

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความรู้พื้นฐานโพลิเมอร์

โพลิเมอร์ คืออะไร

โพลิเมอร์ (Polymer) มาจากคำกรีก 2 คำ คือ POLY แปลว่าหลายหรือมาก และ MER แปลว่าหน่วยหรือส่วน ดังนั้นโพลิเมอร์จึงเป็นสารที่มีโมเลกุลสูงมาก โดยที่โมเลกุลเหล่านี้ประกอบด้วยหน่วยที่ซ้ำ ๆ กัน เป็นจำนวนมาก ซึ่งเป็นสารประกอบอินทรีย์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง (High Molecular Weight) เกิดขึ้นในธรรมชาติหรือสังเคราะห์ขึ้นมา ประกอบด้วยหน่วยเล็ก ๆ ซึ่งเหมือน ๆ กันที่เรียกว่า โมโนเมอร์ (Monomer) มาต่อกันด้วยพันธะเคมี (Chemical Bond) โดยในที่นี้จะกล่าวถึงการสังเคราะห์โพลิเมอร์ ความรู้เกี่ยวข้องกับเครื่องปฏิกรณ์ และผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 การสังเคราะห์โพลิเมอร์

โพลิเมอร์ไรเซชัน คือปฏิกิริยาที่ทำให้โมโนเมอร์ตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไป เกิดปฏิกิริยาแบบควบแน่นหรือแบบรวมตัวเป็นสายโซ่ยาว ๆ และน้ำหนักโมเลกุลเป็นหลายพันเท่าของโมโนเมอร์ จึงมีคุณสมบัติต่าง ๆ แตกต่างจากโมโนเมอร์ โดยการจำแนกการเกิดโพลิเมอร์ไรเซชันอาจจำแนกตามวิธีการต่าง ๆ ได้ดังนี้

- A. ตามปฏิกิริยาที่เกิด
- B. ตามหน่วยที่ซ้ำกัน
- C. ตามการเปลี่ยนแปลงเมื่อได้รับความร้อน
- D. ตามเทคนิคการเตรียม
- E. ตามความเป็นเนื้อเดียวกันของโพลิเมอร์

A. โพลีเมอร์ไรเซชัน เมื่อแบ่งตามปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นได้ 2 ชนิด

A.1 โพลีเมอร์ไรเซชันแบบขั้นหรือแบบควบแน่น (Step or Condensation Polymerization) เป็นโพลีเมอร์ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบหน่วยที่ซ้ำ ๆ กันในโครงสร้างของโพลีเมอร์กับโมโนเมอร์ที่ใช้สังเคราะห์โพลีเมอร์นั้น พบว่ามีโมเลกุลเล็ก ๆ ขาดหายไป เช่น H_2O , HCl , CH_3OH

A.2 โพลีเมอร์ไรเซชันแบบลูกโซ่หรือแบบรวมตัว (Chain or Addition Polymerization) เป็นโพลีเมอร์ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบหน่วยที่ซ้ำ ๆ กันในโครงสร้างของโพลีเมอร์กับโมโนเมอร์ที่ใช้สังเคราะห์โพลีเมอร์นั้น ไม่มีโมเลกุลเล็ก ๆ ขาดหายไป กล่าวคือหน่วยที่ซ้ำ ๆ กันของโพลีเมอร์มีจำนวนอะตอมเท่ากับอะตอมในโมโนเมอร์

โพลีเมอร์ไรเซชันอีกแบบหนึ่งคือโพลีเมอร์ไรเซชันแบบผสม โดยทำให้ปฏิกิริยาแบบควบแน่นก่อน เพื่อให้เกิดโพลีเมอร์ที่มีโมเลกุลเล็ก ๆ แล้วจึงทำปฏิกิริยาแบบรวมตัวเพื่อให้เป็นโพลีเมอร์ที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ด้วยโมโนเมอร์ตัวที่สาม อาทิเช่นการสังเคราะห์โพลีเอสเตอร์และโพลียูรีเทน

B. โพลีเมอร์ไรเซชัน เมื่อแบ่งตามหน่วยที่ซ้ำกันได้ 2 ชนิด

B.1 โฮโมโพลีเมอร์ ได้แก่ โพลีเมอร์ที่ในสายโซ่โพลีเมอร์มีหน่วยที่ซ้ำ ๆ กันเพียงชนิดเดียวเท่านั้น เช่น โพลีเอทิลีน มีหน่วยที่ซ้ำ ๆ กันคือเอทิลีน

B.2 โคโพลีเมอร์ ได้แก่ โพลีเมอร์ที่ในสายโซ่โพลีเมอร์มีหน่วยที่ซ้ำ ๆ กัน 2 ชนิดหรือมากกว่า 2 ชนิด เช่น โพลีเมอร์ของสไตรีนและไวนิลคลอไรด์มีทั้งสไตรีนและไวนิลคลอไรด์ในสายโซ่ของโพลีเมอร์

โคโพลีเมอร์ที่มีหน่วยที่ซ้ำ ๆ กัน 2 ชนิด ยังสามารถแบ่งตามลักษณะของการจัดเรียงของหน่วยที่ซ้ำ ๆ กันในโมเลกุลออกเป็น 4 ชนิด คือ

B.2.1 โคโพลีเมอร์แบบแรนดัม (Random Copolymer) โคโพลีเมอร์ที่มีหน่วยที่ซ้ำ ๆ กันทั้งสองชนิดในสายโซ่โพลีเมอร์จัดเรียงกันอย่างไม่เป็นระเบียบ

B.2.2 โคโพลีเมอร์แบบสลับ (Alternative Copolymer) โคโพลีเมอร์ที่มีหน่วยที่ซ้ำ ๆ กันทั้งสองชนิดในสายโซ่โพลีเมอร์จัดเรียงสลับกันไปเรื่อย ๆ

B.2.3 บล็อกโคโพลีเมอร์ (Block Copolymer) โคโพลีเมอร์ที่มีหน่วยที่ซ้ำ ๆ กันวางเรียงกันเป็นเป็นแถว ๆ สลับกันไปเรื่อย ๆ

B.2.4 กราฟต์โคโพลิเมอร์ (Graft Copolymer) โคลิโพลิเมอร์ชนิดนี้มีโมโนเมอร์ชนิดหนึ่งเรียงกันเป็นแถวยาว และในระหว่างแถวมีโมโนเมอร์อีกชนิดหนึ่งแตกสาขาเป็นแถวยาวออกไป

C. โพลิเมอร์ไรเซชัน เมื่อแบ่งตามการเปลี่ยนแปลงเมื่อได้รับความร้อนได้ 2 ชนิด

C.1 เทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic Polymer) โพลิเมอร์ประเภทนี้สามารถหลอมตัวเมื่อได้รับความร้อน แล้วแข็งตัวเมื่อทำให้เย็นลง การหลอมตัวและการเย็นตัวลงกระทำได้หลายๆ ครั้ง โดยไม่กระทบต่อคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของโพลิเมอร์นั้น กล่าวคือโครงสร้างของโพลิเมอร์ไม่เปลี่ยนแปลง ตัวอย่างเช่น โพลีสไตรีน โพลีไวนิลคลอไรด์

C.2 เทอร์โมเซต (Thermosets Polymer) โพลิเมอร์ประเภทนี้สามารถหลอมตัวได้เฉพาะครั้งแรกเท่านั้น ตามด้วยการเชื่อมโยงระหว่างโมเลกุลของโพลิเมอร์นั้นเป็นผลให้โพลิเมอร์มีโครงสร้างแบบเชื่อมโยง (Crosslinked) และแบบร่างแห (Network) โครงสร้างของโพลิเมอร์จะคงตัวหรือไม่สามารถเปลี่ยนแปลงได้อีก เมื่อเทอร์โมเซตได้รับความร้อนจะไม่สามารถหลอมตัวได้อีก ถ้าให้ความร้อนมาก ๆ พันธะระหว่างโมเลกุลในเทอร์โมเซตจะสลายตัวลง และได้วัสดุที่มีสมบัติเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม ตัวอย่างเช่น เมลามีน ฟอรัมาดีไฮด์เรซิน

D. โพลิเมอร์ไรเซชัน เมื่อแบ่งตามเทคนิคการเตรียมได้ 4 ชนิด

D.1 โพลิเมอร์ไรเซชันแบบบัลค์ (Bulk Polymerization) ระบบหรือเครื่องปฏิกรณ์ของการเกิดปฏิกิริยามีเพียงโมโนเมอร์หรือคูโมโนเมอร์บริสุทธิ์ และตัวริเริ่มเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ไม่มีตัวทำละลายหรือสารอื่น เหมาะสมกับโพลิเมอร์ไรเซชันแบบควบแน่นหรือแบบขั้น เพราะไม่มีปัญหาการกระจายความร้อน ความหนืด และการสูญผลิตผลพลอยได้ที่เป็นโมเลกุลเล็ก (HC_1 , H_2O , CH_3OH) ออกไปก็เป็นไปอย่างสะดวก

ตัวอย่างโพลิเมอร์ที่เตรียมโดยโพลิเมอร์ไรเซชันแบบบัลค์ได้แก่ โพลิเมทิลเมทาโครเลต (PMMA), โพลีสไตรีน (PS) และโพลีไวนิลคลอไรด์ (PVC)

D.2 โพลิเมอร์ไรเซชันแบบสารละลาย (Solution Polymerization) โพลิเมอร์ไรเซชันแบบนี้มีโมโนเมอร์หรือคูโมโนเมอร์ และตัวริเริ่มละลายในตัวทำละลายที่เหมาะสม เช่น เบนซีน โทลูอีน คลอโรฟอร์ม และไฮโดรคาร์บอน โพลิเมอร์ที่ได้อาจจะละลายในตัวทำละลาย หรืออาจตกตะกอนออกจากสารละลายก็ได้ โพลิเมอร์ไรเซชันแบบนี้ไม่มีปัญหาเรื่องการควบคุมอุณหภูมิ เนื่องจากมีตัวทำละลายทำหน้าที่ถ่ายเทความร้อน

โพลิเมอร์ไรเซชันแบบสารละลายสามารถใช้ในการผลิตโพลิเมอร์ที่ได้ไปเป็นโพลิเมอร์อื่น โดยปฏิกิริยาทางเคมี เช่น กรณีการเตรียมโพลิไวนิลแอลกอฮอล์ ซึ่งโพลิเมอร์นี้ไม่สามารถเตรียมได้โดยตรงจากโมโนเมอร์ คือ ไวนิลแอลกอฮอล์ เพราะเป็นสารที่ไม่สามารถเตรียมได้ ดังนั้นจึงต้องเตรียมโดยวิธีทางอ้อม คือเตรียมโพลิไวนิลอะซิเตตจากไวนิลอะซิเตต หลังจากนั้นเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของโพลิไวนิลอะซิเตตได้เป็นโพลิไวนิลแอลกอฮอล์

D.3 โพลิเมอร์ไรเซชันแบบแขวนลอย (Suspension Polymerization) โพลิเมอร์ไรเซชันแบบนี้อาจเรียกว่าแบบกระจาย (Dispersion) หรือบางครั้งเรียกว่าโพลิเมอร์ไรเซชันแบบไข่มุกหรือแบบเม็ด (Pearl or Bead Polymerization)

โพลิเมอร์ไรเซชันแบบแขวนลอยมีลักษณะคล้ายคลึงกับโพลิเมอร์ไรเซชันแบบบัลด์มาก ซึ่งประกอบด้วยตัวริเริ่มละลายในโมโนเมอร์ แตกต่างกันเพียงว่าโมโนเมอร์ถูกแยกออกจากกัน ในรูปของหยดเล็กแขวนลอยอยู่ในตัวกลางเท่านั้น แต่วิธีนี้มีข้อดีที่ว่าในตัวกลางคอยทำหน้าที่รับและกระจายความร้อนของปฏิกิริยา จึงช่วยขจัดปัญหาการควบคุมอุณหภูมิและความหนืด

โพลิเมอร์ที่มีความสำคัญในเชิงการค้าที่เตรียมโดยวิธีการผลิตแบบนี้ได้แก่ โพลิสไตรีน (PS), โพลีเมทิลเมทาคริเลต (PMMA), โพลิไวนิลคลอไรด์ (PVC)

D.4 โพลิเมอร์ไรเซชันแบบอิมัลชัน (Emulsion Polymerization) เทคนิคนี้มีน้ำเป็นตัวกลางเช่นเดียวกับกรณีของโพลิเมอร์ไรเซชันแบบแขวนลอย แต่มีข้อแตกต่างที่สำคัญ 2 ข้อคือตัวริเริ่มอยู่ในน้ำแทนที่จะละลายอยู่ในโมโนเมอร์ และขนาดของหยดโมโนเมอร์เล็กกว่ามาก ส่งผลให้โพลิเมอร์ที่ได้มีขนาดเล็กกว่าแบบแขวนลอยและเทคนิคนี้แตกต่างจากวิธีโพลิเมอร์ไรเซชันอื่น ๆ คือมีการใช้อิมัลซิไฟเออร์ (Emulsifier) เช่น สบู่ในกระบวนการด้วย

โพลิเมอร์ไรเซชันแบบอิมัลชันนี้มีความสำคัญมาก เพราะเป็นเทคนิคที่ใช้ในการสังเคราะห์โคโพลิเมอร์ของสไตรีนและบิวตะไดอิน ซึ่งเป็นยางสังเคราะห์ที่ผลิตขึ้นในระหว่างสงครามโลกครั้งที่ 2

องค์ประกอบหลักในกระบวนการเกิดโพลิเมอร์ไรเซชันแบบอิมัลชัน ได้แก่

1. คูโมโนเมอร์ ที่ไม่ละลายน้ำหรือละลายน้ำได้น้อยมาก
2. ตัวกลาง (Dispersing media) ซึ่งได้แก่น้ำ
3. ตัวอิมัลซิไฟเออร์ (Emulsifier) ซึ่งได้แก่สบู่หรือผงซักฟอก ทำหน้าที่ลดความตึงผิวของน้ำเพื่อให้เกิดภาวะอิมัลชัน
4. ตัวริเริ่มที่สามารถละลายน้ำได้ สารริเริ่มที่ใช้ได้แก่โพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต

5. ตัวย่ายลุกโซ่ สารที่ใช้เป็นสารจำพวกเมอร์แคปตัน (Mercaptan, RSH) ซึ่งในกรณีนี้ใช้สารลอริลเมอร์แคปตัน (Lauryl Mercaptan) ทำหน้าที่ควบคุมน้ำหนักโมเลกุลของโพลิเมอร์

ตัวอย่างโพลิเมอร์ที่เตรียมโดยโพลิเมอร์ไรเซชันแบบอิมัลชันได้แก่ อะคริลิกอิมัลชัน, ยางสังเคราะห์ซึ่งเป็นโคโพลิเมอร์ของสไตรีนและบิวตะไดอิน

E. โพลิเมอร์ไรเซชัน เมื่อแบ่งตามความเป็นเนื้อเดียวกันของโพลิเมอร์ได้ 2 ชนิด

E.1 ระบบเนื้อเดียวกัน (Homogeneous System) เป็นระบบโพลิเมอร์ไรเซชันที่ทั้งสารตั้งต้นคือโมโนเมอร์หรือคูโมโนเมอร์, ตัวทำละลาย (ถ้ามี), ตัวเร่งหรือตัวริเริ่ม ตลอดจนผลิตภัณฑ์คือ โพลิเมอร์หรือโคโพลิเมอร์ สามารถละลายซึ่งกันและกันได้ เทคนิคโพลิเมอร์ไรเซชันที่จัดเป็นแบบระบบเนื้อเดียวกันได้แก่ แบบบัลค์ (Bulk) และแบบสารละลาย (Solution)

ตารางที่ 2.1 เทคนิคโพลิเมอร์ไรเซชันที่นิยมใช้ในการผลิตโพลิเมอร์ที่สำคัญในเชิงการค้า

| โพลิเมอร์ | เทคนิคโพลิเมอร์ไรเซชัน |
|-------------------------------------|---------------------------|
| Polycarbonates | บัลค์ |
| Polyethylene (Low density) | บัลค์ |
| Polyethylene (High density) | สารละลาย |
| Polymethyl methacrylate (PMMA) | บัลค์, แชนวอลอย |
| Polyvinylchloride (PVC) | บัลค์, อิมัลชัน, แชนวอลอย |
| Polyvinyl alcohol | แชนวอลอย |
| Polypropylene | สารละลาย |
| Polystyrene (PS) | บัลค์, แชนวอลอย |
| Polyvinyl acetate (PvAc) | อิมัลชัน, สารละลาย |
| Acrylic Emulsion | อิมัลชัน |
| Polyisoprene | สารละลาย |
| Styrene-butadiene copolymer | อิมัลชัน |
| Polyformaldehyde | สารละลาย |
| Poly (6-aminocaproic acid) (nylon6) | บัลค์ |

E.2 ระบบเนื้อผสม (Heterogeneous System) เป็นระบบโพลิเมอร์โรเซชันที่สารใดสารหนึ่งหรือมากกว่าไม่สามารถละลายได้ในสารอื่นๆ ในระบบ เช่น ตัวเร่งไม่ละลายในตัวทำละลาย, ผลิตภัณฑ์หรือโพลิเมอร์ที่ได้ไม่ละลายในตัวทำละลาย (ถ้ามี) หรือในโมโนเมอร์หรือคูโมโนเมอร์ที่ใช้, ตัวเร่งไม่ละลายในโมโนเมอร์หรือโพลิเมอร์ที่ได้ เป็นต้น เทคนิคโพลิเมอร์โรเซชันแบบเนื้อผสมได้แก่ แบบแขวนลอย (Suspension) แบบอิมัลชัน (Emulsion) และแบบโพลิเมอร์ตกตะกอนออกจากสารละลาย

โดยที่ผ่านมามีผู้ทำการศึกษาการควบคุมการเกิดปฏิกิริยา ดังนี้

ธนากร บุตรถาราม (2541) ได้ทำการศึกษาการควบคุมอุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์โพลิเมอร์แบบเซมิแบตช์โดยใช้จีเอ็มซี ซึ่งโพลิเมอร์ที่ทำการศึกษาคือไวโนลอะคริลอิมัลชัน

นุศรา บุญประเสริฐ (2542) ได้ทำการศึกษาการประยุกต์ควบคุมแบบเจเนริกโมเดลสำหรับเครื่องปฏิกรณ์การเกิดโพลิไวโนลคลอไรด์

2.2 ความรู้ที่เกี่ยวข้องกับเครื่องปฏิกรณ์

เครื่องปฏิกรณ์การผลิตโพลิเมอร์โรเซชัน (Polymerization Reactor) ส่วนใหญ่มีลักษณะความไม่เป็นเชิงเส้นสูงและซับซ้อน (Complex Nonlinear Behavior) จากทฤษฎีและการทดลองพบว่ากระบวนการมีหลายสถานะคงตัว (Steady State Multiplicities), มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ (Parameter Sensitivity) และข้อจำกัดในการเกิดโพลิเมอร์โรเซชันแบบพรีเรตดิกลของโมโนเมอร์บางตัวในเครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่อง (Continuous Stirred Reactors) ดังนั้นจึงต้องมีการเลือกเครื่องปฏิกรณ์ให้เหมาะสมกับกระบวนการผลิต

2.2.1 ชนิดของเครื่องปฏิกรณ์ที่ใช้ในอุตสาหกรรม

เครื่องปฏิกรณ์ที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมการสังเคราะห์โพลิเมอร์มีดังนี้

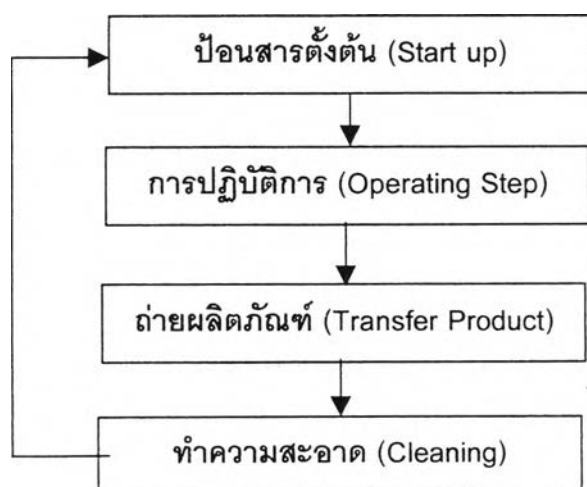
- A. เครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์ (Batch Reactor)
- B. เครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่อง (Continue Stirred Reactor and Plug Flow Reactor)
- C. เครื่องปฏิกรณ์แบบเซมิ-แบตช์ (Semi-Batch Reactor)

A. เครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์ (Batch Reactor)

เครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์เป็นการป้อนสารตั้งต้นเข้าในเครื่องปฏิกรณ์โดยอาศัยช่วงเวลาของการเกิดปฏิกิริยาที่สมบูรณ์เป็นตัวกำหนดการสิ้นสุดของกระบวนการ ถ้ามีการควบคุมสภาวะการผลิตได้ตามสภาวะที่ต้องการ พบว่าการเกิดปฏิกิริยาจะเกิดได้อย่างสมบูรณ์ หลังจากนั้นถ่ายผลิตภัณฑ์ออกจากเครื่องปฏิกรณ์ เครื่องปฏิกรณ์แบบนี้นิยมใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ที่ต้องการผลผลิตสูง ๆ (High Percent Conversion) ผลิตภัณฑ์ที่มีราคาแพงหรือต้องการมีการควบคุมการผลิตที่เข้มงวด โดยเครื่องปฏิกรณ์แบบนี้สามารถเริ่มต้นการผลิตได้ง่ายแต่ต้องใช้แรงงานมาก และต้องสูญเสียเวลาในการผลิต เนื่องจากต้องเสียเวลาในการทำความสะอาด โดยสามารถสรุปขั้นตอนการดำเนินการของกระบวนการที่ผลิตโดยใช้เครื่องปฏิกรณ์ชนิดนี้ได้ดังนี้

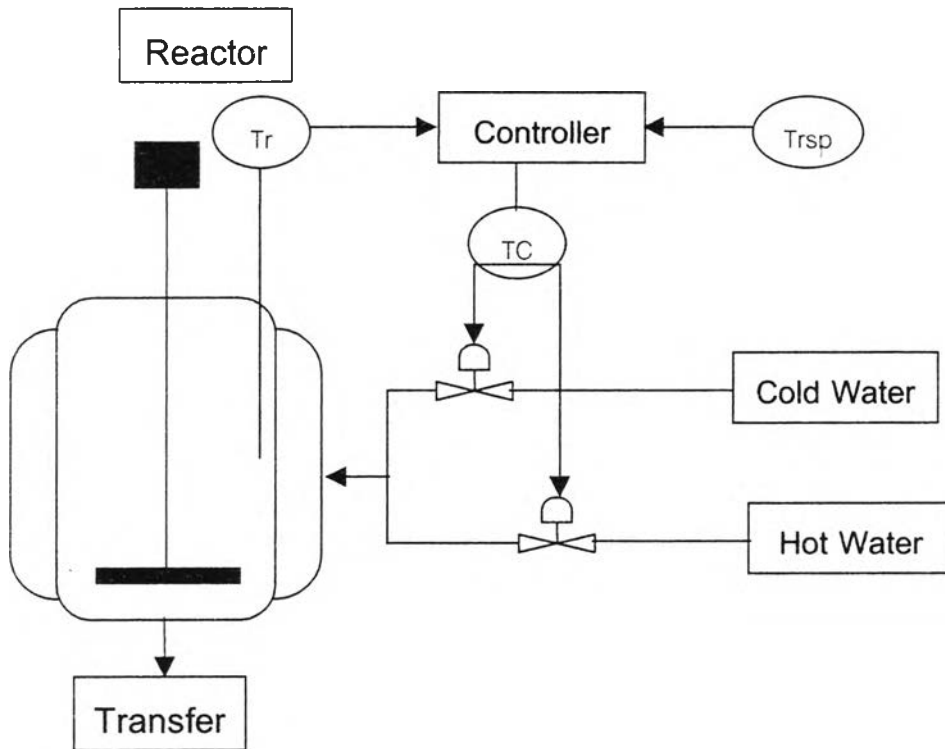
ขั้นตอนการดำเนินการของกระบวนการที่ผลิตโดยใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์

1. การเริ่มต้นการผลิต (Start up) โดยการป้อนสารตั้งต้นแต่ละชนิดลงในเครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์ (Batch Reactor)
2. ขั้นตอนการปฏิบัติการ (Operating Step) โดยให้ความร้อนจนถึงอุณหภูมิเซตพอยต์ ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่สามารถทำปฏิกิริยาได้ และปล่อยน้ำเย็นเข้าสู่แจ็กเก็ตเพื่อถ่ายเทความร้อนที่คายออกจากปฏิกิริยา เพื่อควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ที่อุณหภูมิเซตพอยต์ที่ต้องการจนกระทั่งเกิดปฏิกิริยาสมบูรณ์ และทำให้เย็นอย่างรวดเร็วเพื่อหยุดปฏิกิริยา



รูปที่ 2.1 ขั้นตอนการดำเนินการของกระบวนการโดยใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์

3. การถ่ายผลิตภัณฑ์ (Transfer Product) โดยการถ่ายผลิตภัณฑ์ที่ได้ออกจากเครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์ เพื่อนำเข้าสู่กระบวนการอื่น ๆ หรือบรรจุออกเป็นผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป
4. การทำความสะอาด (Cleaning) เครื่องปฏิกรณ์เพื่อทำการผลิตภัณฑ์อื่น ๆ



รูปที่ 2.2 โครงสร้างของการทำงานของเครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์

การควบคุมอุณหภูมิของปฏิกิริยาแบบคายความร้อนของเครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์ทำได้ยากเนื่องจากปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น ส่งผลทำให้เกิดความไม่แน่นอนของพารามิเตอร์ต่าง ๆ

1. ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นไม่มีสภาวะคงตัว (Unsteady State) ทำให้เกิดการรันอะเวย์ (Runaway) ของเครื่องปฏิกรณ์ เนื่องจากปริมาณความร้อนที่คายออกมาอย่างต่อเนื่องมากกว่าค่าความร้อนที่ถ่ายออกไปให้กับน้ำหล่อเย็นในแจ๊คเก็ตทำให้เกิดการโอเวอร์ชูตของอุณหภูมิ ดังนั้นการป้องกันการเกิดการโอเวอร์ชูตของอุณหภูมิในเครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์เป็นสิ่งจำเป็น

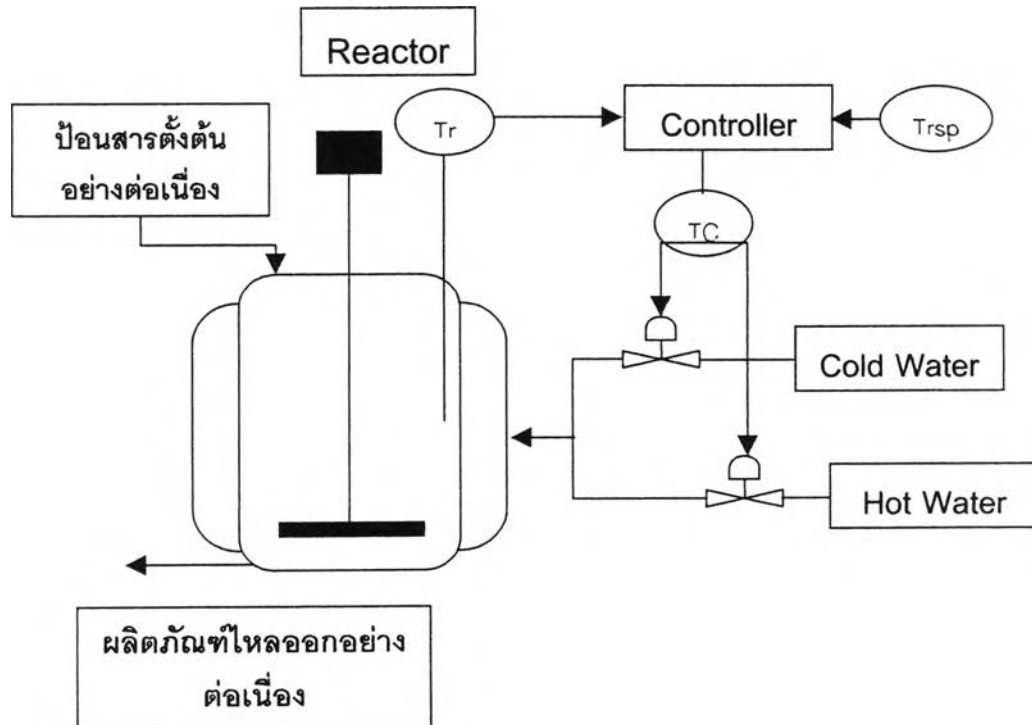
2. ผลของคุณสมบัติของสารภายในเครื่องปฏิกรณ์ที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา เช่น ความหนาแน่น, ความหนืด ฯลฯ ส่งผลให้เกิดความไม่แน่นอนของค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนและพารามิเตอร์ต่าง ๆ ในระบบ

3. แบบจำลองทางจลนศาสตร์เคมีของกระบวนการการเกิดโพลิเมอร์ที่ถูกต้อง เพื่อให้การออกแบบจำลองของกระบวนการอยู่ในรูปที่ง่ายและน่าเชื่อถือ

กระบวนการเกิดปฏิกิริยาในเครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์จะมีความสำคัญมากขึ้น ถ้าสามารถทำให้วงจรขั้นตอนการดำเนินการของกระบวนการทำได้อย่างต่อเนื่อง กล่าวคือพิจารณาออกแบบวงจรให้สั้นลงได้ เนื่องจากสภาวะการดำเนินการปฏิกิริยา (อุณหภูมิ, ความดัน ฯลฯ) ขึ้นกับเวลา ดังนั้นอาจหาสภาวะการดำเนินการปฏิกิริยาที่เหมาะสมและสามารถทำการควบคุมที่สภาวะนั้นๆ เพื่อทำให้ปริมาณของผลิตภัณฑ์ที่ได้มากขึ้น โครงสร้างของการทำงานของเครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์แสดงดังรูปที่ 2.2

B. เครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่อง (Continue Stirred Reactor and Plug Flow Reactor)

เครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่องนิยมใช้มากเนื่องจากการควบคุมอุณหภูมิสามารถทำได้ง่าย เพราะกระบวนการแบบต่อเนื่องนี้มีสภาวะคงตัว (Steady State) เนื่องจากการไหลเข้าของสาร

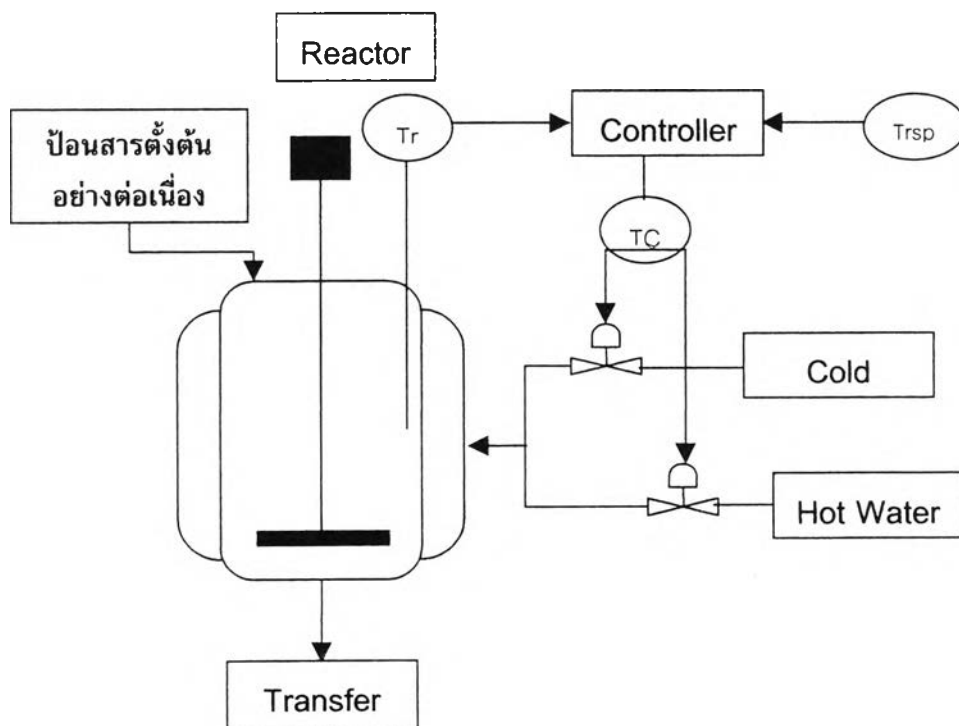


รูปที่ 2.3 โครงสร้างของการทำงานของเครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่อง

ตั้งต้นและไหลออกของสารผลิตภัณฑ์เกิดขึ้นตลอดเวลา และความร้อนที่ปล่อยออกมามีค่าน้อย แต่เปอร์เซ็นต์คอนเวอร์ชันของสารตั้งต้นต่อปริมาตรของเครื่องปฏิกรณ์มีค่าน้อย เพราะฉะนั้นในการออกแบบเครื่องปฏิกรณ์แบบนี้ในกรณีที่ต้องการเปอร์เซ็นต์คอนเวอร์ชันสูง ๆ จำเป็นต้องออกแบบเครื่องปฏิกรณ์ให้มีขนาดใหญ่ หรือใช้เครื่องปฏิกรณ์หลาย ๆ ตัวมาต่อกันแบบอนุกรม โครงสร้างของการทำงานของเครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่องแสดงดังรูปที่ 2.3

C. เครื่องปฏิกรณ์แบบเซมิ-แบตช์ (Semi-Batch Reactor)

เครื่องปฏิกรณ์แบบเซมิ-แบตช์มีการควบคุมการป้อนสารตั้งต้นเข้าในเครื่องปฏิกรณ์ตามอัตราและเวลาที่กำหนด ทำให้ความร้อนที่ปล่อยออกมาจึงน้อยกว่าเครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์ ส่งผลให้การควบคุมอุณหภูมิสามารถทำได้ง่าย ซึ่งพบว่าเครื่องปฏิกรณ์แบบเซมิ-แบตช์นิยมในกรณีที่ปฏิกิริยามีสารตั้งต้นเป็นสารที่ว่องไวในการเกิดปฏิกิริยาได้หลายทาง ซึ่งทำให้เกิดผลิตภัณฑ์หลายตัว โดยในกรณีนี้เครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์ไม่สามารถใช้งานได้เนื่องจากในช่วงต้นของการเกิดปฏิกิริยาความเข้มข้นของสารตั้งต้นมีปริมาณมากจึงเป็นการเสี่ยงต่อการเกิดปฏิกิริยาข้างเคียง โครงสร้างของการทำงานของเครื่องปฏิกรณ์แบบเซมิแบตช์แสดงดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 โครงสร้างของการทำงานของเครื่องปฏิกรณ์แบบเซมิ-แบตช์

2.3 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.3.1 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมเครื่องปฏิกรณ์โพลีเมอร์ไรเซชัน

Takeichiro Takamatsu และคณะ (1988) ได้เสนอตัวควบคุมแบบอะแดปทีฟอินเตอร์นอล (Adaptive Internal Model Controller, AIMC) สำหรับควบคุมอุณหภูมิและความเข้มข้นของโพลิสไตรีนในเครื่องปฏิกรณ์โพลีเมอร์ไรเซชันแบบแบตช์ เพื่อให้ได้โพลีเมอร์ที่มีคุณสมบัติตามที่ต้องการ

B.A Lundberg และ L.W Bezanson. (1990) กล่าวถึงความทนทานของการควบคุมแบบเจเนริกโมเดล โดยใช้อนุพันธ์การป้อนกลับ (Derivative Feedback)

Masoud Soroush และ Costas Kravaris (1992) ได้เสนอการควบคุมอุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์โพลีเมอร์ไรเซชันแบบแบตช์ของเมธิลเมทาครีเลต โดยใช้ตัวควบคุมจีแอลซี (Globally Linearizing Control, GLC) ซึ่งเป็นการควบคุมที่อาศัยแบบจำลองของกระบวนการ โดยพบว่าตัวควบคุมแบบนี้ใช้ได้กับระบบที่มีความไม่เป็นเชิงเส้นสูง

T. Peterson และคณะ (1992) ได้เสนอการควบคุมแบบไดนามิกส์เมตริกส์ (Dynamic Matrix Control) สำหรับเครื่องปฏิกรณ์แบบเคมี-แบตช์ ซึ่งใช้กับระบบที่ไม่เป็นเชิงเส้นได้ และพบว่าสามารถควบคุมอุณหภูมิได้อย่างมีประสิทธิภาพ

R.W. Chylla และ D. Randall Haase (1993) ได้เสนอการควบคุมอุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์แบบเคมี-แบตช์ โดยกล่าวว่าการควบคุมอุณหภูมิทำได้ยาก โดยพบว่าเครื่องปฏิกรณ์แบบเคมี-แบตช์ จะมีการเติมสารตั้งต้นลงในเครื่องปฏิกรณ์อย่างต่อเนื่องทำให้คุณสมบัติทางกายภาพ อาทิเช่น น้ำหนัก, ความจุความร้อนจำเพาะ และสัมประสิทธิ์ของการถ่ายเทความร้อนเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา ซึ่งการควบคุมแบบพีไอดีไม่สามารถควบคุมได้ดี

G. Defaye และคณะ (1993) ได้เสนอตัวควบคุมแบบอะแดปทีฟ-พรีดิกทีฟ (Adaptive Predictive Controller) สำหรับควบคุมอุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์แบบเคมี-แบตช์ โดยมีการประมาณค่าโดยใช้เทคนิคอาร์แอลเอส (RLS Techniques)

Timothy J. Crowley และ Kyu Yong Choi (1997) เสนอการคำนวณค่าการกระจายของความยาวสายโซ่ (Chain Length Distribution) โพลีเมอร์ที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาฟรีเรดิกัลโพลีเมอร์ไรเซชันของไวนิลโมโนเมอร์ โดยใช้สมการจลนศาสตร์ของโพลีเมอร์ไรเซชัน (Polymerization Kinetic Equations) และสมการการเคลื่อนที่ของน้ำหนักโมเลกุล (Molecular Weight Moment Equations)

A. Helbig และคณะ (1998) เสนอการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ (Model Predictive Control) สำหรับปฏิกิริยาคอลลิมेटริกของระบบของเหลว-ไอ (Vapor-liquid system) ซึ่งเป็นระบบไอโซเทอร์มอลในเครื่องปฏิกรณ์แบบเคมี-แบตช์

2.3.2 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมแบบเจเนริกโมเดล

Lee และ Sullivan (1988) ได้เสนอการควบคุมแบบเจเนริกโมเดล (Generic Model Control, GMC) ซึ่งเป็นการควบคุมที่อาศัยแบบจำลองของกระบวนการ โดยแบบจำลองที่ใช้ในการควบคุมเป็นแบบจำลองเชิงเส้นหรือไม่เชิงเส้นก็ได้ ทำให้การควบคุมแบบเจเนริกโมเดลไม่จำเป็นต้องทำให้เป็นเชิงเส้นก่อน แต่การประยุกต์ใช้งานของตัวควบคุมจะใช้ได้ในระบบซึ่งมีความเชิงเส้นในตัวแปรปรับ (Linear in Control) หรือระดับกำลังหนึ่งเท่านั้น โดยตัวควบคุมแบบนี้มีเทคนิคการปรับตัวควบคุมโดยการปรับจูนค่าพารามิเตอร์เพียง 2 ค่า เพื่อให้ได้การตอบสนองของระบบที่ต้องการ

Barry J และคณะ (1989) ได้ประยุกต์ใช้อัลกอริธึมแบบเจเนริกโมเดล ของ Lee และ Sullivan (1988) ในการควบคุมอุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์ของปฏิกิริยาคายความร้อน โดยวิธีการควบคุมแบบดูอัลโหมด (Dual Mode Control) เพื่อทำการทดลองและอาศัยการประมาณค่าความร้อนที่เกิดจากปฏิกิริยาของ Jutan และ Uppal (1984) โดยมีการใช้วิธีนี้กับเครื่องปฏิกรณ์ในอุตสาหกรรม ซึ่งวิธีนี้เป็นการใช้การควบคุมแบบลูฟเปิดในการกำหนดโปรไฟล์ที่เหมาะสมในช่วงการให้ความร้อนกับสารในเครื่องปฏิกรณ์ โดยการให้ความร้อนจนกระทั่งอุณหภูมิถึงอุณหภูมิเซตพอยต์ที่กำหนดไว้ และเปลี่ยนเป็นการให้น้ำหล่อเย็นเพื่อควบคุมอุณหภูมิที่เกิดจากการคายความร้อนให้อยู่ในค่าอุณหภูมิเซตพอยต์ที่กำหนดไว้ กล่าวคือเพื่อให้อัตราการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเป็นศูนย์ ซึ่งเมื่อถึงจุดนี้ตัวควบคุมป้อนกลับมาตรฐาน (Standard Feedback Controller) สามารถเปิดสวิตช์เพื่อใช้ในการรักษาอุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์ให้ค่าที่อยู่ที่อุณหภูมิเซตพอยต์ ซึ่งการควบคุมแบบดูอัลโหมดคือต้องการนำอุณหภูมิของสารในเครื่องปฏิกรณ์ให้ถึงอุณหภูมิเซตพอยต์ให้เร็วที่สุดผลการควบคุมนี้สามารถควบคุมอุณหภูมิของกระบวนการเกิดปฏิกิริยาคายความร้อนได้เป็นอย่างดี แต่การประมาณค่าความร้อนยังไม่มีดี

P.Kittisupakorn และ L.S. Kershenbaum (1994) เสนอวิธีการประมาณค่าความร้อนที่เกิดจากปฏิกิริยาโดยใช้ตัวกรองคาลมาน (Kaman Filter) ร่วมการควบคุมแบบเจเนริกโมเดล

โดยพบว่าการประมาณค่าความร้อนที่เกิดจากปฏิกิริยาสามารถประมาณความร้อนได้ใกล้เคียงกับความร้อนที่เกิดขึ้นจริง นั้นแสดงว่าสามารถควบคุมอุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์ได้เป็นอย่างดี มีความทนทานสูงและสามารถประยุกต์ใช้กับกระบวนการจริงได้ดีกว่าการควบคุมแบบพีไอดี

ธนากร บุตรถาราม (2542) ได้เสนอการควบคุมอุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์โพลีเมอร์แบบเคมี-แบตเตอรี่ โดยใช้ในการควบคุมแบบเจเนริกโมเดล ซึ่งใช้แบบจำลองทางจลนศาสตร์ของ Teymour การเกิดปฏิกิริยาอิมัลชันโพลีเมอร์ไรเซชันมีแบบจำลองเป็นแบบไม่เป็นเชิงเส้นสูง และมีการใช้ตัวประมาณความร้อนออนไลน์ในการประมาณค่าความร้อน โดยพบว่าการควบคุมแบบเจเนริกโมเดลจะให้ผลดีกว่าการควบคุมแบบพีไอดี

นุศรา บุญประเสริฐ (2543) ได้เสนอการประยุกต์ใช้ตัวควบคุมแบบเจเนริกโมเดลสำหรับเครื่องปฏิกรณ์การเกิดโพลีเมอร์ไวนิลคลอไรด์และมีการใช้ตัวประมาณความร้อนออนไลน์ในการประมาณค่าความร้อน โดยพบว่าการควบคุมแบบเจเนริกโมเดลจะให้ผลดีกว่าการควบคุมแบบพีไอดี