



บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 พอลิโพรพิลีน (Polypropylene)

หลังจากที่พอลิเอทิลีนออกสู่ตลาดได้ราว 15 ปี ได้มีการพัฒนาสังเคราะห์พลาสติกชนิดใหม่ที่มีสมบัติแตกต่างจากพอลิเอทิลีน ซึ่งได้แก่ พอลิโพรพิลีนจากแก๊สโพรพิลีนขึ้นมาได้สำเร็จ โดย Natta แห่งอิตาลีได้ศึกษาของ Ziegler และในปี ค.ศ. 1954 Natta ได้ประสบความสำเร็จในการเตรียมพอลิโพรพิลีนที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง และมีโครงสร้างเป็นแบบไอโซแทกติกด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาซีเกลอร์-เนตตา (Ziegler-Natta Catalyst) ซึ่งได้เริ่มผลิตในเชิงการค้าตั้งแต่ปี ค.ศ. 1957 เป็นต้นมา

การสังเคราะห์พอลิโพรพิลีนเริ่มต้นจากการใส่แก๊สโพรพิลีนเข้าไปในเตาปฏิกรณ์ภายใต้ความดันต่ำ (2-4 บาร์) อุณหภูมิ 50-70 องศาเซลเซียส ในตัวกลางเฉื่อย เช่น น้ำมันดีเซล เฮปเทน หรือโทลูอีน ภายใต้บรรยากาศเฉื่อย เช่น บรรยากาศของแก๊สไนโตรเจน ตัวเร่งปฏิกิริยาซีเกลอร์-เนตตาที่ใช้ทั่วไป ได้แก่ ไทเทเนียมเตตระคลอไรด์-อะลูมิเนียมอัลคิล ($\text{TiCl}_4\text{-R}_3\text{Al}$) เนื่องจากพอลิโพรพิลีนไม่ละลายในตัวกลางเฉื่อย ดังนั้น เมื่อเกิดเป็นพอลิเมอร์แล้วจะตกตะกอนออกมาหลังจากปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันสิ้นสุดลง สำหรับตัวเร่งซีเกลอร์-เนตตาจะถูกทำลายโดยการเติมแอลกอฮอล์เช่น เมทานอล เอทานอล หรือโพรพานอล สารทั้งหมดที่เกิดขึ้น (ยกเว้นพอลิเมอร์) สามารถถูกสกัดออกไปโดยกรดไฮโดรคลอริกในแอลกอฮอล์ แล้วนำพอลิเมอร์ที่ได้ไปเซนตริฟิวจ์ (centrifuge) และทำให้แห้งที่อุณหภูมิประมาณ 80 องศาเซลเซียส

พอลิโพรพิลีนที่เตรียมได้จากตัวเร่งปฏิกิริยาซีเกลอร์-เนตตาจะมีน้ำหนักโมเลกุลอยู่ในช่วง 60,000 ถึง 200,000 มีความเป็นผลึกสูง มีความหนาแน่น 0.905 กรัม/ลบ.ซม. และเนื่องจากมีความเป็นผลึกสูงจึงทำให้พอลิเมอร์มีสมบัติเชิงกลดีมาก เช่น เหนียว แข็งแกร่ง และมีความทนแรงดึงสูง พอลิโพรพิลีนมีจุดหลอมตัวสูงกว่าพอลิเอทิลีน จึงทนความร้อนได้ดีกว่าพอลิเอทิลีน นอกจากนี้ความเป็นผลึกยังช่วยสกัดกั้นการซึมผ่านของไขมันและน้ำมันได้ดี ไออน้ำและออกซิเจนซึมผ่านได้ต่ำ สามารถทนกรดและเบสได้ดี สามารถขึ้นรูปได้ง่าย และมีราคาถูก หากแต่พอลิโพรพิลีนยังมีข้อจำกัดในการใช้งานบางอย่าง เช่น เปราะและแตกง่ายที่อุณหภูมิต่ำๆ เมื่อเทียบกับพอลิเอทิลีน นอกจากนี้พอลิโพรพิลีนมีเสถียรภาพต่อความร้อน แสง และตัวออกซิไดซ์ต่ำกว่าพอลิเอทิลีน เนื่องจากสายโซ่โมเลกุลประกอบด้วยไฮโดรเจนอะตอมที่เกิดพันธะกับคาร์บอนองศา 3 (tertiary carbon atom) ดังนั้น ก่อนนำพอลิโพรพิลีนไปใช้งานต้องมีการเติมตัวสารแอนติออกซิแดนต์และอัลตราไวโอเล็ตสแตบิไลเซอร์เพื่อเพิ่มเสถียรภาพของชิ้นงานที่ผลิตจากพอลิโพรพิลีน

การใช้งานของพอลิโพรพิลีนจะใช้ตามประเภทของการขึ้นรูป ดังนี้

1. งานฉีดแบบ (injection molding) ใช้ทำกล่องแบตเตอรี่ (battery box) ถังน้ำมันในรถยนต์ กันชนรถยนต์ ถังใส่ขวด กระถางต้นไม้ ของเด็กเล่น ด้ามแปรงสีฟัน ฝาจุพลาสติก เฟอร์นิเจอร์ เครื่องใช้ทางการแพทย์ เช่น ครอบอกฉีดยาใช้ครั้งเดียวทิ้ง และขวดบรรจุยา เป็นต้น

2. งานเป่าฟิล์ม (blown film) ใช้ทำผลิตภัณฑ์ที่คล้ายคลึงกับ LDPE แต่จะมีความทนทานต่ออุณหภูมิได้สูงกว่า เช่น ถุงร้อน พลาสติกหุ้มซองบุหรี่ ฟิล์มห่อหุ้มอาหารที่ไม่ต้องการให้ออกซิเจนซึมผ่าน เช่น ซองบะหมี่สำเร็จรูป

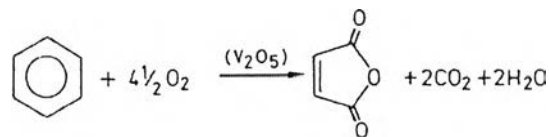
3. งานเป่าแบบ (blow molding) ใช้ทำผลิตภัณฑ์ที่คล้ายคลึงกับ HDPE แต่จะมีความทนทานสูงกว่า เช่น ขวด ถัง หรือภาชนะที่ต้องการความทนทานต่อสารเคมีมากกว่า HDPE

4. งานสิ่งทอ (textile) ซึ่งต้องการความแข็งแรงสูง แต่ยืดน้อย รับแรงมากๆ ได้ดี ใช้ทำเส้นใยกระสอบสาน เชือกฟาง เชือกประมง แห อวน และผ้าใบปกป้องพืชสวน เป็นต้น

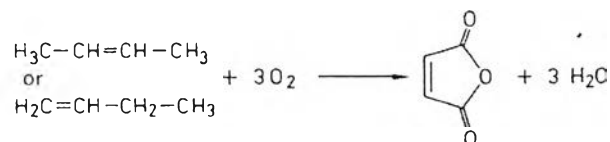
2.2 มาเลอิกแอนไฮไดรด์ (Maleic anhydride)

2.2.1 การเตรียมมาเลอิกแอนไฮไดรด์ [1]

1. นำเบนซีนมาทำปฏิกิริยาอะโรมาติกออกซิเดชันด้วยออกซิเจน ณ ความดันบรรยากาศ ที่อุณหภูมิ 400-450 องศาเซลเซียส ซึ่งปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นมีดังนี้



หรือ 2. นำบิวทีนมาทำปฏิกิริยาออกซิเดชันซึ่งปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นมีดังนี้



2.2.2 การนำไปใช้ประโยชน์

นิยมใช้ในการตัดแปรรพอลิเมอร์ เช่น การตัดแปรรโครงสร้างทางเคมีของพอลิเมอร์ให้มีสภาพชอบน้ำ (hydrophilic) มากขึ้น [2]

2.3 กราฟต์โคพอลิเมอร์ (Graft copolymer)

