

บทที่ 2

วารสารปริทัศน์

2.1 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับพอลิเมอร์ [1-2]

พอลิเมอร์ (Polymer) คือสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง ซึ่งประกอบด้วยหน่วยซ้ำๆ กัน ที่เรียกว่า “เมอร์” (mer) แปลว่า “ส่วน” หรือ “หน่วย” หรือ “repeating unit” จำนวนมากมาเชื่อมต่อกันด้วยพันธะโควาเลนต์ โดยการสังเคราะห์พอลิเมอร์นั้นเกิดจากกระบวนการพอลิเมอร์ไรเซชัน (polymerization) ซึ่งได้จากปฏิกิริยาเคมีระหว่างสารโมเลกุลเล็กๆ ที่เรียกว่า “มอนอเมอร์” (monomer) พอลิเมอร์ที่สังเคราะห์ได้จะมีน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยตั้งแต่ 10^4 - 10^6 กรัมต่อโมล พอลิเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงอาจเกิดขึ้นในธรรมชาติหรือถูกสังเคราะห์ขึ้นมา ซึ่งจะมีลักษณะการใช้งานได้หลากหลาย ดังต่อไปนี้

1. พลาสติก (plastics) เช่น ถุงพลาสติก พิล์มพลาสติก
2. ยาง (rubbers) เช่น ยางธรรมชาติ (natural rubber) หรือ ยางสังเคราะห์ (synthetic rubbers) ใช้ทำยางรถยนต์ ถุงมือยาง
3. เส้นใย (fibers) เช่น เส้นใยธรรมชาติที่ได้จากสัตว์ พืช และแร่ธาตุ หรือเส้นใยประดิษฐ์ เช่น ไนลอน พอลิเอสเตอร์
4. สารเคลือบผิว (surface coatings) เช่น สีทาบ้าน แลกเกอร์
5. กาว (adhesives) เช่น กาวลาเทกซ์ กาวอีพอกซี
6. วัสดุเชิงประกอบ (composite materials) เช่น ผลิตภัณฑ์พลาสติกเสริมกำลังด้วยใยแก้ว (glass fiber reinforced plastics) หรือที่เรียกว่าผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์กลาส

โดยทั่วไปพอลิเมอร์มีน้ำหนักเบา มีความต้านทานการกัดกร่อน (corrosion resistance) หรือการเกิดสนิม ราคาถูก ผลิตให้มีรูปร่างต่างๆ ได้ง่าย ใช้แรงงานในการผลิตต่ำ นอกจากนี้ยังสามารถทำให้มีสมบัติได้หลากหลาย โดยจะมีความทนทานทั้งกายภาพและทางเคมี แต่ไม่เหมาะที่จะใช้งานที่อุณหภูมิสูง และพอลิเมอร์บางชนิดสามารถใช้แทนโลหะ เซรามิกส์ แก้ว ไม้ หรือหนังสัตว์ ได้เช่น Plexiglas และ Lucite ที่มีความโปร่งใส สามารถใช้แทนแก้วหรือกระจก หรือหนังเทียมที่ทำจากพีวีซี ใช้แทนหนังสัตว์ ภาชนะเมลามีนที่แทนจานชามเซรามิกส์

โครงสร้างของพอลิเมอร์หรือลักษณะการจัดรูปร่างโมเลกุลของพอลิเมอร์นั้น มีหลายแบบขึ้นอยู่กับประเภทของพอลิเมอร์และวิธีการสังเคราะห์ ซึ่งจะส่งผลต่อคุณสมบัติเฉพาะตัวของพอลิเมอร์ชนิดนั้นๆ เช่น ความหนาแน่น ความเหนียว ความเปราะ ความยืดหยุ่น ความแข็ง ความใส ฯลฯ

โครงสร้างของพอลิเมอร์สามารถแบ่งออกเป็นแบบต่างๆ ดังนี้

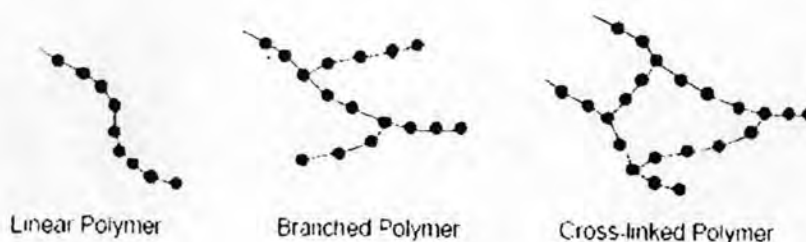
1. พอลิเมอร์แบบเส้น (linear polymer) เมื่อสายโซ่ยาวขึ้น พอลิเมอร์จะมีความแข็งแรงสูงขึ้น ทนความร้อนได้ดีขึ้น โดยมีลักษณะโมเลกุลเป็นสายโซ่เส้นยาวๆ หรือเป็นสายเดี่ยวๆ คล้ายเส้นด้าย โดยไม่มีกิ่งหรือสาขาแยกออกมา ได้แก่ พอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง (high density polyethylene, HDPE) พอลิไวนิลคลอไรด์ (polyvinyl chloride, PVC) พอลิเมทิลเมทาคริเลต (polymethy methacrylate, PMMA) พอลิอะคริโลไนไตรล์ (polydactyl nitrile) ไนลอน 6,6 (nylon6,6) เป็นต้น

2. พอลิเมอร์แบบกิ่ง (branched polymer) โครงสร้างแบบนี้ทำให้โมเลกุลอยู่ห่างกัน จึงทำให้มีความหนาแน่นน้อย โดยโมเลกุลของพอลิเมอร์จะมีกิ่งหรือสาขาที่แยกออกมาจากสายโซ่หลัก ทำให้โมเลกุลไม่สามารถจัดเรียงตัวได้อย่างเป็นระเบียบ ความสามารถในการเกิดผลึกจึงลดลง ทำให้พอลิเมอร์มีความหนาแน่นที่ต่ำ เช่น พอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ (low density polyethylene, LDPE) ซึ่งกิ่งที่แยกออกมานั้นต้องมีลักษณะเป็นหน่วยซ้ำๆ กัน หรือเป็นหน่วยของเมอร์ก็ได้ แต่ถ้ากิ่งเป็นส่วนประกอบของเมอร์นั้นๆ จะไม่จัดเป็นพอลิเมอร์แบบกิ่ง แต่จัดเป็นพอลิเมอร์แบบเส้น เช่น พอลิสไตรีน (polystyrene) พอลิโพรพิลีน (polypropylene)

3. พอลิเมอร์แบบเชื่อมโยงหรือพอลิเมอร์แบบร่างแห (cross-linked or network polymer) โครงสร้างแบบนี้ทำให้พอลิเมอร์มีความหนาแน่นสูง มีความแข็งแรง ทนความร้อนได้ดี โดยสายโซ่โมเลกุลจะเชื่อมติดกันด้วยพันธะเคมีเป็นแบบร่างแห ได้แก่ เมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์เรซิน (melamine formaldehyde resin) ฟีนอลฟอร์มัลดีไฮด์เรซิน (phenol formaldehyde resin) ยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์เรซิน (urea formaldehyde resin) เป็นต้น

พอลิเมอร์แบบเชื่อมโยงหรือพอลิเมอร์แบบร่างแหนี้จะไม่สลายตัวในตัวทำละลายใดๆ แต่จะเกิดการบวมตัวขึ้นในตัวทำละลายบางชนิดแทน ซึ่งปริมาณการบวมตัวนั้นจะขึ้นกับปริมาณของการเชื่อมโยงโมเลกุล (degree of crosslinking) ถ้ามีการเชื่อมโยงมาก พอลิเมอร์จะเกิดการบวมตัวได้น้อย

โดยโครงสร้างประเภทต่างๆ ของพอลิเมอร์ ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 โครงสร้างประเภทต่างๆ ของพอลิเมอร์ [2]

โดยพอลิเมอร์สามารถแบ่งตามพฤติกรรมเมื่อได้รับความร้อนได้เป็น 2 ประเภท คือ

1. เทอร์โมพลาสติก (thermoplastics) พอลิเมอร์ประเภทนี้มีโครงสร้างเป็นแบบเส้น หรือ แบบกิ่งสั้นๆ สามารถละลายได้ในตัวทำละลายบางชนิด และเมื่อได้รับความร้อนจะเกิดการอ่อนตัวและหลอมเหลวเป็นของเหลวหนืด (viscous liquid) และเมื่อเย็นตัวลงก็จะแข็งตัวได้อีก (rearden) ดังนั้น ในการขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์จะต้องอาศัยความร้อน และเมื่อเย็นตัวลงจะสามารถรักษารูปร่างให้เป็นไปตามที่ต้องการได้ พลาสติกประเภทนี้สามารถนำกลับมารีไซเคิล (recycle) ได้ง่าย โดยการทำให้หลอมเหลวแล้วนำไปขึ้นรูปใหม่ ซึ่งการหลอมเหลวและการแข็งตัวนั้นสามารถทำกลับไปกลับมาได้ โดยไม่ทำให้สมบัติทางเคมีและทางกายภาพเกิดการเปลี่ยนแปลงไป พลาสติกประเภทนี้มีข้อจำกัด คือ ไม่สามารถใช้งานที่อุณหภูมิสูงได้ เพราะจะทำให้บิดเบี้ยวหรือเสียรูปทรงได้ เช่น ข้อนพลาสติกที่ทำจากไวนิลพอลิเมอร์เหมาะสำหรับการตัดไคสกรีม แต่ไม่เหมาะกับการใช้คนกาแฟขณะร้อน

