

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์



เรื่อง

การศึกษาสมบัติทางกลและการเข้ากันได้ของพอลิเมอร์ผสมระหว่างโพลีเอทิลีน
ความหนาแน่นสูง (HDPE) กับโพลีเอทิลีนเทอเรฟทาเลท (PET)

โดย

นางกัญญา ตระกูลคู
(หัวหน้าโครงการ)

รองศาสตราจารย์ สาขาวิศวกรรมเคมี
วิทยาลัยปิโตรเลียมและปิโตรเคมี
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สนับสนุนโดย
งบประมาณแผ่นดินประจำปี 2538

บทคัดย่อ

การศึกษาสมบัติของพอลิเมอร์ผสม 2 ชนิด และพอลิเมอร์ผสม 3 ชนิด โดยมีสารประกอบ โพลีโพลิฟีนมาลิเอทเป็นตัวเชื่อมประสาน หลังผ่านกระบวนการอัดรีดแบบสกรูแฝดหลายครั้ง และนำพอลิเมอร์ผสมที่ได้ มาทดสอบโดยเครื่องมือหลายชนิดเพื่อวัดค่าสมบัติต่างๆ ของพอลิเมอร์ผสม เช่น เครื่องมือวัดความเหนียว เครื่องมือทดสอบยูนิเวอร์แซล เครื่องมือทดสอบการกระแทก และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน จากการศึกษาพบว่า ค่าความเหนียวของพอลิเมอร์ผสม 3 ชนิด มีค่าสูงกว่าค่าความเหนียวของพอลิเมอร์ผสม 2 ชนิด โดยเปรียบเทียบในแต่ละครั้งของการผลิตเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ ค่าการขีดตัวของพอลิเมอร์ผสม 3 ชนิด มีค่าที่ดีกว่าพอลิเมอร์ผสม 2 ชนิด เช่นกัน และจากการทดสอบการทนแรงกระแทก พบว่าพอลิเมอร์ผสม 3 ชนิด ให้ค่าที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ที่เป็นประโยชน์ได้ และผลจากการศึกษาภาพถ่ายลักษณะของพอลิเมอร์ผสมจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน เป็นเครื่องยืนยันถึงสาเหตุของสมบัติดังกล่าวข้างต้นได้

Abstract

Binary blends of high density polyethylene, (HDPE), and poly (ethylene terephthalate), (PET), were prepared and reprocessed. Ternary blends of these two components, to which maleic anhydride grafted polyolefin was added as compatibilizing agent, were reprocessed with a twin screw extruder.

The properties of the binary blend and ternary blend were investigated after each reprocessing pass. The instruments used for this investigation were capillary rheometer, universal machine tester, pendulum impact tester and scanning electron microscope.

The apparent viscosity of ternary blend was higher than the viscosity of binary blend in the same pass at the same ratio of components. Also, the melt strengths of the binary blend and ternary blend were examined. The ductility of reprocessed ternary blend was better than that of reprocessed binary blend. The impact strength of reprocessed ternary blend was much improved as compared to that of reprocessed binary blend. The morphology was determined to ensure the mechanical compatibility of the blend.

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยครั้งนี้ จะสำเร็จลงไม่ได้ถ้าไม่ได้รับการสนับสนุนจาก สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ และขอขอบคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ เดวิด มาร์ติน สำหรับคำแนะนำ รวมทั้ง นายพรศักดิ์ เจริญสุขทรัพย์ ที่ช่วยในงานวิจัย และจัดพิมพ์รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ด้วย

สารบัญ

บทที่		หน้า
	บทคัดย่อ	i
	กิตติกรรมประกาศ	iii
	สารบัญ	iv
	สารบัญรูป	vi
	สารบัญตาราง	viii
1	บทนำ	
	1.1 คุณสมบัติของโพลีเอทิลีนความหนาแน่นสูง (HDPE) และ โพลีเอทิลีนเทอแรพทาเลท (PET)	1
	1.2 ความหมายของกากพลาสติก	2
	1.3 แนวทางการกำจัดขยะในอนาคต	2
	1.4 แนวทางการนำพลาสติกกลับมาใช้ใหม่	2
	1.5 ปัจจัยที่มีผลต่อสมบัติของพอลิเมอร์ผสม	3
2	ที่มาของงานวิจัย	
	2.1 ความเป็นมา	4
	2.2 วัตถุประสงค์ของการทดลอง	6
3	การทดลอง	
	3.1 วัสดุดิบ	7
	3.2 วิธีทำการทดลอง	7

บทที่		หน้า
4	ผลการทดลองและวิจารณ์	
4.1	ขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบ	11
4.2	สมบัติการไหลของพอลิเมอร์ผสม	15
4.3	สมบัติทางกล	21
4.4	ลักษณะโครงสร้างของพอลิเมอร์ผสม	29
5	บทสรุป	34
	เอกสารอ้างอิง	36

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
4.1	ความสัมพันธ์ระหว่างความดันหลอมเหลวของพอลิเมอร์ผสม 2 ชนิด กับจำนวนครั้งของการผลิต	12
4.2	ความสัมพันธ์ระหว่างความดันหลอมเหลวของพอลิเมอร์ผสม 3 ชนิด กับจำนวนครั้งของการผลิต	13
4.3	แสดงความสัมพันธ์ของความหนืดของพอลิเมอร์ผสม 2 ชนิดผลิต ครั้งที่ 1 กับอัตราแรงเฉือน	16
4.4	ผลของจำนวนครั้งของการผลิตต่อค่าความหนืดที่อัตราแรงเฉือน 295.3 1/วินาที (ในพอลิเมอร์ผสม 2 ชนิด)	17
4.5	แสดงความสัมพันธ์ของความหนืดของพอลิเมอร์ผสม 3 ชนิดผลิต ครั้งที่ 1 กับอัตราแรงเฉือน	18
4.6	ผลของจำนวนครั้งของการผลิตต่อค่าความหนืดที่อัตราแรงเฉือน 295.3 1/วินาที (ในพอลิเมอร์ผสม 3 ชนิด)	19
4.7	การเปรียบเทียบระหว่างค่าความหนืดจากเอกสารอ้างอิงกับค่าความหนืด ที่ได้จากการทดลองนี้	20
4.8	ความแข็งแรงของ 10% PET ในพอลิเมอร์ผสม 2 ชนิด และ 3 ชนิด	21
4.9	แสดงเปอร์เซ็นต์การยืดเมื่อขาดของ 10% PET ในพอลิเมอร์ผสม 2 ชนิด และ 3 ชนิด	23
4.10	โมดูลัสของ 10% PET ของพอลิเมอร์ผสม 2 ชนิด และ 3 ชนิด	24
4.11	แสดงความทนต่อการโค้งงอของ 10% PET ของพอลิเมอร์ผสม 2 ชนิด และ 3 ชนิด	25
4.12	ความทนต่อแรงกระแทกของ 10% PET ของพอลิเมอร์ผสม 2 ชนิด และ 3 ชนิด	29

รูปที่		หน้า
4.13	ไมโครกราฟของพอลิเมอร์ผสม 2 ชนิดในรอบการผลิตครั้งที่ 1	30
4.14	ไมโครกราฟของพอลิเมอร์ผสม 2 ชนิดในรอบการผลิตครั้งที่ 5	31
4.15	ไมโครกราฟของพอลิเมอร์ผสม 3 ชนิดในรอบการผลิตครั้งที่ 1	32
4.16	ไมโครกราฟของพอลิเมอร์ผสม 3 ชนิดในรอบการผลิตครั้งที่ 5	32

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1 ความแข็งแรงและเปอร์เซ็นต์การขีดเมื่อขาดของพอลิเมอร์ผสม 2 ชนิดของ 10% PET / HDPE	22
4.2 ความแข็งแรงและเปอร์เซ็นต์การขีดเมื่อขาดของพอลิเมอร์ผสม 3 ชนิดของ 10% PET / HDPE	22
4.3 ความทนต่อการโค้งงอของพอลิเมอร์ผสม 2 ชนิดของ 10% PET / HDPE	26
4.4 ความทนต่อการโค้งงอของพอลิเมอร์ผสม 3 ชนิดของ 10% PET / HDPE	26
4.5 ความทนต่อแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสม 2 ชนิดของ 10% PET / HDPE	28
4.6 ความทนต่อแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสม 3 ชนิดของ 10% PET / HDPE	28

บทที่ 1

บทนำ



1.1 คุณลักษณะของโพลีเอทิลีน ความหนาแน่นสูง (HDPE) และโพลีเอทิลีน เทอเรฟทาเลท (PET)

1.1.1 โพลีเอทิลีน ความหนาแน่นสูง (HDPE)

HDPE เป็นเทอร์โมพลาสติกที่ใช้กันแพร่หลาย เพราะสามารถนำมาผลิตของใช้ที่เป็นประโยชน์ได้หลากหลายรูปแบบ โดยเฉพาะภาชนะบรรจุด้วยกระบวนการขึ้นรูปต่างๆ ไม่ว่าจะเป็น การเป่าเข้าพิมพ์ การฉีดเข้าแบบ สมบัติที่ดีของ HDPE มีหลายประการ ได้แก่ เป็นฉนวนไฟฟ้าที่ดี ไม่ดูดความชื้น มีความคงตัว มีความคงทนต่อสารเคมี ขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ ได้ง่าย

1.1.2 โพลีเอทิลีน เทอเรฟทาเลท (PET)

PET เป็นพลาสติกวิศวกรรม ที่นำเข้ามาผลิตพวกภาชนะบรรจุภายใต้แรงดัน เช่น เครื่องดื่ม น้ำอัดลม น้ำมันพืช และผลิตภัณฑ์อื่นๆ ทำให้มีการใช้พอลิเมอร์ชนิดนี้ในอัตราที่สูงขึ้นอย่างมาก แต่ละปีปริมาณการบริโภคเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด ดังนั้น แนวโน้มของการใช้พอลิเมอร์ชนิดนี้อาจจะเข้ามาแทนที่พอลิเมอร์พื้นฐานที่มีใช้อยู่แต่เดิม โดยเฉพาะทางด้านบรรจุภัณฑ์

นอกจากจะนำ PET มาผลิตขวดบรรจุน้ำอัดลม ก็มีการนำมาประยุกต์ในอุตสาหกรรมน้ำดื่ม ยา เครื่องสำอางค์ และเครื่องมือทางการแพทย์ พิล์มเอ็กซ์เรย์ แอ็บแม่เหล็ก ฯลฯ

1.2 ความหมายของกากพลาสติก (Plastic Waste)

การแบ่งชนิดของกากพลาสติก สามารถแบ่งได้ง่าย ๆ ดังนี้

- กากพลาสติก ซึ่งประกอบด้วยผลิตภัณฑ์หรือชิ้นเศษผลิตภัณฑ์ที่ทิ้งแล้ว
- กากพลาสติกอุตสาหกรรม เป็นส่วนของพลาสติกที่เหลือจากอุตสาหกรรมที่ใช้พลาสติกนั้น ๆ
- กากพลาสติกจากของที่ใช้แล้ว เป็นพลาสติกที่เหลือใช้จากผู้บริโภค
- เศษพลาสติก เป็นเศษพลาสติกที่เหลือจากการผลิตผลิตภัณฑ์ซึ่งผู้ผลิตสามารถที่จะนำกลับมาใช้ผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ได้อีก

1.3 แนวทางการกำจัดขยะในอนาคต

การกำจัดขยะโดยวิธีฝังกลบและการเผาถูกใช้มาเป็นเวลานาน จากการใช้ในปัจจุบันการอนุรักษ์พลังงานเป็นสิ่งจำเป็น เนื่องจากการผลิตผลิตภัณฑ์ต่างๆ ต้องใช้พลังงาน รวมทั้งวัตถุดิบ ซึ่งก็คือเม็ดพลาสติกของผลิตภัณฑ์พลาสติก ต้องใช้พลังงาน และค่าใช้จ่ายในการผลิตเป็นจำนวนมาก เพราะฉะนั้น การนำกลับมาใช้ใหม่ของขยะประเภทนี้จึงเป็นแนวทางในการประหยัดพลังงานได้เป็นอย่างดี

1.4 แนวทางการนำพลาสติกกลับมาใช้ใหม่

โดยปกติกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ทั่วไป ไม่สามารถที่จะนำมาใช้ได้กับการผลิตผลิตภัณฑ์จากขยะพลาสติก เนื่องจากขยะพลาสติกมีการปนเปื้อนของสิ่งต่างๆ มากมายไม่ว่าจะเป็น เศษอาหาร ฝุ่น เศษโลหะ และโดยปกติแล้วขยะพลาสติกมีการปลอมปนของพลาสติกชนิดต่างๆ มากมายหลายชนิด ซึ่งพลาสติกส่วนใหญ่ไม่สามารถเข้ากันได้อย่างสมบูรณ์ ดังนั้น จึงมีการศึกษาหาแนวทางในการนำกลับมาใช้ใหม่ โดยมีต้นทุนที่ต่ำลงและมีสมบัติต่างๆ เป็นไปตามที่ ต้องการ