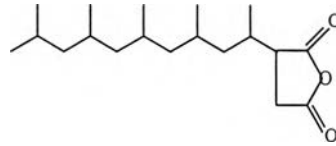
กราฟต์โคพอลิเมอร์ คือ โคพอลิเมอร์ที่มีลักษณะเป็นกิ่ง (side chain) แยกออกมาจากสายโซ่หลัก โดยกิ่งที่แยกออกมาต้องมีส่วนสำคัญหรือรูปแบบของโครงสร้างแตกต่างจากสายโซ่หลัก โดยกิ่งที่แยกออกมามีส่วนสำคัญในการจำแนกชนิดของกราฟต์โคพอลิเมอร์ เช่น มาเลอิกแอนไฮไดรด์กราฟต์พอลิโพรพิลีน และไกลซิดิลเมทาคริเลต กราฟต์พอลิโพรพิลีน ซึ่งกิ่งที่แยกออกมาจากสายโซ่หลัก คือ มาเลอิกแอนไฮไดรด์ และไกลซิดิลเมทาคริเลต ตามลำดับ

มาเลอิกแอนไฮไดรด์กราฟต์พอลิโพรพิลีนสามารถใช้เป็นสารช่วยผสม (compatibilizer) ในการทำพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิโอเลฟินส์และพอลิเอไมด์หรือพอลิเมอร์ที่มีขั้วอื่นๆ [3]

2.3.1 การสังเคราะห์กราฟต์โคพอลิเมอร์ [4-5]

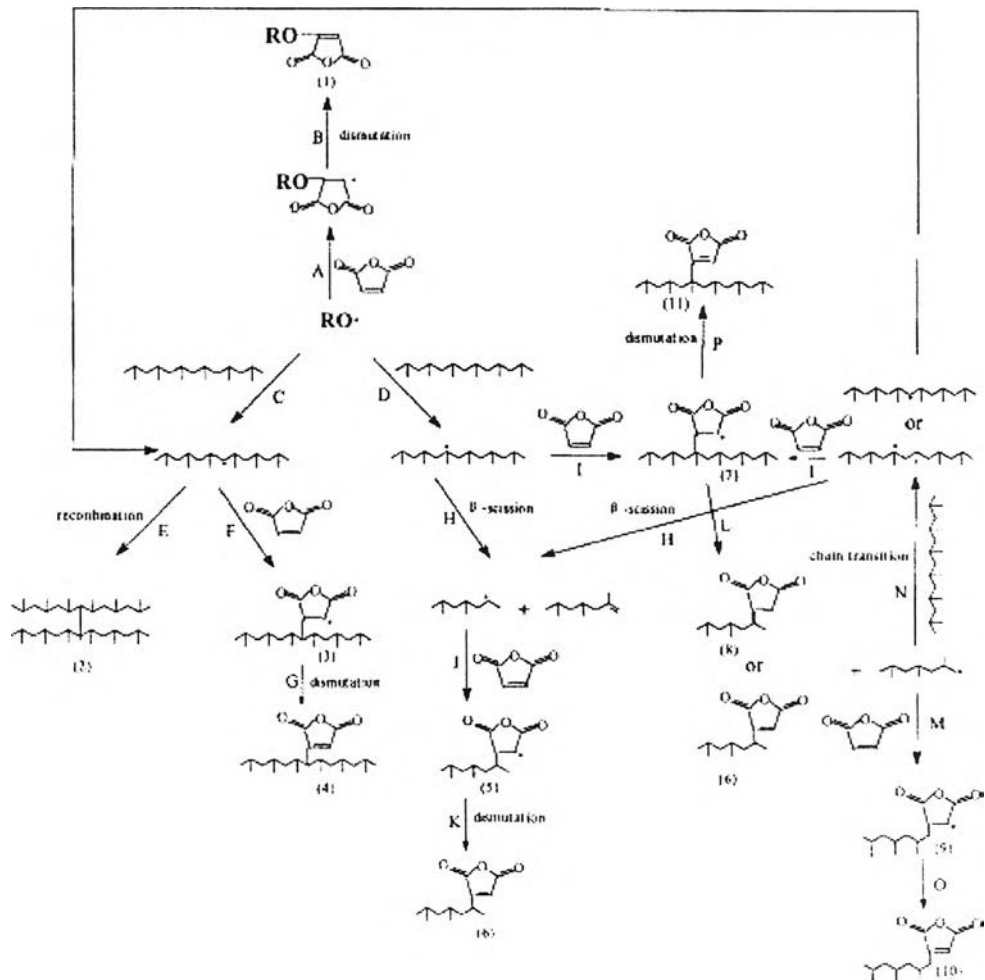
ปฏิกิริยาการสังเคราะห์กราฟต์โคพอลิเมอร์ที่ใช้กันทั่วไป คือ ปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแบบฟรีเรดิคัล ซึ่งเริ่มต้นปฏิกิริยาด้วยการฉายรังสี (irradiation) หรือการใช้สารเริ่มต้นปฏิกิริยา (initiator) โดยการฉายรังสีทำให้เกิดฟรีเรดิคัลขึ้นจากการที่สายโซ่โมเลกุลของพอลิเมอร์ขาดจากกัน วิธีนี้จะทำได้สะดวกและรวดเร็ว ให้เปอร์เซ็นต์การกราฟต์สูง แต่วิธีการนี้มีความยุ่งยากด้านเทคนิค เครื่องมือที่ใช้มีราคาแพง จำเป็นต้องใช้ประสบการณ์และความชำนาญเป็นอย่างมาก รวมทั้งอาจก่อให้เกิดอันตรายจากรังสีได้ ส่วนการใช้สารเริ่มต้นปฏิกิริยาเป็นระบบที่มีความปลอดภัยกว่า และไม่ต้องใช้เครื่องมือที่มีราคาแพงมากนัก สารเริ่มต้นปฏิกิริยาที่ใช้มีหลายชนิด ได้แก่ โปแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ กรดแอสคอร์บิก และเบนโซอิลเปอร์ออกไซด์ เป็นต้น

การสังเคราะห์มาเลอิกแอนไฮไดรด์กราฟต์พอลิโพรพิลีนทำได้หลายกระบวนการ เช่น กระบวนการแบบสารละลายอาจทำได้โดยใช้เบนโซอิลเปอร์ออกไซด์เป็นสารเริ่มต้นปฏิกิริยา โดยละลายไอโซแทกติกพอลิโพรพิลีนในตัวทำละลาย เช่น โทลูอีน ที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศของแก๊สไนโตรเจน เป็นเวลาประมาณ 6 ชั่วโมง [5] และโครงสร้างของมาเลอิกแอนไฮไดรด์กราฟต์พอลิโพรพิลีนแสดงไว้ในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 โครงสร้างของมาเลอิกแอนไฮไดรด์กราฟต์พอลิโพรพิลีน [6]

และอีกกระบวนการหนึ่งคือกระบวนการแบบหลอมเหลวซึ่งได้เสนอสมมติฐานกลไกการเกิดมาเลอิกแอนไฮไดรด์กราฟต์พอลิโพรพิลีนไว้ในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 สมมติฐานกลไกการเกิดมาเลอิกแอนไฮไดรด์กราฟต์พอลิโพรพิลีน [7]

2.3.2 การวิเคราะห์ปริมาณมาเลอิกแอนไฮโดรด์ที่กราฟต์บนพอลิโพรพิลีน

วิธีวิเคราะห์ที่ใช้หาปริมาณหมู่ฟังก์ชันที่มีความว่องไวในการทำปฏิกิริยาซึ่งอยู่บนพอลิเมอร์มีได้หลายวิธี แต่ที่ใช้กันแพร่หลาย ได้แก่ เทคนิคฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (FT-IR) นิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์ (NMR) แก๊สโครมาโทกราฟี (GC) และเทคนิคการไทเทรต (titrate)

การหาปริมาณความเข้มข้นของหมู่แอนไฮโดรด์ที่อยู่บนพอลิโพรพิลีน วิธีที่ได้รับความนิยมมากที่สุด คือ การไทเทรตด้วยกรด-เบส [6]

การไทเทรต [6]

