สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การศึกษาการปรับปรุงฟิล์มพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงด้วยพอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเลทเพื่อกันการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนและไอน้ำ

T 055560

นางสาวกรรณิการ์ ยิ้มนาค
นางสาวนิษฐา ฝั่นเรือง

โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาเคมี
คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2546

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เลขหมู่ .....
เลขทะเบียน 55560
วัน,เดือน,ปี 19 พ.ค. 2548

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

Study of Modified High Density Polyethylene Film with Poly (ethylene terephthalate) for permeability protection

Miss Kannika Yimnak

Miss Khanittha Fonruang

A Special Project Submitted in Partical Fulfillment of the Requirement

for the Degree of Bachelor of Science

Department of Chemistry

Faculty of Science

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

2003

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษเรื่อง การศึกษาการปรับปรุงฟิล์มพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงด้วยพอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเลทเพื่อกันการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนและไอน้ำ

นักศึกษา นางสาวกรรณิการ์ ยิ้มนาค

นางสาวขนิษฐา ฝั่นเรือง

ภาควิชา เคมี

สาขาวิชา เคมีอุตสาหกรรม

ปีการศึกษา 2546

อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.สมศักดิ์ วรมงคลชัย

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการตรวจสอบ		ลายมือชื่อ
ประธานกรรมการ	อาจารย์มนตรี ทองคำ	.....
กรรมการ	ดร.พัชนี เจริญยิ่ง	.....
กรรมการ	ดร.นุกูล เอื้อพันเศรษฐ	.....

.....

(ผศ.ดร.ประยงค์ ดวงดี)

หัวหน้าภาควิชา

ลิขสิทธิ์ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษ	การศึกษาการปรับปรุงฟิล์มพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE) ด้วยพอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเลท (PET) เพื่อกันการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนและไอน้ำ
นักศึกษา	นางสาวกรรณิการ์ ยิ้มนาค นางสาวขนิษฐา ฝ่นเรือง
ภาควิชา	เคมี คณะวิทยาศาสตร์
สาขาวิชา	เคมีอุตสาหกรรม
ปีการศึกษา	2546
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.ดร.สมศักดิ์ วรมงคลชัย

บทคัดย่อ

โครงงานพิเศษนี้เป็นการศึกษาการปรับปรุงฟิล์มพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE) ด้วยพอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเลท (PET) โดยทำการผสมพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงกับพอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเลทด้วยเครื่องอัดรีดชนิดเกลียวหนอนเดี่ยว และปรับเปลี่ยนอัตราส่วนผสมของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงต่อพอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเลทที่มี Elvaloy® 1125AC เป็น 80:20 85:15 90:10 และ 95:5 ตามลำดับ โดยใช้สารช่วยผสมคือ พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงต่อกิ่งด้วยมาเลอิกแอนไฮไดรด์ (HDPE-g-MA)ในปริมาณ 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักรวมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE) กับพอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเลท (PET) ที่มี Elvaloy® 1125AC และทำการขึ้นรูปเป็นฟิล์มโดยการเป่าขึ้นรูป จากนั้นศึกษาสมบัติทางกายภาพสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสม เพื่อเปรียบเทียบผลที่ได้

จากการวิจัยพบว่า สมบัติเชิงกล และสมบัติทางความร้อน ของฟิล์มพอลิเมอร์ ที่อัตราส่วน 95:5 และ 90:10 มีสมบัติที่ใกล้เคียงกันและมีสมบัติที่ดีกว่าอัตราส่วนอื่นๆ แต่เมื่อพิจารณาสมบัติทางกายภาพ พบว่าที่อัตราส่วน 90:10 มีสมบัติต้านการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนและไอน้ำได้ดีกว่าอัตราส่วนผสมที่ 95:5 ดังนั้นอัตราส่วน 90:10 จึงเหมาะสมที่สุดในการเปลี่ยนแปลงการปรับปรุงฟิล์มพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE) ด้วยพอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเลท (PET) เพื่อกันการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนและไอน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Special Project Title	Study of Modified high density polyethylene film with Poly (ethylene terephthalate) for permeability protection
Name	Miss Kannika Yimnak
	Miss Khanittha Fonruang
Department	Chemistry
Program	Industrial Chemistry
Academic Year	2546
Special Project Advisor	Assoc.Prof.Dr.Somsak Woramongkolchai

Abstract

This special project aimed to study the modified high density polyethylene film with Poly (ethylene terephthalate).Polymer blends were prepared by using single-screw extruder techniques. The blend ratios between high density polyethylene and poly (ethylene terephthalate) were varied from 80:20, 85:15, 90:10 and 95:5, respectively. The appropriate compatibilizer was high density polyethylene-graft-maleic anhydride and was added 5 percent by weight. The blends were also shaped into flat film by blown film process. The films were then investigated to physical, mechanical and thermal properties for comparison.

The research was shown that the mechanical and thermal properties of film ratios 95:5 and 90:10 were quite similar and superior to others. But the physical property of film ratio 90:10 was better than 95:5 therefore it could be summarized that the suitable ratio for modified high density polyethylene film with poly (ethylene terephthalate) for permeability protection was 90:10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณ ผศ.ดร.สมศักดิ์ วรมงคลชัย อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงานพิเศษนี้ ที่กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำ สั่งสอนและให้ความช่วยเหลือในทุกๆด้าน

ขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์มนตรี ทองคำ ดร.พัชนี เจริญยิ่ง และ ดร.นุกูล เอื้อพันเศรษฐ อาจารย์คณะกรรมการตรวจสอบโครงงานพิเศษ ที่ช่วยกรุณาตรวจทาน และแก้ไขโครงงานพิเศษฉบับนี้ให้ถูกต้องสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอกราบขอบพระคุณ คุณกฤตธี ศุภดิเรกกุล ที่กรุณาเอื้อเฟื้อสารเคมีให้ใช้ในการทดลอง

ขอกราบขอบพระคุณ คุณกฤษณะ เกษประดิษฐ์ คุณสุดใจ สอนสะอาด คุณปราณี บุญวัฒน์ คุณกัญญา มงคลโภชน์ และพี่เจ้าหน้าที่ภาคเคมีทุกท่าน ที่ช่วยอำนวยความสะดวก ช่วยแนะนำการใช้เครื่องมือและช่วยเหลือในการทำโครงงานพิเศษนี้

ขอกราบขอบพระคุณ คุณจีระพงศ์ เกตุเลขา เจ้าหน้าที่ภาคเทคโนโลยีการบรรจุ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ให้ความกรุณาสอนการใช้เครื่องมือที่ ม.เกษตร

ขอบคุณ พี่ดวง พี่กอล์ฟ พี่เล่น และพี่ๆ ปริญญาโท ที่ให้คำแนะนำ ให้ความช่วยเหลือในการทำโครงงานพิเศษนี้

ขอบคุณ ปอ อ้น บุ๋ง แนน ที่อยู่เป็นเพื่อนเสมอ และคอยช่วยเหลือในการทำโครงงานพิเศษ

สุดท้ายที่ขาดไม่ได้คือ ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และญาติพี่น้องทุกท่าน ที่คอยให้กำลังใจ ให้คำแนะนำและให้การสนับสนุนด้วยดีตลอดมา ทำให้โครงงานนี้สำเร็จลุล่วงได้

คณะผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อโครงงานพิเศษภาษาไทย	ก
บทคัดย่อโครงงานพิเศษภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	จ
สารบัญรูป	ฉ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาของโครงงาน	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.4 ขั้นตอนของงานวิจัยและการดำเนินงาน	3
1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	3
1.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	5
2.1 พอลิเมอร์ผสม	5
2.2 ความสามารถในการเข้ากันได้	6
2.3 สารช่วยในการผสม	8
2.4 พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE)	9
2.5 พอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเรท (PET)	10
2.6 เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย	15
2.6.1 เครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว	15
2.6.2 เครื่องบดพลาสติก	17
2.6.3 กระบวนการเป่าฟิล์ม	17
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	19
3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง	19
3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 วิธีการทดลอง 20
3.3.1 การเตรียมพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE) และ พอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเรท (PET) 20
3.3.1.1 การเตรียมพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE) 20
3.3.1.2 การเตรียมพอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเรท (PET) 20
3.3.2 การผสมพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE) และ พอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเรท (PET) 21
3.3.3 การขึ้นรูปฟิล์มโดยกระบวนการเป่าฟิล์ม 21
3.3.4 ศึกษาสมบัติของฟิล์ม 22
3.3.4.1 สมบัติเชิงกล 22
- ทดสอบความแข็งแรงดึง 22
- ทดสอบความความแข็งแรงต่อการฉีกขาด 23
- ทดสอบความแข็งแรงต่อแรงกระแทก 24
3.3.4.2 สมบัติทางกายภาพ 24
- ทดสอบการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจน 24
- ทดสอบการซึมผ่านของไอน้ำ 26
3.3.4.3 สมบัติทางความร้อน 27
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง 28
4.1 การศึกษาสมบัติเชิงกล 28
4.1.1 ทดสอบความแข็งแรงดึง 28
4.1.2 ทดสอบความความแข็งแรงต่อการฉีกขาด 31
4.1.3 ทดสอบความแข็งแรงต่อแรงกระแทก 32
4.2 การศึกษาสมบัติทางกายภาพ 34
4.2.1 ทดสอบการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจน 34
4.2.2 ทดสอบการซึมผ่านของไอน้ำ 35
4.3 การศึกษาสมบัติทางความร้อน 36
บทที่ 5 สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ 37
5.1 ความเป็นไปได้ในการนำไปใช้งาน 38
5.2 ข้อเสนอแนะ 38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง 39
ภาคผนวก 41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 สมบัติทางความร้อนของพอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเลท 12

ตารางที่ 2.2 สมบัติเชิงกลของพอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเลท 13

ตารางที่ 2.3 ความสามารถในการซึมผ่านของฟิล์มพอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเลท 14

ตารางที่ 3.1อัตราส่วนการผสมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE) สารช่วยผสม และพอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเรท (PET) ที่มี Elvaloy® 1125AC 21

ตารางที่4.1 อุณหภูมิหลอมเหลวผลึก เอนทาลปี และเปอร์เซ็นต์ความเป็นผลึกของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE) 36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

		หน้า
รูปที่ 2.1	ปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อสมบัติของพอลิเมอร์ผสม	5
รูปที่ 2.2	ความเป็นไปได้ทางสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสม	6
รูปที่ 2.3	โครงสร้างของพอลิเมอร์ผสม	6
รูปที่ 2.4	ค่าพลังงานอิสระในการผสมพอลิเมอร์	7
รูปที่ 2.5	โครงสร้างของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง	9
รูปที่ 2.6	โครงสร้างของพอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเลท	11
รูปที่ 2.7	ส่วนต่างๆ ของเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว	16
รูปที่ 2.8	กระบวนการเป่าฟิล์ม	18
รูปที่4.1	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งแรงดึงกับอัตราส่วนของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงกับพอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเลท (HDPE:PET) ในอัตราส่วนผสมที่แตกต่างกัน	29
รูปที่ 4.2	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดึงยืด ณ จุดขาด กับอัตราส่วนของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงกับพอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเลท (HDPE:PET) ในอัตราส่วนผสมที่แตกต่างกัน	30
รูปที่ 4.3	ความสัมพันธ์ระหว่างค่ามอดูลัส กับอัตราส่วนของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงกับพอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเลท (HDPE:PET) ในอัตราส่วนผสมที่แตกต่างกัน	31
รูปที่ 4.4	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งแรงต่อการฉีกขาดกับอัตราส่วนของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงกับพอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเลท (HDPE:PET) ในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน	32
รูปที่ 4.5	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งแรงกระแทกกับอัตราส่วนของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงกับพอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเลท (HDPE:PET) ในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน	33
รูปที่ 4.6	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนกับอัตราส่วนของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงกับพอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเลท (HDPE:PET) ในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน	34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราการซึมผ่านของไอน้ำกับอัตราส่วน ของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงกับ พอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเลท (HDPE:PET) ในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน 35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาของโครงงาน

ในอดีตวัสดุส่วนใหญ่ที่นำมาใช้ทำจากโลหะ แก้ว กระดาษ ในกลางทศวรรษที่ 20 ได้ค้นพบวัสดุใหม่นั่นคือ พอลิเมอร์ และได้พัฒนานำมาใช้แทนวัสดุที่กล่าวมาแล้ว เพราะมีน้ำหนักเบา ปรับปรุงคุณภาพได้ ขึ้นรูปได้ง่าย และผสมสีเข้าไปได้ไม่ยุ่งยาก โดยในการขึ้นรูปและการผลิตใช้พลังงานน้อย โดยใช้พอลิเมอร์บริสุทธิ์ พอลิเมอร์ผสม พอลิเมอร์อัลลอย์ และพอลิเมอร์คอมโพสิต

และจากความก้าวหน้าทางการค้าและการค้นคว้า ในเรื่องเกี่ยวกับการผสมพอลิเมอร์ผสมนี้มีการพัฒนาการอย่างกว้างไกล เนื่องมาจากความต้องการวัสดุใหม่ๆ ในทางการค้า และการผสมพอลิเมอร์ก็เป็นทางหนึ่งที่สามารถกระทำได้อย่างรวดเร็วมากกว่าการสังเคราะห์พอลิเมอร์ชนิดใหม่ขึ้นมา อย่างไรก็ตามเทคโนโลยีการผสมก็ยังคงต้องอาศัยหลักพื้นฐานทางวิทยาศาสตร์อยู่

สำหรับประเทศไทย ในปัจจุบันนี้มีการส่งเสริมอุตสาหกรรมปิโตรเคมีอย่างมาก ทั้งนี้เนื่องมาจากการค้นพบก๊าซธรรมชาติในอ่าวไทย จึงก่อให้เกิดการพัฒนาอุตสาหกรรมทางด้านพอลิเมอร์ และในบรรดาพอลิเมอร์ทั้งหลายชนิดนี้ พอลิเมอร์ที่น่าสนใจก็คือ พอลิเอทิลีน ซึ่งมีการใช้กันมากในงานด้านบรรจุภัณฑ์

พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (High Density Polyethyene, HDPE) และพอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเลท (Poly(ethylene terephthalate), PET) เป็นเทอร์โมพลาสติกที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมบรรจุหีบห่อ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการทำถุงพลาสติกหรือทำขวดบรรจุน้ำดื่ม จากความนิยมใช้วัสดุประเภทพลาสติกอย่างแพร่หลายนี้ทำให้ขยะพลาสติกมีปริมาณเพิ่มมากขึ้น ซึ่งส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้วยเหตุนี้จึงมีการรณรงค์เพื่อแก้ปัญหาขยะพลาสติก พลาสติกมีความทนทานต่อการย่อยสลายสูงเนื่องมาจากมีพื้นที่ผิวในการสัมผัสกับสภาวะแวดล้อมน้อยมาก แนวทางหนึ่งในการแก้ปัญหาดังกล่าวคือ การนำพลาสติกมาผ่านกระบวนการขึ้นรูปใหม่อีกครั้ง (Recycle) โดยนำมาบดผสมกับพลาสติกอื่น ซึ่งจะทำให้ได้พลาสติกที่มีสมบัติใหม่ขึ้น จากการศึกษาสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสม พบว่าพอลิเมอร์ผสมส่วนใหญ่ที่มาจากการรีไซเคิลจะมีสมบัติเชิงกลและสมบัติอื่นๆ ที่น้อยกว่าเดิม ทั้งนี้เนื่องจากพอลิเมอร์ผสมไม่สามารถรวมเป็นเนื้อเดียวกันได้ (Immiscible blend) ซึ่งเกิดจากพอลิเมอร์ต่างชนิดกันเมื่อนำมาผสมกัน จะมีแรงยึดเหนี่ยว (Interaction) และแรงยึดติด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระหว่างผิว (Interfacial adhesive) ของพอลิเมอร์น้อยมาก รวมทั้งแรงตึงที่ผิวหน้า (Interfacial tension) สูงจึงได้มีการใส่สารช่วยผสม (Compatibilizer) ลงไปเพื่อให้พอลิเมอร์ผสมเข้ากันได้

งานวิจัยนี้เป็นการปรับปรุงฟิล์มพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (High Density Polyethyene, HDPE) ด้วยพอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเลท (Poly(ethylene terephthalate), PET) โดยใช้พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงต่อกิ่งด้วยมาเลอิกแอนไฮไดรด์ (HDPE-g-MA) เป็นสารช่วยผสมในการปรับปรุงฟิล์มระหว่าง HDPE ด้วย PET ที่อัตราส่วนต่างๆ กัน โดยผ่านเครื่องอัดรีดชนิดเกลียวหนอนเดี่ยว (Single-screw extruder) แล้วนำไปขึ้นรูปเป็นฟิล์ม และศึกษาสมบัติของฟิล์มที่ได้เช่น อัตราการซึมผ่านของก๊าซและไอน้ำ รวมทั้งสมบัติเชิงกลของฟิล์ม เนื่องจากในงานวิจัยใช้พอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเลทเป็นตัวกีดกั้น (Barrier) ดังนั้นฟิล์มที่ได้ควรจะมีสมบัติต้านทานการซึมผ่านของก๊าซได้ ด้วยเหตุนี้จึงศึกษาอัตราการซึมผ่านของก๊าซเป็นสมบัติหลัก นอกจากนี้จากผลการศึกษาจะทำให้ทราบถึงอัตราส่วน สภาวะและกระบวนการที่เหมาะสมในการทำฟิล์มพลาสติกที่มีสมบัติต้านทานการซึมผ่านของก๊าซได้

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

1. ศึกษาความเป็นไปได้ในการปรับปรุงการผลิตฟิล์มพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE) ด้วยพอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเลท (PET)
2. ศึกษาสภาวะและกระบวนการที่เหมาะสมในกระบวนการขึ้นรูปฟิล์ม
3. ศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE) กับพอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเลท (PET) เพื่อใช้ในการปรับปรุงฟิล์มพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE) ให้มีสมบัติต้านการซึมผ่านของก๊าซและไอน้ำได้ดีขึ้น
4. ศึกษาสมบัติการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจน ไอน้ำและสมบัติเชิงกลของการปรับปรุงฟิล์มพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE) ด้วยพอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเลท (PET) ที่ผลิตได้

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1. ทำการปรับปรุงฟิล์มพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE) ด้วยพอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเลท (PET) โดยใช้สารช่วยผสมคือ พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงต่อกิ่งด้วยมาเลอิกแอนไฮไดรด์ (HDPE-g-MA) ซึ่งทำการผสมในเครื่องอัดรีดชนิดเกลียวหนอนเดี่ยว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. นำพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่ปรับปรุงด้วยพอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเลทแล้วไปขึ้นรูปเป็นฟิล์ม โดยใช้กระบวนการเป่าฟิล์ม
3. ทดสอบสมบัติทางกายภาพและสมบัติเชิงกล เช่น
    - สมบัติการต้านทานการซึมผ่านของก๊าซ
    - สมบัติการต้านทานการซึมผ่านของไอน้ำ
    - การต้านแรงดึงขาดและการยืดตัว
    - การต้านแรงกระแทกและแรงฉีกขาด

1.4 ขั้นตอนการวิจัยและวิธีการดำเนินงาน

1. ผสมพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE) กับสารช่วยผสม คือ พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงต่อกิ่งด้วยมาเลอิกแอนไฮไดรด์ (HDPE-g-MA) ในปริมาณสารช่วยผสมเท่ากับ 5 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักรวม [12] ระหว่าง HDPE กับ PET ในเครื่องอัดรีดชนิดเกลียวหนอนเดี่ยว (ให้เป็นส่วนที่ 1)
2. นำพอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเลท (PET) มาผสมกับ Elvaloy® 1125AC ในอัตราส่วน PET ต่อ Elvaloy® 1125AC เท่ากับ 95:5 ในเครื่องอัดรีดชนิดเกลียวหนอนเดี่ยว (ให้เป็นส่วนที่ 2)
3. นำส่วนที่ 1 กับส่วนที่ 2 มาผสมกัน ด้วยเครื่องอัดรีดชนิดเกลียวหนอนเดี่ยว ใช้อัตราส่วนระหว่าง HDPE ต่อ PET ที่มี Elvaloy® 1125AC เท่ากับ 80:20, 85:15, 90:10 และ 95:5
4. นำส่วนผสมที่ได้จากข้อ 3 มาขึ้นรูปเป็นฟิล์มโดยกระบวนการเป่าฟิล์ม
5. นำฟิล์มที่ได้ไปทดสอบสมบัติทางกายภาพ คือสมบัติต้านการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนและไอน้ำ สมบัติเชิงกล และสมบัติทางความร้อน

1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบถึงสภาวะและกระบวนการที่เหมาะสมในการขึ้นรูปฟิล์ม
2. ทราบถึงอัตราส่วนที่เหมาะสมของฟิล์มพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่ทำการปรับปรุงด้วยพอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเลท ที่ทำให้สมบัติต้านการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนและไอน้ำดีขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในปี 1993 P. SAMBRU และ S.A. JABPIN [1] ทดลองนำ HDPE และ PET มาทดสอบการผสมใน 2 กรณี คือ มี และ ไม่มีสารช่วยผสมโดยได้ทำการศึกษาเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ อัตราความเค้น ความสามารถในการยืด และอัตราส่วนขององค์ประกอบในการผสม โดยจะทำการตรวจสอบด้วย Infrared spectroscopy, Differential scanning calorimetry, Tensile, Impact พบว่าพอลิเมอร์ผสมที่ใช้สารช่วยในการผสมจะมีความเค้นสูงขึ้นมากโดยที่พอลิเมอร์ผสมที่ไม่มีสารช่วยผสมความเค้นจะไม่สูงขึ้น และพอลิเมอร์ผสมที่มี PET น้อยเกิดการเปลี่ยนแปลงน้อย

ในปี 1996 A.R. Oromiehie และคณะ [2] ได้ทำการหาสภาวะที่เหมาะสมในการผสมพอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเลท (PET) กับพอลิอัลลีน โดยใช้สารช่วยผสม คือ กราฟท์โคพอลิเมอร์ระหว่างมาลิอิกแอนไฮดราย (MA) กับ พอลิพรอพิลีน (PP) (PP-g-MA) และกราฟท์โคพอลิเมอร์ระหว่างอะคริลิกแอซิด (AA) กับพอลิพรอพิลีน (PP) (PP-g-AA) โดยใช้เครื่อง Haake rheometer เครื่อง Capillary rheometer และเครื่อง Fourier Transform Infared Spectroscopy (FTIR) ทดสอบความหนืด การดูดกลืนแสงและความหนืดของหลอมเหลว (Melt viscosity) พบว่าผสมเข้ากันได้ดีขึ้น

ในปี 1997 LiYao และ Charles Beatty [3] ได้ทำการผสมพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE) เข้ากับพอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเลท (PET) โดยใช้สารช่วยผสม คือ กราฟท์โคพอลิเมอร์ระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE) กับอีพอกซี (Epoxy) (HDPE-g-epoxy) โดยทำการศึกษาความหนืดและดัชนีการหลอมเหลว (melt flow index) ที่อัตราส่วนพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE) กับพอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเลท (PET) ต่างๆกัน จากสัณฐานวิทยาพบว่าการเข้ากันได้ของ HDPE และ PET รวมถึงสมบัติเชิงกลต่างๆดีขึ้น เมื่อปริมาณสารช่วยผสมเพิ่มขึ้น

ในปี 1998 Michel F. Champagne และคณะ [4] ได้ทำการผสมพอลิพรอพิลีน (PP) เข้ากับพอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเลท (PET) โดยใช้สารช่วยผสม คือ กราฟท์โคพอลิเมอร์ระหว่างไกลซิดิวเมทาอะคริเลท (GMA) กับ พอลิพรอพิลีน (PP) (GMA-g-PP) ที่มีเปอร์เซ็นต์ของไกลซิดิวเมทาอะคริเลท (GMA) ต่างๆกัน คือ 0.2 และ 1.2 โดยศึกษาหน้าที่ของการกระจาย (Distribution function) ความหนืด มอดุลัส ความเค้น และการเข้ากันได้ของพอลิพรอพิลีน (PP) และพอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเลท (PET) (สัณฐานวิทยา) พบว่าเมื่อเปอร์เซ็นต์ไกลซิดิวเมทาอะคริเลท (GMA) มากขึ้นสมบัติต่างๆดีขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและหลักการ

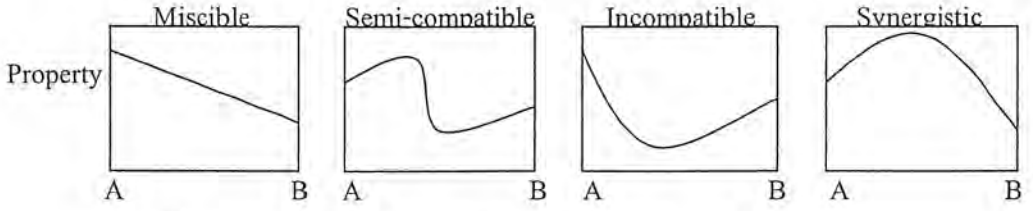
2.1 พอลิเมอร์ผสม

พอลิเมอร์ผสมเป็นการนำพอลิเมอร์ที่มีโครงสร้างแตกต่างกันตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไปมาผสมเข้าด้วยกัน โดยโครงสร้างของพอลิเมอร์หลักทั้งสองชนิดที่นำมารวมกันนี้อยู่รวมกันและสมบัติของพอลิเมอร์ที่ได้นี้แตกต่างจากสมบัติของพอลิเมอร์หลักที่นำมาผสมกันขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อสมบัติการนำไปใช้งานของพอลิเมอร์ที่ต้องการ ดังแสดงในรูปที่ 2.1

<u>รูปที่ 2.1</u> ปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อสมบัติของพอลิเมอร์ผสม [5]

โดยทั่วไปพอลิเมอร์ผสมแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ พอลิเมอร์ผสมที่สามารถเข้ากันได้เป็นเนื้อเดียวกัน (Miscible blend) จะมีสมบัติที่ดีของพอลิเมอร์ทั้งสองชนิดรวมกัน และพอลิเมอร์ผสมอีกชนิดหนึ่งคือ พอลิเมอร์ผสมที่ไม่สามารถรวมเป็นเนื้อเดียวกัน (Immiscible blend) จะปรากฏเป็นหลายวัฏภาค ดังรูปที่ 2.2 และรูปที่ 2.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 ความเป็นไปได้ทางสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสม [5]

รูปที่ 2.3 โครงสร้างของพอลิเมอร์ผสมที่สามารถเข้ากันได้เป็นเนื้อเดียวกัน (a) และโครงสร้างของพอลิเมอร์ผสมที่ไม่สามารถเข้ากันได้เป็นเนื้อเดียวกัน (b) [5]

2.2 ความสามารถในการเข้ากันได้

ความสามารถในการเข้ากันได้ (Compatibility) หมายถึงความสามารถในการเข้ากันได้ของพอลิเมอร์ที่นำมาผสมกัน โดยที่สมบัติของพอลิเมอร์ผสมชนิดใหม่มาจากสมบัติของพอลิเมอร์หลักรวมกัน ซึ่งทราบได้จากการศึกษาและสมบัติต่างๆ ของพอลิเมอร์ผสม

สาเหตุและปัญหาที่ทำให้พอลิเมอร์ไม่สามารถรวมเป็นเนื้อเดียวกันได้แก่

1. พลังงานอิสระของการผสม (Free energy of mixing) มีค่าเป็นบวกทำให้เกิดการแยกระหว่างพลังงานพอลิเมอร์

เทอร์โมไดนามิกส์ของการละลายเข้ากันได้ เป็นสิ่งแรกที่ต้องพิจารณาในการผลิตพอลิเมอร์ผสม โดยที่ความสามารถในการละลายเข้ากันได้ของพอลิเมอร์ผสม ถูกกำหนดโดยสมดุลเอนทาลปี ซึ่งมีผลต่อค่าพลังงานอิสระในการผสม สารโมเลกุลขนาดเล็กจะมีค่าเอนทาลปีสูงพอที่จะเกิดความสามารถในการเข้ากันได้ แต่สำหรับพอลิเมอร์ ซึ่งจัดเป็นโมเลกุลขนาดใหญ่จะมีค่าเอนทาลปีต่ำจนเกือบศูนย์จึงทำให้ความสามารถในการละลายเข้ากันได้ของพอลิเมอร์ผสมถูกกำหนดโดยเอนทาลปีเพียงอย่างเดียว โดยที่การเปลี่ยนแปลงพลังงานอิสระในการผสมเป็นดังสมการที่ (2.1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\triangle G = \triangle H - T\triangle S \qquad (2.1)$$

เมื่อ $\triangle G$ = การเปลี่ยนแปลงของพลังงานอิสระในการผสม

$\triangle H$ = การเปลี่ยนแปลงเอนทาลปีในการผสม

$\triangle S$ = การเปลี่ยนแปลงเอนทาลปีในการผสม

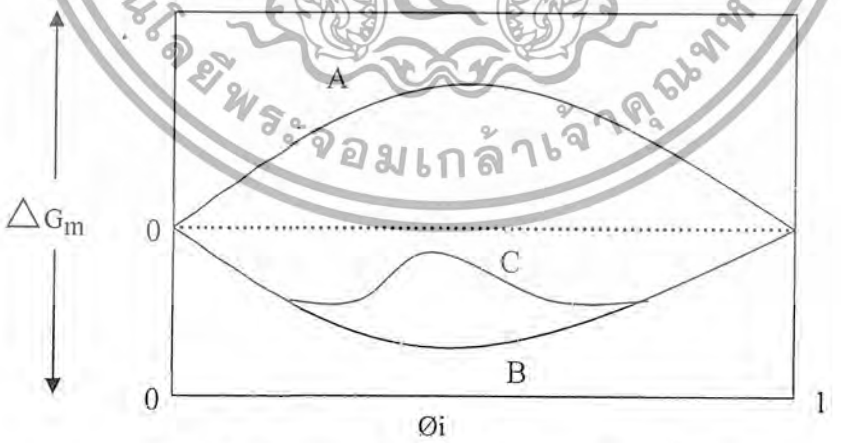
T = อุณหภูมิสัมบูรณ์ของของผสม

การที่พอลิเมอร์จะสามารถผสมเข้ากันได้ พลังงานอิสระในการผสมจะต้องตรงตามเงื่อนไขตามสมการ(2.2) และ (2.3) ตามลำดับ

$$\triangle G < 0 \qquad (2.2)$$

$$(\partial^2 \triangle G / \partial \emptyset^2)_{P,T.} > 0 \qquad (2.3)$$

เมื่อ $\emptyset$ เป็นเศษส่วนโมลของพอลิเมอร์หนึ่งองค์ประกอบ เมื่อนำสมบัติและอัตราส่วนระหว่างพอลิเมอร์ทั้งสองมาเขียนกราฟจะได้กราฟลักษณะตัวเอสในกรณีที่สามารถละลายเข้ากันได้บ้างและได้กราฟรูปตัวยูในกรณีที่ไม่สามารถละลายเข้ากันได้ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 ค่าพลังงานอิสระในการผสมพอลิเมอร์ [5]

เมื่อ A แสดงถึงความเข้ากันไม่ได้ของพอลิเมอร์

B แสดงถึงความเข้ากันได้ของพอลิเมอร์

C แสดงถึงความเข้ากันได้บางส่วนของพอลิเมอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ไม่สามารถอธิบายได้ว่า ความสัมพันธ์ที่ทำให้พอลิเมอร์ทั้งสองผสมเป็นเนื้อเดียวกัน เช่น แรงดึงดูดระหว่างขั้วและพันธะไฮโดรเจน เกิดขึ้นทั้งโมเลกุลของสายโซ่หรือเกิดขึ้นระหว่างกลุ่มที่เฉพาะเจาะจงในสายโซ่พอลิเมอร์เท่านั้น
3. ส่วนผสมของพอลิเมอร์ที่นำมาผสม ส่งผลให้สมบัติของพอลิเมอร์ผสมเปลี่ยนแปลง
4. ในการเขียนกราฟระหว่างสมบัติกับอัตราส่วนของพอลิเมอร์ที่ใช้ สมบัติที่ทดสอบจะต้องได้จากการแยกออกจากกันในแต่ละวัฏภาคแต่ในบางครั้งพอลิเมอร์ที่ได้ไม่ได้แยกวัฏภาคอย่างชัดเจน
5. พบว่าการผสมพอลิเมอร์ต่างชนิดกัน อาจทำให้กระบวนการตกผลึกของพอลิเมอร์เกิดการเปลี่ยนแปลงทำให้ได้สมบัติบางอย่างที่ไม่ต้องการออกมา

พอลิเมอร์ผสมที่ไม่สามารถเข้ากันได้ (Incompatible blend) จำเป็นต้องนำมาปรับปรุงแรงยึดเหนี่ยวระหว่างผิวของวัฏภาคพอลิเมอร์ทั้งสอง เพื่อให้ได้สมบัติทางสัณฐานวิทยาดีขึ้น โดยมีปัจจัยที่เกี่ยวข้องอยู่ 2 ประการ คือ

1) ปริมาณการกระจายตัวของวัฏภาคพอลิเมอร์หลักทั้งสองชนิด
2) รูปร่างและขนาดของอนุภาคในวัฏภาคกระจายตัวในพอลิเมอร์ผสม ปัจจัยเหล่านี้ขึ้นอยู่กับสมบัติเทอร์โมไดนามิกส์และลักษณะการไหลของพอลิเมอร์หลักที่เป็นองค์ประกอบทั้งสองชนิด รวมถึงวิธีการผสม สภาวะในการผสมและกระบวนการในการขึ้นรูปด้วย

โครงสร้างของพอลิเมอร์ผสมที่ไม่สามารถเข้ากันได้ เรียกว่า เฮตเทอร์โรจีเนียส (Heterogeneous) ซึ่งจะมีลักษณะเป็นวัฏภาคต่อเนื่อง (Continuous phase) ของพอลิเมอร์หลักชนิดหนึ่งและมีวัฏภาคกระจายตัว (Disperse phase) ของพอลิเมอร์อีกชนิดหนึ่งกระจายตัวอยู่ภายในโดยจะแยกกันอยู่อย่างชัดเจนและมีลักษณะเป็นขอบเขตวัฏภาค (Phase boundary)

2.3 สารช่วยในการผสม

สารช่วยผสมใช้ผสมพอลิเมอร์เพื่อช่วยในการละลายและลดแรงตึงผิว (Surface tension) ซึ่งกันและกันระหว่างวัฏภาคที่แยกกันอยู่ของพอลิเมอร์หลักทั้งสองชนิด ทำให้ขนาดของอนุภาควัฏภาคที่กระจายลดลงและเป็นการเพิ่มแรงยึดติดระหว่างผิว (Interfacial adhesion) ของแต่ละวัฏภาคด้วย ทำให้พอลิเมอร์ผสมสามารถรับและกระจายแรงมากขึ้น (Improved stress transfer) นอกจากนี้สารช่วยผสมจะเพิ่มโครงสร้างที่เป็นเส้นตรงในพอลิเมอร์ผสม ทำให้พอลิเมอร์ผสมทั้งสองชนิดสามารถผสมเข้ากันได้ดียิ่งขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารช่วยผสมที่ใช้กันอยู่เป็นพอลิเมอร์ร่วม (Copolymer) ที่มีองค์ประกอบของพอลิเมอร์ทั้งสองชนิด ทำให้สามารถละลายได้และทำตัวเป็นสะพานเชื่อมทั้งสองวัฏภาค พอลิเมอร์ผสมที่ใช้สารช่วยผสมจะมีสมบัติดีกว่าพอลิเมอร์ที่ไม่ได้สารช่วยผสม ซึ่งการปรับปรุงสมบัติของพอลิเมอร์ผสมโดยวิธีนี้ จะขึ้นอยู่กับค่าปริมาณการเข้ากันได้ที่ได้จากสารช่วยผสม

2.4 พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE) [6]

พอลิเมอร์นี้อาจเรียกว่าพอลิเอทิลีนเชิงเส้นตรง เพราะพอลิเมอร์นี้มีโครงสร้างเป็นเส้นตรงเกือบตลอด (มีโซ่สาขาบ้างแต่ก็น้อย) หรืออาจเรียกว่าพอลิเอทิลีนความดันต่ำ เพราะกระบวนการในการผลิตจะเป็นปฏิกิริยาที่มีตัวเร่งและใช้ความดันต่ำ โดยมีบางกระบวนการที่ใช้ตัวทำละลายด้วย ซึ่งที่อุณหภูมิของกระบวนการพอลิเมอร์ที่ได้จะไม่ละลายและอยู่ในรูปแขวนลอย จากนั้นจะเกิดเป็นเม็ดพอลิเอทิลีน กระบวนการแบบสารละลายนี้อาจทำที่อุณหภูมิสูงเพื่อให้ได้พอลิเมอร์ที่ไม่ละลายอย่างสมบูรณ์ออกมา

พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE) สามารถแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ ชนิดที่มีการกระจายตัวของน้ำหนักโมเลกุลสูง ใช้ในกระบวนการเป่า (Blow molding) และใช้ทำท่อ อีกชนิดหนึ่งมีการกระจายตัวของน้ำหนักโมเลกุลต่ำ ใช้ในกระบวนการขึ้นรูปแบบฉีด (Injection molding) และการขึ้นรูปแบบหมุน (Rotational molding) โครงสร้างของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงแสดงดังรูปที่ 2.5

<u>รูปที่ 2.5</u> โครงสร้างของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง [7]

<u>สมบัติทั่วไป</u>

- เนื่องจากเป็นพอลิเมอร์ที่มีโครงสร้างเชิงเส้นตรงเกือบตลอด โซ่พอลิเมอร์จึงมีความเป็นระเบียบมากเป็นเหตุให้พอลิเมอร์นี้มีความเป็นผลึกสูง (มากกว่า 90%) ความหนาแน่นและจุดหลอมตัวก็สูงกว่าพอลิเมอร์ที่เตรียมได้โดยกระบวนการใช้ความดันสูง ซึ่งความหนาแน่นจะอยู่ประมาณ 0.95-0.97 g/cm^3 มีจุดหลอมตัว 135°C มีความแข็งแรงสูงกว่าพอลิเมอร์ชนิดความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หนาแน่นต่ำ มีความแข็ง จุดอ่อนตัว ความต้านทานแรงดึงสูง แต่มีความทนทานต่อแรงกระแทก ความยาว ณ จุดขาด ความยืดหยุ่น และความใสต่ำกว่าพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ

- สมบัติทางฟิสิกส์ เป็นสมบัติที่สามารถมองเห็นด้วยตา (Optical properties)

เนื่องจาก HDPE มีความเป็นผลึกสูง และมีดัชนีหักเหจากส่วนที่เป็นผลึกและส่วนที่เป็นอสัณฐานต่างกันมาก ดังนั้นแผ่นฟิล์มบางๆ ของ HDPE จะโปร่งแสงในขณะที่แผ่นฟิล์มบางของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ จะมีลักษณะโปร่งใส

- สมบัติทางเคมี

การละลาย ที่อุณหภูมิห้อง HDPE จะไม่ละลายในตัวทำละลายถึงแม้ว่าจะบวมตัวขึ้นก็ตาม แต่ HDPE จะละลายในตัวทำละลายผสมระหว่างตัวทำละลาย 2 ชนิดที่อุณหภูมิต่ำกว่า 30-40 °C

การสลายตัว (Degradation) HDPE ค่อนข้างคงตัวเมื่อให้ความร้อน แต่เมื่อเกิดปฏิกิริยาเคมีที่อุณหภูมิสูงในก๊าซที่มีความเฉื่อยบางกลางหรือในสุญญากาศจะเกิดการแตกและเชื่อมระหว่างสายโซ่ของพอลิเมอร์ โดยปฏิกิริยานี้จะเห็นได้ชัดที่อุณหภูมิสูงกว่า 290-300 °C

การไหลของ HDPE ที่หลอมเหลว HDPE ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงกว่า 1000 จะหลอมเหลวที่อุณหภูมิระหว่าง 140-200 °C จะเป็นการไหลแบบนันนิวโตเนียน (non-Newtonian liquid) ความหนืดจะลดลงเมื่อความเร็วของของไหลเพิ่มขึ้นและมีอัตราเฉือน (Shear rate) ต่ำมาก แต่ที่อุณหภูมิ 300 °C HDPE จะเป็นของไหลแบบนิวโตเนียน (Newtonian liquid)

การนำไปใช้งาน ใช้กับงานที่ขึ้นรูปโดยการเป่าเกือบ 40 %ของผลผลิตทั้งหมด ใช้ทั้งขวดและภาชนะบรรจุอื่นๆ ที่ต้องใช้สมบัติต้านทานสูงและความทนต่อความเค้นสูง เช่น ภาชนะบรรจุกรด และเบส เคมีภัณฑ์และสารชำระล้าง สำหรับงานขึ้นรูปโดยการฉีดมีประมาณ 20% ของผลิตภัณฑ์ทั้งหมด ใช้ทำของเด็กเล่น เครื่องใช้ในบ้าน นอกจากนี้ยังทำเป็นฟิล์ม เชือก ฉนวนหุ้มไฟฟ้า และสายเคเบิล เป็นต้น

2.5 พอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเลท [8]

พอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเลท (Poly(ethylene terepthalate), PET) เป็นพอลิเมอร์ที่สำคัญที่สุดและเป็นพอลิเอสเตอร์ที่ผลิตมากที่สุดในเชิงการค้า เกือบทั้งหมดนำไปใช้ในงานเส้นใยสังเคราะห์ พอลิเอสเตอร์อื่นๆ ที่มีความสำคัญในเชิงการค้ามีอีกหลายชนิดเช่น

พอลิเอสเตอร์เชิงเส้นตรงที่ไม่อิ่มตัว (Linear unsaturated polyester)

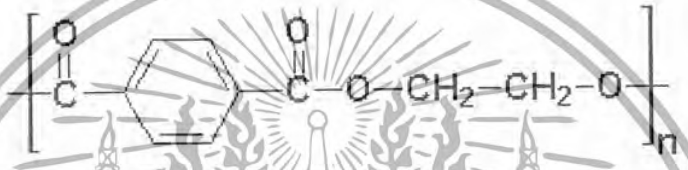
พอลิเอสเตอร์เชิงส้นตรงที่อิ่มตัว (Linear saturated polyester)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พอลิเอสเตอร์แบบร่างแหหรือเชื่อมโยง (Network or crosslink polyester)

พอลิคาร์บอเนต (Polycarbonate)

พบว่าพอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเลทจัดเป็นพอลิเอสเตอร์เชิงเส้นตรงอิ่มตัวที่สำคัญที่สุด สามารถเตรียมได้จากกระบวนการพอลิเมอร์ไรเซชัน โดยการแลกเปลี่ยนหมู่เอสเตอร์ระหว่างไดเมทิลเทอเรฟทาเลทและเอทิลีนไกลคอล จัดพอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเลทอยู่ในพวกพอลิเอสเตอร์ (Polyester) โครงสร้างของ PET เป็นดังรูป 2.6



รูปที่ 2.6 โครงสร้างของพอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเลท [7]

พอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเลท (PET) เป็นพอลิเมอร์ที่มีความแข็งแรงสูงและไม่มีสี เนื่องจากเป็นพอลิเมอร์เชิงเส้นตรงที่มีการจัดเรียงของหมู่ต่างๆ ค่อนข้างเป็นระเบียบและมีแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลสูง ทำให้สามารถอยู่ในรูปพอลิเมอร์อสัณฐาน (Amorphous) หรือสภาวะผลึก (Crystalline) ก็ได้ ค่าปริมาณความเป็นผลึกมีค่าตั้งแต่ 0-60 % และสามารถพิจารณาจากประสบการณ์ (History) ของวัตถุดิบ อุณหภูมิหลอมเหลวผลึก (T_m) 265°C อุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (T_g) 80°C อัตราการเกิดผลึกสูงสุดเกิดขึ้นที่ 170-180°C สิ่งเหล่านี้มีความสำคัญต่อสภาวะในการผลิตเส้นใยและแผ่นฟิล์ม ผลิตได้จากการอัดรีด (Extrusion) และทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิบรรยากาศ เพราะมีภาคตัดขวางที่บาง การเย็นตัวอย่างรวดเร็วทำให้อยู่ในรูปพอลิเมอร์อสัณฐาน (Amorphous) ซึ่งมีค่าความต้านทานต่ำ ดังนั้นจึงต้องนำมาผ่านความร้อนที่อุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วจึงจะเกิดการจัดเรียงตัวและการเกิดผลึก

PET มีอุณหภูมิหลอมเหลวผลึก 265°C มีสมบัติป้องกันมิให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านที่อุณหภูมิห้องโดย PET ส่วนมากใช้อยู่ในรูปของพอลิเมอร์ที่มีความเป็นผลึกสูงและมีหมู่ที่มีสภาพขั้ว (หมู่คาร์บอนิล) ภายในโมเลกุลของพอลิเมอร์นี้จึงสามารถละลายได้ในพอลิเมอร์ที่ให้โปรตอน (Proton donor) ได้แก่พวกที่ประกอบด้วยคลอไรด์ พวกที่ประกอบด้วยกรดแอซิติกและฟลูออไรด์ ฟีนอลและพวกไฮโดรฟลูออริก โดยจะสามารถละลายได้ดีที่อุณหภูมิสูงขึ้นหากเป็นสารอินทรีย์ เช่น แอนิซอล (Anisol) อะโรเมติกคีโตน (Aromatic ketone) ไดบิวทิลพทาเลท (Dibutyl phthalate)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และไดเมทิลซัลโฟน (Dimethyl sulfone) นอกจากนี้ PET ยังมีความสามารถในการต้านน้ำและต้านการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนและสารที่มีความเป็นกรดน้อยได้อย่างดี แต่สามารถเสียสภาพในกรดไนตริกและกรดซัลฟิวริกเข้มข้นโดยที่พอลิเมอร์จะว่องไวต่อตัวกระทำที่เป็นเบสแก่ เช่น สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ และเมื่อให้อุณหภูมิกับพอลิเมอร์เกินจุดหลอมเหลวของ PET จะทำให้ PET เกิดการเสียสภาพได้

สมบัติและการนำไปใช้ประโยชน์

- สมบัติทางกายภาพ

โดยทั่วไปพอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเลทมีความถ่วงจำเพาะ 1.38 และเป็นพอลิเมอร์ที่มีส่วนที่เป็นผลึกอยู่มาก แต่ถ้าให้ความเย็นอย่างรวดเร็วแก่พอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเลทที่หลอมเหลว จะทำให้เกิดความเป็นอสัณฐานทั้งหมด และยังโปร่งใสด้วย โดยจะมีความถ่วงจำเพาะ 1.33 ถ้าพอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเลทเป็นผลึกอย่างสมบูรณ์ จะมีความถ่วงจำเพาะ 1.455

- สมบัติทางความร้อน

จุดหลอมเหลวของพอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเลทอยู่ที่ 265 °C Zero strength ของพอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเลทอยู่ที่ 248 °C (Zero strength หมายถึง อุณหภูมิที่ฟิล์มของพอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเลทสามารถต้านต่อแรง 1.4 kg/cm^3 เป็นเวลา 5 วินาทีได้) โดยมีสมบัติทางความร้อนอย่างอื่นแสดงไว้ในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 สมบัติทางความร้อนของพอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเลท [9]

สมบัติ	ค่าที่วัดได้
จุดหลอมเหลว (°C)	265
จุดเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (°C)	80
ค่าความร้อนจำเพาะ (cal / g-degree) ที่ 25 °C	0.315
ค่าความร้อนจำเพาะ (cal / g-degree) ที่ 200 °C	0.476
ความสามารถการนำความร้อน(cal / cm.sec.degree)	3.63×10^{-4}
Zero strength (°C)	248

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมบัติเชิงกล

พอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเลทที่อยู่ในรูปของฟิล์ม เส้นใย หรือชิ้นงาน จะมีความแข็งแรงสูงดังแสดงในตารางที่ 2.2 สมบัติเชิงกลของพอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเลท จะเปลี่ยนเล็กน้อยที่อุณหภูมิระหว่าง –20 ถึง 80 องศาเซลเซียส แต่มองไม่เห็นการเกิดการแข็งเปราะที่ –60 °C

ตารางที่ 2.2 สมบัติเชิงกลของพอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเลท [9]

สมบัติ	ค่าที่วัดได้
ความเค้นที่จุดคราก (Yield stress) , kg/cm^2	980
ความแข็งแรงดึงที่จุดแตกหัก (Tensile strength at break) , kg/cm^2	1750
การยืดที่จุดแตกหัก (Elongation at break) , เปอร์เซ็นต์	50-70
ความต้านทานต่อการขาด (Resistance to breaking) , kg/cm^2	50-70
ความแข็งแรงกระแทก (Impact strength) , kg-cm	90
ความแข็งแรงดึงมอดุลัส (Tensile modulus) , kg/cm^2	35,200

ความสามารถในการซึมผ่าน

ฟิล์มพอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเลทมีความสามารถต่อการซึมผ่านของไอน้ำ และไอของตัวทำละลายอินทรีย์ ในตารางที่ 2.3 แสดงถึงความสามารถทนต่อการซึมผ่านของสารต่างๆ ของฟิล์มพอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเลท

ฟิล์มพอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเลทยังทนต่อการซึมผ่านของก๊าซด้วย เช่น ออกซิเจน และไนโตรเจน โดยฟิล์มที่มีความหนา 0.5 mm ที่ 100 เปอร์เซ็นต์ความชื้นสัมพัทธ์ จะให้ก๊าซออกซิเจนผ่านได้ 5.7 กรัม / (ตารางเมตร)(ชั่วโมง) และยอมให้ไนโตรเจนซึมผ่านได้ 5.2 กรัม / (ตารางเมตร)(ชั่วโมง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 ความสามารถในการซึมผ่านของฟิล์มพอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเลท (หนา 1 มิลลิเมตรของน้ำ และอากาศ [9]

สารละลาย	ความสามารถในการซึมผ่าน (กรัม/100 ตารางเมตร.ชั่วโมง)
น้ำ	160
เอทิลแอลกอฮอล์	0
เอทิลอะซิเตท	4
คาร์บอนเตตระคลอไรด์	7
เฮกเซน	6
เบนซีน	18
อะซีโตน	82
กรดอะซิติก	0

ความต้านทานต่อสารเคมี

ถ้าพอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเลทมีความเป็นผลึกมากจะละลายเฉพาะในตัวทำละลายที่มีโปรตอนอยู่ที่อุณหภูมิห้อง เช่น กรดอะซิติกที่ถูกแทนที่ด้วยคลอรีน หรือฟลูออรีน ฟีนอลและกรดไฮโดรฟลูออริกที่ปราศจากน้ำ แต่ถ้าอุณหภูมิสูงขึ้นจะละลายในตัวทำละลายบางชนิด เช่น อะโรมาติกคีโตน ไดบิวทิลพทาเลต และไดเมทิลซัลโฟน เป็นต้น ถ้ามีความเป็นอสัณฐานจะละลายได้ในคลอโรฟอร์ม พอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเลทมีความต้านทานต่อน้ำและกรดอินทรีย์เจือจางได้ดี แต่จะย่อยสลายได้ด้วยกรดไนตริก และกรดซัลฟูริกเข้มข้น นอกจากนี้ยังว่องไวต่อเบสอีกด้วย เช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์

ความต้านทานของพอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเลทต่อการเสียสภาพจากแสง (Photochemical degradation) อยู่ในเกณฑ์ดี บางครั้งการเสียสภาพจากความร้อน (Thermal degradation) จะเกิดขึ้นเมื่อพอลิเมอร์ถูกความร้อนเหนือจุดหลอมเหลว

พอลิเมอร์ชนิดนี้นำมาใช้ประโยชน์ในหลายรูปแบบ เช่น ทำเป็นเส้นใยสังเคราะห์ (Darcon) และทำแผ่นฟิล์ม อย่างไรก็ตามเส้นใยสังเคราะห์ของพอลิเมอร์นี้มีข้อเสียอยู่ที่ว่าฝุ่นละอองและสิ่งสกปรกสามารถเกาะติดได้เป็นอย่างดีและดูดน้ำได้ไม่ดี เสื้อผ้าที่ทำด้วยพอลิเมอร์นี้จึงใช้สวมใส่ไม่สบายเพราะไม่สามารถดูดซับเหงื่อได้ ในอุตสาหกรรมจึงใช้เส้นใยสังเคราะห์นี้ผสมเข้ากับฝ้ายธรรมชาติ (Cotton) เพื่อเพิ่มความสามารถในการดูดซับเหงื่อและความชื้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย

2.6.1 เครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว (Single-screw extruder)

เครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยวเป็นเครื่องจักรที่ใช้สำหรับกระบวนการขึ้นรูปพอลิเมอร์ที่มีส่วนประกอบดังนี้ (รูปที่ 2.7)

ตัวเครื่องมีลักษณะเป็นท่อทรงกระบอกภายในมีสกรูเป็นแท่งโลหะเกลียว ซึ่งสกรูแบ่งออกเป็น 3 ส่วน มีหน้าที่แตกต่างกัน แต่ไม่รวมส่วนของดาย ดังนี้

1) ส่วนป้อน (Feed zone)

มีหน้าที่ให้ความร้อนแก่พอลิเมอร์ก่อน (Preheat) และส่งไปยังส่วนต่อไป ความสูงของสกรูคงที่และความยาวของส่วนนี้จะต้องให้แน่ใจว่าอัตราการป้อนไปข้างหน้าถูกต้อง ไม่น้อยหรือมากเกิน ซึ่งจะเปลี่ยนแปลงไปตามชนิดของพอลิเมอร์

2) ส่วนอัด (Compression zone หรือ transition zone)

ความลึกของช่องว่าง (Channel depth) จะลดลงโดยมีหน้าที่ดังนี้ คือ

- ไล่อากาศที่อยู่ระหว่างเม็ดพลาสติก
- เกิดการถ่ายเทความร้อนจากผนังกระบอก ทำให้ความแข็งของพอลิเมอร์ลดลง
- เปลี่ยนแปลงความหนาแน่น เมื่อการหลอมเหลวเป็นไปอย่างเหมาะสม

3) ส่วนผสม (Metering zone)

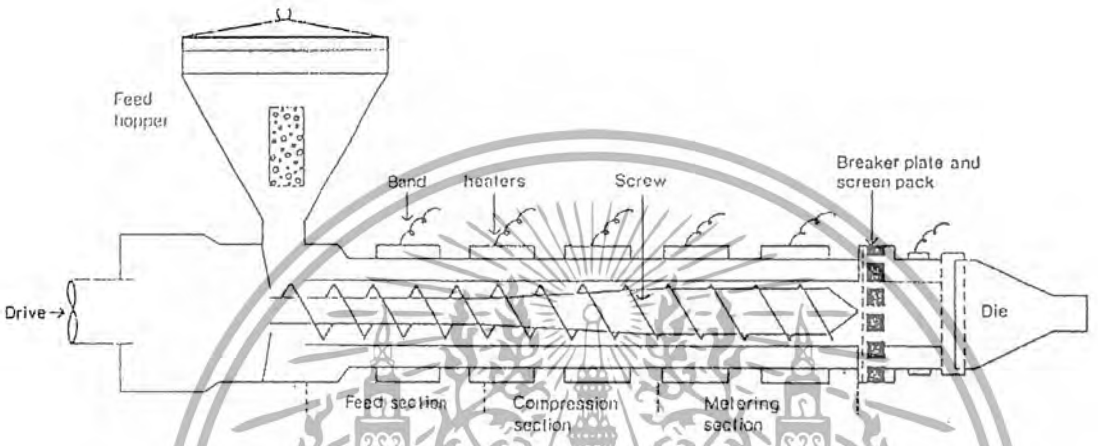
ความลึกของสกรู (Screw depth) คงที่ ทำหน้าที่หลอมให้เป็นเนื้อเดียวและป้อนให้ดาย พอลิเมอร์มีคุณภาพเดียวกันที่อุณหภูมิและความดันคงที่

หัวดาย (Die-zone)

เป็นส่วนสุดท้ายของการอัดรีด ประกอบด้วย แผ่นเหล็กที่เป็นรูๆ (Perforated steel plate) เรียกว่า เบรกเกอร์ เพลท (Braker plate) และตะแกรง (Sieve) จำนวน 2-3 ชั้น ที่ทำจากลวดอยู่ด้านใน (ด้านสกรู) ทั้งสองส่วนทำหน้าที่

- แยกวัสดุที่มีขนาดใหญ่เกินออกไป เช่น ฝุ่น พอลิเมอร์ที่ไม่เป็นเจล สิ่งแปลกปลอม
- ปล่อยความดันที่เกิดจากปั๊มและส่วนผสม (Metering)
- ปรับความจำจากการหลอม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7 ส่วนต่างๆ ของเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหมอนเดี่ยว [1]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

2.6.2 เครื่องบดพลาสติก (Grinding machine)

เครื่องบดพลาสติกประกอบด้วยเรือนเหล็กหล่อที่มั่นคง มีคมมีดติดอยู่กับเรือน 4 คม ตอนล่างจะมีตะแกรงประกอบอยู่ วัสดุที่จะตัด ส่งเข้าทางปล่องด้านบน ตรงกลางจะมีเพลาซึ่งมีมีดตัดติดอยู่ 3 เล่ม เศษพลาสติกที่ใส่ลงไปจะมีมีดหมุนจับ และนำไปตัดกับมีดซึ่งติดอยู่กับเรือนเครื่อง โดยเครื่องจะทำงานซ้ำๆ ไปจนกว่าพลาสติกจะละเอียดพอที่จะลอดตะแกรงได้ ความเร็วตัดจะอยู่ระหว่าง 12-14 m/s ระยะห่างระหว่างมีดหมุนและมีดอยู่กับที่ประมาณ 0.25- 0.5 mm เครื่องโม่ตัดมีขนาดทำงานได้ตั้งแต่ 10 -2,500 kg/h [10]

2.6.3 กระบวนการเป่าฟิล์ม (Blown Film Processes)

การเป่าฟิล์มเป็นกระบวนการแปรรูปพลาสติกแบบต่อเนื่องเช่นเดียวกับกระบวนการเอกซ์ทรูดแบบอื่นๆ การผลิตเริ่มต้นจากการเอกซ์ทรูดท่อของเทอร์โมพลาสติกหลอม โดยเอกซ์ทรูดในแนวตั้งฉากกับแนวของเครื่องเอกซ์ทรูด แล้วใช้ลมเป่าท่อในขณะเดียวกัน ทำให้พลาสติกหลอมพองออกในแนวรัศมี เกิดเป็นลูกโป่งที่มีผนังบาง เส้นผ่านศูนย์กลางของลูกโป่งจะมีค่ามากกว่าเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวดายหลายเท่า ลูกโป่งที่ร้อนจะถูกหล่อเย็นด้วยลมเป่าที่ผิวด้านนอกของลูกโป่ง โดยหัวเป่ามีลักษณะเป็นวงแหวนอยู่ด้านนอกของหัวดาย (เรียกว่า cooling ring) ลูกโป่งจะถูกเป่าให้มีขนาดเหมาะสม และถูกจำกัดอยู่ในส่วนที่ช่วยพยุงฟิล์ม หลังจากนั้นรวบลูกโป่งโดยป้อนให้ลูกโป่งเคลื่อนที่ผ่านแผ่นโลหะที่ตีบเข้า และป้อนเข้าในช่องว่างของลูกกลิ้งสองตัว ทำให้ลูกโป่งแบนลงเป็นฟิล์มสองชั้น หลังจากนั้นทำการดึงฟิล์ม โดยใช้หน่วยดึง และตอนสุดท้ายฟิล์มจะถูกพันเป็นม้วนด้วยตัวม้วนฟิล์ม แล้วนำไปทำเป็นถุงหรือนำไปทำผลิตภัณฑ์ชนิดอื่นๆ ต่อไป

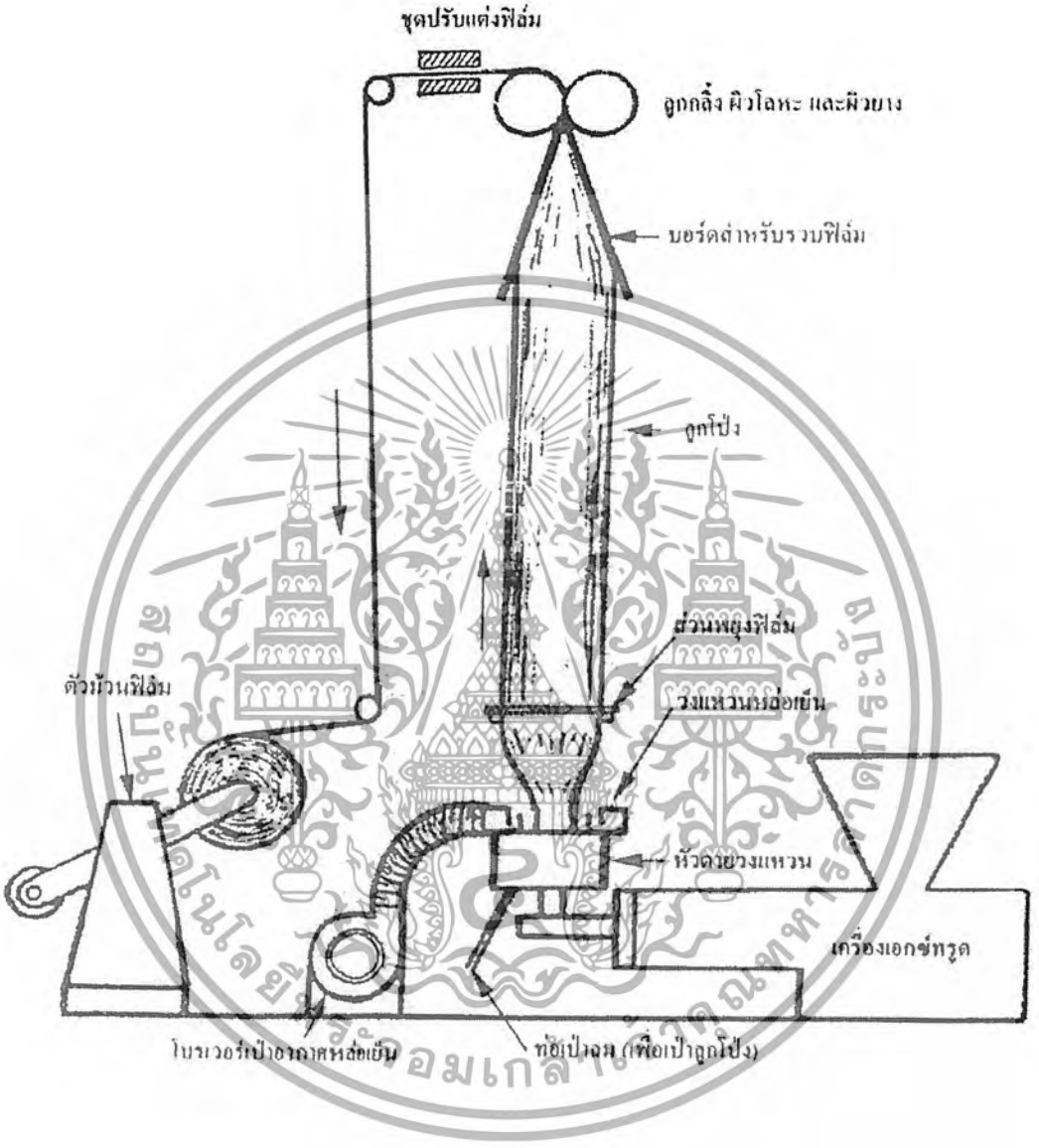
มีการใช้เทอมในการอธิบายกระบวนการแปรรูปพลาสติกโดยการเป่าฟิล์มหลายเทอมแต่เทอมที่สำคัญ เช่น อัตราการพองของลูกโป่ง (blow-up ratio) และอัตราการดึง (draw-down ratio) เป็นต้น

อัตราการพองของลูกโป่ง หมายถึง อัตราส่วนระหว่างเส้นผ่านศูนย์กลางของลูกโป่งกับเส้นผ่านศูนย์กลางของดาย โดยทั่วไปอัตราการพองของลูกโป่งของการเป่าฟิล์มจะมีค่าอยู่ในช่วงประมาณ 2:1 ถึง 6:1 ซึ่งหมายความว่า ดายตัวหนึ่งสามารถทำถุงได้หลายขนาด

อัตราการดึง หมายถึง อัตราส่วนระหว่างความเร็วของฟิล์มที่ดึงโดยลูกกลิ้ง (หรือหน่วยดึง) กับความเร็วในการเอกซ์ทรูด ซึ่งความเร็วในการเอกซ์ทรูดสามารถคำนวณได้จากน้ำหนักของพลาสติกที่ผลิตได้ต่อหน่วยเวลา แล้วแปรให้เป็นปริมาตรแล้วค่อยนำปริมาตรหารด้วยพื้นที่หน้าตัดของดาย (รูปที่ 2.8)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

55560



รูปที่ 2.8 กระบวนการเป่าฟิล์ม [11]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

1. เม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง(High density polyethylene, HDPE) : ค่าอัตราการไหล (Melt flow rate, ASTM D1238A) เท่ากับ 0.9602 g/10min
2. เม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเลท (Poly(ethylene terephthalate), PET) : ค่าอัตราการไหล (Melt flow rate, ASTM D1238A) เท่ากับ 37.4826 g/10min
3. สารช่วยผสม คือ พอลิเอทิลีนต่อกิ่งด้วยมาเลอิกแอนไฮไดรด์ (HDPE-g-MA)
4. สารเพิ่ม melt strength ให้แก่ PET (โคพอลิเมอร์ระหว่างเอทิลีนกับเมทิลอะคริเลท 25%, Elvaloy® 1125 AC)

3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. เครื่องอัดรีดชนิดเกลียวหนอนเดี่ยว (Single – screw extruder) : Polydrive with Rheomex R252 HAAKE
2. เครื่องตัดเม็ดพลาสติก (Pelletizer) รุ่น BDB-G : axon abplastmaskiner
3. เครื่องบดพลาสติก (Grinding Machine) รุ่น A600 : Bosco Engineering
4. เครื่องเป่าฟิล์ม(Blown film) รุ่น LF-400 : Lab Tech engineering company Ltd.
5. เครื่องทดสอบแรงดึงและต้านการฉีกขาด (Universal Testing Machine) รุ่น LR 30K : Llyod Instrument Ltd.
6. เครื่องวัดความทนทานต่อแรงกระแทก (Falling dart impact) : Dynisco
7. เครื่องทดสอบการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจน (Gas Permeability Measuring Apparatus) รุ่น 8500 : Illinois
8. เครื่องวัดอัตราการไหล(Melt flow rate tester) : CEAST6841.000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9. เครื่องมือวิเคราะห์สมบัติทางความร้อน (Differential scanning calorimeter, DSC) รุ่น Pyris Diamond DSC : Perkin Elmer
10. ตู้อบ (oven)

3.3 วิธีการทดลอง

3.3.1 การเตรียมพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE) และ พอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเลท (PET)

3.3.1.1) การเตรียมพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (High density polyethylene, HDPE)

- นำเม็ดพลาสติก HDPE มาผสมกับสารช่วยผสมคือ พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงต่อกิ่งด้วยมาเลอิกแอนไฮไดรด์ (HDPE-g-MA) เพื่อปรับสภาพ HDPE ให้มีขั้วเพิ่มมากขึ้น ในอัตราส่วน 5 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักรวม [12] ระหว่าง HDPE กับ PET ที่มี Elvaloy® 1125 AC โดยผ่านเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว อุณหภูมิที่ใช้ในการหลอมเหลวแต่ละบริเวณเท่ากับ 150 160 170 และ 180°C ความเร็วรอบสกรู 50 รอบต่อนาที และผ่านเครื่องตัดเม็ดพลาสติก (Pelletizer) จะได้เม็ดพลาสติก HDPE ที่มีสารช่วยผสม

3.1.1.2) การเตรียมพอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเลท (Poly(ethylene terephthalate), PET)

- นำเม็ดพลาสติก PET ไปอบที่อุณหภูมิ 105 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำมาผสมกับ Elvaloy® 1125 AC เพื่อให้ PET มีความแข็งแรงหลอมเหลว (melt strength) เพิ่มขึ้น ในอัตราส่วน PET ต่อ Elvaloy® 1125 AC เท่ากับ 95:5 โดยใช้เครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดียว อุณหภูมิที่ใช้ในการหลอมเหลวแต่ละบริเวณเท่ากับ 220 230 240 และ 250°C ความเร็วรอบสกรู 50 รอบต่อนาที แล้วนำไปเข้าเครื่องบดพลาสติก จะได้เม็ดพลาสติกขนาดเล็กที่มี PET ผสม Elvaloy® 1125 AC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2 การผสมพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE) และพอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเลท (PET)

ผสมเม็ดพลาสติก HDPE ที่มีสารช่วยผสม กับเม็ดพลาสติก PET ที่มี Elvaloy®1125 AC

- นำเม็ดพลาสติก HDPE ที่มีสารช่วยผสมคือพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงต่อกิ่งด้วยมาเลอิกแอนไฮไดรด์ (HDPE-g-MA) มาผสมกับเม็ดพลาสติก PET ที่มี Elvaloy®1125AC เม็ดพลาสติก HDPE ผสมกับเม็ดพลาสติก PET ในอัตราส่วน 80:20 85:15 90:10 และ 95:5 ตามลำดับ โดยผ่านเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว อุณหภูมิที่ใช้ในการหลอมเหลวแต่ละบริเวณเท่ากับ 220 230 240 และ 240 °C ความเร็วรอบสกรู 60 รอบต่อนาที แล้วนำไปเข้าเครื่องบดพลาสติกจะได้เม็ดพลาสติกขนาดเล็กที่มี HDPE สารช่วยผสม และ PETที่มี Elvaloy®1125AC ผสมอยู่ด้วยกัน (ตารางที่ 3.1)

ตารางที่ 3.1 อัตราส่วนการผสมระหว่าง HDPE ที่มีสารช่วยผสม และ PETที่มี Elvaloy®1125AC

% HDPE	% PETที่มี Elvaloy®1125AC
80	20
85	15
90	10
95	5

*** หมายเหตุ ใช้ (HDPE-g-MA) เป็นสารช่วยผสมในปริมาณ 5 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักรวม [12] ระหว่าง HDPE กับ PET ที่มี Elvaloy®1125 AC

3.3.3 การขึ้นรูปฟิล์มโดยกระบวนการเป่าฟิล์ม

นำเม็ดพลาสติกจากข้อ 3.3.2 มาทำการเป่าขึ้นรูปฟิล์มโดยสภาวะที่ใช้ของกระบวนการ คือ อุณหภูมิในแต่ละบริเวณของเครื่องอัดรีดชนิดเกลียวหนอนเดียวเป็น 220 230 240 และ 240 °C ใช้ความเร็วรอบเท่ากับ 100 รอบต่อนาที และที่เครื่องเป่าฟิล์ม อุณหภูมิที่ใช้บริเวณรูปตัวเอส (S-adaptor) เท่ากับ 250 °C และที่หัวดายเท่ากับ 240 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.4 ศึกษาสมบัติของฟิล์ม ดังนี้

3.3.4.1. สมบัติเชิงกล

- ทดสอบความแข็งแรงดึง
- ทดสอบความแข็งแรงต่อการฉีกขาด
- ทดสอบความทนทานต่อแรงกระแทก

3.3.4.2. สมบัติทางกายภาพ

- การซึมผ่านของก๊าซออกซิเจน
- การซึมผ่านของไอน้ำ

3.3.4.1 สมบัติเชิงกล

- สมบัติทางแรงดึง (Tensile properties)

สมบัติที่ทำการศึกษาได้แก่ ค่าความแข็งแรงดึง (Tensile strength) ค่ามอดุลัส (Modulus) และค่าร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาด (% Elongation at break) ตามมาตรฐาน ASTM D638 โดยใช้เครื่องทดสอบสมบัติเชิงกล (Universal Testing Machine) และโปรแกรม WINDAP ในการคำนวณ โดยชิ้นงานทดสอบอยู่ในรูปดัมเบลล์ ใช้ชิ้นงานทดสอบจำนวน 10 ชิ้นในแต่ละสูตร และใช้สภาวะในการทดสอบดังนี้

- โหลดเซลล์ (Load cell)	100	นิวตัน (N)
- ความเร็วในการดึง (Test speed)	100	มิลลิเมตร/นาที
- ความยาวของเกจ (Gauge length)	70	มิลลิเมตร
- Grammage	1.0	กรัม/ตารางเมตร
- ระดับเซลล์ (Cell Class)	0.5	

ค่าความแข็งแรงดึง ค่ามอดุลัส และค่าร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาด สามารถคำนวณได้จากสมการดังนี้

ความแข็งแรงดึง (Tensile strength) = F/A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มอดุลัส (Modulus) = ความเค้น (Stress) / ความเครียด (Strain)

ร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาด (%Elongation at break) = $\left(\frac{l - l_o}{l_o}\right) \times 100$

เมื่อ F คือ แรงดึงยืดชิ้นงานตัวอย่าง (หน่วยเป็นนิวตัน; N)

A คือ พื้นที่หน้าตัดของชิ้นงานตัวอย่าง (หน่วยเป็นตารางมิลลิเมตร; mm^2)

l คือ ระยะระหว่างจุดสองจุดหลังทำการดึงชิ้นงานตัวอย่าง (หน่วยเป็นมิลลิเมตร; mm)

l_o คือ ระยะห่างระหว่างจุดสองจุดก่อนทำการดึงชิ้นงานเป็นระยะที่แคบที่สุดและมีพื้นที่เท่ากันตลอด (Gague length หน่วยเป็นมิลลิเมตร; mm)

- สมบัติความแข็งแรงต่อการฉีกขาด (Tear properties)

สมบัติที่ทำการศึกษาได้แก่ ค่าความแข็งแรงต่อการฉีกขาด (Tear strength) ตามมาตรฐาน ASTM D882 โดยใช้เครื่องทดสอบสมบัติเชิงกล (Universal Testing Machine) และโปรแกรม WINDAP ในการคำนวณโดยชิ้นงานทดสอบอยู่ในรูปปีกนกใช้ชิ้นงานทดสอบจำนวน 10 ชิ้นในแต่ละสูตร และใช้สภาวะในการทดสอบดังนี้

- โหลดเซลล์ (Load cell)	10	นิวตัน (N)
- ความเร็วในการดึง (Teat speed)	200	มิลลิเมตร/นาที
- Grammage	1.0	กรัม/ตารางเมตร
- ระดับเซลล์ (Cell class)	0.5	

ค่าความแข็งแรงต่อการฉีกขาด คิดจาก

ความแข็งแรงต่อการฉีกขาด (Tear strength) = แรง / ความหนาชิ้นงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- <u>ความแข็งแรงกระแทก</u>

การทดสอบความแข็งแรงกระแทก (Falling dart impact) เป็นไปตามมาตรฐาน ASTM D1101-3099 โดยในการทดสอบจะปล่อยลูกตุ้ม (Dart weight) ด้วยความสูง 26 นิ้ว ทำการทดสอบชิ้นงานโดยทดสอบหาน้ำหนักที่น้อยที่สุดที่ทำให้ชิ้นงานแตกและน้ำหนักน้อยที่สุดที่ชิ้นงานไม่แตก

ค่าความแข็งแรงกระแทกสามารถหาได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$W_f = W_i - [W(S/100 - ½)]$$

เมื่อ W_f คือ น้ำหนักที่ทำให้ชิ้นงานแตก (หน่วยเป็นกรัม; g)

W_i คือ น้ำหนักต่ำสุดที่ชิ้นงานแตก 100 % (หน่วยเป็นกรัม; g)

W คือ น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (หน่วยเป็นกรัม; g)

S คือ ผลรวมของเปอร์เซ็นต์ในการแตกทั้งหมด (จาก 0% การแตก - 100% การแตก)

3.3.4.2 สมบัติทางกายภาพ

- <u>การทดสอบการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจน มาตรฐาน ASTM D3985-81 (1981)</u>

การเตรียมตัวอย่าง

ตัวอย่างต้องไม่มีรอยพับ ขูด ขีด ร่อง ตัดตัวอย่างฟิล์มเป็นรูป 8 เหลี่ยมด้วย Cutting template ก่อนทำการทดสอบต้องเก็บตัวอย่างไว้ในสภาวะที่ควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ ($27^{o}C/65\%$) อย่างน้อย 24 ชั่วโมง

วิธีการทดสอบ

วางชิ้นตัวอย่างตรงกลางระหว่างเซลล์ ปล่อยก๊าซออกซิเจนและก๊าซไนโตรเจนเข้าไป โดยก๊าซไนโตรเจนจะเป็นตัวนำก๊าซออกซิเจนที่สามารถผ่านแผ่นฟิล์มไปยังด้านที่มีก๊าซออกซิเจนต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กว่า ไปยังเครื่องบันทึกค่า ค่าที่อ่านได้จะเป็นปริมาตรของก๊าซที่วัดได้จากการซึมผ่านซึ่งจะคงที่ ณ อุณหภูมิและพื้นที่ผิวที่กำหนด มีหน่วยเป็น $cc/m^2.day$

หมายเหตุ 1. หน่วยของ OTR คือ $cc/m^2.day$

2. เวลา Purge เท่ากับ 30 นาที

3. เวลาทดสอบเท่ากับ 35 นาที (เปลี่ยนแปลงได้ตามชนิดตัวอย่าง)

การคำนวณ

$$OP = (permeance)(\text{ความหนาของฟิล์ม})$$
$$= (OTR/\Delta P)(\text{ความหนาของฟิล์ม})$$

เมื่อ OP คือ Oxygen Permeability

(มีหน่วยเป็น $cc.\mu m/m^2.day.kPa$)

OTR คือ Oxygen Transmission rate ซึ่งอ่านได้โดยตรงจากเครื่องวัด

(มีหน่วยเป็น $cc/m^2.day$)

ΔP คือ ค่าความดันของก๊าซที่แตกต่างกัน ณ อุณหภูมิที่ใช้ทดสอบ

(48 psi หรือ 330.9485 kPa)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- <u>การทดสอบความสามารถในการซึมผ่านของไอน้ำมาตรฐาน ASTME 96-95 (1996)</u>

อุปกรณ์

1. ถ้วยทดสอบการซึมผ่านของไอน้ำ
2. เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง
3. ขี้ผึ้งพาราฟิน
4. ซิลิกาเจลอบแห้ง

การเตรียมตัวอย่าง

ตัวอย่างต้องไม่มีรอยพับ ขูด ขีด ร่อ ตัดตัวอย่างฟิล์มเป็นวงกลมเส้นผ่านศูนย์กลาง 7 เซนติเมตร ก่อนทำการทดสอบต้องเก็บไว้ในสภาวะที่ควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ ($27^{o}C/65\%$) อย่างน้อย 24 ชั่วโมง

วิธีการทดสอบ

ใส่ซิลิกาเจลอบแห้งลงในถ้วย นำตัวอย่างฟิล์มปิดทับลงบนปากถ้วยผนึกด้วยพาราฟินเหลว เพื่อป้องกันรอยรั่ว นำถ้วยทดสอบไปชั่งน้ำหนักอย่างละเอียด แล้วนำไปเก็บไว้ในที่ควบคุมสภาวะ บันทึกการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักทุกๆ 24 ชั่วโมง เป็นเวลา 7 วัน

การคำนวณ

อัตราการซึมผ่านของไอน้ำ (WVTR) = (G/t) /A

โดยที่ WVTR คือ Water Vapor Transmission Rate ($g/m^2.day$)

G/t คือ อัตราการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักต่อเวลา (slope)

A คือ พื้นที่ของตัวอย่างที่วัดการซึมผ่าน = 0.002827 m^2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การซึมผ่านของไอน้ำ (WVP) = Permeance . ความหนาของฟิล์ม

โดยที่ Permeance = $WVTR/\Delta P = WVTR/S(R_1 - R_2)$

เมื่อ WVP คือ Water Vapor Permeability ($g.mm/m^2.day.kPa$)

S คือ ความดันไอน้ำอิ่มตัวที่อุณหภูมิ 25 ^{o}C (3.169 kPa หรือ 23.7694 mmHg)

R_1 คือ ความชื้นสัมพัทธ์บรรยากาศห้องทดสอบ = 72%

R_2 คือ ความชื้นสัมพัทธ์บรรยากาศในถ้วยทดสอบ = 0%

3.3.4.3 สมบัติทางความร้อน

ดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิงคาลอริมิเตอร์ (Differential scanning calorimeter, DSC)

ชั่งสารใส่อะลูมิเนียมแพนจำนวน 5-10 มิลลิกรัม ให้ทราบปริมาณสารที่แน่นนอนแล้ววิเคราะห์ด้วยเครื่อง DSC โดย

- อัตราการให้ความร้อน (Heating rate) ที่ 10 $^{o}C/min$
- อัตราการเย็นตัว (Cooling rate) ที่ 10 $^{o}C/min$
- ศึกษาอุณหภูมิหลอมเหลว (T_m) อุณหภูมิตกผลึก (T_c) และความเป็นผลึก (Degree of crystallinity) ของชิ้นงาน

การคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ความเป็นผลึกและความเป็นผลึกสามารถหาได้จากสมการต่อไปนี้

$$\Delta H_f = \frac{\text{พื้นที่ใต้กราฟ (J)}}{\text{น้ำหนักสารตัวอย่าง (g)}}$$

ปริมาณความเป็นผลึก

$$\text{Degree of crystallinity (HDPE)} = \frac{\Delta H_f}{\Delta H_0} \times \text{mole fraction} \times 100$$

เมื่อ ΔH_f คือ เอนทาลปีของการหลอมเหลวที่ได้จากกราฟ

ΔH_0 คือ เอนทาลปีของการหลอมเหลวของ HDPE ที่มีความเป็นผลึก 100 % มีค่าเท่ากับ 293 J/g [13]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

จากการทดลองปรับปรุงฟิล์มพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE) ด้วยพอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเลท (PET)ในอัตราส่วนผสมระหว่าง HDPE ต่อ PET ที่มี Elvaloy ® 1125 AC เท่ากับ 95:5 90:10 85:15 และ 80:20 โดยใช้สารช่วยผสม คือ พอลิเอทิลีนต่อกิ่งด้วยมาเลอิกแอนไฮไดรด์ (HDPE-g-MA) ในปริมาณ 5 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักรวม [12] ระหว่าง HDPE กับ PET ที่มี Elvaloy ® 1125 AC ทำการผสม HDPE กับ HDPE-g-MA ในอัตราส่วนต่างๆ โดยผ่านกระบวนการผสมด้วยเครื่องอัดรีดชนิดเกลียวหนอนเดี่ยว ใช้ความเร็วรอบของสกรูเท่ากับ 50 รอบต่อนาที อุณหภูมิที่ใช้ในการหลอมเหลวแต่ละบริเวณเท่ากับ 150 160 170 และ 180°C จากนั้นนำไปผสมกับ PET โดยใช้เครื่องอัดรีดชนิดเกลียวหนอนเดี่ยวเช่นกัน ใช้ความเร็วรอบของสกรูเท่ากับ 60 รอบต่อนาที อุณหภูมิที่ใช้ในการหลอมเหลวแต่ละบริเวณเท่ากับ 220 230 240 และ 250°C เมื่อได้ของผสม HDPE ที่ปรับปรุงด้วยPETแล้ว จึงนำไปขึ้นรูปเป็นฟิล์มโดยการเป่าขึ้นรูปฟิล์ม สภาวะที่ใช้ในเครื่องอัดรีดชนิดเกลียวหนอนเดี่ยวคือ 220 230 240 0 และ 240°C ความเร็วรอบของสกรูเท่ากับ 100 รอบต่อนาที และที่หัวคายของเครื่องเป่าฟิล์มแบ่งเป็น 2 บริเวณคือ โซนเอสอะแดพเตอร์ (S-adaptor) เท่ากับ 250°C และที่หัวคายเท่ากับ 240°C

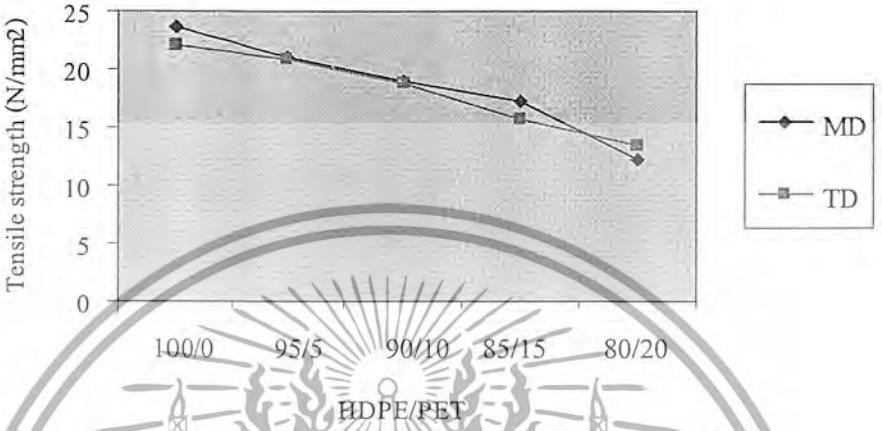
4.1 การศึกษาสมบัติเชิงกล

4.1.1 ทดสอบความแข็งแรงดึง

นำฟิล์มพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE) ที่ปรับปรุงด้วยพอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเลท (PET) แล้ว มาตัดเป็นรูปดัมเบลล์ เพื่อตรวจสอบสมบัติต้านทานแรงดึง (Tensile resistance) ค่ามอดุลัส (Modulus) และการดึงยืด ณ จุดขาด (Elongational at break) โดยทำการศึกษาทั้ง 2 แนวแรง คือ แนวตามเครื่อง (Machine direction) และแนวขวางเครื่อง (Transverse direction)

ผลที่ได้แสดงดังรูป 4.1, 4.2 และ 4.3

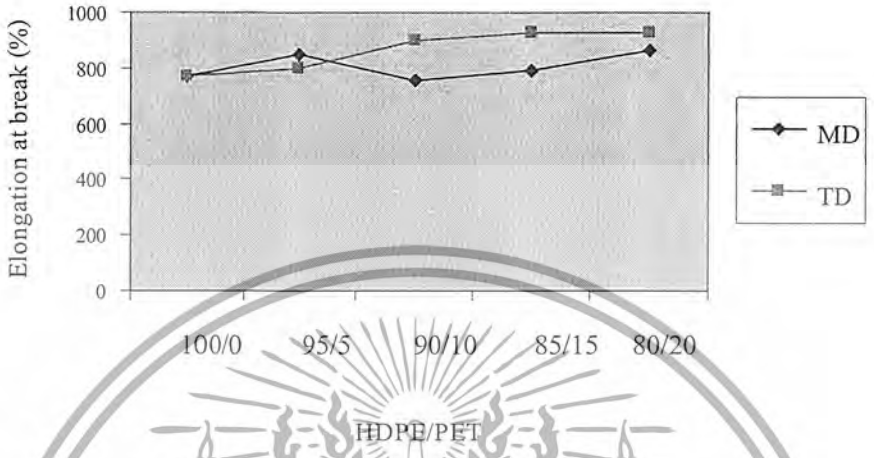
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งแรงดึงกับฟิล์มพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE) ที่ปรับปรุงด้วยพอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเลท (PET) ในอัตราส่วนผสมที่แตกต่างกัน

จากกราฟรูปที่ 4.1 แสดงผลการทดสอบค่าความแข็งแรงดึง (Tensile Strength) พบว่าเมื่อปริมาณของพอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเลท (PET) เพิ่มมากขึ้น ค่าความแข็งแรงดึงจะมีค่าลดลงเล็กน้อย เนื่องจาก PET เป็นพอลิเมอร์ที่มีความแข็ง เมื่อเติม PET เข้าไป ทำให้ PET ไปขัดขวางการจัดเรียงตัวของสายโซ่พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE) ทำให้ความแข็งแรงดึงลดลง และเมื่อพิจารณาทั้ง 2 แนวแรงคือ แนวตามเครื่อง (Machine direction) และแนวขวางเครื่อง (Transverse direction) พบว่ามีค่าใกล้เคียงกัน เนื่องจากกระบวนการขึ้นรูปมีการจัดเรียงตัว 2 ทิศทาง [11]

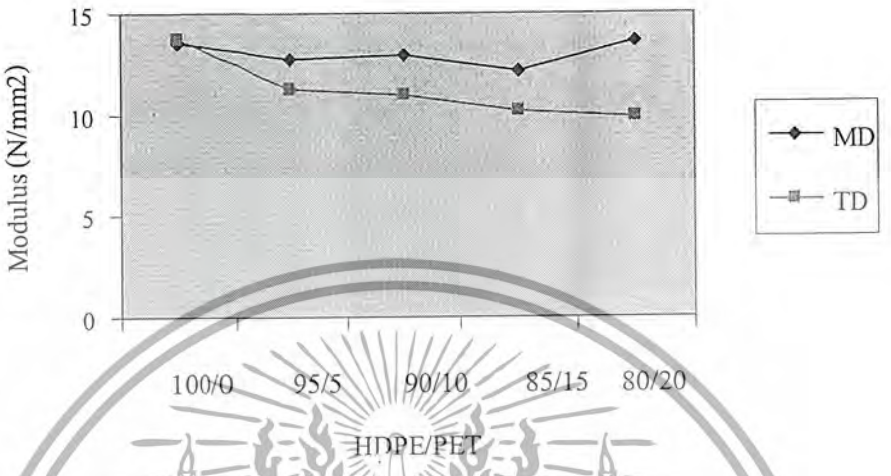
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดึงยืด ณ จุดขาดกับฟิล์มพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE) ที่ปรับปรุงด้วยพอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเลท (PET) ในอัตราส่วนผสมที่แตกต่างกัน

จากกราฟรูปที่ 4.2 แสดงผลการทดสอบการดึงยืด ณ จุดขาด (Elongational at break) พบว่าเมื่อปริมาณของพอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเลท (PET) เพิ่มมากขึ้น ค่าการดึงยืด ณ จุดขาดจะมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ทั้งนี้เนื่องจาก PET เข้าไปขัดขวางการจัดเรียงตัวของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE) ความเป็นผลึกจึงลดลง และทำให้ความเป็นอสัณฐานของHDPEเพิ่มมากขึ้น จึงส่งผลให้ค่าการดึงยืด ณ จุดขาดเพิ่มมากขึ้นและเมื่อพิจารณาทั้ง 2 แนวแรงคือ แนวตามเครื่อง (Machine direction) และแนวขวางเครื่อง (Transverse direction) พบว่ามีค่าใกล้เคียงกัน [11]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



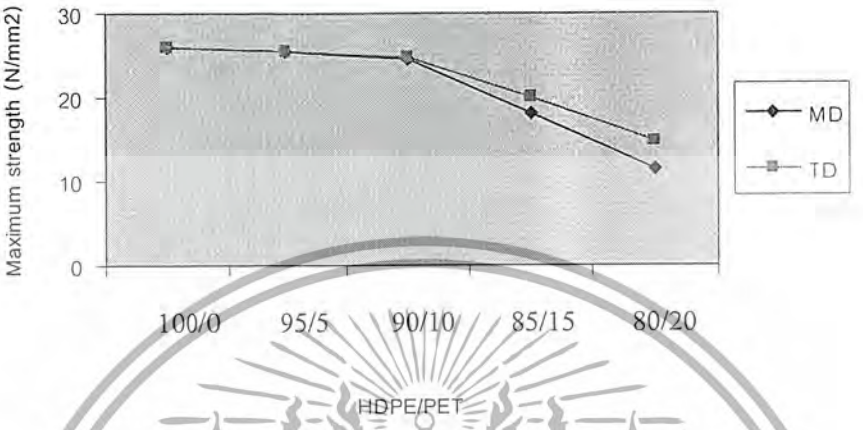
รูปที่ 4.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ามอดุลัสกับฟิล์มพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE) ที่ปรับปรุงด้วยพอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเลท (PET) ในอัตราส่วนผสมที่แตกต่างกัน

จากกราฟรูปที่ 4.3 แสดงผลการทดสอบค่ามอดุลัส (Modulus) พบว่าเมื่อปริมาณของพอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเลท (PET) เพิ่มมากขึ้น ค่ามอดุลัสมีค่าใกล้เคียงกัน เนื่องจากค่าความแข็งแกร่ง (rigidity) ของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE) เปลี่ยนแปลงไปน้อยมากทั้งในแนวตามเครื่อง (Machine direction) และแนวขวางเครื่อง (Transverse direction)

4.1.2 ทดสอบความแข็งแรงต่อการฉีกขาด

นำฟิล์มพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE) ที่ปรับปรุงด้วยพอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเลท (PET) แล้ว มาตัดเป็นรูปปีกนก เพื่อตรวจสอบสมบัติต้านทานแรงฉีกขาด (Tear resistance) โดยทำการศึกษาทั้ง 2 แนวแรงคือ แนวตามเครื่อง (Machine direction) และแนวขวางเครื่อง (Transverse direction) พบว่าได้ผลดังรูปที่4.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



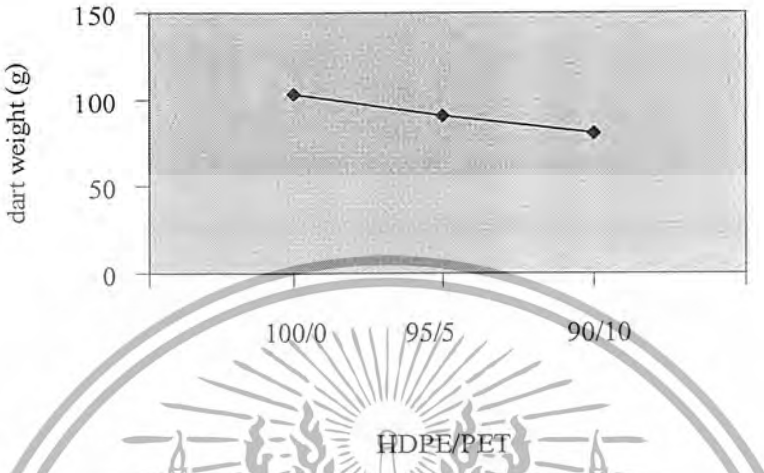
<u>รูปที่ 4.4</u> แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งแรงต่อการฉีกขาดกับฟิล์มพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE) ที่ปรับปรุงด้วยพอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเลท (PET) ในอัตราส่วนผสมที่แตกต่างกัน

จากกราฟรูปที่ 4.4 แสดงผลการทดสอบค่าความแข็งแรงต่อการฉีกขาด (Tear Strength) พบว่าเมื่อพอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเลท (PET) มีปริมาณเพิ่มมากขึ้นจนถึง 10% ค่าความแข็งแรงต่อการฉีกขาดจะลดลงเพียงเล็กน้อยเพราะในช่วงที่ปริมาณPETยังไม่เกิน 10% พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE) กับ PET ยังมีความสามารถเข้ากันได้อยู่ แต่เมื่อปริมาณ PET เพิ่มมากกว่า 10% จะสามารถแยกตัวออกเป็นอีกวัฏภาคหนึ่งจึงทำให้ค่าความแข็งแรงต่อการฉีกขาดลดลง

4.1.3 <u>ทดสอบความแข็งแรงกระแทก</u>

นำฟิล์มพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE) ที่ปรับปรุงด้วยพอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเลท (PET) แล้วมาทดสอบสมบัติความแข็งแรงกระแทก โดยใช้เครื่อง Falling Dart Impact ผลที่ได้แสดงดังรูปที่ 4.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



<u>รูปที่ 4.5</u> แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งแรงกระแทกกับฟิล์มพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE) ที่ปรับปรุงด้วยพอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเลท (PET) ในอัตราส่วนผสมที่แตกต่างกัน

จากกราฟรูปที่ 4.5 แสดงผลการทดสอบค่าความแข็งแรงกระแทก (Impact Strength) พบว่าเมื่อปริมาณพอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเลท (PET) เพิ่มมากขึ้น น้ำหนักที่ทำให้ฟิล์มแตก (dart weight) มีค่าลดลง เนื่องจากการเติม PET ไปขัดขวางการจัดเรียงตัวของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE) ทำให้เกิดเป็นจุดบกพร่องของชิ้นงาน ดังนั้นความแข็งแรงกระแทกของชิ้นงานจึงลดลง

***<u>หมายเหตุ</u> ในอัตราส่วนผสมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงกับพอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเลท (HDPE/PET) ที่ 85/15 และ 80/20 ไม่สามารถวัดความแข็งแรงกระแทกของฟิล์มพอลิเมอร์ได้ เนื่องจากเป็นขีดจำกัดของเครื่องมือที่ใช้ เพราะน้ำหนักลูกตุ้ม (dart weight) ต่ำสุดที่ใช้ในการทดลองมีค่ามากเกินไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การศึกษาสมบัติทางกายภาพ

จากการศึกษาสมบัติเชิงกลในข้อ 4.1 พบว่าฟิล์มพอลิเมอร์ผสมในอัตราส่วน 95:5 และ 90:10 มีสมบัติเชิงกลที่ดีจึงเลือกนำมาทดสอบสมบัติทางกายภาพ

4.2.1 การทดสอบการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจน

นำฟิล์มพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE) ที่ปรับปรุงด้วย พอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเลท (PET) มาทดสอบสมบัติการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนโดยวัดค่าอัตราการซึมผ่านของก๊าซ (Oxygen Transmission Rate)

รูปที่ 4.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนกับฟิล์มพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE) ที่ปรับปรุงด้วยพอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเลท (PET) ในอัตราส่วนผสมที่แตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากกราฟรูปที่ 4.6 พบว่าเมื่อปริมาณของพอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเลท (PET) เพิ่มขึ้น ค่าอัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนมีค่าลดลงทั้งนี้เนื่องจากอิทธิพลของ PET มีสมบัติต้านการซึมผ่านของก๊าซได้ดีดังนั้นเมื่อปริมาณของ PET เพิ่มขึ้นการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนจะมีค่าลดลง

การทดสอบการซึมผ่านของไอน้ำ

นำฟิล์มพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE) ที่ปรับปรุงด้วย พอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเลท (PET) ตัดเป็นรูปวงกลม เส้นผ่านศูนย์กลาง 7 ซม. ปิดทับบนปากถ้วยที่มีซิลิกาเจลอบแห้ง ทิ้งไว้เป็นเวลา 7 วัน ชั่งน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นในแต่ละวัน แล้วนำมาคำนวณในสมการของการซึมผ่านไอน้ำ ในหัวข้อที่ 3.3.4.2 ผลที่ได้แสดงในรูปที่ 4.7

รูปที่ 4.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราการซึมผ่านของไอน้ำกับฟิล์มพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE) ที่ปรับปรุงด้วยพอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเลท (PET) ในอัตราส่วนผสมที่แตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากกราฟรูปที่ 4.7 พบว่าเมื่อปริมาณของพอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเลท (PET) เพิ่มขึ้น ค่าอัตราการซึมผ่านของไอน้ำมีค่าลดลงทั้งนี้เนื่องจาก PET มีความเป็นผลึกขนาดเล็ก ทำให้มีการจัดเรียงตัวที่หนาแน่นขึ้นกว่าเดิม ดังนั้นอัตราการซึมผ่านของไอน้ำจึงลดลงด้วย

4.3 <u>การศึกษาสมบัติทางความร้อนโดยใช้เครื่องดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งคาลอริมิเตอร์ (DSC)</u>

นำฟิล์มพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE) ที่ปรับปรุงด้วยพอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเลท (PET) มาทดสอบด้วยเครื่อง DSC เพื่อหาค่าเอนทาลปี และความเป็นผลึกของ HDPE

<u>ตารางที่ 4.1</u> แสดงค่าอุณหภูมิหลอมเหลวผลึก ค่าเอนทาลปี และเปอร์เซ็นต์ความเป็นผลึกของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE)

HDPE/PET	T_m (°C)	ΔH_f (J/g)	% ความเป็นผลึก
100/0	121.275	228.406	70.16
95/5	120.710	142.639	46.25
90/10	121.137	135.469	41.61
85/15	121.056	112.982	32.78
80/20	120.607	76.896	21.00

<u>หมายเหตุ</u> T_m คือ อุณหภูมิหลอมเหลวผลึกในส่วนของ HDPE

ΔH_f คือ เอนทาลปีของการหลอมเหลวของ HDPE

จากตารางที่ 4.1 เมื่อปริมาณพอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเรท (PET) ที่ใส่ลงไปในพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE) มีปริมาณเพิ่มมากขึ้น ค่าเอนทาลปีของการหลอมเหลวของ HDPE และเปอร์เซ็นต์ความเป็นผลึกของ HDPE มีค่าลดลง ทั้งนี้เนื่องมาจาก PET ที่ใส่เข้าไปนั้นไปทำการขัดขวางการจัดเรียงตัวในการเกิดผลึกของ HDPE และจากตารางพบว่าที่อัตราส่วน HDPE:PET ที่ 80:20 มีค่าเปอร์เซ็นต์ความเป็นผลึกของ HDPE มีค่าน้อยเมื่อเทียบกับอัตราส่วน HDPE:PET ที่ 100:0 ซึ่งอาจเป็นเพราะความผิดพลาดในการสุ่มตัวอย่างที่เจอบริเวณที่มีปริมาณของ PET มาก จึงทำให้เปอร์เซ็นต์ความเป็นผลึกของ HDPE ที่อัตราส่วน 80:20 มีค่าน้อยกว่าที่ควรจะเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

ในงานวิจัยนี้ศึกษาการปรับปรุงฟิล์มที่ได้จากพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE) ด้วยพอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเลท (PET) โดยใช้สารช่วยผสมคือ พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงต่อกิ่งด้วยมาเลอิกแอนไฮไดรด์ (HDPE-g-MA) 5 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักรวมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE) กับพอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเลท (PET) ที่มี Elvaloy ® 1125 AC และทำการศึกษาในอัตราส่วนผสมของ HDPE ต่อ PET ที่มี Elvaloy ® 1125 AC เป็น 80:20 85:15 90:10 และ 95:5 ตามลำดับ และทำการขึ้นรูปเป็นฟิล์ม

จากการศึกษาฟิล์มพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE) ที่ปรับปรุงด้วยพอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเลท (PET) พบว่า

1. สมบัติเชิงกล ได้แก่ ความแข็งแรงดึง (Tensile strength) การดึงยืด ณ จุดขาด (Elongation at break) และค่ามอดุลัส (Modulus) มีแนวโน้มเดียวกัน คือ เมื่อปริมาณพอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเลท (PET) เพิ่มมากขึ้นสมบัติเหล่านี้มีค่าลดลง

2. สมบัติความร้อนระบุว่า เมื่อปริมาณพอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเลท (PET) เพิ่มขึ้น ค่าเอนทาลปีของการหลอมเหลวของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE) มีค่าลดลง แต่อุณหภูมิหลอมเหลวผลึกนั้นไม่เปลี่ยนแปลง

3. สมบัติทางกายภาพ เช่น สมบัติด้านการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนและไอน้ำ มีแนวโน้วเดียวกัน คือ เมื่อปริมาณพอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเลท (PET) มากขึ้นสมบัติด้านการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนและไอน้ำดีขึ้น

เมื่อพิจารณาสมบัติเชิงกล และสมบัติทางความร้อนของฟิล์มพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE) ที่ปรับปรุงแล้วด้วยพอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเลท (PET) พบว่าที่อัตราส่วน 95:5 และ 90:10 มีสมบัติที่ใกล้เคียงกันและมีสมบัติที่ดีกว่าอัตราส่วนอื่นๆ แต่เมื่อนำสมบัติทางกายภาพมาพิจารณา พบว่าที่อัตราส่วน 90:10 มีสมบัติด้านการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนและไอน้ำได้ดีกว่าอัตราส่วนผสมที่ 95:5 ดังนั้นอัตราส่วน 90:10 จึงเหมาะสมที่สุดในการปรับปรุงฟิล์มพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE) ด้วยพอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเลท (PET)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1 ความเป็นไปได้ในการนำไปใช้งาน

เมื่อพิจารณาผลของสมบัติทางกายภาพ คือ สมบัติด้านการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนและไอน้ำ จะเห็นได้ว่าฟิล์มพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE) ที่ได้ทำการปรับปรุงด้วยพอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเลท (PET) แล้วมีความสามารถในการต้านการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนและไอน้ำได้ดีกว่าฟิล์มพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE) ดังนั้นจึงเหมาะที่จะนำไปใช้ทำเป็นบรรจุภัณฑ์ที่ต้องการสมบัติด้านทานการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนและไอน้ำ ไม่ให้เข้าไปถึงตัวผลิตภัณฑ์ด้านใน เช่น การทำถุงหมักไซเลจ เป็นต้น โดยในทางอุตสาหกรรมจะใช้ถุงไนลอน (Nylon) ในการทำถุงหมักไซเลจ ซึ่งมีอัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจน (Oxygen Transmission Rate) เท่ากับ 46 $cc/m^2/day$ และอัตราการซึมผ่านของไอน้ำ (Water Vapor Transmission Rate) เท่ากับ 403 $g/m^2/day$ ที่ความหนาเท่ากับ 0.0254 มิลลิเมตร [15] แต่ฟิล์มที่เตรียมได้ในโครงงานวิจัยนี้ที่อัตราส่วน HDPE ต่อ PET เป็น 90:10 มีอัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนเท่ากับ 376.33 $cc/m^2/day$ อัตราการซึมผ่านของไอน้ำเท่ากับ 0.1238 $g/m^2/day$ และมีความหนาอยู่ในช่วงประมาณไม่เกิน 0.2 มิลลิเมตร ซึ่งจะพบว่าไม่สามารถเปรียบเทียบกันได้ เนื่องจากความหนาที่ได้ไม่ใกล้เคียงกัน

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ศึกษาสารช่วยผสมชนิดอื่นๆ ที่เหมาะสมกับกระบวนการในการเป่าขึ้นรูปเป็นฟิล์ม
2. ทำการทดลองโดยเปลี่ยนพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE) และพอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเลท (PET) เป็นชนิดรีไซเคิล และทำการศึกษาผลที่ได้เปรียบเทียบกับชนิดบริสุทธิ์
3. ทำการศึกษาทางสัณฐานวิทยา โดยการส่อง SEM เพื่อตรวจสอบการเข้ากันได้ระหว่าง HDPE กับ PET โดยการสกัดด้วยตัวทำละลายที่เหมาะสมก่อน เพื่อที่จะได้ภาพ SEM ที่คมชัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

1. P. Sambaru and S.A. Jabalin, *Polymer. Eng. Sci.*, 33, 13 (1993).
2. Oromiehie, A.R., Hashemi, S.A., Meldrum, I.G. and Waters, D.N. "Optimisation of Processing Conditions for Blend Poly(ethylene terephthalate) with Polyalkenes" Plastics,Rubber and Composites Processing and Applications. 25 (5). (1996): 249-256.
3. LiYao and Charles Beatty "The In Situ Compatibilization of HDPE/PET Blends" ANTEC., Montreal. (1997): 2577-2581.
4. Michel, F.C., Michel, A.H. and Claudine, R. "Compatibilization of PP/PET Blends" ANTEC., Florida. (1998): 2453-2457.
5. รศ.ดร.สมศักดิ์ วรมงคลชัย, "เอกสารประกอบการเรียนวิชาปฏิบัติการเทคโนโลยีพอลิเมอร์ 1", ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพฯ, 2542
6. ณัฐติอร ธัญญประกอบ และวิภา ลีลาเอกเลิศ. 2542. **กระบวนการผสมระหว่างพอลิโอลิฟินส์กับพอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเลทที่ใช้แล้ว.** โครงงานพิเศษวิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
7. Feldmand, D.and Barbalata, A., "Synthetic Polymers Technology,Properties, Application" Chapman & Hall, London, 1996, pp. 3-43, 177-183.
8. ชลาธร จันทร์ทัด และธีรวัฒน์ เฉลิมสุขศรี. 2543. **การรีไซเคิลพอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเลทโดยเทคนิคพอลิเมอร์ไรเซชั่นแบบเปิดวงและเทคนิคพอลิเมอร์ไรเซชั่นแบบปิดวง.** โครงงานพิเศษวิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
9. Korshak, V.V. and Vinogradora, S.V. "Polyester". 1st ed. Pergamon Press, New York, 1965.
10. รศ. บรรเลง ศรนิล, "เทคโนโลยีพลาสติก" พิมพ์ครั้งที่ 1, ห้างหุ้นส่วนจำกัดภาพพิมพ์, กรุงเทพฯ, 2525, น. 12-13.
11. ผศ.ดร. เจริญ นาคะสรรค์, "กระบวนการแปรรูปพลาสติก", ภาควิชาเทคโนโลยียางและพอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

12. กิตติพงศ์ โสภณอุดมพร และพิรดี สุนทรสถิตย์. 2542. **บทบาทของสารช่วยผสมต่อสมบัติของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงกับพอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเลท**. โครงงานพิเศษวิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

13. Herman F. Mark, Jacqueline I. Kroschwitz, "Concise Encyclopaedia of Polymer Science & Engineering", Wiley John and Sons.4, 1998, 487

14. ศูนย์การบรรจุหีบห่อไทยสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทยร่วมกับบริษัทไทยโพลิเอทิลีน จำกัด, "รายงานการสัมมนา HDPE บรรจุภัณฑ์ทันสมัย", บริษัทวิคตอรี่เพาเวอร์พอยท์ จำกัด, กรุงเทพฯ, 2532

15. http//www.matweb.com/search/SpecificMaterial?bassnum=PALC014

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก.

ตารางแสดงสมบัติเชิงกล

ตาราง ก.1 แสดงความหนาของชิ้นงาน วัดโดยไมโครมิเตอร์มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร

HDPE/PET ชิ้นงานที่	100/0	95/5	90/10	85/15	80/20
1	0.117	0.165	0.187	0.175	0.183
2	0.107	0.178	0.185	0.175	0.193
3	0.108	0.218	0.192	0.197	0.193
4	0.112	0.203	0.180	0.185	0.197
5	0.108	0.182	0.178	0.203	0.185
6	0.108	0.157	0.177	0.180	0.200
7	0.115	0.182	0.180	0.175	0.200
8	0.107	0.162	0.185	0.203	0.197
9	0.108	0.160	0.188	0.203	0.202
10	0.112	0.225	0.190	0.195	0.195
เฉลี่ย	0.110	0.183	0.184	0.189	0.194
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.003584	0.024462	0.005203	0.012351	0.006294

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก.2 ค่าจากเครื่องทดสอบแรงดึง ของฟิล์มพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE) ที่ปรับปรุงด้วยพอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเลท (PET)

HDPE:PET	Tensile strength (N/m^2)		Elongation at break (%)		Modulus (N/m^2)	
	MD	TD	MD	TD	MD	TD
100:0	23.63	22.09	768.01	773.00	13.52	13.76
95:5	21.01	20.83	850.25	801.36	12.68	11.24
90:10	18.98	18.80	753.81	897.58	12.95	10.96
85:15	17.24	15.75	791.00	926.19	12.90	10.20
80:20	12.16	13.52	865.00	928.89	13.63	9.88

ตาราง ก.3 ค่าความแข็งแรงต่อการฉีกขาด (Tear Strenth) ของฟิล์มพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE) ที่ปรับปรุงด้วยพอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเลท (PET)

HDPE:PET	Maximum Strength (N/mm)	
	แนวตามเครื่อง(MD)	แนวขวางเครื่อง(TD)
100:0	25.87	25.95
95:5	25.47	25.58
90:10	24.64	24.73
85:15	18.01	20.1
80:20	11.41	14.74

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก.4 ค่าการทดสอบความแข็งแรงกระแทกของฟิล์มพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE) ที่ปรับปรุงด้วยพอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเลท (PET)

HDPE:PET	Dart Weight (g)
100:0	103.42
95:5	90.92
90:10	80.92

***หมายเหตุ ในอัตราส่วนผสมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงกับพอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเลท(HDPE/PET) ที่ 85:15 และ 80:20 ไม่สามารถวัดความแข็งแรงกระแทกของฟิล์มพอลิเมอร์ได้ เนื่องจากเป็นขีดจำกัดของเครื่องมือที่ใช้

ตาราง ก.5 ค่าสมบัติเชิงกลต่างๆ ของฟิล์มพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE) ที่ปรับปรุงด้วยพอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเลท (PET) ในอัตราส่วน 90:10 ที่เปอร์เซ็นต์สารช่วยผสมต่างๆ

สารช่วยผสม (HDPE-g-MA) (%ของ นน.พอลิเมอร์)	Tensile strength (N/m^2)		Elongation at break (%)		Modulus (N/m^2)	
	MD	TD	MD	TD	MD	TD
1	15.39	15.54	936.75	909.28	9.54	9.27
3	17.13	15.89	789.26	867.31	11.50	10.49
5	18.90	18.80	753.81	784.81	12.95	11.03
7	19.01	17.98	700.14	700.14	13.99	13.02

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงสมบัติทางกายภาพ

ตาราง ก.6 ค่าอัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจน (OTR) ของฟิล์มพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE) ที่ปรับปรุงด้วยพอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเลท (PET)

HDPE:PET	ค่าอัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจน(OTR) ($cc/m^2/day$)			
	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	เฉลี่ย
100:0	747	718	729	731.33
95:5 (5%)	484	480	477	480.33
90:10 (5%)	364	387	378	376.33

ตาราง ก.7 น้ำหนักที่เปลี่ยนไปเมื่อทดสอบการซึมผ่านของไอน้ำของฟิล์มพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE) ที่ปรับปรุงด้วยพอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเลท (PET)

HDPE:PET	ชิ้นงานที่	น้ำหนัก (กรัม)						
		วันที่1	วันที่2	วันที่3	วันที่4	วันที่5	วันที่6	วันที่7
100:0	1	76.7220	76.7226	76.7232	76.7238	76.7241	76.7245	76.7246
	2	78.2241	78.2245	78.2251	78.2255	78.2259	78.2265	76.2268
	3	75.3066	75.3058	75.3061	75.3063	75.3065	75.3066	75.3067
95:5	1	78.9195	78.9198	78.9201	78.9206	78.9212	78.9219	78.9220
	2	72.1264	72.1264	72.1264	78.1264	72.1265	72.1265	72.1269
	3	80.8730	80.8732	80.8734	80.8736	80.8738	80.8738	80.8738
90:10	1	81.0422	81.0425	81.0428	81.0431	81.0435	81.0440	81.0441
	2	82.9280	82.9282	82.9283	82.9286	82.9289	82.9290	82.9292
	3	80.0912	80.0914	80.0918	80.0922	80.0924	80.0924	80.0924

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก.8 ค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักต่อเวลา (G/t) เมื่อทดสอบการซึมผ่านของไอน้ำของฟิล์มพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE) ที่ปรับปรุงด้วยพอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเลท (PET)

HDPE:PET	อัตราการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักต่อเวลา(G/t) (g/day)
100:0	0.00055
95:5	0.000417
90:10	0.00035

ตาราง ก.9 อัตราการซึมผ่านของไอน้ำของฟิล์มพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE) ที่ปรับปรุงด้วยพอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเลท (PET)

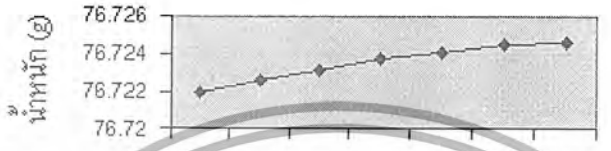
HDPE:PET	อัตราการซึมผ่านของไอน้ำ ($g/m^2/day$)
100:0	0.1946
95:5	0.1475
90:10	0.1238

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

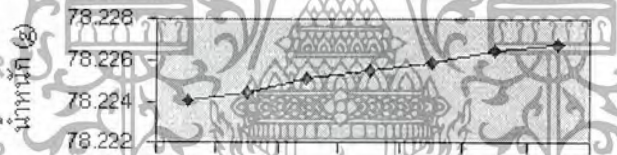
ภาคผนวก ข.

<u>กราฟ ข.1</u> ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักที่เปลี่ยนไปกับเวลา(G/t) เมื่อทดสอบการซึมผ่านของไอน้ำของฟิล์มพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE)

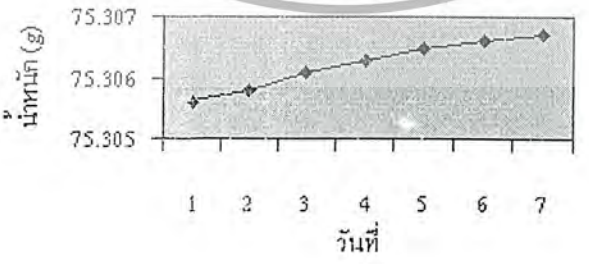
ชิ้นงานที่ 1



ชิ้นงานที่ 2



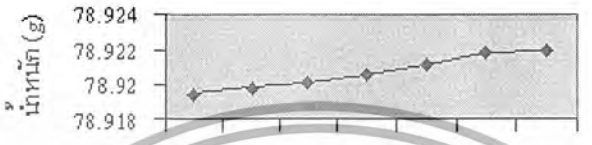
ชิ้นงานที่ 3



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

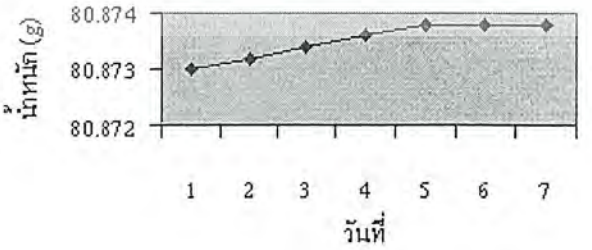
<u>กราฟ ข.2</u> ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักที่เปลี่ยนไปกับเวลา (G/t) เมื่อทดสอบการซึมผ่านของไอน้ำของฟิล์มพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE) ที่ปรับปรุงด้วยพอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเลท (PET) ในอัตราส่วน 95:5

ชิ้นงานที่ 1



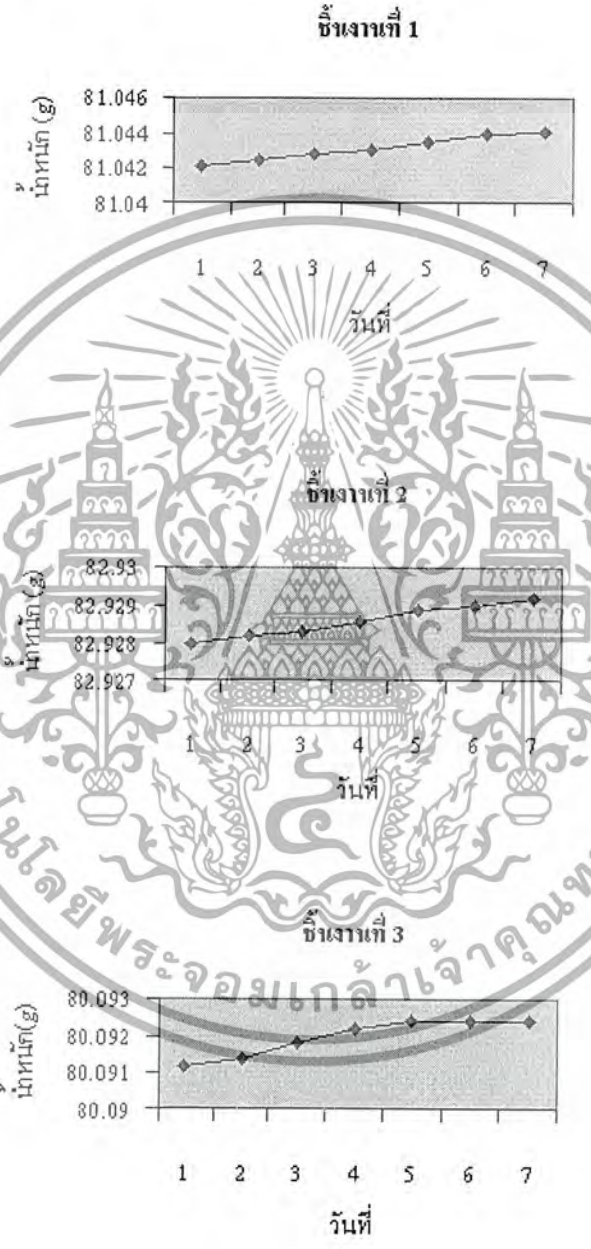
ชิ้นงานที่ 2

ชิ้นงานที่ 3



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<u>กราฟ ข.3</u> ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักที่เปลี่ยนไปกับเวลา (G/t) เมื่อทดสอบการซึมผ่านของไอน้ำของฟิล์มพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE) ที่ปรับปรุงด้วยพอลิเอทิลีนเทอเรฟทาเลท (PET) ในอัตราส่วน 90:10

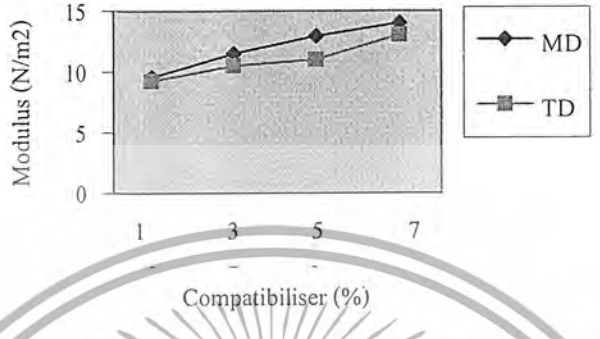


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

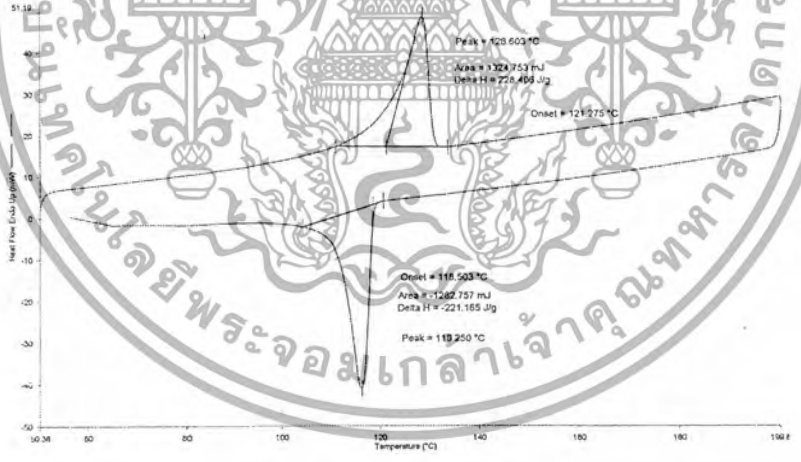
<u>กราฟ ข.4</u> ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารช่วยผสม (compatibiliser) กับ สมบัติเชิงกลต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MODULUS

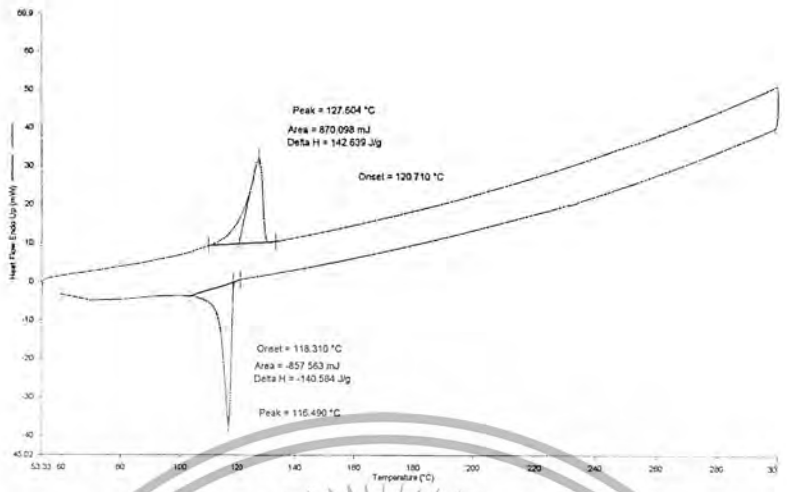


กราฟ ข.5 ผลการทดสอบ DSC

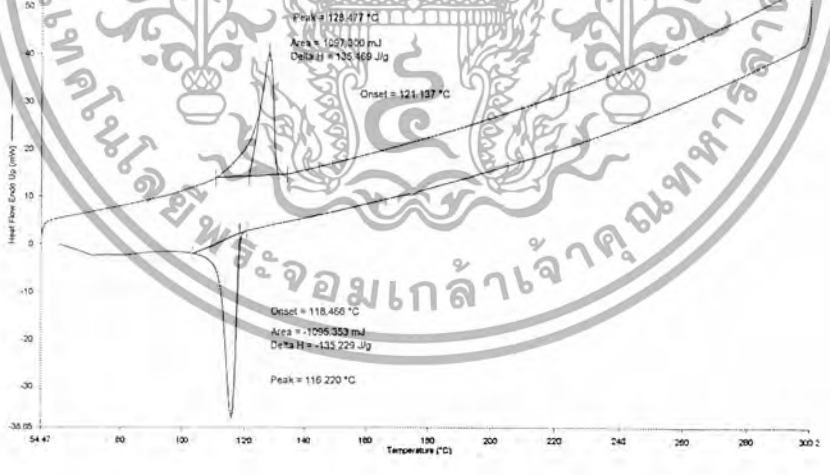


รูปที่ 1 แสดงผลการทดสอบ DSC ของ HDPE:PET ในอัตราส่วน 100:0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

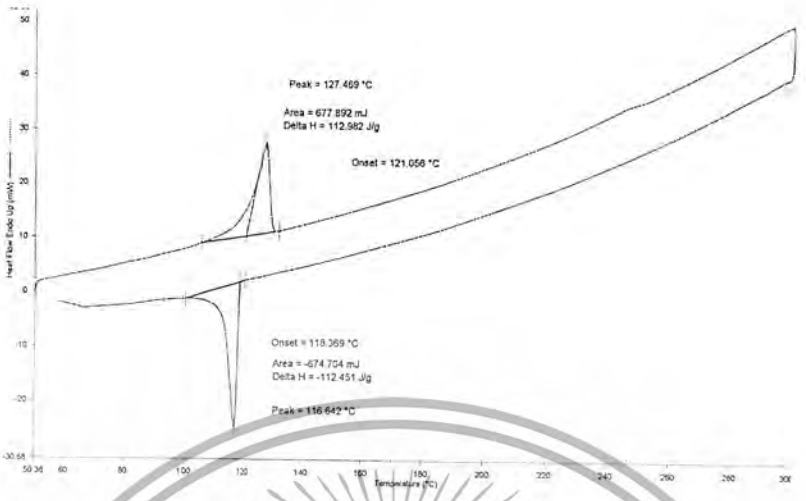


รูปที่ 2 แสดงผลการทดสอบ DSC ของ HDPE:PET ในอัตราส่วน 95:5

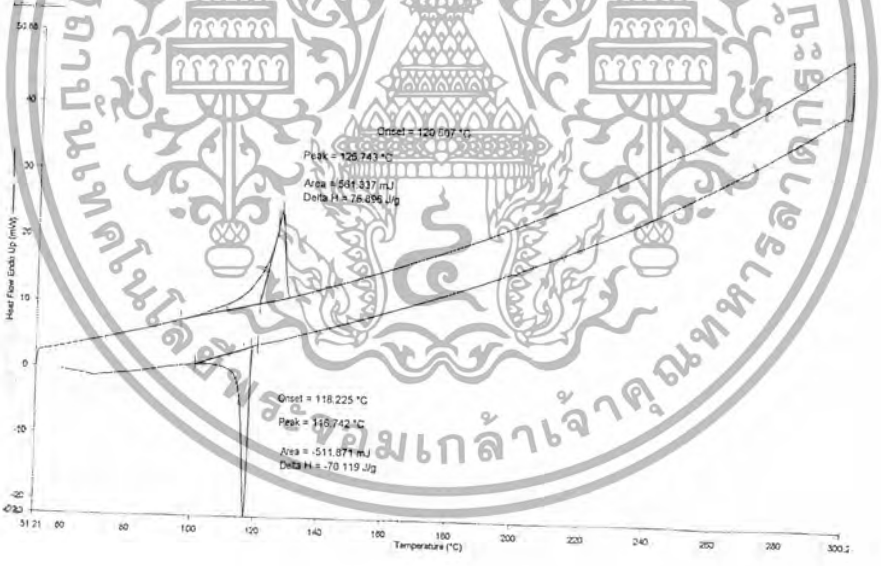


รูปที่ 3 แสดงผลการทดสอบ DSC ของ HDPE:PET ในอัตราส่วน 90:10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4 แสดงผลการทดสอบ DSC ของ HDPE:PET ในอัตราส่วน 85:15



รูปที่ 5 แสดงผลการทดสอบ DSC ของ HDPE:PET ในอัตราส่วน 80:20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้