1.5 ปัจจัยที่มีผลต่อคุณสมบัติของพอลิเมอร์ผสม (Blend)

1.5.1 ขนาดของอนุภาคในระบบพอลิเมอร์ผสม

โดยทั่วไป ผลิตรภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการนำกลับมาใช้ใหม่ มีส่วนผสมของพลาสติกหลายชนิด ดังนั้น ในการได้มาซึ่งสมบัติทางกลที่ดี การผสมของพลาสติกต้องเข้ากันเป็นเนื้อเดียวกัน ซึ่งการศึกษาความเข้ากันได้เป็นเนื้อเดียว ได้มีการวิเคราะห์ขนาดของอนุภาคที่กระจายอยู่ในระบบพอลิเมอร์ผสม โดยขนาดของอนุภาคที่กระจายตัวนี้มีขนาดที่เล็กมาก ทำให้เพิ่มความสามารถทนต่อแรงกระแทก (ความทนต่อแรงกระแทก) อย่างไรก็ตาม ยังมีข้อจำกัดของขนาดอนุภาคในระดับหนึ่งต่อสมบัติทางกลของพอลิเมอร์ผสมด้วย ซึ่งต้องมีการพิจารณาร่วมกันไปด้วยกับสมบัติอื่น ๆ ที่เหมาะสมของผลิตภัณฑ์

1.5.2 กระบวนการผลิต

วิธีการผลิตไม่ว่าจะเป็นการอัดรีด การฉีดเข้าแบบ การอัดเข้าแบบ การดึงเป็นเส้นใยล้วนแล้วแต่เป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อสมบัติต่าง ๆ ของพอลิเมอร์ผสม ยกตัวอย่างเช่น การอัดเข้าแบบมีแรงกระทำต่อพอลิเมอร์ ซึ่งเป็นวัตถุประสงค์ในการผลิตผลิตภัณฑ์น้อยกว่าการฉีดเข้าแบบ จึงต้องมีการเลือกวิธีการผลิตให้เหมาะสมกับชนิดของพอลิเมอร์นั้น ๆ

บทที่ 2 ที่มาของงานวิจัย



2.1 ความเป็นมา

ผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากพอลิเมอร์ผสมที่เข้ากันไม่ได้ ได้รับการศึกษาอย่างกว้างขวางเนื่องจากพอลิเมอร์แต่ละชนิดในระบบพอลิเมอร์ผสมมีสมบัติแตกต่างกันไป ทำให้พอลิเมอร์ผสมมีสมบัติเฉพาะตัว ซึ่งผู้ผลิตสามารถนำสมบัติที่ดีของพอลิเมอร์แต่ละชนิด มาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีสมบัติจำเพาะได้

ในช่วงเวลาไม่กี่ปีที่ผ่านมา Jabrin และคณะ [11, 1992] ได้ทำการศึกษาสมบัติทางกลของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PET และ HDPE โดยมี โพลีโอลิฟินส์ มาเลอิกแอนไฮไดรด์ เป็นตัวเชื่อมประสาน พวกเขายังได้ศึกษาสมบัติ การไหล การหลอมตัว การเกิดผลึก รวมทั้งได้มีการศึกษาลักษณะรูปร่าง (Morphology) ของอนุภาคภายในพอลิเมอร์ผสมดังกล่าว พอลิเมอร์ผสมซึ่งมีตัวเชื่อมประสานแสดงสมบัติทางกลที่ดี และคุณลักษณะทางกายภาพเป็นที่ยอมรับได้

Sambaru และคณะ [19, 1992] ได้ทำการศึกษาผลของลักษณะรูปร่างของอนุภาคในระบบพอลิเมอร์ผสมของ PET และ HDPE ต่อสมบัติทางกล การทดลองนี้ใช้กระบวนการดึงยืด (Stretching) จากการศึกษาพบว่า การดึงยืด ทำให้เกิดการเรียงตัวของโมเลกุลเป็นเส้นตรงอยู่ในสัณฐานให้เพิ่มประสิทธิภาพทางกล Chen และคณะ [3, 1994] ทำการศึกษาผลของปริมาณ PET และ HDPE ในพอลิเมอร์ผสมต่อประสิทธิภาพในการผลิตและสมบัติทางการนำความร้อน โดยมีเอทิลไวนิลอะซิเตทเป็นตัวเชื่อมประสาน จากค่าที่ได้จากเครื่อง TGA (Thermo Gravimetric Analysis) แสดงปริมาณ PET ที่สูงขึ้นในพอลิเมอร์ผสม เป็นผลให้การสูญเสียน้ำหนักสุดท้ายของ พอลิเมอร์ลดลง

Dagli และคณะ [4, 1994] ศึกษาอิทธิพลของ เอทิลีนไกรซิเดิลเมตาอะคริเลทโคพอลิเมอร์ (EGMA) ซึ่งเป็นตัวเชื่อมประสานในพอลิเมอร์ผสม PET และ HDPE พบว่าลักษณะโมเลกุลมีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ ทำให้สมบัติทางกลดีขึ้น และจากการทดลองยังพบอีกว่าการผสม HDPE และ EGMA ให้เข้ากันก่อนที่จะผสม PET ทำให้ความเข้ากันได้ (Compatibility) ของพอลิเมอร์ผสมเพิ่มมากขึ้น

Traugott และคณะ [20, 1983] ได้ทำการศึกษาอิทธิพลของตัวเชื่อมประสาน 2 ชนิดต่อสมบัติทางกลของพอลิเมอร์ผสม PET และ HDPE ชนิดแรกคือ ไตรบล็อกโคพอลิเมอร์ (Triblock copolymer) และอีกชนิดหนึ่งคือ อีลาสโตเมอร์ (Elastomer) จากการทดลองพบว่าลักษณะของอนุภาคและรอยต่อพื้นผิวระหว่าง PET และ HDPE ในพอลิเมอร์ผสมแยกกันไม่เด่นชัดนัก ในกรณีที่ใช้ไตรบล็อกโคพอลิเมอร์ เป็นตัวเชื่อมประสาน แสดงให้เห็นว่าไตรบล็อกโคพอลิเมอร์ สามารถเพิ่มความเข้ากันได้ในพอลิเมอร์ผสม ในขณะที่อีลาสโตเมอร์ไม่สามารถเพิ่มความเข้ากันได้ให้แก่พอลิเมอร์ทั้ง 2 ชนิดนี้

Kalfoglou และคณะ [13, 1994] ศึกษาสมบัติของพอลิเมอร์ผสม LLDPE/PET โดยมี ไอโอโนเมอร์ของโพลีเอทิลีนโคเมทาคริลิกแอซิด (Poly (ethylene - co - methacrylic acid)) โดยในการทดลองได้ใช้ปริมาณไอโอโนเมอร์ในอัตราส่วนต่าง ๆ กัน จากข้อมูลที่ได้จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน DMA (Dynamic Mechanical Analysis) และ DSC (Differential Scanning Calorimeter) พบว่ามีข้อจำกัดของปริมาณการใช้ตัวเชื่อมประสาน เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีสมบัติที่ดี Muller และคณะ [17, 1987] ศึกษาค่าความหนืด และสมบัติทางกลของ PET บริสุทธิ์ และ PET ที่ได้จากขวดบรรจุน้ำดื่ม พบว่า PET บริสุทธิ์ค่อนข้างเปราะกว่า PET ที่ผ่านการใช้มาแล้ว

Young และคณะ [21, 1989] ศึกษาลักษณะอนุภาคและประสิทธิภาพในการผลิตที่ดีขึ้นของพอลิเมอร์ผสม PET/PP (4/60 โดยน้ำหนัก) เมื่อใช้ โพลีโพรพิลีนกราฟด้วยกรดอะคริลิกเป็นตัวเชื่อมประสาน Akkapeddi และคณะ [2, 1995] ศึกษาสมบัติทางกลและลักษณะรูปร่างของอนุภาคของพอลิเมอร์ผสม PET และ HDPE โดยมี EGMA เป็นตัวเชื่อมประสาน พบว่า EGMA 10% ต่อน้ำหนัก ทำให้ความทนทานต่อความร้อนของพอลิเมอร์ผสมดีขึ้น Favis และคณะ [5, 1987] ศึกษาขนาดและรูปร่างของอนุภาคภายในของพอลิเมอร์ผสมโพลีโพรพิลีน และโพลีคาร์บอเนตในช่วงระหว่างทำการผลิตโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน อีกทั้งยังมีการศึกษาการสลายตัวของ PET ที่นำกลับมาใช้ใหม่โดยใช้เครื่อง DSC และวัดสมบัติการไหลในการทดสอบ [5, 6, 7, 1987, 1993, 1994]

จากเอกสารอ้างอิง พบว่ายังไม่มีการศึกษาอิทธิพลของจำนวนครั้งในการนำกลับมาใช้ใหม่
ของพอลิเมอร์ผสม PET และ HDPE ต่อสมบัติต่าง ๆ ของผลิตภัณฑ์สุดท้าย

2.2 วัตถุประสงค์ของการทดลอง

1. เพื่อศึกษาปัจจัยของจำนวนครั้งของการผลิต เพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ต่อสมบัติของพอลิเมอร์ผสม HDPE และ PET
2. เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตพอลิเมอร์ผสม PET และ HDPE
3. เพื่อศึกษาสมบัติต่าง ๆ ของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำกลับมาใช้ใหม่ของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PET และ HDPE

บทที่ 3

การทดลอง

3.1 วัสดุดิบ

1. โพลีเอทิลีนความหนาแน่นสูง (HDPE) เกรดเป่า(G2855) มีความหนาแน่น 0.955 g/cm^3 ดัชนีการไหล ($190^\circ\text{C}/2.16 \text{ Kg}$) $0.35 \text{ g}/10 \text{ min.}$ จากบริษัท ทีพีไอ จำกัด (มหาชน)
2. โพลีเอทิลีนเทอเรฟทาเรท (PET) จากการเก็บขวดน้ำดื่มทำการตัดเป็นชิ้นเล็กก่อนเข้าสู่กระบวนการผลิตและการทดลอง
3. โพลีโอเลฟินส์กราฟต์ด้วยมาลิกแอนไฮไดรด์ (Maleic Anhydride Grafted Polyolefin) (ADMER) AT 4696 ซึ่งได้รับความอนุเคราะห์จาก บริษัท มิตรชัย จำกัด (ประเทศไทย) เหตุที่เลือกวัสดุดิบนี้ เนื่องจากสารดังกล่าวทำหน้าที่เป็นตัวเชื่อมประสาน, เพิ่มความเข้ากันได้ระหว่าง PET และ HDPE

3.2 วิธีทำการทดลอง

3.2.1 การเตรียมวัสดุดิบ ได้แก่

พอลิเมอร์ผสม 2 ชนิด (Binary Blend)

เริ่มต้นด้วยการผสม PET และ HDPE ด้วยอัตราส่วนต่างๆ โดยน้ำหนัก (5% PET, 10%PET, 15%PET, 20%PET) หลังจากนั้นนำวัสดุดิบที่ผสมกันเรียบร้อยแล้วมาทำการผลิตเป็นเม็ดพลาสติกโดยใช้เครื่องอัดรีดแบบสกรูแฝด (Twin Screw Extruder - COLLIN ZK-25) โดยตั้งค่าอุณหภูมิที่ zone ต่างๆ ดังนี้ zone 1 200 องศาเซลเซียส zone 2 240 องศาเซลเซียส และ zone 3-6 255 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบของสกรูมีค่าเท่ากับ 30 รอบต่อนาที อุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นสำหรับผลิตก้อนที่ถู้อัดรีดออกมาที่ 25 องศาเซลเซียส หลังจากได้ผลิตก้อนแล้วให้นำผลิตก้อนดังกล่าวผ่านเครื่องอัดรีดแบบสกรูแฝดอีกเป็นจำนวน 5-6 ครั้ง และทำการเก็บตัวอย่างในแต่ละรอบของการผลิต เพื่อนำไปทดสอบและวิเคราะห์



รูปที่ 3.1 ช่วงอุณหภูมิต่างๆ ในการอัดรีด (องศาเซลเซียส)

พอลิเมอร์ผสม 3 ชนิด (Ternary Blend)