การไทเทรตมาเลอิกแอนไฮโดรด์กราฟต์พอลิโพรพิลีนด้วยกรดเบสนั้น โดยทั่วไปแล้วจะทำในตัวทำละลายอินทรีย์ เช่น ไซลีน หรือโทลูอีน แต่มีบางงานวิจัยที่ใช้ตัวทำละลายผสม เช่น ตัวทำละลายผสมระหว่างบิวทานอลและไซลีน

กรณีที่ต้องการวิเคราะห์ปริมาณมาเลอิกแอนไฮโดรด์ในภาวะแห้งนั้น เพื่อให้มั่นใจว่ามาเลอิกแอนไฮโดรด์ที่กราฟต์บนพอลิโพรพิลีนอยู่ในรูปของแอนไฮโดรด์ทั้งหมด จึงต้องนำมาเลอิกแอนไฮโดรด์กราฟต์พอลิโพรพิลีนที่จะทำการวิเคราะห์ไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 75-120 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1-3 วัน แต่ในทางกลับกันสำหรับการละลายในตัวทำละลายอินทรีย์นั้นต้องมีการเปิดวงของหมู่ฟังก์ชันที่เป็นวงแอนไฮโดรด์ให้เป็นหมู่คาร์บอกซิลิก โดยการทำให้สารละลายอิมตัวด้วยน้ำ จากนั้นเติมแอลกอฮอล์ลงในตัวทำละลาย เพื่อให้ทำปฏิกิริยากับแอนไฮโดรด์ที่เปิดวงแล้วจนกลายเป็นหมู่เอสเทอร์ และคาร์บอกซิลิก

การไทเทรตจะดำเนินไปจนกระทั่งถึงจุดสมมูลที่อินดิเคเตอร์เปลี่ยนสี โดยไทมอลบลูเป็นอินดิเคเตอร์ที่ใช้เพื่อแสดงว่าการไทเทรตถึงจุดสมมูลแล้วมากที่สุด นอกจากนี้ อินดิเคเตอร์ที่นิยมใช้กันอีกชนิดคือฟีนอล์ฟทาลีน สารที่ใช้ในการไทเทรตคือสารละลายประเภทแอลกอฮอล์ ที่นิยมใช้กันคือโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ในสารละลายเอทานอล

นอกจากนี้ ยังมีงานวิจัยที่ใช้วิธีการไทเทรตแบบ back-titration โดยเติมเบสที่มากเกินไปลงในสารละลายแล้วไทเทรตกลับด้วยกรด ซึ่งงานวิจัยนี้ได้เลือกการไทเทรตวิธีเดียวกับ Dean Shi [7]

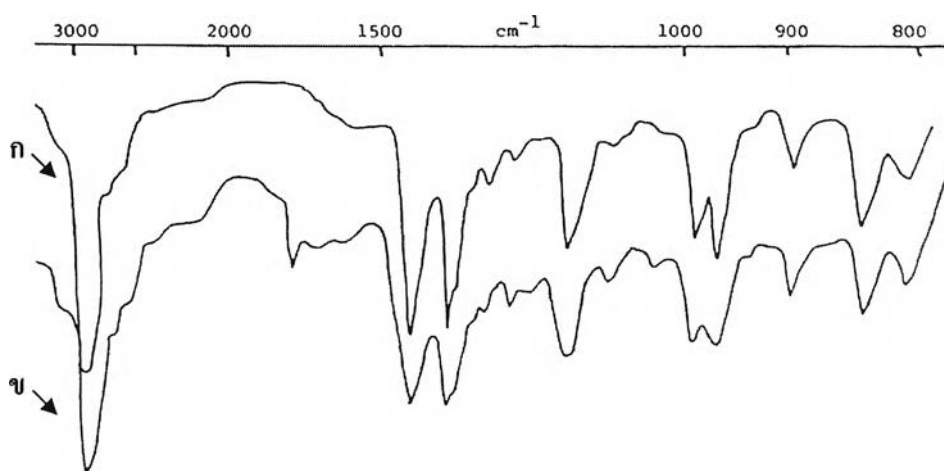
อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี

ใช้วิเคราะห์เพื่อหาหมู่เฉพาะตัว ซึ่งการเกิดมาเลอิกแอนไฮไดรด์กราฟต์พอลิโพรพิลีนสามารถพิสูจน์ได้จากการปรากฏของพีคที่เลขคลื่น 1792 cm^{-1} และ 1784 cm^{-1} (การสั่นของหมู่คาร์บอนิลของซัคซินิกแอนไฮไดรด์ และพอลิมาเลอิกแอนไฮไดรด์ตามลำดับ) [6] และพีคที่เลขคลื่น 1167 cm^{-1} (การสั่นแบบงอของ C-H หมู่เมทิลและเมทิลีนในพอลิโพรพิลีน) ดังแสดงในรูปที่ 2.3

เปอร์เซ็นต์การกราฟต์มาเลอิกแอนไฮไดรด์บนพอลิโพรพิลีน อาจคำนวณได้โดยอาศัยวิธีของ Bettini และ Agnelli [8] ดังนี้

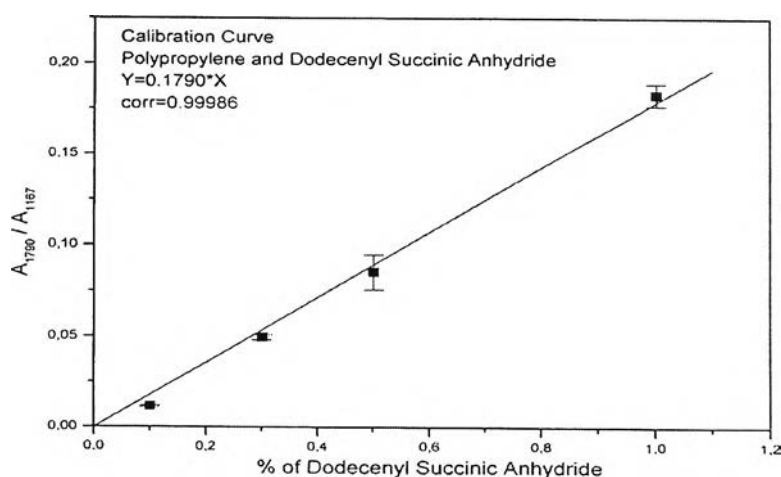
$$CI = \frac{A_{1790}}{A_{1167}}$$

เมื่อ CI คือ Carbonyl index, A_{1790} คือ ค่าการดูดกลืนแสงที่เลขคลื่น 1790 cm^{-1}
 A_{1167} คือ ค่าการดูดกลืนแสงที่เลขคลื่น 1167 cm^{-1}



รูปที่ 2.3 อินฟราเรดสเปกตรัมของ ก) พอลิโพรพิลีน และ ข) มาเลอิกแอนไฮไดรด์กราฟต์พอลิโพรพิลีน [9]

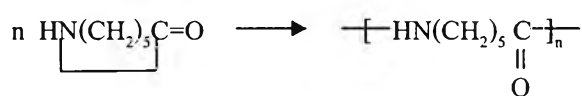
นำค่า carbonyl index ที่ได้ไปคำนวณเปอร์เซ็นต์ของมาเลอิกแอนไฮไดรด์ที่ทำปฏิกิริยา โดยการเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานที่พล็อตระหว่างเปอร์เซ็นต์ของโคเดกซิลซัคซินิกแอนไฮไดรด์กับอัตราส่วนการดูดกลืนแสงของสเปกตรัมที่ตำแหน่งเลขคลื่น 1790/1167 cm^{-1} ดังแสดงในรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 กราฟมาตรฐานสำหรับหาเปอร์เซ็นต์การกราฟต์มาเลอิกแอนไฮไดรด์บนพอลิโพรพิลีน [8]

2.4 พอลิเอไมด์ (Polyamides)

