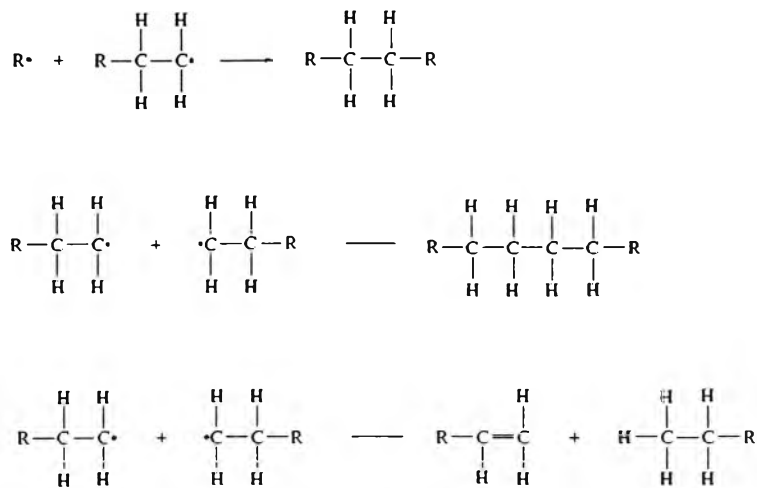




2.1 พอลิเอทิลีน (Polyethylene, PE) [1,2]

พอลิเอทิลีนเป็นพลาสติกสังเคราะห์ประเภทเทอร์โมพลาสติก ที่มีปริมาณการใช้งานสูงสุด เพราะมีสมบัติเด่นหลายประการ ได้แก่ ราคาถูก มีสมบัติเป็นฉนวน ไฟฟ้าดีเยี่ยม มีความทนทาน สารเคมีดีมาก ขึ้นรูปง่าย มีความเหนียว และความยืดหยุ่น เป็นต้น ซึ่งพอลิเอทิลีนในทางการค้าส่วนใหญ่จะได้จากการพอลิเมอไรส์แก๊สเอทิลีนด้วยกระบวนการแบบรวมตัว (addition polymerization) ดังแสดงในรูปที่ 2.1 เกิดเป็นพอลิเอทิลีนที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง และมีโครงสร้างโมเลกุลเป็นได้ทั้งแบบเชิงเส้น (linear) และแบบกิ่งก้านสาขา (branched) ขึ้นกับกระบวนการที่ใช้ในการผลิต



รูปที่ 2.1 ปฏิกริยาพอลิเมอไรเซชันแบบรวมตัวของเอทิลีนมอนอเมอร์

พอลิเอทิลีนมีความหนาแน่น 0.91-0.965 g/cm³ สามารถยืดตัวได้สูงถึง 5 เท่า ฉีกขาดยาก มีลักษณะคล้ายขี้ผึ้ง ไม่เกาะติดน้ำ เป็นฉนวนไฟฟ้าที่ดีมาก ทนความร้อนได้น้อย แต่ทนความเย็นได้ถึง -70 องศาเซลเซียส โดยไม่ทำให้สมบัติทางกายภาพเปลี่ยนแปลง ทนกรดและด่างอ่อน แต่เกิดปฏิกิริยาอย่างช้าๆ กับ oxidizing acids ไม่ทนน้ำมันและไขมัน โดยเฉพาะน้ำมันก๊าด น้ำมันเบนซิน สามารถสกัดกั้นน้ำและไอน้ำได้ดี แต่สกัดกั้นแก๊สไม่ดี จึงเหมาะสำหรับบรรจุอาหารสด เช่น ผัก ผลไม้ และเนื้อ เป็นต้น นิยมใช้ทำถุงบรรจุอาหารและเสื้อผ้า ตุ๊กตาเด็กเล่น ดอกไม้พลาสติก ภาชนะบรรจุเครื่องใช้ในครัว ถาดน้ำแข็งในตู้เย็น ขวด ภาชนะบรรจุของเหลว พลาสติกคลุมโรงเพาะชำ และของใช้ราคาถูกอีกมากมาย

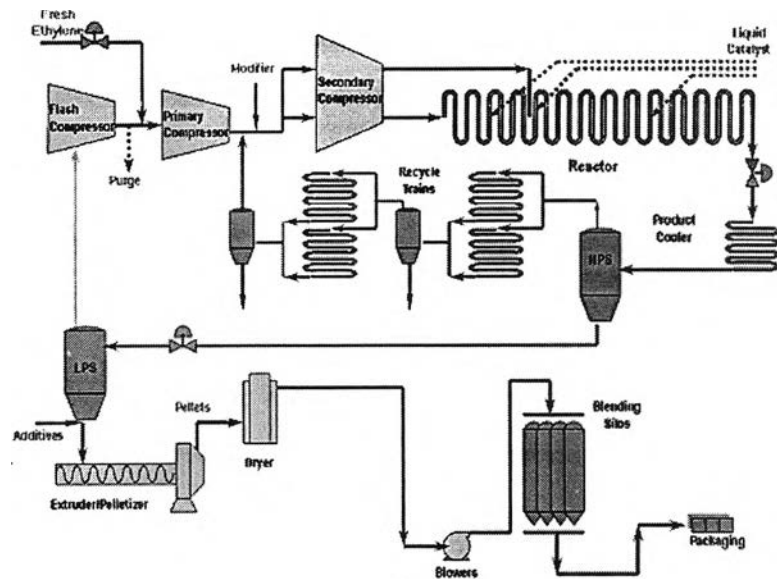
หากจะแบ่งประเภทของพอลิเอทิลีนตามความหนาแน่น อาจแบ่งได้เป็นพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE, low density polyethylene) มีความหนาแน่น 0.910-0.925 g/cm³ พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลาง (MDPE, medium density polyethylene) มีความหนาแน่น 0.925 - 0.926 g/cm³ และพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE, high density polyethylene) ซึ่งมีความหนาแน่น 0.941–0.965 g/cm³

ตารางที่ 2.1 ลักษณะทางกายภาพของพอลิเอทิลีนชนิดต่าง[2]

