

สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิโพรไพลีนและพอลิเอทิลีน

วัชรินทร์ หยูตุง¹ ธรณิศ นาวารัตน์² สมบัติ พุทธจักร³

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี ต.รูสะมิแล อ.เมือง จ.ปัตตานี 94001

และ มหัทธนี แซ่ด่าน⁴

มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตพระราชวังสนามจันทร์ อ.เมือง จ.นครปฐม 73000

บทคัดย่อ

พอลิโพรไพลีน (Polypropylene, PP) และพอลิเอทิลีน (Polyethylene, PE) เป็นพอลิเมอร์ที่นำมาใช้มากที่สุดเนื่องจากมีสมบัติเชิงกลที่ดีและราคาค่อนข้างถูก โดยปกติถ้านำพอลิเมอร์ทั้งสองมาผสมรวมกันจะให้สมบัติเชิงกลที่ไม่ดีเนื่องจากโดยปกติแล้วพอลิเมอร์ทั้งสองไม่สามารถผสมให้เข้ากันได้ วิธีหนึ่งที่สามารถทำให้พอลิเมอร์ทั้งสองผสมเข้ากันได้คือการผสมด้วยกระบวนการรีเอกทีฟเอ็กซทรูชัน (Reactive extrusion) โดยทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมีระหว่างผิวของพอลิเมอร์ในสภาวะหลอมและเกิดเป็นโคพอลิเมอร์คู่ผสมในเครื่องอัดรีด งานวิจัยนี้ใช้ระบบรีเอกทีฟเบลนด์สำหรับการผสม PP กับ PE โดยผ่านปฏิกิริยาฟรีเรดิคัลในระบบเปอร์ออกไซด์ ร่วมกับโอลิโกเมอร์ มอนอเมอร์ และ EPDM จากการวิเคราะห์สมบัติเชิงกลและลักษณะทางลัญฐานวิทยา พบว่าการผสมด้วยระบบรีเอกทีฟเอ็กซทรูชันทำให้พอลิเมอร์เข้ากันได้ดีขึ้น มีลักษณะทางลัญฐานวิทยาที่ละเอียดและมีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ ทั้งยังได้สมบัติเชิงกลที่ดีขึ้นอีกด้วย

คำสำคัญ : พอลิโพรไพลีน / พอลิเอทิลีน / กระบวนการรีเอกทีฟเอ็กซทรูชัน / รีเอกทีฟเบลนด์

¹ นักศึกษาปริญญาโท สาขาวิชาฟิสิกส์พอลิเมอร์

² อาจารย์ สาขาวิชาฟิสิกส์พอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

³ รองศาสตราจารย์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

⁴ รองศาสตราจารย์ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์

Mechanical Properties of Polypropylene and Polyethylene Blends

Watcharin Yutung ¹, Thoranit Navarat ², Sombat Puttajukr ³,

Prince of Songkla University, Pattani Campus, Pattani 94001

and Manus Seadan ⁴

Silpakorn University, Sanarm Chand Palace Campus, Nakhon Pathom 73000

Abstract

Polypropylene (PP) and polyethylene (PE) are the most common commercial thermoplastics which are used in a large quantity, because of their good mechanical properties and low cost. However, the blends of PP and PE are normally incompatible and give poor mechanical properties. A suitable way to solve this problem is to create in situ copolymer at interface. A system of the reactive extrusion blends was proposed. The system is peroxide initiating free radical reaction in combination with oligomer, monomer and EPDM. The reactive blend was taken place in single screw extruder. Mechanical properties and phase morphologies were studied. It showed good mechanical properties and very fine morphologies.

Keywords : Polypropylene / Polyethylene / Reactive Extrusion / Reactive Blends

¹ Under-graduated Student, Polymer Physics Program.

² Lecturer, Polymer Physics Program, School of Science and Technology.

³ Associated Professor, Polymer Physics Program, School of Science and Technology.

⁴ Associated Professor, Department of Physics, Faculty of Science.

1. บทนำ

พอลิโพรไพลีน (Polypropylene, PP) และพอลิเอทิลีน (Polyethylene, PE) เป็นพอลิเมอร์ชนิดที่ใช้กันมาก เนื่องจากมีราคาค่อนข้างถูก พอลิเมอร์เหล่านี้มีการสลายตัวซ้ำจึงกลายเป็นขยะที่สร้างปัญหาต่อสิ่งแวดล้อม วิธีการกำจัดขยะพอลิเมอร์เหล่านี้สามารถทำได้หลายวิธี เช่น การนำไปฝัง (burial) หรือนำไปถมดิน (landfill) การนำไปเผาเป็นเชื้อเพลิง (incineration) และการนำกลับมาใช้ใหม่ (recycle) อย่างไรก็ตาม การนำกลับมาใช้ใหม่หรือการรีไซเคิลขยะพอลิเมอร์เป็นวิธีการที่น่าสนใจวิธีหนึ่ง เพราะไม่เพียงแต่จะช่วยรักษาสังแวดล้อมเท่านั้น แต่ยังส่งผลในเชิงพาณิชย์อีกด้วย กระบวนการรีไซเคิลนั้นมีสองขั้นตอนคือการแยกชนิดของพอลิเมอร์แล้วการกำจัดสิ่งที่ไม่ต้องการออกไป หลังจากนั้นก็นำขยะพอลิเมอร์กลับมาหลอมและขึ้นรูปใหม่ แต่กระบวนการแยกมีค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับราคาเม็ดพอลิเมอร์ใหม่ อีกทางเลือกหนึ่งที่เป็นไปได้คือการนำขยะพอลิเมอร์เหล่านั้นมาหลอมรวมกันใหม่เป็นกระบวนการผสมเชิงกล (simple blends หรือ physical blends) โดยไม่ผ่านกระบวนการแยก แต่ผลการผสมที่ได้ให้สมบัติเชิงกลไม่ดีเนื่องจาก PP และ PE ไม่เข้ากัน วิธีหนึ่งที่จะทำให้พอลิเมอร์เข้ากันได้ คือการทำให้เกิดโคพอลิเมอร์ที่ระหว่างผิวของพอลิเมอร์ทั้งสอง นอกจากนี้จะช่วยลดแรงดึงผิวที่ระหว่างผิวของพอลิเมอร์แล้ว ยังช่วยควบคุมลักษณะพื้นฐานวิทยาและการยึดเกาะระหว่างผิวอีกด้วย วิธีการสังเคราะห์โคพอลิเมอร์ให้เกิดขึ้นในระหว่างการผสมในสภาวะหลอมเรียกว่า รีแอคทีฟเบลนด์ (reactive blend) [4] สามารถทำได้โดยตรงและเสียค่าใช้จ่ายน้อยกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับการใส่ตัวประสานพิเศษที่มีราคาแพงกว่า พอลิเมอร์ผสมที่ได้จะให้สมบัติที่พิเศษแตกต่างไปจากพอลิเมอร์คู่ผสม ซึ่งสามารถกำหนดสมบัติต่างๆ ได้จากสัดส่วนของการผสม ในขณะที่การสังเคราะห์พอลิเมอร์ชนิดใหม่ให้มีสมบัติตามต้องการเป็นงานที่ต้องลงทุนสูงมากและใช้ระยะเวลาในการพัฒนาการวิจัยในห้องปฏิบัติการสูงโรงงานผลิตยาวนานกว่ามาก การผสมพอลิเมอร์ที่มีอยู่แล้วจึงเป็นแนวทางที่เหมาะสมกว่าทั้งทางด้านการลงทุนและในเรื่องของเวลาดังกล่าวแล้ว ดังนั้นการศึกษาพอลิเมอร์ผสมให้เข้ากันจึงมีความสำคัญต่ออุตสาหกรรมการรีไซเคิลพอลิเมอร์

และการผลิตพอลิเมอร์ให้มีสมบัติที่หลากหลายตรงกับความต้องการในเชิงอุตสาหกรรมของพอลิเมอร์อีกด้วย

ผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่าการศึกษาในงานวิจัยนี้จะช่วยให้เข้าใจเทคโนโลยีรีแอคทีฟเบลนด์จากการผสม PP กับ PE ได้ดียิ่งขึ้น สามารถที่จะพบตัวริเริ่มพรีเรดิคัลตัวประสาน (compatibilizer) หรือตัวร่วมทำปฏิกิริยา (co-agent) ที่เหมาะสมซึ่งจะทำให้สามารถควบคุมความเข้ากันได้ของพอลิเมอร์ผสม นอกจากนี้ทำให้ทราบสมบัติด้านต่างๆ เช่น สมบัติเชิงกลและลักษณะพื้นฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสม ซึ่งจะนำไปสู่การพัฒนาความก้าวหน้าเชิงวิชาการ โดยเฉพาะการผสมพอลิเมอร์ระหว่างพอลิโพรไพลีนและพอลิเอทิลีนให้มีสมบัติที่ดียิ่งขึ้น

2. วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อศึกษากระบวนการผสมคู่พอลิเมอร์ระหว่างพอลิโพรไพลีนกับพอลิเอทิลีน
2. เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติเชิงกลกับลักษณะพื้นฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสม
3. เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนการผสมกับลักษณะพื้นฐานวิทยาและสมบัติเชิงรีโอโลยีของพอลิเมอร์ผสม

3. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Blom et al., [2] ได้ศึกษาอิทธิพลของตัวประสานชนิด ethylene/propylene/diene monomer (EPDM) กับ ethylene/vinyl acetate (EVA) copolymer ที่มีผลต่อสมบัติของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PP กับ HDPE โดยใช้เครื่องอัดรีดแบบสกรูคู่ ชนิด Co-rotating ความเร็วสกรู 35 rpm และอุณหภูมิที่ตายน์ 190 °C ผลจากการศึกษาพบว่า การใช้ตัวประสานชนิด EPDM และ EVA ปริมาณ 5.0% สามารถทำให้เพิ่มความเข้ากันได้พอลิเมอร์ผสม โดยสมบัติการทนต่อการกระแทกของ PP/HDPE (85.5/9.5 wt%) การใช้ EPDM > EVA ส่วนสมบัติการทนต่อการดึง การใช้ EVA > EPDM และยังพบอีกว่าการปรับปรุงสมบัติการทนต่อการกระแทกของ PP เพียงอย่างเดียว การใช้ EVA > EPDM สังเกตได้จากการวิเคราะห์ด้วย DSC ซึ่งการใช้ EPDM ผสมกับ PP จะทำให้เปอร์เซ็นต์การตกผลึก

ของ PP ลดลง ซึ่งไม่เกิดขึ้นกับการผสมในกรณีของ EVA/PP

Kruliš *et al.*, [9] ศึกษา Reactive compatibilization ในการผสม PE/PP โดยใช้พอลิอิวตะไดอินน้ำหนักโมเลกุลต่ำ (I-PB) และ di-tert-butyl peroxide, DTBP ในเครื่องผสมแบบปิดพบว่า ค่า Tensile impact strength เพิ่มขึ้น และจากการศึกษาด้วย TEM พบว่าการผสมเข้ากันได้ดี อย่างไรก็ตามเมื่อเพิ่มปริมาณของ I-PB มากเกินไปจะทำให้ Tensile impact strength ลดลง ดังนั้นการร่วมทำปฏิกิริยาของ I-PB/DTBP ในปริมาณที่เหมาะสมของระบบรีแอกทีฟเบลนด์จะทำให้สมบัติเชิงกลของ LDPE/PP และ LDPE/HDPE/PP ดีขึ้น

Fortelný *et al.*, [6] ได้ทำการศึกษาความเข้ากันได้ในการผสมของพอลิเอทิลีน พอลิโพรพิลีน และพอลิสไตรีน โดยใช้พอลิอิวตะไดอินน้ำหนักโมเลกุลต่ำ (I-PB)/di-tert-butyl peroxide (DTBP) และใช้โคพอลิเมอร์ของ Styrene-butadiene-styrene (SBS) จากการวัดค่า Tensile impact strength เพื่อทำการศึกษารวมของพอลิเมอร์ระหว่าง LDPE/HDPE/PP/HIPS พบว่า เมื่อใส่ตัวประสาน I-PB ร่วมกับ DTBP จะช่วยเพิ่ม Impact strength ของพอลิเมอร์ผสม LDPE/HIPS ส่วนโคพอลิเมอร์ SBS จะช่วยเพิ่ม Impact strength ในการผสม LDPE/PP และตัวประสานทั้งสองตัวนี้มีอิทธิพลในการเพิ่มความเหนียวในการผสม LDPE/HDPE/PP/HIPS

Hettema *et al.*, [7] ได้ศึกษาสมบัติของการผสมพอลิเมอร์ระหว่าง HDPE/PP (90/10 wt%) ด้วยวิธีรีแอกทีฟเบลนด์ ในเครื่องอัดรีดแบบสกรูคู่ โดยใช้เปอร์ออกไซด์ชนิด Trigonox 101 (0.05%) ร่วมกับมอนอเมอร์ชนิด *n*-butyl methacrylate (*n*-BMA) (2%) ผลจากการศึกษาพบว่า จะให้ค่า elongation at break เพิ่มขึ้นเป็นสามเท่า และค่า impact strength เพิ่มขึ้นเป็นสองเท่า เมื่อเทียบกับกรณีฟิลิกัลเบลนด์ ส่วนการเพิ่มเปอร์ออกไซด์หรือมอนอเมอร์อย่างใดอย่างหนึ่งเพียงอย่างเดียวในการผสมไม่สามารถทำให้สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมดีขึ้นได้ และจากการศึกษาลักษณะพื้นฐานวิทยาศาสตร์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนจะเห็นว่าพอลิเมอร์ผสมในระบบรีแอกทีฟเบลนด์จะให้ผลลบล้างที่หนาน้อยกว่าและผิวรอยหักมีความเป็นเนื้อเดียวกันมากกว่าเมื่อเทียบกับระบบฟิลิกัลเบลนด์ ส่วนการ

ศึกษานิตของเครื่องอัดรีดแบบสกรูคู่ที่เหมาะสม พบว่าเครื่องอัดรีดแบบสกรูคู่ชนิด Co-rotating จะเหมาะสมกว่าสำหรับการผสมพอลิเมอร์เนื่องจากให้แรงเฉือนสูงกว่าและ residence time ที่นานกว่าเครื่องอัดรีดแบบสกรูคู่ชนิด Counter-rotating มาก

Li *et al.*, [8] ทำการศึกษาการกราฟต์มาลิกแอนไฮโดรต์ด้วยไดควิลเปอร์ออกไซด์ (DCP) ในระหว่างการผสม LDPE กับ PP โดยใช้เครื่องอัดรีดแบบสกรูคู่ ที่ความเร็วสกรู 60 rpm และอุณหภูมิเตาที่ 200 °C จากการศึกษาความหนืดขณะหลอมของพอลิเมอร์ผสมโดยใช้เครื่องคาปิลลารีโอมิเตอร์ (Capillary rheometer) พบว่าเมื่อปริมาณ PP หรือ MAH เพิ่มขึ้น มีผลทำให้ความหนืดของพอลิเมอร์ผสมลดลง ส่วนการศึกษาปริมาณ DCP พบว่าความหนืดของพอลิเมอร์ผสมไม่เปลี่ยนแปลง เมื่อปริมาณ DCP เพิ่มขึ้น สำหรับการศึกษาดัชนีการกราฟต์มาลิกแอนไฮโดรต์โดยการวิเคราะห์ด้วย FTIR เมื่อศึกษาปริมาณ DCP และ MAH พบว่าดัชนีการกราฟต์มาลิกแอนไฮโดรต์บนพอลิเมอร์ผสมจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณ DCP หรือ MAH โดยปริมาณที่เหมาะสมคือ 0.1 และ 1.5% ตามลำดับ

4. วัสดุและสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

พอลิเมอร์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ประกอบด้วย พอลิโพรพิลีน (Polypropylene, PP) ผลิตโดยบริษัท Thai-Polypropylene Co.,Ltd เกรด P401S อยู่ในรูปเม็ด มีค่า MFI 2.40 ก./10 นาที (2.16 กก., 190 °C) ความหนาแน่น 0.910 ก./ซม.³ พอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ (Low density polyethylene, LDPE) ผลิตโดยบริษัท Thai Petrochemical Industry Public Company (POLENE) เกรด JJ4324 อยู่ในรูปเม็ด มีค่า MFI 5.50 ก./10 นาที (2.16 กก., 190 °C) ความหนาแน่น 0.922 ก./ซม.³ ยางอีพีดีเอ็ม (Ethylene-Propylene Diene terpolymer, EPDM) เกรด 3745P ผลิตโดยบริษัท Dow Chemical Company อยู่ในรูปเม็ด มีปริมาณเอทิลีน 69% โพรพิลีน 30.5% และไดอิน 0.5% น้ำหนักโมเลกุล (Mw) 150,000 ก./โมล ความหนาแน่น 0.88 ก./ซม.³ ความหนืดมูนิที่ 125 °C เท่ากับ 45

ตัวริเริ่มปฏิกิริยาที่ใช้ในงานวิจัยนี้ เป็นเปอร์ออกไซด์ชนิด 2,5-Dimethyl-2,5-di(tert-butylperoxy)hexane มีชื่อทางการค้าว่า Trigonox 101-45B-pd ผลิตโดยบริษัท Akzo Noble Chemicals ประเทศเนเธอร์แลนด์ มีลักษณะเป็นผง ปริมาณเนื้อเปอร์ออกไซด์ 45% น้ำหนักโมเลกุล 290.4 ก./โมล ความหนาแน่นที่ 20 °C 0.870 ก./ซม.³ ที่อุณหภูมิ 156 °C มีครึ่งชีวิต 6 นาที สารตัวร่วมทำปฏิกิริยาประกอบด้วย มาลิกแอนไฮไดรด์ (Maleic anhydride, MAH) น้ำหนักโมเลกุล 98.06 ก./โมล จุดหลอมอยู่ในช่วง 52-54 °C ผลิตโดยบริษัท Fluka Chemika ประเทศสวิตเซอร์แลนด์ พอลิบิวตะไดอินน้ำหนักโมเลกุลต่ำ (low molecular weight polybutadiene, I-PB) มีน้ำหนักโมเลกุล (Mn) 1,530-2,070 (VPO) ผลิตโดยบริษัท Sigma-Aldrich และ paraffinic oil ที่ใช้ในการศึกษาเป็นเกรดในเชิงการค้า

5. ขั้นตอนและวิธีการทดลอง

5.1 การเตรียมพอลิเมอร์ผสม

การศึกษาการเตรียมพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิโพรไพลีนและพอลิเอทิลีน ทำการเตรียมการผสม 2 ระบบด้วยกัน คือ ระบบฟิสิกัลเบลนด์และระบบรีแอกทีฟเบลนด์ ซึ่งมีขั้นตอนการเตรียมพอลิเมอร์ผสมดังนี้ นำเม็ดพอลิเมอร์ชนิดพอลิโพรไพลีนและพอลิเอทิลีนไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 80 °C เป็นเวลา 12 ชั่วโมง โดยใน

การศึกษาหาสูตรที่ให้สมบัติเชิงกลดีที่สุด จะทำการผสมในสัดส่วนการผสม 70/30 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนัก หรือ %wt (เนื่องจากเป็น สัดส่วนที่สามารถพิจารณาฐานวิทยาศาสตร์และความเข้ากันได้ง่าย อีกทั้งเพลหลักคือ PP มีความว่องไวต่อฟริเรดิคัลมากกว่า LDPE ทำให้สามารถพิจารณาสมบัติเชิงกลได้ชัดเจน) โดยทำการผสมให้เม็ดพอลิเมอร์ทั้งสองร่วมกับสารเคมีต่างๆ ให้กระจายอย่างสม่ำเสมอ (Dry blending) ตามสูตรที่แสดงไว้ในตารางที่ 1 และนำไปผสมผ่านเครื่องอัดรีดแบบสกรูเดี่ยวที่อุณหภูมิ 190 °C และความเร็วสกรู 37.5 รอบต่อนาที พอลิเมอร์ผสมออกจากตายน์ผ่านอ่างน้ำหล่อเย็น ก่อนนำไปตัดเป็นเม็ดด้วยเครื่องตัดเม็ดพลาสติกและอบที่อุณหภูมิ 80 °C เป็นเวลา 12 ชั่วโมง ก่อนนำไปทดสอบสมบัติต่างๆ โดยในการศึกษาสมบัติเชิงกลจะทำการเตรียมชิ้นทดสอบด้วยเครื่องฉีดพลาสติกเป็นชิ้นทดสอบรูปดัมเบลและชิ้นทดสอบการทนต่อการกระแทก

นำสูตรที่ให้สมบัติที่เหมาะสมที่สุด ทำการเตรียมพอลิเมอร์ผสมที่สัดส่วนการผสมอื่นๆ ดังนี้ 80/20 60/40 50/50 40/60 30/70 20/80 %wt ในเครื่องเอ็กซ์ทรูดแบบสกรูเดี่ยว ตามสภาวะเงื่อนไขเดียวกัน ก่อนนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 80 °C เป็นเวลา 12 ชั่วโมง และนำไปทดสอบสมบัติต่างๆ ต่อไป

ตารางที่ 1 สูตรต่างๆ และค่าดรรชนีการไหลของพอลิเมอร์ผสมที่เตรียมจากระบบรีแอกทีฟเบลนด์โดยใช้โออีโกเมอร์

Sample	PP (%wt)	LDPE (%wt)	Trigonox 101 (%)	I-PB (%)	MAH (%)	EPDM/paraffi-nic oil (%wt)	MFI (g/10min)
Phy	70	30	-	-	-	-	4.65 ± 0.22
F 1	"	"	0.02	-	-	-	7.71 ± 0.39
F 2	"	"	"	0.3	-	-	9.15 ± 0.81
F 3	"	"	"	"	0.1	-	8.25 ± 0.43
F 4	"	"	0.01	"	"	-	6.18 ± 0.22
F 5	"	"	0.03	"	"	-	13.31 ± 0.72
F 6	"	"	0.02	0.2	"	-	7.84 ± 0.68
F 7	"	"	"	0.5	"	-	8.61 ± 0.50
F 8	"	"	"	0.3	0.3	-	8.01 ± 0.63
F 9	"	"	"	"	0.5	-	7.85 ± 0.76
F10	"	"	"	"	0.1	5.0	7.49 ± 0.40

5.2 การทดสอบสมบัติต่างๆ ของพอลิเมอร์ผสม

1. การศึกษาสมบัติเชิงกล (Mechanical properties) จะทำการศึกษาศสมบัติการทนต่อแรงดึงและสมบัติการทนต่อแรงกระแทกโดยใช้เครื่องทดสอบการทนต่อแรงดึงยี่ห้อ Hounsfield รุ่น H10KS ผลิตโดยบริษัท Test Equipment Ltd. ประเทศอังกฤษ และสมบัติการทนต่อแรงกระแทกแบบเพนดูลัม (Pendulum impact tester) โดยใช้เครื่องรุ่น 5102.201 B ผลิตโดยบริษัท Zwick Material Testing โดยเปรียบเทียบทุกระบบการผสมดังแสดงในตารางที่ 1

2. การศึกษาสมบัติเชิงรีโอโลยี (Rheological properties) จะทำการศึกษาโดยใช้เครื่องทดสอบดรรชนีการไหลของพลาสติก (Melt flow quick index) รุ่น 7021.000, 7022.000 ผลิตโดยบริษัท CEAST ใช้ทดสอบดรรชนีการไหลขณะหลอมของพอลิเมอร์ โดยทำการทดสอบที่อุณหภูมิและแรงกดที่กำหนดโดยมาตรฐาน ASTM D1238 ในการทดสอบพอลิโพรพิลีนใช้อุณหภูมิ 230 °C ภายใต้น้ำหนักกด 2.16 กก.

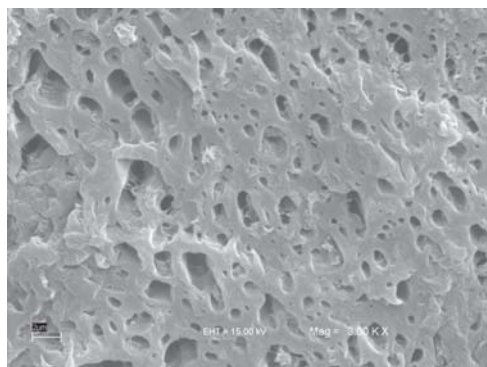
3. การศึกษาสมบัติเชิงความร้อน (Thermal properties) จะทำการศึกษาโดยใช้เครื่องดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งคัลลอริเมทรี (DSC) รุ่น DSC-7 ผลิตโดยบริษัท Perkin Elmer ประเทศสหรัฐอเมริกา เพื่อวิเคราะห์ค่าอุณหภูมิหลอมผลึกของพอลิเมอร์ (T_m) และอุณหภูมิการตกผลึกของพอลิเมอร์ (T_c) โดย PP และ LDPE มีค่ามาตรฐานการตกผลึก 100% เท่ากับ 198 และ 290 J/g ตามลำดับ [5]

4. การศึกษาลักษณะสัณฐานวิทยา โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) เป็นเครื่องยี่ห้อ Leo รุ่น 145 VP ผลิตโดยบริษัท Leo ประเทศอังกฤษ นำชิ้นตัวอย่างมาสกัดเฟส LDPE ออกด้วยไซโคลเฮกเซนที่จุดเดือดของตัวทำละลาย

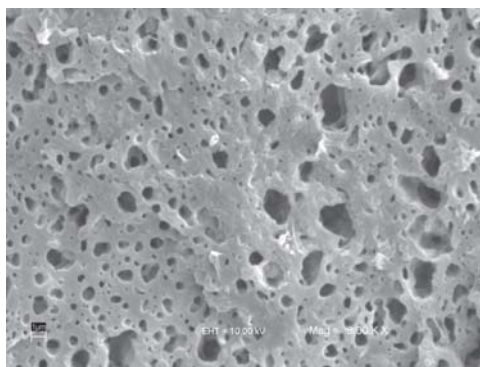
6. ผลการทดลองและวิจารณ์

ผลการศึกษาลักษณะสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิโพรพิลีนและพอลิเอทิลีน ดังแสดงในรูปที่ 1

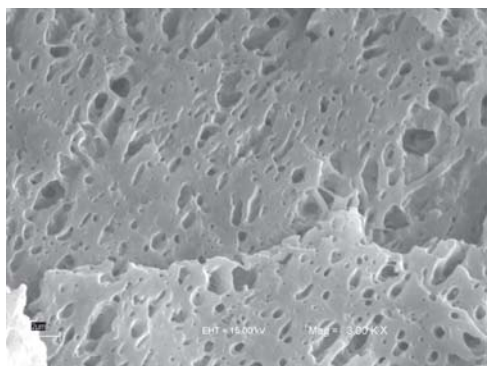
จากรูปที่ 1ก. แสดงผลของลักษณะสัณฐานวิทยาในกรณีของฟิล์มคัลเบลนด์ PP/LDPE (70/30) พบว่าอนุภาค LDPE มีขนาดใหญ่และกระจายไม่สม่ำเสมออยู่ในเฟส PP โดยพอลิเมอร์ ทั้งสองชนิดแยกเฟสกันชัดเจน เนื่องจากอนุภาคของ LDPE มีขนาดใหญ่และกระจายตัวอยู่ในเฟส PP ไม่สม่ำเสมอ ลักษณะแบบนี้สันนิษฐานได้ว่าพอลิเมอร์ทั้งสองไม่เข้ากัน ในกรณีที่ใช้เปอร์ออกไซด์เพียงอย่างเดียวดังรูปที่ 1ข. พบว่า อนุภาคของ LDPE มีขนาดใหญ่บ้างเล็กบ้างแต่จะกระจายตัวสม่ำเสมออยู่ในเฟส PP เนื่องจากเปอร์ออกไซด์มีผลทำให้แมคโครเรดิคัลของ PE และ PP เกิดปฏิกิริยาข้างเคียง คือใน LDPE โซโมเลกุล จะเกิดการเชื่อมโยง (Crosslinking) และใน PP โซโมเลกุล เกิดการเสื่อมสภาพ (Degradation) ดังนั้นเมื่อพิจารณาเฟส โดยส่วนใหญ่ (Matrix phase) แล้ว จะเห็นว่าปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น คือโซโมเลกุลจะเกิด Chain scission มากกว่า ส่งผลให้น้ำหนักโมเลกุลลดลงอย่างรวดเร็ว จะเห็นได้จากค่าดรรชนีการไหลของพอลิเมอร์ผสมในสูตร F1 ที่เพิ่มขึ้นจาก 4.65 เป็น 7.71 ก./10 นาที เมื่อเทียบกับระบบฟิล์มคัลเบลนด์จากรูปที่ 1ค. พบว่า การใช้ I-PB ร่วมกับเปอร์ออกไซด์ มีผลทำให้ขนาดอนุภาค LDPE ลดลงเล็กน้อยและกระจายตัวในเฟส PP ดีขึ้น เมื่อเทียบกับสูตรที่ใช้เปอร์ออกไซด์อย่างเดียว เนื่องจาก I-PB จะเข้าร่วมกับแมคโครเรดิคัลของ PE และ PP ซึ่งมักจะชอบเข้ารวมกันกับ PE มากกว่า ทำให้เกิดโครงสร้างที่เป็นกิ่งของ I-PB ซึ่งจะเข้ากันได้กับส่วนประกอบทั้งหมดในการผสม โดยโครงสร้างใหม่นี้เป็นตัวที่สามารถลดแรงระหว่างผิวของ LDPE และ PP สามารถเกิดเป็นโคพอลิเมอร์ของเอทิลีน-โพรพิลีนได้ อย่างไรก็ตามมันยังเกิดปฏิกิริยาที่ช้าเกินไปเมื่อเทียบกับการเกิด Chain scission ของ PP และการเกิดการเชื่อมโยงใน LDPE ทำให้ยังคงเห็นอนุภาค LDPE ที่มีขนาดใหญ่กระจายอยู่บน PP อีกทั้งยังส่งผลให้ความหนืดของการผสมลดลงอีกด้วย ซึ่งจะเห็นได้จากค่าดรรชนีการไหลเพิ่มขึ้นจาก 7.71 เป็น 9.15 ก./10 นาที เมื่อเทียบกับสูตรที่ใช้เปอร์ออกไซด์อย่างเดียว



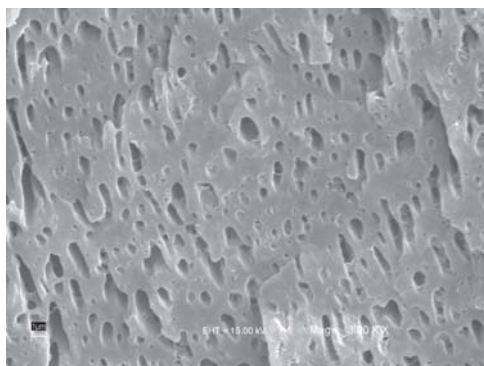
ก. Phy



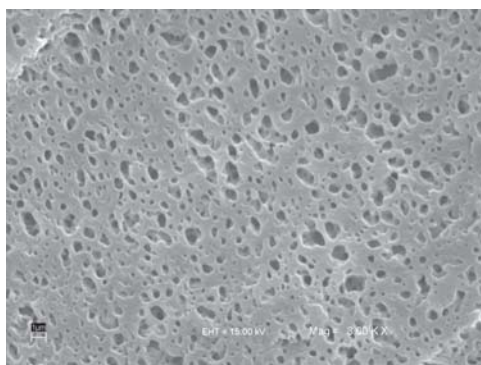
ข. F1



ค. F2



ง. F3



จ. F10

รูปที่ 1 แสดงลักษณะทางสัณฐานวิทยาของการผสม PP/LDPE (70/30 %wt)
ในรูป ก. Physical blends ข. F1 ค. F2 ง. F3 จ. F10

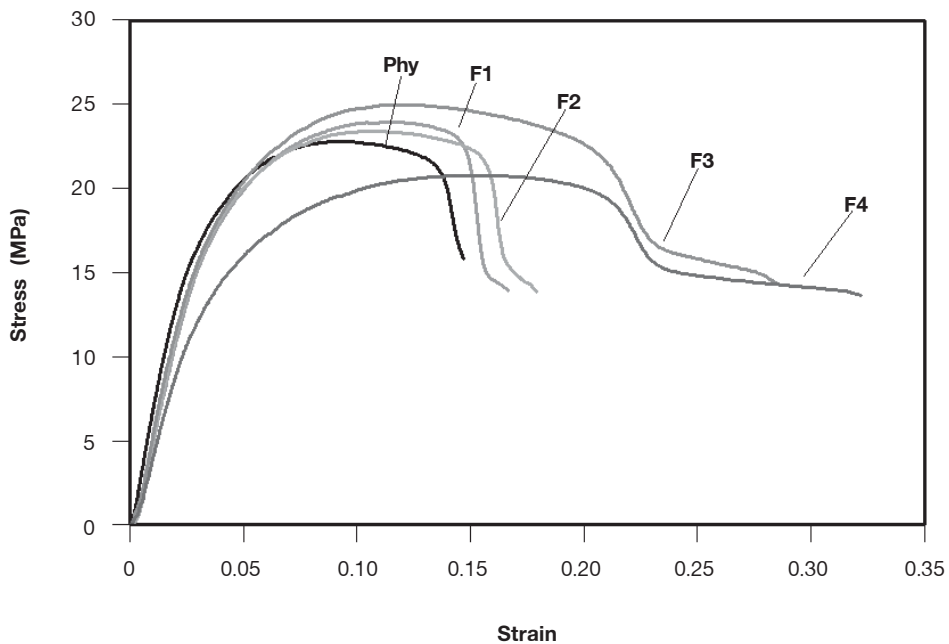
เมื่อใส่ MAH ร่วมกับ I-PB และเปอร์ออกไซด์ ดังรูปที่ 1ง. พบว่า ขนาดอนุภาค LDPE เล็กลงและกระจายอย่างสม่ำเสมอมากขึ้น เมื่อเทียบกับสูตรที่ F2 เนื่องจากการใช้ MAH ร่วมในการผสม จะมีผลทำให้เกิดปฏิกิริยาการกราฟต์ได้ทั้ง PP และ PE ซึ่งมีส่วนช่วยลดการเกิดปฏิกิริยาข้างเคียงทั้งใน PP และ PE และทำให้เกิดโคพอลิเมอร์ระหว่างพอลิเมอร์ทั้งสองได้เพิ่มขึ้น จะเห็นได้จากค่าดรชนีการไหลที่ลดลงจาก 9.15 เป็น 8.25 ก./10 นาที เมื่อเทียบกับสูตรที่ F2 นั้นแสดงว่าพอลิเมอร์ผสมเข้ากันได้ดีขึ้น เมื่อใส่ MAH ร่วมกับเปอร์ออกไซด์และ I-PB

จากรูปที่ 1จ. เป็นกรณีที่ใช้ EPDM/paraffinic oil ร่วมกับสูตร F3 พบว่า ขนาดอนุภาค LDPE เล็กลงและกระจายตัวอยู่ในเฟส PP อย่างสม่ำเสมอมากขึ้นเมื่อเทียบกับสูตร F3 แสดงว่าการใส่ EPDM/paraffinic oil ร่วมกับ

สูตร F3 ซึ่งมีเปอร์ออกไซด์ I-PB และ MAH ในปริมาณที่เหมาะสม สามารถช่วยให้พอลิเมอร์ผสมเข้ากันได้ดีขึ้น เนื่องจากการใส่ EPDM นอกจากจะเป็นสารปรับปรุงสมบัติการทนต่อการกระแทกแล้ว ยังเป็นตัวประสานที่มีความสามารถช่วยในการเข้ากันได้กับพอลิโอฟีนอีกด้วย อีกทั้งการใส่ paraffinic oil ของการผสมในสภาวะหลอมจะช่วยให้ EPDM มีความหนืดลดลง ทำให้สามารถเข้ากันได้กับพอลิเมอร์ทั้งสองได้ง่ายขึ้น ถึงแม้จะมีเปอร์ออกไซด์อยู่ด้วย แต่มีผลน้อยมากเนื่องจากใช้ในปริมาณที่น้อย เมื่อทำการผสมร่วมกับสูตร F3 จึงช่วยชะลอการเกิด Chain scission และทำให้เกิดการกราฟต์หรือเกิดโคพอลิเมอร์ได้มากขึ้น ซึ่งเห็นได้จากค่าดรชนีการไหลที่ลดลง จาก 8.25 เป็น 7.49 ก./10 นาที เมื่อเทียบกับสูตร F3

ตารางที่ 2 สมบัติเชิงกลของการผสม PP/LDPE ด้วยระบบรีแอกทีฟเบลนด์

Sample	Young's modulus, E (MPa)	Tensile strength, σ (MPa)	Elongation at break, ϵ_B (%)	Impact strength (J/m)
Phy	684	23.0 \pm 0.3	15.2 \pm 1.1	43.6 \pm 12.3
F1	580	23.7 \pm 0.2	18.7 \pm 3.4	21.0 \pm 2.0
F2	627	23.3 \pm 0.3	17.4 \pm 2.7	22.6 \pm 3.1
F3	622	25.3 \pm 0.3	29.2 \pm 4.7	21.0 \pm 2.0
F4	651	24.0 \pm 0.3	18.6 \pm 1.6	27.4 \pm 3.1
F5	581	24.4 \pm 0.2	23.6 \pm 2.7	16.1 \pm 5.1
F6	657	24.4 \pm 0.2	14.1 \pm 1.2	21.0 \pm 2.0
F7	620	23.6 \pm 0.2	22.1 \pm 1.3	22.6 \pm 2.2
F8	610	25.1 \pm 0.5	27.3 \pm 3.6	19.4 \pm 4.3
F9	582	25.2 \pm 0.4	25.4 \pm 3.4	25.8 \pm 3.7
F10	539	20.8 \pm 0.3	32.0 \pm 3.0	27.4 \pm 1.6



รูปที่ 2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียดของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PP/LDPE ในระบบรีแอกทีฟเบลนด์โดยเปรียบเทียบปริมาณสารต่างๆ ที่ใช้ในการผสม (จากตารางที่ 1)

ในการศึกษาสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PP/LDPE นั้น เนื่องจากพอลิเมอร์ทั้งสองชนิดนี้เป็นพอลิเมอร์ที่ตกผลึกทั้งคู่ และในงานวิจัยนี้ศึกษาการผสมโดยใช้ระบบพรีเรดิคัล คือใช้เปอร์ออกไซด์เป็นตัวริเริ่มปฏิกิริยา ซึ่งมีอิทธิพลต่อการเกิดปฏิกิริยาข้างเคียงใน PP และ LDPE จึงส่งผลต่อค่า Impact strength เป็นอย่างมาก จะเห็นได้จากผลการทดสอบในตารางที่ 2 พบว่า เมื่อใส่เปอร์ออกไซด์ร่วมในการผสมทุกระบบจะมีผลทำให้ค่า Impact strength ลดลง ดังนั้นในการศึกษาสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมในการเตรียมด้วยระบบรีแอกทีฟเบลนด์นี้ จึงพิจารณาความสามารถในการยืดจนขาด (Elongation at break) เป็นเกณฑ์หลักในการพิจารณา เนื่องจากค่า Elongation at break เป็นตัวแปรที่มีอิทธิพลมากที่สุด สำหรับการทดสอบสมบัติเชิงกลและสามารถบ่งบอกถึงการเข้ากันได้ด้วย

จากรูปที่ 2 พบว่าเมื่อใช้เปอร์ออกไซด์ในการผสมเพียงอย่างเดียว (ในสูตร F1) จะทำให้ค่า Elongation at break เพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อเทียบกับระบบฟิสิกัลเบลนด์

เนื่องจาก PP เป็นองค์ประกอบส่วนใหญ่ในการผสม การใส่เปอร์ออกไซด์เข้าไปจะทำให้โซ่โมเลกุลหลักของ PP เกิด Chain scission จะเห็นได้จากค่าการกระจายตัวของพอลิเมอร์ผสมที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว อย่างไรก็ตามเปอร์ออกไซด์ก็จะช่วยให้การกระจายตัวของน้ำหนักโมเลกุล (MWD) ใน PP แคบลงจึงทำให้ได้สมบัติเชิงกลดีขึ้นและการกระจายตัวของเฟส LDPE ที่ดีกว่าในระบบฟิสิกัลเบลนด์ ดังแสดงในรูปที่ 1ข.

ในระบบที่ใช้ I-PB ร่วมกับเปอร์ออกไซด์ (ในสูตร F2) มีผลทำให้ค่า Elongation at break เพิ่มขึ้น เมื่อเทียบกับระบบฟิสิกัลเบลนด์ เนื่องจากยังเกิดปฏิกิริยาข้างเคียงใน PP และ PE มาก จึงทำให้พอลิเมอร์ผสมเข้ากันได้ไม่ดี ซึ่งยืนยันได้จากภาพลักษณะสถานะฐานวิทยาในรูปที่ 2ค. ที่มีขนาดอนุภาค LDPE ที่ใหญ่อยู่บ้างแต่มีการกระจายตัวสม่ำเสมอมากขึ้น

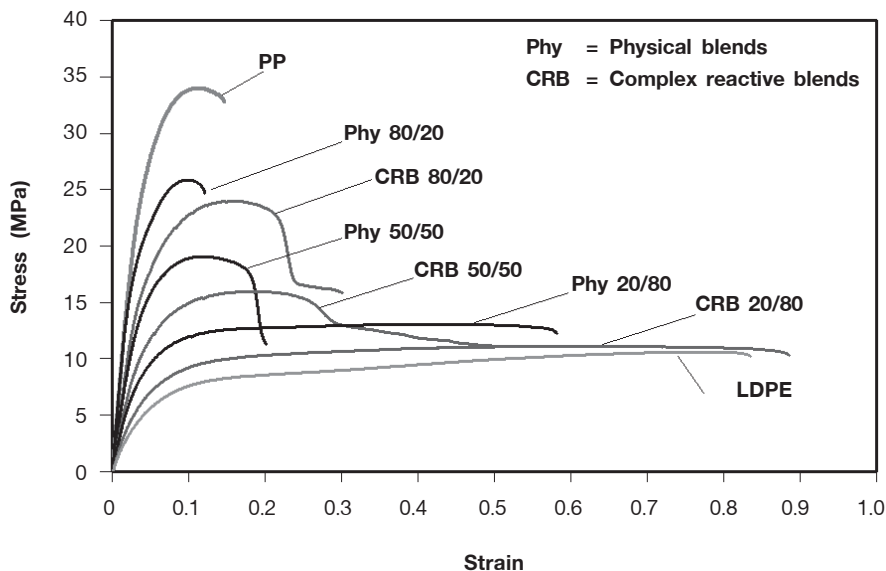
เมื่อใส่ MAH ร่วมกับเปอร์ออกไซด์และ I-PB (ในสูตรที่ F3) พบว่า มีผลทำให้ Elongation at break เพิ่มขึ้นมาก

เมื่อเทียบกับระบบที่ใช้ I-PB ร่วมกับเปอร์ออกไซด์ เนื่องจากการใช้ MAH จะช่วยเพิ่มปฏิกิริยาการกราฟต์ให้กับการผสมมากขึ้น อีกทั้งยังช่วยชะลอการเกิดปฏิกิริยาข้างเคียงในพอลิเมอร์ทั้งสอง สังเกตได้จากค่าดรรรชนีการไหลที่ลดลงจาก 9.15 เป็น 8.25 ก./10 นาที เมื่อเทียบกับระบบที่ใช้ I-PB ร่วมกับเปอร์ออกไซด์ (ในสูตรที่ F2) ซึ่งสอดคล้องกับภาพลักษณะสัณฐานวิทยาในรูปที่ 2จ. ที่มีขนาดอนุภาค LDPE ที่ละเอียดและกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอมาก

เมื่อใส่ EPDM/paraffinic oil ร่วมกับสูตร F3 (ดังแสดงในสูตร F10) พบว่า จะมีผลทำให้ทั้งค่า Elongation at break และ Impact strength เพิ่มขึ้น เนื่องจาก EPDM จะเป็นตัวช่วยให้ทนต่อการกระแทกแล้ว ยังเป็นตัวประสานที่มีความสามารถช่วยในการเข้ากันได้ดีในพอลิโอฟีนอีกด้วย เมื่อทำการผสมร่วมกับสูตร F3 จึง

ช่วยชะลอการเกิด Chain scission และทำให้เกิดการกราฟต์หรือเกิดโคพอลิเมอร์ได้มากขึ้น ซึ่งเห็นได้จากค่าดรรรชนีการไหลที่ลดลงจาก 8.25 เป็น 7.49 ก./10 นาที เมื่อเทียบกับสูตร F3 และสอดคล้องกับลักษณะสัณฐานวิทยาที่มีความละเอียดและกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 1จ.

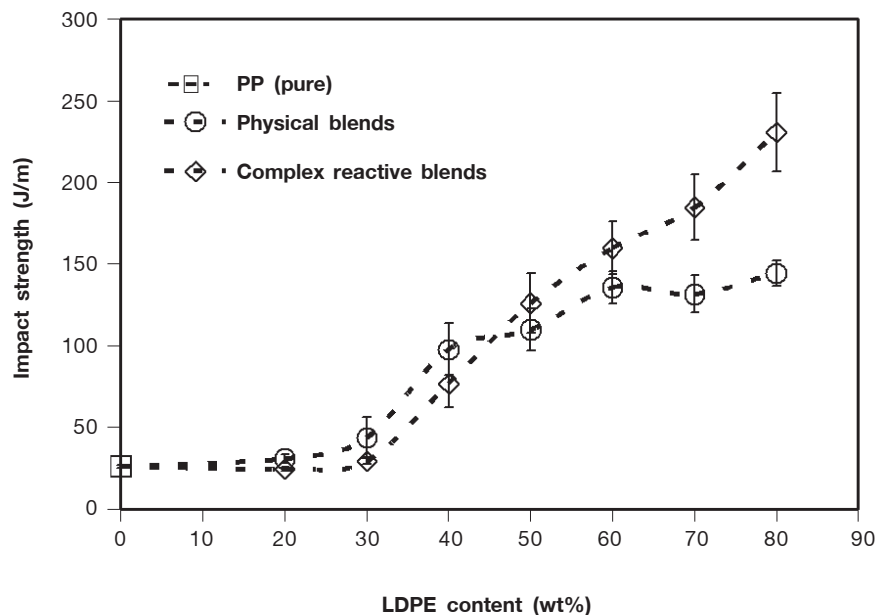
จากการศึกษาสมบัติเชิงกลของ PP/LDPE ที่ผสมด้วยระบบการผสมต่างๆ พบว่า ระบบการผสมที่ให้สมบัติเชิงกลเหมาะสมที่สุดคือ สูตร F10 ซึ่งต่อไปจะทำการศึกษสมบัติต่างๆ ของการผสม โดยใช้สูตร F10 แปรสัดส่วนการผสมระหว่าง PP/LDPE คือ 80/20 70/30 60/40 50/50 40/60 30/70 และ 20/80%wt ตามลำดับเปรียบเทียบกับระบบฟิสิกัลเบลนด์ ดังนี้



รูปที่ 3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียดของการผสม PP/LDPE ที่อัตราส่วนการผสมต่างๆ โดยเปรียบเทียบระบบฟิสิกัลเบลนด์กับรีแอกทีฟเบลนด์

จากรูปที่ 3 เป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียด พบว่า การผสมด้วยระบบรีแอกทีฟเบลนด์ (สูตร F10) จะมีค่า Young's modulus และค่า Tensile strength น้อยกว่ากราฟระบบฟิสิกัลเบลนด์ในทุกสัดส่วนการผสม เนื่องจากมียาง EPDM/paraffinic oil 5.0% ซึ่งมีอิทธิพลต่อความเป็นอีลาสติกและความแข็งแรงในแนวการดึงของพอลิเมอร์ผสม และยังพบอีกว่าในระบบฟิสิกัลเบลนด์

ในทุกสัดส่วนของการผสมจะมีค่า Elongation at break ต่ำกว่าการผสมด้วยระบบรีแอกทีฟเบลนด์ในสูตร F10 มาก เนื่องจากการผสมด้วยระบบฟิสิกัลเบลนด์ไม่สามารถผสมเข้ากันได้ ถึงแม้ผสมทั้งสองนี้จะไม่มีการขั้วก็ตาม จึงทำให้สมบัติเชิงกลที่ได้ไม่ดี ส่วนในระบบรีแอกทีฟเบลนด์ ที่ทำการปรับปรุงแล้ว พบว่าจะให้สมบัติเชิงกลดีขึ้นมากโดยเฉพาะอย่างยิ่งค่า Elongation at break



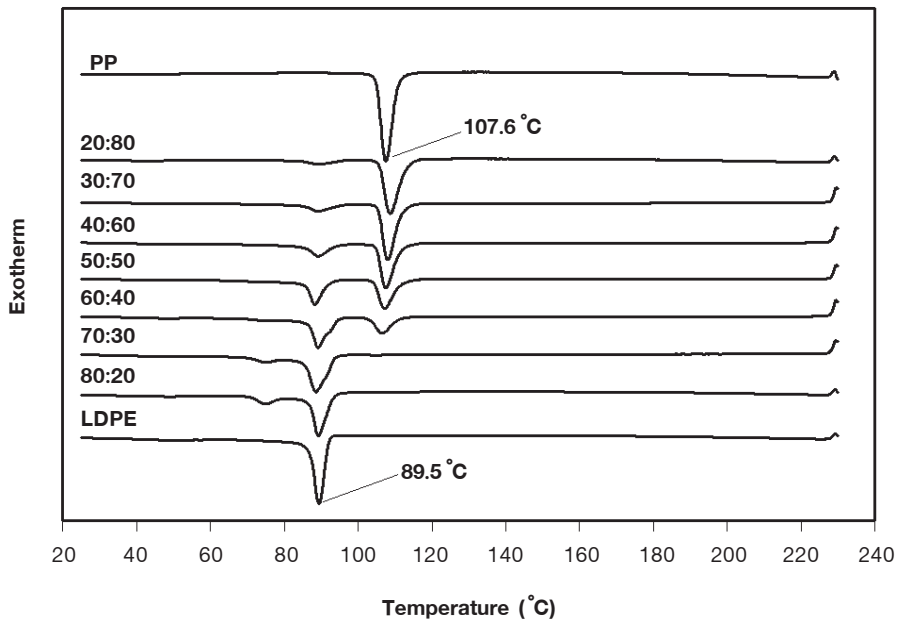
รูปที่ 4 กราฟแสดง Impact strength ของการผสม PP/LDPE ที่อัตราส่วนการผสมต่างๆ โดยเปรียบเทียบระบบฟิสิกัลเบลนด์กับรีแอกทีฟเบลนด์สูตร F10 รูปที่ 4 กราฟแสดง Impact strength ของการผสม PP/LDPE ที่อัตราส่วนการผสมต่างๆ โดยเปรียบเทียบระบบฟิสิกัลเบลนด์กับรีแอกทีฟเบลนด์สูตร F10

จากรูปที่ 4 จะเห็นว่าค่า Impact strength ของการผสมจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณ LDPE เนื่องจาก LDPE มีลักษณะโซโมเลกุลที่เป็นกิ่ง จึงสามารถถ่ายเทพลังงานที่ได้รับจากการกระแทกได้ดีกว่า PP จึงทำให้สามารถทนต่อการกระแทกได้ดีขึ้นที่สัดส่วนการผสมที่มีปริมาณ LDPE เพิ่มขึ้น ทั้งในการผสมด้วยระบบฟิสิกัลเบลนด์และรีแอก

ทีฟเบลนด์ และเมื่อพิจารณาการผสมทั้งสองระบบที่สัดส่วนเดียวกัน พบว่า ที่สัดส่วนของ PP เท่ากับ 80 70 และ 60 %wt ในระบบรีแอกทีฟเบลนด์นั้นจะมีค่า Impact strength น้อยกว่าการผสมด้วยระบบฟิสิกัลเบลนด์ เนื่องจากในระบบมีเปอร์ออกไซด์ร่วมในการผสมซึ่งมี PP เป็นเฟสหลัก มีผลทำให้เกิด Chain scission ของโซ่ PP มาก โดยจะทำ

ให้โซโม่เลกุลสั้นลงแม้จะมี EPDM/paraffinic oil ร่วมในการผสม แต่ปริมาณที่ค่อนข้างน้อยเมื่อได้รับแรงกระทำจึงถ่ายเทพลังงานได้น้อยกว่าเมื่อเทียบกับระบบพอลิเอทิลีน ส่วนในการผสมที่สัดส่วน PP ลดลง (50:40:30 และ 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก) จะเห็นว่าระบบบริแอกทีฟเบลนด์ จะมี

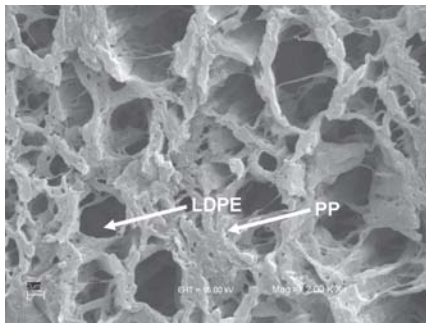
ค่า Impact strength เพิ่มขึ้นมากกว่าระบบพอลิเอทิลีน เนื่องจากมีปริมาณ LDPE ที่เพิ่มขึ้น ประกอบกับมี EPDM/paraffinic oil และ I-PB ร่วมในการผสม ซึ่งจากการศึกษาในงานวิจัยต่างๆ พบว่า สามารถช่วยถ่ายเทพลังงานได้ดีจึงทำให้มีค่า Impact strength ที่มากกว่าระบบพอลิเอทิลีน



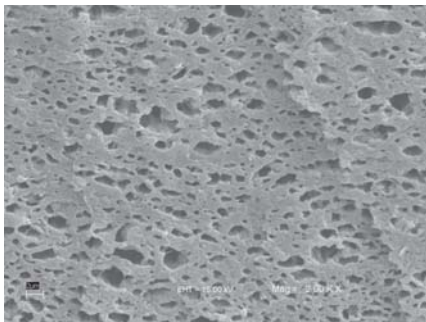
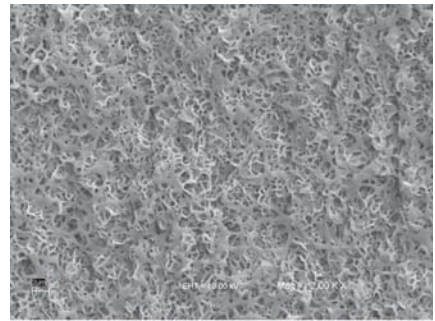
รูปที่ 5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับพลังงานความร้อนของอุณหภูมิการตกผลึกที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วย DSC ของ PP/LDPE ด้วยระบบคอมเพล็กทีฟเบลนด์เปรียบเทียบที่สัดส่วนการผสมต่างๆ

จากรูปที่ 5 พบว่า พอลิโพรพิลีนและพอลิเอทิลีน ความหนาแน่นต่ำที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้มีอุณหภูมิการตกผลึก (T_c) ที่ 107.6 และ 89.5 °C ตามลำดับ โดยอุณหภูมิการตกผลึกของ PP และ LDPE จะลดลงตามปริมาณ PP และ LDPE อีกทั้งอุณหภูมิการตกผลึกของพอลิเมอร์ทั้งสองจะเลื่อนเข้าหากันเมื่อสัดส่วนในการผสมของพอลิเมอร์ชนิดนั้นลดลง และที่สัดส่วน PP/LDPE (20/80 %wt) นั้น

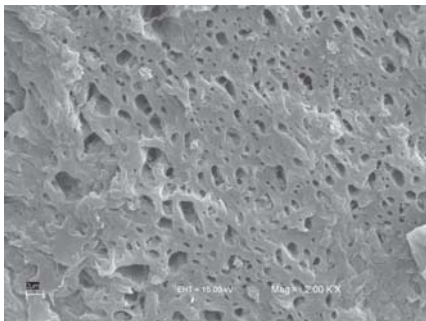
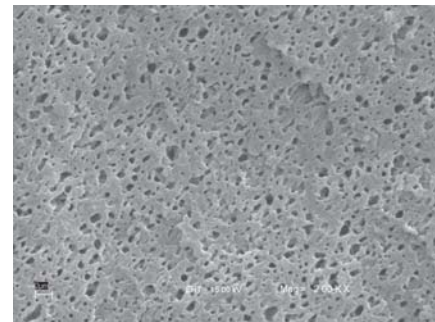
สังเกตว่าอุณหภูมิการตกผลึกของ PP จะหายไป เนื่องจากพอลิเมอร์ทั้งสองมีแรงยึดเกาะระหว่างกันสูงจึงแสดงพฤติกรรมการจัดเรียงผลึกเพียงครั้งเดียว หรือกล่าวได้ว่าพอลิเมอร์ผสมที่เตรียมด้วยระบบนี้ผสมเข้ากันได้ดี สิ่งที่น่าสังเกตอีกอย่างคือมีอุณหภูมิการตกผลึกที่อุณหภูมิ 74.8 °C เกิดขึ้นด้วย ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่ไม่แสดงทั้งใน PP และ LDPE นั้น แสดงว่าอาจเกิดโคพอลิเมอร์ขึ้นในระหว่างการผสม



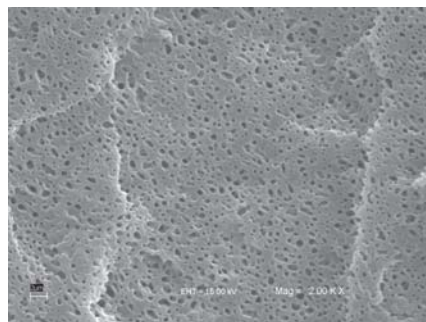
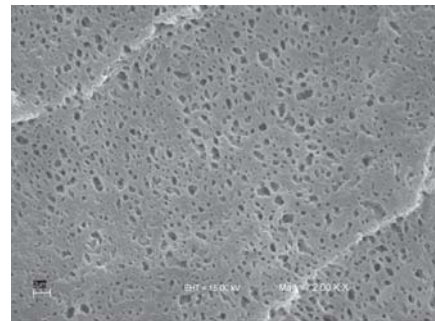
50/50



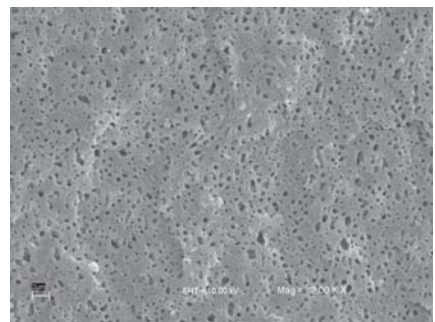
60/40



70/30



80/20



Phy

CRB

รูปที่ 6 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของการผสม PP/LDPE ที่อัตราส่วนการผสมต่างๆ โดยเปรียบเทียบระบบฟิลิคัลเบลนด์กับรีแอกทีฟเบลนด์ สูตร F10

จากรูปที่ 6 พบว่า การผสม PP/LDPE ด้วยระบบรีแอกทีฟเบลนด์ สูตร F10 สามารถทำให้พอลิเมอร์ผสมเข้ากันได้ดีขึ้นเมื่อเทียบกับระบบฟิลิคัลเบลนด์ ซึ่งสังเกตเห็นได้จากอนุภาคของ LDPE ก็คือส่วนที่ถูกสกัดออกไปที่มีลักษณะเป็นหลุมสีดำจะมีขนาดเล็กและกระจายอยู่ในเฟส PP อย่างสม่ำเสมอมากขึ้น โดยการผสมที่สัดส่วน 50/50%wt พบว่า จะมีลักษณะเฟสเป็นแบบ Co-continuous ทั้งในสองระบบ แต่ในระบบรีแอกทีฟเบลนด์จะมีขนาดอนุภาคที่เล็กกว่าและการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอมากกว่าส่วนในการผสมที่สัดส่วนอื่นๆ (80/20 70/30 60/40%wt) ก็เช่นเดียวกัน อนุภาคของ LDPE จะมีขนาดเล็กและกระจายอยู่ในเฟส PP อย่างสม่ำเสมอมากกว่าระบบฟิลิคัลเบลนด์มาก นั่นแสดงว่าการใช้ระบบรีแอกทีฟเบลนด์สูตร F10 ที่มีส่วนประกอบของเปอร์ออกไซด์ร่วมกับ I-PBMAH และ EPDM/paraffinic oil สามารถช่วยให้พอลิโพรพิลีนและพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำเข้ากันได้ดียิ่งขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองอื่นๆ จากที่กล่าวไว้แล้วข้างต้น

7. สรุป

1. การศึกษาการผสมระหว่างพอลิโพรพิลีนกับพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำในกระบวนการผสมในสถานะหลอม พบว่าสามารถผสมพอลิโพรพิลีนกับพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำให้เข้ากันได้ โดยกระบวนการรีแอกทีฟเบลนด์ในเครื่องอัดรีดแบบสกรูเดี่ยวหรือเรียกว่ากระบวนการรีแอกทีฟเอ็กซ์ทรูชัน

2. การเตรียมพอลิเมอร์ผสมด้วยระบบรีแอกทีฟเบลนด์ที่เหมาะสมที่สุด คือ

ระบบรีแอกทีฟเบลนด์ที่มี peroxide/I-PB/MAH/(EPDM/paraffinic oil) ในปริมาณ 0.02/0.3/0.1/5.0% เป็นปริมาณที่เหมาะสมที่สุดที่ทำให้พอลิเมอร์ผสมมีสมบัติเชิงกลดีขึ้น เมื่อเทียบกับระบบฟิลิคัลเบลนด์และในสูตรการผสมอื่นๆ ของระบบนี้ ซึ่งการใส่ยางในปริมาณน้อยๆ ก็สามารทำให้สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมดีขึ้น โดยเฉพาะสมบัติที่ทนต่อการกระแทก

4. ผลจากการศึกษาสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสม พบว่าการผสมด้วยระบบรีแอกทีฟเบลนด์สามารถทำให้พอลิเมอร์ทั้งสองเข้ากันได้ดีขึ้น พิจารณาได้จากสมบัติเชิงกล

ที่ดีขึ้นโดยเฉพาะค่า Elongation at break และสมบัติของการทนต่อการกระแทก ซึ่งสอดคล้องกับลักษณะพื้นฐานวิชาที่ละเอียดและกระจายตัวสม่ำเสมอขึ้น

5. การศึกษาสมบัติต่างๆ ของพอลิเมอร์ผสมที่สัดส่วนการผสมต่างๆ โดยเฉพาะสมบัติเชิงกล พบว่าสมบัติที่ได้จะอยู่ระหว่างสมบัติของพอลิเมอร์ทั้งสอง ส่วนลักษณะพื้นฐานวิชาของพอลิเมอร์ผสมจะขึ้นอยู่กับสัดส่วนการผสมและที่สัดส่วนการผสม PP กับ LDPE เท่ากัน จะมีลักษณะพื้นฐานวิชาเป็นแบบ Co-continuous phase

6. การเตรียมพอลิเมอร์ด้วยระบบรีแอกทีฟเบลนด์สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับพลาสติกโพรพิลีน และการปรับปรุงสมบัติของ PP หรือ PE จากคู่ผสมนี้ในเครื่องอัดรีดแบบสกรูเดี่ยวได้

เอกสารอ้างอิง

1. Baker, W.E., Scott, C.E., and Hu, G.-H., 2001, *Reactive Polymer Blending*, Hanser Gardner Publications, Inc., Cincinnati., pp. 7-8.
2. Blom, H.P., Teh, J.W., and Rudin, A., 1996, "iPP/HDPE Blends. II. Modification with EPDM and EVA", *J. Appl Polym Sci.*, Vol. 60, pp. 1405-1417.
3. Borsig, E., Fiedlerová, A., and Rychlá, L., 1989, "Crosslinking of Polypropylene-Polyethylene Blends by Peroxide and the Effect of Pentaerythritol Tetrallyl Ether", *J. Appl Polym Sci.*, Vol. 37, pp. 467-478.
4. Brown, S.B. 1992, *Reactive Extrusion*, Hanser Publishers, pp. 78-81.
5. Cavaliri, F., Padella, F., and Bourbonneux, S., 2002, "High-energy Mechanical Alloying of Thermoplastics Polymer in Carbon Dioxide", *Polymer*, Vol. 43, pp. 1155-1161.
6. Fortelný, I., Kruliš, Z., Micháľková, D., and Horák, Z., 1999, "Compatibilization of Polyethylene/Poly(propylene)/Polystyrene Blends", *Angw Makromol Chem.*, Vol. 270, pp. 28-32.

7. Hettema, R., Vantol, J., and Janssen, L.P.B.M., 1999, "In-Situ Reactive Blending of Polyethylene and Polypropylene in Co-Rotating and Counter-Rotating Extruders", *Polym. Eng. Sci.*, Vol. 39, No. 9.
8. Li, CH., Zhang, Y., and Zhang, Y., 2003, "Melt Grafting of Maleic Anhydride onto Low-density Polyethylene/Polypropylene Blends", *Polymer Testing*, Vol. 22, pp. 191-195.
9. Kruliš, Z., Horák, Z., Ledický, F., Pospíšil, J., and Sufák, M., 1998, "Reactive Compatibilization of Polyolefins using Low Molecular Weight Polybutadiene", *Angew Makromol Chem.*, Vol. 258, pp. 63-68.
10. Moad, G., 1999, "The Synthesis of Polyolefin Graft Copolymer by Reactive Extrusion", *Prog. Polym. Sci.*, Vol. 24, pp. 81-142.
11. O'Shaughnessy, B. and Sawhney, U., 1996, "Reaction Kinetics at Polymer-Polymer Interfaces", *Macromolecules*, Vol. 29, pp. 7230-7239.
12. Szabo, F., 2002, "The World Plastic Industry", *International Polymer Science and Technology*, Vol. 29, pp. 6.
13. Kruliš, Z., Kokta, B.V., Horák, Z., Michálková, and D., Fortelný., 2001, "Compatibilization as a Procedure for Recycling of Commingled Polyolefin Waste", *Macromol. Mater. Eng.*, Vol. 286, pp. 156-160.

