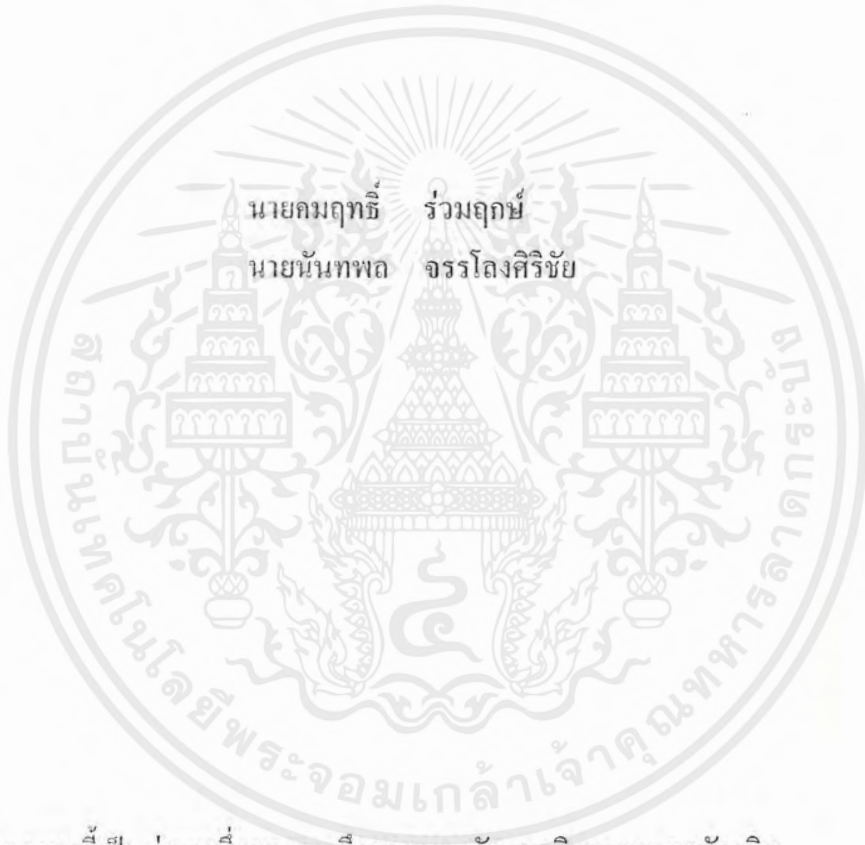


สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ผลของสารปรับสภาพพลาสติกชนิดทุติยภูมิที่มีต่อสารประกอบพอลิไวนิลคลอไรด์



โครงการนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาดมรรลัฏสูตรวิทยาสาสตรบัณทิต
ภาควิชาเคมี
คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2542

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 37652
วัน, เดือน, ปี..... 19 ก.ย. 2543

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

The Effect of Secondary Plasticizer on PVC Compounding



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
1999


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ ผลของสารปรับสภาพพลาสติกชนิดทุติยภูมิที่มีต่อพีวีซีคอมปาวด์
นักศึกษา นายคมฤทธิ ร่วมฤกษ์

นายันทพล จรรโลงศิริชัย

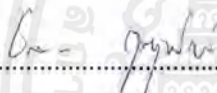
อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร. สมศักดิ์ วรมงคลชัย

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
อนุมัติให้โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

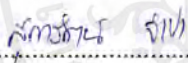

.....
(ผศ.ดร. สมศักดิ์ วรมงคลชัย)

หัวหน้าภาควิชาเคมี


คณะกรรมการตรวจสอบโครงการพิเศษ


.....
(ดร. ชลลดา ฤตวิรุพห์)

ประธานกรรมการ


.....
(ดร. สุภารัตน์ จำปา)

กรรมการ


.....
(ผศ.ดร. สมศักดิ์ วรมงคลชัย)

กรรมการ

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	ผลของสารปรับสภาพพลาสติกชนิดฟลูอิดิฟิเออร์ที่มีต่อสารพีวีซี คอมปาวนด์
นักศึกษา	นายคมฤทธิ ร่วมฤกษ์ นายนันทพล จรรโลงศิริชัย
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.สมศักดิ์ วรมงคลชัย
ภาควิชา	เคมี
ปีการศึกษา	2542

บทคัดย่อ

โครงการนี้เป็นการศึกษาผลของสารปรับสภาพพลาสติก (DOP : cereclor) ที่มีต่อพีวีซีคอมปาวนด์และพอลิโอดีเฟนส์ที่ผ่านการใช้งานแล้วเพื่อการประยุกต์ใช้ในงานทำพื้นรองเท้า โดยการผสมพีวีซีคอมปาวนด์ด้วยเครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง (two-roll mill) มีสภาวะที่เหมาะสมอยู่ที่อุณหภูมิ 170°C และเวลาที่ใช้ในการผสม 7 นาที โดยทำการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการผสมด้วยเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนคู่ (twin-screw extruder) และใช้อัตราส่วนผสมของพีวีซีคอมปาวนด์และพอลิโอดีเฟนส์ 50:50 60:40 70:30 และ 80:20 โดยมีสารช่วยผสม (compatibiliser) ผสมอยู่ 7 เปอร์เซ็นต์โดยพบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการผสมพีวีซีคอมปาวนด์และพอลิโอดีเฟนส์อยู่ที่ 170°C ความเร็วรอบของสกรูเป็น 8 รอบต่อนาทีและพอลิเมอร์ผสมที่อัตราส่วน 60:40 ให้สมบัติเชิงกลดีที่สุด จากนั้นนำอัตราส่วนที่ได้ทำการศึกษาปริมาณสารช่วยผสม (3 5 7 และ 9 เปอร์เซ็นต์) และอัตราส่วนที่เหมาะสมของสารปรับสภาพพลาสติก (70:0 50:20 35:35 20:50 และ 0:70) พบว่าพอลิเมอร์ผสมที่มีสารช่วยผสมอยู่ 5 เปอร์เซ็นต์ และมีอัตราส่วนสารปรับสภาพพลาสติก (DOP : cereclor) เป็น 1:1 ให้สมบัติเชิงกลดีที่สุด

Special Project Title	The Effect of Secondary Plasticiser on PVC Compounds
Name	Mr. Komrit Roumrek Mr. Nuntapol chanlongsirichai
Special Project Advisor	Asst.Prof. Somsak Woramongchonchai
Department	Chemistry
Academic year	1999

Abstract

The special project aims to study the effect of the plasticiser (DOP : cereclor) on PVC compounds and recycled polyolefins blends for shoes sole application. The optimum conditions for PVC compounding from two-roll mill were at 170⁰C with mixing time of 7 minutes. The optimum conditions for PVC compounds and recycled polyolefins at ratio 50:50 60:40 70:30 and 80:20 with 7 percent compatibiliser were studied by twin-screw extruder. It was found that the optimum conditions were at 170⁰C and screw speed of 8 rpm. The best mechanical properties of polymer blends were at 60:40. The blends at 60:40 with varied compatibiliser (3 5 7 and 9 percent) and plasticiser (70:0 50:20 35:35 20:50 and 0:70) were investigated. It was found that the best mechanical properties of polymer blends were added 5 percent of compatibiliser and 1:1 of DOP : cereclor.

กิตติกรรมประกาศ

ผู้จัดทำขอขอบพระคุณผู้ให้ความช่วยเหลือในการดำเนินงานโครงการพิเศษนี้จนสำเร็จ
สู่ล่วงไปด้วยดี

ผศ.ดร.สมศักดิ์ วรมงคลชัย ที่กรุณาให้คำแนะนำ และความช่วยเหลือในการดำเนินงาน
โครงการพิเศษมาโดยตลอด

ดร.สุภารัตน์ จำปา และ ดร. ชลลดา ฤทธิวีรุพห์ อาจารย์คณะกรรมการตรวจสอบโครงการ
พิเศษ ที่ให้ความอนุเคราะห์ตรวจทาน และแก้ไขโครงการพิเศษฉบับนี้ให้ถูกต้องสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

นาย ฐิติพงศ์ และ นาย กิตติพงศ์ ที่น้องตระกูลโสภณอุดมพรสำหรับทุกสิ่งทุกอย่างทั้งทาง
ร่างกายและกำลังสมอง งานวิจัยนี้คงไม่สำเร็จสู่ล่วงไปได้ด้วยดีถ้าไม่มีสองคนนี้คอยช่วยเหลือ

บริษัท ICI และ TPC ที่ให้ความอนุเคราะห์ เซเรคโล และ พีวีซีเรซินให้โครงการพิเศษนี้
สำเร็จสู่ล่วงไปได้ด้วยดี

และบิดา มารดา พี่ ๆ เพื่อน ๆ น้อง ๆ อาจารย์ และเจ้าหน้าที่ภาควิชาเคมีทุกท่าน ที่คอยให้
ความความช่วยเหลือ และให้กำลังใจตลอดมา

นาย กมลฤทธิ ร่วมฤกษ์

นาย นันทพล จรร โลงศิริชัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	จ
สารบัญรูปภาพ	ฉ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาของโครงการ	1
1.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	1
1.3 วัตถุประสงค์	2
1.4 ขอบเขตงานวิจัย	3
1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	
2.1 ทอริโวนิคลอสไรด์	4
2.1.1 กระบวนการผลิตพีวีซี	4
2.1.2 สมบัติทั่วไป	5
2.1.3 พีวีซีคอมปานี	5
2.1.4 สารตัวเติม	5
2.1.4.1 สารปรับสภาพพลาสติก	5
2.1.4.2 สารเพิ่มเสถียรภาพ	7
2.1.4.3 สารช่วยผสม	8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2.2 พอลิโอเลฟินส์	8
2.2.1 พอลิโอทิลีน	9
2.2.1.1 พอลิโอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ	9
2.2.1.2 พอลิโอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง	11
2.2.2 พอลิพรอพิลีน	11
2.3 เซเรคคอส	12
2.4 เทคนิคการผสมแห้ง	13
2.5 พอลิเมอร์ผสม	14
2.6 เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย	15
2.6.1 เครื่อง DSC	15
2.6.2 เครื่อง Twin Screw Extruder	15
2.6.3 เครื่อง Injection Molding Machine	16
2.6.4 เครื่องทดสอบสมบัติการขัดถู	16
บทที่ 3 การวิจัยและดำเนินงาน	
3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง	17
3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์	17
3.3 ขั้นตอนและการดำเนินงาน	18
3.4 การทดสอบสมบัติเชิงกล	20
3.4 การทดสอบสมบัติทางความร้อน	20
3.5 การทดสอบสมบัติการคงทนต่อการขัดถู	21
บทที่ 4 ผลการทดลอง	
4.1 ผลการทดสอบสมบัติเชิงกล	22
4.1.1 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการทำพีวีซีคอมปาวน์	22
4.1.1.1 การศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการขึ้นรูปพีวีซี	22
4.1.1.2 การศึกษาเวลาที่เหมาะสมในการขึ้นรูปพีวีซี	24
4.1.2 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการทำพอลิเมอร์ผสม	27
4.1.2.1 การศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการทำพอลิเมอร์ผสม	27
4.1.2.2 การศึกษาเวลาที่เหมาะสมในการทำพอลิเมอร์ผสม	29

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
4.1.3 การศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผสม PVC&PO	32
4.1.4 การศึกษาหาปริมาณสารช่วยผสมในการทำพอลิเมอร์ผสม	34
4.1.5 การศึกษาอัตราส่วนระหว่าง DOP:Cereclor	37
4.2 ผลการศึกษาสมบัติทางความร้อน	38
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง	
5.1 สรุป	40
5.2 ข้อเสนอแนะ	41
เอกสารอ้างอิง	42
ภาคผนวก	43



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 แสดงสมบัติทางฟิสิกส์ต่างๆของพอลิเมอร์เมื่อเติม สารปรับสภาพพลาสติก	6
ตารางที่ 2.2 แสดงสมบัติทั่วไปของ DOP	7
ตารางที่ 2.3 แสดงสมบัติบางประการของพอลิโอฟีนส์	8
ตารางที่ 2.4 แสดงสมบัติทั่วไปของเซเรคลอร์	13
ตารางที่ 2.5 แสดงความสามารถในการละลาย (Solubility parameter)	14
ตารางที่ 3.1 แสดงอัตราส่วนของการผสมพีวีซีคอมปานี	18
ตารางที่ 3.2 แสดงอัตราส่วนระหว่าง DOP กับ Celeclor	18
ตารางที่ 3.3 แสดงอุณหภูมิและความเร็วที่ใช้ในการผสมด้วยเครื่อง อัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยวเพื่อศึกษาถึงอุณหภูมิที่มี ผลต่อส่วนผสมแต่ละอัตราส่วน	20
ตารางที่ 4.1 แสดงผลการศึกษาอุณหภูมิในกระบวนการผลิตพีวีซีคอมปานี	22
ตารางที่ 4.2 แสดงผลการศึกษาอุณหภูมิในกระบวนการผลิตพีวีซีคอมปานี หลัง Aging	22
ตารางที่ 4.3 แสดงผลการศึกษาเวลาในกระบวนการผลิตพีวีซีคอมปานี	25
ตารางที่ 4.4 แสดงผลการศึกษาเวลาในกระบวนการผลิตพีวีซีคอมปานี หลัง Aging	25
ตารางที่ 4.5 แสดงผลการศึกษาอุณหภูมิในกระบวนการผสมPVCกับPO	27
ตารางที่ 4.6 แสดงผลการศึกษาความเร็วรอบในกระบวนการผสม PVC กับ PO	29
ตารางที่ 4.7 แสดงผลการศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผสมPVC กับ PO	32
ตารางที่ 4.8 แสดงผลการศึกษาปริมาณของสารช่วยผสมในกระบวนการผสม PVC กับ PO	34
ตารางที่ 4.9 แสดงผลการศึกษาอัตราส่วนระหว่าง DOP กับ Celeclor ในกระบวนการผสม PVC กับ PO	37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง(ต่อ)

	หน้า
ตารางที่ 4.10 แสดงผลการทดสอบทางความร้อนของพอลิเมอร์บริสุทธิ์และ สารช่วยผสม	38
ตารางที่ 4.11 แสดงผลการศึกษาสมบัติทางความร้อนของพอลิเมอร์ผสม ด้วยเครื่อง DSC	39



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 2.1 แสดงโครงสร้างและปฏิกิริยาการเกิดพอลิไวไนลคลอไรด์	4
รูปที่ 2.2 แสดงโครงสร้างของ DOP	6
รูปที่ 2.3 แสดงสูตร โครงสร้างของพอลิเอทิลีน	9
รูปที่ 2.4 แสดงสูตร โครงสร้างของพอลิพรอพิลีน	11
รูปที่ 4.1 แสดงค่าความแข็งแรงดึงของสารประกอบ พีวีซีที่อุณหภูมิ 150 160 และ 170°C	23
รูปที่ 4.2 แสดงเปอร์เซ็นต์การยืดออกของพีวีซีคอมปาวนด์ที่อุณหภูมิ 150 160 และ 170°C	24
รูปที่ 4.3 แสดงค่าความแข็งแรงดึงของพีวีซีคอมปาวนด์ที่เวลา 5 7 และ 9 นาที	25
รูปที่ 4.4 แสดงเปอร์เซ็นต์การยืดออกของพีวีซีคอมปาวนด์ที่เวลา 5 7 และ 9 นาที	26
รูปที่ 4.5 แสดงค่าแข็งแรงดึงของพีวีซีคอมปาวนด์ผสมพอลิโলেฟินส์ที่อุณหภูมิ 170 และ 180°C	28
รูปที่ 4.6 แสดงเปอร์เซ็นต์การยืดออกของพีวีซีคอมปาวนด์ผสมพอลิโলেฟินส์ที่อุณหภูมิ 160 170 และ 180°C	29
รูปที่ 4.7 แสดงค่าแข็งแรงดึงของพีวีซีคอมปาวนด์ผสมพอลิโলেฟินส์ที่อุณหภูมิ 160 170 และ 180°C	30
รูปที่ 4.8 แสดงค่ามอดูลัสของพีวีซีคอมปาวนด์ผสมพอลิโলেฟินส์ที่ความเร็วสกรู 4 6 8 และ 10 rpm	30
รูปที่ 4.9 แสดงค่าความทนทานต่อแรงกระทำของพีวีซีคอมปาวนด์ผสมพอลิโলেฟินส์ที่ความเร็วสกรู 4 6 8 และ 10 rpm	31
รูปที่ 4.10 แสดงค่าความแข็งแรงดึง ของพีวีซีคอมปาวนด์ผสมพอลิโলেฟินส์ที่อัตราส่วนระหว่าง PVC:PO เท่ากับ 50:50 60:40 70:30 และ 80:20	32
รูปที่ 4.11 แสดงค่าความแข็งแรงต่อการโค้งงอของพีวีซีคอมปาวนด์ผสมพอลิโলেฟินส์ที่อัตราส่วนระหว่าง PVC:PO เท่ากับ 50:50 60:40 70:30 และ 80:20	33

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.12 แสดงเปอร์เซ็นต์การยึดออกของพีวีซีคอมปาวน์ผสมพอลิโলেฟินส์ที่มีปริมาณสารช่วยผสม 3 5 7 และ 9 เปอร์เซ็นต์	35
รูปที่ 4.13 แสดงค่าความทนทานต่อแรงกระทำของพีวีซีคอมปาวน์ผสมพอลิโলেฟินส์ที่มีปริมาณสารช่วยผสม 3 5 7 และ 9 เปอร์เซ็นต์	35
รูปที่ 4.14 แสดงค่าความแข็งแรงดึงของพีวีซีคอมปาวน์ผสมพอลิโলেฟินส์ที่มีปริมาณสารช่วยผสม 3 5 7 และ 9 เปอร์เซ็นต์	36
รูปที่ ก-1 แสดงกราฟเทอร์โมแกรมของพีวีซีคอมปาวน์	43
รูปที่ ก-2 แสดงกราฟเทอร์โมแกรมของพอลิโলেฟินส์	44
รูปที่ ก-3 แสดงกราฟเทอร์โมแกรมของสารช่วยผสม (Polybond 1009)	45
รูปที่ ก-4 แสดงกราฟเทอร์โมแกรมของพีวีซีคอมปาวน์ผสมพอลิโলেฟินส์ที่ปริมาณสารช่วยผสม 3 %	46
รูปที่ ก-5 แสดงกราฟเทอร์โมแกรมของพีวีซีคอมปาวน์ผสมพอลิโলেฟินส์ที่ปริมาณสารช่วยผสม 5 %	47
รูปที่ ก-6 แสดงกราฟเทอร์โมแกรมของพีวีซีคอมปาวน์ผสมพอลิโলেฟินส์ที่ปริมาณสารช่วยผสม 7 %	48
รูปที่ ก-7 แสดงกราฟเทอร์โมแกรมของพีวีซีคอมปาวน์ผสมพอลิโলেฟินส์ที่ปริมาณสารช่วยผสม 9 %	49

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาของโครงการ

ในปัจจุบันนี้พลาสติกเป็นวัสดุสังเคราะห์ที่มีบทบาทอย่างยิ่งในวงการอุตสาหกรรมต่างๆ โดยใช้ทดแทนวัสดุธรรมชาติ เช่น โลหะ ไม้ และกระดาษ เป็นต้น ทั้งนี้เนื่องจากพลาสติกมีข้อดีหลายประการ เช่น มีความใส น้ำหนักเบา ความเหนียวและความทนทานต่อสภาวะแวดล้อม และที่สำคัญคือสามารถขึ้นรูปได้ตามความต้องการและลักษณะของการใช้งาน

จากผลของการใช้กันอย่างแพร่หลายนี้จึงทำให้มีแนวโน้มของการใช้งานมากขึ้น สิ่งก็ตามมาก็คือ ปัญหาขยะพลาสติก พลาสติกมีความทนทานต่อการย่อยสลายสูงเนื่องจากพลาสติกมีพื้นที่ผิวในการสัมผัสกับสภาวะแวดล้อมน้อยมาก แนวทางหนึ่งในการแก้ปัญหาดังกล่าวก็คือ การนำพลาสติกมาผ่านกระบวนการขึ้นรูปใหม่อีกครั้ง (Recycle) โดยนำมาผสมกับพลาสติกอื่นๆ (Plastic Blending) ซึ่งจะทำให้ได้พลาสติกผสมที่มีสมบัติอยู่ระหว่างพลาสติกที่นำมาผสมนั้น แต่เนื่องจากพลาสติกผสมที่ได้อาจมีสมบัติด้อยกว่า หรือไม่เหมาะสมในการนำไปใช้งาน จึงต้องมีการปรับปรุงสมบัติของพลาสติกให้เหมาะสม

พอลิเมอร์ที่ใช้ศึกษาในงานวิจัยนี้ได้แก่ พอลิโอเลฟินส์ (PO) ซึ่งพอลิโอเลฟินส์ที่ใช้ประกอบด้วย พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE) พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE) และพอลิพรอพิลีน (PP) ผสมกันในอัตราส่วน 1:1:1 นำมาผสมกับพอลิไวนิลคลอไรด์ (PVC) ซึ่งสูตรพอลิไวนิลคลอไรด์ที่ใช้เป็นสูตรที่มีความอ่อนนุ่ม (Flexible) เหมือนยาง โดยอัตราส่วนของการผสมระหว่าง พอลิโอเลฟินส์ (PO) : พอลิไวนิลคลอไรด์ (PVC) จะเป็น 20/80 30/70 และ 40/60 โดยน้ำหนัก โดยทำการปรับเปลี่ยนอุณหภูมิ และอัตราเร็วของสกรู ของเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนคู่ เพื่อเลือกสภาวะที่เหมาะสมที่จะทำให้ได้พอลิเมอร์ผสมที่มีสมบัติด้านต่างๆ เหมาะแก่การนำไปใช้งาน

1.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. YASUSHI,M.;YASUSHI,N.;AKIRA,T.;KAORU,Y.[1] ทำการศึกษาลักษณะของพีวีซีที่เป็นโพรงกับสารช่วยในกระบวนการขึ้นรูป (Processing Aid , PA) ที่เหมาะสมพบว่าที่อุณหภูมิของกระบวนการสูงๆและมี PA ที่มีมวลโมเลกุลสูงๆ จะมีผลทำให้ผลึกของพีวีซีลดลง จึงทำให้ค่าการบวมตัว (Die swell) ของพอลิเมอร์มีค่ามากขึ้นในขณะที่ PA ที่มีมวลโมเลกุลต่ำกว่าจะกระจายตัวได้ดีกว่า PA ที่มีมวลโมเลกุลสูงและจากการศึกษาพีวีซีพบว่า

-ลักษณะ โพรงของพีวีซีเมื่อเทียบกับ PS พีวีซีมีอัตราส่วนของเซลล์เปิด (Open cell-ratio) ที่ดี แต่รูปร่างจะไม่คงที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ค่าการบวมตัว (Die swell) ของพอลิเมอร์ มีผลมาจากการฟูตัวของพีวีซี และ PA ที่กระจายตัว โดยมีการพันเกี่ยวของสายโซ่เป็นตัวเร่ง
 - การเลือก PA มีความสำคัญมากต่อการขึ้นรูปโฟม PA ที่มีมวลโมเลกุลสูงๆ และมีความเหมาะสมในการเกิดพอลิเมอร์ร่วม(Optimization of copolymerization) มีผลทำให้มีการกระจายตัวและการพันเกี่ยวกันของสายโซ่ที่ดี
2. Leonard,G.K.[2] ทำการศึกษาเรื่องหน้าที่ของพลาสติกไซเซออร์ที่มีผลต่อเรซินพีวีซี (PVC resin) พบว่าการผสมแห้งสำหรับพลาสติกไซเซออร์ซึ่งแพร่เข้าไปในกระบวนการจะมีผลมาจากความหนืด และจากความถ่วงจำเพาะของพลาสติกไซเซออร์ ซึ่งสามารถทำนายความสัมพันธ์ได้จาก
3. John T.Lutz,Jr.[3] ทำการศึกษาเรื่องสารปรับปรุงแรงกระแทก (Impact modifiers) ในพีวีซี พบว่า
- สารปรับปรุงแรงกระแทกจะทำงานได้ดีที่พลาสติกไซเซออร์น้อยๆ
 - ที่มีอนุภาคสูงๆ และอุณหภูมิต่ำๆ การรับแรงกระแทกจะไม่ดี
 - สารปรับปรุงแรงกระแทกทำหน้าที่เป็นตัวรวมรอยแตก และปรับ Tg สำหรับพีวีซีที่มีกลไกการทำงาน of สารปรับปรุงแรงกระแทกจะเกี่ยวข้องกับสัณฐานวิทยาของพีวีซี
 - การใช้สารปรับปรุงแรงกระแทกจะใช้ประมาณ 2-3 phr ในการทำท่อ และใช้ประมาณ 12-15 phr ในการทำขวดหรือแผ่น
4. Cadogan , D.F.[4] ทำการศึกษาถึงพลาสติกไซเซออร์ที่มีผลต่อสิ่งแวดล้อมพบว่า
- พลาสติกไซเซออร์ไม่มีสี กลิ่น ไม่ระเหย และละลายน้ำได้น้อย
 - ส่วนมากจะเป็นสารจำพวกเอสเทอร์ของกรดฟทาลิก (Phthalic acid) ซึ่งมีสายโซ่พอลิเมอร์ของแอลกอฮอล์ มีคาร์บอนอะตอมมากกว่า 13 อะตอม
 - พลาสติกไซเซออร์ทุกตัวเป็นพิษ
 - ทดสอบกับหนูทำให้เกิดเนื้องอก
 - สามารถรับพิษได้ทางการกิน
 - คนจะได้รับสาร (DOP) ประมาณ 2 mg ต่อปีจากผลิตภัณฑ์ที่ใช้ห่ออาหาร
 - ค่า NOEL (ค่าที่บอกกว่ารับสารพิษได้มากที่สุด) ของคนประมาณ 40 mg
 - การแพร่กระจายของพลาสติกไซเซออร์จากผลิตภัณฑ์น้อยกว่า 0.01%
 - ที่อุณหภูมิ 25 °C พลาสติกไซเซออร์ (DOP) สามารถระเหยได้

1.3 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. เพื่อศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตสารประกอบพอลิไวนิลคลอไรด์และพอลิโพลีฟีนส์ที่น่ากลับมาใช้ใหม่
2. เพื่อศึกษาหาอัตราส่วนที่เหมาะสมของสารปรับสภาพพลาสติกชนิดพอลิเอทิลีนที่มีต่อสารประกอบพอลิไวนิลคลอไรด์และพอลิโพลีฟีนส์ที่น่ากลับมาใช้ใหม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. เพื่อศึกษาหาอัตราส่วนของสารช่วยผสมที่มีต่อสารประกอบพอลิไวนิลคลอไรด์และพอลิโอเลฟินส์ที่น่ากลับมาใช้ใหม่
4. เพื่อศึกษาหาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผสมสารประกอบพอลิไวนิลคลอไรด์กับพอลิโอเลฟินส์ที่จะนำไปใช้สำหรับการทำพื้นรองเท้า

1.4 ขอบเขตงานวิจัย

1. ศึกษาหาอุณหภูมิ และ เวลา ที่เหมาะสมที่ใช้ในการผลิตสารประกอบพอลิไวนิลคลอไรด์ โดยใช้เครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง
2. ศึกษาหาอุณหภูมิ และ ความเร็วรอบที่เหมาะสมที่ใช้ในการผลิตพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิไวนิลคลอไรด์กับพอลิโอเลฟินส์ โดยใช้เครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว
3. ศึกษาหาปริมาณของสารปรับสภาพพลาสติกชนิดทุติยภูมิที่มีผลต่อสารประกอบพอลิไวนิลคลอไรด์กับพอลิโอเลฟินส์ที่น่ากลับมาใช้ใหม่
4. ศึกษาหาปริมาณสารช่วยผสม และ อัตราส่วนระหว่างพอลิไวนิลคลอไรด์กับพอลิโอเลฟินส์ที่เหมาะสมสำหรับนำไปทำพื้นรองเท้า
5. ศึกษาหาสมบัติเชิงกล การคงทนต่อแรงขัดถู ความแข็ง และ สมบัติการรับแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสมที่ได้จากการผสมพอลิไวนิลคลอไรด์กับพอลิโอเลฟินส์

1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

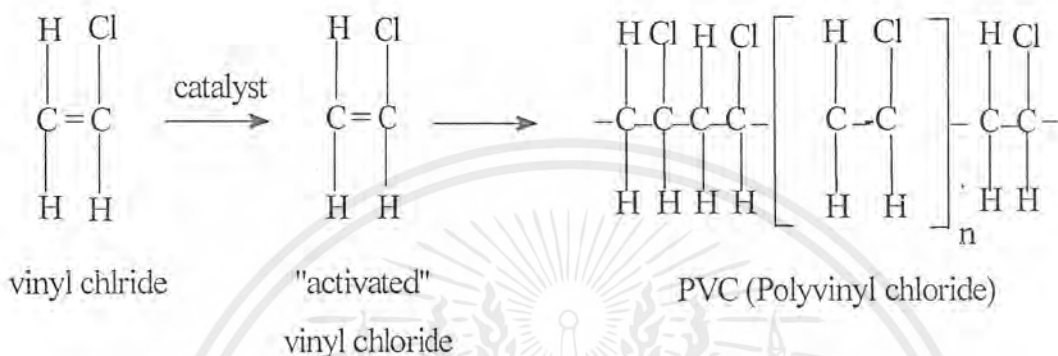
1. ทราบถึงสถานะที่ดีที่สุดในการผลิตสารประกอบพีวีซี และพอลิเมอร์ผสม (PVC&PO)
2. ทราบถึงอัตราส่วนที่เหมาะสมของพอลิเมอร์ผสม (PVC&PO) และสารช่วยผสมที่จะให้สมบัติเชิงกลที่ดีที่สุด
3. ทราบถึงอัตราส่วนที่เหมาะสมของสารปรับสภาพพลาสติก (DOP : Cereclor) ที่จะให้สมบัติเชิงกลที่ดีที่สุด
4. ทราบถึงความเป็นไปได้ที่จะนำพอลิเมอร์ผสมที่เตรียมได้ไปใช้งานตามวัตถุประสงค์ที่ต้องการ

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

2.1 พอลิไวนิลคลอไรด์ (PVC)

พอลิไวนิลคลอไรด์สามารถผลิตได้จากปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันของไวนิลคลอไรด์มอนอเมอร์ในน้ำ (Water Dispersion) โดยผ่านกลไกการเกิดปฏิกิริยาแบบอนุมูลอิสระ (Free Radical) ดังรูป 2.1



รูป 2.1 แสดง โครงสร้างและปฏิกิริยาการเกิดพอลิไวนิลคลอไรด์

2.1.1 กระบวนการในการผลิตพอลิไวนิลคลอไรด์ (PVC)

สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภทใหญ่ๆ คือ

ก) ปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแบบแขวนลอย (Suspension Polymerisation , S-PVC)

เป็นกระบวนการที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย ตัวกลางที่เป็นของเหลวจะมีการใช้สารช่วยแขวนลอย (Suspension agent) โดยในระบบมอนอเมอร์จะแขวนลอยอยู่ในตัวกลางที่เป็นของเหลว เรซินพีวีซี (PVC resin) ที่ได้มีลักษณะใส ผิวมีรูพรุนสามารถดูดซับสารหล่อลื่น (Lubricant) และสารปรับสภาพพลาสติก (Plasticisers) ได้ง่ายกว่า M-PVC

ข) ปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแบบบัลค์ (Bulk Polymerisation , M-PVC)

กระบวนการนี้จะไม่ใช้น้ำเป็นตัวกลาง จะใช้สารช่วยผสม (Emulsifiers) หรือ สารช่วยการแขวนลอย (Suspension Agent) ในการเกิดปฏิกิริยา เรซินพีวีซีที่ได้มีลักษณะใส บริสุทธิ์ มีความกลมมนกว่า S-PVC มีน้ำหนักโมเลกุลสูง ผิวแข็ง มีความหนาแน่น (Bulk Density) ที่ดีแต่ความสามารถในการดูดซับสารเติมแต่ง (Additive) จะลดลง

ค) ปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแบบอิมัลชัน (Emulsion Polymerisation , E-PVC)

กระบวนการนี้เป็นกระบวนการเก่า ปฏิกิริยามีตัวกลางเป็นของเหลว และใช้สารช่วยผสม (Emulsifiers) ในการเกิดปฏิกิริยา เรซินพีวีซีที่ได้มีลักษณะขุ่น ทึบ ตัวอย่างของ E-PVC ที่ใช้ในชีวิตประจำวันได้แก่ ถุงมือ รองเท้าบูท และของเล่น เป็นต้น

2.1.2 สมบัติทั่วไป

สมบัติทางเคมีต่างๆ ของ S-PVC กับ E-PVC จะมีความแตกต่างกันน้อยมากอย่างไรก็ตาม ก็ยังมีความแตกต่างกันในเรื่องรูปร่างและขนาดของอนุภาค

S-PVC เรซินจะมีรูปร่างเหมือนลูกบอล และเนื่องจากที่ผิวมีรูพรุนจึงสามารถดูดซับพลาสติกไซเซอร์ได้ ทำให้ได้พอลิไวนิลคลอไรด์ที่มีลักษณะเหนียว มีความอ่อนนุ่ม และยืดหยุ่นเหมือนยาง ในการผสมพอลิไวนิลคลอไรด์ชนิดนี้จะต้องผสมกันภายใต้อุณหภูมิและความดันสูง เช่นเครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง (Two-roll mill) หรือ เครื่องผสมแบบเกลียวหนอน (Extruder) เป็นต้น

E-PVC เรซินจะมีขนาดอนุภาคเป็นทรงกลม ใส ขนาดประมาณ 1/200 ของขนาดอนุภาค S-PVC เรซิน เมื่อนำมาผสมจะมีสัดส่วนของ Plasticiser/ Stabiliser ที่พอเหมาะ อิมัลชันเรซินที่ได้จะมีลักษณะคล้ายแป้งเปียก (Paste) หรือ “Plastisols” ซึ่งจะสามารถนำไปผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ที่ต้องการได้โดยการประยุกต์ใช้ความร้อน (Application of Heat)

2.1.3 พีวีซีคอมปาวนด์ (PVC Compound)

พีวีซีคอมปาวนด์เป็นการผสมระหว่างพีวีซีผง (PVC resin) กับสารเติมแต่ง (Additives) ชนิดต่างๆ แล้วนำไปขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีสมบัติเหมาะสมกับการใช้งานทางด้านต่างๆ ทั้งนี้ต้องผสมสารตัวเติมเข้าไปก็เพราะในกระบวนการขึ้นรูปพีวีซีเป็นผลิตภัณฑ์นั้น พีวีซีผงจะได้รับความร้อนและความดันมากจึงเปลี่ยนไปเป็นของแข็ง (Solid mass) ซึ่งมีความแข็งและเปราะ ดังนั้นจึงต้องมีการผสมสารตัวเติม (Additive) เข้าไปด้วยเพื่อปรับปรุงสมบัติของพีวีซีคอมปาวนด์ให้เป็นไปตามที่ต้องการ

2.1.4 สารตัวเติม (Additives) สามารถแบ่งได้ดังนี้

- สารปรับสภาพพลาสติก (Plasticisers)
- สารเพิ่มเสถียรภาพ (Stabilisers)
- สารหล่อลื่น (Lubricants)
- สารช่วยในการผสม (Compatibiliser)

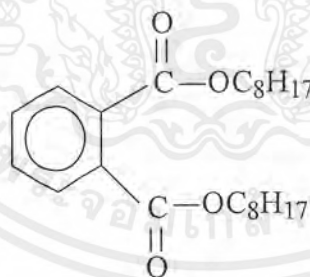
2.1.4.1 สารปรับสภาพพลาสติก (Plasticisers)

เป็นสารเติมแต่งที่ช่วยให้การไหลของพอลิเมอร์ดีขึ้นและทำให้ผลิตภัณฑ์พลาสติกที่ได้มีความยืดหยุ่นและนุ่ม สารปรับสภาพพลาสติกจะเข้าไปแทรกอยู่ระหว่างสายโซ่ของพอลิเมอร์และทำให้ความแข็งแรงของสายโซ่พอลิเมอร์อ่อนลง พอลิเมอร์ที่ได้จึงมีลักษณะอ่อนนุ่มและยืดหยุ่นมากขึ้น สารปรับสภาพพอลิเมอร์สามารถแบ่งออกเป็นสองประเภท คือสารเสริมสภาพพลาสติกภายในและสารเสริมสภาพพลาสติกภายนอก โดยสมบัติทางฟิสิกส์ต่างๆของพอลิเมอร์เมื่อเติมสารเสริมสภาพพลาสติกแสดงดัง ตารางที่ 2.1

ตาราง 2.1 แสดงสมบัติทางฟิสิกส์ต่างๆของพอลิเมอร์เมื่อเติมสารเสริมสภาพพลาสติก [5]

สมบัติ	ผลของปริมาณพลาสติก
ความหนาแน่น	ลดลง
ความแข็ง (Hardness)	ลดลง
ความแข็งแรงดึง	ลดลง
เปอร์เซ็นต์การยืดออก	เพิ่มขึ้น
100% มอดุลัส	ลดลง
อุณหภูมิการแข็งเปราะ(Brittle temperature)	ลดลง
การระเหยกลายเป็นไอ	เพิ่มขึ้น
ความทนทานต่อแรงขีดถู	เพิ่มขึ้น
ความทนทานต่อแรงกระแทก	เพิ่มขึ้น
อุณหภูมิการอ่อนตัว (Heat distortion)	ต่ำ
ความทนทานต่อน้ำมัน (Oil resistance)	ลดลง
ความทนทานต่อสารเคมี	ลดลง
ความคงทนต่อการยืดหยุ่นที่อุณหภูมิต่ำ	ลดลง

ในการวิจัยนี้ใช้ Di-octyl-phthalate (DOP) เป็นสารปรับสภาพพลาสติก ซึ่งโครงสร้างของ DOP แสดงดังรูป 2.2



รูปที่ 2.2 แสดง โครงสร้างของ DOP

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมบัติทั่วไปของสาร DOP แสดงดังตารางที่ 2.2

ตาราง 2.2 แสดงสมบัติทั่วไปของ DOP [6]

สมบัติ	DOP
ความหนืด (Pa.s)	70-80
ความถ่วงจำเพาะที่อุณหภูมิ 25 °C	0.984
ดัชนีการหักเหของแสง	1.490
เปอร์เซ็นต์การระเหย	0.400
ความต้านทานต่อกระแสไฟฟ้า ($\Omega \cdot m$)	1×10^{15}
สี	ใส

2.1.4.2 สารเพิ่มเสถียรภาพ (Stabilisers)

เนื่องจากพีวีซีจะเกิดการคุณภาพเมื่อได้รับความร้อนและแสงแดดโดยผ่านกลไกของปฏิกิริยาการขจัดก๊าซไฮโดรเจนคลอไรด์ออก จากโครงสร้างที่ไม่อิ่มตัว (Unsaturated structure) ของพีวีซี ทำให้ผิวของพีวีซีใหม่และเปลี่ยนเป็นสีเข้มขึ้น ปฏิกิริยานี้จำเป็นต้องลดลงให้มากที่สุด โดยการเติมสารเสถียรภาพทางความร้อนซึ่งมีหน้าที่อยู่ 2 แบบ คือ

- 1) มีความสามารถป้องกันการเกิดปฏิกิริยาดีไฮโดรคลอริเนชัน หรืออย่างน้อยช่วยทำปฏิกิริยานี้ให้เกิดช้าลง
 - 2) ช่วยทำให้ลำดับของพอลิเอิน (Polyene) สั้นลงและทำลายเกลือคาร์บอนเนียม
- สารเสริมสภาพที่ดีควรมีปัจจัยพื้นฐานดังนี้
- ไม่มีพิษ
 - ราคาไม่แพง
 - ควรมีเสถียรภาพต่อการเสื่อมสภาพชนิดต่างๆเช่นความร้อน แสง และความชื้น เป็นต้น
 - ไม่ระเหยง่าย ไม่มีกลิ่น ไม่มีรส และไม่ทำให้เกิดดำหนิหรือเกิดสีเมื่อผสมเข้ากับพอลิเมออร์
 - ต้องสามารถผสมเป็นเนื้อเดียวกันกับพอลิเมออร์และจะต้องไม่เกิดการเคลื่อนย้ายมาอยู่ที่ผิวของวัสดุ (Blooming)
 - เมื่อผสมเข้ากับพอลิเมออร์แล้วต้องไม่มีผลต่อสมบัติของพอลิเมออร์ และการนำไปประยุกต์ใช้
 - เมื่อผสมเข้ากับพอลิเมออร์แล้วต้องสามารถกำจัดส่วนเกินออกได้และสามารถตรวจสอบได้ง่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะเห็นได้ว่าสารเสถียรภาพทางความร้อนของพีวีซีมีหน้าที่ในการป้องกัน(Preventive function) และการรักษา (Curative function) และการใช้ระบบของสารเสถียรภาพที่แตกต่างกันจะมีผลต่อสมบัติการไหลและ/หรือลักษณะเฉพาะของกระบวนการของพีวีซีคอมปาว์นที่แตกต่างกันด้วย

2.1.4.3 สารช่วยผสม (Compatibilisers)

สารช่วยผสมใช้ผสมลงในพอลิเมอร์เพื่อช่วยในการละลาย และ ลดแรงตึงผิว (Surface tension) ระหว่างเฟสที่แยกกันอยู่ของพอลิเมอร์หลักทั้งสองชนิด ทำให้ขนาดของอนุภาคเฟสที่กระจายลดลง และเพิ่มแรงยึดติดระหว่างผิว (Interfacial adhesion) ของแต่ละเฟสด้วย ทำให้พอลิเมอร์ผสมสามารถรับแรงและกระจายแรงได้มากขึ้น (Improved stress transfer) นอกจากนี้สารช่วยผสมยังช่วยเพิ่ม โครงสร้างที่เป็นเส้นตรงในพอลิเมอร์ผสม ทำให้พอลิเมอร์ผสมสามารถเข้ากันได้ดียิ่งขึ้น สารช่วยผสมที่ใช้กันอยู่เป็นพอลิเมอร์ร่วม (Copolymer) ที่มีองค์ประกอบของพอลิเมอร์หลักทั้งสองชนิด ทำให้สามารถละลายได้ทั้งสองเฟสและทำหน้าที่เป็นสะพานเชื่อมทั้งสองเฟส พอลิเมอร์ผสมที่ใช้ในสารช่วยผสมจะมีสมบัติดีกว่าพอลิเมอร์ที่ไม่ได้ใช้สารช่วยผสม ซึ่งการปรับปรุงสมบัติของพอลิเมอร์ผสมโดยวิธีนี้ จะขึ้นอยู่กับค่าองศาของการเข้ากันได้ที่ได้จากสารช่วยผสม

2.2 พอลิโอเลฟินส์ (polyolefins)

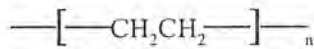
พอลิโอเลฟินส์มีความหมายรวมถึงพอลิเอทิลีนเกรดต่างๆ โดยแบ่งตามปริมาณความเป็นผลึกหรือความหนาแน่น และ พอลิพรอพิลีน ซึ่งสมบัติบางประการของพอลิโอเลฟินส์แสดงในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 แสดงสมบัติบางประการของพอลิโอเลฟินส์ [7]

สมบัติ	LDPE	HDPE	PP
ความถ่วงจำเพาะ	0.91-0.93	0.94-0.97	0.90-0.91
เปอร์เซ็นต์ความเป็นผลึก (%)	50-70	80-95	82
อุณหภูมิการหลอมเหลว (° C)	98-120	127-135	165-171
ความแข็งแรงดึง (MPa)	4.1-16	21-38	31-41
มอดุลัส (GPa)	0.10-0.26	0.41-1.24	1.10-1.55
เปอร์เซ็นต์การยืดออก (%)	90-800	20-130	100-600
ความทนทานต่อแรงกระแทก	no break	27-1068	21-53
อุณหภูมิการอ่อนตัว (° C)	38-49	60-88	225-250

2.2.1 พอลิเอทิลีน (Polyethylene, PE)

สูตร โครงสร้างของพอลิเอทิลีนแสดงในรูปที่ 2.3



รูป 2.3 แสดงสูตร โครงสร้างของพอลิเอทิลีน

ลักษณะ โดยทั่วไปคือเหนียว ดุคซึมความชื้นได้น้อยมาก ทนทานต่อสารเคมีได้ดีมาก เป็นฉนวนไฟฟ้าได้ดีเยี่ยม มีสัมประสิทธิ์ของความเสียดทานต่ำและขึ้นรูปด้วยกระบวนการต่างๆ ได้ง่าย พอลิเอทิลีนได้จากกระบวนการพอลิเมอไรเซชันเอทิลีน โดยพอลิเอทิลีนที่ผลิตขึ้นในทางการค้าครั้งแรกเป็นพอลิเอทิลีนแบบความหนาแน่นต่ำ ในปัจจุบันมีพอลิเอทิลีนเกรดต่างๆ ตาม โครงการสร้างโมเลกุลและลักษณะสมบัติตลอดจนการใช้งาน ได้เป็นกลุ่มต่างๆดังนี้ [8]

- พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE)
ความหนาแน่น 0.915-0.930 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร
- พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น (LLDPE)
ความหนาแน่น 0.910-0.925 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร
- พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE)
ความหนาแน่น 0.941-0.967 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร
- พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำมาก (VLDPE)
ความหนาแน่น 0.880-0.912 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร
- พอลิเอทิลีนน้ำหนักโมเลกุลสูง (HMWPE)
น้ำหนักโมเลกุล 200,000-500,000
- พอลิเอทิลีนน้ำหนักโมเลกุลสูงมาก (UHMWPE)
น้ำหนักโมเลกุล 3,000,000

นอกจากนี้ยังมีพอลิเอทิลีนชนิดเชื่อม โยงคลอโลซัลโฟเนตพอลิเอทิลีน และโคพอลิเมอร์ต่างๆของเอทิลีนด้วย

2.2.1.1 พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (Low Density Polyethylene , LDPE)

ในปี ค.ศ. 1930 เริ่มมีการผลิตพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำครั้งแรก ซึ่งเป็นเม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดแรกที่นำมาใช้ในการค้า กระบวนการผลิตและลักษณะ โดยทั่วไปของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำมีดังนี้ [9]

- ความดันที่ใช้ในการผลิตจะสูงมาก 1,000-3,000 บรรยากาศ (15,000-45,000 psi)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- อุณหภูมิที่ใช้ในปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชัน 200-400 องศาเซลเซียส
- พอลิเอทิลีนที่ใช้มีความหนาแน่นอยู่ในช่วง 0.910-0.925 กรัม/ลบ.ซม. การกระจายตัวของน้ำหนักโมเลกุลกว้างและมีกิ่งก้านสาขาภายในโมเลกุลมาก
- ขบวนการที่ใช้ในการผลิตในปัจจุบันมีสองกระบวนการ
 1. กระบวนการออโตคลาฟ (Autoclave Process) ของบริษัทไอซีไอ
 2. กระบวนการเทอบิวลาร์ (Tubular Process) ของบริษัทยูซีซี

ซึ่งทั้งสองกระบวนการจะให้โครงสร้างที่แตกต่างกันแต่สามารถผลิต LDPE ที่มีช่วง

ความหนาแน่นและช่วงดัชนีการไหลเหมือนกันคือ

ความหนาแน่น 0.915-0.930 กรัม/ลบ.ซม.

ดัชนีการไหล 0.1-50 กรัม/10 นาที

สมบัติของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ

- ยอมให้ก๊าซซึมผ่านได้เนื่องจากมีส่วนของอสัณฐานซึ่งมีปริมาตรอิสระยอมให้มีการเคลื่อนที่ของโมเลกุลได้ จึงมีช่องว่างพอที่จะให้โมเลกุลของก๊าซซึมผ่านได้
- การไหลตัวดี
- ช่วงอุณหภูมิในการใช้งานของผลิตภัณฑ์ที่แปรรูปมาจาก LDPE แคบ โดยมีอุณหภูมิในการหลอมตัวอยู่ในช่วง 98-120 °C
- มีความต้านทานแรงกระแทกดีพอสมควร
- เป็นตัวกันความชื้นได้ดี
- ฟิล์มที่แปรรูปมาจาก LDPE จะมีความเป็นมันเงาดีและมีฝ้าต่ำ
- เป็นฉนวนไฟฟ้าที่ค่อนข้างดี

การนำไปใช้งาน

- ฟิล์มและงานเคลือบหลายๆชั้น (Lamination) เช่น ฟิล์มหดรูม (Shrink wrap) หรือถุงที่ต้องการความใสมากๆ
- งานฉีดแบบ (Injection moulding)
- งานเป่าแบบ (Blow moulding)
- อื่นๆ เช่น ฟิล์มหลายชั้น (Coextrusion) งานรีดท่อ (Pipe extrusion) งานเคลือบสายไฟและสายเคเบิล (Wire and cable coating)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.1.2 พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (High Density Polyethylene , HDPE) [10]

สมบัติของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง

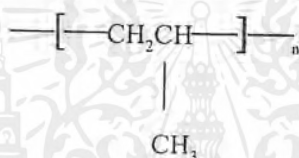
- มีสายโซ่โมเลกุลที่มีลักษณะเรียงตัวต่อกันเป็นแนวยาวมีกิ่งก้านสาขาน้อย มีความเป็นผลึกสูง ความหนาแน่น 0.941-0.965 กรัม/ลบ.ซม. มีจุดหลอมตัว 135°C โดยจะมีความแข็งแรงที่สูงกว่าพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ

การนำไปใช้งาน

- ใช้กับงานขึ้นรูปโดยการเป่าเกือบ 40% ของผลผลิตทั้งหมด ใช้ทั้งขวดและภาชนะบรรจุอื่นๆ ที่ต้องใช้ความต้านทานสูงและทนต่อแรงเค้นสูง
- สำหรับงานขึ้นรูปโดยการฉีด มีประมาณ 20% ของผลผลิตทั้งหมด ใช้ทำของเด็กเล่น เครื่องใช้ในบ้าน นอกจากนี้ยังใช้ทำฟิล์ม เชือก ฉนวนหุ้มสายไฟ และ สายเคเบิล

2.2.2 พอลิพรอพิลีน (Polypropylene , PP)

สูตร โครงสร้างของพอลิพรอพิลีนแสดงในรูปที่ 2.4



รูป 2.4 แสดงสูตร โครงสร้างของพอลิพรอพิลีน

พอลิพรอพิลีนไม่สามารถเตรียมจากพรอพิลีนโดยวิธีพอลิเมอไรเซชันไม่ว่าจะเป็นแบบอนุโมลอิสระหรือแบบอีนิก การนำพรอพิลีนมาพอลิเมอไรเซชันโดยวิธีการข้างต้นได้ผลิตภัณฑ์มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำเท่านั้น ในปี ค.ศ.1954 แนนดาก็พบความสำเร็จในการเตรียมพอลิพรอพิลีนที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง มีโครงสร้างเป็นไอโซเทคติกโดยอาศัยตัวเร่งซีเกลอร์-เนตตา [11]

สมบัติของพอลิพรอพิลีน

- มีลักษณะโครงสร้างเป็นเส้นตรง มีน้ำหนักเบา จุดหลอมเหลวปานกลางอยู่ในช่วง 164-170 °C
- มีน้ำหนักโมเลกุลอยู่ในช่วง 60,000-200,000 และ ความหนาแน่น 0.9 กรัม/ลบ.ซม
- ไม่ละลายในตัวทำละลายใดๆ ในอุณหภูมิห้อง
- เนื่องจากความเป็นผลึกสูงทำให้พอลิเมอร์มีสมบัติเชิงกลที่ดี
- สามารถทนต่อกรดและเบสเป็นอย่างดี เมื่อเทียบกับปฏิกิริยาเคมีทั่วไปแต่ทนต่อความร้อน แสง และตัวออกซิไดซ์น้อยกว่าพอลิเอทิลีน

การนำไปใช้

- ชิ้นส่วนของรถยนต์
- อุปกรณ์เครื่องใช้ในบ้าน
- ใช้ในรูปเส้นใยและฟิล์ม

พอลิพรอพิลีนที่ใช้ในทางการค้ามาผสมด้วยสารเติมแต่ง เช่น สี ผงคาร์บอนดำ ใยแก้ว และแอนติออกซิแดนท์

2.3 เซเรคโล (Cereclor)

เซเรคโลเป็นชื่อทางการค้าของคลอรีนเต็ด พาราฟินซึ่งมีคุณสมบัติเด่น คือ ใช้เป็นสารปรับสภาพพลาสติก (Plasticiser) สามารถเพิ่มความนุ่มให้พีวีซี นอกจากนี้เซเรคโลยังช่วยเสริมคุณภาพของพีวีซีได้อีกหลายประการ เช่น ป้องกันพีวีซีจากการติดไฟและการลุกลามของไฟ ช่วยลดการดูดซับความชื้นจากบรรยากาศและเพิ่มความคงทนต่อสารเคมียิ่งขึ้น

เซเรคโลเกรดที่นิยมในการผลิตพีวีซีชนิดอ่อน (Flexible PVC) ได้แก่

1. Cereclor S45
2. Cereclor S52
3. Cereclor S58

สมบัติทั่วไปของเซเรคโล

ความเหมาะสมในการเลือกใช้เซเรคโลเกรดต่างๆ ในผลิตภัณฑ์พีวีซีมีดังนี้

- เซเรคโล S45 มีความหนืดน้อยจึงเหมาะกับการทำพีวีซีพลาสติกโซล (Plastisol) ซึ่งใช้เรซินพีวีซี-อิมัลชัน (Emulsion resin) หรือ เรซินพาสท์ (Paste resin) สำหรับผลิตภัณฑ์หนังเทียม พรมพีวีซี และชั้นโฟมของแผ่นพีวีซี กล่าวคือเป็นงานที่ไม่ต้องการความหนืดสูงระหว่างการผสมในภาชนะผสม (Mixer) นอกจากนี้ยังให้สมบัติเด่นในด้านความคงทนต่อการยืดหยุ่นของผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิต่ำ (Low temperature flexibility)

- เซเรคโล S52 สามารถใช้กับพีวีซีเกือบทุกชนิด เพราะมีความสามารถในการเข้ากับเนื้อพีวีซีสูง จึงเหมาะกับผลิตภัณฑ์พีวีซี เช่น สายไฟ ท่อยาง แผ่นซีท เสื้อน้ำมัน และพีวีซีตัดเม็ด ซึ่งสามารถนำไปผลิตเป็นผลิตภัณฑ์พีวีซีสำเร็จรูปอีกชิ้นตอนหนึ่ง

- เซเรคโล S58 มีคุณสมบัติเด่นในการป้องกันการลุกลามของเปลวไฟจึงเหมาะสำหรับผลิตภัณฑ์พีวีซีที่ต้องการการทนไฟเป็นพิเศษนอกจากนี้ยังเป็นพลาสติกไฮเซออร์ที่เสถียรและไม่เคลื่อนตัว ไปสู่ชิ้นงานอื่นๆ ที่ต้องสัมผัสเป็นต้น เพื่อให้ได้สมบัติที่ดีขึ้นเหมาะแก่การใช้งาน

สมบัติทั่วไปของเซเรคโลแสดงดังตารางที่ 2.4

ตาราง 2.4 แสดงคุณสมบัติทั่วไปของเซเรคคอส [12]

เกรด	ปริมาณคลอรีน (%w/w)	โทนสี (Hazen Unit)	ความหนาแน่น (g/ml ที่ 25 ⁰ C)	ความหนืด (Pa.s ที่ 25 ⁰ C)	จุดวาบไฟ (⁰ C)
S45	45	80	1.160	0.2	> 210
S52	52	100	1.260	1.6	> 210
S58	58	150	1.360	40	> 210

2.4 เทคนิคการผสมแห้ง (Dry Blending)

การผสม คือ การนำวัสดุต่างชนิดกันมารวมกันและเฉลี่ยให้เข้ากัน โดยการให้วัสดุเคลื่อนที่คลุกเคล้ากัน จนได้สภาพการผสมที่ต้องการ การผสมสูตรของพอลิเมอร์จะขึ้นอยู่กับลักษณะและรูปร่างของพอลิเมอร์ และสารเติมแต่งชนิดต่างๆที่ใช้เป็นวัตถุดิบในการผสม รวมทั้งขึ้นอยู่กับกระบวนการขึ้นรูปและเครื่องจักรที่ใช้ในกระบวนการผลิตให้เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีรูปร่างตามต้องการ เครื่องจักรที่ใช้ในการผสม สามารถแบ่งได้ตามกำลัง หรือขนาดของแรงที่ใช้ในการเฉือน และลักษณะของกระบวนการผลิตว่าเป็นแบบครั้ง (Batch process) หรือเป็นแบบต่อเนื่อง (Continuous process) รวมทั้งเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้เป็นส่วนประกอบของเครื่องจักร แบ่งได้เป็นดังนี้

1. เครื่องผสมชนิดที่ใช้กำลังในการผสมต่ำและปานกลาง ตัวอย่างเช่น เครื่องผสมที่ใช้กำลังการผสมต่ำ ได้แก่ Tumble mixers V-blender Ribbon blender และ Conical screw mixers ส่วนเครื่องผสมที่ใช้กำลังการผสมปานกลาง ได้แก่ Sigma-blade mixers และ Planetary mixers เป็นต้น

2. เครื่องผสมที่ใช้กำลังในการผสมสูง ได้แก่ เครื่องผสมชนิดความเร็วสูง เครื่องบดผสมชนิดสองลูกกลิ้ง เครื่องผสมแบบปิด เครื่องอัดรีดเกลียวหนอนเดี่ยว และ เครื่องอัดรีดเกลียวหนอนคู่ เครื่องผสมชนิดความเร็วสูงเป็นเครื่องจักรที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวางในการผสมสูตรพีวีซี ซึ่งเป็นการผสมแบบแห้ง ระหว่างเรซินพีวีซีที่เป็นผง กับสารปรับสภาพพลาสติก และสารเติมแต่งชนิดต่างๆสำหรับพีวีซี ในการผสมพีวีซีในเครื่องผสมชนิดความเร็วสูง จะเกิดแรงเฉือนขึ้นมากในระหว่างการผสม ซึ่งจะทำให้เกิดความร้อนขึ้น และจำเป็นต้องควบคุมอุณหภูมิในการหล่อเย็น ความร้อนที่เกิดขึ้นในระหว่างการผสมจะทำให้เกิดการดูดซับสารปรับสภาพพลาสติก และสารเติมแต่งเข้าไปในอนุภาคของพีวีซี เครื่องผสมชนิดความเร็วสูง จะประกอบด้วยใบพัด (Impeller) ที่ต่อเข้ากับมอเตอร์โดยสามารถปรับความเร็วรอบได้สูงถึง 4,000 รอบต่อนาที อยู่ในห้องผสมด้านในที่หล่อเย็นด้วยน้ำ ในในระหว่างการผสม ใบพัดจะกวาดอนุภาคสารให้กระจายเป็นวงและกระทบกับ

ผนังด้านบน ตกลงมาด้านล่างตรงกลางเหมือนการเคลื่อนที่ของของไหล (fluid like movement) โดยทั่วไปแล้ว เวลาที่ใช้ในการผสมไม่แน่นอนขึ้นอยู่กับสูตรผสม โดยของผสมที่ได้จะมีผลต่อสมบัติในการขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์

2.5 พอลิเมอร์ผสม (Polymer Blend)

พอลิเมอร์ผสมเป็นการนำพอลิเมอร์ที่มีโครงสร้างแตกต่างกันตั้งแต่สองชนิดขึ้นไปมาผสมเข้าด้วยกัน โดยพอลิเมอร์หลักทั้งสองชนิดที่นำมาผสมกันจะไม่เกิดพันธะโคเวเลนต์ระหว่างกัน ซึ่งสมบัติของพอลิเมอร์ผสมที่ได้นี้จะแตกต่างจากสมบัติของพอลิเมอร์หลักที่นำมาผสมกัน

พอลิเมอร์ผสมจะสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ พอลิเมอร์ที่สามารถรวมเข้ากันเป็นเนื้อเดียว (Miscible Blend) และ พอลิเมอร์ผสมที่ไม่สามารถรวมกันเป็นเนื้อเดียว (Immiscible Blend)

การผสมเข้ากันได้ของพอลิเมอร์ผสมสามารถดูได้จากค่าความสามารถในการละลาย (Solubility parameter) ซึ่งเป็นตัวแปรทางเทอร์โมไดนามิกส์ มีหน่วยเป็น $J^{1/2}/cm^{-3/2}$ ซึ่งหาได้จากการคำนวณหรือจากการทดลองดังแสดงในตารางที่ 2.5

ตาราง 2.5 แสดงค่าความสามารถในการละลาย (Solubility parameter) [13]

พอลิเมอร์	$\delta_{exp.} (J^{1/2}/cm^{3/2})$		$\delta_{calc.} (J^{1/2}/cm^{3/2})$
	From	To	
พอลิเอทิลีน	15.8	17.1	16.0
พอลิพรอพิลีน	16.8	18.8	17.0

ถ้าค่าความสามารถในการละลายมีค่าใกล้เคียงกันหรือเท่ากัน จะทำให้ค่า $\Delta H_m = 0$ ดังสมการ 2.2.1

$$\Delta H_m = \phi_1 \phi_2 (\delta_1 - \delta_2)^2 \dots (2.2.1)$$

เมื่อ ΔH_m คือ เอนทาลปี

$\phi_1 \phi_2$ คือ อัตราส่วน โดยปริมาตรของแต่ละอัตราส่วน 1 และ 2

$\delta_1 - \delta_2$ คือ ค่าความสามารถของการละลาย

และจากสมการ (2.2.2)

$$\Delta G = \Delta H_m - T\Delta S_m \dots (2.2.2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ $\Delta H_m = 0$ จะทำให้ค่า ΔG เป็นลบ แสดงว่าพอลิเมอร์สามารถเข้ากันได้ ในทางกลับกันถ้าค่า $\delta_1 - \delta_2$ แตกต่างกันมากจะทำให้พอลิเมอร์เข้ากันไม่ได้

วัตถุประสงค์ของพอลิเมอร์ผสม

1. เพื่อปรับปรุงให้มีสมบัติที่ดีขึ้นในราคาที่เหมาะสม โดยเป็นการขยายขีดความสามารถในการนำไปใช้ประโยชน์ได้ดีขึ้น
2. เป็นการนำพลาสติกที่ผ่านการใช้งานแล้วกลับมาใช้ใหม่ให้เป็นประโยชน์
3. เพื่อให้ได้พอลิเมอร์ผสมที่มีสมบัติเหมาะสมในการนำไปใช้งาน

2.6 เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย

2.6.1 เครื่อง Differential Scanning Calorimetry (DSC)

เทคนิค DSC เป็นเทคนิคการวิเคราะห์สารด้วยความร้อนที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวาง เครื่อง DSC-50 ที่ใช้ในโครงการนี้เป็นชนิด Heat Flux DSC ที่มีหลักการทำงานเช่นเดียวกับเครื่อง Differential Thermal Analysis (DTA) สารตัวอย่างและสารอ้างอิงจะอยู่บนเทอร์โมคัพเพิลที่ต่อกับเตาเผา เมื่อให้ความร้อนแก่สารตัวอย่างและสารอ้างอิงที่เฉื่อยหรือทำให้สารเย็นลง จะเกิดการเปลี่ยนแปลงในสารตัวอย่าง ทำให้อุณหภูมิของสารตัวอย่าง (T_s) และสารอ้างอิง (T_r) แตกต่างกัน เมื่อวัดความแตกต่างของอุณหภูมิ ($T_s - T_r$) แล้วเปรียบเทียบกับเวลาหรืออุณหภูมิ จะได้เส้นกราฟของ DSC ค่าความแตกต่างของอุณหภูมินี้จะเป็นสัดส่วนกับความแตกต่างของความร้อนที่ไหลเข้าสู่สารตัวอย่างและสารอ้างอิง เมื่อพล็อตค่าความร้อนในหน่วย mW (mJ/sec ; 1 mJ/sec = 0.21 mCal/sec) กับอุณหภูมิ พิกที่อยู่นิ่งเหนือแกนแสดงถึงการคายความร้อน และพิกที่อยู่นิ่งใต้แกนแสดงถึงการดูดกลืนความร้อน โดยปริมาณความร้อนคำนวณได้จากพื้นที่ใต้พิก

2.6.2 เครื่องอัดรีดแบบสกรูคู่ (Twin-screw extruder)

เครื่องอัดรีดแบบนี้จะมีสกรูอาร์คิมิดีส (Archimedian screws) อยู่ 2 สกรู โดยจัดจำแนกของเครื่องอัดรีดตามลักษณะและทิศทางการเคลื่อนที่ของสกรูเป็น 2 ชนิดคือ เครื่องอัดรีดแบบเฟืองไม่ตรงกันและเครื่องอัดรีดแบบเฟืองตรงกัน โดยเครื่องอัดรีดแบบเฟืองไม่ตรงกันจะมีกลไกการเคลื่อนที่แบบลาก (Drag flow conveyance mechanism) ในขณะที่เครื่องอัดรีดแบบมีเฟืองตรงกันมีการเคลื่อนที่แบบการกระจัดทางบวก (Positive conveyance) คือขึ้นอยู่กับความหนืด (อุณหภูมิ) ไม่ขึ้นกับการลาก

การนำเครื่องอัดรีดแบบสกรูคู่มาใช้ประโยชน์ดังนี้คือ

2.6.2.1) เป็นที่แพร่หลาย สามารถควบคุมการเจือปนของพอลิเมอร์ได้ด้วยการใช้โปรแกรม

สกรู

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.2.3) การพาวัสดุเป็นไปในทางบวก มีลักษณะคล้ายๆกับการนำเกียร์บีมาช่วยนำพาวัสดุให้เคลื่อนไปตามสกรู

2.6.2.4) จัดเป็นการทำงานที่อาศัยหลักของการระบายอากาศ เนื่องจากก๊าซสามารถถูกกำจัดออกไปได้โดยง่ายหรืออาจใช้ทางระบายอากาศเป็นที่เดิมสารตัวเดิมต่างๆทำหน้าที่เป็นส่วนป้อนวัสดุทุติยภูมิ

2.6.3 เครื่องฉีดขึ้นรูปพลาสติก (Injection Molding Machine)

หลักการเหมือนเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว โดยเกลียวหนอนจะลำเลียงและหลอมพอลิเมอร์จากกรวยป้อนเม็ดพลาสติก ขณะที่พอลิเมอร์หลอมสะสมอยู่ด้านหน้าของกระบอกฉีดเกลียวหนอนจะถอยหลังเพื่อเตรียมพอลิเมอร์หลอมเหลวให้ได้ปริมาณที่ควบคุมก่อนที่จะส่งไปยังช่องว่างของแม่พิมพ์ การฉีดขึ้นรูปพลาสติกจะเกิดขณะที่เกลียวหนอนเคลื่อนที่ไปยังหน้าพลาสติกจะถูกฉีดผ่านหัวฉีดผ่านไปยังทางเข้าของแม่พิมพ์ ซึ่งสามารถเปิดและปิดได้

การหล่อเย็นแม่พิมพ์จะเป็นผลมาจากการถ่ายเทความร้อนจากพอลิเมอร์หลอมเหลวผ่านผนังช่องว่างของแม่พิมพ์ที่เมื่อวัสดุแข็งตัวจนถึงจุดหนึ่งก็สามารถกระทุ้งออกจากแม่พิมพ์ได้ด้วยกลไกการกระทุ้งภายในแม่พิมพ์

2.6.4 เครื่องทดสอบสมบัติการขัดถู (Abrader)

เครื่องทดสอบสมบัติการขัดถูเป็นเครื่องมือที่ใช้สำหรับกระบวนการทดสอบการขัดถูของพอลิเมอร์ซึ่งมีส่วนประกอบหลักดังนี้

ตัวเครื่องมีลักษณะเป็นแท่นที่สามารถวางชิ้นงานที่เป็นวงกลมที่ได้จากเครื่องตัดชิ้นงาน และมีฝาครอบยึดชิ้นงาน มีหินขัด 2 ลูก ทำหน้าที่ขัดผิวหน้าของชิ้นงาน โดยได้รับแรงขับเคลื่อนของมอเตอร์ มีแปรงปิดทำหน้าที่ปกเศษผงที่เกิดจากการขัด ก่อนทดสอบต้องทำการเตรียมพื้นผิวก่อนโดยขัดกับเครื่องทดสอบสมบัติการขัดถู 300 รอบเพื่อให้พื้นผิวมีความเรียบเสมอกัน จากนั้นนำไปซึ่งหน้าหนักแล้วนำมาทดสอบโดยการขัด 3,000 รอบ แล้วนำมาชั่งน้ำหนักหาปริมาตรที่สูญเสียไป

บทที่ 3

การวิจัยและดำเนินงาน

3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

- | | |
|--|--|
| 1. โพลีไวนิลคลอไรด์-เรซิน (PVC resin) | (บริษัท TPC) |
| 2. ไดออกทิลททาเลท (DOP) | (บริษัท TPC) |
| 3. เซเรคลอร์ (Cereclor) | (บริษัท ICI) |
| 4. สารเพิ่มความเสถียรภาพทางความร้อนแคลเซียม/สังกะสี (Ca/Zn Stabilisers)* | (บริษัท TPC) |
| 5. โพลีเอทิลีน แวกซ์ (Polyethylene wax ,PE-wax) | (บริษัท TPC) |
| 6. กรดสเตียริก (Stearic acid) | (บริษัท TPC) |
| 7. โพลิบอนด์ (Polybond 1009) | (บริษัท TOA UNI ROYAL CHEMICAL Manufacturing Ltd.) |

หมายเหตุ สารเพิ่มความเสถียรภาพทางความร้อน Ca/Zn อยู่ในรูปเกลือของกรดไขมัน

3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์

- | | |
|--|---------------------------------|
| 1. เครื่องผสมความเร็วสูง (High speed mixer) | (บริษัท LAB TECH Co.LTD) |
| 2. เครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง (Two roll mill) | (บริษัท LAB TECH Co.LTD) |
| 3. เครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนคู่ (Twin screw extruder) | (บริษัท C.MELCHER&CO. LTD) |
| 4. เครื่องขึ้นรูปชิ้นงานแบบฉีด (Injection molding) | (บริษัท WELLTEC INDUSTRIAL LTD) |
| 5. เครื่องขึ้นรูปชิ้นงานแบบอัด (Compression molding) | (บริษัท LAB TECH Co.LTD) |
| 6. เครื่อง Differential Scanning Calorimeter (DSC) | (บริษัท Shimadzu Co.LTD) |
| 7. เครื่องทดสอบสมบัติเชิงกล (Tensile testing machine) | (บริษัท LLOYD INSTRUMENT LTD) |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. เครื่องทดสอบความแข็ง (Hardness Durometer Shore A, D)
(บริษัท Yasuda .LTD)
9. เครื่องทดสอบความทนทานต่อแรงกระแทก (Impact testing machine)
(บริษัท YASUDA .LTD)
10. เครื่องทดสอบการขัดถู (Abrasion testing machine) (บริษัท
H.W.WELLACE&CO.LTD)
11. เครื่องหาความถ่วงจำเพาะ
(บริษัท
H.W.WELLACE&CO.LTD)
12. เครื่องโม่บดครุ่น NEMA 600
(บริษัท LAB TECH
Co.LTD)

3.3 ขั้นตอนและการดำเนินงาน

1. การเตรียมตัวอย่าง

1.1 การเตรียมพีวีซีคอมปาวน์ (PVC Compound)

1.1.1 เตรียมส่วนผสมของพีวีซีคอมปาวน์ โดยให้มีอัตราส่วนดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 แสดงอัตราส่วนผสมของสารพีวีซีคอมปาวน์

สารเคมี	อัตราส่วน (%w/w)
PVC resin	100
Plasticisers (DOP + Cereclor)	70
Ca/Zn	3.0
PE-Wax	0.8
Stearic acid	1.0

หมายเหตุ * นำเอา DOP มาผสมกับ Cereclor S52 ให้ได้ปริมาตรรวมเท่ากับ 70 %w/w โดยมีอัตราส่วนระหว่าง DOP กับ Cereclor S52 ดังแสดงในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 แสดงอัตราส่วนระหว่าง DOP กับ Cereclor ที่ใช้ในการผสมพีวีซีคอมปาวน์

สูตรที่	DOP (%w/w)	Cereclor (%w/w)
1	0	70
2	20	50
3	35	35
4	50	20
5	70	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.1.2 หลังจากเตรียมสูตรของสารพีวีซีคอมปาว์ (PVC Compound) ได้ตามที่ต้องการแล้วก็ นำส่วนผสมทั้งหมดไปผสมโดยใช้เครื่องผสมความเร็วสูง (High speed mixer)

1.2 การผสมพีวีซีคอมปาว์ (PVC Compound) มีขั้นตอนดังนี้

1. นำสารตัวเติม (Additives) ที่เป็นของเหลว (DOP และ Cereclor S52) ผสมกันก่อน
2. นำพีวีซีเรซินใส่เครื่อง High speed mixer ปิดฝาป้อนอุณหภูมิขึ้นถึงประมาณ 82°C
3. เมื่ออุณหภูมิถึงที่กำหนดแล้ว ใส่สารตัวเติม (Additive) ที่ไม่ใช่ของเหลว (Ca/Zn , PE-Wax , Stearic acid) ลงไป ปั่นผสมจนอุณหภูมิขึ้นมาเท่าเดิมคือ ประมาณ 82°C
4. หลังจากนั้นใส่สารตัวเติมที่เป็นของเหลวที่ผสมไว้ในตอนแรกลงไปในเครื่อง High speed mixer รอจนอุณหภูมิขึ้นจนประมาณ 104°C จึงปิดเครื่อง
5. นำส่วนผสมที่ได้ไปขึ้นรูปเป็นพีวีซีคอมปาว์โดยใช้เครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง (Two roll mill)

1.3 การขึ้นรูปเป็นพีวีซีคอมปาว์ (PVC Compound) มีขั้นตอนดังนี้

1. เปิดเครื่อง Two-roll mill ก่อนเป็นเวลาครึ่งชั่วโมง โดยตั้งอุณหภูมิลูกกลิ้งหน้า (Front roll) ไว้ที่ประมาณ 170°C และลูกกลิ้งหลัง (Back roll) ตั้งอุณหภูมิไว้ที่ประมาณ 165°C
2. เมื่ออุณหภูมิถึงที่กำหนดแล้วเปิดสวิทช์ให้เครื่องหมุน
3. ใส่ส่วนผสมของพีวีซีคอมปาว์ (PVC Compound) ลงไประหว่างลูกกลิ้งทั้งสอง รอจนพีวีซีคอมปาว์เริ่มเปลี่ยนสภาพเป็นยางใส
4. เมื่อได้พีวีซีคอมปาว์ที่เป็นเนื้อเดียวกัน ตัดแผ่นยางที่ได้นำไปอัดโดยใช้เครื่อง Compression molding แลเป็นรูปคัมเบลล์เพื่อทดสอบสมบัติเชิงกลของพีวีซีคอมปาว์ต่อไป

1.4 การเตรียมพอลิโพลีเอทิลีน มีขั้นตอนดังนี้

นำ LDPE HDPE และ PP อัตราส่วน 1:1:1 หนักชนิดละ 0.5 กิโลกรัม มาหลอมรวมกัน ด้วยเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว โดยใช้อุณหภูมิในแต่ละโซนดังนี้ คือ 140, 150, 160 และ 170°C ตามลำดับ ด้วยความเร็วรอบ 10 รอบ/นาที แล้วนำมาบดโดยใช้เครื่องมือบด

1.5 การผสมพอลิโพลีเอทิลีน กับ พีวีซีคอมปาว์ (PVC Compound)

นำวัสดุในข้อ 1.1 และ 1.4 มาหลอมรวมกัน โดยมีอัตราส่วนระหว่างพีวีซีคอมปาว์และพอลิโพลีเอทิลีนเป็น 50:50 60:40 70:30 ทำการผสมโดยใช้เครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนคู่ (Twin-screw extruder) ดังตารางที่ 3.3

ตาราง 3.3 แสดงอุณหภูมิและความเร็วที่ใช้ผสมด้วยเครื่องเกลียวหนอนคู่เพื่อศึกษาถึงอุณหภูมิที่มีผลต่อแต่ละอัตราส่วน

อัตราส่วน (PVC:PO)	อุณหภูมิ (°C)				ความเร็วสกรู (รอบ/นาที)
	โซน 1	โซน 2	โซน 3	โซน 4	
50:50	180	170	160	150	10
	170	160	150	140	10
	160	150	140	130	10
60:40	180	170	160	150	10
	170	160	150	140	10
	160	150	140	130	10
70:30	180	170	160	150	10
	170	160	150	140	10
	160	150	140	130	10

หมายเหตุ ในแต่ละอัตราส่วนจะผสมสารช่วยผสม (Compatibiliser) ในอัตรา 7%w/w ลงไปด้วย

1.6 การผสมพีวีซีคอมปาวน์ พอลิโอฟีนีส และ สารช่วยผสม (Compatibilizer)

นำพีวีซีคอมปาวน์ และพอลิโอฟีนีส ที่ผ่านขั้นตอนในข้อ 1.5 มาเติมสารช่วยผสมในอัตราส่วน 3 5 7 และ 9 %w/w ตามลำดับ

1.7 การขึ้นรูปชิ้นงานนำตัวอย่างในข้อ 1.5 และ 1.6 นีดขึ้นรูปด้วยเครื่องฉีดขึ้นรูป (Injection molding) นำไปทดสอบสมบัติต่างๆ

3.4 การทดสอบสมบัติเชิงกล

นำชิ้นงานที่ได้จากข้อ 1.7 ไปทดสอบสมบัติความแข็งแรงดึงโดยใช้เครื่อง Tensile testing สมบัติความทนทานต่อแรงกระแทกโดยใช้เครื่อง Impact testing

3.5 การทดสอบสมบัติทางความร้อน

ทดสอบด้วยเครื่อง DSC

ชั่งพลาสติกใน pan สำหรับทดสอบด้วยเครื่อง DSC จำนวน 5-10 mg ให้ทราบปริมาณสารที่แน่นอน แล้วนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง DSC โดยใช้อัตราการให้ความร้อน 10 องศาเซลเซียส / นาที อุณหภูมิสูงสุด 230 องศาเซลเซียส และอัตราการให้ความเย็น 10 องศาเซลเซียส / นาที

จากนั้นทำการศึกษาอุณหภูมิการตกผลึก (T_c) อุณหภูมิการหลอมเหลว (T_m) และพื้นที่ใต้กราฟ โดยนำมาคำนวณหาความร้อนของการตกผลึก (H_c) และความร้อนของการหลอมเหลว (H_f) ต่อน้ำหนักสารตัวอย่าง ดังนี้

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

3.6 ทดสอบสมบัติการคงทนต่อการขจัด

โดยมีสูตรในการคำนวณดังนี้

$$L_x = \frac{M_i - M_s}{D}$$

เมื่อ

L_x = ปริมาตรที่หายไปของสารประกอบ

M_i = น้ำหนักเริ่มต้น (g)

M_s = น้ำหนักสุดท้าย (g)

D = ความหนาแน่น (mg/m_3)

บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 ผลการทดสอบสมบัติเชิงกล

4.1.1 การศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการทำพีวีซีคอมปาวน์

4.1.1.1 การศึกษาหาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการขึ้นรูปพีวีซีคอมปาวน์

จากตารางที่ 4.1 และ 4.2 พบว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมในการขึ้นรูปพีวีซีคอมปาวน์คือที่อุณหภูมิ 170°C เนื่องจากที่อุณหภูมินั้นพีวีซีคอมปาวน์สามารถหลอมเหลวและกระจายตัวได้ดีทำให้สารตัวเติมสามารถแสดงประสิทธิภาพได้ดีกว่าที่อุณหภูมิอื่นๆ และเมื่อนำพีวีซีคอมปาวน์ที่ผ่านการ Aging มาเปรียบเทียบกับสมบัติเชิงกลพบว่าที่อุณหภูมิ 170°C นั้นพีวีซีคอมปาวน์มีสมบัติเชิงกลเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุดเนื่องจากในพีวีซีคอมปาวน์ที่อุณหภูมินี้มีสารเสถียรภาพทางความร้อนกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอทำให้สามารถทนความร้อนได้ดี แสดงว่าที่อุณหภูมิ 170°C เหมาะสมในการขึ้นรูปพีวีซีคอมปาวน์มากที่สุด

ตารางที่ 4.1 แสดงผลของการศึกษาอุณหภูมิในการดำเนินกระบวนการทำพีวีซีคอมปาวน์

เวลาที่ใช้ในกระบวนการ (min)	อุณหภูมิ (°C)	ความแข็งแรงดึง (MPa)	เปอร์เซ็นต์การยืดออก (%)	มอดุลัส (MPa)	ความแข็ง
5	150	15.89	237.9	13.50	73.0
5	160	15.14	241.1	18.80	76.0
5	170	15.88	285.7	18.22	76.5

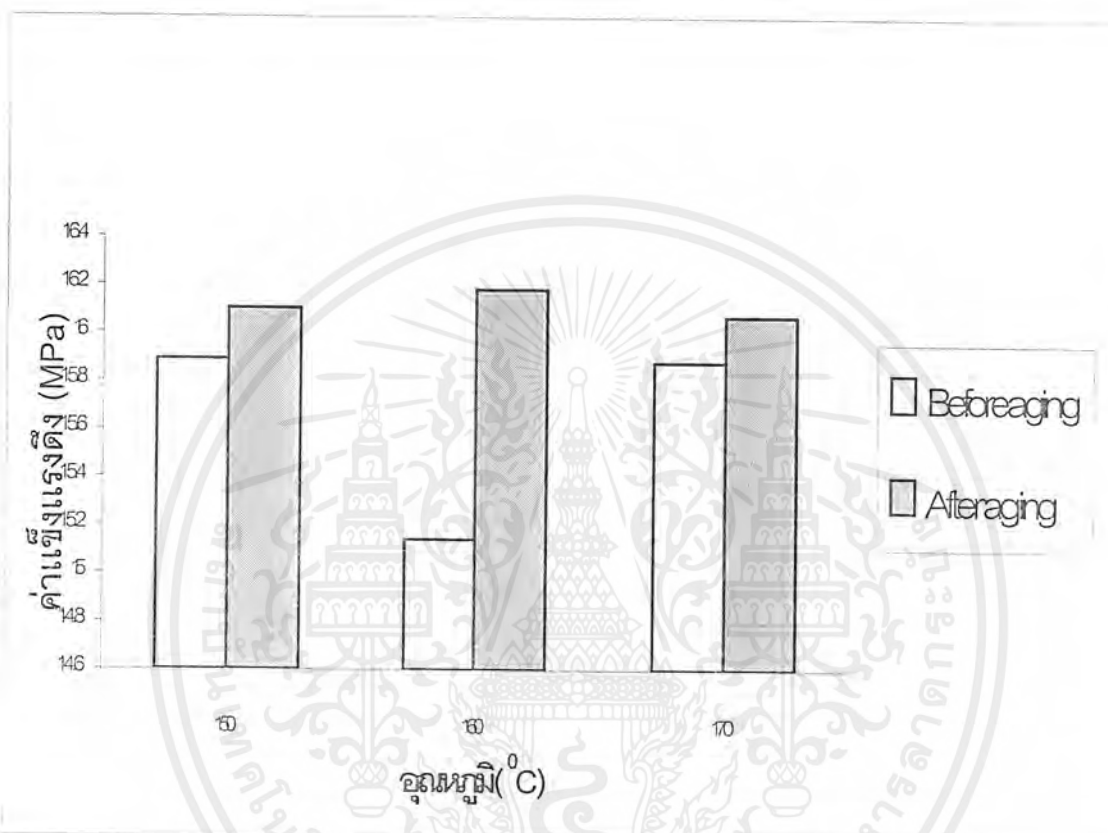
หมายเหตุ ความแข็งใช้ shore A

ตารางที่ 4.2 แสดงผลของการศึกษาอุณหภูมิในการดำเนินกระบวนการทำพีวีซีคอมปาวน์ หลัง Aging

เวลาที่ใช้ในกระบวนการ (min)	อุณหภูมิ (°C)	ความแข็งแรงดึง (Mpa)	เปอร์เซ็นต์การยืดออก (%)	มอดุลัส (Mpa)	ความแข็ง
5	150	16.10	226.4	17.84	81.5
5	160	16.18	227.7	19.22	80.8
5	170	16.07	278.2	18.40	82.5

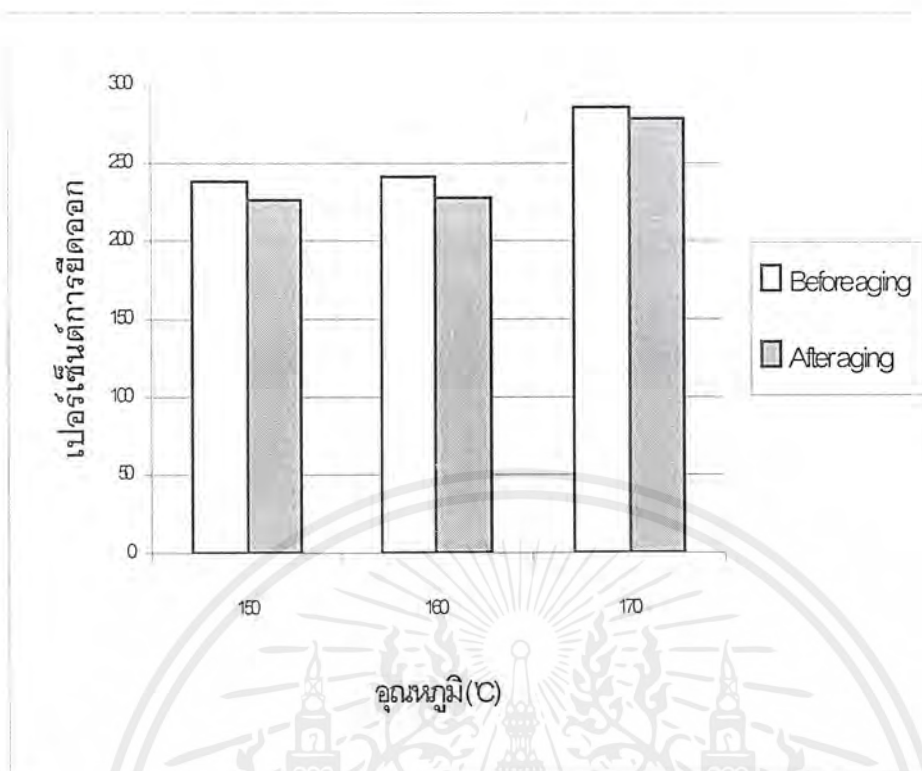
หมายเหตุ ความแข็งใช้ shore A

จากรูปที่ 4.1 พบว่าค่าแรงดึงของพีวีซีคอมปาวนที่อุณหภูมิ 170°C มีค่ามากที่สุดเนื่องมาจากที่อุณหภูมินี้พีวีซีคอมปาวนสามารถหลอมได้ดีมีการแพร่กระจายของสารตัวเติมได้ดีจึงทำให้สมบัติเชิงกลของพีวีซีคอมปาวนดีกว่าที่อุณหภูมิต่ำๆสังเกตได้จากค่าแรงดึงหลังการ Aging แล้ว พบว่ามีค่าเปลี่ยนแปลงน้อยมากเนื่องจากสารตัวเติม (สารเสถียรภาพทางความร้อน) กระจายตัวอย่างทั่วถึง พีวีซีคอมปาวนที่อุณหภูมินี้จึงมีจุดเด่นเรื่องทนความร้อน



รูปที่ 4.1 แสดงค่าความแข็งแรงดึงของพีวีซีคอมปาวนที่อุณหภูมิ 150 160 และ 170 °C ตามลำดับ

จากรูปที่ 4.2 พบว่าที่อุณหภูมิ 170 °C มีค่าเปอร์เซ็นต์การยืดออกมากที่สุด เนื่องจากที่อุณหภูมินี้พีวีซีคอมปาวนมีการหลอมไหลที่ดีทำให้มีการผสมกันระหว่างเรซินพีวีซีกับสารตัวเติม (สารปรับสภาพพลาสติก) ทั่วถึงทำให้พีวีซีคอมปาวนมีสมบัตินิ่มลงเหมือนยางการยืดออกจึงมากที่สุด และหลังจากการทำ Aging พบว่าค่าเปอร์เซ็นต์การยืดออกจะน้อยลงเนื่องจากพีวีซีเป็นพอลิเมอร์ที่ไม่ทนความร้อนจึงเกิดการเสียดสภาพทำให้พีวีซีคอมปาวนเกิดการแข็งตัว ค่าเปอร์เซ็นต์การยืดออกจึงลดน้อยลงกว่าพีวีซีคอมปาวนที่ไม่ผ่านการ Aging



รูปที่ 4.2 แสดงเปอร์เซ็นต์การสกัดออกของฟิเวียคอมปาวนที่อุณหภูมิ 150 160 และ 170°C ตามลำดับ

4.1.1.2 การศึกษาหาเวลาที่เหมาะสมในการทำฟิเวียคอมปาวน

จากตารางที่ 4.3 และ 4.4 พบว่าที่เวลา 7 นาทีฟิเวียคอมปาวนมีสมบัติเชิงกลดีที่สุดเนื่องจากเป็นเวลาที่พอเหมาะสำหรับการกระจายตัวของสารตัวเติม และมีการสลายตัวของฟิเวียคอมปาวนน้อย สำหรับที่เวลา 5 นาทีนั้นสารตัวเติมยังกระจายตัวไม่ดีพอสมบัติเชิงกลจึงไม่ดี ขณะที่เวลา 9 นาทีนั้นจะเกิดการสลายตัวของสายโซ่ฟิเวียทำให้สมบัติเชิงกลไม่ดี ส่วนค่าสมบัติเชิงกลเมื่อผ่านการ Aging นั้นพบว่าที่ 5 นาทีสารเสถียรทางความร้อนยังกระจายตัวไม่ดีทำให้ทนความร้อนไม่ดี ส่วนที่เวลา 7 และ 9 นาทีจะมีการกระจายตัวของสารตัวเติมดีแต่ที่เวลา 9 นาทีจะเกิดการสลายตัวของสายโซ่ฟิเวียได้มากกว่าเนื่องจากอยู่ในความร้อนนานกว่าทำให้สมบัติเชิงกลไม่ดีเท่าที่เวลา 7 นาที

ตารางที่ 4.3 แสดงผลของการศึกษาเวลาในการดำเนินกระบวนการทำพีวีซีคอมปาว์น

อุณหภูมิ ($^{\circ}\text{C}$)	เวลาที่ใช้ใน กระบวนการ (min)	ความแข็งแรง ดึง (MPa)	เปอร์เซ็นต์การ ยืดออก (%)	มอดุลัส (MPa)	ความแข็ง
170	5	14.72	251.7	11.58	78.5
170	7	15.85	309.7	11.02	79.0
170	9	15.07	291.8	10.45	78.5

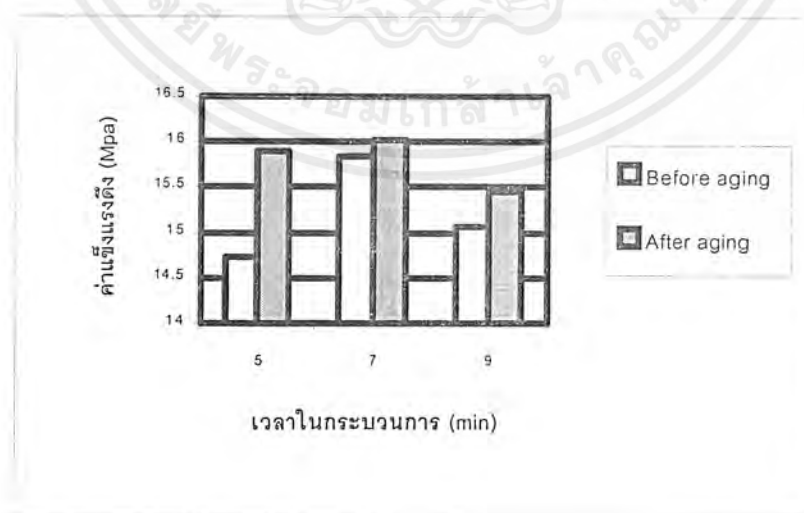
หมายเหตุ ความแข็งใช้shore A

ตารางที่ 4.4 แสดงผลของการศึกษาเวลาในการดำเนินกระบวนการทำพีวีซีคอมปาว์น หลัง Aging

อุณหภูมิ ($^{\circ}\text{C}$)	เวลาที่ใช้ใน กระบวนการ (min)	ความแข็งแรง ดึง (MPa)	เปอร์เซ็นต์การ ยืดออก (%)	มอดุลัส (MPa)	ความแข็ง
170	5	15.89	246.4	17.03	82.00
170	7	16.03	276.3	14.59	80.67
170	9	15.45	266.9	14.31	79.67

หมายเหตุ ความแข็งใช้shore A

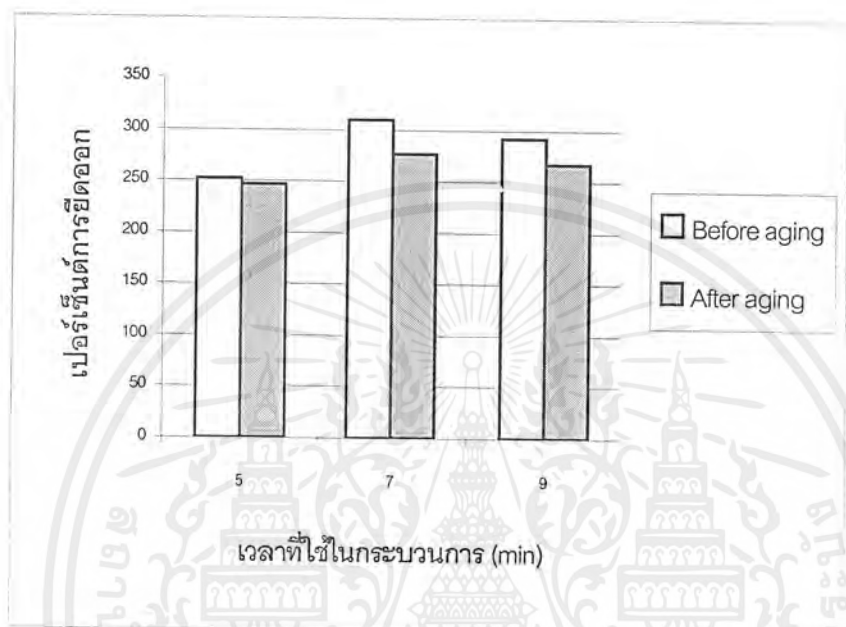
จากรูปที่ 4.3 พบว่าที่เวลาในกระบวนการผลิตพีวีซีคอมปาว์น 7 นาทีที่มีค่าความแข็งแรงดึงมากที่สุดเนื่องจากที่เวลา 7 นาทีนี้เป็นช่วงเวลาที่พอเหมาะสำหรับการกระจายตัวของสารตัวเติมได้ทั่วถึงสามารถผสมกันได้ดีสมบัติเชิงกลจึงมากกว่าที่เวลาอื่นๆ



รูปที่ 4.3 แสดงความแข็งแรงดึงของพีวีซีคอมปาว์นที่เวลา 5 7 และ 9 นาทีตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.4 พบว่าค่าเปอร์เซ็นต์การยืดออกของพีวีซีคอมปาวด์ที่เวลา 7 นาทีมีค่ามากที่สุด เนื่องจากเป็นช่วงเวลาที่สารตัวเติม (สารปรับสภาพพลาสติก) สามารถผสมเข้ากันได้ทั่วถึงพีวีซีจึงมีความอ่อนนุ่ม ค่าเปอร์เซ็นต์การยืดออกจึงมากด้วย และพบว่าพีวีซีคอมปาวด์ที่เวลา 7 นาทีนี้สามารถทนความร้อนได้ดีอีกด้วยทั้งนี้เนื่องจากสารตัวเติม (สารเสถียรภาพทางความร้อน) กระจายตัวได้ดี



รูปที่ 4.4 แสดงเปอร์เซ็นต์การยืดออกของพีวีซีคอมปาวด์ที่เวลาในกระบวนการเป็น 5 7 และ 9 นาทีตามลำดับ

4.1.2 การศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการผสมพีวีซีคอมปาวนกับพอลิโพลีเอทิลีน

4.1.2.1 การศึกษาหาอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการผสมพีวีซีคอมปาวนกับพอลิโพลีเอทิลีน

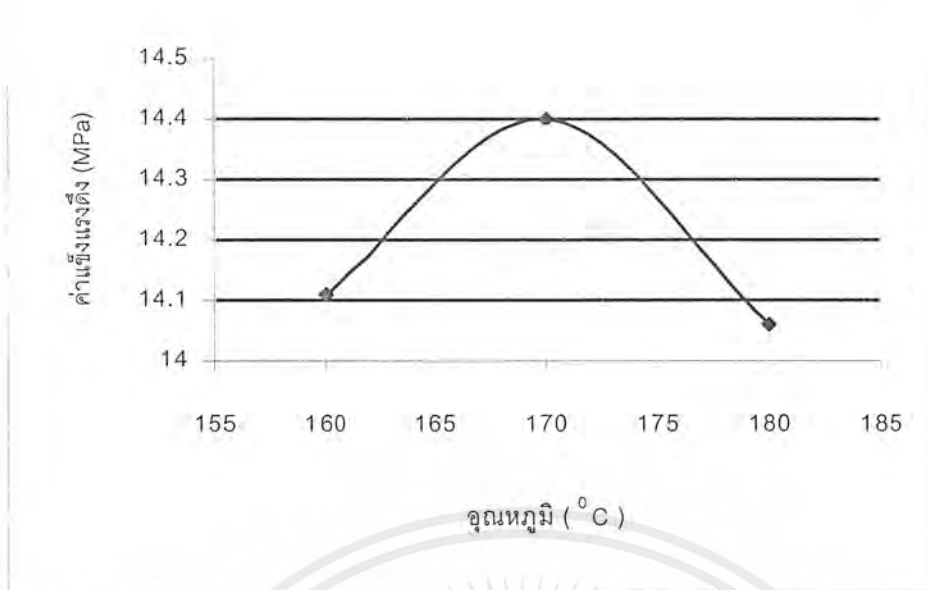
จากตารางที่ 4.5 พบว่าเมื่อทำการผสมพีวีซีคอมปาวนกับพอลิโพลีเอทิลีนที่อุณหภูมิที่ 170 °C จะมีสมบัติเชิงกลดีที่สุด เนื่องจากที่อุณหภูมิ 160 °C การหลอมเหลวและการไหลของพีวีซีคอมปาวนไม่ดีทำให้พีวีซีคอมปาวนกับพอลิโพลีเอทิลีนไม่สามารถเข้ากันได้ ในขณะที่อุณหภูมิ 180 °C นั้นเกิดการสลายตัวของสายโซ่พีวีซีทำให้สมบัติเชิงกลที่ได้ต่ำกว่าที่อุณหภูมิ 170 °C ซึ่งมีการหลอมที่ดีและเกิดการเสียสภาพของสายโซ่พีวีซีน้อยกว่า

ตารางที่ 4.5 แสดงผลของการศึกษาอุณหภูมิในกระบวนการผสมพีวีซีคอมปาวนกับพอลิโพลีเอทิลีน

ความเร็ว สกรู (rpm)	อุณหภูมิ (°C)	ความแข็งแรงดึง (MPa)	เปอร์เซ็นต์ การยืดออก (%)	มอดุลัส (MPa)	ความแข็ง	ความแข็ง แรงโค้งงอ (MPa)	ความทน ทานต่อ แรง กระแทก (kJ/m ²)
10	160	14.11	14.19	195.5	50.00	21.87	5.6
10	170	14.40	17.28	273.9	49.66	20.22	5.6
10	180	14.06	15.89	316.9	50.33	20.27	5.6

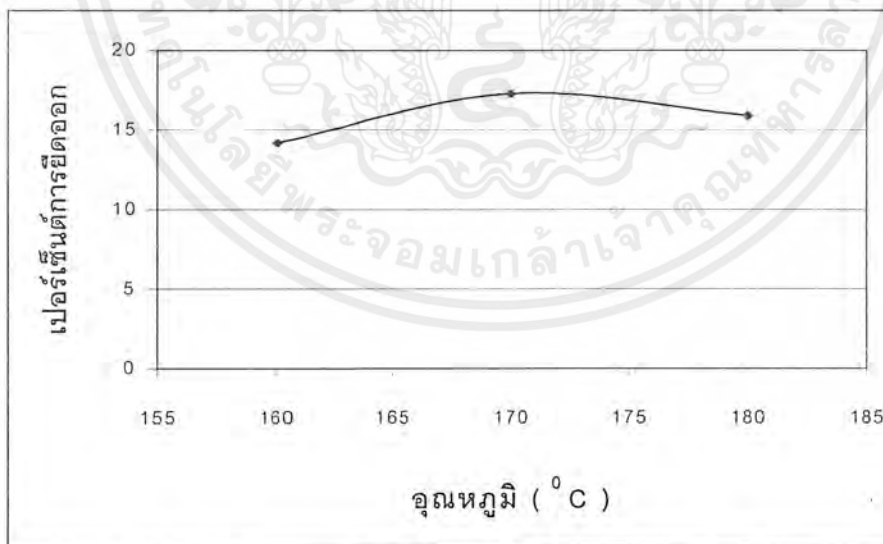
หมายเหตุ ค่าความแข็งใช้ shore A วัด

จากรูปที่ 4.5 พบว่าค่าแข็งแรงดึงของพอลิเมอร์ผสมที่อุณหภูมิ 170 °C ดีที่สุดเนื่องจากที่อุณหภูมิ 160 °C นั้นพีวีซีมีการหลอมไหลไม่ดีประกอบกับที่อุณหภูมิต่ำๆพอลิโพลีเอทิลีนไม่สามารถหลอมตัวผสมรวมกับพีวีซีได้ค่าแข็งแรงดึงจึงต่ำๆ ขณะที่อุณหภูมิสูงๆพบว่าพีวีซีคอมปาวนสามารถเกิดการเชื่อมสภาพได้ทำให้ค่าแข็งแรงดึงที่ได้มีค่าน้อยกว่าที่ 170 °C



รูปที่ 4.5 แสดงค่าแรงดึงของพีวีซีคอมปาว์ผสมพอลิโอดีฟีนส์ที่อุณหภูมิ 160 170 และ 180°C ตามลำดับ

จากรูปที่ 4.6 พบว่าที่อุณหภูมิ 160 °C มีค่าเปอร์เซ็นต์การยืดออกน้อย เนื่องจากพอลิโอดีฟีนส์ยังไม่เกิดการหลอมการผสมกันของพอลิเมอร์ผสมจึง มีค่าเปอร์เซ็นต์การยืดออกจึงน้อย ในขณะที่อุณหภูมิ 180 °C จะมีค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัวที่น้อยกว่า 170 °C เพราะที่อุณหภูมิ 180 °C นั้นพีวีซีคอมปาว์บางส่วนเกิดการเสียสภาพไปแล้วค่าเปอร์เซ็นต์การยืดออกจึงน้อยกว่าที่ 170 °C



รูปที่ 4.6 แสดงเปอร์เซ็นต์การยืดออกของพีวีซีคอมปาว์ผสมพอลิโอดีฟีนส์ที่อุณหภูมิ 160 170 และ 180°C ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

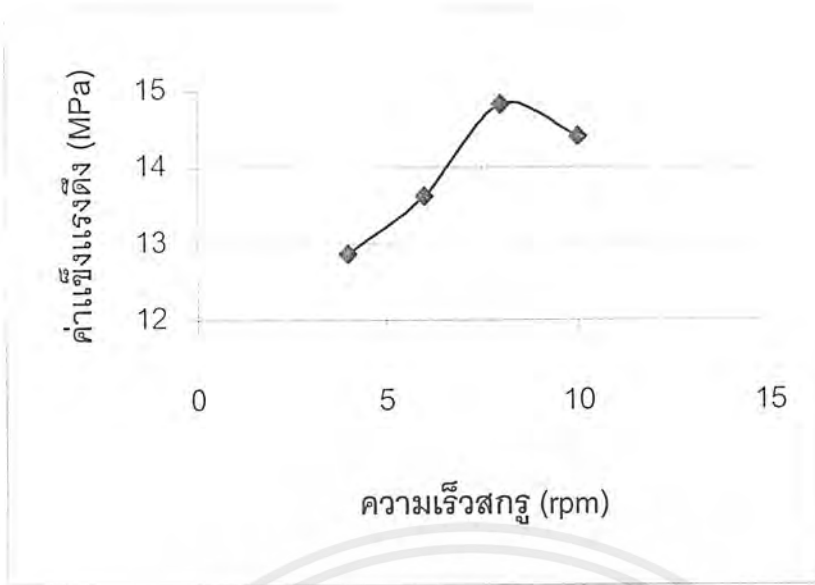
4.1.2.2 การศึกษาหาความเร็วของสกรูที่เหมาะสมสำหรับการผสมพีวีซีคอมปาว์นกับพอลิโพลีเอทิลีน

จากตารางที่ 4.6 เมื่อเปรียบเทียบความเร็วรอบพบว่าความเร็วรอบที่เหมาะสมสำหรับการทำพอลิเมอร์ผสมคือที่ความเร็วรอบ 8 rpm เนื่องจากที่ 4 และ 6 rpm จะมีความเร็วรอบต่ำจะทำให้พอลิเมอร์ผสมอยู่ในเครื่องผสมนานทำให้พีวีซีมีโอกาสเสียสภาพได้ค่าสมบัติเชิงกลจึงต่ำ แต่ในขณะที่ความเร็วรอบสูงๆ จะทำให้พอลิเมอร์ผสมมีเวลาในการผสมกันน้อยทำให้พอลิเมอร์ผสมไม่สามารถเข้ากันได้ค่าสมบัติเชิงกลจึงต่ำกว่าที่ความเร็วรอบ 8 rpm

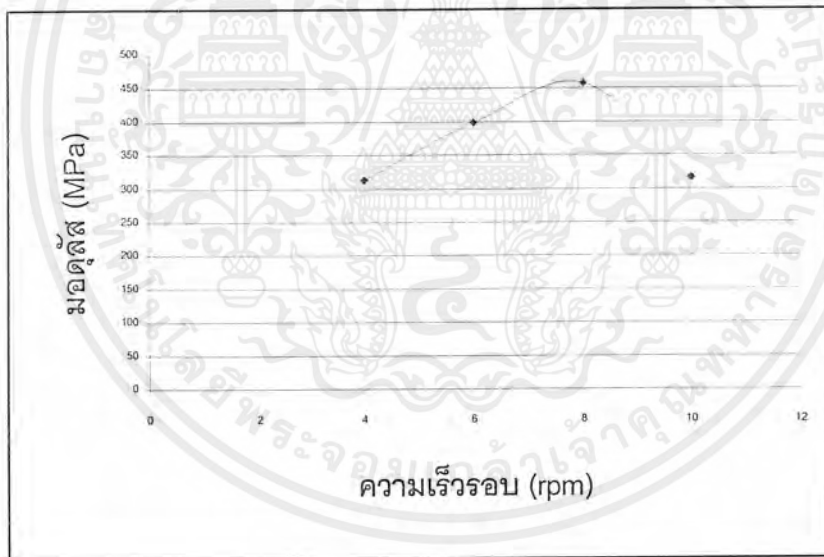
ตารางที่ 4.6 แสดงผลของการศึกษาความเร็วรอบในกระบวนการผสมพีวีซีคอมปาว์นกับพอลิโพลีเอทิลีน

ความเร็ว สกรู (rpm)	อุณหภูมิ (°C)	ความแข็งแรงดึง (MPa)	เปอร์เซ็นต์ การยืดออก (%)	มอดุลัส (MPa)	ความแข็งแรงโค้งงอ (MPa)	ความแข็งแรง แรง กระแทก (kJ/m ²)
4	170	12.87	25.46	312.8	50.33	5.8
6	170	13.62	26.35	398.5	49.00	7.2
8	170	14.82	26.04	457.7	45.66	7.4
10	170	14.40	17.28	316.9	49.66	5.6

จากรูปที่ 4.7 4.8 และ 4.9 พบว่าที่ความเร็วสกรู 8 rpm จะให้ค่าแข็งแรงดึง ค่ามอดุลัส และค่าการทนทานต่อแรงกระแทกที่ดีที่สุด โดยที่ความเร็วสกรู 4 และ 6 rpm จะให้ค่าสมบัติเชิงกลที่ไม่ดีเนื่องจากพอลิเมอร์จะอยู่ในสกรูนานทำให้เกิดการเสียสภาพได้ ส่วนที่ความเร็วสกรู 9 rpm พบว่ามีค่าสมบัติเชิงกลที่ไม่ดีเช่นกันเนื่องจากพอลิเมอร์มีเวลาในการผสมเข้ากันน้อยทำให้ผสมไม่เข้ากันสมบัติเชิงกลจึงไม่ดีด้วย

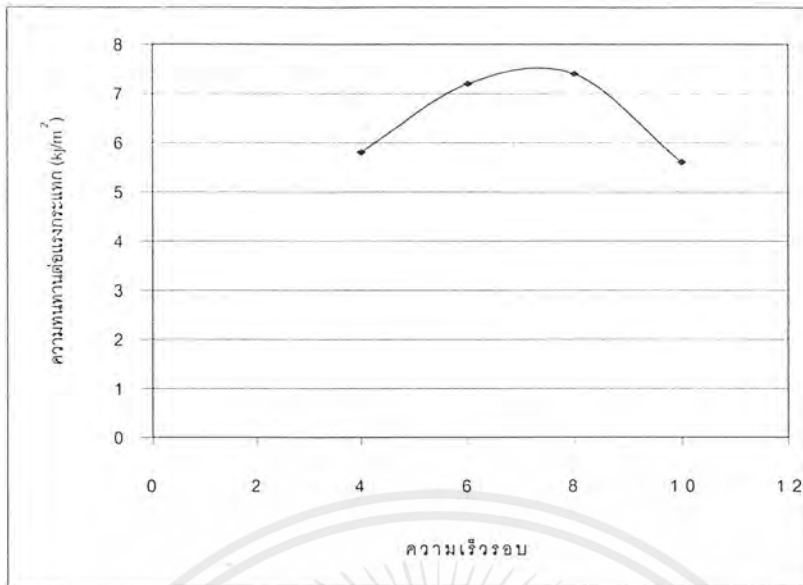


รูปที่ 4.7 แสดงความแข็งแรงดึงของพีวีซีคอมปาวด์ผสมกับพอลิโเอเลฟินส์ที่ความเร็วสกรู 4 6 8 และ 10 rpm ตามลำดับ

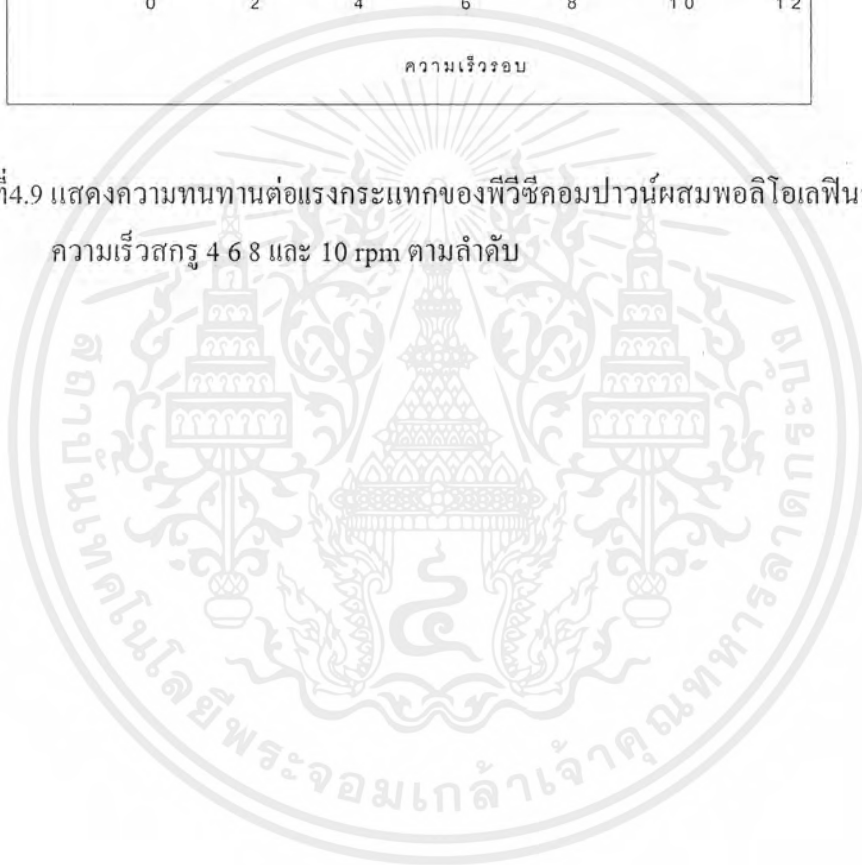


รูปที่ 4.8 แสดงค่าแรงดึงของพีวีซีคอมปาวด์ผสมพอลิโเอเลฟินส์ที่ความเร็วสกรู 4 6 8 และ 10 rpm ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.9 แสดงความหนาแน่นต่อแรงกระทำของพีวีซีคอมปาว์นผสมพอลิโอดีฟินส์ที่ความเร็วสกรู 4 6 8 และ 10 rpm ตามลำดับ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

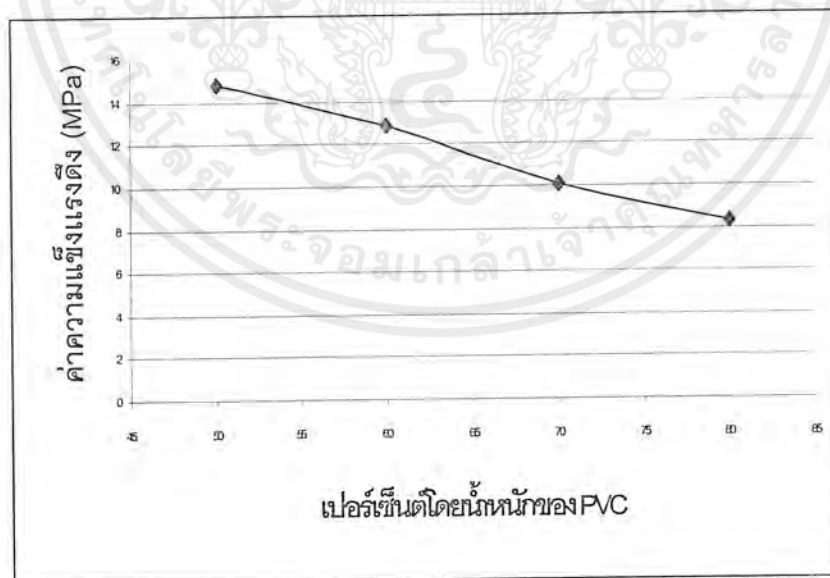
4.1.3 การศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผสมพีวีซีคอมปาว์นกับพอลิโเอเลฟินส์

จากตารางที่ 4.7 รูปที่ 4.10 และรูปที่ 4.11 เมื่อทำการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนของพีวีซีและพอลิโเอเลฟินส์พบว่าที่อัตราส่วน 60:40 จะมีสมบัติเชิงกลที่ดีเนื่องจากที่อัตราส่วน 60:40 จะมีปริมาณของพอลิโเอเลฟินส์มากพอที่จะเกิดผลึกและแสดงสมบัติของพอลิโเอเลฟินส์ แต่ที่อัตราส่วนอื่นๆนั้นมีปริมาณของพอลิโเอเลฟินส์ต่ำไปจึงไม่สามารถจัดเรียงตัวกันเป็นผลึก สมบัติที่ได้จึงไม่ดีพอ

ตารางที่ 4.7 แสดงผลของการศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของพีวีซีคอมปาว์นและพอลิโเอเลฟินส์

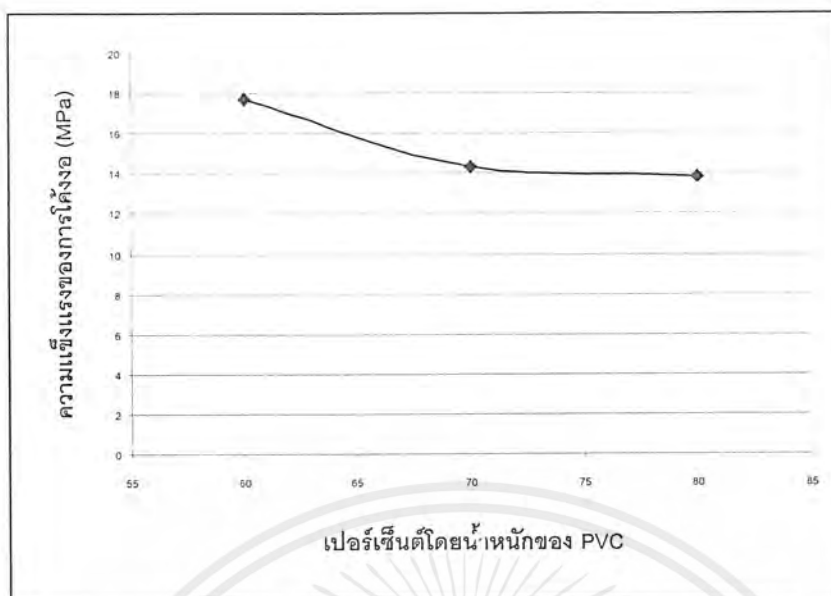
อัตราส่วนระหว่าง PVC:PO	ความแข็งแรงดึง (MPa)	เปอร์เซ็นต์การยืดออก (%)	มอดุลัส (MPa)	ความแข็ง	ความแข็งแรงของการโค้งงอ (MPa)	ความทนทานต่อแรงกระแทก (kJ/m ²)	ความคงทนต่อแรงขีดถู
50:50	14.82	26.04	457.7	45.6	23.62	5.8	0.0219
60:40	12.90	36.34	187.1	42.5	17.72	5.0	0.0238
70:30	10.09	41.10	104.4	39.5	14.32	7.3	0.0269
80:20	8.269	44.43	72.47	36.7	13.82	11.6	0.0206

หมายเหตุ ความแข็งวัดโดยใช้ Shore D



รูปที่ 4.10 แสดงค่าความแข็งแรงดึงของพีวีซีคอมปาว์นผสมพอลิโเอเลฟินส์ที่อัตราส่วนระหว่าง PVC:PO เท่ากับ 50:50 60:40 70:30 และ 80:20 ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



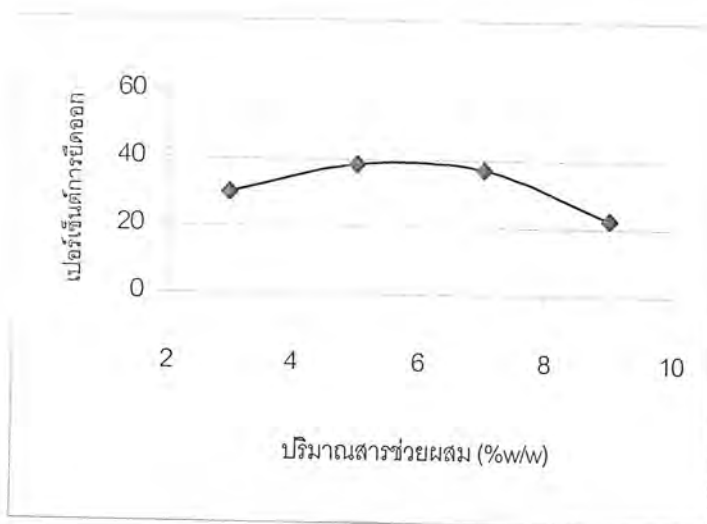
รูปที่ 4.11 แสดงค่าความแข็งแรงของการโค้งงอของพอลิเมอร์ผสมพีวีซีกับพอลิโอเลฟินส์ที่อัตราส่วนระหว่าง PVC:PO เท่ากับ 50:50 60:40 70:30 และ 80:20 ตามลำดับ

4.1.4 การศึกษาหาปริมาณสารช่วยผสมที่เหมาะสมในการผสมพีวีซีคอมปาว์นกับพอลิโอฟีนีส จากตารางที่ 4.8 เมื่อทำการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารช่วยผสม พบว่าที่ปริมาณสารช่วยผสม 5 % จะมีสมบัติเชิงกลดีที่สุดเนื่องจากมีปริมาณสารช่วยผสมที่มากพอทำให้เกิดแรงยึดเหนี่ยวระหว่างผิวของพีวีซีและพอลิโอฟีนีสมาก ทำให้สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมที่ 5 % ดีที่สุด ตารางที่ 4.8 แสดงผลของการศึกษาปริมาณของสารช่วยผสมในกระบวนการผสมพีวีซีคอมปาว์น และพอลิโอฟีนีส

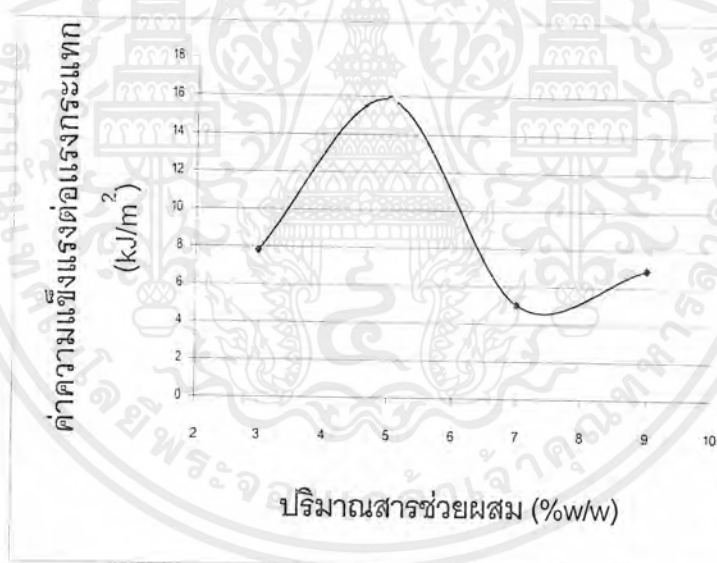
ปริมาณของสารช่วยผสม (%w/w)	ความแข็งแรงดึง (MPa)	เปอร์เซ็นต์การยืดออก (%)	มอดุลัส (MPa)	ความแข็งแรงของ การโค้งงอ (MPa)	ความทนทานต่อแรงกระแทก (kJ/m ²)	ความทนทานต่อแรงขีดฉีก	
3	11.62	29.83	251.1	44.0	19.75	7.82	0.0208
5	13.51	38.49	244.1	47.0	19.67	15.82	0.0122
7	12.90	36.90	187.1	47.5	17.72	5.0	0.0238
9	13.41	22.61	317.0	47.8	19.26	6.90	0.0173

หมายเหตุ ค่าความแข็งแรงใช้ shore D วัด

จากรูปที่ 4.12 4.13 และ 4.14 พบว่าที่ปริมาณสารช่วยผสม 5% มีความเหมาะสมที่สุดในการผสมพอลิเมอร์ผสมเนื่องจากที่ปริมาณสารช่วยผสม 5% มีปริมาณสารช่วยผสมที่มากพอสำหรับการผสมพีวีซีคอมปาว์นและพอลิโอฟีนีส สารช่วยผสมไปเพิ่มแรงยึดเหนี่ยวระหว่างผิวของพีวีซีและพอลิโอฟีนีสทำให้พอลิเมอร์ผสมมีค่าความทนทานต่อแรงกระแทก ค่าแข็งแรงดึง และค่าเปอร์เซ็นต์การยืดออกที่ดี นอกจากนี้จะพบว่าที่ปริมาณสารช่วยผสม 3 % สมบัติเชิงกลจะไม่ดีเนื่องจากมีปริมาณสารช่วยผสมน้อยเกินไปสารช่วยผสมจึงไม่กระจายตัวไปอย่างทั่วถึงค่าสมบัติเชิงกลจึงไม่ดีส่วนที่ปริมาณสารช่วยผสม 7 และ 9 % พบว่ามีค่าสมบัติเชิงกลไม่ดีเช่นกันทั้งนี้เพราะปริมาณสารช่วยผสมมีมากเกินไปจึงไปขัดขวางการรวมกันของสายโซ่พอลิเมอร์นั่นเอง

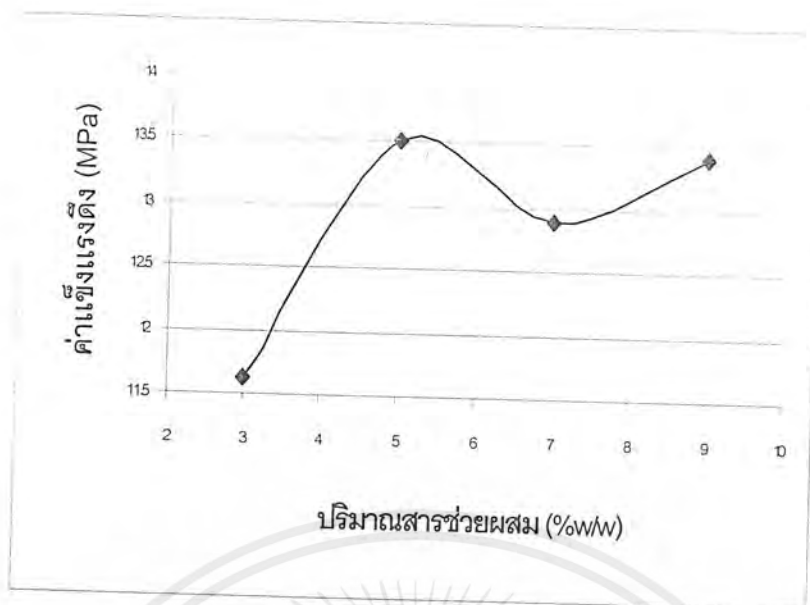


รูปที่ 4.12 แสดงเปอร์เซ็นต์การยืดออกของพีวีซีคอมปาว์ผสมพอลิโอเลฟินส์ที่ปริมาณสารช่วยผสม 3 5 7 และ 9% ตามลำดับ



รูปที่ 4.13 แสดงความแข็งแรงต่อแรงกระแทกของพีวีซีคอมปาว์ผสมพอลิโอเลฟินส์ที่ปริมาณสารช่วยผสม 3 5 7 และ 9% ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.14 แสดงค่าแรงดึงของพีวีซีคอมปาว์ผสมพอลิโলেฟินส์ที่ปริมาณสารช่วยผสม 3 5 7 และ 9 % ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.5 การศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่าง DOP และ Cereclor ในกระบวนการผสมพีวีซี

คอมปาวนกับพอลิโพลีเอทิลีน

จากตารางที่ 4.9 พบว่าเมื่อทำการผสม DOP:Cereclor ที่อัตราส่วน 1:1 นั้นจะได้สมบัติเชิงกลที่ดีที่สุดเนื่องจาก Cereclor เป็น Secondary Plasticiser มีโครงสร้างเป็นเส้นตรงทำให้สมบัติเชิงกลไม่ดีเท่า DOP ซึ่งเป็น Primary Plasticiser และมีโครงสร้างเป็นวงแข็ง เมื่อเติม Cereclor ลงไปมากจะทำให้สมบัติเชิงกลด้อยลง แต่ถ้าเติม Cereclor ลงไปในปริมาณที่เหมาะสมจะทำให้พอลิเมอร์ผสมมีสมบัติเชิงกลที่ดีเนื่องจาก Cereclor มีโครงสร้างเป็นเส้นตรงพอลิเมอร์ผสมจึงมีสมบัติเชิงกลที่ดีกว่า และยังเป็น การประหยัดต้นทุนไปอีกด้วย

ตารางที่ 4.9 แสดงผลของการศึกษาอัตราส่วนระหว่าง DOP กับ Cereclor ในกระบวนการผสมพีวีซีคอมปาวนและพอลิโพลีเอทิลีน

อัตราส่วนผสม ของ DOP:Cereclor (%w/w)	ความ แข็งแรง ดึง (MPa)	เปอร์เซ็นต์ การยืด ออก (%)	มอดุลัส (MPa)	ความ แข็ง	ความ แรงโค้งงอ (MPa)	ความทน ทานต่อ แรง กระแทก (kJ/m ²)	ความคง ทนต่อแรง ขัดถู
0:70	14.10	28.88	262.2	46.0	17.86	13.90	0.0244
20:50	12.13	32.24	267.9	44.0	18.20	8.30	0.0130
35:35	13.51	38.49	244.1	47.0	19.67	15.82	0.0122
50:20	11.74	49.23	207.5	43.0	15.05	9.20	0.0044
70:0	11.31	61.39	190.0	41.0	16.22	9.10	0.0053

4.2 ผลการศึกษาสมบัติทางความร้อน

จากตารางที่ 4.10 และ 4.11 พบว่าพอลิเมอร์ผสมที่ใส่สารช่วยผสม 5 % จะให้ค่าเปอร์เซ็นต์การตกผลึกมากที่สุด เนื่องจากสารช่วยผสม 5 % มีปริมาณมากเกินไปที่จะกระจายตัวได้อย่างทั่วถึง ทำให้สารช่วยผสมไปช่วยไปช่วยเพิ่มแรงยึดเหนี่ยวระหว่างพื้นผิวพีวีซีกับพื้นผิวพอลิโอเลฟินส์ ความแข็งแรงจึงเพิ่มขึ้นด้วย

ตารางที่ 4.10 แสดงผลการทดสอบทางความร้อนของพอลิเมอร์บริสุทธิ์และสารช่วยผสม [14]

สูตร	PP	HDPE	LDPE	PO	PVC	Polybond 1009
$T_m (^{\circ}\text{C})$	172.7	144.9	115.0	121.7 146.9 175.1	ไม่เกิดฟีก	147.3
$H_f (\text{j/g})$	-69.309	-150.826	-12.955	-9.968 -203.385 -40.868	ไม่เกิดฟีก	-801.762
$T_c (^{\circ}\text{C})$	115.9	119.6	ไม่เกิดฟีก	119.0	ไม่เกิดฟีก	118.6
$H_c (\text{j/g})$	82.552	161.014	ไม่เกิดฟีก	580.705	ไม่เกิดฟีก	803.728

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.11 แสดงผลการศึกษาสสมบัติทางความร้อนของพอลิเมอร์ผสมด้วยเครื่อง DSC

ปริมาณสาร ช่วยผสม (%w/w)	สูตร	$T_m(^{\circ}C)$	$H_f(j/g)$	$T_c(^{\circ}C)$	$H_c(j/g)$
3	PP	165.0	-13.240	110.9	3.843
	HDPE	139.5	-70.339	116.9	14.508
	LDPE	114.5	-7.221	-	-
5	PP	168.0	-25.968	111.0	6.060
	HDPE	142.9	-97.267	117.5	16.752
	LDPE	115.3	-12.955	-	-
7	PP	168.5	-23.883	111.4	2.825
	HDPE	139.5	-104.413	117.3	13.297
	LDPE	111.6	-10.459	-	-
9	PP	167.6	-21.935	110.5	4.133
	HDPE	139.6	-95.194	117.0	11.813
	LDPE	115.0	-10.398	-	-

หมายเหตุ เครื่องหมาย - คือไม่เกิดพีค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

1. การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในกระบวนการทำพีวีซีคอมปาว์นพบว่าที่ 170°C ดีที่สุด เนื่องจากการกระจายตัวได้ดีเพราะ PVC เกิดการไหลได้ง่าย แต่ที่อุณหภูมิต่ำกว่านี้การกระจายตัวของสารตัวเติมใน PVC ไม่ดีเพราะไหลได้ยากโดยพิจารณาได้จากสมบัติเชิงกลที่ได้ ส่วนเวลาที่ 7 นาทีดีที่สุดเพราะเป็นช่วงที่มีการผสมระหว่างสารตัวเติมทำให้เกิดการกระจายตัวได้ดี ถ้าเวลาน้อยกว่านี้ พบว่าการกระจายตัวยังไม่สมบูรณ์ ทำให้สมบัติเชิงกลลดลง การทำ Aging พบว่าที่ 170°C นั้นเป็นอุณหภูมิที่ดีที่สุด เนื่องจากสมบัติเชิงกลเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุด เนื่องจากสารที่มีเสถียรภาพทางความร้อนกระจายตัวอยู่ใน PVC มากทำให้ทนความร้อนได้ดี ที่เวลา 7 นาทีเช่นเดียวกัน

2. การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผสมพีวีซีคอมปาว์นกับพอลิโพลีเอทิลีนพบว่าที่ 170°C ดีที่สุดเนื่องจากเป็นอุณหภูมิที่เกิดการไหลได้ง่ายทำให้เกิดการผสมได้ดีพิจารณาได้จากสมบัติเชิงกลที่ดีที่สุด ถ้าอุณหภูมิต่ำกว่านี้จะทำให้เกิดการไหลได้ยากขึ้นการผสมไม่ดี ทำให้ได้จากสมบัติเชิงกลลดลง เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นทำให้เกิดการสลายตัวของ PVC สมบัติเชิงกลลดลง เมื่อเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบในการผสม พบว่าที่ 8 rpm ดีที่สุดเพราะเกิดแรงเฉือนดีและเวลาผสมที่เหมาะสมถ้ารอบต่ำกว่านี้พบว่าแรงเฉือนต่ำสมบัติเชิงกลลดลง และถ้ารอบมากเกินไปทำให้เวลาในการผสมต่ำสมบัติเชิงกลลดลงเช่นกัน

3. การศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างพีวีซีคอมปาว์นกับพอลิโพลีเอทิลีนในการทำพอลิเมอร์ผสมพบว่าที่ 60:40 ให้สมบัติเชิงกลดีที่สุดเนื่องจาก PO มีปริมาณมากพอที่จะรวมตัวเพื่อจะเกิดผลึกและทำการรับแรงได้ ถ้าต่ำกว่านี้ PO จะไม่รวมตัวเพื่อจะเกิดผลึกเพราะปริมาณสารน้อยเกินไปทำให้ค่าสมบัติเชิงกลลดลง

4. การศึกษาปริมาณสารช่วยผสมที่เหมาะสมในการผสมพีวีซีคอมปาว์นกับพอลิโพลีเอทิลีนในการทำพอลิเมอร์ผสมพบว่าที่ปริมาณ 5% เหมาะสมที่สุด ถ้ามากกว่านี้สมบัติเชิงกลเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ส่วนที่ 3% ปริมาณสารน้อยเกินไปทำให้มีการผสมเข้ากันได้เล็กน้อยและสมบัติเชิงกลลดลง

5. การศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่าง DOP:Cereclor ในการผสมพีวีซีคอมปาว์นกับพอลิโพลีเอทิลีนในการทำพอลิเมอร์ผสมพบว่าปริมาณที่ดีที่สุดคือ 1:1 ดีที่สุดเนื่องจากปริมาณ Cereclor มากไปจะไม่ไปขัดขวางการทำงานของ DOP เพราะ Cereclor เป็นเพียง สารปรับสภาพพลาสติกชนิดทุติยภูมิ เมื่อผสมแล้วมีสมบัติเชิงกลไม่ดีเท่า DOP ที่เป็นสารปรับสภาพพลาสติกชนิดปฐมภูมิ โดยโครงสร้าง ของ Cereclor เป็นเส้นตรงทำให้อัดพันระโยโครเจนน้อยลงสมบัติเชิงกลจึง

ไม่ตีเท่า DOP ที่มีโครงสร้างเป็นวงที่แข็งช่วยลดพันธะไฮโดรเจนได้มากกว่า แต่ที่ปริมาณ 1:1 นั้น DOP ยังทำหน้าที่ได้เต็มที่อยู่จึงเป็นผลให้พอลิเมอร์ผสมที่ได้มีสมบัติเชิงกลดีที่สุด

6. การศึกษาสมบัติทางความร้อนของพอลิเมอร์ผสมพบว่าที่ปริมาณสารช่วยผสม 5 % พอลิเมอร์ผสมจะมีค่าเปอร์เซ็นต์การตกผลึกมากที่สุดเนื่องจากที่ 5 % นั้นมีปริมาณสารช่วยผสมมากพอสำหรับการกระจายตัวในพอลิเมอร์ผสมได้อย่างทั่วถึง และยังพบว่าที่ปริมาณสารช่วยผสม 5 % ทำให้ค่าอุณหภูมิการหลอมมากที่สุดเนื่องจากการเข้ากันได้ดีระหว่างพอลิเมอร์ผสม

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรศึกษาเปรียบเทียบสารตัวเติมชนิดอื่นๆ ที่มีผลต่อพอลิเมอร์ผสมเพื่อให้ได้สมบัติเชิงกลที่ดีกว่า
2. พีวีซีเป็นพอลิเมอร์ที่ไม่เสถียรต่อความร้อนจึงควรใช้เครื่องมือที่มีการควบคุมอุณหภูมิที่ดีจึงจะได้ค่าสมบัติเชิงกล และสมบัติทางความร้อนที่แน่นอน ไม่เกิดการเสียสภาพ
3. ควรศึกษาการทำพอลิเมอร์ผสมที่อัตราส่วนของ PP:HDPE:LDPE อื่นๆด้วย



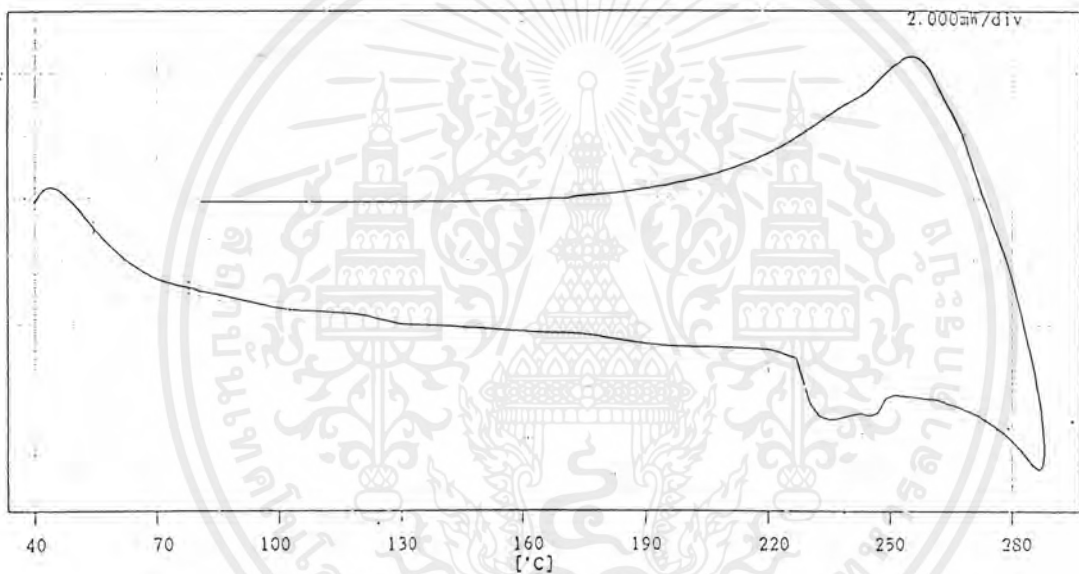
เอกสารอ้างอิง

1. Miki , Y.; Nakanishi , Y.; Takaki , A.; and Yamazaki , K.; “ Study of the Characteristic of Cellular PVC and a Suitable Processing Aid”. 57th Annual Technical Conference, New york , 1999.
2. Kr Auskopf, G.L.; “ Plasticizer Factor Influencing take-up by PVC Resins”.57th Annual Technical Conference, New york , 1999.
3. Cadogan , D.F, “ Plasticizer: A Consideration of Their Impact on Melt and the Enviroment” *J.Vinyl.Tech.* 1991,13,104-108.
4. Lutz, J.T., “ Impact Modifiers for PVC ” . *J.Vinyl.Tech.*1993,15,82-98.
5. กาญจนา ดอกนุก และ อนวัช คุรงค์กัณินท์ “การจำแนกลักษณะผลของสารเติมแต่งที่มีต่อพอลิโอลิฟินส์และโพลีพอลิสไตรีนที่ใช่แล้ว” โครงการพิเศษหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปีการศึกษา 2541
6. กมล รัตนะนาม “การใช้ประโยชน์จากเคลือบเชื่อมคาร์บอนเป็นสารตัวเติมในพลาสติกไซค์พอลิไวนิลคลอไรด์” โครงการพิเศษหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปีการศึกษา 2533
7. ดร.สมศักดิ์ วรมงคลชัย ณิชฐิรี ศรีสิทธิพันธุ์กุล และ สุชีวัน สงกะมิลินท์ “ การจำแนกลักษณะของการผสมเข้ากันได้ของ โพลีน-6 อะคริโตนไตรล บิวทาไดอีนสไตรีน และพอลิโอลิฟินส์ที่ใช่แล้ว” โครงการพิเศษหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปีการศึกษา 2541
8. เอกสารรายละเอียดเกี่ยวกับ Cereclor ของบริษัท ICI
9. Dagli, S.; Xanthos, M.;and Biesenberger, J.A.; "Emerging Technologies in Plastics Recycle".1992,241-256.
10. Lee, J.D.;Yang, S.M., *Polym.Eng.Sci.*1995,35(23), 1821-1832.
11. Sathe, S.N.;Rao, K.V.; *J.Appl.Polym.Sci.*,1996,60,579-590.
12. RunLing, B.;whrite, J.L.;Spruiell, J.E.;and Goswani, B.C.; *J.Appl.PolymSci.*,1983,28, 2011-2032.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

