

ผลของอนุภาคผงยางและสารเชื่อมขวางเปอร์ออกไซด์ ที่มีต่อความสามารถในการไหล และสมบัติเชิงกลของพอลิเอทิลีนรีไซเคิลชนิดความหนาแน่นสูง

Effects of ultrafine powdered rubber and peroxide crosslinking agent on flow-ability and mechanical properties of recycled high density polyethylene

นัฐนรี โสภาเจริญวงศ์¹ รัฐโรจน์ อัครธนกุลกิตติ² ชีระศักดิ์ หมากริน¹ ณรงค์ฤทธิ์ สมบัติสมภพ¹ และเอกชัย วิมลมาลา¹
 Natnaree Sopacharoenwong¹ Rattaroj Akkarathanakulkit² Teerasak Markpin¹ Narongrit Sombatsompop¹
 and Ekachai Wimolmala¹

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาผลของการเติมอนุภาคผงยาง (Ultrafine powdered rubber: UPR) และสารเชื่อมขวางไดคิวมิลเปอร์ออกไซด์ (Dicumyl peroxide; DCP) ที่มีต่อสมบัติทางกายภาพและสมบัติเชิงกลของพลาสติกของพอลิเอทิลีนรีไซเคิลชนิดความหนาแน่นสูง (Recycled high density polyethylene: rHDPE) โดยผสมผงยางอะคริเลต (Acrylate powdered rubber: ACM-UPR) และผงยางสไตรีนบิวทาไดอีน (Styrene butadiene powdered rubber: SBR-UPR) ปริมาณ 0-12 pph ส่งผลทำให้ความสามารถในการไหลมีแนวโน้มลดลง ความหนาแน่นโดยรวมมีค่าอยู่ในช่วง 0.956-0.998 g/cm³ การผสมผงยางทำให้อุณหภูมิการโก่งตัวของพลาสติกลดลง ในขณะที่การเติม DCP พบว่ามีค่าเพิ่มขึ้น ค่ามอดุลัสแรงดึงและความต้านทานแรงดึงลดลง การเติม ACM-UPR ปริมาณ 2-6 pph และ SBR-UPR ปริมาณ 2 pph มีค่าการยืดตัวและความเหนียวเพิ่มขึ้น สำหรับการเติม DCP พบว่า rHDPE มีการไหลตัวได้ยากขึ้น การเติม DCP ปริมาณ 0.1-0.3 pph ทำให้อุณหภูมิการโก่งตัวและความต้านทานแรงดึงเพิ่มขึ้น ในขณะที่การยืดและความเหนียวลดลง โดยสรุป ส่วนผลการเติม ACM-UPR และ SBR-UPR ปริมาณ 2 pph ร่วมกับ DCP ปริมาณ 0.1 pph ทำให้วัสดุ rHDPE มีค่ามอดุลัสแรงดึงและความต้านทานแรงดึงเพิ่มขึ้น ในขณะที่การยืดตัวและความเหนียวมีค่าลดลง

Abstract

This work aimed to investigate the effects of ultrafine powdered rubber (UPR) and dicumyl peroxide (DCP) on physical and mechanical properties of recycled high-density polyethylene (rHDPE). The results showed that the addition of acrylate powdered rubber (ACM-UPR) and styrene butadiene powdered rubber (SBR-UPR) content at 0-12 pph decreased the flow-ability of the polymer, the overall density was 0.956-0.998 g/cm³ and the addition of powdered rubber decreased the heat distortion temperature, but the opposite effect was found with DCP addition. The tensile modulus and tensile strength of rHDPE also decreased with increases in elongation at break and toughness at 2-6 pph of ACM-UPR and 2 pph of SBR-UPR. The addition of peroxide crosslinking agent decreased the flow-ability. The addition of 0.1-0.3 pph DCP resulted in increased modulus and tensile strength with reduced elongation at break and tensile toughness. In summary, the additions of ACM-UPR and SBR-UPR content at 2 pph with DCP at 0.1 pph led to the increases in tensile modulus and tensile strength with reduced elongation at break and toughness.

