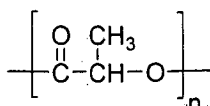


## บทที่ 2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในปัจจุบัน พลาสติกแตกสลายทางชีวภาพได้รับความสนใจแพร่หลายอย่างมากทั่วโลก ทำให้มีการวิจัยและพัฒนาในด้านต่างๆ ทั้งกระบวนการผลิต การเกิดพอลิเมอร์ การปรับปรุงสมบัติ และการพัฒนาผลิตภัณฑ์อย่างรวดเร็วและต่อเนื่อง รวมถึงการศึกษาพัฒนาการผลิตในระดับอุตสาหกรรม พลาสติกแตกสลายทางชีวภาพได้มีการผลิตและจำหน่ายในท้องตลาด อาทิเช่น พอลิแล็กติกแอซิด (poly(lactic acid), PLA) พอลิบิวทิลีนอะดิเพทเทเรฟทาเลท (poly(butylene adipate terephthalate), PBAT) และพอลิบิวทิลีนซัคซิเนท (poly(butylene succinate), PBS) เป็นต้น

ในที่นี้ ผู้วิจัยเน้นถึงพอลิแล็กติกแอซิด (PLA) ซึ่งเป็นพลาสติกแตกสลายทางชีวภาพที่ได้ได้รับความสนใจมากที่สุดสำหรับการผลิตเป็นผลิตภัณฑ์เพื่อการค้า พอลิแล็กติกแอซิด หรือพอลิแลคไทด์ (polylactide) เป็นพอลิเอสเทอร์สังเคราะห์แบบสายโซ่ตรงที่มีกรดแล็กติก (lactic acid) หรือแล็กไทด์ (lactide) เป็นมอนอเมอร์ ซึ่งเตรียมได้จากวัตถุดิบที่ปลูกทดแทนใหม่ได้ เช่น ข้าวโพด มันสำปะหลัง หรืออ้อย เป็นต้น<sup>1,2</sup>

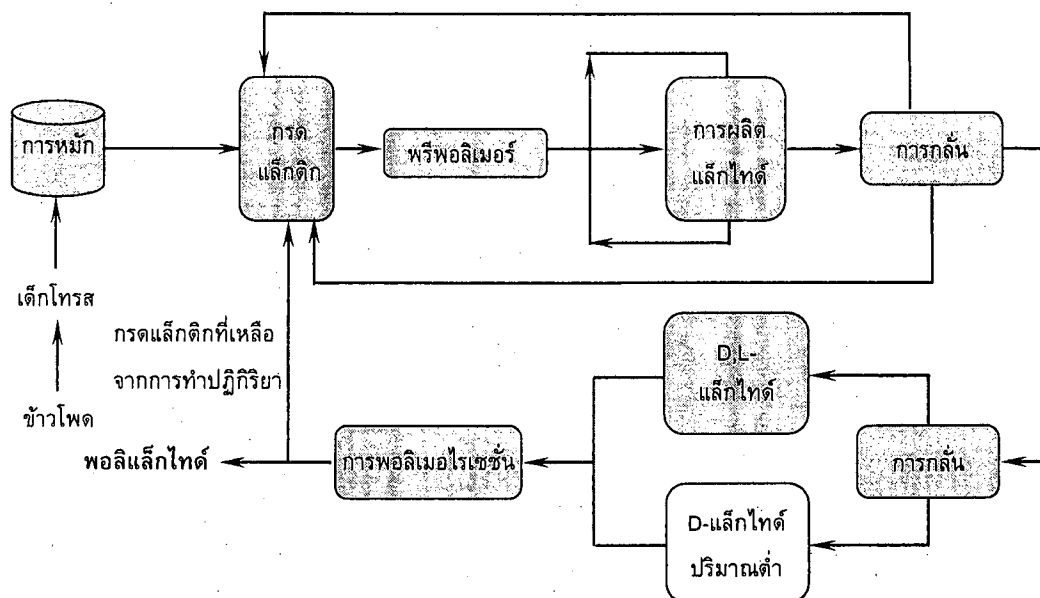


รูปที่ 2.1 โครงสร้างทางเคมีของ PLA

กระบวนการสังเคราะห์พอลิแล็กติกแอซิดถูกคิดค้นขึ้นครั้งแรกโดย W.H. Carothers นักวิจัยของบริษัท Dupont ประเทศสหรัฐอเมริกา ในปี 1932 โดยการให้ความร้อนแก่กรดแล็กติกภายใต้สภาวะที่ผลิตได้ผลิตภัณฑ์เป็น PLA น้ำหนักโมเลกุลต่ำ หลังจากนั้นได้มีการศึกษาและพัฒนากระบวนการผลิตอย่างต่อเนื่อง แต่เนื่องจากราคาที่สูง ทำให้การนำไปใช้งานมุ่งเน้นไปทางด้านการแพทย์และเภสัชกรรม บริษัท Cargill, Inc. ประเทศสหรัฐอเมริกา ได้ทำการวิจัยเพื่อผลิตกรดแล็กติก แล็กไทด์ และ PLA จนในปี 1992 ได้เริ่มการผลิตในระดับโรงงานต้นแบบ จากนั้นในปี 1997 ได้ร่วมลงทุนกับบริษัท Dow Chemical Company, Inc. ประเทศสหรัฐอเมริกา เพื่อทำการพัฒนาเทคโนโลยีและผลิตภัณฑ์ PLA เพื่อการค้าอย่างเต็มรูปแบบ และในปี 2001 ได้ส่งผลิตภัณฑ์ซึ่งมีชื่อทางการค้าว่า NatureWorks<sup>®</sup> ออกมาสู่ตลาดจนถึงปัจจุบัน<sup>3</sup>

เนื่องจากกระบวนการควบแน่นจากกรดแล็กติกเป็นปฏิกิริยาที่มีสมดุล (equilibrium reaction) การกำจัดน้ำที่ระเหยระหว่างการสังเคราะห์สายโซ่พอลิเมอร์ออกให้หมดเป็นเรื่องยาก และส่งผลถึงข้อจำกัดของน้ำหนักโมเลกุลของพอลิเมอร์ที่สังเคราะห์ได้ ดังนั้นในปัจจุบัน การผลิต PLA โดยส่วนมาก จะเตรียมจากกระบวนการพอลิเมอไรเซชันโดยการเปิดวง โดยเริ่มจากปฏิกิริยาการควบแน่นแบบต่อเนื่องของกรดแล็กติกเพื่อผลิตพรีพอลิแล็กติกแอซิดน้ำหนักโมเลกุลต่ำ (low MW PLA prepolymer) จากนั้นผลิตพรีพอลิเมอร์จะถูกเปลี่ยนไปเป็นแล็กไทด์โดยการเร่งปฏิกิริยาจากสารประกอบดีบุก (tin catalysis) ซึ่งจะถูกทำให้บริสุทธิ์โดยการกลั่นภายใต้สภาวะที่ กระบวนการพอลิเมอไรเซชันแบบเปิดวงโดยการเร่งปฏิกิริยาจากสารประกอบดีบุก (ได้แก่ ทินออกไซด์) ทำให้ได้ PLA โมเลกุลสูงเป็นผลิตภัณฑ์ และจากการควบคุมกระบวนการพอลิเมอไรเซชันแบบเปิดวงจึงสามารถผลิต PLLA ซึ่งได้จากปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันของ L-แล็กไทด์ บริสุทธิ์ โดย PLLA จะมีสมบัติเชิงกายภาพและเชิงกลที่ดีกว่า PLA ที่ได้จากการพอลิเมอไรเซชันของ D- และ L-แล็กไทด์ เนื่องจากไม่มีการใช้สารละลายอินทรีย์ กระบวนการนี้จึงมีต้นทุนการผลิตต่ำ และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม หลังจากเสร็จสิ้นกระบวนการ

พอลิเมอร์เซชันแล้วแล็กไทด์ที่เหลือจะถูกกลั่นออกมาภายใต้สุญญากาศและนำกลับไปใช้อีก กระบวนการผลิต PLA โดยไม่ใช้ตัวทำละลายอินทรีย์ แสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 กระบวนการผลิต PLA โดยไม่ใช้ตัวทำละลายอินทรีย์

ในด้านสมบัติทั่วไป PLA มีลักษณะใส มีความแวววาวสูง และมีสมบัติทางกลที่สามารถนำไปใช้งานได้ เช่นเดียวกับพอลิเมอร์พื้นฐานที่มีสมบัติเป็นเทอร์โมพลาสติก นอกจากนี้ PLA ยังสามารถกักกันกลิ่นและรสชาติได้ดี มีความต้านทานต่อน้ำมันและไขมันสูง ในขณะที่ก๊าซออกซิเจน ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำ สามารถแพร่ผ่านได้ดี มีความคงทนต่อการกระแทก (impact strength) ต่ำ ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับ PVC ที่ไม่มีการเติมสารเสริมสภาพพลาสติก (plasticizer) มีความแข็งและความยืดหยุ่นใกล้เคียงกับ PET นอกจากนี้ PLA ยังมีสมบัติใกล้เคียงกับ PS และสามารถนำไปตัดแปรให้มีสมบัติใกล้เคียงกับ PE หรือ PP ซึ่งเป็นพลาสติกโภคภัณฑ์ (commodity plastic) ดังนั้น PLA จึงสามารถนำไปปรับปรุงสมบัติพื้นฐานทั้งด้านการขึ้นรูปและการใช้งานได้เช่นเดียวกับพลาสติกโอเลฟินส์ที่ผลิตจากกระบวนการทางปิโตรเคมี

ตารางที่ 2.1 สมบัติของ PLA ที่ผลิตเพื่อการค้า ภายใต้ชื่อการค้า NatureWork® PLA Polymer 3051D<sup>4</sup>

หัวข้อ	วิธีทดสอบ	สมบัติ
ความหนาแน่น (กรัม/มล.)	ASTM D792	1.25
Tg (°C)	ASTM D3417	55-65
Tm (°C)	ASTM D3418	150-165
Tensile yield strength (MPa)	ASTM D638	48
Tensile elongation (%)	ASTM D638	2.5
Flexural strength (MPa)	ASTM D790	83
Flexural modulus (MPa)	ASTM D790	3828

ในด้านการแตกสลายทางชีวภาพได้ PLA สามารถแตกสลายได้ดีในโรงหมักขยะอินทรีย์ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสขึ้นไป<sup>2</sup> แต่จะไม่แตกสลายทันทีที่อุณหภูมิต่ำกว่า เนื่องจาก PLA มีอุณหภูมิเปลี่ยนสภาพแก้วประมาณ 60 องศาเซลเซียส โดยขั้นตอนแรก PLA จะถูกแตกสลายไปเป็นสารประกอบที่ละลายน้ำได้และกรดแล็กติก โดยการไฮโดรไลซิสซึ่งเกิดขึ้นภายใน 2 สัปดาห์ สารประกอบและกรดแล็กติกที่ได้จะถูกย่อยต่อไปโดยจุลินทรีย์ชนิดต่างๆ โดยการ metabolization อย่างรวดเร็ว ไปเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ และมวลชีวภาพ

