

บทที่ 2

หลักการพื้นฐานและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 หลักการพื้นฐานเกี่ยวกับโพลีเมอร์

2.1.1 โพลีเอทิลีน (Polyethylene:PE)

โพลีเอทิลีนเป็นพลาสติกสังเคราะห์จำพวกเทอร์โมพลาสติกที่ได้จากการโพลีเมอร์ไรซ์ก๊าซเอทิลีน โพลีเอทิลีนเป็นพลาสติกที่นิยมใช้กันมากเนื่องจากมีราคาถูก เป็นฉนวนไฟฟ้าที่ดีเยี่ยม ในช่วงกว้างของควมถี่ มีความต้านทานต่อสารเคมีที่ดีเยี่ยม แปรรูปง่าย มีความเหนียว ยืดหยุ่น เมื่อเป็นฟิล์มบางๆจะโปร่งใส โพลีเอทิลีนที่ได้จากการโพลีเมอร์ไรซ์ก๊าซเอทิลีน มีน้ำหนักโมเลกุลและความหนาแน่นตามกระบวนการผลิต โพลีเอทิลีนสามารถแบ่งตามความหนาแน่นได้ดังต่อไปนี้

1. โพลีเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ (Low Density Polyethylene : LDPE) มีความหนาแน่น 0.910-0.925 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร จุดหลอมเหลว (Melting Point) 110 องศาเซลเซียส และจุดอ่อนตัว (Softening Point) 40-50 องศาเซลเซียส

2. โพลีเอทิลีนความหนาแน่นปานกลาง (Middle Density Polyethylene : MDPE) มีความหนาแน่น 0.926-0.940 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร จุดหลอมเหลว 124 องศาเซลเซียส และจุดอ่อนตัว 60-70 องศาเซลเซียส

3. โพลีเอทิลีนความหนาแน่นสูง (High Density Polyethylene : HDPE) มีความหนาแน่น 0.941 - 0.965 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร จุดหลอมเหลว 135 องศาเซลเซียส และจุดอ่อนตัว 85 องศาเซลเซียส

โพลีเอทิลีนชนิดที่ 1 และ 2 ได้จากการโพลีเมอร์ไรซ์ที่ความดันสูง (High Pressure Process) ประมาณ 1,000 - 3,000 บรรยากาศ อุณหภูมิ 150-350 องศาเซลเซียส โมเลกุลของโพลีเมอร์ที่ได้จะมีกิ่งก้านสาขามากทำให้โมเลกุลเรียงตัวกันอย่างไม่เป็นระเบียบมีโครงสร้างเป็นออสัญฐาน ดังนั้นจึงมีความหนาแน่นต่ำ ค่อนข้างใส

โพลิเอทิลีนชนิดที่ 3 ได้จากการโพลิเมอร์ไรซ์ที่ความดันต่ำประมาณ 500- 600 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว อุณหภูมิ 93-120 องศาเซลเซียส โมเลกุลของโพลิเมอร์ที่ได้จะเป็นเส้นตรงมีการจัดเรียงตัวกันอย่างเป็นระเบียบ มีโครงสร้างเป็นผลึกมากกว่า ดังนั้นจึงมีความหนาแน่นสูง สะท้อนแสงได้มากกว่า จึงมีสีขุ่นไม่ใส เมื่อความหนาแน่นเพิ่มขึ้นก็จะเพิ่มความแข็งแรง ความเหนียว ความทนต่อแรงดึง ความแข็ง ความคงทนต่อความร้อนและสารเคมี และสมบัติการเป็นฉนวนไฟฟ้า แต่ลดความทนต่อแรงกระแทกและความใสลง

โพลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ ส่วนใหญ่ใช้ในการทำฟิล์ม ถุงพลาสติก เครื่องใช้ในครัวเรือน ภาชนะบรรจุสินค้า ฉนวนหุ้มสายไฟ และสายเคเบิลที่ทนแรงดันไฟฟ้าสูงๆ

โพลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง ใช้ทำท่อ ฉนวนหุ้มสายไฟ สายเคเบิล ฟิล์ม ถังน้ำมัน ภาชนะบรรจุเคมีภัณฑ์ทางด้านอุตสาหกรรม เช่น นม น้ำ น้ำผลไม้ เคมีภัณฑ์ที่ใช้ภายในบ้าน และเคมีภัณฑ์ทางการเกษตร ของเล่น เครื่องครัว เพลิดเพลิน อุปกรณ์ทางการทหารขนย้าย

2.1.2 โพลิโพรพิลีน (Polypropylene:PP)

โพลิโพรพิลีนเป็นพลาสติกจำพวกเทอร์โมพลาสติกที่ได้จากปฏิกิริยาการเกิดโพลิเมอร์ไรเซชันแบบซิกเกิลอร์ แนด้า โครงสร้างที่เกิดขึ้นมี 4 แบบ คือ

1. ไอโซแทกติก (Isotactic) เป็นโครงสร้างที่มีความเป็นระเบียบมากที่สุด มีความแข็งแรงและจุดหลอมตัวสูง
2. ซินดีโอแทกติก (Syndiotactic) มีคุณสมบัติเป็นรองชนิดแรก ไม่นำมาใช้ในทางการค้า
3. เอแทกติก (Atactic) การเรียงตัวไม่เป็นระเบียบ เป็นอสัณฐาน อ่อนนุ่ม
4. สเตอริโอบล็อก (Stereoblock) เป็นโครงสร้างที่อยู่ระหว่างไอโซแทกติกและเอแทกติก

โครงสร้างของโพลิโพรพิลีน 90% เป็นแบบไอโซแทกติก โครงสร้างจึงมีความเป็นระเบียบมาก มีมวลโมเลกุลสูงตั้งแต่ 10,000-1,000,000 กรัมต่อโมล ทำให้มีความแข็งแรง ทนทานความร้อนได้ดี และมีความแข็งแรงสูงกว่าโพลิเอทิลีน มีจุดหลอมเหลวที่ 165 องศาเซลเซียส

โพลีโพรพิลีนถูกนำมาใช้งานทางด้านฟิล์มเป็นส่วนใหญ่ เช่น ทำถุงระบายความร้อน สิ่งทอจากเส้นใย ขวดและถัง เปลือกเบคเคอรี ถังน้ำมัน และเครื่องมือทางการแพทย์

2.1.3 เอทิลีน โพรพิลีน ไดอีน เทอร์โพลิเมอร์ (Ethylene-Propylene-Diene Terpolymer : EPDM)

EPDM เป็นยางสังเคราะห์ชนิดเทอร์โพลิเมอร์ มีโครงสร้างเป็นแบบอสัณฐาน ประกอบไปด้วย เอทิลีน(Ethylene) โพรพิลีน (Propylene) และไดอีน(Diene) ในปริมาณเล็กน้อย ไดอีนที่ใส่เข้าไปนี้จะเข้าทำปฏิกิริยากับกัมมะถันทำให้เกิดโครงสร้างที่ไม่อึดตัวขึ้น ไดอีนที่ใช้โดยทั่วไปคือ Dicyclopentadiene Ethylidene Norbornene และ 1-4 Hexadiene

โครงสร้างของหน่วยย่อยใน EPDM มีการกระจายเป็นแบบสุ่ม ไม่เรียงเป็นลำดับของหน่วยย่อยเอทิลีนและโพรพิลีน แต่จะประกอบด้วยส่วนสั้นๆของโพลีเอทิลีนและโพลีโพรพิลีนกระจายอยู่ทั่วไประหว่างโคโพลิเมอร์ (Copolymer) การเพิ่มสัดส่วนของไดอีนจะทำให้การไม่อึดตัวสูงขึ้น

โครงสร้างและส่วนผสมของ EPDM ทำให้ EPDM มีความต้านทานต่อโอโซน (Ozone) และ อากาศ สารประกอบที่มี EPDM เหมาะที่จะนำไปประยุกต์ใช้ในงานกลางแจ้งหรืองานที่ต้องอยู่ในสภาวะที่มีโอโซนสูง โดยไม่ต้องใช้สารป้องกันการเกิดปฏิกิริยากับโอโซน น้ำมัน หรือสารเติมแต่งอื่นๆ นอกจากนี้ EPDM ยังทนต่อความร้อนและการเกิดปฏิกิริยากับออกซิเจน

คุณสมบัติอื่น ๆ รวมไปถึงความต้านทานต่อของไหลที่มีขี้เช่น แอลกอฮอล์ คีโตน เอสเทอร์ และอะซิเตท ความทนต่อสารละลายที่มีน้ำเป็นตัวทำละลาย ความสามารถในการบดงอที่อุณหภูมิต่ำได้ดี คุณสมบัติทางกลที่ดีเยี่ยม และการที่ EPDM มีความหนาแน่นต่ำ (ถ.พ.ประมาณ 0.869) จึงมีความสามารถในการรับสารต่างๆ เช่น น้ำมัน หรือสารเติมแต่งอื่นๆ ในระดับสูง ทำให้สามารถนำมาประยุกต์ใช้งานได้หลากหลายขึ้น

EPDM ได้ถูกนำมาใช้ในทางการค้าตั้งแต่ปี ค.ศ.1964 โดยนำมาใช้กันมากในงานด้านการทำชิ้นส่วนโดยแม่พิมพ์และการขึ้นรูป งานที่นำมาประยุกต์ใช้เช่น ท่อ(Hose)ที่มีระบบหล่อเย็นในตัว ยางในรถยนต์ แผ่นเหล็กที่ทนต่อสภาวะการเปลี่ยนแปลงของอากาศ ฉนวนเคเบิลในกระบวนการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ อุปกรณ์ทางการแพทย์ และงานก่อสร้างอาคารและโครงสร้าง

2.1.4 การผสมกลมกลืนกัน (Compatibilisation)

การทำโพลิเมอร์ผสม โดยมากในโพลิเมอร์ผสมที่ทำมาจากการผสมโพลิเมอร์สองชนิด โพลิเมอร์ผสมที่ได้จะมีคุณสมบัติด้อยลง เนื่องจากการไม่เข้ากันของโพลิเมอร์ทั้งสองชนิดนั้น ดังนั้นการทำให้โพลิเมอร์ผสมกลมกลืนกันเป็นสิ่งสำคัญ วิธีการทำให้โพลิเมอร์ผสมกลมกลืนกันมีดังต่อไปนี้

2.1.4.1 ความสามารถในการผสมเข้าด้วยกันได้โดยวิธีทางอุณหพลศาสตร์

ระหว่างโพลิเมอร์นั้นอธิบายได้โดยความสมดุลของเอนทัลปี (Enthalpic) และ เอนโทรปี (Entropic) ที่มีต่อพลังงานอิสระของการผสมกัน โมเลกุลขนาดเล็กนั้นมีเอนโทรปี (Entropy) สูงพอที่จะทำให้โพลิเมอร์เข้ากันได้ แต่สำหรับโพลิเมอร์แล้วเอนโทรปีมีค่าใกล้เคียงศูนย์ ทำให้ความเข้ากันได้ของโพลิเมอร์ลดลง

ในทางปฏิบัติโพลิเมอร์ผสมที่มีส่วนประกอบสองชนิด การแยกตัวของเฟสจะเกิดขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น แรงยึดเหนี่ยวโมเลกุลที่มีผลต่อพฤติกรรมของการเข้ากันของโพลิเมอร์มีแนวโน้มที่จะหายไปกลายเป็นพลังงานภายในโมเลกุลของแต่ละส่วนประกอบ ในทางทฤษฎีแล้วสามารถตัดต่อโครงสร้างของโพลิเมอร์ในบางถึงแวดล้อมเพื่อปรับปรุงเฟสโคอะแกรมของโพลิเมอร์ผสมเพื่อให้ได้โพลิเมอร์ผสมที่เข้ากัน

2.1.4.2 การเพิ่ม บล็อกหรือกราฟ โคโพลิเมอร์ (Block or Graft Copolymer)

ส่วนมากจะใช้วิธีนี้กันมากโดยที่นิยมใช้บล็อกโคโพลิเมอร์มากกว่ากราฟโคโพลิเมอร์ บล็อกหรือกราฟโคโพลิเมอร์ประกอบด้วยโครงสร้างทางเคมีที่ทำให้โคโพลิเมอร์และส่วนประกอบของโพลิเมอร์ผสมเข้ากัน โดยลดแรงยึดเหนี่ยวระหว่างผิวหน้าในโพลิเมอร์ที่หลอมเหลว ทำให้ได้เฟสหนึ่งมีการกระจายที่ดิบบนอีกเฟสหนึ่ง ได้โครงสร้างและมวลโมเลกุลที่ต้องการ โคโพลิเมอร์ที่เติมลงไปจะเรียงตัวอยู่บนผิวหน้าของโพลิเมอร์ผสม ตัวอย่างบล็อกหรือกราฟโคโพลิเมอร์ เช่น Ethylene-Propylene Copolymer , Styrene-Ethylene/Butene-Styrene (SEBS) , Ethylene-Propylene-Diene Terpolymer (EPDM) , Ethylene Vinyl Acetate (EVA)

2.1.4.3 การเพิ่ม Functional/Reactive Polymers

เป็นการทำให้ลักษณะทางเคมีของส่วนประกอบหนึ่งในโพลิเมอร์ผสมมี Reactive (Functional) Units ซึ่งมีความสามารถในการเกิดปฏิกิริยากับโพลิเมอร์ชนิดที่สองในโพลิเมอร์ผสม หน่วยย่อยเหล่านี้เกิดขึ้นขณะผสม เช่น ในเครื่องขึ้นรูปแบบขับเคลื่อน (Extrusion) โดยทั่วไปในทางการค้าโพลิเมอร์ที่ใช้เป็น Function Group เช่น Maleic Anhydride, Acrylic Acid, Grafted Polyolefins