2. เทอร์โมเซต (thermosets) พอลิเมอร์ประเภทนี้จะหลอมเหลวในขั้นตอนแรกเท่านั้น และเมื่อเกิดการเชื่อมโยงระหว่างโมเลกุลในเวลาต่อมาจนได้พอลิเมอร์ที่มีโครงสร้างแบบเชื่อมโยง หรือร่างแห ซึ่งเป็นโครงสร้างที่มีเสถียรภาพสูง ซึ่งจะไม่สามารถหลอมเหลวได้อีกเมื่อได้รับความร้อน แต่หากได้รับความร้อนที่สูงเกินไปจะทำให้พันธะระหว่างอะตอมภายในโมเลกุลเกิดการแตกออก การสลายตัวจึงเกิดขึ้นทำให้พอลิเมอร์ ไม่สามารถนำกลับมารีไซเคิลได้เหมือนกับเทอร์โมพลาสติก โดยมอนอเมอร์ที่ใช้ในการสังเคราะห์พลาสติกประเภทนี้มีอย่างน้อย 1 ชนิด จะต้องมีฟังก์ชันมากกว่า 2 ขึ้นไป เพื่อให้ได้เป็นโครงสร้างร่างแห พลาสติกประเภทนี้สามารถใช้งานได้ที่อุณหภูมิสูงกว่าเทอร์โมพลาสติก เพราะจะไม่อ่อนตัว หรือบิดเบี้ยวเมื่อได้รับความร้อน เช่น ใช้ทำที่จับหุหม้อ หรือกะทะ ทำจานชามใส่อาหารขณะร้อน หรือถ้วยใส่กาแฟร้อน

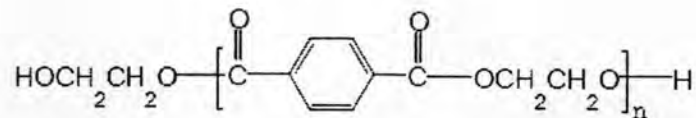
โดยความแตกต่างระหว่างเทอร์โมพลาสติกและเทอร์โมเซตพลาสติกนั้น แสดงไว้ในตารางที่ 2.1

ตาราง 2.1 ความแตกต่างระหว่างเทอร์โมพลาสติกและเทอร์โมเซตพลาสติก [2]

เทอร์โมพลาสติก	เทอร์โมเซตพลาสติก
<ol style="list-style-type: none"> 1. มอนอเมอร์มีหมู่ฟังก์ชัน 2 หมู่ 2. เป็นพอลิเมอร์แบบเส้นหรือกิ่ง 3. อ่อนตัว หรือหลอมเหลวได้ เมื่อได้รับความร้อน 4. ต้องทำให้เย็นก่อนนำออกจากแม่แบบ มิฉะนั้นอาจจะเสียรูปทรงได้ 5. ไม่สามารถพอลิเมอไรเซชันอีกในแม่แบบ 6. นำกลับมารีไซเคิลได้ 	<ol style="list-style-type: none"> 1. มอนอเมอร์อย่างน้อย 1 ชนิด มีหมู่ฟังก์ชันมากกว่า 2 หมู่ 2. เป็นพอลิเมอร์แบบเชื่อมโยงหรือแบบร่างแห 3. จะแข็งตัวเมื่อได้รับความร้อนและสลายตัวที่อุณหภูมิสูง 4. ไม่ต้องรอให้เย็นก่อนนำออกจากแม่แบบ 5. เกิดพอลิเมอไรเซชันอีกในแม่แบบ 6. รีไซเคิลด้วยการหลอมเหลวไม่ได้

2.2 พอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต [Poly(ethylene terephthalate)] [3-5]

พอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต [Poly(ethylene terephthalate)] หรือที่เรียกกันโดยทั่วไปว่า "เพต" (PET) เป็นพอลิเอสเทอร์แบบเส้นที่อึดตัว มีสูตรโครงสร้างทางเคมี ดังแสดงในรูปที่ 2.2 เป็นเทอร์โมพลาสติกที่มีความสำคัญในทางอุตสาหกรรมชนิดหนึ่ง แรกเริ่มถูกนำมาผลิตในรูปของเส้นใย ที่เรียกว่า "เส้นใยพอลิเอสเทอร์" โดยบริษัทดูปองต์ (Dupont) ของสหรัฐอเมริกา และบริษัทไอซีไอ (Imperial Chemical Industries Ltd.,ICI) ของสหราชอาณาจักร มีชื่อทางการค้าว่า แดครอน (Dacron[®]) และเทรลีน (Terylene[®]) ซึ่งผู้ค้นพบเส้นใยชนิดนี้คือ วินฟิลด์และดิกสัน (Whinfield & Dickson) บริษัท The Calico Printers Association Ltd. ของประเทศอังกฤษ โดยพบว่า การนำกรดไดเบสิก (dibasic acid) ที่ประกอบด้วยโครงสร้างแบบแอโรแมติกมาใช้แทนโครงสร้างแบบอะลิฟาติก ทำให้ได้พอลิเอสเทอร์ที่มีจุดหลอมเหลวสูง และละลายในตัวทำละลายอินทรีย์ได้ยาก จึงเหมาะสำหรับการผลิตเป็นเส้นใยสิ่งทอและฟิล์ม



รูปที่ 2.2 โครงสร้างทางเคมีของเพต [4]

การพัฒนาและนำเพตมาใช้ในการด้านบรรจุภัณฑ์เริ่มขึ้นเมื่อปี ค.ศ.1970 ในประเทศสหรัฐอเมริกา โดยมีการผลิตขึ้นในรูปของขวดน้ำดื่มและขวดน้ำอัดลมเพื่อทดแทนบรรจุภัณฑ์ที่ทำจากแก้ว ซึ่งมีอัตราการแตกและเสียหายสูง ทั้งนี้บรรจุภัณฑ์จากเพตได้รับการยอมรับอย่างรวดเร็ว และมีปริมาณการใช้งานเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เนื่องจากเพตมีสมบัติเด่นหลายประการ ดังนี้

- (1) มีความทนทานต่อแรงกระแทกและการตกกระทบได้ดี จึงไม่แตกง่ายเหมือนแก้ว
- (2) มีความใส เหมาะกับการทำบรรจุภัณฑ์
- (3) น้ำหนักเบา เพียงหนึ่งในสิบของขวดแก้ว ทำให้ประหยัด และ ลดภาระในการขนส่ง
- (4) สามารถป้องกันการซึมผ่านของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ภายใต้ความดันสูงได้
- (5) ปลอดภัยต่ออาหารที่สัมผัส และไม่ทำให้รสชาติอาหารเสียไป

จากสมบัติของเพตที่เหนือกว่าวัสดุชนิดอื่นๆ ประกอบกับมีสมบัติเด่นที่เหมาะสมกับการนำมาใช้เป็นบรรจุภัณฑ์สำหรับอาหารต่างๆ เช่น ขวดน้ำมันพืช ขวดน้ำดื่ม และขวดน้ำอัดลม เป็นต้น [4]

2.2.1 สมบัติและการนำไปใช้งาน [6]

เพตมีอุณหภูมิหลอมเหลว (melt temperature; T_m) อยู่ที่ 250-265 องศาเซลเซียส และมีอุณหภูมิกลาสทรานซิชัน (glass transition temperature; T_g) อยู่ที่ประมาณ 80 องศาเซลเซียส มีความเป็นฉนวนได้ดีที่อุณหภูมิห้อง สมบัติการละลายของเพต หากมีความเป็นผลึกสูงสามารถละลายได้เฉพาะในตัวทำละลายที่ให้โปรตอนต่ออุณหภูมิห้อง เช่น กรดแอสติกที่ถูกแทนที่ด้วยคลอรีนหรือฟลูออรีน ฟีนอล และกรดไฮโดรฟลูออริกที่ปราศจากน้ำ แต่ถ้าอุณหภูมิสูงสามารถละลายในตัวทำละลายอินทรีย์บางชนิด เช่น แอโรแมติกคีโตน ไดบิวทิลฟทาเลต และไดบิวทิลซันโฟน เป็นต้น ถ้ามีความเป็นอสัณฐาน สามารถละลายได้ในคลอโรฟอร์ม สามารถย่อยสลายได้ด้วยกรดดินประสิว และกรดกำมะถันเข้มข้น นอกจากนี้ยังว่องไวกับ

ต่างอีกด้วย เช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์

ในด้านการใช้งาน นิยมนำไปใช้งานในหลายอุตสาหกรรม ได้แก่

1. อุตสาหกรรมพลาสติก เช่น ของเด็กเล่น ชิ้นส่วนเครื่องใช้ไฟฟ้า ชิ้นส่วนรถยนต์
2. อุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์ เช่น ขวดน้ำดื่ม ขวดน้ำอัดลม ขวดใส่ยาและสารเคมี
3. อุตสาหกรรมฟิล์ม เช่น ฟิล์มบรรจุภัณฑ์ต่างๆ เทปบันทึกเสียง
4. อุตสาหกรรมเส้นใยสิ่งทอ เช่น ผ้าพอลิเอสเตอร์ ผ้าพอลิเอสเตอร์ผสมฝ้าย (T/C)

2.3 แป้ง (Starch) [7-10]

แป้งเป็นสารประกอบคาร์โบไฮเดรต ซึ่งพืชสังเคราะห์และเก็บไว้ในส่วนต่างๆ ที่บริเวณราก เมล็ด และผลในรูปของเม็ดแป้ง เป็นคาร์โบไฮเดรตเชิงซ้อนที่เกิดจากกลูโคสแต่ละหน่วยมาต่อกันเป็นสายยาว เมื่อเติมกรด หรือเอนไซม์ที่สามารถย่อยแป้งได้ จะทำให้แป้งถูกย่อยสลายกลายเป็นน้ำตาลและกลูโคส

แป้งมีความหนาแน่นประมาณ 1.5 g/cm^3 เม็ดแป้งส่วนใหญ่มีรูปร่างกลมหรือเป็นแท่ง มีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1-1,000 ไมโครเมตร

หน่วยย่อยที่สุดของแป้งประกอบด้วย คาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจน ในอัตราส่วน 6:10:5 มีสูตรโมเลกุลเป็น $(\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5)_n$ ต่อกันด้วยพันธะของกลูโคส แป้งประกอบด้วย 2 องค์ประกอบหลักคือ อะไมโลส และอะไมโลเพกตินในอัตราส่วนที่ต่างกันขึ้นกับชนิดของแป้ง โดยส่วนมากเป็น อะไมโลเพกติน ปกติแป้งมีอะไมโลสประมาณร้อยละ 20-30 และมีอะไมโลเพกตินประมาณร้อยละ 70-80

แป้งจัดเป็นพอลิเมอร์แบบควบแน่นของกลูโคส หน่วยของกลูโคสที่อยู่ในแป้งจัดเป็นหน่วยของกลูโคสที่ปราศจากน้ำ (anhydroglucose unit) น้ำในโมเลกุลของกลูโคสจะหายไปในขณะที่มีการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแบบขั้น (step polymerization) พันธะที่เชื่อมต่อกันระหว่างกลูโคส แต่ละหน่วยในโมเลกุลของแป้ง เรียกว่า พันธะไกลโคซิดิก (glycosidic bond) ซึ่งพันธะนี้สามารถถูกไฮโดรไลซ์ (hydrolyze) ได้ด้วยกรด

แป้งมันสำปะหลังจัดเป็นแป้งที่มีบทบาทสำคัญต่อเศรษฐกิจของประเทศเป็นอย่างมาก เกษตรกรไทยได้หันมาปลูกมันสำปะหลังแทนพืชไร่อื่นๆ โดยเฉพาะภาคตะวันออกเฉียงเหนือปรากฏว่ามันสำปะหลัง

ได้ปลูกแทนปอเกือบทั้งหมด ที่เป็นเช่นนี้เพราะมันสำปะหลังเป็นพืชที่ปลูกดูแลรักษาง่าย และทำรายได้ดีกว่าพืชไร่อื่นๆ นอกจากนี้ ตลาดมันสำปะหลังของโลกยังคงค่อนข้างดีอยู่มาก ทั้งนี้เนื่องจากประโยชน์ที่ได้รับจากมันสำปะหลังนั้นมากมาย คนส่วนใหญ่จึงทราบเพียงว่ามันสำปะหลังใช้ประโยชน์ในการเลี้ยงสัตว์ และทำแป้งเท่านั้น แต่แท้จริงแล้วมันสำปะหลังให้ประโยชน์มากมายหลายด้าน ทุกส่วนของต้นมันสำปะหลังล้วนแต่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ทั้งสิ้น

แป้งมันสำปะหลังซึ่งผลิตโดยการนำหัวมันสดมาผ่านเครื่องร่อนให้ดินและทรายหลุด และผ่านเข้าเครื่องล้าง เครื่องสับ และขุดหัวมัน และบดหัวมัน โดยใช้ น้ำผสมตามลำดับ ซึ่งจะได้น้ำแป้ง แล้วผ่านเข้าเครื่องกรองแยกกากน้ำแป้ง กากมันที่ได้จะนำไปตากแห้งเพื่อจำหน่ายต่อไป ส่วนน้ำแป้งจะถูกนำผ่านเครื่องฟอก และขจัดยางโดยใช้ไอแก๊มะถัน ทำให้น้ำแป้งขาวบริสุทธิ์ นำผ่านเครื่องสไลด์ให้ชื้นและสไลด์ให้แห้ง แล้วสุดท้ายผ่านเข้าเครื่องอบจะได้แป้งผงตามต้องการ ซึ่งแป้งมันสำปะหลังนี้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลายอย่าง โดยเฉพาะการผลิตน้ำเชื่อมและหัวเชื่อมน้ำตาล ผลิตผงชูรส ผลิตแป้งแปรรูป และอย่างอื่นเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมสิ่งทอ กระดาษ และทำขนม

แป้งมันสำปะหลังจะประกอบด้วยเม็ดแป้ง 2-8 เม็ดมารวมตัวกัน แต่ละเม็ดมีความยาวตั้งแต่ 5-35 ไมครอน เม็ดแป้งมีลักษณะเป็นรูปไข่ซึ่งปลายข้างหนึ่งถูกตัดออกและผิวตรงส่วนที่ตัดออกมีลักษณะเว้าเข้าข้างใน บางเม็ดอาจมีริมด้านหนึ่งโค้ง อีกด้านแบนไม่สม่ำเสมอ เม็ดแป้งเหล่านี้จะแสดงให้เห็นรอยบุ๋มอย่างชัดเจน และในบางครั้งอาจเห็นชั้นของแป้งด้วย โครงสร้างของแป้งมันสำปะหลังประกอบด้วยอะไมโลส ร้อยละ 18 และมีอะไมโลเพกตินร้อยละ 82 ซึ่งน้ำหนักโมเลกุลของอะไมโลสและอะไมโลเพกตินมีค่าประมาณ 2.10×10^5 และ 3.0×10^5 ตามลำดับ

2.3.1 องค์ประกอบทางเคมีของแป้ง

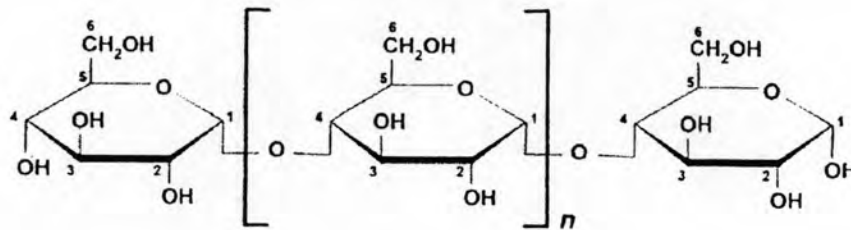
แป้งทุกชนิดสามารถทดแทนกันได้ ดังนั้น การผลิตและการค้าแป้งแต่ละชนิดที่มีอยู่ในโลกจึงมีอิทธิพลต่อการผลิตและการค้าแป้งชนิดอื่นด้วย เนื่องจากแป้งมีสมบัติคล้ายคลึงกัน ดังจะเห็นๆได้ว่าแป้งมีสูตรทางเคมีทั่วไป คือ $(C_6H_{10}O_5)_n$ โดยแป้งแต่ละชนิดมีขนาดของ n แตกต่างกันไป เป็นสารประกอบอินทรีย์ประเภทคาร์โบไฮเดรต ซึ่งหน่วยกลูโคสในสายโซ่สามารถแสดงได้เป็นหน่วย แอนไฮโดรกลูโคส (AGU) หรือหน่วยกลูโคไพราโนซิล (glucopyranosyl unit) ซึ่งมาเกิดจากพันธะ โควาเลนต์เชื่อมโยงระหว่างกลูโคสแต่ละหน่วย และทำให้โมเลกุลของน้ำถูกกำจัดออกไปในระหว่างการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไร

เซชันแบบควบแน่น เนื่องจากแป้งที่พบอยู่ในต้นพืชได้จากกระบวนการสังเคราะห์ทางชีวภาพ ดังนั้นปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันของโมเลกุลแป้งจึงเกี่ยวกับเอนไซม์ หน่วยกลูโคสต่อกันผ่านอะตอมของออกซิเจนที่ติดกับอะตอมของคาร์บอนตำแหน่งที่ 1 ของหน่วยกลูโคส กับอะตอมคาร์บอนตำแหน่งที่ 4 ของกลูโคสถัดไป เกิดเป็นพอลิเมอร์สายยาวขึ้น พันธะเชื่อมโยงระหว่างหน่วยกลูโคสนี้เรียกว่า “พันธะกลูโคไซด์” (glucoside bond)

2.3.2 โครงสร้างทางเคมีของแป้ง (structure of starch)

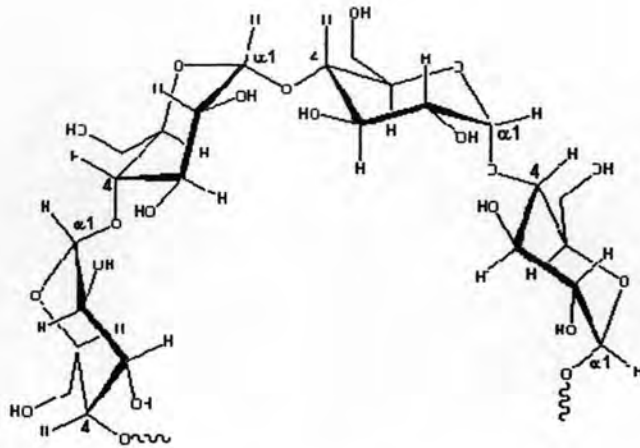
แป้งเป็นพอลิเมอร์ธรรมชาติประกอบโมเลกุล 2 ชนิด คือ