Key Words: Powdered rubber, Plastic recycled, Mechanical properties, Peroxide agent

* Corresponding author; e-mail address: natnaree.m2m@mail.kmutt.ac.th

¹กลุ่มวิจัยการผลิตและขึ้นรูปพอลิเมอร์ (P-PROF) คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี กรุงเทพฯ 10140

¹Polymer Processing and Flow (P-PROF) Research Group, School of Energy, Environment and Materials, King Mongkut's University of Technology Thonburi, Bangkok, 10140

²บริษัท เอส.พี. พลาสติก อินดัสตรี จำกัด กรุงเทพมหานคร 10140

²S.P. Plastic Industries Co., Ltd, Bangkok 10140

คำนำ

ปัจจุบันพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (High density polyethylene: HDPE) มีการนำใช้งานหลากหลาย โดยนำมาขึ้นรูปเป็นบรรจุภัณฑ์ประเภท ถังน้ำ ถังพลาสติก ตะกร้า ถาดใส่ของ เป็นต้น เนื่องจากมีสมบัติเชิงกลด้านความแข็งแรงสูง สามารถต้านทานต่อสารเคมี และตัวทำละลายต่างๆ ได้ดี โดยนิยมนำพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่ผ่านการรีไซเคิล (Recycled high density polyethylene: rHDPE) ทำการขึ้นรูปใหม่เป็นบรรจุภัณฑ์ดังกล่าวเพื่อทดแทนการใช้เม็ดพลาสติกเกรดบริสุทธิ์ (Virgin grade) เนื่องจาก HDPE เป็นเทอร์โมพลาสติกที่สามารถนำกลับมาหลอมขึ้นรูปใหม่ได้ เรียกว่า การรีไซเคิล (Recycle) แต่อย่างไรก็ตาม พลาสติกที่ผ่านกระบวนการรีไซเคิล เมื่อได้รับความร้อนในกระบวนการการหลอมขึ้นรูป (Oblak *et al.* (2015)) ทำให้มีสมบัติเชิงกลด้านการรับแรงโดยรวมลดลง มีความเปราะมากยิ่งขึ้น ดังนั้น การปรับปรุงสมบัติเชิงกลด้านความแข็งแรง และความต้านทานต่อการรับแรงกระแทก (ความเหนียว) ของพลาสติกรีไซเคิลจึงเป็นสมบัติหลักของวัสดุที่สนใจ จากงานวิจัยที่ผ่านมา ศึกษาการนำผงอนุภาคยางขนาดนาโนเมตร (Ultrafine powdered rubber: UPR) เป็นสารเพิ่มความเหนียวสำหรับพลาสติกชนิดพอลิโพรพิลีน พบว่าการเติมผงยางสไตรีนบิวทาไดอีน (Styrene butadiene powdered rubber: SBR-UPR) ทำให้พอลิโพรพิลีนมีสมบัติความต้านทานต่อแรงกระแทกเพิ่มขึ้น ในขณะที่ความต้านทานต่อแรงดึงลดลงเพียงเล็กน้อย (Zhang *et al.* (2002)) นอกจากนี้ มีการศึกษาการเพิ่มความแข็งแรงของ HDPE โดยทำให้เกิดการเชื่อมขวาง (Crosslink) ภายในโครงสร้างสายโซ่โมเลกุลของพอลิเมอร์ด้วยสารเชื่อมขวางเปอร์ออกไซด์ (Peroxide crosslinking) พบว่า พลาสติกชนิด HDPE มีสมบัติเชิงกลด้านความต้านทานต่อแรงกระแทกเพิ่มขึ้น (Tamboli *et al.* (2004))

ดังนั้น งานวิจัยนี้มีความสนใจศึกษาผลของชนิดและปริมาณของอนุภาคผงยางเกรดทางการค้า 2 ชนิด คือ ผงยางสไตรีนบิวทาไดอีน (SBR-UPR) และผงยางอะคริเลต (ACM-UPR) และการเติมสารเชื่อมขวางเปอร์ออกไซด์ชนิด Dicumyl peroxide (DCP) และการผสมอนุภาคผงยางเกรดการค้าร่วมกับสารเชื่อมขวางเปอร์ออกไซด์ ที่มีต่อสมบัติทางกายภาพ สมบัติเชิงกล และลักษณะทางสัณฐานวิทยาของพอลิเอทิลีนรีไซเคิลชนิดความหนาแน่นสูง

อุปกรณ์และวิธีการ

วัสดุและสารเคมีวิจัย

วัสดุหลักในการวิจัยใช้เม็ดพลาสติก rHDPE จากบริษัท เอส.พี. พลาสติก อินดัสตรี จำกัด มีความสามารถในการไหล (Flow-ability) มีค่า 6.78 g/10 min ความหนาแน่น (Density) 0.960 g/cm³ สำหรับผงยางเกรดการค้า ได้แก่ ผงยางเกรดอะคริเลต (ACM-UPR) และผงยางเกรดสไตรีนบิวทาไดอีน (SBR-UPR) ได้รับการอนุเคราะห์จากบริษัท สยามเอ็กเท็กซ์ จำกัด มีลักษณะเป็นผงสีขาว/ทึบแสง โดยที่ผงยางอะคริเลตมีขนาดอนุภาคเฉลี่ย 70 นาโนเมตร และผงยางสไตรีนบิวทาไดอีนมีขนาดอนุภาคเฉลี่ย 100 นาโนเมตร สำหรับสารเชื่อมขวาง DCP จาก หจก. กิจไพบูลย์เคมี

การเตรียมตัวอย่าง

นำเม็ด rHDPE อบขจัดความชื้นในตู้อบที่อุณหภูมิ 70°C เวลา 8 ชั่วโมง โดยเตรียมทำการผสม rHDPE กับ ACM-UPR และ SBR-UPR ที่ปริมาณ 0, 2, 4, 6, 8, 10 และ 12 ส่วนต่อร้อยส่วนของพลาสติก (Part per hundred of plastic: pph) และผสมพลาสติก rHDPE กับสารเชื่อมขวาง DCP ที่ปริมาณต่างๆ ดังนี้ 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 และ 0.5 pph ด้วยเครื่องปั่นผสมความเร็วสูง (High speed mixer) รุ่น LMXS บริษัท LAB TECH Engineering จำกัด เวลาในการผสม 2 นาที จากนั้นทำการหลอมผสมด้วยเครื่องอัดรีดเกลียวทวนคู่ (Twin screw extruder) รุ่น CTW 1000 C บริษัท Haake Rheomax จำกัด ประเทศเยอรมนี อุณหภูมิการผสมจากบริเวณ Feed zone ถึง Die zone ที่ 165, 170, 175 และ 180°C ตามลำดับ ความเร็วรอบการผสมที่ 40 รอบต่อนาที ทำการตัดเป็นเม็ดด้วยเครื่องตัดเม็ดพลาสติก ต่อจากนั้นนำเม็ดพลาสติกที่ได้ขึ้นรูปขึ้นงานทดสอบด้วยเครื่องฉีดขึ้นรูป (Injection molding) รุ่น E-80B ของบริษัท Elite Precision Machinery จำกัด สาธารณรัฐประชาชนจีน (ฮ่องกง) อุณหภูมิการฉีดขึ้นรูปจากบริเวณ Feed zone ถึง Metering zone อยู่ที่ 190, 210, 220 และ 220 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

การตรวจสอบสมบัติกายภาพ เชิงกล และลักษณะทางสัณฐานวิทยา

ทำการตรวจสอบความสามารถในการไหลด้วยเครื่อง Melt flow indexer รุ่น WJ-400B บริษัท Chengde shiyANJI จำกัด สาธารณรัฐประชาชนจีน ตามมาตรฐานทดสอบ ASTM D1238-13 อุณหภูมิ 220 องศาเซลเซียส น้ำหนักกด 5.325 กิโลกรัม เวลาการทดสอบ 10 นาที ตรวจสอบความหนาแน่น (Density) ตามมาตรฐาน ASTM D792-13 ตรวจสอบสมบัติเชิงกล ความต้านทานแรงดึง และค่าความเหนียวจากการดึง (Tensile toughness) ด้วยเครื่อง Universal testing machine รุ่น Autograph AG-I บริษัท Shimadzu จำกัด ความเร็วในการดึง 50 มิลลิเมตร/นาที ตามมาตรฐานทดสอบ ASTM D638-14 ตรวจสอบอุณหภูมิการโค้งตัวของพลาสติก ตามมาตรฐานทดสอบ ASTM D648-18 ด้วยเครื่อง HDT / Vicat Tester HV3 บริษัท INSTRON ประเทศสหรัฐอเมริกา อุณหภูมิทดสอบในช่วงระหว่าง 35 – 150°C และตรวจสอบการกระจายตัวของผิวยางและลักษณะสัณฐานวิทยาด้วยเทคนิค Scanning electron microscope (SEM) บริษัท FEI ประเทศสหรัฐอเมริกา รุ่น Nova NanoSEM 450 ความต่างศักย์ 5 kV โดยเตรียมขึ้นงานทดสอบหักในไนโตรเจนเหลวแล้วเคลือบทองคำก่อนการตรวจสอบ SEM

ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

ผลสมบัติทางกายภาพของ rHDPE ที่ผสมผิวยางและสารเชื่อมขวาง DCP

Table 1 แสดงความสามารถในการไหลของพลาสติก rHDPE ที่ผสมผิวยางและสารเชื่อมขวาง DCP ผลการทดลองพบว่า การเติม ACM-UPR และ SBR-UPR ที่ปริมาณตั้งแต่ 0-12 pph ในพลาสติก rHDPE ทำให้ความสามารถในการไหลของพลาสติก rHDPE มีค่าลดลง (ไหลได้ยาก) ตามปริมาณของผิวยางที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากการเติมผิวยางทำให้ค่าความหนืดของพลาสติก rHDPE มีค่าเพิ่ม โดยที่การเติมผิวยางชนิด SBR-UPR มีการไหลได้ยากกว่า (มีค่าน้อยกว่า) ผิวยางชนิด ACM-UPR เนื่องจาก SBR-UPR มีขนาดอนุภาคเฉลี่ยใหญ่กว่า ACM-UPR ส่วนกรณีการเติมสารเชื่อมขวาง DCP ผสมใน rHDPE ร่วมกับ ที่ปริมาณต่างๆ พบว่าการไหลตัวของพลาสติก rHDPE มีค่าลดลงอย่างมาก (ไม่ไหลตัว) เนื่องจาก พลาสติก rHDPE เกิดการเชื่อมขวางเป็นโครงสร้างตาข่ายที่มีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลที่แข็งแรงสูง (Sanchez et al. (2016)) ส่วนในกรณีของพลาสติก rHDPE

ผสมกับผงยาง ACM-UPR / SBR-UPR และร่วมกับ DCP พบว่าความสามารถในการไหลของพลาสติก rHDPE มีค่าลดลงเช่นเดียวกัน ส่วนค่าความหนาแน่นโดยรวมของวัสดุเชิงประกอบพลาสติก rHDPE พบว่ามีค่าอยู่ในช่วง 0.956-0.998 g/cm³ นอกจากนี้การเติมผงยางส่งผลทำให้คุณสมบัติการโก่งตัวของพลาสติกมีค่าลดลงเมื่อเทียบกับ rHDPE ที่ไม่เติมผงยาง ทั้งนี้เนื่องจากผงยางมีค่าความแข็งโดยรวมที่ต่ำกว่า rHDPE ส่วนการผสม DCP ร่วมด้วย ทำให้คุณสมบัติการโก่งตัวของพลาสติกเพิ่มขึ้นเล็กน้อย เนื่องจากเกิดการเชื่อมขวางในโครงสร้างที่เพิ่มขึ้น

Table 1 Flow-ability and density of rHDPE mixed with powdered rubber and peroxide crosslinking agent.

Sample	Flow-ability (g/10min)	Density (g/cm ³)	HDT (°C)	Sample	Flow-ability (g/10min)	Density (g/cm ³)	HDT (°C)
rHDPE	6.78	0.960	67.2 ±2.0	SBR 8 pph	3.27	0.982	N/A
ACM 2 pph	6.72	0.961	61.5 ±0.9	SBR 10 pph	3.13	0.992	64.6 ±1.3
ACM 4 pph	5.93	0.965	N/A	SBR 12 pph	3.02	0.998	N/A
ACM 6 pph	5.15	0.967	62.5 ±1.2	DCP 0.1 pph	0.41	0.959	67.8 ±3.2
ACM 8 pph	5.03	0.968	N/A	DCP 0.2 pph	0.17	0.960	N/A
ACM 10 pph	4.92	0.972	61.1 ±3.0	DCP 0.3 pph	0.06	0.960	71.8 ±1.7
ACM 12 pph	4.77	0.974	N/A	DCP 0.4 pph	0.04	0.966	N/A
SBR 2 pph	4.90	0.968	62.1 ±3.4	DCP 0.5 pph	0.00	0.956	68.5 ±1.9
SBR 4 pph	4.23	0.973	N/A	ACM2/D0.1**	0.75	0.958	65.1 ±1.7
SBR 6 pph	3.52	0.976	63.4 ±1.7	SBR2/D0.1***	0.55	0.967	71.1 ±1.1

*N/A = Not available, **ACM2/D0.1= ACM 2 pph + DCP 0.1 pph, ***SBR2/D0.1= SBR 2 pph + DCP 0.1 pph

ผลทดสอบสมบัติเชิงกลของพลาสติก rHDPE ที่เติมผงยาง ACM-UPR และ SBR-UPR

ผลสมบัติเชิงกลของพลาสติก rHDPE ที่ผสม ACM-UPR และ SBR-UPR ที่ปริมาณ 0, 2, 4, 6, 8, 10 และ 12 pph แสดงใน Figure 1 พบว่าการเติมผงยางทั้งสองเกรดในพลาสติก rHDPE ส่งผลทำให้ค่ามอดูลัสของ rHDPE มีค่าลดลง เนื่องจากการเติมวัสดุประเภทยางที่มีค่ามอดูลัสแรงดึง (Tensile modulus) โดยรวมต่ำกว่าพลาสติก rHDPE แสดงใน Figure 1(a) สำหรับค่าความต้านทานแรงดึง (Tensile strength) แสดงใน Figure 1(b) พบว่าการเติม ACM-UPR และ SBR-UPR ส่งผลทำให้ความต้านทานแรงดึงของ rHDPE มีค่าลดลงเล็กน้อย ส่วนค่าการยืดตัว ณ จุดขาด (Elongation at break) ของพลาสติก rHDPE ที่ผสมผงยางแสดงใน Figure 1(c) พบว่าการเติม ACM-UPR ที่ปริมาณ 2-6 pph ส่งผลทำให้ค่าการยืดตัว ณ จุดขาดมีค่าเพิ่มขึ้น และพบอีกว่าเมื่อเพิ่มปริมาณผงยางเติมในพลาสติก rHDPE ค่าการยืดตัว ณ จุดขาดมีค่าลดลง ทั้งนี้เนื่องจากผงยางเกิดการรวมตัวเป็นกลุ่มก้อน (Agglomerates) ทำให้ความสามารถในการยืดตัวของ rHDPE ลดลง โดยที่การยืดตัว ณ จุดขาดของ rHDPE ที่ผสม ACM-UPR มีค่ามากกว่าการผสม SBR-UPR ในพลาสติก rHDPE เนื่องจาก ACM-UPR มีการกระจายตัวใน rHDPE ได้ดีกว่า SBR-UPR ค่าความเหนียว (Tensile toughness) แสดงใน Figure 1(d) พบว่าการเติม ACM-UPR ปริมาณ 2-6 pph และการเติม SBR-UPR ปริมาณ 2 pph พบว่าความเหนียวมีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากผงยางสามารถกระจายตัวได้ใน rHDPE แต่เมื่อปริมาณของผงยางเพิ่มขึ้นทำให้เกิดการเกาะกลุ่มด้วยตัวเอง ส่งผลทำให้ความเหนียวของพลาสติก rHDPE ลดลง

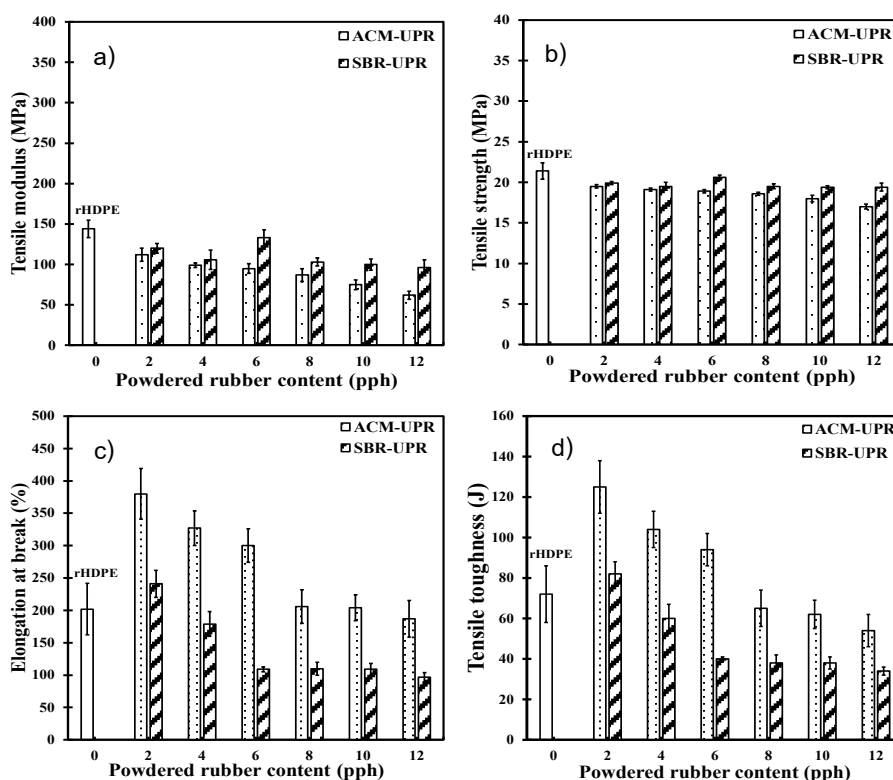


Figure 1 Mechanical properties of rHDPE mixed with powdered rubber (a) Tensile modulus (b) Tensile strength (c) Elongation at break and (d) Tensile toughness.

จากผลการทดลองสมบัติเชิงกลสามารถอธิบายด้านการกระจายตัวและการเกาะกลุ่มของผงยางในพลาสติก rHDPE ด้วยเทคนิค SEM แสดงใน Figure 2 โดยที่ Figure 2(a) และ Figure 2(b) ผสม ACM-UPR ปริมาณ 2 และ 12 pph ตามลำดับ และ Figure 2(c) และ Figure 2(d) ผสม SBR-UPR ปริมาณ 2 และ 12 pph ตามลำดับ

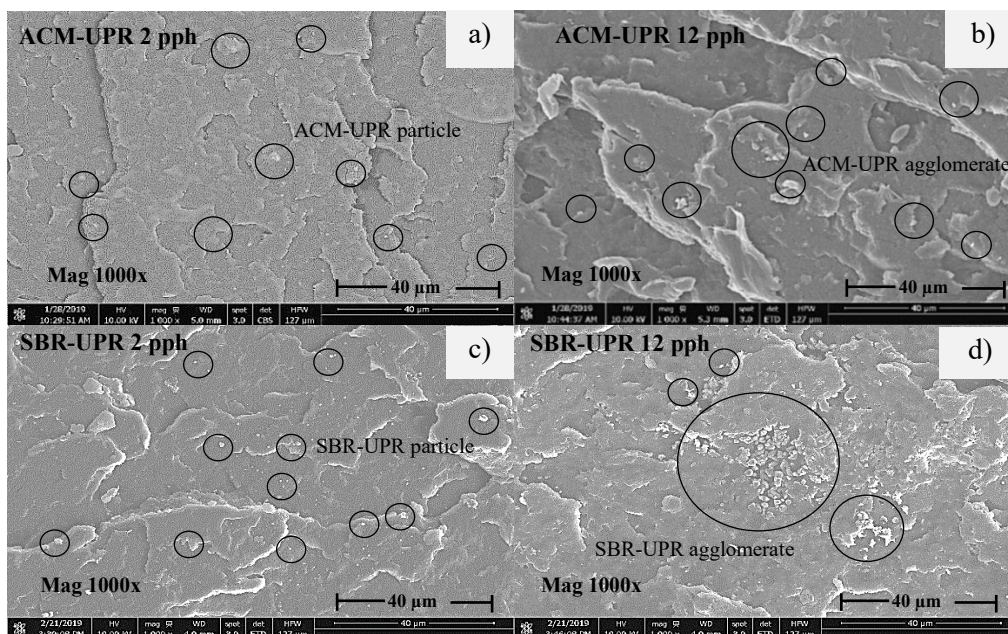


Figure 2 SEM morphology by SEM of rHDPE mixed with powdered rubber (a) ACM-UPR 2 pph (b) ACM-UPR 12 pph (c) SBR-UPR 2 pph and (d) SBR-UPR 12 pph.

ผลทดสอบสมบัติเชิงกลของพลาสติก rHDPE ที่เติมสารเชื่อมขวาง DCP

Figure 3 แสดงสมบัติเชิงกลด้านมอดุลัสแรงดึงและความต้านทานแรงดึงของ rHDPE ที่เติมสารเชื่อมขวาง DCP ที่ปริมาณ 0.1-0.3 pph แสดงใน Figure 3(a) และ Figure 3(b) ตามลำดับ พบว่าการเติม DCP ส่งผลทำให้ค่ามอดุลัสแรงดึงและความต้านทานแรงดึงของ rHDPE เพิ่มขึ้น เนื่องจากสายโซ่โมเลกุลเกิดการเชื่อมขวางเป็นโครงสร้างร่างแหที่มีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น (Sanchez et al. (2016)) และเมื่อปริมาณของ DCP เพิ่มขึ้นเป็น 0.4-0.5 pph พบว่าค่ามอดุลัสแรงดึงและความต้านทานแรงดึงมีแนวโน้มลดลง ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณของ DCP ที่มากเกินไปทำให้เกิดปฏิกิริยาการตัดขาดสายโซ่โมเลกุล (Chain scission) ส่งผลทำให้น้ำหนักของสายโซ่โมเลกุลของ rHDPE ลดลง ทำให้ความแข็งแรงมีค่าลดลง (แสดงใน Table 1) และค่าการยืดตัวและค่าความเหนียว แสดงใน Figure 3(c) และ Figure 3(d) ตามลำดับ พบว่าการเติม DCP ส่งผลทำให้การยืดตัวและความเหนียวของ rHDPE ลดลง เนื่องจากการเกิดเชื่อมขวางของสายโซ่โมเลกุล ทำให้สายโซ่ rHDPE เกิดการยึดตึง (Restriction) และมีความแข็งแรงแรงเพิ่มขึ้น (Cassidy et al. (2016)) และทำให้ชิ้นงานทดสอบมีความเปราะ (Brittleness) (Fayolle et al. (2007))

ผลทดสอบสมบัติเชิงกลของ rHDPE ที่ผสมผงยางร่วมกับสารเชื่อมขวาง DCP

Table 2 แสดงสมบัติเชิงกลของ rHDPE ที่ผสมผงยาง ACM-UPR และผงยาง SBR-UPR ปริมาณ 2 pph ร่วมกับสารเชื่อมขวาง DCP ที่ 0.1 pph พบว่าค่ามอดุลัสแรงดึง และความต้านทานแรงดึงมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับ rHDPE ที่เติมผงยาง และเมื่อเติมสารเชื่อมขวาง DCP ร่วมกับผงยาง ทำให้เกิดพันธะเชื่อมขวาง (Crosslink) ทำให้สายโซ่โมเลกุลของ rHDPE มีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น ในขณะที่ค่าการยืดตัว ณ จุดขาด และค่าความเหนียวมีค่าลดลง ทั้งนี้เนื่องจากการเชื่อมขวางที่มากทำให้สายโซ่โมเลกุล rHDPE เกิดการยึดตึง (Restriction) ส่งผลทำให้พลาสติกมีสมบัติด้านความยืดหยุ่นลดลง

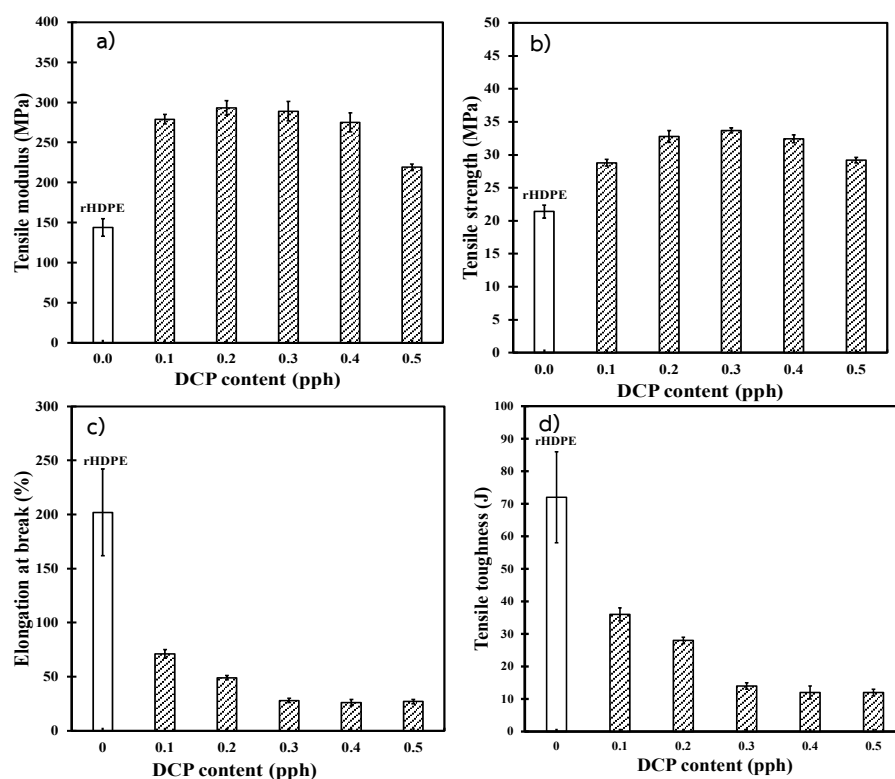


Figure 3 Mechanical properties of rHDPE mixed with DCP (a) Tensile modulus (b) Tensile strength (c) Elongation at break และ (d) Tensile toughness

Table 2 Mechanical properties of rHDPE mixed with powdered rubber and DCP

Sample	Mechanical properties			
	Tensile modulus (MPa)	Tensile strength (MPa)	Elongation at break (%)	Tensile toughness (J)
rHDPE	144 ±11	21.4 ±1.0	202 ±40	72 ±14
rHDPE/ACM 2 pph	112 ±8	19.5 ±0.2	380 ±39	125 ±13
rHDPE/SBR 2 pph	120 ±6	19.9 ±0.2	241 ±21	82 ±6
rHDPE/DCP 0.1 pph	331 ±7	32.0 ±0.5	52 ±4	36 ±2
rHDPE/ACM 2 pph/DCP 0.1 pph	191 ±6	24.5 ±0.5	76 ±2	34 ±1
rHDPE/SBR 2 pph/DCP 0.1 pph	316 ±6	32.9 ±0.3	39 ±5	22 ±3

สรุปผลการทดลอง

1. การเติมผงยางอะครีเลต ผงยางสไตรีนบิวทาไดอีน และ DCP ทำให้ความสามารถในการไหลของพอลิเอทิลีนรีไซเคิลชนิดความหนาแน่นสูงไหลได้ยาก ความหนาแน่นโดยรวมมีค่าในช่วง 0.956-0.998 g/cm³ อุณหภูมิการโค้งตัวของพลาสติกลดลง ในขณะที่การเติมสารเชื่อมขวาง DCP ทำให้อุณหภูมิการโค้งตัวของพลาสติกเพิ่มขึ้น

2. การเติมผงยางเกรดสไตรีนบิวทาไดอีน และผงยางเกรดอะครีเลตในพอลิเอทิลีนรีไซเคิลชนิดความหนาแน่นสูง ทำให้ค่ามอดูลัสแรงดึง ความต้านทานแรงดึงและความเหนียวมีค่าลดลง การเติมผงยางอะครีเลต ปริมาณ 2-6 pph และการเติมผงยางสไตรีนบิวทาไดอีน ปริมาณ 2 pph มีค่าการยึดตัวเพิ่มขึ้น

3. การเติม DCP ปริมาณ 0.1-0.3 pph ทำให้มอดูลัสแรงดึง และความต้านทานแรงดึงเพิ่มขึ้น แต่ค่าการยึดตัวมีแนวโน้มลดลง และเมื่อเติมปริมาณ DCP เพิ่มขึ้น พบว่าค่ามอดูลัสแรงดึงและความต้านทานแรงดึงลดลง

4. การเติมผงยางอะครีเลตและผงยางสไตรีนบิวทาไดอีนปริมาณ 2 pph ร่วมกับ DCP ที่ปริมาณ 0.1 pph ทำให้ค่ามอดูลัสแรงดึง และความต้านทานแรงดึงมีค่าเพิ่มขึ้น ในขณะที่ค่าการยึดตัวและความเหนียวมีค่าลดลง

กิตติกรรมประกาศ

คณะวิจัยขอขอบพระคุณทุนโครงการพัฒนานักวิจัยและงานวิจัยเพื่ออุตสาหกรรม (พวอ.) ร่วมกับบริษัท เอส พี พลาสติก อินดัสตรี จำกัด เลขที่สัญญา MSD61I0066 และโครงการมหาวิทยาลัยวิจัยแห่งชาติ (NRU) บริษัท สยามอิเล็กทรอนิกส์ จำกัด ให้สารเคมีวิจัย และบริษัท อินโนเวชั่น กรุ๊ป จำกัด ให้ความอนุเคราะห์เครื่องมือทดสอบ

เอกสารอ้างอิง

- Cassidy, J., Nesaei, S., McTaggart, R., and Delfanian, F. 2016. Mechanical Response of High Density Polyethylene to Gamma Radiation from Cobalt-60 Irradiator. **Polymer Testing**. 52: 111-116.
- Fayolle, B., Colin, X., Audouin, L., and Verdu, J. 2007. Mechanism of Degradation Induced Embrittlement in Polyethylene. **Polymer Degradation and Stability**. 92: 231-238.
- Oblak, P., Gutierrez, J.G., Zupancic, B., Aulova, A. and Emri, I. 2015. Processability and Mechanical Properties of Extensively Recycled High Density Polyethylene. **Polymer Degradation and Stability**. 114: 133-145.
- Sanchez, C.G., Aguirre, A.M., Garcia, B.P., Acosta, J., Valero, C.F., Ordan, M.U., Sanchez, C., and Urreaga, J.M. 2016. Enhancement of Mechanical Properties of Waste-Sourced Biocomposites through Peroxide induced Crosslinkings. **Composites Part A: Applied Science and Manufacturing**. 80: 285-291.
- Tamboli, S.M., Mhaske, S.T., and Kale, D.D. 2004. Crosslinked Polyethylene. **Indian Journal of Chemical**. 11: 853-864.
- Zhang, M., Liu, Y., Zhang, X., Gao, J., Huang, F., Song, Z., Wei, G. and Qiao, J. 2002. The Effect of Elastomeric Nano-Particles on the Mechanical Properties and Crystallization Behavior of Polypropylene. **Polymer**. 43: 5133-5138.