2.1.4.4 In Situ Grafting/Polymerisation (Reactive Blend)

เป็นวิธีหนึ่งที่จะทำให้โพลิเมอร์ผสมเป็นเนื้อเดียวกัน ซึ่งขึ้นอยู่กับการฟอร์มตัวเป็น In Situ ของโคโพลิเมอร์หรือการมีปฏิสัมพันธ์ (Interaction) ของโพลิเมอร์ วิธีนี้แตกต่างจากวิธีอื่นคือส่วนประกอบโพลิเมอร์ผสมจะถูกเลือกและปรับปรุงคุณสมบัติขณะเกิดปฏิกิริยาลดการผสมโดยไม่ต้องเคี้ยวตัวที่ทำให้เข้ากัน วิธีนี้ใช้ในการผลิตโพลิเมอร์ผสมในทางการค้า เช่น Polycarbonate/ Polystyrene/ Polyacrylate นอกจากนี้การผสมแบบแบตช์ (Batch) สามารถใช้วิธีนี้ได้โดยอุปกรณ์ที่ต่อเนื่องเช่น เครื่องขึ้นรูปแบบขับเคลื่อนชนิดสกรูเดี่ยวหรือสกรูคู่ ซึ่งทำให้การควบคุมคุณภาพเป็นไปได้ดี และไม่เกิดการกีดกัน (removal) ของผลิตภัณฑ์

2.1.5 โพลิเมอร์ผสมในอดีตจนถึงปัจจุบัน

โพลิเมอร์ผสมในอดีตจนถึงปัจจุบัน เมื่อยุคต้นของการค้นคว้าทางด้านโพลิเมอร์ ทิศทางของการวิจัยจะเน้นไปในการค้นคว้าสารตั้งต้นที่มีความเป็นไปได้ในการผลิตเป็นสารโพลิเมอร์ ซึ่งได้มาจากหลายแหล่งด้วยกัน ต่อมาก็มีการพัฒนาจากสารชนิดเดียวมาเป็นสารตั้งต้นสองชนิดนำมา โพลิเมอร์ไรเซชันร่วมกันเกิดเป็นโพลิเมอร์ตัวใหม่ นอกจากนี้แล้วยังมีผู้ศึกษาเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของโพลิเมอร์โดยการใช้โพลิเมอร์ต่างชนิดนำมาวมกันเพื่อให้ได้คุณสมบัติตามที่ต้องการ อย่างไรก็ตามในปัจจุบันการพัฒนามิได้มุ่งเน้นไปในทิศทางทิศทางหนึ่ง มีการศึกษาค้นคว้าหลายแง่มุมด้วยกัน แต่มีแนวโน้มที่จะพัฒนาตามความต้องการของตลาดใหม่ เงินทุนและระยะเวลาในการค้นคว้าแบบดั้งเดิมเป็นอุปสรรคต่อการพัฒนา จึงมีการศึกษาทางด้านการผสมผสานโพลิเมอร์หลายชนิดเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติที่ขาดหายไปของโพลิเมอร์บางชนิด เป็นการลดต้นทุนและสามารถขยายประเภทของสินค้าได้มากขึ้น

โพลีเมอร์ผสมที่เก่าแก่ที่สุดเห็นจะเป็นการนำขางมาผสมกับโพลีเมอร์ชนิดอื่น เช่น Polystyrene หรือ Poly Vinyl Chloride เพื่อให้โพลีเมอร์นั้นๆ มีความเหนียว ทนต่อแรงกระแทก ดีขึ้น เช่น HIBS และ ABS การศึกษาเกี่ยวกับโพลีเมอร์ผสมในเวลาต่อมาทำให้ได้โพลีเมอร์ผสมที่มี คุณสมบัติที่เหมาะสมกับการใช้งานต่างๆมากมาย ตัวอย่างเช่น

- โพลีเมอร์ผสมระหว่าง Polyethylene(PE) และ Polystyrene(PS) โดยมีการเติม กราฟ หรือ บล็อกโคโพลีเมอร์ ลงไป เพื่อให้โพลีเมอร์ทั้ง 2 เข้ากัน ทำให้ได้โพลีเมอร์ผสมที่มีความแข็งแรงที่จุดยึด, ความแข็งแรง ณ จุดขาด และความทนต่อแรงกระแทกเพิ่มขึ้น

- โพลีเมอร์ผสมที่มี Polyolefin เช่น EPDM, EP ผสมกับ PP หรือ PE ตัวอย่างเช่น โพลีเมอร์ผสมระหว่าง HDPE และ PP ที่มี EPDM จะได้โพลีเมอร์ที่มีค่าโมดูลัสและความแข็งแรงที่ อุณหภูมิต่ำ

- โพลีเมอร์ผสมที่มี Polyamide เช่น Nylon6/HDPE, Nylon6/PS, Nylon6/PP เป็น โพลีเมอร์ผสมที่มีความเหนียวสูง

- โพลีเมอร์ผสมที่มี PE ได้มีการศึกษาโพลีเมอร์ผสมที่มี PE อย่างกว้างขวาง เนื่องจาก PE มีโครงสร้างเป็นแบบไม่มีขั้ว ตัวอย่างของโพลีเมอร์ผสมเช่น PE/PVC, PE/PET ที่เติมกราฟ หรือบล็อกโคโพลีเมอร์ลงไป เพื่อให้โพลีเมอร์ทั้งสองเข้ากัน ทำให้ได้โพลีเมอร์ผสมที่มีความ เหนียวและความยืดหยุ่นสูง PE/PET ที่เติม SEBS ทำให้ความทนต่อแรงกระแทกและความยืดหยุ่น เพิ่มขึ้น

- โพลีเมอร์ผสมที่มี PS เช่น PS/PB ที่เติม SB ทำให้ได้โพลีเมอร์ผสมที่มีความ ทนต่อแรงกระแทก สูง PS/PP ที่เติมSEBS มีความทนต่อแรงกระแทกและความยืดหยุ่นสูงขึ้น

นอกจากนี้แล้วยังมีโพลีเมอร์ผสมตัวอื่นๆอีกมากมายที่นักโพลีเมอร์ได้คิดค้นขึ้นมา เพื่อให้ได้คุณสมบัติตามต้องการ แนวโน้มในอนาคตจะมีการศึกษาเกี่ยวกับโพลีเมอร์ผสมมากขึ้น เพราะเป็นวิธีที่ทำให้ได้โพลีเมอร์ชนิดใหม่โดยใช้เวลาและต้นทุนในการพัฒนาต่ำลง โพลีเมอร์ผสม ที่มีแนวโน้มจะใช้กันมากคือ โพลีเมอร์ในงานวิศวกรรมที่มีประสิทธิภาพสูง เช่น งานทางด้าน อากาศยาน โพลีเมอร์ประสิทธิภาพสูงที่ใช้ในชีวิตประจำวันเช่น ชิ้นส่วนยานยนต์ สินค้าอุปโภค บริโภค เครื่องมือกล อุปกรณ์ที่ใช้ภายในบ้าน นอกจากนี้โพลีเมอร์ผสมเป็นแนวทางหนึ่งเพื่อศึกษา ความเป็นไปได้ในการนำโพลีเมอร์ที่ใช้แล้วมาผสมกันมาเพื่อนำไปใช้งานต่อไป

2.1.6 ความสำคัญของการไหล

การที่เราสนใจตัวแปรเกี่ยวกับการไหลก็เพราะว่าเป็นตัวแปรเริ่มแรกที่สำคัญของกระบวนการผลิต ความสำคัญของอัตราการไหลอธิบายโดยอัตราการเดินดังนี้

1. ปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ โพลีเมอร์ไม่สามารถเกิดเป็นรูปร่างต่างๆได้ โดยปราศจากแรงเฉือน แรงเฉือนจะทำให้โพลีเมอร์สามารถฉีดเข้าไปในหัวฉีด รวมถึงการทำให้เม็ดโพลีเมอร์หลอมรวมกัน
2. การวิเคราะห์คุณภาพของผลิตภัณฑ์ การศึกษาพฤติกรรมทางด้านการไหลเพื่อวิเคราะห์คุณสมบัติต่างๆ เช่น อายุการใช้งาน (Service Life) ของโพลีเมอร์ผสม การพยากรณ์การเสียหาย(Failure) ของวัสดุ และความสามารถในการผลิต (Processability)
3. การวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์ การควบคุมการไหลเป็นตัวแปรสำคัญที่กำหนดการเกิดขอบหรือครีบของผลิตภัณฑ์ที่มากน้อยเพียงใด รวมถึงการกำหนดโพลีเมอร์ที่ผ่านกระบวนการขับเคลื่อนออกมาให้ได้ขนาดตามที่ต้องการโดยไม่เกิดครีบ
4. ความซับซ้อนของการไหล เนื่องจากการไหลนั้นมีความซับซ้อนมากเพราะว่าอัตราการไหลของโพลีเมอร์หลอมนั้นจะมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาตามอุณหภูมิ เวลา และความดัน ดังนั้นในการผลิตต้องระบุปัจจัยเหล่านี้อย่างชัดเจน โดยคำนึงถึงการนำไปใช้ของโพลีเมอร์ด้วย

ในกระบวนการผลิตเทอร์โมพลาสติกนั้นพบว่าคุณสมบัติทางด้านการไหลเป็นตัวแปรวิกฤตของคุณลักษณะพิเศษของกระบวนการผลิต และคุณภาพของผลิตภัณฑ์

2.1.7 การเสื่อมของโพลีเมอร์ (Polymer Degradation)

เรารู้จักการเสื่อมของโพลีเมอร์กันมาเป็นเวลานานแล้วเช่นการเสื่อมลง (deterioration) ของเซลลูโลสในไม้ การเสื่อมของยางรถยนต์ การแตกหรือเหลืองของฟิล์ม ชนิดของการเสื่อมนั้นขึ้นอยู่กับสถานะแวดล้อมที่นำโพลีเมอร์ชนิดนั้นๆ ไปใช้งานกระบวนการผลิตและโครงสร้างของโพลีเมอร์

การเสื่อมและการทำปฏิกิริยากับออกซิเจน (oxidation) ของโพลีเมอร์ธรรมชาตินั้นเกิดขึ้นโดยธรรมชาติ เช่นเดียวกับไม้และเซลลูโลส ความเข้าใจในเรื่องกลไกพื้นฐานของการเสื่อมนั้นยังน้อยมากเนื่องจากมีความซับซ้อน ในหลายปีที่ผ่านมาได้มีการศึกษาเกี่ยวกับการเสื่อมมากขึ้น

ทำให้เข้าใจกลไกพื้นฐานได้มากขึ้น

เมื่อมีการค้นพบเทอร์โมพลาสติกใหม่ๆขึ้นมาปัญหาที่เพิ่มมากขึ้น เนื่องจากโพลิเมอร์แต่ละชนิดมีชนิดและความซับซ้อนของการเชื่อมที่ต่างกัน เช่น

- Polymethyl Metacrylate เกิด Depolymerization ทำให้ได้โมโนเมอร์ 100%
- PVC จะเสื่อมอย่างรวดเร็วโดยกระบวนการที่เรียกว่า Unzipping
- โพลิเมอร์มวลโมเลกุลสูงที่มีสารปนเปื้อน (Contaminate) หรือไม่บริสุทธิ์ (Impurities) และมีความไม่เป็นระเบียบของโครงสร้าง จะทำให้เกิดการเสื่อมของสายโซ่โพลิเมอร์

2.1.7.1 ชนิดของการเสื่อมของโพลิเมอร์

ชนิดของการเสื่อมของโพลิเมอร์มีดังต่อไปนี้

1. Thermal เกิดขึ้นขณะอยู่ในกระบวนการผลิต หรือที่อุณหภูมิสูง
2. Mechanical เกิดขึ้นขณะให้แรงหรือเกิดการแตกหักทางด้านกายภาพ ทำให้สายโซ่ขาดจากกัน
3. Ultrasonic เกิดจากเสียงที่มีความถี่พอที่จะทำให้สายโซ่สั่นสะเทือน และขาดจากกัน
4. Hydrolytic เกิดขึ้นในโพลิเมอร์ที่มี Functional Groups ที่ไวต่อการเกิดปฏิกิริยากับน้ำเกิดปฏิกิริยาเอสเทอร์ (Esterification) ได้กรดและ ไกลคอล (Glycol) เป็นผลิตภัณฑ์
5. Chemical เกิดจากการกัดกร่อนทางเคมีหรือจากก๊าซ เช่น โอโซนเข้าไปทำลายโครงสร้างของโพลิเมอร์ทำให้สายโซ่ของโพลิเมอร์ขาด
6. Biological เกิดขึ้นกับโพลิเมอร์เพียง 2-3 ชนิดเท่านั้นที่มี functional groups ที่จุลินทรีย์สามารถเข้าไปทำลายได้
7. Radiation เกิดจากการแผ่รังสี (Exposure) กับแสงอาทิตย์หรือการแผ่รังสีของพลังงานสูง โพลิเมอร์หรือสารปนเปื้อนจะดูดรังสีเหล่านี้เข้าไป ทำให้สายโซ่ของโพลิเมอร์แยกจากกัน

ในบรรดาชนิดของการเสื่อมที่ได้กล่าวมา การเสื่อมแบบ Thermal และ Radiation สำคัญที่สุดที่เกิดขึ้นในบรรดาโพลิเมอร์ที่ใช้งานกันมาก

2.1.7.2 คุณสมบัติที่เปลี่ยนแปลงไป

การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในโพลิเมอร์ขณะเกิดการเสื่อม ปรากฏได้หลายรูปแบบ ขึ้นกับชนิดของกระบวนการเสื่อม คุณสมบัติที่เปลี่ยนแปลงไปสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 แบบคือ

1. การเปลี่ยนแปลงทางด้านกายภาพ เกิดการลดลงของน้ำหนักโมเลกุล ความทนต่อแรงดึง ความทนต่อแรงกระแทก ความยืดหยุ่น ๗ จุดขาด การสูญเสียความแวววาว และการกัดกร่อนที่ผิว
2. การเปลี่ยนแปลงทางด้านเคมี เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมี คือเกิดการฟอร์มตัวของ Functional Groups เช่นการไม่อิ่มตัว การเกิดคาบอนิล ไฮดรอกซิล และไฮโดรเพอรอกไซด์

2.1.7.3 การเสื่อมโดยความร้อน (Thermal Degradation)

เมื่ออุณหภูมิในการใช้งานหรือการผลิตเพิ่มขึ้นจะทำให้เกิดการเสื่อมของโพลิเมอร์ ซึ่งโพลิเมอร์แต่ละชนิดนั้นมีการเสื่อมที่แตกต่างกัน โดยทั่วไปแบ่งออกได้ 3 ชนิดคือ