1. อะไมโลส (amylose) เป็นพอลิเมอร์ที่เป็นสายโซ่ตรง (linear polymer) ประกอบด้วยหน่วยของแอนไฮโดรกลูโคส (anhydroglucose unit) เชื่อมกันด้วยพันธะไกลโคซิดิกแบบ α -1,4 ขนาดโมเลกุลของอะไมโลสจะขึ้นกับแหล่งที่ให้แป้งและภาวะของกระบวนการที่ใช้แยกแป้ง อะไมโลสประกอบด้วยแอนไฮโดรกลูโคสประมาณ 200-2,000 หน่วย โดยแป้งส่วนใหญ่มีอะไมโลสเป็นองค์ประกอบประมาณร้อยละ 25 มีสูตรโครงสร้างดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 โครงสร้างของอะไมโลส [9]

นอกจากนี้ อะไมโลสอาจจัดตัวอยู่ในรูปโครงสร้างแบบเกลียว (helical structure) โดยประกอบด้วยหน่วยแอนไฮโดรกลูโคส 6 หน่วยย่อยต่อ 1 เกลียว และแต่ละเกลียวจะเชื่อมกันด้วยพันธะไฮโดรเจน ดังรูปที่ 2.4

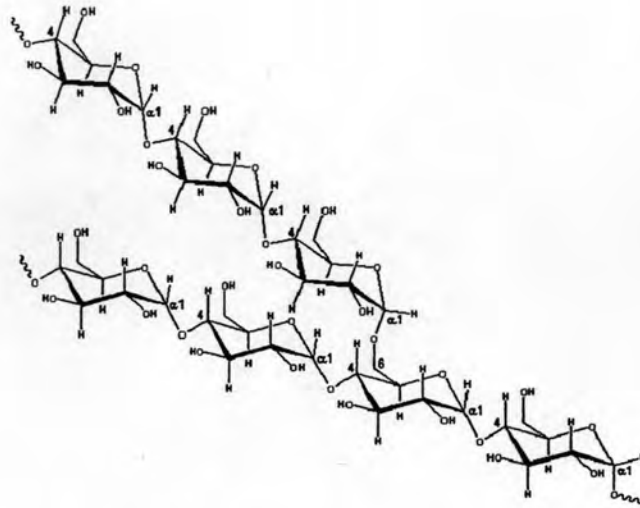


รูปที่ 2.4 การจัดตัวในรูปแบบโครงสร้างแบบเกลียวของอะไมโลส [9]

เนื่องจากอะไมโลสมีหมู่ไฮดรอกซิลจำนวนมาก จึงทำให้มีสมบัติไฮโดรฟิลิก (hydrophilic) สามารถดูดความชื้นและกระจายตัวในน้ำได้ อย่างไรก็ตาม โมเลกุลของอะไมโลสมีลักษณะเป็นแบบเชิงเส้น และมีหมู่ไฮดรอกซิลจำนวนมาก ทำให้อะไมโลสจัดเรียงตัวขนานกันและใกล้กันพอที่จะเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุล ทำให้เกิดโครงสร้างร่างแห และส่งผลให้สมบัติไฮโดรฟิลิกลดลง สารละลายที่ได้จะมีลักษณะขุ่น

ในสารละลายเจือจางจะเกิดการรวมตัวกันของอะไมโลสที่ติดกันเพิ่มขึ้น จนถึงจุดที่ทำให้เกิดการตกตะกอนได้ แต่สำหรับที่ความเข้มข้นสูงๆ ผลของความเกะกะ (steric hindrance) ขัดขวางการรวมตัว แต่มีการจัดตัวเพียงบางส่วนระหว่างช่องของสายโซ่โมเลกุล ทำให้ได้เจลที่มีร่างแหสามมิติยึดกันด้วยพันธะไฮโดรเจน โดยทั่วไปมักทำให้เกิดฟิล์มที่มีความแข็งแรง ปรากฏการณ์ยึดติดระหว่างโมเลกุลอะไมโลส เรียกว่า "รีโทรเกรดชัน" (retrogradation)

2. อะไมโลเพกติน (amylopectin) เป็นส่วนของกลูโคสที่ต่อกันเป็นสาย ซึ่งมีกิ่งก้านสาขาแตกแขนงออกไป โครงสร้างที่เป็นสาย ประกอบด้วยหน่วยของกลูโคสที่มาเชื่อมต่อกันด้วยพันธะไกลโคซิดิกแบบ α -1,4 ส่วนรอยต่อระหว่างโซ่หลักกับกิ่งก้านต่อกันด้วยพันธะไกลโคซิดิกแบบ α -1,6 โดยโครงสร้างในส่วนที่เป็นอะไมโลเพกตินจะคิดเป็นร้อยละ 75 ของแป้ง และมีสูตรโครงสร้างดังแสดงในรูป 2.5



รูปที่ 2.5 โครงสร้างของอะไมโลเพกติน [9]

อะไมโลเพกตินเป็นโมเลกุลที่มีขนาดใหญ่กว่าอะไมโลส และการที่มีโซ่สาขาของโมเลกุล อะไมโลเพกตินทำให้ลดการเคลื่อนที่ของสายโซ่พอลิเมอร์ และขัดขวางการเรียงตัวของสายโซ่ให้ใกล้กัน พอที่จะเกิดพันธะไฮโดรเจน ด้วยเหตุนี้สารละลายของอะไมโลเพกตินจึงมีลักษณะใส ฟิล์มที่ได้จาก อะไมโลเพกตินไม่มีความแข็งแรง และไม่สามารดโค้งงอได้เหมือนฟิล์มที่ได้จากอะไมโลส

สายโซ่หลักของอะไมโลเพกตินและอะไมโลสที่เรียงขนานติดกันจะมีโอกาสเกิดพันธะ ไฮโดรเจน ระหว่างส่วนที่ติดกันได้ ทำให้เกิดกลุ่มของโครงผลึก (micellar crystallites) ซึ่งเป็นตัวยึดให้แบ่งอยู่เป็นเม็ด และมีสมบัติไบรฟริงเจนซ์ (birefringence) ซึ่งสามารถแสดงให้ทราบได้โดยการเกิดโพลาไรเซชันครอส (polarization cross)

ส่วนของแป้งที่เชื่อมต่อการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ คือ โครงสร้างที่เป็นสายโซ่ตรง โดยจุลินทรีย์ ย่อย สลายด้วยเอนไซม์เบตาอะไมเลส (β -amylase) ทำลายเฉพาะพันธะไกลโคซิดิกแบบ α -1,4 เท่านั้น ส่วน พันธะไกลโคซิดิกแบบ α -1,6 ไม่สามารถทำลายได้ ดังนั้น การย่อยแป้งซึ่งส่วนใหญ่มีโครงสร้างเป็นอะไมโล เพกติน จึงได้เป็นสายสั้นของแป้งที่เรียกว่า "เดกซ์ทริน" (dextrin) เท่านั้น

ตารางที่ 2.2 ปริมาณอะไมโลสและอะไมโลเพกตินของแป้งแต่ละชนิด [10]

ชนิดแป้ง	ปริมาณอะไมโลส (เปอร์เซ็นต์)	ปริมาณอะไมโลเพกติน (เปอร์เซ็นต์)
ข้าวโพด	28	72
มันฝรั่ง	21	79
ข้าวสาลี	28	72
มันสำปะหลัง	17	83
ข้าวเหนียว	0	100
ข้าวฟ่าง	28	72
ข้าว	17	83
สาคุ	27	73
ท้าวยายม่อม	20	80
ข้าวโพด (amylase maize)	50-80	20-50

2.4 พอลิเมอร์ผสม [11-13]

พอลิเมอร์ผสม คือ การนำพอลิเมอร์ตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไปมาผสมกัน เพื่อช่วยในการปรับปรุงและเปลี่ยนแปลงสมบัติของพอลิเมอร์ให้ดีขึ้น โดยไม่จำเป็นต้องสังเคราะห์พอลิเมอร์ชนิดใหม่ขึ้นมา ซึ่งในปัจจุบันการผลิตพอลิเมอร์ผสมกำลังได้รับความสนใจเป็นอย่างมาก เนื่องจากพอลิเมอร์ผสมมีข้อดีหลายประการเมื่อเทียบกับการสังเคราะห์พอลิเมอร์ชนิดใหม่ขึ้นมา เช่น ราคาถูก ทำเป็นผลิตภัณฑ์ได้ง่าย ใช้เวลาในการผลิตไม่มาก เช่น การทำให้พอลิสไตรีนมีความเหนียว ไม่เปราะแตกง่าย โดยทำการผสมพอลิสไตรีนกับยาง หรือที่รู้จักกันในชื่อว่า 'HIPS' (high impact polystyrene) แต่การที่จะนำพอลิเมอร์มาผสมกันนั้น เพื่อให้สมบัติที่ดีขึ้นนั้นจำเป็นต้องพิจารณาจากองค์ประกอบต่างๆ ของพอลิเมอร์ที่นำมาผสมกันด้วย เช่น โครงสร้าง สมบัติ และความเข้ากันได้ของพอลิเมอร์แต่ละชนิด หากพอลิเมอร์ที่นำมาผสมกันไม่สามารถเข้ากันได้ดี จะส่งผลให้พอลิเมอร์ผสมมีสมบัติที่ลดต่ำลง [11,12]

ระบบพอลิเมอร์ผสมประกอบด้วย 2 เฟส คือ เมทริกซ์เฟส และดิสเพอร์สเฟส ซึ่งเมทริกซ์เฟส คือ เฟสที่เป็นตัวหลักที่กำหนดสมบัติของพอลิเมอร์ผสม ส่วนดิสเพอร์สเฟส คือ เฟสที่มีการกระจายตัวอยู่ในพอลิเมอร์ผสม โดยอาจจะอยู่ในลักษณะที่เป็นเส้นใย ทรงกลม แผ่น หรือโครงสร้างที่เป็นแผ่นบาง (lamellae) เป็นต้น เช่น พอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิสไตรีนและพอลิবিຕະໂດอิน ในอัตราส่วน 70 ต่อ 30 โดยน้ำหนักจะมีพอลิสไตรีนเป็นเมทริกซ์เฟสและบิຕະໂດอินเป็นดิสเพอร์สเฟสกระจายตัวอยู่ในพอลิสไตรีน ทำให้พอลิเมอร์ผสมมีความเปราะลดลง เพราะอนุภาคของพอลิবিຕະໂດอินไปช่วยในการรับแรงกระแทก และมีความอ่อนนุ่มมากกว่าพอลิสไตรีนธรรมดา แต่จะมีลักษณะขุ่น เพราะอนุภาคของพอลิবিຕະໂດอินนั้นไปทำให้เกิดการสะท้อนของแสง

โดยการผสมพอลิเมอร์ผสมนั้นแบ่งเป็น 2 ประเภทคือ

1) การผสมโดยมีปฏิกิริยาเคมีมาเกี่ยวข้อง (Reactive blending)

พอลิเมอร์ที่นำมาผสมกันนั้นจะต้องมีหมู่ฟังก์ชันเพื่อทำปฏิกิริยาเคมีระหว่างพอลิเมอร์ต่างชนิดกัน ทำให้เกิดพันธะทางเคมีขึ้น เช่น พอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิคาร์บอเนตและพอลิเอไมด์ ซึ่งพอลิเมอร์จะต้องมีหมู่ฟังก์ชันสำหรับทำปฏิกิริยา ตัวอย่างของพอลิเมอร์ผสมประเภทนี้ ดังแสดงไว้ในตารางที่ 2.3

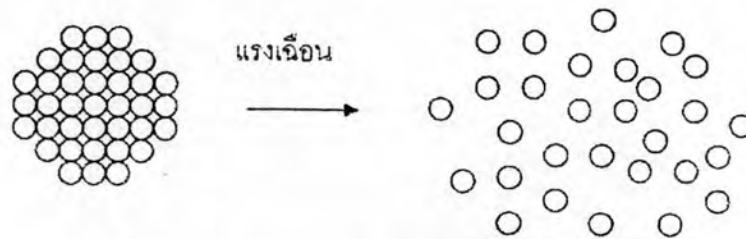
ตารางที่ 2.3 การเตรียมพอลิเมอร์ผสมโดยมีปฏิกิริยาเคมีมาเกี่ยวข้อง [13]

ชนิด	วิธีการเตรียม
Interpenetrating polymer Networks (IPN)	ทำให้พอลิเมอร์เกิดการเชื่อมขวางแล้วบวมตัวในมอนอเมอร์ชนิดต่างๆ หลังจากนั้นทำให้มอนอเมอร์เกิดพอลิเมอร์ไรเซชันและเชื่อมขวางกัน ทำให้เกิดการไขว้กันของพอลิเมอร์ 2 ชนิด
Semi-interpenetrating polymer Networks (SIPN)	ผสมมอนอเมอร์ที่มีหมู่ฟังก์ชันหลายหมู่ เข้าด้วยกันกับเทอร์โมพลาสติกพอลิเมอร์ แล้วจึงพอลิเมอไรเซชันให้กลายเป็นพอลิเมอร์ร่างแหไขว้กับพอลิเมอร์ที่เป็นเทอร์โมพลาสติก
Simultaneous Intepenetrating polymer (SIN)	ผสมมอนอเมอร์ต่างๆ เข้าด้วยกันโดยจะเกิดไฮโมพอลิเมอร์ไรเซชันและโครงสร้างแบบเชื่อมขวางในเวลาเดียวกัน แต่ไม่เกิดกลไกที่มีแรงกระทำระหว่างกัน
Interpenetrating	ทำการเชื่อมขวางพอลิเมอร์ที่อยู่ในรูปของลาเทกซ์ โดยจะทำหลังจากเกิด

Elastomeric Networks (IEN)	ภาวะที่ของเหลวเป็นก้อนแล้ว
---------------------------------	----------------------------

2) การผสมโดยไม่มีปฏิกิริยาเคมีมาเกี่ยวข้อง (Non-reactive blending)

การผสมวิธีนี้ทำได้ง่ายไม่ยุ่งยาก ไม่ต้องคำนึงถึงหมู่ฟังก์ชันของพอลิเมอร์แต่ละชนิด โดยแสดงวิธีการผสมพอลิเมอร์ดังตารางที่ 2.4 ซึ่งเครื่องมือที่ใช้ในการผสม เช่น เครื่องอัดรีด (extruder) เครื่องบดแบบสองลูกกิ้ง (two-rolls-mill) โดยเครื่องมือประเภทนี้จะทำให้เกิดแรงเฉือนเพิ่มขึ้นในระหว่างการผสม แรงเฉือนที่เกิดขึ้นจะไปทำให้พอลิเมอร์เกิดการกระจายตัวกันได้ดียิ่งขึ้น ส่งผลให้การผสมมีประสิทธิภาพที่ดีขึ้น อาจเรียกว่าเป็นการผสมเชิงกลก็ได้ ดัง แสดงไว้ในรูปที่ 2.6 [13]



รูปที่ 2.6 การกระจายตัวของพอลิเมอร์เมื่อได้รับแรงเฉือน

ตารางที่ 2.4 การเตรียมพอลิเมอร์ผสมโดยไม่มีปฏิกิริยาเคมีมาเกี่ยวข้อง [13]

ชนิด	วิธีการเตรียม
Mechanochemical Blend	ผสมพอลิเมอร์ผสมด้วยอัตราแรงเฉือนสูง เพื่อให้พอลิเมอร์เกิดการสลายตัว โดยฟรีแรดิคัลที่เกิดขึ้นจะรวมตัวเป็นของผสมเชิงซ้อนซึ่งมีทั้งองค์ประกอบที่เป็นบล็อก และกราฟต์โคพอลิเมอร์
Solution-Cast Blends	ละลายพอลิเมอร์ในตัวทำละลายแล้วเทลงแม่แบบ หลังจากนั้นจึงทำการกำจัดตัวทำละลายออกไป
Latex Blends	ผสมพอลิเมอร์กับน้ำเข้าด้วยกัน จนกระทั่งพอลิเมอร์กระจายตัวได้ดีในน้ำ ซึ่งพอลิเมอร์ผสมที่ได้จะมีลักษณะเปลี่ยนจากของเหลวไปเป็นก้อน (coagulated)

โดยสิ่งที่ต้องคำนึงมากที่สุดในการทำพอลิเมอร์ผสม คือ ความเข้ากันได้ (compatibility) ของพอลิเมอร์แต่ละชนิดที่นำมาผสมกัน โดยเฉพาะการผลิตในทางการค้า จึงมีพอลิเมอร์บางชนิดที่มีความสามารถในการเข้ากันได้ แต่บางชนิดไม่สามารถเข้ากันได้ เนื่องจากพอลิเมอร์ที่มีโครงสร้างของสายโซ่โมเลกุลต่างกันควมามีขั้วต่างกัน ทำให้พอลิเมอร์ที่ทำการผสมไม่สามารถกระจายตัวได้อย่างอิสระในพอลิเมอร์อีกชนิดหนึ่งแจกเช่นเดียวกับสารโมเลกุลเล็ก ทำให้เกิดการแยกชั้นของพอลิเมอร์เกิดขึ้น นอกจากนี้พลังงานของพอลิเมอร์แต่ละชนิด ยังเป็นปัจจัยที่ทำให้พอลิเมอร์เกิดความเข้ากันได้หรือไม่ด้วย เช่น การดูดกลืนพลังงานความร้อนของพอลิเมอร์แต่ละชนิด

2.4.1 กลไกความเข้ากันได้

พอลิเมอร์ส่วนใหญ่เมื่อนำมาผสมกันเป็นพอลิเมอร์ผสมแล้วจะมีสมบัติเชิงกลที่ต่ำลง โดยผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีความเปราะไม่แข็งแรง ขาดง่าย เนื่องจากแรงดึงดูดระหว่างผิวสัมผัสของพอลิเมอร์เป็นดิสเพอร์สเฟสกันเมทริกซ์เฟสมีค่าที่ต่ำ (interfacial adhesion) และมีความเค้นสะสม (stress concentration) เกิดขึ้น ทำให้พอลิเมอร์ผสมที่ได้ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ ดังนั้นเพื่อเพิ่มความสามารถความเข้ากันได้ของพอลิเมอร์ผสม จึงจำเป็นต้องมีการใช้สารช่วยผสม (compatibilizer) หรือทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมีในระหว่างการผสม (in-situ chemical reaction) เพื่อปรับปรุงความเข้ากันได้ของพอลิเมอร์ ทำให้พอลิเมอร์ผสมมีสมบัติต่างๆที่ดีขึ้น โดยมีหลายปัจจัยที่ส่งผลต่อสมบัติของพอลิเมอร์ผสม เช่น สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมขึ้นอยู่กับสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ในแต่ละองค์ประกอบ สัณฐานวิทยาาระหว่างผิวสัมผัสของแต่ละเฟส และแรงดึงดูดระหว่างผิวสัมผัส

2.4.2 วิธีทำให้เข้ากันได้

การผสมที่ทำให้พอลิเมอร์ผสมมีความเข้ากันได้ และ ทำให้มีสมบัติต่างๆ ตามที่ต้องการนั้นมีด้วยกันหลายวิธี โดยแต่ละวิธีจะแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับการเลือกใช้ ซึ่งพิจารณาจากราคาเป็นสำคัญโดยสามารถแบ่งได้เป็น 4 ประเภท คือ

1.) ความเข้ากันได้ทางอุณหพลศาสตร์ (thermodynamic Miscibility)

ความเข้ากันได้จะขึ้นกับสมดุระหว่างเอนทัลปี (enthalpy) และเอนโทรปี (entropy) ของการผสมที่มีต่อพลังงานอิสระของการผสม (free energy of mixing) โดยที่เอนโทรปี คือ การวัดระดับความเป็นอิสระ (degree of freedom) หรือ ความไม่เป็นระเบียบของโมเลกุล เมื่อมีการผสมเกิดขึ้นโดยการผสมจะทำให้เอนโทรปีมีค่าเพิ่มขึ้น ดังนั้น การเปลี่ยนแปลงเอนโทรปี (ΔS) จึงมีค่าเป็นบวกเสมอ ($S_2 > S_1$)

สำหรับโมเลกุลใหญ่ๆ การเปลี่ยนแปลงเอนโทรปีจะมีค่าใกล้เคียงศูนย์ ดังนั้น การเข้ากันได้จึงขึ้นกับการเปลี่ยนแปลงเอนทัลปี (ΔH) และการเปลี่ยนแปลงพลังงานอิสระของการผสมซึ่งแสดงไว้ในสมการดังต่อไปนี้

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S$$

โดยที่ ΔG = การเปลี่ยนแปลงพลังงานอิสระของการผสม

ΔH = การเปลี่ยนแปลงเอนทัลปีของการผสม

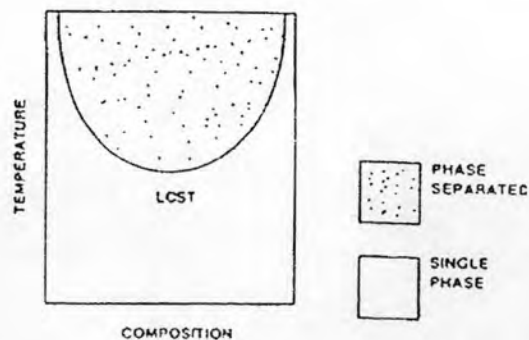
ΔS = การเปลี่ยนแปลงเอนโทรปีของการผสม

T = อุณหภูมิ (K)

โดยการผสมที่สามารถทำให้พอลิเมอร์เกิดความเข้ากันได้ นั้น ΔG ต้องมีค่าเป็นลบ ($\Delta G < 0$) หรือ $\Delta H - T\Delta S$ ต้องน้อยกว่าศูนย์ ($\Delta H - T\Delta S < 0$) โดยสามารถแบ่งได้เป็น 2 กรณี คือ

1. การผสมที่เป็นปฏิกิริยาคายความร้อน (Exothermic Mixture)

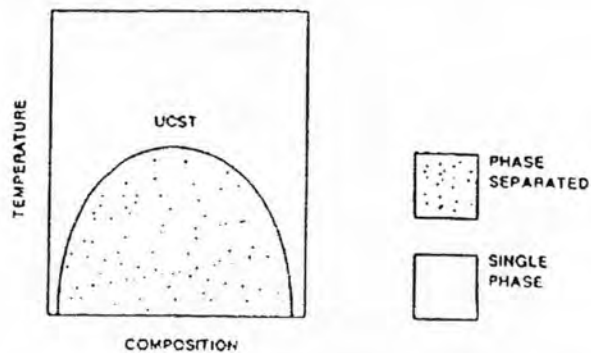
ภายในระบบของผสมจะมีแรงดึงดูดระหว่างกัน เช่น โมเลกุล A และโมเลกุล B ดึงดูดกันด้วยพันธะไฮโดรเจน ส่งผลให้การเปลี่ยนแปลงเอนทัลปีมีค่าเป็นลบ ($\Delta H < 0$) นั่นคือ การผสมสามารถเข้ากันได้ และเมื่อสร้างเป็นแผนภาพเฟส จะปรากฏดังรูปที่ 2.7 พบว่า เมื่อเพิ่มอุณหภูมิให้กับระบบมากขึ้น จะทำให้แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลลดลง และอุณหภูมิต่ำสุดที่ของผสมเกิดการแยกเฟส เรียกว่า Lower Critical Solution Temperature (LCST)



รูปที่ 2.7 แผนภาพเฟสของพอลิเมอร์ผสมที่แสดงเป็น LCST [13]

2. การผสมที่เป็นปฏิกิริยาดูดความร้อน (Endothermic Mixture)

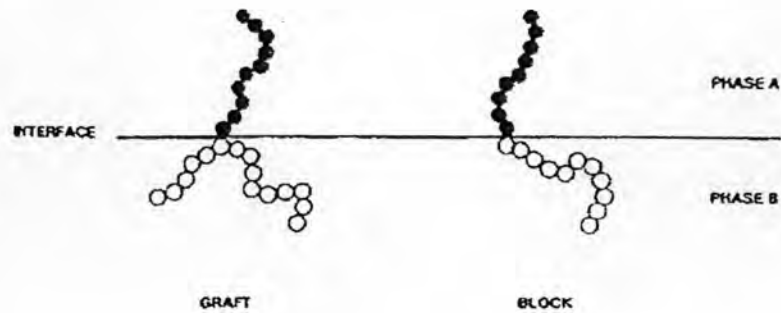
ถ้าภายในระบบของผสมไม่มีแรงดึงดูดระหว่างกัน ซึ่งจะมีผลทำให้การเปลี่ยนแปลงเอนทัลปีมีค่าเป็นบวก ($\Delta H > 0$) ดังนั้นการผสมจะสามารถเข้ากันได้ดี เมื่อ $T\Delta S$ มีค่ามากกว่า ΔH ($T\Delta S > \Delta H$) เพื่อให้ ΔG มีค่าเป็นลบ ($\Delta G < 0$) ซึ่งการผสมที่เข้ากันได้ดีนั้นจะสามารถเกิดได้ที่อุณหภูมิสูง หรือ เมื่อเพิ่มอุณหภูมิให้กับระบบ ดังปรากฏในรูปที่ 2.8 แสดงให้เห็นว่าที่อุณหภูมิสูงสุดพอลิเมอร์ผสมจะเกิดการแยกเฟส ที่เรียกว่า Upper Critical Solution Temperature (UCST)



รูปที่ 2.8 แผนภาพเฟสของพอลิเมอร์ผสมที่แสดงเป็น UCST [13]

2.) การเติมบล็อกหรือกราฟต์โคพอลิเมอร์ (Addition of Block or Graft Copolymer)

การเติมบล็อกหรือกราฟต์โคพอลิเมอร์ เป็นเทคนิคที่ได้รับความนิยมมากในการเตรียมพอลิเมอร์ผสม เพื่อเพิ่มความสามารถในความเข้ากันได้ บล็อกโคพอลิเมอร์เป็นที่นิยมมากกว่ากราฟต์โคพอลิเมอร์ โดยเฉพาะบล็อกโคพอลิเมอร์ที่ประกอบด้วยพอลิเมอร์แต่ละชนิดนำมาผสมกัน ส่วนโคพอลิเมอร์จะต้องมีโครงสร้างทางเคมี และน้ำหนักโมเลกุลที่เหมาะสมที่จะอยู่ระหว่างเฟสของพอลิเมอร์แต่ละชนิด โดยพบว่าสายโซ่โมเลกุลของโคพอลิเมอร์จะต้องยาวพอที่จะจับกับพอลิเมอร์ที่นำมาผสม แต่ต้องมีน้ำหนักโมเลกุลที่ไม่สูงจนเกินไป เพราะจะแพร่ไปที่ผิวระหว่างเฟสของพอลิเมอร์แต่ละชนิดได้ช้ากว่าพอลิเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ กลไกของสารช่วยผสมระหว่างเฟสดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 กลไกของบล็อกและกราฟต์โคพอลิเมอร์ที่อยู่ระหว่างพอลิเมอร์ 2 ชนิด [13]

โครงสร้างและน้ำหนักโมเลกุลของโคพอลิเมอร์จะมีผลต่อประสิทธิภาพของการเป็นสารช่วยผสมอย่างมาก จากการตรวจสอบประสิทธิภาพของสารช่วยผสม โดยการทดสอบสมบัติด้านแรงดึง พบว่า

1. บล็อกโคพอลิเมอร์จะมีประสิทธิภาพสูงกว่ากราฟต์โคพอลิเมอร์
2. ไคบล็อกโคพอลิเมอร์จะมีประสิทธิภาพสูงกว่าไตรบล็อกโคพอลิเมอร์
3. ไคบล็อกโคพอลิเมอร์ที่ประกอบด้วยบล็อกสั้นสลับยาวจะมีประสิทธิภาพสูงกว่าไตรบล็อกโคพอลิเมอร์ที่มีความยาวของบล็อกเท่ากัน

สารช่วยผสมมีหน้าที่ช่วยให้พอลิเมอร์ผสมมีความเข้ากันได้มากยิ่งขึ้น โดย

1. ลดแรงดึงผิวระหว่างผิวสัมผัสในภาวะหลอมเหลว ทำให้ดิสเพอร์สเฟสมีขนาดเล็กและกระจายตัวได้ดีในเมทริกซ์
2. ช่วยเพิ่มแรงดึงดูระหว่างผิวสัมผัส ทำให้เพิ่มประสิทธิภาพในการถ่ายโอนระหว่างเฟส
3. เพิ่มความคงตัวของขนาดของดิสเพอร์สเฟสภายใต้การอบบ่ม (annealing)

3.) การเติมพอลิเมอร์ที่มีหมู่ฟังก์ชัน หรือส่วนที่ว่องไวต่อปฏิกิริยา (Addition of Function or Reactive Polymer)

การเติมพอลิเมอร์ที่มีหมู่ฟังก์ชัน เพื่อทำหน้าที่เป็นสารช่วยผสม ได้จากการนำพอลิเมอร์ชนิดหนึ่งมาทำการดัดแปรให้มีหมู่ฟังก์ชันหรือส่วนที่ว่องไวต่อการเกิดปฏิกิริยา โดยหมู่ฟังก์ชันต้องสามารถเกิดปฏิกิริยาได้หรือมีแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลกับพอลิเมอร์อีกชนิดหนึ่งได้ เช่น พันธะไฮโดรเจน ซึ่งการดัดแปรพอลิเมอร์ให้มีหมู่ฟังก์ชันสามารถทำได้ในเครื่องปฏิกรณ์ หรือผ่านเครื่องอัดรีด เช่น การกราฟต์มาเลอิกแอนไฮไดรด์บนสายโซ่โมเลกุลของพอลิโอสเตน โดยหมู่คาร์บอกซิลของมาเลอิกแอนไฮไดรด์จะมีความ

สามารถในการเกิดปฏิกิริยากับหมู่อะมิโนของพอลิเอไมด์ได้ ทำให้พอลิโพรพิลีนกราฟต์มาเลอิกแอนไฮไดรด์ เป็นสารช่วยผสมที่ได้รับความนิยมอย่างสูง และมีราคาไม่แพง

4.) การเกิดกราฟต์โคพอลิเมอร์ในระหว่างการผลิต (In-situ Grafting Copolymerization)

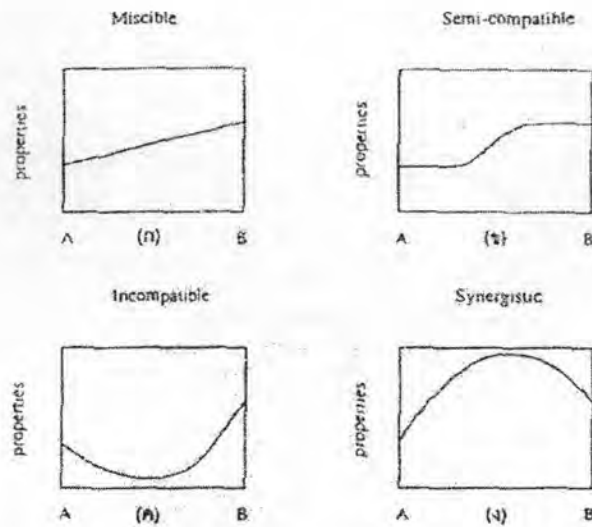
การทำให้เกิดปฏิกิริยากราฟต์โคพอลิเมอร์ในระหว่างการผลิต หรือ reactive blending เป็นวิธีใหม่ที่ใช้ผสมพอลิเมอร์ให้เข้ากัน โดยแตกต่างจากวิธีอื่น ๆ คือ องค์ประกอบที่ทำการผสมจะถูกดัดแปรเพื่อให้สามารถเกิดปฏิกิริยากับพอลิเมอร์อีกชนิดหนึ่งได้ โดยไม่จำเป็นต้องเติมสารช่วยผสม เช่น การผสมพอลิคาร์บอเนตกับพอลิเอสเตอร์

กลไกการเกิดปฏิกิริยาในการผสมอาจเกิดได้ ดังต่อไปนี้

1. เกิดกราฟต์หรือบล็อกโคพอลิเมอร์ จากการเกิดปฏิกิริยาเคมี ระหว่างหมู่ที่ว่องไวต่อปฏิกิริยาเคมีในพอลิเมอร์ ซึ่งอาจจะกระตุ้นโดยการเติมสารริเริ่มในระหว่างการผลิต
2. เกิดบล็อกโคพอลิเมอร์จากปฏิกิริยาจากปฏิกิริยาแลกเปลี่ยน (interchange reaction) ที่สายโซ่โมเลกุลหลักของพอลิเมอร์แต่ละชนิดที่นำมาผสมกัน ซึ่งส่วนใหญ่เกิดกับพอลิเมอร์แบบควบแน่น
3. เกิดการขาดหรือรวมกันใหม่ของแต่ละโมเลกุล เพื่อที่จะสร้างบล็อกหรือกราฟต์โคพอลิเมอร์ โดยกระบวนการดังกล่าวจะเกิดภายใต้สภาวะที่มีความเค้นเฉือนสูง
4. ส่งเสริมให้เกิดปฏิกิริยาโดยการเติมตัวเร่งปฏิกิริยา

2.4.3 สมบัติของพอลิเมอร์ผสม

สมบัติของพอลิเมอร์ผสมจะขึ้นกับอัตราส่วนของแต่ละองค์ประกอบ รวมทั้งสมบัติของแต่ละองค์ประกอบ ลักษณะเฉพาะตัวของแต่ละองค์ประกอบ เช่น ลักษณะคล้ายแก้ว ยาง หรือเป็นพอลิเมอร์กึ่งผลึก สถานะทางเทอร์โมไดนามิกส์ของการผสมและการจัดเรียงโมเลกุล โดยการผสมที่เข้ากันได้อย่างสมบูรณ์จะแสดงลักษณะสัญญาณวิทยาเพียงเฟสเดียว ซึ่งเป็นการง่ายที่จะหาความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติกับอัตราส่วนผสม ซึ่งดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติและอัตราส่วนผสมในพอลิเมอร์ผสม [13]

จากรูปที่ 2.10 ในระบบการผสมที่สามารถเข้ากันได้อย่างสมบูรณ์ อัตราส่วนผสมกับสมบัติของพอลิเมอร์ผสมจะมีความสัมพันธ์ในลักษณะเป็นฟังก์ชันเพิ่ม ดังรูปที่ 2.10 (ก) แต่ในการผสมส่วนใหญ่จะไม่ต้องการความเข้ากันได้อย่างสมบูรณ์ ต้องการความเข้ากันได้บางส่วน (semicompatible) คือ อนุภาคของดีสเพอร์สเฟสที่มีขนาดเล็กจะกระจายอยู่ในเมทริกซ์ โดยในระหว่างเฟสจะมีแรงดึงดูดซึ่งกันและกัน และเมื่อนำไปพล็อตกราฟระหว่างสมบัติและอัตราส่วนการผสมจะได้กราฟที่มีลักษณะคล้ายตัวเอส ดังรูปที่ 2.10 (ข) โดยพอลิเมอร์ที่มีอัตราส่วนการผสมมากกว่าจะมีแนวโน้มเป็นเฟสหลัก และควบคุมสมบัติของชิ้นงาน ส่วนบริเวณที่เกิดการเปลี่ยนแปลงของกราฟมีสาเหตุมาจากการกลับเฟสของของผสม

ในระบบที่มีความเข้ากันน้อยมาก หรือไม่เข้ากันจะมีการแยกเฟสเกิดขึ้น โดยดีสเพอร์สเฟสจะมีขนาดอนุภาคที่ใหญ่กระจายตัวอยู่ในเฟสหลัก และระหว่างเฟสจะมีแรงดึงดูดอย่างอ่อน ๆ หรือไม่มีเลย จากลักษณะดังกล่าวสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมที่ได้จะต่ำกว่าพอลิเมอร์บริสุทธิ์ ทำให้ไม่นิยมนำไปใช้งาน และจะได้กราฟระหว่างอัตราส่วนการผสมและสมบัติคล้ายรูปตัวยู ดังรูปที่ 2.10 (ค) ส่วนระบบสุดท้ายจะพบได้น้อย โดยการผสมจะปรับปรุงสมบัติของพอลิเมอร์ผสมได้มากกว่าระบบอื่น สมบัติของพอลิเมอร์ผสมที่ได้จะมากกว่าหรือเท่ากับพอลิเมอร์แต่ละชนิดที่นำมาผสมกัน ดังรูปที่ 2.10 (ง)

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Ramaswamy Mani และคณะ [14] ได้ทำการศึกษาสมบัติของพอลิเอสเตอร์ ที่ถูกดัดแปรให้ย่อยสลายได้ ที่ได้จากการบวกรวมการฉีดเข้าแม่พิมพ์ โดยจะทำการปรับปรุงความเข้ากันได้ของพอลิเอสเตอร์กับแป้งโดยใช้สารช่วยผสม ที่ประกอบด้วยหมู่ฟังก์ชันแอนไฮไดรด์ ซึ่งพอลิเมอร์ผสมจะถูกหลอมโดยใช้เครื่องอัดรีดแบบสกรูคู่และความเข้มข้นของแป้งในพอลิเมอร์ผสมมีอัตราส่วนตั้งแต่ 10-70 % ตามน้ำหนัก การเติมสารช่วยผสมลงไปจะทำให้ ความแข็งแรงเพิ่มขึ้นมากกว่าพอลิเมอร์ผสมที่ไม่ได้เติมสารช่วยผสม สำหรับพอลิเมอร์ผสมที่มีการเติมสารช่วยผสมค่าความต้านทานแรงดึงจะไม่เปลี่ยนแปลงตามปริมาณแป้ง เมื่อเทียบกับพอลิเอสเตอร์ตั้งต้น ขณะที่พอลิเมอร์ผสมที่ไม่มีการเติมสารช่วยผสม ค่าความต้านทานแรงดึง จะลดลงเมื่อมีการเพิ่มปริมาณแป้ง

Arvanitoyannis และคณะ [15] ได้ทดลองผลิตฟิล์มพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE) ผสมแป้งมันสำปะหลังและแป้งข้าวเจ้า โดยใช้แป้งในอัตราส่วนร้อยละ 0, 5, 10, 20, 30 และ 40 ทำการผสม ด้วยเครื่องอัดรีด และขึ้นรูปด้วยเครื่องอัด จากการศึกษาสมบัติเชิงกล และสมบัติการต้านการซึมผ่านของแก๊ส พบว่าที่ปริมาณแป้งมากกว่าร้อยละ 30 จะมีสมบัติเชิงกลต่ำลง และมีสมบัติการต้านการซึมผ่านของแก๊สต่ำลงเมื่ออัตราส่วนของแป้งเพิ่มมากขึ้น และความสามารถในการย่อยสลายเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณแป้งมากกว่าร้อยละ 10 ขึ้นไป

Saujanya และคณะ [16] ได้ศึกษาโครงสร้างและสมบัติของวัสดุเชิงประกอบพอลิโพรพิลีนที่ผสมเส้นใยเพตโดยมีการใช้สารช่วยผสม โดยการนำพอลิโพรพิลีน เส้นใยเพต และสารช่วยผสมมาขึ้นรูปเป็นเม็ดพลาสติกด้วยเครื่องอัดรีด และขึ้นรูปเป็นชิ้นทดสอบด้วยกระบวนการฉีด พบว่าเมื่อมีการใช้สารช่วยผสมทำให้พันธะระหว่างเส้นใยและเมทริกซ์นั้นเกิดขึ้น ทำให้ความทนแรงกระแทก และมอดุลัสมีค่าที่ดีกว่าพอลิโพรพิลีนเพียงอย่างเดียว

Dimitrova และคณะ [17] ได้ทำการศึกษาผลของสารช่วยผสม ที่มีผลต่อเพตและพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง ซึ่งโดยปกติเป็นพอลิเมอร์ที่ไม่สามารถเข้ากันได้ ทำให้พอลิเมอร์ผสมที่ได้มีสมบัติที่ด้อยลง จึงมีความจำเป็นที่ต้องทำให้พอลิเมอร์ผสมมีความเข้ากันได้เพื่อให้มีสมบัติเชิงกลที่ดี โดยในงานวิจัยนี้จะศึกษาสารช่วยผสมสองชนิดคือ maleic anhydride elastomer และ graft-copolymers ที่มีส่วนของพอลิเอสเตอร์กราฟต์ติดอยู่กับพอลิเอทิลีน ซึ่งจะทำให้สมบัติของพอลิเมอร์ผสมดีขึ้น

Long Yu และคณะ [18] ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับพอลิเมอร์ผสม และวัสดุเชิงประกอบ จากวัสดุทดแทน (renewable resources) ในเรื่องแนวทางของสมบัติของวัสดุชนิดใหม่ตลอดจนความคุ้มค่าในการผลิต ในด้านราคาและการนำมาใช้งาน พบว่าข้อเสียหลักของการนำพอลิเมอร์ที่ย่อยสลายเองโดยธรรมชาติ

มาใช้คือ การเข้ากันได้ยากกับพอลิเมอร์สังเคราะห์ที่มีสมบัติไม่ชอบน้ำ เนื่องจากแป้งมีสมบัติชอบน้ำ และพอลิเมอร์ธรรมชาติมีอัตราการย่อยสลายตัวที่เร็วเกินไป และในบางกรณีพบว่าวัสดุจะมีสมบัติทางกลลดลงเมื่ออยู่ในสภาพแวดล้อมที่เปียก การค้นพบ aliphatic polyesters ที่สามารถย่อยสลายได้ เช่น biodegradable polyesters, polylactides (หรือ polylactic acids) น่าสนใจเป็นอย่างยิ่ง เนื่องจากมันสามารถผลิตมาจากวัสดุทดแทนจากธรรมชาติ เช่น แป้ง เป็นต้น อีกทั้งยังมีความแข็งแรงทนทานที่สามารถทดแทนพอลิเมอร์ที่ย่อยสลายได้ยาก การผสม aliphatic polyesters กับพอลิเมอร์ธรรมชาติ ยังช่วยทำให้ต้นทุนของการผลิตถูกกว่าเทียบการใช้ aliphatic polyesters อย่างเดียว แต่อย่างไรก็ตาม aliphatic polyesters และ พอลิเมอร์อาจจะเกิดการผสมที่ไม่ดีซึ่งทำให้มีสมบัติที่แยกลง จึงต้องมีการพัฒนาสารช่วยผสม หรือ สารเติมแต่ง ซึ่งสามารถเพิ่มความเข้ากันได้ของวัสดุทั้ง 2 ชนิด

รัตนาศิริ จิตต์ลดาพิทักษ์ และคณะ [19] ได้เตรียมพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต (PET) และ พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE) โดยกระบวนการอัดรีด และนำไปขึ้นรูปเป็นชิ้นทดสอบด้วยเครื่องอัดรีด เมื่อเพิ่มปริมาณพอลิเมอร์มากขึ้น จะทำให้พอลิเมอร์ผสมเกิดการแยกชั้นขึ้นอย่างชัดเจน เนื่องจาก PET และ HDPE ไม่สามารถรวมตัวเข้าเป็นเนื้อเดียวกันได้ และพอลิเมอร์ผสมจะให้ค่าความทนแรงดึงที่ต่ำกว่า HDPE 100 % เนื่องจากอนุภาคของ PET มีแนวโน้มไหลไปรวมตัวกันที่จุดเดียว ทำให้เกิดเป็นจุดบกพร่องของชิ้นงาน

กัญญา ตระกูลคู่ และคณะ [20] ได้ทำการศึกษาถึงอิทธิพลของจำนวนครั้งต่อสมบัติเชิงกล และความเข้ากันได้ของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง และพอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต โดยมีการเปรียบเทียบระหว่างการใช้ และไม่ใช้มาลิกอิกแอนไฮไดรด์กราฟต์พอลิโพลิฟินเป็นสารช่วยผสม พบว่าเมื่อผ่านกระบวนการอัดรีดแบบสกรูคู่หลายครั้ง และนำพอลิเมอร์ผสมที่ได้มาทดสอบโดยเปรียบเทียบในแต่ละครั้งของการผลิตพบว่า การยืดตัวและความทนแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสมที่มีการใช้สารช่วยผสมนั้นมีค่าดีกว่าพอลิเมอร์ผสมที่ไม่ใช้สารช่วยผสม และโครงสร้างของพอลิเมอร์ผสมที่ไม่ใช้สารช่วยผสม เมื่อมีรอบการผลิตเพิ่มมากขึ้นอนุภาค PET มีแนวโน้มที่รวมตัวกันใหญ่ขึ้น ส่วนพอลิเมอร์ผสมที่มีการใช้สารช่วยผสม พบว่า ให้สมบัติเชิงกลมีค่าที่สามารถยอมรับได้ ซึ่งสามารถใช้ผลิตผลิตภัณฑ์ที่เป็นประโยชน์ได้

ประณัฐ พิธิยะราช และคณะ [21] ทำการศึกษาพฤติกรรมเชิงกลและลักษณะทางกายภาพของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงและพอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลตที่ใช้แล้วในอัตราส่วน 90:10, 80:20, 70:30, 60:40 และ 50:50 โดยพอลิเมอร์ผสมได้จากการนำพอลิเมอร์ทั้งสองชนิดมาผสมกันในเครื่องบดละเอียด (pulverizer) โดยถูกบดจนมีขนาดอนุภาคเล็กกว่า 0.50 มิลลิเมตร และนำไปขึ้นรูปเป็นชิ้นงานด้วยกระบวนการฉีดเข้าแบบ โดยทั่วไปพบว่านำขวด PET มาหลอมใช้ใหม่จะขึ้นรูปได้ยากขึ้น อีก

ทั้งสมบัติเชิงกลบางประการจะด้อยลง โดยเฉพาะความทนแรงกระแทก จากการทดลองนี้พบว่า การนำขวด
พेटมาผสมกับ HDPE ด้วยวิธีการบดละเอียดจะทำให้พอลิเมอร์ผสมที่ได้ขึ้นรูปได้ดีขึ้น และยังสามารถ
ปรับปรุงสมบัติเชิงกลที่ด้อยลงได้อีกด้วย และเมื่อตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด
พบว่าเนื้อของพอลิเมอร์ผสมมีลักษณะเป็นเส้นใยเล็ก (fibrillation) ซึ่งเกิดจากการที่พอลิเมอร์ทั้งสองมี
ความเหนียวหลอมเหลวที่แตกต่างกัน ลักษณะของเส้นใยเล็กๆ นี้เองที่คาดว่าจะมีส่วนที่ช่วย
ปรับปรุงสมบัติของพอลิเมอร์ผสม โดยขณะที่ทำการบดผสมสันนิษฐานว่าสายโซ่พอลิเมอร์ของพอลิเมอร์ทั้ง
สองอาจเกิดการขาดออกเนื่องจากแรงเฉือน สายโซ่ที่ขาดออกระหว่างพอลิเมอร์ที่ต่างชนิดกัน อาจจะมี
โอกาสสามารถมตัวเข้าด้วยกัน เกิดเป็นสารช่วยผสมเพื่อลดแรงตึงผิวระหว่างเฟสทั้งสองของพลาสติกทั้งสอง