เริ่มโดยการผสม PET, HDPE และ โพลีโอเลฟินส์กราฟด้วยมาเลอิกแอนไฮไดรด์โดยใช้อัตราส่วนของ PET และ HDPE ที่แตกต่างกัน และปริมาณตัวเชื่อมประสาน 5% โดยน้ำหนัก หลังจากนั้นทำการผลิตดั่งเช่นเดียวกับพอลิเมอร์ผสม 2 ชนิด

3.2.2 การทดสอบ

สมบัติทางกล

นำตัวอย่างที่เก็บมาในแต่ละรอบของการผลิตไปอัดเข้าแบบ ภายใต้แรงกด 140 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ที่อุณหภูมิ 230 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที ทำให้เย็นลงจนถึงอุณหภูมิ 23 องศาเซลเซียส จากนั้นนำชิ้นงานที่ได้ไปทดสอบสมบัติทางกลต่างๆ ดังนี้

- ความทนต่อแรงกระแทก (Impact Strength) : ชิ้นงานขนาดกว้าง 12.75 มม. ยาว 63.5 มม. ความลึกของร่องชนิดวี 2.5 มม. โดยใช้เครื่อง Pendulum Impact Tester (ZWICK) ตาม ASTM D256(A)

- ความทนต่อความโค้งงอ (Flexural Strength) : ทดสอบภายใต้อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส โดยใช้เครื่อง Instron Universal Testing Machine ความเร็วของการทดสอบ 1.3 มม.ต่อนาที ตาม ASTM D790-92

- การวัดค่าความแข็งแรง (Tensile Testing) : ทดสอบภายใต้อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ความเร็วของหัวทดสอบ 50.8 มม.ต่อนาที ตาม ASTM D638-91

ค่าของข้อมูลของสมบัติต่าง ๆ ทำการเฉลี่ยจากการทดสอบ 5 ครั้ง

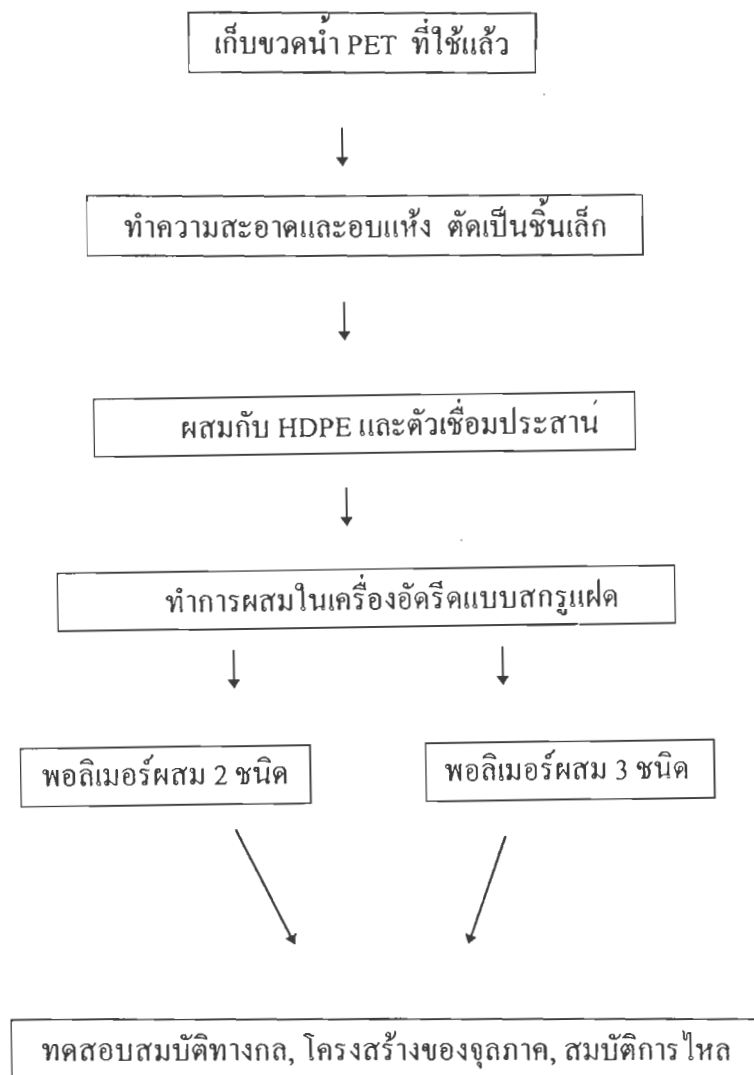
กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบกราดลำแสง

นำเม็ดพลาสติกที่ได้จากกระบวนการผลิตมาเคลือบด้วยโลหะทอง ที่งไว้ให้แห้งจากนั้นนำไปส่องดูพื้นผิวโดยใช้ JEOL JSM 5200

ความหนืดของพอลิเมอร์ผสม

นำพอลิเมอร์ผสมในอัตราส่วนต่าง ๆ มาทดสอบหาค่าความหนืด โดยใช้เครื่อง Instron Capillary Rheometer model 3213 อุณหภูมิในการทดสอบ 255 องศาเซลเซียส ค่าอัตราแรงเฉือนอยู่ระหว่าง 10-1000 1/วินาที น้ำหนักของโหลคเซล 25 กิโลนิวตัน (ในการทดลองนี้ใช้หัวคายที่มีอัตราส่วนความยาว และเส้นผ่าศูนย์กลางเท่ากับ 40 เพื่อลดปรากฏการณ์ end effect จากการทดลอง)

แผนภูมิของการทดลอง



รูปที่ 3.2 แผนภูมิการทดลอง

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์

จากการทดลอง หลังการผ่านกระบวนการผลิต ผลิตภัณฑ์ที่ได้ในแต่ละรอบของการผลิต ได้ถูกนำมาศึกษาสมบัติต่าง ๆ ซึ่งสามารถแบ่งออกได้ดังนี้

1. ขั้นตอนของการเตรียมวัตถุดิบ
2. สมบัติการไหลของพอลิเมอร์ผสม
3. สมบัติทางกล
4. โครงสร้างจุลภาคของพอลิเมอร์ผสม

4.1 ขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบ

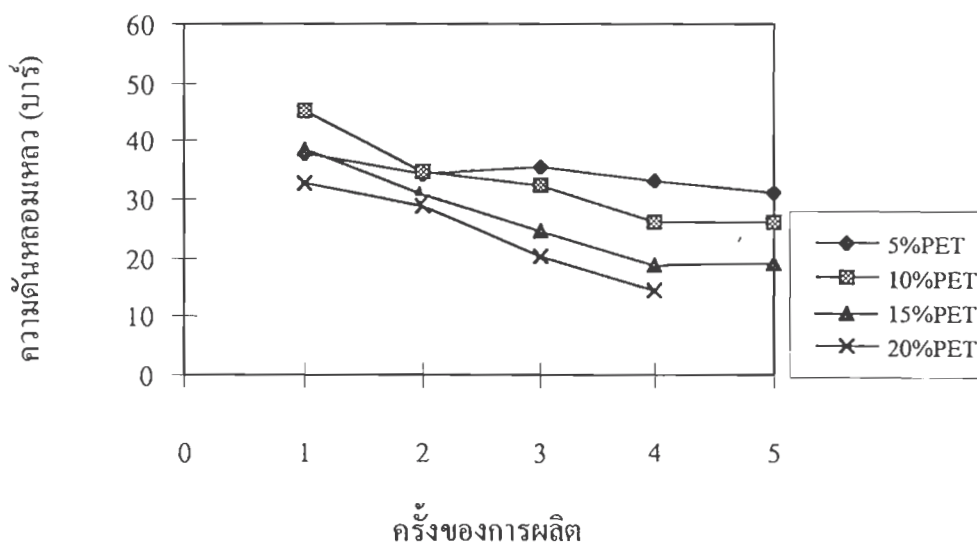
4.1.1 การเตรียมพอลิเมอร์ผสม

รูปที่ 4.1-4.2 แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างความดันหลอมเหลว และจำนวนครั้งของการผลิตพอลิเมอร์ผสม 2 ชนิด และ 3 ชนิด โดยความดันหลอมเหลว คือ ความดันที่ได้จากการวัดของมาตรวัดความดันที่ปลายหัวตาย ของเครื่องอัดรีดแบบสกรูแฝด (COLLIN ZK-25)

จากรูปที่ 4.1 แสดงค่าความดันหลอมเหลวของพอลิเมอร์ผสม 2 ชนิด PET/HDPE โดยปราศจากตัวเชื่อมประสาน (Compatibiliser)

Acireno และ Maio [1, 1995] ศึกษาค่าความดันหลอมเหลวจากการนำกลับมาผลิตใหม่ของพอลิเมอร์ชนิดหนึ่ง ในระหว่างการผลิตพบว่า ค่าความหนืดที่สูงขึ้นเกิดจากการที่ส่วนของ PET และ HDPE ในระบบพอลิเมอร์ผสมมีการอัดรวมตัวเข้ากัน แสดงถึงว่าพอลิเมอร์ถูกอัดรวมตัวไปตามการหมุนของสกรูของเครื่องอัดรีด อีกทั้ง Grassie และ Scott [8, 1985] แสดงให้เห็นถึงการ

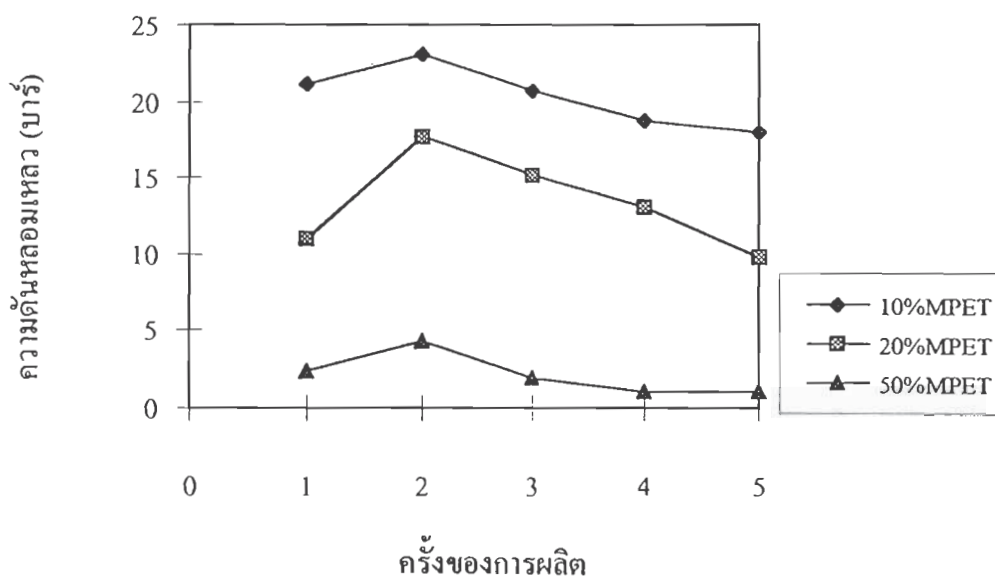
สลายตัวของพอลิเมอร์ในช่วงระหว่างการนำกลับมาผลิตใหม่ ซึ่งการสลายตัว (Degradation) ของพอลิเมอร์อาจเกิดจากปฏิกิริยาถูกโซ่ (Chain Scission) ดังนั้น น้ำหนักโมเลกุลของพอลิเมอร์ย่อมลดลงด้วยเหตุผลดังกล่าว ซึ่งน้ำหนักโมเลกุลมีความสัมพันธ์กับค่าความหนืดของสาร ดังสมการ $\eta = kM_w^{3.4}$ [17, 1987]



รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่าง ความดันหลอมเหลือของพอลิเมอร์ผสม 2 ชนิด กับจำนวนครั้งของการผลิต

จากรูปที่ 4.1 ความดันหลอมเหลือของพอลิเมอร์ผสม 2 ชนิด ลดลงเมื่อจำนวนครั้งของการผลิตมากขึ้น ยกตัวอย่างเช่น ค่าของความดันหลอมเหลือของพอลิเมอร์ผสม 5/95 (PET/HDPE) ลดลงจาก 40 บาร์ ในการผลิตครั้งที่ 1 และลดลงเหลือเพียง 35 บาร์ ในการผลิตครั้งที่ 5 แสดงให้เห็นว่าค่าความหนืดของพอลิเมอร์ผสมลดลงตามจำนวนครั้งของการผลิต ดังนั้น น้ำหนักโมเลกุลย่อมลดลงด้วย

Chen และคณะ [3, 1994] สรุปไว้ว่าการเติมตัวเชื่อมประสานลงในระบบพอลิเมอร์ผสมทำให้เกิดแรงดูดจำเพาะระหว่างพอลิเมอร์ 2 ชนิดซึ่งไม่เข้ากัน



รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่าง ความดันลอมเหลวของพอลิเมอร์ผสม 3 ชนิด กับจำนวนครั้งของการผลิต

จากผลการทดลองนี้ แสดงให้เห็นว่าค่า ความดันลอมเหลวของพอลิเมอร์ผสม 3 ชนิดมีค่าต่ำกว่าค่าความดันลอมเหลวของพอลิเมอร์ผสม 2 ชนิด เหตุที่เป็นเช่นนี้ เนื่องจากตัวเชื่อมประสานที่เติมลงไป ทำหน้าที่คล้ายกับเป็นโมเลกุลที่แทรกตัวระหว่างพอลิเมอร์ผสม ทำให้การไหลของพอลิเมอร์ผสม 3 ชนิดมีการไหลที่ดีกว่าการไหลของพอลิเมอร์ผสม 2 ชนิด

4.1.2 ลักษณะทางกายภาพของพอลิเมอร์ผสม

ลักษณะทางกายภาพ หมายถึง พื้นผิวของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการผลิต [3, 1994] ในการทดลองครั้งนี้ ลักษณะพื้นผิวของผลิตภัณฑ์ (เม็ดพอลิเมอร์ผสมของ PET/HDPE) ที่ได้จากการอัดรีด ถูกนำมาตรวจสอบว่า ลักษณะผิวมีความหยาบหรือเรียบมากน้อยเพียงใด ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนครั้งของการนำมาผลิตใหม่ และลักษณะทางกายภาพของพอลิเมอร์ผสม สรุปว่าพื้นผิวมีการเปลี่ยนแปลงไปเมื่อมีการเวียนกลับมาผลิตใหม่ ซึ่งจากการทดลองสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กรณี ดังนี้

พอลิเมอร์ผสม 2 ชนิด (Binary Blend)

ช่วงระหว่างการผลิตครั้งที่ 1 และ 2 ของพอลิเมอร์ผสม 2 ชนิด อัตราส่วน 5/95, 10/90 และ 15/85 ผลของการสังเกตพบว่าลักษณะพื้นผิวมีความเรียบไม่หยาบ เมื่อปริมาณของ PET ในพอลิเมอร์ผสมเพิ่มขึ้น (20/80) พบว่าพื้นผิวของพอลิเมอร์ผสมมีลักษณะค่อนข้างหยาบ แม้อยู่ในกระบวนการผลิตครั้งที่ 1 ก็ตาม ผลการทดลองดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าปริมาณที่เพิ่มขึ้นของ PET ในพอลิเมอร์ผสมทำให้ลักษณะพื้นผิวมีแนวโน้มที่หยาบมากขึ้น ส่วนสาเหตุที่พื้นผิวของพอลิเมอร์ผสมที่มีปริมาณ PET น้อย (5/95, 10/90, 15/85) เรียบก็คือ ปริมาณ PET ที่น้อยไม่เพียงพอที่จะมีอิทธิพลต่อพื้นผิวของพอลิเมอร์ผสมได้

Grassie และ Scott [8, 1985] ได้ทำการศึกษาอิทธิพลของการสลายตัวของพอลิเมอร์ที่มีผลต่อลักษณะพื้นผิวของพอลิเมอร์ผสม

เมื่อพิจารณาพอลิเมอร์ผสมซึ่งผ่านกระบวนการผลิตในจำนวนมากครั้งขึ้นไป ไม่ว่าอัตราส่วนของพอลิเมอร์จะเป็นเท่าไร พบว่าลักษณะพื้นผิวมีการเปลี่ยนแปลง กล่าวคือ ผิวของผลิตภัณฑ์หยาบมากขึ้นตามจำนวนครั้งของการผลิต ยิ่งไปกว่านั้นผลิตภัณฑ์ที่ได้ค่อนข้างเปราะ และในทุกอัตราส่วนของพอลิเมอร์ผสมไม่สามารถนำมาผลิตได้มากกว่า 5 ครั้ง ลักษณะพื้นผิวแสดงถึงการสลายตัวของ PET และ HDPE ในระบบดังกล่าว ซึ่งผลการทดลองดังกล่าวสอดคล้องกันกับการทดลองของ Grassie และ Scott

พอลิเมอร์ผสม 3 ชนิด (Ternary Blend)

โดยลักษณะพื้นผิวของพอลิเมอร์ผสม 3 ชนิด ได้ผลจากการพิจารณาเช่นเดียวกันกับการพิจารณาพอลิเมอร์ผสม 2 ชนิด

ในการทดลองครั้งก่อน ๆ แสดงถึงพอลิเมอร์ผสม ซึ่งประกอบด้วยพอลิเมอร์ซึ่งเข้ากันไม่ได้ ดังนั้น จึงได้มีการทดลองปรับปรุงให้พอลิเมอร์ผสมสามารถที่จะทำให้มีสมบัติทางกลดีขึ้น โดยอาศัยการเติม สารโพลีโอเลฟินส์กราฟด้วยมาเลอิกแอนไฮไดรด์

ลักษณะของพื้นผิวของพอลิเมอร์ผสม 3 ชนิด ในทุกอัตราส่วน (10/85/5, 20/75/5, 50/45/5) ซึ่งมีตัวเชื่อมประสานอยู่ในอัตราส่วน 5% คงที่ พบว่ามีลักษณะเรียบจนถึงการนำกลับมาผลิตเกิน 3 ครั้ง แสดงถึงการเติมตัวเชื่อมประสานสามารถทำให้ความเข้ากันได้ของพอลิเมอร์ ทั้ง 2 ชนิด ซึ่งโดยธรรมชาติแล้ว PET และ HDPE ไม่สามารถเข้ากันได้

เมื่อพิจารณาพื้นผิวของพอลิเมอร์ผสมที่ได้จากจำนวนครั้งการผลิตที่มากขึ้น พบว่าผิวมีความหยาบมากขึ้น และการผลิตหรือการอัดรีดมีความยากลำบากมากขึ้น ซึ่งลักษณะดังกล่าวตรงกับผลการทดลองของ Giannotta และคณะ [7, 1994] โดยความร้อนและแรงเฉือนจากการผลิตทำให้ความเสถียรของพอลิเมอร์ลดลง และแสดงออกมาในลักษณะพื้นผิวที่หยาบขึ้น

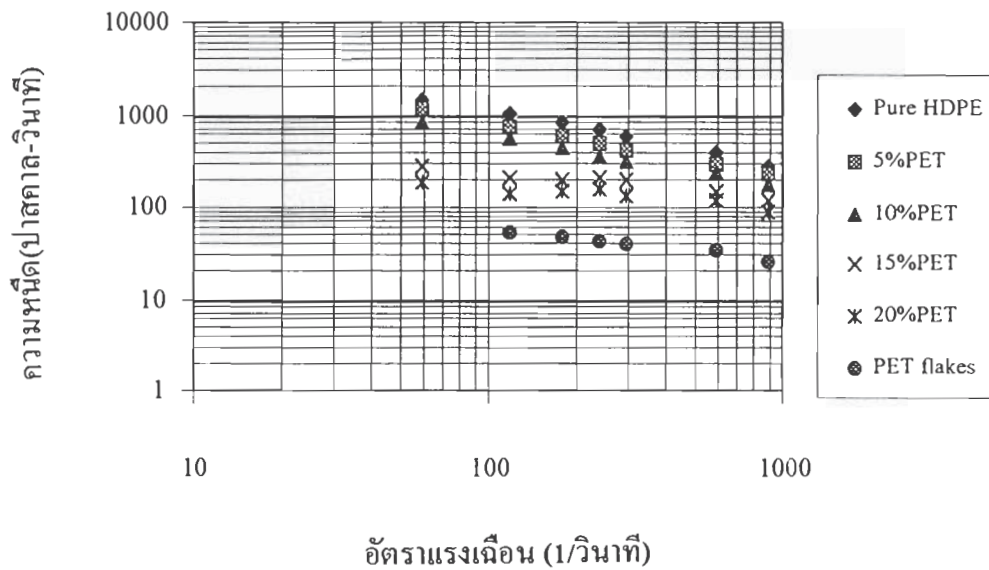
4.2 สมบัติการไหลของพอลิเมอร์ผสม (Rheology of the Blend)

ในการทดลองนี้ศึกษาค่าความหนืดของพอลิเมอร์ผสม ซึ่งค่าดังกล่าวเป็นค่าหนึ่งที่ใช้ในการพิจารณาสมบัติของพอลิเมอร์ผสม ค่าความหนืดเป็นค่าที่มีผลมาจากสมบัติการไหลของพลาสติก ซึ่งในที่นี้ได้แบ่งหัวข้อในการวิเคราะห์ดังนี้

4.2.1 พอลิเมอร์ผสม 2 ชนิด

พอลิเมอร์ส่วนใหญ่มีสมบัติแสดงปรากฏการณ์ Shear Thinning กล่าวคือ ค่าความหนืดลดลงเมื่อค่าอัตราแรงเฉือน มีค่าสูงขึ้น [18, 1977]

ค่าความหนืดของพอลิเมอร์ผสม 2 ชนิด (5/95, 10/95, 15/85, 20/80) หลังจากการผลิตครั้งที่ 1 พบว่ามีค่าที่ลดลงเมื่อค่าอัตราแรงเฉือนเพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นว่าพอลิเมอร์ผสมเป็นสารที่มีปรากฏการณ์ของ Shear Thinning ดังรูปที่ 4.3

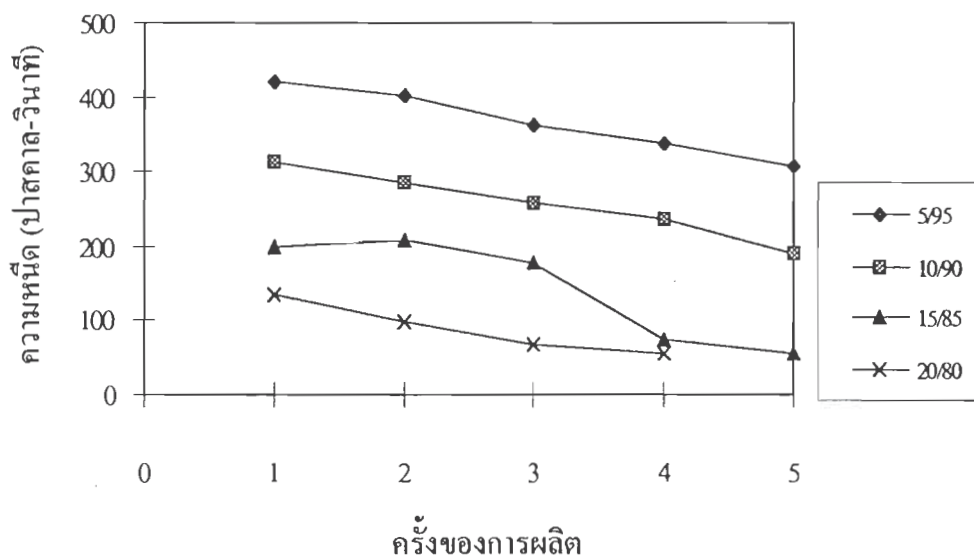


รูปที่ 4.3 แสดงความสัมพันธ์ของความหนืดของพอลิเมอร์ผสม 2 ชนิด
ผลิตครั้งที่ 1 กับอัตราแรงเหวี่ยง

จุดมุ่งหมายของการศึกษาพอลิเมอร์ผสมก็คือ การได้มาซึ่งสมบัติที่ดีจากส่วนประกอบของสารแต่ละตัวในพอลิเมอร์ผสม ซึ่งในที่นี้ตัวอย่างที่เห็นได้ชัดคือ สมบัติของ HDPE ซึ่งเป็นปัจจัยที่ทำให้พอลิเมอร์ผสมระหว่าง PET และ HDPE สามารถคงสภาพรูปร่างอยู่ได้โดยไม่ไหลเร็วเกินไปจึงทำให้เหมาะที่จะเป่าเป็นขวดอีกได้ กล่าวคือ พลาสติกที่หลอมเมื่อผ่านออกจากหัวตาย มีช่วงเวลาการไหลที่พอเหมาะที่จะทำให้เกิดการขึ้นรูปขวดได้

Nielson [18, 1977] ได้แสดงความสำคัญของน้ำหนักโมเลกุลที่มีผลต่อการไหลของพอลิเมอร์ กล่าวคือ น้ำหนักโมเลกุลสูงย่อมทำให้ค่าความหนืดมีค่าที่สูงด้วย

เมื่อพิจารณาความสำคัญของจำนวนครั้งของการผลิตพบว่า ไม่ว่าอัตราส่วนของส่วนประกอบในพอลิเมอร์ผสมจะเป็นเท่าใด (5/95, 10/90, 15/85, 20/80) ค่าความหนืดของพอลิเมอร์ผสม 2 ชนิด มีค่าที่ลดลงเมื่อผ่านกระบวนการผลิตมากขึ้น ดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 ผลของจำนวนครั้งของการผลิตต่อค่าความหนืดที่ อัตราแรงเฉือน 295.3 1/วินาที

จากรูปที่ 4.4 สังเกตได้ว่า พอลิเมอร์ผสม 2 ชนิด (10/90) ในการผลิตครั้งที่ 1 มีค่าความหนืดต่ำลงไป 40% เมื่อเทียบกับค่าความหนืดของ HDPE ที่ค่าอัตราแรงเฉือนเดียวกัน (ในที่นี้พิจารณาอัตราแรงเฉือน ที่ 295.3 1/วินาที) และค่าความหนืดของพอลิเมอร์ผสม 2 ชนิดอัตราส่วนดังกล่าว เมื่อจำนวนครั้งของการผลิตเพิ่มมากขึ้น พบว่า มีค่าลดลง 75 % เมื่อเปรียบเทียบกับ HDPE ที่ค่าอัตราแรงเฉือนดังกล่าว

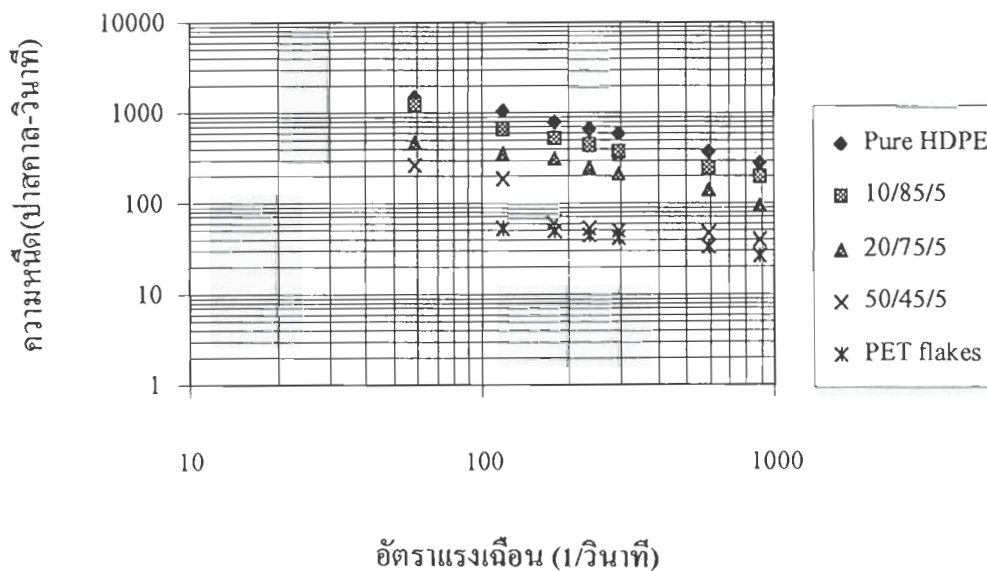
สำหรับพอลิเมอร์ผสม 2 ชนิดที่อัตราส่วน 15/85, 20/80 พบว่าค่าความหนืดลดลงถึง 80 - 85% ในครั้งการผลิตที่ 1 เมื่อเทียบกับความหนืดของ HDPE ส่วนครั้งการผลิตที่ 2 - 5 พบว่าค่าความหนืดของพอลิเมอร์ผสมดังกล่าว มีค่าค่อนข้างคงที่ในทุกครั้งการผลิต โดยมีค่าใกล้เคียงกับค่าความหนืดของ PET

การลดลงของค่าความหนืด แสดงให้เห็นถึงน้ำหนักโมเลกุลที่ลดลงของพอลิเมอร์ผสม ซึ่งสาเหตุอาจมาจากการสลายตัวของพอลิเมอร์ขณะหลอมตัวจากความร้อนและแรงเฉือนขณะทำการผลิต โดยอาจมีการแตกพันธะเอสเทอร์ที่โมเลกุลของ PET [16, 1988]

Melt strength เป็นสมบัติของพอลิเมอร์ที่สามารถคงรูปร่างได้ที่ค่าอัตราแรงเฉือนต่ำๆ จากรูปที่ 4.3 จะเห็นว่าค่า melt strength ของพอลิเมอร์ผสม 2 ชนิดมีค่าค่อนข้างต่ำ และยังต่ำกว่า Melt strength ของ HDPE อีกด้วย ไม่ว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้มาจากรอบการผลิตครั้งที่ 1 หรือที่ 5 การที่ Melt strength ของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากครั้งการผลิตที่ 1 มีค่าต่ำเนื่องมาจากความไม่เข้ากันของพลาสติกทั้ง 2 ชนิด ส่วน Melt strength ที่ต่ำลงในการผลิตรอบต่อๆ มาเกิดจากการสลายตัวของพอลิเมอร์ในระหว่างการผลิตซึ่งตรงกับผลการทดลองของ Jabarin และคณะ [10, 1984] ซึ่งกล่าวไว้ว่า พอลิเมอร์ผสมที่ประกอบด้วยพลาสติกที่เข้ากันไม่ได้มีผลต่อลักษณะพื้นผิวภายนอก และสมบัติต่างๆ ของผลิตภัณฑ์

4.2.2 พอลิเมอร์ผสม 3 ชนิด

การเติมตัวเชื่อมประสานลงในพอลิเมอร์ผสม ซึ่งประกอบไปด้วยส่วนที่ไม่เข้ากันสามารถ ทำให้เกิดความเข้ากันได้ของผลิตภัณฑ์ ซึ่งนำไปสู่อุตสาหกรรมทางด้านพอลิเมอร์ผสม (blend)



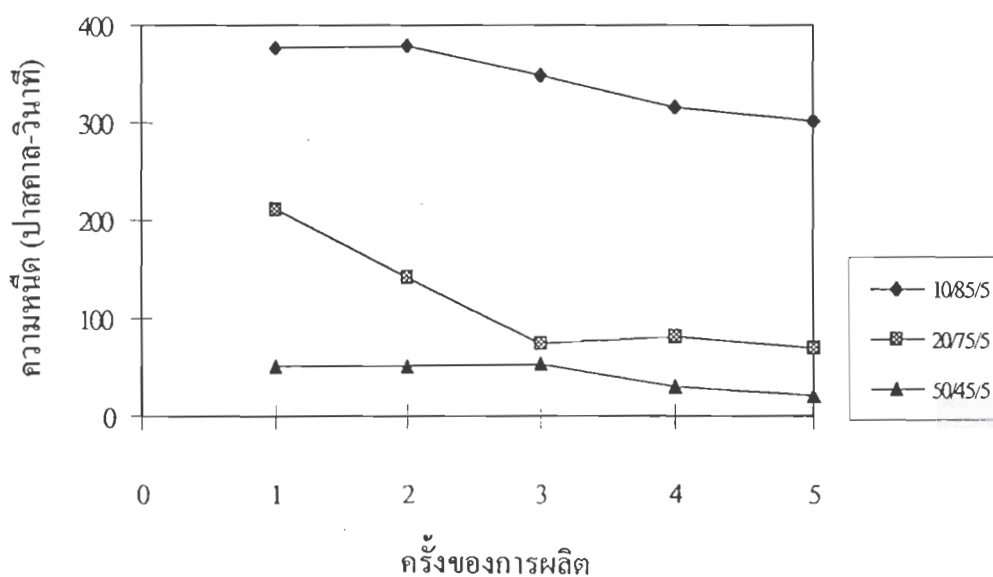
รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดของพอลิเมอร์ผสม 3 ชนิดรอบผลิตครั้งที่ 1 กับ อัตราแรงเฉือน



รูปที่ 4.5 แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าความหนืดของพอลิเมอร์ผสม 3 ชนิด (มีการเติมตัวเชื่อมประสานลงไปประมาณ 5% โดยน้ำหนัก) จากการทดลองพบว่าพอลิเมอร์ผสมอัตราส่วน 10/85/5, 20/75/5 มีค่าความหนืดที่สูงกว่าค่าความหนืดของพอลิเมอร์ผสม 2 ชนิดในจำนวนครั้งการผลิตที่เท่ากัน ซึ่งเป็นผลมาจากตัวเชื่อมประสานทำหน้าที่ในการเป็นตัวเชื่อมเพิ่มความเข้ากันได้ภายในพอลิเมอร์ผสม

Jabarin และ Lofgref [11, 1992] สรุปไว้ว่ามีการสลายตัวของพอลิเมอร์โดยสามารถพิจารณาได้จากค่าความหนืดของพอลิเมอร์นั้น ๆ

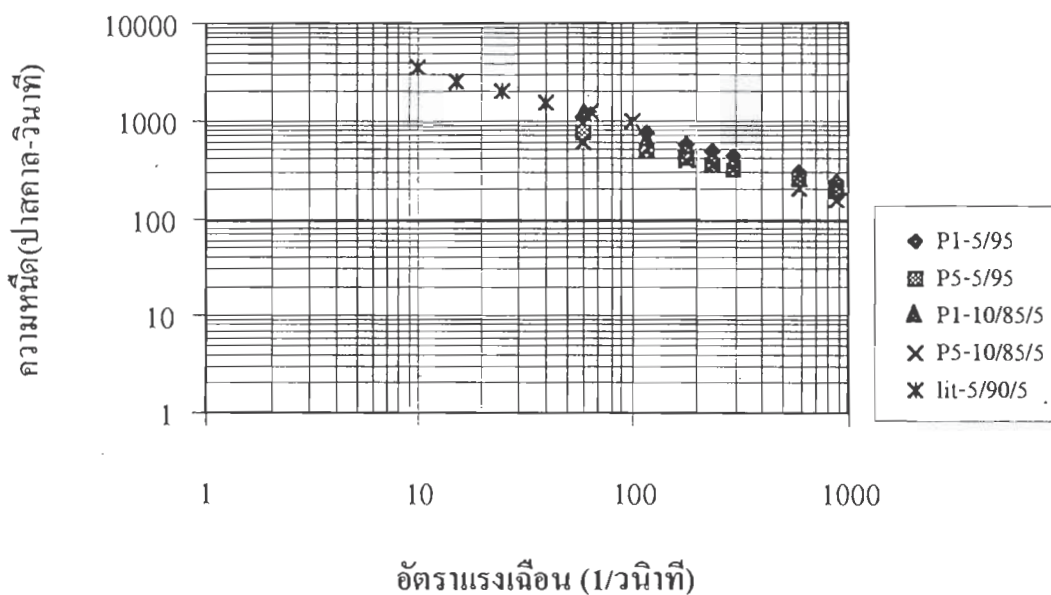
เมื่อพิจารณาค่าความหนืดของการผลิตครั้งที่ 2 - 5 พบว่าพอลิเมอร์ผสม 3 ชนิดมีค่าความหนืดลดลงตามจำนวนครั้งของการผลิต การผลิตครั้งที่ 5 พอลิเมอร์ผสมอัตราส่วน 10/85/5 ค่าความหนืดลดลง 13 % เมื่อเทียบกับการผลิตครั้งที่ 1 ซึ่งชี้ให้เห็นว่าการลดลงของค่าความหนืดมีสาเหตุมาจากการสลายตัวของพอลิเมอร์ระหว่างการผลิตดังรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 ผลของจำนวนครั้งของการผลิตต่อค่าความหนืดที่ อัตราแรงเฉือน 295.3 1/วินาที (ในพอลิเมอร์ผสม 3 ชนิด)

เป็นที่ยอมรับกันแล้วว่า ตัวเชื่อมประสานสามารถทำให้เกิดความเข้ากันได้ของพอลิเมอร์ผสม โดยปัจจัยที่ส่งผลดังกล่าวได้แก่ ตัวเชื่อมประสานช่วยลดแรงผลักระหว่างกันของพลาสติกทั้งสอง นอกจากนั้นยังเพิ่มแรงคูยัคเกาะระหว่างกันของพลาสติกที่เข้ากันไม่ได้ อีกทั้งตัวเชื่อมประสานยังทำให้รูปร่างและการกระจายตัวของอนุภาคในพอลิเมอร์ผสมคงตัว [20, 1983] ดังนั้นจึงทำให้การทดลองนี้สามารถผลิตพอลิเมอร์ผสม 3 ชนิด ได้ถึงอัตราส่วน 50/45/5 (PET/HDPE/MA)

Melt strength ของพอลิเมอร์ผสมอัตราส่วน 10/85/5 และ 20/75/5 มีค่าสูงกว่าพอลิเมอร์ผสม 2 ชนิดเมื่อเปรียบเทียบจากรอบการผลิตเดียวกัน ซึ่งผลการทดลองนี้สอดคล้องกับข้อสรุปที่ว่าตัวเชื่อมประสานทำให้เกิดความเข้ากันได้เพิ่มขึ้น พอลิเมอร์ผสมได้คิชั่นมีความเป็นเนื้อเดียวกันขึ้นซึ่งทำให้สมบัติของผลิตภัณฑ์คิชั่นด้วย



รูปที่ 4.7 การเปรียบเทียบระหว่างค่าความหนืดจากเอกสารอ้างอิง กับค่าความหนืดที่ได้จากการทดลองนี้

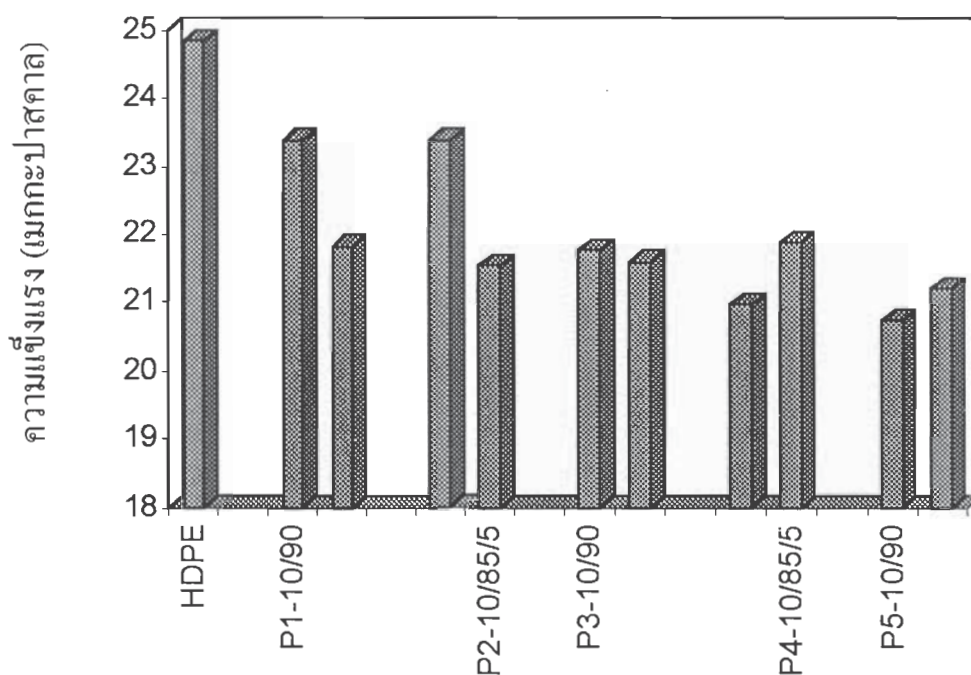
รูปที่ 4.7 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างค่าความหนืดที่ได้จากเอกสารอ้างอิงกับค่าความหนืดที่ได้จากการทดลองนี้พบว่าค่าความหนืดทั้ง 2 การทดลองมีค่าใกล้เคียงกัน

4.3 สมบัติทางกล (Mechanical properties)

การทดลองนี้ได้นำพอลิเมอร์ผสม 2 ชนิด อัตราส่วน 10/90 และพอลิเมอร์ผสม 3 ชนิด อัตราส่วน 10/85/5 มาศึกษาสมบัติทางกลคือ ความแข็งแรง, ความทนต่อแรงโค้งงอ, และการทนต่อแรงกระแทก โดยพิจารณาร่วมกับผลของจำนวนครั้งของการผลิต

4.3.1 ความแข็งแรง และ เปอร์เซ็นต์การยืดตัวเมื่อขาด

โดยทั่วไปพอลิเมอร์ผสมซึ่งมีส่วนประกอบที่เข้ากันไม่ได้ มีลักษณะที่เปราะไม่เหมาะที่จะนำมาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ แต่เมื่อเติมตัวเชื่อมประสานลงไปสมบัติของพอลิเมอร์ผสมดีขึ้นอย่างเห็นได้ชัด



รูปที่ 4.8 ความแข็งแรงของ 10% PET ในพอลิเมอร์ผสม 2 ชนิด และ 3 ชนิด

รูปที่ 4.8 และตารางที่ 4.1 แสดงค่า ความแข็งแรง (Tensile strength) และ เปอร์เซ็นต์การยืดตัวเมื่อขาด (Percent strain at yield) ของพอลิเมอร์ผสม 2 ชนิดในการผลิตทั้ง 5 ครั้ง

ตารางที่ 4.1 ความแข็งแรงและเปอร์เซ็นต์การยืดเมื่อขาดของพอลิเมอร์ผสม 2 ชนิดของ 10%PET/HDPE

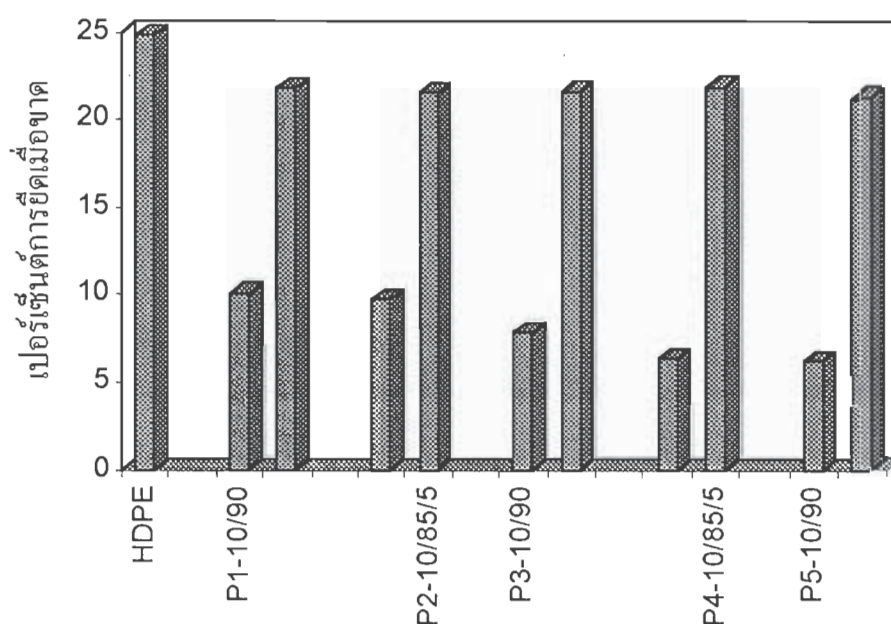
ครั้งของการผลิต	ความแข็งแรง (MPa)	เปอร์เซ็นต์การยืดเมื่อขาด	โมดูลัส (MPa)
HDPE	24.84	12.64	734.9
P1-10/90	23.37	10.12	669.7
P2-10/90	23.37	9.76	672.0
P3-10/90	21.77	7.89	690.8
P4-10/90	20.96	6.31	692.6
P5-10/90	20.73	6.21	713.3

ตารางที่ 4.2 ความแข็งแรงและเปอร์เซ็นต์การยืดเมื่อขาดของพอลิเมอร์ผสม 3 ชนิดของ 10%PET/HDPE

ครั้งของการผลิต	ความแข็งแรง (MPa)	เปอร์เซ็นต์การยืดเมื่อขาด	โมดูลัส (MPa)
HDPE	24.84	12.64	734.9
P1-10/85/5	21.82	12.96	649.4
P2-10/85/5	21.53	13.46	620.2
P3-10/85/5	21.60	12.00	641.6
P4-10/85/5	21.88	12.12	649.7
P5-10/85/5	21.20	11.66	570.2

สำหรับพอลิเมอร์ผสม 2 ชนิด พบว่า ค่าความแข็งแรง ในรอบการผลิตครั้งที่ 1 มีค่าลดลง 6% เมื่อเทียบกับค่าของ HDPE และเมื่อทำการผลิตมากขึ้น ค่าความแข็งแรงมีแนวโน้มที่ลดลง โดยเฉพาะค่าความแข็งแรง ในรอบการผลิตครั้งที่ 5 มีค่าลดลง 11% เมื่อเปรียบเทียบกับค่าจากรอบการผลิตครั้งที่ 1 ซึ่งผลดังกล่าวเกิดจากความไม่เข้ากันของพลาสติกในระบบและการสลายตัวของพอลิเมอร์ระหว่างทำการผลิต

ค่าเปอร์เซ็นต์ของการยึดเมื่อขาดของพอลิเมอร์ผสม มีค่าลดลง 20% ในรอบการผลิตที่ 1 เมื่อเทียบกับค่าของ HDPE การลดลงของเปอร์เซ็นต์ของการยึดเมื่อขาด ซึ่งให้เห็นถึงว่าลักษณะผลิตภัณฑ์ที่มีความแปรปรวนมากขึ้น นอกจากนั้นเมื่อพิจารณาค่าดังกล่าวที่รอบการผลิตที่ 2, 3, 4, และ 5 พบว่ามีแนวโน้มที่ลดลงเรื่อยๆ โดยมีค่าลดลง 40% ในรอบการผลิตที่ 5 โดยเทียบกับค่าในรอบการผลิตที่ 1 ดังรูปที่ 4.9 และ ตารางที่ 4.1

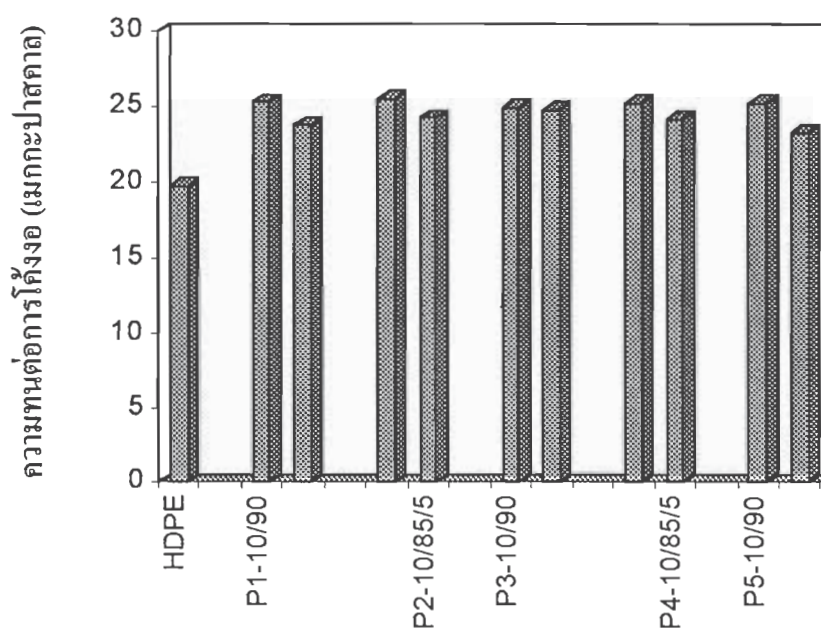


รูปที่ 4.9 แสดงเปอร์เซ็นต์การยึดเมื่อขาดของ 10%PET ของพอลิเมอร์ผสม 2 ชนิด และ 3 ชนิด

จากการทดลองของนักวิทยาศาสตร์ท่านอื่น [3,20,1994,1983] พบว่าสามารถทำให้สมบัติทางกลของพอลิเมอร์ผสม มีค่าที่ยอมรับได้โดยการเติมสารชนิดหนึ่งลงไป ซึ่งก็คือตัวเชื่อมประสาน

เมื่อพิจารณาค่าความแข็งแรง และ ค่าเปอร์เซ็นต์ของการยืดเมื่อขาด ซึ่งได้จากการทดสอบตัวอย่างผลิตภัณฑ์ในจำนวนครั้งการผลิตที่มากขึ้น พบว่าค่าทั้งสองในรอบการผลิตที่ 5 มีค่าลดลง 2.8% เมื่อเทียบกับค่าที่ได้จากรอบการผลิตที่ 1 การลดลงของค่าดังกล่าวค่อนข้างน้อยอาจเนื่องมาจากการกระจายตัวของอนุภาคภายในระบบค่อนข้างสม่ำเสมอ และมีขนาดที่คงที่ในแต่ละรอบของการผลิตดังแสดงในรูปที่ 4.16

4.3.2 ความทนต่อการโค้งงอ



รูปที่ 4.11 แสดงความทนต่อการโค้งงอของ 10%PET ของพอลิเมอร์ผสม 2 ชั้น และ 3 ชั้น

Mark และคณะ ชี้ให้เห็นถึงสมบัติทางกลโดยมีแนวตั้งฉากกับการจัดเรียงตัวของโครงสร้างโมเลกุลของพอลิเมอร์จะมีค่าค่อนข้างต่ำ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าลักษณะการผลิตมีผลต่อสมบัติของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการผลิตจากพอลิเมอร์ชนิดนั้น ๆ เป็นอย่างมาก [18, 1977]

รูปที่ 4.11 และตารางที่ 4.3 แสดงถึงค่า ความทนต่อการโค้งงอ ของพอลิเมอร์ผสม 2 ชั้น โดยสังเกตได้ว่าค่านี้เพิ่มขึ้น 25% เมื่อเทียบกับค่าของ HDPE ซึ่งค่าที่เพิ่มขึ้นดังกล่าวอาจเกิดจากการเรียงตัวของโครงสร้างภายในขนานไปกับแรงที่ใช้ขณะทำการทดสอบค่าความทนต่อการโค้งงอ

ตารางที่ 4.3 ความทนต่อการโค้งงอของพอลิเมอร์ผสม 2 ชนิดของ 10%PET/HDPE

ครั้งของการผลิต	ความทนต่อการโค้งงอ (MPa)	เปอร์เซ็นต์การยืดเมื่อขาด
HDPE	19.68	0.0750
10%PETPASS1	25.24	0.0740
PASS2	25.46	0.0768
PASS3	24.89	0.0747
PASS4	25.20	0.0759
PASS5	25.16	0.0746

ตารางที่ 4.4 ความทนต่อการโค้งงอของพอลิเมอร์ผสม 3 ชนิดของ 10%PET/HDPE

ครั้งของการผลิต	ความทนต่อการโค้งงอ (MPa)	เปอร์เซ็นต์การยืดเมื่อขาด
HDPE	19.68	0.0750
P1-10/85/5	23.77	0.0786
P2-10/85/5	24.15	0.0726
P3-10/85/5	24.73	0.0709
P4-10/85/5	24.08	0.0731
P5-10/85/5	23.23	0.0721

เมื่อพิจารณาจำนวนครั้งการผลิตที่มากขึ้น พบว่าค่าดังกล่าวค่อนข้างคงที่ซึ่งเป็นผลเนื่องมาจากการเกิดผลึกภายในโครงสร้างโพลิเอทิลีนเป็นเครือข่าย ทำให้ค่าความทนต่อการโค้งงอสูงขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ Muller และคณะ [17, 1987]

สำหรับค่าความทนต่อการโค้งงอของพอลิเมอร์ผสม 3 ชนิดได้แสดงไว้ในรูปที่ 4.11 และตารางที่ 4.4 ซึ่งค่าดังกล่าวมีค่าสูงกว่าค่าของ HDPE ถึง 20% โดยสาเหตุเนื่องมาจากผลของตัวเชื่อมประสาน โดยสารนี้ทำหน้าที่ในการเพิ่มประสิทธิภาพการผสมรวมเข้ากันของพอลิเมอร์

ในรอบการผลิตครั้งที่ 2 - 4 ค่าดังกล่าวก็ยังมีค่าที่สูงกว่าค่าของ HDPE ซึ่งเป็นผลมาจากการกระจายตัวที่สม่ำเสมอ และขนาดที่คงตัวของอนุภาคพอลิเมอร์ในระบบ แต่ค่าความทนต่อการโค้งงอ ลดลงในรอบการผลิตครั้งที่ 5 เนื่องจากการสลายตัวของพอลิเมอร์ รวมทั้งตัวเชื่อมประสานในระหว่างการผลิต

4.3.3 ความทนต่อแรงกระแทก

ความทนต่อแรงกระแทก เป็นสมบัติของสารในการที่จะดูดซับพลังงานวัตถุที่มีค่าความทนต่อแรงกระแทกที่ต่ำ แสดงถึงการส่งผ่านพลังงานที่ไม่ดี โดยเฉพาะพอลิเมอร์ผสม 2 ชนิดที่มีส่วนประกอบที่ไม่สามารถเข้ากันได้

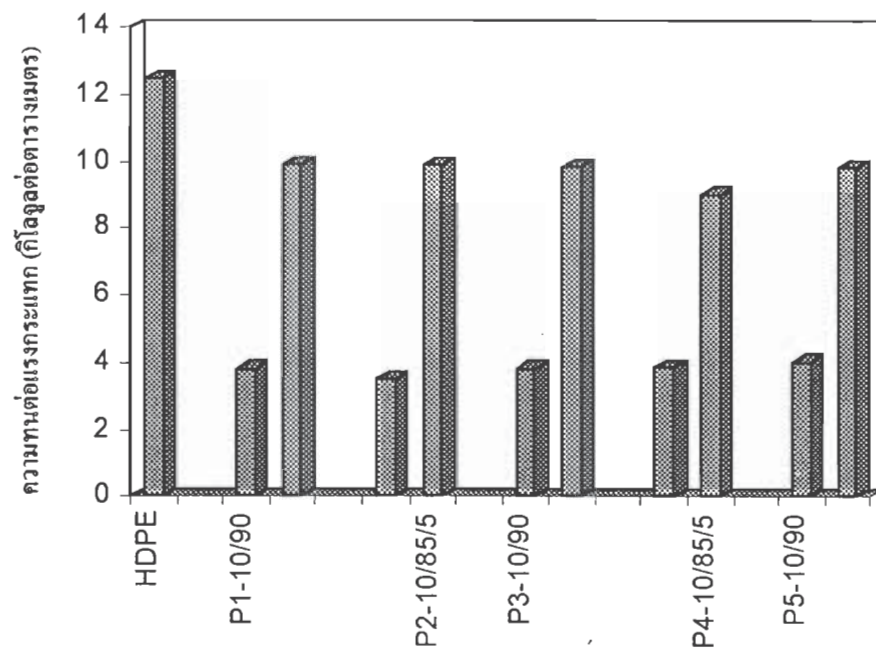
รูปที่ 4.12 และตารางที่ 4.5 แสดงค่า ความทนต่อแรงกระแทก ของพอลิเมอร์ผสม 2 ชนิด ซึ่งในทุกกรอบของการผลิตค่าดังกล่าวมีค่าที่ต่ำมาก โดยมีค่าต่ำกว่า ค่าของ HDPE ถึง 70% เนื่องจากการเข้ากันไม่ได้ของส่วนประกอบภายในพอลิเมอร์ผสม ดังนั้นพอลิเมอร์ผสม 2 ชนิด จึงมีค่า ความทนต่อแรงกระแทกที่ต่ำมาก

ตารางที่ 4.5 ความทนต่อแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสม 2 ชนิดของ 10%PET/HDPE

ครั้งของการผลิต	ความทนต่อแรงกระแทก (KJ/m ²)
P1-10/90	3.80
P2-10/90	3.50
P3-10/90	3.80
P4-10/90	3.83
P5-10/90	4.01

ตารางที่ 4.6 ความทนต่อแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสม 3 ชนิดของ 10%PET/HDPE

ครั้งของการผลิต	ความทนต่อแรงกระแทก (KJ/m ²)
HDPE	12.44
P1-10/85/5	9.90
P2-10/85/5	9.90
P3-10/85/5	9.80
P4-10/85/5	9.00
P5-10/85/5	9.80



รูปที่ 4.12 ความทนต่อแรงกระแทกของ 10% PET ของ พอลิเมอร์ผสม 2 ชนิด และ 3 ชนิด

ส่วนพอลิเมอร์ผสม 3 ชนิด ค่าความทนต่อแรงกระแทก ในทุกรอบของการผลิต มีค่าค่อนข้างคงที่ และมีค่าเปลี่ยนแปลงเพียง 1% ในการผลิตครั้งที่ 5 เมื่อเทียบกับค่าที่ได้จากการผลิตครั้งที่ 1 โดยผลที่เกิดขึ้นเนื่องจากตัวเชื่อมประสานมีผลต่อการกระจายตัว และความคงตัวของขนาดของอนุภาค PET กล่าวคือทำให้สภาพดังกล่าวมีความเสถียร ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ Folkes และ Hope ที่กล่าวว่า ตัวเชื่อมประสานช่วยให้เกิดความเสถียรของขนาดอนุภาค และความสม่ำเสมอของการกระจายตัว [6, 1993]

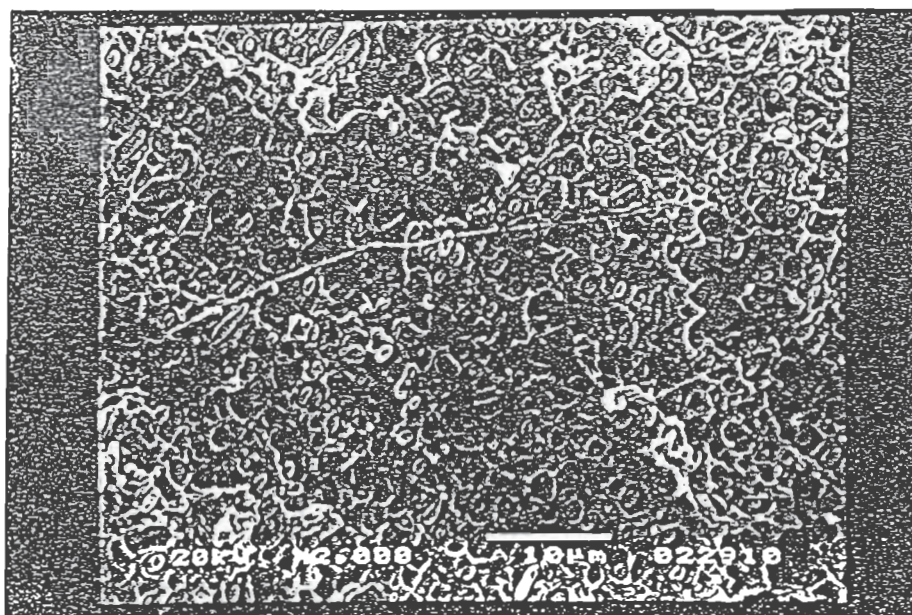
4.4 ลักษณะโครงสร้างของพอลิเมอร์ผสม

การศึกษาลักษณะโครงสร้าง เป็นการสนับสนุนผลการทดลองในเรื่องสมบัติทางกล โดยอาศัยเครื่องมือที่เรียกว่า กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดกราดลำแสง

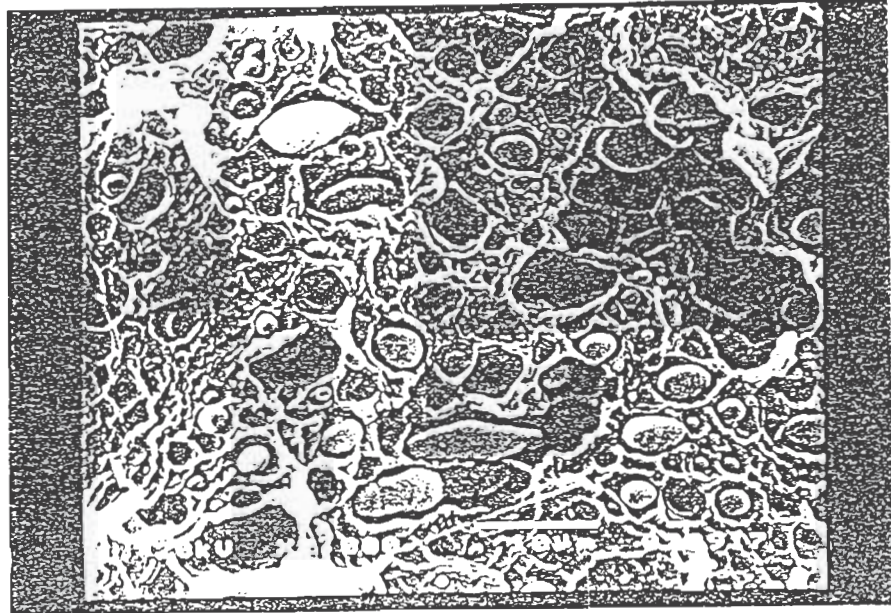
Kalfoglou และคณะ [13, 1994] ได้สังเกตเห็นถึงความสม่ำเสมอของการกระจายตัว และขนาดที่เล็กมากของอนุภาคภายในพอลิเมอร์ผสม ซึ่งมีผลต่อสมบัติทางกลของพอลิเมอร์ผสมดังกล่าว

4.4.1 พอลิเมอร์ผสม 2 ชนิด

จากรูปที่ 4.13 แสดงถึงภาพถ่ายของลักษณะการกระจายของอนุภาค PET ภายในพอลิเมอร์ผสม 2 ชนิดอัตราส่วน 10/90 ในการผลิตครั้งที่ 1 แสดงให้เห็นถึงขนาดของอนุภาค PET 2 ไมครอน กระจายอยู่ในเนื้อ HDPE แต่มีบางบริเวณที่เกิดเป็นช่องว่าง ซึ่งบริเวณดังกล่าวเคยเป็นที่ฝังตัวของอนุภาค PET โดยช่องว่างดังกล่าวชี้ให้เห็นถึงความไม่เข้ากันของพอลิเมอร์ทั้งสอง โดยจะส่งผลกระทบต่อสมบัติทางกล และอื่น ๆ ของผลิตภัณฑ์



รูปที่ 4.13 ไมโครกราฟของพอลิเมอร์ผสม 2 ชนิดในรอบการผลิตครั้งที่ 1

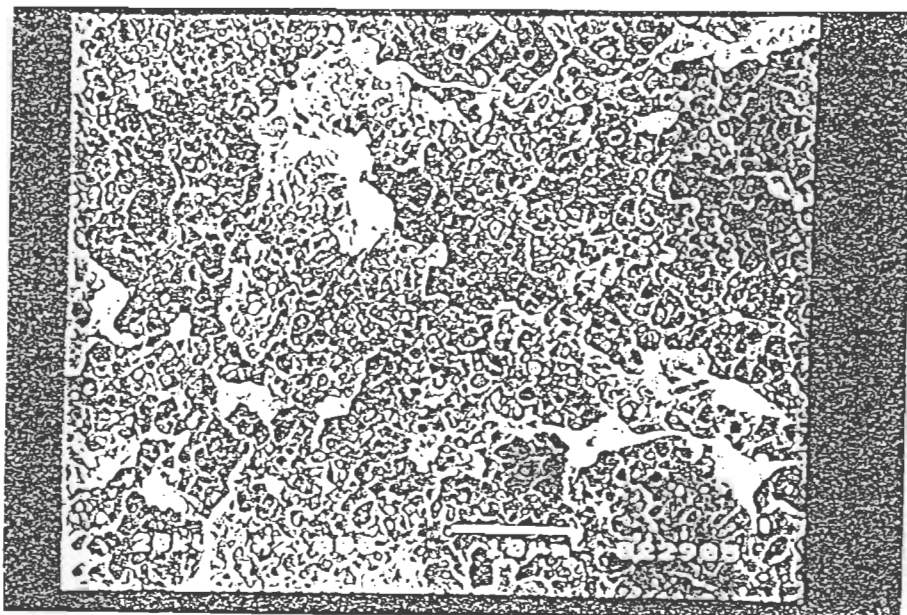


รูปที่ 4.14 ไมโครกราฟของพอลิเมอร์ผสม 2 ชนิดในรอบการผลิตครั้งที่ 5

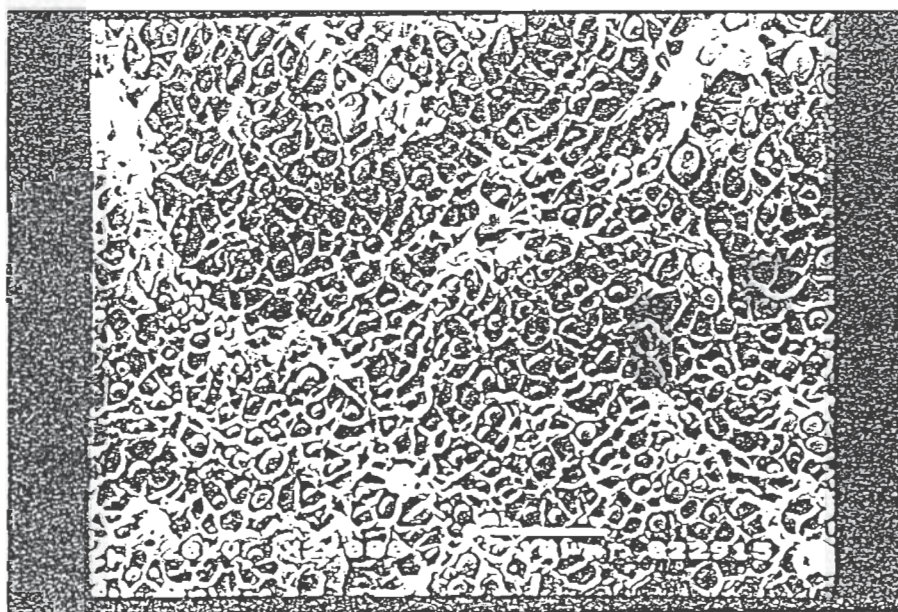
รูปที่ 4.14 แสดงถึงภาพของอนุภาค PET ในพอลิเมอร์ผสม 2 ชนิดในการผลิตครั้งที่ 5 พบว่าเกิดการรวมตัวกันของอนุภาค PET โดยมีขนาดประมาณ 4 - 10 ไมครอน ซึ่งทำให้พอลิเมอร์ทั้ง 2 ชนิดแยกห่างจากกันมากขึ้น ทำให้ค่าของสมบัติทางกลไม่เหมาะสมในการใช้งาน

4.4.2 พอลิเมอร์ผสม 3 ชนิด

รูปที่ 4.15 แสดงถึงภาพของอนุภาค PET ในพอลิเมอร์ผสม 3 ชนิดอัตราส่วน 10/85/5 ในการผลิตครั้งที่ 1 โดยสังเกตเห็นว่าอนุภาคของ PET มีขนาด 2 ไมครอน และกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอในเนื้อ HDPE ซึ่งเป็นผลมาจากการเพิ่มตัวเชื่อมประสานลงไปในระบบเพื่อเพิ่มแรงดึงดูดของพอลิเมอร์ทั้งสองในระบบ



รูปที่ 4.15 ไมโครกราฟของพอลิเมอร์ผสม 3 ชนิดในรอบการผลิตครั้งที่ 1



รูปที่ 4.16 ไมโครกราฟของพอลิเมอร์ผสม 3 ชนิดในรอบการผลิตครั้งที่ 5

รูปที่ 4.16 แสดงถึงภาพจากการผลิตครั้งที่ 5 ของพอลิเมอร์ผสม 3 ชนิด อัตราส่วน 10/85/5 โดยพบว่าขนาดอนุภาคของ PET ที่กระจายตัวในระบบยังคงมีขนาดใกล้เคียงกับการผลิตครั้งที่ 1 เนื่องจากตัวเชื่อมประสานที่ทำให้เกิดความคงตัวของขนาดอนุภาค PET

บทที่ 5

บทสรุป

จากผลการทดลองนำมา ซึ่งข้อสรุปต่างหลายประการ ได้แก่

- พอลิเมอร์ผสม 2 ชนิดของ PET/HDPE และพอลิเมอร์ผสม 3 ชนิดของ PET/HDPE/MA ไม่สามารถที่จะผลิตได้มากกว่า 5 รอบการผลิต และลักษณะพื้นผิวของพอลิเมอร์ที่ผ่านการผลิตในจำนวนครั้งที่มากขึ้นจะมีความหยาบของผิวมากขึ้น

- Melt strength ของพอลิเมอร์ผสม 2 ชนิดมีค่าต่ำกว่าค่าของพอลิเมอร์ผสม 3 ชนิดในรอบการผลิตที่เท่ากัน เมื่อจำนวนรอบการผลิตมากขึ้น ค่า melt strength มีค่าลดลง

- สมบัติทางกล สามารถแบ่งได้ดังนี้

- ความแข็งแรง

สมบัตินี้ไม่ค่อยเด่นชัดนักในการทดลองนี้

- ความทนต่อการโค้งงอ

พอลิเมอร์ผสม 2 ชนิด มีค่าความทนต่อการโค้งงอ ใกล้เคียงกับค่าของพอลิเมอร์ผสม 3 ชนิด ซึ่งเป็นผลเนื่องมาจากการจัดเรียงตัวโมเลกุลภายใน

- ความทนต่อแรงกระแทก

พอลิเมอร์ผสม 2 ชนิด มีค่าที่ต่ำมากเมื่อเทียบกับค่าของพอลิเมอร์ผสม 3 ชนิด ในทุกรอบของการผลิต

- ลักษณะโครงสร้างของพอลิเมอร์ผสม

- พอลิเมอร์ผสม 2 ชนิด

พอลิเมอร์ผสม 2 ชนิด ในรอบการผลิตที่ 1 มีการกระจายตัวของอนุภาค PET แต่เมื่อรอบการผลิตมากขึ้น (ครั้งที่ 2 - 5) อนุภาค PET มีแนวโน้มที่จะรวมตัวกันใหญ่ขึ้น

- พอลิเมอร์ผสม 3 ชนิด

ขนาดของอนุภาค PET มีค่าประมาณ 2 ไมครอนในทุกรอบของการผลิต ส่งผลให้สมบัติทางกลมีค่าที่สามารถยอมรับได้

แนวทางการวิจัยในอนาคต

จากการทดลองครั้งนี้ สามารถนำไปสู่แนวทางการวิจัยในอนาคตได้หลายประการ เช่น การทดลองนำพอลิเมอร์ผสมไปขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์เพื่อตรวจสอบสมบัติต่าง ๆ การศึกษาถึงอิทธิพลของตัวเชื่อมประสานตัวอื่น ๆ และอิทธิพลของจำนวนครั้งของการผลิตที่มีต่อตัวเชื่อมประสาน หรือ การศึกษาความเป็นไปได้ของการทำเส้นใยพอลิเมอร์ผสมชนิดนี้ เนื่องจาก PET ส่วนมากจะถูกใช้ขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์เส้นใย ถ้าทราบถึงความเป็นไปได้ของพอลิเมอร์ผสมจะทำให้มีการลดปริมาณการใช้ PET ลงไปด้วย



เอกสารอ้างอิง

Acierno D., Maio Di L., Journal of Polymer Engineering, Vol. 14, No.2, 3, 127-139, 1995.

Akkapeddi M.K., Buskirk Van B., Mason C.D., Schung S.S., X. Swamikannu, Polymer Engineering and Science, Vol. 35, No. 1, 72-78, 1995.

Chen C., Lai F.S., Polymer Engineering and Science, Vol.34 , No.6, 472-476, 1994.

Dagli Sanjiv S, Kamdar Kunal M, Polymer Engineering and Science, Vol.34, No.23, 1709-1719, 1994.

Favis B.D., Chalifoux J.P., Polymer Engineering and Science, Vol.27, No. 20, 1591-1600, 1987.

Folkes M.J., Hope P.S., Polymer Blends and Alloys, Chapman & Hall, 1993.

Giannotta G., Po R., Cardi N., Tampelline E., Occhiello E., Garbassi F. Polymer Engineering and Science, Vol. 34, No. 15, 1219-1223, 1994.

Grassie N., Scott G., Polymer Degradation and Stabilization, Cambridge University Press, 1985, p.29-33, 34-35.

Gregory D.R., Wampler F.C., Polymer Engineering and Science, Vol. 25, No. 6, No. 6, 362-366, 1985.

Jabarin S.A., Lofgren E.A., Polymer Engineering and Science, Vol. 24, No. 13, 1056-1063, 1984.

Jabarin S.A., Lofgren E.A., Shah S.B., Emerging Technologies in Plastic Recycling, 1992.

Johnson D., Plastics The Environmental Challenge, FT Business Enterprises Ltd., 1993.

Kalfoglou N.K., Skafidas D.S., Sotiropoulou D.D., Polymer, Vol. 35, No. 17 3624-3629, 1994.

Leidner J., Plastics waste Recovery of economic value, Marcel Dekker Inc. 1981.

Mark H.F., Bikales N.M., Overberger C.G., Menges G., Encyclopedia of Polymer Science and Engineering, John Willey and Sons, Inc., 1986

Mark H.F., Bikales N.M., Overberger C.G., Menges G., Encyclopedia of Polymer Science and Engineering, 2nd Edition, Vol. 12, John Wiley & Sons Inc., 1988.

Muller A.J., Feijoo J.L., Alvarez M.E., Febles A.C., Polymer Engineering and Science, Vol.27, No. 11, 1987.

Nielsen L.E., Polymer Rheology, Marcel Dekker Inc. 1977.

Sambaru P., Jabarin S.A., SPE ANTEC Tech. Papers, 38, 586-588, 1992.

Traugott T.D., Barlow J.W., Paul D.R., Journal of Applied Polymer Science
Vol. 28, 2947-2959, 1983.

Yong M. W., Xanthos M., Biesenberger J.A., SPE ANTEC Tech. Papers
35, 1835-1837, 1989.