รายงานฉบับสมบูรณ์

โครงการวิจัย

เรื่อง การใช้คาร์บอกซิเลตไอโอโนเมอร์ เป็นตัวช่วยผสมพอลิเมอร์

Carboxylate Ionomer as Blend Compatibilizer

หัวหน้าโครงการ นาย มานิตย์ นิธิธนากุล

คณะผู้ดำเนินการวิจัย

หัวหน้าโครงการ นาย มานิตย์ นิธิธนากุล

ผู้ช่วยวิจัย น.ส. พนิดา ลีวัจนกุล
(นิสิตระดับปริญญาโท วิทยาลัยปิโตรเลียมและปิโตรเคมี
จุฬาลงกรณ์ มหาวิทยาลัย)

หน่วยงานที่สังกัด วิทยาลัยปิโตรเลียมและปิโตรเคมี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
อ. พญาไท จุฬา ซ. 12
กรุงเทพฯ 10330

สนับสนุนทุนวิจัยโดย เงินอุดหนุนการวิจัยจากเงินงบประมาณแผ่นดิน ปีงบประมาณ ๒๕๔๕

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อ (Abstract)

ในการศึกษาผลขององค์ประกอบต่ออัสณฐาน คุณสมบัติทางกายภาพ และคุณสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมระหว่างไนล่อน6 และพอลิเอทธิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำทุกๆองค์ประกอบ ทั้งชนิดที่ไม่ใช้ตัวเชื่อมประสาน และที่ใช้ตัวเชื่อมประสาน โดยมวลนั้น โดยในด้านคุณสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมชนิดที่ไม่ได้ใช้ตัวเชื่อมประสานนั้น จะมีการลดลงของความแข็งแรงต่อการดึง และความแข็งแรงต่อการรับแรงกระแทก เนื่องจากการสูญเสียการยึดเกาะระหว่างพื้นผิว โดยในการเติมไอโอโนเมอร์ได้แก่ เซอร์ลีน ซึ่งเป็นโคพอลิเมอร์ระหว่างพอลิเอทธิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ และกรดเมธาไครลิก เป็นตัวเชื่อมประสานนั้นสามารถช่วยในการปรับปรุงคุณสมบัติเชิงกลดีขึ้น เนื่องจากความสามารถในการส่งผ่านแรงผ่านระหว่างพื้นผิวดีขึ้น ส่วนคุณสมบัติทางด้านอสัณฐานของพอลิเมอร์ผสมระหว่างไนล่อน6 และพอลิเอทธิลีนความหนาแน่นต่ำ ชนิดที่ใช้ตัวเชื่อมประสานนั้น ปริมาณของเซอร์ลีนที่เติมเข้าไปจะช่วยในการลดขนาดขององค์ประกอบที่กระจายตัวอยู่ในองค์ประกอบหลัก ปริมาณของเซอร์ที่เติมมากขึ้น จะยิ่งช่วยในการลดขนาดขององค์ประกอบที่กระจายตัวเนื่องจากปฏิกริยาระหว่างส่วนที่มีประจุของไอโอโนเมอร์ และส่วนที่มีขั้วของไนล่อน6 ซึ่งการลดลงของขนาดขององค์ประกอบที่กระจายตัวจะมีมากขึ้นเมื่อองค์ประกอบที่กระจายตัวเป็นไนล่อน6

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgements)

โครงการนี้ได้รับการสนับสนุนเงินทุนวิจัย จากเงินอุดหนุนการวิจัยจากเงินงบประมาณแผ่นดิน ปีงบประมาณ ๒๕๔๕

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณผู้ที่มีส่วนในการสนับสนุนทั้งข้อมูล และวัสดุที่ใช้ในงานวิจัย ดังนี้ บริษัท อูเบะไนล่อน (ประเทศไทย) จำกัด สำหรับข้อมูลและไนล่อนที่ใช้ในงานวิจัย บริษัท M.C. Industrial Co., Ltd. สำหรับข้อมูลและพอลิเอทธิลีนความหนาแน่นต่ำ และบริษัท Du Pont (U.S.A) Co., สำหรับไอโอโนเมอร์ ที่ใช้เป็นตัวเชื่อมประสาน (compatibilizer) ในงานวิจัยนี้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญเรื่อง (Table of Contents)

บทที่		หน้า
	บทคัดย่อ (Abstract)	i
	กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgements)	ii
	สารบัญเรื่อง (Table of Contents)	iii
	สารบัญตาราง (List of Tables)	v
	สารบัญภาพ (List of Illustrations)	vi
1	บทนำ (Introduction)	1
2	วัตถุประสงค์	11
3	ระเบียบวิธีวิจัย	12
4	ขอบเขตของการวิจัย	13
5	การดำเนินงานวิจัย (Experimental)	14
	5.1วัสดุที่ใช้ในงานวิจัย (Materials)	14
	5.2 การดำเนินงานวิจัย (Experimental Procedures)	17
6	ผลการวิจัยและข้อวิจารณ์ (Results and Discussion)	24
	6.1 การเตรียมพอลิเมอร์ผสม (Blends preparation)	24
	6.2 สมบัติเชิงกล (Mechanical properties)	25
	6.3 สมบัติทางกายภาพ (Physical properties)	36

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่		หน้า
	6.4 ผลการศึกษาลักษณะโครงสร้างของพอลิเมอร์ผสม (Microstructure characterization)	39
7	สรุปผลการวิจัย (Conclusions)	49
8	เอกสารอ้างอิง (References)	51
9	เอกสารแนบท้าย (Appendix)	55

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง (List of Tables)

ตาราง		หน้า
5.1	Mechanical and thermal properties of Surlyn® (9020) ionomer	14
5.2	Physical and rheological properties of LDPE (LD 1450J)	15
5.3	Chemical and rheological properties of Nylon 6 (1013B)	16
5.4	Processing conditions of twin screw extruder (T-20) for blending with/without compatibilizer	19
6.1	Melting temperature, Crystallization temperature and degradation temperature of raw materials before blending	24
6.2	Blend compositions	30

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ (List of Illustrations)

รูปที่		หน้า
1.1	โครงสร้างทางเคมีของพอลิเอไมด์ (ไนล่อน) ชนิดต่างๆ	3
1.2	โครงสร้างของโคโมโนเมอร์ (comonomer) ในไอโอโนเมอร์ (ionomer) (Surlyn A®)	7
6.1	Effect of LDPE content on tensile strength of uncompatibilized nylon6/LDPE	26
6.2	Effect of LDPE content on tensile modulus of uncompatibilized Nylon6/LDPE blends	28
6.3	Effect of Surlyn® compatibilizer content on tensile strength of compatibilized Nylon6/LDPE blends	31
6.4	Effect of Surlyn® compatibilizer content on tensile modulus of compatibilized Nylon6/LDPE blends	32
6.5	Effect of LDPE content on impact strength of uncompatibilized Nylon6/LDPE blends	34
6.6	Effect of Surlyn® compatibilizer content on impact strength of compatibilized Nylon6/LDPE blends	36
6.7	Effect of LDPE content on Hardness of uncompatibilized Nylon6/LDPE blends	37
6.8	Effect of Surlyn® compatibilizer content on Hardness of compatibilized Nylon6/LDPE blends	39

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่		หน้า
6.9	Effect of LDPE composition on morphology of Nylon6/LDPE blends at magnification 2000: (a) 20% of LDPE, (b) 40% of LDPE, (c) 60% of LDPE, (d) 80% of LDP	40
6.10	Effect of LDPE content on the particle size of uncompatibilized Nylon6/LDPE blends	42
6.11	Effect of compatibilizer on morphology of Nylon6/LDPE blends containing 80% of Nylon6 and 20% of LDPE (LDPE as a dispersed phase): (a) The uncompatibilized blends, (b) The compatibilized blend with 0.1% Surlyn®, (c) The compatibilized blend with 0.5% Surlyn®, (d) The compatibilized blend with 1.0% Surlyn®, (e) The compatibilized blend with 2.5% Surlyn®	44
6.12	Effect of compatibilizer on morphology of Nylon6/LDPE blends containing 20% of Nylon6 and 80% of LDPE (Nylon6 as a dispersed phase): (a) The uncompatibilized blends, (b) The compatibilized blend with 0.1% Surlyn®, (c) The compatibilized blend with 0.5% Surlyn®, (d) The compatibilized blend with 1.0% Surlyn®	45
6.13	Effect of compatibilizer on morphology of compatibilized Nylon6/LDPE	46
6.14	FT-IR spectra of uncompatibilized and compatibilized Nylon6/LDPE blends	47

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1. บทนำ (Introduction)

จากการที่ประเทศไทยได้เกิดวิกฤติทางด้านเศรษฐกิจอย่างรุนแรงเมื่อปี พ.ศ. ๒๕๔๐ (ค.ศ. 1997) และต่อเนื่องเรื่อยมาจนถึงปัจจุบันนั้น ได้ส่งผลกระทบทั้งโดยทางตรง และโดยทางอ้อมไปทั่ว ทั้งภาครัฐบาล และเอกชน รวมไปถึงประชาชนทั่วไปอย่างรุนแรง โดยเฉพาะกับกลุ่มผู้ประกอบการโรงงานเอกชน โรงงานหลายแห่งจำเป็นต้องปิดกิจการ และยังมีอีกหลายแห่งกำลังรอที่จะปิดกิจการ ซึ่งส่งผลกระทบโดยรวมต่อเศรษฐกิจไทย การส่งออก การเงิน การธนาคาร ตลอดจนความน่าเชื่อถือของประเทศไทยในสายตาของชาวต่างชาติ ดังนั้นในการที่จะสร้างกำไรให้แก่ภาคเอกชนเพื่อให้สามารถดำรงกิจการอยู่ได้โดยที่ไม่มีผลกระทบต่อผู้บริโภคนั้น วิธีการหนึ่งที่ประสบผลสำเร็จคือ การลดต้นทุนการผลิต และปรับปรุงคุณภาพของสินค้าเพื่อให้มีคุณภาพทัดเทียมสินค้าของบริษัทคู่แข่ง ภายใต้ระบบเสรีทางการค้า ซึ่งผู้ที่จะได้รับผลประโยชน์โดยตรงคือผู้บริโภคซึ่งจะมีโอกาสในการเลือกสินค้าที่มีคุณภาพสูง แต่ราคาถูก

ในการลดต้นทุนการผลิตสินค้าอย่างมีประสิทธิภาพนั้นจำเป็นต้องเลือกวัตถุดิบที่มีราคาถูก และมีเทคโนโลยีในการผลิตที่ช่วยในการลดต้นทุนการผลิต เวลาในการผลิต และเพิ่มคุณภาพของสินค้าที่ผลิตได้ โดยทั่วไปแล้วนั้น วัตถุดิบที่มาจากอุตสาหกรรมปิโตรเคมีนับเป็นวัตถุดิบที่มีราคาต่ำมาก และมีคุณสมบัติที่หลากหลายที่มีประโยชน์ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง อุตสาหกรรมที่เกี่ยวกับพลาสติก ซึ่งมีหลากหลายประเภทให้เลือกใช้งานตามความเหมาะสมของลักษณะการใช้งาน สภาวะการใช้งาน อายุการใช้งาน เป็นต้น เทคโนโลยีต่างๆ ก็เป็นส่วนหนึ่งที่ช่วยให้ผลิตภัณฑ์ที่ผลิตออกมาได้มีคุณภาพดี โดยใช้ต้นทุนต่ำ และระยะเวลาในการผลิตสั้น โดยวิธีการที่จะผลิต และ

ปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ประเภทพอลิเมอร์ที่เป็นที่รู้จัก และนิยมอย่างกว้างขวางทั้งในด้านการค้นคว้าวิจัย และในวงการอุตสาหกรรมทั้งในประเทศ และทั่วโลกนั้นก็คือ การผสม หรือการ blend นั่นเอง การผสม หรือการ blend นั้นเป็นวิธีการปรับปรุงและเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของพอลิเมอร์ที่สะดวกกว่าการสังเคราะห์และกำลังเป็นที่ศึกษาอย่างมาก

การผสมพอลิเมอร์นั้น เป็นการนำสารพอลิเมอร์สองชนิด หรือมากกว่าสองชนิดมาผสมรวมกัน เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ชนิดใหม่ที่มีคุณสมบัติที่แตกต่างออกไป โดยพอลิเมอร์ที่ได้จากการผสมนั้น อาจได้รับคุณสมบัติที่ดีจากพอลิเมอร์ที่เป็นองค์ประกอบแต่ละตัว หรืออาจทำให้คุณสมบัติที่ดีขององค์ประกอบเดิมลดลงไป ขึ้นอยู่กับเทคนิค และสภาวะในการผสม ชนิด ปริมาณ และคุณสมบัติของพอลิเมอร์ที่เป็นองค์ประกอบนั้น เป็นต้น ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการผสมพอลิเมอร์นั้นโดยทั่วไปจะแบ่งเป็น ๒ ชนิดได้แก่ miscible blend คือเมื่อผสมพอลิเมอร์แต่ละองค์ประกอบเข้าด้วยกันแล้ว พอลิเมอร์แต่ละองค์ประกอบมีการกระจายตัว และสามารถเข้ากันได้เป็นอย่างดี ในขณะที่ immiscible blend นั้น เมื่อผสมพอลิเมอร์ในแต่ละองค์ประกอบเข้าด้วยกันแล้ว พอลิเมอร์แต่ละองค์ประกอบมีการกระจายตัวไม่ดี และมีการแยกตัวกันเกิดขึ้น ในขั้นตอนของการผสมพอลิเมอร์ อาจมีการเติมสารอื่นๆ (ตัวอย่าง สารcompatibilizer) เพื่อเพิ่มความสามารถให้เข้ากันได้เป็นอย่างดีและปรับปรุงคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์