พอลิเอไมด์ คือ พอลิเมอร์ที่มีหมู่เอไมด์ (-CO-NH-) อยู่ในสายโซ่หลักของโมเลกุล ซึ่งมีอยู่มากมายหลายชนิด พอลิเอไมด์ที่สำคัญในทางการค้า ได้แก่ อะลิฟาติกพอลิเอไมด์ (aliphatic polyamides) ถูกผลิตขึ้นครั้งแรกโดยบริษัท ดูปองท์ ประเทศสหรัฐอเมริกาโดยมีชื่อทางการค้าว่า ‘ไนลอน’ (nylons) ซึ่งมีชื่อเรียกตามจำนวนอะตอมของคาร์บอนที่มีอยู่ในมอนอเมอร์ เช่น ไนลอน 6 เตรียมได้จากคาโปรแลกแทม และไนลอน 6,6 เตรียมได้จากปฏิกิริยาระหว่างกรดอะดิปิก (adipic acid) และเฮกซะเมทิลีนไดเอมีน (hexamethylene diamine) เป็นต้น ปฏิกิริยาการสังเคราะห์พอลิเอไมด์ 6 แบบเปิดวงของคาโปรแลกแทม แสดงไว้ในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 ปฏิกิริยาการสังเคราะห์พอลิเอไมด์ 6

พอลิเอไมด์เป็นเทอร์โมพลาสติกที่มีจุดอ่อนตัวสูงที่สุดชนิดหนึ่ง สามารถใช้งานได้ที่อุณหภูมิสูง มีความทนทานต่อน้ำมัน และสารละลายอินทรีย์ ในระยะแรกถูกใช้งานเป็นเส้นใย ต่อมาจึงถูกนำมาใช้ทำชิ้นงาน โดยใช้ทำชิ้นส่วนในเครื่องจักร อุปกรณ์และเครื่องมือแทนโลหะ ปัจจุบันเป็น

พลาสติกวิศวกรรม (engineering plastics) ที่เป็นที่รู้จักแพร่หลายที่สุด การขึ้นรูปพอลิเอไมด์ส่วนใหญ่ เป็นวิธี injection molding และ extrusion วิธีอื่นๆ ได้แก่ blow molding, rotational molding, reaction injection molding (RIM) และ powder coating เป็นต้น

ถึงแม้พอลิเอไมด์จะมีความแข็งแรง คิวมันเรียบลื่น แต่มีปัญหาเมื่อนำไปผ่านเครื่องผลิตเป็น ชิ้นงานขนาดใหญ่ เริ่มตั้งแต่อุณหภูมิประมาณ 150 องศาเซลเซียส จะมีการเปลี่ยนสี เปราะ แตก แม้ถูก รังสีก็เปลี่ยนเป็นสีหม่นหมอง เสื่อมสภาพ ผลิตยากถ้าไม่มีสารหล่อลื่น ดังนั้น บริษัทผลิตเม็ด พอลิเอไมด์จึงได้ปรุงแต่งเม็ดพลาสติกขึ้นมากมายหลายเกรดตามกระบวนการที่จะใช้ผลิตและชนิดของ ผลิตภัณฑ์ด้วยการใช้สารเติมแต่งต่างๆ ดังนี้

- สารเพิ่มเสถียรภาพความร้อน เพราะในการขึ้นรูปต้องใช้อุณหภูมิสูงถึง 250-300 องศาเซลเซียส

- สารเพิ่มเสถียรภาพทางแสง เช่น คาร์บอนแบล็ก และฟีนอลิกเรซิน เป็นต้น

- พลาสติกไซเซอร์ ช่วยลดอุณหภูมิกลาสรานขึ้น เพิ่มความเหนียวและยืดหยุ่น

- สารหล่อลื่น มักใช้กราไฟต์ และโมลิบดีนัม ไดซัลไฟด์ ช่วยให้ผ่านกระบวนการผลิต และ แกะออกจากแบบได้ง่าย

- วัสดุเสริมแรง เพื่อเพิ่มความแข็งแรง รักษารูปทรงได้ดีขึ้น หดตัวต่ำ ทนทานต่อการคืบ (creep) มากขึ้น และแข็งขึ้น เช่น ไบแก้ว เป็นต้น

- ผงสี อาจผสมมาให้เสร็จ หรือโรงงานผสมเองก็ได้

- สารก่อผลึก ช่วยให้เกิดผลึกได้ง่าย และมีความแข็งแรงสูง

- สารหน่วงไฟ เหมาะจะใช้ผลิตอุปกรณ์ไฟฟ้า

เม็ดพอลิเอไมด์ทุกชนิดสามารถดูดความชื้นในอากาศได้เนื่องจากเป็นพลาสติกประเภท ไฮโกรสโกปิก โดยเฉพาะประเทศไทยซึ่งเป็นประเทศเมืองร้อน มีความชื้นสัมพัทธ์สูง (60-80 เปอร์เซ็นต์) แค่เปิดปากถุงทิ้งไว้ 2-3 ชั่วโมง หรือให้พอลิเอไมด์สัมผัสกับความชื้นในอากาศโดยตรง จะเป็นผลให้เปอร์เซ็นต์ความชื้นเพิ่มขึ้น ซึ่งสามารถทดสอบได้โดยการชั่งน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นภายหลัง การดูดความชื้น และถ้านำพอลิเอไมด์ที่มีความชื้นไปขึ้นรูปด้วยกระบวนการฉีดจะพบปัญหาที่ชิ้นงาน เช่น จุดขาว ลายขนแมว ฟองอากาศ ผิวแตกลาย สูญเสียสมบัติเชิงกล เปราะแตกง่าย รับน้ำหนัก ได้น้อยลง และการหลอมตัวช้า

บริษัทจะบรรจุเม็ดพอลิเอไมด์ในถุงป้องกันความชื้นมาให้เรียบร้อย เมื่อเปิดปากถุงควรรีบใช้ ให้หมดใน 1 ชั่วโมง ถ้าไม่ยอมทำให้ชิ้นงานมีปัญหา และถ้ามีเม็ดพลาสติกเหลือจากการใช้งาน ต้องอบ ให้แห้งด้วยลมร้อน โดยใช้เครื่องอบไล่ความชื้นชนิดอากาศแห้งร้อน ซึ่งมีราคาแพง แต่ประหยัดเวลา

อบ ประหยัดค่าไฟและค่าใช้จ่าย ที่อุณหภูมิ 70-80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2-3 ชั่วโมง แล้วแต่เกรดที่ใช้ จนความชื้นตกค้างเหลือต่ำกว่า 0.25 หรือ 0.3 เปอร์เซ็นต์อย่างมาก ไม่แนะนำให้ใช้เครื่องอบทั่วไป เพราะเสียเวลา (12 ชั่วโมง) เสียค่าไฟ และเสี่ยงต่อการเสื่อมสภาพ

ที่อุณหภูมิ 23 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 50 เปอร์เซ็นต์ พอลิเอไมด์ 6 และพอลิเอไมด์ 6,6 สามารถดูดความชื้นได้ 3 ± 0.4 เปอร์เซ็นต์ ส่วนพอลิเอไมด์ 6,10 และพอลิเอไมด์ 6,12 ดูดความชื้นได้ปานกลางประมาณ 1.4 ± 0.2 เปอร์เซ็นต์ ไม่มีปัญหาารุนแรงมากนัก ส่วนพอลิเอไมด์ที่มีจำนวนคาร์บอนสูง เช่น พอลิเอไมด์ 11 และพอลิเอไมด์ 12 จะดูดความชื้นได้น้อย

พอลิเอไมด์มีจุดหลอมเหลวสูงเนื่องจากมีโครงสร้างผลึกมาก ยิ่งเป็นพอลิเอไมด์ 6 และพอลิเอไมด์ 6,6 จะมีจุดหลอมเหลว 210 และ 250 องศาเซลเซียส ตามลำดับ นอกจากนี้ ยังมีช่วงอุณหภูมิหลอมเหลวก่อนข้างแคบ ประมาณ 30 องศาเซลเซียส จึงมีความยุ่งยากในการฉีด โดยต้องเลือกใช้สกรูที่เหมาะสมและตั้งอุณหภูมิสำหรับการหลอมเหลวที่ต้องแม่นยำ

