

บทบาทของสารช่วยผสมต่อสมบัติของพอลิเอทิลีน
ชนิดความหนาแน่นสูงกับพอลิเอทิลีนเทอร์อพทาเลต



นายกิตติพงศ์ โสภณอุดมพร
นางสาวพริดี สุนทรสถิตย์

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาเคมี
คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2542

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 37643
วัน, เดือน, ปี..... 19 ก.ย. 2543

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Effect of Compatibilizers on properties of High Density
Polyethylene and Poly(ethylene terephthalate)**

Mr. Kittipong Soponudomporn

Miss Piradee Soontongsatid

**A Special Project Submitted in Partial Fulfillment of the
Requirement for the Degree of Bachelor of Science
Department of Chemistry**

Faculty of Science

Kingmongkut's Institute of Technology Ladkrabang

1999

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ

บทบาทของสารช่วยในการผสมต่อสมบัติของพอลิเอทิลีนชนิด
ความหนาแน่นสูงกับพอลิเอทิลีนเทอร์ราฟทาเลต

โดย

นายกิตติพงศ์ โสภณอุดมพร

นางสาวพริศิ์ ศุภทรสถิตย์

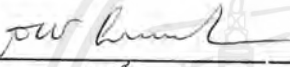
ภาควิชา

เคมี

อาจารย์ที่ปรึกษา

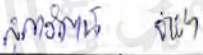
ผศ.ดร.มาลินี ชัยศุภกิจสินธุ์

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
อนุมัติให้โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต



(ผศ.ดร.สมศักดิ์ วรมงคลชัย)

หัวหน้าภาควิชาเคมี

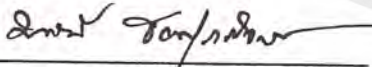
คณะกรรมการตรวจสอบโครงการพิเศษ


(ดร.สุภารัตน์ จำปา)

ประธานกรรมการ


(ดร.ชลลดา ฤตวิรุฬห์)

กรรมการ


(ผศ.ดร.มาลินี ชัยศุภกิจสินธุ์)

กรรมการ

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อ โครงการงานพิเศษ	บทบาทของสารช่วยในการผสมต่อสมบัติของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงกับพอลิเอทิลีนเทอร์ราพทาเลต
นักศึกษา	นายกิตติพงศ์ โสภณอุดมพร นางสาวพริดี สุนทรสถิตย์
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.มาลินี ชัยสุภกิจสินธุ์
ภาควิชา	เคมี
ปีการศึกษา	2542

บทคัดย่อ

โครงการงานพิเศษนี้เป็นการศึกษาผลของสารช่วยผสมต่อสมบัติของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงกับพอลิเอทิลีนเทอร์ราพทาเลต โดยใช้อัตราส่วนของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงกับพอลิเอทิลีนเทอร์ราพทาเลตเป็น 80 : 20 สามารถแบ่งสารช่วยผสมออกเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มของสารช่วยผสมที่เกิดปฏิกิริยา คือ พอลิเอทิลีนต่อกึ่งด้วยอะคริลิกและพอลิเอทิลีนต่อกึ่งด้วยมาเลอิกแอนไฮไดรด์ และกลุ่มที่เป็นอีลาสโตเมอร์ คือ เอทิลีนไวนิลเอซิเตตและเอทิลีนพรอพิลีนไดอินมอนอเมอร์ต่อกึ่งด้วยมาเลอิกแอนไฮไดรด์ ในอัตราส่วน 1 3 5 และ 7% โดยน้ำหนักของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงและพอลิเอทิลีนเทอร์ราพทาเลต เพื่อศึกษาสมบัติเชิงกล สมบัติทางความร้อน สัมฐานวิทยา และสมบัติการไหลของพอลิเมอร์ผสม

ในการศึกษาสมบัติเชิงกล พบว่าพอลิเมอร์ผสมที่เติมพอลิเอทิลีนต่อกึ่งด้วยมาเลอิกแอนไฮไดรด์ให้ความแข็งแรงดึง ความทนทานต่อแรงกระแทก และความแข็งดีกว่าเมื่อใช้พอลิเอทิลีนต่อกึ่งด้วยอะคริลิก ในขณะที่พอลิเอทิลีนต่อกึ่งด้วยอะคริลิกให้ความยืด ぬ จุดขาด และงานที่ทำให้ขาดดีกว่าพอลิเอทิลีนต่อกึ่งด้วยมาเลอิกแอนไฮไดรด์ ส่วนเอทิลีนพรอพิลีนไดอินมอนอเมอร์ให้งานที่ทำให้ขาด ความแข็งแรงดึง และความทนทานต่อแรงกระแทกดีกว่าเอทิลีนไวนิลเอซิเตต ในขณะที่เอทิลีนไวนิลเอซิเตตให้ความยืด ぬ จุดขาดและความแข็งดีกว่าเอทิลีนพรอพิลีนไดอินมอนอเมอร์

จากผลของสมบัติทางความร้อน สัมฐานวิทยา และสมบัติการไหลนั้นสรุปว่าพอลิเอทิลีนต่อกึ่งด้วยมาเลอิกแอนไฮไดรด์ และเอทิลีนพรอพิลีนไดอินมอนอเมอร์เป็นสารช่วยผสมที่เหมาะสมเพื่อให้ปรับปรุงสมบัติของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงกับพอลิเอทิลีนเทอร์ราพทาเลต (80 : 20)

Special Project Title	Effect of compatibilizer on properties of high density polyethylene and poly(ethylene terephthalate)
Name	Mr. Kittipong Soponudomporn Miss Piradee Soontongsatid
Special Project Advisor	Assistant Professor Dr. Malinee Chaisupakitsin
Department	Chemistry
Academic Year	1999

Abstract

This special project aimed to study effects of compatibilizers on the blend of high density polyethylene and poly(ethylene terephthalate). Blends of high density polyethylene and poly(ethylene terephthalate) were prepared in ratio 80:20, with two groups of compatibilizers. First, reactive compatibilizers are acrylic graft polyethylene and maleic anhydride graft polyethylene. Second, elastomer compatibilizers are ethylene vinyl acetate and ethylene propylene diene monomer graft polyethylene. The amount of added compatibilizers were 1, 3, 5, and 7% by weight of polymer blends. Mechanical properties, thermal properties, morphological and rheological characterization of polymer blends were investigated.

The results obtained from mechanical properties showed that the blends with maleic anhydride graft polyethylene provided better tensile strength, impact strength and hardness than acrylic graft polyethylene. But acrylic graft polyethylene gave higher elongation and work done than maleic anhydride graft polyethylene. In the case of elastomer compatibilizers, the ethylene propylene diene monomer had better work done, tensile strength and impact strength than ethylene vinyl acetate. But ethylene vinyl acetate gave higher elongation and hardness than ethylene propylene diene monomer.

From the results of thermal properties, morphological and rheological characteristics, we concluded that maleic anhydride graft polyethylene and ethylene propylene diene monomer are suitable compatibilizers for important properties of the blends of high density polyethylene and poly(ethylene terephthalate) (80:20).

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษนี้สำเร็จลุล่วงเป็นอย่างดีก็ด้วยความช่วยเหลือของคณาจารย์และบุคคลหลายฝ่าย จึงทำให้โครงการพิเศษนี้เสร็จสมบูรณ์ขึ้น ผู้เสนอขอกราบขอบพระคุณทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือและให้คำแนะนำดังนี้

ผศ.ดร.มาลินี ชัยสุภกิจสินธ์

อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษ

ดร.สุภารัตน์ จำปา

กรุณาให้คำปรึกษาโครงการพิเศษ

ดร.อิทธิพล แจ่มชัด

กรุณาให้คำปรึกษาโครงการพิเศษ

ดร.ชลลดา ฤตวิรุฬห์

กรุณาให้คำปรึกษาโครงการพิเศษ

ผศ.ดร.สมศักดิ์ วรมงคลชัย

กรุณาให้คำปรึกษาโครงการพิเศษ

มารดา บิดา ญาติมิตร ครู อาจารย์ และ เพื่อนๆ ที่ให้กำลังใจตามได้ในการทำโครงการพิเศษนี้

คุณสุภัทร บานเย็น คุณกัญญา มงคลโกชน์ และคุณสุรินทร์ เหล่าพระจันทร์ ที่ช่วยอำนวยความสะดวกและช่วยเหลือในการทำโครงการพิเศษ

อนึ่งยังมีบุคคลอีกหลายท่านนอกเหนือจากที่กล่าวมา
ขอขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้ด้วย

ผู้เสนอโครงการพิเศษขอกราบ

กิตติพงษ์ โสภณอุดมพร

พริดี สุนทรสถิตย์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญตาราง	ง
สารบัญรูป	จ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 วัตถุประสงค์	2
1.2 ขอบเขตงานวิจัย	2
1.3 ขั้นตอนการวิจัยและการดำเนินงาน	2
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	3
1.5 ความเป็นมาของโครงการ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	5
2.1 พอลิเอทิลีนเทอราพทาเลต	5
2.2 พอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง	6
2.3 สารช่วยผสม	9
2.4 พอลิเมอร์ผสม	11
2.5 เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย	15
2.6 วิธีที่ใช้ในการผสมพอลิเมอร์	18
2.7 การตรวจสอบสมบัติของพอลิเมอร์	18
บทที่ 3 การวิจัยและการดำเนินงาน	19
3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง	19
3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	19
3.3 ขั้นตอนการดำเนินงาน	19
3.4 วิธีการทดลอง	20
บทที่ 4 ผลการทดลอง	22
4.1 การศึกษาสมบัติเชิงกล	22
4.1.1 การศึกษาความยืด หยุ่น จุดขาด	22
4.1.2 การศึกษางานที่ทำให้ขาด	24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.1.3 การศึกษาความแข็งแรงดึง	26
4.1.4 การศึกษาความทนทานต่อแรงกระแทก	29
4.1.5 การศึกษาความแข็ง	31
4.2 การศึกษาสมบัติทางความร้อน โดยใช้เครื่อง DSC	33
4.2.1 การศึกษาอุณหภูมิหลอมเหลวผลึก	33
4.2.2 การศึกษาค่าเอนทาลปี	35
4.3 การศึกษาดัชนีระเหิดผิวโดยเทคนิค Scanning Electron Microscopy	38
4.4 การไหลของพอลิเมอร์	44
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย	47
5.1 สรุป	47
5.2 ข้อเสนอแนะ	48
เอกสารอ้างอิง	49
ภาคผนวก	50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 4.1 ตารางแสดงค่าความทนทานต่อแรงกระแทกของตัวอย่างเมือมี AA-g-PE หรือ MA-g-PE เป็นสารช่วยผสม	29
ตารางที่ 4.2 ตารางแสดงค่าความทนทานต่อแรงกระแทกของตัวอย่างเมือมี EVA หรือ EPDM เป็นสารช่วยผสม	30
ตารางที่ 4.3 ตารางแสดงค่าความแข็งแรงของตัวอย่างเมือใช้ AA-g-PE หรือ MA-g-PE เป็นสารช่วยผสม	31
ตารางที่ 4.4 ตารางแสดงค่าความแข็งแรงของตัวอย่างเมือใช้ EVA หรือ EPDM เป็นสารช่วยผสม	32
ตารางที่ 4.5 ตารางแสดงอุณหภูมิหลอมเหลวผลึกของตัวอย่างเมือใช้ AA-g-PE หรือ MA-g-PE เป็นสารช่วยผสม	33
ตารางที่ 4.6 ตารางแสดงอุณหภูมิหลอมเหลวผลึกของตัวอย่างเมือใช้ EVA หรือ EPDM เป็นสารช่วยผสม	34
ตารางที่ 4.7 ตารางแสดงเอนทาลปีของตัวอย่างเมือมี AA-g-PE หรือ MA-g-PE เป็นสารช่วยผสม	35
ตารางที่ 4.8 ตารางแสดงเอนทาลปีของตัวอย่างเมือมี EVA หรือ EPDM เป็นสารช่วยผสม	36
ตารางที่ 4.9 ตารางแสดงเอนทาลปีของตัวอย่างเมือมีปริมาณของสารช่วยผสม 5 เปอร์เซ็นต์	37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1	แสดงโครงสร้างของพอลิเอทิลีนเทอร์พทาเลต	5
รูปที่ 2.2	โครงสร้างของพอลิเอทิลีนต่อกิ่งด้วยมาเลอิกแอนไฮไดรด์	9
รูปที่ 2.3	แสดงโครงสร้างของพอลิเอทิลีนต่อกิ่งด้วยอะคริลิก	10
รูปที่ 2.4	แสดงปัจจัยที่มีผลต่อพอลิเมอร์ผสม	12
รูปที่ 2.5	แสดงโครงสร้างของพอลิเมอร์ผสมทั้งสามารถและไม่สามารถเข้ากันได้	12
รูปที่ 2.6	แสดงศักยภาพการตอบสนองทางสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสม	13
รูปที่ 2.7	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติของพอลิเมอร์ผสมกับอัตราส่วนขององค์ประกอบของพอลิเมอร์ผสม	14
รูปที่ 4.1	กราฟแสดงความยืด ぬ จุดขาดของตัวอย่าง	23
รูปที่ 4.2	กราฟแสดงความยืด ぬ จุดขาดของตัวอย่างเมื่อมี AA-g-PE หรือ MA-g-PE เป็นสารช่วยผสม	23
รูปที่ 4.3	กราฟแสดงความยืด ぬ จุดขาดของตัวอย่างเมื่อมี EVA หรือ EPDM เป็นสารช่วยผสม	24
รูปที่ 4.4	กราฟแสดงค่างานที่ทำให้ตัวอย่างขาด	25
รูปที่ 4.5	กราฟแสดงค่างานที่ทำให้ตัวอย่างขาดเมื่อมี AA-g-PE หรือ MA-g-PE เป็นสารช่วยผสม	25
รูปที่ 4.6	กราฟแสดงค่างานที่ทำให้ตัวอย่างขาดเมื่อมี EVA หรือ EPDM เป็นสารช่วยผสม	26
รูปที่ 4.7	กราฟแสดงค่าความแข็งแรงดึงของตัวอย่าง	26
รูปที่ 4.8	กราฟแสดงค่าความแข็งแรงดึงของตัวอย่างเมื่อมี AA-g-PE หรือ MA-g-PE เป็นสารช่วยผสม	27
รูปที่ 4.9	กราฟแสดงค่าความแข็งแรงดึงของตัวอย่างเมื่อมี EVA และ EPDM เป็นสารช่วยผสม	28
รูปที่ 4.10	แสดงสัณฐานวิทยาของ HDPE, HDPE + 5% AA-g-PE, HDPE(N), HDPE + 5% MA-g-PE	38
รูปที่ 4.11	แสดงสัณฐานวิทยาของ HDPE, HDPE + PET, HDPE(N), HDPE(N) + PET	39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.12	แสดงสัณฐานวิทยาของ HDPE กับ 5% AA-g- PE หรือ 5% MA-g-PE หรือ 5% EVA	40
รูปที่ 4.13	แสดงสัณฐานวิทยาของ HDPE(N) + PET + 5% EVA และ HDPE(N) + PET + 5% EPDM	41
รูปที่ 4.14	แสดงสัณฐานวิทยาของ HDPE, HDPE + PET และ HDPE + PET + 5% ของสารช่วยผสม	42
รูปที่ 4.15	กราฟแสดงการไหลของ HDPE และ HDPE ผสมกับสารช่วยผสม ที่ 190°C	44
รูปที่ 4.16	กราฟแสดงการไหลของ HDPE(N) และ HDPE(N) ผสมกับสารช่วยผสม 190°C	44
รูปที่ 4.17	กราฟแสดงการไหลของ HDPE และสารช่วยผสมเมื่อเติม PET ลงไปที่ 280°C	45
รูปที่ 4.19	กราฟแสดงการไหลของ HDPE(N) และสารช่วยผสมเมื่อเติม PET ลงไปที่ 280°C	46

บทที่ 1

บทนำ

พลาสติกที่นำกลับมาใช้ใหม่ในปัจจุบันจะมีคุณสมบัติที่ด้อยลงและก่อให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อม ทำให้มีการคิดค้นวิธีการนำพลาสติกกลับมาใช้ใหม่ในหลายรูปแบบ เพื่อเป็นการลดปัญหาสิ่งแวดล้อม ซึ่งในปัจจุบันมีเทคโนโลยีเป็นจำนวนมากที่เกี่ยวข้องกับการปรับปรุงพลาสติกที่นำกลับมาใช้ใหม่เพื่อช่วยให้พลาสติกมีคุณสมบัติที่ดีขึ้น

ในอดีตวัสดุส่วนใหญ่ที่นำมาใช้ทำจากโลหะ แก้ว กระดาษ ในกลางทศวรรษที่ 20 ได้ค้นพบวัสดุใหม่นั้นคือ พอลิเมอร์ และได้พัฒนานำมาใช้แทนวัสดุที่กล่าวมาแล้ว เพราะน้ำหนักเบา ปรับปรุงคุณภาพได้ ขึ้นรูปได้ง่าย และผสมเข้าไปได้ไม่ยุ่งยาก โดยในการขึ้นรูปและการผลิตใช้พลังงานน้อย โดยใช้เป็นพอลิเมอร์บริสุทธิ์ พอลิเมอร์ผสม พอลิเมอร์อัลลอยด์ พอลิเมอร์คอมโพสิต

วัสดุและบรรจุภัณฑ์จำนวนมากจะมีเพียงเล็กน้อยเท่านั้นที่นำกลับมาใช้ใหม่ได้ เช่น กระดาษหนังสือพิมพ์ กระจกเหล็ก กระจกดีบุก ขวดแก้ว ขวด PET ขวด HDPE สำหรับอะลูมิเนียมและ PET มีการนำกลับมาใช้ใหม่เป็นจำนวนมาก ส่วน HDPE พึ่งจะเริ่มนำกลับมาใช้ใหม่ไม่มากนัก โดยการนำกลับมาใช้ใหม่นี้เป็นการประหยัดทรัพยากรและช่วยเหลือในทางเศรษฐกิจ

พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (High Density Polyethylene, HDPE) และพอลิเอทิลีนเทอราฟทาเลต (Poly (ethylene terephthalate), PET) เป็นเทอร์โมพลาสติกส่วนใหญ่ที่ใช้ในอุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งทำขวดบรรจุน้ำดื่มที่เรียกกันว่า ขวดน้ำดื่มชนิดจุ่นและชนิดใสตามลำดับ ขวดบรรจุน้ำดื่มเหล่านี้จะถูกทิ้งผสมกันให้เป็นขยะพลาสติกอยู่ตามสถานที่ต่างๆ จึงมีความสนใจนำพอลิเมอร์ทั้ง 2 ชนิดดังกล่าวมาผสมกันเพื่อเป็นแนวทางหนึ่งในการลดปัญหาขยะพลาสติกและเป็นการลดหมุนเวียนนำทรัพยากรทางปิโตรเคมีกลับมาใช้ให้คุ้มค่า จากการศึกษาสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสม พบว่าพอลิเมอร์ผสมส่วนใหญ่จะมีคุณสมบัติเชิงกลและสมบัติอื่นๆที่ด้อยกว่าเดิม ทั้งนี้เนื่องจากพอลิเมอร์ผสมไม่สามารถรวมเป็นเนื้อเดียวกันได้ (Immiscible blend) ซึ่งเกิดจากพอลิเมอร์ต่างชนิดเมื่อนำมาผสมกัน จะมีแรงยึดเหนี่ยว (Interaction) และแรงยึดติดระหว่างผิว (Interfacial adhesion) ของพอลิเมอร์น้อยมาก รวมทั้งแรงดึงที่ผิวหน้า (Interfacial tension) สูง จึงได้มีการใส่สารช่วยผสม (Compatibilizer) ลงไป

นอกจากนี้ในการทำพอลิเมอร์ผสมควรจะผสม HDPE และสารช่วยผสมก่อน เนื่องจากในการผสมพอลิเมอร์ที่ไม่มีขั้วกับสารช่วยผสมที่มีทั้งส่วนที่มีขั้วและส่วนที่ไม่มีขั้วก่อน ส่วนที่ไม่มีขั้วของสารช่วยผสมสามารถละลายในพอลิเมอร์ได้ดีและมีการกระจายตัวสูง ส่งผลถึงสารช่วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผสมส่วนที่มีขี้ผึ้งไม่สามารถละลายในพอลิเมอร์ที่ไม่มีขี้ผึ้งได้จึงกระจายตัวอยู่ที่ผิวหน้าของโมเลกุลพอลิเมอร์เป็นอย่างดี ดังนั้นเมื่อเติมพอลิเมอร์ที่มีขี้ผึ้งลงไป พอลิเมอร์ที่มีขี้ผึ้งสามารถเกิดปฏิกิริยากับสารช่วยผสมที่อยู่บริเวณผิวหน้าของพอลิเมอร์ที่ไม่มีขี้ผึ้งได้ทันที

1.1) วัตถุประสงค์

- * ศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตพอลิเมอร์ผสมระหว่าง HDPE และ PET
- * ศึกษาปรับปรุงสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสม โดยใช้สารช่วยเพิ่มแรงยึดติดระหว่างผิวของพอลิเมอร์ชนิดต่างๆ
- * ศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างพอลิเมอร์ผสม และสารช่วยผสมที่ทำให้ค่าสมบัติเชิงกลสูงสุด
- * ศึกษาสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางความร้อนของพอลิเมอร์ผสม
- * ศึกษาสมบัติการไหลของพอลิเมอร์ผสม
- * ศึกษาสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสม

1.2) ขอบเขตงานวิจัย

โครงการพิเศษนี้เป็นการศึกษาถึงความเป็นไปได้ของการทำพอลิเมอร์ผสมโดยใช้สารช่วยผสมเพื่อให้เป็นเนื้อเดียวกันได้ 4 ชนิด ได้แก่ พอลิเอทิลีนต่อกิ่งด้วยมาเลอิกแอนไฮไดรด์ (Maleic anhydride graft polyethylene, MA-g-PE), พอลิเอทิลีนต่อกิ่งด้วยอะคริลิก (Acrylic graft polyethylene, AA-g-PE) เอทิลีน ไวนิล แอซิเตต (Ethylene Vinyl Acetate, EVA) และเอทิลีน โพรพิลีน ไดอิมมอโนเมอร์ต่อกิ่งด้วยมาเลอิกแอนไฮไดรด์ (Maleic anhydride graft ethylene propylene diene monomer, MA-g-EPDM) เพื่อเพิ่มแรงยึดติดระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE) กับพอลิเอทิลีนเทอราฟทาเลต (PET) ผลจากการทดลองสามารถบอกถึงชนิดและปริมาณของสารช่วยผสมที่เหมาะสมในการนำไปใช้ได้โดยพิจารณาจากค่าสมบัติเชิงกล สมบัติทางความร้อน สมบัติการไหล และสัณฐานวิทยา

1.3) ขั้นตอนการวิจัยและการดำเนินงาน

ในการวิจัยจะทำการผสม HDPE กับสารช่วยผสมในเครื่อง Single-screw extruder เพื่อเป็นการเตรียมสารก่อน แล้วนำสารที่เตรียมได้นี้มาผสมกับ PET โดยใช้เครื่อง Twin-screw extruder ในงานวิจัยนี้จะใช้ HDPE:PET ในอัตราส่วน 80:20 และสารช่วยผสม 4 ชนิดดังกล่าว โดยปริมาณสารช่วยในการผสมที่ใช้คือ 0 1 3 5 และ 7% โดยน้ำหนักของพอลิเมอร์ผสม จากนั้นนำไปขึ้นรูปชิ้นงานเพื่อใช้ทดสอบสมบัติเชิงกล ในการวิจัยนี้ต้องการศึกษาเปรียบเทียบชนิดและ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาณของสารช่วยผสมที่มีต่อสมบัติเชิงกล สมบัติทางความร้อน สมบัติการไหลของพอลิเมอร์ผสม HDPE / PET

1.4) ผลที่คาดว่าจะได้รับ

- * ทราบถึงความสามารถของสารช่วยผสมชนิดต่างๆ ในการปรับปรุงแรงยึดติดระหว่างผิวของระบบพอลิเมอร์ผสม
- * ทราบถึงปริมาณที่เหมาะสมของสารช่วยผสมแต่ละชนิดที่จะให้สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมดีที่สุด
- * ทราบถึงสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมที่เตรียมได้เพื่อนำไปใช้งานตามวัตถุประสงค์ที่ต้องการ

1.5) ความเป็นมาของโครงการ

วัตถุประสงค์หลักในการศึกษาและปรับปรุงคุณภาพของระบบพอลิเมอร์ผสมก็คือการเพิ่มแรงยึดติดระหว่างพื้นผิว (Interfacial adhesion) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการรวมเป็นเนื้อเดียวกันของพอลิเมอร์หลักโดยใช้สารช่วยผสม (Compatibilizer) ช่วยในการรวมตัว ซึ่งส่วนใหญ่เป็นพอลิเมอร์ร่วมของแต่ละองค์ประกอบในระบบของพอลิเมอร์ผสมนั้นและมีสมบัติเป็นอีลาสโตเมอร์ (Elastomer)

เนื่องจากความหลากหลายของการประยุกต์นำพลาสติกไปใช้ในอุตสาหกรรมและในครัวเรือนเพิ่มขึ้นจึงเกิดขยะพลาสติกเพิ่มมากขึ้น ได้มีการนำกลับมาใช้ใหม่เพื่อลดมลภาวะและลดราคาวัสดุพลาสติกลง ในปี 1993 P. SAMBRU และ S. A. JABAPIN ทดลองนำ HDPE และ PET มาทดสอบการผสมกันใน 2 กรณี คือ มี และ ไม่มี สารช่วยผสมโดยได้ทำการศึกษาเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ, อัตราเค้น, ความสามารถในการยึดดึง และอัตราส่วนขององค์ประกอบในการผสม โดยจะทำการตรวจสอบด้วย Infrared spectroscopy, Differential scanning calorimetry, Tensile, Impact พบว่าพอลิเมอร์ผสมที่ใช้สารช่วยในการผสมจะมีความเค้นสูงขึ้นมากโดยที่พอลิเมอร์ผสมที่ไม่มีสารช่วยผสมความเค้นจะไม่สูงขึ้น และพอลิเมอร์ผสมที่มี PET น้อยเกิดการเปลี่ยนแปลงน้อย

ในปี 1994 C.CHEN และ F. S. LAI นำ HDPE และ PET มาผสมกันซึ่งไม่สามารถผสมเข้ากันได้จึงมีการเติม Ethylene vinyl acetate (EVA) ลงไปเพื่อเป็นสารช่วยผสม ศึกษาความสามารถเข้ากันได้ของพอลิเมอร์ทั้ง 2 ชนิดโดยทำ Rheometer test สัดส่วนของ PET ในการผสมสูงกว่าหรือเท่ากับ HDPE และพบว่าการผสม 50% HDPE และ 50% PET จะมี Equilibrium torque ค่าที่สุด โดย Equilibrium torque จะสูงที่สุดที่ 5% EVA จากการศึกษาพบว่าปริมาณ EVA มีผลต่อ Glass transition temperature (T_g) ของพอลิเมอร์ผสม HDPE / PET และการใช้เทคนิค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thermogravimetric analysis พบว่าความเสถียรต่อความร้อน (Thermal stability) จะไม่ขึ้นกับปริมาณของ EVA แต่จะขึ้นกับปริมาณของ PET

และในปีเดียวกัน S. S. DAGIL และ K. M.KAMDAR² ทำการผสม HDPE และ PET โดยใช้สารช่วยผสมแบบที่เกิดปฏิกิริยา (Reactive compatibilizer) คือ Ethylene glycidly methacrylate (EGMA) พบว่าลำดับของการผสมมีความสำคัญ โดยหากนำ HDPE ที่เป็นเม็ดผสมกับ EGMA ก่อนแล้วนำไปผสมกับ PET ที่เป็นเม็ด โดยใช้ Twin-screw extruder เป็นเครื่องผสมจะให้สมบัติของพอลิเมอร์ผสมที่ดีที่สุด

ในโครงการนี้พอลิเมอร์ที่เลือกทำการศึกษาคือ HDPE และ PET เนื่องจากเป็นเทอร์โมพลาสติกส่วนมากที่ถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรมการบรรจุหีบห่อ แต่การรวมกันเป็นเนื้อเดียวของพอลิเมอร์ทั้ง 2 ชนิดนี้เป็นไปได้ยากเนื่องจากโครงสร้างและความเป็นขั้วต่างกัน ในโครงการนี้จึงศึกษาการใช้สารช่วยผสม 2 ประเภท ได้แก่ สารช่วยผสมประเภทที่เกิดปฏิกิริยาและประเภทอติลาสโตเมอร์ในการทำให้มีความสามารถในการเข้ากันได้มากขึ้น

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

พอลิเมอร์ที่นำกลับมาใช้ใหม่ได้รับการกำหนดจากกฎทางเทอร์โมไดนามิกส์และความคุ้มค่าทางเศรษฐกิจ พอลิเมอร์ที่นำกลับมาใช้ใหม่มีประโยชน์ 2 ประการ

- 1.) ลดปริมาณขยะและของเสียจากเทอร์โมพลาสติกไปสู่สิ่งแวดล้อม
- 2.) ประหยัดทรัพยากรและช่วยลดต้นทุนของพอลิเมอร์ลง

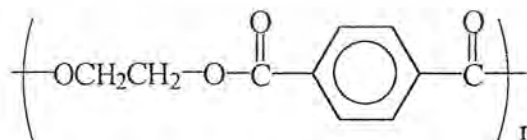
เราจะช่วยลดปริมาณขยะได้หลายวิธี ลดการผลิต แทนที่ด้วยโลหะ นำกลับมาใช้ใหม่ เผาทิ้งและการทำให้เกิดการเสียดสภาพเพื่อทำให้มีโมเลกุลขนาดเล็กๆ

2.1) พอลิเอทิลีนเทอราฟทาเลต (Poly (ethylene terephthalate), PET)

พอลิเอทิลีนเทอราฟทาเลต (Poly (ethylene terephthalate), PET) เป็นพอลิเมอร์ที่สำคัญที่สุดและเป็นพอลิเอสเทอร์ที่ผลิตมากที่สุดในเชิงการค้า เกือบทั้งหมดนำไปใช้งานเส้นใยสังเคราะห์ โพลีเอสเทอร์อื่นๆที่มีความสำคัญในเชิงการค้ามีอีกหลายชนิดเช่น

- โพลีเอสเทอร์เชิงเส้นตรงที่ไม่อิ่มตัว (Linear unsaturated polyester)
- โพลีเอสเทอร์เชิงเส้นตรงที่อิ่มตัว (Linear saturated polyester)
- โพลีเอสเทอร์แบบร่างแหหรือเชื่อมโยง (Network or crosslink polyester)
- โพลีคาร์บอเนต (Polycarbonate)

พบว่าพอลิเอทิลีนเทอราฟทาเลตจัดเป็นโพลีเอสเทอร์เชิงเส้นตรงอิ่มตัวที่สำคัญที่สุด สามารถเตรียมได้จากกระบวนการพอลิเมอไรเซชัน โดยการแลกเปลี่ยนหมู่เอสเทอร์ระหว่างไดเมทิลเทอร์ฟทาเลตและเอทิลีนไกลคอล จัดพอลิเอทิลีนเทอราฟทาเลตอยู่ในพวกพอลิเอสเทอร์ (Polyester) โครงสร้างของ PET เป็นดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 แสดงโครงสร้างของพอลิเอทิลีนเทอราฟทาเลต

PET เป็นพอลิเมอร์ที่มีความแข็งแรงสูงและไม่มีสี เนื่องจากเป็นพอลิเมอร์เชิงเส้นตรงที่มีการจัดเรียงของหมู่ต่างๆค่อนข้างเป็นระเบียบและมีแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลสูง ทำให้พอลิเมอร์ชนิดนี้มีความเป็นผลึกสูง นอกจากนี้ยังมี PET แบบที่เป็นอสัณฐานซึ่งเกิดจากการเย็นตัวอย่างรวดเร็ว

ของ PET ซึ่ง PET ชนิดออสถฐานนี้หากให้อุณหภูมิที่สูงกว่าอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (Glass transition temperature, T_g) แล้ว ความเป็นผลึกของพอลิเมอร์จะเพิ่มขึ้น

PET มีอุณหภูมิหลอมเหลวผลึก 265°C มีสมบัติป้องกันมิให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านที่อุณหภูมิห้อง โดย PET ส่วนมากใช้อยู่ในรูปของพอลิเมอร์ที่มีความเป็นผลึกสูงและมีหมู่ที่มีสภาพขั้ว (หมู่คาร์บอนิล) ภายในโมเลกุลของพอลิเมอร์นี้จึงสามารถละลายได้ในพอลิเมอร์ที่ให้โปรตอน (Proton donor) ได้แก่พวกที่ประกอบด้วยคลอไรด์ พวกที่ประกอบด้วยกรดแอซิดิกและฟลูออไรด์ ฟีนอลและพวกไฮโดรฟลูออริก โดยจะสามารถละลายได้ดีที่อุณหภูมิสูงขึ้นหากเป็นสารอินทรีย์ เช่น แอนนิซอล (Anisole) อะโรมาติกคีโตน (Aromatic ketone) ไดบิวทิลฟทาเลต (Dibutyl phthalate) และไดเมทิลซัลโฟน (Dimethyl sulfone) นอกจากนี้ PET ยังมีความสามารถในการดำนน้ำและสารที่มีความเป็นกรดน้อยได้เป็นอย่างดี แต่สามารถเสียดสภาพในกรดไนตริกและกรดซัลฟิวริก เข้มข้น โดยพอลิเมอร์จะว่องไวต่อตัวกระทำที่เป็นเบสแก่ เช่น สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ และเมื่อให้อุณหภูมิกับพอลิเมอร์เกินจุดหลอมเหลวของ PET จะทำให้ PET เกิดการเสียดสภาพได้ คาร์บอนไดออกไซด์ อะซิทาลดีไฮด์ และกรดเทอราฟทาสิก ซึ่งถือว่าเป็นองค์ประกอบที่สำคัญใน PET

พอลิเมอร์ชนิดนี้นำมาใช้ประโยชน์ในหลายรูปแบบ เช่นทำเป็นเส้นใยสังเคราะห์ (Dacron) และทำแผ่นฟิล์ม อย่างไรก็ตามเส้นใยสังเคราะห์ของพอลิเมอร์นี้มีข้อเสียอยู่ที่ว่าฝุ่นละอองและสิ่งสกปรกสามารถเกาะติดได้เป็นอย่างดีและดูน้ำได้ไม่ดี เสื้อผ้าที่ทำด้วยพอลิเมอร์นี้จึงสวมใส่ไม่สบายเพราะไม่สามารถดูดซับเหงื่อได้ ในอุตสาหกรรมจึงใช้เส้นใยสังเคราะห์นี้ผสมเข้ากับผ้าธรรมชาติ (Cotton) เพื่อเพิ่มความสามารถในการดูดซับเหงื่อและความชื้น

2.2) พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (High density polyethylene, HDPE)

พอลิเอทิลีนเกิดจากพอลิเมอร์ไฮโดรคาร์บอนของเอทิลีนที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำมีลักษณะเป็นไขจนถึงน้ำหนักโมเลกุลสูง

ลักษณะโดยทั่วไปคือเหนียว อดูดซึมความชื้นได้น้อยมาก ทนทานต่อสารเคมีได้ดีมาก เป็นฉนวนไฟฟ้าที่ดีเยี่ยม มีสัมประสิทธิ์ของความเสียดทานต่ำและขึ้นรูปด้วยกระบวนการต่างๆ ได้ง่าย

พอลิเอทิลีน
ได้จากกระบวนการพอลิเมอร์ไฮโดรคาร์บอนเอทิลีน โดยพอลิเอทิลีนที่ผลิตขึ้นในทางการค้าครั้งแรกเป็นพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ

ในปัจจุบันมีพอลิเอทิลีนเกรดต่างๆตามโครงสร้างโมเลกุลและลักษณะสมบัติตลอดจนการใช้งานเป็นกลุ่มดังนี้

๕ พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE)

ความหนาแน่น 0.915 – 0.935 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

* พอลิเอทิลีนความหนาแน่นเชิงเส้นต่ำ (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 200000-500000

* พอลิเอทิลีนน้ำหนักโมเลกุลสูงมาก (UHMWPE)

น้ำหนักโมเลกุล 3000000

นอกจากนี้ยังมีพอลิเอทิลีนชนิดเชื่อม โยงคลอ โรซัล โฟเนตพอลิเอทิลีนและ โคพอลิเมอร์
ต่างๆของเอทิลีนด้วย

พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE)

พอลิเมอร์นี้อาจเรียกว่าพอลิเอทิลีนเชิงเส้นตรง เพราะพอลิเมอร์นี้มี โครงสร้าง
เป็นเส้นตรงเกือบตลอด (มีโซ่สาขาบ้างแต่น้อยมาก) หรืออาจเรียกว่าพอลิเอทิลีนความดันต่ำ เพราะ
กระบวนการเตรียมพอลิเมอร์นี้โดยทั่วไปใช้ความดันต่ำกว่าพอลิเอทิลีนที่มีความหนาแน่นต่ำมาก
วิธีการเตรียมพอลิเมอร์นี้ที่ใช้ในอุตสาหกรรมมีหลายวิธี ที่สำคัญได้แก่

1.) กระบวนการซีเกลอร์ (Ziegler process) กระบวนการนี้ใช้ตัวเร่งของซีเกลอร์-เนตดา
(Ziegler-Natta catalyst) ซึ่งทั่วไปตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ได้แก่ โทเทเนียมเตตระคลอไรด์-อลูมิเนียม
อัลกิล ๗ ความดันสูงกว่าความดันบรรยากาศเล็กน้อย (2-4 บรรยากาศ) และอุณหภูมิ 50-75 °C ใน
ตัวกลางเฉื่อยเช่น น้ำมันดีเซล (Diesel oil) เฮกเซน หรือโทลูอีน และในบรรยากาศเฉื่อยเช่น
บรรยากาศของไนโตรเจน เนื่องจากพอลิเอทิลีนไม่ละลายในตัวทำละลายในตัวกลางเฉื่อย ดังนั้น
เมื่อเกิดเป็นพอลิเมอร์แล้ว จะตกตะกอนออกมา หลังจากปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันสิ้นสุดลง
ตัวเร่งซีเกลอร์-เนตดาจะถูกทำลายลงโดยการเติมแอลกอฮอล์เช่น เมทานอล เอทานอล หรือ
โพรพานอล สารทั้งหมดที่เกิดขึ้น (ยกเว้นพอลิเมอร์) สามารถถูกสกัดออกไปโดยกรดไฮโดรคลอริก
ในแอลกอฮอล์ แล้วนำพอลิเมอร์ที่ได้ไปเซนตริฟิว (Centrifuge) และทำให้แห้ง

พอลิเมอร์ที่ได้แตกต่างจากพอลิเมอร์ที่เตรียมจากกระบวนการที่ใช้ความดันสูงมาก
กล่าวคือมีสาขาโซ่เพียงเล็กน้อยเท่านั้น จากการศึกษาโครงสร้างโดยวิธีอินฟราเรดสเปกโตรสโกปี
พบว่า มีหมู่เอทิลเพียง 5-7 หมู่ต่อคาร์บอนอะตอม 1000 อะตอมเท่านั้น และไม่ปรากฏสาขาโซ่ที่
เป็นหมู่บิวทิล

2.) กระบวนการฟิลลิปส์ (Phillips process) กระบวนการนี้ใช้โครเมียมออกไซด์ที่มีตัวพุง เช่น ซิลิกาหรืออลูมินาเป็นตัวเร่งในตัวกลางเฉื่อยเช่น ไซโครเฮกเซน สภาวะของปฏิกิริยาอยู่ระหว่างกลางของกระบวนการความดันสูงที่ใช้เตรียมโพลีเอทิลีนที่มีความหนาแน่นต่ำและกระบวนการซีเกลอร์ ความดันที่ใช้ทั่วไป 30-40 บรรยากาศและอุณหภูมิ 90-160°C พบว่าโพลีเอทิลีนที่ได้มีโครงสร้างเชิงเส้นตรงเกือบสมบูรณ์

3.) กระบวนการสแตนดาร์ด ออยล์ (Standard oil process) กระบวนการนี้คล้ายคลึงกับกระบวนการฟิลลิปส์มาก ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ได้แก่ออกไซด์ของโลหะ เช่น โมลิบดีนัมไดออกไซด์บนตัวพุง เช่น อะลูมินา ไทเทเนียมไดออกไซด์ หรือเซอร์โคเนียมไดออกไซด์ ความดันที่ใช้ 40-100 บรรยากาศ และอุณหภูมิของปฏิกิริยาอยู่ในช่วง 200-300°C ส่วนพอลิเมอร์ที่ได้เช่นเดียวกับพอลิเมอร์ที่ได้จากกระบวนการฟิลลิปส์คือมีโครงสร้างเชิงเส้นเกือบสมบูรณ์

คุณสมบัติ

✦ เนื่องจากเป็นพอลิเมอร์ที่มีโครงสร้างเชิงเส้นตรงเกือบตลอด โഴพอลิเมอร์จึงมีความเป็นระเบียบมากเป็นเหตุให้พอลิเมอร์นี้มีความเป็นผลึกสูง (มากกว่า 90%) ความหนาแน่นและจุดหลอมตัวที่สูงกว่าพอลิเอทิลีนที่เตรียมได้โดยกระบวนการใช้ความดันสูง ทั่วไปความหนาแน่น 0.95-0.97 g/cm³ มีจุดหลอมตัว 135°C มีความแข็งแรงสูงกว่าพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ มีสมบัติความแข็ง จุดอ่อนตัว ความต้านทานแรงดึงสูง แต่มีความทนทานต่อแรงกระแทก ความยาว ฉ จุดขาด ความยืดหยุ่น และความใสต่ำกว่าพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ

✦ คุณสมบัติทางฟิสิกส์ → คุณสมบัติที่สามารถมองเห็นด้วยตา (Optical properties) เนื่องจาก HDPE มีความเป็นผลึกสูง และมีดัชนีหักเหจากส่วนที่เป็นผลึกและส่วนที่เป็นอสัณฐานต่างกันมาก ดังนั้นแผ่นฟิล์มบางๆของ HDPE จะโปร่งแสงในขณะที่แผ่นฟิล์มบางของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำจะมีลักษณะโปร่งใส

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

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

→ การไหลของ HDPE ที่หลอมเหลว HDPE หลอมเหลวที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงกว่า 10000 ที่อุณหภูมิระหว่าง 140-200 องศาเซลเซียส จะเป็นการไหลแบบนันทิวโตเนียน (non-Newtonian liquid) ความหนืดจะลดลงเมื่อความเร็วของของไหลเพิ่มขึ้นและมี

อัตราเฉือน (Shear rate) ต่ำมาก แต่เมื่ออุณหภูมิอยู่ที่ 300 องศาเซลเซียส HDPE จะเป็นของไหลแบบนิวโตเนียน (Newtonian liquid)

๕ การนำไปใช้งาน → ใช้กับงานขึ้นรูปโดยการเป่าเกือบ 40% ของผลผลิตทั้งหมด ใช้ทั้งขวดและภาชนะบรรจุอื่นๆที่ต้องใช้ความต้านทานสูงและความทนต่อความเค้นสูง เช่น ภาชนะบรรจุกรดและเบส เคมีภัณฑ์และสารชำระล้าง

→ สำหรับงานขึ้นรูปโดยการฉีดมีประมาณ 20% ของผลผลิตทั้งหมด ใช้ทำของเค็กเล่น เครื่องใช้ในบ้าน นอกจากนี้ยังใช้ทำฟิล์ม เชือก ฉนวนหุ้มไฟฟ้า และสายเคเบิล เป็นต้น

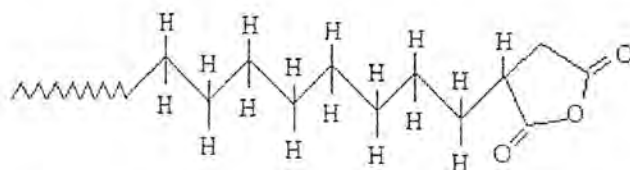
2.3) สารช่วยผสม

พอลิเอทิลีนต่อกิ่งด้วยมาเลอิกแอนไฮไดรด์ (Maleic anhydride graft polyethylene, MA-g-PE)

มาเลอิกแอนไฮไดรด์เป็นวัตถุดิบ (Raw material) ที่สำคัญสำหรับการผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ การเคลือบผิวหน้า เป็นสารที่ใช้ในการยัดคิด เป็นสารตัวเติมในสารหล่อลื่น เป็นต้น โดยมาเลอิกแอนไฮไดรด์ผลิตจากกระบวนการดีไฮโดรจีเนชัน (Dehydrogenation) ของกรดมาเลอิก (Maleic acid)

มาเลอิกแอนไฮไดรด์พอลิเมอร์เตรียมโดยปฏิกิริยา 2 ชนิดคือ การพอลิเมอไรเซชันแบบควบแน่น (Condensation polymerisation) และพอลิเมอไรเซชันแบบการเติม (Addition polymerisation) ต่อมาพบว่าสามารถเกิดการพอลิเมอไรเซชันเมื่อฉายด้วยรังสี (UV radiation) ทำให้เกิดตัวริเริ่มปฏิกิริยาโดยการฉายรังสีและตัวริเริ่มปฏิกิริยาที่เป็นอนุภาคอิสระ

มาเลอิกแอนไฮไดรด์กราฟท์พอลิเอทิลีน (พอลิเอทิลีนต่อกิ่งด้วยมาเลอิกแอนไฮไดรด์) เป็นการต่อกิ่งพอลิเอทิลีนซึ่งเป็นพอลิเมอร์ที่เสถียรแล้วซึ่งจะทำให้คุณสมบัติทางเคมีเชิงฟิสิกส์ (Physicochemical properties) ดีขึ้น โดยการเพิ่มความเข้มข้นของพอลิเอทิลีนโดยทำให้ความเป็นขั้ว (Hydrophilicity) เพิ่มขึ้นและความสามารถในการยัดคิดเพิ่มขึ้น พบว่าแอนไฮไดรด์เป็นส่วนที่เกิดการเชื่อมโยง เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมี เพิ่มความสามารถในการต้านทานความร้อน และเพิ่มความสามารถในการเข้ากัน ได้กับพอลิเมอร์อื่นรวมทั้งสารตัวเติม (Filler) ได้เป็นอย่างดี โดยโครงสร้างของ MA-g-PE แสดงดังรูปที่ 2.2



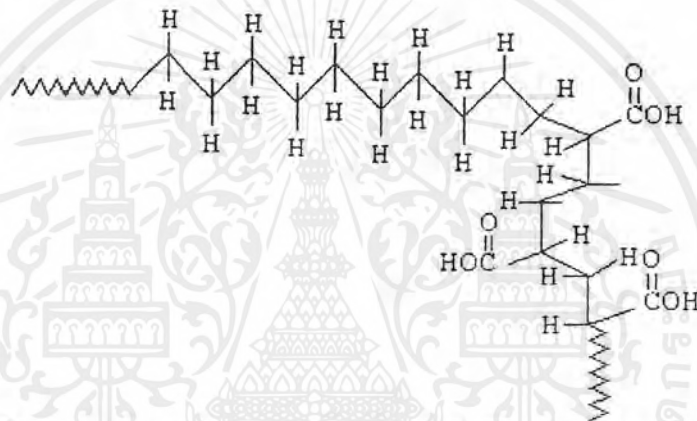
รูปที่ 2.2 โครงสร้างของพอลิเอทิลีนต่อกิ่งด้วยมาเลอิกแอนไฮไดรด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สแกนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พอลิเอทิลีนต่อกิ่งด้วยอะคริลิกแอนไฮไดรด์ (Acrylic anhydride graft polyethylene, AA-g-PE)

มีคุณสมบัติดังนี้

- * มีความต้านทานความร้อนสูง (Heat-resistance)
- * ในกระบวนการมีความต้านทานการสลายตัว (Degradation) เนื่องจากอากาศและโอโซนในระหว่างกระบวนการแปรรูป
- * มีความแข็งแรงค้ำสูง (High strength)
- * มีความล้าเนื่องจากการ โค้งงอ (Flex fatigue)
- * โครงสร้างของ AA-g-PE เป็นดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 แสดงโครงสร้างของพอลิเอทิลีนต่อกิ่งด้วยอะคริลิกแอนไฮไดรด์

เอทิลีน-ไวนิล แอซิเตต โคพอลิเมอร์ (Ethylene Vinyl Acetate Copolymer, EVA)

- EVA จะถูกใช้ใน 2 ลักษณะคือ
- 1.) โคพอลิเมอร์ทั่วไปที่ยังไม่ได้รับการปรับปรุงเปลี่ยนแปลง (Unmodified copolymer)
 - 2.) โคพอลิเมอร์ที่ได้รับการปรับปรุงเปลี่ยนแปลงแล้ว (Modified copolymer) เช่น ปรับปรุงสำหรับการทำซีเมนต์หรือระบบอื่นๆ และในสารที่ยึดติดโดยอาศัยความร้อน (Hot-melt adhesives)

ในกรณีนี้จะศึกษาเฉพาะ Unmodified copolymer

โคพอลิเมอร์ที่ยังไม่ได้รับการปรับปรุงเปลี่ยนแปลง

EVA จะถูกใช้แทนไวนิลเรซินที่ถูกผสม (Plasticized vinyl resin) หรือยางที่ถูกทำให้สุกแล้ว (vulcanized rubber) โดยปกติจะใช้ในช่วง 5,000-6,000 psi modulus range และจะมีความคล้ายกับ เอทิลีน-อัลคิลอะคริเลต โคพอลิเมอร์ (Ethylene-alkyl acrylate copolymer)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความแตกต่างระหว่าง EVA และ เอทิลีนโฮโมพอลิเมอร์ (Ethylene homopolymer)

EVA และเอทิลีนโฮโมพอลิเมอร์มีความแตกต่างกันมาก โดย EVA มีค่าความแข็งแรงดึงสุดท้าย (Ultimate tensile strength) มากกว่า ขณะที่ความยืดหยุ่น (Elongation) ต่ำ และที่อุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิห้องความยืดหยุ่น (Modulus) ของ EVA จะคล้ายกับพอลิเอทิลีนแบบร่างแห (Branched polyethylene) แต่ในขณะที่เดียวกัน EVA จะมีจุดอ่อนตัว (Softening point) ต่ำกว่า ซึ่งการที่มีจุดอ่อนตัวต่ำกว่านี้ทำให้พื้นที่ของการตกผลึก (Crystalline area) ของจุดหลอมเหลว (Melting point) ต่ำลง

เอทิลีน-โพรพิลีน-ไดอีน อีลาสโตเมอร์ (Ethylene- Propylene-Diene Elastomer, EPDM)

EPDM เป็นสารไฮโดรคาร์บอนที่อิ่มตัว (Saturated hydrocarbon) มีรูปร่างเป็นเกลียวแบบสุ่ม (Random-coil configuration) คุณสมบัติเชิงกลของ EPDM ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วและองศาความเป็นผลึก โดยอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วและองศาความเป็นผลึกขึ้นอยู่กับการรวมตัวกันและลำดับการกระจายของโมเลกุล โดยมวลโมเลกุล การกระจายของโมเลกุล และสายโซ่ที่มีกิ่งก้านสาขามีอิทธิพลต่อคุณสมบัติการไหลและกระบวนการที่มีคุณสมบัติเฉพาะตัวเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ตัวอย่างของ EPDM ดังนี้ 1,4 เฮกซะไดอีน (1,4 Hexadiene), นอโบเนน (Nobornene), ไดไซโคลเพนตาไดอีน (Dicyclopenta diene)

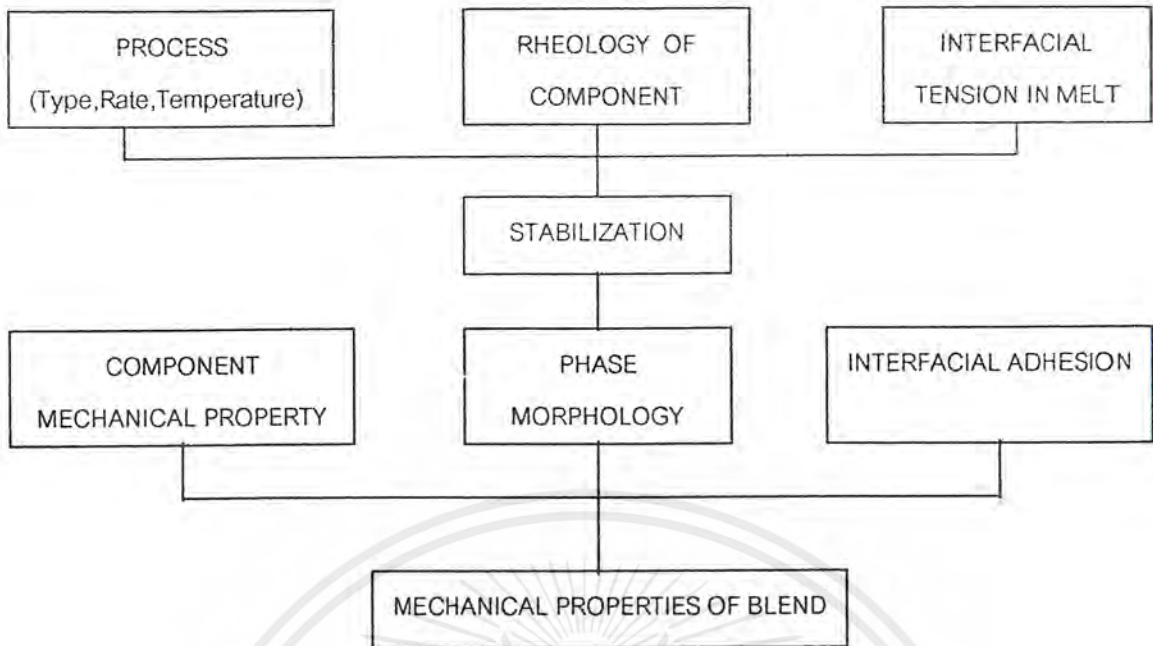
คุณสมบัติ

- * มีความหนาแน่นต่ำ
- * มีอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วต่ำอยู่ระหว่าง -55 ถึง -60 °C เมื่อวัดโดยให้อัตราการให้ความร้อนอย่างช้าๆ
- * มีความต้านทานโอโซนสูงมาก และสามารถต้านทานออกซิเจนได้อย่างดีเยี่ยม
- * สามารถตกผลึกได้เล็กน้อยทำให้สมบัติการยึดดึงดีแต่คุณสมบัติที่อุณหภูมิต่ำไม่ดี
- * ไม่มีพิษและจะติดไฟที่อุณหภูมิสูงกว่า 300 °C

2.4) พอลิเมอร์ผสม (Polymer blends)

พอลิเมอร์ผสมเป็นการนำพอลิเมอร์ที่มีโครงสร้างแตกต่างกันตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไปมาผสมเข้าด้วยกัน เพื่อให้ได้สมบัติตามที่ต้องการ โดยโครงสร้างของพอลิเมอร์หลักทั้ง 2 ชนิดที่นำมาผสมกันนี้ อยู่รวมกันโดยไม่เกิดพันธะโควาเลนต์ระหว่างกัน ซึ่งสมบัติของพอลิเมอร์ที่ได้นี้จะแตกต่างจากสมบัติของพอลิเมอร์หลักที่นำมาผสมกันไว้ ปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อสมบัติ (End – use properties) ของพอลิเมอร์ที่เตรียมได้แสดงได้ดังรูปที่ 2.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

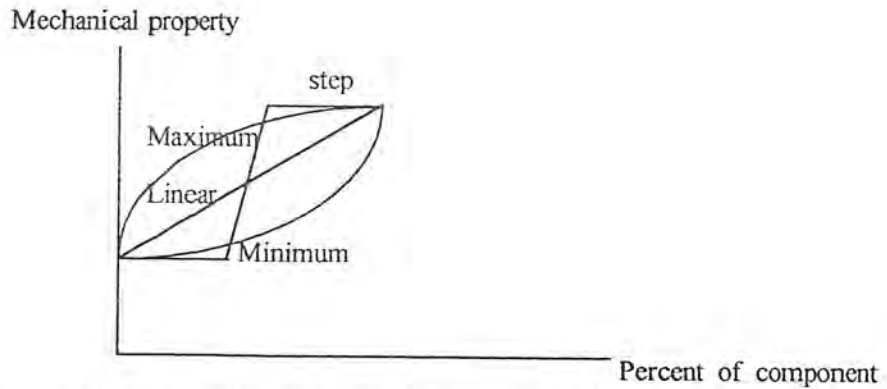


รูปที่ 2.4 แสดงปัจจัยที่มีผลต่อสมบัติของพอลิเมอร์ผสม

โดยทั่วไปพอลิเมอร์ผสมจะแบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ พอลิเมอร์ผสมที่สามารถเข้ากันได้ เป็นเนื้อเดียวกัน (Miscible blend) ซึ่งจะมีสมบัติที่ดีของพอลิเมอร์ทั้ง 2 ชนิดรวมกัน และพอลิเมอร์ผสมอีกชนิดคือ พอลิเมอร์ผสมที่ไม่สามารถรวมกันเป็นเนื้อเดียว (Immiscible blend) ซึ่งจะปรากฏเป็นหลายวัฏภาค ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 a) แสดงโครงสร้างของพอลิเมอร์ผสมที่สามารถเข้ากันได้เป็นเนื้อเดียวกัน
 b) แสดงโครงสร้างของพอลิเมอร์ผสมที่ไม่สามารถเข้ากันได้เป็นเนื้อเดียวกัน
 พอลิเมอร์ที่สามารถรวมเข้าเป็นเนื้อเดียวกันได้จะมีสมบัติที่ดีของพอลิเมอร์รวมกันซึ่งอาจแสดงได้ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 แสดงศักยภาพการตอบสนองทางสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสม

วัตถุประสงค์ของพอลิเมอร์ผสม

- 1.) เพื่อปรับปรุงให้พอลิเมอร์มีสมบัติที่ดีขึ้นในราคาที่เหมาะสม
- 2.) เป็นการขยายขีดความสามารถในการนำไปใช้ประโยชน์ของพอลิเมอร์ที่มีราคาแพง
- 3.) เป็นการนำพลาสติกที่ใช้แล้วกลับมาใช้ใหม่ให้เป็นประโยชน์
- 4.) เพื่อสร้างวัสดุที่มีเอกลักษณ์พิเศษเฉพาะที่จะไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ

ความสามารถในการเข้ากันได้ (Compatibility) หมายถึง ความสามารถในการเข้ากันได้ของพอลิเมอร์ที่นำมาผสมกัน โดยสมบัติของพอลิเมอร์ชนิดใหม่นี้จะมาจากสมบัติของพอลิเมอร์หลักทั้ง 2 ชนิดรวมกัน ซึ่งจะทราบได้จากการศึกษาและการทดลองสมบัติต่างๆของพอลิเมอร์ผสม เช่น สมบัติเชิงกล สมบัติทางกายภาพ และสัณฐานวิทยา เป็นต้น

สารช่วยผสม (Compatibilizer) หมายถึง สารช่วยผสมที่ใช้เพิ่มความสามารถในการเข้ากันได้ของพอลิเมอร์ โดยสารช่วยผสมแบ่งได้เป็น 3 ประเภท คือ

- 1.) โคพอลิเมอร์แบบกลุ่ม (Block copolymer) เช่น พอลิบิวทิลีนเทอราฟทาเลต พอลิเอทิลีน โคพอลิเมอร์ (Polybutylene terephthalate block polyethylene copolymer, PB-b-PE)
- 2.) โคพอลิเมอร์ที่มีโครงสร้างแบบสุ่ม (Random copolymer) เช่น พอลิเอทิลีนไวนิลแอซิเตต (Ethylene vinyl acetate)
- 3.) โคพอลิเมอร์แบบที่เกิดปฏิกิริยา (Reactive copolymer) คือ นำพอลิเมอร์แบบที่ต้องการใช้เป็นสารช่วยผสมต่อกึ่งด้วยพอลิเมอร์ที่ว่องไวต่อการเกิดปฏิกิริยา เช่น พอลิเอทิลีนต่อกึ่งด้วยมาเลอิกแอนไฮไดรด์ (Polyethylene graft maleic anhydride, MA-g-PE)

พบว่าสารช่วยผสมที่ใช้ส่วนใหญ่เป็นพอลิเมอร์ร่วม (Copolymer) ที่มีองค์ประกอบของพอลิเมอร์หลักทั้ง 2 ชนิดทำให้สามารถละลายได้ในทั้งสองวัฏภาค และทำตัวเป็นสะพานเชื่อมเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระหว่างภูมิภาคทั้งสอง พอลิเมอร์ที่ใช้สารช่วยผสมจะแสดงสมบัติดีกว่าพอลิเมอร์ผสมที่ไม่ใช้สารช่วยผสม

สาเหตุและปัญหาที่ทำให้พอลิเมอร์ 2 ชนิดไม่ผสมเป็นเนื้อเดียวกัน

1.) พลังงานอิสระในการผสม (Free energy of mixing)

การที่พอลิเมอร์สามารถผสมเข้ากันได้หรือไม่นั้นศึกษาจาก Gibbs free energy อธิบายได้ดังนี้

$$\Delta G_m = \Delta H_m - T\Delta S_m$$

$$\Delta G_m = \text{พลังงานอิสระของการผสม}$$

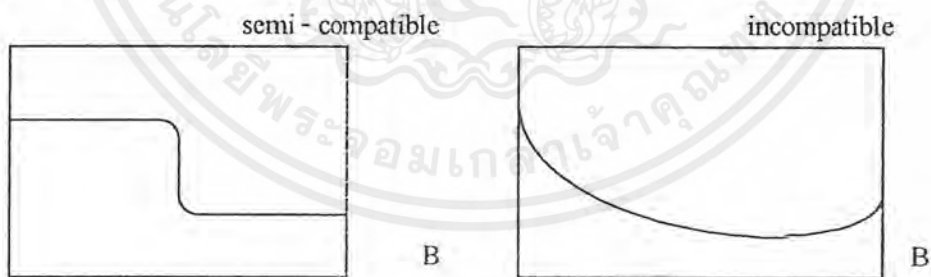
$$\Delta H_m = \text{เอนทัลปี(หรือความร้อน)ของการผสม}$$

$$\Delta S_m = \text{เอนโทรปีของการผสม}$$

ΔG_m จะต้องเป็นลบ ($\Delta G_m < 0$) เพื่อที่จะเกิดการผสมที่เข้ากันได้ ดังนั้นหากพลังงานอิสระในการผสมมีค่าเป็นบวกจะทำให้เกิดการแยกชั้นระหว่างผสมทั้ง 2 ชนิด

Thermodynamic miscibility เป็นสิ่งแรกที่ต้องพิจารณาในการผลิตพอลิเมอร์ผสมซึ่งความสามารถในการรวมเป็นเนื้อเดียว (miscibility) ของพอลิเมอร์ผสมนี้ ถูกกำหนดโดยสมมูลเอนโทรปี (Entropy) ซึ่งมีผลต่อค่าพลังงานอิสระของการผสม สารโมเลกุลเล็กๆเอนโทรปีจะมีค่าสูงพอที่จะเกิดการเข้ากันได้ แต่สำหรับพอลิเมอร์เอนโทรปีจะมีค่าต่ำจนเกือบศูนย์ จึงทำให้ความเข้ากันได้ของพอลิเมอร์ผสมถูกกำหนดโดยเอนทัลปีเพียงอย่างเดียว

เมื่อนำสมบัติและอัตราส่วนระหว่างพอลิเมอร์ทั้งสองชนิดมาเขียนกราฟ หากได้กราฟรูปตัวเอส พอลิเมอร์ผสมจะสามารถเข้ากันได้บ้าง แต่หากได้กราฟเป็นรูปตัวยู พอลิเมอร์ผสมจะไม่สามารถเข้ากันได้



รูปที่ 2.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติของพอลิเมอร์ผสมกับอัตราส่วนขององค์ประกอบในพอลิเมอร์ผสม

2.) พอลิเมอร์ต่างชนิดกันมีผลึกที่ต่างกัน ดังนั้นเมื่อนำพอลิเมอร์มาผสมกัน กระบวนการตกผลึกของพอลิเมอร์ (Crystallization) จะเกิดการเปลี่ยนแปลง ทำให้สมบัติที่ไม่ต้องการออกมา

3.) ส่วนผสมของพอลิเมอร์ที่นำมาผสมกัน ส่งผลให้สมบัติของพอลิเมอร์ผสมเปลี่ยนแปลงไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.) ความสัมพันธ์ที่จะทำให้พอลิเมอร์ทั้งสองชนิดสามารถผสมเป็นเนื้อเดียวกัน อาจไม่เกิดทั่วทั้ง โมเลกุลของสายโซ่พอลิเมอร์ทำให้ความสามารถเข้ากันได้เกิดไม่ทั่วทั้งพอลิเมอร์

พอลิเมอร์ผสมที่ไม่สามารถเข้ากันได้ (Incompatible blend) ใต้นั้น จำเป็นต้องนำมาปรับปรุงแรงยึดติดระหว่างผิวที่อยู่ระหว่างวัฏภาคของพอลิเมอร์ทั้งสอง โดยแยกกันอยู่อย่างชัดเจน ทั้งนี้เพื่อให้สมบัติดีขึ้น ส่วนลักษณะทางวิทยา (Morphology) ของพอลิเมอร์ขึ้นอยู่กับปัจจัยที่สำคัญสองประการ ได้แก่

1.) องค์การกระจายตัวของวัฏภาคพอลิเมอร์หลักทั้งสองชนิด

2.) รูปร่างและขนาดอนุภาคของวัฏภาคที่กระจายตัวอยู่ในพอลิเมอร์ผสม ซึ่งปัจจัยเหล่านี้จะขึ้นอยู่กับสมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์และลักษณะการไหลของพอลิเมอร์หลักที่เป็นองค์ประกอบทั้งสองชนิดรวมถึงวิธีการผสม สภาพวะในการผสม และกระบวนการในการขึ้นรูปด้วย

ลักษณะที่เป็นวัฏภาคต่อเนื่อง (Continuous phase) ของพอลิเมอร์หลักชนิดหนึ่งและวัฏภาคมีที่กระจายตัว (Disperse phase) พอลิเมอร์อีกชนิดหนึ่งกระจายตัว โครงสร้างที่ไม่สามารถเข้ากันได้ ใต้นั้นเรียกว่า Heterogeneous ซึ่งจะมีลักษณะเป็น Phase boundary จากที่ได้กล่าวมาแล้วว่ารูปร่างและขนาดของเฟสที่กระจายตัว และองค์การกระจายนั้นขึ้นอยู่กับสมบัติการไหลของพอลิเมอร์หลักที่สามารถปรับปรุงลักษณะทางวิทยานี้โดยใช้สารช่วยในการผสม การผสมเข้ากันได้ของพอลิเมอร์ผสมคู่ได้จากค่าความสามารถในการละลาย (Solubility parameter) ซึ่งเป็นตัวแปรทางเทอร์โมไดนามิกส์ โดยอาจหาได้จากการคำนวณหรือจากการทดลอง

2.4) เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย

1.) เครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว (Single-screw extruder)

เครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยวเป็นเครื่องจักรที่ใช้สำหรับกระบวนการขึ้นรูปพอลิเมอร์ที่มีส่วนประกอบดังนี้

ตัวเครื่องมีลักษณะเป็นท่อทรงกระบอกภายในมีสกรูเป็นแท่งโลหะเกลียวทำหน้าที่ผสมวัสดุให้เป็นเนื้อเดียวกัน โดยการหมุนสกรู ซึ่งได้รับแรงขับเคลื่อนจากมอเตอร์ มีส่วนป้อนสารทำหน้าที่เก็บเม็ดพลาสติกเพื่อเตรียมป้อนเข้าเครื่องอัดรีด มีแผ่นโลหะที่ติดอยู่บริเวณปลายสกรูและคายันที่มีลักษณะเป็นช่องหรือรูให้พอลิเมอร์หลอมเหลวไหลผ่านได้ มีส่วนให้ความร้อนหุ้มอยู่ภายนอกอีกชั้นหนึ่ง มีช่องระบายอากาศทำหน้าที่ระบายอากาศที่อาจติดเข้าไประหว่างการผสมหรือขณะป้อนพลาสติกให้ออกไปก่อน พอลิเมอร์หลอมเหลวจะถูกอัดเข้าแม่พิมพ์ เพื่อป้องกันโพรงอากาศที่เกิดขึ้นในชิ้นงาน มีมอเตอร์ทำหน้าที่ในการขับเคลื่อนกระบอกสกรูให้หมุนไปตามความเร็วที่ต้องการ

การทำงานของเครื่องจะเริ่มจากการขับพอลิเมอร์จากส่วนป้อนสารเข้าสู่ตัวเครื่อง จาก

นั้นสกรูจะเป็นตัวลำเลียงพอลิเมอร์ไปตามเกลียวหนอน ด้วยแรงขับเคลื่อนของมอเตอร์และเฟืองทด เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พอลิเมออร์จะเริ่มหลอมเหลวโดยความร้อนจากส่วนให้ความร้อนและแรงเฉือนที่เกิดขึ้น ซึ่งส่วนให้ความร้อนแบ่งเป็น 4 ส่วน สามารถปรับอุณหภูมิได้ตามความเหมาะสมของชนิดพอลิเมออร์ที่ใช้ เนื่องจากส่วนของคายนี่มีความดันสูง สกรูต้องมีประสิทธิภาพมากพอ จึงจะสามารถส่งพอลิเมออร์หลอมเหลวให้ผ่านหัวคายนี้ออกมาได้

2.) เครื่องอัดรีดแบบสกรูคู่ (Twin-screw extruder)

เครื่องอัดรีดแบบนี้จะมีสกรูอาร์คิมิดีส (Archimedean screws) อยู่ 2 สกรูโดยจัดจำแนกของเครื่องอัดรีดตามลักษณะและทิศทางการเคลื่อนที่ของสกรูเป็น 2 ชนิดคือ เครื่องอัดรีดแบบเฟืองไม่ตรงกันและเครื่องอัดรีดแบบเฟืองตรงกัน โดยเครื่องอัดรีดแบบเฟืองไม่ตรงกันจะมีกลไกการเคลื่อนที่เป็นแบบลาก (Drag flow conveyance mechanism) ในขณะที่เครื่องอัดรีดแบบมีเฟืองตรงกันมีการเคลื่อนที่แบบการกระจัดทางบวก (Positive conveyance) คือขึ้นอยู่กับความหนืด (อุณหภูมิ) ไม่ขึ้นกับการลาก

การนำเครื่องอัดรีดแบบสกรูคู่มาใช้ประโยชน์ดังนี้คือ

2.1) เป็นที่แพร่หลายสามารถควบคุมความเหนียวของพอลิเมออร์ได้โดยการใช้การโปรแกรมสกรู ซึ่งอาศัยความตรงกันของความเหนียวและความว่องไวต่ออุณหภูมิของพอลิเมออร์และสกรู

2.2) เวลาในการกระจายตัวต่ำ จึงสามารถควบคุมได้ง่าย เหมาะสำหรับการทำสารประกอบพอลิไวน์ลคลอไรด์

2.3) การพาว์สคูเป็นไปในทางบวก มีลักษณะคล้ายๆกับการนำเกียรติ้อมมาช่วยนำพาว์สคูให้เคลื่อนไปตามสกรู

2.4) จัดเป็นการทำงานที่อาศัยหลักของการระบายอากาศ เนื่องจากก๊าซสามารถถูกกำจัดออกไปได้โดยง่ายหรืออาจใช้ทางระบายอากาศเป็นที่เติมสารตัวเติมต่างๆทำหน้าที่เป็นส่วนป้อนวัสดุพอลิเมอร์ อย่างไรก็ตามเครื่องอัดรีดแบบสกรูคู่มีขีดจำกัดในการนำไปใช้

3.) เครื่องฉีดขึ้นรูปพลาสติก (Injection molding machine)

กระบวนการฉีดขึ้นรูปสมัยใหม่ ส่วนมากจะใช้เกลียวหนอนในการหลอมพลาสติกก่อนทำการฉีด (Preplasticating) เพื่อใช้ในการเตรียมพอลิเมออร์หลอมเหลวในปริมาณที่ควบคุมได้ก่อนที่จะส่งผ่านเข้าไปยังช่องว่างของแม่พิมพ์ หลักการนี้จะเหมือนกันกับเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยวโดยเกลียวหนอนจะหมุนเพื่อลำเลียงและหลอมพอลิเมออร์ที่พามาจากกรวยป้อนเม็ดพลาสติก ขณะที่พอลิเมออร์หลอมสะสมอยู่ที่ด้านหน้าของกระบอกฉีดเกลียวหนอนจะเคลื่อนถอยหลังตามแนวแกนในขณะที่เกลียวหนอนยังหมุนอยู่ จนกระทั่งได้ปริมาณน้ำหนักรีด (Shot weight) ตามต้องการ การฉีดขึ้นรูปพลาสติกจะเกิดขึ้นในขณะที่เกลียวหนอนจะเคลื่อนที่ไปข้างหน้าในลักษณะของกระบอกสูบ (Ram) และเพื่อป้องกันการไหลย้อนกลับของพลาสติกหลอมเหลวตามแนวร่อง

ของเกลียวหนอนจึงได้มีการใช้หัวแหวนป้องกันการไหลย้อนกลับประกอบอยู่ที่ปลายของเกลียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หนอน พลาสติกจะถูกฉีดผ่านหัวฉีดที่ประกบติดกับตอนปลายของกระบอกฉีด ผ่านเข้าไปยังทางเข้าของแม่พิมพ์ แม่พิมพ์จะถูกยึดติดอยู่บนแท่นยึดแม่พิมพ์ ซึ่งด้านหน้าจะถูกยึดติดอยู่กับที่ ขณะที่อีกด้านหนึ่งจะเคลื่อนที่ไปมาได้ ทำให้แม่พิมพ์เปิดและปิดได้ เป็นสิ่งสำคัญมากในการทำให้แม่พิมพ์อยู่ได้อย่างมั่นคงในระหว่างการฉีดพลาสติกหลอมและในช่วงหล่อเย็นของวัฏจักรการฉีดขึ้นรูป

การหล่อเย็นแม่พิมพ์จะเป็นผลมาจากการถ่ายเทความร้อนจากพอลิเมอร์ที่หลอมเหลวที่ร้อนผ่านผนังช่องว่างของแม่พิมพ์ที่เมื่อวัสดุแข็งตัวจนถึงจุดหนึ่งที่สามารถกระทุ้งออกจากช่องว่างของแม่พิมพ์ได้โดยไม่เป็นอันตรายต่อการบิดเบี้ยวและเสียรูปของพอลิเมอร์ แม่พิมพ์จะถูกเปิดออกและชิ้นงานจะถูกนำออกด้วยกลไกการกระทุ้งที่สร้างขึ้นภายในระบบขอบแม่พิมพ์

4.) เครื่อง Differential scanning calorimeter (DSC)

เป็นเทคนิคการวิเคราะห์สารด้วยความร้อนที่นิยมใช้อย่างกว้างขวาง เครื่อง DSC-50 ที่ใช้ในโครงการนี้เป็นชนิด Heat flux DSC ที่มีหลักการทำงานเช่นเดียวกับ Different Thermal Analysis (DTA) สารตัวอย่างจะอยู่บนเทอร์โมคัพเพิลที่ต่อกับเตาเผา เมื่อให้ความร้อนแก่สารตัวอย่างและสารอ้างอิงที่เฉื่อยหรือทำให้สารเย็นลง จะเกิดการเปลี่ยนแปลงในสารตัวอย่าง ทำให้อุณหภูมิของสารตัวอย่างและสารอ้างอิงแตกต่างกัน เมื่อวัดความแตกต่างของอุณหภูมิแล้วพล็อตเทียบกับเวลาหรืออุณหภูมิจะได้เส้นกราฟของ DSC ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิจะเป็นสัดส่วนกับความแตกต่างของความร้อนที่ไหลลงสู่ตัวอย่างและสารอ้างอิง เมื่อพล็อตค่าความร้อนในหน่วย mW (mJ/sec; 1 mJ/sec = 0.21 mCal/sec) กับอุณหภูมิ พิกที่อยู่เหนือแกนแสดงถึงการคายความร้อนและพิกที่อยู่ใต้แกนแสดงถึงการดูดกลืนความร้อน โดยปริมาณความร้อนคำนวณได้จากพื้นที่ใต้พิก

5.) เครื่อง Scanning electron microscope (SEM)

เป็นเทคนิคที่ใช้ลำแสงอิเล็กตรอน (Electron beam) ในการตรวจวัดโครงสร้างขนาดเล็กของวัสดุทางวิศวกรรม โดยทำการยิงอิเล็กตรอนเข้าชนผิวที่มีกรนำไฟฟ้า ทำให้เกิดการสะท้อนกลับของอิเล็กตรอน (Back scattering electron) เนื่องจากการชนกันกับนิวเคลียสหรือการเกิด X-ray photon และจากการที่อิเล็กตรอนในระดับพลังงานที่สูงกว่าคายพลังงานเข้าแทนที่อิเล็กตรอนที่หลุดไป

ในการใช้เทคนิคนี้กับวัสดุพอลิเมอร์ซึ่งไม่นำไฟฟ้าจึงต้องมีการเคลือบผิวด้วยวัสดุที่นำไฟฟ้า วัสดุที่นิยมใช้เช่น ทอง ทอง-พัลลาเดียม โดยใช้เทคนิค Sputter coating ในการเคลือบผิว ลำแสงอิเล็กตรอนที่มีพลังงานสูงอาจทำให้สัณฐานวิทยาของพื้นผิวเสียไป เช่น การสูญเสียมวลบางส่วน เกิดการพองหรือแตกหัก

ความแตกต่างของภาพ SEM เกิดขึ้นเมื่อมีการจัดผิวหน้าของวัสดุออกซึ่งทำได้หลายวิธี

เช่น การตัด (Cutting) การหัก (Fracturing) การกัดเซาะ (Etching) หรือการทำให้บวม (Swelling) เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การสกัดด้วยตัวทำละลายจะทำให้ได้ภาพ SEM ที่สับสนได้เนื่องจากการสกัดอาจมีบางส่วนที่สกัดออกไม่หมดเกิดเป็นเจลหรือการระเหยตัวทำละลายจะทำให้เกิดฟองอากาศขึ้น

การทำให้บวมโดยใช้ตัวทำละลาย (Solvent swelling) เป็นวิธีที่เชื่อถือได้สามารถควบคุมอัตราการบวมตัวโดยอัตราการแพร่ของตัวทำละลายซึ่งขึ้นกับรากที่สองของเวลา ส่วนปริมาณการบวมตัวขึ้นกับอุณหภูมิ การแยกวัสดุจะต้องให้วัสดุหนึ่งละลายด้วยตัวทำละลาย ส่วนอีกวัสดุหนึ่งไม่เกิดการละลาย การใช้เทคนิคนี้จะให้ผิวที่ราบเรียบ ภาพที่ได้คมชัดและแยกวัสดุได้ถึงขนาด 100 nm

2.6) วิธีที่ใช้ในการผสมพอลิเมอร์

- 1.) การผสมแบบลาเท็กซ์ (Latex blending) เป็นวิธีที่ใช้กันทั่วไป โดยมีราคาและอุณหภูมิต่ำ และจะได้การกระจายตัวของพอลิเมอร์ที่ดี
- 2.) ทำการละลายด้วยตัวทำละลายร่วม จากนั้นทำเป็น film, freeze หรือ spray drying
- 3.) ใช้มอนอเมอร์เป็นตัวทำละลายสำหรับพอลิเมอร์อีกองค์ประกอบหนึ่งจากนั้นทำปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชัน
- 4.) การผสมเชิงกล (Mechanical blending) เป็นวิธีที่ง่ายและไม่ต้องใช้เครื่องมือที่มีความซับซ้อนสูง นอกจากนี้ยังมีการกระจายตัวของสารตัวเติมที่ดี
- 5.) การผสมผง (Fine power mixing)

2.7) การตรวจสอบสมบัติของพอลิเมอร์

- 1.) การวิเคราะห์สมบัติทางความร้อน (Thermal properties) ดังนี้
 - ศึกษา T_m , T_c , H_m โดย DSC
- 2.) สมบัติทางไฟฟ้า (Infrared Relaxation)
 - ศึกษาค่าคงที่ทางไฟฟ้า (Dielectric Relaxation)
- 3.) อินฟราเรดสเปกโตรสโคปี (Infrared Spectroscopy:IR)
- 4.) นิวเคลียสแมกเนติกเรโซแนนซ์ สเปกโตรสโคปี (Nuclear Magnetic Resonance Spectroscopy, NMR)
- 5.) การวิเคราะห์โดยใช้เอกซเรย์ (X-ray analysis)
 - เพื่อศึกษาโครงสร้างผลึก
- 6.) แก๊สโครมาโทกราฟี (Gas Chromatography)
- 7.) เทคนิคการกระเจิงแสง (Scattering Techniques)

บทที่ 3

การวิจัยและการดำเนินงาน

3.1) สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

1. เม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงของบริษัท TPI เกรด G2855, N2855 (ในที่นี้ใช้แทน HDPE เกรด G2855ว่า HDPE และใช้แทน HDPE เกรด N2855ว่า HDPE(N))
2. เม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนเทอราฟทาเลต จากการหมุนเวียนนำมาใช้อีกของขวดน้ำดื่มชนิดขวดใส
3. พอลิเอทิลีนคอกิ่งด้วยมาเลอิกแอนไฮไดรด์ (Maleic anhydride graft Polyethylene, MA-g-PE) และ พอลิเอทิลีนคอกิ่งด้วยอะคริลิก (Acrylic acid graft Polyethylene, AA-g-PE)
4. เอทิลีนไวนิลแอสซิเตต (Ethyl Vinyl Acetate, EVA)
5. เอทิลีนโพรพิลีนไดอีนมอนอเมอร์คอกิ่งด้วยมาเลอิกแอนไฮไดรด์ (Maleic anhydride-graft-Ethylene-Propylene-Diene-Monomer, MA-g-EPDM)

3.2) อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. เครื่องอัดรีดชนิดเกลียวหนอนเดี่ยว (Single-screw extruder)
2. เครื่องอัดรีดชนิดเกลียวหนอนคู่ (Twin-screw extruder)
3. เครื่องฉีดขึ้นรูป (Injection moulding)
4. เครื่องทดสอบแรงดึง 30 kN
5. เครื่องทดสอบสมบัติทางความร้อน DSC
6. เครื่องไม้ตัดพลาสติก
7. เครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM)
8. เครื่องวัดความทนทานต่อแรงกระแทก (Impact resistance)
9. ตู้อบ
10. เครื่องวัดความแข็งแบบ Shore D
11. เครื่องทดสอบสมบัติการไหล

3.3) ขั้นตอนการดำเนินงาน

1. ทำการผสมระหว่าง HDPE กับสารช่วยผสมแต่ละชนิดก่อนโดยใช้สารช่วยผสมในปริมาณ 0 1 3 5 และ 7% โดยน้ำหนัก
2. ทำการผสม HDPE ที่ผสมสารช่วยผสมแล้วกับ PET

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 1.) นำไปขึ้นรูปเพื่อทดสอบสมบัติเชิงกลและสมบัติทางความร้อน
- 2.) นำไปทดสอบสมบัติการไหลและตรวจสอบสัณฐานวิทยา
- 3.) สรุปผลและนำไปใช้งาน
- 3.4) วิธีการทดลอง

ในการทดลองจะใช้อัตราส่วนระหว่าง HDPE : PET คงที่คือ 80:20 โดยทำการเปลี่ยนแปลงชนิด และปริมาณของสารช่วยผสม

- 1.) ทำการชั่งน้ำหนักเพื่อทำการผสม HDPE และสารช่วยผสมที่ใช้คือ EVA, MA-g-PE, AA-g-PE, MA-g-EPDM ในปริมาณ 0 1 3 5 และ 7% โดยน้ำหนัก ปริมาณของ HDPE ที่ใช้คือ 800 กรัม ในแต่ละสูตร
 - ใช้เครื่องอัดรีดชนิดเกลียวหอนเดี่ยว (Single-screw extruder)
- 2.) นำ HDPE ที่ผสมกับสารช่วยผสมในข้อที่ 1 มาผสมกับ PET แล้ว (โดยทำการแบ่ง HDPE ที่ผสมกับสารช่วยผสมไว้ส่วนหนึ่ง) ปริมาณของ PET ที่ใช้คือ 200 กรัม ในแต่ละสูตร
 - ใช้เครื่องอัดรีดชนิดเกลียวหอนคู่ (Twin-screw extruder)
- 3.) นำเม็ดพลาสติกที่ได้มาทดสอบสมบัติเชิงความร้อนของพอลิเมอร์ผสมด้วยเครื่อง DSC โดย
 - อัตราการให้ความร้อน (Heating rate) ที่ $20^{\circ}\text{C}/\text{min}$
 - อัตราการเย็นตัว (Cooling rate) ที่ $20^{\circ}\text{C}/\text{min}$
 - อ่านค่า T_m และ T_c จากกราฟที่ได้
 - ทำการคำนวณหา ΔH_m และ ΔH_c โดยใช้โปรแกรมการคำนวณในเครื่อง DSC

การคำนวณ

ปริมาณความเป็นผลึกก่อนการผสม

$$\text{Degree of crystallinity (HDPE)} = \left(\frac{\Delta H_1}{\Delta H_{100\text{HDPE}}} \right) \times 100$$

$$\Delta H_1 = \text{พื้นที่ใต้กราฟของ HDPE ก่อนการผสม}$$

$$\Delta H_{100\text{HDPE}} = \text{พื้นที่ใต้กราฟของ HDPE ที่ตกผลึกได้ 100\%}$$

ปริมาณความเป็นผลึกหลังการผสม

หาองศาความเป็นผลึกของพอลิเมอร์ผสมแต่ละชนิดจาก $\Delta H_{\text{หลังผสม}}$ เทียบกับ $\Delta H_{\text{ก่อนผสม}}$

$$\text{Degree of crystallinity (HDPE)} = \left(\frac{\Delta H_2}{\Delta H_1} \right) \times 100$$

$$\Delta H_2 = \text{พื้นที่ใต้กราฟหลังการผสม}$$

- 4.) นำเม็ดพลาสติกที่ได้มาทดสอบสมบัติการไหลของพอลิเมอร์ผสมโดยใช้เครื่อง Capillary Extrusion Rheometer เพื่อทดสอบค่าความหนืด (Viscosity) และค่าความเค้นเฉือน (Shear stress) โดยทำการซ้ำระบบละ 4 ครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.) ทำการขึ้นรูปชิ้นงานทั้งของ HDPE ที่ผสมกับสารช่วยผสมและของพอลิเมอร์ผสม HDPE: PET เพื่อตรวจสอบสมบัติเชิงกล ได้แก่ สมบัติความทนทานต่อแรงกระแทก (Impact resistance) และสมบัติต้านทานแรงดึง (Tensile resistance) ซึ่งการขึ้นรูปเพื่อทดสอบสมบัติดังกล่าวนี้จะใช้เครื่องฉีดขึ้นรูป (Injection moulding) โดยใช้แม่พิมพ์รูปลัดขิม

6.) การทดสอบสมบัติเชิงกล ด้วยเครื่องทดสอบแรงดึงขนาด 300 kN ตาม ASTM D638M ทำการทดสอบสมบัติเชิงกลของแต่ละระบบ โดยใช้ชิ้นงานตัวอย่างในการทดสอบระบบละ 10 ชิ้นที่สภาวะของเครื่องทดสอบเป็นดังนี้

Load cell	:	3000 N
Test speed	:	5 mm/min
Grammage	:	1.0 g/m ²
Cell class	:	0.5
Guage length	:	25 mm

นำผลที่ได้มาคำนวณหาค่าสมบัติเชิงกลดังต่อไปนี้

Tensile strength	:	Force(N)/Area(mm ²)
%Elongation	:	(Δ Length/Original length)x100
Modulus	:	stress/strain

7.) การทดสอบสมบัติเชิงกลด้วยเครื่องทดสอบความทนทานต่อแรงกระแทก ตาม ASTM D256 ทำการทดสอบพอลิเมอร์ผสมแต่ละระบบ โดยใช้ชิ้นงานตัวอย่างในการทดสอบระบบละ 10 ชิ้น

8.) การทดสอบลักษณะทางสัณฐานวิทยา (Morphology) โดยใช้เครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM) ซึ่งเตรียมตัวอย่างโดยนำชิ้นงานไปแช่ในไนโตรเจนเหลว และตัดชิ้นงานออกมาให้ได้แผ่นบาง ๆ จากนั้นนำไปวิเคราะห์

บทที่ 4

สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองผสม HDPE และ PET โดยใช้สารช่วยในการผสม 4 ชนิด ได้แก่ AA-g-PE , MA-g-PE , EVA และ EPDM สามารถแบ่งสารช่วยในการผสมออกเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่

- 1.) กลุ่มที่เกิดปฏิกิริยาเคมีกับพอลิเมอร์หลักทั้ง 2 ชนิด ได้แก่ AA-g-PE และ MA-g-PE
- 2.) กลุ่มที่เป็นอิลาสโตเมอร์ ได้แก่ EVA และ EPDM

สิ่งแรกที่เราต้องการศึกษา คือ สมบัติเชิงกล ได้ทดสอบเพื่อหาค่าต่างๆดังนี้

1.) ค่ามอดูลัส (Young's modulus, E) ซึ่งจะคำนวณได้จากสูตร ความเค้นหารด้วยความเครียดมีหน่วยเป็น นิวตัน/มม.² แต่ค่านี้จะไม่นำมาพิจารณาในเรื่องผลการทดลอง ทั้งนี้เนื่องจากการคำนวณค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน พบว่ามีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานมาก ดังนั้นจึงไม่ขอนำมาพิจารณาค่า

2.) ความยืด ณ จุดขาด (Elongation at break) ซึ่งคำนวณได้จากสูตร ความยาวที่เปลี่ยนแปลงไปหารด้วยความยาวเดิม

3.) ค่าของงานที่ทำ (Work done) หาได้จากพื้นที่ใต้กราฟของพอลิเมอร์จนถึงจุดขาด มีหน่วยเป็น นิวตัน-มม.

4.) ค่าความแข็งแรงดึง (Tensile strength) ซึ่งคำนวณได้จากสูตร แรงดึงที่จุดขาดหารด้วยพื้นที่ มีหน่วยเป็น นิวตัน/มม.².

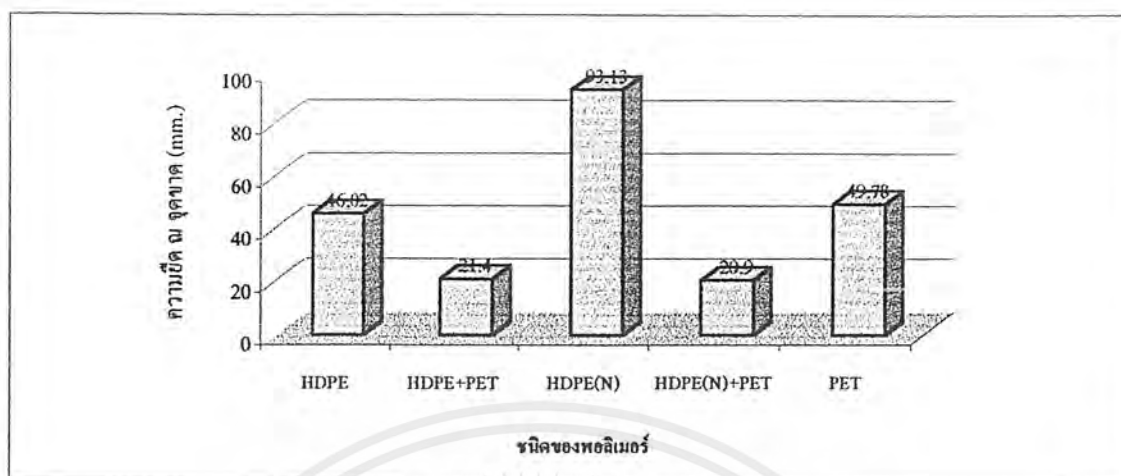
5.) ค่าความทนทานต่อแรงกระแทก (Impact strength)

4.1) การศึกษาสมบัติเชิงกล

วัดโดยเครื่องทดสอบแรงดึงได้ค่าต่างๆดังนี้

4.1.1) การศึกษาความยืด ณ จุดขาด

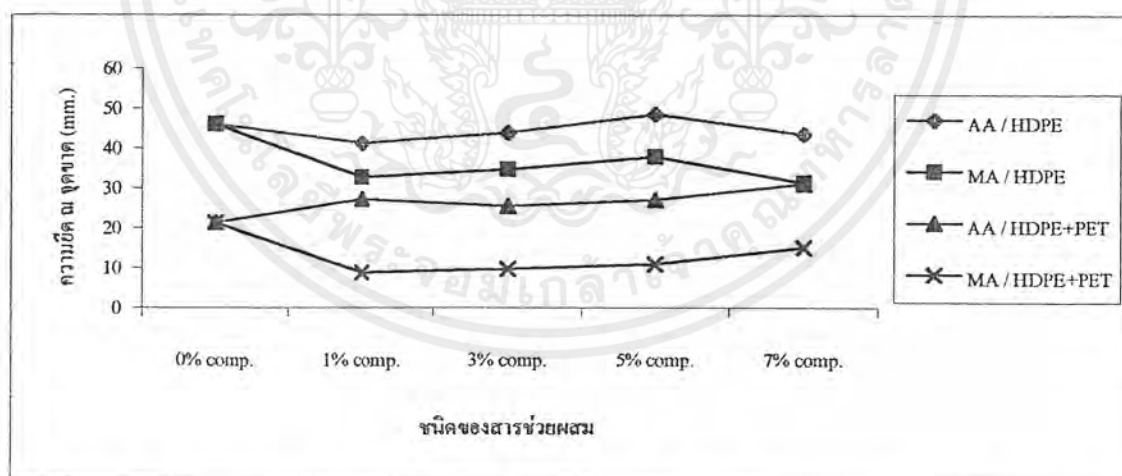
ความยืด ณ จุดขาดของพอลิเมอร์ชนิดต่างๆแสดงได้ดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 กราฟแสดง ความยืด ณ จุดขาดของตัวอย่าง

พบว่า HDPE(N) ให้ความยืด ณ จุดขาดสูงกว่า HDPE เนื่องจากมีน้ำหนักโมเลกุลสูงกว่า HDPE และ PET มีความยืด ณ จุดขาดใกล้เคียงกัน เมื่อผสมกันในอัตราส่วน 80:20 จะทำให้ความยืด ณ จุดขาดลดลง

ความยืด ณ จุดขาดของ HDPE เมื่อผสมกับสารช่วยผสม AA-g-PE หรือ MA-g-PE ทั้งที่ผสมและไม่ผสม PET แสดงได้ดังรูปที่ 4.2

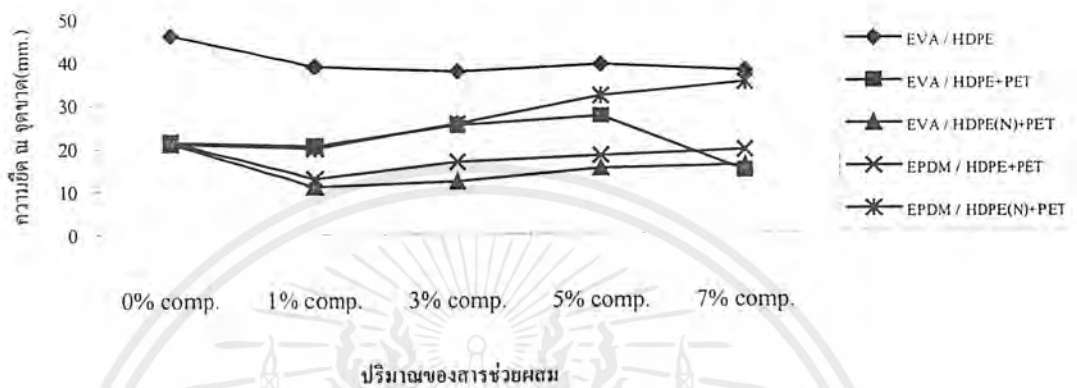


รูปที่ 4.2 กราฟแสดง ความยืด ณ จุดขาดของตัวอย่าง โดยมี AA-g-PE และ MA-g-PE เป็นสารช่วยผสม

จากรูปที่ 4.2 พบว่าความยืด ณ จุดขาดของ HDPE โดยมี AA-g-PE หรือ MA-g-PE เป็นสารช่วยในการผสมส่วนใหญ่จะลดลงต่ำกว่าความยืด ณ จุดขาดของ HDPE โดย HDPE ที่มี AA-g-PE เป็นสารช่วยผสมจะมีค่าความยืด ณ จุดขาดสูงกว่า MA-g-PE แต่ที่ 5% AA-g-PE มีค่าความยืด ณ จุดขาดสูงกว่า HDPE

ความยืด ฃ จุดขาดของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง HDPE และ PET พบว่าความยืด ฃ จุดขาดจะเพิ่มขึ้นเมื่อใช้ AA-g-PE แต่ลดลงเมื่อใช้ MA-g-PE เป็นสารช่วยในการผสม

กรณีที่ใช้อีลาสโตเมอร์ได้แก่ EVA หรือ EPDM เป็นสารช่วยผสมความยืด ฃ จุดขาดแสดงในรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความยืด ฃ จุดขาดของตัวอย่างเมื่อใช้ EPDM หรือ EVA เป็นสารช่วยผสม

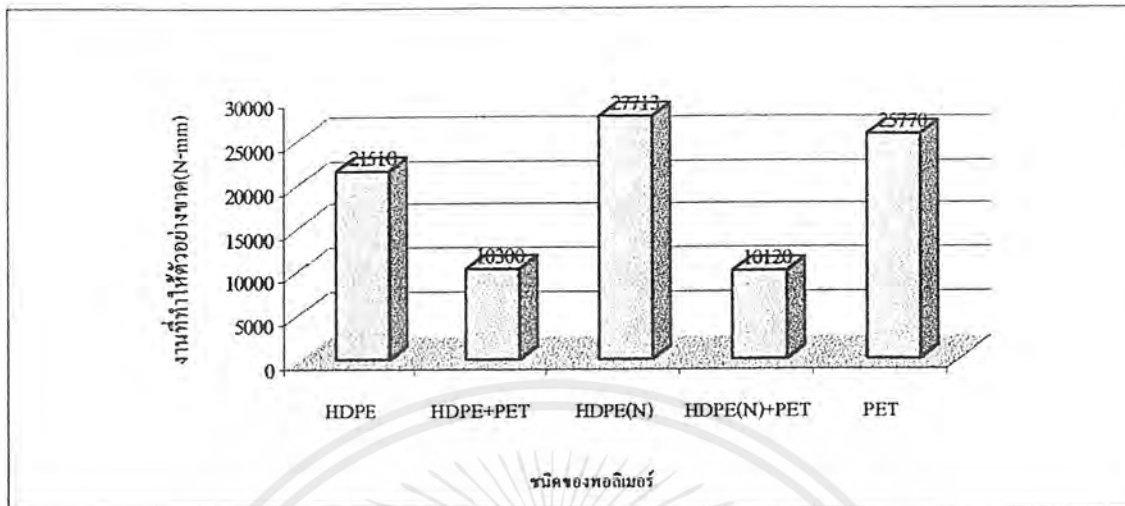
จากรูปที่ 4.3 พบว่าเมื่อ HDPE มี EVA เป็นสารช่วยผสมค่าความยืด ฃ จุดขาดของพอลิเมอร์ผสมจะลดลง

เมื่อผสมระหว่าง HDPE และ PET โดยมีสารช่วยในการผสม พบว่าค่าความยืด ฃ จุดขาดลดลง ในกรณีที่ใช้ HDPE และ PET สารช่วยผสม EVA ให้ค่าสูงกว่า EPDM ในทางตรงข้าม HDPE(N) และ PET สารช่วยผสม EPDM ให้ค่าความยืด ฃ จุดขาดสูงกว่า แสดงว่า HDPE ผสมได้ดีกับ EVA ในขณะที่ HDPE(N) ผสมเข้ากันได้ดีกับ EPDM

เปรียบเทียบความยืด ฃ จุดขาดเมื่อใช้สารช่วยผสมชนิดเกิดปฏิกิริยาในรูปที่ 4.2 กับชนิดอีลาสโตเมอร์ในรูปที่ 4.3 พบว่าสารช่วยผสม AA-g-PE ให้ผลดีกว่า EVA

4.1.2) การศึกษาขนาดที่ทำให้ขาด

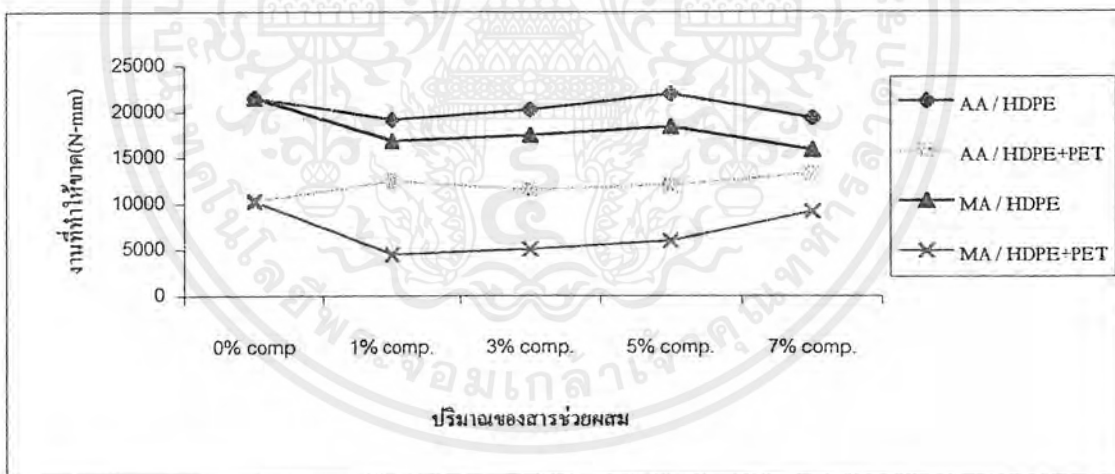
งานที่ทำให้ตัวอย่างชนิดต่างๆขาดแสดงได้รูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 กราฟแสดงค่างานที่ทำให้ตัวอย่างขาด

จากรูปที่ 4.4 พบว่างานที่ทำให้พอลิเมอร์ขาดแสดงผลไปในทางเดียวกับค่าความยืดหยุ่น จุดขาด ทั้งนี้ก็เนื่องมาจากเหตุผลเดียวกัน

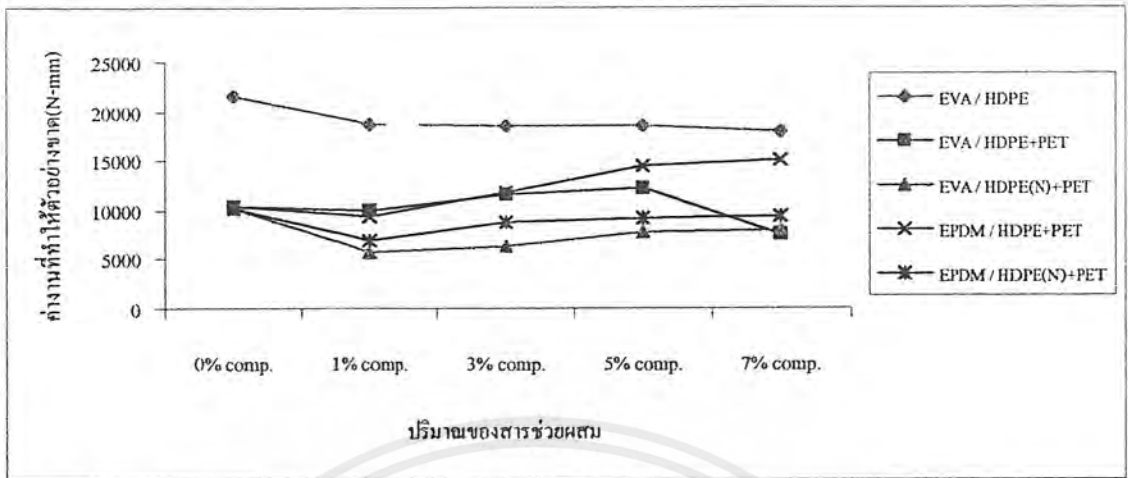
ค่างานที่ทำให้ขาด เมื่อผสมสารช่วยผสม AA-g-PE หรือ MA-g-PE แสดงได้ดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 กราฟแสดงค่างานที่ทำให้ตัวอย่างขาดเมื่อใช้ AA-g-PE หรือ MA-g-PE เป็นสารช่วยผสม

จากรูปที่ 4.5 พบว่างานที่ทำให้ขาดของ HDPE เมื่อมี AA-g-PE หรือ MA-g-PE แสดงผลไปในทางเดียวกับค่าความยืดหยุ่นที่จุดขาดในรูปที่ 4.2 เนื่องจากงานที่ทำลิดจากพื้นที่ได้กราฟของ Stress-strain curve หากความยืดหยุ่นที่จุดขาดสูงงานที่ทำให้พอลิเมอร์ขาดจะสูงด้วย

ในกรณีที่ใช้อีลาสโตเมอร์ได้แก่ EVA และ EPDM เป็นสารช่วยผสม ค่างานที่ทำให้ขาดสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.6

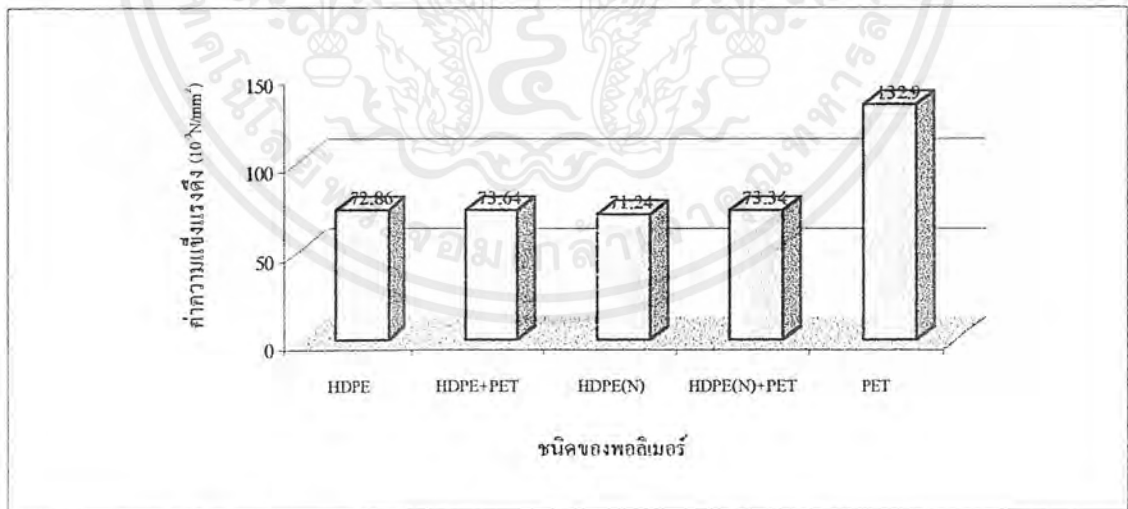


รูปที่ 4.6 กราฟแสดงค่าแรงที่ทำให้ตัวอย่างขาดเมื่อใช้ EPDM หรือ EVA เป็นสารช่วยผสม

จากรูปที่ 4.6 พบว่าแรงที่ทำให้ขาดของ HDPE เมื่อมี EVA จะต่ำกว่าแรงที่ทำให้ขาดของ HDPE โดยจะลดลงเรื่อยๆ และเมื่อผสมระหว่าง PET และ HDPE ที่มีสารช่วยในการผสม จะเห็นว่า EPDM จะมีงานที่ทำให้ตัวอย่างขาดลดลงก่อนแล้วจึงค่อยๆ เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ โดย EPDM จะให้ค่าที่สูงกว่า EVA ทั้งในกรณี HDPE และ HDPE(N)

4.1.3) การศึกษาค่าความแข็งแรงดึง

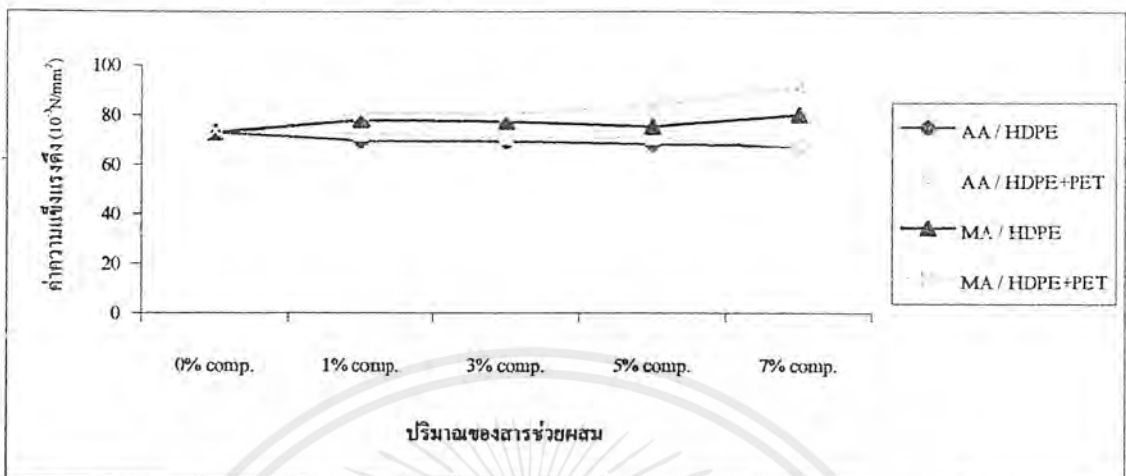
ค่าความแข็งแรงดึงของตัวอย่างชนิดต่างๆแสดงดังรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 กราฟแสดงค่าความแข็งแรงดึงของตัวอย่าง

จากรูปที่ 4.7 พบว่า PET มีความต้านทานแรงดึงที่ทำให้พอลิเมอร์ขาดสูงที่สุด สำหรับ HDPE และ HDPE(N) ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่างกันมีความต้านทานแรงดึงที่ทำให้พอลิเมอร์ขาดใกล้เคียงกัน

ค่าความแข็งแรงดึงของตัวอย่างเมื่อผสมสารช่วยผสมชนิดเกิดปฏิกิริยา



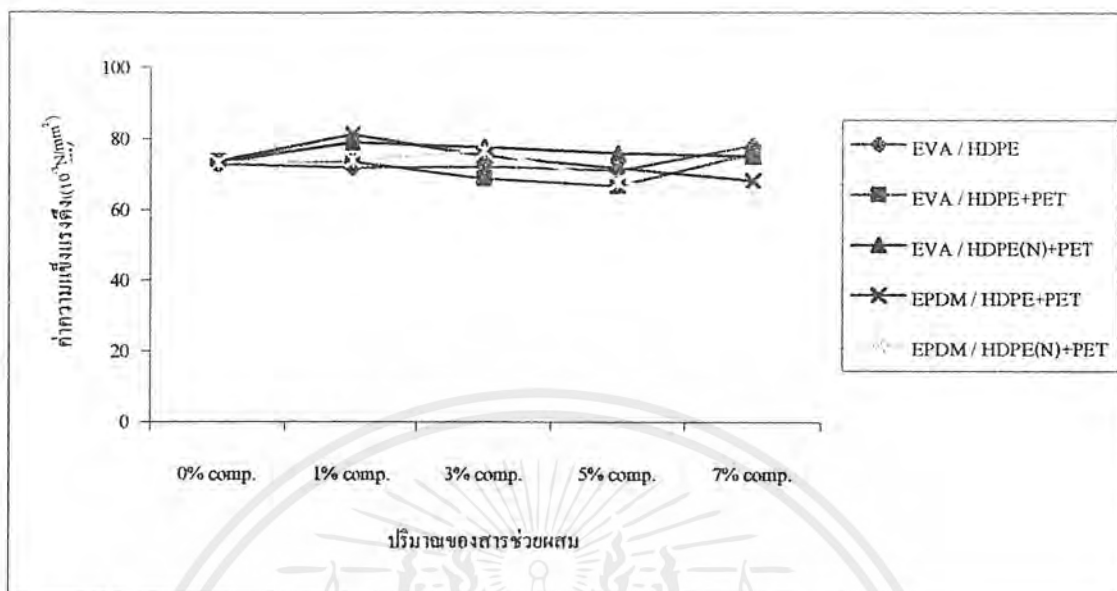
รูปที่ 4.8 กราฟแสดงค่าความแข็งแรงดึงของตัวอย่างเมื่อมี AA-g-PE หรือ MA-g-PE เป็นสารช่วยผสม

จากรูปที่ 4.8 พบว่าค่าความแข็งแรงดึงของ HDPE ที่มี MA-g-PE เป็นสารช่วยผสมจะเพิ่มขึ้น ส่วนค่าความแข็งแรงดึงของ HDPE ที่ใช้ AA-g-PE จะลดลง แสดงว่า MA-g-PE สามารถเหนี่ยวนำให้ HDPE เกิดผลึกได้ดีกว่า AA-g-PE ทำให้ความแข็งแรงเพิ่มขึ้นจึงมีความต้านทานแรงเค้นที่ทำให้พอลิเมอร์ขาดสูงขึ้น

เมื่อนำ HDPE ที่มีสารช่วยผสมมาผสมกับ PET ค่าความแข็งแรงดึงของจุดขาดจะเพิ่มขึ้น เนื่องจากส่วนที่เป็นขั้วของสารช่วยผสมสามารถทำปฏิกิริยากับหมู่ไฮดรอกซิลที่อยู่ตรงปลายสายโซ่ของ PET ทำให้สามารถเกิดการจัดเรียงตัวและการตกผลึกได้ดีขึ้น

ค่าความแข็งแรงดึงของพอลิเมอร์ผสมเมื่อเติมสารช่วยผสมเป็นชนิดอิลาสโตเมอร์แสดงดัง

รูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 กราฟแสดงค่าความแข็งแรงของตัวอย่างเมื่อมี EVA หรือ EPDM เป็นสารช่วยผสม ในกรณีสารช่วยผสมอิลาสโตเมอร์ EVA จะให้ค่าความแข็งแรงดึงต่ำกว่า HDPE เนื่องจากส่วนของแอสซิเตตใน EVA เป็นหมู่ใหญ่ที่มีลักษณะเกาะเกาะ ทำให้ความสามารถในการเกิดผลึกของ HDPE ลดลง ส่งผลให้ความต้านทานแรงดึงลดลง เมื่อเปรียบเทียบค่าความแข็งแรงดึงที่จุดขาดของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง HDPE กับ PET เมื่อใช้ EVA หรือ EPDM เป็นสารช่วยในการผสม พบว่า EPDM จะให้ค่าที่ดีกว่า กรณีของพอลิเมอร์ผสมที่ใช้ HDPE(N) ซึ่งมีน้ำหนักโมเลกุลสูงกว่า HDPE จะให้ค่าความแข็งแรงดึงไปในทิศทางเดียวกับ HDPE

เปรียบเทียบค่าความแข็งแรงดึงเมื่อใช้สารช่วยในการผสมชนิดเกิดปฏิกิริยา กับชนิดอิลาสโตเมอร์พบว่า MA-g-PA ให้ผลดีกว่า EPDM

4.1.4) ความทนทานต่อแรงกระแทก

ตารางที่ 4.1 ตารางแสดงค่าความทนทานต่อแรงกระแทกของตัวอย่างเมื่อมี AA-g-PE หรือ MA-g-PE เป็นสารช่วยผสม

ตัวอย่าง	ความทนทานต่อแรงกระแทก(kJ/m ²)	ตัวอย่าง	ความทนทานต่อแรงกระแทก (kJ/m ²)
HDPE	60.1*	HDPE+PET	3.6
HDPE(N)	23.3*	HDPE(N)+PET	3.8
1% AA / HDPE	57.0*	1% MA / HDPE	64.5*
3% AA / HDPE	51.7*	3% MA / HDPE	64.1*
5% AA / HDPE	50.6*	5% MA / HDPE	63.5*
7% AA / HDPE	47.6*	7% MA / HDPE	57*
1% AA / HDPE+PET	3.3	1% MA / HDPE+PET	3.2
3% AA / HDPE+PET	3.4	3% MA / HDPE+PET	3.1
5% AA / HDPE+PET	3.4	5% MA / HDPE+PET	3.4
7% AA / HDPE+PET	3.4	7% MA / HDPE+PET	3.9

* แทนพอลิเมอร์ผสมที่ไม่แตก เนื่องจากยังแสดงคุณสมบัติของเทอร์โมพลาสติกพอลิเมอร์ทำให้มีความเหนียวอยู่มาก

จากตารางที่ 4.1 เมื่อเปรียบเทียบระหว่าง HDPE ที่มีสารช่วยผสมต่างชนิดกัน HDPE ที่มี MA-g-PE จะให้ค่าความทนทานต่อแรงกระแทกสูงกว่า โดย MA-g-PE ส่งผลให้ความเป็นผลึกของ HDPE เพิ่มขึ้น ทำให้ความทนทานต่อแรงกระแทกสูงขึ้น ความทนทานต่อแรงกระแทกจะลดลงที่ 7% MA-g-PE แสดงว่าปริมาณสารช่วยผสมที่มากเกินไปจะไปขัดขวางการเกิดผลึกของ HDPE ในส่วนของ AA-g-PE ยิ่งเพิ่มปริมาณมากขึ้นความทนทานต่อแรงกระแทกจะลดลง แสดงว่า AA-g-PE ทำให้ปริมาณ อนุฐานของ HDPE เพิ่มขึ้น ทั้งนี้คงเนื่องจากใน AA-g-PE มีปริมาณอะคริลิกอยู่มากจะขัดขวางการตกผลึกของ HDPE ทำให้ค่าความทนทานต่อแรงกระแทกลดลงเมื่อปริมาณของสารช่วยผสมเพิ่มขึ้น

เมื่อผสม PET ลงในพอลิเมอร์ผสม HDPE และสารช่วยผสมพบว่าค่าความทนทานต่อแรงกระแทกจะมีแนวโน้มคล้ายกับค่าความทนทานต่อแรงกระแทกของ PET โดยไม่ขึ้นกับชนิดและปริมาณของสารช่วยผสมที่ใช้

ตารางที่ 4.2 ตารางแสดงค่าความทนทานต่อแรงกระแทกของตัวอย่างเมื่อมี EVA หรือ EPDM เป็นสารช่วยผสม

ตัวอย่าง	ความทนทานต่อแรงกระแทก (kJ/m ²)	ตัวอย่าง	ความทนทานต่อแรงกระแทก (kJ/m ²)
HDPE	60.1*	1% EPDM / HDPE(N)+PET	2.6
HDPE(N)	23.3*	3% EPDM / HDPE(N)+PET	3.1
HDPE / PET	3.6	5% EPDM / HDPE(N)+PET	5.8
HDPE (N) / PET	3.8	7% EPDM / HDPE(N)+PET	11.1
1% EVA / HDPE	59.2*	1% EPDM / HDPE+PET	3.3
3% EVA / HDPE	64.1*	3% EPDM / HDPE+PET	3.9
5% EVA / HDPE	63.2*	5% EPDM / HDPE+PET	7.8
7% EVA / HDPE	62.1*	7% EPDM / HDPE+PET	12.6
1% EVA / HDPE+PET	3.1	1% EVA / HDPE(N)+PET	2.7
3% EVA / HDPE+PET	3.4	3% EVA / HDPE(N)+PET	3.1
5% EVA / HDPE+PET	3.6	5% EVA / HDPE(N)+PET	3.2
7% EVA / HDPE+PET	3.7	7% EVA / HDPE(N)+PET	3.4

* แทนพอลิเมอร์ผสมที่ไม่แตก เนื่องจากยังแสดงคุณสมบัติของเทอร์โมพลาสติกพอลิเมอร์ทำให้มีความเหนียวอยู่มาก

จากตารางที่ 4.2 เมื่อทำการผสมระหว่าง HDPE และ สารช่วยผสม เมื่อเติม EVA ไปในปริมาณเริ่มต้นคือ 1% EVA จะทำการขัดขวางการแตกหักทำให้ค่าความทนทานต่อแรงกระแทกลดลง แต่เมื่อเพิ่ม EVA จะทำให้มีส่วนของอีลาสโตเมอร์มากขึ้น ทำให้เกิดการกระจายแรงได้มากขึ้น

เมื่อทำการผสมระหว่าง HDPE ที่มีสารช่วยผสมและ PET เนื่องจาก EPDM มีลักษณะที่เป็นอีลาสโตเมอร์ดังนั้นจึงมีสมบัติการกระจายแรงได้ดี ทำให้เมื่อปริมาณของสารช่วยผสมเพิ่มขึ้น ค่าความทนทานต่อแรงกระแทกจะเพิ่มขึ้น สำหรับ EVA นั้นจะให้ค่าความทนทานต่อแรงกระแทกขึ้นอยู่กับ PET

4.1.5) การศึกษาค่าความแข็งของพอลิเมอร์ผสม

ตารางที่ 4.3 ตารางแสดงค่าความแข็งของตัวอย่างเมื่อมี AA-g-PE หรือ MA-g-PE เป็นสารช่วยผสม

ตัวอย่าง	ค่าความแข็ง	ตัวอย่าง	ค่าความแข็ง
HDPE	64.0	HDPE+PET	61.6
HDPE(N)	64.9	HDPE(N)+PET	64.6
1% AA / HDPE	61.3	1% MA / HDPE	61.6
3% AA / HDPE	60.5	3% MA / HDPE	61.0
5% AA / HDPE	60.0	5% MA / HDPE	61.4
7% AA / HDPE	59.4	7% MA / HDPE	60.4
1% AA / HDPE+PET	64.7	1% MA / HDPE+PET	64.4
3% AA / HDPE+PET	64.0	3% MA / HDPE+PET	63.9
5% AA / HDPE+PET	64.2	5% MA / HDPE+PET	64.9
7% AA / HDPE+PET	63.4	7% MA / HDPE+PET	64.9

จากตารางที่ 4.3 จะพบว่า HDPE ที่มี AA-g-PE หรือ MA-g-PE ค่าความแข็งเมื่อใช้ AA-g-PE จะน้อยกว่า เนื่องจากเมื่อผสมเข้าไปจะขัดขวางการเกิดผลึกมากกว่า MA-g-PE ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองเรื่องความทนทานต่อแรงกระแทกและความแข็งแรงดึง

เมื่อผสมระหว่าง PET กับ HDPE ที่มีสารช่วยในการผสม ความแข็งจะสูงขึ้นเล็กน้อยเมื่อเทียบกับก่อนผสม PET แสดงว่าค่าที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากความแข็งของ PET ระหว่าง AA-g-PE และ MA-g-PE ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

ตารางที่ 4.4 ตารางแสดงค่าความแข็งของตัวอย่างเมื่อมี EVA หรือ EPDM เป็นสารช่วยผสม

ตัวอย่าง	ค่าความแข็ง	ตัวอย่าง	ค่าความแข็ง
HDPE	64.0	1% EPDM / HDPE(N)+PET	62.4
HDPE(N)	61.6	3% EPDM / HDPE(N)+PET	63.4
HDPE / PET	64.9	5% EPDM / HDPE(N)+PET	63.4
HDPE (N) / PET	64.6	7% EPDM / HDPE(N)+PET	62.6
1% EVA / HDPE	62.0	1% EVA / HDPE(N)+PET	64.7
3% EVA / HDPE	61.6	3% EVA / HDPE(N)+PET	65.2
5% EVA / HDPE	61.6	5% EVA / HDPE(N)+PET	64.5
7% EVA / HDPE	60.9	7% EVA / HDPE(N)+PET	63.6
1% EVA / HDPE+PET	64.7	1% EPDM / HDPE+PET	64.0
3% EVA / HDPE+PET	65.2	3% EPDM / HDPE+PET	63.4
5% EVA / HDPE+PET	64.5	5% EPDM / HDPE+PET	62.2
7% EVA / HDPE+PET	63.6	7% EPDM / HDPE+PET	62.1

จากตารางที่ 4.4 พบว่าเมื่อ HDPE มี EVA EVA จะทำให้มีค่าความแข็งลดลงกว่า HDPE บริสุทธิ์

เมื่อผสม PET กับ HDPE ที่มีสารช่วยผสม EVA และ EPDM พบว่าเนื่องจากความเป็นอีลาสโตเมอร์ของ EPDM จะกระจายแรงและรับแรงได้ดีกว่า ทำให้มีค่าความแข็งต่ำกว่า ในขณะที่ EVA มีคุณสมบัติของยางน้อยกว่าแต่มีความเป็นพลาสติกมากกว่า ทำให้ไม่สามารถกระจายแรงและรับแรงได้ดีเท่ากับ EPDM จึงมีความแข็งสูงกว่า

จากตารางที่ 4.3 และ 4.4 จะเห็นว่าค่าความแข็งของพอลิเมอร์ผสมจะแตกต่างกันเพียงเล็กน้อยหรือมีค่าใกล้เคียงกันมากนั่นเอง

4.2.) การศึกษาสมบัติทางความร้อนโดยใช้เครื่อง DSC

4.2.1) ค่าอุณหภูมิหลอมเหลวผลึก

4.2.2) ค่าเอนทัลปีของการผสม

4.2.1.) การศึกษาอุณหภูมิหลอมเหลวผลึก

ตารางที่ 4.5 ตารางแสดงอุณหภูมิหลอมเหลวผลึกของตัวอย่าง โดยมี AA-g-PE หรือ MA-g-PE เป็นสารช่วยผสม

ตัวอย่าง	$T_{m1} (^{\circ}C)$	$T_{m2} (^{\circ}C)$	ตัวอย่าง	$T_{m1} (^{\circ}C)$	$T_{m2} (^{\circ}C)$
HDPE	140.7	-	HDPE+PET	140.7	253.6
HDPE (N)	140.5	-	HDPE(N)+PET	141.1	252.3
			PET	-	256.0
1% AA / HDPE	140.8	-	1% AA / HDPE+PET	142.3	253.9
3% AA / HDPE	139.4	-	3% AA / HDPE+PET	141.7	254
5% AA / HDPE	137.3	-	5% AA / HDPE+PET	142.1	253.6
7% AA / HDPE	140.7	-	7% AA / HDPE+PET	141.6	253.9
5% MA / HDPE	143.3	-	5% MA / HDPE+PET	141.3	252.3

หมายเหตุ T_{m1} คือ อุณหภูมิหลอมเหลวผลึกในส่วนของ HDPE

T_{m2} คือ อุณหภูมิหลอมเหลวผลึกในส่วนของ PET

จากตารางที่ 4.5 แสดงถึงอุณหภูมิหลอมเหลวผลึก (T_m) ของ HDPE ที่มีสารช่วยผสมพบว่าเมื่อมี MA-g-PE จะมีอุณหภูมิหลอมเหลวผลึกต่ำกว่าเมื่อมี AA-g-PE แสดงว่า MA-g-PE ช่วยให้ HDPE เกิดผลึกได้ดีขึ้น ดังได้กล่าวมาแล้วในตอนแรก เมื่อผสมระหว่าง PET และ HDPE ที่มีสารช่วยผสมพบว่า T_m ของ PET ลดลงเล็กน้อย เนื่องจาก HDPEอาจรบกวนการตกผลึกของ PET ได้บ้าง

ตารางที่ 4.6 แสดงค่าอุณหภูมิหลอมเหลวผลึกของตัวอย่างเมื่อมี EVA หรือ EPDM เป็นสารช่วยผสม

ตัวอย่าง	T_{m1} (°C)	T_{m2} (°C)	ตัวอย่าง	T_{m1} (°C)	T_{m2} (°C)
HDPE	140.7	-	HDPE+PET	140.7	253.6
HDPE(N)	140.5	-	HDPE(N)+PET	141.1	253.2
			PET	-	256.0
1% EVA / HDPE	139.0	-	1% EVA / HDPE+PET	141.9	253.5
3% EVA / HDPE	139.4	-	3% EVA / HDPE+PET	143.0	254.8
5% EVA / HDPE	145.0	-	5% EVA / HDPE+PET	139.2	252.9
7% EVA / HDPE	139.0	-	7% EVA / HDPE+PET	141.8	254.6
5% EPDM / HDPE	137.7	-	5% EPDM / HDPE+PET	141.3	254.2
5% EVA / HDPE(N)	143.8	-	5% EVA / HDPE(N)+PET	143.8	252.9
5% EPDM / HDE(N)	141.7	-	5% EPDM / HDPE(N)+PET	141.0	253.0

หมายเหตุ T_{m1} คือ อุณหภูมิหลอมเหลวผลึกในส่วนของ HDPE

T_{m2} คือ อุณหภูมิหลอมเหลวผลึกในส่วนของ PET

จากตารางที่ 4.6 เมื่อ HDPE มี EVA พบว่าอุณหภูมิหลอมเหลวผลึกลดลงแล้วค่อยๆเพิ่มขึ้น แสดงถึงความเป็นผลึกที่ลดลงแล้วค่อยๆเพิ่มขึ้น เนื่องจากการเพิ่มปริมาณของ EVA เท่ากับการเพิ่มปริมาณของพอลิเอทิลีนทำให้ความเป็นผลึกเพิ่มขึ้น และหากเปรียบเทียบที่ 5% ของ EVA และ EPDM จะเห็นว่า 5% ของ EVA มีอุณหภูมิหลอมเหลวผลึกที่สูงกว่า ทั้งนี้เนื่องจากใน EVA มีพอลิเอทิลีนซึ่งทำให้ความสามารถในการตกผลึกเพิ่มขึ้น ส่วน EPDM มีความเป็นออสโตเมอร์มากกว่าส่งผลให้อุณหภูมิหลอมเหลวผลึกลดลง และเมื่อผสมระหว่าง PET และ HDPE ที่มีสารช่วยผสมพบว่า T_{m2} ของ PET ลดลงเล็กน้อย แต่ไม่เปลี่ยนแปลงตามปริมาณของ EVA และ EPDM มากนัก

4.2.2) การศึกษาเอนทัลปีของการผสม

ตารางที่ 4.7 ตารางแสดงค่าเอนทัลปีของตัวอย่างเมื่อมี AA-g-PE หรือ MA-g-PE เป็นสารช่วยผสม

ตัวอย่าง	ΔH_{m_1} * (J/g)	ΔH_{m_2} * (J/g)	ตัวอย่าง	ΔH_{m_1} * (J/g)	ΔH_{m_2} * (J/g)
HDPE	175.2	-	HDPE+PET	132.1	4.5
HDPE(N)	141.7	-	HDPE(N)+PET	129.0	4.6
			PET	-	34.1
1% AA / HDPE	127.8	-	1% AA / HDPE+PET	151.27	4.3
3% AA / HDPE	139.4	-	3% AA / HDPE+PET	108.4	3.2
5% AA / HDPE	134.8	-	5% AA / HDPE+PET	126.9	4.2
7% AA / HDPE	133.8	-	7% AA / HDPE+PET	115.2	4.2
5% MA / HDPE	143.8	-	5% MA / HDPE+PET	129.1	4.6

* ΔH_{m_1} แทน ค่าเอนทัลปีของระบบในส่วนของ HDPE

* ΔH_{m_2} แทน ค่าเอนทัลปีของระบบในส่วนของ PET

ค่าเอนทัลปีของระบบ คือ พลังงานความร้อนที่ใช้ในการหลอมเหลวผลึกของพอลิเมอร์ หากเอนทัลปีมีค่าสูงแสดงว่าปริมาณความเป็นผลึกของพอลิเมอร์มีค่ามาก

จากตารางที่ 4.7 เมื่อ HDPE มี AA-g-PE หรือ MA-g-PE เป็นสารช่วยผสมค่าเอนทัลปีของระบบลดลง แสดงว่าสารช่วยในการผสมทั้ง 2 ชนิดไปรบกวนการตกผลึกของ HDPE พบว่ากรณีที่ใช้ MA-g-PE จะมีเอนทัลปีสูงกว่า AA-g-PE ที่มีแนวโน้มของเอนทัลปีลดลงตามปริมาณของ AA-g-PE ที่เพิ่มขึ้น ซึ่งทั้ง 2 เหตุการณ์เป็นเหตุผลเดียวกับการเปลี่ยนแปลง T_{m_1} ของพอลิเมอร์ผสมที่มี AA-g-PE เป็นสารช่วยผสม

เมื่อผสม PET และ HDPE โดยมีสารช่วยผสม พิจารณาที่ 5% ของสารช่วยผสมเอนทัลปีของ HDPE เมื่อใช้ MA-g-PE จะสูงกว่า AA-g-PE

สำหรับ T_{m_2} ของ PET พบว่า ทั้งพอลิเมอร์ผสมที่มี AA-g-PE และ MA-g-PE มีเอนทัลปีลดลงจากเดิมมากและไม่ขึ้นกับปริมาณของสารช่วยในการผสม

ตารางที่ 4.8 ตารางแสดงค่าเอนทาลปีของตัวอย่าง โดยมี EVA และ EPDM เป็นสารช่วยผสม

ตัวอย่าง	ΔH_{m1}^* (J/g)	ΔH_{m2}^* (J/g)	ตัวอย่าง	ΔH_{m1}^* (J/g)	ΔH_{m2}^* (J/g)
HDPE	175.2	-	HDPE+PET	132.1	4.5
HDPE(N)	141.7	-	HDPE(N)+PET	129.0	4.6
			PET	-	34.1
1% EVA / HDPE	146.2	-	1% EVA / HDPE+PET	113.5	4.2
3% EVA / HDPE	120.9	-	3% EVA / HDPE+PET	114.8	4.1
5% EVA / HDPE	113.5	-	5% EVA / HDPE+PET	114.1	7.7
7% EVA / HDPE	137.1	-	7% EVA / HDPE+PET	118.1	3.6
5% EPDM / HDPE	119.1	-	5% EPDM / HDPE+PET	115.3	3.0
5% EVA / HDPE(N)	161.4	-	5% EVA / HDPE(N)+PET	96.4	2.6
5% EPDM / HDPE(N)	101.4	-	5% EPDM / HDPE(N)+PET	129.2	16.0

* ΔH_{m1} แทน ค่าเอนทาลปีของระบบในส่วนของ HDPE

* ΔH_{m2} แทน ค่าเอนทาลปีของระบบในส่วนของ PET

จากตารางที่ 4.8 HDPE ที่มี EVA จะมีค่าเอนทาลปีลดลงจาก HDPE บริสุทธิ์แต่จะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆตามปริมาณของ EVA และเมื่อเปรียบเทียบเอนทาลปีของ 5% EVA และ 5% EPDM จะได้ว่า 5% ของ EVA จะให้เอนทาลปีสูงกว่า ซึ่งทั้ง 2 กรณีมีเหตุผลเดียวกับ T_m หากปริมาณความเป็นผลึกสูง T_m จะสูงและเอนทาลปีจะสูง

เมื่อทำการผสม PET และ HDPE โดยมีสารช่วยในการผสม ค่าเอนทาลปีของ HDPE มีแนวโน้มไม่แน่นอน ซึ่งอาจเกิดจากการผสมและการกระจายตัวที่ไม่ดีของ EVA และพอลิเอทิลีน พิจารณาที่ 5% EPDM และ 5% EVA ค่าเอนทาลปีของ HDPE เมื่อผสม EPDM สูงกว่าเมื่อผสม EVA แต่เอนทาลปีของ PET เมื่อผสมกับ EPDM จะลดลง ผลการทดลองแสดงว่า PET นำจะรวมตัวได้ดีกับ EPDM และในทางตรงข้าม EVA จะรวมตัวได้ดีกับ HDPE

ตารางที่ 4.9 แสดงค่าเอนทัลปีของตัวอย่างโดยมีปริมาณของสารช่วยในการผสม 5 เปอร์เซ็นต์

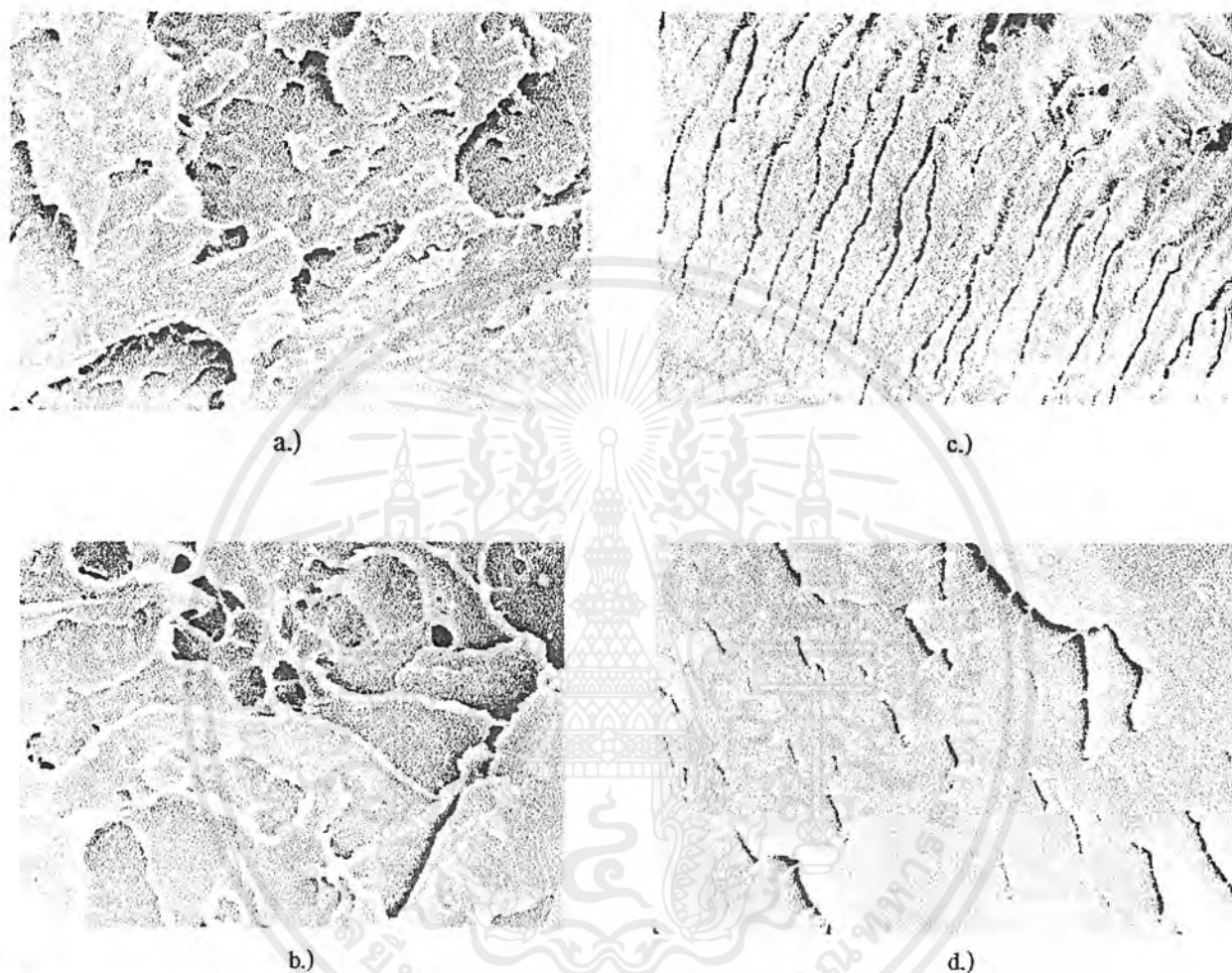
ตัวอย่าง	$\Delta H_{m_1}^*$ (J/g)	$\Delta H_{m_2}^*$ (J/g)	ตัวอย่าง	$\Delta H_{m_1}^*$ (J/g)	$\Delta H_{m_2}^*$ (J/g)
5% AA / HDPE+PET	126.9	4.6	5% MA / HDPE+PET	129.1	4.2
5% EVA / HDPE+PET	114.8	4.13	5% EPDM / HDPE+PET	115.35	3.0

จากตารางที่ 4.9 พิจารณาในแง่ของ PET แล้ว EVA และ EPDM มีความสามารถในการลดความเป็นผลึกมากกว่ากลุ่มแรก



4.3.) การศึกษาลักษณะพื้นผิวโดยเทคนิค Scanning Electron Microscope, SEM

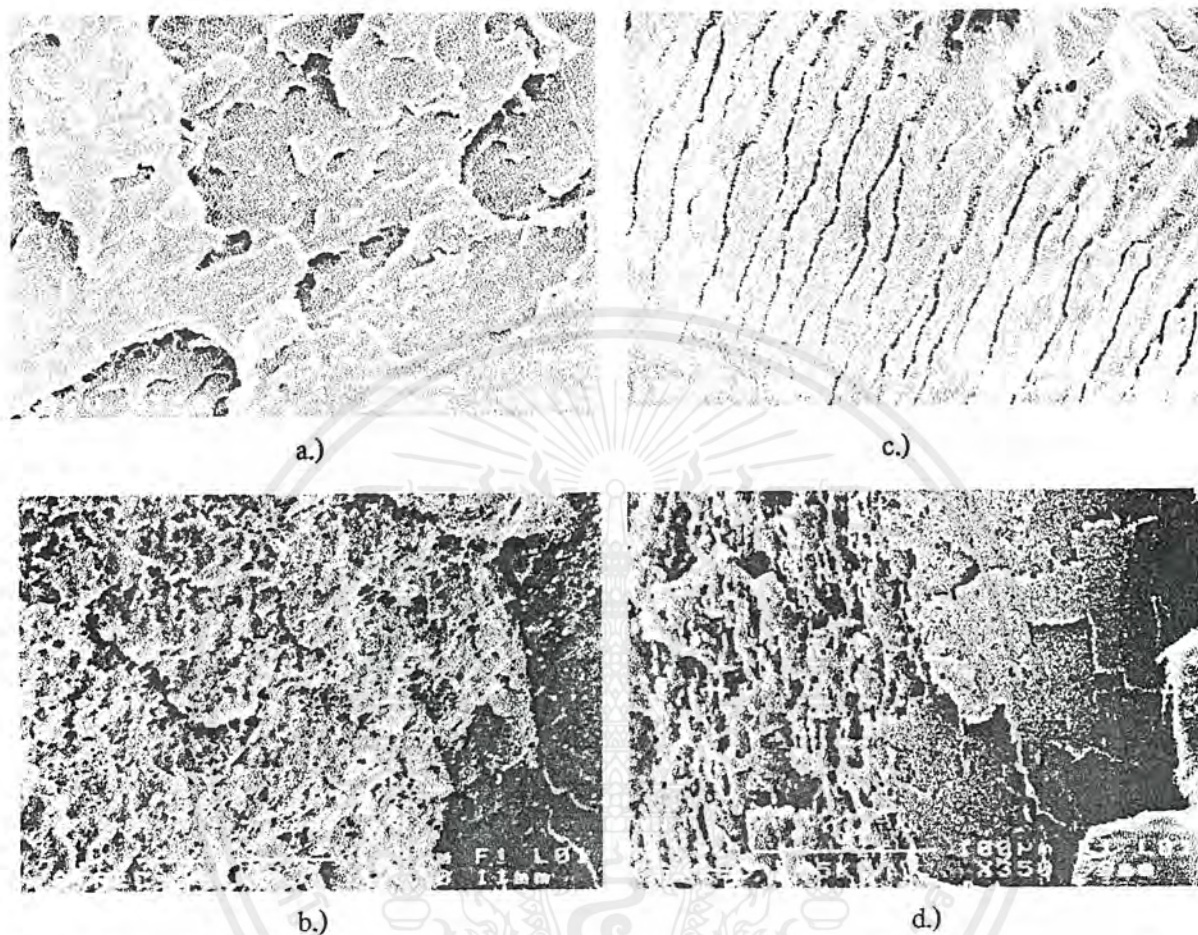
ลักษณะพื้นผิวที่แตกหักของ HDPE และ HDPE ผสมกับสารช่วยผสมชนิดต่างๆ



รูปที่ 4.10 แสดงสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสม a.) HDPE b.) HDPE + 5% AA-g-PE c.) HDPE(N) d.) HDPE + 5% MA-g-PE ที่กำลังขยาย 350 เท่า

จากรูปที่ 4.10 HDPE ในรูป a.) ให้ค่าความทนทานต่อแรงกระแทกสูงกว่า HDPE(N) ในรูป b.) และเมื่อเติม AA-g-PE พบว่าพื้นผิวมีลักษณะแตกออกโดยเว้าเข้าไปด้านใน ส่วนเมื่อเติม MA-g-PE มีลักษณะการแตกออกที่ให้ผิวเรียบมากกว่าและความทนทานต่อแรงกระแทกสูงกว่า แสดงว่า MA-g-PE ผสมเข้ากันกับ HDPE ได้ดีกว่า

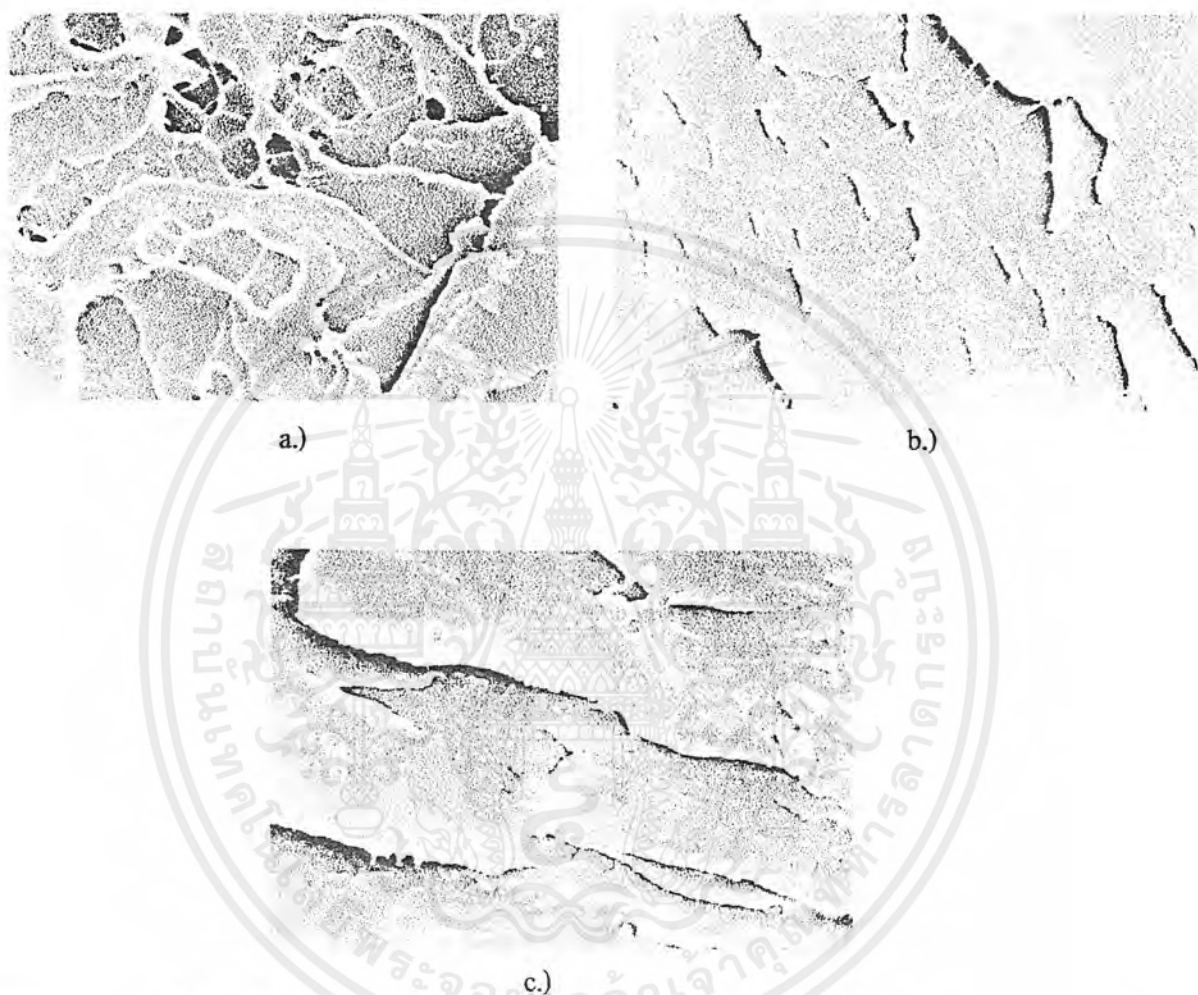
ลักษณะพื้นผิวที่แตกหักของ HDPE+PET



รูปที่ 4.11 แสดงลักษณะพื้นผิวของ a.) HDPE b.) HDPE+PET c.) HDPE (N) d.) HDPE(N)+PET ที่กำลังขยาย 350 เท่า

จากรูปที่ 4.18 พบว่าเมื่อเติม PET ลงไปใน HDPE ทั้ง 2 ชนิด ผิวจะเกิดฟองอากาศเล็กๆ ขึ้นมากมายและพบว่าค่าความทนทานต่อแรงกระแทกจะลดลงจาก HDPE และ HDPE(N)

ลักษณะพื้นผิวของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง HDPE และ 5% ของสารช่วยผสมชนิดต่างๆ

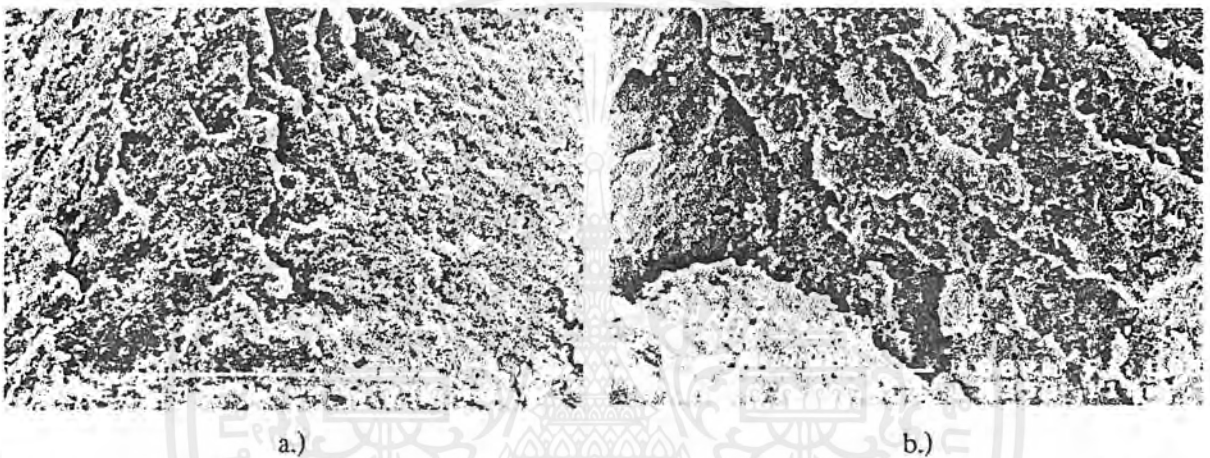


รูปที่ 4.12 แสดงลักษณะพื้นผิวของพอลิเมอร์ผสม a.) HDPE+5% AA-g-PE b.) HDPE+5% MA-g-PE c.) HDPE+5% EVA ที่กำลังขยาย 350 เท่า

จากรูปที่ 4.12 พบว่าพอลิเมอร์ผสมที่มี MA-g-PE มีพื้นผิวที่กลมกลืนเป็นเนื้อเดียว ในขณะที่พอลิเมอร์ผสมที่มี AA-g-PE มีลักษณะพื้นผิวเมื่อถูกหักแล้วรอยหักลึกเข้าไปด้านในพื้นผิว แสดงว่าความสามารถในการเข้ากันได้ของพอลิเมอร์ผสมไม่ค่อยดี และพอลิเมอร์ผสมที่มี EVA มีลักษณะพื้นผิวที่คล้ายกับพอลิเมอร์ผสมที่มี AA-g-PE แต่มีความลึกของรอยหักที่ตื้นกว่า

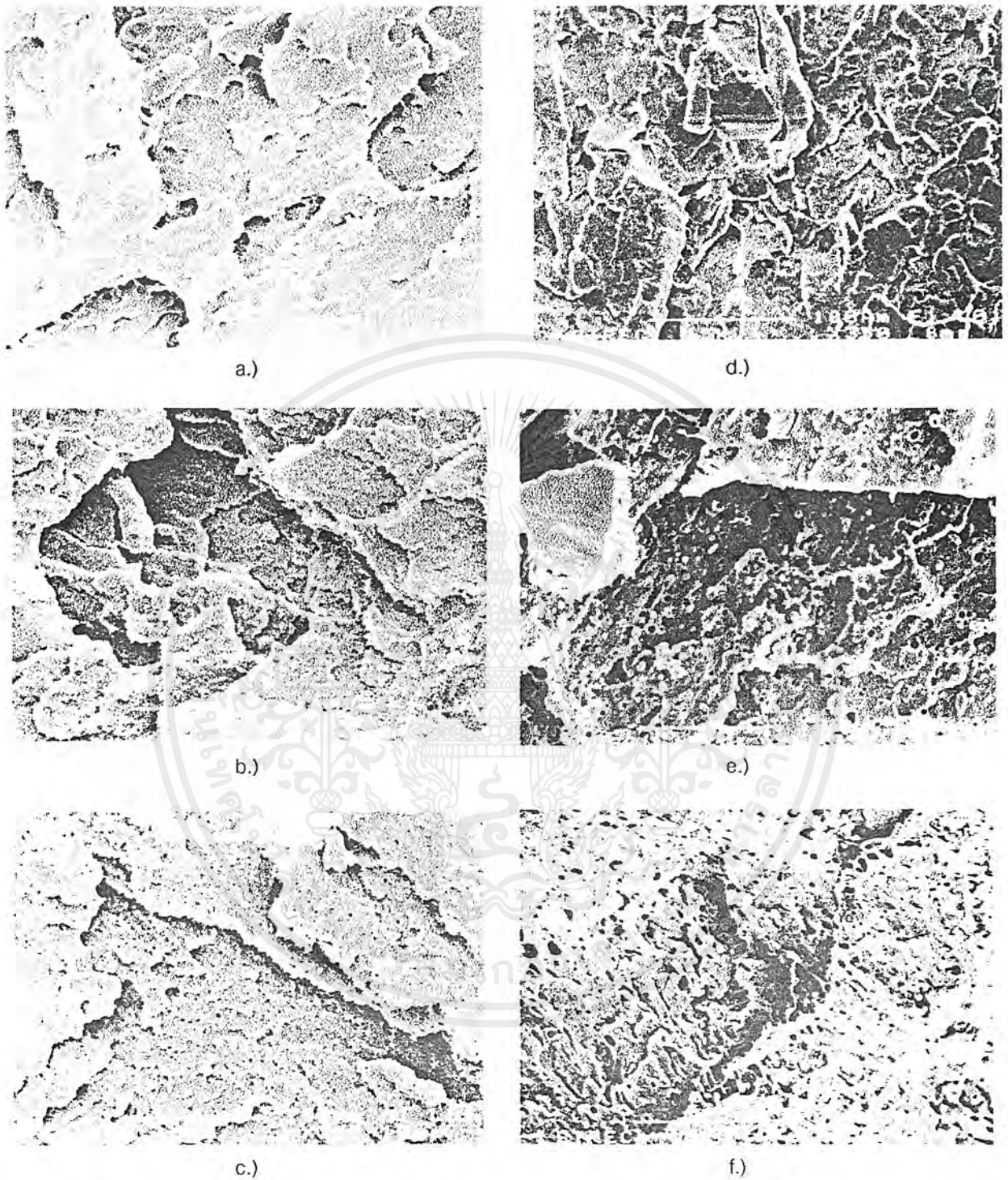
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลักษณะพื้นผิวของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง HDPE(N) และ PET เมื่อใช้ 5% EVA หรือ EPDM



รูปที่ 4.13 แสดงลักษณะพื้นผิวของ a.) HDPE(N)+PET+EVA b.) HDPE(N)+PET+EPDM ที่กำลังขยาย 350 เท่า

จากรูปที่ 4.13 เมื่อสังเกตจากพื้นผิวของพอลิเมอร์ผสมทั้งที่มี EVA และ EPDM พบว่ามีฟองอากาศอยู่ที่ผิวหน้า และพบว่าลักษณะพื้นผิวแบบ b.) ให้ค่าความทนทานต่อแรงกระแทกสูงกว่าแบบ a.)



รูปที่ 4.14 แสดงสัณฐานวิทยาของ a.) HDPE b.) HDPE+PET+AA-g-PE c.) HDPE+PET+EVA d.) PET e.) HDPE+PET+MA-g-PE f.) HDPE+PET+EPDM ที่กำลังขยาย 350 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

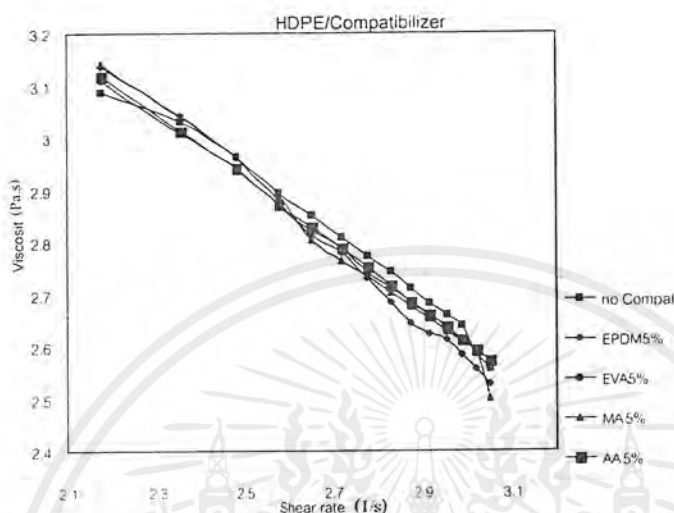
รูปที่ 4.14 เมื่อพิจารณารูป b.) และ e.) จะพบว่ารูป b.) มีรอยแตกหักเข้าไปในเนื้อของชิ้นงาน ในขณะที่รูป e.) มีผิวหน้าที่เกิดจากรอยหักที่เรียกว่า แสดงว่า MA-g-PE สามารถผสมเข้ากันได้ดีกับ HDPE และ PET ได้ดีกว่า AA-g-PE และเมื่อพิจารณารูป c.) และ f.) รูป f.) แสดงให้เห็นว่า พอลิเมอร์ผสมมีการยึดออกก่อนที่จะขาดในขณะที่รูป c.) มีผิวหน้าที่เรียกว่า จึงสอดคล้องกับความทนทานต่อแรงกระแทกที่พอลิเมอร์รูป f.) มีค่ามากกว่าพอลิเมอร์ในรูป c.)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

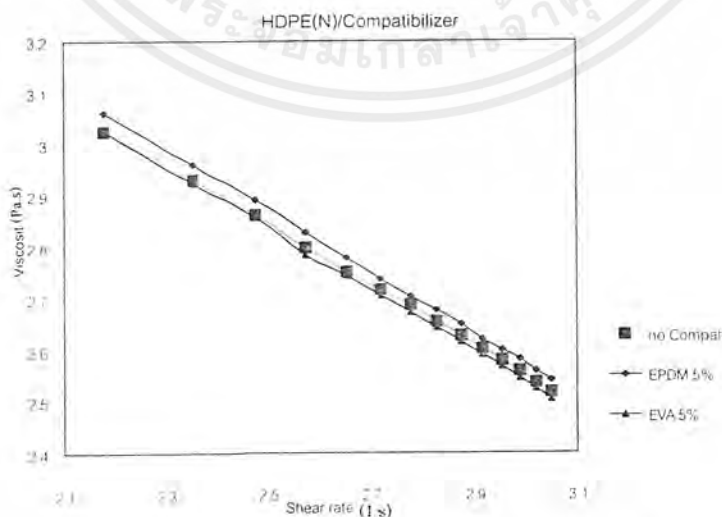
4.4) การไหลของพอลิเมอร์

การไหลของ HDPE และ HDPE ผสมกับสารช่วยผสม



รูปที่ 4.15 กราฟแสดงการไหลของ HDPE และ HDPE ผสมกับสารช่วยผสมที่ 190°C โดยแสดงระหว่าง \log ของความหนืดและอัตราการเฉือน

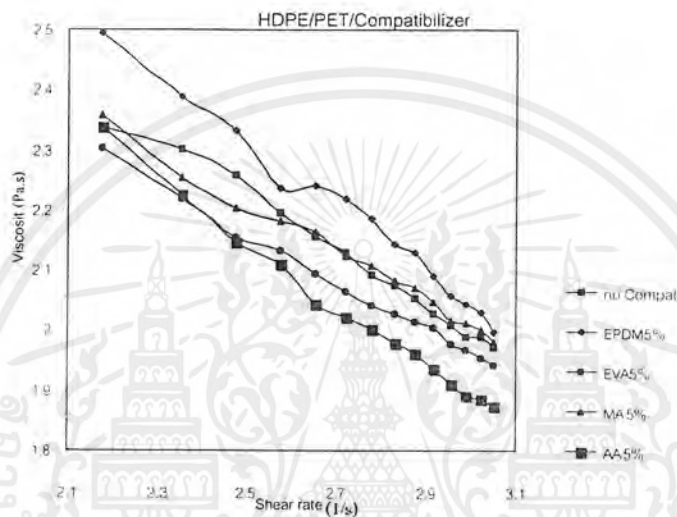
จากรูปที่ 4.15 พบว่าค่าความหนืดของ HDPE ลดลงอย่างรวดเร็วที่ค่าอัตราการเฉือนสูง เนื่องจากหากอัตราการเฉือนสูงจะทำให้สายโซ่ของพอลิเมอร์แยกออกจากกัน การเกี่ยวพันของสายโซ่ลดลง ทำให้ค่าความหนืดลดลง และเมื่อทำการผสมสารช่วยผสม คือ MA-g-PE, AA-g-PE, EVA และ EPDM ค่าที่ได้มีแนวโน้มเดียวกัน การไหลของ HDPE(N) และ HDPE(N) ผสมกับสารช่วยผสม



รูปที่ 4.16 กราฟแสดงการไหลของ HDPE(N) และ HDPE(N) ผสมกับสารช่วยผสมที่ 190°C โดยแสดงระหว่าง \log ของความหนืดและอัตราการเฉือน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ว่าลิขสิทธิ์และข้อมูลทั้งหมดนั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

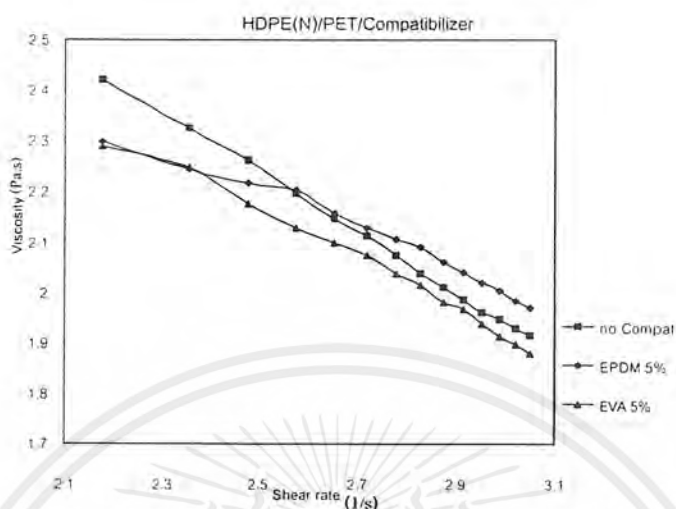
HDPE ที่มีมวลโมเลกุลสูง ค่าความหนืดที่ได้จะค่อยๆลดลงด้วยอัตราคงที่แม้จะได้รับอัตราการเฉือนสูงก็ตาม ที่ค่าอัตราการเฉือนสูงจะไม่สามารถทำให้สายโซ่ของพอลิเมอร์ที่มีมวลโมเลกุลสูงแยกออกจากกันได้ ยังคงมีการเกี่ยวพันของสายโซ่อยู่ แต่มีค่าความหนืดลดลงและเมื่อทำการผสมสารช่วยผสมคือ EVA และ EPDM ค่าที่ได้มีแนวโน้มเดียวกัน การไหลของ HDPE ผสมสารช่วยผสมเมื่อเติม PET



รูปที่ 4.17 กราฟแสดงการไหลของ HDPE และสารช่วยผสมเมื่อเติม PET ลงไปที่ 280°C โดยแสดงระหว่าง log ของความหนืดและอัตราการเฉือน

จากรูปที่ 4.17 เมื่อผสมระหว่าง PET และ HDPE ที่มีสารช่วยผสม EPDM จะให้ค่าความหนืดสูงกว่าสารช่วยผสมชนิดอื่น สำหรับ MA-g-PE นั้นมีค่าใกล้เคียงกับกรณีที่ไม่ใส่สารช่วยผสม ส่วน AA-g-PE, EVA ค่าที่ได้มีความหนืดที่ต่ำกว่า

การไหลของ HDPE(N) และสารช่วยผสมเมื่อเติม PET



รูปที่ 4.18 กราฟแสดงค่าความหนืดของ HDPE และสารช่วยผสม เมื่อเติม PET ลงไปโดยแสดงระหว่าง log ของความหนืดและอัตราการเฉือน

เมื่อเติม PET พบว่าสารช่วยผสมที่เป็น EPDM, EVA ที่ต่ำอัตราการเฉือนต่ำๆจะมีค่าความหนืดต่ำกว่าเมื่อไม่เติมสารช่วยในการผสม แต่ที่อัตราการเฉือนสูงๆ EPDM จะมีความหนืดสูงกว่าเมื่อไม่เติมสารช่วยผสม

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย

5.1) สรุป

จากการทดลองพบว่า เมื่อเติมสารช่วยในการผสมลงในการผสมระหว่าง HDPE และ PET จะทำให้คุณสมบัติทางความร้อนและค่าการไหลเปลี่ยนแปลงไปน้อยมาก เช่นเดียวกับคุณสมบัติเชิงกลบางชนิด ได้แก่ ความทนทานต่อแรงกระแทก ความแข็งแรงของพอลิเมอร์ แต่คุณสมบัติเชิงกลหลายชนิด ได้แก่ ความยืด หยุ่น จุดขาด งานที่ทำให้ขาด และ ความความแข็งแรงดึงก็มีการเปลี่ยนแปลงอย่างเห็นได้ชัด

สารช่วยในการผสมชนิดที่เกิดปฏิกิริยา

ในแง่ของสมบัติเชิงกล MA-g-PE จะให้ค่าความแข็งแรงดึง ความทนทานต่อแรงกระแทก และความแข็งแรงมากกว่า AA-g-PE แต่ AA-g-PE จะให้ความยืด หยุ่น จุดขาดและงานที่ทำให้ขาดสูงกว่า

คุณสมบัติทางความร้อน MA-g-PE จะให้อุณหภูมิหลอมเหลวผลึก เอนทาลปี และความเป็นผลึกสูงกว่า AA-g-PE

ส่วนค่าของการไหลและสัณฐานวิทยา MA-g-PE จะให้ค่าที่ดีกว่า AA-g-PE

สารช่วยในการผสมชนิดที่เป็นอิลาสโตเมอร์

จากการทดลองพบว่า สมบัติเชิงกล ได้แก่ งานที่ทำให้ขาด ความแข็งแรงดึง และความทนทานต่อแรงกระแทก EPDM จะให้ค่าที่สูงกว่า EVA แต่ค่าความยืด หยุ่น จุดขาด และค่าความแข็งแรง EVA จะให้ค่าที่สูงกว่า EPDM

คุณสมบัติทางความร้อน EPDM จะให้อุณหภูมิหลอมเหลวผลึก เอนทาลปี และความเป็นผลึกสูงกว่า EVA ส่วนค่าการไหลและสัณฐานวิทยาพบว่า EPDM ให้ค่าที่ดีกว่า EVA เช่นกัน

เปรียบเทียบสารช่วยในการผสมทั้ง 2 ชนิด

ได้นำสารช่วยในการผสมที่มีคุณสมบัติของทั้ง 2 กลุ่มมาเปรียบเทียบกันพบว่า MA-g-PE จะให้ค่าความแข็งแรงดึง และความแข็งแรงดีกว่า EPDM ในขณะที่ EPDM ความยืด หยุ่น จุดขาด และ ความทนทานต่อแรงกระแทกที่สูงกว่า MA-g-PE เมื่อทำการวัดด้วยเครื่อง DSC หากเติม MA-g-PE ลงไปในการผสมจะได้ค่าเอนทาลปีและความเป็นผลึกที่สูงกว่าเมื่อใช้ EPDM และในส่วนของการไหลการใช้ MA-g-PE จะให้ความหนืดที่ดีกว่าการใช้ EPDM

จากการสังเกตคุณสมบัติต่างๆของพอลิเมอร์ผสมคาดว่าที่ 5% ของสารช่วยในการผสมจะเป็นปริมาณที่เหมาะสมที่สุด

5.2) ข้อเสนอแนะ

1. ทำการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนของ HDPE และ PET เพื่อศึกษาสมบัติต่างๆต่อไป
2. ทำการทดลองโดยใช้สารช่วยในการผสม MA-g-PE AA-g- PE ที่มีปริมาณการคั่งกึ่งที่เท่ากัน
3. ทำการทดลอง โดยใช้ EVA ที่มีปริมาณอะซิเตดเพิ่มขึ้น เพื่อเปลี่ยนแปลงปริมาณอีลาสโตเมอร์ของ EVA
4. ทำการทดลองโดยเปลี่ยนชนิดของ HDPE จากชนิดเป่าขึ้นรูปเป็นชนิดอื่น
5. ทำการทดสอบ HDT เพื่อหาอุณหภูมิที่ในการใช้งาน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

1. P.Rader," Plastic ,Rubber, and Paper Recycling a Pragma Approach" ‘ ACS Symposium Series, pp. 11-13 and pp. 27-36, 1995.
2. S. S. Dagil and K. M. Kamdar, *Polym. Eng. Sci.*, **34**, 23 (1994).
3. P. Sambaru and S. A. Jabalin, *Polymer. Eng. Sci.*, **33**,13 (1993).
4. C. Chen and F. S. Lai, *Polym. Eng. Sci.*, **34**, 23 (1994).
5. K. J. Saundess, "Organic polymer chemistry", Chapman Hall, London, pp. 45-41 and pp. 215-252, 1976.
6. D. J. IHM and J. L. White, *J. Appl. Polym. Sci.*, **60**,1-7 (1996).
7. S. A. Jabalin and V. V. Bhakkad, " Plastic, Rubber and Paper recycling", pp. 112-137, 1995.
8. K. H. Yoon and H. W. Lee and O. O. Park, *J. Appl. Polym. Sci.*, **70**, 389-395 (1998).
9. S. A. Jabarin, E.A. Lofgren, and S. B. Shah, "Emerging Technology in Plastic recycling", pp. 215-231, 1992.
10. Zainuddin, Sudradjat, Razzak, Fumio and Keizo, *J. Appl. Polym. Sci.*, **72**,1277-1282 (1999).
11. อ. อธิพิลล แจ้งซัด "เอกสารประกอบการสอนวิชาฟิสิกส์พอลิเมอร์" ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
12. อ. มาลินี ชัยสุภกิจสินธุ์ "เอกสารประกอบการสอนวิชาการวัดพอลิเมอร์" ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
13. จิราพร เมฆบริสุทธิ "การใช้สารช่วยในการปรับปรุงแรงยึดระหว่างผิวพอลิเมอร์ผสม" โครงการพิเศษหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปีการศึกษา 2539

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

1. แสดงคุณสมบัติของสารช่วยผสม

1.1 ตารางแสดงคุณสมบัติของ AA-g-PE และ MA-g-PE

TYPE	PRODUCT	BASE RESIN	MELT FLOW	WT%GRAFT	TYPE GRAFT
AA-g-PE	1009	HDPE	6	6	AA
MA-g-PE	3009	HDPE	5	1	MA

1.2 คุณสมบัติของ EPDM

GENERAL PROPERTIES

Composition: Maleic anhydride modified ethylene/propylene/
non-conjugated diene elastomer

Physical Form: Rubber Pellets

Specific Gravity: 0.85

Total Maleic Anhydride/Acid: 0.50%

Mooney Viscosity: 30

Iodine Number: 10

EPDM E/P Ratio: 75/25

1.3 ตารางแสดงสมบัติของ EVA

สมบัติที่ทดสอบ	EVA
Melt index, g/cc	2.0
Melt flow rate, 200°C/5kg:g/10min	
Modulus 300%:MPa	500
Stiffness modulus, kg/cm ²	
Tensile strength, MPa	150
Tensile strength, kg/cm ²	
% Elongation at break	650
Hardness Shore A	92
Shore D	33
Vicat softening temperature, °C	61

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ตารางแสดงผลการทดลอง

2.1) ตารางแสดงสมบัติเชิงกล

2.1.1) ตารางแสดงค่าจากเครื่องทดสอบแรงดึง

ชนิดของพอลิเมอร์	Stess@Break (N/mm ²)	Ext @ Break (mm)	Work Done (N-mm)	Modulus (N/mm ²)	Tensile strength (10 ⁻³ N/mm ²)
HDPE	14.4	36.8	21510	195.7	72.9
HDPE (N)	15.5	51.2	27713	198.5	71.2
PET	55.3	39.8	25770	523.5	132.9
1% AA / HDPE	14.1	32.6	19140	206.9	69.5
3% AA / HDPE	14.6	35.1	20280	737.3	69.4
5% AA / HDPE	14.2	38.8	21970	816.2	68.2
7% AA / HDPE	14.1	34.7	19320	200.5	67.3
1% EVA / HDPE	13.8	31.0	18600	141.1	71.8
3% EVA / HDPE	14.2	30.1	18400	799.8	72.2
5% EVA / HDPE	13.6	31.3	18580	614.3	72.1
7% EVA / HDPE	14.3	30.1	17860	778.6	71.0
1% MA / HDPE	14.1	26.2	16850	677.1	78.1
3% MA / HDPE	14.4	27.7	17520	945.3	77.3
5% MA / HDPE	14.4	30.3	18410	946.5	75.1
7% MA / HDPE	13.7	25.1	15880	387.0	80.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชนิดของพอลิเมอร์	Stress @ Break (N/mm ²)	Ext @ Break (mm.)	Work Done (N-mm.)	Modulus (N-mm ²)	Tensile strength (10 ⁻³ N/mm ²)
HDPE / PET	12.0	17.1	10300	761.6	73.6
HDPE (N) / PET	9.3	16.7	10120	500.8	73.3
1% AA / HDPE / PET	9.6	21.7	12490	923.6	72.4
3% AA / HDPE / PET	9.6	20.3	11560	621.8	70.9
5% AA / HDPE / PET	8.9	21.7	12080	694.1	70.8
7% AA / HDPE / PET (1)	9.5	19.7	10620	534.8	69.9
7% AA / HDPE / PET (2)	7.3	24.9	13320	259.6	67.3
1% EVA / HDPE / PET	12.3	16.3	9913	775.6	73.6
3% EVA / HDPE / PET	11.6	20.2	11600	253.7	68.8
5% EVA / HDPE / PET	12.5	21.8	12220	761.6	66.7
7% EVA / HDPE / PET	25.7	11.6	7506	382.1	75.9
1% EVA / HDPE (N) / PET	24.5	8.8	5660	303.5	79.1
3% EVA / HDPE (N) / PET	25.1	9.7	6268	229	77.8
5% EVA / HDPE (N) / PET	20.5	12.1	7741	217.6	76.1
7% EVA / HDPE (N) / PET	20.3	12.6	7992	315.2	75.1
1% EPDM / HDPE / PET	28.4	10.2	9444	236.2	81.3
3% EPDM / HDPE / PET	23.1	13.3	11830	198.9	75.3
5% EPDM / HDPE / PET	21.7	14.4	14460	209.0	71.8
7% EPDM / HDPE / PET	20.0	15.5	14980	242.8	68.2
1% EPDM / HDPE (N) / PET	9.8	15.8	7011	200.9	74.1
3% EPDM / HDPE (N) / PET	10.8	20.5	8698	199.1	76.8
5% EPDM / HDPE (N) / PET	12.3	25.5	9090	282.6	67.9
7% EPDM / HDPE (N) / PET	11.5	28.0	9283	205.5	64.1
1% MA / HDPE / PET	31.3	7.1	4495	199.1	80.8
3% MA / HDPE / PET	29.3	7.8	5056	219.3	80.3
5% MA / HDPE / PET	30.6	8.7	5988	201.4	83.9
7% MA / HDPE / PET	27.0	12.0	9168	173.1	91.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2) ตารางแสดงค่าความทนทานต่อแรงกระแทก

ชนิดของพอลิเมอร์	ค่าความทนทานต่อแรงกระแทก(kJ/m ²)	ชนิดของพอลิเมอร์	ค่าความทนทานต่อแรงกระแทก(kJ/m ²)
1%AA / HDPE	57.0	1%AA/PET/HDPE	3.3
3%AA / HDPE	51.7	3%AA/PET/HDPE	3.4
5%AA / HDPE	50.6	5%AA/PET/HDPE	3.4
7%AA / HDPE	47.6	7%AA/PET/HDPE	3.4
1%EVA / HDPE	59.2	1%EVA/PET/HDPE	3.1
3%EVA / HDPE	64.1	3%EVA/PET/HDPE	3.4
5%EVA / HDPE	63.2	5%EVA/PET/HDPE	3.6
7%EVA / HDPE	62.1	7%EVA/PET/HDPE	3.7
1%EVA / HDPE(N)		1%EVA/PET/HDPE(N)	2.7
3%EVA/HDPE(N)		3%EVA/PET/HDPE(N)	3.1
5%EVA/HDPE(N)		5%EVA/PET/HDPE(N)	3.2
7%EVA/HDPE(N)		7%EVA/PET/HDPE(N)	3.4
1%EPDM/HDPE		1%EPDM/PET/HDPE	3.3
3%EPDM/HDPE		3%EPDM/PET/HDPE	3.9
5%EPDM/HDPE		5%EPDM/PET/HDPE	7.8
7%EPDM/HDPE		7%EPDM/PET/HDPE	12.6
1%EPDM/HDPE(N)		1%EPDM/PET/HDPE(N)	2.6
3%EPDM/HDPE(N)		3%EPDM/PET/HDPE(N)	3.1
5%EPDM/HDPE(N)		5%EPDM/PET/HDPE(N)	5.8
7%EPDM/HDPE(N)		7%EPDM/PET/HDPE(N)	11.1
1%MA/HDPE	64.5	1%MA/PET/HDPE	3.2
3%MA/HDPE	64.1	3%MA/PET/HDPE	3.1
5%MA/HDPE	63.5	5%MA/PET/HDPE	3.4
7%MA/HDPE	57.0	7%MA/PET/HDPE	3.9
HDPE	60.1	PET/HDPE	3.6
HDPE(N)	23.3	PET/HDPE(N)	3.8
PET	3.3		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.3) ตารางแสดงค่าความแข็ง

ชนิดของพอลิเมอร์	ค่า Hardness	ชนิดของพอลิเมอร์	ค่า Hardness
HDPE	64.0	PET / HDPE	64.9
HDPE (N)	61.6	PET / HDPE (N)	64.6
1% EVA / HDPE	62.0	1% EVA / HDPE+PET	64.7
3% EVA / HDPE	61.3	3% EVA / HDPE+PET	65.2
5% EVA / HDPE	31.6	5% EVA / HDPE+PET	64.5
7% EVA / HDPE	60.9	7% EVA / HDPE+PET	63.6
1% AA / HDPE	61.2	1% AA / HDPE+PET	64.7
3% AA / HDPE	60.5	3% AA / HDPE+PET	64.0
5% AA / HDPE	60.0	5% AA / HDPE+PET	64.2
7% AA / HDPE	59.4	7% AA / HDPE+PET	63.4
1% MA / HDPE	61.6	1% MA / HDPE+PET	64.4
3% MA / HDPE	61.0	3% MA / HDPE+PET	63.9
5% MA / HDPE	61.4	5% MA / HDPE+PET	64.9
7% MA / HDPE	60.4	7% MA / HDPE+PET	64.9
PET	75.7	1% EPDM / HDPE+PET	64.0
		3% EPDM / HDPE+PET	63.4
		5% EPDM / HDPE+PET	62.2
		7% EPDM / HDPE+PET	62.1
		1% EPDM / HDPE(N)+PET	64.7
		3% EPDM / HDPE(N)+PET	65.2
		5% EPDM / HDPE(N)+PET	64.5
		7% EPDM / HDPE(N)+PET	63.6
		1% EVA / HDPE(N)+PET	62.4
		3% EVA / HDPE(N)+PET	63.4
		5% EVA / HDPE(N)+PET	63.4
		7% EVA / HDPE(N)+PET	62.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2) ตารางแสดงสมบัติทางความร้อน

ชนิดของพอลิเมอร์	T_{m1}	T_{m2}	T_{c2}	T_{c1}	ΔH_{m1}	ΔH_{m2}	ΔH_{c2}	ΔH_{c1}
HDPE	140.7			120.8	175.2			174.4
HDPE + PET	140.7	253.6	201.8	119.2	132.1	4.5	6.0	126.0
HDPE (N)	140.5			120.7	141.7			160.6
HDPE (N) + PET	141.1	253.2	213.1	119.4	129.0	4.6	6.0	122.9
PET		256.0	167.5			34.1	23.1	
1% AA / HDPE	140.8			119.4	127.8			145.5
3% AA / HDPE	139.4			119.4	139.4			151.8
5% AA / HDPE	137.3			119.5	134.8			160.2
7% AA / HDPE	140.7			120.8	133.8			146.6
1% AA / HDPE + PET	142.3	253.9	202.6	118.7	151.27	4.3	3.7	140.0
3% AA / HDPE + PET	141.7	254	204.3	118.8	108.4	3.2	3.1	97.2
5% AA / HDPE + PET	142.1	253.6	204.1	119.1	126.9	4.6	4.1	109.3
7% AA / HDPE + PET	141.6	253.9	204.5	118.8	115.2	4.2	3.9	103.57
1% EVA / HDPE	139			115.6	146.2			163.5
3% EVA / HDPE	139.4			118.8	120.9			135.1
5% EVA / HDPE	145			119.6	113.5			138.1
7% EVA / HDPE	139			119.4	131.1			160.8
1% EVA / HDPE + PET	141.9	253.5	205	118.9	113.5	4.2	4.1	114.7
3% EVA / HDPE + PET	143	254.8	203.6	118.6	114.8	4.1	4.9	113.0
5% EVA / HDPE + PET	139.2	252.9	202.3	119.2	114.1	7.7	5.2	112.2
7% EVA / HDPE + PET	141.8	254.6	205.1	119	118.7	3.6	4.3	116.6
5% MA / HDPE	143.3			119.9	143.8			151.7
5% MA / HDPE + PET	141.3	252.3	201.2	119.2	129.1	4.2	3.1	116.5
5% EVA / HDPE(N)	143.8			119.5	161.4			145.1
5% EVA / HDPE(N) + PET	139.2	252.9	202.8	119.2	96.4	2.6	1.9	86.8
5% EPDM / HDPE	137.7			120.1	119.1			129.8
5% EPDM / HDPE + PET	141.3	254.2	204	118.8	115.3	3.0	3.14	98.9
5% EPDM / HDPE (N)	141.7			119.3	101.4			91.1
5% EPDM / HDPE (N) + PET	141	253	205.5	118.4	129.2	16.0	2.1	124.3

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3) ตารางแสดงอัตราเฉือนต่อความหนืด

2.3.1) ตารางแสดงอัตราเฉือนต่อความหนืดของ HDPE และสารช่วยผสมที่ 190 °C

Shear rate (1/s)	Shear viscosity (Pa.s)				
	no Compatibilizer	EPDM5%	EVA5%	MA 5%	AA 5%
150	1220.7	1370.4	1288.6	1388.4	1312.3
225	1077.3	1104.9	1021.8	1098	1029.9
300	920.1	915.4	878.1	922.3	875.5
375	782.5	755.3	742.6	780.6	744.5
450	711.3	651.3	665.9	636	673.5
525	645	603	613.6	581.6	613.8
600	594.5	537	551.3	543.6	565.8
675	554.3	484.9	518.1	506.4	521.9
750	515.3	440.7	484.3	475	485.2
825	483.1	421.8	459.1	451	458.9
900	457.6	410.7	432.8	426.8	434.5
975	436.8	384.8	408.7	406.9	410.9
1050	386.2	360.8	390.6	389.1	392.4
1125	361.3	337.1	373.5	317.7	374.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2) ตารางแสดงอัตราเฉือนต่อความหนืดของ HDPE(N) และสารช่วยผสมที่ 190°C

Shear rate (1/s)	Shear viscosity (Pa.s)		
	no Compatibilizer	EPDM 5%	EVA 5%
150	1056.9	1147.7	1060.3
225	852.2	914	837.9
300	726.6	780.5	720.5
375	626.6	672.7	608.6
450	561	599.1	552
525	520.5	544.3	505.7
600	484.7	504.1	469.1
675	450.4	475.9	438.2
750	422.7	446.6	411.4
825	398.8	417	389.1
900	378.7	397.4	368.4
975	361	379.7	350.4
1050	342.8	362.1	33.7
1125	328.1	345.7	318.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.3) ตารางแสดงอัตราเนื้อหนืดต่อความหนืดของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง HDPE และ PET

โดยมีสารช่วยในการผสมต่างชนิดกัน

Shear rate (1/s)	Shear viscosity (Pa.s)				
	no Compatibilizer	EPDM5%	EVA5%	MA 5%	AA 5%
150	217.7	312.0	200.9	227.6	217.5
225	199.9	245.0	165.9	179.4	168.2
300	181.2	214.9	142.7	159.6	140.2
375	157.2	172.8	135.9	152.4	128.9
450	143.7	174.0	124.5	145.8	110.4
525	134.7	166.0	116.4	133.0	105.2
600	123.7	153.7	110.2	128.2	100.6
675	118.9	139.3	106.6	121.0	95.2
750	113.2	134.5	103.6	118.0	91.7
825	106.7	123.0	100.9	111.5	86.5
900	102.0	113.9	94.8	104.0	81.6
975	97.6	110.5	92.7	103.1	77.9
1050	97.3	107.3	89.9	100.2	76.8
1125	93.6	99.3	87.6	95.9	74.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.4) ตารางแสดงอัตราเฉือนต่อความหนืดของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง HDPE (N) และ PET โดยมีสารช่วยในการผสม

Shear rate (1/s)	Shear viscosity (Pa.s)		
	no Compatibilizer	EPDM 5%	EVA 5%
150	262.8	198.8	194.7
225	212.1	175.3	177.4
300	182.9	165.0	149.8
375	157.4	159.9	134.7
450	139.9	143.5	125.3
525	129.3	134.1	118.4
600	118.5	127.7	108.9
675	109.3	123.1	103.3
750	102.4	114.9	95.9
825	96.5	109.4	92.6
900	91.4	104.4	86.5
975	88.6	100.6	81.8
1050	84.8	96.1	79.1
1125	82.3	93.3	75.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้