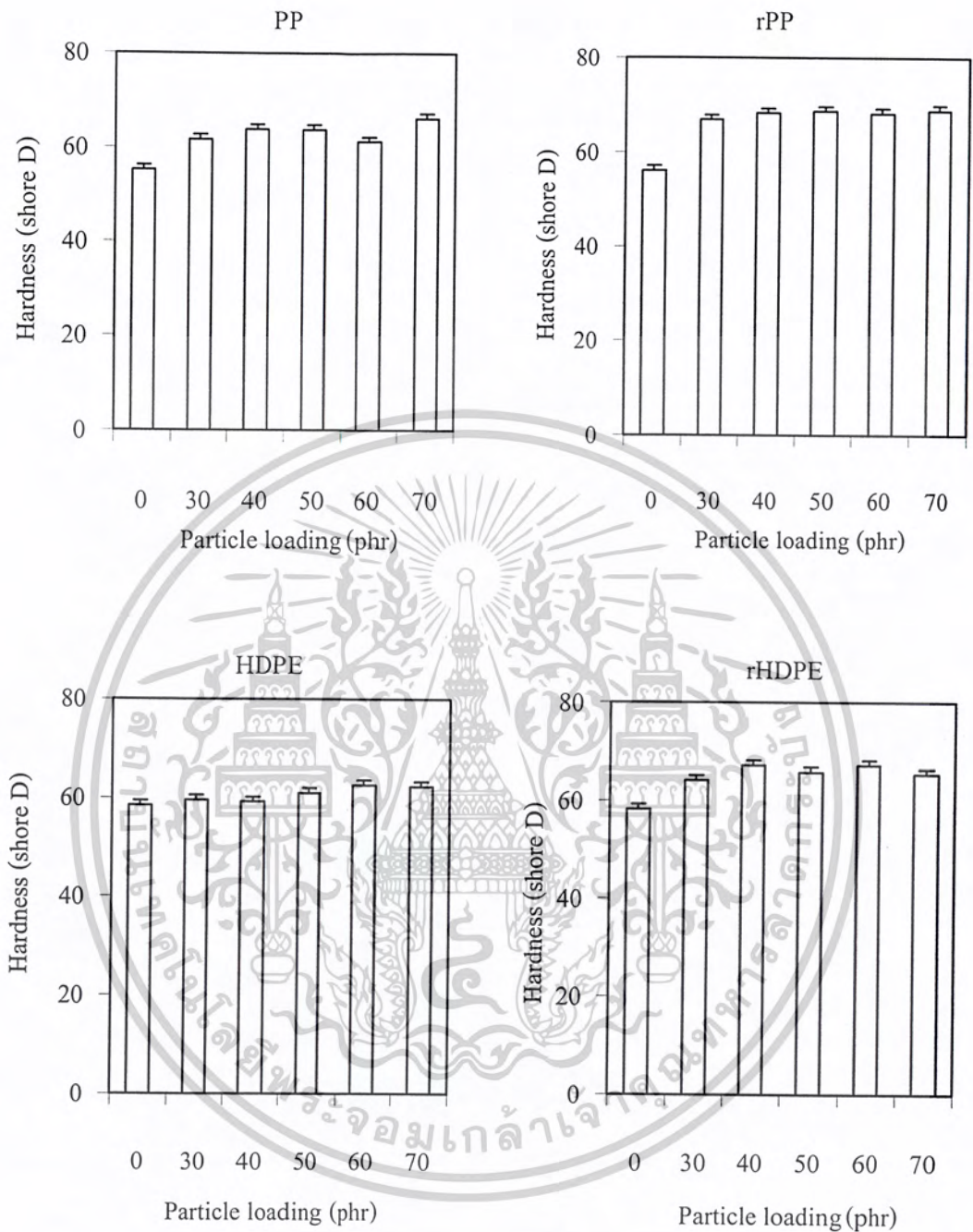
รูปที่ 4.3 ค่าเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาดของวัสดุผสมพอลิโอลิฟินส์กับผงหญาแฝกขนาด 20-50 mesh ในปริมาณ 0 30 40 50 60 และ 70 phr และปริมาณสารช่วยผสม 3%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



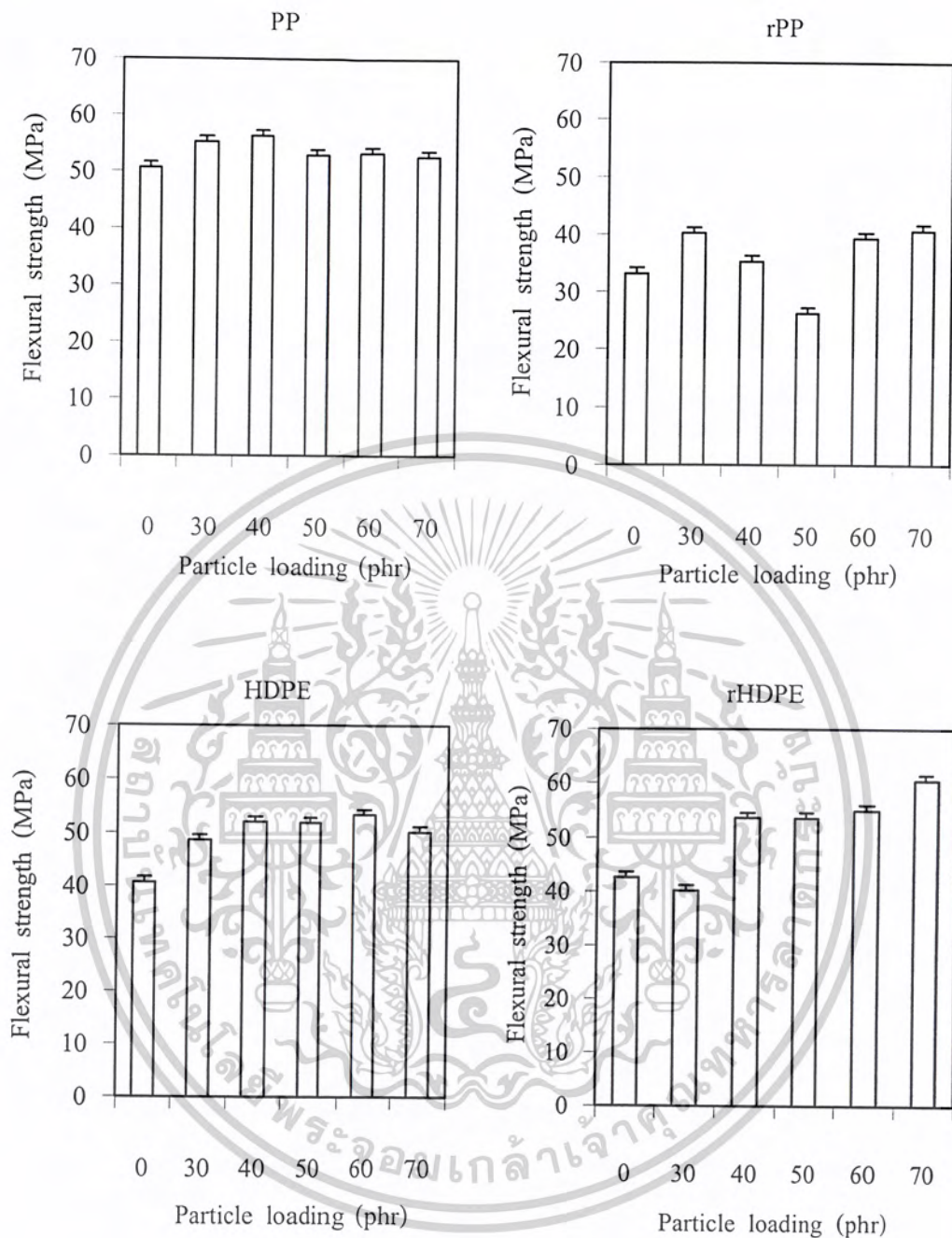
รูปที่ 4.4 ค่ามอดุลัสของวัสดุผสมพอลิโอเลฟินส์กับผงหญา่แฝกขนาด 20-50 mesh ในปริมาณ 0 30 40 50 60 70 phr และปริมาณสารช่วยผสม 3%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



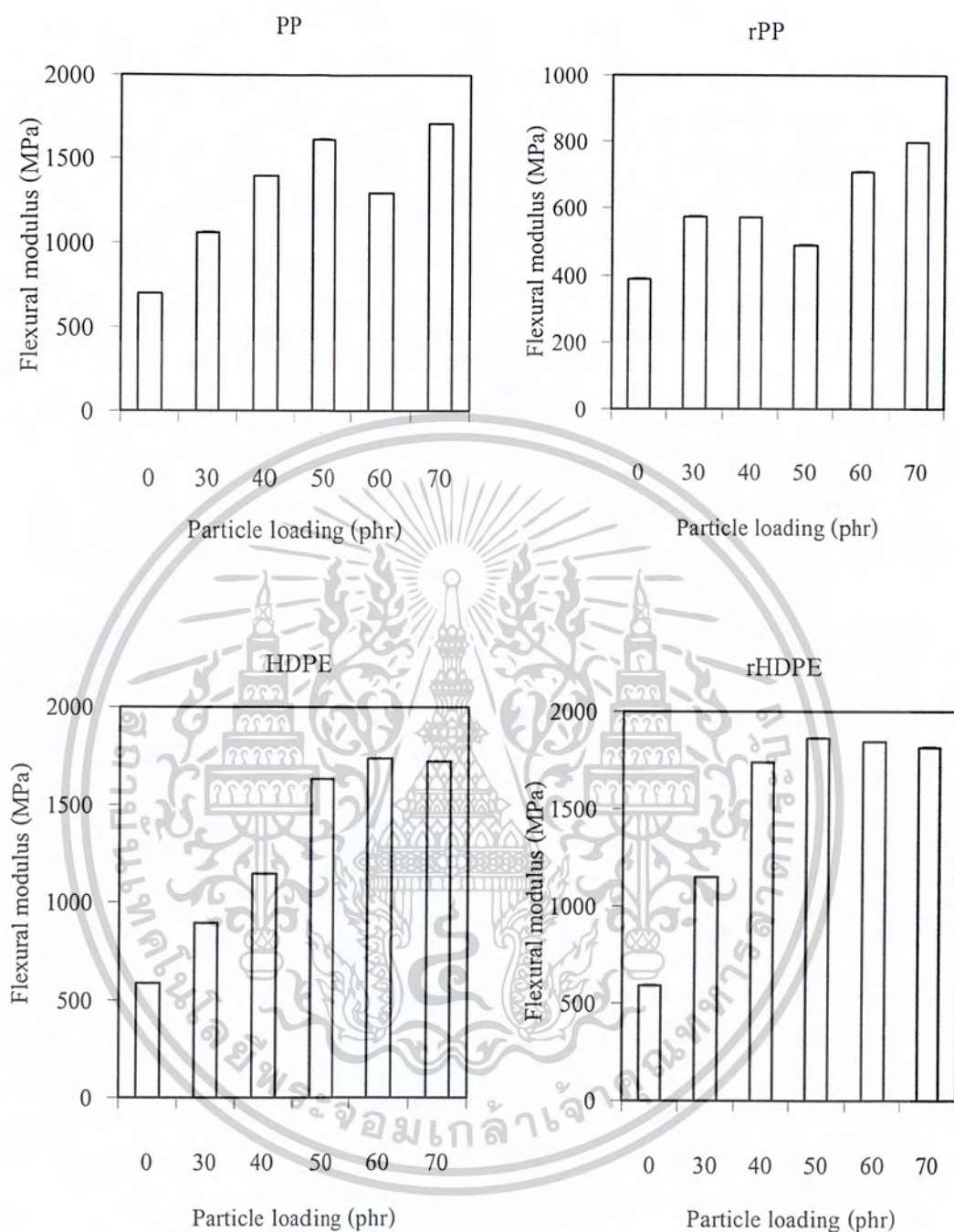
รูปที่ 4.5 ค่าความแข็งกด (shore D) ของวัสดุผสมพอลิโพลีฟินส์กับผงหญาแผ่นขนาด 20-50 mesh ในปริมาณ 0 30 40 50 60 และ 70 phr และปริมาณสารช่วยผสม 3%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 ค่าความแข็งแรงโค้งของวัสดุผสมพอลิโพลีฟินส์กับผงหญาแฝกขนาด 20-50 mesh ในปริมาณ 0 30 40 50 60 และ 70 phr และปริมาณสารช่วยผสม 3%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 ค่ามอดุลัสโค้งงอของวัสดุผสมพอลิโพลีฟินส์กับผงหญ้าแฝกขนาด 20-50 mesh ในปริมาณ 0 30 40 50 60 และ 70 phr และปริมาณสารช่วยผสม 3%

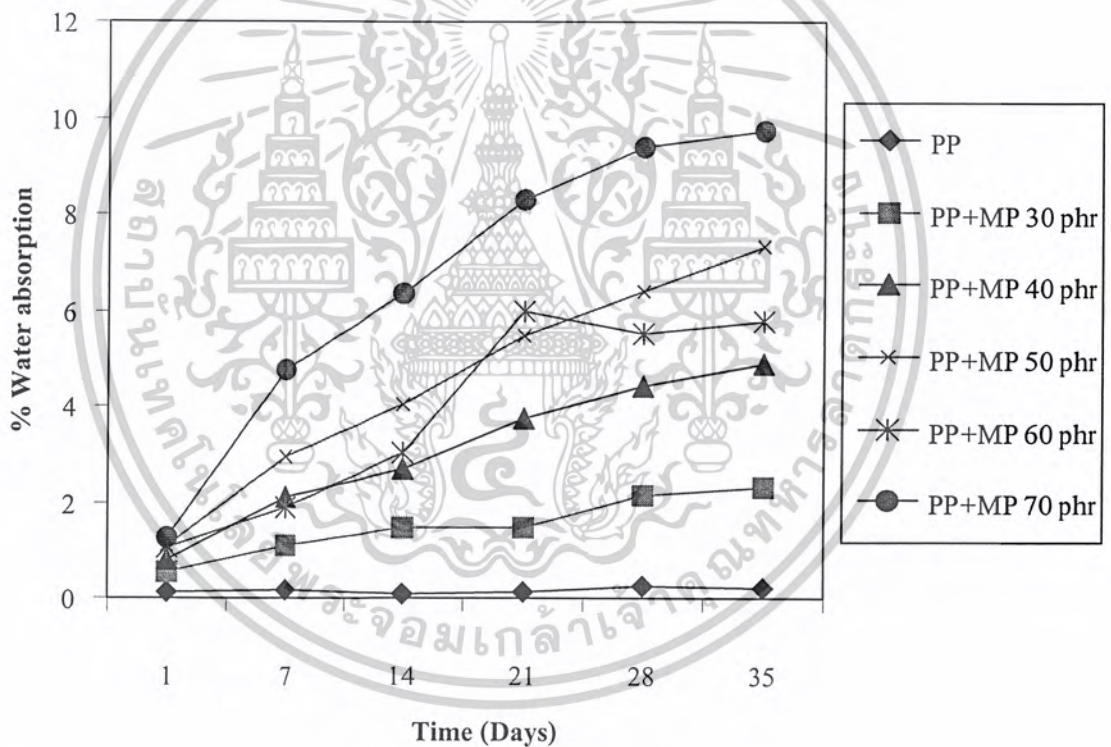
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2 การศึกษาสมบัติทางกายภาพ

4.1.2.1 การศึกษาสมบัติของวัสดุผสมพอลิโอฟีนส์กับผงหญาแฝกเมื่อทำการเปลี่ยนแปลงปริมาณผงหญาแฝกต่อปริมาณพอลิเมอร์ที่มีต่อสมบัติการดูดซับน้ำ

วัสดุผสม PP และ rPP กับผงหญาแฝก

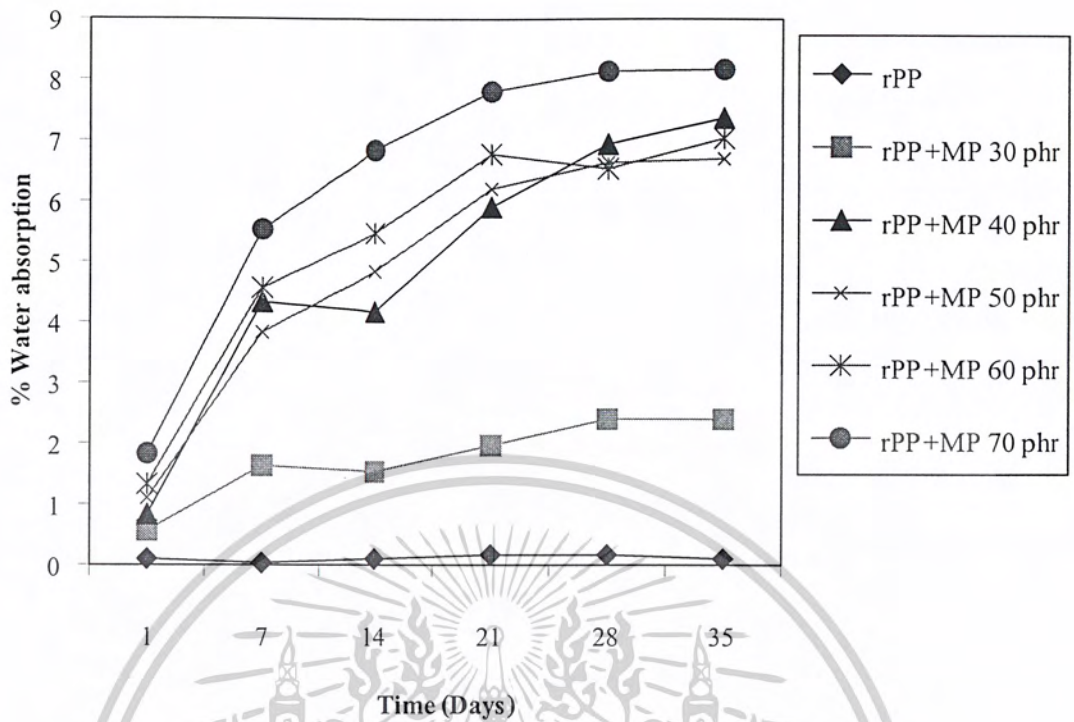
จากรูปที่ 4.8-4.9 จะเห็นได้ว่า เมื่อเพิ่มปริมาณผงหญาแฝกทำให้การดูดซับน้ำของวัสดุผสมมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงแรกและมีแนวโน้มคงที่เมื่อเวลาผ่านไป เนื่องจากผงหญาแฝกมีองค์ประกอบหลักเป็นเซลลูโลส ซึ่งมีหมู่ไฮดรอกซีเป็นจำนวนมากทำให้พื้นผิวเส้นใยมีขั้วจึงดูดซับน้ำได้มากขึ้น และเมื่อเพิ่มปริมาณผงหญาแฝกทำให้มีหมู่ที่เป็นขั้วมากขึ้น ค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำจึงเพิ่มขึ้น



รูปที่ 4.8 ค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำของวัสดุผสมพีพี (PP) กับผงหญาแฝกขนาด 20-50 mesh

ในปริมาณ 0 30 40 50 60 และ 70 phr และปริมาณ PP-g-MA 3%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

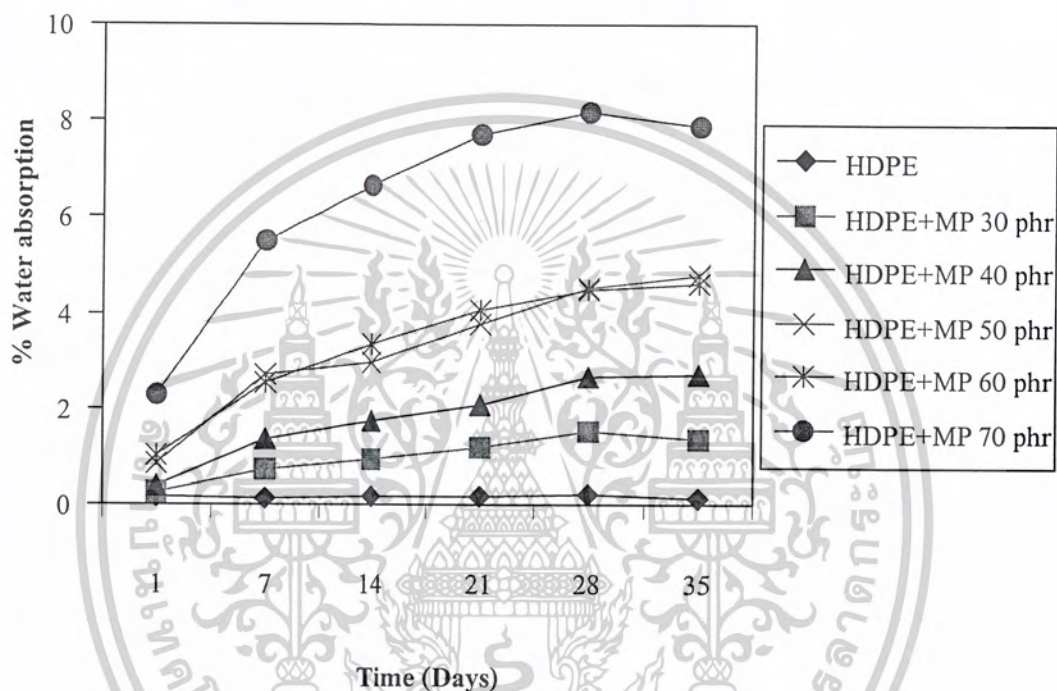


รูปที่ 4.9 ค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำของวัสดุผสมรีไซเคิลพีพี (rPP) กับผงหญ้าแฝกขนาด 20-50 mesh ในปริมาณ 0 30 40 50 60 และ 70 phr และปริมาณ PP-g-MA 3%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

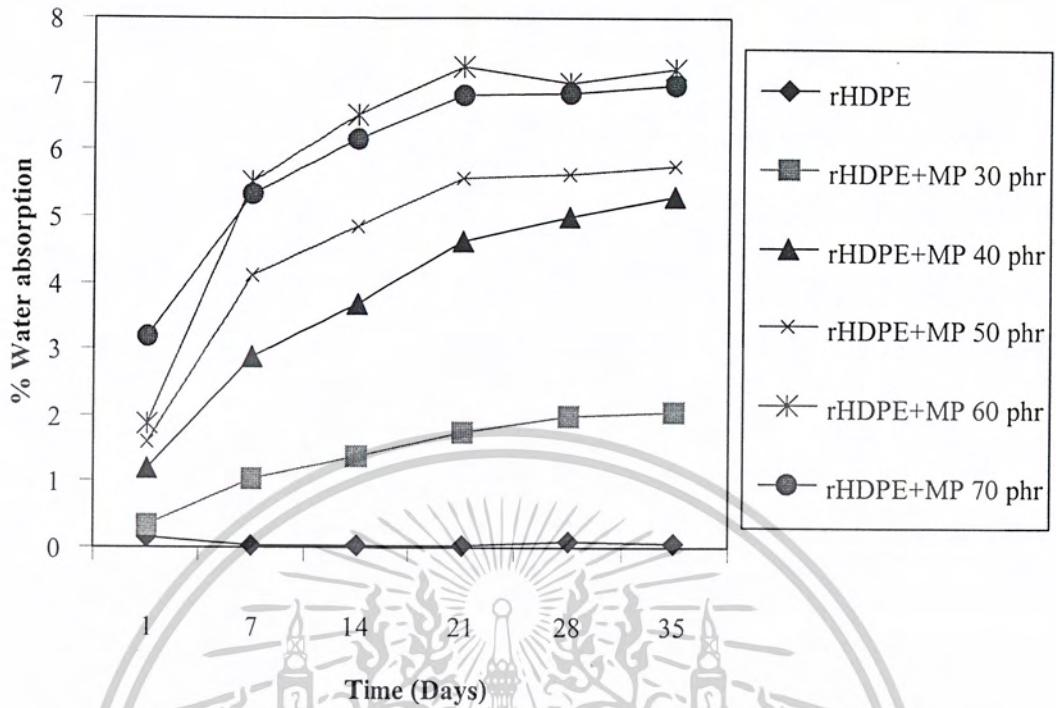
วัสดุผสม HDPE และ rHDPE กับผงหญาแฝก

จากรูปที่ 4.10-4.11 พบว่า การดูดซับน้ำเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณผงหญาแฝกเพิ่มขึ้นเนื่องจากวัสดุผสมมีความเป็นขั้วมากขึ้น ดังที่กล่าวไว้แล้วข้างต้น และเมื่อเวลาผ่านไปค่าการดูดซับน้ำมีแนวโน้มคงที่ เนื่องจากความสามารถในการดูดซับน้ำของวัสดุผสมถึงจุดอิ่มตัวจึงไม่สามารถดูดซับน้ำได้อีก



รูปที่ 4.10 ค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำของวัสดุผสมเอชดีพีอี (HDPE) กับผงหญาแฝกขนาด 20-50 mesh ในปริมาณ 0 30 40 50 60 และ 70 phr และปริมาณ PE-g-MA 3%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.11 ค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำของวัสดุผสมรีไซเคิลเอชดีพีอี (rHDPE) กับผงหญาแผก ขนาด 20-50 mesh ในปริมาณ 0 30 40 50 60 และ 70 phr และปริมาณ PE-g-MA 3%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.3 การศึกษาสมบัติทางความร้อน

วัสดุผสม PP และ rPP กับผงหญาแฝก

จากตารางที่ 4.1 จะเห็นได้ว่า เมื่อเติมผงหญาแฝกลงในพอลิเมอร์เมตริกซ์ อุณหภูมิการหลอมเหลวผลึก (T_m) และองศาความเป็นผลึก (%Crystallinity) มีแนวโน้มใกล้เคียงกับพอลิเมอร์บริสุทธิ์ (Pure polymer) แสดงว่าผงหญาแฝกไม่ได้ทำหน้าที่เป็นสารก่อผลึก (Nucleating agent) ใดๆ ก็ดี ผงหญาแฝกอาจทำให้ความหนืดของพอลิเมอร์หลอมเหลวสูงขึ้น เป็นผลให้ผลึกพอลิเมอร์มีขนาดเล็กลง (หรือ T_m ลดลงเล็กน้อย) รวมทั้งองศาความเป็นผลึกลดลง ใดๆ ก็ดีเมื่อพิจารณาความเป็นผลึกของรีไซเคิลพอลิเมอร์ พบว่าพอลิเมอร์ผสมผงหญาแฝกมีองศาความเป็นผลึกสูงขึ้นเล็กน้อยเมื่อผสมหญาแฝก แต่ไม่มีความสัมพันธ์แน่นอนกับปริมาณหญาแฝกที่เติม ทั้งนี้ อาจเนื่องจากรีไซเคิลพอลิเมอร์ผ่านกระบวนการขึ้นรูป หรือได้รับความร้อนหลอมเหลวผลึกพอลิเมอร์มาแล้ว การที่รีไซเคิลพอลิเมอร์ได้รับความร้อนขึ้นรูปใหม่อาจเกิดผลึกขนาดเล็กที่หลอมเหลวไม่หมดจากการให้ความร้อนครั้งแรก (Self seeding crystallization) หรืออาจเกิดผลึกจากสิ่งสกปรกหรือสารเติมแต่ง (Additives) จากกระบวนการผลิต ทำให้รีไซเคิลพอลิเมอร์มีองศาความเป็นผลึกสูงขึ้นเล็กน้อย เมื่อพิจารณาถึงปริมาณผงหญาแฝกที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ความหนืดของวัสดุผสมมากขึ้น ทำให้เกิดผลึกน้อยลงสามารถเกิดการหักล้างกันระหว่าง 2 ปัจจัยดังที่กล่าวมาข้างต้น ดังนั้นการเพิ่มปริมาณผงหญาแฝกจึงไม่มีผลต่อการเปลี่ยนของ T_m และองศาความเป็นผลึกมากนัก

วัสดุผสม HDPE และ rHDPE กับผงหญาแฝก

จากตารางที่ 4.2 พบว่าอุณหภูมิหลอมเหลวผลึก (T_m) และค่าองศาความเป็นผลึกมีแนวโน้มใกล้เคียงกัน ทั้งพอลิเมอร์บริสุทธิ์ (Pure polymer) และวัสดุผสมที่เติมผงหญาแฝก แสดงว่าปริมาณผงหญาแฝกที่ใส่ลงไปไม่ส่งผลต่อ T_m และองศาความเป็นผลึก ซึ่งสามารถอธิบายได้เช่นเดียวกับวัสดุผสมพีพีและรีไซเคิลพีพีกับผงหญาแฝก

ตารางที่ 4.1 ค่าอุณหภูมิหลอมเหลวผลึก (T_m) และ ค่าองศาความเป็นผลึก (%Crystallinity) ของวัสดุผสมพีพี (PP) และรีไซเคิลพีพี (rPP) กับผงหญาแฝก เมื่อทำการเพิ่มปริมาณผงหญาแฝก

สูตร	T_m (°C)	%Crystallinity
PP	165.352	46.290
PP + MP 30 phr	164.062	43.144
PP + MP 50 phr	163.570	40.802
PP + MP 70 phr	163.241	44.975
rPP	164.958	31.387
rPP + MP 30 phr	164.597	41.300
rPP + MP 40 phr	164.491	42.292
rPP + MP 50 phr	164.676	36.381
rPP + MP 60 phr	163.526	37.846
rPP + MP 70 phr	164.047	37.580