ไนล่อน (nylon) จัดเป็นพอลิเมอร์ประเภทวิศวกรรมพลาสติก (engineering plastic) คือเป็นพลาสติกชนิดที่มีคุณสมบัติพิเศษที่เฉพาะในการใช้งาน โดยปกติจะราคาค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับพลาสติกทั่วๆไป (commodity plastic หรือ general purpose plastic) ซึ่งมีโครงสร้างที่มีหมู่ฟังก์ชั่น

amide ซึ่งเกิดจากสังเคราะห์โดยปฏิกริยา condensation polymerization โดยทั่วไปนั้นโครงสร้างของไนล่อนสามารถมีได้ทั้งโครงสร้างแบบกึ่งผลึก (semi-crystalline) หรือแบบอสัณฐาน (amorphous) ทำให้ไนล่อนเป็นพอลิเมอร์ที่มีคุณสมบัติที่ค่อนข้างหลากหลายขึ้นกับโครงสร้าง ไนล่อนมีคุณสมบัติที่ค่อนข้างมีความแข็งเกร่งสูง (high rigidity) และสามารถทนต่อสภาวะอากาศ และอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงได้ในช่วงกว้าง และคุณสมบัติโดดเด่นที่กำลังเป็นที่สนใจกันอย่างมาก คือ คุณสมบัติการทนแรงกระแทก (impact strength) และแสดงคุณสมบัติเป็นตัวขัดขวางที่ดี (good barrier properties)

diacid, diamine-based *lactam-based*

รูปที่ 1.1 โครงสร้างทางเคมีของพอลิเอไมด์ (ไนล่อน) ชนิดต่างๆ

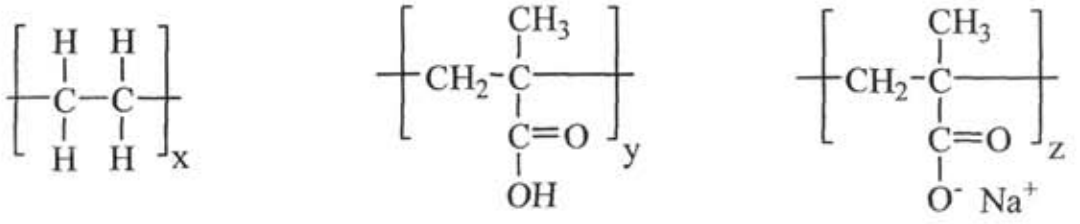
ส่วนพอลิเอทธิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (low density polyethylene หรือ LDPE) นั้น เป็นพอลิเมอร์ประเภท general purpose plastic คือเป็นพลาสติกที่มีคุณสมบัติที่หลากหลายและเป็นที่

นิยมในงานบรรจุภัณฑ์ (packaging material) เนื่องจากราคาค่อนข้างถูกมาก และมีให้เลือกใช้ได้หลายเกรดตามความเหมาะสมของขบวนการผลิต โดยโครงสร้างของ LDPE นั้น จะมีโครงสร้างเป็นสายโซ่ของพอลิเอทธิลีน (polyethylene) ที่มีหมู่แทนที่เป็นหมู่ alkyl หรืออาจมีกิ่งก้านเล็กๆ ที่เกิดจากขบวนการผลิตโดยใช้ความดันสูง LDPE จะมีช่วงจุดหลอมเหลวอยู่ในช่วง ๑๐๕–๑๑๕ องศาเซลเซียส (T_m = 105-115 °C) ความหนาแน่นอยู่ในช่วงระหว่าง ๐.๙๑๒-๐.๙๓๕ กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร เนื่องจาก LDPE มีคุณสมบัติที่หลากหลาย จึงสามารถเลือกพิจารณาเฉพาะคุณสมบัติที่มีความสำคัญต่อการผสม (blend) กับพอลิเมอร์ชนิดอื่น ซึ่งสามารถแยกพิจารณาออกได้เป็น ๓ แนวทาง ได้แก่ คุณสมบัติทางเคมี (chemical properties) LDPE เป็นสารพอลิเมอร์ที่สามารถทนต่อสารเคมีได้หลายชนิด เนื่องจากโครงสร้างที่เฉื่อย และไม่มีขั้ว นอกจากนี้ยังทำให้มีคุณสมบัติเลือกผ่านน้ำ และสารละลายที่มีน้ำเป็นตัวทำละลายได้น้อย (low permeability to water and many aqueous solution) มีความเฉื่อยต่อการเกิดปฏิกริยากับสารเคมีบางชนิด โดยจะเพียงแค่ทำให้เกิดการบวม (swollen) ที่อุณหภูมิห้อง และสามารถละลายได้เมื่อเพิ่มอุณหภูมิ แก๊สต่างๆ เช่น ไนโตรเจน ออกซิเจน และคาร์บอนไดออกไซด์ สามารถทะลุผ่านฟิล์ม LDPEได้ ซึ่งโดยปกติถ้าเป็นฟิล์มไนล่อน (polyamide) จะไม่สามารถซึมผ่านได้เลย ส่วนคุณสมบัติทางกายภาพ (physical properties) นั้น สารจำพวกพอลิเอทธิลีนจะมีความแข็ง (stiffness) มากขึ้นเมื่อเพิ่มความหนาแน่นมากขึ้น แต่ที่อุณหภูมิสูงจะมีความแข็งลดลงอย่างรวดเร็ว เนื่องจากพอลิเอทธิลีนจะมีความเหนียวมาก (ductile) ดังนั้นจึงไม่เป็นที่นิยมใช้ในงานที่มีการใช้งานอย่างต่อเนื่องยาวนานเพราะจะเกิด creep และ stress relaxation ขึ้นอย่างช้าๆ ซึ่งจะทำให้เกิดการเปลี่ยนรูปร่างไป (deformation) แต่โดยปกติแล้ว LDPE

จะมีความเหนียว (toughness) และมีค่า impact strength ที่ดีในช่วงอุณหภูมิกว้าง ส่วนคุณสมบัติในด้านพฤติกรรมการไหล (rheological properties) นั้น พอลิเอทธิลีนจะมีคุณสมบัติ shear-thinning คือ เมื่อหลอมเหลวแล้วนั้นจะจัดเป็น pseudo plastic ซึ่งให้ shear stress แล้วจะทำให้มีความหนืดลดลง นอกจากนี้พอลิเอทธิลีนเมื่อหลอมเหลวแล้วจะมีความยืดหยุ่น (elasticity) สูงในช่วงอุณหภูมิกว้าง ทำให้เกิด die swell และเกิด elastic recovery เมื่อหยุดให้แรง

ดังที่ได้กล่าวมาแล้วนั้น จะเห็นว่าคุณสมบัติของไนล่อนจะค่อนข้างเหมาะต่อการใช้งานที่เฉพาะ ในลักษณะพิเศษ แต่ราคาค่อนข้างแพง ซึ่งจะทำให้ต้นทุนการผลิตเพิ่มขึ้น ๓-๔ เท่า ในขณะที่พอลิเอทธิลีนจะมีคุณสมบัติที่ด้อยกว่าในบางอย่าง แต่ราคาจะค่อนข้างถูกกว่าไนล่อนมากกว่า ๓-๔ เท่า ดังนั้นในการใช้งานในงานที่ต้องการคุณสมบัติที่ดีบางอย่างทั้งของไนล่อน และ LDPE โดยที่สามารถลดต้นทุนการผลิตได้ ๓-๔ เท่านั้นจึงเป็นทางเลือกที่ดีทางหนึ่งซึ่งสามารถนำมาปรับปรุงใช้ได้ในทางอุตสาหกรรม แต่ในการทดลองที่ผ่านมาในอดีตนั้น การนำไนล่อน และ LDPE มาผสม (blend) กันนั้น ไม่สามารถ blend กันได้ (incompatible blend) (P.M. Subramanian, 1985) เนื่องจาก LDPE และไนล่อนนั้นมีคุณสมบัติที่ต่างกันในด้านขั้วของโมเลกุล โดย LDPE จะเป็นโมเลกุลที่ประกอบด้วยหมู่ ethylene ซึ่งเป็นหมู่ที่ไม่มีขั้ว ในขณะที่ไนล่อน ประกอบด้วยหมู่ amide ซึ่งเป็นหมู่ฟังก์ชั่นที่มีขั้วบางส่วน (partially polar) ดังนั้นการเติมสารบางอย่างเพียงเล็กน้อย ซึ่งสามารถช่วยในการ blend จึงถือเป็นวิธีการที่ดีในการปรับปรุงวิธีการในการผสมซึ่งเป็นทางเลือกที่หลายคนคำนึงถึง โดยสารที่เติมลงไปนั้นมีหลากหลายชนิด และไอโอโนเมอร์ (ionomer) บางชนิด เช่น เซอร์ลีน (Surlyn®) ก็เป็นสารพอลิเมอร์ที่น่าสนใจมากในการเลือกมาทำหน้าที่ที่สำคัญนี้

ไอโอโนเมอร์ (ionomer) โดยเฉพาะอย่างยิ่ง เซอร์ลีน (Surlyn®) เป็นสารพอลิเมอร์ที่เกิดจากการ copolymerization ระหว่าง LDPE ซึ่งเป็นองค์ประกอบที่ไม่มีขั้ว และ methacrylic acid ซึ่งเป็นส่วนที่มีขั้ว โครงสร้างโดยทั่วไปนั้นจะประกอบไปด้วยหมู่ที่เป็นเกลือ ของ ionomer กับ ion ที่มาช่วยให้ประจุบริเวณนั้นสมดุลย์ห้อยออกมาจากสายโซ่พอลิเมอร์ที่มีขั้วค่อนข้างต่ำ โดยจะสังเกตเห็นเป็นภาพโดยรวมเป็นกลุ่มประจุ (ion) มาเกาะรวมกัน (cluster formation) อยู่ใน polymer matrix ที่ไม่มีขั้ว โดยบริษัท Du Pont (USA) ได้ผลิตไอโอโนเมอร์ชนิดนี้ขึ้นในปี ค.ศ. 1964 โดยใช้ชื่อทางการค้าว่า Surlyn A® ซึ่งประกอบด้วย ethylene 15 % และ methacrylic acid 33 % โดยไอโอโนเมอร์ชนิดนี้สามารถเกิด ionic interaction ได้ ซึ่งคุณสมบัติของพอลิเมอร์ที่ได้จะขึ้นกับสายโซ่พอลิเมอร์ที่มีหมู่ ionic เป็นองค์ประกอบ (0-10 %) ชนิดของ ionic moiety (carboxylater, sulfonate หรือ phosphonate) degree of neutralization (0-100 %) และชนิดของ cation (amide, metal, monovalent, multivalent) ซึ่งการเกิดพันธะ ionic นั้น ทำให้วัสดุที่ได้มีความเหนียว (tough) มาก และ acid group ยังทำให้เกิด adhesion กับสารหลากหลายชนิด และเพิ่มความทนทานต่อการขีดข่วน ในกรณีที่มีหมู่ carboxyl เป็นจำนวนมาก จะช่วยต้านทานการเกิด stress crack (stress crack resistance) และ adhesion กับ aluminium foil และโลหะต่างๆ ได้ ไอโอโนเมอร์มีความใส และมีคุณสมบัติเป็นฉนวนไฟฟ้า นอกจากนี้ ไอโอโนเมอร์ชนิดนี้ยังผ่านการรับรองจากองค์การอาหารและยาของประเทศสหรัฐอเมริกา (FDA) แล้วว่าสามารถสัมผัสกับอาหารได้อีกด้วย



Ethylene *Methacrylic acid* *Sodium salt of methacrylic acid*

รูปที่ 1.2 โครงสร้างของโคโมโนเมอร์ (comonomer) ในไอโอโนเมอร์ (ionomer) (Surlyn A®)

ในการทำวิจัยนี้มุ่งศึกษาผล และปริมาณของไอโอโนเมอร์ที่เติมลงไปเป็นตัวช่วยในการผสมไนล่อนกับ LDPE โดยจะทำการศึกษาตั้งแต่วิธีการ blend ไนล่อน และ LDPE ทั้งที่เติม ionomer compatibilizer และไม่เติม โดยจะทำการศึกษาทั้งสภาวะในการ blend สัดส่วนขององค์ประกอบที่ใช้โดยมวล คุณสมบัติทางกายภาพ คุณสมบัติทางเคมีคุณสมบัติในด้านพฤติกรรมการไหลและรูปลักษณ์สัณฐานของผลิตภัณฑ์ที่ได้เป็นต้น

การศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการผสมกันระหว่างไนล่อน และ พอลิเอทธิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำนั้นจัดเป็นหัวข้อการวิจัยที่น่าสนใจ และมีการศึกษาอย่างแพร่หลายในหมู่นักวิจัยเป็นอย่างมากมาตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบันหัวข้อหนึ่ง โดย P.M. Subramanian (1985) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับผลของการเข้าผสมของไนล่อน ลงไปในวัตถุดิบจำพวกสารพอลิโอเลฟิน โดยปกติแล้วตัวทำละลายและไอ

ของสารที่มีหมู่แทนที่เป็นคลอรีนสามารถซึมผ่านแผ่นฟิล์มที่ผลิตจากสารจำพวกพอลีโอเลฟินได้ ดังนั้นการนำองค์ประกอบของไนล่อนเข้าไปผสมกับองค์ประกอบของพอลิโอเลฟินเดิมจึงอาจเป็นการเพิ่มคุณสมบัติในการเป็นตัวเลือกผ่านของพอลิโอเลฟินให้ดียิ่งขึ้น กระบวนการผลิตอาจทำได้ในขั้นตอนเดียว ซึ่งโดยปกติแล้วไนล่อนไม่สามารถผสมรวมกับพอลิโอเลฟินได้ การเติมสารจำพวก compatibilizer สารจำพวก surfactant และสารจำพวก interfacial agent นั้นจะช่วยปรับปรุงสารผลิตภัณฑ์ที่ได้ให้สามารถผสมรวมกันได้ดียิ่งขึ้นได้ โดยปกติแล้วการใช้ไนล่อนในปริมาณร้อยละ 5-10 จะให้ผลในด้านคุณสมบัติการเลือกผ่านที่เหมาะสม การศึกษาเกี่ยวกับอสัณฐานของระบบนั้น จะเป็นการศึกษาความสัมพันธ์ในด้านขนาด และรูปร่างของอนุภาค ซึ่งพบว่าเมื่อกระบวนการผลิตโดยใช้การ extrude ภายใต้สภาวะที่ควบคุมไว้นั้นไนล่อนหลอมเหลวจะแตกเป็นหยดเล็กๆ ซึ่งจะทำให้เกิดคุณสมบัติการซึมผ่านของตัวทำละลาย และไอที่ต่างออกไป

J.M. Willis และ *B.D. Favis* (1988) ได้ค้นพบเกี่ยวกับอสัณฐานของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการผสมระหว่างพอลิโอเลฟิน และพอลิเอไมด์ โดยใช้ สาร compatibilizer คือ polyethylene-methacrylic acid-isobutyl acrylate terpolymer องค์ประกอบที่มีปริมาณร้อยละ 10 โดยน้ำหนักจะเป็นองค์ประกอบที่กระจายตัว ดังนั้นการที่จะสามารถเพิ่มการกระจายตัวขององค์ประกอบนี้โดยการลดขนาดขององค์ประกอบนี้ทำได้โดยการเติมไอโอโนเมอร์ดังกล่าวเพียงร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีที่ใช้ไนล่อนเป็นองค์ประกอบที่มีการกระจายตัว เนื่องจากการเกิดปฏิกริยากันระหว่างพอลิเอไมด์ และ ไอโอโนเมอร์ แต่ถ้าไอโอโนเมอร์มีความเข้มข้นสูงมากจะทำให้ไนล่อนที่เป็นองค์ประกอบเกิดการ flocculate ขึ้น

Soonho Lim and James L. White (1994) ได้ศึกษาอิทธิพลของตัว compatibilizer คือ poly(styrene)-poly(ethylene-co-butylene) block copolymer ที่มีการเติมหมู่ฟังก์ชั่น maleic anhydride เป็นการช่วยปรับปรุงทางด้านอสัณฐานของพอลิเมอร์ที่เกิดจากการผสมกันระหว่างพอลิเอทธิลีน และ พอลิเอไมด์ ๖ ในอัตราส่วน ๗๕/๒๕ โดยใช้ modular co rotating twin screw extruder ผลจากการศึกษาพบว่า ๑. การเติมตัว compatibilizer จะช่วยให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีอสัณฐานที่ดี ๒. การเติมตัว compatibilizer จะช่วยลดขนาดของอสัณฐานขององค์ประกอบอย่างรวดเร็ว ๓. การเพิ่มปริมาณของ compatibilizer ที่เติมลงไปนั้นจะช่วยเพิ่มอัตราการลดลงของขนาดขององค์ประกอบ และลด scale of the ultimate morphology

Yi Feng, *et al.* (1996) ใช้ electron paramagnetic resonance (EPR), fourier transform infrared (FTIR), and solid state (^{15}N-NMR) spectroscopy ในการศึกษาโครงสร้าง และความแรงของปฏิกริยาระหว่างสารประกอบซัลโฟเนตของโลหะ และหมู่เอไมด์ในพอลิเมอร์ผสมระหว่าง ไอโอโนเมอร์ซัลโฟเนตพอลิสไตน์รีน และพอลิเอไมด์ที่มีการแทนที่อะตอมไฮโดรเจนที่ติดกับอะตอมไนโตรเจนด้วยหมู่เมทธิล เพื่อป้องกันการเกิดพันธะไฮโดรเจนซึ่งอาจรบกวนผลการทดลองได้ หมู่สารประกอบซัลโฟเนตของโลหะซึ่งมีการเกาะกลุ่มกัน จะถูกดึงให้กระจายตัวออกไปโดยหมู่เอไมด์ โดยการเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนกันระหว่าง แคตไอออนของซัลโฟเนต และออกซิเจน และไนโตรเจนอะตอมในหมู่คาร์บอกซิล และหมู่เอไมด์ ตามลำดับ ความแรงของการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนนั้นจะลดลงเมื่อลดความสามารถในการดึงอิเลกตรอนของแคตไอออนในกรณีของไอออนของโลหะได้แก่ Zn^{2+} Cu^{2+} Mn^{2+} Cd^{2+} Li^{+}, ซึ่งจะเป็นไปตามทฤษฎี electrostatic field การ

coordinate กันของไอออนกับหมู่เอไมด์นั้นจะเกิดผ่านอะตอมของออกซิเจน และไนโตรเจน ในหมู่คาร์บอนิล และเอไมด์ตามลำดับ โดยที่ Zn^{2+} จะเกิดการ coordinate กับหมู่เอไมด์จำนวน ๒ หมู่ โดยจำนวนของอะตอมออกซิเจน และไนโตรเจนที่เข้า coordinate จะเท่ากัน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2. วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาสภาวะ และอัตราส่วนโดยมวลที่เหมาะสมในการ blend ไนล่อน และ LDPE ทั้งในแบบที่เติม ionomer compatibilizer และไม่เติม

2. เพื่อศึกษาเปรียบเทียบคุณสมบัติทางกายภาพ ทางเคมี พฤติกรรมการไหล และรูปร่างลักษณะต่างๆ ระหว่างผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากการ blend ระหว่างไนล่อน และ LDPE โดยทั้งกรณีที่เติม ionomer compatibilizer และไม่เติม โดยในการ blend นั้นจะทำโดยใช้เครื่อง Twin Screw Extruder (T-20) แล้วจะนำ stock sample ไปทำการ mold โดยใช้เครื่อง Wabash V50H Compression Press machine หรือนำไป extrude ให้อยู่ในรูป film เพื่อนำไปทดสอบคุณสมบัติเช่นเดียวกับการ mold แต่จะมีการศึกษาเพิ่มเติมในเรื่องเกี่ยวกับความสามารถในการซึมผ่านเข้าออกของก๊าซต่างๆ

3. เพื่อศึกษาปัจจัยต่างๆที่มีผลทำให้คุณสมบัติของสารที่ได้เปลี่ยนไป

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3. ระเบียบวิธีวิจัย

- ศึกษา และค้นคว้าข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย
- กำหนดแผนการทดลอง เกรดของพอลิเมอร์ที่ใช้ในการทดลอง และจัดเตรียมอุปกรณ์/เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง
- จัดหาพอลิเมอร์ ได้แก่ ไนล่อน ๖ พอลิเอทธิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ รวมไปถึงการจัดหา Surlyn® ionomer ให้ได้เกรดที่เหมาะสมในการใช้งานในแต่ละประเภท
- วิเคราะห์ และทำการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ ทางเคมี พฤติกรรมการไหล ของพอลิเมอร์ทั้งสามชนิดที่ใช้ ได้แก่ การหาน้ำหนักโมเลกุล การวัดความหนืด การหาค่า tensile strength เป็นต้น
- ทำการ blend พอลิเมอร์ทั้งสองชนิด คือ ไนล่อน ๖ และ LDPE ทั้งที่เติม ionomer compatibilizer และที่ไม่เติม โดยใช้ twin screw extruder (T-20)
- นำ stock sample ที่ได้จากการ blend มาทำการเตรียมเป็นชิ้นตัวอย่างโดยวิธี compression molding โดยใช้ Wabash V50H compression press machine และทำ film casting โดยใช้ chillroll cast extruder
- ทำการวิเคราะห์ และทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ ทางเคมี พฤติกรรมการไหล ของผลิตภัณฑ์พอลิเมอร์ที่ได้จากการ blend

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4. ขอบเขตของการวิจัย

งานวิจัยนี้ประกอบไปด้วยสามส่วนได้แก่ ส่วนแรกเป็นการจัดเตรียมการต่างๆ วิเคราะห์และทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ คุณสมบัติทางเคมี และพฤติกรรมการไหลของพอลิเมอร์คือ ไนล่อน ๖ และ LDPE และ Surlyn® ionomer เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบคุณสมบัติต่างๆ กับผลิตภัณฑ์ที่ได้หลังจากการ blend

จากนั้นจะเป็นการเริ่มเข้าสู่งานวิจัยส่วนที่สองเป็นการ blend พอลิเมอร์ได้แก่ ไนล่อน ๖ และ LDPE โดยทั้งที่เติม ionomer compatibilizer และไม่เติม โดยใช้ twin screw extruder (T-20) และการเตรียมตัวอย่างเพื่อนำมาใช้ในการวิเคราะห์โดย compression molding โดยใช้ Wabash V50H Compression Press machine

งานวิจัยส่วนสุดท้ายนั้น จะเป็นการวิเคราะห์ และทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ คุณสมบัติทางเคมี และพฤติกรรมการไหลของผลิตภัณฑ์พอลิเมอร์ที่ได้จากการ blend ซึ่งข้อมูลที่ได้นอกจากจะนำไปสู่แนวทางการพัฒนารูปแบบการใช้งาน และลดต้นทุนการผลิตของวัสดุประเภทบรรจุภัณฑ์แล้วนั้น ข้อมูลที่ได้ยังสามารถนำมาปรับปรุงใช้ได้ในการผลิตในอุตสาหกรรมด้านอื่นๆ อีกด้วย เช่น อุตสาหกรรมการผลิตชิ้นส่วนรถยนต์ ฯลฯ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5. การดำเนินงานวิจัย (Experimental)

5.1 วัสดุที่ใช้ในงานวิจัย (Materials)

วัสดุที่ใช้ในงานวิจัยนี้ นำมาใช้โดยมิได้ผ่านกระบวนการดัดแปรใดๆ

5.1.1 ไอโอโนเมอร์ (Ionomer)

เซอร์ลิน ไอโอโนเมอร์ (Surlyn® ionomer) ที่ใช้เป็น compatibilizer ในการศึกษานี้คือ zinc grade 9020 ผลิตโดยบริษัท Du Pont (USA) คุณสมบัติของ เซอร์ลิน 9020 ไอโอโนเมอร์ (Surlyn® 9020, ionomer) ได้แสดงไว้ในตารางที่ 5.1

ตาราง 5.1 Mechanical and thermal properties of Surlyn® (9020) ionomer*

Analysis Item	Units	Test result	Test method
Melt Index	(g/10 min)	1.0	-
Vicat Softening	(°C)	57	-
Melting Point	(°C)	81	-
Tensile Strength	(Mpa)	26.2	-
Elongation at	(%)	510	-
Flexural Modulus	(Mpa)	100	-
Hardness	(Shore D)	55	-

* Data supplied by Du Pont (USA)

5.1.2 พอลิเอทธิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (Low-density Polyethylene)

พอลิเอทธิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (Low density polyethylene (LDPE)) ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นชนิดที่ใช้สำหรับการขึ้นรูปแบบฉีด (injection molding grade) LD1450J ผลิตโดยบริษัท ไทยโพลิเอททีลีน จำกัด จาก บริษัท MC Industrial Chemical Ltd คุณสมบัติต่างๆของ LDPE, LD 1450J, ได้แสดงไว้ในตารางที่ 5.2

ตาราง 5.2 Physical and rheological properties of LDPE (LD 1450J)**

Analysis Item	Units	Test result	Test method
Melt Index (G)	(g/10 min)	48	ASTM D 1238
Density (G)	(g/cm^3)	0.916	ASTM D 1505

** Data supplied by Thai Polyethylene Co., Ltd

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.1.3 พอลิคารพรอเลคแตม (ไนล่อน6) Polycarprolactam (Nylon 6)

พอลิคารพรอเลคแตม หรือ ไนล่อน6 ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ เป็นชนิดที่ใช้สำหรับการขึ้นรูปแบบฉีด 1013B (injection molding grade 1013B) ผลิตโดยบริษัท Ube Nylon (Thailand) คุณสมบัติต่างๆของ Nylon6 1013B ได้แสดงไว้ในตารางที่ 5.3

ตาราง 5.3 Chemical and rheological properties of Nylon 6 (1013B)***

Analysis Item	Units	Test result	Test method
Color	(YI)	-7.8	-
Moisture Content	(wt%)	0.03	-
Relative Viscosity	-	2.43	-
Extractable	(wt%)	0.15	-
Amino Group	($\times 10^{-5}$ eq/g)	4.5	-
Carboxyl Group	($\times 10^{-5}$ eq/g)	5.8	-

*** Data supplied by Ube Nylon

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.2 การดำเนินงานวิจัย (Experimental Procedures)

5.2.1 ขั้นตอนการเตรียมพอลิเมอร์ผสม (Blends Preparation)

พอลิเมอร์ผสมทั้งที่เติมและไม่เติมสาร compatibilizer มีขั้นตอนการเตรียมที่เหมือนกัน เพื่อให้สามารถเปรียบเทียบผลกระทบของส่วนผสมของพอลิเมอร์ผสม และผลกระทบของการเติมเซอร์ลิน ไอโอโนเมอร์ ที่ใช้เป็น compatibilizer ต่อคุณสมบัติเชิงกล คุณสมบัติทางกายภาพ และสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ที่ได้

5.2.1.1 การเตรียมพอลิเมอร์ผสมของไนล่อน6/LDPE แบบไม่เติมสาร Compatibilizer

ก่อนที่จะนำไนล่อน6 และ LDPE มาใช้ในการเตรียมพอลิเมอร์ผสม ให้นำไนล่อน 6 และ LDPE ไปทำกำจัดความชื้น โดยนำไปไว้ในเตาอบที่มีอุณหภูมิ 60 °C เป็นเวลา 5 ชั่วโมง การเตรียมพอลิเมอร์ผสมจะทำโดยใช้เครื่อง twin screw extruder (T-20) ไนล่อน6 และ LDPE (โดยมีส่วนผสมดังนี้ nylon 6/LDPE: 0.0:1.0, 0.2:0.8, 0.4:0.6, 0.6:0.4, 0.8:0.2, 1.0:0.0) จะถูกนำมาผสมรวมกันโดยเครื่อง tumble mixer ก่อนที่จะนำไปผ่านเครื่อง twin screw extruder เพื่อผลิตเป็นพอลิเมอร์ผสม พอลิเมอร์ผสมที่หลอมเหลวถูกอัดรีดผ่านหัวรีดแบบรูเดี่ยว และถูกทำให้แข็งและเย็นตัวโดยน้ำเย็น (อุณหภูมิของน้ำเท่ากับ 35 °C) และตัดเป็นเม็ด pellet เม็ดพอลิเมอร์ผสมที่ได้ จะถูกทำให้แห้งโดยการนำไปอบและเก็บไว้ในถุงพลาสติกที่ปิดสนิทก่อนที่จะถูกนำไป compression molding ทั้งนี้เพื่อเป็นการลดการดูดซับความชื้นของเม็ดพอลิเมอร์ที่ได้ Processing conditions สำหรับการเตรียมพอลิเมอร์ผสม ได้แสดงไว้ใน ตาราง 5.4

5.2.1.2 การเตรียมพอลิเมอร์ผสมของ Nylon 6/LDPE แบบเติม เซอร์ลิน ไอโอโนเมอร์สำหรับเป็นสาร compatibilizer