	LDPE	MDPE	HDPE
ความหนาแน่น (g/cm ³)	0.91 - 0.925	0.925 - 0.926	0.941 - 0.965
ปริมาตร (in ² /lb)	30.25	29.8	29.2
ความต้านแรงดึง (psi)	1,000–2,300	1,200-3,500	3,100–5,500
ความทนแรงกระแทก	ไม่มีขีดจำกัด	0.5–16.0	0.8–2.00
ทนความร้อน (°F)	180-120	220-250	250
ความสามารถดูดซึมความชื้น 24 ชม.	0.015	0.01	0.01
ความง่ายต่อการตีไฟ (in/min)	1.04	1.02	1.02
ทนแสงแดด	พอใช้	พอใช้	พอใช้
ทนกรดอ่อน	ไม่ดี	ได้	ได้
ทนกรดแก่	ไม่ทน oxidizing acids	ถูกทำลายอย่างช้าๆ จาก oxidizing acids	ถูกทำลายอย่างช้าๆ จาก oxidizing acids
ทนด่างอ่อน-แก่	ได้	ได้	ได้
ทนสารละลายอินทรีย์	ได้ ถ้าต่ำกว่า 140°F	ได้ ถ้าต่ำกว่า 140°F	ได้ ถ้าต่ำกว่า 170°F

พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE) [2]

LDPE เป็นพอลิเอทิลีนชนิดแรกที่ถูกผลิตในทางการค้า เริ่มผลิตครั้งแรกเมื่อปี ค.ศ. 1933 โดยบริษัท ICI (Imperial Chemical Industries) ปฏิบัติการสังเคราะห์จะใช้ความดันสูง และเป็นปฏิกิริยาคายความร้อนที่รุนแรง ดังแสดงกระบวนการสังเคราะห์ไว้ในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 กระบวนการผลิต LDPE

เอทิลีนแก๊สประมาณ 10-30% จะถูกเปลี่ยนเป็นพอลิเมอร์เมื่อผ่านเครื่องปฏิกรณ์แต่ละครั้ง ที่ความดัน 1000-3000 บรรยากาศ อุณหภูมิ 100-300 องศาเซลเซียส มีการใช้ออกซิเจนปริมาณเล็กน้อย (0.05%) เป็นสารเริ่มปฏิกิริยา (initiator) หรืออาจใช้สารเปอร์ออกไซด์ก็ได้ สำหรับเครื่องปฏิกรณ์นั้นนิยมใช้แบบท่อ (tubular reactor) ตัวอย่างเช่น ใ้ท่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 5 เซนติเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 15 เซนติเมตร ในเครื่องปฏิกรณ์จะเกิดการถ่ายโอนลูกโซ่ (chain transfer) ระหว่างพอลิเมอร์ที่กำลังขยายขนาด กับพอลิเมอร์ที่สิ้นสุดปฏิกิริยาแล้ว (dead polymer) ซึ่งเกิดได้ง่ายที่ความดันสูง ทำให้ได้โครงสร้างที่มีกิ่งมาก ซึ่งพบจากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี

การเลือกใช้สารเริ่มปฏิกิริยาขึ้นกับภาวะของปฏิกิริยา ถ้าใช้ออกซิเจน (0.3-1%) จะใช้ความดันประมาณ 1000 บรรยากาศ อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส โดยทั่วไปจะเป็นกระบวนการผลิตแบบท่อเนื่องภายในเครื่องปฏิกรณ์ที่มีทั้งแบบที่เป็นท่อแคบๆ (tubular reactor) จะได้พอลิเมอร์ที่มีกิ่งก้านสาขาจำนวนมาก โดยจะนำไปใช้ในงานที่ต้องการความใสมาก และแบบหม้อความดันสูง (autoclave reactor) พร้อมเครื่องกวน จะได้พอลิเอทิลีนที่มีกิ่งก้านสาขาน้อยกว่า เหมาะที่จะนำไปใช้งานประเภทฟิล์มที่ต้องการความเหนียวและงานอัดเคลือบ (extrusion coating)

กิ่งก้านสาขาที่แยกออกมามากมายจากโมเลกุลของพอลิเอทิลีนจะมีทั้งกิ่งสั้น (short chain branch) และกิ่งยาว (long chain branch) กระจายปะปนกันอย่างไม่เป็นระเบียบตลอดความยาวสายโซ่โมเลกุล จึงทำให้โมเลกุลจัดตัวอย่างหลวมๆ และไม่สม่ำเสมอ พอลิเอทิลีนที่ได้จึงมีความหนาแน่นต่ำ มีลักษณะค่อนข้างใส มีความเหนียวพอสมควร และมีผิวหน้ามันคล้ายขี้ผึ้งหรือเทียนไข ซึ่ง

สมบัติต่างๆ ของ LDPE ขึ้นกับน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ย ปริมาณการเกิดผลึก และการกระจายน้ำหนักโมเลกุล หากใช้กระบวนการสังเคราะห์ที่เหมาะสมจะได้พอลิเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุล ความหนาแน่น และการกระจายน้ำหนักโมเลกุลตามต้องการ

2.2 แป้งมันสำปะหลัง (Cassava Starch) [3,4]

มันสำปะหลังมีบทบาทสำคัญต่อเศรษฐกิจของประเทศเป็นอย่างมาก เกษตรกรไทยได้หันมาปลูกมันสำปะหลังแทนพืชไร่อื่นๆ โดยเฉพาะภาคตะวันออกเฉียงเหนือปรากฏว่ามันสำปะหลังได้ปลูกแทนที่ปอเกือบทั้งหมด ที่เป็นเช่นนี้เพราะ มันสำปะหลังเป็นพืชที่ปลูกดูแลรักษาง่าย และทำรายได้ดีกว่าพืชไร่อื่นๆ นอกจากนี้ ตลาดมันสำปะหลังของโลกยังคงค่อนข้างดีอยู่มาก ทั้งนี้เนื่องจากประโยชน์ที่ได้รับจากมันสำปะหลังนั้นมากมาย คนส่วนใหญ่มักจะทราบเพียงว่ามันสำปะหลังใช้ประโยชน์ในการเลี้ยงสัตว์ และทำแป้งเท่านั้น แต่แท้ที่จริงแล้วมันสำปะหลังให้ประโยชน์มากมายหลายด้าน ทุกส่วนของคิ่งมันสำปะหลังล้วนแต่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ทั้งสิ้น