ตารางที่ 4.2 ค่าอุณหภูมิหลอมเหลวผลึก (T_m) และ ค่าองศาความเป็นผลึก (%Crystallinity) ของวัสดุผสมเอชดีพีอี (HDPE) และรีไซเคิลเอชดีพีอี (rHDPE) กับผงหญาแฝก เมื่อทำการเพิ่มปริมาณผงหญาแฝก

สูตร	T_m (°C)	%Crystallinity
HDPE	130.904	48.165
HDPE + MP 30 phr	129.296	54.718
HDPE + MP 50 phr	127.811	50.615
HDPE + MP 70 phr	128.152	50.270
rHDPE	129.966	45.366
rHDPE + MP 30 phr	129.814	47.548
rHDPE + MP 40 phr	132.513	59.569
rHDPE + MP 50 phr	131.508	39.898
rHDPE + MP 60 phr	129.654	44.934
rHDPE + MP 70 phr	130.548	47.615

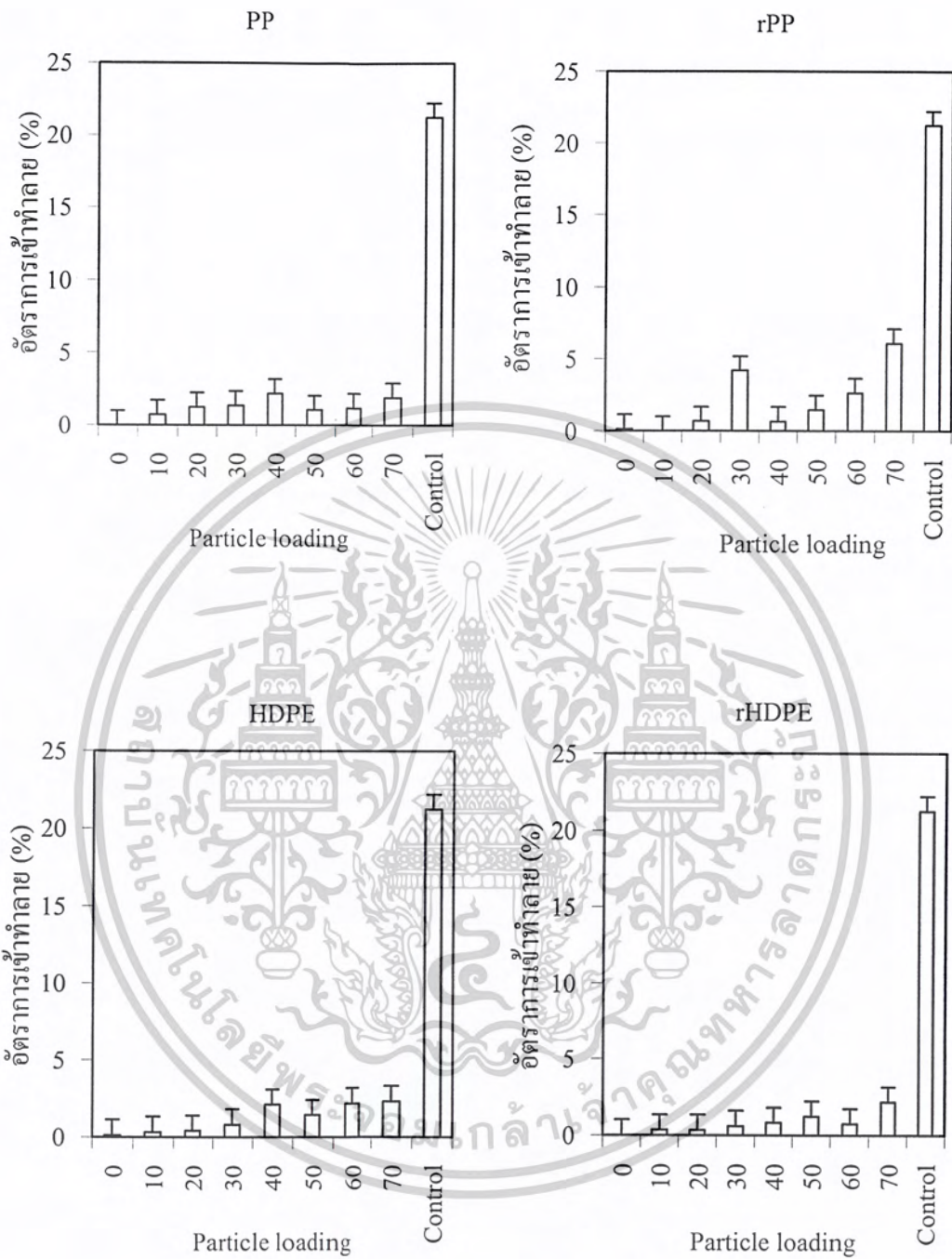
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.4 การศึกษาความทนทานของวัสดุผสมพอลิโพลีฟินส์กับผงหญ้าแฝกต่อการทำลายของปลวกใต้ดิน

จากรูปที่ 4.12 และภาคผนวก ข (ตารางที่ ข 5) เมื่อทำการเปรียบเทียบระหว่างไม้ยางพารา ซึ่งเป็นตัวควบคุม (Control) กับวัสดุผสมพอลิโพลีฟินส์กับผงหญ้าแฝก พบว่าการเข้าทำลายของปลวกในวัสดุผสมมีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับตัวควบคุม (21.23%) โดยอัตราการเข้าทำลายเป็นดังนี้ ช่วง 0-2.2% สำหรับพีพี ช่วง 0-6% สำหรับรีไซเคิลพีพี ช่วง 0-2.3% สำหรับเอชดีพีอี และช่วง 0-2.2% สำหรับรีไซเคิลเอชดีพีอี ซึ่งสามารถประเมินความเสียหายของวัสดุทดลองได้ว่า เกิดการทำลายผิววัสดุทดลองเพียงเล็กน้อย ทั้งนี้เนื่องจากปลวกไม่สามารถย่อยพอลิเมอร์ได้ และเมื่อพิจารณาการเพิ่มขึ้นของปริมาณผงหญ้าแฝกพบว่า ปริมาณผงหญ้าแฝกที่เพิ่มในวัสดุผสมทำให้อัตราการเข้าทำลายมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย เนื่องจากปลวกชอบที่จะเข้าทำลายไม้ (หญ้าแฝก) มากกว่าพอลิเมอร์ แต่ก็นับว่าวัสดุผสมพอลิโพลีฟินส์กับผงหญ้าแฝกมีความทนทานต่อการเข้าทำลายของปลวกอยู่ในระดับที่ “น่าพึงพอใจ” (Satisfactory)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.12 อัตราการเข้าทำลายของปลอกในวัสดุผสมพอลิโอลิฟินส์กับผงฐั่วเปลือกขนาด 20-50 mesh ในปริมาณ 0 10 20 30 40 60 และ 70 phr และปริมาณสารช่วยผสม 3 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การศึกษาพอลิเมอร์คอมโพสิตจากพอลิโอลิฟินส์ที่เตรียมจากเส้นใยหญ้าแฝก

ศึกษาผลของปริมาณเส้นใยหญ้าแฝกขนาด 20-50 mesh ที่เตรียมโดยวิธีทางความร้อนเชิงกล (Thermomechanical pulp, TMP) ซึ่งเป็นกระบวนการที่ใช้ความร้อนและความดันสูง ทำให้หญ้าแฝกกลายเป็น “เส้นใย” ไม่เป็น “ผง” เหมือนกระบวนการเชิงกลในตอนแรก เนื่องจากมีการกำจัดลิกนิน (Lignin) ออกบางส่วนในกระบวนการผลิต ทำให้ได้เส้นใยหญ้าแฝก เมื่อผสมกับพอลิเมอร์ทำให้ได้ของผสมที่เสริมแรงมีลักษณะเป็นวัสดุคอมโพสิต โดยการศึกษาหาปริมาณที่เหมาะสมสำหรับเติมในพอลิโอลิฟินส์เพื่อให้ได้คอมโพสิตที่มีสมบัติโดยรวมที่ดีที่สุด จะใช้ปริมาณเส้นใยหญ้าแฝก 0 30 40 50 60 และ 70 phr ตามลำดับ อีกทั้งยังทำการศึกษาชนิดของพอลิเมอร์เมตริกซ์ และเปรียบเทียบพอลิเมอร์ใหม่กับพอลิเมอร์ที่ใช้แล้ว

4.2.1 การศึกษาสมบัติเชิงกล

4.2.1.1 ศึกษาสมบัติของพอลิโอลิฟินส์คอมโพสิตที่เตรียมจากเส้นใยหญ้าแฝกเมื่อทำการ

เปลี่ยนแปลงปริมาณเส้นใยหญ้าแฝกต่อปริมาณพอลิเมอร์

PP และ rPP คอมโพสิตที่เตรียมจากเส้นใยหญ้าแฝก

จากรูปที่ 4.13 – 4.19 เมื่อพิจารณาผลของการเปลี่ยนแปลงปริมาณเส้นใยหญ้าแฝกที่เตรียมจากวิธีการทางความร้อนเชิงกลที่มีผลต่อสมบัติเชิงกลของพอลิพรอพิลีน (PP) คอมโพสิต ทั้งพอลิเมอร์และรีไซเคิล ได้แก่ ความแข็งแรงดึง (Tensile strength) เปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด (% Elongation at break) โมดูลัส (Modulus) ความแข็งแรงกระแทก (Impact strength) ความแข็งกด (Hardness) ความแข็งแรงโค้งงอ (Flexural strength) และโมดูลัส โค้งงอ (Flexural modulus) จะเห็นได้ว่า เมื่อทำการเพิ่มปริมาณเส้นใยหญ้าแฝกมากขึ้นทำให้ความแข็งแรงดึงมีค่าเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากเส้นใยหญ้าแฝกที่เติมลงไปทำหน้าที่เสริมแรง (Reinforcement) ให้กับคอมโพสิต ดังนั้นคอมโพสิตจึงสามารถรับแรงกระทำได้มากขึ้น โดยปริมาณเส้นใยหญ้าแฝกที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 40-60 phr แต่ถ้าเพิ่มปริมาณเส้นใยหญ้าแฝกมากเกินไป (70 phr) จะทำให้ค่าความแข็งแรงดึงลดลง เนื่องจากเส้นใยมีน้ำหนักเบา การใช้เส้นใยปริมาณมากทำให้เกิดการผสมเข้ากับพอลิเมอร์ยาก ดังนั้นการกระจายตัวของเส้นใยหญ้าแฝกในพอลิเมอร์เมตริกซ์จึงไม่สม่ำเสมอ ทำให้เส้นใยหญ้าแฝกอาจเกิดการจับตัวกันเองทำให้ความสามารถในการรับแรงลดลง

เมื่อเติมเส้นใยหญ้าแฝกลงในพีพีและรีไซเคิลพีพี เป็นผลให้ความแข็งแรงกระแทกลดลง เนื่องจากเส้นใยหญ้าแฝกที่เติมลงไป ทำให้เกิดความแตกต่างระหว่างพอลิเมอร์เมตริกซ์กับเส้นใยหญ้าแฝกเกิดบริเวณอินเตอร์เฟซ ดังนั้นความสามารถในการยึดติดกันระหว่าง 2 วัสดุจะลดลงเป็นผลให้พอลิเมอร์คอมโพสิตรับแรงได้น้อยลง แต่เมื่อพิจารณาความแตกต่างของปริมาณเส้นใยหญ้าแฝกที่เติมลงไป พบว่าค่าความแข็งแรงกระแทกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ทั้งนี้เนื่องจากแรงกระทำตั้งฉากกับการจัดเรียงตัวของเส้นใย ดังนั้นเส้นใยหญ้าแฝกจึงช่วยรับและกระจายแรงได้ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยหญ้าแฝกในวัสดุมากขึ้นจะทำให้เปอร์เซ็นต์การยึด ผน จุดขาดลดลง เนื่องจากเส้นใยหญ้าแฝกไปแทรกตัวอยู่ในพอลิเมอร์เมตริกซ์ทำให้ความต่อเนื่องของพอลิเมอร์เมตริกซ์ลดลง เป็นผลให้ความสามารถในการดึงยึดลดลง ซึ่งปรากฏการณ์นี้เป็นสิ่งที่พบปกติทั่วไปกับวัสดุคอมโพสิตเมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใย

สำหรับมอดุลัสและความแข็งแรงกมมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณเส้นใยหญ้าแฝกเพิ่มขึ้นเนื่องจากเส้นใยที่เติมลงไปทำหน้าที่เป็นส่วนเสริมแรงในคอมโพสิต อีกทั้งเส้นใยมีค่ามอดุลัสสูงกว่าพอลิเมอร์เมตริกซ์ ดังนั้นพอลิเมอร์คอมโพสิตจึงมีความแข็งแรงมากขึ้น

ความแข็งแรง โด่งงอมมีค่าใกล้เคียงกันและมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยหญ้าแฝก เนื่องจากเส้นใยหญ้าแฝกที่เติมลงไปทำหน้าที่เสริมแรงให้กับคอมโพสิต โดยแรงกดที่ทำให้จะตั้งฉากกับการจัดเรียงตัวของเส้นใยทำให้คอมโพสิตสามารถรับแรงกดได้มาก และมอดุลัส โด่งงอมมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยหญ้าแฝกเนื่องจากการเพิ่มความแข็งแรงให้กับคอมโพสิต

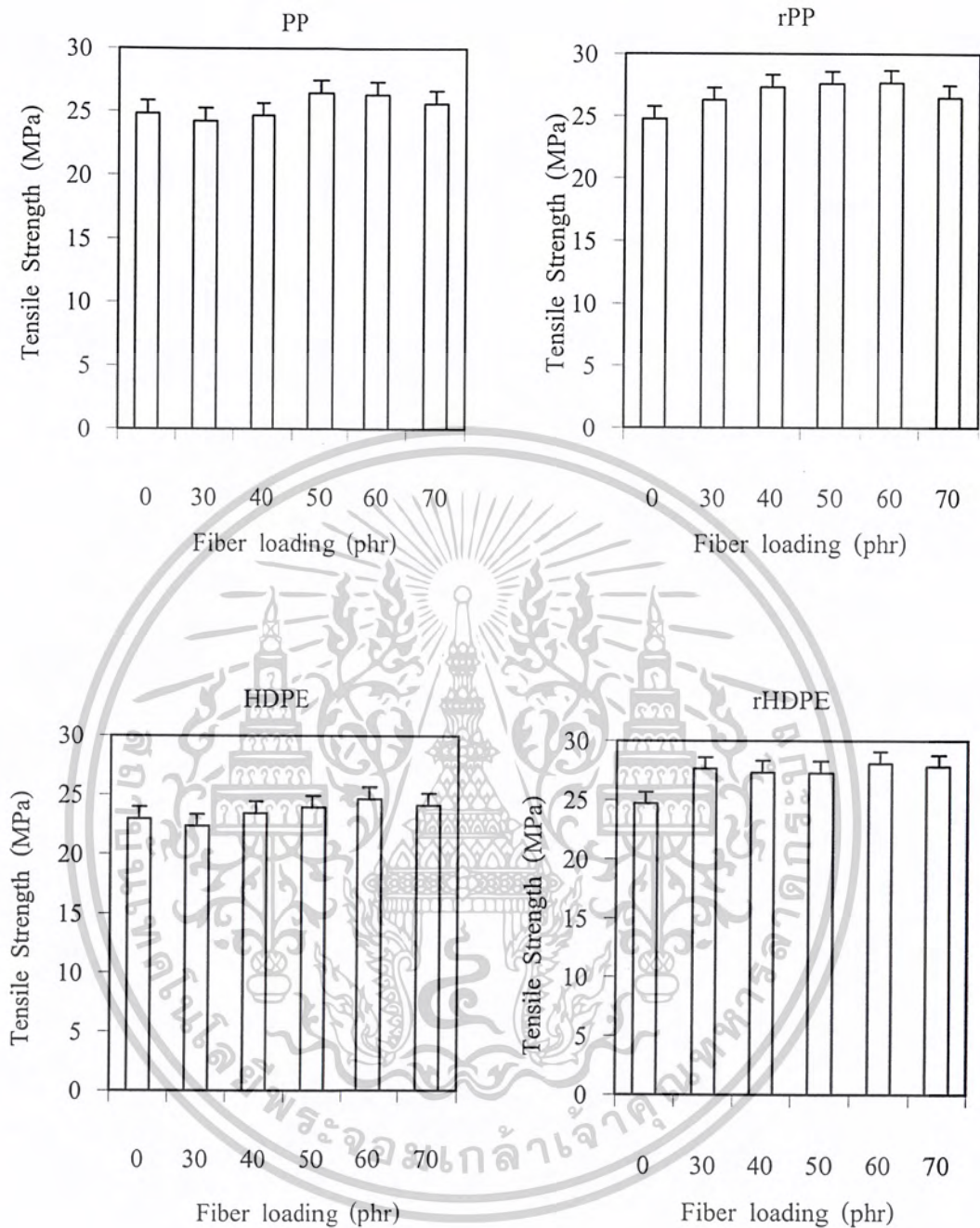
HDPE และ rHDPE คอมโพสิตที่เตรียมจากเส้นใยหญ้าแฝก

จากรูปที่ 4.13 - 4.19 เมื่อพิจารณาผลของการเปลี่ยนแปลงปริมาณเส้นใยหญ้าแฝกที่เตรียมจากวิธีการทางความร้อนเชิงกลที่มีผลต่อสมบัติเชิงกลของเอชดีพีอีคอมโพสิต ทั้งพอลิเมอร์บริสุทธิ์และรีไซเคิล พบว่าเมื่อทำการเพิ่มปริมาณเส้นใยหญ้าแฝก ความแข็งแรงดึงมีค่ามากขึ้น เนื่องจากเส้นใยหญ้าแฝกที่เติมลงไปทำหน้าที่เสริมแรงให้กับเอชดีพีอีคอมโพสิต โดยสามารถอธิบายได้เช่นเดียวกับพีพีและรีไซเคิลพีพีคอมโพสิต สำหรับความแข็งแรงกระแทกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณเส้นใยหญ้าแฝกเพิ่มขึ้น โดยเหตุผลสามารถอธิบายได้เช่นเดียวกับพีพีและรีไซเคิลพีพี และเมื่อปริมาณเส้นใยหญ้าแฝกในพอลิเมอร์เมตริกซ์เพิ่มขึ้นจะทำให้เปอร์เซ็นต์การยึด ผน จุดขาดลดลงเนื่องจากความต่อเนื่องของวัสดุภาคน้อยลง

สำหรับมอดุลัสและความแข็งแรงกมมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณเส้นใยหญ้าแฝกมากขึ้นเนื่องจากเส้นใยทำหน้าที่เป็นส่วนเสริมแรง ทำให้คอมโพสิตมีความแข็งแรงมากขึ้น จึงมีความต้านทานต่อการเปลี่ยนรูปร่างได้สูง

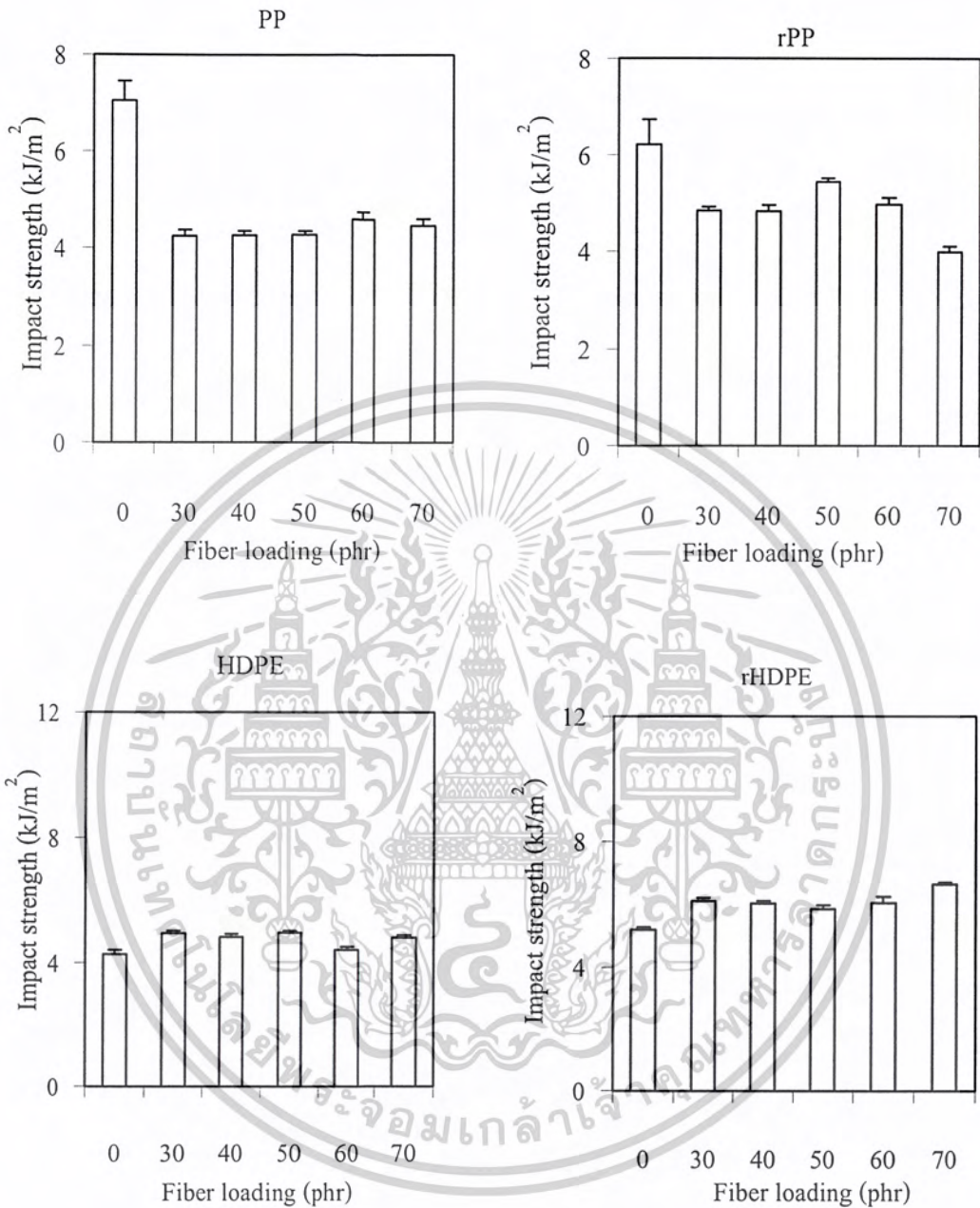
เมื่อพิจารณาถึงความแข็งแรงโด่งงอ พบว่ามีค่าใกล้เคียงกันและมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ทั้งนี้มอดุลัสโด่งงอมีค่าเพิ่มขึ้นด้วยเมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยหญ้าแฝก เนื่องจากความแข็งแรงของคอมโพสิตมากขึ้น โดยเหตุผลสอดคล้องกับพีพีคอมโพสิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



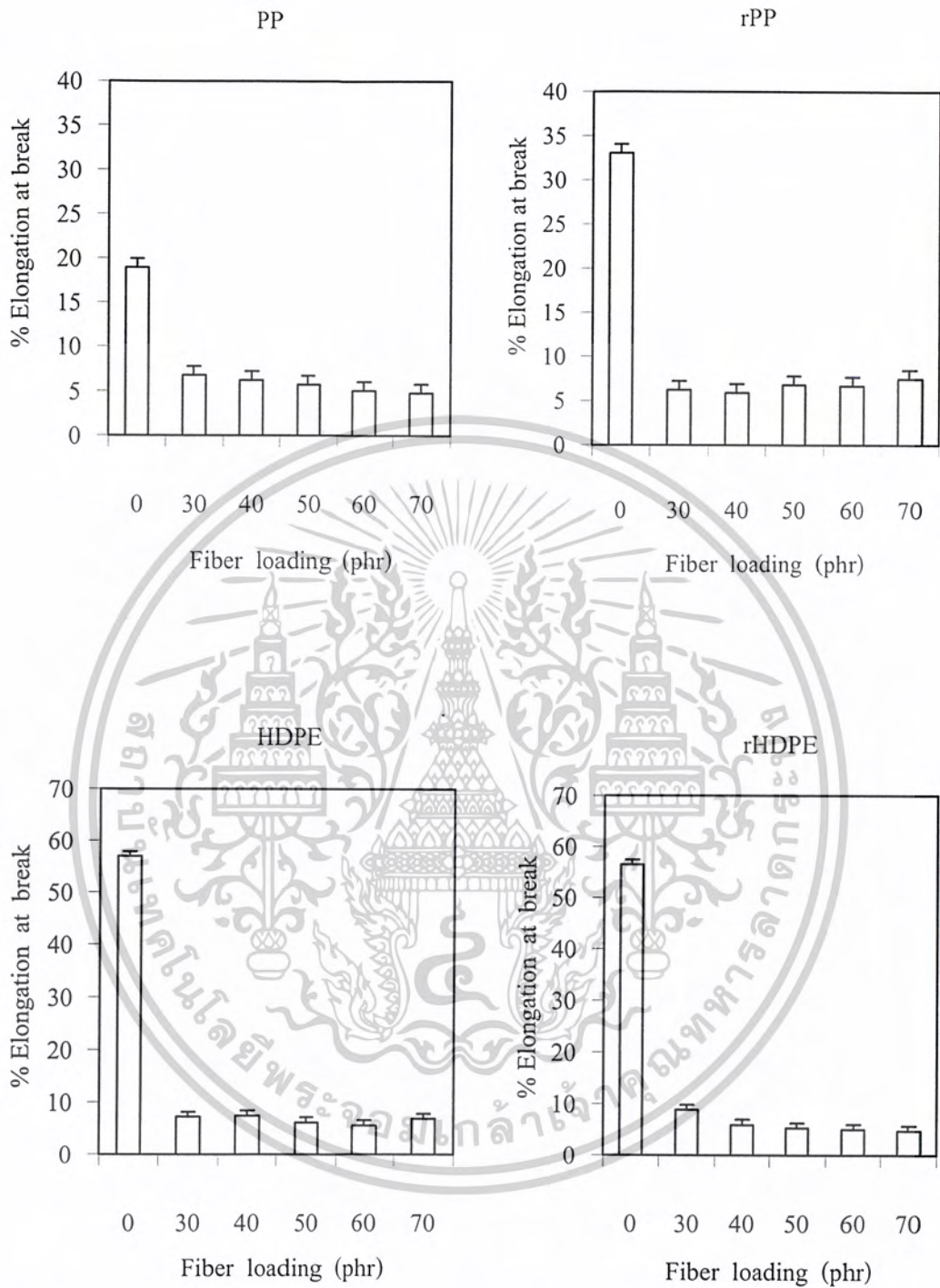
รูปที่ 4.13 ค่าความแข็งแรงดึงของพอลิโพลีฟีนส์คอมโพสิตที่เตรียมจากเส้นใยหญ้าแฝกขนาด 20-50 mesh ในปริมาณ 0 30 40 50 60 และ 70 phr และปริมาณสารช่วยผสม 3%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



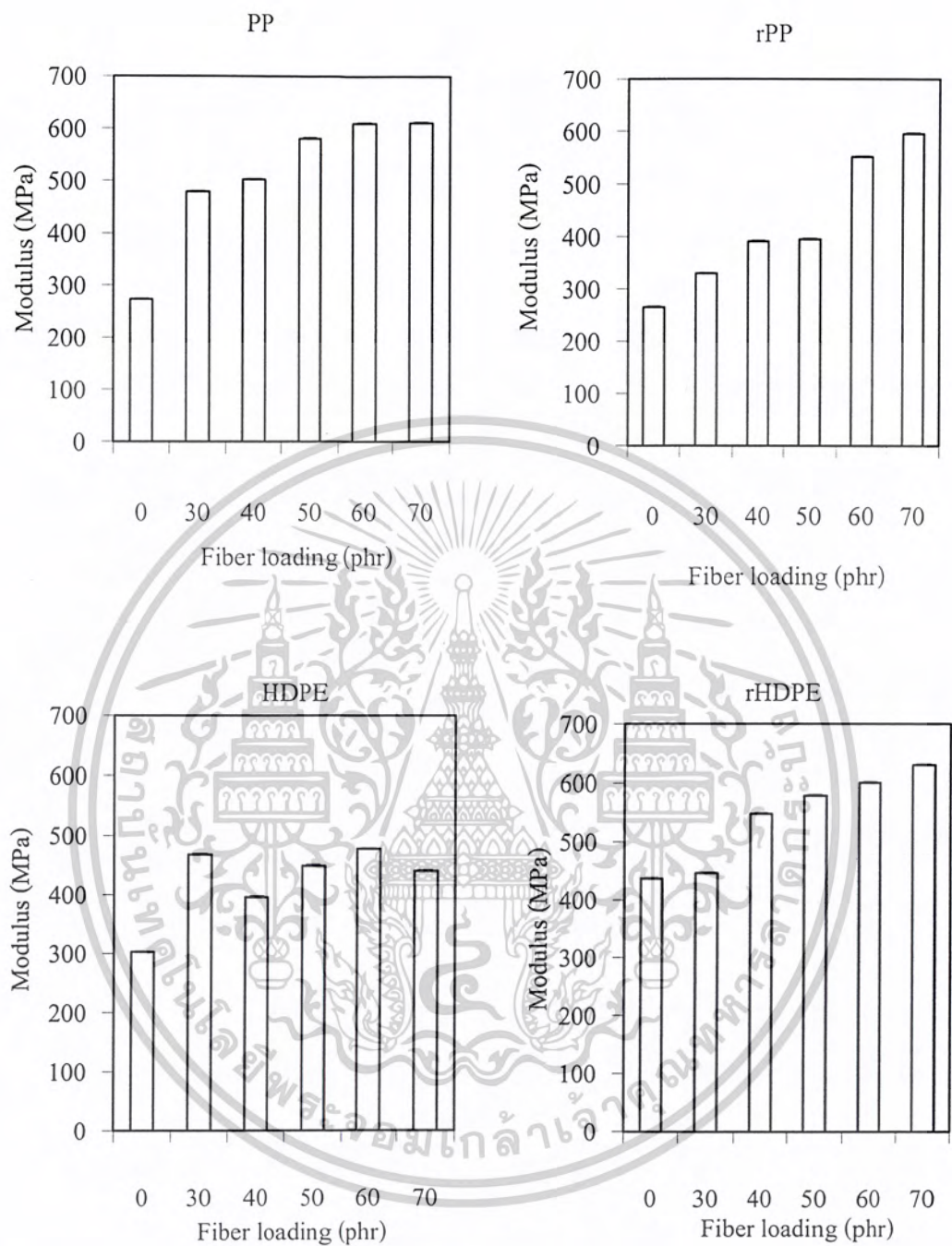
รูปที่ 4.14 ค่าความแข็งแรงกระแทกของพอลิโพลีฟีนส์คอมโพสิตที่เตรียมจากเส้นใยหญ้าแฝก ขนาด 20-50 mesh ในปริมาณ 0 30 40 50 60 และ 70 phr และปริมาณสารช่วยผสม 3%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



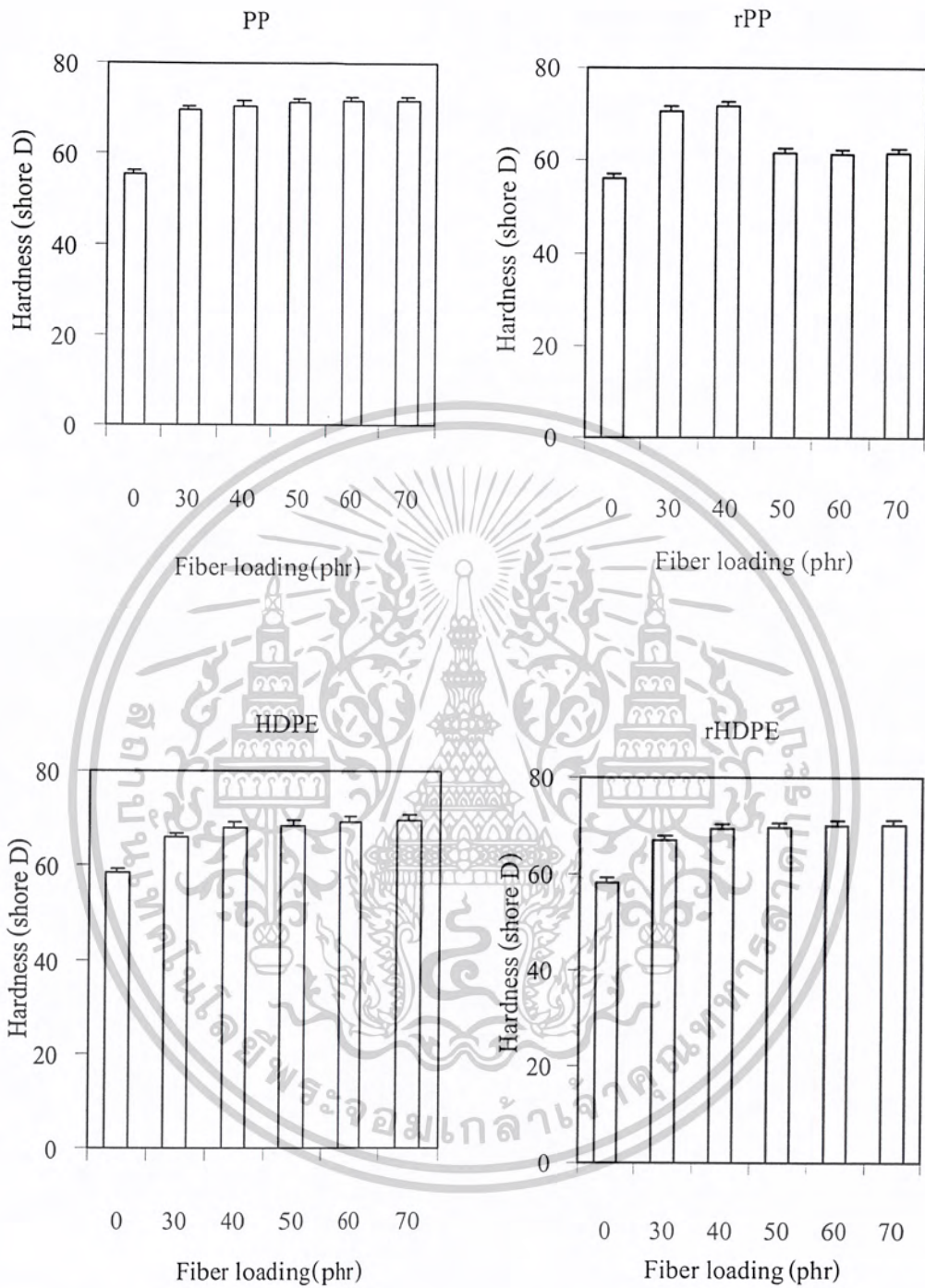
รูปที่ 4.15 ค่าเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาดของพอลิโพลิฟีนีสคอมโพสิตที่เตรียมจากเส้นใยหญ้าแฝก ขนาด 20-50 mesh ในปริมาณ 0 30 40 50 60 และ 70 phr และปริมาณสารช่วยผสม 3%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



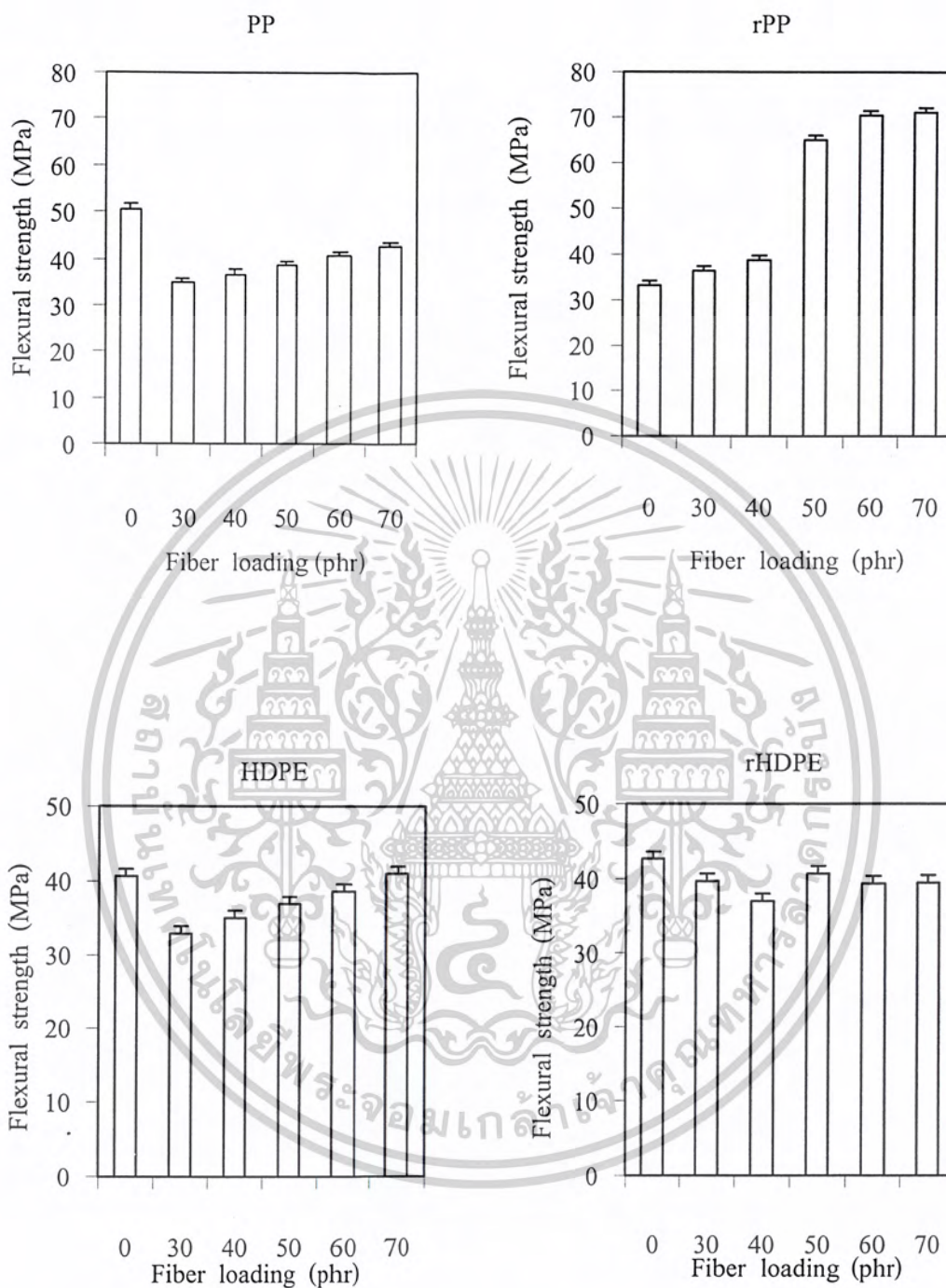
รูปที่ 4.16 ค่ามอดุลัสของพอลิโพลิฟินส์คอม โพลีตีที่เตรียมจากเส้นใยหญ้าแฝกขนาด 20-50 mesh ในปริมาณ 0 30 40 50 60 และ 70 phr และปริมาณสารช่วยผสม 3%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



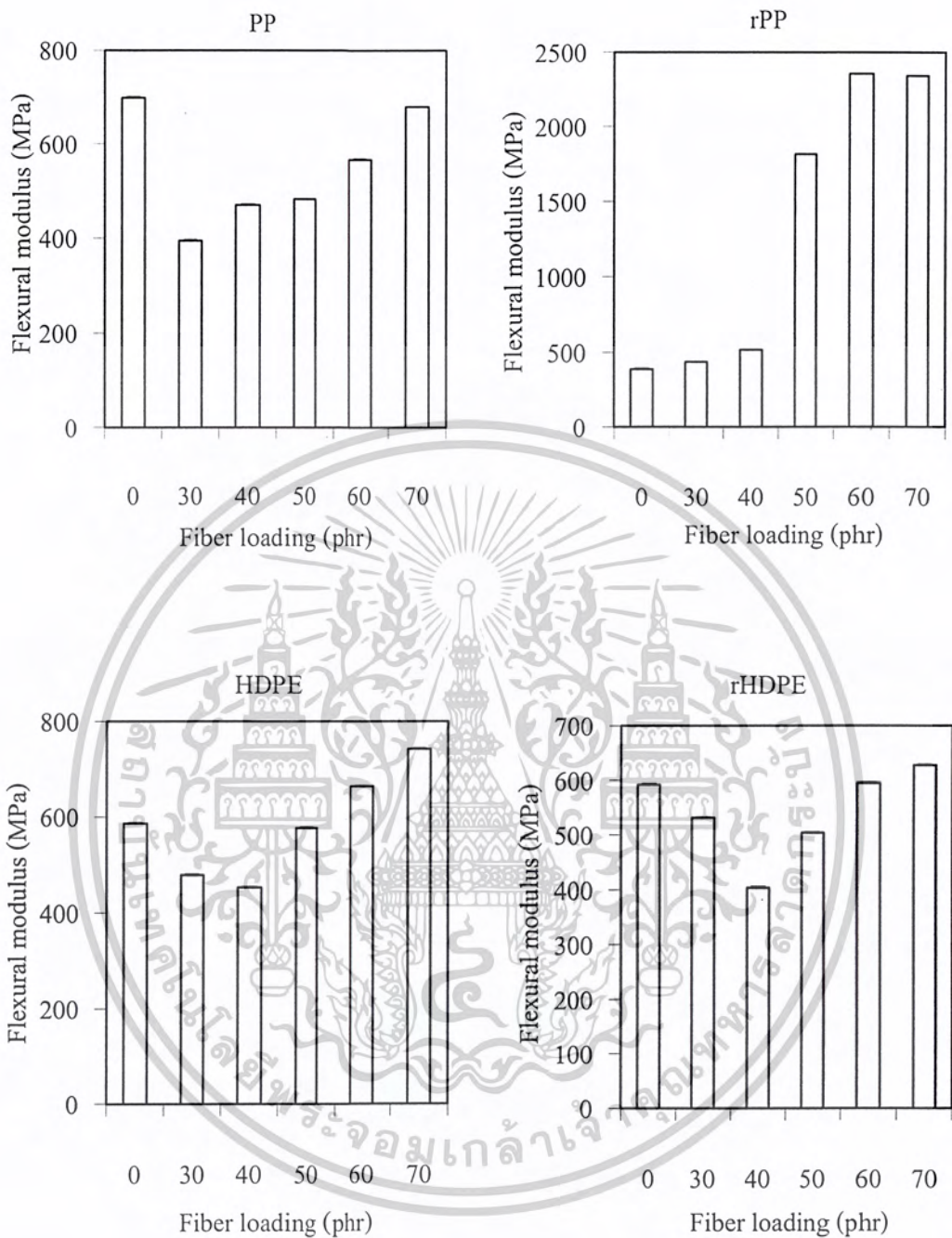
รูปที่ 4.17 ค่าความแข็งกด (shore D) ของพอลิโพลีฟินส์คอมโพสิตที่เตรียมจากเส้นใยหูกู้แปะ ขนาด 20-50 mesh ในปริมาณ 0 30 40 50 60 และ 70 phr และปริมาณสารช่วยผสม 3%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.18 ค่าความแข็งแรงโค้งของพอลิโพลีฟีนีสติกคอมโพสิตที่เตรียมจากเส้นใยหญ้าแฝกขนาด 20-50 mesh ในปริมาณ 0 30 40 50 60 และ 70 phr และปริมาณสารช่วยผสม 3%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.19 ค่ามอดูลัสโค้งงอของพอลิโพลิฟินส์คอมโพสิตที่เตรียมจากเส้นใยหญ้าแฝกในปริมาณ 0 30 40 50 60 และ 70 phr และปริมาณสารช่วยผสม 3%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 การศึกษาสมบัติทางกายภาพ

4.2.2.1 การศึกษาสมบัติของพอลิโอฟีนีสคอมโพสิตที่เตรียมจากเส้นใยหญ้าแฝกเมื่อทำการเปลี่ยนแปลงปริมาณเส้นใยหญ้าแฝกต่อปริมาณพอลิเมอร์ที่มีต่อสมบัติการดูดซับน้ำ PP และ rPP คอมโพสิตที่เตรียมจากเส้นใยหญ้าแฝก

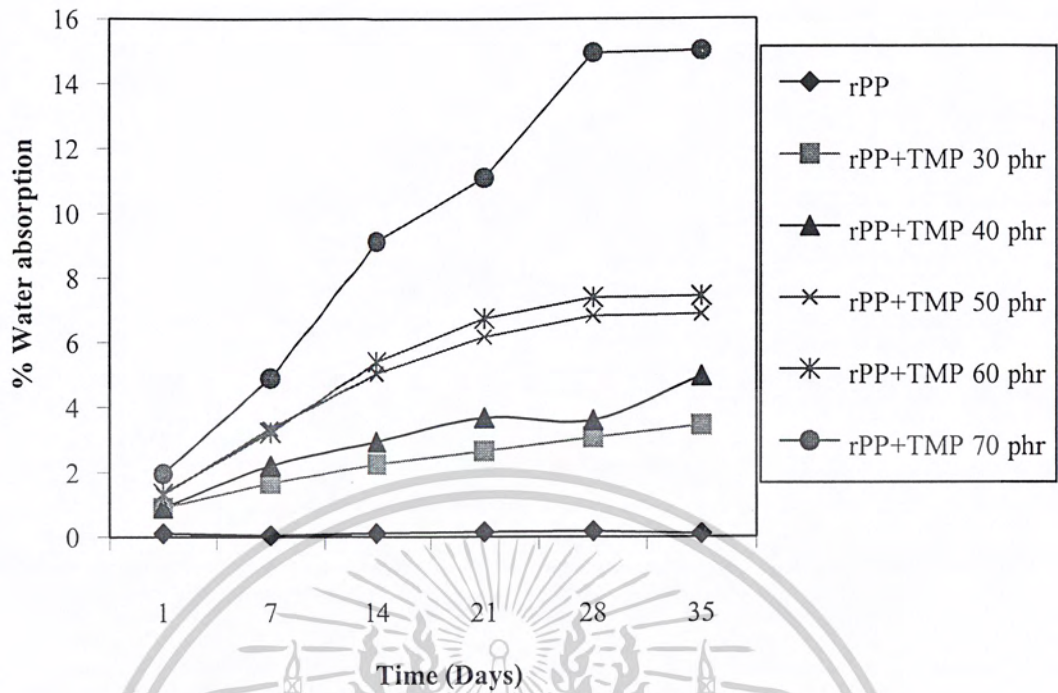
จากรูปที่ 4.20 - 4.21 จะเห็นได้ว่า เมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยหญ้าแฝกทำให้การดูดซับน้ำของคอมโพสิตมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงแรกและมีแนวโน้มคงที่เมื่อเวลาผ่านไป เนื่องจากเส้นใยหญ้าแฝกมีองค์ประกอบหลักเป็นเซลลูโลส ซึ่งมีหมู่ไฮดรอกซีเป็นจำนวนมากทำให้พื้นผิวเส้นใยมีขั้วจึงดูดซับน้ำได้มากขึ้น และเมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยหญ้าแฝกทำให้มีหมู่ที่เป็นขั้วมากขึ้น ค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำจึงเพิ่มขึ้น



รูปที่ 4.20 ค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำของพีพี (PP) คอมโพสิตที่เตรียมจากเส้นใยหญ้าแฝก

ขนาด 20-50 mesh ในปริมาณ 0 30 40 50 60 และ 70 phr และปริมาณ PP-g-MA 3%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

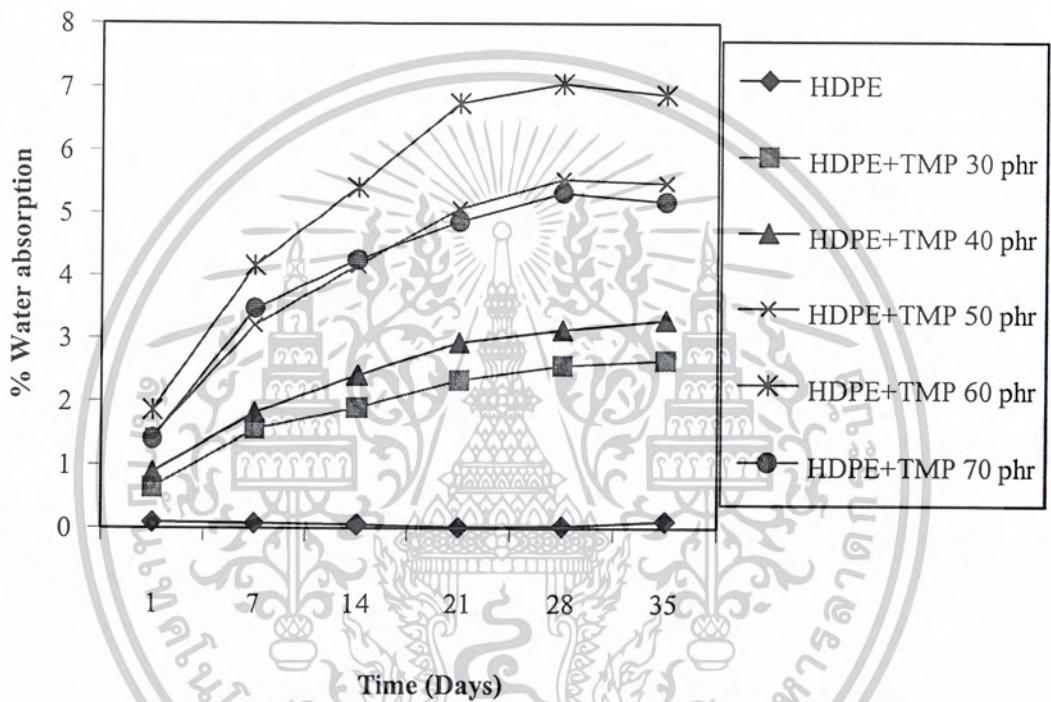


รูปที่ 4.21 ค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำของรีไซเคิลพีพี (rPP) คอมโพสิตที่เตรียมจากเส้นใยหญ้าแฝก ขนาด 20-50 mesh ในปริมาณ 0 30 40 50 60 และ 70 phr และปริมาณ PP-g-MA 3%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

HDPE และ rHDPE คอมโพลีเมอร์ที่เตรียมจากเส้นใยหญ้าแฝก

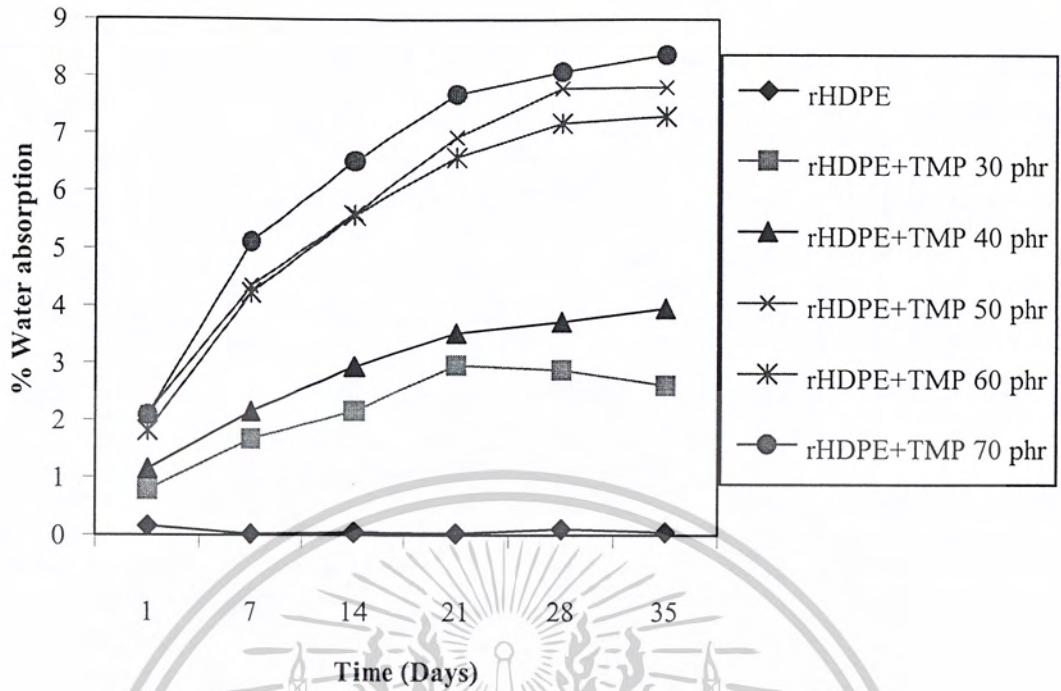
จากรูปที่ 4.22-4.23 พบว่า เปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณเส้นใยหญ้าแฝกเพิ่มขึ้นเนื่องจากคอมโพลีเมอร์มีความเป็นขี้วมมากขึ้นดังที่กล่าวไว้แล้วข้างต้น และเมื่อเวลาผ่านไปค่าการดูดซับน้ำมีแนวโน้มคงที่ เนื่องจากความสามารถในการดูดซับน้ำของคอมโพลีเมอร์ถึงจุดอิ่มตัวจึงไม่สามารถดูดซับน้ำได้อีก



รูปที่ 4.22 ค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำของเอชดีพีอี (HDPE) คอมโพลีเมอร์ที่เตรียมจากเส้นใยหญ้าแฝก

ขนาด 20-50 mesh ในปริมาณ 0 30 40 50 60 และ 70 phr และปริมาณ PE-g-MA 3%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.23 ค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำของรีไซเคิลเอชดีพีอี (rHDPE) คอมโพลีเมอร์ที่เตรียมจากเส้นใยหญ้าแฝกขนาด 20-50 mesh ในปริมาณ 0 30 40 50 60 และ 70 phr และปริมาณ PE-g-MA 3%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3 การศึกษาสมบัติทางความร้อน

จากตารางที่ 4.3 และภาคผนวก ค (ตารางที่ ค 3) จะเห็นได้ว่า อุณหภูมิการหลอมเหลวผลึก (T_m) และองศาความเป็นผลึก (%Crystallinity) มีแนวโน้มใกล้เคียงกับพอลิเมอร์บริสุทธิ์ (Pure polymer) แสดงว่าเส้นใยหญ้าแฝกไม่ได้ทำหน้าที่เป็นสารก่อผลึก (Nucleating agent) อย่างไรก็ตาม เส้นใยหญ้าแฝกอาจทำให้ความหนืดของพอลิเมอร์หลอมเหลวสูงขึ้น เป็นผลให้ผลึกพอลิเมอร์มีขนาดเล็กลง (หรือ T_m ลดลงเล็กน้อย) รวมทั้งองศาความเป็นผลึกลดลง

ตารางที่ 4.3 ค่าอุณหภูมิหลอมเหลวผลึก (T_m) และ ค่าองศาความเป็นผลึก (%Crystallinity) ของ พีพี รีไซเคิลพีพี เอชดีพีอี และรีไซเคิลเอชดีพีอีคอมโพสิตกับเส้นใยหญ้าแฝก เมื่อทำการเพิ่มปริมาณเส้นใยหญ้าแฝก

สูตร	T_m ($^{\circ}\text{C}$)	%Crystallinity
PP	165.352	46.290
PP + TMP 40 phr	164.093	43.351
rPP	164.958	31.387
rPP + TMP 40 phr	165.149	38.676
HDPE	130.904	48.165
HDPE + TMP 40 phr	129.688	53.499
rHDPE	129.966	45.366
rHDPE + TMP 40 phr	130.937	48.635

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 การเปรียบเทียบสมบัติโดยรวมของวัสดุผสมพอลิโอลิฟินส์กับผงหญาแฝกและเส้นใยหญาแฝก

ตารางที่ 4.4 เปรียบเทียบสมบัติโดยรวมของวัสดุผสมพอลิโอลิฟินส์กับผงหญาแฝก 50 phr และ พอลิโอลิฟินส์คอม โพลิตที่เตรียมจากเส้นใยหญาแฝก 50 phr

สมบัติเชิงกล	ผงหญาแฝก (MP) 50 phr		เส้นใยหญาแฝก (TMP) 50 phr	
	PP	HDPE	PP	HDPE
Tensile strength (MPa)	22.5	22.8	26.5	23.9
Impact (kJ/m ²)	3.4	3.9	4.3	4.9
%Elongation at break	6.4	6.0	5.7	6.1
Modulus (MPa)	394.3	460.7	580.1	448.8
Hardness (Shore D)	63.8	61.0	71.2	68.6
Flexural strength (MPa)	52.9	51.8	38.4	36.9
Flexural modulus (MPa)	1614.9	1632.6	482.2	577.1
%Water absorption (35 days)	7.3	4.8	5.3	5.5
%อัตราการเข้าทำลายของปลวก	1.4	1.1	n/a	n/a

หมายเหตุ n/a คือ ไม่มีข้อมูล (Not available)

เมื่อพิจารณตารางที่ 4.4 แสดงสมบัติบางประการของวัสดุผสมพอลิโอลิฟินส์ (พีพีและเอชดีพีอี) กับผงหญาแฝก (MP) และเส้นใยหญาแฝก (TMP) เพื่อเปรียบเทียบผลของชนิดเมตริกซ์และชนิดของเส้นใย โดยใช้ปริมาณหญาแฝกเท่ากันที่ 50 phr ในกรณีที่ใช้ผงหญาแฝกเป็นสารตัวเติมพบว่า วัสดุผสมเอชดีพีอีมีความแข็งแรงมากกว่าพีพี โดยดูจากค่าความแข็งแรงดึง ความแข็งแรงกระแทก เปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด และมอดุลัส เนื่องจากเอชดีพีอีที่ใช้ในงานวิจัยนี้มีน้ำหนักโมเลกุลมากกว่าพีพี ($MFI_{HDPE} = 18 \text{ g/10min}$ เทียบกับ $MFI_{PP} = 40 \text{ g/10min}$) เอชดีพีอีจึงมีความแข็งแรงมากกว่าพีพี เมื่อพิจารณาการใช้เส้นใยหญาแฝกเป็นสารตัวเติมพบว่า ความแข็งแรงดึงของพีพีมีค่าสูงกว่าเอชดีพีอี ทั้งนี้อาจเนื่องจากประสิทธิภาพการเสริมแรง (Reinforcing effect) หรือความแข็งแรงยึดเกาะระหว่างวัฏภาค (Interfacial adhesion) ของเส้นใยหญาแฝกในเมตริกซ์พีพีอาจดีกว่าเมตริกซ์เอชดีพีอี อย่างไรก็ตามการเปรียบเทียบไม่สามารถหาสาเหตุอธิบายได้อย่างชัดเจน เนื่องจากน้ำหนักโมเลกุลของพอลิเมอร์เมตริกซ์ต่างกัน

เมื่อเปรียบเทียบผลของชนิดสารตัวเติมคือ ผงหญาแฝกและเส้นใยหญาแฝกปริมาณ 50 phr ที่เติมลงในพอลิโอลิฟินส์ พบว่าเส้นใยหญาแฝกที่เตรียมด้วยวิธีความร้อนเชิงกล (TMP) จะให้

สมบัติเชิงกลของวัสดุสูงกว่าเมื่อใช้ผงหญาแฝกที่เตรียมด้วยแรงเชิงกล (MP) เช่น ความแข็งแรงดึง เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่บนฐานการดำเนินงานไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มอดูลัส และความแข็งแรงกระแทก เนื่องจากเส้นใยหญ้าแฝกทำหน้าที่เป็นสารตัวเติมชนิดเสริมแรง (Reinforcing filler) จึงช่วยรับและกระจายแรงในพอลิเมอร์คอมโพสิตได้ดี แต่ผงหญ้าแฝกทำหน้าที่เป็นเพียงสารเพิ่มเนื้อหรือสารตัวเติมชนิดไม่เสริมแรง (Non-reinforcing filler) เท่านั้น แต่เมื่อพิจารณาถึงค่าความแข็งแรงโค้งงอและมอดูลัสโค้งงอ พบว่าวัสดุผสมจากผงหญ้าแฝกให้ค่าดังกล่าวสูงกว่าวัสดุคอมโพสิตจากเส้นใยหญ้าแฝก เนื่องจากผงหญ้าแฝกมีลักษณะเป็นโครงสร้างที่แข็งแรงเป็นองค์ประกอบ แต่เส้นใยหญ้าแฝกไม่มีองค์ประกอบของลักษณะดังกล่าว ดังนั้นวัสดุผสมจึงมีความแข็งแรงมากกว่าวัสดุคอมโพสิต

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบค่าการดูดซึมน้ำของวัสดุผสมผงหญ้าแฝกที่ใช้พอลิเมอร์ต่างชนิดกัน พบว่าทั้งพีอีและเอชดีพีอีมีแนวโน้มการดูดซึมน้ำใกล้เคียงกัน โดยวัสดุผสมพีอีกับผงหญ้าแฝก 50 phr มีการดูดซึมน้ำที่สมดุล 7.3% ซึ่งมีค่าการดูดซึมน้ำสูงกว่าเอชดีพีอี เนื่องจากพีอีมีน้ำหนักโมเลกุลต่ำกว่าเอชดีพีอี มีความเป็นผลึกน้อยกว่าทำให้มีส่วนที่เป็นอสัณฐาน (Amorphous) มากกว่า ดังนั้นน้ำจึงสามารถแทรกตัวอยู่ในชั้นอสัณฐานได้มากกว่าเอชดีพีอี ซึ่งนับว่ามีค่าสูงมากอาจเป็นอุปสรรคต่อการใช้งาน เนื่องจากการดูดซึมน้ำจะทำให้วัสดุเกิดการสูญเสียรูปร่างและความสามารถในการรับแรงหรือสมบัติเชิงกลลดลง ดังนั้นการเลือกพอลิเมอร์จึงต้องคำนึงถึงสถานะในการนำไปใช้งาน

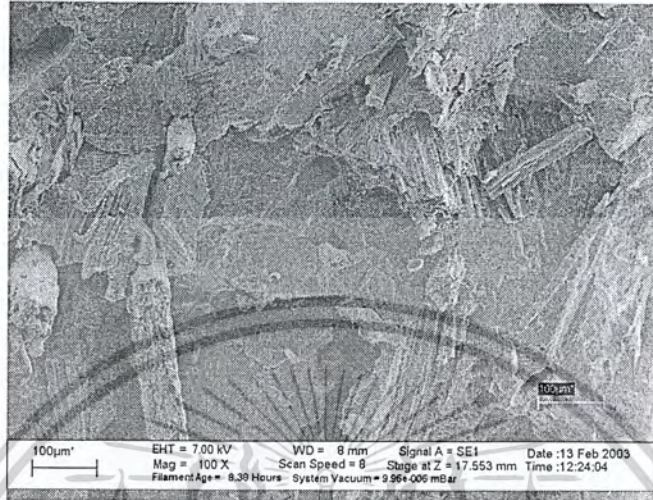
เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบค่าการดูดซึมน้ำของพอลิโพรพิลีนคอมโพสิตที่เตรียมจากเส้นใยหญ้าแฝกที่ใช้พอลิเมอร์ต่างชนิดกัน โดยพีพีคอมโพสิตที่เตรียมจากเส้นใยหญ้าแฝก 50 phr มีค่าการดูดซึมน้ำที่สมดุล 5.3% ซึ่งให้ค่าใกล้เคียงกับเอชดีพีอีคอมโพสิตที่เตรียมจากเส้นใยหญ้าแฝก 50 phr ซึ่งดูดซึมน้ำที่สมดุล 5.5% และเมื่อเปรียบเทียบค่าการดูดซึมน้ำของผงหญ้าแฝกและเส้นใยหญ้าแฝกปริมาณ 50 phr ที่เติมลงในพอลิโพรพิลีน พบว่าผงหญ้าแฝกมีการดูดซึมน้ำมากกว่าเส้นใยหญ้าแฝก เนื่องจากผงหญ้าแฝกมีขนาดเล็กและมีรูปร่างเป็นแท่งสั้นจึงมีพื้นที่ผิวมากกว่าเส้นใยหญ้าแฝกที่มีลักษณะเป็นแท่งยาว ดังนั้นวัสดุผสมผงหญ้าแฝกจึงมีการดูดซึมน้ำมากกว่าการผสมเส้นใย

4.4 การศึกษาสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด (SEM)

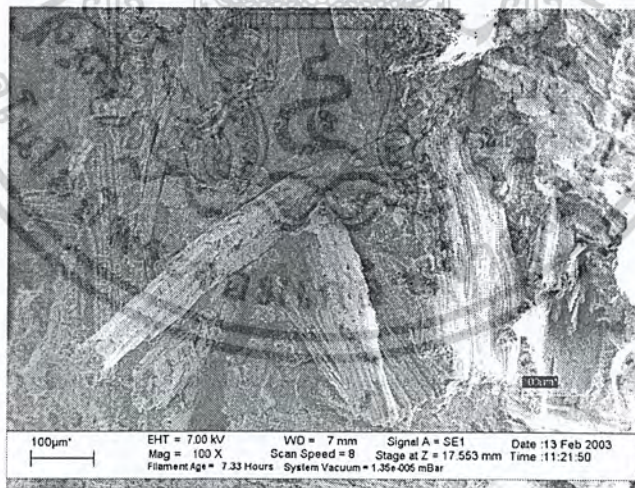
SEM เป็นการศึกษาสัณฐานวิทยาของพื้นผิวของวัสดุ โดยศึกษาพื้นผิวของชิ้นงานที่ได้จากการแตกหักที่อุณหภูมิห้อง โดยใช้กำลังขยาย 100 เท่าและกำลังขยาย 500 เท่า จากรูปที่ 4.24-4.25 พบว่าเส้นใยหญ้าแฝกมีการกระจายตัวในพอลิเมอร์เมทริกซ์สม่ำเสมอกว่าผงหญ้าแฝก เนื่องจากเส้นใยหญ้าแฝกไม่เกิดการจับตัวกันเป็นกลุ่มก้อนเหมือนกับผงหญ้าแฝก จากรูปที่ 4.26-4.27 พบว่าความสามารถในการยึดติดของผงหญ้าแฝกและเส้นใยหญ้าแฝกกับพอลิเมอร์เมทริกซ์มีการยึดติดที่ดี เนื่องจากมีการเติมสารช่วยผสมในปริมาณที่เหมาะสม (3% โดยน้ำหนักหญ้าแฝก) โดยสังเกตได้จากบริเวณรอยต่อระหว่างพอลิเมอร์เมทริกซ์กับหญ้าแฝกไม่มีช่องว่างเกิดขึ้น และบริเวณพื้นผิว

เส้นใยหญ้าแฝกกับพอลิเมอร์เมทริกซ์อยู่ติดกันไม่เกิดการยึดติดที่ระหว่างกันที่ถูกต้องดังแสดง ผลกระทบของสิ่งดังกล่าวไม่ทราบแน่ชัด ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สอดคล้องกับงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง [5] จากรูปที่ 4.28-4.29 เมื่อเปรียบเทียบการยึดติดใน พอลิเมอร์เมทริกซ์ที่แตกต่างกันพบว่า มีความสามารถในการยึดติดกันดีระหว่าง 2 วัสดุภาค โดยสังเกตจากรอยต่อพอลิเมอร์กับหญ้าแฝกไม่มีช่องว่างเกิดขึ้น

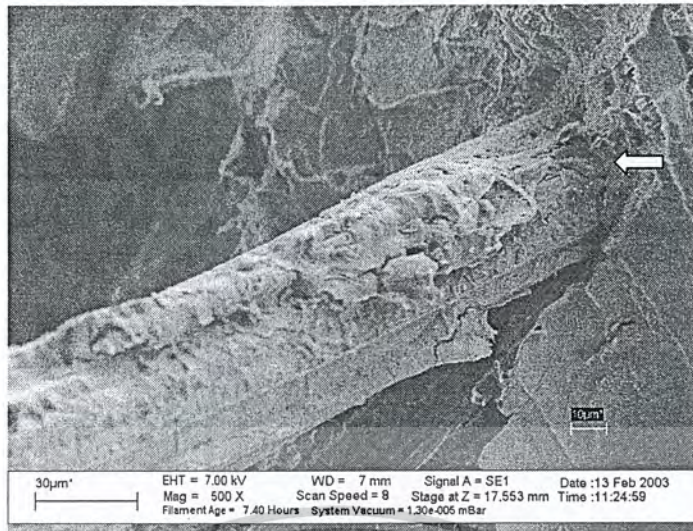


รูปที่ 4.24 รูป SEM สัณฐานวิทยาการกระจายตัวของวัสดุผสมเอชดีพีอี (HDPE) กับผงหญ้าแฝก โดยทำการแตกหักที่อุณหภูมิต่ำ กำลังขยาย 100 เท่า เมื่อผสมกับผงหญ้าแฝกขนาด 20-50 mesh ในปริมาณ 70 phr

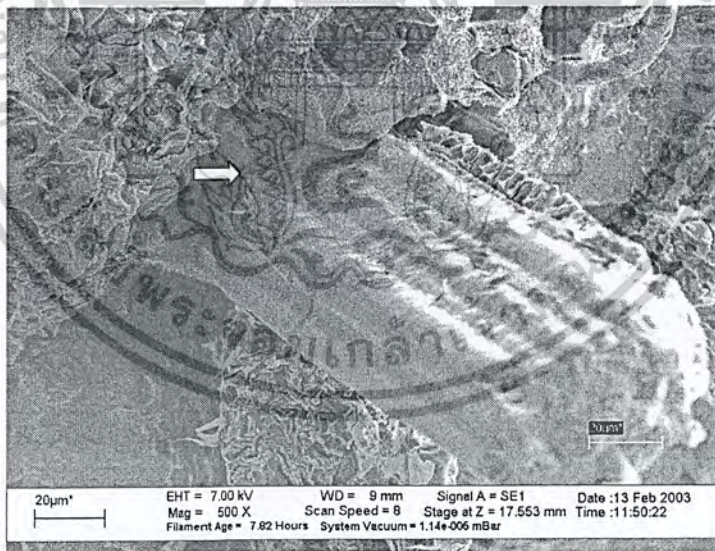


รูปที่ 4.25 รูป SEM สัณฐานวิทยาการกระจายตัวของพีพี (PP) คอมโพสิตที่เตรียมจากเส้นใยหญ้าแฝก โดยทำการแตกหักที่อุณหภูมิต่ำ กำลังขยาย 100 เท่า เมื่อผสมกับเส้นใยหญ้าแฝกขนาด 20-50 mesh ในปริมาณ 70 phr

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

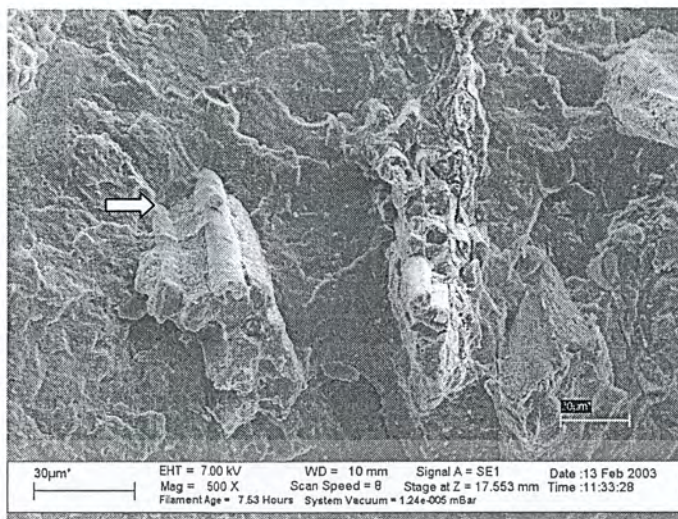


รูปที่ 4.26 รูป SEM แสดงลักษณะวิทยาการยึดติดของวัสดุผสมเอชดีพีอี (HDPE) กับผงหญาแผ่น โดยทำการแตกหักที่อุณหภูมิต่ำกำลังขยาย 500 เท่า เมื่อผสมกับผงหญาแผ่นขนาด 20-50 mesh ในปริมาณ 50 phr ตั้งเกิดลูกศรแสดงรอยต่อระหว่างภูมิภาคเมตริกซ์และผงหญาแผ่น

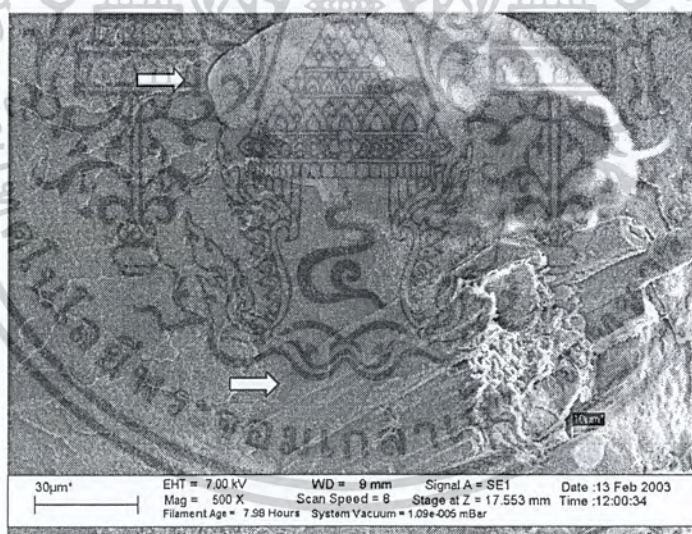


รูปที่ 4.27 รูป SEM แสดงลักษณะวิทยาการยึดติดของพอลิเมอร์เมตริกซ์กับเส้นใยของเอชดีพีอี (HDPE) คอมโพสิต โดยทำการแตกหักที่อุณหภูมิต่ำกำลังขยาย 500 เท่า เมื่อผสมกับเส้นใยหญาแผ่นขนาด 20-50 mesh ในปริมาณ 50 phr ตั้งเกิดลูกศรแสดงรอยต่อระหว่างภูมิภาคเมตริกซ์และเส้นใยหญาแผ่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.28 รูป SEM แสดงลักษณะพื้นฐานวิทยาการยึดติดของพีพี (PP) คอมโพลีเมอร์ที่เตรียมจากเส้นใย
หญ้าแฝก โดยทำการแตกหักที่อุณหภูมิต่ำกว่าค่าลึงขยาย 500 เท่า เมื่อผสมกับเส้นใยหญ้าแฝก
ขนาด 20-50 mesh ในปริมาณ 50 phr สังเกตลักษณะรอยต่อระหว่างวัฏภาคเมตริกซ์
และเส้นใยหญ้าแฝก



รูปที่ 4.29 รูป SEM แสดงลักษณะพื้นฐานวิทยาการยึดติดของเอชดีพีอี (HDPE) คอมโพลีเมอร์ที่เตรียมจาก
เส้นใยหญ้าแฝก โดยทำการแตกหักที่อุณหภูมิต่ำกว่าค่าลึงขยาย 500 เท่า เมื่อผสมกับ
ผงหญ้าแฝกขนาด 20-50 mesh ในปริมาณ 50 phr สังเกตลักษณะรอยต่อระหว่าง
วัฏภาคเมตริกซ์และเส้นใยหญ้าแฝก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 การวิเคราะห์ต้นทุน (Cost Analysis)

การวิเคราะห์ต้นทุนในการผลิตของวัสดุคอมโพสิตพีพีและเอชดีพีอีจากเส้นใยหญ้าแฝก น้ำหนัก 1 กิโลกรัม เลือกใช้อัตราส่วนผสมพอลิเมอร์ต่อเส้นใย 60:40 สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 4.5 และ 4.6 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.5 การวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตวัสดุคอมโพสิตพีพีจากเส้นใยหญ้าแฝก

รายการ	ปริมาณที่ใช้	ราคาต่อหน่วย ¹	คิดเป็นเงิน (บาท)
1. พอลิเมอร์ – พีพี	800 กรัม	30 บาท/กก.	24.00
2. หญ้าแฝก	240 กรัม	8 บาท/กก. ²	1.92
3. สารเพิ่มเสถียรภาพ Irganox-1010	8 กรัม	350 บาท/กก.	2.80
4. สารช่วยผสม PP-g-MA	7.2 กรัม	408 บาท/กก.	2.94
5. ค่าแรง	1 ชั่วโมง	165 บาท/วัน ³	6.87
6. ค่าไฟฟ้า	10 unit	2.5 บาท/unit	25.00
7. เบ็ดเตล็ด	-	-	5.00
รวมต้นทุนการผลิตวัสดุคอมโพสิตพีพีผสมเส้นใยหญ้าแฝก 1 กิโลกรัม ⁴			68.53 บาท

ตารางที่ 4.6 การวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตวัสดุคอมโพสิตเอชดีพีอีเส้นใยหญ้าแฝก

รายการ	ปริมาณที่ใช้	ราคาต่อหน่วย ¹	คิดเป็นเงิน (บาท)
1. พอลิเมอร์ – เอชดีพีอี	800 กรัม	27 บาท/กก.	21.60
2. หญ้าแฝก	240 กรัม	8 บาท/กก. ²	1.92
3. สารเพิ่มเสถียรภาพ Irganox-1010	8 กรัม	350 บาท/กก.	2.80
4. สารช่วยผสม PE-g-MA	7.2 กรัม	350 บาท/กก.	2.52
5. ค่าแรง	1 ชั่วโมง	165 บาท/วัน ³	6.87
6. ค่าไฟฟ้า	10 unit	2.5 บาท/unit	25.00
7. เบ็ดเตล็ด	-	-	5.00
รวมต้นทุนการผลิตวัสดุคอมโพสิตเอชดีพีอีผสมเส้นใยหญ้าแฝก 1 กิโลกรัม ⁴			65.71 บาท

หมายเหตุ¹ เป็นราคาโดยประมาณ ณ เดือนมีนาคม 2546

² ค่าแรงการเกี่ยวใบหญ้าแฝกและการขนส่ง ณ จังหวัดประจวบคีรีขันธ์

³ คิดค่าแรงตามค่าแรงขั้นต่ำ 1 คน

⁴ ราคานี้ไม่รวมต้นทุน เครื่องจักรการผลิต และค่าเสื่อมราคาเครื่องจักร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 4.5 และ 4.6 แสดงถึงการวิเคราะห์ต้นทุนการผลิต ประมาณราคาต้นทุนการผลิตวัสดุคอมโพสิตจากเส้นใยหญ้าแฝก พบว่าราคาของคอมโพสิตพีพีและคอมโพสิตเอชดีพีอีมีราคาใกล้เคียง อีกทั้งราคาของคอมโพสิตมีราคาสูงกว่าราคาการขึ้นรูปพลาสติกเพียงเล็กน้อย ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้ที่จะทำการผลิตวัสดุคอมโพสิตจากเส้นใยหญ้าแฝกในเชิงพาณิชย์ ซึ่งจะเห็นได้ว่า ต้นทุนการผลิตของวัสดุคอมโพสิตเส้นใยหญ้าแฝกจากพีพี มีต้นทุนที่สูงกว่าวัสดุคอมโพสิตเส้นใยหญ้าแฝกจากเอชดีพีอี เนื่องจากพีพีและพีพีกราฟท์มาเลอิกแอนไฮไดรด์ มีราคาแพงกว่าเอชดีพีอีและพีอีกราฟท์มาเลอิกแอนไฮไดรด์ และจากการประเมินสมบัติโดยรวมพบว่าพีพี และเอชดีพีอีมีสมบัติโดยรวมใกล้เคียงกัน จึงสามารถนำมาใช้ทดแทนกันได้ ทั้งนี้ขึ้นกับการนำไปใช้งานและต้นทุนในการผลิต



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาพอลิเมอร์คอมโพสิตเส้นใยธรรมชาติจากพอลิโพลิฟินส์และเส้นใยหญ้าแฝก (Vetiver grass) โดยใช้พอลิพรอพิลีนและพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงทั้งพลาสติกใหม่และพลาสติกที่ใช้แล้วเป็นเมทริกซ์ และมีหญ้าแฝกเป็นส่วนเสริมแรง โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 2 ตอน ดังนี้ ตอนที่ 1 ศึกษาผงหญ้าแฝกเป็นสารเพิ่มเนื้อในพอลิเมอร์โดยเตรียมผงหญ้าแฝกด้วยวิธีเชิงกล และตอนที่ 2 ศึกษาเส้นใยหญ้าแฝกเป็นส่วนเสริมแรงในพอลิเมอร์ซึ่งเตรียมเส้นใยหญ้าแฝกด้วยวิธีความร้อนเชิงกล ทั้ง 2 ตอนเตรียมโดยนำหญ้าแฝกผสมกับพอลิเมอร์ในเครื่องผสมความเร็วสูงและผสมแบบหลอมเหลวด้วยเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว จากนั้นขึ้นรูปด้วยเทคนิคการอัดขึ้นรูปและการฉีดขึ้นรูป จากนั้นนำชิ้นงานไปทดสอบสมบัติเชิงกล สมบัติทางกายภาพ สมบัติทางความร้อน สัณฐานวิทยา และทดสอบความทนทานต่อการเข้าทำลายของปลวกได้ดิน

จากงานวิจัยนี้พบว่า สามารถใช้ผงหญ้าแฝกที่เตรียมจากวิธีเชิงกลและเส้นใยหญ้าแฝกที่เตรียมจากวิธีความร้อนเชิงกลผสมกับพอลิโพลิฟินส์พีพีและเอชดีพีอี ทั้งพอลิเมอร์ใหม่และพอลิเมอร์ที่ใช้แล้วด้วยวิธีการอัดขึ้นรูป การฉีดขึ้นรูป ขึ้นรูปเป็นไม้เทียมได้จริง มีสมบัติโดยรวมที่ดี

จากการศึกษาปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อสมบัติของไม้เทียมสามารถสรุปผลการวิจัยได้ดังนี้ ตอนที่ 1 การศึกษาผงหญ้าแฝกเป็นสารเพิ่มเนื้อ (Fillers) ในพอลิโพลิฟินส์

เมื่อเพิ่มปริมาณผงหญ้าแฝกเพิ่มขึ้นพบว่าผงหญ้าแฝกทำหน้าที่เป็นสารตัวเติมไม่เสริมแรง (Non-reinforcing filler) ทำให้ความแข็งแรงดึงและความแข็งแรงกระแทกมีค่าใกล้เคียงกันและมีแนวโน้มลดลง เปรอร์เซ็นต์การยึด ฉ ม จุดขาด มีแนวโน้มลดลง มอดุลัสและความแข็งกมมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย สำหรับความแข็งแรงโค้งงอมีค่าใกล้เคียงกัน ส่วนมอดุลัสโค้งงอมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น

การทำวัสดุผสมระหว่างพอลิโพลิฟินส์กับผงหญ้าแฝก มีผลให้การดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณผงหญ้าแฝกเพิ่มมากขึ้น เมื่อเพิ่มปริมาณผงหญ้าแฝกไม่มีผลทำให้ค่าอุณหภูมิการหลอมเหลวผลึก และค่าองศาความเป็นผลึกไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก

วัสดุผสมระหว่างพอลิโพลิฟินส์กับผงหญ้าแฝกมีความทนทานต่อการเข้าทำลายของปลวกได้ดินมากกว่าไม้จริงมาก และเมื่อเพิ่มปริมาณผงหญ้าแฝกค่าความทนทานต่อการเข้าทำลายของปลวกได้ดินไม่มีการเปลี่ยนแปลงมากนัก ให้ผลเป็นที่ “น่าพอใจ”

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตอนที่ 2 การศึกษาเส้นใยหยาบแผลเป็นส่วนเสริมแรง (Reinforcement) ในพอลิโอลิวีนส์

เมื่อปริมาณเส้นใยหยาบแผลเพิ่มขึ้น ทำให้ความแข็งแรงดิ่งมีค่าเพิ่มขึ้นเนื่องจากเส้นใยหยาบแผลที่เติมลงไปทำหน้าที่เป็นสารตัวเติมชนิดเสริมแรง (Reinforcing filler) สำหรับความแข็งแรง กระแทกมีค่าเพิ่มขึ้น เปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาดมีแนวโน้มลดลง ส่วนมอดุลัสและความแข็งกมมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ความแข็งแรงโค้งงอมีค่าใกล้เคียงกันและมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น มอดุลัสโค้งงอมีค่าเพิ่มขึ้น โดยปริมาณเส้นใยที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 40-60 phr

พอลิโอลิวีนส์คอมโพสิตที่เตรียมจากเส้นใยหยาบแผล มีผลให้การดูดซับน้ำเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณเส้นใยหยาบแผลเพิ่มมากขึ้น เมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยหยาบแผลไม่มีผลทำให้ค่าอุณหภูมิการหลอมเหลวผลึก และค่าองศาความเป็นผลึกเปลี่ยนแปลงมากนัก

ตอนที่ 3 การเปรียบเทียบสมบัติโดยรวมระหว่างวัสดุผสมพอลิโอลิวีนส์กับผงหยาบแผล

และพอลิโอลิวีนส์คอมโพสิตที่เตรียมจากเส้นใยหยาบแผล

พบว่า พอลิโอลิวีนส์คอมโพสิตที่เตรียมจากเส้นใยหยาบแผลให้โดยรวมสูงกว่าวัสดุผสมพอลิโอลิวีนส์กับผงหยาบแผลเนื่องจากเส้นใยหยาบแผล (TMP) สามารถเสริมแรงให้เป็นวัสดุคอมโพสิต แต่ผงหยาบแผลเป็นเพียงสารเพิ่มเนื้อชนิดไม่เสริมแรง

ตอนที่ 4 ผลของพอลิเมอร์ใหม่ (Virgin polymer) และพอลิเมอร์ที่ใช้แล้ว (Recycled polymer)

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างพอลิเมอร์ใหม่กับพอลิเมอร์ที่ใช้แล้ว พบว่าให้สมบัติโดยรวมใกล้เคียงกัน ดังนั้นในการนำไปใช้งานสามารถใช้ทดแทนกันได้ขึ้นกับสมบัติที่ต้องการและต้นทุนการผลิต

ตอนที่ 5 ผลของชนิดเมตริกซ์

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างพีพีกับเอชดีพีโอ พบว่าให้สมบัติโดยรวมใกล้เคียงกัน โดยพีพีให้สมบัติที่ดีกว่าเล็กน้อย ดังนั้นในการนำไปใช้งานสามารถใช้ทดแทนกันได้ขึ้นกับสมบัติที่ต้องการและต้นทุนการผลิต

ตอนที่ 6 สันฐานวิทยา

การกระจายตัวของเส้นใยในพอลิเมอร์มีความสม่ำเสมอว่าผงหยาบแผล และการยึดติดกันของเส้นใยหยาบแผลและผงหยาบแผลกับพอลิเมอร์เมตริกซ์ดี ทำให้มีช่องว่างระหว่างวัฏภาคน้อย เนื่องจากมีการเติมสารช่วยผสมในปริมาณที่เหมาะสม (3% โดยน้ำหนักหยาบแผล)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ทำการขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ที่ใช้ได้จริงเช่น แผ่นไม้ปาร์เก้ ไม้แผ่น กรอบรูป ฯลฯ พร้อมทั้งทดสอบคุณสมบัติในการใช้งานจริง
2. อาจทำการเปลี่ยนแปลงและเลือกใช้ชนิดของพอลิเมอร์ ชนิดของเส้นใย และชนิดของสารเติมแต่ง เช่น สารช่วยกระจายตัว (Dispersing agent) เพื่อให้ได้สมบัติที่ดี และคุ้มกับต้นทุนสำหรับการผลิตผลิตภัณฑ์
3. ศึกษาผลของสารเติมแต่งอื่นๆ ที่ช่วยปรับปรุงให้สมบัติดีขึ้น เช่น อายุการใช้งาน สมบัติการไหล เป็นต้น
4. ทำการปรับปรุงสีของวัสดุผสมพอลิโอฟีนส์กับพอลิโอฟีนส์คอมโพสิตให้สีสวยงามขึ้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

1. ผศ.ดร.อิทธิพล แจ่มชัด. 2543. พอลิเมอร์คอมโพสิต. กรุงเทพฯ : เอกสารประกอบการศึกษา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
2. ปิยะวรรณ เจียวก๊ก และพงศศักดิ์ แพน้อย 2543. “การศึกษาพอลิเมอร์คอมโพสิตไม้เทียมจากพอลิพรอพิลีนและไม้ยูคาลิปตัส” โครงการพิเศษวิทยาศาสตร์บัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
3. รศ.ปรีชา พลเทพ. 2530. โพลีเมอร์. 3. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยรามคำแหง.
4. พลชีพ ลิมพงษ์ 2545. “การปรับปรุงสมบัติของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่มีแคลเซียมคาร์บอเนตเป็นสารตัวเติมสำหรับงานเป่าขึ้นรูป” วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
5. นวกรณ์ อนันตรนวนิชย์, นุชรี ปัญจะผลินกุล และพัชรี มณฑาทิพย์ 2544. “การศึกษาไม้เทียมคอมโพสิตจากผงหญ้าแฝกกับพอลิพรอพิลีน (พีพี) และเส้นใยหญ้าแฝกกับพอลิไวนิลคลอไรด์ (พีวีซี)” โครงการพิเศษวิทยาศาสตร์บัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
6. Menachem, L. and Irving, S.G. 1991. **Wood Structure and Composition**. New York: Marcel Dekker.
7. วรธรรม อุ้นจิตติชัย 2545 รายงานความก้าวหน้าโครงการวิจัยเรื่อง “วัสดุประกอบพอลิเมอร์คอมโพสิตจากเส้นใยหญ้าแฝกและเทอร์โมพลาสติก” ชุดโครงการวิจัยเรื่องการวิจัยและพัฒนาปฏิสัมพันธ์ของหญ้าแฝกกับปลวกเพื่อสนองพระราชดำริพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวฯ เพื่อเสนอสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม: โครงการที่ 1
8. Woratham Oonjittichai, Songklod Jarusombuti, Ittipol Jangchud, Charat Chuayna, and Phornphimol Amornchot, “Biological Composites from Vetiver Grass as Wood Material Substitute”, การประชุมการป่าไม้ ประจำปี 2545 ด้านวัสดุทดแทนไม้, วันที่ 18-20 กันยายน 2545, หน้า 1-16.
9. สมศักดิ์ วรมงคลชัย. 2544. เทคโนโลยีพอลิเมอร์ 1. 3. กรุงเทพฯ : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10. สมศักดิ์ วรมงคลชัย. 2544. เทคโนโลยีพอลิเมอร์ 2. 3. กรุงเทพฯ : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
11. วรณิยา ชาญณรงค์ 2545 “ผลของปริมาณ ไม้และพลาสติกไซเซอร์ที่มีต่อสมบัติเชิงกลของคอมโพสิตจากเส้นใยไม้อย่างพาราและพีวีซี” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
12. สมภพ เลิศลักษณ์กุล 2544. “ไม้เทียมพอลิเมอร์คอมโพสิตเส้นใยธรรมชาติจากพอลิไวนิลคลอไรด์ (พีวีซี) และเส้นใยยูคาลิปตัส” วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
13. ชีรพัฒน์ อุณหโชค และพจนีย์ ศรธรรมลี 2543. “การศึกษาไม้เทียมพอลิเมอร์คอมโพสิตจากพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำและเส้นใยผักตบชวา” โครงการพิเศษวิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
14. จิรพรรณ หน่ยคอน และมารีสา ตันตติลักษณ์ 2541. “วัสดุคอมโพสิตจากพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงและพอลิพรอพิลีนกับเส้นใยอ้อย” โครงการพิเศษวิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
15. รัชดา ขวัญตน 2541. “คอมโพสิตจากพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่ใช้แล้วและเส้นใยอ้อย” วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
16. ปิยะวัน ตั้งควรรณวานิช 2541. “การศึกษาพอลิเมอร์คอมโพสิตเส้นใยธรรมชาติจากไผ่ (ไผ่สีสุก)” วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
17. กมลรัตน์ คุรัตน์ชัชวาล และคุณดาว ปรีชาวงศ์ 2541. “บทบาทของมัลติฟังก์ชันนัลมอนอเมอร์ที่มีผลต่อสมบัติเชิงกล และความร้อนของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่ใช้แล้วกับพอลิพรอพิลีนผสมกับชานอ้อย” โครงการพิเศษวิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
18. ณภัทรพงษ์ สุวรรณชัย และณัฐพร เค้นนินนาท. 2538. “การใช้ประโยชน์จากเส้นใยสลาบลวงเป็นสารตัวเติมในพอลิพรอพิลีน” โครงการพิเศษวิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
19. เฉลิมพล อิทธีวิวัฒน์ และสกุล บรรจงวุฒิ. 2537. “การใช้เส้นใยเซลลูโลสผสมกับเส้นใยแก้วเพื่อเป็นสารเสริมแรงในพอลิเอทิลีน” โครงการพิเศษวิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

20. พิชัย พันธุ์พัฒนา และศิริพงษ์ โรจน์วีระ. 2533. “วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรในการปรับปรุงสมบัติทางกายภาพของพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงและพอลิพรอพิลีน”
โครงการงานพิเศษวิทยาศาสตร์บัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
21. Chuai, C. et.al. 2000. “Conifer Fibers as Reinforcing Materials for Polypropylene-Based Composites” **J. Appl. Polym. Sci.** 80 : 2883-2841.
22. Sain, M.M. et.al. 2000. “Creep Fatigue in Engineered Wood Fiber and Plastic Compositions” **J. Appl. Polym. Sci.** 77 : 260-268.
23. George, J. et.al. 1994. “Mechanical and Viscoelastic Properties of Shot Pineapple Fiber Reinforced Low-Density Polyethylene Composite”, **Polymer Science Recent Advances**, (Bharwaj,l.S.ed.) Allied Publishers Limited. India.
24. Kessira, L. and Richard, A. 1993. “Thermal Behavior of Ungrafted and Grafted Bagasse and Wood Pulps” **J. Appl. Polym. Sci.** 49:1603-1614.
25. Joseph, K. et.al. 1993. “Tensile Properties of Short Sisal Fiber-Rienforced Polyethylene Composites.” **J. Appl. Polym. Sci.** 49 : 1731-1739.
26. Rodney, J.S. et.al. 1992. “Composite Materials from Recycled Multilayer Polypropylene Bottles and Wood Fiber.” **American Chemical Society.** 232-240.
27. Yam, K.L. et.al. 1990. “Composites from Compounding Wood Fibers with Recycled HDPE.” **Polym. Eng. Sci.** 30(11) : 693-700.
28. 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.
29. 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.
30. Woodhams, R.T. et.al. 1984 “Wood Fiber as Reinforcing Filler in Polyethylene : Studies on Mechanical Properties.” **Polym. Eng. Sci.** 24(15) : 77-81.
31. Nagaty, A. et.al. 1983. **J. Appl. Polym. Sci.** 21:715.
32. ASTM D 638 Committee on standard “Standard Test Methods for Tensile Properties of Plastic (Metric)”, *Philadephia : American Society for Testing and Materials.*, 1993.
33. ASTM D 256 Committee on standard “Standard Test Methods for Impact Resistance of Plastic and Electrical Insulating Materials”, *Philadephia : American Society for Testing and Materials.*, 1993.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

34. ASTM D 785 Committee on standard “Standard Test Methods for Rockwell Hardness of Plastic and Electrical Insulating Materials”, *Philadephia : American Society for Testing and Materials.*, 1993.
35. ASTM D 790 Committee on standard “Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforce Plastic and Electrical Insulating Materials”, *Philadephia : American Society for Testing and Materials.*, 1993.
36. ASTM D 570 Committee on standard “Standard Test Methods water absorption of Plastic”, *Philadephia : American Society for Testing and Materials.*, 1988.
37. Jacqueline I.K 1986. **Encyclopedia of Polymer Science and Engineering.** vol.10. NewYork : John Wiley & Sons, Inc.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

สถานะที่ใช้ในการฉีดขึ้นรูปด้วยเครื่อง Injection molding

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	:	30
DIE OPN PRESR	:	45	SCW-IN PRESR	:	30
1 ST INJ PRESR	:	70	DIE ADJ PRESR	:	30
2 ND INJ PRESR	:	65			
3 RD INJ PRESR	:	60			
MELTING PRESR	:	50			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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 SPD	:	5	MELTING SPD	:	40
RAPID OPN SPD	:	20	DECOMP SPD	:	20
DIE OPN SLW 2	:	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		PP 180
ZONE 1		PE 160
ZONE 2		170 150
ZONE 3		160 140
ZONE 4		0 0
ZONE 5		0 0
ZONE 6		0 0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

ตอนที่ 1 การศึกษาผงหญาแฝกเป็นสารเพิ่มเนื้อ (Fillers) ในพอลิโพลิฟินส์

ตารางแสดงผลการทดสอบต่างๆ ของวัสดุผสมพอลิโพลิฟินส์กับผงหญาแฝก

ตารางที่ ข 1 ผลการทดสอบเชิงกลของพีพี (PP) และรีไซเคิลพีพี (rPP)

สูตร	Tensile strength (MPa)	Elongation at Break (%)	Tensile modulus (MPa)	Impact strength (kJ/m ²)
PP	24.85	18.920	273.684	7.043
PP+MP30phr	24.08	8.030	379.269	4.546
PP+MP40phr	24.36	7.371	372.463	3.660
PP+MP50phr	22.54	6.371	394.302	3.400
PP+MP60phr	22.64	6.153	425.021	3.609
PP+MP70phr	20.60	5.859	355.900	3.558
rPP	24.74	33.070	359.842	6.210
rPP+MP30phr	25.24	6.466	565.813	3.730
rPP+MP40phr	23.20	5.361	610.525	4.120
rPP+MP50phr	22.55	5.002	585.538	3.680
rPP+MP60phr	21.37	4.531	611.044	4.220
rPP+MP70phr	20.92	3.863	709.238	4.244

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข 1 ผลการทดสอบเชิงกลของพีพี (PP) และรีไซเคิลพีพี (rPP) (ต่อ)

สูตร	Hardness (Shore D)	Flexural strength (MPa)	Flexural modulus (MPa)
PP	55.25	50.66	698.862
PP+MP30phr	61.75	55.23	1059.291
PP+MP40phr	63.88	56.31	1394.051
PP+MP50phr	63.75	52.86	1614.916
PP+MP60phr	61.25	53.27	1294.150
PP+MP70phr	66.19	52.61	1707.105
rPP	56.13	33.22	388.853
rPP+MP30phr	66.94	40.25	574.221
rPP+MP40phr	68.31	35.35	571.820
rPP+MP50phr	68.69	26.31	489.846
rPP+MP60phr	68.25	39.34	708.963
rPP+MP70phr	68.88	40.72	797.967

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข 2 ผลการทดสอบเชิงกลของเอชดีพีอี (HDPE) และรีไซเคิลเอชดีพีอี (rHDPE)

สูตร	Tensile strength (MPa)	Elongation at Break (%)	Tensile modulus (MPa)	Impact strength (kJ/m ²)
HDPE	22.98	56.950	302.613	4.28
HDPE+MP30phr	22.47	8.340	393.288	4.30
HDPE+MP40phr	23.16	6.741	435.856	4.30
HDPE+MP50phr	22.77	6.015	460.694	3.96
HDPE+MP60phr	21.84	5.405	452.321	3.52
HDPE+MP70phr	21.54	5.801	404.071	3.69
rHDPE	24.68	56.45	436.475	5.20
rHDPE+MP30phr	25.40	5.685	676.650	4.98
rHDPE+MP40phr	23.77	4.971	685.125	4.66
rHDPE+MP50phr	22.70	4.292	729.481	4.82
rHDPE+MP60phr	23.63	3.871	808.694	3.66
rHDPE+MP70phr	22.41	3.640	800.614	4.05

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข 2 ผลการทดสอบเชิงกลของเอชดีพีอี (HDPE) และรีไซเคิลเอชดีพีอี (rHDPE) (ต่อ)

สูตร	Hardness (Shore D)	Flexural strength (MPa)	Flexural modulus (MPa)
HDPE	58.50	40.65	586.706
HDPE+MP30phr	59.63	48.63	893.253
HDPE+MP40phr	59.25	52.03	1145.525
HDPE+MP50phr	61.00	51.84	1632.568
HDPE+MP60phr	62.69	53.4	1736.221
HDPE+MP70phr	62.38	50.21	1719.848
rHDPE	58.23	42.66	592.637
rHDPE+MP30phr	64.19	40.26	1147.425
rHDPE+MP40phr	67.13	53.71	1736.796
rHDPE+MP50phr	65.81	53.67	1861.709
rHDPE+MP60phr	67.13	55.08	1842.848
rHDPE+MP70phr	65.38	60.52	1813.949

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข 3 ผลการทดสอบทางความร้อน DSC

สูตร	T_m (°C)	ΔH_f (J/g)	%Crystallinity
PP	165.352	76.379	46.290
PP+MP30phr	164.062	71.188	43.144
PP+MP50phr	163.570	67.324	40.802
PP+MP70phr	163.241	74.208	44.975
rPP	164.958	51.789	31.387
rPP+MP30phr	164.597	68.145	41.300
rPP+MP40phr	164.491	69.782	42.292
rPP+MP50phr	164.676	60.028	36.381
rPP+MP60phr	163.526	62.446	37.846
rPP+MP70phr	164.047	62.007	37.580
HDPE	130.904	141.123	48.165
HDPE+MP30phr	129.296	160.324	54.718
HDPE+MP50phr	127.811	148.302	50.615
HDPE+MP70phr	128.152	147.291	50.270
rHDPE	129.966	132.921	45.366
rHDPE+MP30phr	129.814	139.317	47.548
rHDPE+MP40phr	132.513	174.537	59.569
rHDPE+MP50phr	131.508	116.902	39.898
rHDPE+MP60phr	129.654	131.656	44.934
rHDPE+MP70phr	130.548	139.511	47.615

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข 4 เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำ

สูตร	1 วัน	7 วัน	14 วัน	21 วัน	28 วัน	35 วัน
PP	0.1237	0.1872	0.0951	0.1363	0.2404	0.1977
PP+MP30phr	0.5427	1.0933	1.4569	1.4719	2.1617	2.3035
PP+MP40phr	0.7991	2.0938	2.6782	3.7342	4.4097	4.8639
PP+MP50phr	1.0744	2.9457	4.0221	5.4876	6.4087	7.3325
PP+MP60phr	1.0655	1.9120	3.0355	5.9942	5.5340	5.7617
PP+MP70phr	1.2448	4.7504	6.3594	8.3023	9.4008	9.7100
rPP	0.1130	0.0441	0.1084	0.1500	0.1741	0.0967
rPP+MP30phr	0.5523	1.6439	1.5395	1.9776	2.3837	2.3867
rPP+MP40phr	0.8174	4.3220	4.1812	5.8876	6.9369	7.3818
rPP+MP50phr	1.1122	3.8244	4.8420	6.2040	6.6234	6.7044
rPP+MP60phr	1.3450	4.5692	5.4793	6.7796	6.5202	7.0198
rPP+MP70phr	1.8464	5.5499	6.8339	7.8002	8.1205	8.1690
HDPE	0.1862	0.1209	0.1544	0.1729	0.2261	0.1064
HDPE+MP30phr	0.2388	0.7211	0.9465	1.2002	1.5358	1.3615
HDPE+MP40phr	0.3733	1.3597	1.7335	2.0786	2.6840	2.7053
HDPE+MP50phr	0.8516	2.7068	2.9760	3.7917	4.5405	4.7710
HDPE+MP60phr	1.0066	2.5411	3.3566	4.0566	4.4936	4.6260
HDPE+MP70phr	2.2783	5.4993	6.6634	7.7111	8.1703	7.8865
rHDPE	0.1592	0.0170	0.0440	0.0291	0.1032	0.0531
rHDPE+MP30phr	0.3484	1.0322	1.3770	1.7492	1.9830	2.0655
rHDPE+MP40phr	1.2090	2.8933	3.6762	4.6215	5.0107	5.2934
rHDPE+MP50phr	1.5940	4.1065	4.8570	5.5717	5.6448	5.7654
rHDPE+MP60phr	1.8658	5.5151	6.5168	7.2588	7.0059	7.2358
rHDPE+MP70phr	3.1893	5.3462	6.1761	6.8337	6.8618	6.9795

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข 5 ผลอัตราการเข้าทำลายของปลวก

สูตร	%การเข้าทำลาย	สูตร	%การเข้าทำลาย
PP	0.0000	HDPE	0.1425
PP+MP10phr	0.7325	HDPE+MP10phr	0.3350
PP+MP20phr	1.2525	HDPE+MP20phr	0.4050
PP+MP30phr	1.3525	HDPE+MP30phr	0.8050
PP+MP40phr	2.1950	HDPE+MP40phr	2.0925
PP+MP50phr	1.0550	HDPE+MP50phr	1.4100
PP+MP60phr	1.1775	HDPE+MP60phr	2.1675
PP+MP70phr	1.9150	HDPE+MP70phr	2.3025
rPP	0.1525	rHDPE	0.0000
rPP+MP10phr	0.0000	rHDPE+MP10phr	0.3525
rPP+MP20phr	0.6825	rHDPE+MP20phr	0.3275
rPP+MP30phr	4.2050	rHDPE+MP30phr	0.6000
rPP+MP40phr	0.6750	rHDPE+MP40phr	0.8125
rPP+MP50phr	1.4550	rHDPE+MP50phr	1.2125
rPP+MP60phr	2.6575	rHDPE+MP60phr	0.7400
rPP+MP70phr	6.0950	rHDPE+MP70phr	2.1600
Control	21.23	Control	21.23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

ตอนที่ 2 การศึกษาพอลิเมอร์คอมโพสิตจากพอลิโอเลฟินส์และเส้นใยหญ้าแฝก

ตารางแสดงผลการทดสอบต่างๆ ของคอมโพสิตพอลิโอเลฟินส์กับเส้นใยหญ้าแฝก

ตารางที่ ก 1 ผลการทดสอบเชิงกลของพีพี (PP) และรีไซเคิลพีพี (rPP)

สูตร	Tensile strength (MPa)	Elongation at Break (%)	Tensile modulus (MPa)	Impact strength (kJ/m ²)
PP	24.85	18.92	273.684	7.043
PP+TMP30phr	24.26	6.759	478.581	4.239
PP+TMP40phr	24.68	6.200	501.388	4.250
PP+TMP50phr	26.47	5.705	580.100	4.270
PP+TMP60phr	26.35	5.013	609.775	4.590
PP+TMP70phr	25.64	4.753	610.831	4.460
rPP	24.74	33.07	269.881	6.210
rPP+TMP30phr	26.27	6.232	551.475	4.840
rPP+TMP40phr	27.30	5.863	595.494	4.830
rPP+TMP50phr	27.61	6.772	391.479	5.430
rPP+TMP60phr	27.67	6.669	394.888	4.970
rPP+TMP70phr	26.46	7.406	330.694	3.990

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค 1 ผลการทดสอบเชิงกลของพีพี (PP) และรีไซเคิลพีพี (rPP) (ต่อ)

สูตร	Hardness (Shore D)	Flexural strength (MPa)	Flexural modulus (MPa)
PP	55.25	50.66	698.8623
PP+TMP30phr	69.60	34.78	394.5397
PP+TMP40phr	70.60	36.61	469.9235
PP+TMP50phr	71.20	38.41	482.2499
PP+TMP60phr	71.50	40.49	566.5746
PP+TMP70phr	71.50	42.55	678.8183
rPP	56.13	33.22	388.8529
rPP+TMP30phr	70.60	36.48	433.0682
rPP+TMP40phr	71.60	38.8	515.8214
rPP+TMP50phr	61.60	64.99	1815.243
rPP+TMP60phr	61.30	70.41	2353.641
rPP+TMP70phr	61.50	71.07	2341.829

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบเชิงกลของเอชดีพีอี (HDPE) และรีไซเคิลเอชดีพีอี (rHDPE)

สูตร	Tensile strength (MPa)	Elongation at Break (%)	Tensile modulus (MPa)	Impact strength (kJ/m ²)
HDPE	22.98	56.950	302.613	4.28
HDPE+TMP30phr	22.37	7.190	467.470	4.95
HDPE+TMP40phr	23.44	7.404	395.767	4.83
HDPE+TMP50phr	23.93	6.082	448.786	4.97
HDPE+TMP60phr	24.65	5.514	476.638	4.42
HDPE+TMP70phr	24.12	6.823	439.913	4.80
rHDPE	24.68	56.45	436.475	5.20
rHDPE+TMP30phr	27.61	8.814	445.563	6.12
rHDPE+TMP40phr	27.29	5.911	547.850	6.03
rHDPE+TMP50phr	27.25	5.298	578.144	5.86
rHDPE+TMP60phr	28.05	5.023	600.381	6.05
rHDPE+TMP70phr	27.78	4.715	630.100	6.65

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ๒ ผลการทดสอบเชิงกลของเอชดีพีอี (HDPE) และรีไซเคิลเอชดีพีอี (rHDPE) (ต่อ)

สูตร	Hardness (Shore D)	Flexural strength (MPa)	Flexural modulus (MPa)
HDPE	58.50	40.65	586.7061
HDPE+TMP30phr	65.90	32.91	479.3985
HDPE+TMP40phr	68.16	35.04	452.4716
HDPE+TMP50phr	68.58	36.89	577.1021
HDPE+TMP60phr	69.32	38.59	664.3421
HDPE+TMP70phr	69.70	40.99	741.9938
rHDPE	58.23	42.66	592.637
rHDPE+TMP30phr	67.00	39.71	531.7822
rHDPE+TMP40phr	69.40	37	403.8282
rHDPE+TMP50phr	69.60	40.71	504.1471
rHDPE+TMP60phr	70.06	39.35	595.2591
rHDPE+TMP70phr	70.16	39.5	627.4336

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค 3 ผลการทดสอบทางความร้อน DSC

สูตร	T_m (°C)	ΔH_f (J/g)	%Crystallinity
PP	165.352	76.379	46.290
PP+TMP40phr	164.093	50.306	43.351
rPP	164.958	51.789	31.387
rPP+TMP40phr	165.149	63.815	38.676
HDPE	130.904	141.123	48.165
HDPE+TMP40phr	129.688	156.75	53.499
rHDPE	129.966	132.921	45.366
rHDPE+TMP40phr	130.937	142.502	48.635



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4 เปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำ

สูตร	1 วัน	7 วัน	14 วัน	21 วัน	28 วัน	35 วัน
PP	0.1237	0.1872	0.0951	0.1363	0.2404	0.1977
PP+TMP30phr	0.8541	1.6354	2.0221	2.6225	2.9173	2.9820
PP+TMP40phr	1.0229	2.1587	2.9150	3.7969	4.2934	4.7652
PP+TMP50phr	1.1289	2.5348	3.6390	3.5408	4.9241	5.3096
PP+TMP60phr	2.1090	4.4229	5.7208	7.4885	8.4157	8.9137
PP+TMP70phr	1.4147	3.8514	5.2046	7.0565	8.0672	8.3628
rPP	0.1130	0.0441	0.1084	1.3140	0.1741	0.0967
rPP+TMP30phr	0.8997	1.6643	2.2503	2.6417	3.0627	3.4500
rPP+TMP40phr	0.8999	2.1988	2.9326	3.6689	3.6002	4.9656
rPP+TMP50phr	1.3104	3.3389	5.0196	6.1505	6.8160	6.8805
rPP+TMP60phr	1.3518	3.2149	5.3875	6.7294	7.3896	7.4362
rPP+TMP70phr	1.9572	4.8784	9.1158	11.0850	14.9471	15.0176
HDPE	0.0903	0.0757	0.0593	0.0104	0.0240	0.1064
HDPE+TMP30phr	0.6437	1.5654	1.8986	2.3333	2.5655	2.6463
HDPE+TMP40phr	0.8853	1.8231	2.4098	2.9300	3.1301	3.2832
HDPE+TMP50phr	1.4415	3.2083	4.1559	5.0681	5.5410	5.4778
HDPE+TMP60phr	1.8633	4.1563	5.4075	6.7470	7.0536	6.8830
HDPE+TMP70phr	1.4070	3.4729	4.2527	4.8637	5.3216	5.1767
rHDPE	0.1592	0.0170	0.0440	0.0291	0.1032	0.0531
rHDPE+TMP30phr	0.7847	1.6728	2.1591	2.9618	2.8785	2.6100
rHDPE+TMP40phr	1.1472	2.1552	2.9364	3.5230	3.7192	3.9562
rHDPE+TMP50phr	2.1177	4.3434	5.5849	6.9245	7.7842	7.8088
rHDPE+TMP60phr	1.8156	4.2248	5.5627	6.5729	7.1680	7.2949
rHDPE+TMP70phr	2.0914	5.1022	6.5010	7.6837	8.0801	8.3764

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

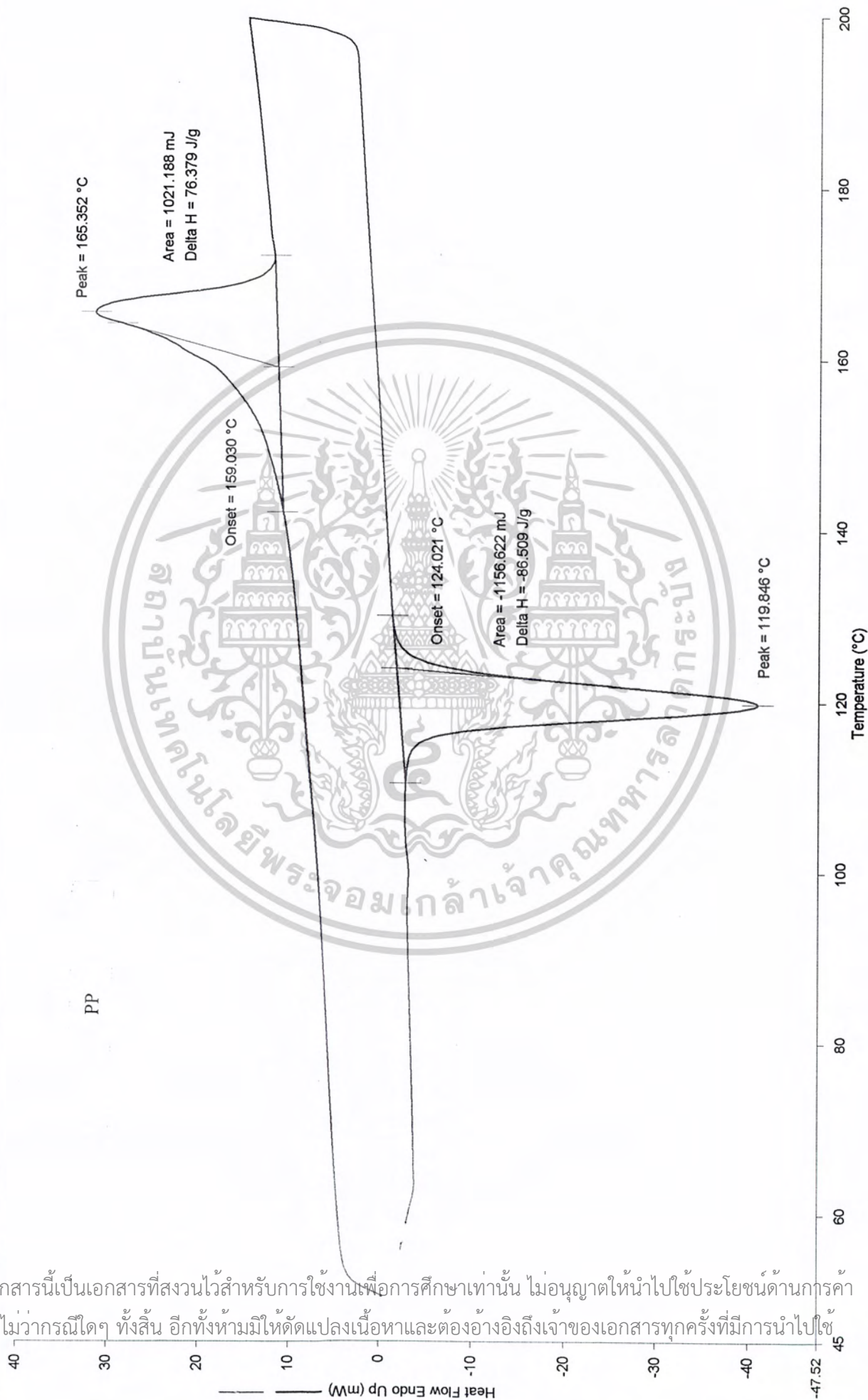
ภาคผนวก ง

ผลการทดสอบทางความร้อน (Differential Scanning Calorimetry: DSC)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

