

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

##### 2.1.1 หลักการทฤษฎีถังปฏิกรณ์ (Chemical Reactor Theory)

ถังปฏิกรณ์เคมีเป็นถังที่ได้รับการออกแบบให้มีการเกิดปฏิกิริยาเคมีเกิดขึ้น โดยจะเปลี่ยนวัตถุดิบไปเป็นผลิตภัณฑ์ซึ่งเป็นกระบวนการสำคัญในกระบวนการทางเคมี ถังปฏิกรณ์ได้รับการออกแบบตามคุณลักษณะ เช่น ประเภทการทำงาน หรือ ขั้นตอนการนำเสนอ หรือ รูปทรงของถังปฏิกรณ์ ซึ่งเรียกว่า

- การทำงานแบบชุด (Batch) หรือต่อเนื่อง (Continuous) ขึ้นอยู่กับการทำงาน
- ที่เป็นเนื้อเดียวกัน (Homogeneous) หรือ ต่างกัน (Heterogeneous) ขึ้นอยู่กับขั้นตอนการนำเสนอ หรือ การแบ่งตามรูปแบบการไหลและรูปร่าง เช่น
- เครื่องปฏิกรณ์ถังกวน (Stirred Tank Reactor)
- เครื่องปฏิกรณ์ถังแบบท่อ (Tubular Reactor)
- เครื่องปฏิกรณ์ถังแบบแพคเบด (Packed Bed Reactor)
- เครื่องปฏิกรณ์ถังแบบฟลูอิดไดเบด (Fluidized Bed Reactor) (Nanda, S. (2008))

กระบวนการแบบกะ (Batch Process)

เป็นกระบวนการที่สารตั้งต้นทั้งหมดถูกใส่ลงในกระบวนการเริ่มแรกและนำผลิตภัณฑ์ออกมาเมื่อกระบวนการสิ้นสุดลง ในกระบวนการนี้สารเคมีทั้งหมดจะไม่มีกรนำเข้าหรือเอาออกในขณะที่สารเคมีกำลังทำปฏิกิริยา กระบวนการแบบกะเหมาะสมสำหรับการผลิตขนาดเล็กและสำหรับกระบวนการที่ช่วงของผลิตภัณฑ์ที่แตกต่างกันหรือผลที่จะเกิดขึ้นในอุปกรณ์เดียวกัน เช่น สี (Pigment) สีย้อม (Dye Stuff) และ โพลีเมอร์ (Polymers)

## พื้นฐานการออกแบบเครื่องปฏิกรณ์ (Fundamentals of Reactor Design)

ขั้นตอนทั่วไปในการออกแบบเครื่องปฏิกรณ์ มีดังต่อไปนี้

1. จัดเก็บข้อมูลด้านจลศาสตร์และอุณหพลศาสตร์ของปฏิกิริยา ซึ่งข้อมูลนี้จะได้รับจากห้องปฏิบัติการหรือโรงงานต้นแบบ
2. ข้อมูลเกี่ยวกับคุณสมบัติทางกายภาพเป็นสิ่งที่จำเป็น ต้องได้รับการวัดในห้องปฏิบัติการหรือจากการรวบรวมข้อมูล
3. อัตราการควบคุมกลไกต่างจะต้องถูกระบุไว้ เช่น การเคลื่อนไหว (Kinetic) การถ่ายเทมวล (Mass Transfer) การถ่ายเทความร้อน (Heat Transfer)
4. ประเภทของเครื่องปฏิกรณ์ จะต้องถูกเลือกด้วยพื้นฐานของประสบการณ์ในการศึกษาจากห้องปฏิบัติการ
5. เลือกเงื่อนไขปฏิกิริยาที่ดีที่สุดในการทำครั้งแรก เพื่อให้ได้ผลผลิตที่ต้องการ
6. ขนาดของเครื่องปฏิกรณ์จะถูกทำให้ชัดเจนและประสิทธิภาพการทำงานของมันจะถูกคาดการณ์ไว้แล้ว ตั้งแต่การวิเคราะห์ปัญหาที่แน่นอนของความสัมพันธ์ในการออกแบบที่เป็นไปได้ น้อยมาก และวิธีการเคมี-เอมพิริคัลบนพื้นฐานการวิเคราะห์เครื่องปฏิกรณ์ที่ใช้ในอุดมคติ
7. เลือกวัสดุที่จะใช้ในการสร้างเครื่องปฏิกรณ์
8. ออกแบบเครื่องจักรกลเบื้องต้นสำหรับเครื่องปฏิกรณ์ รวมถึงการออกแบบท่อ และพื้นผิวการถ่ายเทความร้อน เป็นต้น
9. ตรวจสอบและปรับการออกแบบให้เหมาะสม
10. จำนวนค่าใช้จ่ายโดยประมาณ (Nanda, S. (2008))

องค์ประกอบพื้นฐานในการออกแบบเครื่องปฏิกรณ์ (Basic element of reactor designing)

ปฏิกิริยาจะออกมาในรูปแบบแบบกะหรือแบบต่อเนื่อง โดยผ่านหลอด (Vessel) โดยแบ่งหลอดเป็น 2 ประเภทคือ

- เครื่องปฏิกรณ์แบบถัง – เป็นถัง
- เครื่องปฏิกรณ์แบบท่อ – เป็นท่อ หรือหลอด

โดยมากแล้วเครื่องปฏิกรณ์จะทำงานในสภาวะคงตัว (Steady – State) แต่ก็สามารถทำงานในสภาวะที่ไม่คงตัวได้ (Transient) ซึ่งจะเปลี่ยนไปตามเวลา เช่น ปริมาตร อุณหภูมิ ความดัน ความเข้มข้นของสารเคมี เป็นต้น โดยสิ่งเหล่านี้จะเกิดขึ้นก็ต่อเมื่อได้รับเครื่องปฏิกรณ์มาใหม่

หรือ ได้รับหลังจากการบำรุงรักษา เครื่องปฏิกรณ์เคมีอาจจะออกแบบในรูปของตัวแปร กระบวนการต่างๆ เช่น

- การกระจายตัวของเวลา (Residence Time Distribution)
- ปริมาณ (Volume)
- อุณหภูมิ (Temperature)
- ความดัน (Pressure)
- ความเข้มข้นของสารเคมี (Concentrations of chemical)
- ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (Heat transfer coefficients)

ประเภทของเครื่องปฏิกรณ์ (Type of Reactors)

ในการแยกประเภทของเครื่องปฏิกรณ์สามารถจำแนกได้ตามปฏิกิริยาแบบเอกพันธ์เป็น 2 ประเภทคือ

1. ตามรูปแบบ

- แบบถังกวน
- แบบท่อไหล

2. ตามลักษณะการทำงาน

- แบบกะ (Batch Operation) การทำงานของเครื่องปฏิกรณ์แบบกะ (Batch Operation) สารที่จะทำปฏิกิริยาจะถูกใส่รวมกันภายในถังปฏิกรณ์ก่อน จากนั้นจะเริ่มกระบวนการทำปฏิกิริยา เมื่อเสร็จสิ้นกระบวนการทำปฏิกิริยาแล้วภายในเวลาและเงื่อนไขที่ได้กำหนดจึงนำผลิตภัณฑ์ที่ได้ออกจากถังปฏิกรณ์
- แบบไหลต่อเนื่อง (Continuous Operation) การทำงานของเครื่องปฏิกรณ์แบบไหลต่อเนื่องนั้น สารที่จะทำปฏิกิริยาจะถูกป้อนเข้าทางถังปฏิกรณ์อย่างต่อเนื่อง จะได้ผลิตภัณฑ์ไหลออกมาจากทางออกของถังปฏิกรณ์
- แบบเฟดแบทช์ (Fed-batch Operation) หรือเซมิแบทช์ (Semi-batch Operation) มีลักษณะการทำงานที่ก้ำกึ่งระหว่างการทำงานแบบกะและแบบไหลต่อเนื่อง คือ สารที่ทำปฏิกิริยาตัวหนึ่งจะถูกใส่ลงไปในถังปฏิกรณ์ก่อน จากนั้นทำการป้อนสารปฏิกิริยาอีกตัวหนึ่งอย่างต่อเนื่องหรือเป็นระยะๆ

## รูปแบบของเครื่องปฏิกรณ์

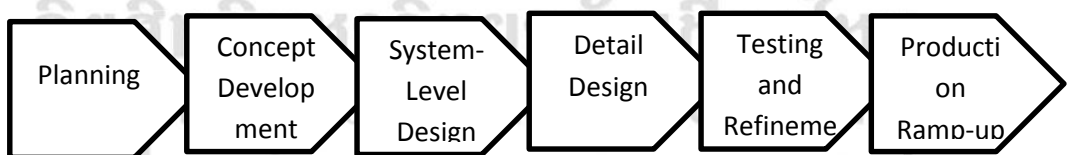
1. เครื่องปฏิกรณ์แบบถังกวน ภายในเครื่องปฏิกรณ์แบบถังกวนจะมีใบกวนทำหน้าที่ช่วยกวนสารทำปฏิกิริยาให้ผสมกันและมีความเข้มข้นเท่ากันตลอดเวลา อีกทั้งยังเพิ่มการถ่ายเทมวลและความร้อนอีกด้วย การถ่ายเทความร้อนสามารถทำได้โดยการติดตั้งแจ็กเกอร์รอบตัวถัง หรือทำการติดตั้งคอยล์ให้ความร้อนภายในถังปฏิกรณ์ เครื่องปฏิกรณ์แบบถังกวนที่มีการทำงานแบบกะจะเรียกว่า เครื่องปฏิกรณ์แบบกะ (Batch Reactor) (จดนพลศาสตร์) เหมาะกับการผลิตสารในปริมาณน้อย (Small-Scale Operation) เช่น การทดสอบผลิตภัณฑ์ระหว่างการพัฒนากระบวนการใหม่ หรือการผลิตสารราคาแพง รวมไปถึงกระบวนการที่ไม่สามารถปรับปรุงให้ดำเนินการด้วยวิธีแบบต่อเนื่องได้ มีข้อดีคือ สามารถเพิ่มค่าการแปลงผันทางเคมีของสารตั้งต้นได้ง่ายๆ ด้วยการปล่อยให้สารตั้งต้นทำปฏิกิริยาภายในถังปฏิกรณ์นานขึ้น แต่มีข้อเสียคือ จะทำให้ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานในแต่ละครั้งสูง และคุณสมบัติที่ได้ในแต่ละครั้งของผลิตภัณฑ์อาจมีการเปลี่ยนแปลงได้ทำให้ยากต่อการควบคุมผลิตภัณฑ์
2. เครื่องปฏิกรณ์แบบท่อไหล (Continuous-Flow Reactor) เครื่องปฏิกรณ์ชนิดนี้มีโครงสร้างคล้ายคลึงกับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ความเข้มข้นของสารที่ทำปฏิกิริยาภายในเครื่องปฏิกรณ์แบบท่อไหลมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา ซึ่งยากแก่การควบคุมอุณหภูมิภายในท่อให้เท่ากัน จึงเกิดการกระจายอุณหภูมิตามแนวยาว จึงใช้ตัวกลางในการส่งความร้อนผ่านเข้าไปในแจ็กเกอร์รอบท่อเพื่อควบคุมอุณหภูมิ (จดนพลศาสตร์) เครื่องปฏิกรณ์ที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมซึ่งถูกออกแบบให้ทำงานในสภาวะคงตัว (Steady State) มี 3 ประเภทด้วยกัน
  - 2.1 เครื่องปฏิกรณ์แบบถังกวนต่อเนื่อง (Continuous Stirred Tank Reactor; CSTR) เครื่องปฏิกรณ์ชนิดนี้มีการใช้งานกว้างขวางในอุตสาหกรรมเมื่อปฏิกิริยาอยู่ในสถานะของเหลว เครื่องปฏิกรณ์ชนิดนี้เป็นระบบปิด ให้สารทำปฏิกิริยาภายในเครื่อง มีการเติมสารเข้าสู่เครื่องปฏิกรณ์และดึงผลิตภัณฑ์ที่ได้ออกมาจากเครื่องปฏิกรณ์พร้อมกันอย่างต่อเนื่องตลอดเวลา โดยทั่วไปแล้วจะออกแบบให้ทำงานในสภาวะคงตัว และทำให้มีการกวนผสมภายในเครื่องปฏิกรณ์อย่างดี (Perfect Mixing)
  - 2.2 เครื่องปฏิกรณ์แบบท่อ (Tubular Reactor) นิยมใช้ในอุตสาหกรรมที่มีปฏิกิริยาในสถานะแก๊ส เครื่องปฏิกรณ์มีลักษณะเป็นท่อทรงกระบอก มีการป้อนสารเข้าและดึงผลิตภัณฑ์ออกอย่างต่อเนื่องในขณะที่ยังดำเนินปฏิกิริยา เนื่องจากเครื่องปฏิกรณ์ชนิดนี้มีลักษณะเป็นท่อยาวทรงกระบอก ให้ความเข้มข้นของสารตั้ง

ต้นตลอดตามทิศทางการเคลื่อนตัว แต่ความเข้มข้นของผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้น ทำให้ อัตราการเกิดปฏิกิริยามีการเปลี่ยนแปลงตามตำแหน่งในทิศทางการเคลื่อนที่ และการไหลของเครื่องปฏิกรณ์แบบท่ออุดมคตินี้ถูกสมมติให้เป็นการไหลแบบปั่นป่วนอย่างรุนแรง (Highly Turbulent) ในแนวรัศมี ทำให้ความเข้มข้นของสารในเครื่องนี้มีค่าคงที่ไม่ขึ้นกับตำแหน่งในแนวรัศมีของท่อ ซึ่งเครื่องปฏิกรณ์ชนิดนี้เรียกอีกอย่างว่า เครื่องปฏิกรณ์แบบ Plug Flow (Plug Flow Reactor; PFR)

2.3 เครื่องปฏิกรณ์แบบเบดบรรจุ (Pack-Bed Reactor; PBR) เป็นเครื่องปฏิกรณ์ที่มีการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นของแข็งเพื่อเร่งปฏิกิริยาในสถานแก๊สหรือของเหลว ซึ่งปฏิกิริยานี้จะเกิดขึ้นได้เฉพาะผิวสัมผัสระหว่างตัวเร่งปฏิกิริยากับของไหลเท่านั้น (ดวงกมล, 2550)

### 2.1.2 หลักการทฤษฎีพื้นฐานกระบวนการพัฒนาผลิตภัณฑ์

กระบวนการ คือ ขั้นตอนที่เปลี่ยนแปลงวัตถุดิบที่ป้อนเข้าให้เป็นผลิตภัณฑ์ ซึ่งสามารถนำมาใช้ในด้านการบริการได้ ในด้านการผลิตนั้นจะหมายถึง ลำดับขั้นตอนในการเปลี่ยนแปลงสิ่งที่ป้อนเข้า ณ จุดเริ่มต้นของกระบวนการให้ออกมาเป็นผลิตภัณฑ์ในแต่ละกระบวนการ รวมไปถึงการพัฒนาผลิตภัณฑ์ที่ขึ้นกับรูปแบบของผลิตภัณฑ์ที่จะนำกระบวนการไปใช้อีกด้วย โดยขั้นตอนพื้นฐานในการพัฒนาผลิตภัณฑ์มีด้วย 6 ขั้นตอน ดังนี้ (1) การวางแผน (2) การพัฒนาแนวคิด (3) การออกแบบระดับความคิด (4) การออกแบบรายละเอียด (5) การทดสอบและปรับปรุงให้ดีขึ้น (6) การทำผลิตภัณฑ์จริง



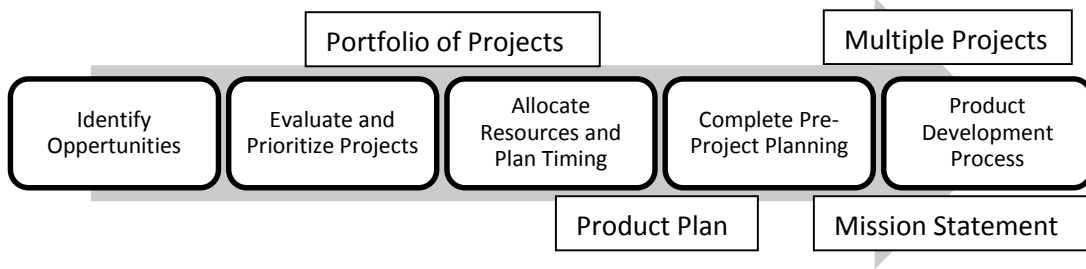
รูปที่ 2.1 ขั้นตอนพื้นฐานในกระบวนการพัฒนาผลิตภัณฑ์แบบทั่วไป (วิศสนัย, 2554)

1. การวางแผน (Planning) เป็นขั้นตอนแรกที่ทำให้เกิดแผนการดำเนินงานที่เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์ที่จะผลิตขึ้นมา โดยที่ทีมงานพัฒนาผลิตภัณฑ์ต้องหาข้อมูลพื้นฐานที่สำคัญในการที่จะพัฒนาผลิตภัณฑ์ ซึ่งต้องทำการวิเคราะห์ถึงกลยุทธ์ขององค์กรเพื่อสามารถระบุถึงความสำคัญและที่มาในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ อีกทั้งต้องการทำการหาเทคโนโลยีใหม่เพื่อนำมาใช้ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์หรือเปลี่ยนแปลงเป้าหมาย เมื่อทำการวิเคราะห์สิ่ง

- เหล่านี้ออกมาแล้วจะได้เป็นแผนพันธกิจ (Mission Statement) ที่ประกอบไปด้วย การระบุเป้าหมาย เป้าหมายทางธุรกิจ สมมติฐานและขีดจำกัดในการพัฒนาผลิตภัณฑ์นั้นๆ
2. การพัฒนาแนวคิด (Concept development) เป็นขั้นตอนการวิเคราะห์ถึงประเด็นต่างๆ ที่ได้กำหนดไว้ในแผนพันธกิจ เพื่อที่จะนำไปสู่การสร้างแนวคิด (Concept) ที่หลากหลาย และเลือกแนวคิดที่เหมาะสมที่สุดเพื่อนำไปวิเคราะห์ในขั้นต่อไป
  3. การออกแบบระดับความคิด (System-Level design) เป็นขั้นตอนหลังจากได้แนวความคิดมาวิเคราะห์รวบรวมกลายเป็นชิ้นงาน และวิเคราะห์ชิ้นงานที่ประกอบขึ้นมีหน้าที่ที่เหมาะสมกับระบบการทำงาน
  4. การออกแบบรายละเอียด (Detail design) เมื่อออกแบบผลิตภัณฑ์ให้มีระบบการทำงานที่เรียบร้อยแล้ว ทีมพัฒนาผลิตภัณฑ์ต้องระบุรายละเอียดต่างๆ เกี่ยวกับผลิตภัณฑ์ให้ครบถ้วน เพื่อให้มีความเป็นไปได้ในการผลิตจริง
  5. การทดสอบและปรับปรุงให้ดีขึ้น (Testing and refinement) การทดสอบความสมบูรณ์ และปรับปรุงผลิตภัณฑ์เพื่อให้สามารถทำการผลิตจริงได้ โดยเป็นส่วนประกอบและเทคนิคต่างๆ ที่จะนำมาทดสอบนี้ต้องมีความใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์ที่จำออกมาจำหน่ายให้มากที่สุด เพื่อสามารถระบุได้ว่าต้นแบบนี้มีความเหมาะสมในด้านต่างๆ และควรปรับปรุงอย่างไรบ้าง
  6. การทำการผลิตจริง (Production Ramp-up) เมื่อผลิตภัณฑ์ต้นแบบได้มีการทดสอบในด้านต่างๆ เรียบร้อยแล้ว จะเข้าสู่ขั้นตอนในการผลิตจริง และในขั้นตอนนี้จะยังสามารถปรับปรุงแก้ไขผลิตภัณฑ์ได้ หากมีข้อไม่เหมาะสมเกิดขึ้นในระหว่างนี้ (วัศสนัย, 2554)

#### การวางแผนและการพัฒนาผลิตภัณฑ์ (Product Planning and Concept Development)

ขั้นตอนการวางแผนผลิตภัณฑ์ การวางแผนแผนพันธกิจที่เหมาะสมในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ เพื่อนำไปสู่การพัฒนาแนวคิดผลิตภัณฑ์ ควรรวบรวมข้อมูลที่สำคัญ ผ่านการคิดวิเคราะห์และกำหนดแนวทางที่สอดคล้องกับความสามารถและเป็นไปได้ขององค์กรและทีมพัฒนาผลิตภัณฑ์ ซึ่งกระบวนการในการวางแผนผลิตภัณฑ์นั้นประกอบไปด้วย 4 ขั้นตอนย่อย และการนำเสนอกระบวนการวางแผนเพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์ประกอบไปด้วย 5 ขั้นตอน ทำขึ้นเพื่อให้ทีมพัฒนาได้ให้ความสำคัญก่อนทำการส่งแผนพันธกิจเข้าสู่ขั้นตอนการพัฒนาแนวคิดผลิตภัณฑ์



รูปที่ 2.2 กระบวนการวางแผนผลิตภัณฑ์ (วิศพนัย, 2554)

กระบวนการวางแผนผลิตภัณฑ์ 5 ขั้นตอน สรุปได้ดังนี้

1. การระบุโอกาสในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ เป็นการแสวงหาโอกาสในการสร้างผลิตภัณฑ์ใหม่ซึ่งมีแหล่งข้อมูลได้หลากหลายรูปแบบไม่ว่าจะเป็นคำร้องเรียนจากลูกค้าหรือคำวิจารณ์ ข้อมูลจากลูกค้าที่ได้การรวบรวมของทีมการตลาด การนำผลการศึกษาของทีมวิจัยและพัฒนาขององค์กรมาสร้างเป็นผลิตภัณฑ์สู่ตลาด หรือเป็นการแสวงหาเทคโนโลยีใหม่ๆ ที่สามารถนำมาต่อยอดผลิตภัณฑ์ที่มีอยู่

2. การประเมินและจัดลำดับความสำคัญของประเด็นการพัฒนาผลิตภัณฑ์ ข้อเสนอที่ได้จากขั้นตอนแรกจะเป็นโอกาสในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ ซึ่งอาจมีหลายข้อสรุป ดังนั้นจึงต้องประเมินและระบุลำดับความสำคัญเป็นการสรุปแนวคิด เพื่อได้ผลลัพธ์เป็นประเด็นการพัฒนาที่เหมาะสมกับการพัฒนาผลิตภัณฑ์ของทีมและองค์กรได้ โดยหลักการในการประเมินประกอบไปด้วย 4 หลักการนี้

4.1 การระบุกลยุทธ์การแข่งขัน (Competitive Strategy) ซึ่งกลยุทธ์การแข่งขันนั้นเป็นแนวทางในการผลักดันผลิตภัณฑ์ออกสู่ตลาดเพื่อต่อสู้กับผลิตภัณฑ์ของกลุ่มคู่แข่ง กลยุทธ์ในปัจจุบันที่นำมาเป็นแนวทางการแข่งขันในตลาด ได้แก่

- การเป็นผู้นำในด้านเทคโนโลยี (Technology Leadership) องค์กรต้องให้ความสำคัญกับเทคโนโลยีใหม่เป็นอย่างมากและสามารถสร้างผลิตภัณฑ์ให้ก้าวทันเทคโนโลยีที่ได้พัฒนาขึ้นมาด้วย
- การเป็นผู้นำด้านต้นทุน (Cost Leadership) มีจุดยืนที่สำคัญที่เน้นการพัฒนาผลิตภัณฑ์ที่มีราคาต่ำ ในขณะที่มีคุณภาพที่ทัดเทียมและเป็นที่ยอมรับได้ของกลุ่มลูกค้า ในการที่จะพัฒนาให้ผลิตภัณฑ์มีราคาขายที่ถูกลง ซึ่งแน่นอนการผลิตจะต้องมีต้นทุนที่ต่ำด้วยเช่นกัน ซึ่งจะต้องอาศัยแนวทางในการพัฒนาให้การผลิตที่ต้นทุนต่ำ

- การสร้างผลิตภัณฑ์เพื่อสนองตอบลูกค้าเฉพาะ (Customer Focus) พัฒนาผลิตภัณฑ์ให้มีความหลากหลาย จนสามารถปรับผลิตภัณฑ์ให้มีความเหมาะสมตรงตามความต้องการของลูกค้าให้ได้มากที่สุด
- การสร้างผลิตภัณฑ์ที่ดัดเทียม (Imitative) อาจทำการศึกษาแนวโน้มนวัตกรรมเทคโนโลยีหรือรูปแบบการตลาดที่ได้รับคามนิยมสูงขึ้นมา นำเทคโนโลยีมาพัฒนาผลิตภัณฑ์ให้ดีขึ้น เจาะกลุ่มตลาดนั้นๆ เพื่อสร้างส่วนแบ่งทางตลาดได้ทันเวลา

4.2 การแยกกลุ่มตลาด (Market Segmentation) ในการจำหน่ายผลิตภัณฑ์ที่ทำการพัฒนา จำเป็นต้องทราบถึงตลาดเป้าหมายที่ชัดเจน เพื่อที่จะสามารถตอบสนองความต้องการของลูกค้าได้ตรงกลุ่มเป้าหมาย อีกทั้งความสามารถในการแข่งขันกับคู่แข่งด้วย ในการแยกกลุ่มตลาดนี้จะช่วยให้สามารถกำหนดตลาดเป้าหมายที่เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์ที่จะทำการผลิตขึ้น ทั้งด้านประสิทธิภาพในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ รูปแบบและสมรรถนะผลิตภัณฑ์ที่จะพัฒนาขึ้นเพื่อเข้าแข่งขันกับกลุ่มตลาด

4.3 แนวโน้มด้านเทคโนโลยี (Technological Trajectories) ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ จะต้องมีการนำเทคโนโลยีมาใช้ ไม่ว่าจะเป็นประโยชน์หรือการนำเทคโนโลยีมาช่วยในการผลิต ทางทีมพัฒนาจึงจำเป็นต้องทำการศึกษาและเข้าใจถึงแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้อง แต่วิวัฒนาการของเทคโนโลยีที่นำมาพัฒนาอาจนำมาซึ่งการปรับเปลี่ยนการยอมรับของผู้บริโภค และอาจส่งผลกระทบต่อภารกิจขององค์กรด้วย

4.4 แผนการกำหนดรูปแบบสายการผลิต (Product Platform Planning) การวิเคราะห์รูปแบบสายการผลิตมาตรฐานภายในองค์กรจะเป็นตัวช่วยในการประเมินและจัดลำดับความสำคัญของโครงการพัฒนาผลิตภัณฑ์ โดยสายการผลิตหนึ่งจะกำหนดไว้สำหรับการพัฒนากลุ่มผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะคล้ายกัน ซึ่งการกำหนดรูปแบบสายการผลิตจะส่งผลต่อเวลาและต้นทุนในการพัฒนาและต้นทุนในการพัฒนา

3. การจัดสรรทรัพยากรและวางแผนรอบเวลา ประเด็นที่ต้องวิเคราะห์ถัดมาคือ การจัดสรรทรัพยากรที่มีในองค์กรในการพัฒนาโครงการ รวมถึงค่าใช้จ่าย บุคลากร เครื่องมือ เครื่องจักร และเทคโนโลยีที่จำเป็นต่อการพัฒนาผลิตภัณฑ์ แนวทางในการ



จัดสรรทรัพยากรจะเป็นตัวที่ทำให้ทราบว่าถึงขอบเขตจำนวนโครงการที่สามารถนำมาพัฒนาได้ในช่วงเวลาหนึ่ง

4. การจัดทำแผนพันธกิจผลิตภัณฑ์ เมื่อผ่านขั้นตอนที่ 3 แล้ว ทีมพัฒนาจะทราบได้ว่าผลิตภัณฑ์ใดที่จะถูกนำมาพัฒนา ทีมงานต้องทำการระดมความคิดจัดทำแผนพันธกิจของผลิตภัณฑ์นั้นๆ โดยมีประเด็นสำคัญ ดังนี้
  - 4.1 คุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ (Product Description) คือการจำกัดความ รายละเอียดของการใช้ประโยชน์ผลิตภัณฑ์ที่ถูกพัฒนาขึ้น
  - 4.2 ผลประโยชน์ในเชิงตลาด (Benefit Proposition) เป็นสิ่งที่แสดงถึงจุดขายและแนวคิดที่ได้พัฒนาขึ้นมา ซึ่งประเด็นนี้เป็นประโยชน์สำหรับกลุ่มลูกค้า
  - 4.3 เป้าหมายทางธุรกิจ (Key Business Goals) แสดงถึงเป้าหมายขององค์กรที่หวังผลต่อผลิตภัณฑ์ที่ได้พัฒนาขึ้นมา มีทั้งส่วนแบ่งทางการตลาดที่หวัง กรอบเวลาเปิดตัว หรือกลยุทธ์การแข่งขันที่นำมาใช้กับผลิตภัณฑ์ตัวนี้
  - 4.4 ตลาดเป้าหมายหลัก (Primary Market) เป็นการระบุกลุ่มเป้าหมายหลักของผลิตภัณฑ์ที่ได้ทำการพัฒนา
  - 4.5 ตลาดเป้าหมายรอง (Secondary Market) เป็นการระบุกลุ่มลูกค้าที่มีความเป็นไปได้สูงในการเลือกผลิตภัณฑ์ รองมาจากลูกค้ากลุ่มเป้าหมายหลัก
  - 4.6 ข้อสันนิษฐานและขีดจำกัด (Assumptions and Constraints) เป็นขอบเขตของทีมพัฒนาที่ต้องควบคุมแนวทางในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ในด้านการผลิต การบริหาร และมุมมองสิ่งแวดล้อม
  - 4.7 ผู้มีส่วนได้ส่วนเสียต่อโครงการ (Stakeholders) เป็นหน่วยงานหรือกลุ่มบุคคลที่จะได้รับผลกระทบโดยตรงกับผลิตภัณฑ์ที่ได้พัฒนาขึ้นมา ไม่ว่าจะสำเร็จหรือล้มเหลว ซึ่งจะประกอบด้วยบุคคลในทีมพัฒนาผลิตภัณฑ์ไปจนถึงผู้ใช้ผลิตภัณฑ์
5. การทบทวนและปรับปรุง เป็นขั้นตอนที่ต้องการให้ทีมพัฒนาผลิตภัณฑ์ได้ตระหนักคิดว่าการวางแผนนั้นไม่ได้สมบูรณ์ในครั้งแรกเสมอไป ดังนั้นต้องมีการทำกลับไปทบทวนว่ามีจุดใดหรือขั้นตอนใดที่สามารถปรับปรุงแก้ไขได้ เพื่อนำไประบุแผนพันธกิจผลิตภัณฑ์ ที่เป็นที่ยอมรับและสอดคล้องกับแนวทางในการพัฒนาผลิตภัณฑ์มากที่สุด (วิสสนัย, 2554)

### 2.1.3 การวิเคราะห์หน้าหนักโมเลกุลพอลิเมอร์

น้ำหนักโมเลกุลของพอลิเมอร์เป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อคุณสมบัติด้านต่างๆ ของพอลิเมอร์ไม่ว่าจะเป็นความหนืด สมบัติการไหล สมบัติเชิงกล ดังนั้นค่าเฉลี่ยน้ำหนักโมเลกุลของพอลิเมอร์เป็นสิ่งสำคัญ เพื่อเป็นตัวเลือกในการเลือกใช้งาน ได้อย่างเหมาะสม ส่วนใหญ่แล้วน้ำหนักโมเลกุลของพอลิเมอร์มีค่าไม่เท่ากันทุก ๆ โมเลกุล เพราะว่าปฏิกิริยาข้างเคียงที่เกิดขึ้นระหว่างในการสังเคราะห์มีน้ำหนักโมเลกุลที่หลากหลาย ดังนั้นการรายงานค่าน้ำหนักโมเลกุลของพอลิเมอร์จึงต้องระบุเป็นค่าเฉลี่ย โดยทั่วไปแล้วมีการระบุ 3 ลักษณะ คือ

ค่าเฉลี่ยน้ำหนักโมเลกุลโดยจำนวน ( $M_n$ )

$$M_n = \frac{\sum(N_i M_i)}{\sum(N_i)}$$

ค่าเฉลี่ยน้ำหนักโมเลกุลโดยน้ำหนัก ( $M_w$ )

$$M_w = \frac{\sum(N_i M_i^2)}{\sum(N_i M_i)}$$

ค่าเฉลี่ยน้ำหนักโมเลกุลโดยความหนืด ( $M_v$ )

$$M_v = \left[ \frac{\sum(N_i M_i)^{1+a}}{\sum(N_i M_i)} \right]^{1/a}$$

เมื่อ  $a$  = ค่าคงที่ Mark-Houwink โดยทั่วไปอยู่ในช่วง 0.5 – 0.8

$N$  = จำนวนโมเลกุลในสารตัวอย่างพอลิเมอร์ที่ทำการวิเคราะห์

$M$  = น้ำหนักโมเลกุลของแต่ละสายโซ่

เทคนิคการหาค่าเฉลี่ยน้ำหนักโมเลกุลของพอลิเมอร์

ค่าเฉลี่ยน้ำหนักโมเลกุลแต่ละแบบจะได้มาจากการทดลองและการคำนวณด้วยเทคนิคต่าง ๆ ดังนี้

1. Osmometry เทคนิคนี้ตั้งอยู่บนพื้นฐานของการวัดสมบัติที่ขึ้นอยู่กับจำนวน (colligative properties) เช่น ความดันออสโมติก โดยหลักการของเทคนิคคือ การที่ธรรมชาติของตัวทำละลายบริสุทธิ์แพร่ไปยังสารละลายพอลิเมอร์ ในขณะที่พอลิเมอร์จะไม่สามารถซึมผ่านข้ามแผ่นเยื่อ (membrane) ซึ่งทำจากพอลิไวนิลอะซิเตต การแพร่จะเกิดขึ้นจนถึงจุด equilibrium (จนกระทั่งมี osmotic pressure สูงพอที่จะป้องกันการแพร่ต่อ)

$$\text{Osmotic Pressure } (\pi) = \rho g \Delta h$$

$$\rho = \text{ความหนาแน่นของตัวทำละลาย } \text{g/cm}^3$$

$$g = 9.8 \text{ m/s}^2$$

$$\Delta h = \text{ความสูง (cm)}$$

จากค่า ( $\pi$ ) ที่วัดได้สามารถนำไปคำนวณหาค่าเฉลี่ยน้ำหนักโมเลกุล โดยอาศัยสมการ Van't Hoff ดังนี้

$$\pi/C = RT(1/M_n + A_2c + A_2c^2 + \dots)$$

ในกรณีที่สารละลายเจือจางมาก ๆ สมการจะลดรูปลงดังนี้

$$\left(\frac{\pi}{C}\right)_{C \rightarrow 0} = \frac{RT}{M_n} + A_2C$$

เมื่อ  $C =$  ความเข้มข้นของสารละลายพอลิเมอร์ ( $\text{g/dm}^3$ )

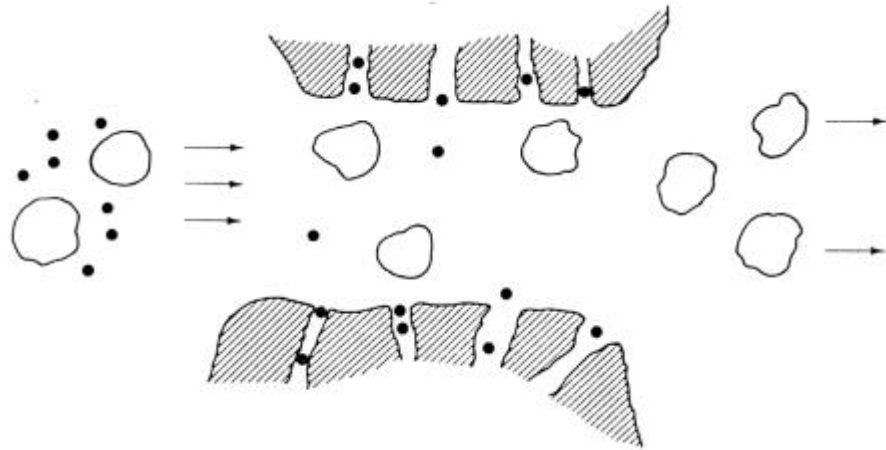
$R =$   $0.082 \text{ dm}^3 \cdot \text{atm/mol} \cdot \text{K}$  (gas constant)

$A_2 =$  Second virial coefficient เป็นการวัด interaction ระหว่างพอลิเมอร์กับตัวทำละลายอุณหภูมิหนึ่ง ๆ

$T =$  อุณหภูมิ (K)

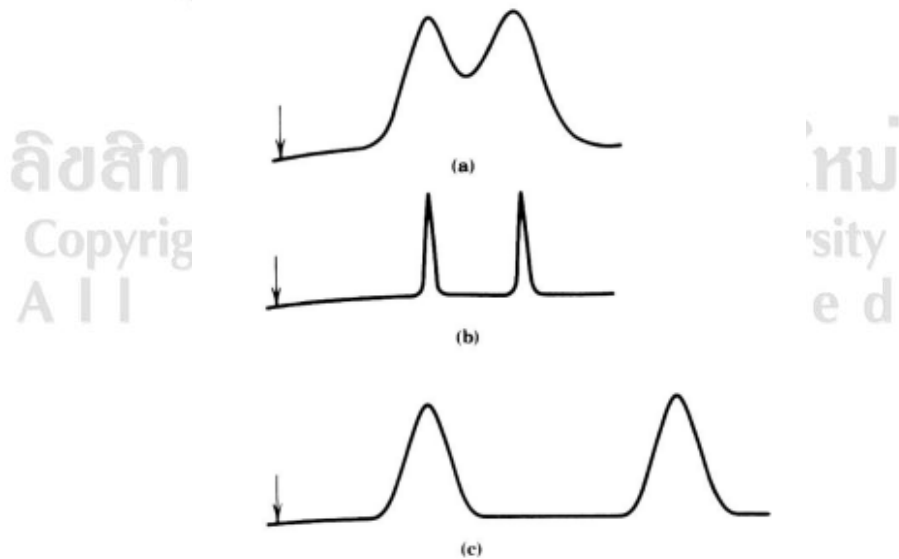
2. Gel Permeation Chromatography Gel permeation Chromatography (GPC) หรือ Size Exclusion Chromatography (SEC) เป็นเทคนิคการวิเคราะห์น้ำหนักโมเลกุลของพอลิเมอร์ที่อาศัยหลักการพื้นฐานที่ว่า พอลิเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่างกันเมื่ออยู่ในสารละลายจะเกิดการพองตัวของ random coil ที่ให้ขนาดต่างกัน โดยมีสมมุติฐานว่า hydrodynamic volume ที่เกิดจากการพองตัวของพอลิเมอร์จะแปรผันตามน้ำหนักโมเลกุล และเมื่อทำการฉีดสารละลายพอลิเมอร์ผ่านคอลัมน์ที่อยู่ในบรรจุสารที่มีลักษณะเป็นรูพรุน เช่น เม็ดอนุภาคโครอสติงส์พอลิสไตรีนที่มีรูพรุน จะพบว่าพอลิเมอร์ที่มีขนาดของ random coil หรือ hydrodynamic volume ต่างกันก็จะใช้เวลาในการเคลื่อนที่ผ่านคอลัมน์และไหลออกจากคอลัมน์ในเวลาที่ไม่เท่ากัน โดยพอลิเมอร์ที่มีขนาดใหญ่ (หมายถึง random coil หรือ hydrodynamic volume จะออกมาได้เร็วกว่า เนื่องจากไม่สามารถแทรกเข้าไปตามรูพรุนของสารที่บรรจุอยู่ในคอลัมน์ได้ ในขณะที่พอลิเมอร์ที่มีขนาดเล็กกว่าจะไหลผ่านออกจากคอลัมน์ได้ช้ากว่าเนื่องจากโมเลกุลมีขนาดเล็กพอที่จะแทรกเข้าไปในรูพรุนสารที่บรรจุอยู่ในคอลัมน์

ได้จึงเสียเวลาในการเดินทางนานขึ้น ดังนั้นจะเห็นได้ว่า GPC เป็นเทคนิคที่แยกพอลิเมอร์ตามขนาด



รูปที่ 2.3 การเคลื่อนที่ผ่านคอลัมน์ที่มีรูพรุนของพอลิเมอร์ที่มีขนาดต่าง ๆ (จตุพร, 2556)

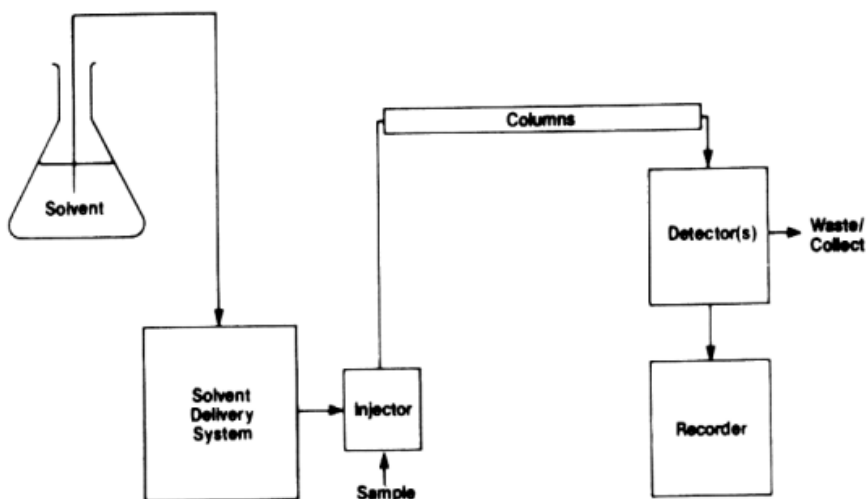
สารละลายพอลิเมอร์ที่ไหลออกจากคอลัมน์ในช่วงเวลาต่าง ๆ กัน จึงมีน้ำหนักโมเลกุลไม่เท่ากัน ซึ่งเมื่อทำการวัดปริมาณของสารละลายพอลิเมอร์ที่ไหลออกในช่วงเวลาต่าง ๆ กันโดยใช้ detector ชนิดต่าง ๆ เช่น UV detector หรือ Reflective Index detector (RI) ก็จะสามารถเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของสารกับเวลาที่ไหลออกจากคอลัมน์ (หรือเรียกว่า “retention time”) ซึ่งกราฟดังกล่าวจะเรียกว่า GPC chromatogram ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 ลักษณะ GPC โครมาโตแกรมในแบบต่างๆ (a) resolution ต่ำ (b) resolution ในแง่ของ separation efficiency สูง (c) resolution ในแง่ของ selectivity สูง (จตุพร, 2556)

GPC Instrument รูปที่ 2.5 แสดงองค์ประกอบที่สำคัญของเครื่อง GPC ซึ่งประกอบไปด้วย

- แหล่งของตัวทำละลาย (solvent reservoir)
- ปัมป์สำหรับเป็นตัวขับเคลื่อนสารละลาย (solvent delivery system)
- ระบบที่ฉีดสารตัวอย่าง (injection port)
- คอลัมน์
- อุปกรณ์ตรวจวัดสัญญาณ (detector)
- ระบบบันทึกข้อมูล (recorder)
- ที่เก็บสารละลายเหลือทิ้งจากคอลัมน์ (waste collector)



รูปที่ 2.5 องค์ประกอบเครื่อง GPC (จตุพร, 2556)

สำหรับตัวทำละลายที่ใช้ที่จะมีหน้าที่นำพาพอลิเมอร์ไหลผ่านคอลัมน์ โดยทั่วไปแล้วในกรณี non aqueous GPC (หรือสารตัวอย่างพอลิเมอร์ที่ไม่ละลายน้ำ) จะใช้ตัวทำละลายเป็น THF อย่างไรก็ตามในกรณีที่สารตัวอย่างพอลิเมอร์ที่ใช้ละลายได้ในน้ำอาจต้องใช้ตัวทำละลายชนิดอื่น ๆ นอกจากนั้นในกรณีที่ใช้ THF กับระบบ GPC ที่มี detector เป็นแบบ UV detector ควรเลือกใช้ THF ชนิดที่เป็น UV grade ซึ่งจะไม่มีการปนเปื้อนหรือสารเติมแต่งที่มีหมู่ chromophore ปนอยู่

สารตัวอย่างที่ใช้จะเตรียมอยู่ในรูปของสารละลายใน THF โดยทั่วไปจะใช้ความเข้มข้นประมาณ 0.1 % (mol g / ) โดยถ้าใช้ความเข้มข้นน้อยเกินไปอาจจะทำให้มองไม่เห็น

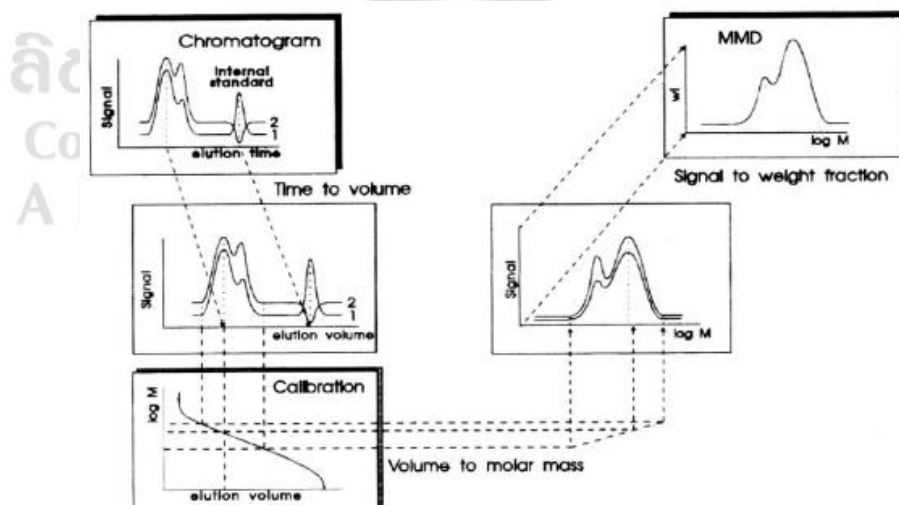
สัญญาณพีกที่เกิดขึ้นใน โครมาโตแกรม แต่ในทางตรงกันข้ามถ้าใช้สารตัวอย่างที่มีความเข้มข้นสูงมากเกินไป อาจจะทำให้สารละลายมีความหนืดสูงและอุดตันคอลัมน์ได้

ระบบนำพาตัวทำละลาย โดยมากจะใช้ปั๊มเป็นตัวขับเพื่อให้สารละลายผ่านคอลัมน์ได้เร็วขึ้นและเพื่อให้มีอัตราการไหลที่คงที่ โดยทั่วไปจะใช้ flow rate ประมาณ 1 min / ml (ถ้าอัตราการไหลต่ำไปจะทำให้เสียเวลา แต่ถ้าเร็วไปจะมีข้อเสียในด้านของ resolution ของพีกที่ได้) นอกจากนี้ในกรณีที่คอลัมน์ที่ใช้มีเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า 8 มิลลิเมตร พบว่าอัตราการไหลที่เหมาะสมอาจจะต้องลดลง เช่นอัตราการไหลเป็น 0.25 min / ml สำหรับคอลัมน์ที่ใช้มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 มิลลิเมตร

โดยทั่วไปวัสดุที่บรรจุอยู่ในคอลัมน์จะเป็นเม็ดกลม ๆ ที่มีรูพรุน (porous small beads) ขนาดเล็ก ๆ เป็นจำนวนมาก (particle size ของ bead โดยทั่วไปจะอยู่ที่ประมาณ 3-20  $\mu$  m ) และอาจทำจากวัสดุชนิดต่าง ๆ แต่ที่นิยมใช้คือ crosslinked PS (หรือ styrene-DVB copolymer) โดยในที่นี้สาร DVB จะทำหน้าที่เป็น crosslinking agent ทำให้พอลิस्टาไทรนที่สังเคราะห์ได้ไม่เกิดการละลายในตัวทำละลาย THF (แต่จะพองตัวเท่านั้น)

#### การวิเคราะห์ผล

ข้อมูลดิบที่ได้จาก detector ของเครื่อง GPC คือกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง retention time (หรือ elution time) กับปริมาณสาร (หรือ ความเข้มข้นของสัญญาณ) ซึ่งจากกราฟดังกล่าว อาจจะมีการเปลี่ยนแปลง retention time ไปเป็น retention volume โดยใช้ค่า flow rate มาคำนวณ



รูปที่ 2.6 ขั้นตอนต่างๆ ในการแปลงจาก GPC โครมาโตแกรมไปเป็นกราฟการกระจายตัวน้ำหนักโมเลกุล (จุดพร, 2556)

หลังจากนั้นจะเป็นการเปลี่ยน retention volume เป็นน้ำหนักโมเลกุล โดยอาศัย calibration curve ซึ่งเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักโมเลกุลของพอลิเมอร์มาตรฐาน (standard) กับค่า retention volume ที่ไหลผ่านคอลัมน์เดียวกัน ในสถานะเดียวกัน ซึ่งกราฟดังกล่าวเรียกว่า “ calibration curve ” (จตุพร, 2556)

#### 2.1.4 พลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ

พลาสติกชีวภาพผลิตจากได้จากวัสดุธรรมชาติและสามารถย่อยด้วยกระบวนการทางชีวภาพ ซึ่งวัสดุส่วนใหญ่ที่นำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตมาจากพืช เช่น เซลลูโลส (Cellulose) คอลลาเจน (Collagen) เคซีน (Casein) พอลิเอสเทอร์ (Polyester) แป้ง (Starch) โปรตีนจากถั่ว (Soy Protein) เป็นต้น (วิลาส รัตนานุกูล, 2555) เนื่องจากแป้งเป็นวัสดุธรรมชาติที่มีราคาถูกหาได้ง่าย มีปริมาณมาก จึงทำให้เป็นที่นิยมนำมาผลิตเป็นพลาสติกชีวภาพ โดยแป้งได้จากพืชหลายประเภท เช่น ข้าวโพด มันฝรั่ง มันเทศ มันสำปะหลัง (ชนาวดี, 2549)

การจำแนกกลไกการย่อยพลาสติกชีวภาพ มีดังต่อไปนี้

1. พลาสติกย่อยสลายทางชีวภาพ (Biodegradable Plastics) เป็นพลาสติกย่อยสลายได้ด้วยเอนไซม์ และแบคทีเรียในธรรมชาติ เมื่อทำการย่อยสลายจนหมดจะได้ผลิตภัณฑ์ออกมาเป็นน้ำ มวลชีวภาพ ก๊าซมีเทน และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งสิ่งที่ได้ออกมาเป็นสิ่งที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตและการดำรงชีวิตของพืช (ศูนย์สารสนเทศวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี กรมวิทยาศาสตร์บริการ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2553)
2. พลาสติกย่อยสลายได้ผ่านปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidative Degradation Plastics) เป็นพลาสติกที่ย่อยสลายโดยไม่ต้องใช้จุลินทรีย์ช่วยในการย่อย (Bioerodable Plastics) เป็นปฏิกิริยาในการเติมออกซิเจนลงในโมเลกุลของพอลิเมอร์ มีออกซิเจนและความร้อน แสงยูวี หรือแรงทางกลเป็นปัจจัยสำคัญ ทำให้เกิดเป็นสารประกอบไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (Hydroperoxide) แตกตัวกลายเป็นอนุมูลอิสระที่ไม่เสถียรเข้าทำปฏิกิริยา ทำให้เกิดการแตกหักแลสูญเสียมวลสมบัติเชิงกลอย่างรวดเร็ว
3. พลาสติกย่อยสลายได้ด้วยแสง (Photodegradable Plastics) เป็นการเติมสารเติมแต่งที่มีความไวต่อแสงลงในพลาสติก แตกหักได้ง่ายภายใต้รังสียูวี สารเติมแต่งนี้จะทำปฏิกิริยาอย่างรวดเร็วในสายโซ่พอลิเมอร์ ทำให้เกิดการขาดของสายโซ่ แต่การย่อยสลายด้วยวิธีนี้จะไม่สามารถใช้ได้กับการย่อยสลายภายในบ่อฝังกลบ หรือสถานะ

เวดล้อมที่มีด หรือพลาสติกที่เคลือบด้วยด้วยหมึกที่หนา เพราะพลาสติกจะไม่ได้สัมผัสกับรังสียูวีโดยตรง

4. พลาสติกย่อยสลายผ่านปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (Hydrolytic Degradation Plastics) เป็นการย่อยสลายของพอลิเมอร์ที่มีแป้ง พอลิเอสเทอร์ ผ่านกระบวนการที่ทำให้แตกหักของสายโซ่พอลิเมอร์ โดยทั่วไปปฏิกิริยานี้แบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ ประเภทที่ 1 ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalytic Hydrolysis) เป็นการให้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นเอนไซม์ต่างๆ ให้เกิดการเร่งเพื่อย่อยสลาย และประเภทที่ 2 ไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา (Non-catalytic Hydrolysis)

การย่อยสลายได้ทางชีวภาพของ PLA

PLA ย่อยสลายได้ดีในอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสขึ้นไปภายในโรงหมักขยะอินทรีย์ แต่ไม่สามารถย่อยสลายได้ทันทีที่อุณหภูมิต่ำกว่า เนื่องจาก PLA มีอุณหภูมิการเปลี่ยนเนื้อแก้ว (Glass Transition Temperature:  $T_g$ ) ใกล้เคียง 60 องศาเซลเซียส ซึ่งในขั้นตอนแรก PLA จะถูกย่อยเป็นสารประกอบที่สามารถละลายน้ำได้ และกรดแลคติกด้วยการไฮโดรไลซิส ในขั้นตอนนี้เกิดขึ้นภายใน 2 สัปดาห์ จากนั้นจะถูกย่อยต่อไปด้วยจุลินทรีย์ชนิดต่างๆ โดยกระบวนการสร้างและสลาย (Metabolization) อย่างรวดเร็ว ได้เป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ และมวลชีวภาพ

การนำไปใช้ประโยชน์

PLA เป็นพอลิเมอร์ที่มีสมบัติหลากหลายทำให้สามารถนำไปประยุกต์เป็นพลาสติกมูลค่าเพิ่มต่างๆหลายด้าน ได้แก่

- ด้านการแพทย์ เนื่องจาก PLA เป็นพอลิเมอร์ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ (Biodegradable) สามารถเข้ากับเนื้อเยื่อ (Biocompatible) และสามารถถูกดูดซึม (Bioresorbable) ได้โดยระบบชีวภาพ (Biological system) ในร่างกาย จึงทำให้ PLA เป็นวัสดุที่มีศักยภาพสูงสำหรับงานทางการแพทย์ และถูกนำมาใช้ทางด้านนี้มานานกว่า 2 ทศวรรษ เช่น ไหมเย็บแผล (Sutures) ตัวเย็บแผล (Staples) วัสดุปิดแผล (Wound Dressing) อุปกรณ์ฝังในร่างกาย (Surgical Implants) อุปกรณ์สำหรับยึดกระดูก (Orthopedic Fixation Devices) วัสดุสำหรับนำพาหรือปลดปล่อยตัวยา ซึ่งสามารถควบคุมอัตราและระยะเวลาในการปลดปล่อยยาได้อย่างมีประสิทธิภาพ



- ด้านการเกษตร เช่น ภาชนะปลูกพืช วัสดุห่อหุ้มและปลดปล่อยยาฆ่าแมลง ยาฆ่าวัชพืช หรือปุ๋ยตามเวลาที่กำหนด
- ด้านบรรจุภัณฑ์ เช่น บรรจุภัณฑ์ที่ใช้แล้วทิ้ง ภาชนะบรรจุอาหาร ขวดน้ำ ถูพลาสติก กล่องโฟม ฟิล์มสำหรับหีบห่อ เม็ดโฟมกันกระแทก ตัวเคลือบ ภาชนะกระดาษ
- ด้านเส้นใย และแผ่นผ้าแบบ Non-woven เช่น ผลิตภัณฑ์อนามัย ผ้าอ้อมสำเร็จรูป เสื้อผ้าและเครื่องนุ่งห่ม เส้นใยสำหรับบรรจุในเครื่องนอน
- ด้านยานยนต์ เช่น อุปกรณ์ลดแรงกระแทก (Bumpers) แผ่นรองพื้น (Floor Mats) และอุปกรณ์ตกแต่งภายใน
- ด้านอิเล็กทรอนิกส์ และการสื่อสาร เช่น ชิ้นส่วนประกอบในโทรศัพท์เคลื่อนที่ ชิ้นส่วนประกอบในคอมพิวเตอร์ แผ่นซีดี
- อื่นๆ เช่น อุปกรณ์เครื่องเขียน บัตรพลาสติก ผลิตภัณฑ์ใช้ในบ้านเรือน สารเคลือบกระดาษ สารยึดติดท่อพลาสติกชั่วคราว

### 2.1.5 ต้นทุน

การจำแนกประเภทต้นทุน ต้นทุนสามารถจำแนกได้หลายประเภทตามวัตถุประสงค์ในการนำไปใช้

ต้นทุนผันแปร (Variable Cost) หมายถึง ต้นทุนที่จำนวนรวมผันแปรไปตามการเปลี่ยนแปลงของระดับกิจกรรม ซึ่งอาจเป็นระดับกิจกรรมในการผลิตหรือระดับกิจกรรมในการขายเมื่อระดับกิจกรรมเพิ่มขึ้น อาทิเช่น การผลิตเพิ่มหรือขายเพิ่ม จำนวนต้นทุนผันแปรรวมก็เพิ่มขึ้นด้วย ในทางตรงกันข้ามถ้าผลิตหรือขายลดลง จำนวนต้นทุนผันแปรรวมลดลงไปด้วย ส่วนต้นทุนผันแปรต่อหน่วยคงที่ ตัวอย่างต้นทุนผันแปรอันได้แก่ วัตถุดิบทางตรง แรงงานทางตรงส่วนลักษณะการผันแปรของต้นทุนนี้จะมี 2 ลักษณะ คือ

1.1) ต้นทุนผันแปรโดยตรง (Direct Variable Cost) ซึ่งเป็นต้นทุนที่จำนวนรวมผันแปรเป็นสัดส่วนเดียวกับการเปลี่ยนแปลงของระดับกิจกรรม เมื่อระดับกิจกรรมการผลิตหรือการขายเพิ่มขึ้น ต้นทุนผันแปรเพิ่มขึ้นในสัดส่วนเดียวกันตลอดไป โดยที่ต้นทุนผันแปรต่อหน่วยจะคงที่เท่ากันตลอดไม่ว่าระดับกิจกรรมเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นหรือลดลง

1.2) ต้นทุนผันแปรแบบก้าวหน้า (Progressive variable cost) ซึ่งจะเป็นต้นทุนผันแปรตามหลักเศรษฐศาสตร์ที่ว่าด้วยผลตอบแทนน้อยลง (Law of diminishing return) ซึ่งหมายถึง ต้นทุนลักษณะนี้ เพิ่มขึ้นไปตามระดับกิจกรรมที่เพิ่มขึ้นในระยะแรก และต้นทุนรวมจะเพิ่มขึ้นในสัดส่วนเดียวกับปริมาณและต่อมาสัดส่วนการเพิ่มขึ้นของต้นทุนจะค่อยๆลดลงตามลำดับ ในขณะที่ระดับกิจกรรมอยู่ในช่วงการดำเนินงานปกติ เนื่องจากว่าต้นทุนต่อหน่วยลดลง แต่เมื่อพ้นช่วงที่ดำเนินงานตามปกติไปแล้ว ต้นทุนผันแปรลักษณะนี้เพิ่มสูงขึ้นอีกครั้งหนึ่ง และเป็นอัตราก้าวหน้า (Progressively variable) ทั้งต้นทุนจำนวนรวมและต้นทุนต่อหน่วย เนื่องจากต้นทุนต่อหน่วยขยับสูงขึ้น มีผลทำให้ต้นทุนผันแปรรวมสูงขึ้นด้วยภาพต้นทุนแบบก้าวหน้าทั้งจำนวน ต้นทุนต่อหน่วย

ต้นทุนคงที่ (Fixed Cost) หมายถึง ต้นทุนที่มีจำนวนคงที่ไม่เปลี่ยนแปลงไปตามปริมาณของการผลิตหรือระดับกิจกรรมในการผลิต หรือขายที่เพิ่มขึ้นหรือลดลง ตลอดช่วงกิจกรรมที่พิจารณาอยู่และในช่วงระยะเวลาหนึ่ง แต่ต้นทุนคงที่ต่อหน่วยจะเปลี่ยนแปลงเป็นปฏิภาคกลับกับระดับกิจกรรมในการผลิต คือ ต้นทุนคงที่ที่มีจำนวนรวมไม่เปลี่ยนแปลงเมื่อระดับกิจกรรมเพิ่มขึ้น ต้นทุนคงที่ต่อลดลง ในทางตรงกันข้ามถ้าระดับกิจกรรมลดลงต้นทุนคงที่ต่อหน่วยเพิ่มขึ้น เช่น ค่าเช่าโรงงานปีละ 120,000 บาท ถ้ากิจการทำการผลิตในปีละ 100,000 หน่วย ต้นทุนค่าเช่าโรงงานต่อหน่วยเท่ากับ 1.20 บาท แต่ถ้าปริมาณการผลิตลดลง เป็น 60,000 หน่วย ต้นทุนต่อหน่วยสูงขึ้นเป็นหน่วยละ 2 บาท เป็นต้น ต้นทุนคงที่บางประเภทที่เกิดขึ้นจากกิจการการจัดเตรียมทรัพย์สิน และที่ทรัพยากรอื่นๆ รวมทั้งบริการไว้เพื่อใช้ในการดำเนินการผลิตการจำหน่าย และการดำเนินงานอื่นๆ บางครั้งต้นทุน หรือค่าใช้จ่ายประเภทนี้ ซึ่งก็เรียกว่า ต้นทุนในการเตรียมกำลังในการประกอบการ (Capacity costs) หรือต้นทุนการผลิต เช่น ค่าเสื่อมราคาอาคารโรงงาน ค่าเสื่อมราคาของเครื่องจักรอุปกรณ์ ค่าเบี้ยประกันภัยโรงงาน เป็นต้น การแบ่งแยกต้นทุนคงที่ตามราคาระยะเวลาที่ผูกพันซึ่งจะสามารถพิจารณาได้เป็น 2 ประเภท คือ

1) ต้นทุนที่กำหนดหรือต้นทุนการจัดการ (Managed Cost) ต้นทุนชนิดนี้เป็นต้นทุนคงที่ในระยะสั้น จำนวนเงินอาจเพิ่มขึ้นหรือลดลงมาได้โดยมีผลมาจากการเปลี่ยนแปลงราคาการบริการหรือเป็นการตัดสินใจของฝ่ายบริหารที่เป็นผู้กำหนด หรือเปลี่ยนแปลงการจ่ายต้นทุนคงที่ประเภทนี้

ตัวอย่างต้นทุนชนิดนี้ได้แก่ เงินเดือน ค่าใช้จ่ายในการส่งเสริมการขาย ค่าใช้จ่ายในการวิจัยและพัฒนา ค่าใช้จ่ายการฝึกอบรม ค่าที่ปรึกษาด้าน วิชาการหรือด้านบริการ ฯลฯ จำนวนเงินที่เปลี่ยนแปลง เนื่องจากผู้บริหาร ระดับสูงเป็นผู้กำหนดวงเงินรายปี หรือตามงวดบัญชี ซึ่งเพิ่มขึ้นหรือลดลง จากเดิม ได้ต้นทุนที่เปลี่ยนแปลงเหล่านี้ไม่ได้เกิดขึ้น และเนื่องจากว่า ปริมาณการผลิตหรือปริมาณการขายแต่เปลี่ยนแปลงไปตามความเห็นของ ผู้บริหารระดับสูงที่ทำให้มีการเปลี่ยนแปลง

2) ต้นทุนผูกพัน (Committed Cost) เป็นต้นทุนคงที่ในระยะยาวที่เกิดขึ้นจาก การตัดสินใจของผู้บริหารในอดีต จะมีผลต่อเนื่องต่อการผลิตระยะยาวซึ่ง ต้นทุนประเภทนี้จะผูกพันในกิจการจะต้องจ่ายเป็นจำนวนคงที่ในระยะ เวลารานาน และไม่ว่าจะทำการผลิตหรือไม่ หรือว่ามีการเปลี่ยนแปลงจำนวน เงินต้องใช้ระยะเวลาเป็นปีต้นทุนเหล่านี้มักเกิดจากการเตรียมการใน การลงทุนเตรียมการในการดำเนินการ เช่น สัญญาเช่าระยะยาว ค่าเสื่อม ราคาสินทรัพย์ถาวรต่างๆ ที่ใช้ งานสวัสดิการพนักงาน เป็นต้น ต้นทุน เหล่านี้จะเปลี่ยนแปลงได้ ก็ต่อเมื่อข้อผูกพันเดิมหมดไปหรือต้องอาศัย เวลานานจึงน่าจะเปลี่ยนแปลงได้ เช่น สัญญาเช่าระยะยาวหมดอายุจึง เปลี่ยนแปลงจำนวนเงินค่าเช่าหรือเป็นทรัพย์สินถาวรชนิดอื่นๆอายุการใช้ งานสิ้นสุดลง มีการซื้อมาแทนใหม่ จำนวนค่าเสื่อมราคาก็เปลี่ยนแปลงไป ตามอายุการใช้งานของทรัพย์สินสินใหม่ เป็นต้น

ต้นทุนกึ่งคงที่ (Semi-Fixed Cost) ต้นทุนนี้จะคงที่ในช่วงระดับกิจกรรมช่วงหนึ่งและ เมื่อเปลี่ยนแปลงช่วงของระดับกิจกรรมใหม่ ต้นทุนคงที่จะเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม จะคงที่เท่าเดิมตลอดช่วงกิจกรรมใหม่ ต้นทุนนี้จะมีลักษณะเหมือนขั้นบันได เรียก ได้อีกชื่อว่า ต้นทุนเป็นขั้น (Step Cost) ต้นทุนชนิดนี้ คือเงินเดือนของหัวหน้าคุมงาน กิจการว่าจ้างหัวหน้าคนงาน 1 คน คุมคนงาน 10 คน และคนงานเพิ่มอีก 10 คน ผลิต สินค้าได้ 1,000 หน่วย ถ้าผลิตสินค้าเพิ่มขึ้นเป็น 2,000 หน่วย จะต้องจ้าง และ ระยะเวลาคินทุน หัวหน้าคนงานเพิ่มขึ้นอีก 1 คน สมมติให้เงินเดือนหัวหน้าคุมงาน เดือนละ 10,000 บาท พฤติกรรมเงินเดือนของหัวหน้าคุมงานจะเปลี่ยนแปลงไปตาม ปริมาณการผลิตของสินค้า

ต้นทุนกึ่งผันแปร (Semi-variable cost) เป็นต้นทุนที่มีทั้งส่วนของต้นทุนคงที่และ ส่วนของผันแปรรวมอยู่ด้วยกัน ต้นทุนกึ่งผันแปรรวมเพิ่มมากขึ้น หรือลดลงตาม

ระดับกิจกรรมที่เพิ่มขึ้นหรือลดลง แต่เพิ่มหรือลดลงไม่เป็นสัดส่วนเดียวกัน โดยตรง ต้นทุนดังกล่าว ได้แก่ ค่าไฟฟ้า ค่าโทรศัพท์ ค่าแรงงานทางอ้อม ฯลฯ การนำต้นทุนที่ผันแปรไปใช้ประโยชน์ในการวางแผนหรือตัดสินใจ ต้องวิเคราะห์แยกต้นทุนนี้ออกเป็นต้นทุนคงที่ และ ต้นทุนผันแปรก่อน วิธีการวิเคราะห์แยกส่วนที่คงที่และ ส่วนที่ผันแปรออกจากกัน

#### การวิเคราะห์จุดคุ้มทุน

การวิเคราะห์จุดคุ้มทุนเป็นเทคนิคในการวางแผนการลงทุนที่วิเคราะห์ถึงความสัมพันธ์ของต้นทุนคงที่ (Fixed cost) ต้นทุนผันแปร (Variable cost) ของกิจการเพื่อให้ทราบว่ากิจการจะต้องใช้ต้นทุนคงที่ (Fixed cost) ต้นทุนผันแปร (Variable cost) ในการดำเนินกิจการที่แตกต่างกัน จึงทำให้กิจการมีกำไรตามคาดการณ์ไว้ โดยทั่วไปการวิเคราะห์จะเริ่มที่จุดคุ้มทุน ณ ปริมาณการขายที่ทำให้กิจการมีรายได้เท่ากับค่าใช้จ่ายรวมพอดี นั่นคือ กิจการดำเนินการไปแล้วทำทุน และไม่มีกำไรแต่ก็ขาดทุนหรืออีกนัยหนึ่งกำไรทางเศรษฐศาสตร์ (Economic profit) เท่ากับศูนย์แต่ถ้ารายได้ของกิจการสูงกว่าระดับจุดคุ้มทุน กิจการมีกำไรตรงกันข้าม และถ้ากิจการมีรายได้น้อยกว่าระดับจุดคุ้มทุน ผลขาดทุนจึงเกิดขึ้น

จุดคุ้มทุน (Breakeven point) หมายถึง ณ ระดับการผลิตหรือการขายระดับใดระดับหนึ่งที่ทำให้เกิดรายได้รวม (Total revenue) เท่ากับต้นทุนรวม (Total cost) ต้นทุนรวมประกอบด้วยต้นทุนคงที่และต้นทุนผันแปร ดังนี้

ต้นทุนคงที่ (Fixed costs) ซึ่งจะเป็นค่าใช้จ่ายที่ไม่ผันแปรไปตามจำนวนหน่วยผลิตหรือขาย ต้นทุนคงที่รวมจะคงที่ตลอดเวลาแต่ว่าต้นทุนคงที่ต่อหน่วยจะลดลงถ้าปริมาณการผลิตหรือการขายสูงขึ้น เช่น ค่าเสื่อมราคา ค่าเช่า เงินเดือน ภาษีทรัพย์สิน เป็นต้น

ต้นทุนผันแปร (Variable costs) เป็นค่าใช้จ่ายที่ผันแปรไปตามจำนวนหน่วยผลิต หรือขาย ถ้าปริมาณการผลิตหรือขายมาก ต้นทุนผันแปรจะมาก แต่ถ้าปริมาณการผลิตหรือขายน้อย ต้นทุนผันแปรจะน้อย นั่นคือ ต้นทุนผันแปรรวมจะเปลี่ยนแปลงไปตามปริมาณการผลิตหรือขาย แต่ว่าต้นทุนผันแปรต่อหน่วยจะคงที่ เช่น ค่าวัตถุดิบ ค่าแรงงาน

การวิเคราะห์จุดคุ้มทุน คือการวิเคราะห์โดยสูตรเพื่อแสดงการคำนวณต้นทุนและระยะเวลาคืนทุนในรูปแบบตัวเลข

วิธีการวิเคราะห์จุดคุ้มทุนโดยใช้สูตร

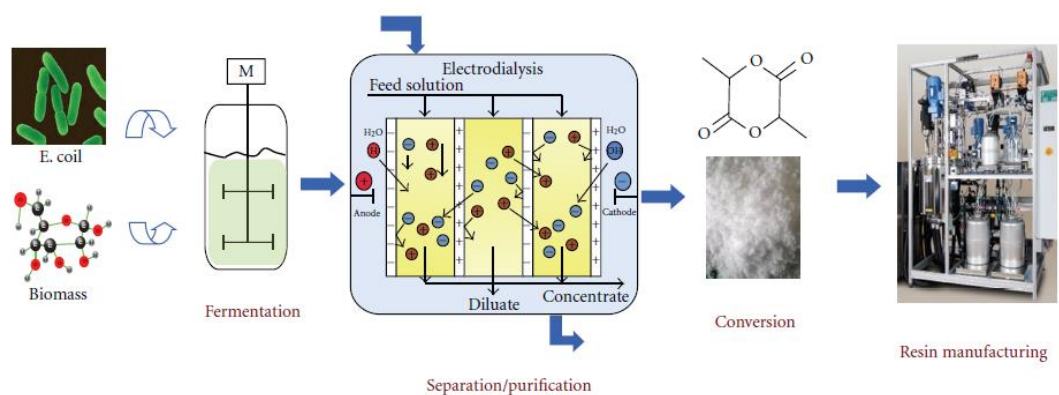
$$\begin{aligned} \text{กำไร} &= \text{รายรับรวม} - \text{ต้นทุนรวม} \\ \pi &= \text{TR} - \text{TC} \\ \text{ณ จุดคุ้มทุน } \pi &= 0 \\ \text{นั่นคือ ณ จุดคุ้มทุน TR} &= \text{TC} \\ \text{โดยที่ TR} &= P \times Q \\ \text{TC} &= \text{TFC} + \text{TVC} \\ &= \text{TFC} + (\text{AVC} \times Q) \\ P \times Q &= \text{TFC} + (\text{AVC} \times Q) \\ (\text{P} - \text{AVC})Q &= \text{TFC} \\ \text{จุดคุ้มทุน (หน่วย) } Q &= \frac{\text{TFC}}{\text{P} - \text{AVC}} \\ \text{โดยที่ } \pi \text{ (Profit)} &= \text{กำไร (บาท)} \\ \text{TR (Total revenue)} &= \text{รายรับรวม (บาท)} \\ \text{TC (Total costs)} &= \text{ต้นทุนรวม (บาท)} \\ \text{P (Price)} &= \text{ราคาขาย (บาท)} \\ \text{Q (Quantity)} &= \text{ปริมาณสินค้า (หน่วย)} \\ \text{TFC (Total fixed cost)} &= \text{ต้นทุนคงที่รวม (บาท)} \\ \text{TVC (Total variable cost)} &= \text{ต้นทุนแปรผันรวม (บาท)} \\ \text{AVC (Average variable cost)} &= \text{ต้นทุนแปรผันเฉลี่ย (บาท) (กชกร, 2544)} \end{aligned}$$

## 2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 2.2.1 วิธีการสังเคราะห์พอลิเมอร์

จากการศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง พบว่ามีงานวิจัยจำนวนมากที่ศึกษาเกี่ยวกับวิธีการสังเคราะห์พอลิเมอร์จากแลคไทด์ โดย Jacobsen et al. (1999) กล่าวว่า วิธีการที่จะทำได้พอลิแลคไทด์ มีอยู่ 2 ทางด้วยกันคือ วิธีแรกเรียกว่า กระบวนการควบแน่น (Polycondensation) โดยเริ่มจากกรดแลคติก (Lactic acid) กระบวนการนี้ต้องการอุณหภูมิสูง ใช้เวลาในการทำปฏิกิริยานาน และต้องนำน้ำออกจากกระบวนการอย่างต่อเนื่อง จะได้พอลิเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลที่ต่ำ โดย Nampoothiri et al. (2010) ได้รวบรวมข้อมูลว่า ต้องใส่

ตัวเร่งที่มีความเป็นกรด เช่น บอริก หรือ กรดซัลฟูริก เพื่อเร่งให้เกิดปฏิกิริยาเอสเทอร์ (Esterification) และใช้อุณหภูมิที่สูงกว่า 120 องศาเซลเซียส อีกวิธีหนึ่งคือ กระบวนการเปิดวง (Ring-opening Polymerization) เริ่มจากการนำวงแหวนแลคไทด์ (Lactide) ซึ่งได้จากปฏิกิริยาการรวมตัวของกรดแลคติก 2 โมเลกุลแล้วเกิดเป็นสารประกอบวงแหวนที่ชื่อว่า แลคไทด์ วิธีนี้ง่ายต่อการควบคุมและพอลิเมอร์ที่ได้จะมีน้ำหนักโมเลกุลที่สูง Nampoothiri et al. (2010) ชั้นแรกของกระบวนการควบแน่นด้วยการระเหยน้ำออก จะได้พอลิแลคติกแอคไซด์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ ขั้นตอนต่อไปคือการเปลี่ยนพอลิแลคติกแอคไซด์ที่ได้จากขั้นแรก ทำให้มีน้ำหนักโมเลกุลที่สูงขึ้นด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาการเปิดวง ทิ้งไปแล้วจะใช้สแตนนัสออกโทเอต (Stannous Octoate, Tin(II) 2-ethylhexanoate) แต่ในห้องวิจัยแล้วจะใช้ Tin(II) chloride บ่อยกว่า มาทำปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์ เป็นตัวเริ่ม และ Hong et al. (2012) ได้กล่าวว่าการเปิดวงของแลคไทด์นั้นต้องมีตัวเร่งปฏิกิริยากรด เช่น โลหะ โลหะฮาโลเจน และออกไซด์ โดยตัวแทนหลักของตัวเร่งปฏิกิริยากลุ่มนี้เป็น Tin(II) bis (2-ethylhexanoate) จะเริ่มจากสารประกอบที่มีไฮโดรเจนชนิดที่มีความเป็นกรด เช่น น้ำ แอลกอฮอล์ ทดลองนำร่องที่ 50 ลิตร พร้อมด้วยระบบกวน บั๊มสุญญากาศ และระบบหล่อเย็น พบว่า ส่วนใหญ่แล้วน้ำถูกกำจัดออกมากที่สุดที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เติมตัวเร่งและตัวริเริ่มปฏิกิริยาเข้าสู่ถังปฏิกรณ์ในระบบสุญญากาศ และดำเนินปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 – 1.5 ชั่วโมง ซึ่งน้ำหนักโมเลกุลของ PLA สามารถควบคุมได้โดยการเปลี่ยนตัวเร่งปฏิกิริยาและตัวริเริ่ม ผลที่ได้จากการทดลองให้น้ำหนักโมเลกุลที่สูงมากถึง 150,000 แต่เมื่อเพิ่มตัวเร่งปฏิกิริยาจาก 250 ppm เป็น 500 ppm ทำให้น้ำหนักโมเลกุลลดลงจาก 120,000 เป็น 75,000



รูปที่ 2.7 กระบวนการผลิตกรดแลคติก แลคไทด์ และPLA (Hong et al., 2012)

ตารางที่ 2.1 สภาวะการผลิตโพลิโกลิเมอร์ของ PLA และแลคไทด์ (Hong et al., 2012)

Element	Catalyst	Reaction Temp. (°C)	Activity
Ca, Mg	Ca(OMe) <sub>2</sub>	180	Low
Y, Ti, Zr	(C <sub>9</sub> H <sub>21</sub> O <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> Y	180	Low (Mw: 15,000 g/mol)
Al	Al(OiPr) <sub>3</sub>	170	Medium (Mw: 75,000 g/mol)
Sn	Sn(Oct) <sub>2</sub>	180	High (Mw: 150,000 g/mol)

Banu (2009) กล่าวว่า ตัวริเริ่มของกระบวนการพอลิเมอไรเซชันจากแลคไทด์มี 3 ประเภท คือ

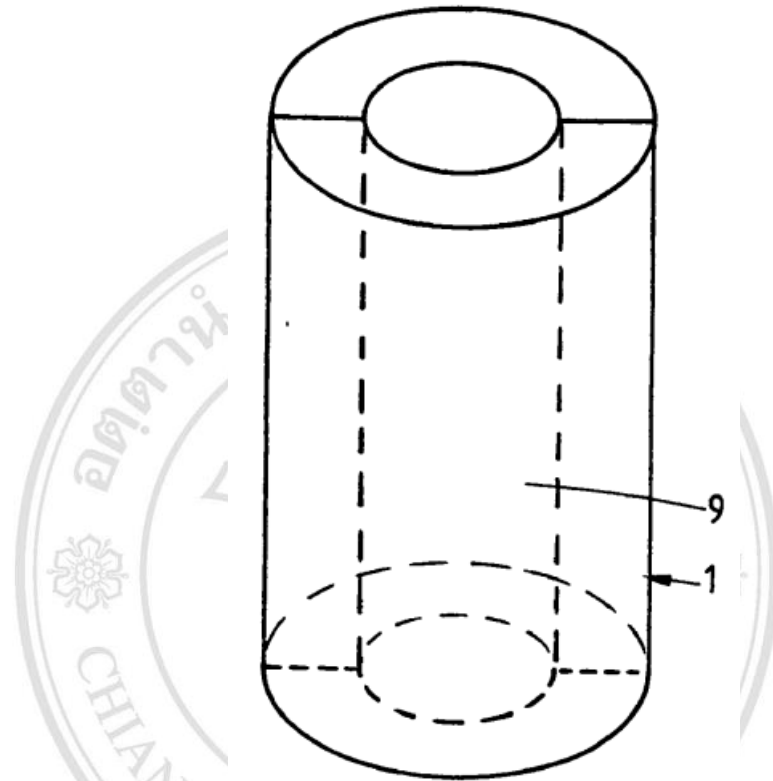
1. Lewis acids, Sn(Ph)<sub>4</sub>, SnBr<sub>4</sub>, stannous octoate – SnOct<sub>2</sub>, zinc acetate – ZnAc<sub>2</sub>, Sb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, zinc lactate – ZnLac<sub>2</sub> สามารถละลายได้ในตัวทำละลายอินทรีย์ทั่วไป และไม่เป็นพิษ
2. Metal – alkoxides: Al(OR)<sub>3</sub>, R<sub>3</sub>SnOR, Ti(OR)<sub>4</sub> เป็นตัวริเริ่มที่แท้จริงของกระบวนการพอลิเมอไรเซชันแบบเปิดวง แต่ว่าตัวริเริ่มนี้มีความเป็นพิษ เช่น Aluminium tri – isopropoxyde, Al(O – iPr)<sub>3</sub> เป็นที่น่าสงสัยว่าอาจเป็นตัวที่ทำให้เกิดโรคอัลไซเมอร์
3. ตัวริเริ่มอื่นๆ เช่น N – carbenes สารประกอบเชิงซ้อนของแคลเซียม แมกนีเซียม ความสามารถที่เข้ากับเนื้อเยื่อกระดูกในร่างกายได้และมีความเป็นพิษต่ำ

### 2.2.2 การออกแบบถังปฏิกรณ์

Wal and Mol (2006) ได้คิดค้นและจดสิทธิบัตรถังปฏิกรณ์เป็นรูปแบบต่างๆ ซึ่งการพัฒนากระบวนการปัญหาที่เกิดขึ้นข้างต้นนั้นสามารถแก้ไขได้โดยการปรับเปลี่ยนรูปร่างและโครงสร้างของเครื่องปฏิกรณ์ โดยทำการประดิษฐ์เป็นรูปแบบต่างๆ ดังนี้

1. ถังปฏิกรณ์ทรงกระบอกมีท่อแกนภายใน (rod-shaped lumen) รูปร่างต่างๆ ของถังปฏิกรณ์สามารถเลือกสร้างท่อที่มีรูปทรงตามต้องการได้ ซึ่งความยาวของท่อนั้นสามารถขยายได้โดยที่ไม่ส่งผลกระทบต่อถ่ายโอนความร้อนของระบบ เพราะส่วนประกอบของผนังถังปฏิกรณ์สามารถเอาออกได้หลังจากการพอลิเมอไรเซชันและการทำให้เย็นลง และจะทำให้เห็นถึงความยาวของพอลิเมอไรเซชันได้ แม้ว่าความยาวของแท่งพอลิเมอไรเซชันจะค่อนข้างยาว แสดงในรูปที่ 2.8 ได้ทำการทดลองใช้โมโนเมอร์แอลแลคไทด์ (L-lactide) 12.5 กิโลกรัม ใส่ลงถังปฏิกรณ์โดยมีความกว้าง 16 เซนติเมตร ความยาว 55.5 เซนติเมตร ทำการพอลิเมอไรเซชันที่อุณหภูมิ 990 องศาเซลเซียส

เป็นเวลา 96 ชั่วโมง ได้น้ำหนักมวลโมเลกุล 488,600 และ 1050 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 72 ชั่วโมง ได้น้ำหนักมวลโมเลกุล 393,500 ทั้งสองเงื่อนไขในการพอลิเมอไรเซชันพอลิเมอร์ภายในแกน (rod) มีการรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกัน (homogeneous)

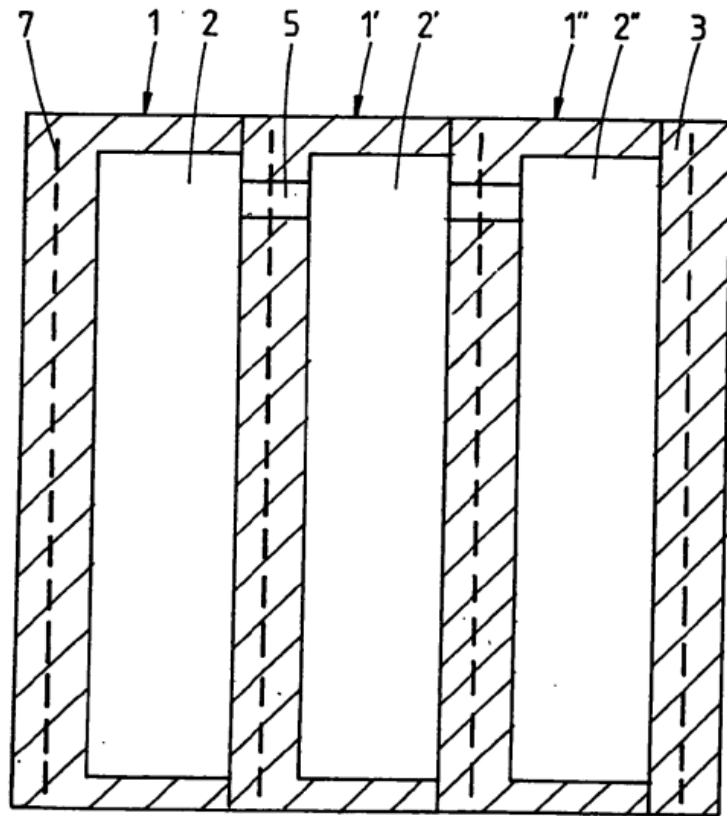


รูปที่ 2.8 ลักษณะถึงปฏิกรณ์ที่ออกแบบโดย Wal and Mol (2006)

2. รูปร่างของถึงปฏิกรณ์เป็นท่อรูปทรงแผ่น (plate-shaped lumen) นำแผ่น 2 แผ่น หรือมากกว่านั้น นำมาติดให้พอดีกัน แสดงในรูปที่ 2.9 โดยแผ่นจะมีรูปทรงต่างๆ เช่น ทรงกลม สี่เหลี่ยมมุมฉาก สามเหลี่ยม เป็นต้น สำหรับแผ่นสามเหลี่ยมกำหนดพื้นที่จากความยาวและความกว้าง ไม่รวมความหนา สำหรับแผ่นแผ่นทรงกลมกำหนดพื้นที่จากเส้นรอบรูป ไม่รวมความหนาของแผ่นพอลิเมอร์ ทำการทดลองโดยนำแผ่นมาติดกัน 7 แผ่น เมื่อทำปฏิกิริยาเสร็จแล้วปล่อยแผ่นที่ติดกันออก แผ่นพอลิเมอร์จะถูกถอดออกจากถึงปฏิกรณ์ วัดค่าความหนืดธรรมชาติโดยจะวัดโดยการปล่อยแผ่นที่ละแผ่นและทำการวัด ซึ่งแอล-แลคไทด์ สามารถวัดค่าความหนืดธรรมชาติได้ทั้งหมดทั้ง 7 แผ่น โดยค่าความหนืดธรรมชาติอยู่ที่ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7.52 ข้อมูลที่ได้นั้นแสดงให้เห็นว่าจำนวนท่อแบบแผ่นนั้นให้ค่าความหนืดที่เหมือนกัน และมีอีกสิ่งหนึ่งที่สามารถทำให้พอลิเมอร์ออกจากมาถึงปฏิกรณ์ได้อย่างง่ายคือ การเคลือบผนังของถึงปฏิกรณ์ภายในด้วยวัสดุที่เป็นเคมีและสามารถทนความร้อนได้อย่างสม่ำเสมอ

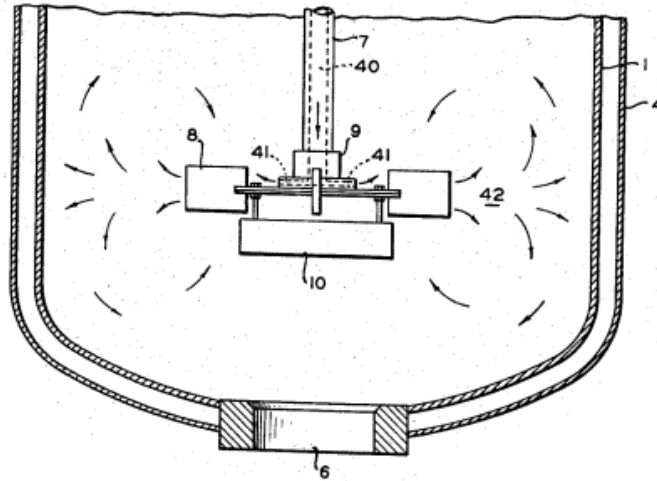


ในระหว่างการทำปฏิกิริยา สารเคลือบควรเป็นพลาสติกประเภท พอลิโอเลฟิน (polyolefins) พอลิคาร์บอเนต (polycarbonate) ในกระบวนการพอลิเมอร์ไรเซชัน ควรมีการควบคุมอุณหภูมิอย่างแม่นยำ เพราะว่าการจะดำเนินการที่อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น ซึ่งผนังของถังปฏิกิริยาต้องติดตั้งอุปกรณ์ให้ความร้อน หรือ ความเย็น โดย อุปกรณ์ให้ความร้อนที่เหมาะสมควรเป็นประเภทน้ำมันซึ่งจะติดตั้งอยู่ภายนอกของ ถังปฏิกิริยา



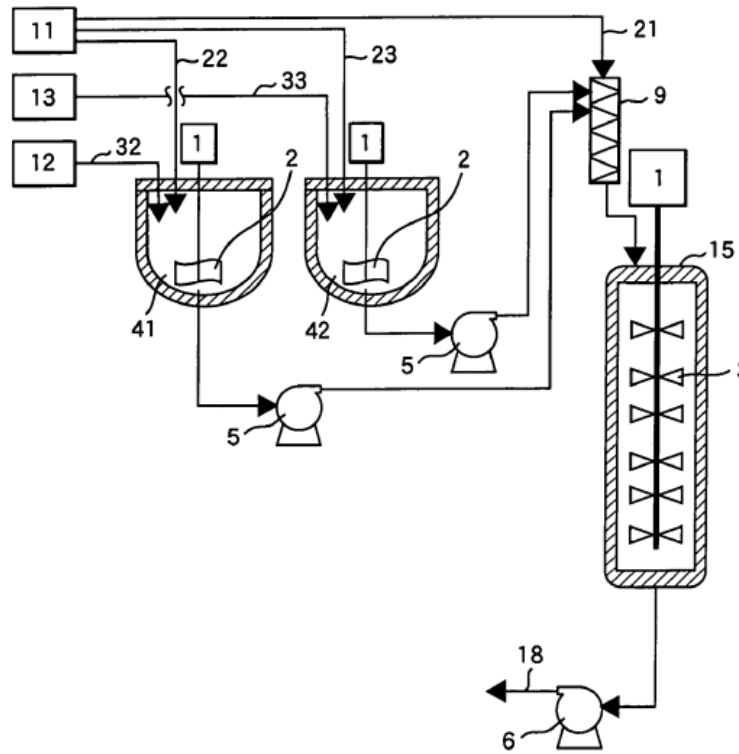
รูปที่ 2.9 ลักษณะถังปฏิกิริยาที่ออกแบบโดย Wal and Mol (2006)

Dye (1956) ได้ได้คิดค้นและจดสิทธิบัตรถังปฏิกิริยาชนิดใบพัด เป็นถึงรูปทรงกระบอกโดยมุมของถังโค้งเป็นวงรี และมีช่องแจ็กเกตซึ่งเป็นทางผ่านของสารให้ความร้อนหรือสารให้ความเย็น มีแกนเพลลาใบกวนอยู่ตรงกลางและองค์ประกอบของใบพัดติดตั้งอยู่บนวงแหวน (collar) เพื่อป้องกันการหมุนของของเหลวทั้งหมดและให้เกิดความปั่นป่วน ติดตั้งแผ่นเบฟเฟิลให้อยู่ในแนวรัศมีกับผนังของถังภายนอกและมีระยะห่างภายใน แสดงในรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 ลักษณะของถังปฏิกรณ์ที่ออกแบบโดย Dye

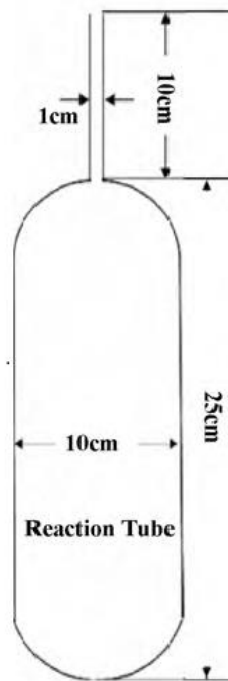
Mizumoto et al. (2009) ได้คิดค้นและจดสิทธิบัตรถังปฏิกรณ์ที่ใช้สังเคราะห์พอลิเมอร์โดยใช้ถังปฏิกรณ์แบบถัง 2 ชั้น มีใบพัดกวน (a propeller type stirring blades) อยู่ภายใน แสดงในรูปที่ 2.11 ภายในถังปฏิกรณ์เก็บอุณหภูมิได้ 120 – 200 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการพอลิเมอไรเซชันนาน 10 ชั่วโมง และทำการออกแบบถังปฏิกรณ์แบบหลอด 2 ชั้น มีใบกวนแบบสกรูแกนเดี่ยว (screw-type single axial stirring blade) อยู่ภายใน ภายในถังปฏิกรณ์เก็บอุณหภูมิได้ 120 – 190 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการพอลิเมอไรเซชันนาน 8 ชั่วโมง



รูปที่ 2.11 ลักษณะของถังปฏิกรณ์ที่ออกแบบโดย Mizumoto et al.

Xu et al. (2010) ได้ทำการสังเคราะห์ อี – คาร์โบแลคโตนในถังปฏิกรณ์ที่มีหลอดขนาดเล็ก อยู่ภายใน หลอดขนาดเล็กมีความกว้าง 10 เซนติเมตร ความยาวของหลอด 25 เซนติเมตร ปลายหลอดมีความยาว 10 เซนติเมตรและมีความกว้าง 1 เซนติเมตร โดยใช้พลังงานความร้อนจากเตาไมโครเวฟที่ระดับต่างๆ ผลิตภัณฑ์ – คาร์โบแลคโตนได้น้ำหนักมวลโมเลกุลเฉลี่ย 66,000 – 122,000 กรัมต่อโมล ภายใน 40 นาที และให้อัตราผลเฉลี่ยมากกว่าร้อยละ 93

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่  
Copyright © by Chiang Mai University  
All rights reserved



รูปที่ 2.12 หลอดปฏิกิริยา (Xu et al., 2010)

### 2.2.3 การย่อยสลายของ PLA

Muller (2008) กล่าวว่า ในธรรมชาติแล้วการย่อยสลายนั้นเกิดจากการกระตุ้นด้วยความร้อน ปฏิกิริยาการย่อย เอนไซม์ ปัจจัยต่างๆ เช่น อุณหภูมิ ความชื้น ความเป็นกรด - ด่าง ความเค็ม สภาพที่มีและไม่มีออกซิเจน PLA จะย่อยสลายได้นั้นจะขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ เช่น น้ำหนัก โมเลกุล การตกผลึก ความบริสุทธิ์ อุณหภูมิ ความเป็นกรด - ด่าง การซึมผ่านของน้ำ สารเติมแต่งที่ทำหน้าที่เป็นตัวเร่ง รวมถึงเอนไซม์ แบคทีเรีย (Park and Xanthos, 2009) Auras et al. (2004) ยังพบอีกว่า PLA สามารถย่อยได้ด้วยน้ำเดือดหรือไอของกรดแลคติก ซึ่งสามารถนำกลับมาใช้เป็นสารตั้งต้นโมโนเมอร์ใหม่ได้ สามารถย่อยที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส ไปจนถึง 360 องศาเซลเซียส ใช้เวลา 30 นาที จะได้กรดแลคติกชนิดแอล (L-Lactic Acid) เป็นผลิตภัณฑ์สุดท้าย ซึ่ง Ghorpade et al. (2001) ได้ตั้งข้อสังเกตว่า PLA นั้นสามารถย่อยสลายได้เป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำในสถานะที่ควบคุมการหมัก ใช้เวลาน้อยกว่า 90 วัน เป็นย่อยสลายแบบรวดเร็วของสารอินทรีย์ต่างกันตามจำนวนของจุลินทรีย์ผสมภายใต้สภาวะการควบคุมที่มีสภาพชื้น อบอุ่น และมีออกซิเจน Toshinori et al. (2002) ยังพบว่า ตัวอย่างแผ่นฟิล์มนุ่ม PLA สลายตัวภายใน 3 สัปดาห์ และตัวอย่างแบบแฉกและแบบเส้นสลายตัวภายใน 6 สัปดาห์ Kale et al. (2007) ได้ค้นพบว่า ประสิทธิภาพการทำงานของกร่อยสลายของขวด Polylactide (PLA) ภายใต้เงื่อนไขการทำปฏิกิริยากำลังทดลองตามมาตรฐาน ASTM และ

มาตรฐาน ISO และผลลัพธ์เหล่านี้นำไปเทียบกับวิธีการใหม่ของการประเมินการย่อยสลายในสภาพแวดล้อมจริง วิธีการทำปุ๋ยหมักจำลอง 2 แบบ ถูกนำมาใช้ในการศึกษานี้เพื่อประเมินการย่อยสลายทางชีวภาพของขวด PLA: (a) วัด Respirometric สะสมระบบ (CMR) และ (b) Gravimetric วัด Respirometric ระบบ (GMR) ทั้ง CMR และระบบ GMR แสดงให้เห็นแนวโน้มที่คล้ายกันของการย่อยสลายขวด PLA และการกลายเป็นแร่ธาตุใน 58 วัน คือ ร้อยละ 84.2709 และร้อยละ 77.87104 ตามลำดับ

Ghorpade et al. (2001) ยืนยันว่า PLA สลายตัวตามธรรมชาติในดินหรือปุ๋ยหมัก แม้ว่า PLA ส่วนน้อยไวต่อการเสื่อมสภาพกว่าโพลีเมอร์ย่อยสลายทางชีวภาพอื่นๆ และมีรายงานว่าผลิตภัณฑ์ของการย่อยสลาย PLA สามารถหลอมรวมทั้งหมดโดยจุลินทรีย์ เช่น เชื้อราหรือแบคทีเรีย (Tsuji et al., 1998; Li et al., 2000; Hoshino et al., 2003) การย่อยสลายทางความร้อนของ PLA สามารถเกิดจากหลายสาเหตุ เช่น (a) hydrolysis by trace amounts of water, (b) zipper-like depolymerization, (c) oxidative, random main-chain scission, (d) intermolecular transesterification to monomer and oligomeric esters, and (e) intramolecular transesterification ผลในรูปแบบของโมโนเมอร์และ lactides oligomer มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ (Sodergard and Stold, 2002)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่  
Copyright© by Chiang Mai University  
All rights reserved