แป้งมันสำปะหลังซึ่งผลิตโดยการนำหัวมันสดมาผ่านเครื่องร่อนให้ดินและทรายหลุด แล้วผ่านเข้าเครื่องล้าง เครื่องสับ และขูดหัวมัน และบดหัวมัน โดยใช้ น้ำผสมตามลำดับ ซึ่งจะได้น้ำแป้ง แล้วผ่านเข้าเครื่องกรองแยกกากและน้ำแป้ง กากมันที่ได้จะนำไปตากแห้งเพื่อจำหน่ายต่อไป ส่วนน้ำแป้งจะถูกนำผ่านเครื่องฟอก และขจัดยางโดยใช้ไอกำมะถัน ทำให้น้ำแป้งขาวบริสุทธิ์ นำผ่านเครื่องสกัดให้ข้นและสกัดให้แห้ง แล้วสุดท้ายผ่านเข้าเครื่องอบจะได้แป้งผงตามต้องการ ซึ่งแป้งมันสำปะหลังนี้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลายอย่าง โดยเฉพาะการผลิตน้ำเชื่อมและหัวเชื่อมน้ำตาล ผลิตภัณฑ์ผงชูรส ผลิตภัณฑ์แป้งแปรรูป และอย่างอื่นเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมสิ่งทอ กระดาษ และทำขนม

ประเภทของแป้งสามารถแยกได้ตามสมบัติเป็น 2 ประเภท คือ

1. starch ผลิตได้จากพืชผลทางการเกษตรหลายชนิด เช่น ข้าวโพด ข้าวสาลี และจากพืชหัวชนิดต่างๆ เช่น มันฝรั่ง มันสำปะหลัง สำหรับกระบวนการผลิตแป้งต้องใช้แบบเปียก (wet grinding) ซึ่งจะทำให้แยก starch ออกมาได้

2. flour ผลิตได้จากการโม่แบบแห้ง และยังคงเหลือองค์ประกอบของโปรตีนอยู่ด้วย จึงทำให้สมบัติต่างไปจาก starch

แป้งมันสำปะหลังเป็นแป้งประเภท starch เม็ดแป้ง (starch granule) ไม่ละลายในน้ำเย็น รูปร่างและขนาดของเม็ดแป้งขึ้นอยู่กับแหล่งของพืชที่ให้แป้ง

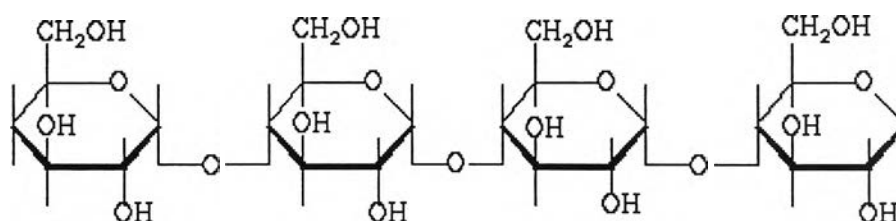
2.2.1 องค์ประกอบทางเคมีของแป้ง [3]

แป้งทุกชนิดสามารถทดแทนกันได้ ดังนั้น การผลิตและการค้าแป้งแต่ละชนิดที่มีอยู่ในโลก จึงมีอิทธิพลต่อการผลิตและการค้าแป้งชนิดอื่นด้วย เนื่องจากแป้งมีสมบัติคล้ายคลึงกัน ดังจะเห็นได้ว่าแป้งมีสูตรทางเคมีทั่วไป คือ $(C_6H_{10}O_5)_n$ โดยแป้งแต่ละชนิดจะมีขนาดของ n แตกต่างกันไป เป็นสารประกอบอินทรีย์ประเภทคาร์โบไฮเดรต ซึ่งหน่วยกลูโคสในสายโซ่สามารถแสดงได้เป็นหน่วยแอนไฮโดรกลูโคส (AGU) หรือหน่วยกลูโคไพราโนซิล (glucopyranosyl unit) ซึ่งเกิดจากพันธะโควาเลนต์เชื่อมโยงระหว่างกลูโคสแต่ละหน่วย และทำให้โมเลกุลของน้ำถูกกำจัดออกไปในระหว่างการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแบบควบแน่น เนื่องจากแป้งที่พบอยู่ในต้นพืชได้จากกระบวนการสังเคราะห์ทางชีวภาพ ดังนั้น ปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันของโมเลกุลแป้งจึงเกี่ยวกับเอนไซม์ หน่วยกลูโคสจะต่อกันผ่านอะตอมของออกซิเจนที่ติดกับอะตอมของคาร์บอนตำแหน่งที่ 1 ของหน่วยกลูโคส กับอะตอมคาร์บอนตำแหน่งที่ 4 ของกลูโคสถัดไป เกิดเป็นพอลิเมอร์สายยาวขึ้น พันธะเชื่อมโยงระหว่างหน่วยกลูโคสนี้ เรียกว่า “พันธะกลูโคไซด์” (glucoside bond)

2.2.2 โครงสร้างทางเคมีของแป้ง (Structure of Starch)

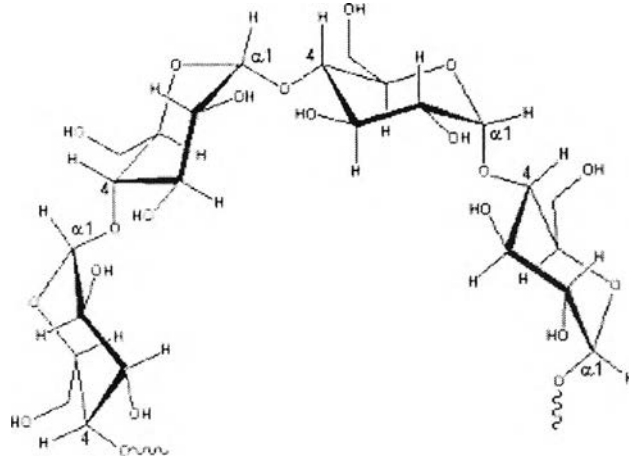
แป้งเป็นพอลิเมอร์ธรรมชาติประกอบด้วยโมเลกุล 2 ชนิด คือ

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



รูปที่ 2.3 สูตรโครงสร้างของอะไมโลส

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

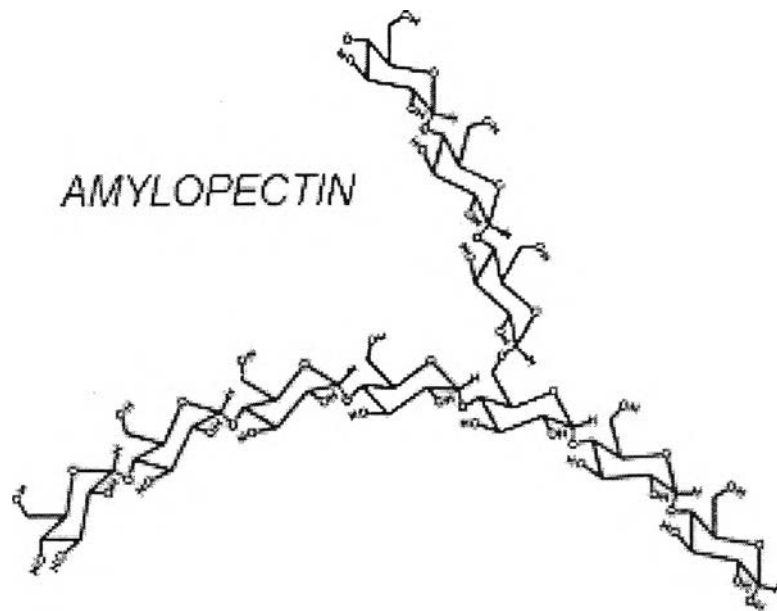


รูปที่ 2.4 การจัดตัวในรูปโครงสร้างแบบเกลียวของอะไมโลส

เนื่องจากอะไมโลสมีหมู่ไฮดรอกซิลเป็นจำนวนมาก จึงทำให้พอลิเมอร์มีสมบัติไฮโดรฟิลิก (hydrophilic) สามารถดูดความชื้นและกระจายตัวในน้ำได้ อย่างไรก็ตาม โมเลกุลของอะไมโลสมีลักษณะเป็นแบบเชิงเส้น และมีหมู่ไฮดรอกซิลจำนวนมาก ทำให้อะไมโลสจัดเรียงตัวขนานกันและใกล้กันพอที่เกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุล ทำให้เกิดโครงสร้างร่างแห และส่งผลให้สมบัติไฮโดรฟิลิกลดลง สารละลายที่ได้จะมีลักษณะขุ่น

ในสารละลายเจือจางจะเกิดการรวมตัวกันของอะไมโลสที่ติดกันเพิ่มขึ้น จนถึงจุดที่ทำให้เกิดการตกตะกอนได้ แต่สำหรับที่ความเข้มข้นสูงๆ ผลของความเกะกะ (steric hindrance) ขัดขวางการรวมตัว แต่มีการจัดตัวเพียงบางส่วนระหว่างช่วงของสายโซ่โมเลกุล ทำให้ได้เจลที่มีร่างแหสามมิติที่ยึดติดกันด้วยพันธะไฮโดรเจน โดยทั่วไปมักทำให้เกิดฟิล์มที่มีความแข็งแรง ปรากฏการณ์ยึดติดระหว่างโมเลกุลอะไมโลสเรียกว่า “รีโทรเกรเดชัน” (retrogradation)

2. อะไมโลเพกติน (Amylopectin) เป็นส่วนกลูโคสที่ต่อกันเป็นสาย ซึ่งมีกิ่งก้านสาขาแตกแขนงออกไป โครงสร้างที่เป็นสายประกอบด้วยหน่วยของกลูโคสที่มาเชื่อมต่อกันด้วยพันธะไกลโคซิดิกแบบ α -1,4 (α -1,4 glycosidic linkage) ส่วนรอยต่อระหว่างโซ่หลักกับกิ่งก้านจะต่อกันด้วยพันธะไกลโคซิดิกแบบ α -1,6 (α -1,6 glycosidic linkage) โดยโครงสร้างในส่วนที่เป็นอะไมโลเพกตินจะคิดเป็นร้อยละ 75 ของแป้ง และมีสูตรโครงสร้างดังแสดงในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 สูตรโครงสร้างของอะไมโลเพกติน

อะไมโลเพกตินเป็นโมเลกุลที่มีขนาดใหญ่กว่าอะไมโลส และการที่มีโซ่สาขาของโมเลกุลอะไมโลเพกตินทำให้ลดการเคลื่อนที่ของสายโซ่พอลิเมอร์ และขัดขวางการเรียงตัวของสายโซ่ให้ใกล้กันพอที่จะเกิดพันธะไฮโดรเจน ด้วยเหตุนี้สารละลายของอะไมโลเพกตินจึงมีลักษณะใส พิล์มที่ได้จากอะไมโลเพกตินไม่มีความแข็งแรงและไม่สามารถโค้งงอได้เหมือนฟิล์มที่ได้จากอะไมโลส

สายโซ่หลักของอะไมโลเพกติน และอะไมโลสที่เรียงตัวอยู่ขนานติดกันมีโอกาสเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างส่วนที่ติดกันได้ ทำให้เกิดกลุ่มของโครงสร้างผลึก (micellar crystallites) ซึ่งเป็นตัวยึดให้แป้งอยู่เป็นเม็ด และมีสมบัติไบรฟริงเจนซ์ (birefringence) ซึ่งสามารถแสดงให้ทราบได้โดยการเกิดโพลาไรเซชันครอส (polarization cross)

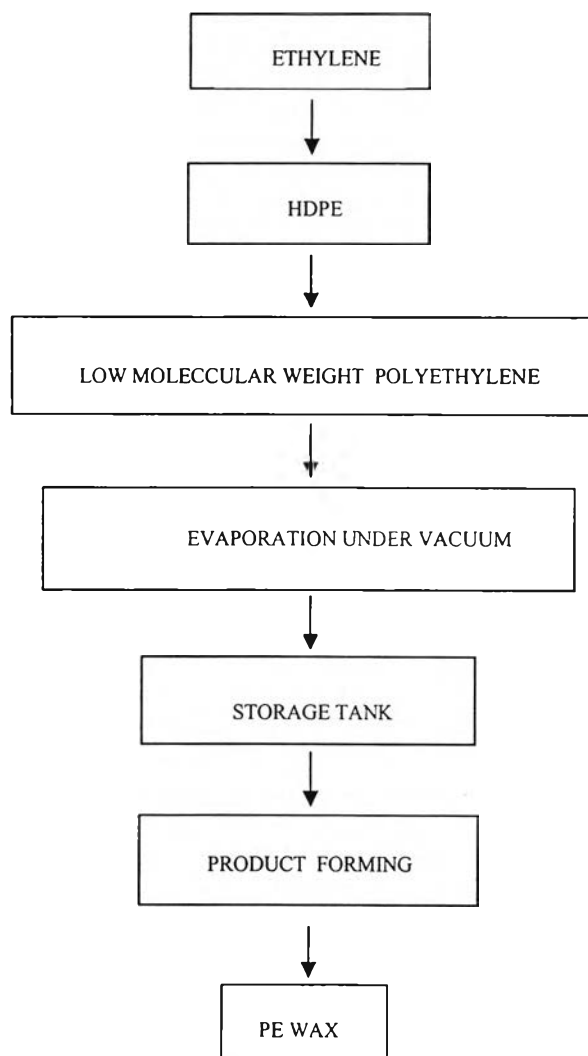
ส่วนของแป้งที่เอื้ออำนวยต่อการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ คือ โครงสร้างที่เป็นสายโซ่ตรง โดยจุลินทรีย์ย่อยสลายด้วยเอนไซม์เบตาอะไมโลส (β -amylase) ทำลายเฉพาะพันธะไกลโคซิดิกแบบ α -1,4 เท่านั้น ส่วนพันธะไกลโคซิดิกแบบ α -1,6 ไม่สามารถทำลายได้ ดังนั้นการย่อยแป้งซึ่งส่วนใหญ่มีโครงสร้างเป็นอะไมโลเพกติน จึงได้เป็นสายสั้นของแป้งที่เรียกว่า เดกซ์ทริน (dextrin) เท่านั้น

ตารางที่ 2.2 ปริมาณอะไมโลสและอะไมโลเพกตินของแป้งแต่ละชนิด [5]

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
สาเก	27	73
ท้าวขาม่อม	20	80
ข้าวโพด (amylase maize)	50-80	20-50

2.3 พื้อแว็กซ์ (PE wax)

พื้อแว็กซ์เป็นอนุพันธ์ของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง โดยการนำมาผ่านเข้าสู่กระบวนการผลิตเพื่อที่จะให้ได้เป็นพอลิเอทิลีนที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ หลังจากนั้นจะผ่านเข้าสู่กระบวนการระเหยความชื้นภายใต้สูญญากาศ แล้วเข้าสู่ถังเก็บ ดังแสดงในรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 ขั้นตอนการผลิตพีอีแว็กซ์

สมบัติของ พีอี แวกซ์

- ความแข็งสูง
- มีช่วงความหนืดที่มาก
- ความหนืดต่ำ
- เป็นตัวหล่อลื่นที่ดี
- มีสมบัติในการกระจายตัวที่ดี
- ทนทานต่อสารเคมี

การนำไปใช้งาน พีอี แวกซ์

- เป็นตัวเพิ่มความสามารถในการผลิตพลาสติก
- เป็นตัวช่วยกระจายสารตัวเติมในยาง
- เป็นตัวเพิ่มความทนความร้อนในกา
- เป็นตัวช่วยหล่อลื่นภายนอกใน PVC

2.4 พลาสติกที่สามารถย่อยสลายทางชีวภาพ (Biodegradable Polymer) [5,6]

พลาสติกเป็นพอลิเมอร์สังเคราะห์ที่มนุษย์นำมาใช้เป็นระยะเวลานาน โดยเฉพาะอย่างยิ่งบรรจุภัณฑ์พลาสติก ซึ่งมีปริมาณการใช้งานเพิ่มมากขึ้นเมื่อเทียบกับบรรจุภัณฑ์ชนิดอื่นๆ ทั้งนี้เนื่องจากพลาสติกมีสมบัติที่ดีเหนือกว่าวัสดุอื่น คือ มีความทนทาน น้ำหนักเบา มีความแข็งแรง กันน้ำ ขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ได้หลายรูปแบบ สามารถกำหนดสีสันทได้ตามต้องการ และมีให้เลือกมากมายหลายชนิด จึงทำให้การใช้งานของบรรจุภัณฑ์พลาสติกเป็นไปอย่างแพร่หลาย และมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นอีกในอนาคต ด้วยเหตุนี้ จึงส่งผลให้ปริมาณขยะพลาสติกเพิ่มมากขึ้นด้วยจนก่อให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อม

จากการศึกษาพบว่า พลาสติกเหล่านี้ส่วนมากมีความทนทานต่อการย่อยสลายของจุลินทรีย์ที่แตกต่างกันดังแสดงในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ความทนทานต่อการย่อยสลายด้วยจุลินทรีย์ของพลาสติกชนิดต่างๆ [5,6]

พอลิเมอร์	การใช้งาน	ความทนต่อการย่อยสลาย
Polyethylene	Packaging films, Insulation container	VH
Polypropylene	Packaging films	VH
Poly(vinyl alcohol)	Packaging films, Foam	VH
Poly(vinyl chloride)	Packaging films of high chemical stability	H
Poly(vinyl acetate)	Packaging films, Varnish, Fabrics	M
Poly(vinyl alcohol)	Packaging films	H
Polystyrene	Films, Foam	H
Poly(methyl methacrylate)	Plexiglas	H
Polytetrafluoroethylene	Insulation	H
Polytrifluorochloroethylene	Insulation	H
Cellulose acetate	Acetate rayon	H
Polyamide	Fabrics	L
Poly(ethylene terephthalate)	Fabrics	H
Silicone	Coating	H
Phenol formaldehyde	Bakelite	H

จะเห็นได้ว่า พลาสติกเหล่านี้ส่วนมากมีความทนทานต่อการย่อยสลายด้วยจุลินทรีย์สูง ซึ่งทำให้พลาสติกเหล่านี้ยากต่อการย่อยสลายโดยกระบวนการทางชีวภาพ จึงเกิดแนวความคิดในการกำจัดขยะพลาสติกเหล่านี้ขึ้นหลายวิธีด้วยกัน แต่ที่นิยมใช้กันมากมี 3 วิธี คือ

1. การนำขยะพลาสติกกลับมาใช้ใหม่ (recycle) แต่วิธีนี้มีข้อจำกัดในการใช้งาน คือ พลาสติกที่ใช้แล้วจะมีสิ่งเจือปนอยู่ ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้นั้นไม่สามารถนำไปใช้กับงานที่สัมผัสกับอาหารและน้ำดื่มได้ นอกจากนี้ พลาสติกดังกล่าวยังผ่านความร้อนจากกระบวนการผลิตครั้งก่อนๆ มาแล้วหลายครั้ง ดังนั้น ในการผลิตครั้งต่อไปจะทำให้สมบัติเชิงกลของพลาสติกนั้นลดลง ซึ่งจะให้อายุการใช้งานสั้นลงด้วย

2. การใช้พอลิเมอร์ธรรมชาติ (natur alpolymer) แทนพลาสติกเนื่องจากพอลิเมอร์ธรรมชาติ จะสามารถย่อยสลายได้เองด้วยกระบวนการทางธรรมชาติ พอลิเมอร์ธรรมชาติที่นิยมใช้ ได้แก่ โปรตีน เซลลูโลส แป้ง และลิกนิน เป็นต้น แต่ปัญหาของการใช้พอลิเมอร์ธรรมชาติแทนพลาสติก คือ มีความแข็งแรงต่ำและอายุการใช้งานสั้น

3. การนำพอลิเมอร์ธรรมชาติมาผสมกับพลาสติก เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์พลาสติกที่สามารถสลายตัวได้ด้วยกระบวนการทางธรรมชาติ ซึ่งพอลิเมอร์ที่นิยมนำมาผสมกับพลาสติก คือ แป้ง โดยที่แป้งจะแทรกตัวอยู่ในโครงสร้างพลาสติกและมีกลไกการสลายตัวของพลาสติก คือ ชั้นแรก จุลินทรีย์จะปล่อยเอนไซม์อะไมเลส (amylase) เข้าย่อยสลายแป้งในพลาสติกผ่านตัวกลางที่เป็นน้ำ ทำให้แป้งมีโมเลกุลเล็กลงจนสามารถเข้าสู่เซลล์ของจุลินทรีย์ได้ ซึ่งเม็ดแป้งจะหายไปจากเนื้อของพลาสติก ทำให้เนื้อพลาสติกเกิดรูพรุน (porous) ขนาดเล็กจำนวนมาก ส่งผลให้พลาสติกอ่อนลงและมีพื้นที่ผิวเพิ่มมากขึ้น ในขั้นที่สอง โลหะและน้ำที่อยู่ในดินจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันด้วยตัวเอง (autooxidation) ได้เป็นสารเปอร์ออกไซด์ ซึ่งสารเปอร์ออกไซด์ที่เกิดขึ้นจะไปทำลายสายโซ่โมเลกุลของพอลิเมอร์ให้สั้นลง ทำให้จุลินทรีย์สามารถย่อยสลายต่อไปได้เกิดเป็นน้ำ และแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ทั้งนี้อัตราภายย่อยสลายจะขึ้นอยู่กับสภาวะแวดล้อม เช่น ความชื้น อุณหภูมิ ปริมาณของออกซิเจน ความเป็นกรด-เบส และชนิดของจุลินทรีย์ที่อยู่ในดิน รวมถึงความหนาของพลาสติกนั้นด้วย

จะเห็นได้ว่าการนำพอลิเมอร์ธรรมชาติมาผสมกับพลาสติก น่าจะมีประสิทธิภาพมากกว่าการแก้ไข้ปัญหาโดยวิธีการอื่น เนื่องจากพลาสติกที่ได้ยังมีความแข็งแรงพอที่จะใช้งานได้ อีกทั้งยังย่อยสลายได้เองด้วยกระบวนการทางธรรมชาติอีกด้วย

2.5 พอลิเมอร์ผสม (Polymer Blends) [7]

พอลิเมอร์ผสม คือ การนำพอลิเมอร์ตั้งแต่สองชนิดขึ้นไปมาผสมกันทางกายภาพ เพื่อปรับปรุงสมบัติของพอลิเมอร์ให้ดีขึ้น ซึ่งในช่วงทศวรรษที่ผ่านมาได้มีการพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ๆ เข้าสู่ตลาดอย่างต่อเนื่อง และพอลิเมอร์ผสมจัดเป็นกลุ่มพอลิเมอร์ที่ได้รับความนิยมอย่างมากในวงการอุตสาหกรรม ทั้งนี้เพราะการเตรียมพอลิเมอร์ผสมเป็นวิธีที่สะดวกและประหยัด โดยสามารถใช้พอลิเมอร์ที่มีอยู่แล้วแทนการสังเคราะห์พอลิเมอร์ชนิดใหม่ๆ แต่การที่จะนำพอลิเมอร์มาผสมกันเพื่อให้ได้สมบัติที่ดีขึ้นนั้นจำเป็นต้องพิจารณาองค์ประกอบต่างๆ ของพอลิเมอร์ที่นำมาผสมด้วยกัน เช่น โครงสร้าง สมบัติของพอลิเมอร์แต่ละชนิด และความเข้ากันได้ (compatibility) ของพอลิเมอร์ หากพอลิเมอร์ที่นำมาผสมกันไม่สามารถเข้ากันได้ดี จะส่งผลให้พอลิเมอร์ผสมมีสมบัติต่ำลง สำหรับวิธีการต่างๆ ที่ได้คิดค้นขึ้นเพื่อเตรียมพอลิเมอร์ผสมแสดงไว้ในตารางที่ 2.4 และถึงแม้วิธีการต่างๆ เหล่านี้ สามารถทำให้เกิดการเข้ากันเป็นอย่างดีของพอลิเมอร์ผสมบางชนิด แต่ยังมีพอลิเมอร์อีกเป็นจำนวนมากที่เกิดความไม่เข้ากัน เนื่องจากความแตกต่างของโครงสร้าง จึงทำให้เกิดการแยกชั้นในระหว่างการผสม ซึ่งจะเห็นความแตกต่างระหว่างพอลิเมอร์ผสมที่เข้ากันได้กับที่ไม่เข้ากัน เช่น พอลิเมอร์ผสมที่เข้ากันได้มีลักษณะใส (clear) และแสดงอุณหภูมิกลาสแทรนซิชันเพียงค่าเดียว ซึ่งอยู่ระหว่างอุณหภูมิกลาสแทรนซิชันขององค์ประกอบ ในขณะที่พอลิเมอร์ผสมที่เกิดความไม่เข้ากันจะมีลักษณะขุ่น และแสดงอุณหภูมิกลาสแทรนซิชันหลายค่า ซึ่งแต่ละค่าจะเป็นลักษณะขององค์ประกอบแต่ละชนิด

โดยทั่วไปแล้ว ระบบพอลิเมอร์ผสมประกอบด้วย 2 เฟส คือ เมทริกซ์ และดิสเพอร์สเฟส ซึ่งดิสเพอร์สเฟส คือ เฟสที่กระจายตัวอย่างไม่สม่ำเสมอในพอลิเมอร์ผสม โดยอาจอยู่ในลักษณะที่เป็นเส้นใย ทรงกลม และโครงสร้างที่เป็นแผ่นบาง (lamellae) เป็นต้น ซึ่งพอลิเมอร์ที่เป็นเมทริกซ์จะเป็นตัวหลักที่กำหนดสมบัติของพอลิเมอร์ผสม

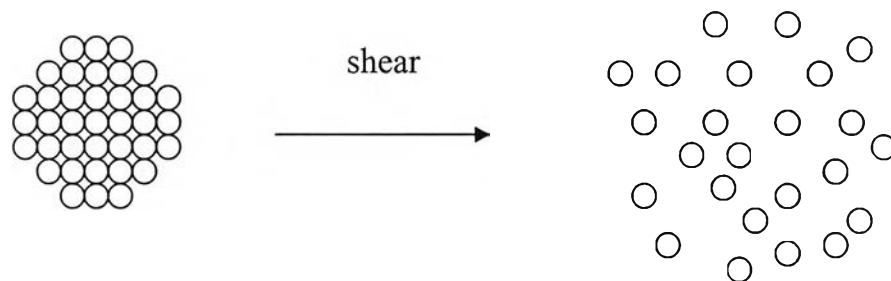
ตารางที่ 2.4 วิธีการเตรียมพอลิเมอร์ผสมชนิดต่างๆ [8]

ชนิด	วิธีการเตรียม
Mechanical blend	ผสมพอลิเมอร์ที่อุณหภูมิสูงกว่า T_g หรือ T_m ของพอลิเมอร์นั้นๆ ในกรณีของพอลิเมอร์ที่ต้องการผสมเข้าด้วยกันเป็นแบบอสัณฐาน และกิ่งผลึก ตามลำดับ
Mechanochemical blends	ผสมพอลิเมอร์ด้วยอัตราแรงเฉือนสูงเพื่อให้พอลิเมอร์เกิดการสลายตัว โดยฟรีแรดิคัลที่เกิดขึ้นจะรวมตัวเป็นของผสมเชิงซ้อน ซึ่งมีทั้งองค์ประกอบที่เป็นบล็อกและกราฟต์โคพอลิเมอร์
Solution-cast blends	ละลายพอลิเมอร์ในตัวทำละลายแล้วเทลงในแม่แบบ จากนั้นจึงกำจัดตัวทำละลายออกไป
Latex blends	ผสมพอลิเมอร์กับน้ำเข้าด้วยกันจนกระทั่งพอลิเมอร์กระจายตัวได้ดีในน้ำ ซึ่งพอลิเมอร์ผสมที่ได้จะมีลักษณะเปลี่ยนจากของเหลวเป็นก้อนหนาหนืด (coagulated)
Chemical blend interpenetrating polymer networks (IPN)	ทำให้พอลิเมอร์เกิดการเชื่อมขวางแล้ววมตัวด้วยมอนอเมอร์ชนิดต่างๆ จากนั้นทำให้มอนอเมอร์เกิดการพอลิเมอไรซ์และเชื่อมขวาง
Semi-interpenetrating polymer networks (semi-IPN)	ผสมมอนอเมอร์ที่มีหลายหมู่ฟังก์ชันเข้าด้วยกันกับเทอร์โมพลาสติก แล้วจึงพอลิเมอไรซ์ให้เป็นพอลิเมอร์แบบร่างแห
Simultaneous interpenetrating polymer (SIN)	ผสมมอนอเมอร์ต่างๆ เข้าด้วยกัน โดยจะเกิด โซโมพอลิเมอไรซ์ และโครงสร้างแบบเชื่อมขวางในเวลาเดียวกัน แต่ไม่เกิดกลไกที่มีแรงกระทำระหว่างกัน
Interpenetrating elastomeric network (IEN)	ทำการเชื่อมขวางพอลิเมอร์ที่อยู่ในรูปของลาเทกซ์ โดยจะทำหลังจากเกิดภาวะที่ของเหลวเปลี่ยนเป็นก้อนหนาหนืดแล้ว

การผสมของพอลิเมอร์มี 2 ลักษณะ คือ

1. การผสมโดยมีปฏิกิริยาเคมีมาเกี่ยวข้อง (reactive blending) โดยพอลิเมอร์ที่นำมาผสมกันต้องมีหมู่ฟังก์ชันเพื่อทำปฏิกิริยาเคมี เช่น พอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิคาร์บอเนต และพอลิเอไมด์

2. การผสมโดยไม่มีปฏิกิริยาเคมีมาเกี่ยวข้อง (non-reactive blending) การผสมวิธีนี้ทำได้ง่าย ไม่ยุ่งยาก โดยใช้เครื่องมือในการผสม เช่น เครื่องอัดรีด (extruder) หรือ เครื่องบดสองลูกกลิ้ง (two-roll mill) ซึ่งเครื่องมือประเภทนี้จะทำให้เกิดแรงเฉือนเพิ่มขึ้นในระหว่างการผสม แรงเฉือนที่เพิ่มขึ้นทำให้พอลิเมอร์เกิดการกระจายตัวมากขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 2.7 ส่งผลให้การผสมมีประสิทธิภาพดีขึ้น



รูปที่ 2.7 การกระจายตัวของพอลิเมอร์เมื่อได้รับแรงเฉือน

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

I. Arvanitoyannisa และคณะ [9] ได้ศึกษาค้นคว้าเกี่ยวกับการผลิตฟิล์มจากพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำผสมแป้งมันสำปะหลังและแป้งข้าวเจ้า โดยใช้แป้งในอัตราส่วน ร้อยละ 0, 5, 10, 20, 30 และ 40 ทำการผสมสูตรต่างๆ ด้วยเครื่องอัดรีด จากนั้นขึ้นรูปเป็นฟิล์มโดยใช้เครื่องอัดจากการศึกษาสมบัติเชิงกล และสมบัติการสกัดกันแก๊ส พบว่า ที่ปริมาณแป้งมากกว่าร้อยละ 30 จะมีสมบัติเชิงกลต่ำลง และมีสมบัติการสกัดกันแก๊สต่ำลงเมื่ออัตราส่วนของแป้งเพิ่มมากขึ้น และความสามารถในการย่อยสลายเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณแป้งมากกว่าร้อยละ 10 ขึ้นไป

A.G. Pedroso และคณะ [10] ได้ศึกษาสมบัติเชิงกล สมบัติทางความร้อน และสัณฐานวิทยาของชั้นทดสอบที่เตรียมจากการนำพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำที่ผ่านการรีไซเคิล มาผสมกับแป้งข้าวโพด โดยเปรียบเทียบกับเม็ดพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำใหม่ผสมแป้งข้าวโพด โดยใช้แป้งข้าวโพดในอัตราส่วนร้อยละ 30, 40 และ 50 โดยน้ำหนัก ทำการผสมสูตรต่างๆ ด้วยเครื่องอัดรีด และขึ้นรูปชิ้นงานเป็นแผ่นด้วยเครื่องอัด ผลจากการทดลอง พบว่า เมื่อผสมแป้งข้าวโพดเข้าไปจะทำให้ดัชนีการไหล และความต้านแรงดึงลดลง แต่โมดูลัสมีค่าเพิ่มขึ้น โดยดัชนีการไหลลดลงอย่างเห็นได้ชัดเมื่อผสมแป้งเข้าไปในปริมาณร้อยละ 40 และ 50 โดยน้ำหนัก ซึ่งจากสัณฐานวิทยาพบว่า พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ และแป้งข้าวโพดมีความเข้ากันได้ต่ำ

H. Ismail และคณะ [11] ได้นำแป้งสาธูผสมกับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นแบบเชิงเส้น (LLDPE) เพื่อศึกษาสมบัติเชิงกล และความสามารถในการย่อยสลาย พบว่า ความต้านแรงดึงลดลง เมื่อปริมาณแป้งเพิ่มขึ้น ในขณะที่โมดูลัสเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ เมื่อนำไปย่อยสลายด้วยเอนไซม์ ยังพบว่า สมบัติเชิงกลต่างๆ ลดลง

E.M. Nakamura และคณะ [12] ได้ศึกษาและพัฒนาพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำที่ผสมแป้งเพื่อให้เกิดการย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ โดยผสมกับแป้งชนิดต่างๆ ที่ถูกดัดแปรและไม่ถูกดัดแปร ในอัตราส่วนร้อยละ 5, 10 และ 20 โดยน้ำหนัก นอกจากนี้ ยังใช้น้ำมันพืชและแคลเซียมสเตียเรต (calcium stearate) ในปริมาณร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก และมีการให้แรงเฉือนระดับสูงเพื่อให้เกิดการผสมเป็นเนื้อเดียวกัน และขึ้นรูปเป็นชิ้นงานทดสอบด้วยเครื่องฉีด จากการทดสอบสมบัติเชิงกล และความสามารถในการย่อยสลาย พบว่า แป้งมันสำปะหลังที่ถูกดัดแปรด้วยกรดอะซิติกทำให้ชิ้นทดสอบมีสมบัติเชิงกล และความสามารถในการย่อยสลายดีกว่าแป้งชนิดอื่นๆ

P. Matzinos และคณะ [13] ได้เตรียมฟิล์มพอลิเมอร์ผสมโดยการนำพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำผสมแป้งในอัตราส่วน 70/30 แล้วผสมกับ PCL ในอัตราส่วน 100/0, 75/25, 50/50, 25/75 และ 0/100 โดยใช้ PE-g-MA ร้อยละ 10 โดยน้ำหนักของแป้ง เป็นสารช่วยผสม และใช้กลีเซอรอลร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก เป็นพลาสติกไซเซอร์ และทำการขึ้นรูปเป็นฟิล์ม และขึ้นทดสอบเพื่อศึกษาสมบัติต่างๆ พบว่า ฟิล์มที่ได้มีสมบัติเชิงกลดีขึ้นเมื่อปริมาณของ PCL เพิ่มขึ้น ส่วนชิ้นงานที่ได้จากการฉีดมีการกระจายตัวระหว่าง PCL และ LDPE ที่ไม่ดีนัก จึงทำให้สมบัติเชิงกลต่ำลง

B.C. Jang และคณะ [14] ได้เตรียมพอลิเมอร์ผสมระหว่างแป้งมันสำปะหลัง กับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง โดยดัดแปรพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงด้วยการผสมไกลซิديلเมทาคริเลต (glycidyl methacrylate, GMA) โดยเปลี่ยนแปลงปริมาณ GMA ที่ร้อยละ 5, 10 และ 15 โดยน้ำหนัก และผสมกลีเซอรินในแป้งที่ร้อยละ 40, 50 และ 60 โดยปริมาตร และขึ้นรูปพอลิเมอร์ผสมด้วยวิธีการอัด โดยเปลี่ยนแปลงปริมาณแป้ง กลีเซอริน และ GMA พบว่า ปริมาณแป้งคงที่ทำให้ความต้านแรงดึง และเปอร์เซ็นต์การยืดดึง ณ จุดขาด เพิ่มขึ้น ในขณะที่ปริมาณกลีเซอรินเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ความต้านแรงดึงลดลง และปริมาณ GMA ที่ร้อยละ 10 โดยปริมาตรส่งผลให้พอลิเมอร์ผสมมีสมบัติเชิงกลดีที่สุด

F. Kawai และคณะ [15] ได้ศึกษาเกี่ยวกับการย่อยสลายของพีอีแวกซ์ ซึ่งได้ทำการเปรียบเทียบระหว่างตัวย่อยสลาย 2 ชนิด คือ แบคทีเรียชนิด KH-12 และเชื้อราชนิด AK-3F โดยนำมาบรรจุไว้ในที่เพาะเชื้อแล้วปล่อยให้ยู่เป็นเวลา 3 สัปดาห์ ซึ่งในการศึกษาการย่อยสลายได้มีการออกแบบรูปแบบที่ใช้ในการคำนวณค่าทางคณิตศาสตร์มาคำนวณผล โดยมี 2 ปัจจัย ในการย่อยสลาย คือ การลดลงของโมเลกุลใหญ่จะเกิดจาก β -oxidation และการย่อยสลายของโมเลกุลเล็กๆ จะเกิดจากเซลล์ของแบคทีเรียและเชื้อรา โดยพบว่าแบคทีเรียให้ผลในการย่อยสลายดีกว่าเชื้อรา จึงพบว่า พีอีแวกซ์สามารถถูกย่อยสลายได้ในธรรมชาติโดยเชื้อแบคทีเรียและเชื้อรา

S. Kiatkamjornwong และคณะ [16] ได้ทดลองเติมน้ำมันถั่วเหลือง และเฟอร์ริกสเตียเรตลงในพลาสติกพอลิเอทิลีนที่มีแป้งมันสำปะหลังอยู่ ซึ่งพบว่า สารทั้งสองชนิดช่วยทำให้การย่อยสลายทางชีวภาพของพลาสติกดังกล่าวเป็นไปได้ดีขึ้น