

บทที่ 2

ทฤษฎี

พอลิเมอร์ (Polymer) [3] หมายถึงโมเลกุลขนาดใหญ่ที่ประกอบไปด้วยการซ้ำกันของหน่วยย่อยๆซึ่งเรียกว่า มอนอเมอร์ (Monomer) หรือ เมอร์ จะมีน้ำหนักโมเลกุลสูงในช่วง 10,000-10,000,000 ตัวอย่างของพอลิเมอร์ในธรรมชาติได้แก่ เซลลูโลส (Cellulose) ยาง (Rubber) เป็นต้น นอกจากนี้ในปัจจุบันยังมีการสังเคราะห์พอลิเมอร์ขึ้นตัวอย่างเช่น พอลิไวนิลคลอไรด์ (Polyvinyl chloride) พอลิเอทิลีน (Polyethylene)

2.1 ปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ (Polymerization)

ปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 แบบ คือ แบบรวมมวล และแบบกลั่นตัว [3]

2.1.1 ปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์แบบรวมมวล (Addition Polymerization) [3]

เป็นปฏิกิริยาที่ได้พอลิเมอร์จากการรวมมวลของโมเลกุลของมอนอเมอร์ล้วนๆ โดยไม่มีผลิตภัณฑ์อื่นๆ เกิดขึ้น ขั้นตอนของปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์แบบรวมมวลนี้ แบ่งได้เป็น 3 ขั้นตอนหลักคือ

1. ขั้นเริ่มปฏิกิริยา (Initiation)

เป็นขั้นตอนแรกในการสร้างสารตัวกลางที่ว่องไว (Active Center) ซึ่งเป็นสารที่ว่องไวต่อปฏิกิริยา เป็นสารที่มีสภาพทางไฟฟ้าเป็นกลาง แต่มีอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยว (Unshared Electron) อยู่ เช่น พวกอนุมูลอิสระ (Free Radical)

พวกอนุมูลอิสระที่ใช้ในขั้นตอนเริ่มปฏิกิริยานั้น ได้จากการสลายตัวด้วยความร้อนของพวกสารประกอบอินทรีย์ (Organic Compound) หรือ พวกสารประกอบเอโซ (Azo Compound)

ตัวอย่างปฏิกิริยาขั้นเริ่มต้นของการผลิตพอลิไวนิลคลอไรด์มีลักษณะดังนี้

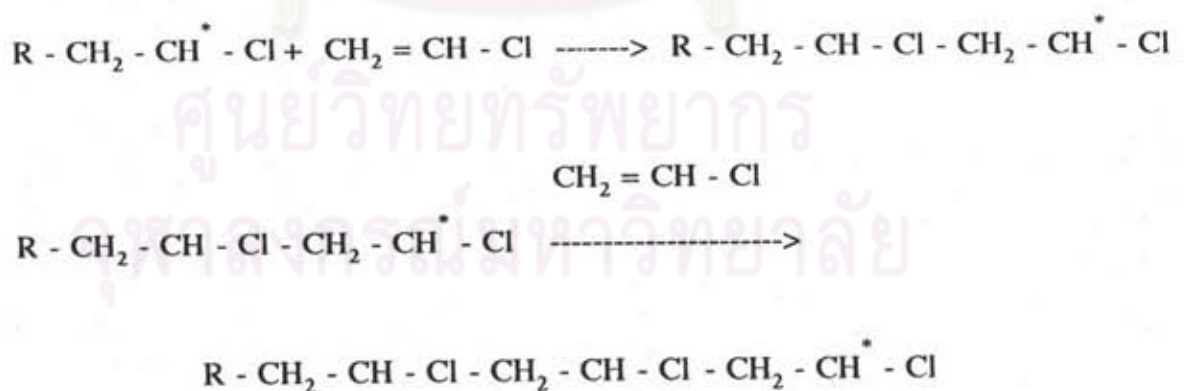


โดยที่ I คือ ตัวเริ่มปฏิกิริยาซึ่งเป็นพวกสารประกอบอินทรีย์หรือพวกสารประกอบเอโซ
 R^{\bullet} คือ อนุมูลอิสระที่ได้จากการสลายตัวด้วยความร้อนของตัวเริ่มปฏิกิริยา
 $\text{CH}_2 = \text{CH} - \text{Cl}$ คือ ไวนิลคลอไรด์มอนอเมอร์

2. ขั้นแผ่ขยาย (Propagation)

เป็นขั้นตอนการเพิ่มปริมาณมอนอเมอร์ เข้ากับโซ่พอลิเมอร์ที่สามารถจะโตได้ เพื่อให้ได้น้ำหนักโมเลกุลของพอลิเมอร์สุดท้ายตามต้องการ

ตัวอย่างปฏิกิริยาขั้นแผ่ขยายของการผลิตพอลิไวนิลคลอไรด์มีลักษณะดังนี้



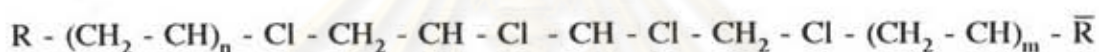
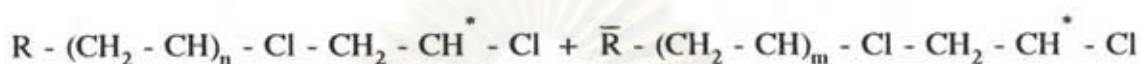
3. ขั้นสิ้นสุด (Termination)

เป็นปฏิกิริยาที่ทำให้อนุมูลอิสระหมดความว่องไว หรือ หมดความสามารถในการทำปฏิกิริยาต่อไป การสิ้นสุดของอนุมูลอิสระอาจเกิดได้ 2 วิธีคือ

ก. การรวมตัวหรือการจับคู่ (Combination or Coupling)

เป็นการสิ้นสุดเนื่องจากการรวมสอง โมเลกุลเข้าเป็นหนึ่ง โมเลกุล

ตัวอย่างปฏิกิริยาขั้นสิ้นสุด โดยการรวมตัวหรือการจับคู่ของการผลิตพอลิไวนิลคลอไรด์มีลักษณะดังนี้



ข. การแยกส่วน (Disproportion)

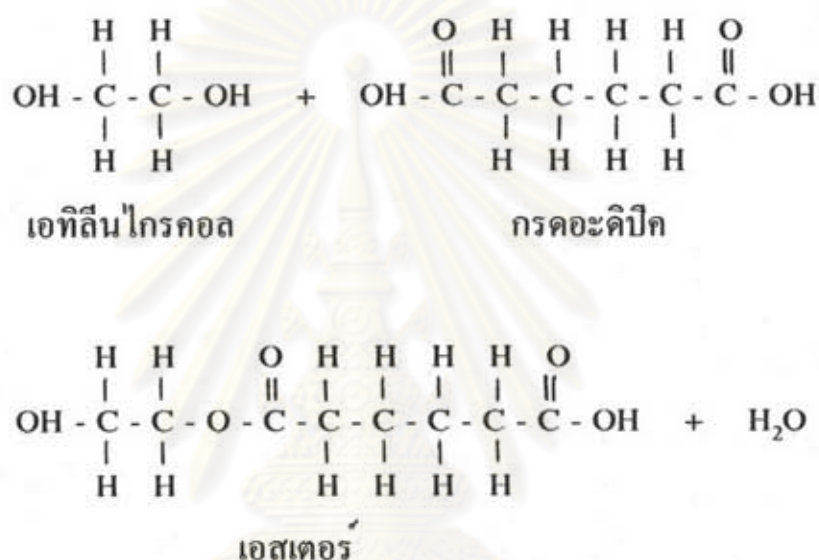
เป็นการสิ้นสุดของอนุมูลอิสระเนื่องจาก การแบ่งหรือแยกสอง โมเลกุลที่ว่องไวต่อปฏิกิริยาเป็นสอง โมเลกุลที่ไม่สามารถทำปฏิกิริยาต่อไปได้อีก

ตัวอย่างปฏิกิริยาขั้นสิ้นสุด โดยการแยกส่วนของการผลิตพอลิไวนิลคลอไรด์ มีลักษณะดังนี้



2.1.2 ปฏิกริยาการเกิดพอลิเมอร์แบบกลั่นตัว (Condensation Polymerization) [3]

ปฏิกิริยาแบบกลั่นตัวมีข้อแตกต่างจากแบบรวมมวล อยู่ที่มีการกำจัดพวกโมเลกุลเล็กๆ เช่น น้ำ หรือ แอลกอฮอล์ ออกมาจากปฏิกิริยา ตัวอย่างเช่น พอลิเอสเทอร์ จากปฏิกิริยาระหว่าง เอทิลีนไกลคอลกับกรดอะดิปิก



ในปฏิกิริยานี้เมื่อดำเนินต่อไปจะทำให้ได้โมเลกุลเป็นเส้นตรงเวลาที่ใช้ในปฏิกิริยาจะยาวกว่าที่ใช้ในปฏิกิริยาแบบรวมมวล ถ้าต้องการ โมเลกุลใหญ่จำเป็นต้องใช้เวลานาน เพื่อให้หมอนอเมอร์ทำปฏิกิริยาได้สมบูรณ์

2.2 เทคโนโลยีการผลิตพอลิไวนิลคลอไรด์ [4]

สำหรับการผลิตพอลิไวนิลคลอไรด์ในปัจจุบันมีกระบวนการผลิตหลักๆอยู่ 4 แบบ
คือ

2.2.1 การผลิตพอลิไวนิลคลอไรด์แบบแขวนลอย (Suspension Polymerization)

ในการเกิดพอลิเมอร์แบบแขวนลอยนี้ มีลักษณะสำคัญก็คือต้องมีการกวนและการเติมสารลดแรงตึงผิว ดังนั้นในถังปฏิกรณ์จะประกอบด้วย มอนอเมอร์ที่ไม่ละลายในน้ำ ตัวเริ่มปฏิกิริยาที่ละลายในมอนอเมอร์ สารถ่ายสายโซ่ (Chain transfer agent) ที่ละลายในมอนอเมอร์ น้ำ และ สารลดแรงตึงผิว โดยเฉพาะสารลดแรงตึงผิวจะทำหน้าที่ 2 อย่างที่สำคัญคือ ป้องกันไม่ให้เกิดการรวมตัวของเม็ดที่แขวนลอยเมื่อมีการชนกันและทำให้เม็ดที่แขวนลอยนั้นมีความเสถียรมากขึ้น

สำหรับกระบวนการผลิตพอลิไวนิลคลอไรด์แบบแขวนลอยนี้จะพิจารณาให้น้ำเป็นวัฏภาคต่อเนื่อง ซึ่งไวนิลคลอไรด์มอนอเมอร์ (วีซีเอ็ม) จะกระจายตัวแขวนลอยอยู่ในน้ำ โดยอาศัยสารลดแรงตึงผิว (Suspending Agent) ขนาดอนุภาคของพีวีซีเรซินที่ได้จะใหญ่กว่าพีวีซีเรซินที่ได้จากการผลิตโดยใช้กระบวนการผลิตแบบอิมัลชัน การตกค้างของสารลดแรงตึงผิวในผลิตภัณฑ์สุดท้ายจะน้อย และการควบคุมกระบวนการผลิตจะทำได้ดี

2.2.2 การผลิตพอลิไวนิลคลอไรด์แบบอิมัลชัน (Emulsion Polymerization)

การเกิดพอลิเมอร์แบบอิมัลชันมีความแตกต่างจากการเกิดพอลิเมอร์แบบแขวนลอยได้แก่ ขนาดของพอลิเมอร์แบบอิมัลชันจะมีขนาดเล็กอยู่ในช่วง 0.05 - 5 ไมครอน ส่วนแบบแขวนลอยจะอยู่ในช่วง 10 - 1,000 ไมครอน ในด้านตัวเริ่มปฏิกิริยาที่ใช้แบบอิมัลชันจะใช้ตัวเริ่มปฏิกิริยาที่ละลายในน้ำมากกว่าละลายในมอนอเมอร์ ผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่ได้จากกระบวนการแบบอิมัลชันจะไม่อยู่ในสภาพที่สามารถกรองได้แต่อยู่ในรูปของลาเทกซ์ (Latex) อีกทั้งกลไกของการเกิดปฏิกิริยาก็จะแตกต่างไปจากกระบวนการแบบแรก

สำหรับกระบวนการผลิตพอลิไวนิลคลอไรด์แบบอิมัลชันนี้ อนุภาคขนาดเล็กมากของพอลิเมอร์ที่ผลิตได้ จะกระจายตัวอยู่ในน้ำโดยอาศัยสารที่ช่วยให้เกิดอิมัลชัน (Emulsifying Agent) และ เช่นเดียวกับกระบวนการผลิตแบบแขวนลอยที่มี น้ำเป็นวัฏภาคต่อเนื่อง ทำให้การระบายความร้อนของระบบทำได้ดี แต่ข้อเสียของกระบวนการผลิตแบบนี้คือ ต้นทุนการผลิตสูง และมีการตกค้างของสารที่ช่วยให้เกิดอิมัลชันในผลิตภัณฑ์สุดท้ายสูง

2.2.3 การผลิตพอลิไวนิลคลอไรด์แบบรวมมวล (Bulk or Mass Polymerization)

การผลิตพอลิเมอร์แบบรวมมวลนั้น เป็นวิธีที่ง่ายและตรงที่สุดที่เปลี่ยนมอนอเมอร์ให้เป็นพอลิเมอร์ ในกระบวนการผลิตแบบนี้จะประกอบด้วย มอนอเมอร์ ตัวเริ่มปฏิกิริยาที่ละลายในมอนอเมอร์ สารถ่ายสายโซ่ และพอลิเมอร์

สำหรับกระบวนการผลิตพอลิไวนิลคลอไรด์แบบรวมมวลนี้มอนอเมอร์ จะทำปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์โดยปราศจากตัวทำละลาย ข้อดีของกระบวนการผลิตแบบนี้ คือ การได้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่มีความบริสุทธิ์สูง เนื่องจากไม่ได้ใช้สารลดแรงตึงผิว หรือ สารที่ช่วยให้เกิดอิมัลชัน แต่การไม่มีน้ำ หรือตัวทำละลายในระบบ ทำให้มีปัญหาในด้าน การถ่ายเทความร้อนของระบบ และการควบคุมการทำปฏิกิริยา

2.2.4 การผลิตพอลิไวนิลคลอไรด์แบบสารละลาย (Solution Polymerization)

การผลิตพอลิเมอร์แบบสารละลายนี้จะมีการเติมตัวทำละลายเข้าไปในระบบ ทำให้มีการถ่ายเทความร้อนหรือดึงความร้อนออกจากระบบได้ง่ายขึ้น ลดการเกิดเจล และ ลดความหนืดของพอลิเมอร์ลง

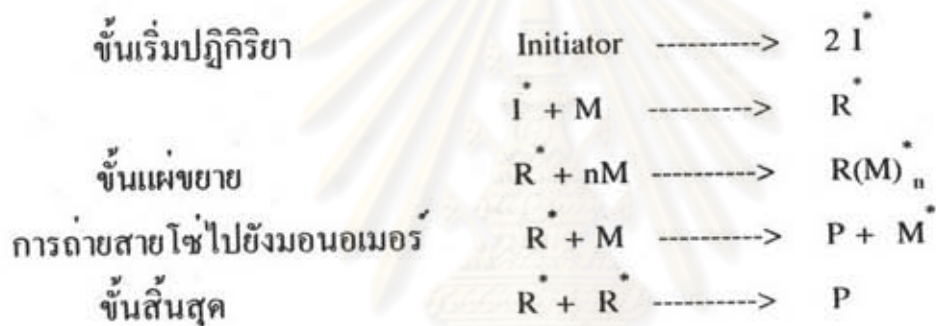
สำหรับกระบวนการผลิตพอลิไวนิลคลอไรด์แบบนี้ จะมีการใช้ตัวทำละลายเดิมเข้าไปในระบบด้วย พอลิเมอร์ซึ่งไม่ละลายในตัวทำละลายจะแยกตัวออกมาระหว่างที่ทำปฏิกิริยา การถ่ายความร้อนของระบบทำได้ดี กระบวนการผลิตแบบสารละลายนี้ในปัจจุบัน ใช้ในการผลิตพวกโคพอลิเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำถึงกลาง

ในกระบวนการผลิตที่สำคัญที่ใช้ทางการค้าจะมี 3 กระบวนการคือ แบบแขวนลอย แบบอิมัลชัน และ แบบรวมมวล สำหรับการผลิตพีวีซีเรซินของบริษัทไทยพลาสติกและเคมีภัณฑ์ จำกัด (มหาชน) ใช้กระบวนการผลิตแบบแขวนลอย ดังนั้นในการศึกษานี้จึงมุ่งเน้นศึกษารายละเอียดเฉพาะกระบวนการแบบแขวนลอย ซึ่งจะได้ชี้แจงรายละเอียดต่อไป

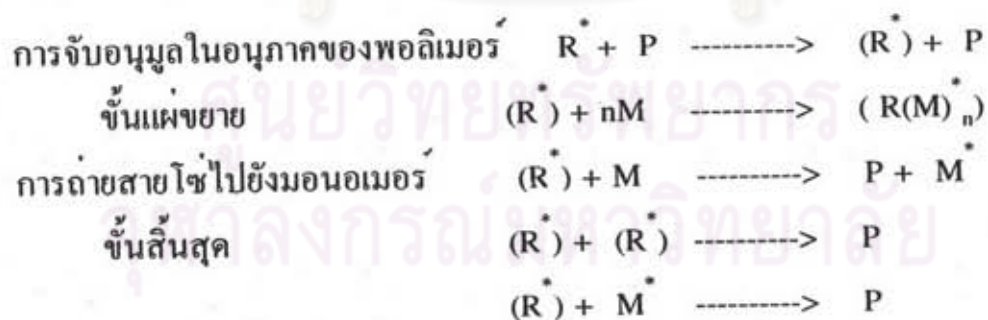
2.3 กลไกของการทำปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์แบบแวนดอว [4]

ไว้นิลกลอไรด์มอนอเมอร์สามารถทำปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ได้อย่างมีประสิทธิภาพโดยอาศัยอนุมูลอิสระเป็นตัวเริ่มต้นปฏิกิริยา พอลิเมอร์จะแยกตัวออกจากมอนอเมอร์เมื่อสายโซ่พอลิเมอร์มีมอนอเมอร์มาเกาะติดกันประมาณ 10 - 20 มอนอเมอร์ ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นสามารถแสดงได้ดังนี้

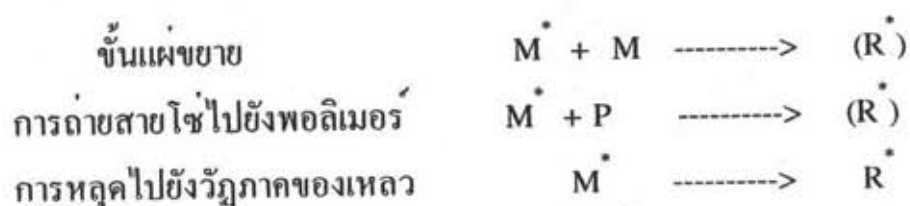
ก. ปฏิกิริยาในวัฏภาคของเหลว



ข. ปฏิกิริยาในอนุภาคของพอลิเมอร์



ค. ปฏิกิริยาของอนุมูลมอนอเมอร์ในอนุภาคของพอลิเมอร์



โดยที่

I^{\bullet} = อนุมูลของตัวเริ่มปฏิกิริยา

R^{\bullet} = อนุมูลของสายโซ่ในวัฏภาคของเหลว

M = โมเลกุลของมอนอเมอร์

P = โมเลกุลของพอลิเมอร์

M^{\bullet} = อนุมูลของมอนอเมอร์ในวัฏภาคของเหลว

(R^{\bullet}) = อนุมูลของสายโซ่ที่ถูกจับในพอลิเมอร์

n = อาจเป็นจำนวนตั้งแต่ 1 ถึง 1000 หรือ มากกว่า

ขั้นตอนหลักของการทำปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ของไวนิลคลอไรด์มอนอเมอร์

คือ [4]

1. ขั้นเริ่มปฏิกิริยา (Initiation)

เป็นการสร้างอนุมูลอิสระ โดยการสลายตัวด้วยความร้อนของ โมเลกุลของตัวเริ่มปฏิกิริยาซึ่งละลายได้ในมอนอเมอร์ เช่น สารเปอร์ออกไซด์เอสเทอร์ (Preoxysters) สารเปอร์ออกไซด์ (Peroxides) สารประกอบเอโซ (Azo compound) การเลือกตัวเริ่มปฏิกิริยาต้องพิจารณาให้อัตราการสลายตัวเหมาะสมกับความสามารถในการระบายความร้อนของ ถึง ปฏิกรณ์ รวมทั้งผลกระทบต่อคุณภาพของพีวีซีเรซินที่ผลิตได้ ความปลอดภัย และความสะดวกในการใช้

ในขั้นตอนการเริ่มปฏิกิริยานี้ จะมีสองขั้นตอน คือ การสร้างอนุมูลของตัวเริ่มปฏิกิริยา และ การทำปฏิกิริยาของอนุมูลของตัวเริ่มปฏิกิริยากับ โมเลกุลของไวนิลคลอไรด์มอนอเมอร์

2. ขั้นแผ่ขยาย (Propagation)

เป็นการที่อนุมูลเข้าไปจับที่พันธะคู่ของมอนอเมอร์ เพื่อสร้างอนุมูลที่ใหญ่ขึ้น และ ทำปฏิกิริยาต่อกับมอนอเมอร์ตัวอื่นๆ ทำให้ได้สายโซ่ที่ยาวขึ้น

ผลกระทบของออกซิเจน

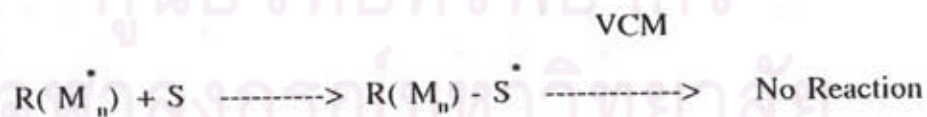
ออกซิเจนจะเข้าไปทำปฏิกิริยากับอนุมูลและสร้างอนุมูลที่ค่อนข้างเสถียร ทำให้ไม่สามารถไม่ทำปฏิกิริยากับมอนอเมอร์เพื่อทำปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ต่อไปได้ดังตัวอย่าง



ปฏิกิริยาจะถูกยับยั้งจนกว่าออกซิเจนจะหมดไป

ตัวหยุดปฏิกิริยา (Shortstop)

ในกรณีที่ไม่สามารถควบคุมปฏิกิริยาได้จนหมดและความดันภายในถังปฏิกรณ์ จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว จนทำให้วาล์วควบคุมความปลอดภัยทำงานระบายไว้นิลคลอไรด์มอนอเมอร์จากถังปฏิกรณ์ออกสู่บรรยากาศ ซึ่งจะทำให้เกิดอันตรายต่อความปลอดภัยในการทำงานและสิ่งแวดล้อม จึงจำเป็นต้องเติมตัวหยุดปฏิกิริยา (Shortstop) เข้าไปในถังปฏิกรณ์เพื่อหยุดปฏิกิริยา ตัวหยุดปฏิกิริยาโดยทั่วไปเป็นสารพวก อัลฟาเมททิลสไตรีน (Alpha-methyl Styrene) และ ไอโซพรีน (Isoprene) ซึ่งจะไปทำปฏิกิริยากับอนุมูลทำให้ได้อนุมูลที่เสถียรมากและไม่สามารถทำปฏิกิริยาต่อกับไว้นิลคลอไรด์มอนอเมอร์ได้

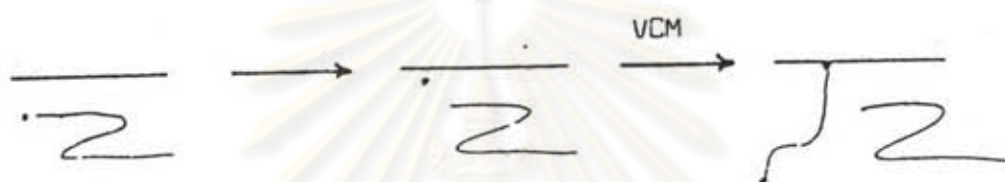


3. การถ่ายสายโซ่ไปยังมอนอเมอร์ (Chain Transfer to Monomer)

โมเลกุลของพอลิเมอร์จะไม่โตต่อไปเรื่อยๆ แต่จะมีแนวโน้มเกิดปฏิกิริยาการถ่ายสายโซ่ (Chain Transfer) ซึ่งจะมีผลทำให้สิ้นสุดการโตของสายโซ่หนึ่งและไปเริ่มอีกสายโซ่หนึ่ง เนื่องจากการถ่ายสายโซ่เป็นกระบวนการที่เกิดแบบสุ่มทำให้โมเลกุลของพอลิเมอร์ที่ได้มีความยาวที่ต่างกันไป

4. การถ่ายสายโซ่ไปยังพอลิเมอร์ (Chain Transfer to Polymer)

การถ่ายสายโซ่ไปยังพอลิเมอร์เป็นปฏิกิริยาอีกปฏิกิริยาหนึ่งที่เกิดขึ้นมาก เมื่อมอนอเมอร์ มีการเปลี่ยนแปลงไปเป็นพอลิเมอร์มากแล้ว ซึ่งโมเลกุลของพอลิเมอร์ที่กำลังโตจะไปเกาะกับโมเลกุลของพอลิเมอร์ที่จุดหนึ่งของสายโซ่ ผลลัพธ์ของปฏิกิริยาจะทำให้สิ้นสุดการโตของโมเลกุลพอลิเมอร์หนึ่ง และทำให้เกิดการเริ่มปฏิกิริยาที่อีกจุดหนึ่งทำให้เกิดกิ่งก้านของสายโซ่ขึ้น ดังแสดงได้ในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 การถ่ายสายโซ่ไปยังพอลิเมอร์ (Chain Transfer to Polymer) [4]

สารถ่ายสายโซ่ (Chain Transfer Agent)

สารบางชนิดมีประสิทธิภาพในการช่วยสนับสนุนทำให้เกิดปฏิกิริยาการถ่ายสายโซ่ เช่นพวก แฮโลจีเนตเต็ดไฮโดรคาร์บอน (Halogenated Hydrocarbon) อะลิฟาติกอัลดีไฮด์ (Aliphatic Aldehydes) สารพวกนี้จะเพิ่มจำนวนของปฏิกิริยาการถ่ายสายโซ่ ซึ่งจะทำได้โมเลกุลของพรีพอลิเมอร์ที่สิ้นสุดการโต สารถ่ายสายโซ่เข้าไปจะทำให้ได้พรีพอลิเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำลงจากอุณหภูมิของการทำปฏิกิริยาปกติ การผลิตพรีพอลิเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำโดยไม่ใช้สารถ่ายสายโซ่ช่วยจะต้องใช้อุณหภูมิของการทำปฏิกิริยาสูงทำให้ความดันในถังปฏิกรณ์สูงด้วยซึ่งทำให้ไม่ปลอดภัยในการผลิต

ผลกระทบของอุณหภูมิ

สำหรับการทำปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ของไวนิลคลอไรด์ ถ้าอุณหภูมิของการทำปฏิกิริยาสูงขึ้น น้ำหนักโมเลกุลของพรีพอลิเมอร์ที่ผลิตได้จะลดลง ซึ่งสอดคล้องกับปฏิกิริยา

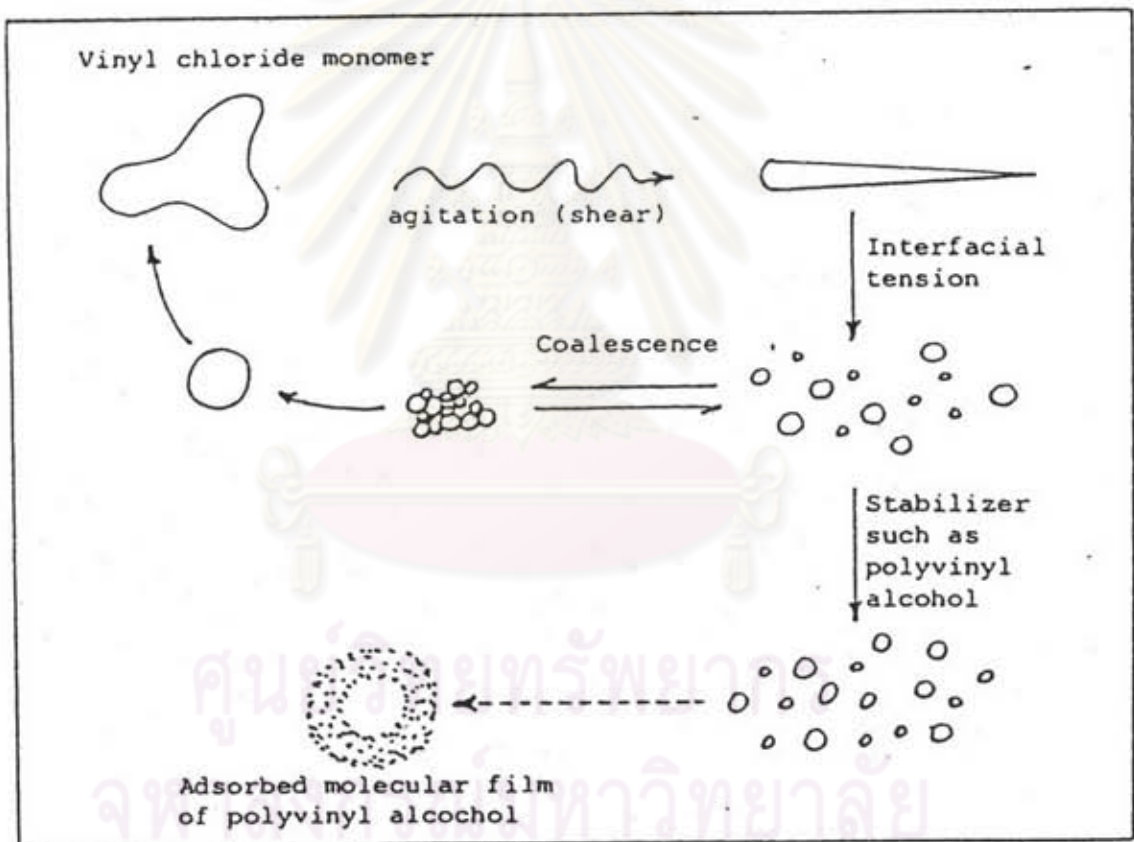
การถ่ายสายโซ่ คือถ้าอุณหภูมิเพิ่มขึ้นปฏิกิริยาการถ่ายสายโซ่จะเกิดได้มากขึ้น มีผลทำให้ได้โมเลกุลของพอลิเมอร์ที่สั้นลง

5. ขั้นสิ้นสุด (Termination)

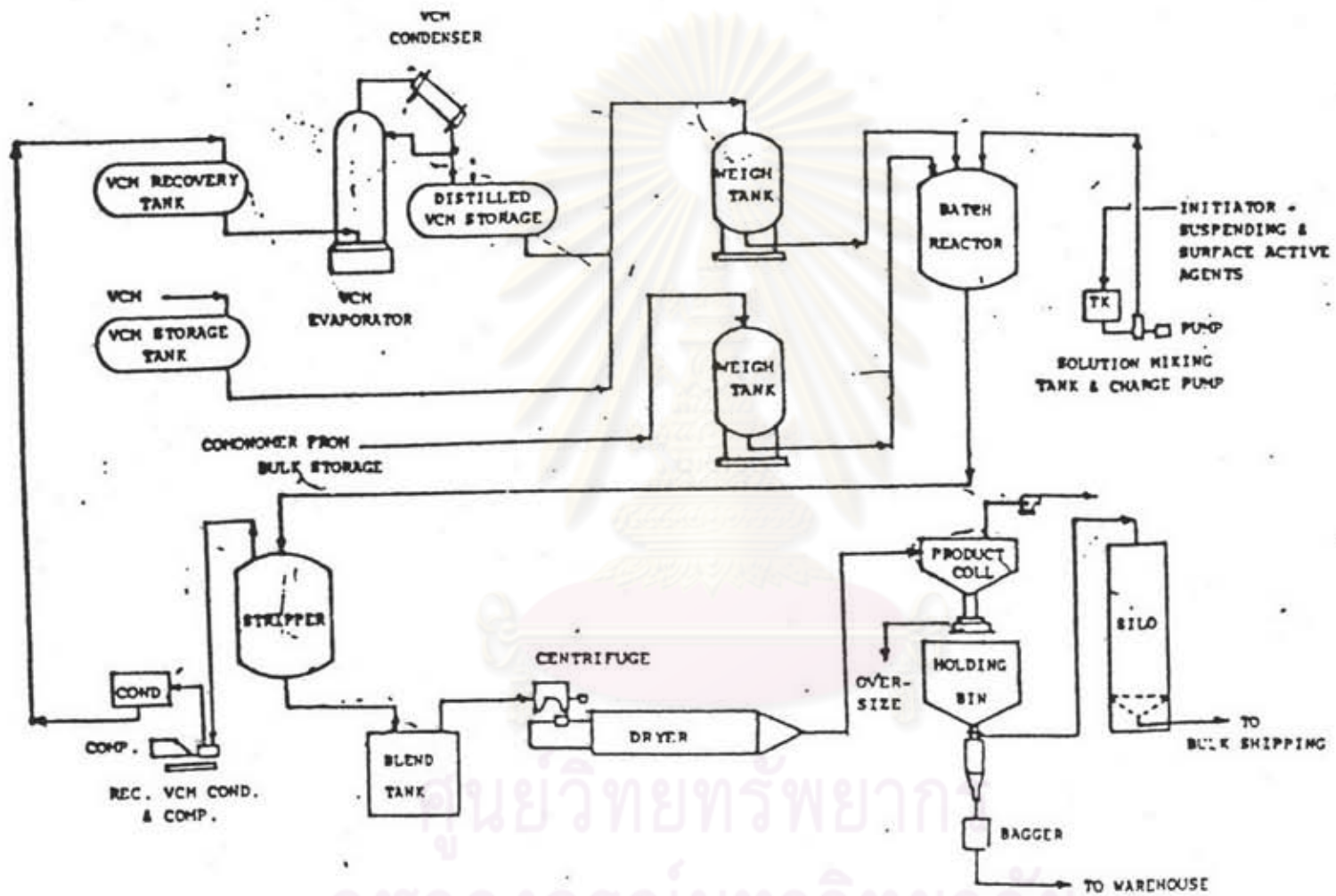
สายโซ่ของอนุมูลที่กำลังโตจะถูกหยุดโดยการมาเชื่อมกันของสองอนุมูล หรือ การถ่ายอนุมูลที่ว่องไวไปยังสารถ่ายสายโซ่หรือ โมเลกุลของมอนอเมอร์ สำหรับพีวีซีแล้วปฏิกิริยาการถ่ายอนุมูลที่ว่องไวไปยังสารถ่ายสายโซ่หรือ โมเลกุลของมอนอเมอร์ มักจะเป็นหลักในการหยุดปฏิกิริยา ดังนั้นอนุมูลที่ว่องไวตัวใหม่จึงต้องถูกสร้างขึ้นเพื่อทำให้ปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ดำเนินต่อไป ซึ่งก็ได้จากตัวเริ่มปฏิกิริยาที่ใช้ในการผลิต

2.4 กระบวนการผลิตพอลิไวนิลคลอไรด์แบบแขวนลอย [4]

การผลิตแบบแขวนลอยนี้เป็นวิธีการผลิตที่ใช้กันมากที่สุด ในการผลิตพีวีซีเรซิน (ประมาณ 80 % ของกำลังการผลิตพีวีซีเรซินรวมทั้งหมดในโลก) กระบวนการผลิตแบบแขวนลอยสำหรับไวนิลคลอไรด์มอนอเมอร์นี้จะประกอบไปด้วย การเกิดปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ของมอนอเมอร์ที่แขวนลอยเป็นหยดเล็กๆอยู่ในน้ำ โดยอาศัยการกวนและการใช้สารลดแรงตึงผิว ดังแสดงได้ในรูปที่ 2.2 ปฏิกิริยาจะเริ่มโดยการสลายตัวของตัวเริ่มปฏิกิริยาซึ่งละลายในมอนอเมอร์ ถ้าระบบปราศจากความสมดุลระหว่างปริมาณสารลดแรงตึงผิวที่ใช้และความแรงของการกวน จะทำให้แต่ละหยดที่แขวนลอยอยู่มารวมตัวกันได้ สำหรับระบบที่มีความเหมาะสมแล้วจะทำให้หยดของมอนอเมอร์มีความสม่ำเสมอทำให้ได้อนุภาคพีวีซีเรซินที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 80 - 300 ไมโครเมตร แผนภาพกระบวนการผลิตแบบแขวนลอยสามารถแสดงได้ดังในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.2 ปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ของไวนิลคลอไรด์มอนอเมอร์โดย
วิธีการผลิตแบบแขวนลอย [4]



รูปที่ 2.3 แผนภาพกระบวนการผลิตพอลิไวนิลคลอไรด์โดยวิธีการผลิตแบบแขวนลอย [4]

2.4.1 กระบวนการผลิต

น้ำ ไวนิลคลอไรด์มอนอเมอร์ และ สารลดแรงตึงผิว จะถูกเติมเข้าไปในถังปฏิกรณ์ที่มีการดึงอากาศออกแล้ว ปริมาณของวัตถุดิบแต่ละชนิดที่ใช้ในการผลิตที่เติมเข้าไป ในถังปฏิกรณ์จะต้องมีการควบคุมให้มีความถูกต้องตามสูตรการผลิต เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาที่จะมีผลกระทบต่อคุณภาพต่างๆของพีวีซีเรซินที่ผลิตได้ ตัวอย่างสูตรการผลิตและคุณภาพของพีวีซีเรซินที่ได้จากการผลิตสามารถแสดงได้ดังในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ตัวอย่างสูตรการผลิตและคุณภาพของพีวีซีเรซินที่ได้จากการผลิต [4]

	A	B	C
RECIPE			
Water	150-200	170-200	225-350
Vinyl chloride	100	100	100
Lauroyl peroxide	0.1-0.5	0.1-0.3	0.2-0.4
Polyvinyl alcohol		0.03-0.06	
Gelatin, type B, 100	0.3-0.6		0.2-0.9
Methyl cellulose			
Emulsifier	0.01-0.05	0.01-0.03	
Sulfated ester			0.05-0.1
Buffer	0.1-0.3		0.1-0.3
PROPERTIES			
Bulk density, lb/cu ft	32	32	21
Size: on 80 mesh	25	20	0
on 140 mesh	45	75	0
on 200 mesh	10	5	10
through 200 mesh	20	0	90
oil absorption, ml/g ^a	0.5	0.6	1.6
Dry blend time, 4½ min	6	4-6	2
Gels/in, 300°F, 4½ min	10	5	0
Volume resistivity, ohm-cm, X 10	10	2	5
Flow of dry blend, gm/min ½ in opening	2	5	bridged

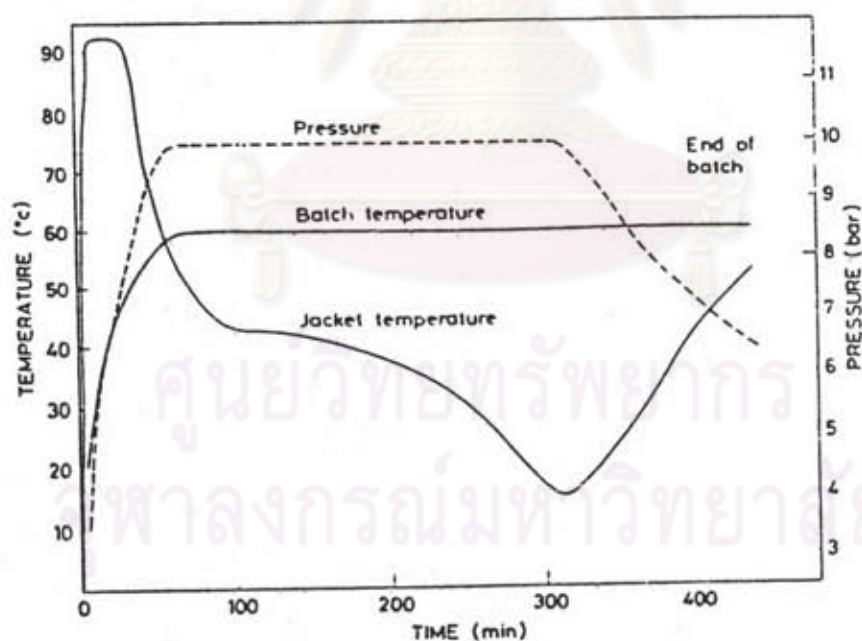
^aASTM Method D-281

อัตราส่วนของน้ำต่อไวนิลคลอไรด์มอนอเมอร์ที่ใช้ในการผลิต โดยทั่วไปจะอยู่ในช่วง 1.2 - 4 : 1 ขึ้นอยู่กับคุณภาพของน้ำที่ใช้ในการผลิตและเทคโนโลยีที่ใช้ทำการผลิต อีออนที่มีอยู่ในน้ำอาจจะทำให้ประสิทธิภาพของสารลดแรงตึงผิวลดลง ตัวเริ่มปฏิกิริยาที่ละลายได้ในมอนอเมอร์จะถูกเติมเข้าไปเพื่อเริ่มปฏิกิริยา ความร้อนของการเกิดปฏิกิริยาจะถูกดึงออกโดยการหมุนเวียนน้ำหล่อเย็นภายในผนังคานนอก (Jacket) ของถังปฏิกรณ์ ในตอนเริ่มต้น จะใช้น้ำร้อนหมุนเวียนรอบผนังคานนอกก่อนเพื่อให้ความร้อน เพื่อเพิ่มอุณหภูมิเข้าสู่อุณหภูมิของการทำปฏิกิริยา โดยทั่วไปอุณหภูมิของการทำปฏิกิริยาจะอยู่ในช่วง 45 - 75 องศาเซลเซียส จากนั้นน้ำหล่อเย็นจะถูกเปลี่ยนเข้าไปแทนเพื่อควบคุมอุณหภูมิของการทำปฏิกิริยาให้คงที่

ขณะที่ปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ดำเนินไป ไวนิลคลอไรด์มอนอเมอร์ในรูปของเหลวจะถูกใช้ไป ระหว่างการทำปฏิกิริยาบางส่วนของไวนิลคลอไรด์มอนอเมอร์ ในรูปของเหลวจะระเหยในขณะที่ไอของไวนิลคลอไรด์มอนอเมอร์บางส่วนจะกลั่นตัวกลับลงมา เมื่อไวนิลคลอไรด์มอนอเมอร์เปลี่ยนไปเป็นพอลิไวนิลคลอไรด์ประมาณ 70 % แล้ว ความดันภายในถังปฏิกรณ์จะเริ่มตกลงเนื่องจากไวนิลคลอไรด์มอนอเมอร์ ในรูปของเหลวจะถูกใช้ไปจนหมดไอของไวนิลคลอไรด์มอนอเมอร์ที่ไม่เกิดปฏิกิริยาจะถูกดูดซับเข้าไปในอนุภาคของพีวีซี หลังจากที่ความดันเริ่มตกลงถ้าปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ ยังดำเนินต่อไป ไอของไวนิลคลอไรด์มอนอเมอร์ที่ถูกดูดซับเข้าไปในอนุภาคของพีวีซีจะทำปฏิกิริยาต่อที่ผิวของอนุภาคพีวีซี ซึ่งจะมีผลทำให้รูพรุนภายในอนุภาคของพีวีซีลดลง และทำให้ค่าความหนาแน่นเชิงปริมาตรเพิ่มขึ้น เนื่องจากมีผลกระทบต่อสมบัติของพีวีซี ทำให้จำเป็นต้องหยุดปฏิกิริยาที่อัตราการเปลี่ยนแปลงที่กำหนดไว้ค่าหนึ่งโดยการกำหนดจากความดันที่ต่ำลงจากความดันของการทำปฏิกิริยา หรือจากการกำหนดความดันสุดท้ายของการทำปฏิกิริยา โดยทั่วไปอัตราการเปลี่ยนแปลงจากมอนอเมอร์ไปเป็นพอลิเมอร์จะอยู่ในช่วง 75 - 85 % ลักษณะของอุณหภูมิและความดันภายในถังปฏิกรณ์ ในระหว่างการทำปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์สามารถแสดงได้ดังในรูปที่ 2.4

หลังจากจบปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ ของผสมจะถูกถ่ายออกจากถังปฏิกรณ์ไปยังถังพักและจะทำการดึงไวนิลคลอไรด์มอนอเมอร์ที่ไม่เกิดปฏิกิริยากลับไปทำให้บริสุทธิ์เพื่อนำกลับมาใช้ใหม่

จากนั้นพีวีซีสเลอรี (Slurry) จะถูกส่งไปยังเครื่องเหวี่ยงแยกซึ่งจะทำการแยกน้ำออก พีวีซีเรซินที่ออกจากเครื่องเหวี่ยงแยกจะมีความชื้นเหลืออยู่ประมาณ 18 - 25 % โดยน้ำหนัก และจะถูกส่งไปทำให้แห้งโดยอาศัยลมร้อน (อุณหภูมิประมาณ 65 - 95 องศาเซลเซียส) ซึ่งอาจจะเป็นเครื่องอบแห้งแบบโรตารี (Rotary Dryer) หรือ ฟลูอิดไคส์เบด (Fluid-bed Dryer) พีวีซีเรซินที่ผ่านการทำให้แห้งแล้วจะมีความชื้นเหลือน้อยกว่า 1% โดยน้ำหนัก (โดยทั่วไปประมาณ 0.3 - 0.4 %) จากนั้นพีวีซีเรซินจะถูกแยกออกจากอากาศชื้นโดยใช้ไซโคลนเป็นตัวแยกและถูกส่งต่อไปยังเครื่องคัดขนาด(Screen) เพื่อแยกพีวีซีเรซินที่มีขนาดอนุภาคใหญ่ออก จากนั้นจึงส่งไปยังถังเก็บเพื่อรอการนำไปใช้งานต่อไป



รูปที่ 2.4 ลักษณะของอุณหภูมิและความดันภายในถังปฏิกรณ์ในระหว่างการทำปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ของไวนิลคลอไรด์มอนอเมอร์โดยวิธีการผลิตแบบแขวนลอย

การนำพีวีซีเรซินไปใช้ในงานต่างๆตามสมบัติของพีวีซีสามารถแสดงได้ดังนี้
ตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 การนำพีวีซีเรซินไปใช้ในงานต่างๆตามสมบัติของพีวีซีเรซิน [4]

Process	Applications	RESIN REQUIREMENTS		
		Inherent viscosity ^a	Special Properties	
1. Extrusion	Rigid (non-plasticized)	Pipe	0.88-0.95	High Heat Stability
		Profile	0.88-1.12	High Heat Stability
		Sheet	0.74-0.95	High Heat Stability, High Clarity, Good Early Color, Low Gels.
	Flexible (plasticized)	Wire and Cable	1.00-1.12	Good Electrical Properties, Low Gels, High Plasticizer Absorption.
		Profiles	0.90-1.12	Low Gels, High Plasticizer Absorption.
		Sheet	0.90-1.04	Low Gels, High Clarity, Good Early Color.
		Film	0.90-0.98	Low Gels, High Clarity, Good Early Color.
Injection Molding	Rigid	0.60-0.82	High Heat Stability	
	Flexible	0.90-1.04	High Plasticizer Absorption	
Blow Molding	Bottles	0.60-0.82	High Heat Stability, High Clarity, Good Early Color, Low Gels.	
Calendering	Flexible Sheet	0.72-1.04	High Plasticizer Absorption, Low Gels, Good Early Color.	

Inherent viscosity = A measure of resin molecular weight

2.5 บทบาทของตัวแปรต่างๆในกระบวนการผลิตพอลิไวนิลคลอไรด์แบบแขวนลอย [5]

2.5.1 บทบาทของน้ำในกระบวนการผลิต

น้ำที่ใช้ในการผลิตจะทำหน้าที่หลักคือ

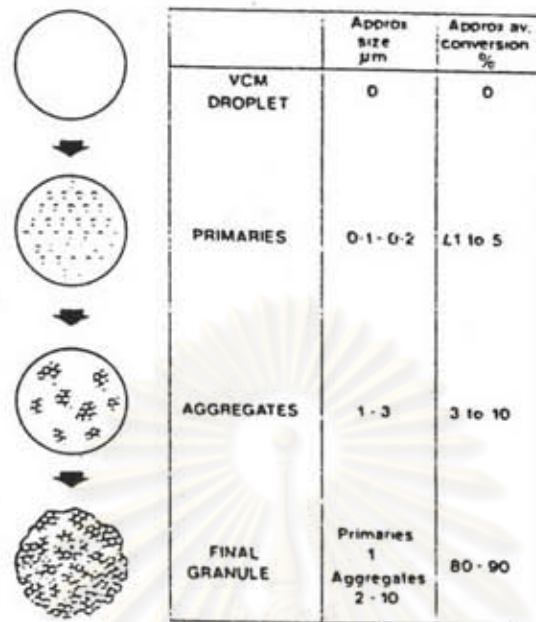
- เป็นวิฎภาคต่อเนื่อง ทำให้ไวนิลคลอไรด์มอนอเมอร์สามารถกระจายตัวเป็นหยดเล็กอยู่ได้ โดยในตอนเริ่มต้น ไวนิลคลอไรด์มอนอเมอร์จะถูกทำให้แตกกระจายเป็น หยดเล็กๆ ขนาดประมาณ 30 - 150 ไมโครเมตร โดยอาศัยการกวน และสารลดแรงตึงผิวจะช่วยป้องกันไม่ให้หยดเล็กๆเหล่านี้มารวมกัน
- เป็นทั้งแหล่งรับความร้อนและตัวกลางในการถ่ายเทความร้อน
- เป็นพาหะตัวนำสารลดแรงตึงผิวให้เคลื่อนที่ เพราะส่วนใหญ่สารลดแรงตึงผิวจะเป็นพอลิเมอร์ที่ละลายในน้ำและทำงานได้ในเฉพาะระบบที่เป็นสารละลายของน้ำ

2.5.2 บทบาทของสารลดแรงตึงผิว

ระหว่างการทำปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์แบบแขวนลอยของไวนิลคลอไรด์มอนอเมอร์ หยดของไวนิลคลอไรด์มอนอเมอร์จะค่อยๆเปลี่ยนไปเป็นพีวีซี ดังแสดงได้ในรูปที่ 2.5 สารลดแรงตึงผิวจะทำหน้าที่ลดแรงตึงผิว (Interfacial Tension) ระหว่างวิฎภาคทั้งสองคือน้ำกับไวนิลคลอไรด์มอนอเมอร์ สารที่ใช้เป็นสารลดแรงตึงผิวส่วนใหญ่เป็นพวกพอลิไวนิลอะซิเตต (Polyvinyl acetate) อนุพันธ์ของเซลลูโลส (Cellulose derivatives) เช่นพวก เมททิลเซลลูโลส (Methyl cellulose) โซเดียมคาร์บอกซีเอททิลเซลลูโลส (Sodium carboxyethyl cellulose)

2.5.3 บทบาทของการกวน

การกวนจะช่วยทำให้เกิดหยดของไวนิลคลอไรด์มอนอเมอร์ ที่มีขนาดตามที่ต้องการ ช่วยทำให้หยดของไวนิลคลอไรด์มอนอเมอร์แขวนลอยอยู่ในน้ำได้ และช่วยให้การถ่ายเทความร้อนทำได้ดีขึ้นด้วย



รูปที่ 2.5 การเปลี่ยนจากไวนิลคลอไรด์มอนอเมอร์ไปเป็นพอลิไวนิลคลอไรด์ [5]

2.5.4 บทบาทของตัวเริ่มปฏิกิริยา

การเลือกใช้ตัวเริ่มปฏิกิริยาจะมีความสำคัญมากเพราะจะมีผลกระทบต่อต้นทุนของการผลิต ความเร็วของการทำปฏิกิริยา นอกจากนี้ตัวเริ่มปฏิกิริยายังมีผลต่อคุณภาพของพีวีซีด้วย เช่นตัวเริ่มปฏิกิริยาที่ละลายในน้ำได้ดี จะทำให้เกิด ฟาวลิง (Fouling) มาก ก็จะทำให้พีวีซีไปเกาะที่ผนังของถังปฏิกรณ์มากขึ้น และอาจมีผลกระทบต่อสีของเม็ดพีวีซีที่ผลิตได้ รวมทั้งการทนความร้อน ค่ารพุน ของพีวีซีด้วย

อีกปัจจัยหนึ่งของการพิจารณาเลือกใช้ตัวเริ่มปฏิกิริยาคือ ความเสถียรและการเก็บรักษา เนื่องจากตัวเริ่มปฏิกิริยาที่มีความว่องไวมากจะสลายตัวเร็วมากเมื่อสัมผัสกับความ-ร้อนและตัวเริ่มปฏิกิริยาบางชนิดต้องเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิต่ำ (ประมาณ - 10 ถึง - 20 องศาเซลเซียส)

การสลายตัวของตัวเริ่มปฏิกิริยามักจะแสดงด้วยค่าครึ่งชีวิต (Half-life) คือเวลาที่ตัวเริ่มปฏิกิริยามีความเข้มข้นลดลงเหลือครึ่งหนึ่งของความเข้มข้นเริ่มต้น ที่อุณหภูมิคงที่ค่าหนึ่ง โดยทั่วไปมักใช้ตัวเริ่มปฏิกิริยาที่มีค่าครึ่งชีวิตประมาณ 2 ชั่วโมง ในช่วงอุณหภูมิ

50 - 70 องศาเซลเซียส ตารางที่ 2.3 แสดงค่าครึ่งชีวิตของตัวเริ่มปฏิกิริยาต่างๆ ที่ใช้ในการผลิตพีวีซีโดยวิธีแบบแขวนลอย

ตารางที่ 2.3 ค่าครึ่งชีวิตของตัวเริ่มปฏิกิริยาต่างๆ ที่ใช้ในการผลิตพีวีซีโดยวิธีแบบแขวนลอย [5]

Initiator	Half-life (min)		
	50°C	60°C	70°C
Azodi-isobutyronitrile	4 200	1 080	300
Azobis(2,4-dimethylvaleronitrile)	420	120	35
<i>t</i> -Butyl perpalvate	1 300	360	100
Dibutyl peroxydicarbonate	300	70	18
Di(2-ethylhexyl) peroxydicarbonate	250	60	15
Di(<i>t</i> -butylcyclohexyl) peroxydicarbonate	250	60	15
Lauroyl peroxide	3 000	800	200
Benzoyl peroxide	—	3 000	800
Acetyl cyclohexylsulphonyl peroxide	80	18	4

2.5.5 ผลกระทบของขั้นตอนการดึงอากาศออก

ก่อนที่จะเติมไวนิลคลอไรด์มอนอเมอร์เข้าไปในถังปฏิกรณ์จะต้องทำการดึงอากาศที่ค้างอยู่ในถังปฏิกรณ์ออกก่อน เพื่อให้ออกซิเจนเหลือน้อยที่สุด เนื่องจากออกซิเจนจะมีผลไปยับยั้งปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ของไวนิลคลอไรด์มอนอเมอร์ โดยเกิดเป็นโคพอลิเมอร์กับไวนิลคลอไรด์มอนอเมอร์ ดังนี้



ไวนิลคลอไรด์พอลิเปอร์ออกไซด์(Vinyl chloride polyperoxide) จะไม่เสถียรและจะแตกตัว ทั้งก่อนและระหว่างที่กำลังเกิดปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ของไวนิลคลอไรด์มอนอเมอร์ ทำให้เกิด กรดไฮดรอกลอริก (HCl) และสารไม่อิมตัวอื่นๆ ทำให้ระบบมีความเป็นกรดมากขึ้น ซึ่งความเป็นกรดนี้จะทำให้เกิดการกัดกร่อนของอุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้ในการผลิตเพิ่มมากขึ้น รวมทั้งไวนิลคลอไรด์พอลิเปอร์ออกไซด์ที่เกิดขึ้นจะมีผลทำให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้ไม่ดีไปด้วย

2.5.6 บทบาทของบัฟเฟอร์

ในการทำการปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ของไวนิลคลอไรด์มอนอเมอร์ จะทำให้เกิดกรดไฮดรอกลอริก (HCl) ขึ้น และการใช้ตัวเริ่มปฏิกิริยาบางชนิดจะทำให้เกิดผลิตภัณฑ์ที่เป็นกรดขึ้นด้วยระหว่างที่ตัวเริ่มปฏิกิริยาสลายตัว ทำให้ค่าความเป็นกรดต่างของระบบเปลี่ยนไป ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อควบคุมระบบและคุณภาพของพีวีซีที่ผลิตได้ นอกจากนี้การที่พีวีซีสเลอรี (PVC Slurry) มีค่าความเป็นกรดต่างสูงจะมีผลช่วยในการลดการทำลายอุปกรณ์เครื่องจักรที่ใช้ในการแยกพีวีซีออกจากพีวีซีสเลอรีลงด้วย เมื่อเทียบกับการที่พีวีซีสเลอรีมีค่าความเป็นกรดต่างต่ำ

ดังนั้นจะมีการเติมพวกสารเกลืออนินทรีย์ (Inorganic Salts) ลงไปด้วยเพื่อควบคุมค่าความเป็นกรดต่างของระบบ ส่วนใหญ่ใช้พวก โซเดียมและแมกนีเซียม ไฮดรอกไซด์ คาร์บอเนต และ ไบคาร์บอเนต (Sodium and Magnesium hydroxides , carbonates and bicarbonates)

2.5.7 คุณภาพของไวนิลคลอไรด์มอนอเมอร์

ไวนิลคลอไรด์มอนอเมอร์ที่ทำการซื้อขายกัน เพื่อนำมาใช้ในการผลิตจะมีความบริสุทธิ์มากกว่า 99.8 % สิ่งเจือปนที่ตกค้างอยู่จะขึ้นอยู่กับกระบวนการผลิตไวนิลคลอไรด์มอนอเมอร์ คุณภาพของวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตและขั้นตอนการทำให้บริสุทธิ์ สิ่งเจือปนที่ตกค้างอยู่ส่วนใหญ่จะเป็นพวก คลอรีเนตไฮดรอกคาร์บอนต่างๆ (Chlorinated hydrocarbons) และ น้ำ

พวกคลอรีเนตไฮดรอกคาร์บอนต่างๆอาจจะเป็น สารถ่ายสายโซ่ (Chain Transfer Agent) และตกค้างอยู่ในพีวีซีที่ผลิตได้ ส่วนน้ำจะมีผลทำให้เกิดการเร่งการกักตัวของอุปกรณ์ต่างๆที่ใช้ในการผลิต

2.6 ตัวแปรต่างๆที่ต้องควบคุมในกระบวนการผลิตพอลิไวนิลคลอไรด์แบบ แขวนลอย [6]

2.6.1 อุณหภูมิของการทำปฏิกิริยา

การควบคุมอุณหภูมิของการทำปฏิกิริยาให้คงที่ ตามที่กำหนดไว้สูตรการผลิต มีความจำเป็นอย่างมากเพื่อที่จะให้ได้พีวีซีที่มีน้ำหนักโมเลกุลตามที่ต้องการ ระบบที่ใช้ในการควบคุมอุณหภูมินี้ ต้องสามารถใช้ได้ทั้งตอนการให้ความร้อนเพื่อเพิ่มอุณหภูมิเข้าสู่อุณหภูมิของการทำปฏิกิริยา และการดึงความร้อนที่เกิดจากปฏิกิริยาออก โดยทั่วไปจะใช้ปั๊มหมุนเวียนน้ำรอบผนังด้านนอกของถังปฏิกรณ์และมีวาล์วควบคุม ที่สามารถเลือกเปิดน้ำร้อนหรือน้ำเย็นเข้าไปหมุนเวียนได้

2.6.2 ชนิดและปริมาณของตัวเริ่มปฏิกิริยาที่ใช้ในการผลิต

เนื่องจากตัวเริ่มปฏิกิริยาแต่ละชนิดมีอัตราการสลายตัวที่อุณหภูมิต่างๆ แตกต่างกัน สำหรับการผลิตพีวีซีเรซินแล้ว อุณหภูมิของการทำปฏิกิริยาจะถูกกำหนด โดยน้ำหนักโมเลกุลของของพีวีซีเรซินที่ต้องการ โดยที่พีวีซีเรซินที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำอุณหภูมิของการทำปฏิกิริยาจะสูง จึงจำเป็นต้องเลือกใช้ชนิดและปริมาณของตัวเริ่มปฏิกิริยาให้เหมาะสม เพื่อไม่ให้เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยานานเกินไป เนื่องจากพีวีซีเรซินมีสมบัติที่ไม่ทนความร้อน และสอดคล้องกับกำลังของระบบระบายความร้อนที่มีอยู่ อาจจะมีการใช้ตัวเริ่มปฏิกิริยามากกว่าหนึ่งชนิดในการผลิตเพื่อช่วยให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาคงที่ ตลอดช่วงเวลาที่ทำปฏิกิริยา

2.6.3 คุณภาพของน้ำที่ใช้ในการผลิต

โดยทั่วไปจะใช้น้ำที่ปราศจากไอออน (Deionized Water) ในการผลิต เนื่องจากน้ำที่มีไอออนต่างๆปนอยู่มาก จะมีผลกระทบต่อขนาด หรือ การกระจายตัวของขนาดของพีวีซีเรซินที่ผลิตได้ หรืออาจจะมีผลต่อจลนพลศาสตร์ของการเกิดปฏิกิริยาคด้วย

2.6.4 อัตราส่วนระหว่างน้ำต่อไวนิลคลอไรด์มอนอเมอร์ที่ใช้ในการผลิต

อัตราส่วนนี้โดยทั่วไปอยู่ในช่วง 1.3 - 2 แต่ในบางกรณีเช่น ต้องการพีวีซีเรซินที่มี รุพุนมากจะต้องใช้อัตราส่วนนี้มากขึ้น นอกจากนี้ ขนาดอนุภาค และ ค่าความหนาแน่น เชนจ์ปริมาตรของพีวีซีเรซินก็เกี่ยวข้องกับอัตราส่วนนี้ สำหรับการผลิตที่ใช้ค่าอัตราส่วนนี้ ต่ำการควบคุมระบบจะทำให้ยากกว่าการผลิตโดยใช้อัตราส่วนนี้สูง เนื่องจากความร้อนที่ คายออกจากการทำปฏิกิริยาจะมากแต่ปริมาณน้ำที่จะมารับความร้อนนี้จะน้อยกว่า

2.6.5 ชนิดและปริมาณของสารลดแรงตึงผิวที่ใช้ในการผลิต

ส่วนใหญ่จะใช้สารที่มีโมเลกุลใหญ่ที่ละลายน้ำได้ เช่นพวก เมทิลเซลลูโลส (Methyl cellulose) พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (Polyvinyl alcohol) พอลิไวนิลแอลกอฮอล์-อะซิเตตโคพอลิเมอร์ (Polyvinyl alcohol acetate copolymer) รวมทั้งอาจจะมีการใช้สาร-ลดแรงตึงผิวร่วมกันหลายชนิด เพื่อปรับปรุงให้ได้สมบัติของพีวีซีเรซินที่พิเศษบางอย่าง

2.6.6 การกวนของระบบ

การกวนเป็นสิ่งจำเป็นในการผลิตเพราะจะช่วยให้ได้ ขนาดของพีวีซีเรซิน ตามที่ ต้องการ ถ้าความแรงของการกวนมากจะทำให้ขนาดของพีวีซีเรซินที่ได้มีขนาดเล็ก และ ถ้าความแรงของการกวนไม่เพียงพอจะมีผลทำให้เกิดการรวมตัวของอนุภาคทำให้ได้พีวีซี เรซินที่มีขนาดใหญ่ ดังนั้นความแรงของการกวนในการทำการผลิตจึงต้องเหมาะสม ซึ่ง อาจจะต้องเปลี่ยนตามอัตราการผลิตเปลี่ยนแปลงไปเป็นพอลิเมอร์ที่เปลี่ยนไป

2.6.7 การควบคุมความร้อนภายในถังปฏิกรณ์

สำหรับถังปฏิกรณ์ที่มีประสิทธิภาพ ระบบหมุนเวียนน้ำรอบผนังด้านนอกของถัง ปฏิกรณ์จะถูกออกแบบมาให้สามารถถ่ายเทความร้อนได้ดี ระหว่างโลหะของถังปฏิกรณ์ กับน้ำที่หมุนเวียนในผนังด้านนอก ซึ่งความเร็วของน้ำที่หมุนเวียนภายในผนังด้านนอก

ต้องสูง โดยอาศัยการทำงานของเครื่องสูบลม ในตอนเริ่มต้นการทำปฏิกิริยาไอน้ำ หรือ น้ำร้อน จะถูกหมุนเวียนรอบผนังด้านนอกเพื่อเพิ่มอุณหภูมิให้เข้าสู่อุณหภูมิของการทำปฏิกิริยา หลังจากนั้นน้ำหล่อเย็นจะถูกเปลี่ยนเข้าไปแทน เพื่อระบายความร้อนของปฏิกิริยาออก ปริมาณของน้ำที่หมุนเวียนจะถูกควบคุมโดยวาล์วอัตโนมัติและเนื่องจากไวนิลคลอไรด์มอนอเมอร์เป็นสารที่ระเบิดได้ อุปกรณ์ต่างๆที่ใช้ในระบบควบคุมส่วนมากจะให้เป็นแบบป้องกันการระเบิด

2.6.8 การเติมตัวหยุดปฏิกิริยา

หลังจากปฏิกิริยาดำเนินไปจนไวนิลคลอไรด์มอนอเมอร์เปลี่ยนไปเป็น พอลิไวนิลคลอไรด์ประมาณ 70 % แล้วความดันในถังปฏิกรณ์จะเริ่มตกลง การปล่อยให้ปฏิกิริยาดำเนินต่อไปจะไม่คุ้มระหว่างเวลาที่เสียไปกับอัตราการเปลี่ยนแปลงที่จะได้เพิ่มขึ้น จะมีการเติมสารหยุดปฏิกิริยาลงไปเพื่อยับยั้งปฏิกิริยา หรืออาจจะกำหนดให้ความดันตกลงมาประมาณ 30 ถึง 40 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว จะถือว่าปฏิกิริยาเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ และอาจจะเติมสารป้องกันการเกิดออกซิเดชัน เพื่อป้องกันพีวีซีเรซินที่จะเสียหายในระหว่างการทำการผลิตในขั้นตอนต่อไป

2.6.9 การนำไวนิลคลอไรด์มอนอเมอร์ที่ไม่เกิดปฏิกิริยาออกจากถังปฏิกรณ์

ไวนิลคลอไรด์มอนอเมอร์ที่ไม่เกิดปฏิกิริยาจะถูกนำกลับไปทำให้บริสุทธิ์ เพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ โดยจะใช้คอมเพรสเซอร์ดูดไวนิลคลอไรด์มอนอเมอร์ที่ไม่เกิดปฏิกิริยาออกจากถังปฏิกรณ์ การนำไวนิลคลอไรด์มอนอเมอร์กลับอาจทำภายในถังปฏิกรณ์ หรือภายในถังสำหรับการนำไวนิลคลอไรด์มอนอเมอร์กลับโดยเฉพาะก็ได้ ขึ้นอยู่กับลักษณะของกระบวนการผลิตที่ใช้ จากนั้นจะทำการไล่ไวนิลคลอไรด์มอนอเมอร์ที่ค้างอยู่ตามรูพรุนของพีวีซีเรซินออกโดยการลดความดันให้ต่ำกว่าความดันบรรยากาศและการเพิ่มอุณหภูมิให้สูง

2.6.10 การเติมสารถ่ายสายโซ่

ในการผลิตพอลิไวนิลคลอไรด์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ จะต้องใช้อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาสูง อุณหภูมิที่สูงและระยะเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาที่นานจะมีผลต่อพีวีซีเรซินที่ผลิตได้เนื่องจากสมบัติของพีวีซีเรซินที่ไม่ทนความร้อน แต่เราสามารถที่จะผลิตพีวีซีเรซินที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ โดยการใส่สารถ่ายสายโซ่ที่เกิดปฏิกิริยาได้ดีกว่าไวนิลคลอไรด์มอนอเมอร์ทำให้สามารถผลิตที่อุณหภูมิต่ำได้ สารถ่ายสายโซ่ส่วนใหญ่เป็นพวก สารประกอบคลอรีเนต (Chlorinated compound) เช่น คาร์บอนเตตระคลอไรด์ (Carbon tetrachloride) ไตรคลอโรอีทิลีน (Trichloroethylene)

คุณภาพของพีวีซีเรซินผลิตได้โดยทั่วไปพิจารณาจากสมบัติต่างๆ ดังนี้ ค่าความหนาแน่นเชิงปริมาตร ขนาดอนุภาคและการกระจายของขนาดอนุภาค ค่ารพูน การหลอมตัวของพีวีซีเรซินเมื่อนำไปใช้งาน ความทนความร้อน สี ความใส น้ำหนักโมเลกุล การปนเปื้อนและความสามารถในการไหลของพีวีซีเรซิน ซึ่งทั้งหมดนี้ต้องอาศัยสูตรการผลิตและการควบคุมกระบวนการผลิตที่ถูกต้องเหมาะสม

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย