บทที่ 2

กระบวนการผลิตไนล่อน

2.1 บทนำ

กระบวนการผลิตไนล่อน เป็นตัวอย่างในการออกแบบระบบควบคุมแบบกระจายส่วน ในบทนี้จึงกล่าวถึงคุณสมบัติของไนล่อน และกระบวนการผลิตไนล่อนไว้เพื่อให้เข้าใจถึงกระบวนการผลิตไนล่อนต่อกระบวนการในบทนี้จะเป็นกระบวนการการผลิตไนล่อน 6 ของ บริษัท เอเซียไฟเบอร์(มหาชน) จำกัด ที่ใช้เป็นตัวอย่างด้วย

2.2 ประวัติ และคุณสมบัติทั่วไปของไนล่อน

ไนล่อน เป็นชื่อที่ใช้เรียกเส้นใยสังเคราะห์ที่มีกลุ่ม "Amide (-NHCO-)" เป็นหน่วยเชื่อมอยู่ในโครงสร้างของโมเลกุล ซึ่งประกอบด้วยอะตอมเรียงตัวกันเป็นแนวตรง เส้นใยประเภทนี้มีชื่อทางเคมีว่า "Polyamide Fiber"

เส้นใยไนล่อน สามารถสังเคราะห์ได้ด้วยการนำสารที่มีกลุ่ม "Carboxy1 (-COOH)" และกลุ่ม Amino ($-NH_2$) มาทำปฏิกิริยากัน ดังนั้นเส้นใยไนล่อนจึงอาจมีได้มากมายหลายชนิด ขึ้นอยู่กับว่าสารที่

นำมาทำปฏิกิริยากันนั้นเป็นสารตัวใด การเรียกใช้ท่อเส้นใยไนล่อนชนิดต่างๆ ใช้ระบบตัวเลขที่แสดงจำนวนคาร์บอนอะตอมที่มีอยู่ในสารเริ่มต้นที่ใช้ในการสังเคราะห์ไนล่อนชนิดนั้น ๆ ยกตัวอย่างเช่น

ไนล่อน 6 สังเคราะห์ได้จากสาร คาร์โปแลคแทม (H-N-$(CH_2)_5$ –CO มีคาร์บอน 6 ตัว) ไนล่อนเป็นเส้นใยสังเคราะห์ชนิดแรกสุด ที่ได้มีการผลิตในเชิงการค้าอย่างจริงจังการค้นพบวิธีการสังเคราะห์เส้นใยชนิดนี้ เป็นผลงานของ Carothers และผู้ร่วมงานแห่งบริษัท Dupont ประเทศสหรัฐอเมริกา ผู้ซึ่งได้เริ่มงานวิจัยเกี่ยวกับการสังเคราะห์สารที่มีโมเลกุลใหญ่มาตั้งแต่ปี ค.ศ. 1928 ไม่กี่ปีต่อมา Carothers ได้ค้นพบ และทำการสังเคราะห์สารโพลีเอสเตอร์ และโพลีอไมด์ ขึ้นหลายชนิด และรวมทั้งโพลีเอไมด์ที่นำมาใช้ทำเส้นใยไนล่อน 6 และไนล่อน 66 ด้วย หลังจากที่ได้ทำการศึกษาคุณสมบัติและความเหมาะสมในด้านต่าง ๆ ของสารแต่ละชนิดได้แล้ว ในที่สุดบริษัท Dupont ก็ได้ตัดสินใจที่จะมุ่งพัฒนา แต่ไนล่อน 66 เพียงอย่างเดียว และได้มีการผลิตไนล่อน 66 ในเชิงการค้าเป็นครั้งแรก ในปี ค.ศ. 1939 ซึ่งก็ปรากฏว่าเส้นใยไนล่อนชนิดใหม่นี้ได้ประสบความสำเร็จเป็นอย่างดีมากในเวลาเดียวกันที่ประเทศเยอรมัน บริษัท ฟาเบนอินดัสทรี ก็ได้ทำการพัฒนาเส้นใยไนล่อน 6 และได้มีการผลิตในเชิงการค้าในเวลาไล่เรี่ยกัน เส้นใยไนล่อน 6 นี้ มีคุณสมบัติในการใช้งานที่ใกล้เคียงกับไนล่อน 66 มาก และสามารถใช้แทนกันได้ในแทบทุกกรณี ดังนั้นจึงปรากฏว่าเส้นใยทั้ง 2 ชนิดนี้มีความสำคัญที่ใกล้เคียงกันมาโดยตลอด โดยไนล่อน 66 มีปริมาณการผลิตที่มากกว่าเล็กน้อย แต่ในอนาคตก็ยังไม่แน่ว่าเส้นใยชนิดใดจะสามารถยึดครองตลาดส่วนใหญ่ไว้ได้ ทั้งหมดนี้คาดว่าจะต้องขึ้นอยู่กับการพัฒนาในกรรมวิธีการผลิตเส้นใยแต่ละชนิดเป็นสำคัญ ถ้าเส้นใยชนิดใดสามารถผลิตได้ในราคาที่ต่ำกว่าเส้นใยอีกชนิดหนึ่งมาก เส้นใยชนิดนั้นก็คงจะเป็นที่นิยมกันมากขึ้น ในปัจจุบันสหรัฐอเมริกา ยังคงเป็นแหล่งผลิตไนล่อน 66 ที่สำคัญที่สุด ในขณะที่ไนล่อน 6 มีการผลิตมากในประเทศเยอรมัน, ยุโรปตะวันออก และประเทศใน

แถบตะวันออกไกล นอกจากเส้นใยไนล่อน 66 และไนล่อน 6 แล้ว ยังได้มีความพยายามที่จะพัฒนาเส้นใยไนล่อนชนิดอื่น ๆ ขึ้นอีก แต่ก็ปรากฏว่าไม่มีชนิดอื่นใดที่จะสามารถแข่งขันกับเส้นใยไนล่อนทั้ง 2 จะมีเส้นใยไนล่อนชนิดอื่นบ้างก็เพียงเล็กน้อย สำหรับการใช้งานในบางกรณีพิเศษ เช่น ไนล่อน 7 ไนล่อน 11 หรือไนล่อน4 ไนล่อน 11 ไนล่อน 10 เป็นต้น ปัจจุบันเส้นใยไนล่อนนับได้ว่าเป็นเส้นใยที่มีความสำคัญเป็นลำดับที่ 2 ในบรรดาเส้นใยสังเคราะห์ทั้งหมดโดยเป็นรองเฉพาะเส้นใยโพลีเอสเตอร์เท่านั้น ความสำเร็จของเส้นใยไนล่อนเป็นผลเนื่องมาจากการที่เส้นใยมีคุณสมบัติในการใช้งานโดยทั่วไปอยู่ในเกณฑ์ดี ไม่ว่าจะเป็นในด้านความแข็งของเส้นด้ายแข็งแรงของเส้นใย การดูดสีย้อมความคงทนต่อการขัดถู ต่อแมลง และพวกจุลินทรีย์ ตลอดจนความทนทานในด้านการใช้งาน ด้านสิ่งของเครื่องใช้ในบ้าน

การใช้ประโยชน์ที่สำคัญที่สุดในด้านนี้ คือ การใช้ทำพรม ซึ่งเป็นตลาดที่ใหญ่อีกด้านหนึ่ง โดยเฉพาะในประเทศตะวันตก เส้นใยที่ใช้ในกรณีนี้เป็นเส้นใยชนิดสั้น นอกจากนี้ก็ยังมีการใช้ประโยชน์ในด้านอื่นอีก เช่น การทำผ้าปูที่นอนปลอกหมอน, ผ้าปูโต๊ะ

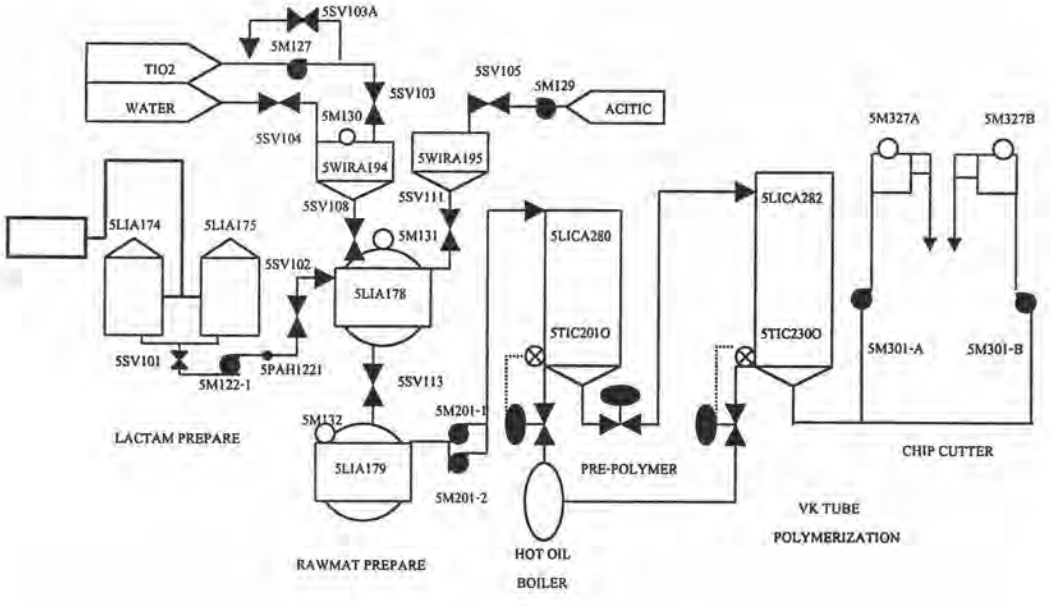
ด้านอุตสาหกรรม การใช้ประโยชน์ที่สำคัญในด้านนี้ ได้แก่ การทำผ้าบุยางรถยนต์ผ้า เต็นท์ ร่มชูชีพ เชือกลากที่ใช้ในทะเล และสายเบ็ดตกปลา เป็นต้น เส้นใยใช้ประโยชน์ในด้านนี้ส่วนมากเป็นเส้นใยชนิดยาวที่มีการผลิตให้มีความแข็งแรงเป็นพิเศษ เพื่อให้ทนต่อสภาพการใช้งานในด้านนี้ได้

จากที่ได้กล่าวมากนี้ จะพบว่า ไนล่อนเป็นเส้นใยที่มีตลาดที่กว้างขวางมากพอสมควร ที่เป็นเช่นนี้เหตุผลประการหนึ่งสืบเนื่องมากจากการที่เราสามารถปรุงแต่ง และเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของเส้นใยไนล่อนให้เป็นไปตามที่เราต้องการได้มากกว่าในกรณีของเส้นใยธรรมชาติ ในกรณีของใยสังเคราะห์เส้นใยจะมีคุณสมบัติอย่างไรนั้นนอกจากจะขึ้นกับสูตรโครงสร้างทางเคมีซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะตัวของ

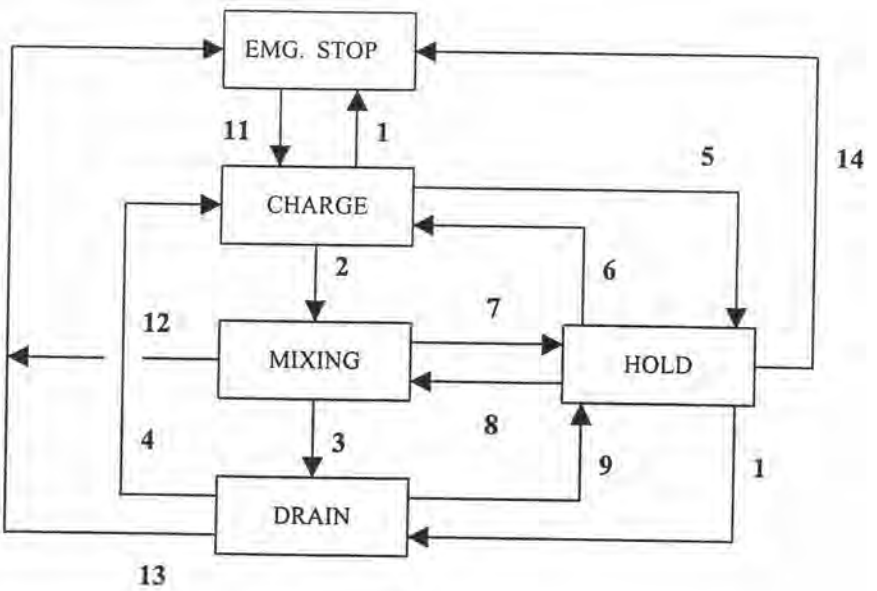
เส้นใยที่ผลิตได้ โดยเฉพาะคุณสมบัติในด้านความแข็งแรงของเส้นใย การดูดติดสีย้อม และด้านความอดทนต่อแสงของเส้นใย

2.3 กระบวนการ ผลิตไนล่อน

ในกระบวนการนี้จะมีเฉพาะการผลิตในส่วนการผลิตชื่อ "POLY-5" เป็น กระบวนการ ผลิตไนล่อน จาก คาโปร์-แลคแทม โดยใช้รีแอคเตอร์ ที่ชื่อ "PREPOLYMERRIZER " และ "VK-TUBE" กระบวนการผลิต แบ่งเป็น กระบวนการแบบแบทช์ (Batch Step) และ กระบวนการผลิตแบบต่อเนื่อง (Continuous Step) ดังนี้



รูปที่ 2.1 แผนภาพกระบวนการผลิตไนล่อน



1. CHARGE STEP SELECTED (LACTAM ,(TIO_2 OR WATER) , ACITIC
2. AUTOMATIC TRANSFER WHEN CHARGE END
3. AUTOMATIC TRANSFER WHEN MIXING END (LEVEL INTER TK PV<SV)
4. AUTOMATIC TRANSFER WHEN DRAIN END
5. 7. 9. WHEN HOLD STEP SELECTED OR POWER FAIL
6. 8. 10. WHEN HOLD STEP RESET
11. 12. 13. 14. EMG. STOP SELECETD

รูปที่ 2.2 การเปลี่ยนแปลงขั้นตอนการทำงานของกระบวนการผลิตไนล่อน

กระบวนการผลิตแบบแบทช์ (Batch Step) จะเป็นการควบคุมน้ำหนักของสารให้ได้ส่วนผสมพอเหมาะตามต้องการโดยแบ่งเป็นส่วนย่อยทำงานต่อกันไป

1. **"Charge step"** เป็นการนำสารต่างๆ มาเตรียมไว้ใน ถังพักเตรียมให้ได้สัดส่วนกัน คือ ใช้แลคแทม, สารเพิ่มสีให้ไนล่อน ในกระบวนการนี้ใช้ TiO_2 หรือ น้ำ เพื่อให้ ไนล่อนมีสีขาว หรือ ใส ไม่มีสี และกรดอะซิติกเพื่อเป็นตัวตัดปฏิกิริยา

"Lactam Charge" แลคแทม จะถูก ป้อนมาเก็บเก็บไว้ในถัง (5LIA174, 5LIA175) เพื่อหลอมเหลวด้วยอุณหภูมิมากกว่า 80°C แล้วจะถูกส่งไปเตรียมใน ถังผสม(Mixing Tank Batch) โดยวัด อัตราการไหล(Flow) (5FQC193) โดยป้อนสารตามจำนวนที่กำหนด โดยท่อทีมี แจ็กเก็ตความร้อน หุ้มตลอดเพื่อกันการแข็งตัวของ แลคแทม จะผ่าน ฟิวเตอร์ (Filter) เพื่อกรองสิ่งแปลกปลอมเข้าไปใน ถังผสม (Mixing Tank) ซึ่งมี สวิทส์วัดความดัน (Pressure Switch 5PAH1221) เป็นจุดวัดว่า ฟิวเตอร์ (Felter) ตัน (ความดันสูง) หรือไม่ และมี ปั๊ม (5M122-1) และ วาล์ว (5SV101, 5SV102) ในซึ่งจะเปิดเมื่อมีการเติมแลคแทม เมื่อเติมแลคแทมถึง 90% ของปริมาณที่ต้องการ มอเตอร์ใบกวน (Agitator) (5M131) จะเปิด

"TiO_2/Water Charge" สารละลายไททาเนียมไดออกไซด์ TiO_2 (aq) และน้ำเป็นสารสีที่อยู่ในไนล่อน คือถ้าต้องการไนล่อนสีขาวก็จะป้อน TiO2 ถ้าต้องการไนล่อนใสก็จะป้อนน้ำ โดย TiO2 และน้ำ จะไม่ป้อนรวมลงในถัง ในเวลาเดียวกัน

"TiO_2 Charge" TiO_2 (aq) เป็นสารแขวนลอยสีขาว โดยปกติจะต้องเปิด ระบบไหลเวียนกลับ (Circulate) คือวาล์ว (5SV103A) และเปิดปั๊ม (5M127) ตลอดเวลาเพื่อไม่ให้ TiO_2 (aq) ตกตะกอน เมื่อสั่งป้อน TiO_2 วาล์ว (Circulate) (5SV103A) จะปิด และวาล์ว เติมลงถัง (5SV103) จะเปิดให้ TiO_2 ไหลลงถังชั่ง (5WIRA194) แล้วจึงทำการวัดน้ำหนักถึงกำหนดที่ต้องการที่จะเปิด มอเตอร์ใบกวน (Agitator) (5M130) เพื่อกันการตกตะกอนของ TiO_2

"Water Charge" เมื่อสั่ง เติมน้ำ วาล์ว (5SV104) จะเปิดให้น้ำลงถังชั่ง (5WIRA194) วัดค่าให้ได้ตามที่กำหนดไว้ (การใช้น้ำแทน TiO_2 จะได้ไนล่อนใส)

"Acetic Charge" เมื่อสั่ง กรดอะซิติก (Acetic) เติม วาล์ว (5SV105) จะเปิดให้ กรดอะซิติก (Acetic) ลงในถังชั่ง (5WIRA195) ให้ได้น้ำหนักตามต้องการ กรดอะซิติก (Acetic) จะเป็นตัวควบคุมความยาวของสายโซ่โ พลิเมอร์

2. "Mixing Step" เมื่อได้สารตามจำนวนที่ต้องการแล้ว วาล์ว (5SV108) จะเปิดเพื่อปล่อย TiO_2 หรือ น้ำลงในถังผสม (Mixing Tank) จนหมดถังชั่งเช่นกัน และจะเปิด Timer (AFCTM02) เพื่อจับเวลาการกวนผสมเมื่อได้เวลาตามที่ต้องการแล้วก็จบ "Mixing Step" (การจบ "Mixing Step" ปริมาณน้ำใน "Inter Tank" ต้องไม่มากกว่าระดับที่กำหนด)

3. "Drain Step" จะตรวจว่าระดับใน "Inter Tank" น้อยกว่าระดับที่กำหนดหรือไม่ ถ้าน้อย กว่าจะสั่งเปิด วาล์ว (5SV113) จะเปิด ไทม์เมอร์ (timer) จับเวลา (AFCTM03, AFCTM04) ส่วน AFCTM04 ใช้ปิด วาล์ว (5SV113) มอเตอร์ใบกวน (Agitator) (5M132) จะเปิดเมื่อระดับน้ำใน "Inter Tank " มากกว่า ระดับต่ำที่กำหนด LL จากนั้น จะกลับไปขั้นตอน "Charge Step" อีกครั้ง

ขั้นตอน ต่าง ๆ ถ้าอยู่ใน "Auto Mode" จะทำเป็น ขั้นตอน ต่อไปเรื่อย ๆ แต่ถ้าเป็น "Semi Mode" จะทำขั้นตอน นั้นจนหมดแล้วหยุดรอให้ ผู้ควบคุม สั่งทำงานต่อ

4. "Hold Step" มีไว้หยุดการทำงานของระบบชั่วคราวจะปิด วาล์ว ทุกตัวใน "Charge Step" ปิดปั๊ม ทุกตัวชั่วคราว หลังจากนั้นถ้า ผู้ควบคุมต้องการให้ทำงานต่อก็เลือกกด "Hold Step" อีกครั้งหนึ่ง ระบบก็ทำงานต่อจากเดิมทันที

5. "EMG Stop Step" มีไว้หยุดระบบถาวร เมื่อเกิดปัญหาในการผลิตอย่างรุนแรงไม่สามารถดำเนินการต่อไปได้ เมื่อกดปุ่ม "EMG Stop" ค่า การนับการไหล ต่าง ๆ จะถูก ยกเลิกขั้นตอน จะเริ่มที่ "Charge Step" วาล์ว, ปั๊ม และนาฬิกาจับเวลา ทุกตัวจะปิด

กระบวนการควบคุมแบบต่อเนื่อง (Continuous Process) เป็นส่วนควบคุมการทำปฏิกิริยา โดยควบคุมระดับของสาร และอุณหภูมิของสาร โดย วาล์วควบคุม

เป็นส่วนของการเกิดปฏิกิริยาโพลิเมอร์ไรเซชัน โดยมีถังเกิดปฏิกิริยา (Reactor) ต่ออนุกรม 2 ตัว ควบคุมการทำปฏิกิริยาโดยใช้การควบคุมระดับของสาร และอุณหภูมิของสาร โดย วาล์วควบคุมดังนี้

1. "Prepolymerization" ของผสมใน "Inter Tank" จะถูก ส่งผ่าน โดยปั๊ม (5M201-1, 5M201-2) โดยใช้ระดับของของผสม ในหอ "Pre-polymerize" (5LICA280, 5LICA281) เป็นตัวควบคุมความเร็วของ ปั๊มใช้ความร้อนจาก หม้อต้มความร้อน (Boiler) ที่ถูกควบคุมด้วยตัว ควบคุมอุณหภูมิ (5TIC201O) ซึ่งใช้น้ำมันร้อน (Hot Oil) ทำให้สารร้อน และควบคุมอุณหภูมิ และมี (5LICA282, 5LICA283) ระดับของผสมใน "VK Tube" คอยควบคุมการไหลของสารจากหอ "Pre-polymerize" เข้าหอ "VK. Tube"

2. "VK.Tube" เป็นส่วนของการทำปฏิกิริยา จะต้องควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ ~ 270°C โดยใช้ "5TIC230O" ควบคุมอุณหภูมิก้นของถังน้ำมันร้อน (Hot Oil) ควบคุมอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา และมีปั๊ม (5M301-1, 5M301-2) ป้อน ไนล่อนออกจาก "VK. Tube" สู่ "Chip Cutter"

3. "Chip Cutter" ไนล่อนที่ถูกหลอมเหลว จะถูกทำให้เย็นลงด้วยน้ำเย็น และจะแข็งตัว การตัดเม็ดพลาสติกจะฉีดไนล่อนเป็นเส้นยาว แล้วตัดในน้ำเย็นด้วยใบมีดมอเตอร์ (5M321A และ 5M321B)

โดยที่น้ำเย็น จะใช้ TIC237A, B ควบคุมความเร็วรอบปั๊ม ที่ใช้ป้อนน้ำเย็นลดความเย็น ซึ่งจะแยกเป็น 2 ส่วนการผลิต (A,B) ขนานกัน

2.4 สรุป

ในบทนี้ได้กล่าวถึงประวัติ, คุณสมบัติและกระบวนการผลิตไนล่อน ซึ่งเปรียบเสมือนกับ โจทย์ที่ต้องการการออกแบบระบบควบคุม ซึ่งใช้เป็นตัวอย่างในการออกแบบ และการทำวิศวกรรมซึ่งจะกล่าวถึงในบทต่อ ๆ ไปกระบวนการที่กล่าวถึงในบทนี้ เป็นเพียงกระบวนการคร่าว ๆ ซึ่งไม่กล่าวถึงรายละเอียดที่เป็นปัจจัยในการผลิตหรือ สารเติมเพิ่มคุณสมบัติอื่นที่ไม่เกี่ยวข้องกับการควบคุมแบบ ดีซีเอส