

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 พอลิเมอร์ (พอลิเมอร์, 2554)

พอลิเมอร์ (polymer) ความหมายของพอลิเมอร์นั้นก็มาจากรากศัพท์กรีกสำคัญ 2 คำ คือ poly (จำนวนมาก) และ meros (ส่วน หรือ หน่วย) พอลิเมอร์เป็นสารโมเลกุลขนาดใหญ่ (macromolecule) พอลิเมอร์จะประกอบไปด้วยหน่วยซ้ำกัน (repeating unit) ของมอนอเมอร์ (monomer) หลายๆหน่วยมาทำปฏิกิริยากัน มอนอเมอร์นี้จัดเป็นสารโมเลกุลขนาดเล็ก (micromolecule) ชนิดหนึ่ง พอลิเมอร์ที่ประกอบด้วยหน่วยย่อยหรือมอนอเมอร์ชนิดเดียวกันทั้งหมด จัดเป็นโฮโมพอลิเมอร์ (homopolymer) แต่ถ้ามีมอนอเมอร์ต่างกันตั้งแต่ 1 ชนิดขึ้นไป จัดเป็นโคพอลิเมอร์ (copolymer) สารบางอย่างที่มีสมบัติอย่างพอลิเมอร์ เช่น สารพวกไขมันที่มีแต่ละหน่วยที่ไม่ซ้ำกันนั้นจะเป็นเพียงแค่สารแมโครโมเลกุลเท่านั้น ไม่จัดเป็นพอลิเมอร์

พอลิเมอร์มีทั้งที่เกิดขึ้นเองในธรรมชาติ (natural polymer) และพอลิเมอร์สังเคราะห์ (synthetic polymer) ตัวอย่างของ พอลิเมอร์ธรรมชาติ ได้แก่ แป้ง เซลลูโลส โปรตีน กรดนิวคลีอิก และยางธรรมชาติ ส่วนพอลิเมอร์สังเคราะห์ เช่น พลาสติก เส้นใย โฟม และกาว พอลิเมอร์ทั้งสองชนิดนี้เข้ามามีบทบาทมากในชีวิตประจำวัน เราต้องใช้ประโยชน์จากพอลิเมอร์ และพอลิเมอร์แต่ละชนิดมีสมบัติต่างกัน จึงสามารถนำไปใช้งานที่ต่างกันได้

พอลิเมอร์ที่เป็นที่นิยมใช้มากที่สุดคือพลาสติก ซึ่งเป็นคำที่ใช้อ้างถึงกลุ่มของวัสดุธรรมชาติและสังเคราะห์กลุ่มใหญ่ที่มีคุณสมบัติและการใช้งานต่างกัน พอลิเมอร์ธรรมชาติเช่น ชอล์กและอำพันที่ใช้มาเป็นเวลากว่าศตวรรษ พอลิเมอร์ชีวภาพ เช่น โปรตีนและกรดนิวคลีอิกที่มีบทบาทสำคัญในกระบวนการทางชีวภาพ พอลิเมอร์ธรรมชาติอื่นๆ เช่นเซลลูโลสที่เป็นองค์ประกอบหลักของกระดาษและไม้ พอลิเมอร์สังเคราะห์ที่เป็นที่รู้จักกันดี ได้แก่ พอลิเอทิลีน นีโอพรีน ไนลอน พียู พอลิสไตรีน พอลิคลอไรด์ และพียูบิ การศึกษาเกี่ยวกับพอลิเมอร์ได้แก่ เคมีพอลิเมอร์ ฟิสิกส์พอลิเมอร์และวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์

พอลิเมอร์สังเคราะห์ในปัจจุบันมีการประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมเกือบทุกชนิด พอลิเมอร์มีการใช้ในการยึดเกาะและการหล่อลื่นอย่างกว้างขวาง เช่นเดียวกับการใช้เป็นโครงสร้างตั้งแต่ของเด็กเล่นจนถึงยานอวกาศ มีการใช้เป็นยาทางชีวภาพในฐานะเป็นตัวขนส่งยาในสิ่งมีชีวิต พอลิเมอร์ เช่น พอลิเมทิลเมทาคริเลต ที่ใช้ในกระบวนการโฟโตเรซิสในอุตสาหกรรมกึ่งตัวนำ และสารไดอิเล็กทริกไปทาสีเคลือบสำหรับใช้ในคอมพิวเตอร์ สมรรถนะสูง ปัจจุบันยังมีการพัฒนาพอลิเมอร์ที่ยืดหยุ่นได้สำหรับอิเล็กทรอนิกส์

2.2 พอลิเมอร์ชีวภาพ หรือ พอลิเมอร์ที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ (Biopolymer or Biodegradation polymer)

พอลิเมอร์ชีวภาพ หรือ พอลิเมอร์ที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ เป็นพอลิเมอร์ที่ได้จากสิ่งมีชีวิต ซึ่งทำให้สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ ซึ่งใช้เวลาในการย่อยสลายเป็นสัปดาห์หรือประมาณ 2 ปี หรืออาจมากกว่านี้ ขึ้นกับน้ำหนักโมเลกุลของพอลิเมอร์และวัตถุประสงค์ในการใช้งาน ซึ่งผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่ได้คือ น้ำและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งคืนกลับสู่ดินทำให้ไม่เป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งสามารถแบ่งได้ 3 ประเภท (ปัทมดา เปลี่ยนประเสริฐ, 2552) ดังนี้

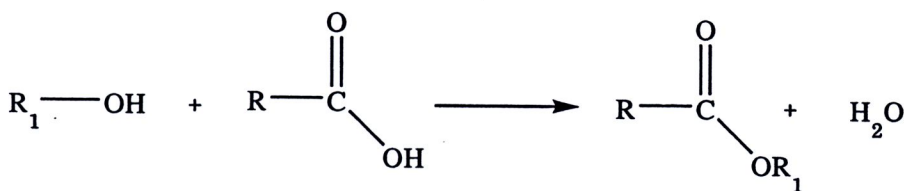
2.2.1 พอลิเมอร์ที่ได้จากการสกัดจากสิ่งมีชีวิตอาจเป็นพืชหรือสัตว์ หรือจุลินทรีย์ รวมถึงอนุพันธ์ของพอลิเมอร์นี้เช่น ยาง แป้ง เซลลูโลส ไคติน ไคโตซาน และวุ้น

2.2.2 พอลิเมอร์ที่สังเคราะห์มาจากมอนอเมอร์ชีวภาพเช่น พอลิแลกติกแอซิด พอลิยูรีเทน

2.2.3 พอลิเมอร์ที่สร้างจากจุลินทรีย์หรือแบคทีเรียที่ผ่านการดัดแปลงพันธุกรรมเช่น พอลิไฮดรอกซีอัลคาโนเอท

2.3 ปฏิกริยาพอลิเมอไรเซชันแบบควบแน่น (ชัยวัฒน์ เจนวาณิชย์, 2527)

โดยทั่วไปปฏิกริยาพอลิเมอไรเซชันจะใช้มอนอเมอร์สองชนิด ซึ่งต่างก็มีหมู่ที่แสดงสมบัติเฉพาะตัวสองหมู่ในโมเลกุล กลไกของปฏิกริยานี้ไม่แตกต่างกับปฏิกริยาควบแน่นที่เกิดในโมเลกุลเล็ก ๆ เช่น ปฏิกริยาเอสเตอร์ฟิเคชัน (esterification) ปฏิกริยาการเกิดพอลิเมอร์แบบควบแน่นจะเกิดกับมอนอเมอร์ที่มีหมู่ฟังก์ชันสองหมู่ใน 1 โมเลกุล และจะมีการควบแน่นได้สารโมเลกุลเล็ก ๆ ออกมาเช่น น้ำ ดังภาพที่ 2.1



ภาพที่ 2.1 ปฏิกริยาพอลิเมอไรเซชันแบบควบแน่น

2.4 เทคนิคพอลิเมอไรเซชันแบบบัลค์ (Bulk polymerization) (ชัยวัฒน์ เจนวาณิชย์, 2527)

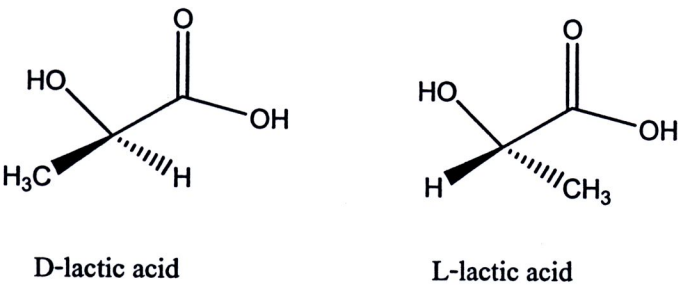
พอลิเมอไรเซชันแบบบัลค์ เป็นเทคนิคการเตรียมสภาวะในการสังเคราะห์พอลิเมอร์ชนิดหนึ่ง โดยจะเกิดปฏิกริยาสังเคราะห์พอลิเมอร์โดยในระบบมีเพียง มอนอเมอร์ ตัวเร่งปฏิกริยาและตัวริเริ่มปฏิกริยา โดยปราศจากตัวทำละลายหรือสารอื่น เทคนิคพอลิเมอไรเซชันแบบบัลค์เป็นเทคนิคที่นิยมใช้กับปฏิกริยาพอลิเมอไรเซชันแบบควบแน่นเพราะไม่มีปัญหาการกระจายความร้อน ความหนืด และการกำจัดผลพลอยได้ที่ เป็นโมเลกุลเล็ก เช่น น้ำ ออกไปก็เป็นไปอย่างสะดวก

2.5 กรดแลกติก (Lactic acid)

กรดแลกติก (IUPAC systematic name: 2-hydroxypropanoic acid) รู้จักกันในนามของกรดนม (milk acid) เป็นสารประกอบทางเคมีซึ่งมีบทบาทในกระบวนการทางชีวเคมีที่หลากหลาย กรดแลกติกมีสูตรทั่วไป คือ $\text{C}_3\text{H}_5\text{O}_3$ มีหมู่ไฮดรอกซิลติดกับหมู่คาร์บอกซิลทำให้เป็น alpha hydroxy acid (AHA) เมื่อมันอยู่ในรูปของสารละลายจะสามารถสูญเสียโปรตอนให้สารละลายกรดเกิดเป็นแลกเตตไอออน $\text{CH}_3\text{CH}(\text{OH})\text{COO}^-$