พอลิเอไมด์มีการหดตัวของชิ้นงานมากกว่าพอลิสไตรีน เอบีเอส และอะคริลิก แต่น้อยกว่าพอลิเอทิลีน พอลิโพรพิลีน และอะซีทัล โดยพอลิเอไมด์ 6 มีการหดตัวประมาณ 0.6-1.2 เปอร์เซ็นต์ และพอลิเอไมด์ 6,6 มีการหดตัวประมาณ 0.6-1.5 เปอร์เซ็นต์ [10]

พอลิเอไมด์มีความทนทานสารหล่อลื่นและเชื้อเพลิงยานยนต์ทั่วไป ทำให้สามารถใช้ทำอุปกรณ์ในรถยนต์ส่วนของห้องเครื่องยนต์ เช่น กรองเบนซิน ท่อน้ำมันเบรค ฝาครอบวาล์ว และไบพัดลม เป็นต้น

ชิ้นงานที่ทำจากพอลิเอไมด์จะมีความลื่นเพราะมีสัมประสิทธิ์การเสียดทานต่ำ จึงเหมาะที่จะใช้ทำชิ้นส่วนที่ต้องการความทนทานต่อการเสียดสี การสึกหรอ และลดเสียงรบกวน เช่น แบริง ลูกเบี้ยว และ บู๊ธ เป็นต้น จากความเหนียวและความแข็งแรงทำให้สามารถนำพอลิเอไมด์ใช้งานภายนอกเมื่อได้รับการเสริมเสถียรภาพแล้ว เช่น ทำกันชน สปอยเลอร์ เก้าอี้ และเฟอร์นิเจอร์ เป็นต้น

พอลิเอไมด์มีสมบัติสกัดกั้นความชื้นและออกซิเจน จึงเหมาะสำหรับใช้ทำฟิล์มบรรจุอาหารและยา นอกจากนี้ ยังใช้ทำชิปในลอน เครื่องสุขภัณฑ์ เครื่องใช้ไฟฟ้า และเครื่องอิเล็กทรอนิกส์ เป็นต้น

พอลิเอไมด์ 6 และพอลิเอไมด์ 6,6 มีสมบัติใกล้เคียงกันจนบางครั้งสามารถใช้แทนกันได้ ประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์ ในการใช้งานของพอลิเอไมด์จะสามารถใช้ได้ทั้งพอลิเอไมด์ 6 และพอลิเอไมด์ 6,6 ขณะที่อีก 20 เปอร์เซ็นต์จะเป็นการใช้งานที่จำเพาะเจาะจงลงไปว่าเป็นพอลิเอไมด์ 6 หรือพอลิเอไมด์ 6,6

2.5 พอลิเมอร์ผสม (Polymer blends)

พอลิเมอร์ผสม หมายถึง พอลิเมอร์ตั้งแต่สองชนิดหรือมากกว่าขึ้นไปมารวมตัวกันทางกายภาพ ซึ่งในช่วงทศวรรษที่ผ่านมาได้มีการพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ๆ เข้าสู่ตลาดอย่างต่อเนื่อง และพอลิเมอร์ผสมจัดเป็น กลุ่มพอลิเมอร์ที่ได้รับความนิยมอย่างมากในวงการอุตสาหกรรม ทั้งนี้เพราะการเตรียมพอลิเมอร์ผสมเป็นวิธีที่สะดวกและประหยัด โดยสามารถใช้พอลิเมอร์ที่มีอยู่แล้วแทนการสังเคราะห์พอลิเมอร์ชนิดใหม่ๆ สำหรับวิธีการต่างๆ ที่ได้คิดค้นขึ้นเพื่อเตรียมพอลิเมอร์ผสมแสดงไว้ในตารางที่ 2.1 แม้ว่าวิธีการต่างๆ เหล่านี้สามารถทำให้เกิดการเข้ากันเป็นอย่างดีของพอลิเมอร์ผสมบางชนิด แต่ยังมีพอลิเมอร์อีกจำนวนมากที่เกิดความไม่เข้ากันเนื่องจากมีโครงสร้างที่แตกต่างกัน จึงทำให้เกิดการแยกชั้นในระหว่างกระบวนการผสม ซึ่งจะเห็นความแตกต่างระหว่างพอลิเมอร์ผสมที่เข้ากันได้กับพอลิเมอร์ผสมที่ไม่เข้ากัน เช่น พอลิเมอร์ผสมที่เข้ากันได้มีลักษณะใส (clear) และแสดงอุณหภูมิกลาสทรานซิชันเพียงค่าเดียว ซึ่งจะอยู่ระหว่างอุณหภูมิกลาสทรานซิชันขององค์ประกอบ ในขณะที่พอลิเมอร์ผสมที่เกิดความไม่เข้ากันจะมีลักษณะขุ่น และแสดงอุณหภูมิกลาสทรานซิชันหลายค่า ซึ่งแต่ละค่าจะเป็นลักษณะขององค์ประกอบแต่ละชนิด [11]

โดยทั่วไปแล้ว ระบบพอลิเมอร์ผสมประกอบด้วย 2 เฟส คือเมทริกซ์เฟสและดิสเพอร์สเฟส ซึ่งดิสเพอร์สเฟส คือ เฟสที่มีการกระจายตัวอย่างไม่สม่ำเสมอในพอลิเมอร์ผสม โดยอาจอยู่ในลักษณะที่เป็นเส้นใย ทรงกลม และโครงสร้างที่เป็นแผ่นบาง (lamellae) เป็นต้น ซึ่งพอลิเมอร์ที่เป็นเมทริกซ์เฟสจะเป็นตัวหลักที่กำหนดสมบัติของพอลิเมอร์ผสม เช่น พอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิสไตรีน (แข็งและเปราะ) และพอลิบิวตะไดอิน (อีลาสโตเมอร์) ในอัตราส่วน 50/50 ซึ่งพอลิเมอร์ผสมที่ได้มีสมบัติแข็งถ้าพอลิสไตรีนเป็นเมทริกซ์เฟส แต่ถ้าพอลิสไตรีนเป็นเมทริกซ์เฟส พอลิเมอร์ผสมที่ได้มีลักษณะขุ่น

จากที่กล่าวไปแล้วว่าปัญหาสำคัญของการทำพอลิเมอร์ผสม คือ ความไม่เข้ากันของพอลิเมอร์ที่มีโครงสร้างแตกต่างกัน ซึ่งโดยทั่วไปการผสมพอลิเมอร์ 2 ชนิด ด้วยวิธีแบบหลอมเหลวจะเกิดการแยกเป็น 2 เฟส ส่งผลให้มีแรงดึงระหว่างพื้นผิวสูง และมีการยึดเกาะระหว่างพื้นผิวไม่ดี จึงทำให้เกิดการแยกชั้นในระหว่างกระบวนการผลิต ผลิตภัณฑ์ที่ได้จึงมีความเปราะและไม่แข็งแรง ดังนั้น การทำให้พอลิเมอร์ต่างชนิดที่ไม่เข้ากันมีสมบัติเชิงกลดีขึ้น จำเป็นต้องใช้สารช่วยผสมเพื่อปรับปรุงการยึดเกาะระหว่างพื้นผิวของพอลิเมอร์ โดยสารช่วยผสมจะเข้าไปลดพลังงานระหว่างพื้นผิวและเพิ่มแรงยึดเกาะในระหว่างผสม [12]

ตารางที่ 2.1 วิธีการเตรียมพอลิเมอร์ผสมชนิดต่างๆ [13]

ชนิด	วิธีการเตรียม
Mechanical blends	ผสมพอลิเมอร์ที่อุณหภูมิสูงกว่า T_g หรือ T_m ของพอลิเมอร์นั้น ในกรณีที่พอลิเมอร์ที่ต้องการผสมเข้าด้วยกันเป็นแบบอสัณฐาน และ กึ่งผลึกตามลำดับ
Mechanochemical blends	ผสมพอลิเมอร์ด้วยอัตราแรงเฉือนสูงเพื่อให้พอลิเมอร์เกิดการสลายตัว โดยฟรีแรดิคัลที่เกิดขึ้นจะรวมตัวเป็นของผสมเชิงซ้อน ซึ่งมีทั้งองค์ประกอบที่เป็นบล็อกและกราฟต์โคพอลิเมอร์
Solution-cast blends	ละลายพอลิเมอร์ในตัวทำละลายแล้วเทลงในแม่แบบ จากนั้นจึงจัดตัวทำละลายออกไป
Latex blends	ผสมพอลิเมอร์กับน้ำเข้าด้วยกันจนกระทั่งพอลิเมอร์กระจายตัวได้ดีในน้ำ ซึ่งพอลิเมอร์ผสมที่ได้จะมีลักษณะเปลี่ยนจากของเหลวเป็นก้อนหนาหนืด (coagulated)
Chemical blends interpenetrating polymer networks (IPN)	ทำให้พอลิเมอร์เกิดการเชื่อมขวางแล้วบวมตัวด้วยมอนอเมอร์ชนิดต่างๆ จากนั้นทำให้มอนอเมอร์เกิดพอลิเมอไรซ์และเชื่อมขวาง
Semi-interpenetrating polymer networks (semi-IPN)	ผสมมอนอเมอร์ที่มีหลายหมู่ฟังก์ชันเข้าด้วยกันกับเทอร์โมพลาสติกพอลิเมอร์แล้วจึงพอลิเมอไรซ์ให้เป็นพอลิเมอร์แบบร่างแห
Simultaneous interpenetrating polymer (SIN)	ผสมมอนอเมอร์ต่างๆ เข้าด้วยกันโดยจะเกิดไฮโมพอลิเมอไรซ์และโครงสร้างแบบเชื่อมขวางในเวลาเดียวกัน แต่ไม่เกิดกลไกที่มีแรงกระทำระหว่างกัน
Interpenetrating elastomeric networks (IEN)	ทำการเชื่อมขวางพอลิเมอร์ที่อยู่ในรูปของลาเท็กซ์ โดยจะทำหลังจากเกิดภาวะที่ของเหลวเปลี่ยนเป็นก้อนหนาหนืดแล้ว

2.6 สารช่วยผสม (Compatibilizers)

โดยทั่วไปแล้ววัสดุที่ได้จากการผสมพอลิเมอร์ 2 ชนิด ด้วยวิธีแบบหลอมเหลว จะมีสมบัติที่เปราะและไม่แข็งแรง เนื่องจากมีความเค้นตึงภายในชิ้นงานและมีการยึดเกาะระหว่างพื้นผิวของดิสเพอร์สเฟสและเมทริกซ์ไม่ดี ซึ่งสามารถแก้ไขให้วัสดุนั้นมีสมบัติเชิงกลที่ดีขึ้น โดยเติมองค์ประกอบที่ 3 เพิ่มเข้าไป หรือการทำ *in situ* ระหว่างการทำพอลิเมอร์ผสมเพื่อให้เกิดสารช่วยผสม โดยส่วนมากแล้วสารช่วยผสมจะมีผลต่อพอลิเมอร์ผสม [14] ดังนี้

- ลดแรงตึงระหว่างพื้นผิวขณะทำการหลอมเหลวพอลิเมอร์ผสม ส่งผลให้ดิสเพอร์สเฟส มีการกระจายตัวที่ดีขึ้น
- เพิ่มการยึดเกาะระหว่างพื้นผิวของพอลิเมอร์ ทำให้มีการกระจายแรง ได้ดีขึ้น (stress transfer) และทำให้พื้นผิวของวัสดุเมื่ออยู่ในสถานะของแข็งมีความแข็งแรงมากขึ้น
- ช่วยให้ดิสเพอร์สเฟสกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ โดยลดอัตราการรวมตัวกันของพอลิเมอร์แต่ละชนิดในระหว่างกระบวนการหลอมเหลวและอบอ่อน (annealing)

2.6.1 เเทอร์โมไดนามิกส์ของพอลิเมอร์ผสม

free energy ของของผสม (G_m) จะต้องน้อยกว่าผลรวมของ Gibb's free energy ของสารทั้งสอง สิ่งที่เป็นทางเทอร์โมไดนามิกส์ที่ทำให้พอลิเมอร์สองชนิดเกิดเป็นของผสมได้ คือ Gibb's ($G_1 + G_2$) กำหนดให้ ΔG_m คือ Gibb's free energy ของการผสมเท่ากับ

$$\Delta G_m = G_{12} - (G_1 + G_2) \quad (1)$$

นั่นคือ ΔG ต้องเป็นลบ ($\Delta G_m < 0$) เพื่อที่จะเกิดเป็นพอลิเมอร์ผสมที่เข้ากันได้ เนื่องจาก Gibb's free energy สัมพันธ์กับเอนทัลปี (H) และ เอนโทรปี (S) ดังสมการ

$$\Delta G_m = \Delta H_m - T\Delta S_m \quad (2)$$

เมื่อ ΔH_m คือ เอนทัลปี (หรือความร้อน) ของการผสม และ ΔS_m คือ เอนโทรปีของการผสม ซึ่งโดยทั่วไปแล้ว ΔS_m ที่เกิดขึ้นจะเกิดจากการรวมตัวของพอลิเมอร์ทั้งสองชนิด มักมีค่าเป็นบวกเสมอ เนื่องจากมีจำนวนของการจัดเรียงโมเลกุลที่เป็นไปได้มากขึ้นเมื่อทั้งสองส่วนผสมกัน ในขณะที่ ΔH_m มักมีค่าเป็นศูนย์หรือเป็นบวก และพอลิเมอร์ผสมที่เข้ากันได้ชอบที่จะเกิดเมื่อค่า ΔH_m เป็นบวกน้อยๆ นอกจากนี้ ระบบของพอลิเมอร์ผสมที่เข้ากันได้สามารถพิจารณาได้จากสมการ (3) ซึ่งได้จากการทำอนุพันธ์ครั้งที่สองของ Gibb's free energy ของการผสม

$$\left[\frac{\partial^2 \Delta G_m}{\partial \Phi_2^2} \right]_{T,P} > 0 \quad (3)$$

การเปลี่ยนแปลงของ Gibb's free energy ของการผสมพอลิเมอร์สองชนิดสามารถคำนวณได้จากทฤษฎีของ Flory-Huggins ซึ่งทฤษฎีนี้เป็นทฤษฎีพื้นฐานสำหรับการคำนวณเกี่ยวกับความเข้ากันได้ของพอลิเมอร์-พอลิเมอร์ สำหรับสมการจากทฤษฎีของ Flory-Huggins [15] มีดังนี้

$$\Delta G_m = kT [N_1 \ln \Phi_1 + N_2 \ln \Phi_2 + \chi_{12} N_1 \Phi_2] \quad (4)$$

- เมื่อ k คือ ค่าคงที่ (1.38×10^{-23} J/K)
 T คือ อุณหภูมิสัมบูรณ์ (absolute temperature, K)
 N_i คือ จำนวนโมเลกุลของพอลิเมอร์ชนิดนั้นๆ
 Φ_i คือ สัดส่วนโดยปริมาตรของพอลิเมอร์ชนิดนั้นๆ
 χ_{12} คือ อันตรกิริยา (interaction) ระหว่างพอลิเมอร์ทั้งสองชนิด

ซึ่งอันตรกิริยาระหว่างพอลิเมอร์ทั้งสองชนิดมีความสัมพันธ์กับปัจจัยการละลาย ดังนี้ [13]

$$\chi_{12} = V(\delta_1 - \delta_2)^2 / RT \quad (5)$$

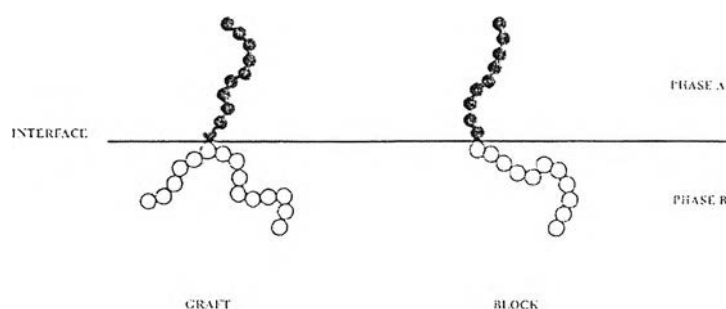
- เมื่อ V คือ molar volume ของ continuous phase
 δ_i คือ พารามิเตอร์การละลายของพอลิเมอร์แต่ละชนิด

จากสมการ (5) จะเห็นว่าค่า χ_{12} มีค่าเป็นบวกหรือศูนย์เท่านั้น ดังนั้น χ_{12} ต้องมีค่าน้อยที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้เพื่อให้ค่า Gibb's free energy ของการผสมในสมการ(4) มีค่าติดลบเพื่อให้เกิดความเข้ากันได้ของพอลิเมอร์ผสม สำหรับพอลิเมอร์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ คือ พอลิโพรพิลีน และพอลิเอไมด์ 6 ซึ่งมีค่าพารามิเตอร์การละลายเท่ากับ 9.4 และ 11.4 (cal/cm^3)^{1/2} ตามลำดับ [16] จากกฎนิ้วโป้ง (rule of thumb) ของสารที่อยู่ในภาวะสารละลายกล่าวว่ค่าสมบูรณ์ของผลต่างระหว่างค่าพารามิเตอร์การละลายพอลิเมอร์ทั้งสองชนิด ต้องมีค่าน้อยกว่า 1 (cal/cm^3)^{1/2} จึงทำให้เกิดการละลายได้ [12] ซึ่งจะเห็นได้ชัดว่าค่าที่ได้จากผลต่างของพอลิโพรพิลีนและพอลิเอไมด์ 6 แสดงให้เห็นว่าไม่สามารถทำให้เกิดพอลิเมอร์ผสมที่เข้ากันได้ จากค่ากล่าวข้างต้นชี้ให้เห็นว่าในส่วนของพอลิโพรพิลีนและพอลิเอไมด์ 6 ไม่สามารถผสมเข้าด้วยกันได้ซึ่งสอดคล้องกับทฤษฎี “like dissolve like” เนื่องจากพอลิโพรพิลีนเป็นพอลิเมอร์

ที่ไม่มีขั้ว ในขณะที่พอลิเอไมด์ 6 เป็นพอลิเมอร์ที่มีขั้ว จึงจำเป็นต้องใส่สารช่วยผสมเข้าไปเพิ่มการยึดเกาะระหว่างพื้นผิวของพอลิเมอร์ทั้งสอง

2.6.2 การใช้บล็อกและกราฟต์โคพอลิเมอร์เป็นสารช่วยผสม

ในระบบพอลิเมอร์ผสมที่ไม่เข้ากันจะมีสมบัติเชิงกลที่มีค่ามากที่สุด ณ จุดๆ หนึ่ง อย่างไรก็ตาม ค่านี้ก็สามารถปรับปรุงให้ดีขึ้นได้โดยการทำให้พอลิเมอร์สองชนิดนี้เข้ากันได้ดียิ่งขึ้น โดยการเติมสารช่วยผสมลงไปในระบบพอลิเมอร์ผสม ซึ่งทำให้พอลิเมอร์ผสมเข้ากันได้ดียิ่งขึ้น เนื่องจากขนาดโดเมน (domain) เล็กๆ ของดิสเพอร์สเฟสมีขนาดเล็กลง และเพิ่มความสามารถในการถ่ายเทแรง (transfer stress) จากโดเมนหนึ่งไปยังอีกโดเมนหนึ่งได้ดียิ่งขึ้นเพราะมีการยึดเกาะระหว่างพื้นผิวของพอลิเมอร์ที่ดีขึ้น โดยสารช่วยผสมนี้จะอยู่ที่ตำแหน่งพื้นผิวของพอลิเมอร์ทั้งสองดังแสดงในรูปที่ 2.6

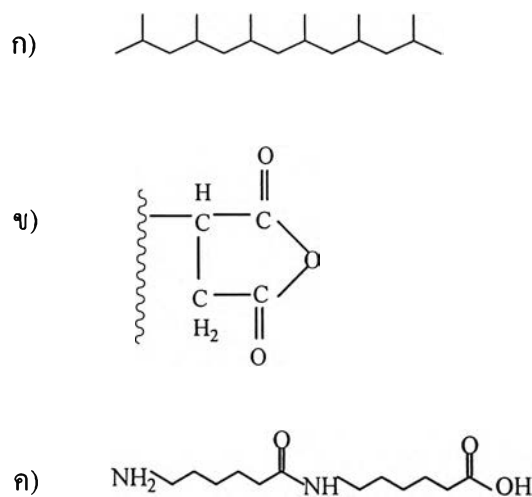


รูปที่ 2.6 ตำแหน่งของบล็อกและกราฟต์โคพอลิเมอร์ที่พื้นผิวระหว่างเฟสของพอลิเมอร์ทั้งสอง [17]

2.6.3 สารช่วยผสมในพอลิเมอร์ผสมพอลิโพรพิลีน/พอลิเอไมด์

พอลิโพรพิลีนเป็นพลาสติกชนิดหนึ่งที่มีการใช้งานอย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น อุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์ และเครื่องใช้ต่างๆ ทั้งนี้เนื่องจากพอลิโพรพิลีนมีสมบัติเชิงกลที่ดี ทนทานต่อสารเคมี และสามารถขึ้นรูปได้ง่าย อีกทั้งมีราคาถูก หากแต่พอลิโพรพิลีนยังมีข้อจำกัดในการใช้งาน เช่น เชื่อยต่อปฏิกิริยาเคมี ไม่ชอบน้ำ คัดสียาก ทำให้ไม่สามารถนำพอลิโพรพิลีนไปประยุกต์ในอุตสาหกรรมบางประเภทได้ จึงมักมีการนำพอลิโพรพิลีนมาผสมกับพอลิเมอร์ชนิดอื่นๆ กันมาก เพื่อปรับปรุงสมบัติเฉพาะบางอย่างให้เหมาะกับการใช้งาน ซึ่งการผสมกับพอลิเอไมด์จะสามารถเพิ่มความแข็งแรงให้กับวัสดุอย่างเห็นได้ชัดหากพอลิเมอร์ทั้ง 2 ชนิด สามารถเข้ากันได้ดี [12]

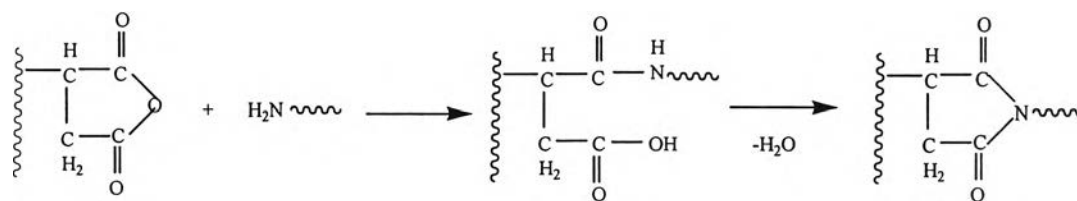
อย่างไรก็ตาม พอลิเมอร์ดังกล่าวไม่สามารถเข้าร่วมตัวกันได้ดี เนื่องจากมีแรงดึงระหว่างพื้นผิวสูงและมีการยึดเกาะระหว่างพื้นผิวไม่ดีส่งผลให้เกิดการแยกชั้นระหว่างกระบวนการผลิต ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความเปราะและไม่แข็งแรงจึงจำเป็นต้องมีการใช้สารช่วยผสม เพื่อช่วยเพิ่มการยึดเกาะระหว่างพื้นผิวของพอลิเมอร์ทั้งสองซึ่งสารช่วยผสมที่นิยมใช้ได้มาจากการตัดแปรพอลิโพรพิลีนให้มีหมู่ฟังก์ชันบนโครงสร้างของโมเลกุล โดยการกราฟต์มาเลอิกแอนไฮไดรด์บนสายโซ่ของพอลิโพรพิลีนในปริมาณต่างๆ กัน ขึ้นกับภาวะของปฏิกิริยา ซึ่งโครงสร้างทางเคมีของวัสดุที่ใช้ในระบบพอลิเมอร์ผสมแสดงในรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 โครงสร้างทางเคมีของวัสดุที่ใช้ในระบบพอลิเมอร์ผสม

- ก) พอลิโพรพิลีน
 ข) มาเลอิกแอนไฮไดรด์กราฟต์พอลิโพรพิลีน
 ค) พอลิเอไมด์ 6

สำหรับการผสมพอลิโพรพิลีนกับพอลิเอไมด์นั้น มาเลอิกแอนไฮไดรด์กราฟต์พอลิโพรพิลีนที่ใช้เป็นสารช่วยผสมจะสามารถเกิดพันธะเคมีผ่านทางปฏิกิริยาของหมู่แอนไฮไดรด์กับหมู่เอไมด์ที่ส่วนปลายของพอลิเอไมด์ ดังแสดงในรูป 2.8



รูปที่ 2.8 การเกิดปฏิกิริยาเคมีระหว่างมาเลอิกแอนไฮไดรด์กราฟต์พอลิโพรพิลีนและพอลิเอไมด์ [12]

กราฟต์โคพอลิเมอร์จึงช่วยเพิ่มความเข้ากันได้ระหว่างพื้นผิวของพอลิเมอร์ทั้งสอง โดยส่วนของพอลิโพรพิลีนในกราฟต์โคพอลิเมอร์จะเข้าร่วมตัวกับพอลิโพรพิลีนในพอลิเมอร์ผสม และมาเลอิกแอนไฮไดรด์ที่อยู่บนกราฟต์โคพอลิเมอร์จะเกิดพันธะกับส่วนปลายโมเลกุลของพอลิเอไมด์

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Sathe และผู้ร่วมงาน [5] ได้ทดลองกราฟต์มาเลอิกแอนไฮไดรด์บนพอลิโพรพิลีนโดยใช้เบนโซอิลเปอร์ออกไซด์เป็นสารเริ่มต้นปฏิกิริยาและมีโทลูอินเป็นตัวกลาง ซึ่งได้ศึกษาผลของปริมาณมาเลอิกแอนไฮไดรด์และปริมาณสารเริ่มต้นปฏิกิริยา รวมทั้งเวลาและอุณหภูมิที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาต่อเปอร์เซ็นต์การกราฟต์ ซึ่งพบว่าเปอร์เซ็นต์การกราฟต์เพิ่มมากขึ้น เมื่อความเข้มข้นของมาเลอิกแอนไฮไดรด์และสารเริ่มต้นปฏิกิริยารวมทั้งเวลาและอุณหภูมิที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น แต่เมื่อเพิ่มถึงค่าหนึ่ง เปอร์เซ็นต์การกราฟต์ลดลงเมื่อปัจจัยเหล่านี้เพิ่มขึ้น นอกจากนี้ ยังพบว่าเปอร์เซ็นต์การกราฟต์สูงที่สุด คือ 5.3 เปอร์เซ็นต์

Metha และผู้ร่วมงาน [18] ได้ศึกษาการเตรียมกราฟต์โคพอลิเมอร์ของไวนิลมอนอเมอร์ที่ละลายน้ำได้ เช่น กรดอะคริลิก และอะครีเอไมด์บนไอโซแทกติกพอลิโพรพิลีน โดยการฉายรังสีแกมมาบนพอลิโพรพิลีนก่อน ซึ่งการกราฟต์ได้กระทำในตัวกลางที่เป็นน้ำ เมทานอล น้ำและเมทานอล พบว่าเปอร์เซ็นต์การกราฟต์ด้วยมอนอเมอร์ทั้งสองมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อตัวกลาง คือ น้ำ และเปอร์เซ็นต์การกราฟต์เพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของมอนอเมอร์และเวลาที่ใช้ทำปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น แต่เปอร์เซ็นต์การกราฟต์ลดลงเมื่อความเข้มข้นของมอนอเมอร์และเวลาในการทำปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นจนถึงค่าหนึ่ง ซึ่งผลที่ได้เป็นไปในทิศทางเดียวกับผลการทดลองของ Sathe และผู้ร่วมงาน

Sclavons และผู้ร่วมงาน [6] ได้ศึกษาหาปริมาณของแอนไฮไดรด์ในมาเลอิกแอนไฮไดรด์ กราฟต์พอลิโพรพิลีนทางการค้าหลายชนิด ด้วยเทคนิคฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (FT-IR) และเทคนิคการไทเทรต ซึ่งจากการไทเทรต พบว่าปริมาณมาเลอิกแอนไฮไดรด์มีค่า 7-11 $\mu\text{eq/g}$ ในขณะที่การหาปริมาณแอนไฮไดรด์ด้วยเทคนิค FT-IR มีค่า 8-12 $\mu\text{eq/g}$

Shi และผู้ร่วมงาน [7] ได้ศึกษากลไกของปฏิกิริยาการกราฟต์มาเลอิกแอนไฮไดรด์บน พอลิโพรพิลีนภายในเครื่องอัดรีด (reactive extrusion) โดยใช้ไดคิวมีลเปอร์ออกไซด์ (dicumyl peroxide) เป็นสารเริ่มต้นปฏิกิริยา พบว่า ไม่มีโอลิโกเมอร์ของมาเลอิกแอนไฮไดรด์หรือ โฮโมพอลิเมอร์เกิดขึ้นเลย

Duvall และผู้ร่วมงาน [12] ได้ศึกษาผลของสารช่วยผสมต่อสมบัติของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง พอลิโพรพิลีนและพอลิเอไมด์ 66 (75/25 โดยน้ำหนัก) โดยใช้มาเลอิกแอนไฮไดรด์กราฟต์ พอลิโพรพิลีนเป็นสารช่วยผสม พบว่าสารช่วยผสมที่มีปริมาณมาเลอิกแอนไฮไดรด์สูง (มีแอนไฮไดรด์ 2.7 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก) มีประสิทธิภาพมากกว่าสารช่วยผสมที่มีปริมาณมาเลอิกแอนไฮไดรด์ต่ำ (มีแอนไฮไดรด์ 0.2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก) ในการกระจายตัวของพอลิเอไมด์ในพอลิโพรพิลีน นอกจากนี้ สารช่วยผสมทั้งสองยังช่วยปรับปรุงความทนแรงดึงให้มีความเพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับ พอลิเมอร์ผสมที่ไม่เติมสารช่วยผสม และเมื่อใช้สารช่วยผสมชนิดที่มีปริมาณแอนไฮไดรด์ต่ำที่ 11.25 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ทำให้มีการยึดเกาะระหว่างพอลิโพรพิลีนและพอลิเอไมด์ที่ดี

Roeder และผู้ร่วมงาน [19] ได้ศึกษาผลของสารช่วยผสมตรงบริเวณพื้นผิวร่วมระหว่าง พอลิโพรพิลีน/พอลิเอไมด์ 6 จากการวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชันด้วยเทคนิค FT-IR พบว่า มีพีกที่ 1640 และ 1730 cm^{-1} ซึ่งเป็นพีกแสดงการสั่นของหมู่คาร์บอนิลของพอลิเอไมด์ 6 และพันธะคาร์บอนิลอิมิด (carbonyl imide linkage) ตามลำดับ จึงสรุปได้ว่าเกิดพันธะอิมิดขึ้นจากปฏิกิริยาที่บริเวณพื้นผิว นอกจากนี้ ความสามารถในการดูดซับน้ำที่ลดลง และผลจากการวิเคราะห์ทางด้านความร้อนได้ สนับสนุนผลของเทคนิค FT-IR ว่าเกิดพันธะอิมิดระหว่างหมู่อะมิโนที่อยู่ปลายสายโซ่ และหมู่คาร์บอกซิลิกที่กราฟต์บนพอลิโพรพิลีน และที่อัตราส่วนของพอลิโพรพิลีน/พอลิเอไมด์ 6/มาเลอิกแอนไฮไดรด์กราฟต์พอลิโพรพิลีน เป็น 60/30/10 โดยน้ำหนัก ทำให้พอลิเอไมด์ 6 กระจายตัวได้ดีใน พอลิโพรพิลีนเมทริกซ์จนรวมเป็นเนื้อเดียวกัน