ในด้านการนำไปใช้งาน PLA มักถูกนำไปผสมกับแป้งหรือสตาร์ช<sup>6-9</sup> เพื่อเพิ่มความสามารถในการแตกสลายได้ทางชีวภาพ และลดต้นทุนการผลิต แต่เนื่องจาก PLA ผสมแป้งนั้นเปราะ ซึ่งเป็นอุปสรรคในการนำไปประยุกต์ใช้งาน ดังนั้นจึงต้องมีการเติมสารเสริมสภาพพลาสติกที่มีมวลโมเลกุลต่ำลงไปผสมด้วย เพื่อเพิ่มความยืดหยุ่น เช่น กลีเซอรอล ซอลบิทอล อะซิทิลไตรเอทิลซิเตรท ไตรเอทิลซิเตรท พอลิเอทิลีนไกลคอล และพอลิโพรพิลีนไกลคอล เป็นต้น การเติมสารเติมแต่งบางชนิด เช่น ไฮดรอกซีอะพาไทต์ และแคลเซียมคาร์บอเนต จะช่วยปรับปรุงสมบัติเชิงกล นอกจากนี้ยังมีการเติมสารกันไฟฟ้าสถิต (สำหรับ PLA foil) เม็ดสีหมึกสี และสารเคลือบอินทรีย์ที่แตกสลายได้ทางชีวภาพ mould detaching agents และ vapour deposition ราคาต่ำ เพื่อลดความสามารถในการแพร่ผ่านของความชื้น นอกจากนี้ การไม่เข้ากันระหว่างสารเติมแต่งและ PLA อาจนำมาซึ่งอุปสรรคในการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ จึงจำเป็นต้องมีการเติมสารเสริมสภาพเข้ากันได้ (compatibilizer) เช่น silane coupling agent เพื่อช่วยให้สารเติมแต่งและ PLA สามารถผสมเข้าเป็นเนื้อเดียวกันได้มากขึ้น และสามารถนำไปขึ้นรูปได้ PLA สามารถนำไปขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์พลาสติกด้วยกระบวนการขึ้นรูปต่างๆ เช่น การฉีดขึ้นรูป การอัดรีดเป็นแผ่น การเป่าเป็นฟิล์ม การขึ้นรูปด้วยความร้อน การทำเป็นโฟม และการปั่นเป็นเส้นใย โดยใช้เครื่องมือขึ้นรูปพลาสติกทั่วไป

ในด้านประโยชน์ใช้สอย PLA ถูกนำไปประยุกต์เป็นพลาสติกมูลค่าเพิ่มต่างๆ หลายด้าน<sup>2,10,11</sup> ได้แก่

- ด้านการแพทย์ เนื่องจาก PLA เป็นพอลิเมอร์แตกสลายทางชีวภาพได้ (biodegradable) สามารถเข้ากับเนื้อเยื่อ (biocompatible) และสามารถถูกดูดซึม (bioresorbable) ได้โดยระบบชีวภาพ (biological system) ในร่างกาย จึงทำให้ PLA เป็นวัสดุที่มีศักยภาพสูงสำหรับงานทางการแพทย์ และถูกนำมาใช้ทางด้านนี้มานานกว่า 2 ทศวรรษ เช่น ไหมเย็บแผล (sutures) ตะปูเย็บแผล (staples) วัสดุปิดแผล (wound dressing) อุปกรณ์ฝังในร่างกาย (surgical implants) อุปกรณ์สำหรับยึดกระดูก (orthopedic fixation devices) วัสดุสำหรับนำพาหรือปลดปล่อยตัวยา ซึ่งสามารถควบคุมอัตราและระยะเวลาในการปลดปล่อยยาได้อย่างมีประสิทธิภาพ

- ด้านการเกษตร เช่น ภาชนะปลูกพืช วัสดุห่อหุ้มและปลดปล่อยยาฆ่าแมลง ยาฆ่าวัชพืช หรือปุ๋ย ตามช่วงเวลาที่กำหนด (Sukano<sup>®</sup> PLA ของ Sukano Ltd.)

- ด้านบรรจุภัณฑ์<sup>10</sup> เช่น บรรจุภัณฑ์ที่ใช้แล้วทิ้ง (Mater-Bi<sup>®</sup> ของ Novamont) ภาชนะบรรจุอาหาร (Mater-Bi<sup>®</sup> ของ Novamont) ขวดน้ำ (Ingeo<sup>™</sup> ของ NatureWorks LLC) ถุงพลาสติก (Bio-flex<sup>®</sup> ของ FKUR Kunststoff GmbH) กล่องโฟม (Ingeo<sup>™</sup> ของ NatureWorks LLC) ฟิล์มสำหรับหีบห่อ เม็ดโฟมกันกระแทก ตัวเคลือบภาชนะกระดาษ

- ด้านเส้นใยและแผ่นผ้าแบบ non-woven เช่น ผลิตภัณฑ์อนามัย ผ้าอ้อมสำเร็จรูป เสื้อผ้าและเครื่องนุ่งห่ม เส้นใยสำหรับบรรจุในเครื่องนอน (Ingeo<sup>™</sup> ของ NatureWorks LLC)

- ด้านยานยนต์ เช่น อุปกรณ์ลดแรงกระแทก (bumpers) แผ่นรองพื้น (floor mats) และอุปกรณ์ตกแต่งภายใน

- ด้านอิเล็กทรอนิกส์และการสื่อสาร เช่น ชิ้นส่วนประกอบในโทรศัพท์เคลื่อนที่ ชิ้นส่วนประกอบในคอมพิวเตอร์ (Sanyo) แผ่นซีดี (Sony)

- อื่น ๆ เช่น อุปกรณ์เครื่องเขียน บัตรพลาสติก (Ingeo™ ของ NatureWorks LLC) ผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในบ้านเรือน สารเคลือบกระดาษ สารยึดติด ท่อพลาสติกชั่วคราว

อย่างไรก็ดี PLA มีข้อจำกัดในแง่ของสมบัติหลายประการ เช่น ความเปราะ ความเป็นผลึกต่ำ และราคาที่สูงกว่าราคาของพอลิเอทิลีนถึง 2-3 เท่า เป็นต้น จึงจำเป็นต้องมีการปรับปรุงเพื่อให้ได้สมบัติที่ดีขึ้น กระบวนการทำคอมพาวนด์ (compounding) เป็นเทคโนโลยีที่สำคัญและจำเป็นในการปรับสมบัติทางกายภาพและทางกลให้พลาสติกแตกสลายทางชีวภาพได้แสดงปรากฏการณ์การไหลและการก่อตัวได้ดี รวมทั้งมีความยืดหยุ่น แก้ปัญหาเรื่องความเปราะ เพื่อให้เข้าใกล้สมบัติของพลาสติกที่มาจากปิโตรเคมีที่เราคุ้นเคยกันดี โดยเฉพาะให้ใกล้เคียงกับพอลิเอทิลีนหรือพอลิโพรพิลีนมากที่สุด โดยการผสมกับพอลิเมอร์ชนิดอื่นหรือการเติมสารเติมแต่ง (additive) ชนิดต่างๆ เช่น สารเสริมสภาพพลาสติก (plasticizer) สารเร่งการตกผลึก (nucleating agent) ตัวเติม (filler) และสารเสริมสภาพเข้ากันได้ (compatibilizer) เป็นต้น

#### การเติมสารเสริมสภาพพลาสติก (plasticizer)

พอลิแล็กติกแอซิดมีความเปราะสูงที่อุณหภูมิห้อง สาเหตุหนึ่งเนื่องมาจากการที่พอลิแล็กติกแอซิดมีอุณหภูมิเปลี่ยนสภาพแก้ว (glass transition temperature) ประมาณ 60 องศาเซลเซียส ซึ่งสูงกว่าอุณหภูมิห้องเมื่อเปรียบเทียบกับพอลิเอทิลีน ซึ่งเป็นพลาสติกโพลีเมอร์ที่มีความเหนียวและมีอุณหภูมิเปลี่ยนสภาพแก้ว -120 องศาเซลเซียส อุณหภูมิการเกิดผลึกอยู่ในช่วง 70-90 องศาเซลเซียสโดยประมาณ การเติมสารเสริมสภาพพลาสติกจะช่วยลดอุณหภูมิเปลี่ยนสภาพแก้ว ทำให้สารผสมที่ได้มีสมบัติความเหนียวดีขึ้น สารเสริมสภาพพลาสติกที่ใช้กัน มีตัวอย่างดังต่อไปนี้ อาทิเช่น พอลิเอทิลีนไกลคอล (polyethylene glycol, PEG)<sup>12-15</sup> พอลิโพรพิลีนไกลคอล (polypropylene glycol, PPG)<sup>16</sup> และซีเทรท เอสเทอร์<sup>15,17</sup> เป็นต้น

#### การเติมสารเร่งการตกผลึก (nucleating agent)

การที่พอลิแล็กติกแอซิดมีอัตราเร็วในการเกิดผลึกต่ำ<sup>18</sup> (0.1-6.0  $\mu\text{m}/\text{min}$  เมื่อ isothermal crystallization ที่ 110-170 องศาเซลเซียส)<sup>19,20</sup> ทำให้ไม่เหมาะในการนำไปใช้งานผลิตผลิตภัณฑ์ที่ต้องการสมบัติความเหนียว การเติมสารเร่งการตกผลึก จะทำให้เกิดการตกผลึกเร็วขึ้นและมีปริมาณผลึกเพิ่มมากขึ้น ส่งผลโดยตรงต่อสมบัติความแข็งแรงความเหนียว สารเร่งการตกผลึกที่มีการรายงานมีทั้งสารประกอบอินทรีย์<sup>21</sup> เช่น ทัลคัม (talc) แคลเซียมคาร์บอเนต และสารประกอบอินทรีย์ เช่น สารประกอบไฮดราไซด์<sup>22</sup> สารประกอบเอไมด์<sup>23</sup> เป็นต้น

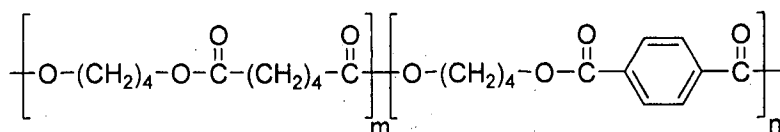
#### การเติมตัวเติม (filler) และ สารเสริมสภาพเข้ากันได้ (compatibilizer)

โดยทั่วไป แป้งถูกเลือกใช้เป็นตัวเติมในพลาสติกชีวภาพ<sup>24-31</sup> เนื่องจากแป้งมีราคาถูกและสามารถแตกสลายทางชีวภาพได้ แต่การผสมแป้งกับพอลิเมอร์มีปัญหาที่สำคัญ คือ ความไม่เข้าเป็นเนื้อเดียวกันระหว่างแป้งและพอลิเมอร์ ส่งผลให้สมบัติความแข็งแรงลดลง การเติมสารเสริมสภาพเข้ากันได้จำนวนเล็กน้อยมีส่วนช่วยให้แป้งและพอลิแล็กติกแอซิดเข้ากันได้และส่งผลให้สมบัติด้านต่างๆ ดีขึ้น

ในกระบวนการเป่าขึ้นรูปถุงพอลิแล็กติกแอซิด เนื่องจากพอลิแล็กติกแอซิดมีความแข็งแรงของพอลิเมอร์ขณะหลอม (melt strength) ต่ำ เมื่อเทียบกับพอลิโอลิฟิน การเติมสารเพิ่มความหนืด (viscosity enhancer) เพื่อเพิ่มความแข็งแรงของพอลิเมอร์ขณะหลอม เช่น การเติมพอลิเมอร์ร่วมระหว่างสไตรีน เมทิลเมทาไครเลต และกลีซีดีว เมทาไครเลต<sup>32</sup> และสารประกอบเพอร์ออกไซด์<sup>33</sup> เป็นต้น นอกจากนี้ฟิล์มพอลิแล็กติก

แอซิดมีความเหนียวและความยืดต่ำกว่าพอลิโอลิฟิน อาจทำให้ฟิล์มที่ถูกเป่าออกมาขยับและเกิดรอยยับตักงในฟิล์ม การเติมสารเสริมสภาพพลาสติก เช่น กลีเซอรอล ไตรอะซิเตท ร่วมกับสารต้านการยึดติด เช่น ทัลคัม ไททาเนียมออกไซด์ และแคลเซียมคาร์บอเนต<sup>34</sup> รวมทั้งสารเพิ่มความลื่น (slip additive) เพื่อลดความเสียดทานระหว่างฟิล์มที่ซ้อนทับกัน<sup>32</sup> ช่วยให้ฟิล์มที่ถูกเป่าออกมา มีพื้นผิวเรียบและแยกออกจากกันได้

พลาสติกแตกสลายทางชีวภาพได้ที่ได้รับความสนใจมากอีกชนิดหนึ่ง คือ พอลิบิวทิลีนอะดิเพเทเรพธาลेट (poly(butylene adipate terephthalate), PBAT) PBAT เป็นโคพอลิเอสเตอร์สังเคราะห์แบบสายโซ่ตรงที่มีวงแหวนอะโรมาติกในโครงสร้าง (รูปที่ 2.3) เตรียมได้จากปฏิกิริยาการควบแน่นของมอนอเมอร์ 3 ชนิด คือ 1,4-บิวเทนไดออล กรดอะดิพิค และกรดเทเรพธาลิกหรือไดเมทิลเทเรพธาลेट<sup>35</sup> PBAT เป็นพลาสติกที่มีความเหนียว สามารถโค้งงอได้ เหมาะสำหรับการขึ้นรูปฟิล์มและการเคลือบผิว PBAT มักถูกเลือกใช้ผสมเพื่อเพิ่มความเหนียวให้ PLA<sup>36</sup> ปัจจุบัน PBAT มีการผลิตในระดับอุตสาหกรรมขนาดใหญ่โดยบริษัท BASF Corporation ประเทศสหรัฐอเมริกา ภายใต้ชื่อการค้า คือ Ecoflex<sup>®</sup> ซึ่งมีสมบัติดังระบุในตารางที่ 2.2



รูปที่ 2.3 โครงสร้างทางเคมีของ PBAT

ตารางที่ 2.2 สมบัติของ PBAT ที่ผลิตเพื่อการค้า ภายใต้ชื่อการค้า Ecoflex<sup>37</sup>

หัวข้อ	วิธีทดสอบ	สมบัติ
ความหนาแน่น (กรัม/มล.)	ISO 1183	1.25-1.27
Melt Flow Rate (190°C, 2.16 kg) (กรัม/10 มล.)	ISO 1133	2.7-4.9
ISO Hardness, Shore D	ISO 868	32
Tm (°C)	DSC	110-120
สมบัติของฟิล์มที่เป่าแล้ว 50 µm		
Tensile Strength (N/mm <sup>2</sup> )	ISO 527	34
Ultimate Strength (N/mm <sup>2</sup> )	ISO 527	34
Ultimate elongation (MD) (%)	ISO 527	560
Ultimate elongation (TD) (%)	ISO 527	700

การทำคอมพาวนด์ของ PLA กับ PBAT เพื่อปรับปรุงความยืดหยุ่นและรักษาสมบัติการแตกสลายได้ทางชีวภาพเอาไว้ ได้ถูกศึกษาอย่างแพร่หลาย เช่น Jiang et al.(2006) และ Signori et al.(2009) พบว่าพอลิบิวทิลีนอะดิเพเทเรพธาลेटช่วยเพิ่มความยืดหยุ่นให้กับคอมพาวนด์ได้เพิ่มขึ้นเป็น 50% (elongation at break ของคอมพาวนด์) จาก 3% (elongation at break ของ PLA) อย่างไรก็ตาม เมื่อปริมาณของ PBAT เพิ่มขึ้นมากกว่า 25% เกิดการแยกชั้นระหว่าง PLA กับ PBAT ขึ้น<sup>36, 38-39</sup>

พลาสติกแตกสลายทางชีวภาพได้อีกชนิดหนึ่งที่น่าสนใจ คือ พอลิบิวทีลีนซัคซิเนต (poly(butylene succinate), PBS) ซึ่งมีชื่อทางการค้าว่า Bionolle<sup>®</sup> โดยบริษัท Showa Highpolymer ประเทศญี่ปุ่น PBS เป็น โคพอลิเอสเทอร์สังเคราะห์ระหว่าง 1,4-บิวเทนไดออลกับกรดซัคซิินิก PBS มีสมบัติเชิงกลที่ดี จุดหลอมเหลวอยู่ในช่วง 90-120 องศาเซลเซียสและอุณหภูมิเปลี่ยนสภาพคล้ายแก้วอยู่ในช่วง -45 ถึง -10 องศาเซลเซียส ทนต่อสารเคมีและความร้อนได้ดี<sup>40-41</sup> เหมาะกับการฉีดขึ้นรูป<sup>42</sup> อาทิเช่น Injection Extrusion และ Blow Molding เป็นต้น

การทำคอมพาวนด์ของ PLA กับ PBS เพื่อเพิ่มความแข็งแรง ทนต่อการกระแทกให้กับ PLA ได้ถูก รายงานไว้ในงานวิจัยจำนวนหนึ่ง<sup>42-44</sup> อย่างไรก็ตาม คอมพาวนด์ของ PLA กับ PBS มักประสบกับปัญหาการ แยกชั้นกัน จึงจำเป็นต้องอาศัยสารเสริมสภาพเข้ากันได้ เช่น สารประกอบจำพวกไอโซไซยานาต<sup>45</sup> เป็นต้น

นอกจากนี้ ยังได้มีการพัฒนาเรซินซึ่งเป็นอนุพันธ์ของ PLA ภายใต้ชื่อทางการค้าต่างๆ เช่น Ecovio<sup>®</sup> โดยบริษัท BASF Corporation ประเทศสหรัฐอเมริกา และ Bio-flex<sup>®</sup> โดยบริษัท FKUR Kunststoff GmbH ประเทศเยอรมัน

Ecovio<sup>®</sup> เกิดจากการทำคอมพาวนด์ระหว่าง PLA และ PBAT ในอัตราส่วนต่างๆ เป็นพลาสติกที่มีความเหนียว ป้องกันการซึมผ่านของน้ำได้ดี สามารถพิมพ์ลายได้ มีความแข็งแรงของพอลิเมอร์ขณะหลอมสูง (high melt strength) สามารถนำไปขึ้นรูป เพื่อใช้ในงานบรรจุภัณฑ์ เกษตรกรรม รวมไปถึงอุตสาหกรรม กระจกตาได้อีกด้วย สมบัติของ Ecovio แสดงไว้ดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 สมบัติของ Ecovio<sup>46</sup>

หัวข้อ	วิธีทดสอบ	สมบัติ
ความหนาแน่น (กรัม/มล.)	ISO 1183	1.24-1.26
Melt Flow Rate (190°C, 2.16 kg) (กรัม/10 มล.)	ISO 1133	<2.0
ISO Hardness, Shore D	ISO 868	59
Tm (°C)	DSC	110-120/140-155
สมบัติของฟิล์มหนา 50 µm		
Tensile Strength (N/mm <sup>2</sup> )	ISO 527	39
Tear Strength (N/mm <sup>2</sup> )	ISO 527	39
Elongation at break (%)	ISO 527	340
Oxygen Permeability (ml/(m <sup>2</sup> d bar))	ASTM D 3985	700
Water Vapor Permeability (g/(m <sup>2</sup> d))	ASTM F 1249	90

Bio-flex<sup>®</sup> เกิดจากการผสมระหว่าง PLA และโคพอลิเมอร์ของพอลิเอสเทอร์ ซึ่งไม่มีส่วนผสมของ แป้งและอนุพันธ์ของแป้ง เป็นพลาสติกแตกสลายทางชีวภาพได้ที่มีสมบัติเชิงกลที่ใกล้เคียงกับพอลิโพลีเอทิลีน (LDPE, HDPE, PP) นอกจากนี้ Bio-flex<sup>®</sup> ยังมีสมบัติป้องกันการซึมผ่านของความชื้นและก๊าซออกซิเจนได้สูง และสามารถนำไปขึ้นรูปได้หลากหลายกระบวนการ<sup>47</sup>