กรดแลกติกเป็นไครัลโมเลกุลที่เล็กที่สุดและมี 2 ไอโซเมอร์ คือ กรดแลกติกรูปแบบแอล (l-lactic acid) และกรดแลกติกรูปแบบดี (d-lactic acid) โดยมีความแตกต่างกันที่การหมุนระนาบแสง (polarized light) สำหรับกรดแลกติกรูปแบบแอล ระนาบจะหมุนทวนเข็มนาฬิกา (laevo) แต่กรดแลกติกรูปแบบดี ระนาบจะหมุนตามเข็มนาฬิกา (dextro) ดังแสดงในภาพที่ 2.2 คุณสมบัติของกรดแลกติกทั้งกรดแลกติกรูปแบบแอล (l-lactic acid) และกรดแลกติกรูปแบบดี (d-lactic acid) แสดงไว้ในตารางที่ 2.1

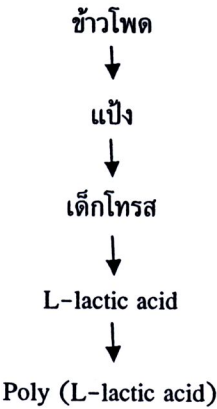
กรดแลกติกรูปแบบแอลเป็นผลผลิตในกระบวนการหมักในร่างกาย รวมไปถึงการหมักของแบคทีเรียบางชนิดซึ่งแบคทีเรียกลุ่มนี้เราเรียกว่า แบคทีเรียกรดแลกติก (lactic acid bacteria, LAB) กรดแลกติกถูกใช้เป็นวัตถุเติมในอาหารหลายประเภทเพื่อปรับความเป็นกรด แม้ว่ามันสามารถหมักจากแลคโตส (lactose: milk sugar) ซึ่งเป็นกรดแลกติกที่ได้จากแบคทีเรียเช่น *Bacillus acidilacti*, *Lactobacillus delbueckii* หรือ *L.bulgaricuswhey* มาหมักกับอาหารพวกคาร์โบไฮเดรตเช่น ข้าวโพด มันฝรั่ง และ กากน้ำตาลอ้อย โดยกระบวนการหมักกรดแลกติกจากแบคทีเรียแสดงในภาพที่ 2.3



ภาพที่ 2.2 สเตอริโอไอโซเมอร์ของกรดแลกติก (Bhuvanesh Gupta et al., 2007)

ตารางที่ 2.1 แสดงคุณสมบัติต่างๆ ของกรดแลกติก (Fang Q. และ Hanna Milfer A., 1999)

ชนิด ของคุณสมบัติ	ค่าของคุณสมบัติ		
	l-lactic acid	d-lactic acid	dl-lactic acid
ชื่อทางเคมี	2-hydroxypropanoic acid	2-hydroxypropanoic acid	2-hydroxypropanoic acid
สูตรเคมี	C ₃ H ₆ O ₃	C ₃ H ₆ O ₃	C ₃ H ₆ O ₃
มวลโมเลกุล	90.08 g/mol	90.08 g/mol	: 90.08 g/mol
จุดหลอมเหลว	53.0 °C	53.0 °C	16.8 °C
จุดเดือดที่ 12 mmHg	122 °C	122 °C	122 °C
สูตรโมเลกุล	CC(O)C(=O)O	CC(O)C(=O)O	CC(O)C(=O)O



ภาพที่ 2.3 วิธีทางของกรดแลกติกที่ใช้ข้าวโพดเป็นสารตั้งต้นในการหมัก (Lunt James, 1998)

ในทางอุตสาหกรรมมีการผลิตกรดแลกติกได้ 2 วิธีด้วยกัน วิธีหนึ่งคือ การผลิตกรดแลกติกจากน้ำมันปิโตรเลียมดังแสดงไว้ในภาพที่ 2.4 โดยผลิตภัณฑ์ที่ได้มีการผสมระหว่างกรดแลกติกรูปแบบแอลและรูปแบบดีในอัตราส่วนอย่างละร้อยละ 50 ซึ่งปัจจุบันบริษัท Musashino ในประเทศญี่ปุ่นเป็นบริษัทที่ผลิตและจำหน่ายกรดแลกติกที่มีส่วนผสมทั้งรูปแบบแอลและรูปแบบดี (racemic lactic acid) ส่วนอีกวิธีหนึ่งกรดแลกติกจะผลิตจากกระบวนการหมักผลผลิตทางการเกษตร (เช่น ผักและผลไม้) ด้วยแบคทีเรียกรดแลกติก ซึ่งจะได้กรดแลกติก รูปแบบแอลดังแสดงไว้ในภาพที่ 2.3 หากใช้กรดแลกติกรูปแบบแอล (l-form) ที่มีความบริสุทธิ์สูงในการผลิตพลาสติกชีวภาพ (bioplastic) จะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความเป็นผลึกสูงกว่าการผลิตพลาสติกที่ใช้กรดแลกติกชนิดผสมที่มีทั้งรูปแบบแอลและรูปแบบดี (l-d form หรือ racemic mixture) เป็นส่วนผสมในกระบวนการผลิต ซึ่งพลาสติกที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงขึ้นจะมีความคงทนต่อการสลายตัวเพิ่มขึ้น

2.6 พอลิแลกติกแอซิดหรือพอลิแลกไทด์ (Polylactic acid or Polylactide)

พอลิแลกติกแอซิดหรือพอลิแลกไทด์เป็นผลิตภัณฑ์จากกระบวนการพอลิเมอไรเซชันของกรดแลกติกและเป็นสารชนิดเดียวกันแต่เรียกชื่อต่างกันเพราะเกิดจากกระบวนการผลิตที่แตกต่างกัน โดยพอลิแลกไทด์ได้จากกระบวนการพอลิเมอไรเซชันแบบเปิดวงของแลกไทด์ แต่พอลิแลกติกแอซิดนั้นได้จากกระบวนการพอลิเมอไรเซชันจากกรดแลกติกโดยตรง ซึ่งพอลิแลกติกแอซิดหรือพอลิแลกไทด์นั้นมีการพัฒนาวิธีการผลิตอย่างต่อเนื่อง โดยในปี ค.ศ.1932 แครธเธอร์ (Carothers) ผลิตพอลิเอสเตอร์เส้นตรง (aliphatic polyester) จากกรดแลกติกได้สำเร็จ แต่ผลิตภัณฑ์ที่ได้เป็นสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ และมีคุณสมบัติเชิงกลที่ไม่ค่อยดีนัก ต่อมาบริษัท ดูพองท์ (Dupont) สามารถผลิตสารพอลิเอสเตอร์ดังกล่าวให้มีน้ำหนักโมเลกุลสูงขึ้นและได้จดสิทธิบัตรในปี ค.ศ. 1954 หลังจากนั้นในปี ค.ศ. 1972 เอธิคอน (Ethicon) ได้นำพอลิแลกติกแอซิดที่มีความคงทนสูงไปใช้ในด้านทางการแพทย์โดยใช้ในการเย็บแผลที่สามารถดูดซึมได้ ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่เป็นโคพอลิเมอร์ของกรดแลกติกและกรดไกลโคลิก ซึ่งสามารถเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสอย่างช้า ๆ ได้ในร่างกาย ต่อมาได้มีการประยุกต์ใช้โคพอลิเมอร์ชนิดนี้ในด้านทางการแพทย์อย่างแพร่หลายรวมถึงวัสดุที่ต้องสอดแทรกไปในร่างกายและการควบคุมการปลดปล่อยยา เนื่องจากมีคุณสมบัติที่สามารถย่อยสลายได้ในร่างกายมนุษย์โดยไม่เป็นอันตรายกับมนุษย์

กระบวนการผลิตพอลิแลกติกแอซิดต้องใช้ต้นทุนที่มีราคาสูงทำให้เกิดข้อจำกัดในการผลิตจนกระทั่งปลายปี ค.ศ.1980 ได้มีการใช้กรดแลกติกที่ได้จากการหมักกลูโคสรูปแบบดี (d-glucose) จากข้าวโพดด้วยแบคทีเรีย จึงทำให้ต้นทุนในการผลิตพอลิแลกติกแอซิดลดลง ซึ่งมีผลทำให้นักวิจัยมีความสนใจในการผลิตพลาสติกชีวภาพจากพอลิเมอร์ชนิดนี้ โดยในระยะหลังมานี้เทคโนโลยีการผลิตกรดแลกติกมีการพัฒนาขึ้นมาก ทำให้ต้นทุนการผลิตต่ำจนเกิดความคุ้มค่าทางการค้า ในปัจจุบันทั่วโลกอย่างน้อย 6 บริษัทได้ประกาศว่าจะมีการพัฒนาการผลิตกรดแลกติก (lactic acid) และบริษัทคาร์กิล (Cargill, Inc.) ในประเทศสหรัฐอเมริกาได้ยืนยันว่าสามารถผลิตอุปกรณ์เพื่อใช้ผลิตกรดแลกติกเพื่อเป็นวัตถุดิบสำหรับการผลิตพอลิแลกติกแอซิดเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมผลิตพลาสติกกำลังจะได้รับความสนใจเพิ่มขึ้น ในปี ค.ศ. 1998 บริษัทคาร์กิลและพูแรคไบโอเค็ม (Cargill and Purac Biochem B.V.) ได้มีการร่วมมือกันและมีการประกาศว่าจะเร่งการผลิตกรดแลกติกให้ได้ 34,000 ตันต่อปี เพื่อตอบสนองการเจริญเติบโตในการผลิตพลาสติกชีวภาพจากพอลิแลกติกแอซิด

เนื่องจากกรดแลกติกเป็นไครัลโมเลกุลจึงทำให้พอลิแลกติกแอซิดที่ได้มีรูปแบบที่แตกต่างกัน คือ พอลิแอลแลกติกแอซิด (poly-l-lactic acid : PLLA) เป็นผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันของกรดแลกติกรูปแบบแอล (l-lactic acid) ส่วนปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันของของผสมของกรดแลกติกรูปแบบ

แอลและรูปแบบดี (l-lactic acid and d-lactic acid) ทำให้เกิดเป็นพอลิดีแอลแลกติกแอซิด (poly-dl-lactic acid: PDLLA) ซึ่งมีความเป็นผลึกน้อยกว่าพอลิแอลแลกติกแอซิด พอลิแลกติกแอซิดมีกระบวนการกายภาพเหมือนกับเทอร์โมพลาสติกทั่วๆ ไป ส่วนผสมของพอลิดีแลกติกแอซิด (PDLA) และพอลิแอลแลกติกแอซิด (PLLA) จะทำให้ความเป็นผลึกของพอลิเมอร์สูงขึ้นและยังทำให้ได้พอลิเมอร์ที่มีความใส โดยมักจะใช้สัดส่วนของพอลิเมอร์อย่างละครึ่งละ 50 แต่ความเป็นผลึกที่เพิ่มขึ้นจะทำให้อัตราการย่อยสลายช้าลง ลักษณะทางกายภาพของของผสมระหว่างพอลิดีแลกติกแอซิด (PDLA) และพอลิแอลแลกติกแอซิด (PLLA) สามารถประยุกต์ใช้งานได้อย่างกว้างขวางซึ่งรวมไปถึงการประยุกต์นำไปใช้ด้านการชักท่อเส้นเอ็น (ที่ไม่สามารถรีดได้) ภาชนะใช้งานกับไมโครเวฟไม่ได้ พลาสติกที่ใช้กับงานทางด้านวิศวกรรม เช่น อะครีโลไนไตรด์บิวเท-ไดอีนสไตรีน (ABS) และการประยุกต์ใช้ด้านการแพทย์เช่น การเย็บแผลตัวกลางไดอะไลซิส (dialysis) และอุปกรณ์การปลดปล่อยยา (drug delivery devices) เป็นต้น

เนื่องจากพอลิแลกติกแอซิด ที่ผลิตขายในเชิงพาณิชย์มีคุณสมบัติหลากหลายจึงสามารถประยุกต์ใช้ในงานต่างๆ ได้กว้างขวางและตามความต้องการ ในที่นี้จะขอลำถึงเฉพาะที่นำไปประยุกต์ใช้เป็นพลาสติกเขียว เนื่องจากเป็นที่สนใจในฐานะที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม พอลิแลกติกแอซิดที่ใช้ผลิตพลาสติกเขียว (green polymer) เป็นสารประกอบอินทรีย์ที่ดีและมีข้อดีสรุปได้ดังนี้ (สารโจน์ ศิริคันสนียกุล, 2548)

1) ถือว่าเป็นพลาสติกสังเคราะห์ที่สลายได้ทางชีวภาพที่ผลิตได้ด้วยกรรมวิธีการหมักจากวัตถุดิบที่เป็นวัสดุหมุนเวียนและวัสดุเหลือใช้ทางเกษตรกรรม อาทิ แป้งมันสำปะหลัง แป้งข้าวโพด ชังข้าวโพด และฟางข้าว เป็นต้น

2) เป็นพลาสติกที่สลายได้ด้วยกระบวนการทางชีวภาพ โดยมีแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำเป็นผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่ได้จากปฏิกิริยาการย่อยสลายด้วยจุลินทรีย์

3) พอลิแลกติกแอซิดสามารถย่อยสลายได้โดยง่ายในสภาวะของการหมักปุ๋ยทั่วไป

4) การใช้ความร้อนในการเผาพลาสติกเขียวมีลักษณะเช่นเดียวกับการเผากระดาษ และการเผาพลาสติกเขียวจากพอลิแลกติกแอซิดจะไม่ก่อให้เกิดแก๊สพิษใด ๆ

5) สามารถหมุนเวียนการใช้ประโยชน์จากพลาสติกเขียวได้ทั้งในรูปของวัสดุภัณฑ์และหรือเคมีภัณฑ์

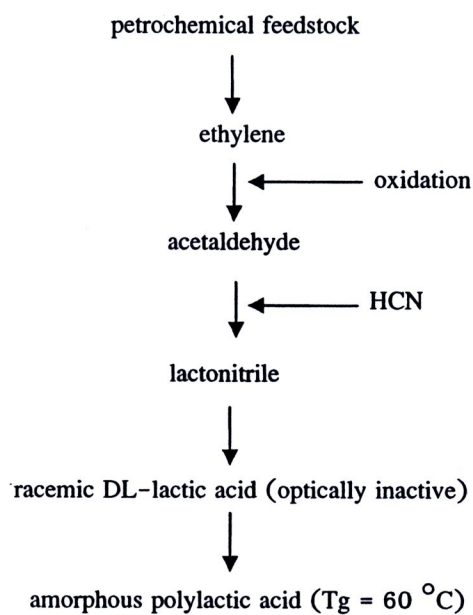
6) พอลิแลกติกแอซิดสามารถสลายได้โดยง่ายในสารละลายต่าง

2.7 การผลิตพอลิแลกติกแอซิดจากกรดแลกติกที่ได้จากกระบวนการหมัก

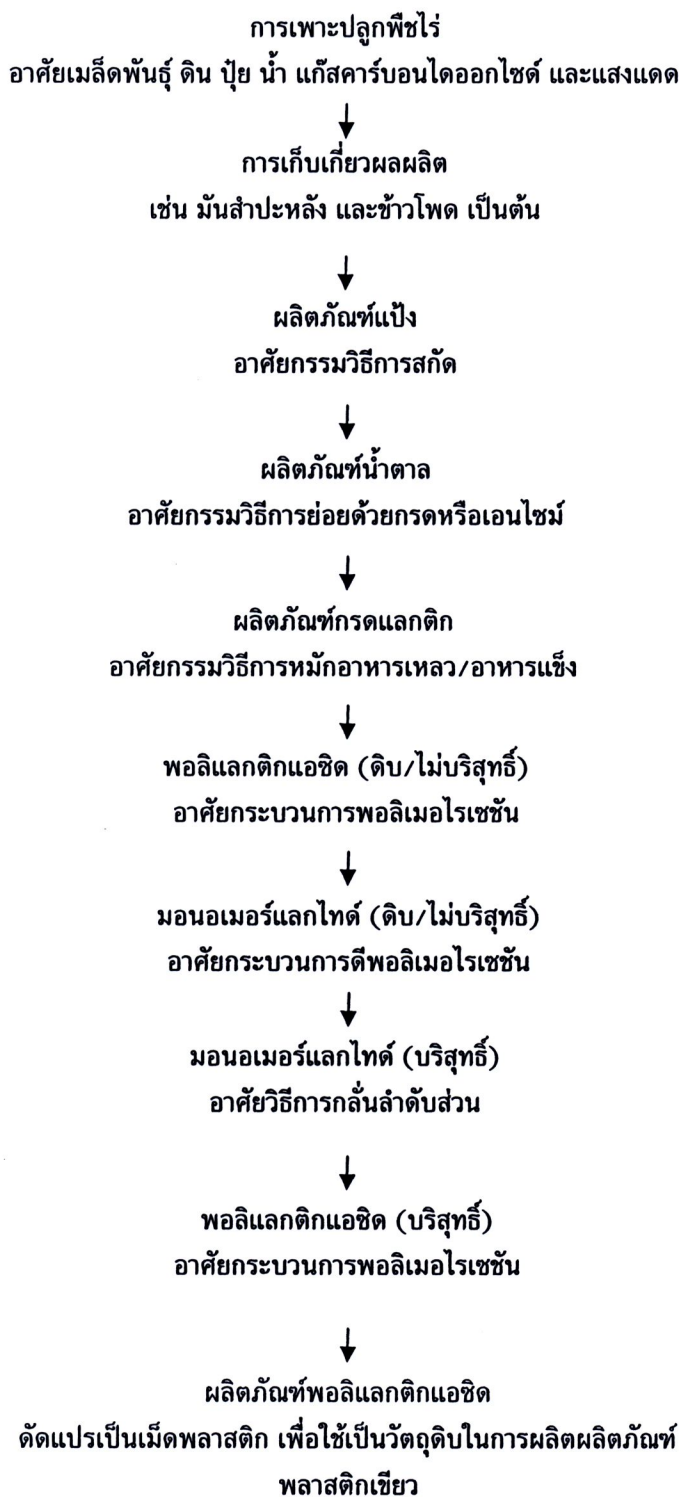
กรรมวิธีการผลิตพอลิแลกติกแอซิดแบ่งย่อยออกได้เป็น 3 ขั้นตอนด้วยกันดังแสดงไว้ในภาพที่ 2.5 คือ (1) การผลิตน้ำตาลกลูโคสจากแป้ง ขั้นตอนนี้อาศัยเอนไซม์เป็นหลัก (2) การผลิตกรดแลกติกจากน้ำตาลกลูโคสโดยอาศัยวิธีการหมัก และสุดท้าย (3) การผลิตพอลิแลกติกแอซิดจากกรดแลกติกโดยวิธีทางเคมีที่เรียกว่า พอลิเมอไรเซชัน ในขั้นตอนนี้อาจใช้กรดแลกติกบริสุทธิ์สูง (l-lactic acid 99.5%) จะทำให้ได้พอลิแลกติกแอซิดที่มีคุณภาพสูง และพอลิแลกติกแอซิดที่ได้มีคุณสมบัติที่ดีกว่าที่ได้จากกรรมวิธีการผลิตของ Carothers ในปี ค.ศ. 1932 พอลิแลกติกแอซิดที่ได้นี้มีคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีดังแสดงในตารางที่ 2.2

คุณสมบัติเด่นของพอลิแลกติกแอซิดที่เหนือพลาสติกชนิดอื่นคือสามารถถูกย่อยสลายได้ในสภาวะที่มีจุลินทรีย์ ตัวอย่างเช่นพลาสติกเขียว (polylactic acid) ECOLOJU ชนิดซีวีส์-เอส (รหัส SFP) สามารถย่อยสลายได้ในเครื่องทำปุ๋ยหมักที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ในระยะเวลาเพียง 5 สัปดาห์ นอกจากนี้ยังสามารถถูกย่อยสลายได้ในทะเลสาบ โดยคงเหลือน้ำหนักโมเลกุล 85 เปอร์เซ็นต์ ในระยะเวลา 24 เดือน (สารโจน์ ศิริคันสนียกุล,

2548) สำหรับกลไกการสลายตัวของพลาสติกพอลิแลกติกแอซิดในสภาวะที่ไม่มีแบคทีเรียจะเกิดขึ้นดังแสดงในภาพที่ 2.6



ภาพที่ 2.4 การสังเคราะห์พอลิแลกติกแอซิดจากปิโตรเคมี (Lunt James, 1998)

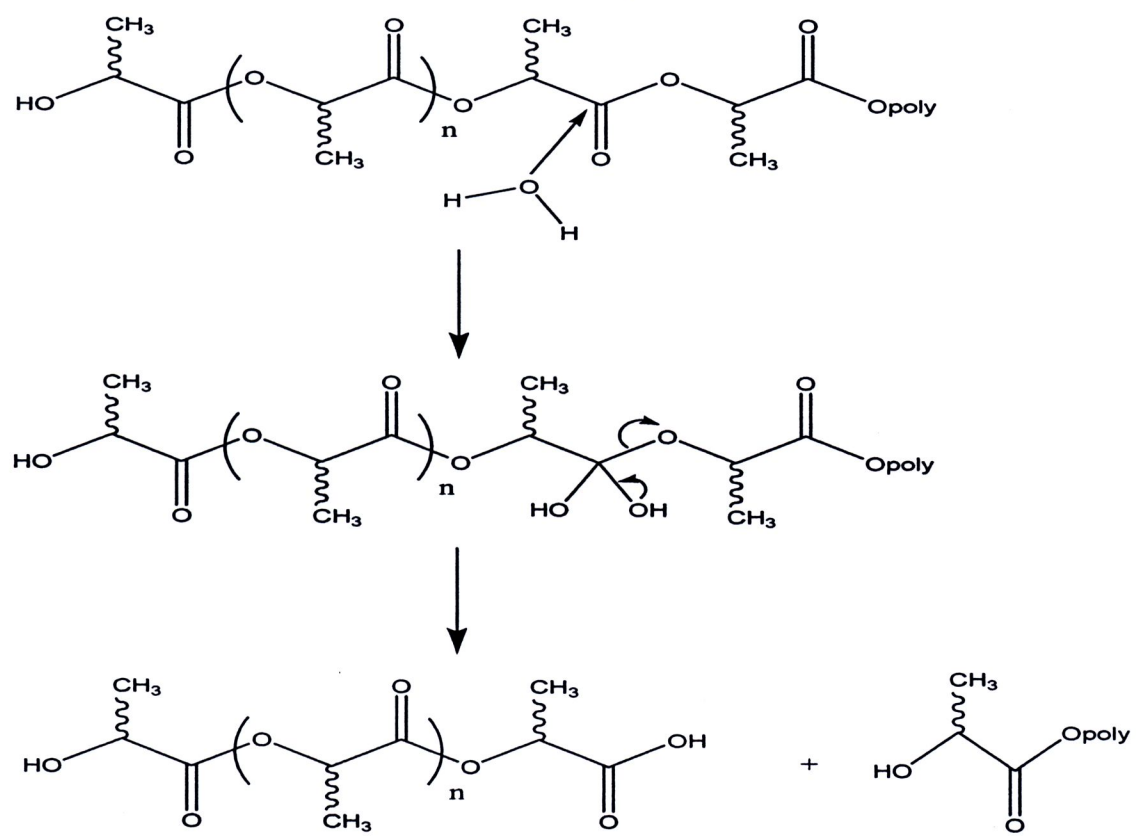


ภาพที่ 2.5 ขั้นตอนของการผลิตพอลิแลกติกแอซิดจากผลิตภัณฑ์พืชไร่ (สาโรจน์ ศิริคันสนียกุล, 2548)

ตารางที่ 2.2 คุณสมบัติของพอลิแลกติกแอซิดที่เป็นพลาสติกชีว

คุณสมบัติ	หน่วย	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด
young's modulus	MPa	350	2800
Tensile strength	MPa	21	55
Elongation	%	1.5	280
Bending strength	MPa	0.89	1.03
Melting temperature	°C	-	150
Glass transition temperature	°C	45	50
Density	kg/m ³	1250	1250
Water absorption	%	1	5
Degradation time	months	18	24
price	EURO	2.70	3.60

(สาโรจน์ สิริคันสนียกุล, 2548)



ภาพที่ 2.6 ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของพอลิแลกติกแอซิดด้วยน้ำโดยปราศจากเบคที่เรีย (T. maharana et al., 2009)

นอกจากความชื้นและแบคทีเรียมีอิทธิพลต่อการย่อยสลายของพอลิแลกติกแอซิดแล้ว ยังพบว่า อุณหภูมิก็มีผลต่ออัตราการย่อยสลายของพอลิแลกติกแอซิดเช่นกันดังแสดงในตารางที่ 2.3

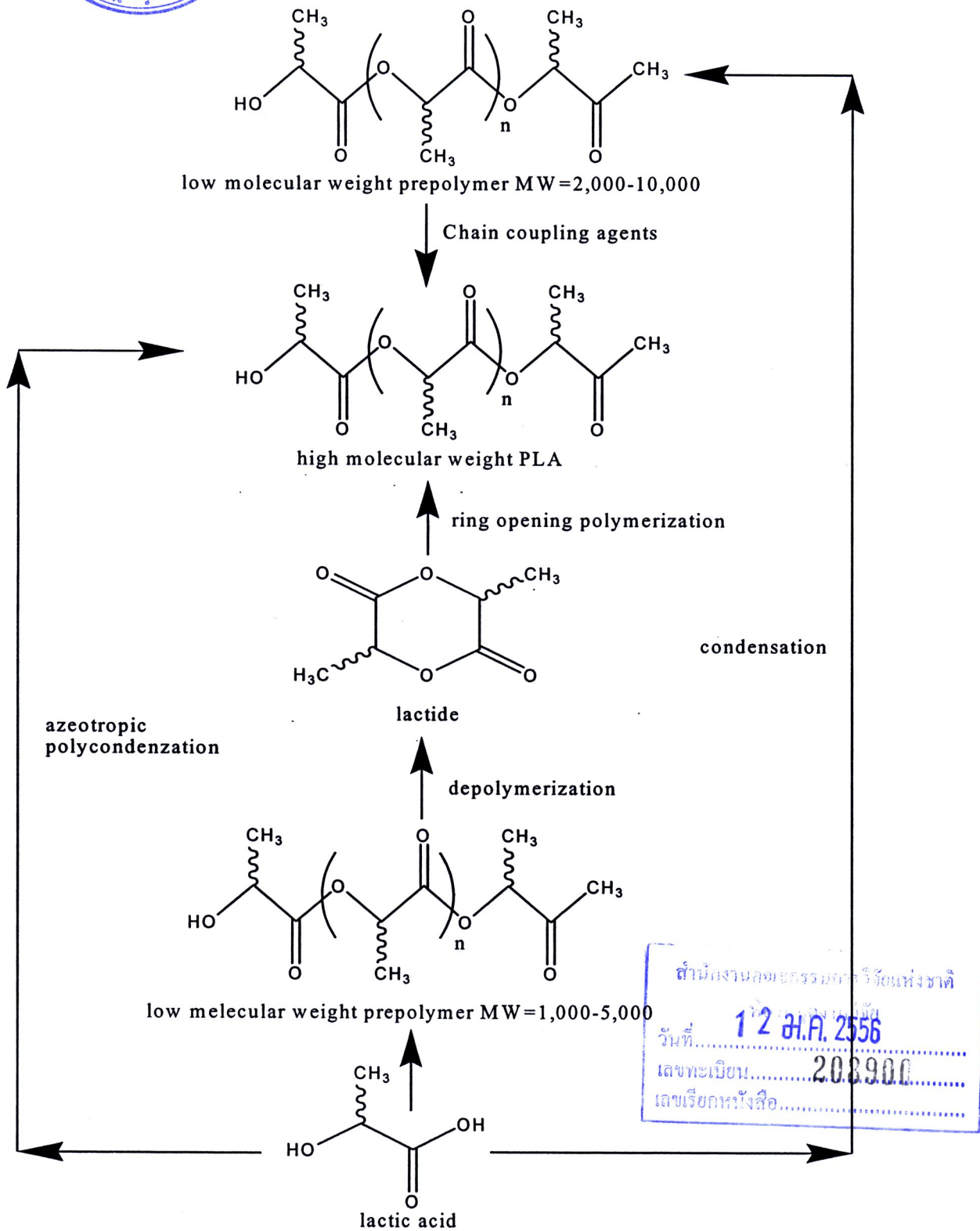
ตารางที่ 2.3 อิทธิพลของอุณหภูมิต่อการสลายตัวของพอลิแลกติกแอซิดในน้ำ

อุณหภูมิ (°C)	ระยะเวลาการสลายตัว
4	64 - 123 เดือน
13	25 - 48 เดือน
25	6 - 11.4 เดือน
30	4.4 - 8.5 เดือน
50	1.5 - 2.9 เดือน
60	8.5 - 16 วัน
70	1.8 - 3.5 วัน

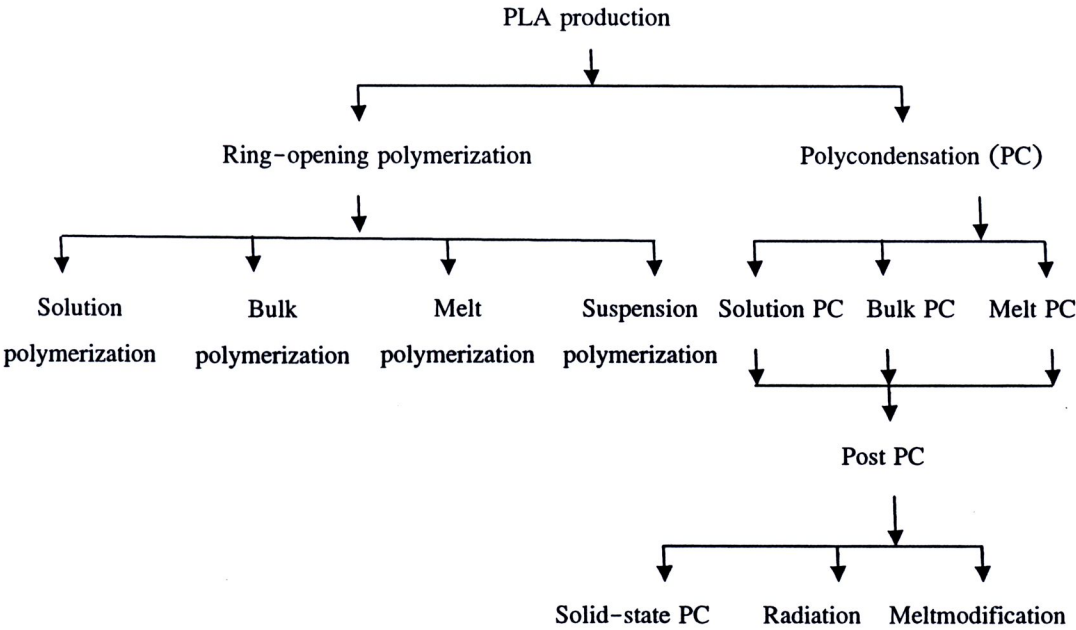
(Lunt James., 1998)

2.8 การผลิตพอลิแลกติกแอซิดน้ำหนักโมเลกุลสูง (Donald Garlotta, 2001; Nijun Narayann et al., 2004; A.P. Gupta and Vimal Kumar, 2007; Yanling Cheng et al., 2009; T. Maharana et al., 2009)

เนื่องจากกรดแลกติกซึ่งเป็นสารตั้งต้นในปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันของพอลิแลกติกแอซิดนั้นเป็น ไครัลโมเลกุลที่มี 2 ไอโซเมอร์ซึ่งมีผลต่อการหมุนระนาบแสงต่างกันคือ l-lactic acid d-latic acid พอลิแลกติกแอซิดที่สังเคราะห์ได้จึงมีไอโซเมอร์ที่แตกต่างกันคือ PLLA และ PDLA และ PDLLA ซึ่งมีคุณสมบัติบางอย่างที่ต่างกัน การสังเคราะห์พอลิแลกติกแอซิดจะต้องใช้ กรดแลกติกที่มีความบริสุทธิ์สูงมาก (high purity) โดยปกติจะใช้กรดแลกติกเข้มข้น 90% ขึ้นไป ซึ่งปัจจุบันมีราคาที่สูงมาก กรดแลกติกที่หาได้ทั่วไปในประเทศไทยมีความเข้มข้น 85% ซึ่งมีราคาถูกกว่ามาก เพราะฉะนั้นในการสังเคราะห์พอลิแลกติกแอซิดจากกรดแลกติกทุกวิธีจะเริ่มต้นด้วยกระบวนการทำให้กรดแลกติกมีความเข้มข้นสูงขึ้น เพื่อให้กรดแลกติกมีความบริสุทธิ์มากขึ้นเพื่อให้ได้พอลิแลกติกแอซิดที่มีมวลโมเลกุลสูง เทคนิคการสังเคราะห์พอลิแลกติกแอซิดมีอยู่ด้วยกัน 2 วิธีหลักดังภาพที่ 2.7 โดยแต่ละวิธีก็มีข้อดีข้อเสียที่ต่างกันออกไปดังแสดงในตารางที่ 2.4 และ ตารางที่ 2.5 และบริษัทผู้ผลิตพอลิแลกติกแอซิดในระดับอุตสาหกรรมก็เลือกการสังเคราะห์พอลิแลกติกแอซิดที่ต่างกันขึ้นกับเทคนิคที่แต่ละบริษัทจะค้นพบเพื่อให้ได้พอลิแลกติกแอซิดที่มีมวลโมเลกุลตามที่ต้องการเหมาะสมกับวัตถุประสงค์ในการใช้งาน ซึ่งยังคงไม่เปิดเผยและยังมีลิขสิทธิ์ ภาพที่ 2.8 แสดงวิธีการและเทคนิคในการสังเคราะห์พอลิแลกติกแอซิด



ภาพที่ 2.7 ความสัมพันธ์ในวิธีการผลิตพอลิแล็กติกแอซิดด้วยวิธีการต่าง ๆ (Lunt James, 1998)



ภาพที่ 2.8 วิธีการและเทคนิคในการสังเคราะห์พอลิแลกติกแอซิดด้วยวิธีต่างๆ (T. Maharana et al., 2009)

ตารางที่ 2.4 การเปรียบเทียบข้อดีข้อเสียของแต่ละวิธีในการผลิตพอลิแลกติกแอซิด

วิธีการ	เทคนิค	ข้อดี	ข้อเสีย
polycondensation	1. solution PC 2. bulk PC 3. melt PC	1. PLA ที่ได้มวลโมเลกุลสูง 2. กระบวนการผลิตง่าย 3. ค่าใช้จ่ายต่ำ	1. ถ้าใช้ตัวทำละลายจะกำจัดได้ยาก 2. คุณสมบัติทางกลไกอาจจะต่ำกว่า 3. เกิดปฏิกิริยาการแข่งขันของการเกิดแลกไทด์พร้อมกับการสลายตัวของพอลิเมอร์ที่อุณหภูมิสูง 4. นำน้ำออกจากปฏิกิริยาได้ยาก 5. ถ้าใช้ตัวทำละลายค่าใช้จ่ายจะเพิ่มขึ้น 6. PLAที่ได้อาจได้มวลโมเลกุลต่ำ 7. เกิด melt viscosity 8. เกิดผลิตภัณฑ์ข้างเคียง

ตารางที่ 2.4 การเปรียบเทียบข้อดีข้อเสียของแต่ละวิธีในการผลิตพอลิแลกติกแอซิด (ต่อ)

วิธีการ	เทคนิค	ข้อดี	ข้อเสีย
post polycondensation	1. melt modification 2. solid state 3. radiation	1. PLA ที่ได้มวลโมเลกุลสูง 2. กระบวนการผลิตง่าย 3. ค่าใช้จ่ายต่ำ 4. ได้PLAที่มีความบริสุทธิ์สูง	1. ถ้าใช้ตัวทำละลายจะกำจัดได้ยาก 2. คุณสมบัติทางกลไกอาจจะต่ำกว่า 3. เกิดปฏิกิริยาการแข่งขันของการเกิดแลกไทด์พร้อมกับการสลายตัวของพอลิเมอร์ที่อุณหภูมิสูง 4 .นำน้ำออกจากปฏิกิริยาได้ยาก 5. ถ้าใช้ตัวทำละลายค่าใช้จ่ายจะเพิ่มขึ้น 6. PLAที่ได้อาจได้มวลโมเลกุลต่ำ 7. เกิด melt viscosity 8. ต้องใช้สารอื่นเข้าช่วยในปฏิกิริยา เช่น ตัวทำละลาย น้ำ molecular sieve 9. อัตราการเกิดปฏิกิริยาต่ำ 10. เกิด by product
ring opening polymerization	1. solution polymerization 2. bulk polymerization 3. suspension polymerization	1. สามารถควบคุมปฏิกิริยาได้ง่าย 2. น้ำหนักโมเลกุลของ PLA (MW=2×10 ⁴ -6.8×10 ⁶)	1. ถ้าใช้ตัวทำละลายจำเป็นต้องมีความบริสุทธิ์สูงมาก ต้องอาศัยการกลั่นแบบ azeotropic 2. ค่าใช้จ่ายในกระบวนการผลิตสูงมาก 3. แลกไทด์ที่ใช้มีราคาสูงเนื่องจากต้องทำให้มีความบริสุทธิ์มาก 4. กระบวนการหลายขั้นตอนซึ่งมีความยุ่งยากและซับซ้อน

(T. Maharana et al., 2009)

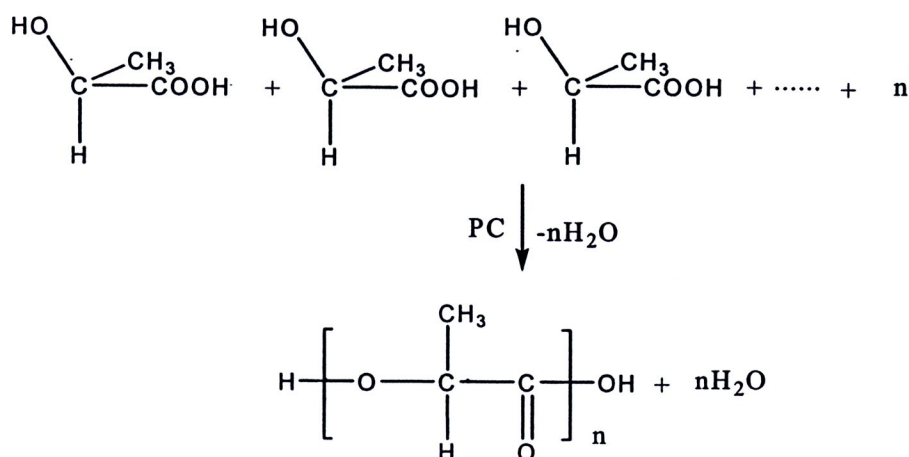
2.8.1 ปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแบบควบแน่นโดยตรง (Direct condensation polymerization)

Carothers เป็นผู้เริ่มต้นผลิตพอลิแลกติกแอซิดด้วยวิธีปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแบบควบแน่นโดยตรง ปัจจุบันบริษัท Mitsui Chemicals ยังคงผลิตพอลิแลกติกแอซิดด้วยวิธีนี้ กระบวนการผลิตพอลิแลกติกแอซิดวิธีอาศัยปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันของกรดแลกติกให้ได้พอลิแลกติกแอซิดเป็นผลิตภัณฑ์โดยจะมีการควบแน่นน้ำออกมาเป็นผลิตภัณฑ์ด้วยดังภาพที่ 2.9 ซึ่งน้ำที่เกิดจากปฏิกิริยานี้จะทำให้เกิดปฏิกิริยาย้อนกลับทำให้พอลิแลกติกแอซิดที่สังเคราะห์ได้มีมวลโมเลกุลต่ำลงดังภาพที่ 2.10 เพราะฉะนั้นเงื่อนไขสำคัญสำหรับวิธีนี้คือการกำจัดน้ำออกไปให้ได้มากที่สุดเพื่อป้องกันปฏิกิริยาย้อนกลับซึ่งทำได้ยากมาก แต่เนื่องจากปฏิกิริยานี้มีข้อดีที่เกิดปฏิกิริยาเพียงขั้นตอนเดียวทำให้เป็นกระบวนการผลิตที่ง่ายและไม่สิ้นเปลือง ทำให้หลายฝ่ายสนใจที่จะพัฒนากระบวนการสังเคราะห์พอลิแลกติกแอซิดด้วยวิธีนี้กันมาก ข้อเสียของวิธีนี้คือจะได้พอลิแลกติกแอซิดที่มีมวลโมเลกุลต่ำ (MW ประมาณ 10,000) พอลิแลกติกที่ได้จะเปราะและเป็นพอลิเมอร์

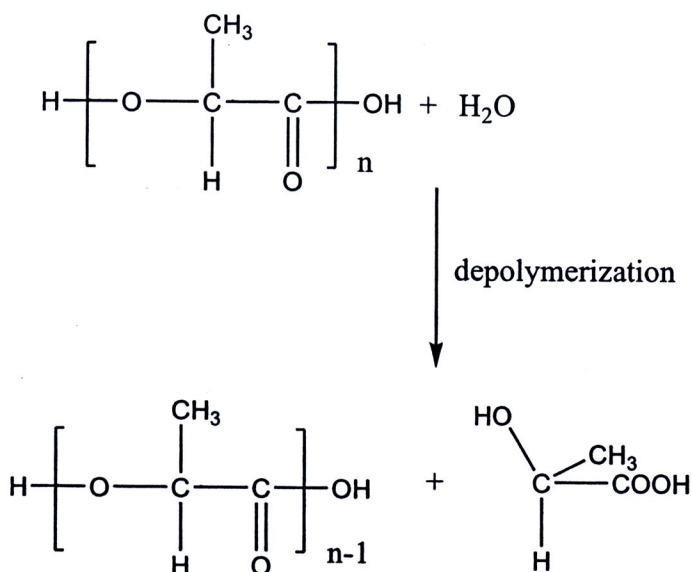
ที่มีลักษณะคล้ายแก้ว (glassy polymer) วิธีการนี้จะใช้เทคนิคการสังเคราะห์พอลิเมอร์ทั้งแบบ solution polycondensation, bulk polycondensation, melt polycondensation ซึ่งกระบวนการในการเพิ่มมวลโมเลกุลของพอลิแลกติกแอซิดด้วยวิธีพอลิเมอร์ไรเซชันแบบควบแน่นคือ

2.8.1.1 การเติมตัวต่อโซ่ (chain extender หรือ chain coupling reagent)

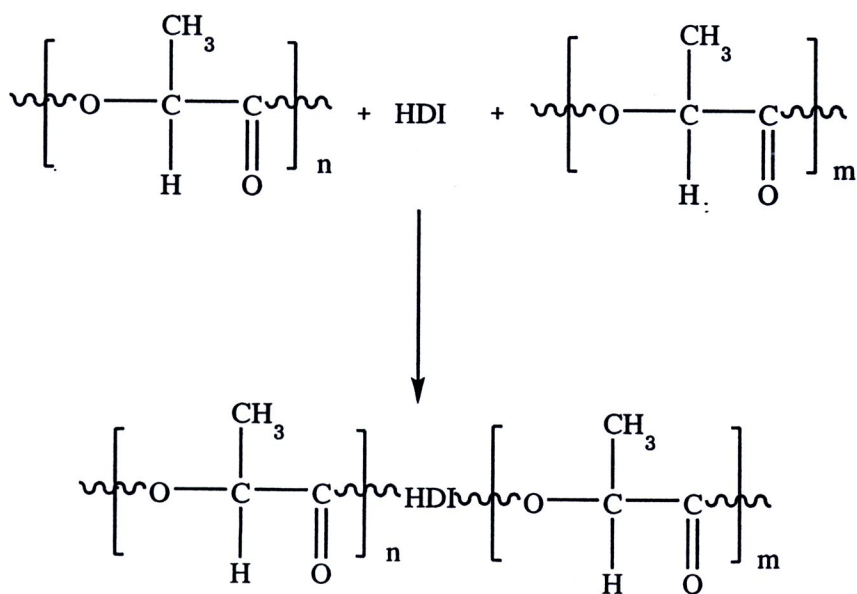
เนื่องจากการสังเคราะห์พอลิแลกติกแอซิดแบบพอลิเมอร์ไรเซชันแบบควบแน่นโดยตรงนั้นมิได้เกิดขึ้นซึ่งทำให้เกิดปฏิกิริยาย้อนกลับของปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชัน (depolymerization) ดังภาพที่ 2.10 จึงทำให้การสังเคราะห์พอลิแลกติกแอซิดด้วยวิธีนี้ได้พอลิแลกติกแอซิดที่มีมวลโมเลกุลต่ำ เนื่องจากการตัดสายโซ่พอลิแลกติกแอซิดโดยน้ำ (hydrolysis) ซึ่งก็ได้มีกลุ่มวิจัยค้นคว้าเพื่อเพิ่มความยาวสายโซ่พอลิแลกติกแอซิดเพื่อให้มวลโมเลกุลของพอลิแลกติกแอซิดเพิ่มขึ้นด้วยตัวต่อสายโซ่ (chain extender) ของพอลิแลกติกแอซิด ซึ่งเป็นการต่อโซ่พอลิแลกติกแอซิดโดยการเชื่อมหมู่คาร์บอกซิลที่ปลายสายโซ่พอลิแลกติกแอซิดเส้นหนึ่งและหมู่ไฮดรอกซิลที่ปลายสายโซ่พอลิแลกติกแอซิดอีกเส้นหนึ่งทำให้สายโซ่พอลิแลกติกแอซิดมีความยาวมากขึ้นส่งผลให้น้ำหนักโมเลกุลเพิ่มสูงขึ้นมาก ซึ่งตัวต่อสายโซ่ที่รู้จักกันดีได้แก่ HDI (hexamethylene diisocyanate) เช่นงานวิจัยของ Seung et al. (1995) ได้ทำการศึกษาการเพิ่มมวลโมเลกุลพอลิแลกติกแอซิดโดยใช้ HDI ซึ่งเกิดปฏิกิริยาดังภาพที่ 2.11 ซึ่งทำให้มวลโมเลกุลของพอลิแลกติกแอซิดเพิ่มจาก 7,000 เป็น 76,000 ข้อเสียของการใช้ตัวต่อสายโซ่คือผลิตภัณฑ์สุดท้ายจะได้พอลิแลกติกแอซิดที่มีตัวต่อสายโซ่ (chain extender) ที่ใช้อยู่ในสายโซ่โมเลกุลด้วย ซึ่งตัวต่อสายโซ่ (chain extender) ส่วนใหญ่เป็นสารที่มีพิษและเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตและไม่สามารถย่อยสลายได้ในสิ่งแวดล้อม เนื่องจากพอลิแลกติกแอซิดเป็นพอลิเมอร์ที่ได้รับความสนใจเพราะย่อยสลายได้ง่ายและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม การใช้ตัวต่อสายโซ่ (chain extender) มาเพิ่มมวลโมเลกุลให้พอลิแลกติกแอซิดจึงทำให้พอลิแลกติกแอซิดที่สังเคราะห์ได้ด้วยวิธีนี้สูญเสียจุดเด่นไป



ภาพที่ 2.9 ปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันแบบควบแน่นของกรดแลกติกได้พอลิแลกติกแอซิด
(ดัดแปลงจาก T. Maharana et al., 2009)



ภาพที่ 2.10 ปฏิกิริยาย้อนกลับของปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันด้วยน้ำทำให้พอลิแลกติกแอซิดน้ำหนักโมเลกุลต่ำลง (ดัดแปลงจาก T. Maharana et al., 2009)



ภาพที่ 2.11 ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในการเพิ่มน้ำหนักโมเลกุลของพอลิแลกติกแอซิดด้วย HDI (ดัดแปลงจาก Seong Ihl woo et al., 1995)

2.8.1.2 melt-solid polycondensation

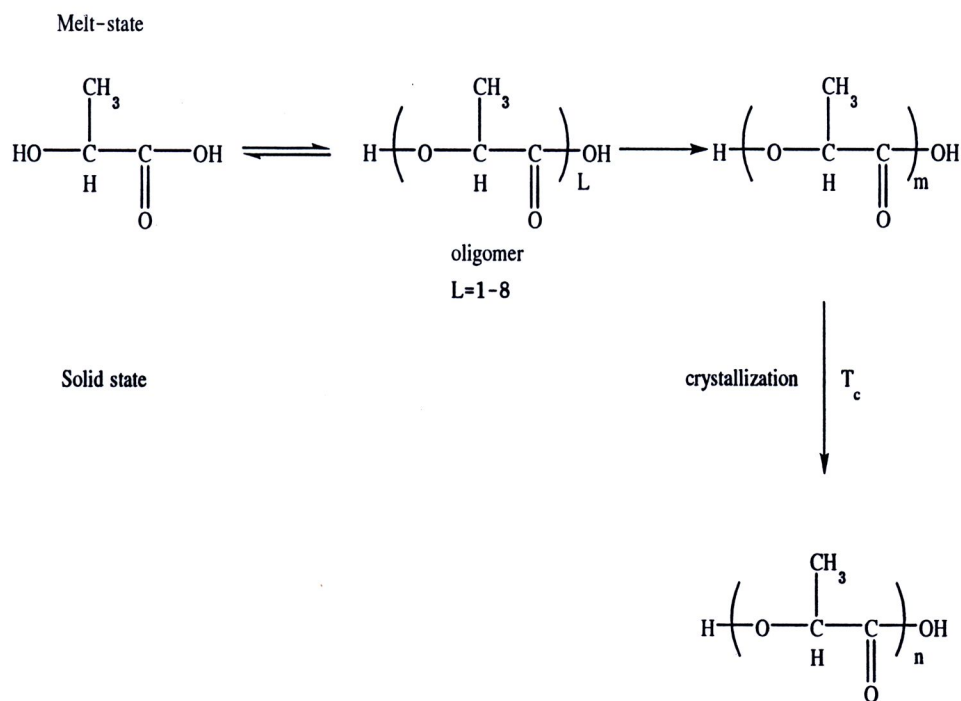
เป็นเทคนิคการเพิ่มน้ำหนักโมเลกุลของพอลิแลกติกแอซิดโดยการเพิ่มดีกรีของปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชัน (degree of polymerization) และการเพิ่มความเป็นผลึกด้วยการศึกษาเวลาการก่อผลึก (crystallization time) เพื่อให้ได้พอลิแลกติกแอซิดที่มีความเป็นผลึกมากขึ้นซึ่งการเพิ่มของความเป็นผลึกทำให้น้ำหนักของพอลิแลกติกแอซิดเพิ่มขึ้น ซึ่งกระบวนการโดยย่อแสดงดังภาพที่ 12 ซึ่งเป็นวิธีการเพิ่มผลึกโดยทั่วไปเช่นงานวิจัยของ Moon SI et al. (2001)

2.8.1.3 Azeotropic polycondensation

เป็นเทคนิคที่พยายามกำจัดน้ำที่เกิดขึ้นโดยการทำปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันสังเคราะห์พอลิแลกติกแอซิดด้วยเทคนิค solution polymerization ซึ่งตัวทำละลายที่นิยมใช้คือ diacids, diols, hydroxyl acids ซึ่งใช้เป็น Copolymer ร่วมกับตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ทั่วไป นอกจากนี้ยังใช้ 3A molecular sieve ในการดูดซับน้ำออกไปด้วย เทคนิคนี้ Mitsui chemicals ใช้ขบวนการเอาน้ำออก 2-3 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส เติมตัวเร่งปฏิกิริยาและใช้ diphenyl ether ร่วมกับ 3A molecular sieve 30-40 ชั่วโมง โดยการรีฟลักซ์ (reflux)

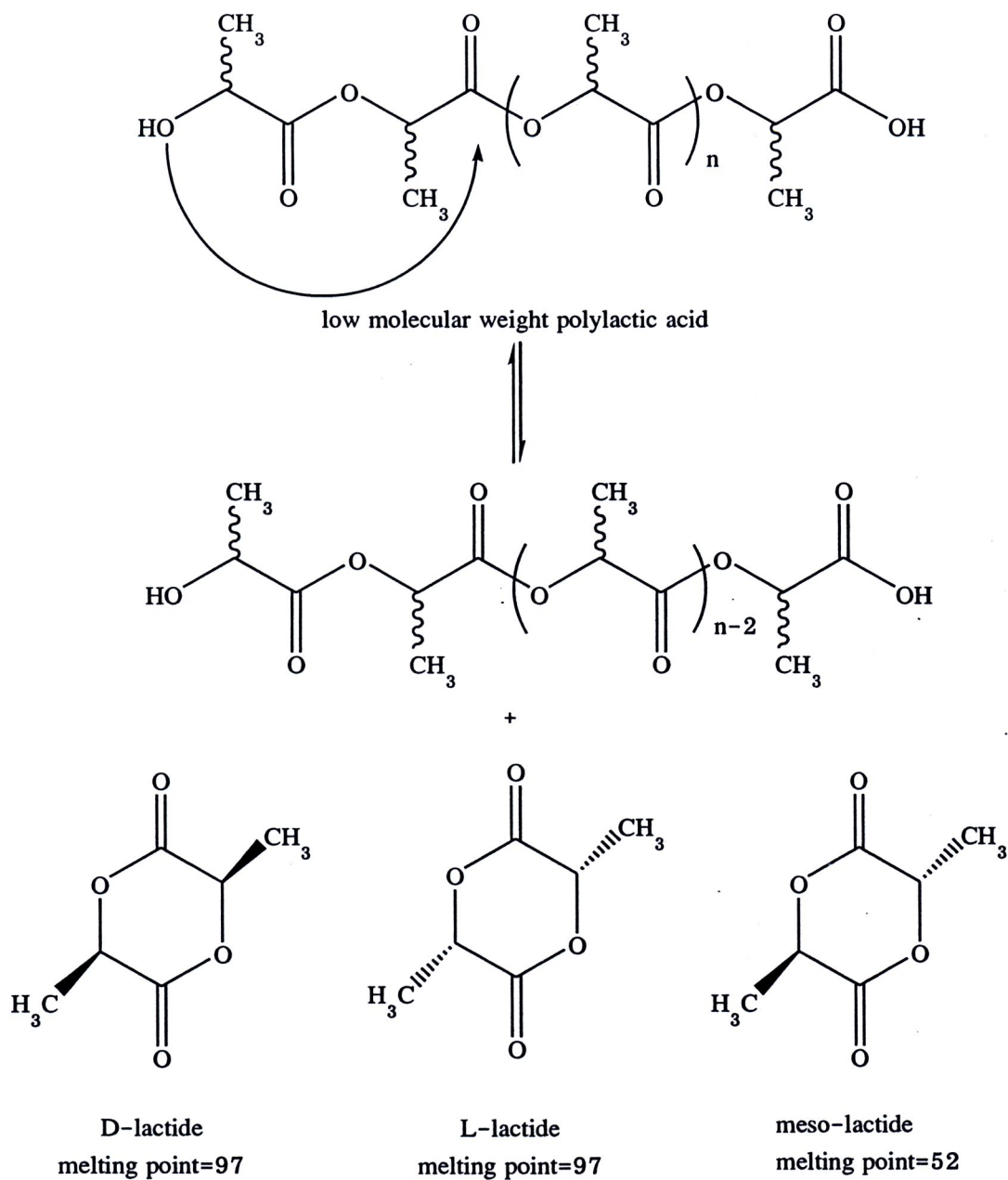
2.8.2 การสังเคราะห์พอลิแลกติกแอซิดโดยปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแบบเปิดวง (ring polymerization)

วิธีนี้ประกอบด้วยขั้นตอนหลัก ๆ 3 ขั้นตอนคือการสังเคราะห์พอลิแลกติกแอซิดที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำจากปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันของกรดแลกติกตามด้วยปฏิกิริยาการสังเคราะห์แลกไทด์จากพอลิแลกติกแอซิดที่สังเคราะห์ได้แสดงดังภาพที่ 2.13 หลังจากนั้นสังเคราะห์พอลิแลกติกแอซิดน้ำหนักโมเลกุลสูงจากแลกไทด์ด้วยปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแบบเปิดวงดังภาพที่ 2.14 (ring opening polymerization) ซึ่งพอลิแลกติกแอซิดที่ผ่านการสังเคราะห์วิธีนี้จะเรียกว่าพอลิแลกไทด์ก็ได้ตามมอนอเมอร์ที่ใช้ในการผลิตพอลิเมอร์ ซึ่งพอลิแลกติกแอซิดและพอลิแลกไทด์เป็นพอลิเมอร์ชนิดเดียวกันต่างกันแค่วิธีการผลิต วิธีนี้ Carothers เป็นผู้เสนอครั้งแรกแต่ไม่ค่อยประสบความสำเร็จมากเนื่องจากแลกไทด์ที่ใช้ในการสังเคราะห์มีความบริสุทธิ์ต่ำ ทำให้พอลิแลกติกแอซิดที่สังเคราะห์ได้มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ จนกระทั่ง บริษัท Dupont ได้พัฒนา การสังเคราะห์แลกไทด์ที่มีความบริสุทธิ์สูง ทำให้สังเคราะห์พอลิแลกติกแอซิดที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงด้วยวิธีนี้ได้ ข้อดีของวิธีนี้คือพอลิแลกติกแอซิดที่สังเคราะห์ได้มีน้ำหนักโมเลกุลสูง ประมาณ (20,000-680,000) แต่ข้อเสียคือกระบวนการนี้ค่อนข้างซับซ้อนเพราะต้องเกิดปฏิกิริยาหลายขั้นตอนทำให้ค่าใช้จ่ายในกระบวนการนี้ค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแบบควบแน่น และในขบวนการผลิตมักจะต้องใช้เวลาในการสังเคราะห์เป็นเวลานานหลายวันและต้องใช้ความดันที่ต่ำมาก ๆ ซึ่งปั๊มที่สามารถทำความดันต่ำพอนั้นมีราคาที่สูงมากและหาไม่ได้ทั่วไป เทคนิคที่ใช้กับกระบวนการสังเคราะห์พอลิแลกติกแอซิดด้วยปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแบบเปิดวงมีทั้งแบบ solution polymerization, bulk polymerization, melt polymerization, suspension polymerization กลไกของปฏิกิริยามีทั้งแบบ cationic polymerization, anionic polymerization, coordination polymerization, free radical polymerization บริษัทที่ผลิตพอลิแลกติกแอซิดด้วยวิธีนี้คือ Dow chemicals and Cargill ในอเมริกาและ Shimadzu Corporation ในญี่ปุ่น

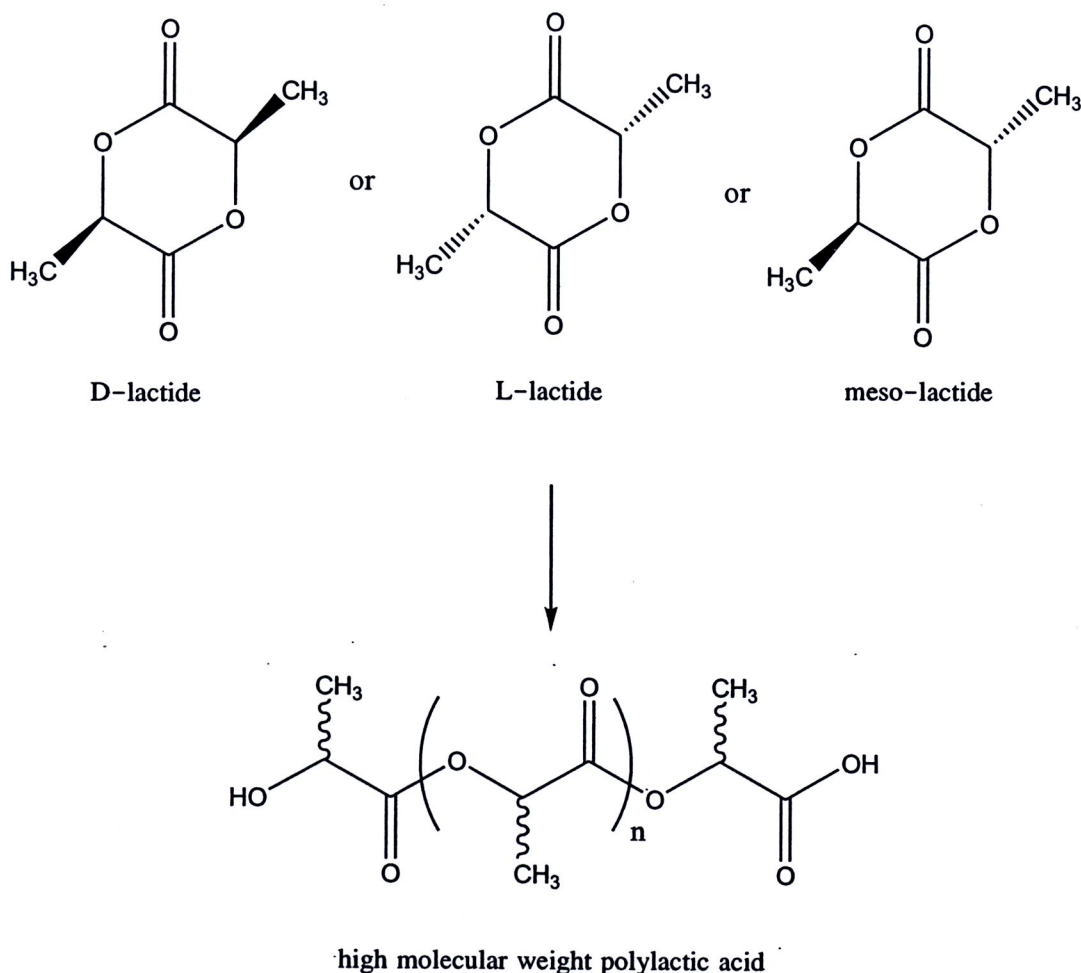


ภาพที่ 2.12 ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในการเพิ่มน้ำหนักโมเลกุลของพอลิแลกติกแอซิดด้วย
polycondensation (Moon SI et al., 2001)

melt-solid



ภาพที่ 2.13 ปฏิกิริยาการสังเคราะห์ห่วงแลกไทด์จากพอลิแลกติกแอซิดน้ำหนักโมเลกุลต่ำ
(Lunt James, 1998)



ภาพที่ 2.14 ปฏิกริยาการสังเคราะห์พอลิแลคติกแอซิดน้ำหนักโมเลกุลสูงจากวงแลคไทด์
(Lunt James, 1998)

2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Seoung et al. (1995) ศึกษาการสังเคราะห์พอลิแลคติกแอซิดน้ำหนักโมเลกุลสูงโดยใช้ hexamethylene diisocyanate เป็นตัวต่อสายโซ่ของพอลิเมอร์ โดยพบว่าถ้าใช้ antimony trioxide เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา จะทำให้ได้น้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยโดยน้ำหนัก (weight average molecular weight, MW) เท่ากับ 76,000 และน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยโดยจำนวน (number average molecular weight, Mn) เท่ากับ 33,000 ซึ่งโดยปกติถ้าไม่ใช้ hexamethylene diisocyanate จะได้น้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยโดยจำนวนแค่ 7,000 การวิเคราะห์การทำปฏิกิริยาของพอลิเมอร์กับ hexamethylene diisocyanate โดยใช้ $^1\text{H-NMR}$ จะแสดงพีคกว้างที่ 1.32 และ 3.14 ppm ซึ่งเป็นพีคของ hexamethylene diisocyanate และพบว่าน้ำหนักโมเลกุลของพอลิเมอร์เพิ่มขึ้นตามปริมาณของ hexamethylene diisocyanate

Fang Q. and Hanna (1999) ได้ศึกษาอิทธิพลของตัวแปรที่มีต่อคุณสมบัติความหนืดของพอลิแลคติกแอซิด (PLA) ชนิดที่มีโครงสร้างสัณฐานและโครงสร้างกิ่งผลึก พบว่าภายใต้สภาวะเงื่อนไขปฏิบัติการที่เหมือนกัน เช่น อุณหภูมิ และ Shear rate เท่ากัน พอลิแลคติกแอซิดที่มีโครงสร้างกิ่งผลึกจะมี

ความหนืดสูงกว่าพอลิแลกติกแอซิดมาตรฐาน และการเพิ่มอุณหภูมิจะมีผลทำให้ความหนืดของพอลิแลกติกแอซิดทั้งสองชนิดลดลง

Suong-Hyu Hyon et al. (1997) ศึกษาการสังเคราะห์พอลิแลกติกแอซิดด้วยกระบวนการพอลิเมอไรเซชันแบบควบแน่นของกรดแลกติก จะได้น้ำหนักโมเลกุลของพอลิแลกติกแอซิดต่ำกว่า 1.6×10^4 แต่หากทำพอลิเมอไรเซชันแบบเปิดวงในสภาวะบัลค์ (bulk) ที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 72 ชั่วโมง โดยใช้ stannous octoate เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา จะทำให้ได้พอลิแลกติกแอซิดที่มีน้ำหนักโมเลกุลในช่วง $2 \times 10^4 - 6.8 \times 10^5$ โดยพบว่าได้น้ำหนักโมเลกุลมากที่สุดเมื่อใช้ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาที่ 0.05 wt% ความสัมพันธ์ของน้ำหนักโมเลกุลเพิ่มขึ้นเป็นเส้นตรงตามเวลาที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันจนถึง monomer conversion ที่ 80 % และพบว่าทั้ง monomer conversion และน้ำหนักโมเลกุลจะลดลงหลังจากผ่านค่าสูงสุดไปแล้ว นอกจากนี้ยังพบว่าเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาจะขึ้นกับอุณหภูมิของพอลิเมอไรเซชันที่สูงขึ้นด้วย การลดลงของน้ำหนักโมเลกุลเมื่อการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันนานขึ้น และอุณหภูมิของปฏิกิริยาที่สูงขึ้นเป็นผลมาจาก thermal depolymerization ของพอลิแลกติกแอซิด แต่ไม่มีผลกับการหมุนระนาบแสงของพอลิแลกติกแอซิด

Yoda et al. (2004) ได้ทำการสังเคราะห์พอลิแลกติกแอซิด (l-poly(lactic acid, PLLA) จากกรดแลกติกชนิดแอล (l-lactic acid) โดยใช้ dicyclohexyl dimethylcarbodiimide และ 4-dimethylaminopyridine เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาและมีคาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤตเป็นตัวทำละลายสำหรับสารตั้งต้นและตัวเร่งปฏิกิริยา ผลจากการทดลองแสดงให้เห็นว่าสามารถสังเคราะห์ พอลิแลกติกแอซิดที่มีน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยโดยจำนวน (M_n) 13,500 กรัม/โมล ภายใต้ความดัน 3500 ปอนด์/ตารางนิ้ว อุณหภูมิ 80°C และภายหลังการเกิดปฏิกิริยา 24 ชั่วโมง จะได้ผลได้ (yield) 90% นอกจากนี้ยังพบว่าการกระจายตัวของน้ำหนักโมเลกุลของพอลิแลกติกแอซิดที่เตรียมได้ค่อนข้างแคบเมื่อเทียบกับการเตรียมพอลิแลกติกแอซิดโดยวิธีทั่วไป

Copinet et al. (2004) ได้ศึกษาผลกระทบของตัวแปรได้แก่ อุณหภูมิ (30, 45 และ 60°C) ความชื้นสัมพัทธ์ (30%, 50% และ 100%) และแสงอุลตราไวโอเลต (315 นาโนเมตร) ที่มีต่อการเสื่อมสภาพของแผ่นฟิล์มพอลิแลกติกแอซิด (PLA) โดยงานวิจัยนี้จะใช้เทคนิค FTIR สเปกโตรสโคปีในการวิเคราะห์ เพื่อให้ได้ข้อมูลทางเคมีที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการเสื่อมรูปของพอลิแลกติกแอซิด ผลจากการทดลองพบว่าการเพิ่มอุณหภูมิหรือความชื้นสัมพัทธ์จะมีผลทำให้อัตราเร็วในการเสื่อมสภาพของพอลิแลกติกแอซิดเร็วขึ้นซึ่งผลนี้จะทำให้คุณสมบัติของพอลิแลกติกแอซิด เช่น glass transition temperature (T_g) น้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยโดยน้ำหนัก (M_w) และร้อยละของระยะยืดที่จุดฉีกขาด (elongation at break) ลดลง นอกจากนี้แสงอุลตราไวโอเลตจะมีผลในการเร่งให้อัตราเร็วในการเสื่อมสภาพของพอลิแลกติกแอซิดเร็วขึ้น

Fang et al. (2005) สนใจทำการศึกษาการผลิตชิ้นงานแผ่นฟิล์มลามิเนตจากพอลิเมอร์ที่ได้จากธรรมชาติ เช่น พอลิแลกติกแอซิด และ แป้ง เป็นต้น เพื่อนำไปใช้เป็นพลาสติกบรรจุภัณฑ์ สำหรับอาหาร ผลจากการทดลองพบว่าทั้งแผ่นฟิล์มพอลิแลกติกแอซิดและแป้งที่ทำการปรับปรุงทางเคมีแล้ว (chemically modified starches) สามารถนำมาประกอบกันเป็นชั้นของลามิเนตได้ และแต่ละชั้นสามารถเข้ากันได้เป็นอย่างดี โดยไม่ต้องใช้กาวเป็นตัวเชื่อมประสานระหว่างชั้นของพอลิแลกติกแอซิดและชั้นของแป้งที่นำมาทำลามิเนต นอกจากนี้ชิ้นงานแผ่นฟิล์มลามิเนตที่ได้ยังสามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติอีกด้วย

อ้อยใจ ทองเจือ (2540) ได้ศึกษาการสังเคราะห์ พอลิแลกติกแอซิด โดยวิธีพอลิเมอไรเซชันแบบเปิดวงแลกติกแอซิด โดยไม่มีตัวทำละลายที่อุณหภูมิ 140 °C 160 °C และ 180 °C โดยมีสแตนนัสออกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ใช้เวลาในการพอลิเมอไรเซชัน 8 ชั่วโมง จากนั้นศึกษาลักษณะเฉพาะของผลิตภัณฑ์

พอลิแอลแลกติกแอซิด ที่ได้จากการพอลิเมอไรเซชันทั้ง 3 อุณหภูมิ โดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์หลายวิธี ได้แก่ infrared spectroscopy, differential scanning calorimetry และ vapor pressure osmometry ผลจากการวิเคราะห์พบว่า พอลิแอลแลกติกแอซิด ที่ได้จากการสังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 140 °C มีอุณหภูมิหลอมตัวผลึกประมาณ 170 °C น้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยโดยจำนวน (Mn) ประมาณ 8,000 ซึ่งเป็นค่าสูงที่สุด ส่วนพอลิแอลแลกติกแอซิด ที่ได้จากการสังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 160 °C มีอุณหภูมิหลอมตัวผลึก 162 °C และน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยโดยจำนวน (Mn) ประมาณ 4,000 ซึ่งสูงกว่าพอลิแอลแลกติกแอซิดที่ได้จากการสังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 180 °C ซึ่งมีอุณหภูมิหลอมตัวผลึกประมาณ 146 °C และน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยโดยจำนวน (Mn) ประมาณ 3,000 เมื่อนำพอลิแอลแลกติกแอซิด ที่สังเคราะห์ได้ทั้งสามอุณหภูมิ ไปทำเป็นแผ่นฟิล์ม และศึกษาสมบัติทางกายภาพ พบว่าแผ่นฟิล์มพอลิแอลแลกติกแอซิด ที่ได้จากการสังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 140 °C มีลักษณะใส และมีความเหนียวมากกว่า แผ่นฟิล์มพอลิแอลแลกติกแอซิด จากการสังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 160 °C และ 180 °C ตามลำดับ

Guang-xin Chen et al. (2006) ศึกษาการสังเคราะห์พอลิแลกติกแอซิดมวลโมเลกุลสูงผ่านปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแบบควบแน่นโดยตรงโดยใช้กรดแลกติกรูปแบบแอล (l-lactic acid) ในสภาวะบัลด์โดยใช้ titanium (IV) butoxide (TNBT) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาใช้ความดันระหว่างทำปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันที่ 1 torr ใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชัน 26-56 ชั่วโมงได้พอลิแอลแลกติกแอซิดที่มีน้ำหนักโมเลกุล (Mw) ในช่วง 15,000 ถึง 130,000

Jukka Tuominen et al. (2002) ได้ศึกษาการเพิ่มน้ำหนักโมเลกุลของพอลิแลกติกแอซิดโดยการใช้ 1,6-hexamethylene diisocyanate และ 2,2-bis(2-oxazoline)เป็นตัวต่อสายโซ่ของพอลิแลกติกแอซิด โดยใช้กรดแลกติกรูปแบบแอลที่มีความเข้มข้น 88% ใช้แสดนนัสออกโตเอต Sn(II)Octoate เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ใช้เวลาในการทำปฏิกิริยา 24 ชั่วโมงที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส ความดัน 20 mbar พบว่าได้น้ำหนักโมเลกุล (Mw) ของพอลิแลกติกแอซิดสูงสุดที่สังเคราะห์ได้คือ 48,000 g/mol ซึ่งหากสังเคราะห์พอลิแลกติกแอซิดโดยไม่มีตัวต่อสายโซ่จะได้น้ำหนักโมเลกุล (Mw) เพียง 13,000 g/mol