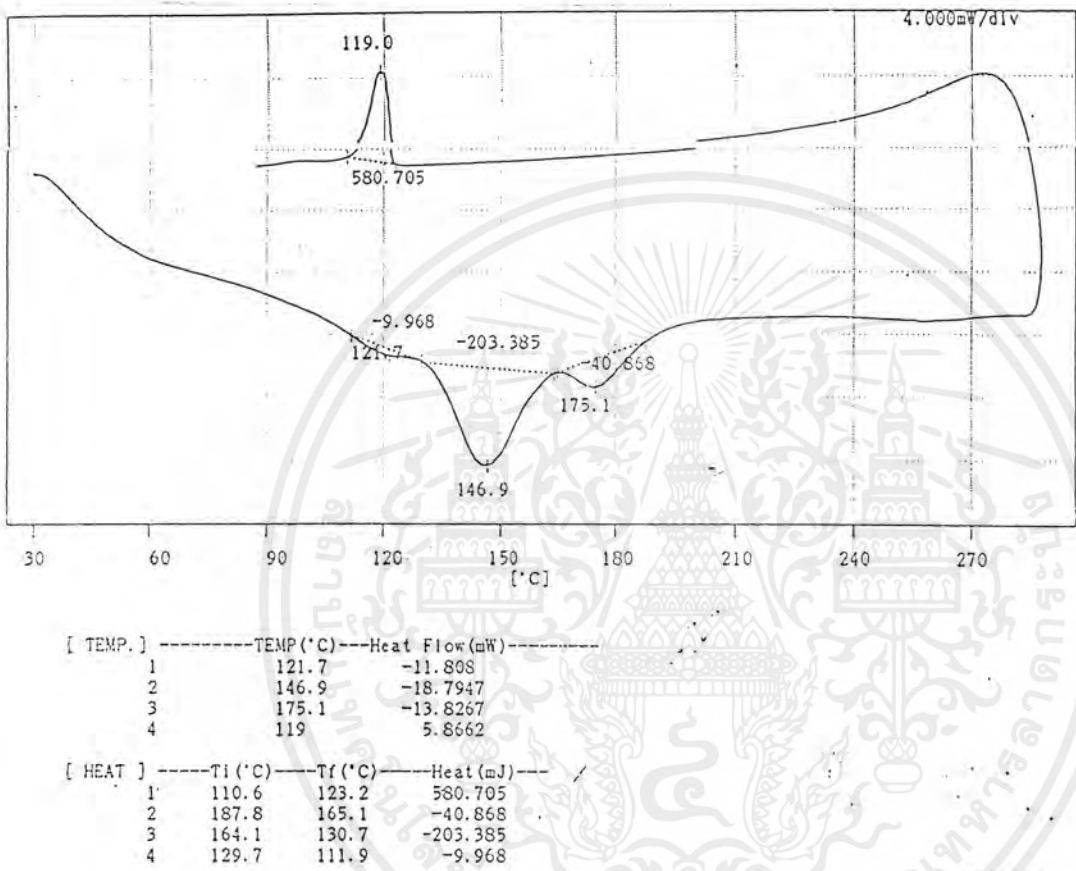
ภาคผนวก ก.

COMMENT : 2: -30 40 0 0 0
 SAMPLE Q'TITY: 9.3 mg 3: 0 0 0 0 0
 MODULE TYPE : DSC 4: 0 0 0 0 0
 SAMPLING INT.: 1 sec 5: 0 0 0 0 0



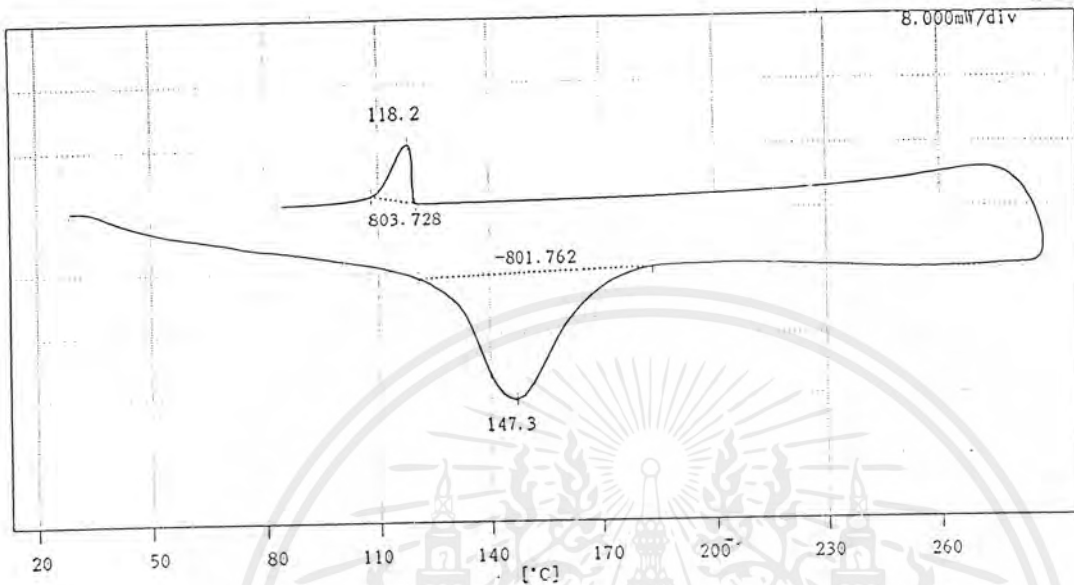
รูปที่ ก-1แสดงกราฟเทอร์โมแกรมของพีวีซีคอมปานี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก-2 แสดงกราฟเทอร์โมแกรมของพอลิไอโซบิวทีนส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

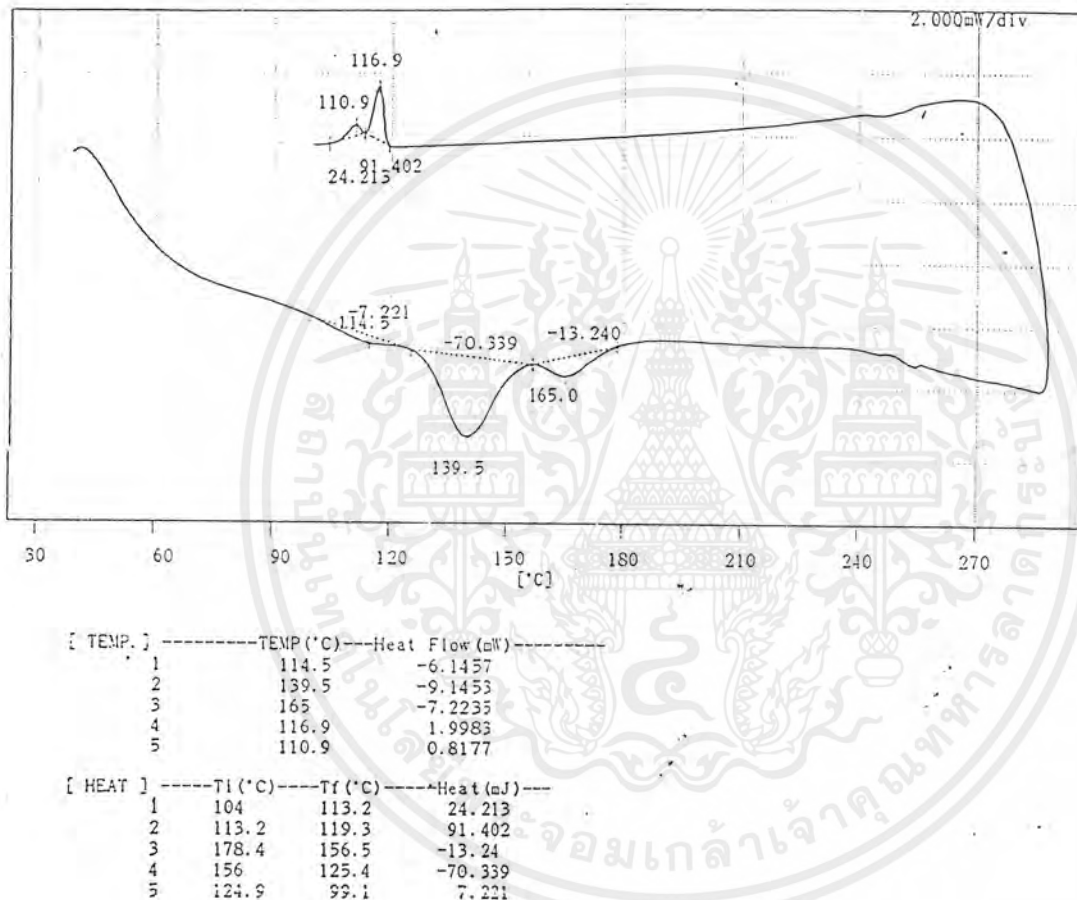


[TEMP.] -----TEMP (°C)-----Heat Flow (mW)-----

1	147.3	-25.3012
2	118.2	7.5884

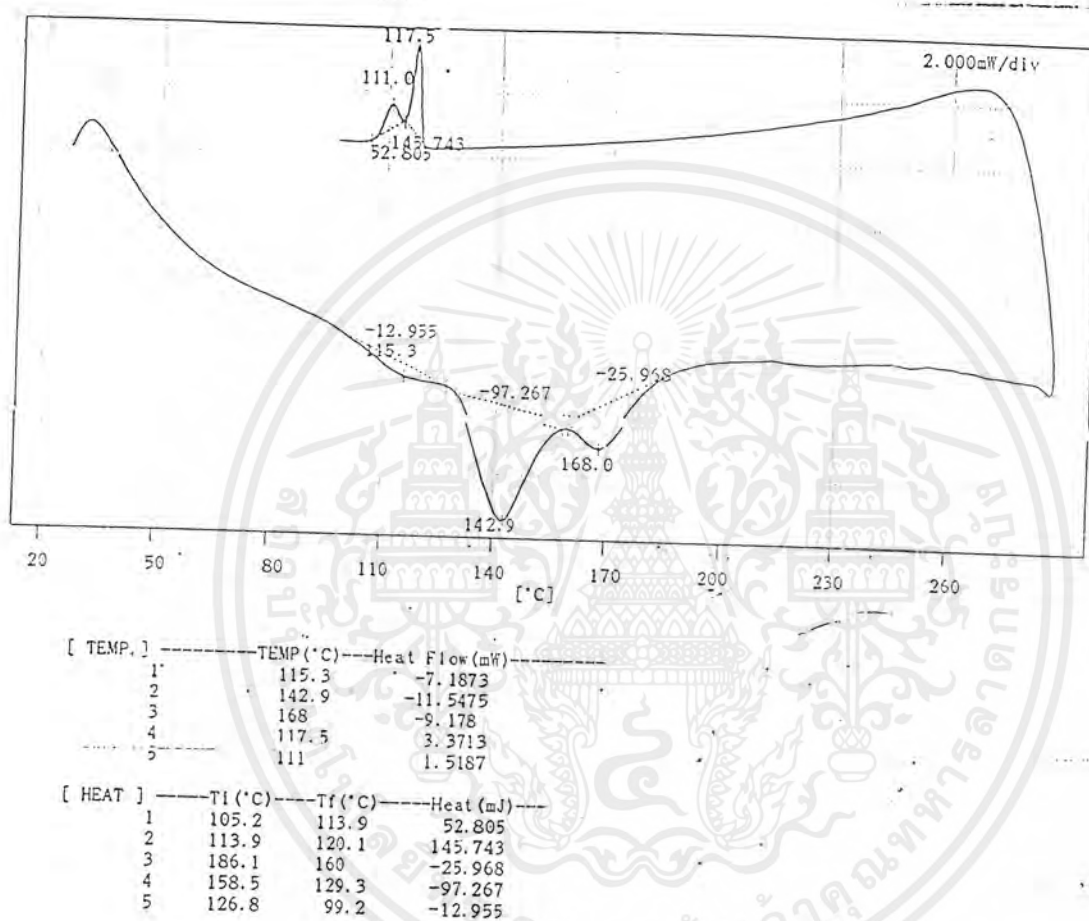
[HEAT]	Ti (°C)	Tf (°C)	Heat (mJ)
1	108.3	120.1	803.728
2	120.6	183.6	-801.762

รูปที่ ก-3 แสดงกราฟเทอร์โมแกรมของสารช่วยผสม (Polybond 1009)



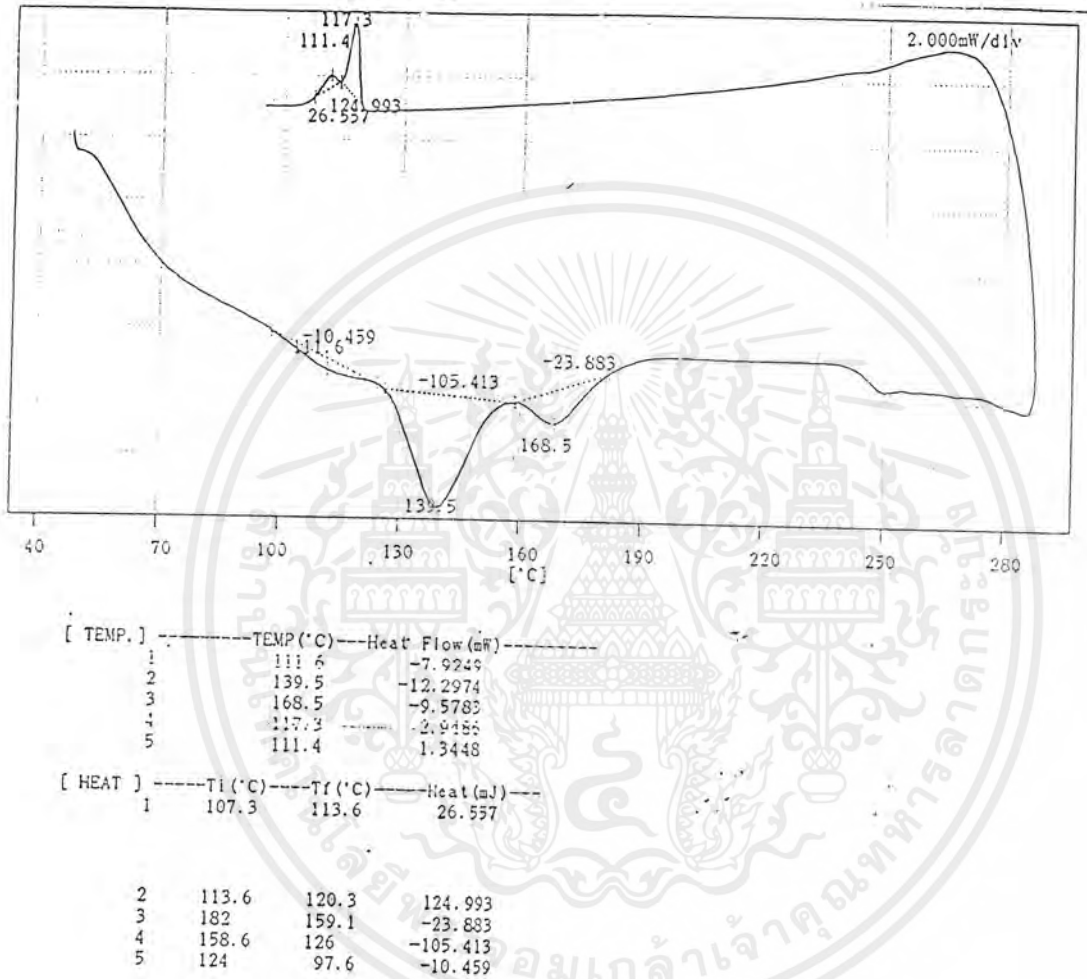
รูปที่ ก-4 แสดงกราฟเทอร์โมแกรมของพีวีซีคอมปาว์ผสมพอลิโอเลฟินส์
ที่ปริมาณสารช่วยผสม 3 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



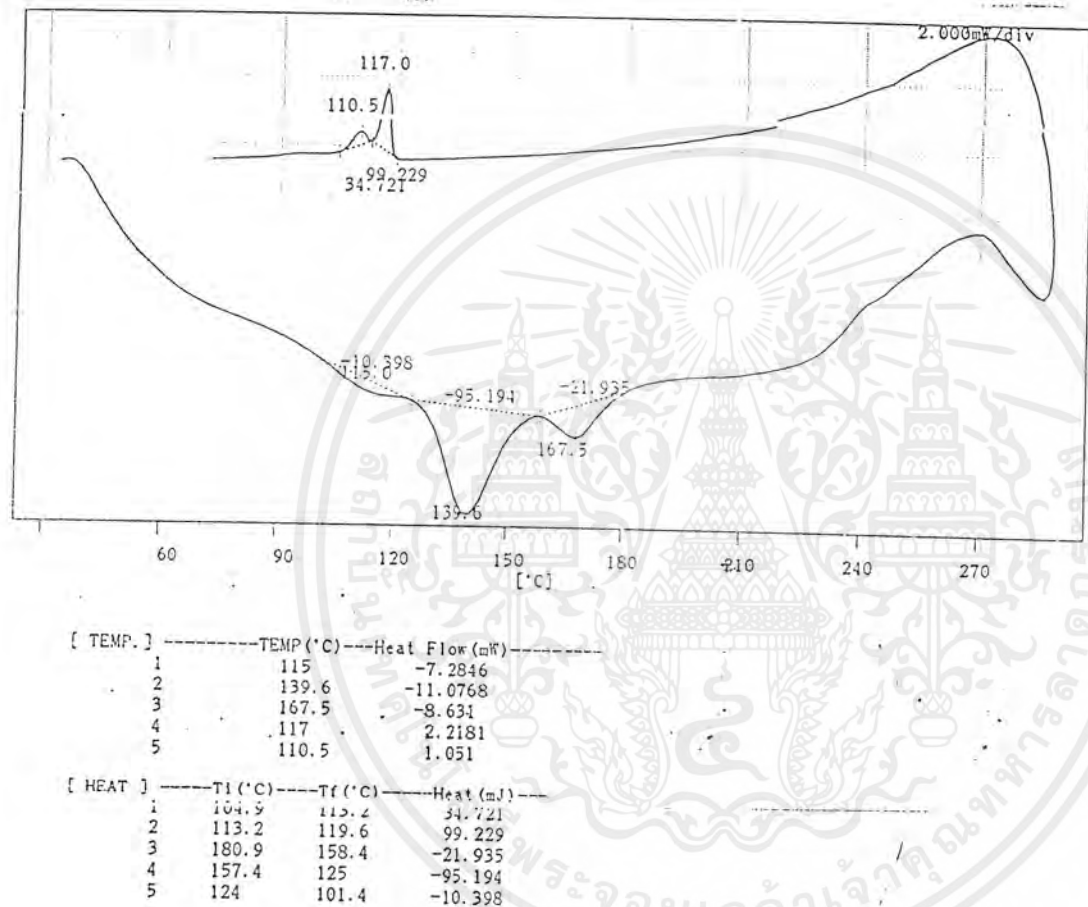
รูปที่ ก-5 แสดงกราฟเทอร์โมแกรมของพีวีซีคอมปาว์ผสมพอลิเอเลฟินส์
ที่ปริมาณสารช่วยผสม 5 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก-6 แสดงกราฟเทอร์โมแกรมของพีวีซีคอมปาน์ผสมพอลิโอดีฟินส์
ที่ปริมาณสารช่วยผสม 7 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก-7 แสดงกราฟเทอร์โมแกรมของพีวีซีคอมปาวน์ผสมพอลิโอเลฟินส์
ที่ปริมาณสารช่วยผสม 9 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้