1. Depolymerization Reactions สายโซ่โพลิเมอร์ถูกตัดขาดจากกัน เป็นผลิตภัณฑ์ตัวใหม่ที่มีโครงสร้างคล้ายเดิมแต่น้ำหนักโมเลกุลต่ำกว่า เช่น การเกิด Depolymerization Reactions ของ Polymethyl Metacrylate
2. Elimination Reactions เกิดการฟอร์มตัวเป็นส่วนย่อย (fragment) หรือโมเลกุลที่มีน้ำหนักน้อยกว่าเดิม โดยไม่สัมพันธ์กับโพลิเมอร์ดั้งเดิม เช่น เกิดน้ำ หรือกรดไฮโดรคลอริก ตัวอย่างเช่น การเกิด Dehydrochlorination ของ PVC
3. Substituent Reactions สายโซ่หลักถูกแทนที่เนื่องจากธรรมชาติทางเคมีของหน่วยย่อยเปลี่ยนแปลงไป โดยที่โครงสร้างยังเหมือนเดิม เช่น วัฏจักรการเกิดแบล็ค โอลอน (Black Orlon) การเกิด Dehydrochlorination ของ PVC

2.1.7.4 เทคนิคที่ใช้ในการศึกษาการเสื่อมและการมีเสถียรภาพของโพลิเมอร์

การศึกษการเสื่อมนั้นแบ่งออกเป็น 2 ระดับคือ 1.) การศึกษาของนักเทคโนโลยีโพลิเมอร์โดยจะสนใจคุณสมบัติทางกายภาพที่เปลี่ยนแปลงไป 2.) การศึกษาของนัก

วิทยาศาสตร์โพลีเมอร์ จะสนใจเหตุผลที่ว่าทำไมถึงมีการเปลี่ยนแปลงนี้เกิดขึ้น แต่อย่างไรก็ตามการศึกษากันทั้ง 2 แบบนี้ ไม่สามารถแยกออกจากกันได้ ถ้ายังต้องการปรับปรุงคุณสมบัติด้านความทนทานกันอยู่ นักวิทยาศาสตร์ต้องเข้าใจคุณสมบัติทั้งทางด้านเคมีและกายภาพที่เกี่ยวกับการเสื่อมและความมีเสถียรภาพของโพลีเมอร์ภายใต้สภาวะทางเทคนิคนั้นๆ ด้วย

1. กระบวนการทดสอบทางด้านเทคนิค การทดสอบทางด้านเทคนิคจะใช้ความทนทานในระยะเวลาใช้งานเป็นเกณฑ์ ตัวอย่างของการทดสอบ เช่น Accelerated Aging, Air Oven Test นอกจากนี้อาจใช้กฎเกณฑ์การเสื่อมลง (Deterioration) ของโพลีเมอร์มากกว่าพฤติกรรมทางกลโดยโพลีเมอร์หลายๆชนิดอาจสังเกตการเสื่อมได้จากการเปลี่ยนสีของโพลีเมอร์ (Discoloration) ซึ่งเกิดขึ้นขณะที่สายโซ่ถูกตัดขาดจากกัน

2. กระบวนการทดสอบทางด้านวิทยาศาสตร์ วิธีการศึกษาแบ่งออกเป็น

ก. วิธีการทดสอบทางกายภาพ (Physical Method) การศึกษาวิธีนี้มากกว่า 30 ปี โดยแบ่งออกเป็น 4 วิธีคือ

1. เทคนิคการวิเคราะห์ทางด้านน้ำหนักโมเลกุล
2. เทคนิคการวิเคราะห์ทางด้านความร้อน
3. การวิเคราะห์โดยวิธีสเปกโตรสโคปี (Spectroscopy)
4. การวิเคราะห์โดยวิธีโครมาโตกราฟี (chromatography)

ข. วิธีการวัดการดูดซับของออกซิเจนภายในเวลาที่ใช้งานและการเปลี่ยนแปลงของออกซิเจนเมื่อมี Functional Groups

2.2 การวิเคราะห์การถดถอย (Regression Analysis)

การวิเคราะห์การถดถอยเป็นเทคนิคทางสถิติที่ใช้ในการหาสมการเส้นตรงหรือเส้นโค้งสมการเหล่านี้จะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร 2 ประเภท คือ ตัวแปรตาม (Dependent Variable) หนึ่งตัวและตัวแปรอิสระ (Independent Variable) อีกหนึ่งตัวหรือมากกว่า สมการที่ได้จากเทคนิคนี้จะแสดงว่าตัวแปรตามจะมีการผันแปรตามตัวแปรอิสระที่ผู้วิเคราะห์เลือกใช้อย่างไร เทคนิคนี้บอกเพียงแค่ว่าถ้าใช้สมการนั้นๆ กับข้อมูลที่เกิดขึ้นจะมีความเหมาะสมทางสถิติอย่างไร ไม่ได้บอกว่าข้อมูลที่เกิดขึ้นนั้นมาจากสมการอะไร

เทคนิคนี้สามารถนำมาใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้มาจากการทดลองที่ไม่มีการวางแผนล่วงหน้า (unplanned experiments) เทคนิคนี้ยังมีประโยชน์อย่างมากในการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการทดลองที่มีการวางแผนล่วงหน้า (designed experiments) แต่มีข้อมูลบางตัวหายไป (gone wrong)

ตัวอย่างการประยุกต์ใช้เทคนิคนี้ในอุตสาหกรรม เช่น ในกระบวนการผลิตทางเคมีผลผลิตที่ได้สัมพันธ์กับอุณหภูมิ จึงได้มีการสร้างรูปแบบความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ระหว่างผลผลิตที่ได้กับอุณหภูมิ และใช้สมการนั้นทำนายผลผลิตที่ได้ หากจุดที่เหมาะสมของกระบวนการ หรือควบคุมกระบวนการ

การนำเทคนิคนี้ไปใช้อย่างผิดๆเกิดขึ้นเสมอ เนื่องจากไม่มีความเข้าใจที่แท้จริง ดังนั้นเพื่อไม่ให้เกิดความผิดพลาดในการนำไปใช้งาน ผู้วิเคราะห์ควรคำนึงถึงสิ่งต่อไปนี้

1.) ผู้วิเคราะห์ต้องทราบว่าตัวแปรตามมีความผันแปรเนื่องมาจากตัวแปรอิสระใด ถ้าผู้วิเคราะห์ไม่ทราบ เทคนิคนี้ก็จะไม่มีประโยชน์อันใด เพราะสมการที่สร้างขึ้นจากสิ่งที่ไม่สัมพันธ์กันก็ย่อมบอกความสัมพันธ์ของกันและกันไม่ได้

2.) ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่ได้จากการวิเคราะห์การทดลองนั้นจะเป็นจริงและถูกต้องเฉพาะเมื่อตัวแปรทดลองมีค่าอยู่ในช่วงของข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์หาความสัมพันธ์เท่านั้น การทำนายค่าตัวแปรตามจากค่าของตัวแปรทดลองที่อยู่ภายนอกช่วงดังกล่าว ความน่าเชื่อถือของค่าตัวแปรตามจะน้อยลง เนื่องจากข้อสมมติเกี่ยวกับรูปแบบของความสัมพันธ์ที่อยู่นอกช่วงมีความไม่แน่นอน

ในการทดลองบางอย่าง ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตามและตัวแปรอิสระจะอยู่ในรูปแบบที่ง่าย ๆ สามารถหาความสัมพันธ์ในรูปแบบของสมการทางคณิตศาสตร์ได้เพียงแต่อาศัยทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง แต่การทดลองส่วนใหญ่จะมีความสัมพันธ์ที่ค่อนข้างจะซับซ้อน จึงต้องมีการตั้งสมมติฐานหรือประมาณเอาว่าลักษณะของความสัมพันธ์ควรจะเป็นอย่างไรในสมการแบบไหน แล้วใช้เทคนิคการวิเคราะห์การทดลองในการทดสอบว่าสมการที่ตั้งสมมติฐานไว้นั้นกับข้อมูลที่เกิดขึ้นมีความเหมาะสมทางสถิติอย่างไร จึงเป็นหน้าที่ของผู้วิเคราะห์ที่ต้องหารูปแบบที่จะใช้แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระกับตัวแปรตามที่มีความเหมาะสมทางสถิติจากกลุ่มข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์

รูปแบบของสมการถดถอยแบ่งออกเป็น 3 ประเภทใหญ่ๆคือ

1. การถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย (Simple Linear Regression)

เป็นการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตามหนึ่งตัวกับตัวแปรอิสระหนึ่งตัว มีแบบจำลองความสัมพันธ์ดังนี้

$$y = \beta_0 + \beta_1 x + \varepsilon$$

2. การวิเคราะห์การถดถอยเชิงซ้อน (Multiple Regression Analysis)

เป็นการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตามหนึ่งตัวกับตัวแปรอิสระมากกว่าหนึ่งตัว มีแบบจำลองความสัมพันธ์ดังนี้

$$y = \beta_0 + \sum \beta_i x_i + \varepsilon$$

3. รูปแบบการถดถอยอย่างอื่น (Other Regression Model)

ได้แก่สมการถดถอยที่มีรูปแบบจำลองของความสัมพันธ์เป็นแบบอื่น เช่น ความสัมพันธ์แบบโพลิโนเมียลดีกรี n ของตัวแปรอิสระตัวเดียวดังนี้

$$y = \beta_0 + \beta_1 x + \beta_2 x^2 + \dots + \beta_n x^n + \varepsilon$$

หรือความสัมพันธ์แบบโพลิโนเมียลดีกรี 2 ของตัวแปรอิสระ 2 ตัว ดังนี้

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_{11} x_1^2 + \beta_{22} x_2^2 + \beta_{12} x_1 x_2 + \varepsilon$$

วิธีการหาสมการถดถอยทำได้โดยการแปลงลักษณะความสัมพันธ์ให้อยู่ในรูปของเส้นตรง ก่อนหลังจากวิเคราะห์หาสมการถดถอยในเชิงเส้นตรงแล้วจึงเปลี่ยนรูปแบบความสัมพันธ์ของตัวแปรกลับไปสู่รูปเดิม

การเลือกรูปแบบของสมการถดถอยที่เหมาะสม

เราต้องการหาสมการถดถอยที่แสดงความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงระหว่างตัวแปรตาม y กับกลุ่มตัวแปรอิสระกลุ่มหนึ่งซึ่งคาดว่าจะมีความสัมพันธ์กับ y คือ $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ ถึงที่เราต้องการคือ

- 1.) สมการที่สามารถพยากรณ์ค่าตัวแปรตามได้แม่นยำที่สุด เราต้องการที่จะมีตัวแปรอิสระที่มีอิทธิพลต่อ y มากที่สุดในสมการเพื่อให้ได้สมการที่มีความเชื่อถือมากที่สุด
- 2.) ไม่ต้องการใช้ตัวแปรอิสระในสมการมากเกินไปจนความจำเป็น

จึงได้มีผู้พัฒนาวิธีการทางสถิติต่อไปนี้เพื่อช่วยในการเลือกรูปแบบของสมการถดถอยที่เหมาะสมคือ

1. Stepwise Regression
2. Backward Regression
3. Forward Elimination
4. All Possible Regression
5. Minimum Cp Method
6. Ridge Analysis

ในวิธีที่กล่าวมาทั้งหมดวิธีการแรกเป็นวิธีที่นิยมใช้มากที่สุด และแพร่หลาย

2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Lovinger, Andrew J. and Willam, M.L. (1980) ได้ศึกษาพฤติกรรมทางด้านแรงดึงของ โพลีเมอร์ผสมระหว่าง Linear PE/PP พบว่า ความเครียดที่จุดยึด (Yield Stress) เพิ่มขึ้นเมื่อ %PP เพิ่มขึ้น ความแข็งแรงสูงสุด (True Ultimate Strength) ในทุกโพลีเมอร์ผสมมีค่าต่ำกว่า PP และ PE บริสุทธิ์ ความยืดหยุ่นต่ำเนื่องจากโครงสร้างเป็นแบบ 2 เฟส คือมีโครงข่าย(Net Work) และ เกาะ (Island) ของ PE แทรกอยู่ในเนื้อของ PP และ PE จะเป็นตัวลดขนาดผลึกกลม(Spherulite) ของ PP

นอกจากนี้ยังได้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างพฤติกรรมทางด้านแรงดึงกับ โครงสร้างของ โพลีเมอร์ผสม พบว่า โครงสร้างเช่น ขนาดของผลึกกลม , การเชื่อมต่อของผลึก (Intercrytalline Link) ระหว่างชั้น (lamellae) โครงสร้างของเฟสสองเฟสที่ไม่เข้ากัน และลักษณะของขอบเฟสร่วมกันของ PP และ PE อาจมีความสัมพันธ์กับพฤติกรรมทางด้านแรงดึง

Noel, Oscar F. III and Carley, Jame F. (1984) ได้ศึกษาโครงสร้างของโพลีเมอร์ผสม ระหว่าง PE/IPP โดยใช้ Optical and Scanning Electron Microscope พบว่าในโพลีเมอร์ผสมที่มี PE 10-90 %โดยน้ำหนัก โครงสร้างจะมีลักษณะเป็นแบบสองเฟส ส่วนที่เป็นผลึกจะแยกออกเป็นเฟส กระจายอยู่ทั่วไป การที่มี PE อยู่จะส่งผลให้โครงสร้างที่เป็นผลึกของ PP โดยที่ถ้า %PE เพิ่มขึ้นจะทำให้โครงสร้างที่เป็นผลึกกลมเพิ่มขึ้นอย่างไม่เป็นระเบียบ และหยาบ

Choudhary, V. et al. (1991) ได้ศึกษาผลกระทบของยาง EPDM ที่มีต่อคุณสมบัติทางด้าน การไหล โครงสร้างและคุณสมบัติทางกลของโพลีเมอร์ผสมระหว่างโพลีโพรพิลีนและโพลีเอทิลีน

ความหนาแน่นสูง (90/10) พบว่าที่ส่วนผสมของ EPDM ต่ำ (5-10 % โดยน้ำหนัก) จะทำหน้าที่เป็นตัวที่ทำให้โพลิโพรพิลีนและ โพลิเอทิลีนความหนาแน่นสูงเข้ากันได้ดีขึ้น ที่ EPDM สูง (20-25 % โดยน้ำหนัก) EPDM จะจับตัวเป็นก้อน ทำให้ความหนืดของโพลิเมอร์ผสมเพิ่มขึ้น

ผลที่มีต่อคุณสมบัติทางกลคือ เมื่อ EPDM เพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าโมดูลัสของความยืดหยุ่นและความทนต่อแรงดึง σ จุด ยืด ϵ ลดลง ที่ EPDM 5% โดยน้ำหนัก จะทำให้ความยืดหยุ่นลดลง แต่ที่ EPDM มากกว่า 5 % ทำให้ความยืดหยุ่น ϵ จุดขาดเพิ่มขึ้น และที่ EPDM ประมาณ 20% โดยน้ำหนัก ทำให้ความทนต่อแรงกระแทกเพิ่มขึ้นอย่างมากถึง 620% แต่ที่ส่วนผสมอื่นๆจะทำให้ลดลง

Fujiyama, Mitsuyoshi and Kawasaki, Youtoku (1991) ได้ศึกษาคุณสมบัติทางด้านการไหลตัวระหว่าง iPP/HDPE ซึ่ง iPP 3 ชนิดที่มีอัตราการไหลต่างกัน ถูกนำมาผสมกับ HDPE 3 ชนิดที่มีอัตราการไหลต่างกัน พบว่าเมื่อ HDPE มากกว่าหรือเท่ากับ 70% โดยน้ำหนัก อนุภาคของ PP จะฟอร์มตัวเป็นเฟสที่กระจายอยู่ใน HDPE โดยที่ขนาดของอนุภาคลดลงเมื่อความหนืดของ PP ลดลง เมื่อ HDPE น้อยกว่าหรือเท่ากับ 30% โดยน้ำหนัก HDPE จะฟอร์มตัวเป็นเฟสที่กระจายอยู่ในเนื้อของ PP และขนาดของอนุภาคจะเล็กที่สุดเมื่อความหนืดของ PP และ HDPE มีค่าเท่ากัน

Lee, Young Keon *et al* (1991) ได้ศึกษาเกี่ยวกับการไหลและโครงสร้างของโพลิเมอร์ผสมระหว่าง ULDPE/PP โดยใช้ ULDPE 2 ชนิดที่มีความหนืดต่างกัน พบว่า PP ในโพลิเมอร์ผสม PP/ULDPE มี T_m เพิ่มขึ้นในขณะที่ ULDPE มี T_m ต่ำลง อัตราการตกผลึก ความเป็นผลึก ของ PP และ ULDPE เพิ่มขึ้นในตอนแรก และลดลงเมื่อมีส่วนประกอบหนึ่งเพิ่มขึ้น ในโพลิเมอร์ผสมที่มี ULDPE สูงค่าความหนืดของโพลิเมอร์ผสมจะมีการเปลี่ยนแปลงในทางลบจากกฎของการเพิ่มของการผสม

โครงสร้างของโพลิเมอร์ผสมมีการแยกเฟสอย่างเห็นได้ชัด แต่อย่างไรก็ขึ้นกับความหนืดด้วย นอกจากนี้แล้วยังพบส่วนผสมที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนเฟส (Phase Inversion) อีกด้วย ส่วนคุณสมบัติทางกลเช่น โมดูลัสของการบิดงอ (Flexural Modulus) ความยืดหยุ่น ϵ จุดขาด จุดอ่อนตัวไวคัท (Vicat Softening) มีความสัมพันธ์อย่างใกล้ชิดกับโครงสร้าง นอกจากนี้แล้วยังพบว่าความทนต่อแรงดึงเพิ่มขึ้นด้วยการเติม ULDPE

Kim, Woo-Nyon *et al.* (1994) ได้ทำการศึกษาโครงสร้างและคุณสมบัติทางกลของฟิล์ม โพลีเมอร์ผสมระหว่างโพลิโพรพิลีนและโพลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง โดยโพลิโพรพิลีนที่ใช้เป็น PP Copolymer 3 ชนิด คือ Ethylene-Propylene (EP) Random Copolymer, Ethylene-Propylene (EP)Block Copolymer และ Ethylene-Propylene Butylene(EPB) Copolymer

โครงสร้างของโพลีเมอร์ผสมระหว่างโพลิเอทิลีนความหนาแน่นสูงและโพลิโพรพิลีนทั้ง 3 ชนิด ที่ส่วนผสมต่างๆ โพลิเอทิลีนความหนาแน่นสูงจะเป็นตัวลดขนาดของผลึกกลม โดยเฉพาะอย่างยิ่งใน HDPE/EPB ค่าดัชนีของการหลอมเหลวของ HDPE/EP Random Copolymer และ HDPE/EPB Copolymer ลดลงเกือบเป็นเส้นตรงเมื่อเปอร์เซ็นต์ของ HDPE เพิ่มขึ้น ส่วนใน HDPE/PP Homopolymer และ HDPE/EP Block Copolymer มีลักษณะคล้ายคลึงกัน

คุณสมบัติทางด้านความทนต่อแรงดึงและค่าโมดูลัสของ HDPE/EP Random Copolymer, HDPE/EP Block Copolymer, HDPE/PP Homopolymer ลดลงเมื่อ HDPE เพิ่มขึ้นจนถึง 50 % โดยน้ำหนัก ส่วน HDPE/EPB Copolymer เพิ่มขึ้นเมื่อ HDPE เพิ่มขึ้นจนถึง 50 % โดยน้ำหนัก นอกจากนี้ยังพบว่าขนาดของผลึกกลมมีความสัมพันธ์กับคุณสมบัติทางแรงดึง

Blom, H.P. *et al.* (1995) ได้ศึกษาคุณสมบัติเชิงกลและการไหลตัวของโพลีเมอร์ผสมระหว่าง HDPE และ PP โดยใช้ PP เป็นสารหลัก และใช้ HDPE 0-20% โดยน้ำหนัก พบว่าการเพิ่ม HDPE ทำให้คุณสมบัติทางด้านแรงดึงและความทนต่อแรงกระแทกของชิ้นทดสอบที่ได้จากการฉีดขึ้นรูปเพียงเล็กน้อย ชิ้นทดสอบที่ผ่านการอบลดความเครียด (Anneal) ทำให้ค่า Moduli เพิ่มขึ้นและความทนต่อแรงกระแทกมากกว่าชิ้นทดสอบที่ไม่ได้อบลดความเครียด นอกจากนี้แล้วยังพบเหตุการณ์ที่แสดงถึงความไม่มีปฏิสัมพันธ์ระหว่างโพลีเมอร์ผสมที่มี HDPE 10-20% โดยน้ำหนัก กับคุณสมบัติทางด้านแรงดึง ความร้อน และการไหลตัว รวมถึงพฤติกรรมในการคผลึก