การเตรียมพอลิเมอร์ผสมของ Nylon 6/LDPE แบบเติม เซอร์ลิน ไอโอโนเมอร์สำหรับเป็นสาร compatibilizer ใช้ส่วนผสมของ ไนล่อน6/LDPE เดียวกันกับส่วนผสมที่ใช้สำหรับเตรียม *พอลิเมอร์ผสมของไนล่อน6/LDPE แบบไม่เติมสาร Compatibilizer* (โดยมีส่วนผสมดังนี้ nylon 6/LDPE: 0.0:1.0, 0.2:0.8, 0.4:0.6, 0.6:0.4, 0.8:0.2, 1.0:0.0) โดยพอลิเมอร์ผสมที่ถูกผลิตขึ้นจะมีส่วนผสมของ *เซอร์ลิน ไอโอโนเมอร์สำหรับเป็นสาร compatibilizer* ดังนี้ 0.1 %, 0.5 %, 1.0 %, 2.5 %, 3.5 %, 5.0 %, 10.0 %, 15.0 %, 25.0 % and 35.0 % ขั้นตอนและกระบวนการเตรียมใช้ขั้นตอนและกระบวนการเตรียมเดียวกับการเตรียม*พอลิเมอร์ผสมของไนล่อน6/LDPEแบบไม่เติมสาร Compatibilizer* Processing conditions สำหรับการเตรียมพอลิเมอร์ผสม ได้แสดงไว้ใน ตาราง 5.4

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง 5.4 Processing conditions of twin screw extruder (T-20) for blending with/without compatibilizer

Extrusion Parameter	Units	Operation Value
Extruder Temperature	(^{o}C)	-
Kannel I	(^{o}C)	75
Kannel II	(^{o}C)	200
Kannel III	(^{o}C)	215
Kannel IV	(^{o}C)	220
Kannel V	(^{o}C)	220
Kannel VI	(^{o}C)	230
Screw Speed	(rpm)	-
Kannel IX	(rpm)	35

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.2.2 การขึ้นรูปแบบ Compression Molding

ตัวอย่างที่ใช้สำหรับการวัดค่าสมบัติเชิงกลและสมบัติทางกายภาพ เตรียมจากแผ่นที่ได้จากการขึ้นรูปโดยวิธี compression molding โดยเครื่อง Wabash V 50 H compression press machine นำเม็ดพอลิเมอร์ที่เตรียมขึ้นใส่ใน picture frame mold (แม่พิมพ์แบบกรอบรูป) จากนั้นให้นำแม่พิมพ์ (mold) ไปทำให้ร้อนที่อุณหภูมิ 240 °C เป็นเวลา 3 นาที แม่พิมพ์และเม็ดพอลิเมอร์จะถูกกดทับ (compress) ภายใต้แรงดัน 10 ตัน เป็นเวลา 3 นาที แผ่นพอลิเมอร์ที่ได้จากการขึ้นรูปแบบกดทับ (compression molded sheet) ถูกทำให้เย็นลงจนถึงอุณหภูมิ 40 °C โดยอัตราอุณหภูมิลดลงที่ 20 °C/นาที ตัวอย่างที่ใช้สำหรับการทดสอบแต่ละชนิดได้มาจากตัวอย่างที่ตัดจากแผ่นที่ขึ้นรูปโดยวิธีกดทับ

5.2.3 FT-IR Analysis

FT-IR spectra ของตัวอย่างที่นำมาทดสอบได้มาจากแผ่นฟิลม์บาง โดยเตรียมจากเครื่องWabash V 50 H compression press machine โดยใช้อุณหภูมิที่กดทับ(compression temperature)เดียวกันกับที่ใช้ในการขึ้นรูปตัวอย่างสำหรับใช้ทดสอบสมบัติเชิงกลและสมบัติกายภาพ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.2.4 การทดสอบ (Testing)

การทดสอบหลายชนิดถูกใช้เพื่อศึกษาคุณสมบัติต่างๆของพอลิเมอร์ผสมที่ถูกเตรียมขึ้น การทดสอบสามชนิดถูกกล่าวถึงข้างล่าง

5.2.4.1 Thermal Analysis

5.2.4.1.1 Thermal Gravimetric Analysis (TGA)

Thermal Gravimetric Analysis (TGA) ใช้ในการศึกษาเพื่อศึกษา degradation temperature ของ ไนล่อน6 LDPE และ เซอร์ลิน ไอโอนอเมอร์ (Surlyn® ionomer) เพื่อใช้ในการกำหนดอุณหภูมิผสมที่เหมาะสม สำหรับการเตรียมพอลิเมอร์ผสมโดย twin screw extruder (T-20)

5.2.4.1.2 Differential Scanning Calorimeter (DSC)

การศึกษาอุณหภูมิหลอมเหลว (Melting point) และ fractional crystallinity โดยเครื่อง Netzsch DSC 200 ของ ไนล่อน6 LDPE และ เซอร์ลิน ไอโอโนเมอร์ เพื่อนำข้อมูลที่ได้มาช่วยในการกำหนด blending conditions ที่เหมาะสมที่สุดก่อนที่นำเม็ดพอลิเมอร์ มาผสมจริงโดยเครื่อง twin screw extruder (T-20).

5.2.4.2 Spectrophotometer Analysis

FT-IR spectra ของพอลิเมอร์ผสมได้จากตัวอย่างที่มีลักษณะเป็นแผ่นฟิลม์บาง โดยแผ่นฟิลม์เหล่านี้เตรียมจากเครื่องรูปแบบอัดรีด Fourier Transform Infrared Spectrophotometer (FT-IR) ถูกนำมาใช้เพื่อศึกษา specific interpolymer interaction ระหว่างเซอร์ลิน ไอโอโนเมอร์ (Surlyn® ionomer) และพอลิเมอร์

5.2.4.3 การทดสอบคุณสมบัติเชิงกล และคุณสมบัติกายภาพ

การศึกษาสมบัติการทนต่อแรงดึง (Tensile properties) สมบัติการทนแรงกระแทก (Impact properties) ค่าความแข็งของพอลิเมอร์ผสม ศึกษาจากตัวอย่างที่ขึ้นรูปด้วยการกดทับ และใช้เงื่อนไขการทดสอบที่กำหนดโดยมาตราฐาน ASTM

5.2.4.3.1 การทดสอบสมบัติทนต่อแรงดึง (Tensile Properties Testing)

การทดสอบเพื่อวัดสมบัติการทนต่อแรงดึง และค่า tensile modulus ของพอลิเมอร์ผสม ทำโดยใช้เครื่อง Instron Universal Testing machine โดยใช้ขั้นตอนและเงื่อนไขการทดสอบที่กำหนดโดยมาตราฐาน ASTM D 638-91 โดยผลที่นำเสนอได้จากค่าเฉลี่ยจากผลการทดสอบจำนวนสิบตัวอย่าง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.2.4.3.2 การทดสอบสมบัติการทนแรงกระแทก (Impact Property Testing)

การทดสอบและวัดค่าการทนแรงกระแทก Izod ทำโดยใช้เครื่อง Zwick Impact Test instrument โดยใช้ขั้นตอนและเงื่อนไขการทดสอบที่กำหนดโดยมาตราฐาน ASTM D 256-92 โดยผลที่นำเสนอได้จากค่าเฉลี่ยจากผลการทดสอบจำนวนสิบตัวอย่าง

5.2.4.3.3 ค่าความแข็ง (*Hardness Testing)*

การวัดค่าความแข็งของพอลิเมอร์ผสม ทำโดยใช้เครื่อง durometer hardness โดยใช้ขั้นตอนและเงื่อนไขการทดสอบที่กำหนดโดยมาตราฐาน ชนิด D, ASTM D 22 40-91 โดยผลที่นำเสนอได้จากค่าเฉลี่ยจากผลการทดสอบจำนวนสิบตัวอย่าง

5.2.4.4 การศึกษาโครงสร้างระดับไมโคร (Microstructure Characterization)

ผิวของตัวอย่างพอลิเมอร์ผสมที่เกิดการการหัก (Fracture surface) ถูกนำมากัดเซาะ (etched) เพื่อที่กำจัด dispersed phase โดยใช้สาร decalin หรือ formic acid จากนั้นนำตัวอย่างมาเคลือบด้วยทอง และศึกษาโครงสร้างระดับไมโครโดยเครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM), JEOL 5200-2AE (MP152001) โดยใช้กำลังขยายที่ x2000 เท่า และ x3500 เท่า

6. ผลการวิจัยและข้อวิจารณ์ (Results and Discussion)

6.1 การเตรียมพอลิเมอร์ผสม (Blends preparation)

ผลการวิจัยเบื้องต้นของสารตั้นต้นที่ใช้ในการทำพอลิเมอร์ผสมโดยใช้เทคนิค Differential scanning calorimetry (DSC) และ Thermal gravimetric analysis (TGA) โดยในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษา อุณหภูมิที่เกิดการหลอมเหลว (Melting temperature; T_m) อุณหภูมิที่เกิดผลึก (Crystallization temperature; T_c) และอุณหภูมิการสลายตัว (degradation temperature; T_d) ของสารตั้งต้นที่ใช้ในการทำพอลิเมอร์ผสมได้แก่ พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE) ไนล่อน6 (Nylon6) และ เซอร์ลีน ไอโอโนเมอร์ 9020 ดังแสดงในตาราง 6.1

ตาราง 6.1 Melting temperature, Crystallization temperature and degradation temperature of raw materials before blending

Materials	T_m (°C)	T_c (°C)	T_d (°C)
Nylon6	222.20	183.20	451.00
LDPE	107.60	9.40	469.23
Surlyn® ionomer	87.30	-	462.00

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากผลการวิจัยที่ได้นั้นสามารถนำอุณหภูมิที่ได้จากการวิเคราะห์สารตั้งต้นนี้ไปใช้สำหรับการกำหนดอุณหภูมิที่ใช้ในการทำพอลิเมอร์ผสม และการขึ้นรูปชิ้นงาน โดยพบว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับใช้ในการทำพอลิเมอร์ผสม และการขึ้นรูปชิ้นงานคือ 240 องศาเซลเซียส เนื่องจากที่อุณหภูมิดังกล่าวสามารถทำให้พอลิเมอร์เกิดการหลอมเหลว และเข้ากันได้ดี แต่ไม่สูงมากเกินไปจนทำให้เกิดการทำลายของสายโซ่พอลิเมอร์ หรือทำให้พอลิเมอร์เกิดการสลายตัวได้

6.2 สมบัติเชิงกล (Mechanical properties)

สมบัติเชิงกลที่ศึกษาในงานวิจัยนี้ได้แก่ สมบัติการทนต่อแรงดึง (Tensile properties) และสมบัติการทนแรงกระแทก (Impact properties) โดยในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาผลของอัตราส่วนผสม (Blends composition) และผลของตัวเชื่อมประสาน (Compatibilizer) ของพอลิเมอร์ผสมระหว่างไนล่อน6 และพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ ซึ่งปัจจัยทั้งสองจะส่งผลต่อคุณสมบัติต่างๆของพอลิเมอร์หลังการผสม

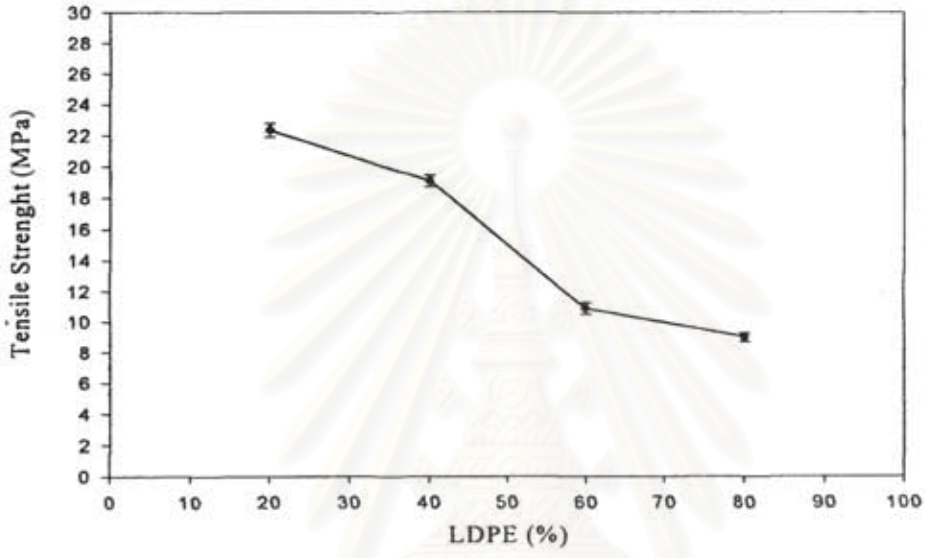
6.2.1 สมบัติการทนต่อแรงดึง (Tensile properties)

6.2.1.1 พอลิเมอร์ผสมระหว่างไนล่อน6 และพอลิเอทีลีนชนิดความหนาแน่นต่ำแบบไม่มีตัวเชื่อมประสาน

สมบัติการทนต่อแรงดึงที่ศึกษาในงานวิจัยนี้ได้แก่ Tensile strength และ Tensile modulus ของพอลิเมอร์ผสมระหว่างไนล่อน6 และพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำแบบ

ไม่มีตัวเชื่อมประสาน โดยได้ทำการศึกษาคุณสมบัติการทนต่อแรงดึงให้แปรตามอัตราส่วนของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำที่เพิ่มขึ้น

6.2.1.1a) Tensile strength



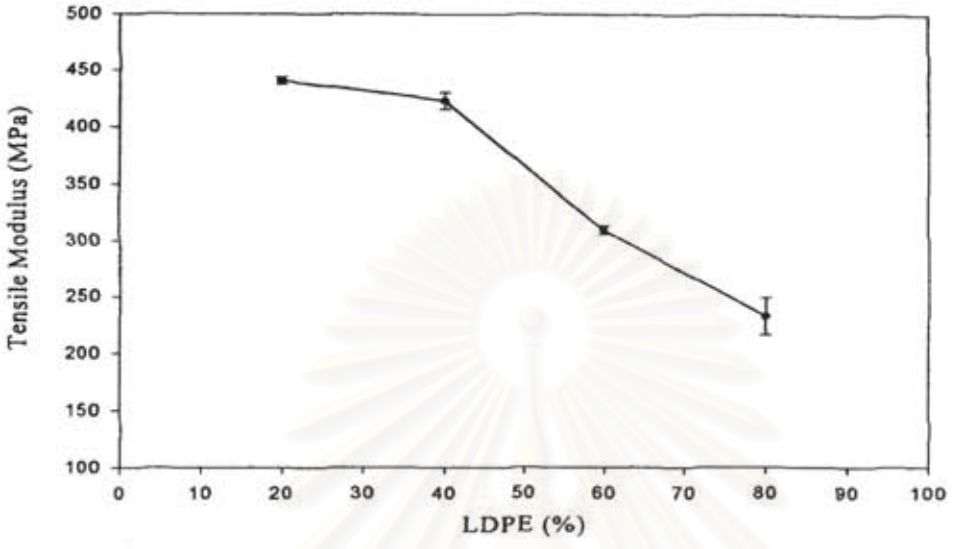
รูปที่ 6.1 Effect of LDPE content on tensile strength of uncompatibilized nylon6/LDPE