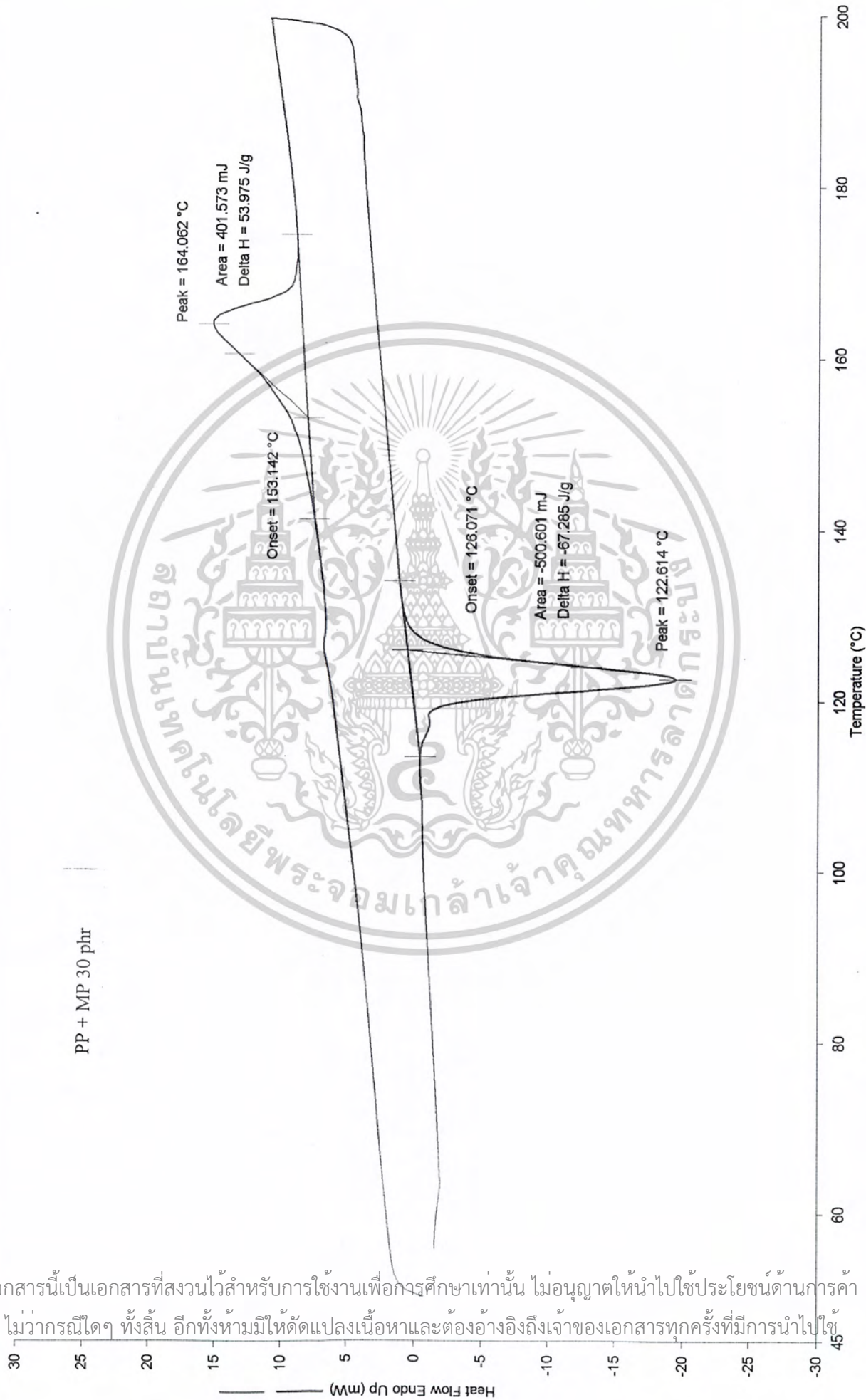
Filename: C:\Program Files\Pyriss\...M6-1-17-pp0.ppid
 Operator ID: unewam
 Sample ID: 46-1-17-pp0
 Sample Weight: 13.370 mg
 Comment: pure pp



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

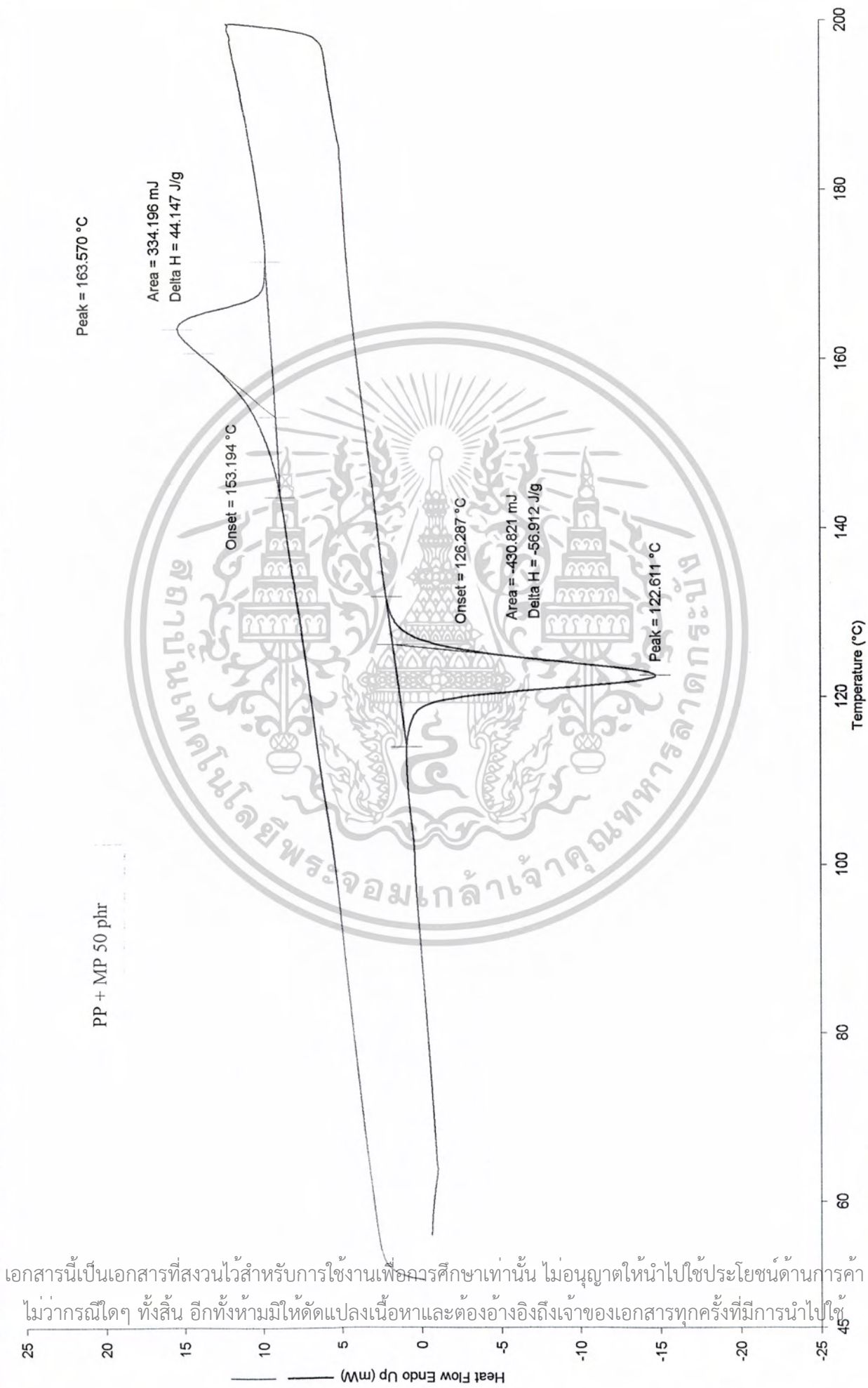
Filename: C:\Program Files\Pyris\...46-1-17-pp3.pdtd
 Operator ID: unewam
 Sample ID: 46-1-17-pp3
 Sample Weight: 7.440 mg
 Comment: pp3

PP + MP 30 phr



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

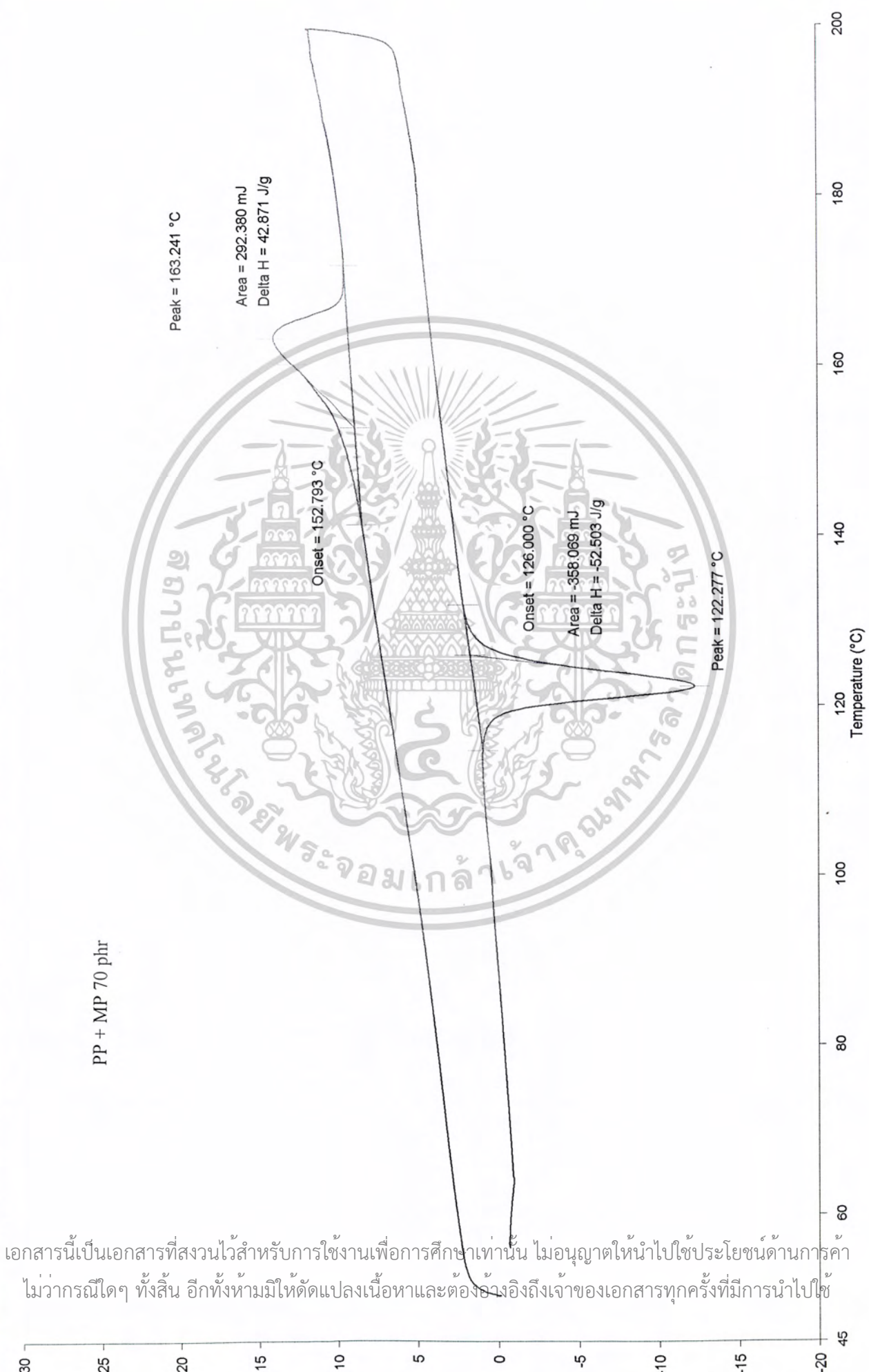
File Name: C:\Program Files\Research\MSD\1-17-pp5.ppt
Operator ID: unewam
Sample ID: 46-1-17-pp5
Sample Weight: 7.570 mg
Comment: pp5



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

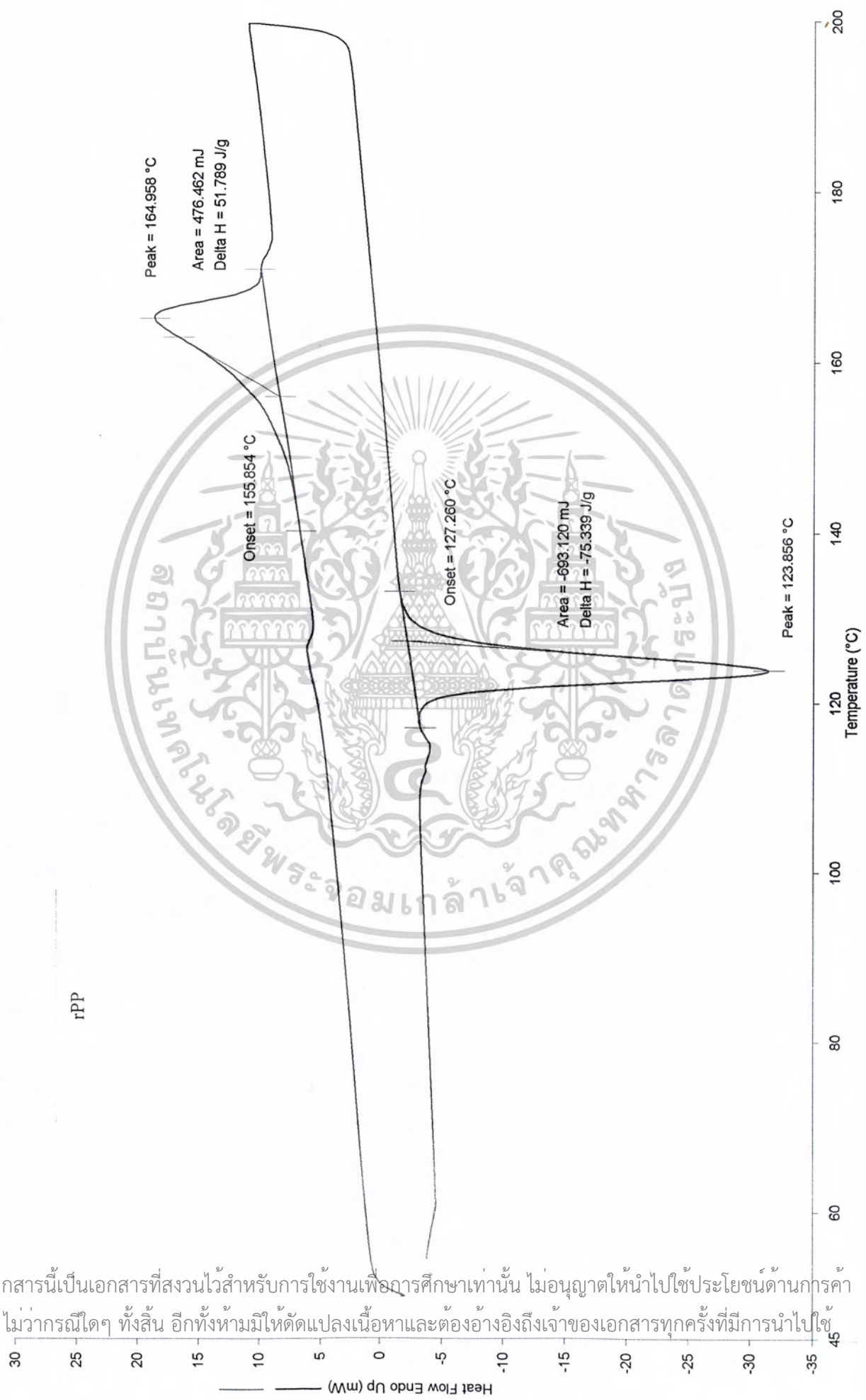
erator ID: unewam
mple ID: 46-1-17-pp7
mple Weight: 6.820 mg
mment: pp7

PP + MP 70 phr



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Filename: C:\Program Files\Pyri...\46-1-17-rpp00.pdtd
 Operator ID: unewam
 Sample ID: 46-1-17-rpp00
 Sample Weight: 9.200 mg
 Comment: rpp00



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่วารณใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

rPP + MP 30 phr

Peak = 164.597 °C

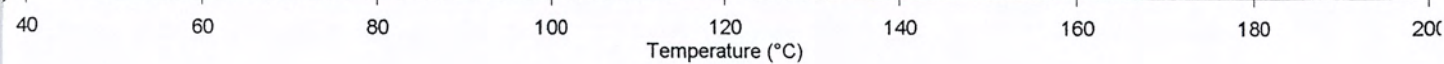
Area = 556.407 mJ
Delta H = 60.479 J/g

Onset = 154.526 °C

Onset = 128.367 °C

Area = -675.007 mJ
Delta H = -73.370 J/g

Peak = 124.471 °C



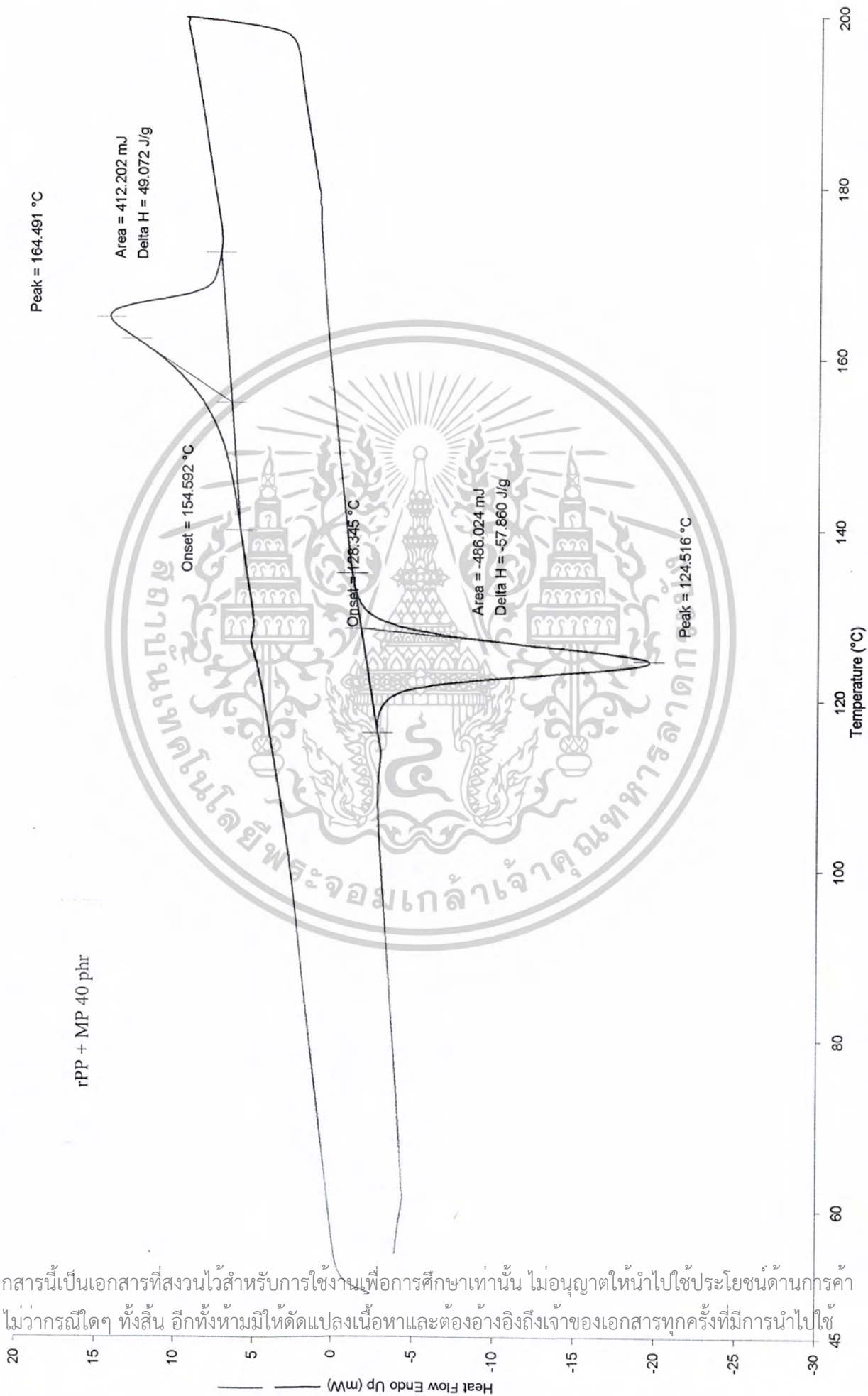
1/17/2003 12:58:19 PM

Heat from 50.00°C to 200.00°C at 10.00°C/min

2) Cool from 200.00°C to 50.00°C at 10.00°C/min

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Filename: C:\Program Files\Pyris...146-1-17-rpp4.pdtd
 Operator ID: unewam
 Sample ID: 46-1-17-rpp4
 Sample Weight: 8.400 mg
 Comment: rpp4

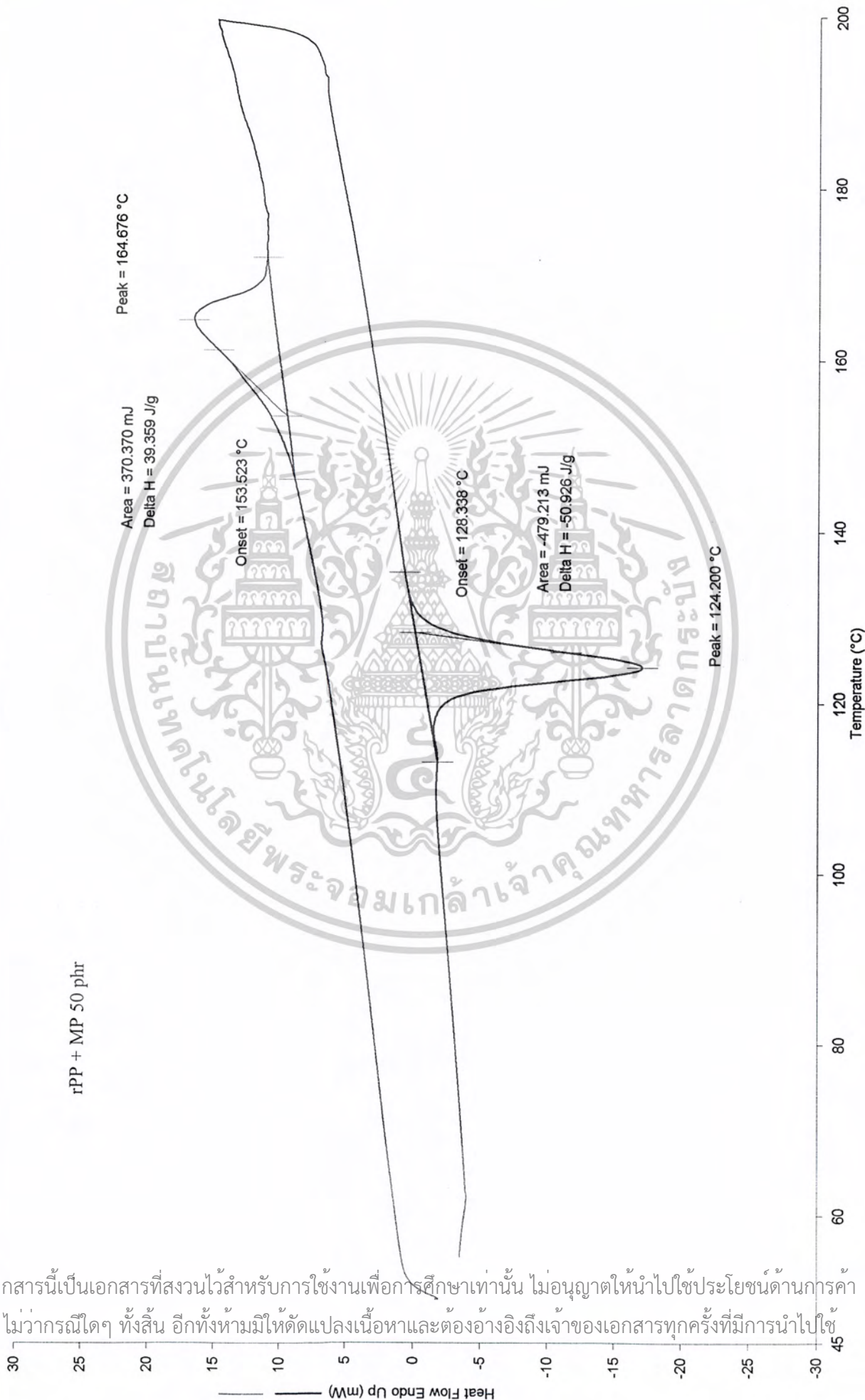


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Filename: C:\Program Files\Pyris...46-1-17-rpp5.pdid
 Operator ID: unewarn
 Sample ID: 46-1-17-rpp5
 Sample Weight: 9.410 mg
 Comment: rpp5

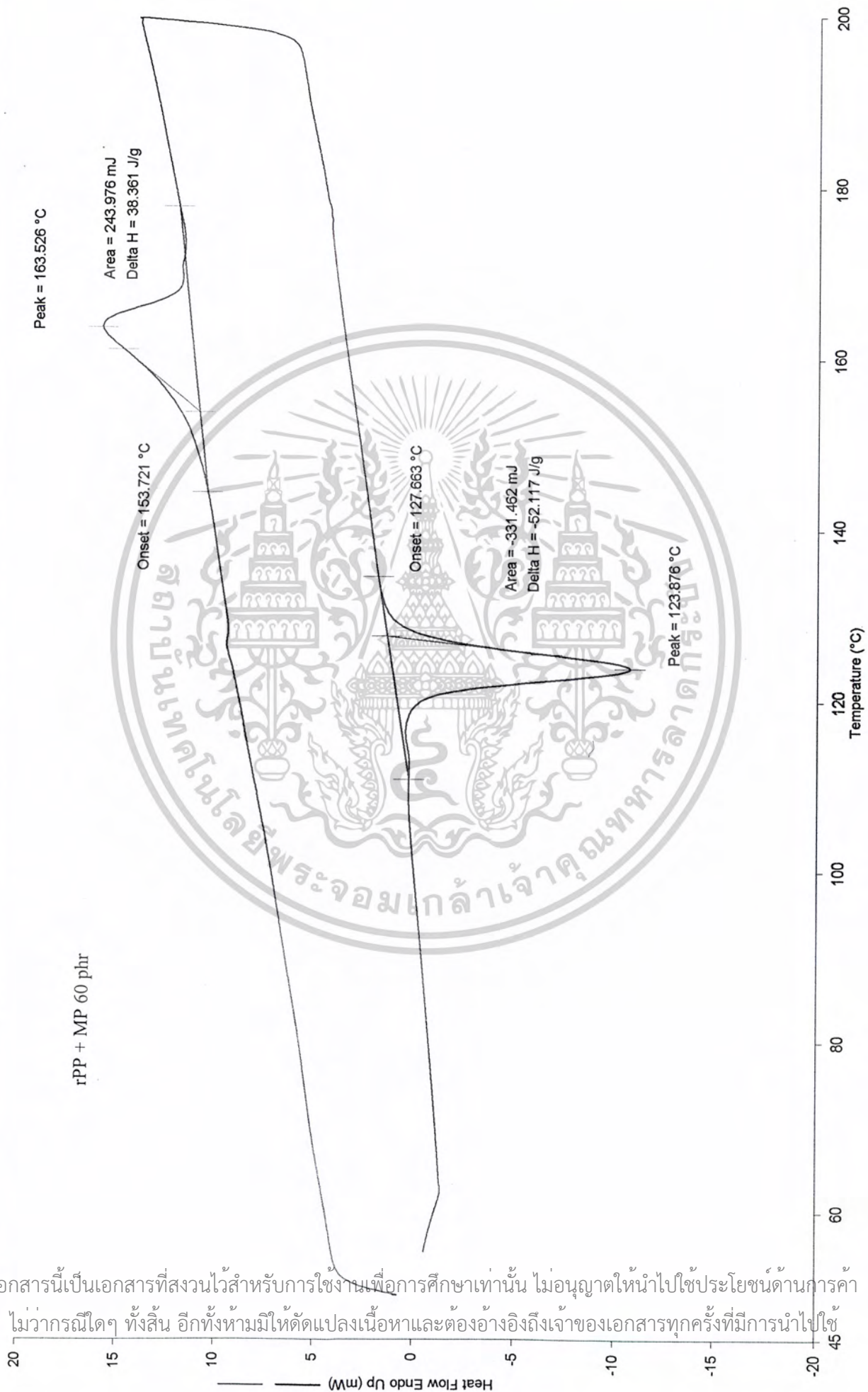
rPP + MP 50 phr



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่วารณใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Operator ID: unewam
Sample ID: 46-1-17-rpp6
Sample Weight: 6.360 mg
Comment: rpp6

rPP + MP 60 phr



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

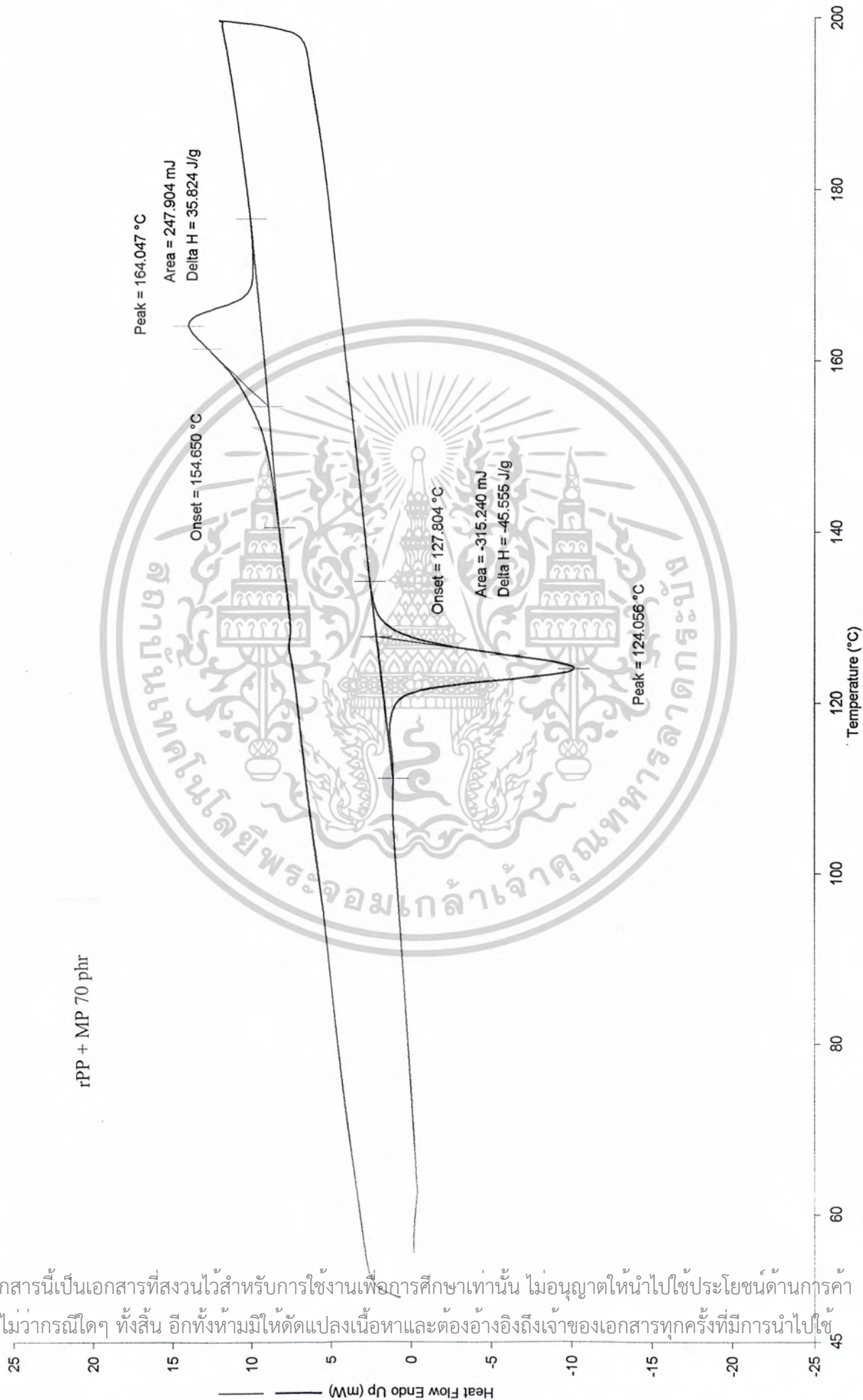
1) Heat from 50.00°C to 200.00°C at 10.00°C/min

2) Cool from 200.00°C to 50.00°C at 10.00°C/min

1/17/2003 3:23:40 PM

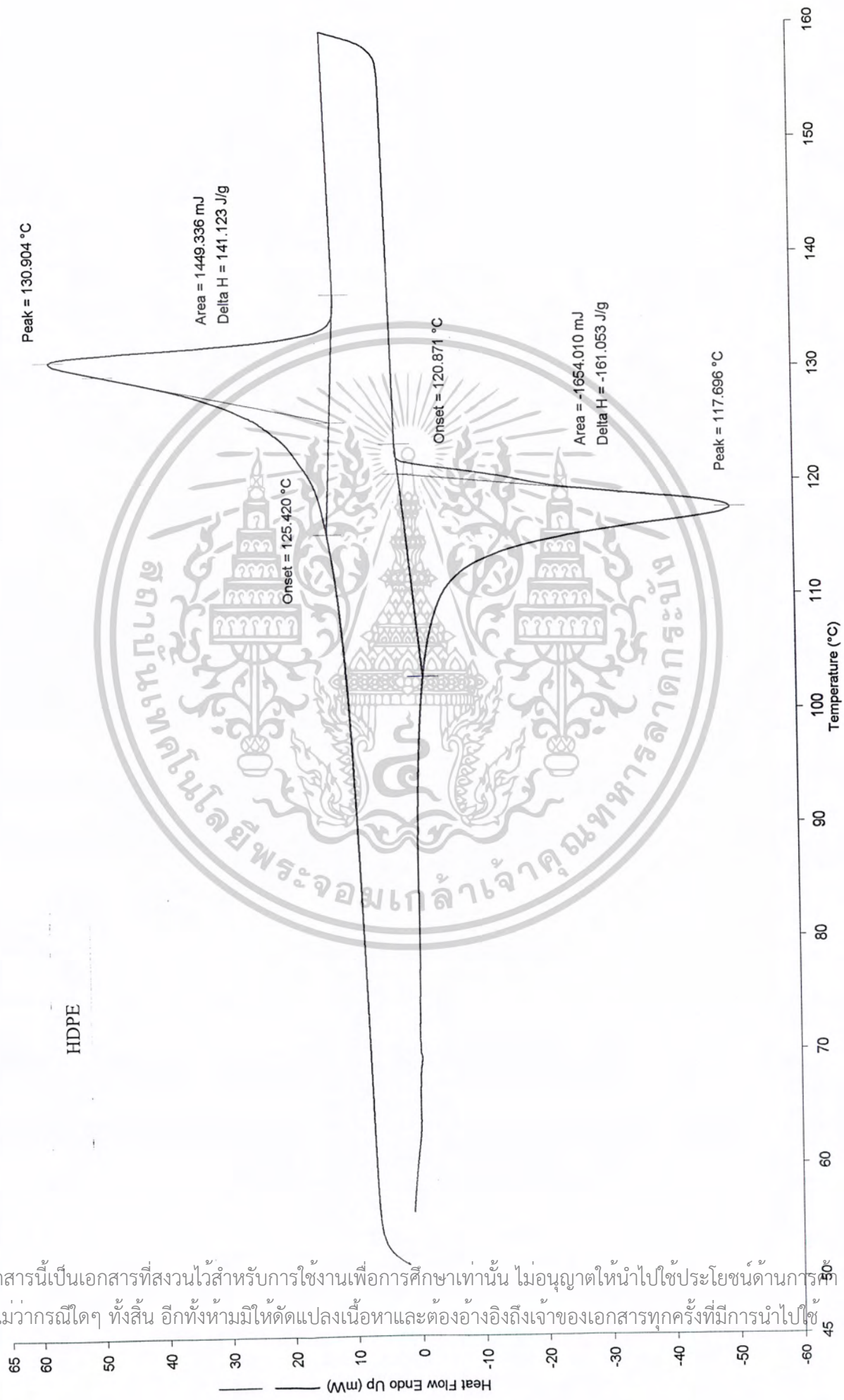
Filename: C:\Program Files\Pyris...46-1-17-rpp7.ppt
 Operator ID: unewam
 Sample ID: 46-1-17-rpp7
 Sample Weight: 6.920 mg
 Comment: rpp7

rPP + MP 70 phr



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

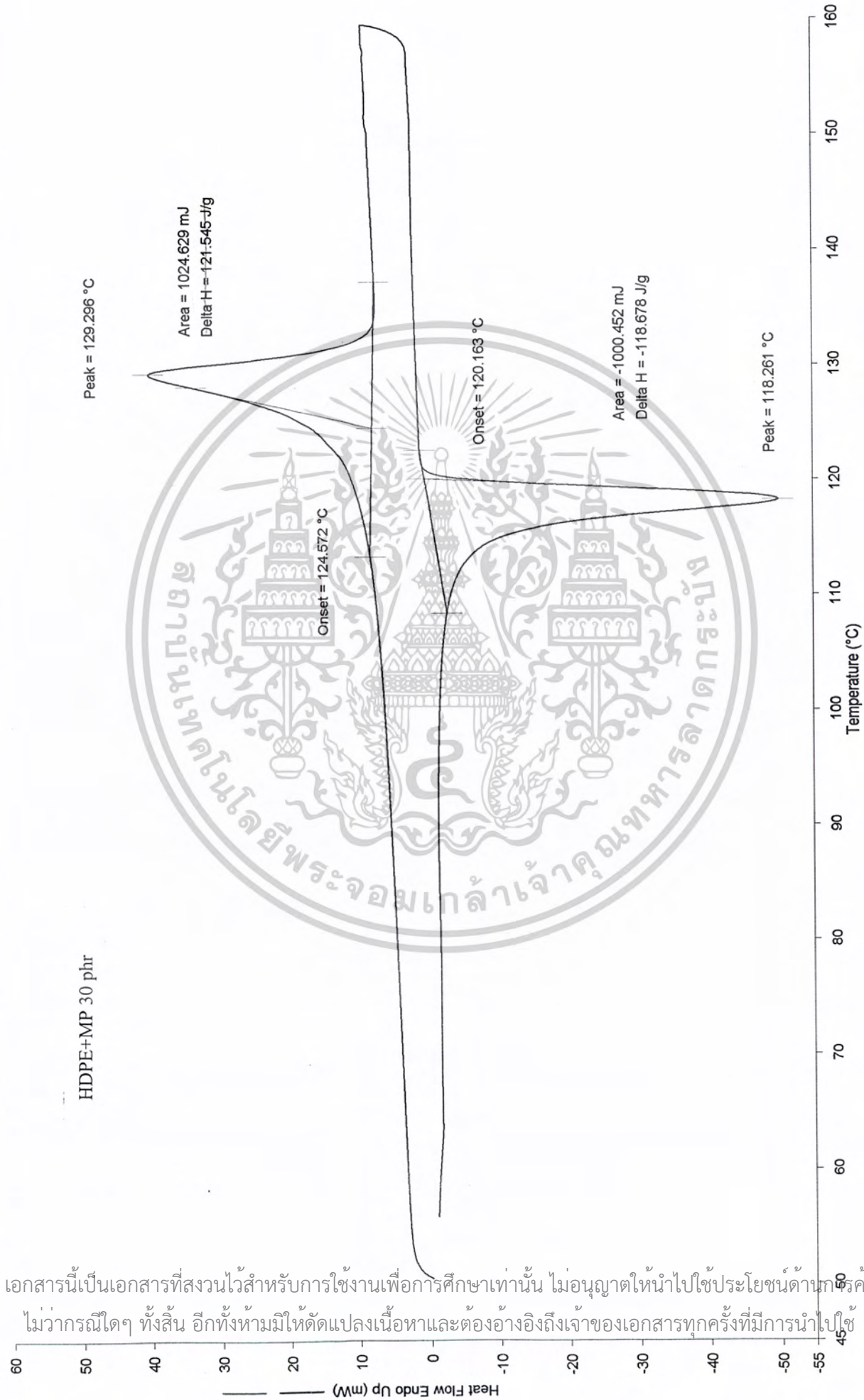
Filename: C:\Program...46-1-17-pp0@03011\180\44.ppt
 Operator ID: uamnew
 Sample ID: 46-1-17-pp0
 Sample Weight: 10.270 mg
 Comment: pure HDPE



2) Cool from 160.00°C to 50.00°C at 10.00°C/min
 1/17/2003 6:35:32 PM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการ
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Operator ID: uamnew
Sample ID: 46-1-17-pe3
Sample Weight: 8.430 mg
Comment: pe3



1) Heat from 50.00°C to 160.00°C at 10.00°C/min

2) Cool from 160.00°C to 50.00°C at 10.00°C/min

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านธุรกิจ
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Filename: C:\Program Files\TA\117-17-pe50.ppt

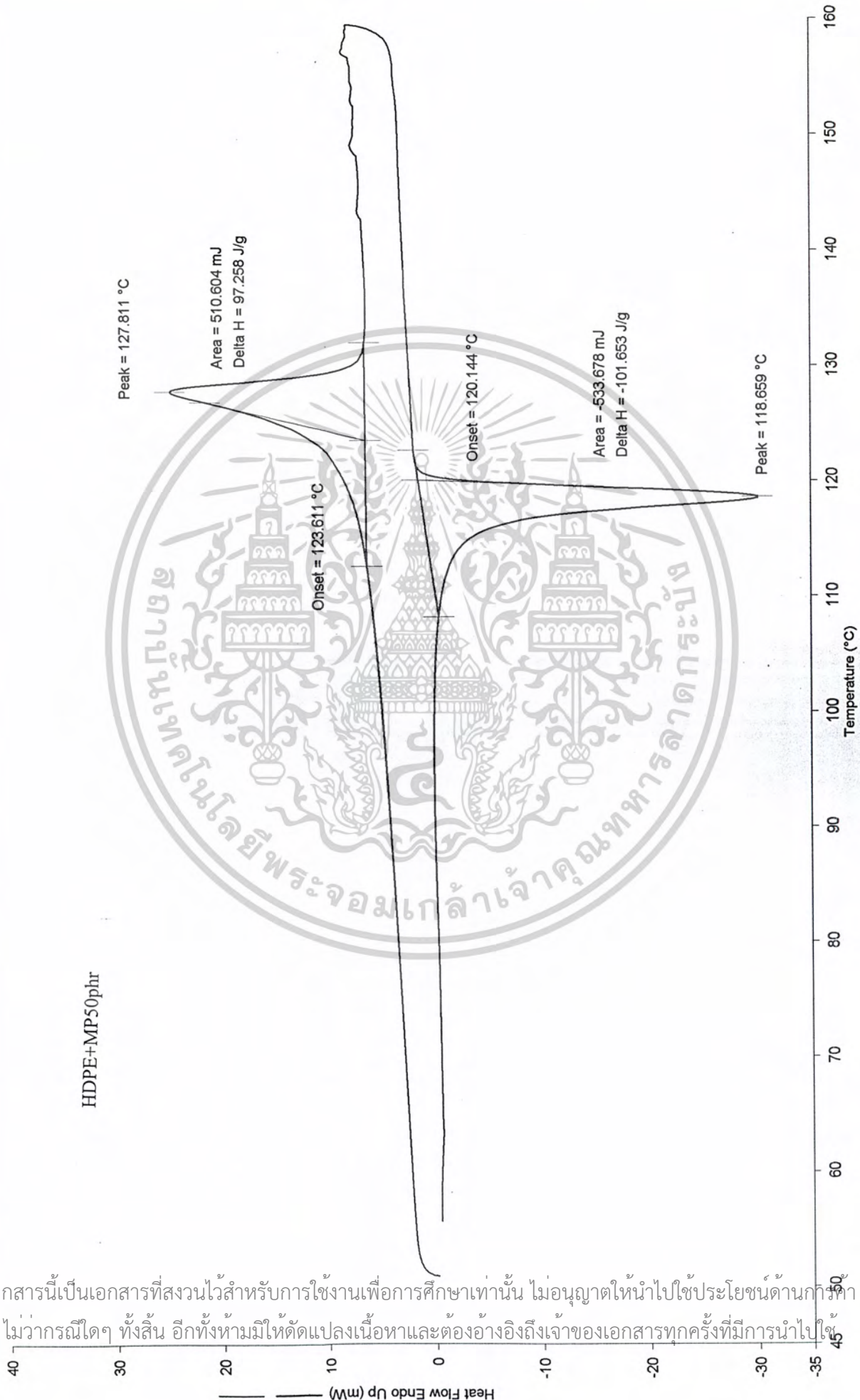
Operator ID: uamnew

Sample ID: 46-1-17-pe5

Sample Weight: 5.250 mg

Comment: pe5

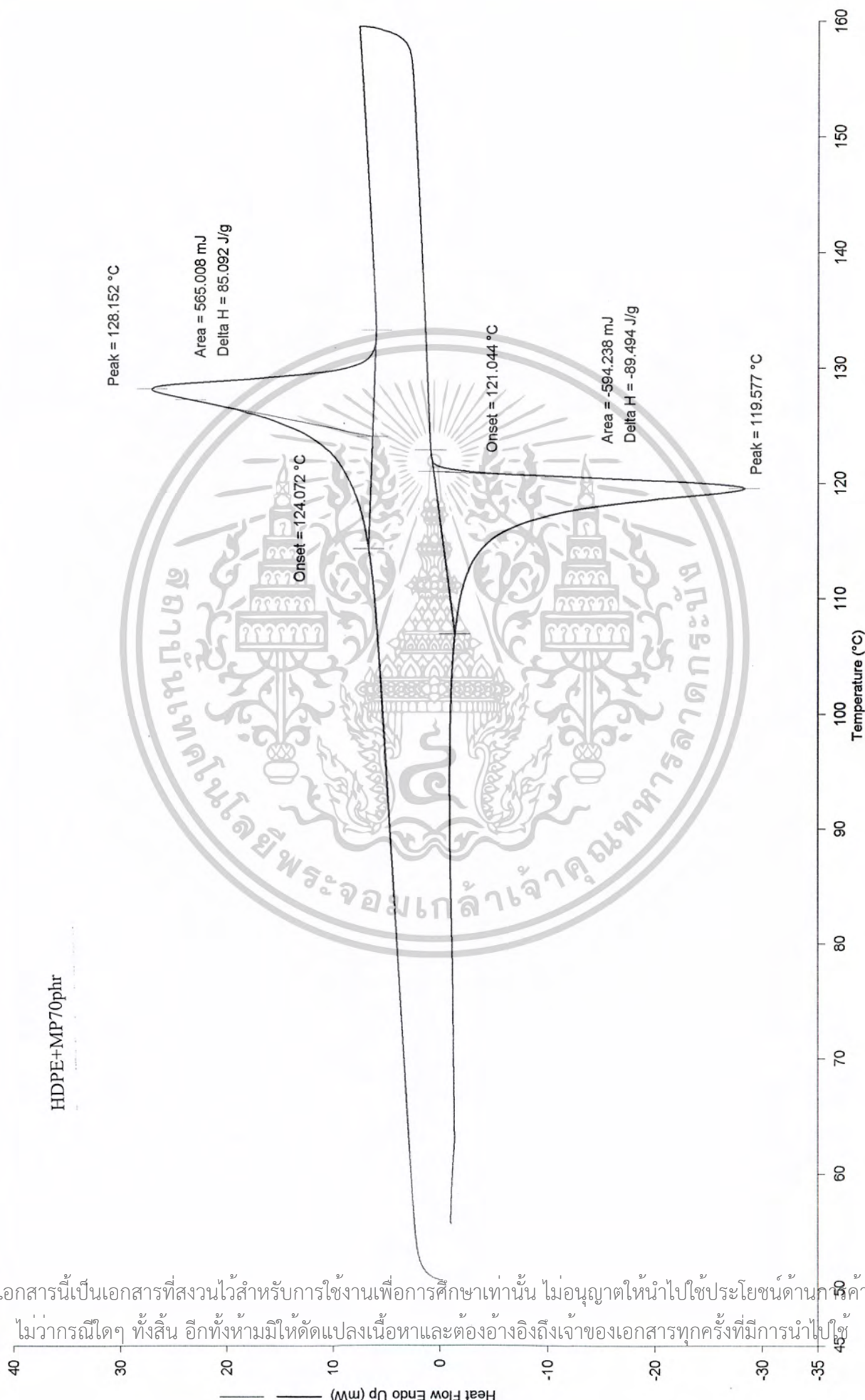
HDPE+MP50phr



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Operator ID: uamnew
Sample ID: 46-1-17-pe7
Sample Weight: 6.640 mg
Comment: pe7

HDPE+MP70phr



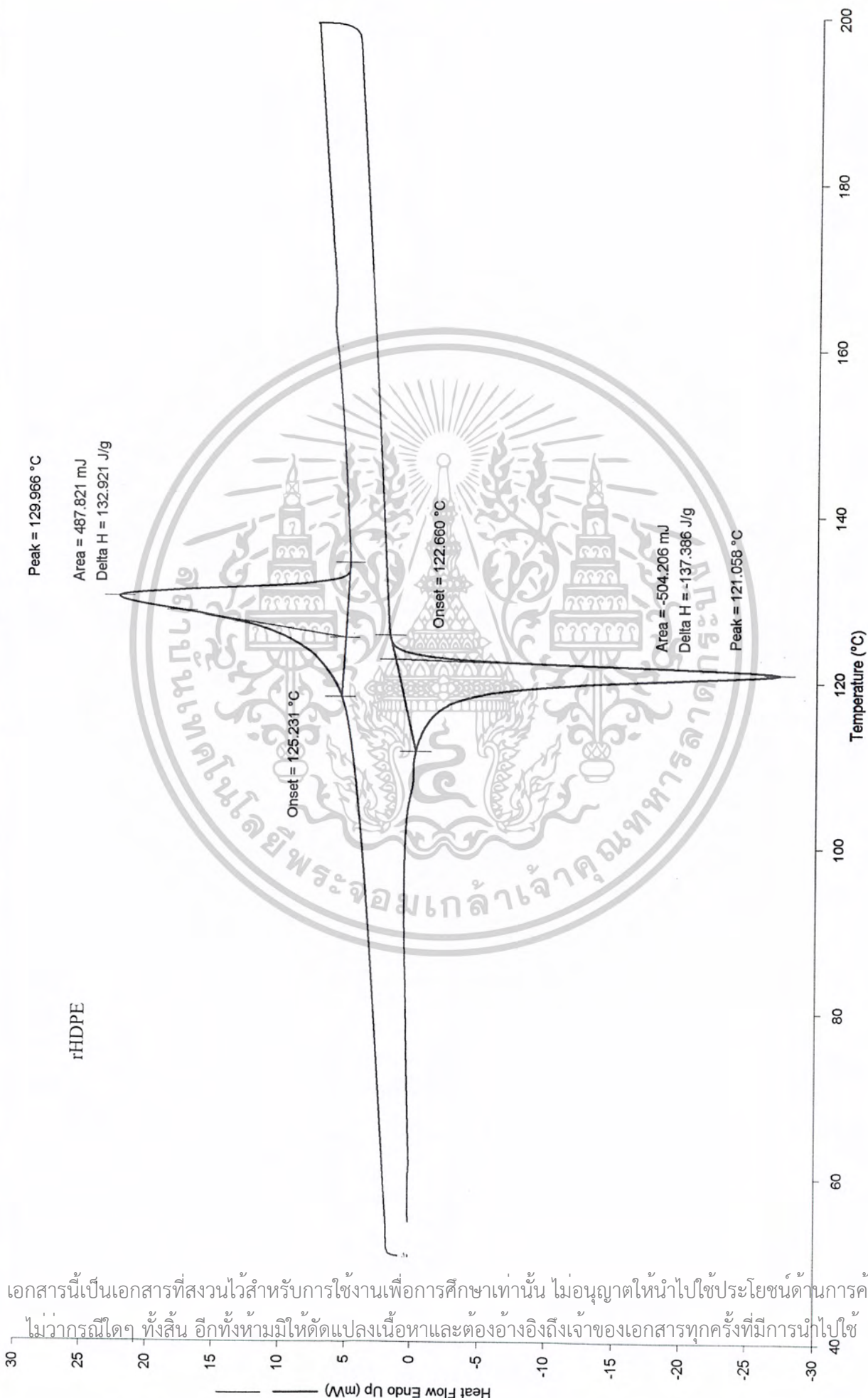
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1) Heat from 50.00°C to 160.00°C at 10.00°C/min

2) Cool from 160.00°C to 50.00°C at 10.00°C/min

1/17/2003 7:44:22 PM

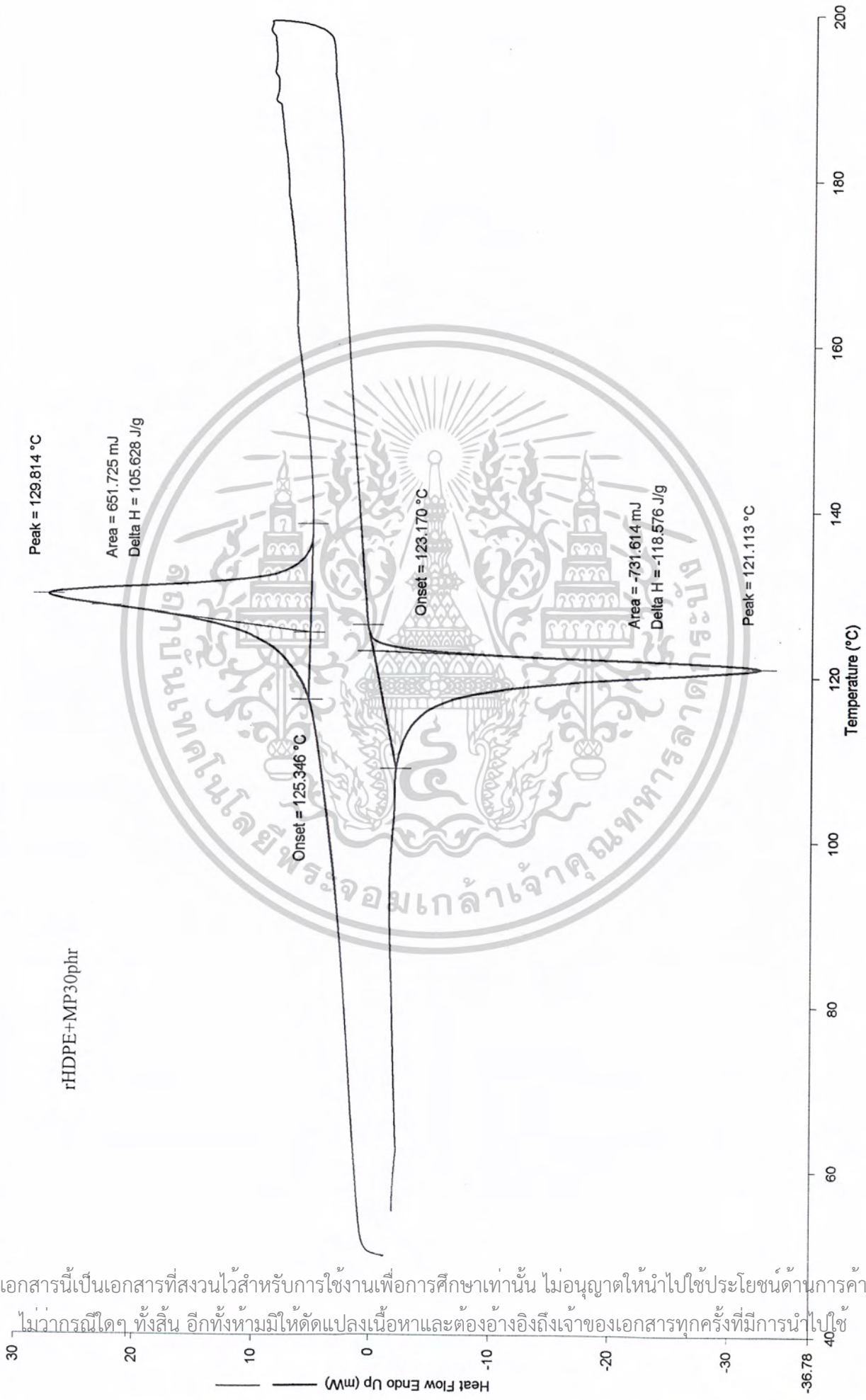
Sample ID: 45-12-09-rpe0
Sample Weight: 3.670 mg
Comment:



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1) Heat from 50.00°C to 200.00°C at 10.00°C/min
2) Cool from 200.00°C to 50.00°C at 10.00°C/min
12/9/2002 6:24:07 PM

Operator ID: uainnew
Sample ID: 45-12-09-rpe3
Sample Weight: 6.170 mg
Comment:

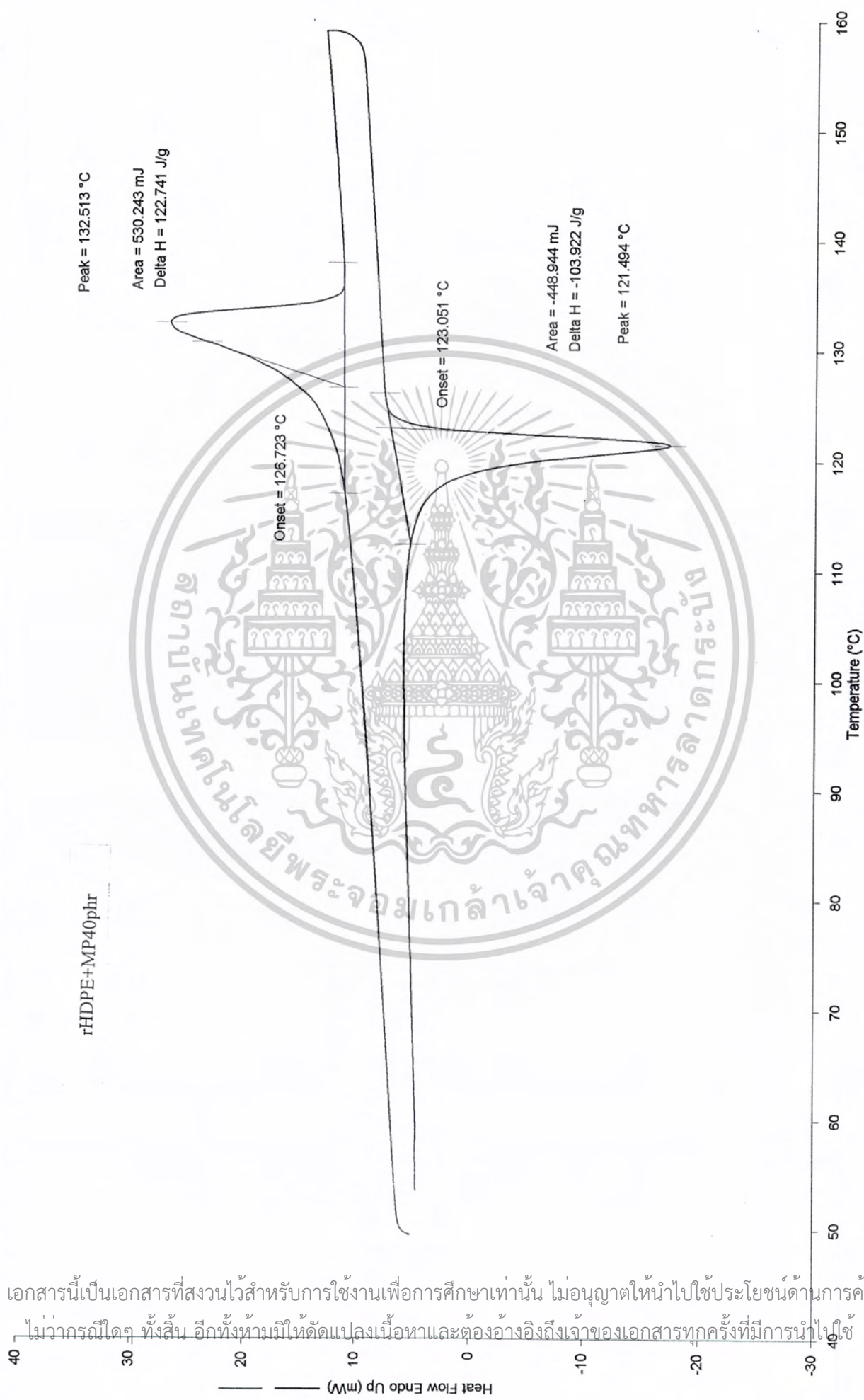


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1) Heat from 50.00°C to 200.00°C at 10.00°C/min
2) Cool from 200.00°C to 50.00°C at 10.00°C/min
12/9/2002 6:54:22 PM

Production No. 46-01-31-RPE4
Sample ID: 4.320 mg
Sample Weight: RPE 4
Comment:

rHDPE+MP40phr



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1) Heat from 50.00°C to 160.00°C at 10.00°C/min

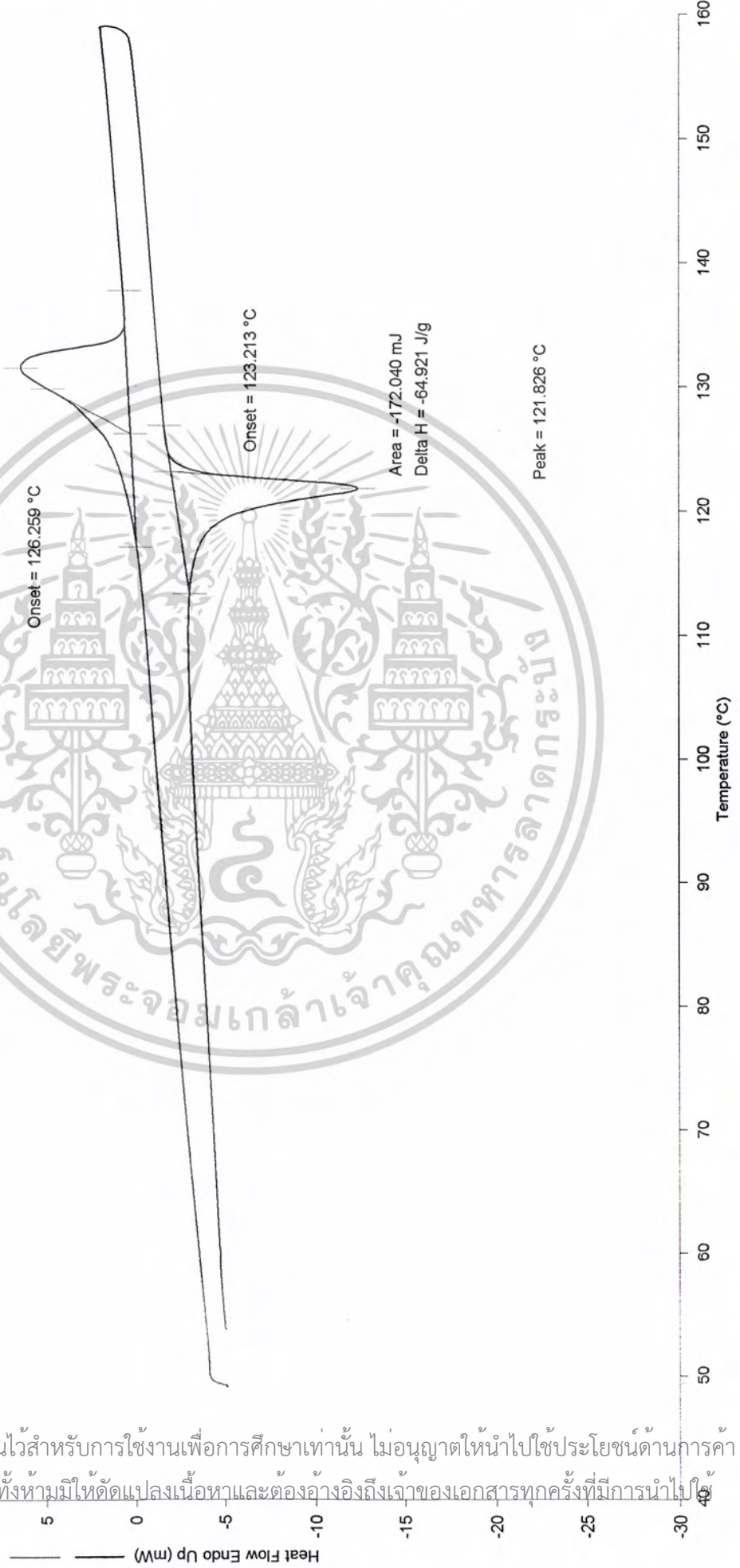
2) Cool from 160.00°C to 50.00°C at 10.00°C/min

1/31/2003 12:40:56 PM

Operator ID: UAMNEW
Sample ID: 46-01-31-RPE5
Sample Weight: 2.650 mg
Comment: RPE 5

rHDPE+MP50phr

Peak = 131.508 °C
Area = 203.176 mJ
Delta H = 76.670 J/g



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1) Heat from 50.00°C to 160.00°C at 10.00°C/min

2) Cool from 160.00°C to 50.00°C at 10.00°C/min

1/31/2003 1:31:11 PM

Peak = 129.654 °C
Area = 771.554 mJ
Delta H = 30.8170 J/g

Onset = 125.152 °C

Onset = 124.007 °C

Area = 830.480 mJ
Delta H = -93.515 J/g

Peak = 121.595 °C

rHDPE+MP60phr

41

31

21

11

0

-11

-21

-31

-41

-45

Heat Flow Endo Up (mW)

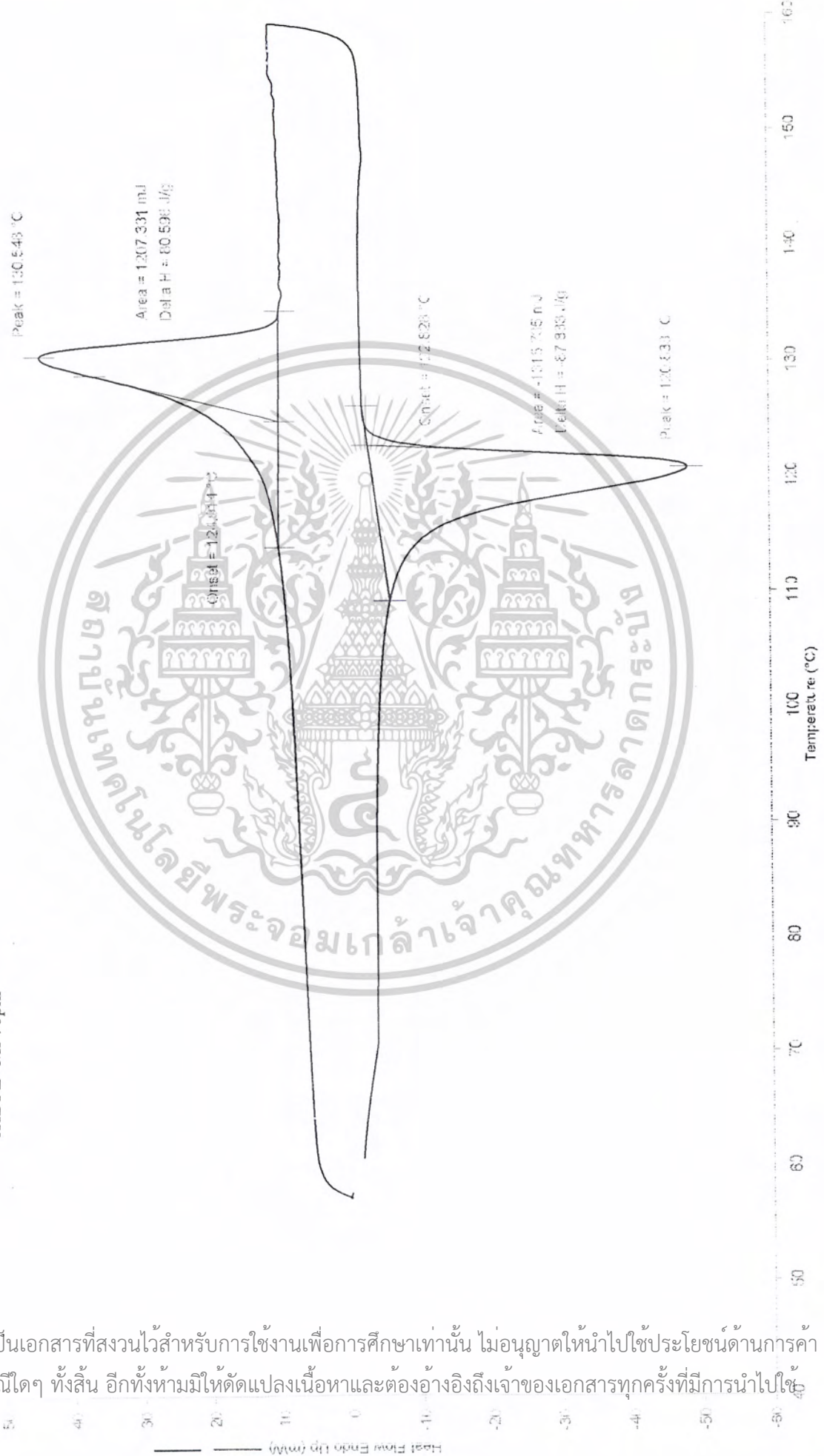
Temperature (°C)

60 70 80 90 100 110 120 130 140 150 160 180

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Publinter: C:\Program Files\Agilent\chem\7.0\bin\2191spe.exe
Client: U. Phras
Sample ID: 6-12-13-1007
Sample Weight: 1.33 mg
Compound: H97

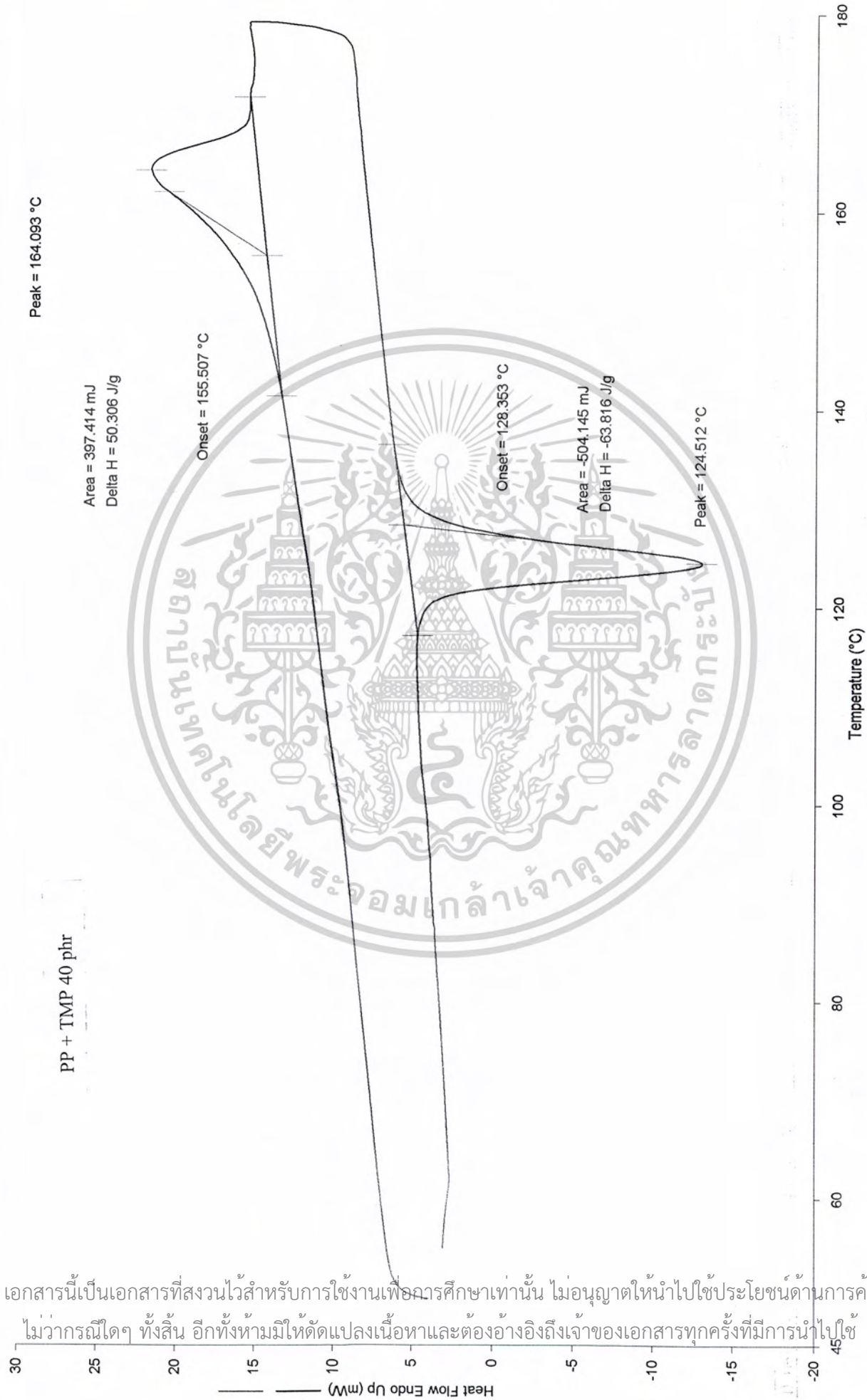
rHDPE+MP70phr



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Operator ID: CAWINEW
Sample ID: 46-01-31-TPP4
Sample Weight: 7.900 mg
Comment: TMP_PP4

PP + TMP 40 phr



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

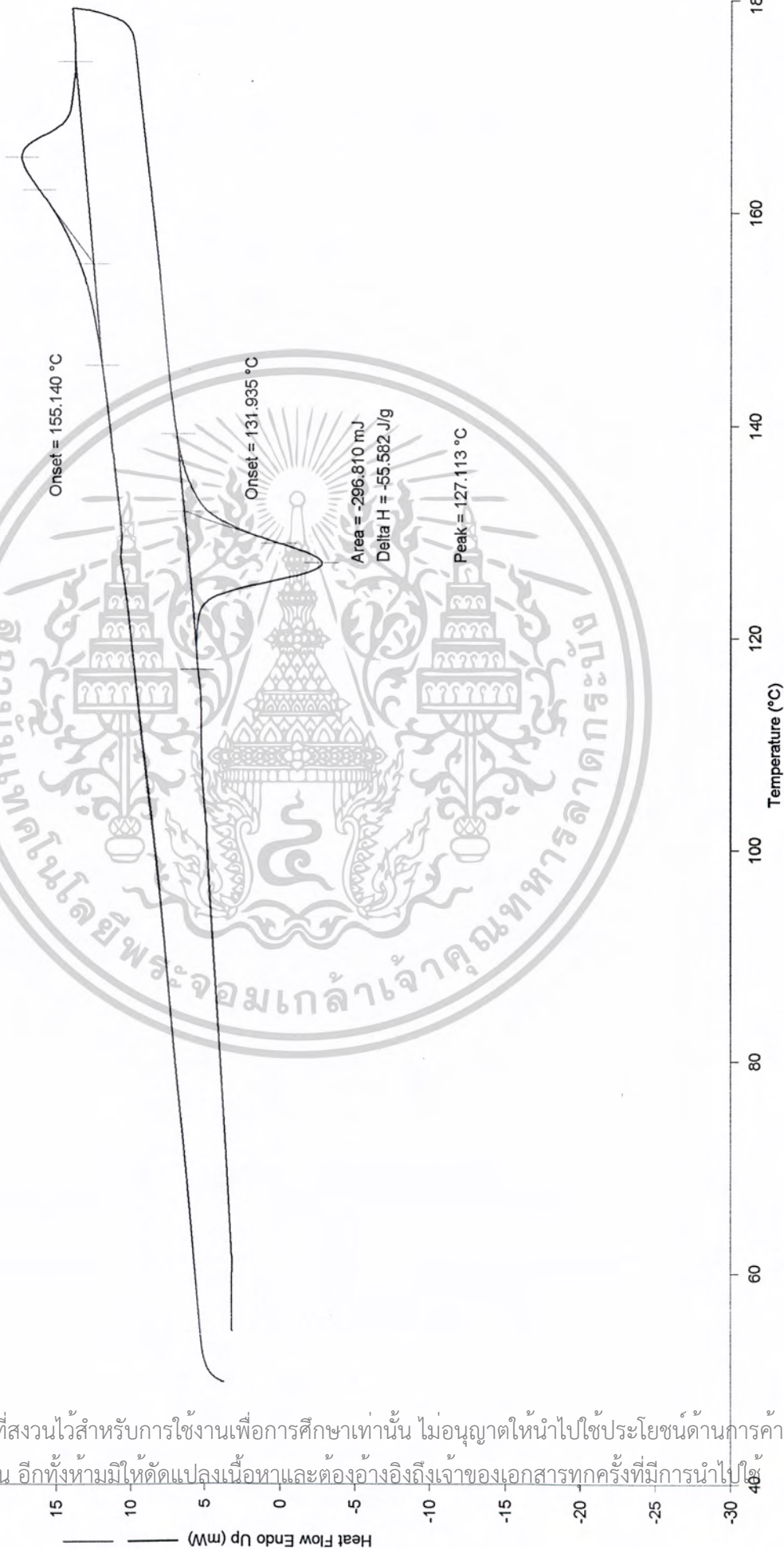
1) Heat from 50.00°C to 180.00°C at 10.00°C/min

2) Cool from 180.00°C to 50.00°C at 10.00°C/min

3/5/2003 3:40:17 PM

Peak = 165.149 °C
Area = 239.625 mJ
Delta H = 44.874 J/g

rPP + TMP 40 phr



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1) Heat from 50.00°C to 180.00°C at 10.00°C/min

2) Cool from 180.00°C to 50.00°C at 10.00°C/min

1/31/2003 2:15:18 PM

Operator ID: UAMNEW
 Sample ID: 46-01-31-TRPP4
 Sample Weight: 5.340 mg
 Comment: TMP RPP4

Operator ID: 46-01-31-TPE44
Sample Weight: 10.100 mg
Comment: TMP PE44

HDPE + TMP 40 phr

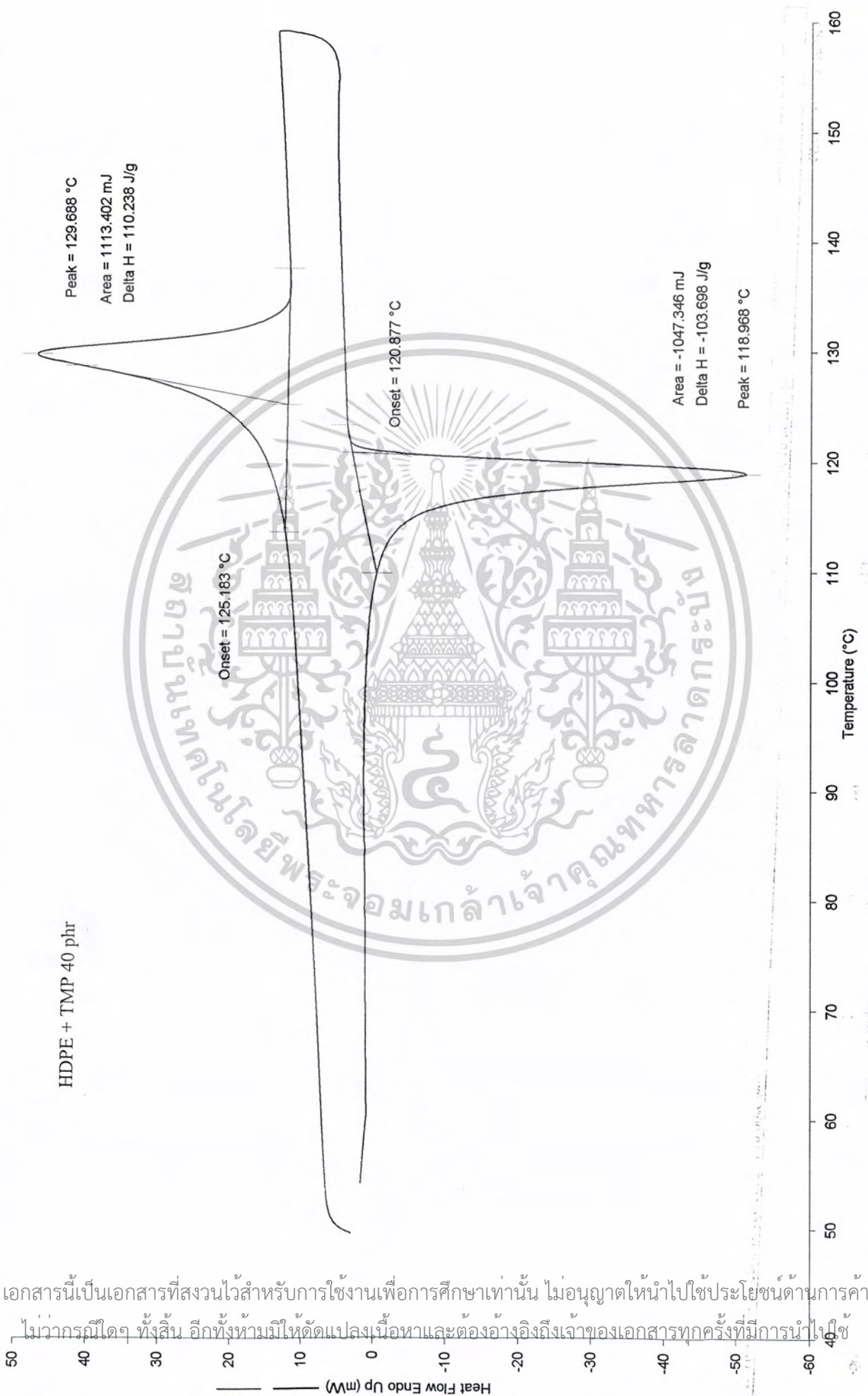
Peak = 129.688 °C
Area = 1113.402 mJ
Delta H = 110.238 J/g

Onset = 125.183 °C

Onset = 120.877 °C

Area = -1047.346 mJ
Delta H = -103.698 J/g

Peak = 118.968 °C



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำใช้

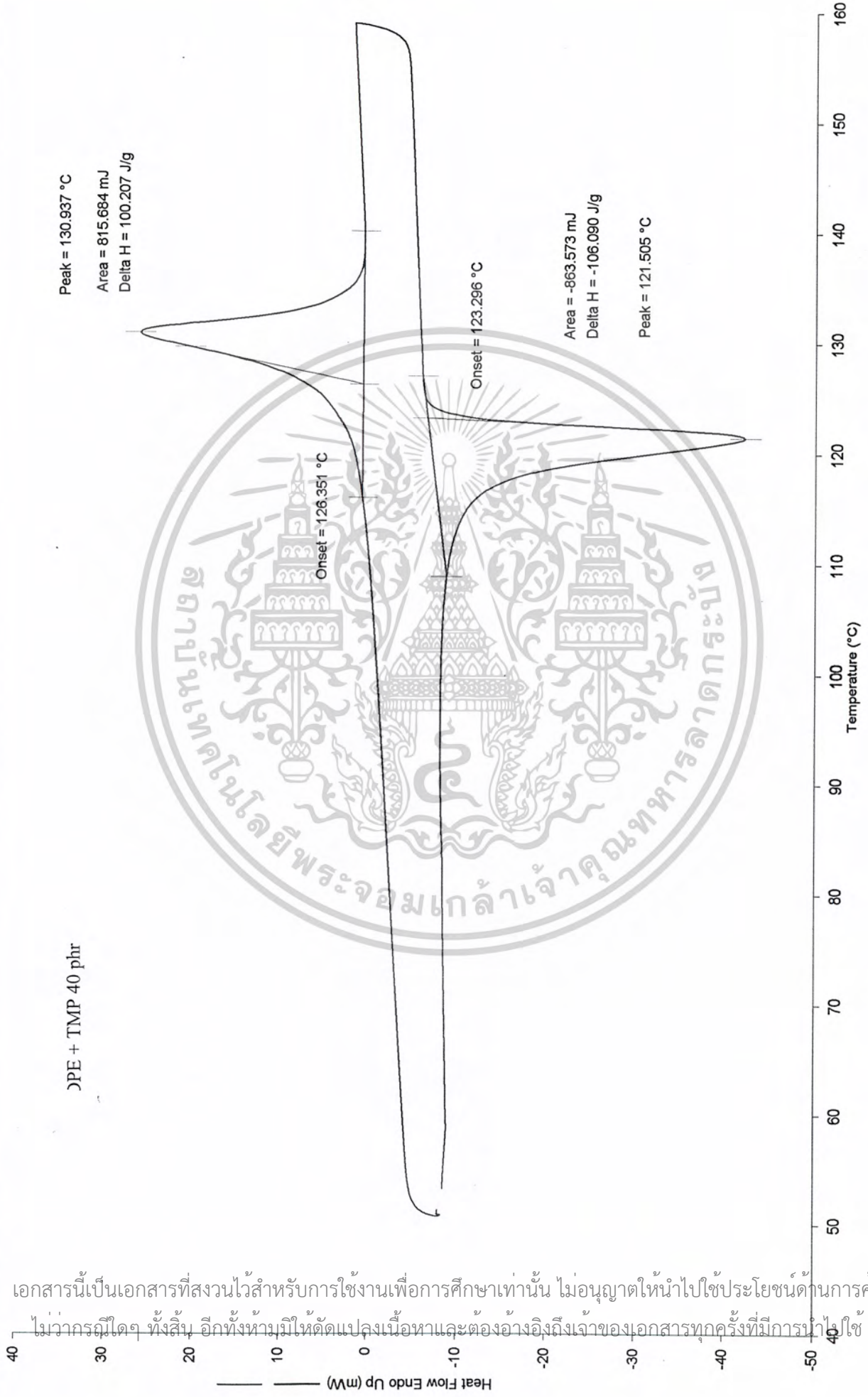
1) Heat from 50.00°C to 160.00°C at 10.00°C/min

2) Cool from 160.00°C to 50.00°C at 10.00°C/min

1/31/2003 1:27:39 PM

Sample ID: 46-01-31-TRPE4
Sample Weight: 8.140 mg
Comment: TMP RPE 4

DPE + TMP 40 phr



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1) Heat from 50.00°C to 160.00°C at 10.00°C/min
2) Cool from 160.00°C to 50.00°C at 10.00°C/min
1/31/2003 12:16:10 PM