Zhu-W *et al.* (1995) ศึกษาโครงสร้างและคุณสมบัติทางกลของโพลีเมอร์ผสมระหว่าง PP กับ HDPE ที่ส่วนผสมต่างๆ โดยใช้ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเกิดโพลิเมอร์ไรเซชันแบบซีเกลเตอร์ เนตต้า (Ziegler Natta) คือ PP-PE (ประกอบไปด้วย PP, E-P Copolymer และ HDPE มวลโมเลกุลสูง) เป็นตัวปรับปรุงคุณสมบัติ PP-PE ไม่เพียงแต่ทำให้โพลีเมอร์ผสมมีความทนต่อแรงดึง คีขึ้น แต่ยังช่วยให้ค่าความยืดหยุ่น ณ จุดขาดเพิ่มขึ้นอย่างเป็นเส้นตรง ขณะที่ค่าโมดูลัสค่อนข้างคงที่ นอกจากนี้ยังพบว่า PP-PE เป็นตัวที่ทำให้เข้ากันที่มีประสิทธิภาพมากกว่า EPC ด้วยเหตุผลนี้สรุปได้ว่าความทนต่อแรงดึงของโพลีเมอร์ผสมขึ้นกับภาวะการเกาะติดระหว่างเฟสสองเฟสเป็นอย่างมาก

และค่าค่าความยืดหยุ่น ϵ จุดขาดขึ้นอยู่กับขนาดของเฟสที่กระจายอยู่บนเนื้อโพลิเมอร์ผสมเป็นอย่างมาก

Zhu-W *et al.* (1995) ได้ศึกษาคุณสมบัติทางกลของโพลิเมอร์ผสมระหว่างโพลิโพรพิลีนและโพลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง ที่มี ethylene-propylene copolymer (EPC) เป็นตัวที่ทำให้เข้ากัน พบว่า EPC ช่วยให้ภาวะการเกาะติดในโพลิเมอร์ดีขึ้นและค่าความทนต่อแรงดึงและความยืดหยุ่น ϵ จุดขาดดีขึ้นเมื่อมีส่วนผสมของ EPC 5 % โดยน้ำหนัก สรุปว่าค่าความแข็งแรงภายใต้แรงดึงและความยืดหยุ่น ϵ จุดขาดที่ดีขึ้นนั้นมีผลมาจากการทำให้ HDPE และ PP เข้ากันได้ดีขึ้นโดย EPC

Blom-HP *et al.* (1996) ได้ศึกษาเกี่ยวกับโพลิเมอร์ผสมระหว่างโพลิโพรพิลีนและโพลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง ผลการศึกษาพบว่า การเติมโพลิเอทิลีนความหนาแน่นสูงลงไปโพลิโพรพิลีนทำให้เกิดการลดลงของเปอร์เซ็นต์ความยืดหยุ่นและความทนต่อแรงกระแทก และได้ศึกษาถึงการเติม EPDM หรือ EVA ลงไปในโพลิเมอร์ผสม พบว่า EPDM มีผลต่อการปรับปรุงความทนต่อแรงกระแทกและ EVA มีผลต่อการปรับปรุงความทนต่อแรงกระแทกและเปอร์เซ็นต์ความยืดหยุ่นของโพลิเมอร์ผสมให้ดีขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่า EVA เป็นตัวปรับปรุงความทนต่อแรงกระแทกให้กับโพลิเมอร์ผสมได้ดีกว่า EPDM

Grigorova, Marietta and Mihalkov, Marin Mihalkov (1996) การศึกษาพบว่า โพลิเมอร์ผสมของ VHMW-HDPE/LDPE และ UVHMW-HDPE/LDPE โดยที่ LDPE มีมวลโมเลกุลใกล้เคียงกับ HDPE มีคุณสมบัติเชิงกลที่ดีเยี่ยมแต่มีความหนืดสูงมาก การเพิ่ม iPP ลงไปในปริมาณที่ค่าพอเหมาะจะทำให้ความสามารถในการไหลเพิ่มขึ้นโดยไม่ส่งผลกระทบต่อคุณสมบัติเชิงกลเหล่านั้น

Holze, N. *et al.* (1996) ศึกษาลักษณะโครงสร้างและผลของขนาดอนุภาคและส่วนผสมของเฟสที่กระจายในเนื้อ (matrix) ที่มีผลต่อคุณสมบัติในการรับแรงกระแทกของโพลิเมอร์ผสมระหว่าง iPP/EPDM/LLDPE พบว่าการเพิ่ม LLDPE ลงไปสามารถปรับปรุงความสามารถในการกระจายของ EPDM ทำให้มีความสม่ำเสมอ และกระจายได้ดี ขนาดของอนุภาคที่ลดลงสอดคล้องกับการเพิ่มขึ้นของความทนต่อแรงกระแทกที่อุณหภูมิต่ำ ที่อุณหภูมิห้อง EPDM มีผลต่อความทนต่อแรงกระแทกมากกว่าขนาดและความสม่ำเสมอของเฟสที่กระจายบนเนื้อ

Wang-Z (1996) ศึกษาการปรับปรุงคุณสมบัติทางกลของ PP โดยการเติมยาง (Elastomer) และสารเติมแต่ง (Filler) พบว่า ความทนต่อแรงกระแทกและความทนต่อแรงดึงมีผลเนื่องมาจากยางและสารเติมแต่งที่เติมลงไป การเพิ่ม LDPE, HDPE หรือ SBS ลงไป สามารถปรับปรุงคุณสมบัติในการรับแรงกระแทกให้กับ PP ได้

Vaccaru, Eleonora. *et al.* (1997) การวิจัยนี้พบว่าสามารถทำให้โพลิเอทิลีนความหนาแน่นสูงและโพลิโพรพิลีนเข้ากันได้ โดยการเพิ่ม Maleated PE และ Maleated PP ลงไปในโพลิเมอร์ผสมและได้พยายามทำนายคุณสมบัติทางด้านแรงดึงของโพลิเมอร์ผสมโดยใช้รูปแบบทางคณิตศาสตร์ (Math Model) ของคุณสมบัติของโพลิเมอร์ผสมของ Kolarik พบว่าค่าความแข็งแรงที่จุดยืด (Yield Point) ที่ได้จากการทดลองมีค่าใกล้เคียงกับค่าสูงสุดที่ได้จากรูปแบบทางคณิตศาสตร์ของ Kolarik แสดงว่ารูปแบบทางคณิตศาสตร์นี้สามารถนำไปใช้ในการพยากรณ์ค่าความแข็งแรงที่จุดยืดของโพลิเมอร์ผสมได้

ศุมาณี ทิพย์พรกุล และ คณะ (2536) ได้ศึกษาดังคุณสมบัติเชิงกลของโพลิเมอร์ผสมระหว่างขบะพลาสติกชนิด PP และ PE พบว่าเมื่อ % PP เพิ่มขึ้นทำให้ความทนต่อแรงกระแทกลดลง ความเครียดลดลง แต่ค่าโมดูลัสของความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้น ความหนาแน่นของทุกโพลิเมอร์ผสมที่ค่าใกล้เคียงกัน ส่วนอัตราการไหลตัวแปรตามชนิดของพลาสติกชนิดที่มีอยู่มากกว่า

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย