การจำแนกลักษณะผลของสารเติมแต่งที่มีต่อพอลิโอลิฟินส์และโฟมพอลิสไตรีนที่ใช้แล้ว

T033492

นางสาวกาญจนา ดอกบุก

นายอนวัช ดุรงค์ภินนท์

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 33492
วัน, เดือน, ปี 13 ส.ค. 2542

โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาเคมี

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2541

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Characterization of Additive Effects on Recycled Polyolefins and Polystyrene Foam

Miss Kanchana Dokbuk

Mr. Anawat Durongphinon

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

1998

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษ	การจำแนกลักษณะผลของสารเติมแต่งที่มีต่อพอลิโอลิฟินส์และพอลิสไตรีนที่ใช้แล้ว
นักศึกษา	นางสาวกาญจนา ดอกบุก
	นายอนวัช ดุรงค์ภินนท์
ภาควิชา	เคมี
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร.สมศักดิ์ วรมงคลชัย

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

.....
(ผศ.นงนุช เภตรานุวัฒน์) หัวหน้าภาควิชาเคมี

คณะกรรมการตรวจสอบโครงงานพิเศษ

.....
(ผศ.ดร.มาลินี ชัยศุภกิจสินธ์) ประธานกรรมการ

.....
(ดร.ต้องจิตต์ คิดชอบ) กรรมการ

.....
(ดร.สมศักดิ์ วรมงคลชัย) กรรมการ

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษ	การจำแนกลักษณะของผลสารเติมแต่งที่มีต่อพอลิโอลิฟินส์และโฟมพอลิสไตรีนที่ใช้แล้ว
นักศึกษา	นางสาวกาญจนา ดอกบุก
	นายอนวัช ดุรงค์ภินนท์
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร.สมศักดิ์ วรมงคลชัย
ภาควิชา	เคมี
ปีการศึกษา	2541

บทคัดย่อ

โครงงานนี้เป็นการศึกษาผลของสารเติมแต่งที่มีต่อพอลิเมอร์ผสมระหว่างโฟมพอลิสไตรีนและพอลิโอลิฟินส์ที่ใช้แล้ว โดยทำการศึกษา สมบัติทางความร้อน สมบัติทางแสง และสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสมซึ่งได้จากการผสมด้วยเครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง (Two-Roll Mill) และเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว (Single - Screw Extruder) โดยใช้อัตราส่วนที่ต่างกันของพอลิสไตรีนและพอลิโอลิฟินส์เป็น 25:75 50:50 และ 75:25

พบว่าสมบัติทางความร้อน ทางสัณฐานวิทยา และทางแสงของพอลิเมอร์ผสมที่อัตราส่วน 75:25 ให้ผลดีที่สุด ภายหลังการผสมสารเติมแต่งใช้พลังงานในการหลอมเหลวพอลิเมอร์ผสมสูงกว่าเนื่องจากอิทธิพลของความเป็นผลึกที่เพิ่มขึ้น ส่วนสมบัติทางแสงของพอลิเมอร์ผสมทั้งก่อนและหลังเติมสารเติมแต่งไม่ได้ให้ผลที่เด่นชัดมากนัก ในขณะที่ทางสัณฐานวิทยาพอลิเมอร์ผสมหลังเติมสารเติมแต่งแสดงการยึดเกี่ยวของพอลิเมอร์ผสมเข้ากันได้ดีกับสารเติมแต่งโดยเฉพาะอย่างยิ่งกับเส้นใยแก้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Special Project Title	Characterization of Additive Effects on Recycled Polyolefins and Polystyrene Foam
Name	Miss Kanchana Dokbuk
	Mr. Anawat Durongphinon
Special Project Advisor	Dr. Somsak Woramongconchai
Department	Chemistry
Academic Year	1998

Abstract

This special project aims to study effects of additives on recycled polyolefins and polystyrene foam. The study has determined the thermal, optical and morphological properties of polymer blends with the various ratios of 25:75, 50:50 and 75:25 by two-roll mill and single - screw extruder.

The results showed that the thermal, morphological and optical properties of the ratio 75:25 was the best optimum, after mixed with additives indicated more heat of fusion according to the effects of more crystallization. The optical properties of the polymer blends before and after mixed with additives did not show any significant. In addition, morphology property of the polymer blends after mixed with additives showed the good mixing of polymer blends entanglement, especially with fiberglass.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ผู้จัดทำขอขอบพระคุณผู้ที่ให้ความช่วยเหลือในการดำเนินงานโครงงานพิเศษนี้จนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ดร.สมศักดิ์ วรมงคลชัย ที่กรุณาให้คำแนะนำ และความช่วยเหลือในการดำเนินงานโครงงานพิเศษมาโดยตลอด

ผศ.ดร.มาลินี ชัยศุภกิจสินธ์ และ ดร.ต้องจิตต์ คิดชอบ อาจารย์คณะกรรมการตรวจสอบโครงงานพิเศษ ที่ให้ความอนุเคราะห์ตรวจทาน และแก้ไขโครงงานพิเศษฉบับนี้ให้ถูกต้องสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

และบิดา มารดา พี่ ๆ เพื่อน ๆ น้อง ๆ และเจ้าหน้าที่ภาควิชาเคมีทุกท่าน ที่คอยให้ความช่วยเหลือ และให้กำลังใจตลอดมา

นางสาวกาญจนา ดอกบุก
นายอนวัช ดุรงค์ภินนท์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อโครงงานพิเศษภาษาไทย	ก
บทคัดย่อโครงงานพิเศษภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาของโครงงาน	1
1.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	2
1.3 วัตถุประสงค์ของโครงงาน	3
1.4 ขอบเขตของงานวิจัย	3
1.5 ขั้นตอนวิจัยและดำเนินงาน	4
1.6 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	5
2.1 พอลิเมอร์ผสม	5
2.2 พอลิโอลิฟินส์	7
2.3 พอลิสไตรีน	10
2.4 สารเติมแต่ง	11
2.5 การตกผลึกในพอลิเมอร์	13
2.6 เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย	15
บทที่ 3 การวิจัยและดำเนินงาน	18
3.1 สารเคมีที่ใช้	18
3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์	18
3.3 วิธีการทดลอง	18
บทที่ 4 ผลการทดลอง	21
4.1 ผลการศึกษาสมบัติทางความร้อน	21
4.2 การศึกษาสัณฐานวิทยา	40
4.3 การศึกษาสมบัติทางแสง	44
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ	50
5.1 สรุป	50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
5.2 ข้อเสนอแนะ	51
ภาคผนวก ก.	52
เอกสารอ้างอิง	74

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

		หน้า
ตารางที่ 2.1	แสดงค่าความสามารถในการละลาย (Solubility Parameter)	6
ตารางที่ 2.2	แสดงสมบัติบางประการของพอลิโอลิฟินส์	7
ตารางที่ 3.1	แสดงอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ผสมด้วยเครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้งในแต่ละอัตราส่วน	19
ตารางที่ 3.2	แสดงอุณหภูมิและความเร็วที่ใช้ผสมด้วยเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยวในแต่ละอัตราส่วน	19
ตารางที่ 4.1	แสดงผลการทดสอบสมบัติทางความร้อนของพอลิเมอร์ผสม PS/PO ที่อัตราส่วน 75/25 ด้วยเครื่อง DSC	21
ตารางที่ 4.2	แสดงผลการทดสอบสมบัติทางความร้อนของพอลิเมอร์ผสม PS/PO ที่อัตราส่วน 50/50 ด้วยเครื่อง DSC	22
ตารางที่ 4.3	แสดงผลการทดสอบสมบัติทางความร้อนของพอลิเมอร์ผสม PS/PO ที่อัตราส่วน 75/25 ด้วยเครื่อง DSC	23
ตารางที่ 4.4	แสดงผลการทดสอบสมบัติทางความร้อนของพอลิเมอร์ผสม PS/PO อัตรา 25/75	35
ตารางที่ 4.5	แสดงผลการทดสอบสมบัติทางความร้อนของพอลิเมอร์ผสม PS/PO อัตรา 50/50	35
ตารางที่ 4.4	แสดงผลการทดสอบสมบัติทางความร้อนของพอลิเมอร์ผสม PS/PO อัตรา 75/25	36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1 แสดงค่าพลังงานอิสระในการผสมสองส่วนประกอบเข้าด้วยกัน 6

รูปที่ 2.2 แสดงโครงสร้างของเซลลูโลส 12

รูปที่ 4.1 แสดงผลของสารเติมแต่งที่มีต่ออุณหภูมิหลอมเหลวและอุณหภูมิการตกผลึกของพอลิเมอร์ผสม PS/POอัตราส่วน 25/75 24

รูปที่ 4.2 แสดงผลของสารเติมแต่งที่มีต่ออุณหภูมิหลอมเหลวและอุณหภูมิการตกผลึกของพอลิเมอร์ผสม PS/PO อัตราส่วน 50/50 25

รูปที่ 4.3 แสดงผลของสารเติมแต่งที่มีต่ออุณหภูมิหลอมเหลวและอุณหภูมิการตกผลึกของพอลิเมอร์ผสม PS/PO อัตราส่วน 75/25 26

รูปที่ 4.4 แสดงผลของสารเติมแต่งที่มีต่ออุณหภูมิหลอมเหลวผลึก HDPE ของพอลิเมอร์ผสม ในแต่ละอัตราส่วน 27

รูปที่ 4.5 แสดงผลของสารเติมแต่งที่มีต่ออุณหภูมิหลอมเหลวผลึก PP ของพอลิเมอร์ผสม ในแต่ละอัตราส่วน 28

รูปที่ 4.6 แสดงผลของสารเติมแต่งที่มีต่ออุณหภูมิการตกผลึกของพอลิเมอร์ผสม ในแต่ละอัตราส่วน 29

รูปที่ 4.7 แสดงผลของสารเติมแต่งที่มีต่อความร้อนที่ใช้ในการหลอมเหลวผลึกของพอลิเมอร์ผสม PS/POอัตราส่วน 75/25 30

รูปที่ 4.8 แสดงผลของสารเติมแต่งที่มีต่อความร้อนที่ใช้ในการหลอมเหลวผลึกของพอลิเมอร์ผสม PS/POอัตราส่วน 50/50 31

รูปที่ 4.9 แสดงผลของสารเติมแต่งที่มีต่อความร้อนที่ใช้ในการหลอมเหลวผลึกของพอลิเมอร์ผสม PS/POอัตราส่วน 25/75 32

รูปที่ 4.10 แสดงผลของสารเติมแต่งที่มีต่อความร้อนที่ใช้ในการหลอมเหลวผลึก HDPE ของพอลิเมอร์ผสม ในแต่ละอัตราส่วน 33

รูปที่ 4.11 แสดงผลของสารเติมแต่งที่มีต่อความร้อนที่ใช้ในการหลอมเหลวผลึก PP ของพอลิเมอร์ผสม ในแต่ละอัตราส่วน 34

รูปที่ 4.12 แสดงผลของสารเติมแต่งที่มีต่ออุณหภูมิการเสียรูปของพอลิเมอร์ผสม PS/PO ที่อัตราส่วน 25/75 37

รูปที่ 4.13 แสดงผลของสารเติมแต่งที่มีต่ออุณหภูมิการเสียรูปของพอลิเมอร์ผสม PS/PO ที่อัตราส่วน 50/50 37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.14 แสดงผลของสารเติมแต่งที่มีต่ออุณหภูมิการเสียรูปของพอลิเมอร์ผสม PS/PO ที่อัตราส่วน 75/25 38

รูปที่ 4.15 แสดงผลของสารเติมแต่งที่มีต่ออุณหภูมิการเสียรูปของพอลิเมอร์ผสมในแต่ละอัตราส่วน 39

รูปที่ 4.16 ภาพถ่าย SEM กำลังขยาย 700 เท่า แสดงลักษณะของพอลิเมอร์ผสม PS/PO อัตราส่วน 75/25 40

รูปที่ 4.17 ภาพถ่าย SEM กำลังขยาย 700 เท่า แสดงลักษณะของพอลิเมอร์ผสม อัตราส่วน 75/25 ที่มีเส้นใยแก้วเป็นสารเติมแต่ง 41

รูปที่ 4.18 ภาพถ่าย SEM กำลังขยาย 700 เท่า แสดงลักษณะของพอลิเมอร์ผสม อัตราส่วน 75/25 ที่มีเส้นใยเซลลูโลสเป็นสารเติมแต่ง 41

รูปที่ 4.19 ภาพถ่าย SEM กำลังขยาย 700 เท่า แสดงลักษณะของพอลิเมอร์ผสม PS/PO อัตราส่วน 25/75 42

รูปที่ 4.20 ภาพถ่าย SEM กำลังขยาย 700 เท่า แสดงลักษณะของพอลิเมอร์ผสม อัตราส่วน 25/75 ที่มีเส้นใยแก้วเป็นสารเติมแต่ง 43

รูปที่ 4.21 ภาพถ่าย SEM กำลังขยาย 700 เท่า แสดงลักษณะของพอลิเมอร์ผสม อัตราส่วน 25/75 ที่มีเส้นใยเซลลูโลสเป็นสารเติมแต่ง 43

รูปที่ 4.22 ภาพถ่ายกำลังขยาย 100 เท่า แสดงสมบัติทางแสงของพอลิเมอร์ผสม PS/PO ที่อัตราส่วน 25/75 ก่อนเติมสารเติมแต่ง 44

รูปที่ 4.23 ภาพถ่ายกำลังขยาย 100 เท่า แสดงสมบัติทางแสงของพอลิเมอร์ผสม PS/PO ที่อัตราส่วน 25/75 หลังเติมด้วยเส้นใยแก้ว 45

รูปที่ 4.24 ภาพถ่ายกำลังขยาย 100 เท่า แสดงสมบัติทางแสงของพอลิเมอร์ผสม PS/PO ที่อัตราส่วน 25/75 หลังเติมด้วยเส้นใยเซลลูโลส 45

รูปที่ 4.25 ภาพถ่ายกำลังขยาย 100 เท่า แสดงสมบัติทางแสงของพอลิเมอร์ผสม PS/PO ที่อัตราส่วน 50/50 ก่อนเติมสารเติมแต่ง 46

รูปที่ 4.26 ภาพถ่ายกำลังขยาย 100 เท่า แสดงสมบัติทางแสงของพอลิเมอร์ผสม PS/PO ที่อัตราส่วน 50/50 หลังเติมด้วยเส้นใยแก้ว 47

รูปที่ 4.27 ภาพถ่ายกำลังขยาย 100 เท่า แสดงสมบัติทางแสงของพอลิเมอร์ผสม PS/PO ที่อัตราส่วน 50/50 หลังเติมด้วยเส้นใยเซลลูโลส 47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.28 ภาพถ่ายกำลังขยาย 100 เท่า แสดงสมบัติทางแสงของพอลิเมอร์ผสม PS/PO ที่อัตราส่วน 75/25 ก่อนเติมสารเติมแต่ง 48

รูปที่ 4.29 ภาพถ่ายกำลังขยาย 100 เท่า แสดงสมบัติทางแสงของพอลิเมอร์ผสม PS/PO ที่อัตราส่วน 75/25 หลังเติมด้วยเส้นใยแก้ว 48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาของโครงงาน

ในปัจจุบันนี้พลาสติกเป็นวัสดุสังเคราะห์ที่มีบทบาทอย่างยิ่งในวงการอุตสาหกรรมต่างๆ โดยใช้ทดแทนวัสดุธรรมชาติ เช่น ไม้ โลหะ กระดาษ ฯลฯ เนื่องจากมีข้อดีหลายประการ เช่น มีความใส น้ำหนักเบา ความเหนียวสูง ทนทานต่อสภาวะแวดล้อมได้ดีและมีหลายลักษณะแล้วแต่การประยุกต์ใช้งาน

จากผลของการใช้กันอย่างแพร่หลายจึงทำให้มีแนวโน้มของการใช้งานมากขึ้น สิ่งที่ตามมาคือ ปัญหาขยะพลาสติก พลาสติกมีความทนทานต่อการย่อยสลายสูงเนื่องมาจากมีพื้นที่ผิวในการสัมผัสกับสภาวะแวดล้อมน้อยมาก แนวทางหนึ่งในการแก้ปัญหาดังกล่าวคือ การนำพลาสติกมาผ่านกระบวนการขึ้นรูปใหม่อีกครั้ง (recycle) โดยนำมาผสมกับพลาสติกอื่น ๆ (plastics blending) ซึ่งจะทำให้ได้พลาสติกผสมที่มีสมบัติอยู่ระหว่างพลาสติกที่นำมาผสมนั้น แต่เนื่องจากพลาสติกผสมที่ได้อาจมีสมบัติด้อยกว่า หรือไม่เหมาะสมในการนำไปใช้งาน จึงต้องมีการปรับปรุงสมบัติของพลาสติกให้เหมาะสม โดยในงานวิจัยนี้ปรับปรุงสมบัติของพลาสติกผสมด้วยการเติมสารเติมแต่ง เพื่อปรับปรุงสมบัติด้านต่าง ๆ เช่น สมบัติเชิงกล สมบัติทางความร้อน และสมบัติทางเคมี เป็นต้น

พอลิเมอร์ที่ใช้ในทำการศึกษาในงานวิจัยนี้ได้แก่ พอลิโอลิฟินส์ เช่น พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE) พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE) พอลิพรอพิลีน (PP) และโฟมพอลิสไตรีน (PS) โดยนำพอลิโอลิฟินส์มาผสมกันในอัตราส่วนที่เท่ากันก่อน จากนั้นจึงนำมาผสมกับโฟมพอลิสไตรีน ในอัตราส่วนต่าง ๆ กันดังนี้คือ 25/75 50/50 และ 75/25 โดยน้ำหนัก โดยทำการปรับเปลี่ยนอุณหภูมิ เวลา และอัตราเร็วของสกรู ของเครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้งและเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว เพื่อเลือกสภาวะที่เหมาะสมในแต่ละอัตราส่วนก่อนนำไปเติมสารเติมแต่ง ซึ่งในงานวิจัยนี้เลือกใช้ เส้นใยแก้ว (fiber glass) และ เส้นใยเซลลูโลส (cellulose) ซึ่งได้จากตั๋วรถไฟ เป็นสารเติมแต่งในการพิจารณาถึงผลที่มีต่อพอลิเมอร์ผสมที่ใช้แล้วทั้งสองชนิด โดยผลจากการศึกษาทำให้สามารถทราบถึงสภาวะที่เหมาะสมในการผสมและผลของสารเติมแต่งแต่ละชนิดที่มีผลในการปรับปรุงสมบัติของพอลิเมอร์ผสมได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. FORTELNY,I.;MICHALKOVA,D.;MIKESOVA,J. ทำการศึกษาผลของสภาวะของการผสมพรอลิพรอพิลีนกับโฟมพอลิสไตรีน (PP/PS) [1]

ในการทดลองนี้จะศึกษาขนาดเฉลี่ยของอนุภาคที่กระจายตัว พบว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงขนาดอนุภาคเฉลี่ยและอัตราการผสม ที่อัตราส่วน(PP/PS) 75/25 แต่ ขนาดอนุภาคลดลงและมีการเพิ่มขึ้นของอัตราการผสมที่อัตราส่วน (PP/PS) 95/5 เป็นผลเนื่องมาจากการแข่งกัน แตกหัก และการรวมตัว ของอนุภาคที่กระจายตัว

2. FUJIYAMA,M. ทำการศึกษาโครงสร้างและสมบัติของกระบวนการฉีดขึ้นรูปของพอลิเมอร์ผสม PP/PS[2]

จากการศึกษาโครงสร้างและสมบัติของการผสม PP/PS โดยวิธีฉีดขึ้นรูปพบว่า

1. ค่าความทนทานต่อแรงกระแทก และความต้านทานความร้อนจะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณ PS
2. อุณหภูมิการตกผลึก และ ความร้อนแฝง ลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณ PS เนื่องจากเกิดอันตรกิริยา ของ PP และ PS
3. การหดตัวจะลดลงเมื่อปริมาณ PS มากขึ้น
4. สมบัติการไหลจะมากขึ้นเมื่อ PS มากขึ้น
5. พอลิเมอร์ผสมจะขาวขึ้นเมื่อเพิ่ม PS มากขึ้นและไม่มีตำหนิที่พื้นผิว
6. ความเป็นผลึกลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณ PS
7. พอลิเมอร์ผสมไม่แสดง แกนโครงสร้างและผิวที่ชัดเจนเมื่อใช้เครื่อง Polarize Microscopy

2. Gupta,A.K. ทำการศึกษาสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนกับพอลิเอทิลีน (PE) และพอลิพรอพิลีน (PP) กับโฟมพอลิสไตรีน (PS) โดยผ่านเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยวในอัตราส่วน 90 : 10 โดยน้ำหนัก จากการทดลองพบว่าเมื่อผสมพอลิพรอพิลีนกับพอลิเอทิลีน จะทำให้ค่ามอดุลัสและค่าความแข็งแรงดึงมากขึ้นแต่ค่าเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาดลดลง และในกรณีของพอลิพรอพิลีนกับโฟมพอลิสไตรีนจะให้ค่ามอดุลัสเพิ่มขึ้นแต่ค่าความแข็งแรงดึงและเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาดลดลงอย่างมาก[3]

3. Adewole,A. และคณะ ได้ทำการศึกษาสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE) กับพอลิพรอพิลีน (PP) ที่ใช้แล้ว โดยไม่เติมสารช่วยในการผสม (Compatibilizer) ซึ่งทำการผสมในเครื่องอัดรีดโดยใช้อุณหภูมิตั้งแต่ 160 – 210 องศาเซลเซียส อัตราเร็วรอบของสกรูเท่ากับ 300 – 500 รอบต่อนาที จากการทดลองพบว่า PP กับ HDPE จะเกิดการแยกวัฏภาคกันทำให้สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ลดลง และเมื่อเพิ่มปริมาณของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

HDPE จะทำให้ค่าความแข็งแรงยืดหยุ่น (Flexural Strength) ลดลงแต่ค่าความแข็งต่อแรงกระแทก (Impact strength) เพิ่มขึ้น [4]

4. Horak,Z.;Fort,V.;Hlavata,D. and Lednicky,F. ทำการศึกษาสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์

ผสมระหว่างพอลิพรอพิลีน (PP) กับ HIPS โดยใช้ สไตรีนบิวทาไดอีน เป็นสารช่วยผสม ซึ่งสไตรีนบิวทาไดอีนที่ใช้จะมีลักษณะโครงสร้างดังนี้ Diblock Triblock และ Pentablock จากการทดลองพบว่าเมื่อใช้ Triblock เป็นสารช่วยผสม จะให้ค่าความแข็งแรงต่อแรงกระแทก และเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาดสูงสุด สำหรับพอลิเมอร์ผสมที่ไม่ได้เติมสารช่วยผสมจะให้ค่าสมบัติเชิงกลต่ำสุด [5]

1.3 <u>วัตถุประสงค์ของโครงงาน</u>

เพื่อจำแนกลักษณะของผลของสารเติมแต่งที่มีต่อโฟมพอลิสไตรีนและพอลิโอลิฟินส์ที่ใช้แล้ว

- ศึกษาสมบัติทางความร้อนของพอลิเมอร์ผสม โดยพิจารณาเปรียบเทียบเมื่อทำการเติมและไม่เติมสารเติมแต่ง
- ศึกษาลักษณะพื้นผิวของพอลิเมอร์ผสม โดยพิจารณาเปรียบเทียบเมื่อทำการเติมและไม่เติมสารเติมแต่ง
- ศึกษาสมบัติทางแสงของพอลิเมอร์ผสม โดยพิจารณาเปรียบเทียบเมื่อทำการเติมและไม่เติมสารเติมแต่ง

1.4 <u>ขอบเขตของงานวิจัย</u>

โครงงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการจำแนกลักษณะผลของสารเติมแต่งที่มีต่อพอลิโอลิฟินส์และ โฟมพอลิสไตรีนที่ใช้แล้วโดยมีการเติมสารเติมแต่งชนิดต่าง ๆ เช่น เส้นใยแก้ว (fiber glass) และ เส้นใยเซลลูโลส (cellulose fiber) เป็นต้น เพื่อศึกษาผลของสารเติมแต่งที่มีต่อลักษณะของพอลิเมอร์ที่ใช้แล้วทั้งสอง โดยมีขอบเขตในการศึกษาดังนี้

- ศึกษาสมบัติทางความร้อนของพอลิโอลิฟินส์และโฟมพอลิสไตรีนโดยใช้เครื่อง Differential Scanning Calorimeter (DSC) และ Differential Temperature Under Load (DTUL)
- ศึกษาลักษณะพื้นผิวของพอลิโอลิฟินส์และโฟมพอลิสไตรีนโดยใช้เครื่อง Scanning Electron Microscopy (SEM)
- ศึกษาสมบัติทางแสงของพอลิโอลิฟินส์และโฟมพอลิสไตรีนโดยใช้เครื่อง Optical Microscopy

โดยทั้งหมดนี้จะทำการศึกษาทั้งก่อนและหลังเติมสารเติมแต่ง โดยใช้เส้นใยแก้ว (fiber glass) และ เส้นใยเซลลูโลส (cellulose fiber) เป็นสารเติมแต่งในการพิจารณาเปรียบเทียบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 ขั้นตอนการวิจัยและดำเนินงาน

ในงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการจำแนกลักษณะผลของสารเติมแต่งที่มีต่อพอลิโอลิฟินส์และโฟมพอลิสไตรีนที่ใช้แล้ว ซึ่งพอลิโอลิฟินส์ที่ใช้ได้มาจากการผสมในอัตราส่วนที่เท่ากันระหว่างพอลิพรอพิลีน (PP) พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE) และพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE) สำหรับโฟมพอลิสไตรีน (PS) นำมาจากโฟมที่ใช้ในการบรรจุสิ่งของกันการกระแทกโดยศึกษาการผสมของพอลิเมอร์ ผสมในเครื่องบดแบบสองลูกกลิ้ง (two - roll mill) และ เครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว (single - screw extruder) โดยใช้สภาวะที่ดีที่สุดที่ได้จากเครื่องมือทั้งสอง นำมาเติมสารเติมแต่งชนิดต่าง ๆ ได้แก่ เส้นใยแก้ว (fiber glass) และเส้นใยเซลลูโลส(cellulose fiber) เพื่อเปรียบเทียบ สมบัติทางความร้อน และ ลักษณะพื้นผิวของพอลิเมอร์ผสมทั้งก่อนและหลังเติมสารเติมแต่ง จากนั้นจึงทำการสรุปผลการวิจัย เพื่อนำผลที่ได้ไปประยุกต์ใช้ในงานที่เหมาะสม

1.6 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบถึงลักษณะของการผสมของพอลิโอลิฟินส์และโฟมพอลิสไตรีน
2. ทราบถึงผลของสารเติมแต่งที่มีต่อลักษณะของพอลิโอลิฟินส์และโฟมพอลิสไตรีน
3. ทราบถึงความเป็นไปได้ที่จะนำพอลิเมอร์ที่ได้ไปใช้งานตามวัตถุประสงค์ที่ต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและหลักการ

2.1 **พอลิเมอร์ผสม** (Polymer blend)

พอลิเมอร์ผสมเป็นการนำพอลิเมอร์ที่มีโครงสร้างแตกต่างกันตั้งแต่สองชนิดขึ้นไปมาผสมเข้าด้วยกัน โดยโครงสร้างของพอลิเมอร์หลักทั้งสองชนิดที่นำมารวมกันอยู่ร่วมกันโดยไม่เกิดพันธะโคเวเลนต์ระหว่างกัน ซึ่งสมบัติของพอลิเมอร์ผสมที่ได้นี้จะแตกต่างจากสมบัติของพอลิเมอร์หลักที่นำมาผสมกัน

พอลิเมอร์ผสมจะแบ่งเป็น 2 ประเภท คือ พอลิเมอร์ที่สามารถรวมเข้ากันเป็นเนื้อเดียว (miscible blend) และ พอลิเมอร์ผสมที่ไม่สามารถรวมเป็นเนื้อเดียวกันได้ (immiscible blend)

การผสมเข้ากันได้ของพอลิเมอร์ผสมสามารถดูได้จากค่าความสามารถในการละลาย (solubility parameter) ซึ่งเป็นตัวแปรทางเทอร์โมไดนามิกส์ มีหน่วยเป็น $J^{1/2}cm^{-3/2}$ อาจหาได้จากการคำนวณหรือจากการทดลองดังแสดงในตารางที่ 1

ถ้าค่า solubility parameter มีค่าใกล้เคียงกันหรือเท่ากัน จะทำให้ค่า $\Delta H_m = 0$ ดังสมการ (2.1)

$$\Delta H_m = \phi_1\phi_2(\delta_1-\delta_2)^2 \quad \text{..... (2.1)}$$

เมื่อ ΔH_m คือ เอนทาลปี

$\phi_1\phi_2$ คือ อัตราส่วนโดยปริมาตรของแต่ละอัตราส่วน 1 และ 2

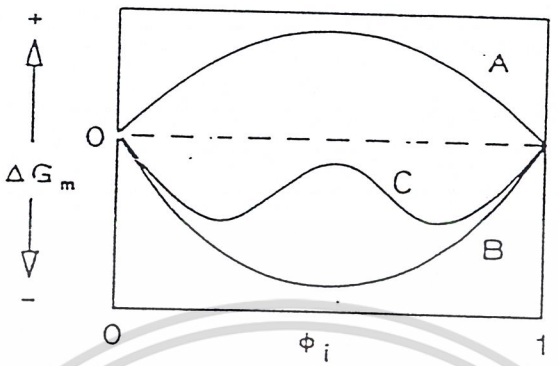
$\delta_1-\delta_2$ คือ ค่าความสามารถของการละลาย

และจากสมการ (2.2)

$$\Delta G = \Delta H_m - T\Delta S_m \quad \text{..... (2.2)}$$

เมื่อ $\Delta H_m = 0$ จะทำให้ค่า ΔG เป็นลบ แสดงว่าพอลิเมอร์สามารถเข้ากันได้ ในทางกลับกันถ้าค่า $\delta_1-\delta_2$ แตกต่างกันมาก จะทำให้พอลิเมอร์เข้ากันไม่ได้ดังแสดงในรูปที่ 2.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 แสดงค่าพลังงานอิสระในการผสมสองส่วนประกอบเข้าด้วยกัน [6]

เมื่อ A แสดงถึงความเข้ากันไม่ได้ของพอลิเมอร์

B แสดงถึงความเข้ากันได้ของพอลิเมอร์

C แสดงถึงความเข้ากันได้บางส่วนของพอลิเมอร์

ตารางที่ 2.1 แสดงค่าความสามารถในการละลาย (Solubility Parameter) [7]

พอลิเมอร์	δ exp. ($J^{1/2}/cm^{3/2}$)		δ calc. ($J^{1/2}/cm^{3/2}$)
	From	To	
พอลิเอทิลีน	15.8	17.1	16.0
พอลิพรอพิลีน	16.8	18.8	17.0
โฟมพอลิสไตรีน	17.4	19.0	19.1

วัตถุประสงค์ของพอลิเมอร์ผสม

1. เพื่อปรับปรุงให้มีสมบัติดีขึ้นในราคาที่เหมาะสมโดยเป็นการขยายขีดความสามารถในการนำไปใช้ประโยชน์ของพอลิเมอร์ที่มีราคาแพง
2. เป็นการนำพลาสติกที่ใช้แล้วนำกลับมาใช้ใหม่ให้เป็นประโยชน์
3. เพื่อให้ได้พอลิเมอร์ผสมที่มีสมบัติเหมาะสมในการนำไปใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 <u>พอลิโอลิฟินส์</u> (Polyolefins)

มีความหมายรวมถึงพอลิเอทิลีนเกรดต่าง ๆ โดยแบ่งตามปริมาณความเป็นผลึกหรือความหนาแน่น และพอลิพรอพิลีนสมบัติบางประการของพอลิโอลิฟินส์ แสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 แสดงสมบัติบางประการของพอลิโอลิฟินส์ [12]

สมบัติ	LDPE	HDPE	PP
Specific Gravity	0.91-0.93	0.94-0.97	0.90-0.91
Crystallinity %	50-70	80-95	82
Melt Temperature $^{\circ}C$	98-120	127-135	165-171
Tensile Strength MPa	4.1-16	21-38	31-41
Tensile Modulus GPa	0.10-0.26	0.41-1.24	1.10-1.55
Elongation to break %	90-800	20-130	100-600
Impact Strength	no break	27-1068	21-53
Heat Deflection Temperature $^{\circ}C$	38-49	60-88	225-250

2.2.1 <u>พอลิเอทิลีน</u> (Polyethylene , PE)

สูตรโครงสร้าง

$$-\left[-CH_2CH_2-\right]_n-$$

ลักษณะโดยทั่วไปคือเหนียว ดูดซึมความชื้นได้น้อยมาก ทนทานต่อสารเคมีได้ดีมาก เป็นฉนวนไฟฟ้าที่ดีเยี่ยม มีสัมประสิทธิ์ของความเสียดทานต่ำและขึ้นรูปด้วยกระบวนการต่าง ๆ ได้ง่าย พอลิเอทิลีนได้จากกระบวนการพอลิเมอไรเซชันเอทิลีน โดยพอลิเอทิลีนที่ผลิตขึ้นในทางการค้าครั้งแรกเป็นพอลิเอทิลีนแบบความหนาแน่นต่ำ ในปัจจุบันมีพอลิเอทิลีนเกรดต่าง ๆ ตามโครงสร้างโมเลกุลและลักษณะสมบัติตลอดจนการใช้งานได้เป็นกลุ่มต่าง ๆ ดังนี้ [8]

- พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE)
  ความหนาแน่น 0.915 – 0.395 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร
- พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น (LLDPE)
  ความหนาแน่น 0.910 – 0.925 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร
- พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE)
  ความหนาแน่น 0.941 – 0.967 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำมาก (VLDPE)
  ความหนาแน่น 0.880 – 0.912 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร
- พอลิเอทิลีนน้ำหนักโมเลกุลสูง (HMWPE)
  น้ำหนักโมเลกุล 200000 – 500000
- พอลิเอทิลีนน้ำหนักโมเลกุลสูงมาก (UHMWPE)
  น้ำหนักโมเลกุล 3000000

นอกจากนี้ยังมีพอลิเอทิลีนชนิดเชื่อมโยงคลอโรซัลโฟเนเตดพอลิเอทิลีน และ โคพอลิเมอร์ต่าง ๆ ของเอทิลีนด้วย

2.2.1.1 *พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ* (Low Density Polyethylene , LDPE)

ในปี ค.ศ. 1930 เริ่มมีการผลิตพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ ครั้งแรกซึ่งเป็นเม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดแรกที่นำมาใช้ในทางการค้า กระบวนการผลิตและลักษณะโดยทั่วไปของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำมีดังนี้ [9]

- ความดันที่ใช้ในกระบวนการผลิตจะสูงมาก 1,000 – 3,000 บรรยากาศ (15,000 – 45,000 psi)
- อุณหภูมิที่ใช้ในปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชัน 200 – 400 องศาเซลเซียส
- พอลิเอทิลีนที่ได้มีความหนาแน่นอยู่ในช่วง 0.019 – 0.925 กรัม/ลบ.ซม. การกระจายตัวของน้ำหนักโมเลกุลกว้างและมีกิ่งก้านสาขาภายในโมเลกุลมาก
- ขบวนการที่ใช้ในการผลิตในปัจจุบันมีสองกระบวนการ
  1. Autoclave Process ของ ICI
  2. Tubular Process ของ UCC

ซึ่งทั้งสองกระบวนการจะให้โครงสร้างโมเลกุลที่แตกต่างกันแต่จะสามารถผลิต LDPE ที่มีช่วงความหนาแน่นและช่วงของดรรชนีการไหลเหมือนกันคือ

ความหนาแน่น 0.915 – 0.930 กรัม/ลบ.ซม.
ดัชนีการไหล 0. 1 – 50 กรัม/10 นาที

<u>สมบัติ</u> [9]

- ยอมให้ก๊าซซึมผ่านได้เนื่องจากมีส่วนของอสัณฐานซึ่งมีปริมาตรอิสระยอมให้มีการเคลื่อนไหวของโมเลกุลได้ จึงมีช่องว่างพอที่จะให้โมเลกุลของก๊าซซึมผ่านได้
- การไหลตัวดี
- ช่วงอุณหภูมิในการใช้งานของผลิตภัณฑ์ที่แปรรูปมาจาก LDPE แคบ โดยมีอุณหภูมิในการหลอมตัวอยู่ในช่วง 98 - 120°C
- มีค่าความต้านทานแรงกระแทกดีพอสมควร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เป็นตัวกั้นความชื้นได้ดี
- ฟิล์มที่แปรรูปมาจาก LDPE จะมีความเป็นเงามันดีและมีฝ้าต่ำ
- เป็นฉนวนไฟฟ้าที่ค่อนข้างดี

<u>การนำไปใช้งาน</u> [9]

- ฟิล์มและงานเคลือบหลาย ๆ ชั้น (lamination) เช่น ฟิล์มหดหุ้ม (shrink wrap) หรือถุงที่ต้องการความใสมาก ๆ
- งานฉีดแบบ (injection moulding)
- งานเป่าแบบ (blow mouding)
- อื่น ๆ เช่น ฟิล์มหลายชั้น (coextrusion) งานรีดท่อ (pipe extrusion) งานเคลือบสายไฟฟ้าและสายเคเบิล (wire and cable coating)

2.2.1.2 *พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง* (High Density Polyethylene , HDPE)

ในปี ค.ศ. 1941 ได้มีการผลิตพอลิเอทิลีนโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาประเภทไททาเนียมเททระคลอไรด์ ซึ่งสามารถทำให้เอทิลีนรวมตัวกันได้โดยไม่ต้องใช้ความดันสูงซึ่งพอลิเอทิลีนที่ได้มีลักษณะของสายโซ่ที่แตกต่างกันไปเรียกว่า พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง [10]

<u>สมบัติ</u> [10]

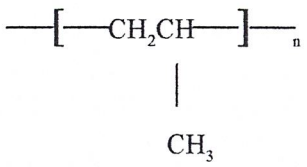
- มีสายโซ่โมเลกุลที่มีลักษณะเรียงตัวต่อกันเป็นแนวยาวมีกิ่งก้านสาขาน้อย มีความเป็นผลึกสูง มีความหนาแน่น 0.941 – 0.965 กรัม/ซม.^{3} มีจุดหลอมตัว 135°C โดยจะมีความแข็งแรงที่สูงกว่าพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ

<u>การนำไปใช้งาน</u>

- ใช้กับงานขึ้นรูปโดยการเป่าเกือบ 40% ของผลผลิตทั้งหมด ใช้ทั้งขวดและภาชนะบรรจุอื่น ๆ ที่ต้องใช้ความต้านทานสูงและทนต่อแรงเค้นสูง
- สำหรับงานขึ้นรูปโดยการฉีด มีประมาณ 20% ของผลผลิตทั้งหมด ใช้ทำของเด็กเล่น เครื่องใช้ในบ้าน นอกจากนี้ยังใช้ทำฟิล์ม เชือก ฉนวนหุ้มสายไฟและสายเคเบิล เป็นต้น

2.2.2 <u>พอลิพรอพิลีน</u> (Polypropylene, PP)

สูตรโครงสร้าง



พอลิพรอพิลีนไม่สามารถเตรียมจากพรอพิลีนโดยวิธีพอลิเมอร์ไรเซชัน ไม่ว่าจะเป็นแบบอนุมูลอิสระหรือแบบอิออนิก การนำพรอพิลีนมาพอลิเมอร์ไรเซชันโดยวิธีการข้างต้นได้ผลิตผลที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำเท่านั้น จนกระทั่งการค้นพบตัวเร่งซีเกลอร์ – แนตตา ในปี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค.ศ. 1953 และในปี ค.ศ. 1954 แนตตาก็พบความสำเร็จในการเตรียมพอลิพรอพิลีนที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง มีโครงสร้างเป็นไอโซแทคติกด้วยตัวเร่งซีเกลอร์ – แนตตา นี้เอง

สมบัติ [11]

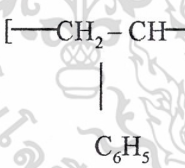
- มีลักษณะโครงสร้างเป็นเส้นตรง มีน้ำหนักเบา จุดหลอมเหลวปานกลางอยู่ในช่วง 164 – 170°C
- มีน้ำหนักโมเลกุลอยู่ในช่วง 60000 – 200000 ความหนาแน่น 0.9 กรัม/ลบ.ซม.
- ไม่ละลายในตัวทำละลายใด ๆ ที่อุณหภูมิห้อง
- เนื่องจากความเป็นผลึกสูงทำให้พอลิเมอร์มีสมบัติเชิงกลที่ดี
- สามารถทนต่อกรดและเบสเป็นอย่างดี เฉื่อยต่อปฏิกิริยาเคมีทั่วไปแต่ทนต่อความร้อน แสง และตัวออกซิไดส์น้อยกว่าพอลิเอทิลีน

การนำไปใช้งาน [11]

- ชิ้นส่วนของรถยนต์
- อุปกรณ์เครื่องใช้ในบ้าน
- ใช้ในรูปเส้นใยและฟิล์ม
- พอลิพรอพิลีนที่ใช้ในทางการค้ามาผสมด้วยสารเติมแต่ง เช่น สี ผงคาร์บอนดำ ใยแก้ว และแอนติออกซิแดนท์ เป็นต้น เพื่อให้สมบัติดีขึ้นเหมาะกับการใช้งาน

2.3 **พอลิสไตรีน** (Polystyrene ,PS)

สูตรโครงสร้าง



ในปี ค.ศ. 1934 เริ่มมีการผลิตพอลิสไตรีนในทางการค้าโดยบริษัท Dow Chemical Co. และบริษัท I.G. Farben

สมบัติ [11]

- มีโครงสร้างเป็นสายโซ่ตรงแบบอะแทกติก จึงอยู่ในรูปอสัณฐาน มีลักษณะแข็งเปราะ เป็นเทอร์โมพลาสติกที่ใส ไม่ค่อยดูดความชื้น ไม่ค่อยนำไฟฟ้า เฉื่อยต่อสารเคมี ทนต่อกรด เฮไลด์ ด่าง ตัวออกซิไดส์ และตัวรีดิวซ์ เมื่อถูกย่อยสลายจะให้โมเลกุลเล็กลงเมื่อถูกความร้อน ซึ่งปกติจะมีมวลโมเลกุลประมาณ 50000 – 200000 ทนต่อแรงดึงได้ดีแต่ทนต่อความร้อนต่ำ เนื่องจากมีอุณหภูมิสถานะคล้ายแก้ว ประมาณ 80°C ความหนาแน่น 1.05-1.07 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ละลายได้ในตัวทำละลายพวกอะโรมาติก เวลาผลิตขึ้นรูปต่างๆได้ง่าย ข้อด้อย คือ เปราะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การนำไปใช้งาน [11]

- การปรับปรุงสมบัติทำได้โดยการเติมสารเติมแต่งบางอย่างลงไปช่วยให้สมบัติของพอลิสไตรีนดีขึ้น นำมาใช้เป็นถังพลาสติก ขวดพลาสติก ภาชนะใส่อาหารชนิดใส ชิ้นส่วนตู้เย็น ชิ้นส่วนในรถยนต์ เป็นต้น นอกจากนี้ยังนิยมทำเป็นโฟมสำหรับบรรจุสิ่งของป้องกันการแตก การสะเทือน โดยนำเอาเม็ดพลาสติกที่เติมได้มาหลอมแล้วอัด เช่น เพนเทน แล้วนำไปให้ความร้อนด้วยไอน้ำ เม็ดจะขยายตัวถึง 40 เท่า แล้วอัดลงในเบ้าจะได้โฟมตามต้องการ

สำหรับในโครงงานวิจัยนี้จะเลือกใช้พอลิสไตรีนจากชิ้นงานโฟม ทั้งนี้เนื่องจากมีการใช้กันอย่างแพร่หลาย และสามารถหาได้ง่าย โฟมพลาสติกประกอบด้วยโครงสร้างของเซลล์ซึ่งได้จากการใช้สารเร่งให้ฟูเป็นฟอง สารเร่งให้เกิดฟองนี้หมายถึงสารที่เมื่อได้รับความร้อนจนถึงจุดหนึ่งจะเกิดปฏิกิริยาเป็นก๊าซขึ้น ทำให้พลาสติกฟูเป็นฟอง และในขณะขยายตัวออกนี้จะต้องขยายแม่แบบให้มีปริมาตรโตขึ้น ซึ่งจะทำให้ได้ชิ้นงานซึ่งมีความหนาแน่นน้อยกว่าพลาสติกปกติซึ่งไม่ได้ทำเป็นโฟม พลาสติกที่เหมาะสำหรับทำเป็นโฟมจะต้องเป็นพลาสติกที่ลดความหนาแน่นได้ แบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ [13]

1. กลุ่มที่สามารถเร่งให้ผงฟูเป็นโฟมได้ เช่น PS
2. กลุ่มที่หลอมเหลวแล้วจึงทำให้ฟู เช่น PS PE และ PVC
3. กลุ่มสารเริ่มต้นเป็นของเหลวและทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมีเป็นโฟม เช่น PUR PF และ UF

2.4 สารเติมแต่ง (Additive) [14]

คือ สารที่อยู่ในรูปของแข็งหรือพวกเส้นใยที่ใช้เติมลงในพอลิเมอร์ซึ่งอาจเป็นได้ทั้งสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์โดยมีวัตถุประสงค์ดังนี้

- ลดต้นทุนการผลิต
- ปรับปรุงสมบัติทางกายภาพ
- ปรับปรุงสมบัติการไหล
- ปรับปรุงสมบัติทางเคมี
- ปรับปรุงสมบัติทางความร้อน

2.4.1 เส้นใยแก้ว (fiber glass)

เส้นใยแก้วเสริมแรงที่ใช้กันอยู่มีหลายรูปแบบ การนำมาใช้งานมักจะขึ้นกับราคา ความแข็งแรง ความสามารถในการเข้ากันได้กับเรซิน และ กระบวนการผลิตของเส้นใยแก้ว

เหตุที่นิยมใช้เส้นใยแก้วเป็นสารเสริมแรงเพราะมีค่าความแข็งแรงดึงสูง แก้วเมื่ออยู่เป็นก้อนจะมีความเปราะ มีความแข็งแรงต่ำ แต่เมื่อนำมารีดดึงเป็นเส้นใยจะทำให้ค่าความแข็ง

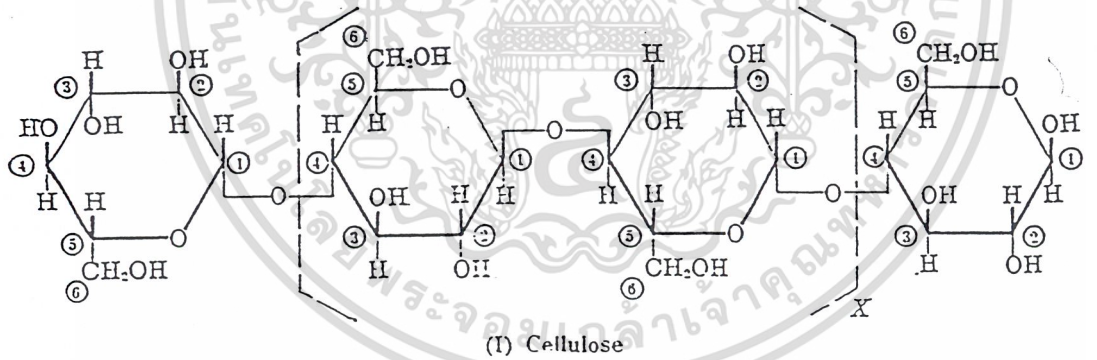
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรงสูงขึ้น ในปัจจุบันมีการใช้เส้นใยแก้วอย่างกว้างขวาง เช่น ใช้ทำโครงสร้างและใช้ในงานเสริมแรงเป็นต้น

การผลิตเส้นใยแก้วทำได้โดยการผสมส่วนประกอบต่าง ๆ จากนั้นทำการหลอม ซึ่งอุณหภูมิของการหลอมจะขึ้นกับส่วนประกอบและชนิดของเส้นใย โดยปกติจะมีค่าประมาณ 1250 °C แก้วที่หลอมจะถูกส่งผ่านไปยังส่วนที่ดึงเพื่อให้เกิดเป็นเส้นใยขึ้น ในระหว่างการผลิตเส้นใยแก้วนั้นเส้นใยจะถูกทำลายได้ง่ายมาก ดังนั้นจึงต้องระมัดระวังในระหว่างที่มีการผลิต

2.4.2 <u>เส้นใยเซลลูโลส</u> (cellulose)

เส้นใยเซลลูโลสเป็นพอลิเมอร์ชนิดหนึ่งซึ่งได้จากธรรมชาติ เช่น เยื่อไม้ หรือ ใยฝ้าย เป็นต้น ก่อนใช้ต้องมีการปรับปรุงสมบัติให้ดีขึ้นก่อนเพื่อให้เหมาะสมกับการใช้งาน โครงสร้างของเซลลูโลส เป็นพอลิแซคคาไลด์ ที่เกิดจากเบตากลูโคส ต่อกันเป็นสายโซ่ยาวดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 แสดงโครงสร้างของเซลลูโลส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เซลลูโลสที่ได้มาจากเยื่อไม้จะมีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 160000 น้ำหนักโมเลกุลของเซลลูโลสมีความสำคัญต่อสมบัติทางกายภาพ ดังนั้นจึงสามารถปรับปรุงสมบัติได้โดยการเพิ่มน้ำหนักโมเลกุล การกระจายโมเลกุลของเซลลูโลสมีความสำคัญเพราะส่วนที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำจะส่งผลให้มีสมบัติทางกายภาพไม่ดี และจากการศึกษาโครงสร้างของเส้นใยเซลลูโลสพบว่าโมเลกุลของเส้นใยเซลลูโลสมีการจัดเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบ ส่วนที่เป็นผลึกจะถูกแยกออกจากส่วนที่เป็นอสัณฐานอย่างชัดเจน

สมบัติทางกายภาพของเซลลูโลส

1. การดูดซับความชื้น เซลลูโลสจะมีการดูดหรือคายไอน้ำ และ ของเหลวอื่น ๆ ซึ่งปริมาณความชื้นในเซลลูโลสจะมีผลต่อสมบัติเชิงกล
2. การละลายและความหนืด เซลลูโลสไม่ละลายในน้ำ แต่จะละลายในกรดเข้มข้นและจะเกิดไฮโดรไลซิสอย่างรวดเร็วเมื่อแช่ไว้ในกรดที่อุณหภูมิห้อง
3. ความหนาแน่น พบว่าความหนาแน่นของเซลลูโลสที่เป็นเส้นใยเดี่ยว จะมีค่าไม่แน่นอน ค่าเฉลี่ยของเส้นใยเซลลูโลสจะแปรตามชนิด และอาจจะเปลี่ยนเนื่องจากการปรับปรุงทางเคมี

2.5 <u>การตกผลึกในพอลิเมอร์</u>

การตกผลึก (crystallinzation) ในพอลิเมอร์เป็นกระบวนการจัดเรียงตัวของโครงสร้างส่วนที่ไม่เป็นระเบียบ (Disordered phase) โดยปกติจะอยู่ในรูปภาวะที่หลอมเหลว หรือสารละลายเจือจางให้เป็นโครงสร้างที่เป็นระเบียบ ขั้นตอนการตกผลึกในพอลิเมอร์โดยทั่วไปมี 2 ขั้นตอนใหญ่ ๆ ได้แก่

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

1.1 การเกิดนิวเคลียสจากโซ่โมเลกุลของตัวเอง (Homogeneous nucleation) เกิดจากการที่โซ่โมเลกุลมีการเคลื่อนที่ตลอดเวลา จนกระทั่งโซ่โมเลกุลเข้ามาใกล้กันระยะหนึ่งจะเกิดแรงดึงดูดกันเกิดเป็นนิวเคลียสพร้อมกับคายพลังงานออกมา

1.2 การเกิดนิวเคลียสโดยอาศัยสารภายนอก (Heterogeneous nucleation) พบมากในพอลิเมอร์ทั่วไป ขั้นตอนการเกิดนิวเคลียสจะใช้สารแปลกปลอม เช่น สารก่อนิวเคลียส (Nucleating agent) หรือสารปนเปื้อน (Impurity) เป็นต้น ทำหน้าที่เป็นนิวเคลียสให้โซ่พอลิเมอร์มายึดเกาะ การเกิดนิวเคลียสแบบนี้เกิดได้ง่ายกว่า เนื่องจากการใช้ซุปเปอร์คูลลิง (Supercooling) ที่ลดน้อยลง ซึ่งซุปเปอร์คูลลิง หมายถึง ช่วงการให้ความเย็นของพอลิเมอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลอมเหลวให้ต่ำกว่าจุดหลอมเหลว โดยปราศจากการเกิดผลึกและในบางครั้งจะเรียกว่าอันเดอร์คูลลิง (Undercooling) ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่แตกต่างระหว่างจุดหลอมเหลวกับอุณหภูมิในการตกผลึก

2. การเติบโต (Growth) ขั้นนี้นิวคลีไอจะมีการขยายตัวเนื่องจากการรวมตัวของสายโซ่โมเลกุล ซึ่งการขยายตัวจะทำใน 1 2 หรือ 3 มิติก็ได้ ผลึกสามารถเกิดเป็นรูปแท่งกลม จาน หรือ ทรงกลม การขยายตัวเนื่องจากการรวมกันของโซ่โมเลกุลขนาดใหญ่มาจัดเรียงตัวในผลึก ซึ่งเรียกว่าลาเมลลา (Lamella) จากการทดลองพบว่า การเปลี่ยนแปลงรัศมีของสเฟียรูไลท์ (Spherulite) สัมพันธ์กับเวลาในเชิงเส้นตรงดังสมการที่ (2.3)

$$R = Vt \quad \ldots\ldots\ldots \quad (2.3)$$

เมื่อ V เป็นอัตราการเติบโต (Growth step)

R เป็นรัศมีของสเฟียรูไลท์

t เป็นเวลา

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

<u>ประเภทและลักษณะสารก่อนิวเคลียส</u>

สารก่อนิวเคลียส เป็นสารเติมแต่งชนิดหนึ่งที่เติมลงไป เพื่อทำให้เกิดนิวเคลียสในการตกผลึกแบบไม่เป็นเนื้อเดียวกัน (Heterogeneous nucleation) สารประเภทนี้เพิ่มอัตราการตกผลึกให้สูงขึ้น ส่งผลให้สเฟียรูไลท์มีขนาดเล็กลงแต่มีปริมาณเพิ่มขึ้น โดยทั่วไปพอลิเมอร์จะเกิดการตกผลึกจากสภาวะการหลอมโดยมีหลักเกณฑ์ดังนี้

1. ต้องมีโครงสร้างโมเลกุลเอื้ออำนวยในการก่อให้เกิดบริเวณผลึก ถ้าโซ่โมเลกุลหลักมีการเคลื่อนที่ไม่เพียงพอ มีหมู่ข้างเคียงขนาดใหญ่ หรือมีกิ่งก้านสาขามาก จะเป็นการขัดขวางการตกผลึก
2. อุณหภูมิการตกผลึกต้องต่ำกว่าจุดหลอมเหลว แต่ต้องไม่ใกล้เคียงกับอุณหภูมิการไหลตัวคล้ายแก้ว (T_g) เพราะช่วงนี้โซ่โมเลกุลมีการเคลื่อนที่เพียงพอสำหรับการก่อให้เกิดผลึก
3. การตกผลึกจะต้องเริ่มจากการเกิดนิวเคลียส เพื่อทำให้เกิดบริเวณที่เป็นระเบียบ แล้วจึงขยายตัวให้เป็นสเฟียรูไลท์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารก่อนิวเคลียสโดยทั่วไปจะต้องมีสมบัติต่าง ๆ ดังนี้

- ถูกดูดซับเข้าไปในเนื้อพอลิเมอร์ได้
- ไม่ละลายในพอลิเมอร์
- มีจุดหลอมเหลวสูงกว่าพอลิเมอร์ที่นำมาผสม
- มีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอในพอลิเมอร์หลอมเหลว

อย่างไรก็ตามสารก่อนิวเคลียสที่มีประโยชน์ต่อพอลิเมอร์ประเภทพอลิโอเลฟินส์ คือ สารประเภท Organocarboxylic acid salt หรือสารที่มีโครงสร้างที่เรียกว่า Alternative layer ซึ่งโครงสร้างทางเคมีประกอบด้วยส่วนสำคัญ 2 ส่วน ได้แก่

- กลุ่มสารมีขั้ว ทำหน้าที่เพิ่มแรงดึงดูดของผลึกเกลือ ทำให้สารก่อนิวเคลียสไม่ละลายในพอลิเมอร์หลอมเหลว
- กลุ่มสารไม่มีขั้ว ทำหน้าที่เป็นส่วนที่ละลายในพอลิเมอร์หลอมเหลว โดยส่วนใหญ่สารกลุ่มนี้มักเป็นสารอินทรีย์

สารก่อนิวเคลียสสามารถแบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม คือ

1. สารเติมแต่งอนินทรีย์ เช่น ดินสอพอ และ ซิลิกา เป็นต้น
2. สารประกอบทางอินทรีย์ เช่น เกลือของมอนอหรือพอลิของกรดคาร์บอกซิลิก (Mono , Poly carboxylec acid) รวมถึงสี (Pigment) ด้วย
3. สารพอลิเมอร์ เช่น เอทิลีน / อะคริลิค เอสเทอร์ โคพอลิเมอร์ เป็นต้น

2.6 <u>เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย</u>

2.6.1 <u>เครื่อง Differential Scanning Calorimetry</u> (DSC)

เทคนิค DSC เป็นเทคนิคการวิเคราะห์สารด้วยความร้อนที่นิยมใช้อย่างกว้างขวาง เครื่อง DSC-50 ที่ใช้วิเคราะห์ในโครงงานนี้เป็นชนิด Heat Flux DSC ที่มีหลักการทำงานเช่นเดียวกันกับ Differential Thermal Analysis (DTA) สารตัวอย่างและสารอ้างอิงจะอยู่บนเทอร์โมคัพเพิลที่ต่อกับเตาเผา เมื่อให้ความร้อนแก่สารตัวอย่างและสารอ้างอิงที่เฉื่อยหรือทำให้สารเย็นลง จะเกิดการเปลี่ยนแปลงในสารตัวอย่าง ทำให้อุณหภูมิของสารตัวอย่าง (Ts) และสารอ้างอิง (Tr) แตกต่างกัน เมื่อวัดความแตกต่างของอุณหภูมิ (Ts – Tr) แล้วพล็อตเทียบกับเวลาหรืออุณหภูมิ จะได้เส้นกราฟของ DSC ค่าความแตกต่างของอุณหภูมินี้จะเป็นสัดส่วน กับความแตกต่างของความร้อนที่ไหลสู่ตัวอย่างและสารอ้างอิง เมื่อพล็อตค่าความร้อนในหน่วย mW (mJ/sec ; 1 mJ/sec = 0.21 mCal/sec) กับอุณหภูมิ พีกที่อยู่เหนือแกนแสดงถึงการคายความร้อน และพีกที่อยู่ใต้แกนแสดงถึงการดูดกลืนความร้อน โดยปริมาณความความร้อนคำนวนได้จากพื้นที่ใต้พีก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.2 เครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM)

เป็นเทคนิคที่ใช้ลำแสงอิเลคตรอน (electron beam) ในการตรวจวัดโครงสร้างขนาดเล็ก ของวัสดุทางวิศวกรรมโดยทำการยิงอิเลคตรอนเข้าชนพื้นผิวที่มีการนำไฟฟ้า ทำให้เกิดการสะท้อนกลับของอิเลคตรอน (back scattering) เนื่องจากการชนกับนิวเครียส หรือการเกิด X – ray photon และจากการที่อิเลคตรอนในระดับพลังงานที่สูงกว่า คายพลังงานเข้าแทนที่อิเลคตรอนที่หลุดออกไป

ในการใช้เทคนิคนี้กับวัสดุพวกพอลิเมอร์ซึ่งไม่นำไฟฟ้าจึงต้องมีการเคลือบผิวด้วยวัสดุที่นำไฟฟ้าที่นิยมใช้ เช่น ทอง ทอง-พัลลาเดียม โดยใช้เทคนิค Sputter coating ในการเคลือบผิว electron beam ที่มีพลังงานสูงอาจทำให้สัณฐานวิทยาของพื้นผิวเสียไป เช่นการสูญเสียมวลบางส่วน เกิดการพองหรือแตกหัก

ความแตกต่างของภาพ SEM เกิดขึ้นเมื่อมีการขจัดผิวหน้าของวัสดุออกซึ่งทำได้หลายวิธี เช่น การตัด (cutting) การหัก (fracturing) การกัดเซาะ (etching) หรือการทำให้บวม (swelling)

การสกัดด้วยตัวทำละลายจะทำให้ได้ภาพ SEM ที่สับสนได้เนื่องจากการสกัด อาจมีบางส่วนที่สกัดออกไม่หมดเกิดเป็นเจลหรือการระเหยตัวทำละลายจะทำให้เกิดฟองอากาศขึ้น

การทำให้บวมโดยใช้ตัวทำละลาย (solvent swelling) เป็นวิธีที่เชื่อถือได้สามารถควบคุมอัตราการบวมตัวโดยอัตราการแพร่ของตัวทำละลายซึ่งขึ้นกับรากที่สองของเวลา ส่วนปริมาณของการบวมตัวขึ้นกับอุณหภูมิ การแยกวัฏภาคจะต้องให้วัฏภาคหนึ่งนั้นละลายด้วยตัวทำละลายส่วนอีกวัฏภาคไม่เกิดการละลาย การใช้เทคนิคนี้จะให้พื้นผิวที่ราบเรียบ ภาพที่ได้คมชัดและ แยกวัฏภาคได้ถึงขนาด 100 nm

2.6.3 เครื่อง Optical Microscopy

เป็นเทคนิคที่ใช้ศึกษาพอลิเมอร์ที่ไม่เป็นเนื้อเดียวกัน ที่ง่าย ราคาถูกและไม่ทำลายคุณสมบัติของชิ้นงาน สามารถแยกวัตถุที่มีขนาด 1 μm ออกจากกันได้ เมื่อชิ้นงานมีขนาดเท่ากัน ชิ้นงานที่นำมาตรวจสอบควรมีความบาง แต่เนื่องจากยากที่จะเตรียมความหนาที่ใช้จะอยู่ในช่วง 5 – 10 μm ชิ้นงานจะถูกปิดทับด้วยตัวกลางที่แสงผ่านได้ซึ่งใช้แก้ว ลักษณะของชิ้นงานควรจัดให้มีความสมดุลย์ระหว่างความคมชัดของภาพและความแตกต่างของสี

เทคนิคที่ใช้ในการแยกวัฏภาค

1. Polarize light contrast สามารถใช้แยกวัฏภาคที่มีการจัดเรียงตัวต่างกัน เช่น อสัณฐาน หรือ ความเป็นผลึก แต่ไม่เหมาะกับระบบที่มีการจัดเรียงตัวมากกว่า 1 วัฏภาค ใช้ได้ดีกับพวก เส้นใย และใช้ร่วมกับเทคนิคอื่น ๆ ได้
2. Phase contrast เหมาะกับชิ้นงานที่มีความบาง (< 10 nm) และ การเปรียบเทียบต่ำโดยความแตกต่างของสีปรากฏที่บริเวณขอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

3. Differential interference contrast ใช้การเปรียบเทียบระหว่างวัฏภาค มีความสามารถในการแยกได้ดี เหมาะกับวัตถุที่เป็น birefringent
4. Fluoresconce เป็นเทคนิคที่มีความไวใช้ตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีได้ เช่นการเกิดการเปลี่ยนสภาพ ทำให้เกิดโครงสร้างที่เป็นพันธะคู่สลับพันธะเดี่ยว ซึ่งทำให้อิเลคตรอนเคลื่อนที่

2.6.4 <u>เครื่อง Differential Temperature Under Load (DTUL)</u>

เป็นการทดสอบสมบัติทางความร้อน ในช่วงระยะสั้น ๆ โดยจะให้แท่งชิ้นงานที่จมอยู่ในตัวกลางที่นำความร้อน (heat transfer medium) ได้รับแรงกดที่จุดศูนย์กลางพร้อมกันนั้นจะทำการวัดอุณหภูมิของตัวกลางที่นำความร้อน โดยทำการเพิ่มอุณหภูมิขึ้นเรื่อย ๆ จนกระทั่งชิ้นงานเกิดการเสียรูป อุณหภูมิที่จุดดังกล่าวคือ อุณหภูมิที่ชิ้นงานเกิดการเสียรูปภายใต้แรงกด (Deflection temperature under flexural load of the test specimen)

ปัจจัยที่มีผลต่ออุณหภูมิที่ชิ้นงานเกิดการเสียรูปภายใต้แรงกดคือ

1. โครงสร้างของพอลิเมอร์
2. การรับแรงของสารตัวเติมและ ชนิดของสารตัวเติม
3. ความเสถียรของการเกิดออกซิเดชัน
4. ความเค้นภายในแม่พิมพ์
5. ลักษณะของชิ้นงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

33492

บทที่ 3
การวิจัยและดำเนินงาน

3.1 สารเคมีที่ใช้

1. พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE) (ขวดน้ำชนิดขาวขุ่น)
2. พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE) (บริษัท TPI)
3. พอลิพรอพิลีน (PP) (บริษัท HMC)
4. โฟมพอลิสไตรีน (PS) (ไม่ทราบบริษัท)
5. เส้นใยแก้ว (fiber glass) (ไม่ทราบบริษัท)
6. เส้นใยเซลลูโลส (cellulose fiber) (ตั๋วรถไฟ)

3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่องโม่บด รุ่น NEMA 600
2. เครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว (Single screw extruder)
3. เครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง (Two - roll Mill)
4. เครื่องบราเบนเดอร์ (Brabender)
5. เครื่องฉีดขึ้นรูปชิ้นงาน (Injection Mouldind)
6. เครื่อง Differential Scanning Calorimeter (DSC)
7. เครื่อง Optical Microscopy
8. เครื่อง Scanning Electron Microscopy (SEM)
9. เครื่องทดสอบการเบี่ยงเบนทางความร้อน (Differential Temperature Under Load , DTUL)

3.3 วิธีการทดลอง

1. การเตรียมตัวอย่าง

1.1 การเตรียมพอลิโอลิฟีนส์

นำ LDPE HDPE และ PP อัตราส่วน 1:1:1 หนักชนิดละ 0.5 กิโลกรัม มาหลอมรวมกันด้วยเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว โดยใช้อุณหภูมิแต่ละโซนดังนี้คือ 170 160 150 140°C แล้วนำมาบดโดยใช้เครื่องโม่บด

1.2 การเตรียมโฟมพอลิสไตรีน

หลอมโฟมพอลิสไตรีนโดยใช้เครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง โดยใช้อุณหภูมิ 170°C แล้วนำมาบดโดยใช้เครื่องโม่บด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 การผสมพอลิโอลิฟินส์ กับ โฟมพอลิสไตรีน

นำวัสดุในข้อ 1.1 และ 1.2 มาหลอมรวมกันโดยมีอัตราส่วนระหว่างโฟมพอลิสไตรีนและพอลิโอลิฟินส์เป็น 75:25 50:50 25:75 ทำการผสมโดยใช้

- เครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง (two roll mill)

นำโฟมพอลิสไตรีนและพอลิโอลิฟินส์ในแต่ละอัตราส่วนมาผสมในเครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง โดยใช้อุณหภูมิและเวลาในการผสมดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 แสดงอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ผสมด้วยเครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้งในแต่ละอัตราส่วน

อัตราส่วน (PS:PO)	อุณหภูมิ (°C)		เวลา (นาที)
	หน้า	หลัง	
50:50	190	180	3
75:25	180	170	4
25:75	180	170	4

- เครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว (single screw extruder)

นำโฟมพอลิสไตรีนและพอลิโอลิฟินส์ในแต่ละอัตราส่วนมาผสมในเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว โดยใช้อุณหภูมิและความเร็วในการผสมดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 แสดงอุณหภูมิและความเร็วที่ใช้ผสมด้วยเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยวในแต่ละอัตราส่วน

อัตราส่วน (PS:PO)	อุณหภูมิ (°C)				ความเร็ว (รอบ / นาที)
	โซน1	โซน2	โซน3	โซน4	
50:50	190	180	170	160	50
75:25	180	170	160	150	30
25:75	180	170	160	150	50

1.4 การผสมพอลิโอลิฟินส์ โฟมพอลิสไตรีน และ สารเติมแต่ง

นำวัสดุในข้อ 1.3 ผสมกับสารเติมแต่ง ได้แก่ เส้นใยแก้วและเส้นใยเซลลูโลส 5% โดยน้ำหนักด้วยเครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้งและเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยวในสภาวะเดียวกันกับข้างต้น

เอกสารนี้มีไว้เพื่อสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 นำตัวอย่างในข้อ 1.3 และ 1.4 ฉีดขึ้นรูปด้วยเครื่องฉีดขึ้นรูป (injection molding) นำไปทดสอบสมบัติต่าง ๆ

2. <u>การทดสอบสมบัติ ทางความร้อน</u>

2.1 ทดสอบด้วยเครื่อง DSC

ชั่งพลาสติกใน pan สำหรับทดสอบด้วยเครื่อง DSC จำนวน 5 – 10 mgให้ทราบปริมาณสารที่แน่นอน แล้วนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง DSC โดยใช้อัตราการให้ความร้อน 10 องศาเซลเซียส / นาที อุณหภูมิสูงสุด 230 องศาเซลเซียส และอัตราให้ความเย็น 10 องศาเซลเซียส /นาที

จากนั้นทำการศึกษาอุณหภูมิการตกผลึก (T_c) อุณหภูมิการหลอมเหลว (T_m) และ พื้นที่ใต้กราฟ การคำนวนหาความร้อนของการตกผลึก (H_C) และ ความร้อนของการหลอมเหลว(H_f) ต่อน้ำหนักสารตัวอย่าง ดังนี้

$$H = \frac{\text{พื้นที่ใต้กราฟ (mJ)}}{\text{น.น.สารตัวอย่าง (mg)}}$$

2.2 ทดสอบด้วยเครื่อง DTUL

ทำการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D 648 โดยนำชิ้นงานขนาดกว้าง 13 mm. ยาว 127 mm. จุ่มในตัวกลางที่นำความร้อน ได้รับแรงกด 1820 kPa (264 psi) หรือ 455 kPa (66 psi) ทำการเพิ่มอุณหภูมิของตัวกลางในอัตรา 2 ± 0.2 องศาเซลเซียสต่อนาที บันทึกอุณหภูมิที่ชิ้นงานเสียรูปไป 0.25 mm.(0.010 in.)

3. <u>การทดสอบลักษณะพื้นผิว</u>

3.1 ทดสอบด้วยเครื่อง SEM

เป็นเทคนิคที่ใช้ลำแสงอิเลคตรอนในการตรวจวัดโครงสร้างขนาดเล็กของพอลิเมอร์โดยทำการยิงอิเลคตรอนเข้าชนพื้นผิว ที่มีการเคลือบผิวด้วยทอง

4. <u>การทดสอบสมบัติทางแสง</u>

4.1 ทดสอบด้วยเครื่อง Optical Microscopy

เป็นเทคนิคที่ใช้ในการตรวจวิเคราะห์รูปร่างและขนาดของ สเฟียรูไลท์ของพอลิเมอร์ โดยตั้งอุณหภูมิของ Hot Plate 220 องศาเซลเซียส นำแผ่นพอลิเมอร์บาง ๆ ที่ตัดไว้ วางบนแผ่นสไลด์และปิดทับด้วย Cover slip รอจนกระทั่งพอลิเมอร์หลอมตัว ใช้ปลายนิ้วแตะบน Cover slip ทิ้งไว้ให้เกิดการเย็นตัว แล้วนำมาถ่ายภาพโดยปรับเปลี่ยนระยะเพื่อให้ภาพคมชัดที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการทดลอง

4.1 ผลการศึกษาสมบัติทางความร้อน

1. การศึกษาสมบัติทางความร้อนด้วยเครื่อง DSC

การศึกษาสมบัติทางความร้อนด้วยเครื่อง DSC สามารถแสดงอยู่ในรูปของอุณหภูมิการตกผลึก อุณหภูมิการหลอมเหลว และความร้อนของการหลอมเหลว ดังแสดงในตารางที่ 4.1 4.2 และ 4.3

ตารางที่ 4.1 แสดงผลการทดสอบสมบัติทางความร้อนของพอลิเมอร์ผสม PS/PO ที่อัตราส่วน 25/75 ด้วยเครื่อง DSC

ตัวอย่าง	T_m (°C)		T_c (°C)	ΔH_f (J/g)	
	HDPE	PP		HDPE	PP
PO	127.9	158.3	119.7	121.11	55.42
PS/PO ผสมด้วยเครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง	123.5	153.2	120	37.50	21.09
PS/POผสมด้วยเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว	123.6	153.1	119.6	101.39	49.70
PS/PO+เส้นใยแก้ว ผสมด้วยเครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง	124.2	154.3	119.6	117.84	63.85
PS/PO+เส้นใยแก้ว ผสมด้วยเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว	124.7	155.5	119	108.39	56.56
PS/PO+เส้นใยเซลลูโลส ผสมด้วยเครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง	124.6	156.7	119.7	108.98	54.34
PS/PO+เส้นใยเซลลูโลส ผสมด้วยเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว	124.1	154.9	119.6	108.29	54.07

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 แสดงผลการทดสอบสมบัติทางความร้อนของพอลิเมอร์ผสม PS/PO ที่อัตราส่วน 50/50 ด้วยเครื่อง DSC

ตัวอย่าง	T_m (°C)		T_c (°C)	ΔH_f (J/g)	
	HDPE	PP		HDPE	PP
PS/PO ผสมด้วยเครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง	123.7	152.8	119.7	55.7	27.74
PS/POผสมด้วยเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว	123.7	151.1	119.9	95.52	44.83
PS/PO+เส้นใยแก้ว ผสมด้วยเครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง	124.6	155.6	119.9	115.19	58.75
PS/PO+เส้นใยแก้ว ผสมด้วยเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว	124.1	153.9	119.9	112.49	56.58
PS/PO+เส้นใยเซลลูโลส ผสมด้วยเครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง	125	156.7	119.3	98.69	53.15
PS/PO+เส้นใยเซลลูโลส ผสมด้วยเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว	123.6	153	119.1	102.36	48.76

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

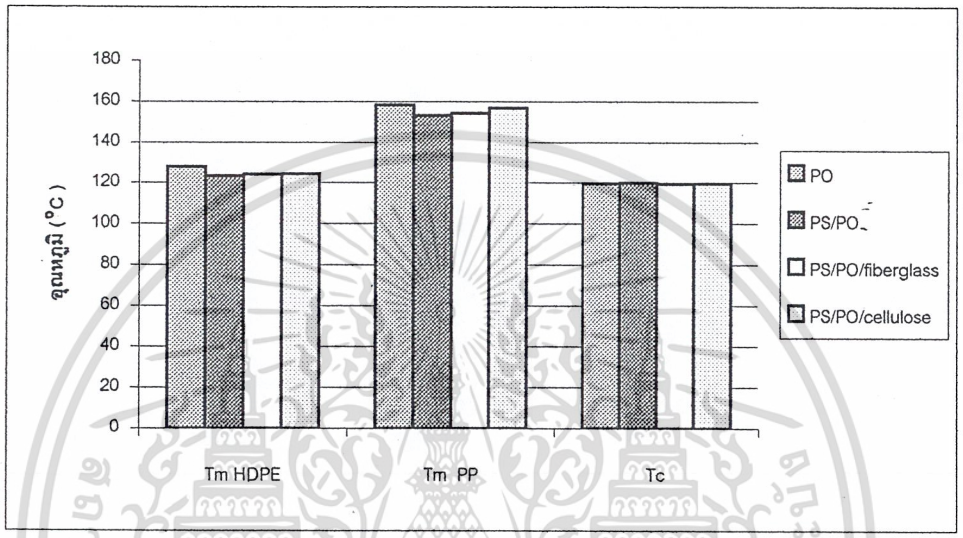
ตารางที่ 4.3 แสดงผลการทดสอบสมบัติทางความร้อนของพอลิเมอร์ผสม PS/PO ที่อัตราส่วน 75/25 ด้วยเครื่อง DSC

ตัวอย่าง	T_m (°C)		T_c (°C)	ΔH_f (J/g)	
	HDPE	PP		HDPE	PP
PS/PO ผสมด้วยเครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง	125.1	154.2	120	79.97	30.48
PS/POผสมด้วยเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว	124.3	154.7	119.6	65.49	24.49
PS/PO+เส้นใยแก้ว ผสมด้วยเครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง	124.1	153.4	119.7	109.46	56.63
PS/PO+เส้นใยแก้ว ผสมด้วยเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว	124.9	155.8	119.6	100.79	57.36
PS/PO+เส้นใยเซลลูโลส ผสมด้วยเครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง	124.5	153.8	120.3	101.59	36.45
PS/PO+เส้นใยเซลลูโลส ผสมด้วยเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว	125.2	150.9	119.7	91.67	40.27

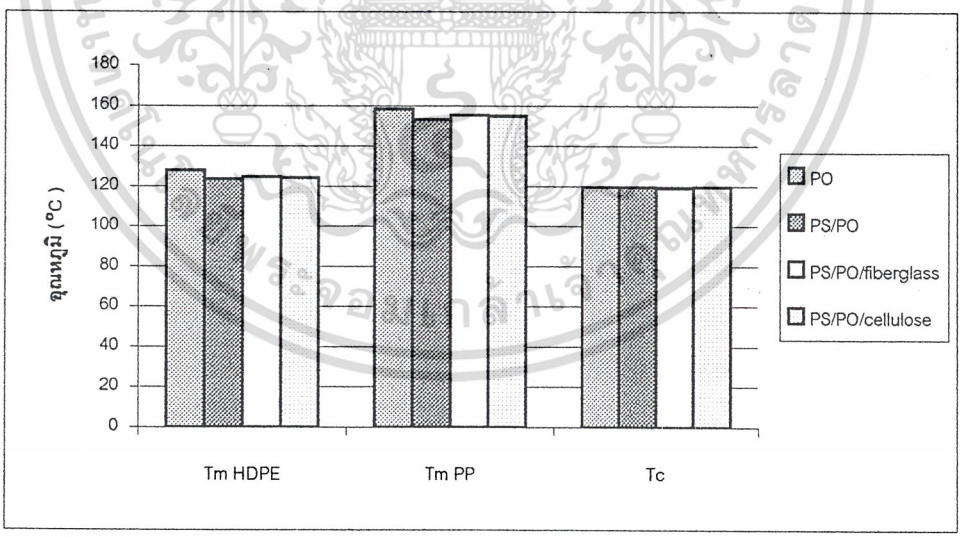
* เนื่องจากพีก LDPE ปรากฏบนเทอร์โมแกรมน้อยมากจึงไม่สามารถวิเคราะห์ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.1 - 4.3 พบว่าอุณหภูมิการหลอมเหลวและอุณหภูมิการตกผลึกของพอลิเมอร์ผสมในแต่ละอัตราส่วน มีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก แสดงว่าสารเติมแต่งไม่มีผลต่ออุณหภูมิการหลอมเหลวของพอลิเมอร์ผสม เนื่องจากอุณหภูมิการหลอมเหลวขึ้นอยู่กับความหนาของชั้น lamella ในกรณีที่พอลิเมอร์ชนิดเดียวกันและมีการเตรียมในสภาวะเดียวกัน ความหนาของชั้น lamella จึงเท่ากัน ทำให้อุณหภูมิการหลอมเหลวของพอลิเมอร์ผสมไม่เปลี่ยนแปลง



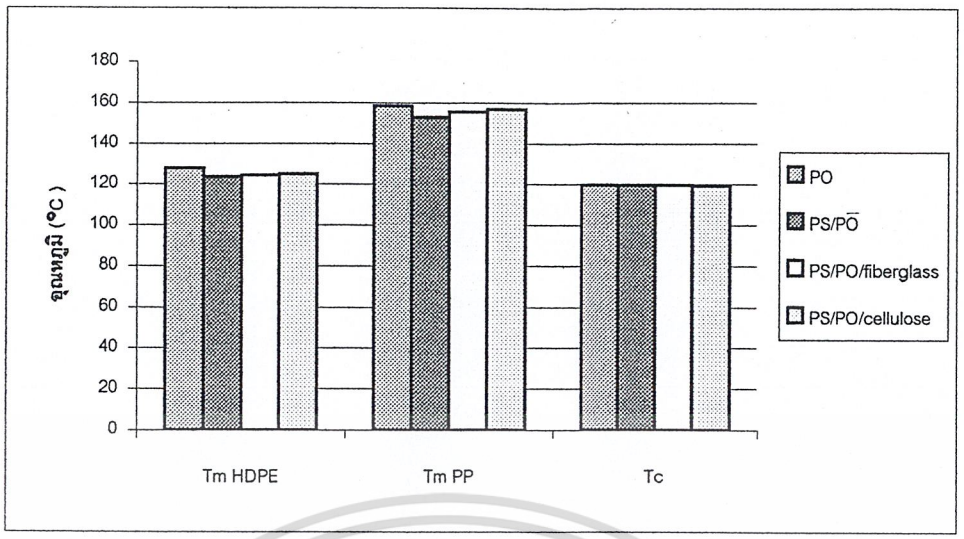
(ก)



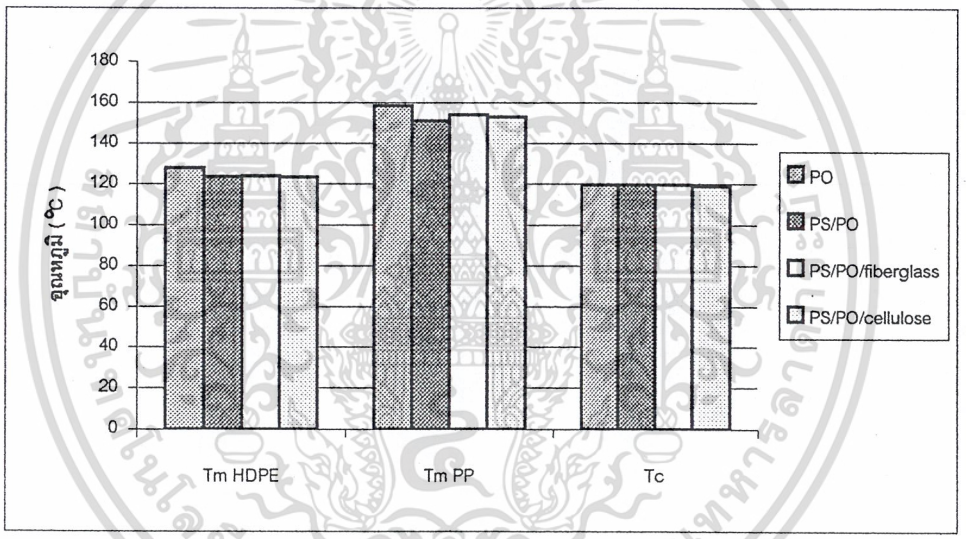
(ข)

รูปที่ 4.1 แสดงผลของสารเติมแต่งที่มีต่ออุณหภูมิหลอมเหลวและอุณหภูมิการตกผลึกของพอลิเมอร์ผสม PS/PO อัตราส่วน 25/75 ผสมด้วย (ก) เครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง (ข) เครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



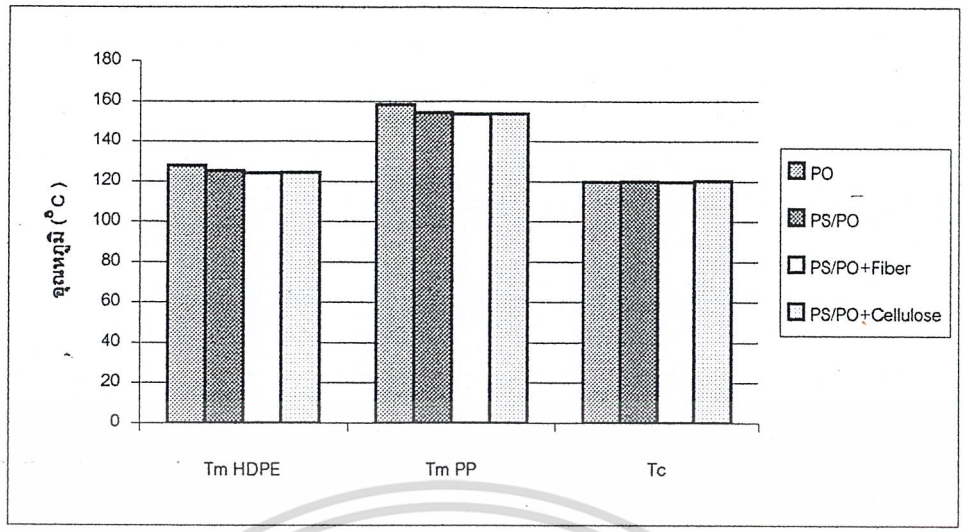
(ก)



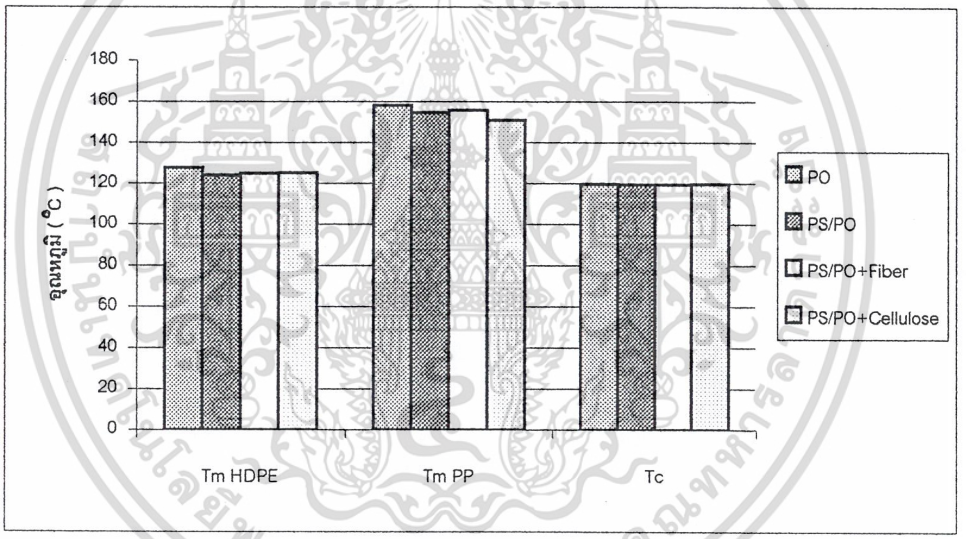
(ข)

รูปที่ 4.2 แสดงผลของสารเติมแต่งที่มีต่ออุณหภูมิหลอมเหลวและอุณหภูมิการตกผลึกของพอลิเมอร์ผสม PS/PO อัตราส่วน 50/50 ผสมด้วย (ก) เครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง (ข) เครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)

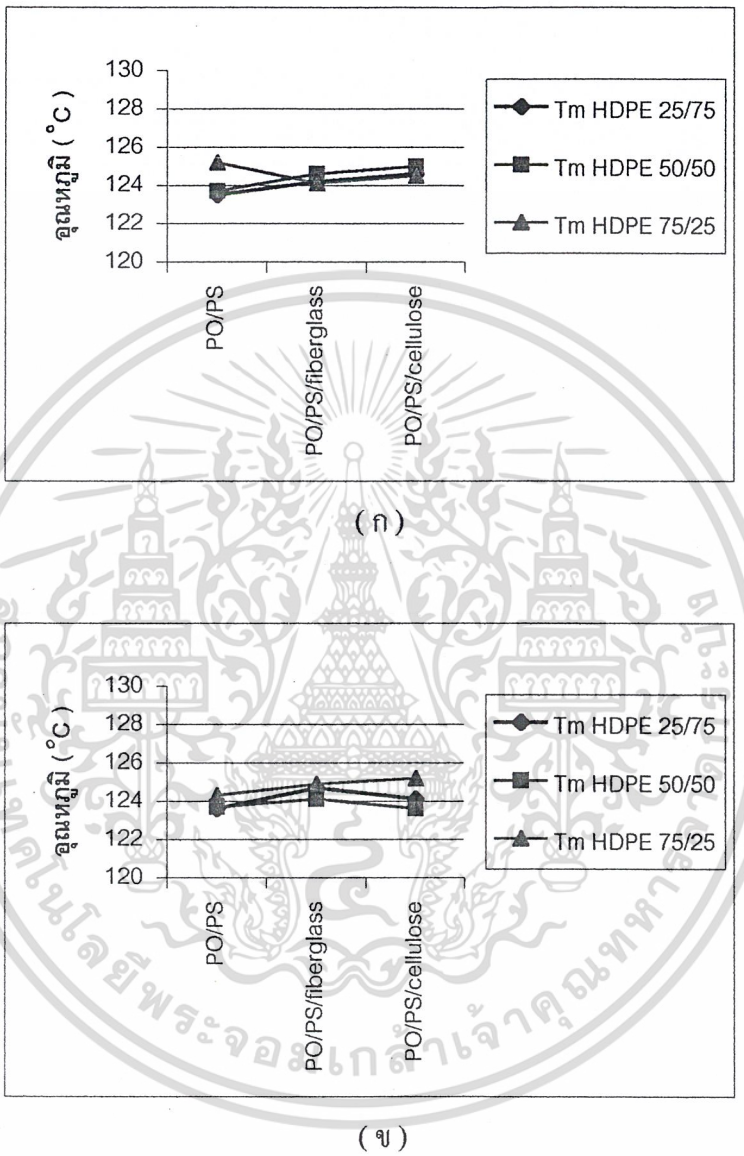


(ข)

รูปที่ 4.3 แสดงผลของสารเติมแต่งที่มีต่ออุณหภูมิหลอมเหลวและอุณหภูมิการตกผลึกของพอลิเมอร์ผสม PS/PO อัตราส่วน 75/25 ผสมด้วย (ก) เครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง (ข) เครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว

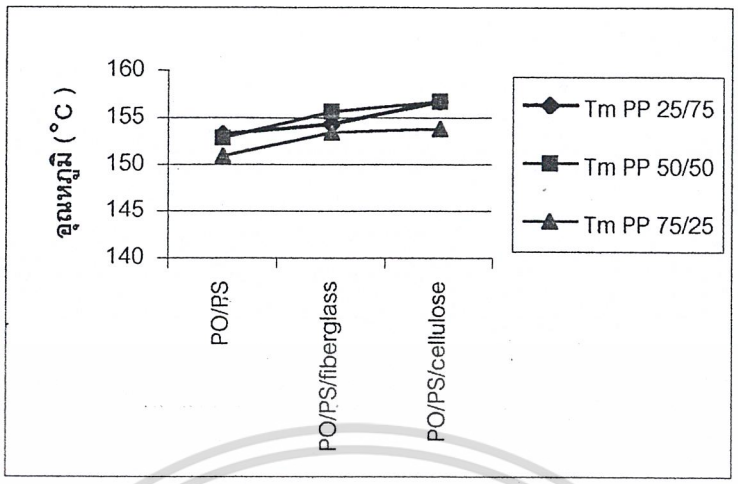
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.4 - 4.6 พบว่าอุณหภูมิการหลอมเหลวและอุณหภูมิการตกผลึกของพอลิเมอร์ผสมในแต่ละอัตราส่วนมีค่าใกล้เคียงกัน ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่า อัตราส่วนของพอลิเมอร์ผสมไม่มีผลต่ออุณหภูมิการหลอมเหลวและอุณหภูมิการตกผลึก

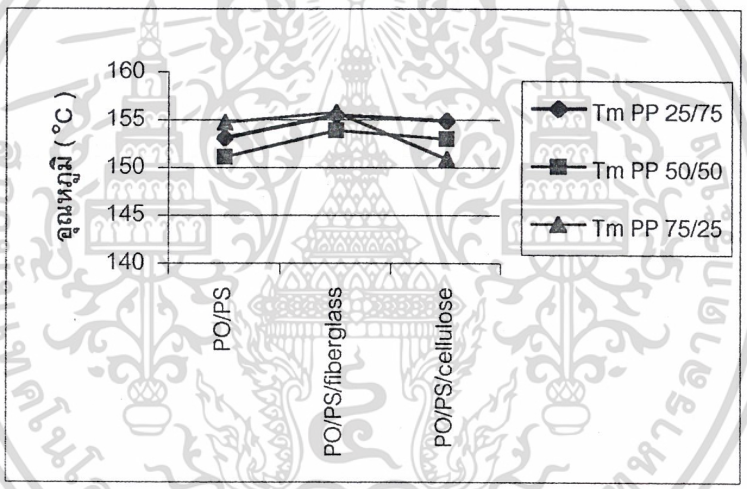


รูปที่ 4.4 แสดงผลของสารเติมแต่งที่มีต่ออุณหภูมิการหลอมเหลวผลึก HDPE ของพอลิเมอร์ผสมในแต่ละอัตราส่วนผสมด้วย (ก) เครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง (ข) เครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



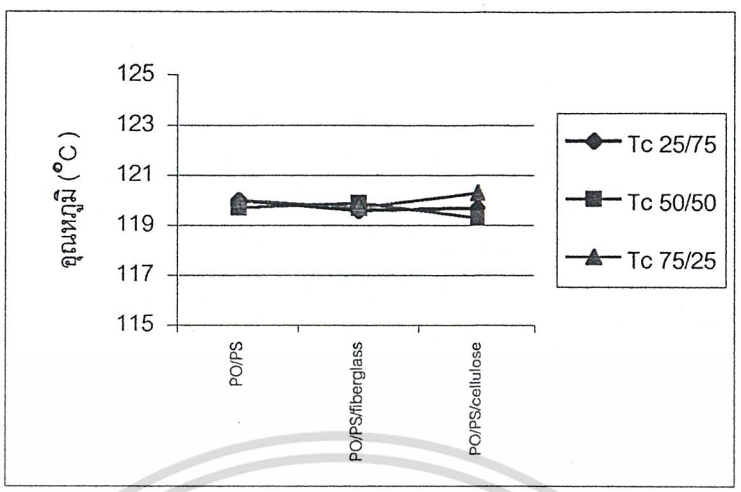
(ก)



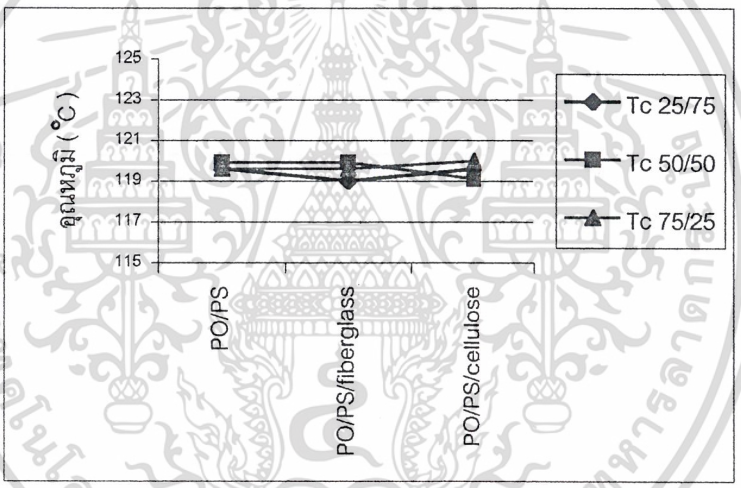
(ข)

รูปที่ 4.5 แสดงผลของสารเติมแต่งที่มีต่ออุณหภูมิการหลอมเหลวผลึก PP ของพอลิเมอร์ผสมในแต่ละอัตราส่วนผสมด้วย (ก) เครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง (ข) เครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)

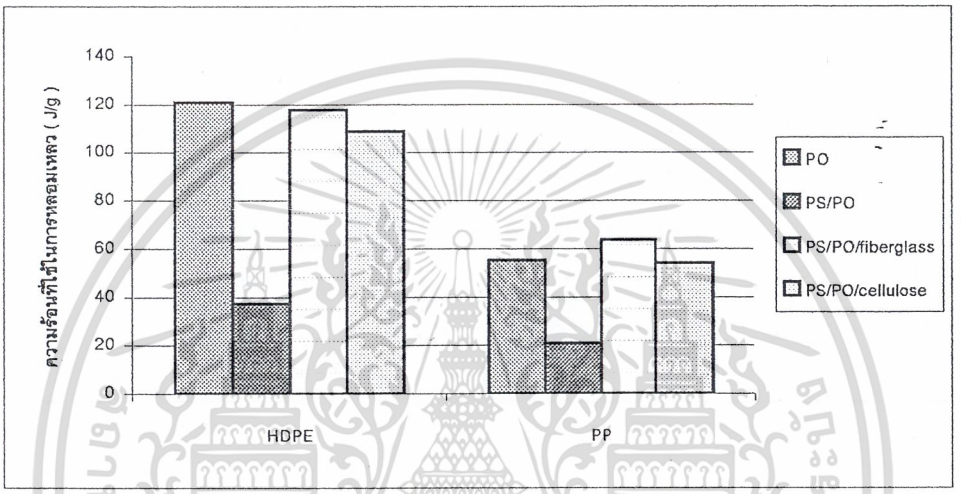


(ข)

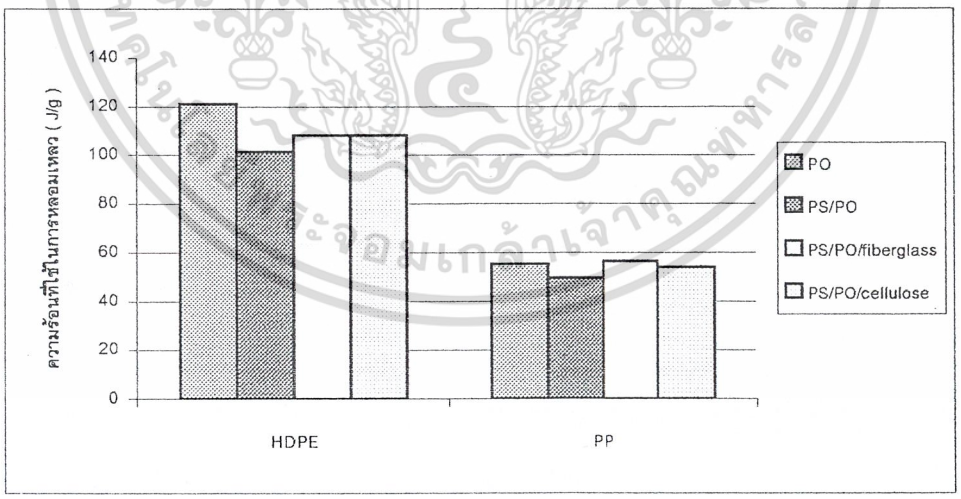
รูปที่ 4.6 แสดงผลของสารเติมแต่งที่มีต่ออุณหภูมิการตกผลึกของพอลิเมอร์ผสมในแต่ละอัตราส่วนผสมด้วย (ก) เครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง (ข) เครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.7 - 4.9 พบว่าพอลิโอลิฟินส์ก่อนผสมด้วยโฟมพอลิสไตรีนมีความเป็นผลึกสูงกว่าเมื่อผสมกับพอลิโอลิฟินส์เนื่องจากโฟมพอลิสไตรีนขัดขวางการเกิดผลึกของพอลิโอลิฟินส์ และหลังจากเติมสารเติมแต่งทำให้ความเป็นผลึกของพอลิเมอร์ผสมเพิ่มขึ้นเนื่องจากในขั้นการเกิดนิวเคลียส (nucleation) จะเกิดโดยอาศัยสารเติมแต่งจึงมีความเป็นผลึกสูงกว่าเมื่อไม่ได้เติมสารเติมแต่ง และพบว่าเมื่อเติมเส้นใยแก้วพอลิเมอร์ผสมมีความเป็นผลึกมากกว่าเส้นใยเซลลูโลสเนื่องจากเส้นใยแก้วมีการกระจายตัวที่ดีกว่า และมีรูปร่างเป็นแท่งและมีระเบียบ ส่วนเส้นใยเซลลูโลสมีรูปร่างที่ไม่เป็นเส้นตรงและไม่เป็นระเบียบ จึงเกิดผลึกได้น้อยกว่า



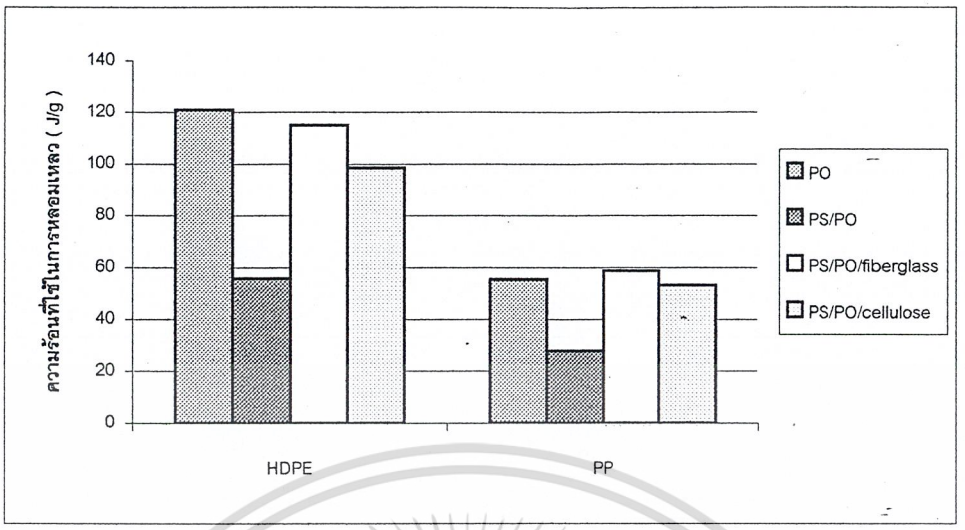
(ก)



(ข)

รูปที่ 4.7 แสดงผลของสารเติมแต่งที่มีต่อความร้อนที่ใช้ในการหลอมเหลวผลึกของพอลิเมอร์ผสม PS/PO อัตราส่วน 25/75 ผสมด้วย (ก) เครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง (ข) เครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

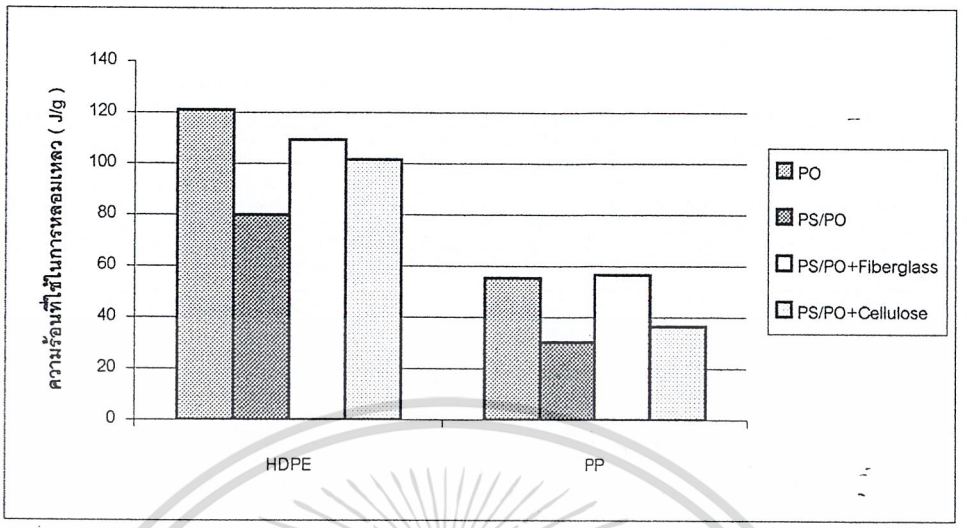


(ก)

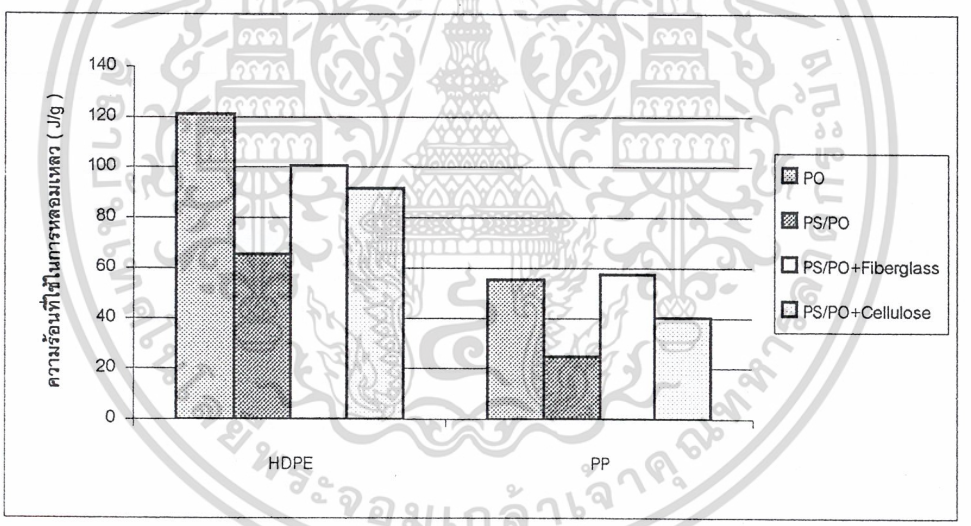
(ข)

รูปที่ 4.8 แสดงผลของสารเติมแต่งที่มีต่อความร้อนที่ใช้ในการหลอมเหลวผลึกของพอลิเมอร์ผสม PS/PO อัตราส่วน 50/50 ผสมด้วย (ก) เครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง (ข) เครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)

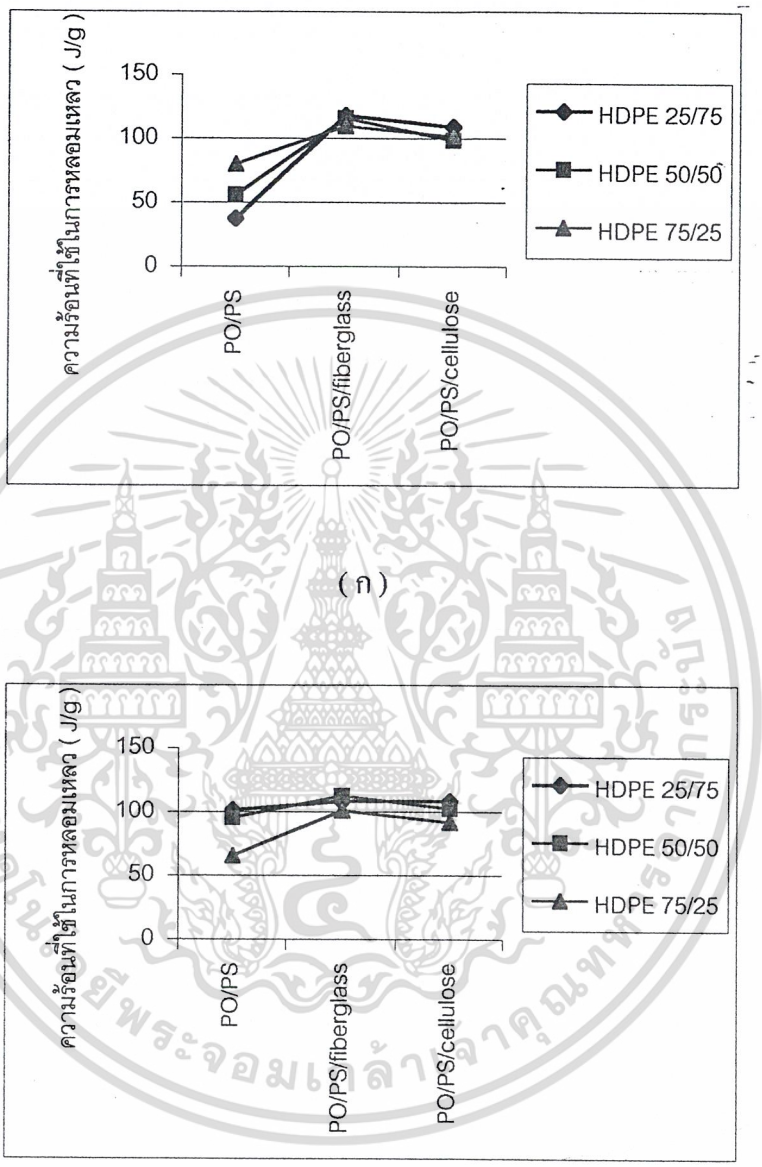


(ข)

รูปที่ 4.9 แสดงผลของสารเติมแต่งที่มีต่อความร้อนที่ใช้ในการหลอมเหลวผลึกของพอลิเมอร์ผสม PS/PO อัตราส่วน 75/25 ผสมด้วย (ก) เครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง (ข) เครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว

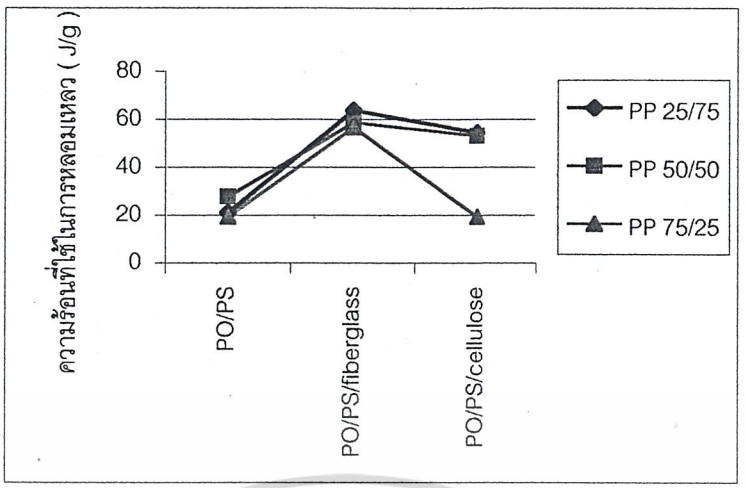
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.10 และ 4.11 พบว่าปริมาณความเป็นผลึกของพอลิเมอร์ผสมในแต่ละอัตราส่วนใกล้เคียงกัน และ มีแนวโน้มไปในทางเดียวกัน ดังนั้นอัตราส่วนของพอลิเมอร์ผสมจึงไม่มีผลต่อปริมาณความเป็นผลึก

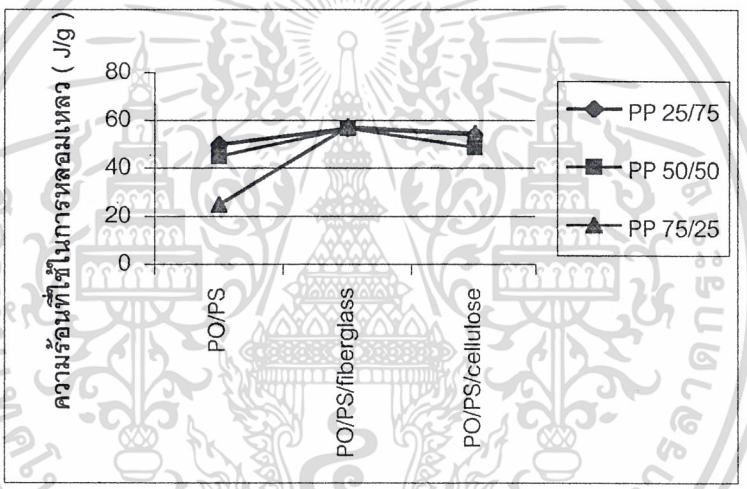


รูปที่ 4.10 แสดงผลของสารเติมแต่งที่มีต่ออุณหภูมิการหลอมเหลวผลึก HDPE ในแต่ละอัตราส่วนที่ผสมด้วย (ก) เครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง (ข) เครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



(ข)

รูปที่ 4.11 แสดงผลของสารเติมแต่งที่มีต่ออุณหภูมิการหลอมเหลวผลึก PP ในแต่ละอัตราส่วนที่ผสมด้วย (ก) เครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง (ข) เครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การศึกษาสมบัติทางความร้อนด้วยเครื่อง DTUL

การศึกษาอุณหภูมิการเสียรูปของชิ้นงานด้วยเครื่อง DTUL ในอัตราส่วนต่าง ๆ แสดงผลในตารางที่ 4.4 - 4.6

ตารางที่ 4.4 แสดงผลการทดสอบสมบัติทางความร้อนของพอลิเมอร์ผสม PS/PO อัตราส่วน 25/75

สารตัวอย่าง	อุณหภูมิที่ชิ้นงานเสียรูป(°C)
1. PS	89.2
2. PO	55.1
3. PS/PO ผสมด้วยเครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง	79.8
4. PS/PO ผสมด้วยเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว	78.9
5. PS/PO+เส้นใยแก้ว ผสมด้วยเครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง	79.8
6. PS/PO+เส้นใยแก้ว ผสมด้วยเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว	81.2
7. PS/PO+เส้นใยเซลลูโลส ผสมด้วยเครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง	76.6
8. PS/PO+เส้นใยเซลลูโลส ผสมด้วยเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว	77.2

ตารางที่ 4.5 แสดงผลการทดสอบสมบัติทางความร้อนของพอลิเมอร์ผสม PS/PO อัตราส่วน 50/50

สารตัวอย่าง	อุณหภูมิที่ชิ้นงานเสียรูป(°C)
1. PS	89.2
2. PO	55.1
3. PS/PO ผสมด้วยเครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง	86.7
4. PS/PO ผสมด้วยเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว	86.9
5. PS/PO+เส้นใยแก้ว ผสมด้วยเครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง	89.0
6. PS/PO+เส้นใยแก้ว ผสมด้วยเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว	88.8
7. PS/PO+เส้นใยเซลลูโลส ผสมด้วยเครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง	82.7
8. PS/PO+เส้นใยเซลลูโลส ผสมด้วยเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว	82.1

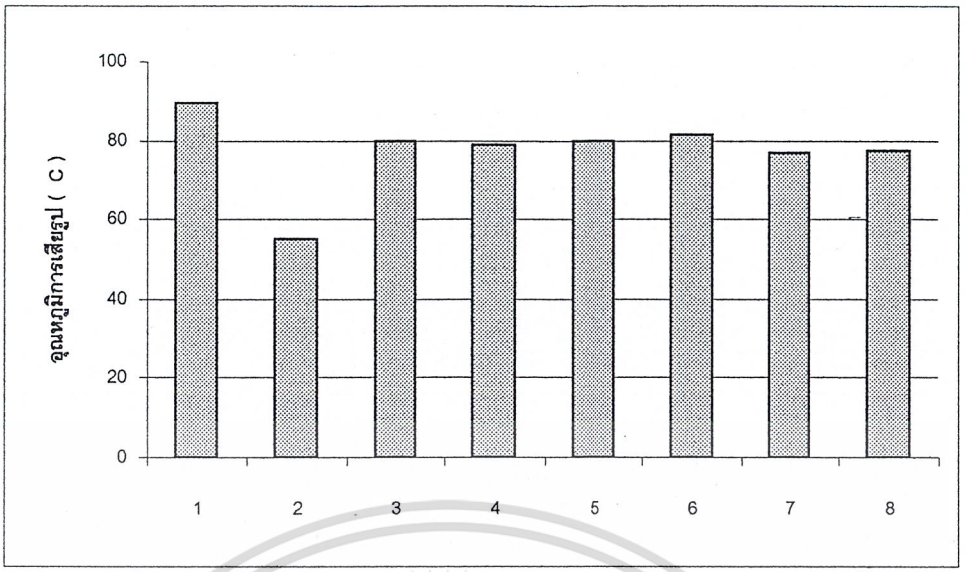
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 แสดงผลการทดสอบสมบัติทางความร้อนของพอลิเมอร์ผสม PS/PO อัตราส่วน 75/25

สารตัวอย่าง	อุณหภูมิที่ชิ้นงานเสียรูป(°C)
1. PS	89.2
2. PO	55.1
3. PS/PO ผสมด้วยเครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง	88.6
4. PS/PO ผสมด้วยเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว	88.9
5. PS/PO+เส้นใยแก้ว ผสมด้วยเครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง	89.4
6. PS/PO+เส้นใยแก้ว ผสมด้วยเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว	89.8
7. PS/PO+เส้นใยเซลลูโลส ผสมด้วยเครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง	85.8
8. PS/PO+เส้นใยเซลลูโลส ผสมด้วยเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว	86.1

จากรูปที่ 4.12 - 4.14 พบว่าพอลิโอลิฟินส์ก่อนผสมด้วยโฟมพอลิสไตรีนจะมีอุณหภูมิการเสียรูปต่ำ ส่วนโฟมพอลิสไตรีนมีอุณหภูมิการเสียรูปสูง เมื่อผสมพอลิโอลิฟินส์กับโฟมพอลิสไตรีน จึงทำให้อุณหภูมิการเสียรูปสูงขึ้นกว่าพอลิโอลิฟินส์ แต่ต่ำกว่าอุณหภูมิการเสียรูปของโฟมพอลิสไตรีน และหลังจากเติมเส้นใยแก้วในพอลิเมอร์ผสมพบว่าอุณหภูมิที่ชิ้นงานเสียรูปเพิ่มขึ้นเนื่องจากเส้นใยแก้วช่วยเสริมแรงให้กับพอลิเมอร์ผสม ส่วนเส้นใยเซลลูโลสเมื่อเติมแล้วทำให้อุณหภูมิการเสียรูปของพอลิเมอร์ผสมลดลงเพราะเส้นใยเซลลูโลสมีความแข็งน้อยและทำให้เกิดช่องว่างระหว่างพอลิเมอร์กับเส้นใยเซลลูโลสจึงทำให้อุณหภูมิการเสียรูปของชิ้นงานลดลง แต่ไม่มากนัก ส่วนอิทธิพลของกระบวนการผสมไม่มีผลต่อสมบัตินี้

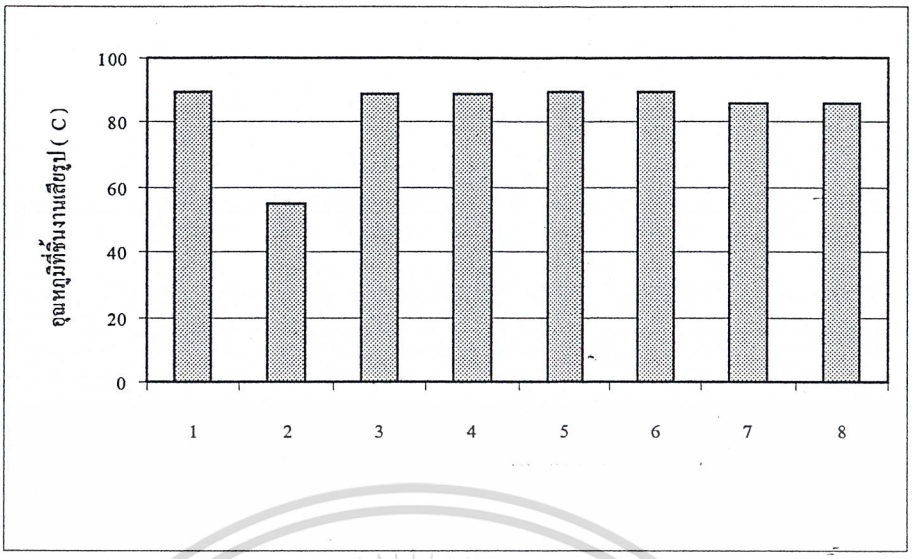
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.12 แสดงผลของสารเติมแต่งที่มีต่ออุณหภูมิการเสียรูปของพอลิเมอร์ผสม PS/PO ที่อัตราส่วน 25/75

รูปที่ 4.13 แสดงผลของสารเติมแต่งที่มีต่ออุณหภูมิการเสียรูปของพอลิเมอร์ผสม PS/PO ที่อัตราส่วน 50/50

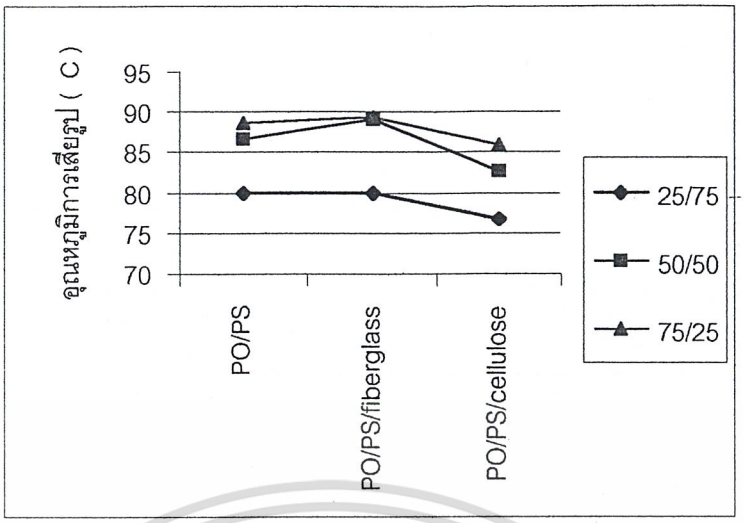
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



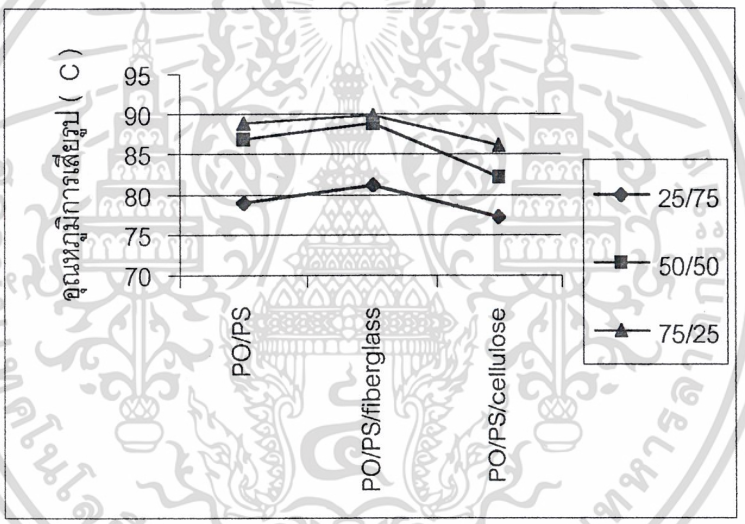
รูปที่ 4.14 แสดงผลของสารเติมแต่งที่มีต่ออุณหภูมิการเสียรูปของพอลิเมอร์ผสม PS/PO ที่อัตราส่วน 75/25

จากรูปที่ 4.15 พบว่า ที่อัตราส่วน 75/25 มีอุณหภูมิการเสียรูป สูงกว่า อัตราส่วน 50/50 และอัตราส่วน 25/75 ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากในอัตาส่วน75/25 มีปริมาณโฟมพอลิสไตรีนสูงสุดจึงทำให้มีอุณหภูมิการเสียรูปสูงที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



(ข)

รูปที่ 4.15 แสดงผลของสารเติมแต่งที่มีต่ออุณหภูมิการเสียรูปของพอลิเมอร์ผสมในแต่ละอัตราส่วนที่ผสมด้วย (ก) เครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง (ข) เครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 <u>การศึกษาสัณฐานวิทยา</u>

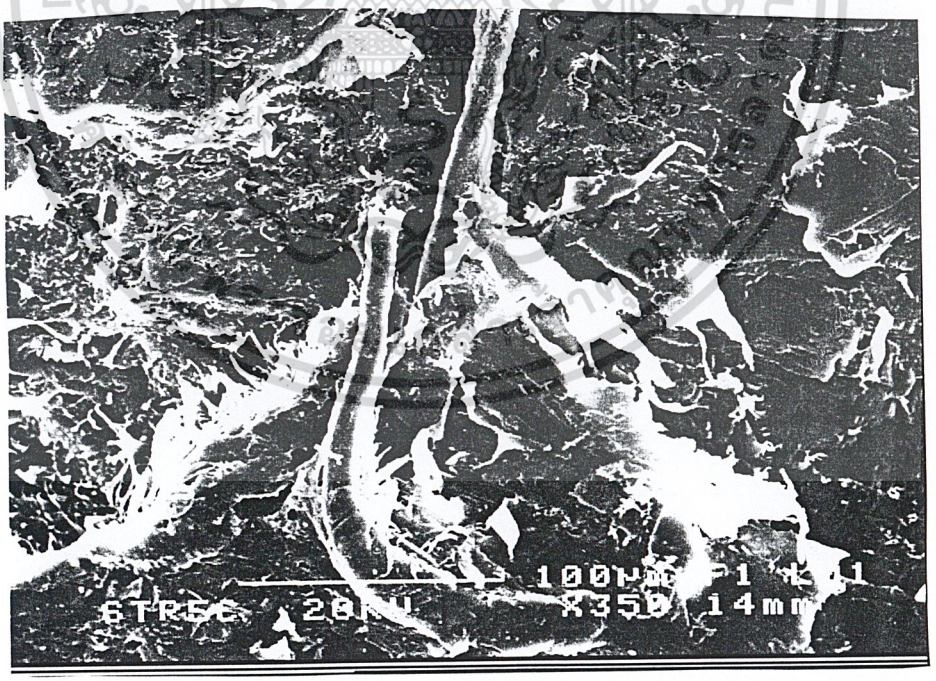
การศึกษาสัณฐานวิทยาพิจารณาจากวัฏภาคต่อเนื่องและวัฏภาคกระจายของพอลิเมอร์ผสม PS และ PO ที่อัตราส่วน 25/75 และ 75/25 ทั้งก่อนและหลังเติมสารเติมแต่งแสดงในรูปที่ 4.16 - 4.21

จากรูปที่ 4.16 พบว่าพอลิเมอร์ผสมรวมเป็นเนื้อเดียวกันได้บางส่วนเนื่องจากพอลิเมอร์ทั้งสองชนิดมีค่าการละลายใกล้เคียงกันโดยส่วนสว่างในรูปคือ พอลิสไตรีนซึ่งเป็นวัฏภาคกระจายอยู่ในพอลิโอลิฟินส์ซึ่งเป็นวัฏภาคต่อเนื่องที่เป็นส่วนมืดและจากรูปที่ 4.17 และ 4.18 พบว่าพอลิเมอร์ผสมที่เติมเส้นใยแก้วมีการยึดติดระหว่างพอลิเมอร์และสารเติมแต่งดีกว่าเส้นใยเซลลูโลสเพราะไม่เกิดช่องว่างระหว่างพอลิเมอร์กับเส้นใยแก้ว เนื่องจากเส้นใยเซลลูโลสมีขั้วมากจึงยึดติดกับพอลิเมอร์ผสมซึ่งไม่มีขั้วได้ไม่ดีส่วนเส้นใยแก้วไม่มีขั้วจึงยึดติดกับพอลิเมอร์ผสมได้ดีกว่า

รูปที่ 4.16 ภาพถ่าย SEM กำลังขยาย 700 เท่า แสดงลักษณะพื้นผิวของพอลิเมอร์ผสม PS/PO อัตราส่วน 75/25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.17 ภาพถ่าย SEM กำลังขยาย 700 เท่า แสดงลักษณะของพอลิเมอร์ผสมอัตราส่วน 75/25ที่มีเส้นใยแก้วเป็นสารเติมแต่ง



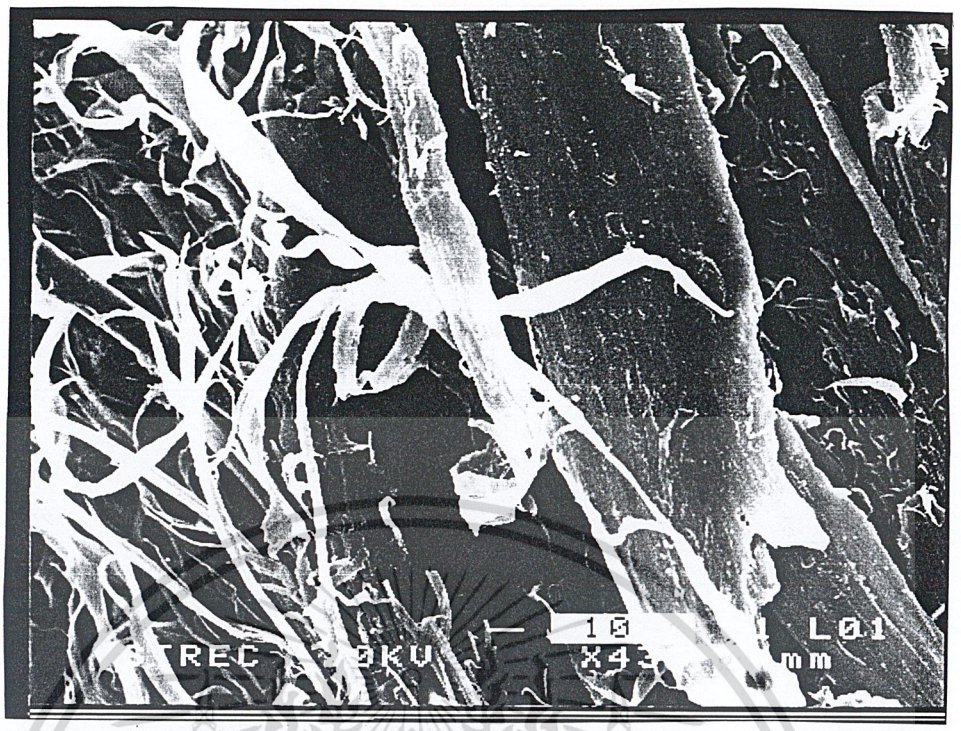
รูปที่ 4.18 ภาพถ่าย SEM กำลังขยาย 700 เท่า แสดงลักษณะของพอลิเมอร์ผสมอัตราส่วน 75/25 ที่มีเส้นใยเซลลูโลสเป็นสารเติมแต่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.19 4.20 และ 4.21 พบว่าส่วนสว่างในรูปคือ พอลิโอลิฟินส์ ซึ่งเป็นวัฏภาคต่อเนื่อง และ ส่วนมืดคือพอลิสไตรีนซึ่งเป็นวัฏภาคกระจาย ลักษณะการยึดเกาะของพอลิโอลิฟินส์และพอลิสไตรีน ขาดความเป็นระเบียบมากกว่าพอลิเมอร์ผสม PS/PO ที่ 75/25 ทั้งในกรณีเติมเส้นใยแก้วและเส้นใยเซลลูโลส

รูปที่ 4.19 ภาพถ่าย SEM กำลังขยาย 700 เท่า แสดงลักษณะของพอลิเมอร์ผสม PS/PO อัตราส่วน 25/75

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.20 ภาพถ่าย SEM กำลังขยาย 700 เท่า แสดงลักษณะของพอลิเมอร์ผสม PS/PO อัตราส่วน 25/75 มีเส้นใยแก้วเป็นสารเติมแต่ง

รูปที่ 4.21 ภาพถ่าย SEM กำลังขยาย 700 เท่า แสดงลักษณะของพอลิเมอร์ผสม PS/PO อัตราส่วน 25/75 มีเส้นใยเซลลูโลสเป็นสารเติมแต่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

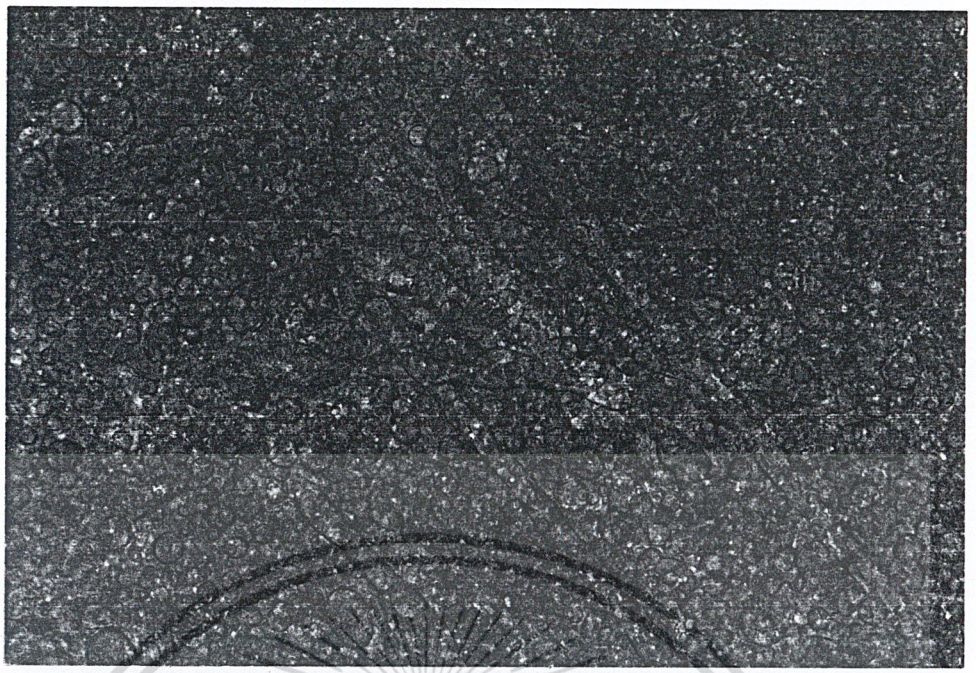
4.3 <u>การศึกษาสมบัติทางแสง</u>

การศึกษาสมบัติทางแสงเพื่อบ่งบอกลักษณะการจัดเรียงตัวของสเฟียร์รูไลท์ในพอลิเมอร์ผสม ผลที่ได้แสดงในรูปที่ 4.22 - 4.33

จากรูปไม่ว่าจะเป็นที่อัตราส่วนใดลักษณะที่เห็นไม่ผลเด่นชัด สิ่งที่เห็นจากการเติมสารเติมแต่ง คือ ลักษณะของเส้นใยที่แทรกตัวอยู่ในพอลิเมอร์ผสมเท่านั้น ทั้งนี้อาจเป็นผลเนื่องจากวิธีเตรียมสารไม่เหมาะสม

รูปที่ 4.22 ภาพถ่ายกำลังขยาย 100 เท่า แสดงสมบัติทางแสงของพอลิเมอร์ผสม PS/PO ที่อัตราส่วน 25/75 ก่อนเติมสารเติมแต่ง

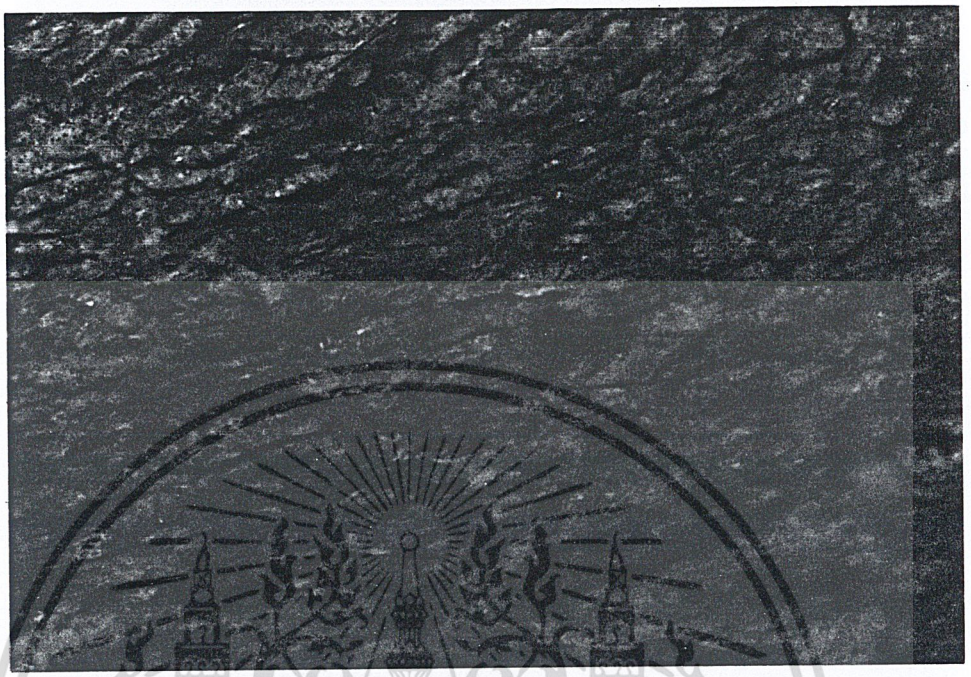
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.23 ภาพถ่ายกำลังขยาย 100 เท่า แสดงสมบัติทางแสงของพอลิเมอร์ผสม PS/PO อัตราส่วน 25/75 หลังเติมด้วยเส้นใยแก้ว

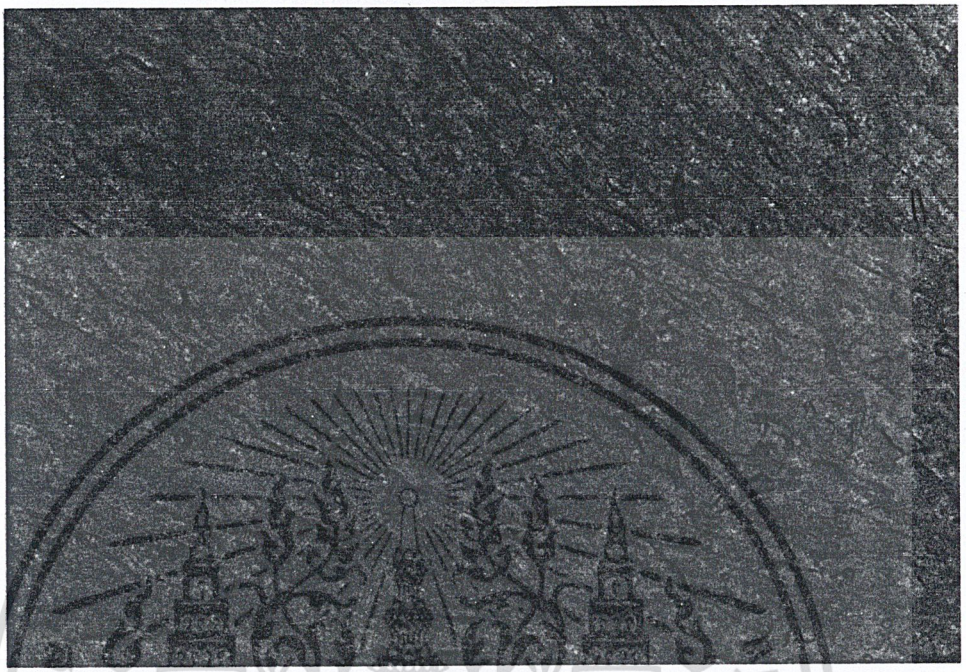
รูปที่ 4.24 ภาพถ่ายกำลังขยาย 100 เท่า แสดงสมบัติทางแสงของพอลิเมอร์ผสม PS/PO อัตราส่วน 25/75 หลังเติมด้วยเส้นใยเซลลูโลส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



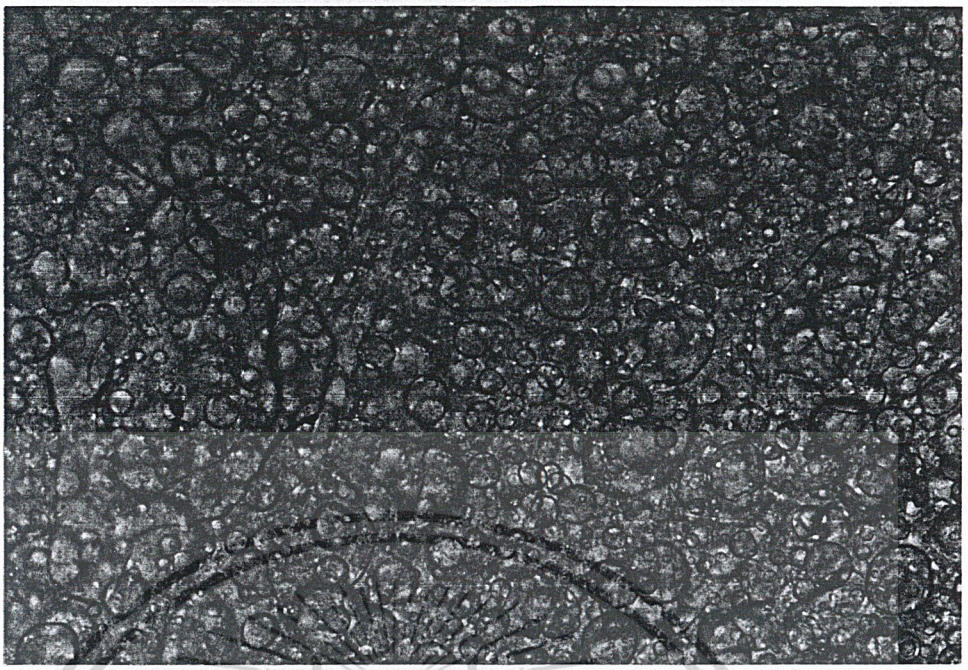
รูปที่ 4.25 ภาพถ่ายกำลังขยาย 100 เท่า แสดงสมบัติทางแสงของพอลิเมอร์ผสม PS/PO ที่อัตราส่วน 50/50 ก่อนเติมสารเติมแต่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.28 ภาพถ่ายกำลังขยาย 100 เท่า แสดงสมบัติทางแสงของพอลิเมอร์ผสม PS/PO ที่อัตราส่วน 75/25 ก่อนเติมสารเติมแต่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.29 ภาพถ่ายกำลังขยาย 100 เท่า แสดงสมบัติทางแสงของพอลิเมอร์ผสม PS/PO อัตราส่วน 75/25 หลังเติมด้วยเส้นใยแก้ว

รูปที่ 4.30 ภาพถ่ายกำลังขยาย 100 เท่า แสดงสมบัติทางแสงของพอลิเมอร์ผสม PS/PO อัตราส่วน 75/25 หลังเติมด้วยเส้นใยเซลลูโลส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุป

ในงานวิจัยนี้ได้นำพอลิโอลิฟินส์ ได้แก่ พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ และ พอลิพรอพิลีน นำมาผสมกับโฟมพอลิสไตรีนโดยใช้เครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง และ เครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยวในอัตราส่วนของ PS/PO ที่แตกต่างกันเป็น 25/75 50/50 และ 75/25 ตามลำดับ และทำการปรับปรุงสมบัติทางความร้อน ทางสัณฐานวิทยา และ ทางแสง โดยการเติมสารเติมแต่ง คือ เส้นใยแก้ว และเส้นใยเซลลูโลส

5.1 สมบัติทางความร้อน

จากการวิจัยโดยทดสอบสมบัติทางความร้อนด้วยเครื่อง DTUL พบว่าในส่วนของกระบวนการผสมไม่มีผลต่อสมบัติทางความร้อนของพอลิเมอร์ผสม และ พอลิโอลิฟินส์ที่ผสมกับโฟมพอลิสไตรีนมีอุณหภูมิการเสียรูปสูงกว่าพอลิโอลิฟินส์บริสุทธิ์เนื่องจากโฟมพอลิสไตรีนมีหมู่ของเบนซีนอยู่ในโมเลกุลทำให้พอลิเมอร์มีโครงสร้างที่แข็งแกร่ง และเมื่อทำการผสมสารเติมแต่งพบว่าพอลิเมอร์ผสมที่เติมเส้นใยแก้วมีความทนทานต่อการเสียรูปด้วยความร้อนมากกว่าพอลิเมอร์ผสมที่เติมด้วยเส้นใยเซลลูโลส และจากการเปรียบเทียบในแต่ละอัตราส่วน พบว่า ที่อัตราส่วน 75/25 มีอุณหภูมิการเสียรูปสูงที่สุด เนื่องจากมีส่วนผสมของโฟมพอลิสไตรีนมากที่สุด และจากเครื่อง DSC พบว่าพอลิโอลิฟินส์ที่ยังไม่ได้ทำการผสมมีความเป็นผลึกสูงกว่าพอลิโอลิฟินส์ที่ผสมด้วยโฟมพอลิสไตรีนทั้งนี้ เนื่องจาก หมู่เบนซีนที่อยู่ในพอลิสไตรีนขัดขวางการเกิดผลึกของพอลิโอลิฟินส์ ส่วนพอลิเมอร์ผสมที่เติมเส้นใยแก้วมีความเป็นผลึกสูงกว่าพอลิเมอร์ผสมที่เติมเส้นใยเซลลูโลสเนื่องจากเส้นใยแก้วช่วยในการยึดเกี่ยวพอลิเมอร์ผสมได้ดีขึ้น

5.2 สัณฐานวิทยา

จากการศึกษาสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสมด้วยเครื่อง SEM พบว่าการเกี่ยวพันของเส้นใยระหว่างพอลิเมอร์ผสมและเส้นใยแก้วมีการยึดติดดีกว่าพอลิเมอร์ผสมที่เติมเส้นใยเซลลูโลส ทั้งนี้เนื่องจากการจัดเรียงตัวของเส้นใยแก้วในพอลิเมอร์ผสมมีความเป็นระเบียบมากกว่าเส้นใยเซลลูโลส

5.3 สมบัติทางแสง

จากการศึกษาสมบัติทางแสงด้วย Optical Microscopy ไม่สามารถบอกการจัดเรียงตัวสเฟียร์รูไลท์ระหว่างพอลิเมอร์ผสมและสารเติมแต่งได้ เนื่องจากผลของโครงสร้างพอลิสไตรีนที่อยู่ในโมเลกุลของพอลิเมอร์ผสม

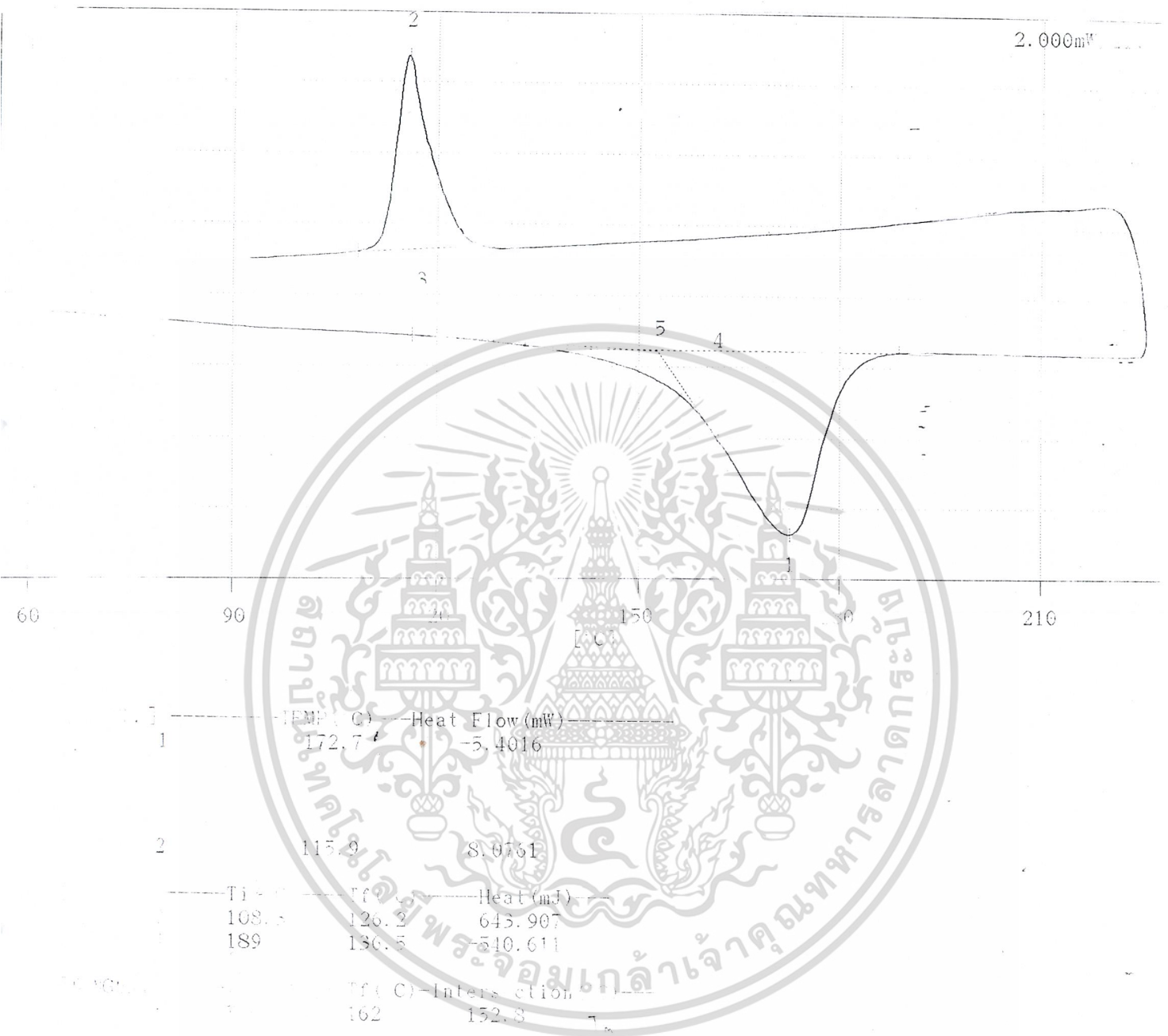
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรศึกษาเปรียบเทียบสารเติมแต่งอื่น ๆ ที่มีผลต่อพอลิเมอร์ผสม เพื่อให้ได้สารเติมแต่งที่มีส่วนเพิ่มสมบัติทางความร้อน ทางสัณฐานวิทยาและทางแสงที่ดี
2. ควรศึกษาถึงผลของขนาดอนุภาคของสารเติมแต่งที่มีต่อการกระจายตัวและการยึดเหนี่ยวภายในโครงสร้างของพอลิเมอร์ผสม
3. ควรศึกษาสมบัติทางการไหลของพอลิเมอร์ผสมกับสารเติมแต่งชนิดอื่น ๆ เพื่อประกอบการพิจารณากระบวนการผสมที่เหมาะสม

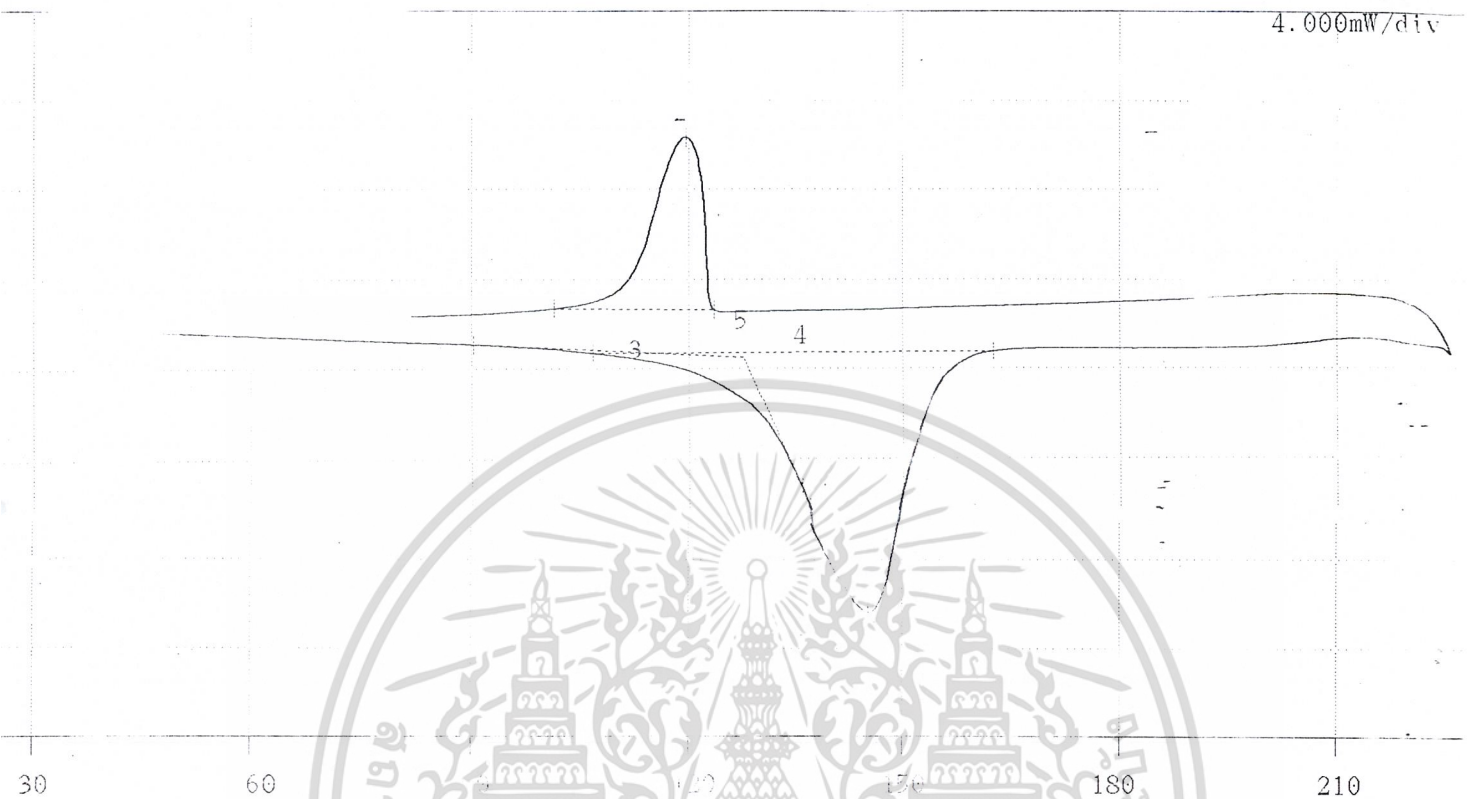
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก



พอลิพรอพิลีน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



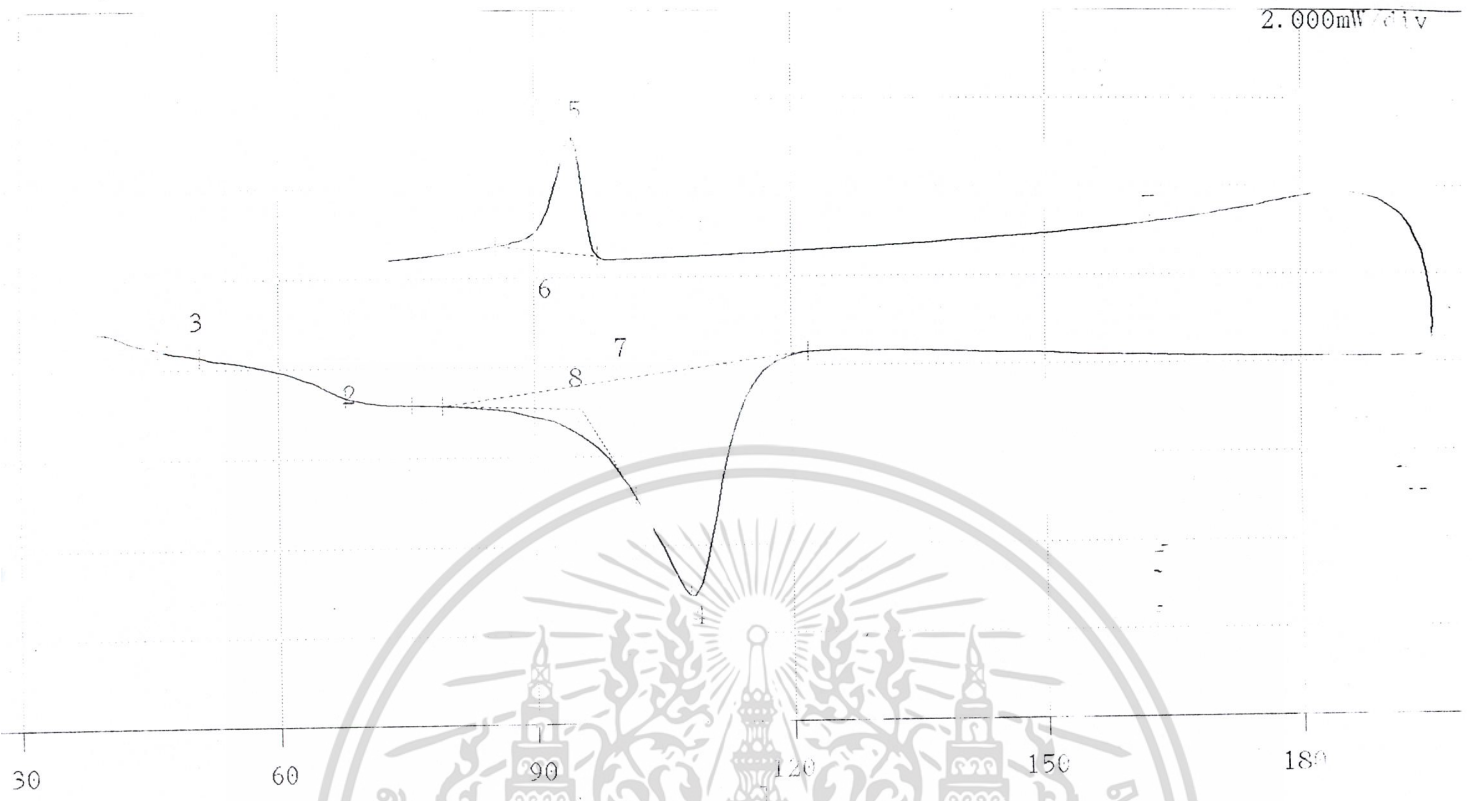
	TEMP(°C)	Heat Flow(mW)
	144.9	-12.8553
	119.6	7.8946

	Ti(°C)	Tf(°C)	Heat(mJ)
3	101.4	128.9	1239.814
4	162.4	196.8	1011.3

	Ti(°C)	Tf(°C)	Intersection(°C)
5	90.2	135.7	127.6

พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



[TEMP.] ----------TEMP(°C)---Heat Flow(mW)-----

1	46.1	-1.4584
2	67.9	-2.5552
3	51	-1.6269
4	108	-7.0[illegible]
5	94.4	-5.233[illegible]

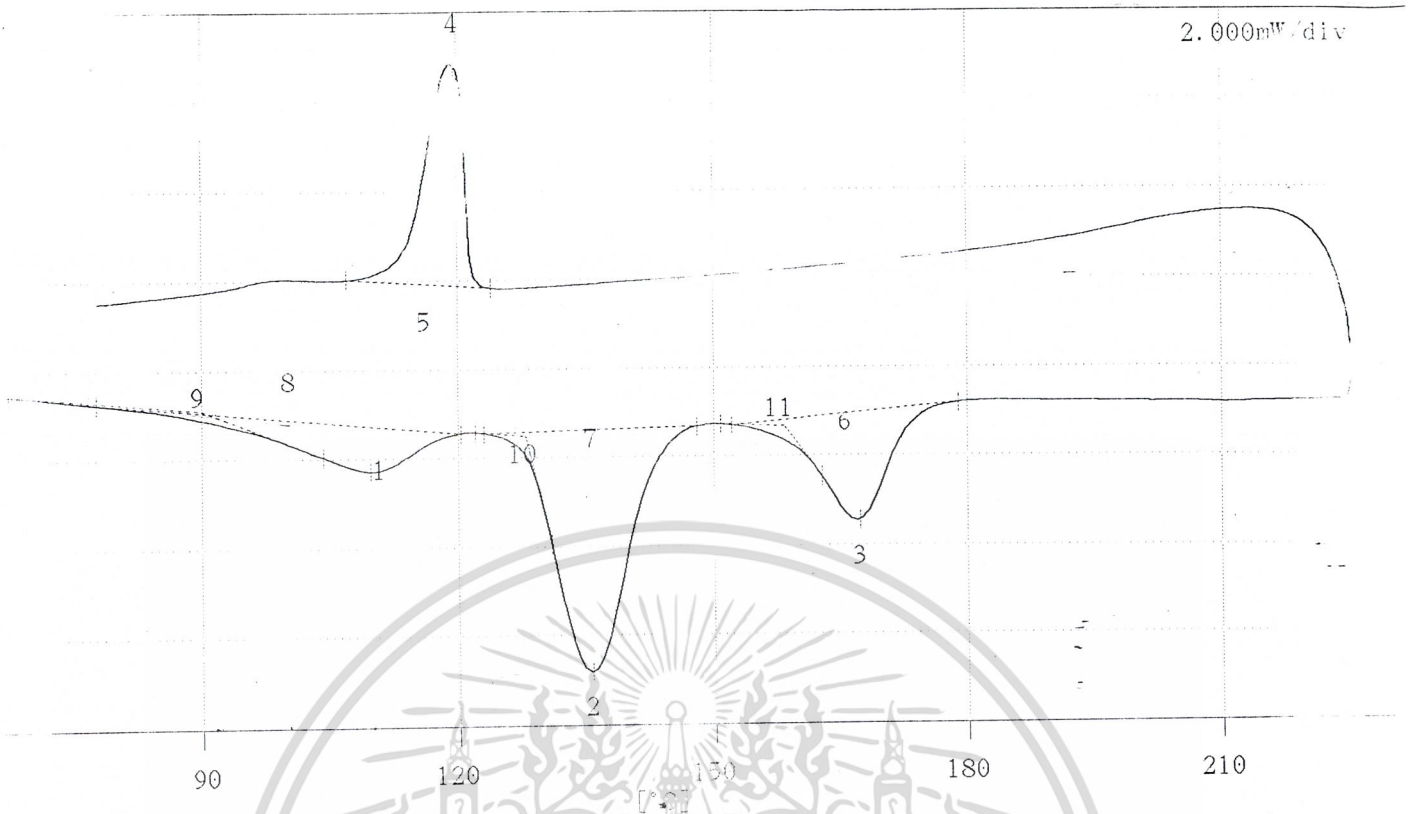
[illegible]	[illegible](°C)	Tf(°C)	Heat(mJ)
[illegible]	[illegible].8	97.7	351.25
7	[illegible].4	79.2	-387.71

[TANGENT] -----Ti(°C)-----Tf(°C)-Intersection(°C)---

8	75.6	101.7	95.5

พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



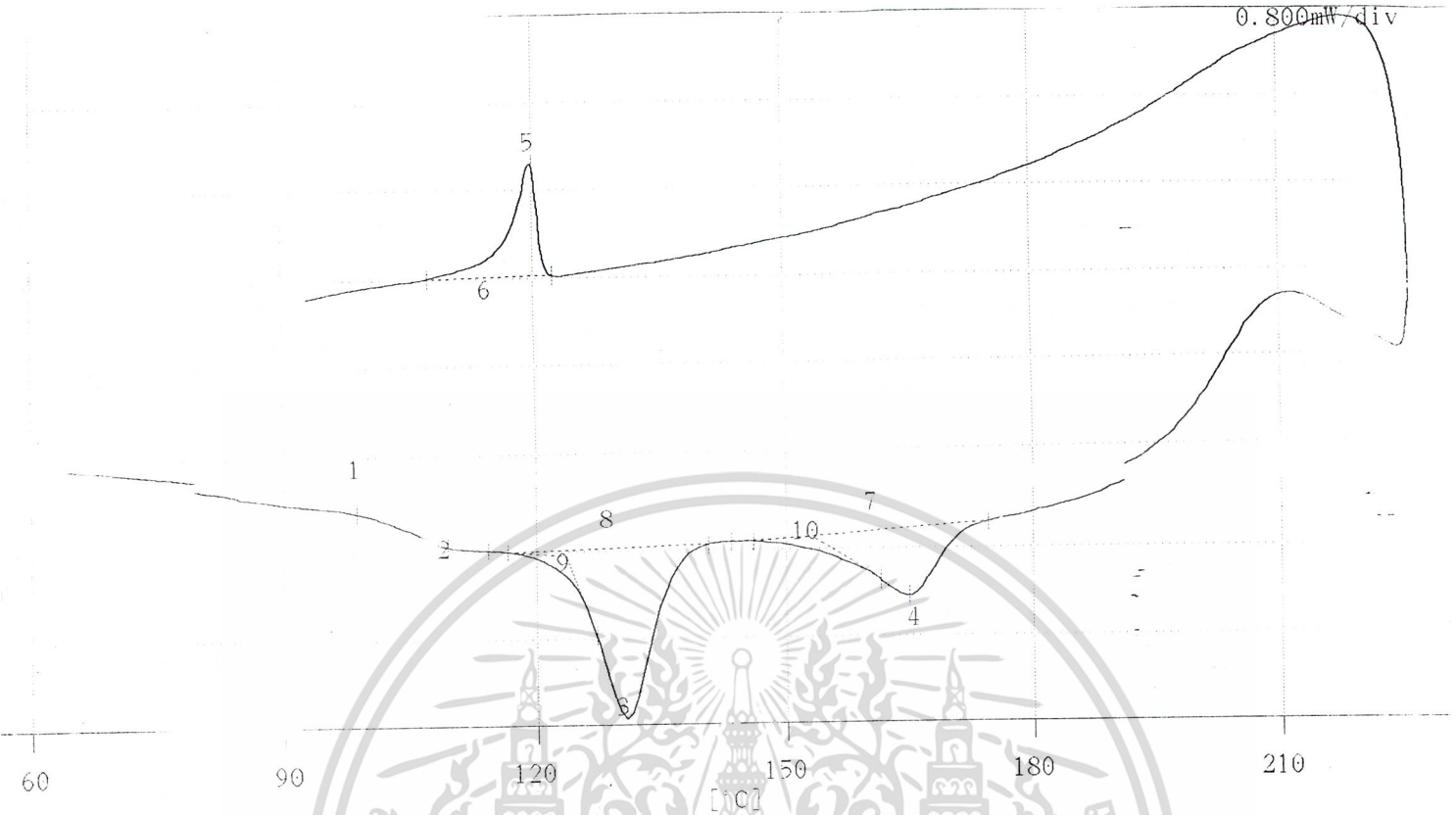
MP.]	TEMP(°C)	Heat Flow(mW)
1	109.8	-3.3439
2	135.6	-7.8753
3	167.6	-4.4965
4	119.7	5.7246

,T]	Ti(°C)	Tf(°C)	Heat(mJ)
5	107	123.9	524.347
6	179	152.1	-138.546
7	148.1	123	-3[illegible].783
8	120.4	77.9	-[illegible]103

SENT]	Ti(°C)	Tf(°C)	Intersection(°C)
9	67.5	104.2	89.9
10	122	131	127.9
11	150.8	163	158.3

พอลิโอลิฟินส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



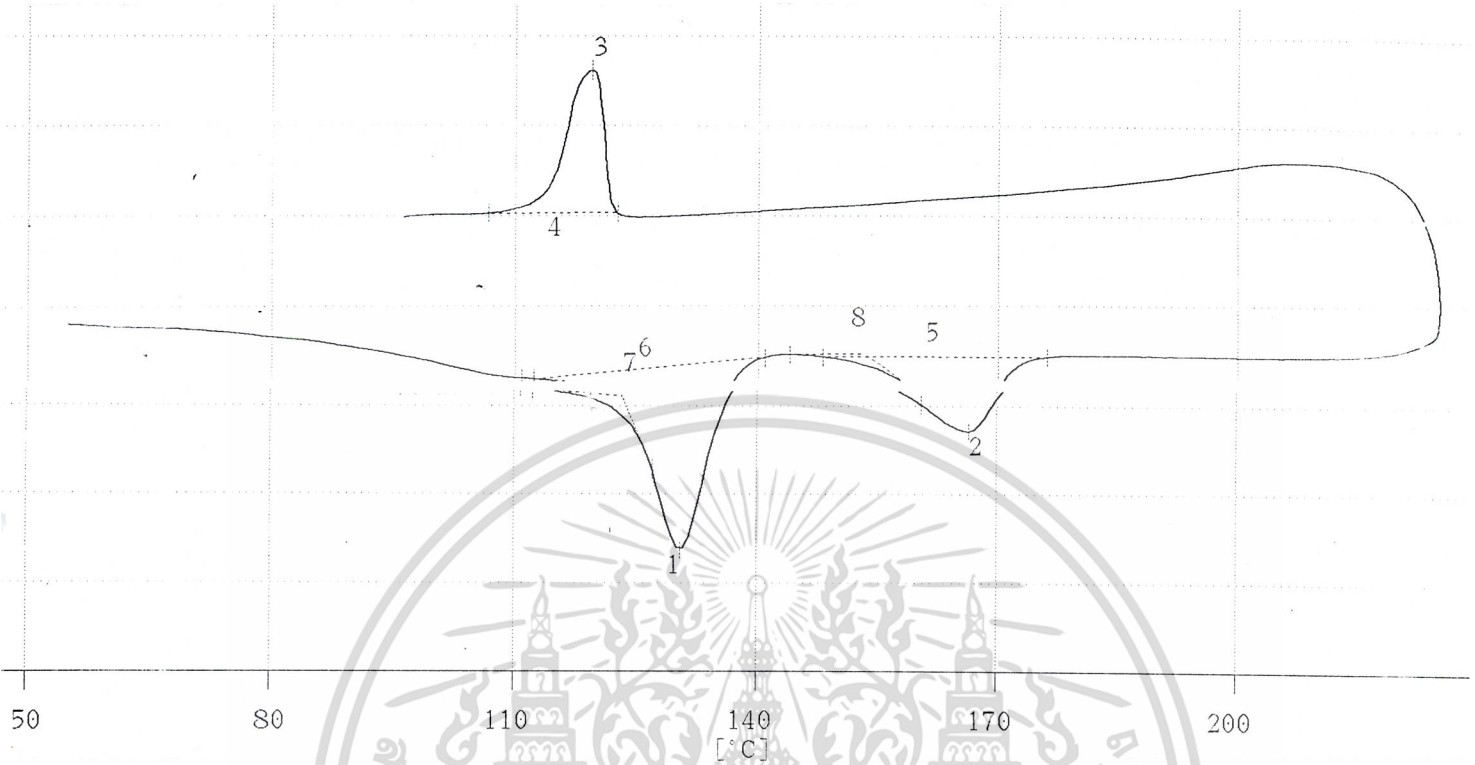
	TEMP(°C)	Heat Flow(mW)
1	98.6	-1.3918
2	109.6	-1.7225
3	130.8	-3.3143
4	165.1	-2.2009
5	120	1.6671

[HEAT]	Ti(°C)	Tf(°C)	Heat(mJ)
6	107.4	122.3	77.279
7	174.6	116.2	-41.509
8	140.8	116.6	-73.13

[TANGENT]	Ti(°C)	Tf(°C)	Inters[illegible]or C)
9	114.3	127.2	12[illegible]
10	143.5	161.7	153.[illegible]

พอลิโอลิฟินส์ + พอลิสไตรีน (75/25) ผสมด้วยเครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



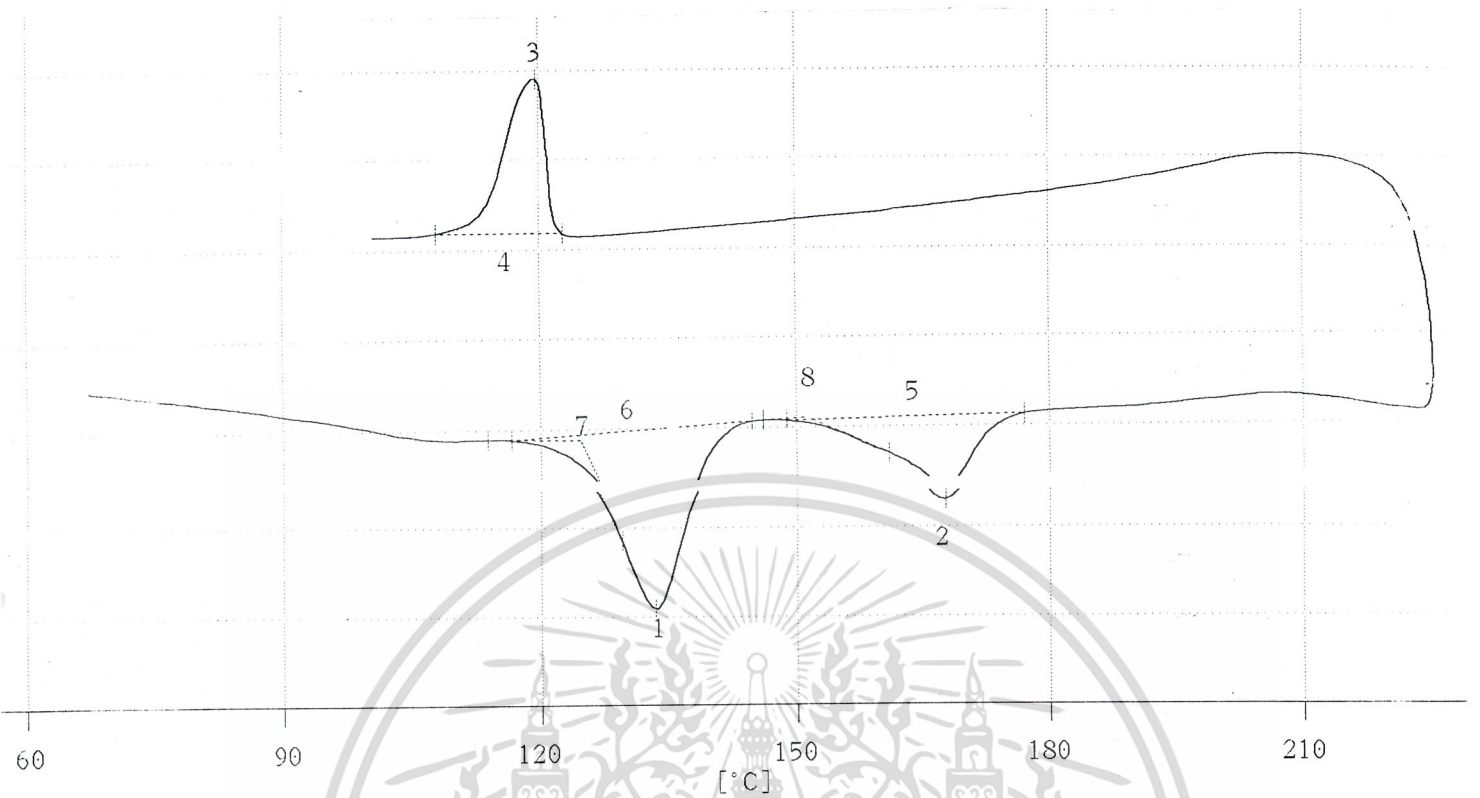
[TEMP.]	TEMP(°C)	Heat Flow(mW)
1	130.7	-6.4827
2	166.5	-3.8333
3	119.6	3.9779

[HEAT]	Ti(°C)	Tf(°C)	Heat(mJ)
4	106.8	122.8	342.812
5	176.2	148	-97.905
6	140.9	112.5	-197.703

[TANGENT]	Ti(°C)	Tf(°C)	Intersection(°C)
7	110.8	127.2	123.6
8	144	160.6	153.1

พอลิโอลิฟินส์ + พอลิสไตรีน (75/25) ผสมด้วยเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



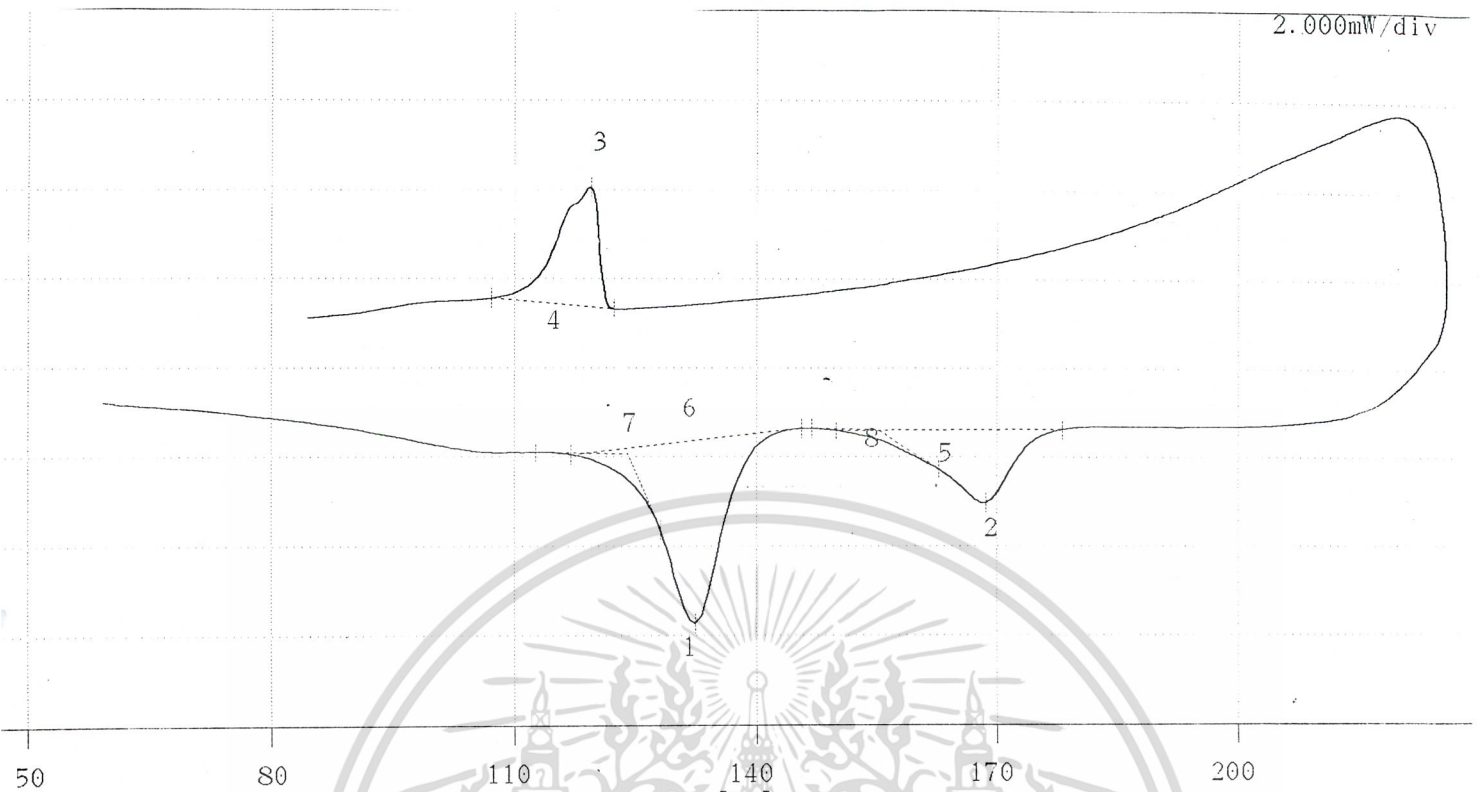
[TEMP.]	TEMP(°C)	Heat Flow(mW)
1	133.4	-7.5218
2	167.8	-5.0653
3	119.7	4.1217

[HEAT]	Ti(°C)	Tf(°C)	Heat(mJ)
4	108	122.8	381.483
5	177.2	149	-107.039
6	144.8	116.6	-214.669

[TANGENT]	Ti(°C)	Tf(°C)	Intersection(°C)
7	113.9	129.6	124.7
8	147.2	163.2	156.7
9	146.2	160.9	151.4

พอลิโอลิฟินส์+ พอลิสไตรีน (75/25)+ เส้นใยเซลลูโลสผสมด้วยเครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



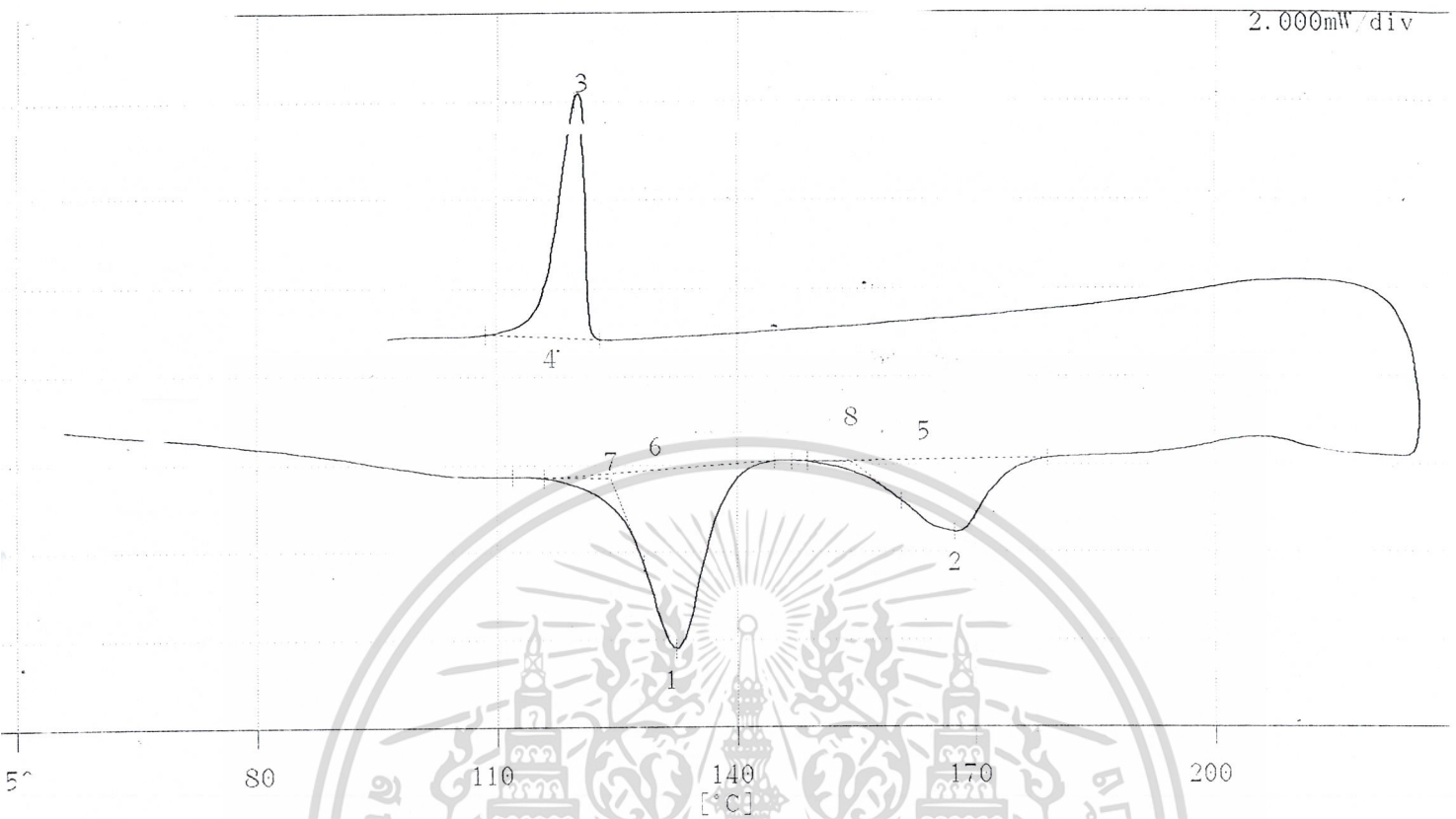
[TEMP.]	TEMP(°C)	Heat Flow(mW)
1	132.5	-1.9988
2	168.8	0.7233
3	119.6	7.8012

[HEAT]	Ti(°C)	Tf(°C)	Heat(mJ)
4	107.3	122.4	317.388
5	178.2	149.9	-106.503
6	145.5	117.1	-213.295

[TANGENT]	Ti(°C)	Tf(°C)	Intersection(°C)
7	112.7	128.2	124.1
8	146.9	162.9	154.9

พอลิโอลิฟินส์+ พอลิสไตรีน (75/25)+ เส้นใยเซลลูโลสผสมด้วยเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



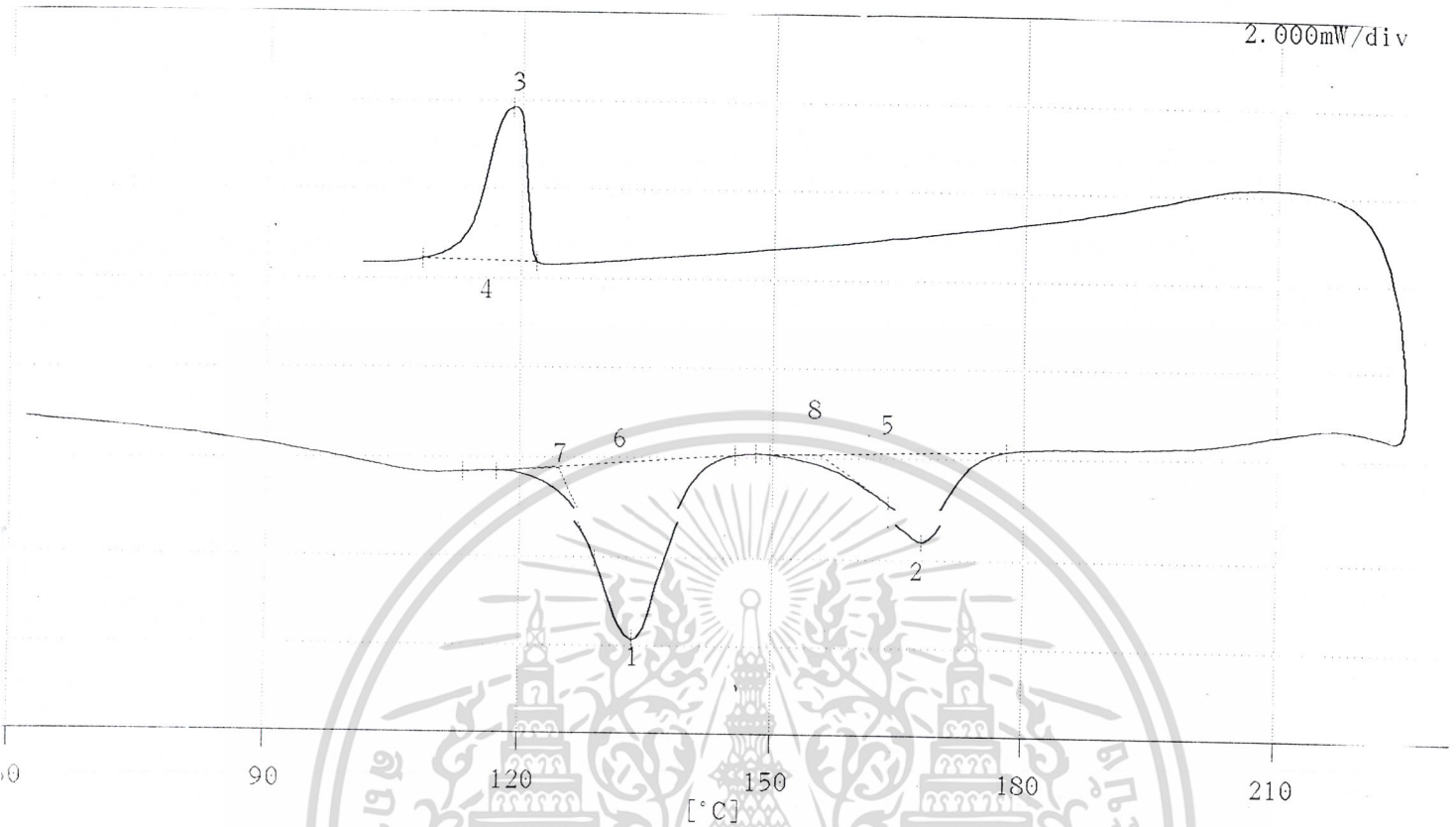
[TEMP.]	TEMP(°C)	Heat Flow(mW)
1	132.5	-4.5485
2	167.4	-1.8776
3	119.6	7.658

[HEAT]	Ti(°C)	Tf(°C)	Heat(mJ)
4	108.6	122.9	421.93
5	179.1	148.8	-125.764
6	144.8	116.1	-223.183

[TANGENT]	Ti(°C)	Tf(°C)	Intersection(°C)
7	112	128.5	124.2
8	146.8	160.8	154.3

พอลิโอลิฟินส์+ พอลิสไตรีน (75/25)+ เส้นใยแก้วผสมด้วยเครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



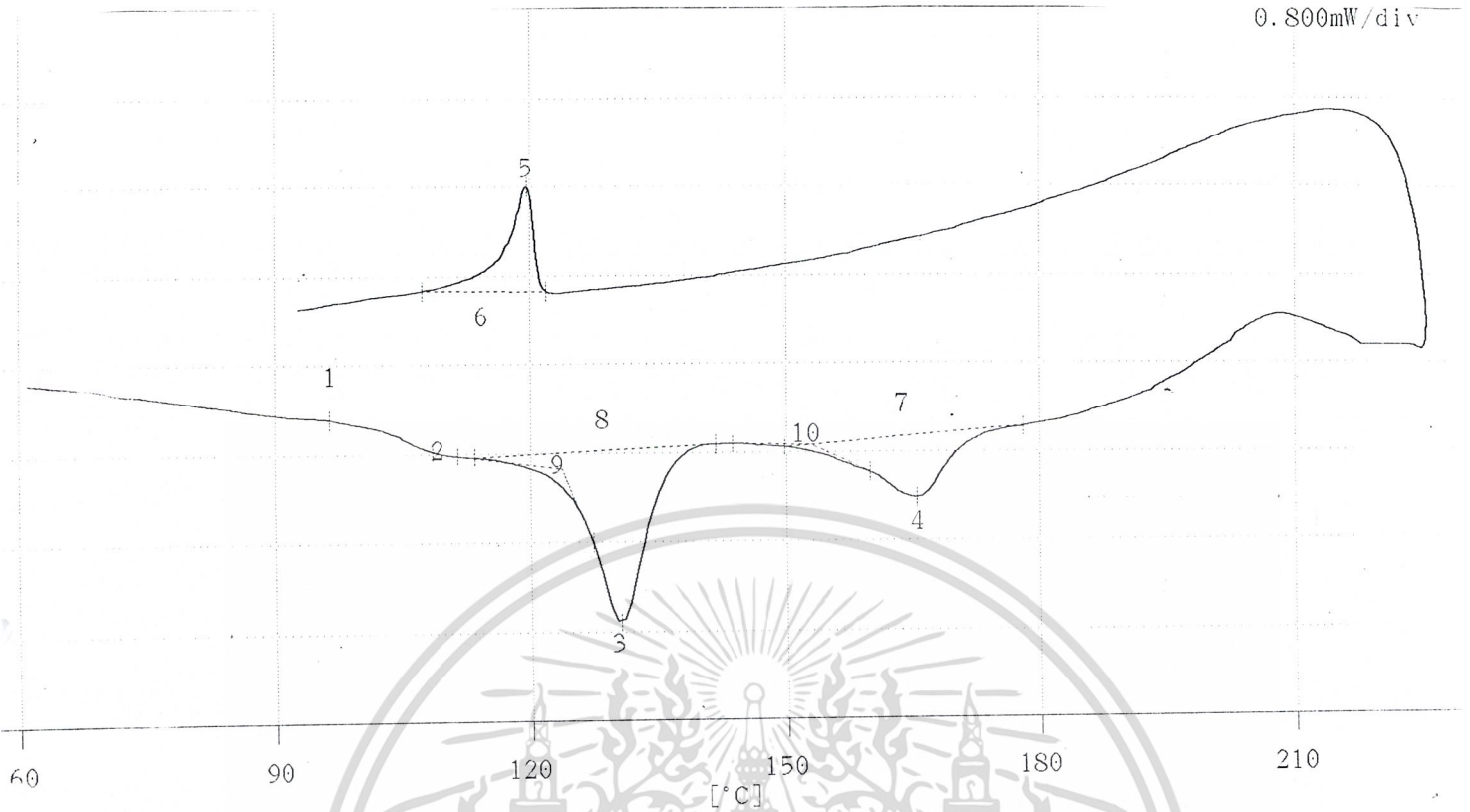
[TEMP.]	TEMP(°C)	Heat Flow(mW)
1	133.5	-7.4154
2	168	-5.1198
3	119	4.2975

[HEAT]	Ti(°C)	Tf(°C)	Heat(mJ)
4	108.4	122	384.052
5	178	149.7	-111.396
	145.7	117.3	-213.497

[TAN ET]	Ti(°C)	Tf(°C)	Intersection(°C)
7	[illegible]	129	124.7
8	[illegible]	164	155.5

พอลิโอลิฟินส์+ พอลิสไตรีน (75/25)+ เส้นใยแก้วผสมด้วยเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



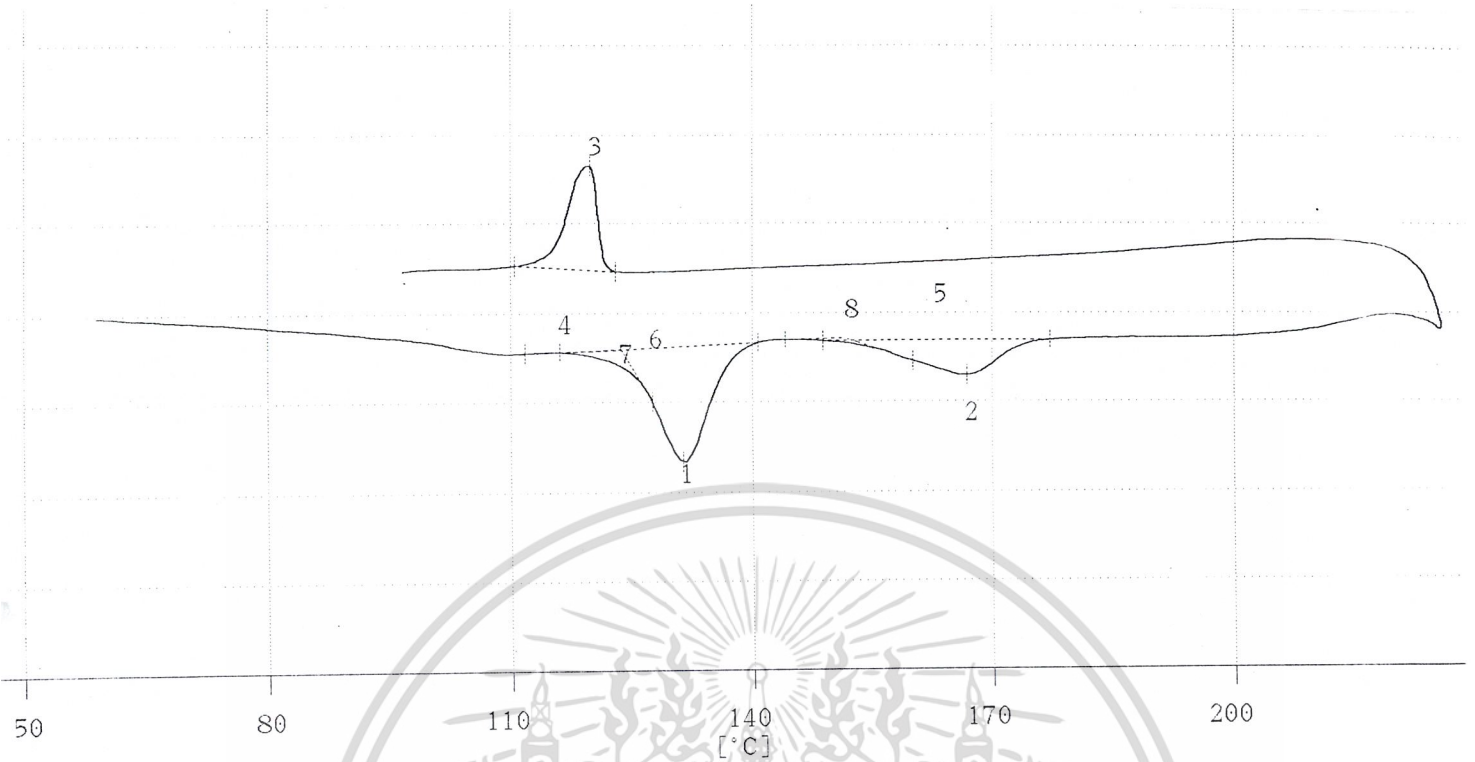
[TEMP.]	TEMP(°C)	Heat Flow(mW)
1	96.5	-0.9226
2	108.4	-1.2128
3	130.6	-2.7427
4	165.6	-1.6518
5	119.7	1.1664

[HEAT]	Ti(°C)	Tf(°C)	Heat(mJ)
6	107.3	122	76.574
7	178.1	149.8	-36.065
8	141.7	113.4	-72.413

[TANGENT]	Ti(°C)	Tf(°C)	Intersection(°C)
9	111.4	127.4	123.7
10	143.7	159.9	152.8

พอลิโอลิฟินส์ + พอลิสไตรีน (50/50) ผสมด้วยเครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



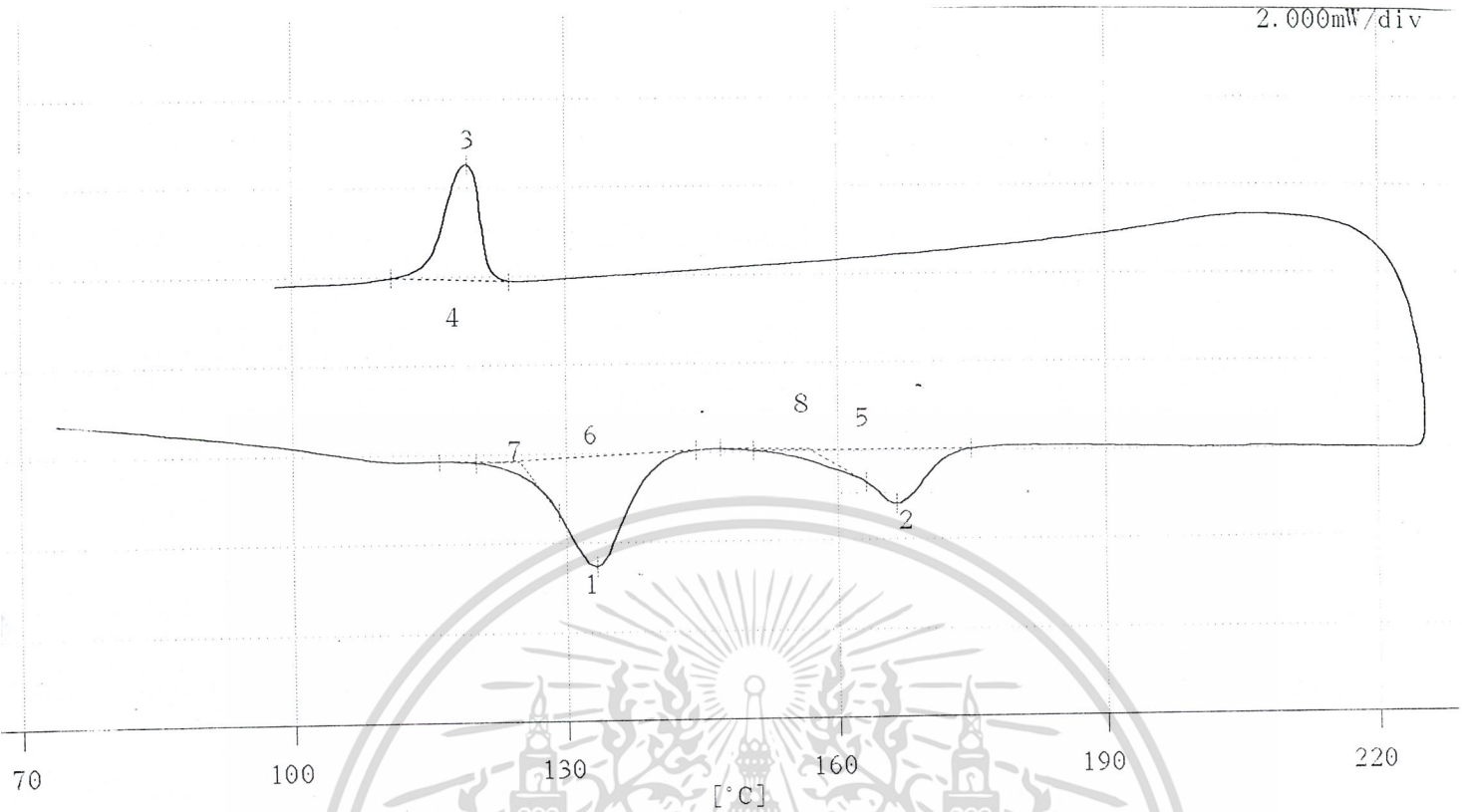
[TEMP.]	TEMP(°C)	Heat Flow(mW)
1	131.4	-3.8418
2	166.9	-1.9261
3	119.9	2.7876

[HEAT]	Ti(°C)	Tf(°C)	Heat(mJ)
4	110.5	123.1	205.128
5	177.2	148.9	-58.283
6	140.7	116.1	-124.175

[TANGENT]	Ti(°C)	Tf(°C)	Intersection(°C)
7	111.8	127.6	123.7
8	144.2	160.2	151.3

พอลิโอลิฟินส์ + พอลิสไตรีน (50/50) ผสมด้วยเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



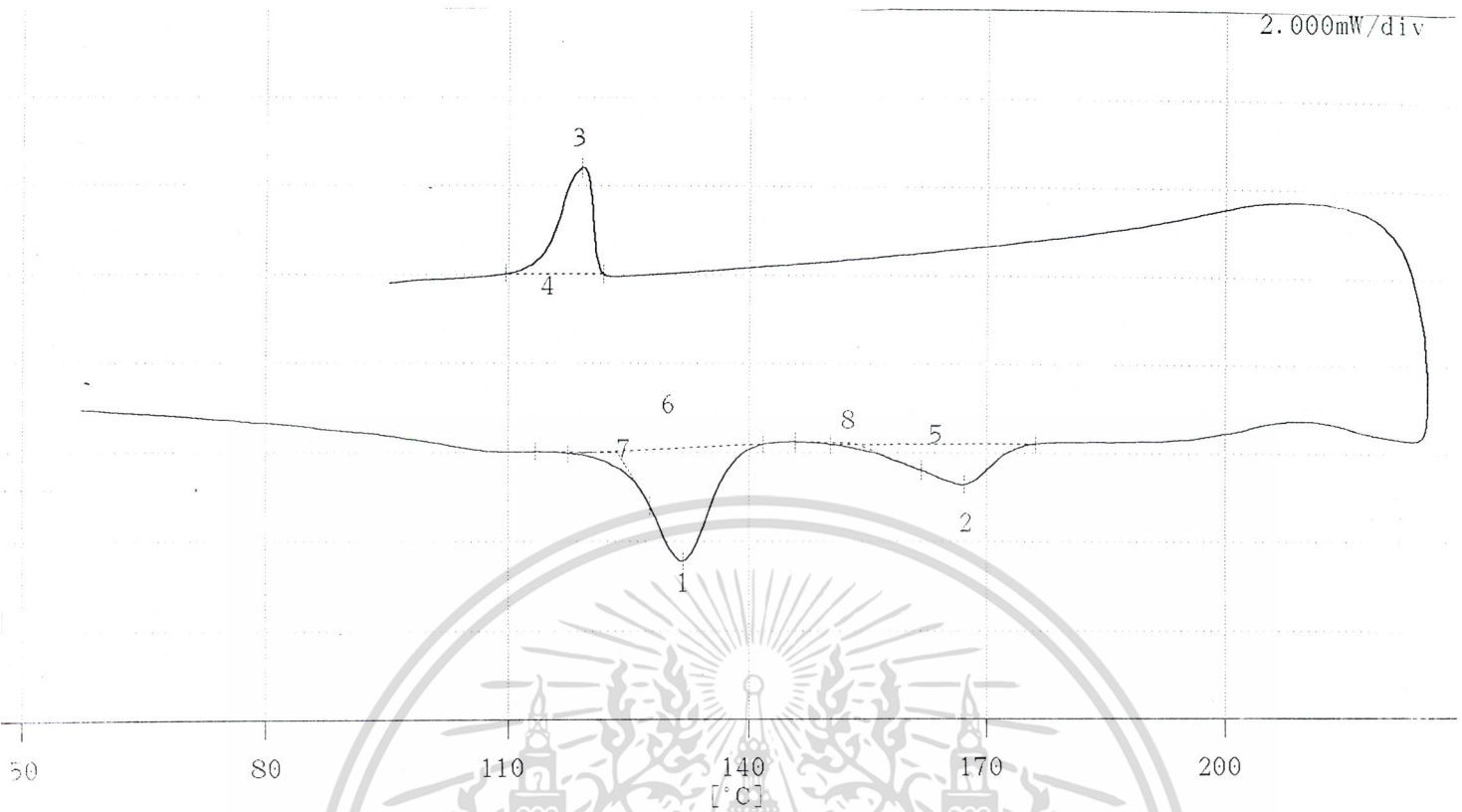
[TEMP.]	TEMP(°C)	Heat Flow(mW)
1	133.3	-5.5824
2	166.8	-4.2666
3	119.3	3.4641

[HEAT]	Ti(°C)	Tf(°C)	Heat(mJ)
4	110.9	123.9	236.062
5	175.1	150.8	-69.099
6	144.4	120.1	-128.302

[TANGENT]	Ti(°C)	Tf(°C)	Intersection(°C)
7	116.1	129.2	125
8	147.2	163.2	156.7

พอลิโอลิฟินส์+ พอลิสไตรีน (50/50)+ เส้นใยเซลลูโลสผสมด้วยเครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



[TEMP.]	TEMP(°C)	Flow(mW)
1	131.9	[illegible].4983
2	167.3	[illegible].7834
3	119.1	3.3412

[HE T	Ti(°C)	Tf(°C)	Heat(mJ)
[illegible]	109.7	121.7	225.756
[illegible]	176.1	150.3	-63.388
6	141.8	117.5	-138.07

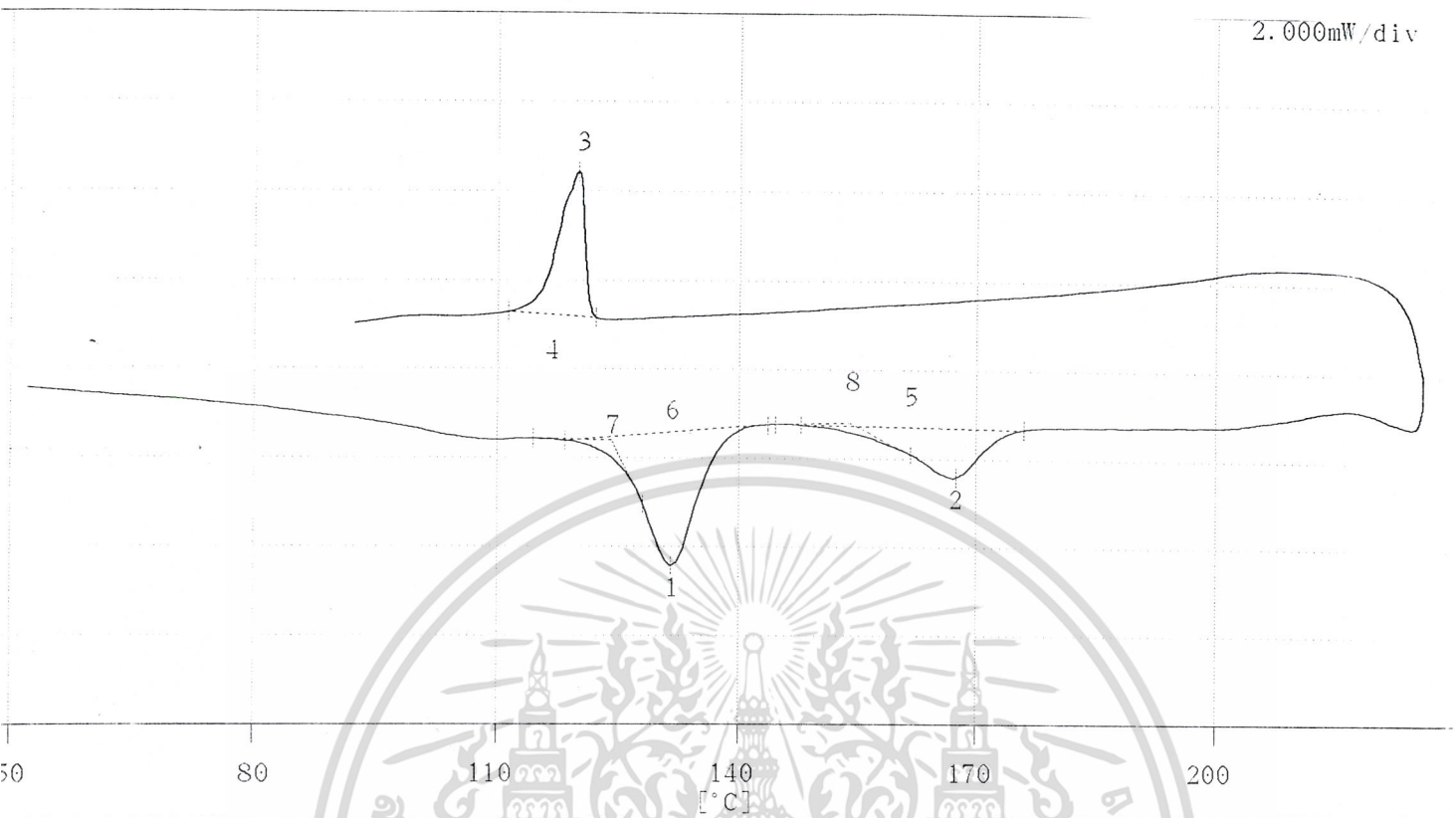
[TANGENT]	Ti(°C)	Tf(°C)	Intersection(°C)
7	113.4	127.6	123.6
8	145.9	161.8	153

พอลิโอลิฟินส์+ พอลิสไตรีน (50/50)+ เส้นใยเซลลูโลสผสมด้วยเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พอลิโอลิฟินส์+ พอลิสไตรีน (50/50)+ เส้นใยแก้วผสมด้วยเครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



[TEMP.]	TEMP(°C)	Heat Flow(mW)
1	131.6	-2.939
2	167.4	-0.9306
3	119.9	5.9073

[HEAT]	Ti(°C)	Tf(°C)	Heat(mJ)
4	111.3	122.1	250.758
5	176	147.7	-73.561
6	143.7	118.4	-146.245

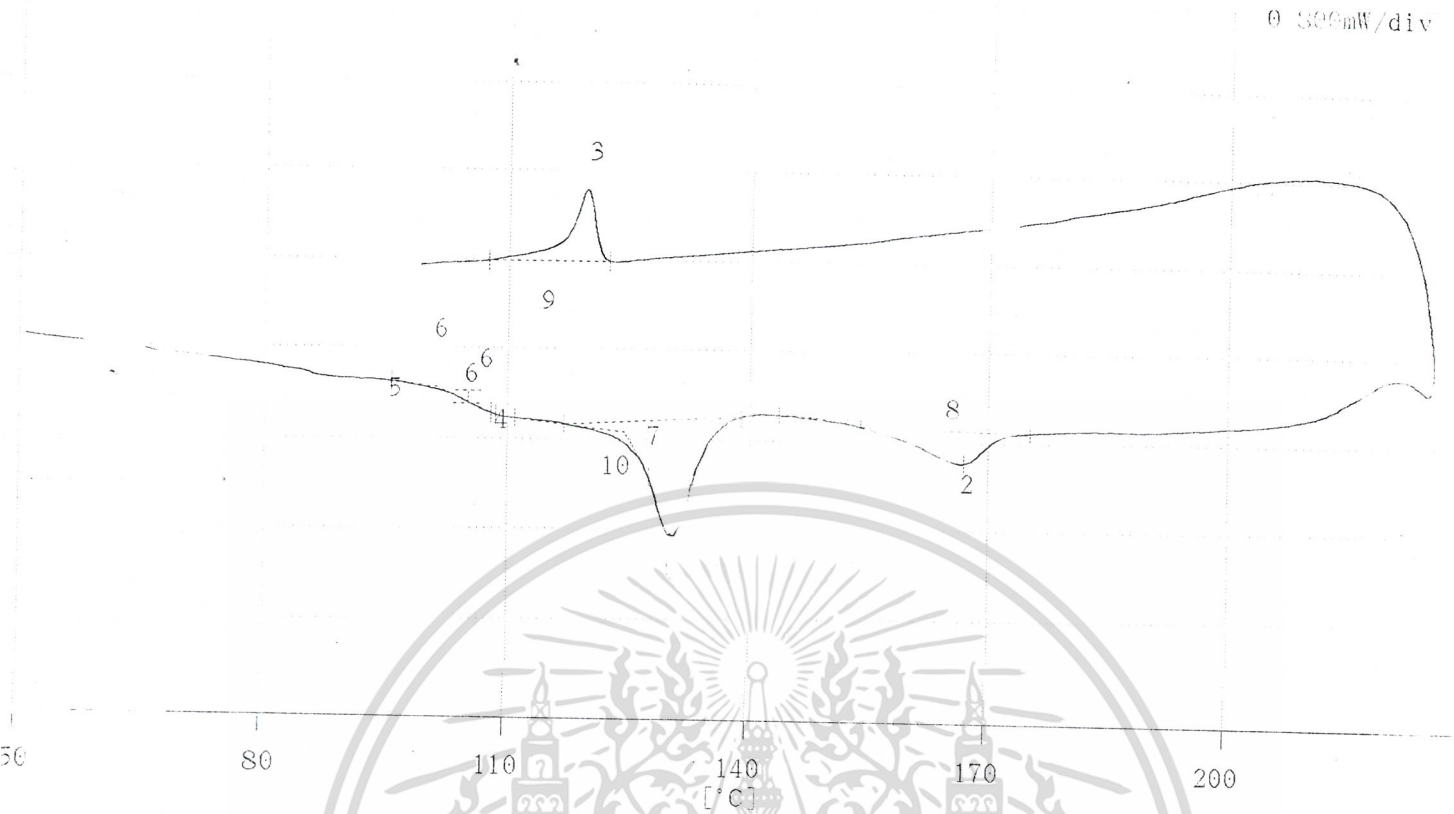
[TANGENT]	Ti(°C)	Tf(°C)	Intersection(°C)
7	114.5	128.1	124.1
8	144.7	161.7	153.9

พอลิโอลิฟินส์+ พอลิสไตรีน (50/50)+ เส้นใยแก้วผสมด้วยเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พอลิโอลิฟินส์ + พอลิสไตรีน (25/75) ผสมด้วยเครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



	TEMP (°C)	Heat Flow (mW)
1	130.4	-2.7842
2	167	-2.0992
3	119.6	0.3138
4	108.7	-1.7063
5	95.8	-1.4194

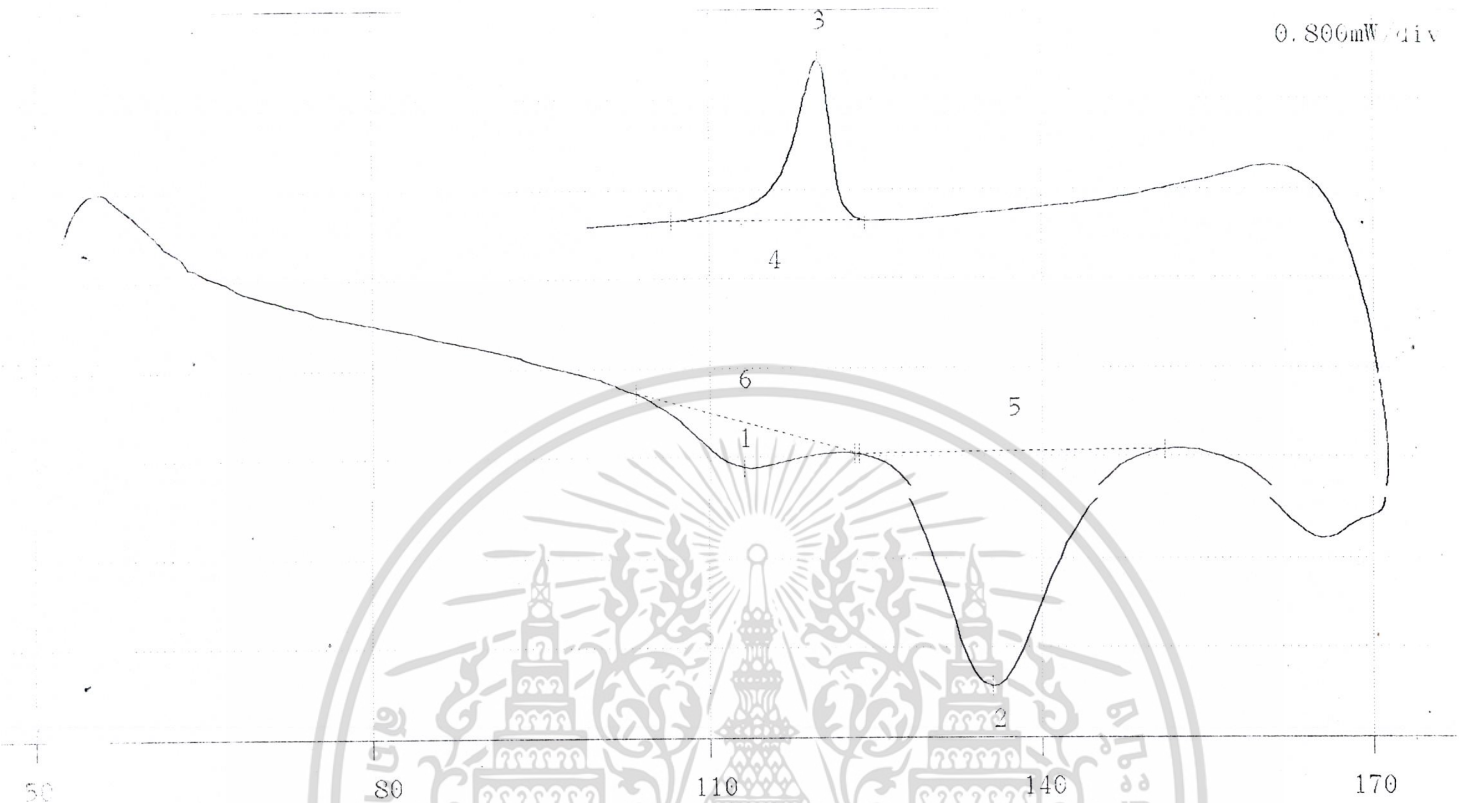
	Ti (°C)	Tf (°C)	Heat (mJ)
7	117.1	139	-42.569
8	153.9	175.4	-16.179
9	122.4	107.6	48.107

	Ti (°C)	Tf (°C)	Intersection (°C)
10	111	127.5	124.3
11	143.7	162.6	154.7

Trans.	Ti (°C)	Tm (°C)	Te (°C)	ΔCp (J/g·K)
6	101.1	105.1	5.6	1.34

พอลิโอลิฟินส์ + พอลิสไตรีน (25/75) ผสมด้วยเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



TEMP.]	TEMP(°C)	Heat Flow(mW)
1	113	-1.8904
2	135.5	-3.7418
3	119.7	1.7396

HEAT]	Ti(°C)	Tf(°C)	Heat(mJ)
4	106.5	124	108.3
5	151.1	[illegible]	[illegible]
6	123.2	144.3	-12.1[illegible]

พอลิโอลิฟินส์+ พอลิสไตรีน (25/75)+ เส้นใยเซลลูโลสผสมด้วยเครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง

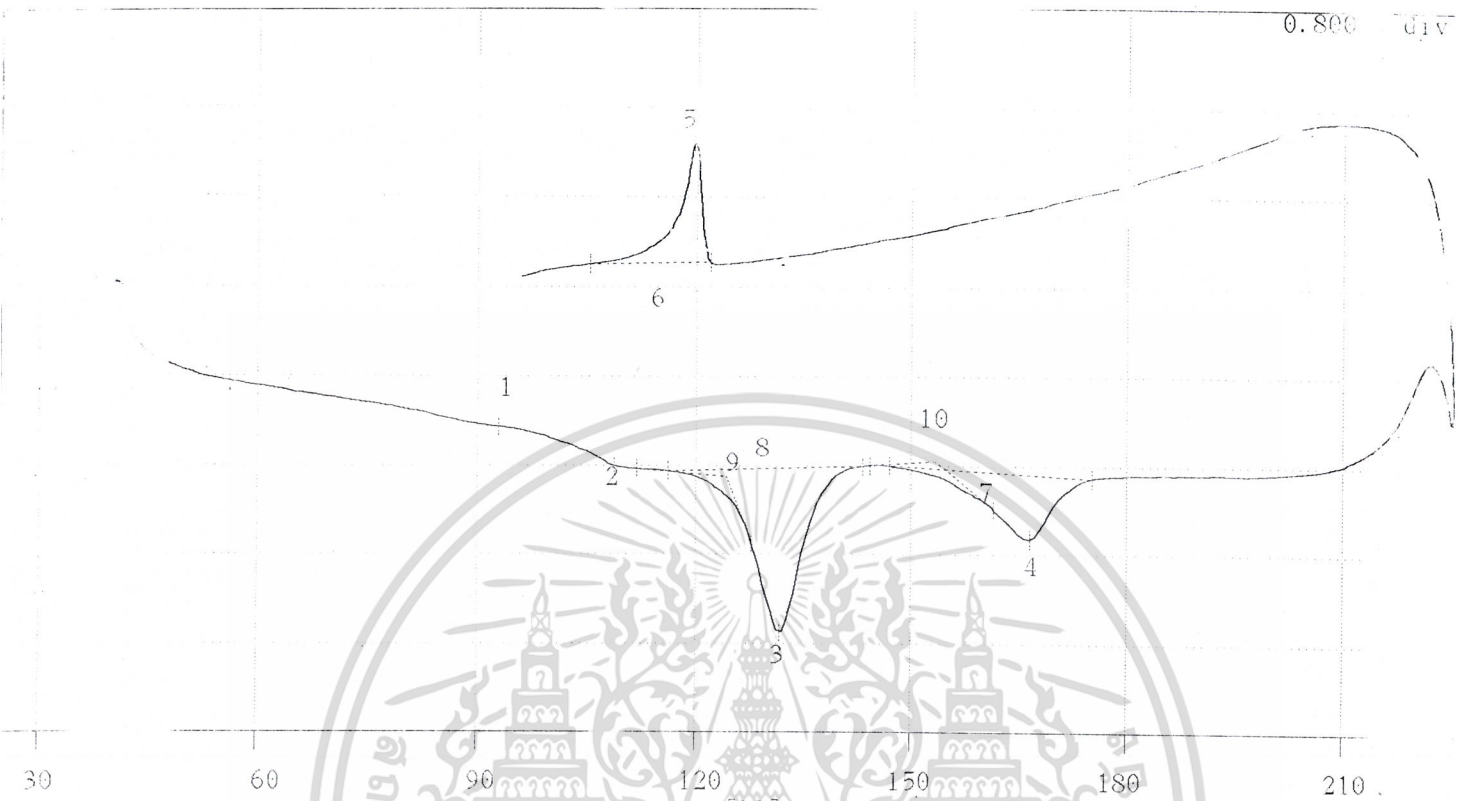
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[TEMP.]	TEMP(°C)	Heat Flow(mW)
1	113.4	-3.6547
2	137.1	-5.1764
3	118.8	1.4688

[HEAT]	Ti(°C)	Tf(°C)	Heat(mJ)
4	108.3	123.7	-51.764
5	130.8	[illegible]	[illegible]
6	124.1	[illegible]	[illegible]

พอลิโอลิฟินส์+ พอลิสไตรีน (25/75)+ เส้นใยเซลลูโลสผสมด้วยเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



	TEMP(°C)	Heat Flow(mW)
1	92.9	-1.1386
2	108.7	-1.4905
3	131.6	-2.9866
4	166.5	-2.1537
5	119.7	1.3702

	Ti(°C)	Tf(°C)	Heat(mJ)
6	105.3	121.9	80.368
	173.3	147.1	-36.246
	143.1	116.1	70.056

	Ti(°C)	Tf(°C)	Inte
9			
10			

พอลิโอลิฟินส์+ พอลิสไตรีน (25/75)+ เส้นใยแก้วผสมด้วยเครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พอลิโอลิฟินส์+ พอลิสไตรีน (25/75)+ เส้นใยแก้วผสมด้วยเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

1. FORTELNY, I.; MICHALKOVA, D.; MIKESOVA, J. *J.Appl. Polym.Sci.* **1996**,59,155-164.
2. FUJIYAMA, M. *J. Appl. Polym.Sci.* **1997**,63,1015-1027.
3. GUPTA,A.K.;PURWAR,S.N.*J.Appl.Polym.Sci.***1985**,30,1799-1840.
4. ADEWOLF,A.;DACKSON,D.;WOLKOWICZ,M.*Advances in Polymer Techonlogy.***1994**,13,219-230.
5. Horak,Z.;Fort,V.;Hlavata,D.;Lednicky,F.*Polymer.***1996**,37,65-73.
6. Ulrish Eisele. *Introduction to Polymer Physics*. pp-158.1990
7. KREVELEN, VAN D.W. *Properties of Polymers* , 3rd ed,1990.
8. นิกร โปณะทอง และ พรพงษ์ โสวัฒนกุล " การศึกษา Impact Modifier ที่มีต่อ Amorphous Polymer และ Semi-crystalline Polymer" โครงงานพิเศษหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปีการศึกษา 2540
9. ดร. อมรรัตน์ สวัสดิทัต " รายงานการสัมมนา LLDPE พลาสติกใหม่ที่น่าจับตามอง" ศูนย์การบรรจุหีบห่อไทย สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย , 2532
10. ดร. อมรรัตน์ สวัสดิทัต " รายงานการสัมมนา HDPE บรรจุภัณฑ์ทันสมัย" ศูนย์การบรรจุหีบห่อไทย สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย , 2532
11. ปรีชา พหลเทพ "โพลีเมอร์" พิมพ์ครั้งที่ 2 สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยรามคำแหง , 2536
12. ผศ.ดร. มาลินี ชัยศุภกิจสินธ์ "เคมีพอลิเมอร์" โรงพิมพ์ส.จ.ล. กรุงเทพฯ ,2540
13. รศ. บรรเลง ศรนิจ "เทคโนโลยีพลาสติก" พิมพ์ครั้งที่ 2 สำนักพิมพ์ห้างหุ้นส่วนจำกัดภาพพิมพ์ กรุงเทพฯ , 2526
14. นภา เหลืองพิริยะชาติ และ เปรมหทัย ชำเกษม "การผลิตพลาสติกเสริมแรงด้วยเส้นใยแก้วแบบโปร่งใส" โครงงานพิเศษหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปีการศึกษา 2537

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้