รูปที่ 6.1 แสดงผลของ Tensile strength ของพอลิเมอร์ผสมระหว่างไนล่อน 6 และพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำแบบไม่มีตัวเชื่อมประสาน โดยจากรูปที่ 6.1 แสดงให้เห็นว่า เมื่อปริมาณของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ Tensile strength ของพอลิเมอร์ผสมมีค่าลดลง ทั้งนี้สาเหตุเนื่องมาจากเมื่ออัตราส่วนของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำในพอลิเมอร์ผสมเพิ่มขึ้น ทำให้ความเป็นผลึกของพอลิเมอร์ผสมลดลง โดยอธิบายได้จากโครงสร้างของพอ

ลิเมอร์แต่ละชนิด พบว่าโครงสร้างของ ไนล่อน6 มีลักษณะเป็นสายโซ่ตรง ทำให้เกิดการจัดเรียงตัวของโครงสร้างได้แน่นขึ้นส่งผลให้มีความเป็นผลึกสูง และไนล่อน6 ยังประกอบไปด้วยหมู่เอไมด์ซึ่งมีพันธะไฮโดรเจนภายในโมเลกุลจึงทำให้ไนล่อน6 มี Tensile strength สูงกว่าพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำที่มีโครงสร้างที่มีกิ่งก้านซึ่งประกอบไปด้วยหมู่เอทิลีน ที่มีหมู่แทนที่เกาะอยู่ทั้งแบบสายยาว และสายสั้น ทำให้โครงสร้างของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำมีการจัดเรียงตัวกันอย่างหลวมๆ และมีความเป็นผลึกน้อยกว่าเมื่อเทียบกับไนล่อน6 นอกเหนือจากลักษณะโครงสร้างของพอลิเมอร์แล้วการลดลงของ Tensile strength ของพอลิเมอร์ผสมยังมีสาเหตุมาจาก การไม่เข้ากันระหว่างองค์ประกอบหลัก (Matrix phases) และองค์ประกอบย่อย (Dispersed phases) เกิดการสูญเสียการยึดเกาะระหว่างพื้นผิวของพอลิเมอร์ทั้งสองชนิด ทำให้ความสามารถในการส่งผ่านแรงระหว่างพื้นผิวลดลง ส่งผลให้เกิดการลดลงของ Tensile strength ของพอลิเมอร์ผสมแบบไม่มีตัวเชื่อมประสาน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

6.2.1.1b) Tensile modulus



รูปที่ 6.2 Effect of LDPE content on tensile modulus of uncompatibilized Nylon6/LDPE blends

จากรูปที่ 6.2 พบว่า Tensile modulus ของพอลิเมอร์ผสมแบบไม่มีตัวเชื่อมประสานมีค่าลดลง เมื่อปริมาณของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเพิ่มมากขึ้น ทั้งนี้เนื่องมาจากลักษณะความเป็นผลึกของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำที่น้อยกว่าเมื่อเทียบกับไนล่อน6 ทำให้ชิ้นงานของพอลิเมอร์ผสมที่มีพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเป็นองค์ประกอบหลัก เกิดการยืดของชิ้นงานได้มากขึ้น ดังนั้นทำให้เมื่ออัตราส่วนของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำมากขึ้น จึงเกิดการลดลงของค่า Tensile modulus ในพอลิเมอร์ผสม

6.2.1.2 พอลิเมอร์ผสมระหว่างไนล่อน6 และพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำแบบมีตัวเชื่อมประสาน

การศึกษาสมบัติการทนต่อแรงดึงของพอลิเมอร์ผสมแบบที่มีตัวเชื่อมประสาน ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาอิทธิพลของเซอร์ลีน ไอโอโนเมอร์ 9020 ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวเชื่อมประสานในพอลิเมอร์ผสมระหว่างไนล่อน6 และพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ ที่ส่งผลต่อสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสม สมบัติการทนต่อแรงดึงที่ศึกษาได้แก่ Tensile strength และTensile modulus โดยสมบัติทั้งสองนี้จะแปรตามอัตราส่วนของเซอร์ลีน ไอโอโนเมอร์ ที่ทำหน้าที่เป็นตัวเชื่อประสานในพอลิเมอร์ผสม ดังตารางที่ 6.2 แสดงถึงอัตราส่วนต่างๆของพอลิเมอร์ที่ใช้ในการทำพอลิเมอร์ผสม

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

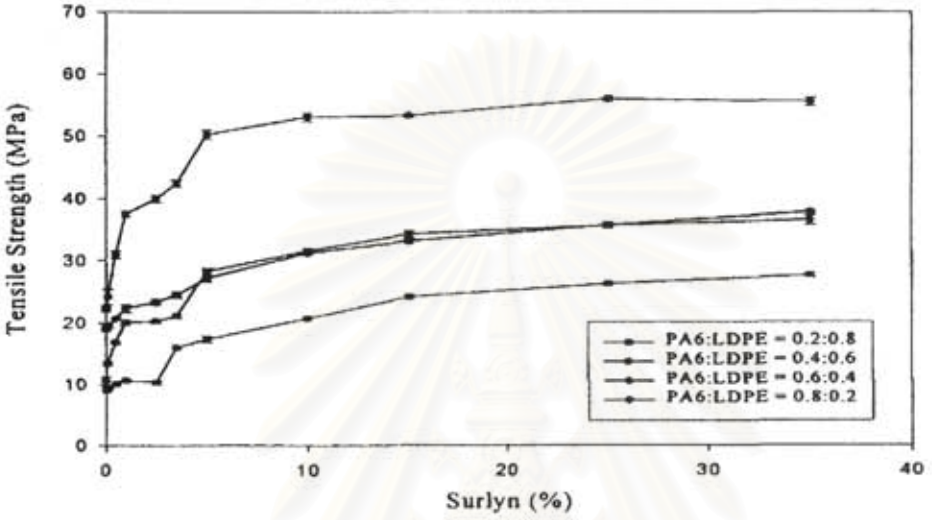
ตาราง 6.2 Blend compositions

Blend systems	Concentration (wt%)		
	Ny6	LDPE	Surlyn®
Ny6/LDPE/Surlyn®	80	20	0.1, 0.5, 1.0, 2.5, 3.5, 5.0, 7.5, 10.0, 15.0, 25.0, 35.0
	60	40	0.1, 0.5, 1.0, 2.5, 3.5, 5.0, 7.5, 10.0, 15.0, 25.0, 35.0
	50	50	0.1, 0.5, 1.0, 2.5, 3.5, 5.0, 7.5, 10.0, 15.0, 25.0, 35.0
	40	60	0.1, 0.5, 1.0, 2.5, 3.5, 5.0, 7.5, 10.0, 15.0, 25.0, 35.0
	20	80	0.1, 0.5, 1.0, 2.5, 3.5, 5.0, 7.5, 10.0, 15.0, 25.0, 35.0

6.2.1.2 a) Tensile strength

จากรูปที่ 6.3 พบว่า เมื่อปริมาณของเซอร์ลีน ไอโอโนเมอร์เพิ่มขึ้น (0-10% Surlyn®) ส่งผลให้ Tensile strength มีค่าเพิ่มขึ้น จนกระทั่งเมื่อปริมาณของเซอร์ลีน ไอโอโนเมอร์สูงเกิน 10 % จะเกิดการเปลี่ยนแปลงของ Tensile strength เพียงเล็กน้อยจนอยู่ในระดับที่คงที่ การเพิ่มขึ้นของ Tensile strength ในพอลิเมอร์ผสมที่มีตัวเชื่อมประสาน เกิดจากอิทธิพลของตัวเชื่อมประสานช่วยในการลดขนาดขององค์ประกอบย่อยที่กระจายตัวอยู่ในองค์ประกอบหลัก เนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างส่วนที่มีประจุของเซอร์ลีน ไอโอโนเมอร์ และส่วนที่มีขั้วของไนล่อน6 ทำให้พอลิเมอร์ผสมเกิดการยึดเกาะเข้ากันได้ดีมากขึ้น และความสามารถในการ

ส่งผ่านแรงระหว่างพื้นผิวเพิ่มขึ้น ค่า Tensile strength ของพอลิเมอร์ผสมแบบมีตัวเชื่อมประสานจึงสูงขึ้น

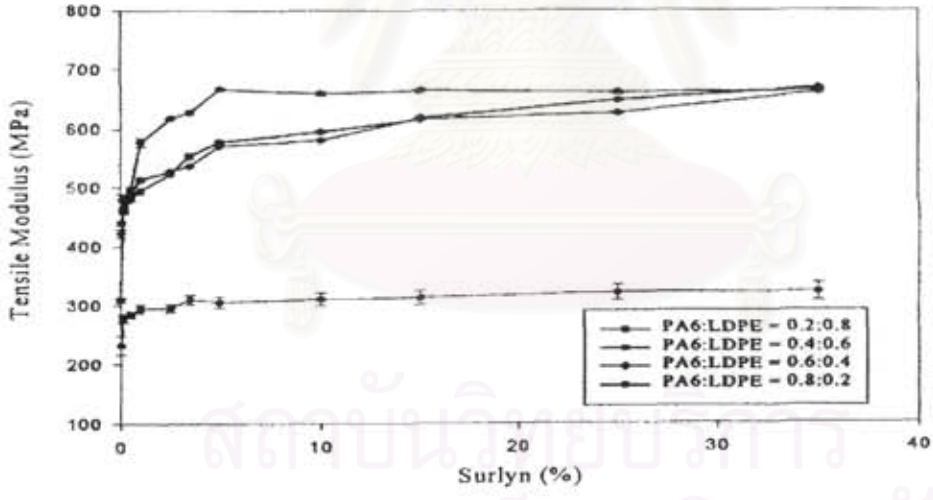


รูปที่ 6.3 Effect of Surlyn® compatibilizer content on tensile strength of compatibilized Nylon6/LDPE blends

6.2.1.2 b) Tensile modulus

จากการศึกษาพบว่า พอลิเมอร์ผสมระหว่าง ไนล่อน6 และพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ เข้ากันได้ดีเมื่อมีเซอร์ลีน ไอโอโนเมอร์เป็นตัวเชื่อมประสาน เนื่องจากเมื่อแรงดึงผิวระหว่างพอลิเมอร์ลดลงเกิดการยึดเกาะระหว่างไนล่อน6 และพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำมากขึ้น พอลิเมอร์สองจึงชนิดเข้ากันได้ดีมากขึ้น ทำให้ค่า Tensile modulus มีค่าเพิ่มขึ้น

ตามไปด้วย ดังแสดงในรูปที่ 6.4 จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเซอร์ลีน ไอโอโนเมอร์ และTensile modulus พบว่าปริมาณของเซอร์ลีน ไอโอโนเมอร์เพียงเล็กน้อย (1-2 %) ก็เพียงพอในการทำให้ค่าTensile modulus ของพอลิเมอร์ผสมเพิ่มขึ้น และเริ่มคงที่ หรือเกิดการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยเมื่อปริมาณเซอร์ลีน ไอโอโนเมอร์เพิ่มขึ้นถึง 5% จากโครงสร้างของไนล่อน6 เองที่มีลักษณะเป็นพอลิเมอร์สายตรง ทำให้เกิดการยึดเกาะกันระหว่างโมเลกุลอย่างแน่นหนา จึงมีความแข็งแรงสูงกว่าพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ และเซอร์ลีน ไอโอโนเมอร์ ดังนั้น พบว่าในอัตราส่วนของพอลิเมอร์ผสมที่มีไนล่อน6 เป็นองค์ประกอบหลัก จะมีค่าของ tensile modulus สูงที่สุดเมื่อเทียบกับอัตราส่วนอื่นๆ



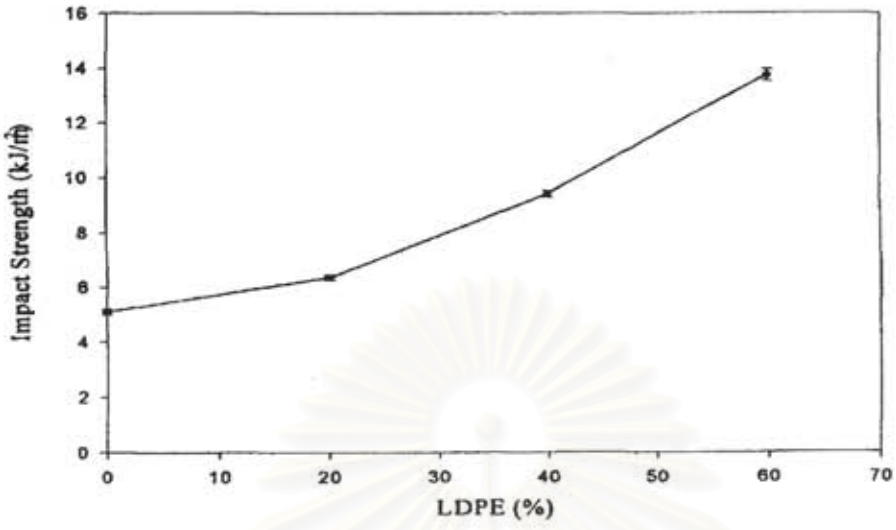
รูปที่ 6.4 Effect of Surlyn® compatibilizer content on tensile modulus of compatibilized Nylon6/LDPE blends

6.2.2 สมบัติการทนแรงกระแทก (Impact properties)

6.2.2.1 พอลิเมอร์ผสมระหว่างไนล่อน6 และพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำแบบไม่มีตัวเชื่อมประสาน

รูปที่ 6.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติการทนต่อแรงกระแทก และปริมาณของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำในพอลิเมอร์ผสม ซึ่งจากกราฟแสดงให้เห็นว่าสมบัติการทนแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสมระหว่างไนล่อน6 และพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำมีค่าเพิ่มสูงขึ้น เมื่ออัตราส่วนของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจาก โมเลกุลของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำประกอบไปด้วยกิ่งก้านสาขาที่ยาวมาก ทำให้เกิดการพันกัน (entanglement) ในโมเลกุล นอกจากนี้ลักษณะของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำยังมีความเป็น elastomer ที่มีความยืดหยุ่นสูง ซึ่งต้องการพลังงานมากในการเคลื่อนที่โมเลกุลดังกล่าว ดังนั้นพอลิเมอร์ผสมที่มีอัตราส่วนของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำมากขึ้นจึงมีการดูดซับพลังงานที่สูงส่งผลให้พอลิเมอร์ผสมสามารถทนแรงกระแทกได้มากขึ้นตามไปด้วย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



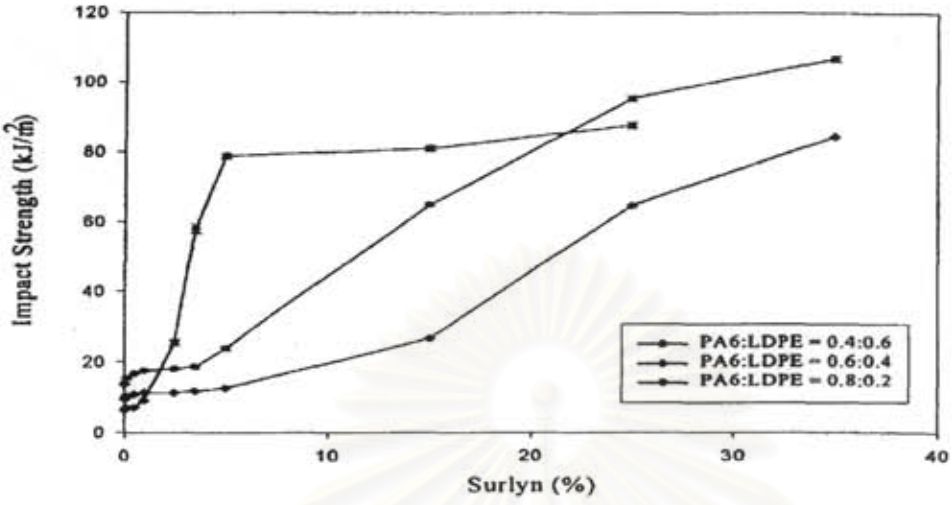
รูปที่ 6.5 Effect of LDPE content on impact strength of uncompatibilized Nylon6/LDPE blends

6.2.2.2 พอลิเมอร์ผสมระหว่างไนล่อน6 และพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำแบบมีตัวเชื่อมประสาน

สมบัติการทนแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสมที่มีเซอร์ลีน ไอโอโนเมอร์เป็นตัวเชื่อมประสานจะแปรตามปริมาณของเซอร์ลีน ไอโอโนเมอร์ที่เติมเข้าไป รูปที่ 6.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติการทนต่อแรงกระแทก และปริมาณเซอร์ลีน ไอโอโนเมอร์ของพอลิเมอร์ผสมระหว่างไนล่อน6 และพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำที่อัตราส่วนต่างๆ จากรูปแสดงให้เห็นถึงการเพิ่มขึ้นของสมบัติการทนต่อแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสมเมื่ออัตราส่วนของเซอร์

ลีน ไอโอโนเมอร์ ที่ทำหน้าที่เป็นตัวเชื่อมประสานมีปริมาณมากขึ้น ทั้งนี้เนื่องมาจากเซอร์ลีน ไอโอโนเมอร์ทำหน้าที่เป็นตัวเชื่อมประสานได้อย่างดีในพอลิเมอร์ผสมระหว่างไนล่อน6 และพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ ส่งผลให้พอลิเมอร์ผสมทั้งสองชนิดเข้ากันได้มากขึ้น จึงทำให้เกิดการดูดซับพลังงานมากขึ้นตามไปด้วย นอกเหนือจากความเข้ากันได้ดีมากขึ้นของพอลิเมอร์ผสมที่เป็นสาเหตุหลักของการเพิ่มขึ้นของสมบัติการทนต่อแรงกระแทกแล้ว โครงสร้างของเซอร์ลีน ไอโอโนเมอร์เองก็มีส่วนช่วยในการปรับปรุงการทนต่อแรงกระแทกเช่นกัน เนื่องจากโครงสร้างของเซอร์ลีน ไอโอโนเมอร์เกิดจาก copolymerization ระหว่างพอลิเอทิลีน และ comonomer ที่มีหมู่คาร์บอกซิล และเมื่อผสมกับเกลือของโลหะเช่น Zn cation ทำให้หมู่คาร์บอกซิลแตกตัวเป็นไอออนลบ (COO^-) เกิดเป็นพันธะไอออนิกกับเกลือของโลหะ อีกทั้งยังสามารถเกิดการรวมกลุ่มของกลุ่มไอออนดังกล่าว เกิดเป็นโครงสร้างร่างแหที่มีลักษณะเป็นเทอร์โมเซต พอลิเมอร์ ด้วยเหตุนี้จึงทำให้พอลิเมอร์ผสมแบบที่มีเซอร์ลีน ไอโอโนเมอร์เป็นตัวเชื่อมประสานมีความเหนียว และสามารถทนต่อแรงกระแทกได้มากขึ้น

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



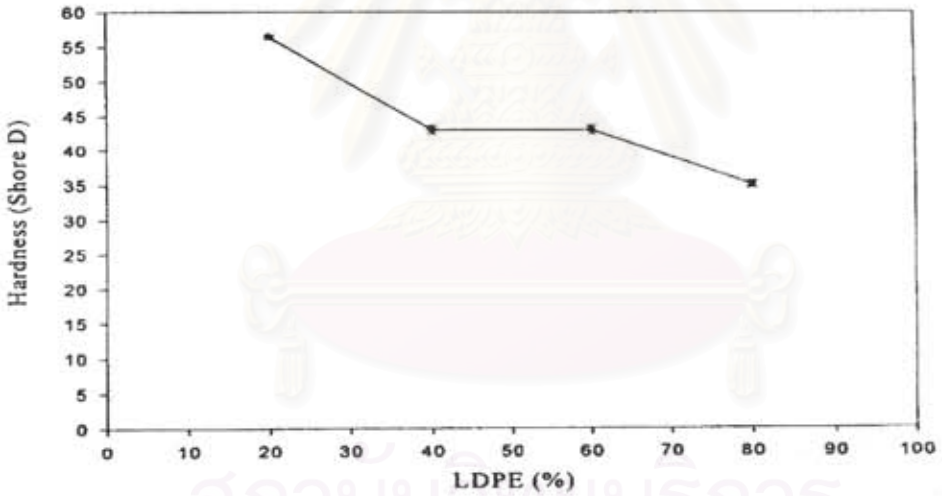
รูปที่ 6.6 Effect of Surlyn® compatibilizer content on impact strength of compatibilized Nylon6/LDPE blends

6.3 สมบัติทางกายภาพ (Physical properties)

6.3.1 พอลิเมอร์ผสมระหว่างไนล่อน6 และ พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำแบบไม่มีตัวเชื่อมประสาน

การศึกษาความแข็ง (Hardness) ของพอลิเมอร์ผสมในงานวิจัยนี้ เพื่อศึกษาผลของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ ที่ส่งผลต่อความแข็งของพอลิเมอร์ผสม โดยจากผลการวิจัยพบว่า ความแข็งของพอลิเมอร์ผสมระหว่างไนล่อน6 และพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำมีค่าลดลงเมื่ออัตราส่วนของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำมีปริมาณเพิ่มขึ้น (รูปที่

6.7) ทั้งนี้สาเหตุเนื่องมาจากลักษณะโครงสร้างของไนล่อน6 และพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ โดยพบว่าโครงสร้างของไนล่อน6 จะประกอบไปด้วยหมู่เอไมด์ที่สายโซ่พอลิเมอร์ ซึ่งสามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนภายในโมเลกุล และโมเลกุลของไนล่อน6เองเป็นพอลิเมอร์สายโซ่ตรง ทำให้แต่ละโมเลกุลสามารถยึดเกาะกันได้แน่นเกิดเป็นโครงสร้างที่มีความแข็งแรง ส่วนโครงสร้างของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเป็นพอลิเมอร์ที่มีกิ่งก้านสาขาที่ยาวมีความเกะกะมาก ทำให้เกิดการยึดเกาะกันแบบไม่แน่น ดังนั้นพอลิเมอร์ผสมที่มีอัตราส่วนของไนล่อน6เป็นองค์ประกอบหลัก จึงมีความแข็งมากกว่าพอลิเมอร์ผสมที่มีองค์ประกอบหลักเป็นพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ

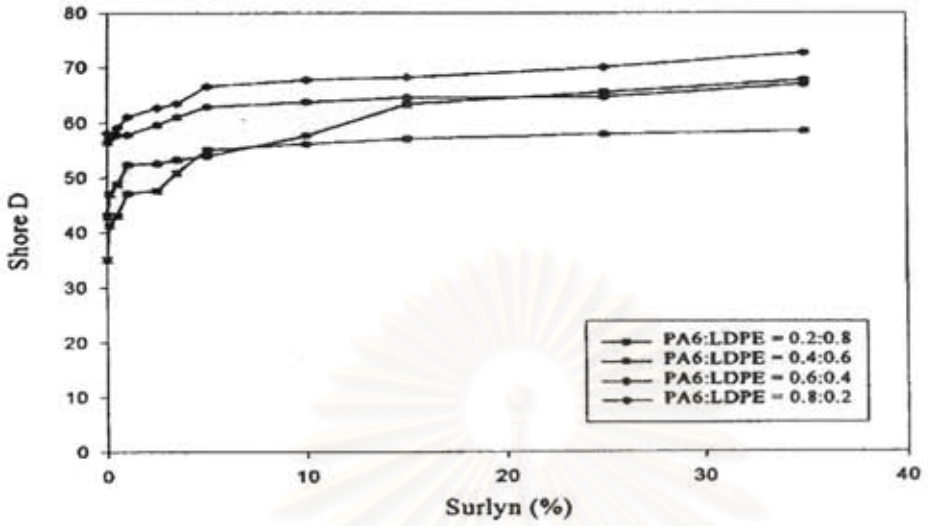


รูปที่ 6.7 Effect of LDPE content on Hardness of uncompatibilized Nylon6/LDPE blends

6.3.2 พอลิเมอร์ผสมระหว่างไนล่อน6 และพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ แบบมีตัวเชื่อมประสาน

สำหรับพอลิเมอร์ผสมแบบที่มีตัวเชื่อมประสาน ที่ศึกษาในงานวิจัยนี้ ได้ทำการศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนของเซอร์ลีน ไอโอโนเมอร์ต่อความแข็งของพอลิเมอร์ผสม โดยรูปที่ 6.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งของพอลิเมอร์ผสม และปริมาณเซอร์ลีน ไอโอโนเมอร์ จากรูปดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าพอลิเมอร์ผสมระหว่างไนล่อน6 และพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำที่มีเซอร์ลีน ไอโอโนเมอร์เป็นตัวเชื่อมประสานมีความแข็งเพิ่มมากขึ้นตามปริมาณของเซอร์ลีน ไอโอโนเมอร์ที่เพิ่มมากขึ้น เนื่องมาจาก เซอร์ลีน ไอโอโนเมอร์ทำหน้าที่เป็นตัวเชื่อมประสานในพอลิเมอร์ผสมทำให้พอลิเมอร์ผสมสามารถเข้ากันได้ดีมากขึ้น ส่งผลให้พอลิเมอร์ผสมมีความแข็งเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



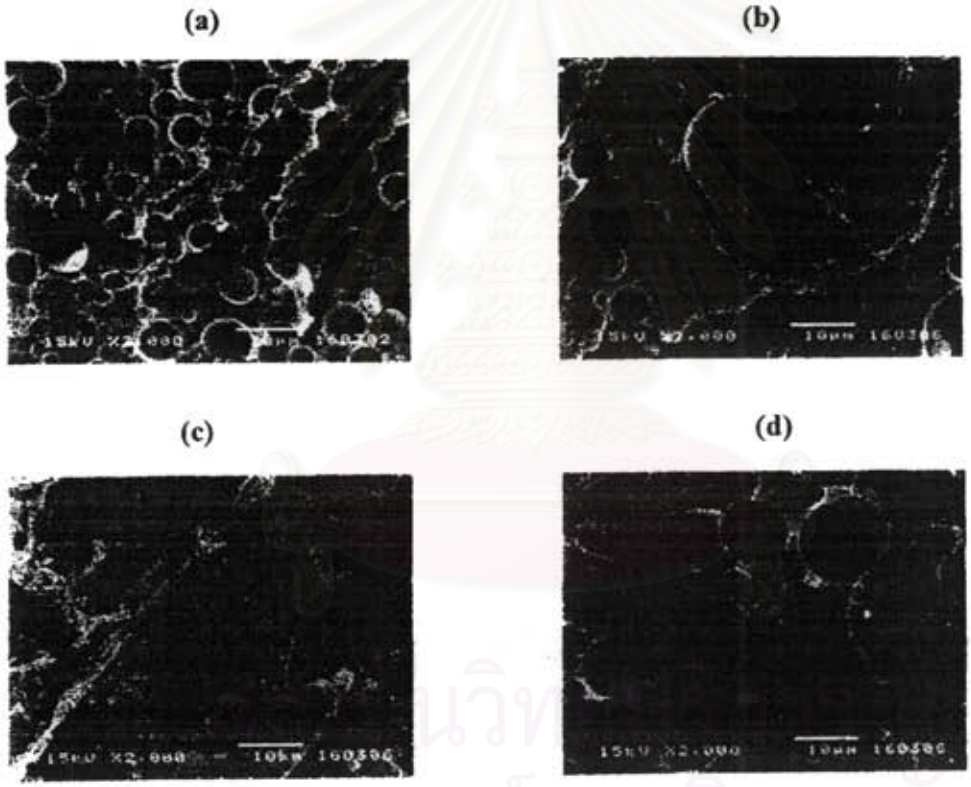
รูปที่ 6.8 Effect of Surlyn® compatibilizer content on Hardness of compatibilized Nylon6/LDPE blends

6.4 ผลการศึกษาลักษณะโครงสร้างของพอลิเมอร์ผสม (Microstructure characterization)

ลักษณะโครงสร้างเป็นปัจจัยหลักที่สำคัญมากปัจจัยหนึ่งในการศึกษาสมบัติต่างๆของพอลิเมอร์ผสม โดยลักษณะโครงสร้างจะมีอิทธิพลต่อสมบัติของพอลิเมอร์ผสมทั้งทางด้านสมบัติเชิงกลและสมบัติทางกายภาพ ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาสมบัติทางโครงสร้างของพอลิเมอร์ผสมด้วยเครื่อง Scanning electron microscope (SEM)

6.4.1 อิทธิพลของอัตราส่วนผสมต่อลักษณะโครงสร้างของพอลิเมอร์ผสมระหว่างไนล่อน6 และพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำแบบไม่มีตัวเชื่อมประสาน

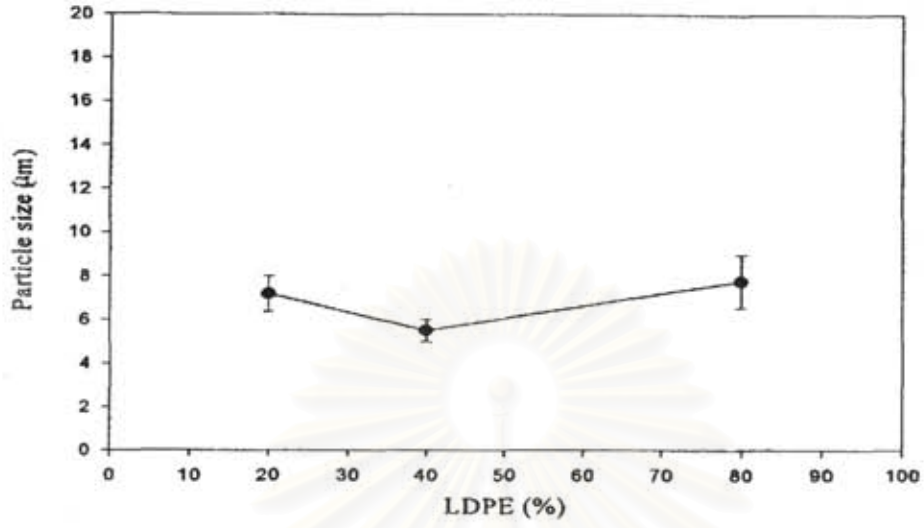
ลักษณะโครงสร้างของพอลิเมอร์ผสมระหว่างไนล่อน6 และพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำแบบไม่มีตัวเชื่อมประสานแสดงดังรูปที่ 6.9 โดยแปรตามอัตราส่วนของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำดังนี้คือ 20, 40, 60 และ80% ของปริมาตรทั้งหมด



รูปที่ 6.9 Effect of LDPE composition on morphology of Nylon6/LDPE blends at magnification 2000: (a) 20% of LDPE, (b) 40% of LDPE, (c) 60% of LDPE, (d) 80% of LDP

จากรูป SEM ดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า พอลิเมอร์ผสมที่มีไนล่อน6 เป็นองค์ประกอบหลัก (พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเป็นองค์ประกอบย่อย) มีขนาดขององค์ประกอบย่อยที่มีขนาดเล็กกว่าพอลิเมอร์ผสมที่มีพอลิเอทิลีนเป็นองค์ประกอบหลัก ดังแสดงในรูปที่ 6.10 และจากรูปที่ 6.10 นี้พบว่าที่อัตราส่วนไนล่อน6 20% ของปริมาตรทั้งหมด ซึ่งไนล่อน6 ทำหน้าที่เป็นองค์ประกอบย่อย (dispersed phases) มีขนาดขององค์ประกอบย่อยขนาดใหญ่ที่สุดเมื่อเทียบกับอัตราส่วนอื่นๆ ทั้งนี้เนื่องจากโมเลกุลของ ไนล่อน6 เองมีพันธะไฮโดรเจนภายในโมเลกุล และเป็นพอลิเมอร์ที่มีความเป็นผลึกสูง จึงทำให้ความหนืดของ ไนล่อน6 สูงตามไปด้วย ดังนั้นในกระบวนการผลิตพอลิเมอร์ผสมที่มีองค์ประกอบย่อยเป็น ไนล่อน6 ที่มีความหนืดสูงจะเกิดการกระจายตัวขององค์ประกอบย่อยได้ยากกว่าพอลิเมอร์ผสมที่มีองค์ประกอบย่อยเป็นพอลิเมอร์ที่มีความหนืดต่ำกว่าเช่น พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ ด้วยเหตุนี้พอลิเมอร์ผสมที่มีไนล่อน6 เป็นองค์ประกอบย่อยจึงมีขนาดองค์ประกอบย่อยขนาดใหญ่ที่สุดเมื่อเทียบกับอัตราส่วนอื่นๆ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



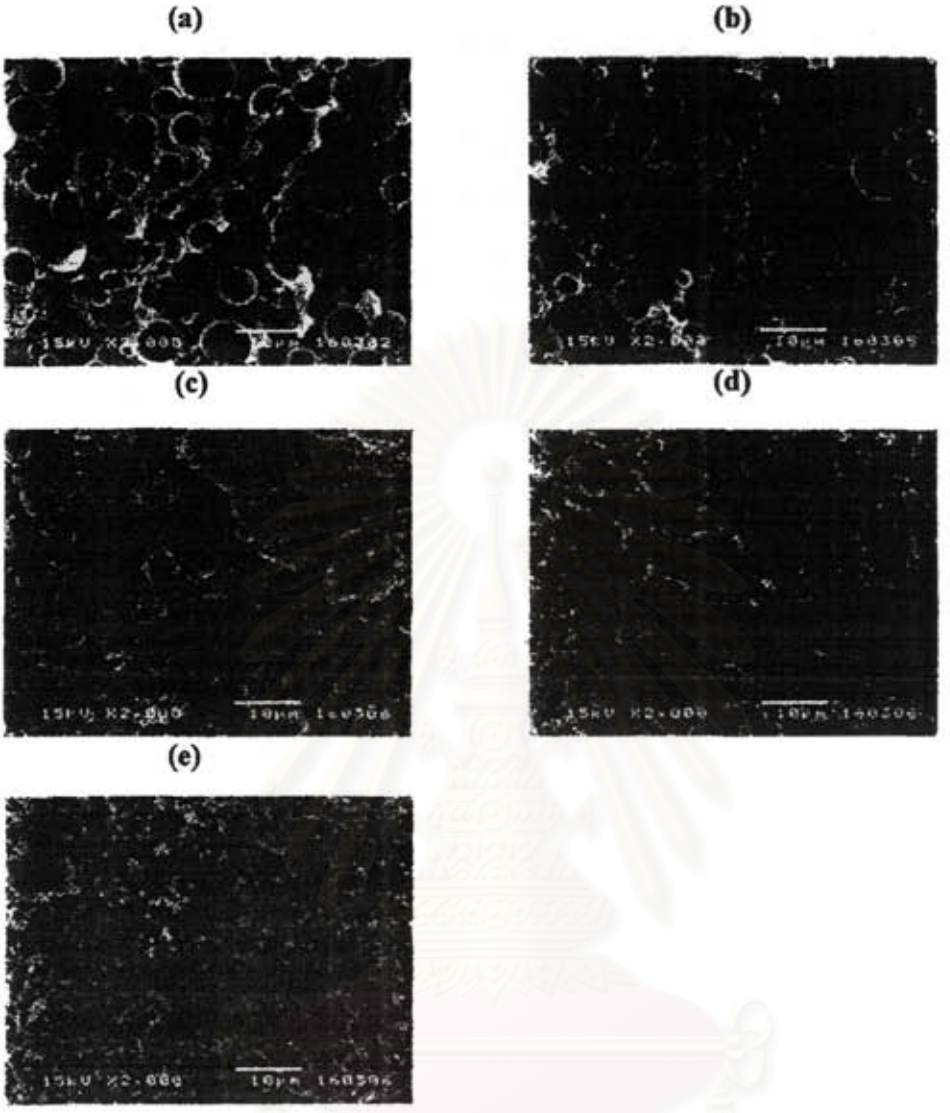
รูปที่ 6.10 Effect of LDPE content on the particle size of uncompatibilized Nylon6/LDPE blends

6.4.2 อิทธิพลของเซอร์ลีน ไอโอโนเมอร์ ที่ทำหน้าที่เป็นตัวเชื่อมประสานต่อลักษณะโครงสร้างของพอลิเมอร์ผสมระหว่างไนล่อน6 และ พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ

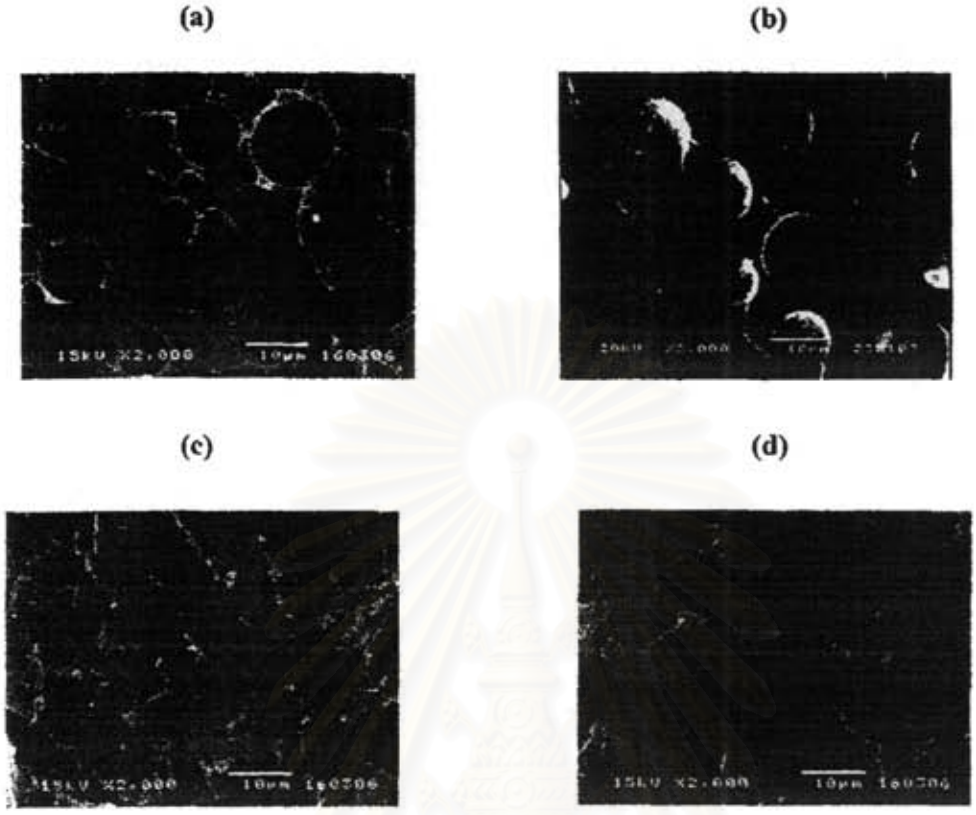
การเปรียบเทียบลักษณะโครงสร้างของพอลิเมอร์ผสมแบบที่มีเซอร์ลีน ไอโอโนเมอร์เป็นตัวเชื่อมประสาน และแบบที่ไม่มีตัวเชื่อมประสาน ดังแสดงในรูปที่ 6.11 (พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเป็นองค์ประกอบย่อย) และรูปที่ 6.12 (ไนล่อน6เป็นองค์ประกอบย่อย) พบว่า อิทธิพลของเซอร์ลีน ไอโอโนเมอร์ส่งผลให้ขนาดขององค์ประกอบย่อยในพอลิเมอร์ผสมมีขนาดเล็กลง เนื่องมาจากเซอร์ลีน ไอโอโนเมอร์ทำหน้าที่เป็นตัวเชื่อมประสานระหว่างองค์ประกอบ

หลัก และองค์ประกอบย่อยโดยการเกิดปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างส่วนที่มีประจุของเซอร์ลีน ไอโอโนเมอร์ และส่วนที่มีขั้วของไนล่อน6 ทำให้ไนล่อน6 และพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำมีการยึดเกาะระหว่างผิว และเข้ากันได้ดีมากขึ้น

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



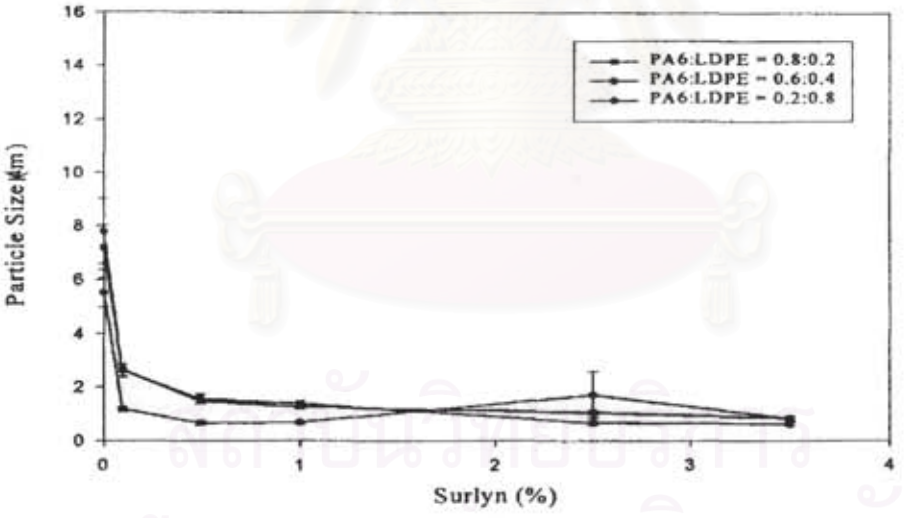
รูปที่ 6.11 Effect of compatibilizer on morphology of Nylon6/LDPE blends containing 80% of Nylon6 and 20% of LDPE (LDPE as a dispersed phase): (a) The uncompatibilized blends, (b) The compatibilized blend with 0.1% Surlyn®, (c) The compatibilized blend with 0.5% Surlyn®, (d) The compatibilized blend with 1.0% Surlyn®, (e) The compatibilized blend with 2.5% Surlyn®



รูปที่ 6.12 Effect of compatibilizer on morphology of Nylon6/LDPE blends containing 20% of Nylon6 and 80% of LDPE (Nylon6 as a dispersed phase): (a) The uncompatibilized blends, (b) The compatibilized blend with 0.1% Surlyn®, (c) The compatibilized blend with 0.5% Surlyn®, (d) The compatibilized blend with 1.0% Surlyn®

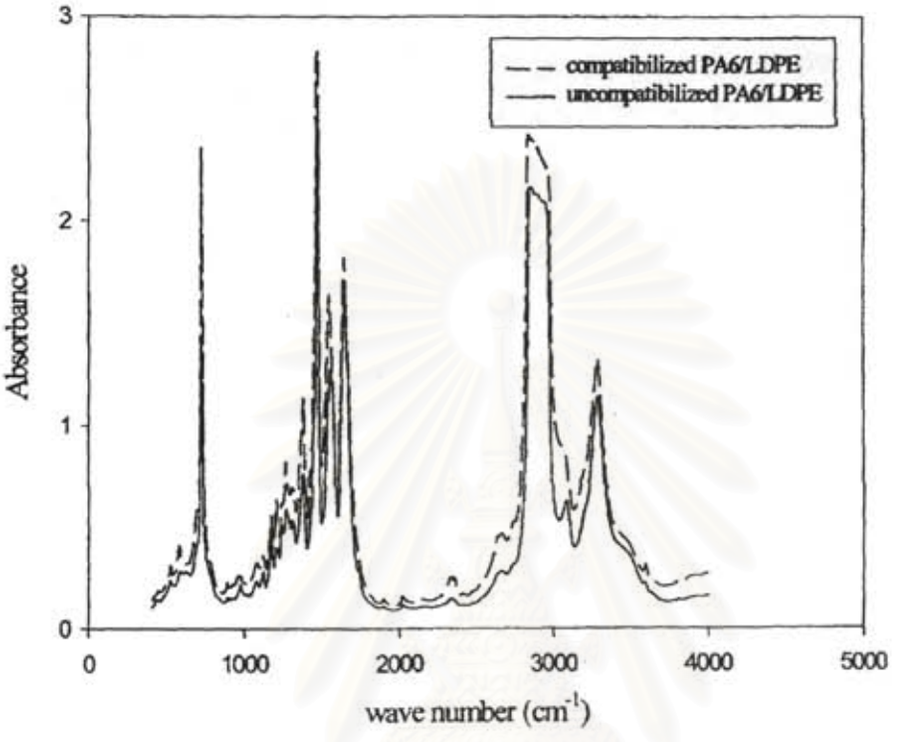
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากผลการศึกษาโครงสร้างของพอลิเมอร์ผสมที่มีอัตราส่วนของเซอร์ลีน ไอโอโนเมอร์ต่างๆกันพบว่า ที่ปริมาณเซอร์ลีน ไอโอโนเมอร์เพียงเล็กน้อยก็เพียงพอต่อการปรับปรุงโครงสร้างของพอลิเมอร์ผสมให้เกิดการเข้ากันได้มากขึ้น จากรูป 6.13 แสดงให้เห็นว่าที่ปริมาณเซอร์ลีน ไอโอโนเมอร์เพียง 1% สามารถทำให้ขนาดขององค์ประกอบย่อยมีขนาดเล็กลง และมีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอมากขึ้น เนื่องจากการลดแรงตึงผิวระหว่างองค์ประกอบหลัก และองค์ประกอบย่อย ทำให้พอลิเมอร์ผสมระหว่างไนล่อน6 และพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเข้ากันได้ดีขึ้น จากนั้นขนาดขององค์ประกอบย่อยจะคงที่ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นอีก หรืออาจจะเกิดการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยเท่านั้น



รูปที่ 6.13 Effect of compatibilizer on morphology of compatibilized Nylon6/LDPE

6.4.5 การศึกษาปฏิกิริยาเคมีโดยใช้เทคนิค Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR)



รูปที่ 6.14 FT-IR spectra of uncompatibilized and compatibilized Nylon6/LDPE blends

การศึกษาปฏิกิริยาทางเคมีที่เกิดขึ้นระหว่างการทำพอลิเมอร์ผสมในงานวิจัยนี้โดยใช้เทคนิค Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) ซึ่งเป็นการศึกษาการเกิดปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างหมู่ที่มีขั้วของไนล่อน6 และเซอร์ลีน ไอโอโนเมอร์ จากรูปที่ 6.14 แสดงถึง FT-IR spectra ของพอลิเมอร์ผสมทั้งแบบมีเซอร์ลีน ไอโอโนเมอร์ และแบบไม่มีเซอร์ลีน ไอโอโนเมอร์เป็นตัวเชื่อมประสาน พบว่าลักษณะของ FT-IR spectra ของพอลิเมอร์ผสมทั้งสองชนิดมีลักษณะคล้ายคลึงกัน

มาก ทั้งนี้เนื่องจากปฏิกิยาเคมีที่เกิดขึ้นระหว่างไนล่อน6 และเซอร์ลีน ไอโอโนเมอร์เป็นแบบพันธะ dipole-dipole และ hydrophobic interaction ซึ่งไม่สามารถแสดงผลได้อย่างชัดเจนนักสำหรับการใช้เทคนิค FTIR ในการศึกษา แต่อย่างไรก็ตามจากลักษณะโครงสร้างของพอลิเมอร์ทั้งสอง พบว่าสามารถเกิดปฏิกิริยาเคมีระหว่างส่วนที่มีประจุของเซอร์ลีน ไอโอโนเมอร์ และส่วนที่มีขั้วของไนล่อน6 ได้เป็นอย่างดี ดังนั้นจึงส่งผลให้มีการปรับปรุงโครงสร้างของพอลิเมอร์ผสมให้มีการเข้ากันได้ดีขึ้น

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

7. สรุปผลการวิจัย (Conclusions)

การยึดเกาะระหว่างพื้นผิวของพอลิเมอร์ผสมระหว่างไนล่อน6 และพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ สามารถปรับปรุงได้โดยการใช้ตัวเชื่อมประสาน ในงานวิจัยนี้ได้ใช้เซอร์ลีน ไอโอโนเมอร์ 9020 เป็นตัวเชื่อมประสานช่วยทำให้พอลิเมอร์ผสมระหว่างไนล่อน6 และพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเข้ากันได้ดีมากขึ้น สามารถปรับปรุงสมบัติเชิงกล และสมบัติทางด้านกายภาพของพอลิเมอร์ผสมให้ดีขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับพอลิเมอร์ผสมที่ไม่ใช้ตัวเชื่อมประสาน เนื่องจากเซอร์ลีน ไอโอโนเมอร์ที่ทำหน้าที่เป็นตัวเชื่อมประสาน สามารถลดแรงตึงที่ผิวระหว่างไนล่อน6 และพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ ทำให้พอลิเมอร์ทั้งสองชนิดเกิดการยึดเกาะ และเข้ากันได้มากขึ้น โดยจากโครงสร้างของเซอร์ลีน ไอโอโนเมอร์ประกอบไปด้วยส่วนที่มีขั้วคือ ส่วนที่เป็นกรดเมทาครีลิกที่ถูกทำให้เป็นกลางด้วยโลหะ Zinc และส่วนที่ไม่มีขั้วคือ สายโซ่หลักที่เป็นพอลิเอทิลีน ดังนั้นส่วนที่มีขั้ว (ส่วนที่เป็นประจุ) ของไอโอโนเมอร์สามารถเกิดปฏิกิริยาทางเคมี กับส่วนที่มีขั้วของไนล่อน6 และส่วนที่ไม่มีขั้วของเซอร์ลีน ไอโอโนเมอร์ และพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำในพอลิเมอร์ผสมก็สามารถเข้ากันได้เป็นอย่างดี จากปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นทำให้ขนาดขององค์ประกอบย่อยในพอลิเมอร์ผสมมีขนาดเล็กลงทั้งสำหรับ องค์ประกอบที่กระจายตัวอยู่ในองค์ประกอบหลักเป็นอนุภาคของไนล่อน6 และ พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ รวมถึงความสม่ำเสมอในการกระจายตัวของอนุภาคอีกด้วย จึงส่งผลให้เกิดการยึดเกาะกันระหว่างพื้นผิวของพอลิเมอร์ทั้งสองชนิดได้ดีมากขึ้น โดยสามารถยืนยันได้จากผลการศึกษาสมบัติทางโครงสร้างของพอลิเมอร์ผสมด้วยเครื่อง Scanning electron microscope (SEM) ซึ่งพบว่าพอลิเมอร์ผสมที่มีเซอร์ลีน

ไอโอโนเมอร์เป็นตัวเชื่อมประสาน ขนาดขององค์ประกอบย่อยในพอลิเมอร์ผสมจะมีขนาดเล็กลง เมื่อเทียบกับพอลิเมอร์ผสมที่ไม่มีเซอร์ลีน ไอโอโนเมอร์เป็นตัวเชื่อมประสาน นอกเหนือจากนี้ การศึกษาลักษณะทางโครงสร้างในทุกๆองค์ประกอบพบว่าเมื่อเติมเซอร์ลีนไอโอโนเมอร์ลงไป เพียง 1.0 ส่วนในร้อยส่วน ก็เพียงพอในการปรับปรุงโครงสร้างทำให้พอลิเมอร์ผสมเข้ากันได้เป็นอย่างดี

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

8. เอกสารอ้างอิง (References)

Antony,P., Bandyopadhyay, S., and De, S.K. (2000). Synergism in properties of Ionomeric polyblends based on zinc salts of carboxylate nitrile rubber and poly(ethylene-co-acrylic acid). Polymer, 41,787-793

Clagett, D.C. Engineering plastic. Encyclopedia of Polymer Science and Engineering, 6, 121-131.

Feng, Y., Schmidt, A., and Weiss, R.A. (1996). Compatibilization of polymer blends by complexation. 1. Spectroscopic characterization of ion-amide interactions in ionomer/polyamide blends. Macromolecules, 29, 3909-3917

Fox, D.W., and Allen, R.B. Compatibility. Encyclopedia of Polymer Science and Engineering, 3, 758-775

Gadekar, R., Kukkarni, A., and Jog, J.P., (1998). Blends of nylon with polyethylene: effect of compatibilization on mechanical and dynamic mechanical properties. Journal of Applied Polymer Science, 69,161-168

Gebel, G., and Loppinet, B. (1997). Small-angle neutron scattering study of polyethylene-co-methacrylate ionomer aqueous solutions. Journal of Physical Chemistry B., 101, 3980-3987

Grady, B.P. (2000). Relative size of ionic aggregates determined by X-ray absorption spectroscopy. Polymer, 41, 2325-2328

Grady, B.P., Floyd, J.A., Genetti, W.B., Vanhoorne, P., and Register, R.A. (1999). X-ray absorption spectroscopy studies of zinc-neutralized ethylene-methyacrylic acid ionomers. Polymer, 40,283-288

James, D.E., Low density polyethylene (high pressure). Encyclopedia of Polymer Science and Engineering, 6, 386-454

Kelar, K., and Jurkowski, B. (2000). Preparation of functionalized low-density polyethylene by reactive extrusion and its blend with polyamide 6. Polymer, 41, 1055-1062

Li, H. Chiba, T., Higashida, N. Yang, Y., and Inoue, T. (1997). Polymer-polymer interface in polypropylene/polyamide blends by reactive processing, Polymer, 38(15), 3921-3925

Lim S., and White, J.L., (1994). Influence of a compatibilizing agent on the phase morphology of a polyethylene-polyamide 6 blend in a modular intermeshing co-rotating twin screw extruder. Journal of Polymer Engineering and Science, Mid-Feb, 34(3) 221-228

Loveless, H.K. (1984). Ionomer. Modern Plastics Encyclopedia, 70-71

Lundberg, R.D. Ionic polymer. Encyclopedia of Polymer Science and Engineering, 8, 393-423

Morgan, R.L., Hill. M.J., and Barham, P.J. (1999). Morphology, melting behavior and co-crystallization in polyethylene blends: the effect of cooling rate on two homogeneously mixed blends. Polymer, 40, 337-348

Neoh, K.G., Tay, B.K., and Kang, E.T. (2000). Oxidation and ion migration during synthesis and degradation of electroactive polymer-nylon 6 composite films. Polymer, 41, 9-15

Ohisson, B., Hassander, H., and Tornell, B, (1998). Improved compatibility between polyamide and polypropylene by the use of maleic anhydride grafted SEBS. Polymer, 39(26), 6705-6714

Paul, D.R., Barlow, J.W., and Keskkula, H., Polymer blends, Encyclopedia of Polymer Science and Engineering, 12, 399-461

Skrovanek, D.j., Howe, S.E., Painter, P.C. and Coleman, M.M. (1985). Hydrogen bonding in polymers: infrared temperature studies of an amorphous polyamide. Macromolecules, 18, *1676-1683*

Subramanian P.M., (1985) ,Polymer Engineering and Science, 25(8), 483

Supapol, P. (1999). Methods for determination of equilibrium melting temperature of semi-crystalline polymers: a review. Journal of Engineering Kasetsart University, 38, 41-51

Tomba, J.P., Puente, E., and Pastor, J.M. (2000). Calculation of polymer blend composition from raman spectra: a new method based on parameter estimation techniques. Journal of Polymer Science: Part B: Polymer Physics: 38, 1013-1023

Vankarn R., Teyssie Ph., and Jerome R. (1997). Design of polymer blend rheology: 4. Effect of Polymethacrylate ionomers on the melt viscosity of polyamide mxD6. Polymer, 38(15), 3861-3867

Vernon, J. (1992). Testing of Materials. Hong Kong: Macmillan

Whelan, T. Polymer Technology Dictionary. Chapman and Hall

Willis J.M. and Favis B.D., (1998). Processing-morphology relationships of compatibilized polyolefin/polyamide blends. Part I: the effect of an ionomer compatibilizer on blend morphology. Polymer Engineering and Science, Mid-November, 28(21), 1416-1426

Yi Feng, Asher Schmidt, and R. A. Weiss, (1996), Macromolecules, 29, 3909

Zhou, X., Goh, S.H., Lee, S.Y., and Tan, K.L. (1998). APS and FTIR studies of the interactions in poly(carboxylic acid)/poly(vinylpyridine) complexes. Polymer, 39(16), 3631-3640

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

9. เอกสารแนบท้าย (Appendix)

บทความทางวิชาการในวารสารระดับนานาชาติ และบทความทางวิชาการที่เผยแพร่ในที่ประชุมวิชาการนานาชาติ จากงานวิจัยโครงการนี้

บทความทางวิชาการในวารสารระดับนานาชาติ 1 เรื่อง

Panita Leewajanakul, Rungravee Pattanaolarn, John W. Ellis, Manit Nithitanakul, and Brian P. Grady, "Use of Zinc-Neutralized Ethylene-Methacrylic Acid Copolymer Ionomers as Blends Compatabilizers for Nylon 6 and Low Density Polyethylene", Journal of Applied Polymer Science, 2003, 89(3), 620-629.

บทความทางวิชาการที่เผยแพร่ในที่ประชุมวิชาการนานาชาติ 1 เรื่อง

Pattanaolarn, Rungravee; Leewajanakul, Panita; Nithitanakul, Manit and Brian P. Grady, "Zinc-Neutralized Ethylene-Methacrylic Acid Copolymer Ionomers as Blend Compatibilizers for Nylon 6 and Low-Density Polyethylene", Proceedings of the American Institute of Chemical Engineers National Meeting, Indianapolis, IN, November 2002.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย